

新加坡绿色港口建设经验及对深圳港的启示

Singapore's Green Port Experience and Enlightenment for Shenzhen Port

陈洁敏¹, 李文斌²

1.深圳市城市交通规划设计研究中心, 2.深圳国家高技术产业创新中心

摘要: 绿色港口建设是国家实现碳达峰碳中和目标的重要方面。为深入了解国际绿色港口建设主要做法, 该文以新加坡港为例, 系统剖析其绿色港口建设经验。通过分析发现新加坡在推进港口净零排放过程中具有规划目标明确、政策系统完善、合作深入广泛、产业化思维等特点。结合深圳港绿色港口建设发展现状, 按照系统性改造、精细化挖掘、产业化运作的原则, 提出加快明确深圳港双碳目标时间节点、推动港口体制机制创新、深化全球港口合作、鼓励全产业链共同参与等相关举措。

关键词: 新加坡港; 碳达峰; 绿色港口; 产业化发展

Abstract: The construction of green ports is an important aspect of the country's goal of achieving carbon peak and carbon neutrality. In order to gain an in-depth understanding of the main practices of international green port construction, this paper takes the Port of Singapore as an example to systematically analyze its green port construction experience. Through the analysis, it is found that Singapore's promotion of the process of port net zero emissions has the characteristics of clear planning goals, perfect policy system, in-depth and extensive cooperation, and industrial thinking. Combined with the current situation of green port construction and development of Shenzhen Port, in accordance with the principles of systematic transformation, refined excavation and industrialization operation, it is proposed to accelerate the clarification of the double carbon target time node of Shenzhen Port, promote the innovation of port system and mechanism, deepen global port cooperation, and encourage the joint participation of the whole industrial chain.

Keywords: Singapore Port; Carbon peaks; Green port; Industrialization development

0 引言

近年来, 国家陆续出台相关政策, 要求在综合交通运输领域率先实现碳达峰碳中和^[1]。港口作为国家参与全球海洋竞争、推动国民经济发展、实现供应链安全稳定的重要环节, 是实现交通领域双碳目标的先行领域。根据《国际海事组织温室气体研究2020(第四版)》(Fourth IMO GHG Study 2020)报告, 海运业碳排放约占全球碳排放量的2%^[2]。新加坡港2021年集装箱吞吐量达到3 750万TEU, 作为全球

最大的中转港, 中转量约占全球的1/7, 联系全球600多个码头^[3]。近10年来, 新加坡先后出台两轮绿色港口规划, 是全球绿色港口建设的先行者之一, 形成了系统、完整的碳达峰碳中和发展目标和实施路径, 对国内港口具有较强的借鉴意义。深圳港集装箱吞吐量接近3 000万TEU, 是深圳市推动综合交通运输碳达峰碳中和的重要抓手。本文将系统梳理新加坡港绿色港口发展历程, 提炼其发展特色及相关经验, 结合深圳港现阶段的绿色港口建设要求, 提出下一阶段推动港口绿色化、可持续发展的相关思考。

作者简介

陈洁敏(1992—), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 低碳交通、港口规划。
Email: whit2011@126.com

1 新加坡绿色港口建设发展历程

1.1 初步探索船舶、港口、能源、技术的绿色化发展路径

2011年,新加坡海事及港务管理局(MPA)率先探索绿色港口建设路径,出台《新加坡绿色海运计划》(Maritime Singapore Green Initiative),提出通过绿色船舶项目(Green Ship Programme)、绿色港口项目(Green Port Programme)和绿色能源与技术项目(Green Energy & Technology Programme),降低航线、码头、航运公司和港口船只运营商的CO₂、SO_x、NO_x排放^[4]。在绿色船舶方面,提出新加坡籍的新船能效设计指数(EEDI)相关要求,以降低新船的CO₂排放,并出台该类新船首次登记费和吨位税减免政策。在绿色港口方面,鼓励进港船舶使用含硫量≤0.1%(m/m)的燃油,以降低SO_x排放。在绿色能源与技术方面,对符合条件的、采用绿色技术的新加坡籍远洋船舶和港口作业船舶进行补贴^[4]。

