

既有老旧船闸消防系统提升实施方案研究

刘朝华¹ 谢兴明²

1 长江勘测规划设计研究有限责任公司, 湖北武汉, 430010;

2 华安工程技术有限公司, 云南昆明, 650024;

摘要: 既有老旧船闸作为内河航运网络的重要组成部分, 其消防安全直接关系到航运生产安全、流域经济发展及周边人员财产安全。我国大量既有老旧船闸服役年限久、土建结构固化, 受建成时期设计标准、施工技术限制, 消防系统布设不合理、火灾预警技术落后、灭火效能不足、应急处置能力薄弱等问题突出, 且因既有结构约束无法按照现行消防规范进行全域改造, 消防安全隐患长期存在。本文结合既有老旧船闸的结构特性、运行工况及消防现状, 聚焦土建结构限制、系统适配性差等核心痛点, 参考相关消防改造技术标准与工程实践经验, 提出针对性的消防系统提升实施方案, 涵盖火灾预警系统升级、灭火系统优化、应急联动机制完善、运维管理强化等全流程, 在规避既有土建结构改造风险、控制改造成本的前提下, 实现消防系统效能的显著提升, 满足现行消防安全防控要求。通过某既有老旧船闸的工程应用验证, 该实施方案可有效解决老旧船闸消防预警滞后、灭火能力不足等问题, 隐患发现效率提升80%以上, 应急响应时间缩短75%, 为同类既有老旧船闸消防系统的升级改造提供理论支撑与实践参考。

关键词: 既有老旧船闸; 消防系统; 提升实施方案; 火灾预警; 灭火效能

DOI: 10.69979/3060-8767.26.03.029

1 引言

1.1 研究背景

既有老旧船闸是内河航运体系的核心枢纽, 广泛分布于我国各大流域, 多数服役年限超过20年, 部分已接近设计使用年限。此类船闸运行环境特殊, 具有临水作业、设备密集、空间封闭、部分区域涉及危化品船舶通行等特点, 消防安全风险居高不下。受建成时期经济条件、设计标准及施工技术局限, 其消防系统设计简易, 且长期缺乏系统性升级改造, 消防设施老化、功能衰减问题突出。

尤为关键的是, 老旧船闸土建结构已完全固化, 闸室、闸首等核心区域布局无法随意调整, 导致无法按现行《消防给水及消火栓系统技术规范》(GB 50974-2014)等标准全域布设新型消防设施; 原有火灾预警多依赖人工巡检或简易报警装置, 火情识别滞后、隐患排查不全面, 一旦发生火灾, 易因处置不当导致火势蔓延, 威胁船舶与人员安全。当前, 老旧船闸消防安全已成为制约内河航运安全稳定发展的突出短板, 亟需针对性解决方案。

1.2 研究意义

(1) 理论意义: 丰富既有老旧船闸消防改造理论体系, 针对土建结构固化核心难点, 探索“因地制宜、精准施策、最小干预”的提升路径, 打破“一刀切”改造模式, 完善智慧消防、模块化灭火技术在该领域的应

用理论, 为同类老旧基础设施消防升级提供指导。

(2) 实践意义: 提出的实施方案可有效解决老旧船闸消防预警滞后、改造受结构限制等实际问题, 在不破坏既有土建、控制成本的前提下, 显著提升消防安全防控水平, 降低火灾发生率, 延长船闸使用寿命, 具有极强的工程实践价值与推广意义。

1.3 国内外研究现状

国外研究侧重智能化技术与既有结构的适配性, 广泛采用小型化、模块化消防设备, 结合物联网实现火情实时监测与精准处置, 形成了成熟的、兼顾经济性与可操作性的改造模式。

国内近年来也逐步重视老旧船闸消防安全, 相关研究聚焦于智能化预警、管网改造等方面, 但多数未充分考虑土建结构固化的核心限制, 缺乏针对性整体实施方案, 部分方案改造难度大、成本高, 难以推广, 尚未形成“预警-灭火-联动-运维”全流程一体化提升体系。

