

数字化技术赋能船舶与港口施工安全管理研究

潘 飞

中国电建集团港航建设有限公司, 天津 300480

[摘要]船舶建造与维修、港口改扩建、水运工程水域施工等作业场景,整体环境错综复杂,各类高风险、高危险作业高度集中。传统依靠人工巡查、人工记录的安全管理模式,无法适配现代化水运工程的安全施工需求。文章依托物联网、BIM+GIS、数字孪生、人工智能、云边协同大数据等前沿数字化技术,针对船舱内施工、码头装配式施工、水上多工种联合作业三大核心施工场景,搭建覆盖施工全流程的数字化安全管控体系,实现施工风险的实时监测感知、智能预警提醒以及隐患闭环整改管控,提升工程安全管理的精细化、智能化、规范化水平,以供参考。

[关键词]数字化技术;船舶施工;港口施工;安全管理;数字孪生

DOI: 10.33142/sca.v9i9.20370

中图分类号: U655.1

文献标识码: A

Research on Empowering Ship and Port Construction Safety Management with Digital Technology

PAN Fei

PowerChina Harbour Co., Ltd., Tianjin, 300480, China

Abstract: The overall environment of ship construction and maintenance, port renovation and expansion, and water transportation engineering construction is complex, with various high-risk and high-risk operations highly concentrated. The traditional safety management mode relying on manual inspection and manual recording cannot meet the safety construction needs of modern water transportation engineering. The article relies on the Internet of Things BIM+GIS, cutting edge digital technologies such as digital twins, artificial intelligence, and cloud edge collaborative big data are used to build a digital safety control system covering the entire construction process for three core construction scenarios: in cabin construction, dock assembly construction, and multi job joint operations on water. This system enables real-time monitoring and perception of construction risks, intelligent warning reminders, and closed-loop rectification and control of hidden dangers, improving the precision, intelligence, and standardization level of engineering safety management for reference.

Keywords: digital technology; ship construction; port construction; safety management; digital twin

引言

船舶修造作业涵盖有限空间、动火、高处作业等多项高危工序,港口工程涉及桩基施工、水上交叉作业、大型构件吊装等复杂施工环节,叠加水域潮汐、风浪等自然不确定因素,安全隐患具有较强隐蔽性,各类风险相互交织叠加,整体管控难度较大^[1]。传统安全管理模式以人工现场巡查为主,依赖事后隐患整改闭环,存在风险排查覆盖面不足、过程监管存在滞后性、多方参建主体协同联动机制不畅等短板,已无法匹配船舶修造与港口工程规模化、复杂化的建设管理需求。依据智慧港口建设总体部署要求,数字化管理技术依托实时感知采集、智能风险研判、全流

程闭环管控等核心优势,可推动安全生产管理模式由事后被动处置向事前预警预判、全过程动态管控转型,系统性夯实船舶及港口涉水工程安全生产管控屏障^[2]。

1 船舶与港口施工安全管理现状及痛点

1.1 施工安全管理基本特征

船舶与港口工程属于高风险水运基建项目,因涉水涉陆双重作业属性,整体安全管控特殊性突出,主要呈现四大风险特征:一是高危作业工序高度集聚。船舶密闭舱室有限空间作业、动火作业、大件吊装作业,以及港区桩基施工、深基坑开挖等关键工序,极易诱发中毒窒息、火灾爆炸、高处坠落等安全事故,且施工进度受潮汐、大风等

水文气象条件约束极强，外部环境不确定性突出。二是多专业、多班组立体交叉施工^[3]。施工现场人员、机械设备、作业船舶、工程物料交织混杂，各作业面相互干扰，衍生各类碰撞、误操作等安全隐患。三是水域作业环境动态波动性强。水域水文条件持续变化，叠加设备运行故障、人员违规操作等随机变量，安全风险处于动态生成状态，传统静态化安全管控模式适用性不足，难以实现全过程有效防控。四是参建及监管主体多元，协同管理壁垒明显。项目涵盖施工总承包、监理、港口运营管理、行业行政监管等多方责任单位，各主体间信息传递与共享机制不够顺畅，跨部门、跨单位联动式安全统筹治理难度较高。

