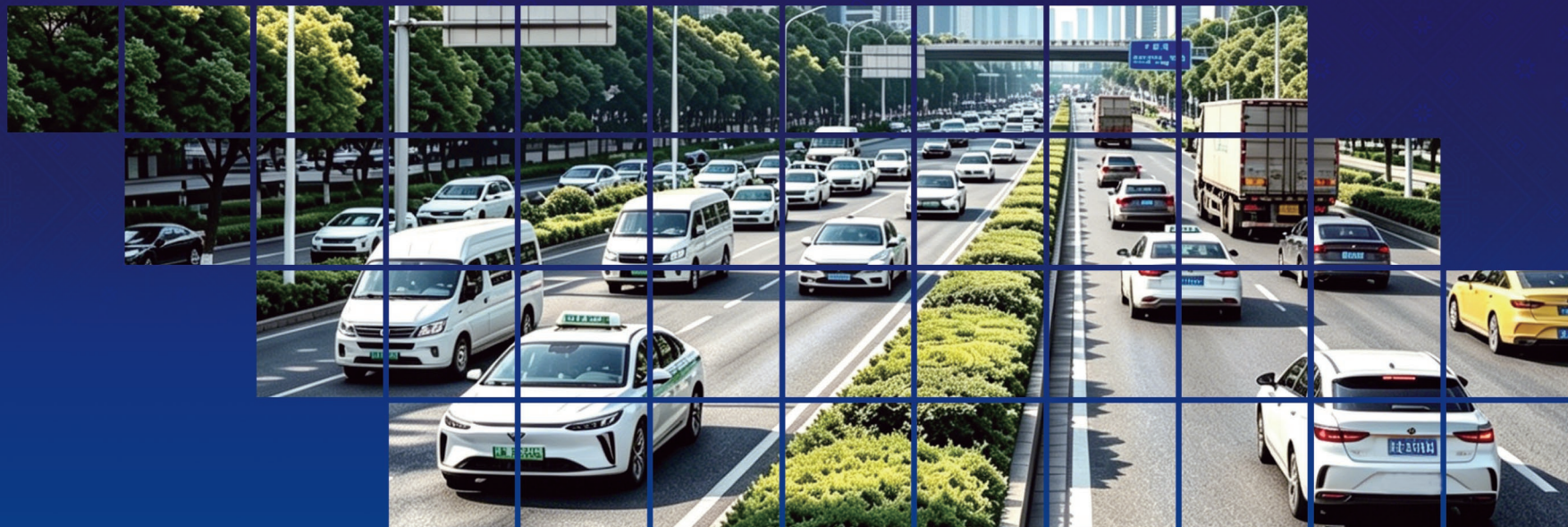




大气中国 2026

中国移动源污染防治城市实践



亚洲清洁空气中心

关于亚洲清洁空气中心

亚洲清洁空气中心 (Clean Air Asia, 简称 CAA)是一家国际非营利性环保公益组织，致力于改善亚洲区域空气质量，打造健康宜居的城市。CAA 成立于 2001 年，是联合国认可的合作伙伴机构。

CAA 总部位于菲律宾马尼拉，在中国北京和印度德里设有办公室。CAA 拥有来自全球的 261 个合作伙伴，并建立了六个国家网络——印度尼西亚、马来西亚、尼泊尔、菲律宾、斯里兰卡和越南。

CAA 自 2002 年起在中国开展工作，专注于空气质量管理、绿色交通和能源转型。2018 年 3 月 12 日，CAA 获得北京市公安局颁发的《境外非政府组织代表机构登记证书》，在北京设立亚洲清洁空气中心（菲律宾）北京代表处。CAA 接受公安部及业务主管单位生态环境部的指导，在全国范围内开展大气治理领域的能力建设、研究和宣传教育工作。

报告团队

案例编制 上海：交通空气污染监测与评估体系实践 以立体监测支撑精准治理的路径探索

潘 骏 上海市环境监测中心 工程师
孙 毅 上海市环境监测中心 工程师
李 芳 上海市环境监测中心 高级工程师
黄 成 上海市环境监测中心 正高级工程师

成都：新能源渣土车和混凝土罐车推广实践 以路权引导与场景驱动协同的路径探索

方 菲 成都市环境保护科学研究院 工程师
周子航 成都市环境保护科学研究院 副所长
罗兰妮 成都市环境保护科学研究院 工程师
吴潇萌 清华大学环境学院 助理研究员
赵 彬 成都市环境保护科学研究院 副院长

上海：国四柴油车淘汰更新补贴政策实践 以结构性替代推动移动源减排的路径探索

胡磬遥 上海市环境科学研究院 高级工程师
曹翊寰 上海市环境科学研究院 工程师
周 敏 上海市环境科学研究院 高级工程师
黄丹丹 上海市环境科学研究院 高级工程师
伏晴艳 上海市环境科学研究院 正高级工程师

上海：绿色航运转型实践 从污染控制到低碳体系构建的路径探索

黄丹丹 上海市环境科学研究院 高级工程师
曹翊寰 上海市环境科学研究院 工程师
胡磬遥 上海市环境科学研究院 高级工程师
潘 骏 上海市环境监测中心 工程师
黄 成 上海市环境监测中心 正高级工程师
王红丽 上海市环境科学研究院 正高级工程师
伏晴艳 上海市环境科学研究院 正高级工程师

成都：近零碳施工工地试点实践
以全过程管理推动建筑施工场景减污降碳的路径探索

邓 也 成都市环境保护科学研究院 高级工程师
张 鑫 成都市环境保护科学研究院 工程师
辛 亮 成都市环境保护科学研究院 工程师
宋丹林 成都市环境保护科学研究院 高级工程师
卓俊好 中国国检测试控股集团股份有限公司成都分公司 副总经理

报告汇编 成慧慧 中国绿色交通项目总监

夏冬飞 交通项目主管
冉 铮 高级交通研究员
邵 雯 交通研究员
朱 妍 传播与能源主管



当前，移动源已经成为大气污染排放的重要来源与治理重点，同时也是交通绿色低碳转型的重要领域。随着《环境空气质量标准》(GB 3095—2026)正式实施，空气质量改善要求不断提高，移动源环境管理迈入更加精细化、系统化的新阶段。加快推进移动源减污降碳协同治理，已成为持续改善空气质量、推动交通运输绿色低碳转型的关键抓手。

“十四五”以来，我国移动源治理体系不断完善，政策标准持续升级。在道路移动源领域，机动车排放标准已全面迈入“国六b”时代，国七标准制定工作持续推进；机动车排放监管持续强化，建立了覆盖生产、销售、使用及维护等环节的全生命周期监管体系，依托道路尾气遥感监测、远程在线监控(OBD)等技术手段，智慧监管能力大幅提升；老旧车淘汰更新进程不断加快，国四排放标准营运货车已纳入国家报废更新补贴支持范围。在非道路移动源领域，非道路移动机械国四排放标准全面实施，国五排放标准已发布征求意见稿；机械环保编码登记实现全国覆盖，全国已有326个城市划定高排放机械管控区¹，船舶排放控制区扩容升级，重点区域及主要船型的岸电使用趋于常态化。

与此同时，交通能源结构转型显著提速。新能源汽车产业快速发展，截至2025年底，全国新能源汽车保有量已达4397万辆，占汽车保有量的比重约12%，新车销量渗透率突破45%²。新能源重卡的应用场景不断拓展，从港口、机场等枢纽延伸至火电、钢铁、煤炭等工矿企业及大宗物流园区。船舶清洁化进程加速，截至2025年底，我国清洁能源与新能源船舶保有量已突破1300艘³。此外，港口绿色转型持续推进，前瞻布局绿色燃料加注体系以及充换电基础设施。总体上看，移动源治理已从末端污染控制，转向减污降碳协同、结构优化和系统转型的新阶段。

随着治理路径系统性和精准化推进，我国移动源污染治理成效显著。据生态环境部历年发布的《中国移动源环境管理年报》，2019至2024年，全国移动源氮氧化物(NO_x)和颗粒物(PM)排放量分别下降20.1%和15.6%，其中机动车污染治理的减排贡献突出。

¹ 生态环境部，《中国移动源环境管理年报(2025年)》，2025年12月，
https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/ydyhjgl/202512/t20251203_1137022.shtml

² 公安部，《2025年全国机动车和驾驶人数据》，2026年1月26日，
<https://www.mps.gov.cn/n2254314/n6409334/c10383533/content.html>

³ 交通运输部水运科学研究院，《中国新能源清洁能源船舶发展报告(2025)》正式发布，2026年7月11日，
<https://www.wti.ac.cn/wti/xwdt/7842.jhtml>

但同时，移动源仍是当前和未来一段时期内空气质量持续改善的重点领域。据生态环境部数据⁴，2024年全国NO_x排放中移动源贡献超过60%，是大气污染治理的关键环节。多地细颗粒物（PM_{2.5}）源解析结果显示，尽管移动源PM_{2.5}排放总量持续下降，但其相对贡献持续上升。例如，各城市移动源对PM_{2.5}的贡献比例中，北京市从2013年的31%提高至2024年的50%，上海市从29%提高至44%，天津、成都等城市也呈现类似趋势⁵。此外，非道路移动源已逐步成为移动源治理的重点。2019–2024年，全国非道路移动源NO_x排放降幅约为1.3%，其NO_x排放量已超过机动车排放水平，减排潜力有待进一步释放。

随着移动源治理进入更加精细化、系统化的结构转型阶段，如何结合本地产业结构、运输特征和空气质量改善需求，探索更加精准有效的治理路径，成为推动移动源减排潜力持续释放的重要方向。

在此背景下，城市正在成为移动源治理创新的重要主体。近年来，一些城市立足自身发展特点，在交通污染监测、国四柴油车淘汰更新、细分场景新能源重卡推广、港航绿色转型、非道路移动机械治理等领域，探索形成了一系列具有代表性的实践路径。这些实践体现出移动源减排从末端治理向结构优化转变、从单一污染物控制向减污降碳协同推进、从传统监管向数字化和精细化治理升级的趋势，为移动源治理积累和提供了丰富的地方经验。

进入“十五五”时期，移动源治理将进一步向精准化、系统化和协同化的方向迈进。系统梳理并总结这些实践做法和优秀经验，对推进移动源领域持续减排、支撑空气质量改善和绿色低碳转型具有重要意义。立足于此，亚洲清洁空气中心编制《大气中国2026 | 中国移动源污染防治城市实践》，聚焦全国具有代表性的城市实践案例，系统分析其政策背景、实施路径、配套机制和治理成效，提炼可复制、可推广的经验模式，为各地制定和实施移动源减排措施提供参考借鉴，以此推动空气质量持续改善，助力迈向绿色、健康、可持续的未来。

⁴ 生态环境部，《2024年中国生态环境统计年报》，2025年11月，
https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/sthjtnb/202511/t20251128_1135226.shtml

⁵ 数据来源：城市PM_{2.5}源解析结果，亚洲清洁空气中心整理

目录



执行摘要

主要发现 02

案例要点 05



能力建设：监测评估支撑精准治理

上海：交通空气污染监测与评估体系实践

以立体监测支撑精准治理的路径探索 11



重型卡车减排：存量淘汰与增量替代并重

成都：新能源渣土车和混凝土罐车推广实践

以路权引导与场景驱动协同的路径探索 27

上海：国四柴油车淘汰更新补贴政策实践

以结构性替代推动移动源减排的路径探索 38



港航协同减排：港口绿色燃料供应链建设

上海：绿色航运转型实践

从污染控制到低碳体系构建的路径探索 51



非道路移动源减排：重点场景清洁化转型探索

成都：近零碳施工工地试点实践

以全过程管理推动建筑施工场景减污降碳的路径探索 67



执行摘要

近年来，我国移动源污染防治取得积极进展，治理体系不断完善，政策标准持续升级，结构转型显著提速，移动源治理重点已从末端污染控制迈向减污降碳协同、结构优化和系统转型的新阶段。面向碳达峰碳中和目标和空气质量持续改善需求，移动源在绿色低碳转型和污染减排中的作用进一步凸显。柴油货车、非道路移动机械和船舶等重点领域仍具有较大减排潜力，治理路径向空气质量改善、产业绿色转型及交通运输高质量发展协同推进转变。

在此背景下，多地结合自身交通排放特征和环境管理需求等，探索了差异化的移动源治理路径。基于此，本报告汇编了五项具有代表性的城市案例，涵盖交通污染监测、国四柴油车淘汰更新、细分场景新能源重卡推广、绿色航运转型和建筑工地非道路移动源清洁化领域，并总结其实施路径、治理成效和经验启示，为“十五五”时期移动源污染防治和交通绿色低碳转型提供参考借鉴。主要发现如下：

（一）主要发现

移动源治理加速从末端控制向结构优化转变。

随着城市空气质量管理进入更加精细化的新阶段，主要依靠末端治理的减排空间逐步收窄，推动移动源能源结构和车队结构优化，正在成为持续释放减排潜力的重要路径。案例城市通过聚焦重点车辆和重点场景，精准施策，协同推进存量高排放车辆淘汰和增量新能源替代。上海市通过“补贴激励 + 通行约束 + 强化监管”的组合拳，加快国四柴油车淘汰更新，货车作为淘汰主力，活动强度大幅降低，例如国四重型柴油车行驶里程占比从 2023 年的 22% 降至 2026 年上半年的 4%，2026 年 1–5 月二氧化

化氮（ NO_2 ）浓度较 2024 年同期降幅达 21%–25%。成都市通过差异化路权、供需双向激励等政策组合，推动新能源渣土车和混凝土罐车应用，新能源渣土车保有量占比从 2022 年的 2% 提至 2024 年的 24%，三环内行驶里程占比达 90%。同时，成都市还通过近零碳施工工地试点，以施工设备新能源替代为主攻方向，推动施工阶段 $\text{PM}_{2.5}$ 、 NO_x 和二氧化碳（ CO_2 ）的减排比例分别达到 19%、22% 和 33%，实现减污降碳协同增效。实践表明，以重点车辆、重点场景为突破口推进结构优化，是当前移动源减排的重要方向。



监测评估能力为精准治理提供基础支撑。

移动源具有分布广、流动性强、排放特征复杂等特点，数字化监测和科学评估已成为支撑精准治理的重要基础。上海市持续完善交通空气污染监测体系，依托“标准站+微型站+移动监测”等多元手段，构建了覆盖道路、港口、机场和近海区域的“天空地海”一体化立体监测网络，并结合环境专题数据库和全路网车辆结构数据库，建立“监测-评估-决策”的闭环机制，为政策制定和效果评估提供科学依据。在国四柴油车淘汰更新过程中，上海市依托电子围栏、远程在线监控（OBD）等数字化技术，实现车辆活动、限行执法和进度评估的全过程动态监督。成都市在推广新能源渣土车的实践中，建立智慧监管平台，

接入车辆基础信息、排放标准、运行轨迹等数据，并通过电子围栏识别活跃车辆，实现车辆运行状态的实时跟踪和精准监管。实践表明，持续完善监测评估体系、提升数字化监管能力，是移动源治理过程中科学决策、精准施策和成效评估的有力支撑。

差异化政策组合有助于激发市场转型动力。

推动移动源结构转型，需要综合运用经济激励、使用约束与产业引导等差异化政策，充分调动市场主体的转型积极性。在道路运输领域，上海市通过差异化补贴激励、分阶段限行引导国四柴油车辆淘汰更新，推动物流企业由观望逐步转向行动；成都市通过差异化路权、车辆制造端激励

以及政府工程需求带动等政策组合，引导市场需求释放。在航运领域，上海市将法规约束、财政金融激励、技术与基础设施支撑和产业协同相结合，以政策和标准明确转型方向与要求，以补贴和金融工具降低转型前期投入压力，提升技术与基础设施保障能力，并推动港口、航运、能源和金融等主体将政策要求转化为稳定的运营服务和市场需求。实践表明，多元政策工具协同发力，有助于稳定市场预期、降低转型成本、推动市场主体有序参与，促进转型从政策驱动向市场驱动转变。

多部门协同是推动政策实施的重要保障。

移动源治理涉及排放监管、通行管理、产业推广、基础设施建设、财政金融支持和安全监管等多个领域，分属生态环境、交通运输、住建、经信、财政、公安交管等多个部门，离不开多部门协作机制。例如，上海市依托国际航运中心建设总体协调机制和船舶污染防治法规，明确市级统筹、交通协调推进、海事与交通监管以及相关部门协作的职责安排，将岸电使用、绿色燃料加注、老旧船舶更新和港航减污降碳等任务纳入国际航运中心建设和船舶污染防治框架，为港口建设、燃料供应、金融支持、环境治理和安全监管协同推进提供了制度基础。成都市近零碳施工工地

试点工作遵循“政府主导、企业实施”的原则，由市生态环境局牵头、市住建局监督管理、属地管理部门保障、科研机构与第三方机构跟踪评估，形成了“政策引导－过程监管－技术服务－效果评估”的闭环机制。实践表明，建立跨部门、跨主体的协同机制，有利于打通政策实施全过程，提高政策执行效率和治理效能。

基础设施和商业模式支撑可持续绿色转型。

移动源绿色转型不仅需要政策引导，也需要同步完善配套基础设施和培育成熟商业模式，为政策驱动向市场驱动过渡创造条件。上海市在国四柴油货车淘汰更新过程中，同步完善重卡补能基础设施建设布局，按照“近期单线突破、中期多线并网、远期广域贯通”的路径规划补能网络，探索“零排放通道与枢纽并进”的补能空间布局模式。成都市围绕渣土车主要运输通道布局充换电设施，并通过国企牵头联合经营等方式推动新能源渣土车规模化发展。随着差异化路权政策实施，电动渣土车每公里总拥有成本较柴油车降低 17%，新能源车辆的经济性进一步显现。实践表明，基础设施建设、商业模式创新与产业配套同步推进，是推动移动源绿色转型由政策驱动迈向市场驱动、实现可持续发展的重要支撑。

（二）案例要点



本报告汇编的五个案例亮点如下：

立体监测支撑精准治理：上海市交通空气污染监测与评估

作为超大型港口城市，上海市面临独特的“海陆”复合型污染与长三角区域污染传输的双重影响，污染成因日趋复杂，减排潜力与治理成本在不同区域、不同来源间差异显著。在此背景下，精准识别关键减排环节、优化治理资源配置，成为推动交通污染治理从经验判断转向精准施策的重要任务。为此，上海市通过长期投入，构建了“天空地海”一体化立体监测网络，并强化监测评估对重要政策的制度性要求，实现“监测－评估－决策”的管理闭环。主要经验如下：

- **推动监测技术升级，构建“天空地海”一体化监测网络。**上海市将监测网络作为长期基础设施建设的重要组成部分，分阶段推进从道路到港口、再到近海的全覆盖布局，构建了基于“标准站＋微型站＋移动监测”的多元协同综合立体监测网络。这一网络不仅支撑了治理决策的落地实施，也为后续政策评估和数据积累提供了可持续的基础平台。
- **强化数据治理能力，夯实精准评估基础。**上海市通过制度设计建立环境专题数据库，以规范性文件明确各部门数据责任清单、共享范围与质量标准，建设和完善动态更新的全路网车辆结构数据库和专业质控平台。

这解决了跨部门数据“标准不一、共享缺失”的运行瓶颈，为精准评估不同车型、不同区域的减排效果提供了数据根基。

- **建立监测评估闭环，推动污染治理向数据驱动转变。**通过机制性安排，上海市明确要求重大交通环境政策的制定必须基于监测评估预分析，政策实施后必须有定量跟踪评估，评估结果作为政策存续、调整或退出的核心依据，科学评估由此成为减排决策的核心支撑。

经过持续建设，上海市形成了一套科学系统的工作模式，为区域环境治理提供深度支撑。在决策支持方面，基于“内环内区域减排主要由新能源车推广驱动，而外环外更依赖排放标准升级”的评估发现，上海市进一步优化了“分区域施策、分车型管控”的治理策略。在效果评估方面，相关评估清晰量化了上海市在机动车保有量激增背景下污染物排放量与环境浓度显著下降的治理成效。案例表明，精细化监测和评估有助于提高治理决策的科学支撑水平，为面临相似复合型污染挑战的城市提供了借鉴。

“小切口”政策撬动电动化转型：成都市新能源渣土车和混凝土罐车推广

作为西部特大城市，成都市移动源 NO_x 排放占全市排放总量的 87%，对 $\text{PM}_{2.5}$ 的综合贡献为 38.8%，因此移动源减排是支持空气质量改善的重要领域。重型柴油车是移动源排放的重要来源，其中渣土车和混凝土罐车保有量

较大、活动强度高，对城区空气质量影响较大。但同时，该类车辆管理主体清晰、场景边界明确，具备开展场景化治理和新能源替代的良好基础。为此，成都市聚焦渣土车和混凝土罐车运输场景，建立多部门协同推进机制，通过差异化路权、供需双向激励等政策组合，推动新能源车辆推广应用。具体来看，成都市逐步提升柴油车限行标准，并对新能源车辆赋予全时通行权，以差异化路权撬动市场替代。同时，供需两端同步激励，供给端给予整车企业产销奖励、需求端提高政府工程新能源车辆参运比例，引导市场需求释放。主要经验如下：

- **以差异化路权为核心杠杆，撬动市场替代。**对柴油和新能源车辆实行差异化路权政策，逐步扩大柴油渣土车和混凝土罐车限行区域和限行时长，明确保障了新能源渣土车和混凝土罐车的路权优势，并逐步对城市核心区域内新能源化比例提出具体目标。政策实施后，渣土车的运输空间结构发生变化，柴油渣土车基本退出城市核心区域运输，主要承担区域间运输任务，新能源渣土车则成为承接城市内部建筑工地运输需求的主力。
- **供给端和需求端协同发力，形成双向引导。**在供给端，通过财政奖励激发产业活力，例如对整车企业研发或导入新能源车型并投产上市实现销售的，给予单个车型最高 5000 万元的产销奖励。在需求端，政府性工程和国有企业带头响应新能源车辆推广应用。一方面，政府性工程要求 2025 年底新能源车辆参运比例原则上达 100%，新能源车辆使用情况纳入招投标评分指标体系；另一方面，国有企业牵头开展联合经营，推动新

