

中国商用车电动化发展 研究报告



能源与交通创新中心

2021 年 7 月



致 谢

感谢能源基金会为本报告提供资金支持,也感谢为本报告提出宝贵意见的所有业内专家与同事。

报告作者

秦兰芝、陈丽、安锋

报告声明

本报告由能源基金会资助,报告内容不代表资助方及支持方观点。本报告所有结果仅供研究参考,不承担任何法律责任。

能源与交通创新中心 (iCET)

Innovation Center for Energy and Transportation

北京市朝阳区东三环中路 7 号财富公寓 A 座 27H 室

邮编: 100020

电话: 0086 10 65857324

传真: 0086 10 65857394

邮件: info@icet.org.cn

网址: www.icet.org.cn

目 录

执行摘要 1

Executive Summary 6

一、国外商用车电动化发展情况 13

 1.1 美国加州 14

 1.2 欧盟 15

 1.3 日本 16

 1.4 韩国 17

二、中国商用车市场发展 18

 2.1 商用车分类标准 19

 2.2 商用车产销规模 20

 2.2.1 历史趋势 20

 2.2.2 商用车市场预测 20

 2.3 商用车节能与新能源技术 24

 2.3.1 混合动力技术 28

 2.3.2 纯电动技术 29

 2.3.3 燃料电池技术 31

三、中国商用车电动化发展现状及趋势 35

 3.1 商用车分类 35

 3.2 中国商用车电动化发展现状 37

 3.2.1 整体情况 37

 3.2.2 细分场景车类电动化发展现状 38

 3.3 各类商用车电动化趋势判断 49

四、商用车能源消耗和碳排放评价模型 50

 4.1 研究边界 51

 4.2 模型框架 52

五、中国商用车电动化发展情景分析 58

 5.1 碳中和目标下的商用车碳减排进程定位 58

 5.2 中国商用车电动化发展情景研究概述 60

 5.3 两种情景中的关键参数与假设 61

 5.4 两种情景下的能源消耗与碳排放趋势 64

 5.4.1 车队保有结构 64

 5.4.2 能源消耗量变化 64

 5.4.3 终端碳排放变化 67

六、讨论与不确定性分析 69

七、总结 73

八、政策建议 74

附录 78

参考资料 80

执行摘要

为减少化石能源消耗，提升空气质量和居民健康水平，全球汽车产业纷纷向电动化和零排放转型。商用车是重要的温室气体及氮氧化物等空气污染物的排放源，且商用车品种繁多，其电动化转型的迫切性与所面临的巨大挑战并存。目前除美国加州出台《先进清洁卡车法规》对零排放卡车的销量提出具体比例目标外，其他国家和地区尚未对商用车电动化提出明确的进程和路线图。2020 年 9 月中国首次提出了“二氧化碳排放力争于 2030 年达到峰值，争取在 2060 年前实现碳中和”的宏伟目标（下称“双碳”目标）。具体到商用车领域，这一目标实现起来将有很大难度。

在零排放转型方面，乘用车具有明确和清晰的转型方向，即以电动化为基本路线。而在商用车领域，受经济成本、多场景车型以及长途高负荷运行特征等因素综合影响，零排放转型面临多种技术路径选择及不确定性。截至目前，全面电动化路径（包括纯电动、插电式混合动力、增程式以及氢燃料电池等技术）是讨论和研究最多的技术方向，且具备一定的政策倾斜与支持。从现状来看，中国对商用车电动化之外的其它低碳路线发展推动力不足，如甲醇汽车应用、可再生天然气路线，一/二代生物柴油及其它生物液体燃料技术路线发展等。因此，本研究中仅分析包含纯电动、插电式混合动力和氢燃料电池在内的电动化发展对商用车车队能源消耗和碳排放的影响，对车用液体燃料在内的低碳化能源结构变化可能产生的影响暂不做讨论。

研究中我们基于过去五年间商用车的上险数据库，对中国商用车的电动化发展现状及实现“双碳”目标面临的挑战进行了分析。首先，在宏观层面，中国尚未全面研判并出台商用车低碳及电动化发展战略目标，商用车行业实现“双碳”目标的技术路线和时间节点仍在论证；其次，商用车电动化发展不均衡，公交客车基本已实现电动化转型，城市物流车电动化发展也在积极推进，但货车、半挂牵引车、自卸车等车类仍处在电动化发展十分初级的阶段，零排放新车销售占比低于 1%；第三，商用车是重要的生产资料，市场受宏观经济影响较大，商用车仍有一定的增长潜力，保有量达到峰值的时间预计晚于 2030 年，这也给碳中和目标的实现带来了巨大挑战。

在充分考虑中国商用车电动化发展现状的基础上，本研究以情景分析的形式探讨了商用车实现“双碳”目标路径与时间节点的多种可能。研究将商用车分成了客车、货车、半挂牵引车和专用车四大类，其中，客车和专用车又分别按照使用场景划分成三个和六

个小类，燃料类型则考虑汽油、柴油、天然气、纯电动、插电式混合动力和燃料电池六种，如图 ES 1 所示。

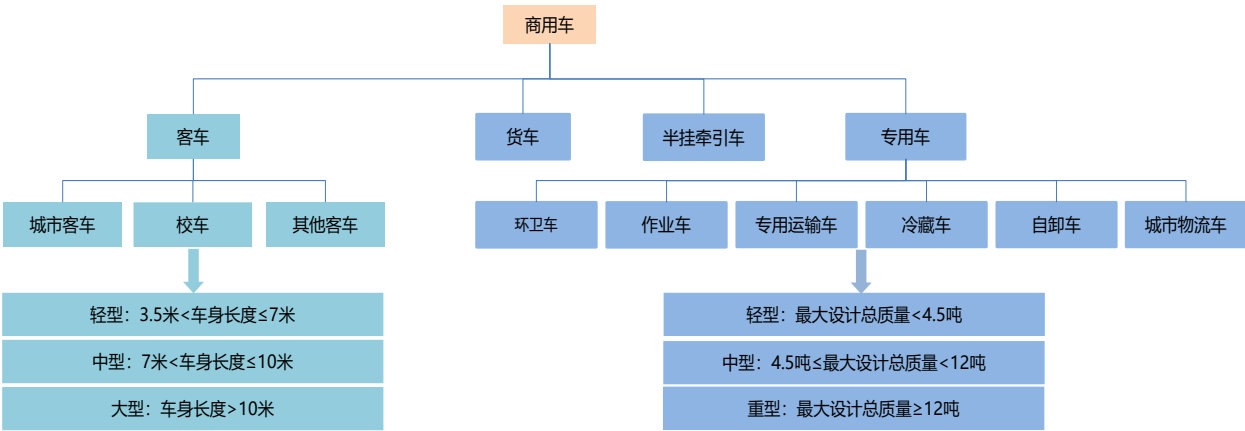


图 ES 1 研究中对商用车的整体分类情况

美国加州作为目前唯一一个以强制目标指令促使商用车零排放转型的地区，其经验值得中国学习和借鉴。而中国目前并未制定具体的商用车零排放甚至低碳发展目标。为此，研究设定了中国商用车发展的两种情景分析，一种是基于加州零排放卡车转型目标的“加州政策参考情景”，另一种则是基于中国目前现有政策及政策惯性发展的“中国政策延续情景”，情景参数及设定如表 ES 1 所示。

表 ES 1 研究所设两种情景的关键参数与假设

	加州政策参考情景	中国政策延续情景
商用车市场规模	预测在 2030-2035 年达到年销量峰值 550 万辆左右	
传统商用车能耗变化	在 2019 年基础上， · 至 2025 年，客车下 10%，货车及其他车类下降 8% · 至 2030 年，客车下降 15%，货车及其他车类下降 10% · 至 2035 年，客车下降 20%，货车及其他车类下降 15% · 至 2060 年，客车下降 25%，货车和专用车下降 22%，自卸车和半挂牵引车下降 20%	
新车零排放时间节点*	· 城市客车，2029 年 · 其他车类，2045 年	· 城市客车，2025 年 · 环卫车，2035 年 · 校车、作业车、城市物流车，2045 年 · 其他客车、专用运输车、冷藏车和自卸车，2050 年 · 货车和半挂牵引车，2060 年
低碳技术路线	· 以零排放汽车为主 · 混合动力技术在不同车型新车上的应用比例上限约为 6-15%不等，2045 年完全退出	· 节能和新能源汽车并举 · 混合动力技术在不同车型新车上的应用比例上限约为 6-40%不等，2059 年完全退出

	· 天然气、甲醇等燃料应用比例在现有基础上逐渐降低，2045 年完全退出	· 天然气、甲醇等燃料应用比例在现有基础上逐渐降低，2045 年完全退出
--	--------------------------------------	--------------------------------------

*注：（1）“中国政策延续情景”下各类车的电动化进程基于本研究对各类车的电动化现状及潜力分析结果确定；

（2）需要注意的是，“加州政策参考情景”中的零排放卡车比例在 2035 年之前参考《先进清洁卡车法规》，由于加州的卡车分类与中国差异较大，在研究中进行类别对应，即：Class 2b-3 对应中国市场除客车外的其他所有车类中的轻型车，Class 4-8 对应除客车外其他所有车类中的中型车和重型车，Class 7-8（牵引车）则对应半挂牵引车。

在两种情景下，车队能源消耗量峰值分别约为 266 Mtoe（百万吨油当量）和 276 Mtoe。其中，“加州政策参考情景”下，商用车车队整体能源消耗量呈现较为尖锐的峰形，即在达峰后能源消耗量可快速下降，而在“中国政策延续情景”下，峰形较为圆钝，大概经历七八年的缓冲后，能源消耗量才开始呈现快速下降趋势。这主要是由于在“加州政策参考情景”下，零排放汽车的渗透较快，而在“中国政策延续情景”下，零排放汽车的导入需要一定的适应期，后期才逐渐加速。

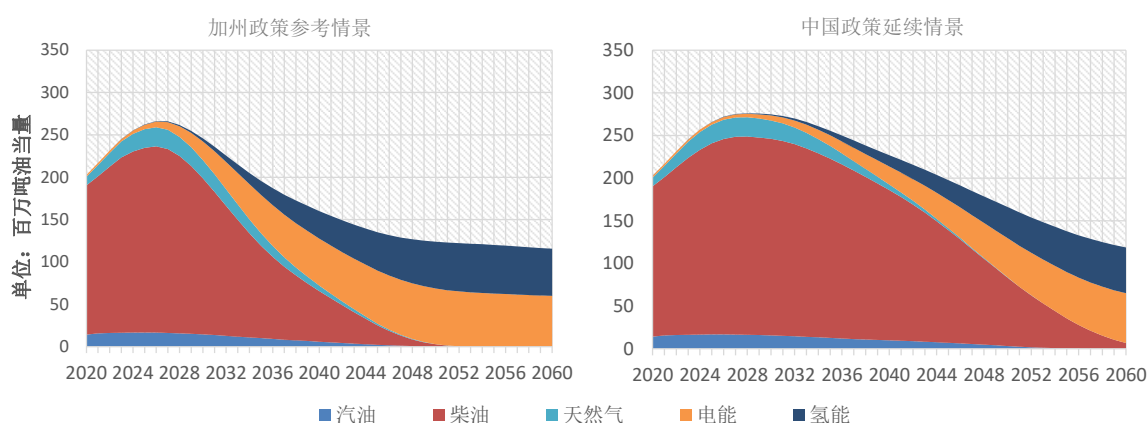


图 ES 2 两种情景下商用车车队能源消耗量趋势

碳排放方面，“加州政策参考情景”下，商用车车队将于 2055 年左右实现终端净零排放，“中国政策延续情景”下，商用车车队终端净零排放时间将晚于 2060 年。2020-2060 年间，“加州政策参考情景”相对于“中国政策延续情景”的总体减碳量约为 84 亿吨二氧化碳当量，相当于 2020 年度中国商用车车队碳排放量的近 13 倍，也相当于 2020 年度中国总碳排放量的约 70%。

结果表明，商用车车队的碳排放达峰时间节点受零排放车型导入速度的影响较小，即商用车车队碳排放很快将能进入平台期，但如果零排放车型导入速度更快，则会降低车队碳排放峰值水平，这在研究中也得到了初步证实：“加州政策参考情景”下商用车

车队碳排放峰值较“中国政策延续情景”约低 5%。同时，零排放车型导入速度加快，也会促使商用车碳排放在达峰后能够快速下降，从而降低车队在未来的碳排放总量，加快车队净零排放进程。

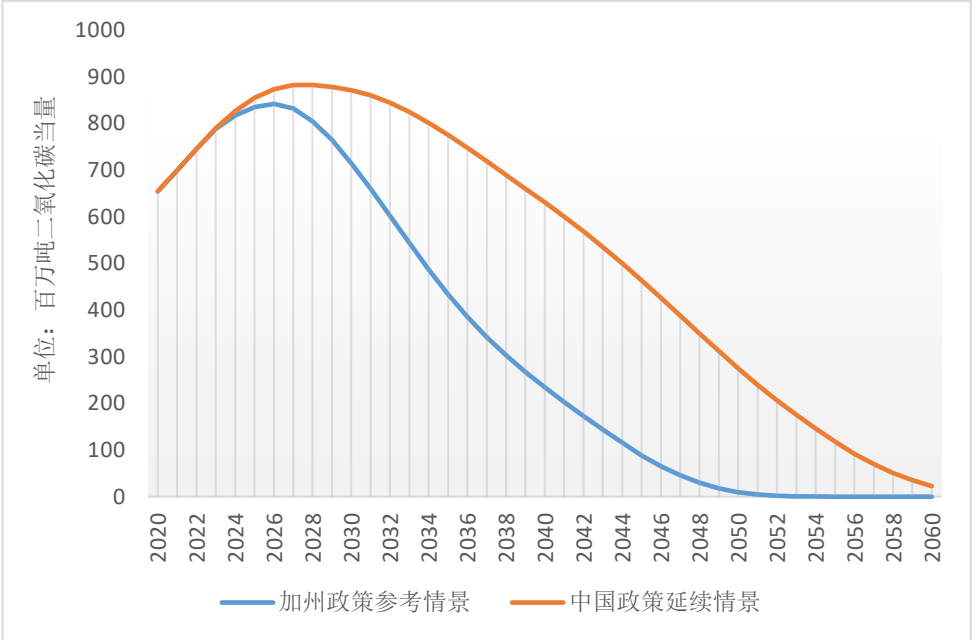


图 ES 3 两种情景下商用车车队终端碳排放量趋势

基于研究结论，我们认为中国商用车车队要加快实现碳达峰和净零排放目标，可在下面三个方向上针对性出台政策和目标：

- **制定符合中国国情且富有雄心的商用车低碳发展目标**，这包括面向 2030 时期碳达峰的中期目标和面向 2060 的净零排放目标。建议相关部门在全面调研论证的基础上，研究和制定富有雄心的商用车低碳发展时间表，同时聚焦总体碳减排目标，尽量保持技术中立，持续激励企业应用最新或者最合适自身的减排方案，鼓励技术创新，及时引入商用车零排放积分交易体系作为支持政策。
- **针对不同场景分阶段推进商用车电动化**，目前商用车领域各场景的电动化情况和潜力有较大差距，鉴于商用车产品的丰富和特殊性，使用同一标准和政策目标对其电动化进行约束并不可行。建议首先应持续鼓励公共领域车辆推进电动化，其次重点关注具备电动化快速发展潜力但实际推广较慢的车类，分析推广遇到的问题并加以解决，再次，对使用强度高、电动化难度大的重点车型，包括自卸车、重型货车、半挂牵引车等，不断完善上下游技术环节，并持续论证技术和路线的可行性。

-
- **提升汽车能源多元化水平，借鉴低碳燃料标准经验**，商用车整体用能长期较为单一，纯电动、氢燃料电池等技术尚存在技术瓶颈和应用障碍，使用更加低碳的替代液体燃料有助于商用车车队持续降低碳排放。建议中国借鉴和出台类似加州《低碳燃料标准》的政策，驱动汽车用能趋于多元化，提升低碳及可再生液体燃料的应用场景。



Executive Summary

To reduce fossil energy consumption, improve air quality and protect public health, global automobile industry has shifted rapidly towards electrification and zero-emissions. Commercial vehicles contribute significantly to greenhouse gas emissions, nitrogen oxides and other air pollutants. However, with a wide variety of usage types of commercial vehicles, the challenges for their transition to zero-emissions are far more greater. At present, apart from California's "Advanced Clean Trucks" regulation which set specific targets for the sales of zero-emission trucks, other countries and regions have not yet proposed a clear roadmap for the electrification of commercial vehicles. In September 2020, the ambitious goal of "China's carbon dioxide emissions will reach its peak by 2030, and strive to achieve carbon neutrality by 2060", which is referred as 30/60 goal hereafter, was put forward for the first time at the 75th United Nations General Assembly. For commercial vehicles, this 30/60 goal is particularly challenging to achieve.

In terms of zero-emission transition, passenger vehicles have a much clearer transitional pathway for large-scale electrification. Affected by factors such as economic costs, multi-scenario applications, and long-distance high-load operation characteristics, the zero-emission transition for commercial vehicles is faced with multiple technological path options and uncertainties. Up to now, electrification, inclusive of pure battery electric, plug-in hybrid, extended range, and hydrogen fuel cell technologies (also called new energy vehicle technologies in China), is the most discussed and researched technology direction with better policy support. In this research, therefore, only the impact of electrification development will be studied. Other options such as introducing low-carbon or renewable liquid fuels to replace fossil energy will not be discussed for the time being.

In this study, based on the commercial vehicle insurance dataset of the past five years, we analyzed the current electrification status of China's commercial vehicle fleet and the challenges in achieving the 30/60 goal, which include:

- at the macro level, China has not yet comprehensively researched and issued a low-carbon development strategy for commercial vehicles. There is not yet sufficient

evidence to show when and how the carbon emissions of the commercial vehicle sector will peak and achieve net-zero emissions at the end-user level.

- the electrification pace of different commercial vehicles is particularly unbalanced. Public buses have steadily shifted towards electrification with 98% of sales share for new energy buses in 2020. The past five years have also witnessed the rapid development of electric urban logistics vehicles. However, challenges still exist in electrifying long-haul and high-load commercial vehicles, such as long-haul trucks, dump trucks and semi-trailer tractors. The sales of zero-emission vehicles accounted for less than 1% in these fields, as an average level in the past five years.
- commercial vehicles are important transportation means for goods and production materials, whose market is greatly affected by the macro economy. Previous studies have shown the total number of commercial vehicles will probably peak after 2030. Generally, more vehicles will emit more greenhouse gases when there are not enough zero-emission vehicles on road, bringing huge challenges for this sector to achieve the 30/60 goal.

With a comprehensive consideration of the current development status of zero-emission commercial vehicles in China, this study explores the possible pathways and timing of the commercial vehicle fleet to achieve the 30/60 goal through scenario analysis. In this study commercial vehicles are divided into four major categories, i.e., buses, trucks, semi-trailer tractors and special vehicles. In our analysis, buses and special vehicles are respectively divided into three and six sub-categories, as illustrated in Figure ES 1. The fuel types include gasoline, diesel, natural gas, pure electric, plug-in hybrid, and hydrogen fuel cell.

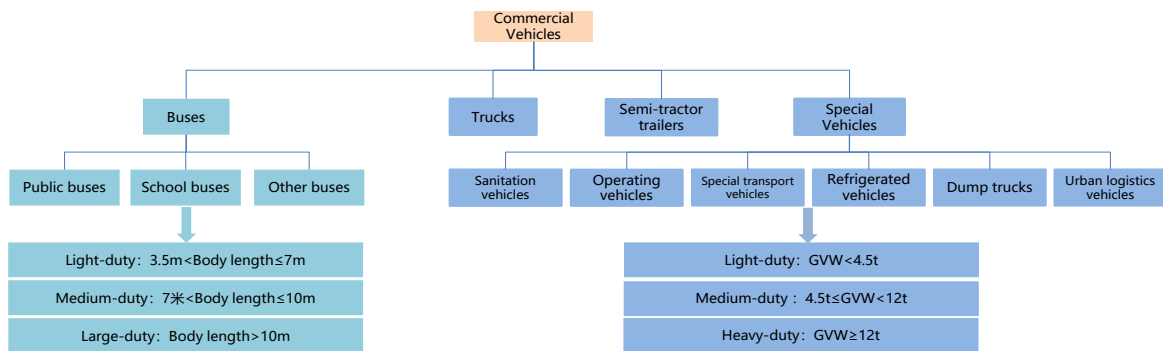


Figure ES 1 Major and sub-categories of commercial vehicles in this study

As the only region that has promoted the zero-emission transition of commercial vehicles in the form of mandatory targets set in “Advanced Clean Trucks” regulation, California’s experience is worth learning. China, however, has not yet set a zero-emission goal for commercial vehicles. Therefore, in this study two scenarios are proposed to assess the impact of zero-emission transition on carbon emissions in commercial vehicles. The first scenario is based on California’s targets for zero-emission trucks and is called “California Policy Reference Scenario” (S1), while the second scenario relies on China’s current policy and its inertial development in the future which is called “Chinese Policy Continuation Scenario”(S2). Key assumptions in these two scenarios are shown in the table below.

Table ES 1 Key assumptions in the two scenarios in this study

	California Policy Reference Scenario	Chinese Policy Continuation Scenario
Market size	Estimated peak sales of 5.5 million by 2030-2035	
Fuel consumptions (FC)	On the basis of 2019 level, - FC decreases 10% for buses and 8% for all other categories by 2025 - FC decreases 15% for buses and 10% for all other categories by 2030 - FC decreases 20% for buses and 15% for all other categories by 2035 - FC decreases 25% for buses, 20% for dump trucks and semi-tractor trailers, and 22% for trucks and all other special vehicles by 2060	
Timing for 100% zero-emission vehicle sales *	- Public buses by 2029 - All other categories by 2045	- Public buses by 2025 - Sanitation Vehicles by 2035 - School buses, Operating vehicles, and urban logistics vehicles by 2045 - Other buses, special transport vehicles, Refrigerated vehicles and dump trucks by 2050 - Trucks and Semi-tractor trailers by 2060
Technological	Focusing on zero-emission vehicles	Simultaneous development of energy-

options	• Limited application of hybrid-electric technology with 6-15% peak sales share of hybrid-electric vehicles for different categories, and phasing out by 2045 • Vehicles powered by natural gas and methane phasing out by 2045	• saving and new energy vehicles • Higher application of hybrid-electric technology that S1 with 6-40% peak sales share of hybrid-electric vehicles for different categories, and phasing out by 2059 • Vehicles powered by natural gas and methane phasing out by 2045
----------------	--	---

Note: * (1) By-year requirements for the sales of zero-emission vehicles in different commercial vehicle categories in S2 were determined based on their status quo and potentials of electrification transition in China.

(2) In view of the different classification standards of commercial vehicles between California and China, the sales requirement of zero-emission Class 2b-3 trucks in California in S1 is the same as that of all light-duty vehicles except for light-duty buses in S2, the sales requirement of zero-emission Class 4-8 trucks in S1 is the same as that of all medium- and heavy-duty vehicles except for medium- and large-duty buses in S2, and Class 7-8 tractor trailers in S1 as all semi-tractor trailers in S2 in this study.

In the two scenarios, the peak energy demand of the commercial vehicle fleet is about 266 Mtoe (million tons of oil equivalent) and 276 Mtoe respectively. In S1 the energy demand curve has a sharper shape which means the total energy demand has the potential to decrease rapidly after reaching the peak. In S2, however, the peak shape is relatively round and blunt, and after about seven or eight years of buffering, the energy demand begins to show a rapid downward trend. This is mainly due to the higher sales requirements of zero-emission vehicles in S1 while in S2 the application of zero-emission vehicles requires a certain adaptation period.

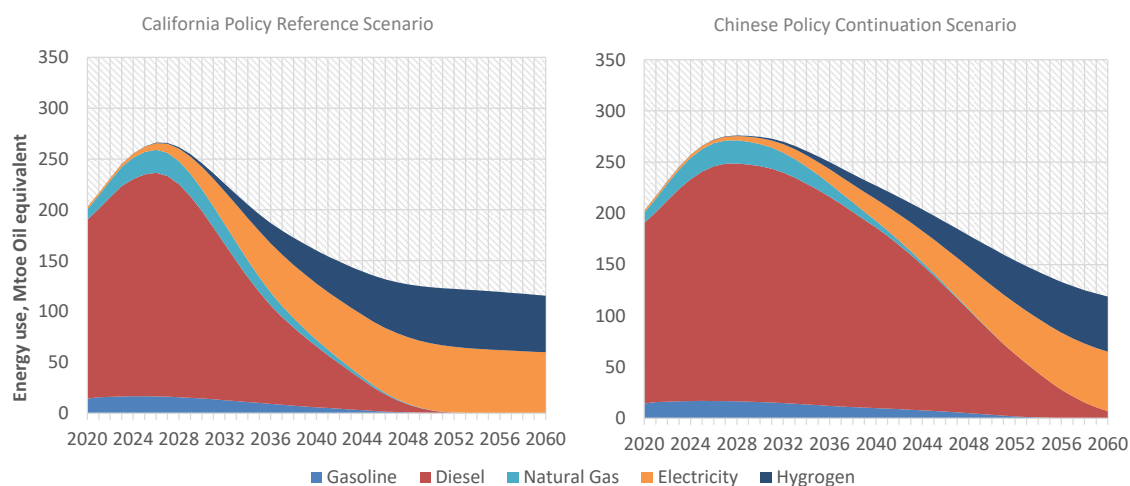


Figure ES 2 Energy use of the commercial vehicle fleet under two scenarios in this study

The net zero emission goal at the end-user level for the commercial vehicle fleet will be achieved by 2055 in S1 but later than 2060 in S2. Carbon emissions reduced in S1 comparing to S2 during 2020-2060 are about 8.4 billion CO₂e, equivalent to nearly 13 times the carbon emissions of China's commercial vehicle fleet in 2020, or about 70% of China's total carbon emissions in 2020.

