

# 港口与航道工程技术管理的发展趋势及应用探究

周炽华

广东 东莞 523990

DOI:10.61369/UAID.2024120020

**摘要：**近二十年港口与航道工程技术管理呈现智能化、绿色化与数字化深度融合趋势。物联网、BIM、数字孪生等技术推动工程建造与运维模式革新；生态护岸、疏浚土资源化及氢能应用助力绿色低碳转型；CIM平台、5G-MEC及智能诊断系统提升协同管理效能。构建创新体系、完善标准与培养人才是推进技术管理现代化的重要支撑。

**关键词：**港口工程；技术管理；绿色低碳

## Development Trends and Application Exploration of Port and Waterway Engineering Technology Management

Zhou Chihua

Dongguan, Guangdong 523990

**Abstract：** Over the past two decades, technology management in port and waterway engineering has demonstrated a deep integration of intelligent, green, and digital trends. Technologies such as IoT, BIM, and digital twins have driven innovation in engineering construction and maintenance models; ecological revetments, dredged material resource utilization, and hydrogen energy applications contribute to green and low-carbon transformation; while CIM platforms, 5G-MEC, and intelligent diagnostic systems enhance collaborative management efficiency. Establishing an innovation ecosystem, refining standards, and cultivating talent are crucial supports for advancing modern technology management.

**Keywords：** port engineering; technology management; green and low-carbon

### 引言

随着全球绿色低碳发展进程加速，特别是中国“碳达峰、碳中和”目标（2030年）的提出与《交通强国建设纲要》等政策的深入推进，港口与航道工程技术管理面临系统性转型的迫切需求。近二十年来，工程技术在结构设计、施工工艺与材料科学等方面持续迭代，管理模式亦需从传统经验型向智能化、协同化方向演进。智能建造、生态友好及数字化应用已成为行业突破资源与环境约束的关键路径。在此背景下，深入探究技术管理的发展趋势与实践策略，对提升工程质量、推动行业可持续发展具有重要的理论与现实意义。

### 一、港口工程技术管理发展背景

#### （一）港口工程技术的演进历程

近二十年来，港口工程技术经历了显著的演进，从传统的重力式码头、板桩结构逐步发展为大型深水化、模块化及装配式结构，显著提升了港口的吞吐能力与耐久性。航道工程方面，疏浚技术与导航系统不断升级，多波束测深与动态监控手段的应用，大幅提高了航道的通航安全与效率。材料科学与施工工艺的进步，如高性能混凝土和防腐技术的推广，进一步增强了工程结构的可靠性与使用寿命<sup>[1]</sup>。这一演进过程不仅体现了技术本身的迭代，也反映了港

口功能从单一货运节点向综合物流枢纽的转型。

#### （二）工程管理模式的转型需求

随着新型自动化装卸设备的广泛应用与BIM技术的深度融合，传统依赖人工经验与分散信息管理的工程模式已难以适应现代化港口的高效、精准作业要求。自动化设备改变了装卸流程与人力配置方式，对设备维护、安全管控及流程协同提出更高标准<sup>[2]</sup>。BIM技术则推动了工程信息的高度集成与可视化，暴露了传统二维图纸管理与分段沟通的局限性，还须构建协同管理平台并优化管理流程，以实现全参与方的实时信息共享与决策支持，提升工程整体质量与管控效率。

## 二、现代港口技术管理机制创新

### (一) 智能化管理系统构建

现代港口技术管理机制创新的核心在于智能化管理系统的构建，其依托物联网传感网络与工程 GIS 系统的整合实现港口建设期质量监控的突破。物联网传感网络实时采集设备运行参数与环境指标等多维数据，工程 GIS 系统则提供空间分析与可视化支持，将数据与地理信息深度融合<sup>[8]</sup>。该集成体系实现对港口建设全过程的全方位动态监控，使管理人员能够基于准确信息进行质量预警与干预，显著提升工程质量的管控效率与标准化水平，为港口工程的精细化管理提供技术支撑。

### (二) 全生命周期管理实践

全生命周期管理实践中，数字孪生技术为港口设施运营期的结构健康监测与维护决策提供了创新手段。通过构建高保真虚拟模型实时映射物理实体的状态与行为，并集成传感器采集的应力与变形等结构数据，实现对设施状态的持续感知与分析。系统依据数据分析结果预测潜在损伤与故障，辅助制定前瞻性维护策略，从而提高维护工作的精准性与时效性，有效降低运维成本并延长设施使用寿命，保障港口运营的安全与高效<sup>[9]</sup>。

