

中国港口零排放货运研究： 聚焦典型沿海港口

2025年9月



北京市朝阳区能源与交通创新中心

并购家 免费行业报告网

IPOIPO.CN 每日更新 不用注册会员 无广告 永久免费



报告作者

秦兰芝 资深研究员，能源与交通创新中心。邮箱：lzqin@icet.org.cn

张梦媛 清洁交通分析师，能源与交通创新中心。邮箱：alicia.zhang@icet.org.cn

免责声明

本报告所有研究结果仅供研究参考，不代表资助方及支持方观点。

报告编写过程中虽然已尽力确保资料和信息准确，本机构不会对任何错误、遗漏或依赖资料而引致的结果承担责任或法律责任。

北京市朝阳区能源与交通创新中心©2025 版权所有

目录

执行摘要	I
第一章 背景	1
第二章 国际港口零排放货运项目介绍	3
2.1 美国	3
2.2 欧盟	6
2.3 英国	11
2.4 印度	12
2.5 小结	12
第三章 中国主要港口货运零排放转型研究	13
3.1 中国主要港口情况梳理	13
3.2 主要沿海港口港内移动设备清洁化转型	15
3.3 主要沿海港口集疏运车辆零排放转型	18
3.3.1 集疏运车辆整体情况	18
3.3.2 典型港口集疏运车辆情况	18
3.3.3 集疏运车辆排放情况	27
第四章 港口零排放货运案例分析	28
4.1 技术可行性	28
4.2 市场成熟度	29
4.3 零排放转型情景及减排潜力分析	29
第五章 港口零排放货运发展建议	33
第六章 未来研究建议	36

执行摘要

作为全球综合运输网络的节点，港口在区域和全球经济中扮演重要角色，是全球供应链和国际贸易体系中不可或缺的一环。在应对气候变化的行动中，港口高度开放和国际化的特质使其成为零排放转型的优先选项。港口货运是连接港口与其广袤腹地的桥梁，在国民经济发展中占据重要地位。推动港口货运零排放发展是建设绿色港口和零碳港口涵义的延伸，对促进大港口经济体系的可持续发展具有重要价值和意义。中国是全球港口版图的重要组成部分，在全球前十大集装箱港口中，中国占据七席。港口的绿色低碳转型不仅是建设美丽中国的必要行动，更彰显了中国作为港口大国的实力与决心，是中国港口未来的发展方向。

本研究以港口货运（含港内移动设备和集疏港运输）为主要研究对象，首先梳理了国际主要港口零排放货运项目，以了解国际发展水平。其次，研究分析了上海港、宁波舟山港、青岛港和广州港在内的部分沿海港口货运的零排放转型现状，建立上述港口集疏运车辆的排放基线，为港口货运的零排放转型规划提供量化参考。最后，研究以上海港为案例，基于零排放车辆技术可行性、市场成熟度等维度，构建了上海港零排放货运转型情景，分析了减排潜力，并基于案例研究为中国港口零排放货运转型提出发展建议。

研究主要结论如下：

- 美国、欧洲的多个国际大港已提出或正在实施港口零排放货运相关规划，覆盖港内移动设备和集疏运运输设备，并通过费率优惠、基金支持、布局和建设补能基础设施等措施助力零排放货运计划落地。

美国洛杉矶港和长滩港共同发起的圣佩德罗湾港口《清洁空气行动计划》是国际上最早的港口零排放货运计划，其中的“清洁卡车计划”是降低集疏港运输车辆排放的核心手段，通过清洁卡车基金（CTF）费率、建设公共卡车充电设施等措施加速清洁卡车的部署及应用。欧盟通过“Horizon Europe”等基金项目为港口电动化、氢能基础设施提供支持和融资，鹿特丹港、安特卫普-布鲁日港、汉堡港等欧洲主要港口也已部署了可观数量的纯电动和氢动力卡车。英国伦敦港、印度贾瓦哈拉尔·尼赫鲁港也为港口零排放货运转型提出了具体时间表。

- 中国沿海港口对货物运输的贡献远高于内河港口，围绕沿海枢纽港口已形成典型港口集群，有利于形成港口零排放货运转型示范效应。

沿海港口是中国港口体系的主导力量。2024 年，中国沿海港口对货物吞吐量、集装箱吞吐量的贡献分别高达 64%和 88%。按照区域分布，沿海港口已经形成环渤海、长三角、东南沿海、粤港澳、环北部湾五大港口群，通过资源整合、设施共享和运营协作，有力提升了沿海港口的整体竞争力。

沿海港口的头部集中效应明显。货物吞吐量前三的港口分别为宁波舟山港、唐山港和上海港，前 10 名的港口货物吞吐总量为 690,651 万吨（2024），占沿海港口货物吞吐总量的 61%。集装箱吞吐量前三的港口分别为上海港、宁波舟山港和深圳港，前 10 名的港口集装箱吞吐总量达到 23,911 万 TEU（2024），占沿海港口集装箱吞吐总量的 78%。

沿海港口的绿色智慧转型也驶入快车道。11 个国际枢纽海港港内集卡清洁能源使用率占比超过 60%，沿海主要港口煤炭、矿石等大宗散货绿色疏运比例超过 85%，上海港、大连港、宁波舟山港都积极提升绿色甲醇、生物燃油等船用绿色燃料的加注能力。

□ 中国主要沿海港口都制定了港内移动设备清洁化转型发展目标，并取得了显著的成效。

能源类型方面，尽管 LNG 仍然是多数港口清洁能源转型的一个重要选择，使用电力、氢能等新能源的设备总量也已经占据可观的份额。

区域层面，中国内地港口的移动设备清洁化进程快于香港地区。天津、上海两港口集装箱港区新能源集卡占比已经达到或接近 100%，而香港第二大码头运营商——现代货箱码头——目前仅有的少量电动集卡仍在测试运营阶段。

目标方面，很多港口或港口所在地通过“十四五”规划等文件为港口移动设备的绿色发展提出了面向 2025 年的预期目标。上海港和青岛港均提出了到 2025 年新增、更新的港口作业机械 100% 采用新能源或清洁能源；深圳港、广州港、厦门港、天津港等港口则提出了清洁能源移动设备的总量占比目标。

□ 中国典型沿海港口集疏运车辆总体特征明显：牵引车是集疏运运输的主要车辆类型，并主要由柴油驱动，传统能源车型中国五排放标准车辆的占比最高，且每车次平均运距不超过 100 km。

研究以上海港、宁波舟山港、青岛港和广州港为对象，将集疏运车次数、运营里程数等参数作为反映港口货运情况的核心指标，分析结果显示，上述港口集疏运车辆的总体特征趋势较为一致，具体表现为：

- ✓ 牵引车是最主要的集疏运车辆类型，运营车次数占比几乎都在 90% 以上，厢式车和自卸式货车约占车次数的 1%~3%，仓栅式、特殊结构货车对车次数也有一定贡献。上海港和广州港中，车辆运输车的运营车次数占比均为 1%，与这两个港口的整车进出口功能定位吻合。
- ✓ 四个港口的集疏港运输仍以柴油为主要动力来源，上海港和广州港的柴油车辆运输车次比例最高，均为 98% 左右，仅有约 1% 的 LNG 运输车次，电动、氢气等新能源运输车次仅占极小一部分。宁波舟山港的清洁能源集疏运比例略高，LNG、电动车辆运输车次比例分别达到 4% 和 2%，不过清洁能源车辆的里程数比例较低，电动车辆的情况尤其明显。

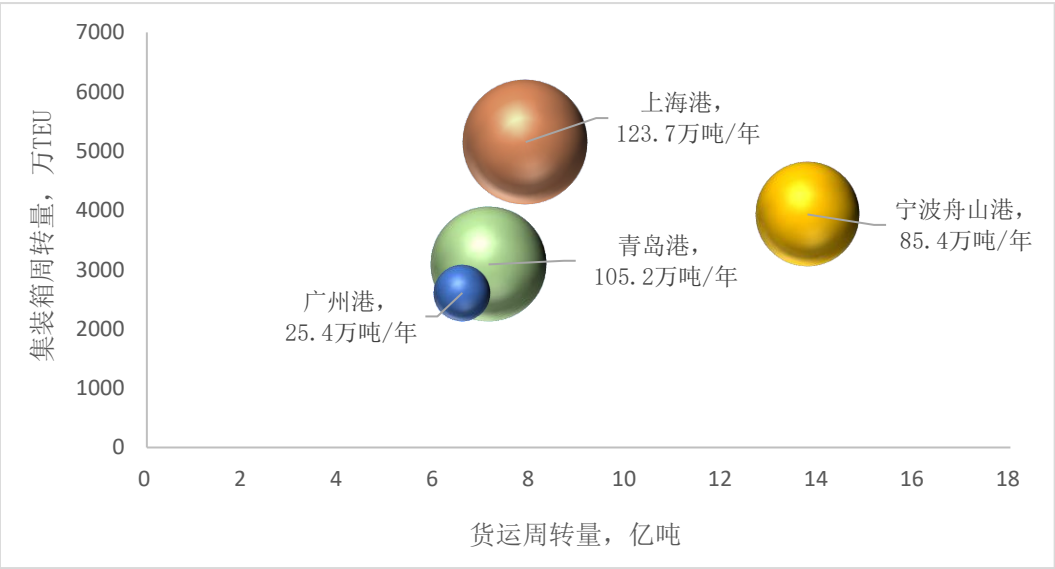
青岛港的清洁能源集疏运比例最高，LNG 车辆贡献了 13%的运输车次和 33%的运输里程，电动车辆则贡献了 5%的运输车次和 1%的运输里程。

- ✓ 在传统能源港口集疏运车辆中，国五排放标准的车辆是目前的主力类型。国三车辆的淘汰已经基本完成，国四和国六排放标准的车辆对集疏运车次数贡献比例基本相当。
- ✓ 上海港、宁波舟山港、青岛港和广州港所有车类每车次里程的平均值（进出港合并计算）依序为 92 km、78 km、100 km 和 66 km。除车辆运输车外，其他车类进港、出港的每车次平均里程没有显著差异。从燃料类型来看，LNG、天然气和混合动力车辆的每车次平均里程较长，而电动车辆的每车次平均里程最低，反映出电动车辆的使用半径较小。

研究建立了四个典型港口集疏运车辆的排放水平基线，现阶段，使用电动、氢能等新能源车辆对降低碳排放的贡献均不足 1%。

研究根据运输车次、对应车类及其能耗估算了四个典型港口的集疏运车辆碳排放情况。以 2024 年为例，上海港和青岛港的排放量均超过 100 万吨/年，宁波舟山港则为 85 万吨/年左右，广州港最低，仅约为 25 万吨/年。现阶段，电动、氢能等新能源车辆对碳排放的贡献较小，电动和氢能车辆的使用仅分别使四个港口集疏运车辆碳排放降低 0.1%、0.3%、0.7%和 0.2%（与将新能源车辆替换成柴油车辆的情况相比，依上海港、宁波舟山港、青岛港和广州港序）。

摘要-图 1 典型沿海港口集疏运车辆碳排放情况（2024 年）



注：图中气泡对应的横坐标为港口 2024 年的货运周转量（亿吨），纵坐标为港口 2024 年的集装箱周转量（万 TEU），气泡大小表示港口在 2024 年的碳排放水平。

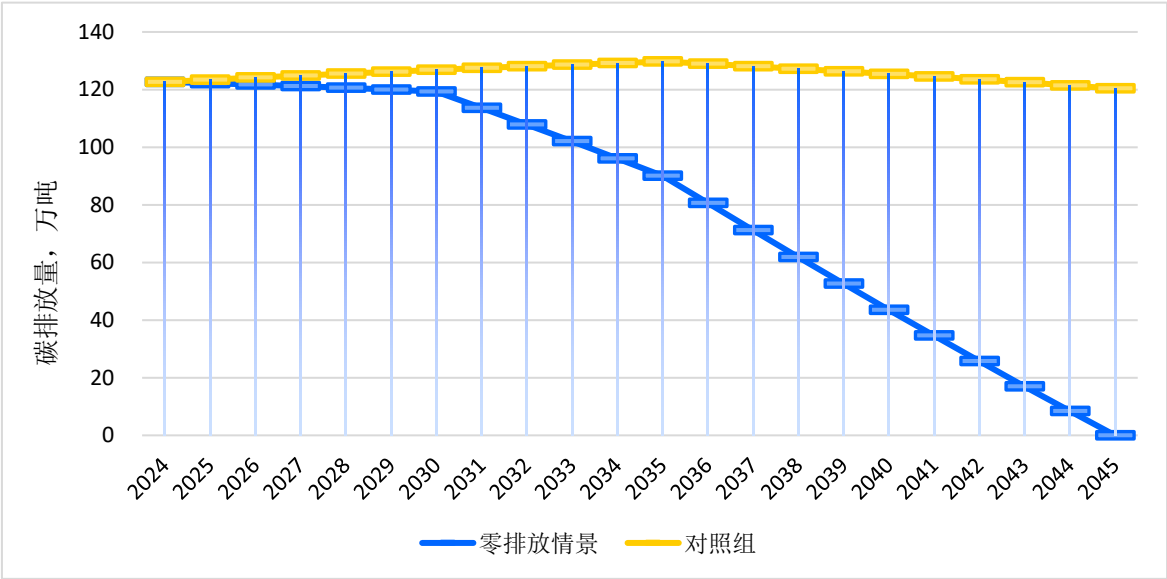
研究构建了上海港集疏运零排放转型情景并分析其减排潜力，以 2045 年为目标达成时间节点计算，可累计减排超千万吨。

上海港在集疏运车辆零排放转型方面具备一定优势。多个中国企业布局 4×2 纯电动牵引车，

续航里程落在 300~400 km 区间，基本能够满足港口集疏运车辆的运营需求。上海本地的新能源牵引车销量在全国遥遥领先，不断增长的新能源牵引车保有量为上海港口货运的零排放转型提供了基础和保障。

研究以燃料类型占比为核心参数构建了上海港集疏运车辆零排放转型情景，其中，LNG 是重要的过渡燃料，电能和氢能则是最终燃料选项。与燃料类型不发生变化的对照组相比，零排放情景下，2025-2045 年间，上海港公路集疏运车辆累计减少 1012 万吨碳排放，相当于 2024 年度集疏运车辆碳排放量的 8.25 倍之多。

摘要-图 2 研究所设的上海港公路集疏运车辆零排放转型情景下整体碳排放趋势



注：对照组是指燃料类型占比以 2024 年为基准，不发生变化（按里程计）。

港口货运零排放转型需要“两手抓”：既要不断推进港内移动设备清洁化目标，还需通过多种手段鼓励集疏运车辆零排放转型。

港内移动设备的零排放转型被纳入绿色港口和零碳港口发展计划之中，多数国内港口也已经提出相应的发展目标。在现有的规划中，以 LNG 为代表的清洁燃料仍然是港内移动设备清洁化发展的重要燃料选择，但其减排潜力有限。研究建议，对于港内设备中 LNG 已经或未来规划占有较高比例的港口，应设置一个 LNG 到零排放燃料的过渡期，逐步降低 LNG 设备使用比例。

对于集疏运车辆，建议抓住国四柴油货车淘汰的窗口期，通过财政补贴等方式鼓励车队/车主主动提前报废国四柴油车，并根据具体作业工况选择更换电动、氢能等零排放车辆，同时配套补能基础设施来建设更好的零排放车辆使用环境。加强补贴、财税优惠、路权等政策工具，以及绿色和市场机制在集疏运车辆零排放转型中的作用和影响。此外，还应加强合作与协同，积极推动港口、车企、能源公司、金融机构组建“港口集疏运车辆零排放联盟”，在上海洋山、宁波舟山、广州南沙等沿海枢纽港口率先落地港口零排放货运示范项目。

第一章 背景

航运是全球贸易的支柱，承载了全球 80%以上的商品运输。据统计，海运货物流量在 1970-2020 年的 50 年间增长了 5 倍。2023 年，全球商业航运船队同比增长 3.4%。海运也是中国与世界贸易联通中的重要桥梁，作为全球海运连接度最高、货物贸易额最大的经济体，中国进出口贸易的 95%都是通过海运完成的¹。在全球集装箱吞吐量百强港口中，中国占据 20 席，其中，前十大港口中，有七个港口位于中国²。

航运也是重要的温室气体排放源。过去十年间，航运排放增长了 20%，每年约排放 3%的全球温室气体。有资料显示，如果不采取措施，到 2050 年航运排放将在 2008 年基础上增加 130%³。国际海事组织（IMO）积极采取行动，确保国际航运在应对气候变化方面承担应有的责任。2023 年 7 月，海上环境保护委员会第 80 届会议（MEPC 80）通过了《2023 年船舶温室气体减排战略》，将国际航运业的脱碳目标修订为“2050 年前后实现净零排放”⁴。

