工程与管理科学
Engineering and Management Science
第 8 卷◆第 10 期◆版本 1.0◆2026 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2705-0637(P) / 2705-0645(O)

港口工程绿色建造技术研究现状与可持续发展路径

刘井满
天津天科工程管理有限公司　天津　300456

DOI：10.32629/ems.v8i10.22552

[摘　要] 全球气候变化与我国“双碳”战略的深入推进，正推动港口工程从传统粗放模式向绿色低碳方向转型。本文首先讲了港口工程绿色建造的基本概念，然后从绿色施工、清洁能源、生态修复等方面，把当前的研究进展梳理一遍。在此基础上，又从政策法规、技术创新、全生命周期管理和产业链协同几个角度，讨论了港口行业如何实现可持续发展。研究发现，绿色建造技术的综合应用是港口行业实现高质量发展的关键出路，未来应该把数字化、智能化和绿色化结合起来，建立一个覆盖规划、设计、施工、运营全过程的绿色建造体系。

[关键词] 港口工程；绿色建造；可持续发展；低碳技术；智慧港口；生态修复

引言：

港口是国民经济中非常重要的基础设施，全球大概 90% 的国际贸易货物运输都靠它，国内国际双循环能不能顺畅运转，港口也是关键一环。到 2025 年底的时候，我国港口完成的货物吞吐量大概是 183 亿吨，集装箱吞吐量到了 3.5 亿标准箱，上海港、宁波舟山港、深圳港这些大港口的吞吐量在全世界都是靠前的。不过，港口在建设和运营过程中，资源消耗大，生态环境也承受了很大的压力——举个例子，一艘远洋货轮一年航行 200 天，排放的二氧化碳将近有 6 万吨，相当于 4 万辆家用小汽车行驶一年的排放量。传统港口施工排出来的疏浚土、粉尘、污水，对周围的水域生态影响也很明显。

针对这些问题，国家这几年出台了很多政策，比如《关于建设世界一流港口的指导意见》《绿色交通“十四五”发展规划》《减污降碳协同增效实施方案》等等，都明确说了港口行业需加快绿色转型。2025 年，交通运输部更新了绿色港口评价细则，把零碳指标的权重提到了 40%；2026 年又启动了全国港口碳排放监测平台的建设。可以说，绿色建造现在已经是港口工程领域的头等大事了。本文在这样得大背景下，选择港口工程绿色建造技术为研究对象，首先分析其内涵，再梳理研究现状，最后探讨未来的可持续发展路径，希望能给港口行业的绿色转型提供一些参考。

1.港口工程绿色建造的概念与内涵

1.1 绿色建造的基本概念

港口工程绿色建造，就是在港口码头、航道、防波堤这些水运基础设施从规划、设计、施工到运营、退役的全过程中，本着节约资源、保护环境、减少碳排放的目标，通过科学管理、技术改进和工艺优化，尽量降低工程对生态环境的负面影响，让工程效益、经济效益和生态效益能够协调统一。

1.2 内涵的深化与演进

绿色建造的概念，经历了三次比较大的变化。最早的时候，大家关注的只是施工阶段的污染防治，比如如何控制扬尘、降低噪音、处理污水，这属于“末端治理”的思路。后来随着生态文明建设的推进，绿色建造的内涵慢慢扩展了，变成了一个涵盖生态保护、资源节约和低碳排放三个维度的综合性概念。再到现在，绿色建造已经从被动的“减少破坏”变成了主动的“生态修复”和“价值创造”——规划阶段就要做生态红线评估，设计阶段要选生态友好的方案，施工阶段要用低碳工艺和清洁能源，运营阶段要实现能源清洁化和智能管控，退役阶段还需做好生态修复和资源回收。

2.港口工程绿色建造技术研究现状

2.1 绿色施工技术

2.1.1 低扰动施工工艺

港口工程施工的时候，如何减少对水域生态的扰动，这是绿色建造必须面对的一个核心问题。最近几年，低噪音、低振动的施工工艺用得越来越多。在珊瑚礁或者红树林这些生态敏感的区域，用静压桩代替传统的冲击打桩，再配合水下摄像和声呐系统做实时监控，就能精准避开珍稀生物的栖息地。比如沙特拉赫克岛某项目，用的是一种全空中作业的桩梁一体机，施工过程中完全没碰到地表红树林，实现了“零触碰”保护。在航道疏浚方面，3D 智能疏浚技术能把精度控制在±5cm 以内，既避免了超挖也防止了欠挖，油耗和底泥扰动都明显减少了。

2.1.2 装配式建造技术

装配式建造技术在港口工程中的应用也越来越普遍。把码头构件在预制场标准化生产好，再到现场装配施工，这样

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

现场的湿作业量就大大减少了，施工产生的粉尘和污水也得到了下降。以上海港罗泾港区码头改造工程为例，项目团队制定了“拆除重建加改造利用加原位复用”的分级方案，创新应用利旧混凝土引堤回填技术，码头原有结构的资源利用率达到了 70%，拆除产生的废料有 30%经过集中破碎后，变成了新建引堤道路床和路基结构层的材料，建筑废料做到了“零外运”，材料成本也降了大约 20%。

