

道路货运电动化之路：广东省零排放重型货车市场及泥头车案例

作者：牛天林、马云霄、张翌晨

关键词：重型车脱碳、零排放货车、激励政策、车辆拥有总成本、广东

概况

在过去几年中，广东省在减缓气候变化和改善空气质量方面取得了显著成果，2015年到2020年间，广东的碳排放量减少了22.35%，同时2022年的年均细颗粒物（PM_{2.5}）浓度下降至20μg/m³的水平¹。此后，广东省更进一步加强努力，省政府于2022年7月25日发布了《中共广东省委广东省人民政府关于完整准确全面贯彻新发展理念推进碳达峰碳中和工作的实施意见》，其中纳入了2030年前实现碳达峰、2060年顺利实现碳中和的目标²。在此基础上，广东省生态环境厅提出了《广东省环境空气质量持续改善行动计划（2021-2025年）》，对PM_{2.5}、氮氧化物（NO_x）、挥发性有机物（VOCs）等污染物提出了控制目标³。

近年来，广东省一直是中国新能源汽车的领军市场之一，尤其是在发展零排放汽车方面成绩斐然⁴。广东还将推进交通领域电动化作为支持“十四五”脱碳和空气

- 1 广东省政协，《“广东顺利实现碳达峰碳中和应对策略”专题调研报告》，2021年12月30日，详见：<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1715963104322283522&wfr=spider&for=pc>；广东省生态环境厅，广东省城市空气和水环境质量及排名情况，2023年2月3日，详见：http://gdee.gd.gov.cn/zjpm/content/post_4089450.html。
- 2 广东省人民政府，《中共广东省委 广东省人民政府关于完整准确全面贯彻新发展理念推进碳达峰碳中和工作的实施意见》，2022年7月25日，详见：http://www.gd.gov.cn/zwgk/zcid/snzcsd/content/post_3980099.html。
- 3 广东省生态环境厅，《广东省环境空气质量持续改善行动计划（2021-2025年）》，2021年，详见：<http://gdee.gd.gov.cn/hdjlpt/yjzj/api/attachments/view/3a678053e4acfc685220f157a24809ce>。
- 4 零排放汽车指纯电动汽车和燃料电池汽车。新能源汽车指零排放汽车和混合动力汽车。褚一丹、何卉、金伶芝、汪锡媛、张永伟、张健、郝凤甫，《中国新能源汽车发展领先城市评估及优秀案例》（华盛顿特区：国际清洁交通委员会，2022年），详见：<https://theicct.org/publication/china-city-markets-new-energy-sep22/>。

鸣谢：作者在此特别感谢国际清洁交通委员会（ICCT）的同事Hussein Basma、周圆融、Chelsea Baldino和Gabriel Alvarez为本报提供技术支持，感谢何卉、Felipe Rodríguez、毛世越和邵臻颖对本文进行审阅并提供建设性意见。另外，作者还要向来自广东省环境科学研究所的刘剑钧、朱倩茹和罗银萍三位专家致以诚挚谢意。上述专家的审阅并不代表完全认同本报告内容，对于本报告中的任何错误疏漏，皆由作者承担相关责任。

本报告是“国家自主贡献亚洲交通减排倡议（NDC-TIA）”项目系列成果之一。NDC-TIA项目属于国际气候倡议（IKI）项目的一部分，IKI项目由德国联邦环境部和联邦外事办公室发起，现由德国联邦经济事务与气候行动部负责牵头开展工作。更多项目详情：<https://www.ndctransportinitiativeforasia.org/>。



www.theicct.org

communications@theicct.org

[twitter @theicct](https://twitter.com/theicct)



质量改善双重目标的重点任务之一⁵，已经设定了2025年新能源汽车销量达到20%、建成4500家充电站和25万个充电桩的发展目标。

推动重型货车电动化对于实现脱碳目标至关重要。国际清洁交通委员会（ICCT）的相关研究表明，到2035年，零排放货车在中国新车销售中所占的份额将达到40%，由此可实现道路车辆碳排放总量减少25%⁶。另一项相关研究则表明，广东省重型货车仅占道路车辆保有量的2.5%，但其碳排放却高达道路车辆碳排放总量的30%⁷。

目前，国家层面和广东省都已制定了明确的公交车电动化发展目标，电动公交车销量也在迅速增长。而反观零排放货车，其2021年在中国的销量仅为零排放公交车销量的三分之一。这主要是因为城市公交车通常在可预测的路线上行驶，日行驶里程不到200公里，目前的电动客车技术可以完全支持运行需求。相比之下，货车通常负载较重且行驶里程较长，目前的电池技术尚无法完全支持其运行需求⁸。

为了了解广东省推广零排放货车的机遇与挑战，本次研究首先回顾了广东本地实施的各项激励政策，并从不同的技术角度分析了全省和各城市的销售情况及市场渗透率。随后，本文从成本角度入手，分析了自卸车的5年车辆拥有总成本（TCO），这些自卸货车主要用于运输建筑材料和建筑废弃物（泥头车），这是新能源自卸车在广东省的主要应用场景。最后，本次研究以广州和佛山作为重点城市，提出了一套激励政策方案，以加快实现零排放货车与传统货车之间的TCO平价，促进零排放货车市场的发展。

零排放货车市场发展及激励政策

广东全省的销量情况和激励政策

近年来，广东省一直是中国最大的零排放货车市场。如图1所示，2019年至2022年，广东省共销售纯电动货车26293辆，燃料电池货车1498辆。这些零排放货车合计占该省当年货车新车销售的7%⁹。

5 广东省人民政府，《广东省国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》，2021年4月25日，详见：http://www.gd.gov.cn/zwgk/wjk/qbwj/yf/content/post_3268751.html；广东省人民政府，《广东省综合交通运输体系“十四五”发展规划》，2021年9月30日，详见：http://www.gd.gov.cn/zwgk/zcjd/mtjd/content/post_3555671.html；广东省人民政府，《广东省生态文明建设“十四五”规划》，2021年10月29日，详见：http://www.gd.gov.cn/zwgk/zcjd/bmjtd/content/post_3595182.html。

6 金伶芝、邵臻颖、冒晓立、Joshua Miller、何卉、Aaron Isenstadt，《“十四五”及中长期中国交通部门低碳化的机遇与路径》（华盛顿特区：国际清洁交通委员会，2021年），详见：<https://theicct.org/publications/decarbonize-china-transport-14th-5-year-plan-oct21/>；牛天林、杨柳含子、金伶芝、邵臻颖、冒晓立、孟至航，英文报告：“China Clean Diesel Program: Benchmarking with International Best Practices and Policy Recommendations”（华盛顿特区：国际清洁交通委员会，2023年），详见：<https://theicct.org/publication/china-clean-diesel-iii-jan23/>。

7 世界资源研究所，英文报告：“Synergic Control Measures for Carbon and Air Pollutants Emissions from Guangdong On-Road Transportation Sector”，2022年。

8 毛世越、张翌晨、Georg Bieker、Felipe Rodríguez，《中国零排放客车和货车市场：2021年进展》（华盛顿特区：国际清洁交通委员会，2023年），详见：<https://theicct.org/publication/china-hvs-ze-bus-truck-market-2021-jan23/>。

9 牛天林、马云霄，英文报告：“Zero-emission truck market developments and opportunities in Sichuan province China.”（华盛顿特区：国际清洁交通委员会，2023年），详见：<https://theicct.org/publication/zero-emission-truck-developments-sichuan-jun23/>。

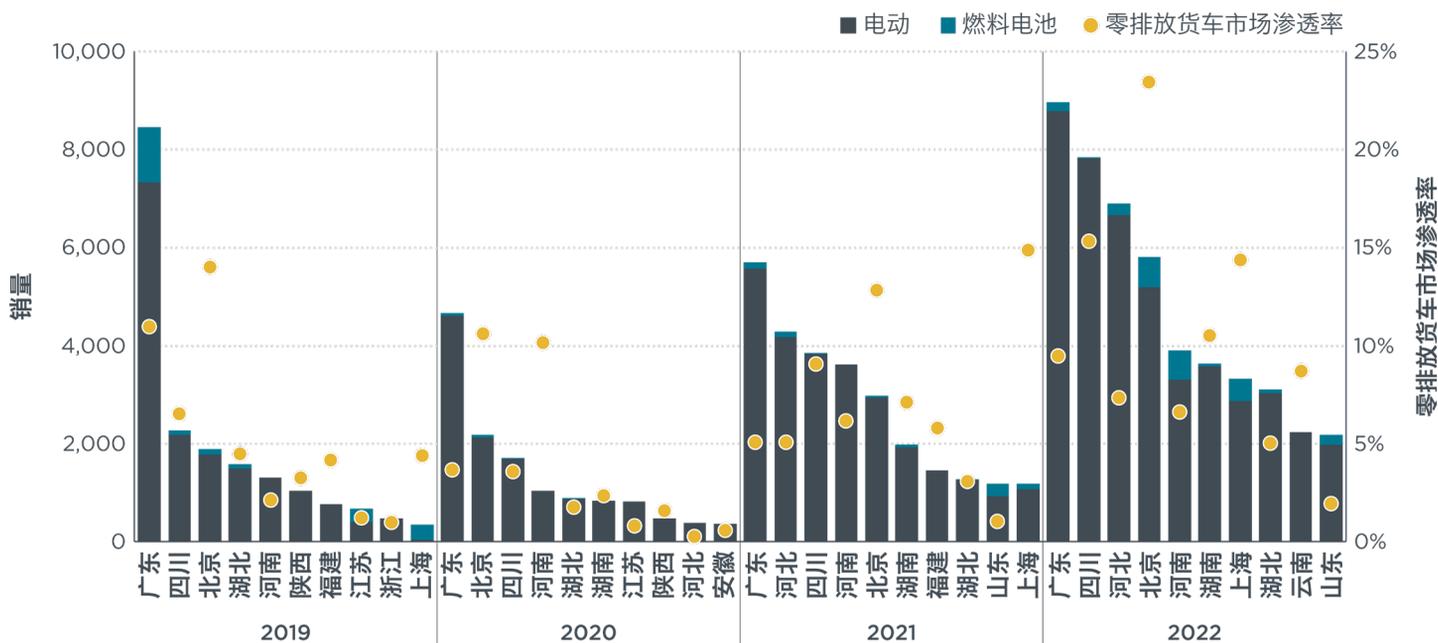


图1. 2019-2022年中国零排放货车新车销量排名前十省份

表1总结了广东省促进零排放货车市场发展的各项政策措施。作为氢能产业重点发展省份和氢能示范城市群，广东省为“十四五”期间销售的燃料电池货车提供最高25万元人民币的购置补贴，该补贴计划限补推广销售的前1万辆燃料电池货车，车辆必须获得国家综合评定奖励积分，且至少有五个关键零部件在氢能示范城市群内生产制造¹⁰。

表1. 广东省从省级层面实施的零排放货车推广政策

相关文件	政策措施或目标
《广东省综合交通运输体系“十四五”发展规划》 《广东省能源发展“十四五”规划》 ^a 《广东省电动汽车充电基础设施发展“十四五”规划》 《广东省加快氢燃料电池汽车产业发展实施方案》 ^b 《广东省加快建设燃料电池汽车示范城市群行动计划（2022-2025年）》	新能源汽车销售占比达到20%； 到2025年纯电动货车登记注册数量达到160万辆； 到2025年建成至少4500家充电站及至少25万个公共充电桩； 到2025年建成 300家加氢站； 根据燃料电池系统的额定功率，为销售的前1万辆燃料电池货车提供3000元人民币/千瓦的补贴，单车最高补贴额为25万元人民币。

^a 广东省人民政府，《广东省能源发展“十四五”规划》，2022年4月13日，详见：http://www.gd.gov.cn/gkmlpt/content/3/3909/post_3909371.html#8。

^b 广东省发改委，《广东省加快氢燃料电池汽车产业发展实施方案》，2020年11月12日，详见：http://drc.gd.gov.cn/ywtz/content/mpost_3125347.html。

城市层面的销量和激励政策

图2展示了2019至2022年广东省各城市的零排放货车销量。其中，深圳市的销量遥遥领先，在过去4年中，深圳零排放货车的销量占广东省总销量的76%，广州、东莞和佛山三个城市列居深圳之后，同期的市场销量占比分别为15%、3%和3%。2022年，广东省共有21个城市有零排放货车销售记录，而在2019年，仅有4个城市有零排放货车销售。

¹⁰ 广东省人民政府，《广东省加快建设燃料电池汽车示范城市群行动计划（2022-2025年）》，2022年8月12日，详见：http://drc.gd.gov.cn/gkmlpt/content/3/3993/post_3993253.html#877。