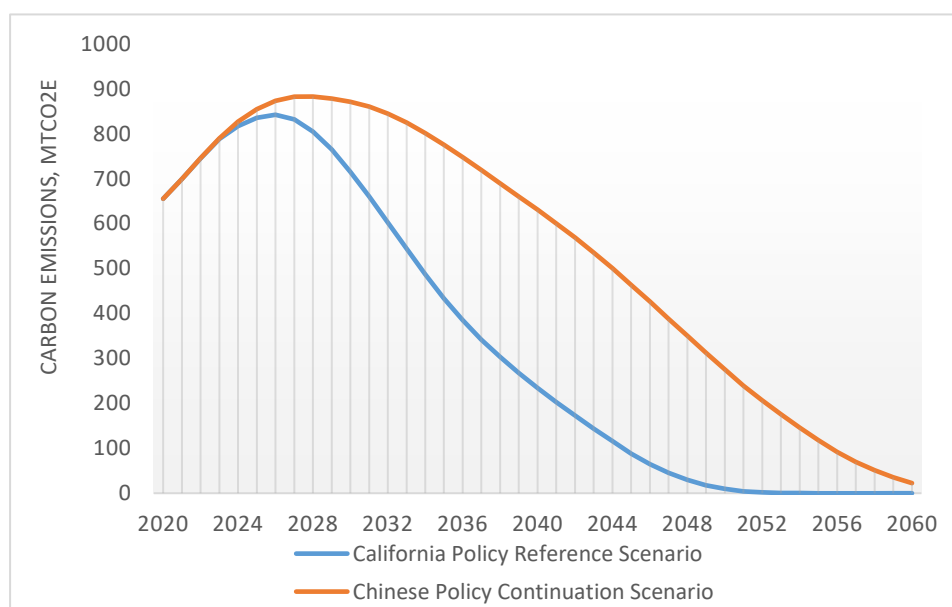


Figure ES 3 Carbon emissions of commercial vehicle fleet under two scenarios at the end-user level

Results of this study also reveal that the peak carbon emissions of the commercial vehicle fleet at the end-user level in S2 will be achieved two years later than in S1. It's a generally agreed view that the carbon emissions for the commercial vehicle fleet at the end-user level

will soon enter the plateau period. Another important finding of this study indicates that the faster the fleet electrifies, the lower peak level of carbon emissions will be achieved. In S1 the peak carbon emission level is about 5% lower than that in S2. Moreover, faster application of zero-emission vehicles will also lead to the rapid decline of carbon emissions after peaking.

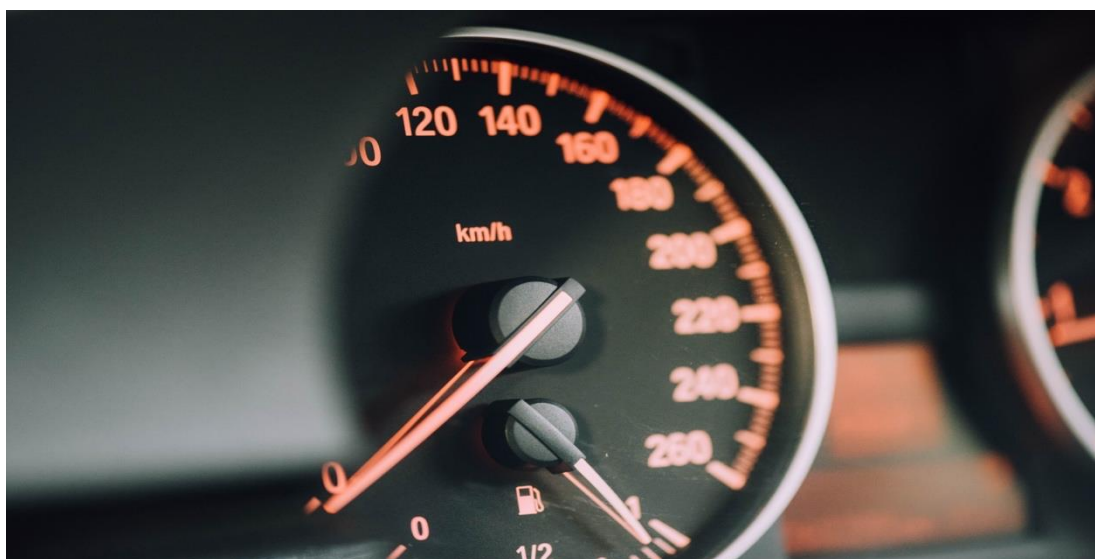
On the basis of findings in this study, we suggest more efforts on the following three aspects to achieve the 30/60 goal in commercial vehicle sector, which are to:

- formulate ambitious zero-emission development goals for commercial vehicles in line with China's national conditions, including a mid-term goal of 2030 carbon peak and a long-term goal of 2060 net-zero emissions. It is recommended that the long-term goal is set based on the overall emission reduction targets under the premise of technological neutrality. In this case the enterprises will find out the most appropriate plans rather than applying the technologies that may otherwise be abandoned later on. The zero-emission vehicle credit mechanism is also considered useful for achieving the 30/60 goal.
- set separate goals of the promotion of zero-emission vehicles in different commercial vehicle categories given the current unbalanced application of zero-emission vehicles in this field. In the first place we suggest continue to encourage and support the electrification of public vehicles such as public buses, sanitation vehicles etc.. Secondly it is important to keep an eye on the categories which have huge potential for electrification but with low development pace, such as school buses. Generally speaking, different usage types of commercial vehicles face different key barriers shifting towards zero-emission, so the critical task is to identify key barriers and solve these problems. For the vehicles with high frequency of use that are hard to electrify in short time, such as dump trucks, heavy-duty trucks, and semi-tractor trailers, it is suggested to embrace a wider variety of low-carbon technologies in addition to pure electrification.
- use more diverse low-carbon fuels for commercial vehicles. Statistics collected in this study show that for non-passenger commercial vehicles, diesel and natural gas-

powered vehicles are the domain types and the former takes up an average of more than eighty percent in the past five years. Since vast majority of traditional internal-combustion-engine based commercial vehicles will not be replaced in a short time, using more diverse low-carbon fuels in the commercial vehicle sector will contribute to the continuous reduction of carbon emissions. It is recommended that China learn from and introduce policies similar to California's "Low Carbon Fuel Standard" to drive the diversification of vehicle energy use.



一、国外商用车电动化发展情况



全球一体化和城镇化的不断推进加速了交通行业的发展，2000 年以来全球交通行业温室气体排放年均增长率达到 1.9%，道路交通，包括轿车、卡车、客车以及两轮和三轮车，则贡献了交通行业二氧化碳排放量的近 3/4¹。为应对全球气候变化，减少碳排放并促进早日达峰，目前全球主要汽车市场都在积极推动交通领域电动化进程。IEA 数据显示¹，交通行业电动化发展、更多使用生物燃油以及能效提升，致使 2019 年全球交通行业二氧化碳排放同比增长降低至 0.5%。

商用车整体保有量规模虽然远低于乘用车，但商用车平均能耗高、行驶里程长，对道路交通碳排放的贡献也十分可观。更重要的是，商用车是重要的氮氧化物和颗粒物等汽车尾气污染物排放源，这些污染物对人体健康造成了严重的损害。因此，推动商用车清洁化和电动化显得尤为重要。但与乘用车相比，商用车电动化技术仍处于初级阶段，现阶段也不具备成本优势，推动商用车电动化面临诸多困难。在美国、欧洲、日本等汽车产业发达地区，商用车电动化也处于起步阶段。

1.1 美国加州

纵观全球，美国加州在推动汽车燃料经济性和零排放汽车发展方面，一直处于先锋地位。1990 年开始，加州空气资源委员会（CARB）引入零排放汽车（ZEV）项目，对乘用车企业实行 ZEV 达标管理，自 2010 年至今，加州地区注册的零排放汽车和插电式混合动力汽车总量便超过 55 万台²。为进一步改进空气质量，加快 ZEV 在中重型卡车领域的应用，CARB 于 2019 年 10 月发布了《先进清洁卡车法规》首个征求意见稿（Proposed Advanced Clean Trucks

Regulation)，要求在加州销售的中型和重型（Class 2b-8）卡车从 2024 年起须至少满足一定比例的 ZEV 比例要求。意见稿发布后得到了大量反馈，经修订后 2020 年 6 月 CARB 正式发布了《先进清洁卡车法规》，这是全球迄今为止首个针对卡车零排放的强制性法规³。《先进清洁卡车法规》对各类车的零排放汽车销售比例要求如表 1 所示。据测算，在《先进清洁卡车法规》的影响下，到 2030 年加州零排放卡车数量将达到 10 万辆，至 2035 年这一数字将上升至 30 万辆。

表 1 《先进清洁卡车法规》中各级别车型 ZEV 销售比例要求

车型年份	Class 2b-3	Class 4-8	Class 7-8（牵引车）
2024	5%	9%	5%
2025	7%	11%	7%
2026	10%	13%	10%
2027	15%	20%	15%
2028	20%	30%	20%
2029	25%	40%	25%
2030	30%	50%	30%
2031	35%	55%	35%
2032	40%	60%	40%
2033	45%	65%	40%
2034	50%	70%	40%
2035 及以后	55%	75%	40%

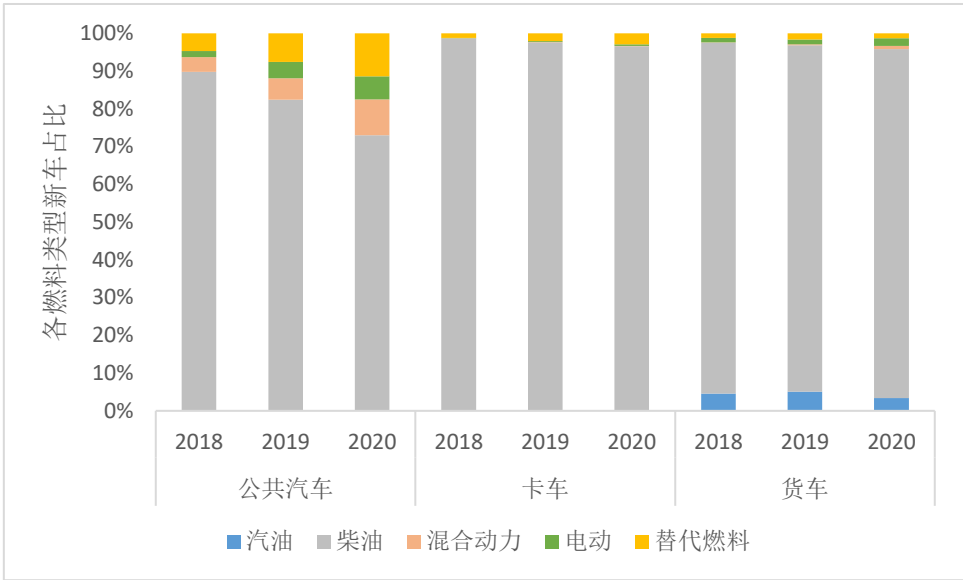
为进一步降低化石能源消耗和减缓气候变化，同年 9 月加州州长发布行政命令要求至 2035 年在加州销售的所有轿车及乘用车（即轻型车）全部为零排放汽车。CARB 目前也在积极制定基于车队层面的零排放卡车目标，希望到 2045 年在加州的中型和重型卡车车队全部转型为零排放汽车⁴，这相当于从消费端明确了零排放卡车的发展目标。

1.2 欧盟

2019 年欧盟通过了首个针对重型车的 CO2 排放标准法规，要求从 2025 年开始新注册重型卡车的 CO2 排放在 2019 年基础上至少减少 15%，从 2030 年开始至少减少 30%。其中，2025 年目标是强制性的，被认为可以通过采用已有技术路径实现，2030 年目标则会在 2022 年重新评估。该标准将首先在占重型车辆 CO2 排放量 65-70%的重卡上实施，到 2022 年，将通过评估确定是否将该标准覆盖范围扩展至其他车辆类型，如小型卡车、公共汽车、长途汽车和牵引车等。该标准同时涵盖了以技术中立的方式对零排放

和低排放车辆（Zero-and low-emission vehicles, ZLEV）的激励机制，以鼓励 ZLEV 发展⁵。

欧洲汽车制造商协会（ACEA）数据显示，2018-2020 年欧盟新注册商用车中，柴油车仍占据绝对主导地位，混合动力、电动以及替代燃料新车占比稳步提升，其中公共汽车电动化比例最高，2020 年达到 6%，货车和卡车电动化率仅为 0.4%和 2%⁶（图 1 所示）。



注：根据欧盟分类习惯，公共汽车指 buses，货车指 vans，卡车指 trucks；

数据来源：ACEA，<https://www.acea.auto/figure/eu-commercial-vehicle-production/>

图 1 2018-2020 年欧盟新注册商用车能源类型分布

现阶段，商用车电动化技术仍处于初级阶段，暂时也不具备成本优势，欧盟对中长期的商用车电动化比例尚未提出明确要求。欧洲国家中，挪威要求到 2025 年，轻型厢式货车的新车销售全部为电动汽车，到 2030 年长途客车和卡车的电动汽车在新车销售中的比例分别达到 75%和 50%⁷，其他部分国家暂时只对轻型商用车提出了电动化目标⁸。

1.3 日本

日本作为汽车强国，在汽车节能发展和技术创新方面一直走在世界前列。根据日本《新一代汽车战略 2010》和《日本汽车战略 2014》，日本有关汽车市场的政策目标是到 2030 年实现新一代汽车市场占比达到 50-70%。其中，HEV 占比 30-40%，EV 和 PHEV 占比 20-30%，清洁柴油车占比 5-10%，燃料电池汽车占比 3%。日本政府尤其重视氢能源发展，在 2013 年推出的《日本再复兴战略》中首次将发展氢能源提升为国策，次年对该战略进行修订并提出努力建设“氢能源社会”。在《氢能/燃料电池战略发展路线图》和

“氢能基本战略”⁹中，制定了 2025 和 2030 年燃料电池汽车的数量目标，分别为 20 万辆和 80 万辆，并提出在 2030 年左右实现氢气同汽油、液化石油气同等成本的目标。

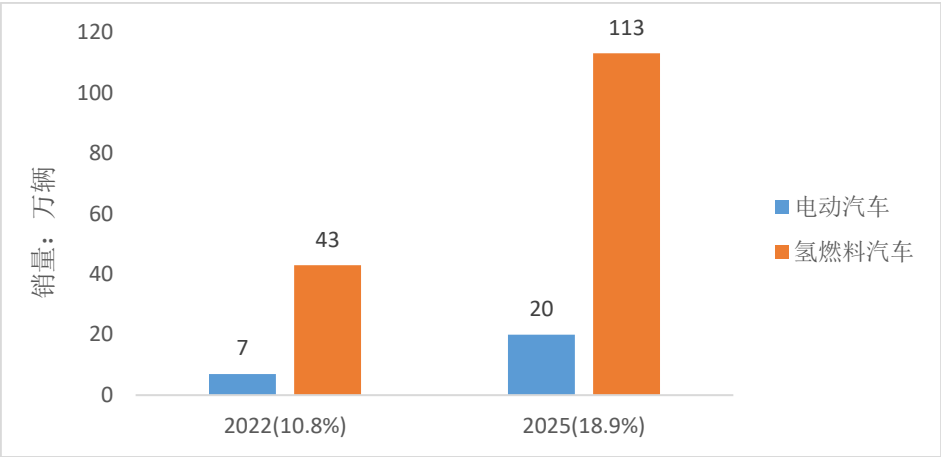
2020 年 12 月底，日本政府发布了“绿色增长战略”¹⁰，提出“将在 15 年内禁售汽油车”。根据该计划，到 2035 年电动汽车（包含混合动力汽车、燃料电池汽车）将替代汽油车，以加快实现本世纪中叶净零排放的目标。不过，日本仍未对外公开针对商用车领域的电动化发展目标。

1.4 韩国

韩国致力于成为全球第一的绿色汽车供应商，并将为此提供政策支持和 60 万亿韩元的财政支持¹¹。韩国总统文在寅在 2019 年的一次演说中提到，“到 2030 年韩国将使新车市场中电动车型和氢能驱动车型的比例提高至 33%并在全球绿色汽车市场总至少保持 10%的份额”，为此韩国计划到 2025 年建成 15000 座充电站，到 2030 年建成 660 座加氢站。此前据韩国媒体报道，韩国政府希望到 2030 年实现客车和卡车的零排放化¹²，韩国最大的汽车企业现代集团也正在加快商用车电动化平台发展¹³。

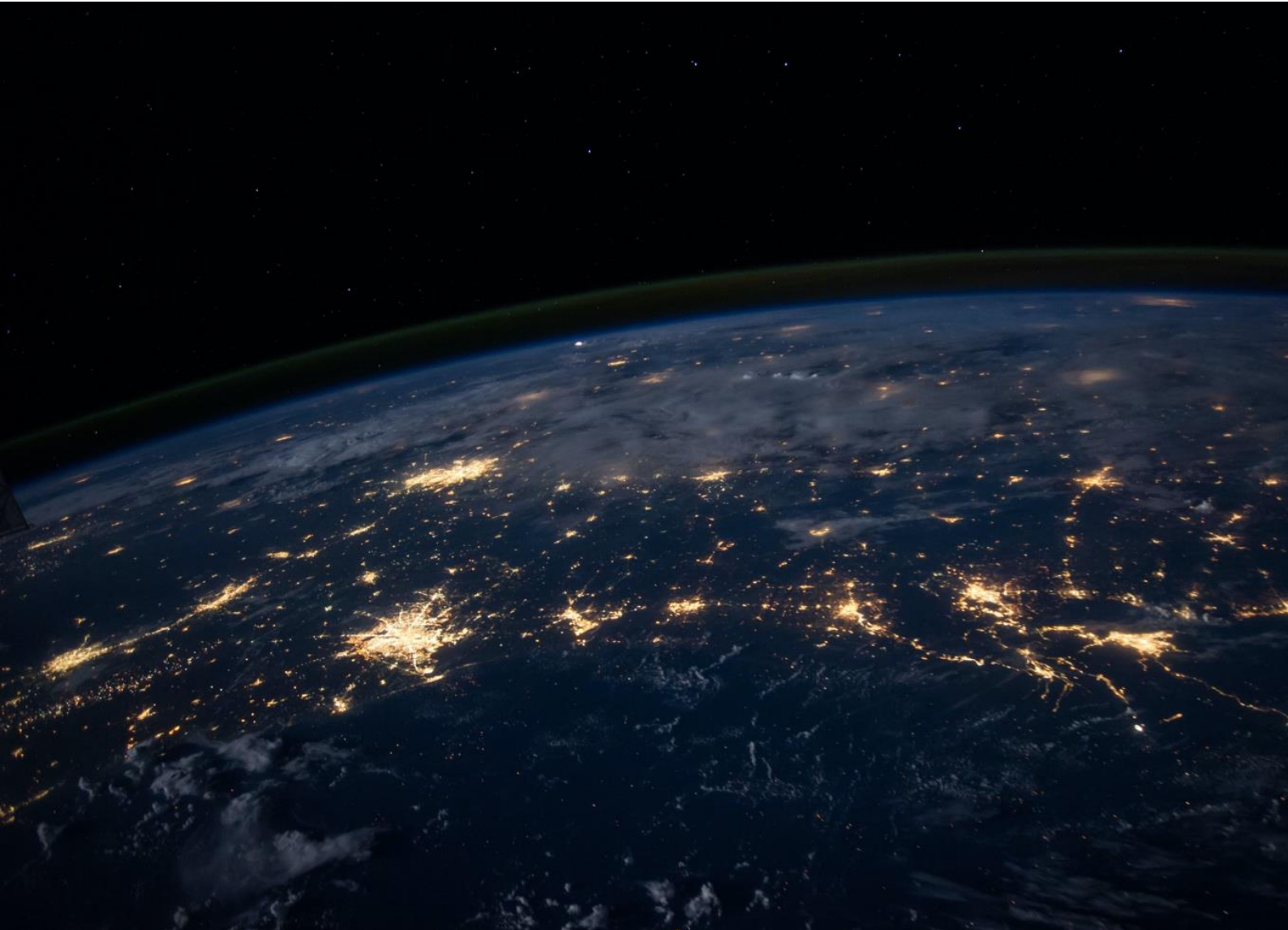
据韩联社¹⁴报道，2020 年韩国新车销售市场中环保车型（含传统混合动力、插电式混合动力、纯电动以及燃料电池汽车）销量达到 22.5 万辆，其中传统混合动力车型占比超过 3/4，广义的电动汽车在当年新车市场上的比例仅为 2.7%。

目前韩国共有 24 万辆绿色低碳排放汽车，相关部门提出到 2025 年将这一数字提升到 133 万辆，从而使每五辆在用车中就有一辆是低碳汽车¹⁵，具体如图 2 所示。为此，韩国政府延长了对电动车和氢燃料电池车在内的绿色低碳排放车型的补贴。其中，对电动乘用车型的补贴将延长至 2024 年，对电动商用客车和卡车的补贴延长至 2025 年，从 2021 年起氢燃料卡车购买者将获得政府补助，2022 年起商用氢燃料电池汽车将获得加氢补贴，到 2025 年所有氢燃料车型都将获得相应补贴。



注：表中横坐标年份后的括号里的数字表示该年度低排放汽车占在用车总量的比例。

图 2 韩国绿色低碳汽车供应计划



二、中国商用车市场发展

2.1 商用车分类标准

在相当长一段时期内，中国汽车行业采用的分类方式为载客汽车、载货汽车和轿车，为了与国际主流汽车市场接轨，“商用车辆”在《GB/T 3730.1-2001 汽车和半挂车的术语和定义》标准中首次被提出，是指“在设计和技术特征上用于运送人员和货物的汽车，并且可以牵引挂车”。

由于历史沿革因素，目前对商用车的分类标准并不统一。现行的标准包括《GB/T 15089-2001 机动车辆及挂车分类》、《GA 802-2019 道路交通管理机动车类型》、《GB/T 3730.1-2001 汽车和挂车类型的术语和定义》、《GB/T 17350-2009 专用汽车和专用挂车术语、代号和编制方法》等，参见表 2。作为汽车行业的统计归口单位，中国汽车工业协会主要依据 GB/T 15089 来对商用车进行分类，而公安部作为交通运输管理部门，则依据 GA 802 作为划分依据。不同行业组织和研究单位则根据自身的研究需要和数据来源，选择相应的分类方式开展研究。

表 2 现行商用车行业分类标准（部分）

标准号及名称	其中的商用车分类	分类依据	数据来源
《GB/T 3730.1-2001 汽车和挂车类型的术语和定义》	1) 客车-含小型客车、城市客车、长途客车、旅游客车、铰链客车、无轨电车、越野客车和专用客车 2) 半挂牵引车 3) 货车-含普通货车、多用途货车、全挂牵引车、越野货车、专用作业车和专用货车	结构设计和技術特性	行业统计口径
《GB/T 15089-2001 机动车辆及挂车分类》	1) M2、M3 类 2) N1、N2、N3 类	最大设计总质量、座位数和可载人数	行业统计口径
《GA 802-2019 道路交通管理机动车类型》	1) 载客汽车-含大、中、小、微型（其中小、微型一般不属于商用车范畴） 2) 载货汽车-含重、中、轻、微型 3) 专项作业车	车身长度、载客人数和最大设计总质量	公安统计口径
《GB/T 17350-2009 专用汽车和专用挂车术语、代号和编制方法》	1) 厢式汽车-含专用运输汽车和专用作业汽车 2) 罐式汽车-含专用运输汽车和专用作业汽车 3) 专用自卸汽车-含专用运输汽车和专	结构设计和技術特性	专用车辆数据

	用作业汽车 4) 仓栅式汽车 -含专用运输汽车和专用作业汽车 5) 起重举升汽车 -含专用运输汽车和专用作业汽车 6) 特种结构汽车 -含专用运输汽车和专用作业汽车		
--	--	--	--

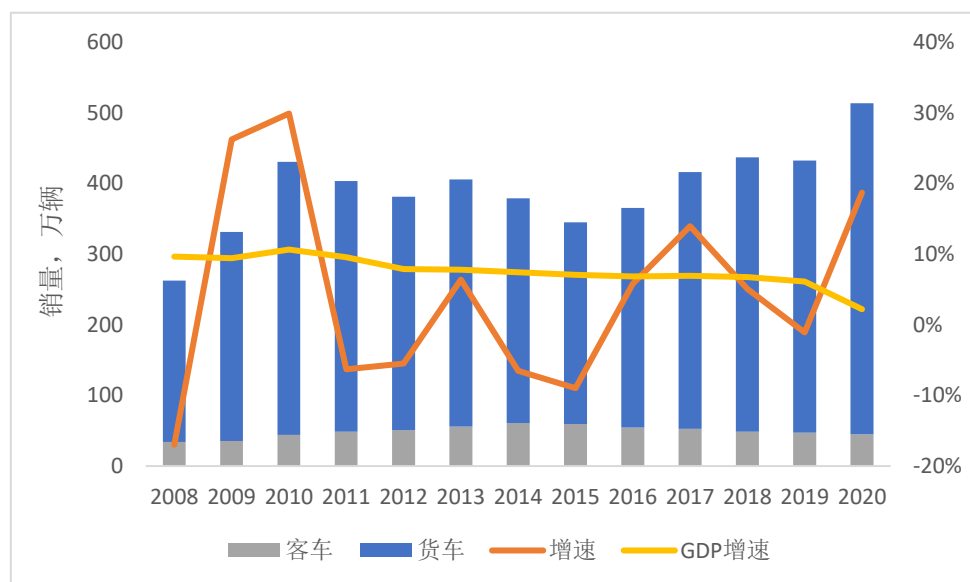
资料来源：参考以上所列各标准具体内容，iCET 整理

值得指出的是，商用车的应用场景复杂，在消费终端，往往会根据车辆的使用场景再进行细分。基于这一前提的分类方式多样，具体情况视研究需要和数据可及性而定。

2.2 商用车产销规模

2.2.1 历史趋势

商用车是重要的社会生产资料，整体市场发展与宏观经济水平、国家和行业政策、企业布局、社会投资等因素密不可分。2008 年以来，商用车销量经历了三个周期，见图 3。2008-2012 年中国经济由高速增长缓慢回落，2010 年 GDP 增速再次超过 10%，也促使商用车销量一扫颓势达到 430 万辆的高点。此后，商用车销量分别在 2013 年和 2018 年达到一个小高峰。2020 年情况尽管特殊，虽全球疫情压力极大，但在国 III 汽车淘汰、治超加严及基建投资等国内因素的综合影响下，商用车销量首超 500 万辆，创历史新高。

