

生态环保理念与数字化技术在内河航道治理中的应用实践与融合发展思考

杨舒毓

(上海城投航道建设有限公司, 上海 200020)

摘要: 针对航道建设过程中生态环保问题日益突出、传统施工管理手段在效率与效能方面无法与当下技术发展相匹配的问题, 本文通过详细分析和工程建设案例, 阐述了科学规划与设计、绿色施工技术应用等生态环保措施以及 BIM 与 GIS 融合技术、智能传感与监测技术、施工过程数字化管控平台、数字化运营维护等数字化技术的应用实践和优势, 阐明了生态环保理念与数字化技术融合应用难点, 并对融合技术发展中的难点问题提出了应对策略与发展展望。

关键词: 生态环保理念; 数字化技术; 内河航道工程

中图分类号: U617 文献标识码: A 文章编号: 1006—7973 (2025) 05—0040—04

Application and Integrated Development of Ecological and Environmental Protection Concepts and Digital Technologies in the Governance of Inland Waterway Channels

Yang Shu-yu

(Shanghai Chengtou Waterway Construction Co., LTD., Shanghai 200020, China)

Abstract: As ecological and environmental concerns in waterway construction become increasingly prominent, and traditional construction management methods struggle to keep pace with modern technological advancements in terms of efficiency and effectiveness, this paper examines the integration of ecological protection principles and digital technologies in inland waterway management. Through detailed analysis and case studies, the paper discusses ecological protection measures such as scientific planning and design, and the application of green construction technologies. Additionally, it explores the implementation and advantages of digital technologies, including BIM-GIS integration, intelligent sensing and monitoring technologies, digitalized construction management platforms, and digital operation and maintenance systems. The study identifies key challenges in integrating ecological protection concepts with digital technologies and proposes strategies to address these issues, offering insights into the future development of integrated technologies in inland waterway engineering.

Keywords: ecological and environmental protection concepts; digital technologies; inland waterway engineering

1 引言

随着经济的快速发展以及贸易往来的日益频繁, 水运在综合运输体系中的地位愈发凸显, 航道工程建设的规模和数量也在不断增加。然而, 在航道工程快速发展的同时, 其面临的生态与技术相关问题也逐渐凸显出来。

从生态角度来看, 航道工程的建设与维护往往涉及水下疏浚、抛石、堤岸建设等诸多作业内容, 水生态环境会受到不同程度的影响。航道的治理工作往往伴随着大规模的土地开发与岸线改造活动, 这些活动可能引发土地沉降、水土条件变化等现象, 进而对水生态环境产生不利影响^[1]。此外, 在内河航道的建设过程中, 为了满足航道建设的需求, 涉及区域往往需要进行砍伐与填筑作业, 从而导致了一定程度的生态破坏^[2]。研究表明, 当疏浚挖土厚度为 1m 时, 60% 的水生植物在 1 年以后

才会恢复, 超过 1m 后水生植物将很难恢复^[3], 与可持续发展理念相悖。这些生态问题迫切需要在航道工程中融入生态环保理念, 以减轻对生态环境的负面影响, 实现可持续发展。

在技术方面, 传统的航道工程管理与建设手段在效率、精准度以及智能化程度上, 已难以满足日益增长的航道通行需求和复杂的工程管理要求。例如, 在航道状态监测上, 若仅依靠人工巡检, 不仅工作量大、效率低, 还很难做到实时、全面掌握航道的水深变化、助航设施运行状况等信息。同时, 航道规划、建设及维护过程中涉及大量的数据, 包括水文数据、地理信息数据等, 依靠传统方式进行处理和分析, 无法充分挖掘数据价值来更好地服务于航道工程。

而生态环保理念和数字化技术的融合应用对于航

道工程的可持续发展有着至关重要的意义。生态环保理念融入数字化技术应用中，能够引导数字化技术朝着更绿色、环保的方向发展，使航道工程在利用数字化手段提高建设与管理效率的同时，最大程度减少对生态环境的破坏，从而实现航道工程经济效益、社会效益与生态效益的统一，促进内河航道的长期、健康、可持续发展。

