

上海市重型货车碳排放特征与减碳策略

田田甜¹, 金昱^{2,3}, 宋少飞¹

(1.上海市城市规划设计研究院, 上海 200040; 2.同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804; 3.上海市规划和自然资源局, 上海 200003)

摘要: 重型货车是交通运输行业碳排放的主要来源之一, 加强其减碳策略研究对推动交通运输低碳发展具有重要意义。首先梳理国际城市货运减碳实践经验, 为中国货运减碳策略的制定提供参考。在此基础上, 利用上海市重型货车GPS数据和各交通小区货车出行数据, 计算得出市域重型货车在道路与交通小区层面的碳排放量及其空间分布特征, 并分析其与港口布局、产业空间结构之间的相互关系。最后, 结合国际经验与本地碳排放特征, 从空间、交通和碳排放协同的角度, 提出上海市重型货车减碳策略, 包含优化产业空间布局、调整货运交通结构、完善路权分配以及推动能源利用结构升级等方面。

关键词: 交通政策; 货运结构; 碳排放; 重型货车; 减碳策略; 上海市

Carbon Emission Characteristics and Mitigation Strategies for Heavy-Duty Trucks in Shanghai

TIAN Tiantian¹, JIN Yu^{2,3}, SONG Shaofei¹

(1. Shanghai Urban Planning & Design Research Institute, Shanghai 200040, China; 2. The Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China; 3. Shanghai Municipal Bureau of Planning and Natural Resources, Shanghai 200003, China)

Abstract: Heavy-duty trucks are one of the primary sources of carbon emissions in the transportation sector. Strengthening research on heavy-duty truck decarbonization strategies is critical for advancing low-carbon transportation development. This paper first reviews international practices in urban freight decarbonization to provide reference for strategy formulation in China. Based on these practices, the paper employs GPS data of heavy-duty trucks and truck travel data across traffic analysis zones in Shanghai to calculate carbon emissions of heavy-duty trucks in the urban area at both roadway and zone levels, as well as their spatial distribution patterns. The paper further explores the relationships between these emissions and the city's port layout and its industrial spatial structure. Finally, drawing on international experience and the local emission characteristics, the paper proposes mitigation strategies for heavy-duty trucks in Shanghai from the perspectives of spatial, transportation, and carbon reduction synergies. These strategies include optimizing the spatial distribution of industries, restructuring the freight transportation system, improving the allocation of right of way, and promoting the transition of the energy utilization structure.

Keywords: transportation policy; freight structure; carbon emissions; heavy-duty trucks; carbon emissions mitigation strategies; Shanghai

收稿日期: 2024-07-10

基金项目: 上海市科学技术委员会“科技创新行动计划”软科学研究项目“基于用地和交通协同的上海重型货车减碳策略研究”(23692112500)

作者简介: 田田甜(1996—), 女, 河南商丘人, 博士, 助理规划师, 研究方向为综合交通系统规划、低碳韧性交通规划, 电子邮箱 1365651930@qq.com。

0 引言

交通运输是全球碳排放的重点行业, 也是增长最快的行业之一, 其中重型货车是该行业碳排放高度集中的领域之一。2021年, 全球交通运输行业碳排放量约0.93亿t, 其

中重型货车碳排放量约0.18亿t, 分别占全球碳排放总量的25.4%, 和4.9%^[1]。2020年, 中国重型货车(指载重量在12t以上的货车)保有量仅占民用汽车总量的3.1%, 其碳排放却贡献了道路交通碳排放的50%以上, 占交通运输行业碳排放的比例也达到40%以

上^[2]。由于具备“门到门”运输和便捷等特性，在未来一段时间公路运输仍将是主要的货运方式。因此，在“双碳”目标背景下，深化重型货车减碳策略研究，对于交通运输行业低碳发展具有重要意义。

国内外学者在提高货车能源效率、发展清洁能源方面进行了大量研究^[3-4]，然而侧重于重型货车运输需求和运输活动特征的研究较少。考虑到重型货车碳排放与城市产业空间布局、港口布局及集疏运系统等因素息息相关，亟须从空间、交通和碳排放协同角度提出更具针对性的减碳策略。此外，国际城市针对货运减碳也开展了诸多实践，通过借鉴国际经验可为中国重型货车减碳策略研究提供更多元的思路与方法。本文以上海市为例，结合国际城市实践经验与上海市碳排放特征分析，提出针对上海市重型货车的减碳策略与建议，进而提高货运减碳效率。

1 国际城市货运减碳经验

作为全球重要的港口城市，上海市拥有洋山港和外高桥港等关键货运枢纽，承担着大量国际与国内货物运输任务，具有较高的港口集疏运需求。然而，当前上海港公路集疏运比例高达57.2%，铁路集疏运比例仅占2.1%。在产业物流和生活物流中，公路运输同样占较高比例。2023年上海市公路货运量达5.04亿t，日均运行货车11万辆，绕城高

速货车交通量比例超过50%，城市内部物流系统面临交通拥堵和环境污染的双重压力。

国际城市在货运减碳领域积累了丰富的实践经验。本文结合上海市的城市与货运特征，选取若干城市作为研究借鉴对象，具体包含：在绿色物流配送系统建设方面表现突出的城市，如丹麦哥本哈根市、日本横滨市；与上海市类似的港口城市，如德国汉堡市、荷兰鹿特丹市，其在港口集疏运优化方面的经验具有参考价值；已实施成熟绿色货运政策的超大城市，如美国纽约市、英国伦敦市；以及在新能源货车推广方面成效显著的区域(如美国加利福尼亚州)与项目(如欧洲HyTrucks项目)。