1.2 形成综合性、系统性港口碳达峰碳中和实施路径

经十余年发展,新加坡海事与港务管理局于2022年发布《2050年新加坡海事脱碳蓝图》(Maritime Singapore Decarbonisation Blueprint: Working Towards 2050),系统提出海事领域碳达峰碳中和的路径^[3],详见表1。与2011版《新加坡绿色海运计划》相比,该版脱碳蓝图具有如下特征:一是体系完整,除港口码头、港区船舶、集装箱船等基础设施外,增加了能源发展、国际合作、人才培养、科技研发、金融政策等核心内容;二是可实施,在编制各领域减碳或净零排放目标时,充分考虑产业链相关主体的认可程度,并争取广泛支持;三是开放性,从能源多元化发展、低碳环境下人才培养或再培训等角度为未来发展预留充足弹性^[3]。

2 新加坡绿色港口建设主要经验

2.1 以路线图形式给出港区碳中和目标时间节点

在2011版《新加坡绿色海运计划》的

表1 新加坡港绿色港口发展目标及具体举措

序号	战略领域	发展目标	具体举措
1	绿色码头	2030年,码头碳排放相比2005年降低60% 2050年,实现码头净零排放	绿色港区机械设备及绿色车辆; 港区绿色建筑及太阳能利用; 以信息化手段减少船舶进港排队时间; 港口空间整合减少港区间运输
2	国内港口船舶	2030年,国内港口船舶碳排放量相比2021年下降15% 2050年,国内港口船舶碳排放量相比2030年下降50%	港区船舶生物燃料与电能混合利用; 船舶电气化运营及商业可行性试点; 预留船舶能源类型选择的弹性
3	未来海运能源、燃油标准与绿色基础设施建设	成为多种绿色能源供应枢纽	明确生物燃料、LNG等能源为过渡能源; 推动能源标准创新
4	新加坡籍船舶	2050年,新加坡籍船舶中50%实现绿色化	鼓励新加坡籍船舶采用绿色低碳能源,并给予税费减免
5	在国际海事组织(IMO)与国际平台的努力	成为全球绿色航运的标准制定者、桥梁连接者、气候行动倡议者	与全球海事或港航局、IMO成员国、港口运营商等开展广泛深入的合作
6	研发与人才培养	成为全球海事低碳研发的枢纽	设立海事绿色未来基金、全球海事减碳中心、海事能源和可持续发展研究中心等; 加强绿色技术研究; 开展海员、管理人员等人才再培训与提升,以适应低碳化发展需求
7	碳意识、碳核算以及绿色金融	成为绿色海事金融枢纽	多部委协同推进碳核算行动等

备注:表格根据《2050年新加坡海事脱碳蓝图》整理。

基础上，2022版《2050年新加坡海事脱碳蓝图》从碳排放定量角度，提出了港口码头、国内港口船舶、新加坡籍船舶的碳达峰或净零排放的实现日期。上述时间节点制定的前提包括但不限于以下几个方面：一是统计基础较好，可提供历史年精准的港口碳排放统计数据，如2005年新加坡港口码头CO₂排放总量约为67万t；二是研究测算严格，对减排措施可行性分析精准，可分版块、分类型提供不同措施下碳减排数值，如采用清洁可替代燃料，2026年港口码头可节约15%~20%的碳排放；三是以实际行动确保规划目标可实施，如循序渐进推进港口机械设备电气化改造、引入太阳能光伏发电系统、推广digitalPort@SG™单一窗口系统应用等^[3]。

2.2 以技术、政策等综合举措推动航运能源变革

充分认识到低碳或零碳能源类型的不确定性和过渡性特点，以技术探索推动可替代能源研发和商业试点。通过整合技术研发、商业应用等多方优势资源，推进氨、甲醇、生物燃料、LNG、电力、氢能源等多类型能源单独开发利用或混合使用，强化新加坡海事与港务管理局与产业界合作，完善能源的技术标准，探索可替代能源“百花齐放、多点探索”的发展路径，为未来能源发展预留充足的弹性^[3]。相关能源研究情况见表2。

2.3 以广泛深入的合作抢占国际绿色航运制高点

通过广泛的国际合作，勇于承担国际航运绿色发展重任。依托新加坡独特的语

言环境、金融政策、在全球航运的关键性空间区位，新加坡港高度重视与IMO以及其他国际性平台的合作。为落实IMO《国际海事组织行动策略（2018）》（Initial IMO Strategy），新加坡港的碳排放降幅、完成年限等均远超IMO要求^[5]；成立NextGEN（Green and Efficient Navigation），致力于搭建全球绿色航运生态合作平台、分享绿色港口建设相关实践。在人才培养方面，注重创新人才的可持续性，如高度重视研究型人才培养与引进，同时特别关注对海员等员工的低碳化培训^[3]。