能源渣土车规模化应用和规范化运营，通过发挥国有企业资源整合和示范带动作用，不断提高建筑垃圾运输企业化、规模化、规范化水平。此外，成都市还将相关新能源车使用情况纳入全市“引领性”绩效评级、纳入绿色生产考评和企业信用评价加分，激发商混站和混凝土生产企业采购和应用新能源罐车的意愿。供需两端协同发力，推动渣土车和混凝土罐车的新能源化从政策引导逐步向市场驱动转变。

- **构建多部门协同推进机制，保障政策实施效果。**渣土车和混凝土罐车的新能源化转型，涉及车辆供需、工程施工、运输组织、道路通行、补能设施建设等多个环节，需要生态环境、交通运输、住建、城管、经信、财政、公安交管等部门明确分工、协同联动。同时，成都市通过建立渣土车智慧监管平台，实现了车辆运行状态实时监测、违规行为精准识别和监管信息快速联动，有效提升跨部门的监管效率和执行效能，形成了“政策制定—设施配套—数字监管—监督评估”的完整工作链条，保障政策实施效果。

政策实施以来，渣土车和混凝土罐车新能源化已取得显著成效。以新能源渣土车为例，其保有量占比从 2022 年的 2% 提升至 2024 年的 24%，三环内行驶里程占比达 90%。从减排效果来看，2024 年，成都市渣土车 NO_x 排放同比削减 52%，移动源清洁化水平显著提升。案例表明，在城市移动源治理中，选择管理边界清晰、市场主体明确的特定场景率先突破，通过差异化路权、供需双向激励、多部门协同保障，能够有效降低转型阻力，加速重型车辆电动化由政策驱动走向市场驱动。这一“场景突破、路权

引导、市场参与”的转型路径，可为其他城市推进重点场景重型车辆新能源化提供借鉴。

结构性替代破解“小存量、高排放”难题：上海市国四柴油车淘汰更新

上海市大气污染防治已进入以 $PM_{2.5}$ 与臭氧 (O_3) 协同控制为核心的精细化阶段，移动源排放占全市排放的比重持续上升，已成为制约空气质量进一步改善的关键瓶颈。其中，柴油车以约 7% 的保有量贡献了全市机动车 84% 的 NO_x 和 83% 的 $PM_{2.5}$ 排放。国四柴油车淘汰前，呈现“仅占保有量占比 2.4% 的国四柴油车、贡献了排放占比 45%”的结构性特征。随着国三柴油车基本退出，上海市于 2024 年 7 月出台国四柴油车淘汰更新补贴政策，通过“补贴激励 + 通行约束 + 强化监管”政策组合，并结合“重点场景验证 + 补能设施完善”双轮支撑，推动市场从观望阶段转向实施阶段。主要经验如下：

- “补贴激励 + 通行约束 + 强化监管”政策组合，精准推动结构性减排。针对国四柴油车淘汰更新，上海市以补贴政策作为核心引导工具，有效降低企业车辆更新成本。以重型货车为例，提前淘汰国四重型货车并购置新能源车辆可获得高额补贴，购置成本显著下降，叠加使用环节的能耗成本优势，新能源重型货车全生命周期成本基本实现平价，同时政策引入补贴退坡机制，形成“定向引导 + 预期管理”。此外，上海市同步实施通行约束和监管加严措施。一方面逐步收紧国四柴油货车通行区域和通行时段，减少高排放车辆在重点区域的的活动，并利用电子围栏技术实时跟踪并识

别闯禁车辆；另一方面，通过加严车辆定期排放检验，识别高排放车辆，促进国四柴油货车有序退出。

- 重点场景验证与补能设施完善协同支撑，降低市场转型不确定性。在重点场景方面，推动新能源重卡在港口集疏运、汽车零部件运输、渣土运输等场景商业化运营试点，验证技术和经济可行性。在补能设施方面，建成可提供重卡补能服务的充换电站点 54 座，包括 52 座充电站、1586 个充电枪，2 座换电站。场景落地与基建完善协同支撑，与政策引导形成合力，有效降低了市场转型的不确定性，增强企业对新能源车替代路径的信心，从而推动市场由观望状态转向实际行动。

政策实施以来，上海市国四重型柴油车活动水平显著降低，行驶里程占比从 2023 年的 22% 降至 2026 年上半年的 4%。案例表明，以补贴、路权和监管措施为引导、以重点场景为示范，有助于推动高排放车辆淘汰更新，可为其他城市完善存量替代政策组合提供参考。

从污染控制到绿色燃料供应体系建设：上海港绿色航运转型实践

上海港是全球集装箱吞吐量第一的港口，船舶排放占上海市 NO_x 排放总量的 43%、对 $PM_{2.5}$ 年均浓度的贡献约为 8%，是改善城市空气质量的关键领域。随着航运绿色转型进一步加速推进，船用绿色燃料发展成为全球航运业关注的焦点，这也对港口功能升级提出了新的要求。上海市积极响应国内减污降碳要求和国际航运净零排放趋势，逐步推进船舶大气污染治理和绿色燃料体系建设，

探索构建覆盖法规约束、政策引导、技术产业协同和国际合作的系统化转型路径。主要实践包括率先实施船舶排放控制区相关要求，大力推进岸电建设和使用，前瞻性布局 LNG、绿色甲醇等替代燃料供应和加注能力等。主要经验如下：

- **坚持政策、技术与产业协同推进，构建系统性治理框架。**上海市将政策约束、技术支撑和产业组织结合起来，依托国际航运中心建设机制和船舶污染防治法规，将岸电使用、绿色燃料加注、老旧船舶更新和港航减污降碳纳入统一的治理框架，同时推动港口企业、航运公司、能源企业和金融机构共同参与，使政策逐步转化为具体的服务能力与市场需求。系统性协同推进，是复杂转型任务从制度设计走向落地实施的重要保障。
- **标准规范、激励与约束并举，推动政策要求转化为企业行动。**在推进岸电使用方面，通过 2023 年施行的《上海市船舶污染防治条例》将岸电使用纳入法定义务，

并配套财政补贴等机制降低船方成本；在绿色燃料加注方面，发布《水上甲醇燃料加注作业安全管理办法》，为作业流程、风险防控和应急处置提供监管依据。标准规范、经济激励、法规约束等形成政策“组合拳”，是航运绿色转型从政策要求转化为企业行动的重要条件。

- **深化国际合作与规则对接，促进国际绿色航运合作。**作为国际航运中心，上海市绿色航运转型需要在全球航运减排规则和国际港口合作框架下持续推进。上海港—洛杉矶港绿色航运走廊已形成跨太平洋合作基础，上海市也在进一步拓展亚欧方向绿色航运走廊合作，为绿色燃料应用、碳足迹核算和国际规则衔接提供合作载体。主动对接国际规则、参与绿色航运走廊建设，是港口城市参与全球航运绿色低碳转型的重要路径。

相关措施实施以来，上海市船舶大气污染控制和绿色燃料体系建设取得显著成效。相比无控情景，DECA 2.0 实施



后上海市船舶二氧化硫（SO₂）排放降低约 71%，港口码头 SO₂ 环境浓度下降约 25%，污染控制成效显著。岸电使用方面，2025 年上海港岸电用电量约 7000 万千瓦时，较 2020 年增长 3.5 倍。绿色燃料供应体系建设方面，上海港已具备 LNG 和绿色甲醇“船到船”加注能力，保税 LNG 加注量持续增长，绿色甲醇加注实现突破，绿色燃料加注业务已由试点探索进入规模化起步阶段。此外，上海港—洛杉矶港绿色航运走廊形成合作基础，为亚太区域绿色航运合作提供了实践起点。案例表明，坚持政策、技术、产业协同，标准约束与激励机制并举，并稳步推进国际合作，有助于推动港口功能从传统装卸枢纽向绿色燃料服务枢纽转型，为其他港口城市推进绿色航运转型提供了可参照的路径。

探索近零碳施工工地：成都市建筑工地协同减污降碳实践

随着大气污染防治进入更加精细化阶段，成都市对 PM_{2.5} 和二氧化氮（NO₂）浓度进一步降低提出了更高要求。建筑工地作为扬尘和移动源排放的叠加集中区，施工过程中工程机械与运输车辆高强度运行，直接排放和扬尘对城市空气质量造成影响，是大气污染控制和协同降碳的重要场景。为此，成都市以天府新区天府永兴实验室园区建设项目（一期）为首个试点，启动推进“近零碳施工工地”试点，探索工地内新能源设备替代，并将绿色低碳理念融入施工全流程，助力建筑业绿色低碳转型。主要经验体现在：

- **构建“政府主导、企业实施、第三方核证”的协同推进机制。**试点工作由成都市生态环境局牵头制定方案与

路径，联合市住建局、区城管局等形成多部门、多层次协调机制；实施企业履行施工主体责任，第三方机构独立开展检测评估，系统构建起各主体职责清晰、分工明确的管理体系。

- **多措并举保障新能源设备替代与应用。**成都市生态环境局引入多家新能源设备厂商参与替代匹配研究，推动设备新能源化；同时出台多项支持措施，包括开辟新能源重卡充电专用通道、优先保障试点项目充电需求、协调临时用地建设内部充电桩并协调电容电力等，确保试点项目顺利推进。
- **强化智慧监测全过程管理，有力支撑科学决策和优化。**成都市试点构建“监测、核证、优化”闭环体系，搭建了近零碳施工工地智慧碳监测系统，实现施工过程数据的精准、实时监测；同时引入第三方核查机构开展全过程核证，确保数据透明、真实、可追溯，为科学决策和管理优化提供依据。

作为全国首个全生命周期绿色低碳项目，该试点的环境效益和社会效益显著。一方面，SO₂、NO_x、PM₁₀、PM_{2.5} 等大气污染物和 CO₂ 排放显著下降，相比未采取措施的预估排放减少了 33%，其中新能源设备替代贡献了 99% 的减排量。另一方面，试点推动建筑行业绿色转型，改善工地周边居民生活环境，并创造新岗位促进就业和推动施工人员技术升级。案例表明，以近零碳施工工地为场景突破口，实施新能源设备替代、全过程管理和智慧监测，有助于推动建筑施工场景减污降碳协同治理，为其他城市开展建筑施工领域减排实践提供了可参照的路径。

能力建设

监测评估支撑精准治理

An aerial photograph of a dense urban skyline, likely Shanghai, with numerous high-rise buildings. A large, semi-transparent blue graphic of the numbers '01' is overlaid on the image, with the cityscape visible through the cutouts. The overall color scheme is a deep blue.

随着移动源治理逐步进入精准化阶段，监测评估能力已成为科学决策和精细化管理的重要基础。与固定源相比，移动源具有分布广、流动性强、排放特征复杂等特点，传统监测手段难以全面反映其时空变化规律。近年来，部分城市围绕交通污染监测网络建设、污染源识别和政策效果评估等方面开展积极探索，逐步构建起覆盖监测、分析评估和决策支撑的综合体系，为移动源精准治理提供了科学依据。上海市交通空气污染监测与评估体系实践，展现了超大城市如何通过立体化监测网络提升治理能力，为城市提供了有益借鉴。

An aerial photograph of the Shanghai skyline, featuring prominent skyscrapers like the Shanghai Tower and the Oriental Pearl Tower. The image is overlaid with a semi-transparent blue filter. A vertical white line is positioned on the left side of the frame.

上海

交通空气污染监测与评估体系实践 以立体监测支撑精准治理的路径探索

1. 政策背景

上海市构建系统性的交通空气污染监测与评估体系，是其作为超大型港口城市在发展进程中应对特定环境挑战、响应国家战略要求与实现城市可持续发展目标的必然选择。这一体系的建立，源于对上海市独特城市特征下环境问题的科学认知，以及在此基础之上形成的治理需求。

上海市作为我国重要的经济、金融、贸易与航运中心，其超过 2400 万的常住人口与高度密集的经济活动，形成了规模庞大且结构复杂的移动污染源系统。环境监测与源解析研究一致表明，移动源是上海市环境空气中氮氧化物（NO_x）的最主要来源，同时也是细颗粒物（PM_{2.5}）和臭氧（O₃）的关键前体物的重要贡献者。2024 年上海

1	首要驱动力是国家战略的层层深入与刚性约束	自 2013 年起，我国先后实施了《大气污染防治行动计划》（“大气十条”）、《打赢蓝天保卫战三年行动计划》以及《空气质量持续改善行动计划》等一系列顶层政策。这些国家行动不仅为全国设定了总体目标，更对长三角等重点区域提出了较其他地区更为严格的空气质量改善时间表与污染物减排指标，为上海市的治理行动提供了有力的政策推力与政治动能。
2	污染治理阶段的客观演进是内在逻辑	经过多年治理，上海市固定工业源与扬尘等面源污染控制已取得显著成效，其边际减排成本逐步升高，治理空间相对收窄。与此同时，保有量持续增长、活动强度不断加大的交通源对空气污染的贡献率逐渐凸显，成为制约空气质量持续改善的关键瓶颈。治理重点必然且必须向更为复杂的移动源系统转移。
3	城市发展愿景的内在要求提供了顶层指引	上海市建设“卓越的全球城市”与“生态之城”的战略定位，明确要求其必须跨越环境瓶颈，优良的空气质量是提升城市国际竞争力、宜居性与实现可持续发展的核心要素，直接关系到城市综合软实力的提升。
4	公共健康风险的紧迫性构成了广泛的社会诉求与伦理要求	交通源排放高度处于人体呼吸带，导致人群暴露水平显著高于其他污染源。大量流行病学研究已证实交通空气污染与婴儿早产和低出生体重、儿童哮喘和肺功能下降、成人心脑血管系统疾病和慢性阻塞性肺病等广泛健康损害存在明确的剂量 - 反应关系。这使得交通污染治理超越了单纯的环境范畴，成为一个关乎民生福祉与公共卫生安全的重要议题。

市大气 $\text{PM}_{2.5}$ 来源中，本地源中移动源占比达到 44%，是首要来源。此外，随着长三角区域一体化进程的深入，本地排放与区域传输的叠加效应日益显著，尤其在不利气象条件下，移动源排放对 $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 污染过程有重要影响，增加了污染成因的复杂性与治理难度。

在政策措施的驱动力方面，其动力机制源于宏观政策、治理阶段、城市战略与公共健康的四重驱动，构成了一个完整且相互强化的逻辑体系。

在目标与待解决问题层面，该监测与评估体系的构建，旨在实现从经验治理向精准治理的根本性转变，核心目标是精准识别污染来源、科学评估政策效果、高效支撑管理决策，致力于系统性地回答一系列关键问题：

在复杂的移动源构成中，不同车型（如轻型客车、重型货车）、不同领域（机动车、船舶、非道路移动机械）的污染物排放贡献率及其时空分布规律如何？

已经实施的诸如高排放车辆限行、老旧车淘汰补贴、新能源汽车推广、燃油标准升级等多元化政策，其实际减排效果、成本效益以及环境健康收益究竟如何？

传统监测网络在近海海域、区域传输通道等领域的覆盖不足如何弥补？

对这些问题的科学回应，是制定和实施后续更具针对性、更具成本效益的精准治理措施的关键前提。该体系的最终目标，是通过构建一个技术先进、功能完善、运行高效的监测评估系统，确保有限的社会资源与行政力量能够被优化配置到减排效益最显著、健康收益最大的关键领域和环节，从而在保障城市交通活力与经济运行效率的同时，实现空气质量的根本性改善与市民健康福祉的有效提升，为超大型城市的绿色、低碳、可持续发展提供坚实的环境支撑。



2. 发展历程

上海市交通空气污染监测与评估体系的建设历程呈现出明显的阶段性特征，体现了从被动响应到主动预见、从单一要素到系统集成的科学治理路径。

2000–2012 年： 体系建设的初步探索阶段

在此阶段，上海市的环境监测工作重心集中于构建覆盖全市的常规环境空气质量监测网络，主要针对二氧化硫

(SO_2)、二氧化氮(NO_2)、可吸入颗粒物(PM_{10})等常规污染物进行宏观尺度监测。此时，针对交通源的专项监测尚未系统开展，对交通污染的认识主要源于机动车环保定期检验制度所积累的在用车排放数据，以及基于科研目的开展的有限手工采样和短期(通常3–7天)车载自动监测(图1-1)。这一阶段的实践为识别交通污染问题提供了初步数据基础，但监测能力与治理需求之间存在显著差距。随着固定源治理的持续推进，交通源污染贡献的重要性开始初步显现。



图 1-1 | 开展定点短期车载空气质量自动监测

2013–2020 年： 系统建设与快速推进阶段

以国家《大气污染防治行动计划》（“大气十条”）的实施为关键驱动，本阶段进入系统性构建专项监测与评估能力的高速发展期。在国家层面强力推进空气质量改善的背景下，上海市环境监测部门自 2013 年起陆续在中心城区关键通道（漕溪路、共和新路、延安西路、东方路）建设了首批路边空气质量监测站，并于 2016 年建成虹桥机场站。与此同时，上海市环境监测部门于 2018 年通过资产划转接管外高桥港口站，首次将港口监测纳入统一管理体系，初步构建了覆盖道路、港口、机场的“标准站”网络，实现了对 NO_x 、 $\text{PM}_{2.5}$ 等交通特征污染物的实时连续自动监测。此外，该阶段的交通空气污染监测还依托

传感器监测技术实现了监测手段的多元化创新。自 2019 年起，上海市探索开展车载式道路移动监测，通过在 120 辆出租车和 10 辆公交车上搭载 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、一氧化氮（ NO ）、 NO_2 、一氧化碳（ CO ）等微型传感器设备，利用 4G 无线网络将数据实时传输至信息化平台，实现了对全市道路环境空气的动态扫描（图 1-2）。此外，上海市还利用传感器微站设备在外高桥港区及周边道路进行加密监测，这些固定站点与移动平台相结合的监测模式，标志着上海市的交通污染监测从静态布点向动态感知的重要转变。同期，移动源排放清单编制工作被系统化启动，结合日益丰富的监测数据，开始为污染源解析和政策效果评估提供更全面的量化支撑，推动治理模式从经验判断向数据驱动深化。车载移动监测的试点应用，不仅拓展了数据获取维度，也为后续规模化部署奠定了技术基础。



图 1-2 | 传感器法车载移动及定点监测

2021 年至今：
深化融合与体系完善阶段

进入“十四五”时期，上海市交通空气污染监测与评估体系在前期基础上，面临着更为复杂的新挑战与发展机遇。作为全球集装箱吞吐量第一的国际航运中心，上海港持续繁忙的海上交通使其长期面临显著的船舶排放压力，叠加持续增长的集疏运移动源排放，构成了独特的“海陆”复合型污染格局。与此同时，长三角区域一体化进程的加速，使得本地污染排放与区域传输的叠加效应日益凸显，尤其在不利气象条件下，区域传输对 $PM_{2.5}$ 与 O_3 污染过程的贡献显著，对精准溯源与有效预警提出了更高要求。

为应对上述挑战，并响应《“十四五”全国细颗粒物与臭氧协同控制监测网络能力建设方案》等国家政策，本阶段的监测网络建设在“标准站”持



图 1-3 | 上海交通（标准站）点位分布



图 1-4 | 路边、港口、机场交通站

续扩容（新建了外环线站、吴淞口邮轮港站、洋山港站、浦东机场站）的基础上，实现了陆海统筹、区域协同的提升，其核心突破在于着力构建“天空地海”一体化立体监测网络（图 1-3、图 1-4）。在此期间，针对传统陆地监测网络对近海海域及污染传输动态捕捉能力有限的盲区，上海市依托近海海岛及海上风电升压站平台，布设多参数传感器微站，首次将系统性的监测触角延伸至近海空间。此举旨在直接捕获船舶排放特征及污染物跨区域输送的关键数据，实现了对从道路到港口、从内陆到近海的交通污染全链条监控。

此阶段的核心成果是构建了基于“标准站 + 微型站 + 移动监测”的多元协同综合立体监测网络。此阶段以标准站

网（图 1-3）作为评估基准，继续采用常规基准仪器进行高精度监测，用于客观评估全市交通环境质量的整体状况与长期趋势。以微型站网（图 1-5）作为密度补充，依托固定式传感器设备，在全市交通敏感点、近海海域、传输通道等关键区域进行高密度布设，旨在全面监控交通污染的空间分布与扩散影响。移动监测网则作为动态扫描力量，在前期试点基础上，进一步扩大车载监测规模，实现对全市路网污染状况的实时、高分辨率捕捉。这三类监测手段的功能定位清晰、相互校验补充，共同构成了一个多维度的数据采集体系。与此同时，评估技术持续深化，开始深度融合“天空地海”多样化数据，应用更复杂的模型进行高分辨率源解析与污染成因诊断，体系的核心任务全面转向为精准治理、区域协同与长效管理提供深度支撑。



图 1-5 | 外高桥港区及周边道路高密度微站监测

3. 配套措施

为确保上海市交通空气污染监测与评估体系的有效建立与持续运行，上海市构建了一套多层次、系统化的配套政策体系。该体系以技术标准为基础，以资金投入为保障，以法规制度为约束，并以公众参与为补充，共同构成了支撑整个体系运转的制度框架。

在**技术支撑**层面，上海市重点推进了标准化、创新性与集成化建设。通过参与制定《交通环境空气质量监测技术指南（试行）》《环境空气气态污染物（SO₂、NO₂、NO、O₃、CO）传感器法自动监测系统技术要求及检测方法》《全国交通环境空气监测数据联网技术规定》等一系列国家、地方标准与技术规范，为监测点位的布设、数据的质量控制与评估方法的统一提供了明确依据，确保了监测数据的准确性与可比性。在技术应用方面，上海市不仅依托科研机构持续开展排放机理与溯源技术研究，更积极引入新型监测手段。自 2019 年起探索部署的车载式移动监测系统，通过在城市出租车辆和公交车上搭载微型传感器，实现了对道路污染状况的动态、高分辨率监测，有效补充了固定监测点位的空间覆盖不足。

在**资金保障**层面，上海市建立了持续的财政投入机制。专项财政资金被用于支持固定监测站点的建设与运维、移动监测设备的采购与更新，以及大数据平台的开发与维护。此外，通过设立市级科研项目专项等形式，对交通污染控制相关的基础研究和技术开发予以持续支持。