1.1 优化物流空间布局与配送系统

通过优化物流配送系统，横滨市和哥本哈根市提升了货运效率并降低了货运碳排放。2004年，日本在横滨元町购物街实施商圈公共配送中心模式^[5]，建设了占地面积约330 m²的公共配送中心。该中心在中立的承运人组织运营下，采用3辆压缩天然气(Compressed Natural Gas, CNG)动力的低排放货车，负责配送中心与商业街区之间的货物运输(见图1)。政策实施后，承运人数量从17家减少至1家，配送车辆类型从柴油车全部更换为压缩天然气动力车，月配送次数也从40次减少至20次。这一系列措施不仅为该地区提供了更环保的配送方式，也有效

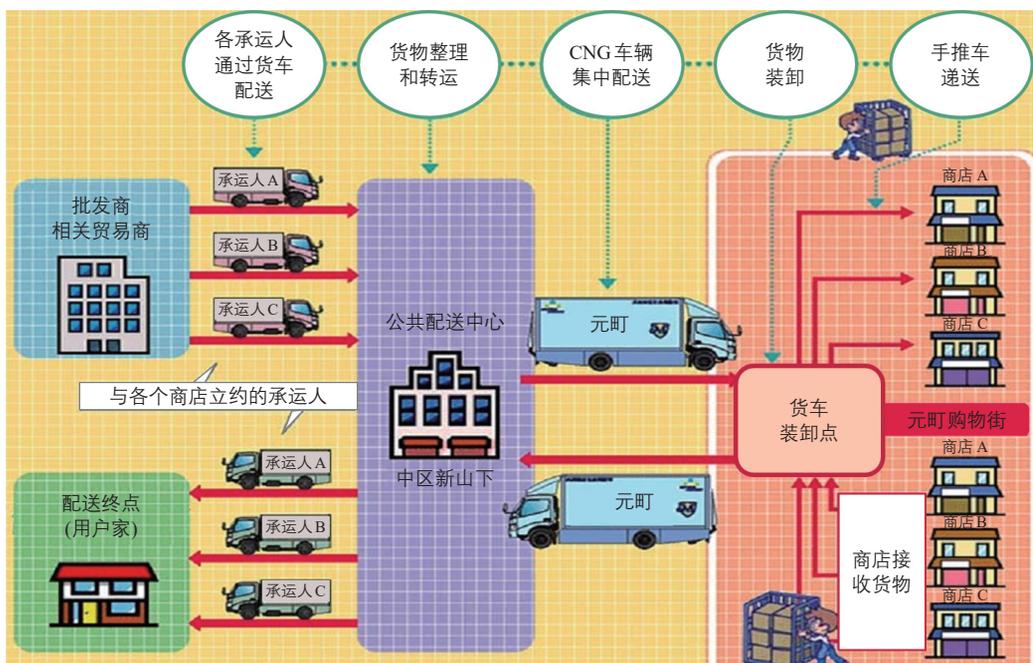


图1 日本横滨元町购物街公共配送中心模式

Fig.1 Public distribution center model of Motomachi Shopping Street in Yokohama, Japan

改善了商圈周边居民的生活环境。

哥本哈根也实施了一项名为“City Logistic”的城市物流项目^[6]。该项目一方面在城市边缘设立物流中心，将物流活动从市中心转移至更靠近主要运输通道的区域，从而缩短了城市内部的货物运输距离；另一方面，通过重新规划城市内部的货物分拣和配送流程，引入了包括电动货车和货运自行车等在内的高效配送方式。其中，电动货车主要用于大批量、长距离的运输任务，而货运自行车则负责城市内“最后一公里”的配送。通过推动企业共享物流资源、整合货物运输需求，该项目有效减少了空驶和重复运输，提高了车辆利用率，进而降低了城市物流配送的碳排放。

1.2 大力发展港口铁路集疏运体系

鹿特丹港、汉堡港、伦敦港和洛杉矶港等国际港口均将铁路作为集装箱港口必备的集疏运配套设施，其重要性与疏港高速公路相当。铁路在这些港口的集疏运体系中发挥着重要功能，承担了其集装箱吞吐量8%-40%的运输任务。通过加强不同交通运输方式间的衔接，特别是铁路与水路运输的衔接，可以降低对道路货运的依赖。此外，加强港口与铁路的无缝衔接、强化铁路集疏运通道规划建设、推进异地铁路场站设施布局，并加大对海铁联运的政策扶持与补贴力度，将共同促进海铁联运的快速发展。

以汉堡市为例，作为德国的重要港口城市，其投资建设了现代化的铁路基础设施，以实现通过铁路网络将货物从港口高效转运至内陆地区(见图2)。汉堡港拥有300 km的铁路网络，每天能够高效运营约200班次货运列车和超过5 500班次火车，全国12%的铁路货运以该港为起点或终点。为确保铁路运输的高效运作，所有集装箱码头均配备了先进的高性能装卸设施；多功能码头与散货码头也已接入铁路网络。汉堡港共服务160多家铁路公司，这些公司依靠短途和直达列车，构建了覆盖全欧洲的紧密货运服务网络。铁路在速度、运力、成本、可靠性和环保性等方面均优于公路货运，仅一列货运列车即可承担约50辆卡车的货运量。因此，推动货运从公路向铁路转移，可显著降低货运碳排放^[7]。