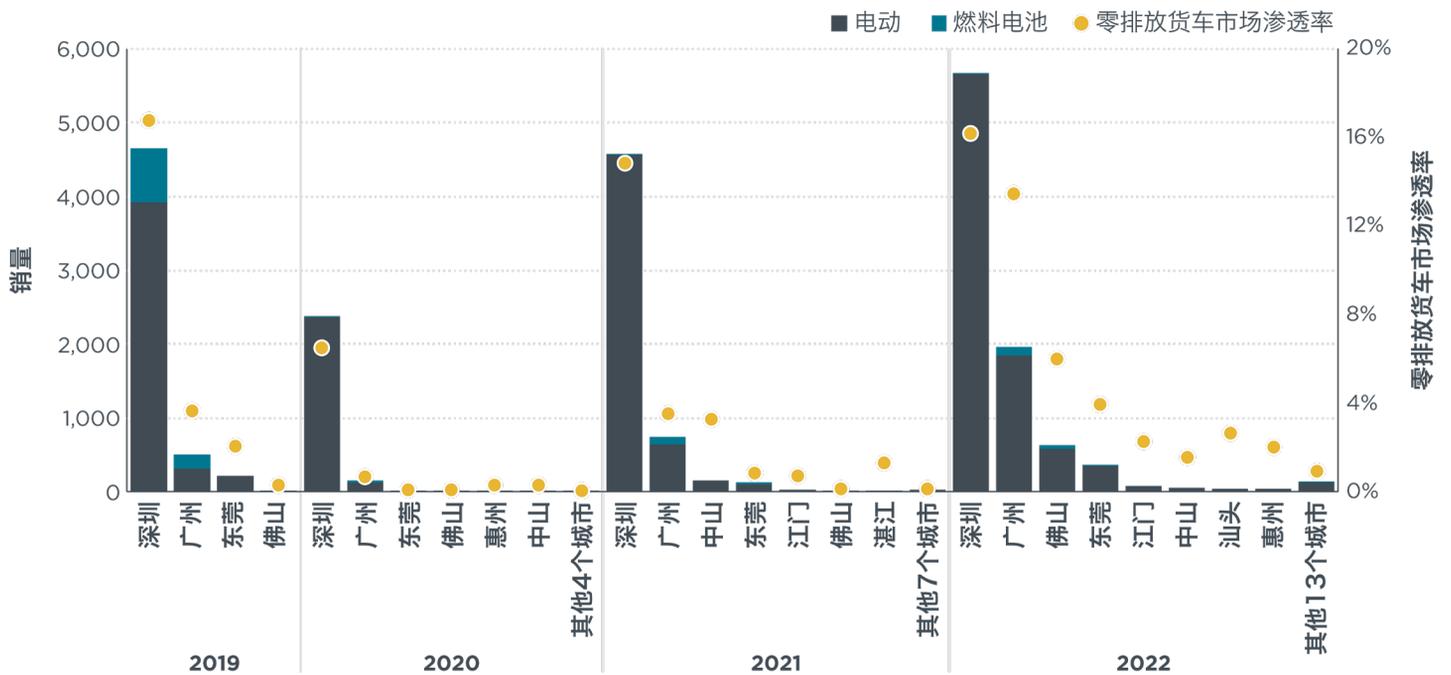


图2. 2019-2022年广东省各城市零排放货车销量情况

我们通过与广东省环境科学研究院开展合作调研, 了解到了深圳、广州和佛山三个重点城市在地方层面实施的零排放货车推广政策 (表2)¹¹。这些激励政策与销售量具有较高的关联性, 2020年以前, 深圳为纯电动自卸货车提供的购置补贴高达80万元人民币 (约合11.5万美元), 但这项补贴在2020年终止, 零排放货车的销量也随之显著下滑。2021年, 另一项激励措施的出台也带来了销量的上涨, 但随后在2022年没有激励措施的情况下, 销售量又再次降低。广州市和佛山市在2022年推出了实质性的财政激励, 最高可补贴零排放货车零售价格的60%, 因此2022年广州和佛山的零排放货车销量显著增长。

11 广东省环境科学研究院, 英文报告: "Policy Review and Best Practices of Guangdong ZET Promotion," (2022年), 该报告系为国际清洁交通委员会提供的内部咨询报告。

表2. 截至2022年底, 深圳市、广州市和佛山市实施的零排放货车推广政策

城市	政策文件	补贴方案及目标	道路优先权及激励措施
深圳	<ul style="list-style-type: none"> 《深圳市首批纯电动泥头车(2018-2019)运营里程考核及超额减排奖励发放办法》^a 《深圳市新能源汽车推广应用工作方案(2021-2025年)》^b 	<p>2018和 2019年</p> <ul style="list-style-type: none"> 购置纯电动泥头车可获得最高80万元人民币购置补贴; 根据不同车型, 将柴油泥头车置换为纯电动泥头车可获得0.8-14.2万元人民币补贴, 置换为燃料电池汽车可获得12.1-22万元人民币补贴。 <p>2021</p> <ul style="list-style-type: none"> 额外提供购置补贴, 电动货车补贴额度不超过国家补贴的50%, 燃料电池货车不超过国家补贴的100%; “十四五”期间, 全市新增注册汽车中新能源汽车比重达到60%左右; 全市新能源汽车保有量达到100万辆左右, 累计建成公共和专用网络快速充电桩4.3万个左右, 基础网络慢速充电桩79万个左右。 	<ul style="list-style-type: none"> 电动自卸车白天可上路行驶 最高免费停车2小时
广州	<ul style="list-style-type: none"> 《广州市2019、2020年新能源汽车购置地方财政补贴标准》^c 《广州市氢能产业发展规划(2019—2030年)》^d 《广州市智能与新能源汽车创新发展“十四五”规划》^e 《广州市燃料电池汽车示范应用工作方案(2022-2025年)》^f 《广东省电动汽车充电基础设施发展“十四五”规划》 	<p>2020年以前</p> <ul style="list-style-type: none"> 2019年7月以前, 最高为零排放货车提供不超过车辆销售价格60%的购置补贴。 <p>2021年以后</p> <ul style="list-style-type: none"> 到2025年, 公交、环卫领域燃料电池汽车占比不低于30%, 试点推广燃料电池汽车5000辆; 到2025年, 建设绿色氢电综合调峰电站4座, 建成加氢站不少于50座; 到2030年, 建设绿色氢电综合调峰电站不低于10座, 建成加氢站100座以上; 新能源汽车新车市场渗透率达到50%, 新能源汽车总销量达到80万辆, 在所有车辆中的占比超过20%; 2025年以前, 为燃料电池汽车提供最高35元人民币/千克的燃料氢补贴; 到2025年, 建成公共充电桩50900个。 	<ul style="list-style-type: none"> 特定公共充电站提供免费停车
佛山	<ul style="list-style-type: none"> 《佛山市氢能产业发展规划(2018-2030年)》^g 《佛山市新能源城市配送货车运营扶持资金管理暂行办法》^h 	<ul style="list-style-type: none"> 设立30亿元氢能产业激进, 为燃料电池汽车和加氢站提供补贴; 2022年, 佛山市南海区为燃料电池货车置换柴油货车提供最高7万元补贴; 到2025年, 推广应用燃料电池汽车6000辆, 建成加氢站30座, 氢产能20吨/天; 到2030年, 推广应用燃料电池汽车18000辆, 建成加氢站80座, 氢产能50吨/天; 2023-2025年期间, 最高为纯电动货车提供3万元人民币运营补贴, 为燃料电池汽车提供11.5万元购置补贴。 	<ul style="list-style-type: none"> 燃料电池汽车减免50%过路费 燃料电池汽车在中心城区拥有路权优先

^a 深圳市发改委, 《深圳市首批纯电动泥头车(2018-2019)运营里程考核及超额减排奖励发放办法》, 2021年1月6日, 详见: http://www.sz.gov.cn/zfgb/zcjd/content/post_8394661.html.

^b 深圳市发改委, 《深圳市新能源汽车推广应用工作方案(2021-2025年)》, 2021年3月31日, 详见: http://fgw.sz.gov.cn/zwgk/qt/tzgg/content/post_8662484.html.

^c 广东省人民政府, 《广州市2019、2020年新能源汽车购置地方财政补贴标准》, 2019年8月28日, 详见: http://fgw.gz.gov.cn/zfxgk/zfxgkml/zfxgkml/bmwj/qtwj/content/post_3883790.html.

^d 广东省人民政府, 《广州市氢能产业发展规划(2019—2030年)》, 2020年6月, 详见: <http://fgw.gz.gov.cn/attachment/0/100/100172/6477212.pdf>.

^e 广东省人民政府, 《广州市智能与新能源汽车创新发展“十四五”规划》, 2021年12月27日, 详见: https://www.gz.gov.cn/zwgk/ghjh/fzgh/ssw/content/mpost_8005831.html.

^f 广东省人民政府, 《广州市燃料电池汽车示范应用工作方案(2022-2025年)》, 2022年12月6日, 详见: http://fgw.gz.gov.cn/gkmlpt/content/8/8697/mpost_8697333.html#16112.

^g 佛山市人民政府, 《佛山市氢能产业发展规划(2018-2030年)》, 2018年12月10日, 详见: http://www.foshan.gov.cn/zwgk/zfgb/szfjh/content/post_1738589.html.

^h 佛山市交通运输局, 《佛山市新能源城市配送货车运营扶持资金管理暂行办法》, 2022年, 详见: http://jtys.foshan.gov.cn/gkmlpt/content/5/5211/post_5211562.html#374.

2022年, 佛山市为每辆燃料电池汽车提供最高7万元人民币的补贴。如表3所示, 2023年至2025年期间佛山市又根据车重、企业收入和佛山市绿色运营激励系数(该系数在2021-2025年间从1逐步降至0.7)进一步出台了更详细的补贴方案¹²。

表3. 佛山市的补贴方案

		截至2022年	2023年	2024年	2025年
南海区为燃料电池汽车提供的置换补贴 (人民币 元)					
市政工程车和物流货车	31吨及以上	70,000	60,000	40,000	30,000
	25-31吨	50,000	40,000	30,000	10,000
	12-25吨	30,000	20,000	10,000	
物料搬运车	7吨及以下	30,000	30,000	20,000	10,000
	5-7吨	20,000	20,000	10,000	
	1.5-5吨	10,000	10,000	10,000	
绿色运营激励系数		1	0.9	0.8	0.7
运营补贴, 人民币 (元/公里)					
电动货车	4.5-12吨厢式货车	—		30,000 (1.0)	
	4.5吨及以下	—		24,000 (0.8)	
	冷藏货车	—		18,000 (0.6)	
燃料电池货车	4.5-12吨货车	—		115,000 (2.3)	
	4.5 吨及以下	—		100,000 (2.0)	
	冷藏货车	—		75,000 (1.5)	

按货车类型划分的零排放货车销量和市场渗透率

图3按城市和车辆类型显示了2021年广东省新销售纯电动货车的分市场分布情况。在下文中, 我们将重点关注在销量方面最具有代表性的三类货车, 即物流货车、自卸货车和半挂牵引车, 除上述三类货车外, 其他货车将被集中归类为“其他货车”¹³。单纯从销量来看, 物流货车的销量占比高达近58%, 自卸货车和半挂牵引车加起来的销量占比为14%。

¹² 佛山市人民政府, 《佛山市燃料电池汽车市级财政补贴资金管理办法》, 2020年9月18日, 详见: http://www.foshan.gov.cn/zwgk/zcwj/gfxwj/bmgfxwj/content/post_4498617.html。

¹³ 在本次研究中, 物流货车根据国标GB/T 29912-2013定义为车辆总质量 (GVW) 在3.5至4.5吨之间的厢式货车, 其他货车则包括整体式货车、箱式货车、多用途车辆及专用车辆 (如环卫车、救护车和水泥罐车)。

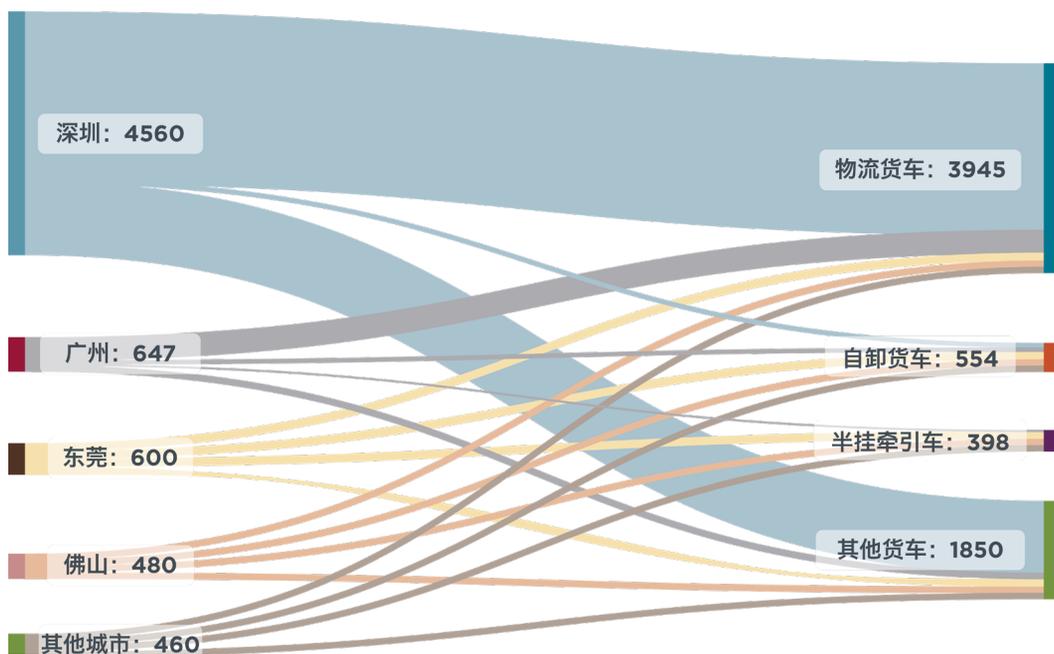


图3. 2021年广东省各城市各类零排放货车销量分布

如图4所示, 传统柴油车依然在货车市场中占据着主导地位, 特别是半挂牵引车市场。从城市层面分析来看, 只有深圳市的零排放货车取得了实质性的市场占有率, 广州和其他城市的零排放货车市场占比都非常低。

