



中国商用车 TCO 研究及中美对比

Research on TCO of Commercial vehicles in China and Comparison between China and US

中汽数据有限公司

2022.7

Automotive Data of China Co.,Ltd.

July, 2022

关于作者

赵冬昶、任焕焕、陈川、李曜明、金浩、禹如杰、刘辰、贾莉洁、吕力

ABOUT THE AUTHORS

Zhao Dongchang, Ren Huanhuan, Chen Chuan, Li Yaoming, Jin Hao, Yu Rujie, Liu Chen, Jia Lijie, Lv Li

致谢

本研究由中汽数据有限公司撰写，由能源基金会提供资金支持。

ACKNOWLEDGEMENT

This report is a product of China Automotive Technology and Research Center Co.,Ltd. and is funded by Energy Foundation China.

目录

关于作者	2
ABOUT THE AUTHORS	2
致谢	2
ACKNOWLEDGEMENT	2
第一章 绪论	1
1.1 商用车电动化发展背景	1
1.1.1 国外背景	1
1.1.2 国内背景	6
1.2 课题研究框架	9
第二章 中国与美国商用车市场对比	11
2.1 商用车分类对比	11
2.1.1 美国商用车分类	11
2.1.2 中国商用车分类	11
2.2 商用车市场对比	12
2.2.1 美国商用车市场	12
2.2.2 中国商用车市场	13
2.3 商用车管理政策对比	14
2.3.1 美国（加州）	14
2.3.2 中国	15
第三章 加州商用车 TCO 研究及在政策制定中的应用	16
3.1 加州《先进清洁卡车法规》解读	16
3.2 TCO 研究结论及在政策制定中发挥的作用	19
3.3 对中国商用车积分政策制定的启示	20
第四章 商用车 TCO 测算口径及方法	21
4.1 美国加州商用车 TCO 测算模型	21
4.2 其他 TCO 研究核算范围	24
4.3 本研究所采取的研究方法及口径	25
第五章 中国商用车场景分类	27

5.1 研究对象	27
5.2 研究场景分类	28
5.2.1 重型牵引车	29
5.2.2 重型载货车	30
5.2.3 重型自卸车	31
5.2.4 轻型载货车	31
5.2.5 皮卡	32
第六章 中国商用车 TCO 测算关键输入数据	34
6.1 关键零部件成本	34
6.2 燃料价格	37
6.3 维护保养成本	38
6.4 使用年限	39
6.5 残值	40
第七章 商用车 TCO 结果分析	41
7.1 各类型商用车 TCO 及未来预测	41
7.1.1 重型牵引车	42
7.1.2 重型载货车	43
7.1.3 重型自卸车	45
7.1.4 轻型载货车	47
7.1.5 皮卡	49
7.2 商用车 TCO 测算总结	51
7.2.1 不同里程下纯电动与传统车 TCO 平价时间	51
7.2.2 各研究机构 TCO 结果对比	52
7.3 敏感性分析	52
7.3.1 氢能源价格变动	52
7.3.2 柴油价格变动	53
7.4 环境成本分析	53
第八章 结论与政策建议	56
8.1 主要结论	56

8.2 政策建议	56
免责声明	1
Disclaimer.....	1

第一章 绪论

1.1 商用车电动化发展背景

工业化虽然给全球经济带来了飞速发展，但同时给全球气候带来了不少负面影响。自 1750 年工业革命开始之际至 2000 年的 250 年当中，大气中的二氧化碳、甲烷、一氧化二氮等温室气体的浓度显著提升，全球面临气候变暖威胁。根据世界气象组织发布的《全球气候状况》报告，2021 年全球平均温度比工业化前的基线高出了 1.1 摄氏度，大气中温室气体浓度也逐年攀升，已超过工业化前浓度水平的 1.5 倍。¹

联合国工业发展组织提出，交通运输部门的温室气体排放量已占全球总排放量的四分之一²，同时道路交通运输是石油需求量最大的行业，采用电动化汽车既能缓解不可再生资源的枯竭危机，也能减缓碳排放带来的温室效应。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，对道路交通碳减排的贡献十分可观。为应对全球气候变化，减少碳排放并促进碳中和，目前全球主要国家/地区都对商用车电动化提出要求，主要分为约束性法规和非约束性目标。与此同时主要的商用车企业也提出电动化目标与技术发展路径，积极响应各国碳中和目标。

1.1.1 国外背景

1) 主要国家和地区政策要求

美国加州是唯一一个通过约束性法规要求销售零排放重型车的地区，2020 年通过的《先进清洁卡车法规》要求制造商增加零排放货车的销售占比：2024 年，2b-3 类卡车、4-8 类卡车和 7-8 类卡车新车中的零排放车辆占比分别为 5%、9% 和 5%，且该比例逐年上升。同时加州制定了一个非约束性目标，要求截至 2035 年所有新出售的客车达到零排放标准、在 2045 年道路上行驶的所有

1 世界气象组织发布《2021 年全球气候状况》-中国气象局 (www.cma.gov.cn)

2 工发组织：电动交通在环保中的作用至关重要 | 联合国新闻 (un.org)

重型车（包括销售的新车和全部存量车）均实现零排放³。为促进这一目标实现，加州空气资源委员会发起了低排放卡车和巴士优惠券激励（HVIP）、巴士更换补助金、零排放 8 级货车和港口短途卡车计划等激励项目。尽管现任美国政府尚未针对商用车电动化制定一个整体目标，但 2020 年 7 月，15 个州和哥伦比亚特区联合签署了一份谅解备忘录，目标是确保到 2050 年所有新出售的中、重型汽车销量 100% 是零排放汽车，中期目标是到 2030 年 30% 为零排放汽车⁴。

欧洲国家中，英国计划 2035 年实现总重介于 3.5-26 吨的商用车 100% 电动化，2040 年总重 26 吨以上商用车 100% 电动化并公开征求意见⁵；奥地利目标 2030 年完成客车新车销量 100% 零排放、2032 年总重小于 18 吨货运卡车 100% 零排放、2035 年货运卡车 100% 零排放⁶；挪威目标 2029 年新出售货运卡车的 50% 实现纯电动化⁷。此外，荷兰正带头签署一份全球谅解备忘录，以加速零排放重型车的市场推广，该备忘录设定的目标是，到 2030 年零排放车辆占比达到 30%，到 2040 年达到 100%；同时鼓励各国积极推进这一目标。奥地利、加拿大、智利、荷兰、丹麦和瑞士等国已经签署了这份全球谅解备忘录⁸。

亚洲国家中，根据日本政府计划，针对包括卡车在内的荷载 8 吨以下的小型商用车，电动化进程具体分为两步，到 2030 年，将小型商用车新车中，纯电动车和氢燃料电池车的比例提升至 20%~30%；到 2040 年，小型商用车新车销量将 100% 来自纯电动车、氢燃料电池车，以及合成燃料车⁹。非约束性目标中，2019 年发布的《加速载货汽车和巴士电动化事业》对货车和公交提供补贴，正式将财政补贴专项惠及商用车领域¹⁰；韩国目标 2040 年在市场上所有货运卡车中 4 万辆为燃料电池驱动¹¹。具体情况如下：

³ <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/>

⁴ <https://ww2.arb.ca.gov/news/15-states-and-district-columbia-join-forces-accelerate-bus-and-truck-electrification>

⁵ <https://www.gov.uk/government/consultations/heavy-goods-vehicles-ending-the-sale-of-new-non-zero-emission-models>

⁶ <https://www.bmk.gv.at/themen/mobilitaet/mobilitaetsmasterplan/mmp2030.html>

⁷ <https://www.regjeringen.no/contentassets/7c52fd2938ca42209e4286fe86bb28bd/engb/pdfs/stm201620170033000engpdfs.pdf>

⁸ <https://globaldrivezero.org/mou-nations/>

⁹ <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1720525701837763354&wfr=spider&for=pc>

¹⁰ https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_tk10_000036.html

¹¹ https://docs.wixstatic.com/ugd/45185a_fc2f37727595437590891a3c7ca0d025.pdf

表 1-1 主要国家或地区商用车电动化政策及目标

国家或地区	提出时间	节点	电动化目标	激励方式
美国加州	2020 年	2024 年	新车：2b-3 类卡车 5%、4-8 类卡车 9%、7-8 类卡车 5%	约束性法规
美国加州	2020 年	2035 年	新车：100%	低排放卡车和巴士优惠券激励（HVIP）、巴士更换补助金、零排放 8 级货车和港口短途卡车计划等
		2045 年	汽车保有量：100%	
美国 15 个州和哥伦比亚特区	2020 年	2030 年	新车：中重型车 30%	未公开
		2050 年	新车：中重型车 100%	
英国	2021 年	2035 年	新车：3.5-26 吨 100%	插电式混动汽车补贴计划
		2040 年	新车：26 吨以上 100%	
奥地利	2021 年	2030 年	新车：客车 100&	碳定价、绿色金融议程
		2032 年	新车：18 吨以下货运卡车 100%	
		2035 年	新车：18 吨以上货运卡车 100%	
挪威	2017 年	2029 年	新车：货运卡车 50%	政府和道路通行费投资
荷兰、奥地利、加拿大、瑞士、智利、丹麦等	2021 年	2030 年	新车：30%	未公开
		2040 年	新车：100%	
日本			未公开	加速载货汽车和巴士电动化事业
韩国	2021 年	2040 年	汽车保有量：4 万辆为燃料电池驱动	未公开

2) 主要商用车企业动态

世界主要商用车企业陆续宣布推出零排放商用车型号并计划在未来几年进行批量生产。戴姆勒宣布，到 2030 年重型车辆新车 60% 为零排放，到 2039 年市场占有率为 100%，成为第一家在所有重型车领域逐步淘汰内燃机的企业¹²。MAN 宣布 2030 年零排放重型车市场占有率为 40%，区域货运车辆达到 60%，并且将于 2040 年淘汰传统燃烧机卡车¹³。斯堪尼亚计划到 2025 年重型车辆新车的 10% 为零排放车辆，2030 年上升至 50%，同时斯堪尼亚是唯一一家签署了零排放中重型汽车谅解备忘录的重型卡车制造商¹⁴。沃

¹² <https://group.mercedes-benz.com/dokumente/investoren/praesentationen/daimler-ir-presentation-daimler-truck-strategy-day-may-2021.pdf?r=dai>

¹³ https://www.man.eu/de/en/bus/the-man-lion_s-city/electric-drive/man-lion_s-city-e.html

¹⁴ <https://www.scania.com/group/en/home/newsroom/news/2021/Scania's-commitment-to-battery-electric-vehicles.html>

尔沃宣布到 2025 年重型车新车 7%为零排放，2030 年上升至 50%¹⁵。具体情况如下：

表 1-2 主要商用车企业电动化进程与动态

企业	关键节点	布局领域	企业规划	主要活跃地区
福特 ¹⁶	2050 年	电动轻客、皮卡	2020 年 6 月，福特表示 2022 年年中发布全尺寸厢型车/旅行车“Transit”全尺寸皮卡“F-150”EV 版。	美国、欧洲
戴姆勒	2039 年	中型电动厢型车、氢燃料电池重卡	2021 年 3 月，戴姆勒卡车宣布，将于 2023 年下半年起在美国和德国的三家工厂生产基于新开发的平台（Electric Versatility Platform）的下一代中型电动厢型车 eSprinter。 与沃尔沃合作进行重型卡车燃料电池系统的开发，2020 年 4 月计划投资 2 亿欧元进行研发，预计 2025-2030 年推出。	欧洲、美国
MAN ¹⁷	2040 年	电动客车、电动重卡	2020 年 5 月，纯电动客车 12m 版 Lion's City E 将于 2020 年第 4 季度交付。 2018 年 10 月，eTGM 电动重卡在奥地利运营，续航里程 190km。	欧洲
斯堪尼亚	2040 年	电动重卡	2020 年 9 月，斯堪尼亚纯电动重卡 P 系列推出两种电池容量选项，165kWh、300kWh，续航里程最大可达 130km、250km。	欧洲
沃尔沃	2040 年	氢燃料电池重卡	2021 年 3 月，沃尔沃与戴姆勒正式合资成立燃料电池企业。 合作目标：加快燃料电池系统在重型运输和要求严苛的长途运输领域的推广；在 3 年内对燃料电池卡车进行测试，并在 5~10 年内实现量产，帮助世界在 2025 年前向气候中和及可持续交通迈出重要一步。	欧洲、美国
Nikola	纯电动企业	电动重卡、氢燃	2021 年 2 月，尼古拉公布，电动	美

15 <https://www.volvotrucks.com/en-en/news-stories/press-releases/2022/feb/volvo-trucks-leads-the-electric-truck-market-in-europe.html>

16 <https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2021/05/19/the-ford-electric-vehicle-strategy--what-you-need-to-know.html>

17 https://www.man.eu/de/en/bus/the-man-lion_s-city/electric-drive/man-lion_s-city-e.html

		燃料电池重卡	卡车 Tre Cabover 的续航里程目标约 480km，将于 2022 年实施行驶测试，预计 2023 年下半年投产。 2021 年 2 月，尼古拉计划推出燃料电池卡车 Tre Cabover 和长续航版本的燃料电池卡车 Two Sleeper，使用多个相同的燃料电池功率模块和可扩展储氢系统。	国、欧洲
丰田 ¹⁸	2050 年	氢燃料电池客车、氢燃料电池重卡	2020 年，开发出燃料电池(FC)系统包的 FC 模块，在 2021 年春季以后开始销售，用于卡车、客车、铁路、船舶等移动或固定发电机上等。 2019 年 4 月起，卡车制造商 Kenworth 和丰田北美携手合作，共同开发氢燃料电池卡车。	日本、北美、欧洲
日野 ¹⁹	2050 年	电动小型客车、电动轻型卡车	2020 年，与比亚迪合作开发纯电动商用车，推出的 Poncho ZEV 将于 2022 年春季上市。 2021 年，日野汽车与开发 EV 平台的以色列公司 REE Automotive 合作开发模块化结构的新一代轻卡车型。	日本
现代 ²⁰	2045 年	燃料电池卡车	2019 年 4 月，与瑞士公司 H2 Energy 签署合作协议书，合资成立 Hyundai Hydrogen Mobility，通过该公司，现代汽车将在 2019 年到 2025 年间陆续向瑞士等欧洲国家交付 1000 多辆燃料电池重型卡车。 2020 年初，与韩国丽水光阳港务局签署了发展氢卡车生态系统的谅解备忘录。根据协议，现代汽车将在 2023 年之前开发两辆用于物流目的的氢燃料电池卡车，并在第二年再开发 10 辆。车辆用于往返光阳南部港口与釜山之间，设计续航里程 320 公里。	韩国、欧洲

3) 现阶段商用车电动化发展情况

美国新能源汽车市场早在上世纪九十年代开始发展，主要集中于轻型车领域，2020 年全美先进技术轻型车总销量已经超过 80 万辆。在新能源商用车领域，美国加州 2016 年才正式启动对商用车清洁化、电动化的调查，发展时间较短，当前尚未形成规模性的生产和销售。

18 <https://www.toyota.com/usa/environmentreport/challenge-2050-education.html>

19 <https://www.hino-global.com/corp/news/2021/20210427-002905.html>

20 <https://www.kedglobal.com/automobiles/newsView/ked202109070004>

欧洲新能源汽车市场伴随欧盟及其他地区的碳中和法规的加严快速发展，但绝大多数新注册商用车依然为传统柴油车：2020 年，96.5%的商用车动力来源为柴油，2.9%的商用车采用可替代能源，只有 0.5%的商用车动力来源为电力²¹。

日本、韩国新能源汽车市场规模较大，但其中以常规混动轻型车为主，严格定义下的新能源商用车销量占比较小，新能源商用车市场尚未形成规模，商用车电动化仍在起步阶段。

1.1.2 国内背景

1) 国内政策要求

目前，《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》、《2030 年前碳达峰行动方案》等国家顶层设计已完成，后续分行业、分区域行动方案及相关保障方案将陆续发布。交通运输作为碳排放的主要领域，行动方案将以低碳和节能为主，推动商用车方面电动化低碳化发展。2009 年之后，中国开始陆续实施激励措施与销售目标法规，以确保创新和投资的持续推进以及可供选择车型的持续增加，《节能与新能源汽车技术路线图 2.0》中提出，到 2025 年新能源（零排放）重型车的年销量占比达到 12%，到 2030 年达到 17%，到 2035 年达到 20%。财政激励措施如下：

表 1-2 中国商用车电动化财政激励政策

	货运卡车			客车		
	纯电动	插 混 (含插电式)	燃料 电池	非快 充类 纯电 动	快充 类纯 电动	插混 (含增 程式)
2009 年	—	—	60 万 元	—	—	42 万元
2013 年	2000 元/kWh	—	50 万 元	车长 6-8 米:30 万元 车长 8-10 米:40 万元 车长 10 米以	车长 10 米以 上: 25 万元	

²¹ New trucks in the EU by fuel type - ACEA - European Automobile Manufacturers' Association

						上:50 万元	
2014 年	较 2013 年下调 5%						
2015 年	较 2013 年下调 10%						
2016 年	1800 元/kWh			—	50 万 元	纯电动续驶 里程 6-20 公 里: 22 万元 20-50 公里: 26 万元 50-100 公 里: 30 万元 100-150 公 里: 35 万元 150-250 公 里: 42 万元 250 公里以 上: 50 万元	纯电动续驶 里程 50-100 公 里: 20 万 元; 100-150 公 里: 23 万元; 150 公里以 上: 25 万元
2017 年	≤30kWh:15 00 元/kWh	30kWh- 50kWh:12 00 元/ kWh	>50kWh:10 00 元/kWh	—	50 万 元	1800 元/ kWh	3000 元/ kWh
2018 年	≤30kWh:85 0 元/kWh	30kWh- 50kWh:75 0 元/kWh	>50kWh:65 0 元/kWh	—	50 万 元	1200 元/ kWh	2100 元/ kWh
2019 年	350 元/kWh			500 元/ kWh	40 万 元	500 元/ kWh	900 元/ kWh
2020 年	315 元/kWh			450 元/ kWh	未公 布	500 元/ kWh	900 元/ kWh
2 0 2 2	非 公 共 领 域	252 元/kWh			360 元/ kWh	未公 布	400 元/ kWh
1 年	公 共 领 域	315 元/kWh			450 元/ kWh	未公 布	450 元/ kWh