1.2 传统安全管理核心痛点

当前船舶与港口施工作业仍普遍沿用传统安全管理体系，数字化、智能化管控整体层级较低，管理短板较为突出。风险辨识主要依赖人工现场巡查与管理人员经验主观研判，对动态演化、隐蔽性较强的安全隐患缺乏前置预判能力，源头预防性管控机制存在显著缺位。水上远端作业水域、船舱密闭狭小受限空间等关键风险点位受作业条件制约，人工巡检覆盖率不足，安全监管存在管控盲区。各业务模块安全监测数据分散存储、独立归集，形成典型数据孤岛，无法实现多维度数据融通与一体化风险深度分析。隐患排查治理闭环管控流程约束力不足，部分安全问题整改仅停留在表层处置，未能实现根治性销号。突发事件应急处置链路信息传导时效性不足，叠加安全警示教育形式固化单一，一线作业人员安全敬畏意识薄弱，违规作业、习惯性违章等行为长效管控难度较大^[4]。

2 数字化技术赋能施工安全管理的总体框架

围绕船舶与港口施工全流程安全管控工作，搭建“感知采集-数据融合-智能研判-闭环管控-应急赋能-迭代优化”的数字化安全整体架构。

前端感知层：依托物联网、卫星定位、边缘计算等智能化设备，对施工现场人员、作业船舶、施工机械、现场环境等各类安全相关数据进行全方位、无死角采集，筑牢数据采集基础。

数据支撑层：通过数据中台对各类来源、不同格式的结构化数据进行统一梳理、清洗和规范化治理，搭建统一规范、可调用、可溯源的安全专属数据库，为后续智能分析提供可靠数据支撑^[5]。

智能决策层：结合 BIM+GIS 技术、数字孪生可视化模型以及人工智能算法，搭建一体化智能管控可视化平台，自动抓取现场安全隐患、实时分析研判风险等级、提前触

发安全预警，实现安全风险智能化、自动化识别与预判。

3 数字化技术赋能船舶与港口施工安全管理的具体路径

3.1 物联网技术：全维度施工安全动态感知赋能

物联网是船舶与港口施工安全数字化智能管控的核心底层技术，在作业现场部署各类智能感知设备，24 小时不间断、高精度采集现场安全数据，全方位提升港口和船舶施工的安全管控能力。在人员安全管理方面，现场作业人员佩戴智能安全帽、智能传感穿戴设备，依托北斗高精度定位、人体体征实时监测等功能，搭配现场电子围栏系统，能够实时识别并预警人员越界闯入、高空违章作业、作业摔倒、长时间滞留危险区域等安全风险。同时系统可同步监测人员疲劳状态、身体体征异常，提前规避疲劳作业、带病上岗等安全隐患，实现对所有作业人员的全时段动态化安全监管。在设备与船舶管控方面，通过给港口大型机械、各类船舶作业设备加装智能传感器，全程实时采集设备运行转速、负荷、温度等核心参数，提前预判设备老化、零件故障等潜在问题，做到提前检修、预防性维护，避免设备带故障作业。在作业环境安全防控方面，在港口高危作业区域布置专业环境监测设备，全天候实时监测有害气体浓度、现场风速、水位高低、潮汐变化等环境数据^[6]。一旦出现恶劣天气、环境参数超标等危险情况，系统会自动发出声光预警，可快速叫停各类高危施工作业，筑牢施工现场环境安全防线。

