



# 智慧渔港安全应急指挥系统研究 ——以闸坡渔港为例

邓锐敏<sup>1</sup>, 黄月华<sup>2</sup>, 王媛<sup>3</sup>

(1. 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510000; 2. 交通运输部珠江航务管理局, 广东 广州 510110;  
3. 中交智慧城市生态发展(广州)有限公司, 广东 广州 510000)

**摘要:** 针对阳江闸坡渔港在安全应急管理中存在的监测手段落后、应急响应缓慢、协同联动不足、决策缺乏科学支撑等突出问题, 构建了一套基于数字孪生技术的智慧应急指挥系统。系统以数字孪生五维模型为理论框架, 融合物联网、BIM+GIS、大数据与人工智能等技术, 形成了“感-知-析-策-控”的智能管理闭环。实践表明, 与传统的应急管理相比, 该系统成功将静态的“人、船、港、场”应急预案转化为动态可视、可管、可回溯的数字方案, 在台风应急场景中, 渔船召回响应时间从2 h缩短至40 min, 效率提升65%, 验证了该系统能有效推动渔港应急管理从“被动响应、经验决策”向“主动预警、科学调控”变革, 为我国智慧渔港建设提供了可复制的技术路径与实践范本。

**关键词:** 数字孪生; 智慧渔港; 应急指挥系统; 闸坡渔港

中图分类号: U658.6

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2026)04-0135-08

## Research on intelligent safety and emergency command system for smart fishing ports: a case study of Zhapo fishing port

DENG Ruimin<sup>1</sup>, HUANG Yuehua<sup>2</sup>, WANG Yuan<sup>3</sup>

(1. CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510000, China;

2. Pearl River Administration of Navigational Affairs, MOT, Guangzhou 510110, China;

3. CCCC Smart City Ecological Development(Guangzhou)Co., Ltd., Guangzhou 510000, China)

**Abstract:** To address the prominent shortcomings in safety and emergency management at Zhapo fishing port in Yangjiang, such as outdated monitoring methods, slow emergency response, insufficient collaborative linkage, and lack of scientific support for decision-making, a smart emergency command system based on digital twin technology is constructed. The system takes the five-dimensional digital twin model as its theoretical framework, integrates technologies such as the internet of things (IoT), BIM+GIS, big data, and artificial intelligence, and forms an intelligent management closed loop of “sensing-perceiving-analyzing-decision-making-controlling”. Practice shows that, compared with traditional emergency management models, this system successfully transforms the static emergency plans for “people, ships, ports, and venues” into dynamic, visual, manageable, and traceable digital solutions. In typhoon emergency scenarios, the recall response time for fishing vessels is shortened from 2 hours to 40 minutes, with an efficiency improvement of 65%. This verifies that the system can effectively promote the transformation of fishing port emergency management mode from “passive response and experience-based decision-making” to “proactive early warning and scientific regulation”, providing a replicable technical path and practical model for the construction of smart fishing ports in China.

**Keywords:** digital twin; smart fishing port; emergency command system; Zhapo fishing port

收稿日期: 2025-09-29 录用日期: 2025-11-14

作者简介: 邓锐敏(1994—), 女, 硕士, 工程师, 从事工程咨询、智慧工程工作。

渔港是渔业的综合生产基地,集渔船靠泊与避风、生鲜装卸与冷藏加工、物资补给与交易、船舶及工具修造多功能为一体,是渔业生产中的人流、物流、资金流、信息汇聚流的重要场所,是渔业安全生产最重要的基础设施。广东阳江闸坡世界级渔港是我国六大中心渔港之一,拥有各类渔船数千艘,年卸港量超20万t,水产品交易活跃,集渔业生产、水产品交易、智慧管理于一体的现代化综合性港口。然而,与我国许多传统渔港一样,闸坡渔港在安全应急管理中仍面临监测手段落后、应急响应速度慢、信息协同不畅、决策支撑不足等突出问题。

近年来,数字孪生作为一项物理世界与虚拟世界交互融合的新兴技术被广泛地应用在智慧城市、智能制造等领域<sup>[1]</sup>。其核心在于通过构建一个高度反映物理世界状态的高保真模型,实现基于数据驱动的状态监测与闭环反馈,为复杂系统的监测、仿真与优化提供了全新范式<sup>[2]</sup>。因此,学术界逐步探索数字孪生技术在运行状态监测、灾害仿真模拟、应急指挥决策中的应用<sup>[3]</sup>,然而,目前研究仍处于探索阶段,且主要关注单一技术点的应用,缺少数字孪生与智慧渔港及应急管理深度融合的学术与实证研究<sup>[4]</sup>。