货运卡车和客车的财政补贴正在稳步下降。货运卡车方面：纯电动货车的财政补贴从 2013 年的 2000 元/kWh 降至 2021 年的 252 元/kWh，燃料电池货车的财政补贴从 2009 年的 60 万元人民币降至 2019 年的 40 万元人民币。需要特别指出的是，中国在 2020 年暂停了对燃料电池货车的财政补贴，但同时发布了《燃料电池汽车城市群示范目标和积分评价体系》，采用了全新的燃料电池货车激励措施，截至 2022 年 5 月，国家共批复了京津冀、上海、广东、河南、河

北五大燃料电池汽车示范城市群，目前北京、上海已正式发布了燃料电池汽车的支持政策。²²。客车方面：纯电动补贴划分标准由 2013 年依据车长划分，到 2014 年依据续驶里程划分，最后采取定值补贴。

目前中国尚无商用车电动化约束性法规，为进一步引导商用车节能减排，完善节能与新能源汽车管理政策，商用车新能源积分制度或将代替补贴引导新能源化发展，当前商用车新能源积分制度已在行业内达成了共识，相关政策已在制定中。

2) 主要商用车企业动态

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，聚焦轻卡、VAN、小型物流车、大中客车。2020-2021 年，优势产品计划销量 4 万辆，总市场占有率达到 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 年累计推广 20 万台。

东风集团计划在 2025 年前投资 1000 亿元用于汽车电动化、智能化，以实现自主品牌商用车、自主品牌乘用车和新能源汽车三个领域各年销 100 万辆。东风商用车电动卡车面对不同工况的细分市场，采取了纯电动、插电混动、混合动力、燃料电池这四种技术路线。对于纯电动卡车，其质量从 4.5 吨到 49 吨，续航里程对应的从 100km/天到 800km/天，东风商用车做到了细分市场全覆盖。在电动环卫底盘领域，东风商用车占到了全国市场的 70%，已占到中重型车环卫集团 65% 的市场²³。

比亚迪商用车起步于客车市场，持续推动电动化战略发展，重点布局核心技术创新的海内外市场开拓。货运卡车方面：计划 2030 年之前实现零排放中、重型卡车的销量占比达到 30%，2040 年之前实现零排放中、重型卡车的销量占比达到 100%，以促进 2050 年实现零碳目标；客车方面：由生产制造业转向城市交通综合出行服务商，提出从地面到空中、从治污到治堵的公交立体化解决方案和绿色大交通解决方案，针对 100% 实现公交电动化的城市，将发力客运及专用车电动化。

22 全国氢燃料电池汽车示范城市群车辆统计与分析报告 (www.ndanew.com)

23 “五化”浪潮来袭，东风商用车如何迎风斩浪？_搜狐汽车_搜狐网 (sohu.com)

宇通围绕国家双碳战略，以客车研发能力为基石，拓展对其他车型的新能源变革，在海内外市场提供新能源解决方案。货运卡车方面：基于客车技术积累经验切入重卡领域，产品涉及厢式物流车、牵引车、自卸车、搅拌车、环卫车市场，纯电重卡市场占有率达到前三；客车方面：2012 年新能源客车制造基地开始试生产，产品持续高端化和全球化。2022 年 7 月，宇通新能源商用车基地项目正式在郑州开工。

3) 现阶段商用车电动化发展情况

中国新能源汽车产业规模全球领先，然而新能源汽车产销仍以乘用车为主。2020 年新能源商用车销量为 12.1 万辆，仅占商用车总销量的 2.4%，2017 年以来，受补贴价格下降的影响，新能源商用车在商用车整体市场中的比例持续下降²⁴。

从类型来看，纯电动汽车是新能源商用车的主要构成，2020 年销量达到 11.6 万辆，纯电动主要应用在短途、有固定路线车型；插电式混合动力汽车销量连续下降，2020 年销量为 0.4 万辆；燃料电池可应用在中大型商用车，但实现规模化、商业化仍需时日，目前仍处于示范运营时期，2020 年销量仅达到千辆规模。

1.2 课题研究框架

商用车电动化对解决汽车市场快速发展导致的能源和环境问题至关重要。相对于乘用车而言，商用车种类多、应用场景复杂，新能源商用车与传统能源商用车的成本差距成为影响商用车电动化进程的因素之一。基于以上，本报告提出如下整体研究框架：

首先对比美国和中国商用车发展现状，分析美国商用车电动化相关政策现状和制定逻辑。其次梳理并分析了美国商用车 TCO 研究及在政策制定中的应用，明确中国商用车 TCO 测算口径与方法；基于关键数据调研结果，开展了中国商用车场景分类研究，并对 TCO 测算所需关键数据进行了收集、处理与分析；再重点对轻型货车和重型货车不同场景下的 TCO 现状和未来趋势进行计

²⁴ [中国商用车电动化发展研究报告.pdf \(efchina.org\)](#)

算，最后结合商用车环境评估提出对新能源商用车整体发展政策的建议。

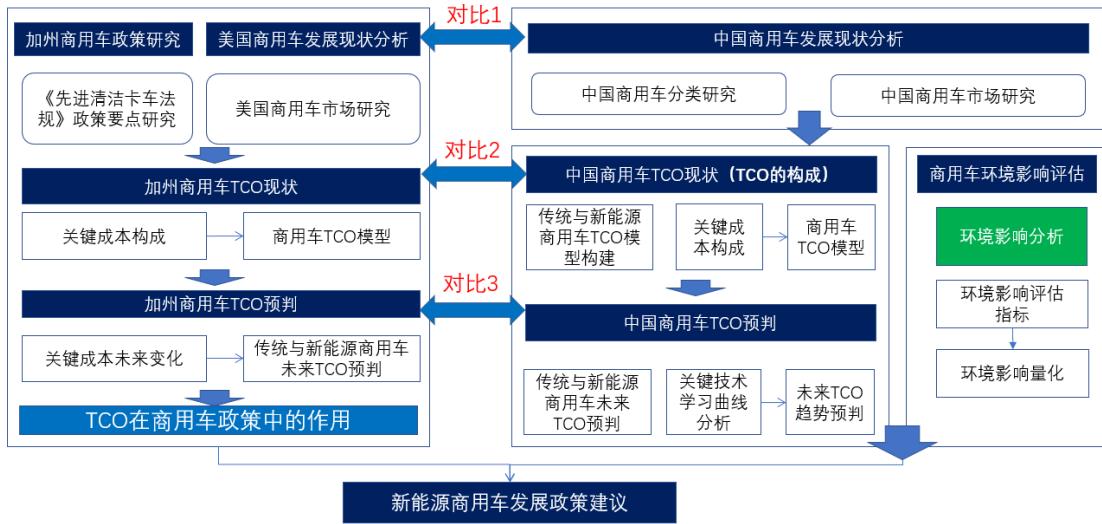


图 1-1 整体研究框架

第二章 中国与美国商用车市场对比

2.1 商用车分类对比

2.1.1 美国商用车分类

美国将商用机动车辆共分为八个类别，同时还有三个更通用的类别：轻型、中型和重型，其中 1-3 类属于轻型车辆，4-6 类属于中型车辆、7-8 类属于重型车辆，第 2 类也被进一步分类为 2a、2b 类。在美国高速公路上行驶的商用车辆或卡车可以根据其车辆总重量等级 (GVWR) 进行分类。GVWR 是用于防止卡车超载的安全标准。它是车辆的最大安全运行重量，包括车辆本身的净重，加上乘客、司机、燃料和货物。具体情况如下：

轻型车辆：

1类：0-6000磅。如：mini-van、mini pick-up。

2类：2a 6001-8500磅；2b 8501-10000磅。如：mini-van、full size pick-up、mini-bus。

3类：10001-14000磅。如：mini-bus、walk-in、city delivery。

中型车辆：

4类：14001-16000磅。如：landscaping、large walk-in。

5类：16001-19500磅。如：bucket、city delivery。

6类：19501-26000磅。如：rack、school bus、stake body。

重型车辆：

7类：26001-33000磅。如：home fuel、refuse、COE。

8类：33000磅以上。如：dump、cement、tour bus、COE。

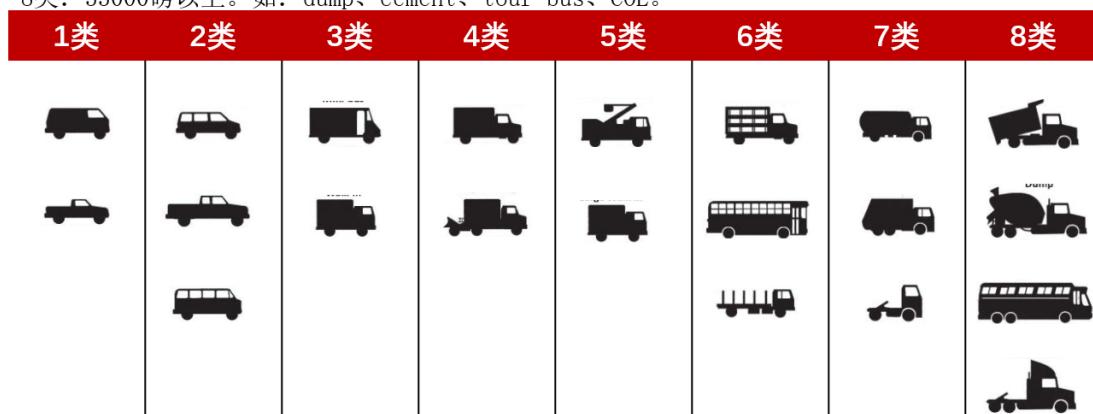


图 2-1 美国商用车分类

2.1.2 中国商用车分类

目前中国对商用车的分类标准并不统一：《GB/T 3730.1-2001 汽车和半挂

车的术语和定义》依据结构设计和技术特性将商用车分为客车、货车和半挂车，其中，客车有 8 种类型，分别是小型客车、城市客车、长途客车等；货车有 6 种，分别是普通货车、多用途货车、全挂牵引车等。这份国标是汽车行业的通用性分类，适用于一般概念、政府政策和管理的依据。《GB 9417-89 中国汽车分类标准》中的商用车分类为载货汽车、自卸汽车、牵引车、专用汽车、客车和半挂车，各类商用车可依据最大总质量、车长或用途进一步区分。

《GB/T 15089-2001 机动车辆及挂车分类》中的商用车分类包括 M 类（主要为 M2、M3）、N 类和 O 类车，各类商用车依据最大设计总质量和座位数进行区分。《GA 802-2019 道路交通管理机动车类型》依据车长、乘坐人数和总质量将商用车分为载客汽车、载货汽车和专项作业车，其中载客汽车包括大、中型，载货汽车包括重、中、轻、微型。《GB 7258-2017 机动车运行安全技术条件》依据技术特性将商用车分为载客汽车（主要为客车、旅居车、校车）、载货汽车、专项作业车。

2.2 商用车市场对比

2.2.1 美国商用车市场

由于美国的道路环境、人口密度以及文化等因素，皮卡成为了美国汽车市场的重要组成部分，每年销量约占美国汽车市场全部销量的 25%，且近几年维持稳定增长；美国卡车市场增量规模相对波动较小，2015-2019 年，美国卡车（不含皮卡）销量均保持在百万辆左右，2020 年受疫情影响出现下滑。

美国加州商用车市场拥有全美最大的卡车车队，目前卡车总保有量超过 1600 万辆，其中，总质量在 14000 磅以下的 2b-3 级的车型占比最高，7-8 级牵引车的占比为 10% 左右，其余为中重卡。卡车车队规模方面，仅由一辆卡车组成的车队数量约占 1/4，由 2-3 辆卡车组成的车队数量约占 16%，卡车数量超过 3 辆的大型车队数量占比最高，接近 60%²⁵。具体情况如下：

²⁵ CARB, Draft - Supporting information for technology assessments: Truck and bus sector description.

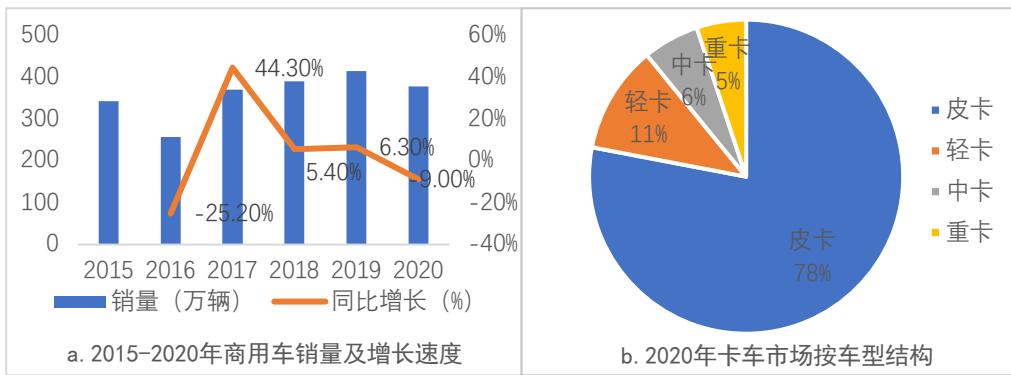


图 2-2 美国商用车销量及细分市场

2.2.2 中国商用车市场

2015-2017 年，商用车市场呈上升趋势，2017 年，商用车市场销量为 359.2 万辆，同比增长 18%。在汽车整体及乘用车销量下滑的情况下，依旧保持正增长。2019 年，在基建投资回升、国 3 汽车淘汰、新能源物流车快速发展，治超加严等因素下，商用车销量小幅下降至 367.1 万辆，销量同比下降 0.9%。2020 年，在汽车市场整体遇冷的情况下，商用车市场逆势上涨，销量达到 442.5 万辆，同比增长 20.5%。

分车型销量情况看，2020 年客车销量为 44.8 万辆，同比下降 5.6%，占全部商用车销量的 10.11%；货车销量为 397.9 万辆，同比增长 21.7%，占全部商用车销量的 89.98%。从不同货车车型来看，2020 年，我国重卡销量为 161.9 万辆，较上年同期增长 37.7%，占全国货车总销量的 34.62%；中卡和轻卡销量分别为 15.9 万辆和 219.6 万辆，分别占货车总销量的 47.02% 和 5.13%。从不同客车车型来看，2020 年，我国三类客车销量均出现小幅下滑，其中销量最大的轻型客车销量为 33.12 万辆，占全国客车总销量的 77.01%；大型客车和中型客车销量分别为 5.64 万辆和 4.25 万辆，销量占比分别为 13.11% 和 9.88%。具体情况如下：

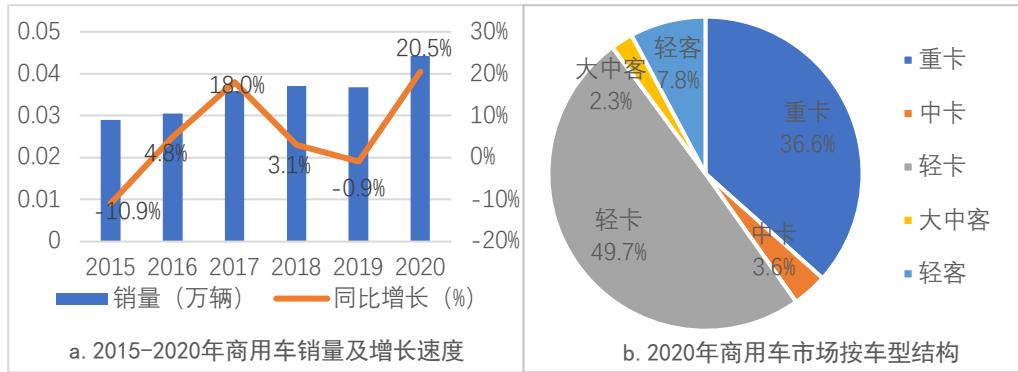


图 2-3 2015-2020 年中国商用车销量及细分市场

2.3 商用车管理政策对比

2.3.1 美国（加州）

清洁化：从美国新能源汽车政策颁布路线来看，美国轻型车清洁化政策法规起步较早，且在积分机制管理领域积累了丰富的实际经验：1975 年发布的平均燃料经济性（CAFÉ）和 2016 年发布的 Greenhouse Gas Emissions and Fuel Efficiency Standards for Medium-and Heavy Engines and Vehicles-Phase 2 分别对中重型卡车及轻卡的燃料经济性进行管理。20 世纪 90 年代克林顿政府期间提出了 PNGV 计划，同时加州开始实施零排放车辆积分制度；2010 年奥巴马政府提出 EV everywhere 电动汽车国家创新计划；2020 年拜登政府对推广 EV 的相关财政支出计划提出了针对商用车的方针：计划资助 200 亿美元购买电动校车、资助 250 亿美元购买零排放公交车，计划将美国政府拥有的乘用车、卡车和 SUV 车队全面替换为美国产的 EV。

电动化：随着美国零排放汽车发展压力逐渐增大，基于加州早先发展轻型车零排放汽车的经验，经过四年的调查和研究，美国加州于 2020 年颁布了《先进清洁卡车法规》，显著加速卡车市场电动化发展的转型。通过规定卡车积分达标限额，企业需以出售或购买零排放卡车积分的市场机制合规运营，大力推动了卡车（含皮卡）制造商转型生产电动零排放卡车（包括燃料电池车）。该法规的颁布主要经历了三个阶段：2016 年-2019 年组织多次会议研讨会，2019 年《先进清洁发车法规（征求意见稿）》发布，2020 年加州空气资源委员会投票通过《先进清洁卡车法规》。由于超过 40%的美国重卡保有量以车队形式存

在，加州空气资源委员会（CARB）计划在 2021-2022 年提交基于零排放卡车车队的法规建议，即按照不同使用场景的车队来购买和使用零排放汽车。

2.3.2 中国

清洁化：随着国家能源战略推进和新能源技术的快速发展，新能源与清洁能源标准体系也在逐步完善，为新能源商用车推广及应用落地提供保障。燃料经济性方面：轻型汽车污染物排放、轻型商用车燃料消耗量限值、轻型商用车能源消耗量标识与重型柴油车排放、重型汽车排放耐久性、重型商用车燃料消耗量限值分别规定轻型商用车和重型商用车节能标准，其中《GB 30510 重型商用车燃料消耗量限值》第四阶段正在编制中，根据《节能与新能源汽车技术路线图 2.0》，到 2025 年，货车油耗较 2019 年降低 8%以上，客车油耗较 2019 年降低 10%以上。

电动化：目前中国尚未出台商用车电动化的标准政策，但确立了对应的目标，《2030 年前碳达峰方案》中规划：到 2030 年当年新增新能源、清洁能源动力的交通工具比例达到 40%左右，营运交通工具单位换算周转量碳排放强度比 2020 年下降 9.5%左右。

