2023年“苏浙闽粤桂沪湘皖”航海学会
学术研讨会论文集

江苏省综合交通运输学会航海分会

1．瓦锡兰电喷主机缸套异常磨损实例……骆秀金 1

2．运用VHF通讯系统避免海难事故的研究……李亚男 伏胜东 刘传志 7

3．智能海事监管射频识别技术应用研究……翟宏群 张娟 12

4．斜流中船后螺旋桨水动力载荷实尺度计算分析……马娟 刘林华 魏斌 16

5．长江海轮航行应急风险探讨……何世红 亚礼君 江大军 26

6．创新“一零两全四免费”船舶污染物治理模式推动长江经济带高质量发展……牟彩霞 王渊渊 33

7．北斗三号/GPS组合导航系统全球定位性能分析……曹翔 史誉州 刘雅奇 赵仓龙 刘涛 36

8．回流区影响下超大型船舶靠离泊安全操纵探析……韩亚峰 窦伟 胡北平 44

浙江省航海学会

9．关于京杭运河二通道通航与安全管理研究……金虹 马轩 施大龙 52

10．复杂水域下大型桥墩钻孔平台水上拖航安全保障研究……李子强 汪益兵 谢广伟 56

11．基于虚拟仿真试验的椒（灵）江锚地调整方案及对策研究……柳良伟 朱忻兰 62

12．综合性院校航海技术专业发展困境及对策——以浙江海洋大学为例……艾万政 张洪刚 淦学甄 68

13．基于雷达船舶海上模拟避碰系统的研究……徐天奇 安天圣 毛旭东 73

14．关于提升温州航运企业安全管理能力的探讨……陈定进 黄友标 78

15．基于港口发展需求的重点配套锚地建设对策研究……方念坚 杨春平 轩少永 81

16．“情景模拟”培训模式在公司新证二副上岗前培训的应用与总结的应用与总结……方为明 许光锋 卢奇辉 87

福建省航海学会

17．AIS系统应用中存在的问题和对策探讨……肖小春 91

18．现代船舶节能减碳的技术策略……郑金辉 95

19．无人机在桥区助航标志巡视及通航环境信息采集的应用探析……吴泉凯 曾繁屏 100

20．基于极值引导的人工蜂群算法的船舶混合能源系统能量管理……刘迪迪 林安辉 杨旭 张浩然 孙岩霆 105

21．t 检验-成对二样本分析法在航标蓄电池质量预控中的应用.....吴泉凯 曾繁屏 110

22．灯浮标移位原因及对策措施.....任健 张立样 王鑫宁 沈秋雄 刘宏 119

23．关于我国近岸岛礁救援的分析与思考.....黄亮平 张成荣 122

24．某船海水淡化装置的故障分析与排除.....杨惠群 127

广东省航海学会

25．论北极航线的合理开发利用及问题思考.....祝鸿 毕修颖 刘传润 131

26．基于北极（冰情）大数据和电子海图数据的北极东北航道航行安全信息保障.....

.....邹文锋 王英政 136

27．船员行为智能感知系统设计与实船试验.....刘兴 143

28．浅谈船舶远程医疗与健康服务系统的设计.....邹文锋 149

29．基于 OBE 理念下的《航海英语》课程教学改革与实践.....

.....祝鸿 毕修颖 刘传润 李贝贝 152

30．海洋卫士 TM 型压载水处理系统解析.....邹炳 周建伟 157

31．避免商渔碰撞之安全航行建议.....梁创亮 162

广西壮族自治区航海学会

32．西部陆海新通道建设视阈下北部湾港口与腹地物流协同发展研究.....陈长英 166

33．基于事故致因链的北部湾水域商渔船安全避让分析.....严丹 韦国栋 169

34．平陆运河对广西北部湾经济开发区区域经济的作用探讨.....彭燕 174

35．平陆运河背景下船员操作技能的新要求.....高海涛 178

36．浅谈引领航海绿色低碳智能新趋势.....朱宏亮 181

37．钢铁成品装船作业工班计划预报研究.....牛运可 184

38．服务西部陆海新通道的“中高贯通-江海联培”航海类专业人才培养模式探析.....

.....谭婧昀 189

39．浅谈广西航海人才培养问题与对策.....杨宇清 黄兆牛 姜敏 陈璐 黄祖栋 韦景令 195

上海市航海学会

40．提升我国船舶交易数据服务能力探究.....徐凯 冯翊洋 付怡 199

41．一种被引船航迹偏离风险预测模型.....周樾枫 陈旭海 204

42．港口竞争力与腹地城市范围研究——基于中国沿海港口的实证分析.....

.....王乙成 张聪志 米晋宏 211

43．附加阻尼影响下的极地破冰船波浪增阻研究.....陈超 张伟 刘亚东 223

44．“水上智能停车场”在海事管理中的创新应用.....黄锦杰 蒋兆明 张可成 230
45．营运碳强度指标影响下的班轮航速优化.....张子倏 孟怡婕 陈笛 胡晨滨 孙领 235
46．驾引人员不当使用手机引发事故分析.....陆悦铭 丁丰华 周樾枫 239
47．主机增压器喘振原因浅析及运行管理.....周宝金 夏兵 242

湖南省航海学会

48．航电枢纽下游超设计低水位运行对船闸等设施的影响及对策.....
.....尹斌勇 文跃凌 莫雄 黎泽文 250
49．内河船闸浮式系船柱系缆高度及浮筒关键参数研究.....李超军 叶雅思 刘志敏 256

50．桩基透空式导流屏结构对船闸下游口门区通航的影响.....吴琼琳 高清洋 普晓刚 261
51．连续急弯航道滩险碍航特性分析及航线选择.....邹开明 乾东岳 266
52．嵌岩桩合理嵌岩深度研究.....陈华林 文芬 270
53．船闸浮式系船柱升级改造设计与应用.....李超军 周钦 叶雅思 陈虹宇 陈杨柳二 277
54．不同孔隙率对高应力水平下混凝土强度的影响研究.....彭哲 秦倩 284
55．潇湘改建船闸工程防渗系统设计.....熊智 邹开明 丁琼 290

安徽省航海学会

56．引江济淮淠河总干渠渡槽关键技术与创新.....殷亮 吴志刚 杨善红 徐宏光 294
57．基于临界水力梯度接近度的工程管涌危险程度量化研究.....
.....钱叶琳 苏颖 张振华 李长春 王磊磊 徐阳 298
58．货运型内河港口物流园区评价分析.....夏高响 王亚武 陈品章 308
59．内河水运高质量发展趋势分析.....王亚武 夏高响 312
60．安徽港口智慧化发展研究与思考.....吴德俊 315
61．浅滩-深槽生境恢复措施效果研究.....胡飞 林燕清 吴腾 319

瓦锡兰电喷主机缸套异常磨损实例

骆秀金

（江苏海服技术发展有限公司，江苏 南京 211800）

摘要：本文介绍了瓦锡兰 RT Flex58 T-B 电喷主机的脉冲气缸润滑 CLU4 系统的工作原理，根据一起注油器止回阀导致的主机缸套异常磨损案例，分析故障原因，排除故障，确定如何管理此类机型的注油器止回阀，验证效果，避免同类机型问题的再次出现，减少损失。

关键词：CLU4 系统；注油器止回阀；故障分析

0 前言

瓦锡兰主机RT Flex58 T-B中的脉冲气缸润滑CLU4系统是新型电子注油系统，有曲轴自带的3台伺服油泵和独立的电动伺服油泵两种方式，通过减压阀提供60bar伺服油压驱动。CLU4系统具有控制精准、操作简单、气缸油油耗低等特点，但管理要求高，不稳定。气缸润滑系统必须安全可靠，一旦出现问题，会导致缸套磨损，修理周期长，威胁航行安全，带来巨大损失。本文对瓦锡兰主机RT Flex58 T-B采用的脉冲气缸润滑CLU4系统发生的故障进行分析，总结管理要点，避免同类型主机故障的重复发生。

1 脉冲注入式气缸油 CLU4 系统原理

气缸油CLU4系统主要由WECS9520气缸油控制系统、润滑油泵、注油器、减压阀、滤器共5个部分构成。下面重点介绍WECS9520气缸油控制系统、润滑油泵、注油器的工作原理。

1.1 WECS9520 气缸油控制系统

图1所示为气缸油控制系统，主要说明了各个模块间的通信和监控。FCM-20/ALM-20模块在主机旁的每个缸都安装一个，FCM-20是单缸最核心的PLC模块，控制着单缸的燃油喷油单元、排气阀单元、主机的启停，同时经通讯CAN线和ALM-20联络通讯；ALM-20模块负责接收主机转速、曲轴转角、气缸油注油压力等信号，并发出注油指令给脉冲注油单元的2位4通电磁阀，电磁阀控制来自共轨单元的伺服油通断，伺服油控制脉冲注油器内的润滑油泵动作并通过压力传感器反馈脉冲注油器内气缸油压力的高低，通过压力传感器把气缸油断流的信号送至报警系统。

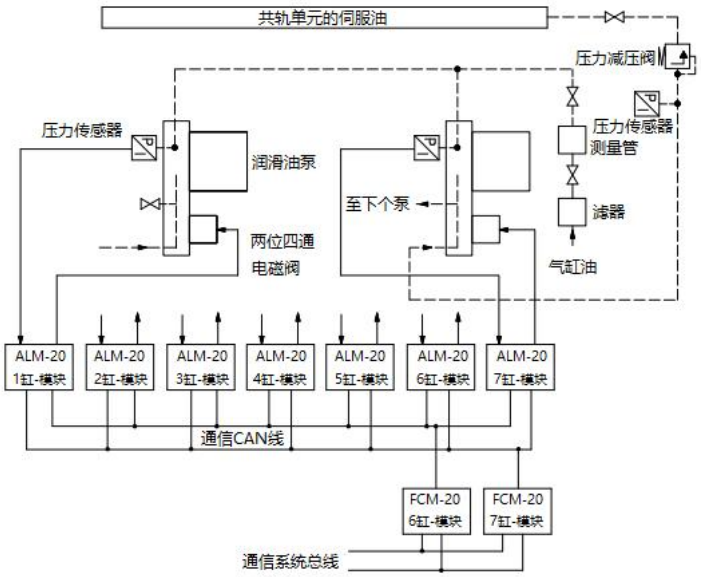


图1气缸油控制系统

1.2 润滑油泵

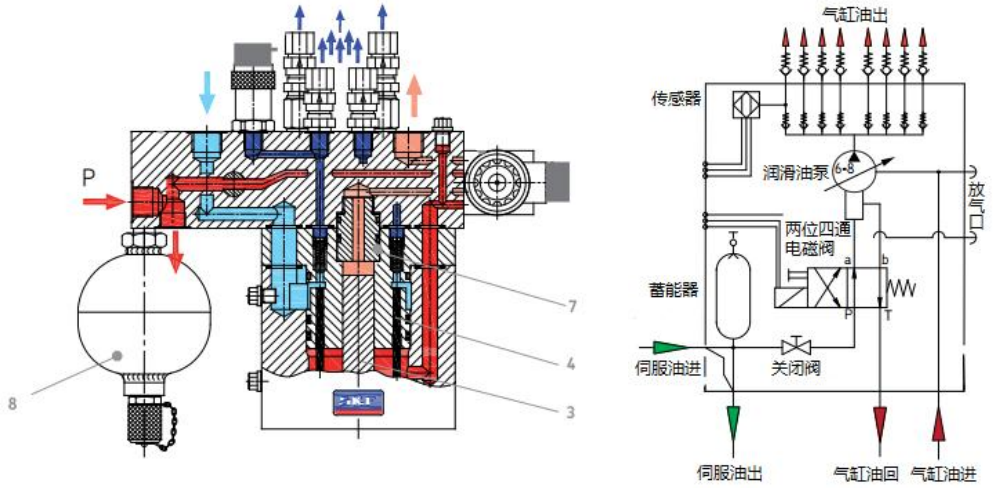
图2所示为脉冲注油器模块，由润滑油泵、2位4通电磁阀、蓄能器、压力传感器组成，其中的3、4、7组成了润滑油泵。图中总共4种颜色表示伺服油和气缸油的进回油。大红色是来自减压阀后60bar的伺服油，通过套管连接到脉冲注油模块，可以看到伺服油进入模块后有一路直接又出去了（到下个缸的脉冲注油模块）。高压伺服油进到脉冲注油模块后通过一个关闭阀,此阀在紧急情况和检修时可以单缸关闭伺服油，阀前有蓄能器8。伺服油经过关闭阀后到达2位4通电磁阀，电磁阀受控于ALM-20对伺服油进行关闭和打开，电磁阀瞬间的开关会引起伺服油压力的异常波动，异常波动会损坏脉冲注油模块内的部件，还会导致注油定时不够精准，安装的蓄能器可以很好的解决这个问题。电磁阀打开时，高压的伺服油到达中心活塞3，由于

中心活塞的上下面积差，使得中心活塞向上移动，中心活塞的一圈装有6或8个计量活塞4，中心活塞带动计量活塞一起向上移动进行泵送气缸油。中心活塞的另一端粉红色表示回油，粉红色低压伺服油通过电磁阀内部通道排出脉冲注油器模块，最终回到主机曲轴箱。电磁阀关闭时，中心活塞上下两端的进回油正好相反，中心活塞带动计量活塞回到最下面。

图2中浅蓝色是来自滤器的低压气缸油，通过管路连接到脉冲注油器模块，经过内部通道到达计量活塞4入口，等待被泵入气缸。被计量活塞泵出的高压气缸油用深蓝色表示，通过计量活塞出口止回阀排出，再经过脉冲注油器模块出口止回阀后到达气缸本体上的注油器止回阀。这里提到三个止回阀，图2中只画出前两个，最后一个气缸本体上的注油器止回阀没有画出。在计量活塞出口止回阀和脉冲注油器模块出口止回阀间装有压力传感器，监控气缸油的注油情况并进行反馈，压力值不正常会发出声光报警并控制主机降速。在脉冲注油器模块出口止回阀和气缸本体上的注油器止回阀之间如果压力不正常，这个传感器是无法检测到的。

图2中的计量调节螺母7，可以调节中心活塞的行程，也就是调节了计量活塞的行程，不过在脉冲注油器模块装复后，计量调节螺母是不做调整的，在主机运行时的注油量是通过注油频率来控制的，可以主机每一转喷射N次，也可以每两转喷射N次……

图2的右侧管路图上有两个连接大气的放气口，一个和高压伺服油联通，一个和低压气缸油联通，正常使用时两个通道都通过带螺纹的螺栓闷死，在初次使用、断油、降速、检修等情况需要进行放气操作。放气螺栓旋出量最多不能超过3圈。



a)结构　　b)管路

3-中心活塞；4-计量活塞；7-计量调节螺母；8-蓄能器

图 2 脉冲注油器模块

1.3 气缸注油器止回阀

注油器止回阀指的是装在气缸本体一圈上的6-8个止回阀，是气缸油进入气缸的最后一道止回阀，也是最重要的。这道止回阀可以防止燃气倒灌，确保气缸油精准喷射到活塞环上。注油器止回阀共计3个版本，是在发现问题后不断更新出来的，区别是：

第一版（图3）：是一个整体，止回阀芯在本体最前端，离燃烧室近，工况恶劣。

第二版（图4）：是分体式的，止回阀芯已和本体分开，设计在本体最后端，可单独拆卸下来，并且止回阀离燃烧室远了，工况有所好转。

第三版（图5）：和第二代很相拟，只是在止回阀前多加了一个散热杆，散热效果更好，工况更加稳定。

图 3 第一版

图 4 第二版

图 5 第三版

2 缸套磨损故障现象

某轮RT Flex58 T-B机型是新型共轨电喷机，监控系统全面，在正常航行中电脑界面Flex view没有发现任何报警，在港的一次扫气箱检查中，发现主机部分活塞环有干磨现象，检查气缸注油系统发现止回阀内的止回钢珠丢失，更换止回阀加大气缸注油率至0.95g/kw H，正常航行时部分缸的扫气温度逐渐开始上升，靠港后对扫气口再次检查，发现缸套和活塞环磨损严重，并且有的缸出现了断环现象，吊缸检查并测量数据，缸套磨损严重且已不规则，船上只有一个备用缸套，经公司指导，等待申请备用缸套供船后再进行更换。正常吊缸装复后，完成吊缸的缸套状况快速恶化，扫气温度频繁上升至80度并发出报警，缸套内有不规律的机械敲缸声。这些问题一直困扰着船上管理人员和公司机务，发现故障直到完全故障解决共持续了3个多月。

3 缸套磨损检查和分析

3.1 第一次扫气箱检查和分析

抵NEWCASTLE港口后进行主机扫气箱常规检查，发现3、4、6缸活塞环磨损不正常，环表面干燥，有明显干磨痕迹。开始怀疑是高碱性气缸油的问题，可是检查1、2、5缸状况正常，既然不是全部缸都有问题，燃油和气缸油自身的问题基本可以排除。继续检查单缸脉冲气缸油系统是否有问题，先拆除3、4、6缸连接到缸套上的止回阀接头，每个缸套上有六个止回阀，启动伺服油泵进行手动注油，六个管的注油情况都正常，注油的同时，对注油模块的伺服油和气缸油进行放气操作，没有发现气泡，对氮气压力罐进行测压检查，压力在20-25bar之间都基本正常，一番测试后，可以排除脉冲注油模块的问题。最后只剩气缸上的注油器止回阀了，对3缸注油器止回阀进行拆解检查，发现有1个注油器止回阀内的钢珠已不在，3个注油器止回阀漏气严重，2个注油器止回阀轻微漏气，所以3缸6个注油器止回阀全部换新为第二版产品备件。由于船存备件不足，把换下第一版产品轻微漏气的留做备用。接着对4、6缸注油器止回阀拆解检查，也发现有少量注油器止回阀反向漏气严重，部分轻微漏气，所以4、6缸注油器止回阀也全部换新。因为3个缸注油器止回阀发现不同程度漏气问题，继续对1、2、5缸注油器止回阀也拆开检查，大部分正常，只发现少数轻微漏气，由于库存备件不足，从换下的第一版中找好的换上，同时申请加急备件。检查完，3、4、6缸气缸油注油率全部调为0.95g/kw H，1、2、5缸依然都为0.85g/kw H。开航后3、4、6缸扫气温度逐渐升高，4缸最为严重，最高时已达到65度。

发现气缸上的注油器止回阀有问题，主机电脑界面没有发出过任何报警，考虑主机航行安全，机舱从原来的无人机舱值班改成了有人机舱值班。

对图2脉冲注油器模块介绍时，分析过压力传感器，这个传感器只负责监控计量活塞出口止回阀到脉冲注油器模块出口止回阀间的压力(类似断流报警），然而装在气缸本体上的注油止回阀出现故障时，这个压力传感器是无法感受到的，这也导致了注油止回阀故障没有任何报警。

3.2 三、四缸吊缸检查数据测量和分析

该轮在玉环港对3、4缸进行吊缸检查，发现：

（1）从4缸缸套上布油槽观察和新的缸套布油槽（图8）比较，左前1/4圆周（图6）磨损较小，还有布油槽存在，其它3/4圆周（图7）布油槽全部磨损，全部磨损的布油槽正好对着1个注油器止回阀钢珠缺失和3个漏气严重的注油器止回阀，考虑最初磨损是注油器止回阀反向泄漏导致。

图 6 左前 1/4 圆周

图 7 其他 3/4 圆周

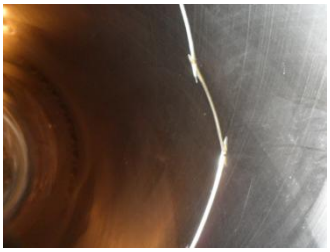


图 8 新缸套布油槽

（2）RT Flex58 T-B主机标准缸径580mm,最大极限584mm,从表1缸套测量数据可以看出，在注油孔上部内径磨损超限，从缸套上平面往下，分别在17、22、27厘米处测量数据，前后：582.50、583.76、584.37；左右：585.80、584.38、584.82，活塞环和缸套间隙过大，燃烧室的高压高温气体会下窜，这也导致注油孔上部磨损加剧。整体数据显示整个缸套已严重不规则，水平面变成椭圆形，上下变成了锥形。

表 1 四缸缸套磨损测量数据（mm）

位置	1	2	3	4	5	6	7
前后	2.50	3.76	4.37	2.50	2.50	1.35	2.10
左右	5.80	4.38	4.82	2.87	3.30	1.52	2.85

（3）RT Flex58 T-B主机活塞环标准宽度16mm（0至-0.03），厚度19mm（+0.25至-0.25），从表2活塞环测量数据可以看出，活塞环都磨损严重，而且磨损不规则。

表 2 四缸旧活塞环测量数据（mm）

序号	1	2	3	4
厚度-1	18.50	17.60	18.00	17.00
厚度-2	19.00	17.36	17.86	17.00
厚度-3	18.15	17.10	17.26	17.00
宽度	16.00	16.00	16.00	16.00

（4）4 缸新环装于环槽内，测量天地间隙，第 1 道 0.41，第 2 道 0.40，第 3 道 0.35，第 4 道 0.35，都符合说明书要求（第 1-2 道 0.35-0.43；第 3-4 道 0.30-0.38），说明环槽磨损正常。

（5）六个注油器拆下再次检查（NEWCASTLE 港已全部换新），用日用压缩空气反向测试，另一端放置水里，少量小气泡，说明有轻微漏气，但无备品换新，装复测试注油量正常。这里有两个问题，一是在主机停止时，注油器止回阀芯缺失的情况注油是正常的，常规注油检查是发现不了问题的；二是 NEWCASTLE 港刚更换的第二版注油器止回阀，仅仅航行 15 天时间，开始出现轻微漏气，考虑备件本身也可能有问题。

（6）经过扫气箱检查，3 缸状况也不好，进行了吊缸检查，情况和 4 缸基本相同，这里不做太多分析。3、4 缸吊缸后，注油率调高至 1.5g/kw H，启动试验，正倒车正常。

3.3　三、四缸吊缸后运行一个航次的扫气箱检查

从玉环港航行到VANINO发现3、4缸扫气温度继续上升，达到65-70度，有时达到80度并发出扫气高温报警,所以一到VANINO港，先检查注油器止回阀，没有出现严重反向泄漏的现象，然后打开扫气箱检查，发现3、4缸的活塞环磨损严重，1、2、3、4道环的倒角及缸套扫气口的倒角已经完全磨掉，而且活塞环与缸套密封面粗糙，可以看出磨损速度很快。虽然6缸状况也不好，但是未吊缸的6缸状况没有快速恶化。从上次吊缸测量就已得出结论，缸套已是椭圆和锥形，加上这次的现象可以基本确定，吊完缸后圆的活塞环匹配椭圆的缸套，会让活塞和缸套的匹配度更差，密封性也变差，燃气下窜严重破坏油膜所致，在没有更换缸套的情况下，新换的活塞环会很快磨损，同时也加剧缸套进一步磨损。考虑到这一情况，在缸套没供船前，6缸就不能轻易吊缸，暂时先把气缸油注油率调整到1.5g/kw H，先维持其运转不恶化。

航行中3、4缸还出现了不规律的敲缸声，风浪越大，敲缸声音越大，尤其船舶横摇时，最为明显，扫气箱检查时发现，活塞裙部有磨损。考虑缸套和活塞环严重磨损后，间隙变大，在船舶摇晃时，加剧活塞头的左右晃动，造成机械敲缸和活塞裙磨损的现象。

3.4 航行中发现新的问题

航行途中07:30巡班发现主机3缸左后侧一个注油器止回阀接头颜色发黑，表面的油漆皮高温脱落，手无法触摸，怀疑注油器止回阀问题，停机更换一个注油器止回阀，08:05主机再次启动续航。

图9拆下的止回阀可以看出，止回阀阀芯的钢珠已完全缺失，这个新的现象也可以看出，如果注油器止回阀出现漏气，止回阀失去止回效果，会出现高压高温燃气倒灌，燃气会对钢珠进行冲刷，钢珠的直径会变小甚至融化，钢珠直径小于孔径时也会弹出进入缸套，这也就解释了拆出的第一版和第二版注油器止回阀都出现了钢珠缺失的情况。3缸的注油器止回阀是在NEWCASTLE港新换的，使用1个多月，出现燃气倒灌至注油器止回阀的接头，止回阀内通道干燥，气缸油可以确定已无法正常进入气缸，同时也没有任何报警。

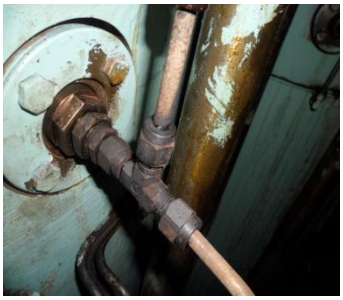


图 9 三缸更换的第二代注油器止回阀芯

3.5 四缸更换缸套和活塞环后的扫气箱检查

主机新缸套供船后，考虑4缸情况最严重，4缸缸套和活塞环换新，和缸套同时供船的还有6个第三版注油器止回阀，也一起全部换新，注油率调为1.5g/kw H，严格按照说明书要求进行磨合。船抵达香港加油，打开扫气箱检查，图10中4缸缸套活塞环情况正常，在没有手动注油的情况下，活塞环油膜完整、湿润、磨

合良好，3、6缸继续干磨现象，但吊过缸且没有更换缸套的3缸更加严重。

图 10 三、四、六缸缸套及活塞环检查

3.6 三、六缸更换缸套和活塞环后的扫气箱检查

通过4缸的运转测试正常，公司又加急供应了两个缸套和5个缸的第三版注油器止回阀30个，将3、6缸缸套和活塞环换新，1、2、3、5、6缸的注油器止回阀全部换成第三版。主机运转测试一段时间，扫气箱检查一切正常，航行也没发现任何异常现象，至此主机的故障完全解决。考虑注油器止回阀如发生故障还是没有任何报警监测，采取对注油器止回阀进行测温监测并记录（表3），通过对比每次注油器止回阀温度的情况，以便判断注油器止回阀工作是否正常。

表 3 一缸主机注油器止回阀温度测量表℃

时间	1	2	3	4	5	6
00-02	46.3	56.3	57.7	52.7	49.5	45.3
02-04	45.4	54.7	50.9	52.5	49.7	43.6
04-06	45.9	54.5	46.7	49.6	50.2	43.5
06-08	45.4	54.3	46.9	54.4	48.7	42.8
08-10	45.5	54.7	49.6	51.8	50.8	46.3
10-12	46.2	53.1	47.5	50.6	47.3	43.2
12-14	47.5	56.2	51.5	54.5	48.6	46.9
14-16	48.6	58.9	52.3	55.3	50.8	46.6
16-18	49.5	57.5	49.7	51.2	50.8	49.5
18-20	49.7	57.8	48.7	53.1	51.2	48.6
20-22	47.9	55.4	50.7	45.3	50.5	53.7
22-24	46.3	55.2	49.5	48.4	50.2	51.2
伺服油压：58bar		注油器工作状况			正常	

3.7 缸套磨损分析总结

从整个故障现象和分析过程来看，最先有问题的是RT Flex58 T-B的第一版注油器止回阀，这个注油器止回阀的阀芯在最前端，工作环境恶劣，长时间工作出现了止回效果变差，部分严重的注油器止回阀还出现了燃气倒灌，钢珠缺失的情况，气缸油在止回阀缺失或止回阀效果变差的情况下，气缸油注油失败。如这个时候能及时发出断流报警，问题也不至于发展到缸套严重磨损，但脉冲注油模块的断流报警有一个压力传感器监测，只能监测计量活塞到注油器模块出口止回阀的压力，而气缸体注油器止回阀出现问题，这个压力传感器无法感受到。在止回阀轻微泄漏的情况下，主机也不会有任何特别异常现象，而且缸套异常磨损前，船舶一直是无人机舱，如果气缸注油器止回阀出现严重反向泄漏问题，就算止回阀接头出现高温现象，没有报警，等到人员发现也是几个小时后，甚至更长时间，无人值班检查间隔周期最短也是8个小时。没有被发现的这段时间，有问题的注油器止回阀所对应角度的气缸套就处于干磨状态，缸套就是这样快速磨损失圆的。在发现缸套磨损问题后，部分缸更换了第二版注油器止回阀，这时的缸套已经严重磨损，更换第二版也只能不让情况快速恶化，况且第二版注油器止回阀的情况也不稳定，在后来的吊缸检查中，缸套测量数据也看出缸套的不规则和失圆，在这种情况下，只更换活塞环，活塞环和缸套的严重不匹配，加速了缸套和活塞环的磨损。

4 注油器止回阀的管理方法和建议

通过对RT Flex58 T-B脉冲注油系统原理和缸套磨损过程的分析，总结出脉冲注油系统的止回阀管理方

法：

（1）机舱实行有人值班，人工对每缸的注油器止回阀进行测温检查并记录，可以第一时间监测止回阀出现温度升高的趋势，便于早期发现问题。

（2）定期对所有止回阀进行拆检，用压缩空气测试止回阀的反向泄漏情况，并精确记录每个止回阀和缸套的相对位置和泄漏情况，便于跟踪分析故障，一旦出现反向泄漏立即更换。

（3）止回阀检查方法：每个缸6或8个止回阀按照方位标记好后全部拆除，逐一对其进行止回阀测试，先用日用压缩空气对拆下的止回阀正向吹，这一步骤特别重要，清除止回阀内部气缸油，然后用日用压缩空气对止回阀反向吹，同时把止回阀淹没到水里，看止回阀进口端漏气的严重程度。

为杜绝此类缸套磨损故障，提出以下建议：

（1）厂家改进对注油器止回阀的运行工况监控设计，出现问题第一时间发出报警，避免缸套的异常磨损。

（2）能在说明书里明确注油器止回阀检查的重要性，增加注油器止回阀检查的具体方法和检查周期。

（3）船舶公司加强对轮机员新技术的培训，提高业务能力，更好的管理电喷机型。

（4）船舶公司加强备件的管理，确保供应备件的质量和船存数量。

5 结束语

瓦锡兰RT Flex58 T-B做为新型电喷主机，有着低油耗、低排放、操作简便等优点，也是现在船舶配备的主要机型之一。新技术的使用和快速发展，对船舶轮机员理论知识和管理水平提出了更高的要求，需要轮机员深入分析说明书，全面观察故障现象，研究导致故障的深层次的原因，才能彻底找到问题的根源，避免同类型问题的出现。

参考文献

[1]RT FLEX58T-B 维护保养手册 WARTSILA Switzerland Ltd,Printed in Switzerland

作者简介：

骆秀金(1984-)，男，本科，远洋一等轮机长，江苏海服技术发展有限公司从事船舶机务管理工作，地址：南京市江北新区顶山街道云政街9号共享空间B栋6楼，电话：15951686600，E-mail:352517350@qq.com。

注：论文已发表于《航海技术》期刊 2022 年第 2 期总第 254 期

运用 VHF 通讯系统避免海难事故的研究

李亚男[1]，伏胜东,刘传志

（1.中国卫星海上测控部，江苏 江阴 214400）

摘要：VHF 通讯设备是维持船舶间通讯交流的重要设备,维持海上船舶交通安全发挥了重要作用，但是由于船员来自不同的地区，存在不同的学习工作背景和风俗习惯，VHF 通讯设备的使用有着不同观念，造成 VHF 通讯设备的错误使用，导致了一些海上交通事故。在此背景下，本文通过查阅资料对 VHF 通讯设备进行详细了解，并结合船员使用 VHF 通讯设备不当造成事故的案例，运用案例分析法从多方面分析船员对 VHF 通讯设备使用带来的影响及注意事项，最后提出安全使用 VHF 通讯设备的措施。

关键词：VHF 通讯设备；船员；海上交通事故

0 引言

船舶是旅客和货物运输的重要载具之一，每年由船舶在海上完成的贸易量占世界总贸易量的 80%以上。在国际航运业飞速发展的同时，海上交通安全一系列问题也越来越受重视。根据有关资料统计分析，在世界航运业发生的海难事故中，大多数都是“人-船-环境”的这些因素引起的，而人为因素造成海难事故又最为主要。查阅已发生的海上交通事故，由 VHF（Very High Frequency）通讯设备使用不当引起的也不在少数。VHF 通讯设备作为辅助工具，其在船舶上的投入使用是为了方便船舶安全航行，在使用过程中，虽然优点大于缺点，但是经过长久的使用，还是暴露了一些船员在使用 VHF 通讯设备时存在的问题，而解决存在的问题，从而提高使用 VHF 通讯设备的效率，减少海上交通事故是件刻不容缓的事情。

本文的目的是通过查阅分析由于船员因素对 VHF 通讯设备使用的影响，从而提出一些解决措施，减少有 VHF 通讯设备参与的海上交通事故。对于船员因素，从船员是否习惯使用 VHF 通讯设备和船员使用 VHF 通讯设备的熟练程度两个方面进行分析；通过本文的分析研究，使得船员使用 VHF 通讯设备有更加成熟的方案，降低海上交通事故发生的概率，提高航行效率。对于提醒相关船舶公司管理人员和船上船员使用 VHF 通讯设备时做好思想准备并完善措施，以及维护船舶安全航行等方面也有非常重要的意义。

1 VHF 通讯设备的概述

1.1 VHF 设备的工作原理

在通信技术中，VHF 是指可以工作在 30Mhz 到 300MHz 的无线电电波的频带。经常用作电视台广播及电台，同时也是航海和航空的沟通频道。甚高频通讯系统主要是以语音和数据为主的工作形式，在工作过程中将无线电信号或者通过光将信息、指令等传送给需要接受的一方。目前的甚高频通讯系统在工作时使用的是调幅式的工作方式，使其在工作使用的时候可以保持在 117.000～152.000MHz 的工作频率范围之内，并且每个频率之间的间隔不能超过 25kHz，其最高的工作频率在 135MHz 左右浮动。从 VHF 通讯系统的运用到如今，VHF 通讯系统的体积、种类、功能等等都有很大的变化,应用也是已经十分的广泛,如图 1 所示为甚高频电话。

图 1 VHF 甚高频无线电话

图 2 船用 VHF 使用场景

1.2 VHF 设备在海上的运用

船上使用的 VHF 无线电通信是通过利用 VHF 专用频段进行船上内部人员之间、船舶与船舶之间、船舶与岸基之间或者船上经过岸台与陆上通讯的船与岸上用户之间的无线通讯。在船舶之间的避让、船舶内部的管理、港口出口货物、海上遇险搜救以及各种安全信息的播发等方面的运用十分广泛，是海上运输交通作业等实现现场通讯的有效手段。而且海上的环境有时候也比较恶劣，海上的温度和湿度的变化也大，所以 VHF 通讯设备系统是保障船舶在海上安全航行的重要通讯工具。为了船舶可以安全航行于世界各个航区的需要，也为了海上交通的安全，规定使用 VHF 无线电对讲机的工作频率是全球统一的。

海上通信经过国际海事组织的统一规定,将在船舶上使用的 VHF 的工作频道进行了划分并制定了使用规则如下:在水上的通信 VHF 频段为 156～174MHz 是由 CCIR()指配。其中,划分给船台的发射频率是 156.025～157.425MHz。目前，共同可以使用的频道有 57 个，划分为频道号分别是为 1～28 和 60～88。在这 57 个频道中，又划分为单工频道有 20 个，双工频道有 35 个，保护频道有 2 个。规定 88 以上的频道是属于私人频道。在这些频道当中，有一些重要的频道如下：VHF DSC 国际遇险与安全呼叫频道是 CH70；VHF 无线电话国际遇险与安全通讯频道是 CH16；用于船舶间导航和避让操作的通讯的是 CH06，CH06 也可以用于从事协调搜寻和救助作业的船舶电台和飞机电台之间的通讯；CH75 和 CH76 是与 CH16 频道相邻的两个频道，为其保护频道；用于提供海上作业船载自动识别系统（AIS）的工作频道是 CH87 和 CH88 两个单工频道。这些频道在运用于港口业务、船舶动态业务和船舶间通讯起到重要的作用。也对海上安全导航、海事管理、救助以及港口的通讯带来很大的方便，对船舶的安全航行有着至关重要的作用。以下图 2 为工作人员使用 VHF 通讯设备进行交流场景。

2 VHF 设备造成的风险性分析及解决方法

2.1 VHF 参与的事故案例

案例一：“长峰水晶”轮与“桑吉”轮的相撞

在 2018 年 1 月 6 日的北京时间 19 时 50 分，在我国东海海域发生一起严重的碰撞事件，中国香港籍散货船“长峰水晶”轮（CF CRYSTAL）与巴拿马籍油船“桑吉”轮（SANCHI）发生碰撞，此碰撞造成“桑吉”轮燃烧爆炸并最终沉没，“长峰水晶”轮受损严重，没有人员死亡，“桑吉”轮船上 3 名船员死亡，29 名船员失踪。这样的特大海事交通事故引起社会的广泛关注。回顾案例，在发生碰撞前，双方驾驶员都判断了会与局面，但是双方都没有在良好的时机采取安全的避免碰撞的行动，约 19：39，“浙岱渔 03187”轮一直在 VHF16 频道呼叫“桑吉”轮。但是“桑吉”轮三副说不要去理会他们，此时值班水手提醒“桑吉”轮三副，但是三副却说：“因为我们不懂他们的语言。”按照正常海上规则，“桑吉”轮要给“长峰水晶”轮让路，但是因为语言不同的原因没有让路，“桑吉”轮三副我行我素，也不使用 VHF 交流进行避碰行动，约 19：50，“长峰水晶”轮船头撞在“桑吉”轮的第 2、3 号右压载舱之间的右舷，还把其货舱给撞破，造成货舱的凝析油泄漏并发生火灾和爆炸。船舶碰撞前的轨迹如图 3。

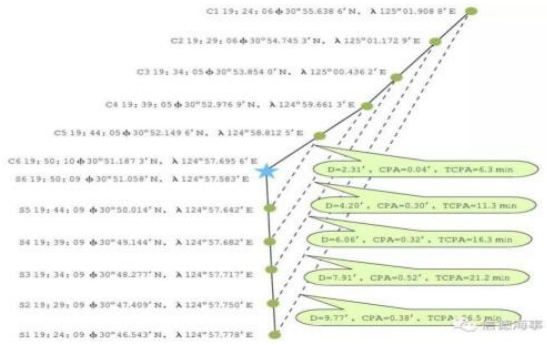


图 3 两船相撞前的轨迹航线

图 4 “F”轮和“R”轮的前后相对位置

案例二：F 轮与 R 轮的紧迫局面形式

2021 年 5 月 10 日北京时间 21：30 时，此时的天气状况良好，3 级的风力，能见度中等。引航员在引航点登上 F 轮，F 轮的信息为船长 143 米，宽 23 米，当前的吃水 8.3 米。在 22：03 时，F 轮航行到了 CCT14 号泊位，此时 F 轮距离码头横距 400 米左右，二艘拖船也已经准备到位，而后开始停车淌航。正巧这时候 F 轮引航员看到好几艘小型集装箱船正在从 CCT9 号泊位移动。这时，CCT10 号泊位调度员得到 VHF 频道传来的指令，船舶想要左舷靠泊，保持泊位清爽同时被要求打开指泊灯，让 CCT9 号泊位旁的那些小型集装箱船

不要再移动。此时有 R 轮(中国籍船舶，船长是 115 米，宽是 16 米，5 米的吃水)通过 VHF73 频道呼叫 F 轮，问是否可以将 20 号门机与妈湾 5 号泊位进行离泊换位。F 轮引航员使用电子海图观察 CCT9 号泊位附近，没有发现 R 轮的位置，也观察右侧码头附近水域安全，告诉 R 轮不影响其他轮船的情况下进行其掉头，于是就同意了 R 轮的离泊。在 22：11 时，F 轮航行至 CCT10 号泊位对开水域，此艘船舶也算比较小，掉头速度相对来说也稍快一些，这时候 F 轮突然发现行驶过来的在右舷方向的 R 轮，其 8.8 节的航速，二船的 CPA 是 160 米。F 轮立刻采取紧急措施，全速倒车，两轮相向最近距离的时候只有 20 米左右。VHF 初始呼叫时，船舶相互识别错误。虽然没有造成事故，但也值得我们分析关注原因，避免以后此类事故发生。两轮的前后相对位置如图 4。

2.2 VHF 参与的案例分析原因

对于船员观念不同影响 VHF 通讯设备的使用的情况，大概分为船员是否习惯使用 VHF 通讯设备和在使用 VHF 通讯设备的熟练程度两个影响方面，以下对于两个案例从两方面情况进行使用 VHF 通讯设备造成的海上交通事故详细分析。

1）船员来自不同地区，因为各地风俗习惯不同，造成船员使用 VHF 通讯设备有不同观念。案例一中因为伊朗船员自身习惯傲慢以及一意孤行的原因，对于 VHF 通讯设备传出的呼叫语言，选择忽视,不使用 VHF 通讯设备去进行有效的沟通，对于海上避碰规则也是选择不去遵守，保持一种我行我素的态度，最终导致海上交通事故发生。

2）船员因为语言不同存在使用 VHF 通讯设备的困难，导致交流不畅，造成海上交通事故。在案例一，碰撞前对于存在的紧迫局面，中国渔船“浙岱渔 03187”轮一直在 VHF16 频道呼叫“桑吉”轮。而“桑吉”轮三副却说听不懂语言，造成交流不畅，而不去理会 VHF16 频道的呼叫，也是导致事故发生的一个原因。

3）船员使用 VHF 通讯设备的不熟练，对于 VHF 通讯设备的不重视，导致使用 VHF 通讯设备不合理，影响船舶间的正常有效交流。案例二中因为船员的不重视，导致使用 VHF 通讯设备时造成船舶间的识别错误，致使两船舶间的形成紧迫局面的状态。

对于以上问题的出现，一方面，在对于因为船员观念不同存在的是否习惯使用 VHF 通讯设备的影响中，因为航运业涉及到的是全球性的，海员也就是世界各个地方的人员组成。世界各个地方不同的文化背景和风俗习惯影响着每个地方的人员，也就造成船员对待船上设备以及看待海上避碰规则有所不同，例如从船员口中了解到一些欧美地区的海员在海上遇到两船或者两船以上船舶相遇的情况，欧美这些船员不太喜欢运用 VHF 通讯设备来交流进行船舶的避让行动，而是比较喜欢遵守国际海上避碰规则来进行相应的船舶避让，在船舶相遇情况下，该哪个船舶进行相应的避让行动，就由哪个船舶进行相应的避让行动。但是在东南亚一些地区的海员，特别是印度船员，喜欢船舶在相遇的情况下，运用船上的 VHF 通讯设备进行呼叫，然后通过交流来进行船舶避让的行动，而这两种情况相遇就会带来船舶航行安全隐患。因为船员观念意识习惯的不同，从而对使用 VHF 通讯设备的不同态度，造成船舶在相遇时带来的安全隐患，是值得我们进行关注的一大问题。

另一方面，船员对待 VHF 通讯设备的使用的重视程度不同，造成使用 VHF 通讯设备的熟练程度不同也是非常重要的影响因素。船员如果自己专业技能掌握不熟，在使用 VHF 通讯设备进行一些重要的船舶相遇问题会造成不可估量的结果。这其中包括在船舶相遇时不太熟悉国际海上避碰规则，进行 VHF 通讯设备交流时，因为 VHF 通讯设备的使用不熟练造成一些障碍引起一些危险情况；也有对于 VHF 通讯设备按键和工作方式不熟悉、使用 VHF 通讯设备语言不规范或者语言不通等一系列原因，也会使得船舶处于一种不安全的状态。

3 使用 VHF 通讯设备的措施及注意事项

3.1 VHF 参与案例的解决措施

船舶在海上航行运营时，由于船员因素导致 VHF 通讯设备的使用问题而造成的海上交通事故，不仅带来严重的经济损失问题，还会造成人员的安全问题，因此对于上述案例存在的问题，提出以下应对措施：

1）对于船员来自不同地区，造成使用 VHF 通讯设备的观念的不同的情况，在船员上船的培训中，应重视关于文化不同带来的影响，对于是否习惯使用 VHF 通讯设备这个问题，首先，所有船员都要遵守国际海上避碰规则的条款，其次，VHF 通讯设备作为一个辅助工具应在遵守规则的前提下使用。如果案例一中伊朗船员可以很好的遵守国际海上避碰规则，并正确使用 VHF 沟通，就可以避免事故的发生。

2）对于船员来自不同地区因为语言的不同导致使用 VHF 通讯设备困难带来的问题，船员是来自世界各地而组成的一个群体，本来就存在语言的多样化，而国际海事组织为了船员这个群体能够融洽和谐的交流，所以规定了英语为船员的通用语言，为了船员这个职业的需要，还有航海英语的专业学习，所以针对船员语言不同这个现象，应该加强专业航海英语的学习，对于驾驶员船员，英语水平的要求更应该严格。这样在案例一中出现的语言困难问题就会解决，通过流畅易懂的交流行动作出决策从而避免海上交通事故。

3）对于船员对 VHF 通讯设备的使用不熟练问题，培训船员的组织在船员的培训中，一定要对船员严格要求，要求船员对于 VHF 通讯设备的结构熟悉，操作熟练。任何的情况下，对于 VHF 通讯设备都应运用自如，作为一个辅助船舶安全航行的工具，其发挥至关重要的作用。案例二中出现的船舶识别错误，在船员对 VHF 通讯设备足够熟悉后，也就不会出现，进而能够避免船舶间出现的紧迫局面。

3.2 对于船员使用 VHF 设备的要求

对于各种因素下影响 VHF 通讯设备的使用情况，为了船舶更安全的进行海上运输，首先提出的就是要完善船员使用 VHF 通讯设备的要求。这其中主要包括对船员安全意识的培养和专业技能的培养，进而达到对于 VHF 通讯设备的安全使用，减少使用 VHF 通讯设备带来的海上交通事故的目的。对于上文叙述的问题，提出以下建议和方法。

1）在政府方面，对于海事公约要求船员在使用 VHF 通讯设备的熟练程度应该加强，对船员有关 VHF 通讯设备的考核制定严格的规则，从而提高船员对于 VHF 通讯设备的重视程度。政府还要增强海事公约对于船员的要求的监督，这样才能保证海船员使用 VHF 通讯设备更熟练。

2）在行业方面，航运企业肩负着海事文化发展的重任，也是培养高素质高精端海员的台阶，因此航运企业在任用海员上要对海员提出更高的要求，选拔出优秀合格的海员保证海上各种工作的安全顺利完成。在任用海员时，要求海员各种技能考核都要熟练通过，对于 VHF 通讯设备的使用也要得心应手。

3）在学院方面，海事院校类是培养海员的摇篮，海员的一切开始都是以海事院校类为起点，除了培养海员安全意识与专业技能，所有海事院校类更要注重一些海事文化意识的培养，更要重视航海国际用语航海英语的教学，以此保证船用 VHF 通讯设备在使用交流时不会存在因语言不同交流困难的局面。

4 结束语

随着 VHF 通讯设备在海上的使用越来越频繁，对于 VHF 通讯设备的规范使用也应更加重视。本文通过叙述运用 VHF 通讯系统避免海难事故的研究背景、目的和意义，从由于船员来自不同的地区，存在不同的学习工作背景、风俗习惯以及 VHF 通讯设备的使用观念等因素造成 VHF 通讯设备的错误使用方面展开分析论述。本文先对 VHF 通讯设备进行详细介绍，然后引入案例，通过对案例的详细分析，指出船员观念不同方面对 VHF 通讯设备使用带来的影响的具体问题，提出问题的实际解决措施，并从政府、行业和学校方面提出对船员使用 VHF 通信设备的高标准。

参考文献

[1]邱志雄,李宏平.加强和规范我国水上甚高频(VHF)通信的探讨[J].中国海事,2006(02):43-45.

[2]沈建云.两起典型 VHF 协调不利造成紧迫局面的案例分析[J].航海技术,2021(06):40-43.

[3]黄志.VHF 使用中存在的问题及对策[J].天津航海,1998(04):42-44.

[4]雷涛.VHF 在船舶避碰中的运用[J].水运科技信息,1998(04):24-25.

[5]刘国良.船用甚高频(VHF)通信及使用注意事项[J].航海技术,2009,(04):45-46.

[6]麻荔波.VHF 在船舶避碰中的应用[J].无线互联科技,2013,(10):38.

[7]刘杰,李成海,张婷.船舶海难事故中人因因素博弈研究[J].江苏航运职业技术学院学报,2021,20(03):26-30.

[8]罗斌.通导专委会研讨 VHF 数据交换系统及船舶物联网发展[J].航海,2016(05):24.

[9]王永芳,范志英,李洪星.基于专利分析的星地一体化甚高频数据交换系统技术发展研究[J].中国航天,2019(06):38-43.

[10]邓祝森,夏启兵,李巍,苏青,郭泽辉.海上 VHF 无线信号传播模型测试验证研究[J].中国海事,2021(06):24-28.DOI:10.16831/j.cnki.issn1673-2278.2021.06.010.

[11]胡青,贾会建,李金源.基于甚高频数据交换系统的船舶编队通信网络最优路由方案[J].科学技术与工

程,2021,21(15):6402-6407.
[12]王宁.世界海难事故现状分析及应对措施[J].世界海运,2010,33(07):70-71.DOI:10.16176/j.cnki.21-1284.2010.07.002.
[13]李淮涌,刘剑飞,付凯飞,周丽君.海难事故应急救援难点及对策[J].中华灾害救援医学,2019,7(07):396-398.DOI:10.13919/j.issn.2095-6274.2019.07.009.
[14]倪衍根,周乐.便携式VHF对讲机使用中存在的问题及注意事项[J].港口科技,2010(06):9-11.
[15]Mrak Zoran and Valčić Sanjin and Bonato Jasminka. COMPARISON OF SIGNAL QUALITY OF PRESENT AND ALTERNATIVE MARITIME VHF COMMUNICATION SYSTEMS[J]. Pomorstvo, 2012,26(2):351-362.
[16]Joonwoo Shin.Distributed Antenna Systems for VHF Maritime Communications[J].Wireless Personal Communications,2020:1-11.
[17]郭丰田.桑吉轮与长峰水晶轮碰撞事故剖析与思考[J].青岛远洋船员职业学院学报,2019,40(02):12-19.

作者简介

李亚男（1993-）男，中国卫星海上测控部助理工程师，长期从事航海工作，电话,18863335670，E-mail：627604266@qq.com。

智能海事监管射频识别技术应用研究

翟宏群，张娟

（江苏海事职业技术学院，江苏 南京 211170）

摘要：互联网技术的飞速发展，实现了物联网智能化，开启了现代海洋船联网的新时代。射频识别 RFID 技术，实现了“标签即对象、对象即标签”唯一标识，强化了船舶智能航行、智能管理。结合海洋大数据、信息物理系统 CPS，智能船联网可以实现“有限电子监控，无限电子威慑”作用，进一步提升了现代海事监管和服务水平。

关键词：海事监管；大数据；物联网；RFID；船联网

0 引言

如何提高船舶智能航行、智能管理和服务水平，是海洋运输业亟待解决的关键问题。在船舶智能航行方面，由于智能环境感知技术、物联网技术、信息管理系统和大数据技术的应用，加快了船舶之间以及船舶与海岸之间的信息感知交互，为构建新一代综合船桥系统（Integrated Bridge System, IBS）奠定了必要的基础。为了提高海上交通的安全性和效率，以及船舶智能管理和服务水平，海事管理部门引入了船舶交通服务（Vessel Traffic Services, VTS）和船载自动识别系统（Automatic Identification System, AIS），但目前主要依靠雷达、AIS和语音等技术进行船岸交互，而VTS仅限于覆盖重要水域，因此，实现对航行船舶的全过程监控和管理仍然是不可能的。

随着互联网技术的快速发展，海上航运网络实现了智能便捷、实时感知监管、海上船舶定位等技术，可以视为物联网的一种变体。每个实体对象都将被赋予唯一的数字身份，实现“一对一”的智能感知和信息交换。将物联网引入海洋交通，实现海洋交通互联合作，建设新时代海上丝绸之路，促进区域经济共享发展[1]。本文结合海洋大数据、信息物理系统、物联网及其核心技术：射频识别（Radio Frequency Identification, RFID）和其他智能船舶技术系统，构建智能船舶物联网：船联网，实现对现代船舶信息的智能感知、共享和实时监控，最终提高现代海事监管和服务水平。

1 智能船舶技术

1.1 海洋大数据

“大数据”起源于Apache org的开源项目Nutch，用于表示通过批量处理或分析网络搜索索引生成的大量数据集。随着谷歌Map Reduce和Google File System（GFS）的公开发布，大数据不仅包含数据的体量，还强调数据的处理速度[2]。大数据具有体量大、种类广、开放公开、易获取的特点，一般分为四类：互联网数据、科研数据、感知数据和企业数据。

具有海量（Volume）、多样（Variety）、快速流转（Velocity）和高价值（Value） 的“4V”特征的海洋大数据是大数据技术在海洋领域的科学实践，是在大数据的理论指导和技术支撑下的价值实现[3]。物联网（Internet of Things）不仅是大数据的重要来源，也是大数据应用的主要市场。为了实时跟踪和监控船舶，在构建船舶物联网（船联网）时，有必要在船舶上安装定位、通信、监控等设备。

1.2 信息物理系统

信息物理系统（Cyber Physical Systems, CPS）作为新一代信息技术与制造业融合的产物，日益成为新工业革命的关键支撑和深化“互联网+先进制造业”的重要基石，对未来工业发展具有全面、深刻、革命性的影响[4]。借助互联网，CPS是一个以信息为中心，集计算、控制和通信于一体的物理工程系统。系统中的设备通过嵌入智能芯片，将自己捕获的信息传输到云端进行数据计算和处理，最后反馈给自己甚至其他设备从而做出相应操作[5]。CPS与物联网的不同之处在于，CPS系统中的设备通常嵌入一个执行单元来收集传感器网络发送和接收的信息，并根据返回的指令进行相应的操作。

1.3 物联网及RFID

为了实现基于互联网的应用扩展和业务扩展，借助一些通信感知、计算机技术和计算理论，物联网在网络中得到广泛应用和有效集成，从而达到物与物、物与网络连接的作用和目的[6]。我国主导的物联网体系架ISO/IEC30141，已成为全球物联网的发展指标。作为物联网的关键技术之一，RFID用于识别感知电子标签的信号，并将识别的信号转换为计算机和网络可以识别和通信的信号形式，包括阅读器、电子标签和天线，如图1所示。

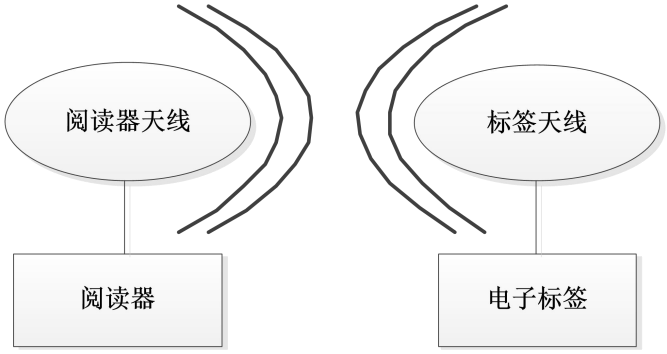


图1 射频识别系统RFID结构

Fig.1 Structure of RFID system

实体对象的基本信息以实体对象ID标识号的形式存储在电子标签中，具有全局唯一性、不可修改和模仿性。电子标签分为无源标签和有源标签，其中无源标签工作距离小，有源标签工作距离长，可达1000米以上。一旦进入阅读器射频磁场的辐射范围，电子标签就会被激发产生感应电流，并将存储的信息传输给阅读器，使阅读器能够通过解码系统识别电子标签。

2 海洋交通 RFID 运用的适用性

2.1 智能海事监管RFID技术应用

海洋物联网建设是打破海上信息发展瓶颈的有效技术手段，而RFID技术不仅是物联网感知层的关键技术，也是物联网建设和发展的重要基础。就海事管理而言，RFID技术的优势在于它可以在复杂环境下自动识别和交换多目标和远距离高速目标的信息。同时，借助其标签的高容量和可读性，RFID技术真正实现了公司、船舶、船员等海事管理和服务对象的“一物一码”，以及海事管理要素信息的自动感知、交换和存储的“一对一”。

船舶射频识别系统的结构一般包括四个部分：信号发射、信号接收、信号传输和信号处理。信号发射器一般称为应答器或电子标签，信号接收器称为阅读器，天线负责信号传输，计算机系统负责信息处理。船联网射频识别系统RFID系统的结构设计如图2所示。

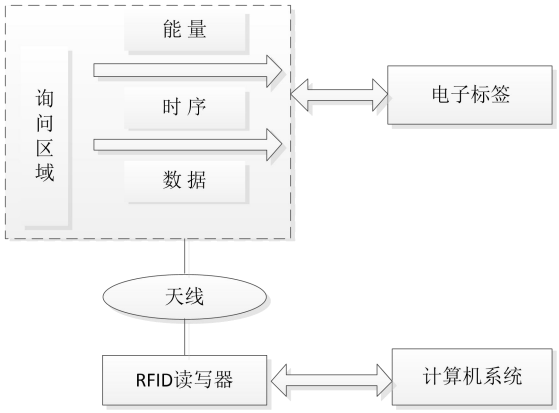


图2 船联网射频识别系统RFID结构

Fig.2 Structure of Internet of Vessels RFID system

RFID技术结合计算机技术、网络技术和数据库技术，通过ID号关联信息管理系统，实现对管理和服务对象的智能跟踪和管理。由此，海事机构及其人员可以随时随地处理相关业务，及时、全面、准确地掌握其相关信息，并智能地进行风险提醒和警报，从而实现智能监控和高度协同管理，提供不同级别和分类的差异化管理，协助决策，最终推动监管模式向“智能监管”转变。

2.2 构建现代船联网

在船舶领域，全球定位系统（Global Positioning System, GPS）、自动雷达标绘仪（Automatic Radar Plotting Aid，ARPA）、AIS、电子海图显示与信息系统、综合船桥系统、射频识别RFID、视频监控等技术手段的应用，使船舶朝着信息化、智能化方向快速发展，但与真正的智能船舶在自动感知、主观分析和智能操作方面仍有一定差距。

物联网的出现为船舶智能化的发展提供了新的思路。为了将互联网和物联网技术成功应用于海上航运，研究人员提出了船联网（Internet of Vessels）[7]，可以构建海上智能信息交互网络，从而实现航运物流的高效管理、信息服务和人性化出行。

目前，世界上船联网技术标准很多，而且不一致。参考船联网国际标准[7]，结合船舶的具体特点和应用环境，融合物联网核心技术，本文以数据为中心构建了一种新型的智能船联网，它由智能船联网的体系架构和功能架构两部分组成：

1）智能船联网体系架构：

参考物联网的分层结构，智能船联网体系架构包括感知层、网络层、数据链路层、安全保障层和应用层五个部分，其中感知层主要负责收集船舶通信数据、整理和汇总关键信息，网络层由三种协议（HTTP、TCP/IP、ICMP）组成，可以独立也可以协调，数据链路层确保通信协议与船舶信息数据的互连，安全保障层主要负责清除物联网环境中的病毒数据，应用层负责接收其他层的信息并对其进行统一。智能船联网体系架构如图3所示。

图3 智能船联网体系架构

Fig.3 Intelligent Internet of Vessels architecture

2）智能船联网功能架构：

智能船联网的功能架构由三个模块组成：内部通信数据模块、外部通信数据模块和加密解密模块，其中内部通信数据模块包括三个基本功能：接收、分析和封装通信数据，以确保船舶自身通信数据的完整性，外部通信数据模块负责接收、整理和整合其他船舶的通信数据，找出关键数据。加解密模块是智能船联网的重要组成部分，负责对所有船舶信息进行加密和解密。智能船联网功能架构如图4所示。

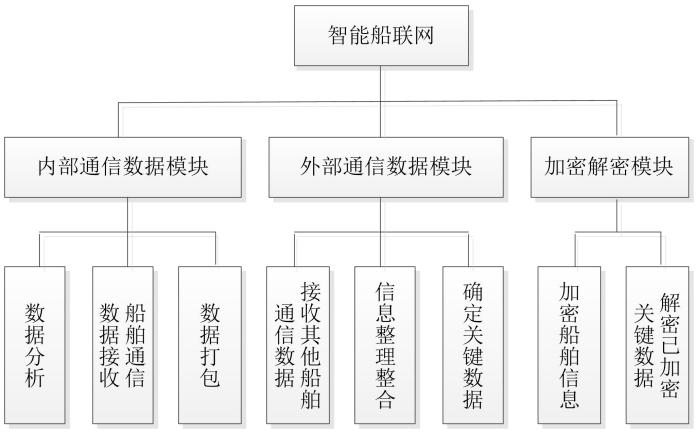


图4 智能船联网功能架构

Fig.4 Intelligent Internet of Vessels function architecture

3 基于 RFID 的海事监管运用

3.1 数字化标识船舶信息，强化海事监管

一旦船舶、船员和其他管理和服务对象与电子标签绑定，就可以对其进行唯一的数字识别，并具有唯一标识号ID。RFID读写器可以识别和读写其相关信息，在信息物理系统CPS中建立“标签即对象，对象即标签”的等效关系，并将管理和服务对象的ID号与CPS进行关联，从而实现信息数据的实时自动交换，最终避免信息孤岛。

凭借电子标签的高容量存储空间和可读性，船舶、船员等管理和服务对象拥有便携式电子“档案”。在海事监管过程中，RFID阅读器可以“即扫即得”，实时查询、比对、分析，并有选择地将相关实时问题写入电子标签，从而及时完善船舶、船员等管理服务对象的电子“档案”，增强船舶智能管理和智能监管的力量。

3.2 智能监管分析，实时打击在航船舶违法行为

借助重要的海上交通辅助设备和灯塔的远程RFID阅读器，“定点”读取过往船舶的唯一识别号ID信息，

然后传输到后台CPS进行比较分析。针对船舶证书到期、安检到期、非签证、违法行为等相关风险和问题，实时提醒报警，自动生成违法调查信息，锁定船舶签证、安检等业务信息，并提示船舶主动接受处理，起到“有限电子监控、无限电子威慑”的作用。

4 结束语

物联网的出现，发展现代航运船联网为船舶智能化发展开辟了新思路。借助物联网RFID等关键技术，实现船舶、船员等管理服务对象的唯一标识ID，“标签即对象、对象即标签”，真正增强了船舶智能管理和智能监管的力度。结合海洋大数据、CPS和智能船联网RFID等核心技术，“有限电子监控，无限电子威慑”，提升了现代海事监管和服务水平。

参考文献

[1] 王萍. 中国—东盟海洋交通物联网互联互通合作建设研究[J]. 国际经济合作，2018(06): 38-44.

[2] 张兰廷. 大数据的社会价值与战略选择[J]. 中共中央党校，2014(04).

[3] 侯雪燕，洪阳，张建民, 等.海洋大数据:内涵、应用及平台建设[J]. 海洋通报，2017(04):361-369.

[4] 谢浪雄，杨东裕. 信息物理系统核心技术的应用实施研究[J]. 电子产品可靠性与环境试验，2018(05) :6-10.

[5] 叶俊裕. 基于云平台的大数据驱动的机器人CPS建模方法[J]. 广东工业大学，2018(05). [6] 孟勋.物联网技术综述[J]. 中国科技信息，2018(23):46-47.

[7] 王晓芳，张 艳. 现代海上船联网标准体系框及体系表研究[J]. 舰船科学技术，2017(39): 147-149.

作者简介

翟宏群(1969-)，男，硕士，讲师，工程师，江苏海事职业技术学院专业教师，电话：17714199780，E-mail:hqzhai@126.com。

斜流中船后螺旋桨水动力载荷实尺度计算分析

马娟[1,2]，刘林华[3]，魏斌[1,2]

（1 江苏联合职业技术学院无锡交通分院 船舶工程学院，江苏 无锡 214151；
2 江苏省无锡交通高等职业技术学校 船舶工程学院，江苏 无锡 214151；
3 上海船舶运输科学研究所 舰船自动化系统事业部，上海 200135）

摘要：斜流条件下螺旋桨可能受到较大的侧向载荷，会严重影响船舶推进效率和尾轴的安全。文章采用RANS(Reynolds-Averaged Navier Stokes)方法，结合SST k-ω两方程湍流模型和滑动网格方法，对国际标模KCS斜流中船后螺旋桨水动力载荷进行了实尺度数值计算，分析了不同漂角时螺旋桨在纵向、横向、垂向三个方向上的力和力矩的变化规律。计算考虑了±20º，±15º，±10º，±5º以及0º漂角，结果表明：斜流对螺旋桨推进载荷和侧向载荷都有较大影响，且相对漂角具有不对称特点。通过单独桨叶的推力变化曲线分析了漂角对不同相位角度处螺旋桨载荷的影响规律，结果显示在桨盘面下端附近桨叶载荷更为敏感于漂角变化。通过与其他文献数据对比，分析了斜流下螺旋桨载荷的尺度效应，结果表明轴向载荷和垂向载荷系数的尺度效应较大。

关键词：斜流；螺旋桨水动力；CFD；RANS；实尺度

0 引言

通常船舶螺旋桨的设计只关注直航情况下的推进载荷，如推力、扭矩。然而，船舶在回转或遭遇横流、横风时，螺旋桨即在斜流中工作。斜流不仅影响螺旋桨的推进性能，而且还会产生较大侧向力和弯矩，改变船尾轴承载荷。当漂角较大时，侧向载荷可能超过设计值，从而导致轴系统失效。Amini 和 Steen[1]等在实验中表明，斜流中螺旋桨侧向载荷引起的轴承载荷可以达到只有螺旋桨重量引起的载荷的三倍，这容易造成船舶尾轴系统的过载损坏，影响船舶的安全性。近年来，随着船舶设计越来越轻量化，船体结构刚度下降，尾轴系统在侧向载荷作用下易出现大幅变形的情况，甚至出现轴承损坏的事故，因此，斜流中螺旋桨侧向载荷的预报显得更加重要。

目前，学术界已经对敞水中螺旋桨斜流的水动力学性能开展了一些研究，如 Dubbioso 等[2]，Wang 等[3]，Hou 和 Hu 等[4]，研究表明斜流中螺旋桨载荷会增加，其大小与漂角的变化有关，漂角较大时，会产生较大的侧向载荷，因此在轴系统设计中重视螺旋桨的侧向载荷十分必要。然而，实际上螺旋桨工作在复杂的船体尾流中，这使得其水动力载荷与敞水情况差异明显。根据 Xing 等人[5]研究，船体尾流受斜流的影响较大，由斜流引起的船后螺旋桨侧向载荷的变化将更加复杂。因此，近年来船后螺旋桨的斜流效应得到了更广泛的关注。Muscari 等人[6]数值分析了斜流中双螺旋桨船尾部附体对侧向载荷的影响，详细讨论了螺旋桨侧向载荷下螺旋桨-船体伴流的相互作用。Zhang 和 Xiao[7]基于商业软件计算了斜流条件下潜艇模型的螺旋桨水动力。计算结果表明，随着攻角的增大，螺旋桨的推力和力矩先减小再增大，为潜艇机动性研究中螺旋桨的水动力预测提供了一种方法。Ortolani 等人[8]的研究显示，螺旋桨的侧向载荷比轴向载荷对空泡更敏感，而实尺度下的空泡会导致侧向载荷的大量增加，他们还基于半经验方法对螺旋桨载荷的尺度效应进行了初步分析。Ortolani 等人[9]进行了双螺桨船纯斜流试验。他们对纯斜流和自由转弯的结果之间的差异进行了一个有趣的讨论。结果发现，由于迎风螺旋桨和背风螺旋桨的流入特性不同，其差异有所不同。Yao 等人[10]在开源平台 OpenFOAM 上，通过 RANS 模拟研究了海洋螺旋桨在斜流中的水动力性能。采用滑动网格的方法计算了螺旋桨的旋转运动。在无空化或弱空化条件下，实验结果与实验数据基本一致。Sun 和 Li 等人[11]对螺旋桨旋舵系统的 KCS 船舶模型进行了数值预测，结果发现，随着漂角的增大，阻力、侧力和偏航力矩的系数不断增大，且漂角越大，螺旋桨盘的整体均匀性越差，漂角的螺旋桨推力和转矩波动系数峰值大于直线导航，负漂角大于正漂角。相对而言，关于斜流工况下螺旋桨特性的研究工作还较少，学术和工程界

尚未形成统一的预报方法，尤其是实尺度下螺旋桨斜流载荷的预报还没有有效的换算方法。

螺旋桨侧向载荷的估算是船舶尾管轴承载荷计算和斜流轴系统结构安全性能分析的基础。由于缺少这方面的研究数据，工程设计中往往根据经验简单估算，这增加了实船运营中轴系出现安全事故的风险（Vartdal等[12]）。

随着 CFD 的发展，实尺度计算技术逐渐成熟，为一些复杂流动问题的尺度效应研究提供了解决途径。如：Wang 等[13]曾研究过一艘集装箱船在直航时的实尺度载荷和激振力，Zhang 等[14]分析了一艘散货船在斜流中的螺旋桨侧向载荷的尺度效应，但这方面的研究工作还比较少。为此，本文基于 CFD 数值模拟针对一艘集装箱国际标模 KCS 开展实尺度船舶斜流中的水动力计算研究，重点分析实尺度下的斜流对螺旋桨载荷的影响，为船舶螺旋桨设计和轴系安全计算提供参考。

1 几何模型与网格

1.1 KCS 介绍

计算模型为国际标模 KCS，该船采用单桨推进，实长 230m，设计航速为 24kn，几何形状如图 1 所示，螺旋桨为 5 叶桨，主要尺度如表 1 所示。作为一艘国际标模，KCS 已被很多学者研究过，如阻力计算[15]、自航模拟[16]，波浪中运动[17-19]、操纵运动[20]等。

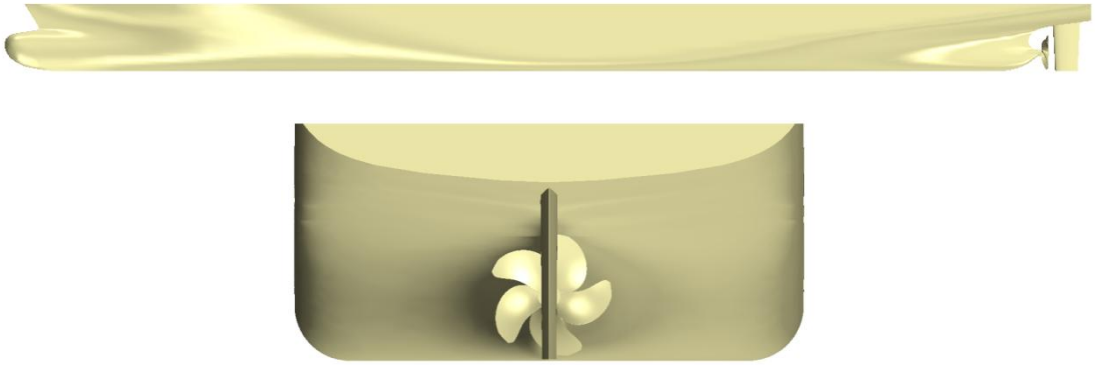


图 1 KCS 船体和螺旋桨几何形状模型

Fig. 1. Geometries of the ship and propeller

表 1 KCS 船体和螺旋桨主尺度

Table 1 Principle dimensions of ship and propeller.

参数	单位	实船
垂线间长(L_{PP})	m	230
型宽(B)	m	32.2
设计吃水(T)	m	10.8
湿表面积(S_w)	m^2	9424
设计排水量(▽)	m^3	52055
方形系数(C_B)	--	0.6508
桨径	m	7.9
桨叶数	--	5

1.2 计算域及网格

本文数值模拟采用商业 CFD 软件 STAR-CCM+，网格是基于软件中裁剪单元方法生成，该方法能够产生非结构化的六面体网格。图 2 给出了实尺度船的计算域网格划分。总网格数为 835 万，船体网格数为 482 万，螺旋桨网格数为 353 万。为捕捉更精准的计算结果，分别在船体自由表面、船尾、螺旋桨及其导、随边等部位对网格加密。螺旋桨旋转采用了滑移网格方法。

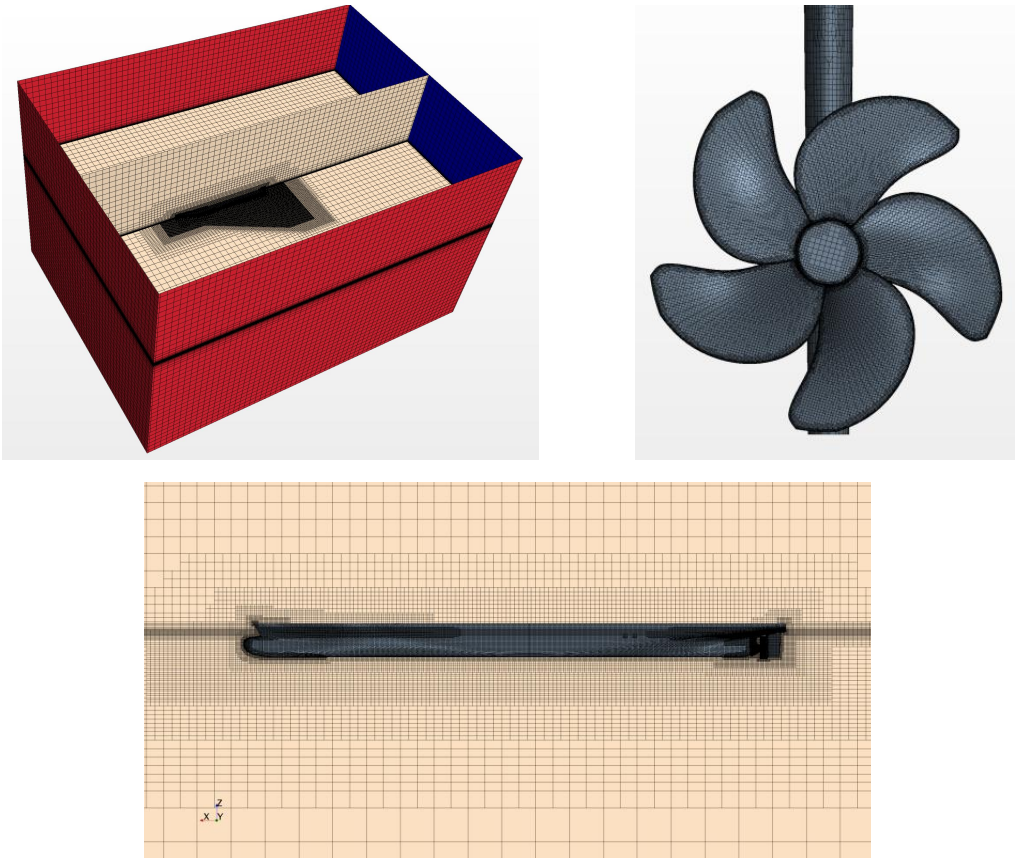


图2 计算域网格划分

Fig.2. Grid systems for full-scale hull-Propeller simulation

2 数值方法

流动模拟采用非定常的雷诺平均 Navier-Stokes(URANS)方法，控制方程可以用不可压缩流体的张量表示如下：

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \bar{u}_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \bar{u}_i \bar{u}_j) = -\frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\mu\left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i}\right)\right] + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(-\rho \overline{u_i' u_j'}\right) + \bar{f}_i \tag{2}$$

其中i和j为坐标分量，u表示速度，ρ为流体密度，μ是流体的粘度，P为压力，f为体积力，$\rho\overline{u_i'u_j'}$为雷诺应力项。

为了封闭控制方程，采用了湍流模型 SST $k-\omega$。SST $k-\omega$ 模型将 $k-\varepsilon$ 和 $k-\omega$ 模型结合在一起，使其非常适合于模拟具有分离和强逆压梯度的流动。k 和 ω 的输运方程如下所示：

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \nabla \cdot (\rho \bar{u} k) = \nabla \cdot [(\mu + \sigma_k \mu_t)\nabla k] + G_k - \rho \beta^* f_{\beta *}(\omega k - \omega_0 k_0) \tag{3}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \nabla \cdot (\rho \bar{u} \omega) = \nabla \cdot [(\mu + \sigma_\omega \mu_t)\nabla \omega] + G_\omega - \rho \beta f_\beta(\omega^2 - \omega_0{}^2) \tag{4}$$

其中：σ_k，σ_ω是模型系数，按照如下公式计算：

$$\sigma_k = 0.85F_1 + 1 - F_1, \quad \sigma_\omega = 0.5F_1 + 0.856(1 - F_1) \tag{5}$$

这里F_1是混合因子，计算中需要根据局部流动情况来确定具体值。

式(3)和式(4)中的G_k和G_ω是湍流产生项。$f_{\beta *}$是自由剪切流引起的修正，f_β是涡伸缩引起的修正。k_0和ω_0是周围环境湍流值。以上系数计算如下：

$$G_k = \mu_t f_c S^2 - \frac{2}{3}\rho k \nabla \cdot u - \frac{2}{3}\mu_t (\nabla \cdot u)^2 \quad (6)$$

$$G_\omega = \rho\gamma \left[\left(S^2 - \frac{2}{3}(\nabla \cdot u)^2 \right) - \frac{2}{3}\omega \nabla \cdot u \right] \quad (7)$$

其中：∇·u 是速度散度，S 是应变率张量的模。

$$f_{\beta*} = \begin{cases} 1 & for\ \gamma_k \le 0 \\ \frac{1+680\gamma_k^2}{1+400\gamma_k^2} & for\ \gamma_k \ge 0 \end{cases} \quad (8)$$

其中：$\gamma_k = \frac{\nabla k \cdot \nabla \omega}{\omega^3}$.

$$f_\beta = \frac{1+70\gamma_\omega}{1+80\gamma_\omega} \quad (9)$$

其中：$\gamma_\omega = \frac{(W\cdot W):S}{(\beta^*\omega)^3}$，W 是速度的旋转张量，$\beta^*$表示系数，大小由流动状态确定。

压力-速度耦合采用了 SIMPLEC 算法，时间离散采用二阶隐式格式，对每个时间步长设置 5 次内部迭代。对流项采用了二阶精度迎风格式。根据 VOF 法捕获自由表面。

VOF 控制方程为：

$$\frac{\partial}{\partial t}(f) + \frac{\partial}{\partial x_i}(f u_i) = 0 \quad (10)$$

其中：f 为流体体积分数。

根据 ITTC[21]的 CFD 计算指导意见（），螺旋桨旋转运动问题的时间步长应该至少在一个螺旋桨旋转周期内有 200 个时间步，本文计算中设置时间步长为：$\Delta t = 1/(200n)$，n 为螺旋桨转速，满足 ITTC 指导意见里的要求。为防止船体兴波在计算域边界处出现反射之类的非物理数值问题，本文计算中在压力出口附近设置了消波功能，消波区长度为 0.5*L_{PP}，消波方法为 STAR-CCM+自带的阻尼消波法。

3 计算可靠性分析

由于 KCS 还没有建造成实船，因此目前还没有 KCS 的实船数据。本节以其他实尺度计算文献为参照，分析本文的计算可靠性。计算工况选择设计航速 24kn 时的自航工况，计算结果如表 2 所示，其中 EFD 数据是根据模型试验外插得到（Castro 等[22]）。从计算结果看，本文得到的螺旋桨转速、推力和扭矩整体上与试验预报结果和其他文献结果比较接近，吻合较好。

表2　KCS实尺度自航结果对比

Table 2 Comparison of self-propulsion results between experiment and CFD.

	EFD	Present	Error（%）	Castro	Wang
C_T	-	2.661	-	2.773	2.306
K_T	0.17	0.1692	-0.47	0.166	0.161
K_Q	0.0288	0.0284	-1.39	0.0261	0.0275
n	101.4	103.4	1.97	104.2	107.3

4 计算结果分析

4.1　螺旋桨载荷

漂角的定义如图 3 所示，横向水流来自右舷侧为正，其中β为漂角，U_0表示横向水流，U_X为表示船长方向速度，U_y表示船宽方向速度，分别对漂角为β=0°，±5°，±10°，±15°，±20°的情况展开计算，获取桨在 X、Y、Z 三个方向的受力、力矩。图 4 给出了坐标轴位置和方向，取桨盘中心处为原点，船尾指向船首为 X 轴正向，右舷指向左舷为 Y 轴正向，船底指向甲板为 Z 轴正向。

图 5 给出了不同漂角β下螺旋桨的受力。由(a1)(b1)知，β为正时，推力和扭矩大小略有减少，β为负时，推力和扭矩大小略有增加。原因主要是当船体阻塞横向水流后，存在一个绕着船体底部的流动，使桨盘面下半面的横向速度变化较大，对于正向漂角而言，下半桨盘面的绕流起到减小桨叶载荷的作用，而负向漂

角则相反。由(a2)(b2)知，螺旋桨横向、垂向的受力因漂角β不同变化较大，β越大，横向受力明显增大，会影响船体的操纵运动。此外，β为-20°时，垂向受力明显增大，其原因是横向水流使船体伴流产生偏移，使得桨盘处的伴流场左右严重不对称。

图 6 给出了横向和垂向载荷与轴向载荷比率随漂角的变化。横向与轴向载荷比率随漂角成非线性变化，漂角角度越大，横向载荷占比越大，对应 20° 漂角，占比达 68.72%；漂角为-20° 时，垂向与轴向载荷比值达 72.91%。

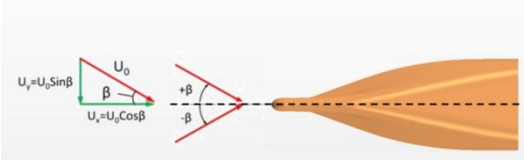


图3 来流速度及漂角的定义

Fig. 3. Sketch of the setup of the oblique flow condition in CFD simulation

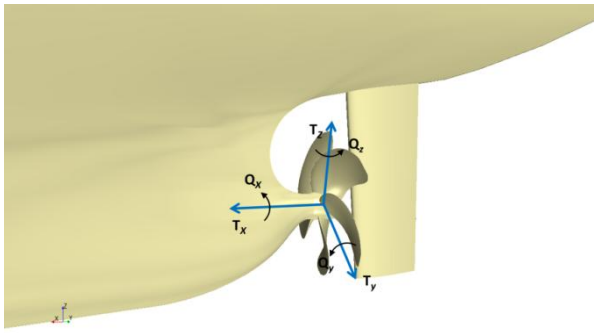
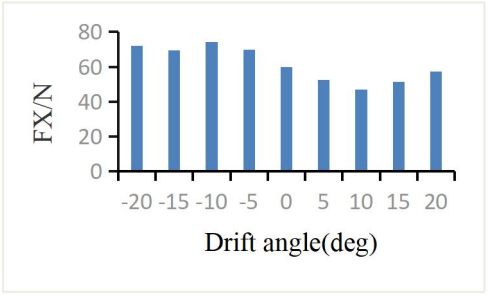
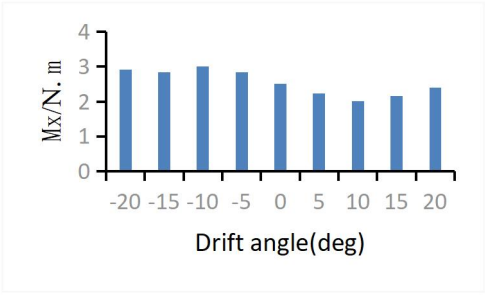


图4 坐标轴位置和方向

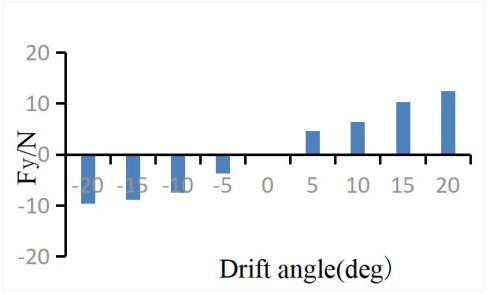
Fig. 4. Definition of the Axis position and direction.



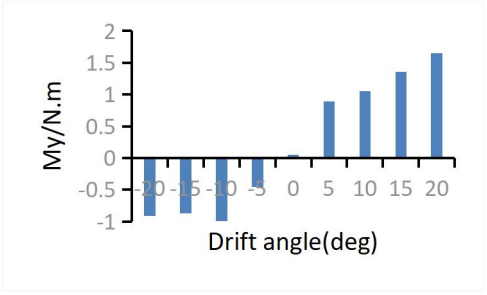
(a1)推力



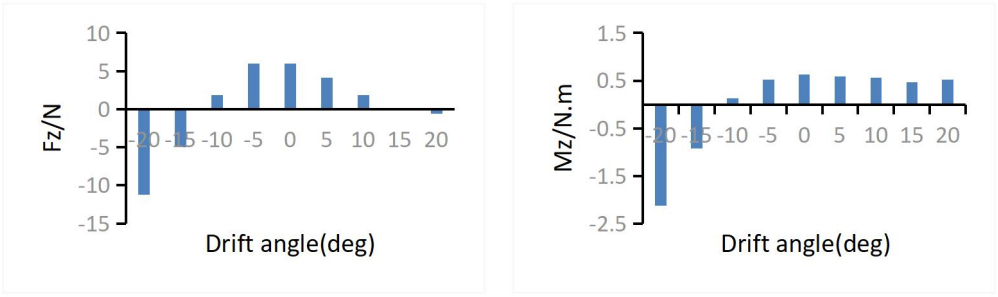
(b1)扭矩



(a2)横向力



(b2)横向力矩



(a3)垂向力　　(b3)垂向力矩

图5　不同漂角时螺旋桨受到的力和力矩

Fig. 5. Comparison of propeller loads at different drift angles

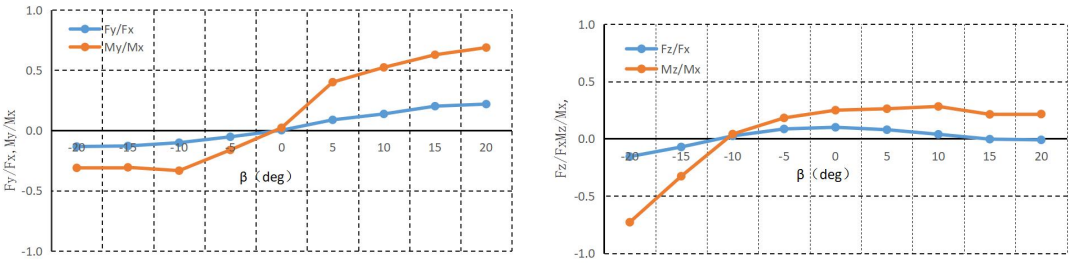
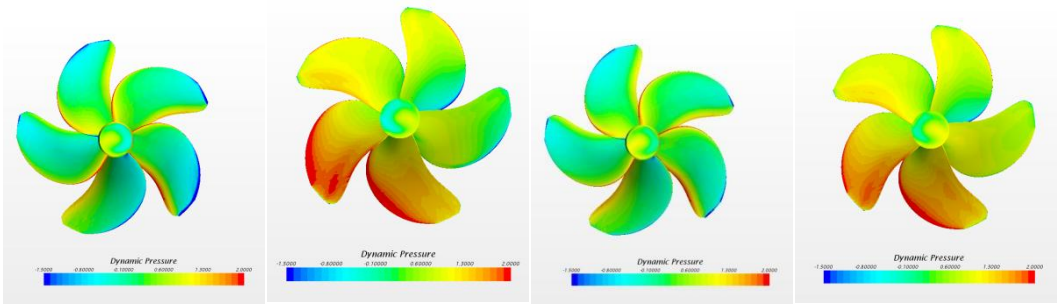


图6 横向（左）和垂向（右）载荷与轴向载荷比率随漂角的变化

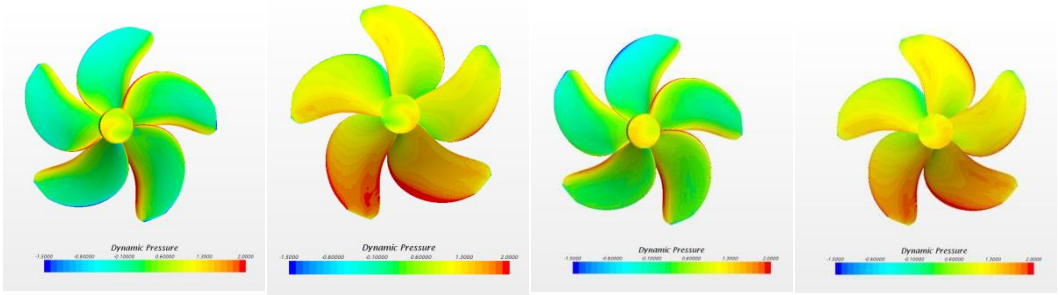
Fig. 6 The ratio of lateral (left) and vertical (right) load to axial loading with the drift angle

4.2　桨叶表面动压力

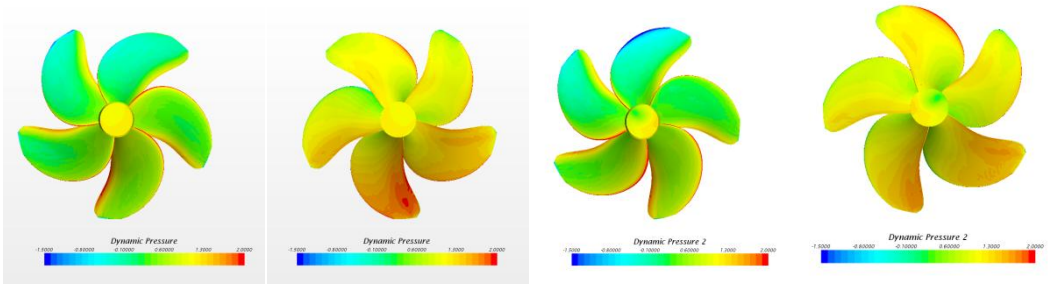
各漂角下螺旋桨表面动压力分布如图 7 所示，从图中可以看到，随着漂角的增加，桨盘面下半盘面载荷逐渐减小，而上半盘面的载荷逐渐增加，这是由于随着攻角的增加桨叶来流攻角在下半盘面逐渐减小而在上半盘面逐渐增加。这一规律能够比较清晰地从单独一个桨叶的推力载荷中看到，见图 8，其中桨叶的相位角定义如图 9。可以看到，在同一相位角处，攻角的增加显著改变了桨叶载荷，尤其是在 0° 相位附近。此外，图 8 也显示漂角的存在很大程度地改变了桨叶载荷的变化规律，对比-20° 和 20° 工况下的桨叶载荷随相位角变化曲线可以看到二者存在较大的差别。这种差别对螺旋桨的设计有较大意义，因为可能会造成螺旋桨空泡形态的较大变化，进而影响剥蚀、激振力等现象。从桨叶相位角看，不同相位处的桨叶载荷对漂角的敏感性不同，相对而言，桨盘面最低位置附近（0° 相位处）对漂角更加敏感，而桨盘面最高位置附近（180° 相位处）对漂角敏感度较低，这主要是因为桨盘面下端附近船体遮蔽效应较弱，横向水流影响更加显著。从图 10 的流线也可以看到水流绕过船体尾轴底部时存在偏转，这种流线的偏转在螺旋桨轴下方流动区域较上方流动区域更加明显，当这种绕流的流动方向与螺旋桨旋转方向一致时则减低螺旋桨桨叶载荷，反之则增加螺旋桨桨叶载荷。



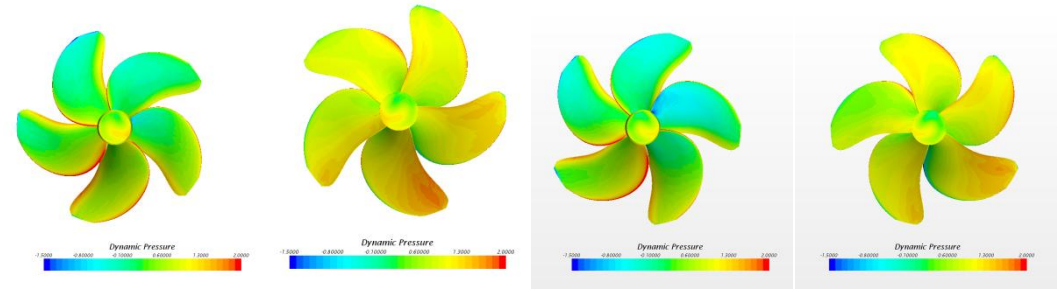
a) β =-20°　　**b) β =-15°**



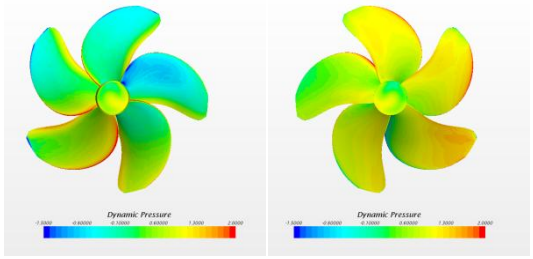
c) β =-10°　　d) β =-5°



e) β =0°　　f) β =5°



g) β =10°　　h) β =15°



i) β =20°

图7　不同漂角时的螺旋桨桨叶叶背/叶面表面动压力分布

Fig. 7. Dynamic pressure distributions on blades at different drift angles. Left: suction side; Right: pressure side

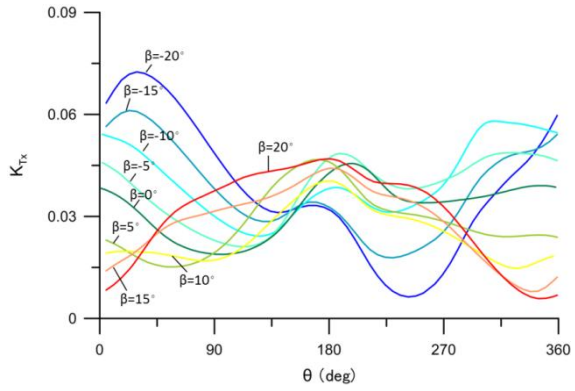


图8　单独一个桨叶推力时历曲线

Fig. 8. Periodic single blade thrusts at different drift angles.

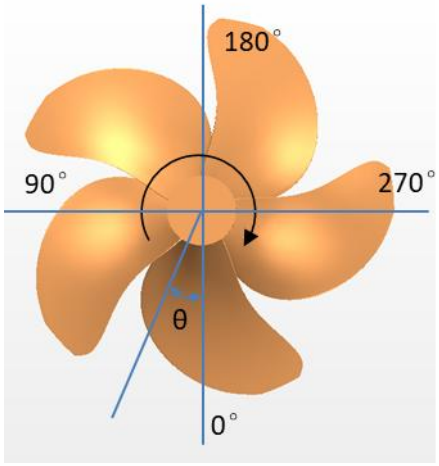
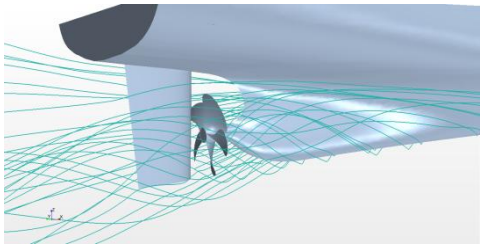
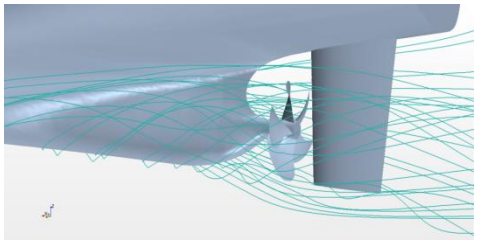


图 9　螺旋桨桨叶相位角定义

Fig. 9. Definition of blade phase angle



（a）β =-20°



（b）β =20°

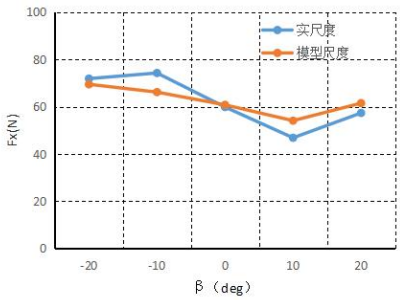
图10　船体附近的流线分布

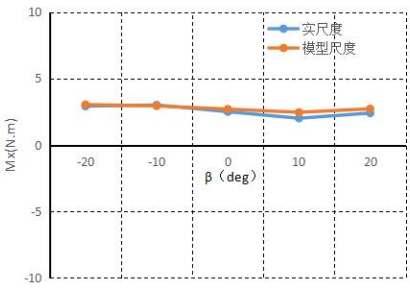
Fig. 10. Distribution of streamline near the hull

4.3　尺度效应分析

对于船舶流动问题，实船尺度和模型尺度的雷诺数相差较大，这导致船体和螺旋桨受力在模型尺度和实尺度下不一致，即使以无量纲的形式表示仍然存在较大差异。对于快速性问题，国际拖曳水池（ITTC）给出了建议的换算方法，在工程界应用较广。一些学者曾通过数值模拟分析尺度对船体尾迹和螺旋桨轴向负载的影响，如 Castro 等[22]，Wang 等[213][223]。这些研究也表明由于雷诺数的变化，模型与实尺度结果存在一定的差异。

相对于传统的快速性问题，斜流下的螺旋桨受力则尚未有成熟的换算方法，目前这一问题的研究尚不充分。文章作者曾对 KCS 模型尺度下斜流问题进行过研究，这里为分析斜流下螺旋桨载荷的尺度效应将文中实尺度结果与此前模型尺度结果进行对比。需要说明的是文中采用的数值计算方法与文献[224]采用的方法相似，两者有可比性。图 11 显示了在不同尺度和漂移角度下的螺旋桨载荷。结果表明，实尺度下桨的推力对漂角更敏感，横向载荷变化规律对漂角不敏感。相比之下，垂直载荷对尺度较为敏感，且尺度影响的大小与漂角有关，漂角增大时，实尺度与模型尺度结果差异变大。





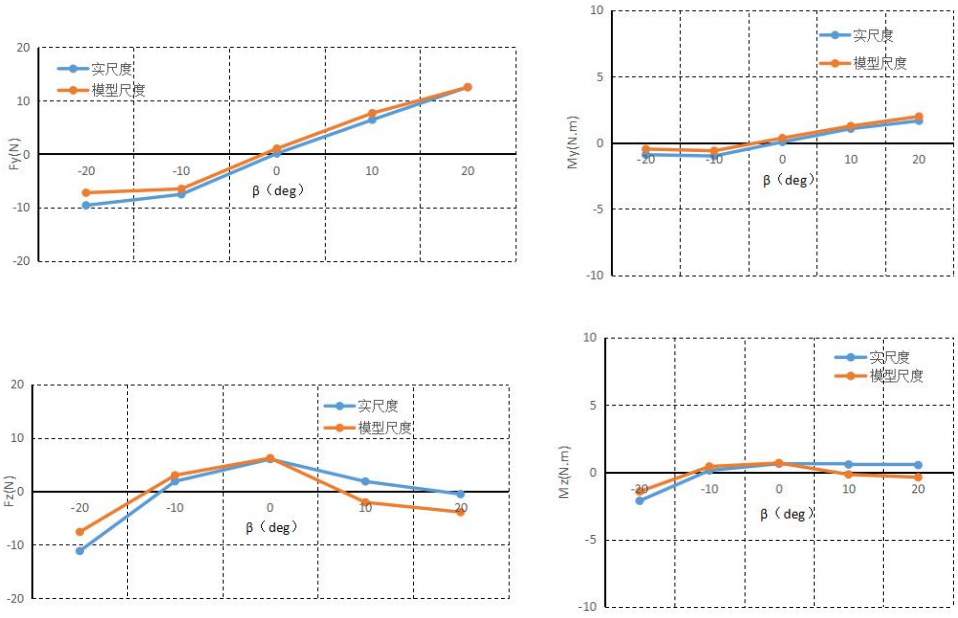


图11 不同尺度下螺旋桨载荷的比较

顶部：轴向载荷，中间：水平载荷，底部：垂直载荷

Fig. 11. Comparison of propeller loads between different scales.

Top: Axial load; middle: horizontal load; bottom: vertical load.

5 结论

文章基于 CFD 数值模拟了国际标模 KCS 实尺度下斜流工况的流动问题，分析了斜流对螺旋桨载荷、桨叶表面压力分布、船体周围流动的影响。计算采用 RANS(Reynolds-Averaged Navier Stokes)方法，结合 SSTk-ω两方程湍流模型和滑动网格方法，在 0°漂角下通过对比文献结果验证了文章计算的可靠性。为分析斜流的影响，计算考虑了±20°，±15°，±10°，±5°以及 0°漂角，结果表明，斜流对螺旋桨水动力载荷影响较大，斜流对推进力及力矩的影响相对漂角不对称，主要是因为来自左右舷侧的横向水流对螺旋桨盘面载荷的影响不同。斜流的存在导致螺旋桨受到较大的横向力和力矩，方向和大小大体上与漂角呈反对称分布。此外，文章通过单独桨叶的推力变化曲线分析了漂角对不同相位角度处螺旋桨载荷的影响规律，结果显示在桨盘面下端附近桨叶载荷更为敏感于漂角变化。此外，计算尺度对斜流下的螺旋桨载荷系数有一定程度的影响，相对而言轴向载荷和垂向载荷系数的尺度效应较大。

参考文献

[1] Amini, H., Steen, S., 2011. Experimental and theoretical analysis of propeller shaft loads in oblique inflow. J. Ship Res. 55 (4), 1–21

[2] Dubbioso, G., Muscari, R., Mascio, A.D., 2014. Analysis of a marine propeller operating in oblique flow. Part 2: very high incidence angles. Comput. Fluids 92, 56–81.

[3] Wang, C., Sun, S., Li, L., 2017. Numerical analysis of propeller exciting force in oblique flow. J. Mar. Sci. Technol. 22, 602–619.

[4] Hou, L., Hu, A., 2018. Theoretical investigation about the hydrodynamic performance of propeller in oblique flow. Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng. 1–12.

[5] Xing, T., Bhushan, S., Stern, F., 2012. Vortical and turbulent structures for KVLCC2 at drift angle 0, 12, and 30 degrees. Ocean. Eng. 55, 23–43.

[6] Muscari, R., Dubbioso, G., Ortolani, F., Mascio, A.D., 2017b. CFD analysis of the sensitivity of propeller bearing loads to stern appendages and propulsive configurations. Appl. Ocean Res. 69,

205–219.
[7] Zhang, Wenzhao, Xiao, Changrui, 2014. Research on numerical calculation of behind-the-boat propeller hydrodynamic performance in oblique flow. Ship Sci. Technol. 02, 55e59.
[8] Ortolani, F., Dubbioso, G., 2019. Experimental investigation of blade and propeller loads:steady turning motion. Appl. Ocean Res. 91, 101874.
[9] Ortolani, F., Dubbioso, G., Muscari, R., Mauro, S., Mascio, A.D., 2018. Experimental and numerical investigation of propeller loads in off-design conditions. J. Mar. Sci. Eng. 6 (45), 1–24.
[10] Yao, Jianxi, 2015. Investigation on hydrodynamic performance of a marine propeller in oblique flow by RANS computations. Int. J. Nav. Archit.Ocean Eng. 7, 56e69.
[11] Sun, S., Li, L., Wang, C., Zhang, H., 2018. Numerical prediction analysis of propeller exciting force for hull-propeller-rudder system in oblique flow. Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng. 10, 69–84.
[12] Bjorn Johan Vartdal, Tormod Gjestland, Terje Ingvar Arvidsen，2009. Lateral Propeller Forces and their Effects on Shaft Bearings. First International Symposium on Marine Propulsors
[13] Wang, C., Sun, S., Li, L., Ye, L., 2016. Numerical prediction analysis of propeller bearing force for full-scale hull propeller rudder system. Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng. 8, 589–601.
[14] Yu-xin Zhang , Kang Chen a, Da-peng Jiang,2020. CFD Analysis of the lateral loads of a propeller in oblique flow. Ocean Engineering. 202,107153
[15] Feng Dakui, Ye Bin, Zhang Zhiguo, Wang Xianzhou, 2020. Numerical Simulation of the Ship Resistance of KCS in Different Water Depths for Model-Scale and Full-Scale. Journal of Marine Science and Engineering Volume 8, Issue 10. 2020. PP 745-745.
[16] 余嘉威,周宇杰,何涛,张志国,冯大奎. 实尺度 KCS 自航性能 URANS 仿真. 第三十一届全国水动力学研讨会论文集(上册)[C].
[17] 郭浩,王建华,万德成. 不同波长下 KCS 船运动响应与波浪增阻数值研究. 海洋工程. 2020,38(06).
[18] Jin Yuting; Magee Allan R; Yiew Lucas J; Zheng Yingying. Dynamic manoeuvres of KCS in waves using URANS computations with overset grids. Journal of Physics: Conference SeriesVolume 1357, 2019. PP 012015-012015.
[19] 张杰,张印,郭贺. KCS 迎浪中耐波性的 CFD 数值模拟. 船舶工程. 2020,42(06).
[20] 马兴磊,邹早建. KCS 船型浅水操纵水动力计算. 船海工程. 2008,(03).
[21] International Towing Tank Conference (ITTC),2014. Practical Guidelines for Ship Resistance CFD . In:27th ITTC.
[22] Castro, A.M., Carrica, P.M., Stern, F., 2011. Full scale self-propulsion computations using discretized propeller for the KRISO container ship KCS. Comput. Fluids 51, 35–47.
[23] Wang, Z.Z., Xiong, Y., Wang, R., Shen, X.R., Zhong, C.H., 2015. Numerical study on scale effect of nominal wake of single screw ship. Ocean. Eng. 104, 437–451.
[24]马娟,赖明雁,魏斌. 斜流中船后螺旋桨水动力数值分析.船舶工程. 2019,41(08).

作者简介：马娟（1986-），女，硕士研究生，副教授，研究方向为船舶与海洋工程水动力学,E-mail:358471451@qq.com

长江海轮航行应急风险探讨

何世红[1]，亚礼君，江大军

（长江引航中心芜湖引航站，安徽 芜湖 241000）

摘要：随着国家正式迈入“十四五”计划，长江“12.5米”深水航道延伸至南京，长江黄金水道的通航密度和通航压力日益增大，海轮航行频繁用车、转向等航行操作也司空见惯，本文基于长江狭水道航行特点，在海轮避让操纵过程中频繁使用车舵，从而造成船舶失控的应急局面进行分析、研判，从而形成合理应变措施提供相关建议；并为有效降低突发性应急局面可能造成的事故风险，通过典型应急应变成功案例为鉴，在应急应变的预防、研判、操纵和避让过程形成程序化操控进行探讨。

关键词：失控风险；应急操纵；程序化

0 引言

船舶失控历来都是极其复杂、偶然性和习惯性兼具的局面；本文结合笔者的工作经验积累，通过相关数据支撑对造成失控局面的原因进行分析，进而提出失控局面的预防、研判和应急操纵建议，以典型应急应变成功案例为鉴，在降低失控风险为目的的前提下，从而为应急操纵程序化可行性进行探讨。

1 船舶失控风险源

从船舶类型和建造模式上来看，在长江段航行的海轮易发生失控险情的类型为：老龄船、沙滩船、新造船。

1.1 老龄船

国际航运界和世界海事机构公认20年以上的船舶为“老龄船”，据有关部门的统计显示，20年以上的老龄船约占世界船队总量的25%，而老龄船的共同特点则为主辅机工况和船舶操纵性能较差，其主机、辅机、发电机、空压机和锅炉都经过长时间的使用，早已负荷满满或不堪重负，在航行条件极其纷繁复杂的长江狭水道，因避让和追越及限速需要，频繁的使用车、舵更易造成主机排温过高、卡舵、全船断电等失控情况的出现。

1.2 沙滩船

所谓沙滩船，是指不够正规的小船厂没有大型设备，没有规范的船坞，就在沙滩上造船，待新船造好后就挖开沙滩让船下水。因沙滩船的共同特点则为主机马力较小，船体结构和船壳构造较差，更有甚者加长加宽加深，在建造的过程中往往存在偷工减料的现象，为本就小马拉大车的主机造成更大的负荷压力，尤其在长江的狭水道航行过程中，因受到航道宽度和水深的影响，而在船舶满载航行遭遇不正常水流或面临复杂局面时紧急用车、大角度避让的过程中极易造成主机不来、舵机卡舵等极端情况出现。

1.3 新造船

新造船往往因为船舶各部件未经过充分的磨合适应以及船员在操作过程中，不了解正确的操作和解决方法，在出现相关问题后，未能找到正确的解决方案，从而进行误操作或乱操作，极易造成主机失控、全船断电等局面的出现[1]。在长江某引航机构2022年引航船舶失控案例统计显示，在新船失控的过程中，其中人为操纵失误占到新船失控比例的百分之七十。

1.4 人为及环境因素

人是操控船舶的主体，同时也是在应急应变过程中的重要风险源，若存在安全责任意识不强、船舶操纵技能水平低下、业务能力不足、轮机部对主辅机、舵机、燃油设备不熟悉，则极易产生巨大的安全隐患；而部分海进江驾驶员和江船的规矩意识和协助避让意识较差，仅凭个人主观意愿操船或用舵也是失控风险源的关键因素之一[2]。

图 1 满载吃水的教学船“育德”轮在长江航行

Fig. 1 The full-loaded draft teaching ship "Yude" is sailing on the Yangtze River

由于“12.5 米”深水航道贯通南京，造成江苏段部分航段航路狭窄，加之水流和风的影响，客观上形成了狭水道航行的安全隐患，本就繁忙复杂的长江通航环境因此而更加浅窄险峻，也为应急操纵的余地和空间给予了相当大程度的掣肘；恰如图 1 所示，海进江的大部分海轮为了提高运营利润，大多采用极限装载（前后平吃水），这也增加了船舶操纵和应急操作的难度。

2 船舶失控数据分析

在分析船舶失控过程中，通过长江某引航机构近 9 个月的失控统计信息作为参照，笔者从失控类型比例、船龄影响、失控时间等三方面着重进行分析。

2.1 船舶各月份失控分析

在月失控数据统计(图 2）中，近 9 个月中，6 月、8 月、12 月份所占权重较大，在长江 6 月、8 月期间正值洪水季节，重载船舶受流影响较大，从而存在加重主机负荷、失控较多的情况出现；而在 12 月份则是天气多变，受强冷空气的影响较大，造成避让、用车较为频繁，也是导致船舶失控多发的因素之一。

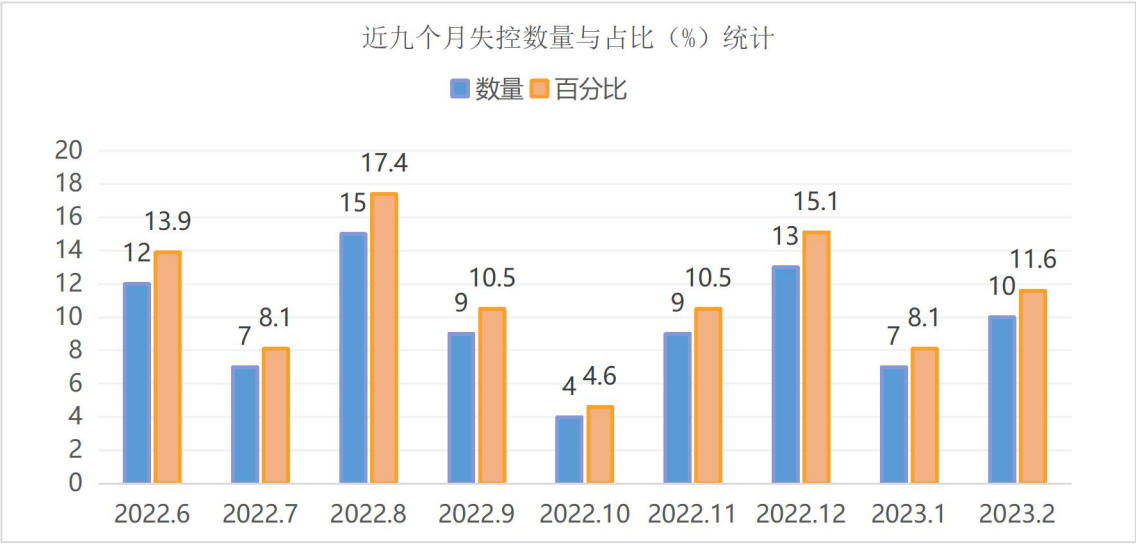


图 2 各月份船舶失控统计

Fig. 2 Out of control statistics for each month

2.2 主机失控、舵机失控和失电占比统计

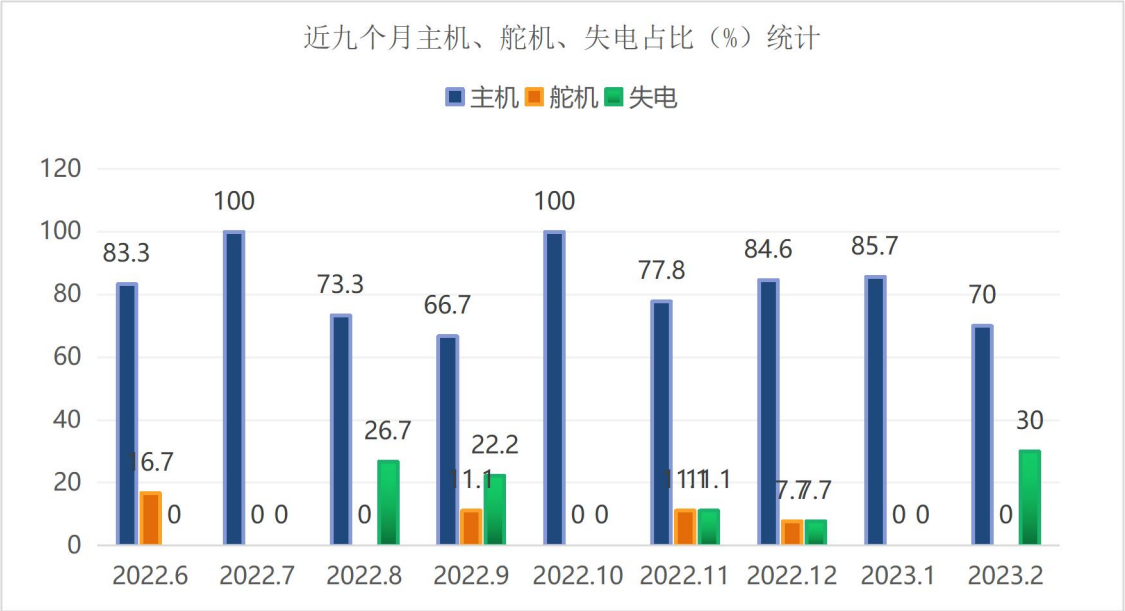


图 3 各月份主机、舵机、失电占比统计

Fig.3 Statistics of the proportion of main engine、steering engine and power loss in each month

从近 9 个月的主机、舵机、失电占比统计（图 3）可以发现，主机失控在船舶失控中较为普遍，约占 85%以上，舵机失控和全船失电约占 15%左右，而 2023 年 1 月份则出现一起磁罗经失灵，造成船舶难以把定航向的局面。

2.3 船龄在失控中的影响

在柱状图（图 4）中可以清晰的发现，虽然船龄小于 5 年的船舶运营较少，而船龄大于 15 年的船舶也受到一定的管控，但船龄小于 5 年的船舶在失控总数中所占的比率仍旧较高（达 20%左右），而船龄大于 15 年的船舶失控比例则达到了惊人的近 40%。

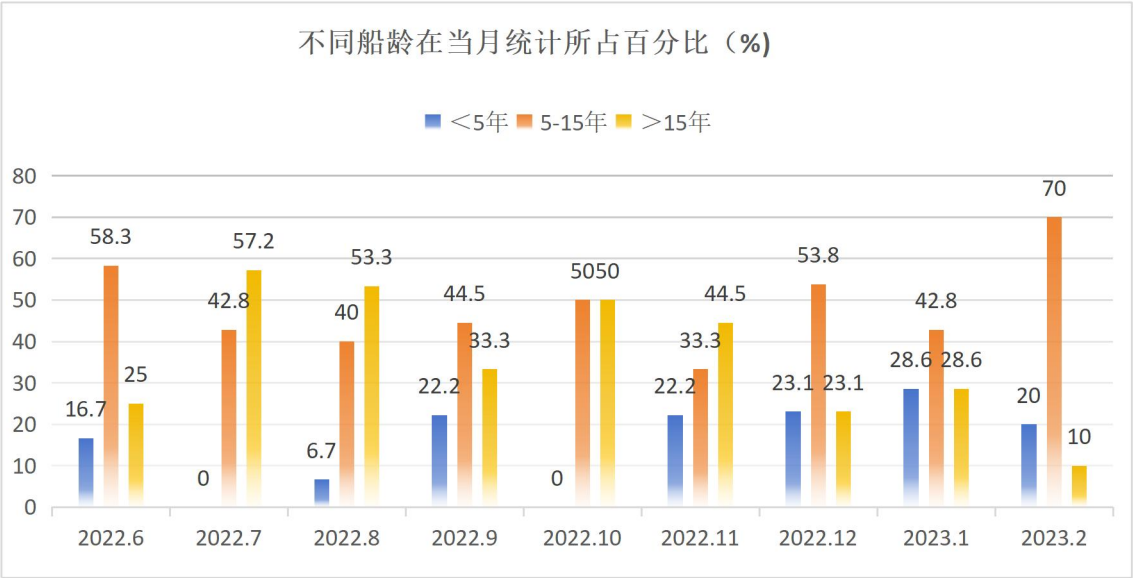


图 4 船舶失控船龄分布

Fig. 4 Age distribution of Vessels out of control in that month

3 应对船舶失控风险的相应措施

针对船舶失控风险采取相应措施，可从准备工作及风险排查、心理调整、应急操作、应急联系、关键航段的风险管控五个方面着手。

3.1 准备工作及风险排查

驾引人员在开航或靠离泊前应充分了解船舶的背景资料，并掌握本船的操纵性能，指挥驾驶台相关人员进行试车试舵，并进行应急演练，严格遵守江苏海事局颁发的《海轮长江安全航行与避让行为导则》的相关规定，全程备锚航行，并在规定水域内派人了头[3]。

3.2 心理调整

要明确每一次船舶的应急避让都不可复制，船舶在失控状态下对驾引人员形成的责任和义务应当被明确细化，而在船舶失控时，当班驾引人员应能够以一个相对镇定和冷静的心态合理操控船舶也是一起应急应变成功避让案例的关键基础。

3.3 应急操作

在应急操作过程中，驾引人员应充分认识到“锚是船舶的第二生命”，在危急关头能够做到合理用锚、规范用锚是确保化解应急风险的关键因素。在长江狭水道航行，往往由于码头、汽渡、小型江船等形成的复杂环境干扰因素较多；而为数不少的水下过江电缆（据统计，长江江苏段水下过江电缆、过江隧道、管线达到 29 条、过江汽渡线则为 14 个）也成为船舶失控时需要着重考虑的关键点，因此在危急关头如何合理的抛锚则成为能否化危急于无形的操作要点。在长江引航中心安全操作规程中则有规定：在失控局面中，在遇到船舶丧失舵效时，为抑制船舶向不利一侧偏转，环境无碍时，则应抛下有利一侧锚，出链长度则为水深的 1.5 倍，此为拖锚减速和抑制偏转；而在紧急情况下，则应避重就轻，抛双锚制动[5]。在长江某引航机构 2022 年度应急应变成功案例中，平均拖锚为 3.4 节锚链，其中主机失控时，平均拖锚为 4.5 节锚链，舵机失控时，平均拖锚为 2.3 节，而全船失电的局面拖锚的平均长度则为 3 节。除却应急用锚，护航艇、拖轮、海巡艇则可以作为应急应变过程中的辅助工具。

3.4 应急联系

在长江狭水道内船舶应急应变操纵中，应急联系的畅通与否往往是决定应急成败的关键因素；而船用 VHF 和汽笛则是应急联系的常规武器，在主机和舵机失控的过程中，用 VHF 和关键船舶（也就是和本船有着直接联系影响的关系船）取得点对点的联系，并迅速的统一失控信息和避让意图，从而可以为后续的应急处置营造良好的操纵空间[4]；与此同时，在和周围船舶取得必要联系的第一时间，笔者认为驾引人员也必须向当地 VTS 报告本船失控信息，以取得交管中心的交通协助和拖轮、海巡艇的现场维护，以使船舶在失控局面下，能用最短的时间获得最大的外力支持；而在发生全船断电的情况下，由于船用 VHF 和汽笛也失去效用，而此时引航机构派发的便携式 VHF 和手机则可在关键时刻用于发布动态、联系它船和 VTS 协调沟通。

3.5 关键航段的风险管控

驾引人员操纵满载平吃水船在航经关键航段应高度关注苏通大桥水域苏桥#5-#6 浮、#41-#42 浮、裕隆洲下口等航段流态变化情况，及时进行风险评估应做到以下几点：

1）航经该水域时，思想上应保持高度戒备；

2）上行尽量沿上行航路偏分隔带航行，船位不宜偏北；

3）同时与前船保持足够的安全距离；

4）用车、舵需足够谨慎，保持足够的储备舵力；

5）要求船方备双锚了头，时刻做好应急准备；

6）提前向当地 VTS 中心汇报操作意图，并与下行船舶保持有效联系，明确本船操作意图，从而做到协调避让，以预防和应对重载船舶在以上水域易倒头失控的局面发生。

4 应急成功案例鉴析

2022 年 8 月 16 日 1224 时，满载平吃水载运 3 万吨煤炭的中国籍散货船“L”轮（L/D:189/11.36），在口岸直水道泰州大桥水域泰上行#3 红浮附近上行舵机失控，在下有桥墩、前有汽渡、右有浅区的极端恶劣情况下，当班引航员运用教科书级别的应急操纵，与副班引航员和驾驶台团队协同配合，化解层层不利因素，成功挽救危局，将失控风险降零，是值得我们借鉴学习的经典案例。“L”轮的运动轨迹以及相关操作如下：

4.1 “L”轮运动轨迹图

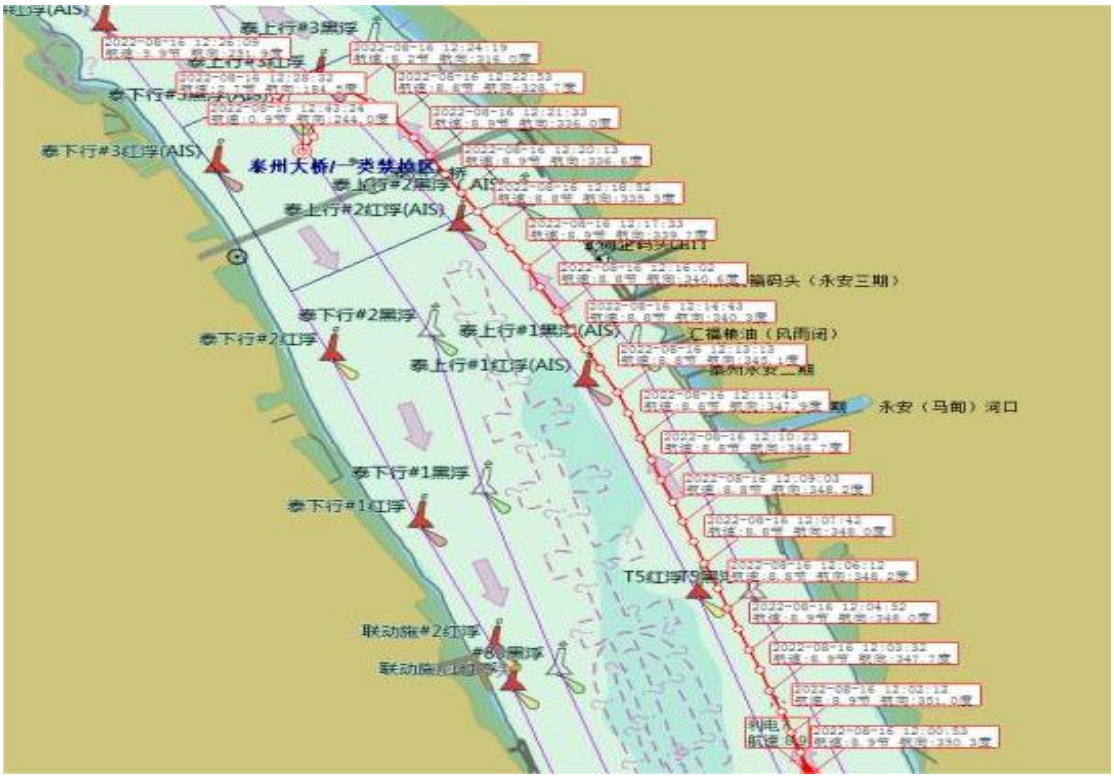


图 5 “L”轮运动轨迹截图

Fig. 5 Screenshot of the vessel "L" movement track

当时水文气象：多云，偏东风 3-4 级，能见度良好，落水流 1.5 节。

4.2 “L”轮应急操纵表

时间	速度（kn）	周围环境分析与操纵状态
1223	8.8（335°）	在左舵 10 缓慢转向至航向 330° 的过程中，使用右舵 20、右满舵压舵，发现没有舵效（当时驾驶台舵角指示器和主机转速显示都正常，机舱检查舵机正常，卸货后检查发现舵叶法兰链接螺丝全部断裂），转换应急舵无效，判定为舵失控，立即最慢车，告知在驾驶台值班的船长、二副及另一名引航员，报告泰州交管，请求派拖轮协助，并发布船舶失控信息，重新审视周围环境。
1224	8.2	停车
1225	7.8	船首避开泰上行#3 红浮后,下令倒车，但倒车未开出
1226	7.0	由于受水流影响，船舶有冲向桥墩上游侧防撞墩的危险，抛右锚 2 节入水，抑制船舶左转，倒车仍未开出，船舶左转减慢
1226½	6	倒车开出，半速倒车，船舶左转迅速减慢，船舶已经横在桥墩上游侧防撞墩的上游，桥墩上游侧防撞墩在船舶中前部的正横位置，航速 6 节左右，即停车，松右锚 3 节甲板刹住（此时大副已经到达船首）
1227	5（230°）	为防止与下行通航分道的下行船舶碰撞（使用汽笛提醒和 VHF 电话呼叫都无用），边松边刹右锚链降速
1228	3（210°）	船舶逐渐压向泰下行#3 黑浮，抛左锚 3 节入水
1231	1 节	驾驶台距离桥墩 0.26 海里，泰下行#3 黑浮在船舶驾驶台前面四舱的左舷侧正横，横距 15 米左右，船舶碰擦泰下行#3 黑浮已经无法避免，为防止该浮碰坏船尾的舵和螺旋桨，使用倒车，在该浮很缓慢地碰擦船舶左舷时停车、正舵，使该浮在船中底部顺利穿过
1234		船舶在双锚作用下开始右转，航向 250° 时，左锚链松弛

1237	船舶稳定在泰下行#3 黑浮下游 10 米、南侧 20 米左右的位置，此时右锚链 11 节甲板，左锚链 3 节入水。
1248	舶转向接近逆流时，“泰港拖 1”、“泰港拖 3”抵达船边，在船舶左舷侧带缆
1250	船舶逐渐稳定，船尾距离右后方的防撞墩 0.15 海里，距离正后方桥梁 0.21 海里

表 1 “L”轮应急操纵数据和当时环境一览

Table 1: vessel "L" emergency operation data and the environment at that time

4.3 “L”轮应急成功引发的几点思考：

（1）丰富的经验是应急成功的重要基础；“L”轮引航员严格按《长江引航安全操作规程》规范操作，保持监车监舵，及时判断出舵机故障，为”L’轮的应急处置赢得了时间[5]。

（2）良好的心态和细节落实是降低应急风险的关键因素；“L”轮引航员临危不乱、对潜在的风险评估充分，细节处理到位，应急处置及时有效，避免了事故的发生。

（3）应急程序化的可能性可以为驾引人员的提供操纵依据；引航员充分利用驾驶台资源，团队紧密配合，精准用锚用车，教科书式的操作值得推广。

5 应急程序化可行性探讨

以“L”轮的应急过程为引，以应急程序化示意图（图 6）为纲，就应急程序化可行性进行分析探讨：

应急程序化步骤：应急操纵过程中，应从排查船舶风险源开始，对重点船舶（老龄船、沙滩船、新船等）、受限船舶进行风险排查和风险评估而后留有提前预案，并在关键的航段和复杂环境中制定并落实计划[6]；并采取相应的应急防备措施（备妥双锚、全程了头），而在失控局面发生时，能够以一个良好的心态和心理素质来应对长江航道复杂局面下的紧急情况的出现，进而能够按章操纵（应急程序化示意图），在重重危机和风险中抽茧剥丝，找出当时情况下应急操纵的最佳出路，从而通过程序化的操纵使船舶失控带来的风险降到最低。

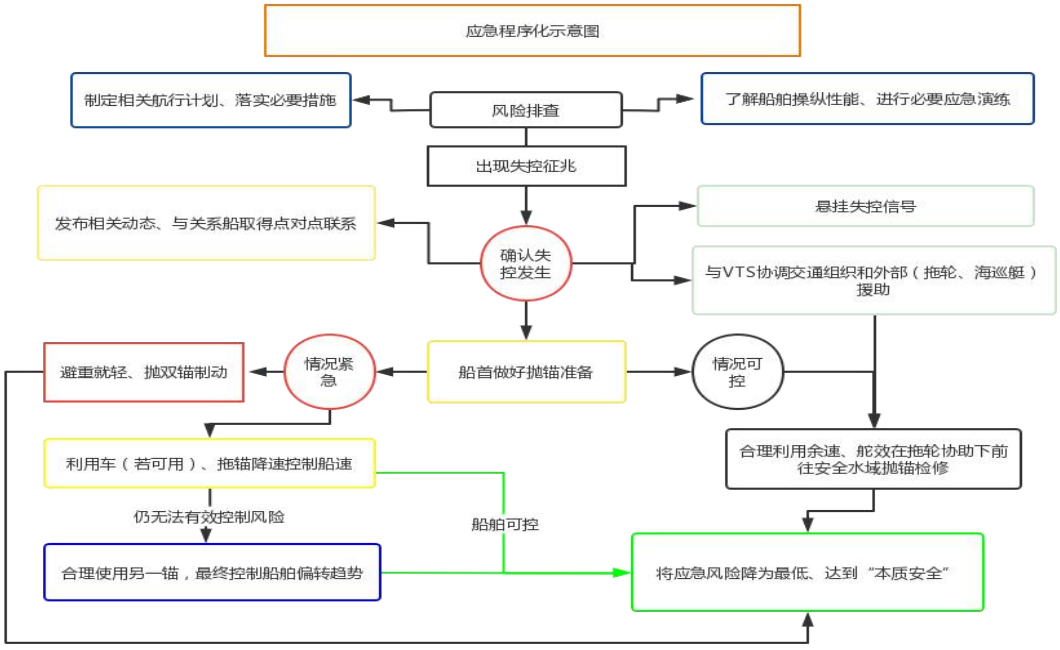


图 6 应急程序化示意图

Fig. 6. Schematic diagram of the emergency program

6 相关建议

（1）相关部门应加强对老龄船、沙滩船船舶设备的管理和监察力度，对老龄船和沙滩船进行定期核查，对不合标准的老龄船和沙滩船实行及时淘汰；同时应加大对新船出厂的维护和关注力度，适当开辟绿色通道，降低新船进出江发生失控局面时的应急风险，确保新船在长江的安全进出。

（2）对相关尺度的进江海轮实行全程维护，从而在海轮航行的第一时间能够快速反应，及时协助，进而将应急风险控制在失控初期，以达到消除后续风险压力的最终目的。

（3）相关部门应加大满载平吃水海轮管控力度，出台进江海轮满载平吃水相关规定，使进江海轮保持一定的吃水差，以维持较为良好的舵效应对花水和急流航段的操纵风险，避免高洪水位下满载平吃水导致船舶倒头的紧迫局面出现。

（4）驾引人员应加强应急应变程序化推广学习和培训，提升应急心态调整能力，夯实应急风险管控能力，在处置相关局面时做到有条不紊、条件反射。

7 结束语

航行在长江狭水道的每一名驾引人员都应该清醒的认识到：每一个应急成功的案例都不可复制。当时通航环境、失控地点、驾驶台团队协作、辅助应急设备的运用、驾引人员应变能力都是决定失控局面能够成否化解的关键因素，而失控局面所带来的安全隐患和风险都是客观存在的；如何让驾引人员能够在特定航段和时段提前做出应对措施以抑制失控的萌芽状态，并不断提升自身应急应变处置能力，从而通过一系列程序化操控将船舶失控风险降到最低，以达到“本质安全”的最终目的则是一门永恒的课题。

参考文献

[1] 王炜,《新船航行失控的成因及预防对策》[J]，《桥区船舶航行安全与管理论文集》2010

[2] 薛怀稳,《航行长江船舶发生失控的原因分析及安全监管对策》[J]《世界海运》,2010,33(11)

[3] 江苏海事局,《长江江苏段海轮安全航行与避让行为导则》[Z], 2022.

[4]]沙飞.长江航道船舶失控应急处置及预防措施[J].物流工程管理 2011,33(08):148-149.

[5] 长江引航中心编委会,《长江引航安全操作规程》[Z]，（2019）

[6] 徐言民. 基于操纵模拟的桥区水域船舶通航安全预控研究[D].上海交通大学,2010..

