

绿卡榜

中国卡车减污降碳进展研究



清华大学环境学院
SCHOOL OF ENVIRONMENT, TSINGHUA UNIVERSITY



报告团队

王悦 成慧慧 冉铮 衷楠

亚洲清洁空气中心

吴烨 张少君 王慧 赵咄

清华大学环境学院

康医飞 王鹏飞 石文童 周磊 樊春艳

新能源汽车国家大数据联盟

报告审阅

付璐 亚洲清洁空气中心 北京代表处首席代表

万薇 亚洲清洁空气中心 中国项目总监

专家顾问

(* 按姓名拼音排序)

丁焰 国家环境保护机动车污染控制与模拟重点实验室 主任

葛蕴珊 北京理工大学机械与车辆学院 教授

金约夫 原中国汽车技术研究中心汽车标准化研究所 教授级高工

李昆生 北京市生态环境局 高工

李孟良 中国汽车技术研究中心有限公司 资深首席专家

李泉 交通运输部公路科学研究院新能源汽车应用研究部 部长

李阳 新能源汽车国家大数据联盟 执行秘书长

王人洁 交通运输部规划研究院环境资源所 主任工程师

王震坡 北京理工大学电动车辆国家工程研究中心主任 教授

新能源汽车国家大数据联盟 秘书长

辛焰 能源基金会 交通项目主管

尹航 中国环境科学研究院机动车排污监控中心 副主任

感谢实习生姚雅慧、梁奕延、张帅、包睿涵在研究过程中提供的数据分析、桌面调研等支持。

绿卡榜网站: www.lvkabang.cn

绿卡榜微信小程序:



联系我们

地址: 北京市朝阳区秀水街1号建国门外外交公寓 3-41, 100600

电话 / 传真: +86 10 8532 6172

邮箱: greentruck@cleanairasia.org



亚洲清洁空气中心（Clean Air Asia，简称 CAA）是一家国际非营利性组织，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三个领域。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。



清华大学环境学院源于清华大学 1928 年设立的市政工程系。1977 年建立中国第一个环境工程专业，2011 年在清华大学百年校庆之际发展为环境学院。清华大学环境学科两次蝉联环境工程国家重点学科，在教育部学科评估中两次获得环境科学与工程一级学科第一名；2022 年 QS 环境学科世界大学排名第 9。

经过数十年的发展，环境学院在师资队伍、学科建设、人才培养、科学研究、社会服务、国际合作、基础设施等方面取得了优异的成绩。环境学院建立了以环境科学、环境工程、环境管理三大学科方向为基础，涵盖多要素多介质的综合性、交叉型学科体系。教师中现有 4 名中国工程院院士和 2 名美国工程院外籍院士，教师队伍具有很强的创新能力、凝聚力和团队合作精神，为高水平教学、科研和社会服务工作的顺利开展提供了有力保障。学院牵头建设了“环境模拟与污染控制国家重点联合实验室”、“大气污染物与温室气体协同控制国家工程研究中心”、“新能源与环境国际研发中心”等 9 所国家、省部级重点实验室/工程技术中心，长期担任教育部高等学校“环境科学与工程教学指导委员会”和“科技委环境学部”主任单位。环境学院为国家重大行动与环境保护重大决策提供了支撑，多项创新技术成功投入重大环境工程实际应用并持续改进推广，取得了良好的社会环境效益，是环境保护高层次人才培养基地和高水平科学研究中心，在国内外环境保护领域享有很高的声誉。



新能源汽车国家大数据联盟（National Big Data Alliance of New Energy Vehicles，下称“联盟”或“NDANEV”）由新能源汽车制造商、零部件供应商、互联网应用服务商、科研机构、相关社团组织自愿组成的全国性、联合性、非营利性社会组织。联盟定位为新能源汽车大数据共享的纽带和桥梁，致力于统筹整合、开发利用新能源汽车数据资源，建立大数据研发基金，切实推动新能源汽车大数据挖掘分析工作，为政府、企业、公众提供高品质数据服务。

报告术语

CO₂	二氧化碳
PM	颗粒物
PM_{2.5}	细颗粒物
O₃	臭氧
NO_x	氮氧化物，包括 NO 和 NO ₂
TCO	总拥有成本（Total cost of ownership, TCO）是全面衡量卡车全生命周期成本的一种方法，包括购置成本（指抵扣补贴后的成本）、燃料成本、保险税费、维护与保养成本等多方面的费用。
WTW-CO₂	燃料周期（即油井到车轮, well-to-wheels）CO ₂ 排放量，包括燃料生产、运输、制造、分配、使用等多个环节的 CO ₂ 排放。
PEMS	便携式车载排放测试系统。利用安装在机动车上的排放测试设备，实时测量和分析车辆在实际道路行驶过程中的排放特征，可获得排气污染物的瞬时浓度（ppm）、排气流量（kg/h）、排放速率（g/s）和不同表达形式的排放因子（如 g/kWh、g/kg-fuel 和 g/km 等）。
OBD	车载诊断系统
OBD 远程在线监控	在传统 OBD 系统的基础上，利用多种车辆传感器、发动机 ECU 标定数据，实时返回的数据信号，获取车辆瞬时发动机运行参数、后处理系统参数、污染物浓度（NO _x ）、车辆排放故障相关信息等，并通过无线网络将相关信息远程发送到管理平台。
跟车测试	一种非接触式测试方法。该方法将检测设备置于实验车上，通过抽取目标车（前车）排气烟羽，逐秒测量污染物（如 NO _x 、BC 和 CO ₂ 等）浓度变化，并根据碳平衡法计算排放因子（g/kg-fuel）。

报告术语

环保年检	指机动车所有人依法进行的机动车排放检验。根据《道路交通安全法》，载货汽车自注册登记之日起，按规定周期进行安全技术检验，其中尾气检测达标（合格）是前置条件。
烟度	车辆环保年检中基于定容量排气所透过的滤纸的染黑程度获得的排气不透光烟度指标，反映车辆尾气中的颗粒物排放水平。
有效寿命	《重型柴油车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）》（GB 17691-2018）和《车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排放控制系统耐久性技术要求》（HJ 438-2008）和分别针对国六和国四/国五柴油车规定了“有效寿命/耐久性要求”，车辆制造企业应确保正常使用条件下的汽车所安装的发动机污染物排放控制装置的耐久性在正常寿命期或行驶里程内。
新能源汽车	本报告中新能源汽车指纯电动汽车、插电式混合动力汽车（包括增程式混合动力汽车）和燃料电池汽车。
总质量	指车辆总质量，即 GVW（Gross Vehicle Weight）。报告依据《道路交通管理 机动车类型》（GA 802-2019），基于总质量将卡车分为：微型（ $GVW \leq 1800$ kg）、轻型（ $1800 \text{ kg} < GVW < 4500$ kg）、中型（ $4500 \text{ kg} \leq GVW < 12000$ kg）和重型（ $GVW \geq 12000$ kg）。
车辆类型	本研究根据整车型号中的车辆类型代号和专用车代号选取的普通载货车、自卸车、半挂牵引车及专用汽车中的环卫车、厢式运输车、仓栅式运输车，并将普通载货汽车、厢式运输车、仓栅式运输车合称为载货车。
上线率	当期车辆的运行数量占国家监管平台车辆累计接入量的比重，可以反映当期车辆的使用率情况，上线率越高，说明车辆使用需求越高，反之，说明当期车辆存在一定闲置情况。



执行摘要

交通运输行业是我国减污降碳、协同增效的重点领域。进入“十四五”时期，我国先后发布《减污降碳协同增效实施方案》、《绿色交通“十四五”规划》、《柴油货车污染治理攻坚战行动方案》等多项政策，为交通行业迈向零排放按下加速键。

其中，以卡车为载体的公路运输占据着我国货运的主导地位，是交通行业减污降碳的主要阵地。卡车在汽车保有量中的占比仅11%，却贡献了50%以上的CO₂排放（黄志辉等，2022）、80%以上的NO_x以及90%以上的PM排放（生态环境部，2022）。

柴油货车污染治理攻坚战实施以来，我国构建起更加完善的“车-油-路”一体化的排放控制体系，卡车污染控制卓有成效，我国柴油车已经实施国六排放标准，车用柴油硫含量降至10 ppm以下，车用尿素监管更严，添加也更加规范。2019-2021年，我国卡车保有量增长了近20%，但PM和NO_x排放量下降了6.5%和7.5%，在卡车快速增长的同时实现了污染物排放量的显著下降。此外，我国新能源卡车市场蓬勃发展，2022年销量较“十三五”末增长了4.6倍，达到17.2万辆。

在实现我国“30·60”双碳目标和空气质量全面改善目标的道路上，卡车行业减污降碳仍任重道远，在能源替代、能效提升、深度减排等方面均需持续发力。如何加速卡车绿色低碳转型，成为各方关注的重要议题。

在此背景下，绿卡研究聚焦卡车自身减排，以第三方视角，通过多源数据评估卡车行业减污降碳进展与成效，识别绿色转型进程中的薄弱环节，从而为行业相关方提供建议参考。与此同时，团队基于研究成果同步发布榜单——《绿卡榜 2022：中国卡车及生产企业绿色排行榜》，通过一套独立、客观、公正的评价体系，对中国卡车及其品牌、生产企业的环保及能耗表现进行评估分析，形成绿色榜单，鼓励卡车生产企业在节能环保、能源转型上向行业标杆看齐，也为用车企业、运输企业、卡车司机等用户端购车、用车提供参考，助力全产业链绿色低碳转型。

绿卡榜研究基于多源数据，对卡车行业能源替代进展、新能源卡车运营与能耗水平、传统燃料卡车减污降碳成效进行了多维度、系统性分析，整体发现卡车行业减污降碳已取得阶段性成效，但距离零排放仍任重道远，具体如下：

新车标准升级与在用车监管加强，有效推动柴油卡车排放水平降低

新车标准升级是柴油卡车污染物源头减排的重要手段。达到排放标准更高的车辆，在用阶段的环保优势同样突出；而国六标准实施后柴油卡车的 NO_x 减排效果比以往更为显著。环保年检数据显示，从国四升级到国五，柴油车的烟度和 NO_x 平均排放浓度分别下降了21.1%、24.7%；从国五升级到国六，柴油车的烟度和 NO_x 平均排放浓度进一步下降了33.3%、55.5%。加强对新车生产和市场销售环节的执法检查将进一步保证排放标准升级的减排效力。

我国建立的在用车全过程排放监管体系，同样有效推动了柴油卡车 NO_x 排放的持续改善。以国五车为例，2021年环保年检中，国五柴油车 NO_x 平均排放浓度分别较2020、2019年下降了11.5%、15.8%；监管压力也传导至卡车生产企业，推动新生产车型减污能力提升，2018年后注册登记的国五柴油卡车 NO_x 排放浓度相对2018年以前注册登记的车型下降10%以上。

加严环保年检限值，可助力实现柴油货车污染治理攻坚目标

环保年检限值a对高排放车识别比例较低，难以支撑柴油车进一步减排的需求。加严环保年检限值不仅能够推动车队 NO_x 排放水平持续下降，还可以推动车队结构升级，助力柴油货车攻坚目标。

实施限值b可以推动更高比例的高排放柴油卡车¹维护保养和淘汰更新。2021年环保年检数据显示，现阶段限值a可控制的高排放柴油卡车比例不足3%；若实施更严格的限值b，可识别和控制的国四、国五高排放车辆比例达到34.0%和18.5%，这与跟车测试对后处理失效高排放车的识别效力较为一致。超过限值

b的高排放车辆，需要加强维护保养实现达标排放，而多次“维修-复检”仍无法达标的车辆可淘汰更新为更清洁车型。数据表明，限值b下国四、国五 NO_x 超标车辆，如通过维护保养降低至限值b水平，其 NO_x 排放浓度可分别降低9.6%、5.8%；如进一步将国四超标柴油卡车全部淘汰更新为国六车型或纯电动车型，2021年柴油货车 NO_x 排放总量则可减少5.3%-9.7%。这些举措都将进一步助力2025年“ NO_x 总量减排12%”和“新能源、国六车型保有量占比40%”等柴油货车污染治理攻坚目标的更快达成。

天然气重卡 NO_x 排放监管方法不匹配，实际道路 NO_x 排放不可忽视

天然气重卡具有燃料成本低的优势，近年来受到市场青睐，在部分省份的重型牵引车²中拥有较高的市场占有率。天然气重卡2021年在重卡保有量中的占比已达到7%，然而其实际道路排放表现却不乐观。本研究发现，天然气重卡存在实际道路 NO_x 高排放的隐患，而目前仍缺乏有效排放监管手段。

实际道路测试数据显示，采用稀薄燃烧技术路线的国五天然气重卡 NO_x 排放水平较高，甚至比国五柴油重卡高2倍以上；国六天然气重卡采用“当量燃烧+三元催化”技术路线，可有效降低 NO_x 排放，但实际运行中存在私拆、倒卖三元催化器而导致后处理失效后的车辆 NO_x 排放超标严重。

虽然现阶段多地将国五天然气重卡纳入禁行范畴并对国六天然气重卡开展后处理装置的专项检查，但面对天然气重卡 NO_x 排放问题，目前监管体系尚不完善。一方面，70%以上的天然气重卡在环保年检中使用双怠速法进行排放检测，该方法无法准确检测 NO_x 排放。另一方面，国六车型远程OBD排放管理也尚未强制要求天然气重卡安装 NO_x 传感器并上传数据，无法有效监管实际道路 NO_x 排放。未来国家和地方层面需要采用一些先进技术手段，加强对天然气重卡 NO_x 的排放监管。

[1] 高排放车辆指对标环保年检限值污染物检测超标的车辆。

[2] 细分市场名称中的牵引车均指半挂牵引车，全文同。

部分车型领跑行业节能水平，第四阶段油耗限值³设定或偏保守

燃油卡车在卡车新车销售中的比例仍占 90% 以上⁴，在加速能源替代的同时，通过油耗标准升级持续降低新车型油耗水平至关重要。第三阶段油耗标准实施前后，柴油半挂牵引车、载货车和自卸车主要质量段的公告油耗降低了 4%-11.4% 不等。

当前部分车型领跑行业节能水平，已优于征求意见稿中的第四阶段限值，一定程度反映出第四阶段部分限值设定可能偏保守。数据显示，第三阶段限值全面实施后⁵，占载货车销量一半以上⁶的

3.5-4.5 t 载货车公告的车型中，已有 7.1% 的车型油耗低于第四阶段限值，平均比限值低 10% 左右，节能领先车型油耗水平甚至比限值低 25%。这表明，将油耗控制在第四阶段限值以下的节能技术已具备基础且技术可行。本研究认为，新限值的设定或需考虑将“引领、指导车企向行业先进水平看齐”纳入目标，方可更大力度助推柴油卡车降碳。

新能源卡车推广、运营持续向好，技术发展和政策利好是关键助力

新能源卡车已经在市场推广、运营成熟度方面取得阶段性进展。进入“十四五”期后，新能源卡车发展势头迅猛，2022 年我国新能源卡车销量达到 17.2 万辆，相对“十三五”末增长了 4.6 倍，其中，纯电动卡车和氢燃料电池卡车在新能源卡车销量中占比高达 99.2%，分别达到 16.8 万辆、3074 辆，相对“十三五”末增长了 4.5 倍、37.9 倍。在运营方面，纯电动卡车利用率和使用强度均有所提升，且与纯电动卡车相比，氢燃料电池卡车具有显著补能优势，次均充电时长比纯电动卡车低 42.9%-80%，利用率较高。

新能源卡车快速发展的背后，离不开政策和技术的推动。一方面，“十三五”以来我国在购置补贴、开放路权、基础设施建设等方

面出台了多项新能源产业发展支持政策，并明确了“十四五”期物流配送、邮政快递、环卫、冷链运输等细分领域的新能源推广目标，加速各应用场景新能源渗透。以冷藏车为例，新能源车型销量渗透率从“十三五”末的 0.6% 上涨至 2022 年的 5.5%。另一方面，换电技术、快充技术以及氢燃料电池技术的发展缓解了普通充电式重卡的里程焦虑和补能低效等问题，加速了重卡能源转型进程。2020-2022 年间，新能源重卡销量增长了 7.7 倍，渗透率由 0.2% 增长至 7.8%，其中，换电重卡销量从不足 50 辆增长到 1.2 万辆；在示范政策驱动下，氢燃料电池重卡销量也从不足 20 辆增长到 2000 辆。

新能源重卡应用仍存挑战，场景适应性有待继续提升

在换电和氢燃料电池技术的推动下，重卡新能源替代取得突破性进展，但距离规模化应用挑战犹存，其场景适应性仍有待提升，这主要体现在新能源重卡在续驶里程、补能效率等方面，尚不能完全满足重卡运输需求。

分析发现，纯电动重卡日均行驶里程不足 150 km，距离公路货运重型车辆 250 km 以上的日均运距水平仍有差距，侧面反映出当前纯电动重卡在场景上主要用于封闭场景等中短途运输，而在

中长途货运、开放场景的应用仍受限；在补能效率方面，快充占比高达 95% 的重型牵引车次充电时长需半小时以上，尽管补能效率已大幅提升，但仍无法满足部分场景对运输效率的高要求。具有补能优势的氢燃料电池重卡尚处于起步阶段，受基础设施不完善、氢气制取、储存、运输价格均相对较高造成的加氢站氢气门市价格高等因素影响，在运距、行驶时长等指标方面未发挥出技术上的长续航优势。伴随着技术突破、政策推动和基础设施的加快布局，新能源重卡的渗透率和场景适应性有望加速提升。

整车生产企业减污降碳进展参差不齐，排放、能耗、能源转型进程差距显著

在卡车行业减污降碳背景下，整车生产企业应积极承担减排的主体责任，例如在降低车辆 NO_x 排放、提高车辆节能水平、布局新能源转型等方面发挥先锋引领作用。然而，本研究发现整车企业在减污降碳方面的进展差距显著。

从 NO_x 排放来看，以重型牵引车为例，表现最优企业的排放检测达标车辆 NO_x 平均浓度相对表现最差企业低 58.4%。从能耗来看，柴油卡车产品中轻型自卸市场的企业表现差距最大，表现最好的企业油耗水平比行业平均水平低 16.5%；而纯电动卡车产

[3] 第四阶段油耗限值指《重型商用车辆燃料消耗量限值》国家标准征求意见稿中的限值。

[4] 指进入“十四五”后 2021-2022 年卡车销量中燃油车占比。

[5] 指《重型商用车辆燃料消耗量限值》(GB 30510-2018) 中针对已获得型式批准车型开始实施的时间及以后，即 2021.07.01 及以后。

[6] 指 2019-2022 年平均销量占比。

品中轻型载货车（1.8-3.5 t）市场的企业电耗水平差距最大，节能水平最好的企业比最差企业的电耗低 71.8%。从能源转型进程来看，企业在布局新能源方面进展不一，以企业表现差异显著的

轻型载货和重型牵引市场为例，表现最优企业的新能源产品销售比例已超过 8%，而表现较差的企业新能源产品销售占比甚至不足 1%。

在实现我国“30·60”双碳目标和空气质量全面改善目标的道路上，卡车行业迈向零排放任重道远，需要立足长远，提前部署更有力、更系统的减污降碳协同增效的政策与措施，这一进程需要政府、产业、用户的多方努力。为此，本报告提出如下建议：

实施更严环保年检限值并提升多源数据联合监管能力，助力柴油货车污染治理攻坚

随着车队结构不断优化和在用车监管体系的完善，限值 a 对支撑当前柴油卡车进一步减排的效力有限，有必要尽快实施在用柴油车环保年检限值 b。

报告建议国家层面统筹考虑，分区域、分阶段实施更严格的环保年检限值。此外，各地区根据自身空气质量现状、车辆保有或构成情况等考虑先行实施限值 b，例如 PM_{2.5} 和 O₃ 超标天数较多的城市、机动车保有量超过 500 万辆的城市、卡车保有量前十或国四车型在柴油卡车保有量中占比较高的城市，在充分征求社会意见和经省级人民政府批准和生态环境部备案后，尽快实施限值 b。

与此同时，建议加强超标排放车辆的闭环监管和路检路查入户检查等监管手段的应用，充分利用环保年检数据、OBD 远程在线监控数据等多源数据的监管能力和治理，推动在线监控数据计量认证标准制定，以加速监控数据的执法应用，部分重点区域和城市可配套国四柴油车淘汰方案与补贴政策，加大新能源卡车购置和运营的优惠力度，发挥政策协同合力效应。

提升天然气卡车排放监管手段效率和能力，加强实际道路 NO_x 排放控制

排放监管手段对天然气卡车的 NO_x 排放监管不足，造成实际道路 NO_x 高排放。在“十四五”货车污染治理攻坚中，建议国家层面研究出台适用于天然气重卡的在用排放测试方法和评价标准，各地可借鉴柴油货车的监管体系，对天然气卡车建立“天地车人”一体化的监管。

在“天地车人”一体化的监管中，“天”是指提高遥感、跟车等有效大数据监测技术对天然气卡车 NO_x 排放的监管准确性和覆盖率，制定适用于在用天然气卡车的测量标准和排放限值；“地”

是指在环保年检中推动更多天然气卡车采用工况法进行 NO_x 排放检测，并加强对超标车辆的闭环管理；“车”是指要求国六天然气重卡在远程 OBD 排放管理中安装 NO_x 传感器，并实时上传数据；“人”是指通过路检路查、入户检查等方式加强对国六天然气卡车后处理装置的核查。对于山西、宁夏、新疆、内蒙古、陕西等国五、国六天然气重卡占比较高的地区，应尽快出台或完善天然气卡车的专项治理方案，加强天然气卡车 NO_x 排放的技术和数据监管能力，实现全天候、全时段和全过程的监管。

加强标准对技术引领作用，推动燃油卡车大气污染物和温室气体联合管控

卡车行业需要在尾气排放控制技术、节能技术、新能源技术方面不断突破，而加严标准有助于推动技术研发和产业推广应用。因此，国家层面应尽快强化卡车的相关环保标准，推动卡车行业迈向超低排放及零排放。

一方面，加快下一阶段排放标准的研究和准备工作，推动多污染物在全工况下的深度减排，并纳入温室气体排放限值，实现燃油卡车大气污染物和温室气体的联合控制。目前，欧美均设定了面向 2025 年及更长期的卡车超低排放限值和温室气体减排法规，以 NO_x 排放控制为例，加州设定的 2027 年车型 NO_x 限值严于国六

90% 以上，最新提案的欧七 NO_x 限值严于国六 70% 以上，欧美的研究均表明进一步大幅削减柴油车排放的技术路线是成熟且可行的。在此背景下，我国应尽早制定国七并发布实施时间表，为产业预留合理的布局时间，推动内燃机减排技术进步以及能源转型。

另一方面，下一阶段商用车油耗标准（第四阶段）的限值应加严，推动最佳可行节能技术的快速渗透。建议第四阶段的限值对标领先车型的节能水平，引领和倒逼车企向行业先进水平看齐，同时加强实际道路油耗的监管，提高测试工况对实际道路状况的真实反映。

技术与靶向施策协同，助力突破新能源卡车“用车”瓶颈

卡车新能源化水平相对乘用车仍然较低，且在市场规模、利用率、使用强度和场景适应性方面存在较大发展空间。建议从以下四方面突破新能源卡车“用车”瓶颈，提高其技术优势和成本优势。

一是完善新能源卡车推广的政策框架，建议政策可从“约束”和“激励”两方面推动新能源卡车的应用。一方面，国家层面可出台商用车积分管理政策，从源头推动生产企业对新能源卡车的投入。此外，各地政府可对重点用车大户和运输大户提出车队清洁化运输的比例和要求，或者设立绿色物流区，从使用端提高新能源卡车的应用比例；另一方面，路权优先、资金补贴等政策可为新能源卡车的应用提供激励，各地政府可基于当地产业规划特征，设计更加精准和差异化的政策，如对新能源重卡减免高速费，加速各个细分领域新能源卡车的渗透。

二是加快基础设施布局，便利新能源卡车的使用。建议各地结合区域道路运输行业发展特点、新能源运输装备发展规划、产业环境等基础条件统筹高效充换电站、加氢站等基础设施的布局 and 规模。

三是建立具有示范效应的绿色货运廊道。在货运频繁的公路干线建立“绿色廊道”，探索运营模式，开展新能源卡车和零排放技术的试点示范，这不仅有利于先进技术的商业化，也可以形成示范推广作用。

四是持续推进技术研发与创新。需在电池能量密度、节能技术、补能技术等行业关键领域突破创新，增强车主对新能源卡车的产品认可度，以提高新能源卡车的利用率与使用强度。

加强低碳交通与能源协同发展，降低燃料周期碳排放

替代能源的绿色低碳水平决定了其相对传统燃油卡车的碳减排优势大小。以3.5-4.5t载货车市场纯电动车型相对国六柴油车型的燃料周期CO₂减排效益为例，以水电为主的西南电网供电下，减排幅度高达72.1%，但以煤电为主的华北电网供电下，减排幅度仅8.6%。未来随着电力部门脱碳，卡车行业能源转型将获得更高的减排效益。因此卡车行业需与能源行业碳减排协同，以最优能源路径实现卡车行业“双碳”目标。

建议针对不同运输需求，从不同减排路径的技术可行性、经济性和燃料周期减排效果等维度充分评估其减排潜力和适用场景，选择各场景最适宜的能源替代路径。

建议在卡车能源转型的同时，提升可再生能源和清洁能源在电网中的比例，推动绿色低碳能源的生产和供应，降低燃料周期碳排放。我国也应尽快设定低碳燃料标准，引导低碳燃料的开发利用和生产供应。

卡车产业链上下游需共同努力，承担减污降碳主体责任

推动卡车行业减污降碳，不仅需要政策引领和带动，也需要上下游产业主体的共同努力。从车辆生产端来看，不断加码的减污降碳政策之下，研发布局更清洁低碳的产品将成为车企的立命之本，建议车企选装更高效的内燃机，加速超低排放技术、近零排放技术以及节能低碳技术的研发和应用，探索新能源或其它替代燃料技术路径，加大清洁低碳卡车产品布局，制定双碳战略，助力实现“双碳”目标和打好“十四五”污染防治攻坚战。在车辆使用

端，国六、新能源车型占比更高的车队具有更大的环保、运营优势，建议运输企业、用车企业和个体车主优化车队结构，优先选择新能源卡车承担公路运输需求，在新能源卡车无法满足的用车场景优先选择国六车型承担运输，在车辆购置中可以参考绿卡榜2022选购更清洁、低碳、性价比更高的产品，同时运输企业应优化车队管理机制，提升智能化、高效化管理水平，增强绿色竞争力。