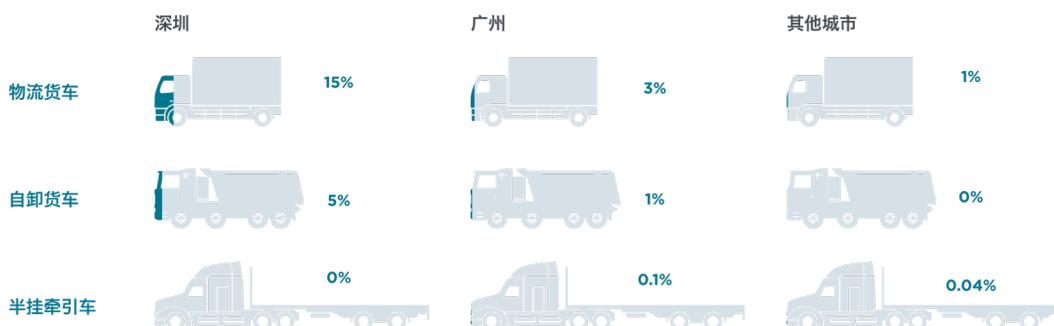


图4. 2021年广东省各城市各类零排放货车销量占比, 车辆图标中的阴影部分表示零排放货车在新车销售中的占比。

其他零排放货车相关激励措施

除了财税补贴和道路通行特权外, 广东省各城市还实施了其他一些促进零排放货车发展的补充性措施, 这其中也包括对充电基础设施的激励。如表4和表5所示, 广东省政府和部分城市政府可为每家充电站和加氢站提供最高500万元人民币的补贴, 并且所有市级补贴均是叠加在省级补贴之上。

表4. 广东省、深圳市、广州市和佛山市的充电基础设施补贴

	直流充电桩	交流充电桩
省级补贴		
广东省	2016-2018年: 最高550元人民币/千瓦 2019-2020年: 最高 300元人民币/千瓦 2021-2023年: 最高 200或300元人民币/千瓦 (根据不同地区)	2016-2018年: 最高100元人民币/千瓦 2019-2020年: 最高60元人民币/千瓦 2021-2023年: 最高40 或 60元人民币/千瓦 (根据不同地区)
市级补贴		
深圳市	2016年以前: 300元人民币/千瓦 2017-2018年: 600元人民币/千瓦 2019-2020年: 400元人民币/千瓦	2016年以前: 40千瓦以上的充电桩150元人民币/千瓦 2017年: 300元人民币/千瓦 2018年: 40千瓦以上的充电桩300元人民币/千瓦; 40千瓦以下的充电桩200元人民币/千瓦 2019-2020年: 40千瓦以上的充电桩200元人民币/千瓦; 40千瓦以下的充电桩100元人民币/千瓦
广州市	2020年以前: 550元人民币/千瓦 2021年: 100-125元人民币/千瓦	2020年以前: 150元人民币/千瓦 2021: 15-20元人民币/千瓦
佛山市	2016-2018年: 最高150元人民币/千瓦 2019-2020年: 最高250元人民币/千瓦	2016-2018年: 最高30元人民币/千瓦 2019-2020年: 最高40元人民币/千瓦

表5. 广东省、深圳市、广州市和佛山市的加氢站补贴

	综合能源供给站	固定式加氢站	撬装式加氢站	运营补贴
省级补贴				
广东省	250万元人民币	200万元人民币	150万元人民币	
市级补贴				
深圳市	在省级补贴基础上给予同等额度的补贴			
广州市	250万元人民币 (日加氢能力 500 千克以上)	200万元人民币 (日加氢能力 500 千克以上)	50万元人民币 (日加氢能力 500 千克以上)	2021: 为零售价低于35元人民币/千克的燃料氢提供20元人民币/千克的补贴 2022-2023年: 为零售价低于30元人民币/千克的燃料氢提供15元人民币/千克的补贴
佛山市		2019年以前: 新建500万元人民币, 改建站400万元人民币 (日加氢能力 500 千克以下); 新建站800万元人民币, 改建站600万元人民币 (日加氢能力 500 千克以上) 2020年以后: 新建站300万元人民币 (日加氢能力 500 千克以下); 新建站500万元人民币, 改建站450万元人民币 (日加氢能力 500 千克以上)	2019年以前: 新建站250万元人民币, 改建站200万元人民币 (日加氢能力 350千克以上) 2023年: 10元人民币/千克	2018-2021年: 为零售价低于40元人民币/千克的燃料氢提供20元人民币/千克的补贴 2022-2023年: 为零售价低于36元人民币/千克的燃料氢提供18元人民币/千克的补贴

零排放货车在广东省应用的技术可行性

在这一节中，我们将以广东省目前应用的零排放货车车型为研究目标，了解其是否能够满足当地的货运需求及其是否具备替代传统柴油货车的能力。表6、表7和表8列出了2021年广东省最畅销的柴油、电动和燃料电池物流货车、自卸货车和半挂牵引车的主要技术规格¹⁴。从车辆参数来看，与同级（即车辆总质量或车辆总组合重量相似）的柴油货车相比，零排放货车和燃料电池货车的有效负载能力较低，特别是对于自卸货车和半挂牵引车而言，这个问题更为突出。

表6. 2021年广东省销量最高的柴油、电动和燃料电池物流货车

	柴油	纯电动	燃料电池
车型型号	JX5042XXYXGE2	DNC5047XXYBEVK1	DLP5040XXYFCEVT20H
制造商	江铃	远程	德帅
销量 (2021年)	4095	1019	3
车辆总质量 (kg)	4495	4495	4495
负载 (kg)	1495	1415	695
发动机功率 (kW)	85	100	110
发动机排量 (L)	2.8	—	—
电动续航里程 (km)	—	360	480

表7. 2021年广东省销量最高的柴油、电动和燃料电池自卸货车

	柴油	纯电动	燃料电池
车型型号	LZ3310H5FB	BYD3310C2EV1	NJL3311ZHJFCEV3
制造商	东风	比亚迪	开沃
销量 (2021年)	1057	100	200
车辆总质量 (kg)	31000	31000	31000
负载 (kg)	16,030	13820	14070
发动机功率 (kW)	243	380	360
发动机排量 (L)	8.4	—	—
电动续航里程 (km)	—	270	450

表8. 2021年广东省销量最高的柴油、电动和燃料电池半挂牵引车

	柴油	纯电动	燃料电池
车型型号	ZZ4256V324HE1B	CGC4250BEV1Z4	NJL4250ZEKFCEV1
制造商	汕德卡	大运	开沃
销量 (2021年)	2155	10	3
车辆组合总质量 (kg)	48400	48505	48870
牵引质量 ^a (kg)	40000	35805	37870
发动机功率 (kW)	400	355	320
发动机排量 (L)	12.4	—	—
电动续航里程 (km)	—	240	390

^a 牵引质量指挂车和总负载的合计质量。

¹⁴ 所有信息均来自于开源网站: www.chinacar.com.cn。

发动机功率

在本研究中，我们将货车划分为四个质量段（图5）。其中，所有柴油物流货车的车辆总质量均在3.5至4.5吨之间；约三分之二的柴油自卸货车的车辆总质量大于30吨，其余三分之一则分布在其他三个质量段上；大多数柴油半挂牵引车的车辆总质量大于30吨。零排放货车方面，所有零排放物流货车的车辆总质量均在3.5至4.5吨之间，且其功率也与同级柴油车型相似；市场上销售的大多数电动和燃料电池自卸货车的车辆总质量都大于30吨，其功率高于同级柴油车型，但在3.5吨至4.5吨或12吨至30吨的细分市场中，并没有零排放自卸货车销售；所有零排放半挂牵引车均属于30吨以上的细分市场，且大多数半挂牵引车的功率水平与同级柴油车型相仿。此外，从图中还可以看出，零排放自卸货车和半挂牵引车的销量要低于零排放物流货车。

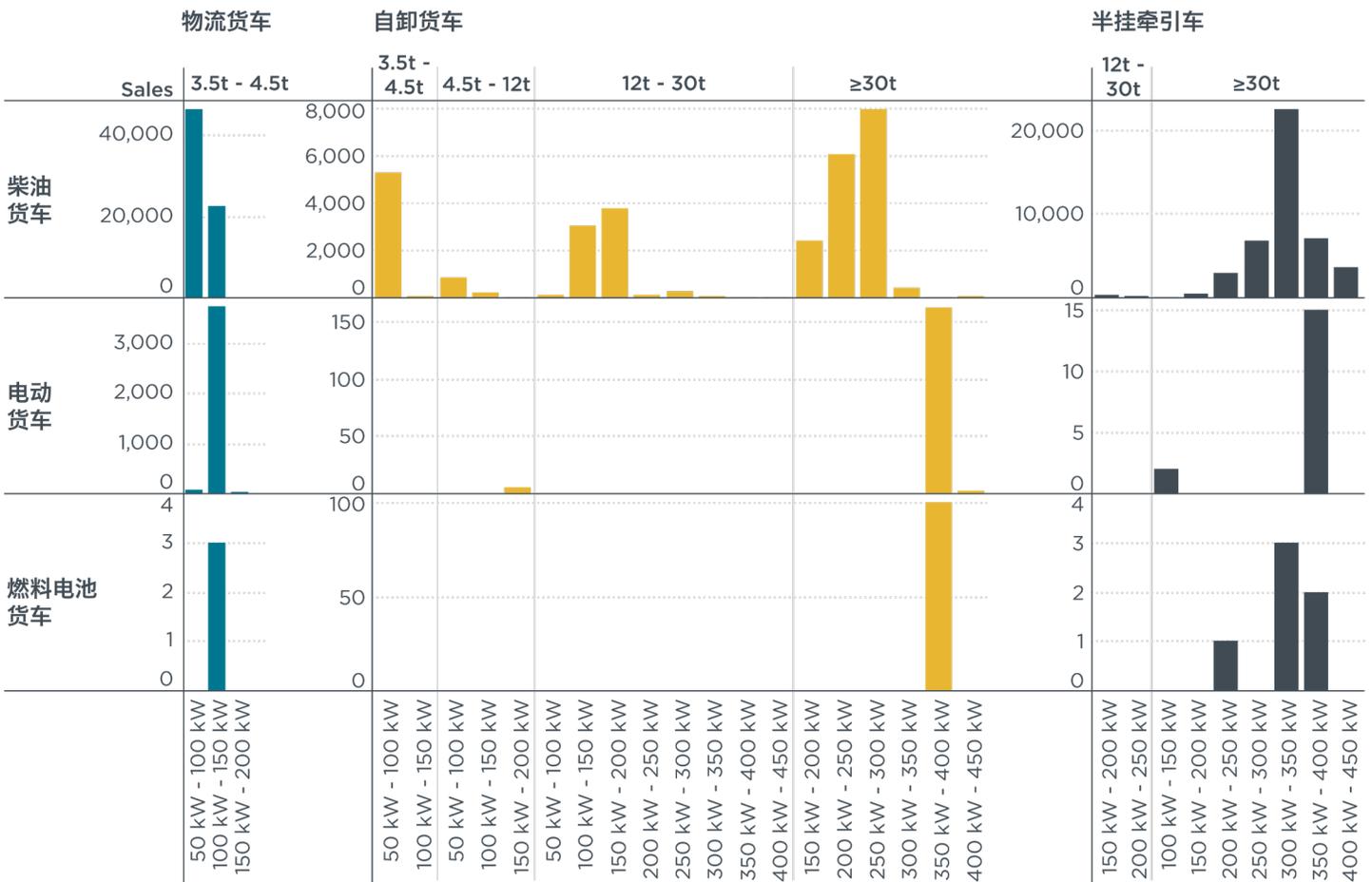


图5. 按车辆类型、发动机功率和车辆质量划分的销量分布情况

续航里程

电动货车的续航里程是反映其性能的关键要素。图6展示了2021年所有电动货车车型的新车续航里程，图中的每个圆圈代表一款车型。可以看出，电动物流货车的续航里程均在300到400公里之间，如果基于广州市物流货车日均200至300公里的行驶里程¹⁵，电动物流货车的续航能力足以满足配送需求。电动自卸货车的续航里程在250公里到350公里之间，根据我们在当地开展的调研，深圳市自卸货车的日

15 广州市交通运输局，《广州市道路货物运输行业2020年上半年市场运行监测信息发布报告》，2020年9月7日，详见：http://jtj.gz.gov.cn/zwgg/tzgg/content/post_6531167.html。