3.2 BIM+GIS 融合技术：施工场景可视化与事前推演赋能

BIM+GIS 融合技术是当前船舶与港口工程实现可视化、精细化、前置化安全管控的核心关键技术。BIM 技术主要搭建港口码头结构、各类施工设备、全流程施工工序的高精度三维精细模型，还原工程实体全貌；GIS 技术则能够统筹归集港口区位坐标、水下地形、岸线形态、潮汐水文、风力气象等全维度空间地理数据，实现港口空间要素一体化集成与可视化管理。在施工方案推演方面，BIM+GIS 融合技术可以对码头装配式施工、船舶分段建造、水上桩基施工、大型构件水上吊装等高危、复杂施工工序，进行 1:1 全真三维建模模拟。通过提前模拟完整施工流程，提前排查工序衔接冲突、吊装作业盲区、施工空间不足等各类安全隐患，真正将传统事后整改的安全管理模式，转变为事前预判、事前防控的前置化安全管控。同时，借助三维立体化数字模型，摒弃以往依靠纸质文件、纯文字说明的传统交底模式，推行沉浸式可视化安全技术

交底。施工人员可直观清晰掌握作业规范、工艺流程及各类安全危险源,精准把握风险防控重点,有效减少因理解偏差造成的违规操作,切实压降现场施工安全隐患。

3.3 数字孪生技术:虚实联动全流程智能管控赋能

数字孪生技术以 BIM 模型、现场实时感知设备和各类业务运行数据为基础,搭建出与港口、船舶施工现场实时同步的虚拟仿真场景。

一是构建 1:1 高精度虚实映射体系。系统整合物联网监测、视频监控、设备运行、船舶动态、施工进度等多维度数据,以毫秒级速度同步还原现场作业人员、施工机械、周边环境及各道施工工序的完整状态。管理人员通过可视化大屏就能完成远程全域统筹监管,有效弥补了传统监管模式信息反馈慢、巡查覆盖面不足、现场掌握不透彻的突出问题。

二是开展高风险作业动态仿真与风险预判。针对动火作业、水上吊装、密闭空间施工等水运工程典型高危工序,系统结合水文、气象、水流等环境数据模拟风险发展过程,对安全隐患进行分级预警,指导管理人员按照风险等级分类落实整改,从源头筑牢安全防线。

三是提升应急处置效率,支撑事故复盘溯源。出现突发安全事件时,系统可快速复刻事故全过程,智能统筹调配各类救援人力与物资;日常还能依托虚拟场景低成本、无风险地组织应急演练,锤炼队伍处置能力。同时依靠全过程留存的海量原始数据倒查事故诱因,为持续修订完善安全管理制度、优化现场管控机制提供扎实的数据依据。

3.4 人工智能与云边协同技术:智能识别与精准预警赋能

借助人工智能算法搭配云边协同整套系统,升级成提前预判风险的智能化管控模式。整套系统核心架构分为两部分:现场边缘算力节点加上云端大数据综合分析,核心视觉检测用优化升级后的 YOLOv8n 轻量化识别算法,自动完成安全隐患抓拍、智能判断、危险等级划分以及分级推送预警提醒。边缘端直接在工地现场安装摄像头、智能巡检终端,内嵌精简版 AI 模型,全天 24 小时自动不间断巡检检查。一旦拍到工人没戴安全帽、防护手套等劳保用品、违规动火作业、水上船舶施工作业走位偏移等违规行为,设备立刻就地发出声光警报,第一时间叫停危险操作。针对工地烟火火情检测,采用边缘设备先初步筛查、云端后台再过滤阳光反光、灰尘雾气等环境干扰的组合方式,大幅提升火情识别准确度,同时还能核对施工人员有没有按照既定工序规范操作,杜绝野蛮施工。云端服务器统一汇总所有安全检查记录、大型机械设备运行状态、水

域水文、实时气象等海量信息,再通过人工智能深挖数据背后的风险规律,直观生成工地风险热力分布图,给作业人员建立安全行为档案、对各类施工设备做健康状况打分评级,管理人员依据这些结果开展有针对性的差异化精准管控。