在**法规约束**层面，自 2009 年起，上海市以政府通告形式分阶段提前实施国家机动车排放标准，从国四逐步升级至国六 b，从源头削减新增车辆污染。以《上海市大气污染防治条例》等地方性法规为统领，上海市构建了覆盖新车准入、在用车监控和超标治理的法规体系。在监测评估方面，法规推动建设固定与移动监测网络，推广遥感监测和重型柴油车远程在线监控，并对长期稳定达标车辆给予免检激励，实现智慧化监管。同时，严格实施排放检验与维护（I/M）制度，落实超标车“检验—维修—复检”闭环管理，并对检验机构创新实行 12 分制记分管理，累计记满分则暂停采信其排放检验数据结果。此外，通过鼓励国四柴油车提前淘汰更新为新能源车，优化存量结构。整体形成了“标准引领、科学监测、严格管控、正向激励”相结合的机动车污染防控法规体系，为超大城市移动源治理提供了制度保障。

在**公众参与**层面，上海市致力于提升信息透明度与公众参与度。通过官方信息平台实时发布空气质量监测数据、评估报告与政策解读，保障公众知情权。此外，上海市还建立了公众有奖举报机制，鼓励社会力量参与移动源污染行为的监督，并结合科普宣传提升全社会对交通环境问题的科学认知，为政策实施营造了良好的社会氛围。

4. 实施机制

上海市交通空气污染监测与评估体系的实施，依托于权责明确、协同高效的管理架构与资源保障机制。该机制明确了各参与主体的职能分工，并通过系统性的成本投入，确保了监测网络的建设、运维与数据应用的持续性与有效性。

在组织架构方面，建立了多部门专业协作的治理模式。

上海市生态环境局及其下属的上海市环境监测中心、上海市环境科学研究院承担中枢职能，负责监测网络的顶层规划、标准制定、数据汇总与深度分析，具体包括排放清单编制、源解析研究及政策效果量化评估。其他专业部门依据其法定职责与资源优势提供关键支撑：市公安局交通警察总队负责提供交通流数据与车辆注册信息，并协助开展路面执法；市交通委员会负责城市交通规划、营运车辆监管、港口污染防治及运输结构优化等；市场监督管理局负责车用燃油质量的监管；上海海事局则负责管辖水域内船舶大气排放的监控。各部门通过联席会议制度与行动协同，形成了集成化的监管合力。

在资源投入方面，体系的建设与运行得到了持续性的保障。

在人力投入方面，形成了专业人员队伍，包括监测设备运维人员、数据分析师、模型开发人员与现场执法人员。在固定资产投入方面，资金主要用于固定监测站点（如覆盖道路、港口、机场的标准站，城区及近海监测微站）的建设，以及移动监测平台（包括搭载微型传感器的出租车与公交车、走航车及无人机）的购置与部署。在系统开发方面，投入重点在于“移动源污染综合管理平台”的持续开发与功能升级。体系的运维是一项长期性支出，包括所有监测设备的定期校准、耗材更换、通信服务、数据存储与计算资源消耗。此外，为部署车载移动监测系统而产生的设备采购、安装与车辆租赁费用，也构成了专项成本。值得注意的是，政策法规的实施同时转化为了社会与企业的合规性成本，例如运输企业为淘汰高排放车辆、加装尾气处理装置所产生的支出，这部分成本虽由市场主体承担，但通过财政补贴等形式实现了部分分担。总体而言，这些多层次、多类型的投入共同构成了该体系有效运行的物质基础。

5. 政策效果

上海市交通空气污染监测与评估体系的建立与运行，其有效性已通过环境、经济与社会等多个维度的关键指标得到实证检验。该体系通过提供精准的数据支撑与科学的评估方法，为治理措施的制定与优化提供了坚实基础，产生了综合性的政策效应。

在**环境效益**方面，基于“标准站+微型站+移动监测”综合立体监测网络输出的高精度数据，结合排放因子法与情景对比分析框架的评估研究，揭示了上海市在机动车保有量激增背景下仍实现污染物排放量与环境浓度显

著下降的治理成效。2009至2024年间，在机动车保有量增长104%的压力下，通过实施“分区域施策、分车型管控”的绿色交通政策组合，全市环境空气中NO₂浓度下降43%；中心城区路边站2014至2024年NO₂浓度总体下降49%。采用排放因子法与情景对比分析框架的评估研究进一步揭示，2024年上海市机动车NO_x排放总量较2009年整体下降54.2%，并呈现显著的空间分异特征：内环内、内外环间、外环外区域排放量分别下降80.8%、67.9%和46.7%，其排放贡献占比分别为3.2%、16.1%和80.7%（图1-6、图1-7）。

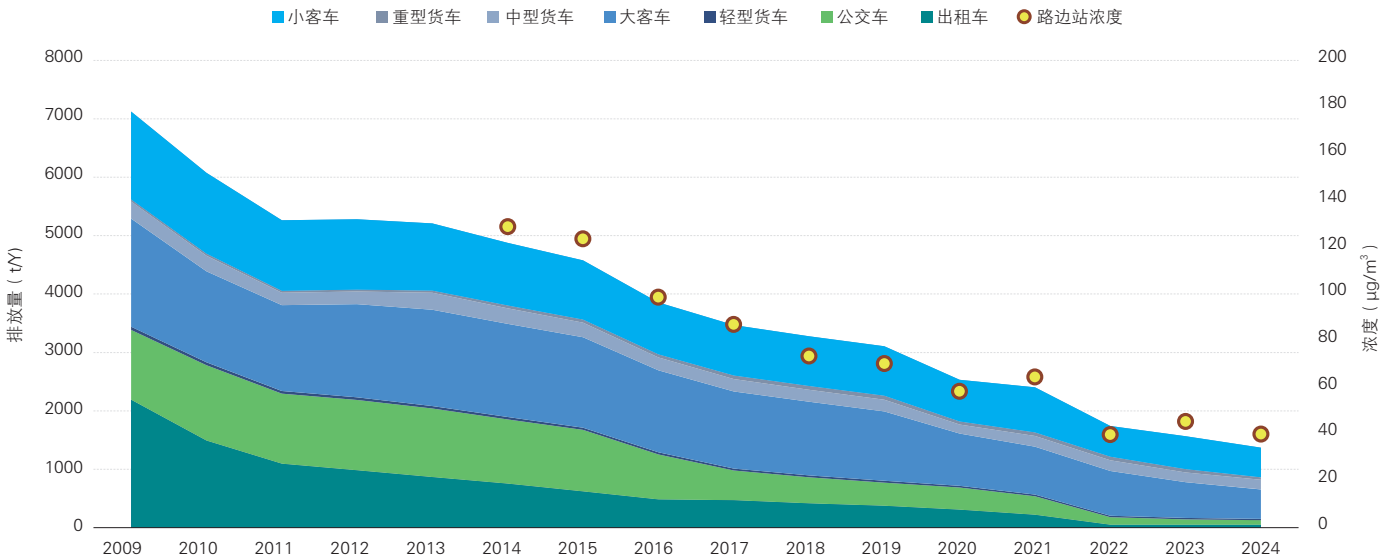


图 1-6 | 内环内区域各车型 NO_x 排放量与路边站浓度

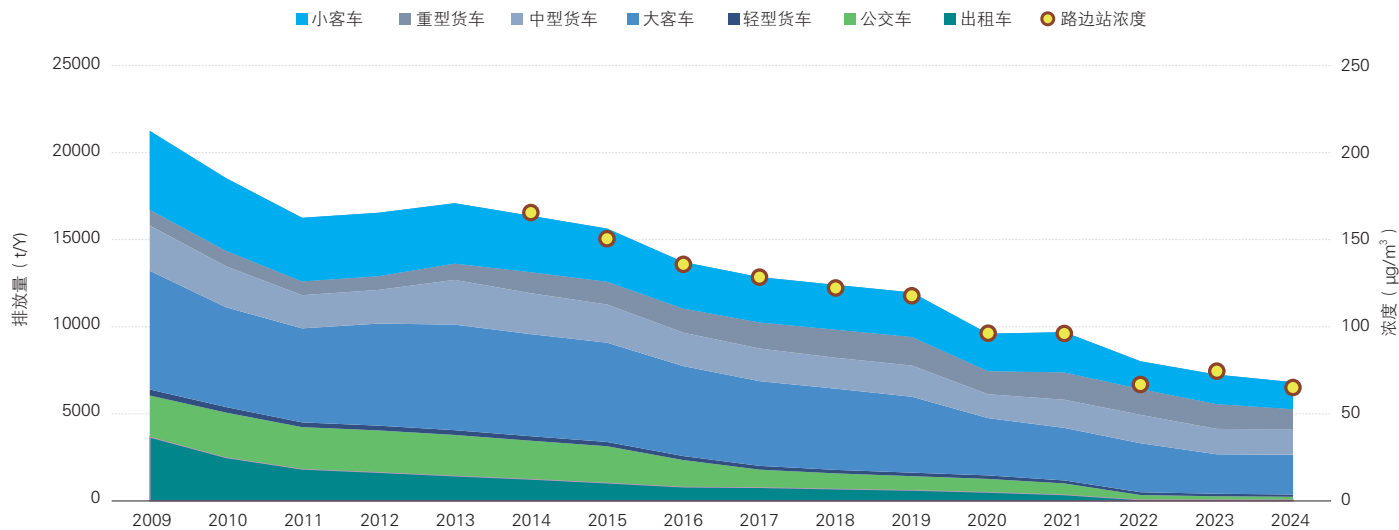


图 1-7 | 内外环间各车型 NO_x 排放量与路边站浓度

政策驱动力的空间解耦分析表明，不同区域的减排主导因素存在明显差异：内环内区域 56% 的减排由新能源车推广（特别是出租车和公交车电动化）驱动；外环外区域 77% 的减排归因于排放标准升级（以中型货车管控为主）；而内外环间区域则呈现混合驱动特征，新能源车推广与排放标准升级贡献比为 42% 和 58%（图 1-8）。值得注意的是，评估结果也揭示了当前治理的难点：受港口集疏运刚性需求影响，外环外重型货车 NO_x 排放量逆势上升 37.8%，成为唯一排放增长的车型，凸显了货运密集区面临的特殊挑战及在外高桥港区开展高密度监测的必要性。

在经济效益层面，该体系的贡献主要体现在资源配置优化与决策效率提升。通过精准识别不同区域和车型的减排成本效益，避免了“一刀切”政策可能带来的资源浪费。

例如，“核心区新能源替代 + 外围区标准升级”的差异化路径具有最佳经济性。在实践层面，基于车载移动监测等低成本手段获取的高密度数据，替代了部分传统依赖固定站点的监测方案，降低了公共数据的获取成本。同时，空气质量改善带来的健康经济效益显著，具体表现为与空气污染相关疾病的发病率下降，减少了相应的医疗支出与社会生产力损失。严格的监测评估与排放标准还催生并壮大了本地新能源汽车、尾气后处理技术等绿色产业集群，形成了新的经济增长点。

在社会效益层面，该体系通过增强治理透明度与公众参与度，提升了环境治理体系的现代化水平。实时空气质量信息与基于科学评估的政策解读公开发布，保障了公众环境知情权，增强了政府决策的公信力。如上海市对国四柴油

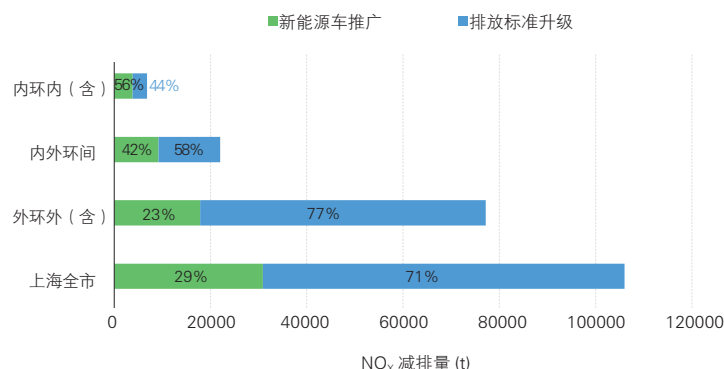


图 1-8 | 交通政策的 NO_x 减排效益

载货汽车的限行政策分阶段推进，2024 年 10 月起实施第一阶段限行（S20 外环高速以内），2025 年 10 月起扩大至 G1503 上海绕城高速范围内。通过构建“分区域减排贡献量化－关键车型矛盾识别”的分析框架，使复杂的交通污染问题变得可感知、可理解，提升了社会对治理难点的集体认知，为更具针对性的政策（如重型货车清洁能源替代）争取了社会共识。科学的监测评估体系与空气质量持续改善的成效之间形成有效印证，反映了上海市在环境治理中的系统性管理能力，并为超大型城市的环境治理路径提供实践范例。

6. 经验总结

上海市在构建与运行交通空气污染监测与评估体系的实践中，历经十余年的探索与优化，形成了一套兼具科学性、系统性与可操作性的治理模式。这一过程不仅是技术能力的积累，更是治理理念与管理机制的深刻变革。其所凝练的经验，对于正处于工业化与城市化快速发展阶段的其他大型城市，尤其是面临相似复合型污染问题的港口型大都市，具有重要的参考价值。

在应对数据整合与治理的核心挑战方面，上海市的实践表明，构建统一、高质量的数据基础是监测评估体系有效运行的首要前提。体系建立初期，环境、交通、公安等关键管理部门之间存在“数据孤岛”现象，部门间缺少统一的数据标准、共享机制，不利于车辆活动水平、道路流量、排放检测等信息的有效融合。对此，上海市通过

顶层制度设计构建了数据治理的长效机制，建立了环境专题数据库，并以规范性文件明确各部门的数据责任清单、共享范围与质量标准。值得强调的是，上海市将数据整合视为一项持续的基础能力建设，而非一次性任务。例如，为支撑高精度排放清单而建立的动态更新的全路网车辆结构数据库，以及为实现多源数据融合而开发的专业质控平台，都为精准评估不同车型、不同区域的减排效果提供了关键基础。这一经验表明，统一的数据标准、规范的共享流程和持续的数据治理能力建设是确保监测评估体系科学性的基石。

在应对技术复杂性与专业能力建设的挑战方面，上海市采取了“开放协同、研用一体”的创新生态构建模式。交通污染监测评估涉及大气化学、排放模型、大数据分析、

遥感反演等多个高技术门槛领域，而既懂环境科学又精通数据建模的复合型人才在初期严重短缺。上海市充分依托本地丰富的科研资源，与高校、研究机构建立长期稳定的战略合作，共同组建实验室与科研攻关团队。针对“标准站+微型站+移动监测”这一综合架构带来的技术挑战，上海市重点攻克了微型传感器在复杂环境下的交叉干扰补偿、移动平台监测数据的时空代表性处理等关键技术难题。这一经验表明，政府管理部门应定位为“智慧汲取者”和“应用场景提供者”，通过创设真实的管理需求，引导科研力量解决实际问题，并在实践中培养和锤炼自身的技术团队。

在应对评估成果向治理行动转化的挑战方面，上海市建立了制度化的“监测—评估—决策”管理闭环。在体系运行初期，曾面临评估报告“束之高阁”的风险，即耗费资源得出的科学结论未能有效、及时地转化为具体的管理政策或执法行动。为此，上海市通过机制性安排，明确要求重大交通环境政策的制定必须基于监测评估的预分析，政策实施后必须有定量的跟踪评估报告，并将评估结果作为政策存续、调整或退出的核心依据。例如，基于评估发现的“内环内区域减排主要由新能源车推广驱动，而外环外更依赖排放标准升级”这一空间分异结论，上海市得以优化其“分区域施策、分车型管控”的策略，使公共资源投入更具成本效益。这一经验强调，必须通过制度设计确保技术与管理之间的刚性连接，让科学评估成为政策生命周期中不可或缺的一环。

基于上述实践，为其他地区提供以下关键注意事项：

第一必须将基础数据能力的系统性、长期性建设置于首位。精准的评估源于高质量的数据，一个动态更新、覆盖全面、质量可控的基础数据库是一切精细化管理的基石。

第二治理策略的设计必须充分考虑并响应空间与结构的异质性。“一刀切”的政策在复杂超大型城市中效率低下，政策制定必须建立在充分的空间分析和结构解析基础上。

第三技术路线的选择与应用应以提升治理精度和效率为核心目标。上海市部署的车载移动监测网络，其价值不仅在于补充固定站点，更在于实现了对污染热点路段和高峰时段的动态捕捉；近海海域监测微站的设立，则直接针对船舶排放和区域传输这一传统盲区。

第四需建立对治理体系效能的持续监测与动态优化机制。上海市的实践表明，初期有效措施的边际效益会随时间递减，而新的矛盾会不断凸显，因此监测评估体系本身必须具备前瞻性和预警性。

上海市的经验揭示，一个成功的交通污染监测与评估体系，其本质是一个“数据驱动、技术赋能、制度保障”的精密治理系统。它要求城市管理者具备长远战略眼光，持续投资于数据基础和科技能力，并勇于推动跨部门协作与管理制度的创新。这一体系的价值最终通过更加精准、高效和获得公众支持的环境决策，转化为切实的空气质量改善和市民健康福祉的提升，为全球超大城市的交通环境治理提供了可资借鉴的上海方案。

7. 未来建议

基于上海市交通空气污染监测与评估体系现有基础与成效，面向“十五五”及更长远的发展目标，上海市交通空气污染监测与评估体系将进入以“智慧化、精准化、协同化”为特征的战略升级阶段。未来规划将聚焦于技术创新、体系完善与治理深化三个维度，致力于构建一个更具前瞻性、全局性和高效性的现代化交通污染治理支撑体系。

在前沿技术探索与应用层面，体系将致力于实现从“监测评估”到“模拟预见”的能力跃升。

核心方向是构建交通环境“数字孪生”系统。该系统将深度融合“天空地海”一体化监测网络实时数据、高精度动态排放清单、多尺度交通流模型及大气化学传输模型，形成一个虚拟的上海市交通环境仿真平台。此平台将具备对复杂污染过程的机理级模拟能力，能够对不同交通管控情景（如特定区域限行方案、新能源车推广节奏、港口船舶调度优化等）的环境效果进行定量预测与成本效益预评估，从而为决策提供前瞻性的科学依据。同时，监测技术将向微型化、智能化、组网化方向发展，通过部署新一代低成本多参数传感器微站，并与现有标准站网络协同组网，实现监测空间分辨率的数量级提升。在碳污协同监测方面，体系将逐步增加二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）等温室气体监测模块，建立移动源大气污染

物与温室气体“一体监测、同步核算、协同评估”的技术体系，直接服务于城市“双碳”战略。

在监测评估体系的完善与扩展层面，未来工作将着力于填补现有空白并提升系统性。

重点任务包括全面推进交通全要素监测覆盖，在现有道路、港口、机场监测基础上，增强对非道路移动机械、内河航道、铁路货场等相对薄弱环节的监测能力建设。针对当前评估揭示的突出短板——重型货车污染问题，将建立专项监测与评估子系统，通过结合远程在线监控（OBD）、燃油消耗数据分析等手段，实现对重型货车排放特征的精准画像，为重点监管与治理政策制定提供专属数据支持。此外，评估体系的时空尺度将进一步拓展，深化长三角区域协同监测与溯源分析，依托区域合作机制，构建标准统一的交通污染监测子网络，共同开展跨行政区污染物输送通量评估，为区域联防联控提供更坚实的科学基础。

在治理体系的升级与创新层面，未来规划强调通过数据驱动实现治理模式的深刻变革。

目标是建设“交通环境智慧大脑”平台，在现有管理平台基础上，深度集成人工智能分析与决策支持功能。该

平台将能够自动识别排放热点、预测污染趋势、智能推荐最优管控方案并模拟其综合影响，极大提升监管效率与决策智能化水平。基于不断完善的评估能力，将积极探索和推动基于环境的差异化管控政策。最终，推动治理范畴从末端监测向前端源头延伸，大力促进清洁运输体系的结构性转型，将评估结果直接应用于优化城市交通运输结构，科学论证并推动“公转铁”“公转水”等多式联运方案，并通过数据支撑氢燃料电池、纯电动等零排放技术在重型货车领域的示范推广与商业模式创新。

综上所述，上海市交通空气污染监测与评估体系的未来演进，是一个从被动响应到主动预见、从单一环境要素管理到碳污协同治理、从政府主导到智慧赋能的社会系统性工程。通过持续的技术迭代与机制创新，该体系将有力支撑上海市在持续改善空气质量的同时，实现交通运输领域的绿色低碳转型，为全球同类超大型城市的可持续发展提供可资借鉴的范例。

