



广东省道路交通净零排放 路线图报告

A Roadmap to Achieve Net Zero
Emissions for the Road Transport Sector
in Guangdong

2022年12月

广东省及粤港澳大湾区交通净零碳排放路线图研究项目

粤港澳大湾区(Greater Bay Area) 是世界第四大湾区，是国家建设世界级城市群和参与全球竞争的重要空间载体。广东省为中国新能源汽车发展较为领先区域，尤其是珠三角城市群在交通净零排放进程中应起到带头作用。

本项目是在能源基金会的支持下由能源与交通创新中心发起，联合多家伙伴共同合作。项目聚焦广东省及粤港澳大湾区交通领域，以 2050/2060 为时间节点，制定净零碳排放路线图及政策建议，通过设定更积极的目标、开展试点示范项目以及制定可实施的路线图和行动计划，引领中国实现碳中和及净零排放目标。本项目覆盖道路交通与非道路交通领域，共分两期研究工作。一期研究聚焦道路交通领域，能源与交通创新中心联合中国科学院广州能源研究所、广东旭诚科技有限公司等专家团队共同开展研究。



能源与交通创新中心 ICET

能源与交通创新中心 (ICET) 是 2006 年在北京注册，在清洁交通、低碳经济和气候变化领域中具有领导力的非营利专业智库机构。核心使命是为各级决策者提供能够缓解能源和气候危机并创造绿色能源生态体系所亟需的创新型解决方案。在清洁交通领域，致力于加速中国交通向后石油时代与零排放转型。请登录网站了解更多详情 www.icet.org.cn



中国科学院广州能源研究所

中国科学院广州能源研究所是中国科学院直属的国家级研究机构，主要从事新能源、可再生能源、节能环保领域相关基础性、前瞻性和战略性的科研创新及高技术研发，实现技术的产业化推广应用，是国家生物燃料研发中心、中国科学院可再生能源重点实验室、中国科学院天然气水合物重点实验室、中国科学院广州天然气水合物研究中心和广东省新能源和可再生能源研究开发与应用重点实验室的依托单位。

SUNCERE

旭诚科技 广东旭诚科技有限公司

广东旭诚科技有限公司是一家环境智能感知与知识服务关键技术研发及应用的创新型高新技术企业：广东省高新技术企业，广州市企业科技研发机构，拥有多项高新技术产品、九十余项软件著作权及软件产品和三十余项专利，连续两年被评为优秀软件企业，获省部科技二等奖。

系列研究报告：

《广东省道路交通净零排放路线图》

《广东省道路交通长期能源与排放分析模型》

《广东省乘用车与商用车净零排放路线图研究》

《广东省清洁电能与新能源汽车融合发展路线研究》

合作及交流事宜，可邮箱联系：info@icet.org.cn

广东省道路交通净零碳排放路线图

A Roadmap to Achieve Net Zero Emissions for the Road Transport Sector in Guangdong

项目负责人： 安 锋 王雯雯

报告汇编： 秦兰芝 王雯雯 王 姮

课题研究团队：

能源与交通创新中心 秦兰芝 安 锋 王雯雯 陈 丽

中国科学院广州能源研究所 黄玉萍 李 莹 张天任 廖 晖 李金宇 宋晨曦

致 谢

感谢能源基金会为本项目提供资金支持。

感谢广东省交通环境智能监测与治理工程技术研究中心刘永红教授、苗领博士等，广东旭城科技有限公司高级工程师徐伟嘉等，北龙泽达（北京）数据科技有限公司梁津等以及特来电新能源股份有限公司等对本研究提供的支持。