均行驶里程为200公里, 广州市和佛山市自卸货车的日均行驶里程分别为250公里和300公里, 电动自卸货车的续航里程基本可以满足使用需求。半挂牵引车方面, 目前销售的电动半挂牵引车的平均续航里程仅为250公里, 续航水平仅适用于短途货运, 并不适用于长途货运, 因为长途货运每天的行驶里程通常会超过500公里。

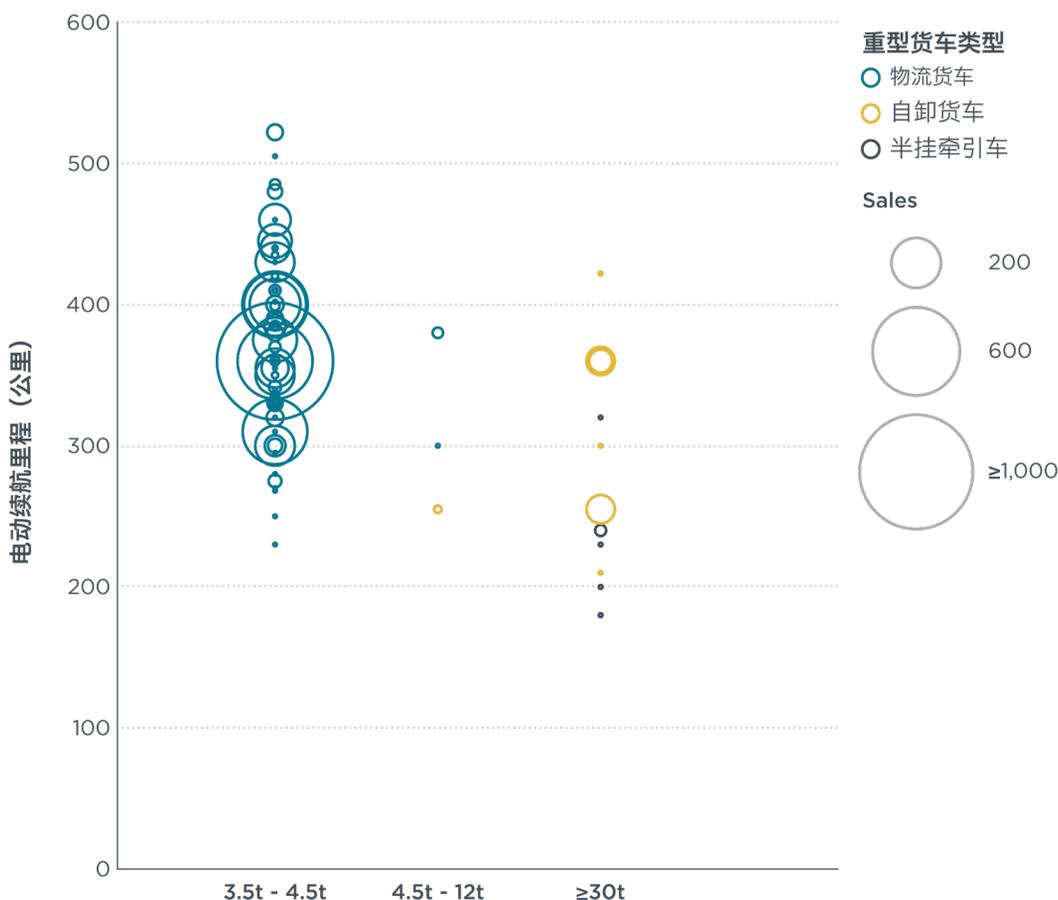


图6. 广东省电动货车的续航里程范围

从油井到车轮环节的二氧化碳(CO₂)排放

为了将各类零排放货车与柴油货车的能耗进行比较, 我们对三类货车的从油井到车轮环节二氧化碳排放强度进行了评估(单位: 克/公里), 三类货车分别为: 车辆总质量在3.5至4.5吨之间的物流货车、车辆总质量大于30吨的自卸货车和车辆总质量大于30吨的半挂牵引车。其中, 柴油货车的从油井到油箱环节二氧化碳排放强度是根据其认证能耗来估算的, 柴油货车和电动货车的从油箱到车轮环节二氧化碳排放量则是根据其认证能耗和电动货车所使用电力的电网构成情况, 采用ICCT的路线图模型来估算的¹⁶。根据《广东省生态文明建设“十四五”规划》, 广东目前的电网由75.69%的煤电、19.69%的核电、1.98%的水电、1.87%的风电以及0.77%的光伏发电组成。

图7显示了2021年新生产货车的从油井到车轮环节二氧化碳排放强度分布。其中, 76%以上的电动物流货车、90%的电动自卸货车以及45%的电动半挂牵引车的

16 国际清洁交通委员会 (ICCT), “路线图模型1.8版本”, (华盛顿, 2022年), 详见: <https://theicct.github.io/roadmap-doc/versions/v1.8/>.

从油井到车轮环节二氧化碳排放低于同级柴油车。从车队平均角度来看，2021年电动物流货车、电动自卸货车和电动半挂牵引车的车队平均二氧化碳排放（从油井到车轮环节）分别比柴油车队低35%、54%和28%，换句话说，如果广东在2021年用电动货车完全取代柴油货车，则物流货车、自卸货车和半挂牵引车的车队二氧化碳排放（从油井到车轮环节）将可分别减少35%、54%和28%。这充分说明广东省可以通过推动货车电动化实现巨大的减排收益。假设按照“十四五”规划的设定，未来电网构成可以变得更加清洁，车辆能效也进一步提升，发展电动货车将可进一步减少广东省货车从油井到车轮环节的二氧化碳排放。

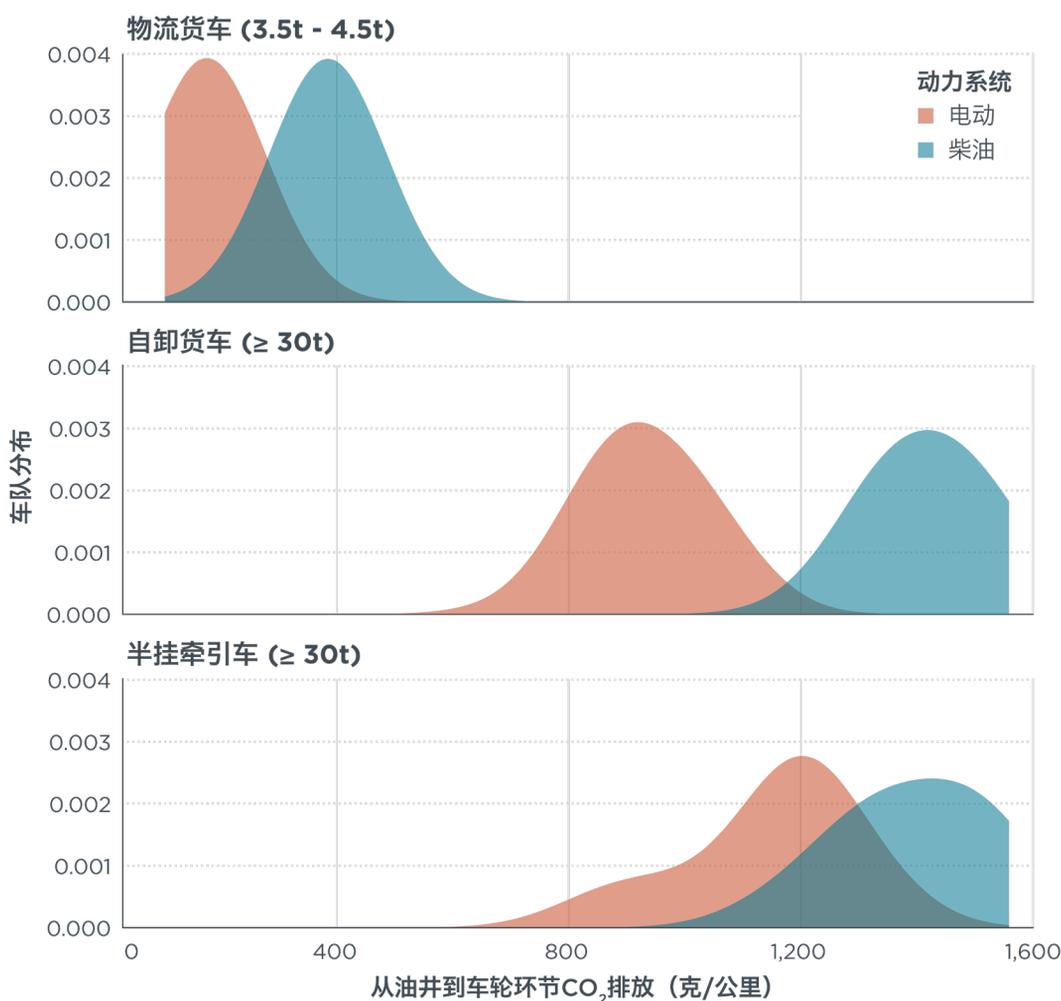


图7. 2021年广东省三类典型货车车队从油井到车轮环节的二氧化碳排放（电动货车与柴油货车对比）

泥头车在广州市和佛山市的车辆拥有总成本 (TCO)

本次研究分析表明，自卸货车领域推广电动化的契机目前已较为成熟，从地方调研结果来看，广东省的零排放自卸货车主要用于建筑材料和建筑垃圾运输，俗称“泥头车”。ICCT此前的相关研究表明，深圳市已经在泥头车电动化方面取得了较为实质的进展¹⁷。在本次研究中，我们以广州和佛山两个零排放货车发展较为领先的城市作为研究对象，对泥头车的车辆拥有总成本 (TCO) 进行了分析。我们选择了三

¹⁷ 毛世越、Hussein Basma、Pierre-Louis Ragon、周圆融、Felipe Rodríguez, 《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》（华盛顿特区：国际清洁交通委员会，2021年），详见：<https://theicct.org/publication/total-cost-of-ownership-for-heavy-trucks-in-china-battery-electric-fuel-cell-and-diesel-trucks/>.

款销量最高的车型（详见表7），其中2021年在广州和佛山销售了100辆比亚迪纯电动自卸车和200辆开沃燃料电池自卸车，均主要用于建筑行业。

为了使TCO计算结果更加精准，我们进一步定义了在广州和佛山本地的泥头车典型应用情景，在本地情景下，泥头车应用于建筑材料和建筑垃圾运输，日均行驶里程为300公里，平均有效负载为70%。

方法论

本此研究采用了ICCT的零排放交通能源和成本分析（AZTEC）模型，图8展示了该模型的整体方法论¹⁸。该模型可以在设定好的应用情景下（包括具体的日行驶里程、平均负载、能耗和行驶工况循环）计算出单车的投资成本和运营成本。除了上述情景设定参数外，还需要向模型中输入车辆技术规格、车辆能效以及其他一些必要的相关成本数据。最终，将投资成本和逐年的运营成本相加，就能够估算出车辆在特定年份周期内的TCO。此次分析的基准年为2021年，关键数据、假设条件和分析结果将在接下来的章节中进一步予以阐释。

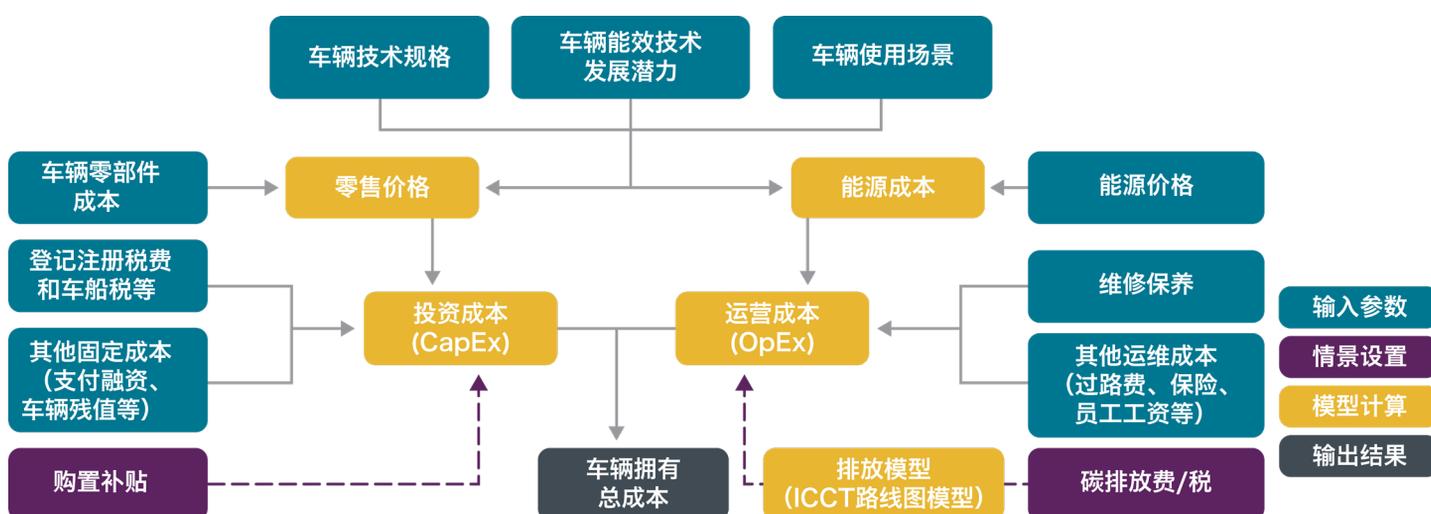


图8. ICCT的AZTEC模型方法论

投资成本支出

零售价格

2021年，广州和佛山的典型泥头车零售价格分别为：东风柴油泥头车40万元人民币（约合5.8万美元）、比亚迪纯电动泥头车120万元人民币（约17.5万美元）、开沃燃料电池泥头车90万元人民币（合13.1万美元）。我们通过市场调研发现，不同制造商和不同型号的零排放泥头车价格差异会很大，价格最低的电动车型可低至80万元人民币（约合11.6万美元），价格最高的燃料电池车型可高至150万元人民币（约合21.8万美元）。