目录

第一章 报告背景与目标	01
第二章 中国卡车行业减污降碳进展分析	03
2.1 新能源卡车	04
2.1.1 新能源卡车推广进展	04
2.1.2 新能源卡车运行情况	07
2.1.3 新能源卡车补能特征	10
2.1.4 纯电动卡车实际道路电耗水平与环境、成本案例分析	12
2.2 柴油卡车	14
2.2.1 柴油卡车减污进展	14
2.2.2 柴油卡车降碳进展	20
2.3 天然气卡车	23
2.3.1 天然气卡车实际道路排放分析	23
2.3.2 天然气卡车监管手段现状分析	23
2.4 基于柴油机的分析	25
第三章 发现和建议：中国卡车行业减污降碳进展及未来路径	27
发现	28
建议	30

第四章 研究方法	32
4.1 研究范围	33
4.2 数据来源	34
4.3 研究样本	34
4.3.1 整车样本——新能源卡车	34
4.3.2 整车样本——传统燃料卡车	35
4.3.3 动力系统样本——柴油发动机	36
4.4 研究方法	37
4.4.1 纯电动卡车实际道路电耗分析方法	37
4.4.2 柴油卡车实际道路油耗分析方法	38
4.4.3 轻型载货车电动化的环境和成本效益分析方法	38
第五章 多源数据一致性研究	41
5.1 校验方法及数据一致性分析	42
5.2 基于多种实际道路测试的 NO _x 排放规律性趋势校验	43
5.3 基于跟车测试结果的 NO _x 排放一致性校验	45
5.3.1 企业排名一致性	45
5.3.2 不同生产年份车辆排放趋势一致性	46
5.3.3 高排放车识别比例一致性	47
5.4 基于 OBD 远程在线监控数据的油耗水平一致性校验	48
参考资料	49

图表目录

图 1	2019-2022 年纯电动卡车销售市场覆盖城市数量及各级别城市市场份额	5
图 2	2019-2022 年新能源卡车销售市场企业数量及市场集中度	6
图 3	2020-2022 年新能源重卡销售市场变化	6
图 4	不同行业新能源汽车上线率	7
图 5	2021 年新能源卡车细分市场上线率及同比变化	8
图 6	2020 年和 2021 年新能源卡车细分市场运行特征及与公路货运重型车辆对比	9
图 7	2021 年新能源卡车运行和补能时刻分布及单次补能时长	11
图 8	不同细分市场纯电动卡车百公里电耗均值	12
图 9	3.5-4.5 t 载货车 WTW-CO ₂ 排放评估结果	13
图 10	3.5-4.5 t 载货车 TCO 评估结果	13
图 11	各细分市场车辆 NO _x 排放浓度和烟度随排放标准升级的下降比例	15
图 12	不同注册登记年份国五车 NO _x 排放浓度以及国六车型相对国五车型的下降比例	15
图 13	2019-2021 年环保年检国四、国五柴油卡车 NO _x (左) 和烟度 (右) 检测结果分布	16
图 14	不同注册登记年份国五柴油卡车在 2019-2021 年环保年检中的 NO _x 检测值分布	17
图 15	各环保年检限值下尾气检测达标比例、达标车辆 NO _x 平均排放浓度及距离限值的百分比差距	19
图 16	第三阶段限值全面实施后各车辆类型主要质量组的平均油耗相对实施之前的下降比例	20
图 17	第三阶段限值全面实施后的平均公告油耗及相对第四阶段限值高出的比例	21
图 18	第三阶段限值全面实施后公告油耗低于第四阶段限值的车型比例及其相对限值降低的幅度	21
图 19	基于 OBD 远程在线监控数据获取的实际道路油耗相对公告油耗的百分比差距	22
图 20	2021 年和 2020 年环保年检中天然气重卡的检测方法分布	24
图 21	各省 (自治区、直辖市) 天然气重卡保有量及在国五、国六重卡保有量中的占比	24
图 22	部分细分市场各发动机品牌的 NO _x 排放表现	25
图 23	载货车 2~3 L 市场中各“发动机品牌 + 整车品牌”的 NO _x 排放表现	26

图 24	各细分市场整车型号和车辆数量占比	35
图 25	2020-2021 年载货车和牵引车累计销量中各发动机排量区间 (L) 的销量占比	36
图 26	WTW-CO ₂ 排放评价边界	38
图 27	纯电动载货车 (3.5-4.5 t) 分区域实际道路电耗水平	39
图 28	中国分区域电网发电结构和电力生产过程 CO ₂ 排放因子	39
图 29	用于校验的各测试方法数据样本量 (左) 及排放标准分布 (右)	42
图 30	国五和国六柴油车 NO _x 排放同步对比测试结果	42
图 31	PEMS 测试 NO _x 排放因子 (g/kg-fuel) 与排放浓度 (ppm) 的关系	43
图 32	年检测试与 PEMS/ 远程 OBD/ 跟车测试基于排放标准的 NO _x 排放结果	44
图 33	年检测试与 PEMS/ 远程 OBD/ 跟车测试基于车辆总质量的 NO _x 排放结果	44
图 34	年检测试与 PEMS/ 远程 OBD/ 跟车测试基于车辆类型的 NO _x 排放结果	44
图 35	年检测试与跟车测试国五车辆分企业 NO _x 排放变化趋势	45
图 36	年检和跟车测试分注册登记年份国五车辆 NO _x 排放变化趋势	46
图 37	基于跟车测试和年检识别的不同注册登记年份高排放车比例	47
图 38	公告油耗 (L/100km) 与实际道路油耗 (L/100km) 的关系	48
图 39	公告油耗与实际道路油耗在细分市场维度上的趋势对比	48
表 1	国四柴油卡车淘汰相关政策汇总	18
表 2	整车研究范围	33
表 3	动力系统研究范围	33
表 4	纯电动卡车实际道路运行工况划分	37
表 5	纯电动卡车车辆类型与中国汽车行驶工况对应表	37

第一章

01

报告背景与目标



减污降碳协同增效是我国“十四五”时期生态环境保护的重点工作。随着碳达峰碳中和时间表的公布，2021年我国提出了碳达峰的十大行动，其中交通运输绿色低碳行动是十大行动之一，包括推动运输工具装备低碳转型、构建绿色高效交通运输体系、加快绿色交通基础设施建设等任务。《关于深入打好污染防治攻坚战的意见》提出，深入实施清洁柴油车（机）行动，提出加快大宗货物和中长途货物运输“公转铁”、“公转水”等措施行动。

交通运输行业是能源消耗大户和排放大户，面临减污降碳双重挑战。中国交通运输业能源消耗占全社会能源消耗总量的8%左右（国家统计局，2021），《第二次全国污染源普查公报》显示，移动源是中国大气污染物排放的主要来源，其氮氧化物（NO_x）和挥发性有机物（VOCs）排放分别占到全国的60%和23%左右。北京、上海、深圳等大中城市的PM_{2.5}源解析指出，移动源已成为当地PM_{2.5}首要来源，占比在20%~50%不等。北京市交通污染监控点的监测结果表明，交通环境PM_{2.5}、NO₂的年均浓度值分别高于全市平均水平的18.2%和65.4%（北京市生态环境局，2021）。在温室气体排放方面，相关研究指出，2019年交通运输排放约占全社会二氧化碳排放总量的11%（李晓易等，2021），2013-2019年交通运输领域碳排放年均增速保持在5%以上，已成为温室气体排放增长最快的领域之一（人民政协报，2020）。

在交通运输领域中，以卡车为载体的公路运输占据着我国货运的主导地位，是减污降碳的主要阵地。2022年，公路承担了371.2亿吨的货运量和68,958亿吨公里的货物周转量，占国内货运量和货物周转量的比重分别为73.3%和30.5%（国家统计局，2023）。

在支撑社会和经济发展的同时，卡车产生的大气污染物和温室气体排放不可忽视。载货汽车在汽车保有量中的占比仅为11%，2021年NO_x和PM排放却占到了汽车排放总量的80%和90%以上（生态环境部，2022），2019年CO₂排放占汽车排放总量的55.5%（黄志辉等，2022），此外，卡车排放的温室气体还包括甲烷、氢氟碳化合物、一氧化二氮以及黑碳等。除了对环境质量产生影响外，柴油机尾气被世界卫生组织认定为一级致癌物，对直接暴露于柴油机尾气的卡车司机等群体产生更为直接的健康影响。

为推动卡车减污降碳，“十三五”以来，我国通过一系列政策措施构建起“车-油-路”一体化的排放控制体系，并取得了阶段

性成效。2019-2021年，我国卡车保有量增长了近20%，但PM和NO_x排放量下降了6.5%和7.5%，在卡车保有量快速增长的同时实现了有效的污染物减排。

进入“十四五”期，卡车行业减污降碳仍面临重重考验，须攻坚克难。目前，我国已先后发布《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》、《绿色交通“十四五”发展规划》、《柴油货车污染治理攻坚战行动方案》等政策文件，从调整运输结构、加强排放监管、优化车队结构、加速能源转型等方面持续推进卡车行业的深度减排和脱碳进程。

在此背景下，绿卡研究聚焦卡车自身的减排，以第三方视角，通过多源数据评估卡车行业减污降碳进展，以为行业相关方提供参考，助力全产业链绿色转型。截至目前，绿卡研究已发布三份报告，并不断丰富关注范围和议题。2018年《柴油货车污染治理攻坚战行动计划》颁布实施后，项目团队开始跟踪柴油卡车的环保和油耗表现，并从2020年起将纯电动卡车和天然气卡车纳入研究范围。在“十四五”迈向碳达峰、碳中和的关键时期，《绿卡榜：中国卡车减污降碳进展研究》报告延续对柴油卡车、天然气卡车和纯电动卡车的进展跟踪，新增三项内容：一是氢燃料电池卡车的分析，从市场、运行、补能方面关注卡车能源转型新路径；二是纯电动卡车的环境和成本效益评估案例，从社会和用户角度关注电动化效益；三是首次加入柴油发动机的环保表现，探索整车选用不同发动机的排放差异。在数据和分析维度上，“绿卡榜”研究延续对环保年检、OBD远程在线监控、PEMS测试、跟车测试、新车公告油耗和环保公开信息、新能源车实际运行监测、销售和保有市场等多源数据进行分析，全面反映卡车行业减污降碳政策、技术和产业进展。

而卡车行业的减污降碳同样离不开产业链上下游的共同努力，各方需积极承担减排责任，践行低碳低排放路径。因此，团队基于研究成果同步发布榜单——《绿卡榜2022：中国卡车及生产企业绿色排行榜》，通过一套独立、客观、公正的评价体系，对中国卡车企及其品牌、母公司企业的环保及能耗表现进行评估分析，形成绿色榜单，鼓励卡车生产企业在节能环保、能源转型上向行业标杆看齐，也为用车企业、运输企业、卡车司机等用户端购车、用车提供参考，助力产业链上下游践行低碳环保的发展理念，提高绿色竞争力。

第二章

02

中国卡车行业减污降碳进展分析

2.1 新能源卡车

2.2 柴油卡车

2.3 天然气卡车

2.4 基于柴油机的分析



自2018年《柴油货车污染治理攻坚战行动计划》发布实施后，我国在新车标准升级、油品质量管理、在用车排放监管、运输结构调整等方面同步推进卡车污染治理，构建起更加完善的“车-油-路”一体化的排放控制体系，并取得了阶段性成效。2019-2021年，我国卡车保有量增长了近20%，但PM和NO_x排放量下降了6.5%和7.5%，卡车保有量增长和污染物排放量已经实现脱钩（生态环境部，2022；生态环境部，2020；第一专用车网，2019；公安部网站，2021）。

进入“十四五”时期，面向“双碳”和空气质量持续改善的双重目标，卡车行业需加速减污降碳协同治理。《中共中央 国务院关于完

整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》、《柴油货车污染治理攻坚战行动方案》、《绿色交通“十四五”发展规划》等从调整运输结构、加强排放监管、优化车队结构、加速能源转型等方面持续推进卡车行业的深度减排和脱碳进程。

本研究将聚焦“车”自身的减排，从新能源卡车和传统燃料卡车两方面，分析新能源卡车市场推广、运营特征、实际能耗及传统燃料卡车节能减排的进展与成效，识别卡车行业减污降碳的薄弱环节，为行业相关方提供参考。

2.1 新能源卡车

卡车能源转型是货运行业减污降碳协同增效的重要路径之一，以纯电动（含普通充电式和换电式）、氢燃料电池为主要技术路线的新能源卡车发展成绩斐然。然而，卡车市场距离新能源大规模应用仍需时间，在延长续航里程、提升补能效率、丰富应用场景、

基础设施布局等方面需持续突破。本节将从纯电动卡车与氢燃料电池卡车入手，对市场推广及推动因素、运营特征、补能需求、能耗表现等关键指标进行分析，识别卡车能源转型的薄弱环节，加速推动新能源在卡车市场的规模化应用。

2.1.1 新能源卡车推广进展⁷

进入“十四五”，卡车能源转型开始加速，纯电动和氢燃料电池是主要转型方向。2022年我国新能源卡车市场销量达到17.2万辆，相对“十三五”末增长了4.6倍，其中，纯电动卡车和氢燃料电池卡车销量占比高达99.2%，分别达到16.8万辆、3074辆，相对“十三五”末增长了4.5倍、37.9倍。此外，纯电动和氢燃

料电池卡车在城市版图范围和应用场景种类上的推广也均有所突破，究其原因，利好政策是重要“推手”，新能源技术发展则为能源转型提供了更大空间。本小节将从区域推广、企业布局、应用场景三个角度出发，分析卡车行业能源转型进程中，纯电动卡车和氢燃料电池卡车的推广进展。

推广区域扩张

从纯电动卡车来看，市场推广城市版图持续扩张，同时推广区域逐步下沉。“十三五”末，纯电动卡车销售范围覆盖254个城市，到2022年，城市数量已经增长到329个。各级别城市⁸的纯电动卡车销量占比显示，虽然深圳、成都等地持续领跑，销量始终位列前二，但一线和新一线城市销售占比不断下降，从2019年的72.7%降至2022年的57.5%；与之相反，二、三线城市的纯电动卡车推广进入“快车道”，2019年的销量占比还不足16%，但在2022年已经上涨至30%左右；另外，四、五线逐步成为纯电动卡车推广的重要“下沉”市场，“十三五”末的销售份额尚不足8%，但2022年的销售份额已经达到13.3%（各级城市销

量占比具体见图1）。可见，我国纯电动卡车的推广逐渐从早期集中于一线、新一线城市的政策性试点转向市场驱动下的全面扩增。

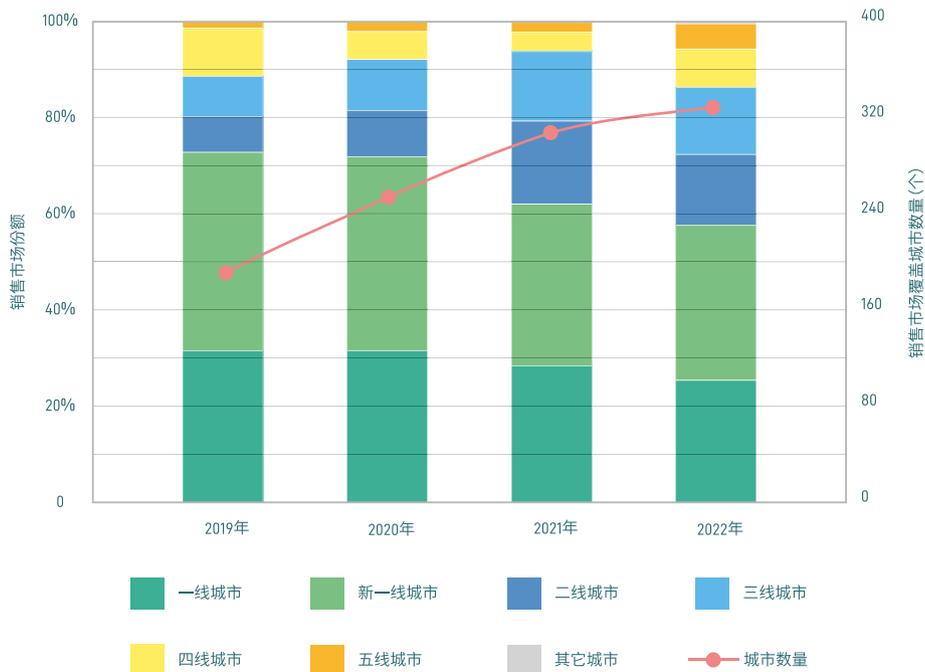
从氢燃料电池卡车来看，推广区域快速扩张，但推广重点仍在示范城市。自启动燃料电池汽车示范应用以及发布《氢能产业发展中长期规划（2021-2035年）》以来，氢燃料电池卡车销售区域快速扩大，到2022年共48个城市销售氢燃料电池卡车。与纯电动卡车区域推广相似，氢燃料电池卡车也采取“先集中示范推广再逐步扩大范围”的路线。目前尚处于早期发展阶段的氢燃料电池卡车推广仍集中于示范区域，数据显示，五大示范城市群销量占氢燃料电池卡车2021-2022年总销量的比例达到71.4%⁹。

[7] 本报告所有涉及市场数据（包含销量、保有量）的分析，均仅对在绿卡榜2022研究范围内的车辆类型进行分析，包含载货车、自卸车、半挂牵引车、冷藏车、环卫车和邮政车，详见“4.1研究范围”。

[8] 城市级别划分参考：第一财经·新一线城市研究所发布的《2022城市商业魅力排行榜》，<https://www.yicai.com/topic/101425010/>。

[9] 在燃料电池汽车示范城市群的城市构成中涉及到市辖区、镇等行政区类别时，均以其所属城市的市场数据纳入分析计算。

图 1 2019-2022 年纯电动卡车销售市场覆盖城市数量及各级别城市市场份额



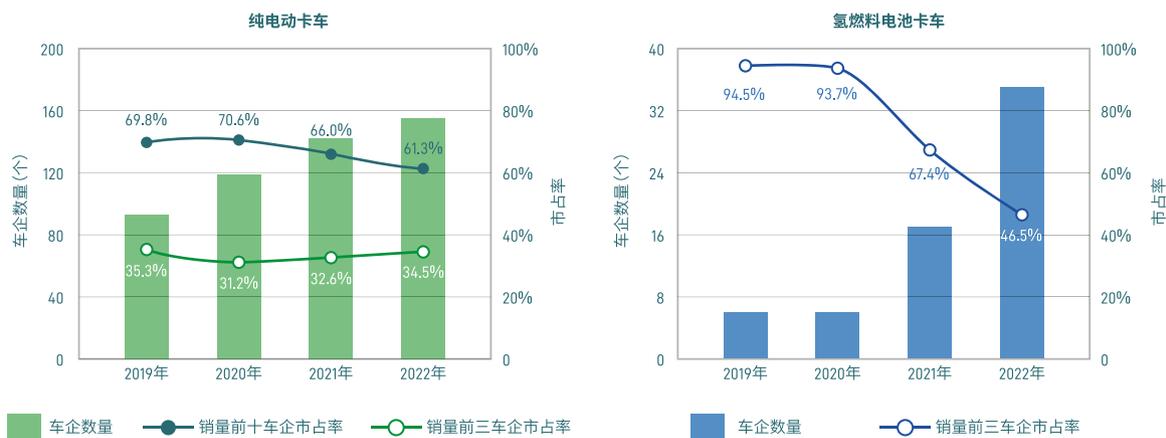
布局企业增加

更多的车企¹⁰布局纯电动卡车市场，在高度集中、竞争激烈的市场中，产品质量与节能表现或将成为市场竞争力的重要增长点。如图 2 所示，2019 年仅 93 家车企销售纯电动卡车，但 2022 年车企数量已经增至 155 家；销量前三车企市场份额较为稳定，始终占据 33% 左右；销量前十车企市占率缓慢下降，但仍在 60% 以上。整体上，纯电动卡车市场集中度较高，企业竞争激烈，而且头部企业（销量前十企业）中不乏北汽集团、东风集团、上汽集团等积极践行自身“双碳”战略的老牌传统车企（北汽集团，2022；新华网，2021；上海汽车报，2021）。面对不断扩大的纯电动卡车市场，用户将对产品质量、后市场服务、产品节能表现等更加关注，而这也将成为车企抢占市场的重要抓手。

目前，布局氢燃料电池卡车的车企较少，市场竞争变数较大，发展机遇更多。如图 2 所示，在“十三五”末期，仅 6 家企业销售氢燃料电池卡车；进入“十四五”后，销售氢燃料电池卡车的车企不断增加，2022 年企业数量增至 35 家，宇通集团、中联重科、徐工集团等老牌车企也开始布局氢燃料电池卡车。随着更多企业的加入，市场竞争格局快速变化，销量前三车企市占率从 94.5% 一路下滑到 46.5%。未来随着氢燃料电池技术的发展和渗透，市场竞争或更加多变，这也将为车企带来更多发展机遇。

[10] 此处“车企”指的是上险数据中的生产企业，未根据股权结构进行集团/母公司归属的处理。

图 2 2019-2022 年新能源卡车销售市场企业数量及市场集中度



注：布局氢燃料电池卡车企业数量过少，2019-2020 年企业数量仅 5 家，因此未呈现销量前十车企市占率。

应用场景拓宽

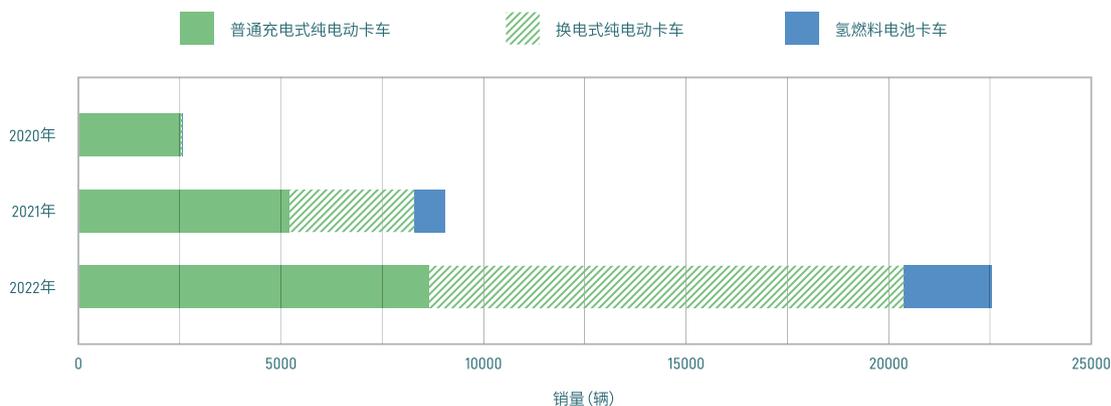
新能源卡车应用场景愈加广泛。2019-2022 年，纯电动卡车已经在 13 个以上细分市场有所渗透，并在轻型载货车市场形成一定电动化替代规模；氢燃料电池作为中、重卡能源替代的重要技术路径，早期仅在中型冷藏车和中型载货车两个细分市场有所渗透，但 2022 年的推广应用场景已经覆盖轻型载货车、重型牵引车等 9 个细分市场。聚焦于新能源卡车应用场景拓宽的背后原因，利好政策和技术发展是主要推动力。

利好政策有效引领推动新能源卡车在多个细分市场快速推广。“十三五”以来，国家、地方在购置补贴、开放路权、基础设施建设等方面出台多项政策措施，并明确提出“十四五”期加速物流配送、邮政快递、环卫、冷链运输等细分领域能源转型。多用于物流配送、快递快运领域的轻型载货车始终占据最大的纯电动卡车市场份额，占比在 80% 左右，而且进入“十四五”后，销量、

渗透率¹¹仍持续上涨，2022 年较 2020 年分别增长 4.6 倍和 6.7 倍。此外，推广政策倾斜的环卫、邮政、冷藏车等领域新能源化水平也持续提升，以冷藏车为例，新能源车型的销量占比从 2020 年的 0.6% 增至 2022 年的 5.5%。

换电技术和氢燃料电池技术的发展加速了重卡能源转型进程。“十三五”期间，新能源重卡推广市场整体较为低迷。进入“十四五”期，新能源重卡销量屡创新高，2022 年销量相对 2020 年增长了 7.7 倍，渗透率由 0.2% 增长至 6.0%。其中，换电重卡销量从 2020 年不足 50 辆增长到 2022 年的 1.2 万辆，实现了“从 0 到 1”的突破，2022 年纯电动重卡中换电式销量占比已经超过普通充电式，高达 57.6%；氢燃料电池重卡销量也从 2020 年不足 20 辆增长到 2022 年的 2000 辆（图 3）。

图 3 2020-2022 年新能源重卡销售市场变化



注：由于混合动力卡车销量低，故图中未呈现。

[11] 在本报告中，如无特别说明，渗透率均指销售市场渗透率。

2.1.2 新能源卡车运行情况

分析新能源卡车运行情况有助于更好地理解用户对新能源卡车的需求以及在实际场景中的应用情况。本小节将基于上线率、日均

行驶里程、日均行驶时长、月均行驶天数四个指标，对纯电动卡车和氢燃料电池卡车的实际利用程度和使用强度进行分析。

新能源卡车上线率¹²

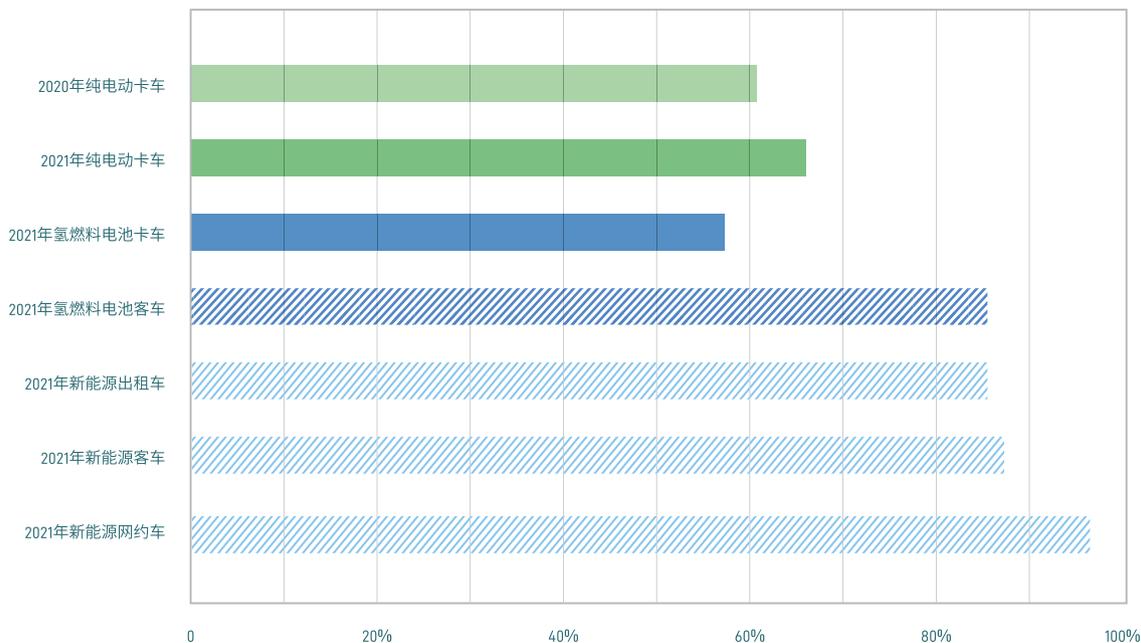
随着推广应用的深入和换电技术的发展，纯电动卡车利用程度有所提升，但与其它新能源营运车辆相比仍然较低。2021年纯电动卡车上线率66.1%，相对2020年上涨了8.7%，与同为营运车辆的网约车、客车、出租车等相比，仍有19.4%-30.4%的差距（具体见图4）。