本文以闸坡渔港为实证研究对象,深入剖析渔港应急管理现状和挑战,依托数字孪生的理论框架,系统性构建一个数字孪生驱动的满足应急管理“全域感知、智能预警、科学决策、高效协同”需求的智慧渔港应急指挥系统,推动渔港应急管理从“被动响应”到“主动预警”转型,以期为我国智慧渔港建设提供可资借鉴的案例。

## 1 现状分析

### 1.1 项目特点

阳江闸坡渔港位于广东省阳江市海陵岛西南端,是国家中心渔港和国家级沿海渔港经济区核心港区。渔岸线总长4 449 m,水域面积约140万m<sup>2</sup>,港池可同时停泊各类船只近1 500艘,渔业经济活动活跃,涵盖从近海养殖到深海捕捞的多种业态。

因此,其安全应急管理呈现出管理对象多元、管理范围广阔、管理难度大和应急响应专业化要求高等特点:管理对象包括渔船、渔民、码头等;管理范围覆盖港区、海域及岸线;并且受台风等海洋灾害频发影响,风险防控压力大;应急处置需多部门高效协同、实时决策与精准调度。

### 1.2 核心问题

闸坡渔港的安全应急管理工作主要由渔港管护中心、渔政大队牵头,协同海事、公安等多部门执行。尽管已初步构建组织化保障体系,但这套以“人防”为核心的传统体系,在应对复杂突发事件时暴露出显著局限性。

人防为主,技防不足,“看不见”风险。港内监控未全域覆盖,对船舶及港区环境的安全识别高度依赖人工巡查,效率低、盲区多、实时性差<sup>[5]</sup>。针对港外船舶的监控手段单一,部分依赖船主在小程序自主、单向填报,存在漏报、迟报现象,难以实现对全域风险的实时、精准感知。

信息孤岛,协同不畅,“管不清”流程。渔港应急管理工作以上级单位印发的应急管理预案为主要依据,如《闸坡渔政大队防火防爆防台风应急救援预案》等,缺少专业化应急指挥软件系统;信息沟通与资源调度多依赖电话和人力跑动协调<sup>[6]</sup>,这种碎片化的沟通模式导致应急响应流程难以标准化、程序化,应急工作组织的效率难以提升,容易错过黄金救援时间。

经验决策,缺乏支撑,“想不全”对策。海上应急事件具有高度不确定和快速演变的特点,早发现、早预警,才能及时做出科学决策。然而,闸坡渔港当前应急处置高度依赖现场指挥人员的个人经验及其对当地海况、天气的熟悉程度,缺乏基于实时数据和仿真推演的决策辅助工具,可能导致遇险人员生存几率降低、搜救难度增大及证据丢失等后果,影响应急处置效果。

### 1.3 智慧化需求

闸坡渔港应急管理的智慧化需求主要集中在对管理对象的智能化监测能力提升、安全隐患的识别与应急响应速度提升以及应急管理工作的科

学性和标准性提升。

**感:**提升港区物联感知网络建设,全面采集船舶、气象、环境等多源感知数据。

**知:**提升多源数据的融合处理与智能识别,精准掌握“人、船、港、场”风险隐患,如火灾、溢油等。

**析:**依托大数据与人工智能技术,提升对风险隐患进行智能分析、评估与演化模拟分析的能力。

**策:**构建可视化、可推演的应急决策方案的数字化平台,支持多灾种、多场景的应急辅助决策。

**控:**打通指挥调度与执行反馈链路,实现一张图管到底,支持指令精准下达、行动闭环跟踪与应急过程全程管控。

## 2 系统构建

### 2.1 构建思路

依据国际标准化组织的定义,数字孪生作为一种对物理实体或流程的动态数字化表征,可以理解为物理实体在虚拟空间中的一个动态数字副本,它能与真实世界保持双向同步和互动。这一特性与渔港安全应急管理对实时感知、科学决策和精准控制的迫切需求高度契合。