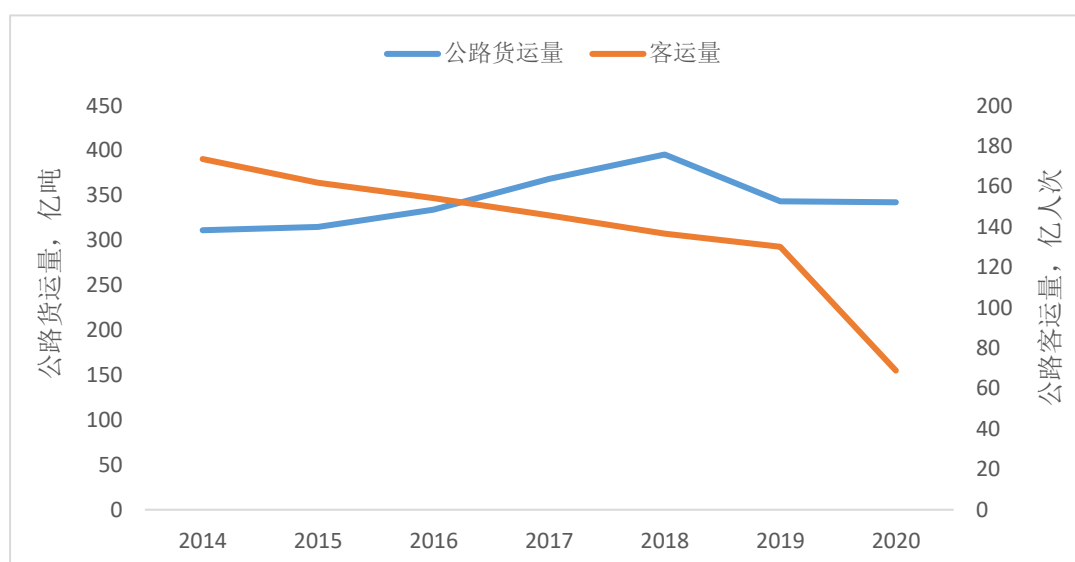


注：商用车销量数据来自中国汽车工业协会；GDP 增速根据中国统计年鉴相关数据核算

图 3 商用车历年销量

2.2.2 商用车市场预测

商用车市场发展受公路客、货运量影响较大，图 4 展示了 2014 年以来公路客运量和货运量的变化趋势。随着高铁、飞机等交通出行方式的进一步普及和私家车数量的不断增加，公路客运量近年来持续下降。城市客车的电动化置换也已进入平稳期，截至 2019 年底，北京、山西、湖南、上海等 7 个省市新增及置换的新能源公交比重占比达 100%。短期内，客车市场缺少增长点，预计仍将持续小幅下降趋势，直至市场趋稳。



注：数据来自于中国统计年鉴及 2020 年国民经济和社会发展统计公报

图 4 公路货运量和客运量趋势

货车是商用车市场增长的主要拉动力。研究认为商用车市场仍有一定增长空间，同时受多重因素影响，也可能会呈现出一定的周期性波动。这些因素包括：

1) 高排放老旧柴油车的淘汰。老旧柴油车的污染物排放水平相当于一辆普通乘用车排放水平的 10 倍以上，为减少污染物排放，促进汽车消费并汽车产业转型升级，国务院在《打赢蓝天保卫战三年行动计划》中提出“大力淘汰老旧车辆”，“大力推进国三及以下排放标准营运柴油货车提前淘汰更新”，尤其是京津冀及周边地区和汾渭平原¹⁶，并对报废车辆提供财政补贴。从重型车国三排放标准的实施时间段（2008/1/1-2010/12/31）来看，按照《机动车强制报废标准规定》¹⁷，多数国三重型车已经接近原则报废年限（10-15 年左右，特殊车辆除外），未来几年非重点区域也将集中进入国三柴油车的淘汰高峰，这对货车销量将起到重要拉动作用。

2) 基建投资增多和城镇化加速。长期以来基建投资在经济稳增长举措中扮演着重要角色，在多年高速增长形势下，基建投资市场的空间似乎已经不大，不过随着国家“新

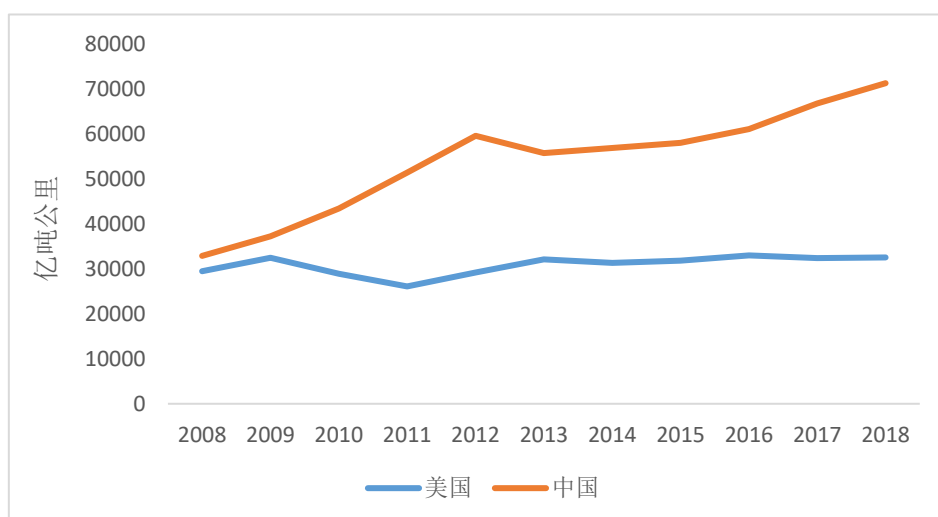
基建”¹⁸概念的提出，以 5G 基建、特高压、城际高速铁路和城际轨道交通、新能源汽车充电桩、大数据中心、人工智能和工业互联网为核心的高科技领域将迎来发展风口期，这也将拉动一批实体基建项目投资建设。与此同时，中国城镇化仍处在快速提升时期，60%左右的城镇化率仍远低于发达国家 80%的平均水平¹⁹，城镇化建设必然也将带动大批基建投资，从而增加对工程类和货运车辆的需求。

3) 快递业的持续蓬勃和冷链、短途高频商品运输需求的增加。近年来中国快递行业持续蓬勃，目前行业头部企业圈已基本形成，但快递运单量仍处在快速增长期，快递企业网点也逐渐延伸至偏远乡村地区，企业车队的用车需求还在增长。另一方面，近几年冷链物流业发展迅速，基于互联网的同城及城市圈短途高频商品运输也呈现高速发展态势，这些都将催生对货运车辆的用车需求。

4) 汽车电动化转型的推进。全球形势下，汽车行业面临全面电动化转型挑战，商用车是重要的二氧化碳和空气污染物排放源，全面电动化转型也被提上日程（加州已经提出明确时间表）。目前，在中国，除客车外的其他商用车的电动化还处在起步阶段，在相关政策的助推下，商用车全面电动化发展必将加速，从而也将进一步释放大量的商用车消费潜力。

5) 其他影响商用车市场的政策、经济和社会因素。

同时也应注意到，货运业的繁荣不一定以货车体量的大幅增长为前提。目前，我国货车的质量仍有待提升，车辆平均报废年限较欧美等发达经济体短，随着货车质量不断提升，在同样的货运周转量情况下，需要的货车数量则会相应下降。另一个较为重要的因素是对货运网络进行智能化管理和调配，从货运周转量来看，即便在不含“最后一公里”运输下，我国的货运周转量远高于美国，但运送初级生产资料的比例高，且多为短倒接驳，如果能形成集约型目的地群，对货运活动进行智能化调配，将能进一步降低对货车数量的依赖（如图 5）。



数据来源：中国-《中国统计年鉴 2020》，美国-United States Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics, <https://www.bts.gov/us-ton-miles-freight>

图 5 中美两国公路货运周转量比较

过去二十年来，商用车产销在波动中保持增长趋势，未来中国商用车市场仍存在着一定的增长潜力。但也应该认识到，过去二十年是中国经济高速发展的时期，对商用车市场的发展起到了不可替代的促进作用。目前中国经济发展进入了新时期，且社会对智慧交通、低碳交通的需求越来越强烈，因此基于现状预测商用车长期的市场走势仍有很多不确定性。

就货运汽车而言，清华大学的一项研究²⁰认为，卡车的增长随 GDP 增长率的降低呈下降趋势，研究基于对日本卡车数量的增长及其对 GDP 的弹性的分析，预测当中国的人均 GDP 水平与日本 1992 年相近时，中国货运车辆增长将与经济脱钩，大概在 2030 年左右停止增长。中国汽车工程学会²¹对汽车保有量趋势的相关预测研究发现，由于运输结构和优化和运输效率的提高，中国的中重型货车的数量将在 2030-2035 年达到峰值。

结合文献资料及一些专家观点，本研究中预测商用车年销量峰值将于 2030 年前后达到。商用车销量水平不仅受到宏观经济的影响，还与相关政策的变动紧密相关，如排放标准切换、老旧车淘汰等。在 2020 年商用车销量达到 513 万辆历史高位后，2021 上半年商用车市场依然保持良好发展势头，前六个月销量达到 288 万辆，其中主要增长贡献仍来自货运车辆²²。

根据《节能与新能源汽车技术路线图(2.0)》，汽车产量在 2030 年左右预计可达 3800 万辆规模，而商用车在汽车总销量中的占比一般在 15%左右（2020 年约 20%），据此推

断，2030 年商用车新车销量规模约在 570 万辆。不过，从全球范围来看，受新冠疫情以及更严格的气候变化目标等影响，汽车行业发展可能略有延缓，中国汽车工业也不可避免地遭受芯片短缺等因素影响。

因此，本研究中预测商用车销量峰值约在 550 万辆左右。同时，销量达峰后，由于中重型货车将保持稳中缓降趋势，轻型物流车则还有一定增长空间，研究判断，商用车销量达到峰值后将维持 15 年左右的平台期，此后进入缓慢下降通道。

2.3 商用车节能与新能源技术

商用车，尤其是货车，承担着维持社会经济运转的重要任务，除部分具有特定使用场景和路线的车类外，货车对成本、运载能力、使用便捷性有很高的需求。以现在的电池技术和燃料电池发展情况看，在轻卡到重卡全领域全面发展新能源汽车不可能一蹴而就。因此，在相当长一段时期内，建议在节能和环保的前提下鼓励货车能源驱动形式的多元化发展。

表 3 对国内外主要商用车企业未来的产品及战略规划进行了汇总，可以看出：在技术路线方面，绝大多数企业仍然选择主攻纯电动方向，对氢燃料电池进行技术探索和研究，混合动力技术几乎未在企业规划里进行侧重；在战略方面，只有部分以商用车为主的企业对商用车细分市场的电动化目标有了比较明确的判断，产品线覆盖乘、商两侧的企业则主要对汽车整体的电动化目标进行了定位；时间线上看，多数企业仅发布了 2025 年前后的规划，而未明确更长期的电动化目标。

表 3 部分商用车集团对节能和新能源汽车的战略规划汇总

商用车集团	汽车/商用车战略规划	汽车/商用车产品规划
斯堪尼亚	转型为可持续运输系统的领导者。纯电动卡车将成为驱动这一转型的主要工具，为用户提供更经济的运输方案，并降低碳排放。	- 到 2025 年，电动汽车销量将占其欧洲总销量的 10%左右，到 2030 年，电动汽车将占其总销量的 50%。 - 已投资氢燃料技术，目前是唯一一家可与用户一同运营车辆的重型汽车制造商。
沃尔沃	致力于将"2040 环境计划"落实到 2015 年《全球巴黎气候协定》中，并通过应用区块链技术实现电动汽车电池原材料全球可追溯性的汽车制造商。	逐步淘汰包括混合动力汽车在内的所有内燃机汽车产品，到 2030 年实现仅出售纯电动汽车的目标，且所有车型将全部在线上销售。
日野	到 2030 年，其商用车的全球销售数量中的电动车的占比提高到一半，2050 年实现占比 100%。	- 将于 2022 年初夏向市场投放小型电动卡车“日野 Dutro ZEV”，用于“最后一公里”运输 - 其母公司丰田汽车已将 2030 年完成 550 万辆电动车的销售目标提前至 2025 年。
福特	福特汽车将在 2025 年前加大在电动化领域投资，总投资额超过 220 亿美元，这一数字接近公司此前承诺的投资额的两倍。在皮卡、商用车及 SUV 等福特的主要优势领域，将坚定发展智能网联电动化汽车及服务。	- 在 2021 年末和 2022 年中相继推出首款纯电动商用车全顺 E-Transit 和纯电动 F-150 皮卡车型 - 到 2024 年其所有商用车系列车型都将采用纯电动或插电式混合动力
陕汽	力争到 2035 年，全系列商用车业务达到国际领先水平。	为了顺利实现“2035 战略”，陕汽控股集团在全力推进重卡业务转型升级、提质增效、迈向高端的同时，发力中轻卡业务，在宝鸡建设高水平的陕汽全系列商用车产业基地，达到 10 万辆以上的产销规模。
中国重汽	新能源重卡为新的发展方向，公司在山东省济南市莱芜区山东重工绿色制造产业城投资智能网联（新能源）重卡项目，以此来满足公司智能网联汽车、新能源汽车的产能需求。	中国重汽的卡车、客车各品系都有新能源产品布局，有的投入实际运营，有的正在加快推进研发力度，目前已有纯电动牵引车、纯电动轻卡、氢燃料电池环卫车和氢燃料电池码头牵引车等新能源车型进入生产阶段
北汽福田	以纯电动物流车为主线，定位城市配送和末端物流，聚	2020-2021 年福田汽车将聚焦核心市场、聚焦新能源轻卡、VAN、大中客优

	焦轻卡、VAN、小型物流车，到 2025 年实现销量 20 万辆，在新能源商用车市场占有率达到 30%，销售收入 150 亿元。	势产品，计划销售 4 万辆，总市场占有率 18%； • 2024-2025 年新能源商用车销量达到 20 万辆，市场总占有率达到 30%； • 力争 2023 年累计推广氢燃料电池商用车 4000 台，到 2025 年累计推广 15000 台，2030 年累积推广 20 万台。
江淮汽车	重点发展纯电动和插电式混合动力两大技术平台，新能源商用车将聚焦市政环卫及城市物流两大市场。	• 到 2025 年，在该公司规划的 100 万台年产销量目标中，新能源汽车将占 30% 以上
东风柳汽	按照集团“十四五”规划，2025 年将整体实现销量目标 16 万辆，驶上全新发展轨道。	• 在 2020 年柳州市第四批科技计划拟立项项目中，上汽通用五菱和东风柳汽均在增程式混动技术上发力； • 东风柳汽还联合华中科技大学和桂林电子科技大学，进行续航 400 公里氢燃料电池轻型物流商用车集成开发。
一汽解放	一汽解放 2023 年整车销量将达到 43 万辆，2025 年整车销量将达到 50 万辆，2030 年整车销量将达到 60 万辆。一汽解放以“哥伦布计划”为蓝图，全面加强在车联网领域的自主技术突破，确立在车联网领域的世界领先地位；聚焦智能车产品技术储备、统筹规划，分场景开发智能车产品。限定区域内 L4 级自动驾驶 2020 年示范运营，2023 年商业运营，全工况 L5 级自动驾驶 2025 年完成产品开发，探索运营模式，扩大核心优势，引领行业标准制定。	• 在新能源方面，一汽解放全力打造“解放蓝途”技术子品牌，将于 2020 年推出全新纯电动轻型车平台；2025 年，形成轻、中、重全系列纯电动、混合动力、燃料电池技术并举的新能源产品组合。

资料来源：iCET 根据网络资料整理



2.3.1 混合动力技术

《节能与新能源汽车技术路线图（2.0）》中首次对客车和货车提出了油耗下降的建议目标，并根据中国实际情况建议将混合动力技术作为未来 15 年的重要技术路线。该路线图报告是受国家制造强国建设战略咨询委员会和工信部委托，由中国汽车工业学会牵头编制，代表了国内汽车行业研究的最高级别，由此可见，在商用车领域节能降耗仍是中长期发展的核心任务之一。而混合动力技术是实现商用车节能降耗目标的重要战略选择。

混合动力车辆是指使用两种或以上能量为来源驱动的车辆，驱动系统可以有一套或多套，目前市场主流研究及本研究中所说的混合动力汽车指油电混合动力汽车，即利用电动机和内燃机作为动力源的车辆。广义上来说，插电式混合动力和增程式电动汽车都属于混合动力汽车，本研究中所提到的混合动力主要指传统混合动力。混合动力车辆能够节能降耗的基本原理在于，它能够在低速、低负荷的高比油耗区域尽可能让电机工作，而让发动机更多地工作在低比油耗区域，从而实现更高的热效率²³。混合动力系统的动力总成主要有串联式、并联式和混联式三种，根据系统开发不同，又可分为附加式混合动力系统和专用混合动力系统，前者是在已有的自动变速器上加入电动机，整体改动较少，后者则是通过集成一个或多个电动机到变速器中形成带电动机的自动变速器系统。专用混合动力系统开发的成本高昂，需要有规模化的市场需求作为支撑²⁴。

在商用车领域发展混合动力技术的优势在于，混合动力系统效率高于纯电动效率，能更好解决低速大扭矩问题，与传统燃油车辆相比车身无需大改，不会大量增加车身重量，且对长距离运输车辆而言没有里程焦虑问题。不过就现状而言，混合动力商用车发展面临的困难也较多，如无明确政策支持，国内厂商的技术储备有待提升，较同级燃油车成本偏高等。

放眼全球，目前采用传统混合动力技术的中重型商用车型也不多，且主要集中在日本、欧美等发达汽车工业市场，中国市场近期才有若干款混合动力牵引车上市（见表 4）。欧洲汽车制造商协会（ACEA）的数据显示，2020 年欧盟卡车市场中，混合动力汽车的份额仅为 0.1%²⁵。中国大力推广的新能源汽车纳入了插电式混合动力和增程式电动车，但并未包含传统混合动力汽车，同时由于技术和成本问题，传统混合动力技术并未在商用车市场批量应用。从 2020 年商用车销量数据来看，东风商用车、中国一汽、集瑞联合

重工三家企业均有柴油混合动力牵引汽车销售，但销量总和也仅有十余辆。

表 4 部分量产混合动力卡车车型

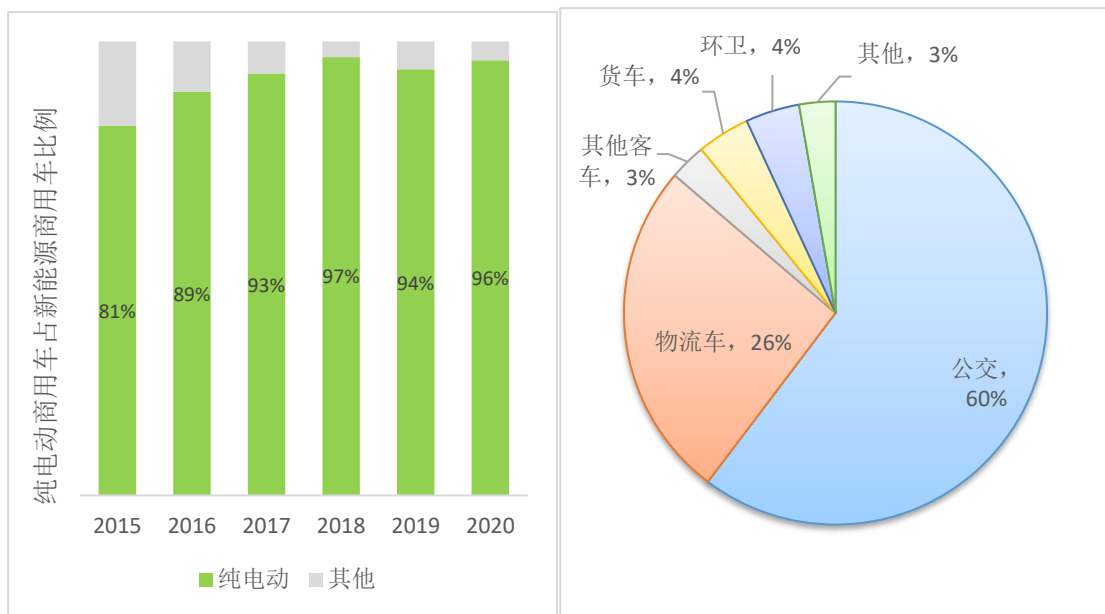
	车型/车系	所属细分市场	发布时间
日野（日本）	Hino Dutro hybrid	轻卡	2003
	Profia	重卡	2015 ²⁶
Liebherr 矿用设备集团（美国）	Liebherr T 282 series	自卸车	2004 ²⁷
五十铃（日本）	ELF	轻卡	2005 ²⁸
三菱（日本）	Canter Eco Hybrid	轻卡	2006 ²⁹
沃尔沃（瑞典）	Volvo FE Hybrid	中重卡	2008 ³⁰
东风商用车（中国）	东风混合动力半挂牵引车	重卡	2020
中国一汽（中国）	解放牌混合动力牵引汽车	重卡	2020
集瑞联合重工（中国）	集瑞联合重工混合动力牵引汽车	重卡	2020

在《节能与新能源汽车技术路线图（2.0）》提出后，业界对混合动力技术在商用车领域的应用也分两种态度。一种认为混合动力系统将迎来利好发展，甚至可以成为中长期商用车发展的主流，另一种则认为目前发展混合动力商用车仍面临多种障碍，在缺乏政策激励的情况下难以打开局面。不过即便在乐观情况下，考虑到技术开发和企业战略规划，混合动力在商用车领域的规模应用至少要推迟到“十四五”后期。

具体应用上，结合混合动力车辆的特点和发展形势，在路况起伏较大和较为拥堵路况下行驶的长途牵引车、工程车等应用场景中使用混合动力车辆能获得较好的节能效果³¹，在超长距离运输中混合动力汽车则能消除里程焦虑，同时获得一定的节油效果³²。

2.3.2 纯电动技术

与混合动力技术面临的局面不同，纯电动汽车能够实现终端零排放，是全球汽车行业公认的低碳发展和零排放转型的首选方案。在商用车领域，目前纯电动技术主要在特定场景的车类上集中应用，包括公交、轻型物流、环卫、泥头车、码头和港口专用车等，如图 6 所示，这与纯电动技术本身的特性和局限性密不可分。



数据来源：中国汽车工业协会及商用车保险数据，iCET 整理

图 6 纯电动商用车在新能源商用车市场占比及主要应用场景分布

政策方面，纯电动汽车一直是政府新能源汽车推广的主要方向，在补贴、路权、充电、牌照等多方面给予了大力支持，并对公交、环卫等公共领域新增和替换汽车提出了新能源汽车比例目标，极大地推动了纯电动汽车在这些场景中的推广。

从纯电动汽车的技术层面看，“三电”（电池、电机和电控）技术正逐步趋向成熟。电池方面，磷酸铁锂电池的价格不断下降，安全性、稳定性和循环性逐步提升，在新能源客车和专用车上广泛应用。能量密度低是磷酸铁锂电池的主要缺点之一，但近两年随着比亚迪发布“刀片电池”³³、国轩高科推出 JTM（Jelly Roll to Module，从卷芯到模组）集成技术³⁴、宁德时代推出 CTP（Cell to Pack）技术³⁵，磷酸铁锂电池模组的能量密度提升至 200 Wh/kg 左右，逐步接近三元锂电池的技术水平。电机方面，按照技术的不同可将新能源汽车电机分为直流电机、交流电机和轮毂电机三类，其中中国具备交流异步电机、永磁同步电机和开关磁阻电机的自主研发能力，永磁同步电机是中国新能源汽车的主要电机应用类型³⁶。《节能与新能源汽车技术路线图（2.0）》研究报告³⁷显示，2019 年中国量产驱动电机重量比功率已经达到 4.0 kW/kg 以上，多个企业自主研发的车用槽栅中止 IGBT 芯片、双面冷却 IGBT 模块和高功率密度电机控制器，功率密度达到 16-20 kW/L，提升幅度明显。

纯电动技术在商用车领域应用仍面临三个主要问题。第一，商用车应用场景复杂，即便是同一类车，按照吨位和大小的不同，主要技术参数也有很大差异，依据车类分别

电动化的难度较大。第二，货车使用者最关注车辆的运载能力，使用纯电动汽车时，车辆的续航里程和电池重量紧密相关，为最大化时间利用率，货车车主对车辆的续航里程有较高期望，但这反过来以增加电池重量的形式挤压了车辆的运载空间，同时大量的电池组块也面临长时间的充电时间问题。虽然换电模式可以基本解决充电问题，但换电站建设的投资和难度也较大，短期内不易实现。第三，纯电动汽车的电池安全性也有待提升。商用车辆使用强度大、周期长，长距离驾驶导致电池负荷增大，易导致电池过热引发安全事故。

成本方面，目前对多数商用车种类而言，纯电动汽车的购置成本仍高于同级别的燃油车，购置资金压力大。使用环节用电成本虽然低于相同里程下的燃油成本，但也需要在较高的平均行驶里程下才能实现与传统燃油车的 TCO（总拥有成本）平衡。

综合以上情况，电动汽车在商用车细分市场中适合的应用场景包括：行驶路线相对固定或工作环境相对封闭，具体如公交、环卫、机场/码头/港口短倒用车等；主要工作区域在城市内部，处于中短距离区间运营，如城市物流车、邮政车、末端配送车等。

2.3.3 燃料电池技术

氢能被认为是未来最具有潜力的清洁能源，很多国家和地区都将氢能提升至非常关键的位置。氢燃料电池汽车也被认为是未来清洁能源汽车的重要发展方向。燃料电池汽车（Fuel Cell Vehicle, FCV）是指使用车载燃料电池装置产生的电力作为动力的汽车，广义上看也是电动汽车的一种。车载燃料电池装置所使用的燃料为高纯度的氢气或含氢燃料经重整所得到的高含氢重整气，目前国际上普遍研究的方向是以氢气为燃料的氢燃料电池汽车。由于燃料电池不需要经过燃烧而是直接通过电化学反应将燃料的化学能转变为电能，因此它的能量转换效率很高。不过就现阶段而言，由于技术因素限制，加上整个装置系统的耗能，燃料电池的总转换效率约为 40-60%³⁸。表 5 对部分国家和地区对氢能及氢燃料电池汽车的相关规划进行了汇总，日本、美国和欧盟均对氢能发展做出了战略部署，并对氢能的产能、成本以及氢燃料电池和基础设施的发展提出了具体目标。中国国家层面目前尚无文件出台，但在地方上，很多地方政府都发布了氢能产业发展规划。

