

执行摘要

EXECUTIVE SUMMARY

中国重型货运部门减油路径评估

COMPREHENSIVE EVALUATION AND PROMOTION
RECOMMENDATIONS FOR ASSESSMENT OF CHINA'S
HEAVY-DUTY FREIGHT SECTOR PATHWAYS FOR OIL REDUCTIONS

劳伦斯伯克利国家实验室

Lawrence Berkeley National Laboratory



中国石油消费总量控制和政策研究项目 (油控研究项目)

中国是世界第二大石油消费国和第一大石油进口国。石油是中国社会经济发展的重要动力，但石油的生产和消费对生态环境造成了严重破坏；同时，石油对外依存度上升也威胁着中国的能源供应安全。为应对气候变化和减少环境污染，自然资源保护协会（NRDC）和能源基金会中国（EF China）作为协调单位，与国内外政府研究智库、科研院所和行业协会等十余家有影响力的单位合作，于2018年1月共同启动了“中国石油消费总量控制和政策研究”项目（简称油控研究项目），促进石油资源安全、高效、绿色、低碳的可持续开发和利用，助力中国跨越“石油时代”，早日进入新能源时代，为保障能源安全、节约资源、保护环境和公众健康以及应对气候变化等多重目标做出贡献。



自然资源保护协会（NRDC）是一家国际公益环保组织，拥有约300万会员及支持者。NRDC致力于保护地球环境，即保护人类、动植物以及所有生灵所倚赖的生态系统。自1970年成立以来，我们的环境律师、科学家和专家一直在为公众享有清洁的水和空气以及健康的社区而努力。通过在科学、经济和政策方面的专业知识，我们在亚洲、欧洲、拉美和北美等地区与当地合作伙伴一起共同推进环境的综合治理与改善。请登录网站了解更多详情 www.nrdc.cn

本报告是油控研究项目的子课题之一，由劳伦斯伯克利国家实验室撰写。



劳伦斯伯克利国家实验室（LBNL）是一家隶属于美国能源部的国家实验室，由加州大学负责管理和经营。劳伦斯伯克利实验室成立于1931年，主要从事各种科学学科的非机密研究。其能源技术团队（ETA）致力于将基础科学发现转化为能源技术创新和部署，以及为政策制定提供经济分析和数据驱动政策分析。LBNL的研究着实力足于改变世界，拥有13个科学家及组织获得诺贝尔奖、15项国家科学奖章获得者和1项国家技术和创新奖章获得者。

系列报告

- 《中国汽车全面电动化时间表的综合评估及推进建议(2.0版)》
- 《中国传统燃油汽车退出进度研究与环境效益评估》
- 《中国城市公共领域燃油汽车退出时间表与路径研究》
- 《中国重型货运部门减油路径评估》
- 《中国石油消费总量达峰与控制方案研究》
- 《中国石油消费情景研究(2015-2050)》
- 《国际石油消费趋势与政策回顾》
- 《中国石油消费总量控制的财税政策研究》
- 《中国石油消费总量控制体制机制改革研究》
- 《油控情景下杭州市碳减排路径研究》
- 《中国石油真实成本研究》
- 《石油开采利用的水资源外部成本研究》
- 《中国石油消费总量控制的健康效应分析》
- 《中国传统燃油汽车退出时间表研究》

下载以上报告请登录 NRDC 官方网站
www.nrdc.cn 或扫描右方二维码





油控研究项目系列报告

中国重型货运部门减油路径评估

COMPREHENSIVE EVALUATION AND PROMOTION RECOMMENDATIONS FOR ASSESSMENT OF CHINA'S
HEAVY-DUTY FREIGHT SECTOR PATHWAYS FOR OIL REDUCTIONS

执行摘要

EXECUTIVE SUMMARY

郑昕 鲁虹佑 范德维 周南

劳伦斯伯克利国家实验室

Lawrence Berkeley National Laboratory

2020年06月



为何关注重型卡车

重型卡车（即“重卡”）在车辆保有量中的占比小，但其带来的环境影响占比却很高。在全球范围内，重卡的数量约占所有车辆的 10%，但其碳排放却占交通运输部门的 40%（Moultak, Marissa; Lutsey, Nic; Hall, 2017）。此外，据估计，重卡占公路货运活动的 70%，占有卡车（轻型、中性、和重型卡车）能耗的一半（IEA, 2017）。

与通常用于区域运输路线的中型卡车和用于小规模“最后一公里”交付的轻型卡车不同，重卡通常用于长距离货运，并需要较长的作业时间。按每公里计算，重卡能耗较高的一个主要原因是，与中型和轻型卡车相比，其能源效率要低得多；并且，由于行驶周期和有效载荷的差异，车辆技术效率和实际能耗存在显著差异。受这些因素的影响，重卡的能耗预计将在全球范围内持续增长，尤其是在中国这样的快速发展经济体中。

新能源重卡技术目前也存在明显的技术挑战。为了缓解重卡带来的环境影响，货运重卡已经成为目前降低交通部门石油消耗和排放的重点关注领域。

国际纯电重卡的发展情况

全球来说，从 2016 年开始，跨国汽车制造商和初创企业都开始研发纯电重卡的原型车。预计到 2021 年会有 10 个型号的纯电重卡开始进行商用。如表 ES-1 所示，这些制造商和初创公司主要包括来自美国和欧洲的老牌跨国制造商，如特斯拉（Tesla）、福莱纳（Freightliner）、沃尔沃（Volvo）、戴姆勒（Daimler）、雷诺（Renault）和来自中国的比亚迪（BYD），以及美国初创企业托尔（Thor）和尼古拉（Nikola）、荷兰初创企业 Emoss 和加拿大初创企业 Lion。