作者简介

何世红（1973-），男，安徽安庆人，长江引航中心一级引航员；联系电话：15255303628；邮箱：3546305052@qq.com；联系地址：安徽省芜湖市镜湖区中山北路4号；

亚礼君（1989-），男，河南南阳人，长江引航中心一级引航员；联系电话：18855301829；邮箱：328000916@qq.com；联系地址：安徽省芜湖市镜湖区中山北路4号；

江大军（1987-），男，安徽安庆人，长江引航中心二级引航员；联系电话：15655330776；邮箱：1057231050@qq.com；联系地址：安徽省芜湖市镜湖区中山北路4号。

创新“一零两全四免费”船舶污染物治理模式 推动长江经济带高质量发展

牟彩霞[1]　王渊渊[2]

（南通海事局，江苏　南通，226002）

摘要：2019年江苏海事局、江苏省交通运输厅提出船舶污染物“一零两全四免费”船舶污染物治理模式，即内河船靠港和锚泊船舶污染物零排放、全接收，在航船舶污染物排放全达标；免费生活垃圾接收、免费生活污水接收、免费水上交通、免费锚泊，全面强化长江船舶污染防治工作。自该治理模式推广以来，长江江苏段船舶水污染物处理方式得到明显扭转，接收设施得到持续完善，接收乱象得到基本杜绝。本文结合南通海事局在推进 “一零两全四免费”工作中的具体情况，分析了当前存在的突出问题和主要原因，提出了创新举措。

关键词：一零两全四免费；船舶污染物治理模式；突出问题；创新举措

0 引言

为守护长江清水绿岸， 2021年南通海事局积极探索、勇于创新，持续巩固深化“一零两全四免费”船舶污染治理的长效机制，船舶污染物接收实现了“质”和“量”双提升。在纵深推进过程中，码头伪落实、虚假接收现象依然存在,假铅封、虚设管路等新型违法行为时有发生，完善工作机制、推出新的工作举措已刻不容缓。

1 “一零两全四免费”船舶污染物治理模式运行的总体情况

1.1 船舶污染物治理模式更加完善

为使“一零两全四免费”船舶污染物治理模式更趋多元、更趋完善，南通海事局主动作为推动高质量建成如皋水上绿色综合服务区；联合南通市交通运输局推动南通市政府将南通港“一零两全四免费”服务费用纳入市财政保障；推动开发区码头形成联盟共同委托第三方服务单位开展污染物接收。目前长江南通段已形成水上绿色综合服务区公益服务、码头自主接收、政府出资购买服务、码头联盟资源共享的四种船舶污染物治理模式。

1.2 污染物接收处置率明显提升

南通海事局多点发力，通过跑码头、上船头，积极向船方和码头方宣贯上级要求和政策，全面推广应用 “长江干线船舶水污染物联合监管与服务信息系统”，并制作告知书、使用指南等全辖区发放，常态化“一零两全四免费”在整个辖区形成浓厚氛围。2021年长江南通段到港船舶使用系统申报船舶生活污水106634艘次、35328.69立方，同比2020年分别增长428%、205%；申报船舶生活垃圾122892艘次、547.53吨，同比2020年分别增长268%、298%。

1.3 明查暗访发现问题明显减少

2021年江苏海事局对我局开展明察暗访3次，南通海事局组织开展明察暗访、联合检查、交叉检查14次，先后查出问题近百件；全年共下发督办单、提醒函、提醒单和督查通报30多期，督促发现的问题整改到位。在江苏局最近一次明察暗访和我局年底组织的联合检查中发现问题数明显减少，工作成效日渐凸显。

1.4 “处罚+信用”双重惩戒成效明显

南通海事局采用“行政处罚+信用监管”的双重惩戒机制，层层压实责任。2021年先后约谈15家码头单位、暂停6家码头单位作业，暂停时间累计达18天，共对150多起船舶直排违法行为、船舶未正常使用防污染设备和器材、存储容器或者存储结构物的和未按照规定配备防污染设备和器材、存储容器或者存储结构物等进行行政处罚，做到发现一起、通报一起、教育一片的警示作用。

2 “一零两全四免费”船舶污染物治理模式存在的突出问题

2.1 部分码头未完全落实“先接收污染物再作业”的要求

部分码头为了提高作业效率，存在边作业边接收、先作业再接收、只作业不接收的情形。部分码头晚上无作业人员，对于晚上靠泊作业的船舶无法接收；部分靠泊船舶离岸潮差较大，码头接收泵浦的功率不够无法接收。

2.2 部分码头存在不完全接收或虚假接收的情形

部分码头接收存储设备容量有限，接收能力不足；部分船舶污水柜无液位仪且存储柜容量较大，船员无法从外观判决污水存量情况；部分船舶急于装卸货或部分船舶航程较短，为了满足到港“先送交污染物再作业”的要求，故意送交部分污染物。部分码头为了提高船舶污染物接收率、降低接收后的处理成本，主动或串通船舶伪造污染物接收记录；部分码头为了应对监管要求，存在只接管不接收的情形。

2.3 船舶直排行为时有发生

内河船员的整体防污染意识还有待提升，直排行为时有发生，具体表现为部分生活污水处理装置进口管路焊接在机舱舱壁上，舱壁上无开孔，且舱壁的反面无任何管路，生活污水处理装置形同虚设；部分船舶生活污水旁通管系未铅封或盲断；部分船舶生活污水旁通管系虚假铅封；部分船员私自拆除铅封等导致的直排行为。

2.4 部分船员随意填报送交数据

前期“船 e 行”生成接收订单无需码头确认，船员随意填报数据，导致填报环节监督缺失，目前该问题已修复；部分码头未安装智能流量计等设备，接收数据都是预估数据；个别船舶未掩盖非法排污行为故意填报虚假数据。

2.5 主管机关监管存在薄弱环节

目前海事和交通等主管部门对码头、船舶污染物接收的监管主要依赖执法人员现场检查，存在覆盖不全、重复检查、过度检查、检查标准不统一等薄弱环节，对污染物申报数量且出现明显数据异常、污染物接收弄虚作假等行为多为事后监管，无法实现高效协调、精准执法。

3 “一零两全四免费”船舶污染物治理模式问题的主要原因

3.1 部分码头、船舶和接收单位的环保意识和主体责任意识还有待提高

一是部分内河船员防污染意识淡泊，未真正意识到非法排放的危害性，直排的习惯行为时有发生。二是部分码头对环保的重要性认识不到位，防污染投入不到位、未充分明晰自身防污染责任，主体责任落实不到位。三是第三方接收单位为了节省费用、提高收益，故意拖延履行或不履行服务职责。

3.2 “一零两全四免费”工作方式方法有待进一步完善

一是目前通报的船舶污染物接收率以系统中的进出港报告为基数，进出港报告系统中的数据与码头实际装卸作业船舶艘次差距较大，导致污染物接收比例整体被拉低。二是船舶污染物 “零申报”的条件未明确，码头、船舶不了解具体要求，为形式上提高接收比例，产生不必要的虚假接收现象。三是船舶排放污染物的数据无法实时传送至“船 e 行”或者其他信息平台，预估送交数量不准确，现场监管也相对困难。四是每个执法人员的检查标准不统一，检查的相关情况也都需人工梳理，重复检查、盲目检查的情况时有发生，现场检查的信息化水平有待提高。

3.3 “一零两全四免费”（简称124）专班工作机制有待进一步完善

一是全局目前“124”工作推进主要依赖专班成员，未真正形成全体执法全员参与专班工作的机制。二是人才交流比较频繁，基层海事处专班人员更换较快，新人对政策不熟悉、检查不专业，导致“124”工作整体质量无法稳步提升。三是“124”专班监督考核制度不完善，未真正形成排名机制、与评优评先挂钩机制，发现问题主要依靠局“124”专班组织联合检查、明察暗访等，未能从根本激发执法人员的内在动力，被动执法工作成效不明显。

4 “一零两全四免费”船舶污染物治理模式的创新举措探讨

4.1 完善工作方式和方法，压实各方责任

一是持续开展污染防治宣传，全面提升航运企业、码头、船员等的环保意识，严厉打击船舶生活污水、垃圾违规处置违法行为，形成高压打击态势，倒逼船舶、船员、航运企业自觉遵守污染物接收相关规定，全面形成“不敢污、不能污、不想污”的系统化治理新格局。二是持续创新完善“124”工作举措，扎实落

实好码头防污染主体检查机制和海事核查机制，通过“海事+码头”双核发力，压实港口企业船舶污染物接收主体责任，严厉打击船舶虚假申报、伪落实等问题，彻实推动码头由“要我环保”向“我要环保、我能环保”转变。三是建立并运行部门间的协同管理制度，加强与交通港航部门的协作，共同开展“124”联合检查，压实部门管责任，双管齐下提升船舶污染防治成效。

4.2 规范污染物接收作业，落实惩戒机制

一是统一“零申报”的要求并对外发布，明确污染物接收比例的统计方法，推动各码头建立船舶污染物接收转运处置内部规范和制度，优化船舶污染物接收流程。二是持续推广智能流量计，通过信息化手段避免船员随意填报数据、弄虚作假等行为，实现监管从“被动向主动”、“粗放向精细”、“事后监管到实时监管”转变。三是严格落实信用惩戒机制,对港口码头未履行防污染主体责任的，采取约谈、熔断等方式进行惩戒，并及时通报交通主管部门。对污染物接收的第三方服务单位，严格执行考评机制。

4.3 探索建立防污新生态，制定考核机制。

一是落实执法人员“网格治污”，每个码头为一个网格，每个网格配置一名执法人员，做到责任到人，形成全体基层执法人员参与危防的新生态。二是探索建立“124”督查考核机制，制定赋分排名办法和奖惩办法，结合明查暗访结果对执法人员进行赋分排名，将排名结果及时进行发布，提升执法人员工作的主动性和积极性。三是充分发挥典型示范作用，培塑 3-4 个船舶污染防治工作典型示范码头，组织执行不力的码头进行参观学习，取长补短提升整个辖区的船舶污染防治工作成效，形成可复制推广的经验。

4.4 建设智慧赋能新系统，提高监管水平

坚持“信用+智慧”双轮驱动，依托“长江干线船舶水污染物联合监管与服务信息”系统，深入挖掘信息化手段在船舶污染防治工作中的催化作用，开发“智能防污”程序，智慧赋能实现船舶水污染物全智能感知、生命周期服务、全过程检查，做到“问题全覆盖、情况全掌握”，防止过度检查、重复检查，扫除检查盲区，提高船舶污染物防治精细化监管水平。

5 结束语

内河船舶“一零两全四免费”机制已进入长效运行状态，为扎实推动长江经济带高质量发展，巩固治理成效，应针对前期实行过程中出现的问题进行梳理，研究解决，综合运用信息化、信用惩戒等手段，全面加强长江船舶生活污水和生活垃圾的监管力度。

作者简介：

牟彩霞(1982-)，女，硕士，三级主办，南通海事局从事海事监管工作，电话：13615207718，

E-mail:421493962@qq.com。

北斗三号/GPS 组合导航系统全球定位性能分析

曹翔，史誉州，刘雅奇，赵仓龙，刘涛

（江苏航运职业技术学院，江苏 南通，226010）

摘要:为研究北斗三号/GPS 组合导航系统在全球的定位性能，基于 STK 仿真软件，在全球范围内，以经纬度 5°×5°的分辨率设置观测点，评估每个观测点的卫星可见性和 GDOP 值。结果表明：在良好观测环境下，相比单系统，组合系统平均可见星数增加了 10 颗左右，GDOP 值达到“优”的状态，大大改善了卫星空间几何结构，弥补了北斗三号在西半球可见星数少、定位精度低，GPS 在高纬度地区卫星仰角小，定位精度低的问题；在复杂观测环境下，组合系统平均可见星数明显下降，GDOP 平均值显著增大，但整体定位性能仍可以满足定位导航的需求。

关键词：北斗三号 ；全球定位系统；组合导航；卫星可见性；几何精度因子

1 引言

北斗卫星导航系统（Beidou Navigation Satellite System，BDS）是我国自主建设运行的全球卫星导航系统，按照“三步走”的发展战略：2000 年，建成“北斗一号系统”，向中国提供服务；2012 年，建成“北斗二号系统”，向亚太地区提供服务；2020 年，全面建成“北斗三号系统（BDS-3）”，向全球提供服务[1]。

当观测条件较差时，单系统的性能表现不佳，定位精度显著下降[2]。组合导航系统可提供更多的可见卫星，改善卫星空间几何结构，从而提高定位精度和可靠性。北斗系统可与其他全球卫星导航系统实现兼容与互操作[3]，GPS 系统发展较早，也较为成熟，是目前世界上应用最为广泛的卫星导航系统，因此，将北斗三号与 GPS 组合使用，可以充分发挥两系统的优势。

针对 BDS-3/GPS 在全球定位性能的评估，倪煜淮[4]等在全球范围选取了 11 个典型站点，对北斗三号和 GPS 的定位性能进行了对比分析，结果表明在国内外及南北极地区的典型站点，北斗三号比 GPS 的定位性能更优；杨毅[5]等基于全球不同区域 9 个监测站的观测数据，分析了 BDS-3/GPS 在遮挡环境下的定位性能，结果表明 BDS-3/GPS 组合系统，大大增加了可见卫星数，改善了卫星空间几何结构，定位精度和可靠性明显优于单系统。当前的研究多是基于几十个甚至几个跟踪站的数据得出的结论，覆盖范围有限，难以代表全球范围的定位性能。本文基于卫星仿真工具包（Satellite Tool Kit，STK），在全球范围以分辨率 5°×5°设置了大量观测点，仿真分析 BDS-3、GPS 及 BDS-3/GPS 组合系统在全球的定位性能，并进一步研究了 BDS-3/GPS 组合系统在复杂环境下的定位性能。为北斗系统在全球的拓展应用及与其它卫星导航系统的兼容与互操作提供一定的理论支撑。

2 定位性能指标

2.1 卫星可见性

卫星可见性是评估卫星导航系统定位性能的一项重要指标，可通过比较卫星高度角与截止高度角的大小来判定卫星是否可见[6]，具体分为以下四个步骤：

（1）计算测者到某颗卫星的观测向量

在地心空间直角坐标系中，设测者 A 的坐标为（x，y，z），第 i 颗卫星的坐标为（x^i，y^i，z^i），得出从测者 A 至第 i 颗卫星的观测向量为：

$$\begin{bmatrix}\Delta x\\ \Delta y\\ \Delta z\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}x^i\\ y^i\\ z^i\end{bmatrix}-\begin{bmatrix}x\\ y\\ z\end{bmatrix} \tag{1}$$

（2）将观测向量转换到站心坐标系中

设测者 A 的经、纬度为（λ，φ），测者 A 到第 i 颗卫星在站心坐标系中的观测向量为：$[\Delta e \quad \Delta n \quad \Delta u]^{\mathrm{T}}$。将地心空间直角坐标系转换到站心坐标系，首先以 Z 轴为基准旋转（90°+λ），然后以新的X轴为基准旋转（90°－φ），得到坐标转换矩阵 C：

$$C=\begin{bmatrix} -sin\lambda & cos\lambda & 0 \\ -sin\varphi cos\lambda & -sin\varphi sin\lambda & cos\varphi \\ cos\varphi cos\lambda & cos\varphi sin\lambda & sin\varphi \end{bmatrix} \quad (2)$$

根据坐标转换矩阵可得：

$$\begin{bmatrix} \Delta e \\ \Delta n \\ \Delta u \end{bmatrix} = C \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} \quad (3)$$

（3）计算卫星高度角

卫星高度角是指在站心坐标系中，观测向量高出由东向轴及北向轴所组成水平面的角度，计算公式为：

$$\theta = arcsin\left(\frac{\Delta u}{\sqrt{(\Delta e)^2+(\Delta n)^2+(\Delta u)^2}}\right) \quad (4)$$

（4）将卫星高度角与截止高度角对比

若卫星高度角大于预设的截止高度角，则判定卫星可见，反之，不可见。

2.2 精度因子

精度因子（Dilution of Precision，DOP）是指用户测距误差转换为定位误差时的放大倍数，是评估卫星导航系统定位精度的一项重要指标，在相同观测条件下，DOP 值越小，定位精度越高。卫星导航系统的定位误差是用户等效测距误差（User Equivalent Range Error，UERE）和精度因子的函数，二者关系表达式为：

$$cov = [\boldsymbol{H}^T\boldsymbol{H}]^{-1}\sigma_{UERE}^2 \quad (5)$$

式中：cov为位置和钟差误差的协方差；σ_{UERE}^2为用户等效测距误差方差；H 为观测方程系数矩阵，可利用卫星高度角 θ 和卫星方位角 α 计算得到：

$$\boldsymbol{H}=\begin{bmatrix} -cos\theta_1 sin\alpha_1 & -cos\theta_1 cos\alpha_1 & -sin\theta_1 & 1 \\ -cos\theta_2 sin\alpha_2 & -cos\theta_2 cos\alpha_2 & -sin\theta_2 & 1 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ -cos\theta_n sin\alpha_n & -cos\theta_n cos\alpha_n & -sin\theta_n & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中，n 表示参与定位解算的卫星数目。

$$[\boldsymbol{H}^T\boldsymbol{H}]^{-1}=\begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & D_{14} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} & D_{24} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} & D_{34} \\ D_{41} & D_{42} & D_{43} & D_{44} \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中，D_{11}，D_{22}，D_{33}，D_{44} 分别表示用户三维位置（x，y，z）和时钟偏差（ δt_r）的均方差。

常用的 DOP 参数有：几何精度因子（GDOP）、三维位置精度因子（PDOP）、水平分量精度因子（HDOP）、垂直分量精度因子（VDOP）、时间精度因子（TDOP）[7]，各 DOP 值可由$[\boldsymbol{H}^T\boldsymbol{H}]^{-1}$中各分量表示如下：

$$\begin{aligned} GDOP&=\sqrt{D_{11}+D_{22}+D_{33}+D_{44}} \\ PDOP&=\sqrt{D_{11}+D_{22}+D_{33}} \\ HDOP&=\sqrt{D_{11}+D_{22}} \\ VDOP&=\sqrt{D_{33}} \\ TDOP&=\sqrt{D_{44}} \end{aligned} \quad (8)$$

由式（8）可得出，各精度因子之间存在关系，即 $GDOP=\sqrt{PDOP^2+TDOP^2}$，$PDOP=\sqrt{HDOP^2+VDOP^2}$。其中 GDOP 反映了测者与卫星间的几何关系对定位误差的影响，是评判定位精度优劣的重要参数，因此，本文选取 GDOP 作为衡量导航系统定位精度的指标。

3 BDS-3 和 GPS 星座仿真

3.1 BDS-3 和 GPS 星座参数

北斗三号标称空间星座由 3 颗地球静止轨道（GEO）卫星、3 颗倾斜地球同步轨道（IGSO）卫星和 24 颗中圆轨道（MEO）卫星组成，根据官方发布的北斗卫星导航系统公开服务性能规范（3.0 版）[8]对卫星轨道参数的描述如表 1：

表 1 北斗三号空间卫星轨道参数

轨道类型	数目/颗	轨道高度/km	轨道倾角/ deg	星座构型
GEO	3	35786	0	定点于 80° E、110.5° E、140° E
IGSO	3	35786	55	升交点赤经为 118° E
MEO	24	21528	55	Walker（24/3/1）

GPS 空间星座最初设计为 24 颗中圆轨道卫星，均匀分布在 6 个轨道平面内，轨道倾角 55°，运行周期 11h58min，轨道高度约 20183km，后期随着 GPS 全面现代化进程，实际在轨卫星更新为 31 颗[9]。

3.2 BDS-3 和 GPS 星座仿真场景搭建

STK 是美国 Analytical Graphics 公司开发的一款面向航空、航天领域的仿真软件，可便捷地仿真分析复杂的陆、海、空、天等任务，且具备强大的卫星仿真功能，可以根据用户的不同需求，设计不同的仿真场景，得出精确的报告、图表等多种分析结果[10]。已被广泛应用于卫星导航系统的仿真与分析，例如星座性能分析、卫星可见性和覆盖性分析、通信链路分析等。

STK 中建立卫星对象有两种方法：一种是利用 Orbit Wizard（轨道向导）输入开普勒轨道六参数；另一种是导入卫星两行轨道根数（Two-Line-Orbital Element，TLE），TLE 星历是描述空间卫星位置、速度的特定格式数据，是由北美防空司令部监测跟踪而生成的，并在 CelesTrak 网站上实时发布[11]。TLE 数据尽最大努力还原了卫星在太空中真实的轨道参数，具有极高精度，使仿真数据更加准确[12]。本文采用第二种方法，首先从 CelesTrak 网站下载最新发布的北斗三号和 GPS 卫星的 TLE 星历数据，其次在 STK 中新建一个仿真场景，将 TLE 数据导入场景中，便生成了 BDS-3、GPS 及 BDS-3/GPS 组合导航仿真星座，结果如图 1～3 所示：

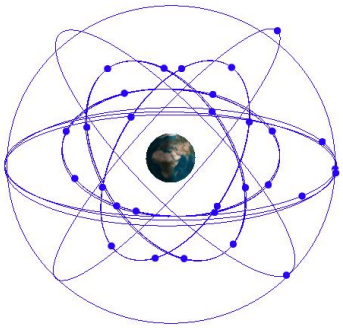


图 1 BDS-3 仿真星座

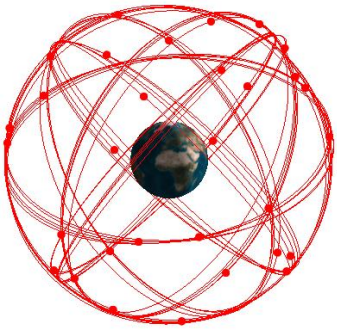


图 2 GPS 仿真星座

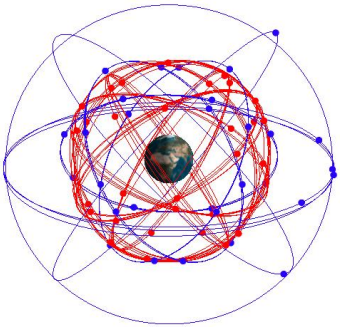


图 3 BDS-3/GPS 组合仿真星座

4 全球定位性能评估

4.1 BDS-3、GPS、BDS-3/GPS 全球卫星可见性分析

为系统而全面分析 BDS-3、GPS、BDS-3/GPS 的卫星可见性，在全球范围内，经度每隔 5°，纬度每隔 5° 设置一个观测点，共 2520 个。利用 STK 中的 Coverage（覆盖性分析）模块，对每个观测点进行卫星可见性分析，详细参数设置如下：

1）观测周期：2023 年 3 月 1 日 04:00 至 3 月 2 日 04:00，采样时间间隔为 60s；

2）覆盖品质因数：可见卫星数；

3）卫星截止高度角：10°；

4）空间分辨率：5°×5°；

5）关联设置：将所有观测站点分别与北斗三号星座、GPS 星座、组合导航星座设为关联状态。

计算每个观测点在仿真周期（24h）内的平均可见星数，仿真结果如图 4～6 所示：

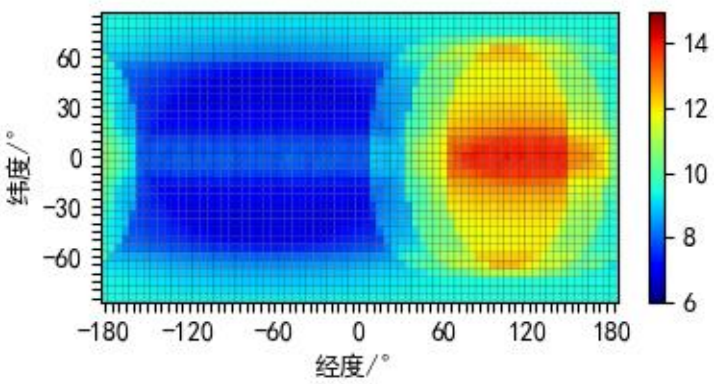


图 4　BDS-3 全球平均可见星数分布

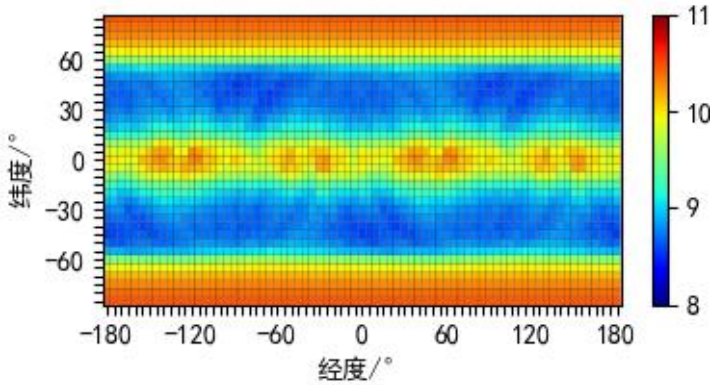


图 5　GPS 全球平均可见星数分布

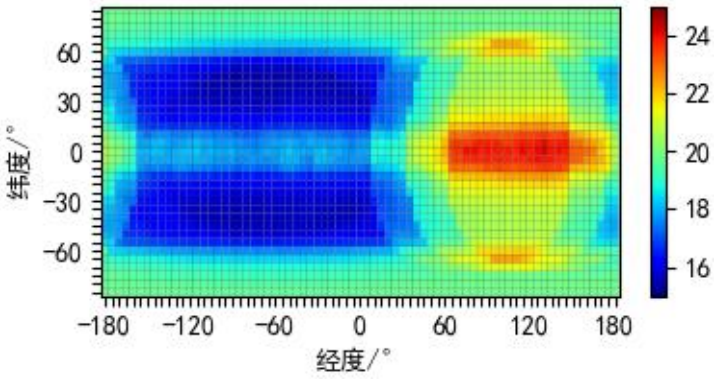


图 6　BDS-3/GPS 组合系统全球平均可见星分布

由图 4～6 可得出如下结论：

1）BDS-3、GPS 及 BDS-3/GPS 组合系统在全球的卫星可见性规律以赤道为界南北半球对称相似。

2）由图 4 可得出：北斗三号系统在全球范围卫星可见性差异较大，观测周期内，平均可见星数在 6.8～14.05 颗之间变化；中低纬度地区，东半球平均可见星数明显多于西半球，尤其是在南北纬 20°，东经 60°～150°范围内，平均可见星数可达 13～14 颗，而西半球大部分区域平均可见星数仅为 7～9 颗，这是由于北斗三号系统属于区域增强系统，亚太地区是其重点服务区域，该区域上空布置了 3 颗 GEO 卫星和 3 颗 IGSO 卫星；高纬度地区（纬度大于 75°），东西半球平均可见星数无明显差异，这是由于东半球高纬地区无法观测到 3 颗 GEO 卫星；此外，还可以发现东半球中低纬地区平均可见星数大于高纬地区，西半球则相反。

3）由图 5 可得出：GPS 在全球范围的平均可见星数较为稳定，在 8.5～10.5 颗之间变化；GPS 平均可见星数在赤道低纬度地区和高纬度地区较多，而中纬度地区平均可见星数略少；同一纬度上，平均可见星数几乎没有变化，即可见性规律不随经度的变化而变化。

4）两系统对比可得出：东半球中低纬度地区，北斗三号平均可见星数多于 GPS，高纬度地区，北斗三号平均可见星数比 GPS 少 1 颗左右；几乎整个西半球，北斗三号平均可见星数均少于 GPS。

5）由图 6 可得出：将北斗三号与 GPS 组合后，全球范围内，平均可见星数在 15.4～24.15 颗之间变化，可供用户选择的卫星数量充足。相比单北斗系统，平均可见星数增加了 8～10 颗，弥补了北斗三号在西半球可见星数相对较少的问题，此外也进一步提升了东半球亚太区域的卫星可见性；相比单 GPS 系统，平均可见星数增加了 7～14 颗，弥补了 GPS 系统在中纬度地区可见星数相对较少的问题，大大提高了 GPS 系统在全球的卫星可见性。

4.2 BDS-3、GPS、BDS-3/GPS 全球 GDOP 值分析

将上述 STK 仿真场景中的覆盖品质因数改为 GDOP，计算每个观测点仿真周期（24h）内的 GDOP 平均值，仿真结果如图 7～8 所示：

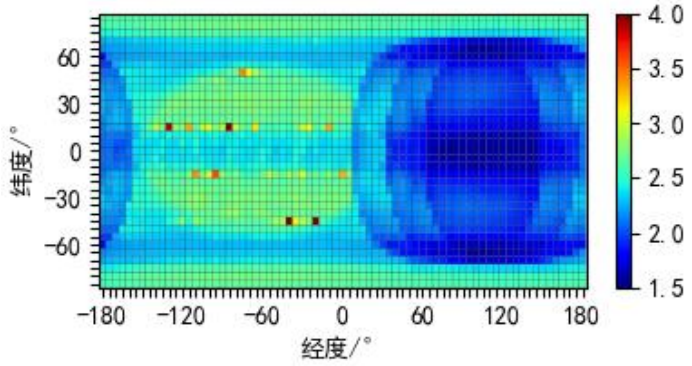


图 7　BDS-3 全球 GDOP 平均值分布

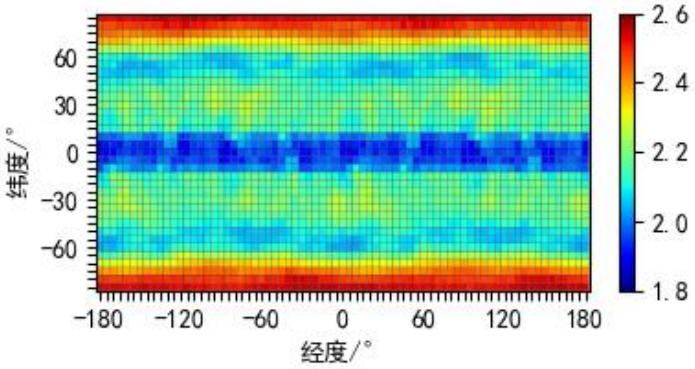


图 8　GPS 全球 GDOP 平均值分布

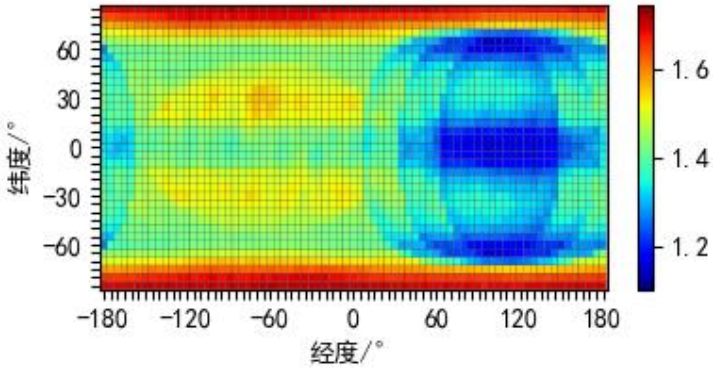


图 9　BDS-3/GPS 组合系统全球 GDOP 平均值分布

由图 7～9 可得出如下结论：

1）BDS-3、GPS 及 BDS-3/GPS 组合系统在全球的 GDOP 值变化规律以赤道为界南北半球对称相似；

2）由图 7 可得出：北斗三号系统在全球范围的 GDOP 平均值在 1.55～4.0 之间变化，且仅在极少数站点出现大于 3 的情况，通常认为，GDOP 值小于 6 时，才能满足定位导航的要求[13]，因此，在全球范围内，北斗三号可提供高精度的定位导航服务；中低纬度地区，东半球 GDOP 平均值明显小于西半球，尤其是在南北纬 20°，东经 60°～150°范围内，GDOP 平均值最小，定位精度最高；高纬度地区，东西半球 GDOP

平均值无明显差异；东半球，中低纬度地区 GDOP 平均值小于高纬地区，而西半球整体区域 GDOP 差异较小；

3）由图 8 可得出：GPS 在全球范围的 GDOP 平均值在 1.88～2.57 之间变化，变化范围较小，GDOP 值相对稳定；GDOP 平均值东西半球无差异，不随经度的变化而变化；在南北纬 10° 范围内，GDOP 平均值最小，中纬度地区次之，而高纬度地区 GDOP 平均值最大，这是由于高纬地区虽然可见星数量多，但是卫星仰角小，因此，GPS 在赤道附近，定位精度较高，高纬地区，定位精度较低。

4）两系统对比发现：北斗三号在东半球中低纬度区域 GDOP 平均值小于 GPS，而西半球 GDOP 平均值大于 GPS；高纬地区，两系统 GDOP 平均值相差不大。

5）由图 9 可得出：BDS-3/GPS 组合系统在全球范围的 GDOP 平均值在 1.14～1.72 之间变化，GDOP 值达到了“优”的状态，定位精度比单系统得到很大提升；相比单北斗系统，组合系统弥补了北斗在西半球定位精度低的问题；此外，组合系统提高了两个单系统在高纬地区的定位精度； 总体上克服了单系统在局部区域定位精度较低的问题。

4.3 复杂环境下 BDS-3/GPS 组合导航系统全球定位性能分析

在城市、峡谷、山区、原始森林等复杂观测环境中，卫星信号可能会被高大建筑物、树木等遮挡，用户接收机通常只能接收到高仰角卫星[14]。为研究组合系统在受限环境下的定位性能，在上述实验的基础上设置了截止高度角为 20° 和 30° 两种方案，来模拟复杂观测环境。仿真结果如图 10～13 所示，并统计不同截止高度角下，组合系统平均可见星数和 GDOP 平均值的变化范围，结果如表 2 所示：

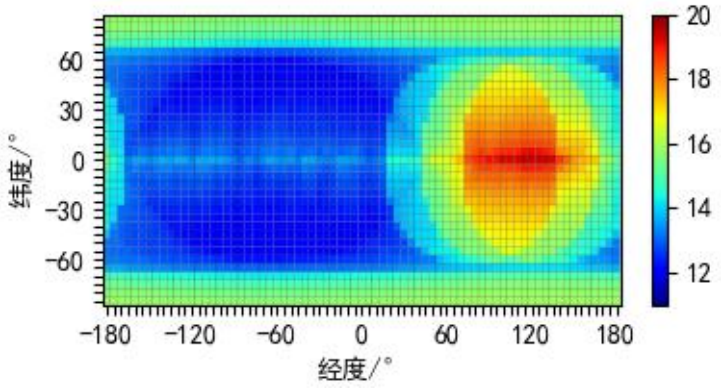


图 10　BDS-3/GPS 组合系统全球平均可见星分布（截止高度角 20°）

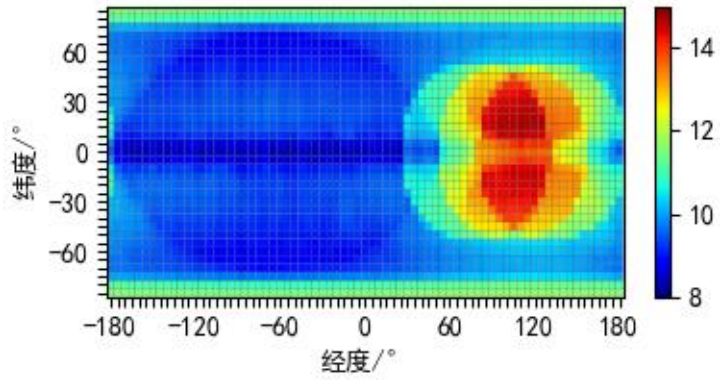


图 11　BDS-3/GPS 组合系统全球平均可见星分布（截止高度角 30°）

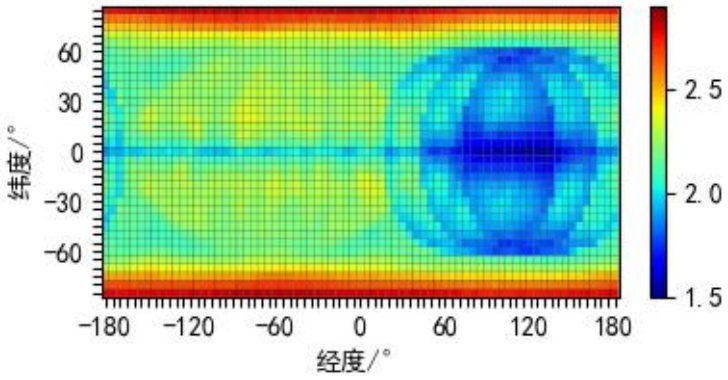


图 12　BDS-3/GPS 组合系统全球 GDOP 平均值分布（截止高度角 20°）

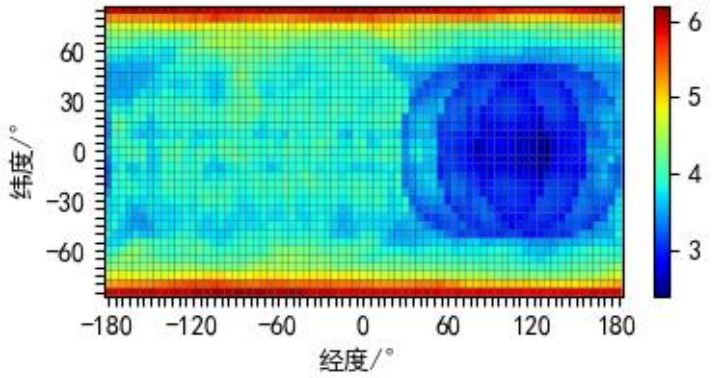


图 13　BDS-3/GPS 组合系统全球 GDOP 平均值分布（截止高度角 30°）

表 2 组合系统平均可见星数和 GDOP 平均值统计

截止高度角/deg	平均可见星范围/颗	GDOP 平均值范围
10°	15.4～24.15	1.14～1.72
20°	11.9～19.57	1.53～2.83
30°	8.28～14.75	2.43～6.13

由图 10、11 及表 2 可知：当卫星截止高度角为 20°时，平均可见星数在 11.9～19.57 颗之间变化，相比卫星截止高度角为 10°时，平均可见星数下降了 20%左右；当卫星截止高度角为 30°时，平均可见星数在 8.28～14.75 颗之间变化，相比卫星截止高度角为 10°时，平均可见星数下降了 40%左右；因此随截止高度角的增大，组合系统可见星数明显下降，但仍可以满足组合系统定位至少需要观测到 5 颗卫星的要求。

由图 12、13 及表 2 可知：当卫星截止高度角为 20°时，GDOP 平均值在 1.53～2.83 之间变化，相比卫星截止高度角为 10°时，GDOP 平均值增加了 50%左右；当卫星截止高度角为 30°时，GDOP 平均值在 2.43～6.13 之间变化，相比卫星截止高度角为 10°时，GDOP 平均值增加了 176%左右；因此随截止高度角的增大，组合系统 GDOP 值显著增大，但几乎 98%以上的观测点 GDOP 平均值保持在 6 以内，仅两极地区部分观测点 GDOP 平均值略大于 6，可以满足绝大多数用户对定位精度的要求。

综上，在复杂观测环境下，组合系统在全球范围的平均可见星数明显下降，GDOP 平均值显著增大，但整体定位性能仍然可以满足定位导航的需求。

5 结束语

本文基于 STK，在全球范围内设置了 2520 个观测点，对比分析 BDS-3、GPS 及 BDS-3/GPS 组合系统在全球的卫星可见性和 GDOP 值，并进一步研究了 BDS-3/GPS 组合系统在复杂环境下的定位性能，得出如下结论：

1）北斗三号在东半球中低纬度定位性能最优，而西半球可见星数较少，定位精度低。GPS 在两极地区虽然可见星数多，但卫星仰角小，导致定位精度低于中低纬地区；

2）BDS-3/GPS 组合系统在良好观测条件下（卫星截止高度角设为 10°），相比单系统，定位性能改善

明显，有效弥补了各单一系统在局部地区卫星可见性差和定位精度低的问题；

3）在复杂观测环境下，组合系统在全球的定位性能有所下降，但仍能满足绝大多数用户对定位导航精度的要求。

综上，北斗三号在重点服务亚太区域的同时，也需要提升其在西半球和两极地区的服务性能，与 GPS 实现兼容与互操作，进行组合导航，充分发挥两系统的优势，拓展北斗在全球的应用，将是未来全球卫星导航系统的重要发展方向。

参考文献

[1] 北斗卫星导航系统发展报告（4.0 版）[R]. 北京:中国卫星导航系统管理办公室,2019.
[2] 张怀,聂兆生,刘刚等.基于 BDS/GPS 融合的精密单点定位解算策略与实测精度[J]. 地球科学与环境学报,2022,44(05):802-813.
[3] 卢鋆,宿晨庚,胡敏等.北斗三号系统互操作实现与性能分析[J]. 中国科学:物理学 力学 天文学, 2021, 51(01):26-39.
[4] 倪煜淮,许杰,邹永刚等.北斗三号系统与 GPS 定位性能仿真对比分析[J]. 海洋测绘, 2019, 39(04):71-74.
[5] 杨毅,胡洪,解雪峰等.BDS-3/GPS 在遮挡环境下定位性能分析[J]. 全球定位系统, 2021, 46(03):104-110.
[6] 程建华, 李哲欣, 刘佳鑫. 基于精密星历的极区卫星导航系统性能分析[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(08) :3020-3028.
[7] 蒋炜, 陈新鹏, 赵光俊, 等. 北斗卫星导航系统的定位效能评估方法[J]. 现代雷达, 2022,44(06):70-76.
[8] 北斗卫星导航系统公开服务性能规范（3.0 版）[S]. 北京:中国卫星导航系统管理办公室, 2021.
[9] 弋耀武,龚辉,陈兆源. 全球卫星导航系统建设发展的启示[J]. 经纬天地, 2022, No.208(05):57-59.
[10] 曹翔. BDS-3 与 GPS 在极地的定位性能对比分析[J]. 现代导航, 2022, 13(01):7-11+15.
[11] 武秀广. TLE 两行星历数据参数解析[J]. 数字通信世界, 2020, No.188(08): 66-67.
[12] 倪博文. 基于 STK 的典型机场 BDS 性能分析[J]. 全球定位系统，2020，45（05）：46-50.
[13] 董天宝,唐健,曾芳玲. 基于 K 均值聚类的新型选星算法[J]. 计算机仿真, 2022, 39(11):22-26.
[14] 吴有龙,杨忠,陈维娜等. 北斗单系统及多 GNSS 系统组合全球卫星可用性分析[J].弹箭与制导学报, 2021, 41(01):18-23.

作者简介：

曹翔(1991-)，男，硕士，讲师，江苏航运职业技术学院，主要研究方向为北斗导航。
通信地址：江苏省南通市经济技术开发区通盛大道 185 号
电话：13912293289 E-mail: 13912293289@163.com

回流区影响下超大型船舶靠离泊安全操纵探析

韩亚峰[1]，窦伟[2]，胡北平[3]

（1. 长江引航中心江阴引航站，江苏 江阴 214400，

2. 长江引航中心安技部，江苏 江阴 214400，

3. 长江引航中心武汉引航站，湖北 武汉 430000）

摘要：受回流区影响，超大型船舶靠离泊操纵穿越流场切变线过程中，船首部尾部受到相反方向的流压力会造成船舶偏转，严重的偏转直接威胁到船舶的靠离泊安全。本文通过分析回流区的成因、特点及对船舶靠离泊的影响，从理论上计算在不同靠离泊角度和流速作用下，船舶受到的流压力转船力矩，对比拖轮可以提供的有效的转船力矩，得出安全靠离泊的极限角度，给现实操作提供建议，减少事故的发生。

关键词：回流区；流场切变线；流压力；转船力矩

0 引言

近年来，进江船舶大型化的趋势愈发明显，船舶越大回流区对靠离泊操纵的影响就越大。目前业内学者对回流区的研究更多的是在船舶航行方面，对码头外档小范围回流区对船舶靠离泊的影响研究较少。受回流区影响的码头，大多都会对靠离泊操纵提出一定程度的限制，从某种程度上限制了港口的靠泊能力和竞争力。本文将以录安州码头为例，通过实船分析计算回流区对超大型船舶靠离泊操纵的影响。

1 回流区的成因及特点

1.1 回流区的成因

回流的成因可解释如下，假设有一岸咀深入江中，则流向岸咀的水流受阻，流速降低，动能转化为压力势能，使岸咀上方的局部水域内流压力升高，引起靠岸边的水向上倒流，称为压力回流。而岸咀下方靠近岸边的水域，受岸咀的阻挡，水体被主流带走会形成一定范围的低压力区，这些低压力区和其下方水体形成的压力差则吸引岸边水流向上游倒流，称为吸力回流[1]。如图1所示。

图1 回流的成因示意图

Figure 1 Schematic diagram of the origin of backflow

水流受岸咀阻挡的同时产生斜流，斜流和主流交汇过程中，由于流向不同两股流会相互干扰，在水面会形成一股明显的流态紊乱的水流，内河称为夹堰水，海上也有类似的水流一般在岛屿较多的水域出现，有学者称为流场切变线[2]（切变线是源于气象术语）。而在流场中夹堰水两侧会出现两种性质不同甚至是相互对立的水流，本文也称这种流态紊乱的水流（夹堰水）为流场切变线。如图2所示。

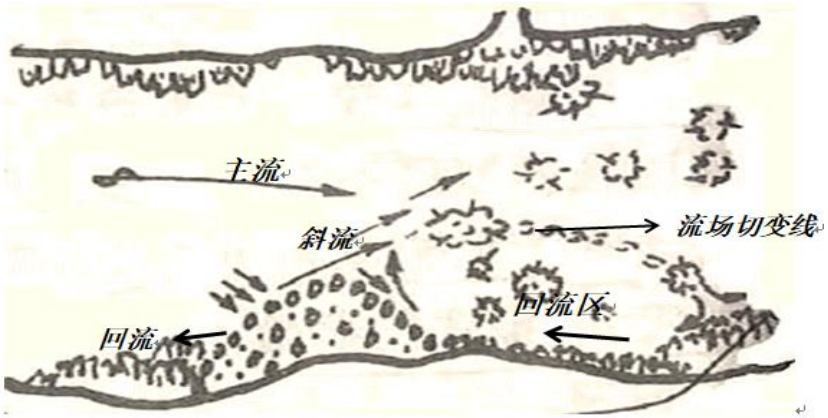


图2　两股不同流向的水流汇合

Figure 2　Two streams of water with different flows converge

在流场切变线的一侧形成回流区[3]，与主流流向相反，受岸咀大小、角度影响形成的回流区范围大小也不同，本文把录安洲码头影响船舶靠离泊安全的回流区[4]作为重点分析。

1.2 回流区的特点

录安洲主码头走向东南到西北（321°），受上端岸咀影响，落水流期间白天在码头外档江面上可见一条明显的分界线，宽度大概10-20米，即流场切变线。流场切变线北侧为主流区，流场切变线上流态紊乱，切变线会随主流速的变化发生小范围的偏移，在码头中段以下切变线基本与码头平行向下游延伸，南侧为回流区，与主流向相反，据观测回流速约为主流速的½左右，回流区范围距码头80-100米。如图3所示。回流区只在落水流期间出现，录安洲港区受潮汐的影响，在枯水期大潮汛时码头附近转为涨水流，回流区消失。

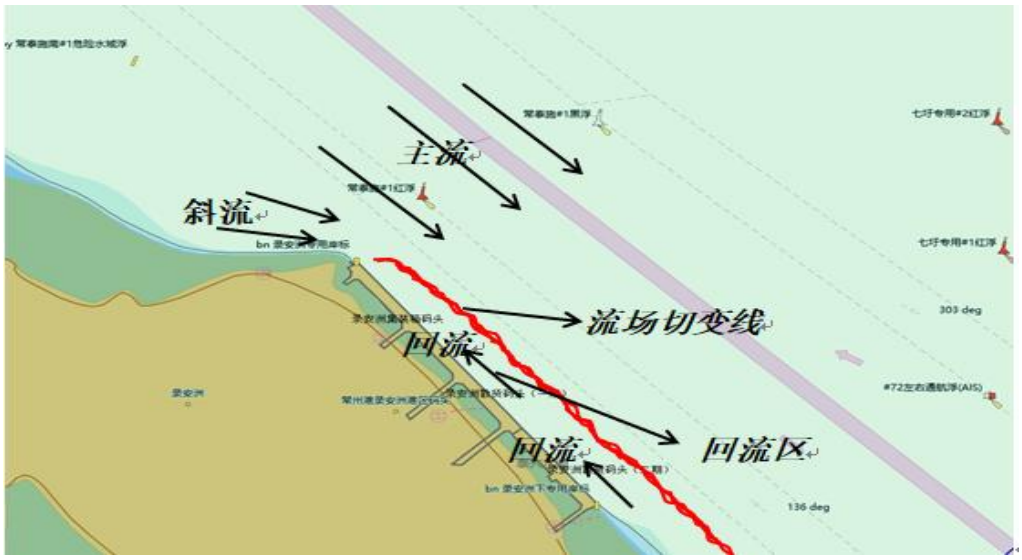


图3　录安洲码头外档水流分布情况

Figure 3　Water flow distribution in Lu anzhou Wharf

2 回流区对船舶靠离泊的影响

常规码头靠泊时，在一定的靠泊角度下，船首部尾部受流压力方向一致，都使船舶靠拢码头，不引起船舶偏转。离泊时在一定的外张角度下，船舶首尾受流压力使船离开码头，也不引起船舶偏转。见图4

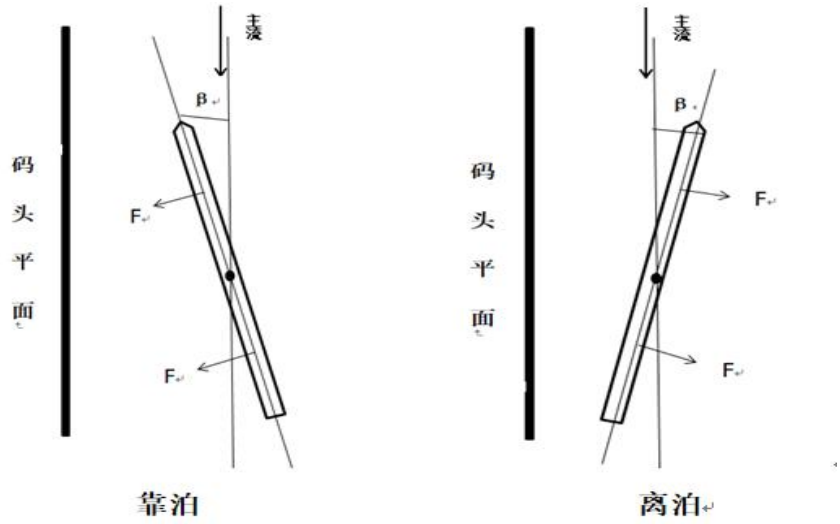


图4　常规码头船舶靠泊时受流压力

Figure 4　Flow pressure of ships at conventional docks when berthing and leaving

回流区靠离泊时[5]，流场切变线两侧水流反向，当船舶首和尾处于不同的流场中，流压力使船舶产生偏转力矩，造成船舶偏转，若偏转不能及时纠正会造成船舶航向失控。待船身完全进入回流区后，船舶处于顺流靠泊状态，靠泊横距比较小，若靠泊角度不当则极易发生触碰码头事故，见图7。离泊时因码头距离主航道较近，船流密集时不得不在码头外档水域等待空档再掉头下行，若此时船舶有一定的外张角度，船舶首尾处在不同的流场中，水流形成的转船力矩使船舶偏转，由于船舶在等待过程中速度比较慢，用车舵短时间无法克服船舶偏转，极易与周围船舶发生事故，见图8。

3 船舶受流的偏转力矩以及拖轮可提供的有效转船力矩

3.1 船舶受流压力受力分析

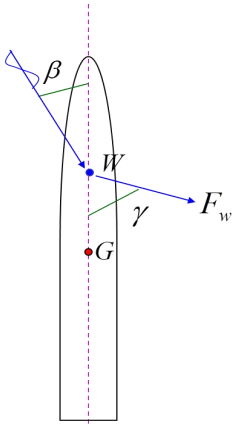


图5　船舶受流压力受力分析

Figure 5　Force analysis of ship under flow pressure

如图5所示,船舶受流压力计算公式[6]：

$$F_w = \frac{1}{2}\rho_w {V_w}^2 C_w L d$$

式中：Fw为流压力，单位N；ρw为水密度，取1000kg/m^3;Vw为流速，单位m/s；L和d分别为船长和吃水，单位m;C_w为水动力系数，由于横向水动力远大于纵向水动力的影响，所以一般情况下只考虑船舶横向水动力系数，其数值随着船舶漂角β和水深和吃水比值变化而变化，其数值可从船模实验数据查表确定，图6所示。

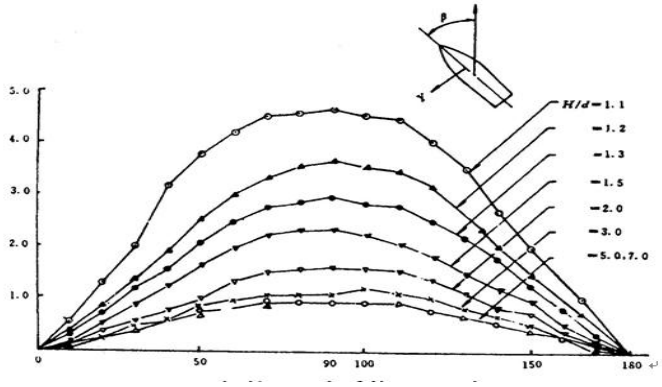


图6　船舶水动力系数与水深吃水比

Figure 6　Ship hydrodynamic coefficient and water depth draft ratio

录安洲码头外档水深23米，靠泊录安洲的船舶吃水普遍在11.36米，水深比吃水约为2，从表中查得横向水动力系数Cw最大约为1.5。从水动力系数随迎流角的变化关系曲线中可以看出二者基本符合正弦函数的变化关系，由此得出不同迎流角对应不同的横向水动力系数数值。见表1

表1　横向水动力系数与船舶迎流角的对应关系

Table 1　The corresponding relationship between the transverse hydrodynamic coefficient and the ship's Angle of attack

β	5°	10°	15°	20°	25°	30°	90°
Cw	0.14	0.26	0.39	0.51	0.63	0.75	1.5

超大型船舶以靠泊录安洲码头的CAPE型船（SUNY　SKY，L=292m，LBP=283m，d=11.36m。）为例计算船舶受流压力情况[7]。假设流场切变线正好处在船中，此时船舶受到的转船力矩最大，我们以这个极限位置计算船舶首尾受力情况[8]。如图7所示。

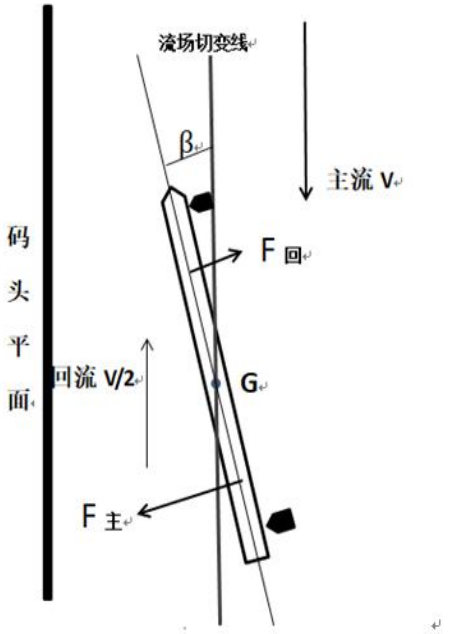


图7　靠泊时经过流场切变线时船舶受力情况

Figure 7　Stress of ship passing through shear line of flow field during berthing

常州港主要受落水流影响，流速以1-2m/s的流速影响为主，洪水期≥2m/s，正常靠泊角度不超过30°。船舶靠泊过程中穿越流场切变线时不同角度首尾受流横向压力情况计算见表2。

表2　CAPE型船经过流场切变线时首尾受流横向压力

Table 2　Transverse flow pressure at head and tail when a Cape ship passes the shear line of flow field

	流速		
	V=2m/s	V=1.5m/s	V=1m/s

迎流角	船首部	船尾部	首尾流压力之和	船首部	船尾部	首尾流压力之和	船首部	船尾部	首尾流压力之和
5°	113	450	563	63	253	316	28	113	141
10°	209	836	1045	118	470	588	52	209	261
15°	314	1254	1568	176	706	882	78	314	392
20°	410	1640	2050	231	923	1154	103	410	513
25°	506	2026	2532	285	1140	1425	127	506	633
30°	603	2412	3015	339	1357	1696	151	603	754

CAPE 型船首部、船尾部受流压力，单位 KN

靠泊过程中经过流场切变线时，船舶首尾受流压力产生转船力矩，使船舶右转，横向流压力的大小，上面已经计算得出，流压力臂基本上为船长（LBP）的一半。所以可以计算得出流压力产生的转船合力矩：M=（F主+F回）*L/2。

船舶离泊时受力见图8

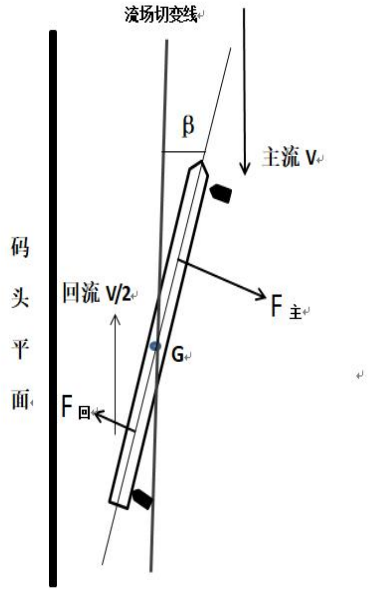


图8　船舶离泊时经过流场切变线时受力情况

Figure 8　Stress of ship passing through shear line of flow field when departing from berth

船舶离泊时，受下游大桥通航高度的限制，离泊时载重状态和靠泊时差别不大。离泊时在与流场切变线交角相同情况下，首尾受力大小和靠泊时相反，而产生的转船力矩和靠泊时大小相同，方向相同，都使船舶向右偏转。计算结果见表2。

3.2 拖轮提供的转船力矩

常州港拖轮情况：金帆拖4001（4000HP），盛禾6（3600HP），海宇拖219（3600HP）,瑞志8（4000HP），泊时首尾拖轮配备依次为瑞志8、金帆拖4001、盛禾6、海宇拖219，中间两个拖轮距离船中都比较近，可产生的最大转船力矩也较首尾两个拖轮小，大概只有首尾拖轮的一半效果。拖轮受流影响的情况下，协助海轮靠离泊首先要考虑自身先克服流的影响，综合考虑流和船速的共同影响，拖轮顶推时可发挥的效果按照其功率的80%计算，由于此类船舶干舷较高，拖轮后退时缆绳与水平夹角比较大，拖轮后退效果只能按50%计算。

一般经验估计认为：每1000kW的全回转拖船能提供的拖力为199.92kN[9]，顶推时推力按此换算，则4000HP拖轮可提供的最大力为577KN,顶推时按照80%计算则为462KN，后退时按照50%计算则为289KN;3600HP拖轮为517KN，80%则为414KN,50%为256KN。船舶靠离泊时，若首尾各只有一条拖轮则可提供给船舶的最大转船力矩：M=（船首顶推力+船尾拖力）*L。实际计算得到两条拖轮的最大转船力矩：M=721KN*L=1442KN*L/2。CAPE型船靠泊时，日常操作中8、9仓位置的拖轮基本上做顶推使用，而2、3仓位置的拖轮由于距离船中较近，顶推效果只有船首拖轮一半，综合考虑则可得到靠泊时拖轮可提供的最大转船力矩为1673KN*L/2。CAPE型船离泊时，首楼只有瑞志8带缆，金帆拖4001左舷船首待命，船尾海宇拖219可以全速后拖，盛禾6处在待命状态，综合考虑这些因素离泊时拖轮可提供的最大抑制船舶偏转的力

矩为1442KN*L/2。

3.3 水动力转船力矩与拖轮有效转船力矩比较

当拖轮可提供的有效转船力矩大于水动力转船力矩时，船舶的偏转才能得到及时有效的控制。不同靠离泊角度和流速状态下，拖轮纠正船舶偏转的能力见表3。

表3 不同靠离泊角度拖轮纠正船舶偏转能力

Table 3 Deflection correction ability of tugs with different berth angles

迎流角	流速 2m/s	流速 1.5m/s	流速 1m/s
5°	可以	可以	可以
10°	可以	可以	可以
15°	困难	可以	可以
20°	不可	可以	可以
25°	不可	困难	可以
30°	不可	不可	可以

表3中可得出，流速2m/s时，船舶与切变线夹角15°时，用拖轮将很难抑制其偏转；流速1.5m/s夹角25°时用拖轮也很难纠正其偏转，基本上与实船操作一致。

4 靠离泊安全操纵实例

4.1 靠泊安全操纵[10]如图9所示。

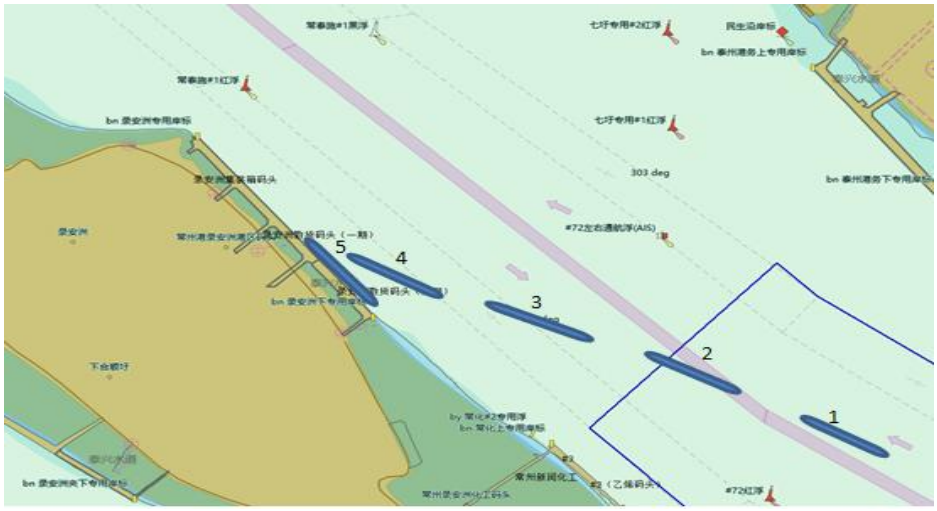


图9 船舶靠泊安全操纵示意

Figure 9 Schematic diagram of ship berthing safe operation

CAPE型船（希罗多德 292/11.36，落水流4节，回流2节，船首至船尾拖轮依次为瑞志8、金帆拖4001，盛禾6、海宇拖219）上行靠录安洲码头，确保机械设备正常工作，过71#黑浮带好首尾拖轮，平72#红浮时，船位控制在上行通航分道偏分隔带一侧，距离码头1mile左右，航向295°，如图9所示船位位置1，速度控制在5-6节。船位穿过分隔带后到达位置2，速度控制在4节左右，距离泊位0.7mile,航向300°，基本上与码头夹角在20°左右。船位到达位置3，进入下行推荐航路，距离泊位0.4mile,速度控制在3节以下，调整航向至307°，与码头夹角15°左右。船首到达流场切变线时速度控制在2节以下，距离泊位0.15mile,航向310°，确保船中到达切变线时速度控制在1节以下，船位到达位置4，距离泊位0.05mile,此时流压力转船力矩使船首右偏，令瑞志8和金帆拖4001顶船首减弱船首偏转的趋势，调整靠泊角度到5°左右，防止船舶右偏速度太快短时间无法抑制而发生危险，同时也可避免船首右偏过多出现靠泊的负角度，负角度太大（超过15°）导致船舶航向失控。待船舶完全进入回流区后，位置5，此时船舶基本入位，整体处于顺流状态，对地速速度控制在0节，回流使船体有向左偏转的趋势，此时令船首楼拖轮瑞志8“丁”字型放出拖揽做好随时后退的准备。待船身调整平行码头后，令船尾拖轮海宇拖219“丁”字型松出缆绳做好后退的准备，防止船尾靠拢速度过快。

4.2 离泊安全操纵[11]如图10所示。

图10　船舶离泊安全操纵示意

Figure 10　Schematic diagram of safe maneuvering of ship departing

离泊CAPE型船（中腾海　292/11.03，落水流3节，回流1.5节，船首至船尾拖轮依次为瑞志8、盛禾6、海宇拖219，其中金帆拖4001令其到左舷船首顶推协助掉头）。缆绳解清后，令瑞志8、盛禾6和海宇拖219“丁”字型放出拖揽先做好后退准备，位置1，受码头边缘回流的影响，须使船尾先离开码头，然后再使船首瑞志8后退，保证离泊时船尾离开码头的横距稍大于船首的横距。离泊到达位置2时，即流场切变线的位置，尽量使船身和码头平行，横距80米左右，金帆拖4001到左舷船首待命，若此时下水船舶较多，需要等待下行船驶过后才能掉头，在等待过程中要密切注意船首右偏的趋势，若出现船首右偏要及时纠正，避免出现右偏角度过大（超过15°）用拖轮无法纠正的局面。此位置是离泊过程的关键节点，特别是下行船多，需要等档掉头时。待下行船全部驶过后，位置3，在拖轮协助下向右掉头，同时解掉船尾拖轮，船尾拖轮只需顶推即可。到达位置4时，令船首瑞志8解缆，船尾顶推继续掉头操作，到达位置5时，令所有拖轮离开，同时本船逐渐加速慢慢进入下水航道正常下水。

5 操作建议与对策

（1）靠泊时避免过穿越航道过早，特别在流速比较大时（超过3节流），会导致靠泊时横距不足。在船位到达流场切变线时横距不足加上倒车的偏转效应使船首右偏，若纠正不及时很容易就出现靠泊的负角度，特别是对于重载大型船舶而言尤其要当心。

（2）抵达泊位下端时速度比常规码头要慢一点，确保在船中抵达流场切变线时速度控制在1节以内，避免倒车时间过长引起船首右偏严重。

（3）离泊时，提前观测下行船通航情况，掉头操作尽量一气呵成，避免在流场切变线附近等档掉头。

（4）回流区影响的码头，靠离泊之前先观察清楚回流情况，思想上需引起高度的重视，确保安全措施落实到位再操作。

（5）对于进江自引的海轮要尽量避免首次靠离回流区影响的码头，对有引航需要的船舶，应当安排本港引航员操作。

（6）超大型海轮靠泊时，海事部门加大现场通航秩序的维护力度，确保靠泊安全。

6 结论

本文针对超大型船舶回流区靠离泊过程中穿越流场切变线时受到的影响进行了量化分析计算，得出在不同流态和靠离泊角度情况下，船舶受不同流场的偏转情况，以及用拖轮能否及时有效抑制船舶的不利偏转，提出了一些合理的操作方法和建议，避免船舶靠离泊过程中出现极端角度而发生危险情况，希望能为提高码头的靠泊能力和港口竞争力提供一定的理论参考，也希望能为靠离泊此类码头的驾引人员提供一定的借鉴和指引，不足之处望各位同行多多指正。

参考文献

[1]刘明俊.航道与引航[M].北京：人民交通出版社,1999.

[2]胡中敬.“流场”的“切变线”概念[J].航海技术,2003（06）.

[3]曾亚军.进江海轮靠泊奇美化工的探讨[J].中国水运,2011（06）.

[4]杨旭辉.油船靠离南京炼油厂#3泊位操纵探讨[J].中国引航论文集,2017.

[5]赵雪光.“流场切变线”对大型船舶的操纵影响及对策[J].中国水运,2014（12）.
[6]陆志才.船舶操纵[M].大连:大连海事大学出版社,2000.
[7]王炜,李海蛟.大型滚装船长江受限水域靠泊模式探索与实践.南通航运职业技术学院报,2017.
[8]胡何洋.上海外高桥码头冬季风流临界靠泊法[J].中国引航论文集,2017.
[9]李义斌,陆悦铭.拖带中小型无动力船舶时拖船的使用及注意事项[J].世界航运2011（2）.
[10]李海龙.超大型船舶的操纵性及靠泊秦皇岛港操纵要点[J].航海技术,2009（5）.
[11]汤荣干,江原生.潮流河段大型海船离泊操纵的实践与探索.交通信息与安全,2009（2）.

作者简介：

韩亚峰（1982-），男，河南洛阳人，长江引航中心一级引航员，航海技术，电话：13601521903，邮箱：281116247@qq.com，通信地址：江阴市文化西路40号。
窦伟（1982-），男，江苏徐州人，硕士研究生，长江引航中心高级引航员，航海技术，邮箱：253521522@qq.com，电话：15190326116。
胡北平（1969-），男，湖北天门人，长江引航中心高级引航员，航海技术，电话：13812165901，邮箱1619911800@qq.com，通信地址：武汉市江岸区合作路13号君安大厦6楼。

关于京杭运河二通道通航与安全管理研究

金虹、马轩、施大龙

(杭州市交通运输行政执法队)

摘要：今年是京杭运河二通道的建成之年，“新运河”呼唤“新监管”，作为行业监管部门，要把风险想在前、准备做在前、工作干在前，提前做好通航前各项准备工作，切实拿出一套社会各界满意的二通道通航与安全管理方案。

关键词：京杭运河二通道；通航；安全管理

引言

京杭运河二通道的建成通航，将打通浙江省内河千吨级航道网的关键堵点，补齐全国水运版图“一纵”（“三横一纵两网十八线”高等级航道规划中唯一纵向高等级航道）最后一块拼图，对于国家推进交通强国、长三角一体化等重大发展战略，浙江建设世界一流强港和高水平交通强省和杭州城市经济发展、打造国际性综合交通枢纽城市都具有十分重要的意义。为保证二通道有序运行，对影响通航条件的各因素进行分析，并进行通航与安全管理研究，有助于提高安全运行效果，提升通航秩序。

1 通航及安全影响因素分析

1.1 航道技术标准

京杭运河二通道航道部分起点位于博陆，与杭申线相接，终点接八堡船闸上游（运河侧）引航道，全长 23.4 公里，为内河限制性Ⅲ级双线航道。航道底宽 45m，面宽 70m，设计水深 3.2m（硬质河床适当加深），最小弯曲半径 480m。桥梁通航净空尺度按照 60 m（宽）×7 m（高）控制，原则上一跨过河。

航道设计最高通航水位 2.4m（85 高程），设计最低通航水位 0.6m。

设计航道断面通过能力为 11000 万吨（双向）。

1.2 码头平面布置

航道内规划有明智、天万、丁塘和下沙作业区，其中下沙作业区采取顺岸式布置，其余作业区均采用了挖入式港池布置。

1.3 锚地容量

航道内设计有待闸锚地，从北到南，依次是东洋埭服务区、南庄应急锚地、前进服务区和德胜远程待泊区，均采用两档停靠。4 个锚地合计只有 28 个锚泊位，仅有东洋埭服务区考虑了海事艇的停靠功能，其余为纯粹的锚地，其中南庄应急锚地无陆域设施，尺度也偏小。

1.4 桥梁通航净空

航道共有跨航道桥 28 座，除沪杭高铁桥立柱进入航道面宽范围内外，其余桥梁均一跨过河。为对既有桥梁桥墩进行保护，对杭浦高速公路主线及匝道桥、德胜快速路大桥、九沙路大桥和沪杭高铁桥进行设计了防护工程。防护工程实施后，杭浦高速公路主线及匝道桥、九沙路大桥、沪杭高铁桥桥区范围内航道底宽不变，面宽有所收窄，分别收窄到 60m、66m、65m 和 60m。保证了全航道桥下 60m（宽）×7m（宽）的净空尺度。

1.5 船闸技术标准

八堡船闸位于京杭运河的最南端，沟通钱塘江和新开挖航道，船闸为Ⅲ级双线单级船闸，闸室有效尺度为 300m×23m×4.2m（有效长度×有效宽度×门槛水深），设计年单向过闸货运量通过能力（双线）为 4200 万吨。设计一次过闸平均吨位为 7500 吨，日平均工作小时为 20 小时，年通航天数为 310 天。

1.6 八堡船闸通航保证率

八堡船闸多年平均通航保证率 79.1%，以钱塘江正常的连续枯水年最高，可达到 85.7%；丰水年与多年平均数值、设计通航天数接近，保证率 78%。平水年介于两者之间，通航保证率 81.7%。

丰转枯年，连续丰水年中的孤立枯水年以及连续枯水年中的特枯年后第二年，通航保证率仅为71.6%。

钱塘江在年内同样有洪季和枯季，一般每年3到6月或4到7月为洪季，每年8月至次年2月为枯季，呈现洪冲枯淤的特点，洪水过后，容易出现边滩局部淤积，深槽移位。

2 主要通航及安全存在问题

2.1 锚地资源不足

二通道仅有4个锚地28个泊位，全程均为标准双线断面，参考鸦雀漾锚地的容量和日均300艘船舶的待泊量，一旦八堡船闸出现待闸时间较长或航道内出现事故，航道内的锚地远远不够，极易堵航，加上航道内缺少较宽航段作为缓冲，疏通困难。

2.2 潮汐影响较大

三堡至八堡航段是此次二通航开通后新增的钱塘江侧航段受潮汐影响大，特别是八堡船闸中门及外引航道，涌潮影响天数占全年的37.4%，通航率受到很大影响，同时呈现洪冲枯淤的特点，每年8月至次年2月枯季后容易出现边滩局部淤积、深槽移位等。

2.3 管辖存在争议

二通道横跨杭州、嘉兴两地市五个区（县），航道中心线与行政区域界线交织穿插，部分航道位于两地交界处，容易造成管辖争议或多头管理情况。

2.4 执法应急较慢

现有距离八堡船闸最近的港航执法点是海月桥所，约16公里，管辖距离较远；现有最近的拖船停靠在富阳老渔山码头，约40公里；现有救援船艇不能在45分钟到达八堡水域，达不到应急救援要求。

2.5 老运河定位问题

对京杭运河市区段及三堡船闸的定位是辅助通道，在通过能力范围内继续保留货运功能并作为“二通道”的疏通通道，但还没有配套建立主通道和辅助通道的运行规则和管理机制。

3 解题对策研究

为解决上述各项问题，通过制度建设，机制构建以及加大执法保障、应急力量等，推动京杭运河二通道通航与安全管理提质增效。制定《杭州航区干线航道锚地联动保畅方案》、《关于京杭运河二通道试通航期间实施交通管制的通告》、《八堡三堡船闸联动通航方案》、《杭州市交通运输行政执法队水上“三防”应急预案》、《京杭运河二通道水上交通安全监管机制建设专题会议纪要》综合规范通航与安全管理，不断提升执法效能，保障通航安全。

3.1 针对锚地资源不足的问题

3.1.1 健全锚地联动机制。根据二通道船舶流量和密度，制定三级联动保畅措施，同时利用远端管控合理分流，防止船舶密度过大。一是调整辖区锚地容量，特别是重新调整京杭运河杭州段、二通道、杭申线上锚地船舶容量，合理平衡过闸船舶和辖区装卸船舶停泊问题，最大程度发挥水上锚泊区作用。二是响应分级更加精细化，不同辖区不同时段不同水位的响应分级均有不同，以鸦雀漾锚地、二通道、富阳锚地、杭甬运河、浦阳江船舶流量为主要指标参考点，采用三级响应的方式，逐级联动。三是合理平衡三堡、八堡船闸流量，日常情况过闸船在进入杭州前可以自行选择三堡或八堡船闸（各船闸禁止通行船舶除外），各锚地达到相应预警时通过两闸间合理分流，达到锚地容量平衡，避免单边拥堵。四是响应范围扩大化，二级预警启动时就要通报临近地市，特别是二通道启动二级响应时过八堡船闸船舶需在湖州、嘉兴就近水域锚泊等待调度指令，一级预警时将采取跨市联动机制，禁止临近地市船舶进入杭州航区。

3.1.2 制定通航规则，明确船舶航行、停泊、避让规则和上行、下行方向，通过AIS、港易通APP等信息化平台向广大船员发布通航规则提醒。一是明确分流措施，由于京杭运河杭州段北星桥至三堡船闸段为五级航道，贯穿主城区，桥多且限制性桥梁多，规则以船舶尺度为主要分流依据，50米以上船舶（包括集装箱船）过闸的均走京杭运河二通道。二是明确航行秩序，以京杭运河二通道和京杭运河杭州段的通航条件和实际船速和尾浪的情况，明确了各航段的航速要求，以及船舶在航行中掉头、追越等行为的秩序。三是明

确锚地功能，为最大限度发挥八堡船闸的通航功能，解决八堡船闸待闸锚地容量小的问题，明确京杭运河二通道沿线锚地、服务区均为待闸船舶专用。四是明确避让行动，以实际水流现状及船舶操纵性能，规定京杭运河二通道接近八堡船闸为上行、远离八堡船闸为下行，进一步细化武林头、新市、博陆岔口的避让行为，明确交汇船舶哪条线来的要让哪条线，将避碰规则转化成实际易操作易理解的模式。

3.1.3 开展通航条件及安全评估。编制交通组织方案、风险评估、改善措施及预案，为通航安全提供技术支撑。

3.1.4 杭申线沿线增设临时应急锚地。缓冲分流二通道流量，避免二通道内流量过大造成堵航。

3.1.5 建立剩余泊位提醒告知系统。参考陆上车位余量告知系统，建立各锚地剩余泊位提醒告知系统。主要思路是通过在各锚地设置高杆摄像仪，通过图像识别系统自动判断剩余泊位数量并实时传输至设置在二通道喇叭口东西两侧合理位置的大型显示屏，提醒来往船舶选择锚地进行待闸。也可将剩余泊位告知系统集成到过闸船舶调度系统，船户在手机 APP 里就能时刻关注锚地泊位动向。

3.2 针对潮汐影响较大的问题

3.2.1 联合杭州市公路与港航中心、交投船闸公司制定八堡三堡两闸联动方案，将超尺度船、空载船先行分流至京杭运河杭州段二通道。

3.2.2 要求交投建管公司建立八堡口门维护性疏浚机制。提早加大疏浚预算，做好潮汐预测、航道断面扫测及应急疏浚。

3.3 针对管辖存在争议的问题

以杭州、嘉兴市交通局备忘录为基础，主动与嘉兴市交通主管部门商定二通道通航水域“一水一监、高效协同”的原则，由杭州市实施统一管理，具体负责水上交通执法、接处警、事故处理、通航管理、应急处置、锚地联动等。

3.4 针对执法应急较慢的问题

3.4.1 人员装备到位。在八堡船闸、东洋埭服务区各设 1 个执法中队，配备工作人员 28 人，执法艇 2 艘，疏港艇 1 艘，快艇 1 艘，负责相应水域的水上交通监管职责；在二通道前进服务区设置执法驿站，作为日常执法、应急处置临时办公点，应急物资存放点或便民服务点。

3.4.2 应急力量到位。在六堡码头配备 1 艘大马力应急救助船，以应对广大船员对新航线不熟悉，可能发生的搁浅、触碰等事故，第一时间现场处置。此外，要求船闸公司配备一艘拖轮和一艘吊机船。

3.5 针对老运河功定位问题

在充分研究论证基础上，在二通道足够分担的前提下，老运河除保留必要的“漕运”功能外，可通过三堡船闸限时分流降低高频率通航，为今后实行游船、游艇和货运船舶错时航行创造条件。

4 下一步工作思路

（1）切实关注八堡口门的应急疏浚，促成形成常态化的高效机制。

（2）健全完善八堡船闸至三堡船闸这段新航道的监管机制，开展安全课题研究，提供安全理论支撑

(3)稳步推进二通道常态化监管，加强安全巡查、隐患排查力度。

（4）扎实推进交通组织方案，开展方案实施后评估，加强风险评估，开展应急演练或桌面推演，不断完善相应预案。

（5）加强信息化应用，大力推进非现场检查和执法。

（6）逐步降低老运河货运功能，助力推动发展水上客运、旅游及游艇等新业态经济。

5 结束语

作为杭州交通执法部门应勇挑重任，当好“开路先锋”，尽早适应二通道对杭州港水运带来的重大影响，通过谋划管理方式、主动创新服务内容，扛起建设交通强国的使命担当，为建设人民满意交通提交优质答卷。

参考文献

[1]京杭运河二通道通航条件及安全评估[R].杭州市综合交通运输研究中心，2022：14.
[2]杭州航区干线航道锚地联动保畅预案[Z].杭州市交通运输行政执法队，2023：1.
[3]关于京杭运河二通道试通航期间实施交通管制的通告[Z].杭州市交通运输行政执法队，2023：1.

作者简介：

金虹（女），大学本科，高级经济师，电话 13857110022，电子邮箱 984134504@qq.com，
（杭州市交通运输行政执法队，浙江省杭州市拱墅区朝晖路 122 号 310005）
研究方向为船舶通航与安全管理、船舶防污染管理等海事管理

马轩（男），大学本科，工程师，马轩，电话 15968114911，电子邮箱 471167391@qq.com,杭州市交通运输行政执法队地方海事大队，研究方向为船舶通航与安全管理、船舶防污染管理

施大龙（男），大学本科，经济师，电话 18868711946，电子邮箱 279136280@qq.com,杭州市交通运输行政执法队运河港航大队，研究方向为船舶通航与安全管理、船舶防污染管理

复杂水域下大型桥墩钻孔平台水上拖航安全保障研究

李子强[1] 汪益兵[1] 谢广伟[2]

（1.浙江国际海运职业技术学院；2.舟山引航站 ）

摘要：随着我国“海洋强国”战略的深入实施，有大量海工装备不断建造，其 移动主要采用水上拖航的方式进行。文章以有别于传统海工装备的大型桥墩钻孔平台为例，针对拖航所经复杂水域的实际情况，结合有关规范、标准和规定，从拖力配备分析、拖缆长度计算、拖航编队设计和航线规划等方面进行拖航安全分析，并针对性提出拖航安全保障建议。

关键词：复杂水域；钻孔平台；水上拖航；安全保障；桥墩

随着国家“海洋强国”战略的深入实施，涉海制造业快速发展，大量的海工装备在我国建造，为海洋经济的发展注入了新动力。这些海工装备如石油钻井平台、FPSO、浮船坞、海上施工平台等，自身大多无车无舵无自主航行能力，主要采用水上拖航方式进行移动。海工装备由于自身尺寸大、惯性大、操纵受限等特点，加之港口水域不仅水深、宽度等受限，还存在流速快、碍航物多、通航密度大、交通管制要求高、环境复杂等因素，使得拖航过程面临诸多危险，一旦操作不当极其容易引发安全事故，危及自身和周边船舶及航道通航安全，甚至对水域造成污染。目前，国内外学者对大型海工装备水上拖航方案和拖航安全已有不少研究，如李伟[1]等对大型钻井平台“勘探六号”进江拖航方案进行论证分析，系统分析“勘探六号”进江拖航的主要通航安全风险并提出相关的建议；李伟峰等[2]针对钻井平台进行拖航阻力计算分析；王桐[3]等对大型半潜驳进狭窄港池拖带作业进行分析，针对操作难点提出对策建议；陶杰锋[4]针对拖带大型无动力船舶所需航道宽度及可利用航道宽度进行研究等。当前学者主要集中在对拖航阻力进行计算分析，以及特定水域环境下对特定物体（FPSO、石油钻井平台、遇险船舶等）的拖航风险、影响因素等研究，但针对大型桥梁桥墩施工平台在复杂水域的拖航安全保障研究较少。本文以甬舟铁路西堠门公铁两用跨海大桥桥墩钻孔平台为例，就其在复杂水域下的水上拖航安全保障技术进行研究，以确保其拖航作业安全，保障航道通航畅通。

1 钻孔平台拖航概况

甬舟铁路西堠门公铁两用跨海大桥位于舟山市西堠门水道上，既有 G9211 甬舟高速公路西堠门大桥以北 2.8km 处。由主桥和两侧引桥组成，全桥总长 3105.584m，其中主桥（公铁合建段）长 2664m，采用主跨 1488m 斜拉悬索协作体系桥，建成后将成为世界上跨度最大的公铁合建桥梁。大桥梁宽达 68 米，也是世界同类型中最宽的桥梁。据设计方案，大桥册子岛侧 5#主塔采用直径 6.3 米的钻孔灌注桩基础，是国内直径最大的桥梁钻孔桩基础，基础总体施工方案采取先平台后围堰，钻孔平台桁架在生产船厂加工好后，整体浮运至施工现场。

1.1 钻孔平台概况

钻孔平台桁架横桥向长 98.4m，纵桥向宽 77.2m，桁高 10.9m，在桁架底部设置 24 组独立隔舱体，可提供 9900t 浮力（浮箱高 4.3m），平台浮运结构总重约 7570t，浮箱吃水 3.22m 左右[5]。平台布置图和实景如图 1～3 所示。

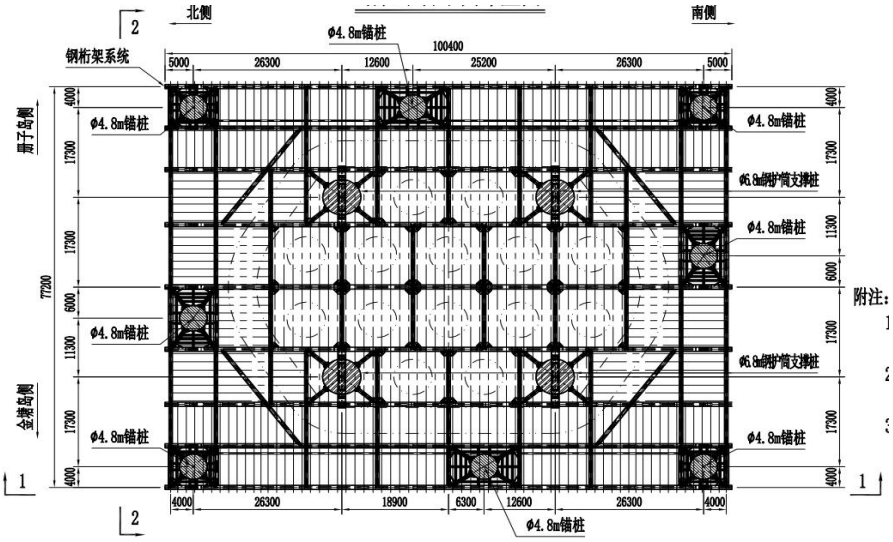


图 1 钻孔平台面布置图

图 2 钻孔平台侧视图

图 3 钻孔平台俯视图

1.2 拖航环境条件

宁波舟山港中部港区航道航路交织，交通流密集、通航环境复杂，航道水深大、宽度窄、潮流急，流向复杂多变；其灌门航道、龟山航道不仅狭窄弯曲，而且上有桥梁或架空电缆，下有海底光缆或管道；大量渔船在近岸捕捞作业，碰撞事故高发，因此这片水域是最具有代表性的复杂水域。此次拖航从金海重工船厂到施工水域现场，主要经过中部港区的龟山航道、舟山中部西航道南段、西航路、到达西堠门北口。

1.2.1 航道条件

龟山航道按 5 万吨级船舶乘潮双向通航设计，设计通航水深 14.5m。龟山航门峡口以外航道宽 800m、峡口内段宽 500m。瓦窑门山与小黄沙山咀之间跨海电缆垂悬线最低点高程 48.4m(黄海高程)。舟山中部港域西航道最浅水深 10.2m，航道设计通航水深 12.2m，航道控制宽度为 500～1000m。进五虎礁公共航道段宽度按 500m 控制，通航水深近期为 15.5m。规划西堠门大桥支线航道宽度 800m，通航水深 12.5m。

1.2.2 跨海桥梁

拖航沿线途径秀山大桥、舟岱大桥两座跨海桥梁。秀山大桥主桥设计通航净空高度为 54.5 米，通航宽度 778 米；舟岱大桥主通航孔单孔通航宽度 475 米，能满足 10 万吨级油船全潮水双孔单向通航要求，

1.2.3 水文气象条件

舟山海域属于非正规半日潮流海区，每日二次涨、落潮流过程的周期有所差异，潮流强度亦不相同。龟山航门内涨潮为西流，落潮为东流，流速 5～6 节，航门内有急流，流急时不宜航行。本海区属亚热带季风气候区，冬季多偏北风，夏季多偏南风，春秋季为两种季风过渡期。

2 拖力配备计算分析

2.1 钻孔平台拖航阻力计算

根据《海上拖航指南》（2011）给出的海上拖航阻力估算方法进行钻孔平台阻力计算：

$$R_T = 1.15[R_f + R_B + (R_{ft} + R_{Bt})]\quad（1）$$

式中：

R_f 指被拖物的摩擦阻力（KN）；

R_B 指被拖物的剩余阻力（KN）；

R_{ft} 指拖船的摩擦阻力（KN）；

R_{Bt} 指拖船的剩余阻力（KN）。

$$R_f = 1.67A_1V^{1.83}\times10^{-3}\quad（2）$$

$$R_B = 0.147\ \delta A_2V^{1.74+0.15V}\quad（3）$$

式中：

A_1 指钻孔平台的水下湿表面积（m^2），根据平台形状计算$A_1 = L(B + 2d) = 98.4 \times (77.2 + 2 \times 3.22) = 8230m^2$；

V 指拖航速度，根据拖航水域潮流情况，按顶流 3 节、航速 5 节考虑；

δ指方形系数，平台形状不规则，缺乏线性变化，取最大值 1.0；

A_2 指浸水部分中横剖面积（m^2）。

根据式（2）（3）分别计算平台的摩擦阻力和剩余阻力如下：

$R_f = 1.67A_1V^{1.83} \times 10^{-3} = 1.67 \times 8230 \times 4.116^{1.83} \times 10^{-3} = 183kN$；

$R_B = 0.147\delta A_2V^{1.74+0.15V} \times 10^{-3} = 0.147 \times 1.0 \times 77.2 \times 3.22 \times 2 \times 4.116^{1.74+0.15\times4.116} \times 10^{-3} = 2039kN$。

最后根据式（1）可得到钻孔平台的总阻力为 253.8 吨。

另根据《海上平台拖航技术要求》（JT/T1364-2020）拖船总拖力应足以补偿风、浪、流等作用在海上

平台上的总外力，并有足够富余，通常为总拖力的20%～25%。

因此钻孔平台所需总拖力为

253.8×（1+20%）=304.6吨。

2.2 拖轮拖力配备分析

根据钻孔平台所需总拖力，经与承拖公司商讨研究，拟选用 12000 马力的“浩盈运 7”轮担任主拖；另两艘 4000 马力的拖轮和两艘 6800 马力拖轮担任辅拖，共同完成拖航任务，拖轮资料见表 1。

表 1 拖轮资料信息（m）

船名	型长	型宽	型深	吃水	马力	备注
浩盈运 7	60	16.4	7.2	5.2	12000 匹	主拖
和达拖 7	31.65	9.8	4.4	3.41	4000 匹	辅拖 1-2
和谐拖 16	31	10.18	4.5	3.05	4000 匹	
舟港拖 31	34.77	11.5	5.3	3.82	6800 匹	辅拖 3-4
舟港拖 32	34.67	11.5	5.3	3.73	6800 匹	

主拖船阻力 R_{FT} 和 R_{BT}，也按式（2）（3）近似计算：

$R_{fT} = 1.67A_1V^{1.83} \times 10^{-3} = 1.67 \times 1317.6 \times 4.116^{1.83} \times 10^{-3} = 29.302kN$；

$R_{BT} = 0.147\delta A_2V^{1.74+0.15V} \times 10^{-3} = 0.147 \times 0.8 \times 85.28 \times 4.116^{1.74+0.15\times4.116} \times 10^{-3} = 281.622kN$。

最后根据式（1）可得到主拖轮的阻力为 36.45 吨。同理可得四条辅拖阻力为 36.63 吨。所有拖轮并按照 20%预留，共消耗拖力 87.7 吨。

平台+拖轮总阻力为 304.6+87.7=392.3 吨。

目前所配备5艘拖轮按证书标注其系船柱拖力合计为426吨，大于平台和拖轮组成拖航船队的总阻力392.3吨，因此配备拖航船队拖力能够满足要求。

3 拖缆长度计算

根据《海上平台拖航技术要求》（JT/T1364-2-20），拖缆和海底间的静态间隙不少于 10%水深，在开阔水域最小值为 5m，在遮蔽水域或静水中最小值为 2m。拖航过程中拖缆下垂量可按下式计算。

$$H = \frac{\frac{W}{8} \times L^2}{9800F} \qquad (4)$$

式中：

H 为拖缆下垂量（m）；

W 为每米拖缆在水中的重量（kg/m）；

L 为主拖缆没入水中部分的长度（m）；

F 为拖船拖力（KN）。

本次拖航作业，规划航路最浅水深 7.6 米，根据式（4）可计算出拖缆长度 L。拖航航路沿线需经过舟山跨海大桥和秀山跨海大桥，根据《舟岱跨海大桥暂行管理办法》规定，拖航总长度超过 300 米的拖航船队，不得进入桥梁航道。综合考虑港内拖航沿线关键点（秀山大桥、舟岱大桥）要求和有关规范计算，主拖缆出缆长度应不超过 100m。

4 拖航编队方案设计

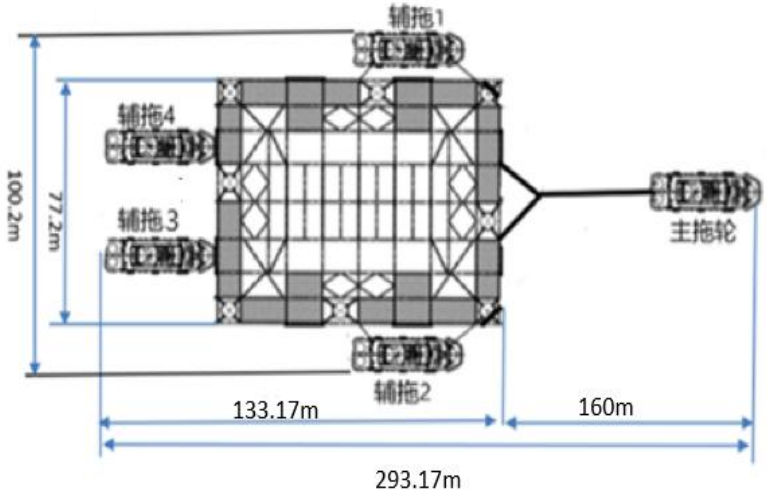


图 4 钻孔平台拖航船队示意图

拖带无动力平台时，需同时解决推进、制动、保向和变向等问题。采用吊拖加傍拖的方式，不仅可以很好地控制平台的方向，又可以提供较大的拖力，还能有很好的制动能力。因此本次拖航编队采用 12000 马力主拖轮在前部吊拖，能够提供最大的拖力和较好的操纵性，两艘 4000 马力辅拖在平台两侧傍拖、两艘 6800 马力辅拖在平台后方顶推，不仅能够很好的提供动力，还能协助平台进行转向、控制方向及时调整，防止转向不足造成危险。编队方案如图 4 所示，拖航船队总长度 293.17 米，总宽度 100.2 米。

5 拖航航线规划

钻孔平台在金海重工船坞加工好后，整体浮运至施工现场西堠门北口、册子岛侧。综合平台吃水、对港区交通组织的影响等情况，依据中国人民解放军海军海道测量局出版的现行版海图，并参照浙江海事局发布的浙江沿海公共航路规划设计拖航航线，如图 5 所示。

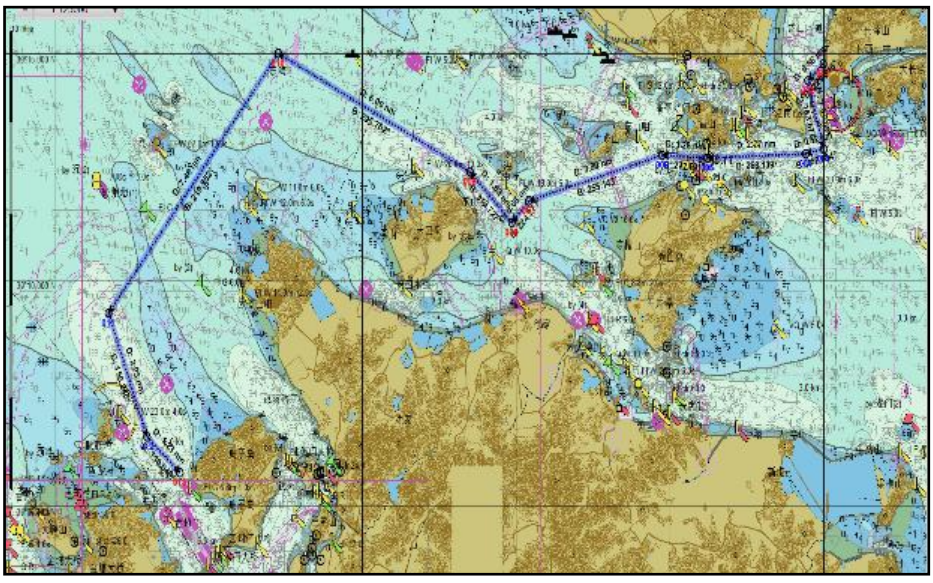


图 5 钻孔平台水上拖航航线规划设计

规划航线自金海重工船厂-岱山水道-龟山航道-舟山中部西航道南段-西航路-西堠门北口，共 13 个转向点，航程约 30.6n mile，拖航速度按 4.5kn 考虑，航行时间约 7 小时。

6 拖航作业难点

拖航规划航线离碍航物较近的位置位于岱山水道、龟山航门、舟岱大桥和西堠门北口等；其中在岱山水道与龟山航门连接处、峙中山南侧、大五峙和瓜连山之间等有多个大角度转向点；再者舟山中部港域水上交通流量大，潮流急，拖航沿线小型船舶数量较多，船舶会遇态势复杂，拖航作业风险较大，拖航作业

期间应精细化评估风险，运用良好船艺操控拖航船队，并制定应急安全保障措施，以策安全。

7 拖航应急安全保障建议

由于被拖钻孔平台尺度较大（长 98.4m，宽 77.2m），占用航道尺度大，会妨碍在航道内的船舶正常航行，对航道内交通流产生影响；再者拖航所经水域航道航路交织，船舶密度大、通航环境复杂，船舶之间存在一定的碰撞风险，因此，拖航期间应全程申请临时交通管制，并提出如下应急安全保障建议：

1）明确拖航作业限制条件，考虑到拖航环境复杂、平台设备结构特殊等，应选择在白天实施拖带，严格控制拖带气象条件：公共预报北向风力小于7级，其他风向小于8级；能见度大于2000米；风浪不大于3级。

2）拖航期间，申请一艘海巡艇在拖航船队前方提前进行扫航，清航；另安排两艘警戒拖船全程护航警戒，一艘警戒船在平台附近进行伴航（必要时作为备用拖轮使用）；一艘警戒船在平台后方应急警戒。

3）岱山水道狭窄，小型船舶众多，平台出坞及拖航期间禁止南、北方向船舶进入该水道。

4）从岱山水道大角度右转进入龟山航门时，主拖宜采用多次、小角度逐渐转入龟山航门，两侧辅拖协助平台转向；注意避免涨潮流将拖航船队压向江南山侧的风险。

5）拖航船队航经秀山大桥桥区水域，禁止任何船舶与拖航船队交汇。

6）拖航船队航经峙中山南侧水域，转向幅度较大，应充分利用辅拖协助平台转向。

7）拖航船队航经舟岱大桥桥区水域，注意保持船位在主通航孔中线附近。

8）西堠门航段，交通流密度大，两艘警戒船应提前布局警戒水域，拖航船队与交管中心保持密切联系；禁止其它船舶在此追越拖航船队。

8 结束语

大型桥墩钻孔平台不仅体量大，而且形状不规则、流线型差，其水上拖航作业无法事先模拟演练，是一项较为复杂且风险较高的工作。此次拖航的成功实施为大型海工装备水上拖航提供了实践经验：首先，相关单位高度重视，拖航前针对拖航所经水域做好从潮汐、潮流、航线关键点及天气情况的评估和拖航阻力、拖带长度等理论计算分析；拖航前，制定详细、缜密的作业方案，并对拖带作业关键性的作业方案、安全技术保障和应急预案等充分论证、严格把关；拖航中，充分借助现有的海事监管资源，向海事部门申请海巡艇护航警戒、必要时受限航段实施清航或限航、VTS 全程跟踪和维护，为拖带作业保驾护航。

参考文献：

[1]李伟，薛仕中等.“勘探六号”进江拖航的通航安全风险分析[J].船海工程.2016 年第 3 期，163-166
[2]李伟峰，史国友.钻井平台拖航阻力计算[J].船海工程.2017 年第 2 期，121-123
[3]王桐，李军等.大型半潜驳进狭窄港池拖带作业难点及对策[J].航海技术.2021 年第 11 期，23-26
[4]陶杰锋.拖带大型无动力船舶所需航道宽度及可利用航道宽度探讨[J].航海技术.2022 年第 2 期，14-17
[5]中铁大桥局集团有限公司施工设计事业部.西堠门公铁两用大桥工程 5#墩基础钻孔平台设计图[R].2022

作者简介：

李子强，浙江国际海运职业技术学院，副教授，主要从事交通信息工程、水上交通环境与安全保障研究；通信地址：浙江省舟山市临城海天大道 268 号，李子强（电话：18969257066），邮箱：408187256@qq.com
汪益兵，浙江国际海运职业技术学院，教授，主要从事交通运输工程、航海技术等方面研究；
谢广伟，舟山引航站，高级引航员，主要从事船舶驾引技术、引航安全保障研究。

基于虚拟仿真试验的椒（灵）江锚地调整方案及对策研究

柳良伟[1]，朱忻兰[2]

（1.浙江交通职业技术学院；

2.浙江海港内河港口发展有限公司）

摘 要：基于台州椒（灵）江锚地调整方案，在研读国内相关文献基础上，研究锚地调整方案可行性，针对不同工况（风、流）下，不同船型和不同尺度的船舶在锚地附近水域的锚泊工况问题，构建船舶运动仿真数学模型，采取对典型船舶模拟数据的统计分析的方法，提出各种天气水流工况下调整锚地的对策以及最佳锚地的建议，可为相关责任单位在跨海大桥施工期及营运期对桥区水域实施相关保障通航的管理提供依据。

关键词：虚拟仿真实验；锚地调整；对策研究

0 引言

台州市濒临东海，地处台风多发地区，各港区进港航道水深条件不佳，随着台州港的不断发展，大量海轮需要在外海锚地候潮、避风及检疫，对锚地的需求在不断增加，尤其是在太汛期间大量的船只需要在椒（灵）江内的锚地抛锚避风，锚地资源十分紧张。台州市灵江大闸枢纽工程的建设会对闸下椒（灵）江水域的水深条件和公共锚地面积及其使用造成一定影响，需要对工程建成后锚地锚泊能力进行科学的分析和评估，保障椒（灵）江公共锚地和船舶的通航安全。

在海港工程项目论证研究中，通过计算机开发虚拟仿真试验环境，并开展相应的虚拟仿真试验，针对海港工程的科学性和合理性进行论证和评估，可以为项目决策提供参考依据。在船舶操纵仿真试验研究领域，国内外学者都做了研究和应用。代鑫等[1]对锚泊作业过程及泊妥后的待闸状态所存在的安全风险进行深入分析，较为全面地对船舶待闸风险因素进行了整理总结。李瑞等[2]，针对目前国内各项计算仿真拉锚试验都在未考虑"风、浪、流、系泊绳及护舷等因素作用下的船舶运动"的问题,应用 AQWA 计算系泊状态下船舶的运动情况,将此作为输入条件在 SolidWorks 中进行船舶拉锚作业仿真。李兴盛等[3]，通过在无环境干扰和存在环境干扰下模拟仿真,证明智能靠泊系统数据传输正常、稳定性良好,具有实用价值。从上述内容可知当前涉及船舶虚拟仿真的研究一般针对船舶操纵为主，采用船舶操纵仿真试验来论证锚地调整方面参考文献相对较少。因此，基于船舶虚拟仿真试验的椒（灵）江锚地调整方案及对策研究具有一定参考价值。

1 锚地调整工程概况

台州市椒（灵）江锚地调整方案主要针对灵江大闸枢纽工程闸下椒（灵）江现状 10 块锚地，各锚地特征见下表 1-1、具体布置见图 1-1。

表 1-1 椒（灵）江锚地列表

锚地名称	现状锚地特征			用途	允许锚泊船舶		备注
	面积	底高程	底质		等级	艘数	
	(km^2)	m			t	艘	
灵江水云塘水域临时锚地	0.03	-2.2～-4.5	沙泥	船厂新建船舶舾装避风			闸上灵江段
灵江汛桥水域临时锚地（二）	0.16	-4.0～-4.9					
灵江汛桥水域临时锚地（一）	0.13	-1.6～-9.4					
灵江石村水域临时锚地	0.11	-3～-7.1					闸下灵江段
灵江涌泉段临时锚地（二）	0.12	-5.0～-7.1					
灵江涌泉段临时锚地（一）	0.38	-4.0～-6.0					
三山芦村作业区临时锚地	1.06	-4.0～-5.4					椒江段
台州海门港区机动船锚地	0.43	-7.1～-11.0	泥沙	待泊	5000		

注：海门港港内锚地（一）、（二）、台州海门港区机动船锚地特征值摘自 2015 年 3 月《台州港规划航道资料汇编》（内部资料），其余锚地特征值摘自 2012 年 10 月《椒灵江水域通航安全管理规定》

图 1-1 锚地位置示意图

2 虚拟仿真试验方案

本次船舶虚拟仿真试验需要建立模拟区域的平面数字地图、虚拟视景、六自由度船舶数学模型、确定模拟方案、船舶操纵试验和结果数据分析应用[4-7]。

2.1 数字海图和虚拟视景的构建

根据实地调研获取试验水域现有锚地、航道等通航要素技术资料和设计单位关于拟建工程设计相关资料，分别将其数字化后，对不同投影方式生成的数字化海图数据进行整理、变换，形成符合本模拟试验要求的数字化平面图[8]。通过实地调研和采集现有特征（标志性）建筑高分辨率视景影像材料为建模做准备，对实地拍摄视景数据进行预处理，获取真实材质和模型，并用 3D Max 或 AutoCAD 等主流建模工具进行三维模型建立及优化，然后将纹理材质图片进行渲染，生成真实感很强的三维模型[9][10]。

2.2 船舶运动仿真数学模型

根据工程水域水文、气象、航道尺度、船舶特征等环境参数，利用全任务大型船舶操纵模拟器对通航环境进行建模，建立符合实际环境的三维视景系统、建立 ECDIS 海图及具有六自由度（前后、侧移、船首向变化、纵摇、横摇、垂荡）的特征船舶数学模型。模型真实地模拟本船在开阔水域及限制水域的水动力学特征，真实地模拟本船在锚、车、舵、缆、拖轮作用下的多工况响应。

根据椒（灵）江航道现状主要通航船舶交通流量和尺度信息，本次船舶操纵虚拟仿真试验船型 500 吨

级、1000 吨级、3000 吨级典型船型作为试验主要船型。

图 1-2 典型船舶模型图

2.3 虚拟仿真试验方案

结合调研锚地所在水域的实际情况，可以确定：强风向基本也为西北一北北东。因此可以确定试验风向为：NE,NNE 两种状态。风速按照常用试验风速分类：3 级、6 级、9 级或台风（11 级）。

根据闸下灵江段的灵江石村水域临时锚地、灵江涌泉段临时锚地（二）、灵江涌泉段临时锚地（一）、三山芦村作业区临时锚地四处锚地的实际水文条件：流向基本为顺河道或者逆河道方向（包含潮流），即四个待论证锚地所在水域沿着河道主流方向，测试流速为 1.5 节，3 节，水深条件以电子海图为准。

根据工程代表船型选定与模型建立章节内容可知：500 总吨船舶、1000 总吨船舶、3000 总吨船舶三种船型及尺寸。根据椒（灵）江船舶通航的实际情况，对几种船型的载态可以分：为满载、空载、压载三种。根据闸下灵江段的灵江石村水域临时锚地、灵江涌泉段临时锚地（二）、灵江涌泉段临时锚地（一）、三山芦村作业区临时锚地四处锚地水域的地质情况，基本可以确定锚地地质为泥沙底质。同时，考虑到建闸后会对闸下水域产生一定的冲淤，等深线位置会发生变化，总体趋势是水深条件变成。为了有针对性的掌握建闸前后水深条件对锚泊实验成功的影响，因此在以冲淤后仿真实验为主，适当增加建闸前（现状）的模拟试验。

3 仿真试验分析

（1）建闸前后锚泊条件变化及锚地容量分析结论

根据电子河图开发与仿真试验结果分析，结合河床演变及冲淤情况，针对三山芦村作业区临时锚地、灵江涌泉段临时锚地（一）、灵江涌泉段临时锚地（二）、灵江石村水域临时锚地，在测算锚地面积的基础上，分别从建闸前、建闸后的海图水深大于 2.1m（以-5m 高程线为标准，乘潮最小 2.6m 潮高）锚地水域占锚地水域比重变化、水流条件变化、理想状态下 1000 吨级代表船舶船型的锚地容量、实际限制条件下 1000 吨级代表船型的锚地容量等结论如表 3-1 所示。

表 3-1 建闸前后锚泊条件变化及锚地容量分析结论表

锚地名称		三山芦村作业区临时锚地	灵江涌泉段临时锚地（一）	灵江涌泉段临时锚地（二）	灵江石村水域临时锚地
锚地		约1050000m^2	约397600m^2	约108500m^2	约122750m^2
建闸前	海图水深大于2.1m锚地水域占锚地比重	约28%	约61%	约74%	约23%
	水流条件变化	平均潮流 0.51-1.7m/s	平均潮流 0.78-2.1m/s	平均潮流 0.79-2.2m/s	平均潮流 1.15-2.3m/s
	理想状态下锚地容量（1000吨）	约8-10艘（风≤3级，流≤1.5节）	约4-5艘（风≤3级，流≤1.5节）	约1-2艘（风≤3级，流≤1.5节）	约2-3艘（风≤3级，流≤1.5节）
	实际限制条件下锚地容量（1000吨）	约6-7艘（风≤6级，流≤3节）	约2-3艘（风≤6级，流≤3节）	约1艘（风≤6级，流≤3节）	约1-2艘（风≤6级，流≤3节）
建闸后	海图水深大于2.1m锚地水域占锚地比重	约19%	约11%	约52%	约21%
	水流条件变化	平均潮流 0.51-1.7m/s	平均潮流 0.68-1.9m/s	平均潮流 0.54-1.9m/s	平均潮流 0.1-0.3m/s
	理想状态下锚地容量（1000吨）	约6-8艘（风≤3级，流≤1.5节）	约4艘（风≤3级，流≤1.5节）	约1-2艘（风≤3级，流≤1.5节）	约2艘（风≤3级，流≤1.5节）
	实际限制条件下锚地容量（1000吨）	约3-4艘（风≤6级，流≤3节）	约2-3艘（风≤6级，流≤3节）	勉强1艘（风≤6级，流≤3节）	约1艘（风≤6级，流≤3节）

（2）建闸后本项目四个锚地适泊性仿真分析结论

根据仿真试验分析，对于满载吃水 4.3m 的 1000 吨级代表船型，建闸后椒（灵）江锚地调整方案中的四块锚地适泊性优劣排序情况为：三山芦村作业区临时锚地>灵江涌泉段临时锚地（一）>灵江石村水域临时锚地>灵江涌泉段临时锚地（二），针对上述四块锚地，均无法实现全天锚泊，根据 2.5 节、3.6 节与 3.8 节分析，以典型潮汐为分析对象，可知四块锚地半日潮（乘潮时间分成两个时间段）总结可乘潮 2.6m 锚泊时间分别为：三山芦村作业区临时锚地约 12 小时，灵江涌泉段临时锚地（一）约 12 小时，灵江石村水域临时锚地约 10 小时，灵江涌泉段临时锚地（二）约 14.5 小时，上述锚地过程中均受到风、流、船舶锚泊操纵等条件的限制，限制条件下的锚泊仿真试验情况如下表：

表 3-2　限制条件下的锚泊仿真试验表

锚地名称	**仿真试验条件总结**	**限制条件下锚泊仿真试验结果总结**
三山芦村作业区临时锚地	共计设置 72 场试验，其中成功试验 48 场，失败试验 24 场	1）通过仿真试验可知，风>6 级且流>3 节情况下，锚泊仿真试验失败率高达 81.25%，不宜锚泊； 2）风速 6 级情况下（包括流速 1.5 节和 3 节），锚泊仿真试验成功率 71.3%，仿真试验基本问题体现为：船舶蹲底触底、存在一定走锚风险。 3）在压载和 6 级风以上情况下，船舶受风影响较大，容易出现船舶偏荡造成走锚。 4）风速 9 级或台风情况下，仿真试验基本问题体现为：锚地锚泊搁浅、锚泊位置偏离锚地、船舶蹲底触底、走锚风险增高、甚至船舶倾覆。

灵江涌泉段临时锚地（一）	共计设置 64 场试验，其中成功试验 33 场，失败试验 31 场	1）通过仿真试验可知，风>6 级且流>3 节情况下，锚泊仿真试验失败率高达 86.7%，不宜锚泊； 2）风速 6 级情况下（包括流速 1.5 节和 3 节），锚泊仿真试验成功率为 44.4%，仿真试验基本问题体现为：锚泊位置偏离锚地、船舶蹲底触底、存在走锚风险。 3）风速 9 级或台风情况下，仿真试验基本问题体现为：锚地锚泊搁浅、锚泊位置偏离锚地、船舶蹲底触底、走锚风险增高、甚至船舶倾覆； 4）在压载和 6 级风以上情况下，船舶受风影响较大，容易出现船舶偏荡造成走锚。 5)建闸后该锚地淤积严重,海图水深小于 2.1m 占锚地总面积约 89%，潮汐 2.6m 时，可用锚地水域仅占 11%。
灵江涌泉段临时锚地（二）	共计设置 62 场试验，其中成功试验 18 场，失败试验 44 场	1）通过仿真试验可知，风>6 级且流>3 节情况下，锚泊仿真试验失败率高达 94.5%，不宜锚泊； 2）风速 6 级情况下（包括流速 1.5 节和 3 节），锚泊仿真试验失败率也高达 75%，仿真试验基本问题体现为：锚泊位置偏离锚地、船舶蹲底触底、走锚风险增高、甚至船舶倾覆。 4）在压载和 6 级风以上情况下，船舶受风影响较大，容易出现船舶偏荡造成走锚。 5）风速 3 级情况下（包括流速 1.5 节和 3 节），锚泊仿真试验失败率也高达 50%，主要体现为锚泊位置偏离。
灵江石村水域临时锚地	共计设置 52 场试验，其中成功试验 48 场，失败试验 24 场	1）通过仿真试验可知，风>6 级且流>3 节情况下，锚泊仿真试验失败率高达 92.9%，不宜锚泊； 2）风速 6 级情况下（包括流速 1.5 节和 3 节），锚泊仿真试验失败率为 44.4%； 3）风速 3 级情况下（包括流速 1.5 节和 3 节），锚泊仿真试验成功率相对较高达 85%，出现问题主要体现为锚泊位置偏离； 4）在压载和 6 级风以上情况下，船舶受风影响较大，容易出现船舶偏荡造成走锚。 5）风速 9 级或台风情况下，仿真试验基本问题体现为：锚地锚泊搁浅、锚泊位置偏离锚地、船舶蹲底触底、走锚风险增高、甚至船舶倾覆。

4 对策与建议

1）从锚地水域面积角度分析，三山卢村临时锚地水域面积最大，水深条件在 2m 左右，且该锚地所处河段江门最宽，锚地容量大，可作为第一选择；从锚地适泊性角度分析，根据表 4-2 总结可知，三山卢村临时锚地相比其他三块锚地而言，适泊性具有一定优势，但在该锚地待闸，将受到风、流、船长操纵能力等条件的限制，在风>6 级且流>1.5m/s 限制情况下，建议原则上禁止锚地锚泊；从锚地锚泊容量角度分析，建闸后，三山卢村临时锚地可以在风速≤3 级、流速≤0.5m/s 情况下，锚泊 6-8 艘船 1000 吨级代表船型船舶，在实际限制条件下（风速≤6 级、流速≤1.5m/s 情况下），锚泊 3-4 艘船 1000 吨级代表船型船舶。

2）渔船避台的锚泊成功率提高有所提高，但仍然较低，建议如果能进闸往闸上游锚泊则尽量过闸驶向上游锚地避台，建议可以在水深条件较好的航道水域锚泊予以替代，不建议渔船在本项目涉及的四个锚地锚泊避台。

3）在实际工作中务必依据潮汐表准确推算潮汐信息，确保水深条件能满足船舶安全锚泊，船舶锚泊过程中采用良好船艺进行操纵。

4）船舶一旦发生搁浅，对人员、船舶和货物将造成极大的威胁，应极力避免。

参考文献

[1] 代鑫等，浅析三峡坝上锚地船舶待闸风险及监管建议[J]. 珠江水运,2023(06):42-44

[2] 李瑞等，基于 SolidWorks 二次开发的船舶拉锚作业仿真研究[J]. 船舶工业，2016 年 MIS/S&A 学术交流会议论文集 2016： 37-43

[3] 李兴盛等，船舶智能横向平移靠泊模拟仿真[J].价值工程，2020（05）：275-278

[4] 刘志强等，深海工程船锚泊仿真系统[J].船舶工程，2022（02）:115-120

[5] 曾芬芳等，基于水动力模型的船舶航态的模拟仿真系统仿真学报[J].2001（03）:112-116

[6] 李晓飚等，山区河流码头船舶靠离泊模拟仿真技术研究与应用水运工程[J].2017（06）：171-176+182

[7] 宋成果，基于虚拟现实的内河航道航标布设的仿真研究[J].中国优秀硕士学位论文全文数据库，2012.05：1-81

[8] 陈晓军等，基于水动力模型的舰船航态的模拟仿真[J].中国图象图形学会第十届全国图像图形学术会议（CIG'2001）和第一届全国虚拟现实技术研讨会（CVR'2001）论文集，2001：609

[9] Pušić, D.; Lušić, Z. Multi-Criteria Decision Analysis for Nautical Anchorage Selection. J. Mar. Sci. Eng. 2023, 11, 728. https://doi.org/10.3390/jmse11040728

[10] Xuejiao Yang;Bang Wang， Local matrix approximation via automatic anchor selection and asymmetric neighbor inclusion based on feature divergence measure，10.1016/j.neucom.2019.12.025

作者简介：柳良伟，浙江交通职业技术学院，浙江省莫干山路 1515 号，13806510165，15618925@qq.com。

综合性院校航海技术专业发展困境及对策
——以浙江海洋大学为例

艾万政，张洪刚，淦学甄

（浙江海洋大学，浙江舟山，316000）

摘要：在综合性院校，航海专业发展并不理想，因此有必要探索航海专业发展困境，研究对策。本文以浙江海洋大学为例，研究了综合性院校航海专业发展的瓶颈问题。研究结果表明，综合性院校航海专业发展不好的原因主要是因为领导层面重视程度也不够，没有按照航海专业的特性去发展航海专业。航海专业的发展应采取“因专业施教”、“分类评价”、“人尽其才”、“多渠道招生”等等政策。

关键词：航海；人才培养；师资；困境；对策

1 引言

目前，我国办有航海技术本科专业的综合性院校有十余所，如大连海洋大学、渤海大学、烟台大学、山东交通学院、浙江海洋大学、宁波大学、广东海洋大学、泉州师范学院、北部湾大学、重庆交通大学等。相对于传统的以航海为主打专业的大连海事大学和上海海事大学，这些综合性院校的航海技术专业发展困难且进步缓慢。但是，这些综合性院校航海专业为我国输送了大量的有用航海人才，且航海专业就业形势很好，基本都处于供不应求的状况。因此，有必要研究综合性院校航海专业发展现状，并提出切实可行的改进措施。

2 航海技术专业特点

想要办好航海专业，就必须了解航海技术是一个什么样的专业。航海专业的学生将来主要是在茫茫大海上从事船舶驾驶工作。因此，航海职业具有岗位针对性、国际通用性和国防军事性[1-3]。职业特点决定了航海技术专业要求学生掌握各方面较丰富的应用型技能。从行业角度出发，航海技术专业通俗地被认为是“拿来主义”的应用型专业。何为“拿来主义”？航海技术专业有 7 门主要专业课程[4-6]，这 7 门课程大致都属于不同的学科门类。例如，航海学课程属于天文地理学范畴，船舶操纵课程属于船舶与海洋工程学科范畴，船舶避碰课程属于海商法学科范畴，航海仪器课程及 GMDSS 课程属于电子学范畴等等。航海技术专业就是把这些相关学科的相关课程拿来、重在应用的一个应用型专业。因此航海技术专业对理论要求相对不高，但对实践能力的培养特别突出[5-7]。航海技术专业的属性，对高校兴办航海技术专业提出了两点要求：其一，在软件方面，教师最好是双师型教师，也就是说航海技术专业的教师不但学历高，具备一定的理论知识，同时还应具备丰富的海上阅历；其二，在硬件方面，航海技术专业需要购置大量的实践设备，如船舶操纵模拟器、电子海图模拟器、雷达模拟器、各种航海仪器等等，办学成本相对较高。

3 困境与原因

航海专业的特点决定了航海技术专业办学必须按其特性行事，否则就会带来一定的困境。事实上，国内很多综合性院校由于专业较多，航海专业也不是学校的主流专业，导致综合性院校航海专业办得不够理想而出现很多困境。

3.1 招生困境及原因

随着独生子女的增加和高校扩招，航海技术专业学生招生人数越来越少，很多综合性院校根本学生人数招不满。以浙江海洋大学为例，2007 年开始，浙江海洋大学开始招收航海技术专业本科学生，学校每年计划招收航海技术专业学生两个班，大约 80 人左右。从招生情况来看，2007 年到 2010 年期间，每个班学生人数均可达到 35 人左右，但自 2016 年开始，学校航海技术专业每个班才招收 20 几个学生。另外，浙江近几年还有个政策，学生在大学二年级阶段还可以转专业，航海专业很多学生觉得航海艰苦，因此转专业的学生也较多。到毕业的时候，航海技术专业平均每个班才十几个学生毕业，教育资源浪费很大。这一现象在很多综合性院校都特别突出，如广东海洋大学、宁波大学等。宁波大学原来航海技术专业招收两个班的学生，现在只招收一个班学生。

综合性院校航海技术专业招生普遍存在以上现象，究其原因，主要包括以下几点：其一，社会偏见使

然。中国社会早就形成了一种观念，即认为“航海、打铁、磨豆腐”是最艰苦的行业，航海专业缺乏吸引力。其二，招生模式过于单一。很多院校只是通过高考招生，生源有限，且受到学校办学定位的约束。如浙江海洋大学规定，所有学生的录取分数不能低于本科线。虽然航海专业在招生的时候每年降线 20 到 30 分左右，但还是缺乏吸引力。宁波大学在一本线基础上适当降线录取，招生更加困难。其三，招生身体条件要求过于严格。早几年，全国很多航海专业招生，对视力要求过高，在体检的时候，就将很多学生拒之门外。事实上，航海专业的学生除了毕业后从事船舶驾驶工作以外，有很多学生选择读研、考公务员、进企业工作，本科院校航海专业毕业生选择这些方式就业尤为突出。日本航海专业毕业生很少上船工作，因此他们对视力的要求也没中国那么高。

3.2 人才培养困境及原因

综合性性院校专业很多，如浙江海洋大学有 48 个本科专业。学校出台的很多政策，主要是针对大类专业，并没有考虑航海专业的特色，也脱离了航海行业要求，这严格限制了航海专业人才培养质量。如浙江海洋大学为了改革人才培养方案，教务处出台了指导性文件，建议各专业学分不超过 170 学分，且规定必须增加劳动教育课程和创新创业类课程，同时还规定，每学分理论课是 16 学时，而实践课是 15 学时，按照此依据计算任课教师的工作量。表 1 列举了浙江海洋大学部分航海技术专业理论课时。由表 1 可知，学校规定的理论课时减少很多。按照此规定，不但理论课如此，就连很多实践类课程的课时也大大缩水。由此可见，很多综合性院校航海专业教育达不到行业人才培养的标准。

表 1 浙江海洋大学部分理论课程课时

课程名称	学校学时	海事局要求学时	符合性情况对比
船舶结构与设备	40	27	比规定多了 13 学时
航海学	104	96	比规定多了 8 学时
航海仪器	48	83	比规定少了 35 学时
船舶操纵	32	66	比规定少了 34 学时
船舶货运	56	74	比规定少了 18 学时
船舶值班与避碰	40	56	比规定少了 16 学时
航海雷达与 ARPA	32	45	比规定少了 13 学时
航海气象学与海洋学	48	56	比规定少了 8 学时
船舶安全管理	48	52	比规定少了 4 学时
航海英语	72	74	比规定少了 2 学时

又如，在实习实训要求方面，很多综合性院校对航海专业采取的方式与其他专业一样，并没有考虑航海专业的特殊性。在浙江海洋大学，航海专业学生的每一样实训，必须写实训报告，流于形式，这导致很多学生照着别人或说明书抄袭一番，并没有切实提高学生的动手能力。浙江海洋大学学校文件规定，所有专业必须写毕业论文，且论文字数必须达到 15000 字。事实上，世界上很多航海专业并没有强制学生写毕业论文，而是强化学生实习，以实习报告代替本科毕业论文，以强化学生实践能力的培养。如国内航海办学做得比较好的大连海事大学就是如此，台湾高雄海洋科技大学航海专业也是以实习报告代替本科毕业论文。

以上事实告诉我们，国内综合性院校航海技术专业人才培养产生困境的根本原因，主要就是学校管理过于宏观和死板，没有根据专业特性采取“一专业一方案”，导致基层教学组织系缺乏自主性。

3.3 师资困境及原因

航海技术专业应用型专业特性，决定了航海专业的师资最好是双师型教师。但是，在综合性院校想要引进好的双师型教师确实困难。从所周知，全国真正既做过船长，又读过博士的人员很少，况且很多院校没有特殊的政策，且投入不大，真正能引进到这样的双师型高端人才几乎不可能。在很多综合性院校，为了提高学校师资水平，提高学校知名度或达到更名大学、申报博士点的要求，学校大力引进具有博士学位人员充实教师队伍，并没有考虑该引进人员的出身和阅历。很多学校航海专业只重视博士学位，而不考虑引进人员本科阶段是否是读过航海专业，更不考虑其是否在船上干过船舶驾驶工作。如浙江海洋大学航海

技术专业引进了几位博士，但大多数本科并非学航海专业，他们多数毕业于电子通信专业、地理专业、计算机专业等，对航海专业的专业课程几乎是一片空白，更不用说航海阅历了。但是对于那些有丰富实践经验的本科船长或硕士船长，学校没有引进政策，也没有引进指标。这样的模式势必导致航海专业的师资越来越弱。

另外，在师资发展方面，航海专业教师也较困难。综合性院校为了提高学校排名和知名度，评职称条件和考核拔得很高，并不考虑教师的阅历。如浙江海洋大学全校一个职称评聘文件，要求航海专业教师评教授跟其他专业一样，必须要有国家基金项目和高质量的 SCI 论文若干篇。航海专业教师职称评聘还必须放在大工科学科组与其他专业的教师一起竞争。众所周知，航海专业是一个应用型专业，试验条件较少，论文难写，项目难做，在各种竞争中均处于劣势地位。这样一来，导致航海专业教师职称难上，十几年来很少有人能评上教授和副教授，教师的积极性非常受打击。很多教师向学校提建议，但学校人事处的回答是，学校规模太小，专业太多，不可能分类评价做得太细。

因此综合性院校航海专业基本都处于一个小专业地位，无论在人才引进还是教师培养方面，航海专业的教师发展均处于不利地位。造成这一现象的根本原因主要是学校不太重视航海技术专业，没有根据专业特点把分类评价和分类考核落到实处。

3.4 资源困境及原因

实践训练是航海专业的重要环节，航海专业实训课程较多（浙江海洋大学航海专业实践类课程见图 1），因此航海技术专业学生培养需要建设较多的实验室，办学成本较高。航海专业实验室通常包括：跳水平台、救生艇与救助艇、划艇水池、急救实验室、高级消防实验室、船舶操纵模拟器实验室、电子海图实验室、GMDSS 模拟器实验室、航海仪器实验室、雷达实验室、操舵实验室、水手训练实验室、海图作业实验室甚至实习船等等。以上实验室的设备或资料还要不断保持更新。实验室建设不但耗资巨大，而且还需要场地。如，一个船舶操纵模拟器，耗资就要两三百万。但是近几年，综合性院校对航海专业的投资较少，所给场地也受限，这极大地局限了航海技术专业的发展。例如，浙江海洋大学水手撇缆场地，学院几次与学校协调，也没找到合适场地，最终学校同意在足球场划定一块地方用于学生撇缆，但一年以后又被体育部用于沙滩足球。又如，早在七年前，航海专业申请到一个央财项目，资金 270 多万，用于建设学生跳水训练跳台，但学校却没有场地，导致资金又被央财收回。另外，很多学校在申请设备更新或维修时，学校经过层层审批和招投标，手续繁琐，导致实验室设备得不到及时更新。

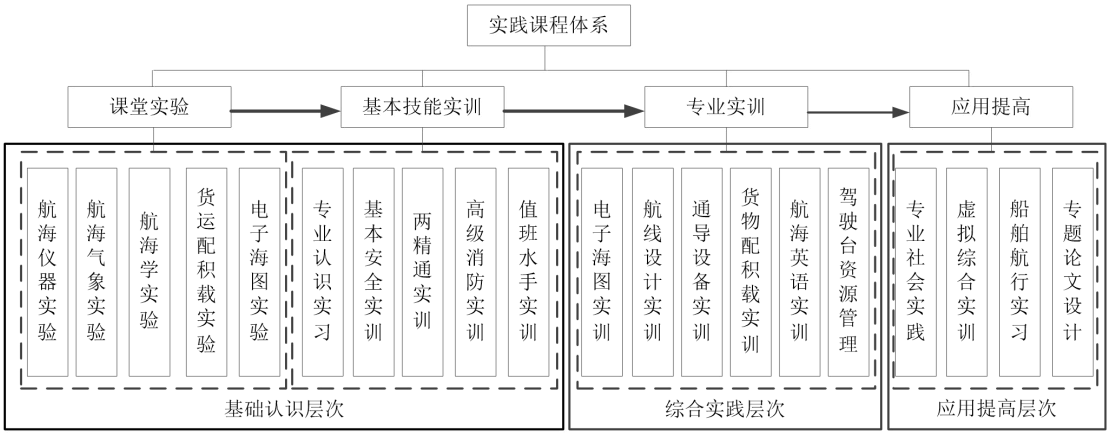


图 1 浙江海洋大学航海专业实践课程体系

航海技术专业办学资源得不到及时保障，根本原因是在综合性院校，航海专业不是学校的主打专业，并不像上海海事大学、广州航海学院、大连海事大学这些以航海为骨干专业的院校那样重视航海专业的发展。因此，在一些综合性院校，航海专业发展不是很理想，这是最主要的根本原因之一。

3.5 社会服务困境及原因

航海专业有很多社会服务项目。社会服务除了能改善学校办学条件以外，还可以有效服务地方经济、提高学校知名度。然而，在综合性院校，社会服务工作遇到很多瓶颈问题，导致社会服务工作较难开展。如浙江海洋大学地处东部沿海的舟山市，船员资源特别丰富，不但有很多商船船员，还有很多渔船船员。据相关资料统计，舟山船员数量大约占到全国的十分之一。每年到浙江海洋大学参加船员培训的人员络绎

不绝，甚至很多船员报名培训都需要托关系或排队。但是遗憾的是，浙江海洋大学很多船员培训项目均不开办。究其原因，一方面是在船员培训多时，师资忙不过来；更重要的一点是，教师对船员培训毫无兴趣。因为在浙江海洋大学，船员培训课时很低，学校把教师平时发的课时费纳入年终绩效，而年终绩效总量是受控制的，这就意味着平时培训规模越大，教师的培训课时费发得越多，占用的绩效也越多，年终绩效奖发得就越少。这就导致一个怪现象，那就是培训（社会服务）越多，导致教师的收入越少。产生以上怪现象的原因是学校不重视社会服务，在政策上没有理顺责-权-利之间的关系。

4 对策

航海专业有其专业的特殊性，但在一些综合性院校，航海专业发展并不理想，甚至遇到种种困境。为了办好航海专业，学校应采取强有力措施，有的放矢，提高航海专业办学质量。

4.1 在生源方面，大力拓展生源渠道

航海专业生源主要依靠高考招生，这一渠道过于单一，且要求较高，因此有必要改变这一现状。关键是做好以下几个方面：其一，除了高考招生外，多尝试从中职学校招生，专升本招生。这一点浙江海洋大学做得比较好。近几年浙江海洋大学为了改变航海专业招生单一的现状，采取了“3+4”人才培养模式，也就是在中职院校-舟山航海学校招生，学生初中毕业后，在舟山航海学校学习 3 年，然后通过适当选拔进入浙江海洋大学读 4 年本科。这一政策大大拓展了航海专业的生源。同样，高职院校是航海专业人才培养的重要基地，综合本科院校也可考虑“2+2”模式，从高职院校招收航海技术专业本科生。其二，在招生的时候，对部分考生可适当降低视力要求。因为航海专业很大一部分学生并没有到船上就业，而是去了企事业单位或考研，这一点在本科院校很突出。针对这一部分学生，学校招生的时候应适当降低视力要求，让学生签订承诺书，承诺不能上船从事船舶驾驶工作。其三，学校可出台政策，适当限制航海专业的学生转专业。因为航海专业的学生在招生时是提前批招生，且高考分数比有些专业要求低，适当限制他们转专业也是合理的。

4.2 在人才培养方面，做到“因专业施教”

“因材施教”是我们大力提倡的育人方法，同样，对于各专业，因各专业有其特殊性，更应该“因专业施教”。学校应改变管理模式，不能过于死板，不能太集中统一。航海专业人才培养应该尊重航海行业特性，尊重基层组织的意见、海事意见及航运企业的意见。在人才培养方案中，可根据我国航海人才薄弱的环节设置相关课程。如，我国远洋船员普遍英语应用能力较差，可以考虑在人才培养方案中增加国外人文或航海文化方面的英语类课程，也可增加中国航海史类课程，以激发学生探索航洋的兴趣。

4.3 在师资发展方面，做到“分类评价”

在教师考核和评职方面，国家大力提倡破“五唯”。破“五唯”的根本目的就是要破除人才的单一评价体系，让行业需要的有用人才脱颖而出。综合性院校可针对航海专业的特点，制定接地气的人才评价模式。如，可将教师的海上资历证书作为评价的一部分，也可将航海培训创收作为考核依据之一。教师在职称评定的时候，可认定行业杂志取代 SCI 杂志。这一点，武汉理工大学做得很好。武汉理工大学采取分类评价，对一两个有相似性的专业采取一个评判标准。航海专业的教师在评职称时，行业内的《中国航海》杂志，被学校认定为 A 类期刊，等同于其他专业的 SCI 期刊。同样，像大连海事大学、上海海事大学、武汉理工大学等老牌航海院校，他们在职称评聘中，对航海阅历丰富的教师采取单独的评聘标准，这一点也值得推荐学习。国外有些航海专业规模比较小的院校，他们教师在职称评定时采用第三方行业评价，也值得借鉴。

4.4 在资源和社会服务方面，做到领导重视，责权利统一

在很多综合性院校，很多领导并不是航海专业出身，他们也不太了解航海专业。因此，学院及航海专业教师应做好宣传工作，让领导能够理解并重视航海专业。因为航海专业比较小，很多综合性院校并没有成立海运学院或海事学院，航海专业往往是和其他专业拼凑成一个学院，学院领导一般也不是航海专业出生，这对航海专业的发展也不利。因此建议在有条件的情况下，还是将相近专业成立一个学院，以便能合理利用并争取到相应资源。因为有学院在，集体发声，无论在职称评定、考核、实验室建设等方面，可以将资源利用到极致。学校层面也因充分放权给二级学院，积极推进二级管理，充分发挥并调动二级学院的自主能动性。

在社会服务方面，学校应将培训课时费与年终绩效脱离，尝试企业模式运作，鼓励教师参与社会服务，

按照“按劳取酬、多劳多得”的模式进行分配。善于科研的鼓励科研，喜欢教学的鼓励教学，参与社会服务的鼓励创收，做到人尽其才。同时学校社会服务的创收，可以改善航海专业的设施设备，也可用于人才引进，实现良性发展。

5 结论

航海专业是一个实践性很强的专业，在我国综合性院校，航海专业得不到较好发展，主要原因是没有根据航海专业的特点来发展航海专业，学校也没有充分重视。因此，在综合性院校，航海专业要发展，必须采取相应措施，做到“因专业施教”、“分类评价”、人尽其才、多渠道招生等等。

参考文献

[1] 王宏明. 高职航海院校师资队伍建设的思考[J].航海教育研究, 2007(4):20-21.

[2] 叶明君.航海职业教育师资队伍建设所面临的问题分析与对策[J]. 浙江交通职业技术学院学报, 2006(2):47-50.

[3]王正荣.建议探索职业教育本科、硕士、博士培养模式[EB\OL].(2004-02-26).http://www.newssc.org.

[4] 王红伟. 我国高等院校国际航运人才培养模式研究[D]. 上海: 上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院, 2011.

[5]王丽铮,袁萍,刘祖源. 船舶与海洋工程本科专业人才培养模式探讨[J].船海工程,2008,37(4),148～155.

[6] 王静波,王川. 亚洲几.国航海教育现状及启示[J].航海教育研究,2009,3,28～33.

[7] 赵健,张吉平,何庆华.新加坡航海教育及船员培训体系考察与借鉴[J].航海教育研究,2009,2, 41～45.

作者简介

艾万政（1971-），博士，教授，研究生导师，甲类大副，GMDSS 二级电子员。浙江海洋大学航海系主任。

基于雷达船舶海上模拟避碰系统的研究

徐天奇，安天圣，毛旭东

（宁波海运股份有限公司）

摘 要：为了能更方便和有效地训练船舶驾驶员的避让操纵水平，使用 Python 语言开发了一套基于 FURUNO FR-28x7 系列雷达界面[1]的船舶海上模拟避碰系统。通过设置船舶避让场景，建立船舶操控和运动模型，利用局域网远程控制目标船运动参数，可完成特定避碰局面的设置。设计了一种船舶避让水平的评估模式，经过初步推广，取得了良好的训练和评估效果。

关键词：雷达模拟器；避碰；Python

0 引言

雷达是最重要的海上助航仪器之一，在船舶航行避让、陆标定位中起到关键作用，尤其是能见度不良条件下航行时，是驾驶员最主要的瞭望手段。国际国内法规针对雷达模拟器和船舶驾驶模拟器的培训均有明确的要求[2]，但限于硬件设备经费和场地的原因，只有少数航海院校有比较完善的模拟驾驶舱，且模拟器型号比较少，更新速度慢，和船上实际在用的设备型号不匹配，很难取得理想的培训效果。海上交通环境日趋复杂，对驾驶员避碰和操纵水平提出了更高的要求。因此，有针对性地为船东和船舶管理公司开发一套多功能的雷达模拟避碰系统既可以节约成本又有助于提升公司安全管理水平和船员素质[3]-[5]。

1 系统构架设计

1.1 功能模块的划分

海船船员培训模拟器技术要求中对雷达模拟器的要求是能够模拟真实雷达功能、性能和操作，实现雷达观测、定位、导航和避碰仿真。我们针对该技术要求，将系统分为五个功能模块：雷达界面仿真、船舶运动参数的设置与计算、本船操纵模式及物标显示、目标船远程控制、操纵记录的保存与回放，如图 1 所示。

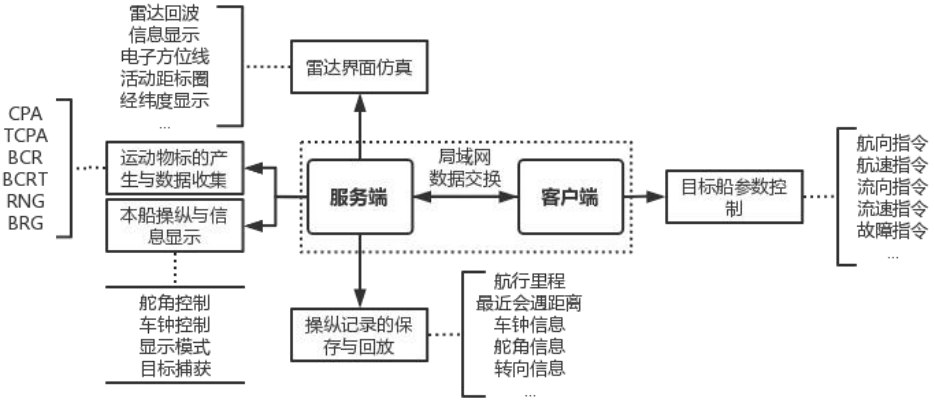


图 1 雷达模拟避碰系统构架设计图

1.2 编程语言的选择

Python 是一种开源的解释型脚本编程语言，具有简单易用、免费开源、速度较快、丰富的标准库、可移植性等特点，因此选择 Python 语言进行雷达模拟器的源代码编写。

1.3 系统框架搭建

设置和调试系统参数使之能够在本机电脑命令行窗口响应 Python 交互式的命令，然后安装 Pycharm、Jupyter Notebook 等第三方编译工具进行代码编写和调试。

Pygame 在 SDL（Simple DirectMedia Layer，使用 C 语言编写的多媒体开发）的基础上开发而成，它提供了诸多操作模块，比如图像模块、声音模块、输入/输出（鼠标、键盘、显示屏）模块等，非常契合我们对雷达模拟器的开发要求，因此本程序大部分功能均基于 Pygame 库开发而实现。

2 船舶运动参数的设置与计算

2.1 避碰局面的设置

海上船舶操纵避让局面复杂且存在诸多不确定性，如采用固定避碰局面，虽然能有针对性地提高操作人员对避碰规则的熟悉程度，但会造成避碰局面单一，缺乏灵活性等缺点，无法模拟真实海上通航环境。如完全采用随机避碰局面，则有可能不能全面覆盖几种典型的避碰局面。所以本程序采用的是固定+随机目标的方案，任何一次避碰局面的模拟都能覆盖追越、交叉、对遇等典型的避碰局面[6]，然后在此基础上，随机生成一些目标船舶，增加避碰局面的不确定性。

2.2 船舶运动参数的设置

根据海上实际情况，设置了五种类型船舶及运动特点，如表 1 所示。

表 1 目标船舶运动参数设置

船舶类型	速度（节）	运动特点	可否协调避让
渔船	2-10	可能随机改变航向和航速，模拟海上渔船护网、转向等常规动作	否
货船	10-16	原则上保速保向	可以
高速船	20-26	速度和航向可能会随机小幅变动	可以
失控船	0	对水速度为 0，随流漂航	否
锚泊船	0	对地速度为 0，不随流漂航	否

2.3 船舶运动数据的计算和显示

设本船航速为 V_0，航向为 C_0，横向移动速度为 $V_{0x}=V_0*\sin C_0$，纵向移动速度为 $V_{0y}=V_0*\cos C_0$，目标船真航速为 V_1，航向为 C_1，横向移动速度为 $V_{1x}= V_1*\sin C_1$，纵向移动速度为 $V_{1y}= V_1*\cos C_1$，由于雷达本船位置相对固定，则目标回波总是相对本船运动，目标视运动航速为 V_2，横向移动速度为 $V_{2x}=V_{1x}-V_{0x}$，纵向移动速度为 $V_{2y}=V_{1y}-V_{0y}$。将运动矢量转化为程序可识别的坐标值，即可在对应位置显示新的目标船回波。

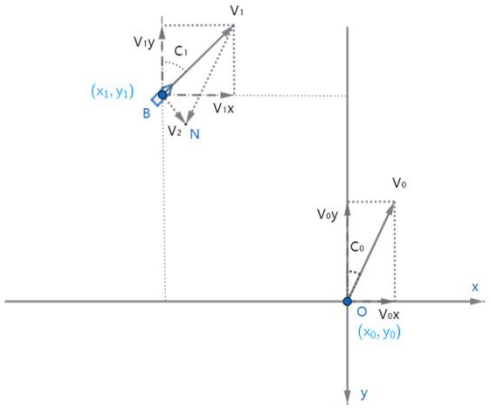


图 2 目标船相对运动速度矢量合成图

3 本船操纵模式及信息显示

3.1 本船操纵模式

默认本船初始舵角为正舵，使用键盘左右方向键控制本船舵角，长按方向键，舵角会持续变化，根据舵角的大小设定相应的旋回速率，以此来控制本船转向。

默认本船初始车钟为停车，使用键盘上下方向键控制本船车钟，点按一次加或减一车，根据设定的车钟以及当前航速逐步加或减速到对应的航速，以此来控制本船航速。

其他诸如改变显示量程、查看目标船信息及与本船会遇参数、调节 EBL（电子方位线）和 VRM（活动距标圈）、切换真运动和相对运动显示模式、切换艏向上和北向上显示模式、改变真运动矢量线长度等功能均可通过鼠标和键盘进行操控。

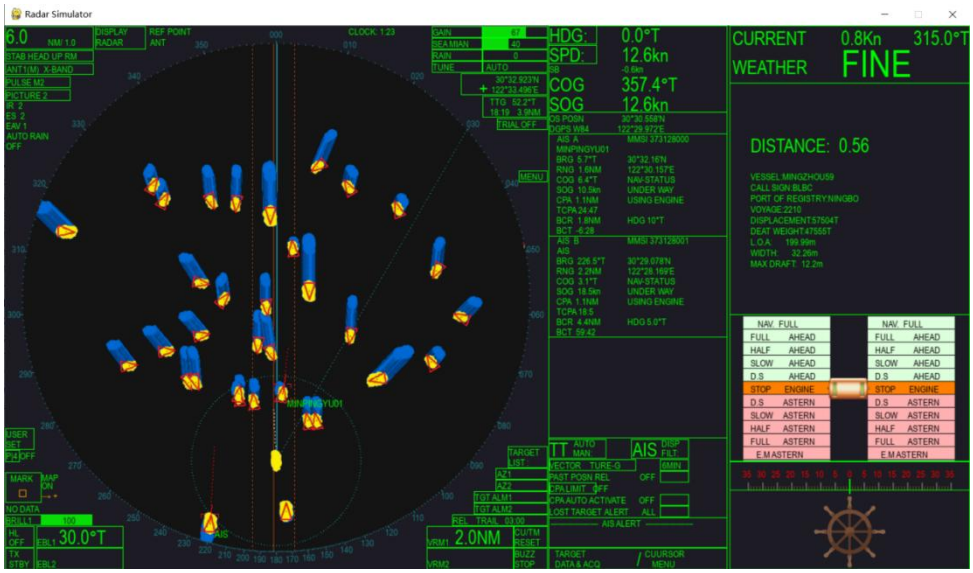


图 3 基于雷达船舶海上模拟避碰系统操作界面

3.2 本船操纵后目标船的运动参数修正[7]

本船操纵后，目标船在雷达显示面板上的运动参数也将发生改变。本船加减车，则仅需要根据本船改变后的瞬时横向和纵向速度分量对目标船的移动速度进行修正。而如果是本船转向，则又主要分成两种情况：北向上和艏向上显示模式。

北向上显示模式下，雷达面板上的方位圈始终保持 000° 在正上方显示，本船转向时，船首线始终跟踪实际航向而随之转动,其他目标船则仍按照自己的航向航速运动，所有目标回波的真方位保持不变。本船转向后的新航向为 C_0',则北向上显示模式下本船的横向移动速度 $V_{0x}'=V_0*\sin C_0'$,纵向移动速度 $V_{0y}'=V_0*\cos C_0'$，目标回波的视运动根据本船新的纵/横移动速度进行矢量合成即可得到新的目标回波坐标值。

艏向上显示模式下，雷达面板上的方位圈始终保持本船艏向在正上方显示，本船转向时，所有目标回波均需要以与本船距离为半径，同步反向做圆弧运动，并且视运动参数要根据本船的转向角度进行同步修正，方位线和航线等信息标记亦需要以本船为圆心进行同步反向转动。这里需要用到极坐标系的直角坐标系的相互转换，如图 4 所示，本船船位(x_0, y_0)，原航向 C_0，目标船船位(x_1, y_1)，目标回波运动方向 C_1，目标船至本船的距离 $\gamma=\sqrt{(x_0-x_1)^2+(y_0-y_1)^2}$，根据三角几何关系作图，得到$\angle\alpha=\arctan((x_0-x_1)/(y_0-y_1))$，本船转向后的新航向为 C_0'，航向改变量为$\triangle C_0=C_0'-C_0$，目标船回波以本船为圆心、距离 γ 为半径同步反向移动，则$\angle\beta=\angle\alpha+\triangle C_0$，目标船新的回波坐标$x_1'=x_0-\gamma*\sin\angle\beta$，$y1'=y_0-\gamma*\cos\angle\beta$，目标船回波的新运动方向 $C_1'=C_1-\triangle C_0$。在目标船因为本船转向而进行位置修正后，再根据目标船移动速度和新运动方向计算纵横移动速度并进行矢量合成即可得到回波新的回波坐标值。这里还需要特别注意两个问题，一个是目标回波跨象限运动时三角函数值的正负转换问题，第二个是当$y_0=y_1$时$\angle\alpha$ 值计算逻辑错误的问题。

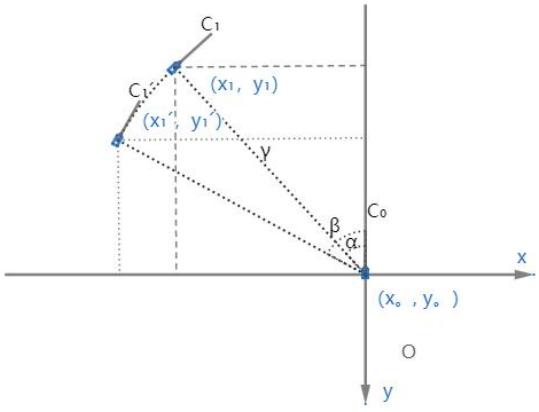


图 4 本船转向后目标回波位置修正图解

在有风流的海况下，目标回波的移动速度还需要进行风流压差修正，由于船舶水上部分各方向受风面

形状复杂，很难精确计算受风面积大小，且风相对于海流对船舶运动影响较小，为简化运动模型，本程序只考虑海流对船舶运动的影响。

3.3 目标船回波及尾迹显示

航海雷达上的目标船尾迹是由于雷达天线有规律地扫描目标船而产生的回波阴影残留，所以本程序采取同样的设计逻辑，将程序开始运行后每一个历史时间节点的目标船回波坐标(x_1, y_1)作为一个元组，按照时间顺序储存在固定长度的数据列表中。在所有列表中的坐标处显示蓝色，作为目标船的历史回波阴影，即目标船回波尾迹。通过控制列表的数据长度来设定目标船回波尾迹的显示时间。

3.4 其他运动参数的计算

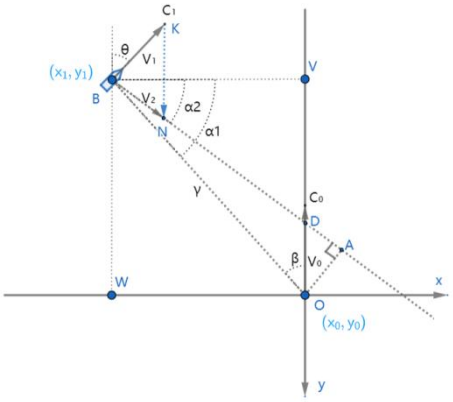


图 5 目标船运动参数计算图解

3.4.1 最近会遇距离 CPA，最近会遇时间 TCPA

如图 5 所示，本船船位位于 O 点(x_0, y_0)，航速 V_0，航向 C_0，目标船船位位于 B 点(x_1, y_1)，目标船航速 V_1，航向 C_1，目标船至本船的距离 $\gamma=\sqrt{(x_0-x_1)^2+(y_0-y_1)^2}$。船舶相对运动态势不受海流因素和雷达显示模式的影响，所以假定在艏向上显示模式下，目标船的视运动方向$\angle\theta=C_1-C_0$。在目标船速度矢量顶点 K 处添加与本船速度大小相等、方向相反的向量$\overrightarrow{KN}$，对目标船与本船单位移动速度进行矢量合成，得单位相对移动速度 $V_2=\sqrt{(V_1*cos\,\theta-V_0)^2+(V_1*sin\,\theta)^2}$。作 BN 线段的延长线，过原点 O 作该延长线的垂线，得到线段 OA 即为目标船相对本船的最近会遇距离 CPA。则根据三角函数关系，可以得到$\angle\alpha1=\arctan((y_0-y_1)/(x_0-x_1))$，$\angle\alpha2=\arctan((V_1*cos\,\theta-V_0)/(V_1*sin\,\theta))$，最后得到 $CPA=\gamma*\sin(\alpha1-\alpha2)$。

目标船从 B 点运动到 A 点的时间即为最近会遇时间 TCPA，$TCPA=\gamma*\cos(\alpha1-\alpha2)/V_2$，如果 A 点在目标船相对运动方向的前方，则 TCPA 为正，否则 TCPA 为负，表示目标船已驶过最近会遇距离点。

3.4.2 过船头距离 BCR、过船头时间 BCRT

如图 5 所示，BA 线段在经过 y 坐标轴时，交于 D 点，线段 OD 即为目标船过船头距离 BCR，$BCR=(y_0-y_1)-(x_0-x_1)*\tan\alpha2$，同理根据三角函数也可方便的计算出 BD 距离和过船头时间 BCRT。

3.4.3 目标船距离 RNG、目标船方位 BRG

如图 5 所示，目标船距离 RNG 即 $\gamma=\sqrt{(x_0-x_1)^2+(y_0-y_1)^2}$，$\angle\beta=\arctan((x_0-x_1)/(y_0-y_1))$，则目标船方位 $BRG=360°-\angle\beta$，这里要注意目标船在不同的象限内时可能需要进行圆周方位修正。

4 基于局域网的目标船运动参数控制

4.1 模块设计的意义

虽然本程序在目标回波生成和运动参数控制方面采取了固定+随机的设定方案，增加了避碰局面的复杂程度，基本上覆盖了典型的避碰局面，但也因为避碰局面的过于复杂和不确定性，不能完全按照培训教员或考核人员的意图进行特定局面设定或考核。所以本程序设置了通过局域网客户端来控制其他目标船舶，以便于针对被培训或考核的人员制定更个性化培训或考核方案。

4.2 模块功能的实现

Socket 称为套接字，是基于协议的通信套件，Python 可以通过 Socket 快速实现网络不同主机间通信。采用 C/S 模式网络架构[8]，将雷达模拟器所在的电脑设置为服务端持续监听并响应来自客户端的指令，在局

域网内另一台电脑上安装客户端，利用 IP 地址绑定雷达模拟器服务端，按照需求发送特定指令至服务端。客户端可以发送的指令包括目标船运动参数的修正、流速流向修正等，甚至还可以发送主机故障、舵机失灵、能见度不良等指令模拟船舶应急操纵场景。

5 模拟器操纵记录保存与回放

为了便于考核操作者的船舶避碰能力，本程序记录了与周围船的会遇距离和目标航行距离作为客观评判依据[9]，如瞭望、车舵使用、局面判断、船位船速控制、避让行动的合理性和有效性等偏主观评价内容则通过评估表的形式，由教练员或评估员现场进行评判。为了保证评估结果的准确和公正，以及便于作为案例用于教学等，本程序将全部操作过程采用视频形式予以保存备查。

6 结论

通过系统构架设计、避碰场景的模拟、船舶运动数学模型的建立，基于 Python 编程语言实现了对 FURUNO FR-28x7 系列雷达的界面和功能模拟，又通过局域网实现了对目标船运动参数的实时控制，能够较为真实的模拟不同复杂场景的船舶避碰局面，最后针对本程序提出了合理的船舶操纵避让水平的评估方法。在公司的某次技能比赛中，就采用了本程序作为船舶应急避碰项目的比赛用模拟器，经过验证，对参赛人员的考核评估相对公正和客观。本程序为船舶管理公司选拔和培养航运人才提供了新的方式，有一定的推广意义。

参 考 文 献 ：

[1] PENGJIE WANG, HONGXIANG REN, YE ZHANG, et al. Development of Android-based FURUNO radar simulation training system[C]. //International Symposium on Computer Applications and Information Systems (ISCAIS 2022): Shenzhen, China.25-27 February 2022.:Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 1:1225009-1-1225009-8.

[2] 周世波,熊振南. "航海雷达模拟器"实操教学改革探讨[J]. 集美大学学报（教育科学版）,2010,11(4):95-97. DOI:10.3969/j.issn.1671-6493.2010.04.024.

[3] 邱志雄,卓永强. 在 PC 单机上模拟训练雷达海上船舶避碰[J]. 航海技术,2001(4):31-32. DOI:10.3969/j.issn.1006-1738.2001.04.021.

[4] 李业,任鸿翔,尹金岗.一种新型雷达模拟器的设计与实现[J].舰船科学技术,2017,39(1):122-126136

[5] 李小涛,代广树,任鸿翔,等. 基于 Android 系统的船用雷达仿真系统研究[J]. 重庆邮电大学学报（自然科学版）,2018,30(5):718-723. DOI:10.3979/j.issn.1673-825X.2018.05.020.

[6] ZHANG, MINGYANG, MONTEWKA, JAKUB, MANDERBACKA, TEEMU, et al. A Big Data Analytics Method for the Evaluation of Ship - Ship Collision Risk reflecting Hydrometeorological Conditions[J]. 2021,213(Sep.):107674.1-107674.21. DOI:10.1016/j.ress.2021.107674.

[7] 林莉. 雷达模拟器的目标处理技术[J]. 系统仿真学报,2000,12(3):266-269. DOI:10.3969/j.issn.1004-731X.2000.03.026.

[8] 韩晓光,吴晞,郑环宇. 基于局域网的避碰模拟训练系统开发[J]. 中国航海,2011,34(4):81-84. DOI:10.3969/j.issn.1000-4653.2011.04.018.

[9] 王德龙,任鸿翔,肖方兵. 船舶操纵模拟器单船避碰自动评估系统[J]. 中国航海,2015,38(1):44-48. DOI:10.3969/j.issn.1000-4653.2015.01.010.

[10] Jedrzej D. The Open-Source Framework for 3D Synthetic Aperture Radar Simulation[J]. IEEE ACCESS,2021,9.

作者简介：

徐天奇（1988—）男，山东德州人，本科，大副，研究方向为船舶安全保障等。
E-mail: xutq@nbmc.com.cn
安天圣（1995—）男，辽宁朝阳人，硕士，研究方向为船舶安全保障等。
Email: ants@nbmc.com.cn
毛旭东（1981—）男，浙江宁波人，硕士，远洋船长，高级工程师，注册安全工程师，研究方向为船舶安全管理、航海技术、船员心理学等。
Email: MaoXD@nbmc.com.cn

关于提升温州航运企业安全管理能力的探讨

陈定进[1]，黄友标[2]

(1 温州进兴船务有限公司；2 龙港市经济发展局)

摘要：本文针对温州部分企业安全管理人员能力不足、履职不充分的问题，提出了增强管理人员管理能力的措施。

关键字：提升；航运；管理；探讨

近年来，随着《安全生产法》修改实施及主管机关大力督促消除安全风险隐患，降低安全生产风险，压实企业主体责任等工作的开展，温州航运安全生产事故出现了显著的下降趋势。但个别企业安全生产的一般事故仍然时有发生。排除个别原因外，航运企业管理人员的管理能力不足是重要原因。影响企业安全生产的原因是多种的，其中人作为安全生产工作的执行者、实施的主体，是起到至关重要的因素。在人的所有生产工作中，管理人员又是这个主体中起到了核心作用。强化对企业管理人员能力的提升，对航运企业做好安全管理工作有着至关重要的作用。

1 温州地区航运企业管理水平现状及需要解决的问题

1.1 现状研究

（1）个别温州航运企业的法人对安全生产管理不重视，企业安全管理人员为非专业的安全管理人员或是一些年龄较大，业务能力不强的人员。一方面专业不对口，对航运企业安全生产过程中的风险不了解，对隐患理解不到位，不能有针对性采取有效安全管理措施。另一方面年龄较大，体力不足，无法保质保量的完成现场检查、监督管理，保持持续关注，存在安全隐患。

（2）个别温州航运企业的安全管理人员专业技术素质不高，对船舶安全航行的基本规律、基本理念和常识不清，对安全管理管什么、怎么管、管多深认识不到位。安全管理工作很多时候停留在表面，比如做培训只搞通识教育，不针对具体岗位特点，缺乏足够的针对性；查违章只看几项表面项，不从深层分析各类隐患与违章的根本原因等情况普遍存在。

（3）部分温州航运企业的安全管理人员没有明确的成长路径，重视企业安全管理工作的企业，安全管理人员往往会选拔一些资深海机务人员，往往出现自身技术过硬，但是管理公司船舶缺乏有效手段。我见过一些企业管理人员常靠“喊”来让基层工作人员来盲从。只注重本专业的技能而忽视管理沟通等方式必然产生一系列风险。随着现在船员就业供不应求，这种风险日益显现。

（4）由于历史原因，一些温州航运企业安全文化建设还处在较低层面上，普遍只是完成简单的文化上墙，在精神文化、行为文化、物质文化等层面上比较空缺。国际航运公会（ICS）强调有效的安全文化就是始终把安全和防止污染工作放在最优先考虑的位置。航运公司和船舶人员工作的随意性、不安全性都是对这种有效安全文化的违背。

（5）安全管理人员通常不被理解。企业想要提高管理实效，必须配合强有力的考核手段，这会让想安于现状的员工有意见。最近五年，年轻化、高学历能力强的管理人员快速成长，为了更好的改变管理现状，提升管理实效，年轻人往往会推出一些新方案。一些航运公司有资历的管理人员不能及时跟进、对新方法新方案比较排斥。

（6）最近几年以来，国家对安全生产领域发生的事故加大了违法处罚力度，对事故企业安全管理人员处罚力度的加强，但是一些省份仍然存在一些低散漫的、收费低、管理做表面甚至闭门造台账等的航运企业，在很大程度上产生了的劣币驱逐良币效应。

1.2 需要解决的问题

（1）航运企业非专业管理人员和安全管理人员老龄化的问题。

（2）安全管理人员的技术素质问题，提升安全管理能力。

（3）新老安全管理人员有序交替的问题。

（4）航运安全管理劣币驱逐良币问题。

（5）全员安全管理意识不强，一些航运企业把安全管理责任压到海务、机务部门，而忽视整个公司力量统力协作，公司内部各部门力量整合不够，不能形成“1+1＞2”机制。

（6）安全管理经验总结不够，分析、研判、部署总结方面不够，安全管理是不断总结提高的过程，经验教训是宝贵的，主要是体规现在不断总结和经验教训吸取上，不断提高总结上，要形成文字和影像资料，形成自我提高进步，并得到社会（行业）认可。

（7）同政府、行业主管部门联系汇报工作不够，沟通交流不够，新的安全法律法规规章宣贯不够，不能形成同步，从而得到政府、行业主管部门支持力度不够。

（8）完善航运企业安全文化建设，解决历史遗留包袱。

2 针对存在问题如何解决方案的探讨

（1）企业用人是内部管理问题，正常情况下，海机务岗位满足相关法律法规的要求，政府主管部门是无法直接进行干预的，但实际情况是非专业人员从事船舶安全管理工作。这一情况，政府主管部门对企业主要负责人和安全管理人员的安全管理资格进行了明确的规定，并采取了备案管理。但不可否认，在非专业管理人员和人员老龄化，主管部门还是没有有效的手段进行应对。是否可以由主管部门出台相关的法规，结合行业协会力量，明确企业的安全管理人员必须具备相应船舶行业安全管理经历和管理人员年龄上限。

（2）企业须参照《交通运输企业安全生产标准化评价实施细则》实施标准化管理，公司按照科学严谨、精准精细、便于操作的格式制定安全生产规章制度和操作规程，并全员学习弄懂弄透内涵和要求，并按照制度严格实施，有目标有方向推动企业安全生产工作逐步规范化，显著提升航运安全管理水平，达到精细化、清单化航运安全管理格局，适应安全便捷、畅通高效、绿色智能的现代综合交通运输体系。

（3）通过提升安全管理人员的待遇，促进优秀管理人才向安全管理岗位转移。让有能力、肯干事、会干事的人才到安全管理岗位上去，从而达到从根本上引优入行来提升安全管理能力。比如行业主管部门是否可以组织行业，对聘用任命安全管理人员的待遇等方面提出具体要求，在年度审核时，对企业进行量化考核。在制度上对行业人才技术素质提升进行落实。

（4）在评选评优上提供顶层设计，近些年来，一些先进的管理措施在企业内部得到有益的落实，有效的改变了之前的低散乱的企业面貌。温州市对人才评定的配套制度对人才起到了很好的引导作用。作为航运企业的主管单位，可以跟进做好航运人才的顶层设计，鼓励航运安全管理人才积极提升能力，从而通过社会层面的制度来达到强化激烈的效果。

（5）建立航运企业安全管理人员成长制度，企业在选拔安全管理人员时，要求必须有安全管理的经历，一可以让优秀的管理人员在成长过程中，主动参与了解航运安全管理的规律和知识，提升安全管理能力；二可以对今后从事航运安全管理提供帮助；三可以有序进行安全管理人员的新老交替。

（6）积极向政府和行业主管部门汇报工作，对安全管理存在问题，争取政府和部门帮助解决；积极同市航海学会等社会团体沟通交流，由第三方咨询服务帮助出面解决一些实际问题或共同探讨解决；共同研究航运发展中出现的新情况、面临的新问题，积极讨论如何提高安全管理水平。

（7）抓好安全责任落实，提升贯彻《安全生产法》等法律法规措施手段，增强“主角意识”，把安全责任落实到每艘船、每个人（船员），坚持安全至上、生命至上发展理念，一定有主动精神，主人翁态度，有开拓创新安全管理新模式的勇气与水平。

（8）实施和贯彻航运企业安全文化是一项长期持续任务，涉及到公司和船舶的方方面面，工作繁重，需要大量的人力、精力和物力投入。公司主要领导必须高度重视并亲手抓，将公司领导层坚定不移的决心传导到各层级工作人员，保有忧患意识，通过积极开展各项工作，从而树立企业安全文化的信心。让我们航运企业实现在没有人监督情况下，工作人员也能在关于安全和防污染方面有积极作为。航运企业采取同业座谈等方式积极交流，后进企业要向优秀先进企业学习，多进行横向交流，不断提高管理水平。

（9）解决温州航运企业的后顾之忧，扎好篱笆，强化本地管理。温州航运企业的船舶大多是以温州为中心开展航运业务的，外地企业很多企业存在收费不作为的现象，对本地企业产生了巨大的冲击。低于成本价的管理必然采用偷工减料式管理，给安全生产埋下了巨大隐患。建议温州航运主管部门，可以参考省内（其他）航运发达城市，制定本船籍港船舶须由本地航运公司管理的规定。通过多措并举的方法，为温州航运企业管理提升增质做有益尝试。

总之，航运安全管理人员是温州航运企业安全管理的实际执行人，这批人的履职能力关乎温州航运业的安全发展，坚持政府行业引导、企业实施、科学规划，尊重人才，优化制度，新老有序更新，不断增强安全管理水平，方能取得良好成绩。为温州航运经济、港口经济发展作贡献。

参考文献：

[1]叶跃前；郭素芬.航运更加安全需要安全文化[J].航海教育研究，2003（2）：32-34
[2]尤庆华.加强航运安全文化建设塑造航运大国形象[C].2003 海上航行安全论文集
[3]曾学武.完善我国政府船舶管理对策研究[D].大连海事大学，2013
[4]肖根连.中小型航运企业安全管理体系有效性评价工作种存在的问题及建议[J].水运管理，2018,40（07）:17-20
[5]周宁；郑士君；陈正杰；王伟彬.航运企业安全文化建设[A].中国航海，2005

作者简介：

陈定进：温州进兴船务有限公司总经理，从事航运船舶管理多年，有丰富的航运管理经验，现公司在龙港市华百广场梅园阁 5 楼 505 室，13566139197.邮箱：128167@163.com
黄友标：龙港市经济发展局，从事港航方面工作四十年，有港口、运管、航道、港航监督、船舶检验等方面一线工作经历，原苍南、永嘉港航管理局局长，龙港市成立后，组织落实到龙港市经济发展局。13906778348.，邮箱：13906778348@126.com

基于港口发展需求的重点配套锚地建设对策研究

方念坚[1]，杨春平[2]，轩少永[3]

（1.台州港引航站，浙江台州 318000；

2.中交第三航务工程勘察设计院有限公司，上海 200032；

3.上海海事大学，上海 201306）

党的二十大报告强调要加快建设交通强国、海洋强国，提升产业链供应链韧性和安全水平，积极推进港口高质量发展，有利于港口发展的国家政策将不断出台，资源保障要素的相关锚地的规划和设计迎来解题时机。随着我国沿海港口不断发展，码头泊位数量不断增长，港口配套设施的锚地资源日益紧缺，港口正常营运和恶劣天气影响期间对候潮、待泊和避风等锚地的需求剧增，统筹考虑并科学合理规划布置也迎来政策利好。下面基于台州港头门港区雀儿岙作业区港口开发需求的重点配套锚地建设进行研究，提出相应方案和对策。

1 港口开发规划情况

台州港头门港区雀儿岙作业区近期将规划建设 13 个泊位，其中 1 个 15 万总吨液化石油气泊位、1 个 10 万总吨液化石油气泊位、1 个 10 万吨级油品泊位、2 个 5 万吨级散货泊位（煤炭）、2 个 1 万吨级化学品泊位和 6 个 5000 吨级化学品泊位。

1.1 货物吞吐量预测

台州港头门港区雀儿岙作业区将引进千万吨级高端新材料（台州）项目,该建设投资约 1200 亿元，其中一期工程投资 750 亿元。一期工程用地约 11000 亩，二期工程用地约 10000 亩。项目规划建设 9 个主导产业链，80 余套生产装置。项目液体原料及产成品全部按海运考虑，预计每年通过雀儿岙作业区的货物吞吐量为 2190 万吨，其中液化烃为 890 万吨，均为进口；液体化工品为 1300 万吨（进口 600 万吨，出口 700 万吨）。

1.2 年到港船型及艘次预测

通过假定泊位利用率的方式，估算到港船舶数量的概率分布特征及所需的锚位数量。参照《海港锚地设计规范》(JTS/T 177-2021)（以下简称《规范》）及《海港工程设计手册》(2001)，待泊锚地锚位数可根据船舶到港的规律的排队论模型的方法进行推算，按台州港头门港区雀儿岙作业区货物吞吐量预测和近期共有 13 个泊位规划情况，预计不同泊位年到港船型及艘次做如下推算，具体见表 1-1。

公式计算：$M_{\omega 2} = \omega_2 - n$

$$Q_{\omega_2} = \sum_{i=0}^{\omega_2} P_i$$

$$P_i = \frac{\alpha^i}{i!} P_0 \qquad (1 \le i < n)$$

$$P_i = \frac{\alpha^i}{n!\, n^{i-n}} P_0 \qquad (i \ge n)$$

$$P_0 = \left[\sum_{j=0}^{n-1} \frac{\alpha^j}{j!} + \frac{\alpha^n}{(n-1)!\,(1-\alpha/n)} \right]^{-1}$$

$$\alpha = \frac{\lambda}{\mu}$$

式中：$M_{\omega 2}$——待泊锚地锚位数；

ω_2——保证率为 90%～99%时对应在港船舶数量；

n——泊位数；

$Q_{\omega 2}$——在港有 ω_2艘船的保证率，即港内少于和等于 ω_2艘船的概率之和，可取 90%～99%；

P_i——在港有 i 艘船的状态概率；

P_0—— 无船在港的概率；

α —— 平均每天被利用的泊位数；

λ ——平均每天到港的船舶艘数，按年运量、船舶的实际载货量、泊位年可营运天数等因素综合考虑；

μ ——每个泊位平均每天服务船舶艘数，按泊位年可营运天数、船时效率等因素综合考虑。

此外，泊位的利用率 ρ = λ /n μ =a/n。

表 1-1 不同泊位年到港船型及艘次预测

序号	泊位	到港船型	到港艘次
1	1 个 15 万 GT LPG 船泊位	5~15 万 GT LPG 船	69
2	1 个 10 万 GT LPG 船泊位	5~10 万 GT LPG 船	69
3	1 个 10 万吨级油船泊位	5~10 万级油船	59
4	2 个 1 万吨级化学品船泊位	1 万级油船	171
5	6 个 5000 吨级化学品船泊位	5000 吨级化学品船	1977
6	2 个 5 万吨级散货船泊位	5 万吨级散货船	243
合计	13 个	至少 9 种	2588

从表中不难看出，5000 吨级化学品船到港艘次最多，预计年到港 1977 艘次，平均每天约 5 至 6 艘次；其次为 5 万吨级散货船、1 万吨级化学品船，年到港分别为 243 艘次、171 艘次；大型危险品船单个泊位较少，合起来则不少，3 个泊位共有 197 艘次。

2 配套锚地需求分析

锚地建设规模、锚位数量等，一般根据港口到港船型及密度、港口生产组织效率和水域自然条件等综合确定。规划锚地的数量与规模，必须适应一定时期内航道、港区发展建设的规模；锚地布置应尽量利用已建、原规划锚地，并应方便船舶的候潮、待泊与进出港。

2.1 锚地需求分析

港口工程设计中，不同货类的泊位利用率一般取 0.5~0.75 左右，当港口装卸效率较高或同类泊位数较多时，泊位利用率取较高值。结合台州港区和作业区规模，考虑到非危险品泊位量相对较多，泊位利用率按 0.7 取值，危险品泊位利用率按 0.65 取值。考虑到港 5 千吨级（GT）及以下小型危险品船舶数量较多，保证率取 99%，大型危险品船到港艘次较少，保证率取 90%。本次规划所需锚位数计算结果如下：

表 2-1 各等级泊位数及相应所需锚位数

泊位类型	船舶吨级	泊位数	所需锚位数	规划锚位数
危险品	5000 吨级（GT）	6 个	7 个	8 个
	1～10 万吨级（GT）	4 个	3 个	4 个
	15 万吨级（GT）	1 个	1 个	
非危险品	5～7 万吨级	7 个	3 个	3 个（利用现有）

表中非危险品锚地 3 个为利用现有头门东待泊锚地，头门东待泊锚地东边还可以设置至少 4 个大型危险品锚地，作为近期规划（2025 水平年），见下图 2-1。剩下就是 5 千吨级（小型）危险品锚地需要重点研究考虑。

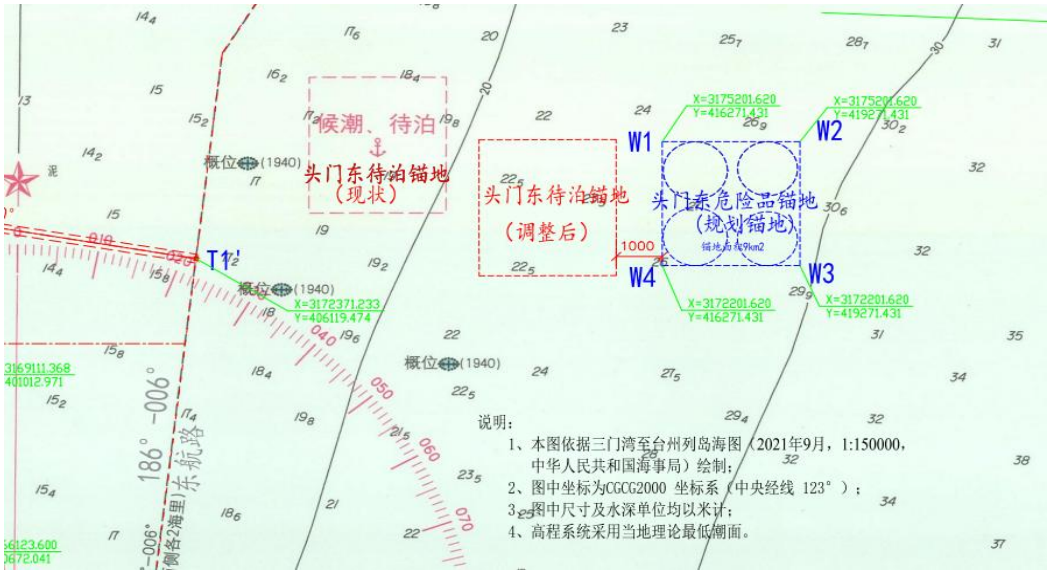


图 2-1 头门东待泊锚地和危险品锚地

2.2 小型危险品船锚地需求分析

根据上述预测和分析，将小型危险品船舶（主力船型为 5 千吨级左右）锚地作为雀儿岙作业区的**重点配套锚地**，从锚地的选址、锚位、水深、底质和规模等加以重点分析研究。

3 重点配套锚地建设存在的问题和对策

3.1 存在问题

锚地应尽量布置在避风条件好、水深适宜、海底平坦、锚抓力好、周围水域安全，避免在礁石、急流区设置锚地，以确保安全。此外规范要求锚地边线至海上油气平台、风电设施、航道边线、除油气平台和风电设施以外的其他水上、水下设施和障碍物均有保留安全净距的硬性要求。

台州港头门港区已规划有头门东危险品锚地，位于现有东航路东侧、头门东待泊锚地东侧，锚地规划面积为 10.7km^2，水深 25m 左右，可锚泊 5 万吨级危险品船舶 10 艘左右。对主要自北方进入本港区的小型危险品船舶而言，若利用原规划危险品锚地锚泊，则需穿越大型公共航路东航路、西航路进港，沿程通航环境复杂，且需与大型危险品船舶共用锚地，而且锚位需求较大，头门东危险品锚地对于小型危险品船舶来说风浪影响较大，不利于小型危险品船舶的进出港及锚泊安全。因此，需对小型危险品船舶的配套锚地的选址进行重点研究。

目前台州港头门港区公共航路、习惯性航路较多，且雀儿岙岛北侧已建有浙能台州 1 号海上风电场、规划象山 1#风电场二期，均占用了一定范围的海域。因此，可供雀儿作业区小型危险品船锚泊的水域有限。

3.2 方案比选

上述分析得出小型危险品船舶锚地需求特出，结合港口泊位利用率等综合因素考虑，所需小型危险品船规划锚位数为 8 个，所需锚地水深为 10m 左右。结合雀儿岙作业区港口发展需求、头门港区水域现有航道航路分布和海图水深现状等情况，并核算与相邻水上水下设施和障碍物的安全净距后，现优选两个较合理的布置方案进行比选，见图 3-1。具体比选如下：

方案一：在规划雀儿岙作业区进港航道南侧布置小型危险品锚地，锚地面积约为 3.7km^2，锚地现状自然水深为 12.0 至 12.8m，底质为粉砂，可同时锚泊 5 千吨级船舶 8 艘。

方案二：在规划雀儿岙作业区进港航道北侧布置小型危险品锚地，锚地面积约为 6.3km^{2}现状锚地自然水深约 10m，底质为粉砂，可同时锚泊 5 千吨级船舶 6 艘。

3.3 推荐方案

从以下几个方面进行对比选出推进方案：

从风、浪、流条件看，小型危险品锚地布置方案一、方案二风、浪、流条件相当。

（1）从船舶靠离航程看，5000 吨级及以下吨级小型危险品船舶一般自北片海域进入雀儿岙岛码头水域，利用方案一锚泊时所需航程相对较方案二略长。

（2）从锚泊环境角度来说，方案二所在水域受台州湾进港北航路、进健跳港港区南线进港航道、台州沿海小型船舶习惯航路及规划雀儿岙作业区进港航道四面环绕，周边通航环境复杂。方案一位于规划雀儿岙作业区进港航道南侧，锚地南侧为东矶岛，该水域船舶流量相对较小，锚泊环境相对较好。

（3）从与规划衔接角度看，目前进健跳港区南线进港航道受规划象山 1#风电场二期的影响，且正在规划调整中，若其向西调整，则方案二将受其影响无法实施，而方案一所在水域不受其影响。

经从船舶靠离航程、锚泊环境、与规划衔接角度等因素综合考虑，基于雀儿岙作业区港口开发需求，配套锚地推荐方案一。

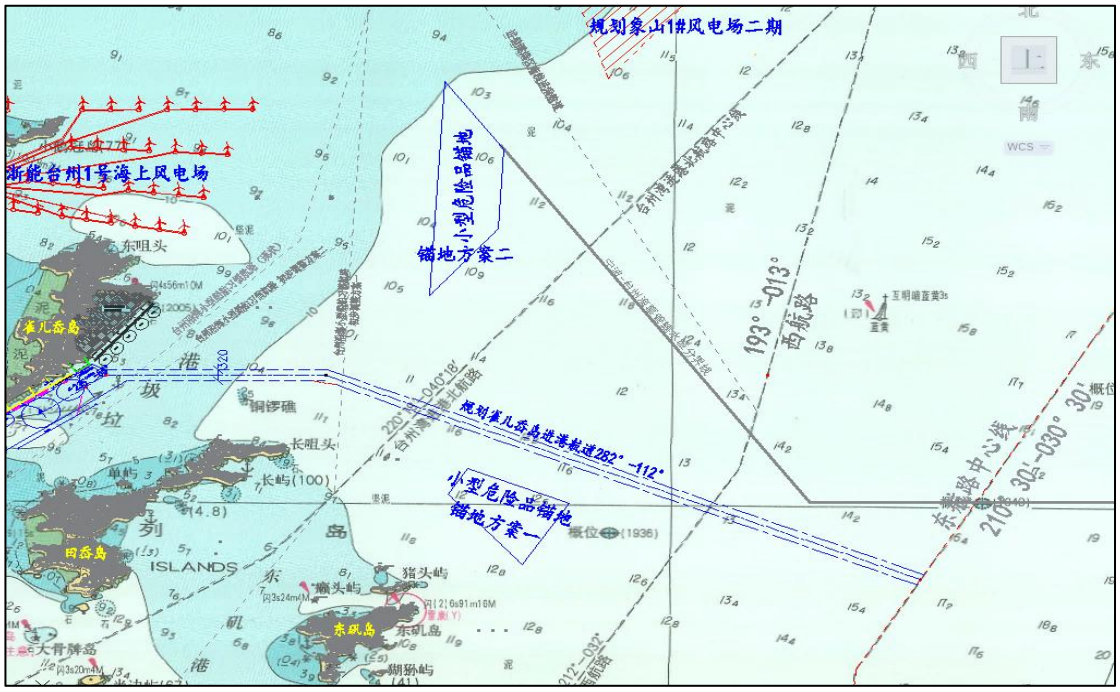


图 3-1　方案一和方案二位置示意

3.4 推荐方案的符合性分析

根据《规范》锚地选址原则和要求，从底质、交通流、风浪流影响、水深和掩护条件等方面进行分析。见图 3-1.