表 5 部分国家和地区对氢能及氢燃料电池的规划

国家 / 地区	氢能战略主要政策文件	氢能发展战略及目标	氢燃料电池发展规划及目标
日本	《氢能基本战略》 ⁹ (2017.12)	· 2030 年产量达到 30 万吨/年 · 2050 年达到 300-1000 万吨/年以上 · 2030、2050 年成本分别达到 3、2 美元/公斤	· 2030 年燃料电池汽车保有量达到 80 万辆，加氢站 900 座
美国	《氢能项目计划》 ³⁹ (2020.11)	· 2050 年氢能占能源消费总量的 14% · 氢气生产成本降至 2 美元/公斤，输配成本 2 美元/公斤	· 燃料电池成本降至 80 美元/kWh，在重型长途卡车上运行寿命达到 25000 小时
欧盟	· 《欧洲绿色协定》(2019.12)⁴⁰ · 《气候中性的欧洲氢能战略》(2020.7)⁴¹	· 2024 年，欧盟应将可再生电力的电解槽制氢产能提升至每年 6 吉瓦，产量达到 100 万吨/年 · 2030 年，将氢产能提升至 40 吉瓦，产量达到 1000 万吨/年 · 2030 年之后，争取实现将可再生资源制氢，即“绿氢”	· 至 2030 年欧盟将建成 1500 余座加氢站，累计推广至少 10 万辆氢燃料电池卡车⁴²
中国	· 国家级氢能发展规划战略文件尚未出台 · 四川省⁴³、山东省⁴⁴、武汉市⁴⁵、佛山市南海区⁴⁶、广州市⁴⁷、青岛市⁴⁸、北京大兴区⁴⁹、苏州市⁵⁰、吉林白城市⁵¹、张家口⁵²等 30 余个省、市发布氢能产业发展相关规划	· 2030 年，中国氢气需求量将达到 3500 万吨，在终端能源体系中占 5%（非规划数据）⁵³ · 2050 年，氢能在中国能源体系中的占比约为 10%，氢能需求量接近 6000 万吨。年经济产值超过 10 万亿元，全国加氢站达到 1000 座以上（非规划数据）	· 2030-2035 年，突破加氢站数量瓶颈，城市间联网跨区域运行，保有量 100 万辆左右，加氢站超过 5000 座，燃料电池商用车续航超过 800km，重卡经济性低于 10 公斤/100km⁵⁴（非规划数据）

混合动力技术和纯电动技术虽然在某些环节仍存在一定的技术壁垒，但整体发展较为成熟。与之不同，氢燃料电池不仅在电池系统需要技术攻关，涵盖制氢、储氢、运氢、加氢等环节的上游产业链也面临很多技术瓶颈。

以制氢为例，目前国际上主要有化石能源制氢、工业副产品提纯制氢、电解水制氢、生物质及其他制氢方式。国际可再生能源机构（IRENA）的一份报告⁵⁵显示，目前超过 95% 的氢气采用化石燃料生产，在全球氢气供应中，仅有 4% 左右的氢气通过电解方式生产。以化石能源制氢在技术上较为成熟，也具有一定的经济性，但在制氢环节会排放大量的二氧化碳，排放比约为 1:11~1:5.5⁵⁶。通过碳捕获与储存（CCS）技术可以将此过程产生二氧化碳进行封存，但资本支出和运营成本高昂，而且 CCS 技术需要一定的地质条件⁵⁷。近几年在 CCS 技术的基础上发展起来一种叫做 CCUS（即碳捕获、利用与封存）的技术，该技术能把捕获到的 CO₂ 进行提纯并投入到新的生产过程中，以实现循环利用，进而产生一定的经济效益⁵⁸。电解水制氢主要通过包括碱性（ALK）电解装置、质子交换膜（PEM）电解装置和固态氧化物电解装置在内的三类装置进行，前两者已经具备规模应用基础但价格较高，后者仍处在开发阶段⁵⁵。而且电解水制氢过程的碳排放取决于电能的清洁程度。因此，有专家认为只有通过风电、光伏电能等完全可再生的电能电解水产生的氢气才是真正意义上的零碳能源。

除此之外，加氢站的布局和建设也是发展氢燃料电池汽车的关键。截至 2019 年底，全球共有 432 座加氢站⁵⁹，截至 2020 年底中国累计建成 118 座加氢站⁶⁰，不过多以示范运营为主，主要服务于公交、物流车等公共领域，市场规模较小。中国的加氢站普遍使用高压气态储氢技术，该技术体积比容量小，安全性不高，缺乏液态储氢技术储备。

基于目前燃料电池汽车的发展现状及各国的定位，在相当长一段时期内，氢燃料电池技术更适合于在长距离和超长距离运输下使用的中重型卡车上应用，待燃料电池汽车具备一定的整体经济效益后可推广至城际客车场景。



三、中国商用车电动化发展现状及趋势

为进一步深入研究中国商用车市场低碳发展情况，我们获取了近五年基于上险的商用车销量数据库。经匹配处理后，该数据库涵盖包括车辆分类、生产企业、车辆型号、车辆类型、使用场景、品牌、排放标准、燃料种类、排量、功率、轴距、发动机信息、底盘型号、整备质量、最大设计总质量、产量和综合工况油耗等信息。

3.1 商用车分类

上一章提到，目前各主管部门对商用车的分类标准并不统一，不同研究课题也需要选择各自合适的分类方式。经过对比研究发现，在对商用车电动化进行分析时，依据应用场景对商用车进行分类更能够反映不同类型车型进行电动化转型的丰富可能性。

本研究中将商用车分为客车、货车、半挂牵引车和专用车四大类，再依据不同应用场景将客车和专用车进行细分，见图 7。由于专用车应用场景异常复杂，环卫车、城市物流车、冷藏车（又叫冷链车）等车类电动化需求迫切，作业车、专用运输车等结构特殊，因此对专用车的划分最为细致。

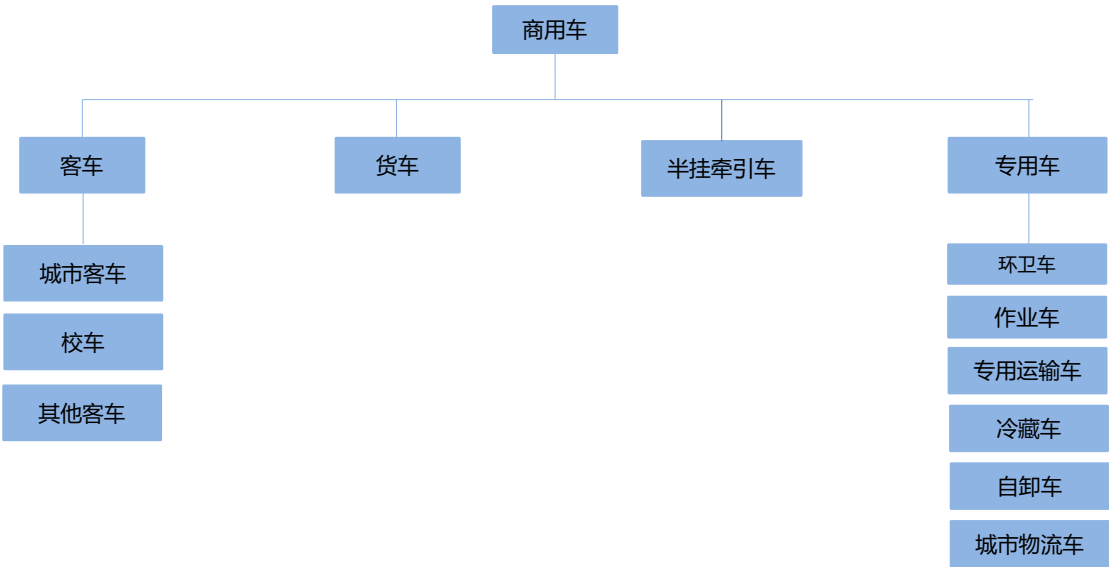


图 7 本研究中对商用车的具体分类

基于研究中对商用车的具体分类，图 8 展示了 2020 年度不同场景车类在整体新车销量中的占比情况。可以看出，货车、半挂牵引车和城市物流车是占比最大的三类车，合计约占商用车总销量的 76%；专用车中除城市物流车和自卸车外，其他场景车类的市场份额较为平均；由于在本研究中用作专用用途的客车划分在专用车类别中，客车的整

体占比与行业统计口径略有不同，其中，城市客车和其他场景客车占比最大，校车的市场份额最低。

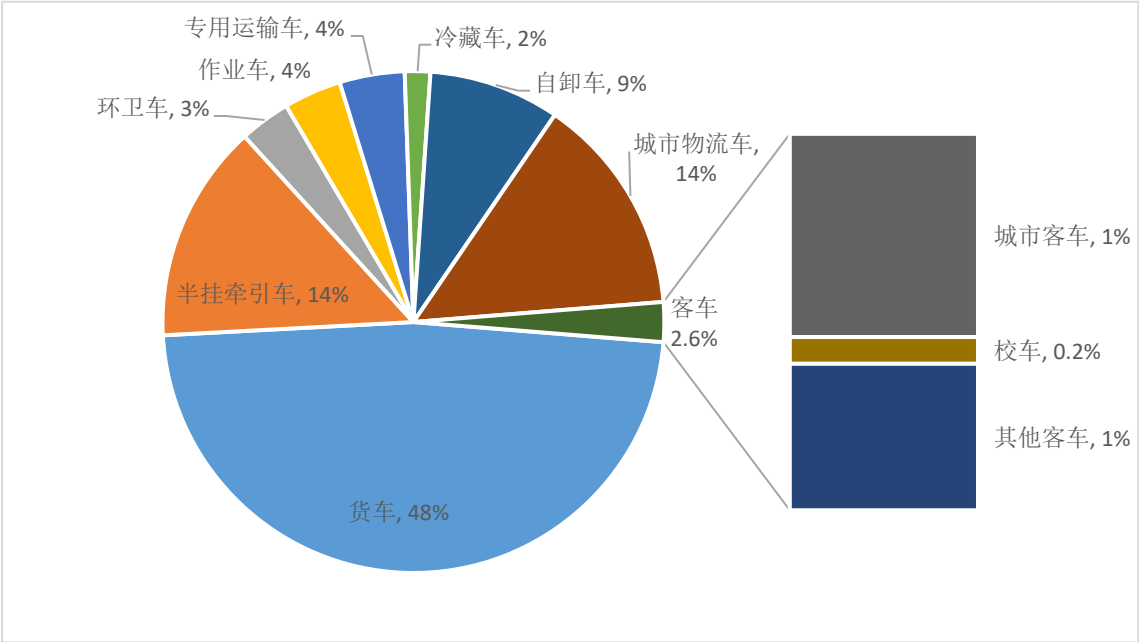


图 8 不同场景新车销量占比情况（2020 年）

除此之外，由于车辆大小不一，同一场景下的车型也存在较大的发展差异。例如，在卡车领域，目前轻卡的电动化发展较快，中重卡领域受制于技术等因素电动化进程存在较大限制。研究中对以上四类场景的车型按照车身长度、车重等参数进一步划分为轻、中、重（大）型，如表 6 所示。

表 6 基于车身长度和车重的细分说明

车类	细分	划分依据	备注
货车/专用车	轻型	最大设计总质量<4.5 吨	按照 GA 802 的标准，微型货车的体量很小，本研究中将微型和轻型货车合并在一起
	中型	4.5 吨≤最大设计总质量<12 吨	
	重型	最大设计总质量≥12 吨	
客车	轻型	座位数>9, 3.5 米<车身长度≤7 米	
	中型	座位数>9, 7 米<车身长度≤10 米	
	大型	座位数>9, 车身长度>10 米	
半挂牵引车	/	/	根据 GB/T 15089，半挂牵引车的车辆分类依据的质量是处于可行驶状态的牵引车质量、半挂车传递到牵引车上的最大直静载荷、牵引车自身最大设计装载质量之和，这一质量普遍很大，远高于其他非客运

			车辆的车重等级，因此对其不再做具体细分。
--	--	--	----------------------

3.2 中国商用车电动化发展现状

3.2.1 整体情况

在中国商用车领域，电动化是目前被普遍认可的低碳发展路径。本报告中提到的电动化情况是指针对研究的某一类车，在某一年度内纯电动汽车、插电式混合动力汽车（含增程式汽车）和燃料电池汽车的销量之和占该类车全年新车总销量的比例。

截至 2019 年，中国新能源汽车产销规模连续五年位列全球首位。中国汽车工业协会的数据显示，2020 年中国新能源汽车销量 136.7 万辆，仅次于欧洲市场。其中，新能源汽车产销仍以乘用车为主，2020 年新能源商用车累计仅销售 12.1 万辆，仅占商用车总销量的 2.4%。2017 年以来，受补贴退坡等因素影响，新能源商用车在商用车整体市场中的比例连续下降，如图 9 所示。

类型上来看，纯电动汽车是新能源商用车的主要构成，新车销售占比逐年增高，插电式混合动力汽车销量连续下降，燃料电池汽车也仍处在示范运营时期，销量仅有千辆规模。

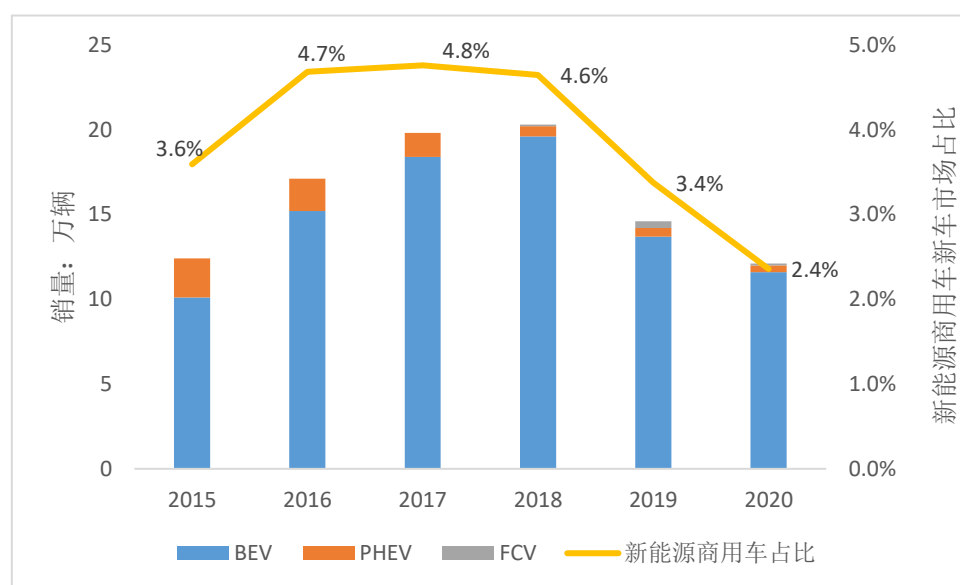


图 9 2015-2020 年新能源商用车销量及市场占比

新能源商用车发展轨迹大致可以分为起步期、培育期、成长期和成熟期（图 10）。在前三个时期，公共领域是新能源商用车发展的主导力量，尤其是在城市客车领域。不

过，除公共领域外，商用车主要以营利性运营为主，对成本的敏感性很高，而现阶段新能源商用车一次性购置资金仍偏高，与同级别的传统燃油商用车相比尚未显现生命周期的成本优势。从市场发展来看，新能源商用车尚未进入成熟期，但在政策、行业环境、企业规划等方面，其重要性已得到充分体现，相信随着技术的成熟和成本的进一步下降，新能源商用车将能很快进入快速增长通道。

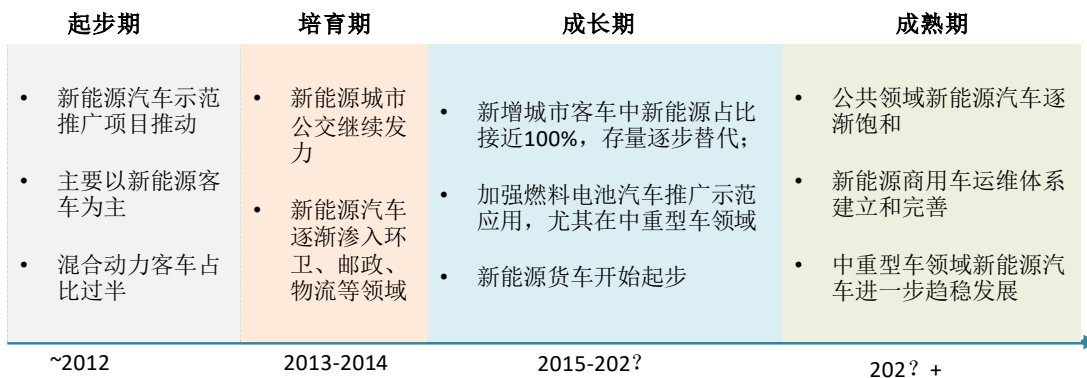


图 10 新能源商用车发展期及特点

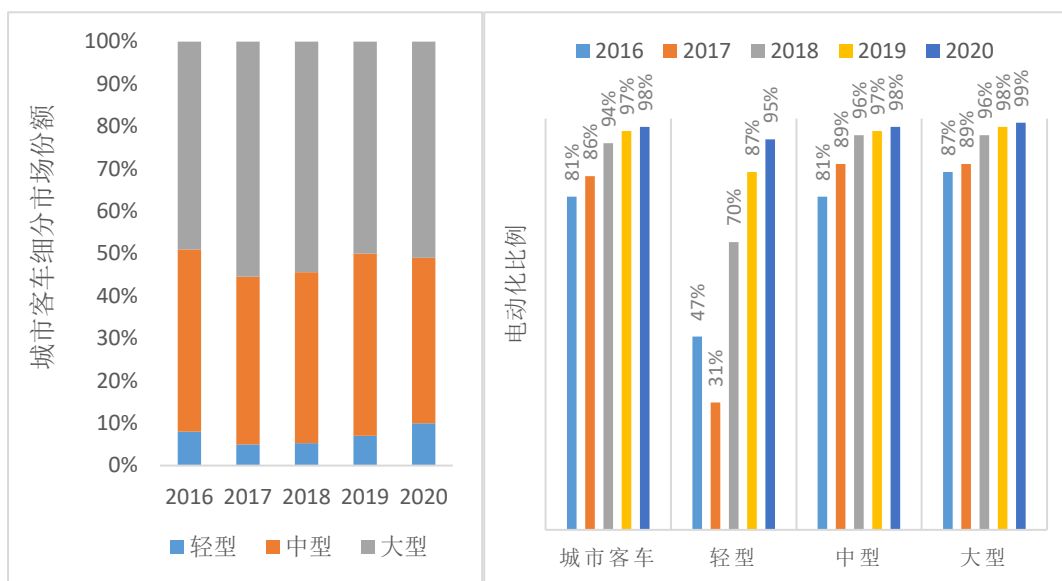
3.2.2 细分场景车类电动化发展现状

以下将按照图 7 的场景分类依据，对不同场景车类的低碳发展现状及趋势进行分析。

1. 城市客车

城市客车，即公交车，是城市公共交通的重要组成部分。鉴于城市客车的特殊用途，轻型车辆占比较低，中型和大型车辆市场份额分别超过 40%和 50%。

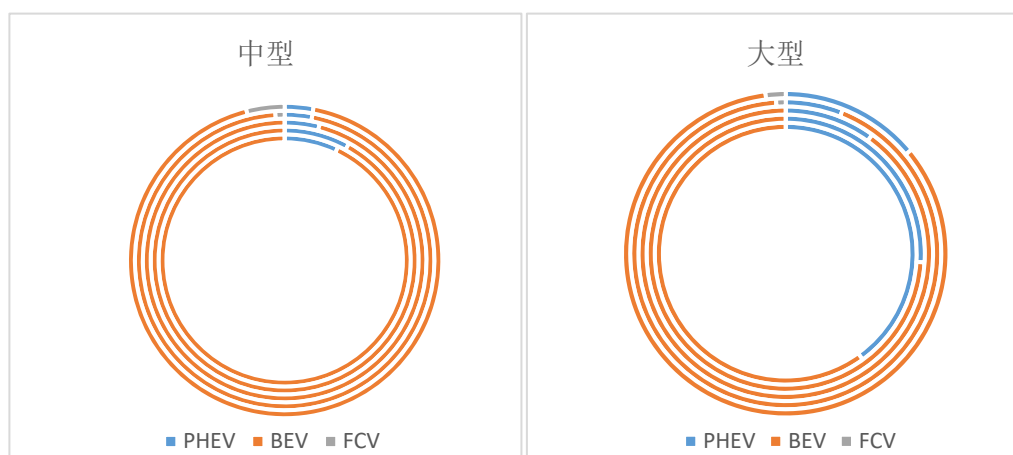
受国家和地方政策驱动，城市客车的电动化程度在所有商用车辆中最高，新能源车型在城市客车新车市场的占比由 2016 年的 81%增加至 2020 年的 98%。其中，中型和大型城市客车的电动化趋势较为同步，轻型城市客车的电动化程度相对偏低，但从 2018 年起呈现快速上升趋势，具体如图 11 所示。



注：电动化包含电动汽车、插电式混合动力汽车及燃料电池汽车。

图 11 城市客车细分市场市场份额占比及电动化趋势

电动化车型选择上，轻型城市客车以纯电车型为主，插电式混合动力主要应用在大型城市客车上，2017 年之后，随着相关补贴不断下调，PHEV 在城市客车中的占比也迅速下降，但 2020 年该比例较前几年又有所回升（图 12），原因可能在于城市中可用于建设充电桩的土地越来越紧张，某些城市因此倾向于选择 PHEV，如北京在 2020 年购入了大量的 PHEV 城市客车，进而拉高了整体占比水平。另一方面，纯电动城市客车的补贴也在不断下降，相比之下，PHEV 在运营上可能更容易管理，因而销量有所回升。燃料电池汽车在这两年也有了一定的发展，2020 年在新能源城市客车新车销售中的占比达到 2%。



注：圆环由内向外依次代表 2016、2017、2018、2019 和 2020 年新车市场情况。

图 12 中型和大型城市客车电动化车型种类分布

2. 校车

校车类别主要包括中小学和幼儿专用校车，图 13 显示，校车中轻型车市场份额最高，近五年平均销量占比接近 60%，其次为中型校车，占比超过 30%，大型校车的市场份额相对较低。现阶段，校车新车市场中，汽、柴油驱动的传统校车仍占据绝对优势，除有少量天然气校车外，其他节能型及新能源车型在该市场尚未打开局面。

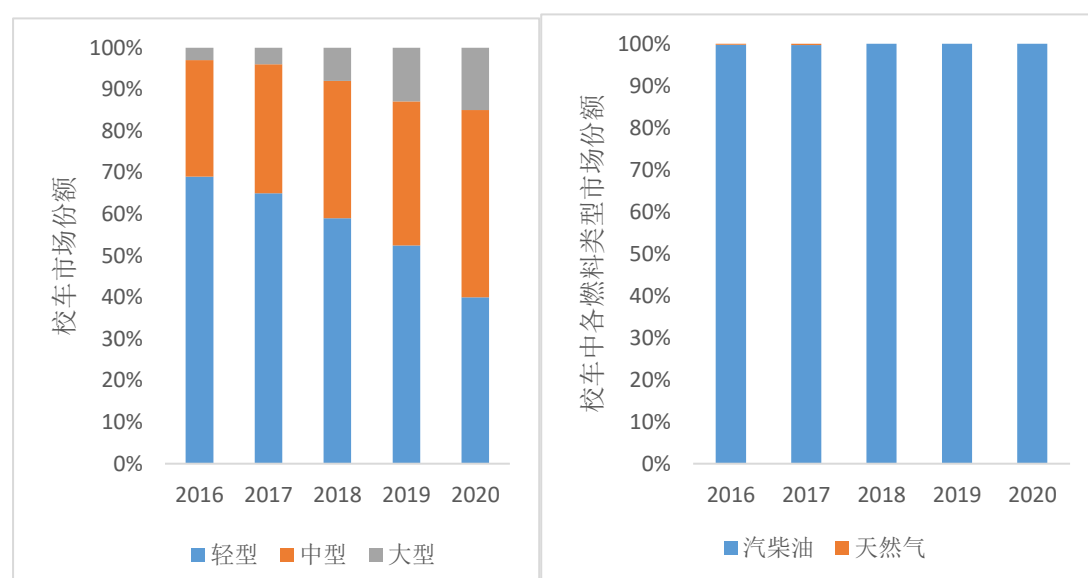


图 13 校车细分市场销量及各燃料类型占比

新能源汽车在校车领域的遇冷与中国校车市场环境有很大关系。首先，中国实际校车市场规模并不大，年销量约为 1~2 万辆，国内主流客车企业对这一市场并没有重视起来；其次，校车在中国主要有政府主导、学校自备和政府补贴企业运营三种模式，三种模式下为校车买单的主体完全不同，对补贴的敏感度也有很大差别；第三，鉴于校车使用的特殊性和专用性，其安全性问题备受重视，在新能源校车的设计上可能需要更多考虑，致使企业迟迟没有行动；再次，对于一般只用来接送学生上下学的校车，它的使用率较低，现阶段置换为新能源汽车的环境效益并不突出。当然，目前来看，客车整体市场并不景气，受国家相关政策的影响较大，企业更愿意将时间用在有政策支持的分市场上。

3. 其他客车

客车中除城市客车和校车之外的其他车辆统一划分到其他客车领域，覆盖的范围较广，主要使用场景包括通勤、旅游客车、城际班车等，但不包括用于专用用途的专用客车。从使用规律上看，这几类车型大多具有较为固定的行驶路线和使用频次。轻型客车