由衷感谢以下专家（按姓氏字母排序）对报告内容提出的宝贵意见与建议。

方海峰（中国汽车技术研究中心）

倪红（中国环境科学研究院机动车排污监控中心）

欧训民（清华大学）

唐云鹭（深圳市标准技术研究院）

田智宇（中国国家发展和改革委员会能源研究所）

谢海明（深圳市协力新能源与智能网联汽车创新中心）

薛露露（世界资源研究所）

于丹阳（中国交通运输部科学研究院）

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。

目录

执行摘要.....	I
Executive Summary.....	XVII
第一章 道路交通净零排放路线图研究背景.....	2
第二章 道路交通净零排放方法学.....	6
2.1 研究范围.....	6
2.2 区域划分.....	10
2.3 模型方法.....	12
第三章 广东省道路交通净零排放情景设置.....	22
3.1 道路交通净零排放的影响因素与应对措施.....	22
3.2 情景设置及政策推演.....	25
第四章 广东省道路交通净零排放情景分析.....	45
4.1 基准年结果.....	45
4.2 情景预测结果.....	48
4.3 各类措施的减排潜力.....	57
第五章 新能源汽车发展对电网的影响.....	60
5.1 充换电基础设施发展.....	60
5.2 车网互动示范性案例.....	66
5.3 车网互动模式对区域电网的影响.....	69
第六章 广东省道路交通净零排放路线图与逐年碳预算.....	79
6.1 广东省道路交通净零排放路线图.....	79
6.2 碳排放预算的必要性.....	80
6.3 广东省道路交通逐年碳预算.....	81
第七章 主要结论与政策建议.....	86
7.1 主要结论.....	86
7.2 政策建议.....	88
附录 1 经济与人口指标预测.....	93
附录 2 TLEEM 模型操作介绍.....	97
附录 3 出租与网约车保有量预测.....	100
参考资料.....	104

图目录

图 1 全球能源活动相关 CO ₂ 排放与交通 CO ₂ 排放趋势	2
图 2 广东省各类道路车辆保有量占比情况 (2021)	7
图 3 汽车全生命周期图示.....	9
图 4 广东省各地市 GDP 总值情况 (2020)	10
图 5 广东省新能源汽车及上下游产业链布局.....	10
图 6 广东省各地市经济水平与汽车保有率情况 (2020)	11
图 7 广东省达成道路交通净零排放目标的区域划分	12
图 8 典型的 Gompertz 曲线形状.....	15
图 9 Gompertz 模型对广东省乘用车保有量的线性拟合关系.....	15
图 10 TLEEM 模型框架分解图	17
图 11 TLEEM 模型基础数据层级分类图.....	18
图 12 广东省乘用车销量与人均 GDP 情况	26
图 13 广东省乘用车历年保有量情况.....	26
图 14 广东省各区域乘用车千人保有量趋势	27
图 15 国内部分城市乘用车千人保有量与人口密度分布.....	28
图 16 广东省货运量及货运周转量历史趋势	30
图 17 广东省不同货运方式占比趋势	30
图 18 广东省各区域货运周转量历史占比.....	31
图 19 广东省各区域公路货运占总周转量的比例	32
图 20 广东省新销售乘用车的燃料类型分布.....	35
图 21 传统燃油乘用车油耗变化.....	36
图 22 传统混合动力乘用车油耗变化	36
图 23 纯电动乘用车电能消耗量变化	37
图 24 我国现行重型商用车燃料消耗量限值标准 (第三阶段)	38
图 25 不同情景下各区域新能源汽车渗透率 (私人乘用车领域)	40
图 26 部分商用车车型新能源汽车渗透率情况 (2021)	41
图 27 基准年各车型碳排放占比	45
图 28 基准年各车型对道路交通不同尾气污染物排放量的贡献.....	47
图 29 广东省各区域对基准年道路交通碳排放的贡献.....	47
图 30 不同情景下广东省乘用车保有量预测.....	48

图 31	不同情景下新能源乘用车保有量及占比趋势	49
图 32	不同情景下广东省商用车保有量预测	49
图 33	不同情景下广东省各燃料类型商用车保有量占比情况	50
图 34	不同情景下广东省道路交通石油消耗量与能源消耗总量预测	51
图 35	2020~2060 年不同情景下广东省道路交通累计石油消耗及相对减少量	52
图 36	不同情景下广东省道路交通能源消耗量结构变化	53
图 37	广东省道路交通碳排放预测	54
图 38	2020~2060 年不同情景下广东省道路交通累计碳排放及相对减排量	54
图 39	基准情景和 2050 净零排放情景下各区域道路交通碳排放趋势	55
图 40	基准情景下各场景车类碳排放情况	55
图 41	不同情景下空气污染物排放量趋势	56
图 42	不同措施对广东省道路交通减排量逐年贡献率（从基准情景到 2050 优化净零排放情景）	58
图 43	电动汽车充电桩的不同分类方式	60
图 44	全国公共充电桩数量前十省份	61
图 45	车网互动 V2G、V2V 与 V2H 技术	65
图 46	东莞市东部汽车城光储充放一体化案例规划图	66
图 47	光储充放一体化电站	67
图 48	不同情景下广东省电动乘用车电能消耗量预测	69
图 49	基准情景下广东省不同区域电动乘用车电能消耗量预测	70
图 50	基准情景下深圳和广州电动乘用车电能消耗量预测	71
图 51	不同情景下广东省商用车电能消耗量预测	71
图 52	各类别电动商用车电能消耗量占比（2060）	72
图 53	有序和无序充放电对电网负荷的影响（广州，2020 夏）	74
图 54	车网互动度电收益相关经济性测算	76
图 55	车网互动时车辆参与 V2G 比例相关经济性测算	76
图 56	车网互动时车辆年度服务次数相关经济性测算	77
图 57	广东省道路交通 2060 和 2050 年净零排放路线图	80
图 58	广东省道路交通逐年碳预算表	83
图 59	广东省四个区域道路交通碳预算	84