2 文献综述

针对内河航道治理的研究，国内已有较多研究，主要聚焦于内河航道建设过程安全质量管控、信息化管理、疏浚维护以及生态环保问题等。例如，李学祥^[4]对内河航道管理的现代化与信息化进行了分析与研究，对智慧航道相关发展趋势进行了展望；杨阳等^[5]针对我国内河航道设施运行中存在的突出问题，提出采用智能化监测预警以及信息服务关键技术等手段，提升了内河航运管理水平；张玉珍^[6]针对新时代内河航运高质量发展，提出了让内河航运健康发展的相关建议；汤凯等^[7]对内河航道疏浚工程施工过程技术和质量管理进行了深入剖析，为航道疏浚质量与安全提供了全面而实用的指导。可以看到，已有研究对于生态环保与数字化技术在内河航运中的融合应用研究较为匮乏，亟需开展进一步的研究。

3 生态环保理念下的内河航道工程应对策略

3.1 科学规划与设计

在生态环保理念的指引下，规划与设计是航道工程的首要环节。在前期勘察中，要涵盖对水域地形、水文条件、周边生态环境以及生物多样性等多方面细致全面的勘查与分析；在工程规划布局中，要尽可能减少对生态敏感区域的干扰和破坏，必要时需开展生态影响专题评价，依据评价结果来优化工程布局，进而降低工程建设对湿地、自然保护区等重要生态区域生态功能的影响。

3.2 绿色施工技术应用

生态护岸技术在航道工程施工中有着广泛的应用前景。它摒弃了传统硬质护岸割裂水、土体联系，阻碍生物接触的弊端，采用如生态袋、石笼、植被型等多种形式的生态护岸结构，以提高植被的生态效应，有效防治航道边坡水土流失，促进了生态系统的平衡与稳定。

污染底泥无害化处理技术也是航道工程绿色施工的重要手段之一。在航道疏浚工程中，底泥往往积蓄了

诸多污染物与营养盐，若处理不当，极易在施工过程中释放出来，对水体环境造成严重破坏。在疏浚工程中，需采用先进的污染底泥无害化处理技术，如底泥脱水固化、原位修复等技术，对污染底泥进行有效的处理，降低其污染物含量，从而在后续处置或利用过程中降低对周边生态的不良影响。

4 数字化技术在内河航道治理中的应用

4.1 BIM 与 GIS 融合技术

BIM（建筑信息模型）技术侧重于对建筑或工程设施本身的三维数字化建模与信息集成，能详细呈现物体的几何形状、结构、材料等多方面信息；而GIS（地理信息系统）技术着重于对地理空间数据的管理、分析与可视化表达，可展示地形地貌、地理位置关系等。两种技术的融合，能够实现数据的一体化浏览、显示、管理与分析等功能。在航道工程全生命周期管理方面，融合技术发挥着关键作用：在设计阶段，设计人员通过构建融合模型，直观地分析建筑物与周边地理环境的关系，优化设计方案；在施工阶段，施工人员可按照模型进行施工，并在模型中充实数据，方便后续运营单位查询使用；在维护阶段，维护人员能通过查询数据，分析该建筑物运行状况、效果及变化趋势，准确判断维护需求。从而真正实现航道整治建筑物从设计、施工到后期维护的全生命周期信息化管控。

4.2 智能传感与监测技术

智能传感设备能够对航道水位、水流、航道结构健康等多方面进行实时监测。在一些重要的内河航道，通过安装智能传感设备形成了一套完整的监测系统，监测水位、水流、水深、航标、堤防护岸的异常情况和健康状况等数据。传感器会及时捕捉到这些信息，并将数据传输至后台管理系统。后台系统经过分析处理后及时发出预警信息，相关工作人员可迅速采取应对措施，保障通航安全和设施的正常运行。

4.3 施工过程数字化管控平台

在航道工程施工过程中，数字化技术能够实现对施工进度、质量、安全等多方面的远程实时监控。在施工进度管理上，借助智能传感器与定位技术，实时监测施工设备的位置与运行状态，结合施工计划，可以精确计算出各个施工环节的实际进度，并与预设进度进行对比分析，方便管理人员及时调整施工安排，确保整体工程进度有序推进。在施工质量管控上，利用高精度测量设

备和数字化建模技术，提前构建施工区域的三维模型，明确各项施工指标与标准，实时采集现场数据与模型进行匹配校验，有效避免质量问题。在施工安全管理上，通过在施工现场部署多种智能传感器，实时采集传输结构安全相关数据，一旦数据超出安全阈值，便迅速启动预警机制，及时通知相关人员采取应对措施，保障施工安全。