1.3 创新货运组织与低碳治理模式

1) 美国纽约市：货车通道(Truck Route)^[8]。

货运车辆因重量和体积大、转弯半径大、视野盲区多、行驶速度低以及制动距离长等特点，在城市中通行时易影响小汽车的运行效率，降低道路整体通行能力，并带来安全隐患，亟须采取有效治理措施。为此，纽约市政府在深入调研的基础上，专门为大货车规划了专用线路——货车通道。该措施通过合理设计货运路线，在一定程度上实现了客货交通分离，既减少了客货混行带来的延误和安全隐患，又可通过货运通道地图引导货车在适用路段运行，从而提升货运效率并降低碳排放。

2) 英国伦敦市：低排放区(Low Emission Zone, LEZ)与超低排放区(Ultra Low Emission Zone, ULEZ)^[9]。

为应对伦敦PM10浓度长期超标的问题，2008年，伦敦市政府将大伦敦地区(约1 580 km²)划定为低排放区，限制污染最严重的重型柴油车在该区域内通行。政策实施一年后，区域内PM10排放量较实施前下降了6.5%。尽管PM10治理取得成效，伦敦中心区道路周边NO_x污染浓度依然面临超标问题。为进一步降低NO_x排放，并协同降低PM2.5和CO₂排放，2019年4月，伦敦交通局在约21 km²的核心区域设立了超低排放区，受限车型种类较低排放区进一步扩大。此后，该区域于2021年10月和2023年8月经历了两次扩展，目前超低排放区范围已与低排放区一致，覆盖整个大伦敦地区。

伦敦市政府通过双重措施推动清洁能源车辆的应用：一方面，对进入大伦敦地区且尾气排放超标的机动车额外征收费用；另一

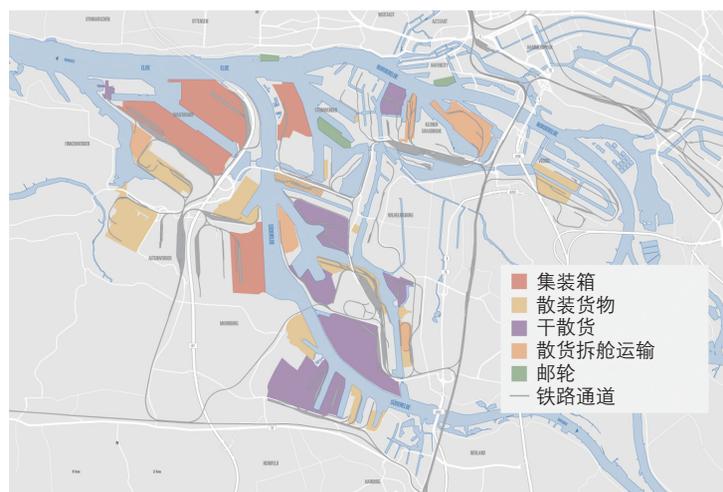


图2 德国汉堡港通往各码头的铁路通道

Fig.2 Rail corridors connecting terminals at the Port of Hamburg, Germany

资料来源：文献[7]。

方面,实施1.6亿英镑(约合人民币15.3亿元)的车辆报废补贴计划,支持符合条件的伦敦居民报废未达到超低排放区标准的车辆。根据伦敦市长办公室2020年10月发布的《伦敦环境战略》(London Environment Strategy)研究,超低排放区实施后,核心区域污染物排放大幅降低: NO₂排放量减少35%(约230 t), CO₂减排量达12 300 t,相当于设置800多个太阳能光伏装置所产生的碳减排效益。

1.4 推广新能源货车与清洁能源应用

1) 美国加利福尼亚州: 电动货车计划^[10]。

加利福尼亚州(以下简称“加州”)一直是美国电动交通和清洁能源推广的先驱之一。交通运输是该州温室气体和其他污染物排放的最大单一来源,约占温室气体排放总量的25%。电动货车计划是加州政府为减少交通污染与温室气体排放所推行的重要措施之一。2020年9月,加州州长签署行政命令(Executive Order N-79-20),旨在全面推动零排放汽车(Zero-Emission Vehicle)转型,提出以下目标:到2035年,全面禁止销售新的汽油和柴油动力轻型乘用车(包括轿车、SUV、皮卡等);到2045年,力争禁止销售所有新的燃油中型和重型车辆(Medium- and Heavy-Duty Vehicles),如货运卡车、巴士等。2023年3月,拜登政府批准加州执行新规,要求到2035年,该州销售的中型和重型车辆中零排放汽车比例不低于50%,以进一步降低公路污染。

2) HyTrucks: 欧洲最大的氢能项目之一^[11]。

清洁氢能是适用于重型车辆的能源载体之一,可以减少温室气体排放、降低城市污染并减轻对化石燃料的依赖。HyTrucks项目是欧洲最大的氢能项目之一,旨在推动零排放重型卡车车队在欧洲交通繁忙区域的运营。该项目的目标是引导欧洲270万辆重型卡车向零排放运输转型,预计每年可减少3.24亿t CO₂、14.3万t NO_x及4 000 t细颗粒物排放,并创造超过15万个就业岗位。HyTrucks项目汇集了欧洲多家领先的托运商、承运商、卡车制造商、加油站运营商和氢气供应商。到2025年,该项目将实现1 000辆重型氢卡车上路运营,并在欧洲两大海港——鹿特丹港和安特卫普港、欧洲最大内河港口杜伊斯堡港,以及其间的运输走廊上建设25座重型卡车加氢站,以推动氢能在货运行业的应用。