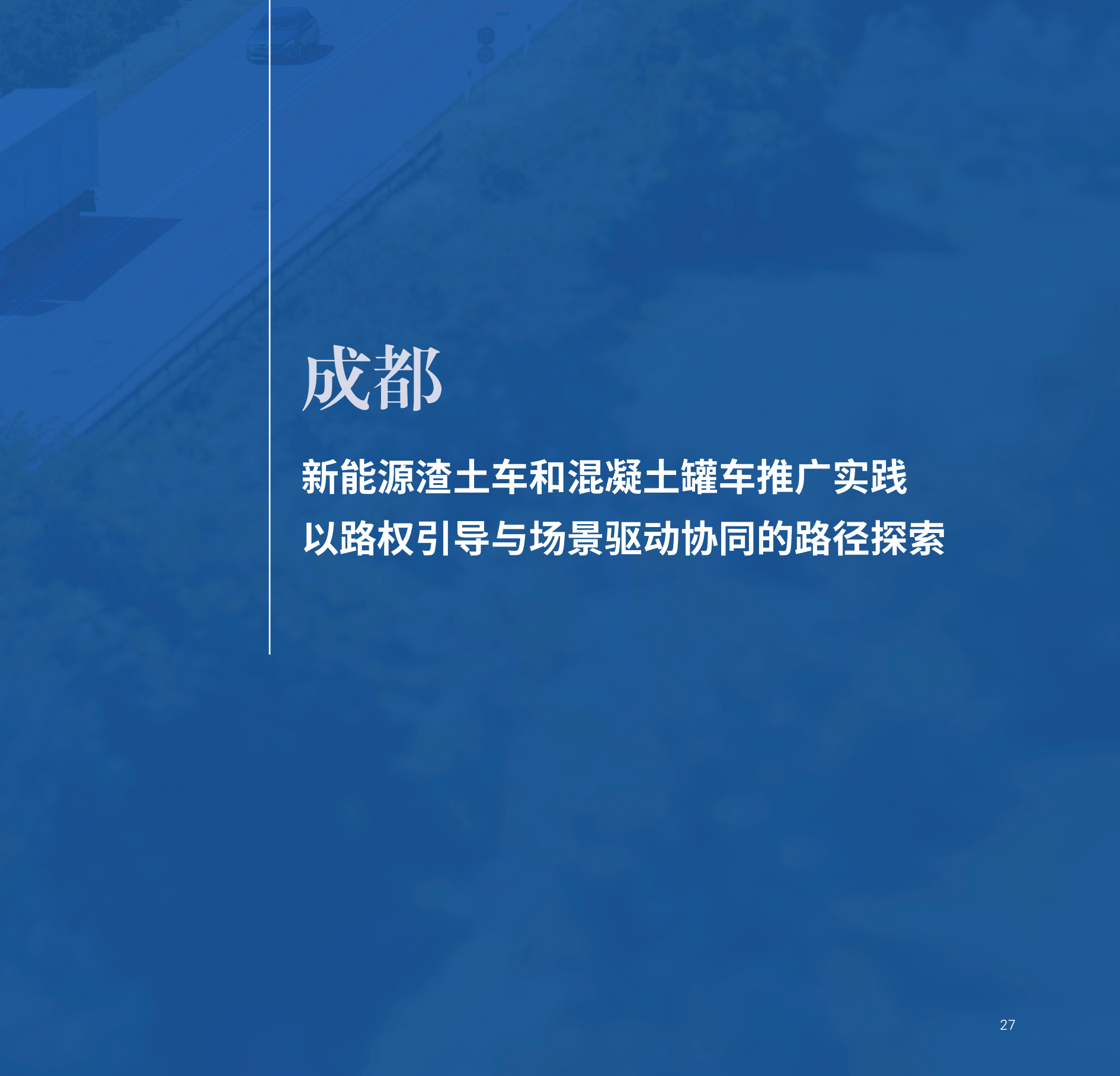


重型卡车减排

存量淘汰与增量替代并重



重型柴油货车是移动源氮氧化物和颗粒物排放的重要来源，也是当前移动源减排的重点领域。近年来，随着新能源车辆技术成熟和应用场景不断拓展，我国各地逐步形成了“存量淘汰与增量替代并重”的治理路径。一方面，通过加快淘汰老旧高排放车辆，推动存量排放持续下降；另一方面，通过新能源车辆推广和差异化政策引导，加快车辆结构能源转型。上海市和成都市的实践分别从老旧车辆淘汰更新和重点运输场景新能源替代两个角度，展示了重型车辆减排的不同实施路径与效益。



成都

新能源渣土车和混凝土罐车推广实践
以路权引导与场景驱动协同的路径探索

1. 政策背景

“十三五”以来，成都市空气质量持续改善，2020 年细颗粒物（ $\text{PM}_{2.5}$ ）浓度为 $41\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，较 2015 年下降 28.1%，但进入“十四五”后，空气质量改善步伐明显放缓，2021–2022 年 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度均维持在 $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右，臭氧（ O_3 ）污染问题凸显，空气质量改善动力明显不足，其中二氧化氮（ NO_2 ）浓度长期处于全国 168 个重点城市靠后水平，是影响 $\text{PM}_{2.5}$ 与 O_3 协同防控的关键。2022 年底，成都市机动车保有量达 663 万辆，移动源排放的氮氧化物（ NO_x ）和挥发性有机物（VOCs）占比高达 87% 和 25%，移动源对 $\text{PM}_{2.5}$ 的综合贡献为 38.8%，成为制约空气质量改善的主要因素之一。

重型柴油车是交通领域大气污染物和温室气体排放的重

要贡献源，对城市空气质量、人体健康和气候变化的影响显著。由于重型柴油车的使用场景复杂，排放强度高，长期以来被视为难以大幅减排的重点领域。以渣土车和混凝土罐车为例，其作为重型柴油车的重要组成部分，保有量较大、活动强度高，且运行区域主要集中在城市建设区域，对城区空气质量影响较为突出。同时，渣土和混凝土运输车辆具有运输路线相对固定、运营规律清晰等特点，为新能源车辆规模化应用提供了良好条件，加快其新能源化正成为实现重型柴油车绿色低碳转型的关键路径。成都市作为重型车辆保有量居全国前列的城市，推动重型车辆减排不仅能改善城市空气质量，营造良好城市环境，也能为全国重型车辆减排提供管理经验，助力交通领域清洁化转型。



2. 发展历程

成都市重型车辆电动化进程显著加速，得益于一系列政策措施的有力推动（图 2-1）：路权优待政策允许新能源重型车辆在部分限行区域自由通行，显著提升运营效率；科学明确的推广目标有效带动了电动重型车辆的产业发展，规模示范效应逐步形成。

在路权优待方面，成都市逐步提高柴油货车的限行标准，并对新能源车辆给予通行便利，落实差异化路权政策。2014 年发布重污染天气期间中心城区交通管控措施，首次针对渣土车和混凝土罐车提出限行措施，规定部分或全部时段禁止渣土车在绕城高速（G4202，不含）以内区域通行，电动汽车则不受限制。此后，成都市在年度货车道路行驶证（电子通行码）管理、建筑垃圾运输车辆交通秩序管理、O₃ 重污染天气期间交通管理措施、城区部分道路机动车通行管理措施（三环路及以内区域）等多项措施中，逐步扩大柴油渣土车和混凝土罐车限行区域和时长，不断强化新能源车辆的路权优势。2023 年，成都市为进一步科学合理调控城区道路交通流量，确保道路交通安全、畅通，改善主城区环境空气质量，加严了中心城区部分路段的柴油重型车辆的限行措施。成都市交通运输局等 8 个部门发布的《关于印发成都市 9 个公共领域新能源车推广方案（2023-2025 年）的通知》，明确新能源渣土车和混凝土罐车可全天 24 小时全域通行，有效引导市场向新能源车转型。

在推广目标方面，成都市通过设定明确的发展目标，为新能源重型车辆推广提供政策指引。2023 年以来，成都市先后发布了《关于成都市促进新能源汽车产业发展的实施意见》《关于印发推动成都市建筑领域节能降碳若干措施的通知》《成都市支持新能源中重型商用车推广应用若干措施（2024-2027 年）》等系列文件，从不同层面，对新能源混凝土车、新能源建筑垃圾运输车以及其他公共领域新能源车辆提出了具体的推广目标，全面推动成都市新能源重型车辆的推广应用。





图 2-1 | 成都市渣土车和混凝土罐车等新能源转型措施发展历程

3. 配套措施

为推动渣土车和混凝土罐车等重型货车快速新能源化，成都市加大了政策和财政资金保障。

一是落实财政奖励。对于新能源车型产销奖励，对整车企业研发或导入新能源车型，并投产上市实现销售的，给予单个车型最高 5000 万元的产销奖励。

二是政府性工程推动。政府及国有投资项目可将新能源车辆使用要求纳入发承包合同及招投标评分指标体系。2025 年底，全市政府性工程新能源渣土车和混凝土罐车参运比例原则上达 100%。同时鼓励全市范围内新开工的其他工程优先使用新能源渣土车。

三是国企示范带动。成都交投集团牵头、其他市属国企参

与，通过组建合资公司，与运输企业、生产厂商开展联合经营等形式，积极推广新能源渣土车。通过发挥国有企业资源整合和示范带动作用，不断提高建筑垃圾运输企业化、规模化、规范化水平。

四是完善充换电设施。加快商用重卡领域充换电站和充电桩建设，在主要运输通道周边、城区边缘、公共停车场、高架道路下方用地、高速公路服务区等区域合理布局充换电设施。鼓励建筑工地等重点场景配套建设充换电设施。

五是纳入绩效评级和信用评价。将新能源混凝土罐车购买和使用情况纳入全市“引领性”商混站绩效评级。同时与混凝土生产企业的绿色生产考评和企业信用评价挂钩，对使用新能源混凝土罐车的企业给予加分激励。



4. 实施机制

成都市渣土车和混凝土罐车新能源替代与监管工作已建立起多部门的协同推进机制。

生态环境部门结合空气质量改善要求，提出移动源领域减排需求，负责开展全市货车新能源替代成效评估工作，并通过路检路查、入户抽检等执法行动，加强机动车排放监管，打击超标排放车辆；

交通运输部门负责推动机动车排放结构调整，研究制定国四及以下排放标准车辆限行和淘汰激励政策；加强对交通运输领域相关工地推广使用新能源车辆的检查督导，严格查处超载超限等行为，规范柴油车辆运输行为；

经信部门负责制定新能源车辆产销激励政策，支持新能源渣土车和混凝土罐车推广应用；统筹推进新能源渣土车和混凝土罐车充换电站建设，推动制氢项目建设，加快构建半小时加氢网络；

住建部门起草新能源混凝土罐车推广应用行动方案，分阶段推动混凝土车辆新能源化；监督建筑工地执行新能

源混凝土罐车使用要求，将新能源车辆参运比例纳入招标投标评分体系，联合公安交管部门实施混凝土罐车差异化通行政策；

城管部门起草新能源渣土车推广应用行动方案，分阶段推动渣土车辆新能源化；开辟新能源渣土车绿色通道，将新能源渣土车优先纳入建筑垃圾运输企业名录备案管理，联合公安交管部门实施渣土车差异化通行政策；

公安交管部门研究制定柴油渣土车和混凝土罐车限行和淘汰激励政策措施，持续优化新能源车与柴油车的差异化路权管理政策，引导柴油车辆向绕城高速以外区域转移，并完善修订成都市新能源车辆专用号牌（绿牌）发放政策；

财政部门负责建立成都市新能源汽车推广应用财政补贴政策，鼓励柴油货车新能源化转型，落实车辆置换奖励、运营企业税收优惠等财政补贴政策；

市国企通过开展联合经营等形式，提高建筑垃圾运输企业化、规模化和规范化水平。

5. 政策效果

5.1 车队结构

2022 年，成都市渣土车和混凝土车队构成以国五及以下排放标准车辆为主，保有量占比分别达 70% 和 58%，新能源渣土车和混凝土罐车占比均仅为 2%。在新能源车辆推广政策引领下，成都市渣土车和混凝土罐车新能源化进程显著加快。截至 2024 年底，成都市新能源渣土车和混凝土罐车保有量比重分别提升至 24% 和 13%（图 2-2），较 2022 年分别增加了 22 个百分点和 11 个百分点，车队结构持续优化，新能源替代成效明显。

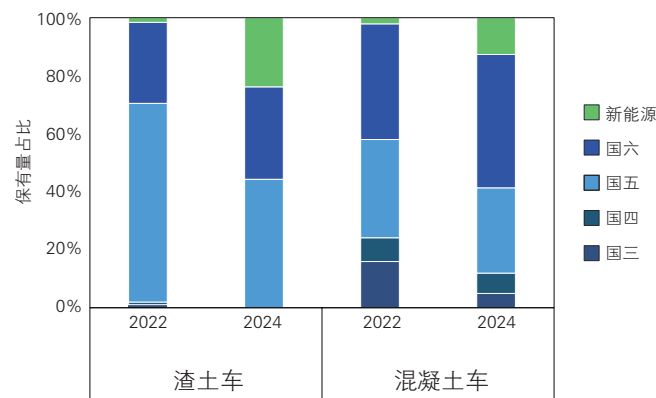


图 2-2 | 2022 与 2024 年成都市渣土车和混凝土车保有量构成

5.2 活动水平

近年来，成都市对柴油和新能源重型车实行差异化路权政策，逐步加严柴油车限行标准，新能源渣土车活动水平大幅提升，全市新能源渣土车总行驶里程比重由 2022 年的 1% 上升至 2024 年的 48%（图 2-3）。从空间分布来看，2024 年，成都市三环内新能源渣土车总行驶里程比重达到 90%，柴油车辆下降至 10%，且基本为国六排放标准车辆；三环外新能源渣土车总行驶里程比重提升至 44%，同比提高 34 个百分点，国五柴油车总行驶里程比重 15%，同比减少 27 个百分点。总体来看，针对三环及以内区域的路权政策不仅直接促进了核心区域新能源车辆的推广应用，还通过政策效应的逐步外溢带动了全市渣土车队向清洁化方向转型。

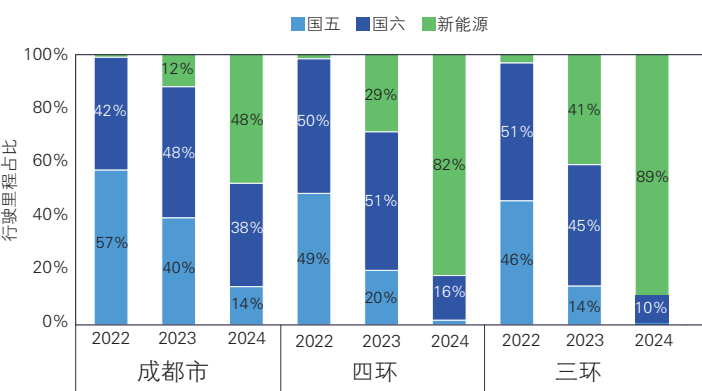


图 2-3 | 成都市不同排放标准渣土车活动水平变化情况

5.3 环境效益

新能源车辆推广为成都市大气环境治理带来显著效益。通过车队结构优化与差异化路权政策，柴油车的活跃度逐渐降低，其 NO_x 排放量大幅下降。以新能源渣土车推广为例，2024 年成都市渣土车队 NO_x 排放同比降低 52%（图 2-4）。另外，近三年道路交通空气质量监测站（以下简称“路边站”）数据显示，2024 年成都市全市路边站 NO_2 平均浓度较 2022 年下降了 16%，三环内路边站 NO_2 平均浓度下降了 21%，三环外路边站 NO_2 平均浓度下降了 8%（图 2-5）。总体来看，新能源车辆推广对成都市移动源减排与空气质量改善均带来显著成效。

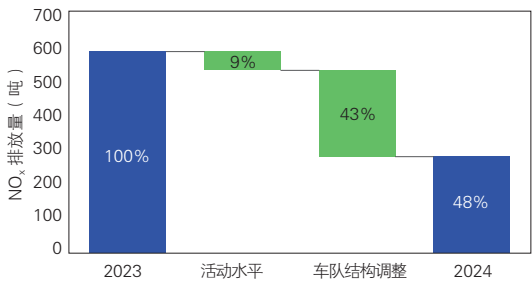


图 2-4 | 新能源车辆推广政策下成都市渣土车 NO_x 排放量变化

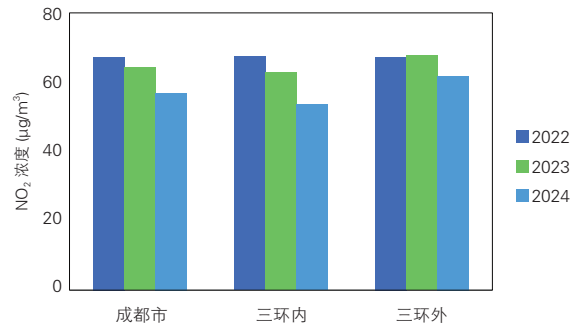


图 2-5 | 2022-2024 年成都市路边站 NO_2 浓度变化

5.4 经济效益

新能源车辆推广政策显著提高了成都市新能源渣土车和混凝土罐车的经济效益。差异化路权政策保障了新能源车辆在重污染天气以及核心区域的稳定运营，显著提高了新能源车辆行驶里程，充分发挥了新能源车辆低运输成本优势，进而降低单位里程总拥有成本（TCO）。测算结果显示，路权政策实施后，电动渣土车和混凝土罐车实现每公里 TCO 分别降低 17% 和 13%，而柴油渣土车和混凝土罐车因受道路通行限制，其每公里 TCO 分别上升 11% 和 8%，有效强化了新能源车辆的成本优势。

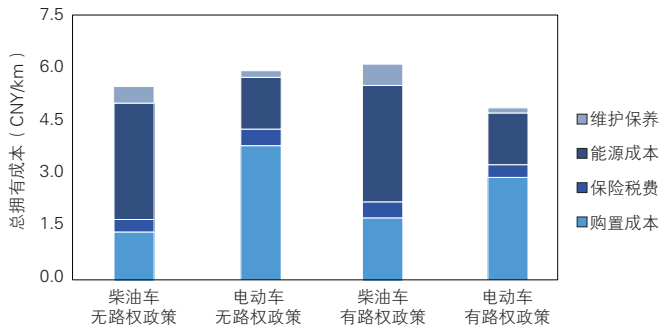


图 2-6 | 路权政策前后渣土车总拥有成本

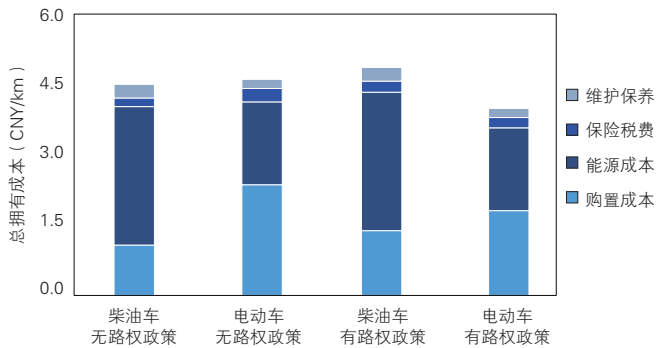


图 2-7 | 路权政策前后混凝土罐车总拥有成本

5.5 管理效率

成都市通过搭建渣土车智慧化监管平台，实现了对渣土车的科学、精准、动态管理。平台接入了渣土车基础信息、经纬度、排放标准等数据，并结合电子围栏技术捕捉活跃的运渣车辆，实现对渣土车运行状态的实时跟踪和精准监管。在重污染天气预警期间，平台可以动态实时监管违规作业车辆，生态环境部门及时将监管信息推送至行业主管部门、运输单位等，为后续监管提供依据，实现从发现问题到监管处置的快速响应，显著提高管理效率与精准性。以 2025 年 1 月一段连续的重污染天气预警过程为例（图 2-8），重污染天气临时交通管制过程期间，国五柴油渣土车基本停驶，但是新能源渣土车凭借路权优势保持正常运营。这凸显了新能源车与柴油车差异化路权政策在保障城市运输需求以及持续改善空气质量中的重要作用，也进一步体现了智慧化监管的卓越成效。

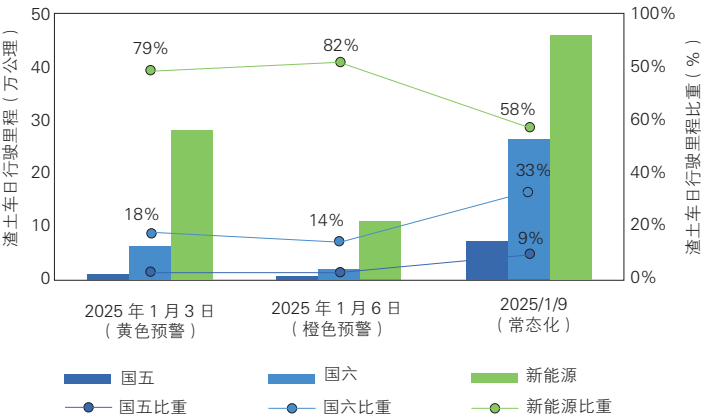


图 2-8 | 成都市重污染天气临时交通管控期间渣土车活动水平变化

差异化路权政策推动渣土车的运输空间结构发生变化。新能源渣土车可在三环以内及高新区等城市核心区域自由通行，而柴油渣土车受限行政策约束，两类车辆在城市建筑运输场景中逐步形成差异化分工。渣土车活动空间分布特征（图 2-9）显示，柴油渣土车已基本退出城市核心区域运输，主要承担区域间运输任务，新能源渣土车则承接城市内部建筑工地运输需求。差异化路权政策赋予了新能源渣土车更广泛的通行范围和更高的运营效率，使其相较于柴油车辆具备明显的运营优势。随着新能源车辆保有量和运营规模持续增长，新能源渣土车正逐步成为建筑垃圾运输的主力。

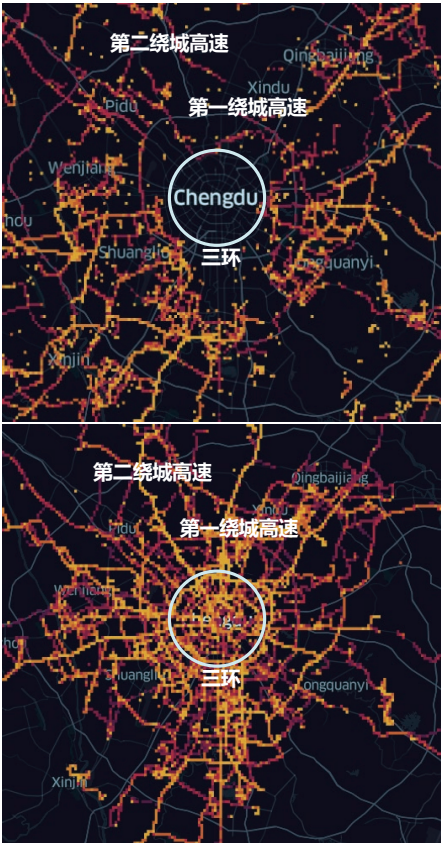


图 2-9 | 成都市柴油（上）和电动（下）渣土车活动空间分布特征

6. 经验总结

6.1 挑战与对策

传统燃油车辆淘汰阻力。挑战：柴油车运营成本低、存量庞大，企业提前淘汰能动性不足。对策：政府部门优先在工地打造新能源车应用新场景，并采用“阶梯式限行 + 财政激励”组合拳，逐步扩大柴油车限行范围和时段，并提供一定额度的置换补贴，优先开放新能源车路权。

跨部门协同效率不足。挑战：环保、交通、住建等部门工作职责交叉易导致政策执行存在偏差，同时对工作目标易存在分歧。对策：建立“目标考核 + 信息共享”机制，成都市由市生态环境局统筹制定新能源车推广目标并进行评估，市交通运输局牵头制定新能源车推广方案，市住建局等部门出台了新能源车使用比例纳入工程招标评分等落地政策，强化了市级各部门之间的联动。

基础设施配套滞后。挑战：充电桩布局不足、氢能补给网络不完善可能导致新能源车辆使用受限。对策：成都市在城区边缘、主要运输通道周边、工业仓储物流园区等区域，以“换电为主、充电为辅”模式规划新建商用重卡领域专用充换电设施，探索“车电分离”等商业模式降低初期投入。