## 三、航道工程技术创新应用研究

### (一) 绿色航道技术体系

#### 1. 生态护岸技术应用

传统混凝土护岸结构在航道工程中长期占据主导地位，但其硬化表面阻碍了水陆生态交互，对水生生物栖息与植被生长造成不利影响。生态石笼等新型护岸技术通过金属网箱填充石料形成多孔透水结构，既保障岸坡稳定，又为水生生物提供栖息空间并促进水体交换。其表面利于植被自然恢复，增强岸线生态功能与景观价值<sup>[5]</sup>。生态护岸技术的推广应用契合绿色航道建设需求，有效协调工程安全与生态保护目标，推动航道工程向环境友好型方向发展。

#### 2. 疏浚土资源化利用

疏浚土资源化利用是绿色航道建设的关键环节，其核心在于对吹填造陆工程产生废弃物的分级处理与循环利用。根据颗粒粒径与成分特性，粗颗粒疏浚土可用于建筑材料生产，如混凝土骨料制备；细颗粒部分则通过物化改性提升其土壤适配性，用于土地改良与肥力提升<sup>[6]</sup>。该过程需结合环境影响评估，避免二次污染，实现疏浚土从废弃物向资源的转化。资源化利用不仅减轻环境负荷，还降低工程成本，体现可持续航道建设的循环经济理念。

### (二) 智能航道技术突破

#### 1. AIS 导航系统升级

北斗三代导航系统凭借其高精度与强可靠性，为船舶自动识别系统 (AIS) 的功能升级提供了关键技术支撑。二者深度融合需实现数据高效共享与通信协议优化，使北斗的高精度定位数据有效弥补 AIS 在船舶位置追踪方面的不足，显著提升位置信息的准确性与连续性。建立统一的数据标准与通信规范是确保系统无缝

对接、避免传输延迟或丢失的基础。通过这种融合，航道管理的智能化水平得以提升，船舶航行安全性增强，通航效率提高，为智能航道技术的实质性突破提供核心支持<sup>[7]</sup>。

#### 2. 三维电子航道图应用

动态水深数据融合技术通过集成多波束测深系统、测深雷达等多种测量手段获取的多源异构数据，能够精确反映航道的实时水深变化，为三维电子航道图提供可靠数据基础。该技术支持航道水深信息的动态更新与可视化表达，使船舶能够获得精准的航道水深数据，优化航线规划，有效规避搁浅风险，提升通航效率与安全性<sup>[8]</sup>。同时，实时、准确的水深数据也为航道管理部门制定通航规则、安排维护作业提供了科学依据，推动航道运行管理向数字化、精细化方向发展。

## 四、技术管理发展趋势展望

### (一) 数字化建设新阶段

#### 1. 工程信息模型深化

城市信息模型 (CIM) 技术在港口工程规划阶段展现出显著的多专业协同价值。该技术通过整合地理信息系统 (GIS)、建筑信息模型 (BIM) 等多源技术，构建统一的信息共享与交互平台，为港口规划师、土木工程师及水利工程师等不同专业提供协同设计基础。CIM 模型的三维可视化功能使专业人员能够直观分析场地地形、水文条件与周边环境制约因素，从而优化港口布局与设施配置<sup>[9]</sup>。其支持数据实时更新与共享的特性，有效避免了传统模式下因信息不一致引发的设计冲突，显著提升了规划决策的科学性与工程实施的可控性，为复杂港口工程的系统化推进奠定了技术基础。

#### 2. 5G 专网应用探索

5G-MEC (多接入边缘计算) 边缘计算架构为港口与航道工程施工机械的远程高精度控制提供了关键技术路径。该技术通过在现场部署边缘计算节点，实现对施工机械传感器数据的本地化实时处理与分析，满足远程操作对低延迟和高可靠性的严苛要求。依托 5G 网络的高带宽与低时延特性，操作人员可在远程控制中心对疏浚设备等大型机械进行精准操控，不仅提升了施工效率与质量一致性，更大幅降低了高危环境下的现场作业风险。进一步与人工智能技术结合，可实现对机械设备的智能状态诊断与预测性维护，推动施工管理向无人化、智能化方向演进。

### (二) 绿色低碳发展路径

#### 1. 氢能港口建设实践

氢能作为清洁能源在港口建设中的应用正成为绿色转型的重要方向。氢燃料电池凭借其高能量转换效率与零碳排放特性，在港作机械和船舶岸电系统中展现出显著优势。对于港口内部作业机械如叉车和起重机，氢燃料电池可提供持续稳定的动力输出，有效替代传统燃油设备，减少空气与噪音污染。在船舶岸电系统中，利用氢燃料电池发电能满足靠港船舶的电力需求，避免辅机发电产生的大量碳排放<sup>[10]</sup>。氢能港口的建设还将带动氢气制取、储存、运输及加注等配套产业链的发展，形成规模化、一体化的