1.5 小结

总结以上国际经验,并参考“避免—转移—提升”(Avoid-Shift-Improve, A-S-I)框架^[12],将货运减碳策略分为3类供上海市借鉴。1)避免:通过合理的产业空间规划与物流中心布局,减少非必要的重型货车使用以及远距离运输需求;2)转移:通过加强内河航运与铁路货运网络等基础设施建设与效能提升,提高水铁运输吞吐量与效率,推动道路货运向水运和铁路等低碳方式转移;3)提升:一方面通过提高货车运行管理的精细化能力(如设置货车专用通道),降低道路货车的尾气排放;另一方面,通过推广新能源货车与提升车辆能效,减少对传统燃油的依赖。

2 上海市重型货车碳排放特征

2.1 道路网络层面

为分析上海市道路网络层面重型货车的碳排放特征,本文采用2021年10月21日上海市约11万辆12 t以上货车GPS数据。经数据筛选、空间匹配与数据清洗后,根据每辆车在连续两个时间戳之间的行驶距离、平均行驶速度及对应的碳排放因子,计算每辆车在各个轨迹段的碳排放量,进而汇总获得每辆车的日碳排放量和全市货车碳排放总量,具体方法可参考文献[13]。

将上海市重型货车的碳排放数据与道路网进行匹配,可分析其碳排放在市域道路网上的空间分布特征(见图3)。受市区货运限行政策影响,重型货车碳排放主要分布在中心城区以外的道路网络。绕城高速、沈海高速及外环线作为骨干货运通道,是重型货车碳排放的集中区域。2022年,沈海高速与绕城高速日均货车交通量约为2万自然车次,货车交通量比例分别高达44%和50%,位居全路网前两位。在叠加客运交通量的影响下,这些道路的拥堵水平较高。因此,在货运交通量大和交通拥堵的共同作用下,沈海高速和绕城高速等道路的重型货车碳排放显著偏高。

2.2 交通小区层面

为分析上海市不同交通小区重型货车的碳排放特征,基于各交通小区的重型货车出行量、平均出行距离、平均油耗以及排放因子等数据,本文按照以下公式计算各交通小区的重型货车碳排放强度。

$$E_i = \sum_{j=1}^n V_{i,j} D_{i,j} F_j C, \quad (1)$$

式中： E_i 为交通小区*i*的重型货车碳排放强度/t； n 为重型货车车型种类数量； $V_{i,j}$ 为交通小区*i*中车型*j*的出行量/车次； $D_{i,j}$ 为交通小区*i*中车型*j*的平均出行距离/km； F_j 为车型*j*的平均油耗/(L·车km⁻¹)； C 为单位油耗对应的碳排放因子/(t·L⁻¹)。

重型货车碳排放与城市大宗货物运输密切相关，主要涉及工业物流和港口物流等运输活动。上海市工业产业基地主要分布在城市外围区域。将重型货车碳排放空间分布与工业产业基地分布进行叠加(见图4)可以看出，临港装备业基地、青浦工业园区、嘉定汽车产业基地、宝山钢铁基地等制造业基地周边道路的碳排放强度较高，说明汽车、钢铁等产业对重型货车运输需求较大。此外，由于上海港货物吞吐量主要集中于洋山港和外高桥港，这两大港区也呈现出较高的碳排放强度。

2.3 小结

结合以上碳排放空间分布特征及其与产业布局、交通设施之间的关系，本文提出以下减碳策略方向：1)针对绕城高速、沈海高速等重型货车比例高、碳排放较高的关键路段，可实施精细化交通治理，例如设置货车专用通道，提升通行效率并降低排放。2)针对产业需求大，碳排放强度高的工业基地，应推进产业用地适度集中布局，减少因工业用地零散分布产生的非必要运输需求。3)针对洋山港、外高桥港等集疏运需求大、碳排放较高的港口，应优化集疏运设施布局，加强铁路与水路货运设施建设，提高低碳运输方式在集疏运体系中的比例。

