

我国建设世界一流海洋港口的路径研究

严新平^{1,2,3}, 涂敏^{1,3*}, 杨家其^{1,3}, 徐浩然¹, 张桐霞¹

(1. 武汉理工大学交通与物流工程学院, 武汉 430063; 2. 武汉理工大学智能交通系统研究中心, 武汉 430063;
3. 水路交通控制全国重点实验室, 武汉 430063)

摘要: 海洋港口是实现陆海统筹、发展海洋经济的关键节点, 加快建设世界一流海洋港口是提升港口综合服务能力和绿色智慧安全发展水平、实现港口高质量发展的重要途径。本文面向我国建设世界一流海洋港口的现实需求, 辨识出世界一流海洋港口的基本特征和发展趋势, 梳理了我国建设世界一流海洋港口的现状和面临的挑战。重点研判了我国建设世界一流海洋港口过程中近中期、中长期、远期等主要阶段的发展目标, 明确了我国建设世界一流海洋港口的重点任务, 包括智能感知网络建设、数字孪生港口建设、港口新能源应用、港口综合能源系统建设、港口风险评估与预警、“港产城”融合发展、国际营商环境优化、多式联运网络构建。研究建议, 在加强港口科技创新、推进港口能源融合发展、提高港口韧性水平、壮大现代航运服务业、完善港口枢纽功能、推进区域港口集群化等方面采取积极行动, 明晰我国世界一流海洋港口建设路径, 推进港口行业高质量发展。

关键词: 海洋港口; 智能港口; 数智化; 绿色低碳; 韧性提升; 高效枢纽

中图分类号: U651+.1 **文献标识码:** A

Development Path of World-Class Marine Ports in China

Yan Xinping^{1,2,3}, Tu Min^{1,3*}, Yang Jiaqi^{1,3}, Xu Haoran¹, Zhang Tongxia¹

(1. School of Transportation and Logistics Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China; 2. Intelligent Transportation Systems Research Center, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China;
3. State Key Lab of Maritime Technology and Safety, Wuhan 430063, China)

Abstract: Marine ports are vital for integrating land and sea and for advancing the marine economy. Accelerating the construction of world-class marine ports is a crucial avenue for enhancing ports' comprehensive service capabilities, advancing the green, smart, and safe development of ports, and achieving high-quality port development. In light of China's practical needs for constructing world-class marine ports, this study identifies the basic characteristics and development trends of ports and reviews the current status and challenges faced by China. The study focuses on assessing the development goals for the near-to-medium term, medium-to-long term, and long-term phases in China's construction of world-class marine ports, and clarifies the key tasks involved, including the establishment of intelligent sensing networks, development of digital twin ports, application of new energy sources in port operations, construction of integrated energy systems at ports, risk assessment and early warning mechanisms for ports, integration of port-

收稿日期: 2024-06-11; **修回日期:** 2024-07-31

通讯作者: *涂敏, 武汉理工大学交通与物流工程学院副教授, 研究方向为港航经济、运输经济地理、综合物流、运输系统分析与优化;
E-mail: tumin0929@sina.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“山东创新驱动‘加快建设世界一流海洋港口’的战略研究”(2023-DFZD-25); 亚洲开发银行咨询项目(20233h0326)

本刊网址: sscae.engineering.org.cn

industry-city development, optimization of the international business environment, and establishment of multimodal transport networks. The study suggests that positive actions should be taken in strengthening port scientific and technological innovation, promoting the integrated development of port energy, improving the resilience of ports, strengthening modern shipping services, improving port hub functions, and promoting regional port clustering, so as to clarify the path for China's world-class marine port construction and promote high-quality development of the port industry.

Keywords: marine port; smart port; intellectualization; green and low-carbon; resilience enhancement; efficient hub

一、前言

海洋港口是资源配置和国际贸易的关键节点、经济社会发展的重要支撑，对实施高水平对外开放、推动高质量发展具有重大价值。在新的全球经贸发展形势下，我国正在加快建设交通强国、综合立体交通网络，港口行业面临加快供给侧改革、建立适应新发展趋势的供给体系新要求，进入转型升级、高质量发展的新阶段^[1]。与世界先进水平相比，我国海洋港口存在区域发展不平衡、绿色发展水平不高、安全基础不牢、功能有待完善等问题。开展世界一流海洋港口建设，有利于优化存量港口基础设施结构、功能和系统集成，促进港口新业态繁荣，推动水运行业高质量发展^[2]。

有关世界一流海洋港口建设的理论探讨和政策部署等已经展开，如提出了港口智慧化发展路径^[3]，分析了港口与能源融合的发展思路^[4]，设计了港口韧性影响因素识别框架^[5]，探讨了港口韧性提升的应用价值^[6]，论证了港口多式联运网络的建设价值^[7]；从安全便捷、智慧绿色、经济高效、支撑有力、世界先进等方面提出了世界一流港口的建设目标^[8,9]。也要注意，港口发展具有阶段性特征，不同时期的港口功能存在代际变化，有关世界一流海洋港口的内涵、建设重点等随之变化。实际上，世界一流港口是一个动态概念，可对区域经济、航运发展产生积极效应也是基本共识；世界一流海洋港口建设自然需要分阶段、循序渐进地推进实施。

结合“一流的设施、一流的技术、一流的管理、一流的服务”的港口建设方针可见，世界一流海洋港口应是数智化、韧性、绿色可持续、开放包容等均处于一流水平的高效枢纽港。本文梳理世界一流海洋港口的建设态势，明晰我国建设现状与面临的挑战，提出我国建设世界一流海洋港口的分阶段目标与重点任务，形成相关建设路径，为海洋港口高质量发展提供理论支撑与实践参考。

二、世界一流海洋港口的基本特征与发展趋势

（一）世界一流海洋港口的基本特征

海洋港口的发展历程超过 100 年，正在朝着第五代港口迈进（见表 1）。未来，世界一流海洋港口在全球性的产业竞争中具有重要影响，将发挥引领性、支撑性作用：① 数智化港口，在经营、管控、业务运营等方面居于世界领先水平；② 韧性港口，在动态适应自然灾害、气候变化、公共卫生事件等外部扰动方面具有良好能力，也在安全生产方面发挥良好示范；③ 绿色可持续港口，在节能减排、能源转型方面发挥核心作用，也在港口技术、运营、管理、标准等方面引领行业发展；④ 开放包容性强，提高港口与整个物流链的竞争力及附加值，形成供应链综合服务体系，带动临港产业、上下游产业发展；⑤ 高效枢纽港口，突出一流设施、一流技术、一流管理，与所在区域的一流营商环境相结