3.4.1 锚地底质

锚地底质应优先选择在沙泥质、泥沙质或泥质，避免在多礁石及抛石地区设置锚地。根据交通运输部规划研究院的《雀儿岙作业区规划方案通航安全影响研究报告》，推荐方案所在水域附近的底质：大部分为粘土质粉砂，小部分为粉砂，适合锚地的建设。

3.4.2 交通流

据附近水域 2022 年 1 月的船舶自动识别系统（AIS 系统）原始数据，对两岛附近各典型航路的船舶交通量、船舶长度分布情况进行分析。

该月通过 1 号截面的船舶交通总量为 303 艘次，平均每日通过该断面的船舶约 10.1 艘，平均每日通过该断面的危险品船舶约 0.47 艘。该月通过 2 号截面的船舶交通总量为 810 艘次，平均每日约 27 艘，其中危险品船舶每日 3.3 艘。该月通过 3 号截面的船舶交通总量为 455 艘次，平均每日 15.17 艘，其中危险品船舶每日 2.43 艘。该月通过 4 号截面的船舶交通总量为 1416 艘次，平均每日 47.2 艘，其中危险品船舶每日 11.27 艘。该月通过 5 号截面的船舶交通总量为 3303 艘次，平均每日 110.1 艘，其中危险品船舶每日 14.73 艘。

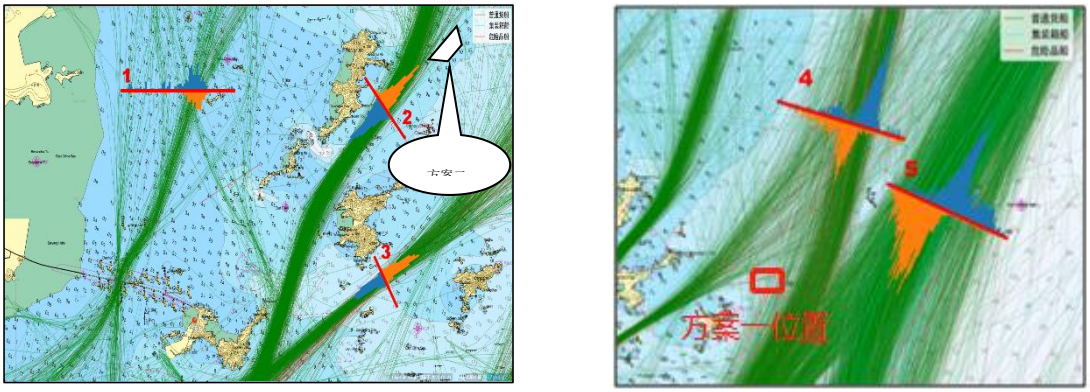


图 3-2 不同类型船舶轨迹分布图

3.4.3 风浪流

据头门岛实测风资料统计，本区常风向为 NNE 向，次常风向为 S、NE 向，出现频率分别为 22.6%、17.0%、12.0%，风向主要集中于 NNE～ENE 和 SE～SSW，以 NNW、NNE 和 NE 向为最大，分别为 7.5m/s、6.9m/s 和 6.8m/s。全年间各月平均风速为 5.2m/s～6.7m/s。

本区潮流以往复流为主，方向近乎 SE～NW 向，河口区往复流特性更强，开阔海域渐有旋转特性。涨潮时，外海涨潮水流从东偏南向西北向运动，受东矶列岛影响，外海涨潮流一部分沿东矶列岛北侧猫头洋海域进入三门湾水域，一部分通过一江山岛～黄琅和一江山岛～头门岛由东略偏南转向西略偏北进入头门岛西南浅滩和河口水域，另一部分涨潮水体经东矶列岛岛间间隙流向坡坝港和北洋海涂东侧边滩水域。据 2009 年 4 月实测全潮水文测验资料分析，从全潮平均流速来看，河口及邻近河口区流速 0.5～0.9m/s，外海区域流速一般在 0.5m/s。

本海域多为涌浪以及涌浪和风浪兼有的混合浪，根据大陈岛波况资料统计分析：常浪向为 ENE 向、频率 28.1%，次常浪向 E 向、出现频率 15.41%；强浪向 E 向， $H_{1/10}$ 波高主要在 1.1m～3.0m 之间，其频率占 58.8%；$H_{1/10}$ 波高≥3.1m 的出现频率为 5.21%。全年常浪向主要分布在 ENE～SE 向，其频率占 76.63%。该海域波浪在年内分布上具有明显的季节性变化，其中 10 月～翌年 3 月以 ENE～E 向为主，4～9 月以 ENE～SE 为主。

3.4.3 水深

本次小型危险品锚地推荐方案所在区域位于东矶岛北侧，海图水深约 12m。从 2013 年～2022 年本海域等深线上看出，等深线形态总体保持相对稳定，等深线位移距离不大；海域域有冲有淤，大部分区域冲淤幅度在-1m～+1m 之间，年冲淤幅度在 0.12m/a 左右。本次小型危险品锚地推荐方案所在区域位于东矶岛北侧，岛屿的迎浪侧及岛屿矶头附近多为冲刷状态，有利于锚地水深的维护。

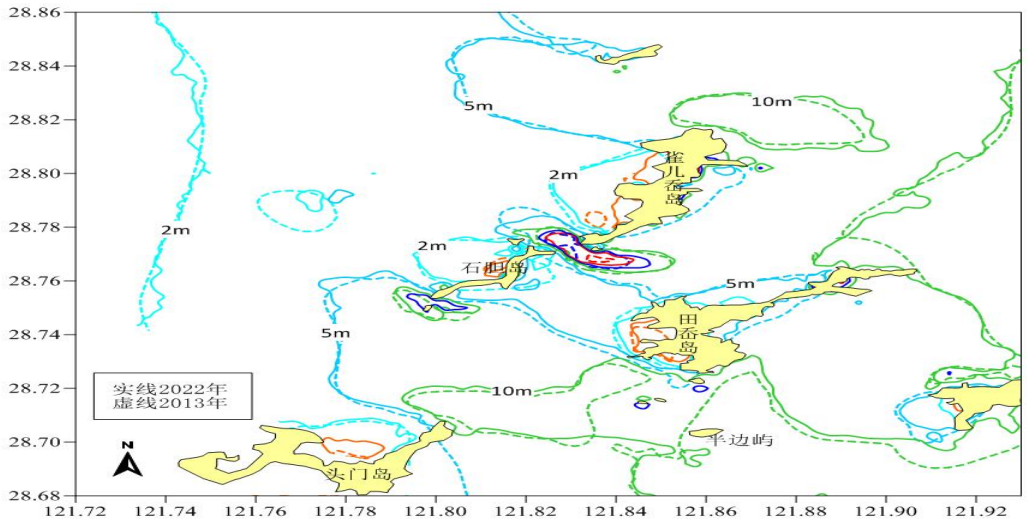


图 3-3 附近海域等深线变化（2013～2022 年）

3.4.5 掩护条件

台州港 2～5 级风出现频率占 83.9%，6 级风及其以上的大风占 9.2%。据统计，该海域波浪在年内分布上具有明显的季节性变化，其中 10 月～翌年 3 月以 ENE～E 向为主，4～9 月以 ENE～SE 为主；全年强波向 7～9 月以 E、ENE 向主，最大波浪均出现在台风期。

推荐小型危险品锚地水深和底质合适，附近船舶流量影响安全可控，受西侧雀儿岙岛、南侧东矶列岛等众多岛屿掩护，西向至南向的风浪掩护条件较好，东南至西北向海域宽敞，台风期受风浪影响较大，推荐方案更适合进出雀儿岙作业区的小型危险品船舶待泊。

3.5 对策

3.5.1 加快政策调整处理

建议在对《浙江省海洋功能区划（2011-2020）》进行修编时,将雀儿岙作业区的码头、引桥、航道、小型危险品船舶锚地及港内水域用海范围功能区由“农渔业区” 调整为“港口航运区”。头门港区雀儿岙作业区规划修订获批后小型危险品船舶锚地就可以落地建设。

3.5.2 加强锚地使用管理

结合本海域交通流、风浪流、水深、掩护条件等综合因素分析，本次小型危险品锚地按非避风锚地设计，锚地设计按风速 7 级、有效波高 2.0m、流速 1.0m/s 考虑。锚地使用时，应密切关注水文气象条件变化，合理安排待泊船舶的数量。在锚地营运过程中，应结合本地实际情况针对泄漏、火灾、碰撞、搁浅、台风等情况编制事故应急预案，报海事主管机关备案，以确保小型危险品船舶的锚泊安全。

3.5.3 加强安全保障措施和航标设置

锚地水域发生的风险事故具有突发性、不确定性、多变性和不易控制性等特点。一方面锚地附近养殖业发达，渔船较多，航行、作业较为灵活，相关管理部门应联合执法对渔船和渔栅等有碍锚泊安全的不利因素进行有效治理，保障附近海上航道畅通和锚泊船安全。另一方面加强监管设施建设，包括 CCTV 监控、雷达及电子海图等综合监控系统。确保 VTS 中心监管系统对该水域全覆盖。必要时增设专用航标。

4 结语

通过上述研究分析，雀儿岙作业区其他锚地的规划都有合适选址，可供小型危险品船舶锚地的选址非常有限，经多次更改才最后选定，而且还存在一些政策和安全问题，因此本次将小型危险品船舶锚地作为雀儿岙作业区重点配套锚地研究对象是合适的，也符合需求的。小型危险品船舶锚地推荐方案选址是合理的，但还需相应的政策调整处理和规划修订来支撑。建成后强化安全保障举措和锚地使用管理，小型危险品船舶锚泊安全是有保障的。

参考文献

[1]交通运输部.海港锚地设计规范[S].JTS/T 177-2021.北京：人民交通出版社,2021.

[2]交通运输部.海港工程设计手册[S].上、中、下册.北京：人民交通出版社,2001.

[3]刘敬贤，李昌伟，刘文等.基于排队论的锚地规模论证分析[J].航海工程，2009，38（4）:158-161

[4]谷文强,覃杰,连石水,等.海港锚地最小设计水深计算方法的数学模型[J].水运工程，2020，577（12）:57-62,75.

[5]王才星.锚地及锚泊船安全管理对策初探[J].交通科技，2010，241（4）:108-110.

[6]谷文强,马志强. 锚地选址时的底质影响因素分析[J].水运工程，2021，585（8）:42-46,66.

作者简介：

1.方念坚[1]，台州港引航站，通信地址：浙江省台州市椒江区江滨路 46 号，13566887397，693514161@qq.com，邮编：318000。

2.杨春平[2]中交第三航务工程勘察设计院有限公司，高级工程师，17821770058，，yangchunping@ccccltd.com，邮编：200032；

3.轩少永[3]上海海事大学，博士研究生，397225598@qq.com，邮编：201306，）

“情景模拟”培训模式在公司新证二副上岗前培训的应用与总结

方为明[1]，许光锋[1]，卢奇辉[2]

(1.浙江协海集团；2.台州航海学会)

摘要：情景模拟培训模式运用专业的知识、方法和技巧，通过专业的工作程序，帮助受训人员发掘和运用自身及周围的资源，改善其与工作环境之间适应状况的专业服务活动。公司在情景模拟培训模式开展中，集中了一些资源，仔细地进行策划，认真地开展了活动，提高了待聘船员的素质，激发了待聘船员工作热情，促进了其长久为服务公司的信心。

关键词：情景模拟培训模式；教育支持小组；角色扮演；信任和尊重

1 理论依据

情景模拟培训模式是根据工作内容和培训目标，通过创设特定的场景、人物、事件，再现事件或事物发生发展的真实场景，并由教育支持小组成员引导学员转变身份，扮演相关角色并亲身体验、实践、感悟，结束后指导者进行分析点评，最终让学员在高度仿真的情景中素质和能力得到全面提升的一种实践性培训方式。Marry Richmond 在《社会诊断》中提出“在情景中理解行为”，强调利用环境资源以促进案主的改变和提升。这一点奠定了员工培训工作从环境角度理解和干预个人及个人行为的框架，检视人与环境之间的互动，提升个人适应环境的能力成为培训的主要目标和手段。情景模拟培训模式有利于培养学员观察、分析和综合思维能力，提高学员的语言表达能力、在一定环境下的组织能力、操作能力、团队合作能力及应变能力。其理论依据有：

1.1 实用主义认识论

实用主义认识论十分强调“经验”的价值和作用，认为“科学探究－试验－质疑－再试验”才是认识世界和获取知识的最有效途径，而最适宜的培训方法是采用团队工作和项目安排等需要共同交往和集体参与的方法，强调“从做中学”以及合作学习。而情景模拟培训法的特点之一，就是共同参与和合作学习，员工集体在完成设定工作任务的过程中，通过亲身实践进行学习。

1.2 人本主义心理学

人本主义心理学认为，在一个自由、安全和富有人情味的心理环境中，人类固有的优异潜能会自动显现出来。因此，在小组活动中教育支持者的主要作用，是创造一种能促进员工学习的心理氛围，提供必要的学习资源，让员工进行自主学习。情景模拟培训法所强调的，正是要“以员工为本”，尊重员工在活动中的自主地位。在情景模拟中，员工是活动的主体，而教育支持者则是指导者、监督者，处于“辅助”的地位。

1.3 “三元交互”心理理论

美国著名心理学家班杜拉在其“三元交互决定论”中，认为人的认知过程是其行为、思维和环境三者交互作用的心理活动过程，主张行为和认知的结合。情景模拟培训模式正是通过对真实环境的模拟和在培训过程中对员工行为的引导，把环境、行为和认知结合起来，通过三者的交互作用来实现培训的目标。

情景模拟培训模式运用专业的知识、方法和技巧，通过专业的工作程序，帮助受训人员发掘和运用自身及周围的资源，改善其与工作环境之间适应状况的专业服务活动。运用情景模拟模式来帮助受训人员练

习工作技能技巧，帮助他们在现实工作中获得满意的工作效率和成就感。通过情景模拟活动提升受训人员的能力，往往是单独一对一辅导方法达不到的效果。

2 案例呈现

2.1 受训人员任职前状况

公司某轮新证二副 Y，1978 年生人；航海院校函授毕业，之前从事乡村厨师行业；俗称“半路出家”，2009 年取得服务簿，从事船员职业，水手资历共 9 年，2020 年 12 月年开始，实习三副。2021 年 11 月底顶岗任职三副。2023 年 1 月初取得二副证书。上船任职之前海务部对其进行了任职能力考核；公司设定的及格成绩为 70 分，结果该船员的考核成绩为 64 分，海务部将该船员的考核情况反馈给人事部门，建议不能聘任该船员上船任职。由于船期紧，船上现任二副情况特殊等因素，鉴于该船员原在公司任职三副期间的安全生产记录和工作表现情况及船上船长的意见等情况。建议海务部对该船员进行进行培训或令其开展自学之后再次进行考核，毕竟离及格只有 6 分之差。（常规做法是海务部先对任职考核的考卷进行批改，然后意见反馈给人事部门，人事部确定船员有高度的合作意向之后，海务部再与其将答卷上的错误内容部分进行归类、分析，提出注意事项和学习建议）相信经过短期的自学及培训，应该能够得到迅速的提高，能够通过考核。毕竟该考核也只是一个参考依据，旨在了解船员当前掌握的理论知识状况和对其知识进行适当提高和巩固的一种普通做法。况且考核试卷的信度和效度也值得探讨。但是安全问题从来没有及格分，安全问题永远只有一百分。

2.2 岗位的现实情况与的特殊性

二副的岗位在船舶的航行值班中由于其时间段等情况，显得相当特殊，按规定为午夜 0 点至凌晨 4 点。据某主管机关对 2008 年-2020 年间的商渔船碰撞事故进行统计，在晚上 23 点至凌晨 4 点之间是事故最易发时段，被称为“黑色 5 小时”。

船员的岸基培训工作基于条件因素，无法提供船舶环境和相关设施满足船员熟悉的及时要求。因此，一般都通过岸基+船舶的培训熟悉方式来开展。通过《开航前指令》和《新聘/转岗职责熟悉记录》将公司的培训要求和任务传递到船舶，由船舶进行开展补充项目的培训以达到其适任的要求。实际该情况的操作存在相当大的弊端。公司一旦考核通过，与船员签订劳动合同之后，实际上该船员已经是公司的员工了。当其上船之后，就进入到船员交接阶段。原职务船员解聘离职。一旦该船员在此后的后续培训中出现不合格状况，将出现无人可换的情况，于是只有“霸王硬上弓”，不上也得上，给船舶的航行和生产带来极大的安全隐患。企业一直坚持预防在先，教育在先，警示在先原则，组织人员运用专业的知识，方法和技巧，通过专业的工作程序，尽可能将一些隐患和缺陷尽早进行发现，积极分析原因，帮助有困难的员工发掘和运用自身及周围的资源，制定有针对性的纠正措施，并发掘和运用自身及周围的资源，贯彻落实开展整改活动。

3 情景模拟之活动策划

公司体系办组织了海务、人事及机务等部门进行了商议策划，抽调人员组成临时教育支持小组，以“情景模拟”为主题对其开展针对性的培训活动。即是在航海及管理的知识的掌握上存在较大欠缺或者对知识运用不系统的船员，需要对其进行知识补差及系统化的培训。情景是模拟船舶在生产经营中的情景，设置一个以船员持公司调配令到船报到直至船舶到达目的为止的过程，其所要进行并完成的业务。如果该船员能够很好地完成该模拟航次的工作，那么此后的履职工作基本上都是一遍又一遍的重复。所以，将船员放在这样的模拟氛围下进行培训是一个系统而完整的职责熟悉和岗位培训。根据岗位的职责和安全生产工作的要求结合其本人的情况，拟出以下四个方面的内容贯穿起整个活动。1、人员交接与职责熟悉；2、设备操作管理和船舶环景熟悉；3、航次计划制定与图书资料管理；4、航行值班与关键性操作。在上述的每个部分内都嵌入设置的一些问题，假设在现场处理中遇到的不同情况。所有设置的问题的完成情况都可测量、可评估。

4 情景模拟之活动实施

培训计划制定妥后，临时教育支持小组将计划传递给该船员约定培训开展的时间，并准备妥相关资料。在该船员到公司后，小组成员分成角色扮演者，现场指导者及评估观测者，让该船员“本色出演”模拟开展二副的工作。

(1)模拟到船之后和船上现任二副的交接中，明确交接的范围、内容和要求。要求其根据本岗位的职责主动索取各项清单、目录及体系活动记录；并说明对应清单、目录的建立目的和作用。在交接的过程中再次验证了船员对职责的熟悉程度。

（2）模拟船员到船之后，对驾驶台通信、导航、信号、警报等设备的使用和检测（结合单船设备操作规程、产品使用说明书等使用提问的方式）以及提供船舶图纸对船舶环景、结构、布置等进行熟悉并进行关于船舶检验规则和入级规范的相关内容进行提问以促使其提高使用和发现缺陷的能力。

(3)模拟船舶接到某一个航次任务，船长在组织航前会议后，二副根据船长的对本航次的工作安排进行航线设计。航线设计在高校课程中和船员的考证中都有评估的课程，小组便侧重其根据《航海通告》及相关无线电临时警报对航海图书资料的修改，图书资料的抽取与获得，航海图书目录的使用、复杂航线的航程以及对航线附近的危险物的避险手段；港口航道通航管理规定的遵守执行情况。

(4)模拟船舶开航后，船员进行航行值班状态下，对于航海学知识和海上避碰规则的熟悉和理解情况进行测评。教育支持小组按照设定的问题假设在一些特殊的场景下，要求船员对船舶进行定位、物标的辨识、正确使用号灯号型、大风浪航行、雾中航行、受限水域操作、商渔船防碰撞等进行答辩。

以上的每一项活动结束之后，小组立即进行评估与交流，指出其错、漏、缺的地方帮助其系统地、深入地理解这些行为的目的和意义。

5 情景模拟之目标评估

通过将近 5 个小时的情景模拟培训活动后，教育培训小组和该船员一起，经过对培训目标实现的回顾、船员自我剖析和考核结果进行对比后，一致认为该船员在思想、认识、态度和技能上都得到极大地提高和巩固，本次培训的目标得到了实现，培训工作的方向和预期都符合理想。在该船员到船上岗任职后，公司人事部联系船长及询问其部门长和其他船员对其任职表现进行后续跟进了解，反馈良好，说有种脱胎换骨的变化。

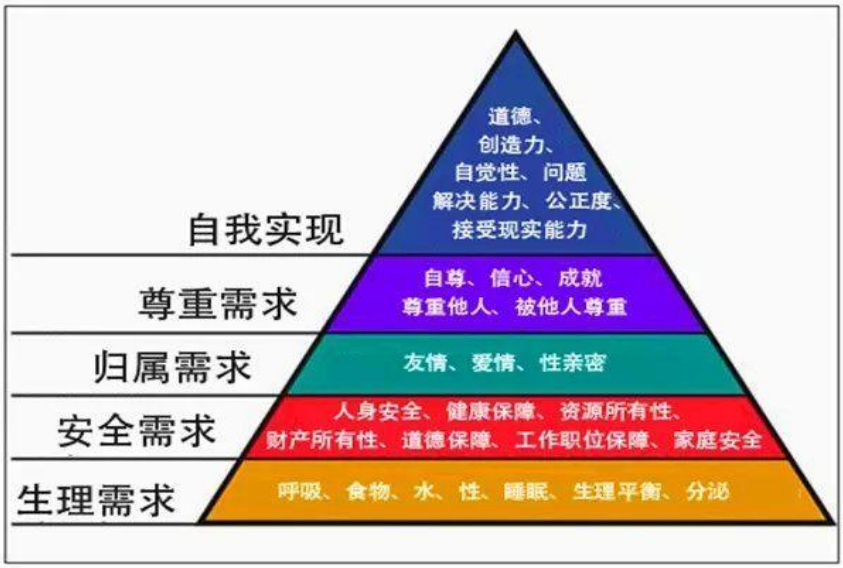
6 情景模拟之现实意义

从该船员的实际情况中，也折射出当前一些我国船员队伍的情况：1、当前市场下职务船员的供应并不充足。于是学院派的船员一般情况下职务晋升很快，但在经验的积累上往往不足；江湖派的船员通过航海专业的函授等方式获取得文凭后然后再参加适任考试，往往知识掌握得不牢固，欠缺系统，呈现碎片化。2、当前航海院校所培养出来的学生从事船员工作的比例并不高，并且此类的学院派船员大部分被国企招聘。该部分的船员对非国企的企业认可度低，他们对私企从制度执行和职业保障上都表现出了担忧和怀疑。导致在私企服务的船员流动性大，质量不高。

航运私企在这种不利的环景和条件下，要获得进步和发展必须要建立一支高素质的船员队伍，对企业的管理有高度的认同感。而企业也应让船员产生一种被关怀着的归属感。公司在本次的情景模拟培训模式开展中，集中了一些资源，仔细地进行策划，认真地开展了活动，提高了待聘船员的素质，激发了待聘船员工作热情，促进了其长久为服务公司的信心。

马斯洛需求层次理论认为，人只有在满足低一级的需求之后，才会产生高一级的需求。从马斯洛需求层次理论中可以发现，工作职位保障是安全需求之一，事实表明大多数船员还陷入在这一个低层次中焦虑和迷茫，没有动力往更高层次去追寻。公司利用情景模拟模式，营造了一种平等、宽松的开放式培训环境，

在形式上完成了一次招聘的考评工作，但在行动上表达了对他个体的关心和重视，使其感觉到在这个企业中被信任和尊重。而作为船员也更加愿意通过其在工作的表现（自我实现）为企业带来效益。



（马斯洛需求层次理论）

7 情景模拟之对象的扩大

情景模拟培训模式在个案的培训活动中取得了良好成果之后，并由临时教育支持小组整理材料撰写总结报告。公司高层肯定了该培训方式的应用价值，并邀请在家休息的同等级船员组成小组（每组 5-8 人）以小组形式按照该培训模式开展培训活动。在实际的培训过程利用组员间的互动，组员与指导者的互动，每个参加小组的组员都可以成为被培训者、评估者。大家共同发现问题，讨论问题、解决问题，在严肃而热烈的气氛中航海的相关理论和知识得到了提高和巩固。

8 结束语

工作是每一个人社会参与的最重要的方式，能够充分展现“自我生命意义”和奉献社会的功能。每一个人都有自身社会期望角色，因此在就职履职的过程中，需要有一些高价值展现，也只有通过不断努力，珍惜学习机会，积极获取知识、形成信念才能产生正向行为。祝福每个为生活努力奔波的劳动者都能得偿所愿！

参考文献

[1] 玛丽埃伦·里士满.社会诊断[M].华东理工大学出版社,2019

[2] 亚伯拉罕·哈罗德·马斯洛. 动机与人格[M].江苏人民出版社,2021

[3] 威廉·詹姆斯.实用主义：一些旧思想方法的新名称[M].中国青年出版社出版,2013

[4] 班杜拉.自我效能：控制的实施[M].华东师范大学出版社，2003

[5] 翁雨波.船用替代燃料应用前景[J].中国船检,2019,No.231(08):46-49

作者简介

方为明：企业培训师，社会工作师，船长，现为浙江协海集团海务部主管。联系电话：13396937808。

许光锋：曾多次获得交通部“安全诚信船长”、浙江交通投资集团“169 拔尖人才培养人选“及“百名优秀员工”等荣誉，现为浙江协海集团海务部经理。联系电话：15356057691。

卢奇辉:船长、磁罗经校正员、浙江海事局船员适任评估员，中国航海学会和浙江航海学会“先进个人”、浙江交通投资集团“169 拔尖人才培养人选“等荣誉现为浙江协海集团海务部主管，浙江航海学会理事、台州航海学会副理事长。联系电话：13968690952。

AIS 系统应用中存在的问题和对策探讨

肖小春

（交通运输部东海航海保障中心福州航标处，福建 福州，350005）

摘要：AIS 系统是海上航行和避碰的重要系统，对保障水上交通安全有着至关重要的作用。本文梳理我国 AIS 系统建设和管理的总体情况，总结了目前国内 AIS 设备使用、管理和数据环境方面存在的问题，从体制机制改革、技术创新、管理手段等角度提出建议，希望能够促进 AIS 系统设备管理和数据环境的规范，为水上交通安全保障打下基础。

关键词：AIS 系统；标准监；海上人命救助；技术手段

1 引言

自动识别系统 (Automatic Identification System)是集现代通信、网络和信息技术于一体的新型助航设备和安全信息系统，是一种工作在 VHF 频段，采用 SOTDMA（自主时分多址）现代通讯技术的广播式自动报告系统。 AIS 系统由岸基台、船载台、转发台等组成，船载台可向他船及岸基台自动播放本船的动态信息（船位、航速、航向等）、静态信息（船名、目的港等）、航次信息和安全短消息等相关资料，同时也可自动接收他船及岸基台的资讯。岸基台则可依靠所获取的信息，拓展主管机关的服务管理范围，及时掌握海域交通动态，提高海域管理效率。AIS 系统建立了船-船、船-岸的信息平台，为实现海上交通安全信息化管理提供了重要的手段，是涉海管理机构跟踪掌握船舶动态的最主要手段。结合海图等静态数据，还可以对海上交通行为进行数据分析，为交通管理部门、海事法院、航运企业、科研院所提供数据支撑服务。由于种种原因，目前在 AIS 设备的使用和管理方面还存在不少的问题，如大量非标设备投入使用，船载 AIS 数据错误录入，船员擅自关闭设备等等，这些行为加剧了通信资源的拥挤，也造成了 AIS 数据可靠性不足，数据挖掘利用受到影响，也带来了极大的航运风险。

2 AIS 系统总体情况

2.1 我国 AIS 建设情况

我国的 AIS 岸基系统由交通运输部负责建设，由交通运输部海事局负责具体实施和维护。我国从 2000 年开始推进 AIS 系统建设，目前共建成国家级 AIS 中心 1 个，全国 AIS 数据备份中心 3 个，海区中心 3 个，辖区中心 18 个，共建设岸台 172 座，全面覆盖我国沿海主要航道和港口水域。

2.1.1 AIS 船台配置规定

中国海事局于 2010 年 4 月 12 日印发《国内航行船舶船载电子海图系统和自动识别系统设备管理规定》，规定指出除渔船、公务舰艇、体育运动船艇、军用船舶外的其他船舶配备 AIS 设备的时间表，其中包括“中国籍 500 总吨以下沿海航行船舶配备 A 级或 B 级 AIS 时间表”和“中国籍内河航行船舶配备 A 级或 B 级 AIS 设备时间表”。《中华人民共和国海事局关于印发船载自动识别系统设备检查导则的通知》（海船舶〔2015〕51 号）规定，所有 300 总吨及以上的国际航行船舶、500 总吨及以上的非国际航行沿海航行船舶以及所有客船（如有免除的除外）应配备 A 级 AIS。

3 存在的主要问题

3.1 大量非标准的设备扰乱系统正常运行

在实际工作中发现，海上存在大量非法布设的 AIS 基站，以及违规工作的 AIS 船舶和渔网示位 AIS 终端。这些未经主管部门审批、不规范设置和运行的无线电设备不仅占用了水上通信资源，干扰水上通信设施正常工作，还给船舶的正常通行带来严重的安全隐患。2020 年 6 月 13 日-7 月 7 日，东海航海保障中心上海航标处开展了东海海区 AIS（船舶自动识别系统）数据监测和分析第一阶段工作，共发现四类干扰水上无线电通信秩序的设备和行为。

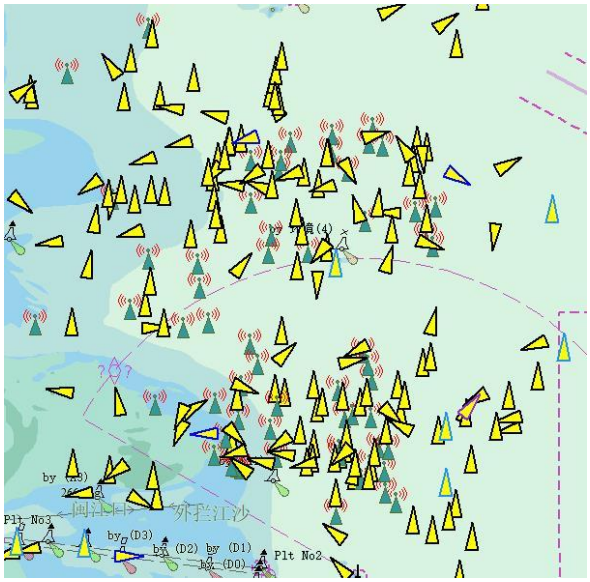


图 1：闽江口外拦江沙水域存在大量网位仪

3.2 AIS 设备使用存在不规范行为

根据《中华人民共和国海上交通安全法》（2021 修订）第三十六条规定：船舶在航行中应当按照有关规定开启船舶的自动识别、航行数据记录、远程识别和跟踪、通信等与航行安全、保安、防治污染相关的装置，并持续进行显示和记录。船舶常见的不规范使用 AIS 的行为包括：

（1）关闭 AIS 设备以躲避监管

船舶处于某种目的，人为关闭 AIS 设备，以逃避监管。2017 年 1 月到 6 月，上海海事局查处了 251 起未按规定开启 AIS 设备的违法案件，人为关闭船载 AIS 的非法行为广泛存在。

（2）错误设置 AIS 信息

AIS 信息包括静态信息、动态信息以及与航次相关信息三类，AIS 静态信息包括船舶名称、MMSI（海上移动识别码）、船舶呼号（海船）、IMO 号码（海船）、船舶类型和天线位置等信息，静态信息对于识别船舶具有决定性作用。由于部分 AIS 厂商未对出厂设备的静态信息修改权限进行限制，部分人员受利益驱动，利用这个漏洞肆意修改本船 AIS 设备的静态信息，存在冒用无线电台识别码的情况。例如，沿海从事非法走私、采运海砂等违法作业的船舶，为逃避监管，普遍存在篡改 AIS 静态信息的行为，包括输入假船名、假 MMSI 码、套用他船 MMSI 码，俗称“一船多码”、“一码多船”等，严重干扰水上通讯秩序，给海事监管、海上搜救、无线电管理带来较大隐患。2017 年 1 至 6 月，上海海事局就查处了 45 起船舶未在 AIS 设备中设置准确信息的违法案件。

（3）对 AIS 设备使用方面的技术监管手段不足

目前，对于 AIS 使用不规范行为的查处，主要是靠不定时的专项检查来实施，尚未形成有效的技术监管手段。导致涉及 AIS 违法行为的查处频率和力度都不够，无法形成有效威慑和全面监管。

3.3 AIS 消息利用不充分

近来，随着 AIS-MOB (AIS 个人便携应急示位标)的广泛使用，使用 AIS 告警求助消息的设备也不断增多。但是，海事管理部门、海上救助部门还没有充分利用告警求助消息来监管人员落水等情况，出现了告警消息有人发、有人收、却没有引起足够重视和利用的局面。

3.4 AIS 数据的挖掘和增值服务不足

近些年来，大数据分析在互联网等领域得到了广泛的应用，创造了巨大的价值。当前，信息推荐、自动驾驶、人工智能等技术背后都有大数据技术的支持。船舶 AIS 数据是航运大数据的重要组成部分，包含了船舶的时空信息，通过对 AIS 数据的可视化分析，可以跟踪船舶轨迹，统计和分析船舶交通流和货物流等，无论对船舶运营、交通监管还是航运贸易都具有极其重要的意义。但目前对于 AIS 数据进行采集、分析、挖掘的软件很少，对 AIS 数据的挖掘利用、智能处理等增值服务还开发得很不足。

3.5 AIS 系统和设备自主可控程度不高

当前，我国网信体系的发展面临严峻挑战，我国网信领域要求采用自主可控技术、产品、服务、系统的呼声越来越高。作为交通运输行业的关键核心技术之一，AIS 基站数据的接入和管理目前却均都使用国外厂商的管理系统，造成我国 AIS 岸基网络系统无法满足自主可控的要求，对 AIS 系统的可靠运行和网络安全带来了隐患。

4 对策和建议探讨

4.1 规范 AIS 设备准入环节

由于大量的非标 AIS 设备上市并流入生产，对 AIS 系统总体运行造成了很大的干扰。应该从源头抓起，加强对 AIS 设备生产厂商的管理，加强产品检验，确保各类 AIS 设备满足 ITU 和 IEC 等国际组织制定的标准和规范，同时满足我国的性能要求。应该重视 AIS 设备的标准化，尽量做到 AIS 设备生产厂商得到市场监管部门和海事管理部门的双认证，保证每台设备都是认证厂商所生产，同时产品追溯问责制度，督促各生产商自觉提高 AIS 设备的质量。

4.2 加强对 AIS 设备的检查与管理

海事主管机关一直重视船舶 AIS 设备的正确使用问题，中华人民共和国海事局下发过《关于印发国内航行船舶船载电子海图系统和自动识别系统设备管理 规定的通知》、《关于做好国内航行船舶船载自动识别系统设备安装配备及监督检查工作的通知》、《关于开展对船载 AIS 设备静态信息固化升级有关工作的通知》、《关于开展水上无线电秩序管理专项整治工作的通知》等一系列文件，要求船舶始终保持 AIS 设备开启状态，正确输入相关信息等。各海事机构应该持续开展对船载 AIS 设备使用的专项整治，对典型违规行为进行处罚，形成震慑。建议将船载 AIS 设备年度试验作为强制要求，借鉴国际标准，由认可的验船师或检修机构进行试验，验证船舶静态信息的编程是否正确，与连接传感器的数据交换是否正确，并通过无线电频率测量和使用船舶交通服务（VTS）等进行广播验证。

4.3 加强 AIS 数据监测与跟踪

开发和建设 AIS 数据监测和分析系统，自动、常态化地对辖区内的 AIS 数据进行检测分析，提高不规范使用船载 AIS 设备行为的识别能力。海事管理机构可通过监测和分析系统，对各种信息源进行筛选和分析，排查出可疑目标船，加强监督检查和行政执法，净化无线电通信环境，保障水上交通安全。

4.4 加强 AIS 数据的分析挖掘

经过近 20 年的运行，各主要航运国家的 AIS 数据都呈现指数性增长，无论是海事部门还是民用的航运数据中心都积累了海量的历史数据，这些数据包含了大量船舶航行和产业发展的信息，是一种宝贵的数据资源。通过大数据分析挖掘和智能处理，对于港口运营管理、船舶运营管理、船队动态监控、海事管理、船舶避碰量化研究等多方面具有重要意义。例如，基于历年货船 AIS 数据，可实现对全国水运运力的精准分析和预测，也可以根据港口及地区一段时间内进出港数据，预测区域内运力情况。在充分利用 AIS 数据的基础上，还可以打通上下游的港口数据、物流数据、电商数据等。在政府部门的组织下，加强各种数据汇集，打好数据基础，破除信息孤岛，做好数据分类管理。基于完整的大数据资源池，向客户提供一些创新型增值数据服务，提升客户价值，使客户从传统经营方式向路径最优、成本最低、效率最高、利润最大化的智能管理方式转变。

4.5 建立 AIS 告警信息接收处理系统

在规范使用 AIS 设备的基础上，建立 AIS 告警信息处理系统，将告警信息纳入职能部门的值班平台，对海上发生的各类告警信息进行及时处置，指导推广 AIS-MOB 的规模化应用，实现对近岸海区人员落水告警消息的有效覆盖，充分发挥告警信息在安全生产中的作用。

4.6 建立自主可控的 AIS 基站管理系统

对现有 AIS 岸基站系统进行自主可控升级改造，开展 AIS 运行和管理系统国产替代研究，提升数据安全和可控保障能力，同时提升管理软件的功能设计，尤其是加强在数据统计、分析方面的功能，满足管理单位和用户个性化的需求。

5 结论

AIS 系统对水上交通运输行业发挥着十分关键的作用，目前在行业管理、设备应用、数据深度开发等方面还存在着不少差距。本文从一名水上交通运输行业从业者的角度归纳总结了一些存在的问题，提出对策建议。AIS 系统数据环境的提升需要全产业链的参与，既需要完善制度建设，加强监督管理，也需要不断升

级产业技术，更需要广大从业者提高认识，自觉遵守行业规范，提升 AIS 数据质量，净化 AIS 数据环境。在此基础上，不断整合行业上下游的相关业务数据，建立统一的数据湖，充分运用大数据、云计算、AI 等先进技术，进一步分析、挖掘和利用数据，加快推进智慧航运建设，迎接智能航运时代的到来。

参考文献

[1]张杏谷.AIS 助航规范与应用.大连海事大学出版社,2013 年出版(P6))
[2]詹海东.陈渊,李义斌,陆悦铭.“长赐”轮参与救助船舶播发的 AIS 信息问题及启示.中国海事 2021 年 09 期(P37)
[3]宋兵兵.船舶自动识别系统（AIS）存在的问题及治理路径.世界海运,2021 年总第 308 期(P36)

作者简介

肖小春，2007 年进入交通运输部东海航海保障中心福州航标处工作，主要从事视觉航标管理、无线电航标管理、技术装备管理等工作。电话 0591-88080863，电子邮箱：297428747@qq.com

现代船舶节能减碳的技术策略

郑金辉

（厦门隆运船务有限公司 福建 厦门 361102）

摘要：随着 IMO MEPC 不断颁布各种环保法规，绿色低碳已成为航运业发展的必然趋势。2021 年 6 月中旬，修正案 MEPC 76 引入 CII 作为指标以表征船舶实际的营运能效水平(2023 年实施)。MEPC 80 要求国际航行的船舶碳排放强度，到 2030 年 CO,排放强度与 2008 年相比至少需降低 40%，并在 2050 年前后达到 GHG 净零排放。此修正案引用了两个新的强制性措施:船舶能效指数(EEXI)和破强度指标(CII)评级。同时我国的《船舶能耗数据和碳强度管理办法》自 2022 年 12 月 22 日起施行，针对现有国际航行船舶温室气体排放进行技术和经营双重机制监管。本文通过对推进系统的一系列技术改造，可有效改善现有船舶能效指数(EEXI)和破强度指标 (CII)，作为船东的应对策略参考。

关键词：碳强度；节能减碳；柴油机热效率；技术改造。

1 前言

MARPOL 公约规定，船舶自 2023 年起要每年向主管机关申报年度营运碳强度指标，接受验证和评级。如果连续 3 年营运碳强度指标评级为 D 或任何一年评级为 E，就必须修订《船舶能效管理计划》（SEEMP），并向被授权的直属海事局验证提交改进措施计划，经验证批准后，才能获得相关的《燃油消耗报告和营运碳强度评级符合声明》及新的《船舶能效管理计划符合性确认书》。

碳强度指标与船舶营运状态密切相关，并且评级机制还引入以每年 2%递增的折减系数。因此，其对整个航运界的碳减排影响深远。除船东以外，租船人、第三方船舶管理公司等也必须认真对待，促进规则的有效实施，是当前航运界的紧迫问题。

为防止航运业的利益，IMO 给出了个折中手段，attained EEXI 大于 IMO 要求的 required EEXI，对船改造、限速之后，满足要求后，可以继续投入使用。海运实现温室气体减排的各种策略，可归纳为三大类：技术面、营运面及市场机制。技术面主要以各种可能的设计来降低船舶能源的消耗。营运方面则是透过各种营运管理措施来达到节能、减碳与减排。现阶段的节能技术以两大方向来进行船舶能源效率的改善，一是提高船舶推进系统效率，二是减少阻力。而减少阻力又分成优化船舶主要尺度与线型，及减少船体粗糙度。下列试从提高柴油机的热效率方面进行阐述。

2 船舶对于节能减碳适用技术的应用和改良

自柴油机问世以来，世界上的商用船舶几乎都将柴油机作为主要的推进动力，但柴油机所造成的污染十分巨大。其排放的污染物主要有 HC、CO、CO_2…SOx & NOx、杂质和烟尘等。根据资料统计:集装箱运输行业的二氧化碳（CO_2）排放量占全球总排放量的 3~4%，面对这一问题，必须重视海洋保护和环境保护，才有益于人类的健康发展。随着燃油费用的不断增涨，船舶运输的费用也在不断增加。所以航运公司只有做好船舶的节能减排工作，不断提升技术才能尽量缩小成本，从而获取最大的经济效益。近来世界各国在船舶节能减排方面也制定了许多法律，但仍不能有效抑制排放过量的现象。在不断规划完善法律或法规的同时，还应该充分利用科技的力量，研制出更多船舶节能减排的新技术，这样不仅有利于环境的保护也能够提升航运公司的整体竞争力。

2.1 柴油机节能及防止污染之对策

从船舶柴油机的角度探讨，如何有效达成节能减碳的目标成了各航运公司机务部门无不竭尽所能想要去追寻和改善现有老旧设备的目标。而以技术的层面看来其所采取的对策不外乎以下的几种措施:

2.1.1 节能设施与设计

(A) 主机厂家设计

(1) 涡轮增压器部分关停

(2) 废气回收系统

(3) 增压器带发电机(TCS-TPG，Exhaust Gas Power Turbine,) 在 Normal Continue Revolution (NCR) at 80~90%，TCS-TPG 能够达到理想的低耗油率。

(4) 节能凸轮：节能凸轮在进气/压缩行程提早关闭排气阀而让 Pcom(压缩压力)、Pmax(最高爆发压力)提高达到省油的效果。

(5) 日本三井主机系统 THS(Turbo Hydraulic System 废气回收)仅适用在高负荷运行。

(B) 设备面

(1) 主机冷却海水泵马达变频系统。

(2) 机舱风机变频系统。

(3) 发电机节热器可满足 Service Speed 低转速下的额外蒸气量，降低锅炉油耗。

(4) 轴发电机。

(5) 驾驶台使用低传热玻璃，减少阳光辐射热以降低空调负荷。

(6) 全面 LED 灯光等省电照明的应用或改装。

2.1.2 采用低速航行及局部停用主机涡轮增压机降低油耗技术的应用

2.1.2.1 船舶航行速度直接关系到燃油消耗，是经济和技术的综合反映。如航行任务不是很紧张，航行可采用经济航速，在考虑风压、水流等因素下选择适当航段执行经济航速。一般大型二冲程低速机其运转按负荷 50%以上，为了配合节油之目的将对系列船主机的废气涡轮增压机(T/C)采用 MAN Variable Swing Gate Valve 及 WARTSILA Variable 和 Butterfly Valve 装置。使其于主机运转时停用一部 T/C，另外一部 T/C 提升效率以增加扫气压力。促使主机于 10%~90%负荷区间灵活操纵，以实施减速航行达到节油目标。例如 35%负荷下可节省油耗高达 20~30%。ABB 涡轮增压提出的发动机降功率性能优化（EPLO）可以通过下列三种方案得以实现：

01 涡轮增压器重新优化+废气旁通。

02 发动机永久降功率改装并重新优化性能参数。

03 涡轮增压器部分关停。

2.1.2.2 实际主机减速航行低负荷运转时应注意的事项:当主机在执行(进出港、航道航行、锚泊)时 T/C 不能 cut off 以免转数受限而影响操船安全。(依照厂商的建议主机使用最大负荷 35%最佳)。

(1) 缸套水出口温度保持在 80~85℃防止低温腐蚀。

(2) 扫气温度保持在 30~35℃,最高 55℃。

(3) 低负荷运转中当扫气压力低于 0.6kgf/cm^2时，手动开启鼓风机避免热负荷增加。

(4) 汽缸油注油率原则上不必调整，但低负荷时单位注油量较大，如依照 Pi 比例减量就要勤于检查汽缸油润滑情况再做调整。

(5) 汽缸油注油率保持 1.2g/kW.h 以下以防止过剩润滑而污染扫气室。

(6) 各缸排气温度限制 400℃以下。

(7) 加减主机转速时请缓慢操作避免负荷波动幅度太大。

(8) 长时间减速航行在 swing gate valve 排气侧将会产生积碳，所以在 T/C cut-in 操作阀时要多开关几次以确保 swing gate valve 能完全开到位。T/C cut-out 如没有关死主机启动后 No.2 T/C 还会有转数)。

（9）定期每 12 小时搭配 1 小时的 75%以上高负荷运转。定期进行 T/C 的干洗与水洗。

（10）扫气箱,扫气总管，放残管及阀要经常性检查与清洁，放残柜内的水位要经常性检查。

（11）排气系统(排气管与排气通道)要经常性检查与清洁。

2.1.3 经济增压器

经济增压器(EcoCharge)是一种二级涡轮增压器，其涡轮增压效率之所以高于一级涡轮增压器，主要是因为中间冷却器。中间冷却器位于低压级与高压级涡轮增压之间，能够大幅减少将进气压缩到高压所需的能量。涡轮增压效率的提高会对发动机产生即时的影响，还有助于减少米勒循环过程中的 NOx 排放量。EcoCharge 系统可提高扫气效率，使发动机的燃油效率更高。发动机生产商可根据功率输出和发动机尺寸改装二级涡轮增压器。由于 EcoCharge 系统可以增加效率和气缸输出功率，对比使用传统单级涡轮增压器系统，在保持输出功率不变的情况下可选用尺寸更小的发动机。

2.1.4 滑阀燃油阀节能油头的设计和应用

滑阀式燃油阀比常规的燃油阀有如下的优点：

（1） 改进的低负荷性能；

（2） 更好的燃烧过程；
（3） 减少排气管道、阀杆和废气锅炉的结垢；
（4） 减少活塞顶部污垢。减少缸套磨损率；
（5） 无滴漏-无扫气容积；
（6） 更少的烟雾形成，降低黑烟排放；
（7） 降低 HC、NO_x和颗粒物排放水平。

2.1.5 经济喷嘴（Eco-nozzle）的应用技术和节油效益

Eco-Nozzle 节能油头是配合 slide valve 的应用其能够快速达到省油效益达 2~7 g/kw.h 而且是构造简单及低价的节能设计，它能够适用于整个主机负荷范围，这种新式喷油设计的油嘴能轻易的从传统油头组合换装，它有 5 个喷孔的新设计取代传统的 4 孔喷嘴，多开了 1 个孔，但是整个燃烧控制已重新设计，改进的燃烧喷射模式优化了火焰形状和燃料输送，从而优化 SFOC，能在相同的油耗下得到更好的雾化和完全燃烧，燃料可以节约 2g/(wk.h) ~7 g/(kw.h)。

2.1.6 经济凸轮节能凸轮的应用技术和节油效益

Man Eco-Cam 目前只适用于 S50 主机,如 6S50MC-C8.1 主机,在 60%以下的运转,可以节省 2~5 g/kw.hr，以每年航行 6000 小时计算，约一年半就可回收改装成本。Eco-cam 运用在主机低负荷状态使其扭力震动不致于伤害到主机和降低 NOx 排放标准，可符合 IMO 的规定。

这 Eco-Cam 主要是在进气/压缩行程时藉由提早关闭排气阀，而让 Pcomp 压力提高，进而使 Pmax 也升高而达到省油的效果，设计上是在排气阀的油压作动缸上插上一个节流孔(orifice)，利用一个电磁阀作动(由两个电控模块依据主机转数控制电磁阀的 ON/OFF)，将作动排气阀的高压液压油旁通回流到作动缸进口。但这经济凸轮只能在 10~60%负荷以下运用，如果在高负载下使用将导致主机性能剧降排气温度升高及 T/C 发生喘振现象,而且扫气效率下降反而会抵销节油成效。根据 MAN B&W 的设计目前经济凸轮只适用于 S50MC-C 的主机，而且只能在 50%负荷下运用，根据实船测试省油率是 5.5g/kw.h，也就是说每天约省油 660 公斤/天。

2.1.7 icolube 智能船舶润滑油系统

icolube 装置是用于智能气缸油润滑,用于调整发动机负载和燃料的汽缸油的碱度储备，但进给速度不必调整，能保持在最佳水平，使发动机保持在最佳状态，降低机油成本，节省燃料，环境友好，能确保容易和节省时间的发动机操作。

智能船用润滑油系统与汽缸油输送泵平行安装，且始终保持发动机在最佳状态。它从沉淀柜和储油柜中抽取油，并通过集成泵将其输送到 2 个日用柜中(1 个用于高硫燃料，另 1 个用于低硫燃料)。该装置易于安装，可根据日用柜内启停油位自动控制启停。该技术不仅可以使发动机运行更加方便，而且还将为保护环境做出重大贡献。由于智能船用润滑油系统将使发动机总是以优化的润滑油注油率和最适宜的碱值(BN)运行，因此将减少碳沉积和冷腐蚀风险，反过来，就意味着将延长大修间隔，从而减少对备件的需求。在校准和调整后，只需要对燃油硫含量进行确认。该系统自动计算汽缸油的最佳比例，使系统油效率的提高更进一步。从气候变化方面考虑，智能船舶润滑油系统的生命周期评估结果显示，该系统能够减少 13%的二氧化碳排放。

2.1.8 Engine De-rating

在高昂的燃油价格冲击船东营运成本的时期，柴油机制造商 MAN B&W 提倡一种 Engine De-rating 的设计理念，希望藉此降低燃油消耗并提升船东的营运绩效。基本上是考虑改变主机及螺旋桨的设计应用，使其主机降低最大转数 10~15% at SMCR 以及改变螺旋桨直径达到理想的约 10~12%的省油效益。

2.1.9 主机冷却海水泵马达变频系统

目前油价高涨，营运成本对于船东而言，是一项沉重负担，另近年来全球环保意识抬头，因此节能减碳亦成为每一人共同的责任，而现今世界各国航商为了达到省油的目的，无不纷纷采取减速航行(Low Steaming)的策略来降低耗油成本，但由于主机出力的调降也导致主冷却海水系统能量过剩的问题产生，因此海水变频马达的运用就成为各航商积极考虑的目标。CSW Pump 之设计为主机与辅机之全负荷及海水温度 32℃，然实际航行之主机与辅机都为低负荷，且海水温度都在 27℃左右。因此 CSW Pump 之运转约可节省 30~50%之耗电。船厂及厂家评估，节省 30~50%之油耗。

3. 船舶节能减碳应用技术的整体评估

柴油机是依靠空气和燃料的燃烧形成热能转化为械机器设备，因此不可能避免产生废气排放物。无论柴油机专家再如何努力，也无法使燃油中的碳氢化合物在汽缸内完全燃烧而转成二氧碳 CO_2和水蒸汽 H_2O；不管监控系统再如何精密先进，柴油机依然会排出可观的未燃碳氢 HC、一氧化碳 CO、微碳尘 C、与氮化物 NOx，2020 年全球船用燃油限硫令实施方案，针对燃油中低硫成分的限制，也是让所有船东非常头痛的问题，从营运成本的角度来看未无论是前处理对策选择 ULSFO 或是 LSMGO，其平均每吨燃料的采购成本都要比目前油价每吨价差约 USD200~400 元。纵使在对策上直接加装脱硫塔 Scrubber 设备，也要花费相当高的支出，这对现阶段航运业不景气的打击，可谓是雪上加霜。

航运公司为了生存，在国际法规和营运业绩的双重压力下，各机务部门的专业工程师无不绞尽脑汁想办法，从柴油机和船体的节能设计上着手进行改善，企图从省油和减排的议题上发挥最大的效益 。目前在设计上所采取的改善方案以下表来做一整体的评估:

船舶节能减碳应用技术的整体评估柴油引擎的 改良设计

设备名称	改善效益	结论
经济喷嘴+滑阀燃油阀的应用	省油约 1~2%和防止冒黑烟	可用
涡轮增压器部分关停(TCCO)	以 Load 35% 低速运行，节省油耗高达 20~30%	可用
经济凸轮(Engine load max’ 50%)	S50MC-C engine 在 load 50% 下实测省油率约 5.5g/kw.h	可用
经济增压器 VTA Turbocharger	搭配 MAN B&W ME 柴油机	可用
Engine De-rating	改装成本过高	不建议用
Main engine PMI-VIT	提高 Pmax 达到省油目的	可用
双燃料柴油机 Dual Fuel Engine	对减少空污问题有明显效益	新造船可用
LNG Fueled Ship	对减少空污问题有明显效益	新造船可用

4.结论与建议

在追求经济和环保的当下，节能技术和减排技术是柴油机技术发展的关键，为达到提高船舶能效且同时降低碳强度水平，航运企业应充分重视《国际航运碳强度规则》的实施执行的紧迫感，选择先进的造船技术，合理规划航线，使用经济航速，切实提高船舶能效水平，提高公司船舶经营管理水平，降低碳排放强度。

(1) 加速淘汰没有经济价值(无法回收改装设备成本)的老旧船舶，依照营运需求规划新型节能船舶的建造。

(2) 依照船舶航行区域(ECA 地区)及靠泊港口国的法规规定，以船舶实际所需改装的相关环保设备，有效的将船队分类及规划安装各自必须符合规定的设备，以节省不必要的设备安装费用。

(3) 强化公司教育训练扩大吸收专业人才进入公司服务，提升船舶营运绩效降低安全事故发生率，强调船舶安全对公司营运成本的重要性。

(4) 船岸人员都应该上下一条心共同为公司成长尽心尽力。毕竟公司永续经营，员工工作才能得到保障。

参考文献:

[1]IMO MEPC 76/15/Add.1RESOLUTION MEPC.328(76)

[2]MAN Diesel & Turbo SE, Turbocharger Cut-out System, Technical Report of Man PrimeServ, 2010, MAN Diesel & Turbo SE, Augsburg, Germany, 2010.

[3]Diesel Engine Business Unit, Slide type fuel valve, Technical Report, Hitachi Zosen Corporation, 2011.

[4]Diesel Technical Investigation Group, Slow Steaming, Technical Report, Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd., December 2009.
[5]MAN PrimeServ, Slide Fuel Valve Retrofit solution,Technical Report, MAN Diesel & Turbo Ltd., July 2010.
[6]MAN Prime Serv, 2-stroke Retrofit & Upgrades, Technical Report, MAN Diesel & Turbo Ltd., 2015.
[7]翁雨波.船用低速柴油机节能减排关键技术

作者简介

郑金辉，男，1970 年出生，福建莆田人，无限航区一等轮机长。专科，汉族。任职于厦门隆运船务有限公司，从事海船轮机管理。办公电话：0592-7271036，传真：0592-7271037，手机：13695048796。 通讯地址：厦门市翔安区新澳路 1609 号永利大厦 23 层 01 单元。邮编：361102，邮箱：zhenghuangyan@126.com

无人机在桥区助航标志巡视及通航环境信息采集的应用探析

吴泉凯 曾繁屏

（东海航海保障中心福州航标处 福州 350005）

摘要：随着民用无人机的技术发展和产品成熟，其在交通信息采集和海事管理上的应用也日趋广泛。本文对福州航标处采用无人机在桥区航标巡视作业及通航环境信息采集方面的应用实例进行了介绍，总结形成了无人机桥区作业的操作规范建议，提出了基于无人机拍摄的桥区通航环境信息的全景展示方法，并对其未来应用拓展进行了展望。

关键词：无人机；桥区；航标巡视；通航环境信息；全景

1 概述

作为新兴的智能化无线电遥控设备，当前民用无人机自身具有携带方便、操作简单、用途广泛、起飞降落对环境的要求低等优势。无人机应用在航标巡视工作中可降低对工作场景的需求，提高工作效率。其在高速和铁路桥梁等特殊工作环境下优势尤为显著，既确保了作业人员的安全，也降低了对交通道路的影响，巡视效果直观全面，为航标作业现代化提供了一种先进的、有实用价值的技术手段。

此外，利用无人机搭载的全景影像拍摄功能，可以围绕整个桥区通航水域进行 360 度全方位拍摄并记录影像，可以为桥梁管理部门和航标维护单位对桥区整体环境和工作条件提供一个清晰的展示，以便全面直观的发现通航情况和安全隐患，做到监管零死角。

基于无人机设备在桥区航标巡检及（通航）环境信息采集的应用探析是东海航海保障中心福州航标处开展的创新研究课题。研究成员操作旋翼无人机设备实际参与福州航标处辖区部分桥梁的巡视工作，总结形成了无人机桥区作业的操作规范建议。同时，通过拍摄桥区通航环境全景照片并整合一套桥区通航环境的全景影像示范样本，提出了基于无人机拍摄的桥区通航环境信息的全景展示方法。

2 无人机参与桥区航标巡视应用实例

2.1 应用背景

桥梁作为交通汇聚点和水面建筑物，其助航标志对水路，陆路交通的安全至关重要。桥区航标依托大型跨江、河、海峡等水域的公铁路大桥建设，分布点多且较为集中，传统的人工巡视巡检方法不仅工作量大而且条件艰苦，特别是对大型跨海桥梁航标的巡视，所花时间长、人力成本高、困难大，同时桥面道路特别是高速公路需封道作业，对道路交通影响较大，现场作业风险高。

以东海航海保障中心福州航标处为例，全处参与桥区航标巡视巡检工作的一线技术人员十多人，负责辖区 11 座公路、公铁两用大桥近 300 座桥区助航标志的巡视管理工作，日常工作人员少，任务重。与常规人工巡检方法相比较，采用当前市场常见的民用多旋翼无人机进行助航标志巡视，更为先进有效，可以成为保障人员和交通安全的一种新的经济性高的手段。目前海事、海洋渔业领域已经有多家单位开展了无人机巡航的应用探索，在航海保障方面，南海航海保障中心也有相关先行应用的示例。

2.2 应用实验情况

为了印证无人机在桥区助航标志巡视工作中的适用性，研究人员选择了福州航标处管辖的多处桥梁通航水域为实验区域。本文以福宁高速下白石特大桥、温福铁路白马河特大桥的“两桥”通航水域为例进行展示。该水域位于福建省宁德白马港，高速公路桥与铁路桥相距不足 1 海里，通航量大，属于安全监管重点水域。

实验与人员常规现场巡检同时进行，利用民用级无人机大疆御 Mavic Air2 无人机模拟现场巡视的要求对标志进行了查看和拍照记录。

操作人员利用无人机摄像自动快速对焦和视觉跟踪功能，使飞机头部及相机始终锁定对准巡视航标，保持拍摄目标位于画面中，生成高清晰影像。同时，通过无人机的智能环绕功能，将目标桥涵标或桥下灯

浮标设定为热点，自行以目标为中心环绕飞行，完成对目标航标的 360 度观测。

图 1、2　　无人机对桥梁助航标志进行巡视实拍

从影像中可以看出，无人机对桥区航标日间拍摄的影像可以观察、检测、评估航标的结构、涂色、显形、浮标的位置，察看附属设施的完好性，查看航标周边水域情况，评估航标效能。同时小组还模拟夜间对灯光进行拉距离测试，让无人机从桥梁下方飞行至距离桥区约 3.6 公里（约 2 海里的位置）在顺利返回，无人机工作正常，并依旧可以清晰观察到桥区的基本情况。实验过程完整实现了对航标位置、涂色、结构、灯光、外观显形、作用距离拉距的日常巡视。

2.3 实验效果评估

根据多次现场巡视实验，利用多旋翼无人机巡视，与传统巡视方式相比较具有多方面优势：

（1）与常规人工巡视相比，不受地形限制、巡视效率大大提高、可将拍摄的数据带回分析，使得巡视不留死角，降低人工劳动强度、减少作业风险。

（2）不受地理条件的影响。一般多旋翼无人机巡视，更适于执行特殊时期危险性高的任务；不会造成人员伤亡风险；其机动性能好，使用方便、效率高；不受桥区附近山区、河流、无路区等环境影响，也不受树林生长、建筑物遮蔽等影响。

（3）可实现快速巡视，短时间内快速获取影像资料，实时回传，实时决策，效率是传统人工巡视的数十倍；且费用低。

（4）小巧灵活。小型无人机单人携带，且不需要特别的起飞场地。

（5）使用和维护费用低、效率高，方便投运、容易掌握；一次投入后，每次巡视费用极少；由于无人机设备为自身设备，何时巡视可由技术人员自身决定；而租用避免了租用船艇导致的经济花销大，准备时间长，不利于使用的情况出现。

（6）以识别实时采集桥区通航环境信息以供更新，提升了管理单位的信息实时性。

（7）由于无人机设备属于高空俯拍，可以跨障碍物观察桥涵等设备的具体情况，相较与传统的人工观测方式大大降低了观测盲区。

综合来看，利用无人机设备参与桥区航标的巡视工作具有可操作性，相对于传统的人工巡视方式优势明显。

3 通航环境信息采集与整合

3.1 桥区通航信息采集的内容

通过实验现场拍摄，研究人员采集了福宁高速下白石特大桥、温福铁路白马河特大桥两座大桥的桥区全景影像，为了构成一个由远及近模拟船舶靠近桥梁前后观察到的大桥整体通航环境，小组成员在桥梁两侧各选择了 5 个位置对桥区进行了全景图像拍摄。

由于测试设备目前只针对设备飞行垂直高度和距离起飞点的水平距离予以显示，故小组在桥梁一侧下方空地作为起飞点测试，通过将垂直桥梁飞离制定距离后，再平行桥梁进行飞行以获得距离参数。

分别为在距大桥 600 米，垂直高度 60 米位置（远距离观察）、距大桥 300 米，垂直高度 120 米位置（中距离高空俯拍）、距大桥 300 米，垂直高度 60 米位置（中距离）、距大桥 160 米，垂直高度 60 米位置（最佳观察桥区全貌距离）、距大桥 100 米，垂直高度 60 米位置（最佳巡视距离）。

图 3　　白马港“两桥”水域全景样图

3.2 信息整合与上传展示

全景照片在普通软件上是无法直接浏览的，在采集完全景照片后，研究人员选用了目前行业内比较通用的 720 云软件作为通航环境信息的展示平台。同时，标注了照片中的桥区周边设施，包括灯浮标、警戒灯桩、桥涵标、通航孔、海事机构、码头等助航相关要素所在位置，以便海事部门、桥梁管理方和航海用户查阅了解。从演示效果来看，基于无人机拍摄的桥区通航环境信息的全景展示，可以全面无死角的展示桥区通航整体环境，在海事监管、通航管理、航保服务上有良好的使用体验和推广前景。

（完整样例可登陆网址 https://www.720yun.com/vr/1ff2cqsgx4a 以观看实际效果）

图 4、5　白马港“两桥”水域全景助航展示截图

4 无人机应用建议

4.1 法规规范

目前国内关于无人机管理相关的法律法规有 2017 年制订的《民用无人驾驶航空器实名制登记管理规定》和 2023 年 4 月正式审议通过的《无人机驾驶航空器飞行管理暂行条例（草案）》。其中，用于航标巡视的民用无人机，归属于轻型无人机类别进行管理，即同时满足空机重量不超过 4 千克，最大起飞重量不超过 7 千克，最大飞行速度不超过 100 千米/小时，具备符合空域管理要求的空域保持能力和可靠被监视能力的遥控驾驶航空器。

根据上述法律法规要求，适用于航标巡视场景的轻型无人机必须实名登记注册，并将登记标志图片采用耐久性方法粘于无人机不易损伤的地方，且始终清晰可辨，便于查看。驾驶轻型无人机在相应适飞空域飞行，需掌握运行守法要求和风险警示，熟悉操作说明，但无需取得安全操作执照；超出适飞空域飞行，需参加安全操作培训的理论培训部分，并通过考试取得理论培训合格证。

而关于管控区域的确定，《无人机驾驶航空器飞行管理暂行条例（草案）》第二十八条明确划设了军事禁区、空中危险区、电磁特殊环境保护区、易燃易爆危险区、铁路电力设施周边等十一类空域为轻型无人机管控空域。作为航标管理的有关单位应该参照上述要求执行相关操作。

对于桥区巡视场景需要注意的是，未经申报情况下无人机设备应在真高 120 米以下空域；公路桥梁周围 100 米的位置以外，高速铁路桥梁范围 200 以外的位置进行巡视，在实验现场情况来看，无人机设备在高分辨率及可变焦镜头下可以在此规定距离对桥区航标情况进行有效的巡视工作，如确需对桥梁进行抵近飞行观察，则需要进行申报。轻型无人机在相应适飞空域飞行，无需申请飞行计划，但需向综合监管平台实时报送动态信息。

4.2 操作规范建议

无人机对桥区助航标志进行巡视和通航环境信息采集时，属于临近桥区作业，亦应遵守相关的安全规定，并制定相关的制度措施，保证无人机和设备的安全。

（1）现场勘察

对于未进行飞行巡视的区域，应提早进行现场勘察。确定工作区段是否位于禁飞区、管控空域内、现场电磁环境对无人机的通信控制是否存在干扰、通道环境是否对飞行轨迹有影响等问题。依据现场勘察的结果，明确工作开展的可行性，并制定工作方案。

（2）使用环境评估

桥区气象环境特殊，往往处在多雾区、河谷风道等多种特殊区段，环境变化较大。低温、大风、大雾等对无人机的影响较大。使用前应密切桥区气象情况，根据无人机性能评估是否适宜起飞作业。放飞时应选好飞行的空域，和起飞降落场所，避开人流、车流密集的场地。

（3）人员培训与规范操作

无人机的操作人员对于新设备的使用应要经过基础操作培训，拥有一定的无人机日常操作经验。运行保障单位应及时组织运行人员组织参加认证，保证现场工作人员持证上岗。人员应在精神良好的状态下操

作飞机，尽量保持在视距范围内飞行，时刻保持对飞行状态的控制，不过度依赖自动控制。

（4）设备规范保养

每次飞行之前，认真检查无人机的各处细节，同时包括遥控器等地面设备。特别应确保设备电量充足，避免在缺电情况下引起坠机，失联等情况。对长期不用的设备应定期检查保养。

（5）科学编制方案

为了保证无人机飞行的有效性和安全性，在现场勘察前应编制本次无人机巡视的实施方案。一方面是为了保证无人机飞行的设备安全，紧急情况发生时人员能够处置得当，避免事故的发生。另一方面，依据现场情况确定安全的飞行轨迹和人员组织安排情况，保证操作人员任务清晰明确。实施方案要经过业务与安全管理部门的审批，保证工作开展的合理性。

5 结语

随着国家的建设和发展需要，道路运输网络的扩建，跨江跨河大桥的数量逐年增加，对航标管理部门对桥区助航标志运维工作的要求越来越高。无人机巡视必将成为一种快速、高效的技术管理手段，具有较好的推广价值。而基于无人机拍摄的桥区通航环境信息的全景展示，在海事监管、通航管理、航保服务上也有良好的使用体验和应用前景。

随着无人机技术的发展和其在相关行业领域应用深入，无人机的功能发掘探索也将不断开拓创新。无论是海事部门还是航保单位，只有依据应用场景的实际特点开展研究实验和评估分析，才能充分的发挥这项新技术应用潜力，有力支持水上交通安全保障能力的提升。

参考文献

[1]付昱玮;李字明;姜洪;《无人机巡线的发展和应用研究》-《 黑龙江科技信息》- 2014-01-25
[2]常德强;黄海峰;《小型无人机在公路巡查中的应用前景展望》 - 《科技视界》- 2014-07-15
[3]高坤;李昶君;杨金 波;莫卫权;李立新;《无人机在高原山区线路巡检中的应用》 -《电气技术》- 2015-04-15

作者简介

吴泉凯 东海航海保障中心福州航标处 助理工程师 数学与应用数学专业 从事航标管理工作；
通讯地址：福州市台江区西洋路 60 号（邮编：350005）联系电话：18596666357，电子邮箱：503866710@qq.com

曾繁屏 东海航海保障中心福州航标处 高级工程师 电子信息工程专业 从事航标管理、信息化工作；
通讯地址：福州市台江区西洋路 60 号（邮编：350005） 联系电话：18050433712，电子邮箱：253102937@qq.com

基于极值引导的人工蜂群算法的船舶混合能源系统能量管理

刘迪迪[1]，林安辉[1,2]，杨旭[3]，张浩然[1]，孙岩霆[1]

（1.集美大学 轮机工程学院,福建 厦门 361021；

2.福建省船舶与海洋工程重点实验室,福建 厦门 361021；

3.河北工业大学 人工智能与数据科学学院，天津 300401）

摘要：本文提出了一种基于极值引导的人工蜂群算法的船舶混合能量管理方法，用于解决船舶航行混合能源管理问题。针对该问题，创建了降低船舶混合能源系统运行成本和降低污染物排放量及治理费用的函数，以该函数作为基于极值引导的人工蜂群算法的目标函数，在满足船舶实际航行运行需求的同时，能量管理更加优化，更节省成本，减少污染排放，兼具环保和经济价值。在仿真中，模拟船舶实际航行状况，结果表明，本文提出的该策略能够使得运行成本与污染排放量及治理费用得到大幅度降低。

关键词：船舶混合能量管理；清洁能源；极值引导；人工蜂群算法

1 研究背景

传统船舶航行推进装置，多以柴油机为主要动力源,其带来的环境污染与耗能巨大问题已不容小觑[1−4]，混合动力能源概念的提出与发展，向全世界提供了一个新型减排的绿色发展思路[5]。混合能源船舶在保证其动力供应正常的前提下，达到降低污染和成本的目的。在混合能源逐渐取代单一能源的同时，可靠的能量管理策略成为必不可少的一部分。能源管理策略主要分为基于智能算法、规则、确定规则、模糊规则等，国内外已有许多完善的能量管理策略被提出，但是大都针对陆上系统，对于应用在环境变化多端的海上，且作为独立的“能量孤岛”的混合能源船舶来说，高效的能量管理策略就显得尤为缺乏以及重要。因此，本文提出一种基于极值引导的人工蜂群算法的混合能源船舶能量管理方法，搭建相应数学模型来模拟航行过程中调节优化发电功率，运用高精度、强收敛速度、具有多样性的 EABC 算法对分布式电源模块进行能量管理优化，在达到负载要求的同时降低成本和污染排放，实现资源利用的优化和绿色理念的发展的目标。

2 优化设计原理

2.1 船舶混合能源系统的基本组成

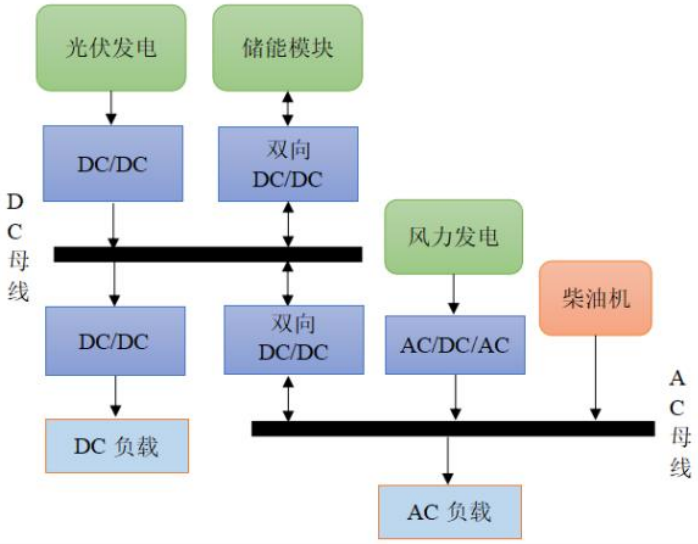


图 1 船舶混合能源系统基本架构

本文所研究的船舶混合能源系统是在传统柴油机供能模块之上，添加光伏、风力清洁能源发电模块。船舶混合能源系统的供电单元以风力和光伏发电为主，储能模块和柴油机为辅，各模块之间协调互补。由

于风力和光伏发电存在不稳定性和突变性，因此加入储能模块，当供电单元输出总功率大于负载所需要的功率时，将多余能量保存至储能模块，反之无法满足负载功率时，储能模块将进行补偿。同时，若储能模块已达到额定值，多余能量将提供给备用负载，为系统可靠、稳定、可持续运行提供极大保障。

2.2 基于极值引导的人工蜂群算法的船舶混合能源系统能量管理

2.2.1 极值引导的人工蜂群算法

人工蜂群算法（Artificial Bee Colony Algorithm，下面简称为 ABC 算法是一组根据蜂群寻蜜过程，提出的一种优化算法。蜜源相当于函数的适应度值，蜜蜂在蜜源附近寻密过程相当于寻找最优解的过程，通过迭代找到函数的局部最优解，直到过渡结束，找到全局最优解。

传统的人工蜂群算法模拟的蜂群采蜜机制中主要有三种角色：采蜜蜂、观察蜂和侦察蜂。假设要求解的解问题空间是 D 维，有 N 个蜜源$\{x_1, x_2, \cdots, x_n\}$，即每个蜜源都有 D 个分量，构成的可行解空间矩阵由 N 个可行解，每个可行解由 D 个分量组成，则该种群在 D 维空间的任一蜜源 i 的 d 分量初始位置x_{id}为：

$$x_{id}(t) = x_{i\min}(t) + \mathrm{rand}(0,1)(x_{i\max}(t) - x_{i\min}(t)) \tag{1}$$

式中$x_{i\min}(t)$和$x_{i\max}(t)$分别为 t 时刻第 d 维可行解向量的上下界

采蜜蜂角色搜索新蜜源时，每个采蜜蜂对应一个蜜源，采蜜蜂 i 通过(2)来搜索新蜜源

$$v_{id}(t) = x_{id}(t) + \mathrm{rand}(0,1)(x_{id}(t) - x_{jd}(t)) \tag{2}$$

式中$v_{id}(t)$代表 t 时刻新蜜源的位置，$x_{id}(t)$代表 t 时刻采蜜蜂对应的旧蜜源的位置，$x_{id}(t)$表示 t 时刻在 1 到 N 中任意取一个不等于 i 的蜜源的 d 维向量，得到新蜜源之后计算新解的适应度值并进行贪婪比较x_i和v_i，选择更好的替代原来的蜜源。

采蜜阶段结束后向观察蜂发送跟随信息即适应度值，观察蜂角色根据轮盘赌策略(3)来选择获取适应度值大的采蜜蜂跟随。同样利用(2)来获取新蜜源，进行选择更换。

$$P_i = \frac{fit_i}{\sum_{k=1}^{N} fit_k} \tag{3}$$

式中fit_i代表第 i 个只采蜜蜂的适应度值，$\sum_{k=1}^{N} fit_k$表示所有采蜜蜂的适应度总和。

如果经过 trial 次搜索后依旧没有找到更好的蜜源，即该蜜源仍然没有被更新，该蜜源的采蜜蜂将转变为侦察蜂，按照式(1)寻找一个新蜜源。

目前人工蜂群算法应用在处理求解函数优化问题时，存在开发能力差、容易陷入局部最优、收敛速度比较慢等问题，极值引导的人工蜂群算法(Extremal-guided Artificial Bee Colony，简称 EABC 算法)在原来的人工蜂群算法基础上，引入全局极值个体gbest 和邻域极值个体lbest 两个极值个体，和小概率变异，将(2)式加以改进，利用(4)式搜索新蜜源。

$$v_{id}(t) = x_{id} + \mathrm{rand}(0,1)\left(gbest_d(t) - x_{id}(t)\right) + (1 - \mathrm{rand})\left(lbest_d(t) - x_{id}(t)\right) + x_{5d}(t) - x_{id}(t)) \tag{4}$$

式中$v_{id}(t)$代表 t 时刻新蜜源的位置，$x_{id}(t)$代表 t 时刻采蜜蜂对应的旧蜜源的位置，$x_{id}(t)$表示 t 时刻在 1 到 N 中任意取一个不等于 i 的蜜源的 d 维向量，得到新蜜源之后计算新解的适应度值并进行贪婪比较x_i和v_i，选择更好的替代原来的蜜源。$gbest_d(t)$为 t 时刻gbest 的第 d 维向量，$lbest_d(t)$为 t 时刻lbest 的第 d 维向量。K=5 时效果最好。

为克服局部极值点带来的早熟收敛现象，对蜜蜂个体各维度根据式(5)进行小概率变异。

$$v_{id}(t) = \begin{cases} x_{min\,d}(t) + \mathrm{rand}\,(0,1)\left(x_{max\,d}(t) - x_{min\,d}(t)\right) & \mathrm{rand}\,(0,1) < 0.02 \\ v_{id}(t), & \mathrm{rand}\,(0,1) > 0.02 \end{cases} \tag{5}$$

本文以清洁模块输出功率作为决策变量,设初始蜜源为:

$$P_{avail}(t) = \mathrm{rand} \times (P_{max\,avail}(t) - P_{min\,avail}(t)) + P_{min\,avail}(t) \tag{6}$$

$$P_D(t) = P_{load}(t) + P_{avail}(t) \tag{7}$$

式中：$P_{avail}(t)$为 t 时段清洁能源模块的最大可用功率，$P_D(t)$为 t 时段柴油机发电模块的最大可用功率;$P_{load}(t)$为 t 时刻负载的电能需求量；rand 为[0, 1]的均匀分布。

本文提出的基于极值引导的人工蜂群算法的船舶能量管理策略，搭建了相应的数学模型，数字模型的推导见文献[6]。最终建立的目标函数为：

$$\min \mathrm{fun_A}(t) = \mathrm{fun_C}(t) + \mathrm{fun_D}(t) \quad (8)$$

式中：$\min \mathrm{fun_A}(t)$ 为总费用最小值；$\mathrm{fun_C}(t)$为系统运行成本；$\mathrm{fun_D}(t)$ 为治理费用。

在模拟船舶航行过程中利用基于极值引导的人工蜂群算法对目标函数求值，达到减少排放的污染物和运营成本，不断优化调节发电模块的工作强度，弥补船舶在不同情况下的工作量差异的目的。该过程的流程图如图 2 所示。

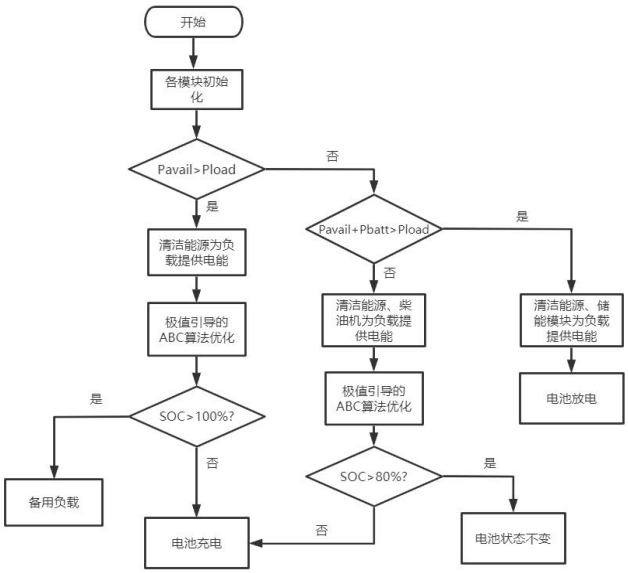


图 2　船舶混合能源系统能量管理流程

2.2.2 仿真实验与结果分析

本文将一艘载量为 8.2 万 t 的散货船作为研究的实验对象，根据已有研究成果[8]，得到这个系统的各个发电模块的模块参数、不同航行状态的负载功率及最优配置、每小时的随机风速、整个航行流程的负载功率、不同地点和区域时接收到的太阳辐射等。

航行过程产生的污染物的排放因子$(\mathrm{lb}\cdot(\mathrm{kW}\cdot\hbar)^{-1})$和治理成本$\left(\cdot\left(\mathrm{kW}\cdot\hbar\right)^{-1}\right)$分别为： NO2：0.0218、4.200；SO2：0.000454、0.990；CO2：0.001432、0.014。

如图 3 所示，本文提出的能源优化和管理策略，最大限度地利用清洁能源。优化后的柴油机的输出功率显著降低。耗油量和污染程度减少。优化后的蓄电池荷电状态高于优化前，提高了性能。

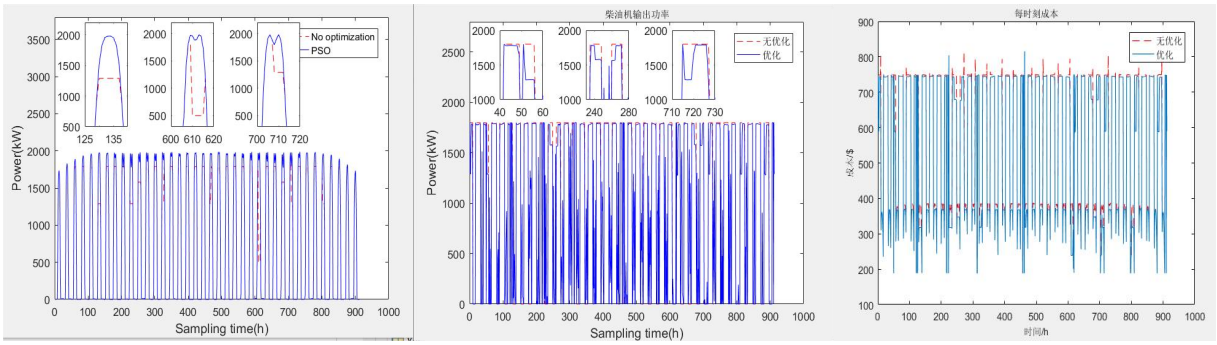


图 3 清洁模块输出功率、柴油机输出功率以及储能模块荷电状态图

图 4 为不同能量管理策略下的运行成本和燃油成本，依据文献[7]得到单位功率运行费用，图 5 为船舶能源系统污染物排放量及治理费用，根据文献[8]计算。

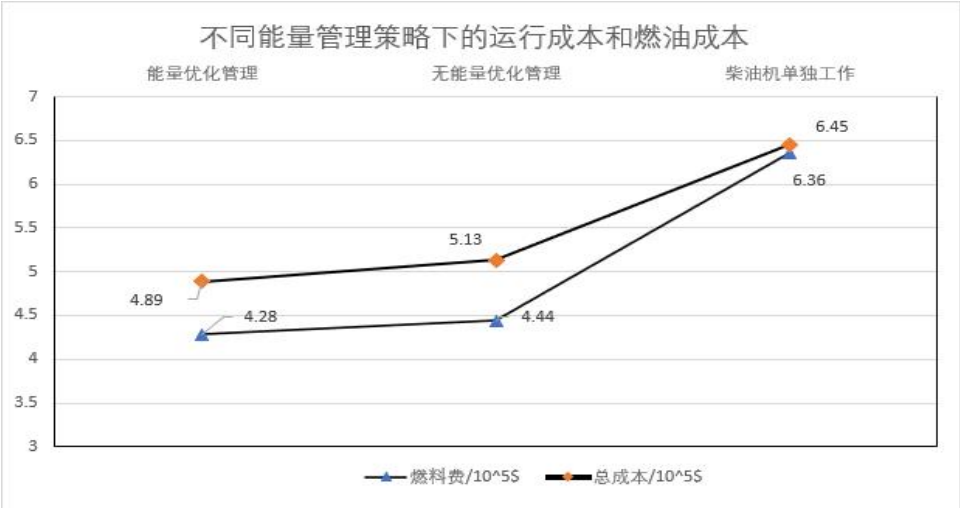


图 4 不同能量管理策略下的运行成本和燃油成本

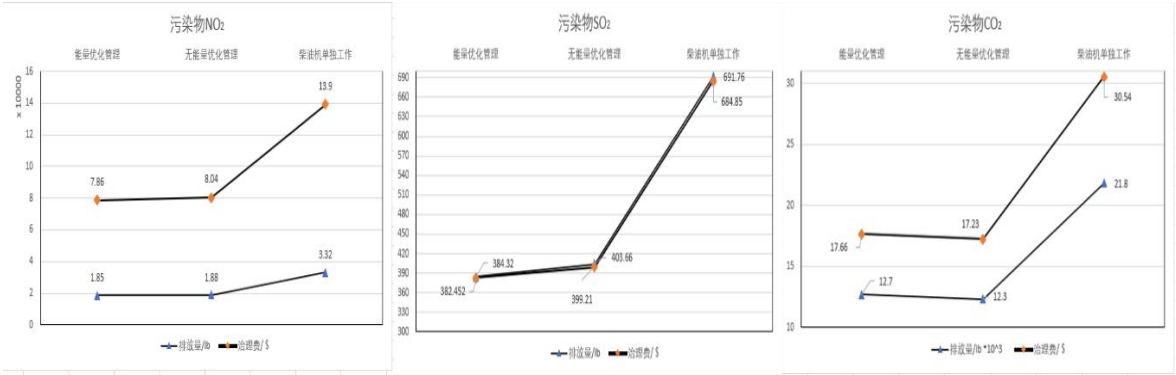


图 5 不同能量管理策略下的污染物排放量和治理费

从图 4 可以看出，通过对船舶混合能源系统全航程的仿真实验和能源管理策略的优化，系统燃料成本和总运营成本均显著降低，船舶运行的经济性提升效果明显。由图 5 得，污染物排放量优化后比优化前降低约 2.76%，比单独工作的柴油机低约 44.28%，有效降低了对环境的污染，响应了国家绿色可持续发展战略。

3 结论

本文为解决船舶能量系统管理优化问题，提出了基于极值引导的人工蜂群算法的船舶能量管理策略。EABC 算法很好解决了传统粒子群、人工蜂群等算法带来的易陷入局部最优、收敛速度慢等问题，大大提高了算法收敛速度和精度。清洁能源、储能电池、柴油机三者混合供能，使船舶的储能模块的荷电状态维持在正常水平，延长电池使用寿命的同时，提高了系统的稳定性与可靠性，船舶航行经济效益得到有效增长，污染物的排放量大大减少，达到降低成本，保护海洋环境的最终目的，符合国家绿色可持续发展理念。

参考文献：

[1]PAN Pengcheng, SUN Yuwei, YUAN Chengqing, et al.Research progress on ship power systems integrated withnew energy sources: a review[J]. Renewable and sustainable energy reviews, 2021, 144: 111048.

[2]YUAN Yupeng, WANG Jixiang, YAN Xinping, et al. A review of multi-energy hybrid power system for ships[J]. Renewable and sustainable energy reviews, 2020, 132:110081.

[3]HUANG Mingyang, HE Wei, INCECIK A, et al. Renewable energy storage and sustainable design of hybrid energypowered ships: a case study[J]. Journal of energy storage,2021, 43: 103266.

[4]申建建，王月，程春田．水风光多能互补发电调度问题研究现状及展望[J]．中国电机工程学

报,2022,42(11):3871-3885.
SHEN Jianjian, WANG Yue, CHENG Chuntian, et al.Research status and prospect of generation scheduling forhydropower-wind-solar energy complementary system [J]. Zhongguo dianji gongcheng xuebao, 2022, 42(11): 3871-3884.
[5]LIU Wei, PLACKE T, CHAU K T. Overview of batteries and battery management for electric vehicles[J]. Energy reports, 2022, 8: 4058-4084.
[6]司玉鹏,王荣杰,张世奇等.新形态船舶能源系统多能互补优化管理[J].哈尔滨工程大学学报,2022,43(07):1051-1058.
[7]MONIRUZZAMAN M, HASAN S. Cost analysis of PV/Wind / diesel / grid connected hybrid systems [C] / / 2012International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV). Dhaka, Bangladesh. IEEE, 2012: 727-730.
[8]MOHAMED F A, KOIVO H N. System modelling and online optimal management of MicroGrid using mesh adaptive direct search [J]. International journal of electricalpower & energy systems, 2010, 32(5): 398-407

作者简介

刘迪迪，集美大学轮机工程学院，研究方向为控制理论算法，船舶能量管理。
电话：15081358925；电子邮箱:3245254160@qq.com。

t 检验-成对二样本分析法在航标蓄电池质量预控中的应用

吴泉凯　曾繁屏

（东海航海保障中心福州航标处 福州 350005）

摘要：当前航标管理部门利用定期检测蓄电池内阻或电导值的方式检测电池工作状态，并利用充放电等简易维护手段对电池开展维护作业，但其维护手段的合理性还缺乏统计学理论支持。本文引用 t 检验二样本分析法，从统计学角度分析判别不同维护方式或条件下电池的主要参数是否带来了显著性差异，从而帮助管理部门判别正确的质量预控管理方式，并为后续措施的优化改进提供了参考依据。

关键词：航标器材 蓄电池 t 检验 成对二样本分析 统计学 质量预控

0 引言

蓄电池作为航标能源的重要组成部分，一直与航标生产作业和航标效能保障息息相关。这就要求航标维护管理部门在器材存储至使用前过程中应当对其做好基本的保养和质量控制，同时在使用过程中也应当进行维护，尽量延长蓄电池的使用寿命，提高蓄电池的利用效率，减少不必要的浪费。

当前，航标管理部门利用定期检测蓄电池内阻或电导值的方式检测电池工作状态，并利用充放电等简易维护手段对电池开展维护作业，但其维护手段的合理性还缺乏统计学理论支持。引用工业质量控制领域常用的一些统计学方法，对不同条件、充电方式对电池性能影响进行科学分析，从而帮助管理部门判别正确的质量预控管理方式，具有较强的应用价值和实际意义。

1 现行航标蓄电池质量预控手段

1.1 检测与维护方式

当前各航标管理部门对航标用蓄电池的技术检测，一般参照《航标用铅酸电池》(JBT 1866-1999)、《海区航标用阀控式密封铅酸蓄电池技术要求》（海航测[2005]411 号）等行业、海区范围内的技术标准。检测方式多采用抽样检测，测量蓄电池电压、电导率（或内阻）数值进行合格判断。

检测中，发现蓄电池电压不足的，需进行补充充电。充电后再次检验电压和内阻/电导率，未达到技术指标的，则对电池采取“三充二放模式”充电进行维护。

1.2 补充充电

补充充电一般采用限流恒压均充电方式（均衡充电）。对新电池，均充电压应根据蓄电池使用说明书要求整定，也可参照（标称电压/均充电压值）2V/ 2.35V，12V/14.4V 整定，直到电池充足电结束。

而对已使用过的旧电池，则以 0.1 电流恒流充电至电压达到均充电压值后，在均充电压下稳压充电（限流恒压），直到电池充足电结束。

其充足电的标志，可以用以下作为判断依据：电压恒定情况下，充电末期连续三小时充电电流值不变。温度范围为 20～30℃时，一般充电时间为 8-12 小时，如果环境温度下降，则充电时间应适当增加，如果环境温度上升，则充电时间应适当减小。

1.3 “三充二放模式”

充电完成后，进行放电。放电用 0.1A 恒流，当蓄电池组电压下降到单体 1.8V 时，停止放电。隔（1～2）h 后，再用 0.1A 电流进行恒流限压充电，电压达到均充电压值后转恒压限流充电，直到电池充足电结束。反复放充，最多 3 次。

2 t 检验-成对二样本分析的原理

2.1 t 检验

t 检验，亦称 student t 检验（Student’s t test），主要用于样本含量较小（例如 n ＜ 30），总体标准差 σ 未知的正态分布。t 检验是用 t 分布理论来推论差异发生的概率，从而比较两个平均数的差异是否显著。它与 f 检验、卡方检验并列。根据其分析样本的特性，可以分为三种，分别是单样本 t 检验、成对样本 t 检验、独立样本 t 检验。

2.2 t 检验-成对二样本分析

成对样本 t 检验是根据样本数据对样本的两成对总体均值的差与零是否有显著性差异进行推断的，一般用于同一研究对象（或成对对象）分别给予两种不同处理的效果比较，或者用于同一研究对象（或成对对象）相同处理前后的效果比较，前者推断不同处理的效果有无差异，后者推断某种处理是否有效（即前后是否有差异）。

可以进行成对数据 t 检验的前提条件如下：第一，两个样本应该是配对的。在应用中，主要的配对资料包括：具有生产年份、型号、使用情况、存放位置等非处理因素相似者。第二、两个样本的观察数目要相同，并且观察值的顺序不能随意改变。第三，样本来自的两个总体应服从正正态分布。

检验步骤如下：首先求出每对观察值的差值，得到差值序列；然后对差值求均值；最后检验差值序列的均值，即平均差是否与零有显著差异。如果平均差和零有显著差异，则认为两总体均值间存在显著差异；否则，认为两总体均值间不存在显著差异。

结果的统计学意义是结果真实程度（能够代表总体）的一种估计方法。专业上，p 值为结果可信程度的一个递减指标，p 值越大，我们越不能认为样本中变量的关联是总体中各变量关联的可靠指标。p 值是将观察结果认为有效即具有总体代表性的犯错概率。如 p=0.05 提示样本中变量关联有 5%的可能是由于偶然性造成的。在许多研究领域，0.05 的 p 值通常被认为是可接受错误的边界水平。

2.3 t 检验-成对二样本分析的可行性

本研究来源于东海航海保障中心福州航标处“自奋领”研究项目，因项目研究范围、经费人员所限，且为统计学手段在航标器材管理上的首次应用探索，样本含量较小，适用 t 检验。在统计时，采集样本批次电池每组均有统一规格型号，其使用环境，样本数量相同，适用成对二样本分析法。

采用 t 检验二样本分析法，从统计学角度对样本批次的航标用铅酸蓄电池在不同存放条件及不同的充电方式下的电池内阻或电导值进行分析，判别不同维护方式对电池的主要参数是否带来了显著性差异，意图得到相应的实验结论，以辅助开展航标蓄电池质量预控的优化与改进。从技术上来看，具备较强的可行性。

3 t 检验在蓄电池预控中的实际应用

3.1 蓄电池电量对电池内阻及电导值的改变

检验蓄电池电量改变是否对电池内阻及电导值的变化是否有显著作用，就归结为在给定显著性水平 α 下（这里取 α = 0.05），检验假设： H0 : μ d = 0 ：（即认为试验前后观测数据平均数据无显著差异，电池电量改变是否对电池内阻及电导值的变化无有显著作用）； H1 : μd ≠ 0 ：（即认为试验前后观测数据平均数据有显著差异，电池电量改变是否对电池内阻及电导值的变化有显著作用）； 以下两批次样本分别为存放不同地方的不同类型铅酸蓄电池，样本情况均为存放时间达 3 个月后开展补充电量充电的电池内阻或电导值数据。

样本 1 批电池（12V 100AH）的内阻数据如图 1。

1	器材	充电维护前 内阻	充电维护后 内阻	12V 100AH
2	电池A1	7.02	6.36	
3	电池A2	6.43	6.25	
4	电池A3	6.57	5.72	
5	电池A4	6.32	5.83	
6	电池A5	7.14	6.32	
7	电池A6	7.11	5.93	
8	电池A7	6.8	6.33	
9	电池A8	6.76	6.37	
10	电池A9	6.83	6.64	
11	电池A10	6.72	6.27	
12	电池A11	7.03	6.55	
13	电池A12	7.15	6.28	
14	电池A13	6.93	6.25	
15	电池A14	6.92	6.41	
16	电池A15	6.85	6.46	
17	电池A16	6.78	6.41	

图 1　　样本 1 批次电池（12V 100AH）内阻数据

从上面的分析可知，要进行成对观测值 t－检验，用传统方法需要进行大量的计算和查表，研究小组利用 excel 提供的“t－检验：平均值的成对二样本分析”工具，令 α 为 0.05，计算检验结果如下图 2：

t-检验：成对双样本均值分析		
	变量 1	变量 2
平均	1225.20000000000000	1284.10000000000000
方差	1179.28888888889000	87.87777777777780
观测值	10.00000000000000	10.00000000000000
泊松相关系数	0.53732949085028	
假设平均差	0.00000000000000	
df	9.00000000000000	
t Stat	(6.13671156182316)	
P(T<=t) 单尾	0.00008572519131	
t 单尾临界	1.83311293265624	
P(T<=t) 双尾	0.00017145038262	
t 双尾临界	2.26215716279821	

图 2　样本 1 的 t－检验：平均值的成对二样本分析

样本 2 批电池（2v 300AH）的电导数据如下图 3。

20	器材	充电前内阻/电导率	充电后内阻/电导率
21	电池A17	570	550
22	电池A18	583	561
23	电池A19	575	570
24	电池A20	630	610
25	电池A21	581	571
26	电池A22	591	573
27	电池A23	575	562
28	电池A24	562	555
29	电池A25	577	561
30	电池A26	543	537
31	电池A27	555	545
32	电池A28	631	602
33	电池A29	622	601
34	电池A30	645	633
35	电池A31	671	657
36	电池A32	636	627
37	电池A33	595	582
38	电池A34	597	582
39	电池A35	517	490
40	电池A36	643	632
41	电池A37	644	633
42	电池A38	637	621
43	电池A39	612	597
44	电池A40	634	621

图 3　样本 2 批次电池（2v 300AH）电导数据

令 α 为 0.05，计算检验结果如下：

t-检验：成对双样本均值分析

	变量 1	变量 2
平均	601.0833333333	586.3750000000
方差	1486.2536231884	1519.2880434783
观测值	24.0000000000	24.0000000000
泊松相关系数	0.9874892703	
假设平均差	0.0000000000	
df	23.0000000000	
t Stat	11.7228585921	
P(T<=t) 单尾	0.000000000017591	
t 单尾临界	1.7138715277	
P(T<=t) 双尾	0.000000000035182	
t 双尾临界	2.0686576104	

图 4　样本 2 的 t－检验：平均值的成对二样本分析

从分析检验结果可以看出，无论是样本一批次还是样本二批次中在置信度 α 为 0.05 的情况下，样本 t 统计量均大于 t 双尾临界值，样本 t 统计量均大于 t 双尾临界值，P（双尾）小于 0.05，即可得出结论电池充电电量改变后电池的内阻或电导值均发生了显著性变化。

3.2 充放电行为对电池内阻及电导值的改变

但在此结论下，无法得出充电行为的本身是否会对电池主要维护的参数造成影响，因此，小组采用了另外二批次的蓄电池在存放 3 月后，先后进行单次补充充电并记录数据，并在静置 24 小时候开展二放二充（2V 放电至 1.8V、12V 放电之 10.8V 即三充两放模式）的充电操作，来确定充放电行为本身会对电池性能带来显著性影响。

样本 3 批次电池（2V 300AH）的内阻数据如图 5。

	A	B	C	D	E
1	器材	维护前	一充维护后	三充两放维护后	
2	电池B1	7.02	6.36	6.29	2v 300AH
3	电池B2	6.43	6.25	6.11	
4	电池B3	6.57	5.72	5.7	
5	电池B4	6.32	5.83	5.84	
6	电池B5	7.14	6.32	6.53	
7	电池B6	7.11	5.93	7.07	
8	电池B7	6.8	6.33	6.42	
9	电池B8	6.76	6.37	6.3	
10	电池B9	6.83	6.64	6.85	
11	电池B10	6.72	6.27	6.35	
12	电池B11	7.03	6.55	6.88	
13	电池B12	7.15	6.28	6.27	
14	电池B13	6.93	6.25	6.33	
15	电池B14	6.92	6.41	6.28	
16	电池B15	6.85	6.46	6.41	
17	电池B16	6.78	6.41	6.5	
18					

图 5　　样本 3 批次电池（2V 300AH）内阻数据

令 α 为 0.05，计算检验结果如下：

t-检验：成对双样本均值分析		
	变量 1	变量 2
平均	6.8350000000000	6.2737500000000
方差	0.0586133333333	0.0618116666667
观测值	16.0000000000000	16.0000000000000
泊松相关系数	0.4101370618282	
假设平均差	0.0000000000000	
df	15.0000000000000	
t Stat	8.4222709820586	
P(T<=t) 单尾	0.0000002272200	
t 单尾临界	3.7328344253109	
P(T<=t) 双尾	0.0000004544400	
t 双尾临界	4.0727651959038	

图 6　样本 3 的 t－检验：平均值的成对二样本分析

样本 4 批次电池（12V 100AH）的电导值数据如表 3。

电池B37	817	867	866
电池B38	896	963	970
电池B39	912	965	959
电池B40	872	907	918
电池B41	825	853	835
电池B42	839	903	888
电池B43	882	948	935
电池B44	864	907	910
电池B45	847	896	867
电池B46	893	978	966
电池B47	859	914	917

图 7　　样本 4 批次电池（12V 100AH）内阻数据

令 α 为 0.05，计算检验结果如下：

t-检验：成对双样本均值分析

	变量 1	变量 2
平均	864.1818181818180	918.2727272727270
方差	922.5636363636360	1652.6181818181800
观测值	11.0000000000000	11.0000000000000
泊松相关系数	0.9385147275398	
假设平均差	0.0000000000000	
df	10.0000000000000	
t Stat	(11.1799451502705)	
P(T<=t) 单尾	0.0000002834003	
t 单尾临界	4.1437004940466	
P(T<=t) 双尾	0.0000005668006	
t 双尾临界	4.5868938587026	

图 8　样本 4 的 t－检验：平均值的成对二样本分析

从分析检验结果可以看出，两个批次的铅酸蓄电池中在置信度 α 为 0.05 的情况下，样本 t 统计量均大于 t 双尾临界值，P（双尾）小于 0.05，即再次证明电池充电电量改变后电池的内阻或电导值均发生了显著性变化。

而在对三充两放操作后的两批样本数据再次进行计算检验后得出下表

样本 3 批次，令 α 为 0.05，计算检验结果如下：

t-检验：成对双样本均值分析

	867.0000000000000	866.0000000000000
平均	923.4000000000000	916.5000000000000
方差	1514.9333333333300	1934.5000000000000
观测值	10.0000000000000	10.0000000000000
泊松相关系数	0.9603953232895	
假设平均差	0.0000000000000	
df	9.0000000000000	
t Stat	1.7185081855783	
P(T<=t) 单尾	0.0599126916448	
t 单尾临界	1.8331129326562	
P(T<=t) 双尾	0.1198253832895	
t 双尾临界	2.2621571627982	

图 9 样本 3“三充两放”后的 t－检验：成对二样本分析

样本 4 批次，令 α 为 0.05，计算检验结果如下：

t-检验：成对双样本均值分析

	变量 1	变量 2
平均	6.2737500000000	6.3831250000000
方差	0.0618116666667	0.1235429166667
观测值	16.0000000000000	16.0000000000000
泊松相关系数	0.5327388943241	
假设平均差	0.0000000000000	
df	15.0000000000000	
t Stat	(1.4404682732220)	
P(T<=t) 单尾	0.0851407376777	
t 单尾临界	1.7530503556926	
P(T<=t) 双尾	0.1702814753554	
t 双尾临界	2.1314495455598	

图 10　样本 4“三充两放”后的 t－检验：成对二样本分析

从分析检验结果可以看出，两个批次的铅酸蓄电池中在置信度α 为 0.05 的情况下，样本 t 统计量均小于 t 双尾临界值，P（双尾）大于 0.05，即无法证明电池充电行为本身可以使电池的内阻或电导值发生显著性变化。同时研究还发现了，虽然批次内的铅酸蓄电池在经过两次深度充放电后，电池的内阻均值出现了上升（电导值下降）。

3.3 不同充放电行为对电池内阻及电导值的改变

在此基础上，研究小组还对不同的充放电方式的影响进行了研究，现阶段航标用铅酸蓄电池充电多采用恒压充电法，其优点在于，可以避免充电后期充电电流过大而造成极板活性物质脱落和电能的损失。但其缺点是，在刚开始充电时，充电电流过大，电极活性物质体积变化收缩太快，影响活性物质的机械强度，致使其脱落。而在充电后期充电电流又过小，使极板深处的活性物质得不到充电反应，形成长期充电不足，影响蓄电池的使用寿命。

目前电力能源行业较为推行的三阶段充电法，即两阶段等流充电法和恒定等压充电法相结合的方式。充电开始和结束时采用恒定电流，中间阶段为恒定电压充电。蓄电池在充电初期用较大的电流，经过一段时间改为恒定电压充电，当电流衰减到预定值时，由第二阶段转到第三阶段。采用三阶段充电法的优点是：避免了恒定电压充电法开始充电电流过大，而后期电流又过小的情况，比二阶段等流充电在中间阶段更接近充电电流接受率曲线。这种充电法减少了充电出气率，充电又彻底，延长了蓄电池使用寿命。

为此，研究人员再次对一批电池样本采取了分组对照检测，检测中为保证试验结果的准确，采用的电池组为同一批次未使用过的蓄电池。

（恒压充电：电压控制 14.4v,三段式充电法：恒流 10A 充电至 13.8v-恒压 14V 充电 1H-恒流充电至 14.4V）

样本 5 批次电池（12V 100AH）的电导值数据如图 11。

	三段充电后	恒压充电后
电池组	1287	1292
电池组	1297	1299
电池组	1280	1278
电池组	1250	1258
电池组	1300	1287
电池组	1350	1322
电池组	1260	1240
电池组	1270	1255
电池组	1295	1260
电池组	1289	1287
电池组	1289	1279
电池组	1293	1291
电池组	1285	1285
电池组	1278	1268
电池组	1300	1303
电池组	1312	1300
电池组	1267	1261
电池组	1274	1277
电池组	1289	1267
电池组	1294	1298

图 11 样本 5 批次电池（12V 100AH）电导值数据

令α 为 0.05，计算检验结果如下：

t-检验：成对双样本均值分析		
	变量 1	变量 2
平均	1288.000000000	1279.736842105
方差	459.111111111	412.093567251
观测值	19.000000000	19.000000000
泊松相关系数	0.842847114	
假设平均差	0.000000000	
df	18.000000000	
t Stat	3.066273688	
P(T<=t) 单尾	0.003325983	
t 单尾临界	1.734063607	
P(T<=t) 双尾	0.006651966	
t 双尾临界	2.100922040	

图 12　样本 5 批次电池的 t－检验：成对二样本分析

从分析检验结果可以看出，虽然两个批次的铅酸蓄电池中在置信度 α 为 0.05 的情况下，平均值与方差均十分接近，但样本 t 统计量均大于 t 双尾临界值，P（双尾）小于 0.05，即证明从统计学角度出发在采用三阶段充电方式与恒压充电方式对比下的使电池的内阻或电导值发生显著性变化。

通过上述结论，我们已经可以证明 t 检验等统计学检验方法在航标蓄电池质量控制管理程序上应用是可行且具有意义的，尤其是在比较不同的充电方式的测试上可以看出，在样本存在不同程度的错落分布，从均值，方差等数据难以得出有效结论的时候，t 检验可以有效的帮助检测着迅速得出结论。

4 结论与成果

4.1 试验结论

根据试验可以得出相关结论，即电量的提升可以有效降低电池内阻，提升电池性能，有助于延长电池的寿命，而采用三段式充电法也相较于当前航标管理部门常用的恒流充电方式更为有效。

4.2 蓄电池预控优化的意见和方向

研究人员在结合试验中查阅的其他资料，为蓄电池预控优化提出以下意见和方向：

（1）调整电池预控周期为灵活周期。

考虑到电池电量的衰减时间随存放条件尤其是环境温度的影响较大，而现行的质量预控操作规程中未对各温度下电池的充电维护周期进行确定，因此建议调整维护周期，将电池电压标准纳入作为需要进行充电标志，即当电压低于某一设定值后即需要进行充电维护，而对于维护工作的检查也可通过现场检测蓄电池电压是否达到该标准以上为依据，这样既可以降低适宜环境温度下的预控工作量，也能经一步确保在极端温度下蓄电池的工作状态。

（2）调整充电模式为三阶段式充电法。

在蓄电池补充充电程序中将充电方式调整为三阶段式充电法，并根据不同电池厂商的技术标准确定电池的充电阶段即可。现下，智能化充电设备使用已较为广泛，在充电程序中进行设置相关流程和阶段性标准即可自动化完成充电程序。

5 结语

本研究项目为探索性研究，研究范围和样本较小，但研究方法和计算过程符合统计学规范，实验结果真实可信，其研究结论和建议可操作性强，对航标用蓄电池的实际维护具有一定的指导意义。同时，研究也证明了将现代统计学手段应用在航标器材管理、乃至航标管理上，可以有效的提升科学管理能力，有较好的推广价值。

参考文献

[1] 昌文芳;刘洪波;矫明;佟晓超;刘昊;张仁瑜;《预拌混凝土原材料风险研究及快速检测方法研究与分析》-《混凝土》- 2023-02-27

[2]张倩;《基于现金流量项目的企业财务困境分析》 -《渭南师范学院学报》- 2012-06-15

[3] 胡恒生;王慧;赵徐成;吕瑞强;《蓄电池充电方法的分析和探讨》 -《电源技术应用》- 2009-08-15

作者简介

[1] 吴泉凯 东海航海保障中心福州航标处　助理工程师　数学与应用数学专业 从事航标管理工作；
通讯地址：福州市台江区西洋路 60 号（邮编：350005）联系电话：18596666357，电子邮箱：503866710@qq.com
[2] 曾繁屏　东海航海保障中心福州航标处　高级工程师　电子信息工程专业 从事航标管理、信息化工作；
通讯地址：福州市台江区西洋路 60 号（邮编：350005） 联系电话：18050433712，电子邮箱：253102937@qq.com

灯浮标移位原因及对策措施

任健 张立样 王鑫宁 沈秋雄 刘宏

（东海航海保障中心福州航标处 福建 福州 350000 ）

摘要：本文以东海航海保障中心福州航标处辖区灯浮标为研究对象，统计了我处近四年（2017 年-2020 年）浮标损坏及移位的数量，详细分析了造成灯浮标损坏及移位的原因，并针对各类原因，提出了切实可行的应对措施。希望本文可以对以后的航标作业有所帮助，对灯浮标被撞移位情况的减少起到一定的作用。

关键词：灯浮标移位； 原因分析； 对策措施

1 背景

福州航标处辖区北起福鼎，南至莆田。内有各类助航标志 1226 座(截至 2021 年 9 月 1 日)，标志种类有灯桩、导标、灯浮标、AIS 基站、雷达应答器及 AIS 应答器等，其中公用航标 549 座，代管航标 395 座，非代管航标 282 座。根据交通运输部和福建省政府最新批复的《福州港总体规划（2035 年）》，福州市（含平潭综合实验区）港口是国家主要港口、综合运输体系的重要枢纽和福建省推进实施国家战略的重要支撑，全港由南至北规划有平潭港区、江阴港区、松下港区、闽江口内港区、罗源湾港区、三都澳港区、白马港区、沙埕港区，八个港区及三沙一个港点。新的福州港总体规划刚好与福州航标处辖区重合，为了有效的支持福州港总体规划，航海保障必须先行。对航海保障最大的威胁莫过于灯浮标损坏，只有有效的减少灯浮标损坏的情况发生，才能从根本上做到有效的航海保障。我处辖区近年来浮标被撞、漂失、移位情况有所下降，但每年还是有二十多起的事故发生，航海保障任务依然艰巨。

2 移位、漂失原因分析

导致灯浮标的移位、漂失的原因有很多，根据福州航标处最近 4 年灯浮标损坏及移位的统计数据情（图 1），分析主要原因有以下几点：

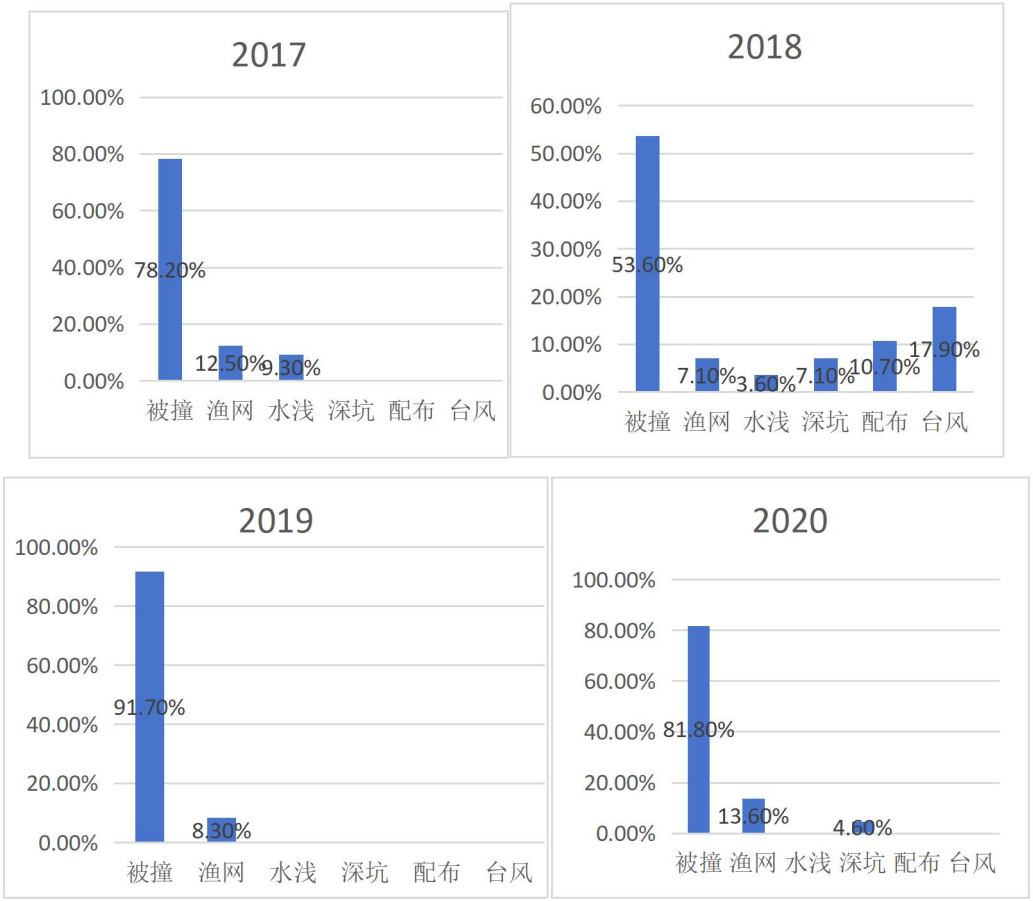


图 1：2017 至 2020 年福州航标处辖区航标被撞损坏及移位统计

2.1 船舶碰撞造成灯浮标移位、漂失

通过上边的图表，我们可以很直观的看出来，船舶碰撞是造成灯浮标移位的最主要原因。这些碰撞事故主要发生在船舶通航密度大的航段，特别是航道口门处和航道转弯处，本文将这些水域统称为关键水域。以闽江航段的金牌门水域为例，此处航道狭窄，且航标设置密集，水流流速大，上下行船舶会船时，船舶操作难度大，浮标被碰撞相对频繁。灯浮标移位、漂失后，作为航标管理部门，一定要在第一时间发现，及时通知各航标管理站到达现场，控制住移位的浮标，避免碰撞养殖网箱、航行船舶等，并尽快将移位的浮标复位，确保过往船舶的安全。对于肇事逃逸的船舶，应及时向当地海事局报案，并主动向海事部门相关资料，尽快查控肇事船舶，为国家挽回经济损失，维护航标管理部门、海事部门的权威，更好地发挥航标管理部门的作用。

2.2 渔网拖拽导致灯浮标移位

福州航标处辖区地跨闽东渔场与闽中渔场，附近渔网、鱼栅遍布。通过图 1，我们也可以发现，由于渔网造成的灯浮标移位情况每年都有 10 个百分点左右，是除了船舶碰撞外，发生频率最高的。渔网对灯浮标移位的影响主要有两种：一种是渔网直接搅缠灯浮链系及沉石，增大了沉石及链条的受力，在外力的作用下，导致灯浮标移位；另一种是通航水域的渔网，这些渔网的存在，压缩了通航水域的空间，直接增大了船舶碰撞浮筒的概率。另外，灯浮标周围的渔网存在，也给航标船的作业带来了很大困难，延缓了应急抢修的时间，最终影响船舶通航。

2.3 水浅导致灯浮标移位、漂失

我处灯浮标型号大体上有三种：标体直径 1.8 米、2.4 米和 3.0 米。直径 1.8 米的浮标主要用于风流影响小、水深有限的内河；直径 2.4 米的浮标用于港口及通航水域；直径 3.0 米的浮标主要用于外航道，风流较大的水域。我处辖区大部分用的都是直径 2.4 米和 3.0 米的浮标，其浮态入水深度都是 3.6 米。在海图水深小于 3.6 米的情况下，用标准尺寸（直径 2.4 米和 3.0 米）浮标，很容易出现浮标撞击水底的情况，在风浪、涌浪影响下，这种作用更加剧烈。长时间的碰撞、摩擦，会使浮标压块脱落、连接卸扣松动，链条断裂，最终的结果就是浮标倾倒、漂失。

2.4 海底坡度太大（深坑）引起的灯浮标移位

受客观因素（礁石、堤坝等）的影响，有些浮标的设计在海底坡度较大的位置。地形的原因造成这些位置往往流速很大，加之较大的水底坡度，很容易使沉石的抓地力不足，甚至造成沉石向深水方向翻转，从而导致灯浮标的移位。我处辖区的道庆洲坝头灯浮、闽江口 D7 号灯浮，都出现了类似的移位的情况。后来经过各单位的讨论沟通，将闽江口 D7 号灯浮调整位置并更名为闽江口 D5A 号灯浮，将道庆洲坝头灯浮位置向深坑外移了 70 多米，这些合理的位置调整，有效的减少了浮标移位情况的再次发生。

2.5 航标配布不合理导致的被撞

以往的灯浮标配布，只停留在海图上二维的、静态的以及理想化的配布，注重助航参数，忽视避碰参数，灯浮标被撞的几率自然增大。比如 2018 年的道庆洲大桥建设过程中，对航道航标进行了调整，乌龙江 1 号灯浮，由原来的推荐航道左侧标调整为右侧标，虽然位置有少许的调整，但习惯航路的改变，还是导致了浮标一周内被撞 2 次。最后经过各部门的协调，将乌龙江 1 号灯浮重新调整为左侧标，航道才恢复了正常。

2.6 极端天气（强台风、大风浪等）造成灯浮标移位、漂失

福州航标处管辖海域处于东南沿海，台湾海峡北部。每年 5-10 月份，台风活动频繁，大约有 10 个台风会影响福建，有 2 个台风会登陆福建。冬季，台湾海峡也是有名的大风浪区，可见，我处基本上全年都会受到大风浪的影响。极端天气引起的大风浪会增加灯浮标及链系某一方向的作用力，使链条的卧底长度变短，甚至没有，此时风浪作用力大于浮筒、链条、沉石在水中的摩擦力，从而导致灯浮标移位。

3 灯浮标移位的解决措施

经过上面原因的分析，结合近年来浮标起吊及维护作业的经验，现总结以下解决措施。

3.1 在关键水域（包括风电场区域）及时播发防撞预警

我处研发的桥区水域船舶防撞预警信息播发装置已经在福州长门大桥、平潭大桥等地应用，使用效果良好。该装置能自动采集设定水域的船舶 AIS 数据，并与后台系统进行数据交换，根据后台指令，以 AIS 报文推送、VHF 自主呼叫等形式向区域内航行船舶提供信息服务，并实现对高风险航行船舶的点对点预警。

可用于辅助标识航道、危险区、风电场、施工作业区等。如果能将该装置有效的用于航道、港区的关键水域，对危险区域的船舶及时预警，提醒船舶驾驶员加强瞭望，控制船位，可以有效的减低由于人为疏忽造成的船舶碰撞灯浮标事故发生。

3.2 定期开展联合巡航、执法及宣传教育活动

航海保障是我们的主要职能，对于航道及浮标附近的渔网，我们没有执法权，没办法直接清理，整治。为解决渔网对于灯浮标移位的影响，采取的主要措施有：（1）、加强与其他水上主管部门的沟通，将在日常的航标巡检及作业过程中发现的渔网碍航情况及时告知。（2）、积极联合海事局、渔政等其他水上管理部门开展联合巡航，对港口、航道周围的渔网进行专项的清理、政治。（3）定期组织各航标站员到辖区渔村、码头，开展航标宣传教育活动，提高渔民的航标保护意识。这些活动的开展，能有效的减少通航水域及灯浮标附近的渔网，进而减少渔网造成的灯浮标移位事故的发生。

3.3 浅水区使用浅水浮标

浅水浮标，其浮态外观和普通浮标没有区别，只是入水深度为 1.7 米。在不考虑风浪、涌浪的情况下，浅水浮标能很好的应用于水深 1.7 米以上的浅水区。合适水深条件浅水灯浮的使用，既能有效的减少锚链间的磨损，又能很好地起到助导航的作业，从而有效的规避断链的风险。对于实际水深 1.7 米以下的水域，灯浮标应尽量避免使用，可采用 AIS 虚拟航标代替。如果位置特殊，确实需要实体标志的话，可以考虑简易灯桩或其他助航标志。

3.4 根据水深及位置情况，合理配置链条

链条太多太少都容易出问题，太多，很容易使链条打结，给起吊和维护造成很大的不便，同时，链条太多也增大了浮标的回转圈，给来往船舶航行带来不便；太少，链条卧底长度不够，链条的抓地力就不够，受风流的影响，灯浮标移位的可能性就会变大。实际工作中，我们不能只依靠海图水深配备链条，要结合船舶测深仪的实际测量值进行合理搭配。海图水深更新频率慢，基本都在 5 年以上，有的地方更新时间更长，受人为及自然因素的影响会使实际水深变化很大，要具体情况具体分析。

3.5 与海事部门合作，合理规划航标布局

广泛听取海事局、港航局、港务局、引航站等部门对于灯浮标布局的合理化建议。有条件的对实际起不到助导航作用的灯浮标进行撤除，对确实影响航行安全的浮标位置调整。虽然这可能牵涉到成本及海区管理部门的技术审核等诸多问题，但相信通过合理的沟通，在充分探讨理解的基础上一定会达成共识。

3.6 做好灯浮标日常养护及巡检

定期对灯浮进行起吊更换，保证浮标位置准确，外观及灯器处于良好状态。优化链条连接工艺，有效减少由于人为因素引起的灯浮标漂失及移位事故。只有这样，才能使浮标起到良好的助航作用，从而有效的减小被撞移位的风险。同时也能保障浮标在恶劣天气抵抗风浪的能力，减少因台风及其他极端天气造成的浮标受损及移位情况的发生。

4 结语

灯浮标容易发生移位问题，是行业内普遍存在的情况。随着辖区风电建设项目进一步向外海延伸，开阔水域灯浮标布设数量将会快速增加，因此，为满足当前航运市场经济的迅速发展和航行船舶的快速增长的要求，我们必须提高航海保障服务的能力和水平，优化航标配布，结合水域底质、流速流向及以往工作经验改进浮标作业工艺等手段来减少灯浮标发生位移的可能性，为船舶航行安全提供有力支撑，也为新的福州港建设做好有效的后勤保障。

参考文献

[1] 顾毛弟.中国航海学会航标专业委员会沿海、内河航标学组联合年会学术交流论文集；对上海航标处辖区灯浮标被撞、移位和漂失抢修事故的统计分析;2003 年；P137-138.

[2] 黄纯.中国航海；长江口深水航道治理工程灯浮系碇配置方案;2000 年；P38-42.