3 上海市重型货车减碳策略

结合国际经验和上海市重型货车碳排放分布特征，本文从优化产业空间布局、货运交通结构、交通路权分配以及能源利用结构4个方面提出上海市重型货车减碳策略。

3.1 优化产业空间布局以提升货运集约化水平

1) 持续优化全市产业基地空间布局。

截至2022年底，上海市工业与产业用地总面积约600 km²。总体而言，产业空间呈现出园区集聚规模不足、土地集约利用水

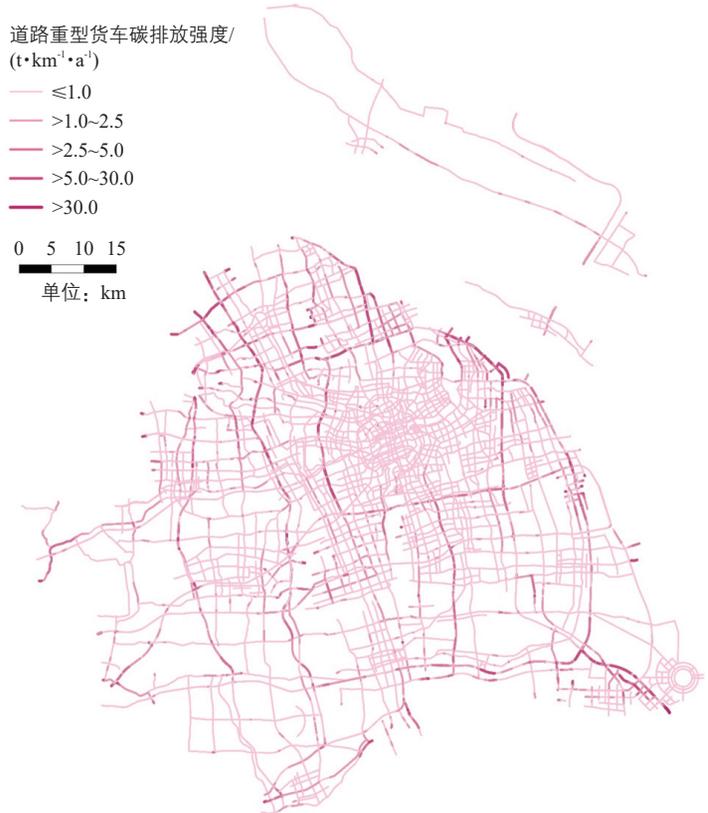


图3 上海市重型货车碳排放强度道路网络分布

Fig.3 Road network distribution of carbon emissions intensity from heavy-duty trucks in Shanghai

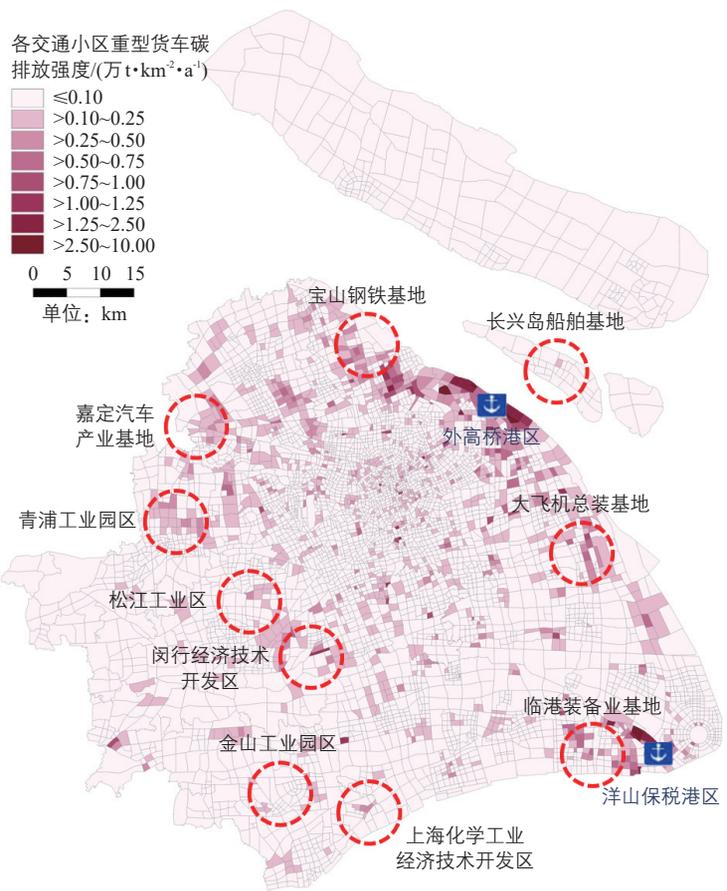


图4 上海市重型货车碳排放强度交通小区分布

Fig.4 Traffic zones distribution of carbon emissions intensity from heavy-duty trucks in Shanghai

平偏低的状态。以新市镇产业区块为例，其规模普遍较小、布局较为分散，平均每个区块面积约2~3 km²，全市共计约100处；现状产业用地总规模为300 km²，规划产业用地规模约为200 km²。当前，上海市既面临新项目对增量空间的迫切需求，又面临大量存量低效产业用地闲置与亟待盘活的压力。结合货运碳排放分析，推进产业用地适度集中与集约化发展是重要方向。这样既有利于促进产业发展、提升用地绩效，还可为货运需求规模化组织及低碳货运方式的布局提供基础支撑。

一方面，应优化产业结构，推进高污染、高能耗、低效益的工业用地转型与退出，合理压缩低效用地规模，推动工业用地资源低碳化利用；另一方面，应促进产业用地集聚发展，持续优化建设用地结构，统筹空间利用强度与品质，坚持“以强度换空间，以空间促品质”。建议将单位产值碳排放量指标纳入产业用地综合绩效评估体系，加强产业用地综合绩效评估和分类处置，持续推动土地高质量利用和可持续发展。

2) 加强长三角产业跨区域协同发展。

产业发展具有典型的区域协同特征。面对区域产业分工与竞争格局，应从城市群与都市圈协同发展，以及产业链上下游协作的视角出发，统筹优化产业空间布局，减少由于空间布局不合理所产生的不必要货物运输需求。

为落实长三角一体化高质量发展要求，应结合上海大都市圈空间规划与产业协同规划，进一步强化上海市与都市圈、长三角城市群之间的产业协同和空间一体化发展。充分发挥上海市的龙头带动作用，强化其与北部长江口、南部杭州湾、西部环太湖及东部深远海等战略区域的产业衔接和空间联系，拓展产业发展纵深。

区域产业协同体现为产业链与创新链的要素高效流动及空间优化配置。应在交通、信息、市场与产业等领域加强协同对接，推动建立长三角区域货物运输共同市场，并完善一体化发展的工作推进机制。通过优化城际货物运输路线和关键节点布局，构建高效绿色货运配送网络，从而减少运输过程中的能源消耗和碳排放，不断提升长三角地区综合运输效率和可持续发展水平。