为此,系统以陶飞等<sup>[7]</sup>提出的数字孪生五维模型为核心框架,分别为物理实体(physical entity, PE)、虚拟实体(virtual entity, VE)、服务(service system, SS)、数据(data domain, DD)、连接(connection, CN)。该模型将整个系统分为5个关键部分,它们共同驱动“感-知-析-策-控”应急流程的运转。

**PE:**闸坡渔港这一实体构筑物、渔港各子系统及其所处的地理空间,包括船舶、人员、海域、设施设备等,是系统感知和控制的最终对象。

**VE:**对物理实体进行刻画、描述及仿真的模型,是从多个维度上对物理设备进行映射的集合,是数字孪生模型的具体表达形式,能直观地映射和展示港口的实时状态。

**CN:**连接物理世界和数字世界的“桥梁”,使

物理设备、虚拟设备及服务的状态变化保持同步,以实现虚实的无缝衔接与融合,包括物联网、移动互联网、卫星等多种通讯技术。

**DD:**驱动整个系统运行和迭代优化的动力,汇聚了渔港应急管理领域各类主题数据,如渔港基础设施、渔船、船员及渔港业务等主题。

**SS:**系统价值的具体体现,它将平台的分析、仿真能力包装成一个个具体的应用功能,直接为用户提供决策支持和操作界面。

因此,这5个维度与应急业务需求紧密配合,形成了一个高效闭环:数字孪生是支撑系统实现“虚实融合、以虚控实”能力的技术底座与理论框架,而应急指挥系统则是数字孪生模型在业务应用层面的价值体现。

### 2.2 总体设计

以五维模型为框架,以“感-知-析-策-控”为核心,构建智慧渔港应急管理系统。系统建设思路见表1。

表1 数字孪生技术智慧渔港安全应急指挥系统建设思路  
Tab.1 Construction approach of a digital twin-based safety and emergency command system for smart fishing port

环节	关联维度	在系统中的具体实现思路
感	PE、CN	部署泛在的物联网感知网络,包括摄像头、电子卡口、AIS(automatic identification system,船舶自动识别系统)、雷达及浮标,全面采集物理世界的状态 <sup>[8]</sup>
知	DD、VE	建设渔港实景三维融合模型,基于BIM(building information modeling,建筑信息模型)模型及GIS(geographic information system,地理信息系统)地图整合各类动静数据,实现渔港人、船、物、环境、事件“一张图”全景可视化监控与管理,消除信息孤岛
析	DD、VE	建立智能风险感知与预警体系,基于规则引擎和AI模型,实现对台风、火灾、船舶碰撞、人员落水、设施结构异常、危险区域入侵等风险的早期识别、自动报警和趋势预测,变被动响应为主动防控
策	SS、VE	建设应急孪生场景推演分析算法,基于应急预案生成港口火灾人员、油污泄漏、台风、海上渔船事故等核心应急场景的处置方案和应对策略
控	CN、PE	构建可视化指挥管理大屏,支持通过三维可视化平台下达调度指令,联动应急资源执行,并反馈执行结果形成闭环优化

### 3 系统功能架构与实现

#### 3.1 系统技术架构

系统技术架构分为感知层、网络层、数据层、平台层和应用层，见图1。

感知层：由物联网设备及外部系统接入的数据组成，从多维度、多空间尺度及多时间尺度对渔港这一物理实体进行刻画、描述及仿真。

1) 安全生产感知：港池出入口布设4套水上智能卡口设施，包括AIS接收机、抓拍及监测摄像机等，实现渔船进出港自动记录及统计、问题渔船识别及追踪等；布设1个AIS接收基站实时获得渔港内部及周边水域船舶信息；设置28台摄像机，包含全景拼接、热成像云台、全光谱球机等类型，结合AIS及雷达，实现功能包括全景监控、火情识别、识别船舶乱停、垃圾监控及溯源等。

2) 水文气象感知：设置水质、水文监测站、测波雷达及离岸浮标观测站，实现水文气象的全天候实监督与管理，为波浪模拟预报、通航保障等应急场景提供技术支持。

3) 其他监测感知：设置主要港区构筑物的电气火灾监测、可燃气体、烟雾探测及消防设施监测设备，保障渔港安全。

网络层：设置物联网、5G网络、北斗卫星、微波及移动互联网等多种通讯手段，满足监测与通讯的保障支持。

数据层：由渔港、渔船、船员、环境等多个主题数据库组成，是多源异构数据的融合与管理的载体，其数据汇聚、分析结果是支撑渔港安全与应急模型应用的基础。

平台层：数字孪生技术应用的支撑，包括时空地理信息平台、物联网平台、大数据平台、业务协同平台及统一用户管理平台，为三维建模、数据映射、仿真推演等服务提供基础能力。

应用层：数字孪生模型服务的体现，支持对内、外部应急资源基础信息进行集成与管理，实现港口实景三维全景监控，依托算法和规则对风险进行智能识别和预警，满足突发事件发生时的协同应急指挥需求，形成“感-知-析-策-控”的闭环。