港口是由一定范围的水域和陆域组成的区域，陆域包括码头、堆场、集疏运道路等，水域包括航道、锚泊地、港池等。作为海运发展的综合交通运输枢纽，港口在海洋经济发展中发挥着重要的战略支撑作用。港口的绿色低碳转型既是对航运脱碳工作的重要支撑，也具有自身的重要价值和意义。

港口岸电

港口岸电是近年来港航领域最具前景的节能减排技术之一。

港口岸电电源是利用岸电电源系统，关闭辅机，为靠港船舶提供相对廉价、高质量稳压稳频的电源，以减少船舶燃油消耗，降低靠港船舶在港期运营成本和碳排放。

除了服务于靠港船舶外，港口岸电系统也是实现“零碳港口”的重要措施之一。港口能源消耗中柴油消耗的占比仍然最高，通过新能源的推广应用，有望将该值降至零（浙江省经济信息中心，2024）。在黄石新港，港口的船舶、重型卡车、龙门吊等设备通过岸电充电、更换电池，实现了零燃油消耗（长江设计集团有限公司，2024）。

港口的碳排放主要来自于装卸生产、辅助生产和附属生产所消耗的燃油和电力。从排放范畴来看，港口内部交通活动所产生的碳排放属于范围一、范围二排放，也是建设“零碳港口”需要重点考虑的因素。港口对外交通主要是指集疏运体系所涉及的交通行为，包括公路、铁路和水路，

¹ 中华人民共和国发展和改革委员会, https://www.ndrc.gov.cn/wsdwhfz/202408/t20240819_1392465.html

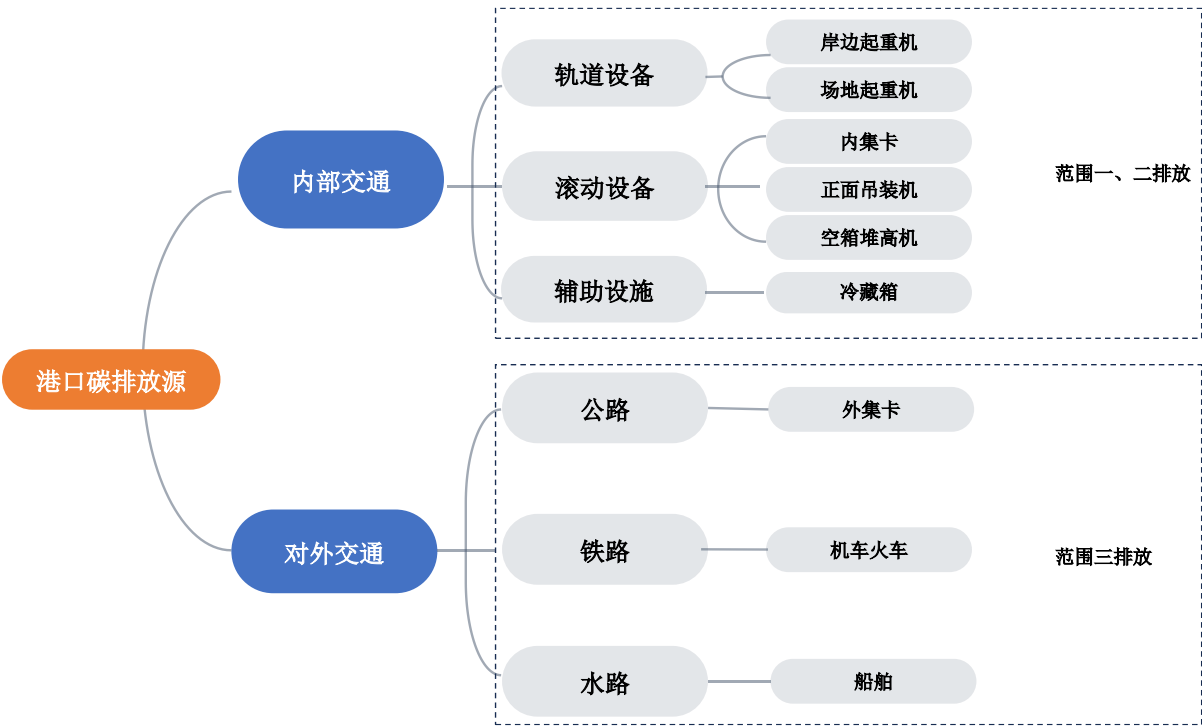
² American Journal of Transportation, <https://www.ajot.com/premium/ajot-commentary-ajots-top-100-container-ports>

³ UNCTAD, <https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2023>

⁴ International Maritime Organization, <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/pages/Revised-GHG-reduction-strategy-for-global-shipping-adopted-.aspx>

这部分碳排放属于范围三排放，一般而言，这部分排放不属于港口排放的统计范畴。

图 1 港口主要碳排放源示意



来源：作者绘制，参考李海波《港口碳达峰碳中和实现路径》，中国港口，2022.

港口内部交通形式中，轨道设备作业路线较为固定，主要是用电力作为动力来源，冷藏箱目前主要通过电源插座箱为其提供稳定的电力支持。相较而言，港口内的滚动设备（也称“移动设备”）目前仍以柴油为主要动力源⁵，是未来节能改造的重点领域。

对外交通排放尽管并不属于港口排放清单，但其产生的碳排放和空气污染物极易对港口周边居民健康和城市环境产生影响。尤其是在公路上行驶的外部集装箱卡车，目前这类车辆仍主要为柴油车辆，在港口周边路线行驶时造成的污染不容忽视。

因此，本研究将以港口内部移动设备和外部集疏运卡车为主要研究对象，探索港口零排放货运的实现路径和方案。

⁵ 王宇，李海波. “双碳”背景下港口机械电能替代技术分析，港口科技，2023 (1): 1-4, 48.

第二章 国际港口零排放货运项目介绍

2.1 美国

美国港口的减排相关行动中，较为典型的是洛杉矶港（POLA）和长滩港（POLB）共同合作发起的圣佩德罗湾港口《清洁空气行动计划》，这一项目可追溯至 2006 年，是旨在减少与港口相关的健康风险和空气污染的空气质量计划，其中包括减少船舶污染和“清洁卡车计划”。“清洁卡车计划”的目标是从 2008 年开始通过逐步淘汰 16000 辆重污染车辆，在 5 年内把卡车污染物排放总量降低 80%以上。

受这一项目启发，西雅图、塔科马和温哥华的港口也发起和采用了西北港口清洁空气战略⁶，以不断减少与港口有关的柴油和温室气体排放，为实现这些目标，港口和行业投资和采用新的设备与燃料，其中也包括清洁卡车计划。

2017 年，长滩港和洛杉矶港通过了《清洁空气行动计划更新》，其中一个重要的战略是通过改进港口的清洁卡车计划来降低道路运输卡车的污染物排放。更新后，清洁卡车计划的第一阶段要求是，2018 年 10 月 1 日后，所有港口短驳卡车登记处（PDTR）注册的新卡车必须为 2014 年或者更新型号的卡车；第二阶段则是制定与实施清洁卡车基金费率（CTF），其目的是筹集资金来加速清洁卡车的部署，以支持到 2035 年实现零排放短驳卡车车队的目标。从 2022 年 4 月 1 日起，集装箱运输卡车需要支付 10 美元/TEU（标准箱）的 CTF 费率，低氮氧化物排放卡车享受限时减免（具体见表 1），零排放卡车则被永久豁免⁷。实益货主（BCOs）或其授权代理负责支付 CTF 费率，为防止任何货主或航运公司将 CTF 费率支付转嫁给汽车承运人，2023 年 12 月，两港向所有 CTF 费率支付方（包括集装箱航运公司）发送了一封信函，提醒他们不得将 CTF 费率转嫁给短途卡车运营商。

表 1 洛杉矶港和长滩港对低氮氧化物卡车 CTF 费率豁免的规定

洛杉矶港	长滩港
在 PDTR 注册并于 2022 年 12 月 31 日前投入使用的卡车，享受豁免至 2027 年 12 月 31 日	于 2021 年 11 月 8 日前购买的卡车，享受豁免至 2034 年 12 月 31 日
	在 PDTR 注册并于 2022 年 12 月 31 日前使用的卡车，享受豁免至 2031 年 12 月 31 日
	于 2022 年 7 月 31 日前购买，并在购买后 30 天内 在 PDTR 注册的卡车，享受豁免至 2031 年 12 月 31 日

来源：San Pedro Bay Ports Clean Truck Program: Overview of New Clean Truck Fund Rate & Fact Sheet and Frequently Asked Questions.

⁶ Port of Long Beach, <https://polb.com/port-info/green-port/>

⁷ San Pedro Bay Ports Clean Truck Program: Overview of New Clean Truck Fund Rate & Fact Sheet and Frequently Asked Questions.

美国西海岸的姊妹港——洛杉矶港和长滩港

洛杉矶港和长滩港均地处美国加利福尼亚州西南沿海圣佩德罗湾内，是美国排名前二的集装箱港口。两座港口在地理位置上仅相隔 10 公里，它们的码头和航道不仅相邻，而且相互连接，外港的防波堤也是共享的，是名副其实的姊妹港。

就其本身而言，洛杉矶港是全球第 17 大集装箱港口，2023 年处理了 863 万个标准箱（World Shipping Council, 2024）。洛杉矶港于 1907 年开港，自 2000 年以来一直被认为是美国最大的海港，进入美国的货物 20% 以上都要经过该港口，它也是全美最繁忙的集装箱港口。洛杉矶港主要有 7 个码头。

长滩港在全球集装箱港口中的排名略低于洛杉矶港，列第 22 位（2023 年），2023 年集装箱吞吐量为 802 万 TEU（World Shipping Council, 2024）。长滩港以“绿色港口”为特色，2005 年开始执行国际标准绿色港口政策，从船舶、运输卡车、作业机械、水资源等方面着手，全方位推动港口绿色转型。2015 年，即“绿色港口政策”施行的第一个十年后，长滩港柴油颗粒物排放降低了 85%，硫化物排放降低了 97%，氮氧化物和温室气体排放则分别减少了 50% 和 21%（Port of Long Beach website）。

图：绿色港口政策的五项指导原则



《清洁空气行动计划》对洛杉矶港和长滩港的绿色港口建设，尤其是清洁卡车的应用，起到了重要的推动作用。截至 2023 年，主要实施效果⁸包括：

- 空气污染物减排：**2023 年，POLA 柴油颗粒物（DPM）排放较基准年（2005 年）下降了 91%，NO_x 下降了 74%，SO_x 下降了 98%，远超过原定的 2023 年污染物减排标准。其中，重型车排放的 DPM，NO_x 和 SO_x 分别较基准年（2005 年）下降 99%、94% 和 93%⁹。POLB 的 DPM 排放较基准年（2005 年）下降了 92%，NO_x 和 SO_x 分别下降了 71% 和 98%¹⁰。
- CTF 费率：**2023 年 4 月 27 日，POLA 工作人员向港务委员会提供了 CTF 费率支出计划的

⁸ Clean Air Action Plan Implementation Progress Report 2023 Annual Report.

⁹ Port of Los Angeles, Inventory of Air Emissions 2023.

¹⁰ Port of Long Beach, <https://polb.com/port-info/news-and-press/port-of-long-beach-achieves-new-air-quality-improvements-09-23-2024/>

更新。2023 年 5 月 22 日，POLB 委员会批准了 CTF 费率第二年的支出计划。随着零排放卡车开始在港口购买和运营，两港目前预计在计划实施的前几年每年将共同收取 7000 万至 8000 万美元的费用。截至 2023 年底，港口短途卡车登记处共有 213 辆零排放卡车注册。其中，208 辆为电动卡车，5 辆为氢燃料电池卡车。

- c) **CTF 费率激励计划:** 作为 2022 年 3 月各港口委员会批准的 CTF 费率支出计划的一部分，两港承诺与 CALSTART 合作，实施一项专门针对港口的零排放卡车代金券激励计划（Voucher Incentive Program）。两港与加州空气资源委员会（CARB）和 CALSTART 合作，允许在现有的 CARB 混合动力和零排放卡车及巴士代金券激励项目（HVIP）代金券金额基础上，增加一项由港口提供的代金券补贴。两港于 2023 年 11 月共同发布了 6000 万美元的资金分配。此外，2023 年，两港在其 CTF 费率支出计划中优先考虑了零排放基础设施项目，这些项目主要为重型车辆（包括短途卡车）提供服务。
- d) **大规模零排放卡车部署:** 加州联合电动卡车规模化倡议（JETS1）项目将部署 100 辆纯电动卡车进行为期一年的示范运营，该项目还包括在示范地安装 54 个充电桩，以及储能和太阳能设施。根据南海岸空气质量管理区（South Coast AQMD）与两港于 2022 年签署的谅解备忘录，两港将分别为该项目提供 150 万美元的配套资金。
- e) **公共卡车充电设施:** 2023 年 7 月 6 日，POLB 发布了一份关于在清洁卡车中心建设公共卡车充电设施的提案请求（RFP）。该 RFP 涵盖了 RFI 中确定的两个 POLB 站点中的第一个，港口已为该站点制定了公共充电计划。2022 年 8 月，POLA 向加州空气资源委员会（CARB）提交了一份报告，评估了在港口或其附近部署纯电动卡车的潜力，包括对纯电动卡车部署所需的运营能力和充电基础设施的分析。报告确定了在港口或其附近运营的纯电动卡车的潜在机会充电地点，以帮助到 2035 年实现短途车队的零排放转型。
- f) **码头设备示范与部署:** 两港管理多个由资助支持的示范项目，包括电动场地牵引车、电动堆高机和电动橡胶轮胎龙门起重机，以及创新的充电基础设施方法，如采用分布式发电和电池存储的微电网控制系统。POLA 的 Everport 码头运营 2 台纯电动堆高机、22 台超低氮氧化物可再生天然气场地牵引车以及 3 台纯电动长期牵引车。在 POLA 的 C 码头，SSA 接收了 33 辆电动长期牵引车。POLB 在加州能源委员会的资助下，设计、建造并投入使用了比亚迪的纯电动场地牵引车、US Hybrid 的液化天然气插电式混合动力电动卡车（LNG PHETs）、SSA 和 Cavotec 的电网连接电动橡胶轮胎龙门起重机，以及由南加州爱迪生公司完成的电力基础设施升级。
- g) **船舶减速:** 2023 年，95% 的到访港口的船只在费尔明角 20 海里内减速至 12 节，90% 的船只在 40 海里内减速。
- h) **绿色航运走廊:** 2022 年第一季度，POLA 与中国上海港宣布合作，共同创建全球首个跨

太平洋绿色航运走廊，以实现美国和中国之间港口货运的脱碳，2022 年第二季度，POLB 和 Ocean Network Express 加入该绿色航运走廊合作伙伴关系。2023 年 4 月，POLA、POLB 与新加坡还是与港务管理局签署了谅解备忘录，以建立新加坡与圣佩德罗湾港口群之间的绿色与数字航运走廊，重点关注低碳和零碳燃料的补给，同时推动数字化工具来支持清洁技术的部署。此外，POLA 分别与日本的东京港、横滨港和名古屋港签署谅解备忘录，扩大在可持续发展等方面的合作，并建立绿色航运走廊。

图 2 《清洁空气行动计划》的主要措施和实施成就

措施类型	具体项目/规划	实施效果/结果
空气污染物减排	重型卡车、码头设备、船舶	- POLA DPM ↓91%, NOx ↓74%, SOx ↓98% vs 2005; 重卡 DPM ↓99%, NOx ↓94%, SOx ↓93%; - POLB DPM ↓92%, NOx ↓71%, SOx ↓98% vs 2005
清洁卡车基金费率 (CTF)	港口拖运卡车注册 (PDTR) 登记和收费	- 预计每年将收取7000-8000万美元 - 截至2023年底，港口短途卡车登记处共有213辆零排放卡车注册。其中，208辆为电动卡车，5辆为氢燃料电池卡车
CTF 费率激励计划	港口拖运卡车注册 (PDTR) 登记和收费	2023年，两港在其CTF费率支出计划中优先考虑了零排放基础设施项目，这些项目主要为重型车辆（包括短途卡车）提供服务
大规模零排放卡车部署	联合电动卡车扩展计划 (JETSII)	- 部署100辆纯电动卡车进行为期一年的示范运营 - 两港将分别为该项目提供150万美元的配套资金
公共卡车充电设施	POLB发布了一份关于在清洁卡车中心建设公共卡车充电设施的提案请求 (RFP)；POLA 向加州空气资源委员会 (CARB) 提交评估报告	确定了到2035年支持零排放集疏运车队的潜在充电地点
码头设备示范与部署	电动堆场牵引车，顶部搬运车，电动 RTG 起重机，微电网+电池存储系统	- POLA Everport: 2台纯电动堆高机、22台超低氮氧化物可再生天然气场地牵引车以及3台纯电动牵引车；POLA 码头C: 33辆电动公路卡车 - POLB部署了比亚迪电动堆场拖车、LNG PHET、电动RTG，升级了电力基础设施
船舶减速	减速航行计划	2023年，95%的到访港口的船只在费尔明角20海里内减速至12节，90%的船只在40海里内减速
绿色航运走廊	跨太平洋走廊（上海港- POLA），新加坡走廊，与日本港口签署谅解备忘录	促进低碳/零碳燃料的使用，为清洁技术部署数字工具，扩大可持续航运方面的国际合作

