

危险品航道航标设置与维护探析

王路生 王荣华 张世忠

交通运输部东海航海保障中心厦门航标处 福建 厦门 361012

摘要:随着我国化工产业沿江沿海集聚布局,水上易燃易爆、毒害腐蚀、放射性等危险货物运输规模持续攀升,危险品航道已成为维系能源供应链、支撑临港产业发展的水上生命线。此类航道通航货种高危、水域环境复杂、通航容错率极低,一旦因航标指引失效引发船舶碰撞、搁浅及货物泄漏事故,极易诱发链式灾害,造成重大人员伤亡、海域流域生态破坏与巨额经济损失。航标作为水上助航核心基础设施,承担航向引导、水域边界界定、水下障碍警示、应急定位与风险隔离等关键功能,其科学设置与可靠运维是防范危险品运输事故的第一道物理屏障。本文立足我国沿海、内河危险品航道水域特征与运输运行规律,系统梳理航标设置价值逻辑与现行规范,从自然环境侵蚀、人为活动干扰、技术装备滞后、管理机制碎片化四个维度剖析现实痛点,从标准体系完善、运维模式升级、智能技术赋能、全链条协同治理层面构建优化路径,并结合厦门港、长江干线典型场景开展实践验证,可为提升危险品航道航标保障效能、筑牢水上交通安全与生态防护防线提供理论参考与实践范式。

关键词:危险品航道;航标设置;航标维护;通航安全;航海保障;智能运维

1 引言

在交通强国、海洋强国战略推动下,我国临港石化、能源化工产业加速沿江沿海布局,水上危险货物运输保持稳步增长,近年年均增速维持在6%以上。2025年沿海港口危险货物吞吐量突破18亿吨,内河干线危险品运输船舶日均流量超3000艘次,涵盖液化天然气、原油、苯类、强酸强碱及放射性物质等高危品类。目前全国划定专职危险品航道217条,总里程1.2万公里,集中分布于长三角、珠三角、环渤海产业密集区及长江干线、西江流域等内河主通道,形成沿海连片、内河成网的危险品水运通道格局。

相较于普通航道,危险品航道具有高风险、高敏感、低容错的显著特征。危化品货物易燃易爆、易扩散、难处置,船舶一旦偏航搁浅或碰撞泄漏,极易引发爆炸、水体污染和区域性公共安全事件,生态修复周期可达数十年。航标是规范通航秩序、划定航行边界、规避水域风险的基础性助航设施,在危险品航道安全管控中具有不可替代作用。当前行业规范多侧重普通航道通用要求,针对危险品航道风险分级、冗余配布、应急适配等专项标准仍不完善;运维模式仍以传统人工巡航为主,智能化、精细化程度不足;跨部门信息壁垒突出、协同机制不畅,难以匹配危险品航道全天候、零中断的保障要求。基于此,本文立足一线航标运维实践,系统研究危险品航道航标设置原则、现存问题及优化对策,对提升航海保障能力、守住水上安全底线具有现实意义^[1]。

2 危险品航道与航标设置的理论基础

2.1 危险品航道定义与核心特征

危险品航道是经交通主管部门专项规划审批,专供载运《国际海运危险货物规则》(IMDG Code)、《危险货物分类和品名编号》(GB 6944)所列爆炸品、易燃液体、毒害品、腐蚀品、放射性物质等船舶通行的专属水域通道。其规划选址严格避让人口密集区、饮用水源地、生态红线区及水产养殖核心区;通航宽度预留1.5倍以上会船安全距离,通航水深满足设计船型满载吃水加0.5m安全富余,并配套应急锚地、污染物拦截、消防救援等安全设施,整体标准远高于普通航道。

综合沿海与内河运营实际,危险品航道呈现三大核心特征:

一是自然条件复杂多变。沿海危险品航道多分布于峡口、岛礁、河口受限水域,航道弯曲半径小、潮流流速大,如厦门港危险品航道岛礁区段最小弯曲半径仅800m,最大流速达3.2m/s,航标易受水流冲击发生位移。内河航道浅滩密布、水位季节变幅可达10—15m,枯水浅点多、汛期流态紊乱、泡漩乱流多发。沿海常年受台风、海雾影响,年均海雾日40—60天,低能见度时段占比达12%;内河冬季凌汛冰冻、夏季洪水冲刷频发,对航标抗风、抗浪、防腐、抗位移性能提出严苛要求。

二是航行风险传导性强。危化品事故具有明显链式放大效应,一艘5000吨级苯类船舶搁浅泄漏,不仅造成水体生态死亡,挥发气体还易形成爆炸性气团,威胁沿岸数公里居民安全。同时航道普遍存在大小船混行、渔船与危化船交织通航现象,大型LNG船舶与小型作业船