2.4 以产业化思维探索绿色航运技术商业可行性

从全产业链角度，广泛征求新加坡港务集团等港口运营商、新加坡国立大学等高校研究机构以及当地部分财团意见，通过试点项目测试新能源在港口码头、国内港区船舶以及新加坡籍集装箱船的技术可行性、运营和商业可行性，并制定岸电、港区船舶等相关国家标准。依托新加坡高端航运如金融服务业的发展基础，规划成立新加坡海事金融枢纽港^[3]。

3 深圳绿色港口发展现状

经过近十年发展，深圳港已初步形成“绿色海上运输+绿色港区+绿色集疏运体系”的绿色港口发展模式。

（1）以船舶污染防治为抓手推动绿色海上运输。近年来，深圳市先后印发《深圳市绿色低碳港口建设五年行动方案（2016—2020年）》和《关于船舶靠泊深圳

表2 不同类型能源相关研究课题

序号	能源类型	研究机构	主要研究内容
1	氨	新加坡海事及港务管理局、劳埃德船级社、美孚石油等	研究氨作为航运燃料的可行性、经济性等
2	甲醇	Billion Miles	甲醇引擎开发
3	生物燃料及LNG	新加坡海事研究院、MESD CoE等	研究国内船舶生物燃料环境、技术、运营、经济等方面
4	电能	新加坡海事及港务管理局、新加坡海事研究院	国内船舶电气化改造
5	氢能	壳牌、Sembcrop Marine、LMG Marin等	探索氢能燃料电池在驳船等的使用

港期间使用低硫燃油的通告》，强制要求进港船舶使用低硫油，对使用含硫量的船舶进行差价补贴或全额补贴，并建成全国首个船舶排放综合立体监测系统。此外，加快推进港口岸电设施建设，鼓励靠港船舶使用岸电；深入推进拖轮、引航船、驳船、客运船、公务船使用LNG或电力，推动港口作业船舶和水水中转船舶绿色化发展。到“十三五”末期，深圳港使用低硫油，即含硫量 $\leq 0.1\%$ (m/m) 的船舶占比已达10%，港口岸电覆盖率达到80%，引航船、拖轮等基本采用LNG等新能源驱动^[6-7]。

(2) 以港口机械绿色化改造推动绿色港区建设。深入推进港口拖车、龙门吊等港口作业机械动力改造，具体包括推动拖车油改气、龙门吊油改电。到“十三五”末期，深圳港区内部机械设备基本完成“油改电”或通过LNG驱动。以深圳港东部港区为例，建成6套岸基船舶供电系统，已供电1.7万h，减碳约1.7万t；LNG拖车投入使用，降低废气污染物排放约82%；电力驱动龙门吊的使用，减少废气排放95%，作业区噪声等效声级由110 dB降至60 dB^[6-7]。

(3) 以水水中转为核心打造绿色集疏运体系。以企业为主导，市场化整合为主要手段，进一步完善深圳港组合港体系，加快推进水水中转。依托平盐铁路、平南铁路以及平湖南物流基地等基础设施，推动深圳港内陆港体系建设，深入落实国家海铁联运政策要求。根据《关于促进深圳港加快发展的若干意见》等相关政策要求，对水水中转按箱量、运输距离进行补贴。到“十三五”末期，深圳港水水中转比例已经达到约28%，海铁联运量超过18万TEU^[6-7]。

4 深圳绿色港口建设存在问题

4.1 港口碳排放总量及碳达峰时间节点难以确定

深圳港集装箱单位碳排放呈下降趋势，集装箱吞吐总量呈上升趋势，但目前无

法测定港口集装箱全过程运输碳排放总量，导致港口领域碳达峰时间节点预测存在较大不确定性。一方面，目前深圳正积极推动平盐疏港铁路规划和港区装备绿色化改造等工作，积极推动集装箱单位能耗下降。但是，集疏运体系优化调整时间存在不确定性。此外，深圳市尚未形成完善的港口集疏运体系，港口机械设备、驳船、集装箱船舶碳排放数据统计体系，尚无法统计出单位集装箱全过程运输碳排放。另一方面，近年来深圳港集装箱吞吐量保持中低速增长。到2021年底集装箱吞吐量已经达到2 877万TEU^[7]（见图1）。根据深圳港总体规划，预计到2030年、2035年深圳港集装箱吞吐量将分别达到3 000万TEU、3 500万TEU^[7]。基于此，截至目前，深圳市尚未完成港口集装箱全过程运输碳排放总量测定工作。