1.4 研究内容与技术路线

(1) 研究内容: 分析老旧船闸消防系统现状及核心痛点, 重点剖析土建结构限制、预警落后等关键问题; 结合相关规范与实践经验, 从预警升级、灭火优化、联动完善、运维强化四方面制定提升方案; 通过工程案例验证方案可行性与有效性, 为同类改造提供参考。

(2) 技术路线: 采用“现状调研-痛点分析-方案设计-案例验证-结论展望”的路线, 梳理典型问题, 设计适配老旧船闸结构的提升方案, 经工程实例验证后,

形成可推广的实施方案与研究结论。

2 既有老旧船闸消防系统现状及核心痛点

通过对多座服役超20年的老旧船闸调研，梳理其消防系统普遍现状，提炼核心痛点，为方案设计提供靶向依据。

2.1 消防系统现状

(1) 火灾预警系统：主要依赖人工巡检与简易烟感、温感装置，缺乏智能化感知能力。人工巡检盲区多、效率低，简易报警装置灵敏度低、误报率高，预警滞后严重，无法满足防控需求。

(2) 灭火系统：以早期消火栓与简易干粉装置为主，存在明显缺陷：管网老化腐蚀、堵塞泄漏，供水压力不足；设备布设不合理，核心区域缺乏针对性设施，无有效泡沫灭火系统应对危化品火灾；设备技术落后，响应速度慢，适配性差。

(3) 应急联动机制：消防系统与通航管理、周边应急系统缺乏协同联动，火情发生时无法快速实现信息共享与人员调度，应急处置效率低下，易影响船舶疏散。

(4) 运维管理体系：运维机制不完善，人员专业素养不足，设备维护不到位、故障发生率高；缺乏系统应急演练，工作人员应急处置能力薄弱，难以应对复杂火灾场景。

2.2 核心痛点剖析

(1) 土建结构限制突出：核心区域土建结构固化，墙体、楼板承载力有限，无法随意开凿改造，难以按现行规范布设新型消防设备；闸区空间狭窄，进一步增加改造难度，强行大规模改造易破坏结构、影响通航且成本高昂。

(2) 预警系统落后：缺乏智能化感知能力，依赖人工巡检难以覆盖隐蔽隐患点，火灾防控处于被动应对状态。

(3) 灭火效能不足：设备老化、供水不足、覆盖范围有限，无法有效应对各类火灾，尤其是危化品船舶

火灾；系统与船闸结构、通航工况适配性差。

(4) 联动与运维薄弱：跨系统联动不足，应急处置效率低；运维机制不完善、人员能力不足，设备故障频发。

老旧船闸与新建船闸消防系统关键指标对比见表1：

表1 既有老旧船闸与新建船闸消防系统关键指标对比表

对比指标	既有老旧船闸 (调研均值)	新建船闸 (现行规范)	差距幅度
预警响应时间	≥270min	≤30min	≥88.9%
隐患发现率	≤65%	≥98%	≥50.8%
消火栓供水压力	≤0.25MPa	≥0.35MPa	≤-28.6%
消防设备故障发生率	≥20%	≤8%	≥60%
应急联动响应时间	≥1200s	≤300s	≥75%
消防覆盖无盲区率	≤75%	≥99%	≥32%

3 既有老旧船闸消防系统提升实施方案设计

坚持“因地制宜、精准施策、最小干预、效能最大化”原则，规避土建结构改造风险、控制成本，从四方面设计全流程提升实施方案，适配老旧船闸结构特性与运行需求。

3.1 火灾预警系统升级方案

采用小型化、模块化、非破坏性安装的智能化感知设备，构建“全域覆盖、精准识别、快速预警”的智能化系统，实现从被动到主动防控的转变。

(1) 感知设备选型与布设：选用防水（IP68及以上）、耐腐蚀（C4及以上）、抗电磁干扰、体积小、安装便捷的传感器，MTBF≥50000小时，数据传输成功率≥99.5%。具体布设及参数见表2：