从细分市场来看，纯电动卡车大部分细分市场上线率均有所提升，且细分市场之间上线率差异显著（图5），其中，主要用于公共服务领域且多在市区内固定路线行驶的环卫车上线率较高，2021年上线率在80%以上。另外，值得注意的是，重型牵引车上线率涨幅较大，从2020年的34.1%增至2021年的62.3%，这可能是换电技术的发展在一定程度上解决了普通充电式重卡里程焦

虑和充电低效的问题，加速了纯电动半挂牵引车在短倒场景、固定路线场景的应用，从而使得利用水平大幅上升。

氢燃料电池卡车发展尚处于起步阶段，整体上线率较低，但少数细分市场上线率达到较高水平。如图4和图5所示，2021年氢燃料电池卡车上线率为57.3%，相对纯电动卡车略低，但在重型牵引车市场，氢燃料电池车型上线率高达89%以上，甚至超过同为营运类车辆的氢燃料电池客车；尤其在氢燃料电池卡车重点渗透的重型牵引车市场，氢燃料电池车型比纯电动车型的上线率高27.5%。这在一定程度上说明，对于重型牵引车而言，氢燃料电池车型在场景适应性上或更具优势。

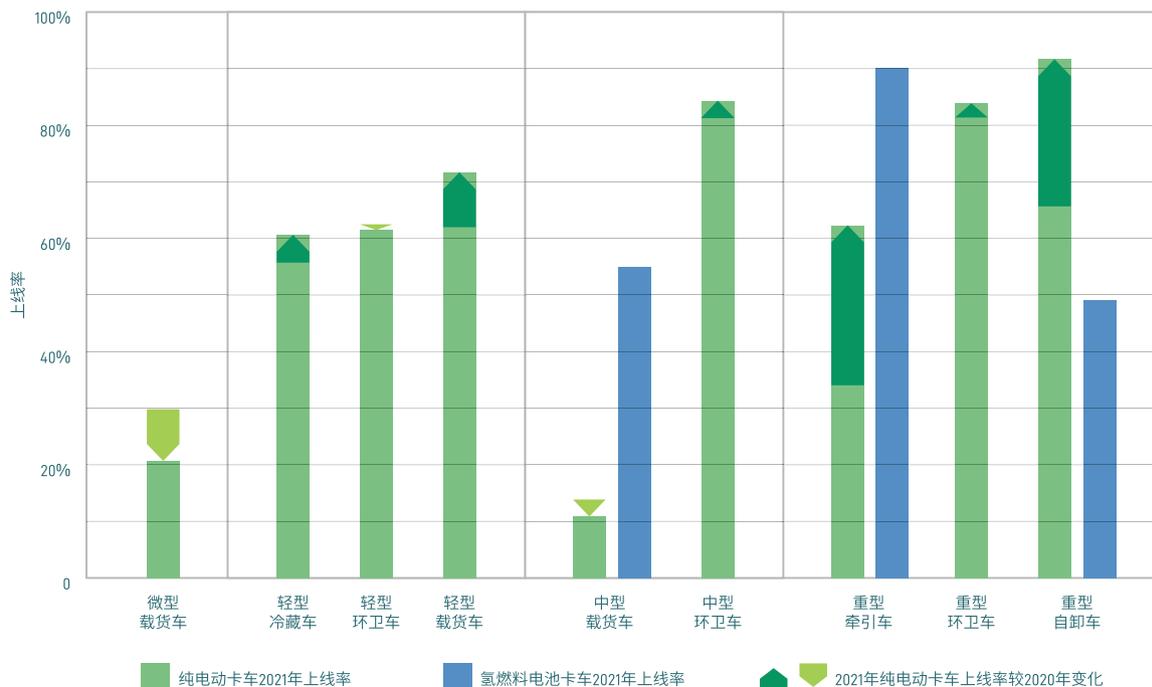
图4 不同行业新能源汽车上线率



注：其它行业（非卡车）车辆上线率来自《中国新能源汽车大数据研究报告（2022）》（新能源汽车国家大数据联盟，2022）。

[12] 车辆上线率，即新能源汽车国家监管平台上当期的运行车辆数量占累计车辆接入量的比值，代表车辆的使用程度。

图 5 2021 年新能源卡车细分市场上线率及同比变化



注：

- 1) 图中仅呈现 2020 年与 2021 年样本充足（整车型号 >5 个，平台接入量 >50 个）且可以进行对比分析的细分市场；
- 2) 氢燃料电池卡车首次纳入分析，图中未呈现同比变化。

新能源卡车使用强度

纯电动卡车使用强度¹³整体增强，如图 6 所示，对比 2021 年纯电动卡车各细分市场日均行驶时长、日均行驶里程和月均行驶天数相对 2020 年的变化，发现大部分细分市场的各项使用强度指标均显著增强，尤其日均行驶时长大幅增长，最高增加了 3.4 倍。

尽管使用强度在增强，纯电动重卡在长途货运场景的应用仍受限。纯电动重卡的日均行驶里程不足 150 km，距离公路货运重型车辆 250 km 以上的日均运距水平仍有差距（中交兴路，2021），侧面反映纯电动重卡仍多用于中短途运输，但未来随着换电技术的大量渗透以及换电基础设施的加速建设，将有效提高纯电动卡车的运营效率，日均运距也将随之增长。在日均行驶时长方面，

纯电动重卡甚至略高于公路货运车辆整体平均水平，这可能与纯电动重卡多用于固定线路运输有关。

相对于纯电动卡车，氢燃料电池卡车的的使用强度较低。如图 6 所示，通过对比同一细分市场氢燃料电池卡车在使用强度指标上与纯电动卡车存在的差距，发现在大部分细分市场，氢燃料电池卡车在运距、行驶时长方面均低于纯电动卡车，这可能与推广应用仍处于起步阶段有关；而在重卡市场，氢燃料电池卡车未发挥出技术上的长续航优势，这一方面可能与当前加氢站审批困难，基础设施建设不完善有关，导致氢燃料电池卡车目前也仍多在短途场景内应用，另一方面可能与当前应用场景的运距需求相关，也可能与氢气的高价制约了用户的实际使用有关（中国能源报，2022）。

[13] 由于截至数据获取时间在新能源汽车国家监管平台接入的换电车型极少，实际运行数据与补能数据有限，无法支撑换电车型的针对性分析，未保证计算结果的有效性和可分析性，“新能源卡车使用强度”和“新能源卡车补能特征”未将换电车型纳入纯电动卡车的分析。未来随着换电技术的发展和渗透，绿卡榜项目将持续关注换电车型实际运行和补能情况。

图6 2020年和2021年新能源卡车细分市场运行特征及与公路货运重型车辆对比



注：图中仅呈现2020年与2021年样本均充足（整车型号>5个，平台接入量>50个）且可以进行对比分析的细分市场结果。

2.1.3 新能源卡车补能特征

新能源卡车补能模式与时长是影响车辆运营效率的重要因素，也是用户关注的重点。目前，快充技术的发展有效缩短了纯电动卡车的补能时长，但与之相比，氢燃料电池卡车仍然具有显著补能优势。未来随着快充技术的发展、换电和氢燃料电池卡车的渗透，新能源卡车补能效率或将进一步提升。本小节将从纯电动卡车与氢燃料电池卡车的补能特征指标入手，对新能源卡车补能模式的组织性与高效性进行分析。

纯电动卡车可能多采取有组织的充电模式，且多以快充为主。各细分市场车辆次充电起始 SOC 在 45%-60% 之间，说明用户大多不会在电量快耗尽时进行充电，而是在耗电 50% 左右就进行补能；结合月均充电次数和月均运行天数，发现大部分细分市场车辆单日充电 1-3 次甚至更多，如多用于短倒场景的纯电动重型牵引车，单日充电甚至达到 4 次。基于以上充电指标特征，发现纯电动卡车可能多为有组织的充电模式，很可能在运输线路两端或中间位置进行规律性补能。另外，目前各细分市场纯电动卡车多以快充充电为主，除了微型载货车、轻型邮政车以及轻、中型

环卫车，其它细分市场车辆快充比例均在 50% 以上，快充技术有效地缩短了单次补能时长，如快充占比高达 95% 的重型牵引车次充电时长仅 42 分钟，远低于其它细分市场。

相对纯电动卡车，氢燃料电池卡车补能更加高效，可以实现运营间隙完成补能。从单次补能时长来看，氢燃料电池卡车显著低于纯电动卡车。以纯电动车型快充占比高达 95% 的重型牵引车为例，氢燃料电池车型的单次补能时长仅需 25.8 分钟，比纯电动卡车低 38.6%。而较短的补能时长能够为氢燃料电池卡车的运输效率提供保障。如图 7 所示，纯电动卡车的补能时刻主要分布在夜间、午间等非工作时段，需要较为集中的时间进行充电，而氢燃料电池卡车补能时刻和运行时刻分布曲线相似且存在大部分重合，补能时刻分布峰值较行驶时刻分布峰值延后 0-2 小时，而且主要集中在日间进行补能。可见，与纯电动卡车相比，氢燃料电池卡车补能更高效，如能够保证加氢设施的合理建设和布局，将大幅度提高车辆运输效率。

图 7 2021 年新能源卡车运行和补能时刻分布及单次补能时长



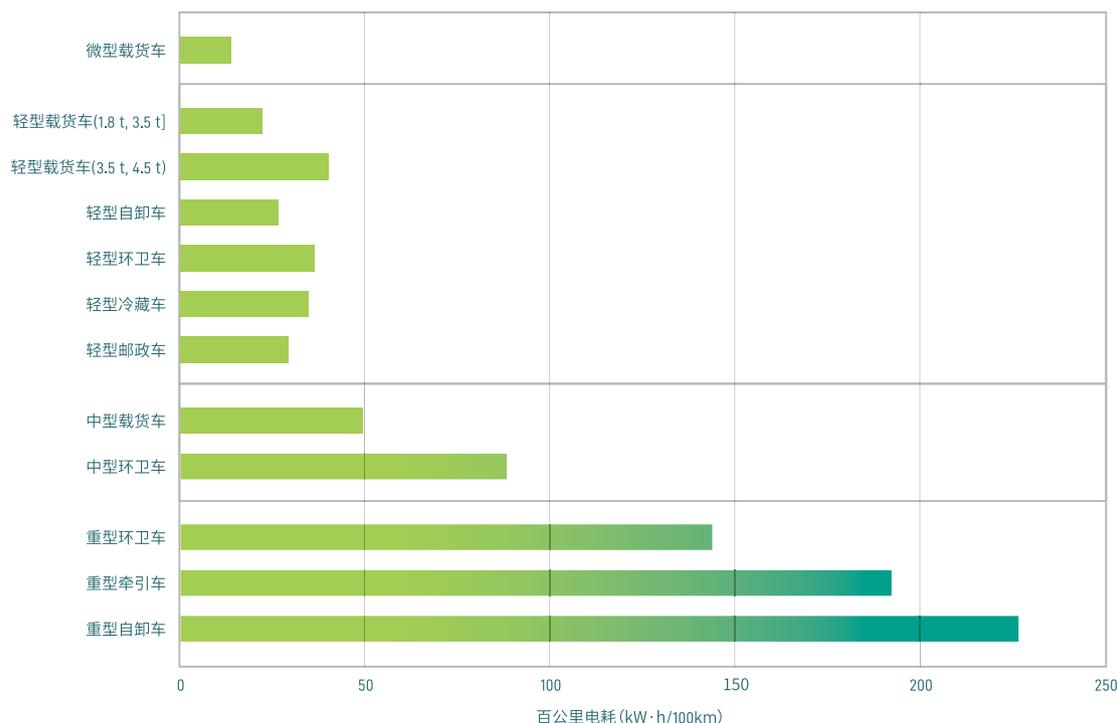
注：图中仅呈现 2021 年纯电动卡车和氢燃料电池卡车样本均充足（整车型号 >5 个，平台接入量 >50 个）且可以进行对比分析的细分市场结果。

2.1.4 纯电动卡车实际道路电耗水平与环境、成本案例分析

纯电动卡车各细分市场电耗差异显著，总质量影响较大。2021年，微型、轻型、中型、重型纯电动卡车的百公里电耗分别为13.4 kW·h/100km、31.2 kW·h/100km、68.6 kW·h/100km 和187.3 kW·h/100km，其中重卡的百公里电耗是轻卡的6倍（具

体见图8）。车重对电耗的影响在轻型载货车市场内部也有所体现，3.5-4.5 t载货车的百公里电耗为39.9 kW·h/100km，是1.8-3.5 t载货车电耗水平的1.8倍。

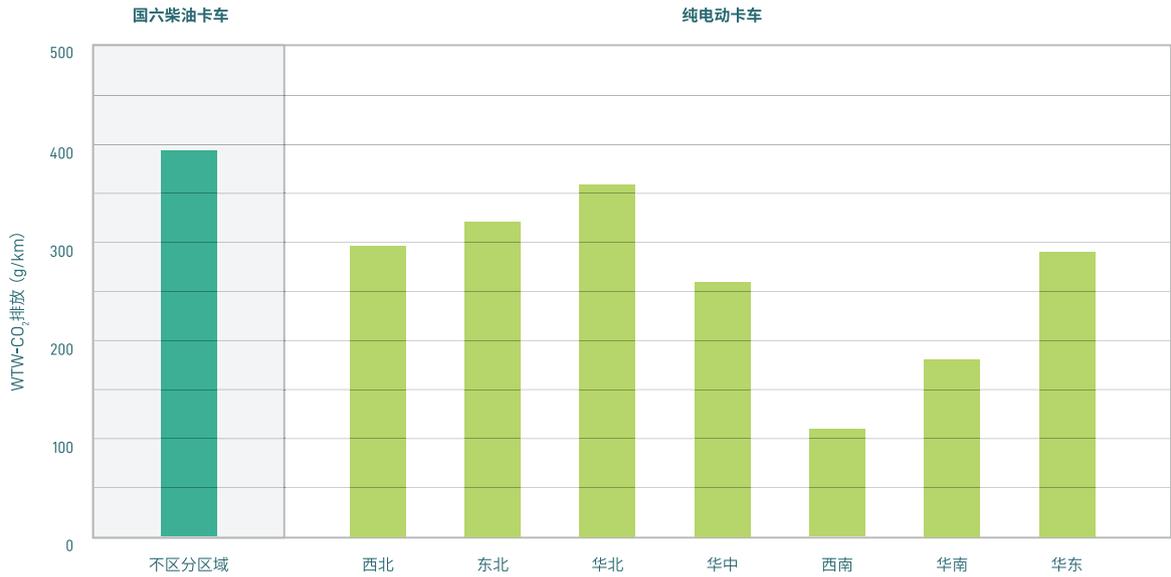
图8 不同细分市场纯电动卡车百公里电耗均值



为了量化对比柴油卡车与纯电动卡车的燃料周期环境影响与成本投入，本研究将在柴油载货车销量中占比一半以上的3.5-4.5 t载货车作为分析对象，基于纯电动卡车和柴油卡车的实际道路能耗数据，通过生命周期评价方法和总拥有成本计算方法分别对国六柴油卡车和纯电动卡车的燃料周期（well-to-wheel, WTW）CO₂ 排放与总拥有成本（total cost of ownership, TCO）进行综合评估（评估方法详见“4.4.3 轻型载货车电动化的环境和成本效益分析”）。结果显示，在燃料周期的范围中，纯电动卡车相较于国六柴油卡车，存在较为显著的环境与成本优势。

基于车辆实际道路能耗计算结果，本研究计算了分区域3.5-4.5 t纯电动载货车 WTW-CO₂ 排放结果，如图9所示。全国各区域纯电动载货车与国六柴油车相比均具有燃料周期 CO₂ 减排效益，未来随着电力清洁化的提高，3.5-4.5 t载货车电动化将具有更高的碳减排效益。

图 9 3.5-4.5 t 载货车 WTW-CO₂ 排放评估结果



3.5-4.5 t 载货车市场中纯电动车型和国六柴油车型的 TCO 的评估结果如图 10 所示。在补贴政策下，纯电动车型目前总拥有成本低于柴油车型。纯电动载货车的购置成本虽然明显高于柴油载

货车，但是在燃料成本、维护与保养成本上，纯电动载货车相较于柴油载货车具有明显优势。

图 10 3.5-4.5 t 载货车 TCO 评估结果



2.2 柴油卡车

作为公路货运的主体，卡车在汽车保有量中的占比仅 11%，却贡献了 50% 以上的 CO₂ 排放、80% 以上的 NO_x 排放以及 90% 以上的 PM 排放（黄志辉等，2022；生态环境部，2022），是货运行业减污降碳的重点，而降低柴油卡车污染物排放并提高其燃油经济性正是关键抓手。

为推动柴油卡车自身减污降碳，自“十三五”以来，尤其在“柴油货车污染治理攻坚战”¹⁴后，我国持续加严新车到在用阶段的排放限值以及新车燃料消耗量限值，同步提升油品质量，并完善了在用监管体系，监管技术和手段更加丰富，有效推动了柴油卡车节能减排。2021 柴油卡车的 NO_x 和 PM 排放量较 2019 年分别下降了 8.4% 和 6.5%，2017-2020 年交通行业¹⁵柴油消费

量逐年下降，年均下降比例 5% 左右。此外，随着 OBD 远程在线监控技术在国五、国六柴油卡车上的应用，尿素添加更加规范，2020 年车用尿素消费量相对 2017 年增长了 1.8 倍，车用尿素相对在交通行业柴油消费量的体积比也从 0.6% 增至 2.3%，更接近车用柴油尿素的理论添加比例¹⁶。（生态环境部，2022；国家统计局；华经情报网，2021；仲崇智，2014；周和平，2019）。

本节将从柴油卡车在用阶段污染物排放和新车公告油耗两方面开展分析，评估柴油卡车减污和降碳政策措施的实施进展和效果，并依此探讨卡车行业减污降碳路径。

2.2.1 柴油卡车减污进展

柴油卡车污染物减排政策的分析集中在排放限值加严和监管体系完善两方面，排放限值加严则包含了从新车到在用阶段的排放限值。数据显示，排放限值加严和在用监管能够有效推动柴油

卡车污染物减排，尤其 NO_x 减排。本小节将对以上政策措施的实施进展和减排成效进行分析，并为下一阶段政策的制定提供建议和数据支撑。

新车排放限值加严成效分析

《重型柴油车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）》（GB 17691-2018）（下称“国六标准”）要求，2021 年 7 月 1 日起全面实施 6a 阶段，并即将于 2023 年 7 月 1 日全面实施 6b 阶段。国六标准的实施让我国新车排放法规进入全球领先行列（Zhang et al., 2020），NO_x 和 PM 排放限值相对国五标准加严了 77%、67%¹⁷，而已公告的国六新车污染物减排幅度更大（亚洲清洁空气中心，2022）。以下将基于 2021 年环保年检中排放检测达标车辆的污染物检测数据，对车队排放标准升级的减排情况进行分析评估。

新车标准升级是从源头控制和预防柴油卡车污染物排放的重要手段。排放标准更高的车辆，在用阶段的环保优势同样突出；而

国六标准实施对于柴油卡车，尤其柴油重卡的 NO_x 减排更是意义重大。2021 年环保年检结果显示，国四升级到国五，烟度和 NO_x 排放浓度分别下降了 21.1%、24.7%；国五升级到国六，烟度和 NO_x 排放浓度进一步下降 33.3%、55.5%。可见，国六标准实施的 NO_x 减排效果尤为显著，且重卡 NO_x 减排比例较大，排放浓度下降比例在 51.3%-66.4% 之间；相对而言，轻、中卡市场的下降比例较小，在 42.8%-59.0% 之间。各细分市场排放标准升级的“减污”比例具体见图 11。

[14] 指 2018-2020 年柴油货车污染治理攻坚战。

[15] 指国家统计局柴油消费量统计项中的交通运输、仓储和邮政业柴油消费总量。

[16] 车用尿素添加比例（体积比）为 3%-5%。

[17] 此处对比国六标准和国五标准中瞬态测试工况的限值。

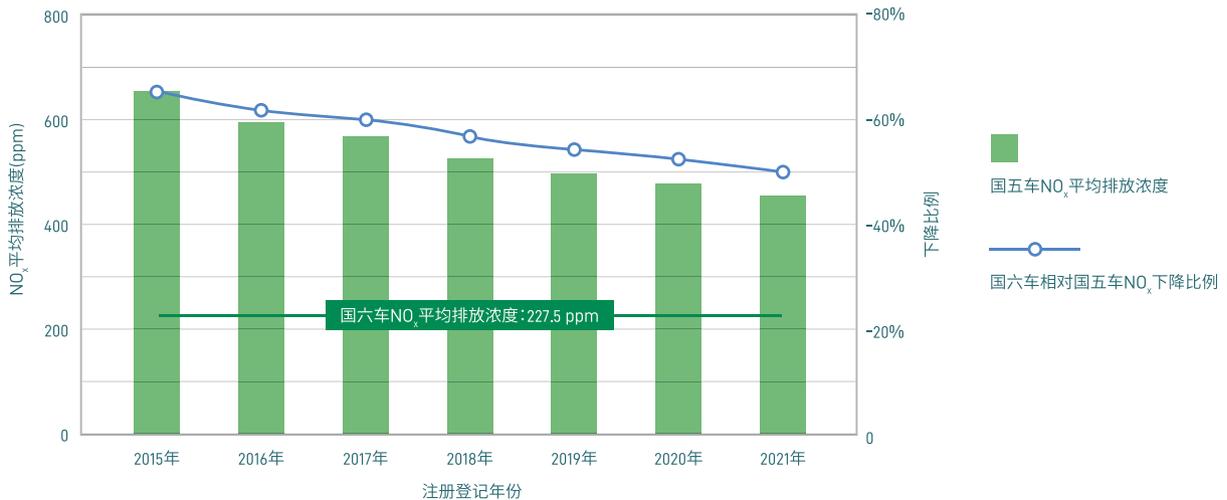
图 11 各细分市场车辆 NO_x 排放浓度和烟度随排放标准升级的下降比例



即便与刚投入使用的国五车相比，国六车仍呈现“压倒性”的减排优势。在 2021 年环保年检中，相对于 2021 年“新”注册登记的国五车，国六车的 NO_x 排放浓度仍下降近 50%；与投入使

用时间更长的国五车相比，减排优势则更加显著，NO_x 平均排放浓度下降比例最高达到 65.1%。国六车相对不同注册登记年份国五车 NO_x 排放浓度下降比例具体见图 12。

图 12 不同注册登记年份国五车 NO_x 排放浓度以及国六车型相对国五车型的下降比例



升级车队结构，提高国六车型在柴油卡车车队中的占比，不仅有利于卡车行业污染物总量减排，也能为柴油卡车用户带来更多效益。首先，国六柴油卡车在部分地区较国五车型具有路权优势，无需考虑限、禁行要求（中国汽车报，2021）；另外，国六车型有 OBD 远程在线监控要求，部分地区 OBD 监控结果良好的车辆可免于上线排放检验（杭州市生态环境局，2020；上海市生态环境局，2022；山东省生态环境厅，2022）；而且，国六标准首次增加了排放质保期要求，能够为用户提供更强大的保障。

为推动中国道路货运迈向超低排放行列，“国七”标准的制定和实施时间表或需加速。美国加州已经提出了下一阶段更为严

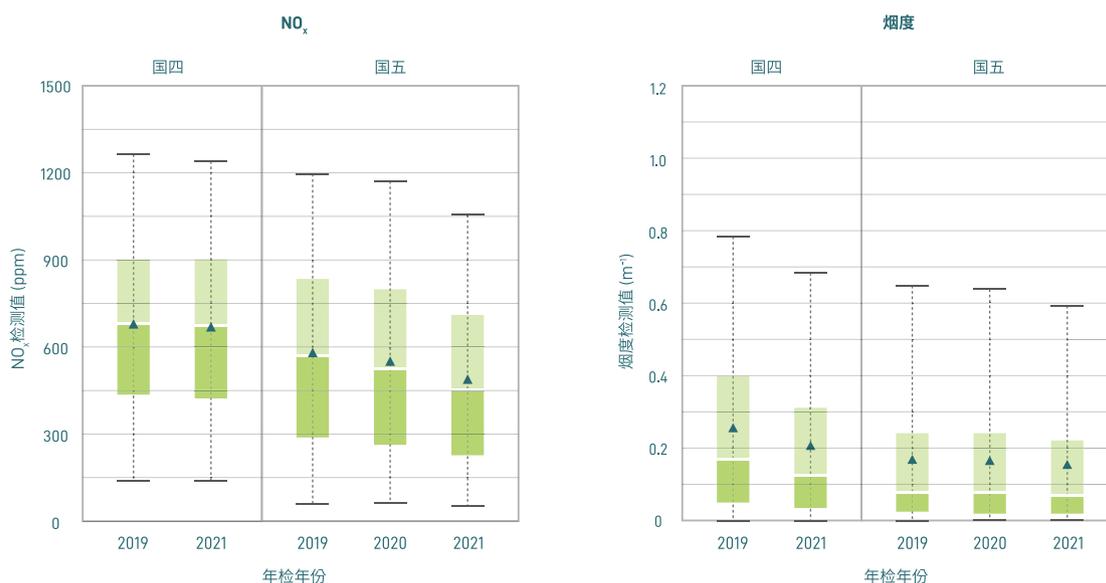
格的超低排放限值，2024、2027 年重型车 FTP 工况 NO_x 限值较 2020 年分别加严 75%、90%，其 2027 年标准较中国的国六标准限值加严幅度也在 90% 以上^[18]（加州空气资源委员会，2020a）；最新的欧七提案相对欧六标准的 NO_x 限值也加严了近 80%^[19]（欧盟委员会，2022）。欧美的技术研究均已表明，进一步大幅削减柴油车 NO_x 排放的技术路线是成熟且可行的。我国《“十四五”节能减排综合工作方案》已经明确提出“研究制定下一阶段轻型车、重型车排放标准”，尽早发布“国七”标准和实施时间表将有利于推动内燃机减排技术进步以及倒逼整车生产企业的能源转型。