6.2 经验启示

首先是**强化目标引导**。城市可根据自身基础，制定新能源渣土车和混凝土罐车的分阶段推广目标，并结合新能源车辆保有量情况，通过差异化路权管理政策形成区域梯度约束机制。例如，在核心区域（如成都市为绕城高速以内）率先实施柴油车的限行政策，逐步对区域内新能源化比例提出具体目标。

其次是**市场机制撬动**。除政策约束外，应通过多元政策工具提升市场主体转型动力，包括国企示范（如成都交投集团等开展联合经营）、碳配额质押贷款等绿色金融工具等。同时，通过将新能源车辆使用情况纳入绩效评价与信用体系，进一步强化企业长期行为约束，实现“政策引导 + 市场响应”的协同转型机制。

最后是**重点场景示范**。开展零排放工地示范，探索零排放工地中新能源车辆的技术路线与经济模型。同时，针对建筑垃圾处置消纳导致新能源车辆使用受限等突出问题，优化城市建筑施工组织与运输调度机制。

7. 未来建议

一是进一步优化基础设施配套与运营支持。

围绕新能源重型车辆的实际补能需求，科学规划补能设施布局，加密补能网络，在建筑工地集中区域布局专用充换电站，探索“夜间谷电+换电”模式，结合成都电网峰谷电价政策降低运营成本。同时完善后市场服务体系，建设新能源车辆维修服务网络，依托本地企业建立电池检测、维修与梯次利用中心，构建覆盖车辆全生命周期的运营支持体系。

二是优化完善多层次的激励政策。

进一步完善财政与市场协同的激励机制，探索梯度化财政补贴，对2025年后淘汰并购置新能源车辆的建筑垃圾运输企业与商混站，实行差异化补贴政策。同步强化政策与市场机制的联动，将施工单位新能源车辆使用比例纳入建筑企业信用评价，并与政府工程投标挂钩。

三是深化路权动态管理。

持续完善深化新能源车辆和柴油车辆的差异化路权政策，进一步加严柴油车限行标准、扩大柴油车限行区域。探索基于空气质量、交通流量及运输需求变化的动态路权管理机制，实现限行政策的精细化、动态化调整。同时，在主城区以外的区域，探索划定“零排放示范区”，进一步提升新能源货车运营优势。

四是持续开展重点场景试点工作。

依托成都市天府新区首个近零碳工地的试点经验，围绕建筑垃圾运输、混凝土供应等典型高频场景，持续推进新能源车辆应用试点工作。当前，在建筑垃圾消纳处置运输场景中，仍存在新能源车辆续航受限、跨区协同效率低等瓶颈，未来将通过构建智慧工地调度管理方法，整合在建工程运输需求，实现渣土运输路线智能规划与跨区域车辆调度。





上海

国四柴油车淘汰更新补贴政策实践 以结构性替代推动移动源减排的路径探索

1. 政策背景

在国家“双碳”战略和深入打好蓝天保卫战的总体部署下，上海市空气质量持续改善。“十四五”以来，全市细颗粒物（ $PM_{2.5}$ ）年均浓度由2020年的 $31.7\mu g/m^3$ 下降至2025年的 $26.3\mu g/m^3$ ，降幅达17.8%；2025年空气质量指数（AQI）优良率为88.5%，已超额完成“十四五”规划目标。但随着治理工作的深入推进，空气质量改善空间逐步收窄，大气污染防治进入以 $PM_{2.5}$ 与臭氧（ O_3 ）协同控制为核心的精细化阶段。其中， O_3 污染问题日益突出，已成为影响上海市AQI优良天数持续稳定增加的主要阻力¹。2021–2025年期间， O_3 作为首要污染物的污染日占比达到53.5%–87.2%。与此同时，二氧化氮（ NO_2 ）浓度改善趋缓，2021–2025年年均浓度分别为35、27、31、30、 $28\mu g/m^3$ ，整体呈现波动特征，以氮氧化物（ NO_x ）为代表的前体物排放控制仍面临压力。

在此背景下，污染源结构也发生了明显变化。随着产业结构调整 and 能源清洁化转型持续推进，工业源和燃煤源排放已得到有效控制，移动源排放占比持续上升。源解析结果显示，上海市本地 $PM_{2.5}$ 中，移动源贡献比例已由2021年约29.2%上升至2024年44%，成为制约空

气质量进一步改善的关键瓶颈，移动源已成为大气污染治理的主阵地。

在各类移动源中，柴油车排放问题尤为突出。截至2025年底，上海市柴油车仅占全市汽车总量的6.9%，约36.3万辆，却贡献了全市机动车83.8%的 NO_x 和82.7%的 $PM_{2.5}$ 排放，是机动车污染控制的重点对象。进一步分析发现，国四柴油车呈现出典型的结构性特征：其在柴油车中的保有量占比仅约2.4%，但污染物排放量占比高达约45%，是当前阶段“以小控大”的关键突破口。

在政策实践方面，上海市已基本完成国三柴油车淘汰，逐步形成了“补贴激励+通行约束”的政策组合，并在跨部门协同和实施机制方面积累了成熟经验。随着国三车辆加速退出，推动在用车结构进一步优化重点自然向国四车辆转移。在此背景下，2024年7月，上海市率先出台国四柴油车淘汰更新补贴政策，通过强化激励与约束衔接，着力破解国四车辆“存量小、排放高”的治理难题。

¹ 解放日报，《生态环境年报出炉，上海享有320个“优良天”》，2024年6月5日，<https://www.jfdaily.com.cn/wx/detail.do?id=757793>

2. 发展历程

在推进国四柴油车淘汰之前，上海市已率先开展国三柴油车淘汰工作，并通过财政补贴与通行限制相结合的政策组合，推动高排放车辆淘汰更新。相关工作自“十三五”后期启动，并在“十四五”期间持续推进，基本实现国三柴油货车的清零。

在完成国三柴油车淘汰的基础上，上海市于 2024 年正式启动国四柴油车更新淘汰工作，相关政策历程如下：

政策启动：

明确补贴框架（2024 年 7 月）

2024 年 7 月 31 日，上海市生态环境局会同市发展改革委、市财政局联合印发实施《关于印发〈上海市鼓励国四柴油车淘汰更新补贴资金管理办法〉的通知》（沪环规〔2024〕10 号），正式启动国四柴油车淘汰更新补贴政策。该政策明确了补贴对象、资金来源、支持范围及基本标准，在鼓励提前报废的同时，将新能源车辆替代作为重要导向，体现出从“存量清理”向“结构优化”的转变。

配套细化：

明确申领流程与操作规范（2024 年 8 月 -10 月）

为更好地贯彻落实补贴政策，相关部门分别于 2024 年 8 月和 10 月陆续出台配套文件。8 月 29 日，发布《上

海市国四柴油车淘汰更新补贴申领指南》（沪环大气〔2024〕166 号），明确申领条件、材料要求及办理流程；10 月 17 日发布《上海市国四柴油车淘汰更新补贴实施细则》（沪环规〔2024〕15 号），对补贴标准、审核流程及资金拨付机制进行进一步规范。

政策实施：

差异化补贴与退坡机制并行（2024 年 -2026 年）

在具体实施层面，根据国四柴油车淘汰更新补贴政策要求，补贴实施周期覆盖至 2026 年 12 月 31 日，针对不同车型和更新方式设置差异化补贴标准。在淘汰补贴方面，对本市提前报废中型货车、重型货车、中型客车、大型客车、中型专项作业车和重（大）型专项作业车等 6 类国四柴油车的车辆所有人，给予淘汰补贴，其中重型货车、大型客车及其他车型的平均补贴额度分别为 3.7 万元、4.8 万元和 1.9 万元。在更新补贴方面，对本市提前报废国四柴油车且购置新能源车辆的车辆所有人，给予新能源化更新补贴，其中重型货车、大型客车及其他车型的平均补贴额度分别为 26.9 万元、22.2 万元和 6.5 万元。同时，政策引入补贴退坡机制，2026 年 1 月 1 日以后报废和更新的，实际补贴金额按原补贴标准的 80% 执行，退坡比例为 20%。

3. 配套措施

围绕国四柴油车淘汰更新工作，上海市在实施补贴政策的同时，逐步形成了由通行管控、排放监管、新能源替代支持及实施保障等多方面构成的政策体系，通过多项政策的协同，推动老旧高排放车辆加快退出并实现结构性替代。

在通行管理方面，上海市持续强化对柴油货车的使用约束，通过区域限行及差异化通行管理措施，逐步压缩高排放车辆在重点区域的活动空间。上海市国四柴油货车全天禁行政策将分三阶段逐步扩大：自 2024 年 10 月 15 日起，在 S20 外环高速以内道路（不含 S20 主线及桥下地面）禁行；自 2025 年 10 月 15 日起，禁行范围扩大至 G1503 绕城高速以内道路（不含 G1503 主线及桥下地

面）；最终自 2026 年 10 月 15 日起，在全市所有道路实现全面禁行。

为确保限行政策平稳落地，相关部门采取了“疏堵结合”的综合监管手段。首先，通过加严定期排放检验，增加老旧车辆合规成本，从源头倒逼国四车辆加速淘汰；其次，针对老旧营运车辆，利用电子围栏技术实时跟踪并识别闯禁车辆。对于初次违规者，相关部门将主动上门帮扶，指导车企或车主落实政策、替换车辆；而对于经教育引导后仍反复闯禁的车辆，最终将由公安电子警察进行严厉抓拍与查处，确保禁令有效执行。



4. 实施机制

上海市国四柴油车淘汰更新工作的主要参与部门及职责如下：

市生态环境局负责统筹推进全市国四柴油车提前报废和新能源化更新补贴工作，会同市发展改革委、市财政局、市交通委、市商务委、市公安局、市机管局等部门组织实施补贴申领核发工作，编制资金预算年度计划，落实资金管理主体责任，做好资金使用情况的绩效自我评价和信息公开工作。

市发展改革委负责补贴资金的统筹安排，并下达资金使用计划。

市财政局负责补贴资金的预算和拨付审核，对补贴资金使用情况进行监督管理和绩效评价，加强评价结果运用。

市交通委负责组织实施国四柴油货车分阶段限行工作，协调推进国四营运车辆淘汰和新能源化更新，配合开展补贴审核。

市公安局负责查处国四柴油车违反限行规定的违法行为，办理国四柴油车注销登记、新购新能源车注册登记，配合开展补贴审核。

市机管局负责党政机关、事业单位车辆的认定，组织协调相关单位落实车辆限行要求并配合协同推进淘汰更新。

市商务委负责报废车辆拆解并按照规定出具报废回收证明。

市经济信息化委负责组织非营运的新能源客车专用额度发放，会同相关部门开展更新车辆的数据采集与监测管理。

市绿化市容局、市邮政管理局、市国资委等部门根据各自职责组织推进国四柴油车淘汰更新。

在推进过程中，各部门通过信息共享平台、联合检查等方式，实现了部门协同与流程衔接。

在车辆退出和更新管理方面，实施机制依托远程在线监控系统和车辆登记信息，实现对高排放车辆的运行状态、区域分布及淘汰进度的动态跟踪。重型柴油车及其他重点排放车辆通过在线里程监测等方式，提供政策执行效果的实时数据支撑。相关数据用于评估限行和排放管控措施的效果，确保政策执行过程中形成闭环管理。

5. 政策效果

上海市国四柴油车淘汰更新政策实施以来，在车辆退出、结构优化以及污染减排等方面取得了阶段性成效，实现了以结构调整推动污染物减排。

5.1 淘汰更新规模扩大，车辆结构加快优化

自 2024 年 8 月至 2026 年 6 月，国四柴油车淘汰工作有序推进。从车型构成来看（图 3-1），货车是本轮淘汰的绝对主力，合计淘汰量占比接近九成（87.7%）。其中，重型货车淘汰量占总淘汰量的 63% 以上，占据主导地位；中型货车和轻型货车淘汰量占比均在 12% 左右。客车合计淘汰量占比约一成（10.9%），其中以小型客车为主；专项作业车合计淘汰量占比约 1.4%。总体来看，本轮淘汰主要集中于重型货车，重型货车中又以半挂牵引车（集装箱货车）占据绝对主导地位。

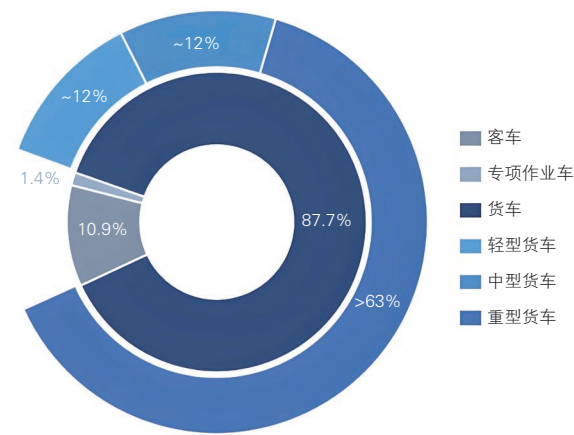


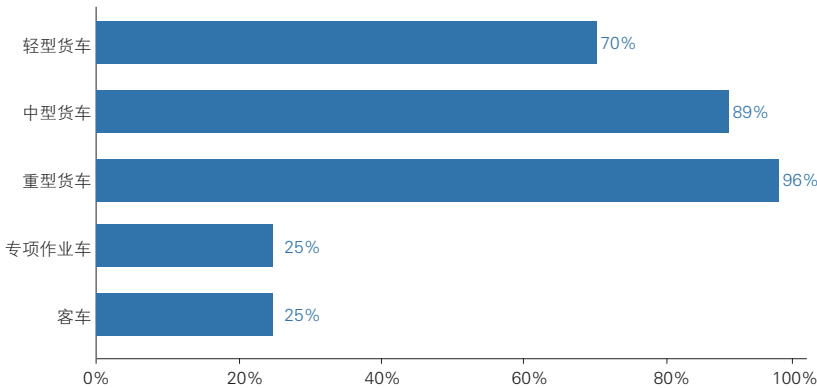
图 3-1 | 2024 年 8 月-2026 年 6 月上海市国四柴油车淘汰车型构成



从车辆淘汰进度看（图 3-2），货车类整体推进最快，其中重型货车、中型货车与轻型货车分别已完成 96%、89% 和 70% 的淘汰进度；相比之下，客车与专项作业车淘汰进度相对滞后，淘汰进度在 25% 的水平。按注册年份统计，2014 年及以前、2015 年、2016 年及以后货车的淘汰进度分别为 98%、96% 和 95%，客车分别为 30%、28%、27%，专项作业车整体在 37% 左右。综上，货车淘汰进度快于客车，大型车辆淘汰进度快于小型车辆，高车龄车辆淘汰进度快于小车龄车型。

在车辆更新方面，自 2024 年 8 月至 2026 年 6 月，淘汰国四的燃油车中约有 38% 更新为新能源车。在更新车辆的结构类型方面，电动货车占据绝对主导，占比约 97.5%；电动客车占比约 2.5%；电动专项作业车占比不足 0.1%。在电动货车中，重型货车占比约 96.9%，中轻型货车合计占比约 3.1%。在电动重型货车中，重型半挂牵引车（集装箱货车）占比高达 98.1%，重型自卸货车（渣土车）占比约 1.4%，其余为重型其他货车。整体来看，更新车辆以重型货车中的重型半挂牵引车为绝对主力，其占总更新车辆的比重达 93%。

(a) 按车辆类型



(b) 按车辆注册年份

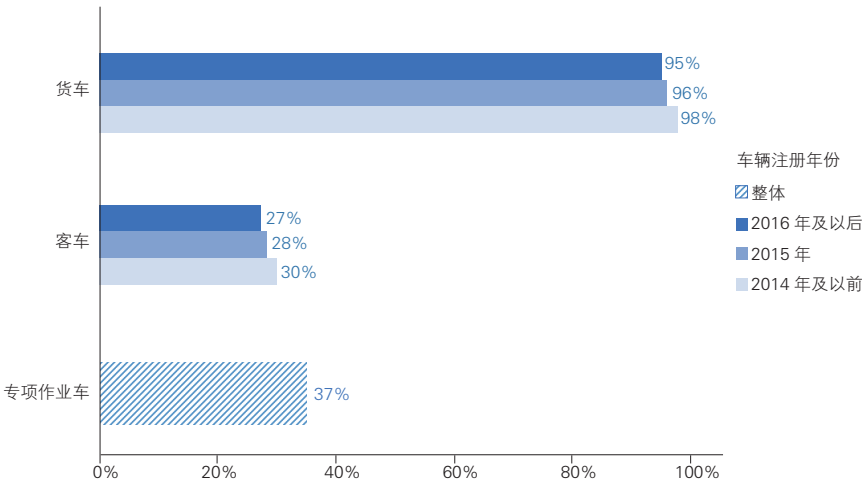


图 3-2 | 2024 年 8 月 - 2026 年 6 月上海市国四柴油车不同车型淘汰进度

在更新车辆的技术特征方面，小型客车、中型客车和大型客车平均电池容量为 88kWh、96kWh 和 320kWh（表 3-1）。轻型货车和中型货车的平均电池容量为 96kWh 和 115kWh。重型货车平均电池容量为 443kWh，其中重型半挂牵引车 443kWh、重型自卸货车 429kWh、其他 514kWh。重型货车在更新时普遍选择了接近补贴上限的大容量电池，而中、轻型车辆的实际电池配置则远低于其补贴容量的上限 444kWh。重型货车为克服长途运输的“里程焦虑”并最大化利用补贴，将大容量电池视为保障运营可靠性的刚需。而中、轻型车辆则基于路线固定、成本与载荷敏感的运营模式，选择“够用就好”的经济型电池以实现全生命周期总拥有成本（TCO）的最优化。

5.2 国四柴油货车活动强度大幅降低，高排放车辆加速退出

基于对 2021 年 9 月至 2026 年 6 月重型柴油车远程在线数据的持续跟踪，上海市全市重型柴油车运行里程总体较为稳定，但是车辆结构发生明显变化，老旧车辆的活动水平由于老旧车淘汰而显著降低，国四车辆的行驶里程占比从 2023 年的 22% 下降到 2026 年的 4%（图 3-3）。

在行驶里程总量保持稳定的背景下，随着老旧车辆持续淘汰和限行措施不断加严，全市重型柴油车排放水平持续降低。其中，国四车辆活动水平大幅下降，对 NO_x 排放的贡献由 49% 降至 12%，是本轮减排的关键来源。自国四淘汰限行组合政策酝酿以来，全市重型柴油车 NO_x 日排放量从 2024 年初的 120 吨 / 天降至目前的 73 吨 / 天，减排比例达 37%，相当于年减排近 2 万吨。

表 3-1 | 上海市新能源车辆更新情况

车辆类型	平均电池容量 (kWh)
小型客车	88.4
中型客车	96.0
大型客车	320.0
轻型货车	95.7
中型货车	114.9
重型半挂牵引车	443.3
重型自卸货车	428.7
其他重型货车	513.6
小计	443.3
轻（小）型专项作业车	66.8
中型专项作业车	—
重（大）型专项作业车	210.6

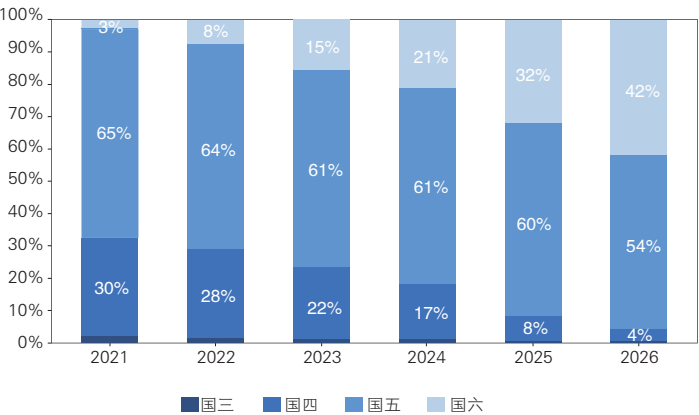


图 3-3 | 上海市不同排放标准的重型柴油车行驶里程占比变化

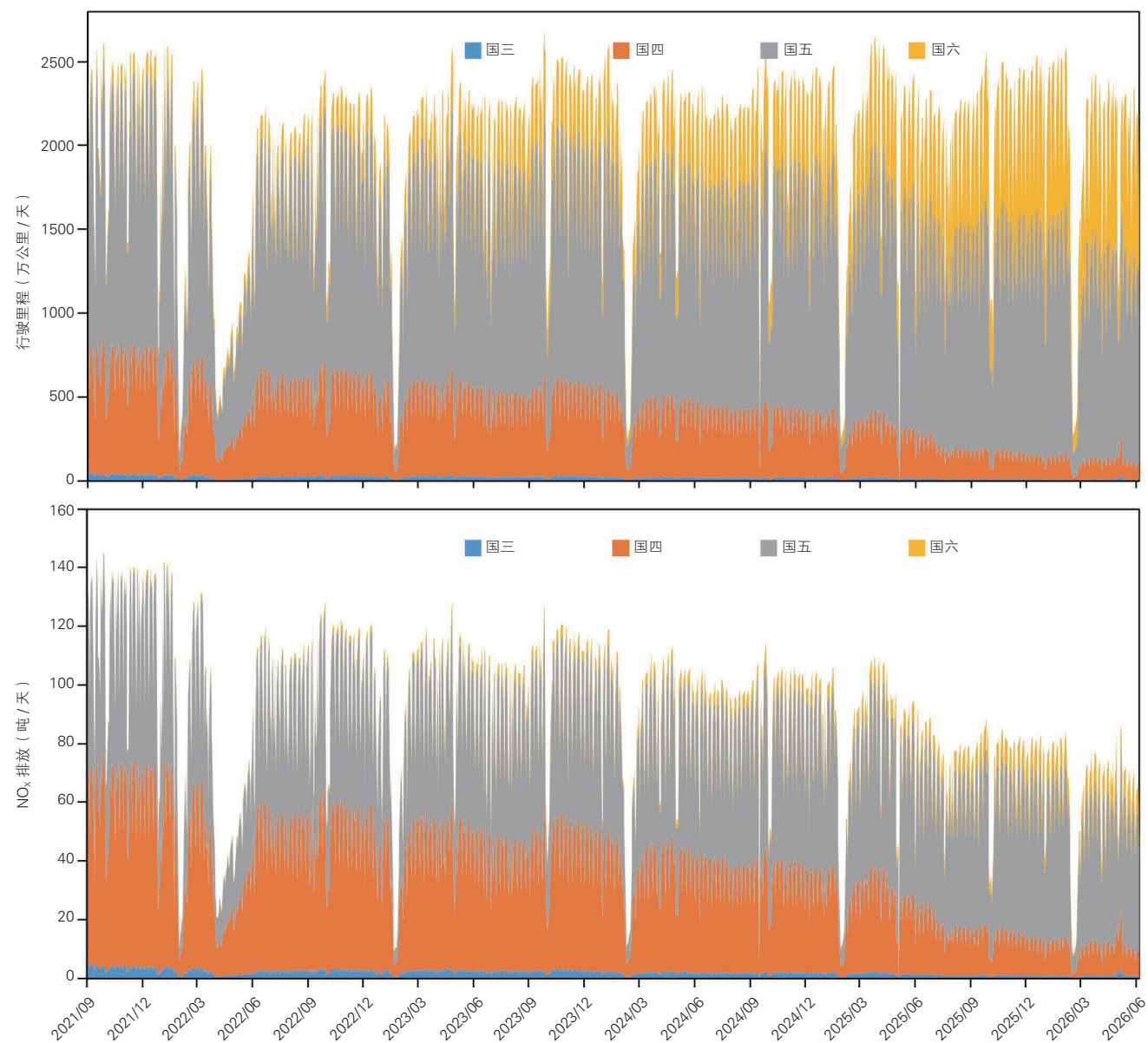


图 3-4 | 上海市 2021 年 9 月 -2026 年 6 月重型柴油车活动情况演变

5.3 污染物减排效果显著，NO_x 排放明显下降

2026 年 1-5 月，上海市各环线区域 NO₂ 浓度较上年同期均大幅下降。上海市内环内、内环外 - 中环内、中环外 - 外环内、外环外 - 郊环内、郊环外五个区域分别下降 21%、17%、17%、22% 和 20%；较 2024 年同期降幅均达 21%–25%。2024-2025 年间各区域 NO₂ 浓度总体平稳（变化幅度在 10% 以内），下降集中发生在 2026 年，与国四柴油车郊环内限行政策的实施时点相吻合，表明限行政策对降低 NO₂ 浓度发挥了积极作用。因此，为确保上海市空气质量持续改善，应扎实做好 2026 年 10 月 15 日进一步扩大政策覆盖范围即国四车全市限行的组织实施工作，推动上海市 NO₂ 浓度在现有基础上进一步下降。