表2 智能化感知设备选型与布设参数表

传感器类型	布设位置	核心技术参数	布设间距	监测功能
红外热源传感器	闸室闸墙顶部、闸首夹层、危化品通航区域	探测距离0-50m，响应时间≤0.5s，探测角度120°	常规区域40m/组，危化品区域20m/组	捕捉初期火情，定位火源位置，70℃触发预警
烟感传感器	闸室、消防泵房、控制室、电缆廊道入口	灵敏度0.1-0.3dB/m，误报率≤1%/月	40m/组	监测环境烟雾浓度，识别早期火灾烟气
温感传感器	电缆廊道、消防泵房、泡沫储罐区域	测量范围-40-150℃，精度±0.3℃，采样频率1次/min	30m/组	监测设备及环境温度，85℃触发高温预警
电缆测温传感器	电缆廊道、电缆接头、电缆桥架	测量范围0-100℃，	20m/组	监测电缆温度，预警过热、短路隐

传感器类型	布设位置	核心技术参数	布设间距	监测功能
		精度±0.2℃，响应时间≤10s		患
压力传感器	消防泵房、泡沫储罐、管网关键点	测量范围 0-2.5MPa，精度±0.5%FS，响应时间≤0.3s	每个关键节点 1 个	监测压力波动，0.05MPa/h 变化率触发预警
可燃气体传感器	电缆廊道、危化品通航区域附近	测量范围 0-100%LEL，精度±3%FS	30m/组	监测可燃气体泄漏，超安全阈值触发预警

重点区域布设：闸室两侧顶部、闸首夹层布设红外与烟感传感器，危化品区域加密；电缆廊道布设温感、电缆测温及可燃气体传感器；泵房、储罐区布设温感、烟感及压力传感器；控制室布设烟感与嵌入式手动报警按钮，均避免破坏既有结构。

(2) 预警平台搭建：采用分布式架构，适配现有供电与网络条件，整合传感器数据，实现实时监测、精准预警、隐患定位、数据留存功能。预警分一级（火情确认）、二级（隐患预警），一级预警通过多渠道推送信息并联动相关系统，二级预警仅推送提醒，推送延迟≤10秒，准确率≥98.5%；数据留存不少于1年，为运维与追溯提供支撑。

(3) 预警联动设计：一级预警自动启动应急广播、联动灭火设备待命；二级预警仅提醒运维人员排查，避免误触发。

3.2 灭火系统优化方案

坚持“优化现有、补充新增、适配结构”原则，优化消火栓系统，新增模块化、移动式设备，提升灭火效能。

(1) 现有消火栓系统优化：全面排查后针对性改造，降低成本与难度。管网破损泄漏部位局部更换为外涂塑内衬不锈钢管，堵塞管道高压疏通，关键节点增设压力传感器与阀门；更换老化消火栓为小型嵌入式，核心区域补充布设，确保间距≤50m，配套完善水带水枪；检修消防水泵，供水不足时新增模块化增压泵，确保出口动水压≥0.35MPa；优化消防水池补水系统，引接现有生活给水实现自动补水，设置水位监测与报警装置。

(2) 新增模块化灭火设备：结合结构与火灾风险，新增无需固定安装、可灵活调度的设备，重点应对危化品与隐蔽区域火灾。设备参数见表3：

表3 新增模块化灭火设备参数表

设备类型	布设位置	核心技术参数	配置数量	适配场景
模块化压力式泡沫比例混合装置	船闸两侧闸墙外侧	泡沫液类型 6%抗溶性，混合比 7%，单侧贮量满足一次灭火需求	2套（双侧配套）	甲、乙类易燃液体船舶火灾
移动泡沫炮	闸室两侧泡沫炮接口旁	流量 15-70L/s，额定压力 0.8MPa，射程≥55m，可无线遥控	14台（每侧7台）	闸室大面积液体火灾
举高消防机器人	闸室周边预设点位	履带式底盘，水/泡沫两用，射程≥55m，遥控半径≥100m	2台（1用1备）	高空、隐蔽区域火灾
模块化高压细水雾泵组	新建小型泵房	5用1备，单台流量 112L/min，扬程 13MPa，功率 30kW	1套	电缆廊道火灾
开式细水雾喷头	电缆廊道内	嵌入式安装，间距 1.5-3.0m，最不利点压力≥10MPa	按需布设（覆盖全廊道）	电缆廊道局部及大面积火灾