在用车监管体系完善成效分析

自“柴油货车污染治理攻坚战”以来，我国建立了在用车“天地车人”一体化监管体系，监管手段多样，包括 I/M 制度（汽车排放检验与维护制度）、OBD 远程在线监控、遥感监测、路检路查等。以下将基于柴油卡车 2019-2021 三年的环保年检数据，从排放检测达标车辆的污染物检测值入手，分析在用车监管对不同排放标准车辆的减污效果。

得益于以上多样和有力的监管手段，在用国四、国五车型的环保表现持续改善。如图 13 所示，在用国四、国五车污染物排放浓度持续下降，烟度年均下降 9.4%、4.0%； NO_x 排放浓度年均下降 0.8%、7.9%。可见，在 NO_x 排放方面，国四车的改善效果相对较小，而国五车改善明显。

图 13 2019-2021 年环保年检国四、国五柴油卡车 NO_x （左）和烟度（右）检测结果分布



注：

- ▲代表平均值；
- 为确保各年份的 NO_x 检测结果更具有对比性，图中仅分析相同细分市场范围和年检区域的样本。

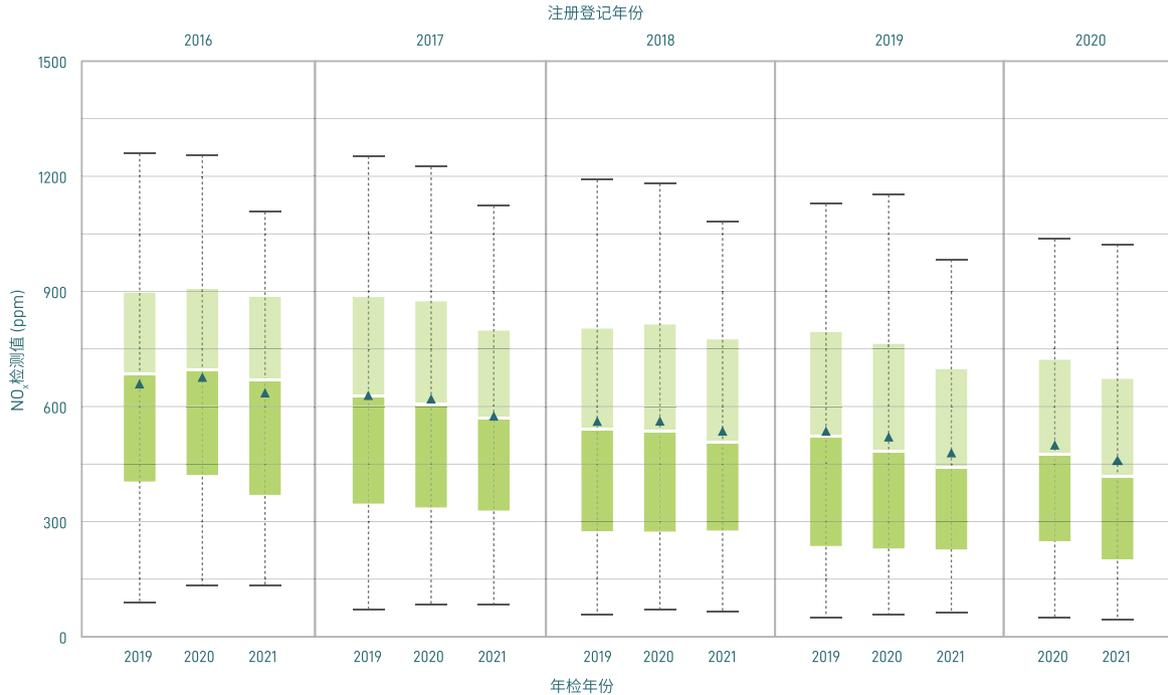
[18] 对比加州超低排放法规重型车 FTP（瞬态测试工况）的 NO_x 限值和国六标准中各测试工况下的 NO_x 限值，加严比例均在 90% 以上。

[19] 此处对对比了欧七热态 NO_x 限值与国六 WHSC 测试 NO_x 限值以及两个标准中的 PEMS 限值。

在用车监管推动全车龄在用国五柴油卡车 NO_x 排放控制的持续改善。无论投入使用时间较长或较短的国五车辆，其 NO_x 排放控制持续改善，NO_x 排放浓度年均下降比例在 1.7%-8.2% 之间(图 14)。该下降趋势在多个细分市场均有所体现，以 2017 年注册

登记的国五车为例，各细分市场 NO_x 排放浓度年均下降比例在 1.7%-10.5% 之间。可见，目前的监管体系对“新”注册登记国五车和注册登记时间较早的“老旧”国五车的减排成效均十分显著。

图 14 不同注册登记年份国五柴油卡车在 2019-2021 年环保年检中的 NO_x 检测值分布



注：

- 1) ▲代表平均值；
- 2) 为确保各年份的 NO_x 检测结果更具有对比性，图中仅分析相同细分市场范围和年检区域的样本；
- 3) 为确保分析结果具有统计学意义，图中仅呈现样本量超过 30 的细分维度结果。

监管加强带来的压力也传导至卡车生产企业，推动新车型减污能力提升。本研究以不同注册登记年份国五车辆在使用两年后²⁰的 NO_x 排放检测结果进行分析，发现 2018 年以后注册登记车辆的 NO_x 排放浓度大幅降低。以重型牵引车为例，2019 年注册登记车辆 NO_x 平均排放浓度相对 2018 年注册登记车辆下降 12.1%，2018 年注册登记车辆 NO_x 平均排放浓度相对 2017 年注册登记车辆下降 5.8%，“柴油货车污染治理攻坚战”开始（2018 年）后注册登记的车辆 NO_x 排放浓度下降比例显然更大。这也与清华大学、上海环科院开展的国五整车台架、实际道路跟车等测试结果趋势一致，该研究也发现随着在用监管力度的加强，2018 年后生产车型的 NO_x 排放因子明显下降。

对于国四柴油卡车而言，现阶段监管体系带来的 NO_x 减排效果有限，多地将其纳入淘汰范畴。环保年检数据显示，注册登记时间较早的国四车在环保年检中的 NO_x 检测值出现上升，如 2015 年注册登记的国四车，在 2021 年环保年检中的 NO_x 平均检测值相对 2019 年环保年检上涨了 9.6%。对于排放浓度较高且无法通过污染治理措施有效改善排放的国四柴油卡车，国家和地方层面已出台相关淘汰规划（表 1），鉴于投入使用时间更久的国四车排放浓度更高，且现阶段监管体系对其排放控制有限，可优先推动车龄较大的“老旧”国四柴油卡车淘汰。

[20] 即对比 2017 年注册登记国五车在 2019 年环保年检、2018 年注册登记国五车在 2020 年环保年检、2019 年注册登记国五车在 2021 年环保年检中的 NO_x 排放浓度。

表 1 国四柴油卡车淘汰相关政策汇总

国家/地方	政策文件	政策文件
国家	《建材行业碳达峰实施方案》、《有色金属行业碳达峰实施方案》	推动大气污染防治重点区域淘汰国四及以下厂内车辆
北京市	《北京市深入打好污染防治攻坚战2022年行动计划》	2022年底前,各区通过实施激励和约束等政策加大执法力度、深入宣传动员等手段,综合施策加快本辖区国四排放标准营运柴油货车淘汰。
上海市	《关于深入打好污染防治攻坚战迈向建设美丽上海新征程的实施意见》	加快淘汰国四及以下排放标准柴油车。
陕西省	《蓝天碧水净土保卫战2022年工作方案》	关中地区积极推动国四柴油汽车和采用稀薄燃烧技术的燃气汽车淘汰更新。
山东省	《山东省新一轮“四减四增”三年行动方案(2021-2023年)》	加大中重型营运柴油货车淘汰力度,根据国家部署,有序推进国四中重型营运柴油货车淘汰工作。
浙江省	《关于进一步搞活汽车流通扩大汽车消费的通知》	引导鼓励地市提前淘汰国四及以下老旧营运柴油货车。
宁波市	《宁波市“十四五”节能减排综合方案(征求意见稿)》	加快淘汰国四标准柴油营运货车和工程车辆。

在用车排放限值加严成效分析

I/M 制度（汽车排放检验与维护制度）是在用车排放监管的重要方式。通过车辆“检验、维修、复检”的闭环管理，I/M 制度可以推动高排放车辆经维修后排放达标或长期无法达标的车辆强制报废，从而削减在用车排放。

针对在用柴油车环保年检，我国现阶段依据《柴油车污染物排放限值及测量方法（自由加速法及加载减速法）》（GB 3847-2018）（下称“GB 3847-2018”）进行检验，并设置了两阶段污染物排放限值——限值 a（烟度 -1.2 m^{-1} ； NO_x -1500 ppm）和限值 b（烟度 -0.7 m^{-1} ； NO_x -900 ppm）。截至 2021 年底，该标准已经实施了近三年，但所有排放标准车辆的环保年检污染物排放检验仍然停留在限值 a 阶段。随着柴油车车队结构优化和在用车监管体系的完善，限值 a 已无法支撑当前排放管理的需求。以下将基于 2021 年环保年检中不同阶段限值下的排放检测达标比例以及达标车辆的检测值，对 GB 3847-2018 中不同阶段限值的减污效果进行分析，以推动限值 b 尽快实施。

现阶段环保年检限值 a 较为宽松，无法支撑柴油卡车进一步减排的需求。2021 年年检结果显示，在限值 a 下，国四至国六标准的车辆排放检测达标比例均在 97% 以上，控制高排放车辆比例不足 3%（图 15）。此外，达标车辆的污染物检测值远低于限值

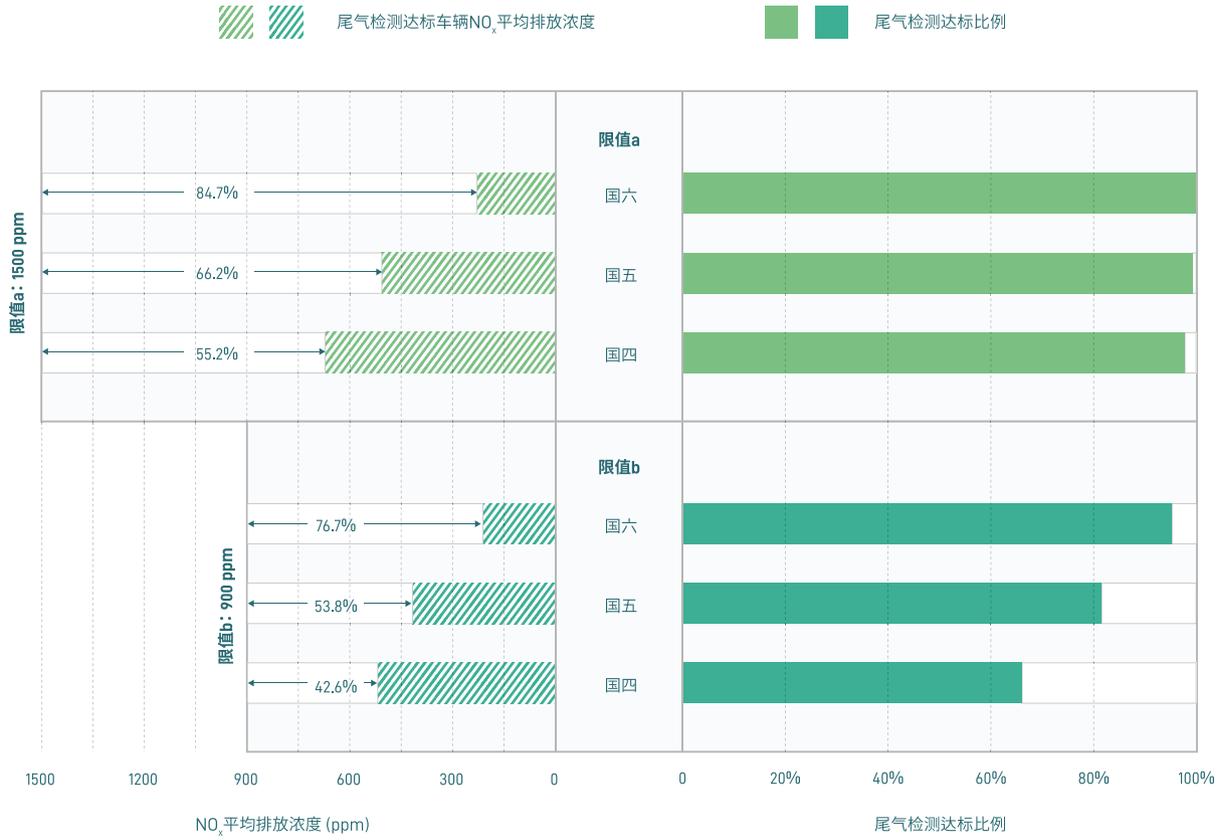
a，从烟度来看，所有排放标准的车辆烟度检测值均比限值 a 低 80% 以上，国四车的烟度检测值也仅在 0.2 m^{-1} 左右，可见柴油卡车的烟度已经得到比较有效的控制；从 NO_x 来看，国四和国五达标车辆的检测值比限值 a 低 55.2%-66.2%。

实施限值 b，可以更有效控制高排放车辆²¹，并推动其闭环监管和淘汰更新，助力“十四五”柴油货车污染治理攻坚。限值 b 可以识别 34.0% 的国四高排放车和 18.5% 的国五高排放车（具体见图 15），这与跟车测试识别的后处理失效高排放车比例较为一致（具体分析见“五、多源数据一致性研究”），也更贴近 GB 3847-2018 设定排放限值的原则²²。对于限值 b 下的排放超标车辆，需通过其维修保养实现达标排放，而多次“维修-复检”仍无法达标的车辆可及时淘汰更新，这将推动柴油卡车车队的整体减污。根据 2021 年环保年检数据和柴油卡车排放数据（生态环境部，2022），如限值 b 下 NO_x 超标车辆均可以降低至限值浓度水平（900 ppm），国四、国五车 NO_x 平均排放浓度可以降低 9.6%、5.8%；如将限值 b 下超标国四柴油卡车全部淘汰更新为国六车型或纯电动车型，2021 年柴油货车 NO_x 排放总量可减少 5.3%-9.7%，有效促进“2025 年 NO_x 排放量减少 12%”攻坚目标的达成。

[21] 高排放车辆指环保年检中尾气检测超标的车辆。

[22] 《柴油车污染物排放限值及测量方法（自由加速法及加载减速法）（征求意见稿）》表明 GB 17691-2018 的污染物排放限值确定原则为：限值 a 以控制高污染车辆 10%~20% 为目标，限值 b 以控制 30~40% 高污染车辆为目标。

图 15 各环保年检限值下排放检测达标比例、达标车辆 NO_x 平均排放浓度及距离限值的百分比差距

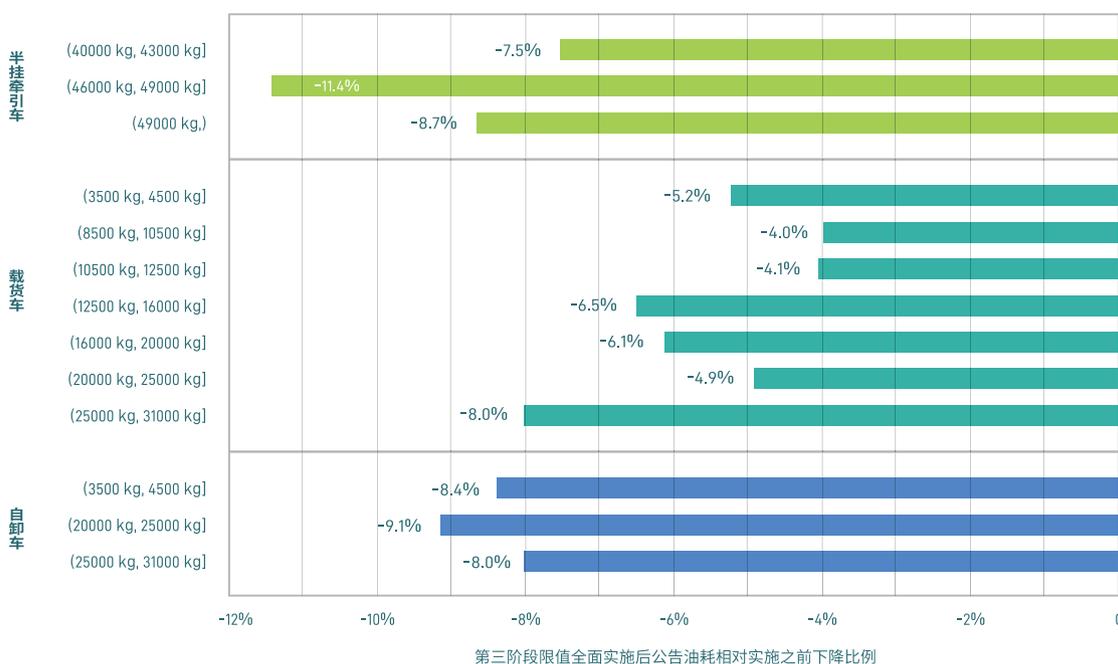


2.2.2 柴油卡车降碳进展

更严格的燃油消耗量限值标准有助于推动企业对节能技术的研发并推动卡车行业能源转型，是重要的柴油卡车降碳的手段。我国从 2019 年开始实施重型商用车第三阶段燃油消耗量限值（下称“第三阶段限值”），有效推动了柴油卡车节能技术的发展，油耗随之降低。目前我国已发布第四阶段燃油消耗量限值征求意见稿（下称“第四阶段限值”），相对第三阶段限值进一步加严 12%-16%（工业和信息化部，2022）。本小节将基于工信部的新车公告油耗，对各阶段油耗限值的实施效果进行分析。

第三阶段限值的实施有效推动了柴油卡车油耗水平的降低。第三阶段限值全面实施后²³，各车辆类型主要质量段的公告油耗水平较实施之前存在不同程度下降（具体见图 16），下降比例在 4.0%-11.4% 之间，总质量较高的车辆类型，油耗下降比例相对更大，如 46-49 t 半挂牵引车油耗下降比例高达 11.4%，比 40-43 t 半挂牵引车油耗下降比例高 3.9%。

图 16 第三阶段限值全面实施后各车辆类型主要质量段的平均油耗相对实施之前的下降比例



注：为使分析结果更具统计学意义，图中仅呈现样本量在 30 以上的质量段分析结果。

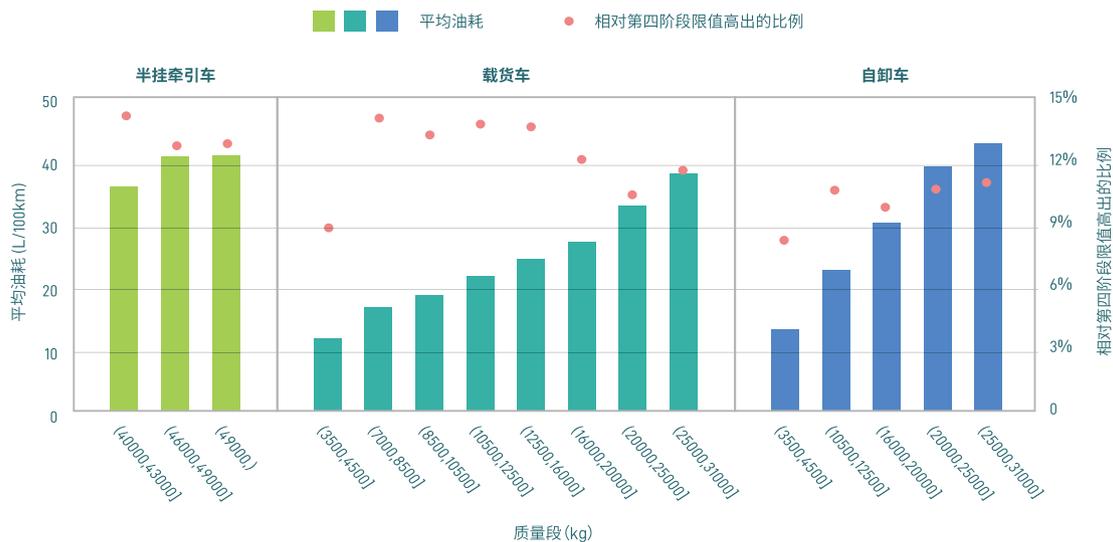
从当前车辆公告油耗水平来看，不同质量段未来满足第四阶段限值（征求意见稿）面临的压力与难度不同。考虑到第三、第四阶段油耗标准涉及测试工况的切换，第三阶段限值全面实施后，柴油卡车各质量段公告油耗²⁴比第四阶段限值高 8.1%-14.1% 不等

（具体见图 17），而第四阶段限值的总体节能目标是“在第三阶段燃料消耗量限值基础上加严约 15%”。这意味着，第四阶段限值的加严幅度，可能无法推动车企对部分质量段车辆节能技术的大力研发与投入。

[23] 报告依据《重型商用车燃料消耗量限值》（GB 30510-2018）标准文件中的“7 标准实施过渡期”，将第三阶段油耗限值的实施分为三个阶段；实施之前针对新型式核准车辆的实施日期之前，即 2019.07.01 之前；开始实施针对新型式核准车辆的实施日期到已型式核准车辆实施日期之间，即 2019.07.01-2021.07.01；全面实施针对已型式核准车辆实施日期之后，即 2021.07.01；由于本研究可获取的油耗数据最晚公告时间为 2022.09，因此全面实施指 2021.07.01-2022.09，本章下同。

[24] 凡涉及公告油耗与第四阶段燃料消耗量限值对比，均考虑油耗测试工况切换导致的测试结果增加，参考第四阶段燃料消耗量限值征求意见稿编制说明，货车、自卸车和半挂牵引车的油耗增加比例分别为 2.7%、5%、2.8%，本段下同。

图 17 第三阶段限值全面实施后的平均公告油耗及相对第四阶段限值高出的比例

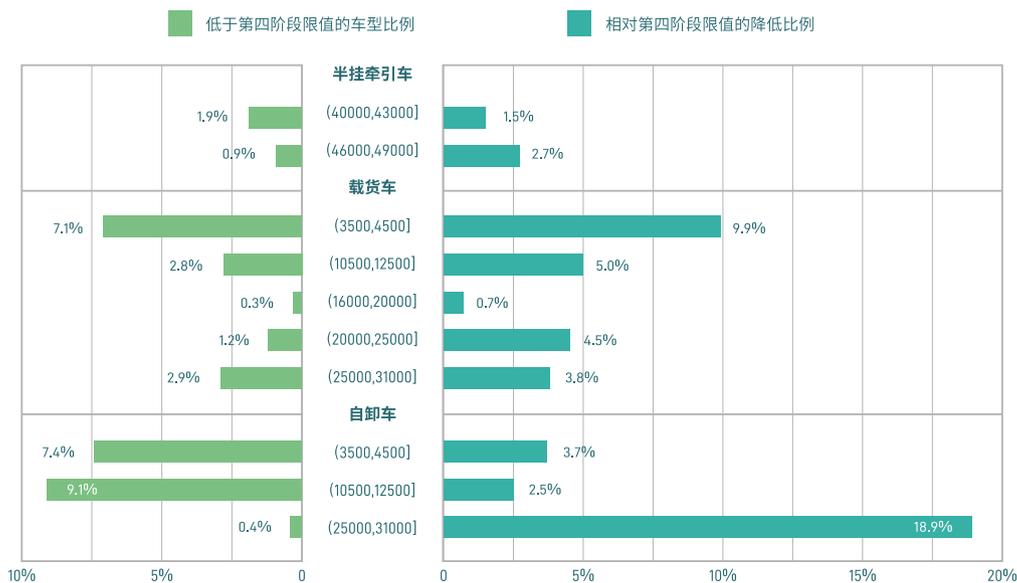


注：为使分析结果更具统计学意义，图中仅呈现样本量在 30 以上的质量段分析结果。

本研究进一步分析发现，当前部分车型领跑行业节能水平，已优于第四阶段限值，一定程度上反映出第四阶段部分质量段设置的限值或偏保守（具体见图 18）。以占载货车销量一半以上²⁵的 3.5-4.5 t 载货车为例，第三阶段限值全面实施后公告的车型中，7.1% 的车型油耗低于第四阶段限值，平均比限值低 10% 左右，其中节能表现最好的 5 个车型平均油耗甚至比限值低 25.4%。可

见，将油耗控制在第四阶段限值以下的节能技术已具备基础并高度可行，部分车企已经积极领跑，第四阶段油耗限值的制定或许可以将各细分行业节能水平较为先进的车型平均油耗纳入限值设定考量，引领和指导各车企向行业先进水平看齐，进一步降低产品油耗，推动柴油卡车降碳。