作者简介：任健等五人均系东海航海保障中心福州航标处员工，于中标船海巡 1620 轮任职。任健电话：18005008525 邮箱：ryankin16@163.com

关于我国近岸岛礁救援的分析与思考

黄亮平 张成荣

（交通运输部东海救助局福州救助基地，福建 福州）

摘要:随着中国经济社会发展水平的日益提升,民众生活条件获得了明显的改善,而外出旅游也是更多的家庭的幸福指标,按国家自然资源部门最新统计资料,目前中国的沿海观光旅游、海洋交通运输业,以及海洋捕鱼已成为中国海洋经济发展的重要支柱,其增加值占全国主要海洋行业总增加值的比例为分别 47.8%、19.4%和 14.3%。其中领跑增长的滨海旅游业 2018 年实现增加值 16,078 亿元，同比增长 8.3%。根据了解,海岛和滨海是人们观赏游憩、避暑休养、回归自然、放松身体的首选空间和理想地点。当前,全国沿海旅游发展,正逐步呈现高档度假带动、邮轮港口带动、民风民情带动等几种新发展模式,包括了岛屿观赏、海岛娱乐、水中活动等各类旅游产业。尤其是,在构建"21 世纪海洋丝路"的大背景下,中国沿海旅游迅速发展,越来越成为全国广大群众出游消费的新兴热点。据有关统计资料表明,作为中国具有最多岛屿、最长海岸线、第三大水域面积的地区——福建省,沿海旅游正呈现出强大势头。二零二二年,福建省沿海岛屿地区接纳旅游者将近一亿人次,总收入达到了一千多亿元。滨海文化旅游作为我国海洋经济新亮点,对实现广大人民群众对美好生活的追求,发生了巨大意义。滨海观光旅游主要包括以海岸带、岛屿群和近海的各类自然风光、人文景观为基础的游览经营、服务等活动,重点涉及海边参观游览、休闲娱乐、度假食宿、体育锻炼等。由于目前中国沿海的观光旅游需求量巨大,同时也面对着推进海洋资源的循环利用、控制近海天然生态环境恶化趋势等的巨大挑战。本文的作者是服务于东海救助局的一名一线工作人员，有十几年的救助经验，结合典型救助案例，分析近岸岛礁事故中在救助方面存在的问题，深入思考我国近岸救援的现状与未来应对措施。

关键词:近岸救助　浅滩打捞　岛礁搜寻

引言:交通运输部东海救助局是交通运输部直属单位，主要职责是：贯彻执行国家和交通运输部有关海上救助工作的方针、政策、法规和规章；承担我国沿海及相关水域的人命救助，承担以人命救助为目的的船舶、航空器、水上设施及其他方面的环境救助和财产救助；承担国家指定的远洋深海应急救助任务；履行相关国际公约和双边多边海运协定等国际义务。

践行以“人民为中心”的发展思想，大力弘扬“把生的希望送给别人，把死的危险留给自己”的救捞精神，秉承“大爱、无私、担当”的核心价值理念，全面加强空中立体救助、水面快速反应、水下潜水打捞三位一体的现代化专业救助能力建设，用实际行动筑牢海上安全最后一道防线，为辖区水上安全形势的稳定和经济社会发展提供保障。

自从成立以来，逐步形成了以飞行队、救助船队、救助基地为主要框架的救助力量，笔者本文要讨论的就是救助基地的辖区范围内救助，每个基地有两支队伍，一支是水下救援力量---应急救助队，一支是水面救援力量---华英 393 艇，基地负责辖区内近岸岛礁及水域救助任务。

1 典型案列

案例 1：2010 年 2 月 11 日晚，受寒潮影响，闽江口突起大风，四艘渔船遭大风浪袭击遇险，逃生到岛礁上的 15 名渔民，经交通运输部东海救助局福州基地“华英 393”艇的紧急救助，全部获救。

11 日 20 时 56 分，东海救助局福州基地接报信息：闽江口一艘渔船受大风浪袭击而翻沉，有一渔民逃生到附近五虎岛礁石上，与外界失去联系，情况危急。接报后，东海救助局救助指挥值班室立即启动春运救助应急预案，局长孙富民紧急赶往值班室指挥救助，急令“华英 393”艇赶往出事现场。“华英 393”艇克服风大、浪高，岛石、渔网多等困难，于 22 时 15 分抵达现场，经过紧张搜寻，终于发现被困在岛礁上的渔民，“华英 393”艇果断释放橡皮艇，于 22 时 50 分成功救下惊慌失措的被困渔民。从被救下的渔民获悉，另有 3 艘姐妹渔船同样遭受大风浪袭击，船上所有渔民逃生到附近的另一岛屿上，“华英 393”艇冒风斗浪加紧搜寻，终于在 23 时 15 分发现目标，迅即释放橡皮艇，分 5 次将被困的 14 名渔民安全救上“华英 393”艇。至此，遇险的 15 名渔民全部获救。

案例 2：救助“琼洋渔 18007”船情况

2019 年 4 月 24 日 0600 时，福州救助基地值班室接“琼洋渔 18007”船东来电，在 2607.817N/11939.08E

闽江口 17 号浮附近搁浅，现场浓雾弥漫，能见度极低，船体有倾覆危险，船上人员 14 人遇险，紧急请求基地派华英 393 前往救助。基地救助值班室接警后，立即通知正在待命的基地华英艇 393 做好出动准备，0612 时，华英 393 紧急出动赶赴现场。华英 393 艇到达现场发现难船搁浅位于浅滩，华英 393 艇无法靠近，根据现场情况立即制定释放橡皮艇靠遇险渔船实施救助方案，0703 时，华英 393 释放橡皮艇靠遇险渔船，分 3 批成功地将 10 名人遇险船员接到华英 393 艇。

案例 3：救助北海市营盘镇翻扣渔排落水人员情况。

2021 年 8 月 9 日 0941 时，南海救助局接北海市海上搜救中心信息：当日 9 时许，北海市营盘镇附近海域 1 艘无证机动渔业排筏沉没，10 人当场获救，其他人员落水失踪，请求救助。南 海救助局于 9 日 0952 时起先后派遣北海救助基地待命的“南海 救 508”艇钦州待命的“南海救 203”轮，三亚待命的“B-7358”救助直升机，珠海待命的“B-7341”救助直升机，北海救助基地、湛江救助基地的应急救助队前往现场进行水面和水下搜救。截至 8 月 10 日 1430 时，救助直升机共搜救 6 架次、救助船艇搜寻 36 小时，9 名潜水员下水探摸 11 班次，未发现落水人员。后经地方政府核实，搭乘涉事渔排人员共 61 人,其中 8 人遇难、13 人 在医院治疗、39 人安全、1 名涉事排筏主被警方控制。

案例 4：救助漳浦县沿海 17 人遇险情况。

2021 年 8 月 14 日 1556 时，东海救助局接福建省漳州市海上搜救中心信息：当日 15 时许，17 名游客在福建省漳浦县火山岛旅游景区前亭镇江口村海边的礁石上被海浪卷入海里,10 人被现场渔船救起(经医务人员确认，其中 4 人已无生命体征），另外 7 人落水失踪。东海救助局厦门机场待命的“B-7345”救助直升机于 14 日 1638 时前往现场，1653 时抵达现场开始搜救。厦门基地应急救助队（1 名领队和 6 名潜水员）于 14 日 1905 时前往现场，2113 时抵达现场参与搜救。同时，搜救中心组织协调海事、海警、渔政等 12 艘船艇在现场搜救；漳州应急管理局组织协调当地海上志愿者力量曙光救援队开展搜救。截至 8 月14 日 2115 时,曙光救援队从事发附近水域打捞起失踪的6名遇难者遗体,锁定 1 个疑似目标,2230 时,打捞起最后 1 名遇难者遗体。

2 近岸浅水人命救助分析与思考

2.1 近岸浅水人命救助分析

近年来，我国沿海濒海旅游观光产业快速发展，各种水上娱乐项目繁多，涉水网络直播兴起，近岸浅水的险情种类呈多元化的态势，常见的接报险情有人员被困岛礁、近岸垂钓遇险、海边落水或游泳失踪等类型。

2.1.1 险情类型分析

以福建海域近岸潜水的救助案例为例，近十年来福建海域接到近岸浅水人命事故险情约 30 起，出动救助力量近 20 次，救助遇险人员近 60 名，寻获遇难者遗体 3 具。接报的近岸浅水险情信息大部分为人员被困岛礁遇险，占比约 40%，其中，超过 10 人的岛礁救助就有三起，包括 2010 年 2 月 11 日“华英 393”成功救助闽江口五虎岛礁 15 名遇险渔民，2014 年 10 月 1 日东二飞成功救助长乐 10 名被困礁石 10 名游客，2017 年 10 月 4 日东二飞成功救助平潭被困岸边礁石 27 名游客。

近岸垂钓遇险的失踪搜救的救助信息占比约 20%，其中 3 次出动搜寻救助均搜救无果。

其它接报的近岸浅水险情类型如海边落水或游泳失踪的也不少，约占比 40%，该类险情事故遇险人员一般比较少，基本在 2 人以下，在实际救助工作中，这种类型的事故险情评估华英艇吃水受限无法参与搜救，则不安排华英艇出动搜救；同时考虑失踪人员在海里位置的不确定，基本也不安排应急潜水队伍出动参与水下探摸搜寻遇难者遗体，近十年来，评估失踪人员超过 3 人或者社会影响比较大，仅有 3 次出动应急潜水队伍参与这一类的水下探摸搜寻，唯一一次水下搜寻有成效的是厦门“3.19”观光直升机坠海救助，寻获三名遇难者遗体，同时也出动救援直升机参与水面搜寻。实际救助工作中，难度最大、成效最差的是近岸浅水且无固定目标物（如翻扣船或沉船）的水下搜寻遇难者遗体。

2.1.2 救助方式分析

我国在近岸潜水救助实际工作中，基本有四种方式，一是派遣近岸海事部门赶赴事发现场附近，然后释放救助橡皮艇实施救助，如福州救助基地 2011 年 7 月 20 日“华英 393”艇释放橡皮艇成功救助闽江口石岛水域礁石上 4 名被困人员；二是派遣应急救助队搭载橡皮艇赶赴现场岸边，然后利用救助橡皮艇实施救助，如 2012 年 4 月 11 日，福州救助基地应急救助队利用冲锋舟成功救助连江县江南旧大桥下礁石上 2 人

受困遇险人员；三是派遣救助直升机搜寻救助；四是利用华英艇或其它交通工具运送应急救助潜水员及装备执行水下搜寻探摸救助，如 2021 年厦门“3.19”观光直升机坠海搜救和漳浦“8.14”17 人近岸落水遇险搜救。实际救助工作中难度最大、成效最差的是实施第四种救助方式。

2.1.3 救助能力分析

我国执行近岸浅水水面搜寻任务的手段和能力相对比较专业和有效的，本论文重点在分析近岸潜水水下搜寻探摸遇难者的救助能力。

2.1.4 我国近岸潜水水下搜寻探摸救助手段及装备现状分析

主要的处置手段有水下拦阻、水下搜寻定位、潜水探摸打捞、水下破拆救援；目前水下搜寻定位、潜水探摸打捞能力相对欠缺，主要原因如下：一是目前近岸浅水救助应急救助预案不够完善，目前我局救助应急预案针对近岸浅水救助的有翻扣船救援、岛礁救援和涵隧救援三个险情场景的预设，并制定了相应的救助行动指南及装备清单，但没有针对近岸潜水无固定目标物的水下搜寻探摸救助场景预设，以致应对这类险情的日常训练不足，现场救助方案制定及实施能力有待提升。二是相关水下搜救装备有待提升，主要是侧扫声呐和作业平台两个问题，目前我局只有 2 个救助基地配置有水下侧扫声呐，如福州救助基地配置了一款“Blueview M900”声呐装备，但不如福建曙光志愿者配置的“海星”声呐便捷和实用，福州救助基地目前的声呐需要携带便携式发电机，在狭小的冲锋舟内显笨重且噪音巨大，操作不易也不便捷；其次是大部分救助基地没有配置转运便捷且合适的潜水作业平台，目前上海救助基地配置相对便捷的简易潜水作业平台，但是存在抗风浪能力差和现场固定不易等问题。

2.1.5 我国应急潜水救生员能力分析

包括人员配置和潜水作业能力分析两块内容。一是人员配置体量比较小，难以满足近岸浅水水下搜寻探摸救助需要。目前除上海应急救助队，其它基地应急救助队潜水员救生员人员基本配置 5-6 名，按制度规定，原则上救生员每年拥有 118 天休假时间，各应急救助队日常轮休或驻船待命外基本维持四名潜水救生员待命值班，实际执行近岸浅水水下搜寻救助任务都是社会影响比较大的救助，至少需要 3 名救生员驾驶冲锋舟开展水面水下（利用侧扫声呐）搜寻以及 5 名救生员执行海上潜水探摸打捞作业，同时要兼顾作业平台设置及装备转运，便凸显了人员配置不足问题。二是目前由于缺少海上实战训练，应急潜水救生员海上潜水实战能力相对不足。此外，一半以上队员年龄偏大（40 周岁以上），体能有所下降。

2.1.6 社会其它救援力量现状

目前，其它具备参与近岸浅水救助能力的社会力量主要有志愿者队伍和渔船渔民，如曙光救援队、星光救援队、蓝天救援队、蓝豹救援队等。其中志愿者队伍的特点是队伍体量较大，配置的冲锋舟数量较多，部分志愿者队伍配置有比较先进便捷的水下侧扫声呐，缺点是人员潜水作业能力比较差，一般只具备休闲潜水能力；此外附近的渔民和渔船可随时征用，渔民熟悉当地水域环境且操作渔船能力较强，渔船亦可作为转运装备的运输工具和潜水作业平台，同时可参与水面搜寻。

3.我国近岸潜水遇险信息处置的机制体制现状

3.1 海上搜救中心

2005 年，国务院批准建立由交通运输部牵头的国家海上搜救部际联席会议制度，指导全国海上搜 救和船舶污染应急反应工作。中国海上搜救中心作为部际联席会议制度的办事机构，负责国家海上搜救部际联席会议的日常工作及组织、协调、指挥重大海上搜救和船舶污染事故应急处置行动，指导地方海上搜救工作。我国沿海省（市）、自治区建立相应的海上搜救中心。省级海上搜救机构承担本省（市）海上搜救责任区 的应急组织指挥工作。海上搜救分中心是市(地)级或县级海上应急组织指挥机构，其职责由省级海上搜救中心确定。

3.2 应急管理部

2018 年 3 月，我国设立应急管理部，各省市相应成立应急管理局。主要职责是组织编制国家应急总体预案和规划，指导各地区各部门应对突发事件工作，推动应急预案体系建设和预案演练。建立灾情报告系统并统一发布灾情，统筹应急力量建设和物资储备并在救灾时统一调度，组织灾害救助体系建设，指导安全生产类、自然灾害类应急救援，承担国家应对特别重大灾害指挥部工作等职责。一般地方市级以及省级应急管理机构和海上搜救中心，分别在地方政府分管的政府副职领导的领导下开展应急处置工作，两家机构的信息交换和力量协调以及协同配合的工作机制还不够完善。

3.3 专业海上救助力量

2003 年 6 月，救捞体制改革正式实施后，交通运输部按照“建立一支政令畅通、行动迅速、装备精良、人员精干、技术过硬、作风顽强的国家海上专业救助队 伍”和“实行全天候海上救助值班待命制度，建立快速应急反应和紧急救助机制，切实履行国际义务和国家职责”的要求。东海救助局作为海上专业救助队伍，执行海上人命、环境以及财产救助任务是职责所在，但涉及海上水下遇难者遗体搜寻打捞的职责没有明确规定，但原则上遇到社会影响较大的所有海上事故险情应急处置任务，接警后都应积极派出相应力量全力处置。

3.4 沿海地方 110 指挥中心社会联动体系

沿海地方 110 社会联动处置机制，是以公安“110”为龙头，有关部门为骨干组成的社会救助服务体系，为群众提供求救求助的专门电话，专门用于群众发生急、难、险、重事情时的求救或求助，具有专业、快速、及时等特点。目前，地方群众在近岸浅水发生险情时，如果不是船舶类交通安全事故，人民群众第一时间多数会拨打 110 报警，110 把险情信息转至地方边防派出所，由地方派出所负责处置。

3.5 有关海上应急处置的法律、法规、预案

目前，国内涉及海上应急处置的法律主要有《中华 人民共和国海上交通安全法》《中华人民共和国海商法》《中华人民共和国渔港水域交通安全管理条例》《中华人民共和国突发事件应对法》《生产安全事故应急条例》、《生产安全事故报告和调查处理条例》《国家突发公共事件总体应急预案》《国家海上搜救应急预案》《国家专业救助打捞队伍应对水上突发事件应急预案》《东海救助局应急救助预案》等，以及各省市地方发布对应的法律、法规、预案。

目前我国海上搜救体制是政府领导下的多元化搜救。《国家海上搜救应急预案》在工作原则中规定：“政府对海上搜救工作实行统一领导，形成高效应急反应 机制，及时、有效地组织社会资源，形成合力；政府对海 上突发事件的应急反应行动实行统一指挥，保证搜救机构组织的各方应急力量行动协调，取得最佳效果”。如《福建省突发事件应对办法》规定“县级以上人民政府应当加强对突发事件应对工作的领导，其设立的突发事件应急委员会统一领导、协调各有关部门和下级人民政府开展突发事件应对工作”。

由此可见，政府在应急救援中扮演着重要角色。应急救援本身具有复杂性和很强的专业性，依据我国国情，目前没有哪个部门可以独立承担起应急救援的全部职能，所以只能通过政府来协调各方力量进行海岸、海上协作搜救。搜救组织多元化有利于发挥各部门的作用，集合更强大的搜救力量，提高搜救的成功率。但是，救援组织多元化也有其弊端，表现为各救援组织分工不明、职责不清，从而影响救援工作实效。

实际工作中，随着应急管理局成立，地方应急指挥体系也随之发生了一定的变化。在法规层面上，近岸浅水险情属于海上险情的一部分，其海上搜救指挥处置应由地方海上搜救中心负责主导，但在实际处置过程中，该类型险情的指挥权限边界还不够明确，发生险情后，应急管理局经常会介入并主导指挥处置，如 2021 年厦门“3.19”观光直升机坠海和漳浦“8.14”17 人近岸落水遇险，都是由地方政府领导携应急管理局负责人在现场主导指挥险情处置。

4 近岸岛礁浅滩救助的建议意见

根据上述近岸浅水救助分析以及我国近岸潜水遇险信息处置的机制体制现状，建议从完善应急预案、提升救助能力、完善应急联动机制等方面入手，有效提高近岸浅水险情的救助能力和救助成效。

4.1 完善应急救助预案

一是加快制定涵盖近岸浅水水下搜寻探摸救助的预案，包括出动力量协调配置、救助行动指南及装备清单，并在后期训练、实战评估后逐步完善。

二是加强我国辖区近岸浅水易发险情区域的资料收集，完善近岸浅水救援的三基资料，相关三基资料重点包括该地的海域环境、潮汐特点、历史事故资料、陆路及海上交通路线、所属负责安全的地方单位部门联系资料以及现场地方可调用救援力量情况等。同时要进行实地勘察，熟悉现场环境。

4.2 提升近岸潜水综合救助能力

一是强化近岸浅水水下搜寻探摸专项救助技能训练。根据救助预案，循序渐进，注重训练场景化，积极开展海上潜水作业实战训练；强化艇队交叉训练，以利救助艇员能够有效参与近岸浅水水下搜寻探摸救助作业，弥补应急潜水救助人员不足，形成合力；定期开展队机联合快速转运训练，以利装备人员迅速到位；积极与志愿者开展近岸潜水水下搜寻联合训练，优势互补。

二是加强装备建设。积极参加应急装备展，走访辖区志愿者队伍、应急装备公司，开展近岸潜水水下搜寻救援装备调研，结合我局实际，引进便捷实用的声呐和潜水作业平台是重点，经调研了解，目前佛山蓝天救援队所使用的一款进口“海星侧扫声呐”（型号 Starish 900F）经过改装后使用效果最佳，加改装后政府采购价格 11 万，可供参考。

4.3 深化应急联动机制建设。

一是密切辖区联系各搜救中心，主动与地方应急管理部门、公安部门联系沟通，保持救助信息渠道畅通，确保险情发生时能及时了解详细信息。

二是主动沟通,及时了解地方应急管理处置政策信息，有的放矢，以利提升险情处置成效。比如，福建省人民政府印发了《全省景区和非景区景点安全管理专项整治工作方案》，要求“各级政府应将涉水危险区域的应急管理纳入政府应急管理体系,及时完善应急预案,开展应急演练。进一步健全完善涉水危险区域的救援协调联动机制,协同应对各类安全事件。属地要整合消防救援、医疗卫生、公安民警、志愿者以及民间救援队伍等力量，建设应急救援队伍，常态开展专勤训练和联合演练。沿海地区要在乡镇一级建立海上应急处置队伍，加强与民间救援队伍的协作联动机制，实现专业救援部门和民间救援力量相互策应、联动工作。各类应急救援力量要加强值班备勤。进一步明确了各级政府部门和地方政府部门在安全管理、应急救援方面的部门职责和属地职责。目前，福建省海事局《加强福建省海上搜救工作的实施意见》、《关于加强福建沿海水上安全生产共管共治工作的意见》等文件也在修订中。作为海上专业队伍，要进一步深化与各级政府应急管理机构的联系，积极融入地方政府应急管理体系建设，以便凸显我海上专业救助队伍的优势和影响力，为执行近岸浅水救助任务提供各方便利。

三是积极推动辖区志愿者队伍建设，弥补专业救助队伍体量小的问题，要加强与辖区沿海各县级人民政府战略合作，配合地方政府做好志愿者队伍的队伍建设，开展训练指导，提升志愿者队伍救助水平。同时，整合现有志愿者队伍资源，发挥专群结合模式，以我专业救助队伍为中心，推动点、面合力，提升近岸浅水救助成效，携手筑牢近岸浅水救助防线。

在近岸潜水救助实际工作中，我们真正棘手的是其中的水下搜寻探摸救助，虽然这类救助任务非常少，但是一旦需要出动参与救助，就是遇险人数较多或者社会影响比较大的险情事故，并且现场参与力量众多，以致专业队伍现场处置能力水平直接呈现在地方领导以及公众视野，一旦不利，影响很大。所以我们要攻坚克难，抓紧弥补救助短板，完善救助预案，提升救助能力，深化应急联动，积极推进救助事业高质量发展。

5 结束语

综上所述，我国近岸岛礁的救援工作，需要各方的通力配合，并在装备和人才培养上下工作，除了上述的注意事项外，还需特别注意气象条件和岸基因数。

作者简介：

黄亮平,交通运输部东海救助局福州救助基地，应急救助队副队长、救助指挥，电话：18959116588，邮箱：jxfchlp@126.com

张成荣,作者单位：交通运输部东海救助局福州救助基地,华英 393 艇长、救生员,电话：13705959807，邮箱：13799379191@163.com

某船海水淡化装置的故障分析与排除

杨惠群

（集美大学轮机工程学院，福建 厦门，361021）

摘要：海水淡化装置对于远洋船舶来说是不可或缺的设备，一旦不能利用航行期间充分制造淡水，就会给船舶的生产和生活带来困境。造水机经常会出现海水泵供水不足或压力不够高、蒸发室真空度达不到、加热器和冷凝器脏堵或积垢等常见故障，这些故障可能很快就能排除，但如果不去深究引起故障的根源，根本问题没有得到彻底解决，虽难暂时恢复正常运行，但故障还会反复发生，最终导致造水机功能完全瘫痪的事故。

关键词：造水机故障；原因分析；排除问题

0 引言

船舶使用的淡水大多是采用海水淡化来满足，也就是通常所称的造水机制造完成。特别是锅炉给水、机器冷却水更需要达到纯净标准的蒸馏水来保证其正常工作，（船上对锅炉补给水的水质要求最高，一般船用海水淡化装置对所产淡水含盐量的要求皆以锅炉补给水标准为依据。我国船用锅炉给水标准规定补给蒸馏水的含盐量应小于 10 mg / L（NaCI））。其次日常生活和工作中还会消耗大量的淡水，因此保证有足够的淡水储备极其重要。造水机虽然不是船舶的几大关键设备之一，但对于远洋船舶来说是不可或缺的设备，船舶经常会在港内长时间停留，又很难得到淡水补充，一旦不能利用航行期间充分制造淡水，就会给船舶的生产和生活带来困境。

本文是笔者在船上经历的造水机故障实例、通过分析查找故障原因，总结出应对几个叠加故障的排除方法，并对引起故障的根源加以深究，得出一些经验教训，供同行参考。

1 造水机工作原理

某船为灵便型散货船，造水机采用一款比较典型简洁的真空蒸馏式海水淡化装置，形式/型号：管式/SASAKURA KE20，额定造水量为 18 吨/天，由蒸馏器（加热器、汽水分离器、冷凝器）、海水泵、凝水泵、真空及排盐泵（共用一台喷射泵）、盐度计等组成（见图 1）。工作原理： 经海水泵排出的海水进入真空泵（喷射泵）作为真空泵的工作水，驱动真空泵在蒸发器中制造出真空环境，喷射泵接两路抽吸管，一路作为排盐水，另一路作为调节真空度。经过真空泵的工作水再作为冷却海水在冷凝器管内流过，除了引一小支路经海水给水调节阀供入加热器竖管内，其余海水都直接排出舷外。加热工质(缸套冷却水)从加热器竖管外流过，对管内海水进行加热。海水温度达到装置内真空压力对应的饱和温度（蒸发温度控制在 35～45 ℃范围内，相应真空度为 94%～90%）时即开始在海水内部大量汽化，蒸汽汽泡穿过海水从蒸发面上逸出，穿过汽水分离板，除去含有微量盐分的水珠后从冷凝器壳体上部的开口进人冷凝器。冷却海水在冷凝器管内流过，管外的蒸汽则被冷凝为淡水，并汇集在冷凝器底部，由蒸馏水泵抽出送往淡水舱（柜）。因汽化而浓缩的海水称为盐水，盐水含盐过高会使蒸汽携带的水珠含盐量增加，影响淡水质量，因此由排盐泵（喷射泵）将浓缩的海水排出舷外。

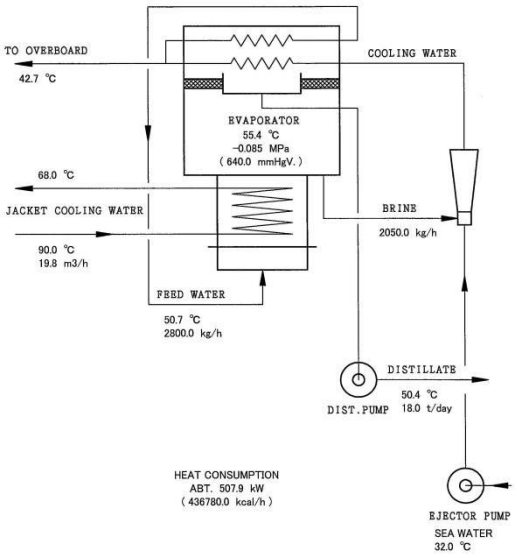


图 1 真空蒸馏式海水淡化装置

图 2 海水泵叶轮腐蚀严重

2 故障实例

某船准备回国修船的最后一个航次，新任轮机长上船接班，开航后启动造水机发现造水量极小。检查发现给水压力不到 0.2bar（要求为 0.5bar 左右），并且从蒸发器上部观察镜看到喷水断断续续，蒸发室真空度也达不到要求，这时造水机几乎失去造水能力，这种情况在船舶重载吃水较深时极不正常。再检查海水泵出口压力，发现也达不到额定量的一半。经了解得知海水泵叶轮之前已腐蚀严重（见图 2），准备此次回国修船时等备件供船后再修复。但就目前的情况又不允许停止造水机，到港至少还要十几天的航程，船上的储备淡水又远远不足，没有依靠造水要坚持到国内相当困难，所以只能想办法解决造水问题。

2.1 排除问题 1

首先需要解决的是海水给水问题，船上没有海水泵叶轮备件，也没有修复能力，就暂时把它放在一边。机舱有部通用泵，出口管路和造水机海水泵出口管距离不太远，只要把两条管路连接起来就可以用通用泵临时提供给水。于是通过公司机务把此方案先向船级社验船师报备，请求允许先改管路，等修船时再补充检验。得到答复后，在做好充分的准备、确保船舶安全的情况下，经过一天的紧张施工就把管路改造完成，后面修船期间也得到验船师的补充检验认证（见图 3）。

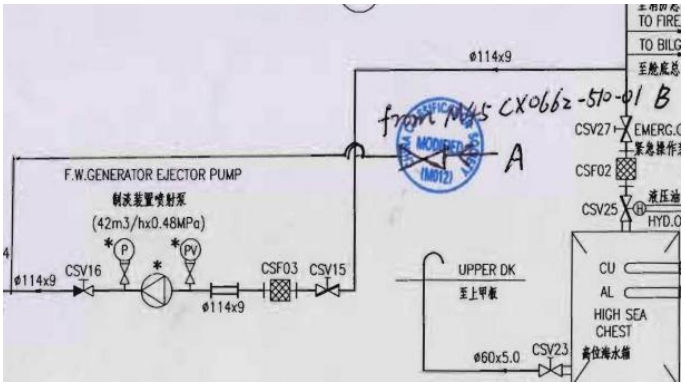


图 3 验船师认证的改造管路图

图 4 被脏堵的碟阀

2.2 排除问题 2

启动通用泵，调节好合适的出口压力，以为问题可以解决了。启动造水机，把供入加热器竖管内的给水调节阀全开，发现给水压力偏低，蒸发器上部观察镜内喷水还是断断续续。用调小出海阀的办法来提高被压，又会造成真空度都偏低。打开冷凝器海水侧检查，确认没有脏堵，剩下就只有是管路被堵的问题了。

检查喷射泵前的蝶阀，发现被卡死，无法开关，拆开发现阀前被脏物堵得死死（见图 3）。整体拆下，解体清洁保养，装复开关正常。再次启动造水机，海水压力和真空度都正常，给水调节阀调到最大，这时从蒸发室观察镜看到给水量似乎还是不足。造水量上不来，一天大约就 10 吨左右。

2.3　排除问题 3

问题还是没有得到彻底解决，从蒸发室观察镜观察到的情况，判定应该是加热器管路脏堵。再次停止造水机，拆出造水机蒸发器，发现情况相当严重，蒸发器约有近二分之一的换热管（管径 17mm）被盐垢堵塞，结垢非常严重（见图 4）。这种现象及其少见，也没有疏通的经验。先采用常规的化学品溶液浸泡加热煮洗的办法，使用化学品 SAF-ACID 安全酸溶液并通蒸汽蒸煮，期间由于溶液很快变成绿色，更换了几次水和安全酸，煮洗了一个下午。吊出蒸发器，尝试人工清通，发现酸洗毫无效果，结垢依然坚硬，难以清通。尝试了不少疏通办法，比如尝试用通用钻头钻，又担心损坏换热管，不能用力过太，导致没有效果；改用疏管器，用管刷根本插不进去。只能继续用化学品 SAF-ACID 安全酸溶液通蒸汽煮洗，再次吊出人工清通，结垢依旧牢固，疏通及其困难。

最后尝试自制钻头，装在手电钻上来钻通堵塞的管路。首先用钢筋敲打成箭头样的钻头（见图 4），再将钻头做成前端尖细，再把较宽的两侧用砂轮机抛钝，以免损伤换热铜管。制作了大小两种尺寸钻头（12mm 和 14.5mm），先小钻头打通，再用大钻头扩大，使用效果显著。经过几个小时的疏通，所有管路终于全部打通。但堵塞的管路壁上还剩约 1-1.5 毫米厚的结垢，不敢再扩大钻头尺寸，以免损坏换热铜管。

把疏通好的蒸发器再次用剩下的小半桶 SAF-ACID 化学品加水浸泡加热煮洗，吊出疏通，管路内层结垢依然牢固，无法手工清除。查阅化学品使用说明书，找到船上存有 UNITOR DESCALING LIQUID 一桶，也可以用作造水机热交换器的除垢。于是尝试使用，按 10:1 比例勾兑浸泡造水机蒸发器，半小时后吊出用尼龙管刷清通，所有管内结垢轻松拉出，至此蒸发器换热管内状况恢复如新。清通完毕，自制盲板，用日用空气对蒸发器进行压力试验，检查蒸发器是否出现泄漏，压力调节到 5.5bar（要求试验压力 5.3bar），试验无泄漏后装复。

最后启动造水机，完全恢复良好工作状态。

图 5 拆下的蒸发器疏通过程

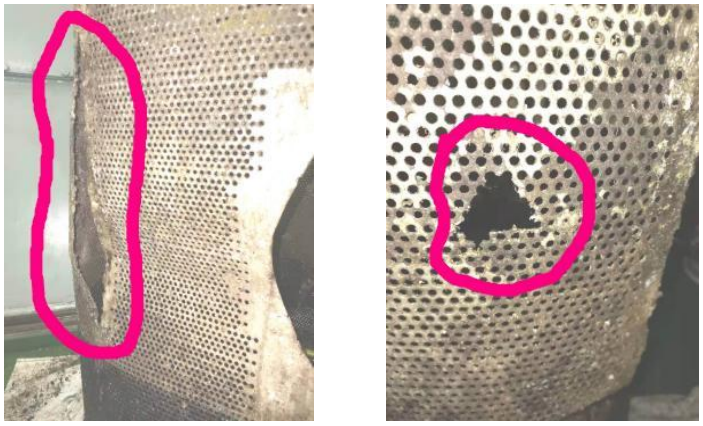


图 6 破损的海底滤器

2.4　排除问题 4

造水机恢复正常工作，造水量也接近额定量，特别是后面海水泵叶轮备件供船后，海水泵修复，工作状况良好。此时很多人会误以为问题都彻底解决了，其实不然，因为造成海水泵叶轮严重腐蚀的原因还没找到。较长时间以来，造水机海水泵前的滤器经常会脏堵，起初的现象只是进出口压力下降，但时间一长，由于吸口压力偏低，海水泵叶轮周边一直处于气蚀状态，久而久之叶轮就腐蚀严重，造成排水能力下降。因此造水机海水泵前的滤器脏堵才是造成一系列故障的根源。据了解，本船海水系统高低海底门的两个滤器都出现较严重破损（见图 5），由于是不锈钢材质，船上一时没有能力修复。疫情期间，船舶一直在国外港口，也无法供应备件或进行岸修，计划坚持到本航次回国修船时再解决。了解情况后，船已经在大洋中航行，所以当务之急就是把两个海底滤器吊出彻底清洗，保证没有残余垃圾再进入系统。最后安全坚持到国内修船才把两个滤器修复，彻底消除隐患。

3 结束语

只要在管理上稍有疏忽，就会发生与本文相类似的造水机故障现象，但很多人在排除完故障后就不去思考造成故障的原因，不再深究故障的最初根源在哪里，只是把眼前的故障排除后就了事了，如果没有找出最根本的原因，同样的故障现象还会再次发生。本次造水机蒸发器海水侧结垢如此严重，首先想到的就是给水量不足，引起蒸发器过热，蒸发器处海水排盐能力失衡，造成海水结垢，把管路堵死，最终导致蒸发器海水侧严重结垢。

为什么会造成给水量不足？根本原因是海底滤器的破损。虽然有些问题依靠船上的力量一时无法彻底解决，但可以采取一些临时补救措施。就比如像这种情况，可以在每次开航后第一时间先安排清洗海底滤器，保证海水系统干净后再启动造水机。而不是只清洗一下造水机海水泵前的滤器，偶尔还在拿掉滤器时运行海水泵，造成管路也被堵。管理责任心不够，遇到问题没有尽量采取一些应对措施，导致不到 3 年的船，海水泵就损坏严重，进而造成造水机的功能几乎瘫痪。

在船舶轮机管理过程中，轮机员首先要加强自身业务学习，掌握系统和设备的工作原理、工作流程；船舶机电设备的故障发生都不是孤立现象，对发生的任何故障都应全面分析，排除引起故障的各种可能性，找到引起故障的真正原因，并予以排除。同时也要加强对备件的管理，对易损坏的零部件，应及时补充，避免船上因缺少备件影响正常航行和生产作业。

作者简介

杨惠群，集美大学轮机工程学院， 福建省厦门市， 邮编：361021

论北极航线的合理开发利用及问题思考

祝鸿，毕修颖，刘传润

（广州航海学院 广东 广州 510725）

摘 要：近年北极地区加快能源的开发和港口建设，船舶在北极水域通航数量日趋渐增，为充分利用北极海域通航的窗口期，设计合理北极航线，与传统航线相比，可大幅度缩短航程，降低企业经营成本，提高船舶生产效率，且避开海盗高风险海区。但北极航线特殊的地理位置和低温寒冷特性，对船体结构材料、航行设备等要求更高，现有北极海域应急服务、导航设施及北极海洋环境影响等问题，值得深思和亟待解决，以确保船舶在北极水域安全通航和北极区域的绿色发展。

关键词：北极航线；航行安全；风险因素

全球气候的变暖使得北极冰雪融化加速，参照卫星照片显示，北极区域海冰已与周围大陆完全脱离，使得东北、西北航线全线贯通成为可能，近年来北极部分水域可通航时间正在逐步增加，合理开发利用北极航线成为当前的热点话题。在经济全球化、区域一体化不断深入发展的背景下，北极在经济、航道、资源等方面的价值不断提升，根据《中国的北极政策》白皮书和《“一带一路”建设海上合作设想》，以中国沿海经济带为支撑，密切与沿线国的合作，积极推动共建经北冰洋连接欧洲的蓝色经济通道[1]。北极航道作为贯通欧洲、美洲与东亚沿海国的海上通道，实现商业通航对北极区域经济、能源和航运业产生重要、深远的影响。

2012 年 8 月我国“雪龙”号科考船首次在北极东北航道完成航行，为我国商船后续航行探明航路。2013 年 8 月，中远海运集团所属“永盛”轮也顺利完成北极东北航道首次航行任务，这是我国商船第一次成功经由北极东北航道到达欧洲港口。2015 年 7 月，“永盛”轮再次圆满完成“再航北极、双向通行”项目，开辟了我国往返欧洲的新航线，为航运企业用户提供了新的选择，进而提高了北极航行的商业价值。截至 2020 年底，中远海运集团共派出 33 艘船舶执行了 42 个北极航次[2]。虽然北极航道的开发带来了一定的经济效益和社会效益，但因北极地理区域的特殊性，因此在探究北极航线上要科学、合理开发，为确保船舶在北极海域安全航行，仍应考虑船舶在该水域航行安全的潜在问题。

1 合理开发北极航线

1.1 北极通航窗口期

根据《北极航行指南（东北航道）》（2014）的研究，北极航线的通航时间有五个月（每年 7 月份到 11 月份）[3]。北极海区除了五个月的通航期之外，一年的其余时间里冰层平均厚度可达 1.6 米，因此，北极海区的通航环境使得运输船舶航行更加困难和危险。参照俄罗斯政府的《北方海航路水域航行规则》的有关要求，不同级别的船舶能够在不同时段在北极东北航道（北方海航段）航行，具体要求、措施有所不同。不同冰区船舶加强级别根据航段海区结冰程度在冰区航行方式分为独自航行和破冰引导，无冰区加强级别船舶及冰区加强级别船舶级别低的船舶通航期每年 7 月至 11 月 15 日，冰区加强级别船舶较高的船通航期每年 7 月至 11 月。因此，对北极海区的通航窗口期，合理利用、开发北极航线和提升北极区域经济起着重要的作用，但现有冰区级船舶的匮乏也限制了北极航线的通航能力。

1.2 合理设计航线

北极航线主要分为沿北极东北航道、北极极点中航道和北极西北航道。目前，北极水域船舶通航较多的是北极东北航道，自 2009 年 7 月德国布鲁格航运公司的货船从韩国装货出发，途径俄罗斯海参崴港后，在无俄罗斯破冰船引导的情况下，成功穿越北极东北航道，抵达俄罗斯西伯利亚的扬堡港，最后抵达目的港荷兰鹿特丹。2014 年 9 月隶属加拿大船公司货船从加拿大迪塞普申港出发，成功穿越北极西北航道，最后抵达营口港鲅鱼圈[4]。

从这些船舶的航线设计上看，厦门以北的港口通过北极航道进入欧洲，相比于经由印度洋、红海和地中海航线的航程有很大程度的缩短，而通过北极航线的西北航线到达北美东岸的航程，与穿过巴拿马运河航线的航程相比也有较大缩短。尤其以上海以北的港口节约最为明显。例如从上海高桥经印度洋、苏伊士运河到伦敦的总航程约为 10410 海里，而经“东北航线”航程仅为 8045 海里，航程可缩短 2000

余海里；从上海横越太平洋途经巴拿马运河到格陵兰的努克港，总航程约为13102海里，若经“西北航线”，航程仅为6070海里，航程缩短了至少7000海里[5]。在设计航线时，要根据始发港和目的港使用传统习惯航线与通过北极航道的航线比较来，确定是否选择北极航道[6]。

1.3 航线的社会效益

北极航线的开发，与传统航线比较，明显缩短航程，航运企业节约了经营成本，尤其全球温室效应加剧,环境问题也日趋严峻下减少碳排放，还可以避开航经海盗高风险区域的亚丁湾海域、东南亚地区海域，且目前北极通航密度较低，船舶航行发生的碰撞可能性更低。

（1）企业节省成本

中远海运集团“永盛”轮2015年7月从江阴港出发,航经北极东北航道,抵达瑞典的瓦尔贝里(VERBERG)港。“永盛”轮使用北极东北航道西行瑞典与假定使用传统航线航行从装货港至卸货港的营运效益进行比较，如下表1所示：

表1 东北航道西行成本效益比较

项目 / 航线	距离(海里)	耗时(天)	船租（美元）	燃油（吨）	护航费（美元）	过河费（美元）	破冰船费（美元）	合计（万美元）
苏伊士	10700	34.3	8500	788.9	16000	164000	-	67.7
东北航道	7523	24.1	8500	554.3	-	-	140000	48.9

按照当时8月份同类型船期租金8500美元/天计算，燃油按使用重油，市场价每吨260美元计算；通过成本比较，北极航线相较于传统航线节省支出约18.8万美元[7]。

根据航运公司调研报告，2016年中远海运集团有5艘船舶6航次经北极东北航道航行，与传统习惯航线相比，北极航行共节省航程32137海里，节约时间108天，节约燃油4077吨，节约费用546.45万美元。如下表2所示：

表2 2016年6航次北极航行船舶节省成本汇总表

序号	船名/航线	节省航程（海里）	节省时间（天）	节约燃油（吨）	节省费用（万美元）
1	永盛 天津—格拉斯哥	习惯航线：11106 实际航程：8106 节省航程：3000	10	220	9.45
2	夏之远6 天津—萨贝塔	习惯航线：13647 实际航程：6097 节省航程：7550	28.5	1197	168.15
3	天禧 芬兰KOTKA—大连	习惯航线：12124 实际航程：8350 节省航程：3774	12	288	15.95
4	祥和口 萨贝塔—青岛	习惯航线：13367 实际航程：5912 节省航程：7455	24	1080	164.4

5	祥云口 青岛—萨贝塔	习惯航线：13367 实际航程：5912 节省航程：7455	24	1080	164.4
6	永盛 英国—大连	习惯航线：10915 实际航程：8012 节省航程：2903	9.5	212	24.10
合计节省		32137 海里	108 天	4077 吨	546.45

从表中北极航线与传统习惯航线比较，可大幅度缩短航程、节约船期。从我国上海以北的港口经白令海峡，沿北极东北航道往西到达西欧各港，比通过马六甲海峡、苏伊士运河的传统航线缩短航程近 3000 海里，可节省了近 40%的航行时间或 10 天左右的航行时间。若是上海以北的港口至俄罗斯位于北极圈内港口可节省 55%航程，约 24~30 天的航行时间。

（2）减少环境污染

根据中远海运集团 2013 年至 2020 年北极东北航道航次统计，共有 42 个航次航经北极航道，节省航程 162657 海里，减少二氧化碳排放量 46248 吨[2]。北极航线的合理开发，不仅大幅度缩短航程、节省船期，而且减少船舶燃油消耗和二氧化碳排放量，提高能源效率、减少环境污染。据测算我国沿海港口到欧洲港口的单航次能耗下降约 35%。

（3）航行安全性

船舶在北极航道航行安全主要表现：第一，北极航道自 2009 年商船能够通航，每年船舶通航逐年增加，根据 Tschudi（挪威楚迪航运）和中远海运集团统计，2020 年度有 307 艘商船航行，通航密度不大，且船舶驾驶人员在冰区航行特别谨慎，又受海冰的影响，船舶航速不会高，因此船舶在航行中发生碰撞的可能性很低。第二，就目前商船通航情况来看，没有海盗袭击报告，相比传统的航线通过海盗高风险区域的马六甲海峡、索马里、亚丁湾、南中国海、西非沿海等水域，几乎没有海盗风险。第三，商船没有航经苏伊士运河，不会因运河拥堵影响船舶通航；2021 年 3 月“长赐”轮在苏伊士运河搁浅案例，直接导致运河堵塞并致使 400 余艘船舶滞留运河。因此，北极航道的开发，有利于商船航行安全。

1.4 利于北极圈经济开发

北极蕴藏着丰厚的能源资源，分别占全球 13%和 30%的未探明石油、天然气储量，且拥有大量金刚石、煤炭、金、铀等矿藏资源和丰富的水产资源。美国地质调查局（USGS）曾调查估计，北极地区拥有大约 900 亿桶石油，47 万亿立方米天然气和 440 亿桶液态天然气[7]。

位于北极的挪威白雪公主油田通过油船和液化天然气船运输到世界各地，俄罗斯的亚马尔项目是北极东北航线附近的超大型项目，年产油气量约 550 万吨，为将油气运送至欧洲和亚洲，虽然现建有管道运输，但仍受环境条件等制约，因此合理利用北极航线也势在必行。2018 年 1 月发表的《中国的北极政策》白皮书中就指出[8]，支持企业通过各种合作形式，在保护北极生态环境的前提下参与北极油气和矿产资源开发。

2 问题思考

虽然北极航线的开发，相比传统航线存在明显的优势，但因北极的地理环境、气候、通航条件及潜在的风险等诸多因素，值得思考，主要从以下几个方面考虑：

2.1 船体结构及材料

商船通过北极航道，与船舶本身的冰级有十分密切关系。我国船级社在《钢质海船入级规范》中规定，不同冰级标志代表着船舶在不同冰况下具有正常航行和是否需要破冰船辅助的能力，及存在着不同的通航风险性。船舶在冰区安全航行，受冰块的挤压作用，比起在常规海上航行，增加船壳外板相互作用力，必须适当加强船体结构，抵抗冰载荷的破坏作用。

船舶在北极航行，船舶结构应设计为抵御预见冰况下的预期总体和局部结构载荷，需要对船舶冰级进行加强。但增强船体在冰区的结构，其一导致船舶建造成本的提高；其二增加了船舶的自身重量，导致船舶航行平均油耗增加；其三船舶载货量会减少；其四船舶在冰区航行，受冰块挤压，增加船壳、螺

旋桨叶损坏的频率，导致船舶维修保养成本加重。因北极通航窗口期有限，若船舶结构具有加强冰级，不经常或偶尔在北极航行，势必增加航运企业经营成本负担。若船舶结构无冰级或冰级低，在北极航行，需要申请破冰引导，增加营运成本，且破冰服务也不一定随时得到，可能导致航行延期，船舶在冰区受困对船体也造成潜在的风险。

北极区域环境寒冷，船舶结构建造材料在北极水域航行时船体钢板受水域低温影响易发生脆性断裂，且船体受冰块的不断挤压和碰撞，容易导致船体破损的可能性，造成船舶进水风险，甚至有可能造成油类的泄漏，污染海洋事故。船舶的燃油舱要具备抵抗低温的条件，救生设施也需要置换能在低温使用的燃油，以防止油舱受损，压载水舱、甲板管线、救生消防设备及生活区等设施也要做好防冻结、防破损措施。

2.2 航行设备

北极航道处于北极附近，磁差随地理位置变化迅速变化，甚至存在磁暴现象，磁罗经的可靠性大大降低，磁罗经液要更换适合环境温度的液体。陀螺罗经的指向力矩随纬度的升高而变小，靠近北极，电罗经丧失水平的指向性，纬度达到约 85° 时，陀螺罗经会失去指向作用[3]。光纤罗经使用极地算法较好的解决了这一问题，为极地航行船舶提供了保障。船舶雷达受制于北极航道内冰的大小、范围和反射面的角度等因素，雷达屏幕上显示的信息准确性受到影响，雷达测量结果只能是作为参考方式。测深仪可能因船舶底部的流冰引起噪声干扰，造成测量轨迹不连续、回声测深仪的扫描线可能消失、误差较大，影响航海人员对水深判断，对航行安全产生潜在风险。因此，船舶要充分考虑航行设备的局限性，或配备新式、可靠性、易维修性设备，以利于提高船舶在北极海域通航安全性、经济性。

2.3 航行风险

船舶在北极航道内冰区航行，航线上冰情不确定性和不可预测性给船舶安全操纵带来不确定的风险，气候的变化、海冰的影响给船舶操作带来不可预知的风险。船舶在冰区航行，如何安全操作船舶有效避开航线上的冰脊、冰丘、浮冰等潜在风险，尤其夜间航行，值得探索和思考船舶航行的安全性。

现有的北极水域海图资料少，海图缺乏或海图信息不充分性，大部分海图基于航空摄影制图，除了在较少的地方能够开展现代测量外，均没有精确的系统测量水深、探明海底地质；而高纬地区海图采用的投影方式可能发生变化，与航海人员通常使用的墨卡托海图不同，海图坐标系、海图基准面的不同产生定位误差。这些航用海图的不足或缺乏，给船舶在北极航道航行带来潜在风险，对北极水域的开发和水域的利用也是当前亟待解决的问题。

2.4 应急服务

北极水域，虽然沿岸国家成立了应急服务机构，为过往船舶提供紧急救助服务，但因极地水域的冰情、气象和水文条件，以及应急机构的设施设备完整性、对应急反应程度、通信联系等因素影响，导致应急服务未能及时提供，对北极水域的开发受一定制约[9]。因此北极水域内的救助和应急设备操作需要进一步改善、提高，包括陆上和海上的基础设施应该能够及时应对突发事件和提供必要的援助和物资、进行疏散和北极航线偏远地区溢油事件快速做出应急反应，确保船舶人员的安全和预防北极水域环境污染。

2.5 通航设施

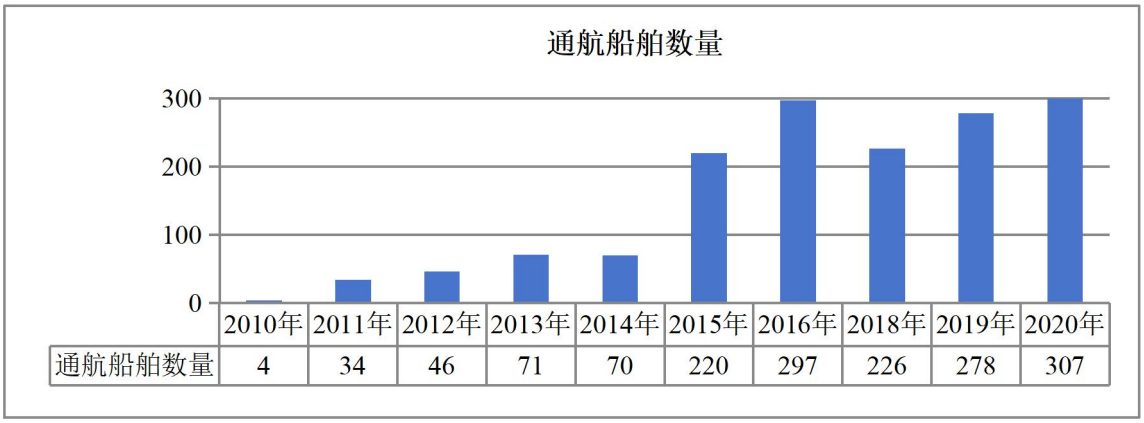
北极某些沿岸航行区域，天然物标虽众多，但难以识别，对航海人员来说作用十分有限，难以在海图上标定。并且沿岸有许多的凸角和岛屿十分相似，许多地理特征上都覆盖着厚厚的积雪，所以岸线看上去和实际也区别很大，识别比较困难。在人工助导航设施方面，由于北极水域长年受冰雪的影响，除沿岸通航部分导航设施外，几乎没有海上助航设施[9]。即便已经存在的助航标志，可能受海冰或者恶劣天气影响从海图标示的位置移位或漂移，给船舶安全航行带来潜在的威胁。近年来，随着北极水域的开发，北极沿岸国家需建设新的北极航线运输和物流系统的结构和设计特点，以便未来北极航线能够满足船舶通航的安全性、可靠性。俄罗斯正在与东北亚的国家建立国际合作与伙伴关系推动北极区域基础设施的建设。美国、加拿大等国家看到北极资源和航线缩短的潜在利益，也在积极推进和完善海上助航设施。因北极航区助航设施稀少和不完善性，对北极航线的发展受到一定的限制。

2.6 环境影响

近年来，北极航线通航的船舶逐渐增多，呈递增趋势，如表 3 所示。由表可知，船舶在北极航行中

燃油消耗产生的废气排放量同增加趋势，废气中二氧化碳、硫氧化物（So_x）、氮氧化物（NO_x）和细颗粒物等对北极区域的气候、环境等产生局部影响，可能导致北极冰雪融化加快。北极航行的船舶数量增多，船舶航行产生海水的搅动和机器噪音等，以及船舶生活污水、压载水等的排放，会对北极海域的海生物、鱼类、鸟类等生态构成威胁，甚至可能影响整个北极区域的生物链。

表 3 北极通航船舶年度数量统计



	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2018年	2019年	2020年
通航船舶数量	4	34	46	71	70	220	297	226	278	307

因北极能源资源开发，在建、即将建设的港口，要适应北极环境保护的要求，符合国际港口界提出了“绿色港口”的发展理念，倡导建设环境健康、生态保护、资源合理利用、低能耗、低污染的新型港口，从而北极航线更加绿色发展，通过港口建设引导航运船队的可持续性绿色发展。

因此，在开发北极水域航道时，考虑船舶航行、污染防护和港口建设等对北极区域的环境影响，避免对北极海洋环境产生破坏。

3 结论

综上所述，利用北极通航的窗口期，合理开发北极航线，不仅缩短船舶经北极航道到达欧洲或美洲的航程，节省航运企业经营成本，还可以避开海盗高风险的海区、绕开国际政治敏感的新加坡马六甲海峡重要通道。但在科学合理开发北极航线时，要考虑及适时解决通航船舶的船体结构要求、所用船舶材料、船舶燃油，航行设备的风险、航行中潜在威胁、应急服务改善、通航设施的完善及北极海洋环境影响等方面的问题，确保船舶在北极安全通航和北极区域的绿色发展。

项目基金：航海技术专业教学团队，编号：J220001.

参考文献：

1. 新华社，“‘一带一路’建设海上合作设想”，20/6/2017.
2. 北极航运实践和启示，中远海运特运公司 陈锋.
3. 《北极航行指南（东北航道）》（2014），中华人民共和国海事局.
4. 《北极航行指南（西北航道）》（2015），中华人民共和国海事局.
5. 北极东北航道航线设计，吴卫兵.
6. 李振福，“北极航线：中国的机会和挑战”，豆丁网，http://www.docin.com/p-1845836959.html.
7. 赵庆爱，“永盛轮随船日记（上）”，中国远洋航务，9（2013）.
8. 《中国的北极政策》，中华人民共和国国务院新闻办公室，2018.
9. 白响恩等，中国船舶首次穿越北极东北航道纪实，航海技术，1（2013）.

作者简介

祝鸿 （1972-），男，高级船长，研究方向为海上安全运输。Email：724044790@qq.com
毕修颖（1965-），男，教授，主要从事航海技术等方向的研究。
刘传润（1971-），男，副教授，主要从事航海通讯等方向的研究。

基于北极（冰情）大数据和电子海图数据的北极东北航道航行安全信息保障

邹文锋　王英政

广州海宁海务技术咨询有限公司

摘要：电子海图信息系统在船舶航行中,主要是提供稳定、安全的航行线路,确保船舶航行的安全性和稳定性。本文立足于北极冰情大数据，分析了北极东北航道上电子海图信息系统对船舶航行中的具体运用，希望能为船舶安全平稳航行提供一些参考。

关键词：电子海图；北极冰情；北极东北航道；信息安全

0 前言

近年来，随着北极东北航道的进一步开通，经由东北航道的商业活动也越来越频繁，加强对北极东北航道的冰情进行分析，不仅可以提升船舶航行的安全性，还可以将航运利益最大化，本文立足于北极冰情大数据以及电子海图数据，探讨了电子海图为北极东北航道航行提供的安全信息保障相关问题。

1 理论基础

1.1 应用区域

在本文中所探讨的应用区域主要是北极东北航道，北极航道是连接大西洋和太平洋的北极东北航道的海上捷径，同时也是连接欧亚大陆的最短航道。早在新航路开辟时代，就有探险家试图通过北极航道，但终因自然环境的恶劣，以及当时船舶设备的限制，对北极航道的开拓沉寂了几个世纪。北极航道主要由三条航道组成，包括:东北航道，西北航道，中央航道。

1.2 北极大数据

在本文中所涉及的北极大数据主要有三个方面：海冰密集度以及海冰厚度、冰上积雪覆盖情况。

海冰密集度是指海冰面积所占海区面积的百分比。海冰密集度定义为一个网格单元内海冰覆盖面积占网格元面积的比例，数据值范围在 0-100 之间，0 表示没有海冰覆盖，100 表示海冰完全覆盖。通常情况下定义海冰密集度 X15 的水域为开阔水域。

海冰密集度一般用于浮冰的定级分类。1 级左右为开阔海面，海冰比较碎小，船舶可以在密集度为这类级别的海面上自由航行。6 级以下一般浮冰之间互不相连，有水道或冰间湖，在此区间内船舶航向会受到一些阻碍，有时不能按照预定的方向航行。7-8 级为密冰区，大部分冰彼此相连，8 级以上时，船舶在无破冰船的支援下很难单独航行。

海冰的厚度又被称为冰厚。依据海冰厚度的不同可以将海冰分为厚冰和薄冰，其中厚度超过 30cm 的冰称为厚冰。当冰层厚度达到 20 厘米以上,密集度达到 5/10 以上的时候,一般船舶的正常航行将受到阻碍。

通常，我们使用“十分法”对海面上海冰覆盖的比例进行度量，也就是我们常说的冰上积雪覆盖情况，即所谓的冰量。如表 1 所示。

表 1 冰量对船舶航行影响

冰级	无冰	散冰	稀冰	疏冰	密冰	集冰	满冰
冰量	0/10	小于 1/10	1/10~3/10	4/10~6/10	7/10~8/10	9/10~10/10	10/10
航　行影响	不受影响		1/10~5/10 不能在预定航道航行			破冰船协助航行	
			5/10~8/10 航行困难				

综合海冰厚度和海冰密集度考虑，每年从 10 月底到次年的 6 月份，除巴伦支海外，东北航道的其它海域基木被海冰覆盖，船舶无法正常航行，在冰情最好的年份，破冰船协助下部分海域可以航行;7 月底，东西伯利亚海北部和喀拉海东部海冰密集度较大，航行较困难，其它海域可以自由通航;9 月份海冰面积缩小到最小值，东北航道所经海域的海冰基本全部融化，船舶可以安全通航，是最好的通航月份。

1.3 电子海图数据

电子海图数据主要包括水下的地理信息数据（如水深、碍航物、航道等等），交通规则、航行通告、警告等。

电子海图用数字形式存储的以描述海域地理信息和航海信息为主的海图数据库；其内容以海域要素为主，详细表示水深、碍航物、助航标志、港口设施、潮流、海流等要素。当前，国际通用的电子海图是 S—57 标准海图， 其能够将电子海图的相关数据源在全球海域中予以覆盖，全面推动我国航海事业的发展。

电子海图信息系统主要是在综合导航系统设计理念之下，逐渐兴起的海图技术，并且具有良好的智能性，更加解决了传统纸质海图定位所带来的问题。同时，电子海图信息系统可以自动将即时船位显示在海图上，可以有效改善船舶航行的工作强度，提升船舶航行的安全性和稳定性。另外，近几年电子海图信息系统在船舶航行中,逐渐成为现代航海中一项重要的辅助导航工具,降低北极东北航道的海上不利环境对船舶航行的影响。电子海图信息系统主要是以数字形似进行储存，包括数据、设备、计算机软硬件等各种辅助手段,并且将各种导航传感器和数字海图,与其它航用数据融合在一起，形成自动导航系统的图形输出端口,这样为船舶航行数据的获取,提供了基础性的保障。

2 电子海图在北极东北航道航行安全信息保障

由于北极东北航道的海上环境相对较为复杂，所以在船舶航行的时候,很容易受到海上环境的影响,航行的安全性和稳定性都会受到影响。因此，为了保证船舶航行的安全性和稳定性,将电子海图信息系统运用到其中,对北极东北航道的海上环境进行观察,制定详细的安全的北极东北航道的海上航行线路，确保船舶航行的安全性和稳定性。

2.1 航线设计以及雷达处理

电子海图信息系统在船舶航行运用的时候,一定要重视航线设计、雷达处理方面的问题,做好该方面工作，主要是确保船舶航行线路的安全性，确保雷达可以针对北极东北航道的海上环境进行准确的判断,尽可能的降低不利影响。电子海图信息系统在航线设计、雷达处理运用的时候,主要是体现在以下几个方面。

(1) 需要利用海图信息系统确定转向点,并且在确定了以后,系统就会自动标记,以及计算整个航线的航向和总航程,以此保证航线设计的准确性。同时,电子海图信息系统主要是起到控制和显示的作用,是将船舶和周围北极东北航道的海上信息数据和图象显示于电子海图上,这样可以将船舶、以及周围目标的具体位置可以很好的显示出来,为船舶选择合理航线和规避危险因素提供科学有效的便利,以此避免异常情况的发生。

(2)在航线设计的时候,系统可以根据其比例进行的相应的安全检验,并且根据检验结果,采取相应的安全措施，以此保证船舶航行的安全性和稳定性。同时,电子海图信息系统在航线设计和雷达处理运用的时候,可以根据北极东北航道的海上情况，提前对碰撞态势进判断,并显示出发生危险的数据和警示，提示船舶驾驶员及早做出适当的避让行动,以此解决碰撞带来的影响。换句话说,船舶驾驶员可以根据电子海图信息系统所提供的信息,并且经过相应的处理,得到最佳船舶航行线路和及早采取有效的避碰行动，以此保证航行的安全性。

2.2 咨询、定位和导航

咨询、定位和导航的有效性是保证船舶航行稳定性和安全性的关键。因此，在电子海图信息系统运用的时候，需要对咨询、定位、导航等方面信息和资料进行综合性的考虑和分析,这样可以确保各个方面的周全性、准确性,从不同角度保障船舶航行的稳定性和安全性。首先需要获取各种船舶航行信息，电子海图上一定要有航线上的航行条件信息的显示,包括天气、海流和潮汐等，这样可以根据当时当地实际情况作出适当的调整,在最大程度上降低不利因素的影响;其次,还可以对一些资料进行显示，例如:相应的路线指南和航海手册等方面，这样可以起到更好的导航和定位的作用，避免船舶行驶出现偏离的问题;最后,电子海图信息系统运用的时候，可以将一些先进的定位技术应用到其中,例如:北斗、GPS、LoranC 等,将这些设备的信息显示在电子图上,以此得到最佳的船位。

2.3 海图作业、显示及监视

电子海图信息系统在海图作业、显示以及监视的时候,可以将传感器和海图信息相互结合,确保船舶信息和数据的实时性,对船舶航行线路和航行状态进行监测,避免出现偏离的现象。电子海图信息系统的监视作用,主要判断船舶是否处于规划好的线路航行，是否处于设定的锚泊或搜索等功能的警戒距离、方位和范围内,如果超出设定好的范围就可能出现危险局面和目标丢失等问题，此时电子海图信息系统会立即启动

报警系统，提示船舶驾驶员妥善处置,避免产生航行事故。

2.4 航次记录

船舶航行期间会填写航海日志,主要是对船舶航行的时间、位置、航向、航速进行标记,以及航海过程中所发生的各个事件等方面进行详细的记录。然而,电子海图信息系统在运用的时候,对于该方面也有着显著的作用,主要是对航海日志进行储存,并且储存以后不允许修改,为船舶航行提供了基础性的保障。另外,电子海图信息系统在航次记录运用的时候,会对以往的船舶航行数据进行储存和分析，并且对无用的数据进行去除,这样可以为船舶航行线路的确定,给予重要的依据。另外,船舶航行期间,一旦出现异常,电子海图信息系统可以及时的做出相应的提示和警告，船舶驾驶员可以及时做出科学合理的处置，以此确保船舶航行的安全性。

2.5 未来冰情预测和分析

电子海图系统还可以对未来冰情做出预测和分析，包括对冰情信息进行动态采集、传输、录入、质量控制、显示查询、初步分析等。实时和准实时两种方式收集冰情原始信息，建立相应数据库，可以实现不同时空尺度的第一手冰情信息，通过对冰情原始信息、海冰风险信息和辅助决策功能的分析，从而实现了冰情信息管理在预警应用方面的扩展和延伸，帮助开展海冰风险事件辅助决策，通过灾害案例的汇总分析和极端险情的模拟预测，给相关管理人员提供应急处置建议，争取实现智能辅助决策。

3 北极项目电子数据平台

为了帮助船舶在北极航行中安全航行，海宁公司针对北极巷道的航行需求开发了一套安全保障平台——北极项目电子数据平台（下面简称北极项目）。北极项目叠加了全球的海图数据，北极的海冰信息等数据。这些信息可供船上参考为北极航线的航行提供安全保障。本系统实现了岸基管理人员和船上驾驶人员的信息互通。保证了船岸在航行过程航信信息的共享。岸基人员可以实时的为船上提供海冰和气象等信息，及时的为船上提供航行指导。船上驾驶人员可以及时的获取到岸基人员的指导建议，结合船舶当前的行驶状态做出最好的判断。这为在北极航行的船舶安全提供了极为重要的保障。

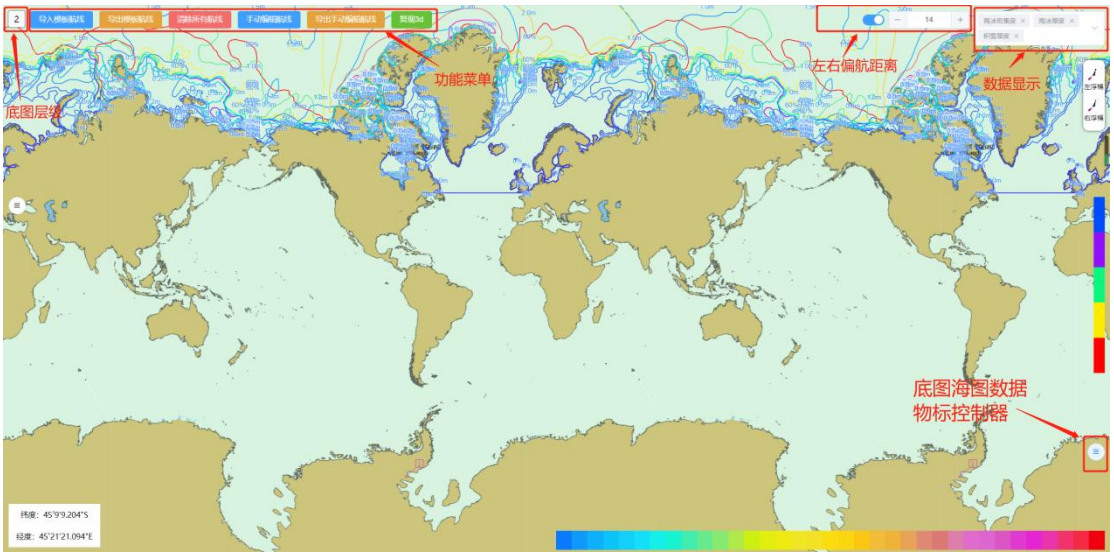


图 1 北极项目的整体功能

其中主要包括了如下几项功能：

1. 航线导入导出
2. 在线航线编辑
3. 全世界海图显示
4. 北极冰情数据显示
5. 数据墨卡托投影展示和 3D 地球展示
6. 北极卫星影像显示
7. 鼠标位置标注

3.1 航线导入导出

航线导入功能实现了船岸互通。岸端的管理人员和船上都可以通过北极平台来检查航线安全性。船上可以在海图机上绘制航线制作航线计划，导出的航线文件可以在北极项目中导入复现。岸端的管理人员可以通过导入的航线来审查航线。

图 2 航线导入导出界面截图

按钮 1 和 2 可以实现航线的外部导入导出。按钮 3“清除所有航线”点击后会清楚屏幕所有的航线。按钮 4“手动编辑航线”，实现航线绘制，支持岸端管理人员和船上在平台上先绘制一条安全航线。航线绘制完成后可以使用按钮 5“导出手动编辑航线”导出绘制的航线，绘制的航线也可以导入到海图机中使用。

3.2 数据显示

平台支持全世界海图数据的显示，显示的海图是 UKHO 发布的官方海图数据，与航行中使用的海图一致。北极的气象数据包括海冰密集度、海冰厚度、冰上积雪厚度、卫星影像等数据。数据提供未来三天的预测功能。海冰密集度、海冰厚度、冰上积雪厚度三种数据可以叠加显示也可以单独显示。数字 2 指示的颜色线条显示的海冰密集度的等级。从蓝色的 0%到红色的 80%逐渐转换。数字 3 指示的颜色条用来标识海冰厚度和冰上积雪厚度，这两种数据是以米为单位结尾的，使用数字 3 指示的颜色条统一表示。

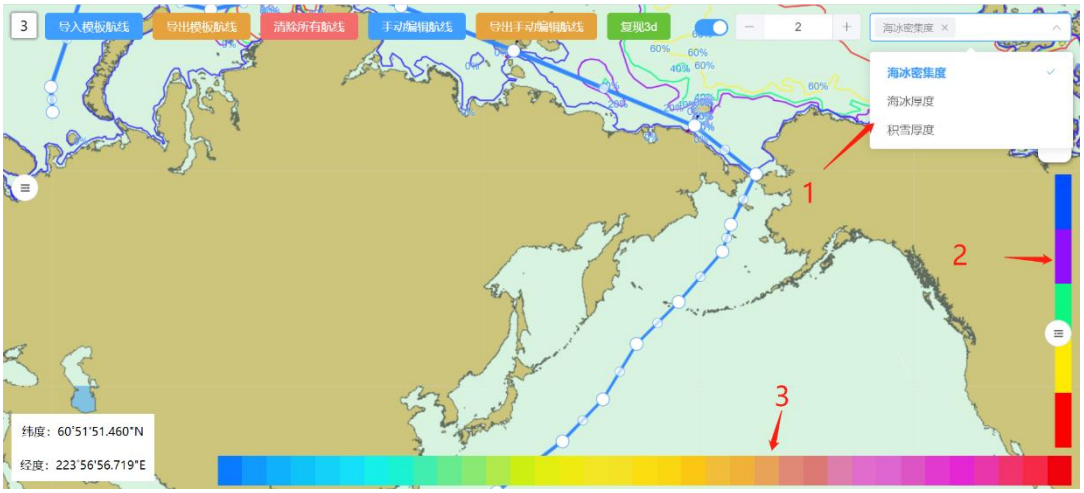


图 3 数据显示界面截图

下图显示的是北极的 SAR 图，可以查看卫星拍摄的北极情况。

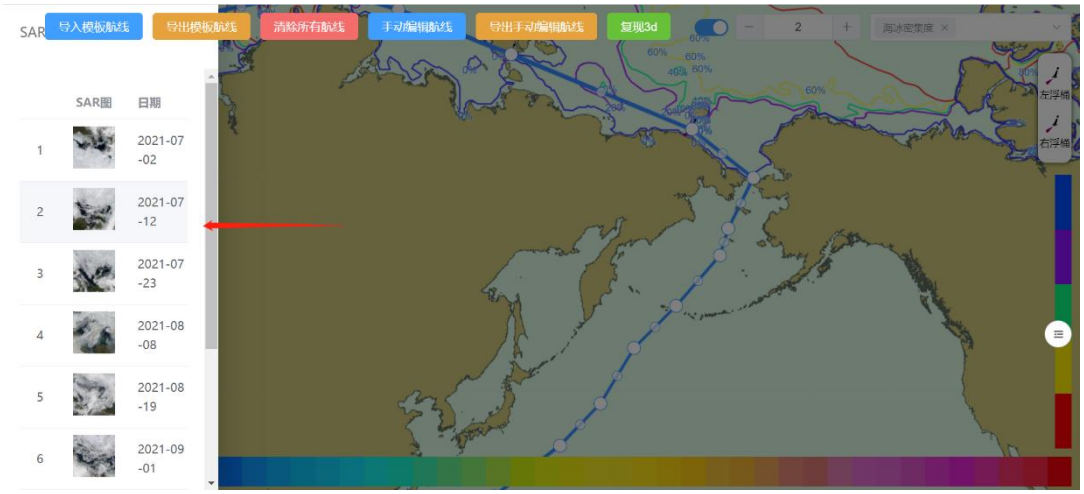


图 4 北极 SAR 图

图 5 卫星拍摄的北极情况截图

3.3 在线编辑航线

平台支持在线编辑航线。首先在下图 1 的位置可以设置航线左右偏航的数值，模拟真实航线。点击下图 2 的位置手动编辑航线。在界面上点击鼠标左键即可绘制航路点。在航线绘制结束时再次点击最后绘制的那个航路点时航线绘制结束。航线绘制结束后，结合海图数据和气象数据缩放地图检查航线时，可以点击一个已经绘制的航路点拖动到需要更改的位置，使航线规避危险区域。

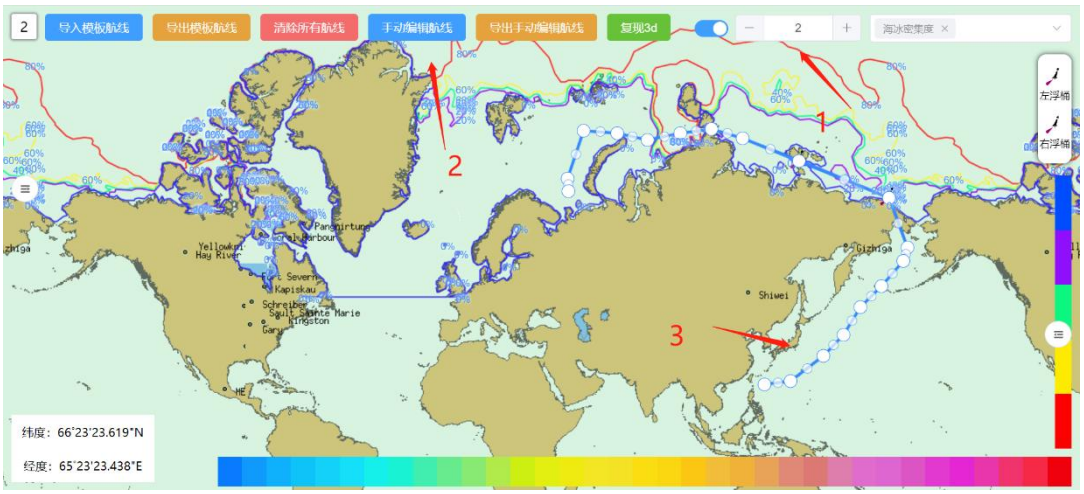


图 6 编辑航线界面截图

如下图可以参照海图数据和海冰密集度等数据来查看航线情况。下图中航线的航路点经过了海冰密集度大于 40%的地方，航行存在危险。

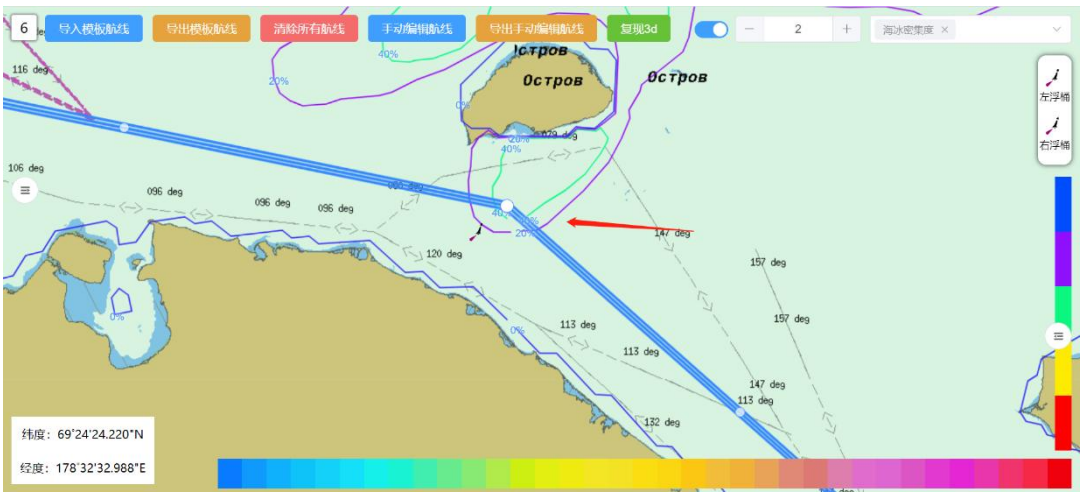


图 7 航线情况示意图

通过拖动航路点修改航线到安全区域，修改完的路段会用浮筒标识。来提示所有使用平台的人员，这段航线有做过修改需要注意。

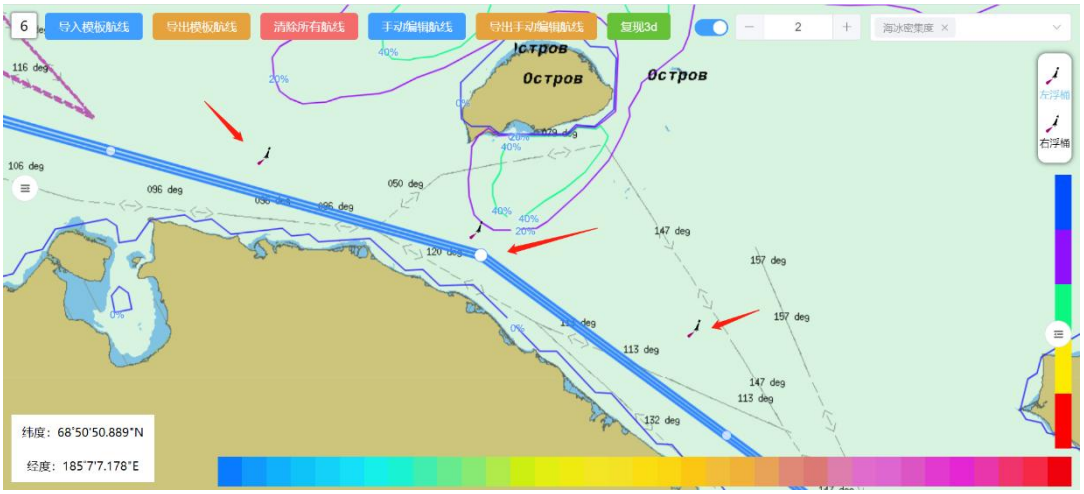


图 8 海图数据编辑

同样海图数据也可以使用同样的方式使用。点击下图的海图物标控制按钮可以设置海图物标的显示，该页面完全模拟海图机显示界面。可以对底图物标元素进行开关显示。其中，显示类别可以选择“基础”、“标准”、“所有”三种模式，与 ECDIS 一样，分别默认显示不同的物标元素，选择所有的话，所有物标都将显示出来。

图 9 海图物标控制图

3.4 数据 3D 地球显示

点击平台的复现 3D 按钮会弹出 3D 地球的展示界面。在墨卡托投影下的航线和浮筒都会在 3D 地球上展现。使用 3D 地球可以从北极的上方视角来查看北极航线，对于查看北极的数据更加直观方便。

图 10 3D 显示图

3D 地球界面上同样可以通过缩放来查看。

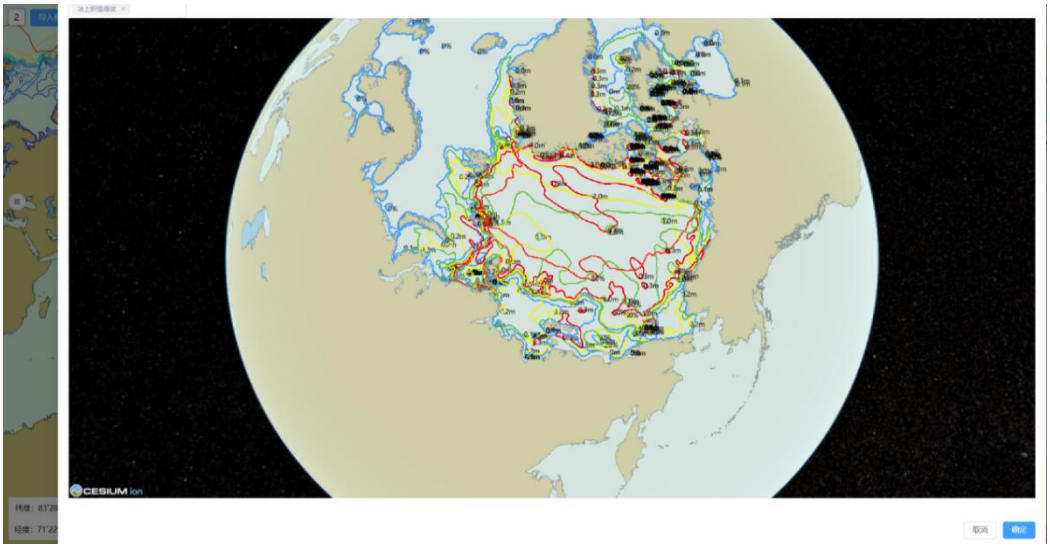


图 11 3D 地球显示

4 结语

船舶在北极东北航道上航行存在较大困难，主要是因为北极冰情较为复杂，影响因素较多，无法做出准确性预判。然而，将电子海图信息系统运用到船舶航行中，凭借以往的航海日志以及各项技术，对船舶航行线路进行准确的规划和设计，并且可以对船舶航行进行监视，以此避免产生偏航和碰撞等问题，最大限度降低海上不利因素的影响。此外，针对北极（冰清）大数据，研发一个北极项目电子数据平台，该系统将结合大数据和系统专属的智能算法，结合水下的电子海图数据、水表面的海冰数据、水上的气象数据等，为系统提供预报、航线的智能规划和危险提前预警等功能，使系统更加智能化，让系统的自主提供参考方案，为船舶航行的安全性和稳定性，提供了最大程度的保障。

参考文献

[1] 刘立葳，罗敬宁．北极地区风云卫星遥感数据及产品关联数据处理平台设计及实现[J]．电子设计工程，2021，29(19):6.

[2] 郝江凌，单雄飞，赵丽宁，等．电子海图导航系统的研究进展与未来趋势[J]．大连海事大学学报，2021，47(3):7.

[3] 李翔，郑国平．英版电子海图及电子航海图书数据维护和更新[J]．航海技术，2021.

作者简介：

邹文锋，广州海宁海务技术咨询有限公司总经理助理，电话：13570278464，邮箱：zou.wenfeng@coscoshipping.com。地址：广州市海珠区滨江中路 308 号首层自编 B3 西南面

船员行为智能感知系统设计与实船试验

刘 兴

（中远海运散货运输有限公司）

摘要：船舶航行安全不仅与水文与气象条件、周边海域船舶态势、船舶设备安全等息息相关，同时也与船员操作行为息息相关。为感知船员行为风险，保障船舶航行安全，本文根据中远海运散运安全风险检测预警体系的建设需求，设计开发了船员行为智能感知系统，并进行了实船试验，结果表明系统的有效性。

1 前言

航海自古就是一个充满风险的行业，尽管随着科技的进步，航海雷达、AIS、电子海图、气象导航、全球定位和卫星通信等系统与装备的大规模应用，航海的风险正逐渐降低，但海上事故仍然多发，据上海海事局统计数据显示仅上海港仅 2021 年前 3 个季度就发生海上事故 12 起，沉船 3 艘，造成 11 人死亡，经济损失 3000 万余元。世界范围内发生的海难事故中，人为因素、疏于管理而导致的碰撞事故占比达到 30%以上，有些事故甚至造成严重的人员与财产损失，引起广泛的社会关注，例如：2018 年“桑吉”号油轮沉船事件[1]、2021 年苏伊士运河阻塞事件等重特大事故。因此，船员行为直接影响着船舶航行安全，船员行为风险感知与预警对于船舶航行安全具有重要意义。

为推动中远海运散运安全风险检测预警体系的建设，本文首先针对船员行为智能感知系统总体架构进行设计，然后对软件结构及其功能进行设计，最后本文所设计的船员行为智能感知系统在中远海运散运船队进行了实船安装与试验，实船结果表明系统的有效性。

2 船员行为智能感知系统总体架构

船员行为智能感知系统包括：摄像机、交换机、智能检测终端、警报系统、显示大屏、管理平台和硬盘录像机等，其中智能检测终端为系统核心用于提供算力运行人工智能算法。多台摄像机部署于驾驶室、集控室等区域采集船舶航行安全关键位置的视频与图像数据，通过交换机构建的以太网将视频数据传输至智能检测终端进行处理、分析与识别，对辨识到的目标与数据库进行比对，一旦检测出异常情况则进行警报。最后，视频数据会被传输至显示大屏供管理人员监督，关键视频数据与图像存储于硬盘录像机中便于工作人员查看历史数据，系统整体架构如图 1 所示。

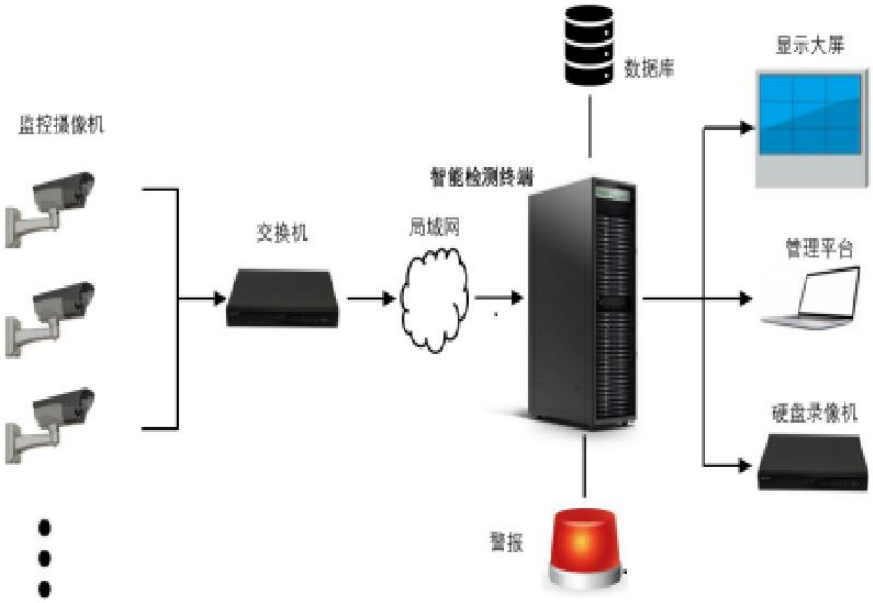


图 1　系统整体架构图

3 船员行为智能感知系统软件设计

系统软件主要包括实时视频获取模块、深度学习模块、人脸识别模块、人形体态识别模块、FTP 模块及 TCP 通信模块等组成系统软件核心，完成船舱人员识别、瞭望动作记录、人脸身份匹配等功能。同时，系统自动将船舱人数、瞭望记录，人员信息和报警信息等数据上传至后台中心，供安全员或工作人员查看。软件架构图及如图 2 所示，主要模块设计如下所示。

图 2　软件架构图

3.1 实时视频获取模块

高清摄像机通过局域网将图像数据上传至智能检测终端，视频图像经过解码、滤波后输入至智能算法模块，防止由于噪声引起智能模块算法的辨识精度下降。

3.2 深度学习模块设计

目前基于深度学习理论的目标检测算法，主要分为以 faster-rcnn 为代表的 two-stage 系列算法，特点是准确率高但检测速度慢；和以 yolo 为代表的 one-stage 系列算法，特点是准确率相对低一点但检测速度很快。

结合人员的目标检测需求，选用 Yolov3 算法，做到了准确率和检测速度的双重要求。Yolov3 结构如图 3 所示[3]。

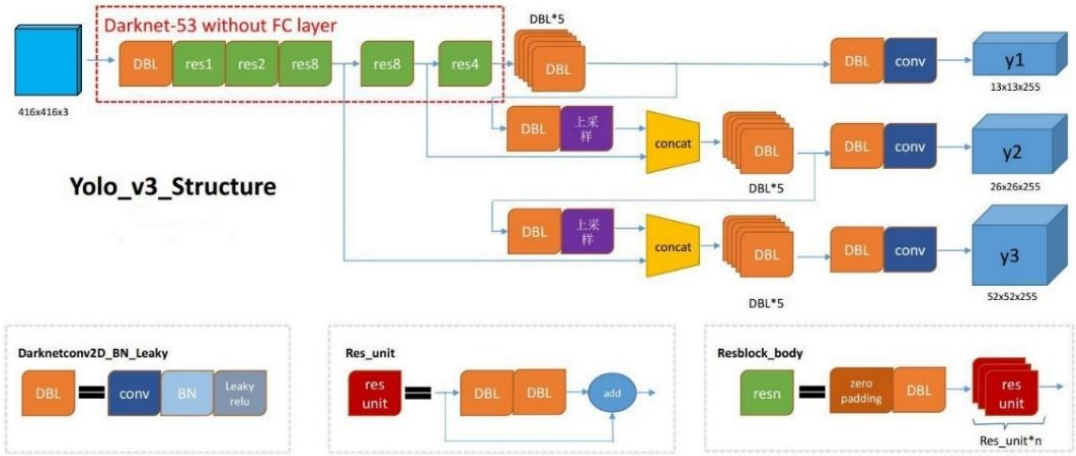


图 3　Yolov3 结构图

3.3 人脸识别模块设计

多任务卷积神经网络（Multi-task Covolutional Neural Network）是一种用于人脸检测的多任务神经网络模型，其创新的应用了三个级联网络，引入了候选框和分类器的思想，实现了快速、高效的人脸检测，并且保持了极高的准确率，主要应用于图像中的人脸区域提取[4]。

MTCNN 主要实现原理是首先在输入层构建图像金字塔，对初始图像进行尺度变换，以适应不同尺度的人脸目标。然后使用小模型（P-Net）生成大量存在一定可能性的目标候选框，此举避免了滑动窗口、分类器等传统方法带来的巨大的硬件性能消耗。之后，引入一个更复杂的网络结构 R-Net 对上一层网络生成的候选区域进行第一次精选和边框回归，排除了大部分的非目标区域，并使用 NMS 进行区域合并。最后一层再引入一个更加复杂、精度更高的网络结构 O-Net，对剩余的目标区域进行判别和区域边框回归，最终输出人脸目标区域及 5 个特征点位置。

3.4 人形体态识别模块

基于卷积神经网络和监督学习的人体姿态识别库 OpenPose，可以实现人体动作、面部表情、手指运动等姿态的估计。适用于单人或多人，具有非常好的鲁棒性。人体姿态估计（pose estimation）即通过检测图像中的人体关键点，得到关键点之间的正确联系，从而判断当前的姿态。

3.5 FTP 模块与 TCP 通信模块

远洋船舶船岸数据一般采用的 VAST 卫星通信系统难以满足高清图像数据传输的需求，因此船员行为智能感知系统利用船端安装的蜂窝网络（4G）与 VSAT 卫星双通道实现船岸数据通信。当船舶靠近海岸并搜索到 4G 无线信号后，通信链路自动切换到 4G 网络；当船舶航行在远离海岸区域，通信链路自动切换至 VSAT 通信。FTP 模块与 TCP 通信模块相结合，可实现断点续传功能，保证通信链路切换或通信链路重新建立过程中视频图像数据的完整性。

4 船员行为智能感知系统实船安装与试验

以中远海运散货运输有限公司“宝星岭”散货船为应用示范船，实船安装船员行为智能感知系统。超清摄像机实船安装效果如图 4 所示，智能检测终端实船安装效果如图 5 所示。两台超清摄像机部署于驾驶台两侧位置，智能检测终端部署于驾驶室设备间，硬盘录像机位于驾驶室后方设备台。

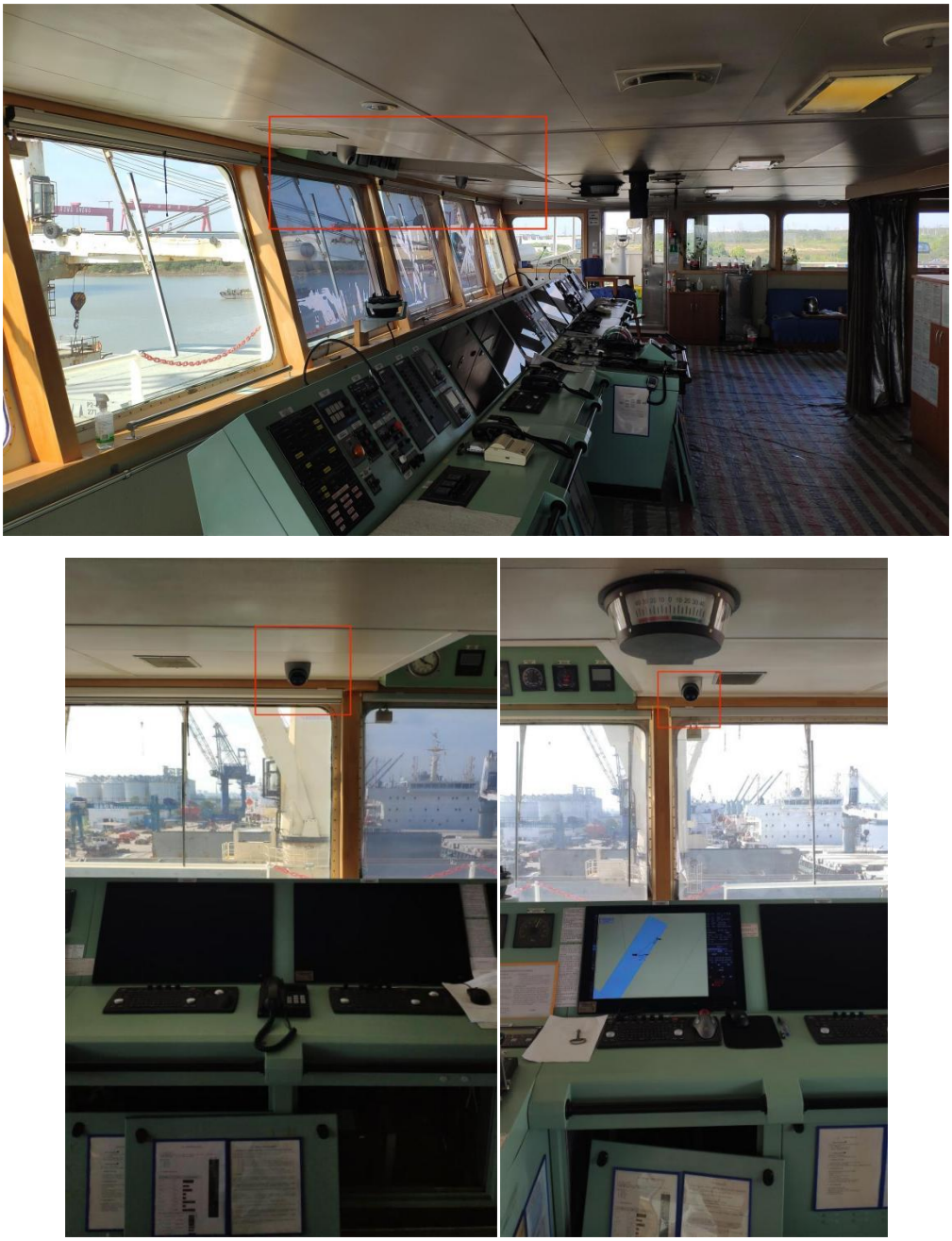
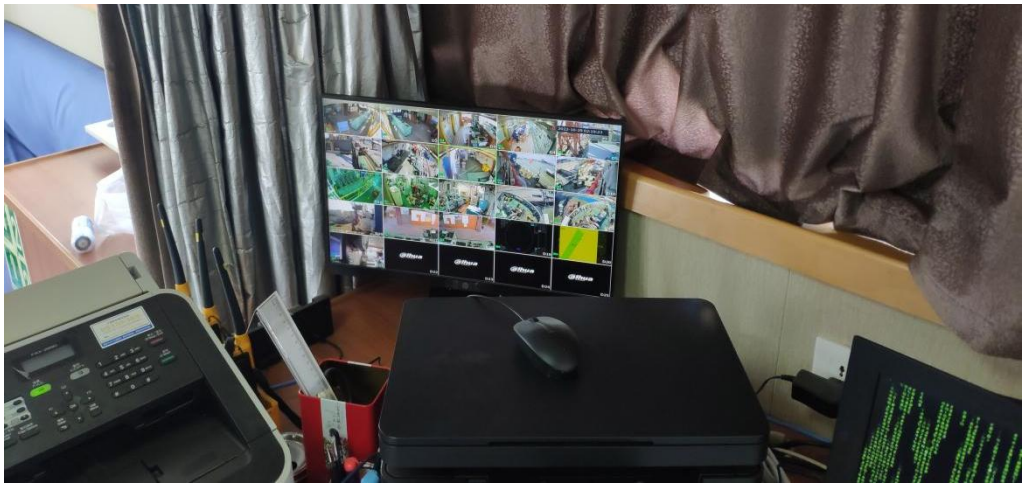


图 4　超清摄像机散货船实船安装效果



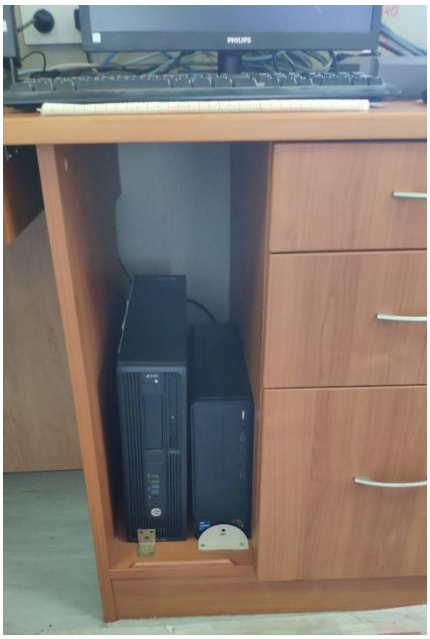


图 5　智能检测终端与散货船实船安装效果

船员行为智能感知系统可实时感知船员行为。图 6 为“宝星岭”散货船人员识别结果，此时驾驶室内共有船员 4 名，系统能够智能识别人员，并进行人数统计。图 7 为瞭望动作记录，图中分别展示了船员在驾驶室右中、左侧进行瞭望，表明系统能够识别船员的瞭望动作。图 8“宝星岭”散货船人脸身份匹配试验结果，试验表明系统能够识别船长等主要船员。

图 6　“宝星岭”散货船人员识别实船试验

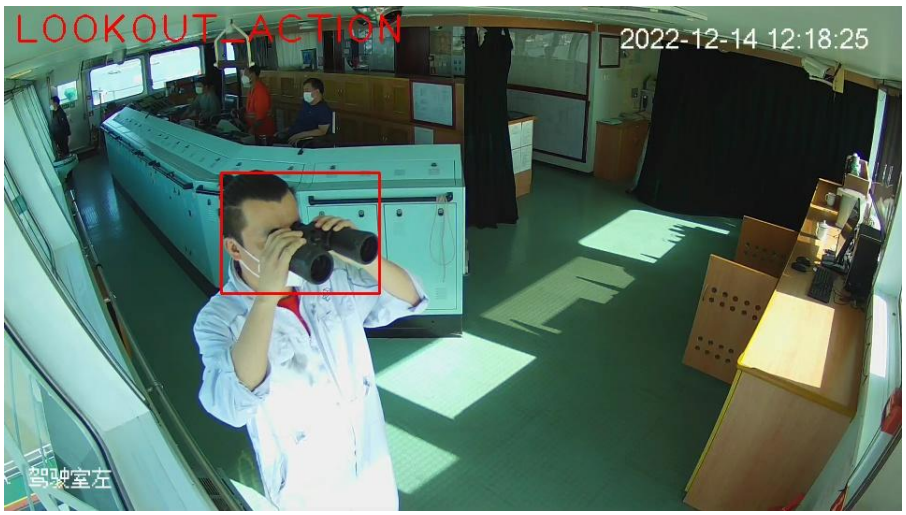


图 7　“宝星岭”散货船瞭望动作记录

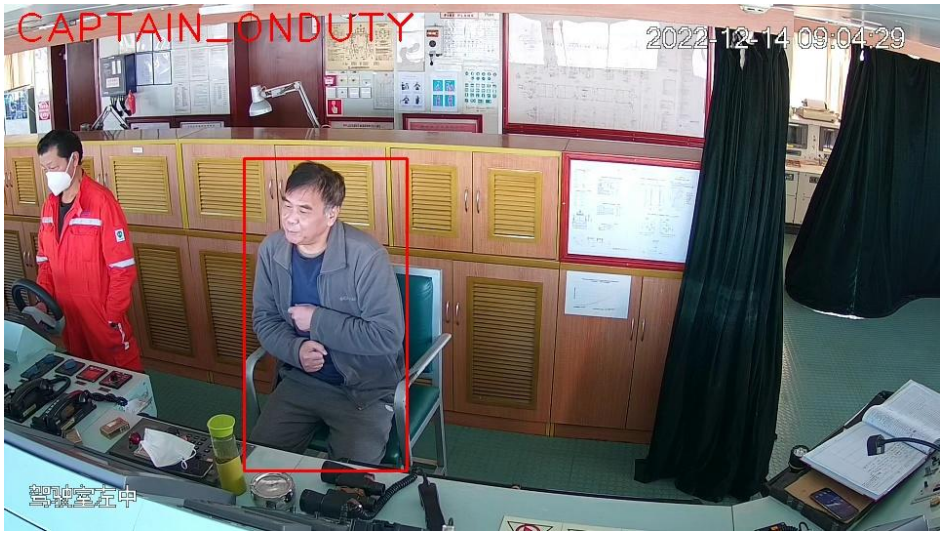


图 8　船长“宝星岭”散货船人脸身份匹配

5 结论

基于船舶安全管理规范，结合人工智能前沿，本文设计开发了船员行为智能感知系统，实船试验结果表明本系统可实现瞭望动作识别，人脸辨识等功能，为中远海运散运的船舶安全管理提供了数据支持，完善了中远海运散运安全风险检测预警体系的建设。

参考文献：

[1] 李陈峰，任慧龙，周学谦,等.″桑吉″号油轮沉没原因推测与分析[J]. 哈尔滨工程大学学报,2022（7）.

[2] 中华人民共和国上海海事局海事 2021 年统计数据，https://www.sh.msa.gov.cn/hstjsj/index_1.jhtml

[3] Li R， Hu J， Li S , et al. Blind Detection of Communication Signals Based on Improved YOLO3[C]// 2021 6th International Conference on Intelligent Computing and Signal Processing (ICSP). 2021.

[4] 邵蔚元，郭跃飞. 多任务学习及卷积神经网络在人脸识别中的应用[J]. 计算机工程与应用,2016（52）：32-37.

作者信息

刘 兴 中远海运散货运输有限公司

广州市南沙区凯翔路 1 号南塔 903 邮编：510220

电话：020-84104406/18819217030

邮箱：liu.xing1@coscoshipping.com

浅谈船舶远程医疗与健康服务系统的设计

邹文锋

广州海宁海务技术咨询有限公司

摘要：本文结合海上的现状和船员的需求，从政策、技术等层面论述了开展船舶远程医疗的可行性，提出利用卫星通信、人工智能等信息技术构建船舶远程医疗与健康服务系统的总体思路、总体架构和功能设计，为远洋船员提供全面、可行的船舶远程医疗服务，降低航行过程中的疾病发生的相关风险，保障船员航行中的身心健康。

关键词：船舶远程医疗；健康服务系统；整体方案设计

0 引言

远程医疗在陆岸的发展和应用已经非常成熟。2014 年，国家出台了关于《推进医疗机构远程医疗服务的意见》，建议将远程医疗服务体系的建设，纳入到区域卫生规划和医疗机构设置规划之中，并鼓励在区域人口健康信息平台上，构建一个远程医疗服务平台，将东部沿海发达地区的医院或专科医学中心在医疗技术和医疗装备方面的优势，在一些医疗条件相对比较落后的偏远地区，可以实现远距离的诊断、治疗和咨询。近年来，伴随着海上通讯技术的不断发展，海员对于远程医学的要求越来越高，他们迫切需要通过构建远程医学和健康服务体系，提高船上的医学卫生水平，并获得及时的专业指导。

1 现状及需求

当前，我国海上远程医疗发展还处于起步阶段，绝大部分船舶的医疗环境相对落后，主要表现在：船上医疗室仅配备少量常用药品及简单的医疗辅助器材，缺少专业医疗人员（仅极少数船舶配备专业医生），缺乏健康知识教育的学习资料，缺乏与陆岸医生实时互动的工具。

在这种环境下，一旦船员在航行期间突发疾病或受到意外事故损伤，病情轻者主要靠随身携带药物和船上受过医疗培训的船员救助，但有限的医疗知识和技能往往难以达到有效的治疗效果。病情重者只能依靠海事部门的救助，如派直升机或靠港送医，但这种方式往往时效性较差，且费用高昂，还可能由于医患双方交流不顺畅，导致病情治疗延误。此外，船舶在海上航行时间少则十余天,多则几个月，船员在航行期间由于受作业条件及生活环境的影响，往往容易出现心理健康问题，长时间缺乏专业人员远程的、及时的心理干预和引导，容易发生意外。

随着人工智能和信息技术的发展，船员对远程医疗方面提出了更多的要求。船员希望得到即时的专业性指导，有针对船舶病人的个性化医疗建议和治疗方案、初步诊断、用药指导、后续跟踪、传染病控制、疾病预防等医疗救助与指导服务，准确指导船上实施救助，随时可以通过远程医疗由岸上医生实施指导；随着网络通讯技术日渐发展，卫星网通讯成本下降趋势，希望建立远程医疗系统，使远程医疗服务范围更宽广，船员如有疑难病症，可以直接通过远程系统与医生进行直接沟通与咨询。

2 可行性

2.1 政策可行性

国际层面。《2006 年海事劳工公约》关于海员的保健和医疗问题，作出以下规定：各缔约国应当确保为在其国旗下的船只上工作的海员，为他们提供的保健和医疗服务，尽量与陆地上的工作人员所能获得的水平相等，其中包括及时获得必要的药物、医疗设备和设备，还有医疗信息和医疗专业技能；此外，也应该采取一些预防措施，例如卫生和卫生教育项目。

国家层面。2014 年，国家卫生计生委印发《关于推进医疗机构远程医疗服务的意见》，提出“要强化政府统筹，促进远程医学发展”。地方各级卫生计生行政部门要把发展远程医疗服务作为优化医疗资源配置、实现优质医疗资源下沉、建立分级诊疗制度和解决群众看病就医问题的重要手段。把远程医疗服务体系的建设，纳入到地区卫生规划和医疗机构设置规划之中，主动协调同级财政部门，为远程医疗的发展提供与之相适应的资金支持和经费保障，对发展改革、物价、人力资源和社会保障关部门进行协调，为远程医疗的发展创造一个合适的政策环境。

2.2 技术可行性

随着云算、大数据、人工智能、数字化医疗设备、移动互联网和物联网等新技术的发展，为数据采集、数据存储、数据共享、数据挖掘分析和移动应用提供了技术支撑，也为远程医疗与健康管理提供了技术保障。市场上已有较丰富的质量可靠、操作简便、适宜携带的健康多参数生理监测仪等软硬件设备，可将包括血糖、血压、心率、身高、体重、总胆固醇、尿酸、血红蛋白、血脂四项（甘油三脂、总胆固醇、低密度、高密度）、人体成份、心电等生理参数检测功能等多项检测指标以及二代身份证通过多参数生理监测终端软件实现一体化整合的临床检诊设备，如法国埃顿公司生产的医疗舱，清华大学研发的清云移动医疗检诊箱等等，为健康数据的采集提供了设备基础。随着通信技术的发展，船舶通信手段也越来越丰富，传统卫星信号、3/4G 网络、以及中海电信研发的 E 海通海上通信平台等手段为船舶通信提供了有效支撑。

3 解决方案

3.1 总体思路

构建一套以在船舶中行驶的水手为主要服务对象的船只远程医学和健康服务体系，以构建远程医学控制中心，运用新的通信技术，以信息化和数字化为手段，逐渐实现远程诊断、远程健康监测、远程医学咨询、远程慢性病管理、远程健康教育、远程数据资源共享、远程专科诊断（心电）等功能，让在海洋中工作的水手可以和陆地上的水手一样享受到同样的医疗待遇，保证水手们的健康，为我们国家的航运事业提供更好的发展。

3.2 总体架构的设计

通信层面：因船舶通信条件决定了船上难以像陆岸一样随时通过互联网获取数据。船舶根据航行范围，在近海可使用 4/5G 网络通过远程医疗与健康服务系统进行通信，在远洋则需要借助卫星信号中转或借助 VSAT 网络通信平台。岸上用户可通过互联网或局域网与系统连接。

用户层面：船员可通过船舶远程医疗服务站获取健康知识及发起健康咨询服务，可通过服务站采集移动医疗检诊设备的健康数据并上传至远程医疗与健康服务系统，可通过服务站发起实时的远程医疗服务申请等。岸基控制中心可通过医生工作站查看、分析船员健康数据，提供保健指导，反馈医疗方案等，可提供实时的远程医疗指导服务。

应用层面：以船员健康档案为数据基础建立数据中心，船舶远程医疗与健康服务系统为系统主体，支撑船舶工作站、医生工作站等业务开展。

系统外部接口层面：可与船舶管理系统、船员系统、体检系统、等进行对接，建立船员全面的健康管理数据，为诊断、航病分析及预防、个性化健康指导提供数据支持。

3.3 功能设计

远程诊断模块。按照实现方式，远程诊断包括交互式远程诊断和离线式远程诊断。(1)交互式远程诊断。为新海医疗机构的诊疗医师和申请船舶及病人提供一种即时、互动的远程诊疗方式，使病人能在船舶上得到新海医疗机构的即时、有效的诊疗，协助诊断医师遥控舰船上的视频图像，该系统可实现对舰船各种重要参数的实时传送，为舰船的诊断提供连续动态的参考；(2)离线式远程诊断，为诊断医师和请求船提供非实时、脱机的远程诊断服务，协助申请船只提供诊断请求及疾病情况的相关信息，诊断医师依据临床状况，对诊断的相关信息进行不即时的查阅，并编写和发布诊断报告，申请船舶再浏览诊断报告。

远程教育模块，支持交互式和课程点播两种学习方式，船上教学方式以课件点播为主，在需要的情况下也可以使用实时互动的方式，实时互动的培训应该能够确保授课医生的声音和视频与课件的播放是同步的，同时还能够支持训练参与者的实时互动，还能够将训练的过程进行录像，并且将其以一种通用的文件格式保存在服务器中，还能够对流媒体课件进行制作、整理和归类，交互式训练可提供支援，如远程手术观摩、远程护理示教、航病预防及船员的卫生知识，支持课程的点播，并提供课程的新增，删除，上传，查询等功能，例如传染病防治、疾病防治等课程。

实现数字资源的远程共享。通过对海上医疗资源的支持，使其能够方便地获取医疗资料，从而提升海上医疗工作人员的专业素质。同时，支持岸基医疗机构将有代表性的病历、病例分析、手术视频等数据，如外伤、骨折等处理手术等，向船上的非专职医护人员提供参考和借鉴。

远程专科模块（心电），可实现对电子心电设备的心电数据的非破坏性的传输，存储，再现，并可将舰船的静态心电数据传输至新海医院的临床医师，协助医师解读和打印 ECG，协助报告的撰写和发布，可以采用 XML、 DICOM 等标准对心电数据进行存储，对不同的病例进行分析，并与历史资料进行比较。

健康数据管理模组。支持将终端设备的采集数据、病历数据、船员以往体检数据进行分类整理，最终形成船员健康档案数据，尤其是针对慢性病的数据管理，为医生的诊断提供数据参考，为个体化的健康服务提供依据。例如，个体化的体检计划，康复护理计划，用药指导等。

统计分析模块（大数据分析）。支持对船舶远程医疗及健康服务数据进行统计、分析，包括可视化展示，船舶健康事件分析、船员身体健康评价、船员心理健康评价、应急事件关联因素分析、分析/预测模型制作与管理等。

远程视频模块。该模块实现了对患者的远程诊疗，对摄像头远程控制，可随时调节观测角度，并可实现远程监护服务，支持提供远程心理咨询等。

设备管理模块。船舶可穿戴设备、多参监护仪等设备的数据采集、数据监测、异常识别、数据展示、病情预警、信息通知等。

系统管理。包括管理员界面、组织架构、权限管理、模块集成、界面配置、流程配置、参数设置、移动支持、消息中心、数据中心、用户管理、多网络支持（卫星网络、移动网络）、位置服务等。

此外，数据存储方面，包括岸端主数据库及各船舶端子数据库，包括半结构化和非结构化数据的存储等。第三方数据接口方面，主要包括与医院体检系统、电子病历系统等系统的数据接口。

4 意义

根据资料显示，国际外贸货物中 75%的货物是通过海上运输实现的，一些国家外贸货物中的货物进出口比例甚至超过了 90%。本文提出的充分利用信息技术手段，建立舶远程医疗与健康服务系统具有可行性及现实意义。可为远洋船员提供全面、可行的船舶远程医疗服务，降低航行过程中的疾病发生的相关风险，保障船员航行中的身心健康。同时，通过不断完善医疗、药物、船员体检及日常采集健康数据的信息库，应用人工智能、大数据挖掘和机器学习技术，具备常见航海疾病的辅助诊疗能力和个性化健康保障能力，体现我们国家以人为本，关心关爱船员作为海运大国和强国的担当。

参考文献

[1]骆华伟.远程医疗服务模式及应用.北京:科学出版社,2012.
[2]张梅奎,李彤,周丽等.远程医学的发展与思考[J].解放军医院管理杂志,2009,16(5):442-443.

作者简介:

邹文锋，广州海宁海务技术咨询有限公司总经理助理，电话：13570278464，邮箱：zou.wenfeng@coscoshipping.com。地址：广州市海珠区滨江中路 308 号首层自编 B3 西南面

基于 OBE 理念下的《航海英语》课程教学改革与实践

祝鸿，毕修颖，刘传润，李贝贝

（广州航海学院 广东广州 510725）

摘 要：《航海英语》是航海技术专业一门实践应用性比较强的核心课程，不仅具备一定的基础英语，还要具有专业知识。本文研究目的是针对航海类学生的专业英语及其他专业课开展的非同步性带来的局限性，在 OBE 教育理念下，从教学模式、教学设计、教学评价等方面不断推进课程教学改革，探索和持续改进教学方式，构建以学生为中心、教师引导的开放性教学模式，利用互联网+、教学资源，将学科前沿和行业应用知识引入课堂。从文献、案例研究，及实验教学改革，引导学生为中心的自主学习积极性，提高教学效果。课堂教学要结合多种教学模式，构建师生、生生、生本的多样互动，学生能真正学有所成，提高教学质量，以满足行业应用型人才需要。

关键词：OBE 理念；航海英语；教学改革；教学效果；考核评价

0 引言

2021 年中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于推动现代职业教育高质量发展的意见》和交通运输部等六部委联合发布的《关于加强高素质船员队伍建设的指导意见》，该“意见”指出要深化教育教学改革，创新教学模式与方法[1]，优化培养模式、深化产教融合、鼓励校企合作，提升船员职业素养[2]，结合 2020 年 10 月中共中央、国务院印发的《深化新时代教育评价改革总体方案》中“改进高等学校评价，改革教师评价，改革学生评价、促进德智体美劳全面发展[3]”，因此各航海高校按改革要求调整定位、修改相关专业的人才培养方案。OBE 理念（Outcomes-based Education，缩写为 OBE）是基于学习产出的教育模式，简称为成果导向教育[4]，是以“学生中心、产出导向、持续改进”的先进教育理念，是目前改革教育的主流理念，并得到工程教育认证领域广泛认同[5]。我国的航海技术专业在人才培养上不仅要完成高等学校学历教育，还要符合交通运输部海事局的《海船船员培训大纲》规定，是学历证书与职业证书相互融合的应用型航海人才。《航海英语》是航海技术专业核心课程之一，是必修考试课，也是海船船员适任证书考试（简称考证）主要科目。在 OBE 教育理念下，以专业《航海英语》课程为例，从教学模式、教学设计、教学评价等方面进行教学改革，构建以“学”为中心的课程体系和基于学习成果导向的教学评价体系，提升教育教学效果。

1 运用新型教学模式

当前零零后的大学生在思维、情感、观念、心理等方面与以往大不相同，受互联网+、多媒体教学和自媒体网络等多种因素影响，传统单一的讲授教学方式要因势利导，创新模式，拓展途径。教师要改变中学阶段填鸭式、满堂灌等方式的应试教育模式，引导当代大学生自主学习，从“要我学”向“我要学”转变，实现以“教”为中心向以“学”为中心转换。因此，教师要结合现代信息技术与教育教学深度，充分利用网络教学资源，探索和发展多种教学模式，将专业学科前沿和行业应用知识引入课堂，改变传统课堂教学方式方法，提高教学效果，积极推进课堂教学从“教-学”向“学-教-做”一体化转变。在课堂上，教师根据教学内容选择一种或多种方式相结合的教学模式：

1.1 翻转课堂教学模式

翻转课堂又称颠倒课堂[6]，是一种具有创新的教学模式[7]，也是高校近年来从国外引入的先进教学模式，教师在课前将课题教学的资源及相关视频发给学生自主学习，在课堂中通过师生的互动交流，探讨与质疑解决疑问，改变传统课堂满堂灌的方式，从而达到更好的教学效果。在实施翻转课堂前，教师要设计教学流程，确定学生课内课外的学习目标，搭建学习平台，准备课前教学材料、设计教学中的疑点、难点，选

择合适有效的评价方式。这种先学后教，以学生为中心的开放式教学模式不仅改变传统教学中教师一言堂、满堂灌，也能培养学生自主学习的主动性和积极性，又能激励学生自主探索的内驱力。然而此种教学模式的重点是学生要从被动灌输倾听翻转为主动探索学习。在实践教学中，《航海英语》专业课程既要有基础英语功底，又要具有专业课程知识，在学生掌握一定专业知识的情况下，使用该教学模式，学生尚能配合，但随着教学进程，由于多数专业课程教学不同步，例如《航海英语》“Ship Handling”、“Stability and Strength of Ship”、“Navigational Publications”等，学生对船舶操纵、船舶稳性与强度、航海出版资料等专业知识还未有系统学习，导致学生自学难度大，教师要根据教学进度、教学评价及时转换教学方式，切实从学生角度考虑，接受课程知识难易程度。

1.2 混合式教学模式

混合式教学是将传统课堂教学和网络在线教学的优势结合的一种“线上线下”教学方式，是一种以“学生为主体，以教师为主导”的模式。通过课堂多媒体、雨课堂、腾讯课堂、慕课等方式的在线教学，学生课后可以在线回看、复习课堂内容，进一步加深对课程中知识点的理解。教师利用学校的在线网络教育综合平台，建设《航海英语》课程资源库，包括教学管理的课程介绍、教学目标、教学大纲，课程建设的课程资源、课程活动（课程作业、答疑讨论、在线测试、课堂问卷等），及随堂教学管理，还可以通过学习分析功能查阅学生自主学习情况，学生通过网络平台充分发挥自主思考和探索能力。这是目前该课程改革中行之有效的方式，学生课后能够在合适的时间参加在线学习，参与交流、评价，通过课前预习、课后复习的互补，提高教学效果。

1.3 对分课堂教学模式

由复旦大学教授 2014 年提出，发展的现代化课堂教学模式，将课堂时间对半分开，一半教师讲解，一半学生自主学习、讨论交流。对分课堂在教学上分三个环节，即教师讲解（Presentation）、学生内化吸收（Assimilation）、学生讨论（Discussion），也可以简称为 PAD 课堂[9]。在学生自主、讨论环节时，教师要组织、引导、设计问题，充分利用互联网的程序软件功能，如雨课堂、学习通等应用程序，发挥学生手机功能作为学习的工具，教师就学生共性问题和疑点问题进行解答，该环节也作为教学过程考核评价的一部分。例如在“Ship Strength”中“Hogging and sagging conditions”，“Hogging”与“sagging”的区别，需要结合学生已学习的专业基础课“船舶原理”，学生就能够对中垂、中拱的理解。

1.4 BOPPPS 教学模式

BOPPPS 是一种以教学目标导向、以学生为中心的教学模式，教师在课堂设计六个教学环节，即：引入（bridge-in）、教学目标（objective）、前测（pre-assessment）、参与式学习（participatory learning）、后测（post-assessment）和总结（summary）[8]。要求学生全程参与式学习，通过学生前后测的反馈，及时调整后续教学组织以达到教学目标。如《航海英语》中“Emergency Response on Ships”，学生已在大学一年级通过专业相关培训，如船舶高级消防、基本安全、救生艇筏等培训，具备一定的专业基础知识，在实践教学中，通过课前的回答问题引入专业英语词汇，“船舶应急反应”中英语的句子表达与中文的理解有什么区别，如何航海英语阅读并翻译成与专业或行业相关的中文，一般使用什么句子结构等问题互动讨论，以及应急演习如何通过英语表达在航海日志上记录，锻炼学生的写作思维能力。实践表明，学生积极、自觉主动参与式学习效果要远远好于被动式学习。

1.5 多维度互动教学模式

在开放式的教学环境下，教师改变传统师生的单线模式，通过师生、生生、生本的多样互动，深化、优化和强化课堂教学方式，利用互联网+建立课堂内外、线上线下多系统、多角度、多层次的新型教学模式[10]。《航海英语》具有非常强的专业性、实用性和国际性的课程，例如课程中“Notices to Mariners”，可以通过 www.ukho.gov.uk 网址访问，引导学生怎样去查找英版图书资料最新出版的“Admiralty notices

to mariners”等信息，以及如何下载、解读最新的《航海通告》、改正英版图书资料，既可以锻炼学生的动手能力，又符合行业生产需求。此种教学模式体现出以学生为中心的主观能动性，形成多方位、多层次、多角度、创新性的和谐互动，激发和调动学生学习积极性，提高教学效果、效率，符合 OBE 理念的应用型人才培养方案。

2 优化教学设计

在创新教学模式下，教师要根据课程教学内容、教学方式、教学环节、教学资源等优化传统的教学设计，采取多种教学方法相结合的方式，包括案例引入式、讨论式、情景式、任务式、探索式、合作式、体验式、项目式、头脑风暴式等多种教学方式，充分调动学生的感官积极参与课堂教学活动，积极引导学生进行自主、合作、探究式学习，由“灌入式教学”向“我要学”自主教学转变，提高教学效果。

现使用的《航海英语》是大连海事大学出版社出版的“十四五”规划教材，由 11 个单元组成，涵盖专业各科知识点，教学课时既要满足《普通高等学校本科专业类教学质量国家标准》又要满足于交通部海事局颁发的《海船船员培训大纲(2021 版)》最低要求，要在有限的课时内，完成教学目标，达到教学效果和毕业要求，因此，需要提高课堂教学效率，优化教学设计，激发学生课外的自主学习性。首先制定各节课的教学任务，其次确定教学的重点、难点，其次按照教学内容分配教学时间，然后编写具体课程章节教案，最后组织教学的方式。选取合适的《航海英语》教材也很重要，对教学设计起到事半功倍的作用，2022 年 7 月交通部海事局组织编写并由人民交通出版社出版发行的船员适任培训与航海教育专业核心课程统一教材《航海英语》，笔者参加了编写，该教材中包括理论教学、教学实训、教学情景模式，并提供的网址，获取“案例进课堂”的资源库，方便教师授课和学生的自主学习。学生通过扫描二维码，进入“热题库”自主学习系统，通过学生课前预习、课后复习和重点难点知识的巩固；在课堂互动教学系统，教师使用的后台管理和师生共用的课堂前端的互动，教师实时了解学生的课堂学习动态，优化、深化课程教学重点、难点，进而提高课程教学效果。

3 完善考核评价

在 OBE 教育理念下，教师探索多样化、合理化、可操作性强的考核方式，改变课程之前传统的考核方式，强化教学过程考核，课程的考核不再以期末考核定最终成绩，更是强调与组织教学过程的综合性考核。因此，学生在平时学习过程中，可由平时作业、课堂训练、课外学习/讨论、课堂互动、单元测试、综合训练等组成平时成绩占课程考核一定比例，与期末考核构建的综合评价，这同工程教育认证标准“对学生在整个学习过程中的表现进行跟踪与评估”一致。例如《航海英语》课程制定的考核评价如下表 1 所示：

表 1 课程考核评价

序号	课程目标	考核内容	评价方式及成绩比例(%)					成绩比例(%)
			平时成绩（体现过程性考核）30%				期末考核	
			评价方式 1	评价方式 2	评价方式 3	评价方式 4		
1	目标 1	Unit 1-10	作业	互动	测试	训练	考试	15
2	目标 2	Unit 11	作业	测试	互动	综合	考试	20
3	目标 3	Unit 1-10	作业	互动	测试	讨论	考试	40
4	目标 4	Unit 3-7,9-10	作业	互动	测试	综合	考试	25
比例			30				70	100

4 提升教学效果

在 OBE 教育理念指导下，课堂教学要根据教学效果持续改进，对于航海技术专业应用型人才培养，专

业课教学效果还可以通过海事局的海员船员适任考试的通过率或以用人单位的反馈来评价。《航海英语》课程教学改革已在本专业完成三届毕业生的教学，结合之前和近三年的教学改革变化，本校航海技术专业学生初次参加交通部海事局组织的适任证书考证，近 4 年初次考证通过率如下表 2。

表 2 近 4 年考证通过率

年份	2019（改革前）	2020（改革后）	2021	2022
通过率	27.4%	61.8%	48.9%	64.81%

从初考通过率来看，近三年的本课程的教学效果明显提升，说明该课程的教学方式得到学生的认同，然而课堂教学方式方法并不是简单的复制进行，要根据每一届学生的自身情况、以及互联网信息技术的变化、专业前沿的发展及行业的就业进行分析，选择合适的一种或多种组合教学方法。而笔者所在的学校是一所公办的普通本科院校，学生高考录取分数相对同类航海院校要低，每一届学生进入大学前的基础英语底子也不尽相同，对于专业航海英语的教学带来极大的挑战，所以因人制宜改进教学方式，正如习近平总书记在研讨教育工作时强调：“教育要注重以人为本、因材施教，注重学用相长、知行合一，着力培养学生的创新精神和实践能力，促进学生德智体美全面发展[11]。”

5 结束语

综上所述，课程教学随现代科技的发展不断变化，尤其处在当前互联网+的时代，传统的讲授教学与 OBE 教育理念下的现代教学已经不相适应，因此，教师应根据教学内容，结合学生的状况，采用多种教学方式结合、课堂课外的互补，创新、发展多种互动相结合的教学模式，不断提升、优化、深化、细化教学设计，运用线下和线上信息技术平台、构建师生、生生、生本的多层次、多角度的互动交流，充分调动学生主动性和积极性，加强学生学习和应用航海英语的能力；各种教学方法有其适应性，又有其局限性，博采众长，综合应用才是成就教学之路，达到以“学生为中心”的有效教学，提升航海技术专业《航海英语》课程的教学效果，以满足我国航运业应用型航海人才需要。

基金名称：2022 年冲补强（线下一流课程培育项目），基金编号：C2206001139。

参考文献：

[1]中共中央办公厅 国务院办公厅印发《关于推动现代职业教育高质量发展的意见》[ZB/OL]. (2021-10-12) [2022-8-20]. http://www.gov.cn/zhengce/2021-10/12/content_5642120.htm
[2]交通运输部 教育部 财政部 人力资源和社会保障部 退役军人事务部 中华全国总工会关于加强高素质船员队伍建设的指导意见 [ZB/OL].(2021-5-7) [2022-8-20].
https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/haishi/202105/t20210507_3586585.html
[3]中共中央 国务院印发《深化新时代教育评价改革总体方案》[ZB/OL].(2021-10-13) [2022-8-20].
http://www.gov.cn/zhengce/2020-10/13/content_5551032.htm
[4]李志义.解析工程教育专业认证的成果导向理念[J].中国高等教育，2014（17）：7-10.
[5]隋晓红. 基于 OBE 教育理念下的“信号与系统”课程教学改革[J].黑龙江教育：理论与实践，2021（3）：68-69.
[6]谢志方.大学英语翻转课堂研究[M].青岛：中国海洋大学出版社，2021:3.
[7]李贝贝，祝鸿.社会文化理论下的航海英语听说翻转课堂设计[J].大学英语教学与研究，2018(4)：85-89.
[8]张晓云.BOPPPS 教学模式简介[N].《延安日报》，2020-6-17（8）.
[9]董银英.“BOPPPS+对分课堂”教学模式在大学英语课程中的应用研究[J].英语广场，2022（7）：99-100.
[10]郭屹岩.“互联网+”背景下的多维度教学模式研究[J].商情，2019（32）：218.
[11]赵建永.知而能之 知行合一[N].《光明日报》，2016-9-20（2）.
[12]教研在职研究生网.交通运输专业排名 2022（中国大学交通运输类一流专业全国排名）[ZB/OL].

(2022-7-23) [2022-8-20]. http://www.eduei.net/baokao/7119.html

作者简介

祝鸿（1972-），男，副教授，主要从事航海英语和海上安全等方向的研究。Email：724044790@qq.com
毕修颖（1965-），男，教授，主要从事航海技术等方向的研究。
刘传润（1971-），男，副教授，主要从事航海通讯等方向的研究。
李贝贝（1990-），女，讲师，主要从事海事英语等方向的研究。

海洋卫士 TM 型压载水处理系统解析

邹炳 周建伟

中远海运能源运输有限公司广州中心

摘要：为了应对船舶压载水排放引起的外来生物入侵的影响，各种压载水处理设备和技术应运而生，但从业者面对新型设备的管理和操作均相对陌生。本文通过对海德威公司生产的压载水处理系统结构原理分析以及管理经验，以给同行管理者工作有所借鉴。

关键词：压载水处理系统；电解；海洋卫士；TRO 单元

0 引言

近些年，随着人们环保意识的增强，外来物种的入侵及危害越来越严重，船舶压载水产生的海洋和环境污染的风险越来越引起人们重视，国际海事组织 IMO 为解决此问题研究制定了一系列环保法规，以指导和控制船舶压载水的管理。为了应对这一局面，船舶压载水处理系统应运而生。

1 海洋卫士型压载水处理系统的工作原理及流程图

常见的压载水处理系统工作原理大概可分为四类：中压高强 UV 紫外线灯照射--代表公司青岛海盾，电解法--代表公司青岛双瑞，电催化氧化法--代表公司青岛海德威，及加注次氯酸钠药剂等处理方式。

青岛海德威公司出品的海洋卫士™型压载水管理系统利用过滤与电催化双重作用机制滤除和杀灭水体中的生物。过滤器和 EUT 单元是系统中的关键部件。

图 1 压载水处理装置流程图

2 主要部件功能介绍

此系统包含控制单元、电力分配单元、滤器单元、EUT 电解单元、检测单元、流量计及盐度计、中和单元等。

控制单元为主操纵显示屏单元，集成了系统的总体操作功能，数据监测及安保功能。

电力分配单元主要提供各部件的电源功率分配及参数指示和应急停止功能。

滤器单元为过滤精度 50um 的可自动反冲洗滤器，主要作用为过滤海水中的杂质及浮游生物等，配套有反冲洗泵浦及管路，可根据压差自动冲洗保持管路畅通。

EUT 电解单元为本套系统的关键水处理部件，工作原理利用电流电解催化反应处理水产生一定含量的杀菌物质比如次氯酸等羟基化合物，（此物质只能短时间存在易分解，故不易对船舶和环境造成危害）内部设置温度及压力保护，当温度超过 45 度或压力超过 6BAR 时，系统会自动切断并发出报警。

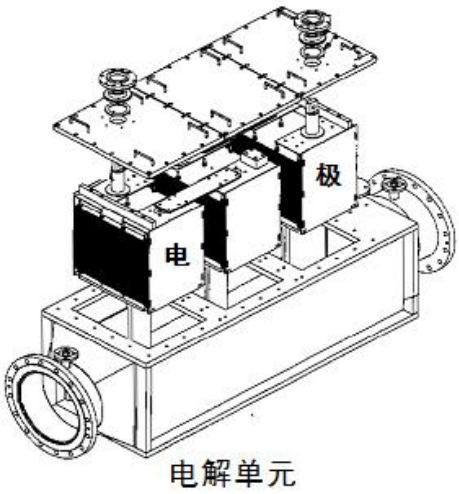


图 2 电解单元

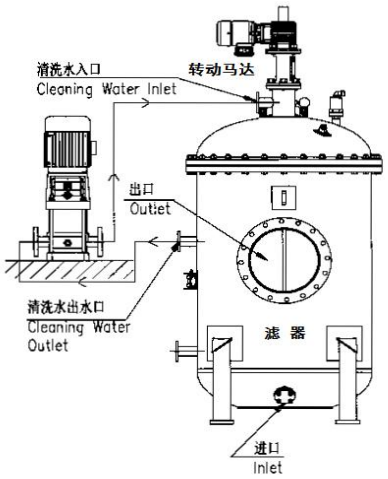


图 3 自清滤器

检测单元包括 TRO 检测仪、电磁阀、气动隔膜泵、继电器、散热器、试剂瓶，取样管路及阀门等部分。关键元件为 TRO 检测单元，根据取样水的电化学反应检测样水的 TRO 值（Total residual oxidants， TRO 值简单说即为次氯酸等杀菌物质的浓度，一般排水不能超过 2mg/l）。它是 BWMS 工作的重要依据，其监测数据传输至控制单元，控制单元由此判定系统其它部分的工作状态和模式。

流量计用于检测压载水中的实时流量，它是 BWMS 工作的重要依据，其监测的实时流量传输至控制单元，控制单元由此判定系统其它部分的工作状态和模式。

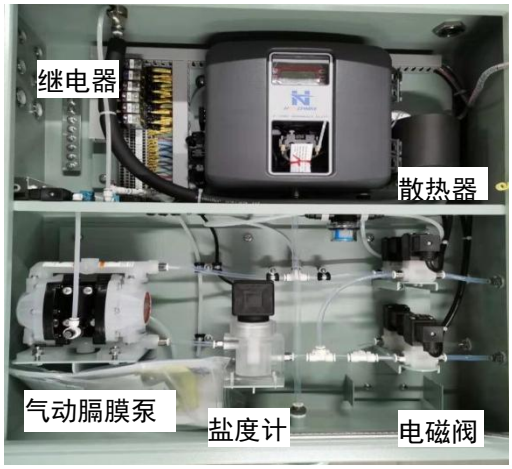


图 4 TRO 检测单元

图 5 流量计

盐度计的作用用来检测系统的盐度及导电性，因为电解单元需要流过的工质具有一定的导电性才能有效工作，否则需要添加化学物质达到要求。此型机盐度计也集成在 TRO 控制箱内，方便监控和调节。

中和单元是为了保护环境而设置的自动控制环节，防止排出的压载水 TRO 值超标（不超 0.1mg/l）而影响环境，从而提供中和药剂中和氯气等有害物质，一般投放化学品为硫代硫酸钠，（主要工作原理为：5H2O • Na2S2O3+4CL2= Na2SO4+ H2SO4+ 8 HCL）此装置只在排放压载水时才被作用。系统排放压载水时如果排出管中压载水的 TRO 值超过 0.1mg/L 时，控制单元自动启动中和单元，自动向系统管路中添加一定量的中和液（硫代硫酸钠溶液），投剂量按照最大量（中和掉 2mg/L 的余氯的量）来注入，使系统出水的 TRO 低于 0.1mg/L。

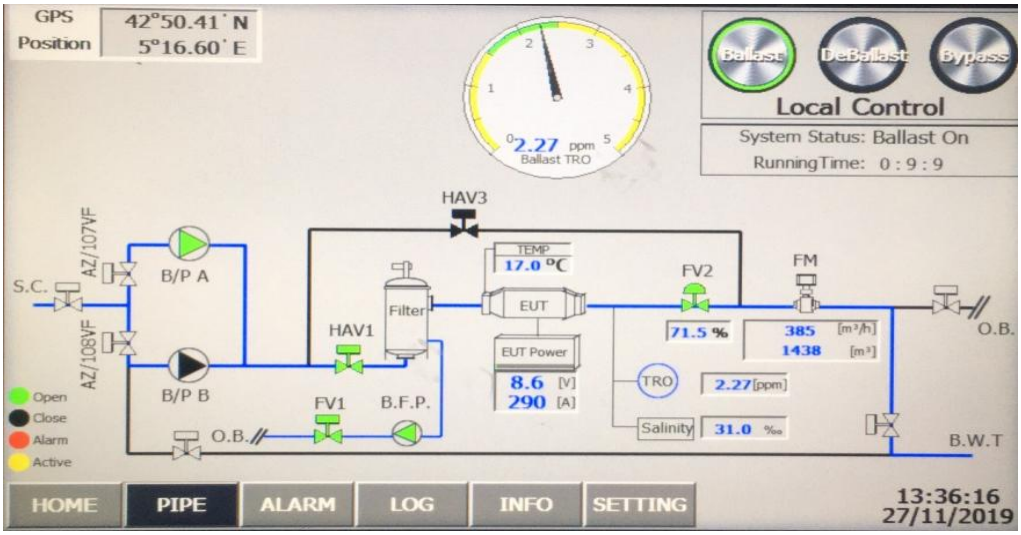
3 压载与排水工作流程解析

船舶准备压载作业时，打开系统的控制空气和冲洗淡水阀和各设备电源外，还需要将压载水处理系统中的手动阀提前打开。其它步骤在控制单元的主控制屏上操作即可，确认系统无报警存在时可以进入相关

操作流程。

3.1 压载作业时

按下 Ballast，HAV1 和 FV2 阀门打开，“Ballast”指示灯亮，管路示意及各单元通信正常无报警。然后开启压载泵并确认信号，要求流量控制在标准流量范围，检测 EUT 电源自动调节，TRO 检测仪、盐度计、气动泵、电磁阀正常工作，取样是否满管等。图中指示 TRO 值在 1.5~2.5ppm 间正常，TRO 检测仪大约 1 分钟取样检测一次，反冲洗每 8 分钟自动反冲洗。



压载作业工作图 6

3.2 排水作业时

按下 Deballast，HAV2 阀门打开，“Deballast”指示灯亮，管路示意及各单元通信正常无报警，中和单元注药泵运行。然后开启压载泵并确认信号，检测 TRO 单元、气动泵、电磁阀正常工作，取样是否满管等。当图中上方指示表中 TRO<0.1 ppm 为合格。若 TRO1<0.1 ppm，中和停止注药；若 TRO1>0.1ppm，中和持续注药，TRO1>0.1 且维持 4 分钟，则切换至 TRO2 取样检测；若 TRO2 取样<0.1 则卸载正常，若 TRO2>0.1 持续 4 分钟，超时报警出现。

卸载结束后，先停压载泵，显示没流量后按下 Deballast，结束本次卸载作业，HAV2 阀门关闭，“Deballast”指示灯灭。

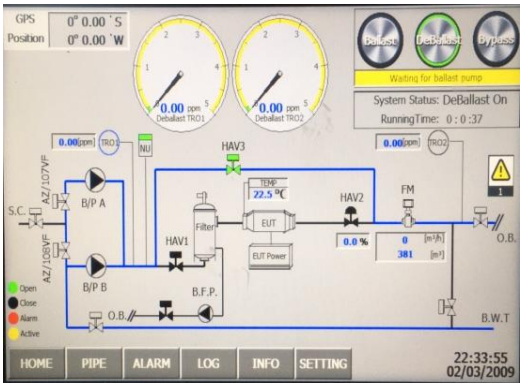


图 7 排水作业流程图

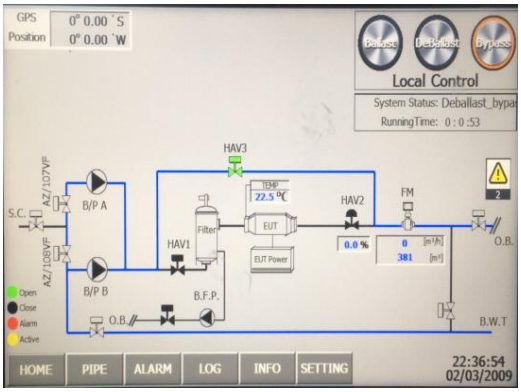


图 8 旁通作业流程图

3.3 旁通作业

根据实际情况选择“Ballast bypass”或“Deballast bypass”，HAV2 阀门打开且旁通报警，“Bypass”指示灯亮。然后开启压载泵并确认信号，流量计记录流量检查 log 记录等。

待本次旁通压载或卸载结束后，先停压载泵，显示没流量后按下 Bypass，点摸“Sure”结束本次卸载，HAV2 阀门关闭，“Bypass”指示灯灭。

需要注意的是，本套处理及检测单元系统即使被停止使用，但压载水系统被使用时的相关参数如排放船位信息，排放量等均会被记录，防止不合规的水被意外排放。

4 TRO 检测单元药品的安装及调试

加入新药品前，应检查检测仪是否正常，并确认取样水的气动隔膜泵气源是否正常，设置气压为 0.3-0.4bar。然后用针管抽取 10ml 去离子水（若无去离子水，可用纯净水代替），分别缓慢注入缓冲剂和指示剂软管中（各 5ml）。然后再用针管抽取 10ml 空气，分别缓慢注入缓冲剂和指示剂软管中（各 5ml）。以上两步顺利操作完毕，则说明药剂管路通畅，并完成对管路的清洗。

打开药剂盒，取出一瓶 125 毫升指示剂及一瓶棕色小瓶子后，盖上盒盖。打开 125 毫升的指示剂瓶盖及含 DPD 棕色瓶瓶盖，将棕色瓶内的 DPD 粉末倒入指示剂瓶并注满水（去离子水）后上盖盖紧，摇动指示剂直到 DPD 完全溶解，这约需要 60 秒时间，放入散热器中。500 毫升的缓冲剂注满水后可以直接使用。按下“PRIME”按键，再按回车键后，TRO 泵开始将药剂注入仪器中，确认药剂充满软管，则药剂安装完毕。

TRO 装置由于内部包含多种化学药品及管路，药品每年即需更换，部分药品 3 个月即需更换。长期停用的装置除了需要检查药品是否过期外还需要检查各取样管是否堵塞及老化等引起的密封不良。

5 常见故障解析

5.1 滤器堵塞

HMT-W 系列过滤器主要功能可去除水中泥沙、粘土、铁锈、悬浮物、藻类、生物粘泥、腐蚀产物、大分子细菌、大分子有机物及其它微小颗粒等杂质，达到水质净化的目的。

滤器的自动反清洗压差启动值和高压差报警值由厂家预先设定，通常情况下设定值分别为 0.3bar 和 1.5bar，当过滤器进出口压差值达到 0.3bar 时，系统开始自动清洗。本滤器为 50μM 的不锈钢材料细滤器，但由于长时间未使用或滤器中未充满清水保养导致微生物滋长引起的滤器堵塞。故针对长期未使用此系统船舶应注意滤器的清洁和保养，使用完毕使用淡水冲洗并保持满水状态。

5.2 管路阀门开启不当

本系统设置有少量的手动阀门及若干气动控制阀门，开启系统前应确保系统的气源正常开启并保持压力足够，需检查自动阀门的开度是否正常。同时压载泵出口一般设置有单向阀，当无其它异常时流量不足时须考虑单向阀的开度不足问题！部分船舶曾发生过由于单向阀问题导致系统流量一直不达标的故障，拆除后流量即可恢复正常。分析原因为设备管路设计走向及安装时可能的管阻增大导致阀板背部形成的涡流效应引起的单向阀开度不足引起的。

5.3 TRO 故障报警

5.3.1 TRO 通信报警

控制单元上显示“TRO Pressure Abnormal”报警多为监测单元保压失败报警，显示监测单元控制箱的压差不在正常范围内，（正常范围为：100~1500mbar）大多数是密封条不严漏气或压缩空气压力不足等原因引起防爆监测单元内气压低于最小值 100mbar。此设计的作用为：由于 TRO 装置内部存在电子元件，针对油轮泵房设备的防爆要求而使用压缩空气保持控制箱内正压状态，防止可燃气体进入的安保功能，控制箱上有压力开关可以设置和调节。同时由于使用过程中一直有水流通过，箱内还设置有防浸水探头，防止箱内积水引起短路故障。

5.3.2 TRO 值超标报警

在压载模式时，控制单元自动与 EUT 电源、TRO 通信，控制两者工作，监测单元内部 NO.1 电磁阀、NO.4 电磁阀打开，气动隔膜泵、盐度计通电运行，管道内部水通过后流量计有数值检测仪通电测试，等待 1-2 分钟 TRO 完成一个循环操作后，TRO 将显示一个数值，同时控制单元触摸屏上也相应显示，正常情况下 5 分钟之内 TRO 值会到达标准 1.5ppm-2.5ppm 之间。

卸载模式下 TRO 值低于 0.1ppm 中和单元不运行，中和前若取样值高于 0.1ppm，监测单元关闭 NO.2 电磁阀，切换 NO.3 电磁阀取样中和后是否达标，高于 0.1ppm 报警提示 TRO 值调节超时。

5.4 盐度不足引起的 EUT 单元故障

本装置设计的理念为催化电解海水产生次氯酸等消毒成分，但船舶实际运营中可能会遇到在内河或淡水区域使用的场景。由于淡水的导电性能差，导致 EUT 单元无法正常使用！比如，此系统除了针对压载舱排放外还单独设置了机舱艉尖舱压载水的排放，大部分船舶利用艉尖舱装淡水作为部分压载和应急淡水使用，如果正常排放时 EUT 单元不能正常使用，厂家安排的解决办法是在水舱内加入化学药品增强其导电性。

6 结束语

目前压载水处理系统正逐步在船舶普及应用中，新系统的使用体现的是新的理念的应用，新事物的产生衍生出了新设备的管理。理解了设备的设计及使用原理，接受了环保新理念的内涵，就可以在保障船舶运营安全的同时，保护了健康绿色的海洋环境。

参考文献

海洋卫士 ™BWMS 说明书

作者简介：

邹炳(1983-)，男，轮机长，中远海运能源运输有限公司广州中心
电话：13631325486，E-mail:253126578@qq.com。
周建伟(1974-08-07)，男，船长，中远海运能源运输有限公司广州中心
电话：13660093386，E-mail:crew88@126.com。
通信地址：广州市海珠区滨江中路308号20楼

避免商渔碰撞之安全航行建议

梁创亮

中远海运特种运输股份有限公司

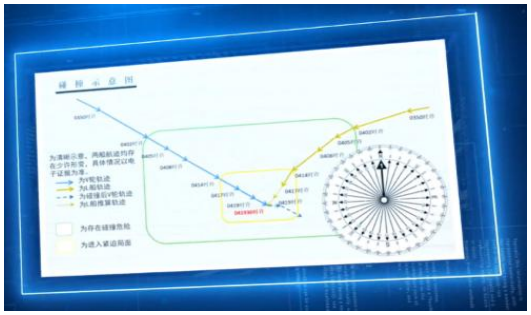
摘要：我国沿海水域交通复杂，商船习惯航路与渔区频繁交叉重叠，导致商渔船碰撞事故多发，造成了严重的人员伤亡和财产损失。本文通过近几年商渔碰撞的案例，对商渔船碰撞事故中所暴露出的典型不安全行为进行分析，旨在通过这种分析进一步提升商渔船双方对于航行中不安全行为的认识，进而对可能存在的危险予以充分的预判与戒备，最大程度地减少航行中紧迫局面的形成，避免碰撞事故的发生。

关键词：事故案例；商渔碰撞；不安全行为；航行建议

1.事故案例分析

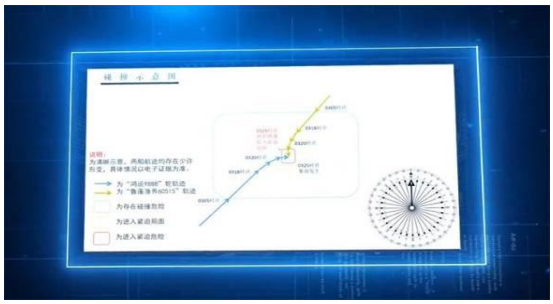
1.1 案例一：“VOKARIA”与“辽普渔 25097”碰撞事故。

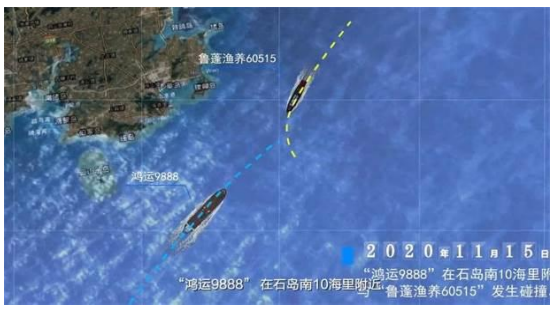
2020 年 9 月 18 日“辽普渔 25097”穿越老铁山水道时，与外轮“VOKARIA”发生碰撞，导致“辽普渔 25097”迅速沉没，渔船上十人全部失踪。调查发现，当时能见度良好，但相距 1.8 海里时，两船仍未发现对方。中外两船均未能按照《规则》要求保持正规瞭望，发生碰撞危险时，“辽普渔 25097”作为让路船未按《规则》要求采取避让行动，紧迫危险时错误的大幅左转是发生碰撞的直接原因，违反避碰规则有关要求，应承担主要责任，“VOKARIA”应承担次要责任（航行轨迹如下图）。



1.2 案例二：“鸿运 9888”与“鲁鹏渔养 60515”碰撞事故。

2020 年 11 月 15 日 0325 时，“鸿运 9888”在石头南石海里附近与“鲁鹏渔养 60515”发生碰撞。导致渔船翻扣，船上五人全部落水，其中四人死亡，一人失踪。调查发现，本起事故是由于商渔船双方在能见度良好的开阔海域相互驶近致有构成碰撞危险时，均未能按照《规则》要求保持正规了望，未采取安全航速，未对碰撞危险作出充分的估计和判断并及早、大幅度采取有效的避让措施；碰撞前两船属对于局面，但“鲁鹏渔养 60515”未按要求右转，“鸿运 9888”初始小幅度右转避让被“鲁鹏渔养 60515”错误小幅左转抵消效果，后来在相距近 200 米时，“鲁鹏渔养 60515”又错误大幅左转，再次抵消对方右转避让效果，导致两船快速陷入紧迫危险，进而导致事故发生。

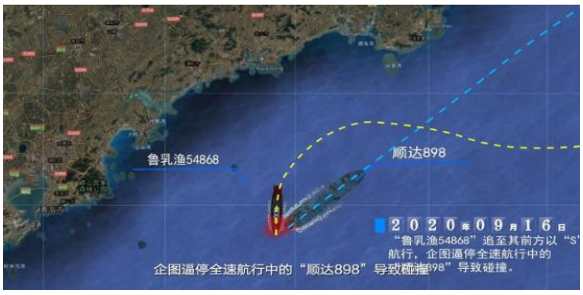




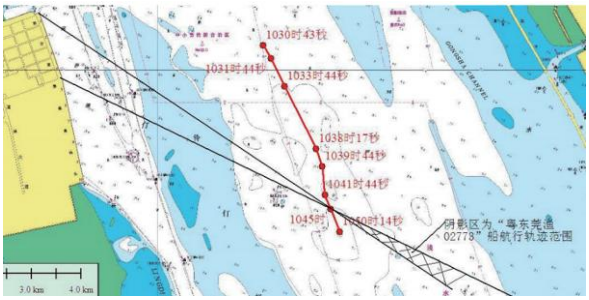
1.3 案例三：“顺达 898”与“鲁乳渔 54868”碰撞。

2020 年 9 月 16 日，“鲁乳渔 54868”因怀疑“顺达 898”碰撞其渔网，追至其前方，以 S 型航行，企图逼停全速航行中的“顺达 898”，导致碰撞，造成“鲁乳渔 54868”沉没，两人死亡，一人失踪。调查发现，“顺达 898”未持有船舶营运证书，船员未持有相关有效证件，超载随意抛货入海，“鲁乳渔 54868”

未按照规定配备船舶三级轮机长均属违反营运、环保、航行安全等规章制度。“鲁乳渔 54868”不顾自身及他船安全，故意操纵船舶逼近并拦截全速航行船舶，而“顺达 898”故意关闭 AIS 设备，均属违法违规，涉嫌刑事犯罪。



1.4 案例四：2014 年 8 月 6 日“粤东莞渔 X”盲目抢过商船船头，最终没有驶过，发生碰撞事故，造成 2 人落水死亡。



1.5 案例五：2022 年 12 月 22 日，J 轮第 61 航次在从岚山开往天津港的途中，在山东石岛附近水域与“LRSY61027”发生碰撞事故，导致渔船沉没，渔船船员 5 人遇难，6 人失踪。构成责任性重大海上交通事故。调查发现，J 轮轮作为让轮船，没有履行让轮责任，造成碰撞。

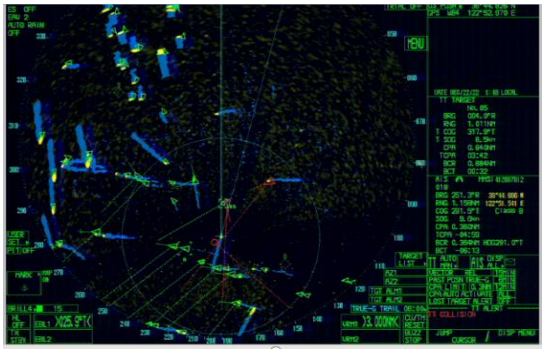
事故经过如下：

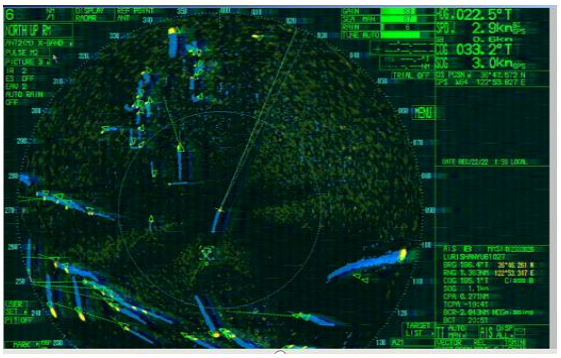
0137 时（碰撞前 13 分钟），船位：LAT36-44.33N;LONG122-52.68E, HDG=20〇，SPD=10.5KN，J 轮驶过让清一队自东向西航行的渔船群后，海面变得比较清爽，影响本船共 2 艘渔船，“不知船名渔船”在本船艏约 2 海里处，二副陈述称该渔船与本船形成对遇局面；“LRSY61027”，在本船右舷约 30〇，距离约 3 海里，正向偏西方向航行，ARPA 雷达显示其航行尾迹清晰，但其运动参数在 VDR 中尚没显示，与本船形成交叉相遇局面，两船与本船均存在碰撞危险。

0139 时，J 轮向左转向改驶 HDG=10〇，保持主机转速不变，原位于艏正前方的“不知名渔船”，位于本船首偏右舷约 10〇，J 轮与两渔船的碰撞危险没有解除。0141-0146 时，J 轮保向、保速航行(二副陈述称本船操纵能力受限)，期间以 DCPA=0.143NM 右舷驶过“不知名渔船”。

0148 时，J 轮 HDG=009.1〇，SPD=9.9KN；渔船“LRSY61027”COG=286.7〇，SOG=10.3KN；RNG=0.35NM，BRG=038.4〇（R）；DCPA=0.08NM，TCPA=1.5MIN，紧迫局面形成，值班二副 VHF 呼叫渔船“LRSY61027”无应答。

0149 时，J 轮 HDG=010.1〇，SPD=10.1KN；渔船“LRSY61027”COG=296.9〇，SOG=9.3KN；RNG=0.16NM，BRG=024.8〇(R)；DCPA=0.07NM，TCPA=0.75MIN,紧迫危险形成，值班二副 VHF 呼叫“LRSY61027”你想干什么？”但无应答；二副通知机舱备车做好应急操车准备，并将转速降至 106RPM。





0150 时，“LRSY61027”从本船右舷进入艏部盲区，二副令值班水手改手操舵，打电话叫船长，但电话没接通，值班水手立即冲到船长房间报告船长，返回驾驶台后没有执行转手操舵指令，继续使用自动舵航行，值班二副也没下达转向指令。

01501/3 时，J 轮球鼻艏与渔船发生碰撞，船位：LAT36-46.575N;LONG122-53.500E，本船 HDG=011〇，SPD=8.5KN，渔船 COG=304〇，SOG=9.7KN，碰撞角约 113〇；碰撞后渔船速度快速下降至 SOG=1.1KN，COG=195〇。

从始至终，J 轮驾驶员都未能按照《规则》要求保持正规瞭望，未采取安全航速，未对碰撞危险作出充分的估计和判断并及早、大

幅度采取有效的避让措施；另外调查得知二副是直派二副干驾驶员时间短，沿海捕鱼期航行资历几乎无，值班水手只有几天海龄，驾驶员资历短，对《规则》相关规定不了解也为事故的发生埋下了伏笔。

2 通过类似商渔碰撞事故的案例分析，得出碰撞事故中一些典型的不安全行为

2.1 疏忽瞭望，商渔船碰撞事故中往往由于商渔船疏忽瞭望，未能发现碰撞危险，未及时采取有效措施而发生碰撞，甚至商船不知道发生了碰撞。

2.2 没有遵守《规则》所要求的安全航速的适用及用车避让，在适合当时环境和情况的距离以内把船停住。

2.3 在商渔船相互驶近的过程中，事故双方往往不能对当时的局面和碰撞危险作出充分的估计，并及时正确地判明碰撞危险，以至于未能及时采取最有助于避碰的措施。

2.4 驾驶员不清楚会遇局面及避让关系，《1972 年国际海上避碰规则》对船舶之间的让路关系做了明确和要求，但很多船员未能很好地理解和遵循规则、规定，不清楚船舶的会遇局面及彼此的避让关系。让路船未“早、大、宽、清”避让直航船；直航船未保速保向，紧迫危险局面时，直航船也未采取最有助于避碰的行动；特别是渔船驾驶员。

2.5 渔船未正确判断碰撞危险，抢过船头由于商船，特别是干舷较高的商船存在较大的驾驶盲区，若渔船未正确判断碰撞危险，盲目抢过商船船首，特别是进入商船驾驶盲区后，商船不清楚渔船的动态及位置，难以靠转向来避让。

2.6 商渔船沟通不畅。商船和渔船的通讯无法联系，难以进行及时有效的沟通。并根据《规则》的要求使用声光信号提醒和表明本船的避让意图。事故中单方面使用例如激光笔照射、VHF 呼叫的方式往往另一方并没有回应。

2.7 商船驾驶员在航行中往往过度依赖于电子设备而忽视了视觉了望的重要性，此种情况在夜间及能见度不良的情况下更甚。

2.8 在商渔船双方形成碰撞危险后，商船在避让的初期往往采用小角度自动舵的方式进行避让。

2.9 在商渔船进入紧迫局面进而陷入紧迫危险的过程中，商船驾驶员对于渔船可能采取的有悖于《规则》的行动预判不足；对渔船突然的护网行为，防范意识不足。

2.10 事故中的渔船往往未配备符合海洋渔业船舶职务船员最低配员标准要求的船员，实际驾驶船舶的人员往往对《规则》不熟悉、不了解，无法根据《规则》预判商船所要采取的下一步避碰行动。近几年商船的驾驶员素质也在降低。

2.11 在与商船接近到紧迫局面乃至紧迫危险时，渔船往往出于本能错误地采用与《规则》相悖的左转向措施进行避让，导致与商船快速陷入紧迫危险，进而发生碰撞。

3 安全航行建议

3.1 进入渔船密集区水域之前

1) 船长应严格审核计划航线，考虑传统渔区相关因素，尽量使用推荐公共航路合理制定航线，尽可能避开渔船集中作业水域，避免穿越渔区，减少与渔船相遇的机会。
2) 对雷达、电子海图、AIS、VDR、VHF、航行灯和声号等设备进行检查和测试，确保正常可用。
3) 合理安排驾驶台航行值班人员，任何时候驾驶台应保持至少 2 名航行值班和瞭望人员。
4) 通过不同途径获取航线附近的渔区信息，在驾驶台显著位置标识渔区航行安全注意事项及相应行动对策。

3.2 经过或邻近渔船密集区水域期间

1) 驾驶人员谨记：安全第一、宁可绕行、不要冒险！尽可能避免冒险进入渔船密集区域航行！

2) 合理安排值班人员，根据周围渔船密集程度和航行值班强度增加必要的航行值班人员，必要时应毫不犹豫立即呼叫船长上驾驶台指挥。
3) 船长应针对夜间渔区航行的特殊戒备要求制定和发布夜航命令。
4) 航行值班人员应加强瞭望，开启多台雷达工作，加强远近距离配合观测。勿过度依赖单一助航设备，每一船舶均应经常用视觉、听觉以及适合当时环境和情况下一切有效的手段保持正规瞭望。
5) 使用安全航速航行。
6) 确保 AIS 信息正确且工作正常。
7) 保持值班人员良好的身体、精神状态，杜绝疲劳驾驶、酒后驾驶。

3.3 注意事项

1) 每年伏季休渔结束后，是中国沿海渔船活动密度最高时段。
2) 夜间 23 时至次日凌晨 4 时是商渔船碰撞事故高发时段，应予以特别关注。
3) 应特别注意部分夜间锚泊渔船可能未按要求值班、显示号灯和开启 AIS。还要特别注意大量渔网网位仪对 AIS、雷达回波和电子海图的使用干扰。
4) 若观测到渔船船速在 3 节左右时，可以判断通常该渔船正在捕鱼作业中，操作能力受限，需要及早协调避让,最好保持 1 海里以上距离通过。
5) 商船与渔船即使发生轻微擦碰也可能造成渔船受损或翻沉，并且商船上的人员可能不容易察觉。因此，当近距离驶过渔船时，应仔细观察，确保未发生擦碰、浪损或船吸。
6) 建议从南海南部海域前往日本或韩国港口、不停靠中国大陆沿海港口的船舶从台湾岛东侧海域航行，并尽量远离中国大陆沿海水域。

4 避让行动

4.1 应遵守避碰规则，避让时坚持“早、大、宽、清”。尝试提前通过 VHF16 频道呼叫渔船，协调避让行动。若数次呼叫尝试无应答，可能意味着该渔船 VHF 未在守听状态。沟通时要充分考虑口音、语言表达等方面的局限，确保双方互相清楚对方意图。

4.2 警惕渔船不按照避碰规则作出相应行动，甚至违背规则做出不协调行动而发生碰撞。发现需紧急避让的渔船，可用探照灯闪烁至少 5 次，或用连续声号引起渔船注意。

4.3 如果形势需要，果断“用车避让”确保能在适合当时环境和情况的距离把船停住，以避免碰撞

4.4 避让行动要充分考虑周围环境，以免造成与其他船舶的紧迫局面。

4.5 避让渔船所采取的行动，要以与渔船在安全的距离驶过为准，核查行动的有效性。

5 结语

文中所提案例一、案例二、案例三出自山东海事局《2021 年山东沿海防范商渔船碰撞警示教育片》。在航运业日益发展的今天，商船与渔船间的碰撞事故发生频繁，这与渔船驾驶员不懂《国际海上避碰规则》，整体素质不高，工作环境艰苦，安全意识淡薄，商船驾驶员素质下降等因素是分不开的，因此，为改善海上营运环境，减少商船与渔船间的碰撞事故，避让双方均应特别重视其中的人为因素，积极提高驾驶员素养，按照《规则》积极主动采取行动，特别谨慎驾驶，确保安全！

参考文献：

[1] 吕镇洋.珠江口水域商渔船碰撞事故原因知多少.中国海事 2016，（12）
[2] 《中国沿海航行船舶防范商渔船 碰撞安全指引》

作者介绍：梁创亮（1978-），男，船长，中远海运特种运输股份有限公司
电子邮箱：673265883@qq.com 联系电话：13543212225

西部陆海新通道建设视阈下北部湾港口与腹地物流协同发展研究

陈长英

（广西交通职业技术学院 广西 南宁 530023）

摘要：西部陆海新通道有机衔接“一带一路”，是支撑西部地区参与国际经济合作、促进交通物流经济深度融合的陆海联动战略通道。广西北部湾港是西部陆海新通道的主通道的关键节点，是新通道主要出海口枢纽港。北部湾港与腹地物流有着很强的相关性，需要协同发展。广西在西部陆海新通道的建设过程中还面临着一些诸如与腹地物流协同发展机制不够完善、基础设施有待改进、协同管理水平不高等问题，但随着西部陆海新通道建设步伐越来越快，广西从往日的交通末梢也转变为今日的开放前沿，广西应抓住西部陆海新通道建设的战略机遇，加快北部湾港以及平路运河的建设，完善协同机制、加快基础设施建设、提高协同管理水平，从而更好地支撑西部陆海新通道的建设，发挥主通道关键节点的作用。

关键词：西部陆海新通道；北部湾港；腹地物流；协同发展

0 引言

2021年4月习近平总书记视察广西时指出，“要主动对接长江经济带发展、粤港澳大湾区建设等国家重大战略，融入共建‘一带一路’，高水平共建西部陆海新通道，大力发展向海经济。”西部陆海新通道是西部地区参与国际经济合作的陆海联动战略通道，有机衔接了“一带一路”建设，能够促进西部在交通物流经济方面的深度融合。西部陆海新通道通过水运、铁路、公路、航空等多种运输方式，把西部省区及海南的各个枢纽站点串联起来，构筑了西部陆海新通道沿线地区互通互联的立体综合交通运输网络，促进了沿线的省际合作和沟通协调。西部陆海新通道建设有助于建立系统性物流网络，便于开展“物流+贸易+产业”项目，利于西部地区间的深度经济融合及参与国际贸易往来。

广西应利用高水平共建西部陆海新通道的契机，建设好北部湾国际门户港，积极发展临港（临海）产业等通道产业。新冠疫情三年，国内国际的物流受到较大影响，国内物流业周转及派送压力大，国际物流运输变得举步维艰。因此，西部陆海新通道需强化物流发展质量效率及运输能力，促进西部区域交通、物流、商贸的深度融合与再提升，深化国际经济贸易的合作。面对西部陆海新通道建设的重大战略机遇和全球疫情困难，广西及北部湾港口需加快推进西部陆海新通道建设，不断扩大开放，加强与沿线各方物流协同发展。

1 北部湾港与腹地物流协同发展现状

广西北部湾港是西部陆海新通道的出海口，由北海港、钦州港和防城港整合而来，2011年统一使用北部湾港。

2021年，北部湾港集团推进西部陆海新通道、北部湾国际门户港等49个重大基建项目，完成投资110.4亿元。其中，钦州港30万吨级油码头试运营并成为北部湾港靠泊吨位最高的泊位，钦州港东航道扩建等一批重点工程顺利投产；钦州铁路集装箱中心站港口作业区6台远程自动化门吊投入使用，率先成为全国铁路系统首家实现远程自动化装卸作业的铁路集装箱智能智慧化专业场站。

2022年，北部湾港集装箱吞吐量完成702.08万标箱，同比增长16.78%。其中，钦州港集装箱吞吐量完成541万标箱、增长16.9%。

截至2021年底，西部陆海新通道班列联通13省47市91个站点，累计开行14282列，累计发运量超70万标箱。2022年，西部陆海新通道海铁联运班列开行量突破8800列。

西部陆海新通道海铁联运的运输规模不高。2017年，广西北部湾国际港务集团与重庆等陆海新通道沿线省份合资在重庆组建了陆海新通道运营公司。2022年1月20日，四川省港航投资集团有限公司与中国铁路成都局集团有限公司、广西北部湾国际港务集团有限公司联合成立四川省陆海新通道发展有限公司。两大运营平台为北部湾建立了比较稳固的货源腹地，加密川渝地区至北部湾港等铁海联运班列开行频次，推进完善西部陆海新通道沿线节点设施布局，促进北部湾与腹地物流的协同发展。

2 北部湾港口与腹地物流协同发展存在不足分析

自西部陆海新通道建设以来，广西出台了一系列推进北部湾港口与腹地物流协同发展的措施，但由于腹地各省区经济发展不平衡、产业格局趋于相同、物流系统建设机制和协调机制不健全，阻碍了北部湾港口与腹地物流的协同发展。加之，北部湾港口基础薄弱、历史欠账等原因，北部湾港口物流协同发展存在

不足。

2.1 北部湾港口工业基础薄弱，产业布局不尽合理

港口基础设施比较落后，口岸配套设施不完善，经营、港口信息化管理水平低，港口与公路、铁路及机场之间缺少衔接，造成运输效率低，未能发挥综合交通的整体效益。此外，广西产业格局不尽合理，经济的市场化程度相对较低，现代工业基础欠发达，主导产业更多集中于农林牧渔业、矿产资源开采加工业等传统领域，使得“西部陆海新通道”沿线省份总的外贸能力和物流能力发展不足，一定程度上制约了北部湾港口与腹地物流协同发展、纵深发展。

2.2 北部湾港与腹地物流基础设施建设相对滞后

北部湾港口包括钦州港、北海港、防城港，相对国内其他港口，建港时间较晚。港口集疏能力有限。海运和班列转运货源少，上下行班列运行不对称，物流服务能力不足。目前，北部湾港码头规模较小、深水泊位数量不足，码头仓储、堆场面积不能满足运输需求，港口布局欠完善。而且，北部湾港口不通内河航运，货物只能经公路、铁路转运到港口，运输成本高。因此，有些货物经西江水运，直达广东港口出口。广西贸易商圈流传的一句话：“广西货不走广西港”，道出了北部湾港口与腹地物流协同发展的尴尬[1]。

西部陆海新通道上的澜沧江－湄公河航运基础设施十分薄弱，航道等级低，有众多滩险未经治理，国际航运通航里程短，其主要通航河段是中国思茅港至老挝琅勃拉邦的 890 千米，老挝琅勃拉邦以下至出海口的航道无系统整治，基本上处于断航状态.