重点设备应用：闸室新增模块化泡沫装置与移动泡沫炮，配套2台举高消防机器人，适配空间限制；电缆廊道新增模块化高压细水雾系统，划分防火分区，嵌入式喷头全覆盖，泵组模块化安装；隐蔽区域补充移动式灭火器与消防水炮，提升初期灭火能力。

(3) 防火分隔优化：采用非破坏性方式，在电缆廊道连接处、闸首夹层入口安装嵌入式防火卷帘与密封条；在人字门启闭机房洞口设置防火分隔水幕，避免火苗窜入，适配既有结构。

3.3 应急联动机制完善方案

构建“消防-通航-周边应急”三位一体联动机制，实现协同高效，提升应急处置能力。

(1) 内部联动：以预警平台为核心，明确联动逻辑，火情确认后自动联动对应灭火设备启动，同步联动应急广播、应急照明、通风系统，为处置与疏散提供保障。

(2) 跨系统联动：与通航管理系统联动，火情时暂停通航、关闭闸门、调度船舶疏散，3秒聚焦火源监

控画面；与周边应急系统联动，及时上报火情，调度救援队伍与物资，形成协同救援格局。

(3) 应急处置流程规范：制定标准化流程，分为预警确认（5分钟内赶赴确认）、初期处置（小火快速扑救）、协同救援（大火联动调度）、后期处置（排查整改、总结评估）四阶段，明确岗位职责与时间要求，适配老旧船闸运维模式。

3.4 运维管理强化方案

建立完善运维体系，强化设备维护、人员培训与应急演练，确保系统长期稳定运行。

(1) 完善运维管理制度：制定针对性制度，明确职责、频次、内容与考核标准，落实个人责任；建立设备全生命周期台账，定期考核并与绩效挂钩，结合运维现状优化制度，确保落地可行。

(2) 强化设备维护保养：制定差异化维护计划，降低故障发生率。

4 结语

综上，既有老旧船闸受服役年限、土建结构固化及建成时期技术标准限制，普遍存在火灾预警落后、灭火效能不足、应急联动薄弱、运维管理欠缺等核心痛点，且改造难度大、适配性差。本文立足“因地制宜、最小干预、效能最大化”原则，从火灾预警系统升级、灭火

系统优化、应急联动机制完善、运维管理强化四个维度，设计了适配老旧船闸特性的消防提升实施方案，重点采用小型化、模块化、非破坏性设备与技术，规避土建改造风险、控制成本，构建“预警-灭火-联动-运维”全流程一体化防控体系，可有效解决消防安全隐患，提升防控水平，为同类老旧船闸消防改造提供理论与实践支撑。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 消防给水及消火栓系统技术规范:GB50974-2014[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
- [2] 中华人民共和国国家能源局. 水电工程设计防火规范:GB50872-2014[S]. 北京: 中国电力出版社, 2014.
- [3] 李建明, 王磊. 既有老旧船闸消防系统老化现状及改造技术研究[J]. 水运工程, 2022, (8): 145-150.
- [4] 张宏, 刘敏. 智慧消防技术在内河老旧船闸改造中的应用[J]. 消防科学与技术, 2023, 42(3): 389-392.
- [5] 王艳, 陈明. 模块化灭火系统在受限空间船闸消防改造中的适配性研究[J]. 中国水运, 2022, 22(11): 102-104.

作者简介：刘朝华，男，高级工程师，工学学士，主要从事水利水电消防设计和科研工作。