舶操纵性能、航速差异大，会船避让难度高，进一步抬高航标位置精度与视觉辨识度要求。

三是助航可靠性要求严苛。普通航道航标允许短时 24 小时以内故障，而危险品航道要求全天候连续可靠运行：灯质周期误差小于 $\pm 0.5s$ ，位置偏差控制在 5m 以内，供电系统可保障连续 30 天阴雨天正常工作。航标一旦失常，船舶失去视觉与电子助航参照，极易误入浅滩、触碰管线，诱发重特大安全事故。

2.2 危险品航道航标设置核心原则

航标设置须严格遵循《航标管理条例》《内河航标管理办法》《海区航标设置管理办法》等法规规范，结合危险品航道高风险属性，额外遵循三大专项设置原则：

第一，风险隔离优先。在航道与生态敏感区、水源地、养殖区之间布设界限标、警示标，明确禁航边界；在危险品码头、装卸作业区设置专用标，隔离作业水域与普通通航水域，从空间上阻断风险外溢路径。

第二，冗余配置兜底。关键转向点、狭窄航段、浅滩及事故高发段采用主标 + 备标双配布模式，实现故障自动切换、指引不中断；重要航段同步布设实体航标与 AIS 虚拟航标、雷达应答器，构建虚实互补助航体系；核心港区采用双电源冗余供电，保障极端天气下灯质稳定。

第三，应急联动适配。航标点位与海事监管、应急救援、清污救援站点坐标联动，可作为事故应急定位基准；航标预留应急示位标安装接口，突发事件下可快速投放应急助航设施，缩短航道恢复通航时间^[2]。

3 危险品航道航标维护的现实挑战

3.1 自然环境持续性侵蚀损耗

自然环境是航标失效首要诱因，兼具累积损耗与突发破坏双重特征。沿海高盐雾环境盐度超 30‰，加速金属构件电化学腐蚀，浮标锚链年均锈蚀 0.2mm，3—5 年存在断裂漂失风险；内河污水硫化物、酸碱物质破坏航标防腐涂层，造成标体渗漏锈蚀。潮汐径流长期冲刷导致锚链磨损、沉锤移位，每年约 15% 浮标位置偏移超 10m，丧失精准助航功能。

极端灾害破坏力更为突出，台风、风暴潮可掀翻浮标、损毁岸标支架，风暴潮增水淹没低潮位航标。2024 年台风“杜苏芮”影响厦门期间，辖区 27 座危险品航道航标受损、8 座漂失，灾后恢复耗时 11 天，危险品船舶临时停航造成直接经济损失超 2000 万元。内河汛期洪水冲击力强，易掏空岸标基础、拉断锚系；冬季冰冻冻裂灯器、冻结标体，直接影响航标正常发光与定位功能。

3.2 人为活动多重干扰损耗

人为因素占航标非正常损坏总量的 42%，主要分为

三类：一是船舶碰撞，船员不熟悉航道、疲劳驾驶、违规操作，以及渔船、施工船近距离穿行，频繁引发撞标事故。2023 年长江干线船舶撞标 37 起，危险品船舶肇事占比达 51%，单次碰撞即可造成航标大幅移位、标体变形报废。二是盗窃与恶意挪移，不法分子盗取太阳能板、蓄电池、灯器等配件，渔民为扩大捕捞范围擅自挪动航标，破坏原有航标配布体系。三是沿岸生产作业干扰，无序采砂、疏浚施工挖断水下锚链、掩埋岸标基础；码头吊装作业刮蹭航标，养殖渔具缠绕浮标锚链，均造成航标失常移位。

3.3 技术装备与运维模式短板

传统运维模式已难以适配危险品航道高保障要求。一是人工巡检效率偏低，依赖船舶巡航，百公里航道全覆盖需 5—7 天，仅能观察外观亮灭，无法识别电路老化、电池衰减等隐蔽故障，往往待到灯质熄灭后才被动处置。二是设备老旧老化突出，部分内河仍使用早年老式灯器，发光强度不足，达不到夜间 5 海里可视标准；蓄电池超期服役严重，低温阴雨工况下供电稳定性差。三是数字化监测能力不足，多数航标缺乏位置、灯质、电量在线监测，数据依靠人工现场采集，约 60% 可预防性故障无法提前预判，平均故障处置时长超 12 小时，应急响应滞后明显。

3.4 管理机制协同性不足

航标维护、航道管理、海事监管分属不同部门，信息共享不及时、业务衔接不畅。航道疏浚、水深调整信息未能同步推送航标管理单位，导致航标布设滞后，易误导船舶误入作业浅水区。应急抢修环节封航管制、现场协调流程繁琐，部门间缺乏常态化联动预案，延长故障处置与航道恢复时间。同时部分区域未落实网格化责任台账，巡检、养护、抢修责任划分模糊，考核追责机制偏弱，运维质量难以刚性约束^[3]。