表 ES-1. 重型纯电动卡车产量预期

制造商	型号	行驶里程 (英里)	电池容量 (kWh)	等级 (或已知的车重)	首次 示范	开始 生产
Eforce	EF18 SZM, EV26	310	630	8 级	2016	2017
托尔 Thor	ET-One	300	800	8 级 (牵引车)	2016	2017
沃尔沃 Volvo	FL Electric	186	300	8 级 (牵引车)		2019
沃尔沃 Volvo	FE Electric	125	300	27 吨		2019
比亚迪 BYD	T9	167	435	8 级 (牵引车)		2018
EEmoss	EMS 18 系列	155	240	8 级 (牵引车)	2017	2018
特斯拉 Tesla	Semi	550	1000	8 级 (牵引车)	2018	2020
尼古拉 Nikola	Two	400	1000	8 级 (牵引车)	2019	
福莱纳 Freightliner	eCascadia	250	550	8 级 (牵引车)	2018	2021
Lion	Lion8	250	480	8 级	2018	2020
沃尔沃 Volvo	VNR	124	300	8 级	2019	2020
戴姆勒 Daimler Trucks	eActros	125	240	26 吨		2021
雷诺 Renault Trucks	D Z.E.	186	300	16 吨		2019
雷诺 Renault Trucks	D Wide Z.E.	125	200	26 吨		2019

资料来源: Hall & Lutsey, 2019; Rodriguez, 2019

纯电重卡的主要发展障碍包括: 尚缺乏满足重卡性能要求的电池技术, 尚未完全满足车辆货物重量和容量的要求, 规模经济发展有限, 满足长途旅行需求的电功率范围有限, 充电时间较长, 以及缺乏充电基础设施。

与轻型汽车一样, 目前大多数电动卡车型号都使用锂离子电池。但是, 与早已进入推广阶段的纯电乘用车和轻型汽车不同, 由于长途运输的物理特性和运行特征, 重卡的电动化面临特殊的技术挑战, 包括车辆重量更重、车辆体积更大、运行情况更艰辛、行驶距离更长, 以及操作时间更长。这些限定性的特征反过来要求电池具有更高的能量密度、更高的比功率、更大的耐久性和放电周期, 并满足温度管理要求和安全性 (IEA, 2017)。因此, 目前在示范的纯电重卡汽车采用的仍是处于研发阶段的电池技术, 而纯电重卡的规模生产和推广的时间尚不确定。重卡部门的某些具体车种, 运行距离较短 (如在港口附近运营的运货卡车和在城市中运营的垃圾车), 可能在近期内更适合优先采用



电动化技术。

研究发现，电池成本在 2007 年到 2019 年间快速下降，每年降低 16%，到 2019 年锂电池行业平均价格降到每千瓦时 161 美元（Kapoor et al., 2020）。对较小的电动车应用而言，中国电池制造商宁德时代正在开发不含钴的电池，预计价格在每千瓦时 80 美元；不过，生产的规模以及这种电池的技术应用路线是否可行尚不明确（Schmidt, 2020）。随着生产规模的扩大以及规模经济，行业预期电池成本将持续大幅下降，重卡的电池成本到 2030 年将下降到每千瓦时 100 美元左右的范围。

然而，重卡未来的电池成本还需要考虑到其他技术应用对电池的需求。具体来说，电池的成本将取决于锂、钴、硫酸镍、铜、铝和石墨等原材料的投入。但由于其他技术应用的需求不断增长（如电网存储和纯电乘用车的推广对电池的需求），电池原材料的供应链可能会随着时间发生变化，以支持可再生能源的使用和轻型纯电汽车的部署。预计未来，电网存储和可再生能源应用对电池会有更大的需求，如果电池面临原材料的限制，可能会影响未来的电池价格。

在解决电池里程范围有限和充电时间缓慢的技术挑战方面，最近，一些制造商和初创企业取得了一些进展。最新的纯电重卡示范技术（如尼古拉公司的 Nikola Two 和特斯拉公司的 Tesla Semi 重卡汽车）已实现续航里程 400 至 550 英里（644 至 885 公里）（Hall&Lutsey, 2019; Rodriguez, 2019）。也有迹象表明，特斯拉公司正在为其纯电重卡牵引车（牵引车车型为 Semi）进行 30 分钟快速充电示范，充电速度为 2C，这可能为卡车提供长达 4-6 个小时的行驶时间（Phadke et al., 2019）。

国际燃料电池重卡的发展情况

氢燃料电池卡车是一种纯电汽车，它使用储存在压力罐里的氢，并通过车上配备的燃料电池，将氢转化为电能从而进行车载发电。相比于最大效率为 37-39% 的柴油发动机，燃料电池组的效率可以达到 50% 以上（Moultak, Marissa; Lutsey, Nic; Hall, 2017）。

燃料电池重卡使用的氢气是通过“甲烷转化”工艺从天然气中产生，或通过电解从电力中产生。未来，理想状态下是利用多余的可再生能源，通过电解的方式来制氢。

加氢站通常与加油站设置于同一位置，轻型的燃料电池乘用车最快可在 5 分钟内完成加氢（DOE, 2019）。加氢站的规模决定了如何将氢输送到加氢站：较小的加氢站可以通过卡车运输气态氢，或现场制氢；而每天需要接收 500 公斤以上的加氢站则需要通

过卡车运输液态氢，或使用管道运输氢气（IEA，2017）。

目前，虽然轻型的燃料电池汽车在美国乃至全球的局部市场上都有少量销售，但针对中型和重型汽车的燃料电池汽车技术和市场仍在开发中。正在研发燃料电池卡车的制造商包括比亚迪、丰田、尼古拉、肯沃斯、Emoss、三菱扶桑和现代（Hall & Lutsey, 2019）。至今为止，目前只有四种 8 级（最重级）的重卡示范车型，它们的行驶里程范围从最低的 238 英里（383 公里）到最高的 1000 英里（1609 公里）；前者是现代公司 2019 年投产的 XClient 8 级厢式运输车，后者是特斯拉公司预计将于 2022 年投产的 One 8 级牵引车。