3.2 完善低碳交通设施与集疏运体系结构

1) 推动大型港口与铁路运输通道的无缝衔接。

缝衔接。

从重型货车碳排放的空间分布来看，港口及其周边集疏运通道是碳排放的主要区域。目前，上海港各港区均未实现铁路直接接入，铁路在集疏运系统中占比偏低，不足0.1%。因此，针对重要港区，应加强铁路支线及专用线建设，使其深入港区核心作业区域，有效提升水铁联运比例，从而降低港口集疏运过程中的碳排放。从上海市铁路系统发展规划来看，未来将形成以5个方向、12条干线为骨架的铁路网络布局，并规划建设外高桥、闵行、芦潮港、徐行、石湖荡等铁路物流基地。在此背景下，应进一步优化海铁联运设施布局，着力解决铁路进入港区的“最后一公里”问题，实现港口与铁路系统的高效衔接。

2) 推进货运需求较大的产业基地与水运系统直接衔接。

从重型货车碳排放与产业空间布局的关系来看，重要的工业产业基地同样是碳排放的主要来源区域。目前，除长兴、宝钢、临港等少数产业基地已接入水运系统外，多数基地仍缺乏此类衔接条件。在后续产业基地布局和选址中，应加强与铁路及水运系统的高效衔接。对于货运交通量达到一定规模的产业基地，选址需综合评估铁路及水运的衔接条件，并配套建设铁路支线、专用线或水运码头等基础设施。

结合上海市产业基地与内河港区布局规划(见图5)，上海化学工业经济技术开发区可接入漕泾港区；嘉定汽车产业基地可与安亭港区相衔接；临港装备业基地则可充分利用芦潮港一级港区的条件。通过加强上述基地与港区的衔接，可推动大宗货物从公路运输转向内河水运，从而有效降低运输过程碳排放。

3.3 基于碳排放效率优化货运路权分配与运输组织

1) 研究建设全天候或限时货运专用通道，提高道路货物运输效率。

① 市域通道。

根据《2022年上海交通运行年报》，G1503绕城高速是上海市域内主要的环状运输通道^[13]。结合既有研究^[14]发现：重型货车在拥堵状态(行驶速度20~30 km·h⁻¹)下的碳排放量，比畅通状态(行驶速度60~80 km·h⁻¹)高出约40%。基于当前重型货车GPS实际运

行数据，在剔除行驶速度低于 $20\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的异常值及极端拥堵情况后，G1503绕城高速上重型货车的瞬时速度分布见图6。可以看出，仍有大量车辆集中于 $20\sim 40\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的低速运行区间。

从车流构成来看，G1503绕城高速全线日均交通量约7万当量小汽车(pcu)，其中货运比例高达50%，远超G2京沪高速(12%)、G60沪昆高速(15%)和G15沈海高速(44%)的货运比例，是除外环线外最重要的货运通道。从道路运行状况来看，当前高速公路拥堵最严重的路段集中在G2、G60及G15等放射线路，而G1503绕城高速总体运行状况良好，具备进一步优化路权划分的基本条件。

综上，结合G1503绕城高速在上海市客货运输中的功能定位与现状交通流特征，建议针对此类公路货运主通道，研究优化运营组织的可行性。重点探索局部时段、局部车道实行货车专用通行模式，减少客货车辆间的相互干扰，提升货车运行效率，从而有效降低其碳排放。

② 新城通道。

新城内部应基于道路网规划，研究布局1条货运通道环线。该环线可因地制宜采用专用道路形式，或采取局部时段专用、部分车道专用等灵活管理模式，串联现有各类产业园区，并限制环线内部区域的货车通行。以松江新城为例，可由松卫北路—辰花路—辰塔路—金玉路构成新城内部货运环线，串联周边产业区，缓解货运穿城问题(见图7)。

2) 构建绕城高速沿线市域铁路货运通道，采用客货兼用运输组织模式。

根据5个新城(嘉定新城、青浦新城、松江新城、奉贤新城、南汇新城)及上海市产业园区布局规划，新城工业区与全市主要产业基地大多分布于G1503绕城高速沿线(见图8)，货运需求充足。与此同时，市域铁路网络具备富余运输能力：上海市在5个新城圈层规划了宝嘉线、嘉青松金线、南枫线等多条市域铁路，其运能达百万量级，具有较为充裕的运输能力。市域铁路网络也具有较好的运输组织灵活性，可通过客货混编、货运专列等多种模式实现货物运输功能。

综上，建议针对G1503绕城高速沿线、串联5个新城和主要产业基地的南枫线、嘉青松金线、宝嘉线等市域铁路，研究其承担特定类型货物运输的可行性，为推动部分货物由公路转向铁路运输提供基础设施条件。

3.4 推进清洁燃料货车在“定长运输”中的示范应用

2024年2月20日，交通运输部发布《关于国家电力投资集团有限公司开展重卡换电站建设组网与运营示范等交通强国建设试点工作的意见》(交规划函〔2024〕55号)，提出围绕重卡换电站建设组网与运营示范、氢燃料电池研发与氢能交通运营平台应用、城