图 18 第三阶段限值全面实施后公告油耗低于第四阶段限值的车型比例及其相对限值降低的幅度



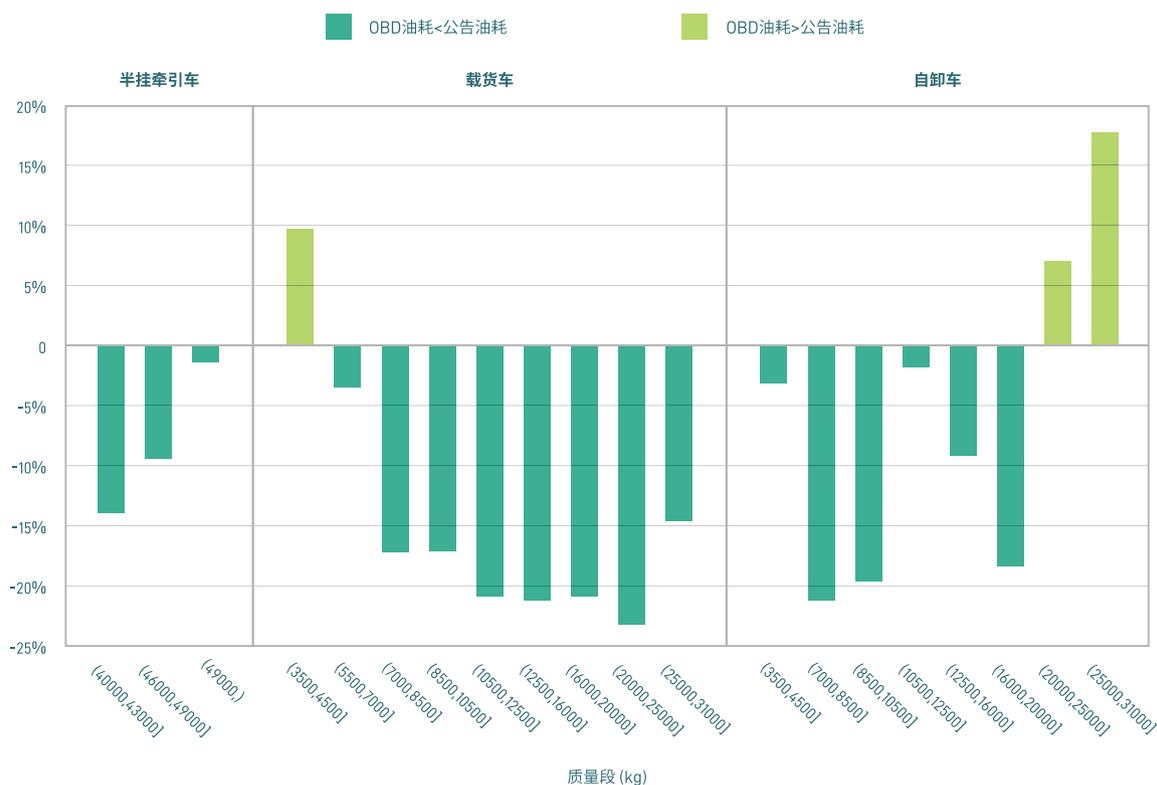
注：图中仅呈现车型数量在 30 以上且存在低于第四阶段限值公告车型的质量段分析结果。

[25] 指 2019-2022 年平均销量占比。

此外，受运行工况影响，公告油耗与实际道路油耗存在差异。如图 19 所示，通过对比基于 OBD 远程在线监控数据获取的实际道路油耗与公告油耗之间的差距，本研究发现大部分质量段实际道路油耗均低于公告油耗，降低比例最高达到 23.2%；只有少数质量段实际道路油耗比公告油耗高（7.0%-17.8%）。实际道路油

耗与公告油耗的差距主要来自实际运行工况与油耗测试工况的差异，油耗测试规程将车辆设置为满载状态，而实际道路行驶很可能存在超载、空载和半载的情况，导致实际道路油耗偏低或偏高。因此，国家、地方应加强实际道路油耗监测，并优化公告油耗测试工况，以更贴近实际运行特征。

图 19 基于 OBD 远程在线监控数据获取的实际道路油耗相对公告油耗的百分比差距



注：

- 1) 为使分析结果更具统计学意义，图中仅呈现样本量在 30 以上的质量段分析结果；
- 2) 图中数据小于 0 代表实际道路油耗低于公告油耗，反之，则实际道路油耗高于公告油耗。

制定机动车碳排放标准、配套商用车积分管理制度体系将为卡车行业降碳提供多重保障。早在 2010 年左右，美国和欧盟就开始通过碳排放标准限制机动车的温室气体排放。欧盟 CO₂ 排放法规明确 2025、2030 年轻型商用车新车 CO₂ 排放较 2019 年分别减少 15% 和 31%，重型车 CO₂ 排放较 2019 年分别减少 15% 和 30%，并配套鼓励新能源车生产销售的积分体系（[欧盟议会和理事会，2019a](#)；[欧盟议会和理事会，2019b](#)）。美国加州出台的《先进清洁卡车法规》中，也设计了相应的卡车正负积分体系，生产

企业将基于 2024 年车型在加州的总销量和法规要求的零排放车型销量比例获得负积分，该负积分需通过 2021 年起销售的零排放卡车或近零排放卡车获得的正积分来抵扣（[加州空气资源委员会，2020b](#)）。受应用场景繁多、新能源渗透慢、区域发展不平衡等多重因素限制，我国尚未将商用车纳入积分管理。目前，新能源补贴已经彻底退出，在减污降碳双重压力下，出台碳排放标准并配套积分管理制度，将进一步促进卡车行业绿色低碳转型。

2.3 天然气卡车

在节能减排和经济性等因素推动下，自“十二五”起，我国天然气重卡迎来了快速发展期，2010年至2020年期间，天然气重卡销量增加了36倍，占重卡销量的比重一度接近10%（[卡车之友网，2023](#)）。截至2021年，天然气重卡在重卡保有量中占比已

达到7%左右。作为重卡的重要能源路径之一，天然气重卡的排放表现关系着卡车行业减污降碳进程。因此，本小节将基于跟车和PEMS测试数据，对天然气重卡实际道路排放表现进行分析，并为下一阶段监管重点提出建议。

2.3.1 天然气卡车实际道路排放分析

2013年起，我国针对天然气车实施国五标准，但国五天然气车并非重卡NO_x减排的有效解决方案。国五天然气重卡普遍采用稀薄燃烧路径，在高温、富氧燃烧工况下易造成NO_x高排放。跟车测试结果显示，与国五柴油重卡相比，国五天然气重卡的NO_x平均排放高2倍以上（[亚洲清洁空气中心，2022](#)）。目前，国五车仍是天然气重卡存量中的主力车型，保有量占比超一半，加强国五车型排放监管至关重要。

2019年起，我国针对天然气车开始实施国六标准，国六天然气重卡普遍采用“当量燃烧+三元催化”的技术路径，技术上具备NO_x减排优势，但实际使用中很可能存在后处理装置“失效”而

导致的NO_x超标排放。PEMS测试结果显示，在三元催化器正常工作状态下，国六天然气重卡的NO_x平均排放浓度在100ppm左右，仅是国五天然气重卡二十分之一（[亚洲清洁空气中心，2022](#)），可见，国六天然气重卡在技术方面具有绝对减排优势。然而，由于三元催化装置贵金属含量较多，多地出现了偷盗、私拆倒卖的现象（[腾讯网，2021](#)；[自主汽车，2021](#)），而三元催化器的“失效”则会导致国六天然气重卡NO_x排放大幅上升，数据显示失效后的部分车辆NO_x排放因子可以达到失效前的100倍以上（[王慧，2022](#)）。因此，各地需加强对国六天然气车型后处理装置的核查。

2.3.2 天然气卡车监管手段现状分析

天然气卡车存在实际道路NO_x高排放风险，然而现行的监管方法尚未对天然气卡车在用阶段排放形成有效管控。本小节将对现阶段监管手段进行分析，并为下一阶段监管政策提出建议。

现阶段天然气卡车监管手段无法有效控制NO_x排放，主要体现在以下两方面。

一方面，现阶段主流的环保年检方法无法检测天然气卡车的NO_x排放，应推行“更优”的工况法作为天然气卡车的年检方法。根据现阶段天然气卡车的环保年检标准（GB 18285-2018），目前只有稳态工况法和简易瞬态工况法（下称“工况法”）设置了NO_x排放限值²⁶，然而工况法却并非目前天然气卡车的主流年检方法。如图20所示，2021年环保年检初检中，74.3%-96.5%的天然气重卡车辆采用双怠速法进行检测。该比例相对2020年

甚至进一步增长。以自卸车为例，2020年仅57.7%的车辆采用双怠速法检测，但2021年该比例已经超过80%。为推动天然气卡车NO_x减排，国家和地方层面需考虑推动天然气卡车在环保年检中全面采用工况法（因技术原因无法采用工况法检测的车辆除外）进行排气检测。

另一方面，天然气卡车NO_x排放监管技术能力仍需提升。国六标准（GB 17691-2018）已经要求国六天然气重卡安装远程排放管理车载终端，但却并未强制要求安装NO_x传感器²⁷，因而无法有效监管实际道路NO_x排放。OBD远程排放监控、遥感监测、跟车测试等在天然气卡车NO_x排放监管中的作用和地位有待加强，未来在法规层面，仍需补充对NO_x排放的监控要求。

[26] 根据GB 18285-2018标准文件，瞬态工况法检测项也包含NO_x，但鉴于瞬态工况法仅对HC+NO_x设置限值，且2021年环保年检中没有采用瞬态工况法检验的天然气重卡样本，因此本报告中工况法仅包含稳态工况法和简易瞬态工况法。

[27] 根据《重型车排放远程监控技术规范 第一部分 车载终端》（HJ 1239.1-2021）表2，对于采用三元催化器后处理技术的车辆，安装NO_x传感器的车辆应采集并传输NO_x输出值。因此，对于未安装NO_x传感器的车辆，NO_x输出值为非必要采集数据项。

图 20 2021 年和 2020 年环保年检中天然气重卡的检测方法分布

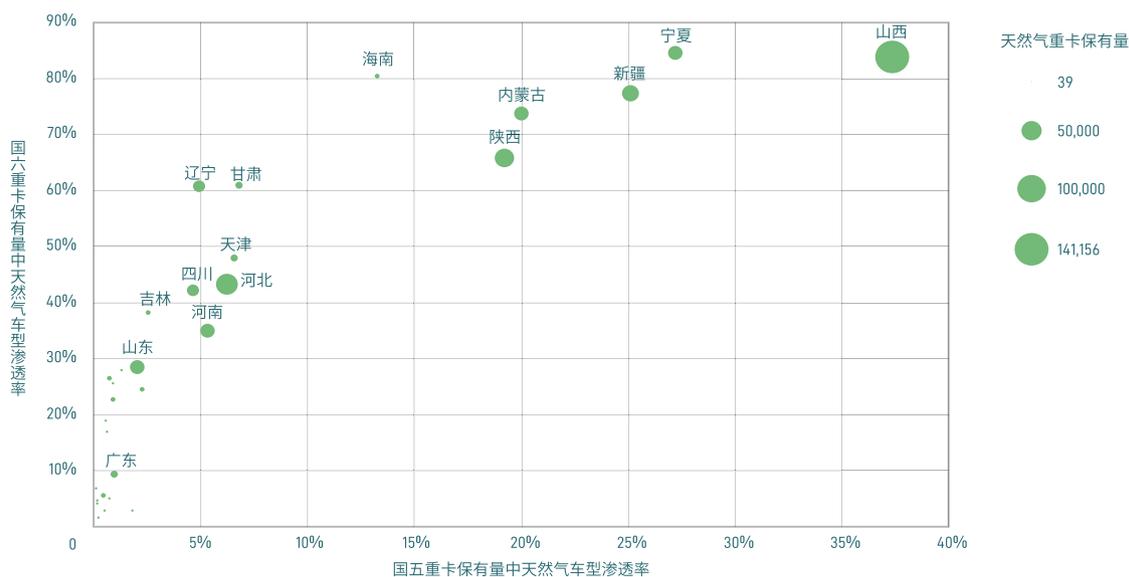


注：图中工况法包含稳态工况法和简易瞬态工况法。

随着天然气重卡 NO_x 排放问题的逐渐显现，我国已经开始重视并加强天然气车排放监管。目前，多地已将国五天然气重卡纳入禁行、淘汰范畴，河南省早在 2020 年就出台了相关禁行规定，要求“重污染天气管控期间，国五及以下天然气车辆不得进入厂区”（河南省人民政府，2020）；陕西省发布的《蓝天碧水净土保卫战 2022 工作方案》包括了国五天然气的淘汰更新（陕西省政府办公厅，2022）。鉴于国六天然气重卡的 NO_x 超标排放主要来自三元催化器“失效”，国家明确提出重点区域各城市要组织开展国六排放标准重型燃气车专项检查，重点核实三元催化器和后氧传感器是否异常（生态环境部，2021）。目前山西、陕西等地已开展了专项治理行动。

建议国家层面研究出台适用于天然气重卡的在用排放测试方法和评价标准，并进一步完善天然气重卡监管体系，提升 OBD、遥感和跟车等监管手段的效率、地位和能力，并通过路检路查、入户检查等方式加强对国六天然气重卡后处理装置的核查。山西、宁夏、海南等天然气重卡保有量占比较高的地区可出台天然气重卡专项治理方案（具体见图 21），对天然气重卡建立全天候、全时段和全过程的监管体系。

图 21 各省（自治区、直辖市）天然气重卡保有量及在国五、国六重卡保有量中的占比



注：图中统计的是截至 2021 年底的保有量。

2.4 基于柴油机的分析

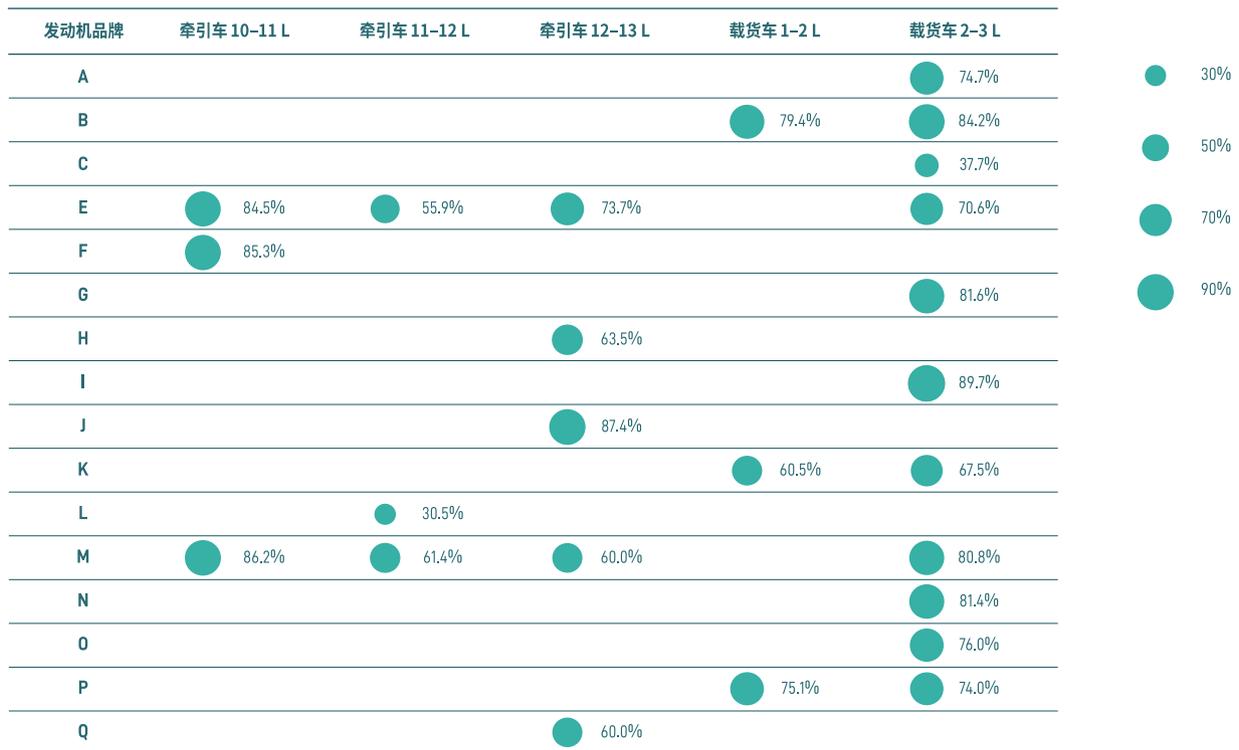
柴油发动机（下称“柴油机”）作为柴油卡车的动力系统，是其污染物和 CO₂ 排放的主要源头。过去二十年，柴油机排放控制技术不断发展，以满足日益严格的法规要求。进入国六阶段，法规按照整车进行排放监管，强调整车企业责任，整车对发动机总成系统的选装及匹配直接影响着整车排放表现。因此，本小节将基于新车表现数据²⁸，对国六柴油机和国六整车排放测试结果进行探索，分析不同发动机品牌之间以及整车品牌选装不同发动机品牌在 NO_x 排放方面的表现差异。

首先，同一细分市场下，不同发动机品牌表现存在明显差异，主要体现在两方面。一是发动机排放测试结果差异显著（具体见图 22），以安装在载货车的 2-3 L 发动机的 NO_x 测试结果为例，表现最差的发动机品牌（C 品牌）是表现最优品牌（I 品牌）的 3.1-18.9 倍（依测试循环不同）。二是发动机安装于不同整车品牌上的整车测试结果存在差异（具体见图 23），例如，E 品牌发动机安装在不同整车品牌上，整车的排放表现均较好，而 P 品牌发动机安

装在不同整车品牌上，整车排放表现均较差。这些情况反映出不同发动机品牌在机内净化和机外后处理的技术路径、技术水平存在差异，一些发动机品牌已经具备更强的排放控制技术，而“落后”发动机企业需在技术层面进一步发力，研发更加清洁、低碳的柴油机，以从容应对未来更加严格的排放法规。

其次，整车测试结果表明，整车选配不同的发动机品牌，其排放表现差异同样显著（图 23）。例如，福田奥铃的载货车在 1-2L 的发动机上选用 E 品牌，其整车 PEMS 测试的 NO_x 结果相对限值低 98% 以上，而选用 M 品牌或 P 品牌发动机，NO_x 仅低于限值 50% 左右。这一方面说明整车企业在选购发动机品牌时，可在满足排放法规底线要求的基础上，优先考虑排放性能表现更佳的发动机，这也有助于打造产品绿色竞争力；另一方面，整车企业在和发动机及后处理系统的集成和匹配方面也需要不断提升，优化整车排放表现。

图 22 部分细分市场各发动机品牌的 NO_x 排放表现²⁹



注：图中仅对各细分市场下有效样本量在 3 个以上的发动机品牌及发动机品牌数量超过 1 个的细分市场进行分析。

[28] 受样本量限制，用于分析的新车数据均来自 3500 kg 以上的国六柴油卡车。

[29] 指 WHSC（稳态工况）、WHTC（瞬态工况）和 WNTe（非标准循环）三个工况下的发动机测试 NO_x 表现的平均水平。

图 23 载货车 2-3 L 市场中各“发动机品牌 + 整车品牌”的 NO_x 排放表现

整车品牌	发动机品牌							
	A	B	E	G	K	M	O	P
福田奥铃		89.6%	98.7%		82.1%	49.8%	78.9%	49.6%
福田欧马可		86.3%	98.2%		76.3%		78.9%	50.1%
福田时代领航		86.3%	96.0%		82.7%	64.1%		46.5%
江淮骏铃	57.3%		98.9%	79.1%	65.2%	70.2%	95.9%	51.0%
江淮康铃	56.7%			79.1%	72.0%	70.2%		50.7%
江淮帅铃	60.1%		98.9%	79.1%	64.4%	70.2%		51.7%

注：

- 1) 图中仅对各细分市场下有效样本量在 3 个以上的“发动机品牌 + 整车品牌”进行分析；
- 2) 图中单元格填充颜色越深，距离限值的百分比差距越大，排放表现越好。

“十四五”期《柴油货车污染治理攻坚方案》明确强调，推进传统汽车清洁化，发展机动车超低排放和近零排放技术体系。因此柴油机及后处理系统在内的动力总成的清洁化、低碳化发展对

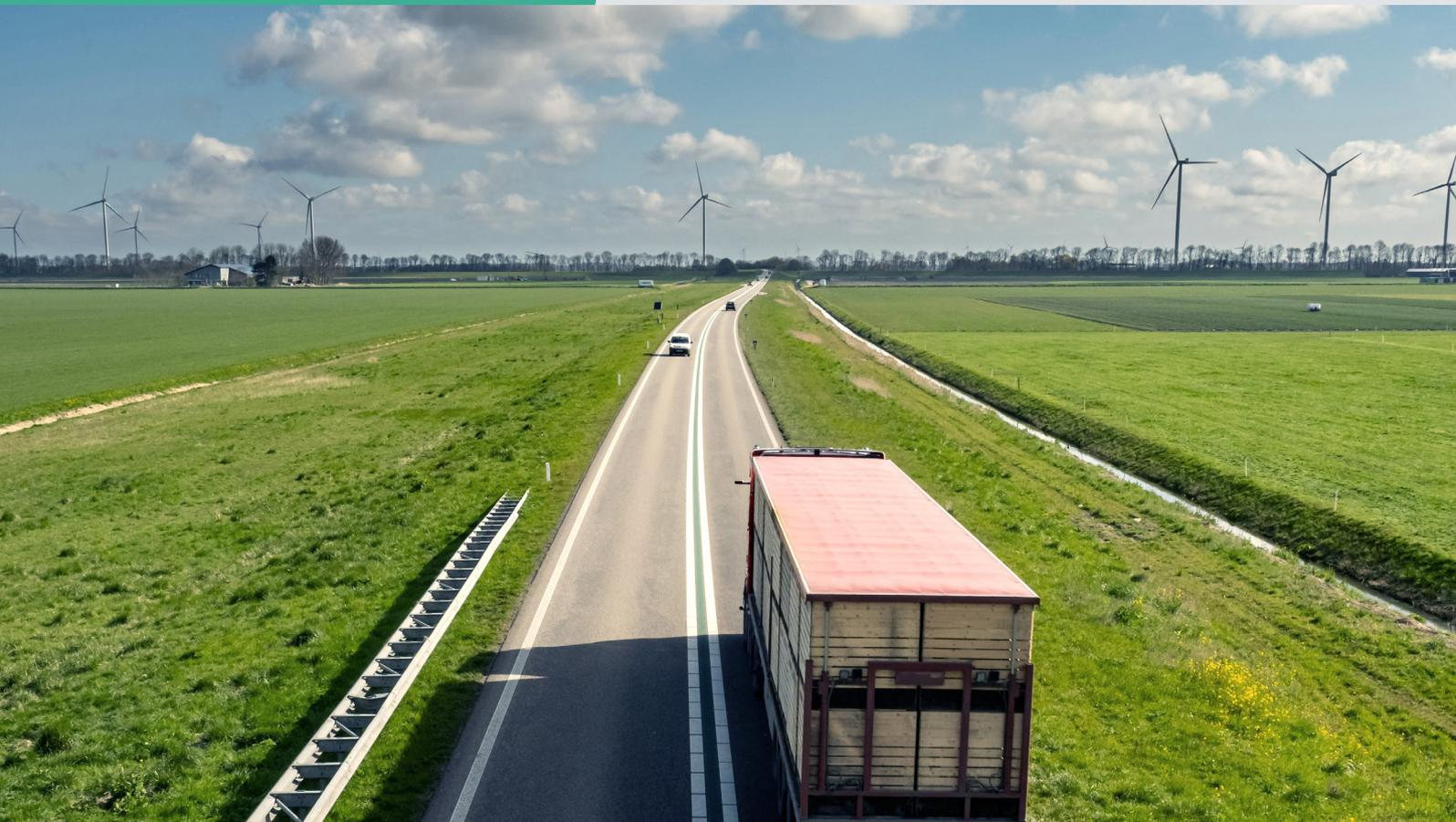
于柴油卡车的减污降碳至关重要，而这需要柴油卡车整车企业以及产业链上游关键零部件生产厂商的共同努力。

第三章

03

发现和建议： 中国卡车行业减污降碳进展及未来路径

发现
建议



发现

绿卡榜研究基于多源数据，对卡车行业能源替代进展、新能源卡车运营与能耗水平、传统燃料卡车减污降碳成效进行了多维度、系统性分析，整体发现卡车行业减污降碳已取得阶段性成效，但距离零排放仍任重道远，具体如下：

新车标准升级与在用车监管加强，有效推动柴油卡车排放水平降低

新车标准升级是柴油卡车污染物源头减排的重要手段。达到排放标准更高的车辆，在用阶段的环保优势同样突出；而国六标准实施后柴油卡车的 NO_x 减排效果比以往更为显著。环保年检数据显示，从国四升级到国五，柴油车的烟度和 NO_x 平均排放浓度分别下降了21.1%、24.7%；从国五升级到国六，柴油车的烟度和 NO_x 平均排放浓度进一步下降了33.3%、55.5%。加强对新车生产和市场销售环节的执法检查将进一步保证排放标准升级的减排效力。

我国建立的在用车全过程排放监管体系，同样有效推动了柴油卡车 NO_x 排放的持续改善。以国五车为例，2021年环保年检中，国五柴油车 NO_x 平均排放浓度分别较2020、2019年下降了11.5%、15.8%；监管压力也传导至卡车生产企业，推动新生产车型减污能力提升，2018年后注册登记的国五柴油卡车 NO_x 排放浓度相对2018年以前注册登记车型下降10%以上。

加严环保年检限值，可助力实现柴油货车污染治理攻坚目标

环保年检限值a对高排放车识别比例较低，难以支撑柴油车进一步减排的需求。加严环保年检限值不仅能够推动车队 NO_x 排放水平持续下降，还可以推动车队结构升级，助力柴油货车攻坚目标。

实施限值b可以推动更高比例的高排放柴油卡车³⁰维护保养和淘汰更新。2021年环保年检数据显示，现阶段限值a可控制的高排放柴油卡车比例不足3%；若实施更严格的限值b，可识别和控制的国四、国五高排放车辆比例达到34.0%和18.5%，这与跟车测试对后处理失效高排放车的识别效力较为一致。超过限值

b的高排放车辆，需要加强维护保养实现达标排放，而多次“维修-复检”仍无法达标的车辆可淘汰更新为更清洁车型。数据表明，限值b下国四、国五 NO_x 超标车辆，如通过维护保养降低至限值b水平，其 NO_x 排放浓度可分别降低9.6%、5.8%；如进一步将国四超标柴油卡车全部淘汰更新为国六车型或纯电动车型，2021年柴油货车 NO_x 排放总量则可减少5.3%-9.7%。这些举措都将进一步助力2025年“ NO_x 总量减排12%”和“新能源、国六车型保有量占比40%”等柴油货车污染治理攻坚目标的更快达成。

天然气重卡 NO_x 排放监管方法不匹配，实际道路 NO_x 排放不可忽视

天然气重卡具有燃料成本低的优势，近年来受到市场青睐，在部分省份的重型牵引车³¹中拥有较高的市场占有率。天然气重卡2021年在重卡保有量中的占比已达到7%，然而其实际道路排放表现却不容乐观。本研究发现，天然气重卡存在实际道路 NO_x 高排放的隐患，而目前仍缺乏有效排放监管手段。

实际道路测试数据显示，采用稀薄燃烧技术路线的国五天然气重卡 NO_x 排放水平较高，甚至比国五柴油重卡高2倍以上；国六天然气重卡采用“当量燃烧+三元催化”技术路线，可有效降低 NO_x 排放，但实际运行中存在私拆、倒卖三元催化器而导致后处理失效后的车辆 NO_x 排放超标严重。

虽然现阶段多地将国五天然气重卡纳入禁行范畴并对国六天然气重卡开展后处理装置的专项检查，但面对天然气重卡 NO_x 排放问题，目前监管体系尚不完善。一方面，70%以上的天然气重卡在环保年检中使用双怠速法进行排放检测，该方法无法准确检测 NO_x 排放。另一方面，国六车型远程OBD排放管理也尚未强制要求天然气重卡安装 NO_x 传感器并上传数据，无法有效监管实际道路 NO_x 排放。未来国家和地方层面需要采用一些先进技术手段，加强对天然气重卡 NO_x 的排放监管。