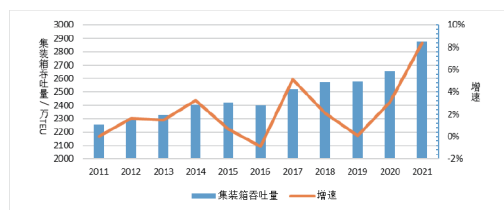


图1 深圳港集装箱吞吐量^[7]

4.2 港口绿色化发展还存在诸多制度和政策障碍

绿色港口建设面临海铁联运、通关政策、LNG加注补给等方面的制度性障碍。港口城市集疏运结构的核心影响因素是货物的时间价值、空间分布。深圳港集装箱约80%的货运来自于200 km内的腹地范围，因此，公路运输的灵活性、铁路运输时间成本的不可控性直接导致货运以公路为主，海铁联运的经济价值、时间价值难以发挥^[8]。海铁联运必须得到铁路部门的大力支持，否则难以高效融入国家铁路网及中欧班列线网。

4.3 缺乏全球化智力支持、全球化港口合作，与全球海洋中心城市地位不匹配

2017年，国家印发《全国海洋经济发展“十三五”规划》，将上海、深圳定位为全球海洋中心城市。按照全球海洋中心城市的要求，需具备全球顶级智库等。综合对比全

球前十大港口的智力支持情况，深圳港大多依赖北京、上海、香港、大连等高校或研究机构提供智力支持，本土化高端智库建设基础较弱（见表3）。此外，深圳港在全球港口绿色低碳发展参与的深度、广度较为不足，政府行业主管部门全球化视野、专业化水平等与新加坡港等存在较大差距。

4.4 上下游产业链参与深度不足，未充分论证港口碳沉降及能源替代的经济性

未充分调动港口上下游产业链参与绿色港口建设，以码头公司+政府行业主管部门推动绿色港口建设，可实施性不强。港口碳沉降需要重点考虑碳沉降的经济成本、碳沉降绿色能源占比、CO₂碳沉降后产业化用途。减碳必须低成本，否则海运及陆运成本增加必将引起运输货物商品价格的上升。航运领域碳沉降主要路径包括在集装箱船安装碳沉降设备、在港口码头通过大型设备进行碳沉降等。但上述措施能耗大、机械设备成本高，且部分碳沉降设备的能量仍来源于化石燃料或高碳燃料，仅为碳转移。从整个产业链角度，目前尚未形成完备的沉降产业链，碳沉降投入增加港口、航运企业运营成本，对于碳沉降后的产业化用途尚未明确。

在能源发展方面，近海岸电+远海高硫油混合动力成为集装箱船的重点发展方向，但该模式并不能从根源上解决航运高碳排问题。航运业能源替代的关键是研发单位价格低、能量密度高、可获得性强且具有全球补给点的航运能源。

5 深圳港碳达峰相关思考

目前，深圳市交通运输、生态环境等行业主管部门已出台的五年规划中，已初步涵盖城市或行业碳达峰的相关内容，提出通过“水水中转+组合港”、“海铁联运+内陆港”、港区清洁能源使用、港口船舶污染防治等措施，计划于2035年公路、水运、铁路集疏运比例分别为40%、50%、10%，码头岸电使用率达到18%，港区作业车辆100%使用清洁能源，使用低于0.1%（m/m）低硫油的远洋船舶达到50%^[9-10]。参考新加坡港发展经验，提出深圳港碳达峰路线图相关思考。

5.1 综合统筹推进，加快制定双碳目标时间节点

参考新加坡发展经验，加快构建航运全过程碳足迹数据统计分析系统，跟踪测定年度集装箱全过程运输单位碳排放量。此外，亟需加快港口集疏运体系基础设施建设，降低单位碳排放量。结合深圳都市圈及粤港澳大湾区产业转型升级、企业原材料及居民消费需求，预测深圳港未来集装箱吞吐量发展趋势，进而测算碳排放总量。在港航领域五年建设规划的基础上，加快编制专项规划，形成深圳港碳达峰碳中和技术路线图。