同时，政策支持重点逐步由购买环节扩展至生产、基础设施、使用环节，鼓励新能源全产业链的发展。生产环节，积分管理接力引导：商用车积分管理办法正在规划中，短期以单积分为主，逐步过渡至双积分；各地出台新能源产业发展规划：各地鼓励扩大新能源产业规模，如山东省提出对生产商用车的企业，给予 5000 万元一次性奖励。每发布 1 个新能源汽车整车产品公告，给予 50 万元奖励。基础设施环节上，各地新能源补贴向充电基础设施转移：给予充换电、停车等环节补贴，如北京、成都、山东等地，提出对电池等新建零部件配套企业给予补贴；加快充换电、新型储能、加氢等配套基础设施建设：如成都提出对完成安装建设的充电桩（群），按照充电设施装机功率，给予一次性补贴；多个省份发布氢能产业发展政策，提及加氢站建设目标。使用环节上，新能源汽车减免车船税：对节能汽车减半征收车船税，对新能源汽车免征车船税；使用优惠：给予停车便利或优惠政策，推动落实免限行、路权等支持政策。

第三章 加州商用车 TCO 研究及在政策制定中的应用

3.1 加州《先进清洁卡车法规》解读

1) 出台过程：2016 年 11 月初，针对加速地方卡车及货运接驳应用市场的先进清洁技术应用，加州空气资源委员会（CARB）举办了首个公众研讨会。2017-2020 的四年中，CARB 就《先进清洁卡车法规》举办了八次工作组会议。2020 年 6 月 25 日，CARB 董事会投票通过了该法规，这是全球首个针对卡车的零排放汽车法规，意义重大。

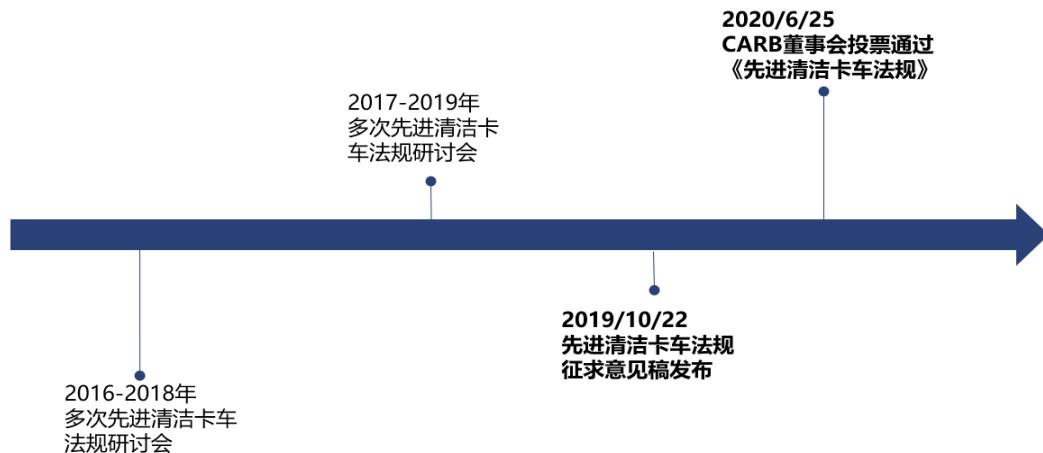


图 3-1 《先进清洁卡车法规》颁布历程

2) 法规概述：该法规的目的旨在推动卡车（含皮卡）制造商转型生产电动零排放卡车（包括燃料电池车），加快零排放汽车在中、重型卡车领域的应用，降低道路移动源的污染物排放，实现温室气体减排目标。法规要求 2035 年实现港口、码头等短驳接运车队的零排放转型。2040 年实现第一公里/最后一公里货运、客运及公共服务车队，以及环卫和政府公务车队的零排放转型。2045 年实现法规框架内所有其他车队的零排放转型。在加州销售的 Class 2b-8 级别的柴油卡车（包括皮卡）从 2024 年起需满足一定比例的零排放车辆销售比例，至 2045 年，所有在加州销售的卡车新车将全部转型为零排放汽车。法规的设计遵循“规定积分达标限额-出售或购买零排放卡车积分-合规清零”的路径，与轻型汽车零排放汽车积分机制较为接近。

3) 积分产生：根据《先进清洁卡车规定》，有两类车辆可以获得积分：一类为零排放汽车（ZEV），这类汽车在任何可能的驾驶模式和驾驶条件下均不

会产生温室气体排放，也不会产生任何污染物及其前体物质；另一类为近零排放汽车（NZEV），这类汽车包括插电式混合动力汽车和可通过传导或感应式充电源在车外对电池进行充电的混合动力汽车。

对于 ZEV，不同类别汽车可获得不同数值的积分，class 2b-3、class 4-5、class 6-7、class 8、class 7-8（牵引车）可分别获得 0.8、1、1.5、2、2.5 积分；对于 NZEV，纯电续航里程和车辆类别决定所获得的积分范围，计算公式为 NZEV 调整因子（纯电续航里程的百分之一）与对应同类别 ZEV 所获得积分的乘积，NZEV 调整因子最大不超过 0.75，class 2b-3、class 4-5、class 6-7、class 8、class 7-8（牵引车）可获得的积分上限分别为 0.6、0.75、1.125、1.5 和 1.875。具体情况如下图：

零排放汽车 (ZEV)		近零排放汽车(NZEV)	
车辆类别	可获得积分	车辆类别	可获得积分
Class 2b-3	0.8	Class 2b-3	0.08-0.6
Class 4-5	1	Class 4-5	0.1-0.75
Class 6-7	1.5	Class 6-7	0.15-1.125
Class 8	2	Class 8	0.2-1.5
牵引车 Class 7-8	2.5	牵引车 Class 7-8	0.25-1.875

图 3-2 不同级别卡车可以产生的积分

4) 积分赤字：从 2024 年起，车辆总重额定值超过 8500 磅的 Class 2b 级别以上的车型开始产生积分赤字，需要依靠生产 ZEV 或 NZEV 获得正积分将其抵消。积分赤字由各类别销量、对应类别 ZEV 年份销量占比要求、对应类别车重系数的乘积获得，class 2b-3、class 4-5、class 6-7、class 8、class 7-8（牵引车）的车重系数分别为 0.8、1、1.5、2、2.5。

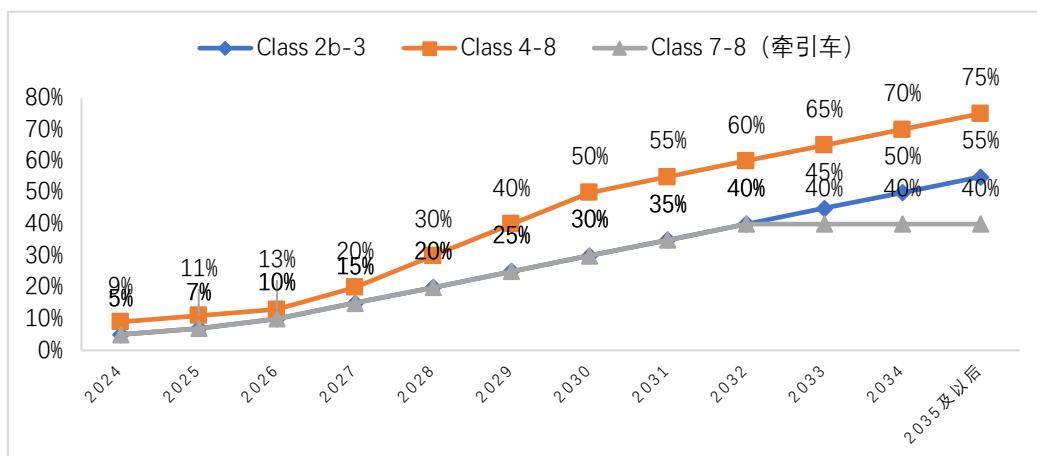


图 3-3 不同类别 ZEV 年份销量占比要求

5) 积分合规：2024 年起车型销量在 500 辆以上的制造商将产生积分合规义务，各级别所有车型积分赤字必须抵偿。2021 年起制造商可开始进行 ZEV 以及 NZEV 积分累计，2024 年起制造商依据全部卡车（含皮卡）销量产生积分赤字，赤字由累计（或购买）正积分抵偿后，便可实现当年度积分合规。制造商产生的 ZEV 及 NZEV 积分各车型年抵偿赤字后盈余均可直接向后结转，有效期限为：① 2021-2023 年产生积分，2030 年到期；② 2024 年及以后产生积分，自产生 5 年后到期。当正积分可以抵偿当年赤字时，企业合规。若制造商当年产生（或购买）积分不足以抵偿当年积分赤字，积分赤字可结转至下一年，仅可使用下一年产生 ZEV 积分，抵偿上年结转赤字。

6) 积分使用补充：《先进清洁卡车法规》对积分的使用细则、使用顺序等内容进行了说明，从积分抵偿顺序可以看出，相较于 NZEV，政策对于 ZEV 提出了更加长远和更加优惠的规划政策，同时，Class7-8 牵引车的新能源化优先级更高。

积分抵偿顺序



图 3-4 积分抵偿顺序

NZEV 使用上限：对于 Class 2b-8 车类（不含牵引车）产生的积分赤字，NZEV 积分最多可抵偿其中的 50%；对于 Class 7-8 牵引车产生的积分赤字，最多只能使用 Class 7-8 牵引车产生（或购买）的 NZEV 积分抵偿其中的 50%。

牵引车积分赤字抵偿说明：Class 7-8 牵引车积分赤字只能由牵引车产生（或购买）的 ZEV 或 NZEV 积分进行抵偿；法规对低产量牵引车的企业设置了弹性达标机制，具体为：如果一个企业在某个达标年份产生的 Class 7-8 牵引车积分赤字不多于 25 分，且在按照积分抵偿优先级进行抵偿后仍有积分赤字，那么将允许其使用不超过 25 分的 Class 2b-3 或者 Class4-8 产生的 ZEV 积分进行抵偿。

3.2 TCO 研究结论及在政策制定中发挥的作用

法规定附件中对拥有和运营零排放车与类似传统车的成本进行比较，评估了这些成本在未来 5 到 10 年内将发展趋势，旨在为政策制定提供依据。

1) TCO 随时间增长的变化趋势：以客车，步进式货车和区域牵引车作为轻型、中型、重型卡车的代表，研究了这些车型的柴油、电动以及氢能技术在 2018、2024 和 2030 年的总持有成本情况，结论如下：① 2024 年起，步进式货车（Class 6）和区域牵引车（Class 8）电动车型总持有成本都具备优势；② 相比于柴油车型而言，步进式货车（Class 6）在 2018 及 2024 年电动车型成本优势最大，区域牵引车（Class 8）次之，客车（Class 3）在 2030 年后才开始具备优势；③ 在同一年度，区域牵引车（Class 8）的电动车型总持有成本最高，步进式货车（Class 6）次之，客车（Class 3）总持有成本最低。上述研究结论在政策制定过程中也发挥了重要作用：① 2024 年前步进式货车和区域牵引车领域均可实现电动车型与柴油车型 TCO 成本平价，为法规考核年份和 ZEV 比例目标的设定提供了参考，即 2024 年开始设定 ZEV 比例目标要求：Class 4-8 设置较高的目标要求，其他两类级别相对较低，且 2032 年后 Class 2b-3 高于 Class 7-8；② 区域牵引车、步进式货车、客车的电动车型在总持有成本方面的差异，为不同级别 ZEV 卡车可获得的积分设置提供了参考：对于不同级别的 ZEV 卡车来说，车型级别越高，单车可获得的 ZEV 积分分值越高。

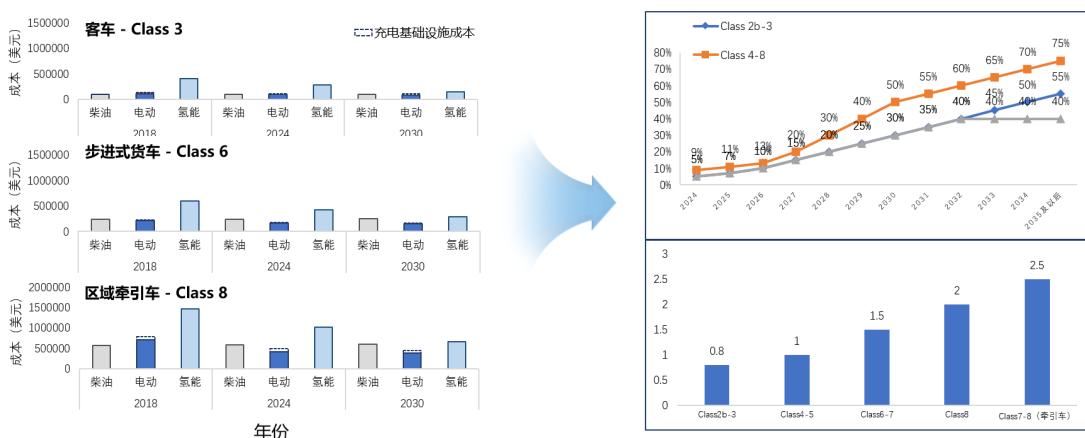


图 3-5 不同级别典型车型总持有成本变化趋势及政策制定中发挥的作用

2) TCO 随日均行驶里程增加的变化趋势：考察了客车（Class 3）、步进式货车（Class 6）和区域牵引车（Class 8）的总持有成本随日均行驶里程的增加

(电池型号的增大) 的变化情况, 结论如下: 区域牵引车 (Class 8) 、步进式货车 (Class 6) 、客车 (Class 3) 的电动车型均表现出随着日行驶里程的增加 (电池型号增大), TCO 相比于柴油车型具备的优势更大。这为各类别 NZEV 卡车的积分值随续航里程变动提供了依据。对于不同级别的 NZEV 卡车来说, 续航里程越高的车型可获得的 NZEV 积分数值越大。

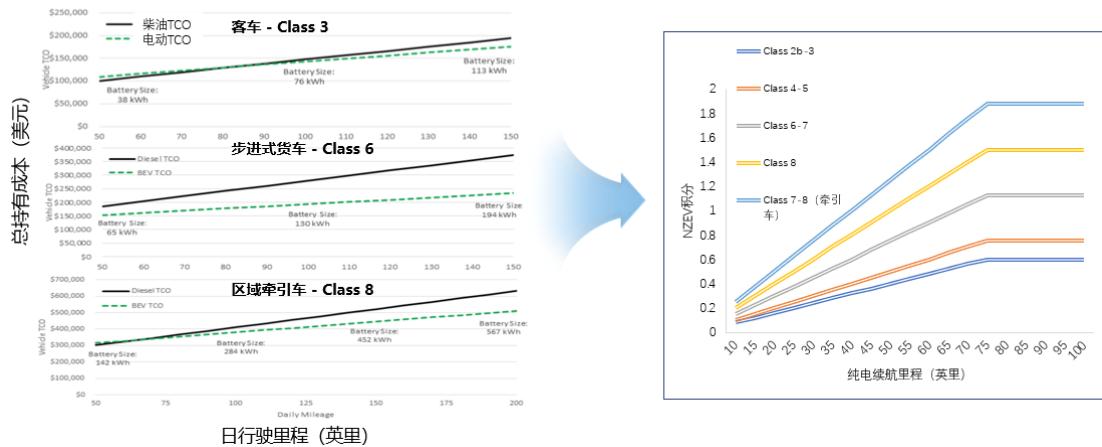


图 3-6 不同级别典型车型总持有成本随电池型号变化趋势及政策制定中发挥的作用

3.3 对中国商用车积分政策制定的启示

加州先进清洁卡车法规在积分给分方式、考核力度和考核方式等方面为中国商用车积分政策的设定提供了宝贵的经验。

1) 给分方式: 零排放汽车给分方式注重对于销量本身的引导, 仅依据车型等级设置不同的分值; 近零排放汽车增加了对于纯电里程的引导, 给分以纯电里程为基础, 并设置里程调整因子。

2) 考核力度: 结合市场发展情况, 对市场占比较高、电动化车型 TCO 平价时间较早的车型, 设置较高的占比目标。

3) 考核方式: 前三年进行积分存储鼓励, 不设立考核指标, 为企业预留准备期; 不同年度之间正积分可以结转和抵偿, 保证了积分的流通性; 优先使用同类车型抵偿积分赤字, 保证了各类车型的电动化发展。

第四章 商用车 TCO 测算口径及方法

4.1 美国加州商用车 TCO 测算模型

加州《先进清洁卡车法规》的附件²⁶提供了关于总持有成本的计算和讨论过程，为法规的制定提供了参考。加州清洁卡车总持有成本分析主要从车辆资产成本、燃料成本、其他成本和充电基础设施成本四方面，比较了不同卡车的柴油、电动、氢燃料电池车型的总持有成本水平。

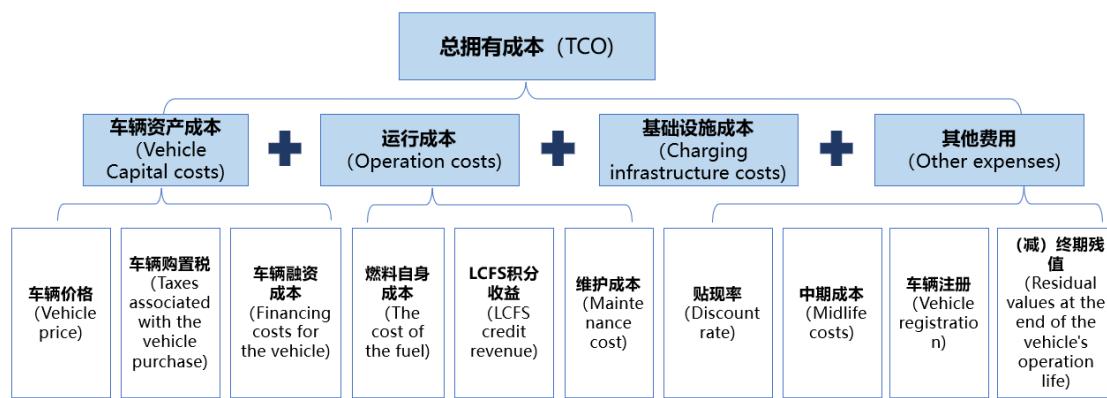


图 4-1 加州清洁卡车总持有成本分析总体框架

车辆资产成本包括车辆价格、车辆购置税和车辆融资成本。柴油车和零排放车辆的车辆价格获取方式有所不同，柴油车价格可以从制造商的网站和其他相关网站上提取，而电动车和氢燃料电池车的成本都是通过将电动和燃料电池组件成本以及储能成本添加到同级别传统柴油车辆中来计算的，此外，行驶距离的变长，会增加电池或氢气储存要求或者节省燃料，进而对成本进行影响。车辆购置税是指购买车辆时收取的额外费用，因为它们是基于车辆的购买价格，所以它们对昂贵车辆的影响大于便宜的车辆。车辆融资成本也受到车辆价格的影响，其产生是由于大多数私营公司为他们的车辆提供资金，而不是直接购买。融资允许公司随着时间的推移分摊成本，但由于利息支付而增加了车辆成本。因此，更昂贵的车辆的融资成本更高，导致零排放车辆的成本更高。

运行成本取决于车辆每年行驶的里程数，以及车辆的每英里成本，包括燃料自身成本、维护成本和 LCFS 信用收入三项。燃料成本是指燃料或为车辆充

²⁶ <https://www2.arb.ca.gov/sites/default/files/barcu/regact/2019/act2019/apph.pdf>.