[30] 高排放车辆指对标环保年检限值污染物检测超标的车辆。

[31] 细分市场名称中的牵引车均指半挂牵引车，全文同。

部分车型领跑行业节能水平，第四阶段油耗限值³²设定或偏保守

燃油卡车在卡车新车销售中的比例仍占 90% 以上³³，在加速能源替代的同时，通过油耗标准升级持续降低新车型油耗水平至关重要。第三阶段油耗标准实施前后，柴油半挂牵引车、载货车和自卸车主要质量段的公告油耗降低了 4%-11.4% 不等。

当前部分车型领跑行业节能水平，已优于征求意见稿中的第四阶段限值，一定程度反映出第四阶段部分限值设定可能偏保守。数据显示，第三阶段限值全面实施后³⁴，占载货车销量一半以上³⁵

的 3.5-4.5 t 载货车公告的车型中，已有 7.1% 的车型油耗低于第四阶段限值，平均比限值低 10% 左右，节能领先车型油耗水平甚至比限值低 25%。这表明，将油耗控制在第四阶段限值以下的节能技术已具备基础且技术可行。本研究认为，新限值的设定或需考虑将“引领、指导车企向行业先进水平看齐”纳入目标，方可更大力度助推柴油卡车降碳。

新能源卡车推广、运营持续向好，技术发展和政策利好是关键助力

新能源卡车已经在市场推广、运营成熟度方面取得阶段性进展。进入“十四五”期后，新能源卡车发展势头迅猛，2022 年我国新能源卡车销量达到 17.2 万辆，相对“十三五”末增长了 4.6 倍，其中，纯电动卡车和氢燃料电池卡车在新能源卡车销量中占比高达 99.2%，分别达到 16.8 万辆、3074 辆，相对“十三五”末增长了 4.5 倍、37.9 倍。在运营方面，纯电动卡车利用率和使用强度均有所提升，且与纯电动卡车相比，氢燃料电池卡车具有显著补能优势，次均充电时长比纯电动卡车低 42.9%-80%，利用率较高。

新能源卡车快速发展的背后，离不开政策和技术的推动。一方面，“十三五”以来我国在购置补贴、开放路权、基础设施建设等方

面出台了多项新能源产业发展支持政策，并明确了“十四五”期物流配送、邮政快递、环卫、冷链运输等细分领域的新能源推广目标，加速各应用场景新能源渗透。以冷藏车为例，新能源车型销量渗透率从“十三五”末的 0.6% 上涨至 2022 年的 5.5%。另一方面，换电技术、快充技术以及氢燃料电池技术的发展缓解了普通充电式重卡的里程焦虑和补能低效等问题，加速了重卡能源转型进程。2020-2022 年间，新能源重卡销量增长了 7.7 倍，渗透率由 0.2% 增长至 7.8%，其中，换电重卡销量从不足 50 辆增长到 1.2 万辆；在示范政策驱动下，氢燃料电池重卡销量也从不足 20 辆增长到 2000 辆。

新能源重卡应用仍存挑战，场景适应性有待继续提升

在换电和氢燃料电池技术的推动下，重卡新能源替代取得突破性进展，但距离规模化应用挑战犹存，其场景适应性仍有待提升，这主要体现在新能源重卡在续驶里程、补能效率等方面，尚不能完全满足重卡运输需求。

分析发现，纯电动重卡日均行驶里程不足 150 km，距离公路货运重型车辆 250 km 以上的日均运距水平仍有差距，侧面反映出当前纯电动重卡在场景上主要用于封闭场景等中短途运输，而在中长途货运、开放场景的应用仍受限；在补能效率方面，快充占

比高达 95% 的重型牵引车次充电时长需半小时以上，尽管补能效率已大幅提升，但仍无法满足部分场景对运输效率的高要求。具有补能优势的氢燃料电池重卡尚处于起步阶段，受基础设施不完善、氢气制取、储存、运输价格均相对较高造成的加氢站氢气门市价格高等因素影响，在运距、行驶时长等指标方面未发挥出技术上的长续航优势。伴随着技术突破、政策推动和基础设施的加快布局，新能源重卡的渗透率和场景适应性有望加速提升。

整车生产企业减污降碳进展参差不齐，排放、能耗、能源转型进程差距显著

在卡车行业减污降碳背景下，整车生产企业应积极承担减排的主体责任，例如在降低车辆 NO_x 排放、提高车辆节能水平、布局新能源转型等方面发挥先锋引领作用。然而，本研究发现整车企业在减污降碳方面的进展差距显著。

从 NO_x 排放来看，以重型牵引车为例，表现最优企业的排放检测达标车辆 NO_x 平均浓度相对表现最差企业低 58.4%。从能耗来看，柴油卡车产品中轻型自卸市场的企业表现差距最大，表现最好的企业油耗水平比行业平均水平低 16.5%；而纯电动卡车产

[32] 第四阶段油耗限值指《重型商用车燃料消耗量限值》国家标准征求意见稿中的限值。

[33] 指进入“十四五”后 2021-2022 年卡车销量中燃油车占比。

[34] 指《重型商用车燃料消耗量限值》（GB 30510-2018）中针对已获得型式批准车型开始实施的时间及以后，即 2021.07.01 及以后。

[35] 指 2019-2022 年平均销量占比。

品中轻型载货车（1.8-3.5 t）市场的企业电耗水平差距最大，节能水平最好的企业比最差企业的电耗低 71.8%。从能源转型进程来看，企业在布局新能源方面进展不一，以企业表现差异显著的

轻型载货和重型牵引市场为例，表现最优企业的新能源产品销售比例已超过 8%，而表现较差的企业新能源产品销售占比甚至不足 1%。

建议

在实现我国“30·60”双碳目标和空气质量全面改善目标的道路上，卡车行业迈向零排放任重道远，需要立足长远，提前部署更有力、更系统的减污降碳协同增效的政策与措施，这一进程需要政府、产业、用户的多方努力。为此，本报告提出如下建议：

实施更严环保年检限值并提升多源数据联合监管能力，助力柴油货车污染治理攻坚

随着车队结构不断优化和在用车监管体系的完善，限值 a 对支撑当前柴油卡车进一步减排的效力有限，有必要尽快实施在用柴油车环保年检限值 b。

报告建议国家层面统筹考虑，分区域、分阶段实施更严格的环保年检限值。此外，各地区根据自身空气质量现状、车辆保有或构成情况等考虑先行实施限值 b，例如 PM_{2.5} 和 O₃ 超标天数较多的城市、机动车保有量超过 500 万辆的城市、卡车保有量前十或国四车型在柴油卡车保有量中占比较高的城市，在充分征求社会意

见和经省级人民政府批准和生态环境部备案后，尽快实施限值 b。

与此同时，建议加强超标排放车辆的闭环监管和路检路查入户检查等监管手段的应用，充分利用环保年检数据、OBD 远程在线监控数据等多源数据的监管能力和治理，推动在线监控数据计量认证标准制定，以加速监控数据的执法应用，部分重点区域和城市可配套国四柴油车淘汰方案与补贴政策，加大新能源卡车购置和运营的优惠力度，发挥政策协同合力效应。

提升天然气卡车排放监管手段效率和能力，加强实际道路 NO_x 排放控制

排放监管手段对天然气卡车的 NO_x 排放监管不足，造成实际道路 NO_x 高排放。在“十四五”货车污染治理攻坚中，建议国家层面研究出台适用于天然气重卡的在用车排放测试方法和评价标准，各地可借鉴柴油货车的监管体系，对天然气卡车建立“天地车人”一体化的监管。

在“天地车人”一体化的监管中，“天”是指提高遥感、跟车等有效大数据监测技术对天然气卡车 NO_x 排放的监管准确性和覆盖率，制定适用于在用天然气卡车的测量标准和排放限值；“地”

是指在环保年检中推动更多天然气卡车采用工况法进行 NO_x 排放检测，并加强对超标车辆的闭环管理；“车”是指要求国六天然气重卡在远程 OBD 排放管理中安装 NO_x 传感器，并实时上传数据；“人”是指通过路检路查、入户检查等方式加强对国六天然气卡车后处理装置的核查。对于山西、宁夏、新疆、内蒙古、陕西等国五、国六天然气重卡占比较高的地区，应尽快出台或完善天然气卡车的专项治理方案，加强天然气卡车 NO_x 排放的技术和数据监管能力，实现全天候、全时段和全过程的监管。

加强标准对技术引领作用，推动燃油卡车大气污染物和温室气体联合管控

卡车行业需要在尾气排放控制技术、节能技术、新能源技术方面不断突破，而加严标准有助于推动技术研发和产业推广应用。因此，国家层面应尽快强化卡车的相关环保标准，推动卡车行业迈向超低排放及零排放。

一方面，加快下一阶段排放标准的研究和准备工作，推动多污染物在全工况下的深度减排，并纳入温室气体排放限值，实现燃油卡车大气污染物和温室气体的联合控制。目前，欧美均设定了面

向 2025 年及更长期的卡车超低排放限值和温室气体减排法规，以 NO_x 排放控制为例，加州设定的 2027 年车型 NO_x 限值严于国六 90% 以上，最新提案的欧七 NO_x 限值严于国六 70% 以上，欧美的研究均表明进一步大幅削减柴油车排放的技术路线是成熟且可行的。在此背景下，我国应尽早制定国七并发布实施时间表，为产业预留合理的布局时间，推动内燃机减排技术进步以及能源转型。

另一方面，下一阶段商用车油耗标准（第四阶段）的限值应加严，推动最佳可行节能技术的快速渗透。建议第四阶段的限值对标领先车型的节能水平，引领和倒逼车企向行业先进水平看齐，同时

加强实际道路油耗的监管，提高测试工况对实际道路状况的真实反映。

技术与靶向施策协同，助力突破新能源卡车“用车”瓶颈

卡车新能源化水平相对乘用车仍然较低，且在市场规模、利用率、使用强度和场景适应性方面存在较大发展空间。建议从以下四方面突破新能源卡车“用车”瓶颈，提高其技术优势和成本优势。

一是完善新能源卡车推广的政策框架，建议政策可从“约束”和“激励”两方面推动新能源卡车的应用，一方面，国家层面可出台商用车积分管理政策，从源头推动生产企业对新能源卡车的投入，此外，各地政府可对重点用车大户和运输大户提出车队清洁化运输的比例和要求，或者设立绿色物流区，从使用端提高新能源卡车的应用比例；另一方面，路权优先、资金补贴等政策可为新能源卡车的应用提供激励，各地政府可基于当地产业规划特征，设计更加精准和差异化的政策，如对新能源重卡减免高速费，加速各个细分领域新能源卡车的渗透。

二是加快基础设施布局，便利新能源卡车的使用。建议各地结合区域道路运输行业发展特点、新能源运输装备发展规划、产业环境等基础条件统筹高效充换电站、加氢站等基础设施的布局和规范。

三是建立具有示范效应的绿色货运廊道，在货运频繁的公路干线建立“绿色廊道”，探索运营模式，开展新能源卡车和零排放技术的试点示范，这不仅有利于先进技术的商业化，也可以形成示范推广作用。

四是持续推进技术研发与创新。需在电池能量密度、节能技术、补能技术等行业关键领域突破创新，增强车主对新能源卡车的产品认可度，以提高新能源卡车的利用率与使用强度。

加强低碳交通与能源协同发展，降低燃料周期碳排放

替代能源的绿色低碳水平决定了其相对传统燃油卡车的碳减排优势大小。以3.5-4.5t载货车市场纯电动车型相对国六柴油车型的燃料周期CO₂减排效益为例，以水电为主的西南电网供电下，减排幅度高达72.1%，但以煤电为主的华北电网供电下，减排幅度仅8.6%。未来随着电力部门脱碳，卡车行业能源转型将获得更高的减排效益，因此卡车行业需与能源行业碳减排协同，以最优能源路径实现卡车行业“双碳”目标。

建议针对不同运输需求，从不同减排路径的技术可行性、经济性和燃料周期减排效果等维度充分评估其减排潜力和适用场景，选择各场景最适宜的能源替代路径。

建议在卡车能源转型的同时，提升可再生能源和清洁能源在电网中的比例，推动绿色低碳能源的生产和供应，降低燃料周期碳排放。我国也应尽快设定低碳燃料标准，引导低碳燃料的开发利用和生产供应。

卡车产业链上下游需共同努力，承担减污降碳主体责任

推动卡车行业减污降碳，不仅需要政策引领和带动，也需要上下游产业主体的共同努力。从车辆生产端来看，不断加码的减污降碳政策之下，研发布局更清洁低碳的产品将成为车企的立命之本，建议车企选装更高效的内燃机，加速超低排放技术、近零排放技术以及节能低碳技术的研发和应用，探索新能源或其它替代燃料技术路径，加大清洁低碳卡车产品布局，制定双碳战略，助力实现“双碳”目标和打好“十四五”污染防治攻坚战。在车辆使用

端，国六、新能源车型占比更高的车队具有更大的环保、运营优势，建议运输企业、用车企业和个体车主优化车队结构，优先选择新能源卡车承担公路运输需求，在新能源卡车无法满足的用车场景优先选择国六车型承担运输，在车辆购置中可以参考绿卡榜2022选购更清洁、低碳、性价比更高的产品，同时运输企业应优化车队管理机制，提升智能化、高效化管理水平，增强绿色竞争力。

04

第四章

研究方法

4.1 研究范围

4.2 数据来源

4.3 研究样本

4.4 研究方法



4.1 研究范围

卡车行业减污降碳需要全产业链的共同努力。绿卡榜研究在连续四年对整车进行分析的基础上，向上游产业链延伸，将柴油卡车的动力系统——柴油机纳入研究范围。因此，本报告研究范围分为整车和动力系统两类。

整车研究对象包含传统燃料卡车和新能源卡车（具体见表 2）。传统燃料卡车的研究聚焦于柴油和天然气卡车，在排放标准方面关注柴油卡车国四、国五、国六车型的表现和天然气卡车国五、国六车型的表现；新能源卡车的研究则聚焦于纯电动和氢燃料电池卡车。

考虑到不同总质量、不同车辆类型的卡车在应用场景、排放表现和燃料经济性等方面存在差异，本研究采取细分市场³⁶（即“质量区间+车辆类型”）作为整车的分析维度。在质量区间划分上，研究根据《道路交通安全法 机动车类型》（GA 802-2019）将车辆划分为微型（GVW ≤ 1800 kg）、轻型（1800 kg < GVW < 4500 kg）、中型（4500 kg ≤ GVW < 12000 kg）、重型（GVW ≥ 12000 kg）。在车辆类型划分上，本研究将载货车³⁷、半挂牵引车、自卸车、冷藏车、邮政车、环卫车 6 类主流车辆类型纳入研究范围，上述车辆类型在 2020-2021 年的销量占本研究关注的传统燃料卡车和新能源卡车总销量的 87% 以上。

表 2 整车研究范围

能源类型	排放标准 (仅针对传统燃料卡车)	质量区间	车辆类型
新能源	纯电动	微型 轻型 中型 重型	载货车 自卸车
	氢燃料电池	中型 重型	半挂牵引车 冷藏车
传统燃料	柴油	国四 国五 国六	邮政车 环卫车
	天然气	国五 国六	重型

动力系统研究对象为国六柴油机，并将细分市场（即“车辆类型+发动机排量区间”）³⁸作为分析维度。本研究将半挂牵引车、载货车两类典型柴油卡车市场中的主流发动机排量区间（市场代

表性详见小节“4.3.3 动力系统样本——柴油发动机”）作为分析范围。动力系统研究范围具体见表 3。

表 3 动力系统研究范围

能源类型	排放标准	车辆类型	排量区间
柴油	国六	半挂牵引车	9-10 L 10-11 L 11-12 L 12-13 L 13-14 L
		载货车	1-2 L 2-3 L

[36] 本报告采用“质量区间+牵引车”的方式对半挂牵引车的细分市场进行命名，全文同。

[37] 本报告中载货车指包含普通载货汽车、厢式运输车和仓栅式运输车在内的车型。

[38] 本报告采用“牵引车+发动机排量区间”的方式对安装在半挂牵引车上的发动机细分市场进行命名，全文同。

4.2 数据来源

本研究分析数据包括环保定期检验（即环保年检）、新车环保信息公开、工信部新车公告油耗、新能源车实际运行监测等数据，均为来自国家环境保护机动车污染控制与模拟重点实验室、地方环保部门、新能源汽车国家监管平台、工信部车辆公告等官方或

公开来源数据，以确保行业分析结果的有效性和榜单结果的客观公正。同时，本研究采用来自清华大学环境学院等学术机构的跟车测试、PEMS和OBD远程在线监控数据进行多源数据一致性校验和行业分析（详见“五、多源数据一致性研究”）。

4.3 研究样本

整车和动力系统分析的基本单元分别为“整车型号”和“整车型号+发动机型号”。对于整车，本研究选取具有一定市场规模的整车型号作为分析的基本单元；对于首次纳入研究的柴油车动力

系统——柴油机，本研究则从典型细分市场入手，选取典型细分市场下所有“整车型号+发动机型号”，作为分析的基本单元。

4.3.1 整车样本——新能源卡车

纯电动卡车

为使本研究结果对市场有良好的代表性，本研究选取2017-2021年累计销量不低于50辆的整车型号或2020年开始销售且在2020-2021年累计销量不低于30辆的整车型号，对于市场集中度较低的环卫车，则选取2017-2021年累计销量不低于30辆或2020年开始销售且在2020-2021年累计销量不低于10辆的整车型号作为纯电动卡车的研究样本，以确保新投入市场且车辆数量初具规模的车型也能纳入研究范围。

针对上述纳入研究的整车型号，对其在新能源汽车国家监管平台上的2021年的运行和电耗数据进行数据质量控制，最终纳入研

究范围的有效数据共553个整车型号，来自75家车企（集团）。这些车型的市场代表性良好，能够覆盖2017-2021年累计销售的94%的纯电动卡车。从区域分布来看，这些车型接入监管平台的车辆来自全国31个省（市、自治区）。从细分市场的分布来看，轻型载货车市场的车型和车辆数量最多，占比分别达到77%和96%。

氢燃料电池卡车

氢燃料电池卡车的推广应用尚处于起步阶段，为全面反映其推广和应用情况，本研究选取2017-2021年间销售的所有整车型号，并对截至2021年在新能源汽车国家监管平台的接入量进行筛选，最终共36个整车型号纳入研究范围，来自14家车企（集团）。这些车型的市场代表性良好，对氢燃料电池卡车在2017-2021

年的累计销量覆盖比例达到94%。从区域分布来看，纳入研究的车辆来自全国12个省（直辖市、自治区）、23个城市。从细分市场来看，纳入研究的氢燃料电池卡车以中型载货车为主，车辆数量占比达到82%。

4.3.2 整车样本——传统燃料卡车

本研究延续多源数据融合的分析方式，对柴油和天然气卡车的减污降碳表现进行研究分析。多源数据包括环保年检数据、OBD

远程在线监控数据、跟车数据、整车 PEMS 测试数据以及工信部公告油耗数据。

柴油卡车

为了让研究结果能够更好的反映货运行业情况，本研究基于 2021 年环保年检初检数据确定柴油卡车的整车型号分析范围。确定原则是选取市场具有一定规模的整车型号，具体如下：

- 国六车：将各细分市场年检车辆数排名前 15-20 以上的生产企业作为主流车企，并将这些车企生产的所有国六整车型号纳入分析。
- 国四和国五车：将各细分市场年检车辆数排名前 100 的整车型号作为主流车型，纳入分析范围。

在车辆样本的选取上，本研究采用随机抽样法，对 2021 年环保年检初检车辆进行抽样，抽样原则如下：

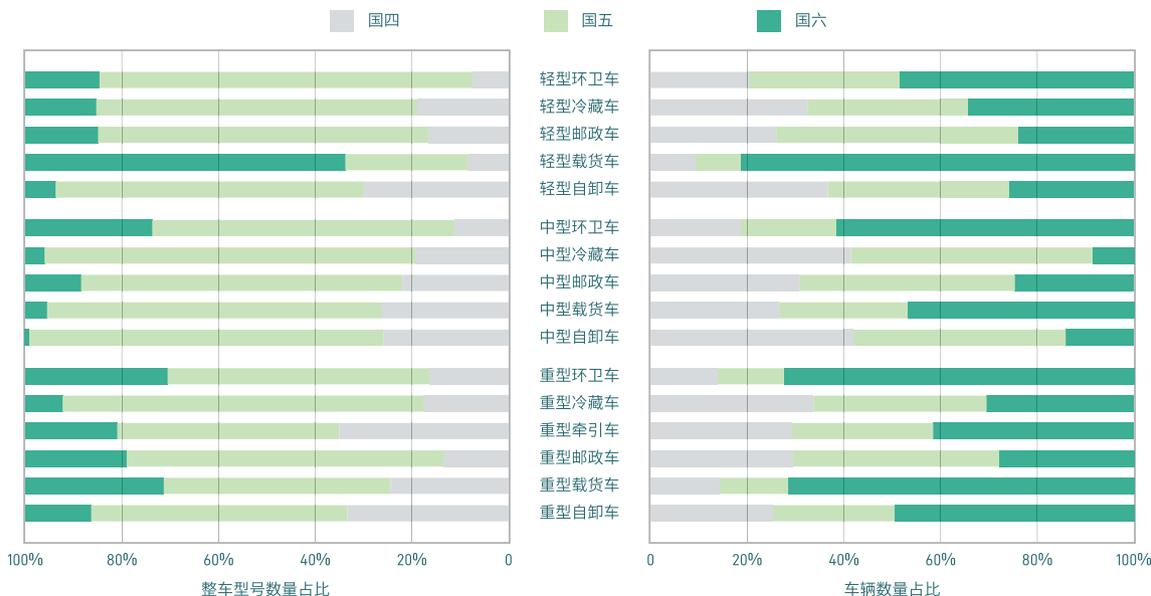
- 国六车：车辆数量在 186 辆以下的整车型号，全部取样；车辆数量在 186 辆及以上的整车型号，随机抽取至少 186 辆；该抽样量确保抽样误差控制在 5% 以内（置信度为 95%）。
- 国四和国五车：车辆数量在 144 辆以下的整车型号，全部取样；车辆数量在 144 辆及以上的整车型号，随机抽取至少

144 辆；该抽样量确保抽样误差控制在 10% 以内（置信度为 90%）。

为了能够让分析结果更能说明车企在环保方面的责任，本研究根据《车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排放控制系统耐久性技术要求》（HJ 438-2008）和《重型柴油车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）》（GB 17691-2018）两项国家标准中的排放控制系统的耐久性要求（或规定的有效寿命期），选取仍在有效寿命范围内的车辆进行分析。

基于以上筛选，最终共 5856 个整车型号的 28 万辆车辆纳入分析，可良好覆盖各排放标准 and 细分市场（具体见图 24）。从年检地来看，这些车辆覆盖 25 个省（直辖市、自治区），能够覆盖我国 2021 年卡车保有量前十省（市）中的八个，以及 2021 年货运量前十省（市）中的九个，研究结果可以较好反映我国货运业实际情况。

图 24 各细分市场整车型号和车辆数量占比



天然气卡车

针对天然气卡车的分析，本研究聚焦于其实际环保表现。分析数据主要来自清华大学环境学院开展的跟车测试，最终纳入分析的数据样本来自 432 辆次国五、国六天然气重卡的跟车测试结果，其中重型牵引车的样本量最大，占比超过 97%。这与天然气重卡市场发展特征一致——重型牵引车是主要的天然气重卡渗透市

场。从存量来看，重型牵引车是天然气卡车保有量最大的市场，2021 年重型牵引车在天然气重卡保有量中占比达到 94.4%；从增量来看，近两年（2020-2021 年）天然气重卡销量中，重型牵引车的占比高达 94.7%。

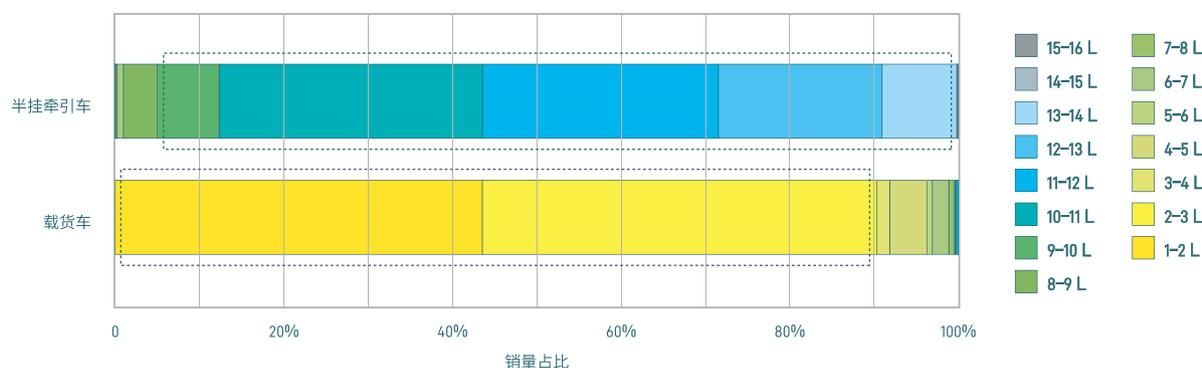
4.3.3 动力系统样本——柴油发动机

为使分析成果能够充分反映目前国六柴油机市场的情况，本研究选取载货车和半挂牵引车两类重要的国六柴油卡车类型，并选取两类卡车中的主流发动机排量区间作为分析范围。最终，国六牵引车市场共 5 个排量区间纳入分析，包括 9-10 L、10-11 L、11-12 L、12-13 L、13-14 L；国六载货车市场共 2 个排放量区间纳入分析，包括 1-2 L 和 2-3 L。如图 25 所示，纳入分析的排量区间对国六半挂牵引车和载货车在 2020-2021 年累计销量市场的覆盖比例超过 90%。

柴油发动机分析的基本单元是“发动机型号 + 整车型号”组合。本研究从增量和存量两个方面考虑，基于销售市场数据和环保年

检数据，将符合研究范围（详见“4.1 研究范围”）的所有“发动机型号 + 整车型号”作为基本分析单元，并对其发动机测试数据和整车测试数据进行质量控制，最终共 1788 个符合国六标准的“整车型号 + 发动机型号”组合的有效测试数据纳入分析，所有整车型号的总质量均在 3500 kg 以上。上述纳入分析的数据样本覆盖了 31 个整车品牌和 17 个柴油机品牌，2021 年多缸柴油机前十企业中八家企业的所有柴油机品牌³⁹均在分析范围之内。