铁路基础设施落后也是当前西部陆海新通道建设存在的突出问题。南宁至昆明、南宁至防城、钦州至北海等铁路线均为单线，运力较小，不能满足新通道的货运需求。中老铁路于 2021 年 12 月 3 日全线通车，日行班列 12 列，但国际冷链货运班列少，未与泰国、马来西亚等国铁路连通，中老铁路未与柬埔寨连通。

2.3 北部湾港口与腹地物流管理机制不够完善

北部湾港口与腹地物流协调管理机制不完善。“港一腹”系统形成和运行的根本动力在于各子系统的经济利益目标趋同，利益是合作的基础也是冲突的根源[2]。西部陆海新通道沿线省份考虑本省利益，省份之间缺乏合作，协调机制尚未形成，利益共享和补偿机制尚未建立。北部湾港口与腹地物流管理需要建立健全一个由政府主导、多方参与且相对固定和权威的跨区域协调平台和机制，以解决北部湾港口与腹地物流管理过程中需要解决的事项。

2.4 北部湾港口与腹地物流信息管理模式存在弊端

现代综合物流运输需要信息化的管理与服务，但北部湾港口与腹地物流行业的物流信息的流通、共享、管理，尚未形成比较健全的物流合作信息管理机制，物流单据信息化程度低，查验管理部门、海关、检验检疫局、运输部门等相关部门之间数据没有实现共享，各部门之间业务要求和数据标准不协调，物流运输企业不能享受到信息化管理带来的通关便利。

2.5 北部湾港口与腹地物流专业化人才短缺

广西物流相关人才的培养环节实践性缺乏，满足不了现代物流专业化发展对人才的需求。虽然广西大学、广西财经学院、广西交通职业技术学院等高校设立有物流管理专业，但这些专业的学生仅有单纯的理论知识，缺乏研究所和产业园的实践环节；在物流职业技术人才的培育上，缺乏从管理到技术人才培养的系统性。

3 北部湾港口与腹地物流协同发展的对策建议

3.1 加强北部湾港口工业基础建设，优化产业布局。

广西应积极发展北部湾港口工业基础，充分利用北部湾港口临海、面向东盟的优势，加快推动自治区工业南移北部湾区，通过工业企业南移，形成新的广西工业基地和新的经济重心，构建符合地方特色、富有竞争力、内联外通的北部湾港口与腹地经济相互依托的工业产业价值链，以支持港口经济发展。因此，在“西部陆海新通道”沿线省区各个重要节点，加快产业园区基础设施建设，推进园区产业集聚，推动工业项目落地，增加通过北部湾港口转运或中转的货物运输量。

同时，积极发掘东盟等“陆海新通道”通达国家物流运输需求，加快北部湾港口临港工业建设和综合物流产业建设，使北部湾港口具备区域国际货物装卸运输中心、信息中心、物流中心的功能，强化对腹地经济吸引和辐射的能力，实现北部湾港口与腹地物流协同发展互利共赢发展。

3.2 强化北部湾港口与腹地物流基础设施建设

加快北部湾港口集装箱码头泊位大型化、专业化、智能化建设，增加集装箱运输服务能力，促进干散货等大宗散货专业化、绿色化运输和冷链运输，持续做好大型化、专业化干散货码头建设，疏浚整治港口航道，改善通航条件。加快平陆运河建设，改变北部湾港口不通内河航运，“广西货不走广西港”的境况。

加强澜沧江一湄公河沿江基础设施建设，在现有的通航与航运基础设施条件下进一步提升通航能力，改造景洪港与动罕、关累港区配套基础设施，加强锚地与港区物流园区建设，提高客货集散能力，推动陆水联运，加快提高地区综合交通运输能力。

加强铁路基础设施建设。加强广西区内铁路线建设，增开中老铁路的国际冷链货运班列，加强中老铁路与泰国、马来西亚等国铁路连通建设。在中老铁路的基础上向柬埔寨打通，使得“中—老—柬”铁路进行陆地直连。

3.3 完善北部湾港口与腹地物流协调机制

健全北部湾港口与腹地物流协同发展协调机制，西部陆海新通道沿线省（区、市）政府、物流运输企业，立足实际，建立协调机制[3]，在体制、运营组织模式、利益协调机制等方面制定协同发展政策，编制西部陆海新通道物流发展规划、北部湾港口与腹地物流协同发展专项规划。

3.4 创新北部湾港口与腹地物流信息管理模式

创新北部湾港口与腹地物流协同管理方式，优化物流业运营环境，搭建海铁联运平台并引入国际航运、港口码头运营、国际货代等公司参与通道运营，培育适应北部湾港口与腹地物流协同发展的多式联运专业化运营主体，提升管理水平和资源掌控水平。坚持深化“放管服”改革，充分利用大数据和信息化手段，加强事中事后监管，加快构建统一高效、多元共治的管理模式，营造公平竞争的物流行业市场环境。

重视北部湾港口与腹地物流信息技术平台，做大做强“互联网+”“大数据+”，利用现代信息技术，构建北部湾港口与腹地物流协同发展物流信息平台，将北部湾港口与腹地联系的物流园区、物流基地和产业基地的信息平台进行贯通，最大程度实现北部湾港口与腹地物流信息的对接和信息共享，从而提高北部湾港口与腹地物流效率和降低通道物流成本。

3.5 加强物流人才培养

现代物流产业是物流资源产业化而形成的一种复合型产业，需要的人才是包括熟悉国际贸易、物流管理、信息技术、电子政务、通晓国际规则的专业素质应用型人才。自治区应结合西部陆海新通道建设的高要求、产业本身的高要求，进行人才的培养和引进。侧重培养港口物流管理、港口与航运管理等方面应用型人才，有针对性地引进具有丰富物流管理经验的高层、强创新能力的物流产业科研带头人。

4 结束语

北部湾港是西部陆海新通道的主通道的关键节点，是新通道主要出海口枢纽港。北部湾港与腹地物流需要协同发展。广西应抓住西部陆海新通道建设的战略机遇，加快北部湾港以及平路运河的建设，完善协同机制、加快基础设施建设、提高协同管理水平，从而更好地支撑西部陆海新通道的建设，发挥主通道关键节点的作用。

参考文献

[1]王景敏.港口—腹地供应链: 西部陆海新通道建设的题中应有之义[J].供应链管理.2021 年第 2 期

[2]吕国清.服务西部陆海新通道战略的广西北部湾港口物流协同发展研究[J].广西质量监督导报.2020(4):150-151

[3]秦万霞.广西北部湾港口经济发展现状、问题与对策研究 [J].当代经济.2017,(21).：59.

作者简介

陈长英(1975-)，女，硕士，高级经济师，广西交通职业技术学院经济管理学院专任教师，电话：15289662033，E-mail:1059733538@qq.com。

基于事故致因链的北部湾水域商渔船安全避让分析

严丹，韦国栋

（广西交通运输学校，广西 南宁 530007）

摘要：基于北部湾水域的航行情况，根据 6 起商渔船碰撞事故调查报告，分析碰撞原因，总结事故致因因素，给出贝叶斯网络结构图，建立碰撞事故数据库，寻找该水域商渔船碰撞的最可能致因链，为该水域航行船舶提供帮助。

关键词：北部湾；商渔船；碰撞；贝叶斯网络；致因链

0 引言

北部湾位于中国南海的西北部，是中国西南最便捷的出海港湾，东临中国广东雷州半岛和海南岛，北临广西壮族自治区，西临越南，与琼州海峡和中国南海相连，被中越两国陆地与中国海南岛所环抱。海域总面积约 12.8 万平方公里，是南海西北部的一个美丽富饶海湾。船舶进出越南的咽喉要道，年商船通过量在几万艘次以上，整个通航分道及附近区域常年通航密度很大。该水域位于中国南海的西北部，所在海区：北纬 16° 00′ ～17° 30′，东经 108° 00′ ～109° 30′。中国四大渔场之——北部湾渔场，全称西沙西部北部湾口外底拖网渔场，商船习惯航道和渔场交织，航路复杂。北部湾渔场位于广西壮族自治区南部，海南岛西部海域。北部湾海域属于典型的热带海域，这里常年无结冰期，盛产大量的沙丁鱼等经济鱼类。每年的渔获期在四月份到十月份。以上原因共同导致该水域船舶航行困难，商渔船碰撞事故频发。本文根据广西海事局和海南海事局对近几年发生在该水域的几起商渔船碰撞事故的原因分析和责任认定，总结事故致因因素，根据碰撞事故发生机理，形成事故链，分析安全航行对策，为该水域航行船舶提供帮助。

1 北部湾水域商渔船碰撞事故影响因素及贝叶斯网络

1.1 船舶碰撞事故的影响因素

船舶碰撞事故的发生受多种因素的影响，主要分为三类：航行环境、船舶设备和操作人员 人为失误。船舶避碰操纵过程可看作驾驶人员在各种因素影响下的信息感知－判断决策—避碰行动的操作过程[2-3]。在驾驶员这一行为过程中，每一个环节出现失误，都最终可能导致事故的发生。但不同因素在碰撞事故中的影响程度又各不相同。研究证明人为失误是船舶碰撞事故的主要影响因素，对于商渔船碰撞事故也不例外。船舶设备因素主要是指在航行的过程中主机、舵机或通信工具等突然出现故障。这种情况很少，样本事件中也没有一起事故跟此项因素有关。环境因素主要是指通航密度、能见度、风、浪、流等。这些因素无疑会给驾驶员的操作行动带来影响，虽很少成为船舶碰撞的主导因素，但往往会成为人为失误的诱因。基于以上分析，为使研究更有针对性，结合文献 [3] 的研究成果，本文将船舶碰撞事故影响因素分为两大类：航行环境和人为失误。航行环境主要考虑能见距离、白天或者夜间； 操作人员人为失误按照信息感知、判断决策、操纵行动分为 10 类（表 1）。

避让过程	船舶碰撞事故人为失误			
信息感知阶段	了望疏忽	了望人员配备不足	ARPA 雷达使用不当	沟通交流不畅
判断决策阶段	是否有危险判断不当	未遵守良好船艺决策	未遵守避碰规则决策	
避碰行动阶段	未使用安全航速	未及早采取行动	避碰行动不当	

表 1 北部湾渔场及附近水域商渔船碰撞事故人为失误致因

1.2 商渔船碰撞事故样本及原因分析

本文选取了6 起发生在该海域的商渔船碰撞事故（表2），均由相关海事局组织专家负责调查，并最终形成正规的事故调查报告 。

序号	事故船舶	位置	时间	事故损失
1	嘉禾 128轮 桂饮渔 22668	20° 10′.50 N 109° 52′.07 E	2023年3月 17日0557 时	嘉禾128轮沉没 4人死亡，2人失踪
2	鑫田6轮 粤南澳渔 33288	20° 43′.68 N 109° 15′.08 E	2022年6月 16日0419时	鑫田6沉没 无人员伤亡
3	华盛 02轮 琼临渔 01161	19° 59′.41 N 109° 06′.37 E	2021 年 1 月 2日0408 时	琼临渔 01161”轮沉没，1 人死亡
4	越南籍油轮G轮 无名渔船	20° 08′.74 N 109° 49′.34 E	2019年3月 21日0601 时	无名渔船沉没，1 人失 踪，2 人轻微伤
5	新海信XXX轮 桂北渔 xxx轮	21° 04′.30 N 109° 10′.06 E	2019年1月 13日0650时	渔船沉没 无人员伤亡
6	海丰烟台轮 琼临渔 03369	20° 14′.0 N 110° 30′.16 E	2018年1月 23日0403时,	渔船受损进水，2名渔船船员受伤

表 2 北部湾水域商渔船碰撞事故统计

事故 1、2、3、6 均属于在能见度良好的开阔水域互有过失的碰撞事故，适用于避碰规则的任何能见度水域中的相关条款。根据事故调查报告，四起事故均是由于没有使用适合当时环境和情况的一切手段保持正规瞭望（违背规则第5条）。其中事故1、2、3报告中均提到商船没有正确使用雷达，包括量程选择不当和没有做人工标绘或与其相当的系统观察，导致商船没能及早发现渔船及早采取避让行动，并在接近形成紧迫危险时突然发现渔船后采取了不当行动，导致碰撞事故发生。例如事故2中，商船对右前方的渔船先是采取了向左转向的行动企图过渔船船头，发现已不可能又采取了向右转向的措施导致碰撞。以上四起事故， 调查报告中均提到四艘事故商船没有根据当时的能见距离和通航密度使用安全航速，也是造成碰撞事故的主要原因。据调查报告描述，事故6中的商船始终全速（速度10节）行驶，直至两船相距不足0.5海里，才采取了大幅度的左转措施，而渔船亦未减速（速度7节），只在碰撞发生前采取了大角度右转，以致造成事故发生。

事故4、5 发生在船舶夜间互见中，适用于避碰规则的任何能见度及互见中的相关条款。事故4商船为让路船，渔船为直航船。商船由于瞭望疏忽一直没有发现渔船，直至形成紧迫局面突然发现渔船。由于和渔船采取了不协调的行动导致碰撞。渔船直至形成紧迫局面也没有根据规则对直航船的行动提出要求，而是独自采取行动也是造成碰撞事故的重要原因。事故5渔船为让路船，商船为直航船，直至碰撞渔船一直没有采取任何行动。调查报告中提到渔船直至碰撞前一分钟才发现商船，可见渔船基本没有瞭望。商船由于处在直航船位置上一直没有采取行动。原因是商船驾驶员觉得渔船操纵灵活，近一点再采取措施也来得及。两起事故均发生在夜间，驾驶员距离感变差，而渔船较小，物标回波在雷达上很弱或基本看不清。当商船看到渔船的时候已在眼前，匆忙采取措施，最终未能避免碰撞。

1.3 北部湾水域商渔船碰撞事故的贝叶斯网络

贝叶斯网络是一个有向无环图，由代表变量节点及连接这些节点的有向边构成。节点代表随机变量，节点间的有向边代表了节点间的相互关系(由父节点指向其子节点)。利用贝叶斯网络可直观描述碰撞事故的发生过程，形成条条事故链。基于上述事故调查结果分析，构建每一起事故的贝叶斯网络结构图，将6起碰撞事故样本的网络结构图整合成一个综合事故致因网络（图 1）。

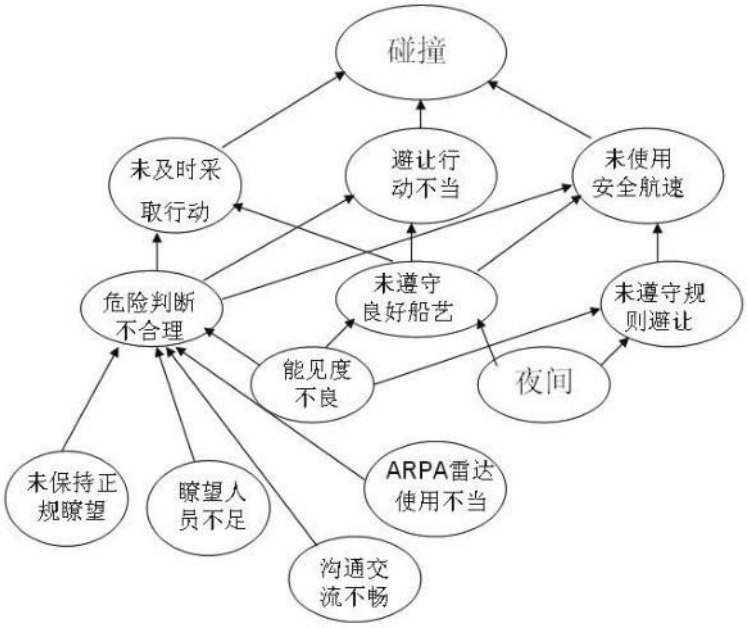


图 1 北部湾水域商渔船碰撞事故贝叶斯网络结构图

2 北部湾水域商渔船避碰事故最可能致因链

2.1 商渔船碰撞事故致因数据库

综合分析6起商渔船的碰撞事故，构建贝叶斯事故网络，发现事故链呈现多样性，但其中有些影响因素又呈现共性。在样本事件中无论商船还是渔船在事故形成过程中都存在不同程度的过失。为了更清晰地挖掘每起事故的致因因素，基于6起样本事件的事故调查报告建立数据库，呈现事故发生的路径关系（表3)。事故形成过程中各因素以0和1的形式存储到数据库中。在某事故中受某因素影响记为1，不受某因素影响记为 0（事故调查报告结论中未提及的因素记为0）

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
ID	Accident	P.V	night	I1	I2	I3	I4	I5	D1	D2	D3	M1	M2	M3
1	嘉禾 128 轮	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1
	桂饮渔 22668	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1
2	鑫田6轮	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
	粤南澳渔 33288	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1
3	华盛 02 轮	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1
	琼 临 渔 01161	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1
4	越南籍油轮G轮	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1
	无名渔船	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1
5	新海信 XXX轮	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1
	桂北渔 xxx轮	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1
6	海丰烟台轮	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0
	琼临渔 03369	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0

（表格说明:P.V能见度不良，night:夜间，I1:未使用一切手段瞭望,I2:瞭望疏忽，I3:瞭望人员配备不足，I4:ARPA雷达使用不当，I5:交流沟通不当，D1:危险判断不合理，D2:未遵守良好船艺决策，D3:未遵守避碰规则决策，M1:未及早采取行动,M2:未使用安全航速,M3:避碰行动不当。）

表 3 北部湾水域商渔船碰撞致因数据库

2.2 北部湾渔场及附近水域商渔船碰撞最可能事故致因链

通过数据库的建立，综合分析6起商渔船碰撞事故影响因素，能见度不良（P.V）和夜间（night）是导致事故的最可能环境因素，6起事故中有5起是发生在能见度不良或夜间），瞭望疏忽（I2）、交流沟通不当（I5）是驾驶员或者船长在信息感知阶最可能致因因素，危险判断不合理（D1）、未遵守避碰规则决策（D3）是判断决策阶段最可能因素，避碰行动阶段未及早采取行动（M1）、未使用安全航速（M2）、避碰行动不当（M3）均是造成事故的最可能因素。 结合事故致因网络结构，北部湾渔场及附近水域商渔船碰撞最可能事故致因链，如图 2 所示

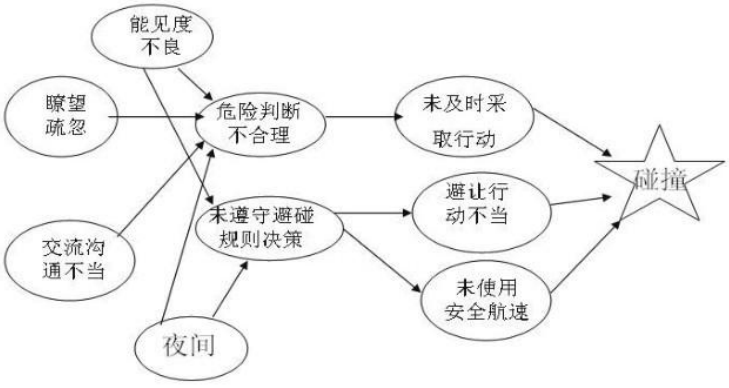


图 2 北部湾渔场及附近水域商渔船碰撞事故最能致因链

3 建议与意见

北部湾水域由于其特殊的地理位置和气象条件，一直是船舶碰撞事故的高发区，尤其近 两三年商渔船碰撞事故频繁发生。应用贝叶斯网络结构和事故致因链分析导致船舶碰撞事故的形成过程，可为在该水域航行的船舶安全避让在理论上提供一种方法和思路即：

3.1 商船

（1）商船在北部湾水域航行时，应及时收听广西北部湾VTS的CH09、CH10和安全频道CH16上播发的安全提醒信息。

（2）注意使用安全航速航行，对渔船尽可能采取早让、宽让，严格遵守“早、大、宽、清”的避碰规则要求。

（3）在夜间和能见度不良时，要充分利用雷达、AIS、电子海图等一切手段加强瞭望，充分评估本船雷达对渔船等小型物标的探测能力，避免错误判断局面。

（4）在进入渔区航行时，应通过公司、代理提前了解渔船作业情况，科学制定计划航线，提醒值班驾驶人员加强关注，及早制定避让方案，避免发生碰撞事故。

（5）商船应熟悉休渔期的开始时间与结束时间，针对渔区和渔船的特点，采取相应的对策，应当尽可能了解渔汛潮汐、潮流的情况和渔船捕鱼的方式，掌握渔船捕鱼的交通流向。

3.2 渔船

（1）渔船在出海航行、作业期间，特别是夜间航行、锚泊期间应保证驾驶台始终有适任船员保持正规瞭望。

（2）渔船应保持如GPS、AIS或北斗卫星导航系统始终开启并正确使用，保持在甚高频16频道连续守听。对动态不明的来船主动沟通、呼叫，适时采取主动避让措施。

（3）渔船应充分考虑到商船航速较快，船首盲区较大的特点，避免抢越商船船首，避免从商船船艏盲区通过。

（4）正确显示号灯、号型。渔船在航行、锚泊、作业时特别是拖网作业时，确保号灯号型正确显示。

（5）渔船应严格按照捕捞许可水域和时间开展作业，避开沿海通航密集区和商船习惯航路。

3.3 航运公司及主管机关

（1）商渔船船东应吸收合法持证且具有基本海上应变、求生能力的船员上岗，并注重提高船员安全意识、责任意识和自身业务能力。

（2）加强对所属船舶动态和船员配备情况的监督和管理，确保船舶适航、船员适任；强化对所属船舶船员航行安全技能的培训力度，确保所属船舶驾驶人员严格遵守《1972年国际海上避碰规则》。

4 结语

本文从商渔船碰撞的致因链出发，介绍了商渔船碰撞的成因，结合商渔船碰撞事故的特点，进而总结了提出商渔船在会遇避让商船中应该注意的建议，为相关人员提供参考，致力于让“让航行更安全，让水域更清洁”。

参考文献

[1] 朱海峰. 基于聚类多属性专家群决策的青岛船舶警戒区设立研究 [D] . 大连 : 大连海事 大学，2017

[2] 刘宏斌. 关于船舶碰撞事故中人为因素的思考 [J] . 航海技术，2008,(4)

[3] 李红喜，张连锋，郑中义. 基于数据挖掘的 船舶人为碰撞事故致因链研究 [J]. 大连海事大 学学报，2014,40（2）

[4] 杜红兵，刘明，勒慧斌. 基于信息处理和事故链原理的结构化飞行员差错模型 [J] . 中国安全科学学报，2011，21(6):25

作者简介

严 丹，男，讲师，远洋二副 广西交通运输学校从事航海专业教学工作 电话：17776485802，(E-mail)，597569328@qq.com,

韦国栋，男，讲师远洋二副、内河一类大副 广西交通运输学校从事航海专业教学工作，电话 ：13324738000 ，(E-mail)362639511@qq.com。

平陆运河对广西北部湾经济开发区区域经济的作用探讨

彭燕

（广西交通职业技术学院，广西　南宁　530023）

摘要:本文从平陆运河建设的背景、意义、影响三方面分析了平陆运河的建设概况，从促进物流运输的发展、推动产业转型升级、加速城市建设和人口流动、推进生态文明建设、促进区域合作与发展、推动“一带一路”建设六方面分析了平陆运河对广西北部湾经济开发区区域经济的作用。同时提出了平陆运河对广西北部湾经济开发区经济发展的对策建议。

关键词：平陆运河；广西北部湾经济开发区；区域经济

0 引言

运河建设既方便沿线居民出行，又方便货物运输，对运河流域区域经济的发展也具有极其重要的影响和促进作用，运河通畅则百业兴旺。平陆运河连接珠江、西江和北部湾港口，引江入海，开辟新的江海联运战略通道。1918 年底，孙中山先生在《建国方略》中提出了要打通珠江、西江，开通平陆运河的构想。平陆运河不仅是江江、江海连通的要道，更是珠江三角洲经济区地区与广西北部湾经济开发区区域经济沟通的重要桥梁和纽带。

广西北部湾经济开发区地处东盟、华南和西南三个经济圈的结合部，中国政府设立的重点开发区之一，也是中国西部地区经济发展的重要支点。东临粤港澳，背靠大西南，面向东南亚，沿海、沿江、沿边，是中国西部对外开放、走向东盟、走向全世界的重要门户，在中国-东盟自由贸易区、泛珠三角经济区、泛北部湾经济合作区、西南六省市区协作等多区域合作中具有举足轻重的地位和作用。

1 平陆运河的建设概况

平陆运河是指从广西南宁市东郊平塘江口至钦州市陆屋江口之间新开挖的一条人工水道，全长约 133 公里，其中新开挖段约 20 公里，水位落差约 60 米，可通行 3000 吨级江海轮，年货运量双线接近 1 亿吨。平陆运河作为西部陆海新通道骨干工程，是西江干流与北部湾的江海连通工程，是北部湾经济开发区的主动脉。该项目于 2020 年开工建设，预计 2026 年建成通航。

1.1 平陆运河的建设背景

1.1.1 广西内陆需要有自己的出海口

广西是中国唯一一个拥有海岸线和边境线的省区，与东盟 10 国接壤或隔海相望，是中国连接东盟、南亚、中亚和欧洲的重要节点。但是，广西内陆与北部湾之间存在着十万大山的天然屏障，导致广西内陆与港口之间交通不畅，货物出海成本高昂。据统计，2019 年广西全年进出口货物吞吐量为 4.7 亿吨，其中仅有 0.6 亿吨通过北部湾港口出海。因此，广西内陆需要打通一条直达北部湾的水路通道，实现内陆货物快速、低成本地出海。

1.1.2 北部湾港需要扩大腹地范围

北部湾港是中国最年轻、最具活力、最具潜力的港口群之一，拥有钦州港、防城港、北海港等重要港口。但是，由于缺乏大江大河流经的出海口和腹地支撑，北部湾港口长期面临“有港无货”的局面。2020 年北部湾集装箱吞吐量仅为 505 万标箱，远低于广州的 2317 万标箱、深圳的 2655 万标箱和上海的 4350 万标箱。因此，北部湾需要扩大腹地范围，增加货源供给，提升港口竞争力。

1.1.3 西部陆海新通道需要优化路线

西部陆海新通道是指从重庆、成都、贵阳等西部内陆城市出发，经由贵州、广西、广东等省区，通过北部湾、珠江口等港口，连接东盟、南亚、中亚和欧洲的国际物流通道。该通道是国家“一带一路”倡议的重要组成部分，是西部地区对外开放的重要平台。但是，目前西部陆海新通道的主要路线是经由西江黄金水道到达珠江口，再通过广州、深圳等港口出海。这一路线不仅航程较长，而且珠江口港口拥堵严重，运输效率低下。因此，西部陆海新通道需要优化路线，利用平陆运河直接从钦州港出海，缩短航程，降低成本，提高效率。

1.2 平陆运河的建设意义

1.2.1 为广西内陆乃至西南地区提供新的出海通道

平陆运河将实现西江与钦州港的直接连通，使得南宁、贵港、柳州等城市可以直接通过水路到达钦州港，从而出海。这将比现在经由珠江口出海缩短航程 560 公里，节省运输时间和成本。同时，平陆运河也将为云南、贵州、四川等西南地区提供新的出海通道，使得这些地区的货物可以经西江黄金水道、平陆运河由钦州港出海，变相使得海岸线深入了广西乃至西南的内地，更多的西南地区城市可以经过平陆运河与东盟各国家、甚至世界其他国家实现全水路连接。

1.2.2 有效缓解西江干线的运输压力

西江是华南地区最长的河流，也是中国第二大内河航运干线，年货运量超过 1 亿吨。但是，由于西江下游水域狭窄、水位变化大、航道条件差等原因，导致航运能力受限，船舶规模小，运输效率低。同时，随着西部陆海新通道的推进和西南地区经济的发展，西江干线的货物需求将进一步增加，给已经拥挤的航道带来更大的压力。平陆运河的开通将分流一部分货物从钦州港出海，有效缓解西江干线的运输压力，并为海运货物提供更多便捷的内河集散装卸点。

1.2.3 扩大北部湾经济开发区的辐射范围

北部湾经济开发区是指以北部湾为核心区域，以钦州港、防城港、北海等港口为支撑点，以南宁、柳州、贵港等城市为内陆腹地，以广西与东盟的边境地区为合作区域的经济区域。北部湾经济开发区是中国最年轻、最具活力、最具潜力的经济区域之一，也是中国连接东盟、南亚、中亚和欧洲的重要节点。平陆运河的开通将进一步扩大北部湾经济区的辐射范围，将广西内陆乃至西南地区的货物和人员引入北部湾，促进北部湾地区的经济开发，提升北部湾地区在国际物流、贸易、旅游等领域的竞争力和影响力。

1.2.4 提升广西向海发展的能力和水平

广西是中国唯一一个拥有海岸线和边境线的省区，与东盟 10 国接壤或隔海相望，是中国连接东盟的重要节点。但是，由于历史和地理等原因，广西向海发展的能力和水平一直不高。平陆运河的开通将有利于提升广西向海发展的能力和水平，增强广西与东盟、南亚等地区的交流合作，推动广西建设中国—东盟桥头堡、跨境经济合作区、开发开放试验区等国家战略，实现广西向海发展的质量变革、效率变革、动力变革。

1.3 平陆运河的建设影响

1.3.1 对广西内陆城市的影响

平陆运河将使得南宁、贵港、柳州等城市可以直接通过水路到达钦州港，从而出海。这将极大地方便这些城市的货物出口和进口，降低物流成本，提高物流效率，促进这些城市的产业转型升级，增强这些城市的国际竞争力。同时，平陆运河也将为这些城市带来更多的投资机会和合作伙伴，吸引更多的国内外企业在这些城市设立分支机构或生产基地，促进这些城市的经济增长和就业创业。

1.3.2 对钦州港及周边城市的影响

平陆运河将使得钦州港成为连接西江黄金水道和北部湾的重要枢纽港口，大大增加钦州港的货源供给和吞吐量，提升钦州港在国际航运中的地位和作用。同时，平陆运河也将带动钦州港及周边城市的产业发展和基础设施建设，促进钦州港及周边城市形成以现代物流、贸易、制造业为主导的现代化港口城市群，提高钦州港及周边城市的综合实力和影响力。

1.3.3 对广西与东盟等地区的影响

平陆运河将使得广西与东盟等地区的交通联系更加紧密，为广西与这些地区的经贸往来、人文交流、旅游合作等提供更加便捷的通道，增进广西与这些地区的友好关系和互利合作。同时，平陆运河也将使得广西在西部陆海新通道中发挥更加重要的作用，为广西北部湾经济开发区与东盟等地区的互联互通和共同发展做出更大的贡献。

2 平陆运河对广西北部湾经济开发区经济的作用

2.1 促进物流运输的发展

平陆运河为广西北部湾经济开发区提供了一条重要的物流运输通道。运河沿线的城市可以通过平陆运河将货物运往钦州港，再通过钦州港进行海运输送，将货物运往国内外各地。这不仅能够提高物流运输效

率，降低运输成本，还能够促进广西北部湾经济开发区与内陆地区和国际市场之间的贸易往来，提高区域的国际竞争力。

2.2 推动产业转型升级

平陆运河的开通，为广西北部湾经济开发区带来了更多的经济发展机会。通过运河的联接，可以将该区域的资源优势与内陆地区的产业优势相结合，促进跨地区、跨产业的合作。这种合作可以促进广西北部湾经济开发区的产业转型升级，推动该区域从传统的资源型经济向高端制造业和服务业转型升级。运河的开通使得物流运输更加便捷，推动了一批新型的物流企业的兴起。物流企业的兴起，为广西北部湾经济开发区的产业转型升级提供了有力支撑。

2.3 加速城市建设和人口流动

平陆运河的开通，将为广西北部湾经济开发区带来人口流动和城市建设的机遇。运河沿线各城市可以通过平陆运河将本地的优势资源和人才向广西北部湾经济开发区输送，促进区域的人口流动和城市建设。这也有利于提高区域的综合实力和吸引力，促进区域的经济发展。

2.4 推进生态文明建设

平陆运河的开通，还有利于促进广西北部湾经济开发区的生态文明建设。运河沿线的城市可以通过平陆运河引入水资源，解决区域的用水问题。同时，运河的开通也有利于改善区域的水环境和生态环境，推进生态文明建设，增强区域的可持续发展能力。

2.5 促进区域合作与发展

平陆运河的开通，也将促进广西北部湾经济开发区与周边地区的合作与发展。运河沿线的城市可以与周边地区开展合作，共同推进区域的发展。这种合作可以促进区域之间的资源共享，实现区域经济的互补优势，提高区域的整体发展水平。

平陆运河的开通，促进广西北部湾经济开发区与周边地区的合作和资源共享。区域合作和资源共享是促进经济发展的重要手段，可以实现资源优势的互补，提高区域整体的发展水平。

2.6 推动“一带一路”建设

平陆运河的开通，也为广西北部湾经济开发区与“一带一路”沿线国家和地区的交流合作提供了新机遇。作为“一带一路”战略的重要组成部分，广西北部湾经济开发区应积极融入“一带一路”建设，开拓海外市场，加强与东盟国家和地区的贸易往来和投资合作，扩大对外开放，推动经济发展。

3 平陆运河对广西北部湾经济开发区经济发展的对策建议

对于北部湾经济开发区的经济发展而言，平陆运河将发挥至关重要的作用。这不仅是一条沟通西江与北部湾的内河航线，以后更会发展成一条连接国内外的国际贸易航线。为了进一步增强平陆运河对北部湾经济开发区经济发展的影响力和促进作用，我们建议从以下几个方面来加强建设。

3.1 重视基础设施建设

基础设施建设是促进经济发展的重要保障，包括道路、桥梁、水利、场站等基础设施建设。平陆运河的开通，给广西北部湾经济开发区带来了很大的发展机遇，而这种机遇是建立在平陆运河良好的基础设施建设基础上的。因此，政府和相关部门要重视基础设施建设，要按照高标准、严要求加大对基础设施的投入，支持沿河货物集散地、堆场、码头等的建设，以及各种相关基础设施的建设。基础设施的建设要兼顾技术的先进性和标准的国际通用性，为以后国际贸易的顺利开展做好基础准备。

3.2 基于集装箱运输的一体化综合运输体系建设

在以电子商务为主题的时代，运输是经济运行的大动脉，因此运河航线的货运方式必须充分考虑与综合运输体系的契合。

苏伊士运河因 1 艘船造成了 150 几艘船堵塞的大场面，所以内河航运仅仅是现代经贸流通渠道的一种方式，完全依靠内河航运发展经济是不够全面也不够安全的。现如今，中国的高速铁路、高速公路甚至航空运输已经非常发达。为使平陆运河更好更快推动北部湾经济开发区经济发展，更好地为区域经济发展助力，建设包括海运、水运、陆运、空运在内的一体化综合运输体系就尤为必要。因此，要重点规划高速铁路、高速公路、航空运输、运河航运、海运的最佳结点，规划铁路集散地、公路集散地、集装箱集散地、机场、码头，以及连接多种运输方式的结合点，使贸易和经济交流渠道更畅通。

在综合运输体系中，集装箱运输安全高效、运输能力大，无论是水路集装箱运输、铁路集装箱运输、公路集装箱运输，都是较常用的运输方式。因此，一体化综合运输体系的建设应该基于集装箱运输，运河沿线的港口码头、货物集散地均应该具有集装箱装卸能力，集装箱能快速地从其他运输方式转移到运河航线的船舶上；运河航线船舶上的集装箱也可以轻松地转移到其他运输方式上，从而最大限度地提高运输效率。

3.3　基于物流、商流、信息流“三流合一”的信息化平台建设

在现代经济和贸易运行的过程中，信息流起着至关重要的作用。信息流将制造商到卖家再到分销商的各环节紧密联系起来，可以有效地追溯贸易活动的源头，使贸易活动的可靠性和安全性得到提高。

运河建设与信息化建设应该同步进行，以保障运河能更好地融入现代商业经济体系中。我们需要把运河管理融入信息化平台中，确保从北部湾经济开发区到运河、运河从起点到终点的信息不受阻。运河治理水平、安全状况、交通运输能力和商业活动都应反映在运河信息化平台中，以便促进各区域、各环节之间的沟通和交流，实现物流、商流、信息流的“三流合一”。

4　结语

平陆运河的发展与广西北部湾经济开发区的经济发展是相互促进、相互影响的。广西北部湾经济开发区区域经济的发展将直接推动平陆运河的繁荣昌盛，平陆运河的发展将更有效地促进广西北部湾经济开发区区域经济的腾飞。因此，要坚持运河与港口、船舶和干支线经济发展相协调，重视基础设施建设，确保平陆运河与其他几种运输方式的有效衔接，统筹考虑，重点突出，加快一体化综合交通体系和信息化平台建设，实现平陆运河真正向“黄金水道”跨越，促进区域经济迅猛发展。

参考文献

[1]徐凤丹.运河江苏段对本区域经济的影响.[J].商展经济，2021(3)，134-136

[2]陈钦利，郑忠，陈代弟，梁婷.西江经济带东融水运物流发展研究.[J].市场论坛，2022（4），42-46,58

[3]随佳佳，张铎.北部湾经济区城乡一体化现状、问题及对策研究[J].经营管理者，2011 (1)：82-83.

[4]中国新闻网.中国—东盟便捷水运大通道平陆运河破茧欲出.https://baijiahao.baidu.com/s?id=1722376728910283354&wfr=spider&for=pc，2022.1

作者简介

彭燕(1978 —)，女，硕士，副教授，广西交通职业技术学院担任港口与航运管理专业教研室主任、专任教师，电话：18807710259，E-mail:195895953@qq.com。

平陆运河背景下船员操作技能的新要求

高海涛

（广西交通运输学校，广西 南宁 530007）

摘要：平陆运河开工背景下，给广西的内河航运带来前所未有的机遇。开通后，江海联运船舶可以从南宁出发，经平陆运河，开往北部湾各个港口，甚至可以开往国内的各个沿海港口；同样，国内沿海航行的海船可以经平陆运河，直接开往南宁也成为现实。在我们广西，大部分船员仅能在内河航行或者仅能在沿海水域航行，并没有适合在江海联运的船员。那么在平陆运河开通后的江海联运船舶，如何既能在广西内河水域又能在我国沿海水域安全航行呢？本文作者作为远洋船长和内河一类船长，拥有长期在海上和内河航行的丰富经验，同时作为航海院校从事船员培训职业教师，有责任和义务将在海上和内河航行的各方面的不同的操船技能，介绍给大家，为航行在平陆运河的江海联运的船员得到一些帮助。

关键词：平陆运河；江海联运；操作技能

0 引言

广西陆海新通道-平陆运河预计今年开始动工，是连通北部湾沿海港口与西江航道的一条黄金水道，是广西内河最便捷最经济的出海通道。

从事江海联运的船舶要做好迎接平陆运河开通后的准备工作，尤其作为船员，必要时应该同时掌握内河和海上航行的操作技能，这样才能保证江海联运船舶的航行安全。

内河船和海船，由于所处的环境（比如水深、风浪、礁浅碍航、通航密度、航道宽度和曲率等）不同，船员的操作技能在船型设计、遵守避碰规则、熟悉航标配布和操船方法等方面有很大差别。接下来从以下几方面分析船舶在内河和海上航行的不同点，给那些仅从事内河或海上航行的船员一些借鉴，提升他们的操作技能。

1 船型设计的不同

内河风浪小，航道狭窄，弯头水域多、水深浅，船舶种类多，流量大，要求船舶转向迅速，能在复杂多变的交通流中迅速作出判断。因此内河船型设计多为轻巧、灵活型，船底多为平底型（减小水线下船体面积）；而海上的航道水深较大，但环境恶劣，容易遇上大风浪，为了提高抗风浪等级，减少甲板上浪，海船总吨大，干舷高，重心下移，船舶稳性较好，海船多为V型船底（增加水线下船体面积）。

海船在内河航行时，由于吃水较大，一般要求按照《内河避碰规则》或者按照沿深水航道航行，并随时注意浅水效应和岸壁效应；当内河船在海上航行时，由于抗风浪能力相对较弱，应随时关注气象情况，必要时根据风浪情况，采取避风等措施。

2 遵守避碰规则的不同

进出平陆运河的江海联运船在内河航行需要遵守我国的《中华人民共和国内河避碰规则》（简称《内规》），在沿海航行要遵守《1972年国际海上避碰规则》（简称《海规》）。

下面围绕航行原则、避让关系和避碰行动三方面，将《内规》和《海规》相应的条款进行对比和分析。

2.1 航行原则

《海规》：沿峡水道或航道行驶时，只要安全可行应尽可能靠近本船右舷的该水道或航道的外缘行驶；《内规》：机动船航行时，上行船应沿缓流或者航道的外缘行驶，下行船应当沿主流或者航道中间行驶，在感潮河段、湖泊、水库、平流区域，任何船舶应尽可能沿本船右舷一侧航道行驶。

分析：进江海船在内河的感潮河段、湖泊、水库、平流区域航法与海上的峡水道相似，但在感潮河段以上，不一定沿本船右舷一侧航道行驶，而是根据航道的具体变化和上、下行关系，靠左、靠右或者航道中央行驶。

2.2 避让关系

船舶间的避让关系主要分为追越、对遇和交叉相遇三种。

追越：海上和内河避让方法基本差不多，都是追越船是让路船，被追越船是直行船，只是《内规》只适用于机动船之间，直行船也应采取相应行动协助避让等避让原则；而《海规》适用于所有船，直行船要求保向保速。

对遇：《内规》规定了两机动船对遇时（特殊船如操限船、失控船等除外），上行船应当避让下行船，在感潮河段，逆流船应当避让顺流船；在湖泊、水库、平流区域，单船避让船队；《海规》规定了当两艘机动船对遇，构成碰撞危险时，各应向右转向，从而各从他船左舷驶过。

交叉相遇：《内规》规定了同流向的两横越船或在湖泊、水库两船交叉相遇，有他船在本船右舷者，

应当给他船让路；不同流向的或在平流区域的两横越船交叉相遇，上行船避让下行船。《海规》规定了当两艘机动船交叉相遇致有碰撞危险时，有他船在本船右舷者应给他船让路。

2.3 避让行动

在船员通常做法上，当船舶采取避让行动时，由于江河通常没有足够的水域，内河船大多采用车让，采取减速、停车，必要时倒车，减少船间效应或者岸壁效应，防止碰撞；海船早期发现碰撞危险时，由于水域较开阔，多以转向避让，效果更好，但应明确、有效及早进行。

3 航标配布的不同

内河助航标志是反映航道尺度、确定航道方向、标示航道界限、引导船舶安全航行的标志。常用的内河视觉航标按照功能分为航行标志、信号标志、专用标志、警示标志等四类23种。海上助航标志以特定的标志、灯光、音响或无线电信号等，供船舶定位、航向，避离危险，使船舶沿航道或预定航线安全航行的助航设施。主要作用：指示航道、供船舶定位、标示危险区和供特殊需要。

江海联运船舶的船员，既要熟悉《内规》中的航标配布，又要熟悉《海规》中的航标应用，做到分区域灵活运用，决不能混淆，影响航行安全。

4 操船方法的不同

4.1内河操船方法

船舶在内河水道中航行，为了快速、省时、节能、高效及安全，必须根据不同水道特点全面地分析航行条件，确定其最佳航行路线，全程尽可能将船位摆在最佳航线或航路上，同时根据船舶航行周围的环境情况，采取合理有效的措施，避让其他船舶或碍航物。

4.1.1航行条件

内河水道中的航道特征、水文要素、气象特点、天然和人工助航标志、交通安全标志、周围船舶动态和有关航行规定等是构成航行条件的基本要素。驾驶人员必须准确掌握各因素的特征及变化规律，了解各类船舶的操纵性能及不同水域条件中的运动特点，从而拟定正确的航路，及时准确定位，有效避让，以确保船舶航行于最佳航路上和航行安全。

4.1.2选择航路

顺流航路选择以主流为依据，将航路选择在主流范围内或挂主流行驶或航道中间行驶，目的是充分利用流速，提高航速；逆流航路选择水深较大、缓流范围宽、流速小、流态平缓的一侧缓流区或航道一侧行驶，目的是避开主流提高航速。

4.1.3控制船位

驾驶人员利用雷达、测深仪、AIS、GPS、电子江图信息系统等助航设备和驾驶员目测等手段观测船位，综合考虑他船的航行动态，确定自身船舶合理位置，目测本船离岸距离、与水流流向夹角和与障碍物的间距等。

4.1.4有效避让

驾驶人员应该保持正规瞭望，提高警惕，加强联系，及早统一会让意图，按规定显示号灯、号型和鸣放声号，根据当时的情况和环境，正确控制安全航速，按“航行原则”规定的航路行驶；明确让路船和被让路船的避让关系和责任，正确处理好各类船舶在各种相遇情况下的避让，采取任何防止碰撞的行动，都应当明确、有效、及早地进行，应用良好的驾驶技术，直至驶过让清为止。

4.2 海船操船方法

当进江海船离港前，根据航次任务，参考航次相关的海图、《航海图书总目录》、《航路指南》、《潮汐表》、《进港指南》、《灯标表》等图书资料，制定合理的航次计划，设计一条既安全又经济的航线。在海上航行中，加强瞭望，充分运用各种助航仪器，做到系统的连续观察，勤测船位，保持船位在设计航线上；严格遵守避碰规则，协调与他船避让，做到早、大、宽、清；做好通过峡水道、船舶密集区、桥区、渔区、岛礁区等的应急预案；采用安全航速，遵守定线制和港口规定；了解本船的变速运动性能、旋回性能以及船舶的航向稳定性和保向性等各种操纵性能，运用船员的操船技能，使船舶顺顺利利地抵达目的地。

5.航道条件不同

江海联运船舶在海上航行，一般水域较开阔，水深足够，礁石、浅滩较少，航行条件较好。而广西内河水域除了具有大多数内河航道特点（航道弯曲，水深受限，礁浅碍航物多等）外，还具有本身特点，就是水利枢纽较多，要求船员具有安全过船闸的技能。

5.1 遵守水利枢纽管理规定

过闸前，要熟悉该水利枢纽的相关管理规定，遵守相关要求。

5.2 熟悉船闸航道特征

上引航道与干流交汇的上口门经常会出现横流和其他不正常水流区；当船闸泄水时，下引航道尺度受限，水流下泄成波浪，波峰波长可能会造成局部区段水深下降。

5.3 控制航速

进闸过程中，根据本船操纵性能，及早控制速度。船速过快，冲程大，极易触碰船闸设施；如果航速过低，则冲程太小，又达不到理想位置，并且舵效微弱，受风力影响较大，难以控制船位。

5.4 准确定位，正确取向

船舶进出船闸，必须定好船位，准确选择吊向点。根据闸室两个壁面形状的变化、本船首与闸室停靠点之间纵向距离的变化、本船舷侧与导航墙及其延长线之间距离的变化决定吊向点、用舵时机及用舵大小，合理确定船位。

5.5 掌握好漂距

漂距的大小与船速、转向角和排水量的大小有关，过闸操作时，科学判断漂距大小，确保顺利过闸。

6 结束语

平陆运河开通前，想从事江海联运的船员，要积极提升自身素质，积极参加相关培训，必须同时满足内河和海船船员适任培训的相关要求，持有内河和海船的相应适任证书和合格证书，才能从事江海联运船舶工作；平陆运河开通后，相关船员通过了解内河和海船在各方面的不同，掌握在不同水域施行不同的操船技能，不断提升自己操船经验和航行能力，成为与时俱进的新时代船员。

参考文献

［1］ 张维俊，程志友，易太云. 船舶值班与避碰.总则，航行与避让.2020： 4,45-60.

［2］ 范晓飚，黄勇亮.船舶引航.内河助航标志，船舶引航基本要素，2020：80-94，147-165.

［3］ 李兴龙，王振宗.世界海运.《中华人民共和国内河避碰规则》与《国际海上避碰规则》主要异同点浅析.1993（2）

作者简介

高海涛，（1973.02--），男，本科，船长，广西交通运输学校，电话：

王杰(1993-)，男，硕士，工程师，浙江数智交院科技股份有限公司从事港航工程规划与设计，电话：18686758720，E-mail:985712634@qq.com。

浅谈引领航海绿色低碳智能新趋势

朱宏亮

（广西交通运输学校，广西 南宁，530007）

摘要：中国航运经济作为国际最大的经济体，一直以来都在积极推动着我国海洋经济的持续发展。在“关心海洋、认识海洋、经略海洋”的国家海洋战略指导下，我国致力于打造一个绿色低碳智能的航海新时代。在这一背景下，本文从船舶大气污染治理、新能源应用以及智能化船舶三个方面进行分析，以期在打造绿色低碳智能的航海新时代的过程中，我国应积极推动航运经济的可持续发展，加强技术创新和产业升级，向海图强为我国实现的海洋强国梦想提供强有力的支撑。

关键词：航海；绿色；低碳；智能；新能源

0 引言

在 2022 年 7 月 11 我国第 18 个航海日确定“引领航海绿色低碳智能新趋势”活动主题，珠江片区为响应这一倡议，确定“畅通珠江水运大通道，助力绿色航运大发展”。珠江片区内的港口积极推进绿色港口建设。通过采用先进的环保技术和设备，提高港口的能源利用效率，减少港口的碳排放。加强港口的垃圾处理和资源回收利用，减少对环境的污染。同时，积极探索新的清洁能源技术，如氢燃料电池和电动推进等，逐步替代传统的燃油动力， 船舶可以大幅度减少碳排放和空气污染。

1 绿色：推进水运低碳绿色发展

1.1 治理船舶大气污染

近年来，船舶大气污染问题日益严重，黑烟、颗粒物和有毒气体等污染物对环境和人体健康构成巨大威胁。这些污染物主要源于柴油机和燃烧过程，由于燃烧劣质燃料和不先进的燃烧技术而加剧[1]。为了应对这一严峻挑战，推进水运低碳绿色发展，我们有必要采取一系列技术手段。

一方面，在面对船舶大气污染问题，可以从多个方面入手减少排放。可以在排放源头上做文章。例如，通过安装减排设备，可以减少污染物排放。其次，使用清洁能源可以显著降低废气排放，为环境带来积极影响。改善燃烧技术同样可以达到减少废气排放的目的。这些方法与途径都是有效且可行的。当然，除此之外，还有其他措施可以帮助减少排放，例如使用新型柴油机并采用先进的空气动力学设计等。

另一方面，政府也应采取立法监管、经济激励和技术支持等政策措施，共同推动船舶环保水平的提升。立法监管可以强制船舶使用清洁能源和技术减排，但实施起来较为困难，需要加强监管力度和法律制裁力度。经济激励，如税收优惠和补贴，能推动船舶更新改造，但可能会增加企业负担，因此需要制定合理的激励政策。技术支持能推动技术研发和应用，但受限于资金和人力资源的投入，需要加大科技研发力度和人才培养力度。

此外，行业协会可通过制定自律规范和推动企业自我约束来减少排放。然而，这需要企业具备较高的自我约束意识和环保意识，因此要加强环保宣传和教育，提高企业和公众的环保意识和参与度。最后，国际合作在治理船舶大气污染中同样重要。国际公约和跨国执法合作能促进各国共同遵守环保规定。然而，国际合作和信息共享的实施面临诸多困难，需要各国加强沟通和协调，共同推动全球船舶环保水平的提升。

1.2 优化运输结构

近年来，我国采取了一系列措施来优化运输组织和港口用能结构。政府出台了系列政策，鼓励航运企业加大清洁能源和节能技术的研发和运用，通过提高能源利用效率来降低碳排放[2]。在航运运输领域，大力推广新能源和智能化技术，减少对传统能源的依赖。此外，港口能源管理也得到了加强，采用先进的能源监测和控制系统，确保港口用能的安全性和可靠性。这些举措将有力推动我国交通运输行业的碳排放降低，为可持续发展贡献力量。

另外，我国自党的十八大以来，积极推动沿海主要港口实现集疏运“公转铁”、“公转水”，成效显著。至 2021 年底，全国内河、沿海港口的铁路进港率已分别超过 50%和 70%，这一数字仍在逐年攀升。此外，我国还积极推进水运低碳绿色发展，不断提升综合运输效能。据统计，2021 年我国集装箱铁水联运量已达到 754 万标箱，这一数字仍在不断增长，充分显示了我国在优化运输组织和港口用能结构方面所取得的显著成果。这一成就得益于我国积极推动的绿色低碳发展战略，显示出我国在环境保护和经济发展之间

的卓越平衡能力。

2 低碳：守好低碳智能水运“生命线”

2.1 推广清洁应用能源

在绿色低碳航海的浪潮中，水运行业必须紧跟时代步伐，积极拥抱清洁能源，以实现减少碳排放的目标。液化天然气（LNG）作为理想的清洁能源之一，在水运行业的应用已逐渐成为行业发展的必然趋势。通过采用液化天然气，船舶在航行过程中能够大幅降低碳排放量，对于环境保护和抑制气候变化具有举足轻重的作用[3]。

与传统燃油动力船舶相比，液化天然气（LNG）船舶在环保方面具有显著优势。一方面，天然气是一种清洁、高效的能源，使用 LNG 燃料可以极大降低船舶的碳排放量，减少对大气环境的污染。传统燃油动力船舶排放的有害气体较多，包括硫化物、氮氧化物等，而 LNG 燃料几乎不产生这些有害气体，有效改善空气质量。另一方面，液化天然气的使用还有助于降低颗粒物排放和噪音污染。相较于传统燃油动力船舶，LNG 船舶的颗粒物排放量极低，这一方面减少了大气中的有害物质，另一方面也降低了对人类健康的影响。同时，LNG 燃料在加压液化状态下运输，相较于传统燃油动力船舶，其噪音污染也得到了有效控制。

为实现水运行业的清洁、低碳、可持续发展，液化天然气作为理想的船舶燃料是业界的最佳选择。清洁能源的应用将成为水运行业未来发展的重要基石，帮助行业实现绿色低碳目标，同时提升船舶运营的经济性和环保性。在这一历史性的转变中，水运行业将迎来更加美好的明天。

2.2 加强能源管理与优化

为了推动清洁能源在水运行业的广泛应用，航运公司需要采取一系列优化措施来全面提升能源管理水平。首先，提高船舶能效是关键，这可以通过多种手段实现。在船舶设计方面，可以采取流线型设计、节能型船体等优化措施，以减少船舶阻力，提高航行效率。此外，使用高效发动机也是提高船舶能效的重要措施之一。同时，优化航行策略也可以达到节能减排的目的，例如合理规划航线、避免拥堵等。除此之外，采用新型燃料、使用绿色润滑剂等节能措施也是有效的手段之一。这些优化措施的综合应用，可以实现船舶能效的大幅提升，减少对环境的影响。

其次，加强能源消耗的监测和管理对于航运公司来说也至关重要。通过实时监测船舶的能源消耗和深入分析数据，可以及时发现并解决能源浪费问题，从而更加有效地管理能源消耗。这将有助于航运公司在能源成本和环境保护方面实现更好的平衡，提高企业的可持续发展能力。

最后，为了实现可持续性发展，航运公司还需要采取一系列节能措施。这不仅有助于减少船舶的碳排放，还有助于降低公司的运营成本。为此，航运公司需要制定相关规定，积极推广能源效率高的船舶，并对能源消耗大的船舶进行限制和惩罚。这些措施可以包括优化船舶航线、改进船舶动力系统、使用清洁能源等。航运公司还应该加强对船舶设备的维护和升级，确保其正常运行，减少能源浪费。同时，合理安排船舶的装卸货时间和顺序，以减少船舶在港口的等待时间和能源消耗。这些措施的实施将有助于提高航运公司的能源利用效率，减少其对环境的影响，并为其赢得良好的社会声誉。

3 智能：开启绿色航海“智慧”时代

3.1 建设“智慧”航道

随着全球贸易和航运业的快速发展，传统的航运模式已经难以满足日益增长的航运需求，同时也面临着诸多挑战，如航道拥堵、安全事故和环境污染等。为了应对这些问题，建设“智慧”航道已成为大势所趋[4]。通过引入先进的科技手段和管理方法，可以有效地提高航道的利用率和安全性，降低船舶运输成本和排放，实现航道可持续发展，推动我国水运事业和经济的健康发展。因此，“智慧”航道建设已成为航运转型升级的必经之路，也是实现可持续发展的重要途径。

“智慧”航道是指借助先进的智能化技术手段，对航道进行数字化、智能化和信息化的全方位升级，实现航道管理的现代化转型。通过引入智能化管理系统，不仅可以提高航道的利用率，有效减少船舶拥堵和延误现象，还能降低船舶排放和环境污染，提升航行的安全性和可靠性。建设“智慧”航道的关键在于充分利用物联网、云计算、大数据、人工智能等先进技术，构建全方位的航道智能化管理系统。航道智能化管理系统在航道监测与预警、智能调度、智能航运、应急救援等方面发挥着重要作用。它可以实时监测航道的水文、气象、地质等各项参数，对可能发生的问题进行预警，有效避免事故的发生。同时，智能调度系统能够根据船舶运输需求，结合航道实际情况，制定最优的调度方案，提高航道运行效率。智能航运

系统则通过大数据和人工智能技术对航道运行数据进行智能分析，为船主和管理部门提供更加精准的航运信息和服务。而应急救援系统则利用物联网技术实现航道内各种应急信息的实时采集和传输，为救援人员提供更加及时准确的现场信息，有效提高应急救援的效率和成功率。

3.2 发展智能航运

随着全球科技的飞速发展，船舶行业也正在经历前所未有的变革。为了提高船舶运营效率、降低船舶拥有和运营成本，并减小对环境的影响，智能化已经成为未来船舶发展不可逆转的趋势。智能船舶作为新生事物，充分利用物联网、大数据、人工智能等先进科技，打破传统船舶运营模式，实现自主航行、自动操舵、自动避碰等船舶智能化[5]。同时，智能船舶还可以实现更加精准的航线规划，优化船舶运营成本，提高船舶运行效率，减少对环境的污染，成为航运业拥抱绿色发展的最佳选择。

例如，我国自主设计的 300TEU 集装箱商船“智飞”号在青岛港举行首航仪式，这标志着全球最大的智能集装箱船舶正式投入使用[6]。作为一款具有前瞻性的船舶，“智飞”号不仅具备了三种不同的驾驶模式，包括人工驾驶、远程遥控驾驶和无人自主航行，还拥有智能感知、自主循迹、航线规划、避碰、自动靠离泊等众多先进的功能。在“智飞”号的研发过程中，我国的船舶设计人员充分运用了现代科技手段，对船舶的各个系统进行了全面的升级和改进。通过引进智能化的技术手段，使得“智飞”号能够更加精准地控制和监测船舶的运行状态，并且在遇到突发情况时，能够迅速采取相应的措施，确保船舶的安全和稳定运行。此外，“智飞”号还采用了环保节能的设计理念，使用了新型的环保材料和能源，最大限度地减少了对环境的影响。同时，其智能化的操作系统也大大减少了人力成本，并为航运企业带来了更高的经济效益。

4 主要结论

综上所述，在绿色低碳智能航海的理念引导下，我国也在加大治理船舶大气污染的力度，并且优化航运运输结构，推进绿色理念的落实。与此同时，在航运发展的过程中，不断推广清洁能源的应用，加强能源管理与优化，为低碳航运发展贡献力量。最后，利用现代化智能技术，建设智慧航道，发展智能航运，开启智慧航海时代，助力产业升级[7]。多方面协调发展，推动航运行业绿色转型，谱写海洋强国新篇章。

参考文献

[1]许愿.“智”汇水运 逐“绿”前行[J].中国水运,2022(08):7-8.
[2]张涛,陈蔚,周永峰等.庆祝第 18 个“中国航海日”中国水运业聚力研讨“引领航海绿色低碳智能新趋势”[J].中国水运,2022(08):5-6.
[3]兰国杰,余刚.船舶绿色能源技术发展现状与展望[J].珠江水运,2022(07):26-28.
[4]谢鹏.智能航海发展现状及其影响[J].中国航务周刊,2022(29):43-45.
[5]刘佳铭、李赫.船舶智能化研究现状及发展趋势[J]. 2021(04):49-53
[6]李亚斌,王玉.船舶智能航行技术发展与展望[J].中国水运,2021(04):31-55.
[7]曹建文,许昶,于翀熠.聚焦智慧航海,助力产业升级——以 e-航海信息服务系统为例[J].军民两用技术与产品,2019(07):16-20.

作者简介

朱宏亮(1980-)，男，本科，远洋船长，广西交通运输学校航海科专任教师，电话：18076547178，E-mail:104176258@qq.com。

钢铁成品装船作业工班计划预报研究

牛运可

（广西交通职业技术学院，广西 南宁，530023）

摘　要：水上运输是一种经济、安全和环境友好的交通运输方案，常在钢铁物流体系中进出口端都承担着重要的角色。而成品装船作业计划量则是出厂物流生产中较为关键的指标，其对于出厂物流中汽车运量调配、设备能力和人员资源组织起着引导作用，预报的准确与合理性直接影响生产效率与出厂顺行。由于钢铁成品件杂货装船作业涉及港机操纵难度大、人员舱内绑扎、库场发货能力与厂内交通运力分配等多环节因素，开展作业计划精准预报研究的难度与复杂度较高。本文以以码头吊装设备的单吊能力为预报基准，针对不同品种的吊装特点，再结合船舶剩余货物资源、作业时间、库场配送能力与汽车运力等因素分段精细化的探索装船作业量预报模型。本研究可为钢铁成品装船作业机理探索和出厂物流瓶颈分析等提供有益的借鉴和参考。

关键词：钢铁成品；装船作业；计划预报

0 引言

钢铁企业生产流程的特点是多段生产、多段运输、多段存储、物流种类多、工序多，其物流管理的特点是大型运输设备多，单品重量大、成本高、运行复杂而且工序连接制约　于时间、温度、总量、区位、运能等特征，使得钢铁企业物流较为复杂和繁琐。钢铁企业的物流从对象上可以分为原料物流、半成品物流和成品物流。钢铁企业成品物流的操作包括运输、存取和装卸等，其运输方式主要有水运、铁运和汽运。水运作为钢铁成品最主要的运输方式，其运输量约占成品总运输量的 70%左右。

目前钢铁企业主要依靠人工判断和编制物流计划，但成品物流目标复杂且约束条件多，特别对于单班计划量较难把握，这对于整体出厂物流计划设计、船期编排、资源释放和运安排存在一定的影响。

由于钢铁成品装船作业的特殊性和专业性，目前较少相关工班装船计划量的研究，钢铁成品物流方面研究主要集中于集配计划优化、装船配载模型开发和发货装船调度建模等方面。宋建海等建立了产成品装船调度问题多目标资源受限工程调度的数学模型，结合遗传算法和模拟退火设计了求解该问题的多目标智能优化算法[1]，王鸿鹏针对船体结构不同的船舶，对船舶稳性、纵强度和吃水差三个主要目标整合达到优化船舶积载的目的[2]。蔡真亮介绍了集装箱船舶配载计划编制系统概况和特点，重点分析营运经济效益[3]。刘勇利用神经网络对船舶配载进行建模，提出了船舶配积载优化数学模型[4]。郑慧娟以最大化船舶装载率为主要目标，考虑倒垛、到港、直装比率、合同状态等因素和情况，以船舶载重和准发单据为约束，建立了数学规划模型[5]。杨菲研究了钢铁成品水运物流集配计划和装载问题，建立了整数线性规划模型，针对 NP-难特点设计了智能优化算法进行近似求解[6]。

本文从钢铁成品装船作业港机单吊操作为基点，以不同成品吊装工艺和船舶资源识别为核心，设定工班预报的作业基准。同时考虑影响作业时间的因素，包括船舶资源库位集中、车辆运力匹配，考虑影响作业难度（作业基准）的因素，包括船舶暗舱深度、装舱进度（前后轴舱口沿）和装载限制（绑扎要求）。探索工班装船计划量的合理预报，包括单船装舱进度和完工靠泊要求，可为钢铁成品装船作业机理探索和出厂物流瓶颈分析提供有益的借鉴和参考。

1　钢铁成品单吊能力基准

钢铁成品装船作业具有件杂货的特点，作业产量与关数与每关重量息息相关。装船作业产量主要受限于港口机械吊装关数的限制，不同的货物资源对总体产量影响较大，确定每关单吊基准是工班计划预报的重点。

1.1 钢铁成品吊装特点

钢铁成品主要为热轧卷、冷轧卷（普冷卷、镀锌卷和轧硬卷）、宽厚板和连铸坯。不同品种港口机械使用不同的吊装器具。其中冷卷还根据卷重、流向和带子标示有不同的吊索具和装载要求，这些也是作业单吊基准的考虑要素。

表 1 港口机械常见吊装工艺

货名	吊索具	每关件数区别	单吊件数
连铸坯	连铸坯夹钳	/	1
宽厚板	板钩	厚度	2/3/4
热轧卷	C 字钩	/	1
冷卷	尼龙带	重量	1/2/3
镀锌卷	尼龙带/电子夹钳	流向/重量	1/2/3

1.2 作业基准设定

作业基准是指不同货种、或同货种不同特性其特有的每关单吊件数而确定的每小时作业件数。港口机械装船吊装操作的每小时关数与每关件数、单件重量是成品出厂小时产量的基本构成原理。港机每小时关数基本相差不大，而依据船舶剩余资源识别则可以对小时、工班产量进行预报。码头作业基准管理中信息，各成品作业基准如表 2 和图 2 所示。

作为工班装船作业量预报，则需要结合本船剩余资源进行重新设定，实现动态预报。其中连铸坯与热轧卷的每关件数确定，而宽厚板和冷卷则根据资源特性（可由单件重量反映）进行件数再确定。表 3 为根据单件平均重量暂定的钢铁成品每关件数。根据船舶剩余资源确定单件平均重量，结合每关件数和关数、单件均重实现工班作业量预报。

表 2 运管机成品作业基准

货名	小时件数	小时关数	每关件数	平均单重	小时吨位
连铸坯	11	11	1	22	242
宽厚板	28	14	1	4.5	63
热轧卷	10	10	1	22	220
镀锌卷	12	10	1	10	100
普冷卷	15	11	1	11.5	126.5
酸洗卷	15	12	1	13	156

表 3 钢铁成品每关件数

货名	均重（t）	每关件数
	1~3	3
宽厚板	3~5	2
	＞5	1
	＜13	3
冷卷	13~20	2
	＞20	1

图 2 成品作业基准

2 成品装船作业量预报

基于船舶剩余货物资源识别，根据单件货物均吨和产成品类别选取对应每关单吊件数，结合成品货物每小时关数基准，同时考虑资源库位集中和汽运匹配度带来待货的作业时间影响、和船舶舱型和船舶装载位置带来的作业难度影响，最终对工班装船作业量进行预报，确定工班计划量。

$$G = \sum_{i=1}^{6} p_{i,j} \cdot g_{i,j} \cdot (t_{i,j} - d_{i,j}) \cdot s_{i,j}$$

其中：

G 为工班作业计划量；i 为作业船舶；j 为资源品种；p 为每关单吊件数，件数/关；g 为每小时关数，关/小时；t 为作业时间，小时；d 为干扰时间，小时；s 为作业难度。

2.1 船舶资源识别

船舶资源识别是作业时间、作业难度和作业基准的前提基础，目前工班计划中船舶剩余资源主要通过人工识别、以吨位形式表示，由于货物信息量巨大和人工成本原因对于剩余资源识别的准确性相对较差。

信息管理系统对于每条船的作业进度和剩余资源都有详尽而庞大的数据，利用系统识别和自动计算可以整理识别出准确的剩余资源特征与数量。可通过码头捆包注销中未销账件数，直接分类统计，识别库位、货名、规格明细和件数。

2.2 作业时间

作业时间为码头装船作业时间，主要受到交接班、靠离船、更换吊具、天气、用餐等时间的影响。预报中各参数设定可如表 4 设定。其中部分参数可设定标准，但仍有部分参数需要返补和预估，一般认为当同一库位超过 2 艘船舶时可以判断发货较难匹配码头作业速度，但当中仍有剩余货品切换等因素，待货时间是这部分参数最难设定的参量。

表 4 作业时间设定

目录	时间设定	备注
交接班	10min	
靠离船	60min	
更换吊具	30min	
用餐	30min	
天气	/	可后续返补
待货	/	船舶资源库位识别车辆匹配

2.3 作业难度

作业难度主要跟船舶适装性（主要表现为暗舱深度）、装船进度（舱口沿前后轴位置边钩或长接杆作业）、绑扎要求（冬季经渤海湾航线）有关。

成品码头对部分入港船舶进行了海陆侧暗舱深度实际测量，测量样本量为 40 艘船舶，其暗舱深度＜1m 的船舶为 15 艘，1m-1.5m 的船舶为 12 艘，1.5m-2m 的船舶为 10 艘，≥2m 的船舶为 2 艘（占比见图 3 所示），较深的暗舱深度将增大装船作业难度。

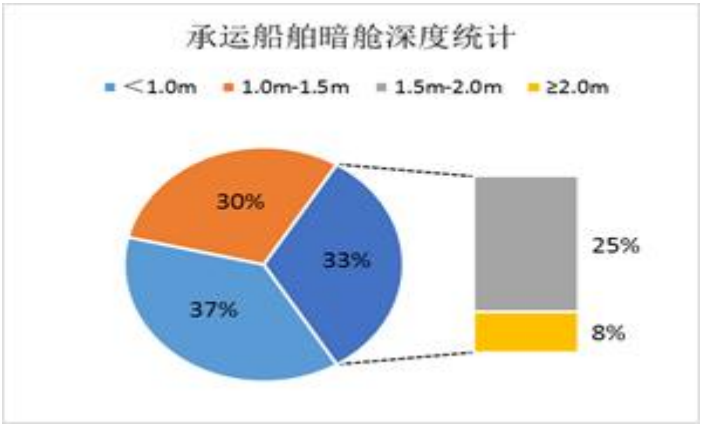


图 3 承运船舶暗舱深度统计

2.4 结果与讨论

根据上述工班装船作业预报方法，选取某日长夜班为案例，其接班各在泊船舶与资源分布如图 4 所示。其结束时工班实绩分别于原有计划量如表 5 所示

表 5　某日长夜工班实绩与计划量

	船名	完成重量/t	完成件数/p	原班计划作业量/t
1#	恒盛 22	1120	104	2000
2#	华东 806	1431	107	200
2#	金舟 26	139	16	1500
3#	梅航 858	723	208	600
4#	嘉荣 33	803	81	2000
5#	奥和	936	237	1000

码头装船分库别列表

	合计			华东806(M6120705) 成品2#泊位		梅航858(M6120915) 成品3#泊位		恒盛22(M6121007) 成品1#泊位		奥和(M6121008) 成品5#泊位		嘉荣33(M6121006) 成品4#泊位	
	库别	总重量	总件数	总重量	总件数	总重量	总件数	总重量	总件数	总重量	总件数	总重量	总件数
1	FLA	651	204	283	41	367	163	0		0		0	
2	FT1	423	28	241	12	0		182	16	0		0	
3	FT2	354	45	0		354	45	0		0		0	
4	FT9	228	118	0		0		0		228	118	0	
5	X11	365	14	365	14	0		0		0		0	
6	X12	130	6	130	6	0		0		0		0	
7	Z02	34	2	0		0		0		34	2	0	
8	Z12	3723	375	410	34	0		710	50	630	108	1971	183
>9	Z21	600	58	0		0		533	48	42	9	24	1
10	Z23	274	28	0		0		274	28	0		0	
	合计：	6782	878	1429	107	721	208	1699	142	934	237	1995	184

图 4　某日长夜工班在泊船舶与资源分布

可以看出各船工班实绩吨位和件数的完成都远低于正常的作业节奏。原因在于 Z12 库资源过于集中，其中较为优先（完工件数较少和剩余资源品种）的华东 806 轮、嘉荣 33 轮和奥和轮都集中于此库位，如果按照原有工班计划量，则对于现场作业引导作用较少，较难客观评价现场作业符合及效率水平。

对于工作经验丰富的现场管理人员，接班了解到的信息就足以让其做出相对准确的人工判断，而当中的判断要点和机理基本如上述章节描述，但是部分参量的量化无法简单的通过公示和模型描述，本次研究亦是当中的一次有益探索，后续将沿此思路，采用数据训练、大样本记录采集拟合等方法从经验和工班案例中确定参量，逐步完善装船作业工班计划量预报模型。

3 结论

本文研究探索了钢铁企业成品码头装船作业计划量的量化预报。对港口机械应对不同钢铁成品、或相同品种不同特性的吊装工艺及特性进行了梳理和确定，并提出了根据识别船舶资源，匹配作业基准，确定每关件数，考虑作业时间和作业难度的工班装船作业计划量预报思路，也由于时间和条件所限未能开展更为深入的研究，存在部分参数无法量化的情况，但总体思路和部分参数可以为科学建立装船作业工班预报模型提供有益参考，有助于合理评价、引导和激励协力单位进行物流生产作业，提前识别当班物流作业难点及整体出厂运力匹配平衡等。

参考文献

[1] 宋健海，刘士新，王梦光,等. 钢铁企业产成品发货装船调度的模型与算法[J]. 东北大学学报自然科学版，2002，23(1):8-11.

[2] 王鸿鹏. 一种优化编制船舶装载计划的新方法[J]. 集美大学学报(自然版)，2002，7(1):38-44.

[3] 蔡真亮. 集装箱船配积载计划编制系统及其在教学中的应用[J]. 宁波大学学报(理工版)，2005，

18(1):126-129.
[4]刘勇. 货物配积载经验数据优化策略[J]. 武汉理工大学学报交通科学与工程版, 2003, 27(3):415-417.
[5]郑慧娟. 钢铁成品水运配载物流计划模型与系统开发[D]. 东北大学, 2008.
[6]杨菲. 钢铁成品水运集配与装载计划建模与优化[D]. 东北大学, 2014.

作者简介

牛云可，联系电话：18778058651，邮箱地址：814093328@qq.com，通讯地址：广西南宁市大学东路109号

服务西部陆海新通道的“中高贯通-江海联培”航海类专业人才培养模式探析

谭婧昀

（广西交通运输学校，广西 南宁，530007）

摘要：聚焦服务西部陆海新通道高质量发展，抓住中高职贯通这一难点和热点问题，立足当前航海类职业教育面临的现实困境，透过层次、专业和课程衔接的结构分析，有针对性地提出“中高一体、多元融合、标准贯通”的探究途径，探究了“中高贯通-江海联培”航海类专业人才培养模式的思路及对策，是为航运行业输送可持续竞争力的合格内河、远洋船员的有效途径。

关键词：西部陆海新通道；中高贯通；江海联培；航海类人才培养模式

基金项目：2021 年度广西职业教育教学改革研究重点项目“服务西部陆海新通道的“中高贯通-江海联培”航海类专业人才培养模式创新与实践”（项目编号：GXZZJG2021A021）。

1 “中高贯通-江海联培”航海类人才培养的背景

2019 年国家发展改革委印发《西部陆海新通道总体规划》，提出加快西部陆海新通道建设，对于充分发挥西部地区连接“一带”和“一路”的纽带作用，深化陆海双向开放，强化措施推进西部大开发形成新格局，推动区域经济高质量发展，具有重大现实意义和深远历史意义。西部陆海新通道位于我国西部地区腹地，北接丝绸之路经济带，南连 21 世纪海上丝绸之路，协同衔接长江经济带，在区域协调发展格局中具有重要战略地位。广西是国家西部陆海新通道建设的核心区域，2019 年广西更是被列为全国首批 13 个“交通强国”试点之一。基于此，笔者以为：航海类专业“江海联培”人才培养模式，适应广西及西南地区水运直航出海、发展向海经济及打造大能力、高效率、低成本、广覆盖的江海联运通道的需要，为服务西部陆海新通道建设，服务中国与东盟贸易的便捷水运通道提供必要的内河、远洋船员人才支撑。

中高贯通是指一定区域范围内，专业设置相近的中职与高职学校开展五年一贯制人才培养模式。由中高职院校共同制定人才培养方案，招收初中毕业生进行培养，共享教育资源，采取共同培养、共同管理，从而实现技能型、技术型人才培养的连续性、系统性。中高贯通培养模式具有一体化的人才培养模式和涉及中职院校与高职院校的双办学主体的两大特征。 2020 年教育部等九部门关于印发《职业教育提质培优行动计划（2020—2023 年）》的通知，指出要加快构建纵向贯通、横向融通的中国特色现代职业教育体系，以为促进经济社会持续发展和提高国家竞争力提供多层次高质量的技术技能人才支撑。2021 年交通运输部、教育部等六部委联合出台《关于加强高素质船员队伍建设的指导意见》，指出将航海相关专业纳入人才紧缺专业范畴，强调通过推动航海相关专业建设，协同制定航海相关专业教学标准，优化课程设计和人才培养方案，注重适应航运新业态需求和发展的学科专业建设，铸造航海教育培训品牌。这些为中高贯通人才培养提供了改革依据。为贯彻落实《国家职业教育改革实施方案》精神，中高职贯通院校应进一步紧密协同，逐步形成以专业为纽带，高职强牵引，中职强基础，中高职院校协同联动的紧密型联合体培养模式；中高职贯通专业布局进一步优化，专业点总体规模保持稳定；中高职贯通质量进一步提升，推动人才培养方案落实、教学标准落地、培养过程规范以及各教学要素有机衔接。广西交通运输学校（原广西航运学校）不仅举办船舶驾驶等内河类船舶驾驶专业中职教育多年，而且联合广西交通职业技术学院大力发展远洋航海类专业高职教育，是中、高职贯通航海类人才培养研究的最佳试验田和实证研究场所。由此可见，服务西部陆海新通道的“中高贯通-江海联培”航海类专业人才培养改革是适应区域经济发展、航运产业技术优化升级和航海类技术技能人才高端化发展的现实之需，是满足各层次技术技能人才的教育需求和完善现代职业教育体系的必然之举。

2 “中高贯通-江海联培”航海类人才培养的意义

2.1 优化区域特色现代化职业教育体系的贯通性

我国已初步建成“中职——高职——职业教育本科——专业学位硕士”贯通的职业教育体系。现有的中高职贯通培养存在着缺乏贯通制度的依据和有效的措施等问题，造成了虽然中高职航海类院校内部体系

结构完整，但相互间融合与交叉不足，因此需要改变横向与航运企业的沟通渠道不顺畅、纵向与上一层次教育贯通途径有限的局面。

2.2 增强面向航运产业需求的适应性

航运业是国际化产业，现代船员大多操纵着国际标准化、专业化、大型化的船舶，科学技术的发展推动了造船技术和船舶助导航设备的持续改进，促使约束船员任职资格和职业行为的国际公约、国内相应法规的不断制定和修订，以及航海职业固有的实践性，决定了航海类专业教育必须为航运企业提供具有国际化、专业化、标准化、实践能力强、可持续发展的应用型人才。职业教育体系在技术技能人才培养目标定位上有不同层次性，中职定位在基础的服务技能培养上，高职定位在管理理念与技术内涵的融入。

2.3 提升航海类职教学生成长路径的畅通性

根据认知心理学，已有的职业知识技能基础有助于中职学校毕业生进入高职教育阶段学校后实现知识迁移，促进学习成效。中高职教育有效贯通并托起终身职业教育的桥梁，有助于中职生和高职生继续升学深造以更好地适应结构调整、技术结构升级和发展方式转变对技能型、技术型人才的新要求，有助于中职生和高职生在适合自己兴趣和能力优势的职业发展道路上走得更远，并且更有作为。

2.4 提高航海类职业教育国际人才培养模式的辐射性

STCW公约确定了航海人才培养的最低要求和标准;各海运国家也已按STCW公约的要求制定了教学大纲、内容，考试发证的标准。加强地区间各航海院校之间在教学内容、教学资源的协调与合作，建立航海教育资源共享机制，以降低办学成本，有利于提升海员教育质量和航海职业教育的大发展。

3 航海类专业职教现状分析

3.1 强调横向外在适应性和淡化纵向内在衔接性的矛盾

中职和高职作为职业教育体系的两大组成部分，是职业教育体系结构优化的重要内容和关键环节。偏重于以适应经济社会发展的需要来发挥中职和高职的经济、政治等外在功能，而轻视顺应技能型人才培养的规律来发挥中职和高职的最基本育人功能，忽略了职业教育体系自身发展的规律；过于强调中职与高职的外在适应性，淡化了中高职的内在衔接性。

3.2 航运事业高速发展与人才培养规模和质量的矛盾

广西是我国大西南地区最便捷的出海通道，随着西部陆海新通道高质量发展、中国-东盟自由贸易区的建成、北部湾经济区的开发和西江亿吨黄金水道建设，广西航运事业将迅猛发展，辖区高等级、高素质船员的需求量将大幅增加。广西交通运输学校联合广西交通职业技术学院，于2014年开始航海类专业招生，至今已培育5届毕业生走上工作岗位，为广西地区社会经济建设和国家航海事业提供了一定数量的专业技术人才，且获得用人单位的一致好评。但由于适任证考试通过率不高，学生就业未能达到专业设定的人才培养方案预期目标。广西航海类人才培养模式单一，航海类人才培养规模与质量难以满足国家急需的矛盾。

3.3 STCW公约要求的船员职业素养与航海类学生现状的矛盾

随着行业吸引力逐渐下降，生源质量难以保障；航海类专业学生学习动力缺失、专业兴趣不高、从业意愿降低、服从意识与动手能力差；而从事航海专业工作对学习能力、理解能力要求比较高，尤其是对英语基础和口语能力的要求更为突出。各航海类院校考适任证书的学生逐年减少，且通过率持续走低，导致能胜任航海工作岗位的学生不断锐减。长此以往，航海类人才数量将难以满足社会需求，制约我国海洋强国建设的推进。

4 “中高贯通-江海联培”航海类专业人才培养模式的结构分析

4.1 层次的贯通

层次贯通是中高职教育贯通的前提。实施对口招生考试制度，实现生源的对口贯通的前提下，才能实现专业与课程的实质性贯通。层次结构的高移化并不单纯意味着中职学校的“升专”或高职学校的“升本”，而是在保持中职和高职院校相对稳定的数量规模的格局下，加强中高职教育贯通，促使低一层次的职业学校毕业生向上流动，继续接受高一层次职业学校同类专业的培养教育，以实现人才培养规格和质量水平的提升。

聚焦“服务西部陆海新通道江海联运”，向航运人才市场输送综合素质高、适任能力强、具备可持续竞争力的合格船员，是广西航海类院校肩负的责任和使命。

4.2 专业的贯通

专业贯通是中高职教育贯通的中间环节。教育部关于印发《职业教育专业目录 （2021 年）》的通知，注重中高职一体化的设计思维，进一步梳理了中高职专业定位。对中职和高职层次之间的专业结构要做好纵向衔接，以促进中高职教育的同质专业无缝对接，并在专业人才培养方案上实现优化整合和提高。航海类专业中职和高职人才培养在目标、能力、层次上应有区别。中职注重培养学生的职业素养和基础知识的运用能力，高职主要体现技术应用的高水平和综合性，在实践的基础上，要具有一定的创新性。在此基础上，可不断提高贯通专业的建设水平，大力建设重点优质专业，并进一步构建以优质专业为龙头、相关专业为支撑的专业群。

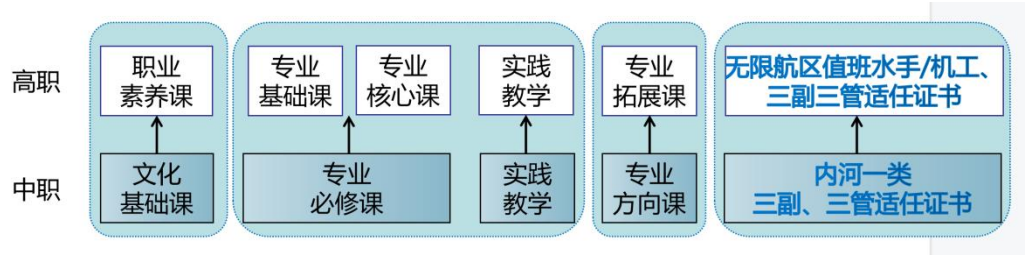
航海类专业经过入学引导、教育后，对学生进行分方向（考证和非考证方向）培养，主要面向陆上（非考证）、水上（考证方向：内河、沿海、远洋）分方向、分类培养，优化人才培养方式，为西部陆海新通道建设、西江黄金水道建设、国家“一带一路”建设输送相应的人才。

序号	专业	办学层级	对应职业
1	船舶驾驶	中职	内河一类三副
2	航海技术	高职	海船值班水手、海船三副、邮轮乘务员
3	轮机维护与管理	中职	内河一类三管
4	轮机工程技术	高职	海船值班机工、海船三管、邮轮乘务员、内河一类三管、航运企业机务管理等

4.3 课程的贯通

课程贯通是中高职教育贯通的核心和落脚点。课程贯通是在中高职教育两个阶段课程结构相对稳定的基础上，达到两个阶段课程目标同一而不冲突、合理分工而不脱节、循序渐进而不倒置、内容充实而不重复，教学有方而不耗损、评价有效而不扭曲。中职阶段课程满足两个要求：一是达到升入高职学习的基本要求；二是满足未升学学生的就业需求。当前，课程建设薄弱依然是中高职教育的一大难点，普遍存在课程目标定位不准、课程结构不太合理、课程内容繁难僵化、课时安排不当、课程职业特色不鲜明等问题。

我校根据中高职同校区办学的优势，积极开展把中高职航海类专业课程进行有机贯通，形成中职与高职在课程标准、教学方法、课堂组织形式甚至教学团队等方面的贯通。且与柳州交通学校建立了定期开展课程建设、人才培养模式研讨会的机制模式，进一步优化职业教育的育人功能，满足学生终生受教育需求。以中职船舶驾驶专业对口高职航海技术专业课程体系贯通为例：



图一：航海技术专业课程体系

5 “中高贯通-江海联培”航海类专业人才培养模式的探索

5.1 一体化研制人才培养标准

5.1.1 以标准引领为理念，强化标准在航海类才培养过程的基础性作用

中职学校、高职学校、海事局、航海类专业教学指导委员会、航运企业五方共同参与，立足西部陆海新通道和平陆运河建设智慧航运高端化发展需要，调研航运企业就业岗位与行业标准（内河、海船适任考试大纲）要求、船员人才需求现状、船员人才规格，厘清职业岗位群和典型工作任务，对接职业能力标准，融入课程思政元素，清晰界定“中高贯通-江海联培”的人才培养目标层次，据此制定一体化人才培养方案和一体化课程标准，培养适应“江海联运”的复合型技术人才。

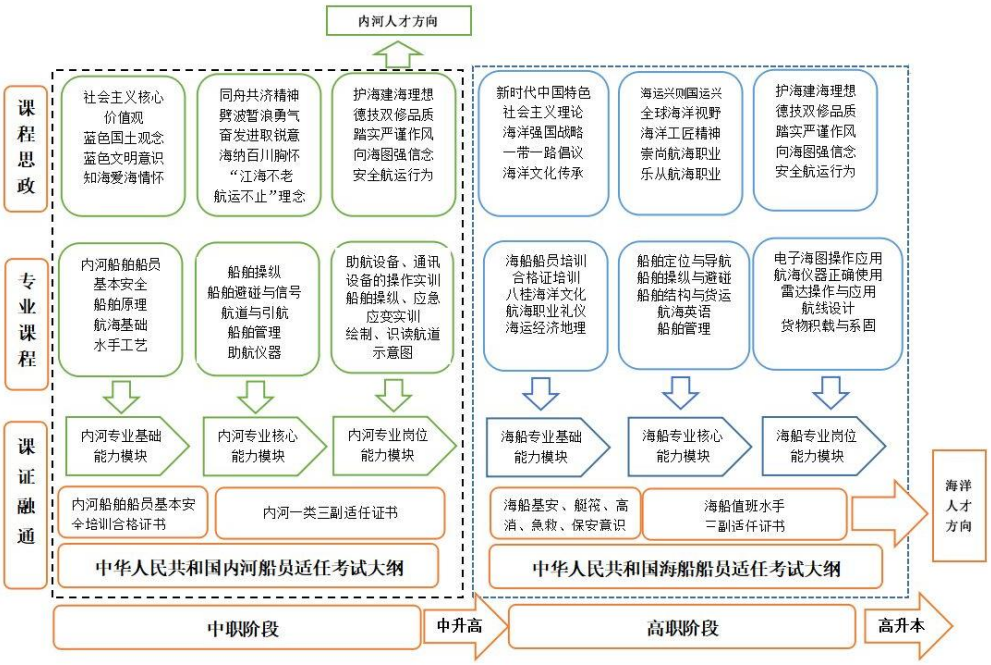
5.1.2 参照 STCW 国际公约标准的航海专业人才培养目标

借鉴全国海员大比武、全国水运类专业技能等竞赛，编制学习型水上实训训练基地标准和岗位实习标准；参照《中华人民共和国海船船员考试和发证规则》编制一体化航海类师资标准；借鉴《中华人民共和国海船船员适任评估大纲》、《中华人民共和国海海船船员培训合格证考试大纲》，指定课程考核标准。

5.2 多元化融通人才培养资源

5.2.1 中高职航海类专业课程贯通

对接西部陆海新通道建设和广西交通强国建设试点方案，形成中职与高职在培养目标、课程设置、课程标准、教学方法、课堂组织形式甚至教学团队等方面的贯通；与其他航海类院校建立了定期开展课程建设、人才培养模式研讨会的机制模式。形成“三能养成，三证融通”的航海技术专业课程体系。“三能”即专业基础能力、专业适任能力、专业拓展能力，“三证”即专业学历证、船员培训合格证、船员适任证。学生在完成全部理论和实践教学内容后，可根据自身能力及就业意愿选考无限（沿海）航区三副、三管适任证或内河三副三管适任证或值班水手机工适任证。构建广西中高贯通航海类教育特色课程体系，系统培养符合航运行业需求的内河与远洋船员人才，促进航海类专业技能型人才培养的层次性、针对性和规范性。



图二：“三能养成，三证融通”的航海技术专业课程体系

5.2.2 “履约依规、三方评价”评价模式

联合行业、企业、中高职学校等多方，根据《中华人民共和国海船船员适任考试、评估和发证规则》、《中华人民共和国海船船员适任考试和评估大纲》，制定教学评价模式，通过构建课程考核、职业能力考核、职业素养考核相结合的“三方参与、三线并行”的学生学业评价模式，“以就业为导向，以能力为核心”和“履约依规、三方评价”为主，突出学生专业基础能力、专业拓展能力和船员岗位适任能力培养，致力于培养具有专业学历证书、专业技能证书和专业适任证书的航海人才。

5.2.3 校企政三方合作重构“课证融通”体系

组织专业教师到行业一线开展调研，通过与航运企业的实践专家开展座谈会、头脑风暴等活动，将行业企业新技术、新规范等产业先进元素纳入教学标准和教学内容，使课程体系与适任证书体系相融合；邀请海事局相关人员到校进行考证专题讲座、授课，帮助师生及时了解考试前沿信息；结合船员培训质量管理体系要求，组织教师积极参与海事部门组织的课程教学计划编制、海事局评估员考试、实操评估协考、海事师资考试，提升教学与考试关联性。

5.2.4 “内培外送”打造“双师-双栖型”教学团队

根据海事法规规定，航海专业教师必须持有相应的高级船员适任证书、海上服务资历和参加海事主管机关组织的相应项目师资培训证书。通过“引进来”，从企业引进持证高级船员补充不足，并对其进行教育理论、教学法和教师资格证等方面培训；通过 “走出去”，即把专业教师送到航海培训机构参加海事师资培训；同时择优从企业择优聘任具有丰富职业技能的高级船员担任船舶驾驶专业兼职教师。通过到船务公司挂职锻炼、高校进修、主持和参与教科研项目、指导或参加技能大赛等途径进行培养，打造与课程体系相适应、以职业岗位能力为主导的的“双师-双栖型”教学团队。

5.2.5 教育体系内部融通，开展“高职以中职为基础，中职以高职为导向”的良性对话

邀请企业的生产、技术人员共同设计和建设实训基地，紧紧抓住航运行业“生产性”的特点，建设具有真实职场氛围的实训基地，从而保证学生身临其境地体验岗位工作的全过程，如船舶操纵模拟、轮机模拟器训练中心实训、集装箱运输模拟实训、电子海图与配积载模拟实训等；完善课程资源库，以提高学生船员适任能力发展为主线，结合航海教育自身特点，建设《船舶操纵》、《船舶避碰》、《船舶管理》等专业核心课程的精品课程建设；以“切实履行马尼拉修正案，全面提高航海教育质量”为指导，为推动国内外交通类职业教育优质课程共商、共建、共享，完成中国-东盟交通职教国际学生航海类两门专业课程建设；中高职学校共同加大资金投入，建设船员标准化考场、航海英语、海洋文化基地等多个实训设施设备和规章制度；结合考试大纲，收集并参考各航海类院校使用训练题库，建立航海类专业证书试题库、模拟考试系统。全面保障中高贯通航海类人才培养实施，有效解决纵、横向衔接不顺的问题，建立“一体化”和“系统化”的有机整体。

5.3 全程化联控人才培养质量

5.3.1 满足 STCW 国际公约标准的航海专业人才培养方案和课程标准

设立课程关键活动观测点，实施专业课程教考分离，将观测点数据和教考结果纳入教学诊改指标体系，从而建立以教考分离为核心的人才培养过程质量监控体系和内部质量诊改考核指标体系，对专业培养过程进行动态监控与教学诊断改进。

5.3.2 教育主管部门和海事主管机关的“双重考核”

航海教育与培养由于受国际公约严格约束，国家执行严格的准入制度而区别于其他大多数的职业教育。专业学历教育受教育主管部门监督考核，船员专项技能培训和岗位适任培训由海事主管部门通过航海教育与培训质量管理体系，依据相关海事法规和文件规定及标准实施严格监督和考核。为满足国际海事公约标准，开办航海教育与培训必须建立质量体系并规范运行，并经国家海事局专家组的审核和认证，对航海人才培养质量的各个环节进行持续有效监督。“双重考核”形成合力，对航海教育与培训质量管理体系进行持续修改和完善以保持其符合性、持续性和有效性。

5.3.3 对培训项目进行课程论证

围绕《中华人民共和国船员培训管理规则》相关要求，邀请海事局专家、航海类本科院校等各方专家对合格证、机工水手、三副三管轮等培训项目进行了课程论证并通过广西海事局确认。根据航运企业对船舶岗位需要，强化职业素质的培养和应急能力的提升、结合学校教学特点，采用了理实一体、项目化教学，体现课程的符合性、实用性、针对性、科学性，对促进课程教学质量的提高、人才的培养和满足企业对职业能力要求等方面具有指导作用。通过课程认证与培训计划认证相结合，充分体现学校办学资源和航海教育的鲜明特色，推进船员教育与培训质量管理体系建设，提高航海人才培养质量，为西部陆海新通道航海类人才培养提供了基本保障。

在高质量建设西部陆海新通道背景下，“中高贯通-江海联培”航海类专业人才培养改革，践行“中高职贯通培养”的职教办学理念，深化“满足 STCW 国际公约标准”的新实践，深入开展“中高一体、多元融合、标准贯通”的中高贯通培养改革研究，打通广西中高职航海教育立交桥，致力于中高贯通培养改革提供模式借鉴与标准参考，有效服务于“一带一路”、“海洋强国”等国家战略和“西部陆海新通道（平陆运河）”、“向海经济”等广西区域经济发展。

参考文献

[1]［美］霍华德·加德纳，多元智能［M］，沈致隆译.北京：新华出版社，2003：5.

[2]徐国庆、石伟平，中高职衔接的课程论研究［J］，教育研究，2012；5.

[3]李海东、杜怡萍.中高职衔接标准建设新视野；从需求到供给［M］，广州：广东高等教育出版社，2014；11-18.

[4]杜怡萍.中高职衔接专业教学标准建设的理论与实践［M］，广州：广东高等教育出版社，2017；11-18.

[5]郭海龙、张永栋、温福军，汽车类专业中高本衔接“双创”人才培养教学标准和课程标准开发的理论、路径与实践研究［M］，广州：广东高等教育出版社，2017；21-25.

[6]王育培，中等和高等职业教育衔接的理论与实践研究——以福建省为例［M］，厦门：厦门大学出版社，

2012；221-225.
[7]桑德斯，标准化的目的与原理，北京：科技文献出版社，1975
[8]中华人民共和国交通运输部新闻办公室，2019 年中国船员发展报告 2020 年 6 月
[9]中华人民共和国教育部,教职成〔2020〕7 号.教育部等九部门关于印发《职业教育提质培优行动计划(2020—2023 年）》的通知
[10]交通运输部 教育部 财政部 人力资源和社会保障部 退役军人事务部 中华全国总工会关于加强高素质船员队伍建设的指导意见
[11]林君焕、黄广健、李金国、潘伯康，中德合作区域中高职一体化人才培养改革的路径探析 [J]，职业教育研究，2023；3.
[12]《西部陆海新通道总体规划》，国家发展和改革委员会，2019

作者简介

谭婧昀，联系电话：18172371616，邮箱地址：281573017@qq.com
通讯地址：广西南宁市大学东路 109 号

浅谈广西航海人才培养问题与对策

杨宇清 黄兆牛 姜敏 陈璐 黄祖栋 韦景令

（广西交通运输学校，广西南宁，530007）

摘要：习近平总书记指出：“经济强国必定是海洋强国、航运强国”。培养数量足、质量高的航海人才队伍，是支撑西部陆海新通道、平陆运河建设及交通强区发展的重要举措。本文针对航海人才培养规模与质量、师资、职业认同感等难以达到行业标准及要求等问题，通过对策研究，构建“四方协同、中高贯通、江海联通”的航海人才共育长效机制，构建出“五维贯通，育训一体”的航海人才培养体系，取得良好效果。

关键词：航海人才培养；共育机制；航海文化

随着广西在“一带一路”倡议、“海洋强国”战略、西部陆海新通道建设发挥的重要节点和门户作用，连通西江干流与北部湾国际枢纽海港的平陆运河开通，在我国西南地区开辟出珠江流域水道经西江干流通向南海的江海联运大通道，不仅大大缓解西江下游通航压力，而且将进一步提升珠江流域的年货物运量，这需要大量的人力与航海人才支持。如何发挥航海院校育人、文化传承等功能，推动高素质船员队伍建设与发展，为平陆运河建设、广西航运事业发展提供强大的人力支持，是广西航海职业教育面临的重大问题及重任。

图 1“一带一路”、西部陆海新通道广西重要节点地位示意图

1 目前航海人才培养存在的问题

1.1 航海人才培养规模与质量难以满足区域航海事业发展需求

我国已发展成为具有世界影响力的航运大国，但距离航运强国还有较大差距，船员数量不足及素质不高，是影响航运业高质量发展的关键因素。广西面临着沿海、沿江、沿边等“三沿”地区交通开放新格局、西部陆海新通道建设等新发展机遇，但广西船员队伍数量、结构远远无法满足广西交通强国试点、海洋强区建设的人才需求。因此，如何培养适应区域航海事业发展需求的大规模高素质航海人才，是广西航海院校面临的重要问题。

1.2“三沿”地区航海院校实训条件、师资等资源不足与航海职业教育高质量发展存在矛盾。

航海职业教育具有鲜明的专业特色，实训条件配备要严格符合 STCW 国际公约要求，地处三沿地区的广西航海院校与发达地区航海院校相比，办学主体单一、经费投入有限，制约了实训条件的改善。另一方面，航海院校师资力量较薄弱，存在引进难、培养难、留住难以及素质整体不高等问题，难以满足航海职业教育高质量发展的要求。

1.3 社会对航海职业的认同感、荣誉感普遍不高

主要表现在对航海类工作认知上存在偏差，一是怕苦怕累，认为船上工作日夜值班，不能自主安排；二是怕寂寞怕危险，船在海上航行，远离城市和闹市区，水上危险性大；三是受传统观念影响，把航海职业仅仅看成谋生致富的手段，对所从事的职业服务区域经济和国家战略的重要意义认识不到位。

1.4 教学团队数量、质量难以满足航海人才培养的要求

一是吸引力不足，主要是薪酬不高；二是职业教育理念更新不够，仍停留在“职业教育是低层次教育”“普通教育是高层次教育”层面；三是培养力度不强。

2 主要对策

针对航海专业人才需求，坚持“向海而兴，向海图强”的蓝色信念，深耕航海产业链高素质技术技能人才培养，紧紧围绕构建人才培养体系的核心要素，在国际海事公约、规则和技术标准框架下，运用系统贯通思维，从升学导向、就业导向、课程教学、文化传承、质量管理五个维度（简称“五维”）入手，强化航海人才培养过程的校企协同和育训结合，构建“中高贯通、江海联通、课证融通、文化相通、机制畅通”的“五维贯通，育训一体”的航海人才培养体系，从而实现规模培养国际化、专业化、高素质航海专业人才的目标。

图 2 “五维贯通，育训一体”的航海人才培养体系

2.1 构建“四方协同、中高贯通、江海联通”的航海人才共育长效机制

在海事主管部门指导下，由广西交通运输学校、广西交通职业技术学院、广西航海学会、广西兴桂船运有限公司等利益相关者，协调推进航海人才培养工作。在多方联合调研的基础上，根据三沿地区航运业发展需求、船员教育与培训市场需求、船员职业生涯发展需求，构建**“人才共育、平台共建、管理共治、发展共享”**的协同育人长效机制，对接行业标准和岗位需求，以**中高职衔接**人才培养为主体，精准定位专业人才培养目标，重构航海专业课程体系，开发系列专业特色教材、工作页、评估题卡，建设一批精品课程资源，改革教学模式与评价模式，确保人才质量满足需求；以**船员培训**为支撑，拓展内河船员、海船船员的社会培训量，突出船员专业核心能力培养，满足航海发展对不同层次人才需求数量不断增长的需要。

人才共育：与海事主管部门、港航企事业单位、航海类高等院校签订“航海教育与船员发展”合作协议，打造**“政府主导、行业指导、校企联手、院校协作”航海人才培养的“育训共同体”**，面向新时代高素质航海人才胜任力培养，着眼航海人才职业生涯可持续发展，以培养专业知识扎实、专业技能过硬、具有航海人职业精神特质的高素质航海人才为目标，协同制定人才培养目标、优化人才培养方案、修订专业建设标准、完善校内外实训实习条件、开展“订单培养”、共建“联合教学点”等多种形式，拓宽航海人才培养途径，推进产教融合、工学结合落地实施，与广西交通职业技术学院合作办学，成功打造中高贯通的航海人才培养基地。

平台共建：与南宁海事局、广西职工技术协会海事分会、广西南宁高恒技术服务公司等合作，共建船员培训机构，**对接 STCW 国际公约，对标中华人民共和国海船、内河船舶船员适任考试和发证规则**，完善从船员证书类别（**内河、海船方向**），到船员证书级别（**支持级、操作级、管理级**）的**“分向分级”船员培训架构**，满足船员初期就业、职业素养提升、职务晋升等多元化培训需求，建立“江海联通、育训一体”的船员继续教育和终身教育培训体系。

管理共治：发挥行业学会在推动教学改革创新方面的智库作用，学校作为广西航海学会的秘书长单位，主动服务协会，定期组织有关水运行业发展趋势、航海人才培养等专题学术研讨交流活动。作为广西交通运输职业教育教学指导委员会成员单位，通过实地考察、一线调研、专题研讨、专家咨询、项目验收、教学质量评估等形式，依法实现学校办学与社会其他组织的对话与合作，推动学校管理向“依法办学、自主办学、民主监督、社会参与”的现代治理模式转变。

发展共享：依托四方协同育训平台，建立“资源整合、优势互补、互惠共赢”的互助发展机制。学校近年来开创航海特色办学、内涵发展的新局面，中高职联办航海类专业填补广西航海教育体系高职层次的空白，船舶驾驶专业成为国家改革发展示范校重点建设专业、全国交通运输类专业示范点、“海洋工程”特色专业及示范性实训基地顺利通过验收，校企共建的船员培训中心，年均培训规模专家，为广西航运事业发展做出重要贡献，创造良好社会效益和经济效益。

2.2 构建“双标衔接，课证融通”的课程体系

一是引入行业标准，按照“学历证书+职业资格证书”的要求，改造专业课程体系。依据国家海事局新颁布的《船员适任考试和评估大纲》等行业标准，通过把专业核心课程标准与船员适任证书理论考试科目大纲对接，技能方向实训课程标准和船员适任证书实操项目评估大纲对接，专业基础课程与专业培训合格证考证大纲要求对接，强化专业学生专业基础能力、专业核心能力、船员岗位适任能力以及航海人职业精神养成，构建满足 STCW 要求的“双标衔接，课证融通”的专业课程体系，分类制定课程标准并通海事主管部门认证。

二是领衔标准制定，开发教育教学培训资源。作为牵头单位，以船员职业胜任力为导向，主持全国中职船舶驾驶、轮机管理专业核心课程标准制定。开拓与大连海事大学、武汉理工大学、台北海洋科技大学等院校交流与合作，引进 IMO 示范课程，吸收发达地区优质航海教育课程资源建设经验。联合海事主管部门、行业专家，以信息化、互动式、一体化为原则，协同开发《船舶操纵》《船舶避碰》等 6 门精品课程教学资源以及《广西辖区内河船员实际操作运用模拟器考试评估规范》题库资源及训练指导工作页，极大提升专业教学实效性。

2.3 创新“双线导学、育训结合”教学模式

基于“专业知识+职业能力”考核要求，推进“题卡+工作页”双线导学、真仿合练教学模式改革。

改善实训条件。紧跟现代化船舶装备革新、船舶驾驶新技术推广应用，累计投入近 2158 万元专项经费用于航海仿真实训中心、航海仪器训练中心、航海基本技能训练中心、船舶动力设备拆装与操作中心以及船舶制造与维修实训中心等接轨真实工作场景的实训环境建设与改造，较好满足中高职航海人才培养及船员专业技能训练要求。

实施双线导学。完善“认知见习、仿真训练、跟岗学习、实岗锻炼”真仿合练四步环节：认知见习阶段，组织师生开展职业认知竞赛、参观航运企业帮助学生了解专业；仿真训练阶段，利用船舶操纵模拟器，利用线上平台考试评估题卡、线下平台基于真实工作项目的工作页指导学生强化专业技能训练；跟岗学习阶段，安排学生到西江—珠江航线进行航行体验；实岗锻炼阶段，安排获证学生上船顶岗，开启船员职业生涯。

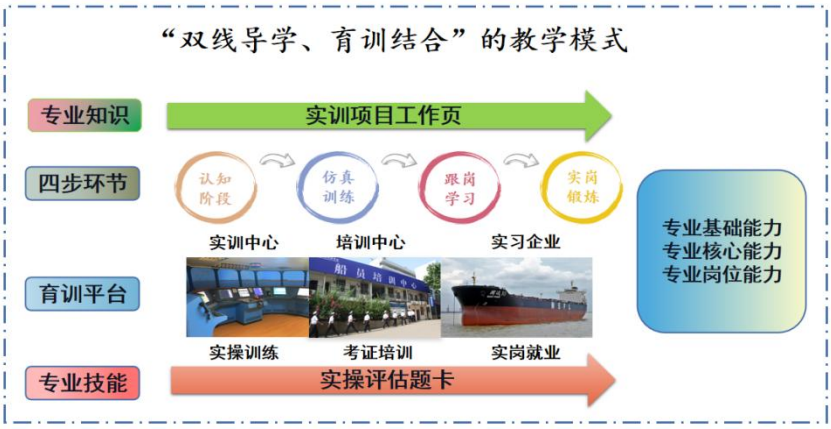


图 3“双线导学、育训结合”教学模式图

2.4 构建“双频共振，三课堂联动”的海洋文化进校园的实践路径

一是“四方”联动，通过到乡村招生宣传、开展“航海日”“海事日”等多种活动，校园内外报刊、视频、讲座等多形式、多途径的活动，向社会开放航海科普教育基地，引导社会人员广泛参与、到校体验，对在校学生举办海洋知识竞赛、海洋文学鉴赏、船员技能大赛、海事科普教育，举办“海韵匠心”大讲堂系列讲座，推出“船长开讲”主题论坛，讲好新时代航海奋斗故事，通过校友寄语、家长祝福、集体宣誓等领航学生知小我、立大我、明身份、担责任，让学生和社会人员坚定“航运即国运”“海兴则国强民富、海衰则国弱民穷”“向海洋要发展”的蓝色信念。

二是明确立德树人、文化育人在人才培养目标中的价值方位与时代坐标，通过第一课堂课程思政建设，引航学生坚定航海教育报国初心、坚定向海图强蓝色信念；第二课堂社团与海洋文化品牌活动，引导学生乐从航海职业、敬畏航海职业；第三课堂线上海洋意识专题教育、宣传阵地建设等途径，营造知海、爱海、护海、建海的良好氛围。

第一课堂，思政引航。推进课程思政建设，在各门课程中，结合航海专业特点融入蓝色国土、蓝色经济、蓝色科技、蓝色文明、蓝色工匠等思政元素，面向中高职学生开设八桂海洋文化公选课，聘请海事部门主管开展“大国航运”公益讲座，邀请老船长给学生讲述“我的航海故事”，传承航海职业人凭栏观涛的务实精神、同舟共济的团结精神、劈波斩浪的开拓精神、海纳百川的包容精神，引航学生坚定“走向深

蓝”的职业理想，丰富“江海不老，航运不止”海洋文化品牌内涵。

第二课堂，活动乐航。通过海鸥青年马克思主义研学社、航韵之声广播社、启航文学社、逐浪船模社、海星志愿服务社等海洋特色校园社团建设，常态化开展“知海、爱海、护海、建海”主题实践活动，结合职教活动周、航海纪念日等重要节点，利用海洋科普馆、航海文化长廊等载体，举办航海教育开放日、海洋技能体验周、海洋文化艺术节等特色文化节庆活动，增强学生向海发展意识和崇尚船员职业、乐从船员职业的使命感、荣誉感和自豪感。

第三课堂，氛围护航。适应新媒体技术发展特点和学生网络生活特征，通过官网、官微、校园 LED 屏、校道动态宣传栏等媒体阵地，强化海洋文化氛围的营造，发挥其润物无声的隐性育人功能，使学生在日常校园生活中感受江海魅力，汇聚江海力量，点燃江海希望。

2.5 打造“双核驱动、双栖双师”型教学团队

大力引进行业专家、能工巧匠等充实师资队伍，改善双师结构提升双师素质；加强多元主体间在人才培养、专业建设、技术服务、经费投入、项目研究等方面的合作，带动航海职业教育教与产的紧密结合，促进人才培养针对性、实效性提升。

引进与培养相结合。按照“双证+双经历”要求，一方面从航运企事业单位，大力引进具有丰富船上资历的船长、轮机长、大副、大管轮等充实专业教师队伍，并对他们进行教学能力进阶式培训，丰富其教学经历；另一方面有计划安排缺乏船上资历或船员适应证书未达标准的专业教师通过参加适任证培训考试、上船挂职锻炼获得船上服务资历，同时鼓励专业教师担任适任证、合格证考试评估员等强化其实践教学经验。

考核与激励相结合。制定《航海类紧缺人才引进暂行管理办法》，针对引进高层次航海人才，给予安家费、特殊专业岗位津贴、学历进修补助、上船挂职期间基本工资保障、考证培训奖励、持证奖励等待遇方面的倾斜，同时实施特岗人员ＫＰＩ岗位绩效考核，考核结果与年终奖励绩效挂钩，充分发挥考核激励作用，有效解决航海师资引进难、留住难、培养难等问题。

发挥名师名匠双核作用。以教学名师、高级船长、轮机长为核心，充分发挥“教学型”名师在教育教学改革的引领作用，“实践型”航运名匠在实践教学能力提升方面的促进作用。通过名师名匠在教学团队中双核驱动效应，带动教学团队结构优化，双师型教师、中高级职称比例显著提高。

总之，针对航海人才培养中存在的问题，政校行企通过构建与实施“五维贯通，育训一体”的航海人才培养体系，将海洋文化有机融入校园文化，发挥“三课堂”立德树人、文化传承与创新的育人功能，引导广大学子坚守航海教育报国的初心，打造“江海不老，航运不止”航海文化品牌等，有效解决了航海人才培养的根本问题，实现人才培养与产业需求无缝对接。

作者简介

杨宇清(1964-),广西交通运输学校教师,正高级讲师。研究方向:教育教学管理。联系方式:13607715603 邮箱：358448657@qq.com。

黄兆牛（1973-），广西交通运输学校教师，硕士，正高级讲师。研究方向：中高职航海教育与培训管理。联系方式：15877196577 邮箱：157796372@qq.com。

姜敏（1977-）：广西交通职业技术学院，正高级讲师。研究方向：德育教育教学管理。联系方式：13768513787 邮箱：50558698@qq.com。

通讯地址：广西南宁市大学东路 109 号　　邮编：530007

提升我国船舶交易数据服务能力探究

徐 凯[1,2]　冯翊洋[2]　　付 怡[2]

(1.上海海事大学 上海国际航运研究中心，上海 200082；

2.上海海事大学 交通运输学院，上海 201306)

摘要：随着船舶交易呈现线上化趋势，在进一步便利化船舶交易业务的同时，也提供了更好的数字化船舶交易数字采集手段。然而，我国的船舶交易数据积累和服务面临起步晚、小而散、缺标准、难共享等发展现状，难以利用船舶数据来支撑航运、金融、商贸、制造业的决策支持需求。因此，本文通过揭示船舶发展线上化趋势，借鉴国外船舶数据服务发展经验，来为我国在大数据时代更好的积累和利用船舶交易数据提出建议和参考。

关键词：船舶交易；大数据；线上化；金融；保险；标准

0 引 言

今天的船舶交易早已不像波罗的海航运交易所成立的时代，在咖啡厅里依靠口口相传进行磋商。取而代之的是通过交易中介和团体组织的撮合，以场外交易的形式来促进船舶交易。近年来，随着互联网技术的不断成熟和市场对信息透明公开需求的提高，船舶交易活动更是显现出线上化交易，竞拍式交易的新模式。本文旨在对船舶交易线上化趋势和特点进行剖析，并为我国如何利用数字化方式更好的沉淀和应用船舶交易数据提出建议，为补齐我国船舶数据服务能力短板提供参考。

1 数字化时代的船舶交易现状

1.1 船舶交易互联网化发展情况

2010 年 4 月，我国交通运输部出台《船舶交易管理规定》首次对船舶交易互联网化做出了指示，并委托上海航运交易所拟定船舶交易服务规范，建立全国统一的船舶交易信息平台。2010 年，上海启动航运经纪人试点诞生了中国大陆首批航运经纪人。2014 年 8 月，浙江船舶交易市场旗下拍船网正式上线运营，是全球首个船舶在线交易平台，以拍卖的方式进行交易。随后，全国各省市、航运业各大公司相继建立了自己的船舶交易平台，广州航运交易平台于 2016 年上线，境外船舶交易总额已经突破 8.32 亿人民币，是我国最大的境外船舶交易服务平台。

目前，我国船舶线上交易模式正在走向国际化，但缺乏相应的数据积累；国际船舶线上交易虽然大多不具备拍卖的功能，但如克拉克森、德鲁里等头部企业已经拥有全球性规模的数据库并建立了相应的船舶交易标准体系。

1.2 网络船舶交易平台的模式比较

目前来说，船舶交易互联网化主要分为 3 种模式。第一种是船舶在线交易平台。买家和卖家通过专门的船舶在线交易网站可以发布船舶信息、浏览船舶市场供需，按照意愿进行线上交流、谈判和达成交易。这些平台提供船舶信息查询、在线竞价、支付结算等基础功能，部分平台还提供融资租赁、船舶估值服务。

第二种是电子拍卖。这种模式常与船舶在线交易平台联合使用，卖家在平台发布船舶信息和起拍价格，买家通过竞价参与拍卖，最终以最高者中标。电子拍卖具有公开透明、效率高的特点。

第三种是在线经纪人服务。买卖双方可以委托在线经纪人代理交易，包括船舶信息、联系潜在卖家或买家、进行谈判和协商，最终达成交易。表 1 是国内外船舶交易平台模式比较表。

国内船舶交易平台拥有较为发达的船舶电子拍卖体系。相较而言，国际上的网络化船舶交易更侧重于在线经纪人，拥有更庞大的数据库和更成熟的全球性服务体系。

表 1 国内外船舶交易平台模式比较表

	在线交易	电子拍卖	在线经纪人	归属
拍船网	√	√	√	国内
中船船舶交易网	√		√	国内
国际船舶在线	√	√	√	国内

点船网	√	√	√	国内
克拉克森			√	国际
Nauticsnp	√		√	国际
Petronav	√		√	国际

2 建设船舶交易数据服务能力的必要性

2.1 船舶交易数据蕴含着怎样的价值

（1）船舶经营人的决策支持价值

首先，从造船厂的角度来看，船舶交易具有国际性和建造周期长的特点。新船价格、原材料价格和二手船市场等因素对于造船厂做出决策至关重要。因此，拥有可靠的船舶交易数据可以帮助造船厂对市场进行初步判断，了解市场趋势，制定合理的决策策略，这对于提高造船厂的竞争力和经营效益具有积极的影响。其次对于船东来说，通过对船舶交易数据的分析和利用，船东能够更好地了解市场情况、做出明智的决策、优化资产配置，并抓住潜在的业务机会，从而提高竞争力和可持续发展。最后，从买方的角度来看，船舶交易数据能够反映市场行情、船舶供需动态等信息，通过这些数据，买方可以迅速了解市场趋势，并确定自己的预期价格等关键信息。

（2）金融机构的融资风控价值

船舶交易数据可以提供关于船舶的技术规格、年限、维修记录和市场价值等信息，这些数据可以帮助银行或金融机构评估船舶价值和可贷款价值，为融资决策提供参考。船舶使用记录、船舶事故统计等信息可以帮助金融机构评估船舶的风险水平，同时这些数据将影响融资的额度、利率和贷款条件的确定。船舶交易数据可以显示借款人所拥有船舶的买卖历史和交易价格，如果借款人频繁调换船舶或船舶出售价格远低于市场预期，则可能说明借款人财务状况不佳或经营不善，这对金融机构确保借款人可以履约具有意义。除此之外，通过监测船舶交易数据可以了解船舶交易市场的动态。

（3）保险业的产品设计和风险控制价值

保险公司可以通过对航行区域、船龄、船舶事故损失统计等数据进行综合分析来确定保险费率、保险范围和确立保险条款提供决策支持。通过船舶交易数据提供的船舶交易活动的地理分布、船型偏好、事故多发地及市场需求等信息，保险公司可以根据潜在的客户群体和需求特点推出特定的保险服务。保险公司还可以对平台上的大量船舶交易数据进行建模和分析，识别出影响船舶赔偿的主要因素和频率（或者说船舶发生事故的因素和频率），并将这些放入建立好的精算模型中进行风险评估和损失预测。例如：通过分析船龄和航区与事故发生率之间的关系，保险公司可以调整相应的精算参数，提高定价和风险控制的准确性。

（4）国际组织及政府机构的决策参考

国际组织可利用船舶交易数据可以更有效地起到监管的职能，用于对造船业、航运业市场的发展规划进行指导，使其具备了趋势预测的指标。国际组织可依据这些指数以及相应的船舶交易数据库制定如碳减排、船舶检修方面的公约或规定。此外，船舶交易数据为政府机构出台政策提供了参考。如克拉克森在 2022 年出现了绿色船舶、环保信息等数据，反映了全球绿色航运的趋势。同时，政府也会引导建立船舶交易数据库，提高航运业影响力，如上海建立上海航运交易所，首创上海船舶价格指数，提升了上海国际航运中心的影响力，也开拓了我国在全球船舶交易的话语权。

2.2 船舶交易数据怎样汇聚和应用

国际上，船舶交易数据主要由数据服务商掌握。这些公司拥有很强的全球性，如克拉克森是利用其船舶经纪业务积累的庞大的关系网和全球化网点布局让其数据服务范围涵盖全球，同时辅以 AIS 数据等手段对世界船队进行实时监控。这些数据服务商会定期发布行业报告并对外收取一定费用，同时设有专家团队为航运企业提供咨询、代理等服务，这也是其盈利方式。

在国内，船舶交易数据主要是由政府引导。上海航运交易所是由我国交通运输部与上海市政府共同组建的国家级航运交易所，拥有拥有港、航、货、代理、金融、经纪人等各类 200 余家会员单位，其主办了中华船舶交易网，其数据来源于《船舶交易管理规定》中规定的船舶交易信息公示报送以及其会员单位。

而部分船舶由于并不属于上述规定所包含的船舶，数据记录也存在缺失。

2.3 国内与国际船舶交易数据服务差距

目前，相较于国际船舶交易数据服务，我国船舶交易数据服务仍有差距。首先，我国的船舶交易数据缺乏统一的标准，数据散落，积累周期不够长，缺乏提供数据服务的基础，主要体现在国际船舶与我国内河船舶方面。其次，我国船舶数据服务主要仍以月度报告的形式呈现，缺乏在线数据服务产品体系，不仅缺乏及时性，面向金融、保险、法律的增值服务也有缺失。

3 船舶交易数据服务能力不足的反思

3.1 我国发展船舶交易数据服务的难点

数据服务通常包括五种类型，数据看板 APP、分析报告、在线查询、API、数据包、离线数据邮寄等。船舶交易数据服务中主要运用分析报告、API、在线查询以及数据看板 APP。我国拥有世界级的海运市场和船舶市场，已经跻身全球第一船东国，但却没有匹配的船舶交易数据服务。

交通运输部发布的《2022 中国航运发展报告》显示：2022 年全国港口货物吞吐量 156.8 亿吨、港口集装箱吞吐量近 3 亿标箱，全球货物和集装箱吞吐量排名前十的港口中，我国分别占八席和七席。据交通部统计，截至 2021 年底，我国内河航道的通航里程达 12.8 万公里，居世界首位，其中国家高等级航道超过 1.6 万公里，拥有生产用码头泊位 20867 个，基本形成了长三角、津冀、粤港澳等世界级港口群。《2021 年交通运输行业发展统计公报》显示，截至 2021 年年底，全国拥有内河运输船舶 11.36 万艘，净载重量 14676.92 万吨。截至 2023 年 8 月，中国船东拥有的船队规模达到 2.492 亿总吨，从总吨上超越长期“霸榜”的希腊。

从以上信息来看我国航运市场发展良好，甚至超越国外，但在船舶交易数据服务方面却止步不前，尤其是内河船舶交易的数据几乎难以被汇集并利用起来。表现在，本土没有可以提供完整船舶数据服务的企业，以至于大部分国际船舶交易数据几乎被伦敦为首的境外企业垄断。总的来看主要原因为以下几点：

第一，内贸船东小而散，共享意识薄弱

我国内河船舶虽然多，但船东以家族企业为主，除去几大船东公司，个人船东占据绝大比例，这些船东大多是个人或个人合伙购买船舶挂靠船公司经营，平均每个个人船东拥有 1-2 艘船，这些船舶活动范围凭船东意愿分布，导致内河航运市场的运力分布不均，无法建立完善的运力供给制度。这种小而散的组织形式容易导致区域性竞争激烈、运力过剩或者缺乏船舶的情况发生。这导致船东之间竞争加剧，为了保持竞争优势，他们可能不愿意公开所有信息或与其他船东共享市场信息，尤其是船舶交易信息。这种情况下，船东们可能更注重保护自己的商业利益，而不是意识到信息共享带来的整体效益。

第二，私下交易为主，缺乏数据披露

内河船舶的交易通常是类似于他们提供的运输服务一样，大多是基于船东之间累积的人脉资源和私下联系进行协商，而不是通过公共平台进行交易。这种情况导致实际交易情况只有参与方知晓，数据不会披露出来。此外，目前现有的船舶交易平台能较完整记录交易情况的仅有电子拍卖，我国目前绝大部分的船舶交易数据汇聚也是依赖于企业对政府的数据报送，对于国际船舶交易数据的收集有待提高。

第三，船舶数据散落，条块壁垒显著

港航业涉及的数据包含船-货-港三大方面，每一分支都会产生巨大的数据源。但是这些数据仅仅在航运业里产生和利用，而产业外的其他部门结构却没有充分利用起来这些数据。如船舶贸易涉及交通运输部、商务部、工信部、银保监等部门，但这些部门的数据合作仍有待加强。此外，几乎所有的船舶交易数据平台都会提供金融服务、经纪服务，但都不具备国际影响力。

第四，交易服务起步晚，数据缺乏积累

2010 年 4 月，交通运输部出台《船舶交易管理规定》才第一次对船舶交易互联网化做出了指示，相较于伦敦等历史久远的欧洲航运国家来说，对船舶交易数据的重视起步太晚，在短期竞争内无法拥有优势地位。例如克拉克森、劳氏等均是老牌数据服务商，他们在国际上的影响力远超我国，相关标准和技术也更先进。

第四，平台多而杂，数据标准缺失

目前，我国有众多的船舶交易平台，主要服务是交易船舶信息挂牌以及电子拍卖，但各个平台披露数据标准不一，除了船名、船型、船舶大小等、主机基础数据外，对于辅机、以及排放等数据仅有少部分平

台公布，维修次数仅能在备注中体现出来。此外，即便拥有大量的船舶数据交易平台，船舶交易大部分情况除电子拍卖以外仍要经过线下的洽谈，以至于一些船舶交易数据无法收集

3.2 伦敦领先的船舶交易数据服务经验借鉴

克拉克森作为全球最大的航运数据服务商，跟踪全球约 15 万艘船舶，通过"World Fleet Register"和"Sea/net"系统,可获取包括有关船舶设备、公司、造船、排放法规、燃料过渡和替代燃料等精细信息；100+的船舶销售与经纪人战略性分布在全球 13 家办事处，与全球船公司与船厂保持亲密合作。每周五克拉克森会发布航运情报周刊，对船舶交易数据进行实时披露，字段包括船舶基本信息以及可替代燃料及脱硫塔等环保信息，并有克拉克森指数进行评估并预测未来走势。根据报告来看，克拉克森似乎仅披露部分数量的船舶交易情况，其背后可能拥有更庞大的数据库。

VesselsValue 是全球第一家在线船舶估值公司，总部设在英国伦敦，其数据系统被业界广泛使用。除了伦敦总部外，VesselsValue 在全球范围设有包括中国、英国、新加坡、韩国等 8 个办公室，员工人数超过 200 人，同时与全球各个船公司、船厂、海事网站进行广泛合作，使用 AIS 跟踪全球船队数据。数据库每天都会进行更新与验证，通过在线访问、API 数据接入、生成报告为客户提供服务。

4 培育我国船舶交易数据服务能力的建议

4.1 制订船舶交易数据标准

我国培育船舶交易数据服务能力首先需要拥有一套完整的船舶数据标准体系。首先，我国需要汇集散落的数据形成船舶交易数据库，其次加强各地船舶交易平台数据合作，推广标准格式船舶交易数据互换与共享，制订船舶交易数据标准，建立船舶全生命周期数据平台，解决数据安全与共享的法律和技术问题。中国船东协会刚于 8 月公示了团体标准《航运大数据 船舶 第 1 部分：数据分类与代码》与《航运大数据 船舶 第 2 部分：数据安全合规指南》的立项。交通运输部也于 9 月征求港口等 7 个水路领域标准体系意见《内河船与水路运输标准体系及起草说明》中明确列入了《船舶交易数据技术要求》编制计划。笔者汇集了国内外多个船舶交易平台数据字段，并选取了以下字段作为披露参考，见表 2，同时平台应设有备注栏对特殊信息进行说明。

表 2 船舶交易数据字段参考

<table>
<tr><td colspan="3">基本信息</td><td>主机</td><td>辅机</td><td>其他</td><td>船上设备</td></tr>
<tr><td>船名、IMO</td><td>航区</td><td>船厂</td><td rowspan="5">功率、转速、数量、品牌、型号</td><td rowspan="5">品牌、功率、数量</td><td>油耗</td><td>吊机吊杆等</td></tr>
<tr><td>船型</td><td>基本结构</td><td>建造时间</td><td>航速</td><td>环保设备</td></tr>
<tr><td>船级</td><td>船宽*船长*型深</td><td>货舱仓容</td><td>柴油机排放标准</td><td></td></tr>
<tr><td>船旗</td><td>吃水</td><td>是否改造</td><td>可替代燃料</td><td></td></tr>
<tr><td>总吨</td><td>净载重吨</td><td>维修次数</td><td>价格</td><td></td></tr>
</table>

4.2 加强数据互换合作

我国应加强数据互换合作，可主要分为三大阶段。第一阶段，由交通运输部、商务部、工信部、银保监等多部门开展合作，整合国内现有数据库包括内贸船形成船舶交易数据标准，同时选取典型的企业或部门，如各地航运交易所、造船厂、船公司、经纪公司等构建船舶交易产业联盟，在数据脱敏、平衡各方利益的同时共享数据。第二阶段，我国可拉拢周边国家如日本、韩国等亚洲船东国家以及印度、孟加拉国等亚洲拆船大国共享数据，完善船舶交易数据全生命周期收集，拓宽船舶交易数据库的覆盖程度，形成初步的区域影响力。第三阶段，加强与欧美国家、新加坡等海运强国以及老牌数据服务商的合作，也可尝试对海外数据服务公司进行收购，打破数据壁垒，进一步拓宽船舶交易领域的国际影响力。

4.3 推动船舶交易数据商业化应用机制

促进船舶交易数据商业化，鼓励政府与企业、企业与企业之间的数据交易以及数据服务企业的并购与淘汰，尝试参股与收购海外的航运数据服务企业；推动船舶交易数据商业应用，构建全产业服务链数据平台，将船舶交易数据多方面应用，涵盖咨询、决策、数据支持、交易撮合、保险、法律等多方面，对这些

增值服务收取一定的费用，获取相关数据以支持正常运营。商业化能够以企业的身份开拓国际市场，有利于获取国际船舶交易数据，实现船舶交易服务的全球覆盖。

4.4 构建船舶全生命周期数据共享平台

由政府牵头与第三方企业合作打造船舶全生命周期数据共享平台，联盟内部成员作为会员共享数据，鼓励内部成员提供所掌握的船舶交易数据，定期以行业报告的形式公开部分数据。平台内部会员设立分类分级数据管理制度，如政府部门可调取全部数据以作决策用途，研究机构可在授权的情况下获取大部分数据提供咨询服务，各个企业可通过这些数据提高市场竞争力，决定企业发展方向。平台需明确保密规则，对数据泄露等行为实行惩罚措施。

4.5 共建船舶数据应用研究创新联合体

协同船舶交易数据链相关政府、企业、院校和研究机构联合打造船舶数据应用研究创新联合体，政府、大型企业可为院校、研究机构提供数据、经济上的支持，院校与研究机构联合攻关，进行创新研究，为政府调控市场、企业管理船舶提供决策依据。中小微企业可积极参与创新研究，系统提升技术创新能力，强化企业技术创新的主体地位。创新联合体本质是为了结成利益共享、风险共担的创新攻关团队，提高创新科研成果转化高效。

作者简介:

徐凯，博士，高级工程师，硕士生导师，上海国际航运中心首席信息官，主要研究方向: 港航领域的大数据应用、决策支持系统、航运电子商务与平台经济、智能航运、航运区块链、人工智能等，（E-mail）kernxu@sisi-smu.org,13816950360

冯翊洋，本科生，主要研究方向:国际航运管理

付怡，女，本科生，主要研究方向:国际航运管理、国际贸易

一种被引船航迹偏离风险预测模型

周樾枫　陈旭海

（上海港引航站，上海 200082）

摘 要：根据上海港近年来的船舶数据，并借鉴前人研究成果，从“人、机、环、管”四个方面，建立明确指标风险分级标准的评估指标体系，进而在此基础上引入遗传算法(GA)优化的支持向量机(SVM)方法，构建基于GA-SVM的被引船航迹偏离风险预测模型。应用建成的风险预测模型，对实例进行评估，结果表明，该模型预测结果精确度较高，在小样本风险预测中有较好的适用性和可靠性。

关键词：被引船；航迹偏离；遗传算法；支持向量机；风险预测

近年来，随着航运经济的不断发展，全球贸易不断扩大。海运作为国际贸易的重要形式，其安全发展及风险控制日益受到人们的关注。我国每年的外贸进出口额越来越大，进出港外籍船舶增加。在外籍船舶进港及离港的过程中，引航员的作用不可或缺。从目前有关引航员的安全风险控制方面来看，关于引航员离轮时的船舶安全风险讨论较为泛化，通常都是定性讨论较多，数量模型较少。本文试图为如何在有限样本中建立风险预测模型提供思路。

就目前而言，关于船舶引航风险的风险预测模型已有很多，如灰色系统、模糊综合评判法、神经网络等，以上模型各有千秋，也有一定局限。如灰色系统在其样本离散波动较大时会降低预测精度，神经网络系统如果没有大量样本支持则无法得到很好的预测效果。本文所研究的被引船航迹偏离风险仅存在于引航员离轮的过程中，其样本获取存在一定难度，且不能达到神经网络所要求的大样本数量。而SVM（Support Vector Machine）是机器学习领域能较好解决小样本问题的模型之一。通过分析有限样本中的各个风险因子，建立“人、机、环、管”四个方面的评估体系、确定指标分级标准，引入SVM进行建模。利用SVM能较好解决非线性可分情况下高维度的小样本复杂系统的特性，对被引船引航员离轮后产生的航迹偏离样本各个因素进行分析，并通过遗传算法GA （Genetic Algorithm）对核函数 g 进行优化，构建被引船航迹偏离风险预测模型。

1　GA-SVM算法原理

1.1 SVM简介

支持向量机（Support Vector Machines，SVM）源自于 $Vladimir\ N.Vapnik$ 等人研究的统计学习理论、结构风险最小原理和 VC 维理论[1]。它的基本思想是将输入空间中的样本通过某种非线性函数关系映射到一个特征空间中 （通常维数比输入空间高）使两类样本在此特征空间中线性可分并寻找样本在此特征空间中的最优线性区分超平面。这里输入空间即为由样本构成的输入向量所在的空间[2]。

设训练样本为 $\{x_i,\ y_i\}$；$i=1,2,\cdots,\ l$；$x_i\in R^n$，$y_i\in\{-1,1\}$；l 为样本量，样本标签 $y_i=\pm 1$ 分别表示正负类样本，R^n 为n维实数空间。当线性可分时，存在分类超平面 $wx+b=0$（如图1所示）。但通常样本都不是线性可分的，此时，需进行非线性映射，将样本从输入空间映射到某高维特征空间。

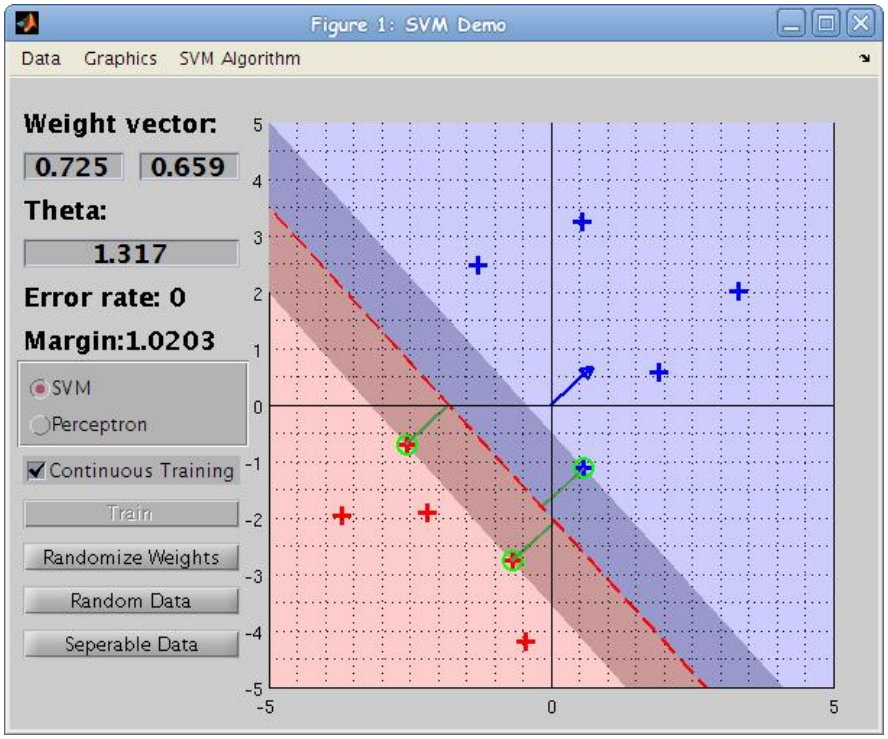


图 1　SVM 分类超平面示意图

此时的分类超平面表示为 $w\varnothing(x)+b=0$，其中 w、b 都为待定变量。此最优超平面问题就转化为图 1 所示的几何间隔问题，此时引入降低超平面要求的松弛项 ξ_i 以允许有些样本未被划分正确，以及针对松弛项条件过宽时的惩罚因子 C，用来约束松弛变量，则目标函数变为以下形式：

$$\begin{cases} \min \dfrac{w^2}{2}+C\sum_{i=1}^{l}\xi_i \\ s.t.y_i\left(wx_i+b\right)\geq 1-\xi_i \\ \xi_i\geq 0 \\ i=1,2,\cdots,\ l \end{cases}$$

通过拉格朗日乘子将原来问题变成对偶的二次规划形式：

$$\max L(\lambda)=\sum_{i=1}^{l}\lambda_i-\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{l}\lambda_i\lambda_j x_i x_j y_i y_j$$

$$s.t.\sum_{i=1}^{l}\lambda_i y_i=0$$

将低维空间的非线性可分情况转化为高维空间的线性可分情况，做一下映射变换(如图 2 所示)。

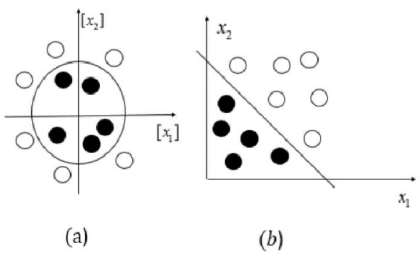


图 2　低维到高维示意图

即将 $x_i \to \varphi(x_i)$，$x \to \varphi(x)$，则上式的判别函数变为 $f(x) = sgn\left(\sum_{i=1}^{l} \lambda_i^* y_i \varphi(x_i)\varphi(x) + b^*\right)$

而特征空间以及输入空间与特征空间之间的非线性映射关系 φ 都是隐式存在的，即在 SVM 的训练和分类算法中并不需要非线性映射关系 φ 和特征空间的显式表示，只需通过选定符合 Mercer 条件的核函数 g 设定两个输入向量在特征空间中的点积，即：$g(x_i \bullet x_j) = \varphi(x_i) \bullet \varphi(x_j)$，其中 (x_i, x_j) 为两个输入向量，就可计算求和，避免了高维运算。因此在 SVM 的应用中，核函数的选择是至关重要的，它反映了样本在输入空间中的分布特征。核函数主要有线性核函数、多项式核函数、Sigmoid 核函数以及高斯径向基(RBF)核函数。对于本文中所讨论的风险预测问题，这里选定 RBF 为训练核函数，即 $g(x_i, x_j) = exp\left(-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{\sigma^2}\right)$。

关于 SVM 的原理以及训练和分类算法的实现可参见文献[3]。限于篇幅，这里不再详述。

1.2 遗传算法

GA 是模仿自然生物界进化机制发展起来的全局搜索优化方法，它在迭代过程中用适者生存法则，采用交叉、变异等操作使得种群朝着最优方向进化，最终获得最优解[4]。

2 GA-SVM 风险预测模型实现步骤

根据上述支持向量机与遗传算法理论,基于 GA-SVM 的被引船航迹偏离风险预测模型的实现步骤如下：

1）分析整理被引船在引航员离轮情况下各相关指标因素，建立指标体系。

2）指标分级标准建立，为减少人为因素影响，使得被评估的被引船航迹偏离风险度与实际情况更接近，建立各指标因素风险度量化的分级标准。

3）数据收集及标准化，选取具有典型特征的被引船航线偏离样本作为数据，参照风险分级标准，确定指标样本数据。为提升预测准确率，消除不同量纲影响因素中的异常噪点，对数据进行规范化标准处理。

4）应用遗传算法对 SVM 的径向基核函数进行优化，确定最佳的惩罚参数 C 与核函数参数 g，流程如下：

步骤一，编码：将 C 与 g 的值转换为能被遗传算法所接受的具体染色体，完成从可行解空间到染色体搜索处理空间的转化。

步骤二，选定适应度函数，确定交叉验证 $(Cross\,Validation,\ CV)$ 准确率作为适应度函数。

步骤三，生成初始种群，对种群大小、进化代数、个体长度等初始群体参数随机设定。

步骤四，设定适应度标准，算出适应度函数值后与适应度标准对比，若不满足条件，则进行选择、交叉、变异操作，若满足则进行解码，选出最优化解。

步骤五，通过训练确定最优评估函数，得到 SVM 模型。

步骤六，应用已建立的预测模型，对训练集、测试集进行预测，预测值与样本值对比分析。（流程如图 3 所示）

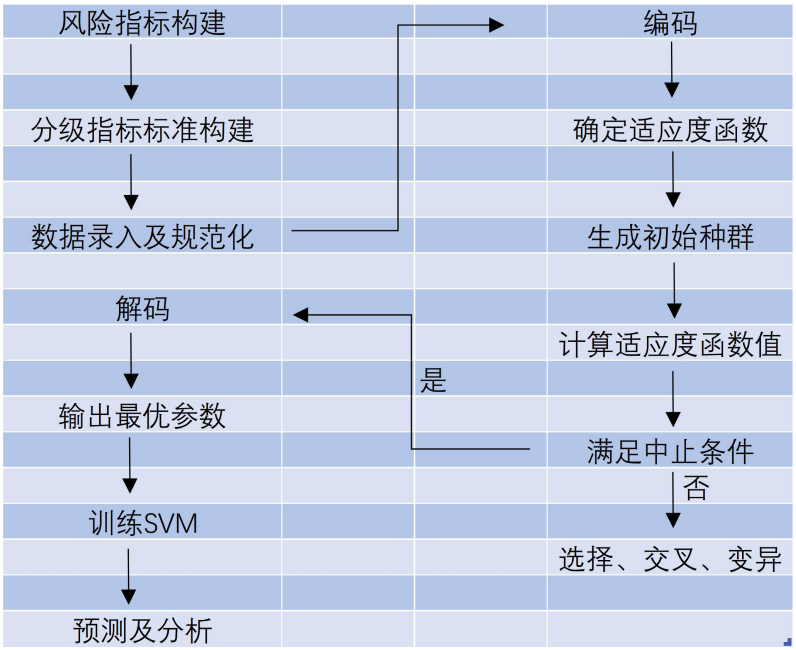


图 3　GA-SVM 风险预测模型构建

3 指标体系及分级标准

参考船舶航行及人为致因事故风险的研究，对产生被引船航迹偏离风险的因素进行分析和分类，确定从“人、机、环、管”四方面（与上面的说法一致），总结整理出 15 个二级指标因素作为输入。确定风险评价分类等级集 R={1=无影响；2=较低影响；3=影响；4=较高影响；5=完全影响}，对应各个风险等级。将可量化指标如最大航向偏离角度、航速下降程度、行进纵距等通过对样本进行分类统计（部分指标示意见图 4），获得所对应风险分级分界点，其余具有非单项属性或难以量化的指标，如设备因素、船长与引航员沟通流畅度等通过参考相关文献、专家评判等方法，以 5 分制的形式划分赋值，具体划分见于表 1。（这里要跟表 1。下面的图也存在上面的问题）

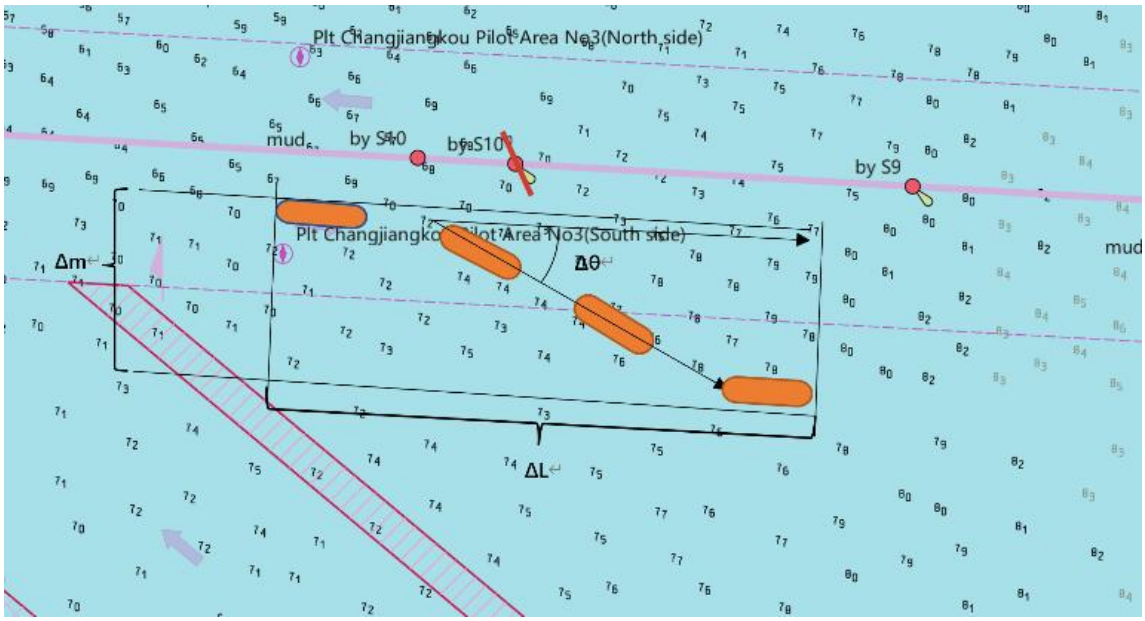


图 4　部分指标示意图

表 1 风险因素分级表

一级指标	二级指标	风险分级分界点				
		1	2	3	4	5
船舶关联因素	航向偏离角度Δθ(°)	Δθ<5	5<Δθ<10	10<Δθ<15	15<Δθ<20	20<Δθ
	航速下降程度ΔV(knt)	ΔV<1	1<ΔV<2	2<ΔV<3	3<ΔV<4	4<ΔV
	航迹带增加宽度ΔS(m)	ΔS<20	20<ΔS<40	40<ΔS<60	60<ΔS<80	80<ΔS
	行进纵距ΔL(nmile)	ΔL<0.1	0.1<ΔL<0.2	0.2<ΔL<0.3	0.3<ΔL<0.4	0.4<ΔL
	船长L(m)	L<100	100<L<150	150<L<200	200<L<250	250<L
	船舶总吨T(t)	T<3000	3000<T<5000	5000<T<8000	8000<T<12000	12000<T
	最大吃水D(m)	D<5	5<D<7	7<D<8	8<D<9	9<D
	船龄Y(y)	Y<5	5<Y<7	7<Y<9	9<Y<11	11<Y
人员关联因素	引航员年龄A(y)	A<30	30<A<40	40<A<45	45<A<50	50<A
	引航员船长沟通顺畅度（分）	5	4	3	2	1
管理关联因素	驾驶台设施（分）	5	4	3	2	1
	船舶人员培训程度（分）	5	4	3	2	1
环境关联因素	风对下风影响程度S（蒲氏风级）	S<3	3<S<4	4<S<5	5<S<6	6<S
	流对下风影响程度V（knt）	V<0.5	0.5<V<1	1<V<1.5	1.5<V<2	2<V
	浪涌对下风影响程度H（m）	<0.5	0.5<H<1	1<H<1.5	1.5<H<2	2<H

4 实例分析

4.1 数据收集及标准化

笔者 2020-2022 年间所搜集的 200 余组引航员离被引船时的船舶数据及航行资料，通过比对及分析建立风险评价指标体系及分级标准，最终根据 SVM 模型特征选取具有代表性的 20 组样本作为风险分析对象，其中 SVM 训练集 15 组，测试集为剩余 5 组样本。将原始数据经过下式调整，采用相对数法处理，设定指标的风险等级分界点，反映各个指标取值范围及所对应的风险等级。

$$x_j^* = \begin{cases} r_k, x_j \le x_k \\ r_{k+1} \\ r_{k+1}, x_{k+1} \le x_j \end{cases} + (r_k - r_{k+1}) \frac{x_{k+1} - x_j}{x_{k+1} -}, x_k \le x_j \le x_{k+1}$$ 式中：$k \in (1,2,3,4,5)$ ，r_k 为第 k 个指标风险等级分界点 x_k 所对应向量， r_{k+1} 同理。若指标数据与危险等级负相关，指标数据计算过程相逆，预处理后的样本见表 2。

4.2 参数寻优

在 $Matlab2022$ 环境中，以 $Sheffield$ 遗传算法工具箱、$LibSVM$ 工具箱为基础，编写针对被引船偏航风险的预测算法程序。根据经验和试算设置其主要模型初始参数:粒子种群 $(Subpop)$ 为 20，最大迭代次数 $(Maxgen)$ 选取为 200，惩罚因子 C 取值范围为 $[0,100]$，核函数的参数 g 取值范围为 $[0,1000]$，选择算子采用基于适应度比例的选择策略，其代沟率 $(Ggap)$ 设置为 0.9，重组率设置为 0.7，交叉验证 (CV) 参数为 5。通过程序运行调试，致迭代结束，粒子的平均适应度和最佳适应度如图 5 所示，交叉验证准确率为 93.333%，最终搜索得到最优惩罚因子为 $C = 3.395$，核函数的参数 $g = 0.0343$。模型模拟风险度与实验样本对比基本吻合(如图 6 所示)。

表 2　样本数据预处理表

样本	因素															风险度
	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10	U11	U12	U13	U14	U15	
1	1.4	2	1.8	2	1.5	1.5	2	2	2	1.4	1.7	2.5	3	2	2.1	2
2	1	2	1	1.5	1.2	2	1	1.2	1	1.2	1	1.1	1	1	1	1
3	4	4.5	5	5	4.1	5	5	5	4.5	5	5	4.2	5	4.5	5	5
4	3.5	4	4	1	3.7	4	2	2.1	3.5	2	4	2	3	3	3.2	3
5	3.2	4	5	4.5	4	4	3	2.8	5	4	3	3.5	4	4.2	5	4
6	5	5	4.9	4.5	5	5	5	4	3.5	5	5	5	5	5	5	5
7	4.4	2.6	3.2	3	3.4	3.5	3.2	3	3	3.5	2.2	3.8	3	3	2.2	3
8	1	1	2.3	1	1	1	2	3	1	1	1	1	1	1	1.5	1
9	2.3	5	3.8	3.2	4	3	1.4	3	3	3	1.7	5	3	3	3	3
10	5	5	5	5	5	5	5	5	4.5	5	5	5	5	5	5	5
11	1.8	4	4.1	4	4	5	5	4	5	4	5	4	5	4	4	4
12	3.2	2.9	3.6	3	2.3	2	1.6	3	3.5	4	3.8	3	4.2	3	3.6	3
13	2.2	4.4	3.9	3.5	1.7	2	3.2	1.9	3	3.5	3.6	4.4	1.5	3	1.4	3
14	3.4	4	3.8	3.2	4	4	4.8	2.5	3	3	3	4	3.5	3	5	4
15	3.4	5	4	4.2	3	2.5	3.5	4.5	4.5	4	3.2	5	4	4	5	4
16	1.4	2	1.8	2.1	1.5	1.5	2	2	2	1.4	1.7	2.5	3	2	2.1	2
17	1	2	1	1.5	1.2	2	1	1.2	1	1.2	1	1.1	1	1	1	1
18	4	5	5	5	5	5	5	5	4.5	5	5	5	5	5	5	5
19	3.5	4	4	1	3.7	4	2	2.1	3.5	2	4	2	3	3	3.2	3
20	3.2	4	5	4.5	4	4	3	2.8	5	4	3	3.5	4	4.2	5	4

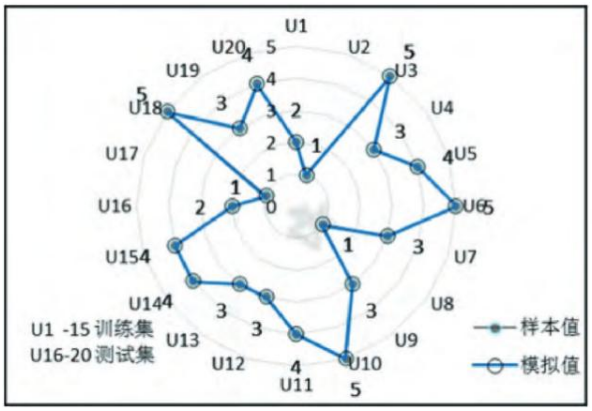


图 5　粒子适应度

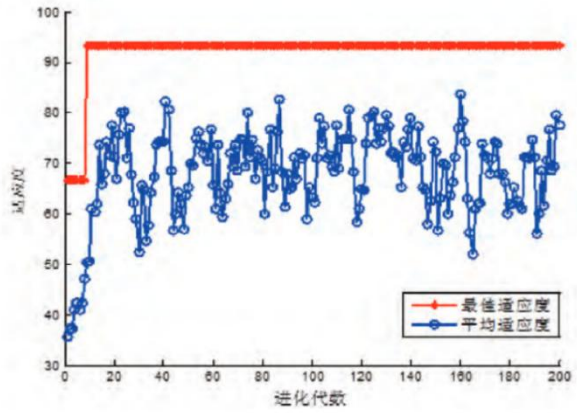


图 6　模型模拟风险度与样本对比

4.3 评估效果

为横向比较其评估效果，选取 BP 神经网络与 GA-SVM 方法评估结果做比对。由表 3 可知，随着样本量减少，BP 神经网络方法评估分类精度下降，而 GA-SVM 方法评估精度并不受影响，说明在小样本情况下，GA-SVM 方法的泛化能力较好，应用在样本量较少的风险预测模型中，适应度更好。

表 3　不同方法评估精确度对比

	样本量		
	20	15	10
GA-SVM	100%	100%	100%
BP	100%	93.30%	70%

5 结 论

支持向量机作为一种较为年轻的机器学习算法，交通运输领域的应用较为鲜见。本文参考前人研究，结合自身经验，建立相应的评估体系和指标风险分级标准，在径向基核函数支持向量机机器学习方法的基础上，应用 GA 算法进行参数寻优，建立 GA-SVM 模型。通过对样本分析及与其他评价方法对比，发现该模

型在小样本模型风险预测中能得到良好的仿真效果且适用度高，为交通运输领域的小样本风险预测模型提供新的视角。但在整个风险评价指标及风险样本的选择上，仍不能避免主观因素的存在，需进一步研究，并不断完善。

参考文献

[1] Vapnik V N. The Nature of Statistical Learning Theory[M]. New York : Springer Press,1995.
[2] 郑豫. 基于支持向量机和 BP 神经网络的油气管道泄漏检测方法研究[D].浙江海洋大学, 2022.DOI:10.27747/d.
[3] Valizadeh Maryam, smiley Erfan, Braki Zahra Ameri, Dastafkan Poriya. Smart spectrophotometric approach for the simultaneous determination of anti-asthma drugs in inhalation spray using least squares support vector machine and net analyte signal[J]. Optik,2022,258.T. Joachims. Text categorization with support vector machines. Technical report LSVIII Number 23 University of Dortmund 1997.
[4] Huo Weiwei, Li Weier, Sun Chao, Ren Qiang, Gong Guoqing. Research on Fuel Cell Fault Diagnosis Based on Genetic Algorithm Optimization of Support Vector Machine †[J]. Energies,2022,15(6).
[5]刘靖宇. 基于支持向量机的工业物联网入侵检测研究[D].中国科学院大学(中国科学院沈阳计算技术研究所),2021.DOI:10.27587/d.cnki.gksjs.2021.000014.