燃料电池重卡作为一项正在研究、开发和试运行阶段的新技术，其车辆成本和相关零部件的成本尚不确定。现有文献显示，目前燃料电池重卡的成本区间仍比较宽泛。预计，燃料电池重卡的成本将从目前的 25.6- 48 万美元下降到 2030 年的 15-20 万美元。

扩大氢燃料电池重卡使用规模的主要障碍包括：相对较新的技术，以及随之而来的车辆技术和相关基础设施的高成本。由于原型车的示范和生产规模有限，因此迫切需要技术成熟，以便通过规模经济，使生产成本像当前经济分析所预期的那样下降。

利用低排放源生产氢气，需要降低可再生能源的价格以及提高电解槽容量利用率，以提高使用可再生能源电力进行电解制氢的经济竞争力。氢气运输和输配网络也面临技术挑战，需要统一的安全和技术标准来提高和扩大集中制氢的规模。此外，需要在利益相关者之间进行协调，建立最低数量的加氢站以满足用户需求，同时推广轻型燃料电池汽车和客车以帮助降低成本。

比如，加州在开发氢燃料电池车辆的过程中，通过政府和社会资本合作，建立了加州燃料电池合作伙伴，其目标是实现到 2025 年，在加州建立 200 个加氢站的目标。然而，实际的基础设施开发速度仍远远不够。到 2019 年底，加州只有不到 50 个加氢站。加州进行的 2019 年度评估发现，氢燃料市场和燃料电池汽车的市场都必须在未来几年内实现比历史速度快很多的高速增长，才能实现加州的原定目标（加州空气资源委员会，2019）。

目前国际重卡部门的政策

为了支持这些新兴重卡技术的发展和推广以及其他相关的技术进步，目前已经有六个国家（包括中国）和地区在重卡领域采用了强制性的能源和二氧化碳排放标准。此外，欧洲还采用了低排放区，即重卡进入特定城市区域需要满足更严格的排放标准。北美和



欧洲也开始了重卡的示范和试点项目，加州对更清洁的重卡车辆提供奖励。

中国重卡部门的特点

2009 年，中国超过美国和欧盟成为全球最大的重卡销售市场。到 2015 年，中国占全球重卡新销量的五分之一。从用途上看，中国的重卡主要以城市专用重卡和长途货运牵引车为主。从能源上看，中国绝大部分的重卡目前使用柴油。液化天然气重卡和城市纯电重卡的使用在近年来开始增加，但仍不到保有量的 2%。从市场集中度看，中国货运部门非常得分散，70% 的车辆由个体拥有，每个车队仅拥有平均 3.2 辆重卡。从能源效率上看，中国的重卡仍有提升能源效率的空间。通过采用先进的发动机技术，车辆轻量化，改善空气动力，低滚动阻力轮胎等技术可以提高重卡能效。从政策支持上看，2015 年以来，中央政府开始鼓励纯电卡车和燃料电池卡车的发展，对新能源重卡给予补贴以及更优惠的交通政策。最近，2020 年 4 月，虽然新能源重卡的补贴实施期延长至 2022 年，但是补贴额度在上一年基础上降低 10% 和 20%。

评估不同技术路径对中国重卡部门的能耗和排放的影响

降低中国重卡部门二氧化碳排放的现有技术选择包括：提高能效，采用更清洁的燃料（如液化天然气），采用更清洁、低碳或零排放的车辆技术（如纯电动、电线或动态充电以及氢燃料电池技术）。我们需要系统地评估这些技术的应用潜力。

本报告重点了解中国卡车的市场情况和采用这些替代性清洁技术的适用性，尤其考虑到现有的技术局限性以及大规模推广存在的障碍。我们也采用了自下而上的模型工具，评估采用这些新能源重卡技术对运行能耗和排放的影响，同时也评估提高燃油效率以及卡车运营和物流效率对重卡的运行能耗和排放的影响。

情景分析

为了更好地了解不同技术路径对中国重卡部门降低石油消耗的潜在影响，我们采用了由伯克利国家实验室开发的自下而上的能源终端模型——“中国 2050 需求、资源和能源分析模型（DREAM）”，作为情景预测和分析的基础。具体说来，我们分析了四个情景，包括：

1. “参考情景”：能效不断改善（每年提高 0.6–0.7%）和采用液化天然气（2050 年达 30%），从而与近年来政策驱动的变化保持一致。
2. “短期策略情景”：完全采用技术性的能效提升（每年提高 1.4–1.5%），采用更清洁燃料的商用卡车（2050 年液化天然气卡车到 50%），以及系统的物流运输提高，从而到 2050 年降低 15% 的重卡活动量。
3. “新能源早期采用情景”：较早并加速采用纯电重卡（2020 年）和燃料电池重卡（2035 年），到 2050 年分别占重卡保有量 30% 和 10%。
4. “新能源晚期采用情景”：较晚引入纯电重卡（2020 年）和燃料电池重卡（2040 年），比重增加缓慢，到 2050 年分别占重卡保有量的 14% 和 5%。

同时，本报告也建立了其他的情景，对能源强度的变化、活动量的增加以及更早采用氢燃料电池（而非更早采用纯电技术）进行了敏感性分析。

“短期策略情景”可在短期内快速降低柴油需求，采用新能源重卡可在长期内几乎完全消除柴油需求

基于我们的建模和情景分析，我们发现在“短期策略情景”下，柴油需求可能会在 2020 年代早期出现平台，2025 年达峰，然后快速下降，2050 年的柴油消耗量降为 2015 年的一半左右（见图 ES-1）。