5 生态环保理念与数字化技术在内河航道治理中的应用实践

5.1 生态环保理念在内河航道建设中的应用

实施生态修复与补偿策略，是维系生态平衡、推动航道区域生态系统健康发展以及确保生物多样性的维护与提升的重要举措。依托于科学的规划与设计理念，运用恰当的生态修复技术手段，诸如植被恢复、湿地重构以及土壤改良等，能够高效地修复因航道整治工程而遭受损害的自然生态环境，进而恢复并强化其原有的生态服务功能。例如，在大芦线东延伸航道整治工程中，通过采取适当的人工干预措施保护不同湿地类型的空间形态稳定，在此基础上利用生态工程技术手段对现状滩涂和盐沼湿地进行修复，补偿湿地采用复合生态湿地的形式，修复林湿复合湿地、林间沼泽湿地和次生沼泽湿地三种类型，营造多样性生态单元，创造多样化生境，保护生态系统结构与功能的完整性并促进自然演替，进而发挥生态系统服务。

在航道整治过程中，可以通过建设生态护坡、护岸等实现环境改良，推广应用有利于生物多样性的生态型护岸；针对航道主体，采用生态航道整治技术、环保疏浚等手段，减少对生态环境的破坏，全面实现“绿色设计、绿色施工、绿色养护、绿色管理”的发展理念。例如，油墩港航道整治工程采用呼吸型阶梯式空心方块生态驳岸结构，通过护岸结构的绿色化构建，有效降低环境污染，显著提升施工效率，为推动绿色建筑和生态文明建设树立了典范。

5.2 数字化技术在内河航道建设中的应用

通过大数据分析和人工智能技术，可以从海量的数据中提取有价值的信息，为判断、决策提供支持。例如，在吴淞江新川沙泵闸枢纽工程建设中，作为上海市数字孪生流域建设先行先试项目，在理念、技术、监管三个方面，建设方都进行了大胆的创新探索，最终构建了新

川沙泵闸枢纽工程数字孪生平台。建设了一个数据底板、两朵云（城投云、工地云）、三个知识库（应急预案库、专家经验库、技术规范库）、四个水利专业模型（大体积混凝土浇筑质量控制模型、陈行水库边侧工程安全模型、围堰工程安全模型、基坑工程安全模型）、五个业务应用（项目管理系统、数字资产管理系统、智慧工地管理系统、质量监督管理系统、全景吴淞江）、六个智能识别模型（安全帽识别、口罩识别、火焰识别、救生衣识别、区域闯入识别、水位识别）的数字孪生平台，推动“精细管理、精准预警、精确处置”的三精管理，实现“四预”功能建设。该平台通过数字赋能，实现了水利工程建设全生命周期管理及工程决策精准化；实现了工程建设现场线上可视化管理和工程建设质量安全多单位协同线上管理等；实现了防汛防台“四预”功能。在“梅花”台风、局部暴雨等防御、陈行水库水资源调度中发挥重要作用。该数字孪生平台成为工程建设中的“千里眼”“顺风耳”和“最强大脑”，为工程的高质量建设管理贡献了力量。

6 生态环保理念与数字化技术融合应用难点

6.1 多技术协同的复杂性问题

在航道工程中，生态环保相关技术与数字化技术之间协同工作存在诸多复杂技术性问题。一方面是兼容性问题，例如部分生态监测传感器的数据格式与数字化管理平台所采用的数据库格式不兼容，需要进行烦琐的数据转换和接口调试工作。另一方面是数据交互问题，生态环保技术所关注的生态指标数据（如水质变化、生物多样性情况等）和数字化技术所涉及的工程数据（如航道水深、施工进度等）有着不同的数据结构和语义规范，在融合应用时，如何实现这些异构数据的有效交互、整合以及关联分析是一大挑战。

6.2 标准规范不完善问题

在航道工程领域，生态环保技术与数字化技术的融合应用尚处于发展阶段，与之相匹配的标准和规范较为欠缺。在数字化技术应用于航道工程施工环节时，对于施工设备的数字化接入标准、数据传输协议以及施工过程中各环节质量把控指标等，没有完善且通用的规范，造成数字化施工管理系统难以充分发挥其优势，生态环保与数字化技术协同应用效果无法科学判定，影响了航道工程整体的高质量发展，也不利于后续经验的总结与