2.2 欧盟

2020 年通过的欧洲绿色协议（European Green Deal）是欧盟委员会的一系列政策举措，其总体目标是在 2050 年使欧盟（EU）实现气候中和。海运是欧盟国际贸易和供应链的支柱，占其对外贸易量的 75%，占其内部贸易量的 31%¹¹。为响应这一目标，欧盟制定了一系列旨在实现港口及货运零排放的政策和目标。

¹¹ European Union, <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1805/oj>

- 欧盟碳排放交易体系（EU ETS）自 2024 年起将航运业纳入，要求进出欧盟和欧洲经济区（EEA）港口的 5000 总吨以上的船舶报告其 CO₂ 排放数据，并购买相应的碳排放配额¹²。
- 在“Fit for 55”计划背景下，共同立法者同意了一项关于替代燃料基础设施部署的新法规（EU）2023/1804——替代燃料设施法案（AFIR），要求欧盟各国在主要港口区域建设充电站和氢燃料加注站，确保港口内车辆可以使用零碳燃料。同时要求港口提供岸电设施，降低船舶和相关车辆的化石燃料依赖¹³。
- “Horizon Europe”等基金项目为港口电动化、氢能基础设施提供支持和融资。例如，在该项目的第二期（2025-2027）战略规划中提出，对于水上运输，基金支持的研发行动将进一步推动航运部门到 2030 年实现净零排放和零污染的解决方案的开发和示范（包括货运），以帮助实现 2050 年气候中和的最终目标¹⁴。

部分欧盟成员国也出台了针对港口零排放货运方面的政策与计划。

荷兰鹿特丹港

鹿特丹港是欧洲第一大港口，也是全球最重要的物流中心之一，碳排放量约占荷兰全国的 16%¹⁵。鹿特丹港是西北欧能源供应的主要入口，还承载着庞大的工业综合体，影响着数百万人的生活，因此其脱碳努力不仅会对本地产生影响，还可能远超其地理边界，对整个欧洲乃至世界产生深远影响。自 2016 年开始，鹿特丹的利益相关方便着手制定脱碳战略的程序性基础，并于 2019 年最终促成了《鹿特丹气候协议》的出台，该文件现已成为鹿特丹市的总体脱碳规划，总体目标是到 2030 年将全市（包括港口）温室气体排放量较 2017 年下降 49%¹⁶。

鹿特丹港的目标是到 2050 年实现 CO₂ 中性。为实现这一目标，鹿特丹港正着力进行转型，具体包括以下四大类措施¹⁷：

- (1) 能效和基础设施（Pillar 1）：工业正逐步实现二氧化碳中性。与鹿特丹港内外的各方一起，工业界正在努力采取措施减少能源消耗（效率）并开发新的基础设施。
- (2) 新型能源体系（Pillar 2）：工业正在转向可持续电力和（绿色）氢。这需要大量可负担得起的能源，如风能和太阳能。氢能是鹿特丹港未来能源系统发展和转型的重点，鹿特丹

¹² European Commission, https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/reducing-emissions-shipping-sector_en

¹³ European Commission, https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/clean-transport/alternative-fuels-sustainable-mobility-europe/alternative-fuels-infrastructure_en

¹⁴ European Commission, Horizon Europe strategic plan (2025-2027).

¹⁵ Atlantic Council, <https://www.atlanticcouncil.org/in-depth-research-reports/issue-brief/rotterdam-netherlands-an-integrated-approach-to-decarbonization/>

¹⁶ Rotterdam Climate Agreement,

https://cdn.locomotive.works/sites/5ab410c8a2f42204838f797e/content_entry5ab410faa2f42204838f7990/5be174d6337f770010c1b69f/files/1.2.2_Rotterdam_Climate_Agreement_ENG.pdf

¹⁷ Port of Rotterdam, <https://www.portofrotterdam.com/en/port-future/energy-transition#Energietransitieprojecten>

港务局及其合作伙伴正在研究氢系统。目前，荷兰一半的氢项目都在鹿特丹进行。2020年7月，鹿特丹港加入氢能理事会，正与各合作伙伴合作，实现绿色氢气的生产，并在港口综合体中引入大型氢气网络，使鹿特丹港成为制氢、进口、应用和向其他欧洲西北部国家运输氢气的国际枢纽，推动鹿特丹港能源转型，实现低碳绿色发展。

- (3) 新型原料与燃料体系（Pillar 3）：向新材料和新燃料的过渡对于实现清洁港口和工业至关重要。很快，石油、天然气和煤炭将不再被用作能源或原材料。欧洲最大的生物燃料集群就位于鹿特丹，包括壳牌、耐斯特等头部生物燃料企业都在该地区建设工厂。
- (4) 使物流链更加可持续（Pillar 4）：使物流链更具可持续性是一个多轨道的过程，鹿特丹港更专注于可持续燃料和电气化、效率和模式转变。

在道路货运方面，早在2020年，法国液化空气集团和鹿特丹港务局就宣布启动一项联合倡议，旨在到2025年在连接荷兰、比利时和西德的道路上启用1000辆氢动力零排放卡车，其中约有500辆将在鹿特丹港周边使用¹⁸。

比利时安特卫普港（安特卫普-布鲁日港）

安特卫普港是欧洲第二大港，也是比利时最大的港口，是比利时、荷兰、卢森堡、德国和法国的主要进出口门户。安特卫普港与中国上海港，大连港，深圳港，青岛港和广州港结为友好港，与天津和宁波等城市和港口也建立了密切的合作关系¹⁹。2022年，安特卫普港与泽布吕赫港正式合并成为安特卫普-布鲁日港（下称“统一港口”），统一港口的雄心是成为第一个协调经济、人文和气候的全球港口，巩固其作为绿色能源枢纽的地位，并继续扩展其在CO₂捕捉、储存和再利用方面的开创性项目。

统一港口在推动港口货运零排放方面也有所行动。2021年，液化空气集团、DATS 24和安特卫普港联合组成HyTrucks联盟，该合作伙伴关系旨在主要在安特卫普港周围地区和比利时的主要物流中心部署氢动力卡车，氢燃料卡车将用于密集的本地和国际运输²⁰。此外，为促进电动卡车应用，统一港口建设了欧洲最大的充电中心，为安特卫普和布鲁日港口地区之间的绿色走廊倡议做出了贡献，使电动重型车辆能够使用。该走廊是安特卫普-布鲁日港将自己定位为全球可持续港口运营领导者的更广泛努力的一部分²¹。

¹⁸ Port of Rotterdam, <https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/air-liquide-and-port-rotterdam-authority-hydrogen-road-transport>

¹⁹ 中国国际贸易促进委员会, <https://www.ccpit.org/belgium/a/20210705/20210705b8ux.html>

²⁰ Port of Antwerp-Bruges, <https://newsroom.portofantwerpbruges.com/hytrucks-consortium-aims-to-have-300-hydrogen-powered-trucks-on-the-road-in-belgium-by-2025>

²¹ Port of Antwerp-Bruges, <https://newsroom.portofantwerpbruges.com/one-of-europes-largest-public-charging-hubs-for-electric-heavy-duty-vehicles-opens-in-antwerp-port-area>

德国汉堡港

汉堡港位于北海和波罗的海之间，是德国最大、欧洲第三大港口，也是连接德国和全球的主要外贸枢纽²²。汉堡港在推动内河航运、港内交通以及油船、滚装船或多用途穿等船舶领域的电动化方面做出重要努力，致力于实现 2040 年运营零碳排放的目标²³。

发达的铁路网络是汉堡港推动物流降碳的重要手段。在汉堡港与内陆腹地之间的物流运输中，铁路运输份额达到 51%（2022 年），2030 年将提升至 55%²⁴，是世界上为数不多的高铁路运输比例港口²⁵。每周约有近 2000 列集装箱列车往返于汉堡与欧洲腹地之间，这也使得汉堡港成为欧洲第一大铁路港²²。为提高港口内铁路运输的环境绩效，汉堡港务局（HPA）还实施了一项激励计划，即对环境友好型的机车提供港口铁路基础设施使用费（INES）提供折扣：配备有黑碳颗粒过滤器的机车可享受该费用 50% 的折扣²⁵；全电力机车可享受该费用 70% 的折扣。截至 2020 年，已注册的可享受 INES 费用折扣的机车数量达到 90 列²⁶。

图 3 每周往返于汉堡港与世界各地的集装箱列车车次（2022 年）



资料来源：HPA Sustainability Report 2021/2022（德语版）。

²² SGL, <https://www.sglusa.com/zh/port-of-hamburg-the-largest-seaport-in-germany-port-report/>

²³ Hamburg, 2040 Port Development Plan Summary. https://www.hamburg-port-authority.de/fileadmin/user_upload/hep/2040PDP_Summary_Part_3.pdf

²⁴ HPA Sustainability report 2021/2022.

²⁵ ITF, Zero carbon supply chains: the case of Hamburg.

²⁶ HPA Sustainability report 2019/2020.

进出汉堡港的货物有一半左右是通过陆路进行运输的，按平均工作日计算，每天大约有 1.7 万辆卡车进出港口区域²⁴。道路货运领域碳排放的减少主要来自于短途运输中的减排措施，如“最后一公里”减排（见专栏案例²⁵）。目前，推动集疏运货车低碳转型的主要动力来自于货主企业，但运输车队本身对此并没有较强的转型意向，他们这样做的原因之一也包括政府的资助计划。德国联邦政府对燃气动力卡车（包括 LNG 和 CNG）提供补贴，同时 CNG 和 LNG 卡车还享有德国卡车收费系统的豁免。

除了燃气动力卡车外，汉堡港也在努力推动零排放卡车的应用。2021 年，CNH 工业商用车品牌依维柯和尼古拉公司（Nikola）与 HPA 签署了一份谅解备忘录，将在 2022 年期间向汉堡港提供多达 25 辆尼古拉 Tre 纯电动电动汽车。该措施将分为两个阶段进行——第一阶段涉及在港口对 Nikola Tre 电动车进行运输和物流运营测试，同时配合使用高性能充电解决方案。项目合作伙伴计划在更明确的第二阶段实现电动车在港口运营中的全面整合，包括充电基础设施的安装以及包括主要供应商在内的现场服务支持。为这两个阶段提供的车辆将是经特别许可用于港口运营的 Nikola Tre 美国版本²⁷。

此外，使用氢能及其动力设备也是汉堡港推动港口处理和运输过程脱碳的重要措施之一。汉堡码头与物流公司（HHLA）联合设备制造商、港口和物流公司与学术合作伙伴、可再生氢生产商、软件公司以及储罐位置的运营商和制造商，共同成立了清洁港口与物流（CPL）集群，旨在测试氢动力港口物流设备，以支持和加速氢动力设备实现市场成熟并快速融入常规港口业务。CPL 集群得到了联邦交通和数字基础设施部（BMVI）的支持，作为氢和燃料电池技术国家创新计划的一部分，HHLA 负责管理该集群²⁸。

²⁷ <https://fleet.ie/hamburg-port-orders-25-iveco-nikola-tre-bev-trucks/>

²⁸ HHLA, <https://hhl.de/en/sustainability/hydrogen-at-hhla/clean-port-logistics>

汉堡港道路货运减排案例：BMW

2018 年，Zippel 集团应其客户 BMW 的要求，开始在莱比锡的 BMW 生产工厂与通过铁路联通汉堡港的多式联运终端 Schkopau 之间提供生物燃料动力卡车运输。所用卡车使用压缩天然气（CNG）运行，其燃料为由稻草制成的 100% 生物甲醇。斯堪尼亚负责生产这些 CNG 卡车，而生物燃料则由 Verbio 提供。加油站设立在莱比锡的 BMW 工厂和 Schkopau 综合终端之间。

目前，Zippel 集团拥有 12 辆 CNG 卡车，这些车辆也在柏林附近通过铁路与汉堡港联通的 BEHALA 内陆港中使用。该集团计划在 2021 年再订购 10 辆 CNG 卡车，约占其车队规模的 15%。据 Zippel 称，使用其类型的生物燃料驱动 CNG 卡车比柴油卡车的二氧化碳排放减少 90%，并估计在 2018 至 2020 年期间，通过其 CNG 卡车减少了 18,000 吨二氧化碳的排放。

该项目得到了联邦补贴计划的支持，并享有德国卡车收费系统（LKW-Maut）的豁免，这等同于一项可观的运营补贴。该投资补贴计划为每辆 CNG 卡车提供 8,000 欧元的补贴，而每辆 LNG 卡车则补贴 16,000 欧元。除获得补贴外，CNG 和 LNG 卡车还获豁免德国卡车收费系统，其初衷在于内化卡车运输的外部成本。该收费豁免自 2019 年实施，并最近延长至 2023 年。

这些措施是推动燃气动力卡车运输更广泛政策的一部分。自 2018 年以来，德国已建立了一张 LNG 卡车加油站网络。其中第一座加油站位于汉堡以南的 Georgswerder Bogen，靠近汉堡 Süd 高速公路互通立交，并且不远离汉堡 Süd 高速公路三角区，这一地区是汉堡港附近货运的重要通道。

2.3 英国

英国交通部于 2025 年 3 月发布了《海运脱碳战略》，该战略的设定目标是“到 2030 年英国国内航运业温室气体排放量较 2008 年减少 30%，2040 年减少 80%，2050 年降至零”。为达成这一目标，《海运脱碳战略》中提出了五条关键政策措施：规范燃料使用、碳排放定价、考虑强制要求船舶靠港期间实现近零或净零排放、采取适度措施支持小型船舶脱碳、提高海上作业效率²⁹。

港口方面，伦敦港从 2014 年便开始积极采取减排措施，并于 2023 年取得了 83% 的减排成效（范围 1,2 排放）。在此基础上，伦敦港制定了更加积极的目标：到 2027 年，港区内操作排放（范围 1,2 排放）通过碳去除措施进行抵消并达到平衡；到 2040 年，实现全价值链净零排放（范围 1,2,3 排放）。其中，在陆地运输方面，伦敦港提出到 2030 年港区内 80% 的运输车辆将替

²⁹ Maritime Decarbonisation Strategy, <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/67f4dcb3c2fea2548f4eff64/dft-maritime-decarb-strategy-25.pdf>

换成电动汽车，该措施可产生 2%的减排贡献³⁰。

2.4 印度

印度领先的集装箱港口——贾瓦哈拉尔·尼赫鲁港务局（JNPA）于 2024 年宣布启动一项重大可持续发展举措：“零排放货运”（Zero Emission Trucking, ZET）项目，通过将港口内使用的柴油车辆逐步替换成电动卡车，来减少碳排放并改善港区及周边地区的空气质量³¹。

JNPA 为这项计划设定了时间表：在 6 个月内，将 15 辆用于场站铁路作业的卡车替换成电动车辆；2-3 年内，将 400 多辆用于船舶与堆场作业的卡车替换成电动车辆；3-5 年内，将超过 6500 辆在各个码头、货运站与集中停车区之间的集疏运卡车全面电动化。在计划提出之时，JNPA 已经将内部码头车辆（ITVs）从柴油替换成了电动型号（E-ITVs）。与此同时，JNPA 还将配套建设港区内的充电基础设施，以支持电动卡车的运营。

2.5 小结

美国、欧洲的多个国际大港已经提出或正在实施港口货运零排放转型计划，其中更早行动的洛杉矶港和长滩港最初以降低港口周边车辆污染物排放为核心诉求，后期发布计划的港口则主要以碳减排为主要改善目标。

移动设备的运营范围对其零排放转型有重要影响。港内集卡、叉车等港内移动设备的零排放转型由港务局管理和负责，也是建设绿色港口和零碳港口的一部分，优先级较高。相比之下，往返于港口和仓库、门店等地的公路集疏运车辆不受港口管理，其零排放转型或由货主企业推动，或受港口相关政策影响，如洛杉矶港和长滩港实施的清洁卡车基金（CTF）费率政策。

尽管电动卡车的发展更快，在美国、印度的港口零排放货运计划中被重点纳入，欧洲的主要港口似乎更看重氢能卡车的长期发展和应用。但无论是何种技术的零排放车辆，港口都提出建设配套基础设施来加速其应用。

³⁰ Poet of London Authority, The Net Zero Plan. <https://pla.co.uk/sites/default/files/2025-04/Net-Zero-Plan.pdf>