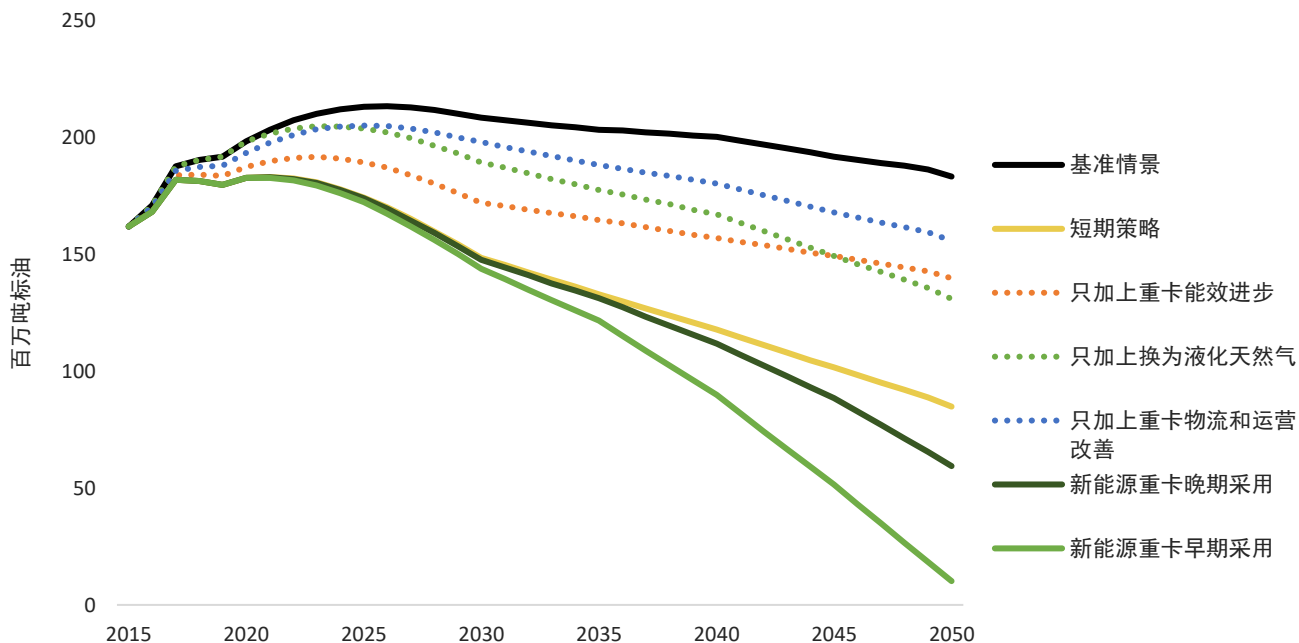


图 ES-1. 各项策略对重型卡车柴油消耗量的影响

“短期策略情景”考虑了多种策略，其中，能效提升降低柴油需求的潜力最显著，仅此一项策略就可以在 2020 年代早期帮助柴油消耗达到峰值。从长期来看，随着液化天然气卡车和新能源卡车销售量的增加，通过采用液化天然气重卡和新能源重卡来降低柴油需求的潜力也非常显著。此外，通过对货运物流和运行进行系统地改善，从长期来看也有效果（如图 ES-2 所示）。

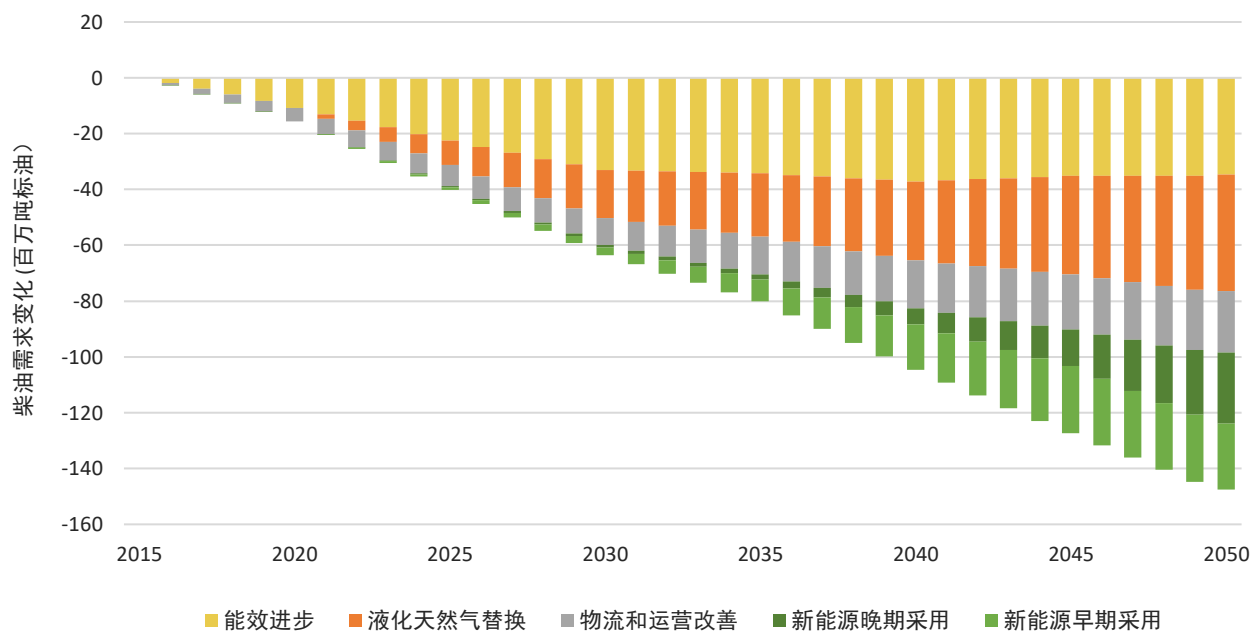


图 ES-2. 各项策略对重型卡车柴油需求量的影响

注：变化是相对于参考场景的，且是累积的。

不过，虽然“短期策略情景”会通过提高能源效率和物流效率降低柴油需求，但是会带来天然气需求的净增长。这可能会加深目前中国对天然气进口依赖的担心。

与“短期策略情景”比较，在重卡领域延迟和缓慢采用新能源卡车，包括到2040年才引入燃料电池卡车，还是会进一步把2050年的柴油需求降低30%。早期采用新能源能更多地降低柴油需求，包括与“参考情景”相比，“新能源早期采用情景”会把2050年的柴油需求几乎完全消除，降低94%。