电/氢的成本，并且是 TCO 中较大的一部分。电池汽车的成本可能比柴油车大大降低，氢燃料电池车的成本将因生产方法和产量而异，但由于氢燃料电池系统的效率提升以及随着氢气产量提升带来的价格下降使得其与柴油具有竞争优势。维护成本主要包括日常维护的人工和零件的成本、预防性维护、修复损坏的组件。电动汽车的维护成本通常被认为低于柴油，部分原因是其设计更简单，移动部件更少。目前缺乏氢燃料电池汽车的数据，但现有数据似乎显示维护成本与柴油相当。LCFS 信用收入是加州低碳燃料标准（LCFS）法规创建的市场机制，要求加州的运输燃料在 2030 年之前降低其碳强度来激励低碳燃料。使用电力和氢气有资格赚取 LCFS 积分，这些积分可以出售并用于抵消这些化石燃料的成本，柴油则没有资格获得 LCFS 积分。

基础设施成本是所有车辆需要的现场专用基础设施或公开可用的零售站的建造成本。基础设施费用通常是前期资本投资在部署车辆之前需要，但基础设施可以持续多辆车寿命，并且通常在其生命周期内摊销。柴油、氢燃料电池车的成本可折算进柴油/氢燃料花费中，电动车的成本包括充电器本身成本和充电线路的成本。

其他费用主要体现在车辆注册、（减）终期残值、中期成本、贴现率。车辆注册费用是指在加州运营和注册的车辆均必须支付的年度注册费，登记费根据车辆的成本，车龄和重量而有所不同。此外，传统重型车辆和零排放重型车辆的计算方式也不同。残值表示卡车在其使用寿命结束时的转售价值。中期成本是由于磨损或劣化而需要重建或更换主要推进系统所产生的成本。具体而言，中期成本对于柴油车辆为中期修理、对于电池电动汽车来说是电池更换，对于氢燃料电池汽车是燃料电池堆翻新。贴现率也是管理费用之一，加州空气资源委员会的经济分析通常使用 2.5% 至 5% 的贴现率进行监管，设定私人实体通常使用较高的贴现率，而公共实体使用较低的贴现率。

分析结果表明，电动车和柴油车车辆的工作周期对两者之间的 TCO 比较结果有较大的影响。电池车成本前期更高，但随着行驶里程增加会节省更多的成本，与此同时，电池车的行驶里程越多，所搭载的电池必须越大，因此会额外增加成本。

到 2024 年，电动步进式货车、区域牵引车与柴油车在 TCO 成本上实现打

平。电动客车、柴油客车的 TCO 平价会发生在 2024 年之后。

充电基础设施是电动车 TCO 的主要影响因素。车辆、车队和地点的改变将会影响成本基础设施，进一步影响 TCO。利用公用事业计划和在条件优越的地部署电动汽车将最大限度地降低基础设施成本。

氢燃料电池汽车的前期成本更高。但随着资本成本和氢能价格的下降，氢能源车和柴油车的 TCO 平价可能在 2030 年之前实现。如果车辆成本和氢能价格的下降速度快于本报告中的预测，TCO 平价可能比预期更快地发生。

重型车辆为零排放车和柴油车的 TCO 平价提供了机会，柴油车燃油经济性更低，燃油消耗量更高为电动车和氢燃料电池车带来更大的运营成本节约潜力。

LCFS 计划是零排放汽车的关键驱动力，因为它极大地降低燃料成本。对于氢燃料电池车，通过使用低碳强度原料进行氢气生产可以增加的氢能源电池车的成本下降。

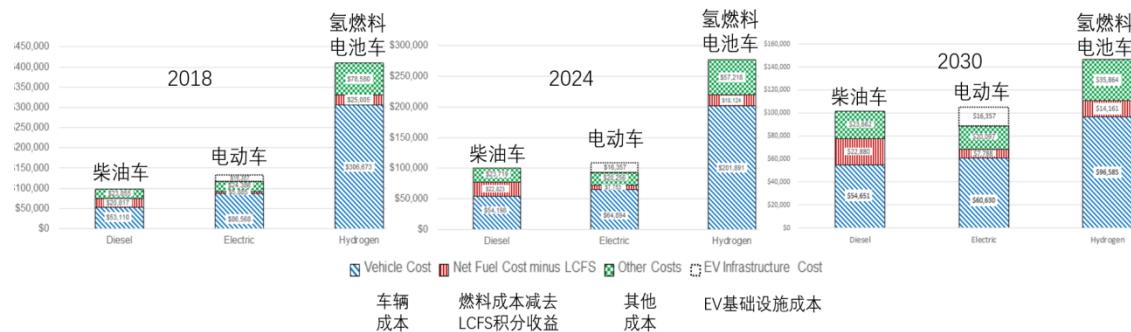


图 4-2 2018 年、2024 年、2030 年客车总持有成本对比

(使用年限 12 年、年行驶里程 15000 英里)

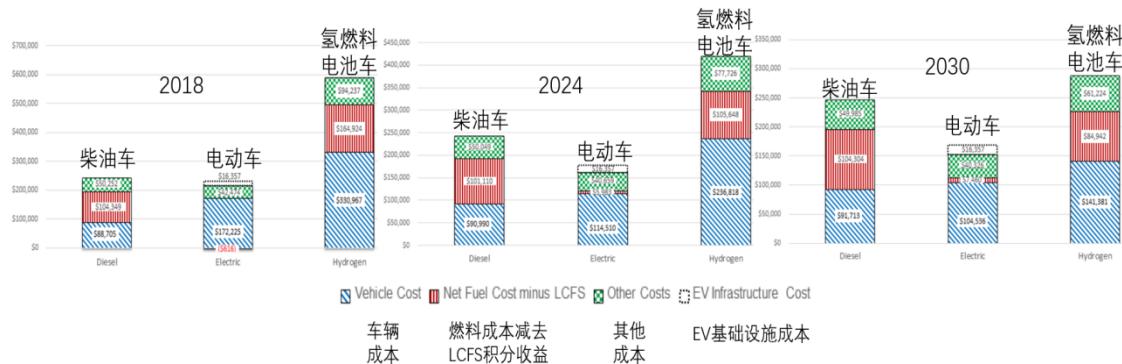


图 4-3 2018 年、2024 年、2030 年步进式货车总持有成本对比

(使用年限 12 年、年行驶里程 24000 英里)

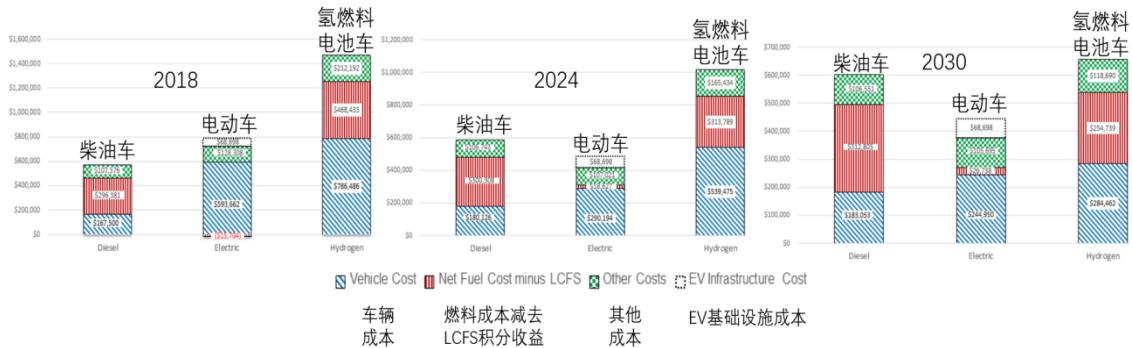


图 4-4 2018 年、2024 年、2030 年区域牵引车总持有成本对比

(使用年限 12 年、年行驶里程 54000 英里)

4.2 其他 TCO 研究核算范围

国际清洁交通委员会 (ICCT, 2021)²⁷ 对重型牵引车、重型自卸车、重型载货车的纯电动和燃料电池货车型相对于柴油车型的 TCO 差距变化进行研究，成本包括购置成本、使用成本、维护成本和剩余价值，结果显示所有纯电动车型在 2021-2030 年实现 TCO 平价，所有燃料电池车型在 2030 年之后实现 TCO 平价。

Zhou (2016)²⁸ 从购置成本、使用成本、维护成本、电池置换成本、充电基础设施成本方面分析了中型卡车柴油、纯电动 2 种车型的 TCO 比较，结果表示由于纯电动车型减少能源使用而抵消成本投入，现时间节点两种车型的 TCO 接近平价。Zhang 等人分析比较了重型卡车及其零排放车型在 2021-2040 年间的 TCO 变化，成本包括购置成本、使用成本、维护成本、充电基础设施成本，他们发现 PHEV 车型在 2021-2025 年实现 TCO 平价，BEV 车型 2035-2040 年实现 TCO 平价 (Zhang et al., 2022)²⁹。

Gunawan 等人从购置成本、使用成本、维护成本、充电基础设施成本和残值方面分析了柴油、纯电动、氢能源电池、插电式、混合动力 5 种车型的 TCO

²⁷ 中国重型货运卡车的拥有总成本对比分析：纯电动、燃料电池和柴油货运卡车 (theicct.org)

²⁸ Mo Zhou. Life Cycle Emissions and Lifetime Costs of Medium-duty Diesel and Alternative Fuel Trucks. A Case Study for Toronto.

²⁹ Xizhao Zhang, Zhenhong Lin, Curran Crawford, Shunxi Li. Techno-economic comparison of electrification for heavy-duty trucks in China by 2040.

比较。通过比较发现，使用成本占 TCO 的大部分，混合动力车型在 2030 年接近 TCO 平价（Gunawan et al., 2022）³⁰。

此外，Breetz 等人、Li 等人分别对美国、中国的传统燃油、零排放乘用车型的 TCO 进行比较，除均考虑购置成本、使用成本、维护成本、残值等显性成本外，后者同时考虑了隐性成本如环境成本、购买成本和使用限制（Breetz et al., 2018）（Li et al., 2021）³¹。

表 4-1 其他 TCO 研究核算范围

研究来源	对象	显性成本							隐性成本		
		购置成本	使用成本	维护成本	保险成本	电池置换成本	残值	充电基础设施成本	环境成本	购买限制	使用限制
CARB (2019)	美国加州 class2b-8 卡车	√	√	√		√	√	√			
ICCT (2021)	重型牵引车、重型自卸车、重型载货车	√	√	√			√				
Zhang et al. (2022)	重型卡车	√	√	√				√			
Gunawan et al. (2022)	重型卡车	√	√	√			√	√			
Zhou et al. (2016)	中型卡车	√	√	√		√		√			
Li et al. (2021)	乘用车	√	√	√			√		√	√	√
Breetz et al. (2018)	乘用车	√	√	√	√		√				

4.3 本研究所采取的研究方法及口径

1. 核算对象：商用车（重型载货车、重型牵引车、重型自卸车、轻型载货车、皮卡的 ICEV、BEV 和 FCEV 车型）

2. 核算范围：

1) 显性成本：一次性成本（包括购买成本、购置税、残值、电池更换成本

³⁰ Tubagus Aryandi Gunawan, Rory F.D. Monaghan. Techno-econo-environmental comparisons of zero- and low-emission heavy-duty trucks.

³¹ Hanna L. Breetz, Deborah Salon. Do electric vehicles need subsidies? Ownership costs for conventional, hybrid, and electric vehicles in 14 U.S. cities; Junjie Li, Mei Liang, Wanjing Cheng, Shuhao Wang. Life cycle cost of conventional, battery electric, and fuel cell electric vehicles considering traffic and environmental policies in China.

等)；重复性成本(燃料成本、保养、保险等)。

2) 隐性成本：环境成本。

一次性成本通过基于学习率的单位成本下降曲线预估关键部件成本变化趋势，学习率曲线根据历史经验预测未来成本变化趋势，可以规避技术突破时间节点不确定性等干扰因素。重复成本通过预测模型和专家调研预估燃料成本变化趋势。

3.时间维度：主要针对现状及中期即2020年-2035年，每5年作为一个关键时间节点。

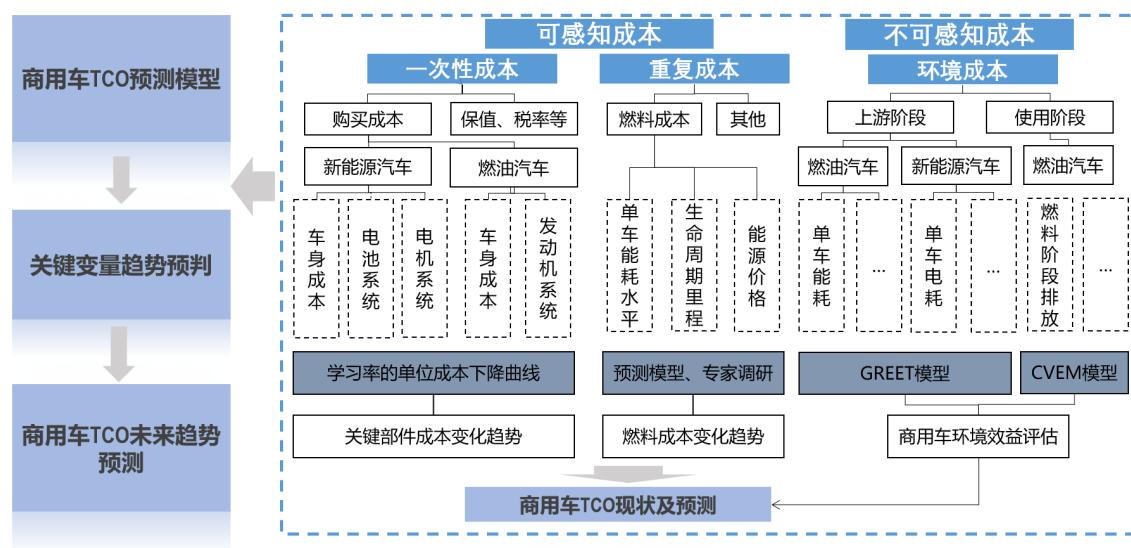


图 4-5 本研究中商用车 TCO 未来趋势预测模型的整体框架

第五章 中国商用车场景分类

5.1 研究对象

2020 年中国车用总燃料消耗量（包括汽油、柴油）达到 2.27 亿吨，商用车消费比例占总体的 53.2%，重型货车和轻型货车的燃料消耗量分别占商用车总燃料消耗的 68% 和 21%，是商用车能源消耗和二氧化碳排放的主要来源，因此本研究将重型货车和轻型货车作为主要研究对象³²。

燃料	车种							
	乘用车	大型客车	中型客车	轻型客车	重型货车	中型货车	轻型货车	微型货车
汽油	10 603	21	25	110	0.2	2	745	11
柴油	45	248	231	214	8 227	455	1 798	2
合计	10 648	269	256	324	8 227.2	457	2 543	13
比例	46.8%	—	—	—	53.2%	—	—	—

图 5-1 2020 年中国汽车分车种燃料消耗情况（万吨）

为系统性开展商用车场景分类和 TCO 关键输入参数评估，需要收集真实且样本量足够的相关数据并构建商用车技术经济性数据库。企业调研获取信息全面，是场景划分的主要研究手段，网络公开数据监测可获得大量真实里程、实际价格等相关数据，因此本文将两种方式相结合，构建中国商用车技术经济性数据库，在车辆使用强度、价格、燃料消耗及碳排放等方面将样本调研与网络大数据挖掘两种交叉验证，涵盖主流商用车类别，从时间、样本量等维度满足 TCO 研究的需求。

中国商用车技术经济性数据库包含有每种车型的车型参数数据和汽车使用数据。载货车的车型参数数据时间为 2008 年至 2021 年，数据总量超过 5 万条，其中，轻卡占比为 47%，重卡占比为 21%，微卡占比为 16%，中卡占比为 14%。字段主要包括厂商指导价、产地、类型、细分市场、车辆基本信息等。载货车的汽车使用数据时间为 2000 年至 2021 年，数据总量超过 2 万条，其

³² 节能与新能源汽车发展报告 2021

中，轻卡占比为 46%，重卡占比为 22%，微卡占比为 14%，中卡占比为 16%。包括价格、行驶里程、城市、出厂年限等字段。自卸车的车型参数数据时间为 2013 年至 2021 年，数据总量为 2 万条，其中，重卡占比为 67%，轻卡占比为 18%，中卡占比为 12%，微卡占比为 1%。包括厂商指导价、产地、类型、细分市场、车辆基本信息等字段。自卸车的汽车使用数据时间为 2004 年至 2021 年，数据总量大于 5000 条，其中，重卡占比为 67%，轻卡占比为 18%，中卡占比为 12%，微卡占比为 1%。包括价格、行驶里程、城市、出厂年限等字段。牵引车的车型参数数据时间为 2010 年至 2021 年，数据总量大于 1 万条，几乎都是重卡。包括厂商指导价、产地、类型、细分市场、车辆基本信息等字段。牵引车的汽车使用数据时间为 2011 年至 2021 年，数据总量大于 3000，几乎都是重卡。包括价格、行驶里程、城市、出厂年限等字段。