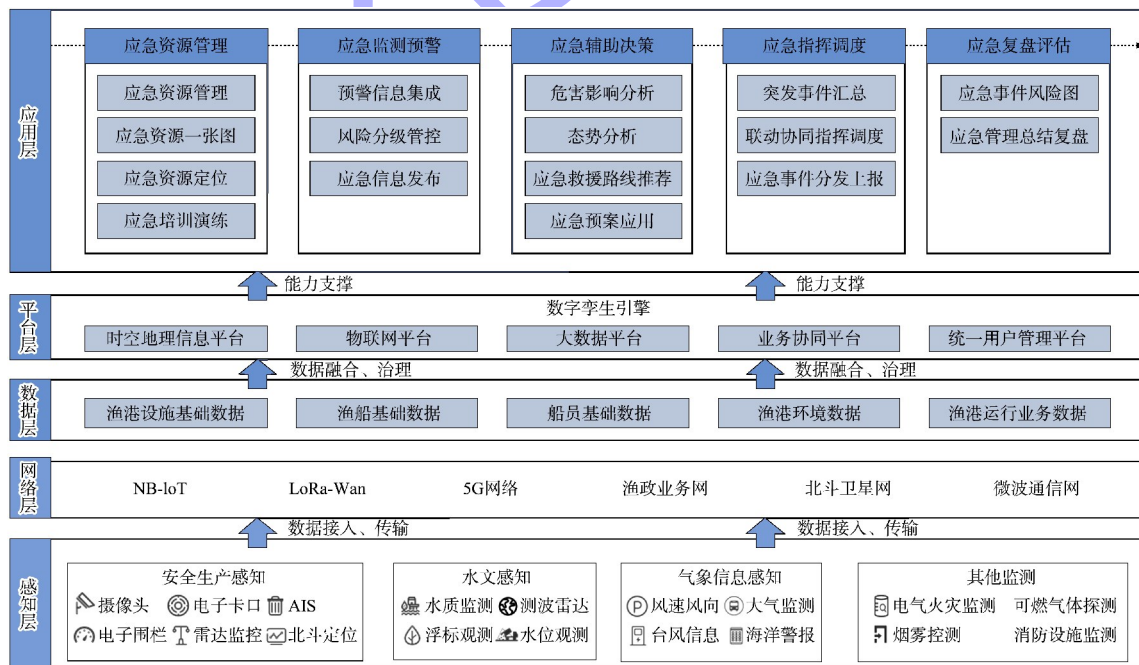


图1 智慧渔港安全应急指挥系统架构

Fig. 1 Overall architecture of smart fishing port safety and emergency command system

## 3.2 核心功能应用

### 3.2.1 全景可视的“一张图”监控

基于港口实景三维数字底板,集成动静态数据,实现港池、泊位、船舶、人员、设施等要素一体化、可视化管理,提升应急管理人员“感”“知”能力,有效解决“看不见”全局的痛点,见图2a)、b)。系统有效集成内部、外部应急资源基础信息,支持应急资源分级、分类查询及可视化展示,满足突发事件发生时高压水枪、AED(automated external defibrillator,自动体外除颤器设施)等各类应急资源快速链接需求,彻底消除信息孤岛。

### 3.2.2 多源融合的智能监测预警

利用视频AI算法、规则引擎,针对闸坡渔港应急管理的特点,实现了对渔船超速、航道偏离、火灾、油污泄漏等28类风险的自动识别与报警,变被动响应为主动防控。外部汇集实时气象信息、海域海况、重大自然灾害等实时监测及预测预警信息<sup>[9]</sup>,实现基于船舶位置、海域等多因素台风风险动态感知和智能预警,支持对台风期末归港渔船的精准识别与召回工作,提升应急响应速度;内部联动,利用视频算法、预警规则,设置对渔船未开启AIS、船舶违规靠泊、船舶反航道航行及危险区域人员入侵报警等不安全行为进行智能监测预警<sup>[10]</sup>,系统界面见图2c)。