表目录

表 1	本研究涵盖的道路交通工具及功能细分	7
表 2	三种碳排放核算方法比较.....	13
表 3	各类交通方式的排放清单核算方法.....	14
表 4	本研究使用数据的主要来源.....	20
表 5	道路交通碳排放的影响因素及相应减排措施.....	23
表 6	道路交通减排应用的主要汽车技术路线及本研究选择.....	24
表 7	广东省各区域乘用车千人保有量饱和值设定.....	29
表 8	广东省各趋于 2060 年货运周转量水平预测.....	31
表 9	不同情景下各区域公路货运周转量比例.....	32
表 10	不同情景下各类车型年均行驶里程预测.....	33
表 11	现有政策中对部分场景商用车提出的新能源发展目标.....	42
表 12	不同时期各种措施的累计减排潜力（从基准情景到 2050 优化净零排放情景）	57
表 13	广东省不同区域车桩比情况	61
表 14	广东省充电设施建设规划.....	63
表 15	东莞市东部汽车城光储充放一体化案例碳减排测算	68
表 16	广州市某超充站案例超充枪参数表.....	69
表 17	广东省电动汽车电能消耗量及其占全社会用电量比例变化.....	72
表 18	实施 2050 优化净零排放路线图的效果评估（相较于 2060 净零排放路线图）	79
表 19	IPCC 不同温升目标下的碳预算.....	81
表 20	IPCC 不同温升目标下全球人均碳预算.....	82
表 21	广东省道路交通净零排放政策建议汇总.....	91



执行摘要

研究背景与目的

IEA 数据^①显示，全球温室气体排放仍在持续增加，2021 年全球温室气体排放量达到 40.8 吉吨二氧化碳当量 (CO₂e)，超过 2019 年水平，创造了历史新高。2021 年中国温室气体排位据全球第一，占比达 30%，且历史累积排放 (1850 年至今) 也升至全球第二^②。温室气体在大气中滞留的时间可长达上千年，对气候变化产生的影响持续而深远。中国作为负责任的大国，必须通过自身努力，从现在到本世纪中叶大幅降低累计碳排放量，使温室气体排放尽早达峰，努力降低峰值，快速进入下降通道，以提前实现净零排放。大幅降低累计碳排放量也将为中国在国际气候谈判中增加更多的话语权和筹码。

净零排放是指一个组织在一年内的所有温室气体 (以 CO₂e 计) 排放量与消除量达到平衡。京都议定书规定了 6 种温室气体，即二氧化碳 (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)。对交通领域而言，CO₂ 是最主要的温室气体排放种类，2014 年 (我国官方排放数据可查的最新年份) 交通 CO₂ 排放占我国交通温室气体总排放量的 99%。本研究仅讨论交通 CO₂ 排放，暂不包含其他温室气体种类，如无特殊说明，本研究所称“碳排放”均指 CO₂ 排放。

交通领域贡献了全球 CO₂ 排放总量的约五分之一，该领域的脱碳进程将显著影响全球碳排放体量变化以及将全球平均气温升幅控制在 2°C 乃至 1.5°C 以内目标的实现。目前交通领域对我国碳排放总量的贡献约为 10%，且这个比例还在逐年增加，因而是支撑我国实现碳达峰碳中和目标的关键领域之一。作为国民经济发展的先导性和基础性行业，随着国民收入进一步提高，交通运输需求还在持续增长。我国交通领域减排正面临对内加速碳中和，对外支持全球温控目标实现的双重压力。为应对这一挑战，《2030 年前碳达峰行动方案》《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

^① IEA, Global Energy Review: CO₂ Emissions in 2021.