图5 上海市产业基地与内河港区布局规划

Fig.5 Planning layout of industrial bases and inland ports in Shanghai

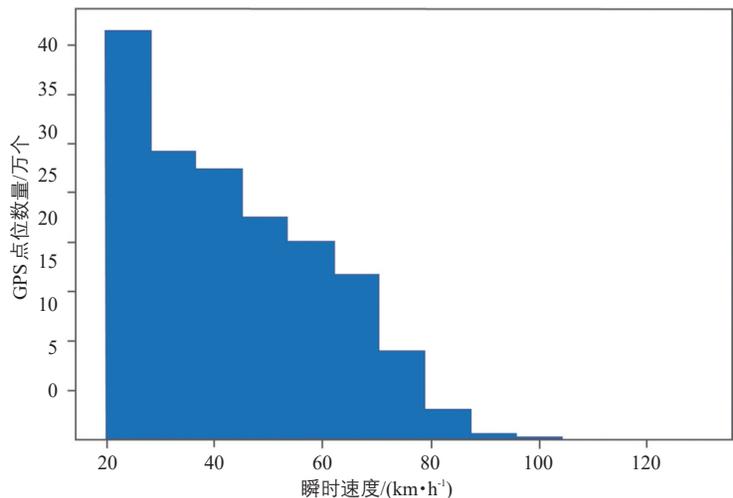


图6 上海市G1503绕城高速重型货车瞬时速度分布

Fig.6 Instantaneous speed distribution of heavy-duty trucks on the G1503 Ring Expressway in Shanghai

市级绿能交通体系建设与应用3个方面推进试点工作。国家在战略层面的政策支持与新能源技术的持续发展,为清洁燃料货车的推广提供了契机。

1) 在“定长运输”线路中率先开展清洁燃料货车试点。

清洁燃料货车主要包括电动货车与氢能货车等类型。相较于液化天然气以及其他能源类型的重型货车,纯电动重型卡车现阶段尚未表现出明显优势,主要适用于距离较短

的封闭区域,可在部分“定长运输”线路中率先开展示范应用。图9展示了起讫点在闵行经济技术开发区内的货车OD分布情况。可以看出,该产业区的运输活动具有一定方向性,且起讫点分布较为均衡,与西北侧的松江新城及东北侧的吴泾地区运输联系较为密切,分别占该产业区货车交通量的18%(约10 000辆)和12%(约6 500辆)。这两条主要OD的出行距离分别为14 km和11 km,距离相对较短,适宜作为电动货车试点区域,可在OD两端铺设充电桩,以支持电动货车的推广使用。

相比之下,随着氢燃料电池技术和氢气储存技术的不断进步,氢能货车的续航能力显著提高,在长距离货运场景中较电动货车更具优势。因此,可在都市圈层面的重要货运走廊上率先开展氢能货车的试点示范。

2) 以“充电站+换电站”协同模式构建高效配电网络。

产业基地周边碳排放强度较高,存在较强的重型货车运输需求。建议在各产业基地配置1~2座充电站,选址宜靠近主要货运通道或工业园区入口处,以满足电动货车的充电需求。同时,可沿产业集聚区域的绕城高速公路布局一系列重型货车换电站,以便货车驾驶人在运输途中快速更换电池,保障车辆持续行驶能力,避免因电量不足造成运输延误与成本增加。充电站与换电站的协同配置,有利于构建高效、便捷的重型货车配电网络,为电动货车的规模化应用提供可持续基础设施支持,推动城市货运绿色转型,进一步减少碳排放和改善空气质量。

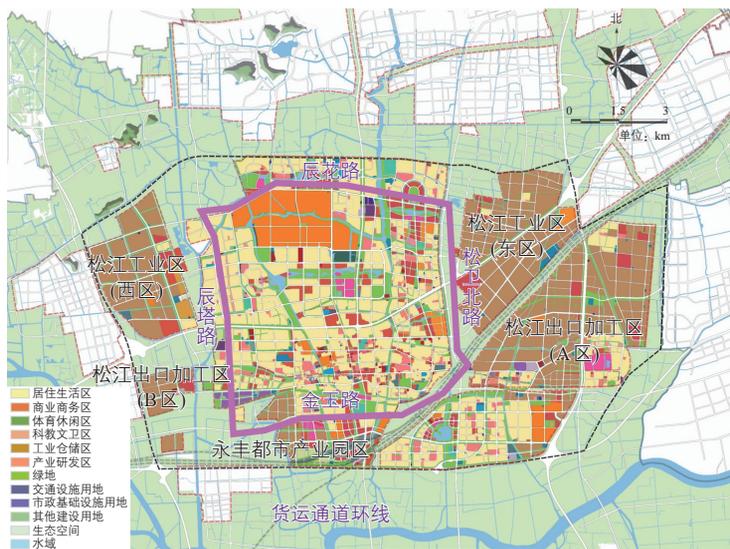


图7 上海市松江新城货运通道环线布局
Fig.7 Freight ring corridors layout of Songjiang New City in Shanghai



图8 上海市产业园区规划与G1503绕城高速及相关市域铁路的空间关系
Fig.8 Spatial relationship between planned industrial parks and the G1503 Ring Expressway and related urban railways in Shanghai

3.5 减碳策略综合分析

1) 产业空间布局优化需协调多方利益并突破区域行政壁垒,涉及土地规划与产业政策调整等,实施难度较大,但可有效减少冗余运输需求,长期减碳效益显著。

2) 货运交通结构调整方面,需推动铁路进港“最后一公里”建设、加强产业基地与内河航运衔接,并应对技术标准整合与土地征用等问题。尽管初期投入较高,但提升铁路与水运比例将有效降低港口及工业基地周边碳排放,且水运的低成本特性也有助于缩短投资回报周期。