表 1 海洋港口的发展历程

港口发展	时间	主要功能
第一代	1950 年之前	海运货物的经运、临时存储以及货物的收发
第二代	20 世纪 50—80 年代	增加有利于货物增值的工业、商业功能，出现简单的分级配送
第三代	20 世纪 80 年代—21 世纪初	增强组织化程度高的物流服务以及与之相关的金融、信息等服务
第四代	21 世纪初—2010 年左右	组织上下游企业进行整合式物流，追求风险共担、利益共享，形成横向网络
第五代	2010 年以后	形成联营合作的子母港发展模式，应用信息技术、节能减排技术、清洁能源，注重港城融合

合，提供一流的高效服务。

1. 港口生产运营数智化趋势显著

世界一流海洋港口侧重应用现代信息技术，以智慧港口建设提升港口运营效率^[10]。新加坡港率先应用港口物流信息平台（从货易网、港务网、海运网，再到货易交换网、货易优先框架以及网络贸易平台），将港口融入贸易及供应链网络，全面实现港口数字化发展。荷兰鹿特丹港应用自动化技术、智能机械设备、现代信息技术等，建立港口运营管理系统，提升了港口数智化水平，便利港口资源的高效分配及调度^[11]。德国汉堡港着眼长期可持续发展，通过数智化技术融合应用，逐步实现港口流程再造，增强了服务创新能力；组建了汉堡船舶调度中心，成为汉堡港大型船舶、支线及内河水路运输之间的总调度中心，以协调运营模式满足不同船舶的靠泊需求，减少指泊问题和交通负担，提升了生产运营效率。

2. 港口绿色低碳新技术应用逐步推进

世界一流海洋港口着力开展新能源技术研发，探索使用清洁能源^[12]，加强岸电基础设施建设，逐步替换传统燃油车辆^[13]，降低船舶运行时的污染物排放，提高港口绿色可持续发展能力。新加坡港推行了绿色技术、绿色能源、绿色意识等项目，积极提供补贴，鼓励航运业探索应用可持续、绿色、清洁的运输方式。荷兰鹿特丹港采用绿氢、生物燃料、燃料回收等，促进能源结构多元化和清洁能源应用；推进港口集装箱调度车辆电动化，加强岸电技术应用，进一步降低港区碳排放量。德国汉堡港建设岸电基础设施，为靠港船舶提供电力供应，推广应用新能源混合动力驳船；通过传感器记录港口各区域SO₂、NO₂、粉尘的排放量，分析污染来源并据此制定防污方案，提高了绿色港口建设水平。

3. 新兴技术助力港口韧性提升

世界一流海洋港口积极应用先进网络、数字孪生、无人机等技术，保障港口通信安全、基础设施维护、港口监测等需求^[14]。荷兰鹿特丹港采用先进网络技术并覆盖整个港口地区，确保港口通信系统的安全性，增强数据安全性和隐私保护能力；部署“电子鼻”网络，快速应对污染威胁，协调检验危险品船舶进出港，保障港区安全。新加坡港升级了船舶交通管理系统，利用智能算法预测港口水域交通热点、探测潜在碰撞危险、预防港区交通事故，

提高港口安全水平。德国汉堡港开展了无人机在港口安全及物流监测中的应用，部署数字孪生系统，增强基础设施结构的维护与服务能力。

4. 港口、产业、城市协同联动发展

世界一流海洋港口主要通过加强基础设施建设、提供增值服务、发展金融实力等方式，推动“港产城”融合发展，提高港口综合竞争力^[15]。新加坡港在发展传统货运的同时，积极拓展港口延伸服务业，如船舶登记注册、船舶供应、船舶加油等，巩固了中转枢纽地位，营造出良好的港口服务产业生态，推动港口服务向价值链上游攀升；将港区及后方临港陆域范围划定为免于惯常海关监管的自由港区域，便利货物流通并降低贸易成本；面向航运市场主体优化发展环境，以各类支持服务促进产业发展。荷兰鹿特丹港通过规划引领、政策扶持、服务增强、产业配套等举措，推进港城联通和协调发展；在规划方面保持港城相对独立、港口岸线与生活岸线协调发展，兼顾发挥港口资源优势、优化城市生活环境；壮大城市服务业、旅游业，产生经济和社会效益，实现港口与城市融合发展。德国汉堡港具有柔性化的经营方式，港口货运业务以商业合同形式由私营企业承担，高效处理复杂的综合物流活动，尽量满足客户的个性化需求，增强了港口的物流竞争力。

5. 多模式港口“集疏运”网络支持高效枢纽发展

世界一流海洋港口主要采用更新自动化设备、优化港口管理系统、提高信息共享水平等方式构建“集疏运”网络，显著提高货物运输效率^[16]。荷兰鹿特丹港将铁路线路延伸至港口作业区，加快发展海铁联运能力，充分发挥了腹地运输网络的固有优势，显现了港口的集聚效应和扩散效应。新加坡港具有一流的航线航班密度，与120多个国家和地区的600多个港口相连；货物中转速度极快，单艘船的周转时间不到12 h^[17]。此外，新加坡空港发展迅速，每周有6200多个航班连接世界60个国家和地区的220个城市；新加坡海港、空港物流之间的运输时间短，货车离开空港物流园区后可在20 min内抵达海港，快捷的海空联运为港口带来更多的货源。德国汉堡港附近的公路、铁路、水路运输发展均衡，构建了高效的“集疏运”网络，海铁联运的集装箱占比达39%，形成完善的多式联运运输模式。

（二）世界一流海洋港口的发展趋势

1. 从单一港口向港口群发展

海洋港口之间的竞争、城市之间的竞争，逐步演变为港口群与港口群的竞争、城市群与城市群的竞争。在这一背景下，原有的海洋港口行政管理体制机制与新发展模式、竞争态势不相匹配，导致资源配置不合理、管理效率低下。整合资源、减少内耗、提高效益、增强竞争力，成为海洋港口的重要发展趋势。

2. 从单一的港口装卸服务向供应链综合服务发展

海洋港口之间的竞争逐步从“规模战”演变为“服务战”，不再追求“以量取胜”，而是注重“以质取胜”，驱动港口进入精细化生产阶段。在这一转变过程中，港口企业不仅需要提升服务质量，还应加强对客户需求的深入理解，制定个性化、差异化的服务方案。未来，港口企业将以壮大港口的地域、服务、管理等功能为核心目标，促成综合性、可持续、高质量发展生态，从而构建核心竞争力。

3. 从传统港口向智能港口发展

海洋运输网络呈现“短、频、快”特点，保障海洋港口的高效和稳定运营至关重要。海洋港口将进入感知、互联、智能的新发展阶段，通过普及物联网终端，实现货物运输状态的实时监控，便于合规收集用户信息、全面实现数据交互与控制。此外，人工智能（AI）应用将从运行预测发展到辅助决策，支持港口的数字化、自动化、智能化发展，提升作业效率和安全性，最终推动港口向智慧化转型，增强综合竞争力。