2.1.3 疏浚土资源化利用

疏浚土是港口施工中产生量最大的废弃物之一。以前的处理方式主要是外抛或者堆放，既占地方又污染环境。现在通过精准分级和处理技术，疏浚土已经被广泛用到吹填造陆、制备生态混凝土和岸线修复这些方面了。长江干线航道工程中，通过技术攻关把疏浚砂用来制备砂型混凝土，实现了高附加值利用。京杭运河苏州段项目采用了 3D 智能疏浚技术，还配套建了疏浚土资源化利用的产业链，外弃量和取土资源的消耗下降了很多。

2.2 清洁能源与低碳技术

2.2.1 港口岸电系统

港口岸电系统是减少船舶靠港期间碳排放的一个关键技术。船在港停着的过程中，如果还用辅机发电，会排出大量的硫氧化物、氮氧化物和颗粒物。到 2025 年底，全球港口岸电设施的覆盖率已经提高到 32%，与 2020 年相比涨了一倍。中国长江经济带 2024 年完成了 3900 艘港口岸电船舶受电设施的改造，船舶使用岸电 1.9 亿千瓦时，同比增长了大约 54%。天津港研发了大功率岸电系统组网的关键技术，既能给多个泊位的小容量船舶同时供电，也能给单个泊位的大船供电。广州港南沙四期码头建了 4 座高压岸电设施和 16 座低压岸电设施，码头所有泊位的岸电设施覆盖率都达到了 100%。

2.2.2 新能源港机装备

港口机械设备的电动化和氢能化，是降低港口运营碳排放最直接的办法。到 2025 年底，我国的电动集装箱牵引车、自动化轨道吊这些设备的渗透率已经突破了 28%，宁波舟山港等 11 个国际枢纽海港的集装箱水平运输设备清洁化比例超过了 60%。山东港口青岛港前湾港区自主研制了国内第一台氢动力轨道吊，还提出了自动化轨道吊氢燃料电池加锂电池能源系统和混合动力系统的能源管理方法。连云港投用的全球最大马力纯电动拖轮，单船一年能减排二氧化碳大约 900 吨。秦皇岛港首创了干散货装卸流程逆起、顺停、流程动态切换这三项工艺节能技术，节电率达到 8%以上。

2.2.3 分布式可再生能源应用

港口有大量的建筑屋顶、堆场空间和防波堤岸线，非常适合开发分布式可再生能源。湖北港口项目的数据显示，光伏码头面层技术能让运营期碳排放降低 42%。2025 年，全球港口可再生能源发电装机容量累计达到 9.8 吉瓦，其中风电和光伏分别占了 62%和 31%。中国已经有 12 个港口实现了 50%以上的电力自给。水规院在山东、浙江、广西等地的水运项目中，因地制宜地开发了屋顶分布式光伏、场区空地和防波堤堤顶风电等清洁能源，还配套推进了波浪能利用、余电制氢和电池储能等技术，构建了源网荷储协同的清洁能源供给体系。

2.3 生态修复与环境保护技术

2.3.1 生态护岸与生态护底

传统的硬质混凝土护岸正在被钢丝网格、生态护坡砖、鱼巢砖这些透水多孔结构所取代。这些结构既能保证岸坡的稳定性，又能给水生植物生长和鱼类栖息提供空间，同时还增强了水陆交错带的净化功能。在长江航道整治中，生态固滩、生态护坡等技术已经形成了成套的工法，有效促进了工程河段生物多样性的恢复。国能黄骅港建了“两湖三湿地”生态水系统，用来收集雨水、回收压舱淡水、分级沉淀含煤污水，一年能回收净化水资源 400 万立方米，实现了含煤污水“零排放”，每年节水成本超过 2000 万元。

2.3.2 生物多样性保护与修复

港口工程建设对海洋生态环境的影响是不能忽视的，生物多样性保护和修复已经成为绿色建造的重要组成部分。广州港南沙四期码头组织了增殖放流活动，放了花鲈、黄鳍鲷、黑鲷、长毛对虾等种类共 300 万尾苗种，还在南沙湿地公园一起建了红树林，打造了 4 公顷的广州港湿地共建区。上海海事大学刘涛教授团队研发的生物矿化防护技术，利用天然微生物在金属表面“长”出一层防护层，给海洋材料防腐找到了一条绿色低碳的新路子，这项技术已经用在海上风电套筒防护、船舶压载舱和管道内壁防腐等场景了。

2.3.3 污染防治技术

“十四五”期间，我国港口加大了干散货码头扬尘和粉尘的治理力度。南京港龙潭集装箱码头、张家港港务集团港盛散货码头这些地方建了雨水、再生水和海水的收集池，非传统水源利用率超过了 30%。黄骅港煤炭码头通过全封闭装卸系统和智能喷淋技术，把煤尘抑制率提高到了 98%以上。在船舶污染物接收方面，广州港南沙四期建成了华南地区第一座处理能力为 1000 立方米每小时的固定式压载水接收装置，采用过滤加紫外线纯物理处理技术，实现了污水“零排