^② Carbon Brief, <https://www.carbonbrief.org/analysis-which-countries-are-historically-responsible-for-climate-change/>

见》《减污降碳协同增效实施方案》等文件对加快推进交通运输绿色低碳转型和实现交通运输低碳发展提出了阶段性目标及指导措施。

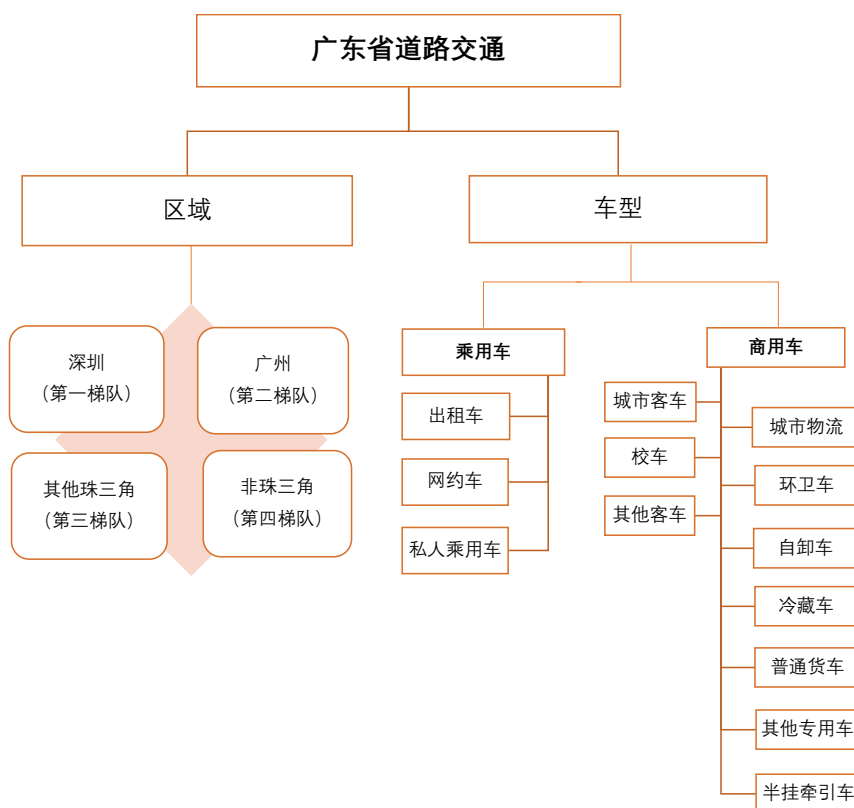
道路交通是交通领域最主要的排放源，约占我国交通碳排放总量的 85%以上，是交通减排的绝对重点。基于 MRV 三可原则对道路交通中长期减排量进行深入解析，有助于梳理减排措施成效及战略部署，为道路交通减排政策的制定与实施提供指导。

我国地域广阔，区域地理位置、气候变化、经济发展、新能源汽车渗透以及基础设施建设等因素都将影响道路交通减排的路径及战略部署。历年以来，很多政策目标的落实是以“先示范、后推广”的模式进行，先行先试地区积累的经验可以为其他地区提供宝贵借鉴。在推进交通碳达峰碳中和目标实施的过程中，上述模式仍有借鉴意义。广东省是我国第一经济大省，拥有深圳、广州两座超大型城市，依托粤港澳大湾区，在政策落地和开拓创新方面具有先天优势，有能力、有基础为全国的交通碳达峰碳中和工作探索落实措施与配套政策体系。

研究方法

本研究以广东省为对象，基于“自下而上”的排放方法学构建了交通部门长期能源与碳排放核算模型（Transportation Long-Term Energy and Emission Model, TLEEM），基于不同情景对广东省道路交通中长期减排路径、减排效果及对电网的影响进行分析，据此制定省、区域两级道路交通碳排放逐年预算清单，保障道路交通碳排放尽早达峰并尽量降低总体排放水平。广东省区域划分根据相应的经济水平、城市功能及交通低碳发展水平等综合因素确定，本研究认为梯队划分越靠前，能越早实现道路交通净零排放。其他珠三角包括东莞、惠州、中山、佛山、珠海、江门和肇庆七市；非珠三角包括梅州、潮州、汕头、汕尾、揭阳、韶关、河源、清远、云浮、阳江、茂名和湛江共计 12 个地市。