4. 从基础功能向绿色化发展

航运业绿色化发展已成为国际共识，海洋运输大国围绕清洁能源船舶与配套设施、智能绿色船舶与港口、绿色船舶评价体系等发布了一系列政策举措。作为基础性、枢纽性设施，海洋港口将积极应用节能减排、清洁能源利用、废物及水资源管理、生态环境保护等措施，促进港口运营经济效益和环境效益“双提升”，推动港口与航运企业的协同合作，进一步增强港口在全球绿色供应链中的竞争力和影响力。

5. 从基本安全向韧性化方向发展

公共卫生安全、异常天气、网络攻击等突发事件，均可能降低海洋港口服务的可靠性，进而影响

全球物流供应链的安全。为了应对这些挑战，提高海洋港口的服务韧性（即风险抵御能力和恢复能力）已成为港口发展的重点。这不仅要求港口具备灵活的应急管理机制，还需建立全面的风险评估体系，更好识别潜在威胁并制定相应的应对策略。

三、我国建设世界一流海洋港口的现状与挑战

（一）我国建设世界一流海洋港口的现状

随着“一带一路”倡议的推进，我国智慧港口建设开始加速，海洋港口作为战略物流节点的重要性得到显著增强。2017年以来，国家发布了一系列政策文件，支持海洋港口的高质量发展。第五代移动通信（5G）、物联网、大数据、云计算、智能感知等信息技术与传统水运行业融合进一步加深^[18]，我国已建成21座自动化集装箱码头、28座自动化干散货码头，相应规模处于世界领先地位^[19]。

各大港口积极开展码头的专业化和智能化改造。宁波港在梅山港区建立了覆盖码头生产全过程的数字孪生系统，实现远程控制桥吊和龙门吊的规模化运行，还探索了开放场景下有人/无人集装箱卡车（集卡）混合作业模式。上海港建设了世界首座“5G+AI+全自动化”港口，以生产控制系统为核心节点、设备管理系统为感知节点，创建了数字孪生港口。青岛港在全自动化码头（二期）应用了氢动力自动化轨道吊、智慧监管系统。

我国正在建立智慧绿色港口的建设标准体系，逐步为国外港口所接受，体现出绿色港口建设的进展和成效。青岛港在全国率先开展3台氢燃料电池集卡的试点应用^[20]，也进行了世界首台氢燃料电池自动化轨道吊的试点运行，标志着我国海洋港口绿色低碳建设取得新进展。天津港积极应用新能源，安装了发电能力为 1.5×10^8 kW·h/a的风、光能源设施，构建了港区新型电力系统，实现集装箱、干散货码头的泊位岸电设施全覆盖，建成世界首个“智慧零碳”码头并支持滚装码头零碳运营^[21]。

我国积极建设港口基础设施，引导铁路专用线接入港区以提高港口联通水平，支撑港口吞吐量的快速增长。全国沿海主要港口的铁路进港率已超过90%。日照港实现了与瓦日铁路、新菏兖日铁路等千千米级重载铁路的直连，建成全国首个路港“集

疏运”指挥中心，推动国铁、地铁、港铁融合发展，使铁路货物拖运量及效率居全国沿海港口首位。

（二）我国建设世界一流海洋港面临的挑战

1. 基础研究投入不足，数智化应用深度及广度待拓展

我国90%以上的海洋港口仍是传统码头，处于智能化建设的初级阶段，发展不平衡、不充分的问题较为突出；数据的赋能作用发挥不足，关键核心技术自主创新能力不强，与加快建设交通强国的任务要求还存在差距^[22]。多数海洋港口在数智化技术基础与应用研究方面的投入明显不足，难以在前沿发展方向上提高竞争能力；数智化发展水平不均衡，大型港口、中小型港口之间存在明显的技术应用差异性，而后者因资金、技术资源有限而难以推进数智化转型；需要多方参与建设的数字化产业链有待完善，资源整合、产业协同水平需要尽快提高；数智化技术与港口实体的融合也待深入研究。此外，数智化发展过程中存在人力资源结构不适应的情况，既缺乏数智化领域的高端人才，也面临传统从业人员数字技能转换迟缓的挑战。

2. 港口用能结构不合理，清洁能源渗透率待提升

我国已颁布有关港口绿色发展的政策，推动了海洋港口绿色化发展进程，但港口清洁能源应用模式单一、清洁能源渗透率较低、核心技术存在瓶颈等问题依然存在^[23]。例如，天津港的能源消费仍以柴油、电力为主，2021年的消耗占比分别为42.9%、43.8%^[24]；2020年，宁波舟山港消耗能源分布为：电力为 6.8×10^8 kW·h、汽油/柴油为 8.6×10^4 t、燃料油为 9.8×10^8 t、液化天然气（LNG）为 1.8×10^8 t^[25,26]。可见，在我国海洋港口的能源消耗中，柴油、汽油等化石能源的占比居高不下；沿海港口的岸电实际利用率较低，近年来新建岸电基础设施的使用率不高。此外，在污染防治、清洁能源推广、港口码头设施改造等方面，普遍存在经济效益不佳、维护成本偏高、统一标准和规范化操作管理准则缺乏等问题。随着港口新能源技术的发展，相关技术标准体系、安全使用体系亟待建立，否则将阻碍清洁能源渗透率的持续提升。

3. 港口网络安全风险日益增加，数据安全保护待加强

建设世界一流海洋港口，安全发展是前提和基

础。传统上，我国海洋港口安全管理侧重生产安全、消防安全、人员安全、交通安全等；然而随着科技进步，我国港口建设朝着数智化、自动化方向发展，如建成了多座自动化集装箱码头并投入应用。这种转型在提升港口作业效率的同时，增加了潜在的网络安全威胁，因而网络基础设施及其安全水平需要相应提高。在海洋港口发展过程中，网络安全风险进一步增加，需要高度重视和谋划应对。2022年，我国有29个海洋港口排名在世界前50位，如针对以海洋港口为关键节点的海上供应链进行网络攻击，将直接威胁经济社会发展^[27]。例如，曾有不法分子企图攻击国内外航运外贸行业，对相关企业、行业发展造成了一定的安全隐患。

4. 现代航运服务业国际竞争力不强，港口服务业对外开放水平待提升

我国现代航运服务业仍集中在装卸、仓储、船货代理等传统的低附加值环节，国际市场竞争力不强，而航运金融、保险、交易等高附加值环节不具有比较优势；航运咨询、国际仲裁等领域也有待发展提升，才能保障与行业规模相匹配的国际影响力。此外，港口、产业、城市快速发展，三者之间的发展矛盾愈发明显，现有的协同格局难以满足高质量发展需求，“港产城”之间的联动效应不充分^[28]。例如，宁波舟山港吞吐量已是世界第一，但发展策略导向仍为“港本位”，而对现代航运服务业的重视明显不足；航运服务产业链功能尚不完善，产业结构仍以传统航运服务为主，导致现代服务业发展水平与世界一流海洋港口的目标定位出现偏差^[29]。