图 25 2020-2021 年载货车和半挂牵引车累计销量中各发动机排量区间（L）的销量占比



[39] 此处参考中国内燃机工业协会统计数据。

4.4 研究方法

4.4.1 纯电动卡车实际道路电耗分析方法

本研究采取工况加权平均百公里电耗计算方式，对纯电动卡车的实际道路运行电耗进行分析。本研究基于车辆实际运行的环境温度区间和行驶速度区间，将纯电动卡车的实际运行工况划分为15个（表4），并参考2021年全国城市气象监测数据和中国汽车行驶工况（GB/T 38146.1-2019和GB/T 38146.2-2019）计算工况权重（纯电动卡车细分市场与中国汽车行驶工况对应具体见表5），最后基于各工况下运行的实际百公里电耗和对应的工况权重计算工况加权平均百公里电耗，计算公式如下：

$$C_poweravg_j = \sum o_poweravg_{i,j} \times o_weight_{i,j}$$

$C_poweravg_j$ ——分析对象j加权平均电耗均值

$o_poweravg_{i,j}$ ——分析对象j在工况i下的电耗均值

$o_weight_{i,j}$ ——分析对象j对应的工况i的权重

表4 纯电动卡车实际道路运行工况划分

温度(°C)	速度(km/h)	≤20	(20,40)	≥40
		≤5	LS-LT	MS-LT
(5,10]		LS-NT1	MS-NT1	HS-NT1
(10,18]		LS-NT2	MS-NT2	HS-NT2
(18,25]		LS-NT3	MS-NT3	HS-NT3
>25		LS-HT	MS-HT	HS-HT

注：LS-低速，MS-普速，HS-高速；LT-低温，NT1-常温偏低，NT2-常温中温，NT3-常温偏高，HT-高温。

表5 纯电动卡车车辆类型与中国汽车行驶工况对应表

纯电动卡车车辆类型	对应的中国汽车行驶工况
载货车 (GVW ≤ 3500 kg)	CLTC-C
载货车 (3500kg < GVW ≤ 5500 kg)	CHTC-LT
载货车 (GVW > 5500 kg)	CHTC-HT
自卸车	CHTC-D
半挂牵引车	CHTC-TT

注：环卫车、冷藏车、邮政车由于存在作业电耗或样本量少而未纳入电耗分析范围，因此表中未呈现3类车辆类型对应的中国汽车行驶工况。

4.4.2 柴油卡车实际道路油耗分析方法

本研究对 OBD 远程在线监控数据的处理分为两部分：首先对 OBD 传输数据字段进行质量控制，然后基于质控后的有效数据计算实际道路油耗。

在质量控制部分，研究主要参考《重型车排放远程监控技术规范 第 3 部分 通讯协议及数据格式》（HJ 1239.3-2021）标准文件中“DPF 和 / 或 SCR 技术的发动机数据流信息数据格式和定义”部分规定的 OBD 数据字段的范围，同时根据专家意见进一步细化 OBD 数据的正常值范围，依此筛选有效数据。

在数据计算部分，报告主要参考《中国汽车行驶工况 第 2 部分：重型商用车辆》（GB/T 38146.2-2019）标准文件，为各车辆

类型分配不同的行驶工况，在工况循环上分别基于 CHTC-LT、CHTC-HT、CHTC-D 和 CHTC-TT 工况曲线，对总质量在 3.5-5.5 t 之间的载货车、5.5 t 以上的载货车、自卸车以及半挂牵引车的运行速度进行分组，并计算基于速度组加权平均的燃油消耗量。

在基于 OBD 数据计算的**实际道路燃油消耗量数据**的分析上，本研究主要参考《重型商用车燃料消耗量限值》（GB 30510-2018），根据各车型的最大设计总质量划分为不同的质量段，并根据各质量段下实际道路油耗分布情况，将位于四分位间距 (IQR) 1.5 倍之内的数据作为后续分析的有效数据。

4.4.3 轻型载货车电动化的环境和成本效益分析方法

WTW-CO₂ 排放

生命周期评价 (Life Cycle Assessment, LCA) 是系统评价一类产品或一项活动从资源开采、生产、运输配送、使用到报废回收阶段等整个燃料周期内环境影响的方法。利用生命周期评价方法，本研究基于纯电动卡车实际道路电耗数据、柴油车实际道路油耗

数据、中国分区域电力生产碳排放强度、以及柴油生产、运输、制造、分配、使用等多个环节的碳排放因子，综合计算了 3.5-4.5 t 载货车市场纯电动车型和国六柴油车型的 WTW-CO₂ 排放。(WTW-CO₂ 排放评价边界具体见图 26)

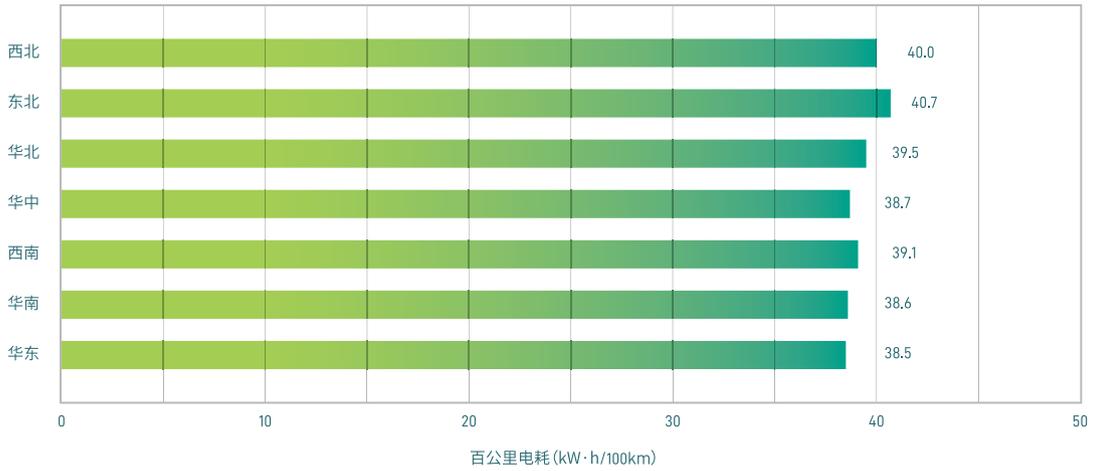
图 26 WTW-CO₂ 排放评价边界



在计算 WTW-CO₂ 过程中，国六柴油车型的实际道路油耗由 OBD 远程在线监控数据计算所得，平均油耗为 12.5 L/100km；纯电动车型的 actual 道路电耗是基于“工况加权法”计算的各区域加权

平均百公里电耗（具体计算方法详见“小节 4.4.1”），如图 27 所示，各区域加权平均电耗为 39.3±8.9 kW·h/100km。

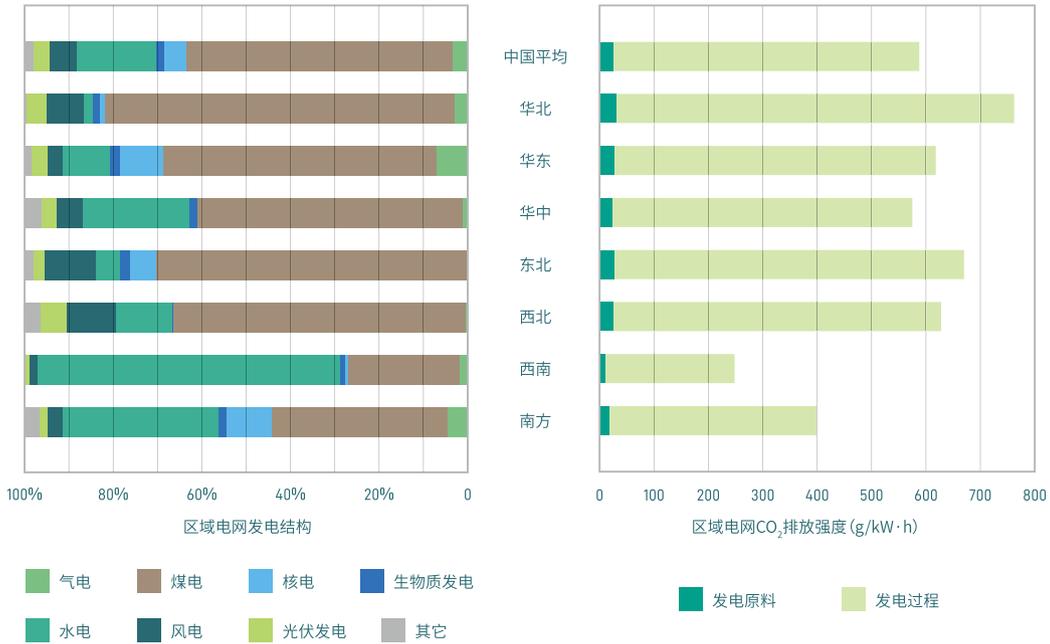
图 27 纯电动载货车（3.5-4.5 t）分区域实际道路电耗水平



电力生产碳排放因子是计算纯电动卡车 WTW-CO₂ 排放的重要参数。考虑到中国不同区域电网发电结构差异较大，本研究首先分析了中国分区域电力生产的碳排放强度，2020 年全国平均碳排放强度为 589 g/kW·h，在不同地区电网结构中，华北电网煤电

占比最高，碳排放强度最大（762 g/kW·h）；西南电网可再生能源发电占比最高，碳排放强度全国最低，为 238 g/kW·h。中国各区域电网的发电结构和 CO₂ 排放因子具体见图 28。

图 28 中国分区域电网发电结构和电力生产过程 CO₂ 排放因子



基于中国分区域电力系统 CO₂ 排放强度和纯电动卡车实际道路电耗数据计算纯电动车型 WTW-CO₂ 排放的公式如下，其中充电效率为 85% (Ke et al., 2016)。

$$CO_{2ET} = \frac{EC_{ET\ fleet} \times EF_{electricity, CO_2}}{100 \times \eta}$$

其中，

CO_{2ET} ——纯电动卡车 WTW-CO₂ 排放，单位为 g/km；

$EC_{ET\ fleet}$ ——纯电动卡车实际道路电耗，单位为 kW·h/100km；

$EF_{electricity, CO_2}$ ——电力生产 CO₂ 排放因子，单位为 g CO₂/kW·h；

η ——充电效率。

基于柴油卡车实际道路油耗和柴油生产、运输、制造、分配、使用等多环节综合 CO₂ 排放因子计算的柴油卡车 WTW-CO₂ 排放的公式如下：

$$CO_{2DT} = 10 \times FC_{DT\ fleet} \times EF_{diesel, CO_2}$$

其中，

CO_{2DT} ——柴油卡车 WTW-CO₂ 排放，单位为 g/km；

$FC_{DT\ fleet}$ ——柴油卡车实际道路油耗，单位为 L/100km；

EF_{diesel, CO_2} ——柴油生产运输、制造、分配环节的 CO₂ 排放因子⁴⁰，单位为 g CO₂/mL。

TCO 计算

总拥有成本 (total cost of ownership, TCO) 是全面衡量卡车全生命周期成本的一种方法，TCO 包括购置成本、燃料成本、保险税费、维护与保养成本等多方面的费用，TCO 计算可以帮助购车者和企业更好地了解使用柴油卡车、纯电动卡车的长期成本。

TCO 评估计算主要考虑了以下四方面的成本：

- 购置成本：包括车辆购买价格、购置税（柴油卡车：应税车辆的计税价格 × 10%；纯电动卡车目前无购置税）、购车补贴。其中，车辆购买价格来自市场数据；
- 燃料成本：由车队年均能源使用量及当地燃料价格计算而得；
- 保险税费：包括过路费、车船税、交通强制险，采用现行税率 / 费率；
- 维护与保养成本：通过文献调研而得 (Forrest et al., 2020; ICCT, 2022)。

综合以上四方面成本，3.5-4.5 t 载货车市场纯电动车型和柴油车型的总拥有成本计算方法如下：

$$TCO_i = \frac{PurCost_i + [a \times (FuelCost_i + ITF_i + M\&R_i)] \times \frac{1-(1-r)^a}{r}}{a \times \overline{VKT}_i}$$

其中，

TCO_i ——卡车 i 的总拥有成本，单位为元 / km；

$PurCost_i$ ——卡车 i 的购置成本，单位为元；

$FuelCost_i$ ——卡车 i 的燃料成本，单位为元；

ITF_i ——卡车 i 的保险税费，单位为元；

$M\&R_i$ ——卡车 i 的维护与保养成本，单位为元；

\overline{VKT}_i ——卡车 i 的年行驶里程，单位为 km；

a ——卡车 i 的使用寿命，10 年；

r ——贴现率，5%。

[40] 来自美国阿贡国家实验室 (Argonne National Laboratory) 开发的 GREET 模型 (The Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation model)，<https://greet.es.anl.gov/files/greet-2021-summary>。

第五章

05

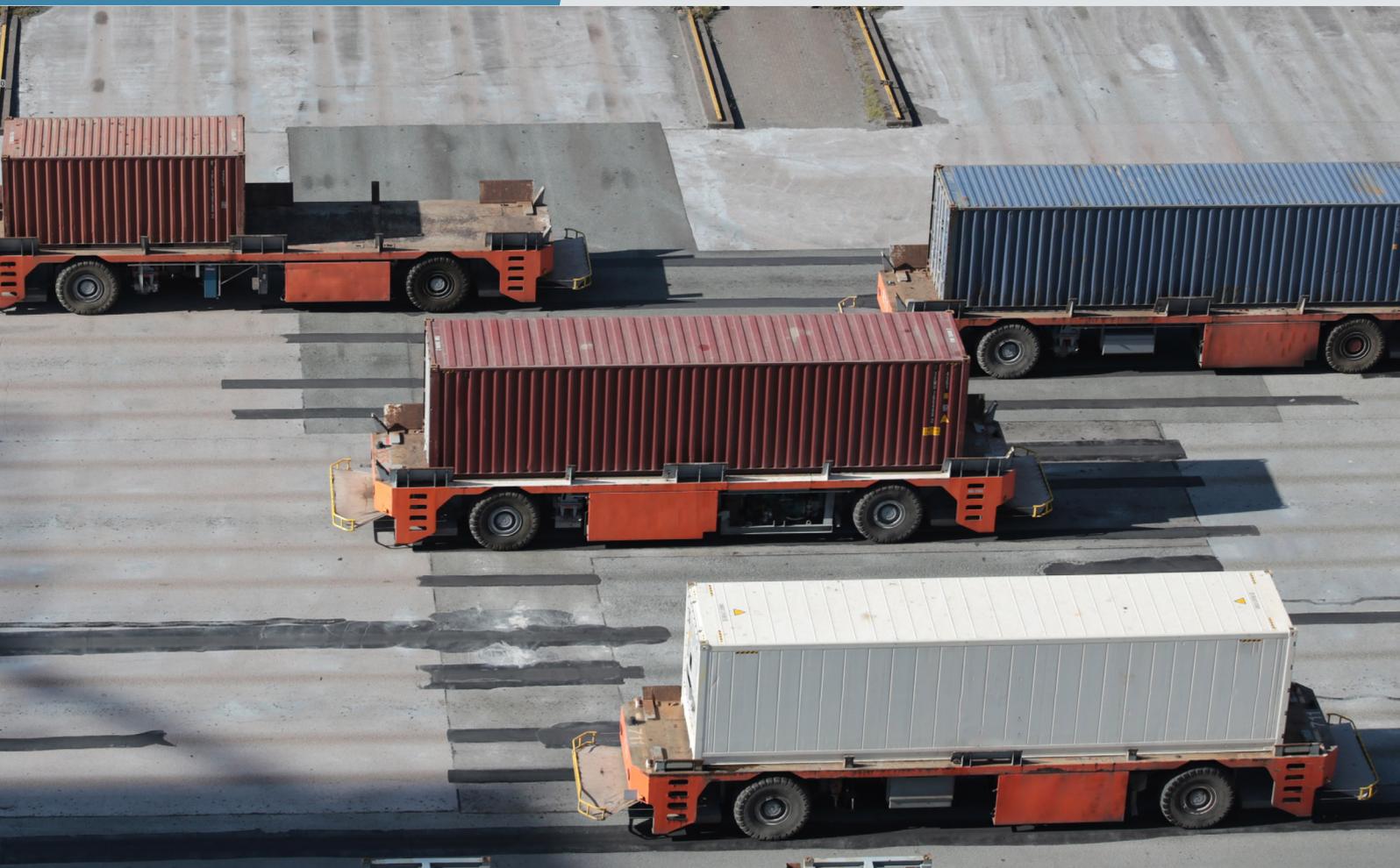
多源数据一致性研究

5.1 校验方法及数据一致性分析

5.2 基于多种实际道路测试的 NO_x 排放规律性趋势校验

5.3 基于跟车测试结果的 NO_x 排放一致性校验

5.4 基于 OBD 远程在线监控数据的油耗水平一致性校验



为确保绿卡榜研究所选用的数据能较好地反映在用卡车实际道路的环保和油耗表现，本研究对比分析了环保年检数据与车载测试（PEMS）、跟车测试和 OBD 远程在线监控等实际道路测试方法的 NO_x 排放数据，同时对比分析了基于 OBD 在线监控的车辆油耗表现和公告油耗水平。研究发现四种排放测试数据在反映行

业排放规律方面具有较好的一致性，年检和跟车测试方法在不同注册登记年份车辆的排放变化趋势、高排放车识别率、生产企业 NO_x 控制水平排名方面一致性较好，此外，细分市场、各类型车辆质量段在公告油耗和实际道路油耗的趋势变化也一致性良好。具体校验方法和分析如下。

5.1 校验方法及数据一致性分析

用于校验年检数据的多种实际道路测试数据样本量如图 29 所示。PEMS 测试共计 933 辆次，以国六车辆为主，数据占比 98%，主要来自新车 PEMS 测试；国五车辆数据则主要来自在用车 PEMS

测试。OBD 和跟车测试数据均来自在用车，其中 OBD 远程在线监控共计 6262 辆次，排放标准以国五（新京五）为主；跟车测试共计 1791 辆次，排放标准以国五为主，国六车辆占比仅 10%。

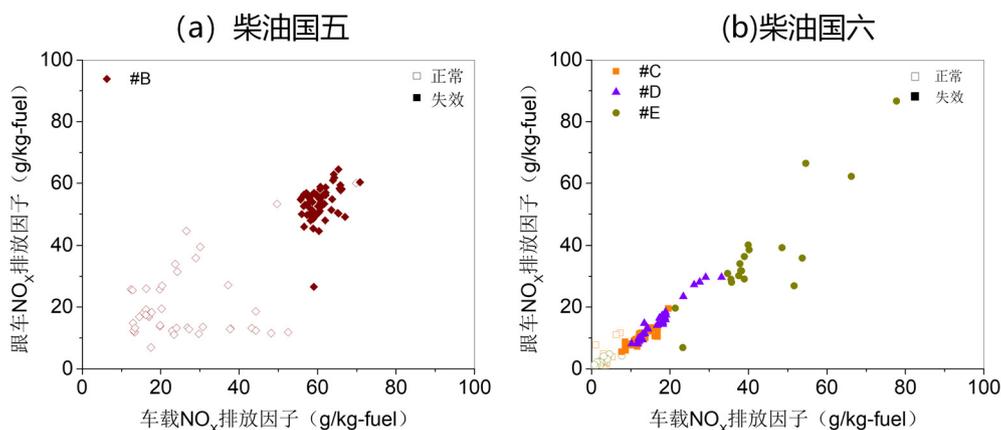
图 29 用于校验的各测试方法数据样本量（左）及排放标准分布（右）



为了评估跟车测试对低排放车（较新的国六车）和高排放车（后处理失效车）的测试效力，研究团队以国六法规 PEMS 测试方法为准，建立了基于“跟车 - PEMS”同步对比测试数据的一致性校验方法。如图 30 所示，跟车和 PEMS 的 NO_x 排放结果较为接近，尤其能够准确区分车辆后处理正常运行与否的排放差别，即可以

反映柴油车排放控制水平差异。例如，跟车和 PEMS 都显示，国六柴油卡车在 SCR 正常工作时的 NO_x 排放不超过 5 g/kg-fuel，而 SCR 失效时 NO_x 排放则比后处理正常工作时超出 1 个数量级。需要说明的是，部分车辆跟车和 PEMS 测试差异较大，主要受测试场侧向横风较大导致尾气被低浓度环境大气快速稀释的影响。

图 30 国五和国六柴油车 NO_x 排放同步对比测试结果



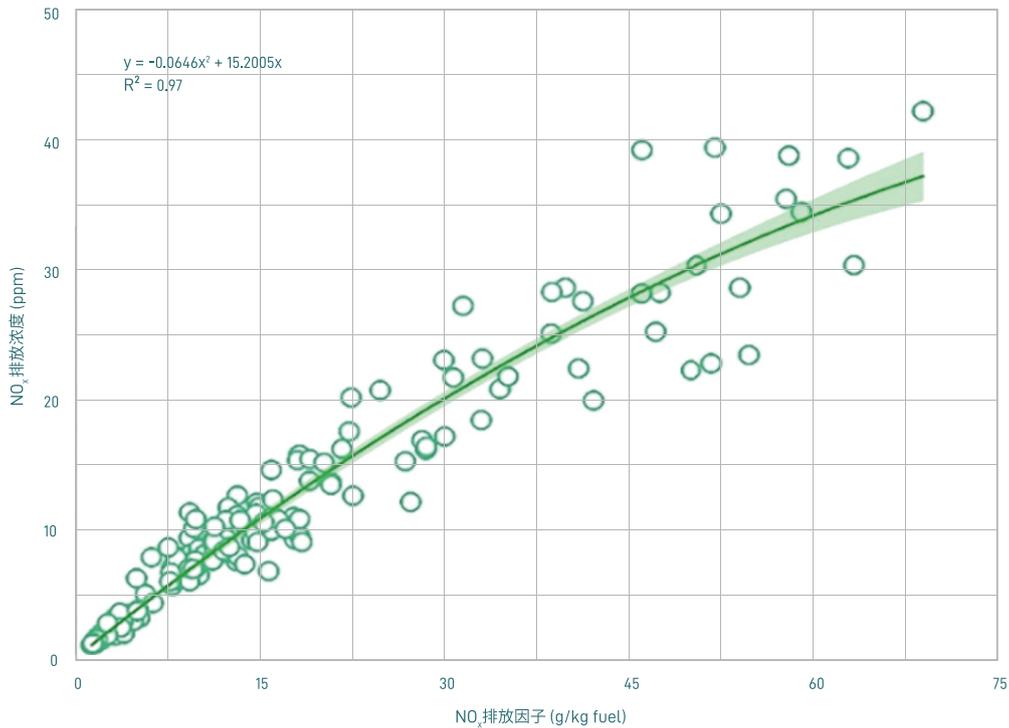
注：图例颜色代表不同车辆。

5.2 基于多种实际道路测试的 NO_x 排放规律性趋势校验

本研究建立了不同实际道路测试数据之间的单位转换关系，进而支持其对年检 NO_x 排放浓度的校验分析。具体方法包括两步，首先基于 PEMS 测试建立了柴油车 NO_x 排放因子 (g/kg-fuel) 和排放浓度 (ppm) 的关系，分析结果显示二者具有很强相关

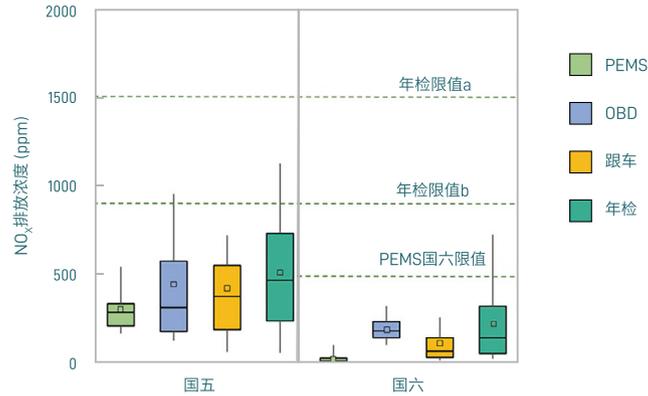
性 ($R^2=0.97$)，其次结合工况图谱特征将跟车排放因子 (g/kg-fuel) 转换为排放浓度 (ppm)，最终，四种排放测试方法的数据单位均统一为排放浓度 (ppm)。PEMS 测试 NO_x 排放因子 (g/kg-fuel) 和排放浓度 (ppm) 的关系具体见图 31。

图 31 PEMS 测试 NO_x 排放因子 (g/kg-fuel) 与排放浓度 (ppm) 的关系



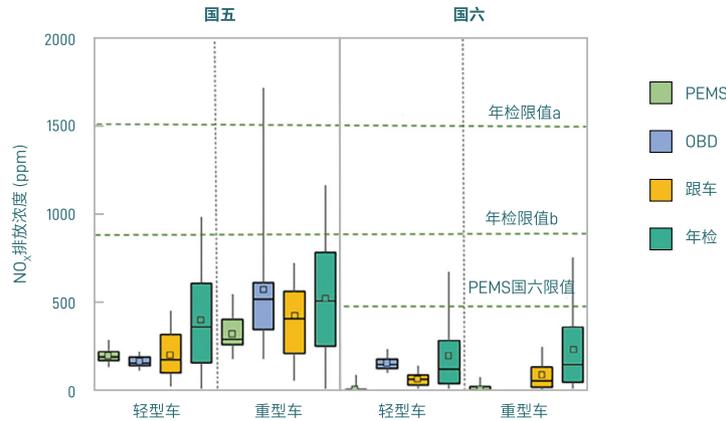
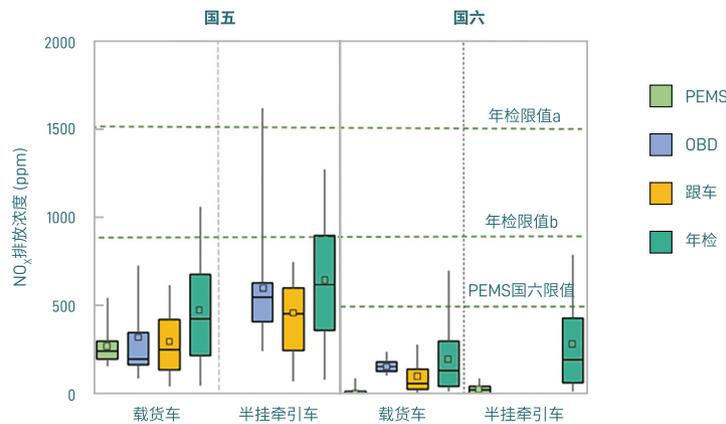
年检测试与 PEMS、远程 OBD、跟车测试在排放标准、车辆总质量和车辆类型等方面的 NO_x 排放规律一致性较好。从排放标准来看，各测试方法均表明国六柴油车 NO_x 排放较国五车明显下降，下降比例在 56%-92% 之间（具体见图 32）。需要说明的是，国六车的 OBD 测试 NO_x 较高但 PEMS 测试 NO_x 较低，这与测试车辆结构有关。其中 OBD 测试车辆包含部分车速较低的城市物流