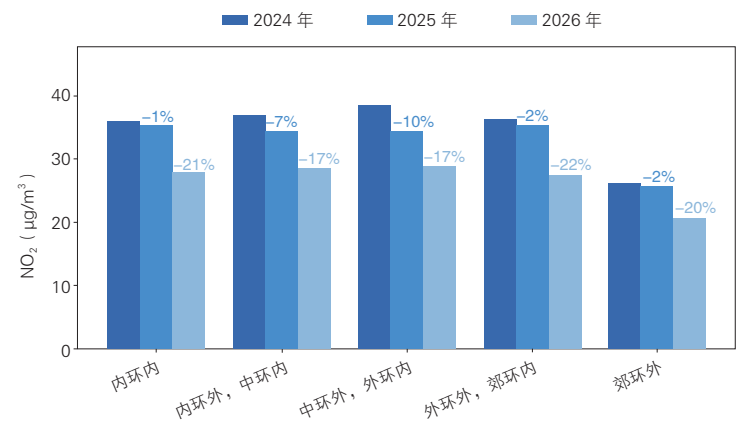


图 3-5 | 2024-2026 年 1-5 月期间上海市不同区域 NO₂ 浓度变化



6. 经验总结

在政策推进过程中，市场主体的更新意愿与政策执行宣贯、应用场景成熟度及经济激励水平等密切相关。

政策制定前期调研显示，2024 年初，大型物流企业和车辆销售企业对车辆更新的态度整体偏谨慎，尤其在重型商用车领域，受制于成本高、技术适配不足和运营场景局限等因素，客车更新意向在 20%–30% 之间，货车更新意向在 15%–25% 之间。然而，随着政策实施推进，企业更新意愿出现明显提升。超过 66% 的物流企业表示有较强更新意愿，其中重型柴油货车企业占比高达 76%。市场已从“是否更新”的观望阶段转向“如何更新”的实施阶段。

相关转变的主要原因是政策执行、场景突破、基础设施完善与补贴政策激励的共同作用。一是淘汰、限行、新能源更新组合政策执行力度持续加强，2024 年，上海市生态环境部门会同发改、财政、交通、公安、商务等部门大力推进国四柴油车淘汰更新补贴工作，广泛开展政策宣贯，提高了企业对国四补贴政策的响应度。二是新能源车辆重点场景取得突破进展，目前，上海市已在港

口集疏运、汽车零部件运输、渣土运输等场景出现新能源货车商业化运营案例，初步验证了场景适配性和市场积极性。例如，徐汇区利用待建场地和工地冗余电力，引入 10 台 280kWh 电动渣土车在区内各工地运营，凭借能耗低、维修率低、噪声小的优势，可有效降低施工能耗与噪声扰民，提升施工过程的绿色环保水平。启源芯动力在奉贤物流枢纽及“临港 – 外高桥 – 宝山 – 太仓”干线布局换电站和 100 辆电动集卡，为洋山港、外高桥港集疏运提供绿色运输。三是基础设施条件的改善，目前上海市可提供重卡补能服务的充换电站共 54 座，其中 52 座充电站、1586 个充电枪，2 座换电站。四是补贴政策的引导作用，本市国四柴油车淘汰更新补贴标准较高，有效降低了企业车辆更新成本，有力吸引了企业及个人进行车辆淘汰更新。

相关实践表明，在推动高排放车辆更新过程中，仅依赖单一政策工具难以有效撬动市场转型，需要通过“政策引导—场景验证—基础设施支撑”的综合作用，逐步降低不确定性并增强市场信心，从而推动市场由观望状态转向实际行动。

7. 未来建议

本轮国四柴油车淘汰更新补贴政策有效推动了本市高污染车辆淘汰及新能源替代推广。为使政策发挥更大的环境效益，提出以下建议：

一是加快完善补能网络。

加快补能设施等新能源配套体系建设，通过利用存量资源改建补能设施，解决电力扩容与土地权属痛点；建立补能设施空间布局策略，打造绿色走廊，采取“零排放通道与枢纽并进”的模式，按照“近期单线突破（太仓—宝山）—中期多线并网—远期广域贯通”的路径建设补能网络，从而深度覆盖宝山、外高桥、洋山港等核心货运廊道。

二是运营优惠政策加码。

研究制定电动重卡的综合运营支持政策，包括道路通行费减免、优先进港提箱等政策，降低企业运营成本，提高电动重卡使用积极性，提升新能源重卡在干线物流与港口集疏运场景中的运营竞争力。

三是重点应用场景拓展。

围绕港口集疏运、城市渣土运输以及重点工业物流等高频运输场景，强化重点企业新能源重型货车应用，推动规模化替代与稳定运营，持续拓展电动重卡的商业化应用边界。

四是推动商业模式创新。

引导“车电分离”、融资租赁等多元化商业模式发展，降低车辆购置与运营初始成本，缓解中小企业资金压力，提高市场主体参与新能源重卡运营的可及性与积极性。

五是加强国五、国六柴油车分类治理。

对使用年限达到10年以上的车辆，有序推进淘汰更新；对其他车辆强化排放检验、路检路查和重点区域通行管控，督促车辆稳定达标排放。

港航协同减排

港口绿色燃料供应链建设



航运大气污染物和温室气体减排涉及燃料供应、船舶技术和港口设施等多个环节的系统转型，对港口城市的治理能力提出了更高要求。近年来，船舶排放控制区、低硫燃油和岸电使用等政策措施已取得阶段性成效。面向国内减污降碳要求和国际航运净零排放趋势，港口城市的绿色转型正在从以低硫燃油和岸电应用为主的船舶污染控制，进一步延伸至绿色燃料供应链建设，服务于航运全过程的能源结构调整。上海港的实践表明，在加强船舶污染控制的基础上，港口可以结合自身航线网络、能源供应条件和产业基础等，因地制宜布局液化天然气（LNG）、绿色甲醇等多元船用燃料供应和加注体系，推动港口功能从传统装卸枢纽向绿色燃料服务枢纽延伸，为其他港口城市推进绿色港航转型提供了可参照的探索路径。



上海

绿色航运转型实践

从污染控制到低碳体系构建的路径探索

1. 政策背景

海运是全球贸易体系的重要支撑。按货运量计，全球约 80% 的国际贸易运输量依赖海上运输，航运业对经济发展和供应链稳定至关重要¹。然而，航运业长期依赖化石燃料，已成为温室气体和大气污染物的重要排放来源。国际海事组织（IMO）数据显示，2018 年全球航运温室气体排放量约为 10.76 亿吨二氧化碳当量（CO₂e），占全球人为温室气体排放的 2.89%²。船舶尾气中的二氧化硫（SO₂）、氮氧化物（NO_x）、细颗粒物（PM_{2.5}）等污染物，也会对港口城市和沿海地区空气质量产生影响。在此背景下，国际社会加快推进航运业低碳转型。2023 年，IMO 通过新的温室气体减排战略，提出国际航运在 2050 年前后实现温室气体净零排放，发展清洁、低碳、高效的绿色航运已成为国际共识，全球航运业正加速迈入脱碳转型的关键阶段。

在全球减排趋势的推动下，港口城市面临着运输增长和排放控制的双重压力。上海港作为我国最大、全球最繁忙的集装箱港口，货物吞吐量持续攀升。“十四五”以来，上海港集装箱吞吐量由 2021 年的 4703.3 万标准箱提升至 2025 年的 5506.3 万标准箱，连续 16 年保持世界第一³。2025 年，洋山深水港区集装箱吞吐量达到 2870.6 万标准

箱，占上海港总量的 52.2%；全年进出国际干线集装箱船 9181 艘次，内支线集装箱船约 1.8 万艘次。港口规模扩大、干线船舶大型化和江海联运网络加密，在提升上海市全球航运资源配置能力的同时，也对能源消耗、污染物排放和碳排放控制提出更高要求。

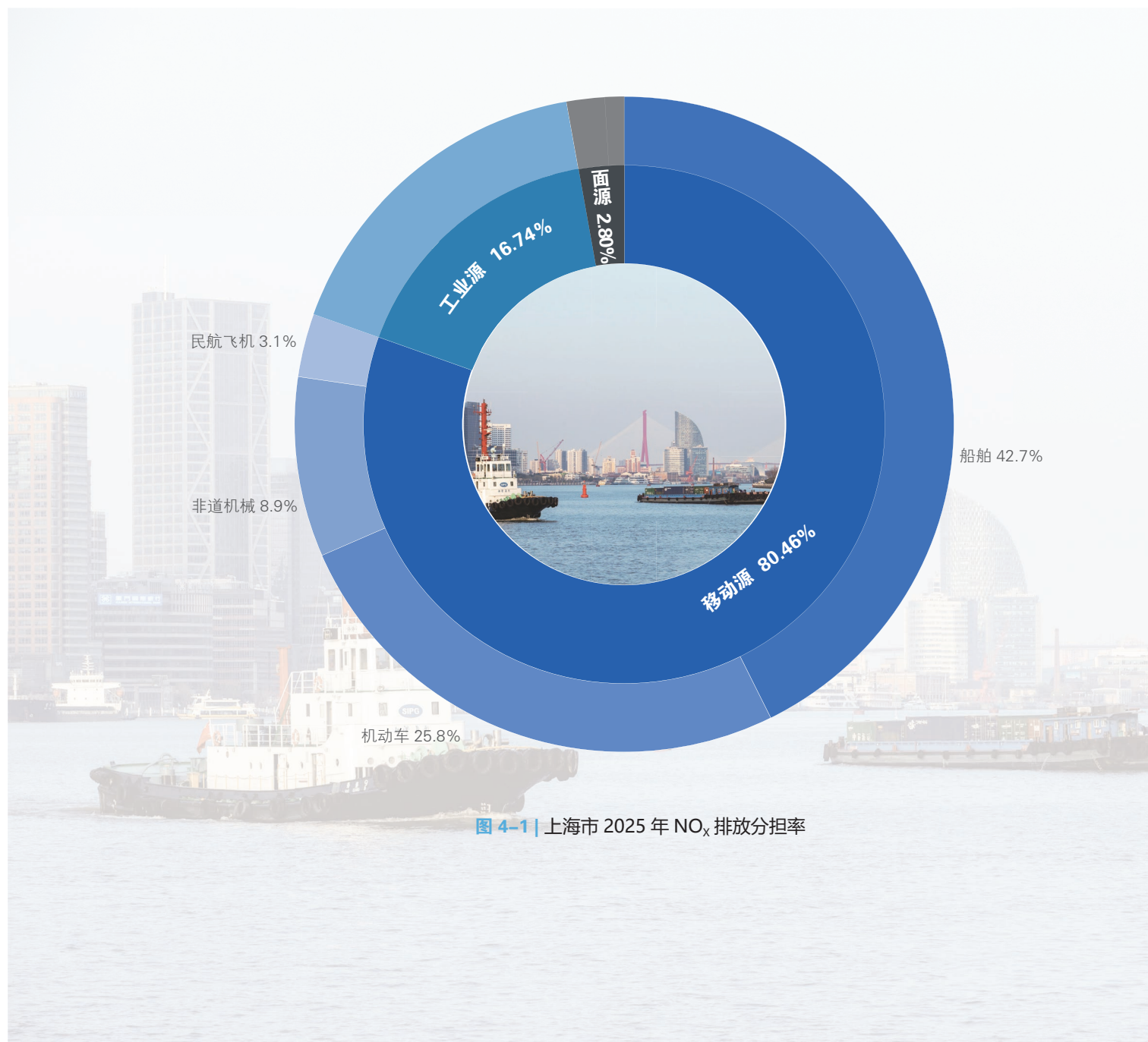
2025 年排放清单与空气质量模型测算结果表明⁴，船舶排放已成为上海市移动源污染治理中需要高度关注的重要来源。按照上海 12 海里海域和上海行政陆域边界进行统计，船舶排放约占上海市 NO_x 排放总量的 43%，是全市 NO_x 排放的重要来源。基于 CMAQ 空气质量模型模拟结果，船舶排放对上海市 PM_{2.5} 年均浓度的贡献约为 8%，影响主要集中在近岸水域和港区周边。这表明，船舶污染不仅体现在排放清单中的高排放占比，也会通过近岸航行、靠泊作业和港区活动对城市空气质量产生直接影响。因此，上海市推进绿色航运转型，既是改善城市空气质量、推动 PM_{2.5} 与 O₃ 协同控制的重要举措，也是适应国际航运减排规则、提升国际航运中心能级和推动港口功能升级的现实需要。在“美丽中国”建设和“双碳”目标引领下，推进绿色港口和绿色航运已成为上海市实现港航业高质量发展的必然选择。

¹ UNCTAD, Review of maritime transport 2025, 2025

² IMO, Fourth Greenhouse Gas Study 2020, 2020

³ 数据来源：国家统计年鉴

⁴ 数据来源：上海市环境科学研究院掌握的船舶排放清单及空气质量模拟结果



2. 发展历程

2.1 上海市船舶排放控制的发展历程

上海市船舶排放控制是在国家船舶大气污染防治政策框架下逐步推进的，其演进过程体现出由局部先行、油品管控向区域扩围和全过程治理转变的特点。2015 年底，我国启动第一阶段船舶排放控制区制度（即 DECA 1.0），在珠三角、长三角和环渤海水域设立排放控制区，初期重点要求核心港口靠岸船舶使用硫含量不高于 0.5% 的低硫燃油。上海市于 2016 年 4 月 1 日起率先强制实施相关要求，将海船燃油硫含量由 3.5% 降至 0.5%，并逐步加强燃油质量检查和靠港船舶监管。2019 年起实施的 DECA 2.0 进一步将控制范围由三大重点区域和核心港口扩展至全国沿海 12 海里水域及长江、珠江等内河控制区，海船继续执行 0.5% 的燃油硫含量限值，内河船舶则通过“三油并轨”使用硫含量不高于 0.001% 的柴油。随着控制范围和监管要求不断加严，上海市船舶污染治理也由靠港换油逐步延伸至进出港航行、内河运输和港区作业全过程，为后续船舶 SO₂ 和一次颗粒物排放大幅下降、港区 SO₂ 环境浓度改善奠定了政策基础。

岸电推广也是上海市船舶排放控制的重要抓手。与单纯依靠低硫燃油不同，岸电通过船舶靠港期间接用岸侧电力，减少辅机燃油消耗和尾气排放，是上海市从“油品替代”走向“能源替代”的关键措施。上海市较早将岸电设施建

设纳入国际航运中心和绿色港口建设整体部署，并持续推进专业化泊位岸电设施建设。到 2020 年前后，岸电基础设施已初具规模，为后续强化岸电使用管理、推动岸电常态化应用奠定了基础。

上海在岸电推广方面值得学习的并不只是积极加快建设岸电设施，而是更注重让岸电“用起来”。2023 年 3 月 1 日施行的《上海市船舶污染防治条例》明确规定，具备岸电供应条件的港口、码头、装卸站、水上服务区应向具备受电设施的船舶提供岸电；具备受电设施的船舶靠泊岸电泊位，应当使用岸电。这一规定标志着上海市岸电治理由倡导性推广转向法治化、常态化监管。

为提高岸电使用率，上海市还通过专项方案和财政扶持降低船港双方使用成本。2023 年，《上海港提高靠港船舶岸电使用率实施方案》提出提升国际集装箱靠港船舶岸电使用量，并推动集装箱码头岸电覆盖水平进一步提高。上海市还出台鼓励靠泊船舶使用岸电扶持办法，对国际集装箱码头、邮轮码头岸电项目给予电费差价补贴和设施运行维护补贴，并要求岸电使用数据接入上海港岸电数据平台。由此，上海市逐步形成了“设施建设—法规约束—财政补贴—数据监管”相结合的船舶排放控制模式，推动岸电由“可用”转向“常用”，也为后续绿色燃料、船队更新和港航低碳体系建设奠定了基础。

2.2 上海港绿色燃料加注体系建设

上海市绿色航运转型的另一条重要路径，是由传统燃油控制进一步转向船用绿色燃料加注体系建设。与岸电主要解决船舶靠港期间排放不同，液化天然气（LNG）、绿色甲醇、绿氨、生物燃料等替代燃料面向船舶航行全过程的能源结构调整。因此，上海港的绿色燃料实践并非单纯增加加注设施，而是围绕保税供应、安全监管、加注作业、口岸协同和市场服务能力，逐步构建面向国际航运的绿色燃料保障体系。

LNG 加注是上海港绿色燃料体系建设的起点。2022 年，临港新片区出台国际航行船舶保税 LNG 加注试点管理办法，为上海港开展保税 LNG 加注提供制度支撑。同年 3 月，洋山港区完成我国首单国际航行船舶保税 LNG “船到船”加注业务，使上海港率先成为国内具备国际航行船舶保税 LNG 船对船加注能力的大型港口。这一实践的意义不仅在于完成一次加注作业，更在于上海港探索形成了保税燃料供应、加注船作业、海事安全监管和口岸服务协同的操作模式。

在 LNG 试点基础上，绿色甲醇加注成为上海港绿色燃料体系建设的新突破。2024 年，上海海事局发布水上甲醇燃料加注作业安全管理办法，对甲醇燃料加注主体、作业方式、安全防护和应急处置等做出规范，为绿色甲醇加注

常态化提供了制度保障。同年 4 月，上海港完成国内首次绿色甲醇燃料“船到船”同步加注作业，标志着上海港已具备服务甲醇动力国际集装箱船的能力。相较于单次示范意义，绿色甲醇加注更体现出上海市在新型船用燃料监管规则和产业链组织方面的先行探索。

从上海市实践看，绿色燃料加注体系建设的核心不只是加注能力，而是要实现“安全、稳定、便利和高标准的加注”。上海通过海事监管、港口企业、航运公司、能源企业和口岸部门协同，将绿色燃料加注从单一企业行为拓展为多主体共同参与的新型港航服务体系。上港集团等港口企业推动 LNG、绿色甲醇等加注服务能力建设，航运企业通过低碳燃料船舶部署形成市场需求，能源企业则参与绿色燃料供应链建设，共同推动上海港从传统装卸枢纽向绿色燃料服务枢纽转型。

2024 年以后，上海市进一步将绿色燃料加注从单项试点提升为多元燃料体系布局。《上海市推动国际航运燃料绿色转型工作方案》提出，到 2030 年形成内外共济的航运绿色燃料供应体系，推动 LNG、绿色甲醇、绿氨、生物燃料等燃料供应能力建设，并打造国际绿色燃料加注服务中心、交易中心和认证服务中心。由此，上海港绿色燃料体系建设已经从 LNG、绿色甲醇等具体加注业务，进一步延伸到燃料供应、加注服务、绿色认证和国际规则衔接等更完整的低碳航运服务体系。

3. 配套措施

3.1 绿色航运走廊示范与应用场景拓展

在绿色燃料供应能力逐步形成的基础上，上海市进一步通过绿色航运走廊建设拓展绿色燃料的规模化应用场景。绿色航运走廊将港口、航运企业、燃料供应企业和相关管理部门纳入同一合作框架，通过明确航线、船队和阶段性减排目标，为低碳船舶部署和绿色燃料使用形成相对稳定的市场需求，也为岸电应用、智慧码头建设和碳排放核算等措施协同落地提供示范载体。

在国际合作方面，上海市以绿色航运走廊建设推动绿色燃料应用场景落地。2022 年 1 月，上海港与洛杉矶港共同倡议建立绿色航运走廊。根据后续实施计划，自 2025 年起，航运公司合作伙伴在该走廊部署具备全生命周期低碳或零碳排放能力的船舶，到 2030 年将展示全生命周期零碳排放集装箱船舶或船队的可行性。绿色航运走廊不仅是国际航线合作，也是绿色燃料供应、低碳船舶、岸电使用、智慧码头和碳管理规则的综合示范。

3.2 强化监管与科技监测

监管执法是绿色航运政策落地的重要保障。上海市在船舶污染监管中逐步形成“现场检查 + 远程监测 + 数据平台 + 联合执法”的治理模式。海事、交通执法等部门持续开展船舶燃油质量抽检、冒黑烟检查和岸电使用监管，强化