5. 一体化发展水平不高，港口枢纽功能待完善

过去10年，我国海洋港口的码头基础设施条件改善显著，港口装卸作业效率处于世界先进水平，但“集疏运”体系建设仍显滞后。例如，宁波舟山港承担了浙江省82%的货物、88%的集装箱“集疏运”任务，疏港铁路、公路、水路均呈严重拥堵态势：北仑支线利用率已达92%；甬台温、甬金等主要疏港高速公路的交通量为全省平均值的1.5倍，路网饱和度大于1；杭甬运河宁波段的货物通过量超出了 6×10^6 t/a的设计能力^[30]。此外，我国集装箱海铁联运发展过程中存在铁路设施建设滞后、铁路“集疏运”需公路短途倒运、铁路集装箱运输难以适应港口快速转运要求等问题^[31]。面对全球港口激

烈竞争的态势，我国部分港口在国际航线布局、高端物流服务、国际规则制定参与度等方面尚有不足，服务质量、国际影响力有待提升。尽管强调区域港口群的协同发展，但在实践中港口定位模糊、同质化竞争现象并未消除，充分发挥各自优势、实现资源优化配置和差异化发展的预期目标也未实现。

四、我国建设世界一流海洋港口的发展目标

把握世界海洋港口发展态势，依据国家交通强国建设总体部署，考虑我国世界一流海洋港口建设的合理水平，论证提出了面向2040年我国建设世界一流海洋港口的总体目标：实现港口设施一流、技术一流、管理一流、服务一流，全面提升海洋港口的综合枢纽作用；建成数智化、绿色可持续、韧性平安、开放包容的世界一流海洋港口，发挥示范和引领性作用，构建全球性的产业竞争优势、声誉和实力。可进一步细分为近中期（2030年前）、中长期（2031—2035年）、远期（2036—2040年）3个阶段，逐步开展数智化、绿色可持续、韧性平安、开放包容、高效枢纽5个方面建设（见图1）。

（一）近中期目标

1. 推进港口信息基础设施建设，提高港口智能化水平

部署应用港口智能感知设备，增强港口基础设

施、港区环境、运行状态的动态监测能力。上海港、天津港、青岛港、宁波舟山港等具备条件的国际枢纽海港基本建成智能感知网，推动新建集装箱、散货、客运等类型码头同步实现基础设施自动化监测。融合应用信息通信技术，制定港口的数字化发展规划，提升智能科技的港口运营管理应用水平，增强港口智能化和自动化能力。

2. 推动港口机械设备能源转换，实现港口绿色减碳

完善港口LNG加注、船舶岸电使用相关的标准和服务体系，激励船舶在港期间更高比例使用清洁能源，减少港区的碳排放。扩大港口岸电设施的建设和使用范围，提高船舶靠港接电的比例。推进港口机械设备的能源转型，激励使用清洁能源和新能源，提高作业机械设备和车辆的清洁用能占比，同步开展老旧设备的更新和改造。

3. 提升基础设施韧性水平，完善港口综合管理体系

提升港口基础设施、物流与供应链、网络安全等方面韧性水平，创造有利于现代化技术应用的条件，提高供应链的多样化水平。构建系统化的港口安全生产检查计划，定期开展港口安全生产审查，加强港口企业关键设施的安全管理。利用物联网、传感器、远程监控等技术手段，实现港口关键基础设施实时监测与预警，提升港口的平安和韧性水平。

4. 提高市场开放水平，增强国际市场竞争力
优化港口布局，推动沿海大型港口尽快达到第

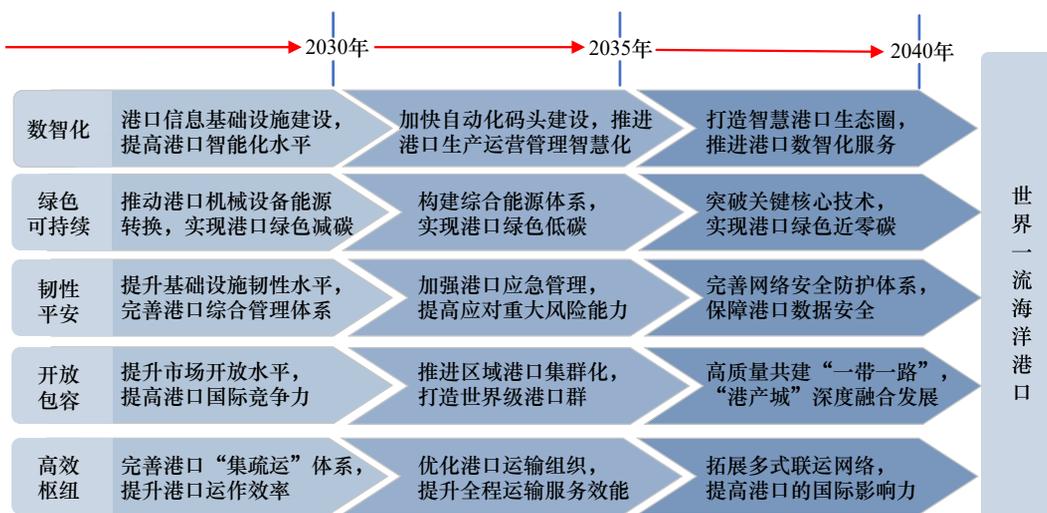


图1 我国建设世界一流海洋港口的基本步骤

五代港口水平。加强港口与内陆地区的合作，拓展服务区域，通过自由贸易区建设、区港联动的方式，提高港口与区域经济的融合水平。构建一体化开放市场，拓展港口延伸服务功能，为客户提供多样化服务；提升口岸通关效率，优化商业运营环境，增强我国港口的国际市场竞争能力。

5. 完善港口“集疏运”体系，提升港口运作效率
建设多式联运设施，加强港口与铁路、公路、水路等运输方式的衔接，促进跨区域、跨部门、跨行业的联运通道发展。重点开展集装箱，矿石、煤炭等大宗散货的铁水联运，提高多式联运的市场占比和综合效率；推进内陆无水港建设，贯通内陆与港口之间的物流通道，建立陆海双向的港口辐射网络，增强港口的综合枢纽功能。

（二）中长期目标

1. 建设自动化码头，实现智慧化生产运营管理
在具备条件的上海港、大连港、天津港、青岛港、宁波舟山港、厦门港、深圳港、广州港进行集装箱码头自动化建设，在秦皇岛港、唐山港、黄骅港、青岛港、日照港、宁波舟山港、苏州港开展干散货码头全流程自动化改造，全面建成港口码头的自动化作业能力。研发新一代自动化码头生产管理系统、一体化管控平台，突出自主可控，保障港口运营监管。