“短期策略情景”的终端能耗将在2025年左右达峰

如图 ES-3 所示，在“参考情景”下，终端能源需求将继续增长到本世纪40年代后期。在“短期策略情景”下，效率提升以及物流和运营系统改进将减缓未来终端能源

需求的增长，终端能源消耗在 2025 年左右达到峰值。

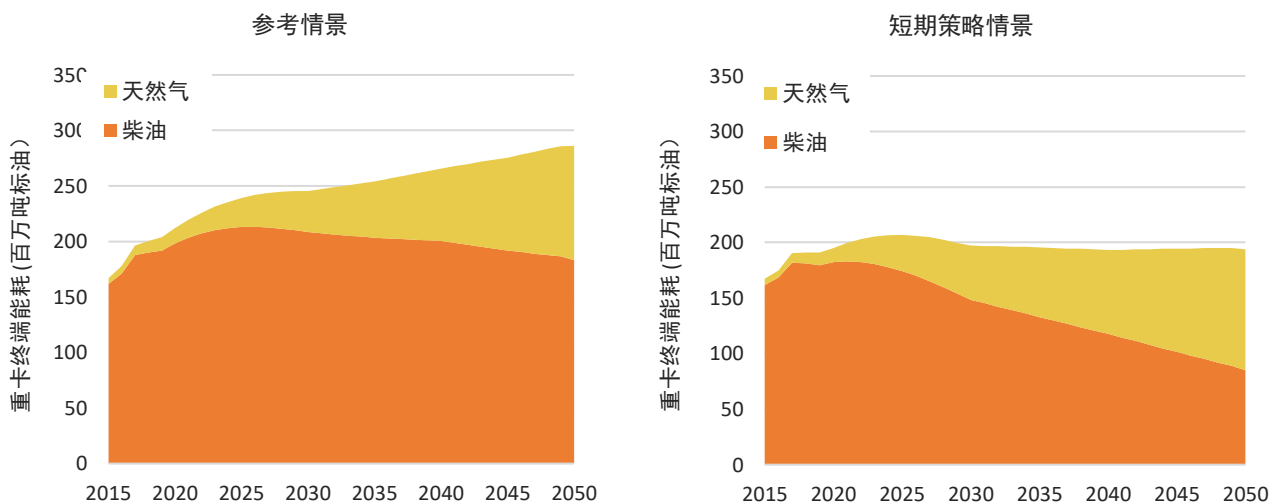


图 ES-3. 参考情景和短期策略情景的终端能源消耗

“新能源早期 / 晚期采用情景”的终端能源总需求比“短期策略情景”略有增加

如图 ES-4 所示，重卡部门无论是从本世纪 20 年代开始（“新能源早期采用情景”）还是本世纪 30 年代末（“新能源晚期采用情景”）开始采用新能源卡车，这两种情景下的终端能源需求总量都将比“短期策略情景”下的终端能源需求总量略微增加。这是因为电力和氢气的需求增长抵消了柴油需求的减少。

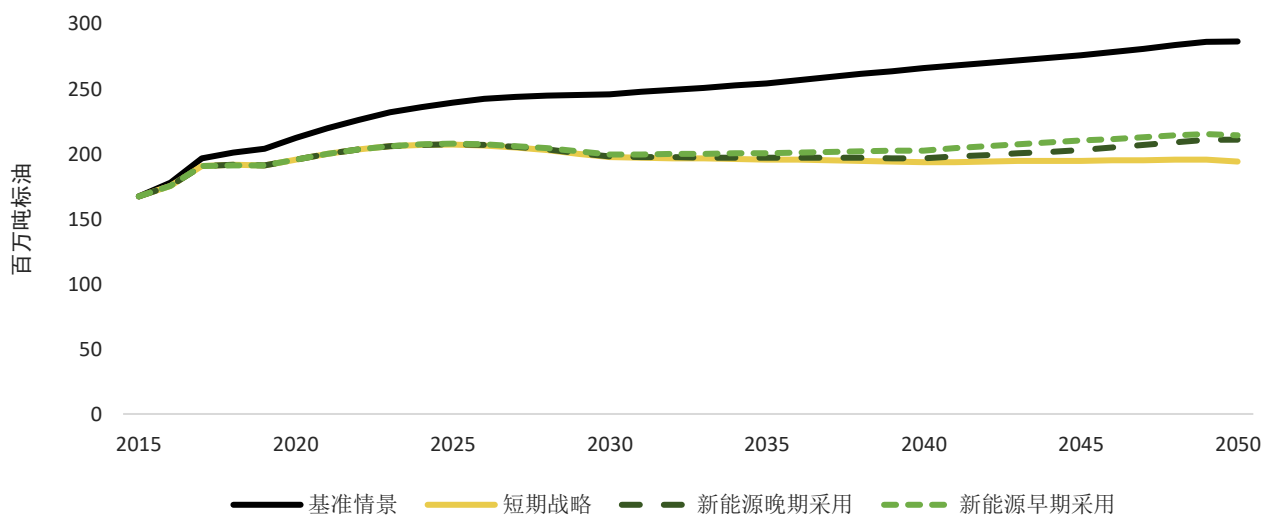


图 ES-4. 早期采用和晚期采用新能源汽车的终端能源影响比较

对比“新能源早期采用情景”和“新能源晚期采用情景”