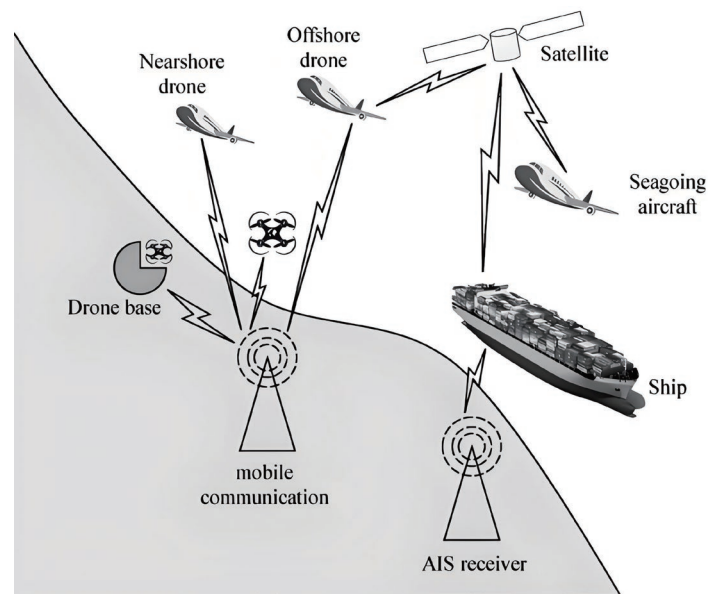


图 4-2 | 基于无人机的船舶尾气遥感监测示意图

图片来源：改编自 A Drone Routing Problem for Ship Emission Detection Considering Simultaneous Movements, 2023

对进入上海港船舶燃油硫含量、尾气排放和靠港用电行为的监督。

在科技监测方面，上海海事部门已将无人机、嗅探设备、电子巡航和巡逻艇巡航等手段应用于船舶大气污染监管。通过“无人机 + 嗅探技术”，监管部门能够对重点水域和码头开展尾气监测，并对涉嫌使用硫含量超标燃油的船舶进行登轮检查。与传统人工巡查相比，这类技术有助于提高监管覆盖面和执法精准度。

同时，上海市将船舶污染监管纳入移动源智慧监管体系。《上海市清洁空气行动计划（2023—2025 年）》提出，加强船舶冒黑烟和燃油质量执法检查，并逐步完善移动源智慧监管平台。这说明上海市的监管重点正在从单船违法排放查处，进一步扩展到港航活动全过程的数字化监管和协同治理。

3.3 船队更新与老旧船舶淘汰

船队结构更新是绿色航运转型的重要举措。老旧营运船舶通常能效水平较低、污染物排放较高、节能改造成本较大。推动老旧船舶提前报废和更新，有助于优化船队能耗结构，减少内河和沿海运输环节污染排放，并为新能源、清洁能源船舶推广创造空间。

2024 年，交通运输部、国家发展改革委印发《交通运输老旧营运船舶报废更新补贴实施细则》，对符合条件的中国籍老旧营运船舶报废更新给予资金补贴，并将 LNG 单燃料、甲醇单燃料、氢燃料、氨燃料、纯电池动力以及符合条件的双燃料船舶等纳入新能源清洁能源动力船舶支持范围。上海市结合本地港航实际，进一步出台老旧营运

船舶报废更新补贴实施方案，政策实施后，上海市老旧营运船舶报废更新工作逐步进入实质性实施阶段。截至 2025 年 11 月，已完成 18 艘老旧营运船舶报废拆解⁵；2026 年第一批已有 42 艘船舶通过补贴申报审核⁶，截至 6 月 15 日，当年度已有 6 艘完成拆解⁷。

3.4 绿色金融与财政激励机制

上海市通过财政补贴和金融工具降低港航绿色转型的前期投入压力。目前，岸电建设与使用补贴、老旧营运船舶报废更新补贴等政策已为相关设施运行和船队更新提供支持；《上海市转型金融目录（试行）》将水上运输业纳入支持范围，为航运企业和绿色燃料相关项目获得转型金融支持提供了政策基础。

在绿色燃料领域，上海市还鼓励金融机构、创业投资和股权投资基金参与绿色燃料产业链建设，并支持符合条件的企业利用信贷和多层次资本市场融资。与此同时，港口服务费优惠、绿色燃料相关税收和贸易便利化措施仍处于研究或探索阶段，可根据产业发展和市场运行情况进一步完善。

⁵ 上海市交通委员会，《我市“免申即享”模式高效兑付船舶报废更新补贴超 9800 万元》，2025 年 12 月 2 日，<https://www.shanghai.gov.cn/nw31406/20251202/41fd30753a2e41ceba4a1449537a7090.html>

⁶ 上海市交通委员会，《市港航中心开展 2026 年老旧营运船舶报废更新补贴申报集中审核》，2026 年 2 月 24 日，<https://jtw.sh.gov.cn/xydt/20260224/b57d2fe68b774d46a8d991ddb3576f92.html>

⁷ 上海市交通委员会，市港航中心从严抓实老旧营运船舶拆解现场帮扶指导工作，2026 年 6 月 17 日，<https://jtw.sh.gov.cn/xydt/20260618/5a7c0b21eb3d48beb6a3ed8be65885e6.html>

4. 实施机制

上海市绿色航运转型涉及规划统筹、海事监管、港口经营、航运企业响应、燃料供应和金融支持等多个环节，而非依靠单一部门或单一企业。总体来看，上海市逐步形成了“政府统筹、部门协同、企业实施、市场参与”的实施机制。

4.1 政府统筹与部门协同机制

首先，上海市绿色航运转型依托国际航运中心建设的总体协调机制推进。《上海市推进国际航运中心建设条例》明确，市人民政府加强对推进上海国际航运中心建设工作的领导，建立工作协调机制；交通部门负责协调推进国际航运中心建设，发展和改革、经济和信息化、商务、财政、生态环境、应急、市场监管、地方金融等部门按照职责加强协作。这为绿色航运政策在港口建设、燃料供应、金融支持、环境治理和安全监管之间形成协同提供了制度基础。

此外，在船舶污染防治方面，《上海市船舶污染防治条例》明确了海事管理机构和交通管理部门的监管职责，并要求相关部门按照各自职责做好船舶污染防治工作。由此，上海市形成了以海事和交通部门为核心、多部门共同参与的船舶污染治理格局。

4.2 分层监管与闭环管理机制

在实际监管中，上海市绿色航运转型体现出分层管理特征。

海事管理机构主要承担国际航行船舶、沿海船舶和相关水域船舶污染防治监管职责；交通管理部门负责港口、内河运输和地方港航管理事务；生态环境等部门则从城市空气质量改善、移动源污染治理和环境监测评价等角度参与协同治理。

基于上述职责分工，上海市将船舶燃油质量、尾气排放、岸电使用和绿色燃料加注安全等事项纳入分层监管体系，并通过现场检查、远程监测、数据报送和部门间信息共享加强全过程衔接。相关管理由单一环节的违法排放查处，逐步延伸至船舶进港、靠泊、用能和燃料加注等环节，形成问题识别、现场核查、整改处置和跟踪评估相衔接的闭环管理机制。

4.3 企业实施与运营保障机制

企业是绿色航运措施落地的直接执行主体。上港集团等港口企业主要承担岸电设施建设运行、绿色燃料加注服务和相关港口服务保障；航运企业负责船舶燃料选择、靠港岸电接入、船舶能效管理和排放达标；能源企业参与绿色燃料采购、储运和供应链组织；相关技术和金融机构则提供设备、认证及融资支持。

在具体实施过程中，政府部门通过规划、法规、补贴和安全监管明确政策要求，港口企业依托设施和服务平台组织

运营，航运企业通过船队部署和燃料使用形成市场需求，能源企业保障燃料供应。通过各类主体之间的业务衔接，上海市逐步形成政府负责制度设计和监管、企业负责设施建设与市场运营、多类市场主体共同参与的实施机制。

4.4 投入保障与市场化激励机制

绿色港航转型具有投入规模大、回收周期长和技术路线仍在演进等特点，单纯依赖企业投入难以支撑长期转型。上

海市逐步形成了财政资金发挥引导作用、港口和航运企业承担建设运营投入、金融机构和社会资本参与产业发展的多元投入机制。该机制既为岸电、绿色燃料和船队更新等前期投入较高的项目提供支持，也有助于通过市场化融资扩大绿色航运服务能力，降低新技术和新燃料应用初期的转型风险。



5. 政策效果

5.1 环境效益：船舶大气污染物减排成效持续显现

上海市绿色港口和绿色航运建设的环境效益，首先体现在船舶 SO₂ 排放和港区污染影响的显著下降。低硫燃油控制区政策实施后，船舶燃油硫含量得到有效约束。相关测算表明，以 2013 年长三角沿海 12 海里范围内活动船舶的 SO₂ 排放水平为基准，DECA1.0 实施后船舶 SO₂ 排放下降约 26%，DECA2.0 实施后降幅进一步扩大至约 71%，到 2024 年降幅已接近 80%。与此同时，上海港区监测站浓度数据也表明，2018–2025 年上海主要港口码头 SO₂ 年均浓度总体下降约 25%。排放量与环境浓度降幅并不完全一致，这是因为两者反映的空间范围不同。

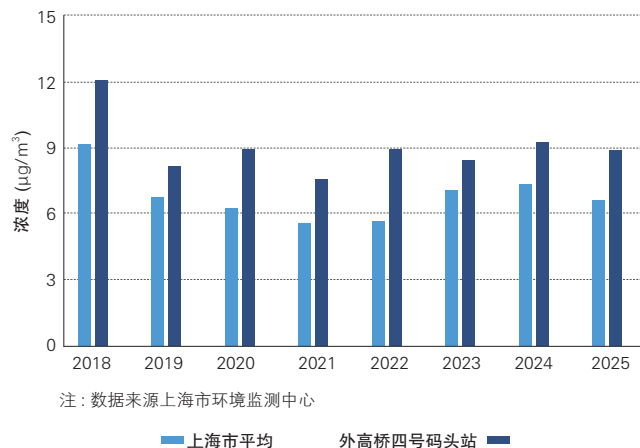


图 4-3 | 上海市主要港口码头环境中 SO₂ 年均浓度 (2018–2025 年)

排放核算覆盖近海 12 海里范围，而监测浓度反映的是陆地区域的实际空气质量。海上船舶排放在向陆地传输过程中还会受到距离、风速和风向等因素影响，其对陆地空气质量的作用也会随气象条件变化而有所不同，因此排放削减并不会完全同步体现为陆地监测浓度的等比例下降。基于区域排放清单测算，2024 年长三角沿海 12 海里范围内活动船舶 SO₂ 排放量占长三角区域 SO₂ 排放总量的比例已降至 10% 以下，表明低硫燃油控制区政策对削减船舶 SO₂ 排放、降低其区域污染贡献发挥了显著作用。

岸电推广则进一步强化了靠港船舶减排效果。岸电通过替代船舶靠港期间辅机燃油发电，能够同步减少 NO_x、

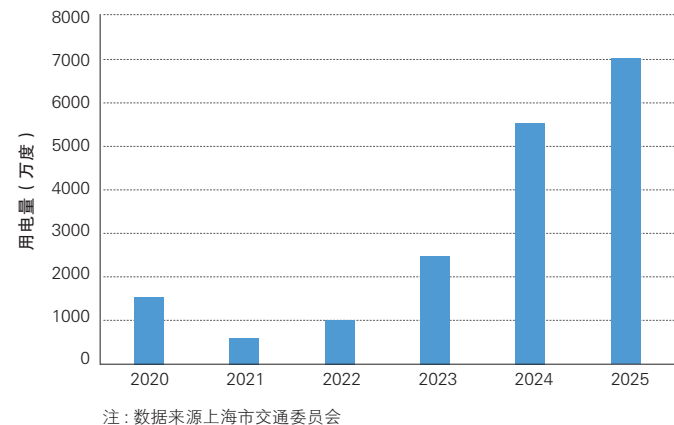


图 4-4 | 上海港口岸电用电量

颗粒物和 VOCs 等污染物排放。长江经济带岸电基础设施已基本普及，2025 年 11 省市岸电使用量达到 23805.5 万千瓦时，较 2020 年增长近 4 倍，其中上海、浙江、江苏、安徽岸电使用量合计 18881.0 万千瓦时，占比约 80%。上海市在岸电推广中表现出较突出的地方特色，推行“岸电交接单制度”，并建设岸电管理信息系统，提高了岸电使用监管和数据管理水平。2025 年，上海市港口岸电用电量约 7000 万千瓦时，较 2020 年增长 3.5 倍，可减少 NO_x 排放约 1029 吨、 $\text{PM}_{2.5}$ 排放约 25.5 吨、VOCs 排放约 28 吨。总体来看，低硫油控制和岸电使用共同推动上海港航污染治理从单一控硫向多污染物协同减排转变，也为后续绿色燃料替代和港口低碳化发展奠定了基础。

5.2 经济效益：港口绿色燃料服务能力加快形成

绿色航运转型并未削弱上海港的枢纽功能，反而推动港口服务从传统装卸、仓储和中转，向绿色燃料加注、绿色航运服务和国际规则衔接拓展。2025 年，在绿色转型持续推进的同时，上海港集装箱吞吐量继续保持世界第一，港口服务功能也逐步向绿色燃料加注和低碳航运服务拓展。

绿色燃料加注能力提升，是上海港经济效益的重要体现。上海港保税 LNG 加注量持续增长，绿色甲醇加注实现突破，表明绿色燃料加注业务已经从试点探索进入规模化起步阶段。上海港已成为全球少数同时具备 LNG 和甲醇“船到船”加注能力的港口之一，绿色燃料加注正在成为上海市提升国际航运中心资源配置能力的新型服务功能。多个国际班轮公司（如马士基、地中海航运等）将上海市视为其“双燃料”船队在亚洲的首选加注港和技术支持中心，

与上港集团建立长期合作。绿色港口建设还推动了一批相关产业的发展，如岸电成套设备制造、新能源船舶改造服务等，带动了上下游产业链产值增长。据不完全估计，围绕上海港绿色转型已形成上百亿元规模的产业集群，创造了新的就业岗位和经济增长点。

5.3 社会与示范效益：治理与国际合作示范效应逐步显现

绿色航运转型进一步提升了上海市城市绿色治理形象和国际影响力。对上海市而言，港口绿色转型不仅改善了航运业自身的环境绩效，也使绿色航运成为上海国际航运中心建设的重要标识。

城市形象方面，港区及沿江沿海地区的环境空气质量改善给周边居民带来了可感知的正面影响。以往大型船舶停泊时燃烧重油发电，经常造成码头及附近区域异味和烟尘污染，如今岸电覆盖后码头作业更加安静清洁，居民投诉显著减少。同时，上海港作为绿色发展样板提升了公众环保意识，每年世界海洋日、低碳日等都会举办绿色港口公众开放活动，展示 LNG 加注船、太阳能光伏在港口的应用。这些举措增进了社会对港口行业绿色发展的理解和支持，树立了良好的城市绿色转型形象。

国际示范方面，上海港与洛杉矶港合作建设绿色航运走廊，为上海市参与全球航运减排规则制定和绿色航线建设提供了重要平台。该合作涉及低碳燃料船舶、绿色甲醇试点、岸电使用和智慧码头建设，体现了上海市从单个港口减排实践向国际绿色航运规则衔接和示范合作拓展。

6. 经验总结

6.1 坚持政策、技术与产业协同推进

上海市绿色航运转型的首要经验，是避免将船舶污染治理、绿色燃料发展和港口产业升级作为相互割裂的单项任务，而是通过政策规则、技术能力和产业主体协同推进。政策和标准为市场转型明确方向与基本要求，技术与基础设施为企业落实相关要求提供支撑，港口、航运、能源和金融等主体则将政策要求转化为稳定的运营服务和市场需求。对于其他港口城市而言，推进绿色航运不仅需要建设单项设施或实施示范项目，更需要围绕当地船队、航线、能源和产业条件，建立从制度设计到设施运行、再到市场应用的完整实施链条。

6.2 完善标准规范与便利化措施并举

绿色航运措施能否真正落地，不仅取决于标准是否严格，也取决于企业使用是否便利。上海市在推进岸电使用时，既通过地方立法强化约束，也通过财政补贴、电费差价补贴和运行维护补贴等措施降低岸电使用成本。在绿色燃料加注方面，上海市通过《水上甲醇燃料加注作业安全管理办法》，为甲醇燃料加注安全、作业流程、风险防控和应

急处置提供监管依据。标准规范与便利化措施并举，是绿色航运从政策要求转化为企业行动的重要条件。

6.3 坚持激励与约束相结合

绿色航运转型涉及船舶改造、燃料替代、岸电接入和运营流程调整，企业需要承担较高前期成本。上海市经验在于将法规约束、财政补贴、转型金融和市场化机制相结合，使企业既面临合规压力，也能降低绿色转型成本、提升项目经济效益。对于航运企业，使用岸电、选择绿色燃料、更新老旧船舶，不仅是满足环保要求，也是适应国际航运减排规则、提升市场竞争力的需要。

6.4 深化国际合作与规则对接

作为国际航运中心，上海市将本地绿色航运实践与全球航运减排规则和国际港口合作相衔接。上海港—洛杉矶港绿色航运走廊表明，港口城市可通过明确合作航线、参与企业和阶段性减排任务，推动绿色燃料供应、船舶应用、岸电使用和碳管理规则协同落地。主动参与国际合作和规则对接，是港口提升绿色航运服务能力的重要路径。



7. 未来建议

结合国际航运减排规则演进和上海国际航运中心建设部署，上海市绿色航运转型将进一步由单项污染治理和设施建设，转向碳排放管理、绿色燃料供应、船舶清洁化、数字化运营和国际合作协同推进。根据上海市现有政策部署和实践基础，未来可重点从以下四个方面持续深化。

（1）对标国际规则，健全港航碳管理与应对机制

国际航运温室气体减排规则正由目标设定逐步转向核算方法、燃料标准和履约机制建设。IMO《2023 年船舶温室气体减排战略》明确了 2030 年碳强度下降和零或近零排放燃料应用目标，并提出在 2050 年前后实现国际航运温室气体净零排放。此后，IMO 于 2024 年通过船用燃料全生命周期温室气体强度指南，2025 年 4 月批准由全球船用燃料温室气体强度标准和温室气体定价机制构成的净零框架草案，但尚未完成正式通过程序。2026 年以来，IMO 就燃料核算与认证、合规报告、奖励机制和净零基金等实施规则继续开展磋商，并拟于年底恢复净零框架特别会议审议。

总体来看，IMO 净零框架的正式通过时间和部分制度设计仍存在不确定性，但生命周期碳排放核算、燃料温室气体强度管理、可持续燃料认证和经济激励等规则方向已逐步明确。上海市应在跟踪国际规则进展的同时，提前完善

港航碳排放统计、监测、核算、报告和核查体系，将船舶能效、燃料全生命周期温室气体强度、岸电使用、绿色燃料加注和港口作业能耗等纳入统一数据管理框架，为航运企业国际履约、绿色燃料认证、碳成本分析和政策效果评估提供基础支撑。

（2）做强国际航运绿色燃料加注、交易和认证服务

根据交通运输部等十部门印发的实施方案，到 2030 年，上海市将初步建成国际绿色燃料加注中心和交易中心，形成 LNG、绿色甲醇和生物燃料等多元燃料供应体系。2026 年 6 月，上海市国际航运绿色燃料交易平台开启试运行，试点开展燃料认证确权、登记、交易、结算和注销等业务；绿色船用燃料国际认证体系事务中心同步落地，GSTC 绿色船用燃料国际认证体系正式启用，上海市绿色燃料服务已由加注能力建设进一步延伸至交易和认证环节。

下一步，上海市可在扩大绿色甲醇、生物燃料等供应和加注能力的同时，完善燃料全生命周期碳足迹核算、认证与交易规则，加强认证、交易和实际加注业务衔接，推动相关标准与国际规则互认，逐步提升绿色燃料资源配置和市场服务能力。

（3）推进船舶清洁化与港航数智化协同发展

绿色航运转型还需要由燃料供应端进一步延伸到船舶装备和港航运营端。根据上海市船舶运行场景和航线特征，可分类推进船舶清洁化转型：在航程相对固定、补能条件较好的内河运输、港作和公务船舶领域，优先推广纯电动和其他新能源动力；在江海直达和沿海运输领域，推动高能船型和清洁能源动力船舶示范；在国际远洋航运领域，重点提升绿色甲醇、可再生氨、生物燃料等替代燃料的供应和应用保障能力。同时，可发挥电力、钢铁、石化等链主企业的需求牵引作用，结合重点行业环保绩效创A和绩效引领，将清洁运输要求进一步向水运环节延伸，带动新能源和清洁能源船舶、岸电及绿色燃料应用。上海市现有碳达峰和交通运输发展部署也已提出发展电动内河船舶、提升船舶能效和推广清洁能源动力船舶。

在运营管理方面，可进一步推动港航数字化与碳管理深度融合，依托智慧港口系统、船舶能效管理平台、岸电数据平台和绿色燃料服务平台，加强船舶进出港、靠泊、岸电接用、燃料加注和港口作业等环节的数据衔接，逐步实现船舶在港能耗和碳排放的精细化监测。通过统一数据标准和业务接口，为港航企业开展能效优化、燃料选择、碳足迹核算和绿色航线管理提供数字化支撑。

（4）拓展绿色航运走廊和区域协同示范网络

绿色航运走廊是推动绿色燃料、低碳船舶、港口设施和碳管理规则协同应用的重要载体。上海市已经以上海

港—洛杉矶港绿色航运走廊为基础开展跨太平洋合作，并推进上海港—汉堡港等亚欧方向绿色航运走廊建设。下一步可结合主要国际航线和班轮企业绿色船队布局，进一步扩大合作港口和航运企业范围，推动绿色燃料供应、岸电使用、燃料碳足迹核算和减排信息共享等规则衔接。

在国内区域层面，上海市可依托长三角港口群、长江经济带航运网络和江海联运体系，探索建设区域性绿色航运示范网络。结合不同水域和船舶运行场景，可优先在内河短途运输、港作船舶、公共服务船舶和重点货运航线上开展新能源船舶及配套补能设施示范，逐步形成国际远洋绿色航线、区域港口协作和内河清洁运输相衔接的多层次绿色航运体系。

总体而言，上海市绿色航运转型已经由以低硫燃油和岸电使用为主的污染控制阶段，逐步迈向绿色燃料供应、清洁能源船舶、数字化碳管理和国际规则衔接协同推进的新阶段。下一阶段的重点不只是增加单项设施或示范项目，而是进一步完善燃料供应、船舶应用、港口服务、数据管理、金融支持和国际合作之间的衔接机制。通过持续完善制度规则、基础设施和服务体系，上海市有望进一步推动港口由传统物流装卸枢纽向绿色航运综合服务中心升级，并为其他港口城市推进减污降碳协同增效和航运绿色转型提供可借鉴的实践经验。

非道路移动源减排 重点场景清洁化转型探索

The background image shows a port scene with a large blue ship named 'JENKINS MARINE' docked. A yellow crane is lifting a large yellow container. The scene is overlaid with a large, semi-transparent white '04' and a blue diagonal line. The overall color scheme is blue and green.