4 危险品航道航标维护的优化策略

4.1 构建分级分类长效运维机制

建立分级运维、网格管控、应急联动规范化体系。按港区前沿、主航道、支航道将航标划分为一、二、三类，实行差异化巡检频次：一类每周 1 巡、二类每两周 1 巡、三类每月 1 巡；台风、洪水来临前 24 小时完成全面排查，灾后 48 小时完成复检。推行航标网格化管理，落实一标一档电子台账，记录全生命周期运维信息，实现责任可追溯。联合海事、港口、应急部门修订突发事件处置预案，明确一般故障 4 小时处置、重大故障 12 小时恢复、极端灾害 24 小时内重点航标复位的响应标准，提升应急处置效率。

4.2 推行标准化精细化巡检养护

升级巡检手段,通过无人机航拍巡检、北斗 GNSS 高精度定位校核、物联网智能航标在线监测,杜绝人工误差。制定统一养护作业指导书,固化防腐涂装、锚链检修、部件更换周期:浮标每3年强制起吊更换。建立隐患发现—登记—处置—复核—销号闭环管理,现场隐患立行立改,重大隐患限时整改、挂牌督办,确保不留安全盲区。

4.3 加快智能化技术赋能运维转型

全面推广智能航标终端,集成北斗定位、倾角、灯质、电压在线监测模块,实时上传运行参数,平台自动研判故障并提前预警。截至 2025 年厦门港危险品航道智能航标覆盖率达 100%,故障预警准确率 92%。常态化开展无人机空中巡检,覆盖岛礁离岸、水流复杂船舶难抵达航段,巡检效率为传统船舶的 5 倍,有效规避水上作业风险。搭建智慧运维平台,融合航标状态、水文气象、船舶交通流、航道水深数据,运用大数据分析设备寿命与故障规律,提前优化锚系配置、调整航标配布,从源头降低失常概率。

4.4 强化多部门全链条协同治理

打通航标、海事、航道、港口企业数据接口,共享 VTS 船舶动态、航道疏浚计划、码头作业安排,动态调整航标位置与巡检频次。建立月度会商与即时通报机制,实现航道变化与航标调整同步衔接。加强专业队伍建设,开展智能运维、应急抢修、安全作业常态化培训,实行持证上岗与技能考核,提升一线人员专业能力。加大社会化宣传,深入码头、渔村开展航标保护普法,设立举报奖励机制,严厉打击盗窃、破坏、擅自挪移航标行为,形成全民爱标护标共治格局,有效降低人为损坏发生率。

5 典型实践验证:厦门港危险品航道运维案例

厦门港为东南沿海重要危化品中转枢纽,现有专职危险品航道 4 条、总长 68 公里,年通航危险品船舶超 1.2 万艘次,涵盖 LNG、原油、苯类等高风险货种,航道岛礁密布、潮流复杂、台风多发,运维压力大。2022 年前存在三大短板:极端灾害后航标恢复慢、偏远航段巡检覆盖不足、人为破坏与撞标事件多发。

厦门航标处针对性实施系统改造:一是完成全部 32 座航标智能化升级,布设 AIS 虚拟航标,构建虚实融合助航体系;二是组建无人机巡检分队,形成空中巡检加船舶处置的立体化模式;三是与海事部门建立信息共享、应急联动、联合执法机制,简化抢修封航流程,常态化开展航标保护宣传。

改造后成效显著:航标年失常率由 18% 降至 4%,平均故障处置时长由 14 小时压缩至 3.5 小时,近三年未发生因航标失效引发的危险品船舶事故,运维经验具备行业推广价值^[4]。

6 结论与展望

危险品航道安全畅通事关国家能源安全、生态安全与临港产业稳定发展,航标设置科学与否、运维可靠程度直接决定通航安全底线。当前我国危险品航道航标运维仍受自然侵蚀、人为干扰、装备滞后、机制割裂等因素制约,必须坚持以制度建设为基础、精细养护为核心、智能技术为支撑、协同治理为保障,系统性补齐短板、提升保障能力。

未来危险品航道航标将向智能化、绿色化、虚实融合、快速应急方向发展:AI 自主故障诊断、无人机协同运维将逐步普及;光伏储能、环保可降解航标材料广泛应用;数字孪生航道与实体航标深度联动,实现全场景精准助航。航海保障部门应提前布局技术研发、装备升级与人才培养,持续完善航标设置与运维标准,不断适配危险品水运高安全保障需求,为水运行业高质量发展筑牢航海保障支撑。

参考文献

- [1] 张磊。航道航标日常运维存在问题及优化措施[J].水道港口, 2022 (02):215-218.
- [2] 陈峰。内河危险品航道通航安全与航标配布研究[J].中国水运, 2023 (04):34-36.
- [3] 交通运输部规划研究院。全国危险品水路运输安全发展规划(2021-2035)[R]. 2021.
- [4] 东海航海保障中心。智能航标运维技术指南[Z]. 2024.[10] 厦门航标处。厦门港危险品航道航标运维年度报告[R]. 2025