柴油需求：在“新能源早期采用情景”下，到 2050 年几乎完全消除了柴油需求；而在“新能源晚期采用情景”下，2050 年的柴油需求只比 2015 年减少了三分之二（见图 ES-5）。

终端能源需求：在“新能源早期采用情景”下，终端能源需求总量会持续增长；而在“新能源晚期采用情景”下，终端能源需求总量会在 2040 年代后期趋于稳定。值得注意的是，虽然更早引入新能源汽车将在最初的几年中会增加终端能源需求，但到 2050 年，“新能源早期采用情景”下的重卡终端能耗仅比“新能源晚期采用情景”下的终端能耗多 400 万吨标油（增加 2%）。

新能源车占比：“新能源早期采用情景”下的燃料电池和纯电动卡车的比例比“新能源晚期采用情景”的新能源车辆占比提高了一倍以上。到 2050 年，在“新能源晚期采用情景”和“新能源早期采用情景”下，氢分别占重型卡车终端能源需求的 6%和 12%，而电力分别占终端能源需求的 14%和 33%。

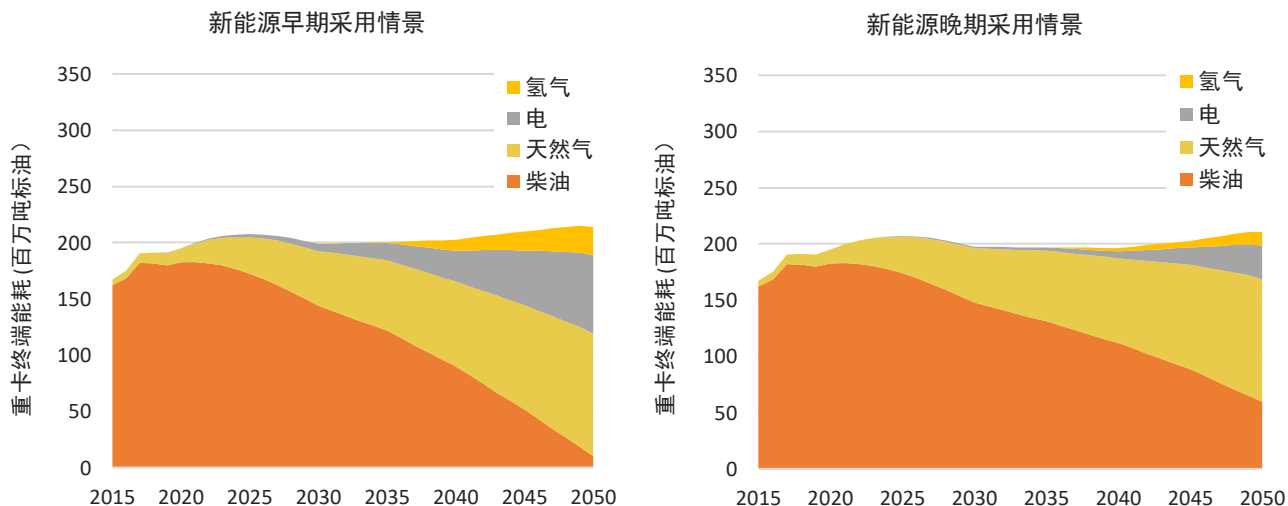


图 ES-5. 新能源重卡采用情景的终端能源结果

采用液化天然气重卡的影响

图 ES-6 中可以看出，短期内向液化天然气卡车的燃料转换，效率提升，以及物流和运营系统改进对中国重卡部门终端能耗的分别影响。由于液化天然气卡车比柴油卡车有更高的终端能源强度，因此随着燃料转换，实际能源消耗增加了。仅提高效率一项策略对减少终端能耗的影响最大，而物流和运营系统的改进同样有助于节省大量的能源，特别是从长期来看。