作者简介

周樾枫，高级引航员，（E-mail）23994263@qq.com，13916084826

港口竞争力与腹地城市范围研究
——基于中国沿海港口的实证分析

王乙成，张聪志，米晋宏*1

（上海海事大学，上海 200120）

摘要：本文立足于港口海陆统筹能力，构建了包含港口自身基础条件、港口城市综合交通运输体系建设、就业与产业结构、港口外部经济贸易环境，以及港口数字化水平等五大方面因素的评价指标体系。通过运用熵权法，本文对中国三大港口群中的重要港口的海陆统筹综合实力进行了客观评价。从指标计算结果看，上海港、广州港和宁波港在海陆统筹能力方面表现出相对较优异的水平。在此基础上，本研究运用哈夫模型深入探究港口的城市辐射范围与港口海陆统筹能力之间的关系。理论结果显示，那些具备较强海陆统筹能力的港口通常对城市具有更大的吸引力，因而使得这些港口的腹地范围更加广阔。这一发现对于互融共赢协同发展非常重要，暗示着港口的发展不仅仅关乎港口本身，还与周边城市的发展密切相关。因此，在实现绿色安全智慧航海的目标时，应重视海陆统筹能力的提升，并将其纳入城市规划和发展策略中，以实现互融共赢的协同发展。本研究为进一步探讨港口与城市之间的关系提供了有价值的参考和启示。

关键词：港口竞争力；哈夫模型；港口腹地

0 引 言

随着全球贸易的不断发展和世界各国之间的互联互通日益加强，港口作为国际物流和贸易的关键节点，扮演着至关重要的角色。在面临日益严重的环境问题、安全挑战和技术创新浪潮的背景下，港口管理和运营的方式也必须不断进化，而海陆统筹逐渐成为港口发展的关键问题。海陆统筹旨在实现港口与其腹地城市之间的高效协同，从而推动区域经济的可持续增长。在这一背景下，深入探究港口竞争力以及其对腹地城市的影响，显得尤为重要。

中国作为全球最大的贸易国之一，其沿海港口在国际贸易中扮演着不可或缺的角色。然而，随着全球化的深入和经济结构的调整，中国沿海港口面临着新的挑战和机遇。随着中国海洋战略的部署和实施，陆海统筹在区域发展中的角色会越来越重要。海陆统筹是新时代推进经济高质量发展的关键。而以港口为核心的综合交通网络和供应链体系的建设，成为推动海陆统筹发展的重要基础和保障。如何在海陆统筹的框架下提升港口竞争力，进而促进腹地城市的贸易增长，成为了当前研究和实践亟需探讨的议题。

港口与内陆之间的关系，一定程度反映了港口的海陆统筹能力。港口腹地辐射范围大小是海陆统筹能力强弱的重要体现。增强港口辐射能力，畅通海陆通道，是海陆统筹发展的关键着力点之一。

在港口经济地理领域的研究文献中，港口发展是一个关键的研究主题（Ng et al., 2014）。一系列关于港口的相关议题在学术界引发了广泛的兴趣。在这个充满活力的领域里，涌现出诸多有关港口选择模型、港口竞争力以及海陆统筹能力评价等相关的学术论文。

1 港口竞争力以及海陆统筹能力评价

1.1 港口竞争力与港口选择研究

在港口选择领域，已经涌现了多种不同的研究模型。例如：Malchow & Kanafani (2001, 2004) 提出了一个多项逻辑模型，用以解释 1999 年 12 月从美国出口的每批货物的港口选择。作者将影响港口选择的因素进行系统分解，分析得出海洋距离或内陆距离的增加会降低港口的吸引力，并表现出较高的弹性。然而，航行频率或船舶容量等指标的增加则可能产生相反的效应。Ferrari et al. (2011) 运用重力模型揭示了距离在港口选择中吸引腹地的重要作用。这项研究从内陆集装箱货流渗透能力和通达性角度分析了港口的市场份额，对潜在腹地进行预测，特别关注了交通连接和物流网络的质量。Guerrero (2014) 则通过空间交互模型研究了港口与腹地之间的关系。作者认为，虽然内陆距离是重要的因素，但"距离衰减"或"距离摩擦"作用在不同类型货物上可能存在差异。

此外，还有很多其他港口选择与竞争分析的模型，如 Huff 模型（Wan et al., 2020）；DEA 模型 (Ferrari & Basta, 2009)，SFA 模型(Zondag et al., 2010)，MCDM 模型 (Chang et al., 2008)，以及网络理论和

图论法（Tovar, 2015）等等。

1.2 海陆统筹指标体系研究

过去 20 年中，众多学者已经明确指出建立海洋经济可持续发展指数的必要性。这些研究主要从优化宏观经济波动对海洋经济需求等宏观视角进行讨论，同时对海洋经济可持续发展提出建议（Blum et al., 2010; Caballero et al., 2008; Goldberg et al., 2010; Kilian,2009 等）。近年来，学者们在构建和应用海陆统筹可持续发展指标体系方面取得了显著进展。Brambila & Flombaum (2017) 强调维护海洋和陆地生态系统的健康与稳定作为海陆统筹可持续发展的重要目标，从环境可持续发展的角度，建立了一个环境指标集，并探究了这些指标在评估环境问题时的应用，以及它们如何在不同环境方面提供信息。Tang et al. (2018) 提出了一种基于沿海生态系统结构和功能的综合生态系统健康评估的改进方法，并以江苏沿海地区为案例，探讨了该方法的应用。Gao et al. (2022) 则针对中国沿海地区的发展，提出了一个用于评估陆海协调程度的指数。该研究建立了一个基于地区层面的指标体系，涵盖了经济发展、资源利用、生态环境和社会民生等四个维度。此外，Wang et al.（2019）应用结构方程模型筛选指标，以连云港港口为例，提出了一种构建评价陆海协调系统发展指标体系的新方法。研究者们探索了不同角度和方法来评估陆地和海洋之间的协调程度。这些研究为区域的可持续发展提供了有力的测度工具。

综合上述观点，虽然在相关研究领域已经积累了不少学术成果，但仍存在一些研究方向尚未充分探索。一方面，在海陆统筹领域，大部分研究聚焦于宏观视角，却鲜有涉及到港口这一微观层面的深入研究。这导致港口海陆统筹领域缺乏更加具体、针对性和指导性的评价指标体系。另一方面，在港口选择与港口腹地经济增长的研究中，学者们较少关注海陆统筹能力对于港口辐射范围的影响。事实上，港口的海陆统筹能力与其所能够吸引和辐射到的城市范围存在密切的关联。

在中国，东部沿海地区已形成了以环渤海、长三角以及珠三角为核心的港口群，这成为国内三大海洋经济发展中心，汇聚了众多代表性的沿海港口。可以明确，这三个地区构成了中国最具经济活力的区域集群之一，在全球供应链和国内外经济大循环中扮演着举足轻重的角色（Li et al., 2023）。基于这一背景，本研究将以这三个地区为主要研究对象，着眼于分析港口的海陆统筹竞争力以及其所带来的经济增长效应。通过以上研究，本论文旨在为中国沿海港口的发展提供有力的理论支持和实践指导，同时也将丰富港口腹地与海陆统筹领域的研究文献。

本文接下来的安排如下：第二部分介绍了研究对象、指标选取与数据来源；第三部分阐述了本文所使用的模型与方法；第四部分为研究结果与分析；最后是本文的结论。

2 研究对象、指标选取与数据来源

2.1 研究对象

据统计，目前中国港口共有 210 余个[1]。限于文章篇幅与数据可得性，本文选取长三角、珠三角以及环渤海三大港口群的 18 个主要港口为研究对象，详见表 1。

本文研究的主要为中国大陆行政区域，包括 4 个直辖市、293 个地级市、7 个地区、30 个自治州、3 个盟等合计 366 个地级行政区划单位。

表 1 三大港口群的代表性港口

地区	沿海港口
长三角	上海港、宁波港、连云港港、扬州港、苏州港、南京港、南通港
珠三角	广州港、深圳港
环渤海	大连港、青岛港、秦皇岛港、营口港、日照港、威海港、烟台港、唐山港、天津港

2.2 指标选取与数据来源

2.2.1 指标选取

表 2 港口海陆统筹综合能力评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	单位	方向

港口海陆统筹综合能力	港口自身基础条件	泊位个数	个	+
		码头长度	m	+
		泊位年通过能力	亿吨	+
	城市综合交通运输体系建设	城市道路长度	km	+
		河流长度	km	+
		河流密度	km/km^2	+
	就业与产业结构	第三产业占比	%	+
		第三产业从业人员占比	%	+
		港口公司在职人员数量	人	+
	港口经济贸易环境	水路、铁路、公路货运量	万吨	+
		港口货物吞吐量	万吨	+
		港口城市人均 GDP	元/人	+
	港口数字化水平	互联网端口接入密度	个/人	+
		港口城市数字专利数量	个	+

表 2 展示了本文在分析港口海陆统筹能力时综合考虑的五大关键因素。这些因素涵盖了港口自身基础条件、港口城市综合交通运输体系建设、就业与产业结构、港口外部经济贸易环境，以及港口数字化水平。

具体而言，泊位数量和码头长度被视为反映港口物流基础设施建设以及物流整合与效率方面能力的指标。同样，泊位年通过能力以及港口上市公司在职人员数量则是反映港口服务能力的重要指标。通常情况下，一旦货物到达港口，其往往需要继续通过公路运输或内河运输送至相关企业与货主。为了反映港口城市在内陆和内河交通运输方面的情况，本文选择了城市道路长度、河流长度以及河流密度作为相关衡量指标。

港口行业的经济发展与第三产业的支持密不可分。第三产业占比越高，对于推动港口行业资源的高效利用越有利。以往的研究也表明，产业结构的优化有助于促进港口与腹地经济的协调发展，从而对港口的效率产生正向影响（Huang et al., 2022; Kuang et al., 2023）。因此，本文还选取了一系列与第三产业相关的指标来度量产业结构。

另一方面，地区的经济发展水平通常会刺激当地运输需求的增长。由于港口在海运贸易中扮演着重要角色，因此本文选取了水铁公路货运量、港口货物吞吐量以及人均 GDP 三个指标，以衡量经济贸易水平对于港口综合实力的影响。

随着科技不断进步，数字化已成为整个经济社会的主要特征。港口也面临数字化转型的挑战与机遇。因此，本文选择城市的互联网端口接入密度以及港口城市数字经济专利数量作为衡量港口所在城市数字化水平的指标。

总结而言，本研究构建了包含 14 个三级指标的港口海陆统筹综合能力评价指标体系，以此深入分析港口的海陆统筹竞争力。通过这一全面的指标体系，我们得以更为准确地评估和比较不同港口在海陆统筹领域的实力，为港口发展的策略规划和决策提供有力的支持。

2.2.2 数据来源

本文所使用的数据来源于《中国城市统计年鉴》、《中国港口统计年鉴》、Wind、CSMAR、国家统计局、地方统计局、企查查、国家知识产权局等。对于缺失的数据，本文采取插值等方法进行处理。

3 模型与方法

3.1 基于熵权法的指标评价步骤

本文采用熵权法方法对所选取的 14 个指标进行测算。这是由于熵权法具能够深刻地展现各项指标之间的区分能力，进而用以确定权重。作为一种客观的权重赋予方法，相对于主观赋权而言，熵权法在可信度和精确度方面表现较为可靠。根据信息熵的概念，对于某一特定指标，我们可以利用熵值来判定其离散程度，熵值数值的减小意味着该指标的离散程度增加，而其在综合评价中的影响（即权重）也随之提升。当某项指标的数值全部相等时，该指标对综合评价不会产生影响。因此，通过熵权法的计算结果，我们能够

评估各个港口之间因指标差异而导致的海陆统筹能力的差异情况。

熵权法的具体步骤如下：

（1）对原始数据进行归一处理，并构建指标的标准化矩阵$(Y_{ij})_{n\times k}$：

假设给定了 k 个指标，$X_i=\{x_1,x_2,\ldots,x_n\}$，$Y_1,Y_2,\ldots,Y_k$；

假设对各个指标数据进行归一化处理后得到$X_1,X_2,\ldots,X_k$

则，$Y_{ij}=\frac{X_{ij}-\min\ (X_i)}{\max(X_i)-\min\ (X_i)}$。

（2）计算指标所占的比重$p_{ij}=Y_{ij}/\sum_{i=1}^{n}Y_{ij}$

（3）根据信息论中信息熵的定义，计算指标的信息熵值

$$e_j=-(1/\ln n)\sum_{i=1}^{n}(p_{ij}\ln p_{ij})$$

特别地，如果$p_{ij}=0$，则定义$\lim_{p_{ij}\to 0}p_{ij}\ln p_{ij}=0$。

（4）计算各项指标的权重$w_j=(1-e_j)/\sum_{j=1}^{k}(1-e_j)$，其中$1-e_j$为信息熵冗杂度。

（5）计算综合得分值$Score_i=\sum_{j=1}^{k}w_jY_{ij}$

3.2 哈夫概率模型

对于港口辐射城市的预测，本文选用了哈夫概率模型进行测算。哈夫概率模型有点类似于一种引力模型。哈夫概率模型最初被用来预测城市区域内商圈规模由美国学者戴维·哈夫（D.L. Huff）教授于 1963 年提出（Huff, 1963）。根据哈夫的观点，消费者对商场的选择会受到商场吸引力和距离阻力的影响。通常而言，消费者更愿意去具有消费吸引力的商店购物；而相反，如果前往该店的距离较远，交通系统不够通畅，消费者就会比较犹豫。消费者这一选择与海关贸易货主选择港口的行为类似。将这一思想运用到港口海陆统筹能力对腹地城市规模的预测之中，具体模型如下：

$$P_{mn}=\frac{Score_n/d_{mn}^2}{\sum_{k=1}^{n}(Score_k/d_{mk}^2)}$$

其中，P_{mn}为城市i（或地区等行政区域）对港口n选择的概率大小；$Score_n$为港口n的吸引力，本文用海陆统筹综合能力指标衡量；d_{mn}表示港口n与城市i（或地区等行政区域）之间的阻力，对于该指标，本文根据经纬度数据计算了两地之间球面距离。

4 研究结果与分析

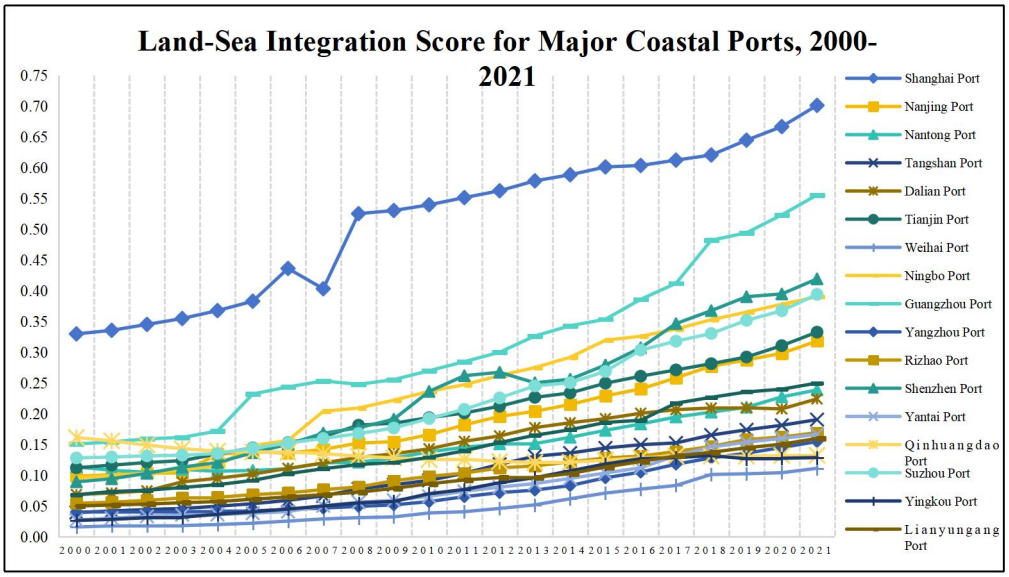


图 1　2000-2021 年中国沿海主要港口海陆统筹得分走势

4.1 港口海陆统筹综合能力评价结果分析

根据图 1 的呈现，我们可以明显观察到随着中国沿海港口实力的逐步增强，几乎所有港口在海陆统筹方面的竞争力均呈现出稳步增强的趋势。这一趋势清晰地揭示了中国港口体系在全球贸易和物流网络中的日益重要地位。值得注意的是，上海港在这一体系中凭借其绝对优势，远远领先于其他港口，展现出强大的综合实力。

其次，广州港、深圳港、宁波港以及苏州港等港口在众多港口中展现出出色的发展势头，突显出它们在海陆统筹方面的竞争优势。特别值得关注的是广州港，其快速的发展势头引人瞩目。这些港口竞争力的增强不仅反映了中国沿海港口体系的整体壮大，也体现了这些港口所在地区经济的活力和发展潜力。

表 3　2000,2022,2021 年港口海陆统筹综合能力评价结果

2000			2011			2021		
Port	**Score**	**Rank**	**Port**	**Score**	**Rank**	**Port**	**Score**	**Rank**
上海港	0.33	1	上海港	0.55	1	上海港	0.70	1
秦皇岛港	0.16	2	广州港	0.28	2	广州港	0.56	2
广州港	0.15	3	深圳港	0.26	3	深圳港	0.42	3
苏州港	0.13	4	宁波港	0.25	4	苏州港	0.39	4
南通港	0.11	5	苏州港	0.21	5	宁波港	0.39	5
天津港	0.11	6	天津港	0.20	6	天津港	0.33	6
南京港	0.10	7	南京港	0.18	7	南京港	0.32	7
宁波港	0.10	8	大连港	0.16	8	青岛港	0.25	8
深圳港	0.09	9	南通港	0.15	9	南通港	0.24	9
大连港	0.07	10	青岛港	0.14	10	大连港	0.22	10
青岛港	0.07	11	秦皇岛港	0.13	11	唐山港	0.19	11
日照港	0.05	12	日照港	0.10	12	日照港	0.17	12
连云港港	0.05	13	唐山港	0.10	13	烟台港	0.17	13
扬州港	0.04	14	连云港港	0.09	14	连云港港	0.16	14
唐山港	0.04	15	营口港	0.08	15	扬州港	0.15	15
烟台港	0.03	16	烟台港	0.07	16	秦皇岛港	0.13	16
营口港	0.03	17	扬州港	0.07	17	营口港	0.13	17
威海港	0.02	18	威海港	0.04	18	威海港	0.11	18

注：其余年份得分情况详见附录。

表 3 详尽呈现了 2000 年、2011 年和 2021 年三个时间节点下港口的综合得分结果。经过近 20 年的发展演变，上海港持续保持着领先地位，展现出其在港口竞争中的卓越实力。而其他港口在这段时间内的能力排名则呈现出一定的动态变化。其中，一些港口在海陆统筹能力提升方面取得了显著的成就，比如宁波港、广州港、苏州港和青岛港等。特别是在 2011 年，青岛港以 0.14 的分数跃升至前十名之列，凸显了其在竞争中的快速发展趋势。

在港口综合实力的变迁中，值得关注的是广州港与上海港之间的差距。在 2011 年，广州港与上海港的综合实力差距为 0.27（0.55∽0.28），然而到了 2021 年，这一差距缩小至 0.14（0.70∽0.56）。这表明广州港在过去十年间取得了明显的实力增长，进一步缩小了与上海港的竞争差距。

进一步观察港口群的整体格局，可以注意到长三角和珠三角港口群在综合实力方面表现出较高水平，明显超过环渤海地区港口群。这反映出长三角和珠三角地区的经济发展相对更为活跃，港口在其中发挥着重要作用。

然而，需要强调的是，秦皇岛港的发展趋势相对稳定，没有像其他港口那样出现剧烈的波动。在其他港口快速发展的同时，秦皇岛港的综合实力相对滞后，导致其相对于其他港口而言的竞争地位逐渐下降。

表 4　2011、2021 年影响港口竞争力的五大因素得分情况

Port	港口自身基础条件		城市综合交运体系		就业与产业结构		港口经贸环境		数字化水平		总得分	
	2011	2021	2011	2021	2011	2021	2011	2021	2011	2021	2011	2021
上海港	0.163	0.191	0.187	0.192	0.073	0.070	0.076	0.091	0.053	0.157	0.551	0.701
南京港	0.044	0.033	0.060	0.083	0.023	0.036	0.034	0.063	0.020	0.103	0.182	0.318
南通港	0.016	0.025	0.072	0.080	0.016	0.020	0.026	0.062	0.016	0.052	0.145	0.239
唐山港	0.017	0.056	0.024	0.026	0.012	0.022	0.040	0.054	0.011	0.032	0.103	0.190
大连港	0.047	0.049	0.023	0.028	0.028	0.047	0.044	0.056	0.013	0.043	0.155	0.224
天津港	0.041	0.059	0.058	0.075	0.035	0.045	0.051	0.059	0.015	0.095	0.201	0.333
威海港	0.003	0.012	0.004	0.009	0.008	0.019	0.017	0.036	0.009	0.034	0.041	0.111
宁波港	0.100	0.111	0.041	0.043	0.027	0.059	0.057	0.113	0.023	0.064	0.247	0.390
广州港	0.070	0.118	0.102	0.139	0.033	0.058	0.060	0.117	0.019	0.123	0.285	0.555
扬州港	0.007	0.009	0.017	0.019	0.011	0.020	0.016	0.056	0.014	0.051	0.065	0.155
日照港	0.014	0.029	0.036	0.035	0.020	0.037	0.025	0.037	0.008	0.031	0.103	0.169
深圳港	0.053	0.038	0.088	0.064	0.022	0.032	0.041	0.056	0.057	0.229	0.262	0.419
烟台港	0.016	0.041	0.013	0.023	0.008	0.025	0.028	0.040	0.009	0.038	0.074	0.166
秦皇岛港	0.022	0.023	0.007	0.009	0.065	0.048	0.021	0.021	0.011	0.030	0.126	0.132
苏州港	0.042	0.054	0.082	0.103	0.011	0.020	0.042	0.066	0.031	0.150	0.207	0.394
营口港	0.019	0.025	0.007	0.011	0.016	0.033	0.025	0.024	0.010	0.036	0.077	0.129
连云港港	0.013	0.021	0.024	0.029	0.024	0.029	0.018	0.040	0.013	0.041	0.092	0.160
青岛港	0.025	0.035	0.032	0.045	0.030	0.050	0.041	0.058	0.011	0.061	0.140	0.250

进一步通过表 4，我们可以更加清晰地洞察在 2011 年至 2021 年间不同港口之间综合实力的变迁以及这些变化的背后原因。显而易见的是，上海港在这段时间内实力全面发展，其各项指标得分几乎一直遥遥领先于其他港口。

就港口自身条件而言，根据 2021 年的统计数据显示，上海港拥有超过 1000 个泊位和近 110km 的码头长度；宁波港则拥有 700 余个泊位和约 100km 的码头长度；而其他港口的规模则相对较小，因此在得分方面表现相对较低。

在城市综合交通运输体系方面，除了上海港和广州港这两个综合实力强劲的港口外，值得特别关注的是苏州港，其以 0.103 的得分在这方面领先于其他港口。作为内河港口中的重要代表，苏州港肩负着重要的货物运输和物流使命。其在海陆和内河运输的协调方面得到了地理位置的巨大优势支持，城市河流长度高达 5 253km，河流密度远超其他港口所在城市，从而为其运输提供了极大的便利。

在就业与产业结构方面，2021 年上海港以 0.070 的得分依然保持着绝对的领先地位，这与上海城市以服务经济为主的产业结构息息相关。紧随其后的是宁波港（0.059）、广州港（0.058）以及青岛港（0.050）。值得注意的是，2011 年，秦皇岛港与上海港之间的差距并不大，仅为 0.008（0.073∽0.065），使其得分位列第二。天津港（0.035）和广州港（0.033）则紧随其后。

就港口经济贸易环境而言，2021 年广州港在运量和人均 GDP 方面微弱地超越其他港口，获得了最高得分。而相较十年前，广州港的得分情况相对不佳，与上海港的差距为 0.016（0.076∽0.060）。此外，宁波港的综合实力在这一方面也值得关注。它既因宁波港与舟山港合并而得益，使得宁波舟山港迅速发展，全球货物吞吐量多年位居榜首；同时，宁波港也得益于港口、民企和制造业的共同发力，为宁波经济注入了强大的活力，展现出蓬勃发展的势头。与此相比，长三角地区中的连云港、扬州等在经济发展水平方面稍显逊色，一定程度上限制了港口与城市经济贸易的协同发展。同时，环渤海地区的港口如日照港、营口港和威海港在整体经济贸易环境方面表现相对较低。

在港口数字化水平方面，2011 年和 2021 年，深圳港分别以 0.057 和 0.229 的高分位列第一。这与城市科技与互联网的发展息息相关。除了深圳港外，上海港和苏州港的城市数字化环境也相对较强。2011 年，

深圳、上海和苏州的数字经济专利数量分别为 26 711、16 843 和 10 499 个，而得分最低的日照港（0.008）仅有 174 个。此外，数字环境较好的港口，如深圳港和上海港，积极推动智能技术的应用，包括自动化装卸设备、智能物流系统和数字化管理等，以提高港口运营的智能化水平，进一步提高了港口运营效率和服务质量。

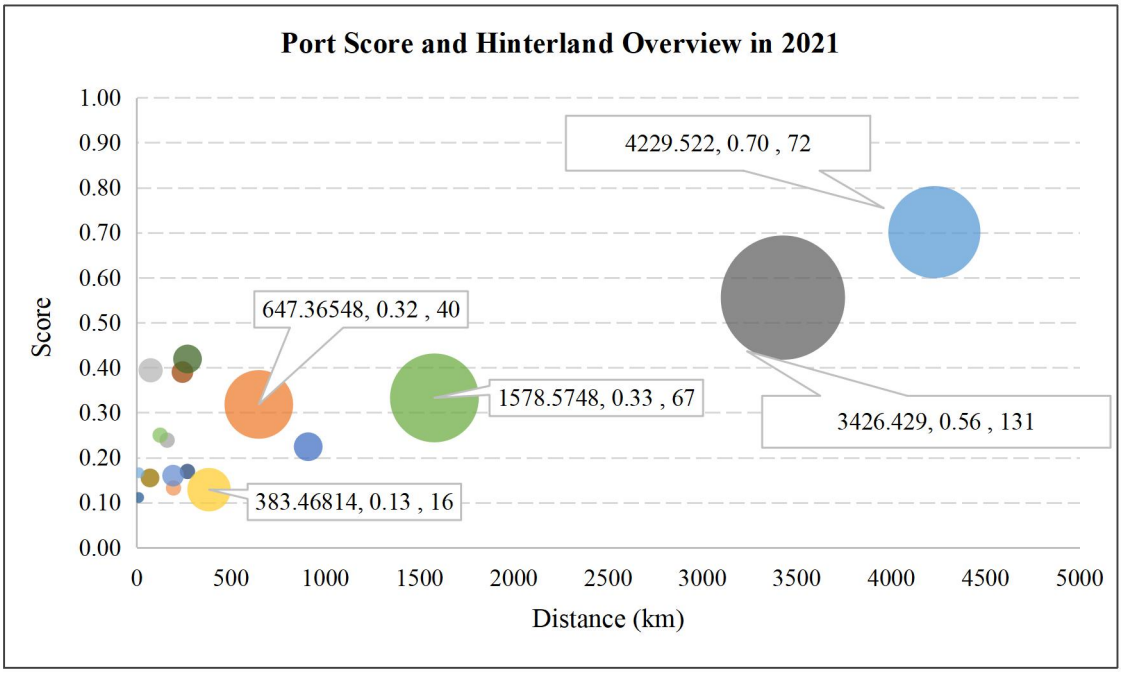


图 2　2021 年港口海陆统筹能力得分结果与城市腹地辐射范围概况图

根据我们的研究，我们利用港口得分、腹地城市数量、以及港口与最远辐射城市的距离数据，绘制了气泡图，具体展示在图 2 中。通过仔细观察图表，我们可以清晰地观察到一个显著的现象：那些海陆统筹能力较强的港口，其所辐射的城市范围更为广阔、辐射的距离更远。

截至 2021 年，我们着眼于以上海港、广州港、天津港和南京港为代表的几个综合实力较强的主要港口。根据哈覆盖率模型提供的理论结果，我们得以对各个港口的城市辐射情况进行统计和分析。在城市辐射方面，广州港表现出色，吸引了 131 个腹地城市与之关联。紧随其后的是上海港，拥有 72 个辐射城市。天津港位居第三，与 67 个城市产生联系，而南京港则吸引了 40 个腹地城市。相对而言，扬州港的影响力较小，仅辐射到 16 个城市。上海港在辐射距离方面上具有显著优势，其辐射范围最远，最远的延伸达到了 4 229.52 km。其他几个具备较强辐射能力的港口也表现出显著的影响，广州港的辐射范围达到 3 426.43 km，天津港为 1 578.57 km，南京港为 647.37 km。这些港口的影响力几乎覆盖了全国绝大多数城市和地区。这一现象表明了这些港口在海陆统筹方面的优越性，以及它们在连接国内各地经济活动和物流运输方面所起到的重要作用。

以上，我们可以得出结论，海陆统筹能力的强弱对港口所辐射城市的距离和范围有着直接或间接的影响。这不仅与港口的地理位置有关，还与其设施设备、运输网络以及物流效率等多个因素密切相关。这种关联性的认识有助于更好地理解港口在区域发展中的战略地位，并为未来的港口规划和发展提供有益的参考。

4.2 港口竞争力与城市辐射范围比较分析

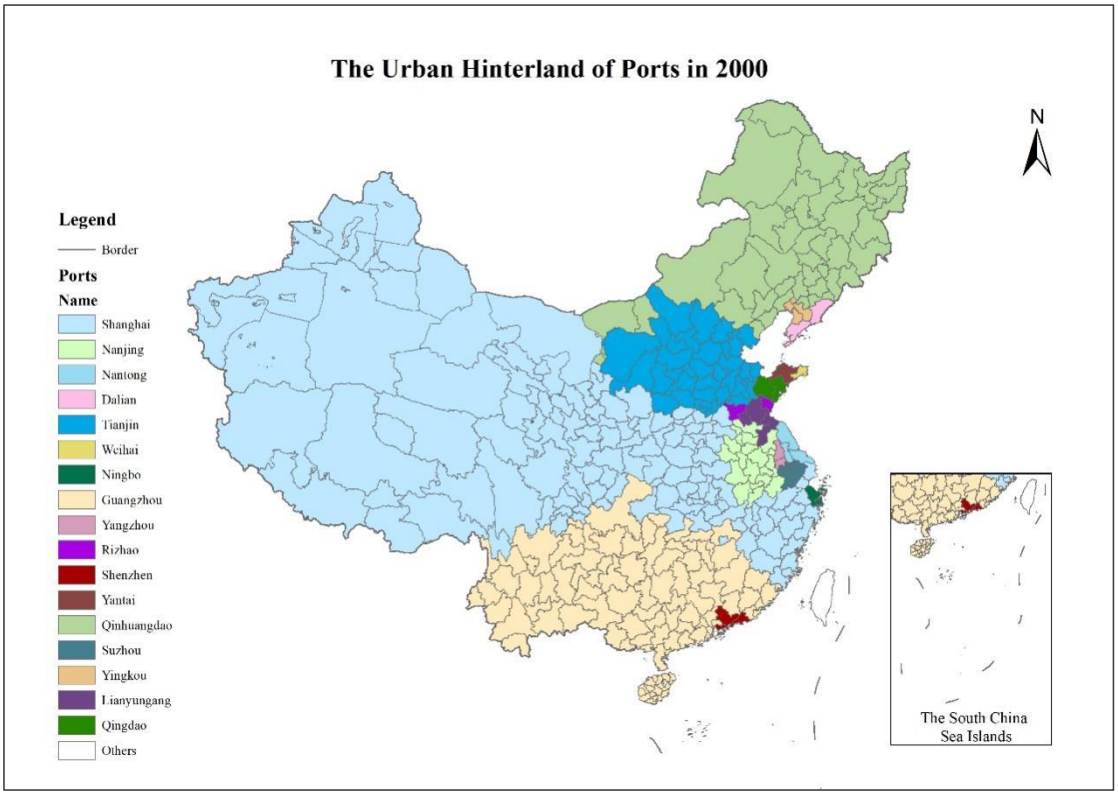


图 3 2000 年港口城市辐射范围图

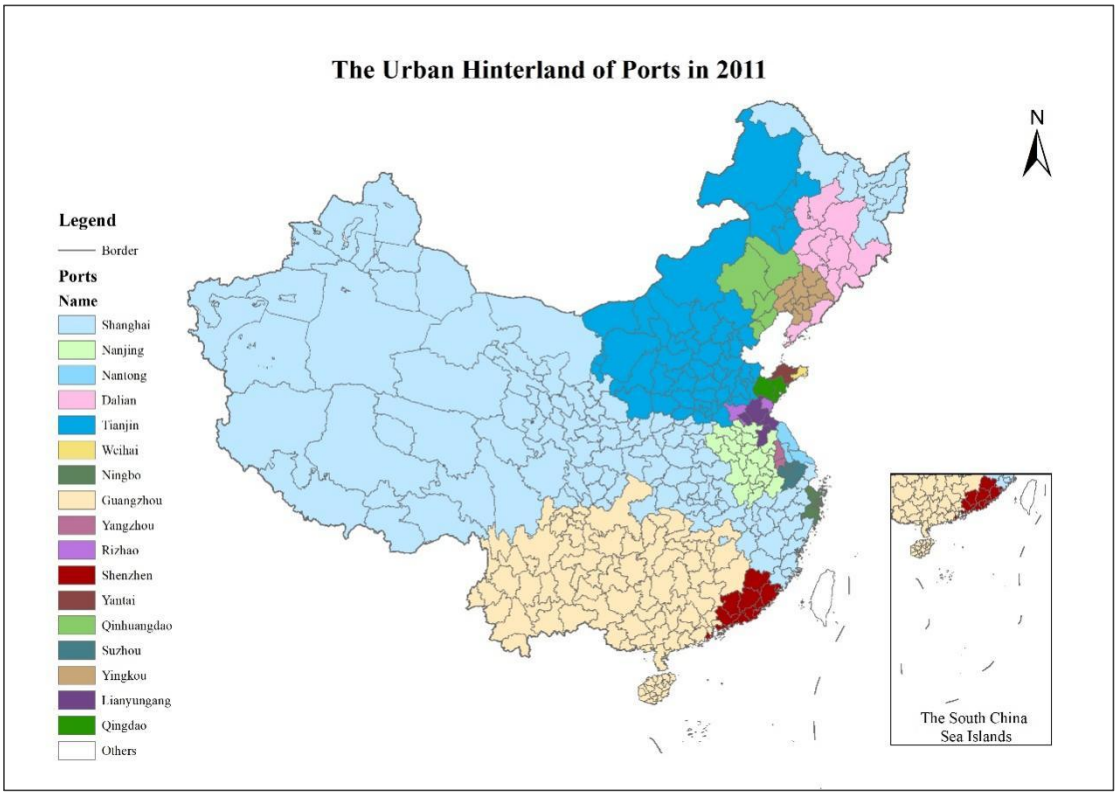


图 4　2011 年港口城市辐射范围图

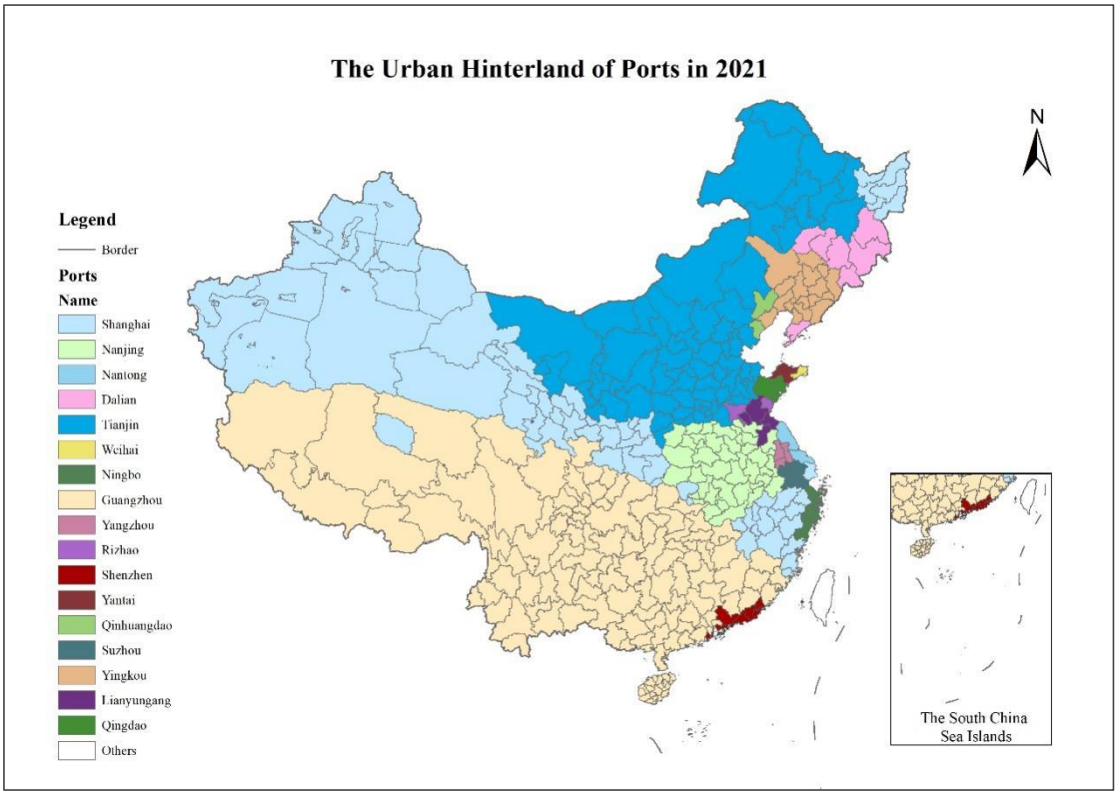


图 5　2021 年港口城市辐射范围图

根据 Huff’s 模型的计算结果，我们在地图上绘制了每个城市（或地区）选择的港口，从而形成了港口城市辐射范围图。如图 3-图 5 所示，在过去 20 年的发展历程中，各个港口的海陆统筹发展水平存在显著差异，这也导致了沿海主要港口的城市腹地范围发生了明显的变化。然而，从图中可以明显观察到，上海港、广州港以及天津港一直保持着较大的城市腹地范围，这也意味着这些港口在海陆统筹方面具备了强大的综合实力。很明显，内陆地区的城市通常会倾向于选择与实力较强的港口合作。

回顾到 2000 年，即中国加入 WTO 之前，上海港、天津港、广州港以及秦皇岛港凭借其开放性和地理优势，拥有更广泛的城市腹地。这一时期，港口之间的能力差距较为明显。

随着中国加入 WTO 后 10 年的发展，上海港在城市辐射能力方面持续表现出色；而天津港、大连港、营口港逐步崛起，导致秦皇岛港的腹地在大幅减少。这也导致了秦皇岛港的城市腹地明显缩小。随着中国基础设施建设的大力发展，出现诸多如营口港、天津港、宁波港等具有潜力的港口。

截至 2021 年，广东港的城市腹地范围显著扩大，而与之竞争的深圳港的城市辐射能力则相应减弱。在东北地区的竞争中，营口港凭借其地理优势逐步挤占了大连港和秦皇岛港的腹地。此时，长三角、珠三角以及环渤海港口群的城市腹地划分，形成了以上海港、广州港和天津港为核心的主要布局，而其他中小型港口则呈齐头并进的发展态势。

这一演变过程清晰地展示了中国沿海港口体系在海陆统筹方面的不断调整和优化，也反映了国家经济和贸易发展的动态变化。这些发展趋势为未来港口的合作、布局和战略规划提供了有益的启示。

5 讨 论

海陆统筹能力是影响港口影响力的重要方面。本研究系统地探讨了港口海陆统筹综合能力的影响因素，构建了一个评价指标体系。进一步地，我们借助哈夫模型从理论上深入研究了港口的贸易城市辐射范围。我们得出，在港口海陆统筹能力方面，上海港、天津港、南京港以及广州港等港口表现出较高的综合得分，彰显其强大的海陆统筹实力。这些港口因其综合能力的优越性，对沿海和内陆城市具有更为强大的吸引力，因此理论上可以吸引更广阔的城市腹地范围。

随着中国海陆通道更加畅通，天津港、扬州港、营口港等代表性沿海港口的综合实力都呈现不同程度的提升，港口之间的腹地竞争呈现明显增加的迹象。这些港口在海陆统筹能力方面的提升将极大地促进区域的经济活力和增长。

综上所述，本研究深入探讨了港口海陆统筹能力的构建和影响机制，为进一步优化我国港口体系布局、洞察港口腹地竞争现象以及促进区域经济发展提供了有益的参考。但是，有必要说明的是，限于篇幅与数据可得性的原因，我们的研究只选取了 18 个港口。这为本研究带来了一定的局限性，也会导致理论结果与实际情况的差异。未来的研究一方面可以涵盖更丰富的港口作为研究对象进行探讨；另一个方面可以在更多维度和因素上深化对港口海陆统筹能力的研究，以推动港口发展与城市腹地的互动关系的更深入理解。这不仅有助于制定更为精准的港口规划和发展策略，还为整体区域经济的增长提供了有力的支持和指引。

参考文献

[1] Notteboom, T. (2016). The adaptive capacity of container ports in an era of mega vessels: The case of upstream seaports Antwerp and Hamburg. *Journal of Transport Geography*, *54*, 295-309.

[2] Ng, A. K., Ducruet, C., Jacobs, W., Monios, J., Notteboom, T., Rodrigue, J. P., ... & Wilmsmeier, G. (2014). Port geography at the crossroads with human geography: between flows and spaces. *Journal of Transport Geography*, *41*, 84-96.

[3] Malchow, M., & Kanafani, A. (2001). A disaggregate analysis of factors influencing port selection. *Maritime Policy & Management*, *28*(3), 265-277.

[4] Malchow, M. B., & Kanafani, A. (2004). A disaggregate analysis of port selection. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *40*(4), 317-337.

[5] Brambila, A., & Flombaum, P. (2017). Comparison of environmental indicator sets using a unified indicator classification framework. *Ecological Indicators*, *83*, 96-102.

[6] Tang, D., Liu, X., & Zou, X. (2018). An improved method for integrated ecosystem health assessments based on the structure and function of coastal ecosystems: A case study of the Jiangsu coastal area, China. *Ecological Indicators*, *84*, 82-95.

[7] Gao, J., An, T., Shen, J., Zhang, K., Yin, Y., Zhao, R., ... & Jattak, Z. U. (2022). Development of a land-sea coordination degree index for coastal regions of China. *Ocean & Coastal Management*, *230*, 106370.

[8] Wang, C., Chen, J., Li, Z., Nasr, E. S. A., & El-Tamimi, A. M. (2019). An indicator system for evaluating the development of land-sea coordination systems: A case study of Lianyungang port. *Ecological Indicators*, *98*, 112-120.

[9] Deng, P., Lu, S., & Xiao, H. (2013). Evaluation of the relevance measure between ports and regional economy using structural equation modeling. *Transport Policy*, *27*, 123-133.

[10] Jung, B. M. (2011). Economic contribution of ports to the local economies in Korea. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, *27*(1), 1-30.

[11] Shan, J., Yu, M., & Lee, C. Y. (2014). An empirical investigation of the seaport's economic impact: Evidence from major ports in China. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *69*, 41-53.

[12] Cohen, J., & Monaco, K. (2008). Ports and highways infrastructure: An analysis of intra-and interstate spillovers. *International Regional Science Review*, *31*(3), 257-274.

[13] Wu, Z., Woo, S. H., Lai, P. L., & Chen, X. (2022). The economic impact of inland ports on regional development: Evidence from the Yangtze River region. Transport Policy, 127, 80-91.

[14] Kuang, H., Zhu, J., & Bai, Z. (2023). Study on the Interaction between Green Competitiveness of Coastal Ports and Hinterland Economy. *Sustainability*, *15*(2), 1364.

[15] Blum, B. S., Claro, S., & Horstmann, I. (2010). Facts and Figures on Intermediated Trade. *The American Economic Review, 100*(2), 419–423.

[16] Caballero, R. J., Farhi, E., & Gourinchas, P.-O. (2008). Financial Crash, Commodity Prices, and Global Imbalances. National Bureau of Economic Research, No. w14521.

[17] Goldberg, P. K., Khandelwal, A. K., Pavcnik, N., & Topalova, P. (2010). Imported Intermediate Inputs and Domestic Product Growth: Evidence from India. *The Quarterly Journal of Economics, 125*(4), 1727–1767.

[18] Kilian, L. (2009) Not All Oil Price Shocks Are Alike: Disentangling Demand and Supply Shocks in the Crude

Oil Market. *American Economic Review, 99 (3)*: 1053-69.

[19] Ferrari, C., Parola, F., & Gattorna, E. (2011). Measuring the quality of port hinterland accessibility: The Ligurian case. *Transport Policy*, *18*(2), 382-391.

[20] Guerrero, D. (2014). Deep-sea hinterlands: Some empirical evidence of the spatial impact of containerization. *Journal of transport geography*, *35*, 84-94.

[21] Ferrari, C., & Basta, M. (2009). Port concession fees based on the price-cap regulation: A DEA approach. *Maritime Economics & Logistics*, *11*, 121-135.

[22] Wan, S., Luan, W., Ma, Y., & Haralambides, H. (2020). On determining the hinterlands of China's foreign trade container ports. *Journal of Transport Geography*, *85*, 102725.

[23] Zondag, B., Bucci, P., Gützkow, P., & de Jong, G. (2010). Port competition modeling including maritime, port, and hinterland characteristics. *Maritime Policy & Management*, *37*(3), 179-194.

[24] Chang, Y. T., Lee, S. Y., & Tongzon, J. L. (2008). Port selection factors by shipping lines: Different perspectives between trunk liners and feeder service providers. *Marine Policy*, *32*(6), 877-885.

[25] Tovar, B., Hernández, R., & Rodríguez-Déniz, H. (2015). Container port competitiveness and connectivity: The Canary Islands main ports case. *Transport Policy*, *38*, 40-51.

[26] Li, D., Xin, X., & Zhou, S. (2023). Integrated governance of the Yangtze River Delta port cluster using niche theory: A case study of Shanghai Port and Ningbo-Zhoushan Port. *Ocean & Coastal Management*, *234*, 106474.

[27] Huff, D. L. (1963). A probabilistic analysis of shopping center trade areas. *Land economics*, *39*(1), 81-90.

[28] Huang, Z., Yang, Y., & Zhang, F. (2022). Configuration Analysis of Factors Influencing Port Competitiveness of Hinterland Cities under TOE Framework: Evidence from China. *Journal of Marine Science and Engineering*, *10*(10), 1558.

作者简介：

王乙成，女，上海海事大学经济管理学院，博士研究生，研究方向：应用经济学，15653508852
张聪志，男，上海海事大学经济管理学院，博士研究生，研究方向：应用经济学，18103519057
米晋宏（通讯作者），男，上海海事大学经济管理学院，教授，博士生导师，研究方向：应用经济学，13916445562

附录：2000-2021 年港口海陆统筹综合实力得分值表

一、 附录

表：历年港口海陆统筹综合实力得分值（2000-2021）

Port	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
上海港	0.330	0.335	0.345	0.355	0.368	0.383	0.436	0.403	0.525	0.530	0.539	0.551	0.562	0.578	0.588	0.601	0.603	0.612	0.620	0.644	0.666	0.701
南京港	0.098	0.101	0.103	0.104	0.134	0.139	0.136	0.142	0.152	0.154	0.166	0.182	0.196	0.204	0.215	0.229	0.240	0.258	0.277	0.287	0.298	0.318
南通港	0.114	0.108	0.105	0.109	0.106	0.108	0.110	0.120	0.121	0.128	0.138	0.145	0.151	0.151	0.162	0.173	0.183	0.195	0.203	0.210	0.227	0.239
唐山港	0.039	0.042	0.044	0.046	0.050	0.054	0.059	0.066	0.078	0.085	0.092	0.103	0.118	0.131	0.136	0.144	0.150	0.152	0.165	0.174	0.181	0.190
大连港	0.068	0.071	0.075	0.089	0.095	0.102	0.111	0.120	0.129	0.135	0.143	0.155	0.164	0.177	0.185	0.192	0.201	0.207	0.209	0.210	0.208	0.224
天津港	0.112	0.116	0.121	0.124	0.135	0.144	0.153	0.163	0.181	0.185	0.193	0.201	0.212	0.227	0.234	0.249	0.261	0.271	0.281	0.292	0.311	0.333
威海港	0.016	0.018	0.018	0.018	0.020	0.022	0.026	0.029	0.031	0.032	0.039	0.041	0.046	0.052	0.062	0.071	0.077	0.083	0.101	0.102	0.104	0.111
宁波港	0.095	0.100	0.103	0.109	0.115	0.148	0.156	0.204	0.209	0.222	0.236	0.247	0.262	0.275	0.292	0.319	0.326	0.337	0.353	0.365	0.378	0.390
广州港	0.151	0.154	0.159	0.162	0.172	0.232	0.243	0.253	0.248	0.255	0.270	0.285	0.300	0.326	0.343	0.353	0.386	0.412	0.482	0.494	0.523	0.555
扬州港	0.040	0.040	0.040	0.041	0.042	0.042	0.044	0.047	0.049	0.052	0.057	0.065	0.072	0.076	0.083	0.096	0.105	0.118	0.128	0.136	0.145	0.155
日照港	0.054	0.056	0.059	0.063	0.064	0.068	0.071	0.077	0.081	0.091	0.098	0.103	0.112	0.115	0.122	0.128	0.131	0.139	0.147	0.158	0.162	0.169
深圳港	0.089	0.094	0.103	0.113	0.121	0.137	0.150	0.168	0.177	0.191	0.236	0.262	0.267	0.250	0.256	0.279	0.307	0.346	0.367	0.390	0.395	0.419
烟台港	0.027	0.030	0.033	0.036	0.036	0.038	0.041	0.050	0.056	0.059	0.066	0.074	0.081	0.086	0.095	0.104	0.112	0.132	0.146	0.154	0.160	0.166
秦皇岛港	0.161	0.156	0.149	0.143	0.139	0.138	0.138	0.135	0.131	0.128	0.126	0.126	0.122	0.121	0.121	0.125	0.128	0.131	0.131	0.131	0.132	0.132
苏州港	0.128	0.130	0.131	0.133	0.135	0.144	0.152	0.160	0.168	0.177	0.192	0.207	0.226	0.245	0.250	0.269	0.303	0.318	0.330	0.352	0.367	0.394
营口港	0.026	0.028	0.031	0.032	0.036	0.041	0.045	0.050	0.055	0.057	0.070	0.077	0.088	0.096	0.107	0.118	0.127	0.129	0.132	0.127	0.128	0.129
连云港港	0.050	0.052	0.053	0.055	0.057	0.061	0.065	0.068	0.072	0.079	0.086	0.092	0.096	0.096	0.103	0.113	0.122	0.131	0.137	0.145	0.150	0.160
青岛港	0.068	0.074	0.076	0.080	0.085	0.092	0.103	0.111	0.117	0.121	0.129	0.140	0.153	0.165	0.174	0.186	0.189	0.217	0.227	0.235	0.240	0.250

附加阻尼影响下的极地破冰船波浪增阻研究

陈超[1]，张伟[2]，刘亚东[2]

（1. 中远海运能源运输股份有限公司 科技与数字化部，上海，200080

2. 上海交通大学 船舶海洋与建筑工程学院，上海，200240）

摘　要：考虑到极地破冰船典型的破冰型船艏会对大洋航行阻力性能产生不利的影响，进而对其波浪增阻性能展开研究。基于三维非线性势流理论，以线性加平方的阻尼模型等效考虑船体黏性横摇阻尼，研究了极地破冰船在不同浪向下波浪增阻特性。进一步地，考虑减摇装置带来的等效附加阻尼，研究附加阻尼对艏斜浪下波浪增阻的影响规律，分析附加阻尼对波浪中阻力时历曲线的各阶幅值的影响。研究发现，附加阻尼对部分海况条件下波浪增阻有减弱作用，降低了船体阻力时历曲线的非线性，对极地破冰船大洋航行起到改善作用。

关键词：极地破冰船；非线性势流方法；横摇阻尼；波浪增阻

中图分类号：U 674.31

文献标识码：A

0 引 言

从我国对极地破冰船的实际需求出发，从母港出发至极地的航行距离较长，极地破冰船不仅需要强大的破冰能力，还需要具备良好的大洋航行阻力性能。极地破冰船和常规船型在型线特征上存在诸多差异，其有利于破冰性能的船体型线可能会对阻力性能造成不利的影响，因此研究极地破冰船在大洋航行中的波浪增阻性能对船型优化设计具有重要意义。

实验是研究波浪增阻性能的重要手段，船舶水动力学会议论文集[1-2]提供了包括了 KVLCC2 船、KCS 船等船型的波浪增阻数据，详细地介绍了试验的参数和试验结果。黏性 CFD 方法可以较为准确地求解规则波中波浪增阻[3]，并描述流体的物理现象，但这些计算一般会耗费大量的计算资源。基于势流理论方法预报波浪增阻计算效率高，预报结果较为准确。在切片理论方法中，可以采用近场法和远场法确定速度势进而求解波浪引起的船舶运动和波浪增阻。三维面元法能够更完善地考虑船体几何和船型参数的影响，因而得到了有效的应用[4-7]。

一般情况下，船舶在迎浪中的波浪增阻预报研究最为重要，实验研究 Valanto[8-9]表明波浪入射角也会对波浪增阻产生一定的影响，由于船舶在斜浪中的运动响应更为复杂，其预报难度也迅速提升，Liu 等[10]扩展了远场法预测斜浪中船舶的波浪增阻，Zhan 等[11]使用 CFD 方法对斜浪中的波浪增阻进行了数值模拟并取得了较理想的结果。同时，Graf 等[12]基于非线性切片理论对游艇的波浪增阻性能展开了研究，发现安装减摇鳍可以减小波浪增阻，但并未对这一现象进行深入研究。

为此，研究极地破冰船在典型海况下的波浪增阻性能，特别是斜浪环境条件下的波浪增阻性能，对于深入掌握极地破冰船的阻力性能有重要价值。在综合考虑计算精度和求解时间的条件下，本文将基于三维非线性时域势流方法求解波浪增阻，并研究横摇阻尼对波浪增阻的影响。

1 理论介绍

1.1　非线性时域势流理论

假定流体无粘、不可压缩、流动无旋，用速度势 ϕ 描述流体运动，势流中的线性偏微分方程和控制方程表示为：

$$\nabla \cdot \nabla \varphi = 0 \qquad (1)$$

在自由面上，应用完全非线性边界条件：

$$\frac{D\mathbf{X}}{Dt} = \nabla \varphi \qquad (2)$$

$$\frac{D\varphi}{Dt}=-gz+\frac{1}{2}\nabla\varphi\cdot\nabla\varphi-\frac{P_a}{\rho} \quad (3)$$

式中，$\mathbf{X}=(x,y,z)$，是自由面上一流体质点位置；ρ是流体密度；P_a是自由面表面大气压力。

物质导数的定义为：

$$\frac{D}{Dt}=\frac{\partial}{\partial t}+\nabla\varphi\cdot\nabla \quad (4)$$

在流体中，船体表面不可穿透，船体表面某处的速度与该处流体的法向速度相等：

$$\frac{\partial\varphi}{\partial \mathrm{n}}=\mathbf{n}\cdot(\mathbf{u}+\boldsymbol{\omega}\times\mathbf{r}) \quad (5)$$

式中，$\mathbf{n}$是船体表面的单位法向量；$\mathbf{u}$和$\boldsymbol{\omega}$是船体的线速度和角速度；$\mathbf{r}$是指向旋转中心的向量。

计算域底部不可穿透条件：

$$\frac{\partial\varphi}{\partial \mathrm{n}}=0 \quad (6)$$

基于边界元法（BEM）和混合欧拉拉格朗日（MEL）方法，联立求解上述方程，得到速度势的分布，再根据伯努利方程中速度与压力的关系，求解受力和运动。

非定常伯努利方程如下：

$$p=-\rho(\frac{\partial\varphi}{\partial t}+\frac{1}{2}|\nabla\varphi|^2+gz) \quad (7)$$

将瞬时湿表面上的压力积分，获得作用在船体上的力和力矩：

$$m\ddot{\mathbf{X}}=F=-\iint_{S_b}p\mathbf{n}dS \quad (8)$$

$$\mathbf{I}\ddot{\boldsymbol{\gamma}}=M=-\iint_{S_b}p(\mathbf{r}\times\mathbf{n})dS \quad (9)$$

式中，$\ddot{\mathbf{X}}$为重心的线加速度；$\mathbf{I}$为船体惯性矩；$\ddot{\boldsymbol{\gamma}}$为角加速度；$p$为船体表面的压力；$S_b$为船体湿表面积。

1.2 波浪增阻系数

波浪增阻等于船舶在波浪和静水中阻力的差值，为便于进行对比分析，使用无因次的波浪增阻系数：

$$C_{AW}=\frac{R_{AW}}{\rho g\zeta_a{}^2B^2/L_{PP}} \quad (10)$$

$$R_{AW}=R_W-R_C \quad (11)$$

式中，R_{AW}是在规则波中的平均波浪增阻；R_W代表船舶在波浪中的总阻力；R_C代表静水中的阻力；ρ是流体密度；g是重力加速度；ζ_a是规则波的波幅，等于波高的一半；B是船宽；L_{pp}是垂线间长。

基于势流理论方法求解船舶在波浪中的波浪增阻时做了一个简单的假定，近似地认为船舶在静水中的摩擦阻力和波浪中的平均摩擦阻力是相等的。

1.3 横摇阻尼

非线性时域势流方法在求解船舶在波浪中的运动时没有考虑黏性的影响，而横摇运动受到黏性的影响较大，在横摇运动方程中体现为阻尼项，需要采取有效手段考虑黏性的影响以提高模拟的准确性。

基于线性加平方的阻尼模型，代入到非线性时域势流方法的数学模型中，有助于准确地模拟船舶在波浪中的运动响应和遭受的波浪载荷。在线性加平方的阻尼模型中，横摇阻尼B_{44}可以表示为：

$$B_{44}=B_1+B_2|\dot{\phi}|=\left(b_1+b_2\frac{|\dot{\phi}|}{\omega}\right)B_{crit} \quad (12)$$

其中，B_1、b_1分别为线性阻尼和线性阻尼系数，B_2、b_2为二阶阻尼和二阶阻尼系数，B_{crit}为临界阻尼。

2 数值计算结果分析

2.1 船体几何模型

本文以某型极地科考破冰船为研究对象，其主要参数如表1所示，该船典型的型线特征为勺型艏、倾斜艏柱和圆润型船艉，船体示意如图1所示。

表 1 船体主要参数表

参数名称	参数值
排水体积 ∇ / m^3	~28500
船体长度 L_{OA} /m	153.2
垂线间长 L_{pp} /m	145
船宽 B /m	29.2
型深 D /m	15.3
设计吃水 T /m	10.2
方形系数 C_b	0.67
设计航速 V /kn	15

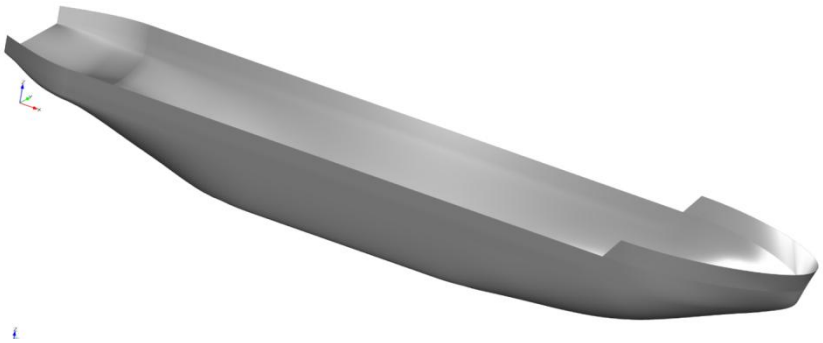


图 1 极地破冰船船体曲面模型

2.2 数值计算设置

定义波浪前进方向和船艏方向的夹角为浪向角 x，迎浪状态时，x 等于 180°，除迎浪海况外，斜浪模拟时浪向角分别设定为 165°、150°和 135°。模拟时的波长比（λ /L）范围为 0.4～2.6，波高为 0.012 倍的垂线间长。

通过三维势流求解器 SHIPFLOW 进行数值计算，将自由面和船体表面离散，在平衡计算时间和精度的情况下所划分中等尺度网格，网格如图 2 所示，总计 1 万余网格。

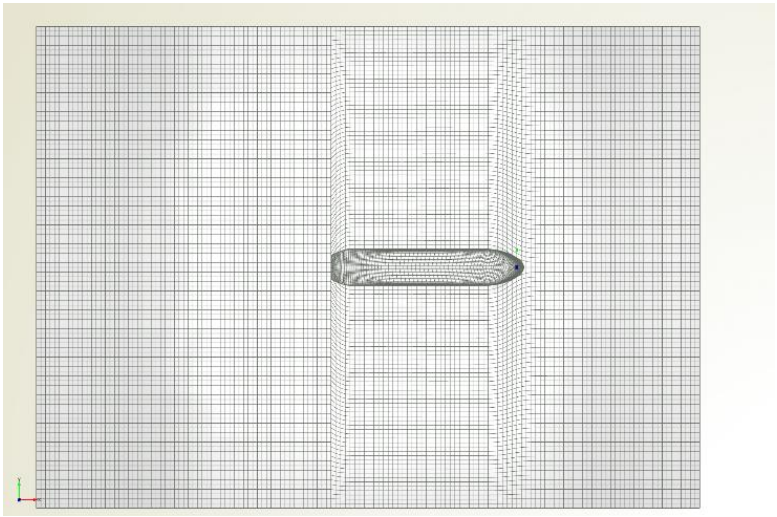


图 2 计算域和船体网格图

极地破冰船船型较为特殊，裸船体横摇阻尼较小，为了研究附加阻尼对船体波浪增阻的影响，以减摇水舱为船体减摇装置，该装置在五级海况下的减摇效果可达 30%～40%，在这里将其等效为附加阻尼代入到

基于势流理论的数值计算中。横摇阻尼系数通过基于黏性 CFD 数值模拟技术的自由横摇衰减曲线获得，该方法的有效性已经在多种船型上得以验证[13]，数值模拟获得的自由横摇运动曲线如图 3 所示。

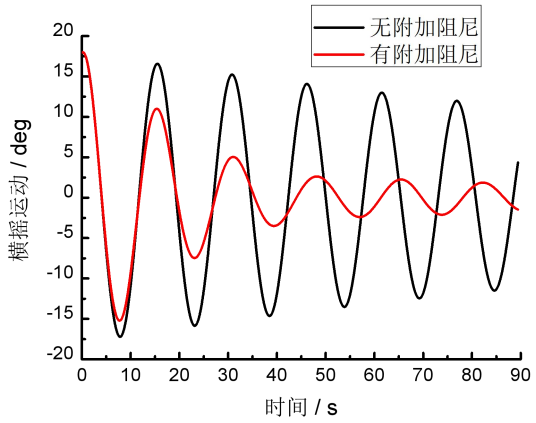


图 3 裸船体和附加减摇装置下的自由横摇曲线对比

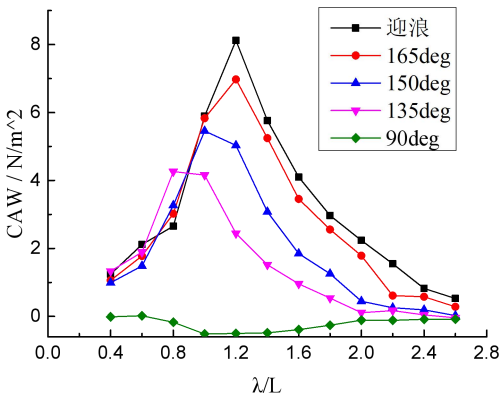


图 4 不同浪向下的波浪增阻系数对比

2.3 不同浪向下的波浪增阻变化规律

图 4 为不同浪向下波浪增阻系数随波长的变化情况，图中给出了迎浪、正横浪和艏斜浪下的波浪增阻结果。正横浪的波浪增阻系数与迎浪和艏斜浪的有明显区别，在正横浪海况下，不同波长下的波浪增阻都接近于 0。

不难发现，迎浪下会产生最严重的波浪增阻，因此之前的很多研究也都集中于船体迎浪下的波浪增阻性能。当波长比大于 1 时，改变浪向角可以有效地降低波浪增阻，起到改善船体航行性能的作用。艏斜浪 135°下的波浪增阻系数已经较小，应当给予迎浪至艏斜浪 135 度范围内的波浪增阻性能关注。

从方形系数对波浪增阻的影响来看，方形系数较大的船型波浪增阻会更大[14]，极地破冰船方形系数为 0.67，总体上看在波浪中航行时容易获得更多的波浪增阻。此外，方形系数较大的船型，其波浪增阻峰值对应的波长比也越大，极地破冰船波浪增阻的峰值则出现在波长比 1.2 附近。可以推测，尽管极地破冰船没有球鼻艏，但是较大的方形系数降低了垂荡和纵摇的自然频率，从而增大了波浪增阻峰值对应的波长比。

如图 4 所示，随着波浪从迎浪 180°向艏斜浪 135°变化，波浪增阻峰值逐渐减弱，峰值对应的波长比从 1.2 逐渐转移至 0.8 附近，这是波浪入射角度引起遭遇频率变化导致的。浪向角 165°下的波浪增阻和迎浪结果较为接近，浪向角度较小的变化对波浪增阻的影响较小。当浪向角为 165°且波长比大于 1 时，波浪增阻随着波长比的增大而逐渐减小。艏斜浪 135°的波浪增阻系数峰值大约为迎浪波浪增阻系数峰值的一半。

按船舶在波浪中航行时周围的流动现象和阻力增加的原因来分类，波浪增阻可分为辐射增阻和绕射增阻。辐射增阻由总的波浪增阻减去绕射增阻，在数值模拟中固定船体模型，可以近似地获得绕射增阻，图 5 为设计航速下迎浪航行时绕射增阻和辐射增阻成分随波长的变化特征。

当波长较短时，此时船体的运动响应幅值较小，辐射运动消耗的能量较小，绕射增阻是极地破冰船波浪增阻的主要成分，绕射增阻与总的波浪增阻差异较小。辐射增阻和船体的运动关系密切，在短波区域，辐射增阻随波长的减小而减小，当波长比大于 2 时，船体与波面的相对运动较小，辐射增阻成分较小且接近于 0。绕射增阻随波长的变化相对较小，但辐射增阻随波长的变化较为明显，辐射增阻和波长的关系近似一个单峰函数，在波长比 1.2 附近出现峰值。当遭遇频率靠近共振频率时，船体与波浪的相对运动最为明显，辐射增阻在总波浪增阻中占比大于绕射增阻成分的占比。

绕射增阻随波长的变化相对较小，当波长较短时，此时船体的运动响应幅值较小，辐射运动消耗的能量较小，绕射增阻是极地破冰船波浪增阻的主要成分，绕射增阻与总的波浪增阻差异较小。辐射增阻和船体的运动关系密切，随波长的变化较为明显。辐射增阻和波长的关系近似一个单峰函数，在波长比 1.2 附近出现峰值；当遭遇频率靠近共振频率时，船体与波浪的相对运动最为明显，辐射增阻在总波浪增阻中占比大于绕射增阻成分的占比；在短波区域，辐射增阻随波长的减小而减小，主要是由于垂向运动也随着波长减小而减小；当波长比大于 2 时，船体与波浪处于相对静止的状态，辐射增阻成分较小且接近于 0。

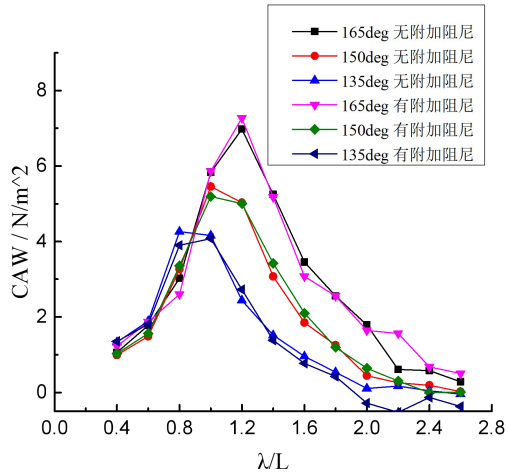


图 5 迎浪下绕射增阻、辐射增阻成分图

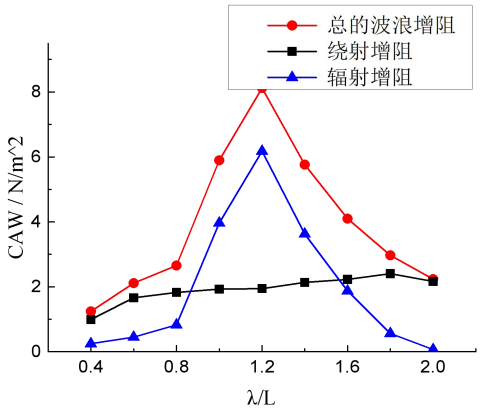
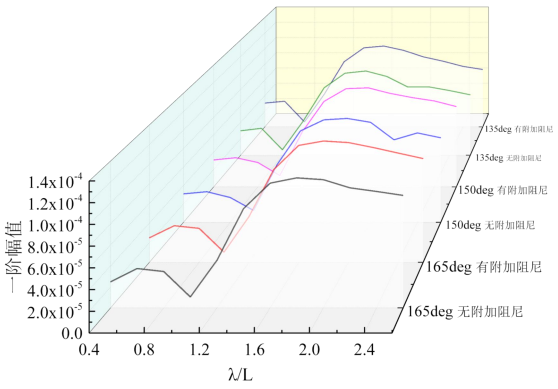


图 6 附加阻尼对艏斜浪波浪增阻系数的影响

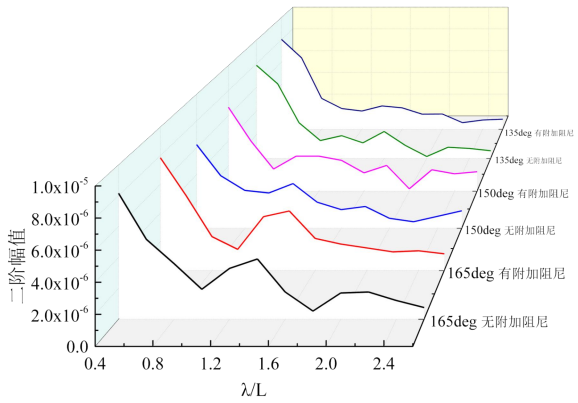
2.4 阻尼对艏斜浪下波浪增阻影响

图 6 为裸船体和附加阻尼两种模式下极地破冰船艏斜浪的波浪增阻随波长变化对比情况，在附加阻尼的作用下，船体运动响应发生了变化，进而影响了波浪增阻。可以看到，艏斜浪 150°和 135°下附加阻尼的波浪增阻峰值略有降低，部分波长区域下的波浪增阻也有所降低。

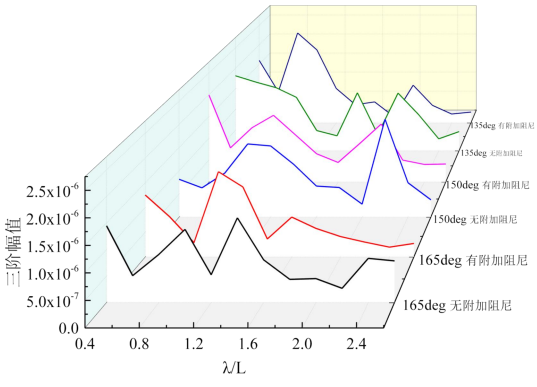
仅从波浪增阻系数进行附加阻尼的影响分析还不够全面，为此，提取了阻力时历曲线的各阶幅值进行分析，如图 7 所示为附加阻尼对兴波阻力系数的影响。在附加阻尼的作用下，阻力曲线的一阶幅值未有明显的变化，二阶幅值和三阶幅值有所减弱，在一定程度上改善了受力的非线性，船体遭受的波浪作用力更加均衡。



(a) 一阶幅值



(b) 二阶幅值



(c) 三阶幅值

图 7 附加阻尼对兴波阻力系数的影响

联合附加等效阻尼对运动响应的影响，绘制成图 8 所示的耐波性评估函数对比图，耐波性评估函数为频率与对应响应函数曲线围成的面积。艏斜浪 135°下，在垂荡和纵摇运动变化较小的情况下，横摇运动的减

弱也有效地降低了波浪增阻，艏斜浪 165°和 150°下，横摇运动的减弱并未对波浪增阻产生明显的变化，附加等效阻尼在改善船体运动响应的同时还对降低波浪增阻起到了有利的影响。从船舶横摇运动姿态和波浪增阻的关系来说，极地破冰船艏斜浪 135°下的横摇运动响应较为明显，此时通过减小横摇运动响应幅值将有利于降低波浪增阻。

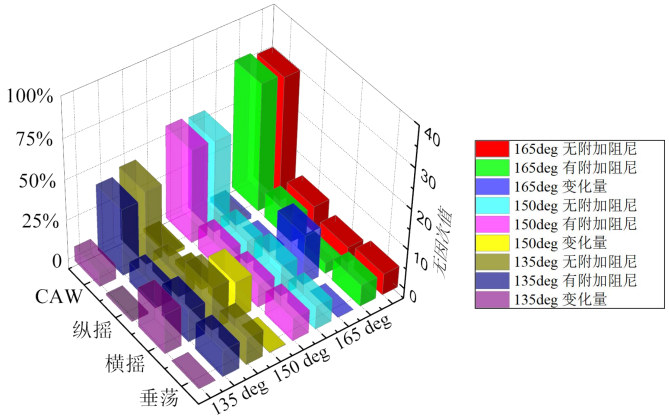


图 8 耐波性评估函数对比（有无附加阻尼）

3 结 论

本文基于三维非线性势流理论求解了极地破冰船在规则波中的波浪增阻，分析了附加阻尼对艏斜浪波浪增阻的影响，得出以下结论：

1）三维非线性势流方法求解波浪增阻问题计算效率较高，高效准确地获得了极地破冰船不同浪向下波浪增阻的变化规律，以迎浪下的波浪增阻最严重，随着浪向的偏移，波长较长区域的波浪增阻逐渐下降。

2）基于固定模的方式获得了极地破冰船迎浪中波浪增阻的成分，绕射增阻随波长的变化较为稳定，辐射增阻随波长的变化为单峰形式，峰值对应的波长比和总的波浪增阻峰值对应的波长比相同。

3）通过研究附加阻尼对波浪增阻的影响发现附加阻尼可以有效抑制横摇运动响应，并降低了部分波长区间下的波浪增阻，改善了阻力时历曲线的非线性。

参考文献

[1] Larsson L, Stern F, Visonneau M. Numerical ship hydrodynamics: An assessment of the Gothenburg 2010 workshop [M]. Gewerbestrasse: Springer Nature Switzerland AG, 2013.

[2] Hino T, Stern F, Larsson L, et al. Numerical Ship Hydrodynamics: An Assessment of the Tokyo 2015 Workshop[M]. Gewerbestrasse: Springer Nature Switzerland AG, 2020.

[3] Sadat-Hosseini H, Wu P C, Carrica P M, et al. CFD verification and validation of added resistance and motions of KVLCC2 with fixed and free surge in short and long head waves[J]. Ocean Engineering, 2013, 59: 240-273.

[4] Joncquez S A G. Second-order forces and moments acting on ships in waves[D]. Copenhagen: Technical University of Denmark, 2009.

[5] Söding H, Shigunov V, Schellin T E, et al. A Rankine panel method for added resistance of ships in waves[J]. Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 2014, 136(3): 031601.

[6] Hong L, Zhu R, Miao G, et al. An investigation into added resistance of vessels advancing in waves[J]. Ocean Engineering, 2016, 123: 238-248.

[7] 洪亮, 朱仁传, 缪国平, 等. 基于三维辐射能量法的船舶波浪增阻计算分析[J]. 船舶力学, 2018, 22(7): 807-817.

[8] Valanto P, Hong Y P. Experimental investigation on ship wave added resistance in regular head, oblique, beam, and following waves[C]. Proceedings of the 25th International Ocean and Polar Engineering Conference, Hawaii, 2015.

[9] Sprenger F, Maron A, Delefortrie G, et al. Experimental studies on seakeeping and maneuverability of ships in adverse weather conditions[J]. Journal of Ship Research, 2017, 61(3): 131-152.
[10] Liu S, Papanikolaou A. Prediction of the added resistance of ships in oblique seas[C]. Proceedings of the 26th International Ocean and Polar Engineering Conference, Rhodes, 2016.
[11] Zhan J H, Kuang X F. Numerical simulation of added resistance in heading and oblique waves using OpenFOAM[C]. Proceedings of the 13th OpenFOAM Workshop, Shanghai, 2018.
[12] Graf K, Pelz M, Bertram V, et al. Added resistance in seaways and its impact on yacht performance[C]. The 18th Chesapeake Sailing Yacht Symposium, Annapolis, 2007.
[13] Moctar O E, Shigunov V, Zorn T. Duisburg Test Case: Post-Panamax Container Ship for Benchmarking[J]. Ship Technology Research, 2012, 59(3): 50-64.
[14] Zakaria N M G, Baree M S. Alternative methods on added resistance of ships in regular head waves[J]. The Institution of Engineers, Malaysia, 2007, 68(02):15-22.

作者简介

陈超，博士，从事船体型线优化设计及水动力性能研究，（E-mail)siriuschao@qq.com，021-65968918

“水上智能停车场”在海事管理中的创新应用

黄锦杰，蒋兆明，张可成

（杨浦海事局，上海 200082）

摘要：黄浦江两岸海事服务示范区是《上海海事局十四五总体发展规划》中重点建设的区域之一，为了助力“十四五”期间上海海事局建设全面构建浦江两岸海事服务示范区，本文将重点通过“数字黄浦江”、黄浦江游览等内涵进一步完善黄浦江“水上智能停车场”和“水上智能导航地图”建设，持续推进黄浦江水上交通安全治理模式创新。

关键词：水上交通安全；海事管理；数字黄浦江；水上智能停车场

0 引 言

黄浦江位于上海市中部，贯穿上海市，下游将上海市区分为浦西与浦东两大部分。黄浦江的孕育造就了近代上海城市的成长历史[1]。19 世纪中叶以来，借助于地理位置及水运之利，沿岸港口运输业、金融贸易业、近代工业得以逐步兴起和发展，带动了上海的繁荣，使上海成为世界闻名的国际大都市[2]。

繁忙的黄浦江上，每天千帆竞过、百舸争流，据统计，黄浦江日均船舶流量 1 000 多艘次，源源不断为这座城市输送着与市民息息相关的生产生活要素。正如陆上车辆需要停车场一样，水上也需要有供船舶休息、候泊、候潮等临时停泊的场地，但随着黄浦江两岸功能调整和滨江岸线开发建设的不断深入，黄浦江上的系船浮筒由原来的 131 只，减少到只有杨浦海事局辖区内的 17 只（应急系船浮筒除外），根据要求，黄浦江内甲级系船浮筒连线两侧靠泊宽度不超过 16 m，乙级系船浮筒连线两侧靠泊宽度不超过 13 m[4]，可供船舶停靠的泊位非常有限。据统计，船舶通常提前进港系泊等待装卸，存在大部分船舶无法准确获知系船浮筒上的剩余泊位，寻找空余系船泊位相对比较困难，大多数采取就近靠泊的方式，所以带来几个问题：第一，黄浦江小型船舶停泊难的问题；第二，系船浮筒以及码头因船舶超过规定系泊宽度带来的监管难的问题；第三，船舶挤占航道引起的通航安全问题[3]，以上成为海事监管中的“顽症”，给辖区通航环境带来较大的隐患。对此，船员反应比较强烈，亟需通过技术手段建设“数字黄浦江”，强化海事服务水平和监管能力，完善“水上智能停车场”系统功能，来解决码头和系船浮筒超宽靠泊、停泊困难等问题，从而来改善通航环境，维护水上交通安全，保障人民群众的生命和财产安全。

杨浦海事局为了解决上述问题，依托上海海图中心开发的“海 e 行”APP，开发了“水上智能停车场”系统。该系统作为“数字黄浦江”建设的重要载体，充分借由数字化赋能，通过为船舶提供智能化语音导航服务、智能化查阅系船浮筒和码头停泊资源利用情况服务等场景应用，实现船舶在黄浦江“数字化”航行与停泊，实现海事部门对系船浮筒、码头的“数字化”监管和服务，助力浦江两岸海事服务示范区建设。

1 主要功能介绍

“水上智能停车场”系统结合船舶 AIS 信息、进出港报告系统信息和码头申报信息等海事大数据，船舶靠泊后自动更新航行动态，系统锁定船舶的船名、船长、船宽、吃水等基本信息，以单船数据为基础，再应用智能算法等先进技术进行运算，可以实现以下功能：

1）该系统能够实时监测系船浮筒上的船舶系泊情况，自动统计当前的靠泊船舶总宽度和剩余宽度，并显示每只系船浮筒的船名信息、剩余允许系泊宽度、允许水深等提示。其中，允许水深是指船舶在系泊浮筒时，为了保证船舶安全，应使水深超过实际船舶吃水并保持一定的安全余量[5]，见表 1 所示。

表 1 杨浦海事局辖区系船浮筒靠泊情况

系船浮筒名称	水深(m)	剩余宽度(m)
S16	4.9	0.0
S16-1	4.1	0.0
S17	5.3	9.0
S18	5.1	16.0
B1	9.0	32.0

B2	10.0	32.0
B3	9.5	32.0
B3-A	9.5	32.0
B4	9.5	32.0
B17	7.1	0.0
B18	6.5	0.0
煤 1	6.5	5.0
煤 2	6.5	1.0
兰试 1	6.5	0.0
煤 3	6.5	0.0
B22	6.5	0.0
B23	6.5	0.0

（数据来源于：2023 年 7 月 1 日 18 时 30 分“海 e 行”APP 浮筒系泊查）

2）船方可通过手机“海 e 行”APP 在未进港之前就可远程一键查询黄浦江内系船浮筒系泊资源剩余情况（功能界面如图 2 所示），并准确指引船舶到有剩余宽度和系泊位置的系船浮筒进行系泊，方便船舶合理安排进入黄浦江的时间，引导船舶及时准确找到合适的泊位，从而助力黄浦江船舶流管控。根据统计，正常天气条件下，船舶能够有序文明靠离系船浮筒；为防止大风、能见度不良等恶劣天气情况时出现抢占系船浮筒的现象发生，海事管理机构会启动相应的应急预案，发挥两级电子巡航、AR 船舶动态监控作用，并指派巡逻艇对系泊船舶的秩序进行组织，引导船舶有序规范靠离泊。

图 2 浮筒系泊查询功能界面

3）“水上智能停车场”还拓展了新功能，把黄浦江的通航要素融合进来，在系统中设置轮渡上下游 500 m 警示线（如图 3 所示）。船舶打开 APP 使用导航功能，当船舶到达该警示线时，APP 自动语音提醒：前方 500 m 处为轮渡线，请加强瞭望、减速航行。此功能可以帮助初次进入黄浦江的船舶，掌握轮渡线位置，提前与轮渡进行沟通交汇，确保船舶航行安全。

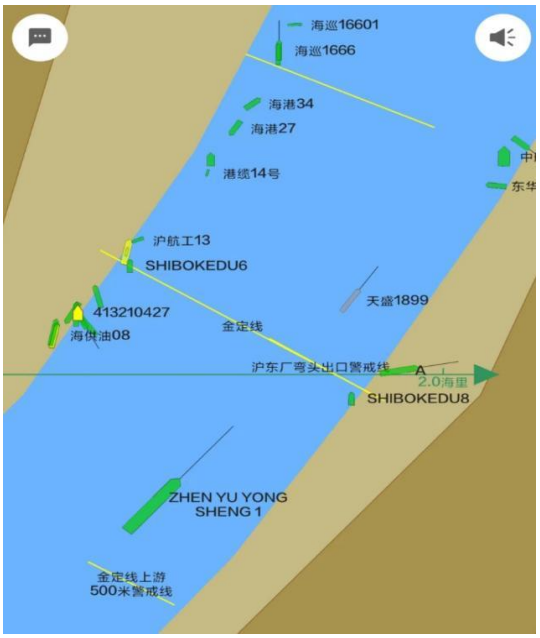


图 3 轮渡（金定线）上下游 500 m 警示线

4）“水上智能停车场”系统不仅是一种“停车”系统，更像是水上的“高德导航地图”，该系统会在弯头水域禁止追越区（如图 4 所示）、水上水下活动作业区、游览船密集区等自动语音提醒，并且对超速（黄浦江内限速 8 节）、驶入禁航区等违章行为提前语音报警，实时播发进博会水上交通安全管控信等多种交通组织管控信息，引导船舶在黄浦江上规范、有序航行。

图 4　高桥弯头禁止追越区

5）为了严格落实系船浮筒和浦江两岸码头靠泊宽度规定，以船舶进出港报告系统、船舶流管控报告信息为核心，该系统能够自动校核船舶、码头申报动态与码头作业数据，通过系统自动审核、比对实现自动提示，完善码头作业、船舶靠泊秩序管理。

6）“水上智能停车场”系统是船舶停泊系统，同时也能够助力海事管理机构对船舶进出港报告的监督监管。该系统能够对辖区靠泊船舶的 AIS 信号（船舶速度为零时的数据）与其进出港报告数据、码头动态信息管理系统进行比对，系统经过甄别，自动筛选出未报告进出港信息船舶，同时系统界面上船舶名称后缀自动显示未报告，实现对未报港船舶的有效监管。

2 运行成效

“水上智能停车场”通过实现以上的功能，探索绿色、高效的巡航管理新模式，能够有效地解决海事在黄浦江监管中的“顽症”，从而助力浦江两岸海事服务示范区管理与建设，主要表现在以下几个方面：

1）违章方面：一是 2022 年三季度，与去年同期同比减少 35%，有效解决浮筒超宽系泊的“顽症”；二是船舶超速、违法追越等航行违章大幅减少，2022 年三季度，与去年同期同比减少 55%， 辖区通航环境得到明显改善。

2）航运经济性方面：船员朋友也纷纷表示应用该系统能够更方便、更准确地找到泊位。一年来，使用该系统顺利系泊的船舶有 3 万艘次，累计减少船舶盲目找泊里程数 9 万 n mile，燃油费用每年大概可节约 1 800 万元。值得一提的是，通过系统找泊还大大降低了夜间找泊的航行风险，通航安全显著提升。

3）系统使用感受方面：该功能操作十分简便，实用性强，深受船员朋友的欢迎和好评，在 734 条用户反馈中，操作简便、功能实用是船员最普遍的评价。

4）实现转变：使海事管理由“被动执法管理”向“主动引导服务”转变，彰显了海事执法温度，在浦江两岸海事服务示范区建设中实现了码头、浮筒安全管理与服务模式创新、数字黄浦江建设创新、黄浦江船舶流管控效能创新等方面的创新。

3 下一步开发设想

目前，“水上智能停车场”系统所建设的功能已经取得明显成效，能够有效帮助船员消除安全隐患，保护人民群众的生命财产安全。为持续推进黄浦江水上交通安全治理模式创新，倾力打造浦江两岸海事服务示范精品，杨浦海事局仍将立足于群众，继续根据船员的需求，不断探讨总结经验，进一步完善系统功能，通过与有关部门的探讨，得出了以下几点开发设想：

1）继续扩大“水上智能停车场”的服务版图，逐步点亮锚地、码头等高品质公共滨水空间，让创新成果惠及每一位船员朋友对辖区内浮筒超宽靠泊的船舶自动发送短信或是 AI 电话提醒。

2）根据海事水上水下作业审批结果，在地图中自动设置显示安全作业区范围和警戒区，形成电子围栏，当船舶进入该警戒区域时将自动报警，提醒船舶迅速驶离作业区域，保障船舶安全。

3）对航行中存在超速、反航道等行为的船舶实现 AI 电话提醒。根据船舶航行轨迹，当船舶航向突然异常时进行自动报警提醒，以减少因船员打瞌睡导致船舶碰撞事故的发生。此外，结合辖区实际情况，系统中划定重点水域或事故多发水域，对过往船舶进行警示和提醒。

4）联合当地气象部门，开设气象信息的提醒功能，向船方发送气象信息；加强对恶劣天气的预警和提醒，方便船舶精准实时获取气象信息。

4 结 论

本文在前期开发的浮筒空位查询、轮渡上下游 500 m 警戒线提醒、智能导航地图等功能的基础上，新设了码头空位查询、码头动态监管、航向异常提醒、水工作业警戒区、气象信息提醒播报等功能，通过不断建设完善黄浦江“水上智能停车场”的功能，实现黄浦江水上交通安全治理模式创新，致力于打造浦江两岸海事服务示范精品，推进黄浦江数字化建设，助力海事管理的创新，在海事系统形成良好示范，努力建设安全、畅通、文明、智慧浦江，为“一江一河”世界级滨水区建设提供安全屏障，让世界会客厅的名片更加闪亮！

参考文献

[1] 陈维俭,于海.黄浦江陆家嘴弯道河段近期河床演变研究[J].中国水运(下半月),2009,9(08):157-158.
[2] 朱岩.提高我国港口现代航运服务产业竞争力研究——以上海港为例[J].黑龙江对外经

贸,2009(05):43-45.
[3] 梁小成,卢俊良.大型深吃水船舶进出港的安全通航保障[J].航海技术,
2010(04):21-23.
[4] 严家君.浅析黄浦江系船浮筒的调整方案[J].中国水运,2021(07):85-88.
[5] 孙德勇.黄骅港船舶航行安全富余水深研究[D].大连海事大学,2010.

作者简介:

黄锦杰，本科，主要从事海事管理工作，(E-mail) 1033857396@qq.com，18857062680
蒋兆明，本科，主要从事海事管理工作
张可成，本科，主要从事海事管理工作

营运碳强度指标影响下的班轮航速优化

张子倓[1]，孟怡婕[1]，陈 笛[2]，胡晨滨[1]，孙 领[1]

（1.上海海事大学，上海 201306；

2.上海航华国际船务有限公司，上海 200080）

摘要：随着全球航运碳排放量的不断增长，节能减排已成为全球航运业发展的必然趋势。本文基于海洋环境保护委员会第76届会议通过的营运碳强度指标及评级制度对营运船舶的影响，从降低成本、节能减排的目的出发，在对航线上各航段载货情况进行预测的前提下，建立油耗预测模型与船舶航速优化模型，实现以降低油耗为目标的更精准航速优化。这对于班轮公司管理者和船舶服务方在全球航运碳减排趋势背景下的营运优化具有较高实践意义。

关键词：船舶营运碳强度；低碳航运；船舶油耗测算；航速优化；航运能耗

0 引 言

为推动航运业碳减排进程，国际海事组织(International Maritime Organization，IMO)制定了船舶能效管理计划。在海洋环境保护委员会第76届会议通过的营运碳强度指标（Operational Carbon Intensity Indicator，后文简称CII）及评级制度通过强制性要求对营运船舶碳排放量进行约束，控制营运船舶碳减排将成为船公司发展的必由之路[1]。根据IMO对船舶能效设计指数（Energy Efficiency Operational Indicator，EEOI）的说明，船舶能效体现为船舶航行过程中单位运输工作量所排放的二氧化碳量，且船舶能效指数越低船舶能效管理水平便越高[2]。

班轮运输承运货种繁多，航线覆盖范围广阔，面临着艰巨的碳减排任务[3]。根据CII指标规定，预计将有93.8%的集装箱船受其影响。由于集装箱班轮具有独特的运营特性，对船舶如何在达到低碳要求时同时兼顾服务质量更为看重。为了更准确地计算燃料消耗和排放，航速是最主要的参数，一个微小的速度调整都可以显著改善船舶的燃料消耗和能源效率[4]。在此背景下，优化航速被认为是降低集装箱班轮营运碳排放的有效手段[5]。基于此，本文通过与上海航华国际船务代理有限公司合作获取数据支持，通过统计与分析船舶航次能耗大数据构建兼具准确性和外推性的油耗预测模型与航速测算模型，实现以满足CII相关政策约束下油耗最低为目标的更精准集装箱班轮航速优化。

1 船舶营运碳强度指标（CII）政策解读

1.1 营运碳强度指标简介

船舶营运碳强度指数即船舶单位运输工作量的二氧化碳排放量。船舶营运碳强度指数分为达到的年度营运碳强度指数(Attained annual operational CII)与船型吨位应达到的年度营运碳强度目标值(Required annual operational CII），该目标值根据每年测算所得船舶实际碳强度指数值的变化而改动，该指标通过逐年提高目标要求以达到降低船舶碳强度的目标。

1.2 营运碳强度评级方法介绍

基于船舶达到的年度营运碳强度指标值，IMO制定了船舶营运碳强度评级导则，旨在通过对相关船舶进行营运碳强度评级促进船舶降低营运碳强度并提升评级。根据船舶达到的年度营运碳强度指标值百分比，船舶将会被给予A至E的评级。各级船舶中，评级为D和E的船舶将需按要求提交船舶能效改进措施。同时，当前国际海事组织建议主管机港口及航运相关方对评级为A与B级的船舶进行激励，而对连续3年评级为D或当年评级为E的船舶则要求制定并提交令船舶达到年度营运碳强度目标值的纠正计划，经批准后纳入船舶能效管理计划执行，具体奖惩措施仍需待2026年后根据具体实施情况进行规则评估。在相关措施推进下，船公司将积极采取营运策略以降低营运过程中船舶碳排放量。

2 船舶航速优化模型构建

2.1 数据和变量

本文采集2019年至2021年间船舶能效数据报告中不同大小、船型、船龄的17艘船舶（含姐妹船）的航次能耗数据、航次载货数据、时间、航速等信息各项船舶记录数据作为原始数据。

模型所涉及变量参数如下所示。

$\boldsymbol{F_C}$—船舶航次总油耗，吨
$\boldsymbol{C_M}$—船舶航次主机油耗，吨
$\boldsymbol{C_A}$—船舶航次辅机油耗，吨
$\boldsymbol{t_E}$—船舶航次营运时间，小时
$\boldsymbol{t_N}$-船舶航次航行时间，小时
$\boldsymbol{t_A}$-航次锚泊时间，小时
$\boldsymbol{d}$—船舶航次航行距离，海里
$\boldsymbol{v}$—船舶航速，节
$\boldsymbol{N_z}$--船舶主机持续功率，千瓦
$\boldsymbol{D}$ --船舶排水量，吨
$\boldsymbol{v_s}$—经修正的船舶静水航速，节
$\boldsymbol{\beta}$—船舶辅机油耗影响因子，受船舶能源策略影响
$\boldsymbol{v_{min}}$--船舶根据船期安排的最低航速，节
$\boldsymbol{v_b}$ --经优化的航次节能航速，节
$\boldsymbol{F_B}$ --以节能航速行驶的航次总油耗，吨
$\boldsymbol{g}$ --船舶油耗率，吨每海里
$\boldsymbol{C}$ --船舶的航次货载量，吨

2.2 油耗影响因素分析

本研究首先采用皮尔逊相关性分析法检验航次总油耗 CF 对船舶自身的船龄、船长、船宽、型深及航次的营运时间、航行时间、航行距离、排水量、航速的相关性。结果显示，每个变量都与航次总油耗相关，且显著性较强，其中船龄的相关性为负值，经原样本分析，判断为船龄大的船舶相对为小船型，单航次油耗较低，符合实际。

表 1 船舶总油耗影响因素相关性分析表

变量	长宽比	船龄（年）	主机功率（kw）	航行距离（n mile）	航行时间（h）	营运时间（h）	排水量（t）
相关性	0.606	-0.685	0.773	0.599	0.444	0.350	0.838
显著性	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01	＜0.01

在此基础上，以总油耗为因变量对长宽比、主机功率、航行距离、航行时间、营运时间、排水量进行共线性诊断，并采用逐步回归法去共线性，最终确定关键影响因素为长宽比、航行距离、航行时间、营运时间、排水量。

2.3 班轮航次油耗回归分析

船舶营运过程中，其油耗主要分为主机油耗和辅机油耗，前者为船舶航行提供动力，后者则主要为发电以保证船舶内部的正常运转。则在船舶总油耗可为：

$$F_C = C_M + C_A$$

现有研究中估计主机有效功率常用海军系数法，结合上文主机运行原理可认为在一定时间内特定船舶的摩擦系数、主机老旧程度、内部传动的能量损耗率等因素视为不变。此情况下主机功率与排水量和航行速度正相关，同时可以在认为功率乘时间即为主机所作的功，与主机油耗呈正比，而辅机油耗主要为船舶供电所用，消耗较为稳定，因此可将航次船舶总油耗设为：

$$F_C = \alpha_1 D^{\frac{2}{3}} v^2 d + \alpha_2 t_N + \alpha_3 t_E$$

2.4 班轮航次航速优化模型建立

可以明显看出与营运时间有关的油耗$\alpha_3 t_E$不会影响航次最优航速的选取，而在船舶机械状态相对稳定的情况下，船舶排水量会对航次最优航速产生一定影响。根据 IMO 营运管理的需求，希望各船舶在靠港时均连接岸电以减少燃油的使用。对此，在计算节能航速的时候，考虑其更变策略，在靠港时采取岸电，因此，此时，船舶的每公里油耗可由下式计算：

$$g(D,v)=\alpha_1 D^{\frac{2}{3}}v_b{}^2+\beta v_b{}^{-1}$$

依此可结合油耗模型拟合结果中求解得到的未知参数，计算各船舶在空载、半载、满载三种状态下的节能航速，其油耗率如图 1 所示，由于船舶航行过程中存在随时间变化的辅机油耗，也就是说，并不是船开的越慢越省油，决策者应避开此误区，合理制定航速计划。

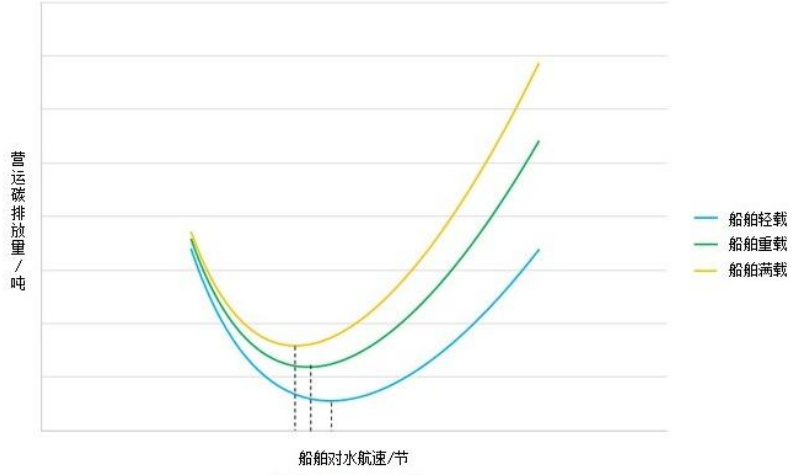


图 1　排水量的灵敏性分析图

3　算例分析

STARSHIP PEGASUS 是一艘船龄 11 年的船舶，空船排水量为 8 136 t，最多可载 1 891 t，23 927 t 的货物，该船龄的船舶在目前的政策环境下随时有被勒令整改或淘汰的风险，因此以该轮为研究对象，分析其营运策略。简单列出该轮满载、半载、空载时的最优航速和对应油耗率如表 2 所示，在满载的情况下节能航速整整比空载要低 4.5 kn。

表 2 航速优化结果

分类	船名	空载		半载		满载	
		v_b(m/s)	g(t/n mile)	v_b(m/s)	g(kg/n mile)	v_b(m/s)	g(kg/n mile)
1	STARSHIP PEGASUS	16.88	0.065	13.80	0.080	12.44	0.088

以该轮的釜山—上海港航段为例，该班轮在上海港所靠码头为外高桥码头，需乘潮进出，同时，因为货运拥堵，有时需保持较长时间的排队等候时间，即不能连接岸电的锚泊时间。节能航速选取的决策方法如下，在上一港离港时船方及时与港方交流，确认泊位情况，如有泊位，说明船舶行驶至下一港即可靠泊连接岸电，靠泊期间油耗可视为 0，此时可用$\beta=\alpha_2+\alpha_3$代入计算最优节能航速，若无泊位，则说明即便提前抵港仍需锚泊等待，锚泊期间油耗为α_3/h，因此以$\beta=\alpha_2$代入计算最优节能航速。此外，还需确认以节能航速行驶是否能按既定船期到达，若不能，则应以式得的最低航速行驶。

$$v_{min}=\frac{d_{m,m+1}}{T_{m+1}-T_m}$$

采取此策略定速时，船舶的航次理论最低油耗可由计算：

$$F_{Cmin}=\alpha_1 D^{\frac{2}{3}}v_b{}^2 d+(\alpha_2+\alpha_3)\frac{d}{v_b}+\alpha_3 t_A$$

选取部分班次信息如表 3 所示，根据航速决策法制定航速策略v_b，其真实航行航速有时候会低于本研究所采用的航速优化方法计算所得的v_b，有时候又会高于该值。将相关参数代入，计算得出，该轮总航次实际总油耗为 772.48 t，采用本研究的定速策略 STARSHIP PEGASUS 轮在该时间段内的油耗理论最低可达 706.06 t，降低 8.6%，单航次最高减少 26.41%的燃油消耗，优化效果较为明显。

表 3 STARSHIP PEGASUS 航次数据样表

货重 t	排水量 t	航行距离 (n mile)	航行时间 (h)	锚泊时间 (h)	营运时间 (h)	平均航速 (kn)	航次油耗 (t)	优化航速 (kn)	优化油耗 (t)	优化幅度 （%）
8481.4	16617.4	251	30	26.00	68	8.37	34.10	13.40	27.75	18.62
11407	19543	251	30	14.00	56	8.37	34.60	12.92	25.46	26.41
7648.9	15784.9	468	28	0.00	33	16.71	36.65	16.70	35.55	3.01
9717.1	17853.1	489	38	7.00	57	12.87	39.97	13.19	39.82	0.37
11628.1	19764.1	503	33.2	85.00	130.2	15.15	61.28	12.89	58.68	4.24
资料来源：企业调研、实验计算										

4 结 论

本文以班轮运输为研究对象，结合航速和船期表两个决策层面对班轮的营运能效进行优化。有效利用海事局的船舶航次能耗报表数据和船舶航行 AIS 数据，建立船舶油耗估算模型以计算船舶节能航速，并考虑排水量对油耗率的影响建立船期表优化模型。通过算例分析，该油耗估算模型可判断船舶实际营运中的主机工况、辅机工况、是否连接岸电等关键决策，并以此为依据优化船舶节能航速，其准确率较高，优化效果较好。

本文研究成果为解决船舶航速优化问题提供了理论指导和决策依据。未来的研究可以考虑船舶载况和外部环节因素的耦合作用，建立更优的油耗测算模型。

致谢

项目名：航华船舶航速及油耗优化程序，项目编号：12020221311KX）

参考文献

[1] IMO. Introduction to IMO[DB/OL]. http://www.imo.org/en/About/Pages/Default.aspx. 2019.

[2] Marine Environment Protection Committee. Report of the Marine Environment Protection Committee on its Sixty-Second Session[R]. London: IMO, 2011.

[3]Xing Y, Yang H, X Ma, et al. Optimization of Ship Speed and Fleet Deployment Under Carbon Emissions Policies for Container Shipping)[J]. Transport,2019,34(2):260-274.

[4] Smith T, Parker S, Rehmatulla N. On the speed of ships[C]. International Conference on Technologies, Operations, Logistics and Modelling for Low Carbon Shipping, LCS2011, University of Strathclyde, Glasgow, UK ,2011, 22-24 [5] Corbett J J, Wang H, Winebrake J J. The effectiveness and costs of speed reductions on emissions from international shopping. Transportation Research Part D: Transport and Environment[J]. Volume, Issue, 2018, 8(5): 593-598.

作者简介：

张子倓，上海海事大学交通管理专业，（E—mail）201910710490@stu.shmtu.edu.cn，13817367910

驾引人员不当使用手机引发事故分析

陆悦铭　丁丰华　周樾枫

（上海港引航站，上海 200082）

摘 要：部分船舶驾引人员值班时不当使用手机，由此导致的海损事故屡见不鲜，严重威胁了人民的生命财产安全和水域环境的清洁，其危害程度远超出你的想象。本文通过介绍部分驾驶人员和引航员在工作中使用手机造成事故的案例，提出了此等行为都属于妨碍安全航行的违规行为的观点，以及整治此类违规行为的建议。

关键词：驾引人员；不当使用手机；海损事故；建议

0 引言

近年来，手机向智能化发展，功能越来越多，在船员的工作、生活中得到了广泛应用，一方面提高了船员的工作效率、丰富了业余生活，但也给船舶航行安全带来了新的风险。目前的手机不仅仅有接打电话的功能，还有学习、工作、收发信息和邮件、上网浏览、购物、聊天、交友和游戏等众多功能，已经成了船舶驾引人员不可缺少的工作工具和生活物品之一，如果驾引人员工作时不带手机，部分工作便无法开展；部分驾引人员如一天不带手机，有无助、无聊、与世隔绝和浑身不自在等感觉，已经影响了正常的工作，由此可见手机对驾引人员的重要性和部分驾引人员对手机的依赖性。已经发生的多起海损事故案例表明，手机给驾引人员带来方便的同时，不当使用也给驾引人员带来了危害，整治驾引人员合理使用手机刻不容缓。

1　驾引人员不当使用手机造成的海损事故案例

1.1 散货船“布农族女王”号碰撞海上油田供应船“雷霆”号[1]

2022 年 7 月 23 日下午，散货船“布农族女王”（Bunun Queen）号在美国墨西哥湾向东行驶，海上油田供应船“雷霆”（Thunder）号向北行驶。在当地时间 13：15，“布农族女王”号以 14.4 kn 的航速撞上了以 9.0 kn 航速行驶的“雷霆”号左舷。此次碰撞事故给两艘船造成了共计 1 230 万美元的损失。美国国家运输安全委员会（National Transportation Safety Board, NTSB）的调查结果显示，碰撞事故发生在能见度良好、天气条件良好的白天；两艘船都安装了带有自动雷达标绘仪（ARPA）的雷达和自动识别系统（AIS），都出现在对方的显示屏中；两艘船上的驾驶人员都没有保持正规的瞭望，即没有通过视觉瞭望和使用助航设备来跟踪对方，发挥视觉瞭望和助航设备的应有作用，采取适当的措施，防止碰撞的发生。两艘船的驾驶人员都承认，因执行非航行任务和使用手机分散了注意力，“布农族女王”号的二副在从事海图改正等其他工作，“雷霆”号的船长在使用手机通话。

1.2 “长程”号严重搁浅，35 天后才脱浅[2]

2022 年 3 月 13 日，美国东部时间 18：12，超大型集装箱船“长程”（Ever Forward）号从马里兰州巴尔的摩港离泊出港。两个小时后的 20：18，“长程”号在航道外搁浅。救援公司采取包括抽走“长程”号部分燃料油和排出淡水及压载水以减轻船舶的自重、疏浚船身周边淤泥以减少附着力和方便回到航道中，脱浅没有成功；接着用浮吊卸下 500 多只集装箱以进一步减轻自重、调集更多的拖船增加拖力等措施，趁天文大潮的涨潮，搁浅 35 天的“长程”轮才重新浮起并回到航道中。

美国海岸警卫队发布“长程”轮搁浅事故的调查报告表明，马里兰州引航员在 126 min 的整个引航过程中，用手机打了多个与当时的引航安全无关的工作电话，一个私人电话通话时间超过 55 min，通话时间总计约 61 min；用手机发送了 1 条短信；在便携引航终端(Portable Pilot Units, PPU)中截屏前一航次的引航记录，并发送给同事；起草并发送一封电子邮件，说明他遇到的航线处理程序问题；约在船舶搁浅前 1 min，引航员仍然在看手机，以至于延误了转向时机而全速冲出航道搁浅。

1.3 大型散货船“若潮”号触礁造成大量燃油泄漏和船舶全损[3]

2020 年 7 月 25 日，当地时间约 20:00，一艘日本商船三井（MOL）拥有的大型散货船“若潮”（Wakashio）号（长 300 m，宽 50 m，载重吨位超过 20 万 t），在印度洋岛国毛里求斯附近海岸触礁，船体出现裂缝后，先是发生 1 000 多吨燃油泄漏，接着是断成两截，严重污染当地海洋环境，给毛里求斯的国民经济、粮食安全、民众健康和旅游业等都带来可怕的后果。

巴拿马海事局作为“若潮”号船旗国的管理机构，向国际海事组织提交了安全调查报告，MOL 也发布了事故调查报告，都揭示这一起人为触礁事故的原因。“若潮”号船长承认，通常货船航行时需与海岸线保持 12 n mile 的距离，以确保航行安全。因为新冠肺炎疫情的原因，大部分船员已经在船连续工作一年以上，为了让船员了解故乡的疫情情况，能收到毛里求斯的手机信号，他数次更改航线计划，以便靠近海岸线，用偏离航线来获取更好的手机信号，最终撞上了珊瑚礁，致使燃油泄漏和船舶断成两截。

“若潮”号触礁事故发生之前，毛里求斯当地的相关部门一直试图联系这艘货船，警告它已经处于错

误的航线，但是因为船员在不当使用手机而分心，驾驶人员错过了最初的数次紧急呼叫。

1.4 大型集装箱船“中远釜山”号雾中航行碰撞大桥桥墩[4]

2007 年 11 月 7 日，当地时间 08：30，大型集装箱船“中远釜山”（COSCO BUSAN）号（船长 275 m，船宽 40 m，可装载 5 500 个标准集装箱）雾中航行，结果其船艏的左舷碰撞了美国旧金山水域的海湾大桥桥墩的防护栏系统，碰撞事故导致船舶左舷前部形成一个约 67×3×2.5 m 的破口，即左舷 2 号压载舱、3 号和 4 号燃油舱破裂，近 200 吨燃油漏入旧金山湾，污染了约 42 km 的海岸线……

海损事故发生后，船长向 NTSB 的调查官员说，引航员在引航过程中，始终在使用手机与外界通话，他几乎没有机会与引航员交流。

2 使用手机不当的危害

手机投放市场已经有三四十年，手机为在船舶工作的驾引人员带来了工作和生活的便利，尤其是智能手机的开发，智能手机已经变得无所不能。随着手机中智能的不停进步、无线网络的不断完善、多种免费聊天软件的推出、通话和流量费用的大幅度降低，智能手机可以通过各种各样的功能和 App 取代我们日常工作和生活中的许多工具，包括导航、数码相机、iPod 甚至是手电筒等。

大量的险情、案例表明，使用手机不当已经造成大量的交通事故，尤其在机动车驾驶领域。人的大脑资源是有限的，而驾驶机动车是一项较为复杂的工作，需要司机的注意力高度集中，但是在司机驾驶机动车的过程中，往往会出现各种各样的情况，从而分散或转移司机的注意力，即司机的分心，造成交通安全隐患和事故。

自从手机普及后，司机开车中用手机的违法行为日渐增多，已成为全球道路交通安全的第一大潜在“杀手”。我国交通警察的结论是，“开车使用手机”会导致司机反应滞后。正常的机动车驾驶时，司机反应时间在 0.3∽1 s，使用手机时反应时间延迟 3 倍左右。科学模拟实验结果也证明了这一点，开车使用手机导致司机注意力下降 20%；如果通话内容很重要，则司机的注意力会下降 37%；司机边开车边发信息，发生车祸的概率是正常驾驶时的 23 倍[5]。大量的道路交通事故表明，开车时满足司机身体舒适需求的调节座位、抽烟、饮水、进食、调节空调温度等行为，满足司机心情愉悦需求的听新闻和音乐、刮胡子、聊天、化妆等行为，使用手机拨打和接听电话、收发信息等行为，周围环境中的风景、某个车外突发情况等，都可能引发司机的分心，以至于道路交通事故大幅度上升。

美国统计的 2010 年交通死亡事故情况及分心行为的比例指出，分心行为已经成为导致交通事故的重要因素之一，其中最突出的一类司机分心行为是开车时使用手机的行为，占了所有因分心导致死亡事故的 13%，是所有分心行为中所占比例最大的一类[6]。由此可见，司机分心已经成为交通安全领域不容忽视的一大问题。另外，由于在交通事故中分心行为往往难以观察和判定，同时在事故上报的过程中部分信息可能被遗失，导致事实上分心行为对交通事故的影响远大于上述统计结果。由美国交通部支持的另一项实证研究表明，绝大多数司机分心行为都会增加交通风险，特别是在开车时编辑短信的行为，会导致产生交通风险的概率增加几十至上百倍。司机在开车的同时使用手机拨号打电话、伸手取东西、化妆等行为也会使交通风险增加数倍[7]。

在航海领域，显而易见的是使用手机不当和长时间使用手机，容易引起驾引人员在值班期间无法保持正规瞭望，使船舶航行安全面临风险。驾引人员长时间面对手机，会造成眼睛过度疲劳，影响瞭望的质量；过度玩手机，扰乱人的正常休息，造成身心疲惫，除了损害身体健康外，还容易产生疲劳驾驶。不当使用手机会分散和转移驾引人员的注意力，让驾引人员的评估不充分、判断不全面、措施易出差错，操纵易失误，最终导致海损事故的发生。

3 整治驾引人员不当使用手机行为的建议

2004 年 4 月 30 日，中华人民共和国国务院令第 405 号公布《中华人民共和国道路交通安全法实施条例》，2017 年 10 月又对其进行了修正，其中第六十二条规定驾驶机动车不得有拨打接听手持电话、观看电视等妨碍安全驾驶的行为。根据《道路交通安全违法行为记分分值》第四条，驾驶机动车有拨打、接听手持电话等妨碍安全驾驶的行为的，一次记 2 分。2022 年 4 月 1 日起正式实施的《机动车驾驶证申领和使用规定》第十一条，机动车驾驶人有拨打、接听手持电话等妨碍安全驾驶行为的交通违法行为，一次记 3 分。该规定除了在记分上增加一分外，还规定了拨打、接听手机是交通违法行为。根据《中华人民共和国道路交通安全法》第九十条规定，机动车驾驶人违反道路交通安全法律、法规关于道路通行规定的，处警告或者二十元以上二百元以下罚款。处罚只是一种手段，目的是保证良好的交通环境。新交规的实施，对驾驶员的整体素质提升有明显的帮助。

我国在机动车道路上安装了大量电子警察、卡口、流量检测、违停抓拍、天网监控等摄像头，开车接打电话可以被清晰拍摄，对司机有很强的威慑力。

2021 年 12 月，IMO 通过的“2018-2023 六年期 IMO 战略计划”中指出，人为因素是国际海事组织的重点议题之一。造成海上事故的人为因素主要包括船员操作失误、疲劳驾驶、疏于瞭望，在船舶搁浅、偏航、碰撞这三类事故中，驾驶船员的疲劳和分心是主要的事故原因[8]。

《1972 年国际海上避碰规则》第五条的瞭望条款要求，每一船在任何时候都应使用视觉、听觉以及适合当时环境和情况的一切可用手段保持正规的瞭望，以便对局面和碰撞危险作出充分的估计。但是没有对影响瞭望的不当使用手机行为进行明确规定。《中华人民共和国海船船员值班规则》也没有对不当使用手机提出明确的要求，因此建议海事主管部门参考《中华人民共和国道路交通安全法》等法律法规，制定相应的法规，加大处罚力度，使得处罚有法可依。

目前，驾引人员接打电话、看手机的证据难以收集。通过在驾驶台多个角度安装摄像头，利用高科技手段分辨出驾引人员存在接打电话、看手机等行为，一方面是警报响起，警告驾引人员当前的行为；另一方面持续抓拍照片并上传到公司的管理部门，供管理部门监督和检查，以形成强大的威慑。通过科技手段尽可能降低驾引人员分心值班的概率。

驾驶台良好的遵章守纪安全氛围能促进驾引人员个体的安全行为，而对接打电话的安全认知在安全氛围与安全行为的关系起中介效应作用，驾驶台的安全氛围成熟度越高，驾引人员个体安全认知感越强，对个体安全行为的影响作用也就越大，因此船长和引航员应该是遵章守纪的模范，构建和改善驾驶台使用手机存在风险的认知，在驾驶台带头不接打电话和看手机。通过宣传驾引人员工作中接打电话和看手机的危害，提高驾引人员的知法守法意识，培养文明航行习惯，进而促进其安全行为的养成。

4 结束语

每一个险情、海损事故的背后，都有一个必然的原因。部分驾引人员接打电话和看手机之所以出现，主要是因为制度不全、监督不力，还有是驾引人员安全意识不强，对危险的认识不足，认为接打电话、看手机只不过是几秒钟或几分钟的事情。另外一个原因是目前没有相应的法规、监督和手段。通过制定相应的制度，加大处罚力度；利用高科技手段，加强监督检查，形成强大的威慑；宣传和培养文明航行习惯，促进其养成安全行为，驾引人员工作中不当使用手机的恶习一定能终止。

参考文献

[1]https://www.ntsb.gov/investigations/AccidentReports/Reports/MIR2309.pdf.
[2]邬志伟,朱峰,张珂,陆悦铭.一起严重搁浅事故的教训［J］．航海，2023(2):70－73.
[3]https://gcaptain.com/wp-content/uploads/2023/07/Final-Investigation-Report-Wakashio-25-July-2020-1.pdf
[4] 陆悦铭,孔凡邨,薛一东,沈建华．“中远釜山”轮碰撞大桥事故分析与反思［J］．交通技术，2013(2):1－5.
[5] 王晓峰,陆明光,徐莹莹.分心驾驶成为交通出行潜在“杀手”[N].宁波日报, 2022-04-19.
[6] National Center for Statistics and Analysis. Distracted driving 2010. (Report No. DOT HS 811 650). Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration, 2012.
[7] Hickman J S, Hanowski R J, Bocanegra J. Distraction in commercial trucks and buses: Assessing prevalence and risk in conjunction with crashes and near-crashes (Rep. No. FMCSA-RRR-010-049). Washington, DC: Federal Motor Carrier Safety Administration, 2010.
[8]贾晓晖,王洪新,王贯明.船舶进出港操纵的风险预控[J].航海技术,2012(02):8-10.

作者简介

陆悦铭，在职硕士研究生，正高级引航员，致力于船舶引航安全、AIS 等助航仪器、船长引航员信息交流、航海文化、引航员登离船安全等研究，(E-mail)pilotyue@163.com,13918358892

主机增压器喘振原因浅析及运行管理

周宝金　夏 兵

（交通运输部东海航海保障中心上海海事测绘中心，上海 200137）

摘要：本文通过对“KING HERO”轮上主机增压器发生喘振故障及对故障的原因分析过程以及最终排除故障的描述，简单介绍了废气涡轮增压器的结构，以及航行之中对其采取的应急措施，对增压器发生喘振的机理和原因进行了阐述，并对引起增压器喘振的各种因素进行了分析和归类，最后对全文进行简单的总结和从故障排除过程中所得到的启示并给出轮机员在增压器的日常维护和管理方面所需要注意的一些事项，希望在今后尽可能的避免增压器喘振的发生。

关键词：喘振；主机；增压器；柴油机；管理；预防；船舶

0 引 言

现代船舶上已普遍采用增压的方式来提高柴油机的功率，所谓增压，就是用提高气缸进气压力的方法，使进入气缸的空气密度增加，从而可以增加喷入气缸的燃油量，以提高柴油机的平均指示压力和柴油机的平均有效压力。通过使用废气涡轮增压器将柴油机所排放的废气通入增压器的涡轮端，废气中的能量通过涡轮机将其转变为动能，进而带动同轴的压气机转动，压气机将压缩空气，使进入扫气箱的空气密度增大压力升高。由于进气压力提高且密度增加，进入气缸的进气量便增多，这样不仅可以使喷入气缸的燃油量得到更充分的燃烧，还可以向气缸喷入更多的燃油，从而可以大幅度提高柴油机的功率。因此采用废气涡轮增压器不仅可以提高柴油机的功率，而且提高了柴油机的经济性。

喘振是主机增压器固有的物理特性，在压气机的特性曲线上都明确标出了压气机的喘振区域。由于柴油机选配增压器时，匹配工作线都避开了喘振区。所以，压气机在运行中一般情况下是不会出现喘振的。但若条件变换或操作管理不当，很可能会使实际运行点进入喘振区。而连续性的喘振很容易造成增压器转子和轴承，特别是压气机叶轮的损坏，因此对涡轮增压器喘振故障原因进行分析并探索其排除方法十分重要。

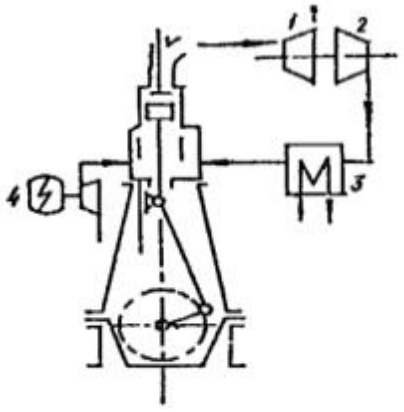


图1 纯废气涡轮增压系统

1-废气涡轮；2-离心式压气机；3-中间空气冷却器；4-电动应急鼓风机

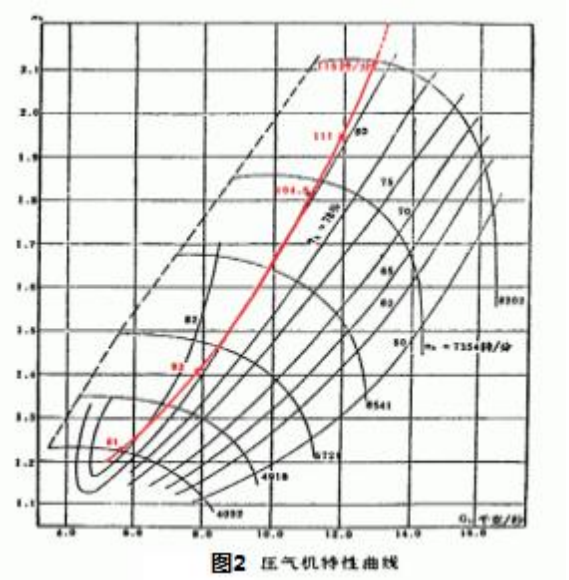


图2 压气机特性曲线

1 故障发生过程的概况

本人于 2009.8—2010.9 实习三管轮工作的船是主机为 AKASAKA-MHI6UEC52／125H 型直流扫气二冲程低速船。增压系统（如图 1 所示）是采取单级废气涡轮增压器。增压器废气端设计为水洗，增压器压气端和空冷器正常运行期间每三天清水冲洗一次。

我轮（KING HERO）某航次从上海—印度途中过马六甲海峡后，主机在正常加车后出现主机增压器频繁喘振现象。因为在航行中不影响班期，我们立即更换了增压器滤网，并加强对增压器及空冷器的冲洗。但

喘振现象并未减轻，此时我们只好适当地减速。我们对各缸负荷进行了手拉示功图测试，发现各缸负荷均匀。我们在抵印度之前利用抛锚时间检查排气总管内增压器废气进口格栅，并对排气锅炉进行吹除清洁。由于刚停车不久且抛锚时间短，尽管对排气总管进行了强通风处理，但总管内温度还是相当高。为了抢时间，轮机长和大管轮先后进入检查，当时认为格栅脏污不至于导致增压器喘振，就未对格栅进行彻底清洁处理。而对已经运行超 1.4 万 h 的增压器进行解体清洁。从锚地驶向港口期间，喘振现象并未减轻，到印度第一个港口后对空冷器和各缸扫气箱进行了清洁并检查。但在驶向印度第二港口途中，喘振现象照旧。在此途中，我们一方面加强主机冲洗，一方面在空冷器上开放气阀放气以减少背压，但效果甚微。到港后，我们决定再次打开排气总管进入清洁增压器废气进口格栅，清洁过程中发现格栅确实有较大面积脏堵，仔细清洁后，返航过程中，增压器喘振现象终于消失了。本次为解决常见的增压器喘振问题可谓费了九牛二虎之力，而且问题复杂化，走了不少冤枉路。因此我们现在再来分析增压器喘振这一问题，让大家从其事发和处理过程中吸取教训，以便在工作中处理问题时少走弯路。

2 喘振有关分析

2.1 废气涡轮增压器（离心式压气机）的基本工作原理

离心式压气机由进气道、工作轮（也称为压气机叶轮）、扩压器和排气蜗壳组成。当压气机工作时，新鲜空气经进气道轴向进入压气机叶轮。由于通道的导流作用，气流能在最小的损失下均匀进入压气机叶轮。进气道是渐缩流道，在进气道中，压力、温度略有降低，流速提高。正是因为压力降低，所以空气才被吸入工作轮。空气进入压气机叶轮后，随叶轮高速回转，因而产生离心力。这样，空气在叶轮叶片间随叶轮做圆周运动的同时，在离心力的作用下向叶轮外缘流动并被压缩。在叶轮中气体的流速、压力、温度都升高了，其中流速提高了很多。这是由于叶轮对气体做功，把叶轮的机械能变成了气体的动能和压力能。气体被压缩时也提高了温度。在扩压器中，由于流道逐渐扩大，使空气的动能转换为压力能，流速降低，压力升高。排气蜗壳中的通道也是渐扩的，因而空气流过时继续将动能转换为压力能。

2.2 离心式压气机的工作特性和喘振机理

离心式压气机在各种不同工况工作时，各主要参数会随之变化。在不同转速下压气机的排除压力和效率随空气流量的变化规律，称为离心式压气机的特性，表示这种特性的曲线称为压气机的特性曲线。

所谓喘振是指流体机械及其导管系统在特定的周期内排出压力和排量发生变化时流体和固体相互作用，而引起的一种自激振动。涡轮增压器喘振是当压气机的气体流量减到一定值后，气体进入工作叶轮和扩压器偏离了设计工况，造成气流从叶片和扩压器上强烈的分离，同时产生强烈的脉动，且有气体倒流，引起压气机不能稳定工作，导致压气机振动和异常声响。喘振是压气机固有的特性。

由压气机的特性曲线（如图 2 所示）可以看到，当转速 nk 等于常数时，随流量 Gk 的减小，压比 πk 开始是增加的。当流量 Gk 减小到某一值时压比 πk 达到最大，然后随流量 Gk 的减小开始下降。效率 ηk 随流量 Gk 的变化规律与压比 πk 类似。当压气机的流量减小到一定值后，气体进入工作叶轮和扩压器的方向偏离设计工况，造成气流从叶片或扩压器上强烈分离，同时产生强烈脉动，并有气体倒流，引起压气机工作不稳定，导致压气机振动，并发出异常的响声，这种现象称为压气机喘振。喘振是压气机的固有特性。压气机特性曲线上表示喘振状态的临界线称为喘振线，其左方为喘振区，右方为稳定工作区。压气机不允许在喘振区工作。

产生喘振的原因是流量小于设计值很多时，在叶轮进口和扩压器叶片内产生强烈的气流分离。在设计流量下，气流平顺地流进叶片前缘和扩压器，气流与叶轮叶片、扩压器叶片既不发生撞击，也不发生分离。当流量大于设计设计流量时，气流在叶轮叶片前缘冲向叶片的凸面，与叶片的凹面发生分离；在扩压器中气流冲向叶片的凹面，与叶片的凸面发生分离。但是，由于叶轮叶片的转动压向气流分离区，扩压器中气流的圆周向流动压向气流分离区，气流的分离区受到限制，不致随流量的增加而过分地扩大。当流量小于设计流量时，气流在叶轮叶片前缘冲向叶片的凹面，与叶片的凸面发生分离；在扩压器中气流冲向叶片的凸面，与叶片的凹面发生分离。由于叶轮叶片在转动中要离开气流分离区，扩压器中气流的圆周向流动也使气流离开气流分离区，气流分离区有扩展的趋势。随着流量的减少，气流分离区会越来越大，以致在叶轮和扩压器中造成气体倒流，发生不稳定流动，最终导致喘振的产生。一般扩压器叶片内气流分离的扩展是压气机喘振的主要原因，而叶轮进口处气流分离的扩展会使喘振加剧。

2.3 增压系统中增压器的运行特点和喘振原因

2.3.1　增压系统中增压器的运行特点

柴油机在各种负荷下，所需要的增压空气流量与增压压力之间的关系，称为柴油机进气特性曲线（也就是增压器的工作特性）。对单独增压系统，柴油机驱动螺旋桨按推进特性工作时（$P \propto n^3$）的工作特性曲线。如图 3 线 a 可见，增压器的工作线是一条上部离喘振线较远、下部离喘振线较近的曲线。在运行条件的全部变化范围内，增压器的工作特性曲线不会进入喘振区。因此，只要设计柴油机时选配的增压器合适，在正常情况下是不会发生增压器喘振的。当流道堵塞时，增压器背压升高，使流量减少，故工作特性曲线左移，如图 3 线 c 所示。这时工作特性曲线的下部进入喘振区，会在低负荷时发生增压器喘振。

产生喘振的原因是当流量小于设计值很多或压气机转速高于设计值太多时，在叶轮进口和扩压器叶片内产生的气流分离现象。如图 3 为压气机流量变化时，空气在前缘的变化情况。图 3 中 u_1为叶轮剖分出的圆周速度，C_{1a}表示空气进入压气机前缘时的绝对速度，w_1表示气流进入压气机叶片的相对速度。空气流量 $Q=C_{1a}*s$，（其中 s 为通流面积）。当不变时，与是成正比的关系。

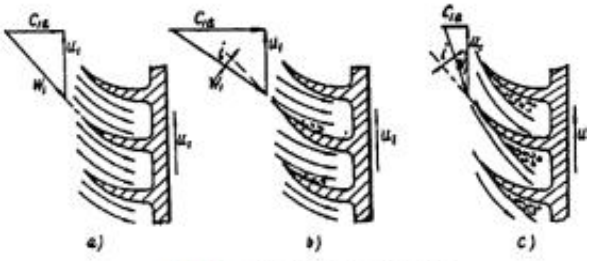


图3 空气进入叶轮的流动情况
a)设计情况；b)大于设计流量；c)小于设计流量

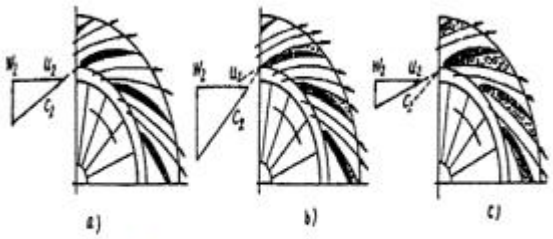


图4 空气进入叶片扩压器的流动情况
a)设计情况；b)大于设计流量；c)小于设计流量

如图 3 所示，当转速不变时在设计流量下，气流平顺的进入压气机叶轮，气流与叶片即不发生撞击也不发生分离。当流量大于设计流量时，$Q=C_{1a}*s$ 可知 Q 变大，S 不变，则 C_{1a}变大。气流冲击叶轮进口端叶片的凸面，与叶片的凹面发生分离现象，但由于叶片是向前转动的，使凹面的转动压向气流，使气流现象减弱。气流分离区受到限制，故而不会随气体流量的增加而发生喘振现象。但由于气流的撞击和分离会使摩擦损失等增加，而使效率下降。当流量小于设计流量时，由 $Q=C_{1a}*s$ 可知 Q 减少，S 不变，则 C_{1a}减少，气流在叶轮叶片前端冲向叶片的凹面，而与叶片的凸面发生气流分离，同时又由于叶轮叶片是向前转动的，有离开气流区的趋势，进一步扩大了这种现象。随着气流进一步的减少，气流分离区愈来愈大，以至于在叶轮和扩压器中造成气体堵塞甚至倒流，压气机停止向外正常供气。直到持续的进气的挤压，压力重新升高使偿充消失，出现继续进气现象，发生了周期性不稳定流动，最终致使喘振的产生。

如图 4 在扩压器中，当流量小于设计流量的工况，气流会冲击扩压器叶片的凸面，与叶片的凹面发生分离现象，在扩压器中气流的圆周方向流动也使气流离开气流分离区，从而进一步加剧了气流分离的扩大趋势，这种趋势发展的结果使流道变窄，气流的流动进一步受阻，导致扩压器前的压力升高，排出压力下降，流量减少，当扩压器前后的压差达到一定程度时，漩涡阻力被冲破，使大量的空气排出，但此时增压器会出现强烈的振动，使流量和排压大幅度的波动，即发生喘振。当流量大于设计流量时与上述相反不会发生喘振现象。

一般扩压器叶片内气流分离的扩展是压气机发生喘振主要的原因，而叶轮进口处气流分离的扩展会使喘振加剧。

当压气机的流量 S 不变而增压器的转速过大时，经压气机的气流也会在叶轮叶片的凹面发生分离而在叶片的凸面发生气流分离，导致增压器喘振的发生。

2.3.2　增压系统中增压器喘振的原因

现以“KING HERO”轮 AKASAKA-MHI6UEC52／125H 型直流扫气低速二冲程主机增压器发生的喘振故障为典型事例，对主机增压器喘振故障的原因分析和归类如下：

增压器产生喘振一般是由于空气流通阻力的增加、柴油机或增压器本身故障、柴油机长期低速运行原因以及增压器和柴油机的运行失配等。

（1）由于压气机匹配不当引起

在设计、修理、更换增压器主要零部件时，由于尺寸选择不当而导致压气机喘振。

①涡轮喷嘴环截面尺寸过小，涡轮流通能力不够，使压气机配合尺寸线移向喘振线；

②压气机扩压器喉口截面过大或叶轮出口截面过大，使压气机喘振线向右移动，即压气机配合尺寸线靠近喘振线。

（2）空气流通阻力的增加

空气流通阻力的增加是引起增压器喘振最常见的原因。

柴油机运行时，增压系统的气体流动路线是：压气机进口滤器和消音器→压气机叶轮→压气机扩压器→空气冷却器→扫气箱→柴油机的进气阀→排气阀→排气管→废气涡轮喷嘴环→废气涡轮叶轮→烟囱。其中各组成部分的通流面积都是固定的，只有各气缸的进、排气阀是按照一定的发火顺序轮流开、关，它随着柴油机转速的高低改变着开、关次数和时间。当上述流动路线中的任何一个环节因脏污、结炭、变形、结垢严重，都会因气体流阻损失加大而使压气机负荷增加、流量减小，背压升高，导致柴油机和增压器的联合运行工况接近喘振线而发生喘振。其中容易脏堵的部件是进口滤器、压气机叶轮和扩压器、空气冷却器、气缸扫气口、气缸进气阀和排气阀、涡轮的喷嘴环和叶轮。此外，涡轮机的喷嘴环容易发生热变形。

①压气机进口滤网很脏或是消音器的羊毛毡松脱

压气机进口滤网很脏或是消音器的羊毛毡松脱，使进入压气机的空气阻力增加，进入压气机的空气流量减少，进而导致进入扫气箱的空气量减少，气缸中的燃油不能完全燃烧，柴油机的排气温度升高，增压器的转速升高容易引起喘振。通常我们可以对滤网进行清洗，或是更换新滤网。如果是消音器的羊毛毡松脱的问题，只需对羊毛毡重新铆好或是换新即可消除故障。

②压气机或扩压器积垢严重

增压器工作一段时间后，工作叶轮以及扩压器上的叶片会积累一些污垢，厚度可达 0.5∽1.5 ㎜，如果不及时清理掉，那么在同样的转速下，压气机的效率和压缩比都会降低。一是因为严重积垢后使进气量减少；二是因效率下降使压缩比下降而影响压气机的流量特性，使运行线向靠近喘振区方向移动，使工作点进入喘振区，因此积垢严重，会导致增压器的喘振。在每次涡轮增压器常规检修后必须要做好运行当中对涡轮和压气机清洗工作，在平时轮机员对增压器的运行中的管理中也要及时对其清洗工作。

③空气空冷器空气腔发生脏污或堵塞

空气空冷器空气腔发生脏污或堵塞，空气的流动阻力加大，导致压气机的背压升高，同时流经压气机的空气流量减少，易引起喘振，此时对空气冷却器进行化学清洗，消除脏污后即可避免喘振的发生。

④空气冷却器的冷却水温度偏高/空气冷却器冷却水腔脏污或堵塞

空气冷却器的冷却水温度偏高/空气冷却器冷却水腔脏污或堵塞，也可能引起喘振的发生，因为冷却水温度过高，来自压气机的压缩空气得不到充分的冷却导致压气机的背压升高，流经压气机的空气流量减少，减少至一定程度时，会发生喘振。此时可以通过降低冷却水的温度或是增加冷却水的流量的方法来解决问题。很多船设计中存在一个三通的旁通阀，通过调节此阀，即可解决此类问题。

⑤涡轮叶片及喷嘴环积垢严重

柴油机长期运转后，在涡轮叶片及喷嘴环上常会有积炭和积垢，致使涡轮通道截面积减少和流量下降，喷嘴环的通道截面积减少会使增压器运转速度提高，增压压力升高，当积垢严重到一定程度时，会使增压器的工作点进入喘振区而产生喘振。此时则要求要对涡轮进行必要的清洁工作，严格按照其说明书的要求进行维护保养。

⑥气缸进排气口积炭或油污

由于气缸进排气口积炭或油污会造成气口的流通面积减少，最终也会导致喘振。例如排气口的流通面积变小，增压器的转速会提高，增压器的运行工况发生转移，向喘振区移动，易发生喘振。定期气口的检查和清除积炭和油污，保证进排气口的通畅是必要的。

⑦涡轮前端的保护格栅的脏污或异物堵塞和废气锅炉烟道的积炭脏堵

涡轮前端的保护格栅的脏污或异物堵塞和废气锅炉烟道的积炭脏堵，都会引起涡轮效率的下降，流经压气机的空气流量会减少，而发生喘振，另外如设有废气消音器时，严重积垢后也会使涡轮背压升高，涡轮效率下降，导致流经压气机的气体流量呈减少而发生喘振。

以上所述都是关于某个部件发生脏堵，使流体阻力增大，最终造成流经压气机的空气流量减少而导致

喘振。对于以上的故障我们只需把该处的脏污或油污进行清洁，保证气体的各个流动路线保持畅通，即可避免上述因素而发生喘振现象。

（3）增压器本身故障

正常情况下，增压器工作特性曲线是远离喘振线的，一般不会发生喘振，但是由于增压器本身故障，工况改变，增压器压气机则可能会工作在喘振区内，而发生喘振。

压气机叶轮变形、损坏或严重腐蚀，使压气压力减小；涡轮叶片变形、损坏，喷嘴环变形；涡轮叶片顶部及喷嘴环罩内表面腐蚀，使两者之间的配合间隙增大。这样，引起涡轮效率降低，导致流经压气机的气体流量减少。

①压气机的叶轮损坏或过量腐蚀，造成压气机对空气的压缩能力减弱，从而使流经压气机的进气流量减少，而发生喘振现象，消除此故障最好是换新压气机叶轮。

②涡轮叶片顶部及喷嘴环罩内表面腐蚀，侵蚀或是涡轮叶片损坏，使两者之间的配合间隙增大引起涡轮效率下降，导致流经压气机的气体流量减少而发生喘振。可以通过修复或是换新时叶片和喷嘴环罩，翻新或更换涡轮叶片，来消除增压器的喘振。

③压气机端油封，气封的密封圈严重老化损坏，在废气涡轮增压器中，油压气机和废气涡轮两个油池，用油环飞溅或泵压注油，润滑油受到增压器轴坏或轴面每分钟几千到上万次的冲击，使润滑油凝聚的油珠破碎而生成油雾。在废气涡轮增压器油池中的油雾。因受到压气机气体高速流动影响，向油封和气封运动，由于该密封环失去密封作用，使压气机漏油，漏出的透平油进入了压气的气流混入扫气，而后随扫气运动，与扫气箱的碰撞，油雾分子结聚在一起，落在扫气箱底部。另外，当扫气箱放残阀进行放残而无法放残时，导致扫气箱积聚大量可燃物。当这些可燃物遇到高温热源时，从而造成扫气箱的着火。而扫气箱的着火使气缸内温度增加，废气能量升高，增压器转速增大，增压压力增大，配合运行点移向喘振线的高处，使增压器喘振。

④涡轮增压器出现废气或空气泄露，同样会引起涡轮效率的下降，使流经压气机的空气流量减少造成压气机的喘振，解决方法是查找漏泄处，堵住漏泄。

（4）柴油机本身故障

①喷油设备出现故障，会使柴油机燃烧不良，后燃严重。

②气缸淡水冷却温度发生异常，柴油机的活塞环断裂或黏着、气阀的烧损、气阀间隙太小，会导致气缸漏气，使过量空气系数降低，热负荷增大，排气温度升高，在柴油机每循环喷油量不变的情况下，柴油机输出功率下降，柴油机转速降低，而排气温度的升高意味着废气能量的增加，使增压器转速升高，供气量增多。这使原来增压器与柴油机正常的匹配被破坏，导致压气机在高背压、小流量的状态下工作，严重时引起增压器喘振。这就要求平时要加强管理，注意记录和观察各个运行参数的变化，如有异常应及时查找原因，排除故障。

③各缸负荷严重不均

当柴油机某一个气缸突然发生故障而熄火时，在突然熄火的瞬间过程，由于柴油机转速迅速下降，空气流量减少，而增压器转速由于惯性不能瞬间降低，此时增压压力较高，增压器在高背压和小流量下运行，易进入喘振区。这就需要检查熄火缸的燃油系统，排除故障，恢复供油，来消除故障。

④二冲程柴油机的调速器负荷限制不当

二冲程柴油机的调速器负荷限制不当，当柴油机加速时压气机的运行点可能位于喘振区，而导致压气机喘振。解决的方法是重新调整调速器的限制位，使压气机的工作点远离喘振区。

（5）柴油机长期低速运行原因

柴油机长期在低于额定功率 50%（转速约为额定转速的 80%）以下运行，导致不良后果。

①增压压力降低

增压压力降低，导致进入气缸的空气量减少，过量空气系数减小，压缩终点压力温度降低，造成燃烧不良，产生烟垢、积炭、油垢等污染，脏堵进排气通道，增加空气流通阻力。

②喷油雾化不良

由于每次循环喷油量减少及柱塞运动速度减小，喷射系统难以适应大幅度供油量变化，喷油压力下降，燃油雾化变差，使混合气质量变差，造成燃烧不充分，后燃加剧，容易形成结炭。

③气缸油量过多

作为直接驱动螺旋桨的船舶主推进动力的柴油机，其转速与功率的关系为：$P_e=c \cdot n_{e3}$。由于该型柴油机气缸供油量随转速进行调节，这样导致柴油机在低负荷工作时，供油量相对功率降低过大，容易形成结炭和粘环。

（6）运行过程中柴油机与增压器的暂时失配

①当船舶满载、顶风、污底严重时，因阻力增加，主机负荷加大，柴油机在低转速高负荷下运行，气缸耗气量降低而循环喷油量增加，废气能量增大，也会使增压器转速升高，供气量增多。这也容易引起增压器在高压比和相对小的流量下运行，易进入喘振区。 船壳因大量吸附海生物而阻力增大，使柴油机在大扭矩、低转速下运行，增压器运行点位于喘振区而发生喘振。解决的办法是：该船舶进坞清洁并油漆船壳。

②当高速时突然停车，急速将操纵杆拉到停油位置，此时因主机运动部件质量大，轴系和螺旋桨阻力大，很快停止转动。但增压器由于本身的转速很高，转动能量很大，不能立即停止运转，它所供出的空气，柴油机不能消耗，致使压气机背压过高而引起增压器瞬时喘振。

③主机加速过快时，增压器会发生短暂喘振。因为主机运动部件质量大，转动阻力矩大，转速上升慢；而增压器转子质量小，废气能量迅速增加使转速迅速升高。两者暂时失去匹配关系而发生喘振。

④船舶在大风浪中航行时，柴油机转速上下波动使增压器的转速发生波动，此时两者可能暂时失去匹配关系，引起短时喘振。

⑤环境温度的变化

在低温时匹配的不带空气冷却器的增压器和柴油机如用在高温海域时，或者在高温时匹配的带有空气冷却器的增压器和柴油机在低温海域时，由于两者匹配的关系改变，运行点更靠近喘振线，容易引起增压器的喘振。此时启用或是停用空气冷却器，使运行点远离喘振区，恢复匹配关系。

3 增压系统中增压器的维护和管理

针对“KING HERO”轮 AKASAKA-MHI6UEC52／125H 型直流扫气低速二冲程主机增压器的喘振故障和从故障排除过程中所得到的启示，现对轮机员在增压器的日常维护和管理方面所需要注意的一些事项，提出以下管理性的建议：

3.1 在排烟总管中的增压器废气进口格栅必须定期清洁。最好半年检查一次，而增压器解体清洁时是一次进行检查清洁的最好时机。建议此项目列入保养计划，目的是能定期检查其状态，确保格栅畅通。如格栅脏堵，因排烟不畅，往往会造成增压器的喘振而影响主机运行状态。

3.2 增压器废气端水洗装置应保持正常工作，并按说明书要求和程序在经过长时间航行后进行冲洗。

3.3 对于增压器压气机端空气滤器上的毛毡，由于受工作环境的影响，应根据实际外表的脏污情况视情更换，避免由于污阻而导致进气的阻力过大。

3.4 根据说明书的要求以及增压器的实际工作状况，定期清洁增压器压气机进气滤器；航行中定期冲洗增压器压器端、废气涡轮端；定期对废气锅炉进行吹灰；根据实际情况冲洗空气冷却器。并尽可能使增压器处于良好的通风位置，最好要有专业的供风管，以满足航行时增压器对空气的需求，良好的通风，也有助于增压器透平油温度的降低。经验表明，常温下空冷器清洁剂的清洗效果较差，若将清洗液加温至 50℃～60℃，清洗效率将大大增加。空冷器上有“U”型压差计，航行中应注意其进出口压差，并与试航报告中的数值相比较，以掌握其脏污程度，决定是否冲洗。当压差超过 1961Pa（200 mm 水柱）时，表明空冷器已严重脏污，需解体清洁。一般情况下增压器压气端和空冷器需 3 天一次用清水冲洗。空冷器压差计应保持正常显示以便了解其脏污情况。冲洗时不提倡用空冷器清洁剂溶液冲洗，以免清洁剂溶液残留腐蚀空冷器翼片。

3.5 在运行中应测量和记录下列主要参数：各缸排烟温度、涡轮机前后温度、增压器转速、空气滤器和空冷器的压降、扫气箱中的压力、空冷器前后温度与冷却水进出口温度，以及轴承润滑油的油位、温度和压力等。根据检查的参数判断涡轮增压器工作状态，以确定必要的检查、调整和检修方案。

3.6 涡轮增压器运行时，应经常用金属棒或其他专用工具细心倾听增压器中有无异常声响和运转是否平稳。转子不平衡时会发出钝重的“嗡嗡”声。

3.7 增压器是高速回转机械，故要特别注意轴承的润滑（油位），油量不足时应及时补充，而且需要定期更换。

3.8 如柴油机停车时间较长（超过 1 个月），应将增压器转子转动一个位置，以防轴弯曲变形。增压器再次投入使用前，应通过起动空气吹动使之短时转动，用金属棒倾听运转是否平稳，有无杂音和阻滞现象。

3.9 拆装增压器时，应事先阅读说明书以了解其内部结构、拆装顺序和所需的专用工具。拆卸时，应注意各拆卸零件的相对位置；组装时，应注意装配间隙及间隙的调整方法，对一些重要间隙要严格控制。检修的时候一定不能让杂物进入增压器，以防止损坏。（一定按说明书要求和程序）

3.10 在正常情况下，可根据油门的刻度及各缸的排烟温度判断气缸燃油的燃烧情况，若发现异常，可从喷油系统、活塞环的密封性、进排气阀是否漏泄等方面着手及时查找原因，排除故障。

3.11 正常航行时应限制油门开度，不使其超过额定位置，为防止超负荷运行。

3.12 记录增压器的运行时间，按要求及时安排轴承等部件的换新，适时安排常规拆检清洁保养。

3.13 在不同季节，应根据环境温度调节增压器空气冷却器上的三通阀开度，调节进入空气冷却器的冷却水量，确保扫气的压力及温度在正常的范围内。

3.14 保持合适的负荷。应避免柴油机长时间低速运行，尽量使主机在高转速下运行，负荷不应低于额定负荷的 70%，如果确要开经济航速节约燃料，主机也应保持额定转速的 90%左右，以免燃烧不良，造成积炭，引起活塞环缸套异常磨损，高温燃气下窜。

3.15 定期清除扫气箱的油泥。一般主机扫气箱内的残夜，含油大量 3∽5㎜ 的颗粒，这些颗粒和残油混合在一起，黏度大，流动性很差，很难通过又长又细且水平放置的放残总管，再通过内径很小的节流孔，进入扫气箱的放残柜，造成可燃物的堆积。针对本船不合理的放残阀管路，建议采取必要的改进，改用直径较大（不能过大，过大会使扫气压力降低过多）且弯头少的放残管路及阀件替换，减少扫气管路脏堵，同时定期清洗扫气箱及疏通放残管路，每天航行中每班至少两次手动放出扫气箱下部的残油，以减少可燃物的堆积。

3.16 加强日常维护管理。按规定时间进行吊杠检查，定期检查活塞环的状态，对磨损、断裂和黏住的活塞环要及时更换和维修。定期检查气缸套的磨损、圆度和锥度情况，超过磨损极限应及时更换和维修。适当地增大喷油器的启阀压力以保证雾化质量。适当增大喷油泵的喷油定时以保证足够高的最高爆发压力。注意燃油日用柜、气缸油循环柜、主机系统油循环柜和透平油循环柜油位的变化情况，如果发现油位有明显的减少，应及时作出正确的判断并采取必要的处理措施。

总之，涡轮增压器是现代船舶柴油机的关键部件，涡轮增压器工作状况良好，可使柴油机大大提高输出功率，降低燃油消耗，同时也可减少废气中的有毒气体的含量。

增压器的喘振是其固有的属性，是没有办法从根本上绝对避免的，因此只能预防和加强管理，在日常工作中正确操作，就可以防止和避免喘振的发生。对于轮机管理人员不仅要搞清楚引起增压器喘振的原因，还要尽可能多地了解引起喘振的因素，这样实际分析增压器喘振的原因时，才能判断主要由那些引起的，然后从可能性最大的原因开始排除故障，正确及时处理喘振问题，避免增压器的机损事故的发生。因影响柴油机喘振的因素很多，许多因素在柴油机运行中又是相互牵连互相影响的，所以在实际工作中注意多方面因素的综合考虑与判断。

4 结束语

鉴于在上海海事测绘中心旗舰船“海巡 166”轮任职，日常需统筹安排轮机部全体人员做好各项机电维护保养和维修工作，保证船舶适航且安全航行。针对水上扫测作业特殊性，与之前远洋货船相比，显然又多了一份责任：一是要面对自己船舶机械突发故障，二是要面对突发事故应急扫测。故需把之前 13 年遇到的突发船舶机械故障事件和现在每次接到突发应急事故扫测任务不断总结、配制、实施、再总结，不断积累、不断升华，多管齐下、机动灵活实施，从而提高大型测绘船的应急扫测效率，恢复事故水域安全畅通，尽量减少事件对社会各方面的影响。

参考文献

[1] 李斌等主编.主推进动力装置[M].大连:大连海事大学出版社,2012.8.

[2] 杜荣铭主编.船舶柴油机[M].大连:大连海事大学出版社,1999.11.

[3] 党坤,李品友,黄党和主编.轮机英语,管理级[M].大连:大连海事大学出版社，2012.7.

[4] 周明顺主编.船舶柴油机[M].大连:大连海事大学出版社,2007.12.
[5] 李福海.船舶主机增压器喘振故障原因及排除.中国修船[J],2006,第 1 期:17-20.
[6] 黄少竹.现代船舶柴油机故障分析[M].大连:大连海事大学出版社,2005.
[7] 孙培廷等主编.船舶柴油机[M].大连:大连海事大学出版社,2002.
[8] 朱建元主编.船舶柴油机[M].人民交通出版社.2001.