18 国际清洁交通委员会（ICCT），“Analyzer of Zero-emission Transportation Energy and Costs Documentation”（零排放交通能源与成本分析资料），（华盛顿特区，2022年），详见：<https://github.com/theicct/AZTEC-doc>。

零售价格在一定程度上取决于每款车型的制造成本。我们以2021至2035年为时间节点，对车辆成本进行了评估，评估方法采用的是与此前深圳相关研究¹⁹相同的方法论，即将车辆成本划分为动力传动系成本（包括发动机、变速器、电动机和其他动力电子设备）、储能系统成本（零排放货车的电池或燃料电池组）和基础车架成本（包括底盘、车轴、悬架、车轮和驾驶室）。

柴油泥头车

根据我们的评估，柴油传动系统成本约占柴油泥头车总价格的51.7%，我们假设这个比例在研究周期内保持不变²⁰。其余成本则为柴油货车的基础车架成本。

在对柴油泥头车进行评估时，我们还应用了经过重新校准的ICCT成本曲线，以预测未来柴油泥头车的车辆能效、车辆质量和成本²¹。表9列出了我们对柴油泥头车潜在能效技术及其附加成本的假设。

表9. 柴油货车能效技术及其附加成本假设

时间周期	技术	细节	成本 (¥)	成本附加至
2021至2024年	3阶段油耗标准认证	制动热效率峰值 (PBTE): 40% + AMT	—	—
	降低道路阻力	降低滚动阻力(RR) 26.5% 减少车辆质量1.4%	3950	底盘
	使用2017款最佳性能发动机	PBTE: 42%	4570	传动系统
2025至2029年	4阶段油耗标准认证	驱动系统销量提升2%	2800	传动系统
	降低道路阻力	降低滚动阻力(RR): 33.8% 减少车辆质量2.8%	4670	底盘
	使用2020+款最佳性能发动机	PBTE: 43.6%	14660	传动系统
	降低道路阻力	降低滚动阻力(RR): 36.8% 减少车辆质量6.9%	10400	底盘
	加装废热回收装置	PBTE: 46.2%	18000	传动系统
	降低道路阻力	降低滚动阻力(RR): 41.2% 减少车辆质量15%	45300	底盘
2030年至2035年	使用2030款新型发动机	PBTE: 50%	10000	传动系统
	使用混合动力技术	再生效率: 60%	73300	传动系统

19 毛世越、Hussein Basma、Pierre-Louis Ragon、周圆融、Felipe Rodriguez, 《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》。

20 Michael Fries、Maximilian Lehmeier、Markus Lienkamp, 英文报告“Multi-Criterion Optimization of Heavy-Duty Powertrain Design for the Evaluation of Transport Efficiency and Costs,” 2017 电气与电子工程师协会 (IEEE)第20届智能交通系统国际会议, 2017, 1-8, 详见: <https://doi.org/10.1109/ITSC.2017.8317753>.

21 Dan Meszler、Oscar Delgado、杨柳含子, 英文报告“Heavy-Duty Vehicles in China: Cost-Effectiveness of Fuel-Efficiency and CO₂ Reduction Technologies for Long-haul Tractor-trailers in the 2025-2030 Timeframe” (华盛顿特区, 国际清洁交通委员会, 2019年), 详见: https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/China_HDV_long-haul_efficiency_cost_20190312.pdf.

零排放泥头车

我们采用ICCT委托咨询顾问提供的方法论对零排放泥头车的传动系统成本进行了评估。传动系统包括电动机、变速器、逆变器、动力系统电子设备、车载充电器和电池热管理系统²²。表10列出了关键零部件的成本数据。

表10. 零排放货车主要零部件成本假设

	单位	纯电动货车		燃料电池货车	
		2021	2035	2021	2035
电动驱动系统	人民币元/kW	510.3	121.5	510.3	121.5
动力系统电子设备	人民币元/kW	182.25	182.25	182.25	182.25
车载充电器	人民币元/kW	486	486	486	486
热管理系统	人民币元/kW	141.75	141.75	60.75	60.75
储氢罐	人民币元/kg	—	—	4,500	2,000

此次分析的电动泥头车装配的是445kWh的磷酸铁锂能量型电池，燃料电池泥头车装配的是130 kW的燃料电池组附加60 kWh的磷酸铁锂动力型电池。2021至2023年能量型电池和动力型电池的成本数据是通过本地调研获取的，2023年之后的能量型电池和动力型电池成本预测以及2021-2035年期间的燃料电池组成本均来源于国际自动机工程师学会 (SAE) 中国路线图2.0报告和ICCT全球零排放货车购置成本研究报告 (图9)²³。

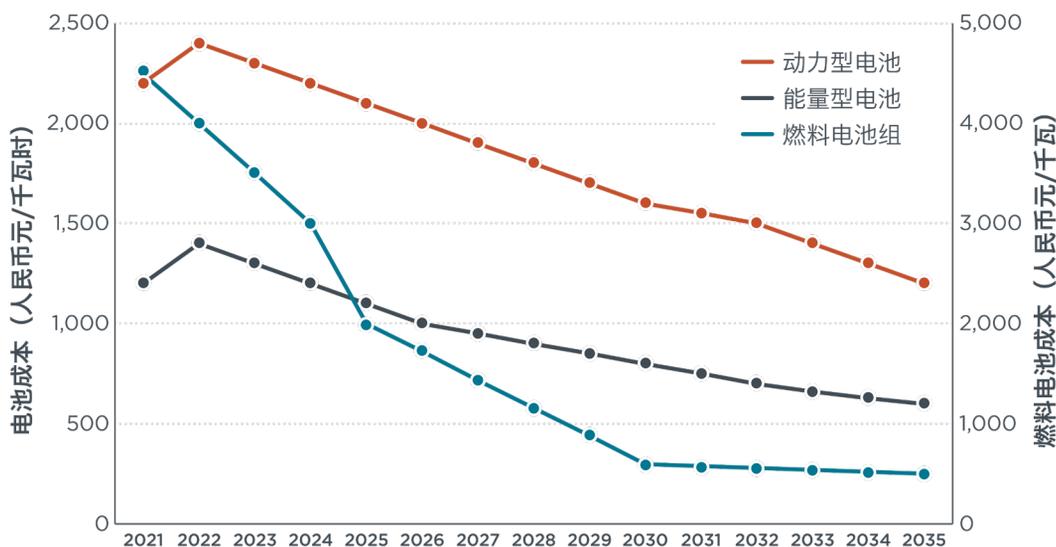


图9. 2021-2035年电池组及燃料电池组成本

与之前开展的深圳相关研究一样，我们同样以2021-2035年为时间节点，考虑了零排放泥头车动力技术和能效技术的发展潜力 (表11)，在评估能效技术时，我们同样考虑了纯电动和燃料电池货车与柴油货车一样的车身轻量化、降低空气动力等技术路径。

22 Edward Anculle, Piyush Bubna, Mark Kuhn, 英文报告 “E-truck Virtual Teardown Study: Final Report.” (华盛顿特区, 国际清洁能源委员会, 2021年), 详见: <https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/01/Final-Report-eTruck-Virtual-Teardown-Public-Version.pdf>.

23 Ben Sharpe和Hussein Basma, 英文报告 “A Meta-Study of Purchase Costs for Zero-Emission Trucks” (华盛顿特区, 国际清洁能源委员会, 2022年), 详见: <https://theicct.org/publication/purchase-cost-ze-trucks-feb22/>; 工信部, 《节能与新能源汽车技术路线图2.0》, 2021年, 详见: https://www.miit.gov.cn/xwdt/gxdt/sjdt/art/2020/art_45069e679ed2437dba3d13833cef02e.html.

表11. 纯电动和燃料电池货车动力和能效技术发展潜力假设

	单位	2021年	2025年	2030年	2035年
纯电动自卸货车					
电池能量密度	Wh/kg	160	180	210	235
电池容积	kWh	445	405	354	334
整备质量	kg	17050	16027	14748	13470
负载质量	kg	13820	14843	16122	17401
燃料电池自卸货车					
燃料电池密度	W/kg	285	335	398	460
燃料电池效率峰值		0.5	0.55	0.6	0.6
电池容积	kWh	60	60	60	60
氢储量	kg	47	40	32	30
储氢罐质量	kg	940	805	670	600
整备质量	kg	16800	15936	14856	13776
负载质量	kg	14070	14934	16014	17094

零售价格验证和预测

为了验证零售价格的计算方法是否合理准确，我们将上文中评估出的2021年柴油、电动和燃料电池泥头车零售价格与2021年的实际零售价调研结果进行了对比，图10展示了广州和佛山泥头车的最终零售价格验证和预测。2021年，此次选定的柴油、电动和燃料电池泥头车的验证后零售价格分别为人民币40万元、120万元和90万元，图中的阴影区域是当前市场不同车型的潜在零售价格范围。从2021年到2035年，随着混合动力技术的应用，柴油泥头车的零售价格将上涨47%，但混合动力技术可实现车辆能效的实质性提升。与此同时，纯电动和燃料电池泥头车的价格则将分别下降40%和45%。

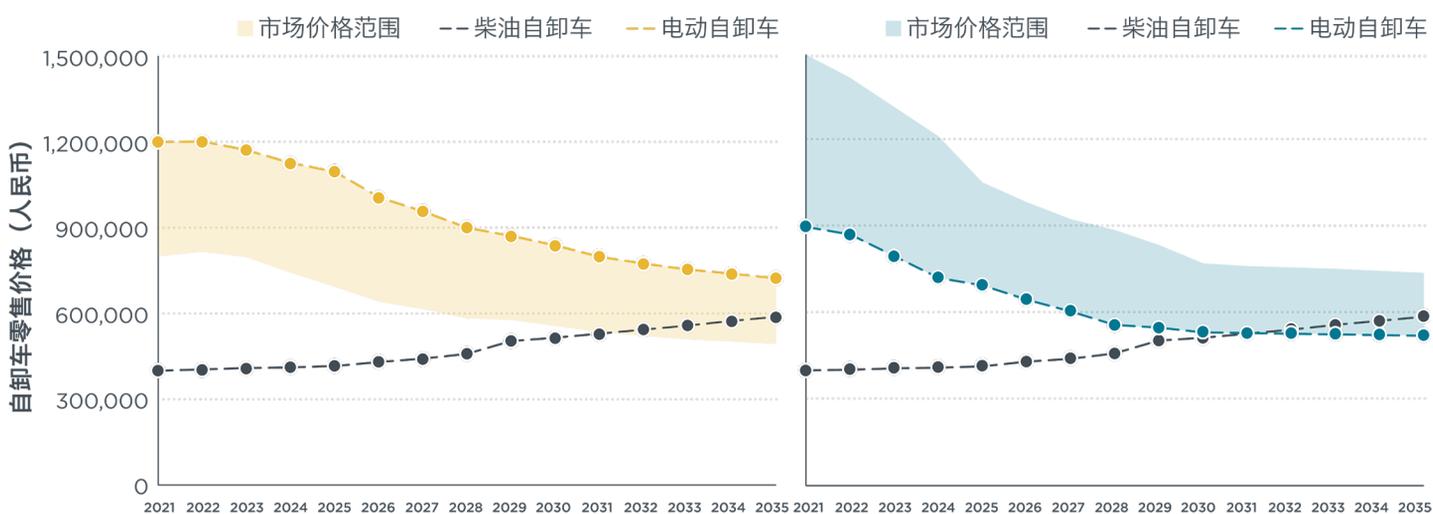
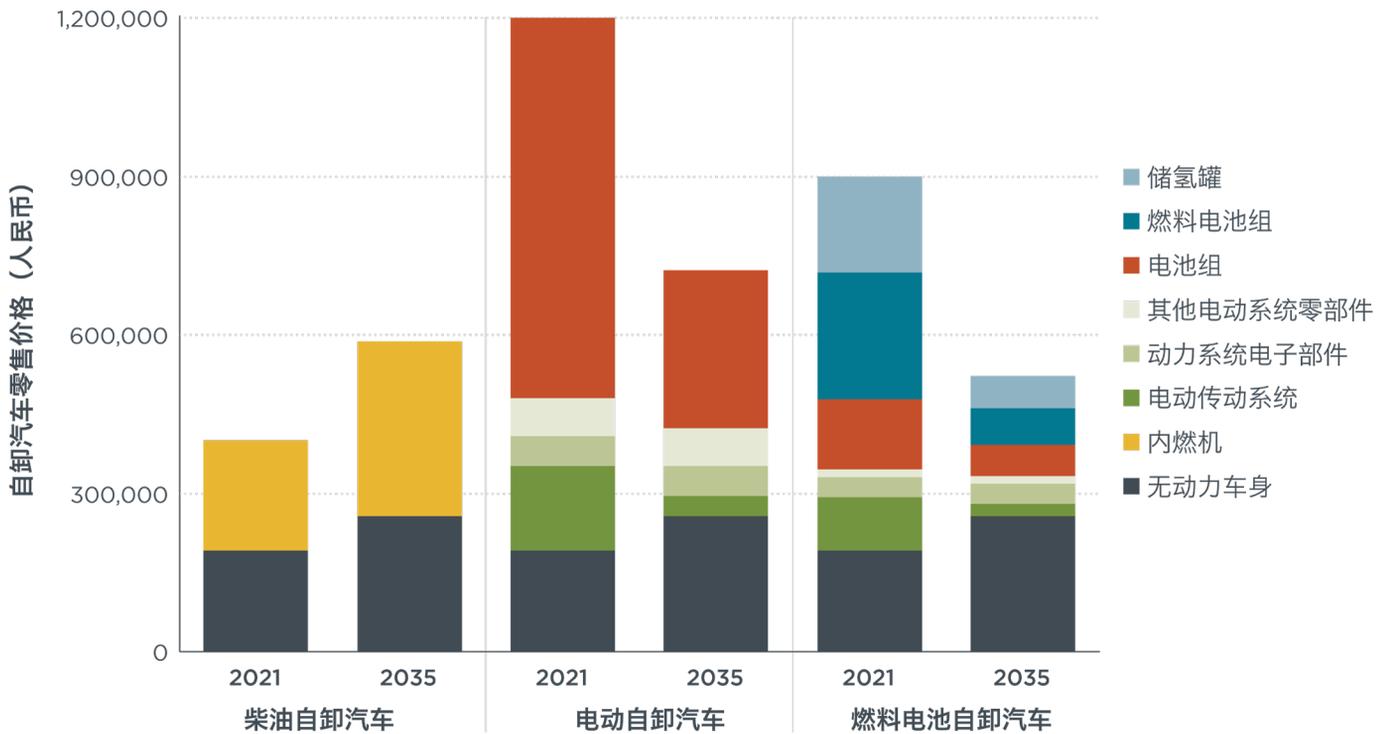