的市场份额最高，超过 50%，中型和大型客车份额相当。

新能源车辆在普通客车的新车销售中已经占据一定比例，但近几年渗透率持续下降，目前已不足 10%。其中，这一类别中，大型客车的电动化进展最快，轻型客车则进展最慢。由于这类客车主要是企业运营，对成本的敏感度较高。近几年补贴标准连续退坡，导致购置成本增加，电动化率持续下降，如图 14。

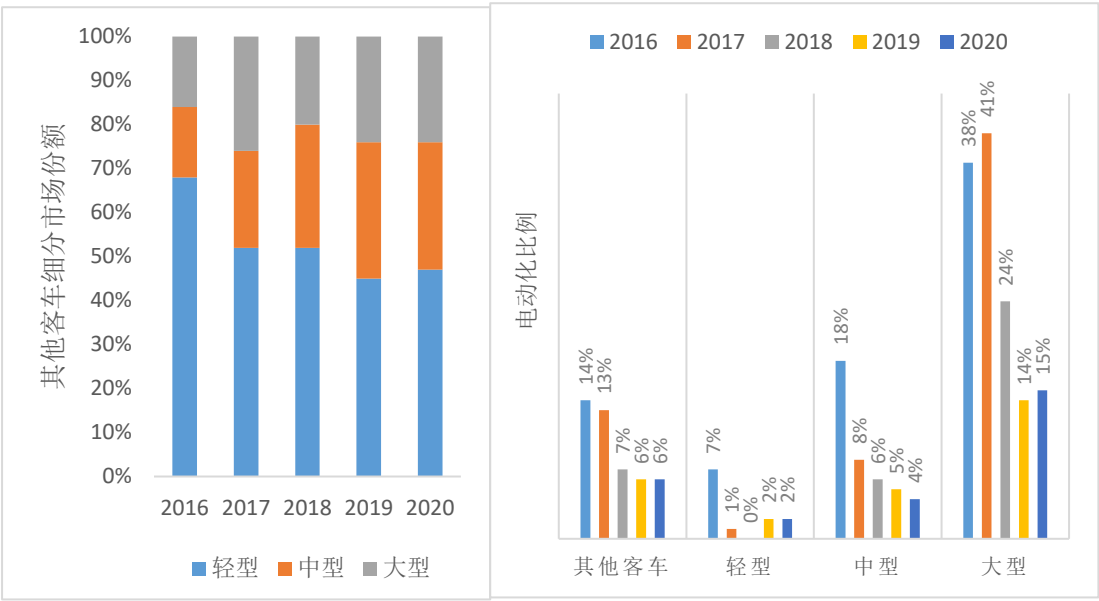
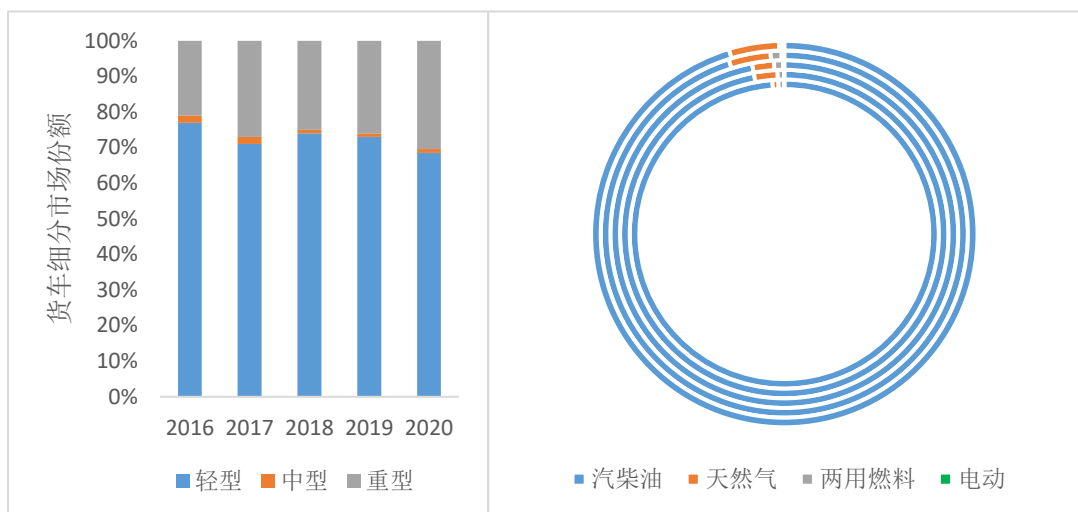


图 14 其他客车细分市场占比及电动化趋势

4. 货车

本研究中将普通载货车、平板及仓栅式运输车、多用途载货车等统称为货车。按照这一划分，货车细分市场中，轻型货车的占比最高，超过 70%，其次为重型货车，占比超过 25%，中型货车的市场份额很低。货车场景中，目前主要燃料驱动形式包括汽柴油、天然气和两用燃料，电动化比例很低，不足 1%，见图 15。



注：右图圆环由内向外依次代表 2016、2017、2018、2019 和 2020 年新车市场情况。

图 15 货车细分市场市场份额占比及主要燃料形式

5. 半挂牵引车

半挂牵引车一般用于重型货物运输和周转，最大组合质量^a普遍很高。以 2020 年的销量数据测算，最大组合质量在 46-49 吨之间的半挂牵引车占比高到 92%，40-43 吨的车型销量占比达到 6%，质量段集中度很高。截至目前，牵引车领域仍以柴油和天然气车型为绝对主力，电动车型年销量约在百辆左右规模，如图 16。

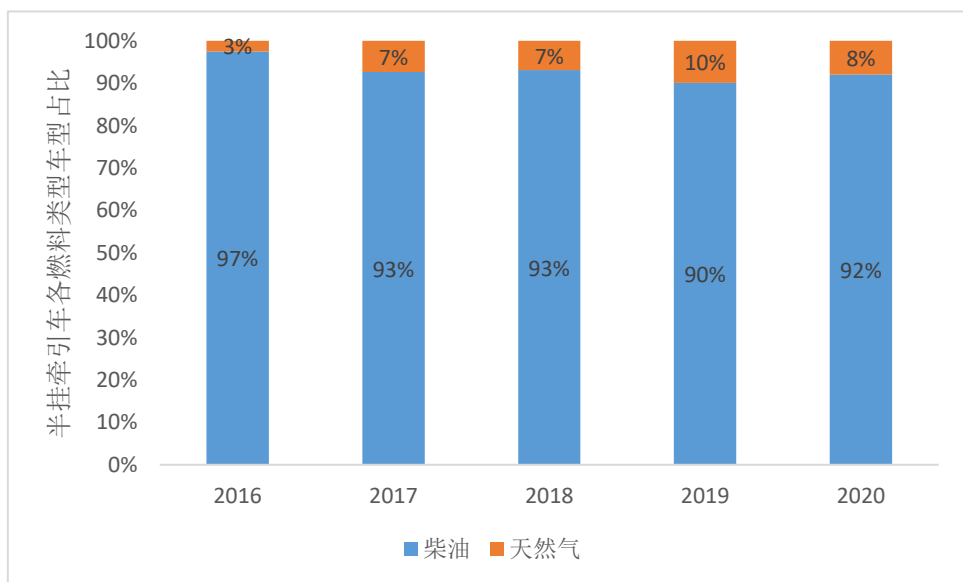


图 16 半挂牵引车主要燃料形式

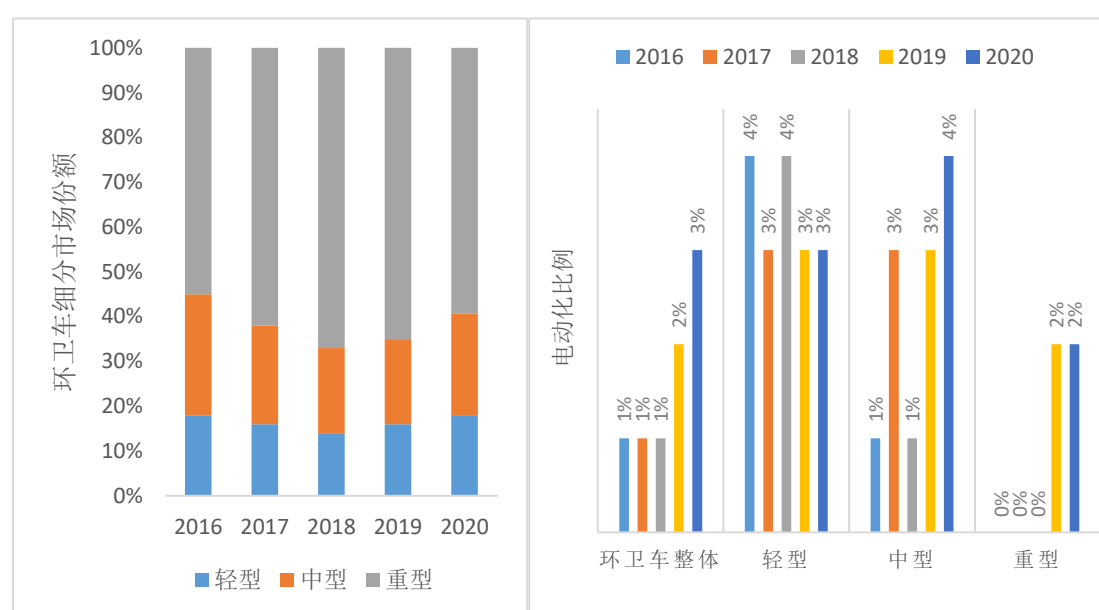
^a 最大组合质量是半挂牵引车在油耗测试中的衡量基准，其计算方法为：最大组合质量=总质量-半挂鞍座质量+挂车质量（即准牵引质量）



6. 环卫车

环卫车在本研究中是指广义上用于城市环境服务的车辆，包括各类形式的垃圾车、扫路车、洒水车、抑尘车等。图 17 显示，在这一类别中，重型车占比超过 60%，中型车辆占比略高于轻型车。

作为公共服务车辆，环卫车一直是电动化重点推动的领域。目前，环卫车的电动化程度并不高，不足 5%，尤其在重型环卫车领域，电动化程度更低。不过，环卫车一般是在普通货车的底盘上装载各类专项作业设备而成，其电动化受到货车电动化进程的影响较大。



注：电动化包含电动汽车、插电式混合动力汽车及燃料电池汽车。

图 17 环卫车细分市场份额占比及电动化趋势

7. 作业车

作业车是专用车中的一类，指在汽车上安装各种特殊设备从而进行特定作业的汽车。环卫车亦是作业车的一种，不过由于环卫车总量较大且负担市容环境作业工作，将其单独列出，其他作业车包括消防车、电视车、救险车、高空作业车等，种类十分繁多。图 18 显示，作业车中，以轻型和重型车辆为主，中型车辆占比近年来持续下降，目前约为 10%。

作业车目前也主要以传统燃油汽车为主，电动化比例较低，且主要以轻型车的电动化为主，重型新车销售中几乎没有电动汽车。

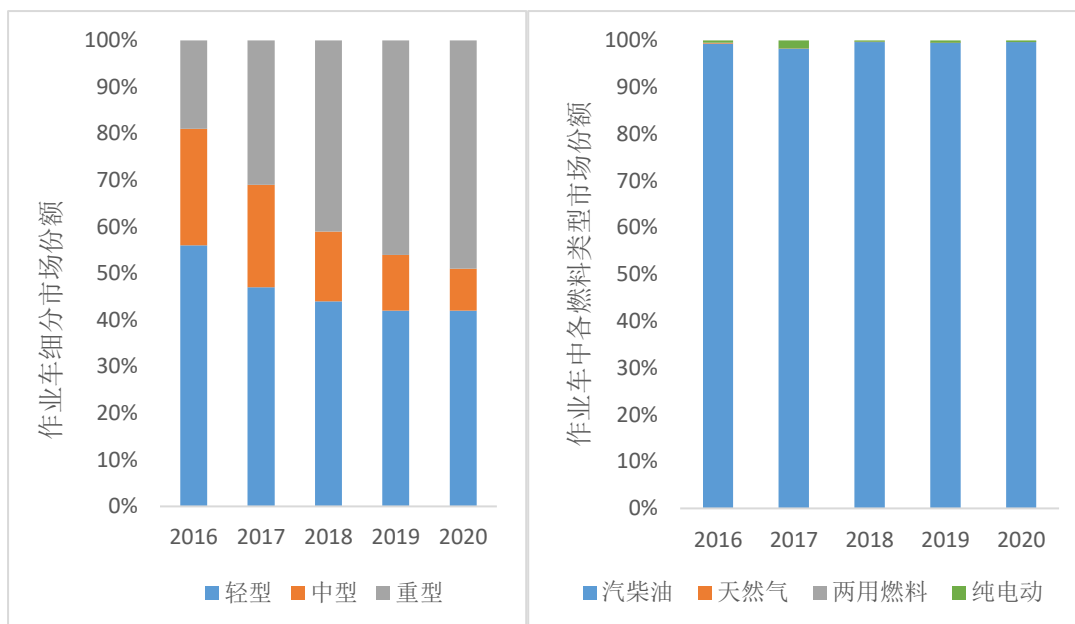


图 18 作业车细分市场市场份额及各燃料类型车型占比

8. 专用运输车

本研究中所指的专用运输车主要包括两类，一类是用于特殊物品运输的车辆，如危险品运输车、畜禽运输车等，另一类是包含特殊构造或执行专用任务的车辆，如囚车、运钞车、保温车等。图 19 显示，专用运输车主要以重型车为主，近五年平均占比接近 80%，轻型车占比约为 15%，中型车份额较低。

汽、柴油和天然气是专用运输车中最主要的两类。电动化方面，专用运输车也处于起步阶段，最近两年有了一些新能源车型的销售。2019 年中型车里燃料电池汽车销量超过 700 辆，从上险数据上看，这批燃料电池汽车主要来自东风汽车集团提供底盘，由上海申龙客车有限公司负责整车制造的燃料电池保温车，不过这种情况并没有得到延续。这也说明，专用运输车领域的电动化仍未成规模，目前只由小部分需求方推动，再由企业接受订单开始生产和销售，一旦需求停止，电动专用运输车难以通过产品自身来占领市场。

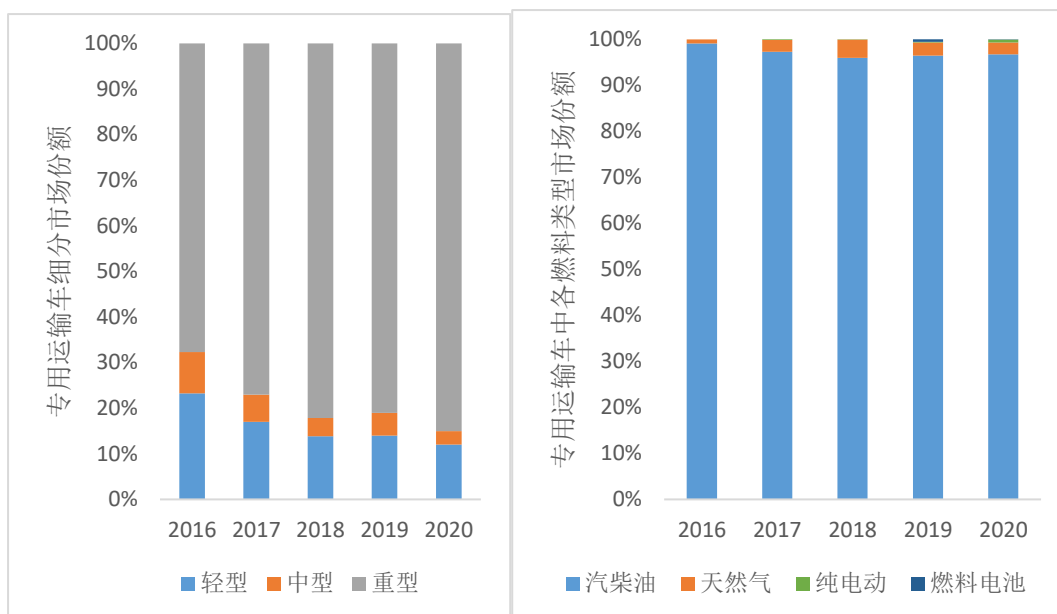


图 19 专用运输车细分市场市场份额及各燃料类型车型占比

9. 冷藏车

冷藏车实际上是专用运输车的一种，近几年随着城镇化进程的加速，人们对新鲜水产、速冻食品、奶制品以及医药冷链等需求不断增加，冷链配送正在成为城市物流配送的重要一环，冷藏车的市场需求也在逐步扩大。数据显示，截至 2020 年底，我国冷藏车保有量已经达到 27.5 万辆⁶¹，年销量也呈现快速增长态势。从细分市场来看，4.5 吨以下的轻型车是冷藏车的主要构成，近五年新车销量平均占比达到 70%，其次是重型冷藏车，占比约为 25%，中型车市场份额较小。从功能上看，重型冷藏车主要负责省际干线物流运输，而轻型车则主要负责城市区域配送，销量与市场需求趋势吻合。

冷藏车作为城市物流的重要一环，电动化发展也不可忽视。图 20 显示，冷藏车目前整体的电动化率不高，近两年仅为 1%左右，电动化车型销售集中在中轻型车领域，重型车目前还没有电动化车型销售。从销量数据看，电动冷藏车的销售也受到了市场、技术等多重因素的影响，销量情况有很大波动。

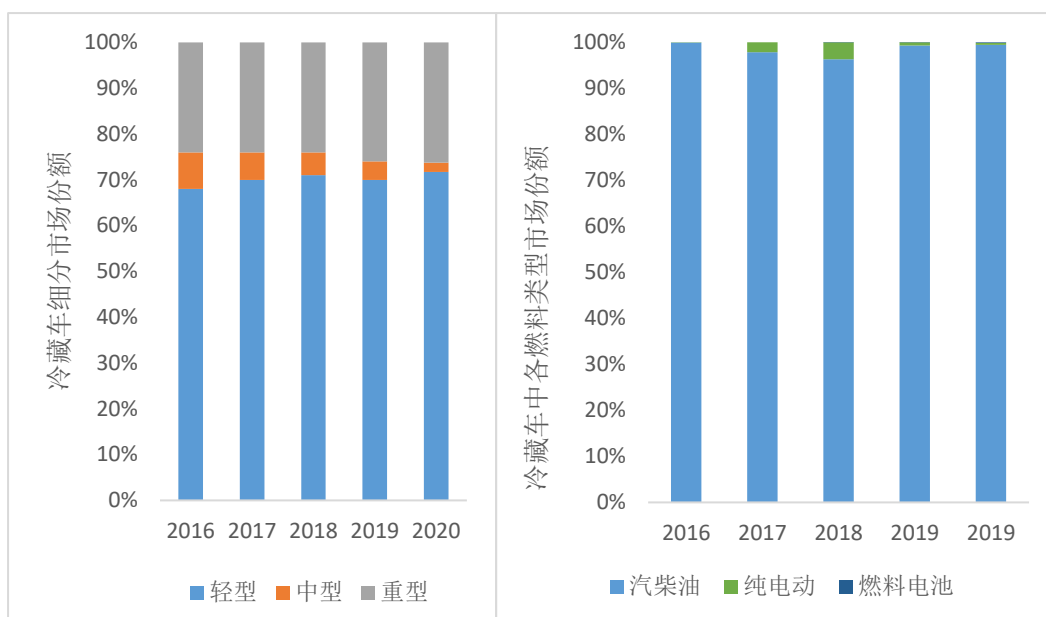


图 20 冷藏车细分市场市场份额及各燃料类型车型占比

10. 自卸车

根据 GB/T 17350-2009，专用自卸运输汽车和专用自卸作业汽车均属于专用汽车范畴，在研究中，除部分用于垃圾处理的自卸式垃圾车被划分到环卫车类别外，其他符合自卸汽车定义的车辆均被划分到这一类别。从细分市场来看，自卸车主要以轻型车和重型车为主，重型自卸车占比很小，尤其是近几年，重型自卸车的占比还在不断增加。从使用上来看，轻型自卸车主要为农用和城建工程用车，非公路自卸车（主要在矿山、工地使用）和公路重载自卸对装载能力的要求很高，是重型自卸车的主要使用场景。

自卸车的电动化进展也相对较慢，目前政策较为利好的场景主要为矿山用车和渣土车。销售数据显示，自 2016 年以来，仅 2019 年电动自卸汽车销量出现一个小高峰，如图 21 所示。其中大部分车辆均在深圳销售上牌，这主要得益于深圳市在 2018 年出台了针对纯电动泥头车超额减排的奖励政策，单车奖励标准上限为 80 万元/车，具有很强的引导性。不过，按照深圳的奖励方案，80 万元/车的资金奖励在 2019 年 12 月 31 号之后取得营运资格的车辆不能获得，使得 2020 年深圳的纯电动泥头车应用明显放缓，这一年度电动自卸车销量又回落至几百辆。

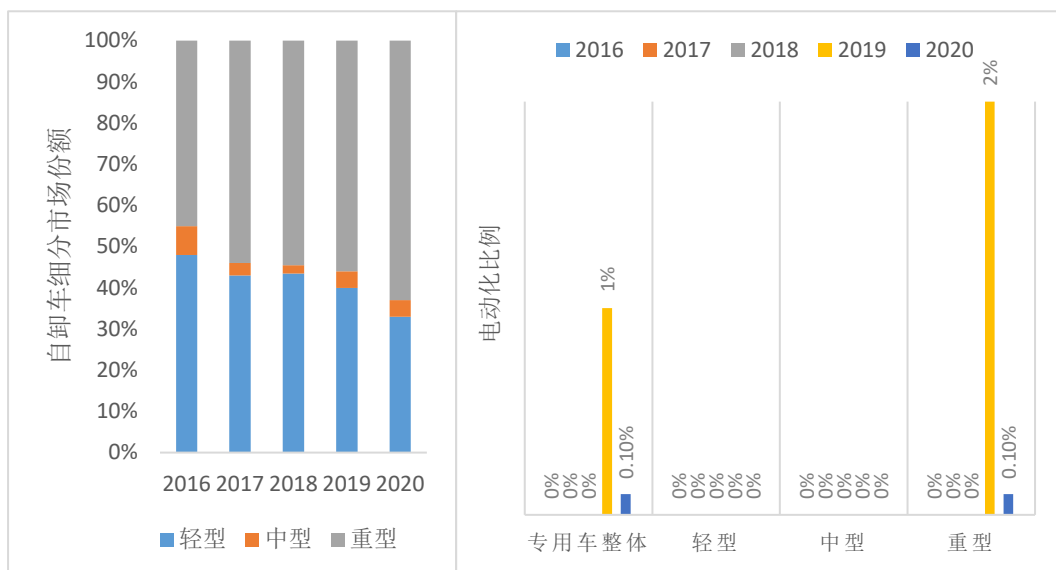


图 21 自卸车细分市场市场份额及电动化趋势

11. 城市物流车

研究中所指城市物流车是按照国标 GB/T 29912-2013《城市物流配送汽车选型技术要求》来分类，定义为“在城市市区内从事货物运输（包括快件接送）服务的厢式货车和封闭式货车”。从数据库的匹配上，我们依据车辆具体名称将封闭式货车和厢式货车归类到这一部分。从细分市场来看，4.5 吨以下的轻型物流车是这一类别的主流车型，近五年新车销量平均占比达到 86%，其次是重型车，占比约为 10%，中型车占比较低。

在中央及地方性的汽车行业电动化指导文件中，城市物流车都是电动化发展的重要推动领域。销售数据显示，2017-2018 年城市物流车的电动化率超过 10%，但近两年随着补贴退坡，电动化渗透率又滑落至 5%左右。细分市场中，中型物流车的新车电动化率最高，但其绝对销量并不高，轻型物流车中电动车年销量已经超过 2 万辆，不过由于基数较大，新车电动化率略低于中型车，重型物流车中电动车型仍较为稀缺，如图 22 所示。