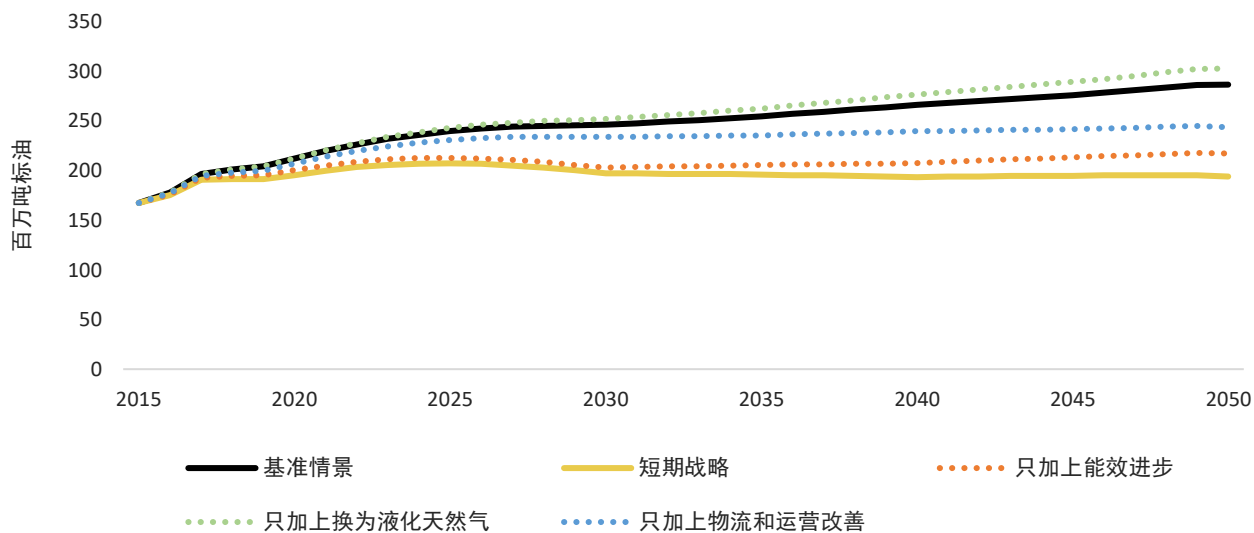


图 ES-6. 短期策略对重型卡车部门终端能源消耗影响的比较

“短期策略情景”可最为显著地降低二氧化碳排放

如图 ES-7 所示，在二氧化碳排放方面，到 2050 年，“短期策略情景”减少二氧化碳排放的潜力最为显著，最大的减排效果来自“短期策略”中的能效提升，其次是物流运输改善，再次之是采用液化天然气（这是因为虽然液化天然气的二氧化碳排放系数较低，但是每公里所需的能耗更高）。

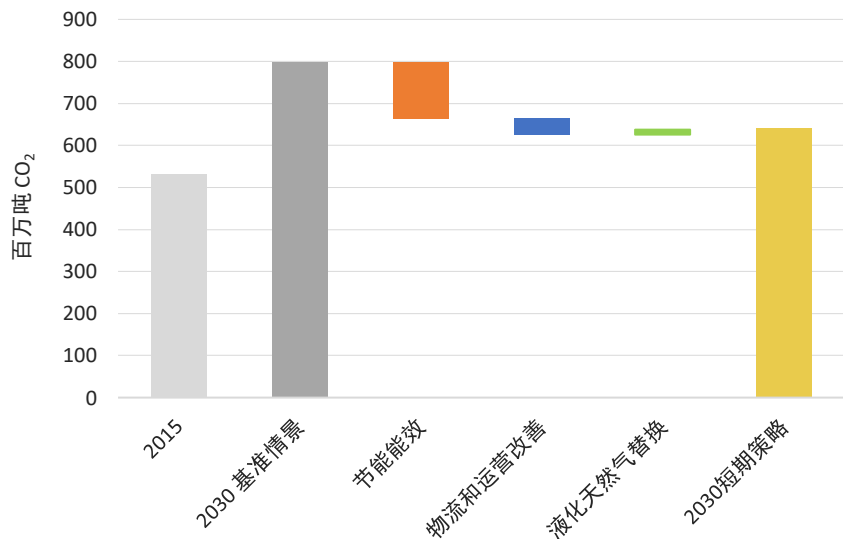


图 ES-7. 短期策略对 2030 年二氧化碳排放量的影响

早期采用纯电卡车减排潜力更大，燃料电池卡车面临更多的技术障碍

在 2030 年到 2050 年期间，无论是加大推广纯电卡车，还是燃料电池卡车，对终端能耗和二氧化碳排放的影响都较为类似。但是在技术、成本和基础设施发展方面，两种技术面临的障碍却不相同；两者对比发现，发展燃料电池卡车的障碍更大。

更重要的是，重卡部门无论在哪一个时间点上引入新能源卡车，净二氧化碳排放到 2045 年才会出现下降，因为这个时候中国的电力部门才会变得更低碳（见图 ES-8）。尽管如此，到 2050 年，“早期采用”新能源重卡（即 2020 年开始采用纯电卡车，2030 年代采用氢燃料电池）比“晚期采用”新能源重卡会带来更多的二氧化碳减排量，每年减少的二氧化碳排放量达一亿吨左右，仅次于“短期策略”中能效提升带来的减排量。

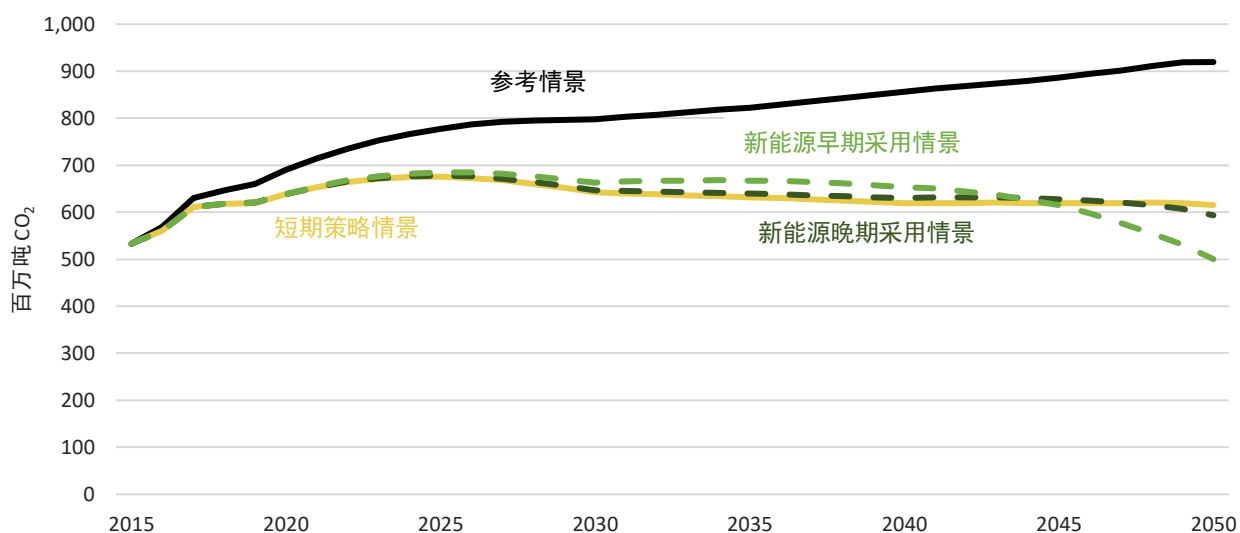


图 ES-8. 参考情景、短期策略情景和新能源汽车采用情景下的重型卡车部门二氧化碳排放比较

推迟采用新能源重卡可能会对未来的二氧化碳排放量产生重大影响。因为如果在 2035 年才开始推广氢燃料电池卡车，同时推广纯电卡车的速度较慢，即使到 2050 年，与“短期策略情景”相比，“新能源晚期采用情景”也只能产生微不足道的二氧化碳减排量（见图 ES-9）。