《2006 年 IPCC 国家温室气体排放清单指南》指出，交通领域排放仅包括交通工具在使用环节产生的直接排放部分。本研究同样采用这一核算边界，如无特殊说明，本研究所称碳排放均为交通工具的直接排放。



摘要-图 1 广东省道路交通分区域分车型研究框架

道路交通减排的主要途径主要有四类：（1）降低汽车整体保有量水平，对乘用车而言，未来可以借助更发达的共享汽车服务平台以及自动驾驶技术，同时将部分私家车出行转向绿色公共交通或慢行交通实现，对商用车而言，更多需要借助多种运输方式之间的联合，提升低耗能低排放运输方式的比例；（2）降低汽车出行距离，实现方式与降低保有量水平基本一致；（3）降低单车能耗与排放，若仅考虑交通工具的直接排放，该部分则主要是指不断降低传统燃油车辆的能耗；（4）使用碳强度更低的燃料，如使用生物燃料，推广和应用新能源汽车，尤其是纯电动汽车和燃料电池汽车，这两类车辆在使用环节不产生CO₂以及污染物排放。

情景设置及推演结果

为评估现有政策影响，分析广东省道路交通中长期减排潜力，研究设定了四种道路交通减排情景及与之相应的推演结果：

（1）基准情景，在本研究中根据现有政策情况进行设置。该情景下，汽车电动化率水平、天然气等替代燃料车辆占比等均参照已有政策或行业目标，无具体参考的年份基于政策自然延续进行设定；

（2）2060 净零排放情景，即在 2060 年使广东省道路交通碳排放达到净零状态；

(3) 2050 净零排放情景，即在 2050 年使广东省道路交通碳排放达到净零状态。该情景与 2060 净零排放情景均以最终减排目标作为情景设置依据，以此反向推演出新能源汽车渗透率指标发展。以上三个情景中，车辆保有量和 VKT 数据使用一致来源；

(4) 2050 优化净零排放情景，该情景是在 2050 年实现广东省道路交通净零排放的基础上，假设出行和运输结构将大幅优化调整，进而导致车辆整体保有量以及车辆行驶里程 (VKT) 相对其他三个情景有所降低 (其他三个情景中暂不考虑出行及运输结构的大幅调整)。相对于 2050 净零排放情景，该情景下整体碳排放量更低且下降更快。

摘要-表 1 研究所设四种减排情景主要参数及分区域推演结果

		2020	基准情景	2060 净零排放情景	2050 净零排放情景	2050 优化净零排放情景
交通需求与结构优化 (~2060 年)						
乘用车千人保有量, 辆/千人	深圳	170		230		190
	广州	132		260		205
	其他珠三角	248		400		340
	非珠三角	130		380		320
货运周转量, 亿吨公里	深圳	2,014		3,873		
	广州	21,614		44,280		
	其他珠三角	2,416		5,126		
	非珠三角	1,530		4,610		
公路货运周转量占比	深圳	22%		20%		14%
	广州	3%		5%		3%
	其他珠三角	27%		28%		20%
	非珠三角	57%		58%		45%
单车能效						
传统乘用车, L/100km		6.4 (工况油耗)	2025、2030 和 2035 年单车油耗分别达到 5.5、5.0 和 4.5 L/100km (NEDC 工况)			
传统商用车		视车类和车重而异	2025 年, 客车和货车油耗较 2019 年均降低 10%, 2030 年较 2019 年分别降低 15%和 12%以上, 2035 年较 2019 年分别降低 20%和 15%以上			
新增和替换新能源汽车渗透率						
出租车/网约车	珠三角	100%	2020 年及以后均为 100%			
	非珠三角	88%	2025 年及以后为 100%	2023 年及以后为 100%		
私人乘用车	深圳	21%	2060 年达到 100%	2036 年及以后为 100%	2026 年及以后为 100%	
	广州	8%		2039 年及以后为 100%	2029 年及以后为 100%	