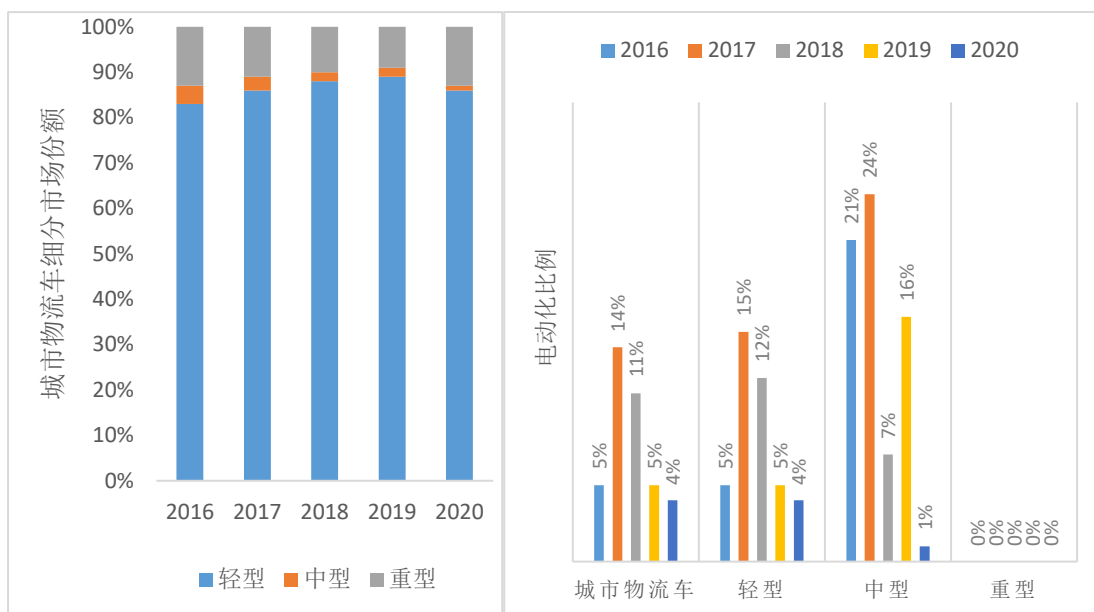


图 22 城市物流车细分市场份额及电动化趋势

3.3 各类商用车电动化趋势判断

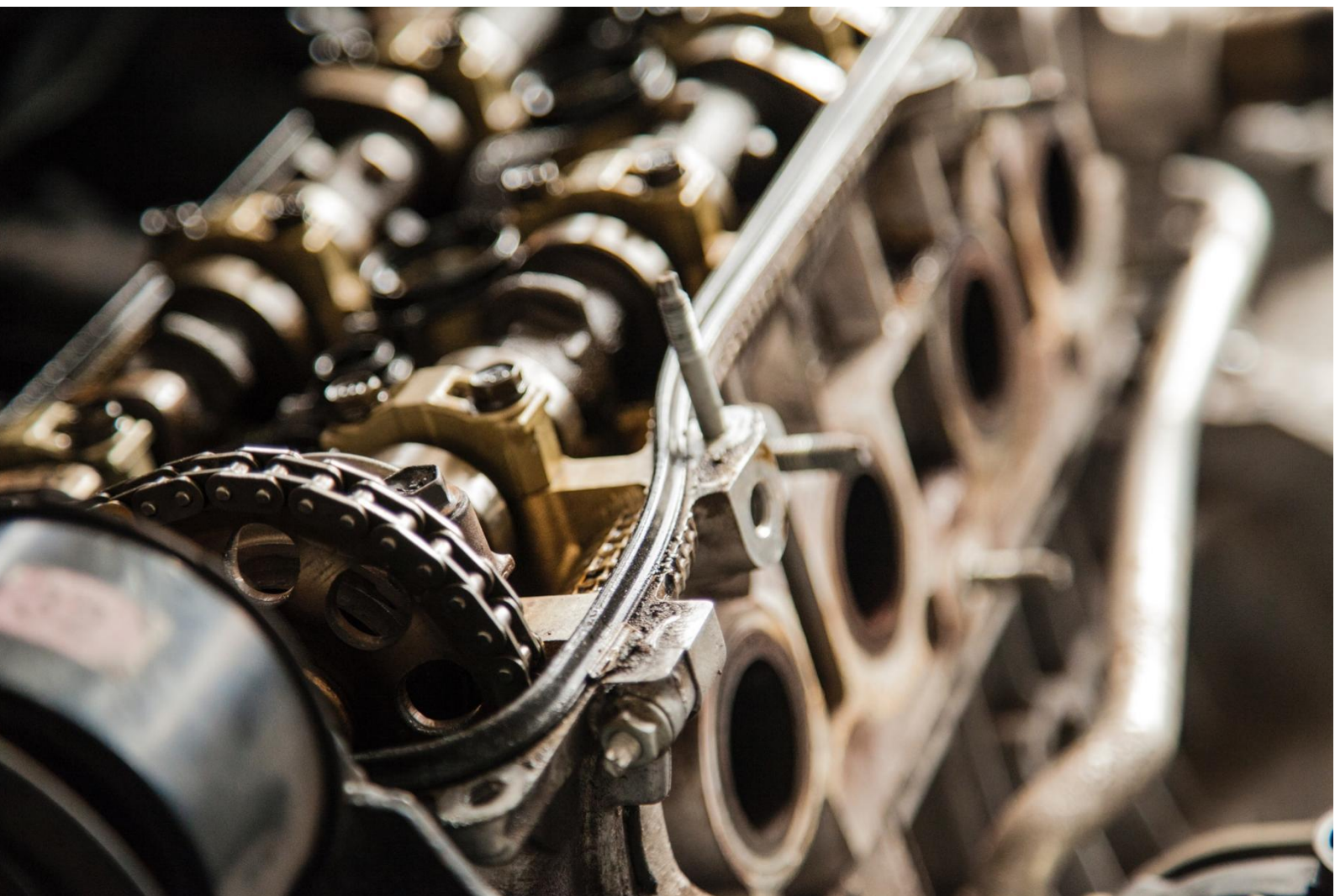
从以上分析可以看出，不同类型的商用车电动化程度差异很大，该差异与不同场景新能源汽车的成本、技术、政策、运营使用等因素密切相关。

具体来看：

- 城市客车作为城市公共交通的主要方式，主要受政策驱动，加上补贴政策对这类车也有侧重，电动化驱动力最强，而且实际上城市客车新车市场已经基本实现电动化。
- 校车使用场景特殊，使用强度不高，且过半数的校车为轻型客车，电动化的成本和难度均不太大，但截至目前校车的电动化程度非常低，相关原因在上文已有分析。如果相关部门对校车电动化提出相关政策并制定相关安全标准，校车电动化进程将能快速赶上。
- 以企业通勤班车和城际客车为主的其他客车行驶路线也基本固定，补电相对便利，电动化进程主要受成本因素制约。与中重卡相比，这类客车的电动车型已经有很多选择，且成本正在进入快速下降通道，电动化进程随时可能进入爆发增长期。
- 环卫车属于市政车辆，受政策影响大，但环卫车多为组装车辆，种类较多，企

业集中度不高，且对成本有一定的敏感性，电动化驱动力略低于城市客车，但高于其他车类。

- 其他专用车辆，包括作业车、专用运输车、冷藏车、自卸车和城市物流车，也在一定程度上受到政策影响，但这类车往往由公司和私人掌控，电动化进程受成本影响也较大，不过由于这类车主要在城市内运行和作业，便利的优惠通行政策是加速其电动化的重要因素之一，属于未来电动化发展的第三、四梯队。
- 电动化整体驱动力最低的则是货车和半挂牵引车。这两类车电动化成本高，且由于多数车辆需要长距离运行，对电动化的技术要求也很高，目前的优惠政策力度难以覆盖成本差价。



四、商用车能源消耗和碳排放评价模型

本研究中，我们基于商用车各车类基本参数构建了中国商用车能源消耗和碳排放评价模型，下面将对模型边界和框架进行介绍。

4.1 研究边界

（1）车类划分

理论上模型中的车类划分应与第三章阐明的商用车分类标准一致，这样细分的优势在于，能够对不同场景车类的行驶里程、能耗等参数进行针对性分析。不过在实际操作中存在两个主要难点，一是中国商用车燃料消耗量限值标准是按照车辆的整备质量（轻型商用车）或最大设计总质量（重型商用车）来划分的，能耗方面的其他研究和相关统计数据也主要围绕这种分类进行，细化到场景的车类能耗数据难以获取；二是获取细化到场景的车类保有量数据难度较大。

为此，研究中采用的方法为：保持客车、货车、半挂牵引车和专用车四个大类的划分，同时按照表 6 的标准对以上四类中的每个车类进行轻、中、重（大）型的划分，以对能耗数据。其中，考虑到自卸车的平均能耗相比于其它专用车类型要高一些，在模型计算过程中将自卸车单独区分开来。

能源驱动方面，则考虑汽/柴油、天然气（含 CNG/NG/LNG）、混合动力、插电式混合动力、纯电动和氢燃料电池六类能源驱动形式。由于本研究主要考虑电动化作为未来商用车零排放转型的技术路径，天然气汽车在研究中只作为替代燃料，即不考虑天然气汽车渗透率大幅增加甚至取代传统燃油及零排放汽车的可能。与此同理，由于目前甲醇汽车作为替代燃料车型，主要应用在出租车上，在研究中暂不考虑商用车甲醇汽车技术路线。

（2）模型边界

汽车全生命周期包括车辆周期和燃料周期，前者包括原材料开采和加工，矿石精炼与加工，零部件加工制造，整车装配、使用和回收等环节，在电动汽车的车辆周期环境影响评估方面，国际上研究较多的是以乘用车型作为案例。研究结果显示，电动乘用车车辆周期的碳排放占全生命周期碳排放的比例浮动范围较大^{62,63,64}，尤其是近几年随着电动汽车的单位里程能耗不断下降，车辆周期碳排放占比有增加的趋势。于卡车而言，

由于量产的电动车型数量不多，车辆周期相关的参数相对欠缺；同时，卡车的整车制造和电池生产较乘用车更为复杂。

在能源消耗量方面，研究中仅考虑商用车电动化对终端能源消耗的影响；在碳排放方面，如果从国家宏观角度来看，碳达峰和碳中和两个目标均需要对每个领域和行业进行核算，这意味着对每个行业而言只要在终端排放上完成目标即可，研究中目前也仅考虑商用车队的终端碳排放。

温室气体核算种类方面，京都议定书汇总规定的 6 种温室气体为：二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亚氮(N₂O)、氢氟碳化合物(HFCs)、全氟碳化合物(PFCs)、六氟化硫(SF₆)。根据气候变化国家信息通报文件核算结果，中国温室气体排放的主要来源是能源活动和工业生产，气体类型上看，二氧化碳则是最主要的温室气体⁶⁵。在交通领域，2014 年交通运输温室气体排放量约为 8.2 亿吨二氧化碳当量，其中二氧化碳排放占比 99.0%⁷²，也是最主要的温室气体种类。在本研究中，我们也仅核算由商用车能源使用所产生的二氧化碳排放，不包含其他种类的温室气体。因此，以下所提到的碳排放（除非特别指明为温室气体排放）亦指代二氧化碳排放。

4.2 模型框架

根据《IPCC 国家温室气体清单指南（2006）》，移动源二氧化碳排放核算方法包括两类：一是自上而下，基于交通工具燃料消耗的统计数据计算，这种方法操作简单，但不同统计口径下的数据差异较大，二是自下而上，基于不同交通类型的活动水平等数据计算能源消耗和二氧化碳排放，该方法应用比例较高，但可能与实际用户使用情况存在较大偏差。

考虑到数据可及性，本研究中采用自下而上的活动水平法对商用车车队能源消耗量和碳排放进行核算。影响商用车能源消耗及碳排放水平的因素包括，各类车型保有量、各类车型单车能耗水平、各类车型平均活动水平（VKT）及不同燃料类型车型比例。基于研究边界条件，通过获取以上数据类型的历史数据，并通过广泛调研和咨询预测中长期发展趋势，构建商用车能源消耗和碳排放评价模型。模型基本设计思路如图 23 所示。

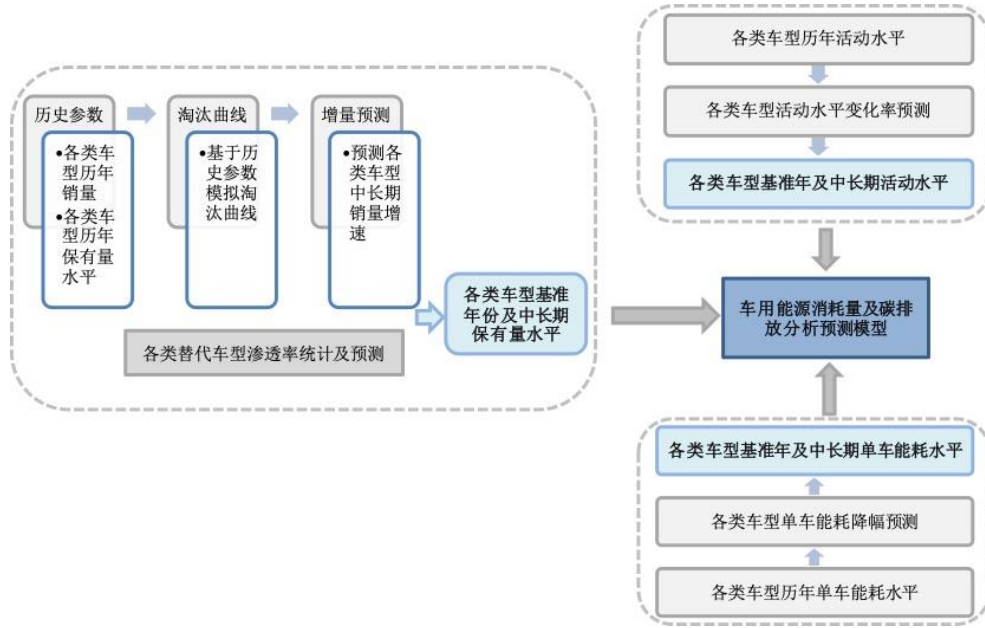


图 23 研究模型基本构建思路和框架

(1) 能源消耗量计算

综合考虑数据可及性及相关研究机构模型⁶⁶，本研究中采用的车用能源消耗量计算方法为：“车辆保有量×燃料经济性指标×年行驶里程”。

首先，基于情景参数设定，将车辆保有结构按照研究边界中设定的种类和车龄进行划分，此时涉及汽车历史保有量、历史销量及未来销量预测、各替代车型各时间段销量占比情况、各车龄车型残存率等参数；其次，按照下面公式进行能源消耗量计算。

$$Energy_i = \sum_{j=1}^n (VS_{i,j} \times AFE_{i,j} \times VKT_{i,j} \times Den_{i,j}) \quad (4-1)$$

$$AFE_{i,j} = \frac{\sum_{k=0}^{\gamma} (Sales_{i-k,j} \times SR_{k,j} \times FE_{i,j,k})}{VS_{i,j}} \quad (4-2)$$

其中：

i 表示年份；

j 表示车辆种类；

n 表示车种数量；

k 表示车龄；

γ 表示车辆可能达到的最大车龄；

Energy_i 表示 i 年份车用能源消耗总量(kg)；

VS_{i,j} 表示 i 年份 j 类车的保有量（单位：辆）；

$AFE_{i,j}$ 表示 i 年份 j 类车的平均燃料经济性（单位：汽、柴油为 L/100km，NG 为 $m^3/100km$ ，电能为 kWh/100km，氢能为 kg/100km）；

$VKT_{i,j}$ 表示 i 年份 j 类车的年均行驶里程（km）；

$Den_{i,j}$ 表示 i 年份 j 类车的能源密度（kg/L）（汽油取 0.73，柴油取 0.84）或（kg/ m^3 ）（NG 取 0.7174）；

$Sales_{i-k,j}$ 表示 $(i-k)$ 年时 j 类车的销量（单位：辆）；

$SR_{k,j}$ 表示 j 类车在 k 年的残存率；

$FE_{i,k,j}$ 表示 i 年份 j 类车在 $(i-k)$ 年的燃油经济性。

对于电能驱动的车辆，公式（4-1）可写成：

$$Energy_i = \sum_{j=1}^n (VS_{i,j} \times AFE_{i,j} \times VKT_{i,j} \times \alpha_i) \quad (4-3)$$

其中，

α_i 表示 i 年份电能与油当量的转换系数（kg/kWh）（模型中取 0.086）。

对于燃料电池汽车，公式（4-1）可简化为：

$$Energy_i = \sum_{j=1}^n (VS_{i,j} \times AFE_{i,j} \times VKT_{i,j}) \quad (4-4)$$

（2）碳排放计算

研究中，各类车辆碳排放以“年”为时间单位衡量，而非车辆从上路到报废的整个使用周期，且不包括车辆的生产和回收以及能源的生产和运输环节。研究中各类能源的碳排放因子如表 7 所示。

表 7 各类能源碳排放因子

	终端排放因子
汽油 (kg CO ₂ ,e/L)	2.42
柴油 (kg CO ₂ ,e/L)	2.80
天然气 (kg CO ₂ ,e/m ³)	2.60
一代生物柴油 (kg CO ₂ ,e/L)	2.61
二代生物柴油 (kg CO ₂ ,e/L)	2.61
一代生物乙醇 (kg CO ₂ ,e/L)	1.59
二代生物乙醇 (kg CO ₂ ,e/L)	1.59

氢能 (kg CO ₂ ,e/kg)	0
电能 (kg CO ₂ ,e/kWh)	0

注：表中碳排放因子来自于参考文献⁶⁷

(3) 车辆存活率

车辆存活率是预测未来汽车保有结构的重要参数。2012 年 8 月由商务部审议通过的《机动车强制报废标准规定》是对目前中国国内对汽车使用年限判断的基本依据，但该规定也仅对汽车最长使用年限进行了约束，从中仍然难以获得不同汽车的使用性能、频率等参数随时间的变化规律。

理论上车辆存活率曲线应根据历年各类车辆的销量和保有量数据进行拟合，不过细分到各类车型的历史数据获取难度较大，本研究中借鉴文献对中国汽车残存率的研究模型⁶⁸，按照下面的存活率模型公式对各类车型的存活率进行分析。

$$SR_{i,m}(t) = \frac{SP_{i,m}(t)}{RP_{i,m}} = \exp\left(-\left(\frac{t}{T_{i,m}}\right)^{k_{i,m}}\right) \quad (4-5)$$

其中：

$SR_{i,m}(t)$ 表示 i 年份 m 类车在 t 车龄时的存活率；

$SP_{i,m}(t)$ 表示 i 年份 m 类车在 t 车龄时的存活数量（单位：辆）；

$RP_{i,m}$ 表示 i 年份 m 类车的注册总量（单位：辆）；

$T_{i,m}$ 和 $k_{i,m}$ 为车型特征参数。

商用车辆在使用过程中对运营效率及安全性均有较高要求，因此不太可能服役到强制报废年限。而且，近年来随着排放标准升级加严的速度越来越快，不符合国家排放标准要求的车辆也要进行强制淘汰报废。综合这些因素，在本研究中我们模拟了三类车辆存活率曲线，分别对应客车，货车、自卸与半挂牵引车，以及其他专用车，具体如图 24 所示。

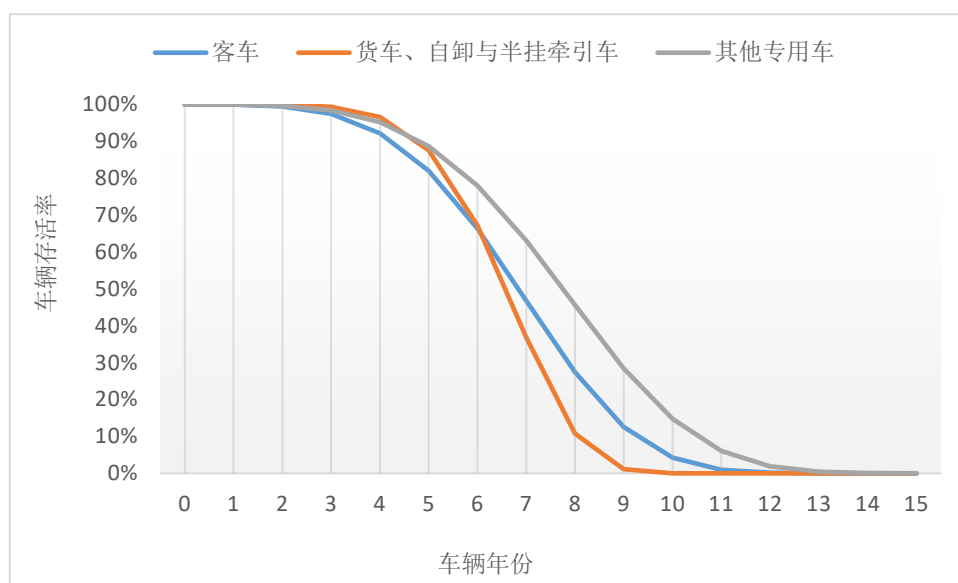


图 24 本研究中模拟的三类车辆存活率曲线



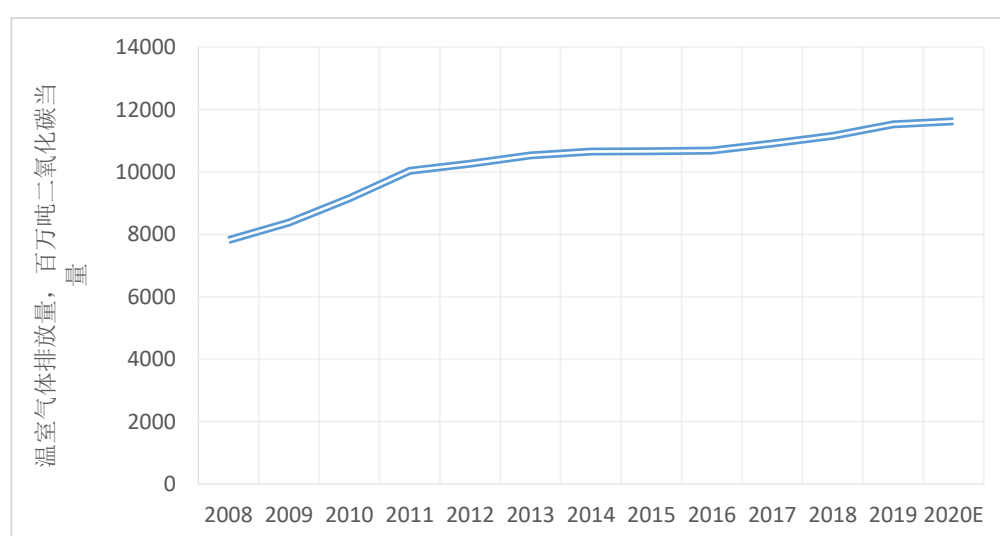
五、中国商用车电动化发展情景分析

背景分析显示，商用车车队碳排放受到多重因素影响，包括燃料消费结构、单车能耗水平以及先进技术占比等。就现状而言，商用车电动化是普遍被认可的技术方向，本研究也仅以电动化发展情景来分析商用车车队碳排放达峰和终端净零排放的时间节点。

5.1 碳中和目标下的商用车碳减排进程定位

根据 IPCC 定义⁶⁹，碳中和指二氧化碳净零排放，具体则是指在规定时期内人为二氧化碳的移除在某个地区抵消了人为二氧化碳排放。如果涉及多种温室气体，那么净零排放的量化取决于选定用于比较不同气体排放量的气候指标（例如全球变暖潜势、全球温度变化潜势等以及选择的时间范围）。碳达峰理论上是指二氧化碳排放达到峰值水平，然后经历平台期进入持续下降的过程，标志着碳排放与经济发展实现脱钩，达峰目标包括达峰年份和峰值⁷⁰。

图 25 显示，从总量上看，中国温室气体排放增长趋势放缓，但仍未达到峰值水平。据统计，目前交通领域温室气体排放占全国终端碳排放的 10%左右，而在航空、铁路、水路、道路等所有的交通运输方式中，道路交通碳排放占比最高，约占整个交通行业的 75%⁷¹。在道路交通部门中，商用车对温室气体排放的贡献又是最高的，2014 年这一比例为 77%⁷²。因此，商用车领域的碳达峰对实现国家层面的“双碳”目标具有重要价值和意义。



数据来源：Knoema.com 和国际能源署预测（2020 年数据）

图 25 中国历年温室气体排放量

目前，商用车保有量仍处在增长通道，整体能耗下降缓慢，在现有的车队结构下快速实现商用车队的碳达峰难度极大。因此，要加快商用车的碳达峰进程，一方面要继续进行节能技术提升和产品结构优化，整体能耗必须实现更大幅度的下降；另一方面，则需要改善车队结构，不断提升纯电动等新能源汽车在商用车队中的比例。与此同时，若考虑燃料周期碳排放，还需要电力行业、制氢行业等领域不断降低碳强度。

以加州的情况为例，B-55-18 号行政命令提出加州全州要尽早实现碳中和，最迟不晚于 2045 年。该行政命令中还提到，“为实现这一目标，加州空气资源委员会应当与相关机构共同努力，确保未来规划中能够识别和推荐相关措施，以实现碳中和目标”。在这一背景下，加州空气资源委员会资助了 E3 咨询公司开展了 2045 加州全境实现碳中和的相关研究⁷³，他们认为，2045 年加州温室气体排放量在 1990 年基础上下降 80%是实现碳中和目标的最低要求。在 2020 年 E3 发布的报告版本中，针对交通领域也设置了三种情景，一种为“HDR 情景”，即高度依赖二氧化碳脱除技术，这也是最保守的情景，保留了部分化石燃料使用场景，一种为“Zero-Carbon Energy”情景，到 2030 年道路交通行业全部转型使用 BEV 和 FCV，第三种则是介于上两者中间的折中情景。根据测算，即便在“HDR 情景”下，到 2045 年交通领域碳排放较 1990 年水平下降至少 80%，在另两种情景下降幅更大，分别约为 87%和 92%。

商用车领域要实现碳中和目标，一要确保尽可能低的碳排放峰值水平，二要在达峰后能采取有效措施使碳排放快速下降。就目前形势来看，这一目标的主要实现路径仍是使用包括纯电动和氢燃料电池在内的零排放汽车替代传统燃油汽车，这也是本研究中所关注的问题切入点。除此之外，从使用行为来看，大力发展智慧货运，提升商用车队运力，同时积极促进“公转铁、公转水”，也均能有效降低商用车及交通领域的整体碳排放水平，但本研究对此不做讨论。

需要说明的是，本研究中无法给出商用车车队碳中和的具体时间节点。这是因为，碳中和实际包括碳排放和“碳汇”两个方面，即在某个行业或领域一般无法实现自身的碳中和，只能通过各种碳汇形式将其排放的碳吸收并存储起来。而且研究中目前仅考虑商用车作为终端使用者，未纳入车辆制造、报废及燃料开采、生产和运输等环节，因此研究中对应对的主要时间节点为商用车车队终端碳排放达峰和终端净零排放时间点。

5.2 中国商用车电动化发展情景研究概述

本研究在先导报告《加州〈先进清洁卡车法规〉解读与启示》中，对该法规的具体内容、实施方案以及对商用车电动化发展的相关启示和建议都已经进行了较为详细的阐释。放眼全球，加州《先进清洁卡车法规》是目前针对商用车零排放转型领域的唯一且相对先进的量化政策。加州《先进清洁卡车法规》是针对制造商的强制性法规，在设定电动化比例目标时采用的是更适合于企业层面执行的车重等级分类，该分类常用在自上而下的法规政策设计中。除此以外，加州已经确定了不迟于 2045 年实现全州碳中和的目标，为保障这一目标的实现，加州在交通领域先后出台了多个行政命令。

中国方面，随着“2030 年前碳达峰和 2060 年前碳中和”目标的提出，商用车领域减碳形势也愈发严峻。目前，商用车领域的电动化率较低，技术亟待攻关，成本依然高昂，面临诸多阻碍。国家层面也未出台具体的电动化进程时间表，不同车类电动化现状及可行性高低不一。要实现“双碳”目标，商用车能够作出多少贡献，如何贡献，也需要反复考量。与加州相比，中国交通领域的“双碳”目标实现时间表仍处在论证阶段，可以借鉴的具体行动目标文件相对有限。表 8 对加州和中国在商用车低碳转型方面的愿景及相关政策进行了汇总，整体上看，加州方面为保障其所提出的气候目标制定了密集且明确的政策目标，而中国在这方面尚没有明确的目标。