5.2 体制机制创新，构建绿色港口建设顶层架构

充分利用深圳经济特区立法权，发挥中

表3 全球前十大港口智力支持情况一览表

序号	港口名称	高校或智库
1	上海港	上海海事大学、上海交通大学、上海交通大学发展研究中心等
2	新加坡港	新加坡国立大学、南洋理工大学
3	宁波舟山港	宁波大学、浙江海洋大学
4	深圳港	中国（深圳）综合开发研究院、深圳国家高技术产业创新中心等
5	广州港	广东海洋大学、广东省交通运输规划研究中心
6	青岛港	中国海洋大学
7	釜山港	釜山大学
8	天津港	天津理工大学
9	香港港	香港大学、香港城市大学等
10	鹿特丹港	格罗宁根大学、代尔夫特理工大学、伊拉斯姆斯大学等

国特色先行示范区制度优势,加快推进港航领域体制机制创新。一是以港口碳达峰路线图倒逼铁路部门体制机制变革。二是争取口岸通关政策、保税LNG加注补给政策改革,下放港口临时开放审批权限等政策创新,为深圳港绿色港口建设提供政策基础^[9-10]。

5.3 深化全球合作,全面加强绿色航运智力支持

按照全球海洋中心城市定位要求,进一步加强与IMO等国际组织、MSC等航运公司、内河航运公司、东西部港口运营商等全产业链企业的联系,深度参与国际绿色航运标准编制,为全球航运净零排放贡献深圳力量。加快建设海洋类专门性大学、培育本土顶级智库机构,搭建全球航运人才沟通平台,建立深圳航运专家库,设立碳中和研究中心。

5.4 强化市场驱动,推动港口绿色低碳产业发展

一是以市场化手段构建深圳港口低碳产业链。综合平衡低碳港口建设的投入产出情况,以降低运营成本为基本出发点,推动低碳产业发展,满足政府、港口企业、船公司共同利益诉求。深化港口企业与能源公司战略合作,合理构建港航企业碳交易体系。

二是通过提升单位货物运输效率挖掘低碳化发展空间。从港口供应量全链条角度,深入开展碳足迹跟踪式调查,了解造成碳排放提高的关键性环节,提高集疏运效率。充分考虑各国疫情防控政策,在船舶进港、货物通关等领域进一步强化政策支持,推动信息化技术应用。

三是加快港航领域运输工具能源革命性变革。建议从提高介质能量密度、储能技术安全性、储能装备可靠性、能源转化效率以及降低使用成本等角度,进一步强化能源技术发展,针对集装箱船舶大、航程时间长的特点,开发具有储能时间长、能量密度大、可获取性强的新型能源,推动太阳能、潮汐能、核能、氢能等多种清洁能源在航运领域推广应用。

6 结 语

本文重点剖析了新加坡绿色港口建设历程及重要举措,发现新加坡在推进港口净零排放过程中具有规划目标明确、政策系统完善、合作深入广泛、产业化思维等特点。结合深圳港绿色港口建设发展成就、存在问题,按照系统性改造、精细化挖掘、产业化运作的原则,提出加快制定双碳目标时间节点、推动港口体制机制创新、深化全球合作、鼓励全产业链共同参与等相关举措或建议,为深圳市行业主管部门规划编制及行业管理、全产业链企业战略制定、学术界技术攻关提供参考。

参考文献

- [1] 中共中央,国务院. 关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见 [EB/OL]. (2019-09-22). http://www.gov.cn/zhengce/2021-10/24/content_5644613.htm.
- [2] International Maritime Organization. Fourth IMO GHG Study 2020[R]. London, 2021.
- [3] MPA Singapore. Maritime Singapore Decarbonisation Blueprint: Working Towards 2050[R]. Singapore, 2022.
- [4] MPA Singapore. Maritime Singapore Green Initiative[R]. Singapore, 2012.
- [5] International Maritime Organization. The International Maritime Organization's Initial Greenhouse Gas Strategy[R]. London, 2018.
- [6] 深圳市交通运输局. 2021年深圳交通运输工作报告[R]. 深圳, 2022.
- [7] 深圳市交通运输局. 2021年深圳港生产形势分析及2022年发展预测报告[R]. 深圳, 2022.
- [8] 李文斌, 陈洁敏, 宗传苓. 深圳港碳达峰与碳中和路径的实践与探索[J]. 交通与港航, 2021, 008(004): P.75-80.
- [9] 深圳市交通运输局. 深圳市港口与航运发展“十四五”规划[R]. 深圳, 2022.
- [10] 深圳市生态环境局. 深圳市生态环境保护“十四五”规划[R]. 深圳, 2021.