图10. 纯电动和燃料电池泥头车2021-2035年零售价格预测

图11展示了2021年和2035年广州和佛山所有燃料类型泥头车零售价格构成，从图中可以看出，储能系统是成本占比较大的关键部件。对于电动泥头车，随着电池技术的改进，电池组在总零售价格中的占比将从2021年的60%下降至2035年的42%，而随着更多能效技术的应用，基础车架成本的占比将从16%提高至30%。燃

料电池泥头车也存在类似的情况，电池组在总零售价格中的占比将从2021年的41%下降至2035年的25%，储氢罐的成本占比将从20%下降至12%。



注：其他电动系统零部件包括车载充电器和热管理系统。

图11. 2021和2035年广东省和佛山市柴油、电动和燃料电池泥头车的零部件成本构成及零售估价

其他投资成本

注册税：在中国的税收体系下，货车需要缴纳的税费包括购置税和车船税。目前，广东省的常规柴油货车需缴纳车辆价格10%的购置税，对电动和燃料电池货车免征购置税。

融资支付成本：为了与深圳的相关研究保持一致，本次研究假设广东省所有泥头车都是通过贷款购买的。柴油货车的首付为50%²⁴，贷款期限为3年，年利率为10%。

贴现率：贴现率设定为10%，以与深圳相关研究相一致²⁵。

残值：本地调查结果和ICCT近期发布的相关研究报告中的车辆生存曲线均表明，大多数泥头车的运营周期在5年左右，然后会在其达到报废里程上限之前被出售或报废²⁶。因此，本次研究同时考虑了货车折旧及其相应的电动系统折损。

24 自2018年起，中国人民银行和中国银行保险监督管理委员会规定，购车贷款金额不得超过柴油货车价格的70%，不得超过纯电动和燃料电池货车价格的75%。

25 毛世越、Hussein Basma、Pierre-Louis Ragon、周圆融、Felipe Rodriguez，《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》。

26 牛天林、杨柳含子、金伶芝、邵臻颖、冒晓立、孟至航，英文报告：“China Clean Diesel Program: Benchmarking with International Best Practices and Policy Recommendations”。

我们采用了与深圳相关研究相同的数据，对于非电动泥头车，5年后的残值设定为40%。电池和燃料电池组的折旧率则采用了ICCT路线图2.0模型中的5年残值估值（表12）。

表12. 5年旧电池和燃料电池组在不同车型年的残值

	2021	2025	2030	2035
电池组	16%	22%	30%	40%
燃料电池组	5%	25%	50%	65%

运营成本

能源成本

单车的能源成本取决于特定使用情景下的车辆活动水平、能耗及能源价格。下文中使用的各项参数均基于车辆在广东省建筑行业使用的应用情景。

车辆活动水平

根据在广东当地开展的调研，用于建筑施工的泥头车的日均行驶里程为300公里，平均有效负载为70%。

能耗

本次研究中泥头车的基准能效是从广州和佛山货车车主调研收集的真实数据，详见图12。

对于用于分析预测柴油、电动和燃料电池泥头车未来能耗的变化是采用西门子Amesim平台下搭建的能耗模拟模型预测的，对未来能耗的预测也充分考虑了表9和表11中的各项动力和能效技术的潜在发展²⁷。研究利用调研中获得的实际道路运行工况模拟了2021年的泥头车能效，并通过实际调研数据的对比对模型进行了验证²⁸。

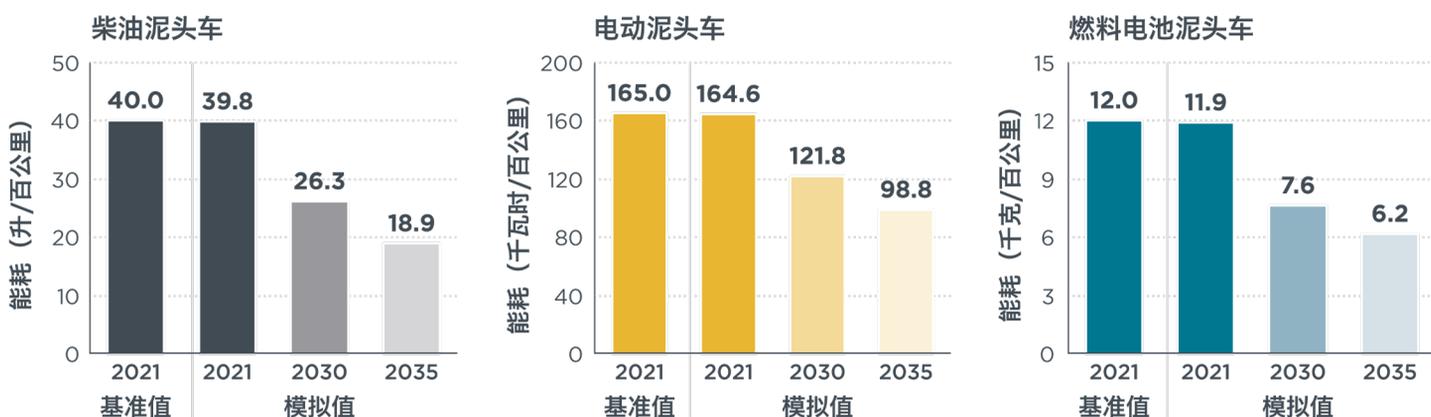


图12. 广东省泥头车的基准能耗和能耗预测

27 Simcenter Amesim是一个模拟平台系统，工程设计人员可以虚拟访问该系统，并对其进行优化，详见“Simcenter Amesim 软件”，2023年，<https://plm.sw.siemens.com/zh-CN/simcenter/systems-simulation/amesim/>。

28 牛天林、Felipe Rodríguez，《中国下一阶段重型车排放标准建议——基于国VI车辆测试结果》（华盛顿特区，国际清洁交通委员会，2022年），详见：<https://theicct.org/publication/china-hdv-emissions-testing-oct22/>。

柴油燃料价格

当地调研结果显示, 2021年9月到2023年1月, 广州市和佛山市的柴油零售含税价在人民币7.28元/升到9.04元/升之间波动, 本次研究采用了8.00元/升的柴油平均价格, 并且默认从2021年到2035年柴油价格不变。

电能价格

目前, 广东省建筑行业使用的电动货车均使用的是公共快速充电桩, 我们假设这种情况将持续至2035年, 同时假设充电价格和典型充电行为也在2035年以前保持不变。表12展示了广东当地的充电价格, 其中基础设施维护费、停车费和供应商的人工成本均包含在服务费当中。

表12. 充电价格

		价格(人民币/千瓦时)	使用比例
基础电价成本	波谷	0.2	90%
	常规	0.6	8%
	波峰	1.2	2%
服务费		0.6	

燃料氢价格

燃料氢的零售价格是使用下方公式估算的, 该公式包括燃料氢生产、运输以及加氢站建设和维护的成本, 此外公式中还考虑了为燃料电池货车提供的加氢直接补贴, 具体公式如下:

$$\text{价格}_{\text{燃料氢}} = \text{成本}_{\text{生产}} + \text{成本}_{\text{运输}} + \text{成本}_{\text{加氢站}} - \text{补贴}$$

生产成本是根据广东省不同制氢途径的加权平均成本估算得出的。根据广东省环境科学研究院的相关研究报告和佛山市发布的《氢能产业发展三年行动计划》, 氢能生产途径主要是工业副产品和天然气制氢两种模式。表13列出了对未来各类制氢途径占比的假设。副产品制氢是指在工业化学过程中产生了副产物氢, 可再生氢和电解水制氢则分别指通过可再生电力和普通电力进行电解水制氢, 甲烷水蒸气重整 (SMR) 制氢是指通过天然气制取氢。无论是哪种制氢途径, 都包括能源成本 (工业用电、煤、天然气) 和生产设施成本。我们对未来制氢途径的预测基于广东省相关发展规划以及ICCT近期针对中国氢能发展进行的相关研究²⁹, 不同制氢途径的成本数据均来自于研究报告《全生命周期评价的中国制氢路线能效、碳排放及经济性研究》³⁰。

29 周圆融、张真、黎妍, 英文报告 “Life-Cycle Analysis of Greenhouse Gas Emissions of Hydrogen, and Recommendations for China,” (华盛顿特区, 国际清洁交通委员会, 2022年), 详见: <https://theicct.org/publication/china-fuels-lca-ghgs-hydrogen-oct22/>.

30 郑励行等, 《基于全生命周期评价的中国制氢路线能效、碳排放及经济性研究》, “Journal of Engineering Thermophysics (《工程热物理杂志》)”, No. 9 (2022): 2305-17. 详见: https://www.nstl.gov.cn/paper_detail.html?id=2c3c4b7ee71cbff92683c192e735bd59.