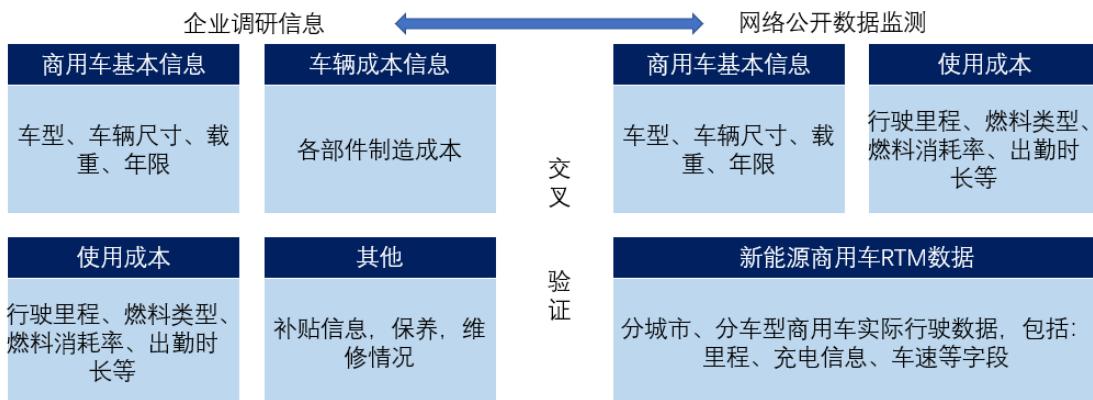


图 5-2 数据收集方式

5.2 研究场景分类

重型车主要应用在物流运输和工程建设领域。其中，牵引车基本用于物流，而自卸车基本用于工程物料运输与市政等，载货车则是在物流和工程物料运输两个领域均有应用。轻型商用车主要应用在城市、乡镇、农村物流运输或乡镇农村的交通工具，以及小型工程作业等。基于自建的商用车技术经济性数据库，对各类型商用车平均年行驶里程进行统计分析如表 5-2 所示，可发现随着级别的降低，年均行驶里程呈下降趋势，同时各类型车随使用频率和日均行驶里程的改变在各个行驶里程段的分布比较分散，需进一步场景细分，如下讨论。

表 5-2 各类型商用车平均年行驶里程汇总

级别	车型	平均年行驶里程（万公里）
重型	牵引车	6.56
	载货车	5.33
	自卸车	2.53
轻型	载货车	2.08
	皮卡	0.95

5.2.1 重型牵引车

重型牵引车的年平均行驶里程为 6.56 万公里。依据使用场景不同，运输距离区别较大，以省际或城际的中长途运输为主。

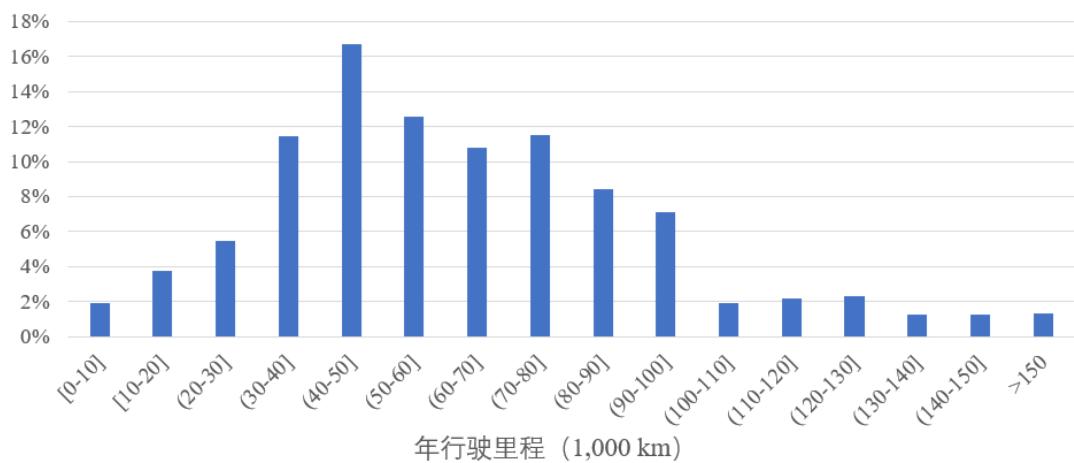


图 5-3 重型牵引车年行驶里程分布情况

依据年行驶里程的车辆数分布，本研究将重型牵引车主要应用场景进一步细分为 3 个场景。场景 1 为能源建材运输，包括砂石运输、煤炭运输等场景，

车辆年平均行驶里程约 4 万公里，车辆数所占百分比为 22.6%。煤炭、砂石料运输市场由于其作业半径一般为 100-300 公里之间，特别是砂石料作业场地，往往都是路窄、多弯、烂泥路等复杂路况叠加，运输具有中短途、运载重、频率高、周转快的作业特点。场景 2 为大宗物资运输，包括集装箱运输、轿运车等场景，年平均行驶里程约 6.5 万公里，车辆数所占百分比为 34.7%。集装箱运输是指以集装箱这种大型容器为载体，将货物集合组装成集装单元，以便在现代流通领域内运用大型装卸机械和大型载运车辆进行装卸、搬运作业和完成运输任务；轿运车是指运输轿车的车辆，常见的轿运车有 5 位轿运车、8 位轿运车、10 位轿运车。中远途运输、使用频率中等。场景 3 为长途高速运输，包括长途高速标载、快递运输等场景，年平均行驶里程约 10 万公里，车辆数所占百分比为 32.4%。此场景下多为跨城、跨省运输，驾驶时长超过 10 小时，虽然其运输频率不高，但单次运输距离长。

5.2.2 重型载货车

重型载货车的年平均行驶里程为 5.33 万公里。此场景包含省内、省际运输等，里程差异较大。

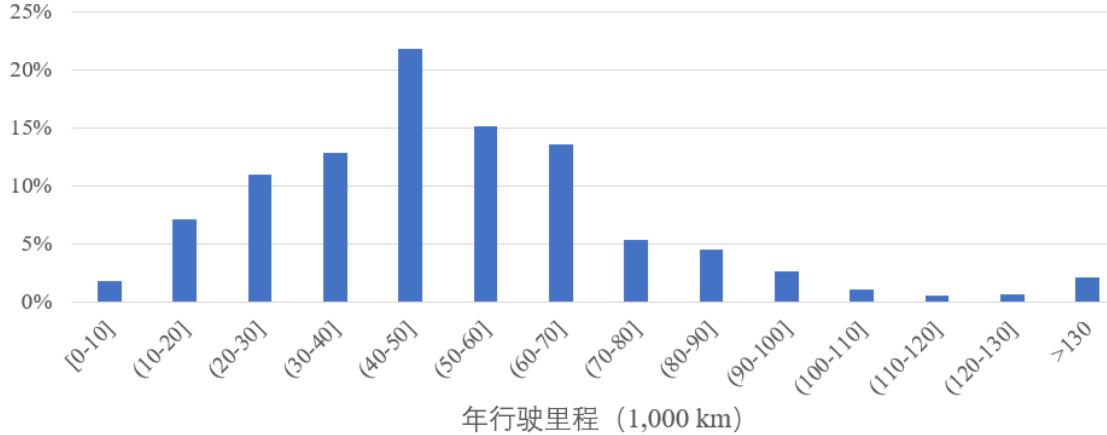


图 5-4 重型载货车年行驶里程分布情况

依据年均行驶里程，重型载货车主要应用场景可进一步细分为 3 个。场景 1 为日用百货短途运输，年均行驶里程约 3.5 万公里，车辆数所占百分比为 26.3%。主要应用于日用百货运输，多为中短程、使用频率中等；场景 2 为能源建材运输，年均行驶里程约 4.5 万公里，车辆数所占百分比为 17.3%。主要用于省内大型建材运输，属于中程运输，使用频率中等；场景 3 为长途高速运输，

日均行驶里程约 6.5 万公里，车辆数所占百分比为 32.8%。主要包括绿通运输、快递快运等场景，多为中远程运输，使用频率中等。

5.2.3 重型自卸车

重型自卸车的年平均行驶里程为 2.53 万公里。此场景的车辆多为本土化运输，距离普遍较短，且主要在国道、二级路上行驶。

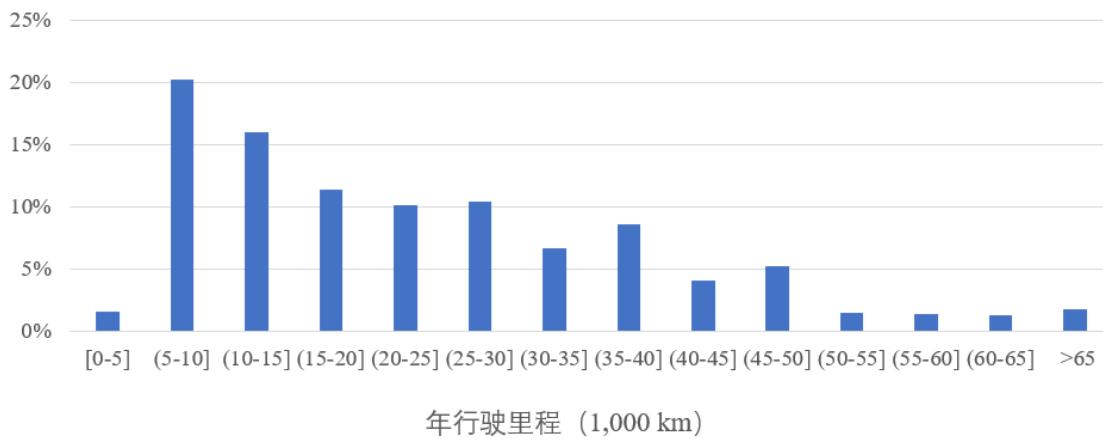


图 5-5 重型自卸车年行驶里程分布情况

重型自卸车可进一步细分为 2 个应用场景。场景 1 为非公路运输，主要包括砂石料运输、矿石运输、矿石铁粉运输，车辆数所占百分比为 37.8%，年平均行驶里程约 1.5 万公里。运输路线一般是从港口到精炼厂或从矿区到加工厂，使用频率高。场景 2 为公路运输，主要包括市内建材运输、市内小型建筑垃圾运输、室内生活垃圾运输、市内大型建筑垃圾运输、市内建筑土方沥青运输等场景，车辆数所占百分比为 21.4%，年平均行驶里程为 2.5 万至 4.5 万公里，使用频率高。

5.2.4 轻型载货车

轻型载货车的年平均行驶里程为 2.08 万公里。随着电商的快速发展，物流运输体系日趋成熟，轻型载货车主要用于中短途物流运输。中短途支线运输载货量并不算大，且大多数物流运输都在同一省市穿梭，即使跨省也多在 500 公里以下范围，物流仓储体系首先分区域设立仓库，其次设立二级分拨中心，最后分拨至用户端。

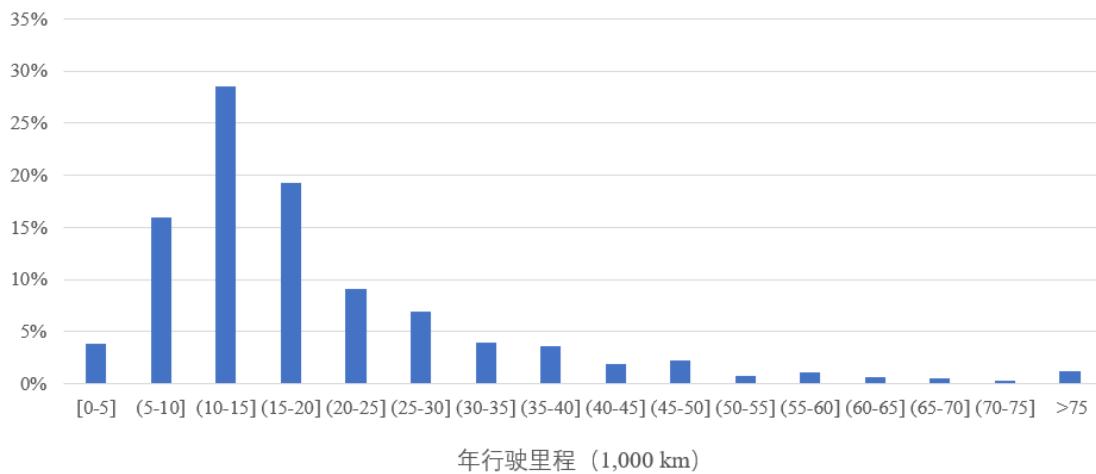


图 5-6 轻型载货车年行驶里程分布情况

根据轻型载货车用于城市物流运输的路线特点，轻型载货车主要应用场景可细分为 3 个。场景 1 为由集散中心至各配送中心仓库的配送过程，年均行驶里程约 1.25 万公里，车辆数所占百分比为 34.2%。通常行驶在城郊，为中远程运输，频次中等；场景 2 为由配送中心至各分销店和门店的过程，年均行驶里程约 1.75 万公里，车辆数所占百分比为 24%。通常在城郊至城内范围内行驶，行程、频次中等；场景 3 为分销店或门店至消费者的配送过程，车辆数所占百分比为 25.5%。主要为城内短程配送，频次高，年均行驶里程约 3 万公里。

5.2.5 皮卡

皮卡的年平均行驶里程为 0.95 万公里。兼具了家用车和商用车的双重属性，新一代皮卡已明显区别于其他商用车型，由传统市内工程短途运输向娱乐、越野、居家领域发展。随着全国各地陆续推出的皮卡解禁政策，皮卡的推广应用将得到进一步发展。

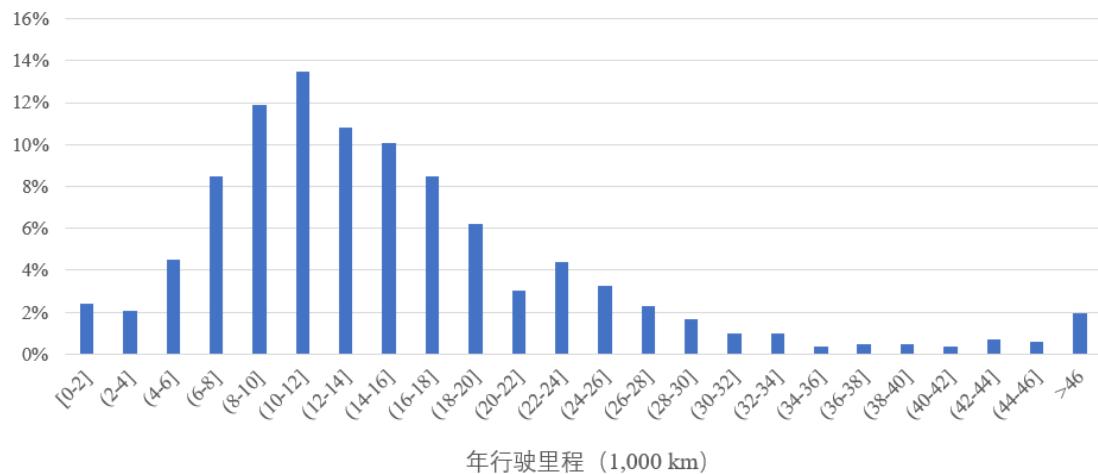


图 5-7 皮卡车行驶里程分布情况

根据用途属性，皮卡可细分为 3 个主要应用场景。场景 1 为工具属性（货运用途）的皮卡，车辆数所占百分比为 13.3%。主要包括公安/城管市政管理、电力/电信工程抢修、工程基建、农林牧渔、货运商贸、建材五金运输，此场景的车辆多为短程运输、使用频次高，日均行驶里程最长；场景 2 为家用属性的皮卡，车辆数所占百分比为 22.9%。主要用于娱乐、郊游、日常通勤，属于中短程运输、使用频次中等；场景 3 为越野属性的皮卡，车辆数所占百分比为 31.9%。主要用于越野、自驾游，多为中远程运输，但使用频次低。

第六章 中国商用车 TCO 测算关键输入数据

6.1 关键零部件成本

FCEV 成本中，燃料电池系统（包含燃料电池堆、空气供应子系统、加湿器和水回收子系统、高温和低温冷却液管理子系统、燃料供应子系统以及燃料电池系统控制器等）和储氢瓶成本占比近 50%，规模效应和技术积累会使这些关键零部件成本逐步下降。BEV 的成本同样有较大下降空间。本研究在对 FCEV、BEV 经济性成本变化趋势的比较中，重点考虑燃料电池系统、储氢瓶、电池、电机等关键部件成本变化趋势。由于车身成本在同级别车辆中差异较小，本研究将 FCEV 和 BEV 的车身成本设定为相同的固定值。本研究关于 FCEV 和 BEV 整车经济性趋势预测的框架如图 6-1 所示。

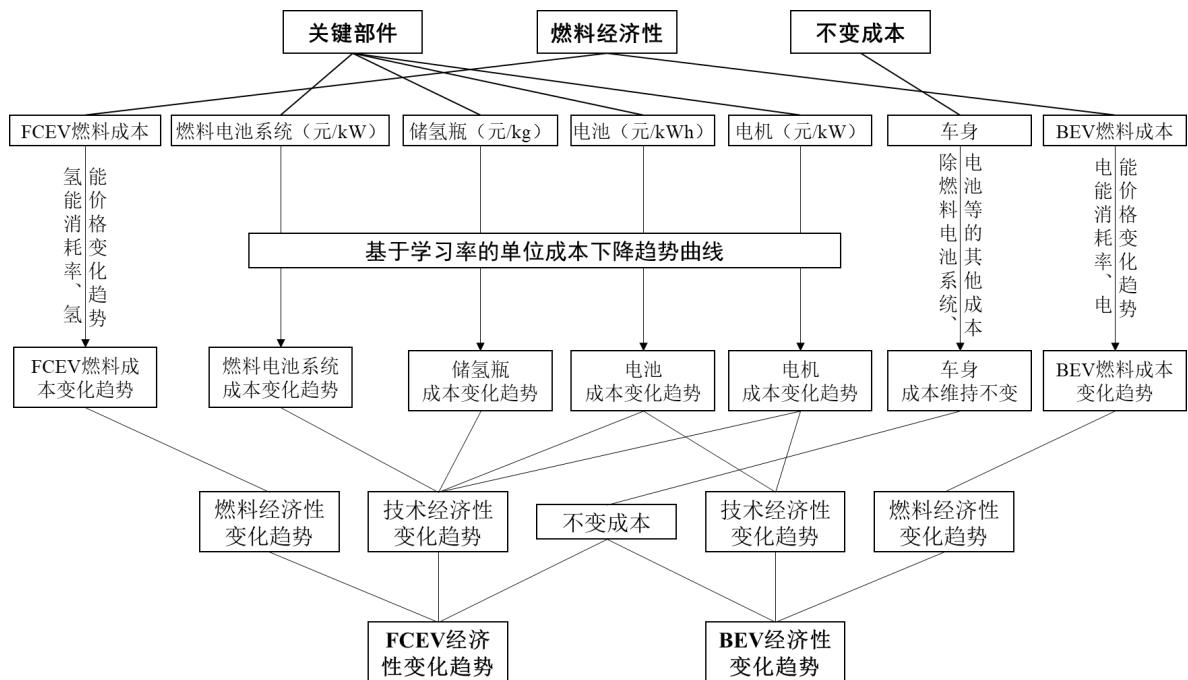


图 6-1 BEV 和 FCEV 经济性分析框架

学习率曲线根据历史经验预测未来成本变化趋势，可以规避技术突破时间节点不确定性等干扰因素。1936 年，美国学者 Wright 指出飞机装配过程中，产量每增大一倍，劳动时间约降低 20%，提出“经验曲线”的概念³³。生产成本与