作者简介：

周宝金，“海巡 166”轮大管轮，本科，（E—mail）569014145@qq.com，13912855256

航电枢纽下游超设计低水位运行对船闸等设施的影响及对策

尹斌勇[1]，文跃凌[1]，莫雄[2]，黎泽文[1]

（1.长沙市湘江综合枢纽工程办公室 湖南 长沙 410200；

2.湖南省水运投资建设集团有限公司 湖南 长沙 410214 ）

摘要：受航电枢纽枯水期下游尾水位出现远低于设计最低水位的情况，从下游低水位以及对应的水头参数对枢纽大坝运行、船闸通航、电站运行的影响进行综合分析。在此基础上，从确保枢纽安全运行，有效发挥枢纽功能和社会效益的角度出发，提出控制上游水位、控制出库流量的水库调度运行方案，并就大坝运行、船闸通航、电站运行所需采取的技术措施及管理手段，提出一系列相关应对措施。同时，给航电枢纽防止类似问题，在设计选择、问题分析和运行处理方面提供借鉴和参考。

关键词：航电枢纽　枯水期　低水位　安全

1　引言

近些年来，随着我国内河航电枢纽梯级开发的发展，逐渐出现在最末一级航电枢纽下游水位超设计预期下降的情况。究其原因，主要受流域河道采砂引起河床下切等综合因素影响。此问题的发生，对航电枢纽（水利枢纽）的安全运行带来隐患，同时对其有效发挥本身应有功能和社会效益带来较大影响。针对此问题，其具体影响情况怎样，能够采取哪些对策，后续如何避免，引起行业较大关注。

目前，国内外对这方面的研究较少。蔡旭东、廖燕芬[1]在《飞来峡水利枢纽枯水期水库调度探讨》中，提出枯水期确保电站发电和下游通航的水库调度方式；范显华[2]在《长洲水利枢纽枯水期保通航水库调度及船闸运行方式探讨》中，提出“停航蓄水、间断通航”的运行方式兼顾通航、调水与发电三方面对水资源的需求；冯宝飞、张涛、曾明[3]在《2016 年秋长江中下游枯水分析及对水库调度的启示》中，提出加强中长期水文预报技术与水库群联合蓄水研究，以解决长江中下游枯水问题；曹瑞、李帅、邢龙、朱文丽、龚文婷、申赵勇[4]在《极端枯水条件下梯级水库蓄水调度策略——以金沙江下游-三峡梯级为例》中，提出极端枯水条件下，梯级水库通过开展联合补水调度，能够满足三峡向下游供水的调度需求。以上相关研究，仅关注枯水期水库调度情况，对于航电枢纽（水利枢纽）下游水位超设计低水位工况问题的研究较少。

湘江长沙综合枢纽（以下简称长沙枢纽）为湖南湘江最末一级航电枢纽，自 2012 年船闸通航以后，下游最低尾水位逐年下降，出现了下游水位超设计低水位运行的情况。湖南沅水最末一级航电枢纽——桃源水电站，也存同样问题。本文以长沙枢纽实际情况为例，综合相关数据和研究，分析下游低水位对航电枢纽运行产生的具体影响，提出保障航电枢纽安全运行所能采取的相关技术方案和管理应对措施。

2　问题的提出

长沙枢纽位于湖南省长沙市望城区湘江干流蔡家洲，是湘江九个梯级开发的最下游一级航电枢纽，上游距株洲航电枢纽 132Km，下游距城陵矶 146 Km，是一座以改善湘江航道为主，兼有保障供水、发电、灌溉、改善环境、公路交通等多重功能的综合性枢纽工程，是湖南省目前规模最大的航电枢纽，也是全国唯一一座位于省会城市的综合性航电枢纽，库区内有长沙市、株洲市、湘潭市三个主要城市。坝址控制流域面积 90520km2，枢纽正常蓄水位 29.7m（黄海高程，以下相同），死水位 29.7m，下游最低通航水位 21.9m（20a 远期 20.4m），相应库容 6.75 亿 m3，设计最低通航流量保障 385 m3/s（98%），最低生态流量 348 m3/s。

根据长沙枢纽初步设计及施工图设计[5]，长沙枢纽由船闸、泄水闸、坝顶公路桥、电站等四大主要部分组成，工程实景见图 1。其中船闸为 2000 吨级单级双线船闸，闸室尺寸 280m×34m×4.5m（长×宽×门槛水深），双向年通过能力 9800 万吨。泄洪闸共 46 孔，左汊 26 孔，右汊 20 孔。根据水库调度方案，左汊泄水闸自左至右，12—19#为一区，20—26#为二区，1—11#为三区，日常调度中，根据入库流量大小，从小至大，依序按区进行调度。坝顶公路桥总厂 1.93km，27m 宽，双向 6 车道，为城市主干道。电站为河床式厂房，总装机容量 57MW，安装 6 台单机 9.5MW 的灯泡贯流式水轮发电机组，额定水头和最大水头、最小水头分别为 3.7m、6.8m、1.5m，装机年利用小时数 4061h，年均发电量 2.32 亿 kW·h。

图 1　长沙枢纽实景鸟瞰图

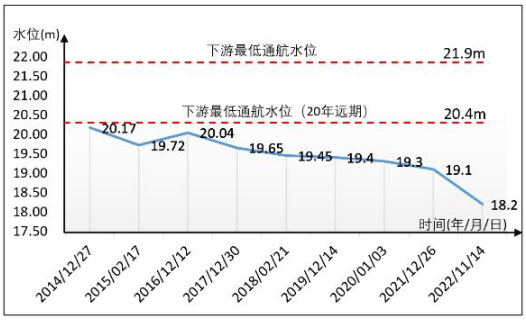


图 2　长沙枢纽多年下游最低水位

长沙枢纽 2009 年 12 月开工建设，2012 年 10 月，船闸建成通航并初期蓄水（上游库区蓄水水位 26.0m），2015 年 2 月，电站首台机组投产发电并实验性蓄水，2015 年 12 月主体工程完工，截止 2022 年 10 月，船闸已运行 10a 时间。自 2012 年 10 月船闸通航以来，长沙枢纽下游航道因河道采砂等原因，下游河床下切严重，同时，受上游入库流量减少和三峡枯水期出库流量较少的双重影响。2013 年，长沙枢纽下游引航道水位跌破最低通航水位 21.90m，2014 年跌破 20 年远期最低通航水位 20.40m，此后逐年走低，每年最低水位情况见图 2。其中，入库流量在 2022 年 10 月 9 日，仅为 260 m^3/s，远低于设计生态流量 348 m^3/s 的要求。受此影响，长沙枢纽在枯水期时，大坝、船闸、电站等设施出现不同程度超出设计工况运行的情况，对枢纽安全运行，并有效发挥其功能和社会效益带来较大影响。

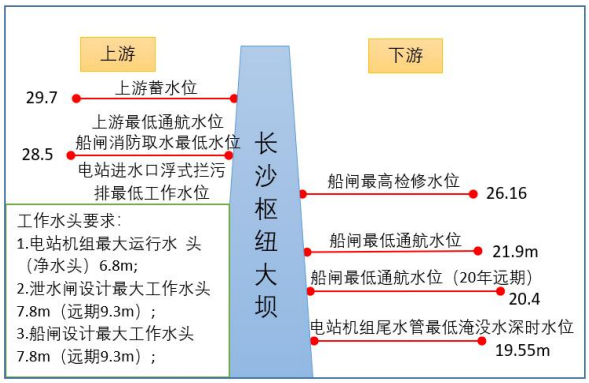


图 3　长沙枢纽运行的设计水位及水头要求

图 4　下游水位 18.45 时船闸下游引航道情况

3　下游超低水位对航电枢纽运行的影响

以长沙枢纽为例，根据设计要求，长沙枢纽下游库区蓄水位和死水为都为 29.7m，无调节库容，长沙枢纽大坝、船闸、电站等设施运行的水位和水头要求见图 3。

3.1 对枢纽大坝的影响

泄水闸设计最大工作水头 7.8m（下游水位下降至 20 年远期最低水位 20.4m 时为 9.3m）。实际运行中，2022 年 11 月 14 日，下游水位跌至 18.20m。此情况下，若上游水位按设计蓄水位 29.7m 蓄水，水头将达到 11.5m，超 过设计最大工作水头 24%，对枢纽大坝运行带来安全风险。同时，受超过设计水头的影响，泄水时对消力池和消力墩以及闸墩结构缝等水工建筑物也带来不利影响。

3.2 对船闸通航的影响

船闸设计运行最高水头 9.3m，上游最低通航水位 28.5m，下游最低通航水位 20.4m。当下游水位降至最低通航水位以下时，给船闸运行带来一系列影响。

3.2.1 通航保证率大幅下降

船闸为 2000 吨级船闸，下游引航道设计底标高 17.5m，2017 年，下游引航道进行了改善性疏浚，底标高降至 16.5m（船闸闸室底标高 15.9m）。自船闸通航以来，船闸实际通航保证率多年平均值仅有 87.39%，2022 年更是低至 61.64%，远低于设计值 98%。枯水期下游超设计低水位时，船闸下游引航道情况见图 4。

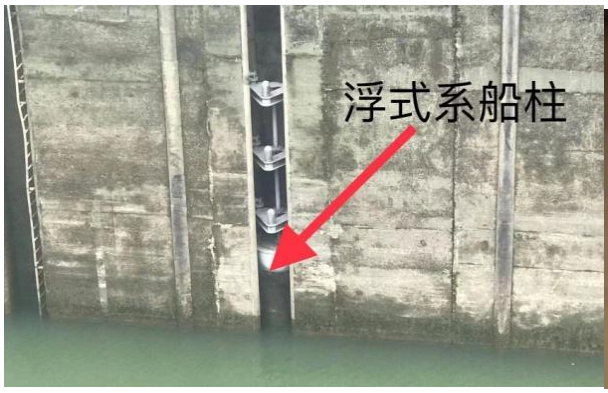


图 5　输水阀门水封磨损情况

图 6　下游水位 18.70 时浮式系船柱磕底情况

3.2.2 输水阀门滚轮磨损加剧

船闸输水阀门启闭力 1000KN。船闸 2017 年和 2022 年大修，发现输水门滚轮轴套和轴都有较大磨损，检修时进行了更换处理。当输水阀门长时间在高水头运行时，甚至超过设计水头运行时，输水阀门主轮及轴套、水封等易损件，使用寿命缩短，检修频次增加，船闸运行维护成本增加。输水阀门水封磨损情况见图 5。

3.2.3 影响其他设施正常运行

一是影响输水廊道正常运行。当下游水位降至输水廊道顶部高程（长沙枢纽为 19.0m）以下时，在船闸充水过程中，输水廊道进入空气，闸室结构缝出现“气炮”现象，对输水廊道结构缝的止水密封造成破坏，检修时会出现漏水问题；二是影响浮式系船柱正常运行。当下游水位低于最低运行水位时（长沙枢纽为 20.4m），浮式系船柱出现“磕底”现象（浮式系船柱门槽底标高 17.0m，浮式系船柱吃水线深度 3.4m），浮式系船柱不能在正常工况下运行，给船舶过闸带来安全隐患，具体见图 6。

3.2.4 上游库区航道通行受限

根据设计要求，当长沙枢纽上游水位 29.7m 时，才与上游株洲航电枢纽尾水衔接，满足上游航道水深要求。但在枯水期时，随着下游水位持续下跌，为了确保枢纽水头控制在 9.3m 以内，当下游水位跌至 20.4 以下时，上游水位也做相应下调，受此影响，上游Ⅱ级（2000 吨级）航道难以保障，相应上游航道通航保证率难以保证。

综合以上情况，超设计低水位给船闸运行带来一系列影响见表 1。

表 1　下游超设计低水位对船闸通航影响表

设计水头：3.7m；最高水头：6.8m；最低水头：1.5m；尾水管淹没水深对应水位：19.55m			
上游水位	下游水位	毛水头	备注（运行工况）
29.7m	22.7m	7.0m	上游正常蓄水位 29.7m 时，按最高水头，下游对应的最低发电水位 22.7m
28.5m	21.5m	7.0m	上游最低通航水位 28.5m 时，按最高水头下，下游对应的最低发电水位 21.5m
26.55m	19.55m	7.0m	下游尾水管淹没水深对应最低水位 19.55m 时，按最高水头，上游对应的最高发电水位 26.55m
29.7m	27.7m	2.0m	上游正常蓄水位 29.7m 时，按最低水头，下游对应的最高发电水位 27.7m

3.3 对电站运行的影响

电站发电需满足最高水头 6.8m（净水头）以下和最低水头 1.5m 以上区域，以及下游水位在尾水管淹没水深以上条件，即下游尾水位在 19.55m 以上（尾水管顶部高程 19.05m+0.5m）。按此要求，电站发电所需满足的水头和水位具体参数情况见表 2，表 2 中机组发电的毛水头 7.0m 为最高水头 6.8m（净水头）+0.2m 的水头损失而取值，毛水头 2.0m 为在最低水头 1.5m（净水头）的基础上考虑 0.2m 水头损失以及避免低水头振动区而取值。

表 2　电站机组发电相关水位及水头参数要求

下游水位	影响的问题	设计	实际情况
低于 20.4m	通航保证率降低	98%	87.39%
	输水阀门检修周期缩短	6-8 年	5 年以下
	浮式系船柱磕底问题	——	有
低于 19.0m	廊道“气泡”问题	——	有

按照以上要求，在枯水期时，当水头大于 7.0m 时，机组停机，加上汛期水头低于 2.0m 不能发电的情况，测算多年平均发电量约为 1.6 亿 kW·h，机组实际多年平均利用小时数仅有 2807h，远低于设计 4061h，发电量和多年平均年利用小时数仅为设计值的 69%。同时，机组较长时间处于高水头振动区运行，给机组安全运行带来较大隐患。

4　水库调度运行条件选择

针对以上问题，以长沙枢纽为例，为了确保航电枢纽安全运行，同时发挥枢纽功能和社会效益，综合设计要求和实际情况进行分析，需对上游水位控制和出库流量控制两个重要运行工况参数进行合理选择，并按照“确保枢纽安全、优先保障供水、其次保障通航、再者进行发电”的优先次序原则进行水位控制和水库调度。

4.1 上游水位控制

1）优先按 29.7m 设计蓄水位控制。根据长沙枢纽设计功能要求和实际运行需要，在省市防汛抗旱指挥部的调度下调控上游水位，以满足长沙枢纽船闸运行水头、船闸消防取水、电站浮式拦污排运行的基础上，尽量保障库区二级航道通行，上游水位按 29.7m 设计蓄水位控制。

2）在 29.7m—28.5m 之间调控水位。当下游水位降至 22.5m 及以下时，对供水和通航无影响的情况下，按电站机组运行最高毛水头 7.0m 逐步降低上游水位，以满足发电需要，最低降至 28.5m，此时对应下游水位 21.5m，当下游水位继续下降时，机组应停机。

3）最大安全工作水头由 9.3m 提升至 11.2m。根据设计要求，长沙枢纽最大工作水头 9.3m，在 2022 年长沙枢纽蓄水验收时，针对枯水期下游低水位问题，由设计单位在《湘江长沙综合枢纽蓄水安全鉴定报告》[6]中，对超过最大工作水头的工况进行了安全复核。枢纽船闸、水电站和泄水闸大坝的最大安全工作水头以不超过 11.2m 为上限值，即当上游水位 29.7m 时，下游水位 18.5m，当下游水位继续下降时，上游水位应做相应调整，确保上下游水头最大值不超过 11.2m。上游水位控制运行条件的选择见表 3。

表 3　上游水位控制运行条件选择表

	下游水位工况	约束条件	上游水位控制
1	在 22.7m 以上时	控制水头小于 7.0m	优先按 29.7m 设计蓄水位控制
2	在 22.7—21.5m 时	控制水头小于 7.0m	29.7m—28.5m 之间调控水位
3	在 18.5m 以下时	控制水头小于 11.2m	小于 29.7m 控制

4.2 出库流量控制

在枯水期，根据省市防汛抗旱指挥部要求，按照优先按 29.7m 设计蓄水位控制、在 29.7m—28.5m 之间调控水位、最大安全工作水头不超过 11.2m 的原则控制上游水位。综合考虑湘江流域实际情况，原则上按照不低于最低通航流量保障 385 m3/s（98%）和最低生态流量 348 m^3/s 的出库流量进行调度。当入库流量低于最低通航流量或最低生态流量时，若无库容调节，只能按“来多少、放多少”的原则调度，即入库多少，出库多少；有调节库容，则需保证最低通航流量，或最低生态流量下泄。

5　技术及管理应对措施

在枯水期时，对水库调度在上游水位控制、出库流量控制的基础上，为了确保枯水期枢纽安全运行，

尽量发挥枢纽功能和社会效益，对各区域运行采取相关技术和管理措施。

5.1 大坝运行措施

以确保大坝安全运行为根本准则。根据长沙枢纽蓄水安全鉴定报告复核结果，以长沙枢纽为例，当水头超出最高工作水头 9.3m 时，对大坝安全运行无影响，安全工作水头可按 11.2m 内控制。为了尽量减少高水头情况下对大坝运行的影响，当水头超过 9.3m 时，采取相关措施：**一是优化弧门开启调度方式**。采取“多孔数，少流量”原则，减少下泄流量对消力池和消力墩的冲刷影响。根据长沙枢纽蓄水安全鉴定报告对泄水闸消能防冲设计计算成果：以先开启左汊闸门位于中间位置 2 孔，即 11#、13#孔，或 12#、14#孔，以 0.1m 开度为梯度，当开启至 1.5m 时，保持此两孔不动，以向两边增开的方式，再间隔开启 2 孔，随着入出库流量增加，依此顺序，逐渐增加开孔数，对应泄水闸泄流孔的开度情况见表 4；**二是适时采取联合调度**。当入库流量低于最低通航流量或最低生态流量时，以及需要缓解下游低水位时，可由省市防汛抗旱指挥部对流域内的航电枢纽和上游水电站，进行梯级联合调度，从上游至下游，适时加大下泄流量；**三是定期进行水下摄像工作**。根据实际情况，3a 左右进行一次水下摄像，查看消力池和消力墩等水工建筑物的运行情况，发现问题，及时处理；**四是密切关注大坝安全监测数据情况**（包括船闸部分和副坝部分），特别是在高水头时，对临江侧水工建筑物，注意监测数据横向和纵向比较，发现问题，进行分析，及时处理。

表 4　泄水闸泄流孔编号

左汊泄水闸各泄流孔编号							水电站	蔡家洲副坝	右汊泄水闸泄流孔编号
1—10#	11#	12#	13#	14#	15#	16—26#			27—47#

5.2 船闸运行措施

以确保船闸正常运行，不因设备设施问题造成船闸非计划停航或断航为原则。一是**防止船舶搁浅**。当下游水位下降至最低通航水位以下时，根据水深情况，通过减载或更换小船方式，控制船舶吃水，保障船舶安全通行，重点防止船舶超吃水在引航道发生搁浅事故等问题，同时关注引航道淤积情况；**二是适当调整输水阀门开启方式**。在闸室充水时，采取“先小开度，后大开度”的分段开启方式，或是通过减缓输水阀门开启速率，延长输水时间等方式，以此减轻高水头下高速水流对输水廊道等水工建筑物的冲刷和汽蚀影响；**三是确保系缆安全**。当下游水位降至最低通航水位以下时，浮式系船柱出现“磕底”现象，应提醒过闸船舶注意系缆安全，水位越低，安全风险越大；**四是消除“气炮”问题**。对输水廊道采取设置补气设施等措施，解决超低水位时所出现“气炮”对输水廊道结构缝的破损问题；**五是确保液压系统正常工作**。当船闸运行水头高于最大工作水头以上时，按 0.5m 区间密切关注和记录输水阀门开启时的液压系统压力和输水阀门运行情况，发现问题，及时检查，有效处置；**六是加强输水阀门巡检**。对输水阀门的滚轮及水封运行情况，加强巡查和检查频次，其检修周期由一般的 5a 左右调整至 4a 左右（具体时间以运行频次和输水阀门实际工作情况而定），要避免由于输水阀门滚轮受损失效，而造成输水阀门和门槽损坏问题的发生。

5.3 电站运行措施

以确保机组安全稳定运行为原则，严禁机组在高水头振动区和超出最高运行水头运行，以长沙枢纽为例。**一是严格控制水头运行**。根据电站机组最高运行水头要求，控制毛水头在 7.0m 以下运行。当下游水位降低到 22.7m 以下，如无其他水位控制要求，可随下游水位变化，按照满足毛水头 7.0m 的要求，在 28.5m—29.7m 之间调控上游水位，以满足机组发电需要。当下游水位降低至 19.55m 以下，已超出尾水管淹没水深，机组应停机。**二是加强电站进水口前池清淤工作**。受电站汛期停机时间较长（3—6 个月）影响，电站进水口前池淤积较为严重，应 3a 左右定期对电站进水口前池的淤积情况进行水下摄像和扫测检查，及时进行清淤，确保电站机组进水口检修门门槽区域无杂物和淤积，保障机组发电效率和效益。

6 结论

（1）航电枢纽在枯水期下游水位超设计低水位运行时，造成大坝超出原最大工作水头运行，船闸通航保证率降低，电站机组年利用小时数减少。以上问题，对枢纽安全运行，并发挥枢纽功能和社会效益带来巨大影响。

（2）确保大坝安全运行。对枢纽大坝进行安全复核，在确保安全的前提下，将最大安全工作水头适当提高，以缓解上游水位调节难度。同时采取长沙枢纽短时调度和湘江流域联合调度方式，确保航电枢纽出

入库流量不小于最低生态流量。优化弧门开启调度方式，采取 “多孔数，少流量”泄水，确保泄水安全；定期水下摄像和大坝安全监测综合措施，确保大坝运行安全。

（3）保障船闸安全运行。控制船舶吃水防搁浅，船闸输水阀门调整为“先小后大或先慢后快”运行方式，确保浮式系船柱“磕底”时系缆安全，确保液压系统正常工作，消除和避免输水廊道“气泡”问题，加强输水阀门巡检。

（4）确保电站安全运行。严格控制机组运行水头在最高水头以下运行，下游水位低于尾水管最低淹没水深时禁止开机运行，及时进行电站前池清淤，确保电站安全运行。

经实践检验，以上举措符合实际，安全可行，对规范类似枢纽科学运行，具有积极指导和参考意义。同时，对后续类似枢纽设计，在分析和确定下游最低水位时，应通过比降法、一维数模验证、人工神经网络原理等方法进行综合分析和合理确定，避免类似情况发生。

参考文献

[1] 蔡旭东,廖燕芬.飞来峡水利枢纽枯水期水库调度探讨 [J] .广东水利电力职业技术学院学报.2005,3（1）：17-19.

[2] 范显华.长洲水利枢纽枯水期保通航水库调度及船闸运行方式探讨[J].红水河.2017,36（3）：12-16.

[3] 冯宝飞,张涛,曾明.2016 年秋长江中下游枯水分析及对水库调度的启示[J].人民长江.2018,49（11）：9-12.

[4] 曹瑞,李帅,邢龙,朱文丽,龚文婷,申赵勇.极端枯水条件下梯级水库蓄水调度策略——以金沙江下游-三峡梯级为例 [J] .水力发电学报.2023：1-12.

[5] 湖南省交通规划勘察设计院.湘江长沙综合枢纽初步设计及施工图设计 [R] .长沙：湖南省交通规划勘察设计院，2009.

[6] 湖南省水利水电勘测设计规划研究总院.湘江长沙综合枢纽蓄水安全鉴定报告 [R] . 长沙：湖南省水利水电勘测设计规划研究总院，2022.

作者简介

尹斌勇(1979—），男，硕士，高级工程师，长沙市湘江综合枢纽工程办公室，从事航电枢纽建设和运行管理工作，电话:13874935880，E-mail:107377751@qq.com。

内河船闸浮式系船柱系缆高度及浮筒关键参数研究

李超军 叶雅思 刘志敏

（湖南省交通规划勘察设计院有限公司，长沙 410200）

摘要:针对当前内河船闸浮式系船柱设计标准不一，关键参数拟定不够科学合理的问题，进行了浮式系船柱系缆高度及浮筒关键参数研究，通过分析浮式系船柱设计参数及船闸运营经验，归纳了几种典型结构型式的浮式系船柱结构特征及适用范围，得出了能适用各个等级船闸的浮式系船柱系缆高度取值范围，以及浮筒吃水深度、浮筒直径、浮筒高度的取值依据。研究结果可有效指导船闸浮式系船柱关键设计参数的拟定取值，对推动船闸浮式系船柱标准化、系列化设计具有重要意义。

关键词：船闸浮式系船柱；结构选型；系缆高度适用性；浮筒关键参数取值

0 引言

浮式系船柱是船闸主体的重要组成部分，在闸室充、泄水过程中随着水位变化而自动升降，供进闸船舶系缆停靠，使系于其上的船舶与其相对固定，防止水流冲击而发生碰撞，因此在船闸工程中广泛应用。

在船闸浮式系船柱的设计过程中，其结构型式的选用、系缆高度的拟定、浮筒关键参数的取值直接影响船闸总体布置及运行效果，不合理的设计甚至可能导致运行安全事故[1-4]。作为船闸的关键金属结构设施，尤其在高等级航道、高水头船闸中，浮式系船柱科学合理地设计能满足过闸船舶安全系缆，有效保护船闸及行船人员的安全。

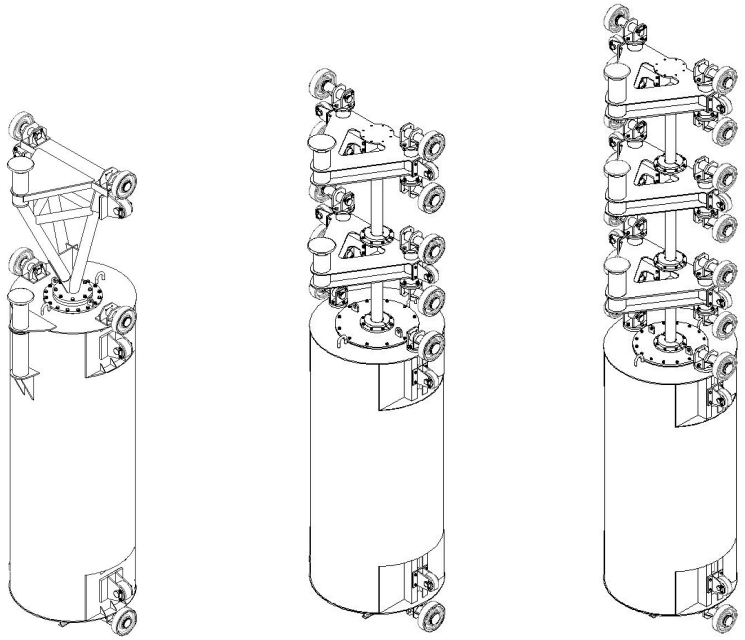
调研统计湖南省内部分船闸浮式系船柱主要参数（见表 1），可以看出当前内河船闸工程中浮式系船柱的设计标准不一，尤其随着船舶的发展、航道的升级，部分浮式系船柱已无法很好地满足通航系缆需求。因此，对船闸浮式系船柱关键指标参数进行分析并提出相应的设计参考值，对工程建设具有十分重要的指导意义。

表 1 湖南省内部分浮式系船柱主要参数表

船闸	船闸等级	系缆力 (kg)	浮筒直径 (mm)	吃水深度 (mm)	总重量 (kg)	系缆层数 (层)	系缆高度 (mm)	建成时间 (年)
长沙双线船闸	Ⅱ级	150KN	1350	2700	3731	二层	1200/2500	2012
株洲一线船闸	Ⅲ级	50KN	1040	2890	2434	二层	948/2790	2004
株洲二线船闸	Ⅱ级	100KN	1350	2745	3943	二层	1680/3480	2018
大源渡一线船闸	Ⅲ级	50KN	1040	2460	2350	二层	1378/3220	1998
大源渡二线船闸	Ⅱ级	100KN	1350	2745	3943	二层	1680/3480	2019
土谷塘船闸	Ⅲ级	50KN	1300	2237	2970	二层	1841/3722	2016
湘祁二线船闸	Ⅲ级	150KN	1300	2664	3533	三层	1467/2648/4090	2021
近尾洲二线船闸	Ⅲ级	250KN	1400	2775	4270	三层	1845/3107/4369	2022
艳洲船闸	Ⅱ级	250KN	1400	2775	4270	三层	1845/3107/4369	在建
南茅运河船闸	Ⅳ级	50KN	1040	2890	2434	二层	948/2790	2018

1 结构型式比选

在开展船闸浮式系船柱设计之初，需要对其结构型式进行选择。浮式系船柱结构型式多样，根据运行机构的不同，可分为滚轮式和滑块式；根据系船柱联结方式的不同，可分为固接式和铰接式，根据系缆层数的不同，可分为单层式、双层式及多层式，见图 1。



a）双层固接式　　b）双层铰接式　　c）三层铰接式

图 1 几种典型结构型式的浮式系船柱

不同结构型式的浮式系船柱各有特点，各型式的结构特征分析见表 2。拟建船闸工程宜根据实际需求，对多种结构型式的浮式系船柱进行比选并组合，选择合适的结构型式。

表 2 不同结构型式浮式系船柱特征分析

分类方式	结构型式	结构特征及适用范围
运转机构型式	滚轮式	随水位升降运转灵活，承载能力强，踏面硬度高且耐磨，被广泛应用于船闸工程中。
	滑块式	可采用高分子耐磨材料滑块代替导向轮，具有极低的摩擦系数和极高的耐腐蚀性，使用寿命长；但滑块硬度低，运行过程中容易造成尖锐物体对其表面的划伤[5]。
系船柱联结方式	固接式	系船柱采用刚性连接，结构简单，但浮筒和上层系缆架结构调整不方便，致使浮筒浮力受限，难以调节系缆高度和增加系缆层数。通常适用于系缆高度范围要求一般的中小型船闸中。
	铰接式	浮筒与系缆结构、系缆结构与系缆结构之间均采用柔性铰接联结，浮筒仅提供浮力和支撑系缆结构作用，系缆力不会传导至浮筒结构，能方便地增加系缆层数及调节系缆高度[6]，通常适用于系缆高度范围要求更广的高等级航道大型船闸中。
系缆层数	单层式	适用于重载与空载吃水变化不大的船型系缆，通常应用在旅游航道船闸中。
	双层式	能同时满足一定吨位船舶的重载、空载两种工况系缆，通常应用在Ⅳ级及以下船闸中。
	多层式	较双层式浮式系船柱适用船型范围更广，能同时满足不同船型重载、空载系缆，通常应用在Ⅲ级及以上船闸中。

2. 系缆高度适应性分析

2.1 系缆高度研究必要性

随着国民经济的快速发展，船舶趋向大型化发展，同时船舶干舷高度不断增高，很多现有船闸的系缆高度已无法满足实际系缆需求。根据船闸运营人员反映，部分船闸的浮式系船柱存在系缆高度不适用的问题，系船柱高出水面不够，船舶干舷高出最高系缆点，船员向下系缆困难且非常危险。如图 2 所示，该船

舶干舷高出最高系缆点，系缆操作存在安全风险。

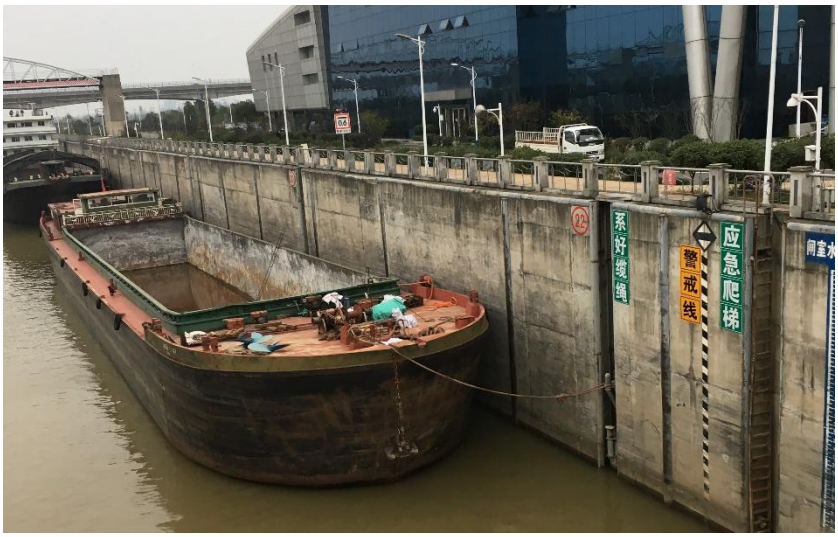


图 2 湘江某船闸浮式系船柱系缆实景（现已改造为三层铰接式）

船员站在甲板上系缆时，系缆点高度处于船员肩部至臀部的高度区间时船员可以正常站立系缆，操作效果较好，系缆高度在最佳区间上下一定范围内浮动也可适用，而低于干舷高度系缆则认为是危险操作。

内河已建船闸中多采用双层固接式浮式系船柱，该结构型式系船柱难以增加系缆层数和调节系缆高度，无法满足兼容多种系缆高度的需求。对于III级及以上等级船闸，能兼容的船舶吨位更广，干舷高度范围更大，不同吨位船型对系缆高度的需求不同，系缆高度适用性要求更高，因此进行浮式系船柱系缆高度适应性分析十分必要。

2.2 系缆高度适应性参数分析

因铰接式浮式系船柱浮力调节便捷、系缆力兼容性强、系缆层数和系缆高度适用范围广，本文拟基于三层铰接式浮式系船柱（见图 3）进行系缆高度适应性分析，期望找出系缆高度与干舷高度之间的取值规律，得出能较好地适用不同等级船闸的浮式系船柱的系缆高度取值。

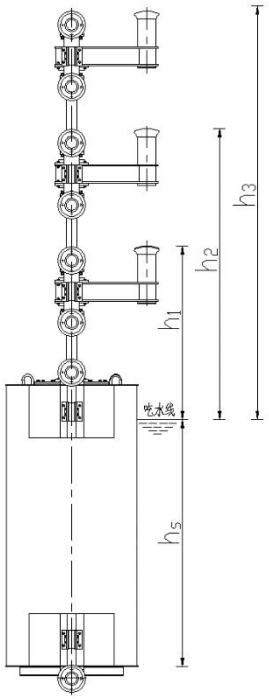


图 3 浮式系船柱系缆高度示意图

根据《船闸总体设计规范》（JTJ305-2001），对Ⅰ～III级船闸的浮式系船柱，其系缆柱宜高出水面 1.2m～4.5m。基于三层铰接式浮式系船柱进行分析，如果能使三层系缆柱的高度满足最高系缆范围内的任意干舷高度，即可适用于Ⅰ～III级船闸的所有工程，具有一定的普适性。结合人机工程学可知，系缆点处于船员

头部至臀部的高度区间时为较合适系缆高度。以一个成年男性船员为参考，可拟定系缆柱高出干舷高度0.8m～1.6m为最佳系缆区间，0.5m～0.8m以及1.6m～1.8m为适用系缆区间，由此分析得出浮式系船柱系缆高度适用性区间参数分布情况，见表3。当干舷高度低于4.0m时均能适用，当船舶空载干舷高度超过4.5m时，应载水压舱处理。

表3 浮式系船柱系缆高度适用性参数表

系缆层	系缆高度(m)	系缆高差(m)	对应的干舷高度(m)	系缆效果	区间占比
第一层（h_1）	1.9	1.6～1.8	0.1～0.3	适用	15.4%
		0.8～1.6	0.3～1.1	最佳	61.5%
		0.5～0.8	1.1～1.4	适用	23.1%
第二层（h_2）	3.2	1.6～1.8	1.4～1.6	适用	15.4%
		0.8～1.6	1.6～2.4	最佳	61.5%
		0.5～0.8	2.4～2.7	适用	23.1%
第三层（h_3）	4.5	1.6～1.8	2.7～2.9	适用	15.4%
		0.8～1.6	2.9～3.7	最佳	61.5%
		0.5～0.8	3.7～4.0	适用	23.1%

注：表中系缆高度指系缆柱距离水面高差；系缆高差指系缆柱距离干舷高差。

2.3 系缆高度取值范围

根据表3中数据可知，Ⅰ～Ⅲ级船闸浮式系船柱系缆高度在《船闸总体设计规范》（JTJ305-2001）建议的取值范围内，三层系缆高度分别取值1.9m、3.2m、4.5m，能满足所有设计船型和兼容船型的系缆需求，其中61.5%的干舷区间能达到最佳系缆效果，38.5%的干舷区间能达到适用系缆效果。

对于Ⅳ级及以下等级船闸，干舷高度通常低于3.0m，采用双层铰接式浮式系船柱能够较好地满足过闸船舶的系缆需求。可参照表3拟定各层系缆高度，即第一层系缆高度1.9m，第二层系缆高度3.2m，基本能满足该等级船闸所有船舶系缆要求。

对于旅游航道船闸，根据设计船型干舷高度采用单层浮式系船柱即可，可考虑系缆点距离干舷高度0.8m～1.6m为宜。

3. 浮筒关键参数研究

船闸浮式系船柱设计过程中，完成结构型式选择及系缆高度的拟定后，需要对浮筒的关键参数进行分析研究，包括浮筒吃水深度、浮筒直径、浮筒高度的拟定取值。

3.1 浮筒吃水深度拟定

船舶在系缆运行过程中，如在高水位“触顶”或者在低水位“搁浅”，容易导致船舶脱缆、缆绳绷断、系船柱变形断裂甚至船体倾覆等事故，造成人员伤亡。因此，浮式系船柱设计时，应保证整个结构在设计最高通航水位运行时不“触顶”，在设计最低通航水位运行时不“搁浅”，以确保浮式系船柱能在闸室水位快速变化时平稳升降。

为避免浮式系船柱运行时出现“搁浅”现象，应保证浮筒吃水深度小于船闸下游最低通航水位与浮式系船柱导槽底的高程差。同时，为避免浮式系船柱运行时出现“触顶”现象，设计时应尽可能保证上游最高通航水位运行工况下，浮式系船柱顶部距离闸室导槽顶部仍有一定的系缆操作空间。

3.2 浮筒直径取值

拟定浮筒深度时必然要同步考虑浮筒的直径，它与闸室墙厚度互相制约，直接影响到船闸的总体布置。当前内河已建船闸中，浮式系船柱浮筒直径取值不一，从表1数据可看出主要集中在1.0m～1.4m范围内。

船闸浮式系船柱设计过程中，通常会在综合考虑系缆力、平面布置尺寸、浮筒直径的情况下，希望尽可能地减小浮筒吃水深度和总质量。同等重量下，浮筒的直径越大，浮式系船柱能兼容的系缆力范围更广，浮筒能提供的浮力越大，浮式系船柱吃水深度越小。但增大浮筒直径的同时，整个浮式系船柱的重量也随之增大，随浮筒直径增大增加的重量对吃水深度的影响会在直径增大到某个值后收效逐渐减小，变得“性价比”不高。以系缆力200KN的三层铰接式浮式系船柱为例（见表4），当浮筒直径小于1300mm时，随着直径取值的增大，吃水深度显著下降；当浮筒直径大于1400mm时，随着直径取值的增大，吃水深度变化不明显，但总重量及浮式系船柱井占闸室墙深度较之更大，综合效益下降；浮筒直径取值为1300mm～

1400mm 时，其总重量、吃水深度及平面布置尺寸的综合效益最佳。

表 4 系缆力 200KN 的三层铰接式浮式系船柱主要参数表

序号	浮筒直径 (mm)	总重量 (kg)	吃水深度 (mm)	占闸室墙深度 (mm)
1	1000	2520	3370	1400
2	1100	2870	3050	1500
3	1200	3330	2970	1600
4	1300	3500	2660	1700
5	1350	3730	2630	1750
6	1400	4120	2680	1800
7	1500	4650	2650	1900

3.3. 浮筒高度取值原则

浮筒吃水深度与浮筒直径明确后，可在一定范围内拟定浮筒高度值。浮筒太高会增加浮式系船柱总重量；浮筒太矮时，当浮筒上堆积漂浮杂物，容易因为吃水深度增加而导致水面高度不够甚至下沉。浮筒高度取值通常以浮筒吃水深度超高 0.5m 左右为宜。

3.4. 标准化、系列化设计

从表 1 中可以看出，当前内河船闸浮式系船柱设计参数取值标准不一，需要找到规律尽可能地标准化、系列化设计，尤其是同一条流域各个梯级的船闸工程，标准化、系列化设计，通用互换性增强，运行过程中某一通用零部件出现故障可快速更换处理，减小甚至消除停航隐患，有利于后期的运营维护与管理。

综合考虑浮筒吃水深度、直径、高度等关键指标，结合船闸设计经验，建议对于Ⅰ～Ⅲ级船闸，浮式系船柱浮筒直径宜取 1400mm；Ⅳ级及以下等级船闸，浮式系船柱浮筒直径宜取 1300mm。

4. 结论

1）列举了不同结构型式的船闸浮式系船柱，分别对其优势及劣势进行了分析，总结提出了各种结构型式浮式系船柱的适用范围。

2）为解决船闸浮式系船柱存在系缆高度不适用造成系缆安全风险大的问题，对浮式系船柱系缆高度适应性进行了系统分析。结合现场经验、运营反馈总结提出了能适用各等级船闸系缆需求的系缆高度设计参考值，使之能满足设计干舷高度范围内的任意船型安全舒适系缆。

3）研究分析了船闸浮式系船柱浮筒关键参数，分别对浮筒吃水深度、浮筒直径、浮筒高度设计取值的制约因素及取值变化规律进行了总结并提出了相应的设计参考值，对船闸浮式系船柱标准化、系列化推进具有重大意义。

参考文献

[1]王曦,郭际,张伟,等.三峡船闸浮式系缆桩系泊安全性分析及实船试验[J].船海工程,2018,47(01):158-162.

[2]张晨,王丽铮,张伟.基于实船试验的三峡船闸船舶过闸系缆力影响因素[J].水运工程,2018(11):11-15+32.

[3]张星星,陈明栋,巴添.新型浮式系缆装置关键技术及可靠性分析[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2013,32(03):489-493.

[4]刘明维,曾丽琴,齐俊麟,等.船闸浮式系船柱受力状态数值模拟[J].水运工程,2020(12):112-117.

[5]司敬阳.滑块式浮式系船柱设计与研究[J].工程与建设,2016,30(02):167-168+235.

[6]张虎,尹斌勇.船闸新型浮式系船柱的设计与应用[J].人民长江,2019,50(09):137-140.

作者简介

李超军（1992—），男，工程师，从事水运工程设计和 BIM 技术研究

联系方式：邮箱 1134420118@qq.com　手机 15211091162

桩基透空式导流屏结构对船闸下游口门区通航的影响

吴琼琳[1]，高清洋[2]，普晓刚[3]
（1.湖南省水运建设投资集团有限公司，湖南 长沙 410011；
2.中交天津港湾工程设计院有限公司，天津 300461；
3.交通运输部天津水运工程科学研究所，天津 300456）

摘要：船闸下游引航道口门区水流条件受大坝底孔泄流和泄水闸调峰等影响，易破坏原河道所在区域导流效应，对下游口门区船舶通航不利。提出一种新型导流结构——桩基透空式导流屏，并以五强溪枢纽船闸为例，设计初始及优化两种方案进行水流特性试验和船模试验以测试其工程效果。试验表明该结构形式可较好地改善下游口门区水流条件，且相比于初始方案，优化方案对五强溪枢纽船闸下游口门区水流条件的改善效果更为显著，更利于船舶通航。

关键词：桩基透空式导流屏；五强溪枢纽；口门区

近年来中国经济飞速发展，水运行业潜力巨大。我国中西部一般通过河流渠化工程提高河流水系干流的航道等级，并首选船闸作为大坝枢纽的通航建筑物。枢纽建成后，借助泄水闸调节功能可增加下游枯水期流量，提高河道通航能力，中洪水期由于大坝底孔泄流和泄水闸调峰极易导致下游河道水位巨幅波动、水力要素急剧变化、水流条件不稳定等，可能导致船闸下游引航道口门区河床下切、河槽展宽，严重破坏该河道所在区域导流效应，对下游口门区船舶通航产生不利影响，影响当地航运发展。

改善船闸口门区水流条件比较复杂，通常情况下利用工程手段改善船闸下游口门区通航水流条件主要从减少口门区斜流、消除回流和改善口门区不良流态等 3 个方面入手[1]。国内外学者提出了多种改善口门区水流条件的导流结构形式[2]，主要有透空式导航墙（墙身与墙头开孔等）、透空式隔流堤（调整隔流堤透空范围和形式、堤头堤身开孔引流、隔流堤外扩开孔等）、导流墩[3-4]（设置长度、相对间距、个数不同的导流墩）、其它导流结构形式以及导流形式组合（包括浮堤形式、丁潜坝挑流、丁潜坝与导流墩结合、丁坝与隔流堤结合）。不同的导流结构形式对某一具体工程起到的作用有所不同，但都有其各自的适用性和局限性。结合国内外已有的导流结构形式，本文提出一种新型导流建筑物——桩基透空式导流屏，见图 1。该结构形式结合桩基隔流堤与导流墩各自优势，通过插板限制表层斜向水流，通过插板间间隔向引航道内引入部分表层水流压缩口门区内回流，通过底部透空孔引入底部水流分担部分引流量，相互限制，相互抵消，以达到削弱口门区内斜流强度及泡漩水的效果。为测试该新型结构形式的改善效果，以五强溪枢纽船闸为例进行试验模拟[5]。

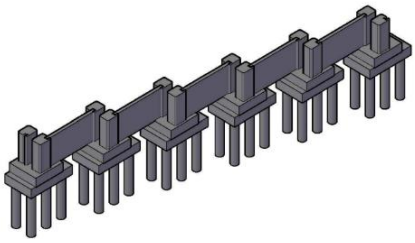


图 1 桩基透空式导流屏设计方案效果

图 2 五强溪枢纽主要建筑物布置

五强溪枢纽位于沅水干流下游的湖南省沅陵县境内，主要由混凝土重力坝、右岸坝后式主、副发电厂房、9 孔溢流坝及泄洪中孔和左岸 III 级船闸等组成，按一列式布置，见图 2。现阶段五强溪枢纽船闸口门区通航水流条件较差，严重影响船舶进出航行安全和通航效率，亟待采用较为理想的导流结构加以改善。

1 模型布置

根据五强溪枢纽船闸河道特征、河床形态、地形特点等特点，确定试验模型为定床正态，几何比尺选用 1∶100，按重力相似准则进行模型设计。模拟原型河道长度约为 5.2km，其中坝址上游长约 1.2km，坝址下游长约 4km，宽度为 400～900m。因此模型全长约为 52m，模型宽 4.0～9m，见图 3。根据坝区河段河床、地貌及原型河床糙率情况，制模时采用梅花加糙的方法对模型进行加糙处理以满足糙率相似要求。经验证，模型左、右岸水面线与天然水面线基本吻合，模型与原型达到了阻力相似，断面流速分布趋势与原型基本一致，模型的水流运动与原型相似，验证结果满足《内河航道与港口水流泥沙模拟技术规程》等技术规范要求。此外结合五强溪水文站 1998—2012 年的水文资料及五强溪枢纽运行的实际情况，选取以下 7 级典型流量进行观测，见表 1。

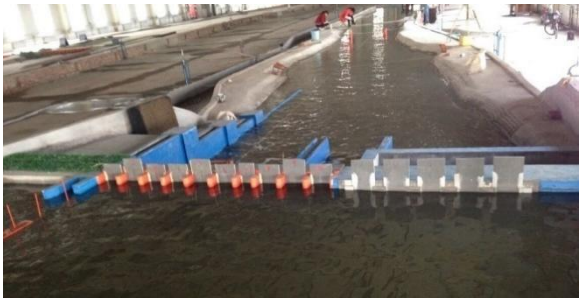


图 3 模型试验现场

表 1 模型试验特征流量

试验流量/（$m^3 \cdot s^{-1}$）	枢纽运行方式	坝上水位/m	尾门水位/m	流量特征
390	1 台机组	108	50.46	最小通航流量
1500	3 台机组		51.60	
2500	5 台机组		52.57	多年平均流量
3500	5 台机组+2 孔泄洪闸		53.48	
5000	5 台机组+4 孔泄洪闸		54.74	
6500	5 台机组+6 孔泄洪闸		55.87	
7800	5 台机组+6 孔泄洪闸		56.75	设计最大通航流量

船模设计为几何正态，比尺为 1∶100，试验船型为 500 吨级船舶，采用船舶模型尺度为 50.5m×8.53m×1.9m（船长×船宽×满载吃水）。试验采用 SMMS 实时测量系统，该系统可以实时测量船模航行过程中的船位、舵角等航行参数，计算输出船模航行过程中的航向角、漂角、漂移距、航速等参数。此外结合试验中船闸口门区水流试验，率定 3.0、3.5、4.0、4.5、5m/s 共 5 种静水航速。

2 现状条件下试验研究

为了解现状条件下五强溪船闸下游引航道口门区通航水流条件，模型共进行了 9 级典型流量下的流速、流态观测。试验表明，枯水流量下电站尾水受右岸河床形态影响，水流逐渐向河道左侧偏转，行至江心礁石带处，部分水流绕过礁石带，进一步向导航墙外侧冲刷沟，而后绕过导航墙堤头，进入引航道口门区；中洪水流量下，泄水闸泄水流沿导航墙外侧冲沟而下，行至导航墙堤头时，水流绕过堤头进入引航道口门区。相关水力特性参数见表 2，表中数据表明现状条件下，当 Q<1500m^3/s 时口门水流情况较好，满足航行要求；当 Q=2500m^3/s 时，堤头下 100～200m 航中线右侧横向流速不能满足规范的限值要求，通航水流条件不能满足要求；Q≥3500m^3/s 时，口门区内横流较大，船模进出口门区较困难，航态较差。航行过程中船模使用舵角及漂角较大，不能达到航行要求；Q≥6500m^3/s 时，口门区纵、横向流速均较大，航态较差，不能达到航行要求。

表 2 现状条件下口门区通航水流条件分析

流量/($m^3 \cdot s^{-1}$)	横向最大流速 v_{xmax}/（$m \cdot s^{-1}$）	纵向最大流速 v_{ymax}/（$m \cdot s^{-1}$）	通航水流条件分析
390	0.2	0.78	通航水流条件较优
1500	0.35	1.68	水流条件基本满足规范要求
2500	0.46	1.94	部分横向流速超标，通航水流条件不能满足规范要求
3500	0.59	1.96	横向流速超标，通航水流条件较差
5000	0.56	2.07	横向流速超标，通航水流条件较差
6500	0.71	2.37	纵、横向流速均超标，通航水流条件较差
7800	0.75	2.51	纵、横向流速均超标，通航水流条件较差

注：五强溪枢纽所在航道等级按 IV 级航道建设，即纵向流速限值为 2.0m/s，横向流速限值为 0.3m/s，回流流速 v_0≤0.4m/s，另外在引航道口门区宜避免出现如泡漩、乱流等不良流态。

结合试验观测与分析，五强溪枢纽船闸下游引航道口门区出现碍航的原因主要是口门区下方深槽集中水流，且下游导流堤较短，仅 275m，无法阻隔主流斜穿口门区，同时受下游河宽逐渐收缩的河势和河道左侧为深槽、右侧为边滩的河床形态综合影响，口门区航道与主流流向交角较大，从而造成口门区横流及回流流速过大。

3 桩基透空式导流屏初始方案试验研究

本文提出一种新型口门区导流结构——桩基透空式导流屏，以五强溪枢纽船闸下游引航道口门区为例进行验证分析。该结构由灌注桩、承台及插板组成，初始设计方案由 16 个承台、15 段插板组成（总长 324m）。导流屏中心轴线顺航线平行布置，距航道右边线 5.5m。每隔 20.8m 中心间距布置一承台，承台尺度为 4.5m×11m×3m（长×宽×高），底高程 45m，最上游的承台与原有导航墙紧密衔接，深水区 2#~5#承台底部设

6 根直径 2.5m、间距为 3m 的灌注桩，浅水区承台底部设 4 根直径 2.5m、间距为 3m 的灌注桩，承台上部为 2 根直径 3m、间距 2.5m 混凝土桩，桩上设有插槽，插槽在高程 48~58m 通长布置，在插槽范围内布置插板，插板分为 10 块等高分层排列，每块插板长 20m、宽 0.8m、高 1m。平面布置见图 4。为研究桩基透空式导流屏方案对引航道口门区水流条件改善效果，物理模型对最大通航流量以下各级典型流量船闸下游引航道口门区通航水流条件进行试验研究，分析引航道口门区横向流速、纵向流速及流态。各流量下桩基透空式导流屏附近流态见图 5。

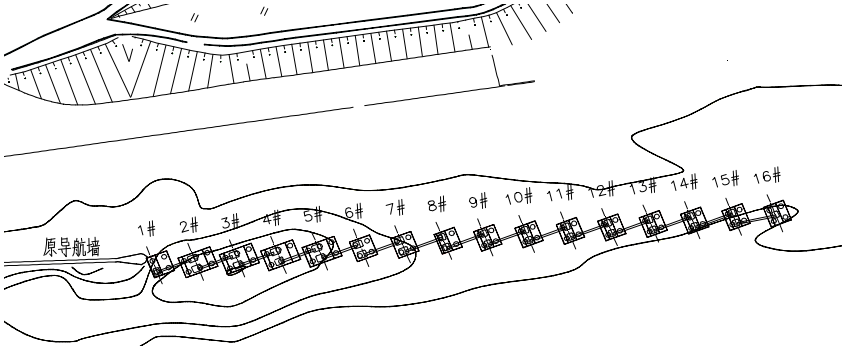


图 4 桩基桩基透空式导流屏初始方案平面布置

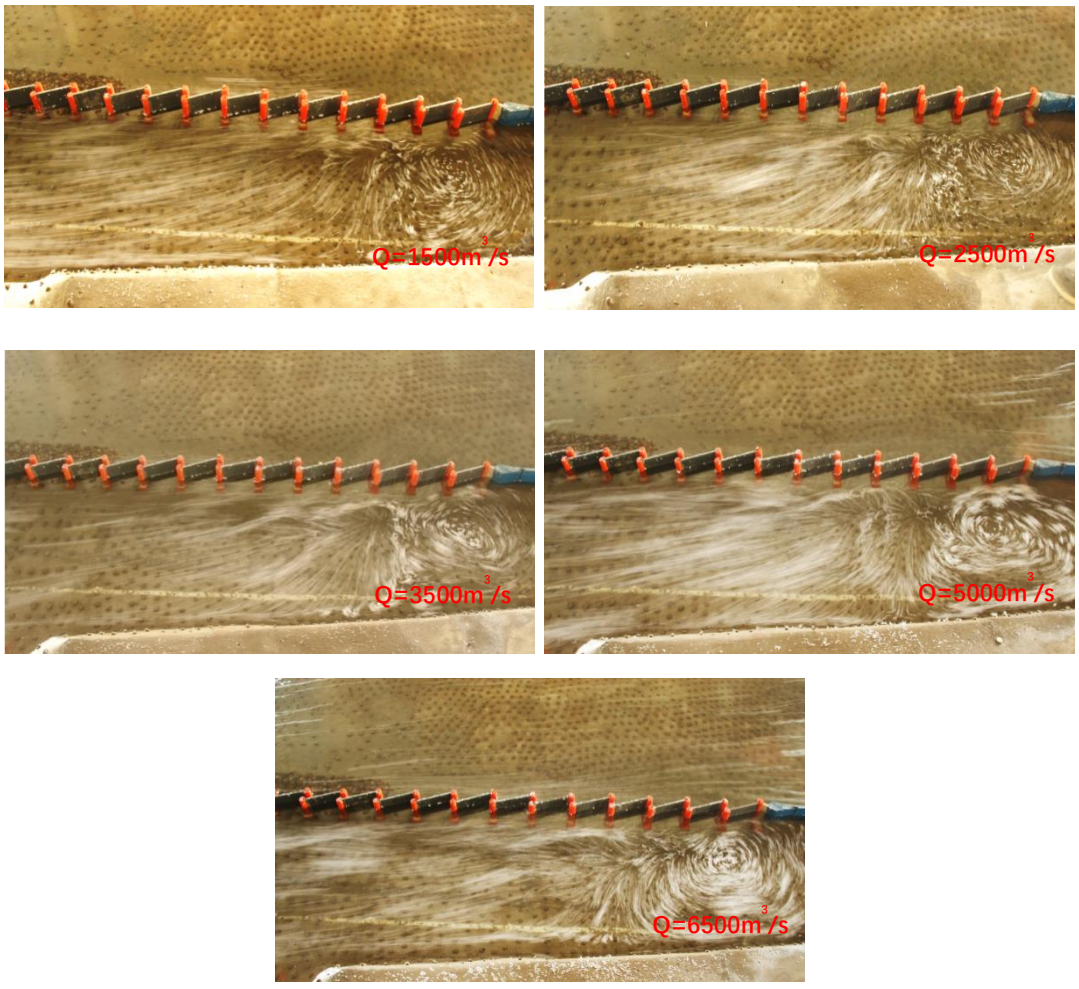


图 5 初始方案下桩基桩基透空式导流屏附近流态

桩基透空式导流屏设计方案工程前后引航道口门区横流及回流强度汇总于表 3。结合试验观测及表中数据可知，桩基透空式导流屏设计方案各流量级下，引航道口门区回流范围较工程前有所减小，回流区主要存在于堤头附近至 3#承台之间且回流强度略有减小，口门区内横向流速较工程前明显减小，初始方案下仅堤头以下 60～140m 范围内航中线左侧个别测点横向流速超出规范要求。总体来说，桩基透空式导流屏设计方案下引航道口门区各流速指标较工程前有明显改善，但在中洪水流量下，口门区内产生花水现象，由花水引起口门区内局部范围横向流速超出规范要求，且花水作为一种不良流态对引航道口门区内船舶航行不

利，因此需对桩基透空式导流屏设计方案作进一步优化。

表 3 工程前后口门区内水流条件分析

流量 ($m^3 \cdot s^{-1}$)	工况	回流强度及范围		横流强度及范围	
		V_{0max} /（$m \cdot s^{-1}$）	回流范围	V_{xmax} /（$m \cdot s^{-1}$）	横流超标范围
1500	现状条件	0.31	口门区 50m 范围内	0.35	100～200m 右侧航道
	初始方案	0.29	口门区 40m 范围内	0.26	
	优化方案	0.27	口门区 40m 范围内	0.26	
2500	现状条件	0.38	口门区 50m 范围内	0.46	100～200m 右侧航道
	初始方案	0.35	口门区 60m 范围内	0.32	60～140m 个别测点
	优化方案	0.3	口门区 60m 范围内	0.26	
3500	现状条件	0.42	口门区 80m 范围内	0.59	100～200m 整个航宽，200～300m 右侧航道边缘
	初始方案	0.39	口门区 60m 范围内	0.43	60～140m 个别测点
	优化方案	0.32	口门区 60m 范围内	0.28	
5000	现状条件	0.41	口门区 100m 范围内	0.56	100～250m 整个航宽，250～300m 右侧航道
	初始方案	0.43	口门区 60m 范围内	0.36	60～140m 个别测点
	优化方案	0.34	口门区 60m 范围内	0.24	
6500	现状条件	0.53	口门区 100m 范围内	0.71	100～250m 整个航宽，250～300m 右侧航道
	初始方案	0.52	口门区 60m 范围内	0.34	60～120m 个别测点
	优化方案	0.36	口门区 60m 范围内	0.27	
7800	现状条件	0.56	口门区 100m 范围内	0.71	100～250m 整个航宽，250～300m 右侧航道
	初始方案	0.51	口门区 60m 范围内	0.39	60～120m 个别测点
	优化方案	0.37	口门区 60m 范围内	0.33	150～200m 个别测点

4 桩基透空式导流屏优化方案试验研究

从节省工程量角度考虑，物模试验对缩短导流屏长度后的口门区水流条件进行研究，分别对比分析桩基透空式导流屏缩短至 12 个承台、11 段插板（总长 241m），11 个承台、10 段插板（总长 220m），10 个承台、9 段插板（总长 199m）共 3 种方案下的口门区水流条件。结果显示，随着导流屏长度的缩短，堤头以下 200~300m 范围内横向流速逐渐增大。当导流屏由 11 个承台及 10 段插板组成时，Q=6500m^3/s 口门区内最大横向流速不超过 0.3m/s，Q=7800m^3/s 堤头以下 150~200m 最大横向流速 0.32m/s，通航水流条件基本满足规范要求。当导流屏缩短至由 10 个承台及 9 段插板组成时，Q=6500m^3/s 口门区内最大横向流速 0.32m/s，Q=7800m^3/s 堤头以下 150~300m 最大横向流速在 0.32~0.36m/s，通航水流条件超出规范要求。因此优化初始方案，变更桩基透空式导流屏为 11 个承台、10 段插板（总长 220m），平面布置见图 6。

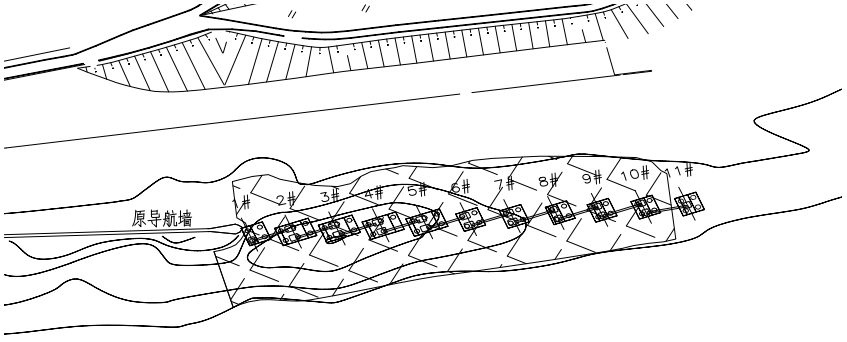


图 6 桩基桩基透空式导流屏优化方案平面布置

桩基透空式导流屏优化方案工程前后引航道口门区横流及回流强度汇总于表 4。由表中数据可知，桩基透空式导流屏优化设计方案各流量级下，引航道口门区回流范围与初始方案相比差别不大，但回流流速进一步减小，花水现象也有一定程度减弱；此外当 Q≤6500m^3/s 时，引航道口门区最大横向流速在 0.3m/s 以内，仅 Q=7800 m^3/s 时，口门区 150～200m 范围内航中线右侧个别测点横向流速超出规范要求，最大横向流速为 0.33m/s。综上所述，桩基透空式导流屏优化方案下引航道口门区水流条件较初始方案有着明显改善，通航水流条件总体能够满足规范要求。此外船模试验表明该优化方案下，船舶模拟航行中上行和下行时，口门区段及口门区以下航段的最大舵角和最大漂角均符合现行规范中舵角 25°，漂角 20°的规定。由此表明本文提出的桩基透空式导流屏优化方案在五强溪枢纽船闸口门区具有更好地改善口门区水流条件的功能，更

具可行性。

表 4　优化方案下船模试验各指标汇总

流量/（m3 • s^{-1}）	航速/（m • s^{-1}）	航行方向	区域	最大舵角/(°)	最大漂角/(°)
2500	3	下行	口门区段	-11.8	-7.4
			口门区以下航段	-16.3	-7.5
	3.5	上行	口门区段	-10.4	4.7
			口门区以下航段	-13.4	4.7
3500	3.5	下行	口门区段	16.6	-8.3
			口门区以下航段	-18.3	-8.8
	4	上行	口门区段	-15.4	5.3
			口门区以下航段	17.8	7.6
5000	3.5	下行	口门区段	15.4	-7.6
			口门区以下航段	-14.7	-8.9
	4	上行	口门区段	-11.6	4.3
			口门区以下航段	-16.7	7.8
6500	3.5	下行	口门区段	15.4	-5.7
			口门区以下航段	-16.1	-6.8
	4.5	上行	口门区段	-17.8	6.0
			口门区以下航段	-17.4	7.8
7800	3.5	下行	口门区段	19.4	-9.0
			口门区以下航段	-13.7	-6.4
	4.5	上行	口门区段	-12.6	4.9
			口门区以下航段	-23.8	8.3

注：舵角参数中，“+”表示右舵，“-”表示左舵；漂角参数中，“+”表示右漂，“-”表示左漂。

5 结论

1)五强溪枢纽船闸下游引航道口门区出现碍航的原因主要是口门区下游深槽集中水流、导流堤较短、河床形态不良等，造成口门区横流及回流流速过大。

2)桩基透空式导流屏结构可有效改善船闸下游口门区水流条件，且相比于初始方案，优化方案对五强溪枢纽船闸下游口门区水流条件的改善效果更为显著、更利于船舶通航。

3)桩基透空式导流屏结构可为类似工程的设计提供借鉴与参考。在较大流量条件下，该结构形式的改善效果有待进一步研究和优化。

参考文献

[1]周华兴,郑宝友.船闸引航道口门区通航水流条件改善措施[J].水道港口,2002，23(2)：81-86.

[2] WILSON C, BOXALL J B， GUYMER I, et al. Validation of a three-dimensional numerical code in the simulation of Pseudo-natural meandering flows[J]. Hydraulic Eng，2003，129(10):758-768.

[3]朱红，郝品正.导流墩改善船闸引航道口门区水流条件试验研究[D].长沙：长沙理工大学.2006.

[4]李君涛，张公略，冯小香.导流墩改善口门水流条件机理研究[J].中国港湾建设，2011(2)：1-3.

[5]路莅枫，普晓刚.五强溪枢纽船闸通航条件改善措施研究与创新[J].湖南交通科技，2017，43(2)：272-274.

作者简介

吴琼琳（1986—），男，硕士，工程师，湖南省水运建设投资集团有限公司，电话：19974836498，电子邮箱：234283858@qq.com。

连续急弯航道滩险碍航特性分析及航线选择

邹开明[1]，乾东岳[2]

（1. 湖南省水运建设投资集团有限公司,湖南 长沙 410011；

2. 交通运输部天津水运工程科学研究所，天津 300000）

摘要：碍航特性分析对于枢纽上游水位变动区的急弯航道设计尤为关键。针对浯溪枢纽上游马头岭急弯复杂的水流条件，采用平面二维水流数学模型与船模相结合的技术手段，进行了不同水位组合下弯道河流碍航特性研究，在分析航道水深、航道流速的基础上提出了优化方案。结果表明，枢纽上游水位变动区的通航设计水位受枢纽运行调度方案影响较大，急弯航道航线调整是优化通航条件的有效思路，可为类似项目建设具有借鉴意义。

关键词：急弯航道；二线船闸；碍航特性；航线优化

0 引言

我国地域辽阔，河流众多，具有发展内河水运的良好条件。但是，内河通航河流很多航段为山区弯曲河道，其平面形态弯曲、河床断面狭窄、通航条件复杂，航道或者通航建筑物的建设需要充分研究河道的碍航特性并对航线进行选择。目前，对于连续弯道水流研究有一些成果，吴华莉[1] 对正弦派生曲线生成的连续弯曲型水流特性进行了试验研究，曾庆华[2]研究了弯道纵向时均流速的垂线分布特点；莴德繁[3]通过水槽试验研究了弯道环流运动，并分析了弯道泥沙输移的作用。普晓刚[4]结合湘江土谷塘航电枢纽工程实例，探讨了狭窄连续弯道河段枢纽平面布置的原则；李君涛[5]总结导流墩平面布置形式，并分析了狭窄连续弯道口门区水流条件的改善规律。在已有的研究成果中，通常是以单一弯道或者概化连续弯道为对象进行研究，得到的水流特性研究有一定局限性，不一定能真实反映弯曲河段的真实水流运动特性。本文依托浯溪二线船闸工程建设，充分考虑枢纽运行调度影响，采用数学模型分析方法上游马头岭连续急弯航道的碍航特性分析，总结航线选择规律，为解决急弯段碍航问题提供优化方向。

1 工程概况

根据湖南省内河水运规划，湘江永州萍岛~衡阳蒸水河口 283Km 航道规划为Ⅲ级航道，目前湘江衡阳至永州范围内已经建成了近尾洲、湘祁、浯溪和潇湘四座枢纽梯级，基本为库区航段，除枢纽通航建筑物等级和部分库尾航道需要疏浚外，大部分航道水深情况比较理想。

浯溪水电站位于湘江干流中游，是湘江干流梯级开发的第三级，枢纽建筑物由右岸船闸、溢流坝、电站厂房及左岸连接土坝组成。浯溪枢纽一线船闸位于枢纽右岸，通航等级为Ⅳ级，闸室布置于坝轴线下游，船闸轴线与坝轴线正交。为减少水流对下游浯溪碑林的影响并使下游引航道与下游航道平顺连接，二线船闸轴线与一线船闸成 8° 的夹角[6]。

马头岭弯道险滩位于浯溪枢纽上游约 2km，为反“S”型急弯，且河面宽度相对狭窄，最窄处河宽不足 250m，河心自然弯曲半径约 200m，受浯溪枢纽水库壅水影响，总体上水流条件较好，但随着流量的增大，其坝前水位不断降低，弯道段的水流条件逐渐恢复至天然情况，导致通航条件逐渐恶化。由于马头岭急弯下弯道处航槽较上弯道转角和曲率更大、弯曲半径更小、航槽也更为狭窄，使得水流集中于凸岸附近下泄，形成扫弯水，过往船舶航行弯曲半径不能满足Ⅲ级航道弯曲半径要求。随着河道流量的增大，为保障湘江两岸防洪安全，枢纽坝前水位需继续根据调度方案降低，通航水流条件将进一步恶化，下弯道段凹岸则出现较大面积的回流区，凸岸及河心区域出现明显的扫弯水，极易造成过往船舶偏转和偏移，从出现落弯与打抢等事故。

2 数学模型的建立与验证

2.1 模型的建立

依据有关规范要求[7]，计算域的进、出口需要选在顺直河段上，本文建模范围为马头岭急弯、浯溪枢纽一、二线船闸上下游引航道口门区及连接段，因此数学模型的模拟范围定为 12km，包括枢纽上游约 8km 河段以及枢纽下游约 4km 的坝下河段，如图 1 所示。模型采用平面曲线正交网格计算水流运动，网格尺度 20m×8m(长×宽)，工程区局部河段加密至 5m×2m(长×宽)，模型采用实测资料反求的方法确定床面阻力系数，采用 Smagorinsky 公式计算紊动粘性系数。

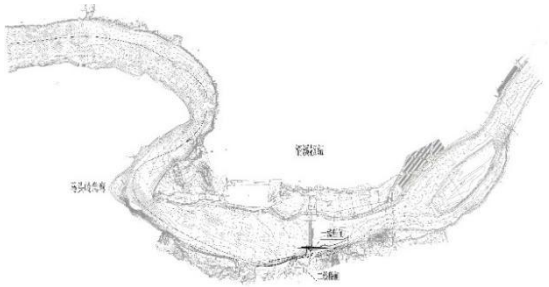


图 1 浯溪枢纽数学模型模拟范围示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the simulation range of the mathematical model of Wuxi Junction

2.2 验证试验条件

采用浯溪枢纽实测地形地形资料和水位资料，对数学模型分别进行流速和水位的验证。本次验证左右岸共布置 17 把水尺，分别是 L1-L9、R1-R8，将 L9 作为控制水尺，模型共布置 6 条测流断面，其中浯溪枢纽上游布置 cs01-cs04 共 4 条，枢纽下游为 cs05、cs06 共 2 条。模型测流断面及水尺布置见图 2。测流断面在 1150m³/s、6300m³/s 两级流量下，枢纽上下游河道内各测点水位与实测水位基本一致，模型计算水面与原型水位偏差均在规定（±0.1m）范围内；流量基本闭合，流量偏差在±5%以内。结果表明，数学模型的参数选择合理，该模型能较好地模拟研究河段的水流运动情况，模型计算精度能够满足要求。

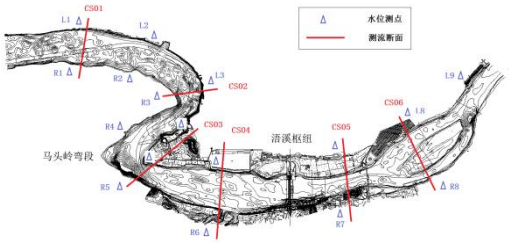


图 2 模拟河段测流断面及水尺布置示意图

Fig.2 Schematic diagram of simulated flow measurement section and draft layout

3 通航水流条件研究

3.1 航道水深与比降分析

图 3 所示为各级流量下，马头岭急弯段航道内水深。马头岭弯段航道的统计范围自设计船闸口门区上游 3.2km 起，至 1.2km 止，共计 2km 长。由图可知，随着流量的增大，航道水深呈先减小后增大的规律，当流量 Q=7550m³/s 时，航道水深最小。这一特点与枢纽运行方式密切相关。从整体看，8 级典型流量弯道航段水深基本都在 10m 以上，完全满足设计水深要求。马头岭急弯段内三处局部比降较大，分别是马头岭急弯段入口处（距口门 2.5km）、急弯段凸嘴处（距口门 2.1km）、急弯段出口放宽处（距口门 1.6km），但三级洪水流量下，最大局部比降均不超过 2‰。

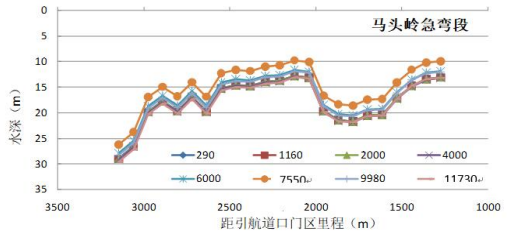


图 3 马头岭急弯段航道水深统计

Fig. 3 Water depth statistics of the channel in the sharp bend section of Matouling

3.2 航道流速分布

为研究马头岭急弯段通航水流条件，基于 8 级典型流量计算结果，分别统计了航道内纵向及横向流速最大值，以及急弯段航道内横向流速分布。

当流量不超过 6000m³/s 时，因枢纽处于控泄运行状态，航道内纵向流速整体较小，最大值小于 1.6m/s。当流量达到 7550m³/s 及以上时，枢纽敞泄，航道内纵向流速迅速增大，两处极大值分别位于距二线船闸口门约 2.5km 和 1.5km 处，即马头岭急弯段入口处和急弯段出口放宽处。当 Q=7550m³/s 时，流速分别达 2.17m/s

和 2.35m/s；当 Q 增大至 11730m³/s 时，流速分别为 2.53m/s 和 3.08m/s。

图 4 统计了马头岭弯段航道内横向流速最大值沿程变化，由图可知：当来流量小于 2000m³/s 时，枢纽以发电为主，库区水位基本水平，水动力微弱，故马头岭弯段航道内横向流速很小，基本在 0.2m/s 以内。

当来流量在 2000~4000m³/s 之间时，随着泄水闸泄流量增大，库区水流运动变强，横向流速凸显，横向流速较大的位置主要集中在弯道的入弯段和出弯段。在入弯段由于航线先于水流弯曲，水流保持惯性仍向右岸顶冲，故此段横向流速指向右岸；过弯顶后在出弯段，受曲率半径限制，航线晚于水流弯曲，水流自弯顶折返后居中，故此段横向流速主要指向左岸。因此图 4 中表现为入弯段横向流速为负值，出弯段横向流速为正值。当流量为 4000m³/s 时，入弯段横向流速达 0.53m/s，出弯段横向流速达 0.47m/s；船舶在此急弯段航道内航行，可能存在困难。

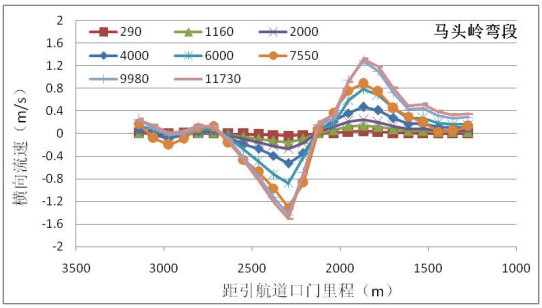


图 4 马头岭急弯段航道内最大横向流速沿程变化

Fig. 4 Variation of maximum lateral flow velocity in the channel of the sharp bend section of Matouling

随着流量的进一步增大，达到 7550m3/s 及以上后，泄水闸开始敞泄，库区水流流动加剧，弯道段横向流速值有一个较为显著的增幅，横向流速较大的范围在入弯段和出弯道分别向上、下游延伸，水流条件十分恶略。当流量为 7550m³/s 时，入弯段横向流速达 1.21m/s，出弯段横向流速达 0.88m/s；当流量达到 11730m³/s 时，整个弯道段横向流速均在 0.4m/s 以上，其中入弯段极值约 1.51m/s，而出弯段极值也达到了 1.32m/s。弯道段的设计航线船舶通航条件十分恶劣。

4 方案优化

设计方案中提出的马头岭急弯段航线布置，各级流量下航道水深、航道内局部比降和纵向流速均可满足通航要求，马头岭急弯段的主要问题在于流量超过 4000m³/s 后，弯道横向流速过大。

数学模型基于利用弯顶缓流区过弯的整治思路，进行了填潭与扩挖方案的探索性试验。对于 7000m³/s 以上的流量，对比方案实施前后的水位流速变化发现，水位变幅不超过 0.03m，流速大小与流向的改变也十分有限。因此主要从改变航线布置，以及改变上、下行船舶过弯方式着眼，对马头岭急弯段通航条件进行优化。

图 5 马头岭优化航线布置

Fig. 5 Matouling optimized route layout

与调整前相比变化较为明显，横向流速较大的航段原本处于入弯段位置，调整后此区域下移至马头岭弯顶附近，下移的同时横向流速值也大幅度减小。原航线入弯段最大横向流速在 4000m3/s 时已超过 0.4m/s，6000m3/s 时超过 0.8m/s，当流量为 7550m3/s 时更是达到 1.2m/s。航线调整后，当流量不超过 6000m3/s，弯顶处横向流速均在 0.4m/s 以内。当流量在 7550m3/s 及以上时，最大横向流速值达到 0.8m/s 左右。

在马头岭出弯段，调整前横向流速也较大，7550m3/s 时最大横向流速可达 0.8m/s。调整后的航线，因采取利用弯顶缓流区过弯的思路，出弯段航道与水流流速基本顺直，横向流速较小，各级流量下最大横向

流速均在 0.4m/s 以内。

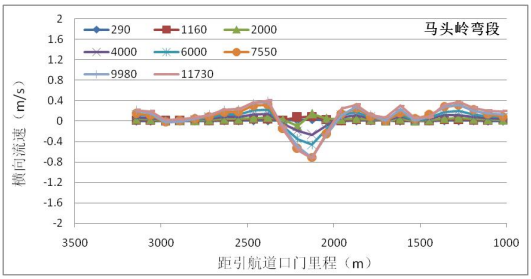


图 6 优化航道内最大横向流速沿程变化

Fig. 6 Variation of maximum lateral flow velocity in optimized channel

以上航道内最大纵向流速、最大横向流速沿程分布的分析结果表明，马头岭急弯段调整后的航线通航水流条件有了较大幅度改善，可将其作为解决急弯段碍航问题的优化方案。结合船舶模拟试验，船舶行驶经过马头岭弯道，无论采取何种航线布置，均会受到横向流速的影响，特别是 7550m3/s 以上的洪水流量，横向流速影响更为显著。使船舶舵角与漂角均较大，航行轨迹连续性较差。通过充分利用马头岭弯道弯顶处的缓流区，可以达到调整船舶航向的目的。在保证航道水深满足要求的前提下，上行船舶入弯后先驶入缓流区，在此调整航向后再出弯，同样下行船舶入弯后，进入缓流区调整航向，而后出弯进入下游。

5 结语

1）通过沿程水位和断面流速分布实测资料进行验证，计算模型验证结果表明水位及断面流速分布偏差满足规范要求，能较好地模拟研究河段的水流运动情况。

2）枢纽上游游水位变动区的通航设计水位受枢纽运行调度方案影响较大，应结合枢纽运行调度方案、河段水文特征，充分考虑河段冲淤等影响因素综合研究确定。

3）在疏浚、填潭等其他整治方案受限时，改变航线布置，以及改变上、下行船舶过弯方式着眼，是急弯段通航条件优化的有效思路。

4）通常渠化枢纽库区航段连续弯道在枯水流量时，上游为深水库区，库区河道内水流平缓，断面流速分布相对均匀，船舶基本可以按照既定的航线航行，航行风险较低。中洪水流量时，船舶在弯道水域航行时产生的漂距和横移速度均较大，且须长时间压大舵角，存在一定的航行风险。

参考文献

[1] 吴华莉,金中武,张小峰,申红彬.连续弯道水流特性的试验研究[J].水利水电技术,2014,45(1):73-76.

[2] 曾庆华.弯道河床演变中几个问题的研究[J].人民长江,1978,(1):46-51.

[3]莴德繁.连续弯道环流运动与泥沙冲淤特性的数值模拟及实验[D].成都:四川大学,2005.

[4] 普晓刚,李民,郝媛媛,冯小香.狭窄连续弯道河段航电枢纽平面布置原则探讨[J].长江科学院院报,2012,29(6):16-21.

[5] 李君涛,普晓刚,张明.导流墩对狭窄连续弯道枢纽船闸引航道口门区水流条件改善规律研究[J].水运工程,2011,(6):100-105.

[6]湖南省交通规划勘察设计院有限公司.湘江永州至衡阳三级航道三期工程工程可行性研究报告[R]. 长沙:湖南省交通规划勘察设计院有限公司,2021.

[7]JTS/T 231-2021水运工程模拟试验技术规范.[S] JTS/T 231-2021

作者简介

邹开明（1986.04-），男，硕士，高级工程师，湖南省水运建设投资集团有限公司从事港口与航道工程建设管理与技术研究工作。E-mail:zoukaiming@126.com，电话：19386693921.

嵌岩桩合理嵌岩深度研究

陈华林[1]，文芬[2]

（1.中交水运规划设计院有限公司，北京 100007）

（2.湖南省交通规划勘察设计院有限公司，湖南 长沙 410203）

摘要：芯柱嵌岩桩在工程中得到广泛的应用，目的主要是提高基岩埋深较浅地基中桩基的承载力，本文结合工程实例，通过现场试验测试分析桩内的应力分布规律、传递深度、桩侧摩阻力与荷载的关系等，得出桩体在岩层中的受力分布特点，为芯柱嵌岩的合理嵌岩深度做参考。

关键词：嵌岩桩；静载试验；应力传递；摩阻力；嵌固深度

1 前言

嵌岩桩作为一种高承载力桩基的主要型式被广泛应用于桥梁、工业与民用建筑等工程领域中，近年来，嵌岩桩也逐步在我国的港口码头工程中得到推广应用。建造在风化岩地基上的高桩梁板码头，当基岩（中、微风化岩）埋藏较浅且其上强风化层厚较簿，钢管桩仅靠锤击沉桩，不能打到足够深度满足承载力（抗压和抗拉）的要求或不能满足桩的最浅入土深度要求影响结构的稳定性，此时采用预制型芯柱嵌岩桩[1]是一种较好的处理方法。但在港工领域，目前对嵌岩桩的受力特性和合理嵌岩深度等的试验研究仍然不足，缺乏大型的现场综合试验研究资料。本研究依托实际工程开展，了解嵌岩桩的受力特点和受力特性以及合理嵌岩深度等应用技术问题，进而指导嵌岩桩的改进设计和施工，具有明显的现实意义。

2 嵌岩桩试验设计方案

本文研究采用试验研究方法进行，通过试验采集数据，再对试验数据进行分析研究，包括以下内容：

（1）嵌岩桩在各地层中的应变分布规律

通过测量各断面钢筋的应变，可得到不同荷载下嵌岩桩在各地层中的应变分布规律。通过测量不同时间各断面钢筋的应变，可得到嵌岩桩在各地层中应变与时间的关系。分析嵌岩桩在各地层中的应变分布规律，确定嵌岩桩的合理嵌岩深度。

（2）嵌岩桩在各地层中的桩侧摩阻力分布与荷载的关系

由不同荷载下嵌岩桩在各测量断面的应变，可换算得到各测量断面的受力情况，从而得到不同荷载下嵌岩桩在各地层中的桩侧摩阻力分布规律。

2.1 静载压桩及位移观测

进行静荷载试验的设计桩为钢管桩嵌岩桩，设计桩力标准值为 7200KN，考虑到所处区域岩层较浅，强风化岩面标高为-12.54m，钢管桩打入桩建议最浅桩尖标高为-18.0m，桩尖入岩 5.46m 无法满足桩力要求，因此需要作嵌岩处理，设计桩总长 41.92m，桩底标高为-36.1m，嵌岩段长度为 18.1m，设计桩参数如表 1

表1 设计桩参数表

Table 1 Design pile parameter table

桩号	设计要求单桩轴向抗压承载力特征值（kN）	单桩轴向抗压最大试验荷载（kN）	单桩轴向抗拔最大试验荷载（kN）
B11	7200	14400	/

试验桩的工作状态设计承载能力标准值为 7200kN，桩基承载力要求达到工作状态下的 2 倍，静载试验按照 14400kN 压力进行。

依据桩基检测规范[2]，静荷载试验采用习惯的锚桩联合堆载方法进行，利用试验桩（B11）周围的工程桩（B9、B13、B25）及临时打设的桩（B11’）作锚桩，和试验大梁联接组成反力架，考虑工程桩及临时搭设组成的系统抗拔承载力，同时在反力架上增加堆载 2520kN，使整个反力架系统满足最大试验荷载 14400 kN 的试验要求。由于试验桩作为工程桩，试验时须避开外露钢筋，试验荷载只能作用在外部钢管桩上，通过钢管桩与内部混凝土的粘结作用实现力的传递（根据同类混凝土和钢管桩的粘结力试验[3]，混凝土和钢管桩的单位粘结力在 2400～3058kN/m^2。远大于最大试验荷载时混凝土和钢管桩间的剪应力（202.29 kN/m^2），因此可以认为，试验时，混凝土桩和钢管桩应变同步），采用置于试桩钢管桩顶（桩顶标高为+5.82m，试

验桩总桩长为 41.92 m）的 6 台千斤顶进行加载；采用 B10、B12 作为基准桩，在其上安装观测梁，在观测梁上安装百分表及位移传感器测量桩顶位移。

2.2 应变计设置及应变观测

考虑荷载偏心的影响，在 B11 桩钢筋笼上对称布置两条钢筋应变计观测线。应变计布置原则上在每一土层改变处布置一组应变计，根据土层的厚度，在土层中间再适量加密应变计。在本次实验研究的重点土层中风化岩和微风化岩，重点加密布置钢筋应变计。试验桩的地质情况和钢筋应变计的布置图见图 1。

应变计选用丹东三达测试仪器厂生产的钢筋应变计，试验过程中的钢筋应变可通过 SPC 频率计读出传感器频率，再换算成钢筋应变。根据试验设计，具体的应变计布置位置如表 2：

表2 应变计布置位置表

Table 2 Location Table of Strain Gauge Arrangement

应变计编号	1	2	3	4	5	6	7
距钢筋下端距离（m）	0.20	0.85	1.50	2.15	2.80	3.45	4.10
应变计编号	8	9	10	11	12	13	14
距钢筋下端距离（m）	5.30	6.50	7.70	8.90	11.30	13.70	16.10
应变计编号	15	16	17	18	19		
距钢筋下端距离（m）	18.50	20.90	23.56	26.12	30.12		

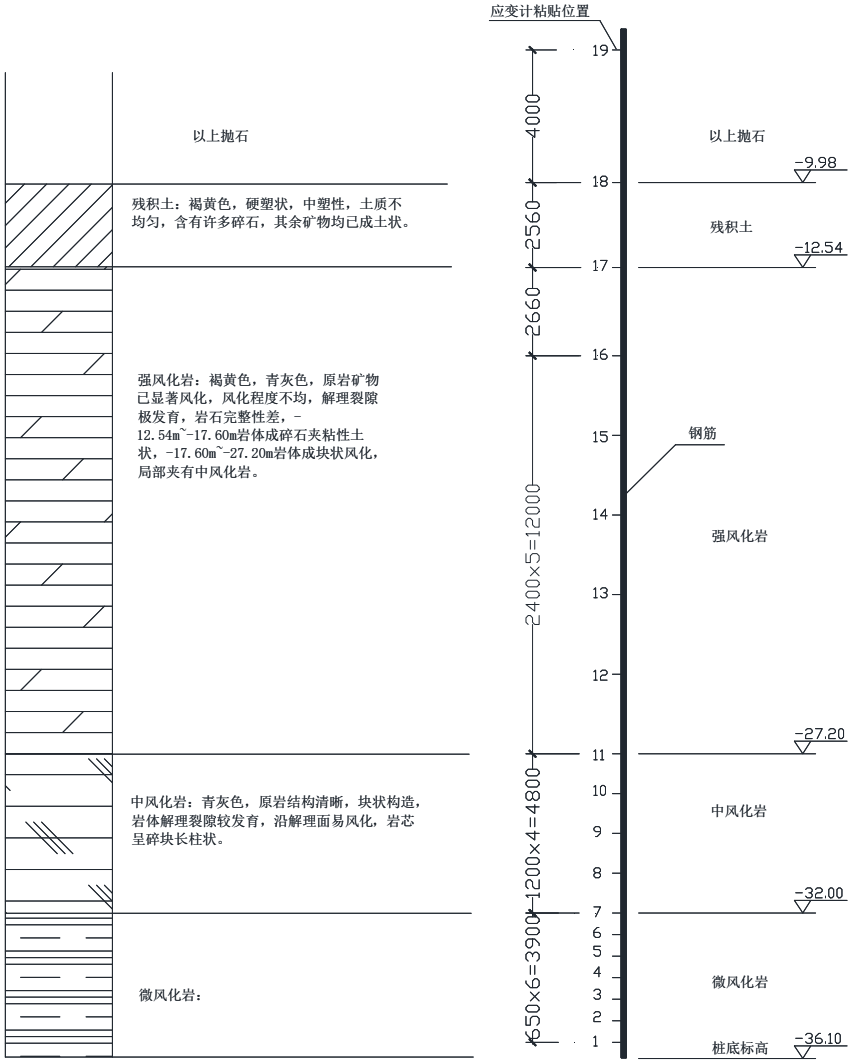


图 1 应变计布置与地质情况对照图

Fig.1 Comparison diagram between strain gauge arrangement and geological conditions

2.3 试验加载过程和数据采集

试验采用慢速维持荷载法，加载程序按表 3 规定执行：

表 3 试验加载程序及观测时间表

Table 3 Test loading program and observation schedule

荷载(kN)	荷载最小持续时间	备注	荷载(kN)	荷载最小持续时间	备注
1800	1 小时		10800	1 小时	
3600	1 小时		12600	1 小时	
5400	1 小时	第 1 级循环	14400	72 小时	
7200	1 小时		12600	20 分钟	
3600	10 分钟*		10800	20 分钟	
0	1 小时		9000	20 分钟	第 2 级循环
1800	1 小时		7200	20 分钟	
3600	1 小时	第 2 级循环	5400	20 分钟	
5400	1 小时		3600	20 分钟	
7200	1 小时		1800	20 分钟	
9000	1 小时		0	1 小时	

加载时每级的持续标准为沉降速率小于 0.1mm/20min，并不小于表 2 所列持续荷载时间；卸载时每级的持续标准为回弹值小于 0.1mm/20min，对于表有*的期间除外，下一级卸载应满足上表所列持续荷载的时间。

在桩的静压试验过程中，持续时间为 1 小时的加载级，加载完成时采集一次数据，以后每隔 15min 采集一次数据；在持续时间为 72 小时的加载级，加载完成时采集一次数据，1 小时内每隔 15min 采集 1 次数据，在 2～4 小时内，每 30min 采集一次数据，以后每小时采集一次数据。

3 嵌岩桩静载试验结果及分析

试桩的加载和卸载与沉降量 Q～S 曲线如图 2 所示。

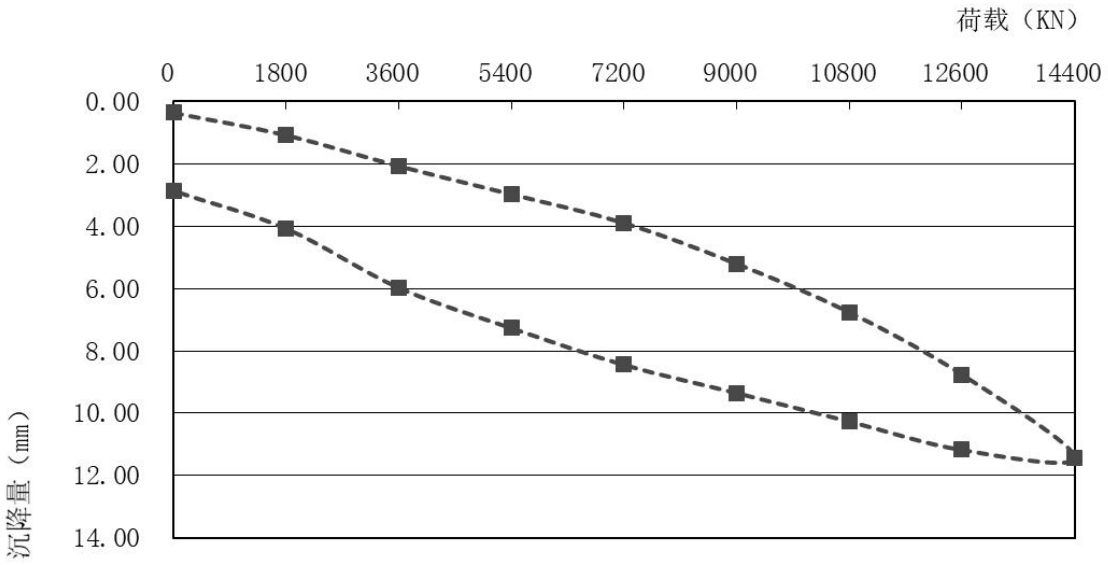


图 2　B11 桩静载压桩试验 Q-S 曲线

Figure 2 Q-S Curve of B11 Pile Static Load Pile Test

各级荷载作用下桩顶位移随时间变化曲线（*S*-lg*t* 曲线）如图 3 所示。

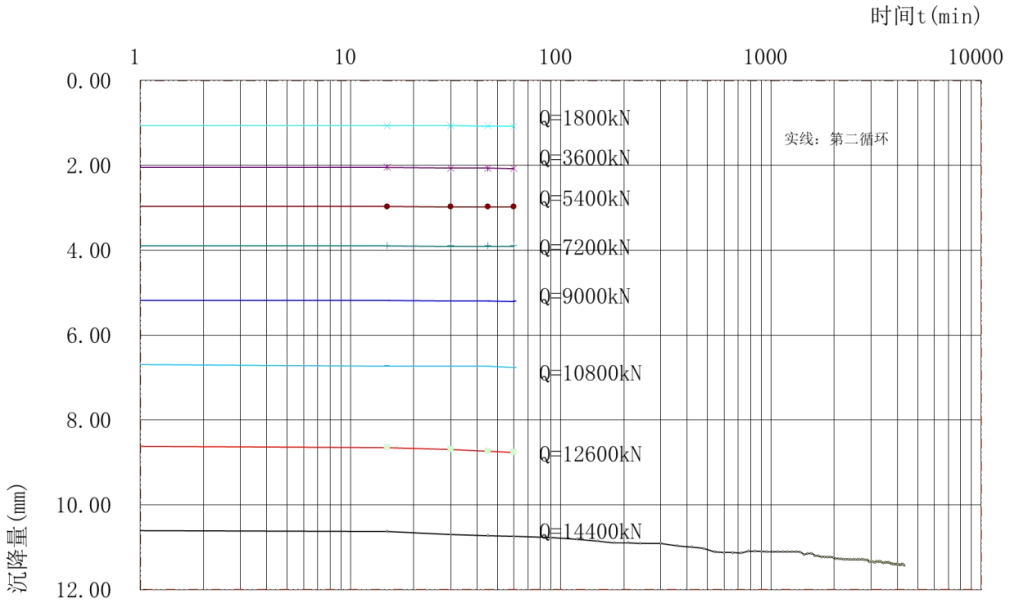


图 3　B11 桩静载压桩试验 S-lgt 曲线

Figure 3 S-lgt Curve of B11 Pile Static Load Test

各级荷载作用下桩内钢筋内力沿深度分布结果如图 4 所示。

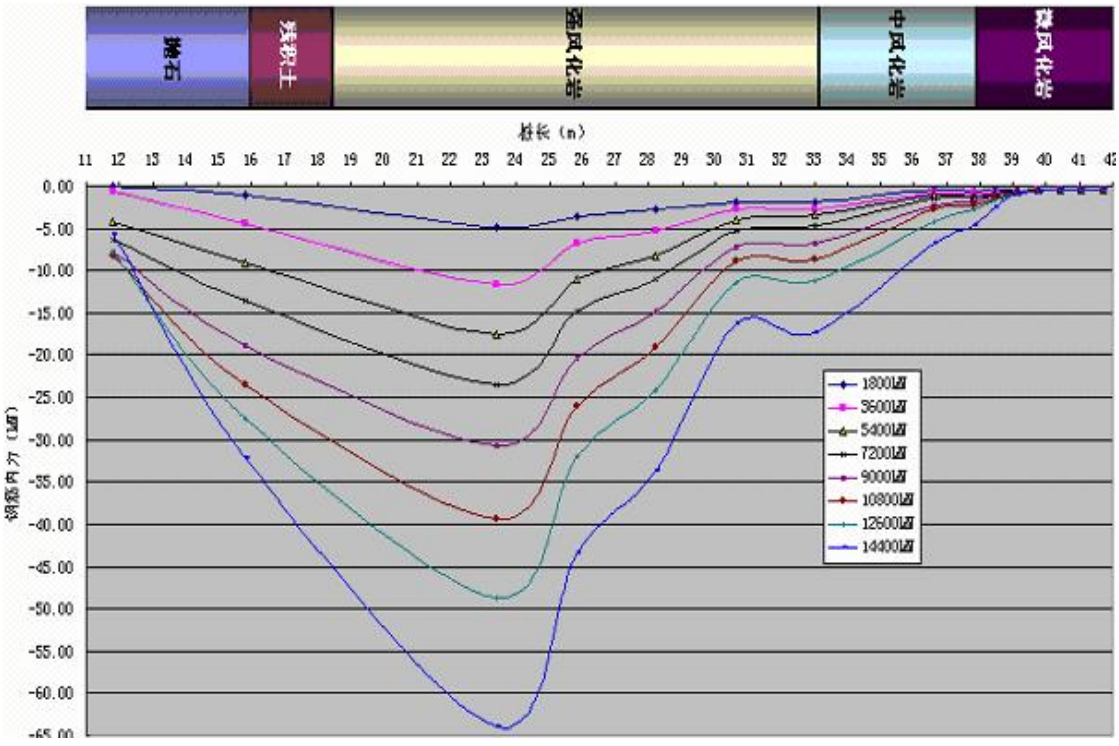


图 4　各级荷载作用下桩内钢筋内力沿深度分布结果

Figure 4 Distribution Results of Internal Force of Reinforcement in Pile along Depth under Various Loads

为研究嵌岩桩在受力过程中桩身应变在各地层变化规律，可按下式换算出桩身应变：

$$\varepsilon_i = 4N_i/\pi D_i^{\,2} \tag{3-1}$$

式中：N_i 为截面 i 上的钢筋轴力；D 为钢筋直径。

由此得到嵌岩桩的应变在不同地层的分布图如下（图 5）：

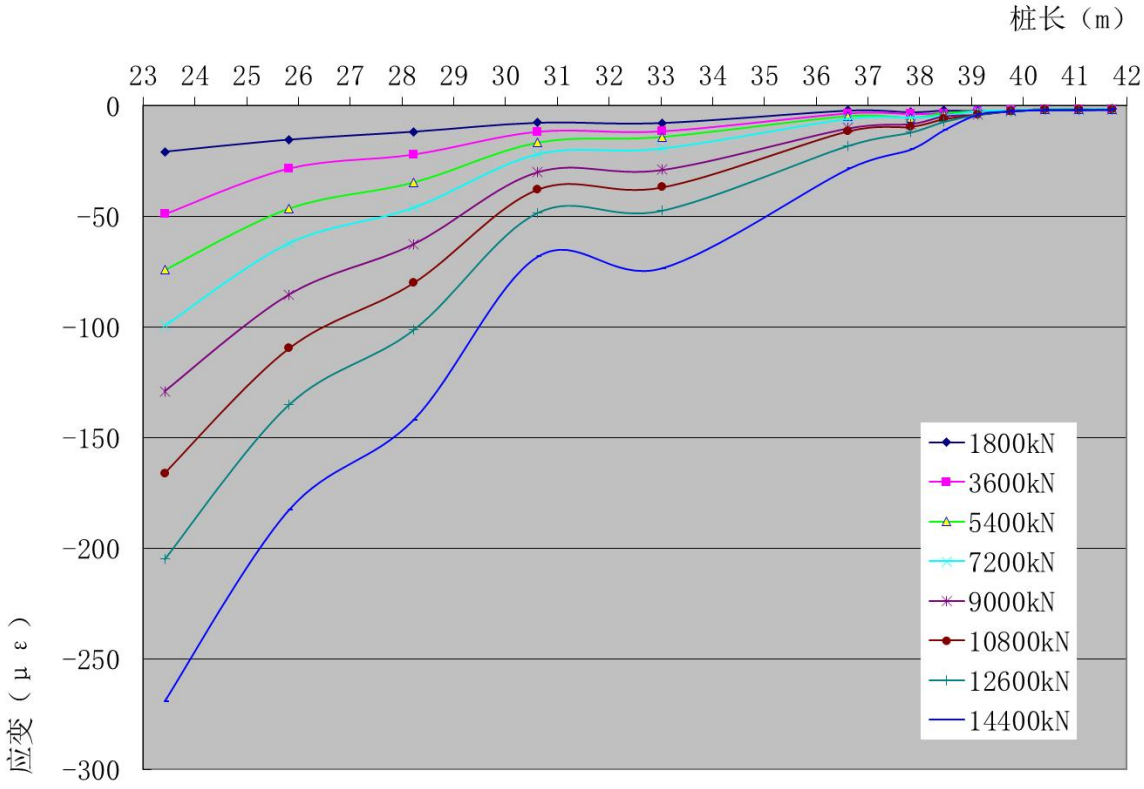


图 5 各级荷载作用下桩身应变沿深度分布结果

Fig. 5 Distribution Results of Pile Body Strain along Depth under Various Loads

然后根据下式可得到桩侧阻力的分布状况：

$$P_i = \varepsilon_i(Es_1 \cdot As_1 + Es_2 \cdot As_2 + Ec \cdot Ac) \quad (3\text{-}2)$$

$$Q_i = P_i - P_i + 1 \quad (3\text{-}3)$$

式中，P_i 为截面 i 的桩轴力；Q_i 为截面 i 的桩侧阻力；

Es_1、As_2、Es_2、As_2、Ec、Ac 分别为钢筋、钢套筒和混凝土的弹性模量和截面积。

对于钢筋和混凝土的弹性模量，在 B11 桩施工时，现场采集混凝土试样和钢筋试样，在试验室进行混凝土、钢筋的弹性模量。

通过委托广州港湾工程质量检测中心进行试验，混凝土强度及弹性模量在实验室拌制了 9 块与现场桩体材料相同的混凝土试件，通过静力试验，测得试块平均强度为 51.3MPa，弹性模量为 3.48×10^4MPa；钢筋弹性模量的试验结果为 2.23×10^5MPa。

根据以上 3-2 式和 3-3 式，得到嵌岩桩的侧阻力的分布状况如下图所示（图 6）。

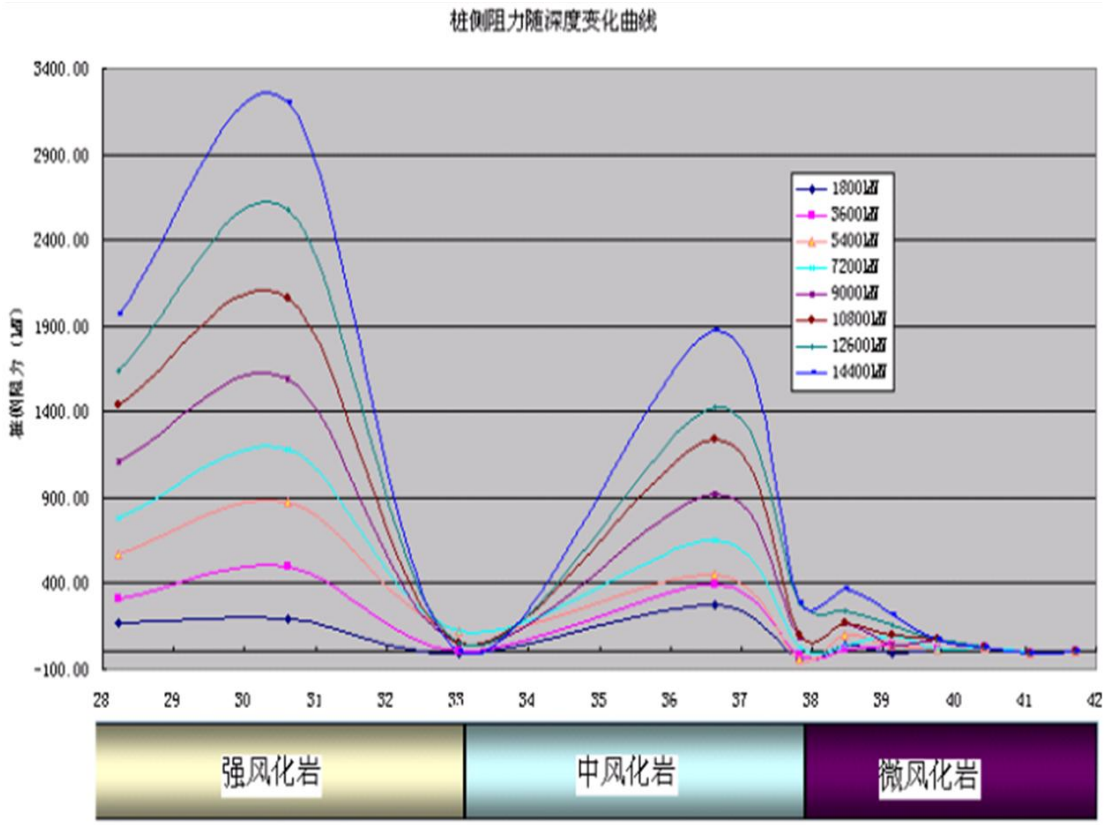


图 6 各级荷载作用下桩侧土阻力发挥值沿深度分布结果

Fig. 6 Distribution Results of Pile Side Soil Resistance Exerted Value along Depth under Various Loads

4 结论

本文通过试验的方法，验证了嵌岩桩在不同嵌岩深度的各地层中的应变分布规律，以及各地层中的桩侧摩阻力分布与荷载的关系，得出了以下结论：

（1）从 Q-S 曲线和 s-lgt 可以看出，在最大试验荷载 14400kN 作用下，桩顶最大位移仅 11.42mm，在各级荷载作用时间过程中，桩顶沉降几乎不变，即使在 2 倍设计荷载作用 72 小时内，桩顶沉降变化也没有超过 1mm，表明具有嵌岩桩良好的抗压承载力和抵抗变形的能力，桩的轴向抗压承载力大于 14400kN，满足设计要求。

（2）由桩身应变随深度的变化曲线（图 5）可知，当桩身进入微风化岩层后，应变迅速衰减，进入微风化岩 2.0m 后桩身应变接近于零。这表明，桩的应变传递深度仅能进入微风化岩约 2m 处。因此，只要桩的嵌岩（微风化岩）深度大于 2m，即可满足桩的轴向抗压承载力要求，过多的嵌岩深度造成浪费。

（3）桩的桩侧阻力的非线性分布现象明显，在试验荷载作用下表现为双峰曲线。侧阻力曲线峰值，一般上部侧阻力峰值大于下端侧阻力峰值，但当桩顶荷载继续增大时，侧阻力的最大峰值有向下转移的趋势。本试验的第一个峰值出现在强风化岩层底部以上 1m 左右处，第二个峰值出现在中风化岩层底部以上 1m 左右处。当桩进入微风化岩 2.0m 后，桩侧阻力几乎为零，也证明了桩端阻力几乎为零。

（4）由于试验桩为永久性工程桩，试验时必须避开外露钢筋，试验荷载只能作用在外部钢管桩上，通过钢管桩与内部混凝土的粘结作用实现力的传递，一定程度上影响了桩侧摩阻力的分布研究，因此本试验研究的结果具有一定的局限性。

嵌岩桩的嵌岩深度对工程的工期以及造价影响很大，尤其深入微风化硬质岩的桩基，在采用冲击钻成孔工艺时，每天的平均进尺甚至少于 20cm[4]，所以嵌岩桩的嵌岩深度可能严重的影响工程的进度和造价。根据水运工程桩基设计规范，一般嵌岩桩设计的嵌岩深度不小于 3 倍桩径，本文通过以上的研究，进入微风化岩 2.0m 后，以下部分桩身受力接近于零，也就是过多的嵌岩深度造成浪费，因此，可以根据桩基的受力情况进行适当的优化。

参考文献

[1]中交第三航务工程勘察设计院有限公司.水运工程桩基设计规范:JTS147-7-2022 [S].人民交通出版社股份有限公司.

[2]中交四航工程研究院有限公司，广州港湾工程质量检测有限公司.水运工程基桩试验检测技术规范:JTS240-2020 [S].人民交通出版社股份有限公司.

[3]王友元，苏林王．钢管桩与混凝土芯粘结力及抗弯应力传递模拟试验研究[J]．水运工程，2005(9):3-6.

[4]王标.桩基穿越厚砂层和厚中风化花岗岩层施工技术[J].中国科技博览，2014(29):1.

作者简介：

陈华林（1978-），男，学士，高级工程师，中交水运规划设计院有限公司从事港口工程设计及咨询工作，电话：13510248418 E-mail：19607400@qq.com

船闸浮式系船柱升级改造设计与应用

李超军[1]，周钦[2]，叶雅思[1]，陈虹宇[2]，陈杨柳二[2]

（1.湖南省交通规划勘察设计院有限公司，湖南 长沙 410200；

2.湖南省水运建设投资集团有限公司，湖南 长沙 410011）

摘要:随着船舶大型化的推进，部分船闸开始无法较好地满足过闸船舶安全系缆。本文以株洲一线船闸为例，在浮式系船柱井槽不变的前提下，对浮式系船柱进行升级改造设计。通过改变浮式系船柱结构型式，优化系缆高度、浮筒直径以及吃水深度等关键参数，将系缆力提升至100KN，双层系缆高度分别提高至1900mm和3700mm；经过有限元计算分析验证，系船架结构的强度、刚度均满足要求。工程实践表明，改造后的浮式系船柱边界参数与井槽尺寸匹配合理，投产后运行可靠，船舶过闸系缆解缆效果良好，可为其它船闸工程浮式系船柱的升级改造设计提供参考。

关键词：船闸浮式系船柱；升级改造；系缆高度；浮筒优化；有限元计算

0 引言

随着祖国水运事业的发展，国内众多航道扩能升级进程迅猛，带来大量的新改扩船闸建设，许多枢纽扩建二线船闸后，在通航水位满足船舶过闸的前提下，仍可统一调度一线船闸缓解通航压力。但因为船舶大型化的缘故，一线船闸浮式系船柱往往无法较好地适应过闸船舶，当大型船舶系缆力及系缆高度超出当前船闸浮式系船柱的设计极限，将威胁到船舶停泊安全及闸室结构的安全[1]。近年来，有学者建立了船闸浮式系船柱的受荷响应力学模型，并且对船闸浮式系船柱系缆安全监测方法进行了研究[2-3]，提出了一种新型浮式系船柱结构型式，利用连杆铰接代替了传统的三角架支撑，提出了可解决系缆高度不足的多层铰接式浮式系船柱[4-5]。但是对于扩建更高级别船闸时如何对相邻老旧船闸浮式系船柱进行改造升级以适应运营需求的问题并未得到妥善解决。因此，本文重点研究如何在已建船闸浮式系船柱井不变，井槽空间有限的条件下对浮式系船柱进行升级改造，提升已建船闸对船舶大型化的运营适应能力。

1 改造背景

2019年，湘江二期工程大源渡二线船闸建成通航，湘江衡阳蒸水河口至岳阳城陵矶河段航道由Ⅲ级航道全面提升至Ⅱ级航道。随着航道等级的提升，湘江大源渡航电枢纽至城陵矶河段往来船舶日渐增长，为了提高整个湘江二期工程河段的船舶通过能力，二线船闸过闸拥堵时，在通航水位满足船舶过闸的前提下，可通过一线船闸缓解通航压力，提高船闸运行效率。

通过统一调度，株洲一线船闸、大源渡一线船闸丰水期能实现2000吨级船舶通航，但随着船舶大型化的推进，其浮式系船柱的系缆力及系缆高度已无法较好地适应2000吨级船舶安全系缆，亟待改造升级。列举湘江二期工程航道内4座船闸浮式系船柱的主要特征参数如表1所示。

表1 船闸浮式系船柱主要特征参数

船闸	船闸级别	系缆力(kg)	浮筒直径(mm)	吃水深度(mm)	总重量(kg)	系缆层数(层)	系缆高度(mm)	建成时间(年)
株洲一线船闸	Ⅲ级	50KN	1040	2890	2434	二层	948/2790	2004
株洲二线船闸	Ⅱ级	100KN	1350	2745	3943	二层	1680/3480	2018
大源渡一线船闸	Ⅲ级	50KN	1040	2460	2350	二层	1378/3220	1998
大源渡二线船闸	Ⅱ级	100KN	1350	2745	3943	二层	1680/3480	2019

以株洲一线船闸为例，浮式系船柱改造前设计系缆力50KN，已无法适应大型船舶过闸，因此需要改造提升系缆力至100KN，达到其二线船闸系缆力设计水平；其两层系缆高度分别为948mm和2790mm，下层系缆柱仅高出水面948mm，据该船闸运营人员反馈：船闸运行过程中，船舶满载系缆时下层系缆柱经常位于干舷以下，船员向下系缆困难且存在安全隐患，因此亟需提高系缆高度至更方便船员系缆的高度以确保安全系缆。

本文拟将结合船闸船舶大型化对系缆力和系缆高度的需求，从结构型式选择、关键参数拟定及结构计算分析等多个方面对株洲一线船闸浮式系船柱进行升级改造设计分析。

2 改造设计

2.1 结构型式选择

船闸浮式系船柱结构型式多样，通常可根据船闸通航需求选择其结构类型。本次改造的浮式系船柱井不作变动，井槽断面尺寸有限，浮筒直径无法有效增大。改造前的浮式系船柱采用的双层滚轮固接式浮式系船柱（见图 1），其上层系船架与浮筒采用刚性固接，该结构型式浮式系船柱在浮筒直径无法有效增大的情况下，系缆力提升有限，且上层系船架不便于调节系缆高度，不易实现改造需求。

双层滚轮铰接式浮式系船柱结构型式（见图 2），其浮筒与系船架、系船架与系船架之间均通过铰接柔性联结，系船架之间通过连杆支撑，法兰盘锁定，连杆与法兰盘之间留有一定地径向活动空间，浮筒和连杆主要提供竖向承载作用。在浮筒直径无法有效增大的情况下，通过调节系船架的规格尺寸可提升系缆力，通过调节浮筒与系船架、系船架与系船架之间的连杆高度可任意调整系缆高度[4]。因此，本次改造拟采用双层滚轮铰接式浮式系船柱。

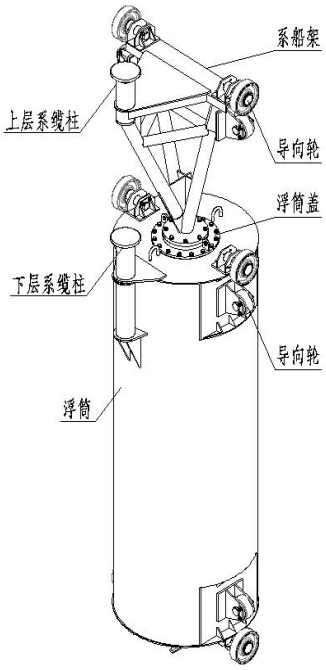


图 1 改造前浮式系船柱结构型式

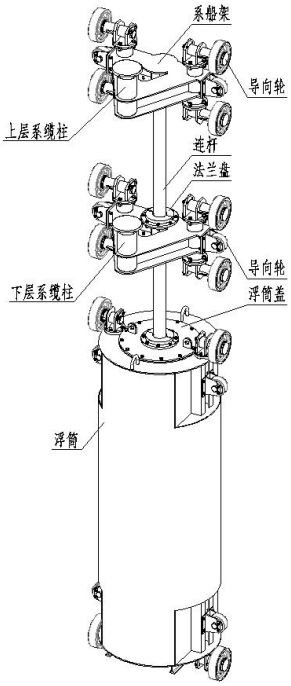


图 2 改造后浮式系船柱结构型式

2.2 关键参数设计

2.2.1 系缆高度优化

本次改造的核心之一是提高系缆高度，改善过闸船舶系缆条件。浮式系船柱系缆高度应以能满足船员站在甲板上较方便地系缆，同时适用范围尽可能更广为原则，综合考虑二线船闸空载干舷高度设计值为 2.2m，初步拟定下层系缆高度为 1900mm，上层系缆高度 3700mm。此时，总能满足系缆高度在干舷之上，杜绝了向下系缆的可能，且大多数时候处于能较方便地站立系缆解缆。

2.2.2 浮筒尺寸优化

改造前浮式系船柱浮筒直径 1040mm，浮筒高度 3468mm，吃水深度 2890mm。本次改造浮式系船柱井不变，因此浮筒直径只能在满足井槽尺寸要求的前提下微调。根据浮式系船柱井槽断面图（见图 3）可知，浮式系船柱井内净空最大内切圆直径 1146.9㎜，考虑到导向轮与导轨间距，浮式系船柱应适当地预留活动空间，经初步测算，拟将浮式系船柱浮筒直径由 1040mm 增大至 1080mm。

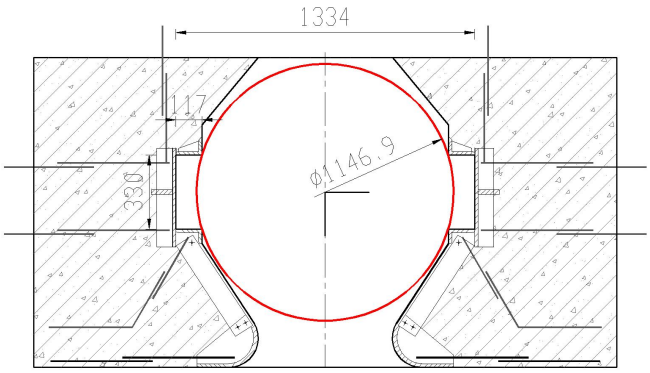


图 3 浮式系船柱井槽断面图

改造前浮式系船柱下层系船柱布置在浮筒顶部，浮筒除了提供浮力外同时需要支承系缆力，因此对结构强度要求较高。改造后浮式系船柱浮筒仅提供浮力和支撑系船架重力，浮筒壁对结构强度的要求大幅降低。因此，将浮筒面板厚度由原来的 8mm 优化至 6mm，减轻结构重量。

2.2.3 吃水深度计算

双层滚轮铰接式浮式系船柱主要包括浮筒、浮筒盖、系船架、横向滚轮装置、纵向滚轮装置、连杆、法兰盘等构件。运用 SolidWorks 创建浮式系船柱 BIM 模型，并提取结构质量等关键属性值[6]（见图 4），改造后的浮式系船柱质量为 2392.98kg，由此计算得出吃水深度 2700mm，浮筒高度可由 3468mm 降低至 3000mm。

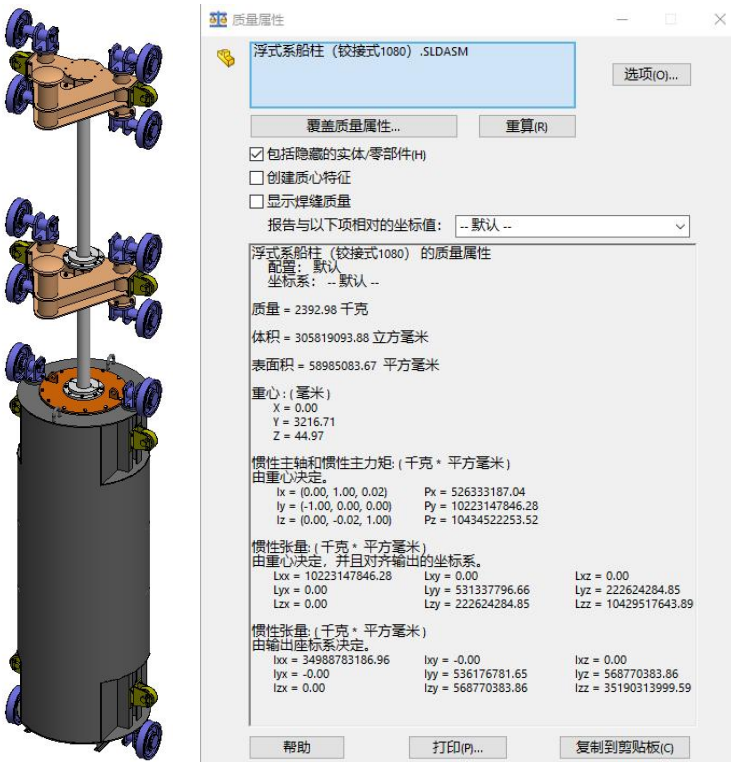


图 4 浮式系船柱 BIM 模型及质量属性

3 结构仿真计算

3.1 计算工况

本次改造采用的铰接式浮式系船柱，其浮筒与系船架通过连杆和法兰盘铰接柔性联结，仅提供浮力，受系缆力的影响可忽略不计，因此本文仅对系船架进行有限元计算分析。计算工况 1：系缆力 100KN，系缆角度 90°；计算工况 2：系缆力 100KN，系缆角度 140°。

3.2 有限元模型建立

基于 SolidWorks 创建系船架三维模型，在进行必要的模型简化后得到系船架几何模型。运用 SolidWorks Simulation 创建算例，添加材料属性（系船架主体材料均采用 Q355B，弹性模量 210GPa，泊松比 0.3，密度 7850kg/m^3），施加约束（下翼缘连杆支撑区域竖直方向约束位移为 0，2 个纵向滚轮座板顺水流方向约束位移为 0，4 个横向滚轮座板垂直水流方向约束位移为 0），定义载荷（重力、系缆力 100KN），然后进行网格划分（采用实体网格划分，单元大小 10mm，创建节点 409708 个、单元 246354 个），建立有限元计算模型如图 5 所示。

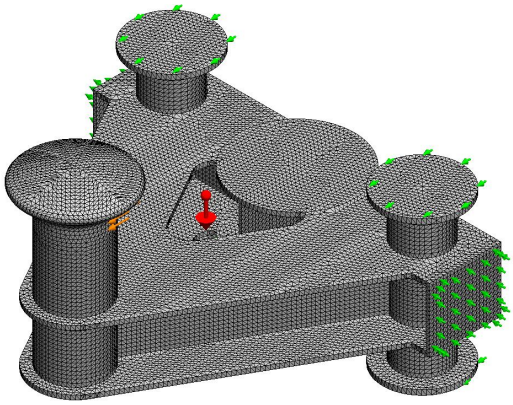
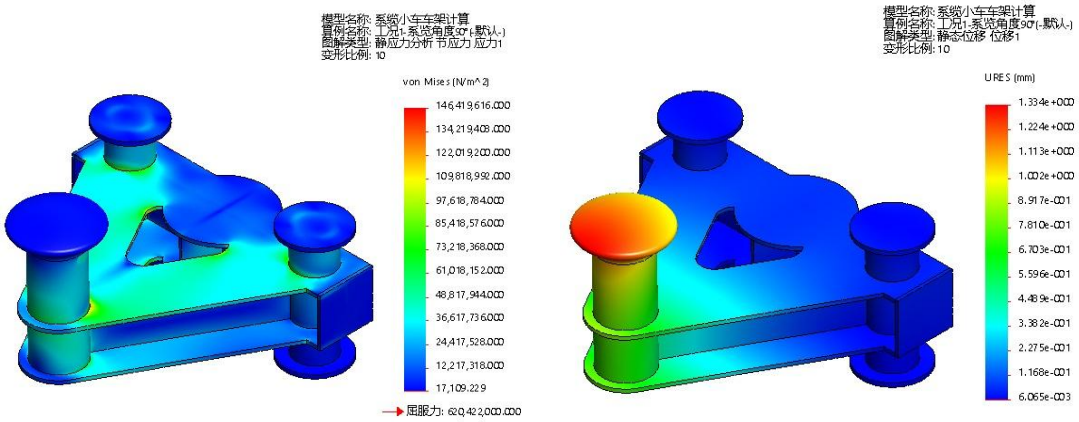


图 5 浮式系船柱系船架有限元模型

3.3 计算分析

3.3.1 计算结果

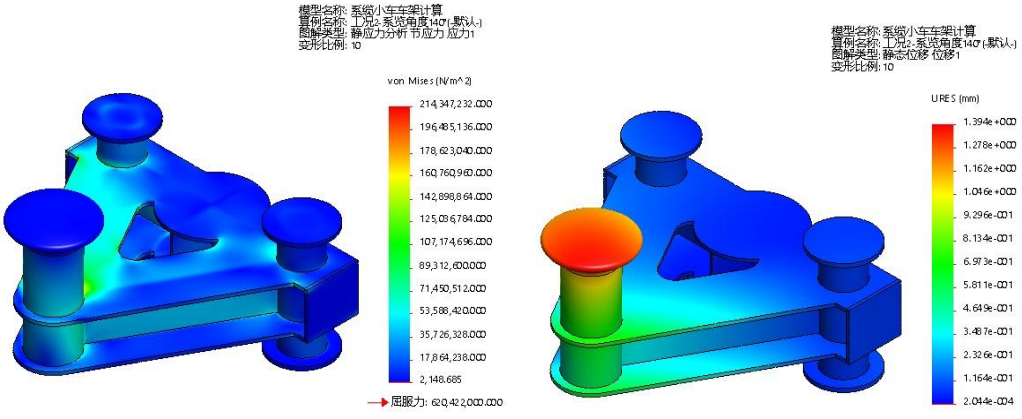
工况 1 系缆力 100KN，系缆角 90°，此工况下运行分析系船架有限元模型得到计算结果（见图 6）。



a）应力结果　　b）位移结果

图 6 工况 1 系船架有限元计算云图

工况 2 系缆力 100KN，系缆角 140°，此工况下运行分析系船架有限元模型得到计算结果（见图 7）。



a）应力结果　　b）位移结果

图 7 工况 2 系船架有限元计算云图

3.3.2 结果分析

由图 6 可知，工况 1 运行时，系船架最大应力为 146.4MPa，最大位移为 1.33mm，均满足设计要求；由图 7 可知，工况 2 运行时，系船架最大应力为 214.3MPa，最大位移为 1.39mm，均满足设计要求。由应力、位移云图可知，两种工况的应力、位移分布情况一致，其中最大应力均分布在系缆柱与上翼缘板交界位置，且存在较明显的应力集中现象，最大位移均分布在系缆柱上部。浮式系船柱系缆运行过程中，最不利受力工况下，系船缆绳套在系船柱上端与系船帽交接位置，该处变形最大，计算分布情况与实际运行情况相符。

4 边界参数配合校验

4.1 井槽横断面参数配合

为确保浮式系船柱安装就位后在井槽内运转灵活，无卡阻现象、“碍航”问题及“碰壁”情况，浮式系船柱结构与井内应适当地预留活动空间。总结浮式系船柱相关尺寸及井槽尺寸如表 2 所示。

表 2 浮式系船柱与井槽尺寸配合校核表

校核项目	浮式系船柱尺寸(mm)	井槽尺寸(mm)	是否满足要求
横向滚轮宽度	318	330	满足
横向尺度	1324	1334	满足
纵向尺度	1299	1380	满足
中轴线至闸室边距	759	780	满足
浮筒直径	1080	1146.9	满足

浮式系船柱横向导轮直径与改造前保持一致，取值 318mm，导槽横向宽度 330mm，单边预留 6mm 活动间隙；浮式系船柱结构总体横向尺度 1324mm，导槽横向尺度 1334mm，单边预留 5mm 活动间隙；浮式系船柱结构中轴线至闸室边距 759mm，导槽中轴线至闸室边距 780mm，系船柱无“碍航”问题；浮式系船柱浮筒直径取值 1080mm，浮式系船柱井内净空最大内切圆直径 1146.9mm，四周均预留超过 33mm 活动间隙，远大于导向轮与导槽间距，浮筒不存在“碰壁”情况。浮式系船柱结构与井槽断面布置如图 8 所示，结构尺寸与井槽尺寸配合全部合理，满足设计要求。

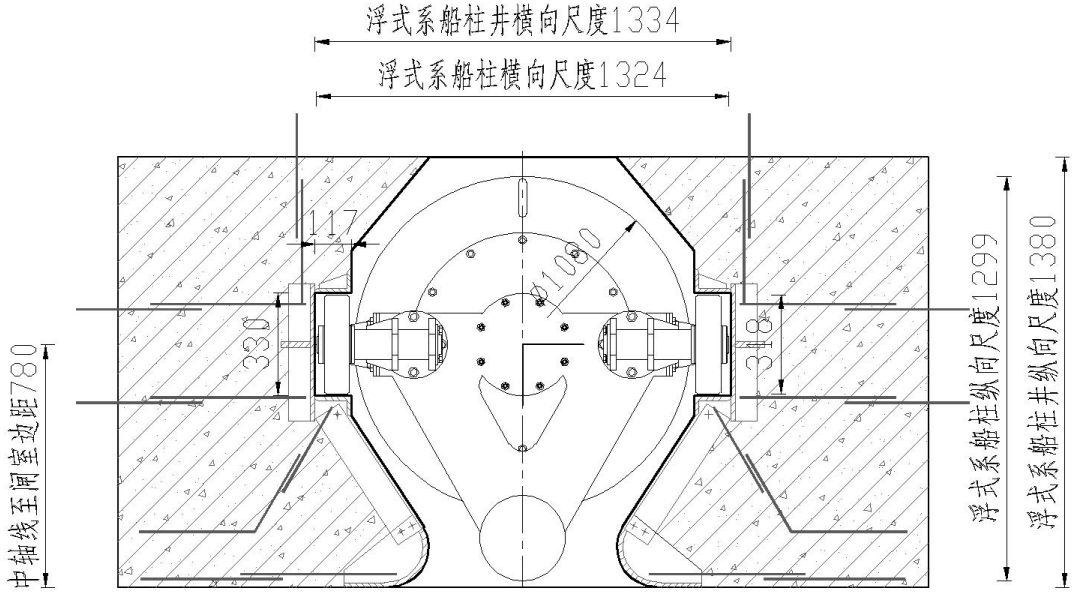


图 8 改造后的浮式系船柱井断面布置图

4.2 井槽纵断面参数配合

最高通航水位及最低通航水位运行工况下，浮式系船柱系缆高度与闸室顶底高程及通航水位关系如图 9 所示，可以看出不会出现“触顶”与“搁浅”现象，系缆高度取值合理，满足设计要求。

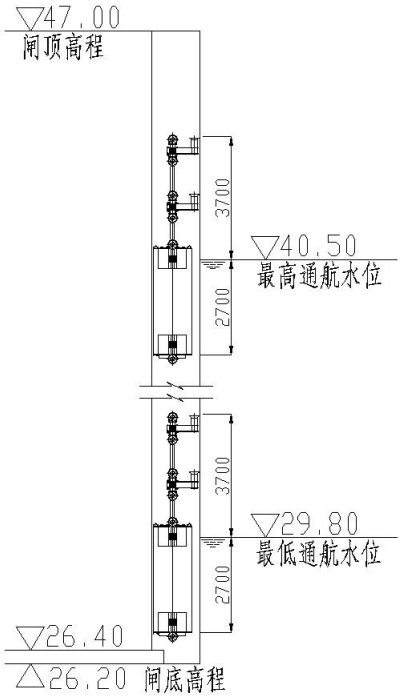


图 9 浮式系船柱系缆高度与闸室高程及通航水位关系示意图

5 工程实践应用

为了能适用更大吨位船舶过闸，改善系缆解缆条件，在维持原有浮式系船柱井导槽和埋件不变的基础上，采用双层铰接式结构型式，对株洲一线船闸浮式系船柱进行升级改造，将原有浮式系船柱全部更新换代，改造设计成果已于 2022 年成功投产应用（见图 10）。浮式系船柱改造投入运营后，运行可靠，船舶过闸系缆解缆效果良好。

a）改造前　　b）改造后

图 10 浮式系船柱改造前后实景对比

6 结论

1）船闸浮式系船柱井槽不变的情况下进行浮式系船柱升级改造，可采用双层滚轮铰接式浮式系船柱，通过调节系船架的规格尺寸将系缆力由 50KN 提升至 100KN；通过调节联结浮筒与系船架、系船架与系船架的连杆长度将双层系缆高度由 948mm 和 2790mm 分别提高至 1900mm 和 3700mm，可较好地满足大型船舶过闸的安全系缆要求。

2）针对系缆力 100KN，系缆角分别 90°、140°的两种工况进行有限元仿真分析，对改造后的浮式系船柱系船架进行计算校验，计算结果表明应力、位移均在容许值范围内，结构改造满足设计要求。

3）改造后的浮式系船柱结构尺寸与井槽尺寸配合全部合理，浮式系船柱安装就位后在井槽内无卡阻现象、“碍航”问题及“碰壁”情况；且最高通航水位及最低通航水位运行工况下，浮式系船柱均不会出现“触顶”与“搁浅”现象。

4）株洲一线船闸浮式系船柱的升级改造已于 2022 年完成，新的浮式系船柱投入运营后，运行可靠，大型船舶过闸系缆解缆效果良好，可为其它船闸工程浮式系船柱的升级改造设计提供参考。

参考文献

[1]张义军,梅竞艳.船舶大型化条件下的船闸管理对策[J].中国水运,2015(07):26-27.
[2]刘明维,李明龙,吴林键等.船闸浮式系船柱受荷响应力学模型[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2022,41(05):127-132.
[3]刘明维,王钟浩,吴林键等.船闸浮式系船柱系缆安全监测方法研究[J].水运工程,2023(03):85-91.
[4]李超军,叶雅思,李金朋.基于 BIM 技术的船闸浮式系船柱结构设计[J].水运工程,2023(09):171-176+210.
[5]张虎,尹斌勇.船闸新型浮式系船柱的设计与应用[J].人民长江,2019,50(09):137-140.
[6]李超军,叶雅思,唐洁.BIM 技术在船闸金属结构全生命周期中的应用[J].水运工程,2019(03):159-164.

作者简介

李超军（1992—），男，硕士，工程师，从事水运工程设计和 BIM 技术研究
联系方式：邮箱 1134420118@qq.com　手机 15211091162

不同孔隙率对高应力水平下混凝土强度的影响研究

彭哲，秦倩

（湖南省水运建设投资集团有限公司，湖南 长沙 410011）

摘要：本文在保证骨料组分相似的基础上，通过添加外加剂配置了三种不同孔隙率的混凝土，并对其开展了高应力水平下的三轴压缩试验，研究了混凝土应力—应变关系和强度变化规律，探讨了在不同围压下孔隙率作用的显著程度，并建立了考虑 fck 的强度预测模型以及临界平均应力预测模型。研究结果表明：在低围压下，孔隙率越小，产生同一轴向应变时所需的偏应力明显更大；孔隙率一定时，饱和度越大，极限应力越小，而且其受平均应力影响的程度逐渐减弱；随着孔隙率的增大，强度受饱和度变化的敏感性也在增强；利用本文提出的模型，可以有效预测不同平均应力下的混凝土强度，而且最大预测误差仅为 8.6%。

关键词：混凝土；三轴压缩试验；强度；孔隙率；预测模型

桥梁作为交通线路的咽喉要道，对于保证交通的安全运营起着重要作用，到 2017 年底，仅公路领域，桥梁的总数已经达到 83 万座以上，其中混凝土桥梁占 90%以上[1]。大体积混凝土在长大桥梁中的应用日益广泛，而且主要用于桥梁等重要结构的承载部位。即使不考虑温度应力，大体积混凝土中的应力水平也可以达到很高，若其值接近或超过混凝土强度或极限应力时，混凝土结构将存在巨大安全隐患。因此，了解高应力水平下混凝土的强度成为了保障混凝土结构安全的关键之一[2]。

在混凝土三轴压缩试验中，通常可以采用一系列标准来定义混凝土的极限状态，例如可以将应力~应变曲线趋于水平时作为极限状态考虑，或者将试样从体积收缩到体积膨胀过渡时作为极限状态考虑，混凝土的极限状态往往与骨料组分、水灰比、外加剂、湿度等因素有关。Wang[3]对大体积混凝土进行了三轴静力和动力试验，发现相比干燥混凝土，饱和状态混凝土抵抗变形的能力明显更低，极限状态更容易达到，这归因于孔隙水粘稠度的变化。

Forquin[4]和 Piotrowska[5]评估了孔隙游离水对混凝土在静态和动态荷载作用下受力性能的影响，发现饱和样品的强度比干燥样品平均少 23%。Farhad[6]开展了不同尺寸的高强混凝土三轴压缩试验，通过对试验数据进行最小二乘拟合而得到高强混凝土的破坏面。Setunge[7]指出添加硅粉后超高强度混凝土的强度值明显增加，并采用双参数模型对受侧限混凝土的破坏包络进行表述。国内方面，李青松和徐进[8]对混凝土进行三轴压缩试验，发现混凝土的破坏存在一个极限围压值，当围压超过该值时，混凝土的变形由应变软化向应变硬化过渡。杨海峰[9]研究了围压、再生粗骨料成分对高强混凝土的影响，发现再生骨料混凝土的破坏形态较普通混凝土有特殊性，其一般的破坏形态为斜面剪切破坏，并提出了高强混凝土的应力—应变曲线本构方程。闰东明[10]对处于三向应力状态下混凝土的强度和变形进行了研究，提出了基于应力的混凝土结构强度和变形经验公式，可为混凝土的工程应用提供指导。阎培渝[11]研究了养护条件对高强混凝土强度的影响，对比了不同温度下混凝土抗压强度的变化。

上述研究从应力状态、骨料成分、养护条件等角度探讨了混凝土强度或极限应力的影响因素，除此之外，孔隙率也是影响混凝土强度的重要指标，混凝土的孔隙率由连通孔隙、半连通孔隙以及封闭孔隙 3 部分组成，连通孔隙和半连通孔隙由于可以使水通过、排出或储存，所以称为有效孔隙；而封闭孔隙由于是完全闭塞，水流不能进入其中，相应的称为无效孔隙[12]，而有效孔隙和无效孔隙各自对混凝土的影响研究鲜有开展。本文将从混凝土的孔隙率角度出发，通过对三种不同类型的混凝土开展三轴压缩试验，研究混凝土应力—应变关系和强度的变化规律，探讨在不同围压下有效孔隙和无效孔隙各自作用的显著程度，并建立体现孔隙率影响的强度预测模型，可为工程中计算混凝土的强度提供参考。

1 试验过程

1.1 试验材料

试验用的三种混凝土均为自搅拌生成，表 1 列出了试验用三种混凝土的配比和主要参数。其中 OC（普通混凝土）大致按照普通的 C35 混凝土要求进行配置，立方体抗压强度标准值 f_{ck} 为 22.6MPa，另外两种混凝土为 LPC（低性能混凝土）和 HPC（高性能混凝土），为了有针对性地体现孔隙率和饱和度对混凝土性能的影响，三种混凝土的骨料组分尽可能保持相同。对于 LPC，加入了引气剂以增加含气量和孔隙率，其 f_{ck} 最低，约 18.2MPa；对于 HPC，水灰比被调低（0.33）以增加强度，加入了增塑剂以改善和易性，同时加入了硅粉来填充孔隙，降低孔隙率，这使得 HPC 的 f_{ck} 达到了约 60.3MPa。

表 1 试验用混凝土的配比和主要参数（每 1m³）

Table 1 Concrete mix and main properties of the studied concretes(per m³)

填料编号	LPC	OC	HPC
砾石（kg）	1018	1014	1015
砂（kg）	828	828	796
水（kg）	170	170	140
水泥（kg）	260	260	420
引气剂（kg）	0.13	—	—
硅粉（kg）	—	—	43
增塑剂（kg）	—	—	4
密度（kg/m³）	2276	2272	2418
立方体抗压强度标准值（MPa）	18.2	22.6	60.3
有效孔隙率（%，饱水法）	12.1	11.9	8.3
总孔隙率（%，压汞法）	13.4	12.7	8.8
水灰比	0.65	0.65	0.33

1.2 试样制备及加载

参照《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》（JTE E30-2005）[13]，在自制的正六面体（150mm×150mm×150mm）模具中浇筑混凝土试块，试块放入养护室中 24 小时后拆除模具，继续养护 28 天，进行轴心抗压强度标准值测试后，在混凝土块上进行钻芯取样作为进行三轴压缩试验的试样，试样的尺寸为直径 150mm、高度 300mm，再将端面进行磨平处理。

本文对三种类型的混凝土均设置了两个饱和度进行研究，即 12%和 100%，其中干燥样直接在烘干机中烘干 24 小时，经测定其饱和度大致为 12%，饱和试样在蒸馏水中浸泡 7 昼夜，直至其质量不再明显变化，认为其接近 100%饱和度，并通过式（1）进行验算[14]：

$$S_{\mathrm{r}} = 1 - \frac{m_{\mathrm{sat}} - m_{\mathrm{sr}}}{m_{\mathrm{w}}} \qquad (1)$$

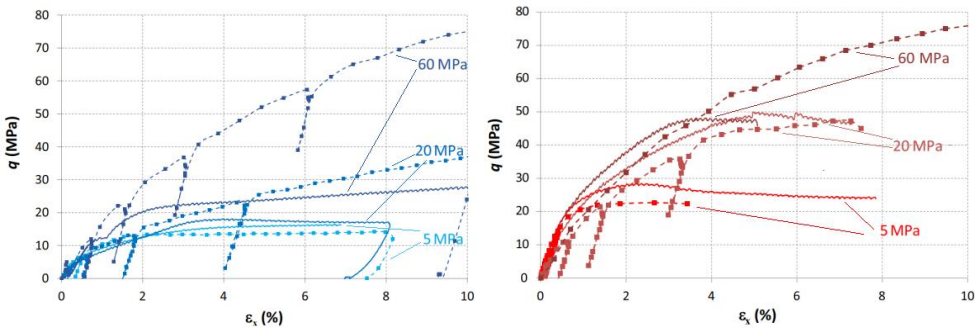
式中：m_{sat}—饱和试样质量；m_{sr}—预计达到指定饱和度时试样的质量；m_w—孔隙水质量。

此外，对 OC 还设置了另外三个中间饱和度，分别为 44%、78%、93%，为达到上述中间饱和度，参照文献[14]的做法，将饱和混凝土试样被放入湿度控制密封容器，将相对湿度设置为 44%、78%、93%，温度控制为 20℃，期间不断通入 CO_2，待试件质量基本不变时，认为其接近指定的饱和度，同样采用式（1）验算。

试验仪器为微机控制电液伺服岩石三轴试验机，最大加载围压为 100MPa，最大加载轴力为 9 MN。所有试验均按同一加载路径进行加载，即按 0.17MPa/s 的速率施加围压，达到指定围压后，在轴向施加轴压，位移速率控制在 20μm/s 左右，在试验过程中测定试样的轴向应变ε_x。

2 偏压下力学行为

在本文中，定义ε_x为轴向应变，σ_x为轴向应力，p 为围压，平均应力σ_m =(σ_x + 2p) / 3，轴向偏应力 q=σ_x-p，简称 S_r≈12%的试样为干燥样。图 1 显示了 5MPa、20MPa、60MPa 围压下 HPC 和 LPC 试样轴向偏应力 q 与轴向应变ε_x的关系，其中虚线+方形标志为干燥样关系曲线，实线为饱和样（S_r≈100%）关系曲线。



(a)LPC **(b)HPC**

图 1 不同围压下的偏应力~轴向应变关系

Fig.1 Relationship of q~εx at various confining pressures

可以看出关系曲线可以分为 A、B 两类，A 类曲线即偏应力到达一定值后趋于稳定，饱和样主要为此类曲线；B 类曲线即偏应力持续增加，干燥样主要为此类曲线。可以看出，在低围压下，同一轴向应变下 HPC 的偏应力明显更高，抵抗变形的能力更佳，但在高围压下的两者的偏应力比较接近。事实上，对于 HPC 而言，在高围压下孔隙率下降、密度增加，水泥的胶凝作用逐渐削弱，力学性能逐渐被粗骨料所控制，由于 HPC 与 LPC 的粗骨料组分相似，因此在高围压下两者的偏应力或强度十分接近。

图 2 显示了围压为 40MPa 时三种混凝土偏应力 q 与轴向应变ε_x的关系。由于三种混凝土孔隙率的大小排序为：LPC＞OC＞HPC，可以看出孔隙率越大，饱和度对力学性能的影响越明显。对于 LPC 和 OC 的饱和样，q 的最大值约为 200MPa，这可能是由于 LPC 和 OC 两者的有效孔隙率比较接近所致，而对于 HPC 的饱和样，q 的最大值约为 500MPa。而对于干燥样，三种混凝土的关系曲线比较类似，偏应力持续上升，但在同一轴向应变下，HPC 的 q 并不是最大，这可能是由饱和度轻微的差异所致，由于对三种混凝土实际上采用了相同的养护条件，HPC 更加致密，渗透性偏低，其干燥样在烘干后的饱和度可能略高。

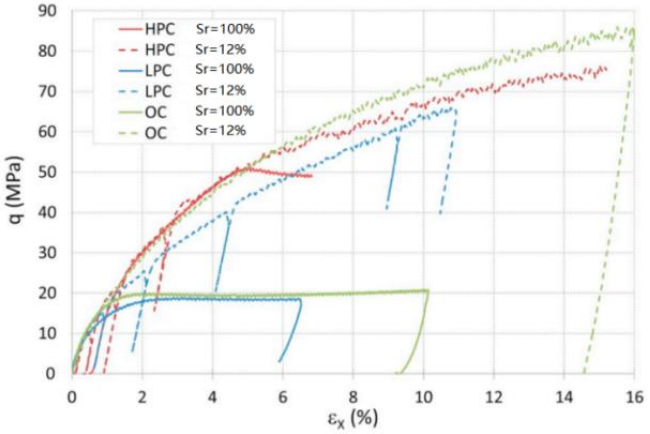
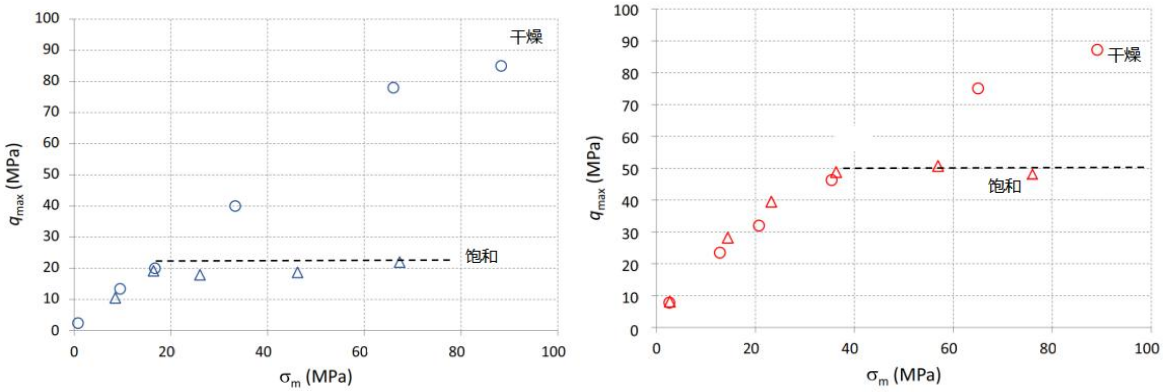


图 2 围压为 40MPa 时三种混凝土的偏应力~轴向应变关系

Fig.2 Relationship of q~εx for the three concretes under a confining pressure of 40 MPa

本文对于 A 类曲线，将曲线趋于水平时的偏应力作为强度或极限应力 q_{max} 考虑，而对于 B 类曲线，将试样从体积收缩到体积膨胀过渡时对应的偏应力作为强度或极限应力 q_{max} 考虑。图 3 分别为 LPC 和 HPC 在两种饱和度下强度 q_{max} 与平均应力σ_m 的关系。可以看出，在平均应力较低时饱和样和干燥样的数据点基本重合，但超过某一平均应力的临界值σ_{cr} 后，饱和样的 q_{max} 几乎不再随着σ_m 的增加而上升。HPC、LPC 的σ_{cr} 分别约为 39.7MPa 和 18.9MPa，可以看出临界平均应力σ_{cr} 是随着孔隙率的增大而减小的。



(a) LPC **(b)HPC**

图 3 不同平均应力下的强度

Fig.3 Strength at different mean stress

图 4 显示了 OC 在五种饱和度下强度 q_{max} 与平均应力σ_m 的关系。总体来看，当孔隙率一定时，饱和度越大，q_{max} 越小；q_{max} 与σ_m 成正比，但饱和度越大，q_{max} 随σ_m 增加而上升的趋势越弱。与 HPC 和 LPC 相比，OC 也存在类似的临界平均应力。

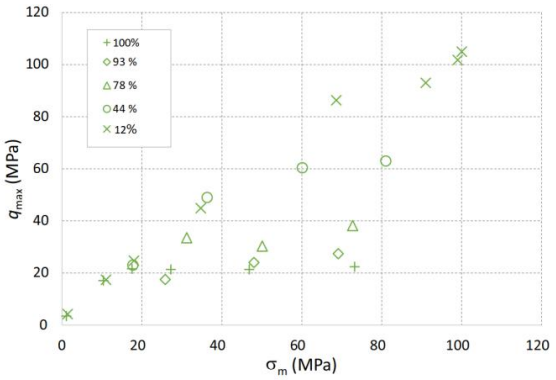


图 4 OC 在五种饱和度下的强度

Fig.4 Strength for OC at five saturation states

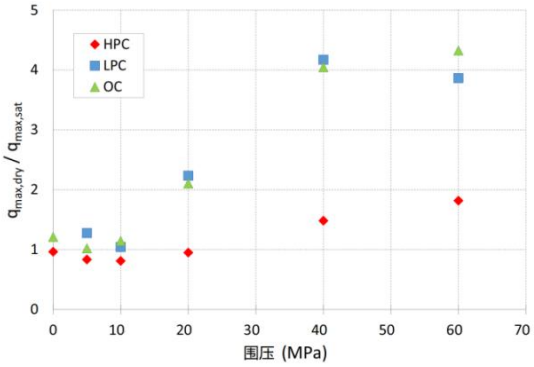


图 5 qmax,dry/qmax,sat 与围压的关系

Fig.5 The relationship between qmax,dry/qmax,sat and confining pressure

图 5 显示了干燥样 $q_{max,dry}$ 与饱和样 $q_{max,sat}$ 的比值与围压的关系。可以看出，在各个围压下，随着饱和度由 12%向 100%变化，HPC 强度的扰动较小，但对 OC 和 LPC，扰动明显较大，$q_{max,dry}/q_{max,sat}$ 值达到 HPC 该值的 2 倍以上，这说明随着孔隙率的增大，强度受饱和度变化的敏感性也在增强。

3 强度预测

目前对于混凝土强度的描述准则包括线性模型（M-C 模型、D-P 模型等）、抛物线模型和幂函数模型。在较低的平均应力下，线性模型和抛物线模型往往会高估混凝土的强度，本文的模型既要能适应高应力水平，也要能适应低应力水平，从而具备普适性，因此没有选择线性模型和抛物线模型。本文采用幂函数模型来对试验结果进行描述，其基本形式如下：

$$q_{\max} = a(b + \sigma_{\mathrm{m}})^{\alpha} \tag{2}$$

该公式还可以被写成如下形式：

$$q_{\max} = q_1 (\frac{\sigma_0 + \sigma_{\mathrm{m}}}{q_1})^{\alpha} \tag{3}$$

式中：q_1—参考剪应力；α—对数图上的直线斜率；σ_0—参考平均应力。

q_1 和α主要受完全致密时混凝土的骨料组分影响，由于本试验中三种混凝土的组分类似，因此假设三种混凝土的 q_1 和α是相同的；而σ_0 可考虑为无侧限条件下混凝土的某一强度指标，本文采用立方体抗压强度标准值 f_{ck}。图 6 为采用式（3）对本文干样试验数据的拟合，其中拟合参数为 q_1=98MPa，α=0.81，可以看出尽管这三种混凝土的力学性能差异很大，但总体的 q_{max}~(f_{ck}+σ_m)关系与幂函数十分接近，而且假设三种混凝土的 q_1 和α相同也是可靠的。

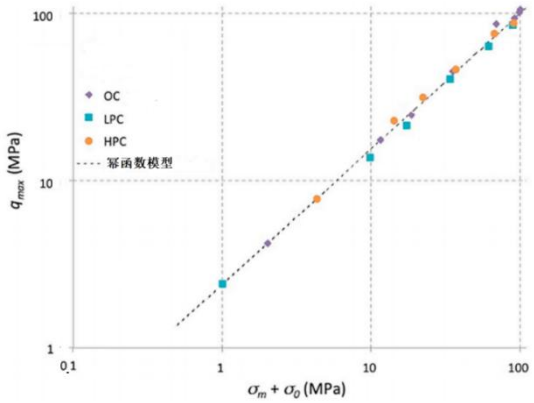


图 6 采用式（3）对最大偏应力的拟合

Fig.6 Regression analysis on qmax using fomula(3)

在混凝土立方体抗压强度试验中，围压为 0，此时混凝土的 q_{max} 与轴心抗压强度标准值 f_{ck} 接近，而平均应力σ_m 则等于 f_{ck} 的三分之一，在式（3）中用 f_{ck} 和（f_{ck}/3）分别替换 q_{max} 和σ_m，可以推导得出：

$$\sigma_0 = 98(\frac{f_{ck}}{98})^{1.23} - \frac{f_{ck}}{3} \quad (4)$$

将式（3）和式（4）联立，可以依赖f_{ck}的破坏准则或极限应力预测模型：

$$q_{max} = 98(\frac{\sigma_m - f_{ck}/3}{98} + \left(\frac{f_{ck}}{98}\right)^{1.23})^{0.81} \quad (5)$$

利用上述模型，可在仅掌握f_{ck}的情况下预测不同σ_m条件下的q_{max}，最大预测误差仅为8.6%。

此外，根据图3和图4可知，三种混凝土均存在临界平均应力σ_{cr}，当σ_m超过σ_{cr}后，强度q_{max}几乎不再受σ_m的影响，基本保持恒定。如前所述，σ_{cr}是随着有效孔隙率的增大而减小的，因此定义σ_{cr}与有效孔隙率ϕ的关系如下：

$$\sigma_{cr} = \sigma_{cp0} - \kappa\phi \quad (6)$$

式中：σ_{cp0}—极限平均应力，为完全致密（ϕ=0）条件下混凝土的平均应力，通过线性拟合得出该值约为85.1MPa；κ—控制σ_{cr}随孔隙率增加的衰减程度，大约为547.4MPa。最终建立的临界平均应力预测模型如下：

$$\sigma_{cr} = 85.1 - 547.4\phi \quad (7)$$

4 结论

本文通过对OC、LPC、HPC三种混凝土开展三轴压缩试验，得出如下主要结论：

（1）在低围压下，由于HPC的孔隙率更小，产生同一轴向应变时HPC所需的偏应力明显更大；而在高围压下，HPC和LPC干燥样的偏应力比较接近。

（2）总体来看，在孔隙率一定时，饱和度越大，q_{max}越小；q_{max}与σ_m成正比，但饱和度越大，q_{max}随σ_m增加而上升的趋势越弱，这表明对于饱和度较高的混凝土，通过提高侧向约束来增加强度是不经济的。

（3）OC和LPC的$q_{max,dry}/q_{max,sat}$值达到HPC该值的2倍以上，说明随着孔隙率的增大，强度受饱和度变化的敏感性也在增强。

（4）利用本文式（5）模型，可在掌握f_{ck}的情况下预测不同σ_m下的强度q_{max}，而且最大预测误差仅为8.6%；利用式（6）模型，可以预测不同孔隙率下混凝土的临界平均应力σ_{cr}。

参考文献

[1] 杨春.中欧桥梁混凝土结构设计规范的若干问题研究[J].中外公路,2019,39(1):131-135.