非道路移动机械已成为移动源治理的重要领域，其排放具有设备分散、管理主体多元和监管难度较大的特点。近年来，随着新能源技术不断成熟，工程施工、港口作业等重点场景正逐步成为非道路移动源清洁化转型的重要突破口。成都近零碳工地试点通过推动工程机械新能源替代、绿色施工组织和智慧化管理，为建筑施工领域减污降碳协同治理提供了新的实践路径，也为其他城市推进非道路移动源场景化治理提供了参考。



成都

近零碳施工工地试点实践

以全过程管理推动建筑施工场景

减污降碳的路径探索

1. 政策背景

“十三五”期间成都市空气质量持续改善，2020 年细颗粒物（ $\text{PM}_{2.5}$ ）年均浓度为 $41\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，较 2015 年下降 28.1%。但进入“十四五”后，改善步伐明显放缓，2021 - 2022 年 $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度维持在 $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右，距离达标（ $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）仍有明显差距。同时，臭氧（ O_3 ）污染问题凸显，空气质量改善动力明显不足。二氧化氮（ NO_2 ）作为 $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 的重要前体物，其浓度长期处于全国 168 个重点城市靠后水平，成为制约协同治理成效的关键因素。

移动源和扬尘是成都市空气污染的重要来源。2022 年底，移动源对氮氧化物（ NO_x ）和挥发性有机物（VOCs）的排放占比分别达到 87% 和 25%，对 $\text{PM}_{2.5}$ 的综合贡献为 38.8%；扬尘对 $\text{PM}_{2.5}$ 贡献比例约为 20%，同时随着建筑工地增加呈波动变化趋势；工地扬尘、道路扬尘直接排放的一次颗粒物在全社会颗粒物排放总量中占比超过 60%。

建筑工地是扬尘和移动源排放的叠加集中区。施工过程中，大量工程机械与运输车辆高强度运行，直接排放大量 NO_x 、VOCs、颗粒物（PM）等，并产生大量扬尘，对空气质量造成直接压力。同时，施工环节设备多、能耗高，也带来较多碳排放。2022 年，全国建筑业建造阶段碳排放占全国能源相关碳排放的 26.6%。可见，加强建筑工地排放管控，不仅能够推动成都市在新阶段实现空气质量持续改善，还兼顾协同降碳效益。

为有效应对目前空气质量持续改善面临的难题，成都市以近零碳施工工地试点为突破口，积极探索在建筑工地推广新能源工程机械和运输车辆，并将绿色低碳理念深度融入施工全流程，推动从施工到运营的全生命周期绿色转型。当前，首个试点项目选址于天府新区科学城中路东段南侧的天府新区天府永兴实验室，园区占地约 65 亩，总建筑面积约 154143 平方米（图 5-1）。基于此，成都市力求在有效控制施工期大气污染排放的同时，实现建筑业绿色低碳转型，为城市空气质量持续改善和协同降碳提供可复制推广的示范经验。



图 5-1 | 天府永兴实验室园区建设项目（一期）效果图

2. 发展历程

在推进近零碳施工工地试点工作中，成都市生态环境局积极担当，先后多次组织召开专题会议，围绕试点工作目标、技术实施难点以及面临的各类壁垒展开深入研讨，凝聚多方智慧力量，针对性研究具有可操作性的解决思路，为试点工作有序推进夯实基础，逐步推动试点工作开展。2023 年 10 月，市生态环境局召开首次专题研讨会，

明确了政府主导、企业实施的总体思路后，随后召开多次工作会议，逐步完善实施方案。至 2024 年 4 月，首个试点项目——天府永兴实验室园区建设项目（一期）正式获批，标志着近零碳施工工地试点开始进入实施阶段，如表 5-1。

表 5-1 | 成都市近零碳施工工地试点工作推进关键节点

时间	组织部门	会议内容
2023.10.31	市生态环境局	组织召开首次近零碳工地研讨会，邀请相关企业及专家探讨近零碳工地实施路径，初步明确“政府主导、企业实施”的试点工作原则，采取“边试边评”的方式，重点推进建设工地使用频率高、污染排放大的非道路移动机械、货运车辆等移动源的新能源替代，并明确将绿色低碳理念贯穿工地施工的全过程。
2023.11 - 2024.02	市生态环境局 市住建局	组织研究制定试点工作方案，邀请徐工集团、同创柳工、中联重科、三一重工、四川邦立重机等机械生产企业对新能源机械替代匹配问题和试点项目合作进行探讨，共同研究新能源机械替代匹配和成本核算等问题。
2024.03.06	市生态环境局 市住建局	联合印发《成都市“近零碳施工工地”试点工作方案（试行）》（成环发〔2024〕20 号），并组织各区（市）县和建设单位积极申报试点工地。
2024.04.25	市生态环境局 市住建局	实地考察申报的试点工地，批复同意天府永兴实验室园区建设项目（一期）作为成都市首个近零碳施工工地试点项目。

3. 配套措施

在推进近零碳施工工地试点过程中，成都市以天府永兴实验室园区建设项目（一期）为示范案例，以新能源替代为核心，辅以全过程管理，叠加光伏发电、污染防治等手段，从多维度构建配套措施体系。

新能源替代与配套支持

本试点聚焦工程机械和重型货车两大类设备，由市生态环境局牵头，引入徐工集团、三一重工等新能源设备生产企业参与替代匹配研究，推动设备新能源化。为了保障顺利推进，四川天府新区生态环境和城市管理局牵头出台支持措施，包括开辟新能源重卡充电专用通道，优先保障试点项目充电需求；协调临时用地建设内部充电桩并协调电容电力，满足场内洒水车和机械充电需求，保障试点项目用

电负荷；定向协调新能源商混车供应、强化管控期间混凝土浇筑夜间施工保障及就近渣土消纳场，保障施工进度。对于因特殊施工情况不能使用新能源替代的环节，则从管理方式和制度方面推进减排，如合理规划场内运行路线、运作时间。

目前，新能源设备替代取得阶段性进展，如表 5-2。在土石方挖掘阶段受市场供给、运输距离、施工工期、地质条件等多方因素约束，渣土车新能源车次替代比例较低，仅有 26%，挖掘机仅使用 1 台新能源设备进行回填作业。在基础及主体施工阶段，新能源替代比例较高，商混车新能源车次占比高达 93.5%；锚杆机、曲臂车、剪叉式高空作业平台实现 100% 新能源（电动）替换，洒水车新能源作业量占 44%，地泵新能源工程量占 36%。

表 5-2 | 新能源设备替代情况

类型	替代情况
渣土车	共使用渣土车 8116 辆次，其中新能源运渣车运输 2072 辆次，新能源车次占比为 26%
商混车	共使用商混车 10683 辆次，其中新能源商混车 9988 辆次，新能源车次占比为 93.5%
洒水车	总计 3 台洒水车，其中燃油车 2 台，新能源车 1 台，新能源洒水车作业量占总量的 44%
锚杆机	新能源抗浮锚杆机 8 台，100% 替换
曲臂车	使用新能源曲臂车 50 台，替换燃油登高车、曲臂车等，实现登高机械清洁能源 100% 替换
挖掘机	使用 1 台新能源挖掘机替换燃油挖机进行肥槽土方回填
地泵	使用新能源地泵，工程量占比为 36%
剪叉式高空作业平台	100% 使用电动设备
原材料运输车	钢材运输，部分采用新能源车辆运输

扬尘管控和绿色施工

在施工过程中，扬尘是影响空气质量的重要因素。为有效控制扬尘排放，本试点创新建设吊塔雾炮喷淋装置，建设期间共计使用吊塔 6 台，且全部安装雾炮喷淋装置，可 100% 实现施工现场高空高效降尘。在主体建筑建设阶段，每隔 4 层布置一圈腰带喷淋，实现主体施工全覆盖降尘。同时，配置 7 台 360° 高压旋喷桩，可充分保障施工现场主要道路和基坑全覆盖抑尘。通过这些措施，能够有效减少施工过程产生的扬尘以及对周边空气质量的影响。

除扬尘治理外，本试点还注重绿色施工实践。试点建成 48 m² 光伏发电板和 14 m² 碲化镉发电玻璃，累计发电 5267 kWh，可以满足办公区 6% 用电需求；部署太阳能路灯、LED 节能灯等可再生能源设施，建成 7 台太阳能路灯、6 台节能 LED 灯，用于道路和基坑照明。此外，施工现场回收混凝土、砖块等建筑废弃物，经破碎、清洗、分级后，造石机重新打磨成型，重新加工为再

利用低碳建材，并用于总坪铺装，减少建筑的隐含碳排放。

全过程管理

本案例构建“监测—核证—优化”闭环体系，搭建了近零碳施工工地智慧碳监测系统（图 5-2）。智慧监测系统能够实时展示排放数据，动态调整减排方案；建立纸质与电子台账规范管理流程，组织专业技术团队，针对各排放源（移动机械载具、重点耗能设备）进行能耗监测，核查核证加油记录、充电记录、电表读数、发电记录等，确保数据真实可靠，为科学决策提供依据，针对现场发现的问题进行总结、提出解决办法，针对工地碳排放管理进行现场培训。



图 5-2 | 近零碳施工工地智慧碳监测系统

4. 实施机制

成都市近零碳施工工地试点工作严格遵循“政府主导、企业实施”的基本原则，建立了多部门协同推进机制。各参与主体依据职能分工明确职责，并通过政企协同、多方联动，系统构建起贯穿施工全过程的管理体系。

政府主管部门负责政策制定、统筹协调与进度跟踪。市生态环境局牵头制定试点工作方案并明确实施路径；组织研讨会和工作推进会，协调解决新能源机械匹配及成本核算问题；审批试点项目并每月跟踪进展，确保政策落地和问题及时解决，并委派成都市环科院、成都市机动车排气中心进行技术指导及跟踪评价。市住建局联合市生态环境局印发试点方案，参与试点工地筛选与管理，监督低碳施工措施落实。协助对接施工单位和建设单位，推动新能源机械应用。属地管理部门落实配套保障。四川天府新区生态环境和城市管理局制定属地试点政策，组建专班强化组织

保障。保障充电设施需求，统筹新能源商混车供应，协调渣土就近消纳，优化夜间施工管理，确保项目按期推进。

实施企业严格履行施工主体责任。在试点工作中，成都天投集团作为建设单位，委托第三方机构开展碳核算评估，配合政策实施，协调施工方落实减排措施，确保数据真实性和减排目标达成。中国五冶集团作为施工单位，将近零碳要求纳入施工方案，专人负责试点工作。执行新能源机械替代和节能措施，配合数据监测与减排优化。

此外，中国国检集团作为第三方机构独立开展监测评估，制定碳核算方案，开发监测系统实时跟踪数据。全程核查核证，确保数据准确性，并及时提出减排建议或策略。设备供应商则提供新能源设备并参与新能源机械替代匹配和成本核算等工作。

5. 政策效果

成都市近零碳施工工地试点项目——天府永兴实验室园区建设项目（一期），是全国首个从设计到施工到运维的全生命周期绿色低碳项目，产生了突出的环境效益和一定的社会效益。

在环境效益方面，本试点项目通过新能源设备替代、精细化管理等措施，大幅降低工地施工过程对环境的多重压

力。如图 5-3 所示，大气污染物减排与协同降碳成效显著，二氧化硫（SO₂）、NO_x、VOCs、PM₁₀、PM_{2.5} 的减排比例为 37%、22%、17%、19%、19%；分阶段来看，基础及主体阶段的新能源替代率相对于土石方阶段更高，其大气污染物减排效果优于土方阶段，各污染物减排比例均达到 50% 左右，其中 SO₂ 减排比例更是达到 76%；相比未采取措施的预估排放量减少了 33%，新能源设备替

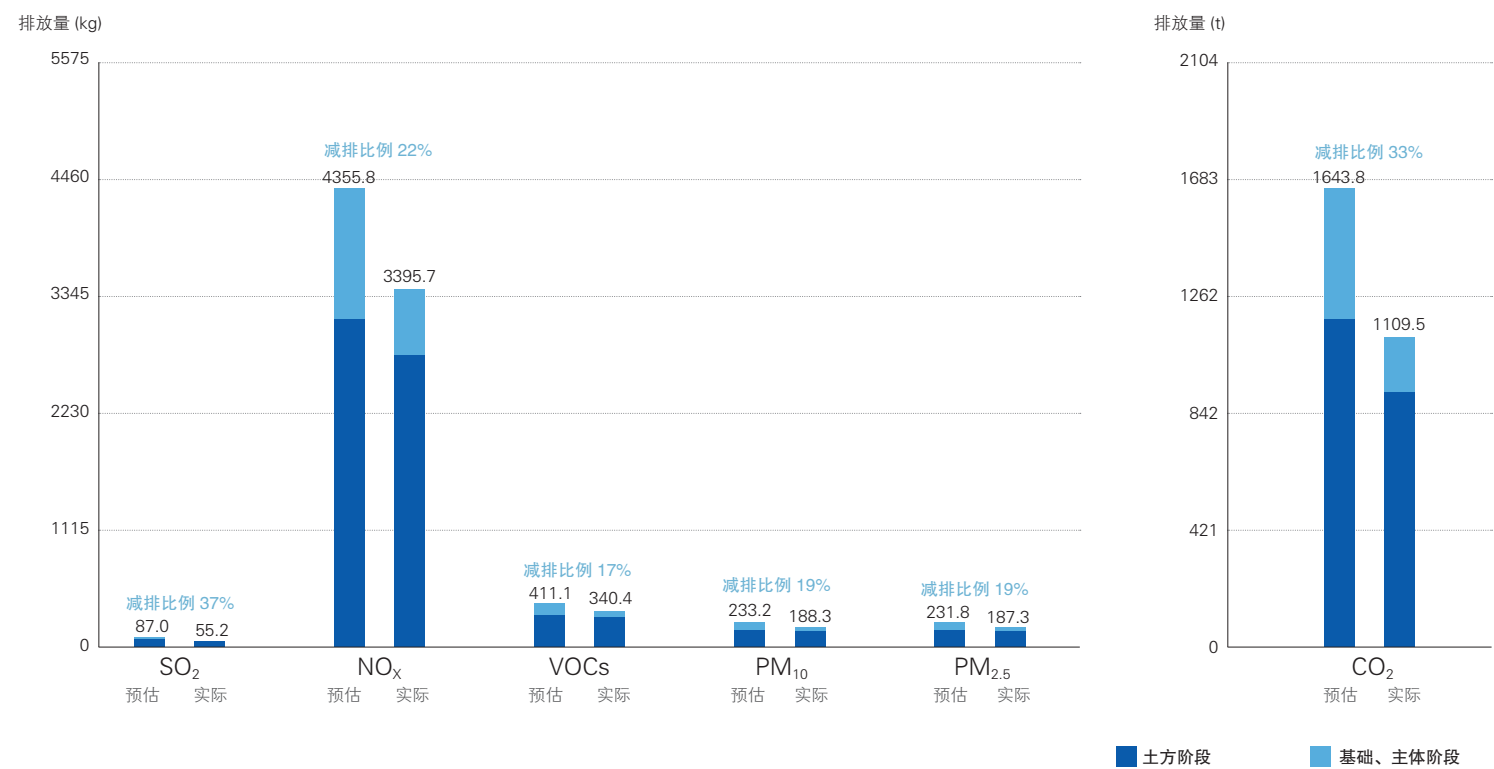


图 5-3 | 试点以来大气污染物与 CO₂ 减排情况

代贡献了 99%，其余主要来自生物质燃油和新能源发电。此外，项目结合光伏发电系统、太阳能路灯和节能 LED 照明系统，有效降低了对传统电网的依赖及化石能源消耗，还通过应用节能建筑材料显著减少能源消耗和实现资源循环利用。测算结果显示，项目累计节约能耗 155 万 kWh，较普通建筑能耗降低 52%，成功打造出超低能耗的绿色建筑示范工程。

在社会效益方面，本案例以绿色低碳理念指导施工全过程，取得了积极的社会效益，主要体现在以下方面：一是推动行业绿色转型。通过示范应用，促进建筑业从“高碳粗放”向“低碳精细”模式转变，形成可复制、可推广的绿色施工经验。二是改善居民生活环境。减少噪音、扬尘和尾气污染，有效减少施工对周边社区的影响，提升居民生活满意度及环保意识。三是促进就业与技术升级。新能源机械运维、智慧监测系统开发等需求创造了新的就业岗位，同时推动施工人员技能向绿色低碳方向升级。四是提升城市可持续发展形象。成都市通过打造近零碳施工工地示范标杆，增强城市韧性及在绿色建筑领域的引领作用。

6. 经验总结

成都市以近零碳施工工地试点为抓手，探索了以新能源设备替代和全过程管理为核心的大气污染物减排与协同降碳的新路径。试点过程中，成都市建立了“政府主导、企业实施”的推进机制，明确各方职责，通过典型项目的边试边评，逐步完善管理模式，地方政府提供了充电设施、电力保障等配套支持，引入第三方机构参与数据监测和核证，确保减排成效真实可追溯，这些举措为近零碳施工工地推广积累了宝贵经验。

升级新能源设备技术与供给体系，满足施工工地多样化需求。当前市场上新能源工程机械的类型与数量有限，难以满足建筑施工工地多样化的机械、车辆需求。此外，部分机械生产企业仅提供订购服务，不支持设备租赁，进一步限制了新能源机械的使用。为破解这一问题，未来将以美丽成都、美丽社区建设为抓手，出台相关财政补贴和激励政策，鼓励生产企业扩大设备生产与投放，满足工地多样化的使用需求。同时，强化关键技术攻关和成本优化，推动氢燃料重型卡车、电动挖掘机等成熟技术应用，同时配套建设工地微电网，推广“光伏 + 储能”一体化临时供电系统，从生命周期层面全面推进近零碳施工工地试点。

强化智慧监测确保全过程监管，有力支撑科学决策和管理优化。由于建设工地完工后数据具有不可追溯性，场景无法重现，施工过程数据的准确监测至关重要。若在施工过

程中未能有效兼顾减污降碳管理工作，易出现数据上报延迟、填报不规范、监测不准确等问题，进而影响数据的真实性与准确性。为解决这一问题，成都市开发智慧监测系统（如成都市智慧碳监测系统），实现全过程监管，并引入第三方核查机构全过程核证，确保数据透明可追溯，为科学决策和管理优化提供有力支撑。

加强前期风险识别与过程动态管理，增强试点工作治理韧性。在试点项目实施过程中，需注重提前识别潜在风险，如设备供应不足、运输路线不合理、施工组织不规范等，并制定应对措施，减少对工期、成本、减排成效的影响。通过科学规划，指导重点区域内政府投资的工地，将减污降碳的要求纳入立项、设计、施工、验收、使用等全过程管理，实现建筑工地全过程大气污染物和碳减排，同时注意动态调整，如协调机械供应、优化运输规划等，提高试点项目的应对能力和治理韧性，保障各项工作稳步推进。

统筹协调建设成本与进度优化，保障试点项目高效稳步实施。虽然新能源机械节省的能源成本可弥补部分租金

差异，但由于大型新能源工程机械在全国范围内分布零散，高昂的运输费用远超使用成本。同时，新能源渣土车、商混车等设备运量较小，若运输距离规划不合理，将导致项目进度滞后，增加建设工期与成本。通过优化运输路线规划，协调就近资源（如渣土场、充电设施），并以长期能源节省效益平衡初期成本，从而降低工期与成本压力，保障项目顺利平稳推进。

分阶段推进试点体系建设，加快形成可复制推广模式。近零碳工地试点需覆盖工程项目从图纸设计至竣工验收的全流程，而非单一施工阶段。由于不同类型工地适用的评价标准存在差异，试点工作面临高要求、高难度的挑战。目前试点范围仅涵盖房屋建筑类工地，其他类型工地的试点工作尚未开展。对此，未来需要分阶段推进持续打造近零碳施工工地场景试点，总结目前试点工作经验，加快形成可复制推广的实施体系和评价体系，并逐步扩展至其他类型，激发各行业和各部门打造近零碳施工工地的内生动力。



7. 未来建议

成都市依托现有试点实践成果，在全市近零碳排放区场景建设整体框架下，完善近零碳施工工地配套场景建设制度、拓展多元工地试点场景：

完善标准化建设体系，形成统一申报与评价规则。

结合天府永兴实验室试点运行数据、实施难点，细化近零碳施工工地遴选条件、标准化建设路径、分阶段实施细则；编制针对房建类的近零碳施工工地申报模板、分级量化评价指标，同步衔接全市近零碳排放区成熟的工作流程与专项补贴制度，将新能源替代、可再生能源利用、光伏储能、碳监测等要求纳入标准化条款，实现项目申报、现场管控、验收评优全流程有据可依，依托现有补贴政策降低企业低碳改造成本，加速项目落地。

分类型分阶段扩面试点，构建全场景推广模式。

针对当前试点仅覆盖房建类工地、标准适配性不足的短板，分批次拓展多类型工程试点场景。近期优先推进市政道路工地试点，同步梳理不同工程的减排痛点、设备适配方案；中长期将更多类型的工地纳入试点，汇总各类工地试点经验，形成分场景专属实施导则与评价指标，打通全品类施工工地推广通道。同时持续总结首个试点的新能源替代、智慧碳监测、固废循环利用成熟做法，形成可复制、差异化的近零碳施工实施体系，激发建设、施工企业主动开展低碳改造的内生动力。



亚洲清洁空气中心中国办公室



北京市朝阳区秀水街 1 号建国门外外交公寓 3-41, 100600

邮箱 : china@cleanairasia.org

电话 / 传真 : +86 10 8532 6172

网址 : www.cleanairasia.org www.allaboutair.cn