³³ WRIGHT T P. Factors affecting the cost of airplanes[J]. Journal of Aeronautical Sciences, 1936,3(4): 122-

累计产量存在相关性。Yelle³⁴以“学习曲线”定义“经验曲线”，给出学习曲线表达式：

$$C_t = C_0 \left(\frac{N_t}{N_0} \right)^\alpha \quad (1)$$

式中： N_0 和 N_t 分别为基准时刻和 t 时刻累计产量； C_0 和 C_t 分别为基准时刻和 t 时刻成本； $\alpha (\alpha < 0)$ 为学习系数，定义：

$$\alpha = \frac{\log r}{\log 2} \quad (2)$$

r 为进步率，学习率 R 满足下式：

$$R = 1 - r \quad (3)$$

由式（10）至（12）可推知

$$C_t = C_0 r^{\log_2^{\frac{N_t}{N_0}}} \quad (4)$$

本研究中，NEV 累计产量参考 IEA 新政策情景³⁵。该情景考虑现行政策及政策规划，2030 年，轻型电动车（含 BEV 和 PHEV）保有量约 1.25 亿辆。由于该情景仅设定到 2030 年，本研究基于其历史趋势，将其延伸至 2050 年。FCEV 规模化生产可能发生在 2030 年后。FCEV 的累计产量参考 IEA 2°C 富氢情景，到 2030 年全球 FCEV 累计销量达到 800 万辆，到 2050 年 FCEV 乘用车销量占比可达到 30%。详见图 6-2。

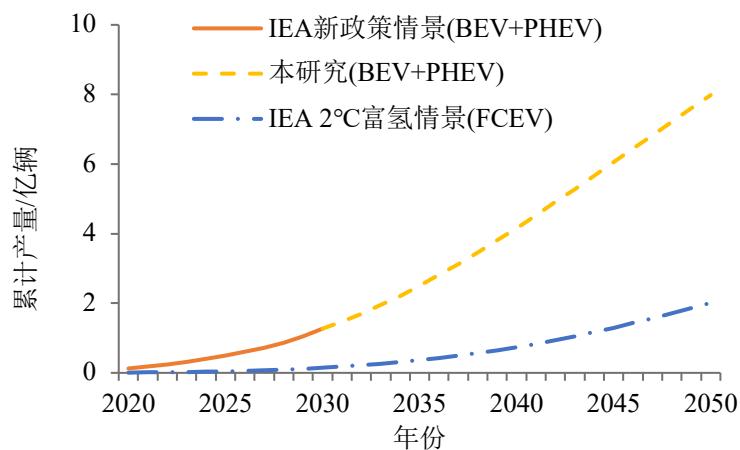


图 6-2 BEV 和 FCEV 经济性分析框架

128.

³⁴ YELLE L E. The learning curve: historical review and comprehensive survey[J]. Decision Sciences, 1979, 10(2): 302-328.

³⁵ IEA. Global EV Outlook 2018[R]. IEA, 2018.

2020、2025 和 2030 年，中国规划动力电池系统成本至将分别降至 1、0.9 和 0.8 元/ (W·h)³⁶。日本发布的《NEDO 二次电池技术研发路线图 2013》，希望 2020 年 BEV 动力电池系统成本降至 2 万日元/(kW·h)以下（约 1200 元/(kW·h)），2030 年降至 1 万日元/(kW·h)以下，之后降至 5000 日元/(kW·h)以下。本研究中，设定的 BEV 动力电池系统成本及其与中、日两国目标的对比如图 6-4 所示。

路线图中，乘用车燃料电池系统成本 2020、2025 和 2030 年分别降至 1500、800 和 200 元/kW。美国能源部的研究认为，年产 50 万套 80kW 燃料电池系统规模下，燃料电池系统成本可在 2025 年降至 40 美元/kW（约 280 元/kW），最终降至 30 美元/kW（约 210 元/kW）³⁷。本研究中，设定 FCEV 燃料电池系统成本趋势以及与中、美两国目标的对比，如图 6-3 所示。

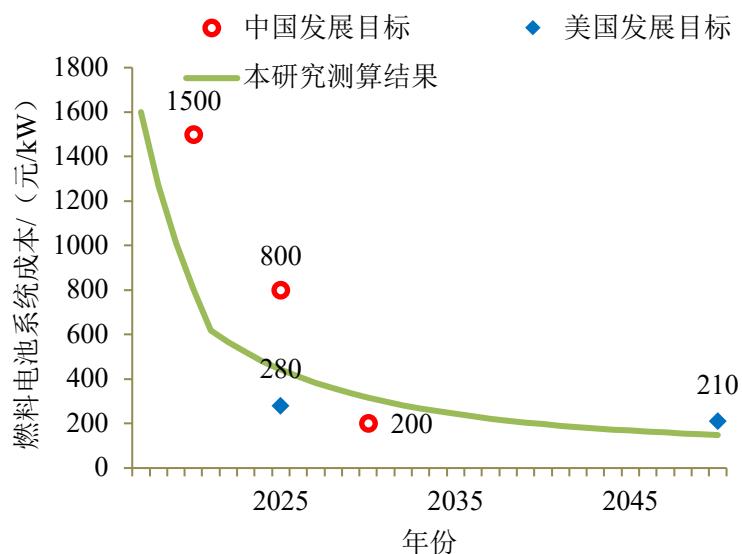


图 6-3 FCEV 燃料电池堆成本变化趋势

³⁶ 节能与新能源汽车技术路线指导委员会. 节能与新能源汽车技术路线图[M]. 北京: 机械工业出版社, 2016: 436.

³⁷ JAMES B D, HUYA-KOUAUDIO J, HOUCINS C. Mass production cost estimation of direct H2 PEM fuel cell systems for transportation applications: 2019 Update[R]. Department of Energy, 2019.

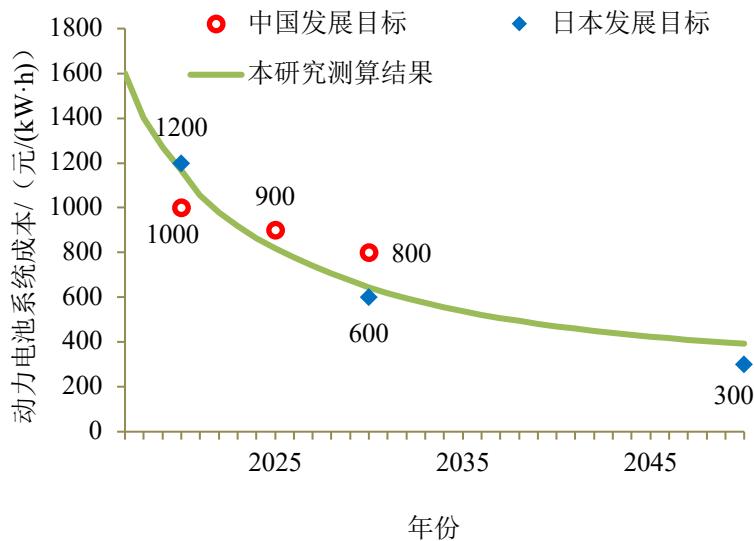


图 6-4 BEV 动力电池包成本变化趋势

6.2 燃料价格

本研究进一步探讨不同使用场景下燃料使用成本，如式(5)。

$$CoF_t = k \cdot VKT \cdot FUEL_t \cdot P_t \quad (5)$$

式中： CoF_t 为 t 年时燃料成本； VKT 为年均行驶里程； $FUEL_t$ 为 t 年时燃料消耗率； P_t 为 t 年时单位燃料价格； k 为折现系数。

$$k = \sum_{i=1}^n \frac{1}{(1 + dr)^{i-1}} \quad (6)$$

式中： dr 为折现率； n 为车辆使用时间。

由于中国电价近年来无明显变化，因此本文中电能价格按 1 元/(kW·h) 计算，并保持不变。汽、柴油价格受石油供给等国际宏观形势影响较大，且具有不确定性，因此本研究按照研究期间，汽、柴油的平均价格 4.96 元/L 和 5.37 元/L 作为基准，后续进一步开展敏感性分析。氢能成本包括制氢成本、储运成本和终端加氢成本三部分。基于相关研究成果，2017 年我国氢能价格设定为 55 元/kg³⁸，2050 年约为 35 元/kg³⁹，中间年份本文采用线性插值的方法计算取值。

³⁸ 赵学良. 氢燃料电池电动车对石化企业的战略意义[J]. 当代石油石化, 2019,27(1): 15-19.

³⁹ 刘坚, 钟财富. 我国氢能发展现状与前景展望[J]. 中国能源, 2019,41(02): 32-36.

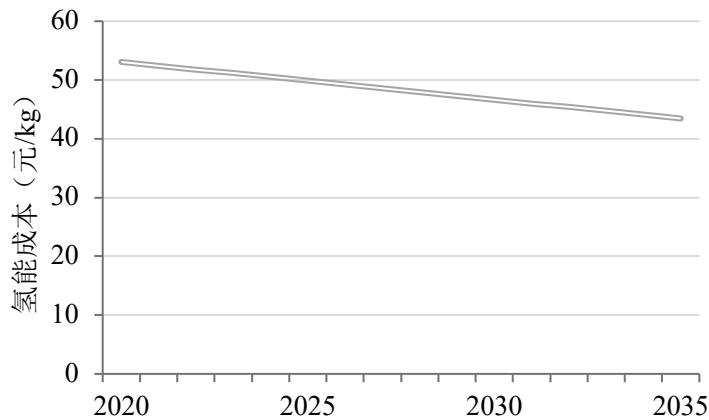


图 6-5 氢能价格变化趋势

6.3 维护保养成本

由于货车用途和动力技术不同，维护成本也存在很大差异。文献中有一些研究和报告着重介绍了柴油货车的维护成本，但基本未提及零排放重型车的维护成本。首先，据 Yang et al. (2018)估计，中国柴油货车的维护成本约为 0.325 元/公里。关于纯电动和燃料电池货车的维护成本，据德国航空航天中心报告和 ICCT 研究报告⁴⁰，与柴油货车相比，纯电动货车的维护成本降低 33%，燃料电池货车的维护成本降低 30% (Kleiner & Friedrich, 2017)，据此得出纯电动和燃料电池货车的维护成本分别为 0.218 元/公里和 0.228 元/公里。

表 6-1 不同动力类型商用车维护成本假设

技术	维护成本（元/公里）
柴油	0.325
纯电动	0.218
燃料电池	0.228

⁴⁰ ICCT. 中国重型货运卡车的拥有总成本对比分析.

6.4 使用年限

通过对中国商用车技术经济性数据库中不同类型商用车分车龄残存率进行统计分析可知，传统商用车平均使用寿命轻、重型商用车略有差异，其中轻型商用车平均寿命约为 10 年、重型约为 8 年。对于新能源商用车而言，《关于免征新能源汽车车辆购置税的公告（2017 年第 172 号）》等国家政策文件，明确规定了商用车企业（含客车、专用车、货车等）应提供不低于 5 年或 20 万公里的质保期限。结合企业调研，目前大多数使用 5 年以上的新能源轻型商用车未出现需要更换电池等关键零部件的情况。因此，本研究中所有车型使用年限按照 8 年计算，重型新能源商用车因年行驶里程相对较长，从第 6 年开始产生零部件替换维修成本。

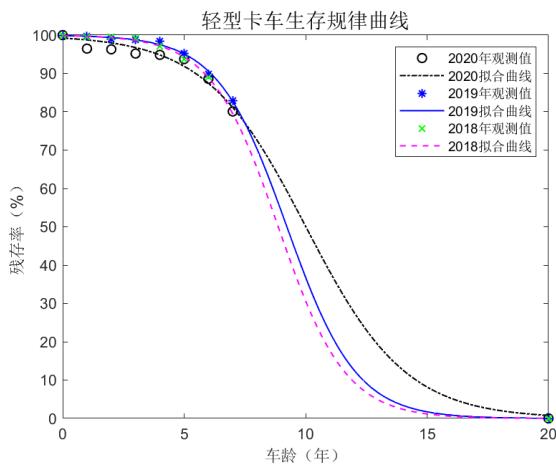


图 6-6 轻型货车生存规律曲线

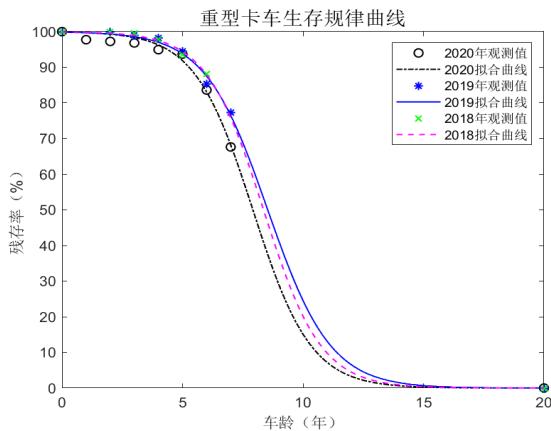


图 6-7 重型货车生存规律曲线

6.5 残值

通过对数据库中同一车型不同使用年限车辆的售价进行统计分析，结果表明重型货车残值年均下降约 10%，轻卡、皮卡残值年均下降约 8%。由于新能源商用车投入数据缺乏，其残值率信息主要依靠企业调研，经调研新能源商用车残值年均下降率约为 12%。

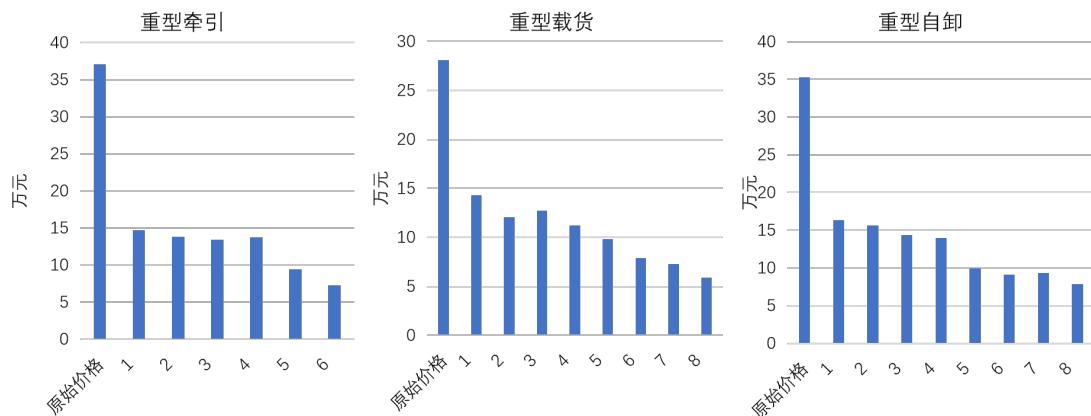


图 6-8 重型商用车残值下降率

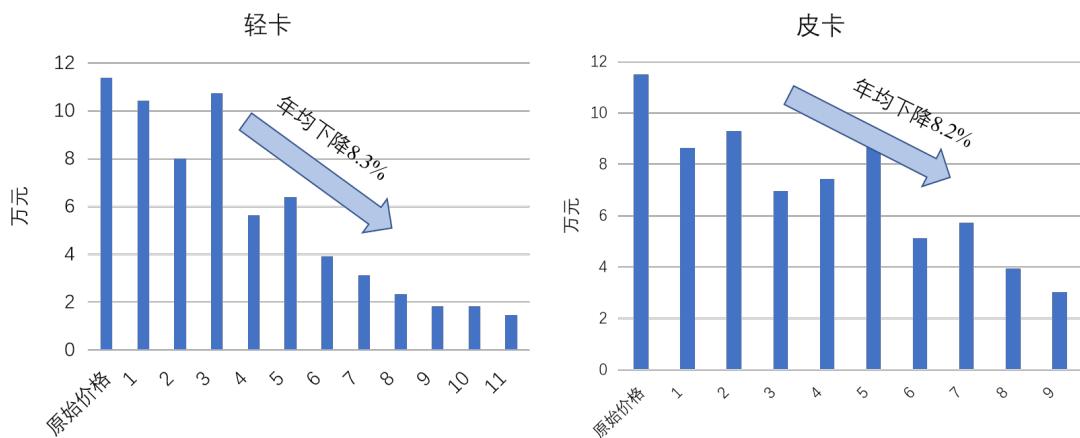


图 6-9 轻型商用车残值下降率

第七章 商用车 TCO 结果分析

7.1 各类型商用车 TCO 及未来预测

首先根据商用车综合信息库中的各类货车畅销车型的车辆和发动机技术参数选取了 5 类型的传统车基准车型，具体如下：重型牵引车一汽的 6x2 半挂牵引车、重型自卸车重汽的 8x4 自卸汽车、重型载货车江淮的 4x2 载货汽车、轻型载货车、轻型载货车北京汽车制造厂的仓栅式运输车、皮卡北京汽车制造厂的轻型越野汽车。新能源商用车的对应车型选择基于数据库选取与传统车基准车型总质量相近的车型。对于纯电动商用车，原始模型中的柴油动力传动系统被替换为一个大型动力电池组、一个永磁电动机和一个逆变器。纯电动货车配备与柴油内燃机输出功率相同的电机以及与柴油车车轮扭矩相同的变速箱。对于燃料电池货运卡车，则设定配备了质子交换膜(PEM)燃料电池堆，其配备一个压缩氢储存系统和一个小型缓冲蓄电池，以满足极端电力需求和实现制动能回收，以及一个与纯电动货车类似的电动机。各类型商用车的传统车型及新能源车型参数设置如表 7-1、表 7-2、表 7-3、表 7-4、表 7-5 所示。