³¹ <https://www.logisticsoutlook.com/logistics/jnpa-announces-zero-emission-trucking-initiative-to-decarbonise-port-operations>

第三章 中国主要港口货运零排放转型研究

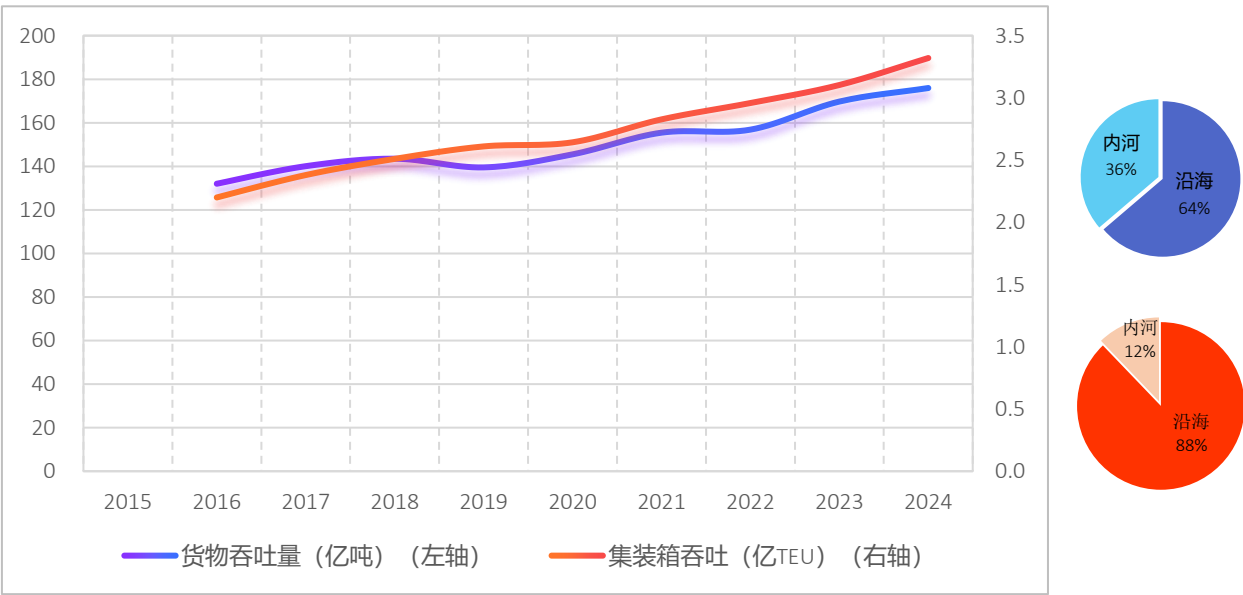
3.1 中国主要港口情况梳理

(1) 概况

水路运输运载能力大、运输成本低、单位能耗少，是综合交通运输体系中不可或缺的一环。近年来，中国水路运输快速发展。2023 年水路货运量首次超过 90 亿吨大关，规模达到 2012 年的两倍。水路货运量、货物周转量在综合交通运输体系中的份额分别达到 17%和 54%，其中海运承担了我国约 95%的对外贸易运输量³²。

作为承载水路运输的重要基础设施，中国港口的建设和发展也不断完善。2024 年，中国大陆港口货物吞吐量达到 176 亿吨，集装箱吞吐量达 3.3 亿 TEU（国际标箱）³³，稳居世界第一。其中，沿海港口的贡献高于内河港口，2024 年，沿海港口的货物吞吐量和集装箱吞吐量占比分别达到 64%和 88%。

图 4 中国港口货物吞吐量、集装箱吞吐量趋势



来源：作者绘制，数据来自交通运输部；右侧饼图采用 2024 年相关统计数据制图。

相较于内河港口，沿海港口水深条件优越，货物运输品类更加多元，国际合作与开放程度更高，管理理念也相对先进。从现状及规划来看，沿海港口在零碳转型方面的经验相对于内河港口也更加丰富，如与其他国际港口之间建立零排放走廊，投入资金推广和使用清洁燃料、新能源运输工具等。在本报告中，也将重点分析沿海港口的零排放货运转型相关情况，以便为中国其他港

³² https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202408/content_6970715.htm

³³ 中国交通运输部，https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/zhghs/202503/t20250326_4165984.html

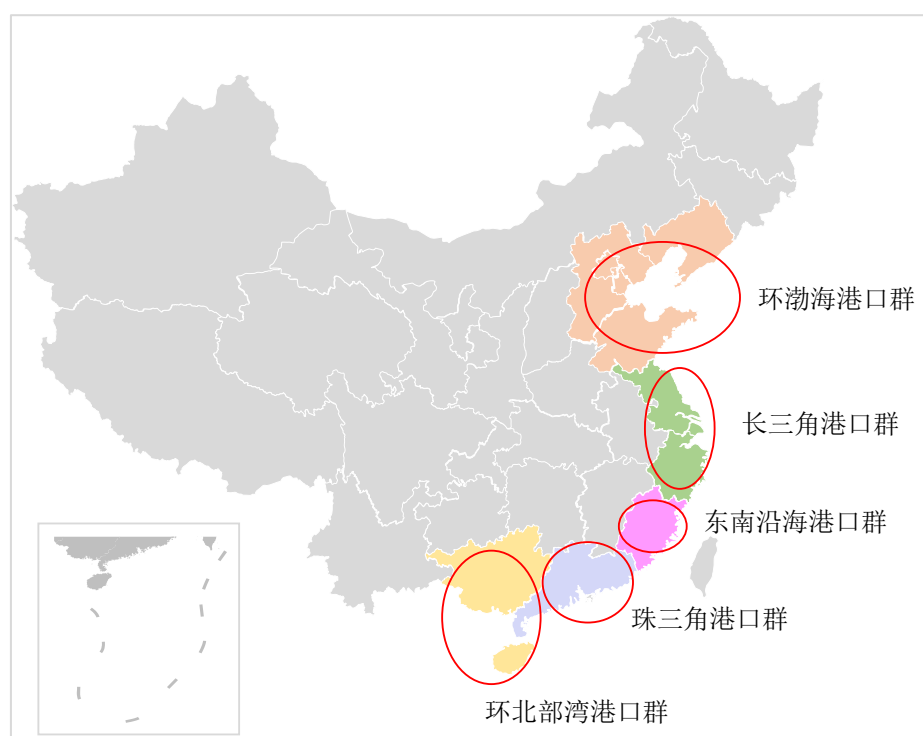
口提供相对更加先进的转型经验。

（2）沿海港口

目前，中国沿海港口已经形成环渤海、长三角、东南沿海、粤港澳、环北部湾五大港口群，在覆盖的 59 个沿海港口中，共有 11 个国际枢纽港。

- 环渤海港口群：有辽宁、津冀和山东沿海港口群组成，主要港口包括大连港、天津港、青岛港、烟台港等。
- 长三角港口群：依托上海国际航运中心，以上海港、宁波舟山港、连云港港为主。
- 东南沿海港口群：以厦门、福州港为主。
- 珠三角港口群：由粤东和珠三角地区的广州、深圳、香港、珠海、汕头等港口为主组成。
- 环北部湾港口群：即西南沿海港口群，由粤西、广西沿海和海南省的港口组成，以湛江、防城、海口港为主。

图 5 中国沿海港口集群及分布



在全球港口货物吞吐量、集装箱吞吐量前十名的港口中，中国分别占了 8 席和 7 席，上海港、宁波舟山港、深圳港连续多年集装箱吞吐量位居前列³⁴。就国内而言，货物吞吐量前三的港口分别为宁波舟山港、唐山港和上海港，前 10 名的港口货物吞吐总量为 690,651 万吨，占沿海港口货物吞吐总量的 61%。集装箱吞吐量前三的港口分别为上海港、宁波舟山港和深圳港，前 10 名

³⁴ <https://www.tpri.org.cn/n274/c503602/content.html>

的港口集装箱吞吐总量达到 23,911 万 TEU，占沿海港口集装箱吞吐总量的 78%。

表 2 中国（含中国大陆及香港）货物吞吐量、集装箱吞吐量前 15 的沿海港口

货物吞吐量				集装箱吞吐量			
排名	港口	所属港口 集群	2024 年吞吐 量（万吨）	排名	港口	所属港口集 群	2024 年吞吐量 （万 TEU）
No. 1	宁波舟山	长三角	137,709	No. 1	上海	长三角	5,151
No. 2	唐山	环渤海	86,216	No. 2	宁波舟山	长三角	3,930
No. 3	上海	长三角	78,959	No. 3	深圳	珠三角	3,340
No. 4	青岛	环渤海	71,227	No. 4	青岛	环渤海	3,087
No. 5	广州	珠三角	65,755	No. 5	广州	珠三角	2,607
No. 6	日照	环渤海	62,270	No. 6	天津	环渤海	2,329
No. 7	天津	环渤海	57,931	No. 7	香港	珠三角	1,369
No. 8	烟台	环渤海	50,199	No. 8	厦门	东南沿海	1,225
No. 9	北部湾港	环北部湾	44,869	No. 9	北部湾港	环北部湾	902
No. 10	黄骅	环渤海	35,516	No. 10	日照	环渤海	671
No. 11	连云港	长三角	34,620	No. 11	连云港	长三角	669
No. 12	福州	东南沿海	33,512	No. 12	营口	环渤海	556
No. 13	大连	环渤海	31,930	No. 13	大连	环渤海	540
No. 14	深圳	珠三角	31,790	No. 14	烟台	环渤海	509
No. 15	湛江	环北部湾	27,500	No. 15	福州	东南沿海	381

数据来源：中华人民共和国交通运输部。

沿海港口的绿色智慧转型也驶入快车道。11 个国际枢纽海港港内集卡清洁能源使用率占比超过 60%，沿海主要港口煤炭、矿石等大宗散货绿色疏运比例超过 85%，上海港、大连港、宁波舟山港都积极提升绿色甲醇、生物燃油等船用绿色燃料的加注能力³⁵。

在下面的研究中，将重点分析货物、集装箱吞吐量排名靠前的沿海港口，这些港口在国际海事运输中占据重要地位，通常也具有更高的零排放转型意愿和更强的资源支持。通过分析这些港口的货运相关设备零排放转型经验，将能为其他港口提供借鉴和参考。

3.2 主要沿海港口港内移动设备清洁化转型

港内移动设备主要是指港作机械和水平运输车辆。其中，港作机械主要用于货物的装卸、堆垛和搬运作业，常见类型包括正面吊装机、空箱堆高机、叉车、装载机等。水平运输车辆主要负责港口内货物的短距离运输，常见类型包括内集卡、自动引导车（AGV）等。

³⁵ https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202501/content_6997986.htm

图 6 港内移动设备主要类型一览



注：图片来自于网络。

近年来，中国港口加快淘汰老旧港口作业机械，同时大力推广港作机械和运输设备应用 LNG、电能、氢能等绿色能源。对于内集卡、AGV 等水平运输设备，随着电动汽车技术的更新迭代和智能化发展，目前这些港内运输设备的自动化、智能化水平不断提升，无人驾驶电动汽车、IGV 智能引导车已在多个港口实现商业化落地。

表 3 总结了主要沿海港口港内移动设备清洁化转型现状与预期发展目标。整体上看，中国主要沿海港口都在港内移动设备的转型方向取得了一定的成效。

- 能源类型方面，尽管 LNG 仍然是多数港口清洁能源转型的一个重要选择，使用电力、氢能等新能源的设备总量也已经占据可观的份额。
- 区域层面，中国内地港口的移动设备清洁化进程快于香港地区。天津、上海两港口集装箱港区新能源集卡占比已经达到或接近 100%，而香港第二大码头运营商——现代货箱码头——目前仅有的少量电动集卡仍在测试运营阶段。
- 目标方面，很多港口或港口所在地通过“十四五”规划等文件为港口移动设备的绿色发展提出了面向 2025 年的预期目标。上海港和青岛港均提出了到 2025 年新增、更新的港口作业机械 100%采用新能源或清洁能源；深圳港、广州港、厦门港、天津港等港口则提出了清洁能源移动设备的总量占比目标。

表 3 中国主要沿海港口港内移动设备清洁化转型现状与目标

港口	已取得成果	规划目标
上海港 ^{36,37}	✓ 集装箱港区新能源集卡占比 99%（2024）	✓ 2025 年 1 月 1 日起，港口新增和更新作业机械采用清洁能源或新能源
宁波舟山港 ³⁸	✓ 清洁能源内集卡占比 40%，电动叉车总量占比 50%（2024） ✓ 2024 年新增堆高机、正面吊全部为电动能源	
唐山港 ³⁹	✓ 内部倒运车辆清洁能源占比 36% ✓ 集疏港清洁运输比例达到 85%（2025 年 3 月）	
深圳港 ^{40,41,42}	✓ LNG 拖车 212 台，电动拖车 47 台，氢能拖车测试 3 台（2023 年 10 月）	✓ 2025 年场内作业车清洁能源占比 100% ✓ 2025 年，场内清洁能源（含新能源）集卡占比 60%
广州港 ^{42,43,44}	✓ 部分码头港内作业机械新能源占比近一半 ✓ 全港纯电动集装箱牵引车占比 51%（2025 年 4 月）	✓ 2025 年，场内清洁能源（含新能源）集卡占比达到 60%、清洁能源（含新能源）港作机械占比达到 60%
青岛港 ^{45,46}	✓ “氢能港口”建设稳步推进：常态化运行 50 辆氢能集卡，推广 AGV、自卸车等氢能车辆（2024）	✓ 2025 年港口大宗货物清洁运输方式（含新能源车）比例达到 85%以上 ✓ 2025 年港内水平运输车辆清洁能源占比达 70%，新增场吊、牵引车、小吨位叉车等港作机械原则上全部使用电动、LNG 等清洁能源
天津港 ^{47,48}	✓ 低排放港作机械占比 100%，其中电动化比例超过 57% ✓ 集装箱码头场内新能源倒运车辆占比达 100%（2025 年 5 月）	✓ 2025 年底，港区内部集装箱堆场到码头间新能源车短倒运输比例达到 50%，港内新能源、清洁能源集卡占比达到 60%。港口新能源非道路移动机械占比达到 50%，其中天津港集团港口机械新能源化比例达到 60%以上
厦门港 ^{49,50}	✓ 电动堆高机占比 66.7%，电动拖车占比 42%，电动叉车占比 64.4%，电动通勤车占比 52.5%（2025 年 3 月）	✓ 2025 年港口新增和更换使用纯电动汽车比例达到 60%，港区内物流车 100%采用纯电动汽车
香港港	✓ 现代货箱码头使用约 50 辆 LNG 拖车，少数无人驾驶电动集卡（2024 年调研数据）	

³⁶ 上港集团 2024 年可持续发展报告，<https://www.portshanghai.com.cn/xxpl/index.jhtml>

³⁷ 上海市清洁空气行动计划（2023-2025 年），
<https://www.shanghai.gov.cn/nw12344/20230807/495e682c56924cfb96c34b88022a071e.html>

³⁸ 宁波舟山港股份有限公司 2024 年环境、社会和公司治理（ESG）报告

³⁹ https://tangshan.huanbohainews.com.cn/2025-04/14/content_50426977.html

⁴⁰ 数据来自深圳市生态环境局

⁴¹ 深圳市港口与航运发展“十四五”规划，<https://jtys.sz.gov.cn/attachment/1/1238/1238976/10391313.pdf>

⁴² 广东省绿色港口行动计划（2023-2025 年）

⁴³ <https://www.zgsyb.com/news.html?aid=721937>

⁴⁴ https://gwj.gz.gov.cn/gkmlpt/content/10/10207/post_10207995.html#969

⁴⁵ http://122.137.242.24:8080/pub/17017jls/kjdt/202406/t20240614_1212064.html

⁴⁶ 青岛市空气质量持续改善暨第三轮“四减四增”行动实施方案（征求意见稿）

⁴⁷ <https://cenews.com.cn/news.html?aid=1359499>

⁴⁸ https://jtys.tj.gov.cn/ZWGK6002/ZCWJ_1/WZFWJ/202505/t20250523_6938140.html

⁴⁹ https://xm.cnr.cn/jdt/20250411/t20250411_527130130.shtml

⁵⁰ “电动厦门”发展规划（2023-2025 年），<https://www.investxiamen.org.cn/show/782.html>

3.3 主要沿海港口集疏运车辆零排放转型

3.3.1 集疏运车辆整体情况

从事港口集疏运的车辆以集装箱卡车为主（从车型上看主要是牵引车），此外还包括一些其他类型的车辆，如油罐车、滚装车等。集装箱卡车负责将集装箱从港口运往内陆地区，或将集装箱从内陆地区运往港口。其他类型车辆则根据港口作业需求参与集疏运活动。