### 3.2.3 情景仿真的应急辅助决策

以渔港安全应急管理为核心构建“人、船、港、场”4大类应急事件的辅助决策知识模型,如人员、船舶水上漂移轨迹预测、台风灾害应急的渔船回港避风模型等<sup>[11]</sup>。整合32个核心应急预案,将原本存储在文件柜中的纸质预案转化为系统内可动态调用、执行的数字化方案。当突发事件发生时,系统能够自动关联并启动相应预案,将抽象的文本条款转化为可视化管理一张图,清晰展示具体的任务清单、资源调度清单和人员职责清单,并根据应急事件类型,迅速匹配数据库,推送该类型事故灾害的发生特点、演化特征、救

援难点、应急处理方式等内容,源头上解决了传统模式下预案“查找慢、执行难、经验依赖”等问题。系统内置渔港常见灾害态势分析模型,支持对台风、火灾、溢油、人员落水等应急或灾害情境进行模拟<sup>[12]</sup>。针对人员落水等情景,可预测轨迹漂流方向,为高效化、专业化救援提供科学的应急决策辅助工具。

### 3.2.4 协同联动的应急指挥调度

基于一张图展示应急现场实时信息,展示内容包括事故接处警信息、应急地点位置、应急事件等级、当前事件处置动态、实时视频回传、关联应急物资、应急通讯录、应急预案信息等,实现指令精准下达、资源统一调度与执行反馈。通过集成广播喊话、视频回传及短信通知等通信功能,实现以应急事件为中心、多主体的信息共享和多资源协同联动,系统功能界面见图2d)。

### 3.2.5 全程回溯的应急效能评估

为提升应急管理全过程复盘评估能力,系统支持自动记录应急事件预警、发展、结束的全过程对应的图片、音视频及文字数据,便于存档、取证及复盘工作开展;可一一对应应急预案的要求或管理制度中的安全应急管理评价指标,对应急过程中预案执行的完整性、预案有效性、应急措施及时性等进行综合评估,辅助生成报告。同时,基于每一次安全应急事件生成历史经验库,不断优化应急预案的科学性、有效性,从根本上为渔港应急能力的提升提供了高效的数字化载体,系统功能界面见图2e)。



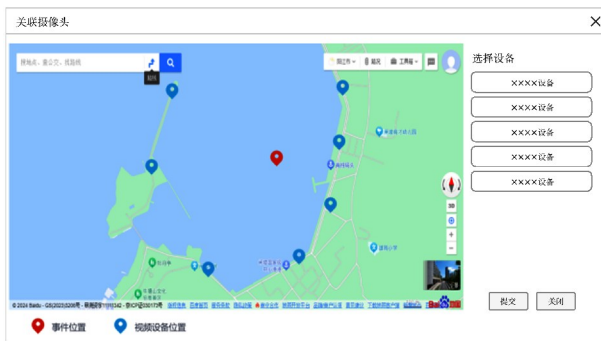
a) 数字孪生底座



b) 应急资源管理



e) 应急复盘评估



c) 智能监测预警(关联摄像头)



d) 应急指挥调度(广播喊话)

图 2 系统功能界面  
Fig. 2 System functional interface

#### 4 应用成效分析

1) 业务流程优化: 将 32 个“纸质预案”转化为可动态执行的“数字方案”, 实现了应急预案的数字化、可视化, 从源头上解决了传统模式下预案“查找慢、执行难、经验依赖”等问题, 构建了基于数字孪生的渔港应急管理新范式。

2) 关键场景效率提升: 在台风应急中, 通过 AIS 精准识别未归港渔船与 VHF(very high frequency, 甚高频)广播、短信平台一键避风指令下发, 渔船召回响应时间从 2 h 缩短至 40 min, 效率提升 65%。在火灾预警中, 通过视频 AI 识别, 将报警响应时间从人工巡查的 15 min 以上缩短至 30 s 内。

3) 管理模式变革: 实现了从“被动接收、经验判断、分散无序、无从考据”到“主动感知、数据驱动、一体联动、精准复盘”的管理模式升级, 其与传统模式的对比优势见表 2。

表 2 传统应急模式与数字孪生系统应用模式对比

Tab. 2 Comparison between traditional emergency mode and digital twin system application mode