2. 构建综合能源体系，实现港口绿色低碳
建设港口辅助供电和港口设备用电的统一集成能源管理平台，实现能源使用全领域和全过程的可视化、透明化。部署智能化的能源管理系统，对港口内的能源进行统一调度和优化配置，提高能源利用效率。建设港口综合能源系统和绿电微电网，深化可再生能源、节能技术应用，确保能源系统优化运行，提高港口生产生活的绿色低碳水平。

3. 加强港口应急管理，提高应对重大风险能力
完善应急管理体系，建立和健全港口应急管理制度，完善预案和处置流程，建设应急救援队伍，储备安全监管用物资及装备，强化港口应急管理能力和建设港口风险评估和预警系统，运用数字化技术实现对全程供应链的监测，提高港口抵御重大风险的能力。提高港口安全风险管理水平，有效应对多样化的风险和挑战。

4. 推进区域港口集群化，建成世界级港口群

在长江三角洲地区，以上海港、宁波舟山港为核心，统筹布局沿江、沿海的重点货物运输系统，推动港航、贸易一体化发展，建成全球航运枢纽。在环渤海地区，增强区域协同，优化天津市、河北省、山东省、辽宁省沿海港口群布局并联动发展，建成世界级港口群。在粤港澳大湾区，巩固香港特别行政区的国际航运中心地位，增强广州市、深圳市的国际航运服务功能，协调西江、北江、东江等国家高等级航道，发挥世界级港口群的辐射带动作用。

5. 优化港口运输组织，提升全程服务效能

以上海港、天津港、青岛港、宁波舟山港等国际枢纽港口为重点，建设并完善面向全程物流链的“一站式”智慧物流协同平台。强化水运与航空、铁路、公路、船代、货代的数据互联共享，推动多式联运“一单制”“一箱制”发展。优化港口作业流程，全面推行无纸化操作，实现航商、码头、拖轮、理货、代理之间的费用结算电子化，货物提货单、设备交接单的电子化，简化运输手续，降低流通成本。推动大型港航企业与国际贸易“单一窗口”的合作对接，发展“通关+物流”一体化联动服务。

（三）远期目标

1. 构建智慧港口生态圈，提供港口数智化服务
构建开放的港口生态圈，与供应链上下游企业协同合作，延伸港口的服务内容。创新港口数据服务，应用全流程数字化凭证、区块链等技术，提供国际贸易、航运信息、交易平台、融资授信、航运保险等商贸增值服务，为货主、船公司、物流企业等提供定制化、个性化服务，建成世界领先的数智化港口。

2. 突破关键核心技术，实现港口绿色近零碳

在上海港、天津港、青岛港、宁波舟山港等国际枢纽海港，开展电解水制氢、太阳能发电制氢、生物质制氢等前沿技术应用，稳步降低氢储能成本，提高新能源发电利用率，实现绿色制氢和规模化应用，确保港口运营绿色近零碳。在港区部署多种形式的储能设备，用于储存或调剂各类能源，支持港口大型作业设备的电气化和智能化，实现港区自建能源系统的动态平衡。

3. 完善网络安全防护体系, 保障港口数据安全

开展码头自动化控制、生产作业、通航建筑物运行调度等重要信息系统的网络安全管理、安全检测与风险评估, 强化港口、航道关键信息基础设施的网络安全防护能力。合规落实信息安全等级保护制度, 加强攻击性测试手段应用, 提高网络安全监测预警和态势感知能力。部署重要信息系统商用密码技术应用。加强数据安全保护, 开展分类分级保护, 开展港口、航道领域的数据安全保护, 提供数据容灾备份能力。加强港口、航道等重要基础设施运行数据、相关个人信息的安全保护, 推进关联数据的全生命周期安全管理。

4. 高质量共建“一带一路”, 实现“港产城”融合发展

推进港口与区域大通道融合, 加强港口与周边省份、“一带一路”共建国家和地区的交流合作, 实现海上通道互动联系、区域高水平对外开放。引导和支持相关产业向港口周边集聚, 形成产业集群, 提升产业链水平和竞争力。深化航运企业的国际交流与合作, 优化临港产业布局, 构建现代化临港产业体系, 提升“港产城”融合水平。

5. 拓展多式联运网络, 提高国际市场影响力

深化与国际航运公司和铁路公司的合作, 开辟新的国际航线和班列, 拓展港口的国际航线网络, 形成优势互补的内外贸航线体系。进一步发展中欧班列等国际铁路联运, 提高我国港口在国际运输中的地位和作用。加强与国际组织、周边国家的合作, 联合拓展多式联运网络及其互联互通。积极参与制定国际多式联运标准和规则, 提高我国在国际多式联运领域的话语权和影响力。

五、我国建设世界一流海洋港口的重点任务

(一) 智能感知网络建设

应用现代信息技术, 部署先进感知设备, 建设智能感知网络, 支持港口环境、作业状态的全面监测和实时分析。在港口码头、堆场、航道等关键区域部署摄像头、雷达、传感器等感知设备, 与港口的自动化、半自动化设备进行集成, 实时、准确地将数据传输到数据中心, 实现港口基础设施、港区环境、运行状态的动态监测和数据互联互通。构建智能感知平台, 开发数据采集系统, 实现相关数据

的实时采集与整合; 应用大数据、AI 等技术, 分析和挖掘采集的数据, 从中提取有价值的信息和规律; 建立可视化展示系统, 以图表、地图等形式, 将分析结果推送至港口运行管理人员; 根据智能感知网络提供的信息, 优化港口作业流程、提高作业效率。

(二) 数字孪生港口建设

利用三维(3D)建模技术建立港口3D模型, 还原包括港区内建筑群、作业场地、堆场标识牌在内的港口静态场景^[32]。实时渲染并驱动港口动态场景, 确保数字孪生模型的真实性和动态性。将智慧感知网络中的实时数据接入数字孪生模型, 实现数据与3D场景联动、数据交互展示^[33], 实时监测包括货物吞吐量、设备运行状态、人员工作效率在内的港口运营状态, 及时发现运营中的问题和潜在风险。深度挖掘和分析监测数据, 及时发现港口运营中的瓶颈环节, 预测港口运营趋势, 为港口规划和运营提供决策支持。

(三) 港口新能源应用

考虑港口区域的能源禀赋和设施条件, 因地制宜引入光伏、风能、氢能等清洁能源^[34], 拓展港口新能源应用规模。积极利用港口的仓库、雨棚、堆场等屋顶资源, 安装光伏发电设备, 以优先使用自发电能降低化石能源消耗量。在码头区域安装高压输电电缆、变电站、配电装置, 构建完备的岸电供电系统; 在码头的泊位上建设岸电箱、电缆卷盘等岸电接驳设施, 支持船舶便捷地接入岸电^[35]; 停靠港口的船舶安装匹配的受电设施, 便于船舶接入岸电。建设LNG加注站、加氢站, 为港区内的车辆、船舶等提供清洁能源加注服务, 加快港口的绿色低碳进程。