从严格意义上讲，并不能准确地统计出港口集疏运场景下的车辆数量。一方面，车主或者货运公司需要根据港口货运情况随时进行车辆调配及调整；另一方面，集卡数量也会随着港口建设、技术发展和市场需求而变化。罗戈网的一项研究⁵¹指出，中国港口集装箱卡车的总量约为 30-40 万辆。其中，青岛港“云港通”物流平台注册车辆超过 4 万辆，上海港约有 4 万辆集卡，宁波港的集卡数量约为 3 万辆。iCET 与国内一家大数据平台的合作分析测算得到的港口集卡数量与上述研究较为接近。

相较于集疏运车辆数量，集疏运车次数、运营里程数等参数更能反映出港口货运的真实情况。车次数是指从港口出发及到达港口的车辆所运营的趟次数，这些运营趟次覆盖的里程则为集疏运车辆运输总里程。车次数是港口货运繁忙程度的直观显示，里程数与里程分布则可以反映出港口货运的辐射范围。

3.3.2 典型港口集疏运车辆情况

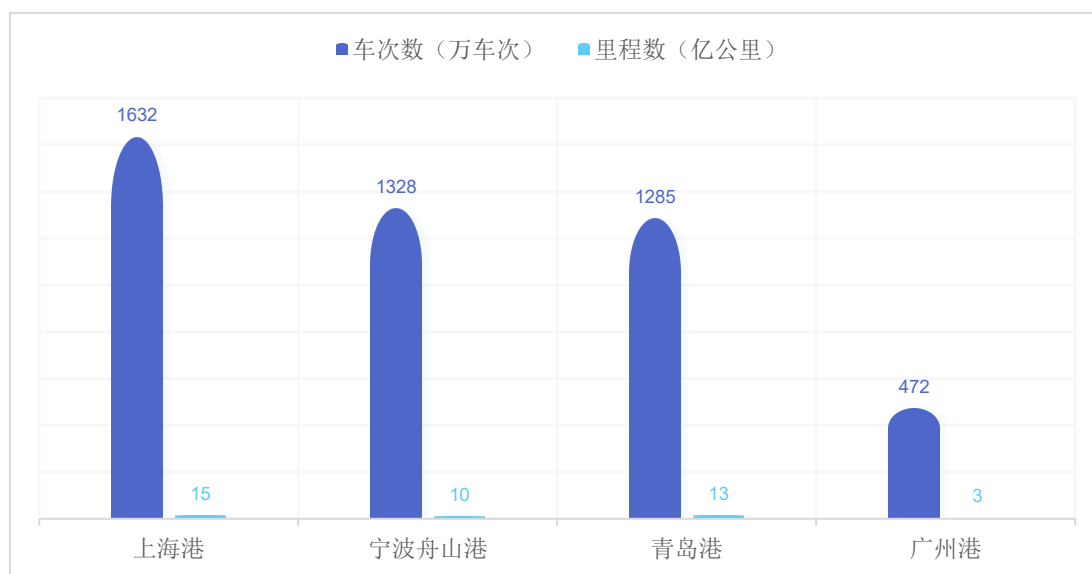
基于车辆追踪大数据平台，iCET 获取了上海港、宁波舟山港、广州港及青岛港四个沿海港口 2024 年的集疏运车辆活动水平，以下将从不同维度对四个港口的集疏运车辆运营情况进行分析。

(1) 整体情况

2024 年，除广州港外，其他三个港口集疏运车辆的运营车次数均超过 1000 万车次，上海港最高，达到 1632 万车次，宁波舟山港和青岛港紧随其后，且二者差距较小。集疏运里程上，上海港依然高于其他港口，达到 15 亿公里，青岛港 13 亿公里，宁波舟山港为 10 亿公里，广州港则仅有 3 亿公里。

⁵¹ 罗戈研究，2022-2023 港口集装箱卡车运输行业发展报告。

图 7 四个港口 2024 年集疏运车辆运营整体情况



来源：作者根据研究数据整理绘制。

集疏港运输车次与里程数的差异除了与货物吞吐量有关外，还与港口多式联运的比例，以及港口腹地的范围有关。实际上，除宁波舟山港外，其他三个港口在货物吞吐量上的差距并不明显（见表 2）。相对地，港口多式联运比例是影响集疏运车次的重要因素，该因素与港口腹地范围共同影响集疏运运营里程。

与其他港口相比，广州港的腹地范围更加集中，主要货物流向广州相邻的佛山、东莞两地⁵²。同时，广州港的多式联运比例更高，公路集疏运占比在四个港口中最低，仅为 42%（2021 年水平）⁵³，这表明有更多的货物通过铁路、水路等其他运输方式进行流通，从而解释了广州港集疏运车辆运营车次和里程数较低这一情况。相比之下，上海港的公路集疏运比例虽然也在 50% 以下，但其港口腹地范围更广。宁波舟山港和青岛港的公路集疏运比例则处于 70% 左右的较高水平，且腹地范围广度也高于广州港。

⁵² 中交兴路，中国公路货运运行大数据分析报告 2021。

⁵³ 罗戈网，<https://log2.logclub.com/articleInfo/NDk5NTk=>

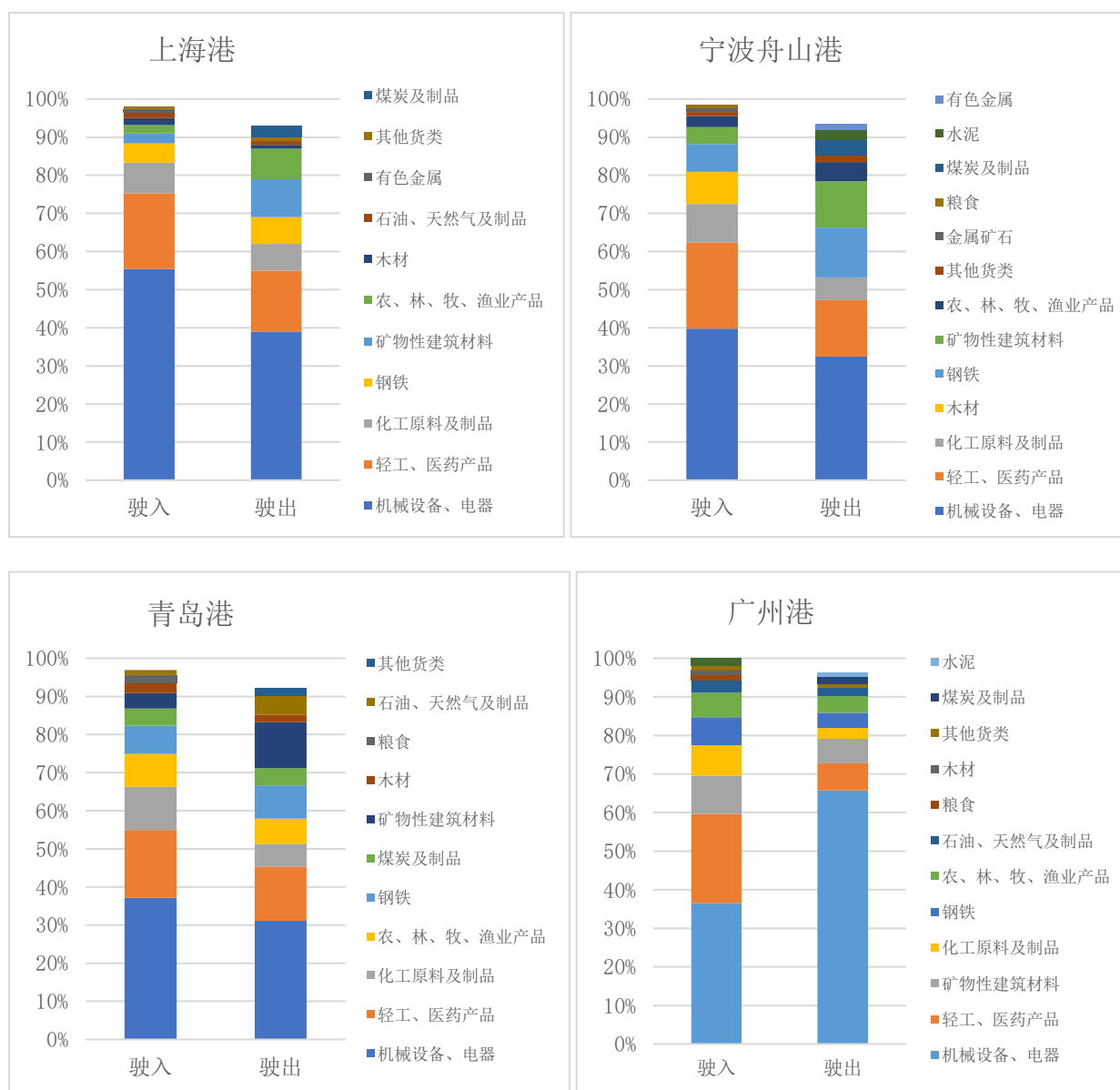
图 8 四个港口整体情况小结



来源: 作者绘制。图中实线表示港口的直接腹地区域, 虚线表示延伸腹地区域。

四个典型港口公路集疏运运输的主要货物品类如图 9 所示。从货物品类来看, 四个港口中, 占比排在前十位的货物品类有很高的重叠性, 排在前两位的分别是机械设备、电器和轻工、医药产品, 且除广州港外, 这两个货类在进口货物中的占比(驶入车辆所载)要高于其在出口货物中的占比(驶出车辆所载)。除此之外, 化工原料及制品、钢铁、木材、矿物性建筑材料、农林牧副渔业产品、煤炭及制品均在四个港口进出港货物的前十之列。不同货物品类的占比反映出, 目前公路集疏运运输的货品主要以高附加值产品为主, 如机械设备、电器, 轻工、医药产品, 化工原料及制品等。大宗货物在公路集疏运中的占比较小, 这类货物更适合通过铁路、水路等方式运输。

图 9 四个港口公路集疏运货物品类组成



注：图中仅展示每个港口公路集疏运车辆进出港所在货物品类的前十种（按照车次数计算比例）。图中只计算前十大占比货类，故累计综合不一定等于 100%。

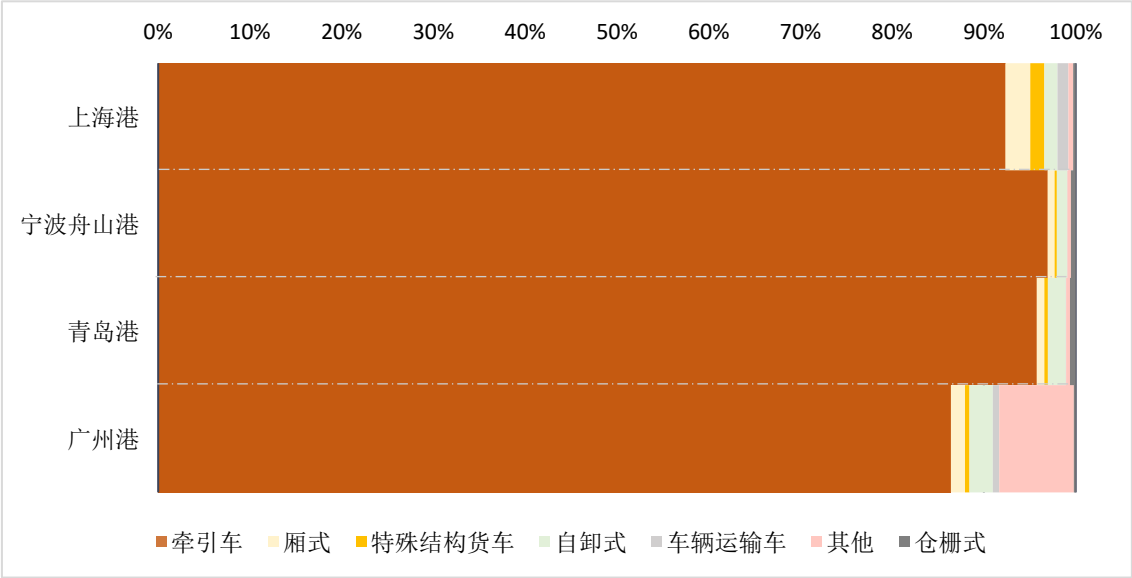
(2) 车辆类型

牵引车是最主要的集疏运车辆类型，运营车次数占比几乎都在 90%以上，广州港占比略低是因为有一些车辆的运输证上未标明车辆类型。除此之外，厢式车和自卸式货车约占车次数的 1%~3%，仓栅式、特殊结构货车对车次数也有一定贡献。

值得一提的是，上海港和广州港中，车辆运输车的运营车次数占比均为 1%，实际车次分别接近 19 万次和 3.3 万次，这与两个港口的汽车进出口功能相吻合。上海港是中国最大的汽车进

出口口岸，并在 2024 年跃升至全球第一⁵⁴，外高桥港区海通国际汽车码头也是国内最大的汽车滚装码头，在长江沿线各省份车企汽车出海中扮演重要作用⁵⁵。广州港也是国家指定的全国汽车整车进口口岸之一，是华南地区最大的专业滚装汽车作业枢纽港⁵⁶。广州港的汽车出口业务也位居全国前列，在新能源汽车出口方面的表现尤其出色⁵⁷。

图 10 四个港口集疏运车辆类型分布（2024 年）

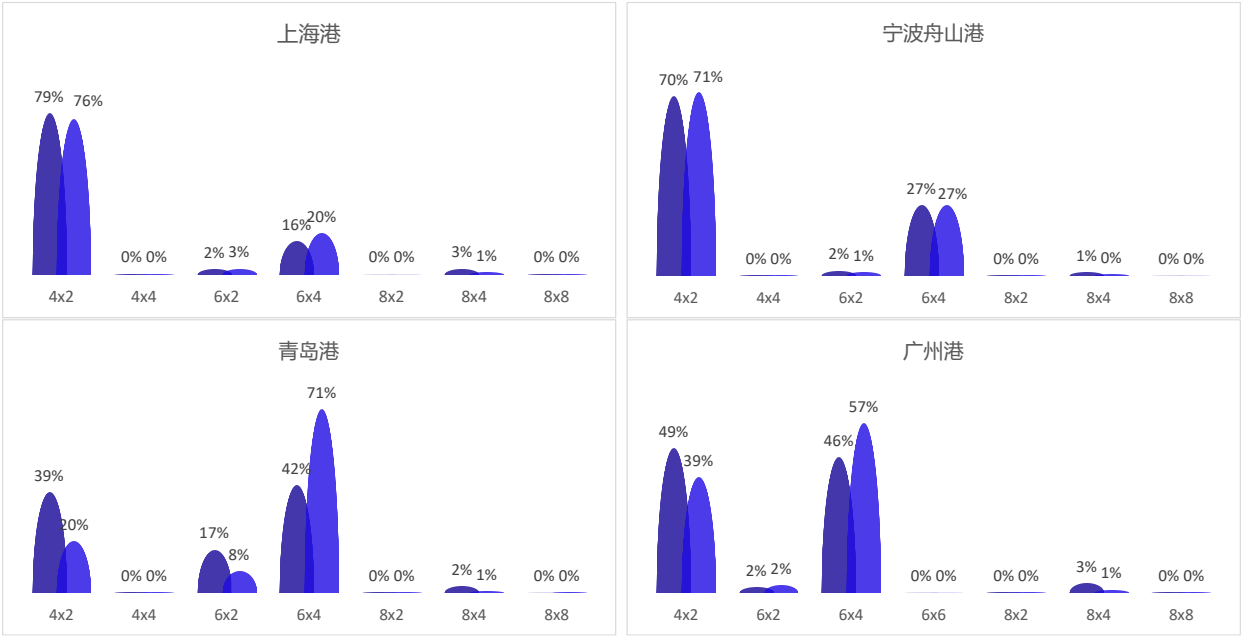


注：图中比例为各个港口不同类型车辆的运营车次数占比。“其他”包括罐式、栏板式、平板式、专项作业车以及运输证上未标明车类的车辆。

具体到驱动形式上，四个港口集疏运业务都以 4×2 和 6×4 的车辆为主，但不同港口之间存在一定差异。4×2 的牵引车主要应用在轿车运输、集装箱运输等标载市场，在上海港和宁波舟山港这两个重要的集装箱港口和汽车进出口港口的占比较高，均超过 70%。6×4 型式是牵引车市场的主流车型，在钢铁、煤炭、矿石等重载市场上广泛应用，青岛港和广州港 6×4 的牵引车车次占比几乎与 4×2 的牵引车相当，且其运营总里程要远高于后者，青岛港的情况尤其明显。这可能与青岛港作为中国北方煤炭的重要进出口港口的角色有关⁵⁸，煤炭车辆运输的单次运输距离长，且对重载要求高。