将加州的商用车电动化进程时间表“复制”到中国来会产生怎样的效果，这无疑会为中国商用车实现“双碳”目标提供重要的参考。

表 8 加州和中国在商用车低碳转型方面的愿景目标及对策

时间节点	加州目标	中国目标*
2024	《先进清洁卡车法规》：Class 2b-8 各类车型满足一定的零排放汽车销售比例	/
2025	/	《新能源汽车产业发展规划（2021-2035）》：新能源汽车在新车销售中比例占 20%
2029	《创新清洁运输法规》：新购买的公交车为零排放汽车	/
2035	N-29-20 号行政命令：对于短倒卡车，零排放汽车新车渗透率达到 100%	《新能源汽车产业发展规划（2021-2035）》：公共领域全面电动化 《节能与新能源汽车技术路线图（2.0）》：节能和新能源汽车在新车

		销售中的比例各占 50%（非政策规划）
2040	全公交车队零排放转型	/
2045	· N-29-20 号行政命令:加州销售的中重型卡车全部为零排放汽车 · B-55-18 号行政命令:加州不晚于 2045 年实现碳中和	/

*注：表中资料为 iCET 根据公开资料整理，其中，中国方面缺乏针对商用车行业的具体目标和政策，表中所列均为汽车行业的整体目标。

结合现有政策目标分析，中国商用车整体实现零排放转型的时间节点相对于加州要推迟 10 年左右，这里所说的零排放转型是指新车销售完全是零排放车型。如果分摊到具体场景的车类中，还应分别考虑。例如：中国城市客车电动化比例已远远高于加州，则无需参照加州现有的政策目标。但是，包括重卡、牵引车在内的电动化驱动力较低的车类，在技术、成本上对比加州尚无优势，同时也缺少加州已有的强制政策目标，因此其电动化进程较加州可能推迟 10 到 15 年。

为综合评估上述影响，本章分别依据加州及中国现有政策目标，设置了“加州政策参考情景”和“中国政策延续情景”两种情景。通过上一章建立的商用车能源消耗和碳排放评价模型，核算两种情景下的能源消耗及碳排放趋势，评估中国商用车实现“双碳”目标的难度。

5.3 两种情景中的关键参数与假设

模型参数是情景评估的基础和关键，除已有政策目标外，情景中涉及到的电动化相关参数均需基于参考资料确定。其中，由于加州的零排放卡车目标已经公布至 2035 年，“加州政策参考情景”下的商用车零排放车型比例在 2035 年之前完全根据已有目标确定，2035-2045 年目标采用外推法确定；在中国并没有针对商用车的具体政策目标，“中国政策延续情景”中零排放商用车的发展规律为“2035 年之前以技术突破为主，零排放推进速度较慢，此后以政策和市场推动为主，零排放汽车快速发展”，且认为混合动力技术在商用车领域的应用在 2035 年前后达到高点，具体目标数值则是在现有情况的基础上基于上述原则设定。表 9 展示了在两种情景下的关键参数设定及相关假设。

表 9 中所提到的传统车能耗变化，在 2025、2030 和 2035 年三个时间节点上，降幅数据参考《节能与新能源汽车技术路线图（2.0）》，2060 年降幅数据为 iCET 在相关研究

基础上预测。另外，混合动力技术在新车车型上的应用比例不同，一般认为混合动力技术在长途货车、半挂牵引车上的应用前景最好，专用车次之，在客车上应用比例最低。在“加州政策参考情景”下，由于加州并未对节能技术在重型车领域的应用做出规划或提出目标，那么按照技术的发展规律，预测未来也会有一定比例的混合动力汽车，但可能不是主流。在“中国政策延续情景”下，以《节能与新能源汽车技术路线图（2.0）》对节能技术提出的 2035 年 50%目标为参考，认为在货车和半挂牵引车上，混合动力技术在新车上的应用能够相对贴近这一数值，达到 40%左右，在专用车新车上能够达到 25%。

表 9 两种情景中的关键参数与假设

	加州政策参考情景	中国政策延续情景
商用车市场规模	预测在 2030-2035 年达到年销量峰值 550 万辆左右	
传统商用车能耗变化	在 2019 年基础上， · 至 2025 年，客车下 10%，货车及其他车类下降 8% · 至 2030 年，客车下降 15%，货车及其他车类下降 10% · 至 2035 年，客车下降 20%，货车及其他车类下降 15% · 至 2060 年，客车下降 25%，货车和专用车下降 22%，自卸车和半挂牵引车下降 20%	
新车零排放时间节点*	· 城市客车，2029 年 · 其他车类，2045 年	· 城市客车，2025 年 · 环卫车，2035 年 · 校车、作业车、城市物流车，2045 年 · 其他客车、专用运输车、冷藏车和自卸车，2050 年 · 货车和半挂牵引车，2060 年
低碳技术路线	· 以零排放汽车为主 · 混合动力技术在不同车型新车上的应用比例上限约为 6-15%不等，2045 年完全退出 · 天然气、甲醇等燃料应用比例在现有基础上逐渐降低，2045 年完全退出	· 节能和新能源汽车并举 · 混合动力技术在不同车型新车上的应用比例上限约为 6-40%不等，2059 年完全退出 · 天然气、甲醇等燃料应用比例在现有基础上逐渐降低，2045 年完全退出

*注：（1）“中国政策延续情景”下各类车的电动化进程基于本报告第三章的相关结果确定；

（2）需要注意的是，“加州政策参考情景”中卡车的零排放比例在 2035 年之前参考《先进清洁卡车法规》，由于加州的卡车分类与中国差异较大，在研究中进行类别对应，即：Class 2b-3 对应中国市场除客车外的其他所有车类中的轻型车，Class 4-8 对应除客车外其他所有车类中的中型车和重型车，Class 7-8（牵引车）则对应半挂牵引车。

关于商用车市场规模发展趋势在第二章节中已经进行了讨论，在本研究中认为商用车年销量峰值水平将在 2030-2035 年之间达到，峰值水平约为 550 万辆。中国商用车总

销量在 2020 年已经达到历史高点 513 万辆，从过去十几年的商用车市场走势来看，社会经济中不断爆发的需求增长点以及商用车技术与市场管理变化，都对商用车市场产生过较大的影响，这一假设在数值上并不算激进。

传统车能耗方面，在过去五年内，各类车的能耗下降幅度差异较大，具体如表 10 所示。在这里需要说明的是，研究中对商用车的分类与实际油耗限值管理标准中的分类并不相同，表 10 中的油耗是在研究所列的分类基础上，通过各类车销量加权计算而得。实际上，在商用车单车油耗限值标准中，每类车又被划分为不同的质量段，其中，轻型商用车依据整备质量，重型商用车则依据最大设计总质量来划分。根据测算，在过去五年内，各类车每个质量段内的平均油耗基本都呈现快速下降趋势，这也是油耗限值标准不断加严的结果所致。但在某些车类中，整备质量或最大设计总质量的增加抵消了一部分单车能耗的下降，致使其平均油耗降幅低于预期。这也说明，目前的商用车油耗管理标准在质量段内的油耗约束作用显著，但商用车销量细分市场结构如何是市场综合作用的结果，单车油耗限值标准在这里难以发挥作用。在传统车单车油耗预测上，2035 年之前主要参考《节能与新能源汽车技术路线图（2.0）》中提出的目标，此后的预测则相对保守。

表 10 各传统燃油车型油耗变化趋势

		2016	2017	2018	2019	2020
客车	轻型	11.7	11.8	11.8	12.0	12.0
	中型	18.3	17.8	17.6	18.0	17.3
	大型	23.4	23.2	22.5	22.6	22.6
货车	轻型	9.3	9.4	9.3	9.3	9.2
	中型	20.3	20.3	20.1	21.5	21.5
	重型	39.4	40.5	40.4	40.6	39.0
半挂牵引车		44.3	43.0	42.8	44.2	43.7
专用车 (不含自卸车)	轻型	10.3	10.1	9.9	9.6	10.3
	中型	18.5	18.1	17.7	18.3	18.1
	重型	33.1	34.4	36.0	37.1	34.4
自卸车	轻型	13.4	13.4	13.7	13.9	13.7
	中型	22.2	21.8	21.3	22.7	22.6
	重型	41.4	42.3	42.4	42.1	40.6

注：表中均指销量加权平均后的油耗数值

在零排放进程推进上，“加州政策参考情景”下新车市场将于 2045 年实现零排放转型，即新车完全为零排放汽车。“中国政策延续情景”下，则主要依据对中国汽车及商用

车未来发展路线的判断,《节能与新能源汽车技术路线图(2.0 版)》提出目标的梳理,同时结合与加州相关时间节点的比较,整体上新车市场将推迟至 2060 年实现零排放转型。

模型计算中涉及到的其他参数,如平均行驶里程及变化、各类车基准油耗及变化趋势等等,均可在附录中查看。

5.4 两种情景下的能源消耗与碳排放趋势

5.4.1 车队保有结构

两种情景下商用车车队的具体燃料类型保有结构趋势如图 26 所示。在“加州政策参考情景”下,商用车存量完全替换为零排放车型的时间节点在 2055 年前后,在“中国政策延续情景”下,由于 2060 年刚实现新车市场的零排放,存量完全替换为零排放汽车的时间节点则晚于 2060 年。

根据前文的情景设定,“中国政策延续情景”下混合动力汽车的市场占比在 2030-2050 年仍处在一个相对较高的水平,这是与“加州政策参考情景”差异较大的部分。零排放车型方面,两种情景下都是以纯电动和燃料电池车型为主。

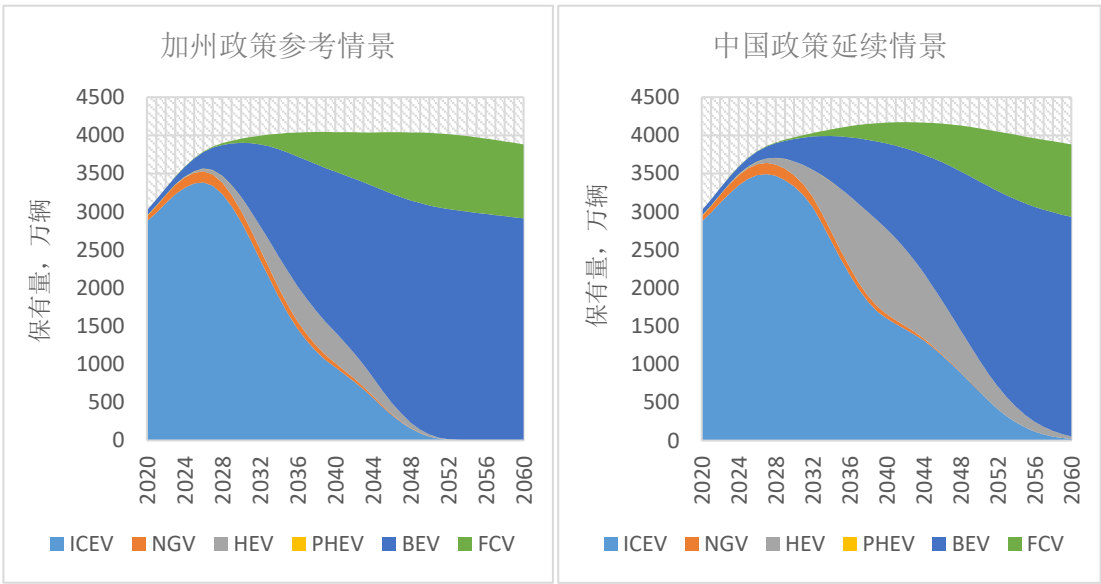


图 26 两种情景下商用车车队保有量结构趋势

5.4.2 能源消耗量变化

在中国商用车发展现阶段,天然气是最主要的汽柴油替代燃料,且主要应用在重型货车和半挂牵引车场景,占比也不超过 20%。生物液体燃料方面,生物乙醇主要用于乘

用车的汽油掺烧，而生物柴油目前尚无强制添加要求。因此，在现有政策的中国政策延续情景下，商用车车队的主要用能仍以汽柴油为主。

商用车车队的能源消耗量整体趋势如图 27 所示，在两种情景下，车队能源消耗量峰值分别约为 266 Mtoe（百万吨油当量）和 276 Mtoe。其中，“加州政策参考情景”下，商用车车队整体能源消耗量呈现较为尖锐的峰形，即在达峰后能源消耗量可快速下降，而在“中国政策延续情景”下，峰形较为圆钝，大概经历七八年的缓冲后，能源消耗量才开始呈现快速下降趋势。这主要是由于在“加州政策参考情景”下，零排放汽车的渗透较快，而在“中国政策延续情景”下，零排放汽车的导入需要一定的适应期，后期才逐渐加速。

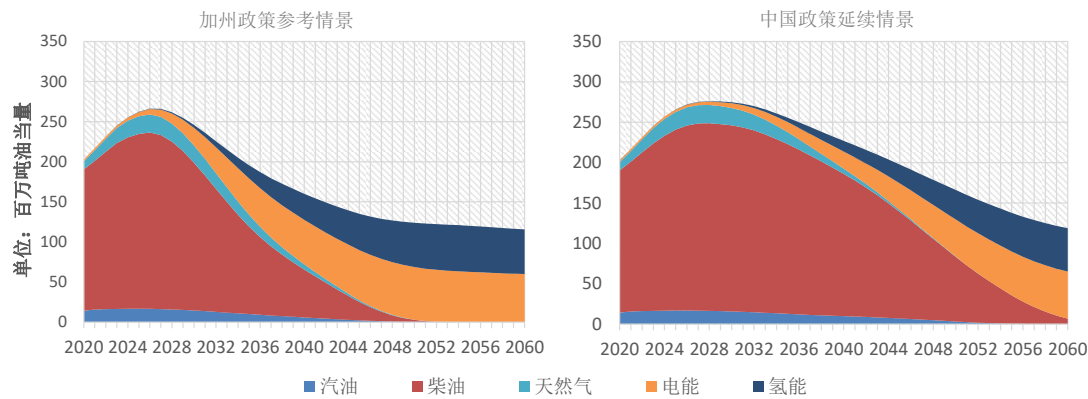
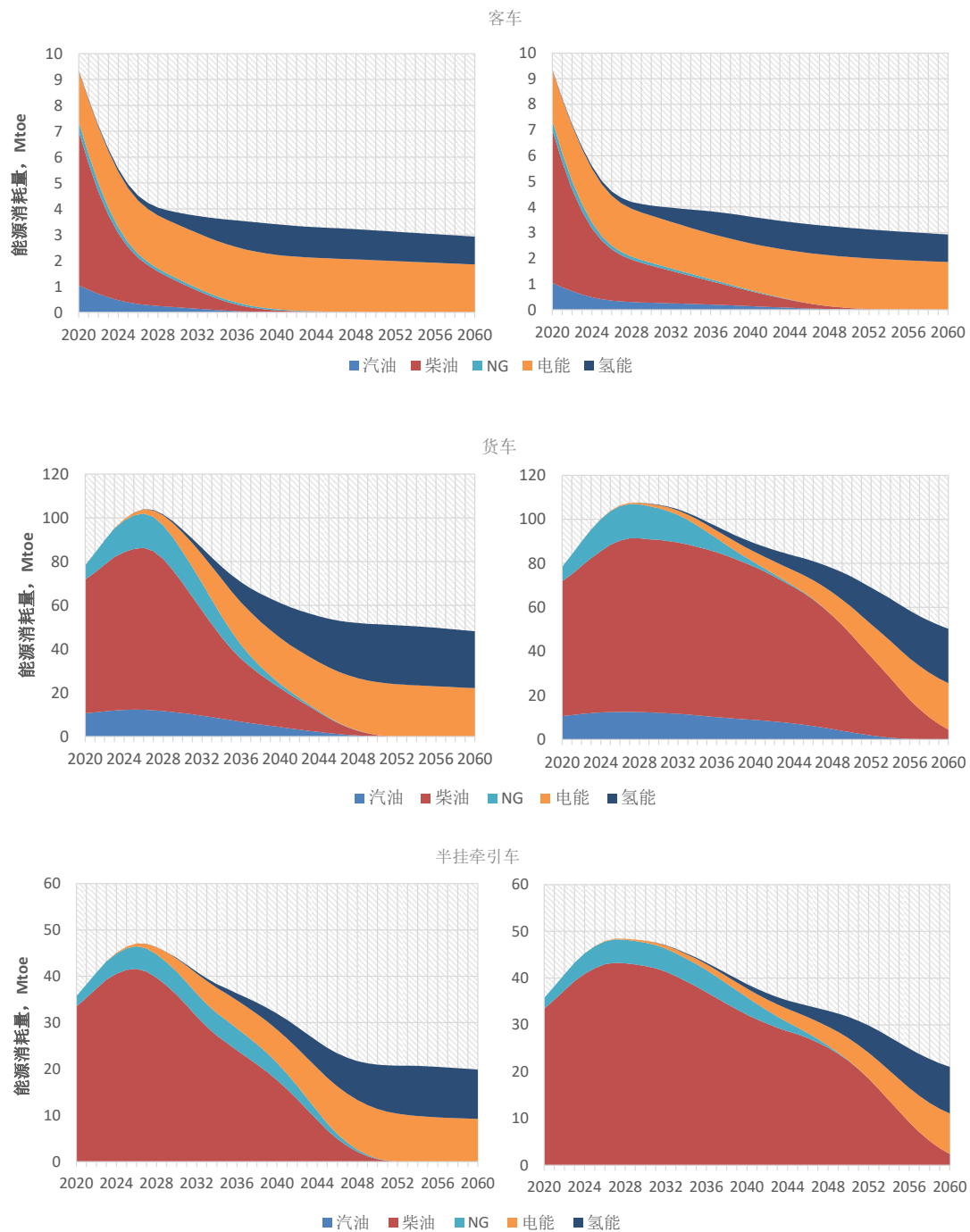
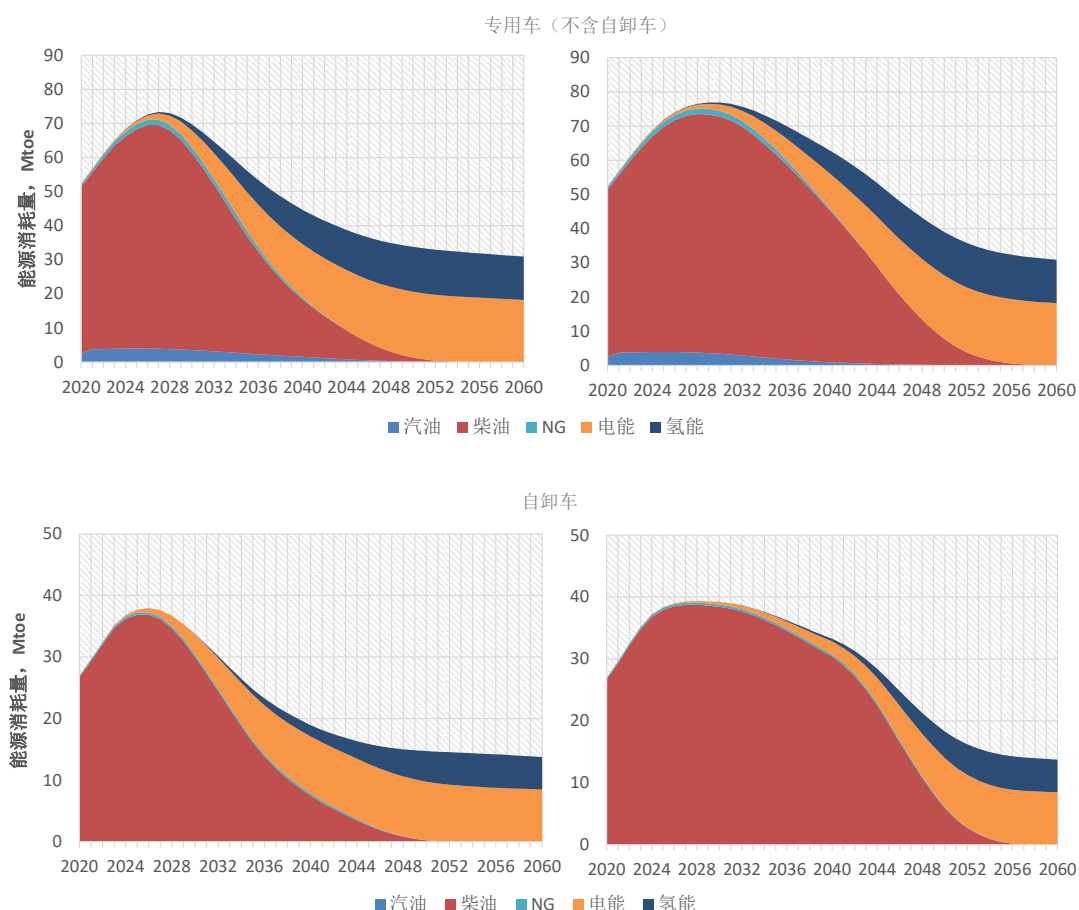


图 27 两种情景下商用车车队能源消耗量趋势

各细分车类的能源消耗量趋势如图 28 所示。客车能源消耗量目前已进入下降阶段，而且电能和氢能消耗量快速增加，至 2060 年能源消耗总量在 2020 年基础上下降约 68%。除客车外，其他车类的能源消耗量趋势与图 27 展示的整体趋势一致，即在“加州政策参考情景”下，能源消耗量峰形较为尖锐，而在“中国政策延续情景”下峰形较为圆钝。对货车和半挂牵引车而言，由于它们的运输和使用条件更适合燃料电池汽车汽车，后期氢能在能源消耗总量中的占比不断提升，最终基本与电能“平分秋色”。





注：上图中，左侧代表“加州政策参考情景”结果，右侧代表“中国政策延续情景”结果

图 28 细分车类能源消耗量趋势

5.4.3 终端碳排放变化

图 29 显示，在两种情景下，终端碳排放达峰时间也分别出现在 2026 和 2028 年前后。其中，“加州政策参考情景”下，商用车车队将于 2055 年左右实现终端净零排放，“中国政策延续情景”下，商用车车队终端净零排放时间将晚于 2060 年。图 29 中两条曲线之间的面积代表“加州政策参考情景”相对于“中国政策延续情景”在 2020-2060 年间的总体减碳量，约为 84 亿吨二氧化碳当量，相当于 2020 年度商用车车队碳排放量的近 13 倍，也相当于 2020 年度中国总碳排放量的约 70%。如此看来，按照“加州政策参考情景”中的商用车零排放汽车导入进度制定中国商用车电动化进程，对商用车车队具有显著的碳减排效益。

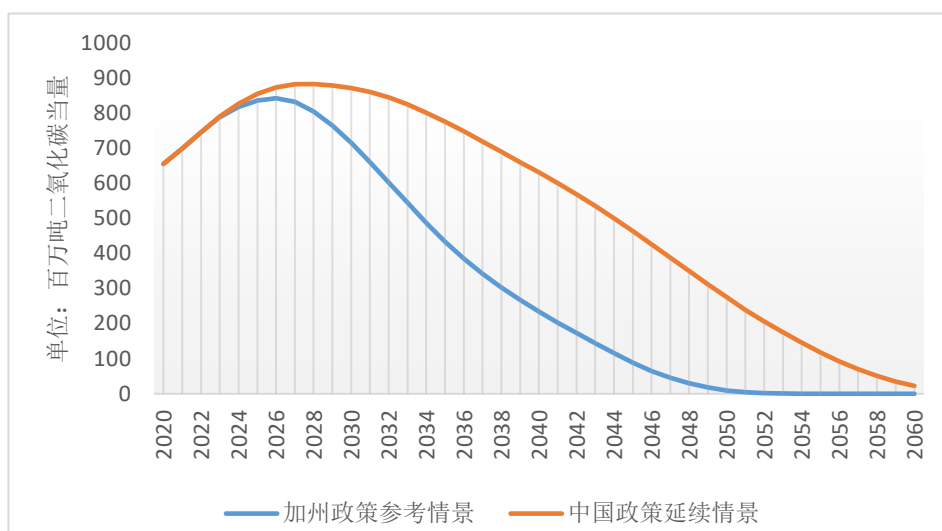
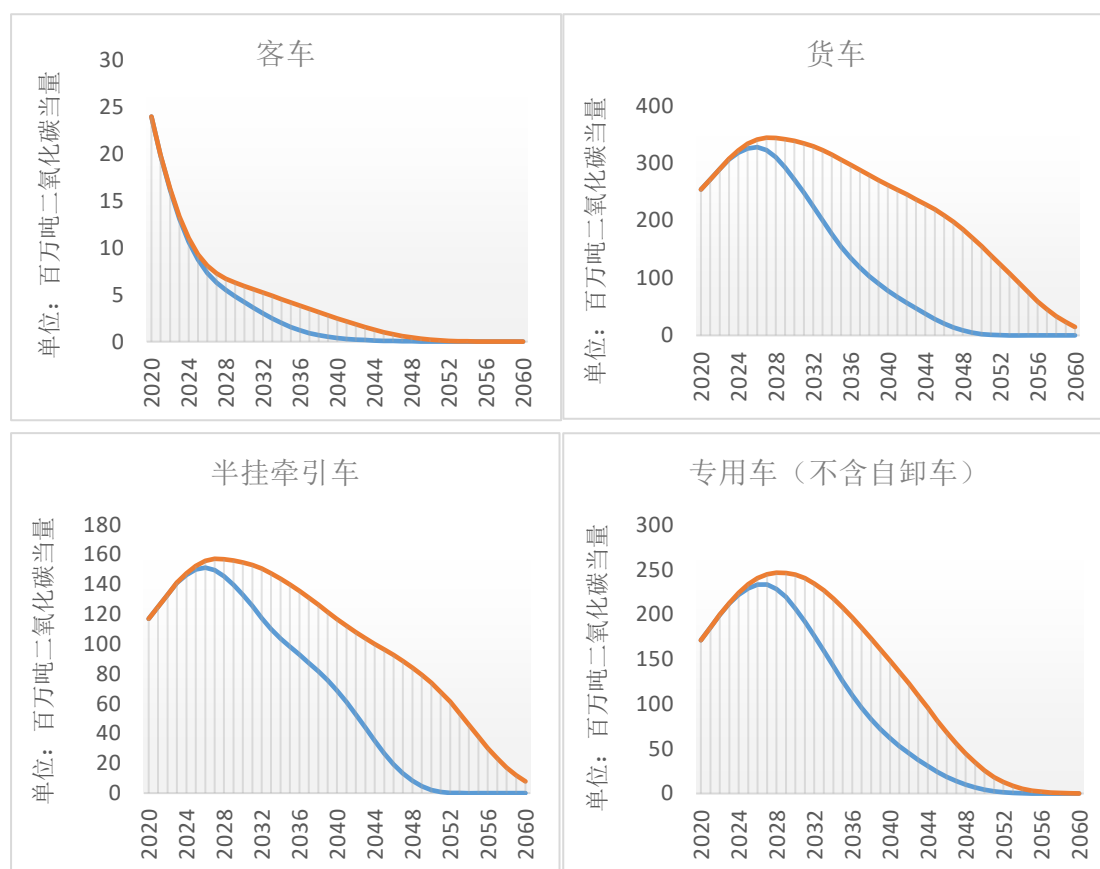