[2] 杨健辉,张庆兵,余建雨,等.半轻混凝土的物理力学性能变化规律试验研究[J].混凝土,2016,(6):1-5.

[3] Wang W,Wanga L, Song Y,et al.Influence of free water on dynamic behavior of dam concrete under biaxial compression, Constr. Build. Mater[J]. 2016,112:222-231.

[4] Forquin P, Safa K,Gary G.Influence of free water on the quasi-static and dynamic strength of concrete in confined compression tests[J].Cem. Concr. Res.,2010,40(2):321-333.

[5] Piotrowska E,Forquin P,Malecot Y.Experimental study of static and dynamic behavior of concrete under high confinement: effect of coarse aggregate strength[J].Mech. Mater.,2016,92:164-174.

[6] Farhad A,Qingbin L. High-Strength Concrete Subjected to Triaxial Compression[J].ACI Materials Journal,1998,95(75):747-754.

[7] Setunge S,Attard MM,Darvall PL.Ultimate strength of confined very high-strength concretes[J].ACI Structural Journa1,1993,90(6):632-641.

[8] 李青松,徐进,熊艺博,等.混凝土强度与变形特性的围压效应试验研究[J].建筑结构,2011,41(5):85-88.

[9] 杨海峰,孟少平,邓志恒.高强再生混凝土常规三轴受压本构曲线试验[J].江苏大学学报,2011,32(5):598-601.

[10] 闰东明,林皋.三向应力状态下混凝土强度和变形特性研究[J].中国工程科学,2007,9(6):64-70.

[11] 阎培渝,崔强.养护制度对高强混凝土强度发展规律的影响[J].硅酸盐学报,2015,43(2):133-137.

[12] 白彦辉.多孔混凝土孔隙率与强度之间的关系[J].施工技术,2019,48(增):116-120.

[13] 中华人民共和国交通运输部.《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》JTE E30-2005[S].北京:人民交通出

版社,2005.
[14] 徐兵,徐港,杨亚会.孔隙水饱和度对混凝土碳化特性的影响[J].水电能源科学,2018,36(5):87-90.

作者简介

彭哲（1985-），男，高级工程师，湖南省水运建设投资集团有限公司从事水运工程建设管理，电话：19174886555，E-mail：275150342@qq.com。

潇湘改建船闸工程防渗系统设计

熊智[1],邹开明[2],丁琼[1]

（1. 湖南省交通规划勘察设计院有限公司,湖南 长沙,410008;

2. 湖南省水运建设投资集团有限公司,湖南 长沙,410011）

摘　要:船闸防渗工程关系到结构安全稳定，需要综合水文、地形、地质等因素开展系统设计。潇湘改建船闸地基属于钻孔见洞率高的覆盖性溶岩，除常规水工防渗设计以外，因闸址布置在枢纽坝轴线上游，枢纽西河侧防渗线需整体改移至宋家洲再连接新建副坝，防渗与水工结构细部连接要求高。船闸抽排水后基坑稳定及排水量表明：工程防渗设计合理，工艺和细部衔接设计对于类型项目具有借鉴价值。

关键词:船闸；防渗；溶岩；改建

1 工程概况

潇湘枢纽位于湖南省永州市冷水滩城区宋家洲洲尾，是湘江干流中上游第二个梯级，枢纽坝址上距潇水河口的萍岛 22km，项目开发以发电为主，兼有航运、供水、城市交通、旅游等综合效益，为Ⅱ等大（2）型工程。枢纽工程自右向左依次布置为东河右坝肩接头坝、东河溢流坝段，河床式厂房、砂洲土坝段，西河土坝段、船闸，形成枢纽工程的挡水结构。坝顶及厂房上游设有 20m 宽公路大桥与西河公路大桥相接，将冷水滩城区中心东西两岸连成一体，交通便利。

潇湘枢纽原船闸布置在西河汊，船闸等级为 100 吨级，设计单向年通过能力为 70 万吨，船闸水工结构为衬砌结构，闸室结构尺寸为：80.0×8.0×2.0m（闸室长度×闸室宽度×门槛水深），船闸上、下游直线导航墙长 35m。为满足湘江上游船舶大型化和沿江产业发展要求，湘江永州萍岛至衡阳蒸水河口规划为三级航道[1]。潇湘枢纽改建船闸等级为 1000 吨级，船闸有效尺度采用 200m×23m×5.0m。改建船闸的布置受众多因素限制，综合考虑远期二线船闸的建设空间、宋家洲大桥的影响、对宋家洲公园的影响、湘江西路与铁路排水涵洞的影响等,船闸上闸首上边线位于湘江西路排水涵洞下游约 140m,距离宋家洲大桥约 600m,距原西河土石坝坝轴线约 750m。潇湘改建船闸上下游引航道均采用折线型平面布置，上下游靠船墩均布置在左岸，主导航墙均布置于船闸左侧，辅导航墙均布置在右岸宋家洲侧[2]。

2 防渗总体设计

潇湘枢纽原挡水防渗系统[3]自右向左依次为：东河右坝肩接头坝、东河溢流坝段，河床式厂房、原砂洲土坝段，西河土坝段、船闸，形成枢纽工程的挡水结构。改建潇湘枢纽闸位于已建船闸上游约 750m，船闸改建后，枢纽整体防渗线从右岸至左岸依次为：东河右坝肩接头坝、东河溢流坝段，河床式厂房、原砂洲土坝段，改建宋家洲土石坝段、改建船闸段、改建西河土石坝段、湘江西路防渗段。改建宋家洲土石坝段防渗线连接电站左侧防渗接口及船闸上闸首，防渗线总长 880m；改建船闸防渗段长 46m，改建西河土石坝段防渗线长 141m；湘江西路防渗线长 200m，防渗线总长 1267m。下游电站管理房附近的防渗线长约 150m。潇湘改建船闸防渗总平面布置如图 1 所示。

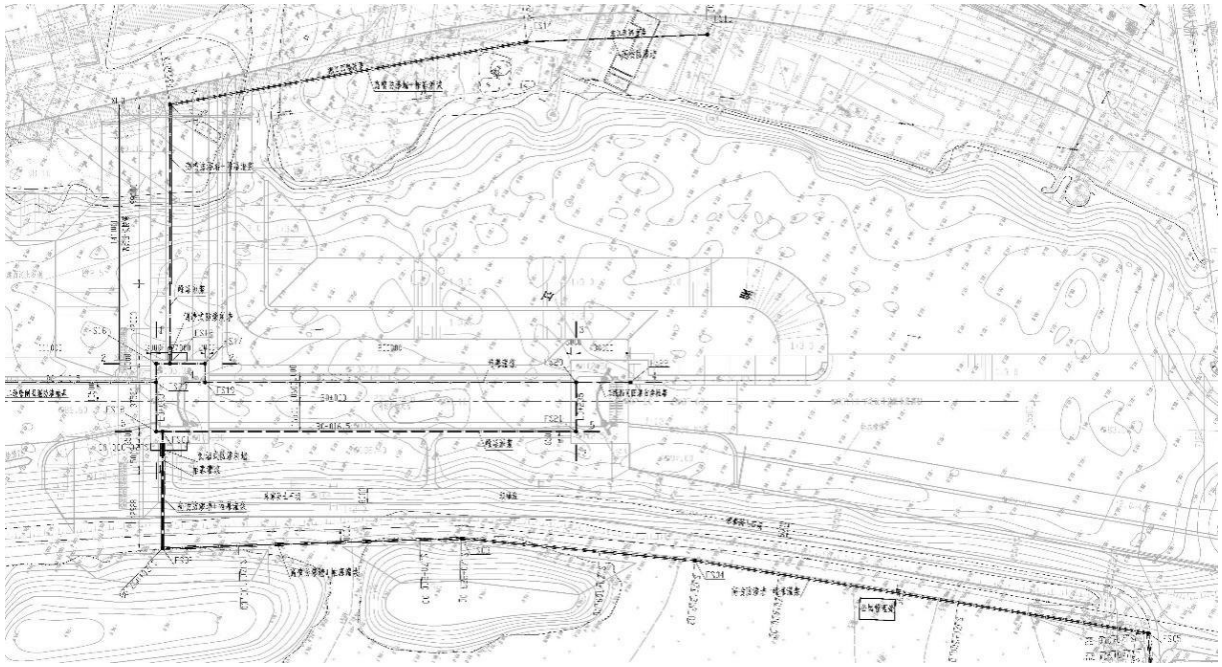


图 1　潇湘改建船闸防渗总平面布置图

Figure 1　General layout plan for anti-seepage of Xiaoxiang reconstructed ship lock

3 防渗系统设计

3.1 改建宋家洲土石坝防渗工程

宋家洲土石坝根据现场实际的水文地质条件条件，采用黏土心墙坝和黏土斜墙坝等坝型组合，其中上闸首至宋家洲段采用黏土心墙土石坝、宋家洲洲上采用黏土斜墙土石坝、接原砂洲坝段地面高程较高则采用黏土心墙坝型。宋家洲土石坝防渗主要采取土基高喷防渗墙和岩基帷幕灌浆的组合型式。高喷防渗墙以上则采用黏土心墙、黏土斜墙等共同组成枢纽挡水线，防渗体顶高程 103.70m，防渗线总长 880m。防渗断面设计如图 2 所示。

防渗线桩号 SJZ0+000~ SJZ0+350 段高喷防渗墙设 1 排，高喷防渗墙有效厚度 0.8m，SJZ0+350~ SJZ0+781.89 段高喷防渗墙设 2 排，有效厚度 1.6m。高喷防渗墙下部伸入基岩不小于 1m，高喷防渗墙顶高程根据枢纽正常蓄水位并考虑一定的富裕确定，并考虑坝体的结构，总体高喷防渗墙顶高程不小于 99m。基岩帷幕灌浆设计参数主要根据地质情况而定，该段基岩主要为微风化泥灰岩区及微风化灰岩区及微风化泥质条带灰岩区，微风化泥灰岩区岩溶弱发育，相对不透水层（q<51u）较浅，微风化灰岩及泥质条带灰岩区则属于岩溶强发育区，相对不透水层（q<51u）较深。当下伏基岩为微风化泥灰岩时，采用封闭式帷幕，帷幕伸至不透水层（5Lv 线）以下 4m，帷幕孔距初为 3m，施工图设计及计量以勘察推测的 51u 线为依据，实际施工过程中应对帷幕灌浆先导孔进行现场压水试验确定 51u 线，并据此确定最终的帷幕灌浆底高程；当下伏基岩为灰岩、泥质条带灰岩时，由于岩溶强发育，帷幕灌浆深度按 2 倍最大水头 2H=20m，帷幕孔距为 1.5m。当闸室段下部存在压碎岩、糜棱岩等不良地质时，于帷幕下游增设一排辅幕，排距 1.5m，辅幕深度按主幕深度的 2/3。帷幕灌浆顶部伸入高喷防渗墙不小于 1m。

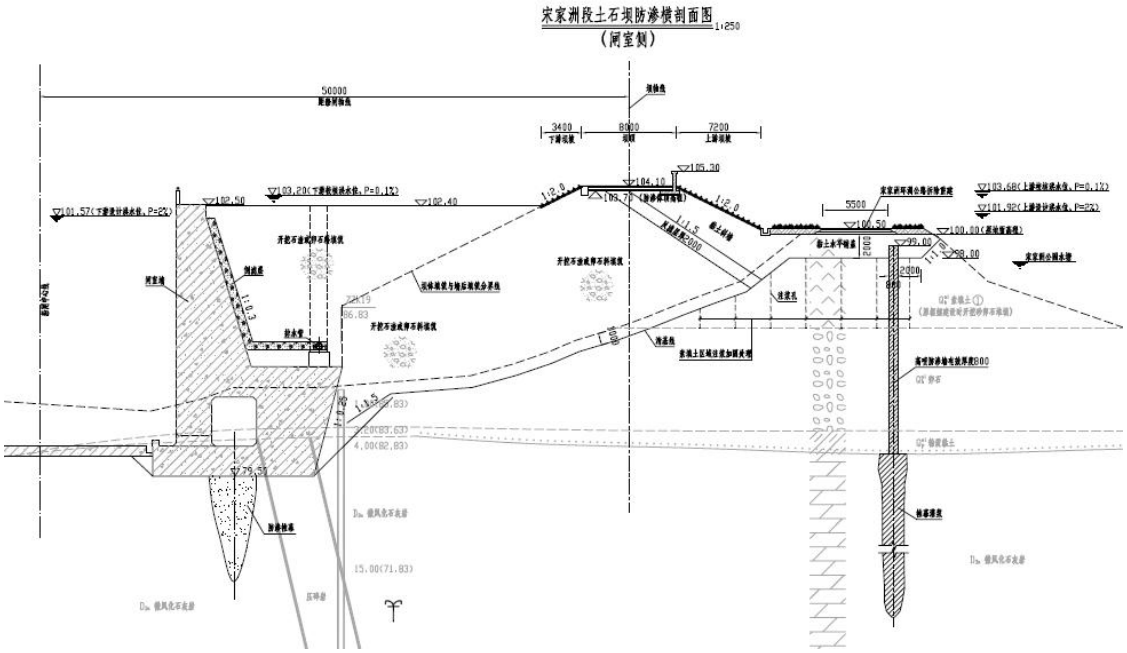


图 2　宋家洲段土石坝防渗断面图

Figure 2　Seepage prevention section diagram of Songjiazhou section earth-rock dam

3.2 改建西河黏土心墙坝防渗工程

改建西河土石坝为方便与上闸首及左岸搭接，采用黏土心墙坝坝型，防渗主要采取土基高喷防渗墙+岩基帷幕灌浆的型式。高喷防渗墙以上则采用黏土心墙组成枢纽挡水线，防渗体顶高程为 103.70m，西河土石坝防渗线长 141.15m。

高喷防渗墙主要设置于黏土心墙坝接湘江西路接岸段的卵石透水层，高喷设 2 排，有效厚度 1.6m，下部伸入基岩不小于 1m，高喷防渗墙顶高程 98.0m。灰岩及泥质条带灰岩地基为岩溶强发育区，施工时根据地质详勘及先导孔的情况探明溶洞分布情况、发育规模、发育规律、有无充填、充填程度等，按照《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》（SLT 62-2020）5.7 条文要求进行处理，后进行帷幕灌浆施工。

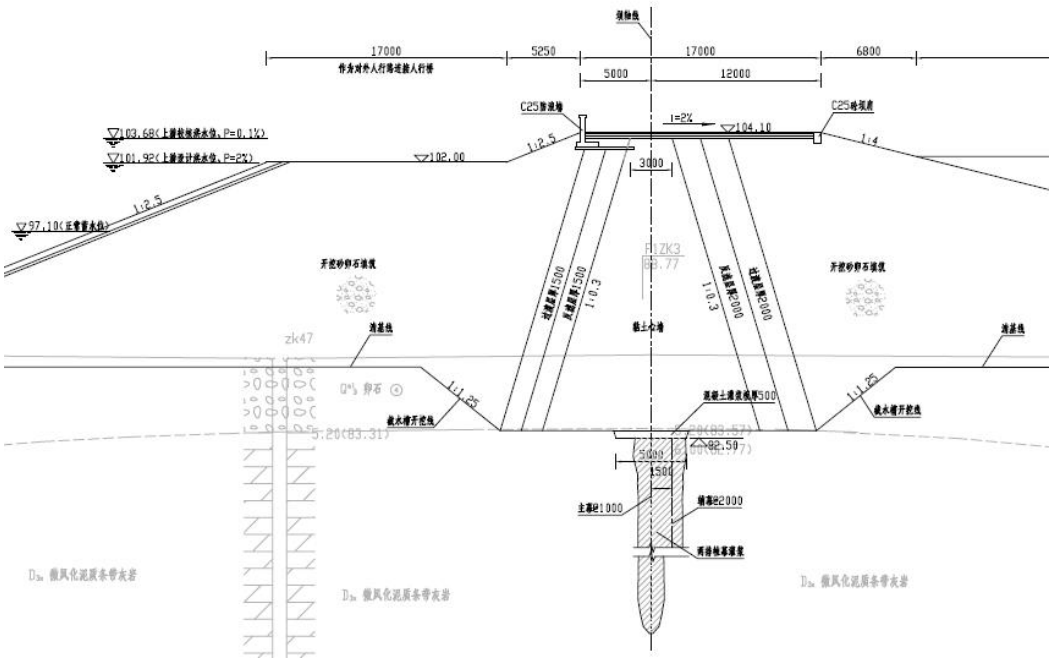


图 3　上游副坝段防渗断面图

Figure 3　Upstream auxiliary dam section anti-seepage section diagram

3.3 湘江西路防渗工程

为封闭防渗圈，设计在湘江西路靠河侧布置防渗线以隔绝卵石强透水层，湘江西路防渗线长 200m。防渗主要采取土基高喷防渗墙+岩基帷幕灌浆的型式。高喷防渗墙主要设置于卵石层、河岸素填土、杂填土等强透水层，高喷设 1 排，有效厚度 0.8m，高喷防渗墙顶高程 98m，下部伸入基岩不小于 1m。

3.4 船闸永久防渗系统工程

改建船闸船闸闸室为分离式结构，上游检修门槽设置在上闸首上游侧，下游浮式检修门槽设置下闸首下游侧，故在上闸首及闸室墙设纵向防渗帷幕，在下闸首上游侧设横向防渗帷幕，与上闸首枢纽挡水线一起形成船闸闸室封闭的防渗圈。一是保证船闸检修期间的防渗，二是闸室水位与上游齐平时，确保水体不从闸室墙及下闸首地基中渗漏。

另外船闸左侧闸室墙、上下游主导航墙等建筑物，远期二线船闸实施时需作为基坑围堰使用，因此除左侧闸室墙外，在上下游主导航墙前趾位置预设防渗帷幕，但考虑到远期二线船闸实施的具体时间未定、上游库区水深较大而将来实施帷幕难度较大以及下闸首将来不具备设置帷幕的条件等因素，本次船闸建设设置上游主导航墙及下闸首的基坑止水帷幕。而下游主导航墙由于下游水深较浅，二线船闸实施时再行设置相对容易，因此下游主导航器的远期基坑止水帷幕本次船闸暂不实施。

该段基岩主要为微风化泥灰岩区及微风化灰岩区及微风化泥质条带灰岩区，微风化泥灰岩区岩溶弱发育。船闸帷幕防渗线总长 539m，上游主导航墙帷幕防渗线长 120m，下闸首帷幕防渗线长 30m。

4 搭接部位设计

土石坝与船闸混凝土结构的连接，采用侧墙式连接，船闸闸墩侧墙 1:0.25 放坡至土石坝建基面，刺墙与船闸之间采用两道止水铜片防渗。原砂洲土坝设计防渗轴线位于坝轴线上游 15m 处，为确保改建宋家洲土石坝防渗线与原防渗线的搭接，新建防渗线暂考虑按原设计防渗线超灌 5m 考虑，施工时根据先导孔的具体情况再行调整，确保防渗线搭接有效。

5 结论

（1）潇湘船闸改建土石坝洪水标准按校核洪水重现期为 1000 年、设计洪水重现期为 50 年，符合规范规定；坝顶高程和防渗墙顶高程均满足防洪要求；土坝结构设计满足防渗要求。

（2）改建船闸总体防渗方案布置合理，充分考虑了地质和大坝防渗改移需求。

（3）改建船闸的通航建筑物、改建土石坝的安全监测系统设计监测重点部位明确，监测项目全面，采用的外部变形、渗流监测、内部应力应变监测等监测项目[4]。

参考文献

[1]湖南省人民政府《湖南省内河水运规划》.

[2]JTJ 307-2001,船闸水工建筑物设计规范[S].

[3]湖南省交通规划勘察设计院有限公司.湘江永州至衡阳三级航道建设三期工程两阶段施工图设计[Z].2023.

[4]JTS 235-2016,水运工程水工建筑物原型监测技术规范[S].

基金项目：湖南省交通运输厅科技进步与创新项目（202125）：强透水地层环境下临水深基坑开挖的防渗与降水施工关键技术研究

作者简介

熊智（1986.01-），女，湖南桃江人，高级工程师，从事港口与航道工程规划与设计工作

引江济淮淠河总干渠渡槽关键技术与创新

殷亮[1]，[2*]，吴志刚[1,2]，杨善红[1,2]，徐宏光[1]，[2]

（1.安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司，安徽 合肥 230088；

2.公路交通节能环保技术交通运输行业研发中心，安徽 合肥 230088）

摘要：淠河总干渠渡槽为引江济淮工程中控制性节点和难点工程，主体结构采用(68+110+68)m三跨梁拱组合结构体系，为国内首座钢结构渡槽，世界最大跨度的通航渡槽。本文从建设条件出发，阐述了渡槽选址、荷载特性、结构类型、耐久性等相关内容，并针对性的提出了相应的概念设计解决方案，最后通过大量的科研试验，验证了概念设计的可靠性，为项目的后续结构设计提供了指导。

关键词：通航渡槽；梁拱组合；复合不锈钢波折腹板；充水试验

1 项目概况

淠河总干渠渡槽位于中国合肥江淮分水岭北侧，为“天河”淠河总干渠和“地河”引江济淮工程两大水利基础设施的立体交叉建筑物。

淠河总干渠为人工运河，供给下游农业灌溉、工商业用水及合肥市近千万人口的生活饮用水。引江济淮工程沟通中国长江、淮河两大水系，是跨流域、跨省重大战略性水资源配置、综合利用的基础设施和民生工程[1] [2]。

图1 水立交、船立交全貌

图2 截弯取直的选址方案

项目天、地河高差36m，全长1355m，按照低碳、环保、耐久的理念，错落有致的布置有一座主跨110m钢结构渡槽及混凝土结构渡槽、分流岛、闸室等构筑物，可实现两条河流各自通水、通航、防洪，而不相互干扰，被誉为河上有河、船上有船的“水立交”、“船立交”。

2 渡槽选址

项目充分利用有利的弯道地理优势，采用截弯取直、移位新建的总体方案，在淠河总干渠弯道内侧，平地开挖新建渡槽，待淠河总干渠渡槽项目完工后，对水系进行转换，最后施工引江济淮工程河渠开挖[3]。

本方案通过遴选合理的项目交叉位置，并选用了科学的施工工序，减小了两项目之间的交叉作业，大幅减小了淠河总干渠河道改建规模，同时确保了施工期间供水不中断。

3 主体结构方案设计

3.1 重集度、大变幅的水荷载，对渡槽的承载能力适应范围提出了非常高的要求

渡槽设计流量为150m^3/s，全断面宽度为32m，设计水深4m，校核水深5.05m，最大水荷载重量约40000t，与中国公路规范中135个汽车车道荷载相当。同时，淠河总干渠为季节性河流，水位在不同季节存在较大差异，且施工和检修期间水荷载为零，致使水荷载变幅巨大。

类比普通的桥梁结构，变化的汽车活载约占结构自重的20%～30%。若采用设置预应力或拉索等主动受力结构，会因预设内力相对固定，而无法适应水荷载的巨大变幅，导致结构自我损坏。

3.2槽下通航，水中不得设墩，跨度需求大

渡槽上跨引江济淮航道，通航净空不得低于103.8m，主跨跨度确定为110m。为提高渡槽整体刚度和抗震能力，增加了68m边跨，桥梁跨径布置为(68+110+68)m。

充分利用槽下通航净高富余，在等高主梁底部增设拱结构，形成“上平下拱”的轻量化钢结构梁拱组合体系，进一步提高了整体结构刚度，满足了一孔跨域通航水域的需求。

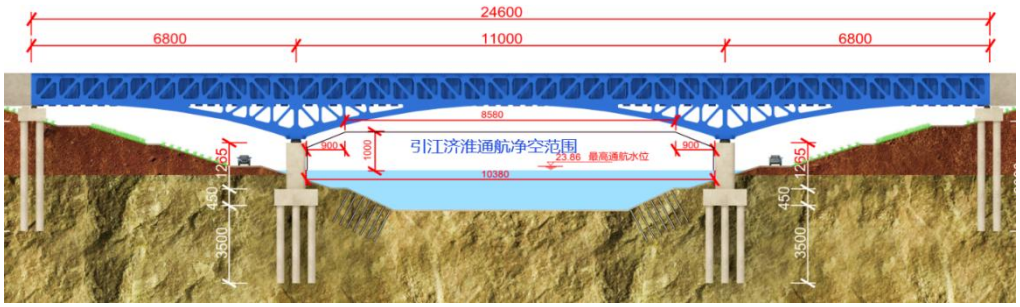


图3 渡槽总体跨径布置图（单位：cm）

3.3 槽上通航，槽内不得设撑杆，采用“上开下合”的横断面，解决了渡槽侧向稳定问题

淝河总干渠通行100t船舶，需采用开口断面，其侧向稳定和扭转等问题较为突出，通过在拱肋区域设置横联、平联等构造，大大改善了其受力性能，确保了结构安全。

外部局部镂空的桁架结构和圆润的拱肋线型，提升了区域景观；淡蓝的面漆涂装和彩色沥青人形道板铺装，实现了整体造型与周边环境和谐统一。

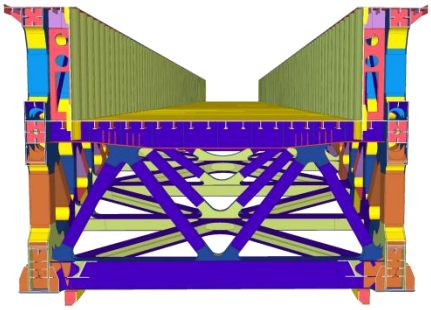


图4侧向稳定解决方案

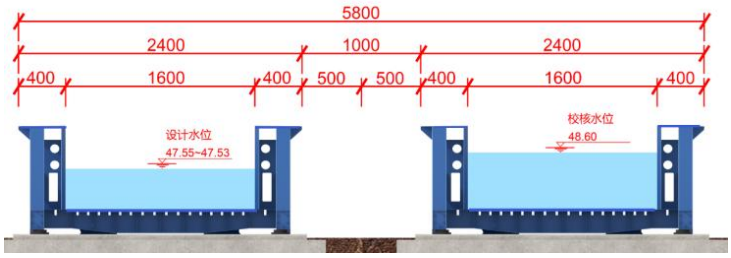


图5 分幅渡槽横断面（单位：cm）

3.4 基于温度适应性的水槽波形板,巧妙的解决了水槽与桁架的不协调变形，改善了流固耦合不利影响，提高了渡槽抗震性能

横断面采用双幅布置，单幅横向设置两片梁拱组合主桁，渡槽的水槽布置于两片主桁之间。

水的比热容比钢材大，吸收或释放同样的热量，水的温度变化幅度比钢材小。因此，水体接触的钢结构与大气接触钢结构之间，会形成显著的温度场，从而导致结构内部变形不协调，产生较大温度作用力。

借助波折效应，水槽侧壁创新性的采用波折钢腹板代替平钢板，释放了大部分轴力和弯矩，避免了加劲肋设置，同时提高了板件面外刚度、船舶防撞能力，对地震作用下的流固耦合不利因素有一定的改善作用，提高了抗震性能。

图6 水槽波折钢腹板

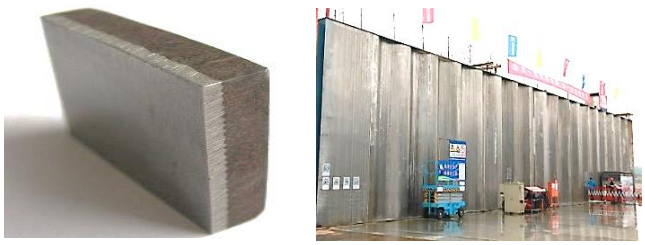


图7 不锈钢复合板水槽

3.5.不锈钢复合板水槽和混凝土落地渡槽，解决了饮用水的环保及耐久性难题

渡槽内水体为居民饮用水，为保障钢结构耐久性，避免防腐涂装对水体的污染，水槽均采用不锈钢复合板，迎水面为4mm厚的316L不锈钢，背水面为20mm和30mm的Q345qD钢材，采用轧制工艺进行复合成型。

为提高主体结构耐久性，避免钢材与土地接触，在钢结构渡槽两侧各设置了52m长的混凝土槽型梁。

4 科研试验与实践

4.1 水工物理模型试验研究

为保障渡槽的过流能力及船舶的航行安全，开展了水流数学模型计算和水工物理模型试验对比研究，

分析论证分汊段的通航水流条件，并对船舶进、出渡槽时的航迹线、漂角等航行特性进行研究，同时分析了渡槽内的流速分布、沿程水面线变化、槽身水面波动、槽底压力沿程分布等。

图8 水工物理模型试验

图9 离心机振动台1:15缩尺试验

4.2基于地震荷载及流固耦合的减隔震体系模型试验

渡槽水量大，其重量为结构恒载的2倍，在地震激励下，流体会伴随结构的震动而产生晃动，反过来流体的存在及其本身的震动又会改变结构本身的自振频率等性质，所以渡槽的震动是一个较为复杂的流固耦合问题。

通过振动台1:15缩尺模型试验研究,得到考虑槽内水体与槽壁流固耦合作用等多因素影响下的渡槽结构的整体抗震性能，获取渡槽发生震害的破坏机理及破坏模式，为渡槽双曲面摩擦摆减隔震分析方法和抗震措施设计提供依据，提升工程建设的安全可靠度。

4.3大变位止水伸缩缝

为适应渡槽结构变形和止水的双种需求，开发了大位移止水伸缩缝。在梳齿板上方安置波纹型止水橡胶带，水体重量和压强通过止水橡胶带转移到梳齿板上。当伸缩缝有位移和转角时，梳齿板有开合运动，止水橡胶带随着发生形变。本科研开展了水压力、密水性和更换性等模型试验。

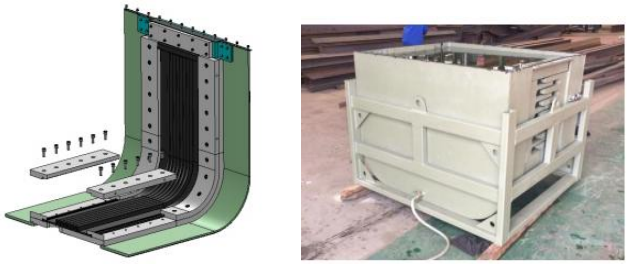


图10 大变位止水伸缩缝模型及试验研究

4.4实桥充水试验研究

历时23天的实桥充水试验，采集在不同水深和温度作用下的实时监测数据，分析渡槽结构的力学行为，验证渡槽设计理论和架设，探索具体普遍意义的规律，为发展计算理论、完善现有技术积累了大量监测数据。同时，检验了施工质量，为正式通水交工提供前提条件，为后续养护记录了宝贵的资料。

图11 实桥充水试验与正式通水

图12淠河总干渠渡槽项目建成全貌

5 结语

基于对渡槽水荷载、温度及地震荷载的研究，创新性的设计了上平下拱、上开下合、外桁内波的全焊接钢桁架式梁拱组合结构，将传统拱与梁结构、波折腹板与桁架结构相结合，通过缩尺比模型抗震试验、止水伸缩缝试验、水工物理模型试验及实桥充水试验等研究，验证了设计理论的可靠性，保障了渡槽的基本功能和结构受力安全，实现了整体造型与环境和谐统一，达到了环保、耐久、低碳的预期目标。

浉河总干渠渡槽于2021年5月1日正式通水，投入运输。该基础设施的建设，延伸了重载渡槽的跨径范围，成为了大跨度、重荷载渡槽的杰出典范，对保障下游城市居民供水、农业灌溉、改善水生态环境起到至关重要的作用，功在当代、利在千秋。

参考文献

[1]吴志刚,杨善红,朱宇,殷亮. 跨越运河超大通航渡槽系列关键技术研究[A]. 中国科学技术协会、交通运输部、中国工程院.2018世界交通运输大会论文集[C].中国科学技术协会、交通运输部、中国工程院:中国公路学会,2018:11.

[2]唐国喜,殷亮,黄浩.浉河总干渠渡槽总体设计与受力分析[J].公路交通科技(应用技术版),2018,14(11):165-167.

[3]李涛.引江济淮工程浉河总干渠渡槽设计方案[J].江淮水利科技,2017(01):19-20.。

作者简介

殷亮(1983-)，男，硕士，正高级工程师，安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司从事桥梁设计、咨询和科技研发等工作，电话：13956946275，E-mail:187387187@qq.com。

基于临界水力梯度接近度的工程管涌危险程度量化研究

钱叶琳[1]，苏颖[1]，张振华[2]，李长春[1]，王磊磊[2]，徐阳[2]

（1.安徽建工路港建设集团有限公司，安徽 合肥 241060；

2.合肥工业大学 土木与水利工程学院，安徽 合肥 230009）

摘要：工程中管涌的发生严重时会导致工程失稳。文章基于土体发生管涌的水力条件，提出了临界水力梯度接近度指标，以定量分析土体管涌发生的危险性，进而划分出管涌危险区并提出相应的防治建议。以施工过程中发生两次管涌事故的某船闸基坑为工程实例，采用FLAC3D软件构建三维数值计算模型，利用FISH语言编程并分析该基坑施工过程中水力梯度以及临界水力梯度接近度分布随管涌产生与基坑防渗加固的演化规律，进而探讨该基坑涌水机制。结果表明：基坑发生管涌时，坑底发生管涌位置土体的水力梯度以及临界水力梯度接近度数值均表明该处发生了管涌，此外临界水力梯度接近度还可以划分出除管涌位置外整个场地内其他管涌危险区域；基于管涌危险区分布提出的防渗加固建议，可以有效降低坑底土体发生管涌的风险。临界水力梯度接近度的提出为工程中管涌的预测以及防治提供一种新的管涌危险性评价的量化方法。

关键词：管涌；水力梯度；临界水力梯度接近度；防渗加固；FLAC3D；FISH 语言

0 引言

水利工程在建设或者运行期间时常发生管涌。1998 年长江全流域发生特大洪水，中下游堤防险情共73 800余处，长江流域干堤发生较大管涌872处，占较大险情的51．2%，直接经济损失1 500亿元[1]。2016 年全国大范围地区出现的持续强降雨汛情中，湖北、湖南、江西、安徽、四川等多地共发现并治理了608处堤坝管涌决口，并对长达37.5万余米的堤防大坝进行了加固[2]。某基坑在开挖过程中坑内涌水涌砂2 800m^3，地面塌陷500 m^2，深6～8 m，抢险历时6 d，动用抢险人员累计2 000余人次，不仅影响施工工期，而且严重影响到附近高层建筑的安全，造成了巨大的经济损失[3]。

目前对于管涌的研究主要集中在土体发生管涌的临界条件以及工程中管涌发生危险性的研究[4-5]。文献[6]以单个土颗粒为研究对象，按照渗透力与土颗粒浮重间的极限平衡推导出砂砾土临界水力梯度计算公式；文献[7]考虑多孔介质中的流动，并与伯努利方程和临界牵引应力条件耦合，建立了计算临界水力梯度的模型；文献[8]采用了泥沙颗粒滚动理论，同时考虑了土壤颗粒的相对暴露程度和渗流方向建立了二维渗流模型，预测了土壤颗粒运动的临界水力梯度；文献[9]利用多个方程构建层流管道模型，得出反向侵蚀导致堤坝破坏的临界水力梯度公式；文献[10]根据相对运动原理，推导出考虑周围粒子受水流拖拽力影响的无黏性土临界水力梯度；文献[11]将蒙特卡罗法和有限差分法相结合进行程序开发，用于预测蓄水后土石坝发生管涌的可能性，并通过案例对程序进行验证；文献[12]考虑了水力参数的不确定性，开发一种基于简单脆弱性指数的程序，并通过工程实例论证了该程序的可行性；文献[13]基于微震链阵列调查结果可揭示滑坡与堤坝的内部结构以及自电位调查结果可显示异常渗流带的路径，采用微震链阵列与自电位测量方法来预测滑坡以及大坝发生管涌的可能性；文献[14]通过研究管涌发展过程中声发射特征，得出声发射信号的活动与管涌不同阶段有关的结论，据此将声发射信号作为监测管涌发展的指标来判断管涌发生的危险程度。

然而在工程上临界水力梯度通常用于判定出险部位是否发生了管涌，但不能对管涌区以外区域进行管涌危险性识别；现有的管涌危险性预测方法不能达到定量预测的效果，在工程中应用具有一定的局限性。为此有必要提出一种可以定量判别工程中发生管涌危险程度的方法以此为防渗加固措施的实施提供科学依据。本文基于土体发生管涌的水力条件[2]提出临界水力梯度接近度指标，该指标可以定量判别土体发生管涌的危险程度得出管涌危险区分布，并结合工程实例对该指标进行合理性论证。

1 工程概况

某船闸基坑东西长 457 m，南北宽 112 m，基坑上闸首底部设计开挖高程为 17.0 m，临近河道水位高 32.5 m。基坑在开挖之前沿四周实施一道高压摆喷墙形成防渗体系。基坑在开挖至高程 24.2 m、17.0 m 时出现了两次涌水事故。基坑现场及涌水路线如图 1 所示。

图 1 船闸基坑现场及涌水路线图

Fig.1 Shiplock foundation pit site and water gushing route map

根据钻探资料以及实测资料，将该船闸地层划分为五层含水层和两层隔水层，第 1 含水层为潜水分布在①层杂填土、②层壤土中（标高 32.50 m），第 2 含水层为承压水分布在③层砂壤土夹粉质壤土中（标高 23.15~27.20 m），第 3 含水层为承压水分布在④层砂壤土中（标高 22.30~25.0 m），第 4 含水层为承压水分布在⑤层轻粉质壤土夹砂壤土、⑤-1 层砂壤土中（标高 17.10~20.30 m），第 5 含水层为承压水分布在⑥层粉砂、⑥-1 层砂壤土中（标高 15.20~19.40 m）；第 1 隔水层为③-1 层壤土，第 2 隔水层为④-1 层壤土。某船闸基坑地层及含水层分布如图 2 所示。

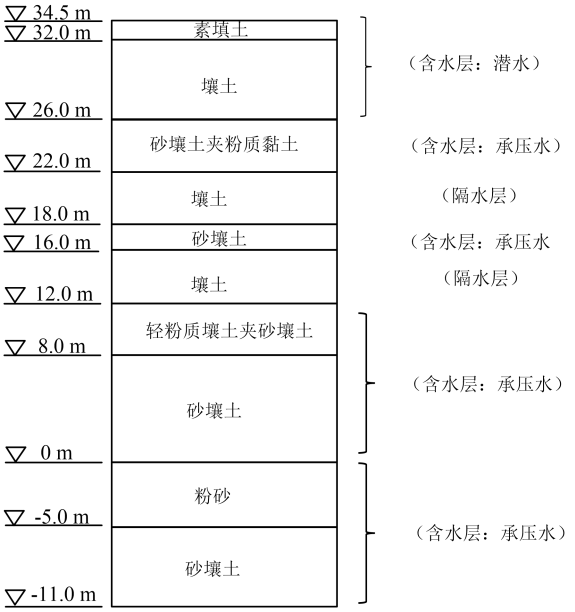


图 2 某船闸基坑地层及含水层分布

Fig.2 Stratum and aquifer distribution of a ship lock foundation pit

2 临界水力梯度接近度

管涌的发生与土体水力梯度息息相关，土体的水力梯度越大，发生管涌的危险程度就越大，当土体水力梯度大于临界水力梯度时，管涌就会发生[15]。以往工程中对于管涌危险性的识别结果因缺少界定标准无法准确判别工程发生管涌的危险程度，工程此时可能处于安全状态，也可能处于接近发生管涌的状态。本文依据不同土体的临界水力梯度不同以及土体水力梯度大于其临界水力梯度时会发生管涌提出临界水力梯度接近度指标（无量纲参数），即土体水力梯度与临界水力梯度的比值。记临界水力梯度接近度为 D_i，计算公式为：

$$D_i = i / i_c \tag{1}$$

其中：i 为土体的水力梯度；i_c 为土体临界水力梯度。

由临界水力梯度接近度定义可知当 $D_i>1$ 时，此时土体的水力梯度大于其临界水力梯度，土体发生管涌；当 $D_i=1$ 时，此时土体的水力梯度等于其临界水力梯度，土体处于发生管涌的临界状态；当 $D_i<1$ 时，此时土体的水力梯度小于其临界水力梯度，土体不会产生管涌。由临界水力梯度接近度的定义知，当土体的水力梯度越接近临界水力梯度时，即 D_i 越接近 1 时，发生管涌的风险就越大。

3 数值模拟

3.1 基本理论

3.1.1 渗流控制方程

饱和-非饱和渗流理论假定水在非饱和土中仍然服从 Darcy 定律然后根据水流的连续性条件，以及孔隙水压力不随时间变化而假定，在不考虑不同流体的流动同土体结构的平衡条件之间的相互作用条件下（即不考虑孔隙水与孔隙水的流动对土体结构变形的影响），通过土体非饱和区域内的地下水控制方程式进行为[16]：

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(k_x\frac{\partial H}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(k_y\frac{\partial H}{\partial x}\right)+Q=m_w\gamma_w\frac{\partial H}{\partial t} \tag{2}$$

本文渗流计算认为是在土体饱和状态下进行的，此时地下水的控制方程式为：

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(k_x\frac{\partial H}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(k_y\frac{\partial H}{\partial x}\right)+Q=0 \tag{3}$$

其中：k_x、k_y 分别为土体 x、y 方向的渗透系数；H 为位置水头与孔隙水压力两者之和；Q 为微元体的边界流量；m_w 为体积含水量变化系数；γ_w 为水的容重。

3.1.2 定解条件

初始条件：

$$H(x,y,t)\big|_{t=0}=H_0(x,y,t_0) \tag{4}$$

边界条件：

$$H(x,y,t)\big|_{\Gamma_1}=H_1(x,y,t) \tag{5}$$

其中：$H_0(x，y，t)$为点（x，y）处初始水位(m)；Γ_1 为一类边界条件；$H_1(x，y，t)$为点（x，y）在 t 时刻的边界已知水位(m)。

3.2 数值计算模型及边界条件

基坑涌水位置发生在上闸首处，因此取该区域为研究对象，根据图纸以及现场情况确定该基坑研究范围为长 120 m，宽为 42 m，深度为 17.0 m~34.5 m。为减小边界范围选取过小给计算结果带来误差，选取研究对象最大几何尺寸的 3-5 倍来确定计算范围，最终确定整体模型尺寸为 900 m×540 m×134.5 m，网格类型为 4 节点 SOILD181 以及 8 节点 SOILD185，如图 3 所示。数值模型的渗流边界条件为：顶面、底面为不透水边界，前、后、左、右边界为透水边界（水位 32.5 m），防渗结构均不透水，如图 4 所示。基坑最初防渗体系数值模型如图 5 所示。

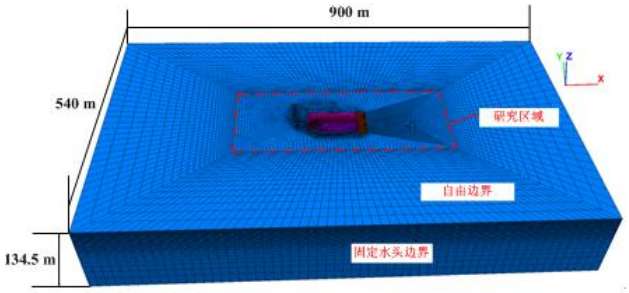


图 3 基坑整体数值计算模型

Fig.3 The overall numerical calculation model of foundation pit

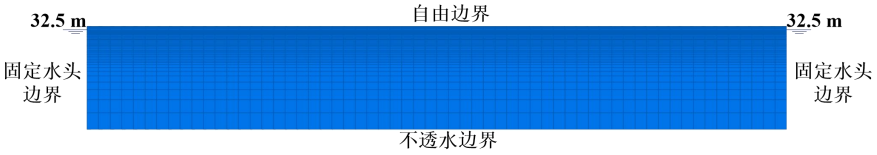


图 4 沿基坑轴线方向剖面边界条件

Fig.4 Boundary conditions along the axis of the foundation pit

图 5 基坑最初防渗体系数值模型

Fig. 5 Numerical model of initial anti-seepage system of foundation pit

3.3 计算参数

在 FLAC3D 软件中对计算模型进行渗流计算[17]，以每个网格为研究对象，根据上文提出的临界水力梯度接近度计算公式，利用 FISH 语言进

行二次开发，计算获得基坑涌水剖面的水力梯度以及临界水力梯度接近度分布。计算时将土层赋予摩尔库伦模型[18-19]，防渗结构赋予线弹性模型[20-21]，同时将防渗结构赋予各向同性不透水模型[22]。根据计算时的参数需求，在该船闸基坑处取样进行三轴试验并结合参考现场《地质勘查报告》，确定计算参数，其中各地层的临界水力梯度计算公式参考文献[6]。计算参数见表 1 所列。

表 1 各土层计算参数

Table 1 Calculation parameters of each soil layer

地层	弹性模量 E/MPa	泊松比v	容重γ/kN·m^{-3}	黏聚力 c/kPa	内摩擦角φ/°	孔隙率 n	渗透系数 k/cm·s^{-1}	临界水力梯度 i_c
素填土	27	0.32	18.7	16	18	0.58	5.09×10^{-7}	0.465
壤土	34	0.27	19.1	18	21	0.59	8.05×10^{-6}	0.421
砂壤土夹粉壤土	40	0.33	19.4	24	13	0.48	5.53×10^{-4}	0.287
壤土	45	0.28	19.8	18	20	0.56	5.37×10^{-6}	0.389
砂壤土	53	0.30	20.1	16	24	0.43	4.91×10^{-4}	0.246
壤土	62	0.30	20.2	20	20	0.54	6.32×10^{-6}	0.400
轻粉质壤土夹壤土	73	0.29	20.4	26	15	0.45	4.57×10^{-5}	0.324
砂壤土	81	0.29	20.6	18	25	0.40	4.13×10^{-4}	0.255
粉砂	90	0.28	21.4	19	22	0.39	2.11×10^{-3}	0.180
砂壤土	96	0.27	22.0	13	26	0.39	6.07×10^{-4}	0.260
防渗结构	3×10^{4}	0.167	250			0.30	1.0×10^{-12}	

3.4 计算步骤

为分析该基坑施工过程中水力梯度以及临界水力梯度接近度分布随管涌产生与基坑防渗加固的演化规

律，确定 4 个计算步骤，见表 2 所列。

表 2 计算步骤

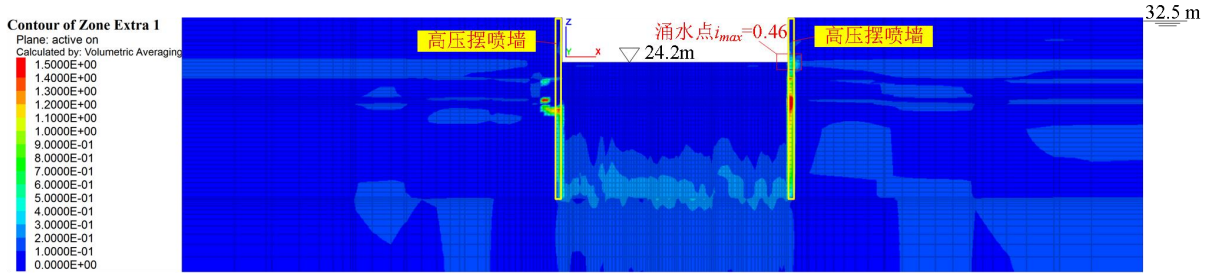
Table 2 Calculation steps

步骤	基坑发生管涌与防渗加固顺序
步骤 1	基坑开挖至坑底高程为 24.2 m，发生第一次涌水。
步骤 2	针对基坑第一次涌水事故进行防渗加固。
步骤 3	基坑开挖至坑底高程为 17.0 m，发生第二次涌水。
步骤 4	针对基坑第二次涌水事故进行防渗加固。

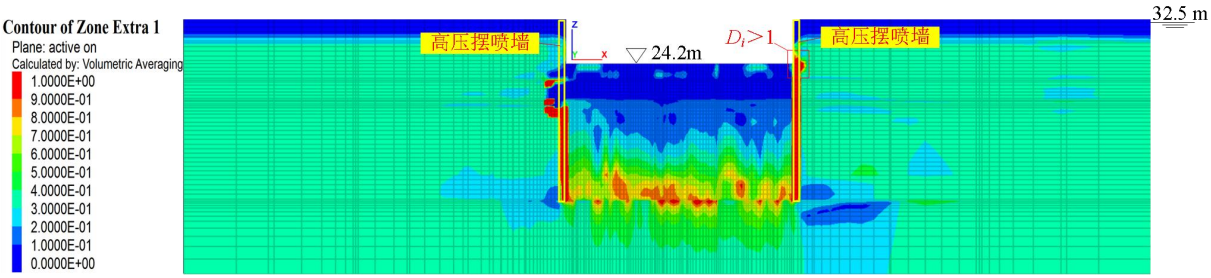
4 数值模拟结果及分析

4.1 第 1 次涌水剖面计算结果

基坑第 1 次涌水剖面水力梯度与临界水力梯度接近度计算结果如图 6 所示。此时坑底土层为砂壤土夹粉质壤土，从图 6a 可以看出此时坑底涌水剖面出水口处的水力梯度为 0.46 大于该土层临界水力梯度 0.287，说明此处发生了管涌；从图 6b 可以看出涌水剖面的管涌危险区主要分布在防渗结构与其周围土体以及防渗结构底部绕渗区。根据计算结果，涌水部位的临界水力梯度接近度大于 1，基坑发生管涌的原因是在防渗结构处出现了绕渗，形成了渗流破坏贯通区，造成在基坑底部发生管涌。通过以上对比得出，临界水力梯度用于判定浅表层涌水位置土体是否发生了管涌，对于涌水部位以外的土体无法进行管涌危险性判定；而临界水力梯度接近度可以依据土体发生管涌的危险程度划分出管涌危险区，可以判定整个场地内土体发生管涌的危险性。



（a）水力梯度计算结果

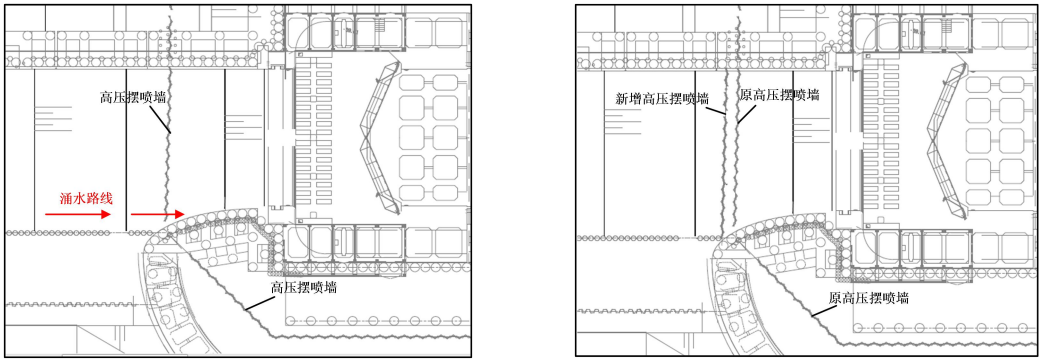


（b）临界水力梯度接近度计算结果

图 6 基坑第 1 次涌水剖面水力梯度与临界水力梯度接近度计算结果

Fig.6 The calculation results of the hydraulic gradient and the critical hydraulic gradient of the first water inflow profile of the foundation pit are close to each other.

根据基坑第 1 次涌水时管涌危险区分布，需要对管涌危险区进行防渗干预，结合工程现场在涌水处原高压摆喷墙外侧新增高压摆喷墙，如图 7 所示。

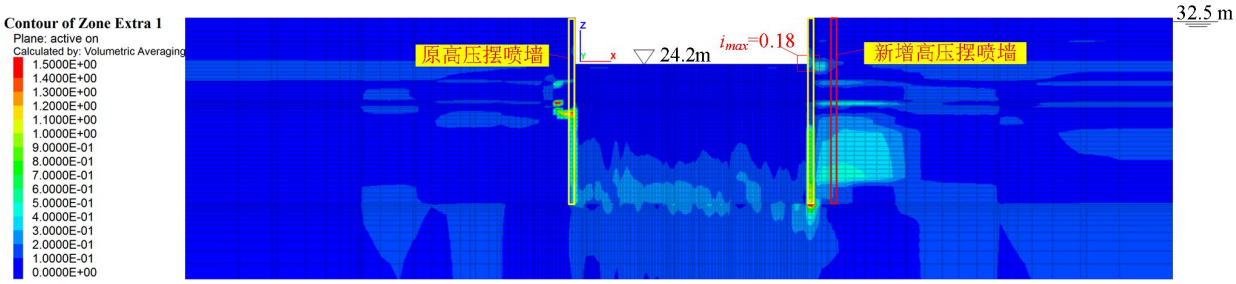


（a）涌水时　　（b）防渗加固后

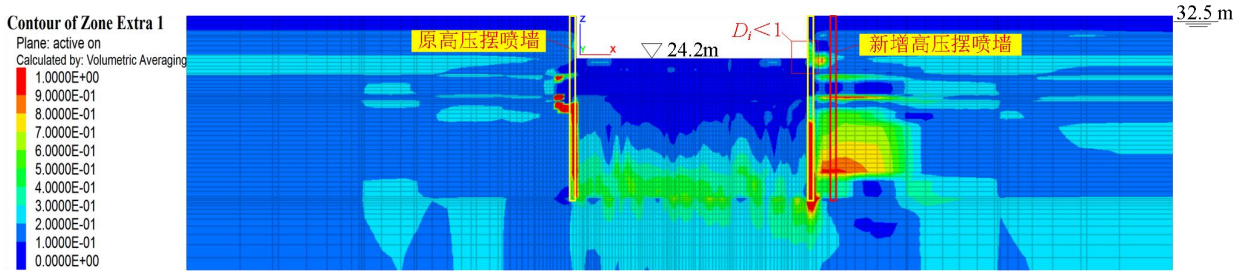
图 7 基坑第一次防渗加固

Fig. 7 The first anti-seepage reinforcement of foundation pit

基坑第 1 次涌水剖面在防渗加固后水力梯度与临界水力梯度接近度分布计算结果如图 8 所示。从图 8a 可以看出，坑底涌水部位的水力梯度自涌水时的 0.46 降至 0.18，低于该土层的临界水力梯度 0.287，此处不在发生管涌；从图 8b 可以看出，此时坑底涌水口的临界水力梯度接近度较加固前降低至小于 1，渗透破坏贯通区域远离坑底，说明针对本次涌水时管涌危险区分布而提出的防渗加固建议有效。



（a）水力梯度计算结果



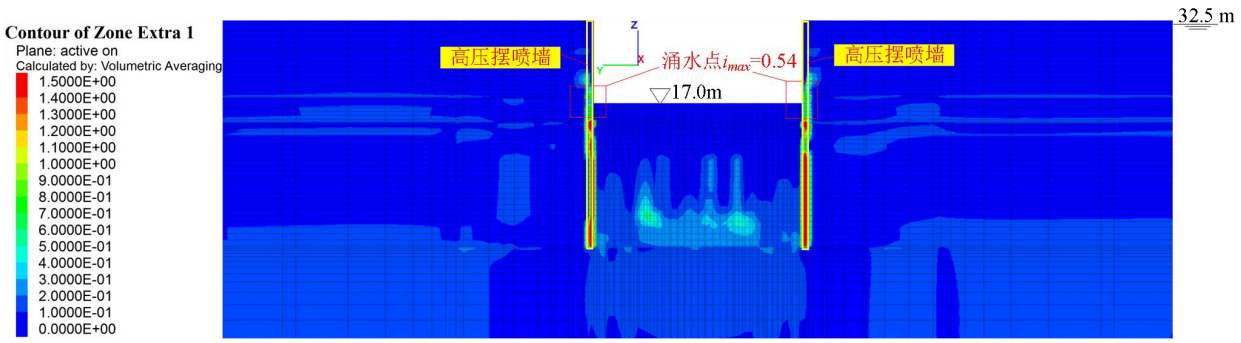
（b）临界水力梯度接近度计算结果

图 8 基坑第 1 次涌水防渗加固后涌水剖面水力梯度与临界水力梯度接近度计算结果

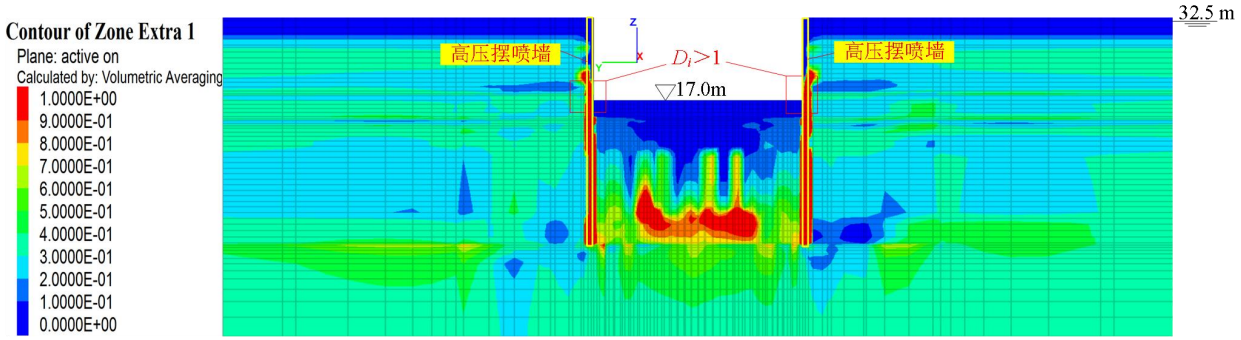
Fig. 8 The calculation results of the hydraulic gradient of the water gushing profile and the critical hydraulic gradient after the first water gushing and anti-seepage reinforcement of the foundation pit.

4.2 第 2 次涌水剖面计算结果

基坑第 2 次涌水剖面水力梯度与临界水力梯度接近度计算结果如图 9 所示，此时基坑已开挖至设计高程。此时坑底土层为砂壤土，从图 9a 可以看出此时坑底涌水剖面出水口处的水力梯度为 0.54 大于该土层临界水力梯度 0.246，说明此处发生了管涌；从图 9b 可以看出此时涌水部位的临界水力梯度接近度大于 1，基坑发生管涌的原因是在防渗结构处出现了绕渗，形成了渗流破坏贯通区，最终造成在基坑底部发生了管涌。经过对比得出临界水力梯度无法对涌水部位以外区域的土体无法进行管涌危险性判定；而临界水力梯度接近度可以依据土体发生管涌的危险程度划分出管涌危险区，可以判定整个场地内土体发生管涌的危险性。



（a）水力梯度计算结果

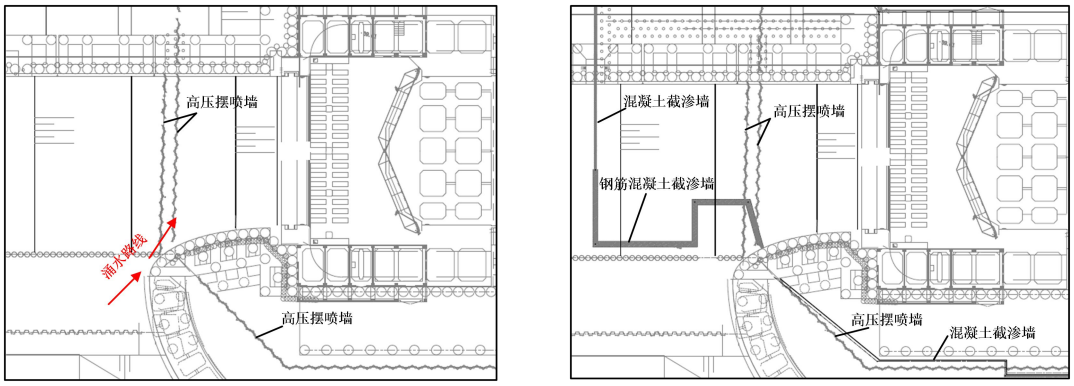


（b）临界水力梯度接近度计算结果

图 9 基坑第 2 次涌水剖面水力梯度与临界水力梯度接近度计算结果

Fig.9 The calculation results of the hydraulic gradient and the critical hydraulic gradient proximity of the second water inflow profile of the foundation pit

根据基坑第 2 次涌水时土体管涌危险区分布，需要对管涌危险区进行防渗干预，结合工程现场在原高压摆喷墙外侧新增混凝土截渗墙，针对出水部位利用钢筋混凝土截渗墙进行防渗补强，如图 10 所示。

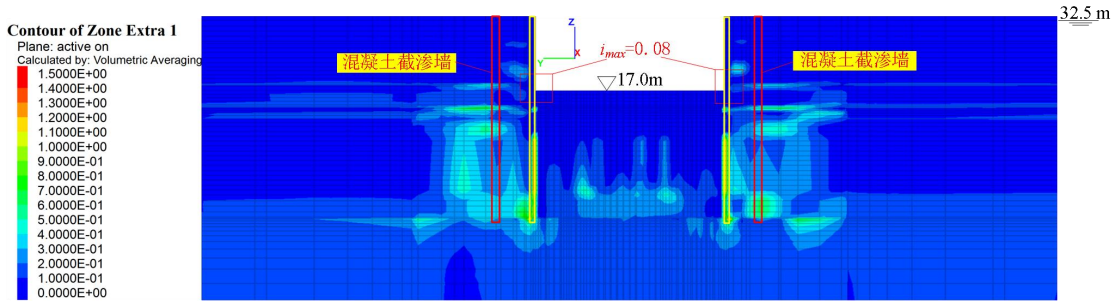


(a)涌水时　　(b)防渗加固后

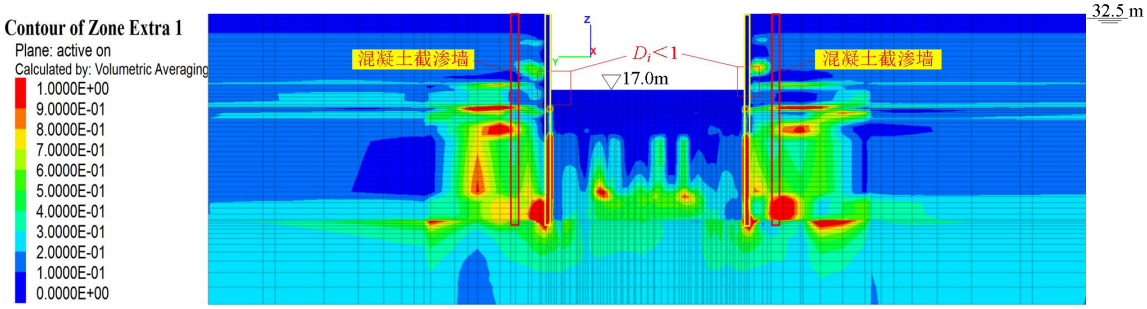
图 10 基坑第二次防渗加固

Fig.10 The second anti-seepage reinforcement of foundation pit

基坑第 2 次涌水剖面在防渗加固后水力梯度与临界水力梯度接近度分布计算结果如图 11 所示。从图 11a 可以看出，此时坑底涌水部位的水力梯度自涌水时的 0.54 降至 0.08，低于该土层的临界水力梯度 0.246，此处不再发生管涌。从图 11b 可以看出，此时坑底涌水口的临界水力梯度接近度较加固前降低至小于 1，渗透破坏贯通区域远离坑底，说明基于基坑本次涌水时管涌危险区分布所提出的防渗加固建议有效。



（a）水力梯度计算结果



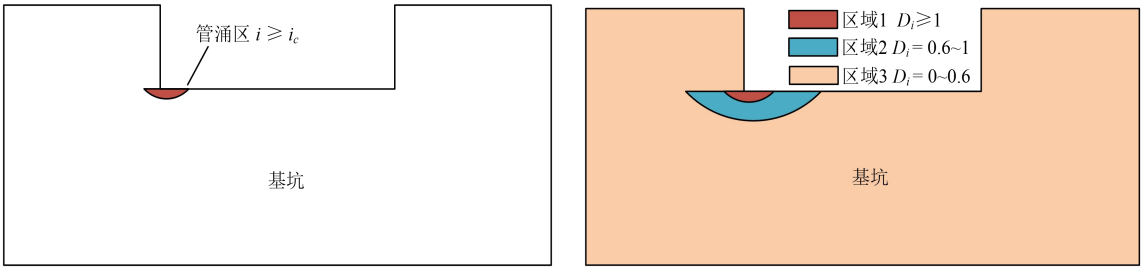
（b）临界水力梯度接近度计算结果

图 11 基坑第 2 次涌水防渗加固后涌水剖面水力梯度与临界水力梯度接近度计算结果

Fig. 11 The calculation results of the hydraulic gradient of the water gushing profile and the critical hydraulic gradient after the second anti-seepage reinforcement of the foundation pit.

4.3 讨论

以往工程中对于管涌区的判定只针对浅表层出险区域如图 12a 所示，但伴随管涌区的出现，管涌潜在危险区也会存在，这些潜在危险区在外界条件或工程结构失稳的进一步影响下就会发展为管涌区，因此能够有效识别管涌潜在危险区同等重要，但以往的方法因不能定量预测管涌危险性，不能对管涌潜在危险区进行准确识别。文献[6]、[23-25]通过室内渗透试验依据土样发生管涌的危险程度不同，将土体发生管涌的动态过程定量划分为若干个区间。本文统计了上述文献得出的不同土体临界水力梯度及其发生管涌潜在危险时（细颗粒普遍流失）的水力梯度，换算得出土体处于管涌潜在危险时的临界水力梯度接近度经验取值，如图 13 所示。可以发现不同土体处于管涌潜在危险时临界水力梯度接近度整体位于 0.6-0.8 范围之间，考虑到实际工程安全性，选取临界水力梯度接近度为 0.6 时作为土体处于管涌潜在危险时的判断依据。据此假定当 $D_i \geq 1$，土体已发生管涌如图 12b 区域 1；当 $D_i = 0.6\sim1$ 时，土体处于管涌潜在危险区如图 12b 区域 2，该区域发生管涌的可能性很大，工程中应采取相应的防渗措施防止该区域发生管涌；当 $D_i = 0\sim0.6$ 时土体处于管涌相对安全区如图 12b 区域 3，工程中暂时不需要对此区域进行防渗干预。对于具体工程可通过试验确定各个土层处于管涌潜在危险时临界水力梯度接近度的精确值。通过以上分析得出，临界水力梯度接近度可以根据土体发生管涌的危险程度定量划分区域，通过及时识别管涌危险区以及潜在危险区的分布并提供防治建议，可有效避免工程发生管涌，具有重要的工程意义。



（a） 以往管涌研究区域　　（b）临界水力梯度接近度管涌研究区域

图 12 管涌研究区域

Fig.12 Piping research area

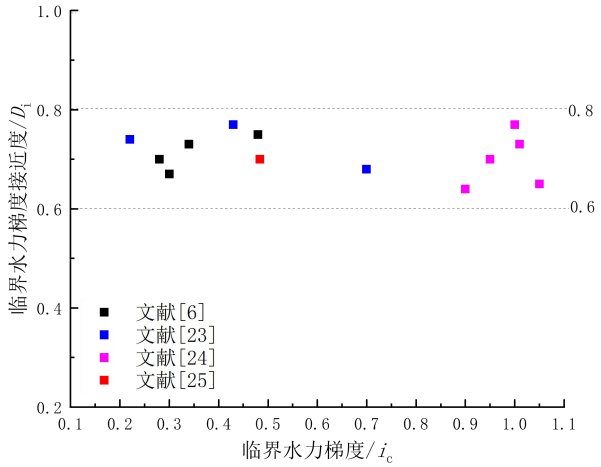


图 13 相关文献土样临界水力梯度接近度转化结果

Fig.13 The conversion results of critical hydraulic gradient proximity of soil samples in related literature

5 结论

本文基于土体发生管涌的水力条件，提出可以定量判别工程发生管涌危险性并提供防渗建议的临界水力梯度接近度指标，根据工程实例采用数值模拟方法对该指标进行合理性论证，得出以下结论：

（1） 临界水力梯度接近度指标通过表示土体水力梯度与其临界水力梯度的接近程度来定量判定土体发生管涌的危险程度，不仅可以用来判定浅表层涌水位置土体是否发生了管涌，还可以识别复杂土层场地内土体发生管涌的危险性。

（2） 根据临界水力梯度接近度分布的计算结果，得出发生管涌的危险区以及潜在危险区，据此分析工程涌水机制，并提供合理的防渗建议，通过提前的防渗干预达到消除管涌的目的。

通过以上研究表明，临界水力梯度接近度指标的提出为土木工程中管涌的预测以及防治提供一种新的管涌危险性评价的量化方法。

参考文献

[1] 吴庆华，张 伟，邬爱清，等. 堤防管涌险情研究进展[J]. 长江科学院院报，2019，36(10): 39-44.

[2] 刘紫蕊，江克证. 堤防大坝管涌问题的研究[J]. 中国水运（下半月），2017，17(5): 197-199.

[3] 智慧渊，厉 风，高金铭. 地铁车站富水砂层地连墙施工风险分析[J]. 工程技术研究，2020，5(21)：169-170.

[4] 毛昶熙. 管涌与滤层的研究:管涌部分[J]. 岩土力学，2005(2):209-215.

[5] 施 倩，钟启明，吕晓倩，等. 土石坝管涌溃坝过程数学模型及应用[J].防灾减灾工程学报，2018，38(3): 511-519.

[6] 毛昶熙，段祥宝，吴良骥. 砂砾土各级颗粒的管涌临界坡降研究[J].岩土力学，2009，30(12): 3705-3709.

[7] OJHA C S P, SINGH V P, Adrian D D. Determination of critical head in soil piping[J].Journal of Hydraulic Engineering, 2003, 129(7): 511-518.

[8] HUANG Z, BAI Y C, XU H J, et al. A theoretical model to predict the critical hydraulic gradient for soil particle movement under two-dimensional seepage flow[J]. Water, 2017, 9(11), 828.

[9] HOFFMANS G, RIJN L V. Hydraulic approach for predicting piping in dikes[J]. Journal of Hydraulic Research, 2018, 56(2): 268-281.

[10] ZHANG C H, JI E Y, Wang B T, et al. Research on a critical hydraulic gradient of piping in noncohesive soils[J]. Soils. Advances in Civil Engineering, 2021, 2021(2021):1-6.

[11] ROHANINEJAD M, ZARGHAMI M. Combining Monte Carlo and finite difference methods for effective simulation of dam behavior[J]. Advances in Engineering Software, 2011, 45(1): 197-202.

[12] BARBETTA S, CAMICIi S, BERTUCCIOLI P, et al. Levee body seepage: a refinement of an expeditious procedure for fragility curves and vulnerability diagrams assessment[J]. Hydrology Research，2017，48(3): 763-775.

[13] WANG F W, OKEKEUSTIN A C U, KOGURE T, et al. Assessing the internal structure of landslide dams subject to possible piping erosion by means of microtremor chain array and self-potential surveys[J]. Engineering Geology, 2018, 234: 11-26.
[14] MING P, LU J, CAI X, et al. Multi-Particle model of the critical hydraulic gradient for dike piping[J]. Soil Mechanics and Foundation Engineering, 2020, 57(3): 200-210.
[15] 梁 越，陈建生，陈 亮，等. 双层堤基管涌发生发展的试验模拟与分析[J]. 岩土工程学报，2011，33(4): 624-629.
[16] 黄翔. xa 峡库区马家沟滑坡抗滑桩变形机制研究[D].合肥：合肥工业大学,2018.
[17] 杨启贵，林学锋，郭志华. 极端冰雪灾害对边坡工程稳定性影响分析研究[J].人民长江，2010，41(24):67-71.
[18] 胡建林，孙利成，崔宏环，等. 基于修正摩尔库伦模型的深基坑变形数值分析[J]. 科学技术与工程，2021，21(18): 7717-7723.
[19] 胡建林，孙利成，崔宏环，等. 修正摩尔库伦模型下的深基坑 变形数值分析[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版)， 2021， 40(2): 134-140.
[20] 刘 鹏，李祥祥，李剑锋，等. 临地铁结构物桩基施工技术研究[J]. 公路，2019，64(12): 89-96.
[21] FU Z Q, SU H Z, WEN Z P. Multi-scale numerical analysis for linear elastic behavior of clay concrete[J]. International Journal of Solids and Structures, 2020, 203: 23-45.
[22] 邹育麟，何 川，胡雄玉，等. 富水区隧道合理防排水型式及注浆加固参数研究[J]. 防灾减灾工程学报，2014，34(4): 485-491.
[23] 王宇，谷艳昌，王士军，等. 基于雷诺数的砂砾石管涌过程判别[J/OL].水利水运工程学报:1-10 [2022-07-12].
[24] 陶高梁，李进，崔惜琳.不同颗粒级配的砂土渗流破坏特性[J].土木工程与管理学报，2019，36(2):90-97.
[25] 魏勇，赵安文，许开立.尾矿库坝基管涌破坏试验[J]. 金属矿山，2015(9):157-160.

通讯作者简介：

钱叶琳（1980-），男，博士在读，安徽建工路港建设集团有限公司，安徽省芜湖市鸠江区皖江财富广场 A2 座，电话：13955188389，E-mail：408335887@qq.com。

货运型内河港口物流园区评价分析

夏高响，王亚武，陈品章

（安徽省交通勘察设计院有限公司，安徽 合肥 230011）

摘要：随着交通强国和长三角一体化高质量发展的深入实施，物流园区建设不再以追求规模为主要目的，而是转向以高效率、低成本、切合本地发展为目的的新建设发展理念。在新建设理念下，为使物流园区的基础设施投入得到充分有效利用，有必要提出全新的内河港口物流园区评价方法。本文以安徽省货运型内河港口物流园区为例，分析货运型内河港口物流园区发展的关键影响因素，抓住园区建设主要矛盾，建立货运型内河港口物流园区评价体系，为安徽内河港口物流园区规划建设决策提供依据。

关键词：货运型；港口物流园；评价；体系

0 引言

货运型内河物流园区作为一种物流园区形式，具有集资源与服务为一体的优势，对社会经济的发展有推动作用[1]。目前，在国家政策的推动下，货运型港口物流园区的建设规模都有了较大发展，国内外也开展了大量的研究。但是，现有的研究一般多把货运型内河港口物流园区作为物流园区的一部分进行评价[2]，未能单独对货运型内河港口物流园区开展全面系统地研究，已有的评价体系无法完全适用其建设评价，为推动货运型内河港口物流园区建设工作质量的提升，需要对货运型内河港口物流园区的评价进行深入探析。

1 指标体系构建

1.1 评价体系构建原则

为使评价指标体系科学化、规范化，在构建评价指标体系时，应遵循以下原则：

（1）科学性原则：各指标体系能客观真实地反映主要影响因素及影响规律；

（2）系统整体性原则：指标体系要充分表现物流能力的系统性，着重于系统的整体性；

（3）代表性原则：选取代表性的指标，从不同层面反映出一所物流园区的物流竞争能力；

（4）时效性原则：指标体系应随着社会价值观念的变化不断调整，具有时效性；

（5）可比、可操作、可量化原则：指标选取的计算量度和计算方法必须一致、统一，简单明了、便于收集，具有很强的现实可操作性和可比性，能进行定量处理；

（6）定量为主，定性为辅原则：采用定性与定量指标相结合的方法，尽可能定量化。

1.2 评价体系构建方法

基于上述指标构建原则，项目主要采用“文献调研-头脑风暴法-德尔菲法-数据包络分析”的构建框架体系确定评价指标体系，框架体系如图1所示。

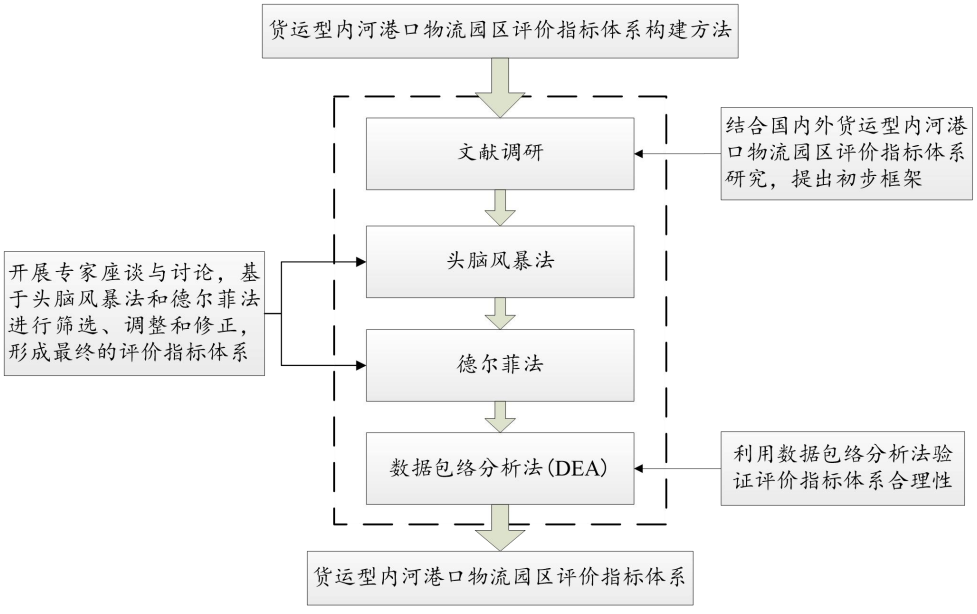


图1 货运型内河港口物流园区评价体系构建方法框架

Figure 1 Methodological framework for the construction of evaluation system of freight inland port logistics park

1.3 指标体系内涵

基于指标体系设计原则并结合安徽省货运型内河港口物流园区发展建设的要求，在充分分析研究园区规划建设发展规律以及深度总结典型内河港口物流园区发展经验基础上，进行问卷调查的基础上，经过专家多轮讨论，最终形成了由4个一级指标、11个二级指标、28个三级指标组成的货运型内河港口物流园区评价指标体系，具体内容见表1。

表1 货运型内河港口物流园区评价指标

Table 1 Evaluation index of freight inland port logistics park

一级指标	二级指标	三级指标
腹地经济及物流产业发展	腹地经济现状及发展趋势	GDP
		GDP 增长率
	腹地产业发展格局	产业结构
		主导产业
		产业产值
	腹地物流发达程度	物流指数
		各种运输方式货运量所占比例
		第三方物流占社会总货运量比例
	园区直接腹地产业与物流关联程度	直接腹地产业集聚区物流总量
		第三方物流量与物流总量的比例
		水路货运量与物流总量的比例
区位条件	运输便利化程度	临近公路（国道或省道）出入口的距离
		临近铁路接线点距离
		港口所在航道等级
		临近商品集散地（商品批发市场、电商产业园等）或制造业聚集园区（经济开发区、高新技术园区、工业园区等）距离
	公共配套条件	市政公用设施
		行政商业服务配套设施
	自然地理条件	气候条件
		地质条件
政府政策	财政扶持政策	税收优惠政策
		财政奖补政策
	发展扶持政策	土地优惠政策
		专项制度保障
开发运营及效益评价	开发运营	资金能力
		组织协调能力
	效益评价	经济评价
		信息化程度
		绿色环保能力

2 评价指标体系权重分析

2.1 分析方案

为进一步分析研究货运型内河港口物流园区评价指标体系的有效性，利用数据包络分析法对所选评价指标体系的有效性进行定量化分析。具体计算过程如下：

（1）确定决策单元

选取安徽省八个主要内河港口作为数据包络分析的决策单元。

（2）确定投入产出指标

数据包络分析法是根据多项投入指标和多项产出指标，利用线性规划的方法，对具有可比性的同类型单位进行相对有效性评价的一种数量分析方法。

（3）数据处理

在CCR模型中衡量综合技术效益，综合技术效益反映的是内河港口在最优规模时投入要素的生产效率，是对其资源配置能力、资源使用效率等多方面能力的综合衡量与评价，值等于1时，代表该内河港口的投入与产出结构合理，相对效益最优。

2.2 评价指标体系权重计算

利用层次分析法（AHP）计算评价指标体系各指标权重，该方法将定量分析与定性分析结合起来，其基本思路是将所要分析的问题层次化，根据问题的性质和所要达成的总目标，将问题分解为不同的组成因素，并按照因素的关联影响及隶属关系，将因素按不同层次凝聚组合，形成一个多层次分析结构模型，最后对问题进行优劣比较并排列，使用该方法计算出的权重如下表2：

表2 货运型内河港口物流园区评价体系指标权重

Table 2 Weights of evaluation system indicators of freight inland port logistics parks

一级指标	权重	二级指标	权重	三级指标	权重
腹地经济及物流产业发展	0.3109	腹地经济现状及发展趋势	0.2636	GDP	0.5076
				GDP 增长率	0.4924
		腹地产业发展格局	0.2824	产业结构	0.3400
				主导产业	0.3645
				产业产值	0.2955
		腹地物流发达程度	0.2167	物流指数	0.3427
				各种运输方式货运量所占比例	0.3042
				第三方物流占社会货运量比例	0.3530
		园区直接腹地产业与物流关联程度	0.2373	直接腹地产业集聚区物流总量	0.3418
				第三方物流量与物流总量比例	0.3036
				水路货运量与物流总量的比例	0.3545
区位条件	0.2742	运输便利化程度	0.6079	临近公路出入口距离	0.2264
				临近铁路接线点距离	0.1828
				港口所在航道等级	0.3441
				临近商品集散地距离	0.2467
		公共配套条件	0.1988	市政公用设施	0.5197
				行政商业服务配套设施	0.4803
		自然地理条件	0.1933	气候条件	0.4327
				地质条件	0.5673
政府政策	0.1976	财政扶持政策	0.4400	税收优惠政策	0.5176
				财政奖补政策	0.4824
		发展扶持政策	0.5600	土地优惠政策	0.5124
				专项制度保障	0.4876
开发运营及效益评价	0.2173	开发运营	0.5420	资金能力	0.5261
				组织协调能力	0.4739
		效益评价	0.4580	经济评价	0.3470
				信息化程度	0.3458
				绿色环保能力	0.3073

2.3 货运型内河港口物流园区分级评价标准建立

在深入调查研究的基础上，依据可操作性和引导性的原则，经广泛征求有关单位和专家意见确定各三级指标的衡量指标。依据货运型内河港口物流园区评价指标体系及指标等级划分，确定所有三级指标评价标准，将所有指标转换为百分制得分。

三级指标中GDP、GDP增长率、产业产值等各项指标，考虑其时间波动性，为使标准具有时效性，本项目以安徽省内在研究期内各项指标最高值作为100分标准。物流指数、临近公路出入口的距离、气候条件等各项定量化指标其取值相对固定，且随时间波动变化较小，本项目以各项指标综合水平最高值作为100分

标准。资金能力和组织协调能力指标由两项定量化指标综合衡量。

3 货运型内河港口物流园区评价案例分析

依据货运型内河港口物流园区评价指标体系各指标评价值及评价等级确定，结合内河港口物流园区综合评价方法，计算出安徽省内芜湖三山海螺港、马鞍山慈湖港、安庆五里庙港、合肥派河港、蚌埠新港、阜阳颍州港、滁州汊河港及池州江口港八个主要内河港口的最后评分，具体结果见表3。

表3　安徽省八大主要内河港口评分结果

Table 3 Scoring results of eight major inland ports in Anhui Province

港口物流园区名称	得分
芜湖三山海螺港	71
马鞍山慈湖港	70
安庆五里庙港	64
合肥派河港	83
蚌埠新港	65
阜阳颍州港	59
滁州汊河港	64
池州江口港	68

综合评分越高，说明在此区域越适合建设货运型内河港口物流园区。由表3可知，合肥派河港综合评分最高，为83分，数据表明合肥派河港可优先推进货运型内河港口物流园区建设。芜湖三山海螺港评分71，仅次于合肥派河港，数据表明此处建设货运型内河港口物流园区具有良好的建设条件，建设需求也相对较高。

在对安徽省八个内河港口进行评价时，得到阜阳颍州港评分为59分，相对于其余港口，在阜阳颍州港附近建设货运型内河港口物流园区，实现效益最大化压力相对较大，不宜建设货运型内河港口物流园区。

4 结语

本课题着重分析了内河港口物流园区的影响因素，提出园区评价指标体系构建原则，并构建了货运型内河港口物流园区评价指标体系作为园区是否可建的衡量依据。以安徽省内的主要内河港口作为案例研究对象，验证了指标体系及评价方法的有效性和实用性。最后依据园区建设评价体系，计算出各港口的最后评分，分析出所在地区建设货运型内河港口物流园区可行性，研究结果可为安徽省内货运型内河港口物流园区的规划建设提供一定的指导作用。

参考文献

［1］翟晓林.物流园区投资开发模式及应用研究[J].工程建设与设计,2018(16).

［2］张振华,张胜权.内河港口物流园区运营模式探析[J]. 港工技术,2020（05）.

作者简介

夏高响(1988-)，男，硕士，高级工程师，安徽省交通勘察设计院有限公司从事港航工程科技与研发，电话：13721050779，E-mail:421205441@qq.com。

内河水运高质量发展趋势分析

王亚武,夏高响

（安徽省交通勘察设计院有限公司，安徽 合肥 230011）

摘要：随着国家宏观政策激励，在各省市港航一体化体制改革、内河基础设施不断完善和货运空间布局逐步向中西部转移的重要机遇下，内河水运行业应当开拓创新，开启内河水运高质量发展之路。在做好传统大宗内河水运适运货物基础物流的同时，开展物流延伸服务，主导企业向物流供应链集成商发展。通过构建内河高等级航道分布式智慧物流港，打造“天地通合”的物流体系，响应国家发展战略，增加货物内河水运量，提升内河水运量占比，实现内河水运网络化运输高质量发展。

关键词：内河水运；高质量；供应链；现代物流

0 引言

随着我国经济社会发展进入新常态，全社会货运量增长趋缓，货运总量由增量时代进入存量时代，各种不同运输方式间货运量占比竞争，将成为交通运输行业间竞争的主题，其中公路运输凭借方便、快捷、服务周到、发达的网络布局及信息平台等优势，货运量占全社会货运量的比例高达 78%左右，并有进一步扩大的趋势。在此背景下，我国为保持社会经济长期健康发展，实施了产业转型升级、运输结构调整及建设交通强国等国家发展战略，通过发展多式联运、优化物流供应链，提升水运、铁路的货运量，以期达到可持续发展的目的。在新的发展时期，内河水运必须发挥优势，摒弃不足，扬长避短，开拓创新，才能实现高质量发展。

1 内河水运面临的主要挑战

我国面临着社会经济增速减缓，产业结构转型升级，由中低端、粗放型产业向中高端、精细化产业发展过程，大宗货物[2]运输量减少，全社会货运总量增长减缓。水运运输作为五大运输方式之一，具有运输能力大、成本低廉、能源消耗及土地占用都较少的特点，适合中长途大宗货物运输[1]。新发展趋势的变化，促使内河水运需要应对腹地经济产业结构调整及现代物流发展对内河水运量的影响

1.1 腹地经济产业结构对内河水运量的影响

货运量是发展内河水运的基础，内河水运的高质量发展又是促进腹地经济社会和货运量增长的条件。我国经济进入新常态后，伴随着经济结构优化和产业布局调整，中长期全社会货运量增速逐步放缓，远期货运量将趋于稳定，并伴有波动[2]。

我国已进入工业化和城市中期阶段，第一产业占比下降，第二、三产业占比上升。必将进入工业和城市化后期阶段，第三产业占比高，产业结构系数较大。引入李文杰等提出的货运强度和产业结构系数概念，将货运量与 GDP 之比定义为货运强度，第三产业增加值与第一和第二产业增加值之和的比值定义为产业结构系数。通过探讨经济结构调整，货运强度随产业结构系数的增加而下降，产业结构系数较小时货运强度急速下降，产业结构系数较大后则缓慢下降。内河水运货运量主要由第一和第二产业贡献，宏观上表现出与 GDP 的正相关性，但经济结构调整到一定程度后相关性减弱[3]。

在全社会货运量增速趋缓前提下，与水运关联度极高的基础设施建设、房地产业、钢铁矿石等大宗货物需求行业，也出现增速放缓或下降的趋势，腹地经济产业结构对水运货运量产生的影响，必将促使内河水运转型或创新发展。

1.2 现代物流发展对内河水运量的影响

近年来，物流业伴随着移动互联网的出现，进入了高速发展期，物流服务技术、能力、理念及意识等都得到很大提升。但是传统内河水运物流提升有限，难以满足现代物流网络化、系统化、信息化和精益化[4]的要求，难以吸引非传统适水货物改为水路运输，难以提高水运货运量在全社会货运量中的占比。现代物流快速发展多在公路物流中得到体现，这也是公路货运量在全社会货运量中一直占比很高的主要原因之一。为适应现代物流发展的需要，在充分发挥内河水运优势的前提下，开拓创新，遵循现代物流的发展趋势，改造内河水运存在的弊端，是十分必要的。

2 内河水运发展的重要机遇

2.1 宏观政策带来的机遇

我国相继实施碳达峰碳中和、国内国际双循环、建设交通强国、调整运输结构、发展多式联运等战略，这些宏观政策无一不对节能、环保且运价低廉的内河水运起到积极促进的作用，给内河水运发展带来新的机遇，是发展内河水运的基石。随着国家明确提出 2030 年“碳达峰”、2060 年“碳中和”目标，作为碳排放量占排放总量的 10%左右的交通运输行业，必然迎来更加严格的要求和限制。水运运输方式作为单位货物排碳量较低的运输方式会得到发展和提升。同时随着我国国民经济和交通运输量的发展，运输结构也会随着进行调整，开展多式联运是必然结果，根据欧美发的国家的交通运输体系发展规律，内河水运作为运量大、成本低、节能环保的运输方式，必然得到越来越广泛的认可。

2.2 体制机制改革来的机遇

多个内河水运条件良好的省份，相继成立港口集团，使以水运为主导的港口集团发展成为供应链主体服务商或供应链集成商打下了坚实的基础。港口集团内部一体化运作，港口集团间区域一体化的港口物流供应链构建，能有效消除“一单制”、物流供应链协同、行业内无序竞争等阻碍内河水运高质量发展的壁垒，已具备内河水运适应现代物流发展需求的组织能力和基础条件。

港口集团内部一体化运作，能够整合优质资源，补齐港口服务短板，完善保障体制，延伸产业链条，解决了内河港口管理混乱、多头管理混乱的局面，将港航服务上下游的航运金融、航运保险、信息服务、法律咨询等业务进一步拓展，提高公司的服务能力和水平。

2.3 行业发展带来的机遇

我国内河航运资源丰富，内河航道建设及内河航运发展取得了显著成绩。虽然存在高等级航道占比不高、支线延伸和沟通成网不够、枢纽瓶颈制约、与其他运输方式衔接不足等短板，但随着我国“四横四纵两网”高等级内河航道网的构建，在国家发展战略的支撑下，将会日趋完善，为构建国内大循环为主体的新发展格局，充分发挥内河水运优势奠定基础。完善的内河水运交通运输网为航运奠定了基础，随着港口信息化、智能化和无人化发展趋势，进一步提高了港口的工作效率，行业的发展为内河水运带来新的机遇，为实现内河水运快速发展提供了保障。

2.4 货运空间分布重心变化的影响

我国全面小康社会目标的实现，以人为本、惠及百姓的发展模式，城乡一体化进程的不断加快，发达地区向中西部欠发达地区产业转移等，预示着货运空间分布重心将向中西部倾斜，特别是向有良好水运条件的中西部转移。货运空间分布重心的变化，内河水运货运需求增长，提供了内河水运发展的空间。

3 内河水运高质量发展方向

3.1 传统大宗适水货物内河水运发展方向

传统适水货物按吞吐量主要货种为矿建材料、水泥、煤炭及制品、金属矿石、非金属矿石、钢铁、化工原料及制品、石油天然气及制品等，由于货值低、批量大、时效性要求不高，因此内河水运具有不可替代的巨大优势。对于传统大宗适水货物，若内河水运仍停留在装卸、仓储、运输等基础物流服务层次上，很难对经济社会发展做出更大贡献，水运企业效益也很难提升。需要在基础物流服务的前提下，开展物流延伸服务，利用各港口集团的水运主导地位、良好的水运基础设施和信息化手段，集聚或集成物流、运输、货代、商贸、配送、金融、保险等企业，开展大宗货物的贸易、配送、流通加工、物流金融、保险等业务，延伸、优化物流供应链，进一步降低物流成本，提高企业经济效益，逐步发展成为物流供应链主体服务商或集成商。

3.2 增量货物内河水运发展方向

传统大宗适水货物量将随着经济产业结构变化逐渐减少，吸引内河水运增量货物，提高在五大运输方式货运量占比是迫切的。内河水运增量货物是指批量较小、有库存等需求的工业原料、半成品、产成品，以及耐用品、消费品等。由于内河水运腹地规模以上工业企业占比少，其原料、产成品批量较小，城镇人口密度小，耐用品、消费品集中度不高，这些都不适应内河水运单船运量大的要求，但这些货物总量巨大。从物流市场供需关系看，货运、物流需求结构调整加快，大宗货物、零担货物、快递货物需求结构，以及碎片化需求的集中整合手段（平台+网络）的变化，必将深刻影响货运物流组织方式和服务方式的变革。

构建内河高等级航道分布式智慧物流港，利用发达的内河高等级航道网，开发以水运为主导的“集、分、储、运、配”全链条、一体化内河水运物流供应链信息平台为“天网”，满足客户多样化、多批量货物订舱及

物流需求；以已建或新建内河港口作为分布式分拨、转运物流网络节点为“地网”，满足物流节点装卸、仓储、分拣分拨、流通加工、配送等物流服务，将各网络节点打造成工业企业前置仓储物流基地、城市消费品分销中心；采用适合现代物流需求而订制的运输船舶、优选 “五定”航班航线为“通网”，根据物流需求，科学选定运输航线及沿途停靠节点港，开发有别于集装箱运输的集拼、分拣的专用载具和吊装工属具，打造水运标准化物流系统；集成各分布式网络节点间一体化港港联盟及与最后一公里配送物流企业、运输企业间联盟为“合网”，集聚物流要素，全程物流“一单制”，满足一体化、全方位的现代物流需求。打造内河水运“天地通合”物流体系，将是增量货物内河水运发展的方向。

4 结语

内河高等级航道分布式智慧物流港是以内河水运物流信息平台为支撑，集聚内河港口、物流、运输、货运代理、金融、保险等服务性企业，为生产商、供应商和消费者提供高标准的、方便快捷的、一体化的物流服务，从而拓展内河港口服务范围，提高物流服务水平，扩大水运货运量在交通运输体系中占比，有效降低物流成本，实现绿色发展的要求。“天网”满足智慧物流，响应产业升级战略，“地网”可充分提高已建港口资源利用率，实现高质量发展战略，“通网”可改变内河水运存在的不足，推进内河港口创新性发展及技术进步，“合网”为实现“一单制”、“全方位”、“一体化”现代物流打下基础，响应国家发展战略，促进内河水运高质量发展。

参考文献

［1］张雪芹.各种运输方式的技术经济特征比较分析[J].交通与运输（学术版）.2013(01)；
［2］刘昭然.我国货运需求发展趋势分析[J].交通企业管理.2018（01）；
［3］李文杰.内河航运需求与腹地经济产业结构的相关性分析[J].水运工程.2022(04)；
［4］肖骏.现代物流发展中存在的问题与对策[J].宏观经济管理.2014(11)。

作者简介

王亚武(1965-)，男，学士，正高级工程师，安徽省交通勘察设计院有限公司从事港航工程规划与设计，电话：13956951950，E-mail:2746595849 @qq.com。

安徽港口智慧化发展研究与思考

吴德俊

（安徽省港口运营集团有限公司，安徽 芜湖）

摘要：近年来，以云计算、大数据、物联网等为代表的新兴信息技术正推动着港口行业业向着自动化、数字化、无人化升级迈进，传统港口站在转型升级的“十字路口”。安徽港口自资源整合以来，坚持一体化发展和智慧化转型双轮驱动，形成了港口智慧化发展的生动实践。本文以分析安徽省内港口智慧化状况为基础，深度剖析存在问题，从顶层设计谋划、业务管控一体化、港口 5G 场景应用等方面总结安徽智慧港口建设经验,以期为我国其他智慧港口的建设提供借鉴。

关键词：安徽港口；智慧港口；数字化转型

0 引言

党的二十大报告明确提出，加快构建新发展格局，着力推动高质量发展，加快建设交通强国，构建优质高效的服务业新体系，加快发展物联网，建设高效顺畅的流通体系，降低物流成本。加快发展数字经济，促进数字经济和实体经济深度融合，构建现代化基础设施体系。港口作为交通运输的枢纽，在促进国际贸易和地区发展中起着举足轻重的作用，全球贸易中约 90%的贸易由海运业承载，作业效率的提高对于港口至关重要。随着全球 5G 技术浪潮的到来，港口自动化、智能化持续升级，打造“绿色、环保、高效”的智慧港口成为新时代港口发展的迫切需求。

在长江经济带和“一带一路”国家战略的背景下,安徽省委、省政府作出推进安徽省港口一体化发展的战略部署。安徽港口自实施一体化改革以来，港口货物吞吐量和集装箱吞吐量稳步增长增幅明显，智慧港口建设成果显著。安徽港口在建设智慧港口中的赋能措施、积累的经验等对其他港口的智慧港口建设有一定的借鉴意义和启示。

1 资源整合前安徽港口智慧化情况

1.1 整合背景

国务院《关于依托黄金水道推动长江经济带发展的指导意见》中提出，鼓励大型港航企业以资本为纽带整合沿江港口和航运资源。2018 年，安徽省委、省政府决定成立安徽省港航集团；2018 年 11 月 26 日，安徽省港航集团会同芜湖、马鞍山、安庆、池州、铜陵等沿江五市人民政府共同发起，于芜湖市注册成立安徽省港口运营集团有限公司。

整合初期，安徽港口运营集团拥有在安徽皖江、淮河等水域沿线及全省范围内共 11 个港口，但所属各码头缺乏统一规划、统一管理的手段，处于“各自为政”的状态，同质化竞争激烈，公共资源配置不优，严重影响了安徽省现代港口物流、现代航运服务业的有序发展，智慧化发展方面存在较多突出问题

1.2 整合初期港口智慧化建设问题分析

信息数据资源共享深度不够。由于行业壁垒、数据标准不统一等原因，港口物流服务与上下游物流链企业、口岸单位及主管部门之间仍存在“信息孤岛”，在推动数字化整合、实现数据互联共享上难度较大。

建设基础薄弱、发展不均。集团职能部门仅财务系统初步实现了对资金的管控，其他职能部门未采用信息系统或使用水平较低；整合后的港口共建成 63 个独立的信息系统，各系统资源庞杂，相互独立，部分功能高度重叠，未能实现有机整合。生产信息化应用较多，但业务、服务信息化应用面窄，对远程控制设备、智能驾驶等方面研究较少，对公司开拓市场、服务市场的促进作用不明显，且各港口间信息化建设和应用程度不同，发展水平参差不齐。

大数据、人工智能应用不足，数据传输缺乏有效支撑。大部分港口仍停留在传统的生产作业模式，缺乏高效通信手段获得高频低时延机械作业动作状态、缺乏智能系统将回传的海量数据与人工智能相结合，无法实现对作业热点区域加以实时动态调度，不能有效帮助码头在生产方面节能降本和增效。已有的网络架构不能满足信息化发展要求。随着港口信息化应用的不断深入，大量生产、控制、业务、视频、办公数据需要进行传输和交互，但各成员企业已有网络的带宽、质量、速率等不能满足港口智慧化发展需求，无法解决如远程作业、无人作业等港口核心痛点问题。

2. 安徽港口智慧化之路探索实践

2.1 紧扣智慧港口建设要求

中共中央、国务院在 2019 年 9 月印发了《交通强国建设纲要》，要求构建安全、便捷、高效、绿色、经济的现代化综合交通体系，打造一流设施、一流技术、一流管理、一流服务，建成人民满意、保障有力、世界前列的交通强国。同年 10 月，国家交通运输部、中央网信办、国家发展改革委、教育部、科技部、工业和信息化部、财政部七部门联合印发了《智能航运发展指导意见》，重点指出提升港口码头和航运基础设施的信息化智能化水平，在港口建设、生产运营和管理等方面进一步提升智能港口技术和系统集成能力，加快推进智慧港口试点工程建设。

同年 11 月，交通运输部联合 9 大部委印发了《关于建设世界一流港口的指导意见》，意见中再次强调加强自主创新、集成创新，加大港作机械等装备关键技术、自动化集装箱码头操作系统、远程作业操控技术研发与推广应用，积极推进新一代自动化码头、堆场建设改造。建设基于 5G、北斗、物联网等技术的信息基础设施，推动港区内部集卡和特殊场景集疏运通道集卡自动驾驶示范，深化港区联动。

2.2 借鉴国内智慧港口成功案例

青岛港。国内智慧港口建设的先驱，以生产作业智能化提升“科技兴港”水平，利用永续充电、无人驾驶技术打造自动化码头、堆场；利用自动化智能化技术搭建散杂货自动化集疏运系统；利用北斗导航、5G 网络搭建综合物流服务平台。青岛港还运用区块链技术，建立基于港航大数据的开放平台；以口岸便捷一体化提升“效率通港水平”，依托云港通平台，打造船岸一体的“智检口岸”。

粤港澳湾区港口群。以“5G+”为特征，借助 5G 技术在传输速度上的优势，大幅提升大数据处理、人工智能、无人驾驶方面的效率和可靠性。主要包括建设无人驾驶集卡自动驾驶、大型港机设备远程精准控制、AI 智能理货、AR 智能远程查验及安全监管、无人车无人机远程自动巡检等，促进 5G 技术与港区数字化建设深度融合。

厦门港。主要聚焦无人驾驶集装箱卡车的应用，率先发布了“港口无人驾驶集装箱卡车”的行业标准，2022 年 5 月 11 日完成了 5G 智慧码头全业务场景的现场验收。未来将进一步实现港口间的对接、后台统一调度、规划路线，实现车辆远程监控、智能化管理，为港口降低运营成本、提升运营效率，实现绿色港口、自动化港口建设提供保障。

天津港。在港口生产、管理、服务智能化的同时，提出了全面提升绿色港口建设水平的目标，以科技创新为手段，以智慧港口建设为契机，打造世界一流绿色港口。具体包括推进生态智能环境监测管控系统建设，全面加强内部污染源分析；加快绿色智慧型干散货码头升级，降低码头运行能耗，提高大宗货物清洁作业水平；推进集装箱码头智能节能改造升级，实现堆场仓储自动操作，提高码头作业效率和堆场利用率。

3 安徽港口智慧化建设路径

3.1 建设思路

采用 5G、大数据、可视化等手段，加大新技术应用，创新港口经营模式和服务模式。对标国际一流水平，以服务需求为基础，加强信息基础设施建设。以客户服务为中心，构建起连接企业、政府、第三方机构的生态信息服务平台。打造成长江中上游乃至国内内河最具代表性标杆港口企业，形成可复制、可推广、并带动省内乃至全国内河港口智慧化水平的提升，基本建成自主知识产权的智能化港口综合系统、初步具备港口生态圈综合服务能力、初步形成全国智慧物流综合服务体系。

3.2 主要实践

完成智慧港口建设顶层设计。将港口创新发展列为企业《发展战略纲要》、《“十四五”发展规划》核心战略，明确加大创新科研投入，着力开展以智慧港口为核心的技术攻坚研究，提升技术创新和技术应用能力，建设智慧生态创新一流的港口体系，融合人工智能、物联网、船联网、车联网和区块链等现代信息通讯技术与手段，构建现代化智能化的物流运行体系，构建开放型智慧物流服务系统，参与推动安徽省航运中心智慧化发展。

实现业务发展与公司管控一体化。统一业务数据，制定标准规范，统一数据统计口径，建设统一的数据标准体系。建设统一的港口生产调度平台，整合成员企业已有的信息系统，实现统一的数据采集和共享，实现统一的船舶作业计划和生产调度管理，形成对下属码头的管控合力。统一视频联网监控，统一视频标

准，实现对各成员企业的可视化管控，有效提升安全环保管理水平。统一招标采购管理，固化业务流程，提高采购效率，实现全程监督。建设公司电子商城，与供应商签订协议约束物资类目价格，进一步降本增效，培育新的利润增长点。

开展港口 5G 场景应用建设。一是开展码头场桥岸桥的智能化改造。在芜湖港、合肥港等港口，积极运用 5G 等新技术，深入开展场桥、岸桥智能远控改造，提高装卸效率和作业标准化水平。二是升级并扩建无人道口。通过道口联网与远程控制系统，实现道口智能远程控制、无人值守等功能，提供车辆、货物的联网管理、风险分析等服务，提高通行效率。三是新建集装箱智慧堆场。涵盖人工远程作业、自动作业、安全防护、设备通讯管理等功能，提供场桥作业各环节可视化监管，优化操作环境，保证作业安全，提升作业效率。四是开展智能无人驾驶示范。针对内河港口“内外混行”集卡运输等实际问题，以“建成一套具有全域动态感知、全程精确控制、全系统协同作业能力的自动驾驶集卡系统，实现自动驾驶集卡运输与自动化装卸过程无缝衔接”为目标，在芜湖港、合肥港开展港区集卡自动驾驶作业综合示范。五是开展集装箱单证电子化推广应用。积极推进芜湖港单证电子化平台应用，优化作业流程，提升作业效率和服务水平。推进港航区块链电子放货应用，与 GSBN 签署合作协议，在全省加强与船、货代、海关等各有关单位深度合作，实现船公司电子放货的链上办理及区块链无纸化进口放货。

实现物流供应链全程管控。搭建港口物流供应链平台。打造港航产业生态协同创新发展新平台，整合省内相关资源，推进港口、物流、贸易、船闸等行业互联互通，发展多式联运、网络货运、无船承运、港口运营等新业务、新模式，以数字赋能港航产业发展，为客户提供一站式全程物流供应链服务。创建省级多式联运示范工程。通过开展多式联运“一单制”模式，集团所属企业申报的芜湖港支撑长三角一体化、中部崛起战略、打造“铁水联运主枢纽、内外联通全链条”多式联运示范工程。建设口岸通过一体化系统。为有效实现通关物流口岸业务的协同，与合肥海关积极对接，建设完成口岸通关一体化系统，实现了通关物流作业可视化监管，通过建设 EDI/API 数据交换平台，实现了高速大容量数据交换，提升了通关物流效率。

高标准建设数据中心。完善信息基础设施。构建芜湖、合肥两地互为灾备、互有侧重的数据中心，形成“一中心”信息底座，为港口生产经营智慧化场景搭建提供支撑环境。整合区域信息资源。构建“供方+需方+物流公司+船主+港口+海事+海关”航运生态圈，破除原有的属地壁垒，打破数据孤岛，统筹全省港口的生产和经营，优化货种结构和航线航班资源。建设态势感知平台，持续开展安全态势感知和监测预警。定期开展攻防演习、应急演练，提升实战水平和应急处置能力，确保网络安全管理和保障水平与数字化、智能化水平同步提升。

4 安徽智慧港口建设成效

2022 年，芜湖港智慧港口建设入围全国双化协同典型案例名单，荣获第五届“绽放杯”三等奖。在 2023 年“Smart Port Forum 第二届长三角智慧港口论坛”上，芜湖港受邀参会并作典型案例发言。经过四年的耕耘，安徽智慧港口建设取得了显著成效。

高质量发展水平进一步提升，安徽港口智慧化建设满足了“生态、智能、高效和安全”等要求，公司高质量发展水平进一步提升，实现了港口资源配置智能化、港口服务敏捷化、生产组织柔性化、物流运作便利化、港产城一体化的发展模式,有利于更加便捷地打造可持续发展、协调发展的港口组织生态圈。

发展基础不断夯实。经过四年快速发展，全省港口一体化发展驶入快车道，资源整合效益充分发挥，集团生产经营指标实现快速增长。2022 年，集团累计完成港口货物吞吐量 1.3 亿吨，同比增长 5.83%（增幅高于全国 4.9 个百分点、高于内河 6.1 个百分点、高于全省 1.6 个百分点）；集装箱吞吐量历史性突破 200 万标箱大关，同比增长 9.96%（增幅高于全国 5.1 个百分点、高于内河 4.8 个百分点、高于全省 5.3 个百分点）；完成滚装车 20 万辆，同比增长 18.44%。截至 2022 年底，集团资产总额突破百亿元，是成立之初的 2.8 倍，港口货物吞吐量较成立之初增长 3.1 倍，实现利润总额较组建当年增长超 2 亿元。

协同水平显著增强。智慧港口建设打破了原有单兵作战、无序竞争的局面，做到资源合理配置，形成了公平公开、协作共赢的物流服务新格局，服务质效大幅提升。通过智慧港口建设，集团成员企业船舶装载率大幅提升，由原来的 54%提高到 77%，集装箱单箱运输成本下降，客户物流费用下降近 20%，船舶计划准点率达到 100%，运输周期缩短 48 小时以上，船舶待港时间由原来的 48 小时减少到 24 小时以内。

作业效率有效提升。传统的港口码头在集装箱全流程运输环节存在依赖人工操作、场桥控制室内 WiFi 信号不稳定、传输速率无法保障、效率难以提升等问题，通过智慧港口建设，在保障场桥生产和控制数据

稳定性、实现远程集中控制的同时，改善员工作业环境，节约操作人员投入，降低安全风险。通过 5G+远程控制，人力资源投入比原人工场桥减少 67%，综合人工成本每年节约 200 余万元，且有效降低了安全生产风险和职工劳动强度。

数据传输更加稳定。通过利用 5G 技术 1Gbit/s 以上的大带宽高速率、端到端毫秒级时延、99.99%的网络可靠性、超高密度连接等特点，港口自动化有效效率，集团所属芜湖港、合肥港实现了龙门吊设备自动行走、智能寻箱、自动取送等功能，极大地压缩了生产作业辅助时间，提高了作业效率。相比传统的人工场桥模式，远程控制场桥单机作业效率整体提升 50%。

服务质量大幅提高。智慧港口建设有效解决了与船代、货代、拖车运输、港口企业的数据交换和共享，大幅提高通关效率和服务质量，降低企业物流时间和资金成本，目前集团港航单证平均办理时间由 2 天缩短至 4 小时以内，芜湖港成为继上海、厦门、青岛、宁波、广州、天津等沿海港口之后全国首家实现区块链无纸化进口放货的的内河港口，被纳入交通运输部港航“畅行工程”建设。

5 安徽智慧港口建设对策思考

持续推进信息资源整合。推进“一个中心、两个平台、五大系统”的信息化总体战略，通过 3-5 年的发展，共创物流生态圈，构建具有行业差异化的、持续领先的竞争力，引领港口业务的数字化重塑。一个中心：构建全省统一的港口云数据中心。两个平台：打造港口大数据和应用支撑两大平台，汇聚全省信息资源，建设三维 GIS 和可视化管理平台，为智慧港口业务提供应用支撑。五大系统：围绕港口生产、物流、管控、服务的全方位业务需求，建设和完善港口生产、港口物流、港口综合管控、港口要素大市场和港口生态圈信息服务五大应用系统。

创新智慧港口新技术应用。进一步提升智慧港口生产管理、指挥调度和信息服务能力，在 IGV 集卡控制、港口智能理货、港口智能安防等领域，通过 5G 技术提升业务自动化、智能化水平。利用三维 GIS-BIM、云计算、物联网感知、大数据分析等技术，建立服务于港口建设的辅助规划、设计优化、施工监管、智慧运维的信息系统，实现全过程精细化管控。

搭建适应多种场景的智慧物流平台。加速对接枢纽型内陆无水港和中欧班列主要节点，拓展港口腹地范围。整合航运数据资源，借助 5G 技术和北斗卫星定位实现港区智能化管理，实现集装箱物流链智能识别。依托港口大数据平台，整合内河港口、集卡运输、铁路、海港、供应商以及承运人的物流信息，形成互联网、物联网和码头自动化技术为一体，多边界属性的、系统化的大港口生态圈。

作者简介

吴德俊(1973-)，男，硕士，高级政工师，安徽省港口运营集团有限公司党委书记、董事长，电话：0553-5775096，E-mail:634688900@qq.com。

浅滩-深槽生境恢复措施效果研究

胡飞[1]，林燕清[1]，吴腾[2]

（1.安徽省交通勘察设计院有限公司，安徽 合肥 230011；

2.河海大学，江苏 南京 210000）

摘要：为了满足绿色发展的需要，近年来在水运工程建设中常常进行生境恢复措施来减少对环境的不利影响。目前河道的生境恢复措施主要偏向于岸坡生态建设，本文从涡河实际出发，针对“四大家鱼”、荆涂峡鲤、长吻鮠以及底栖生物，探究其水深、流速适宜性曲线，在此基础上建立了生境恢复模型，并提出在河道建立浅滩—深槽交错分布的生境恢复措施。利用生境恢复模型，研究不同流量条件下浅滩-深槽生境恢复措施的工程效果。研究结果表明，浅滩-深槽生境措施实施以后能有效的提高鱼类和底栖动物的生境适宜度，可以扩大其生境适宜区域。

关键词：航道整治；生境恢复；浅滩-深槽；数值模拟

0 概述

生态文明建设、绿色发展是当前国家的大战略方向，现代水运工程在实施中也需要格外注意工程措施对当地生态环境的负面影响，但是这种影响往往是难以避免的[1]。一般来说，在整治工程实施后，河流的水力条件、河床形态常发生改变，原有的栖息地环境可能会发生改变。所以工程后的生境恢复措施就显得极为重要，合理的生境恢复措施可以在一定程度上减少工程给环境带来的不利影响，重新为生物提供适宜的生存环境，保护生物的多样性。

目前生境恢复相关的研究主要集中于河岸带生境恢复以及湿地生境恢复等方面。在湿地生境恢复方面，李艳英[2]等提出了建立浅滩的措施，浅滩能为生物提供较好的觅食和栖息空间。在河岸带生境恢复方面主要是以恢复边滩植被与树木为主[3]。近年来，除了恢复植被的生境恢复措施，也有专家提出结合工程措施来为水生生物营造适宜的生存环境。米艳杰[4]等充分结合流域开发和生态学观念，提出以修建生态护岸、创造深潭浅滩的方式来恢复河流的蜿蜒性以及连续性，进行生境恢复。 本文针对目前水运工程建设中生境恢复存在的不足，以涡河航道为例，针对青鱼、草鱼、鲢、鳙、荆涂峡鲤和长吻鮠这六种鱼类以及底栖生物的生境特征，建立涡河航道生境恢复模型，采用数值模拟的方式模拟生境恢复措施前后和不同流量条件下水力特征的变化，并且结合栖息地综合适宜指数以及鱼类和底栖生物的综合分析生境恢复措施的效果，探究一种生境恢复效果良好的措施为鱼类以及底栖生物创造适宜生存、繁衍的区域，减少水运工程对生物环境的不利影响，在保证工程需要的同时也可以很好的保护当地生态环境和生物多样性。

1 研究区域概况

涡河为淮河第二大支流，是淮北地区跨豫、皖两省的骨干排水河道，安徽境内经亳州市区、涡阳、蒙城至怀远县城附近汇入淮河。本次研究区域为亳州市涡阳县城涡阳闸下涡阳三桥至青阜铁路桥段约 3.3km 范围航道。本段航道大堤间距 280～500m，滩地发育，河底高程在 19.5～17.4m 之间，河槽宽度在 100～150m 之间，河道弯曲呈连续“S”型。

涡河沿线建设了大寺、涡阳、蒙城节制闸，河道基本渠化。涡阳闸下 20 年一遇洪水位为 29.61m；低水位受蒙城闸回水影响，蒙城闸上 98%保证率水位为 23.41m；蒙城闸上多年平均水位为 24.49m。涡阳闸多年平均流量 39.4 m^3/s，径流年内分配不均，汛期径流量占全年径流量的 77.5%。根据监测资料统计，亳州站 1982～2000 年平均输沙量为 4.58 万 t，河道含沙量约为 0.1kg/ m^3；蒙城站年平均输沙量为 8.37 万 t，河道含沙量约为 0.06kg/ m^3。涡河航道（大寺闸至人淮口段）整治工程对该段航道进行了治理，按Ⅳ级标准底宽 50m，水深 3.2m 疏浚航道，该项目已开工建设。

2 典型鱼类适宜曲线研究

2.1 栖息地

本文引入了栖息地适宜指数（Habitat Suitability Index，HSI）概念来评价栖息地的等级，该指数范围界于 0到 1之间，其中0代表完全不适宜目标物种的栖息地状况，1代表最适宜目标物种的栖息地状况，首先建立一个基本假设即生物出现最频繁的区域就是其最高品质的栖息地，通过观察监测采集数据可以求得目标物种栖息地环境变量不同范围内的HSI，进而绘制出栖息地适宜度曲线[5]。建立涡河典型航段二维水动力

学模型，模拟栖息地流速、水深等环境参数的时空分布。栖息地环境模拟可以得出每一个面积单元的水深 、流速，这些值在栖息地适宜度曲线上对应一个栖息地适宜度指数。因此，栖息地模拟的环境参数依据栖息地适宜度标准进行筛选与赋值，最终可以得到每一个环境参数对应的栖息地 HSI空间分布图。

2.2 研究区域典型鱼类适宜曲线

本文重点研究鱼类产卵时期的环境流量，参考有关文献资料建立适宜性标准。目前已有研究主要考虑四大家鱼产卵期的流速、水深和河道特征指标适宜性特征。根据易伯鲁[6]、易雨君[7]等的研究，四大家鱼中除了青鱼外都属于中上层鱼，因此本文假设四大家鱼水深偏好为 3 ~ 5m 水深，适宜性曲线见图 1。根据王晓清[8]、皮业林 [9]、孟钰[10]等对长吻鮠繁殖的研究，将产卵期的水力参数定为浅滩水深大于 0.7 m，流速为 0.35 ~ 0.65 m/s，且持续时间应大于等于 7d，适宜性曲线，见图 2。徐震等分析总结了鲤科鱼类的生活习性，基于杨志峰研究成果建立了鲤科鱼类适宜性曲线。本研究采用了该项研究成果，适宜性曲线见图 3。另外，已有研究表明，河流中底栖动物物种多样性往往与水深呈负相关关系。当水深为 0.16～0. 50m 时，底栖动物的丰度和密度一般最高[11]。本次研究归纳了大型底栖生物的生物适宜性曲线，见图 4。

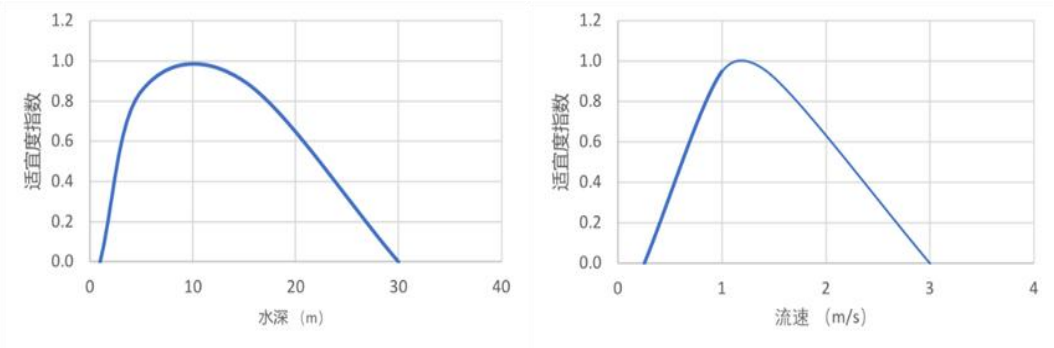


图1 四大家鱼水深、流速适宜性曲线

Figure 1 Water Depth and Flow Velocity Suitability Curve of the four famous domestic fishes

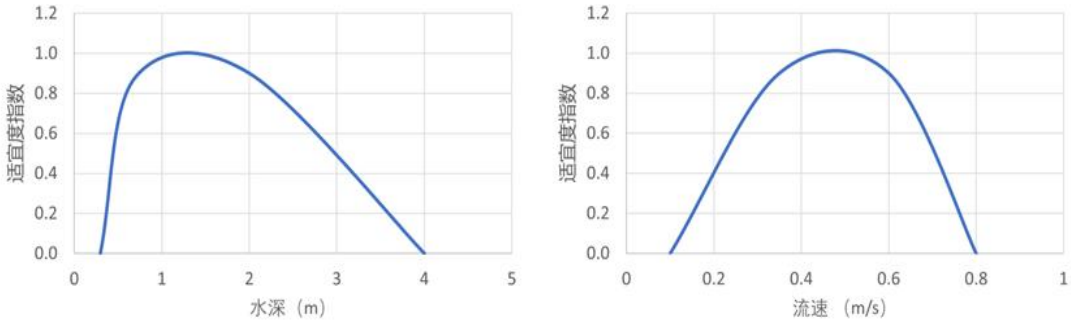


图2 长吻鮠水深、流速适宜性曲线

Figure 2 Water depth and flow velocity suitability curve of the long snouted catfish

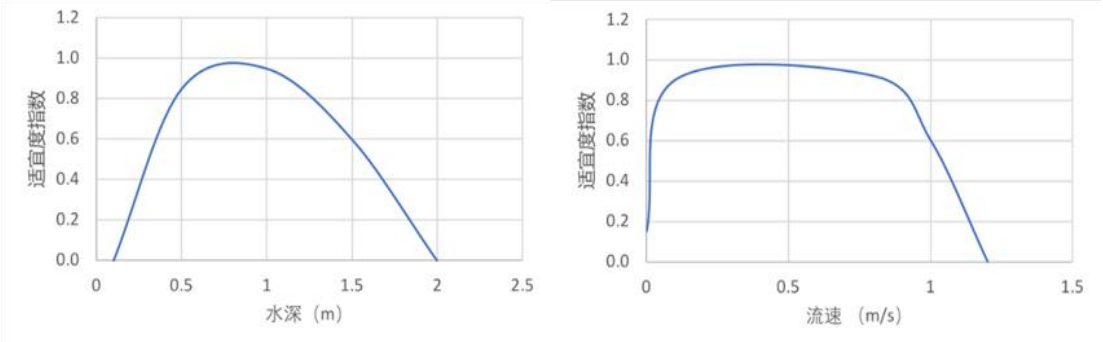


图3 鲤水深、流速适宜性曲线

Figure 3 Water depth and flow velocity suitability curve of carp

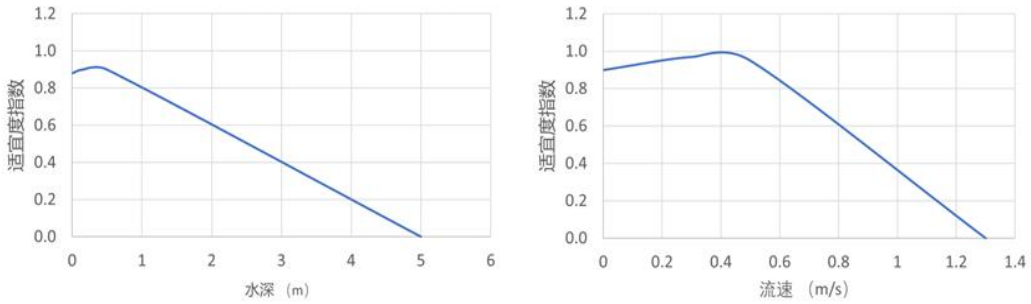


图4 底栖生物水深、流速适宜性曲线

Figure 4 Water depth and flow velocity suitability curve of benthic organisms

3 典型鱼类适宜曲线研究

3.1 数学模型

在获得涡河各种重要鱼类的生境适应性曲线后，基于 Delft3D 建立浅滩-深槽生境恢复模型。本文主要利用其中的 Flow 模块对鱼类、底栖生物生境恢复进行模拟研究。基于 Delft3D 所建立目标航段结构化网格，网格沿流向有 218 个单元，垂直于流向 46 个单元。在航道的两侧边坡对网格进行了加密，经过加密以后的网格，间距在 5m 左右。

3.2模拟条件

本研究为了探究不同流量条件下生境恢复措施实行前后流速与水深的差异，分析总结得到普遍规律，选择多年平均流量和重现期 10 年的流量作为控制变量进行研究。涡阳闸下多年平均流量为 39.4 m^3/s；重现期 10 年洪水流量 1880 m^3/s。

3.3浅滩-深槽生境恢复措施

生境恢复措施采取浅滩-深槽措施，该措施通过对航道地形进行一定程度的修改达到布置的目的。这里的浅滩-深槽与常见真实河道中的浅滩-深槽存在一定的区别，野外真实的浅滩-深槽是在河道中心部位间隔出现，出现明显的水面起伏。在本研究中，布设生境恢复措施的原则是不影响航道中船舶的航行。因此工程措施限制在河岸开展，浅滩-深槽的主要目的是实现水力条件的时空变化。在航道的右侧进行了一定程度的处理，把地形调整成浅滩、深槽交替形式。浅滩和深潭布置在河道顺直段右岸中部位置，沿河流方向长度为 110m，垂直流向方向宽度为 65m，布置了三处深潭和四处浅滩，浅滩和深潭在相互衔接区域做了约 1:5 的过渡处理，以使得两者过渡不会出现地形突变，见图 5。浅滩表面堆积卵石颗粒，以防止冲刷。深潭部分采用绞吸式挖泥船沿着等高线和设计尺寸施工而成。

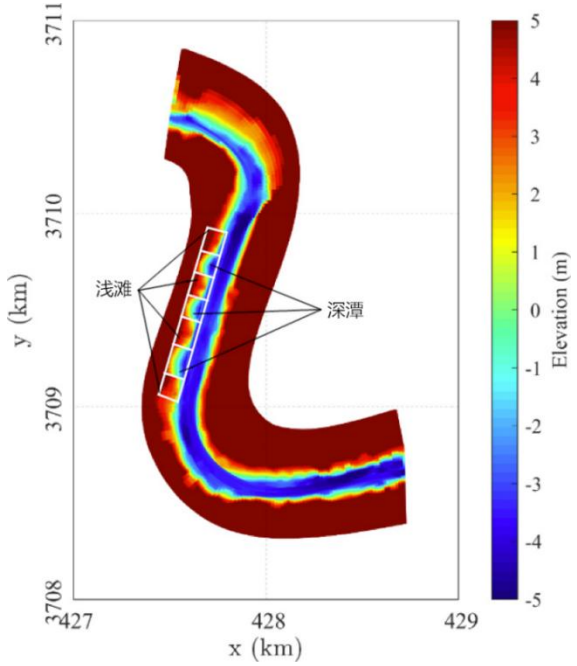


图5 浅滩-深槽生物生境恢复措施

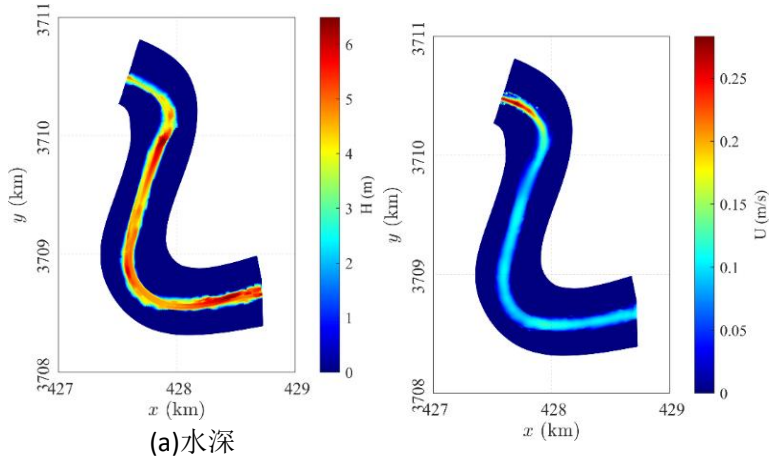
Figure 5 Restoration Measures for Biological Habitat in Shallow and Deep Troughs

4 研究结果

4.1 无生境恢复措施

4.1.1多年平均流量条件

在多年平均流量条件下水深平均在 3-5m，流速分布在 0.1 m/s 左右，在进口处能达到 0.3 m/s，见图 6。这样的水深和流速对于四大家鱼来说太小，两者的适宜水深范围和流速范围仅限于入口的有限范围内。对于鲤来说，河中心水深适宜范围有限，仅在河岸两侧的边坡区域存在适宜水深和流速，因此在沿河岸两侧边坡生境适宜度相对较高。而长吻鮠由于适宜水深要大于鲤，适宜流速与鲤较为接近，表现在沿河中心线附近生境适宜度较高。相比于前述各种鱼类的生境，此时的水深范围适宜于底栖生物生长，而且整体流速偏小，从而相比于其他鱼类，河流大部分区域针对底栖生物都有着较高的生境适宜度，尤其是在岸坡区域适宜度比河中心更高，见图 7。



(a)水深　　(b)平均流速

图6 多年平均流量条件下的水深（左侧）和水深平均流速（右侧）分布

Figure 6 Distribution of Water Depth (Left) and Water Depth Average Velocity (Right) under Multi-year Average Flow Conditions

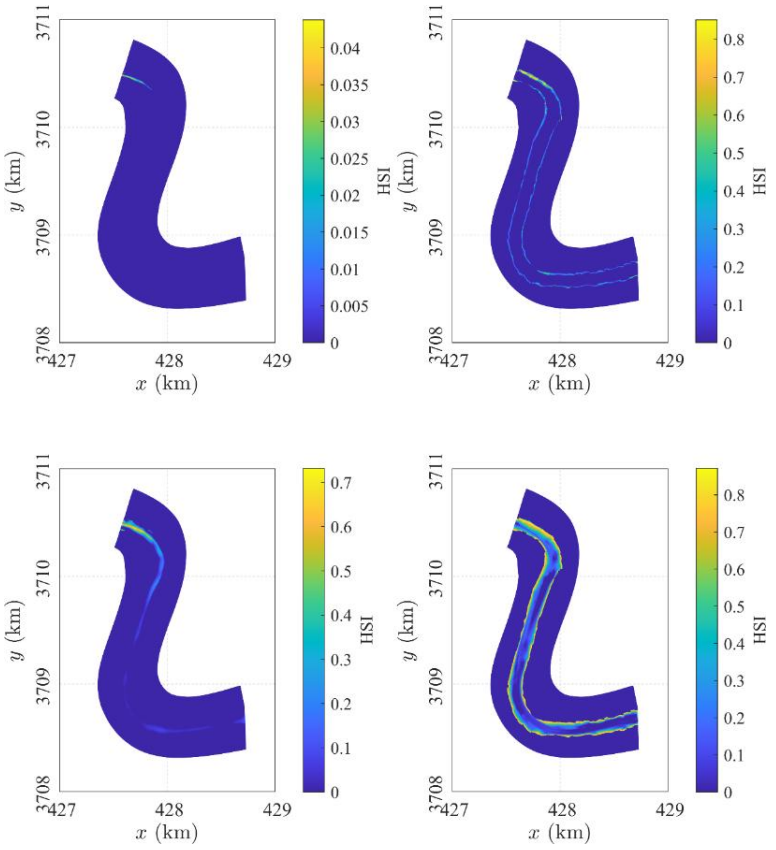


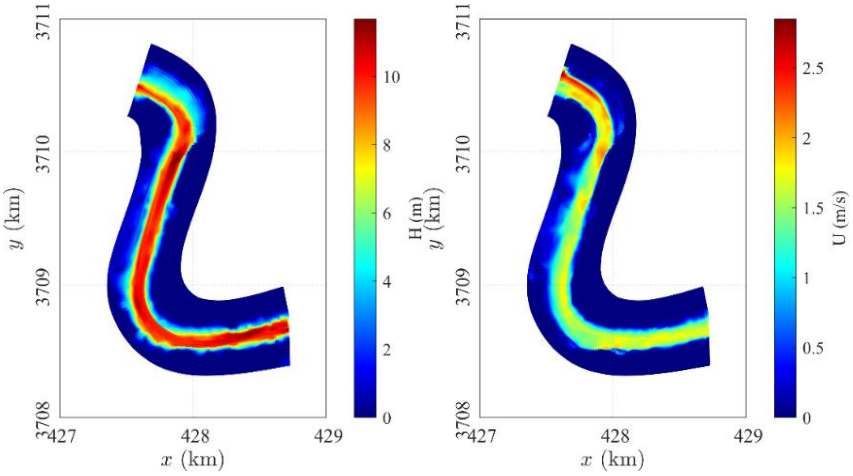
图7 多年平均流量下栖息地综合适宜度指数：四大家鱼（左上）、鲤（右上）、长吻鮠（左下）、底栖生

物（右下）

Figure 7 Comprehensive suitability index of habitat under multi-year average flow: the four famous domestic fishes (upper left), carp (upper right), catfish (lower left), benthos (lower right)

4.1.2 重现期为10年的流量条件

随着流量的增加，水深流速也随之增加，四大家鱼的适宜度均维持在较高水平，而鲤、长吻鮠和底栖生物河中心区域的适宜度有一定幅度降低。但是随着流量增加，水位不断增加，岸坡区域淹没范围增大，相比多年平均流量条件下，重现期 10 年时，鲤、长吻鮠和底栖生物的河岸适宜范围有一定幅度的扩大，尤其是鲤和长吻鮠增加较为明显，见图 9。



(a)水深　　(b)平均流速

图8重现期10年流量下的水深（左侧）和水深平均流速（右侧）分布

Figure 8 Distribution of water depth (left side) and average velocity of water depth (right side) under a 10-year return period flow rate

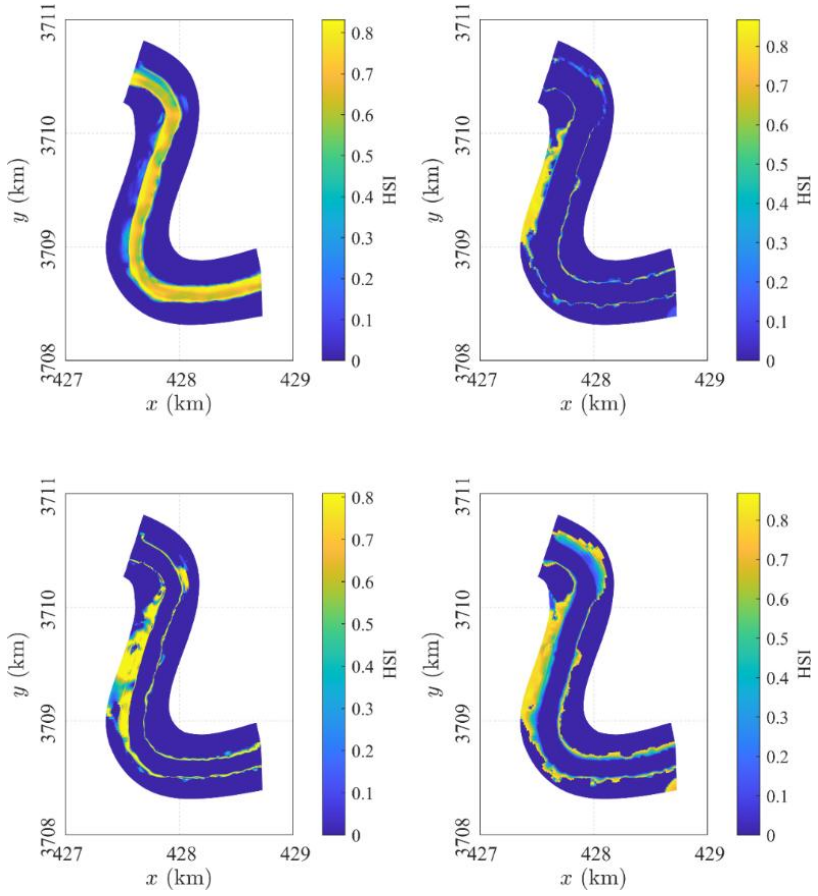


图9 重现期10年流量下栖息地综合适宜度指数：四大家鱼（左上）、鲤（右上）、长吻鮠（左下）、底栖

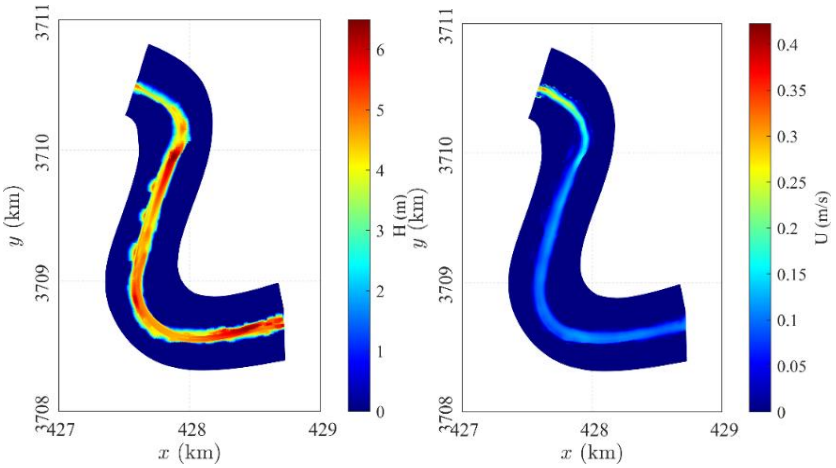
生物（右下）

Figure 9 Comprehensive suitability index of habitat under 10-year flow with return period: the four famous domestic fishes (upper left), carp (upper right), long snout catfish (lower left), benthos (lower right)

4.2 基于浅滩-深槽生境恢复措施

4.2.1 多年平均流量条件

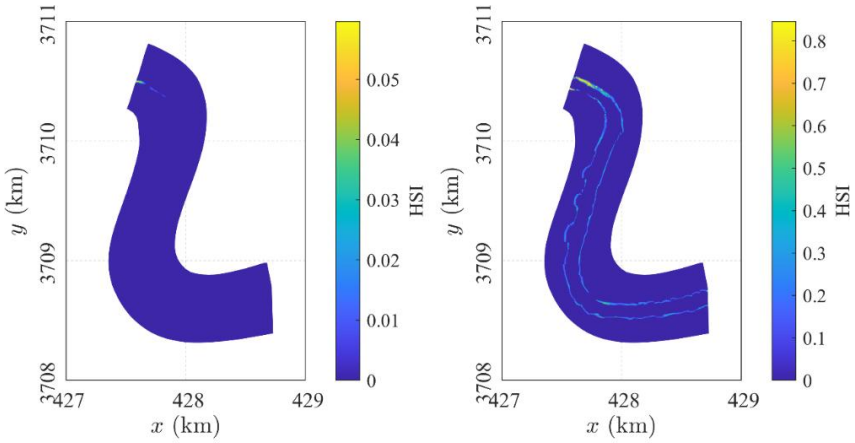
涡河典型航道在使用浅滩-深槽生境恢复措施时多年平均流量条件下的水深和水深平均流速分布见图10。由于浅滩深槽对地形产生扰动，因此在模拟结果上措施的影响清晰可辨，其中三处深槽在水面形态形成内凹区域，对应浅滩在水面形态呈现三处突出区域。这些内凹区域增相当于增加了坡面与水流接触面积，使得浅水区域增加，同时由于过水断面增加，流速有所降低。在多年平均流量条件下采取浅滩—深槽生境恢复措施后水深平均在3-5m，与前述没有措施相比区别不大，由于河道过水断面增加，流速稍有减小，但是并不显著。对比图7与图11可以看到，在多年平均流量条件下，鲤和底栖生物的生境适宜区域有了较为明显增加；对比四大家鱼和长吻鮠，这两种鱼类的生境适宜区域和生境适宜度没有显著发生变化，这一变化主要是由深槽区域增加的浅水区域所引起。



（a）水深　　（b）平均流速

图10 多年平均流量条件下的水深（左侧）和水深平均流速（右侧）分布

Figure 10 Distribution of Water Depth (Left) and Water Depth Average Velocity (Right) under Multi-year Average Flow Conditions



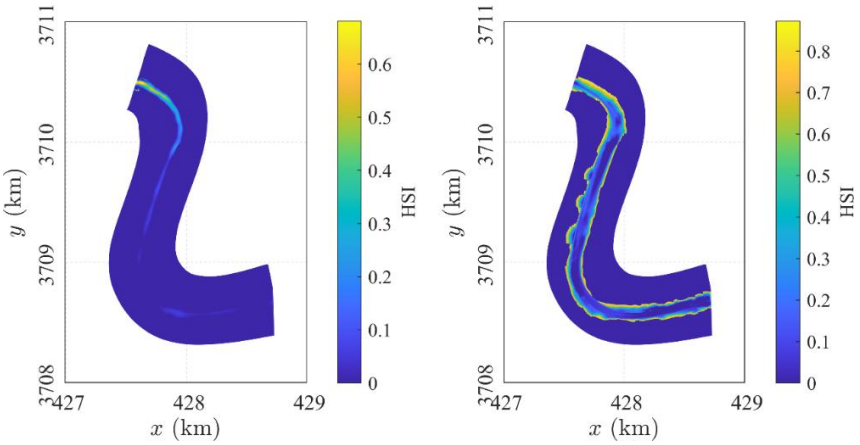
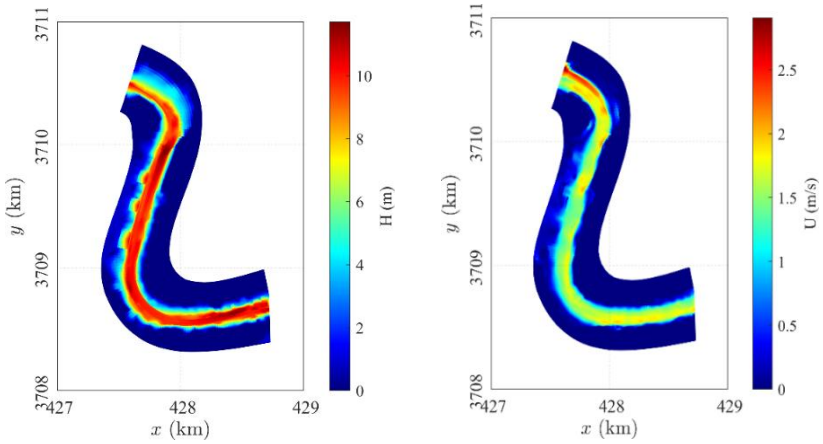


图11 多年平均流量下采取浅滩—深槽生境恢复措施栖息地综合适宜度指数：四大家鱼（左上）、鲤（右上）、长吻鮠（左下）、底栖生物（右下）

Figure 11 Comprehensive suitability index of habitat for shoal deep trough habitat restoration measures taken under multi-year average flow: the four famous domestic fishes (upper left), Carp (upper right), Leiocassis longirostris (lower left), Benthos (lower right)

4.2.2重现期为10年的流量条件

在重现期为 10 年的流量条件下，对比图 9 和图 13 可以看到，四大家鱼的整体适宜度有了明显提升，这是由于在相同水位条件下，浅滩——深槽增加了过流面积，流速相对无措施时有所减小，使得四大家鱼的生境适宜度有一定程度提高。鲤的生境适宜区域没有明显发生变化，依然在靠近岸坡高地部分。底栖动物相比无措施时生境适宜度大于 0.5 的区域有所减小，但是生境适宜度有所增加，这是由于深槽区域水深增加，这些大水深区域对底栖生物的生境适宜度有所降低。相比无措施时，由于深槽区域流速有所降低，长吻鮠对于该区域的流速适宜性有所降低，所以长吻鮠的生境适宜度大于 5 的区域有所减小。



（a）水深　　（b）平均流速

图12 重现期10年流量条件下的水深（左侧）和水深平均流速（右侧）分布

Figure 12 Distribution of water depth (left side) and average flow velocity (right side) under flow conditions with a return period of 10 years

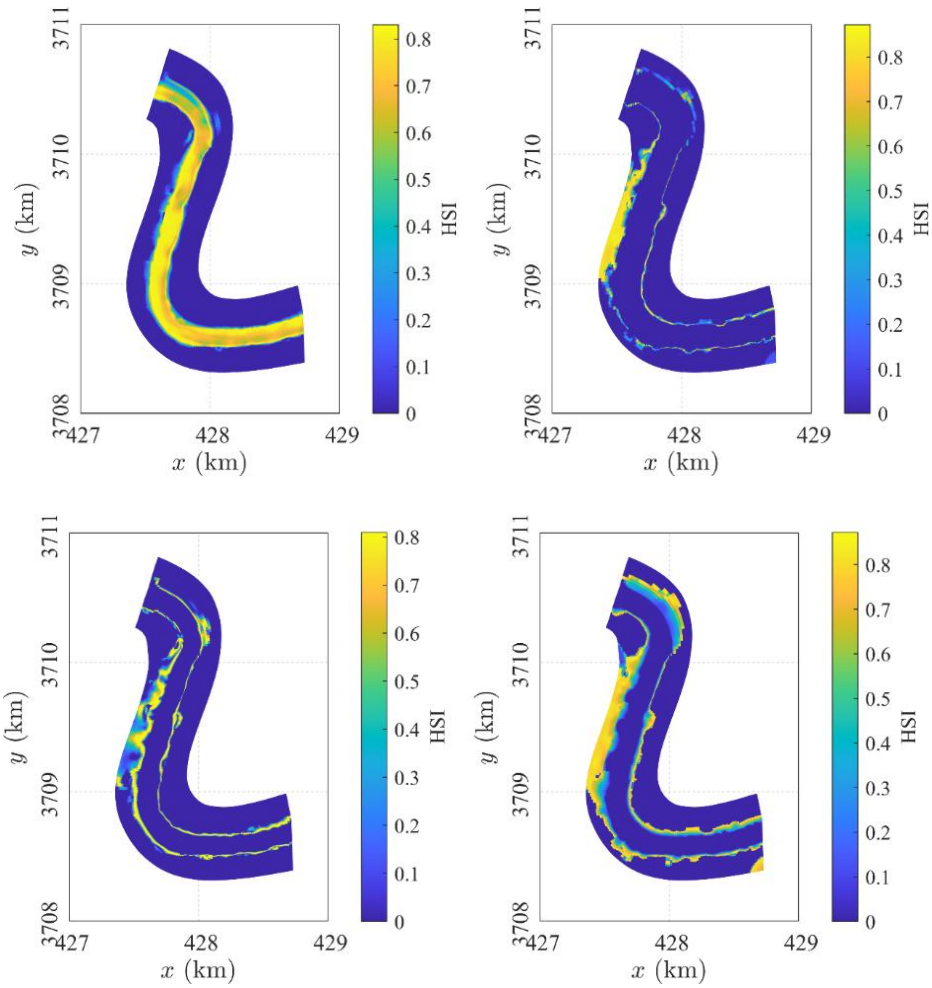


图13 重现期10年流量下采取浅滩—深槽生境恢复措施栖息地综合适宜度指数：四大家鱼（左上）、鲤（右上）、长吻鮠（左下）、底栖生物（右下）

Figure 13 Comprehensive suitability index of habitat for shoal deep trough habitat restoration measures under 10-year flow with return period: the four famous domestic fishes (upper left), carp (upper right), longirostris (lower left), benthos (lower right)

5 主要结论

（1）采取浅滩-深槽生境恢复措施后，主流区坡面与水流接触面积增大，在多年平均流量条件下水深流速几乎不变，随着流量的增大，浅滩-深槽交错的设置使主流区流速有所降低。

（2）采取浅滩-深槽生境恢复措施与无措施相比，在多年平均流量条件下，鲤和底栖生物的生境适宜区域增加，但其余两种鱼类适宜区域及指数均无变化。由于过水断面增加，流速降低，四大家鱼适宜度增加，鲤的适宜区域无变化，但底栖动物适宜度大于0.5以及长吻鮠适宜度大于5的区域均有所减小。

（3）随着上游流量的变化，鱼类和底栖生物的生境适宜区域也在发生变化，浅滩-深槽生境措施施行以后能有效的提高鱼类和底栖动物的生境适宜度，在一定程度上可以扩大其生境适宜区域。

（4）对于航道工程，采取浅滩-深槽生境恢复措施，扩大水生生物生境适宜区域，能有效降低工程建设对生态环境的影响。

参考文献

[1]王思莹,杨文俊,黄明海,王智娟.我国鱼类洄游通道和生境恢复技术研究现状分析[J].长江科学院院报,2017,34(08):11-17.

[2]李艳英,田杰,刘红磊,徐威杰,周滨.鸻鹬类水鸟的生境需求选择与生境恢复策略[J].湿地科学与管理,2020,16(04):23-26.

[3]李海涛.简述生态廊道设计中如何提高生境恢复能力[J].热带林业,2020,48(01):40-43.

[4]米艳杰,何春光,王隽媛等.河流地貌多样性修复技术研究[J].水利水电技术,2010,41(10):15-17+30.

[5]孙志毅.基于栖息地生态适宜度指数模型的河流鱼类生境模拟分析[J].水利规划与设计,2020(06):86-90+94.
[6]易伯鲁.淡水鱼类资源的繁殖保护[J].中国水产,1958(12):15-16.
[7]易雨君,张尚弘.长江四大家鱼产卵场栖息地适宜度模拟[J].应用基础与工程科学学报,2011,19(S1):123-129.
[8]王晓清,莫艳秀,钟蕾,谢中国,范武江.长吻鮠性周期变化的组织学研究[J].淡水渔业,2005(04):18-20.
[9]张耀光,何学福,蒲德永.长吻鮠胚胎和胚后发育与温度的关系[J].水产学报,1991(02):172-176.
[10]孟钰,张翔,夏军,吴绍飞,王俊钗,Christopher J.Gippel.水文变异下淮河长吻鮠生境变化与适宜流量组合推荐[J].水利学报,2016,47(05):626-634.
[11]段学花,王兆印,程东升.典型河床底质组成中底栖动物群落及多样性[J].生态学报,2007(04):1664-1672.

作者简介

胡飞(1985-)，男，本科，正高级工程师，安徽省交通勘察设计院有限公司从事港航工程设计与研究，电话：18010859571，E-mail:444650691@qq.com。