⁵⁴ 人民网，http://paper.people.com.cn/rmrbhwb/pc/content/202503/11/content_30061220.html
⁵⁵ 中华人民共和国上海海关，http://shanghai.customs.gov.cn/shanghai_customs/423446/423448/6328975/index.html
⁵⁶ 广州港集团，https://www.gzpgroup.com/pub/gzport/jtyw/gkyw/201804/t20180402_2263.html
⁵⁷ 广州市人民政府，https://www.gz.gov.cn/ysgz/xwdt/ysdt/content/post_10327321.html
⁵⁸ 中国港口网，<http://www.chinaports.com/portlspnews/22c3e4ea-c32d-4e4b-8ea6-7f7a82e316c2>

图 11 四个港口集疏运车辆的驱动形式分布（2024 年）



注：深色表示车次数占比，浅色表示里程数占比。

（3）燃料类型

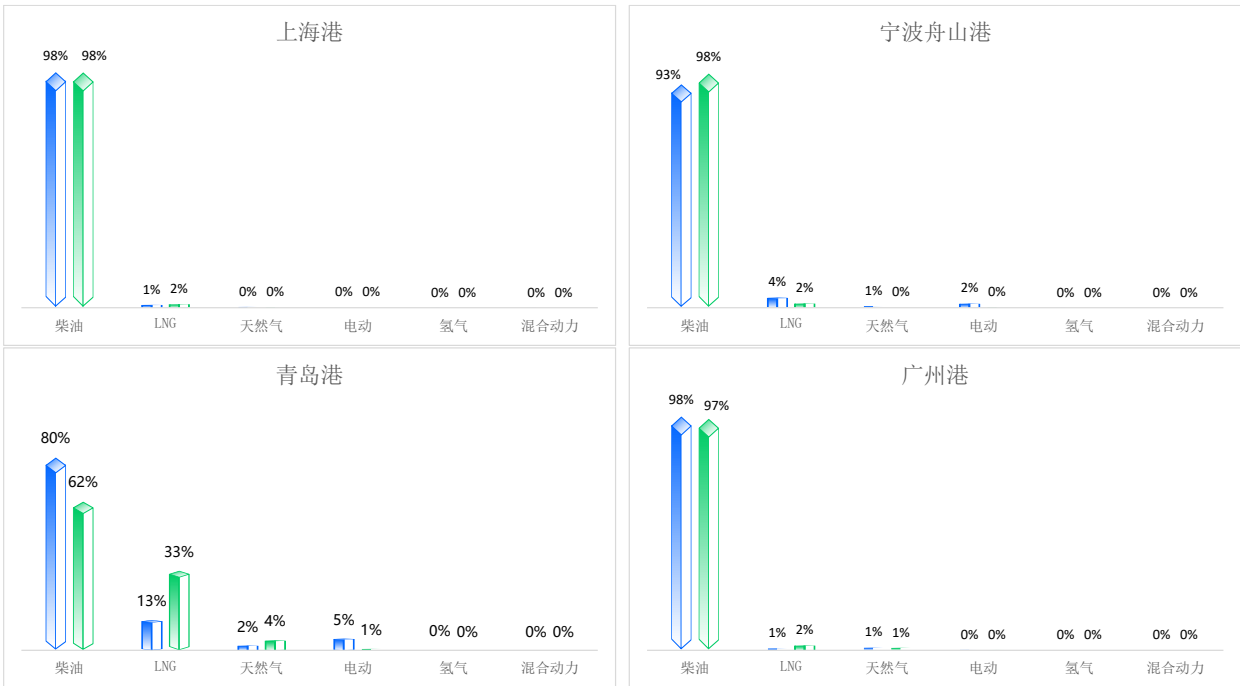
集疏运车辆的燃料类型分布可以反映不同港口在清洁运输方面的发展，也是规划集疏运车辆低碳发展的重要依据和参考。

四个港口的集疏港运输仍以柴油为主要动力来源，上海港和广州港的柴油车辆运输车次比例最高，均为 98%左右，仅有约 1%的 LNG 运输车次，2024 年这两个港口的电动、氢气等新能源运输车次分别为 2.2 万和 1.4 万车次，仅占极小一部分。

宁波舟山港的清洁能源集疏运比例高于上海港和广州港，LNG、电动车辆运输车次比例分别达到 4%和 2%，不过清洁能源车辆的里程数比例较低，电动车辆的情况尤其明显，说明目前电动车辆可能主要应用在短距离运输中。

青岛港的清洁能源集疏运比例最高。LNG 车辆贡献了 13%的运输车次和 33%的运输里程，电动车辆则贡献了 5%的运输车次和 1%的运输里程。与其他港口不同，青岛港 LNG 车辆的里程数占比远超过车次数占比，表明部分 LNG 车辆承担着中长距离运输的任务。电动车辆的情况与宁波舟山港较为类似，主要原因可能也是受到电动车辆补能等因素限制，目前电动汽车主要在短距离运输场景中使用。

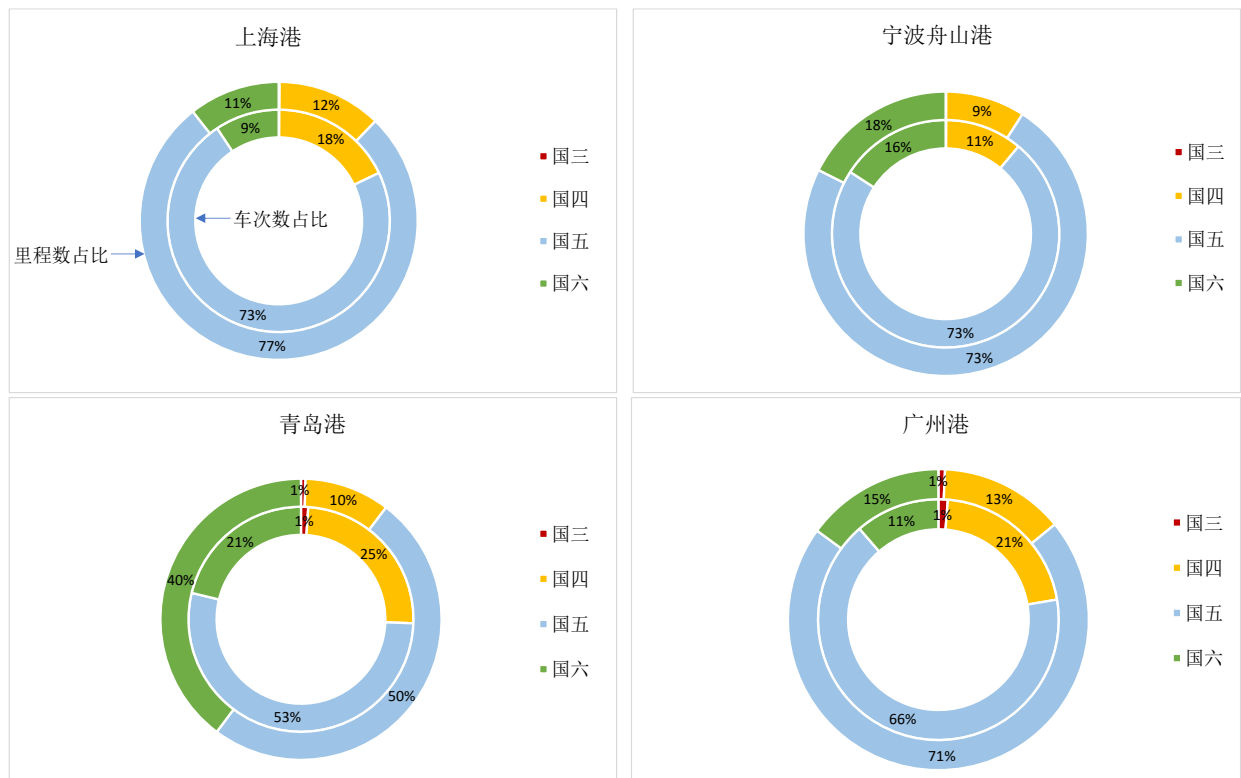
图 12 四个港口集疏运车辆的燃料类型分布（2024 年）



注：蓝色柱形表示车次数占比，绿色柱形表示里程数占比。

在传统能源港口集疏运车辆中，国五排放标准的车辆是目前的主力类型。国三车辆的淘汰已经基本完成，青岛港和广州港还有约 1% 的运营车次由国三车型承担。国四车辆在宁波舟山港的使用占比最低，仅承担 11% 的运营车次和 9% 的运营里程，但在青岛港，相应的比例分别为 25% 和 10%。有趣的是，尽管如此，青岛港国六车辆的占比则是四个港口中最高的，贡献了 21% 的运营车次和高达 40% 的运营里程。

图 13 四个港口传统能源集疏运车辆排放标准分布（2024 年）



来源：作者根据研究数据整理绘制。

(4) 车辆运距

每车次平均里程是由某一类集疏运车的总运营（分为进港和出港）里程除以总车次（也分为进港和出港）所得到的数值，反映了不同集疏运车类的平均运输半径。

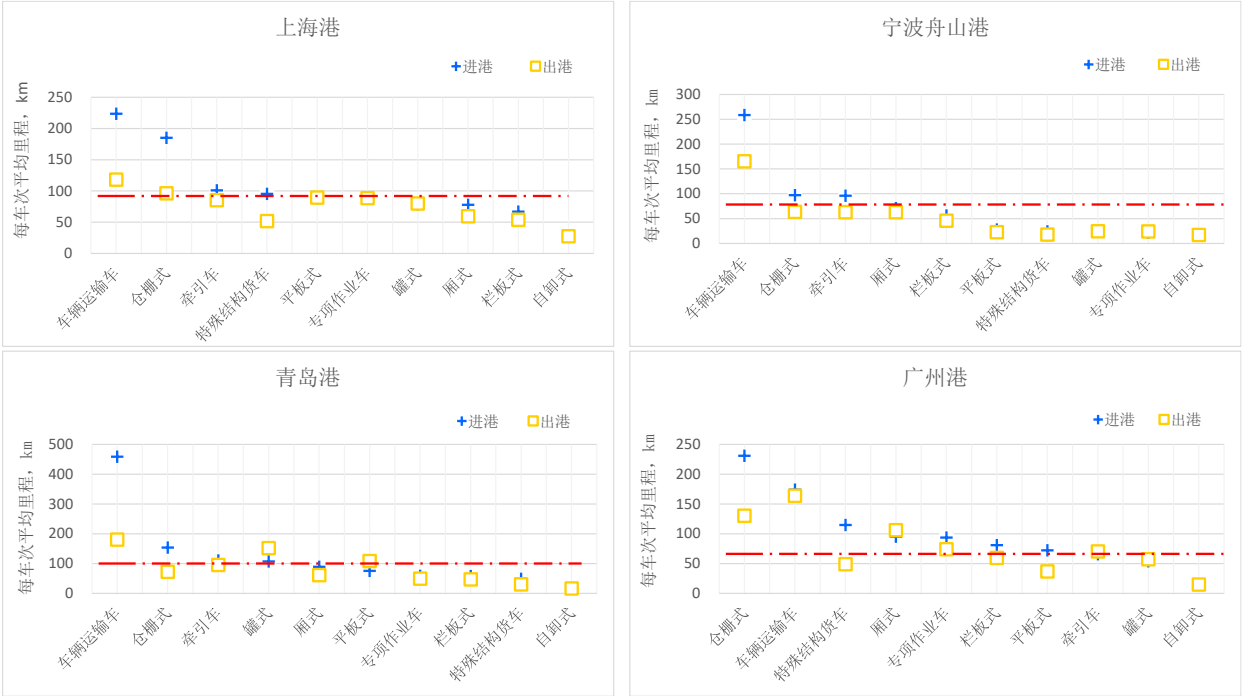
研究分析了上海港、宁波舟山港、青岛港和广州港所有车类每车次里程的平均值（进出港合并计算），四个港口依序为 92 km、78 km、100 km 和 66 km。相较而言，广州港每车次平均里程最低，与之前分析的港口腹地范围比较吻合。

从运输方向的角度来看，除少数车类外，其他车类的进、出港每车次平均里程并不存在显著差异。整体上看，车辆运输车的这种差异最为典型。除广州港外，其他三个港口的车辆运输车的每车次平均进港里程要明显高于出港里程。进港的车辆运输车需要将港口服务半径内的出口车辆运输至港口，出港的车辆运输车则负责将海外进口的车辆运输至仓库或销售网点，该车类进出港里程的差异结果表明，对于上海港、宁波舟山港和青岛港而言，从这些港口出口的车辆中有一部分来自港口延伸腹地，如上海港的出口汽车可能来自安徽、湖北等地的汽车制造商。而进口车辆很有可能直接运输至港口周边的仓库，运输半径相对缩小。对于广州港，从其港口腹地来看，出口的车辆大概率来自广东本省和广西地区，平均服务半径较小，因而车辆运输车的进、出港每车次平均里程差异不大。

对于不同车类，每车次平均里程的差异与车辆适配的货物种类、目的地等多个因素相关，横

向对比的意义不大。不过，在所有车类中，自卸车的平均运距最短，与自卸车在港口短倒运输的实际情况较为一致。

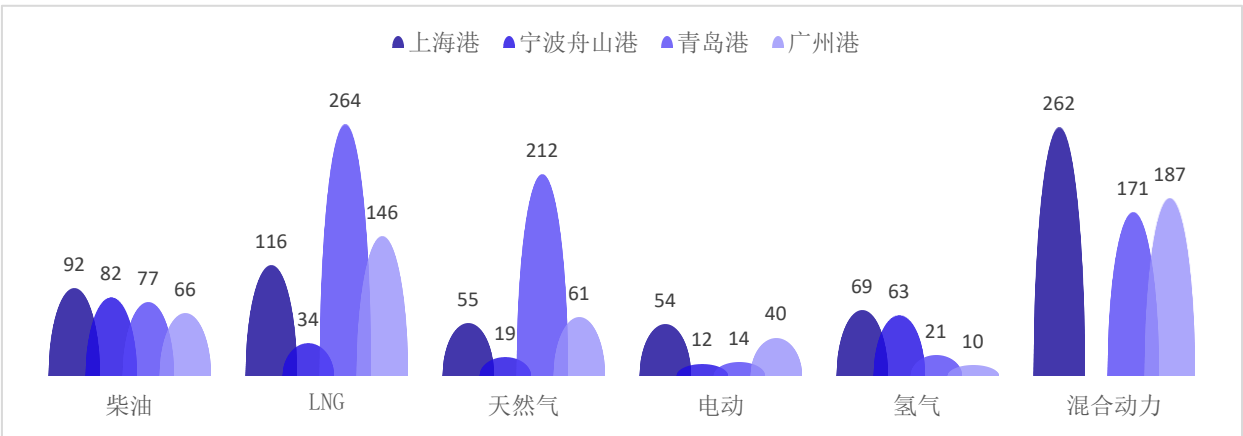
图 14 四个港口集疏运车辆每车次平均里程分布（2024 年）



注：红色虚线表示每个港口所有车类每车次运距的平均水平（进出港合并计算）。

不同燃料类型的车辆每车次平均里程也有一定差异。整体上看，LNG、天然气和混合动力车辆的单车次平均里程较长，可能与这些燃料相较于柴油车的成本优势有关。在各港口中，电动集疏运车辆的单车次平均里程都最低，宁波舟山港和青岛港的电动车辆单车次平均里程不足 15 km，表明目前电动车辆的使用半径较小，未来有很大的拓展空间，但需要配套补能、维修等基础设施。

图 15 不同燃料类型车辆每车次平均里程对比（2024 年）



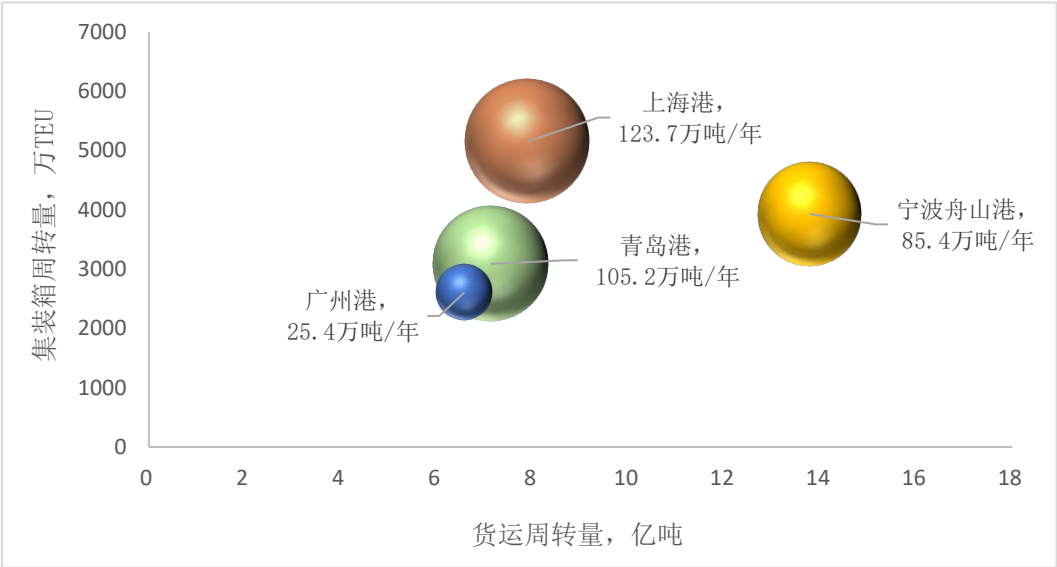
注：图中数值为每个港口不同燃料类型车类每车次运距的平均值（进出港合并计算）。“天然气”车辆包括运输证标明 CNG 和天然气的所有车辆。