(四) 港口综合能源系统建设

与促进可再生能源利用同步, 更新港口设备、优化生产流程, 提高能源利用效率; 部署高效能源设备, 优化船舶动力系统, 更换节能照明设备, 全面降低港口地区的能源消耗量。建立能源监测系统、智能控制系统、优化调度系统, 应用大数据、云计算、物联网等技术进行动态监控, 调节港口能源使用, 实现港口能源系统的智能化管理。整合分

布式光伏、给排水、智能照明、油气管理、集卡充电桩管理、岸电管理等系统，构建综合能源管理平台，形成综合能源管理体系^[36]。

（五）港口风险评估与预警

基于历史数据和专家知识，构建适用于港口的预警模型，根据实时数据对潜在风险进行预测和预警，形成港口风险量化评估能力。应用机器学习、深度学习等AI算法，提高相关预警模型的准确性和鲁棒性。部署港口预警信息发布机制，采用短信、邮件、应用程序推送等方式发布预警信息，确保预警信息及时准确地传达给相关人员。针对不同风险等级制定相应的应急响应预案，在预警触发时及时采取应对措施。

（六）“港产城”融合发展

在建设和升级港口基础设施的基础上，发展高端港航服务业，促进临港制造业发展和产业结构优化，推动产业与港口融合发展。建设国际航运服务集聚区，吸引港航企业总部、国际知名港航企业入驻；发展融资租赁方面的优势业务，孵化航运保险、离岸结算、航运衍生品交易等航运金融业态。在港口地区建立海洋工程装备、高技术船舶装备、港口航道工程装备等产业集群，推广邮轮旅游，发展邮轮观光、邮轮剧场等静态旅游业态，丰富港口旅游产品。实施积极的政策引导和扶持，将“流量入口”转化为“贸易入口”，加快适港产业发展；优化港城边界，完善港口周边配套、前沿创新、文旅休闲等功能，形成宜居、宜业、宜游的港城融合空间。

（七）国际营商环境优化

加强港口与管理部门、关联企业的沟通协作，营造良好的国际营商环境。明确港口服务收费的项目范围及标准，净化港口收费环节，打造阳光服务港口，切实提高贸易通关效率。启动与国际营商环境相关的制度规章建设，形成常态化执法机制；建立国际营商环境评价与反馈平台，汇总企业反馈问题，采取积极举措予以解决；适时推出优惠税率政策，简化税收项目，明确各类企业的税收标准，合理降低企业的营商成本。在优化国际营商环境方面提供公共资金，建立规范统一、标准化的港口业务

信息系统，打破港口企业与合作企业、竞争企业与管理部門之间的信息壁垒，加快信息数据共享。加强各参与方的协作意识，持续优化港口的国际营商环境，支持跨境贸易的便利化。

（八）多式联运网络构建

完善“集疏运”通道和内河运输通道，在大宗干散货港区、规模化集装箱港区建设铁路“集疏运”通道及场站，实现铁路货运场站与港区无缝衔接。在主要港口的重要港区、大型综合性港区建设疏港高速公路，在受城市交通制约较大的重要港区建设客货分离的“集疏运”公路体系。加强内河航道的疏浚和整治以提高通航能力和安全性，完善内河港口和作业区布局以提高“集疏运”能力，推动江海联运发展。建设多式联运信息平台，实现覆盖各类运输方式的信息共享和互联互通，采用电子单证、物联网技术提高多式联运的信息化和智能化水平。

六、我国建设世界一流海洋港口的发展建议

（一）加强科技创新，培育港口新质生产力

加强港口数智化基础研究，重点围绕大数据、AI、物联网等核心技术，通过联合基金项目等渠道，支持港口领域的前沿科技创新，为世界一流海洋港口建设提供坚实的科技支撑。在自动化码头方面，深化智能调度系统自主研发，提高集装箱装卸效率和作业安全性；在智慧港口建设中，应用区块链技术实现透明的货物追踪与管理，优化供应链流程。培育海洋港口集成创新能力，注重在数据驱动的决策支持、智能物流、智能监控系统等新兴领域提升原创能力，支持构建港口新质生产力。此外，合理加大公共资源投入，制定针对性的扶持政策，推进港口基础技术研发，如新一代港口自动化设备、智能化运输系统和绿色能源利用技术，为世界一流海洋港口建设提供全面的技术与要素资源支持。

（二）注重各方联动，推进港口能源融合发展

在港口用能结构优化方面，结合国家能源转型发展趋势，制定港口与清洁能源（如风能、太阳能、氢能、地热能、生物质能）深度融合的发展规

划, 引导港口开发并应用新能源。港口企业需积极履行社会责任, 利用自身的优势条件, 与风电、光伏发电、氢能等清洁能源领域融合发展, 同时争取各级公共资源支持。建议在交通强国建设试点中, 将符合条件的港口和相关企业纳入重点发展范围, 基于港区资源的能源化潜力评估结果, 优先在产业基础良好、研发能力强、环保需求突出的港口开展以风能、太阳能等清洁能源为基础的示范区建设, 促进绿色低碳发展。

(三) 完善网络安全防护, 提高港口韧性水平

受地缘政治冲突等因素的影响, 国际局势复杂严峻, 大宗商品运输需求低迷。为应对这些挑战, 建议在标准化政策、公共采购政策、对外贸易政策等方面采取积极行动, 拓展我国港口的市场需求, 增强国际市场竞争力。制定港口网络安全顶层规划, 完善网络安全防护体系, 涵盖技术研发、标准建设、人才培养和应急响应等, 确保全国港口网络安全的统一性和协调性, 为建设世界一流海洋港口提供安全保障。此外, 在国家层面建立港口应急管理体系, 明确应急预案、救援队伍、物资储备、信息通报等机制, 定期开展联合演练, 以提升快速响应和恢复能力, 确保港口运营的稳定性与高效性。

(四) 增强国际市场竞争力, 壮大现代航运服务业

建设世界一流海洋港口, 需要进一步提高我国港口的国际市场竞争力。加快构建与国际接轨的航运服务体系, 提高服务质量, 建立中国品牌、中国规则、中国标准。深化自由贸易试验区建设, 提高对外开放水平, 营造良好的营商环境, 增强港口辐射能力。落实国际贸易“单一窗口”制度, 合理优化海关监管模式, 加快货物通关速度, 降低企业成本。制定优惠政策、提供激励措施, 吸引国际航运公司、物流服务商入驻, 促进产业集聚, 支持现代航运服务业发展壮大。在港口城市因地制宜发展新兴产业, 培育具有引领性、带动力的新业态和新模式。建立具有国际市场竞争力的港口品牌, 以良好的品牌形象促进“港产城”融合发展。