表13. 2021-2035年期间的制氢途径和预期成本

制氢途径	信息	2021	2025	2030	2035
副产品氢	占比	42.0%	50.0%	60.0%	60.0%
	成本 (人民币/千克)	35.1	38.2	42.1	42.2
可再生氢	占比	2.0%	10.0%	30.0%	30.0%
	成本 (人民币/千克)	83.3	74.1	62.6	56.6
电解水制氢	占比	0.2%	1.0%	3.0%	5.0%
	成本 (人民币/千克)	32.4	30.0	27.0	24.0
SMR制氢	占比	55.8%	39.0%	7.0%	5.0%
	成本 (人民币/千克)	35.1	38.2	42.1	42.2

2021年, 广东省氢能的平均**运输成本**估值为人民币12元/千克, 到2035年将降至3元/千克。

加氢站成本包括加氢站的建设和维护成本, 根据ICCT此前的研究, 2021年加氢站成本估值为人民币14元/千克, 到2035年将降至10元/千克³¹。

上文表5中列出了2023年及之前提供的氢能补贴。考虑到2035年氢零售价格达到25元/千克的目标, 我们预期在2024年至2035年期间都将提供氢能补贴。图13展示了最终的燃料氢零售估价, 需要说明的是, 由于并没有关于氢能是否可征收燃料税或其他税种的信息, 所以此次研究并未考虑税收减免。

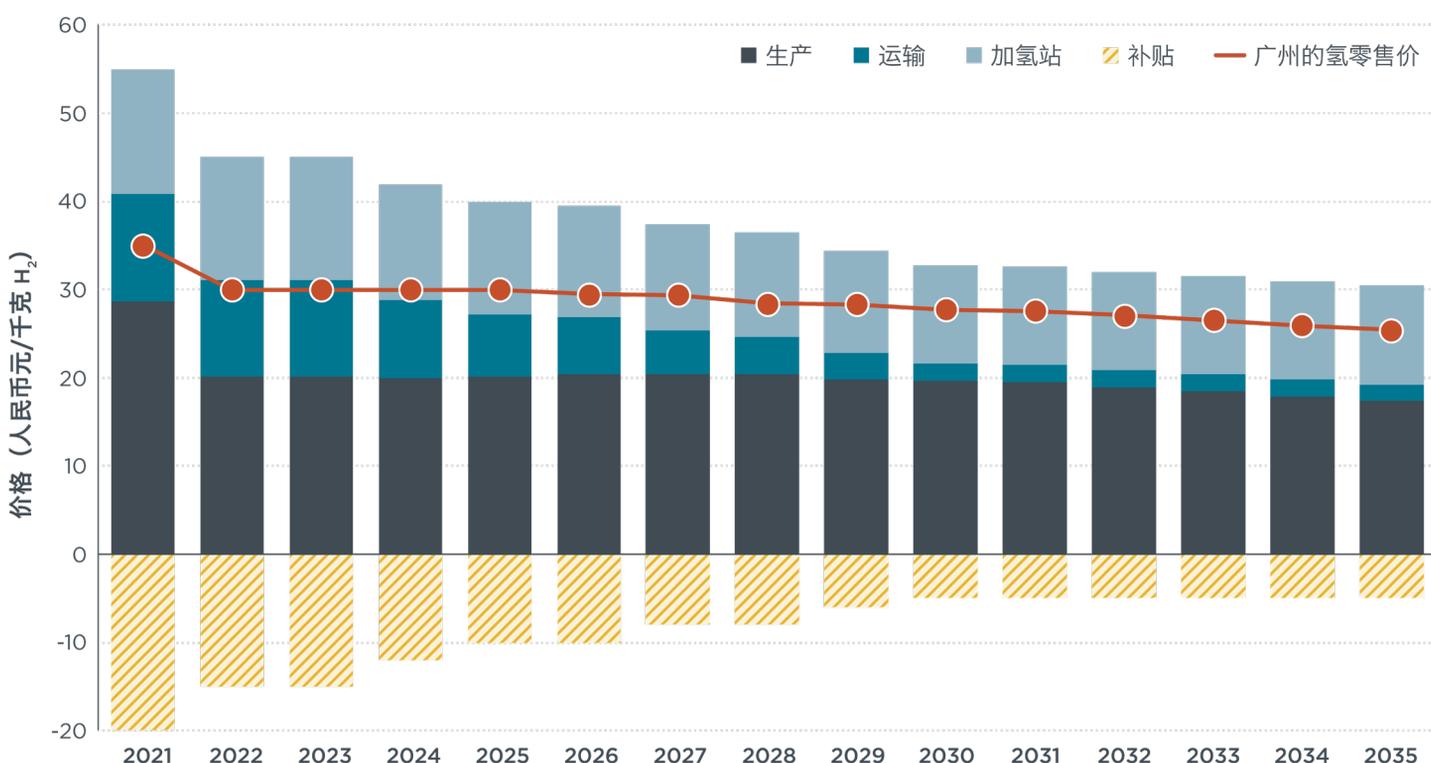


图13. 2021-2035年广东省氢能零售价格预测

31 毛世越、Hussein Basma、Pierre-Louis Ragon、周圆融、Felipe Rodriguez, 《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》。

其他摊销成本

车船税: 柴油货车每年需缴纳每吨整备质量96元人民币的车船税, 但对零排放货车免征车船税。

维修保养成本: 货车的维修保养成本因车型和传动系统技术而异, 根据在广东本地开展的调研, 柴油、电动和燃料电池泥头车的维修保养成本估值分别为人民币0.325元/公里、0.218元/公里和0.228元/公里。上述估值没有考虑电池或燃料电池组的更换成本。另外一个变量就是轮胎的磨损和更换, 这也会对维修保养成本造成影响, 但由于没有发现适用的数据, 因此未能确认电动和柴油货车之间是否存在轮胎耐久性方面的差异。

停车费和过路费: 本次调研的泥头车应用场景中未涉及停车费或过路费。

其他费用: 柴油、电动和燃料电池泥头车的车辆保险、驾驶员薪资、其他员工工资等成本设定为每年20万元人民币。

5年车辆拥有总成本 (TCO) 分析

政策情景

本次研究共考虑了三种包含不同财税激励措施的政策情景:

1. 现有政策情景 (BAU), 代表截至2022年12月已实施的政策措施。
2. 1号政策情景 (P01): 在该情景下引入了对电动和燃料电池泥头车的购置补贴, 补贴额度可以完全填补柴油和电动泥头车之间的TCO差距, 目前在该情景下设定的最高直接补贴额度为每辆泥头车25万元人民币 (低于深圳提供的补贴额)。
3. 2号政策情景 (P02): 在该情景下, 2025年以后将针对柴油货车征收额外的碳排放税, 另外通过提供补贴来填补剩余的TCO差距。碳排放税是根据车辆的温室气体年排放量来征收的 (基于20年全球变暖潜能值, 简称GWP-20), 车辆的温室气体排放量是采用ICCT路线图模型, 输入车辆规格和能耗参数后计算得出的。碳价格是根据我们对中国未来碳市场价格的预测和欧洲货车的碳价格建议来设定的 (表14)。

表14. 2025年以后广东省柴油货车碳排放价格设定

		2021	2025	2030	2035
本次研究设定的碳排放税	人民币元/吨 CO ₂ 当量, GWP-20	—	50	175	250
对应的日收费和年收费	人民币元/天 人民币元/年	—	15 5000	40 14000	50 18000
中国的碳价格 ³²	人民币元/吨	5-20	25-80	84-334	284-1134
伦敦牛津的 排放费 ^a	人民币元/天 (英镑/天)	18-90 (2-10)	36-180 (4-20)		

^a Hussein Basma, Felipe Rodriguez, Julia Hildermeier, Andreas Jahn, 英文研究报告“Electrifying Last-Mile Delivery: A Total Cost of Ownership Comparison of Battery-Electric and Diesel Trucks in Europe” (华盛顿特区, 国际清洁交通委员会, 2022年), 详见: <https://theicct.org/publication/tco-battery-diesel-delivery-trucks-jun2022/>.

结论

图14展示了广州和佛山市最畅销的柴油、电动和燃料电池自卸车汽车的5年TCO。在现有政策情景下, 比亚迪的电动车型和天威的燃料电池车型都可以在2028年与东风的柴油车型实现5年TCO平价。加上1号政策情景下的财政激励措施, TCO平价时间将有所提前: 电动车型可提前至2023年, 燃料电池车型可提前至2026年。在2号政策情景下, 燃料电池车型的TCO平价时间可进一步提前至2025年。

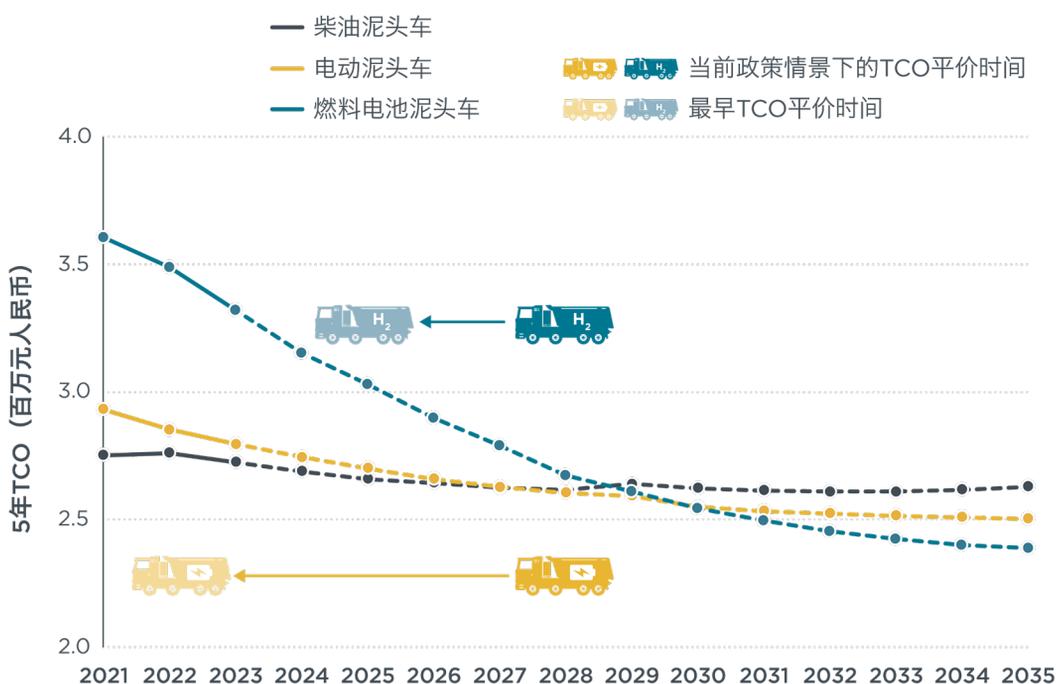


图14. 2021至2035年广州市和佛山市最畅销的柴油、电动和燃料电池泥头车的5年TCO和平价时间点。

32 Hongyu Zhang, Da Zhang, Xiliang Zhang, 英文报告: “The Role of Output-Based Emission Trading System in the Decarbonization of China’s Power Sector,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 173 (2023年3月), which will promote its transformation. This study explores how China’s national ETS can support the future decarbonization of the power system. With benchmark tightening, China’s ETS can cost-effectively peak CO₂ emissions of the power sector before 2030 and reduce 13% of the total emissions by 2035, compared to a No-Carbon-Pricing Scenario. Under the ETS, the allowance price would rise gradually to 350 yuan/tCO₂ by 2035. The main driving factor for emissions reduction would be improving the efficiency of coal-fired power generation between 2020 and 2025 and deploying carbon capture and storage (CCS) 详见: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113080>.

图15展示了投资成本和运营成本在TCO核算结果中的占比。其中，购置成本和能源成本是影响最大的两项因素，虽然其他运营成本也会占到TCO的40%-50%，但这部分因素对TCO平价的影响很小，因为三种车型（柴油、电动、燃料电池）在这部分的成本是非常相似的。

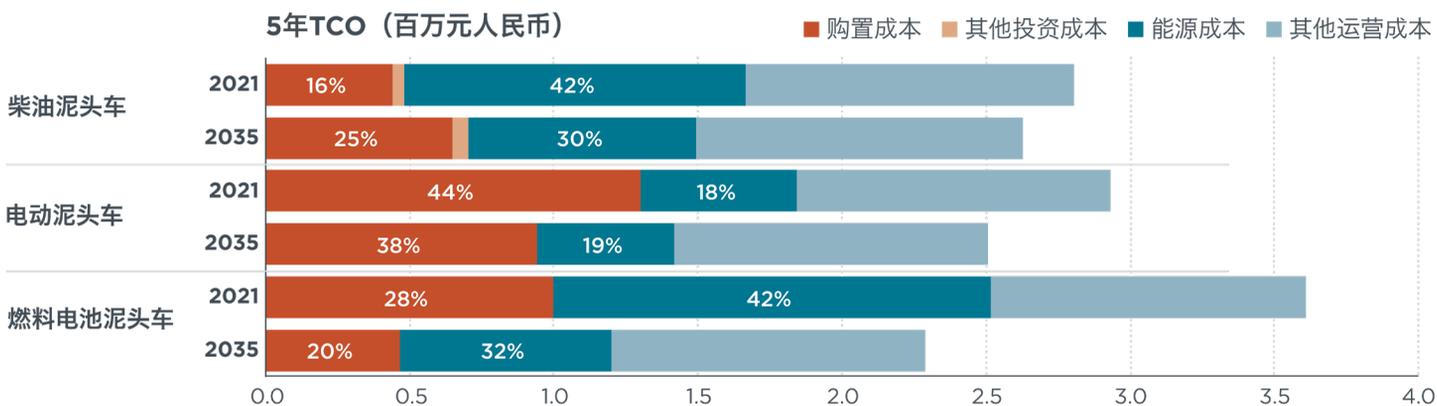


图15. 2021和2035年柴油、电动和燃料电池泥头车的5年TCO构成分析

图16展示了每种情景下的具体补贴和碳税金额。图中条纹部分代表了政府可能难以负担的补贴，因为补贴的金额非常高。在1号政策情景下，为了实现电动与柴油泥头车之间的5年TCO平价，政府需要在2023年为每辆电动泥头车提供7万元人民币的购置补贴，但这一补贴金额到2027年将降至每辆车3500元人民币。燃料电池泥头车方面，政府可以自2026年开始为每辆车提供15.5万元人民币的购置补贴，以实现燃料电池车型与柴油车型之间的成本平价。在2号政策情景下，随着碳排放税或其他同类收费（按日征收或按年征收）的实施，零排放泥头车与柴油泥头车之间的TCO差距将进一步缩小。对于电动泥头车，政府可以只提供2年的补贴，2023年的补贴金额为每辆车5万元人民币，2024年可降至2.25万元人民币。对于燃料电池泥头车，在2号政策情景下，TCO成本平价的时间可提前至2026年（比1号政策情景提前了1年），2025年的补贴金额则可从每辆车28万元人民币降至16.5万元，2027和2028年所需的补贴金额也将随之大幅降低。