模式类别	信息获取	决策辅助	指挥协同	事后评估
传统模式	依赖人工上报, 经验巡查, 信息滞后且碎片化	基于负责人个人经验和模糊判断	多头电话指挥, 沟通成本高, 协同效率低	缺乏量化数据支撑, 总结流于形式
本文系统应用模式	多源感知设备自动采集, 数据实时更新、全局可视	基于大数据分析 with 情景仿真推演, 提供量化决策支持	一体化平台指令直达, 任务闭环管理, 跨部门协同有序	全过程数据回溯, 自动生成应急评估报告, 支持效能量化分析与持续优化
优势总结	从“被动接收”到“主动感知”	从“经验判断”到“数据驱动”	从“分散无序”到“一体联动”	从“无从考据”到“精准复盘”

## 5 结语

1) 本文从阳江闸坡智慧渔港安全应急管理和指挥的实际需求和痛点出发,成功构建并初步验证了基于数字孪生的智慧应急指挥系统的可行性与有效性。该系统为解决我国传统渔港安全应急管理的共性难题提供了一套可复制、可推广的系统性解决方案。

2) 应用创新:将数字孪生五维模型与渔港应急应用场景深度融合,首次提出并构建了适用于渔港的“感-知-析-策-控”智能管理闭环范式,并验证了其在提升渔港安全管理效率与响应能力方面的显著作用,具备系统性、可复制性与推广价值。

3) 技术创新:形成智慧渔港应急指挥系统成套技术创新集成。在感知层,构建了渔港安全应急管理的感知体系,融合 AIS、视频和雷达数据构建渔港场景下的安全识别算法;在连接层,应用了压缩编码的大数据流处理方法与高性能、低延迟的分布式实时传输技术,确保监测数据及控制指令的实时交互;在分析层,基于分布式计算框架,构建了高效实时计算能力,能够对应急场景下的人员、船舶、环境与事件等多源信息进行高效汇聚、深度挖掘与智能研判。在决策层,针对性开发了适用于台风应急召回、人员落水轨迹预测、火灾与溢油识别等核心场景的人工智能认知决策模型。

4) 当前系统仍处于试运行阶段,未来将着力于积累更多场景数据以优化模型,并探索系统在深远海安全管理等更复杂场景下的应用,持续推动我国渔港安全管理水平的现代化升级。

## 参考文献:

- [1] RASHEED A, SAN O, KVAMSDAL T. Digital twin: values, challenges and enablers from a modeling perspective[J]. IEEE access, 2020, 8: 21980-22012.
- [2] 杨元喜. 地理空间数字孪生与时空智能[J]. 测绘学报, 2025, 54(2): 213-220.  
YANG Y X. Digital twin and spatio-temporal intelligence of geospatial information system [J]. Acta geodaetica et cartographica sinica, 2025, 54(2): 213-220.
- [3] 陈志新, 陆凌云, 叶玲, 等. 指挥控制系统数字孪生研究[J]. 系统工程与电子技术, 2025, 47(3): 912-922.  
CHEN Z X, LU L Y, YE L, et al. Research on digital twin for command and control system [J]. Systems engineering and electronics, 2025, 47(3): 912-922.
- [4] 陈庆勇. 基于数字孪生技术的福建省智慧渔港应急管理平台建设的探索[J]. 安全与健康, 2022(10): 66-70.  
CHEN Q Y. Exploration of building a smart fishing port emergency management platform in Fujian Province based on digital twin technology [J]. Safety & health, 2022(10): 66-70.
- [5] 王昭, 于世强. 沿海地区渔港安全管理的地域特点及策略体系[J]. 河北渔业, 2025(8): 83-86.  
WANG Z, YU S Q. Regional characteristics and strategy system for safety management of fishing ports in coastal areas [J]. Hebei fisheries, 2025(8): 83-86.
- [6] 夏彩云. 海口市捕捞渔船渔业安全生产监管中的问题及对策研究[D]. 海口: 海南大学, 2023.  
XIA C Y. Study on the problems and countermeasures in the supervision of Haikou fishery safety production [D]. Haikou: Hainan University, 2023.
- [7] 陶飞, 马昕, 戚庆林, 等. 数字孪生连接交互理论与关键技术[J]. 计算机集成制造系统, 2023, 29(1): 1-10.  
TAO F, MA X, QI Q L, et al. Theory and key technologies of digital twin connection and interaction [J]. Computer integrated manufacturing systems, 2023, 29(1): 1-10.
- [8] 綦振暖. 中国海洋渔业安全生产基层管理存在的问题与对策[J]. 渔业信息与战略, 2023, 38(2): 100-105.  
QI Z N. Problems and countermeasures of front-line management of coastal fishery safety production in China [J]. Fishery information & strategy, 2023, 38(2): 100-105.
- [9] 陈志泉, 林艺妹, 林联发. 石狮市祥芝渔港作业气象风