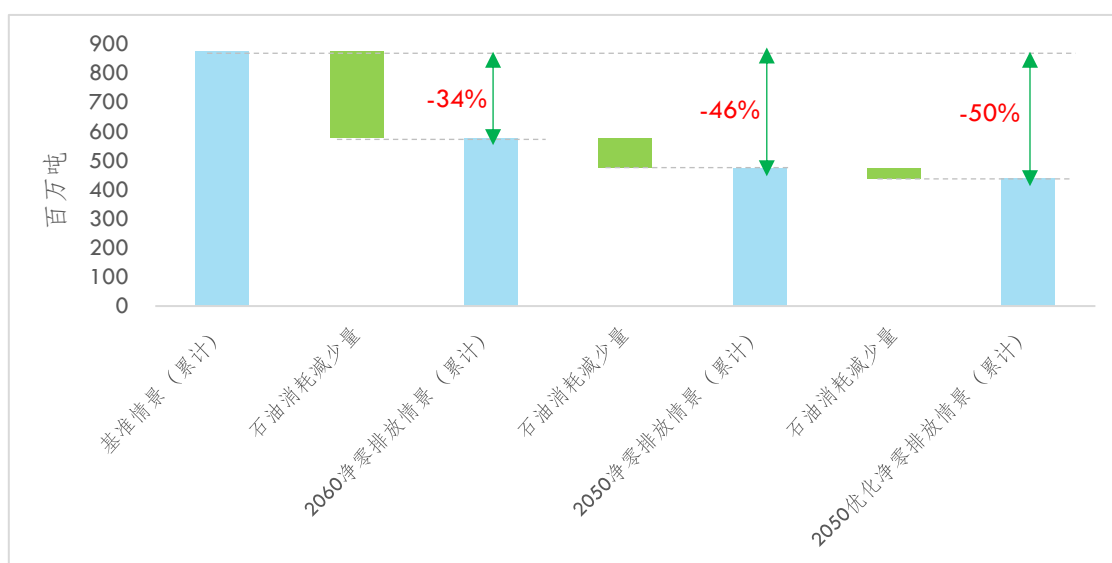
	其他珠三角	2%		2042年及以后为100%	2032年及以后为100%
	非珠三角	2%		2045年及以后为100%	2035年及以后为100%
城市客车		100%	2020年及以后均为100%		
校车		0	50% (2060)	不迟于(非珠三角) 2055年达到100%	
其他客车		4~26%	不低于50% (2060)		
环卫、轻型物流/冷藏		/	2035年及以后为100%		
自卸、普通货车、其他专用车、半挂牵引车、中重型物流/冷藏	珠三角	/	20% (2060)	不迟于2055年达到100%	不迟于2045年达到100%
	非珠三角	/	20% (2060)	不迟于2060年达到100%	不迟于2050年达到100%

注：表中2020年数据为统计数据，来自统计年鉴及工信部，情景相关数据是作者在参考相关政策及其他研究的基础上所设，新能源汽车渗透率则是根据最终减排目标进行反向推演的结果。