(五) 建设“集疏运”网络, 完善港口枢纽功能

科学规划疏港铁路、疏港公路、长输管道等“集疏运”项目, 高标准建设港口“集疏运”网络。

扩大铁水联运、水水中转、公铁转运、多式联运“一单制”试点范围, 与城市综合交通进行协同布局, 形成“跨区域通道化、区域内网络化”的高效便捷运输结构。实施港口、“集疏运”网络、临港产业、城区一体化布局, 推进港口作业区、临港产业区、物流园区、海关特殊监管区、城市生态廊道等功能区的联动发展。推动港航企业与物流、贸易、金融等行业融合形成港航物流综合服务体系, 构建以港口为中心的产业集群, 强化港口的物流枢纽功能。

(六) 推进区域港口集群化, 促进港口群协同发展

基于国家层面的区域发展战略, 统筹规划各地区的港口发展, 消除低水平重复建设、非良性市场竞争, 促进关键资源的有效配置与合理利用。建立港口联盟或采取集团化运作方式, 推动港口设施和服务共享, 增强港口行业的综合竞争力。根据港口的自然条件、经济腹地、产业特色等因素, 制定差异化的港口发展规划, 适时引入新一代信息技术和自动化技术, 稳步提高港口的信息化水平和智能化程度。对于欠发达地区的港口, 可给予倾斜性扶持政策与公共资源支持, 更好吸引社会投资, 促进当地港口的现代化、专业化发展。建立和健全市场监管机制, 提供公平竞争的市场环境, 保障港口企业的合法权益。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: June 11, 2024; **Revised date:** July 31, 2024

Corresponding author: Tu Min is an associate professor from the School of Transportation and Logistics Engineering, Wuhan University of Technology. Her major research fields include port and shipping economy, transportation economic geography, integrated logistics, transportation system analysis and optimization. E-mail: tumin0929@sina.com

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Strategic Research on Shandong’s Innovation Driven ‘Accelerating the Construction of World-Class Marine Ports’” (2023-DFZD-25); Asian Development Bank Consulting Project (20233h0326)

参考文献

- [1] 李洪锐, 王洪海, 张颖, 等. 基于五大发展理念的沿海港口高质量发展研究 [J]. 大陆桥视野, 2021 (11): 39-41, 46.
Li H R, Wang H H, Zhang Y, et al. Research on high-quality development of coastal ports based on five development concepts [J]. New Silk Road Horizon, 2021 (11): 39-41, 46.

- [2] 陈红梅, 李鑫依. 世界一流港口建设背景下环渤海港口高质量发展水平测度 [J]. 上海海事大学学报, 2023, 44(4): 58–68.
Chen H M, Li X Y. Measurement of high-quality development level of Bohai Rim ports under background of world-class ports construction [J]. Journal of Shanghai Maritime University, 2023, 44(4): 58–68.
- [3] 曹菁菁, 雷阿会, 刘清, 等. 虚实融合驱动智慧港口发展研究 [J]. 中国工程科学, 2023, 25(3): 239–250.
Cao J J, Lei A H, Liu Q, et al. Smart port development driven by virtual–real integration [J]. Strategic Study of CAE, 2023, 25(3): 239–250.
- [4] 袁裕鹏, 袁成清, 徐洪磊, 等. 我国水路交通与能源融合发展路径探析 [J]. 中国工程科学, 2022, 24(3): 184–194.
Yuan Y P, Yuan C Q, Xu H L, et al. Pathway for integrated development of waterway transportation and energy in China [J]. Strategic Study of CAE, 2022, 24(3): 184–194.
- [5] Gu B M, Liu J G. Port resilience analysis based on the HHM-FCM approach under COVID-19 [J]. Ocean & Coastal Management, 2023, 243: 106741.
- [6] Liu J, Qi Y, Lyu W J. Port resilience in the post-COVID-19 era [J]. Ocean & Coastal Management, 2023, 238: 106565.
- [7] Yin C Z, Ke Y D, Chen J H, et al. Interrelations between sea hub ports and inland hinterlands: Perspectives of multimodal freight transport organization and low carbon emissions [J]. Ocean & Coastal Management, 2021, 214: 105919.
- [8] 中华人民共和国中央人民政府. 九部门联合印发关于建设世界一流港口的指导意见 [EB/OL]. (2019-11-15)[2024-04-05]. https://www.gov.cn/xinwen/2019-11/15/content_5452386.htm.
The Central People’s Government of the People’s Republic of China. Nine departments jointly issued guidance to build world-class ports [EB/OL]. (2019-11-15)[2024-04-05]. https://www.gov.cn/xinwen/2019-11/15/content_5452386.htm.
- [9] 中华人民共和国交通运输部. 关于新时代加强沿海和内河港口航道规划建设意见 [EB/OL]. (2024-06-17)[2024-06-21]. https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/zhghs/202406/t20240614_4142444.html.
Ministry of Transport of the People’s Republic of China. About the new era to strengthen the construction of the coastal and inland port channel planning opinion [EB/OL]. (2024-06-17)[2024-06-21]. https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/zhghs/202406/t20240614_4142444.html.
- [10] Belmoukari B, Audy J F, Forget P. Smart port: A systematic literature review [J]. European Transport Research Review, 2023, 15(1): 4.
- [11] 罗本成. 鹿特丹智慧港口建设发展模式与经验借鉴 [J]. 中国港口, 2019 (1): 20–23.
Luo B C. Development model and experience of Rotterdam smart port construction [J]. China Ports, 2019 (1): 20–23.
- [12] Sogut M Z, Erdoğan O. An investigation on a holistic framework of green port transition based on energy and environmental sustainability [J]. Ocean Engineering, 2022, 266: 112671.
- [13] Hua C Y, Chen J H, Wan Z, et al. Evaluation and governance of green development practice of port: A sea port case of China [J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 249: 119434.
- [14] Panahi R, Sadeghi G N, Lau Y Y, et al. Developing a resilience assessment model for critical infrastructures: The case of port in tackling the impacts posed by the covid-19 pandemic [J]. Ocean & Coastal Management, 2022, 226: 106240.
- [15] Gurzhiy A, Kalyazina S, Maydanova S, et al. Port and city integration: Transportation aspect [J]. Transportation Research Procedia, 2021, 54: 890–899.
- [16] Yu H, Deng Y Y, Zhang L J, et al. Yard operations and management in automated container terminals: A review [J]. Sustainability, 2022, 14(6): 3419.
- [17] 罗本成. 从新加坡港看全球智慧港口的发展趋势 [J]. 中国港口, 2020 (11): 5–9.
Luo B C. Looking at the development trend of global smart ports from Singapore port [J]. China Ports, 2020 (11): 5–9.
- [18] 徐亮, 徐青, 王欣安, 等. 航运安全保障智慧化管控模式发展研究——以上海市为例 [J]. 中国工程科学, 2023, 25(6): 160–169.
Xu L, Xu Q, Wang X A, et al. Intelligent governance mode for shipping safety assurance: Taking Shanghai as an example [J]. Strategic Study of CAE, 2023, 25(6): 160–169.
- [19] 中华人民共和国交通运输部. 我国已建及在建自动化码头数量居世界首位 [EB/OL]. (2024-6-27)[2024-07-31]. https://www.mot.gov.cn/jiaotongyaowen/202406/t20240627_4143215.html.
Ministry of Transport of the People’s Republic of China. The number of automated terminals built or under construction in China ranks first in the world [EB/OL]. (2024-6-27)[2024-07-31]. https://www.mot.gov.cn/jiaotongyaowen/202406/t20240627_4143215.html.
- [20] 中国能源网. 青岛氢能集卡车在QQCT实景测试运行 [EB/OL]. (2019-10-23)[2024-07-31]. <https://www.china5e.com/news/news-1073423-1.html>.
China Energy Network. Qingdao hydrogen collection truck at QQCT live test run [EB/OL]. (2019-10-23)[2024-07-31]. <https://www.china5e.com/news/news-1073423-1.html>.
- [21] 杨晓光. 我国港口建设世界一流港口取得的进展 [J]. 中国港口, 2022 (12): 1–11.
Yang X G. Progress made in building China’s ports into world-class ports [J]. China Ports, 2022 (12): 1–11.
- [22] 盟岩. 推进港口数字化转型升级 赋能水运高质量发展 [J]. 中国港口, 2023 (11): 3.
Meng Y. Promote the digital transformation and upgrading of ports and empower the high-quality development of water transport [J]. China Ports, 2023 (11): 3.
- [23] 蒋一鹏, 袁成清, 袁裕鹏, 等. “双碳”战略下中国港口与清洁能源融合发展路径探析 [J]. 交通信息与安全, 2023, 41(2): 139–146.
Jiang Y P, Yuan C Q, Yuan Y P, et al. Pathway for integrated development of port and clean energy under strategy of carbon peaking and carbon neutralization in China [J]. Journal of Transport Information and Safety, 2023, 41(2): 139–146.
- [24] 王宇, 李海波. “双碳”背景下港口机械电能替代技术分析 [J]. 港口科技, 2023 (1): 1–4, 48.
Wang Y, Li H B. Analysis of substitution technology of electrical energy for port machinery under the background of “double carbon” [J]. Port Science & Technology, 2023 (1): 1–4, 48.
- [25] 陈金晶, 黎椿荣, 祝贵兵. 宁波舟山港碳排放量预测与分析 [J]. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 2023, 42(6): 562–567.
Chen J J, Li C R, Zhu G B. Prediction and analysis of carbon emission in Ningbo–Zhoushan port [J]. Journal of Zhejiang Ocean