险指数研究[J]. 海峡科学, 2023(12): 22-25.

CHEN Z Q, LIN Y M, LIN L F. Study on meteorological risk index for operations at Xiangzhi fishing port in Shishi City[J]. Straits science, 2023(12): 22-25.

[10] 周敬祥, 陈永剑, 王晓明. 水上安全监管网格化信息系统研究与设计[J]. 水运工程, 2012(6): 146-149.

ZHOU J X, CHEN Y J, WANG X M. Research and design on maritime supervision of grid information system[J]. Port & waterway engineering, 2012(6): 146-149.

[11] 丁慧彦, 赵晗萍, 黄崇福, 等. 台风灾害应急的渔船回港避风模型[C]//中国灾害防御协会风险分析专业委员会. 中国视角的风险分析和危机反应: 中国灾害防御协会风险分析专业委员会第四届年会论文集.

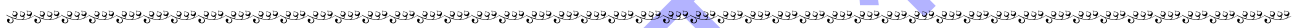
巴黎: 亚特兰蒂斯出版社, 2010.

DING H Y, ZHAO H P, HUANG C F, et al. A model for fishing vessels returning to port to avoid typhoons in emergency response to typhoon disasters [C]// Chinese Society of Risk Analysis, China Association for Disaster Prevention. Chinese perspectives on risk analysis and crisis response: proceedings of the 4th annual conference of Chinese society of risk analysis. Paris: Atlantis Press, 2010.

[12] 闫琪. 突发性海洋溢油事故预警应急联动机制研究[J]. 水运工程, 2011(2): 50-53.

YAN Q. Interactive mechanism of early warning and emergency command for oil spill[J]. Port & waterway engineering, 2011(2): 50-53.

(本文编辑 王传瑜)



(上接第 112 页)

[7] 刘洋, 麦宇雄, 覃杰. 适用于江海联运海港自动化集装箱码头的总体布置方案[J]. 水运工程, 2019(9): 119-124.

LIU Y, MAI Y X, QIN J. General layout design of fully automated container terminal for river-sea combined transport mode [J]. Port & waterway engineering, 2019(9): 119-124.

[8] 胡彪, 周小勇, 唐颖. 顺岸式自动化码头水平运输系统控制策略建模与仿真[J]. 桂林航天工业学院学报, 2025, 30(1): 106-118.

HU B, ZHOU X Y, TANG Y. Modeling and simulation of control strategy for horizontal transportation system in a automated terminal with yard parallel to shoreline [J]. Journal of Guilin University of Aerospace Technology, 2025, 30(1): 106-118.

[9] 饶智敏, 唐可心, 张煜. 全自动集装箱码头方案分析及关键技术[J]. 港口装卸, 2023(6): 55-59.

RAO Z M, TANG K X, ZHANG Y. Scheme analysis and key technology of fully automated container terminal[J].

Port operation, 2023(6): 55-59.

[10] 佚名. 自动化码头新一代智能管控系统关键技术研究与应用[J]. 港口科技, 2023(11): 44.

Anonymous. Research and application of key technologies of new generation intelligent management and control system for automated terminal[J]. Port science & technology, 2023(11): 44.

[11] 范会方. 数字孪生技术在自动化码头智能调度系统设计中的应用[J]. 信息与电脑, 2024, 36(14): 38-40.

FAN H F. Application of digital twin technology in the design of intelligent scheduling system for automated dock[J]. Information & computer, 2024, 36(14): 38-40.

[12] 甘育鑫. U型布局自动化码头双场桥调度与集卡定位的集成优化[D]. 大连: 大连海事大学, 2024.

GAN Y X. Integrated optimization of double-yard bridge scheduling and container positioning in U-shaped layout automatic wharf [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2024.

(本文编辑 王传瑜)