图 29 两种情景下商用车车队终端碳排放量趋势

细分车类方面，客车终端碳排放呈现快速下降趋势，同时由于中国客车领域电动化发展较好，在两种情景下终端碳排放的差异并不大。但是对其他细分车类而言，尤其是货车、半挂牵引车和自卸车，“加州政策参考情景”相对于“中国政策延续情景”具有很好的碳减排效果，分别减少碳排放约 42 亿、14 亿和 12 亿吨二氧化碳当量。



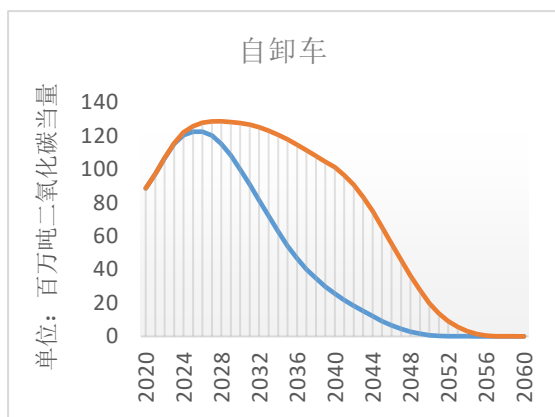


图 30 各细分车型终端碳排放趋势



六、讨论与不确定性分析

本研究重点在于梳理中国商用车电动化发展现状，以及在现有政策体系下实现“双碳”目标的路径和时间节点，对影响商用车电动化发展的相关政策体系的情景分析不在研究的范畴之内。

研究结果显示，商用车车队的碳达峰时间节点受零排放车型导入速度的影响较小，说明目前商用车车队碳排放已经或很快可进入平台期，这与商用车单车能耗下降、运输结构调整等因素密切相关。首先，商用车油耗管理标准逐渐加严，2021年起，重型车将全面实施三阶段油耗限值标准管理，单车能耗的下降效果还将进一步显现。其次，2018年出台的《打赢蓝天保卫战三年行动计划》和《推进运输结构调整三年行动计划（2018-2020）》两个重要文件，分别以目标拆解和三年总体目标的形式对“公转铁、公转水”进行了部署。其中，后者提出“力争通过3年时间，沿海港口大宗货物公路运输量减少4.4亿吨”。目前，相关部门尚未对计划的具体实施效果做出通报，但从公路货运量趋势（图4）和部分地区的实施结果来看，铁路已经成为公路运输的重要分担者。更为重要的是，这些计划实质上指出了“运输合理化”的重要性，通过多种运输路线的有效结合实现优势互补，才是未来货物运输碳减排的真正出路。

研究中两种电动化情景分析结果表明，商用车车队的终端净零排放时间节点与零排放车型的导入密切相关。“加州政策参考情景”参照的是加州现有的商用车零排放转型相关政策，政策目标明确且较为激进，“复制”到中国商用车市场，将使商用车车队于本世纪中叶完全实现终端净零排放。中国现阶段尚未公布各行业具体的碳中和目标，针对商用车乃至汽车行业的碳减排整体目标进度、零排放汽车导入计划等缺乏明确和详细的目标，以政策惯性预测，商用车车队实现净零排放的时间将晚于2060年。

不过，由于中国商用车碳排放尚未达峰，与加州本土的情况差别较大。本研究只讨论了在现有政策延续情况下的车队碳排放趋势，对未来可能出现的新技术及其减碳潜力无法预测和体现。零排放汽车技术是汽车行业发展的必然方向，但纯电动和氢燃料电池技术在商用车上的应用还存在一些挑战，未来是否有更加合适的新技术出现也未可知。在实施层面允许的条件下，以碳减排目标衡量和驱动商用车低碳发展的方向值得研究。

本研究中针对商用车车队的碳排放趋势判断是在模型计算结果的基础上所得，而丰富全面的基础数据是校准模型和获得更加精确结果的前提。中国商用车市场相对复杂，

以模型进行预测的难度很大，体现在：

- 多个分类标准并行，作为汽车行业统计归口单位的中国汽车工业协会和车辆管理机构的公安部门使用的分类标准不同，而汽车产品的通告数据则由工信部管理，想要获得一辆汽车的全面信息需要反复比对若干个数据库并进行匹配。而且，某些销售后用于特殊用途的车辆没有保险信息，导致不同数据库的数据一致性存在差异。
- 场景类别多，在模型中需要按照将商用车划分到不同场景中，而在数据库中只能通过车辆名称、公告字头和相关信息来进行手动区分，例如，在一些政策里反复提及的“港口、矿山专用车辆”很难在数据库中识别和分离。
- 未来市场发展的不确定性，从历史趋势来看，商用车销量以 3-5 年为一个周期呈现一定的波动性，而在模型中难以通过参数设置来预测这种变化，从而会对商用车车队的碳排放量产生一定影响。
- 不同类型汽车的运行参数存在差异，而目前的研究资料中缺乏对这类问题的系统分析。例如，在模型计算中，难以将新能源汽车和传统燃油汽车的行驶里程区分开。以专用车为例，模型计算中对非自卸专用车使用统一的 VKT 数据，而据新能源物流车领域相关专家介绍，新能源物流车的日均行驶里程约在 200 公里范围，普通专用货车的日均行驶里程浮动范围在 0~500 公里左右，二者具有一定的差异，由此也会产生一定的计算偏差。
- 政策的不确定性，前面已经提到，商用车领域目前还没有出台具体的零排放转型或低碳发展政策和目标，而商用车消费群体对成本的敏感度高，企业难以在没有政策鼓励的前提下对现阶段不成熟且应用程度不高的技术投入大量精力。而一旦政策惠及或优惠力度加大，将可能直接导致技术发展方向转变，对市场发展影响产生很大的不确定性。



七、总结

本报告分析了中国商用车的电动化发展现状，并以此为基础探讨了商用车实现“双碳”目标的可能情景，主要结论如下：

- **商用车市场仍未饱和，保有量未达峰值。**2008 年以来，中国公路货运量翻了一倍多，2020 年商用车销量也是 2008 年销量的近两倍。生鲜、冷链配送以及物流业的持续繁荣成为商用车市场新的增长点。
- **商用车用能结构多元化程度较低。**除城市客车外，汽、柴油是其他商用车最主要的能源类型，天然气汽车主要集中在重型货车和半挂牵引车领域，且占比不超过 20%。生物燃油、可再生液体燃料（可再生柴油，可再生天然气等）占比过小。
- **商用车节能和零排放技术发展缓慢且不均衡。**受政策推动、技术与产品开发、成本、使用便利性等多重因素影响，各场景商用车的电动化发展潜力不一。其中，城市客车基本实现零排放转型，货车和半挂牵引车则受制于成本及使用便利性等因素，在短期内难以规模电动化。过去五年间，货车和半挂牵引车新车销售中的零排放车型占比均不超过 1%，混合动力技术未见规模应用。专用车领域，除城市物流车有 4-14%的零排放汽车比例（指新车市场销量占比）外，其他车类零排放汽车占比均在 4%以下。整体上，城市客车外的其他商用车零排放汽车销售比例受市场和政策影响导致波动较大。
- **商用车队碳排放有望于 2028 年前实现达峰。**无论是参照加州现有政策目标，还是以中国的实际现状为基础，商用车车队碳排放均有望在 2028 年前达到峰值。若在零排放汽车导入方面加快推进，商用车车队碳达峰时间还将进一步提前。
- **中国现有政策难以支撑商用车车队碳排放在达峰后的快速下降。**加州对商用车零排放转型提出了具体详细的进展目标，而中国目前仍未制定类似目标。在“加州政策参考情景”下，商用车车队碳排放峰值水平较“中国政策延续情景”下降 5%，若在商用车上应用可在生天然气、生物柴油等低碳燃料，这一降幅还将增大。中国若要实现商用车排放达峰后的快速下降，可在零排放汽车导入计划、生物及可再生燃料推广、传统车能耗改善等多个方面出台针对性政策和目标。

八、政策建议

基于研究结果判断，中国商用车车队碳排放在 2030 年前达峰问题不大，更严峻的问题是如何降低峰值水平，以及达峰后如何下降。在此次研究中我们也关注到，商用车在低碳和零排放转型道路上存在着一些挑战，基于此我们提出以下政策建议：

（1）制定符合中国国情且富有雄心的商用车低碳发展目标

以加州为例，为实现 2045 年全州碳中和的目标，加州在交通和汽车领域密集出台了一系列法规、标准和行政命令，为汽车低碳发展提供了较为清晰的发展路径与规划。中国虽然反复强调汽车产业电动化发展的必要性和迫切性，但宏观的定量化的目标只在《新能源汽车产业发展规划（2021-2035）》中提及，部分重点城市和地区的目标代表性不足。2021-2030 时期是商用车碳排放实现达峰的关键时期，从分析情况来看，提前部署零排放汽车可降低商用车碳排放的峰值水平，而这需要在车辆、能源等相关领域加以引导和约束。因此，制定面向 2030-2035 时期的商用车低碳发展中期路线图与情景至关重要。

达峰后碳排放如何下降是商用车行业面临的主要挑战。目前距离中国提出的碳中和目标时间节点仍有 40 年左右时间，不确定因素较多。商用车是国民经济发展的重要支撑，在不限制商用车使用的前提下，通过多种举措尽早实现商用车碳中和有重要意义。研究中所设的“中国政策延续情景”是在对现有政策目标和实际市场情况充分考虑及判断的基础上制定的，该情景下商用车车队碳排放在 2050 年较峰值下降 69%，但绝对排放量数值仍较高，2055 年后较峰值可下降 90% 左右，达到终端净零排放时间晚于 2060 年，碳中和目标实现的压力较大。

“加州政策参考情景”结果提供了一个极有价值的参考，为中国商用车发展建立具有雄心且可实际操作性的碳中和时间表及路线图提供了有益的启示。目前中国缺乏以碳中和为目标的商用车低碳发展远景路线图，建议相关部门在全面调研论证的基础上研究和制定富有雄心的商用车低碳发展时间表。建议聚焦总体碳减排目标，尽量保持技术中立，持续激励企业应用最新或者最合适自身的减排方案，鼓励技术创新，及时引进商用车零排放积分交易体系作为支持政策。

（2）针对不同场景分阶段推进商用车电动化

研究表明，目前不同场景商用车电动化发展水平不一，且受经济成本、运营技术需求等多因素影响，这一情况还可能将持续存在。研究对不同场景商用车的电动化现状及潜力进行了分析，为加快商用车车队碳排放尽快达峰和促进达峰后的快速下降，我们认为有必要针对不同场景分阶段地推进商用车电动化发展。

首先，继续加大公共领域的电动化推广进度，包括环卫、城市轻型物流、封闭场景作业车辆等。研究数据显示，这几类车目前虽具备了一定的电动化汽车基数，但受政策的影响仍较大，电动汽车渗透率尚未形成稳定持续的上升趋势。公共领域车辆使用和作业要求相对简单，在电动化推进方面，可首先确立若干款优势电动车型，在相关技术不断提升的基础上再继续丰富产品线。

第二，关注特殊场景的商用车电动化进展，如校车。研究显示，虽然客车整体电动化渗透率远超过载货类车辆，但其中的校车场景几乎没有电动化车型。一方面，这与校车在国内的市场规模和运营模式密切相关，另一方面，相关政策也未对校车场景的电动化做出强调和倾斜。建议相关部门对校车场景的电动化进行深入调研和可行性论证，在技术和安全性允许后，大力推进校车电动化。

第三，对运输距离长、作业强度高、成本敏感度高的场景车辆，继续论证电动化发展路径。数据显示，重型货车、半挂牵引车、自卸车等车类的电动化渗透率非常低，且在现阶段难以单纯依靠补贴推广。以自卸车为例，深圳市在 2018 年以 80 万元/车的大额减排奖励推动电动泥头车在砂石运输行业的发展，使得该年度纯电动自卸车的渗透率突破 1%，但随着“砂石垄断”事件的调查，政府没有再延续补贴政策，纯电动自卸车也在深圳失去了市场。重型货车和半挂牵引车市场目前则基本没有电动化车型。我们认为，在这些场景的车类进行电动化时，不可操之过急，一方面这些车类的营运技术要求较高，另一方面企业“试错”的成本也相对高昂。无论是发展氢燃料电池，还是通过换电技术来满足纯电动车辆的续航和释放装载空间，均需要不断完善上下游技术环节，并持续论证技术和路线的可行性。

（3）提升汽车能源多元化水平并借鉴国际低碳燃料标准经验

商用车用能长期以来都较为单一，尤其是重卡和半挂牵引车，目前这两类车主要以柴油和天然气为主，且天然气占比不超过 20%。从这类车的使用场景和用途来看，氢燃

料电池是更加合适的燃料选择，但现阶段氢气的制取、存储、运输等上游环节仍存在技术难题，氢气价格居高不下，在这些问题破解之前，多样化的能源选择有望成为推动重型车低碳发展的关键。

仍以加州为例，加州从 2011 年开始实施《低碳燃料标准》法规，旨在降低交通领域的燃料碳强度。在这一法规下，全生命周期碳强度较低的生物乙醇、生物柴油、可再生柴油、可再生天然气等都是法规鼓励发展的替代能源，也帮助加州交通领域的碳强度在过去十年间至少下降了 5%⁷⁴。

中国幅员辽阔，地域资源储备和分布情况差异较大，但仍可以在有条件的地区大力推广生物柴油等低碳燃料。相关测试也证明，在高原地区使用 B5 和 B10 生物柴油（B5 是指生物柴油添加体积分数为 5% 的柴油，B10 意义同此），与使用国六柴油相比，“车辆整体经济型和动力性变化不大，在全工况条件下，排放的颗粒数量、一氧化碳和总碳氢均有所降低；在中低速条件下，排放颗粒数量和一氧化碳降幅较为明显”⁷⁵。

不过，从乙醇汽油的推广经验来看，推动生物柴油在柴油内燃机中的使用还面临不少问题，如相关生产原料能否保证供应，生物柴油的定价机制是否能够鼓励企业生产和用户使用，等等。如果中国能够出台类似加州《低碳燃料标准》的法规和政策，将能有力推动商用车能源消费的多样性和低碳化发展，提升低碳及可再生液体燃料的应用场景。



附录

一、各类商用车能源消耗及碳排放计算参数

附表 1 各类车平均里程及趋势预测

公里/ 年	客车			货车			半挂牵 引车	专用车		
	轻型	中型	大型	轻型	中型	重型		轻型	中型	重型
2019	35000	48000	50000	26000	33000	54000	53000	26000	34000	48000
2030	35500	48000	50000	27000	34000	55000	54000	27000	35000	49000
2040	36000	47500	49000	28000	35000	56000	55000	28000	36000	50000
2050	36000	47500	49000	28000	36000	57000	56000	28000	37000	51000
2060	36000	47000	49000	28000	36000	57000	56000	28000	37000	51000

(续)

公里/ 年	自卸车		
	轻型	中型	重型
2019	26000	33000	54000
2030	27000	34000	55000
2040	28000	35000	56000
2050	28000	36000	57000
2060	28000	36000	57000

附表 2 各类车平均油耗及趋势预测

L/100km	客车			货车			半挂牵引车	专用车		
	轻型	中型	大型	轻型	中型	重型		轻型	中型	重型
2019	12.0	18.0	22.0	8.9	20.2	39.7	44.0	10.4	20.1	39.2
2025	10.8	16.2	19.8	8.2	18.6	36.5	40.5	9.6	18.5	36.1
2030	10.2	15.3	18.7	8.0	18.2	35.7	39.6	9.4	18.1	35.3
2035	9.6	14.4	17.6	7.6	17.2	33.7	37.4	8.8	17.1	33.3
2060	9.1	13.6	16.8	6.9	15.8	31.0	35.0	8.1	15.6	30.7

(续)

L/100km	自卸车		
	轻型	中型	重型
2019	13.9	22.7	42.1
2025	12.8	20.9	38.7
2030	12.5	20.4	37.9
2035	11.8	19.3	35.8
2060	10.8	17.8	33.0

参考资料

- ¹ IEA (2019), Tracking Transport, IEA, Paris, <https://www.iea.org/reports/tracking-transport-2020>
- ² California Air Resources Board, <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/zero-emission-vehicle-program/about>
- ³ California Air Resources Board, <https://ww2.arb.ca.gov/rulemaking/2019/advancedcleantrucks>
- ⁴ Office of Governor Gavin Newsom, <https://www.gov.ca.gov/2020/09/23/governor-newsom-announces-california-will-phase-out-gasoline-powered-cars-drastically-reduce-demand-for-fossil-fuel-in-californias-fight-against-climate-change/>
- ⁵ European Commission, https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/heavy_en
- ⁶ ACEA, <https://www.acea.auto/figure/eu-commercial-vehicle-production/>
- ⁷ Norwegian Ministry of Transport and Communications, National Transport Plan 2018-2029. (2017)
<https://www.regjeringen.no/contentassets/7c52fd2938ca42209e4286fe86bb28bd/en-gb/pdfs/stm201620170033000engpdfs.pdf>
- ⁸ ICCT, <https://theicct.org/sites/default/files/publications/Update-global-EV-stats-20200714-CH.pdf>
- ⁹ https://km.twenergy.org.tw/Data/db_more?id=2468#U
- ¹⁰ 中国循环经济协会, <http://www.chinacace.org/news/fieldsview?id=12130>
- ¹¹ The Korea Herald, <http://www.koreaherald.com/view.php?ud=20191015000824>
- ¹² Electrive.com, <https://www.electrive.com/2018/05/17/korea-to-fully-electrify-buses-and-trucks-by-2030/>
- ¹³ Business Korea, <http://www.businesskorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=30096>
- ¹⁴ 韩联社, <https://cn.yna.co.kr/view/ACK20210204003000881>
- ¹⁵ Pulse, <https://pulsenews.co.kr/view.php?year=2020&no=733375>
- ¹⁶ 中华人民共和国中央人民政府, http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-07/03/content_5303158.htm
- ¹⁷ 中华人民共和国商务部 条约法律司,
<http://tfs.mofcom.gov.cn/article/ba/bh/201303/20130300062947.shtml>
- ¹⁸ 新华网, http://www.xinhuanet.com/politics/2020-04/26/c_1125908061.htm
- ¹⁹ 新华网, http://www.xinhuanet.com/politics/2020-06/18/c_1126127688.htm
- ²⁰ Hao H., Wang H., Yi R. Hybrid modeling of China's vehicle ownership and project through 2050 [J]. Energy, 2011, 36(2):1351-1361.
- ²¹ 中国汽车工程学会, 我国汽车行业中长期发展趋势及用能需求预测模型研究, 2017.
- ²² 中国商用车网, http://cv.ce.cn/news/202107/09/t20210709_36705949.shtml
- ²³ 浙商证券,
https://pdf.dfcfw.com/pdf/H3_AP201810251221173238_1.pdf?1540462652000.pdf
- ²⁴ 搜狐汽车, https://www.sohu.com/a/295493289_560178
- ²⁵ ACEA, <https://www.acea.auto/figure/trucks-eu-fuel-type/>
- ²⁶ 中国汽车工业协会, http://www.caam.org.cn/chn/8/cate_86/con_5177428.html
- ²⁷ Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Liebherr_T_282_series
- ²⁸ 电车资源, <http://m.evpartner.com/news/detail-43329.html>
- ²⁹ CV News, <http://www.cvn.com.tw/cgi-bin/news.cgi?a701074930068>
- ³⁰ ITS International, <https://www.itsinternational.com/news/volvo-start-selling-heavy-hybrid-trucks>

-
- 31 卓众商用车, <http://www.bjcv.com/show-8-10982-1>
- 32 盖世汽车, <https://m.gasgoo.com/news/70218072.html>
- 33 OFweek 锂电网, <https://libattery.ofweek.com/2020-10/ART-36001-8500-30462917.html>
- 34 中国能源网, <https://www.china5e.com/news/news-1102140-1.html>
- 35 新浪科技, <https://finance.sina.com.cn/tech/2021-01-28/doc-ikftpny2526556.shtml>
- 36 头豹研究院, 2019 年中国新能源汽车电机行业概览.
https://pdf.dfcfw.com/pdf/H3_AP202008211400261743_1.pdf?1598028969000.pdf
- 37 节能与新能源汽车技术路线图 2.0 总路线图研究报告.
<http://img.evpartner.com/uploads/ueditor/file/202010/286373949947902010073367280.pdf>
- 38 U.S. Department of Energy,
https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/11/f27/fcto_fuel_cells_fact_sheet.pdf
- 39 U.S. Department of Energy, <https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/hydrogen-program-plan-2020.pdf>
- 40 EU Commission, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_19_6691
- 41 EU Commission, A hydrogen strategy for a climate neutral Europe.
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/attachment/865942/EU_Hydrogen_Strategy.pdf.pdf
- 42 Petrol Plaza, <https://www.petrolplaza.com/news/26059>
- 43 四川省氢能产业发展规划（2021-2025 年），
<http://res.yaan.gov.cn/UploadFiles/2020/9/30/534d67298db64bc3bbcb24feb210f19.pdf>
- 44 山东省人民政府, http://www.shandong.gov.cn/art/2020/6/24/art_107851_107610.html
- 45 中华人民共和国中央人民政府, “武汉出台首份氢能产业发展规划方案”,
http://www.gov.cn/xinwen/2018-01/21/content_5259104.htm
- 46 佛山市南海区氢能产业发展规划（2019-2030），
<http://www.nanhai.gov.cn/cms/html/files/2019-10/08/20191008164615532643823.pdf>
- 47 广州市氢能产业发展规划（2019-2030 年），
<http://fgw.gz.gov.cn/attachment/0/100/100172/6477212.pdf>
- 48 青岛市氢能产业发展规划（2020-2030 年），
<http://www.qingdao.gov.cn/n172/upload/201221090538764257/201221150539686253.pdf>
- 49 北京市大兴区人民政府关于印发《大兴区促进氢能产业发展暂行办法》的通知,
http://invest.beijing.gov.cn/tzbi/tzzctzbi/gqzc/dxq/202101/t20210106_2199934.html
- 50 苏州市人民政府,
<https://www.suzhou.gov.cn/szsrnzf/szyw/202102/a4b998a8f49344cebbaf85c4ef974de7.shtml>
- 51 白城市人民政府, http://jlzhenlai.gov.cn/xxgk_3148/zcjd/201907/t20190712_715949.html
- 52 中华人民共和国发展和改革委员会,
https://www.ndrc.gov.cn/fggz/cxhgjsfz/dfjz/202012/t20201223_1259972.html
- 53 中国氢能联盟, 中国氢能及燃料电池产业白皮书, 2019.
- 54 《节能与新能源汽车技术路线图（2.0）》总路线图研究报告, 2020.
- 55 IRENA, 可再生能源发电制氢, 2018. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Sep/IRENA_Hydrogen_from_renewable_power_2018_CN.pdf?la=en&hash=44D43761635256648D11684641EAD134B958055B
- 56 第一财经, <https://www.yicai.com/news/100865090.html>
- 57 搜狐网, https://www.sohu.com/a/441236086_120056227
- 58 能源界, <http://www.nengyuanjie.net/article/42737.html>

-
- ⁵⁹ Fuel Cells Works, <https://fuelcellsworks.com/news/in-2019-83-new-hydrogen-refuelling-stations-worldwide/>
- ⁶⁰ 中国能源网, <https://www.china5e.com/news/news-1107550-1.html>
- ⁶¹ 电车汇, <https://evhui.com/116774.html>
- ⁶² IEA, Global EV Outlook (2020).
- ⁶³ 沈万霞, 张博, 丁宁, 等. 2017. 轻型纯电动汽车生产和运行能耗及温室气体排放研究. 环境科学学报, 37(11): 4409-4417.
- ⁶⁴ 中汽数据有限公司, 中国汽车低碳行动计划研究报告, 2020.
- ⁶⁵ 中华人民共和国生态环境部, https://www.mee.gov.cn/ywgz/ydghbh/wsqtgz/201907/t20190701_708248.shtml
- ⁶⁶ 中国汽车技术研究中心. 中国节能与新能源汽车研究报告 2017[R], 2017.10
- ⁶⁷ Peng T, Ou X, Yuan Z. et al. Development and application of China provincial road transport energy demand and GHG emissions analysis model [J]. Applied Energy, 2018 (222): 313-328.
- ⁶⁸ Hao H, Wang HW, Ouyang MG, Cheng F. Vehicle survival patterns in China [J]. Science China, 2011 (54): 625-629.
- ⁶⁹ IPCC 术语表, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15_Glossary_chinese.pdf
- ⁷⁰ 人民网, 加快实现碳排放达峰 推动经济高质量发展. <http://theory.people.com.cn/n1/2021/0104/c40531-31987755.html>
- ⁷¹ 韩中楠, 证券时报. “碳中和”路线图确定, 车企开足马力顺势而为. http://www.cs.com.cn/qc/202101/t20210127_6134565.html
- ⁷² 中华人民共和国生态环境部, 中国移动源环境管理年报 2020.
- ⁷³ Energy and Environmental Economics, Achieving Carbon Neutrality in California: Pathways Scenarios Developed for the California Air Resources Board, 2020.
- ⁷⁴ GHG management institute, <https://ghginstitute.org/2020/01/22/the-low-carbon-fuel-standard-has-succeeded-but-how-does-it-work/>
- ⁷⁵ 新华网, http://www.xinhuanet.com/energy/2019-02/19/c_1124132771.htm