在比较各类型商用车传统车型和新能源车型的成本时，首先比较制造成本，目的是了解各车型制造成本随着科技进步的变化趋势，同时从生产制造端的成本对比可以为下一步主管部门政策制定提供支撑，制造成本的比较范围包括：车身成本、燃料电池系统（FC 系统）成本、储氢罐成本、电池成本、电机成本、发动机&变速器成本，本研究认为各类型商用车的传统车型及新能源车型采取相同的车身，不同之处在于动力系统与储能系统，因此传统车型及新能源车型的车身成本相同，重型牵引车为 25 万元、重型载货车为 17 万元、重型自卸车为 20 万元、轻型载货车为 6 万元、皮卡为 8 万元。

进一步比较 TCO，比较范围包括：购置成本、燃料成本、维护成本、保险成本、零部件替换成本、残值，本研究设定 TCO 的测算年限为 8 年。本研究设定购置车辆时所产生的费用一次性支付，不在后续的使用过程中产生额外支出，因此除购置成本之外的其他 5 类成本均进行折旧计算，即随着时间推移而产生固定折旧率：轻型商用车为每年 8%、重型商用车为每年 10%。

7.1.1 重型牵引车

1) 参数设置

表 7-1 重型牵引车参数设置

参数	传统车	纯电动汽车	燃料电池
续驶里程(km)	—	300	300
电机类型	—	永磁同步	—
电机额定功率 (kw)	353	350	350
整备质量 (kg)	8870	11200	10650
载质量 (kg)	39700	37800	37870
电池容量 (kWh)	—	420	50
储氢规模 (kg)	—	—	25
燃料电池功率 (kW)	—	—	95
燃料消耗量 (kWh、L、kg/100km)	34	140	8.5
能源价格 (L、kWh、kg/元)	4.96	1	53

2) 制造成本比较

重型牵引车的制造成本如图 7-1 所示，目前重型牵引车 BEV 与 FCEV 制造成本均远高于 ICEV，FCEV 制造成本最高，主要来源为 FC 系统占总成本的 51.1%。

未来因 FC 系统的制造成本快速下降，FCEV 成本下降速度快于 BEV。BEV 电池成本虽然持续下降，但是由于发动机&变速器的技术成熟而导致 ICEV 制造成本始终小于 BEV，2035 年 FCEV 制造成本与 ICEV 较为接近，其在 FC 系统、储氢罐、电池、电机的成本已经小于 ICEV 发动机&变速器的成本。

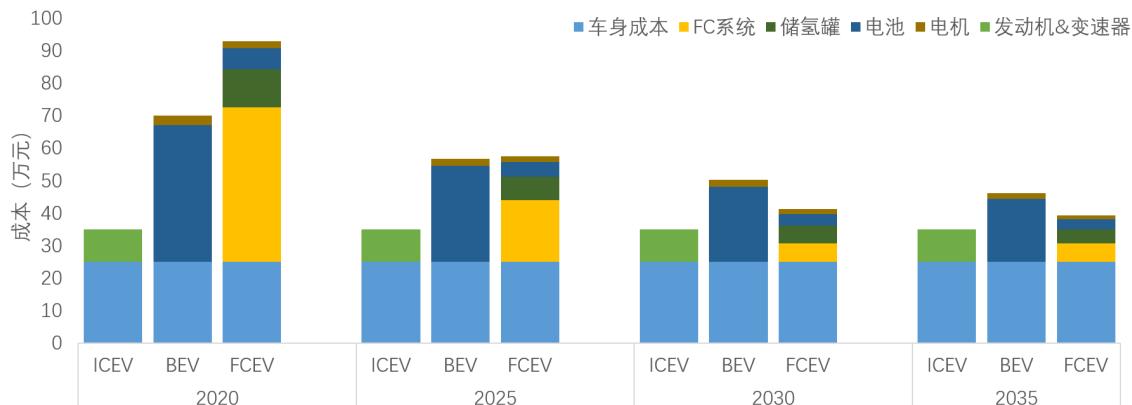


图 7-1 重型牵引车制造成本

3) TCO 预判

重型牵引车三种细分场景的 TCO 预判如图 7—2 所示：场景 1：ICEV 与 BEV 平价时间为 2035 年以后；场景 2：ICEV 与 BEV 平价时间为 2030 年；场景 3：ICEV 与 BEV 平价时间为 2025 年。



图 7-2 重型牵引车 TCO 预判

7.1.2 重型载货车

1) 参数设置

表 7-2 重型载货车参数设置

参数	传统车	纯电动汽车	燃料电池
续驶里程(km)	—	250	201
电机类型	—	永磁同步	—

电机额定功率 (kw)	—	125	185
整备质量 (kg)	7850	9880	7800
载质量 (kg)	10150	9550	10200
电池容量 (kWh)	—	190.5	40
储氢规模 (kg)	—	—	9
燃料电池功率 (kW)	—	—	80
燃料消耗量 (kWh、L、 kg/100km)	25.9	76.2	4.47
能源价格 (L、kWh、kg/元)	4.96	1	53

2) 制造成本比较

重型载货车的制造成本如图 7-3 所示，目前重型载货车 BEV 与 FCEV 制造成本均远高于 ICEV，FCEV 制造成本最高，主要来源分别为电池和 FC 系统占总成本的 67.6%、58.8%。

由于 BEV 在电池方面的成本下降较小，在 2035 年之前 BEV 的制造成本依然大于 ICEV；同时由于 FC 系统的成本大幅降低，FCEV 的制造成本在 2030 年已经小于 ICEV。

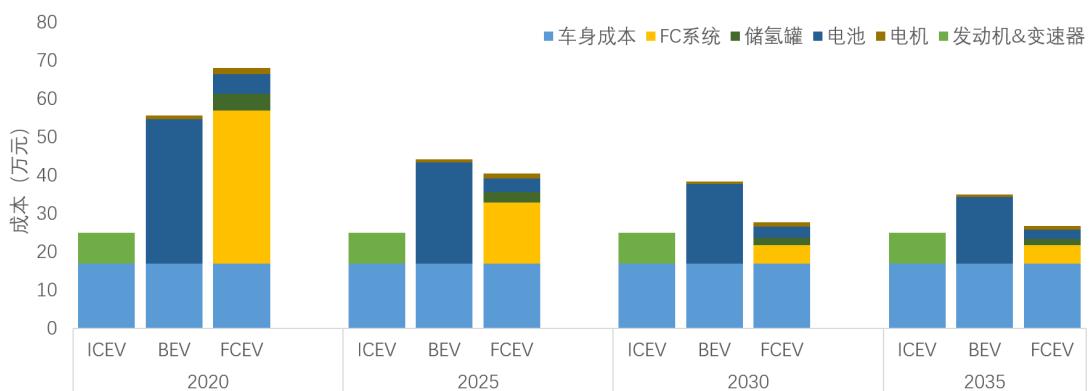


图 7-3 重型载货车制造成本

3) TCO 预判

重型载货车三种细分场景的 TCO 预判如图 7—4 所示：场景 1：ICEV 与 BEV 平价时间为 2030-2035 年；场景 2：ICEV 与 BEV 平价时间为 2025-2030 年；场景 3：ICEV 与 BEV 平价时间为 2020-2025 年。

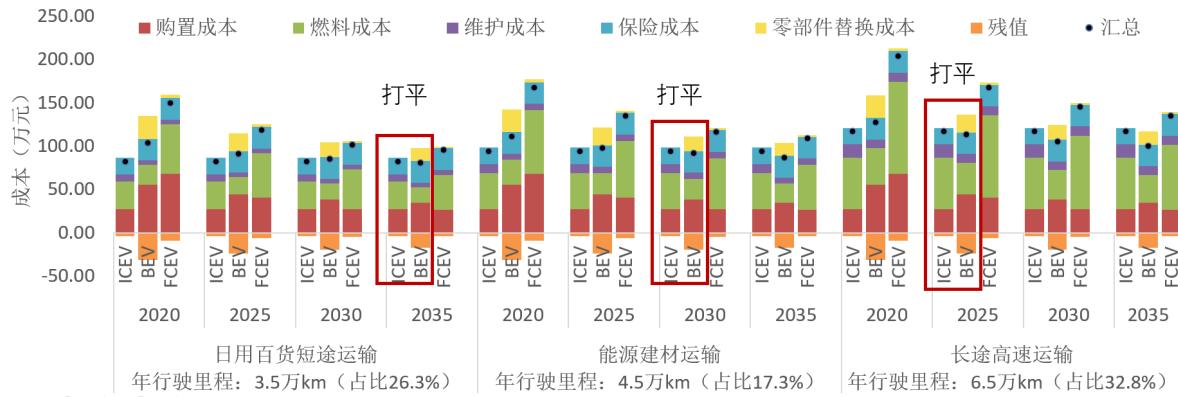


图 7-4 重型载货车 TCO 预判

7.1.3 重型自卸车

1) 参数设置

表 7-3 重型自卸车参数设置

参数	传统车	纯电动汽车	燃料电池
续驶里程(km)	—	150	150
电机类型	—	永磁同步	—
电机额定功率 (kw)	228	250	250
整备质量 (kg)	14100	17400	16800
载质量 (kg)	16900	13600	14070
电池容量 (kWh)	—	160	30
储氢规模 (kg)	—	—	9

燃料电池功率 (kW)	—	—	80
燃料消耗量 (kWh、L、kg/100km)	38	100	6
能源价格 (L、kWh、kg/元)	4.96	1	53

2) 制造成本比较

重型自卸车的制造成本如图 7-5 所示，目前重型自卸车 FCEV 制造成本远高于 ICEV，主要来源为 FC 系统占总成本的 57.0%，BEV 制造成本与 ICEV 接近。

未来因 FC 系统单位制造成本快速下降，FCEV 成本下降速度快于 BEV。2025-2030 年，三种燃料类型车型的制造成本差距逐渐缩小，2035 年后纯电动、氢燃料电池车型制造成本将低于柴油车型。BEV 电池成本同样持续下降，2030 年 ICEV 与 BEV 制造成本均已接近 ICEV；2035 年 FCEV 在 FC 系统、储氢罐、电池、电机的成本已经小于 ICEV 发动机&变速器的成本。

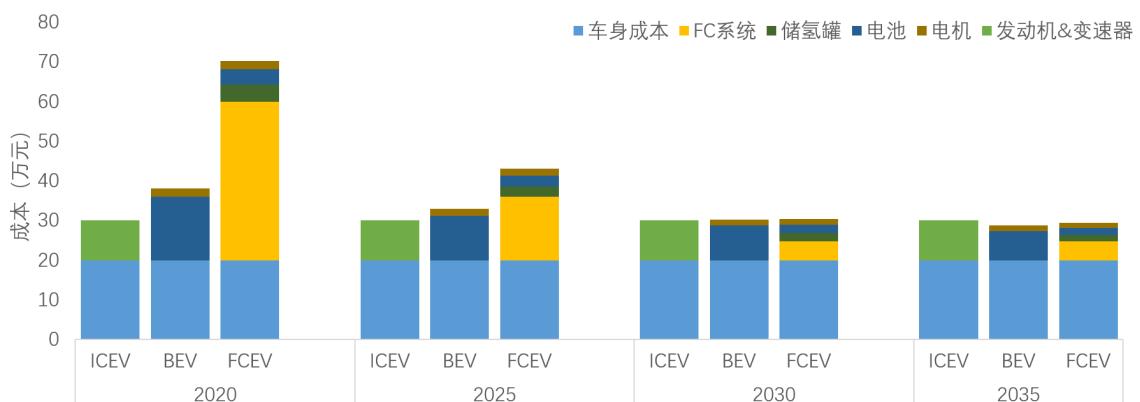


图 7-5 重型自卸车制造成本

3) TCO 预判

重型自卸车三种细分场景的 TCO 预判如图 7—6 所示：场景 1：ICEV 与 BEV 平价时间为 2035 年；场景 2：ICEV 与 BEV 平价时间为 2020-2025 年；场景 3：ICEV 与 BEV 平价时间为 2020 年，有一定成本优势。

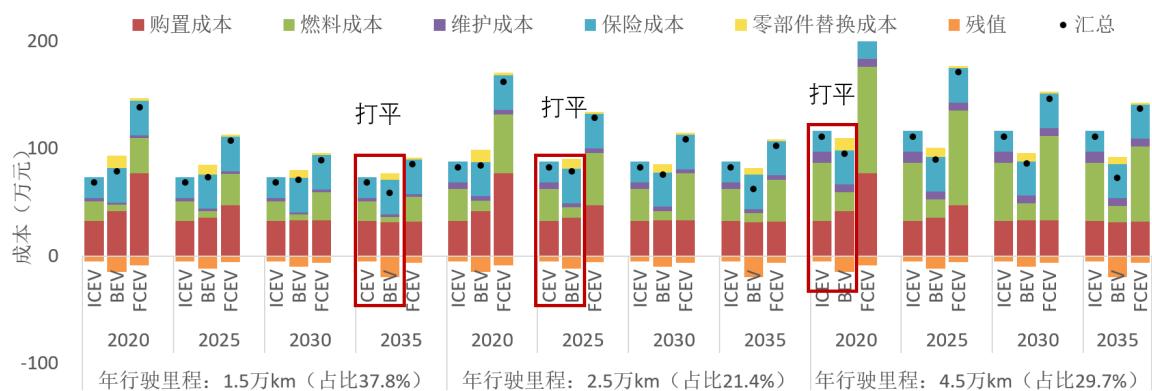


图 7-6 重型载货车 TCO 预判

7.1.4 轻型载货车

1) 参数设置

表 7-4 轻型载货车参数设置

参数	传统车	纯电动汽车	燃料电池
续驶里程(km)	—	265	413
电机类型	—	永磁同步	永磁同步
电机额定功率 (kw)	—	100	110
整备质量 (kg)	1850	2020	2150
载质量 (kg)	1080	1000	1070
电池容量 (kWh)	—	55	10

储氢规模 (kg)	—	—	8
燃料电池功率 (kW)	—	—	42
燃料消耗量 (kWh、L、kg/100km)	7.6	20.75	1.94
能源价格 (L、kWh、kg/元)	5.37	1	53

2) 制造成本比较

轻型载货车的制造成本如图 7-7 所示，目前轻型载货车 BEV 与 FCEV 制造成本均远高于 ICEV，FCEV 制造成本最高，主要来源为 FC 系统占总成本的 62.5%。

未来因 FC 系统单位制造成本快速下降，FCEV 成本下降速度快于 BEV。BEV 电池成本虽然持续下降，但是由于 ICEV 发动机&变速器的技术成熟而导致 ICEV 制造成本始终小于 BEV，直到 2035 年二者才接近；同时轻型载货车的发动机&变速器成本低于重型商用车的对应成本，即使轻型载货车 FCEV 制造成本同样大幅下降，但 2035 年总制造成本依然未与 ICEV 平价。

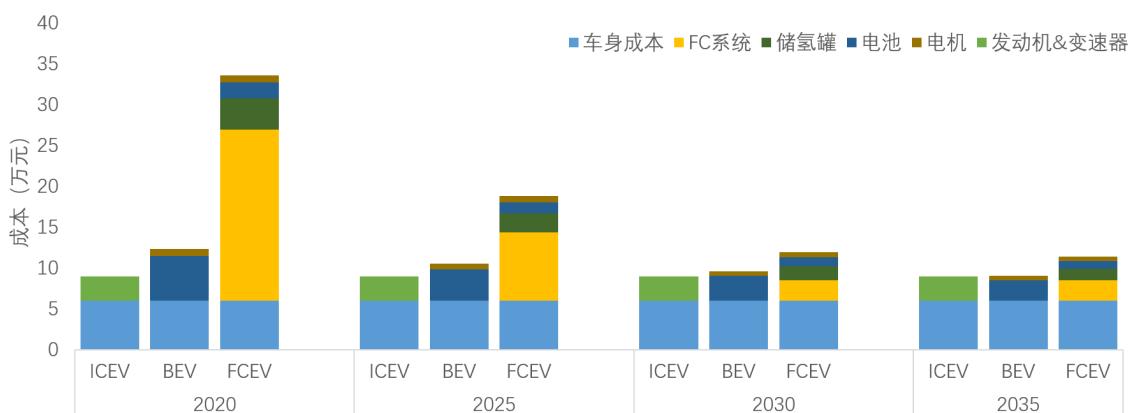


图 7-7 轻型载货车制造成本

3) TCO 预判

轻型载货车三种细分场景的 TCO 预判如图 7—8 所示：场景 1：ICEV 与 BEV 当前已平价时间；场景 2：ICEV 与 BEV 当前已达平价；场景 3：ICEV 与

BEV 当前已达平价。

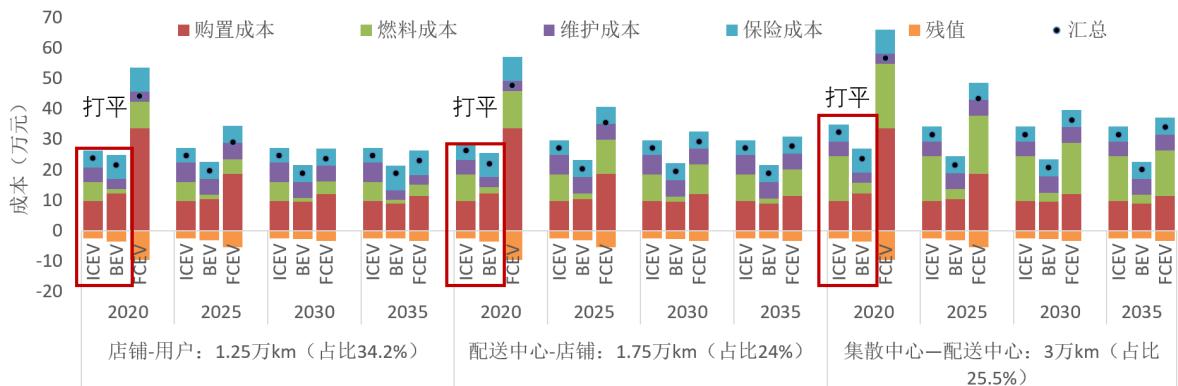


图 7-8 轻型载货车 TCO 预判

7.1.5 皮卡

1) 参数设置

表 7-5 皮卡参数设置

参数	传统车	纯电动汽车	燃料电池
续驶里程(km)	—	403	540
电机类型	—	永磁同步	永磁同步
电机额定功率 (kw)	—	120	110
整备质量 (kg)	1900	1985	2500
载质量 (kg)	500	480	480
电池容量 (kWh)	—	67	15
储氢规模 (kg)	—	—	15
燃料电池功率 (kW)	—	—	46