3.3.3 集疏运车辆排放情况

研究根据运输车次、对应车类及其能耗估算了四个典型港口的集疏运车辆碳排放情况（如图 16）。横向对比发现，上海港和青岛港的排放量均超过 100 万吨/年，宁波舟山港则为 85 万吨/年左右。虽然宁波舟山港的货运周转量和集装箱周转量均高于青岛港，但该港口集疏运车辆的总里程数较低，因而碳排放量也低于青岛港。广州港集疏运车辆的碳排放约为 25 万吨/年，远低于其他港口，一方面是由于广州港的公路集疏运比例较低，有较为发达的多式联运体系，另一方面则由于广州港的腹地面积相对更小，集疏运车辆的整体运营里程更低。

目前，电动、氢能等新能源车辆对碳排放的贡献较小，电动和氢能车辆的使用仅分别使四个港口集疏运车辆碳排放降低 0.1%、0.3%、0.7%和 0.2%（与将新能源车辆替换成柴油车辆的情况相比，依上海港、宁波舟山港、青岛港和广州港序）。

图 16 四个港口集疏运车辆碳排放情况（2024 年）



来源：作者绘制，排放数据由本研究测算。图中气泡对应的横坐标为港口 2024 年的货运周转量（亿吨），纵坐标为港口 2024 年的集装箱周转量（万 TEU），气泡大小表示港口在 2024 年的碳排放水平。

第四章 港口零排放货运案例分析

研究以上海港作为中国港口零排放货运案例进行分析。上海港位于长江三角洲，是全球最大的集装箱港口。2024 年，上海港集装箱吞吐量达 5150.6 万标箱，连续十五年位居全球第一⁵⁹。上海港的港区分布广泛，主要包括黄浦江沿岸、长江口南岸和洋山深水港区。其中，集装箱码头主要分布在外高桥、洋山、吴淞三大港区⁶⁰。

港内移动设备方面，上海港集装箱港区内集卡新能源率达到 99%（表 3），且要求从 2025 年起港口新增和更新作业机械采用清洁能源或新能源。在上港集团建设绿色低碳智慧港口的行动中⁶¹，港内移动设备的清洁化转型是重点工作之一，在政策、实际落地等方面将获得优先支持，研究认为这类设备的零排放转型有较好的基础和预期。

研究将重点分析港口集疏运车辆的零排放转型。分析维度包括：集疏运车辆零排放转型的技术可行性、市场成熟度、转型情景及减排潜力分析。

4.1 技术可行性

上海港作为重要的集装箱港口，港口集疏运车辆以 4×2 的牵引车为主。氢能、电动车辆作为集疏运车辆零排放转型的载体，在近年来取得了显著的技术进步。

纯电车型方面，宇通、欧曼银河、三一、东风柳汽等品牌均推出了代表性车型，电量集中在 400~600 kWh 区间，并以 400 kWh 和 600 kWh 两种电量配置为主，续航里程则落在 300~400 km 区间。一些车企还创新推出了 800 kWh 以上超大电量的 4×2 纯电牵引车型，使续航里程提高至 700 km（测试工况）⁶²。上海港集疏运牵引车的单次平均运距约 85~100 km，上述车型至少能够满足 1 次进出港运行。补能上，多数车型支持双枪、四枪快充，部分车型还可以进行底部换电，大大缩短了补能时间。

相较于纯电动车型，在 4×2 牵引车领域布局氢燃料电池的品牌较少，东风华神、三一江山、上汽红岩等品牌推出了部分车型。氢燃料电池牵引车的主要研发和应用偏向 6×4 的牵引车型，包括现代、丰田、宇通、陕汽、一汽等国内外车企都在该领域有所布局。氢燃料电池牵引车在续航、补能时间方面比纯电动车型更有优势。

整体而言，目前纯电动、氢能车辆在技术上基本能够满足港口集疏运车辆的运营需求。作为全球领先的新能源汽车市场，中国重卡品牌在车辆定制化服务方面也走在前列，通过制造商和用户之间的不断磨合与反馈，未来零排放车型将能更好服务和兼容不同的运输环境及条件，进一步

⁵⁹ 上海市交通委员会，<https://jtw.sh.gov.cn/xydt/20250208/a37939ff3ab94cf0bba02afb2160058f.html>

⁶⁰ 中国港口网，<https://www.chinaports.com/ports/f1ee3163-0ebd-492b-ba8e-42d63ec3efe5>

⁶¹ 上海市国有资产监督管理委员会，https://www.gzw.sh.gov.cn/shgzw_zxzx_gqdt/20240109/39aaf92ae5c6488c87d7a28c268de6e3.html

⁶² 提加商用车，<https://www.cntplus.com/truck/250664.html>

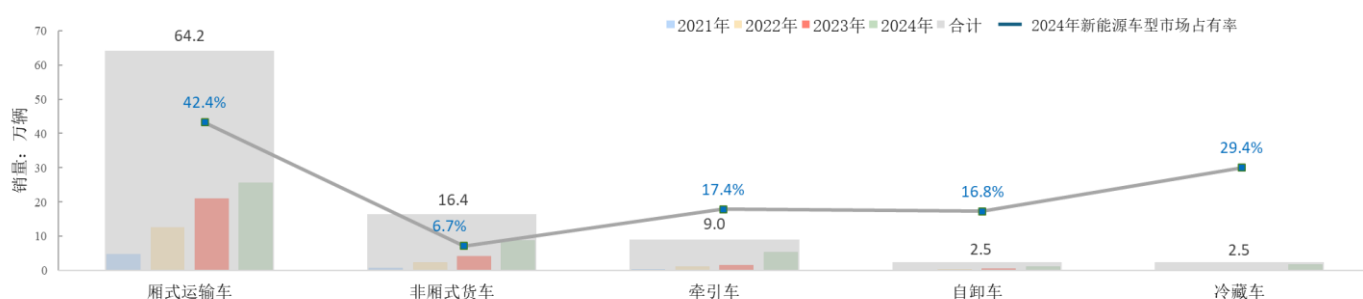
推动零排放车型在港口集疏运等场景的实际应用。

4.2 市场成熟度

过去几年，新能源商用车的销量不断增加，市场渗透率也节节攀升。2025 年 1-7 月，中国新能源商用车销量达 41.3 万辆，渗透率达到 22.3%⁶³，市场即将从“政策驱动”进入“市场驱动”阶段。

分车类看，新能源厢式运输车销量最高，2021-2024 年累计达到 64.2 万辆，2024 年渗透率为 42.4%，远高于其他车类。非厢式货车和牵引车的累计销量分别达到 16.4 万辆和 9 万辆，自卸车、冷藏车的销量相对较少。但从渗透率来看，新能源牵引车、自卸车基本持平，达到或接近 17%。

图 17 分类别新能源车辆销量与市场渗透率



注：图中新能源车辆含纯电动、氢燃料电池两类；数据为车辆上牌数据。新能源车型市场占有率是指纯电动、氢燃料电池车辆销量之和与某一类别下所有燃料类型车型销量总量的比值。

看回上海本地市场，2025 年 1-7 月份，上海市累计销售新能源牵引车 1.6 万辆，在全国所有省市中遥遥领先⁶⁴。不断推高的新能源牵引车保有量为上海港口集疏运的零排放转型提供了基础和保障。

应用方面，港口集疏运被认为是重卡电动化的一个优先场景，深圳已经率先行动，从“零排放货运走廊”的角度开始在港口集疏运领域部署和应用新能源车辆。港口集疏运场景具有较为典型的特征，如运输线路较为固定、单次运行距离一般不超过 300 km 等。相对固定的运输线路有利于在沿途建设和布局补能基础设施，中短距离运输则与现阶段的电动和氢能车辆的技术发展比较适配。整体上看，港口集疏运车辆的零排放转型已经具备较为成熟的市场环境和基础。

4.3 零排放转型情景及减排潜力分析

（1）港口基本情况

与港口集疏运排放紧密相关的两个参数是港口吞吐量和公路集疏运比例。前者是衡量港口处

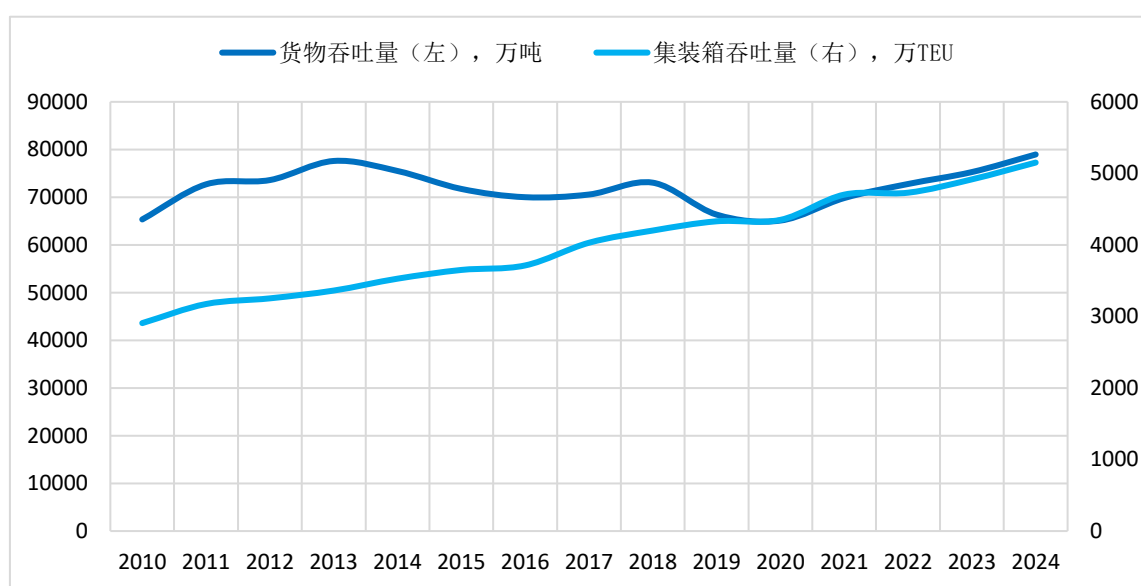
⁶³ 卡车之家，<https://www.360che.com/news/250815/198004.html>

⁶⁴ 新浪财经，<https://cj.sina.com.cn/articles/view/1579773413/5e296de500101blm6?froms=ggmp&>

理货物/集装箱能力的指标，是港口规模的直观显示。公路集疏运比例是指在港口所处理的货物/集装箱中，使用公路车辆进行集疏运的占比，决定了公路集疏运车辆的数量、运营车次等核心指标。

2010 年，上海港首次超越新加坡港成为全球最繁忙的集装箱港口，并在此后的 15 年间一直保持领先。过去十几年间，上海港集装箱吞吐量始终保持正向增长，年均复合增长率为 3.9%。2023、2024 两年的同比增长率分别达到 4%和 5%，港口货运正在走出疫情影响。面向未来，虽然全球经济疲软、国际局势变幻以及中美贸易摩擦等因素都可能对上海港吞吐量产生影响，但长远来看，持续增长的趋势应该不变。

图 18 上海港货物吞吐量、集装箱吞吐量趋势



注：作者绘制，数据来源于统计资料。

集疏运方式方面，上海港目前公路集疏运比例约为 49%，在国内港口中已经属于较好水平，但距离一些多式联运发达的国际港口仍有差距，例如，新加坡、鹿特丹、安特卫普等国际大港的“水水中转”比例都在 50%以上⁶⁵。《上海市推进多式联运发展优化调整运输结构实施方案》⁶⁶中提出，到 2025 年上海港集装箱水水中转比例不低于 52%，通过大力发展江海联运/直达、海铁联运等方式提升上海港多式联运水平。鹿特丹港、安特卫普港的集装箱集疏运结构中，公路运输占比都在 35%左右，可以作为上海港未来发展的一个参考方向。

（2）零排放转型情景

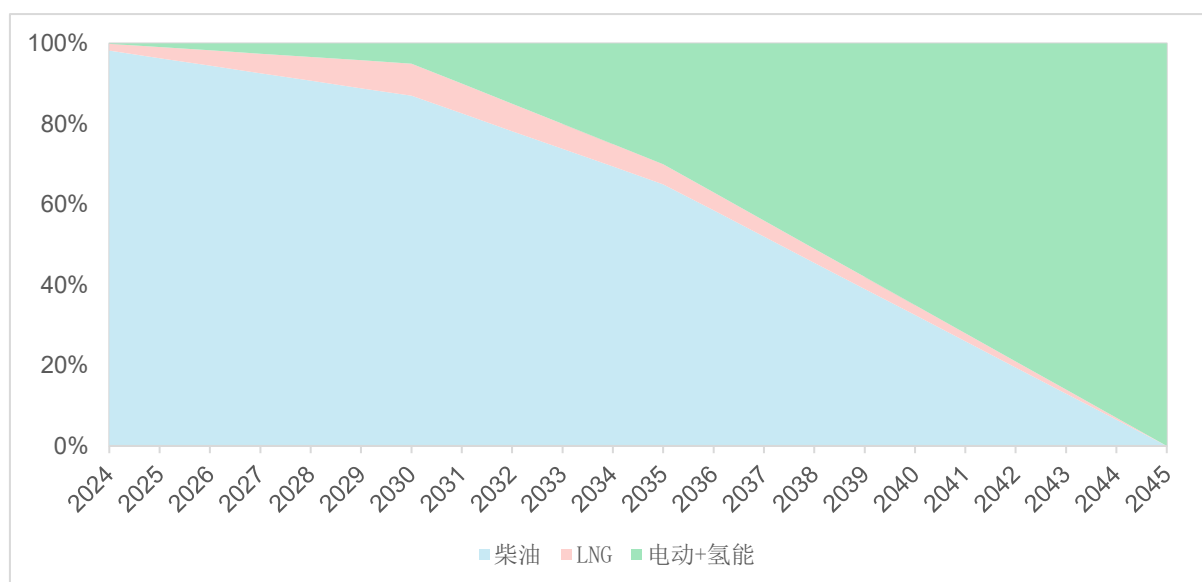
⁶⁵ 浙江省商务厅, https://zcom.zj.gov.cn/art/2011/5/10/art_1384591_13686847.html

⁶⁶ 上海市人民政府办公厅关于印发《上海市推进多式联运发展优化调整运输结构实施方案》的通知, <https://www.shanghaiinvest.com/cn/viewfile.php?id=18012>

受限于数据可及性，研究仅从宏观角度对上海港公路集疏运车辆的零排放转型进行单情景分析。主要情景设置如下：

- 在简化的情景下，以 2045 年为上海港公路集疏运车辆零排放转型达成的目标年份。
- 集装箱吞吐量继续保持增长趋势：2025-2035 年间，假设集装箱吞吐量以每年 2% 的速度增加，此后 10 年间，年均增速降至 1%。
- 多式联运水平进一步提升：到 2045 年，公路集疏运比例下降至 35%，中间年份按照线性插值设置。
- 假设港口货物的运输半径未发生明显变化，反映到参数上，体现为运营里程主要受吞吐量变化影响。
- LNG 为零排放转型前期的过渡燃料，电动和氢能燃料的占比逐步提升。