氢能应用生态，系统性推动港口能源结构的低碳化转型。

## 2. 碳足迹管理体系

构建覆盖材料运输、施工建造与后期运营的全过程碳排放核算模型，是实施港口与航道工程碳足迹精细化管理的基础。在材料运输阶段，需基于运输工具类型、能耗强度及排放因子，精确量化物流环节的碳足迹。施工建造阶段涉及大量机械作业与复杂工艺，应采用基于实时监测的能耗数据采集方法，对各类设备与施工活动的碳排放进行动态统计。运营阶段则需将港口设施运行、航道疏浚维护等持续性能耗与排放纳入核算范围。通过整合多阶段数据建立标准化核算模型，能够准确识别碳排放热点，为制定针对性的减排策略与能效优化措施提供定量依据，支撑行业低碳发展目标的实现。

### (三) 智能运维发展方向

#### 1. 结构智能诊断系统

结构智能诊断系统在港口设施运维中发挥着日益关键的作用，其核心在于利用深度学习算法实现码头桩基等隐蔽结构的损伤精准识别与量化评估。通过对海量历史监测数据与实时传感器数据的学习训练，深度学习模型能够有效捕捉应力、变形、振动响应中的异常特征，并综合桩基材料属性与环境腐蚀等因素进行多维度分析。所形成的评估模型可对损伤位置、类型及严重程度进行高精度判断，为维护决策提供客观、可靠的量化依据。该技术的应用不仅大幅提升了结构安全监测的自动化与智能化水平，也显著降低了传统人工检测的主观性与滞后性，是实现港口设施预测性维护与安全经济运行的重要技术支撑。

## 2. 数字资产管理系统

面向 PPP 模式的港口基础设施全生命周期数字资产管理平台，正成为提升资产运营效率与可持续性的关键工具。该平台通过集成规划、设计、施工及运维各阶段产生的多源异构数据，构建统一的数字资产信息模型，实现资产从形成到报废的全过程可视、可控与可优化。基于物联网的实时状态监测与大数据分析技术，平台能够动态预测设备故障概率与剩余使用寿命，自动生成优化维护计划与资源调配方案。这不仅显著提高了港口设施与设备的可用性与可靠性，降低了全生命周期运营成本，也为 PPP 项目各参与方提供了透明、协同的数据共享与决策环境，助力实现资产价值的最大化。

## 五、总结

港口与航道工程技术管理正处于以智能建造、绿色低碳与数字转型为核心的发展新阶段。智能建造通过物联网、BIM 及数字孪生等技术手段显著提升了工程精度与资源利用效率；绿色低碳发展路径依托氢能应用、疏浚土资源化及全过程碳足迹管理，推动行业可持续转型；数字转型则借助 CIM 平台、5G-MEC 及智能诊断系统重构了工程协同管理与运维模式。未来，构建产学研用协同创新体系、完善标准规范与培育复合型人才，是系统推进技术管理现代化、实现港口与航道工程安全、高效与韧性发展的重要保障。

## 参考文献

- [1] 蒋俊伟. PPP 模式下港口工程付费机制设计及应用研究 [D]. 东南大学, 2021.
- [2] 郑涛. 基于 Choquet 模糊积分的港口工程生态化建设效果评价研究 [D]. 大连理工大学, 2022.
- [3] 董艳桃. 基于 PDCA 循环的 A 港口工程质量控制管理体系研究 [D]. 扬州大学, 2023.
- [4] 袁琳. Y 工程设计公司技术管理优化研究 [D]. 河北工业大学, 2022.
- [5] 张旭东. 基于建设单位视角的港口工程项目安全管理体系研究——以 LS 码头扩建项目为例 [D]. 华南理工大学, 2022.
- [6] 黄春平. 专业化项目管理在港口与航道工程项目中的应用 [J]. 工程技术研究, 2021, 6(15): 197-198.
- [7] 彭云, 王文渊, 郭子坚. 面向新型人才培养的港口航道与海岸工程专业专创融合课程教学模式探究 [J]. 高教学刊, 2023, 9(19): 71-75.
- [8] 王德利. 港口工程项目管理策略分析与应用 [J]. 运输经理世界, 2021, (6): 63-64.
- [9] 杨明哲, 周允谦. 关于港口航道与海岸工程通航能力的探究 [J]. 珠江水运, 2021, 000(20): 106-107.
- [10] 郑再源. 港口航道施工管理技术及应用策略探究 [J]. 模型世界, 2021(22): 167-169.