燃料消耗量 (kWh、L、kg/100km)	7.6	16.63	2.86
能源价格 (L、kWh、kg/元)	4.96	1	53

2) 制造成本比较

皮卡的制造成本如图 7-9 所示，目前重型牵引车 BEV 与 FCEV 制造成本均远高于 ICEV，FCEV 制造成本最高，主要来源为 FC 系统占总成本的 56.2%。

未来因 FC 系统单位制造成本快速下降，FCEV 成本下降速度快于 BEV。BEV 电池成本持续下降，2030 年与 ICEV 的制造成本接近；同时皮卡的 ICEV 发动机&变速器成本低于重型商用车的对应成本，即使皮卡 FCEV 制造成本同样大幅下降，但 2035 年总制造成本依然未与 ICEV 平价。

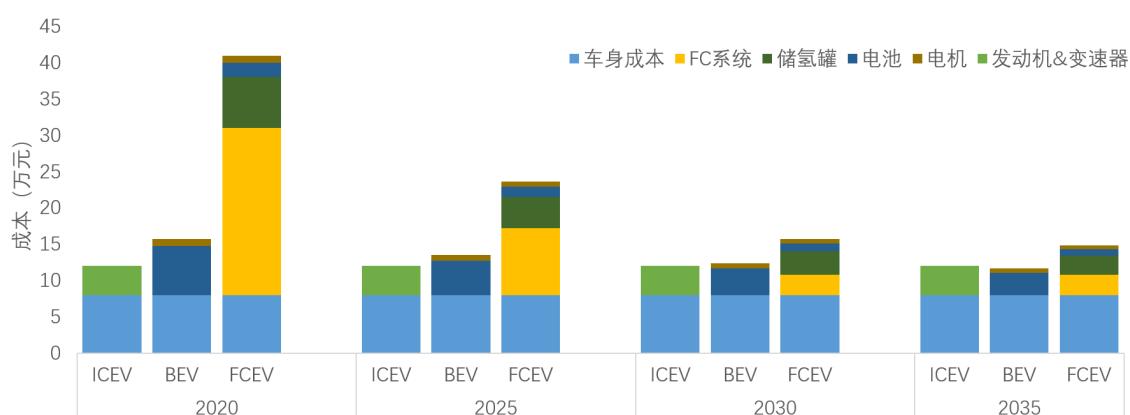


图 7-9 皮卡制造成本

3) TCO 预判

皮卡三种细分场景的 TCO 预判如图 7—10 所示：场景 1：ICEV 与 BEV 平价时间为 2030 年左右；场景 2：ICEV 与 BEV 平价时间为 2020-2025 年；场景 3：ICEV 与 BEV 平价时间为 2020 年。

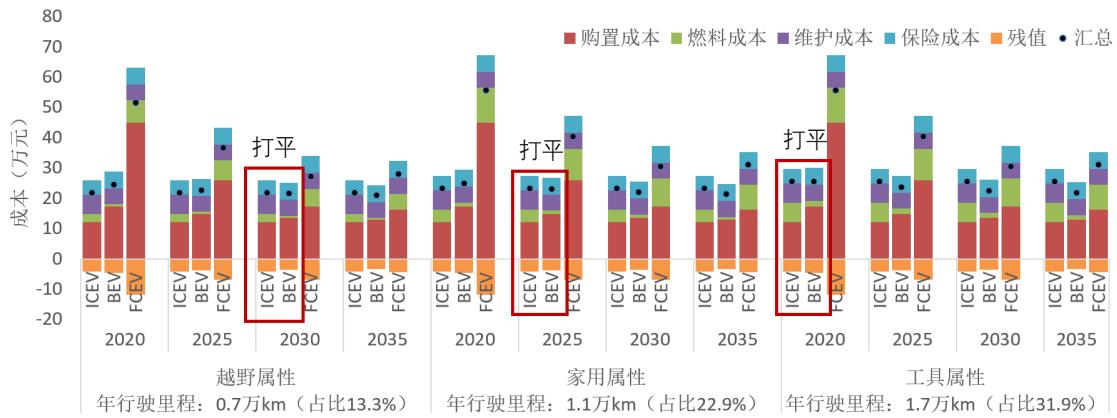


图 7-10 皮卡 TCO 预判

7.2 商用车 TCO 测算总结

7.2.1 不同里程下纯电动与传统车 TCO 平价时间

各类型商用车的不同燃料类型 TCO 平价时间如图 7-11 所示。总体来看，轻型载货车的纯电动车型最早实现 TCO 平价，平价时间在 2020 年之前，其次是皮卡和重型自卸车，大部分场景纯电动车型 TCO 平价时间在 2025 年以前，重型载货车和重型牵引车纯电车型 TCO 平价时间最晚，约在 2030 年左右。

综合来看，影响商用车 TCO 平价时间的关键因素为：①②车辆使用强度，强度越大的应用场景下，新能源汽车成本越具备经济型优势，与传统车型的平价时间越提前。



图 7-11 商用车 TCO 测算总结

7.2.2 各研究机构 TCO 结果对比

各研究机构结果表明，重型货车纯电动汽车在评估周期内的每公里运营里程的 TCO 高 0.3 到 2.0RMB/km，氢能汽车高 2.2 到 6.4RMB/km；轻型货车纯电动汽车在评估周期内的每公里运营里程的 TCO 高 -0.37 到 0.78RMB/km。氢能汽车高 1.01 到 5.94RMB/km。

研究普遍认为，重型货车 BEV 平价时间在 2025 年左右，轻型货车 BEV 车型平价时间在 2025 年前，轻、重型货车 FCEV 车型平价时间均在 2035 年以后。

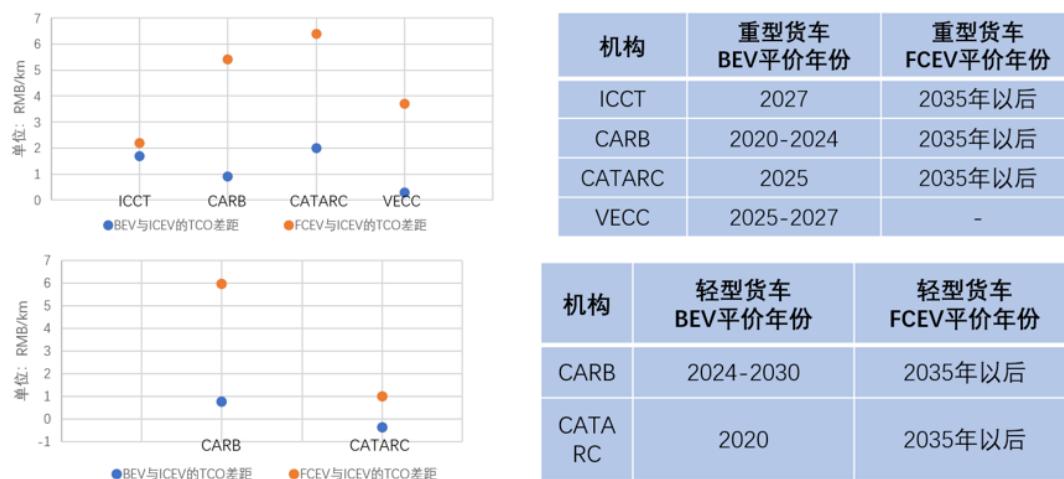


图 7-12 各研究机构商用车 TCO 对比

7.3 敏感性分析

7.3.1 氢能源价格变动

如果提供 25 元/千克的加氢补贴，氢燃料电池货车的 TCO 平价时间将提前至 2030-2035 年之间。

如果加氢补贴进一步提升至 30 元/千克，氢燃料电池货车的 TCO 平价时间将提前至 2025-2030 年之间。

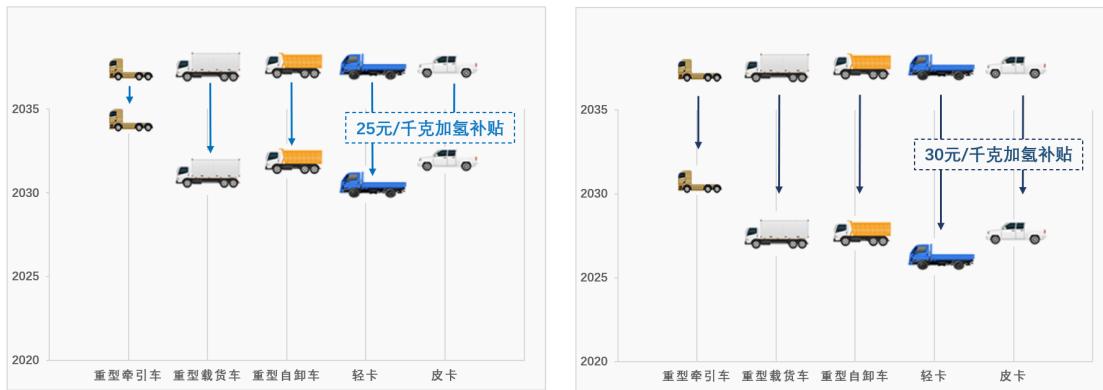


图 7-13 燃料价格变动敏感性分析-氢能源价格

7.3.2 柴油价格变动

如果柴油价格上升至 8 元/L 并长期保持在高水平，纯电动货车的 TCO 平价时间将提前至 2025 年以前。

如果柴油价格上升至 8 元/L 并长期保持在高水平，氢燃料电池货车的 TCO 平价时间将提前至 2030-2035 年之间。

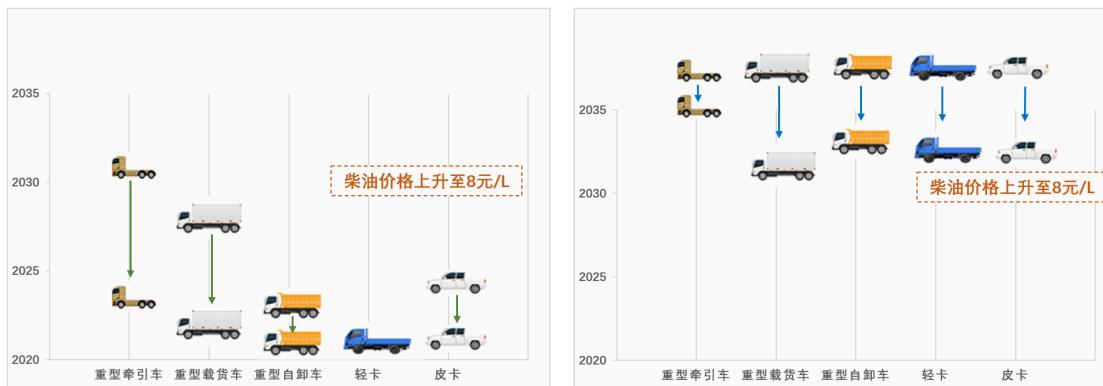


图 7-14 燃料价格变动敏感性分析-柴油价格

7.4 环境成本分析

对于环境成本的核算边界设定于燃料周期，本研究所分析的污染物范围为：CO₂、VOCs、NOx、PM。对于传统商用车和新能源商用车的燃料使用所产生的能耗获取来源：燃油汽车能耗：使用环保信息公开数据获取各质量段数量及油耗，加权后得到综合油耗；电动汽车能耗：使用工业和信息化部新能源车型目录获取；氢能源汽车能耗：通过企业调研获取。

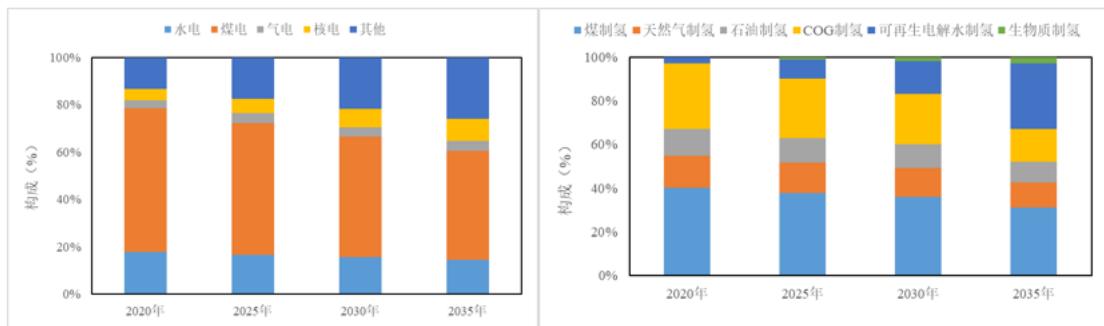


图 7-15 电能、氢能来源构成

通过比较二氧化碳、VOCs、NOx、PM 排放对环境的影响，得出传统商用车和新能源商用车的环境影响比较：①总体上看，燃油汽车的污染物排放均超过新能源汽车。②从 2020 年开始，ICEV、BEV、FCEV 各场景的环境污染物排放均呈下降趋势，且各车型的污染物排放比较排名未发生变化。③对于二氧化碳和 NOx 的排放：ICEV 最大、BEV 次之、FCEV 最小。对于 VOCs 的排放：ICEV 最大、FCEV 次之、BEV 最小。对于 PM 的排放：BEV 最大、ICEV 次之、FCEV 最小。

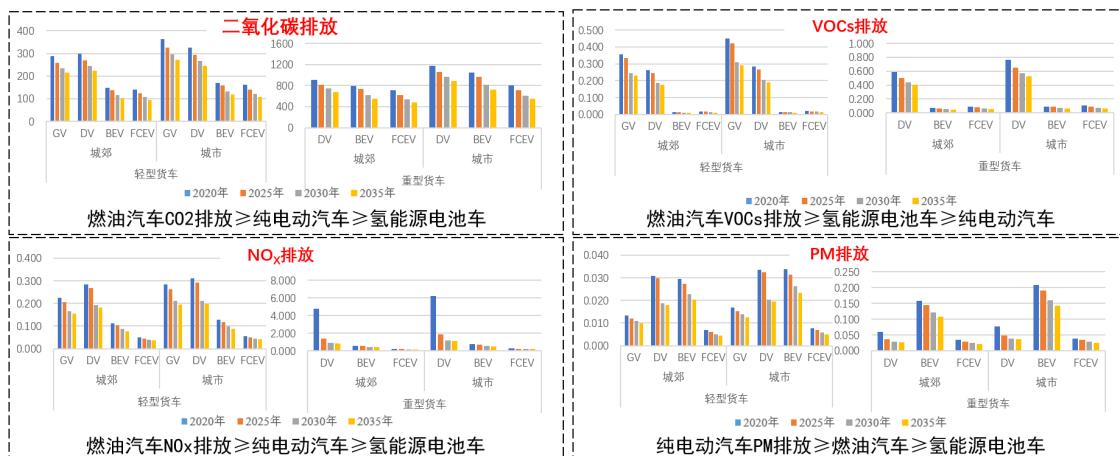


图 7-16 环境排放分析

对各种污染物排放的货币化成本计算通过污染物排放量与货币化成本系数的乘积获得，货币化系数参考其他研究机构的系数平均值，具体为：

表 7-6 各污染物的货币化成本系数

污染物种类	二氧化碳	VOCs	NOx	PM
货币化成本系数 (元/吨)	194.3	19999.5	71602.9	574665.7

总体上看各车型的环境成本，ICEV 最大、BEV 次之、FCEV 最小。

与 2020 年相比，2030 年燃油汽车、纯电动、氢能源电池车的污染物排放货币化成本分别降低 43-57%、23%、24%。同时，考虑环境排放带来的货币化成本将有利于新能源汽车与燃油汽车的平价（主要体现在重型商用车长途情况，考虑环境成本之后该情景提前于 2020 年实现平价）。



图 7-17 环境成本对 TCO 成本的影响

第八章 结论与政策建议

8.1 主要结论

从制造成本角度来看，BEV 方面，BEV 轻型货车可在 2030 年左右平价；BEV 重型货车的成本在 2020-2030 之间会快速下降；FCEV 方面，制造成本的下降潜力大于纯电动汽车，2020-2030 下降幅度大，由 FC 系统贡献。

从 TCO 角度来看，2020 年左右，轻卡，高使用强度场景的皮卡、重型自卸车可实现平价；2025 年左右，高使用强度场景的重型载货与牵引车，中使用强度的重型自卸与皮卡可实现平价；2030 年左右，除低使用强度的牵引车外，均可实现平价。

燃料价格敏感性分析结果表明，氢燃料的价格是燃料电池汽车 TCO 较高的主要原因，提供加氢补贴可以将燃料电池汽车 TCO 打平时间提前。

由于数据可得性等原因，本研究存在一些测算局限：（1）未量化因素：前期研发投入（导致目前市场售价远高于本研究成本），但售价和制造成本之间的关系未来将趋于稳定；整体 TCO 按 8 年测算，不同车主的预期使用年限有差异；（2）基础设施配套限制。（3）消费者接受度限制。

8.2 政策建议

（1）鉴于新能源轻型货车（尤其是纯电动汽车）可以在 2025 年前接近实现平价，而新能源重型货车的成本仍然处于相对较高水平，故建议商用车积分政策基于分步管理的思路，优先开展轻型车的积分比例要求，重型车部分车型逐步纳入；

（2）初次购置成本对于新能源货车实现 TCO 与燃油车平价影响较大，因此建议新能源货车的经济性政策应该适当延续，同时鼓励新能货车的灵活性商业模式发展；

（3）由于氢燃料的价格是燃料电池汽车 TCO 较高的主要原因，建议在推广燃料电池汽车时，应该重视通过多种政策手段，降低氢能的终端价格。

免责声明

- 若无特别声明，报告中陈述的观点仅代表作者个人意见，不代表能源基金会的观点。能源基金会不保证本报告中信息及数据的准确性，不对任何人使用本报告引起的后果承担责任。
- 凡提及某些公司、产品及服务时，并不意味着它们已为能源基金会所认可或推荐，或优于未提及的其他类似公司、产品及服务。

Disclaimer

- Unless otherwise specified, the views expressed in this report are those of the authors and do not necessarily represent the views of Energy Foundation China. Energy Foundation China does not guarantee the accuracy of the information and data included in this report and will not be responsible for any liabilities resulting from or related to using this report by any third party.
- The mention of specific companies, products and services does not imply that they are endorsed or recommended by Energy Foundation China in preference to others of a similar nature that are not mentioned.