3.5 大数据与智慧管控平台:隐患闭环与全流程数字化治理赋能

依托大数据技术,搭建适配船舶及港口施工现场的一体化安全智慧管控体系,整合人员、施工设备、安全隐患、现场环境、船舶动态、应急处置、安全教育七大核心业务模块。有效解决传统港口船舶施工安全管理中,各类数据分散独立、业务流程衔接松散、管理衔接不到位等痛点问题,搭建起安全隐患从发现、上报、整改、复核、销号到问题溯源的全流程、全链条数字化闭环管理模式,让施工安全管理规范化、系统化、可追溯。

平台支持三种隐患录入方式,分别是人工手动填报、AI 智能自动识别、现场传感器实时采集,全方位覆盖施工现场隐患排查场景。每一条排查出的安全隐患,都会精准绑定具体施工点位、风险等级、专属责任人和整改时限,一旦出现整改超时问题,系统会自动发起督办提醒和预警通知。同时,依托电子档案留存和二维码溯源技术,可实现安全隐患、施工设备、工程构件的全生命周期溯源查询,确保所有安全隐患整改到位、彻底清零,杜绝隐患遗留问题。

在人员安全管理方面,平台对接施工现场实名制管理系统,统一落实全员岗前线上安全培训、考核上岗、日常考勤登记、违章行为建档存档等全流程管理。针对高危作业、存在安全失信记录的违规人员,系统可自动限制其上岗作业权限,通过量化的人员安全数据,为施工班组安全考核、评级、管理提供真实可靠的数据支撑,夯实人员安全管理基础。

平台实时汇聚整合船舶运行轨迹、锚泊状态、施工设备运行工况、施工现场水文、气象等各类动态数据,通过大数据智能分析,提前预判、主动规避水陆交叉作业的相互干扰、碰撞等安全风险。针对暴雨、大风等极端天气,系统可提前发布停工预警提示,提前做好施工避险安排,全方位、立体化筑牢水运工程施工现场的安全防护防线,大幅提升港口船舶施工安全管控水平。

4 结论与展望

船舶与港口施工安全管理是水运工程高质量发展的核心支撑与重要保障。传统依赖人工巡检的粗放式管理模式,已难以适配水上作业高风险、环境复杂的现代化施工场景。深度融合物联网、BIM+GIS、数字孪生、人工智

能与大数据多项前沿数字化技术,构建多系统联动赋能体系,精准补齐传统管理短板,高效化解安全风险预判研判不及时、施工现场各作业流程监管存在疏漏盲区等行业重难点管理难题,推动安全管理体系向风险前置预判、数据闭环治理、施工现场全域立体化管控转型升级。在 5G 移动通信、通用人工智能大模型等新一代数字技术不断迭代更新的背景下,能够搭建贯穿项目施工全过程、人员设备环境物料全部核心要素的智能化安全管控平台,实现安全风险动态感知、实时预警与闭环处置,为港口航运产业及海洋工程建设高质量发展筑牢安全防护屏障。

[参考文献]

- [1]董裕恒.数字化转型驱动下的港口作业安全管理创新机制研究[J].湖北应急管理,2025(22):25-27.
- [2]张晓磊,郑丹丹.港口安全码数智化实践与应用[J].中国水运,2025(16):36-38.
- [3]丁倩,梁瑶.港口数字化转型背景下的安全管理人才培养路径[J].水运管理,2024,46(9):36-38.
- [4]夏志新,白跃辉,张晨,等.基于大数据技术的智慧港口数据中台技术架构[J].港口科技,2023(10):1-6.
- [5]胡铮,林杨,郑丹丹,等.数字化改革在港口安全中的实践研究——以宁波港域为例[J].中国水运,2022(17):21-23.
- [6]吴俊峰.我国智慧港口数字化转型趋势与创新平台建设[J].中国港口,2021(10):20-23.

作者简介:潘飞(1992—),男,汉族,山东德州人,工程师,本科,国家开放大学水利水电工程专业毕业,现从事安全管理工作。