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

放”。

3.港口工程绿色建造的可持续发展路径

3.1 完善政策法规与标准体系

港口工程绿色建造要想可持续发展，首先得有完善的政策法规和标准体系来做保障。目前，我国已经初步形成了以《绿色交通标准体系》《绿色港口等级评价指南》《水运工程节能设计规范》等为核心的标准框架，但还是存在一些问题，比如碳排放核算标准不统一、绿色施工技术评价指标不健全、生态修复效果怎么评估也没有规范。接下来，应该加快制定港口工程绿色建造的技术指南、碳排放核算标准和生态修复效果评估规范，建立一个覆盖规划、设计、施工、运营全过程的绿色标准体系。同时，也要积极参与国际标准制定，推动《港口工程绿色设计指南》这样的 ISO 标准立项，把中国的绿色建造实践从“国内实现”推向“国际引领”。

3.2 构建绿色建造技术创新体系

技术创新是绿色建造可持续发展的根本动力。重点应该在以下几个方向上寻求突破：一是低碳建筑材料的研发，包括自修复混凝土、轻质高强砌块、可降解环保材料这些，降低建材生产阶段的碳足迹；二是氢能和储能技术的攻关，突破固态电池、海上风电制氢等关键技术，推动港口重型机械的氢能化替代；三是碳捕集利用与封存（CCUS）技术在港口的应用探索，构建港口碳汇资产开发路径；四是数字孪生和人工智能技术的深度融合，实现港口运营全过程的精准预测和智能决策。应该建立“产学研用”一体化的创新平台，针对共性技术难题进行联合攻关，降低技术应用成本，加速科技成果转化。

3.3 推进全生命周期绿色管理

港口工程绿色建造应该从“单点节能”走向“全周期系统减排”。规划阶段，要引入生态红线评估和环境承载力分析，用 GIS 技术识别生态敏感区域，从源头上避免干扰珍稀物种。设计阶段，要推行生态友好型的结构选型和集约化布局，优化岸线和土地资源的利用效率。施工阶段，要全面落实“3-5-2”绿色建造技术体系——包括源头减碳、过程降碳、末端固碳三个方向，低碳材料、低碳工艺、低碳装备、资源循环、数智赋能五个维度，以及集成应用技术和原创绿色低碳技术两张清单。运营阶段，要建立全链条碳足迹核算和管理体系，通过实时碳计量、监测和预警，持续优化能效水平。退役阶段，要制定生态修复和资源回收方案，实现工程全生命周期的绿色闭环。

3.4 强化产业链协同与集群发展

港口工程绿色建造涉及设计、施工、装备制造、能源供应、运营管理等多个环节，需要产业链上下游一起联动。应该推动港口和能源企业合资合作，一起建绿电交易平台和清洁能源供给体系；促进港口装备制造企业和科研院所联合攻关，加快新能源港机装备的国产化和产业化进程；推动港口和航运公司共建绿色航运走廊，实现全航段低碳运营。在产业集群层面，应该以五大港口群为依托，通过资源整合和协同发展，构建高效协同的绿色港口网络。同时，也要抓住“一带一路”的机会，推动中国绿色建造技术标准和装备“走出去”，提升在全球港口建设产业链中的话语权和影响力。

4 结束语

港口工程绿色建造，是应对全球气候变化、落实国家“双碳”战略、推动水运行业高质量发展的必然选择。本文系统梳理了港口工程绿色建造技术的概念内涵、研究现状和可持续发展路径，可以看到绿色建造已经从单一的施工污染防治演变成了覆盖工程全生命周期的综合性技术体系，在绿色施工、清洁能源、智慧管控、生态修复和资源循环利用等方面都取得了不小的进展。

[参考文献]

[1]孔波,石国安. 绿色港口建设对港口水运低碳发展的影响[J].中国航务周刊,2026, (5):52-54.

[2]赵子文,刘春阳. 绿色低碳理念下港口工程生态保护与施工技术创新[J].产业创新研究,2025, (22):124-126.

[3]陈锦忠. 绿色港口建设的效益分析和发展建议[J].中国航务周刊,2025, (18):41-43.

[4]许建东,杨洋,杨朝科. 绿色航运背景下港口建设的机遇与挑战[J].商展经济,2024, (22):34-37.

[5]张静. 论“双碳”背景下我国绿色港口的法制建设[J].上海大学学报(社会科学版),2024,41 (6):137-148.

[6]张伟. 绿色生态港口建设分析[J].中国水运,2024,(15):70-72.

[7]徐磊. 绿色港口建设的关键因素及实现路径分析[J].中国航务周刊,2024, (19):44-46.

[8]王铠,李英发. 绿色港口建设发展研究综述[J].中国航务周刊,2023, (10):45-47.

作者简介：刘井满（1979.4-），男，汉族，本科，吉林省东丰县，中级，研究方向：建筑工程。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.