车或环卫车，低速行驶导致 SCR 后处理工作效率降低，进而使 NO_x 排放浓度升高；而 PEMS 测试车辆则以新车为主，NO_x 平均排放水平相对较低。另外，无论是国五还是国六车型，所有测试方法中年检测试的 NO_x 排放均最高，这有可能与年检测试前车辆通常在怠速状况下等待，SCR 温度较低不利于排放控制有关，而且年检测试负荷较高，也会导致出现较高的 NO_x 测试结果。

图 32 年检测试与 PEMS/ 远程 OBD/ 跟车测试基于排放标准的 NO_x 排放结果

从总质量和车辆类型来看, 各测试方法的 NO_x 排放趋势一致性较好 (具体见图 33 和图 34)。对于国五车型, 重型车 NO_x 排放比轻型车高 61%-246%; 而国六车型两者差异相对较小, 重型车比轻型车高 2%-29%。这可能与后处理技术路线差异有关, 部分国五轻型车采用 EGR 技术, NO_x 排放水平显著低于重型车; 而

国六轻型车和重型车的技术路线相同, 因此排放水平差异较小。从车辆类型来看, 同一排放标准 (国五 / 国六) 的半挂牵引车的 NO_x 排放水平相对载货车高 30%-75%, 这可能与半挂牵引车 SCR 后处理工作效率低导致 NO_x 排放增加有关。

图 33 年检测试与 PEMS/ 远程 OBD/ 跟车测试基于车辆总质量的 NO_x 排放结果图 34 年检测试与 PEMS/ 远程 OBD/ 跟车测试基于车辆类型的 NO_x 排放结果

5.3 基于跟车测试结果的 NO_x 排放一致性校验

5.3.1 企业排名一致性

针对基于环保年检数据筛选的国五和国六柴油卡车整车型号分析范围，研究团队在超过 1 万辆次的跟车测试数据库中筛选测试数据，分析匹配成功的国五和国六车在跟车测试中生产企业的 NO_x 平均排放水平 (g/kg-fuel)，用以校验年检测试中生产企业的 NO_x 平均排放浓度 (ppm)。最终，成功匹配 312 个车辆型号，共计 1791 辆次，其中国五车占比 90%，国六车占比 10%。从车辆类型看，以重型车为主，占比 84%，主要为重型牵引车和重型载货车。

本研究发现年检和跟车测试得到的 NO_x 分企业排放结果具有较好一致性（见图 35）。由于跟车测试国六车样本量不足，因此仅针对国五车企业排名一致性进行分析。结果表明，跟车和年检获得的企业 NO_x 排放具有较好的相关性。通过对两种方法测得的车企 NO_x 排放进行从高到低排名，发现国五年检排放最差的 5 个车企，有 3 个在跟车排放水平中同样最差。

图 35 年检测试与跟车测试国五车辆分企业 NO_x 排放变化趋势

生产企业	年检NO _x (ppm)	跟车NO _x (g/kg-fuel)
A		
B		
C		
D		
E		
F		
G		
H		
I		
J		
K		
L		
M		
N		
O		

注：

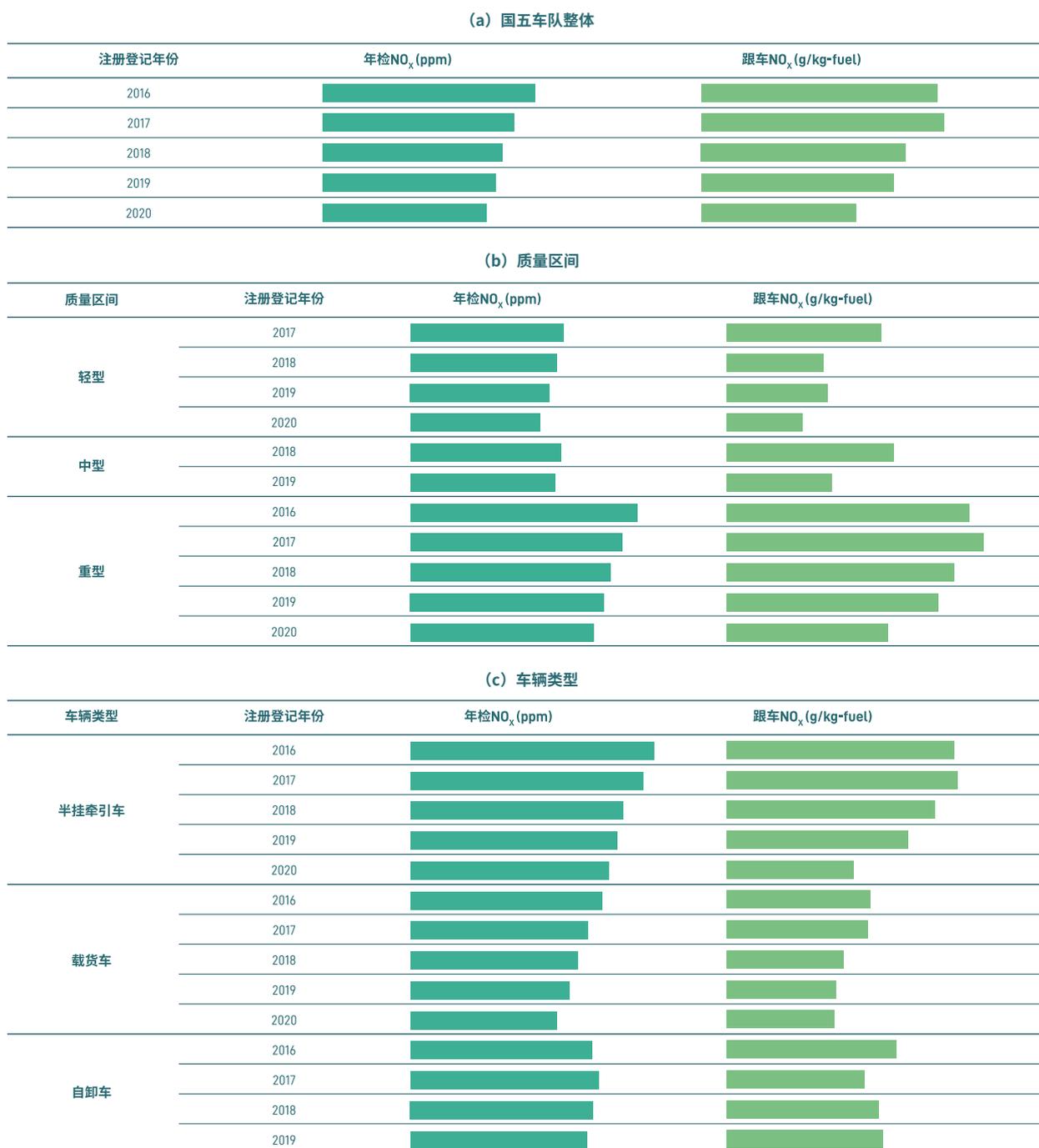
- 1) 年检数据采用的年检排放检测达标车辆的平均结果；
- 2) 跟车数据采用的是样本量不低于 10 辆的车企。

5.3.2 不同生产年份车辆排放趋势一致性

注册登记年份也会影响国五车 NO_x 排放，本研究进一步开展年检和跟车测试关于国五车不同注册登记年份排放变化一致性校验（具体见图 36）。从不同注册登记年份车辆 NO_x 排放变化趋势来看，跟车和年检数据一致性较高，相关系数达 0.9，均呈现出

年份越新， NO_x 排放越低的趋势。以 2020 年和 2017 年生产的国五车跟车测试结果为例，2020 年注册登记车辆 NO_x 排放相对 2017 年下降 37%。从总质量和车辆类型两个角度来看，跟车和年检测试在注册登记年份的排放变化趋势一致性上也保持良好。

图 36 年检和跟车测试分注册登记年份国五车辆 NO_x 排放变化趋势



5.3.3 高排放车识别比例一致性

研究团队进一步分析了年检和跟车在识别高排放车比例方面的一致性（图 37）。跟车和年检数据均表明，生产年份越新的国五车，尤其是 2017 年之后，高排放车比例越低。对于 2020 年生产的

车辆，基于年检限值 b 识别的高排放车比例（即超标比例）与跟车测试基于后处理失效识别验证试验结果一致。

图 37 基于跟车测试和年检识别的不同注册登记年份高排放车比例



注：

1) 年检 NO_x 高排放车判定限值：年检限值 a 为 1500 ppm，年检限值 b 为 900 ppm；

2) 跟车测试高排放车 NO_x 判定阈值：跟车 -10% 为 56.5 g/kg-fuel，根据跟车测试数据库前 10% 高值制定，跟车 -high 为 45.2 g/kg-fuel，即兼顾准确率和效率的后处理失效高排放车 NO_x 判定最优阈值。

5.4 基于 OBD 远程在线监控数据的油耗水平一致性校验

公告油耗和 OBD 油耗具有较强相关性，且在细分市场趋势变化上一致性较好。本研究对比了国六柴油卡车不同细分市场车队公告油耗⁴¹与基于 OBD 远程监控数据计算的实际道路油耗（具体见图 38 和图 39），发现公告油耗和 OBD 油耗具有较强相关性（ $R^2=0.91$ ），大部分车型（64%）均呈现为实际道路油耗相对公告油耗更低，约 36% 的车型实际道路油耗相对公告油耗更高。此外，实际道路油耗和公告油耗在细分市场趋势变化上一致性较

好，其中，3.5-4.5 t 载货车和重型自卸车两个市场实际道路油耗普遍略高于公告油耗水平，其它细分市场的实际道路油耗则相对公告油耗更低，这可能由于车辆实际运行工况与公告油耗测试工况存在较大差异有关。公告油耗测试往往通过模拟加载方式将车辆装载质量设定为最大设计总质量状态，但实际道路行驶中很可能存在超载、半载或空载的情况，导致相对公告油耗偏高或偏低。

图 38 公告油耗 (L/100km) 与实际道路油耗 (L/100km) 的关系

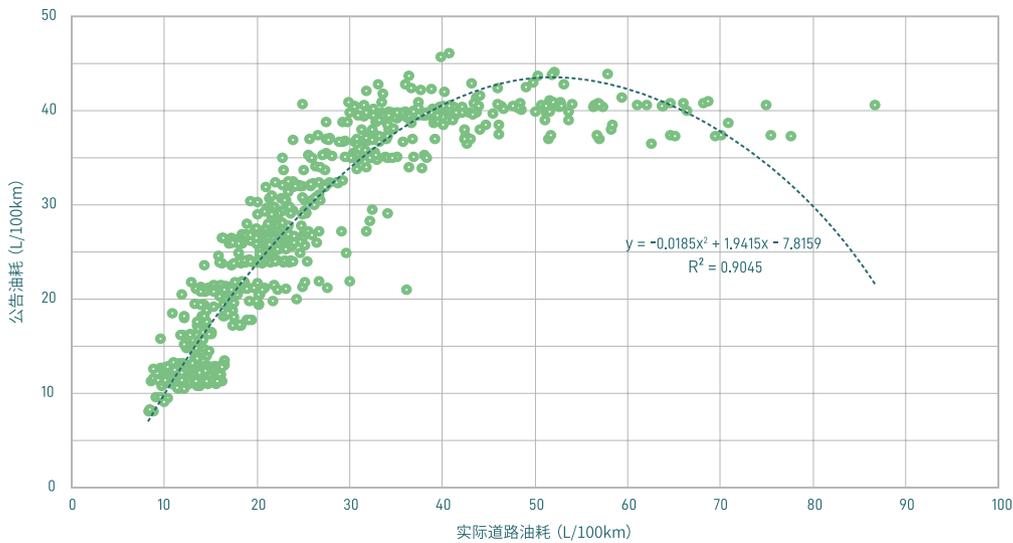
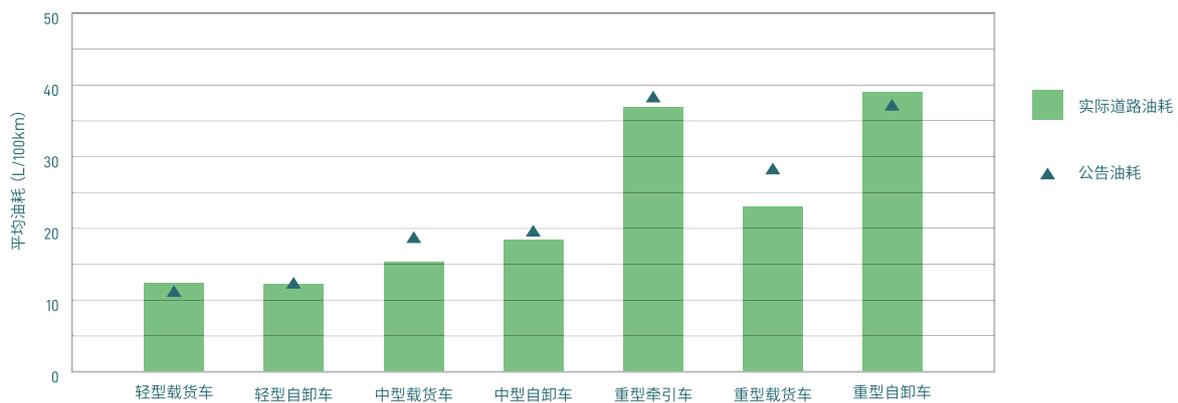


图 39 公告油耗与实际道路油耗在细分市场维度上的趋势对比



注：

- 1) 为保证分析结果具有统计学意义，图中仅呈现整车型号数量超过 3 个且样本量超过 30 的细分市场分析结果。
- 2) 根据本研究质量区间划分和实际纳入分析的车辆总质量，图中的轻型车总质量均在 3.5-4.5 t 之间。

[41] 此处公告油耗指柴油车生产企业公布的各车型油耗，单位是“L/100km”。

参考资料

- Forrest K, Mac Kinnon M, Tarroja B, et al. Estimating the technical feasibility of fuel cell and battery electric vehicles for the medium and heavy duty sectors in California[J]. Applied Energy, 2020, 276: 115439. DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.115439.
- ICCT. (2021). Total Cost of Ownership for Heavy Trucks in China Battery Electric Fuel Cell and Diesel Trucks, <https://theicct.org/publication/total-cost-of-ownership-for-heavy-trucks-in-china-battery-electric-fuel-cell-and-diesel-trucks/>
- Ke W, Zhang S, He X, et al. Well-to-wheels energy consumption and emissions of electric vehicles: Mid-term implications from real-world features and air pollution control progress[J]. Applied Energy, 2017, 188: 367-377. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.12.011.
- Zhang S, Zhao P, He L, et al. On-board monitoring (OBM) for heavy-duty vehicle emissions in China: Regulations, early-stage evaluation and policy recommendations[J]. Science of The Total Environment, 2020, 731: 139045. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139045.
- GA 802-2019. 道路交通管理 机动车类型 . <https://hbba.sacinfo.org.cn/stdDetail/f5b97e669ecd2c6e66110ac554abb6938fe1d92996727162f185eef93ceaea7>
- GB 17691-2018. 重型柴油车污染物排放限值及测量方法 (中国第六阶段) . https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/dqjhjbh/dqdywrwpfbz/201807/t20180703_445995.shtml
- GB 18285-2018. 汽油车污染物排放限值及测量方法 (双怠速法及简易工况法) . https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/dqjhjbh/dqdywrwpfbz/201811/t20181113_673593.shtml
- GB 30510-2018. 重型商用车燃料消耗量限值 . <https://openstd.samr.gov.cn/bz/gk/gb/newGblInfo?hcno=9C036161B1CEAFDA5225B7184A67229B>
- GB 3847-2018. 柴油车污染物排放限值及测量方法 (自由加速法及加载减速度法) . https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/dqjhjbh/dqdywrwpfbz/201811/t20181113_673588.shtml
- GB 9417-88. 汽车产品型号编制规则 . <https://www.antpedia.com/standard/68552-1.html>
- GB/T 17350-2009. 专用汽车和专用挂车术语、代号和编制方法 . <https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=E116673E1091A3B7E05397BE0A0AC6BF>
- GB/T 38146.1-2019. 中国汽车行驶工况 第 1 部分: 轻型汽车 . <https://openstd.samr.gov.cn/bz/gk/gb/newGblInfo?hcno=83CCA04B91B9B5FC6F19BD54E23320B7>
- GB/T 38146.2-2019. 中国汽车行驶工况 第 2 部分: 重型商用车辆 . <https://openstd.samr.gov.cn/bz/gk/gb/newGblInfo?hcno=4C7F76459A8B840AEFB2B16B33C397D>
- GB/T 40712-2021. 多用途货车通用技术条件 . <https://openstd.samr.gov.cn/bz/gk/gb/newGblInfo?hcno=75237498B56D9944A4F68C7E73AE34A2>
- HJ 1239.1-2021. 重型车排放远程监控技术规范 第一部分 车载终端 . https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/other/hjbhgc/202201/t20220119_967608.shtml
- HJ 1239.3-2021. 重型车排放远程监控技术规范 第 3 部分 通讯协议及数据格式 . https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/other/hjbhgc/202201/t20220119_967611.shtml
- HJ 438-2008. 车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排放控制系统耐久性技术要求 . https://www.mee.gov.cn/ywgz/fgbz/bz/bzwb/dqjhjbh/xgbz/200806/t20080626_124570.shtml
- 北京市人民政府办公厅 . (2022). 关于印发《北京市深入打好污染防治攻坚战 2022 年行动计划》的通知 . https://www.beijing.gov.cn/zhengce/zhengcefagui/202203/t20220302_2620215.html
- 北京市生态环境局 . (2021). 2021 北京市生态环境状况公报 . <http://sthjj.beijing.gov.cn/bjhrb/index/xxgk69/sthjlyzwg/1718880/1718881/1718882/325831146/index.html>
- 北汽集团 . (2022). 北汽集团发布“BLUE 卫蓝计划”: 2050 年实现产品全面脱碳 . <https://www.baicgroup.com.cn/activities/25.46.html>
- 第一专用车网 . (2019). 公安部: 载货车保有量达 2694 万辆 . <https://www.chinaspv.com.cn/news/2019/40611.html>
- 工业和信息化部 . (2022). 《重型商用车燃料消耗量限值》国家标准征求意见稿 见稿编制说明 . https://www.miit.gov.cn/jgsj/zbys/qcgy/art/2022/art_c1878e9460a74860a37bd3964436116d.html
- 国家统计局 . (2021). 《中国能源统计年鉴》 . <https://data.cnki.net/yearBook/single?id=N2022060061>
- 国家统计局 . (2023). 中华人民共和国 2022 年国民经济和社会发展统计公报 . http://www.gov.cn/xinwen/2023-02/28/content_5743623.htm
- 国家统计局 . 分行业柴油消费总量 . <https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01&zb=A070L&sj=2022>
- 杭州市生态环境局 . (2020). 关于实施车载排放诊断系统 (OBD) 在线接入重型柴油车免于上线排放检验的通告 . http://epb.hangzhou.gov.cn/art/2020/4/13/art_1692296_42563678.html
- 河南省人民政府 . (2020). 重污染天气管控期间移动污染源管控措施告知书 . <https://www.henan.gov.cn/2020/11-20/1906458.html>
- 华经情报网 . (2021). 2020 年中国车用尿素市场现状与竞争格局分析, 市场需求再上新台阶 . <https://www.huaon.com/channel/trend/760709.html>
- 黄志辉, 纪亮, 尹洁等 . (2022). 中国道路交通二氧化碳排放达峰路径研究 [J]. 环境科学研究

- 加州空气资源委员会 . (2020a) . Proposed Amendments to the Exhaust Emissions Standards and Test Procedures for 2024 and Subsequent Model Year Heavy-Duty Engines and Vehicles, Heavy-Duty On-Board Diagnostic System Requirements, Heavy-Duty In-Use Testing Program, Emissions Warranty Period and Useful Life Requirements, Emissions Warranty Information and Reporting Requirements, and Corrective Action Procedures, In-Use Emissions Data Reporting Requirements, and Phase 2 Heavy-Duty Greenhouse Gas Regulations, and Powertrain Test Procedures. <https://ww2.arb.ca.gov/rulemaking/2020/hdomnibuslowNOX>
- 加州空气资源委员会 . (2020b) . Advanced Clean Trucks Regulation. <https://ww2.arb.ca.gov/rulemaking/2019/advancedcleantucks>
- 卡车之友网 . (2023) . 燃油车与新能源车双重夹击, 天然气重卡有未来吗? <https://chejiahao.m.autohome.com.cn/pingan/chejiahao/detailinfo/12174857>
- 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
- 欧盟委员会 . (2022) . Proposal for a Regulation of the European Parliament and the Council on type-approval of motor vehicles and engines and of systems, components and separate technical units intended for such vehicles, with respect to their emissions and battery durability (Euro 7) and repealing Regulations (EC) No 715/2007 and (EC) No 595/2009. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52022SC0359&qid=1681115827200>
- 欧盟议会和理事会 . (2019a) . (EU) 2019/1242. Setting CO₂ emission performance standards for new heavy-duty vehicles and amending Regulations (EC) No 595/2009 and (EU) 2018/956 of the European Parliament and of the Council and Council Directive 96/53/EC. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019R1242&qid=1681115775770>
- 欧盟议会和理事会 . (2019b) . (EU) 2019/631. Setting CO₂ emission performance standards for new passenger cars and for new light commercial vehicles, and repealing Regulations (EC) No 443/2009 and (EU) No 510/2011. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32019R0631>
- 人民政协报 . (2020) . 实现碳达峰、碳中和, 面临哪些挑战. <http://www.cppcc.gov.cn/zxww/2020/12/22/ART11608605549528393.shtml>
- 山东省生态环境厅 . (2022) . 山东省机动车排气污染防治条例 (2022 年修正) . http://www.shandong.gov.cn/art/2022/11/4/art_98722_10312433.html
- 山东省生态环境委员会 . (2021) . 关于印发《山东省新一轮“四减四增”三年行动方案 (2021—2023 年) 》的通知. http://xxgk.sdein.gov.cn/zfwj/lhwb_39429/202111/t20211105_3766951.html
- 陕西省人民政府 . (2022) . 陕西省人民政府办公厅关于印发蓝天碧水净土保卫战 2022 年工作方案的. http://www.shaanxi.gov.cn/zfxgk/fdzdgnr/zcwj/szfbgtwj/szbf/202204/t20220414_2217384.html
- 陕西省人民政府办公厅 . (2022) . 关于印发蓝天碧水净土保卫战 2022 年工作方案的. http://www.shaanxi.gov.cn/zfxgk/fdzdgnr/zcwj/szfbgtwj/szbf/202204/t20220414_2217384.html
- 上海汽车报 . (2021) . 上汽力争 2025 年前实现碳达峰. <http://epaper.shautonews.com/content/2021-09/19/010952.html>
- 上海市人民政府 . (2022) . 关于深入打好污染防治攻坚战 迈向建设美丽上海新征程的实施意见. <https://www.shanghai.gov.cn/nw12344/20221010/d5b793bf920d4fa3aaddc8d233a015b7.html>
- 上海市生态环境局 . (2022) . 关于实施污染物排放远程在线监控重型柴油车免于排放检验的通告. <https://sthj.sh.gov.cn/hbzhywpt2022/20221129/f3404c978f714edab90098e2c50bcc.html>
- 生态环境部 . (2020) . 《中国移动源环境管理年报 (2020 年) 》. <https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/ydyhjgl/202008/P020200811521365906550.pdf>
- 生态环境部 . (2021) . 关于印发《2021-2022 年秋冬季大气污染综合治理攻坚方案》的通知. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202110/t20211029_958394.html
- 生态环境部 . (2022) . 《中国移动源环境管理年报 (2022 年) 》. https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/ydyhjgl/202212/t20221207_1007111.shtml
- 腾讯网 . (2021) . “丢失”了三元催化器的“国六”天然气重卡. <https://new.qq.com/rain/a/20210607A09OR100>
- 新华网 . (2021) . 竺延风: 推进实现“双碳”目标, 要稳中求进、统筹兼顾. http://www.news.cn/fortune/2021-09/04/c_1127827771.htm
- 新能源汽车国家大数据联盟 . 中国新能源汽车大数据研究报告 (2022) [M]. 机械工业出版社 .
- 王慧 . 基于跟车测试的重型车氮氧化物和黑碳排放特征研究 [D]. 北京: 清华大学, 2022
- 亚洲清洁空气中心 . (2022) . 《2020 绿卡榜: 中国卡车及生产商绿色排行榜》. <http://allaboutair.cn/a/reports/2022/0526/642.html>
- 浙江省商务厅 . (2022) . 关于进一步搞活汽车流通扩大汽车消费的通知. https://zcom.zj.gov.cn/art/2022/9/21/art_1229268085_2424582.html
- 中华人民共和国中央人民政府 . (2021) . 今年上半年新注册登记机动车 1871 万辆. http://www.gov.cn/xinwen/2021-07/08/content_5623247.htm
- 中国能源报 . (2022) . 氢燃料电池汽车推广“后劲不足”. http://paper.people.com.cn/zgnyb/html/2022-06/27/content_25925833.htm
- 中国汽车报 . (2021) . 选国五还是国六车, 用户各执一词, 卡车司机为何如此纠结? <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1712088963504426641>
- 中交兴路 . (2021) . 中国公路货运运行大数据分析报告 (2021) . <https://www.sinoiov.com/news/official/330.html>
- 仲崇智, 高杰, 张立雄 . 重型车车用尿素供应体系研究 [J]. 天津科技, 2014
- 周和平 . “国六”标准提前实施 车用尿素迎来新机遇 [J]. 中国石油和化工, 2019
- 自主汽车 . (2021) . 国六重卡排放大? 你没听错, 它们的三元催化正被欲望慢慢拆下. <https://www.163.com/dy/article/GDJ2SJJ9052787R8.html>



清华大学环境学院
SCHOOL OF ENVIRONMENT, TSINGHUA UNIVERSITY



绿卡榜网站: www.lvkabang.cn

联系我们

绿卡榜微信小程序:

地址: 北京市朝阳区秀水街1号建国门外外交公寓3-41, 100600

电话 / 传真: +86 10 8532 6172

邮箱: greentruck@cleanairasia.org