推广。

6.3 政策支持与引导不足问题

当前，在推动生态环保理念与数字化技术在航道工程中的融合应用方面，相关政策的支持力度还有待加强。从资金扶持角度来看，许多航道建设企业有意引入先进的数字化技术，并践行生态环保理念，但往往面临资金短缺的困境。例如，购置高精度的生态环境监测传感器、搭建数字化管理平台以及对员工进行相关技术培训等都需要大量资金投入，然而现有的政策补贴范围和额度有限，不足以覆盖这些成本，使得部分企业望而却步。

7 应对策略与发展展望

7.1 加强技术研发与创新合作

在航道工程领域，为了更好地推动生态环保理念与数字化技术的融合应用，加强多方合作、加大关键技术研发投入是至关重要的应对策略。高校、科研机构以及企业等主体应携手共进，形成产学研用相结合的创新合作模式，进而充分整合各方优势资源，加大对生态环保理念与数字化技术融合应用关键技术的研发投入，促进航道工程的高质量、可持续发展。

7.2 完善管理机制与政策体系

建立健全完善的管理机制与政策体系，对于生态环保理念与数字化技术在航道工程中的融合应用起着关键的支撑作用。在标准规范方面，有必要制定一套统一且详细的标准，明确生态指标采集范围、监测频次以及数据精度要求等内容；统一数字化接入标准、数据传输协议以及质量把控指标等规范。在政策激励方面，政府管理部门可出台相应的资金扶持政策，缓解企业发展生态环保融合数字化的资金压力。

7.3 智慧化生态航道建设趋势

随着生态环保理念进一步深化和数字化技术不断升级，智慧化生态航道的建设将逐渐进入主流视野。一方面，全航道生态系统的实时感知功能将愈发完善，借助物联网、智能传感等技术，能够在航道的各个关键位置部署大量高精度传感器，这些传感器可以对水质、水位、水流、生物多样性等众多生态指标进行不间断监测，全方位、高精度地收集生态数据。另一方面，自动调控能力也将成为智能化生态航道的重要发展方向。通过大数据分析、人工智能算法等，系统可以对收集到的海量生态数据进行深度挖掘和智能分析，进而根据预设的生态标准和航道运行要求，自动触发相应的调控措施。

7.4 行业协同发展前景

在生态环保与数字化融合应用的背景下，航道工程与水利、生态等相关行业的协同发展前景十分广阔。在水利方面，航道工程与水利工程的协同合作可实现水资源的优化配置和综合利用，通过数字化技术搭建的统一管理平台，实时共享水位、流量等数据信息，双方可据此共同制定科学合理的运行调度方案，既满足发电、灌溉等水利功能，又确保航道的安全畅通，提升整个流域的综合效益。在生态方面，将更好地保护航道周边以及流域内的生态环境，如在湿地生态修复项目中，航道工程建设可以采用生态友好型的施工技术，避免破坏湿地生态系统，同时利用数字化监测技术实时掌握湿地生态指标变化，为生态修复措施的调整提供数据支撑。

参考文献：

- [1] 王文渊,赵亮.内河航道建设及治理的解决措施[J].珠江水运,2023,(17):90-92.
- [2] 陈伟.典型内河航道工程建设生态影响评估方法研究[D].天津理工大学,2022.
- [3] 谢培进,丁志勇.内河航道疏浚治理施工中的生态影响及其对策分析[J].中国水运(下半月),2020,20(01):128-129.
- [4] 李学祥.内河智慧航道发展研究[J].中国水运,2023,(04):15-19.
- [5] 杨阳,张明进,韩玉芳,等.内河航道设施智能化监测预警与信息服务关键技术研究[J].中国基础科学,2021,(01):8.
- [6] 张玉珍.新时代内河航运高质量发展思考与建议[J].中国航务周刊,2023,(19):43-45.
- [7] 汤凯,王贇,何广全.内河航道疏浚工程质量管理研究[J].运输经理世界,2024,(01):146-148.

基金项目：大芦线航道一体化运行方案研究及应用场景建设（CTKY-ZDZX-2024-011）