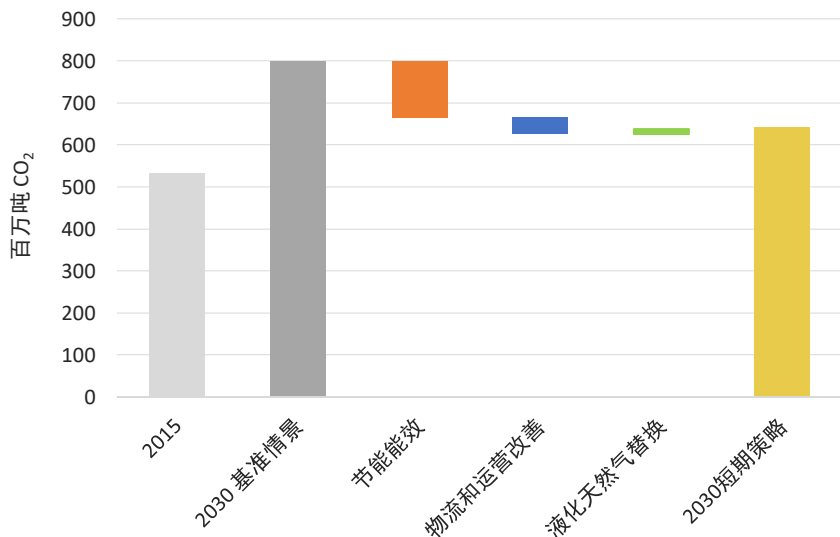


图 ES-9. 各项策略对 2050 年二氧化碳排放的影响

总体发现和结论

这些研究结果对“十四五”和“十五五”的近期政策影响包括：

- 最大程度地降低二氧化碳排放和减少柴油消耗需要多种技术，而非某一个单一的新能源汽车技术。同时，需要政策和项目的支持，如建立“无技术偏向性”的温室气体减排标准和财政政策；
- 国家研发项目应该侧重高能量密度的安全牵引电池，高功率密度电机控制单元，高功率密度和高耐久性的燃料电池组；
- 需要建立政府主导或者公私伙伴关系，协调并优化基础设施网络的战略选址，包括重型货运与轻型货运部门之间的协调；
- 需要考虑新能源重卡的售后服务，包括电池的转售、翻新和回收；
- 如果利用搁浅的可再生电力资产生产氢气是发展重点，则需要对输送氢气的基础设施进行投资。

减少新能源重卡目前面临的市场障碍的中长期策略包括：

- 支持关键技术的创新，通过延长电池里程，提高安全性和充电的便捷性，减少技术焦虑；
- 通过可能的用户直接体验，提高卡车司机对纯电卡车的了解；
- 鼓励生产商的卡车设计便于运行和维护，便于从传统内燃机技术向新技术过渡；
- 建立充电和换电基础设施；
- 通过制定政策和项目，提高充电和加氢的便捷性和经济性。

这些研究结果强调了制定政策和项目，支持多种技术解决方案的重要性，从而缓解目前重卡部门中由于柴油技术占主导而带来的二氧化碳排放和其他的环境影响。虽然通过现有的能效提升和采用液化天然气卡车，能够在短期内大量地降低柴油需求，但是中长期仍需要额外的政策支持，加速新能源卡车技术的研发以及扩大新能源充电设施的建立。在未来十年推广新能源汽车的工作中，如果缺乏对近期行动和未来规划的政策双聚焦，如果到 2035 年以后才开始采用新能源重卡，那么 2050 年以后，二氧化碳减排量将难以持续。



DISCLAIMER

This document was prepared as an account of work sponsored by the United States Government. While this document is believed to contain correct information, neither the United States Government nor any agency thereof, nor The Regents of the University of California, nor any of their employees, makes any warranty, express or implied, or assumes any legal responsibility for the accuracy, completeness, or usefulness of any information, apparatus, product, or process disclosed, or represents that its use would not infringe privately owned rights. Reference herein to any specific commercial product, process, or service by its trade name, trademark, manufacturer, or otherwise, does not necessarily constitute or imply its endorsement, recommendation, or favoring by the United States Government or any agency thereof, or The Regents of the University of California. The views and opinions of authors expressed herein do not necessarily state or reflect those of the United States Government or any agency thereof, or The Regents of the University of California.

Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory is an equal opportunity employer.

COPYRIGHT NOTICE

This manuscript has been authored by an author at Lawrence Berkeley National Laboratory under Contract No. DE-AC02-05CH11231 with the U.S. Department of Energy. The U.S. Government retains, and the publisher, by accepting the article for publication, acknowledges, that the U.S. Government retains a non-exclusive, paid-up, irrevocable, world-wide license to publish or reproduce the published form of this manuscript, or allow others to do so, for U.S. Government purposes.

ACKNOWLEDGEMENT

We are grateful to Natural Resources Defense Council for supporting this work as part of its China Oil Cap Project. We thank Professor Wang Hewu, Hao Xu, and Yu Falei from Tsinghua University for their input and support to our modeling and scenario analysis work.

联系我们

地址：中国北京市朝阳区东三环北路 38 号泰康金融大厦 1706

邮编：100026

电话：+86 (10) 5927-0688

传真：+86 (10) 5927-0699

 再生纸印刷