- University (Natural Science), 2023, 42(6): 562–567.
- [26] 朱海燕. 宁波舟山港绿色港口发展水平评价研究 [D]. 长沙: 长沙理工大学(硕士学位论文), 2019.
Zhu H Y. Study on evaluation of green port development level of Zhoushan Port in Ningbo [D]. Changsha: Changsha University of Science & Technology (Master's thesis), 2019.
- [27] 王娟娟, 崔泉飞, 崔赫, 等. 全力筑牢港口网络安全防线 近期海外港口网络安全事件对我国的启示 [J]. 中国电信业, 2023 (10): 61–63.
Wang J J, Cui X F, Cui H, et al. Building the port network security defense line with all one's strength: The enlightenment of recent overseas port network security incidents to China [J]. China Telecommunications Trade, 2023 (10): 61–63.
- [28] 丁金学. 新时代我国港产城融合发展问题、形势与建议 [J]. 当代经济管理, 2023, 45(12): 74–80.
Ding J X. Issues, situation, and suggestions for the integrated development of China's port-industry-city in the new era [J]. Contemporary Economic Management, 2023, 45(12): 74–80.
- [29] 方舟, 吴佳璋, 李倩雯. 宁波舟山航运服务业发展建议 [J]. 中国远洋海运, 2023 (6): 76–79.
Fang Z, Wu J Z, Li Q W. Suggestions on the development of Zhoushan shipping service industry in Ningbo [J]. Maritime China, 2023 (6): 76–79.
- [30] 浙江省发展规划研究院课题组. 建设世界一流强港需要着眼全省优化集疏运体系 [J]. 浙江经济, 2024 (4): 56–57.
Research Group of Zhejiang Development & Planning Institute. Building a world-class strong port needs to focus on optimizing the collection and distribution system in the whole province [J]. Zhejiang Economy, 2024 (4): 56–57.
- [31] 徐杏, 高天航, 沈益华, 等. 新形势下我国港口集装箱运输系统优化研究 [J]. 水运工程, 2023 (3): 6–11, 16.
Xu X, Gao T H, Shen Y H, et al. Optimization of China's container transport system in new era [J]. Port & Waterway Engineering, 2023 (3): 6–11, 16.
- [32] 陈立家, 王莹涛, 李胜为, 等. 基于三维视频融合的智慧港口全景建模研究 [J]. 计算机仿真, 2024, 41(9): 251–257.
Chen L J, Wang Y T, Li S W, et al. Research on panoramic modeling of Smart port based on 3D video fusion [J]. Computer Simulation, 2024, 41(9): 251–257.
- [33] 李林, 张钊, 范垂荣, 等. 干散货码头数字孪生综合管控平台架构与实践 [J]. 水运工程, 2024 (1): 189–195.
Li L, Zhang Z, Fan C R, et al. Architecture and practice of digital twin integrated management and control platform for dry bulk terminal [J]. Port & Waterway Engineering, 2024 (1): 189–195.
- [34] 刘岢孟, 高俊莲, 孙旭东, 等. 我国港口城市氢能发展潜力与对策研究 [J]. 中国工程科学, 2022, 24(3): 108–117.
Liu K M, Gao J L, Sun X D, et al. Hydrogen energy development potential and countermeasures of port cities in China [J]. Strategic Study of CAE, 2022, 24(3): 108–117.
- [35] 叶峻涵, 杨平, 屈博, 等. 新能源接入港口岸电系统设计与仿真 [J]. 现代电子技术, 2023, 46(12): 101–108.
Ye J H, Yang P, Qu B, et al. Design and simulation of new energy access port shore power system [J]. Modern Electronics Technique, 2023, 46(12): 101–108.
- [36] 方斯顿, 赵常宏, 丁肇豪, 等. 面向碳中和的港口综合能源系统(一): 典型系统结构与关键问题 [J]. 中国电机工程学报, 2023, 43(1): 114–135.
Fang S D, Zhao C H, Ding Z H, et al. Port integrated energy systems toward carbon neutrality (part I): Typical topology and key problems [J]. Proceedings of the CSEE, 2023, 43(1): 114–135.