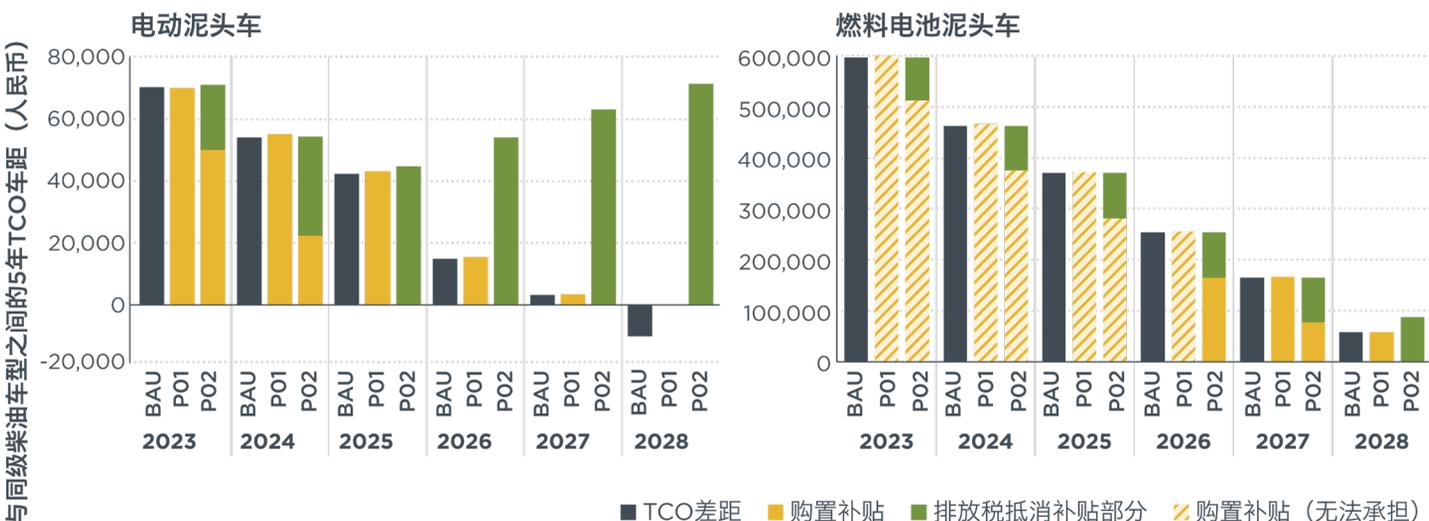


图16. 具体激励方案（包含补贴和碳排放税）对TCO的影响

此外，建筑行业应用泥头车的收费价格设定为人民币12元/公里左右（相当于0.7元/吨-公里），一辆泥头车运营5年的收入预计为400万元人民币。这表明应用于建筑行业的柴油、电动和燃料电池泥头车都是可以实现盈利的。

零售价格敏感性分析

车辆定价并不直接对应制造成本，在广州和佛山，最畅销的车型分别为相对较贵的一款电动泥头车和相对较便宜的一款燃料电池泥头车。这一现象可能会对TCO结果产生显著影响，因此我们采用最便宜的电动车型和最贵的燃料电池车型进行了敏感性分析，结果详见图17和18。

根据评估，最便宜的电动泥头车在2021年就已经实现了与柴油车型之间的成本平价，而更贵的燃料电池汽车则要到更晚的时间（2035年）才能实现与柴油车型的成本平价。因此，需要制定激励政策来促进燃料电池汽车早日实现TCO平价，将平价时间节点从2035年缩短至2030年。在1号和2号政策情景下，都可以加速实现TCO平价，但在2号政策情景下有了额外的碳排放税政策，政府需要提供的补贴会减少，且TCO平价时间也可以提早至2030-2032年。

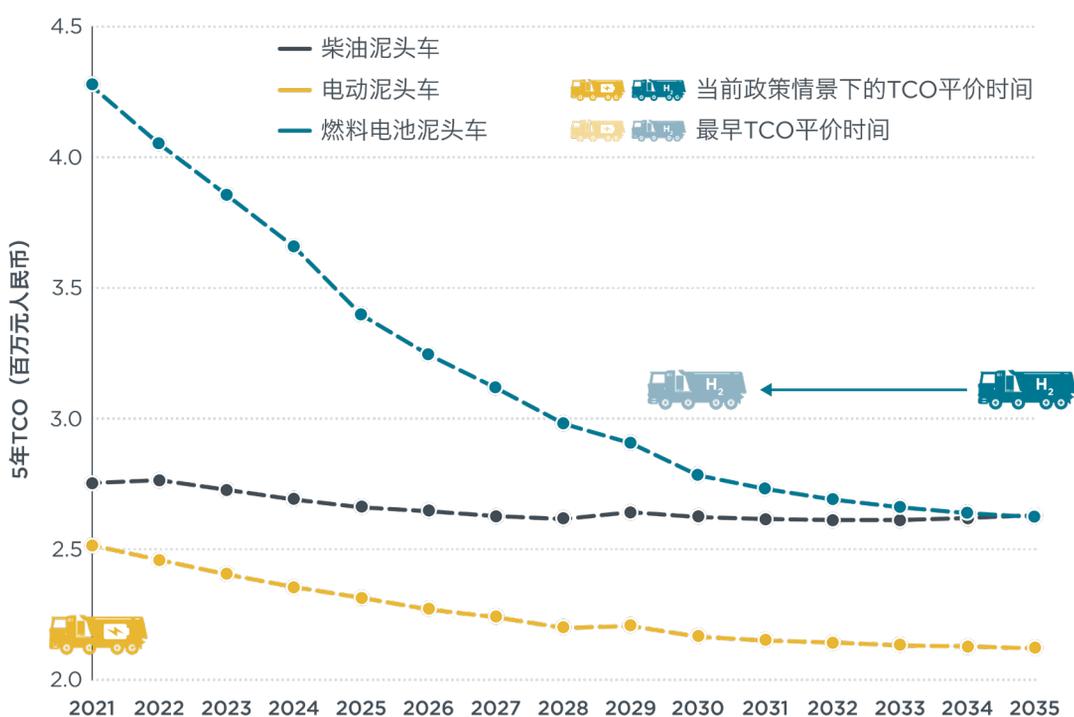


图17. 2021至2035年广州市和佛山市最畅销的柴油泥头车、最便宜的电动泥头车和最贵的燃料电池泥头车的5年TCO和平价时间点。

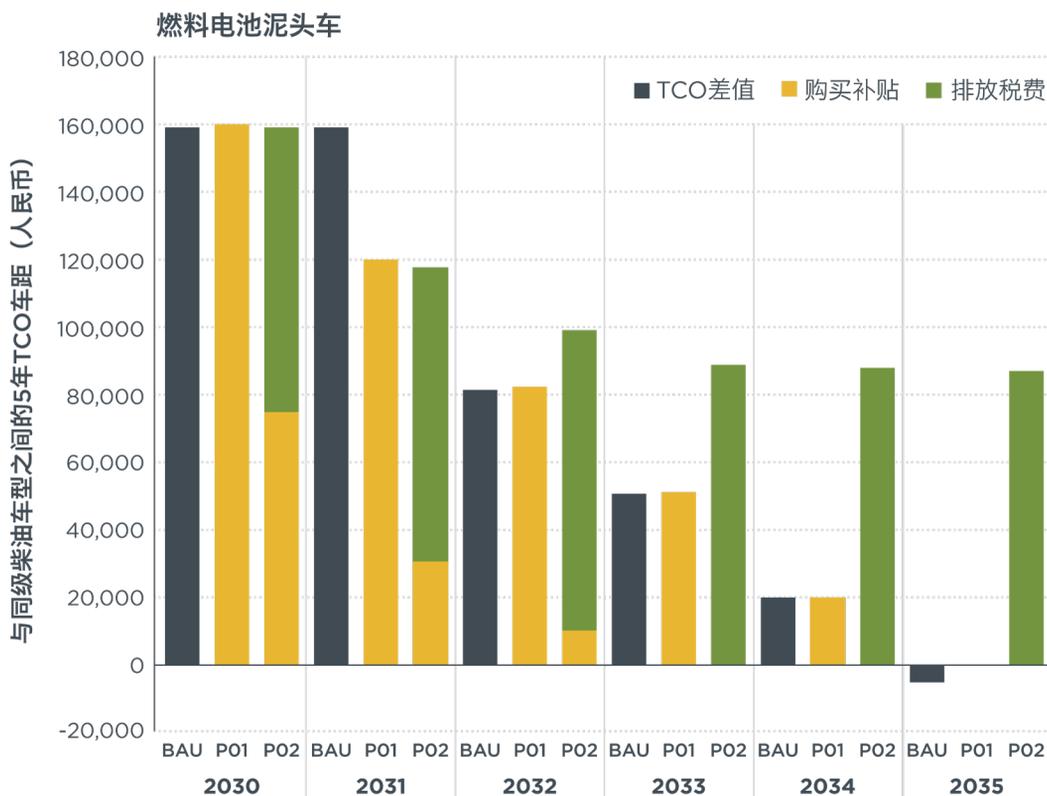


图18. 各项激励方案和碳税对最贵的燃料电池车型TCO的影响

结论与政策建议

根据广东省重型货车电动化的发展目标，本次研究考察了广东省零排放货车市场的发展情况，重点关注了推动零排放货车应用的政策措施、碳减排潜力以及省级和市级层面的实际应用案例。本次研究还针对广州市和佛山市泥头车的主要使用场景（建筑材料和建筑垃圾运输）对车辆拥有总成本（TCO）进行了综合分析，并研究了可以加速推动TCO平价的激励方案。

我们发现，零排放物流运输配送汽车在广东省已经实现了保有量的实质性增长和商业化应用。自卸货车方面，在特定的应用情景下，现有的零排放车型已经能够有效替代同级柴油车。目前的主要挑战在于如何推动零排放自卸货车的销售，出台有针对性的激励政策可以帮助降低零排放自卸货车的TCO。半挂牵引车方面，仍需要进一步提升现有零排放车型的技术水平，使其能够适应长途货运需求，技术进步这是出台相关政策大规模推动零排放半挂牵引车的必要前提。

对于城市而言，可以通过向零排放货车过渡转型来减少二氧化碳排放。根据评估，2021年电动物流货车、自卸货车和半挂牵引车的车队平均二氧化碳排放（从油井到车轮环节）分别比柴油货车低34%、54%和18%。在中国的碳达峰目标下，电力行业还将持续脱碳，车辆能效也将持续提升，未来零排放货车将能够为广东带来更大的二氧化碳减排效益（从油井到车轮环节）。

此外，为零排放货车提供购置补贴并针对柴油货车征收排放费，可以填补零排放车辆与柴油车辆之间的TCO差距。根据估算，广州市和佛山市最畅销的纯电动

和燃料电池泥头车最早分别可在2023年和2025年实现与畅销柴油泥头车之间的TCO平价。购置价格和能源成本是零排放车辆TCO的主要组成部分,部分价格较为便宜的电动车型(其负载能力与广东和佛山市场上最畅销的电动和燃料电池车型相似,定价为80万元人民币)在2021年就已经可以实现与同级柴油车型之间的TCO平价。反过来,一些价格更为昂贵的燃料电池车型则预计要到2030年以后才能实现与柴油车型之间的TCO平价。

基于上述这些结论,我们建议通过发展以下政策来推动广州市和佛山时的货车电动化,这些政策措施同时也可以为中国其他城市提供参考:

根据当地的使用情况,因地制宜地制定自卸货车和半挂牵引车激励政策。鉴于电动物流货车的市场已经发展的较为成熟,在零排放半挂牵引车可以完全满足长途货运需求之前,可考虑优先推动自卸货车的电动化。由于自卸货车在广州和佛山的主要用途是运输建筑材料和建筑垃圾,即泥头车,可以针对这一应用情景进行有针对性的激励,从而获取最大化的收益。

在2025年之前,优先推广电动泥头车并为其提供财税激励。为了自2023年起实现电动泥头车与柴油车之间的TCO平价,可在2023年为每辆电动泥头车提供至少7万元人民币的直接购置补贴,补贴金额将逐步下降,到2027年将降至每辆车3500元人民币。由于燃料电池汽车实现TCO平价的实际预计会更晚一些,短期内(2025年以前)可以优先推动发展电动汽车。

根据“谁污染谁付费”的原则,广州市和佛山市可以考虑在2025年后针对柴油货车征收碳排放税或类似排放税费。碳税可在2025年设定为人民币50元/吨CO₂当量,到2035年增加到250元/吨CO₂当量,相当于2025年对柴油货车征收5000元/年的碳排放税,到2035年间增至18000元/年。碳税不仅可以用于减少补贴金额,减轻政府的财政负担,还可以加快推动零排放车辆与柴油车之间实现TCO平价。

实施更多有针对性的政策,促进零排放货车的应用。针对电池、燃料电池和储氢罐制造商提供财税激励可以降低零排放货车的零售价格。还可以通过政策措施为零排放货车提供更有利的运营环境,降低其运营成本,例如提供道路通行特权。