3) 交通路权分配与运输组织优化方面,面临公众接受度与设施技术升级的双重挑战。通过设置货运专用通道、探索市域铁

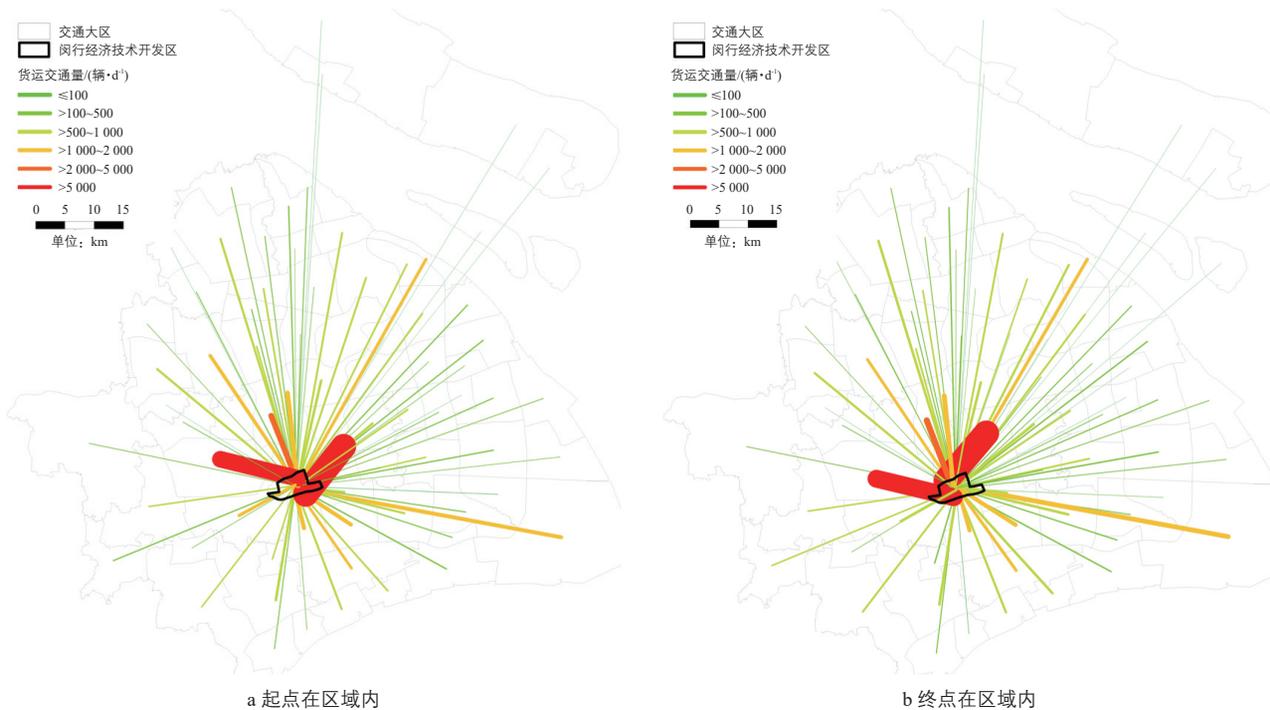


图9 起讫点在闵行经济技术开发区内的货车OD分布

Fig.9 Origin - destination (OD) distribution of truck trips originating and terminating within the Minhang Economic and Technological Development Zone

路客货混编运输等措施，不仅能够提升货运效率、降低碳排放强度，且改造成本可控、短期见效快。

4) 能源利用结构升级方面，电动货车在短距离场景中技术成熟度较高，推广阻力较小；氢能货车则更依赖加氢基础设施突破与规模化应用以降低成本，长期减排潜力突出但需政策持续扶持。

综合来看，短期内应优先推进货运专用通道建设与电动货车场景化应用，以快速实现减碳效益；中长期需聚焦铁路集疏运体系能力提升与氢能技术突破，并注重产业空间布局优化与区域交通规划的深度协同，避免因政策碎片化影响实施效果。

4 结束语

本文基于国际城市实践经验与上海市重型货车碳排放特征分析，从空间、交通和碳排放协同角度，提出上海市重型货车减碳策略，具体包括产业空间布局优化、货运交通结构调整、路权分配完善以及能源利用结构升级等方面。同时，对各项策略的实施难度及减碳效果进行了分析，为减碳方案的比选提供了更有力的依据。研究成果可为上海市制定科学减碳规划提供决策支持，并进一步提高货运减碳效率。未来可针对本文提出的

减碳策略，进一步制定可操作的规划实施方案，以推动政策实施，加快货运减碳进程。

参考文献：

References:

- [1] International Energy Agency. World energy outlook 2022[M]. Paris: International Energy Agency, 2022.
- [2] 李晓易, 谭晓雨, 吴睿, 等. 交通运输领域碳达峰、碳中和路径研究[J]. 中国工程科学, 2021, 23(6): 15-21.
LI X Y, TAN X Y, WU R, et al. Paths for carbon peak and carbon neutrality in transport sector in China[J]. Strategic study of CAE, 2021, 23(6): 15-21.
- [3] 张明琦, 郑泽东, 李永东. 公路货运能耗及低碳化发展路径研究[J]. 机车电传动, 2022 (3): 10-16.
ZHANG M Q, ZHENG Z D, LI Y D. Research on road freight energy consumption and low-carbon development path[J]. Electric drive for locomotives, 2022(3): 10-16.
- [4] LOPEZ N S, SOLIMAN J, BIONA J B M, et al. Cost-benefit analysis of alternative vehicles in the Philippines using immediate and distant future scenarios[J]. Transportation research part D: transport and environment, 2020, 82: 102308.

(下转第 101 页)