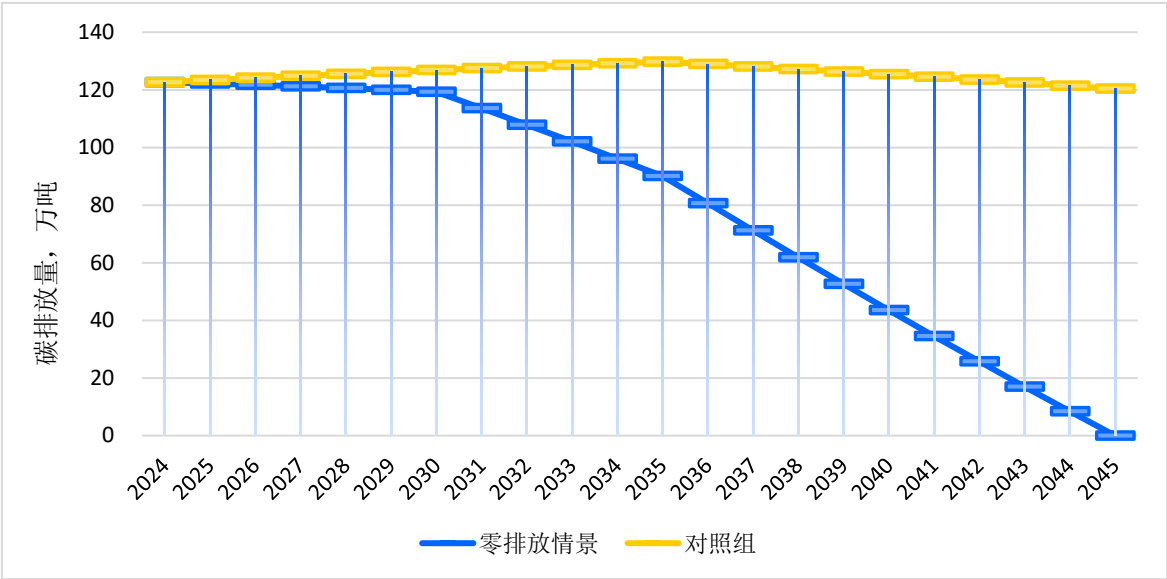
图 19 研究所设的上海港公路集疏运车辆零排放转型情景中各燃料类型占比（以里程数计）



在研究所设的零排放情景中，2025-2030 这五年是公路集疏运车辆转型的过渡期。从运营里程来看，在此期间，LNG 燃料占比出现比较明显的增长，电动和氢能燃料占比的增幅略低于 LNG，这主要是考虑到纯电动和氢燃料电池车辆的售价较高，且需要一定时间进行补能基础设施的布局和建设。2030 年以后，LNG 燃料占比略有降低，但仍然是一个重要的清洁燃料选项。与之相对地，电动和氢能燃料的占比迅速增加，并在 2038 年前后超过柴油，成为最主要的燃料类型。

基于上述情景，上海港公路集疏运车辆的碳排放量逐步下降。其中，2030 年之前，碳排放量仅有小幅降低。2030 年之后，年碳排放量快速下降。与燃料类型占比不发生变化的对照组相比，零排放情景下，2025-2045 年间，上海港公路集疏运车辆累计减少 1012 万吨碳排放，相当于 2024 年度集疏运车辆碳排放量的 8.25 倍之多。

图 20 研究所设的上海港公路集疏运车辆零排放转型情景下整体碳排放趋势



注：对照组是指燃料类型占比以 2024 年为基准，不发生变化（按里程计）。

第五章 港口零排放货运发展建议

作为全球综合运输网络的节点，港口在区域和全球经济中扮演重要角色，是全球供应链和国际贸易体系中不可或缺的一环。在应对气候变化的行动中，港口高度开放和国际化的特质使其成为零排放转型的优先选项。港口货运是连接港口与其广袤腹地的桥梁，在国民经济发展中占据重要地位。推动港口货运零排放发展是建设绿色港口、零碳港口涵义的延伸，对促进大港口经济体系的可持续发展具有重要价值和意义。

基于中国主要港口货运的低碳转型现状及规划，研究认为到 2045 年实现重点沿海枢纽港口公路集疏运零排放、港内移动设备基本零排放，是中国港口货运零排放转型有望实现的总体目标。为达成这一目标，研究针对不同运输设备和场景提出相应的建议措施，具体如下：

○ 港内移动设备

对于港内移动设备，其零排放转型被纳入绿色港口、零碳港口发展计划之中，多数国内港口也已经提出相应的发展目标。但在不少港口的现有和未来规划中，LNG 仍然是港内移动设备清洁化的重要选择，但从排放的角度来看，相比于柴油，LNG 的减碳潜力仅为 20-25%，距离零排放仍有较大差距。研究建议，对于港内设备中 LNG 已经或未来规划占有较高比例的港口，应设置一个 LNG 到零排放燃料的过渡期，逐步降低 LNG 设备使用比例。近期，优先在内集卡、拖车等领域使用电动、氢能设备，因为在重卡领域零排放车辆的发展和使用已经有较多的案例和经验。电动、氢能设备在场吊、叉车等重载领域的应用可逐步推进，通过“研发-应用-改进”的正向反馈机制，不断优化零排放设备在这些领域的适用性。

○ 公路集疏运车辆

相较而言，公路集疏运车辆的零排放转型面临更大压力。在管理层面，公路集疏运车辆不在港口管理范畴内，难以享受绿色港口建设的资金、技术等相关支持。公路集疏运车辆的排放也不属于港口排放，现阶段并没有硬性减排要求。不过，港口集疏运被认为是重卡电动化转型的一个优先场景，在某些地区已经有示范项目运行，但尚未形成可复制的成功案例和经验。基于分析，研究对港口集疏运车辆零排放转型提出以下建议：

- ✓ 抓住国四柴油货车淘汰的窗口期，通过财政补贴等方式鼓励车队/车主主动提前报废国四柴油车，并更换电动、氢能等零排放车辆。上海港、广州港、青岛港等港口中，国四柴油车对运行车次数的贡献在 20%左右，有较大的更新和替换潜力。
- ✓ 应用多元化的零排放技术：30 km 以内的短途集疏运优先考虑使用电动车型，30~80 km 可以考虑超充+换电组合，80~200 km 距离考虑氢燃料电池车辆与大容量纯电车辆并行，200 km 以上的长距离运输建议以氢燃料电池车辆为主。

○ 能源与补能网络规划

零排放车辆的大规模应用需要配套相应数量的补能设施，同时合理布局和规划补能设施网络，以使设备发挥其最大化价值。电力方面，在港区、重点物流园区布局和建设兆瓦级重卡充电站，在公路集疏运干线布局和建设超充、换电设施，同时配置储能单元。

氢能方面，除传统加氢站外，对于有条件的港口，建议考虑更适合中国实际情况的制氢加氢“子母站”模式，即“母站”制氢加氢集成为一体，“子站”作为纯加氢站，二者之间采用长管拖车运输。该模式不仅节省了“子站”的建设投资，还能提高“母站”的利用率并减少占地。对于氢气本身，需综合考虑当地能源禀赋及氢能车队的成本承受能力，规划从灰氢到绿氢之间的过渡期。

○ 优化运输结构

针对目前多数港口在集疏运体系中仍以公路运输为主、铁路和水运比例偏低的现状，应系统优化港口与腹地之间的运输结构。港口可通过完善铁路专用线、内河支线航道等基础设施，提高铁路与水运在集疏运体系中的可达性和运力占比，从而减少高碳强度公路运输的依赖。同时，推动“公铁水”联运枢纽建设，强化不同运输方式间的衔接与信息共享，降低转运成本与时间成本。

○ 政策工具

港口货运的零排放转型需要多样化的政策支持。

对于有意愿和能力提前进行零排放转型的港口，当地政府可设立短期的专项资金，为设备、车辆的购置提供一定的资金补贴。同时制定电力/氢能价格减免机制，保障零排放设备和车辆的正常使用。地方政府和港口管理机构可探索建立港口多式联运发展专项基金或碳减排激励机制，对采用铁路、水运联运的企业给予补贴或碳积分奖励，形成正向激励。建议港务局制定更加有利于零排放车辆的进出港政策。如港口为零排放车辆提供绿色通道等进出便利措施，有条件的港区可参考美国《清洁空气行动计划》制定清洁卡车基金费率标准，并向零排放车辆豁免。

○ 绿色和市场机制

为推动港口货运车辆和装备向零排放加速转型，应当探索市场化与政策性手段结合的路径，建立多层次的绿色市场与交易机制：

- ✓ 建立“绿色运力池”，对接货主 ESG 需求：港口可推动建设统一的“绿色运力池”平台，将具备零排放或低碳排放能力的运输车辆、设备和船舶纳入其中，并通过数字化平台实现可追踪、可量化的碳减排信息。货主企业，特别是具有国际业务和强烈 ESG 诉求的跨国公司，可以直接对接绿色运力资源，从而在供应链管理中实现减碳目标。
- ✓ 推动“绿色合同”机制，按减排量/TEU 计价：引导港口企业、物流公司和货主共同采用绿色运输合同，在传统按运输量或距离计价的基础上，叠加“碳减排绩效”作为新

的计价维度。例如：以每标准箱（TEU）或吨公里的实际减排量进行价格浮动，让使用零排放运力的企业获得明确的经济回报。同时，政府可给予绿色合同试点一定的政策激励，如税收优惠或绿色融资支持。

- ✓ 接入碳市场，实现“二次收益”：鼓励港口和运输企业将通过绿色运力和合同机制实现的碳减排量，纳入全国碳排放权交易市场或区域碳市场。这样一方面可以为企业额外收益渠道，另一方面通过市场信号强化减排价值，推动更多企业主动选择低碳运输方式。未来还可探索建立港口货运专属的碳减排信用机制，与国际碳市场实现互认。
- ✓ 创新绿色金融与保险产品，放大市场激励：金融机构可围绕绿色运力池和绿色合同设计定制化的绿色贷款、绿色债券及保险产品。例如，对签订绿色合同的货主企业和物流企业，提供更低利率融资或绿色信用担保，从而降低零排放转型的资本成本。保险公司则可推出碳减排履约保险，降低市场交易风险。
- ✓ 推动国际互认与市场对接：在港口国际化属性的背景下，应推动绿色运力认证、绿色合同标准与国际主流体系对接，形成跨境认可的碳减排交易机制，增强中国港口在全球绿色航运与物流链中的竞争力和话语权。

○ 示范与合作

港口货运零排放转型需要跨行业、跨领域的协同推进。建议通过示范工程 and 多方合作，形成可复制、可推广的经验，加快全国范围的转型进程：

- ✓ 组建“港口集疏运车辆零排放联盟”：建议由交通运输主管部门牵头，联合港口运营方、整车制造企业、能源供应商、金融机构及科研院所，共同成立跨行业的“港口集疏运车辆零排放联盟”。该联盟可作为多方沟通与协作的枢纽，推动标准制定、项目落地、资源整合和经验共享，形成合力。
- ✓ 打造沿海枢纽港口示范项目：在上海洋山、宁波舟山、广州南沙等国际航运核心港口，率先建设“零排放货运示范区”，推动集疏运车辆电动化、氢能化及智能化应用。通过完善充/换电、加氢等能源基础设施布局，建立车辆运行监测与碳减排评估体系，形成国内领先、具有国际影响力的零排放港口物流示范样板。
- ✓ 形成可复制的商业模式与政策路径：通过示范项目积累数据与经验，总结适应港口集疏运场景的运营模式、商业机制和政策工具，并在其他重要港口逐步复制推广。最终推动形成“示范带动—区域联动—全国推广”的发展格局。

第六章 未来研究建议

港口是中国经济的动脉，在贡献国民经济增长的同时，也肩负着绿色低碳转型的重要使命。在以往应对气候变化的行动中，中国已经为全球做出了表率。在港口及其附属经济活动的低碳转型中，一些沿海港口取得了突出的成就。不过，面向更长远的未来，要实现港口货运的零排放转型，依然有很长的路要走。

□ 系统深化研究及核算方法

港口货运零排放转型的有效推进，必须以科学、系统的数据和方法为支撑。未来研究需要在数据采集、方法改进和验证体系方面持续深化，确保政策制定和企业决策有坚实的依据。

a) 进一步细化活动数据采集与建模，包括：

- 建立覆盖不同港口场景的车辆运行数据库，细化到车型类别（牵引车、集卡车、堆高机等）、车辆载重情况、运行路线、作业时段、空驶率及车辆周转率。
- 利用北斗/GPS、物联网传感器和港口智能调度系统实现动态数据采集，并结合大数据建模，对不同运行场景下的能耗和排放水平进行高分辨率刻画。
- 形成标准化的“港口集疏运车辆运行活动清单”，为全国统一研究与政策评估提供底层数据支撑。

b) 进行全链条生命周期评价，包括：

- 研究应覆盖从能源生产到使用的全链条排放，包括 油井到轮（WTT）+ 油箱到轮（TTW），实现能源与车辆使用全过程的真实碳足迹核算。
- 建立港口货运场景的专属生命周期评价模型，能够对不同能源路线（电动化、氢能化、合成燃料等）的全链排放进行横向对比，为政策工具设计（如碳交易、补贴机制）提供依据。

c) 开展能耗与排放因子的实证修正，包括：

- 开展典型车辆实车道路测试，获取不同车型、燃料（柴油、电动、氢燃料电池等）的实际能耗和排放水平。
- 对电动车辆的排放核算引入区域电网碳强度修正，实现因地制宜的减排量评估。
- 针对氢能车辆，结合氢气制取方式（灰氢、蓝氢、绿氢）建立差异化排放因子库，避免“一刀切”低估或高估减排效果。

d) 建立 MRV 试点机制（监测-报告-核查），具体包括：

- 在重点港口率先启动 MRV 试点工程，覆盖 数据采集-排放核算-第三方审计的全流程。
- 探索基于物联网和区块链的可信数据传输与存证机制，确保数据的真实性与可追溯性。
- 推动港口企业、车队公司和能源供应商共同参与 MRV 体系建设，并逐步与全国碳市场对接，提升碳减排成果的交易性和国际互认度。

□ 探索政策评估与市场机制设计

港口货运零排放转型不仅需要技术与基础设施的支撑，还需要科学合理的政策工具和市场机制来提供长期的经济激励。未来研究应围绕政策有效性评估、激励机制创新以及多式联运的协同减排展开，确保政策可持续性和市场可操作性。

- 尝试建立适应于中国港口的 CTF 类费率模型，具体包括：
 - 借鉴国际航运和机场的绿色附加费机制，研究在港口环节建立“碳排放挂钩的货物吞吐费率模型（CTF）”。
 - 模拟不同费率水平对货主选择运输方式、物流企业转型路径的影响，评估其对港口竞争力和产业链成本的传导效应。
 - 探索差异化收费模式：对零排放或低碳运力给予减免，对高排放车辆征收附加费，引导形成绿色运力优先的市场格局。
- 探索构建 ESG 驱动的绿色运力溢价机制，包括：
 - 研究在货主企业 ESG 战略驱动下，如何将使用零排放运力形成可量化的减排贡献，并转化为供应链价值。
 - 建立绿色运力认证和交易平台，使货主能够支付一定溢价以采购“绿色运输服务”。
 - 通过案例研究和市场调研，验证溢价机制在不同货种、不同港口的可行性，推动形成以市场需求为导向的绿色运力生态。

□ 延伸健康与协同效益研究

港口零排放货运不仅能减少温室气体排放，还能够带来直接的公共健康效益和更广泛的社会经济协同效应。未来研究应全面评估环境改善对健康、社会、经济的多维度价值，提升政策制定的整体性与公众接受度。

- 建立空气质量改善与健康经济学测算机制，具体包括：
 - 建立港口集疏运车辆排放与周边空气质量变化的定量关系模型，重点关注颗粒物（PM_{2.5}/PM₁₀）、氮氧化物（NO_x）、臭氧（O₃）等关键污染物的变化。

- 结合流行病学研究和暴露-反应关系，估算因空气质量改善带来的呼吸系统疾病、心血管疾病和过早死亡减少量。
 - 引入健康经济学方法，量化医疗支出减少、劳动生产率提升和公共健康价值增益，为政策提供更具说服力的“社会成本—效益”分析。
- b) 分析零排放转型对就业与本地产业链的带动情况，包括：
- 系统评估零排放货运转型对区域就业结构的影响，包括新能源车辆制造、运维服务、充换电和加氢设施建设、数字化管理平台等新兴产业岗位的增加。
 - 分析本地产业链的带动效应，尤其是对新能源装备制造业、可再生能源产业及绿色金融服务的拉动作用。
 - 研究转型过程中传统岗位的替代与再就业需求，提出技能培训、职业转换的配套政策建议，确保转型的公平性和包容性。

关于北京市朝阳区能源与交通创新中心

北京市朝阳区能源与交通创新中心是在中国北京注册的致力于清洁交通、能源转型和气候变化领域研究与发展的专业智库机构。

机构的核心使命是为政府、企业、公众提供能够缓解能源和气候危机并创造绿色能源生态体系所亟需的创新型解决方案。

我们的工作职责是：

- 引荐国际最佳实践方案
- 提供专业咨询及政策建议
- 推动利益相关方及伙伴关系协作
- 促进公共参与及传播

过去的十几年中，作为清洁能源交通及气候政策的智库机构，本机构建立了良好的声誉。

我们秉承着创新的原则，致力于科学研究，并保证成果的独立性和实用性。



北京市朝阳区光华路9号时尚大厦903A

邮编：100020

电话：(+86) 10.5233.8325

邮件：info@icet.org.cn

网址：www.icet.org.cn