主要研究发现与结果

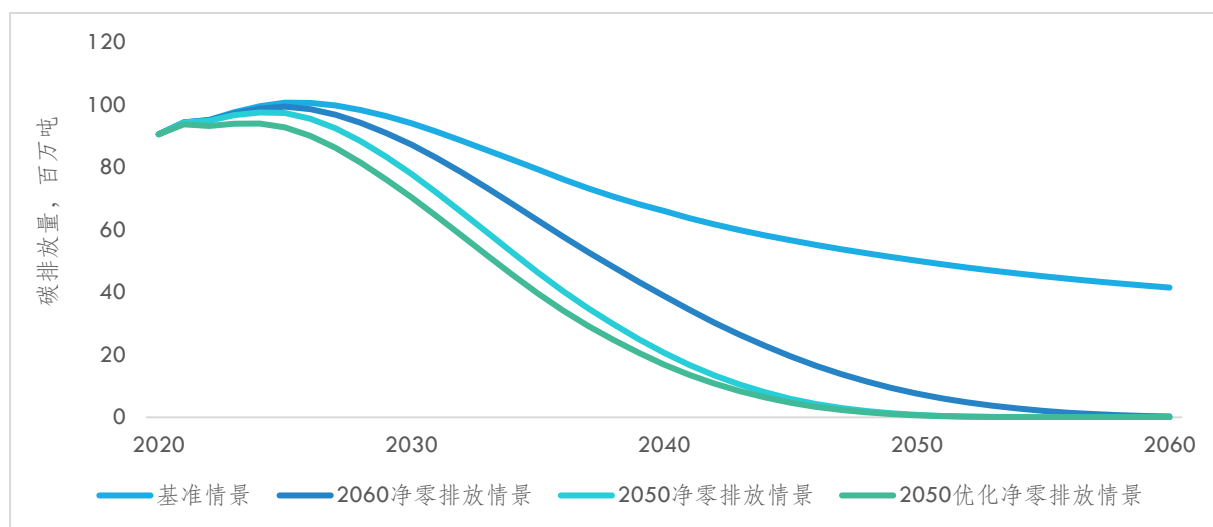
本研究主要研究结果如下：

(1) 石油消耗量会随着多种减排措施的应用快速下降。在2060净零排放情景下，2020~2060年间广东省道路交通石油消耗总量较基准情景减少了近3亿吨，降幅达到34%。若能在2050年前后实现道路交通净零排放，2020~2060年间广东省道路交通累计石油消耗总量较基准情景可减少4.0~4.4亿吨，降幅最高可达50%（摘要-图2）。如果按照70%的石油进口比例计算，将累计减少石油进口3.1亿吨，可节省外汇达1555亿美元（2021年价计）。

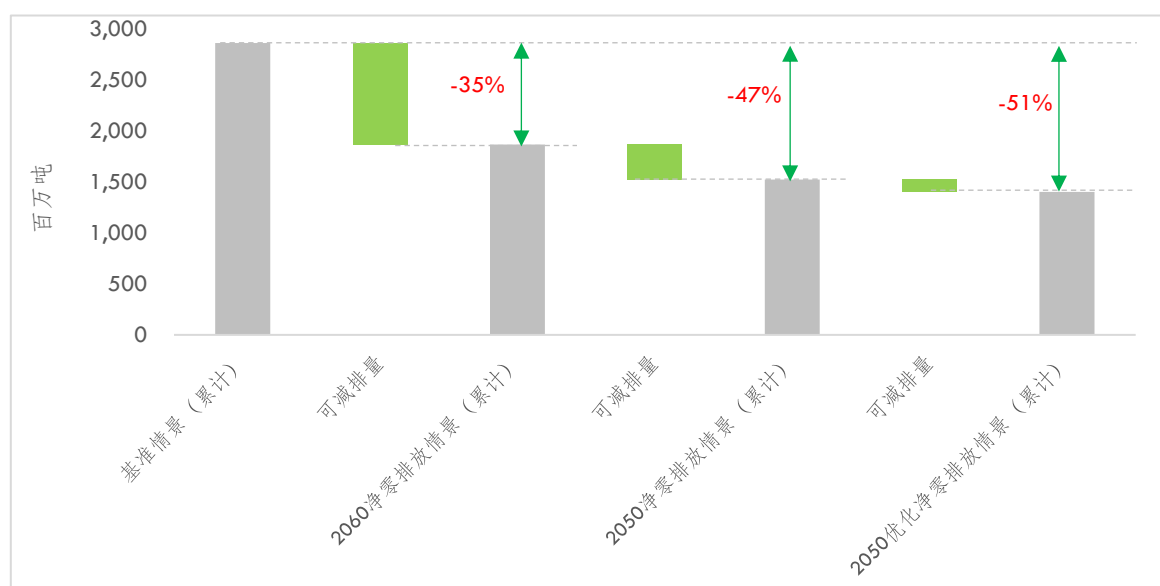


摘要-图 2 2020~2060年不同情景下广东省道路交通累计石油消耗及相对减少量

(2) 减排措施的应用将使广东省道路交通碳排放加速达峰并降低净零排放过程的总体排放量。其他研究中，国家层面道路交通碳排放达峰时间约在 2030 年前后。在基准情景下，广东省道路交通碳排放达峰时间不晚于 2025 年，在 2050 净零排放情景下可提前至 2024 年，若从现阶段开始调控道路客运及货运结构，即在 2050 优化净零排放情景下，广东省道路交通碳排放短期内即可进入平台期。相较于基准情景，其他三种情景均能减少可观的 CO₂ 排放量。2020~2060 年间，2060 净零排放情景可比基准情景减少超过 10 亿吨碳排放，减排比例达到 35%，在 2050 净零排放情景及 2050 优化净零排放情景下，减排比例分别高达 47%和 51%。尽早实现净零排放将能更大限度地减少排放到大气中的 CO₂ 总量，降低对全球气候变化的影响（见摘要-图 3、4）。



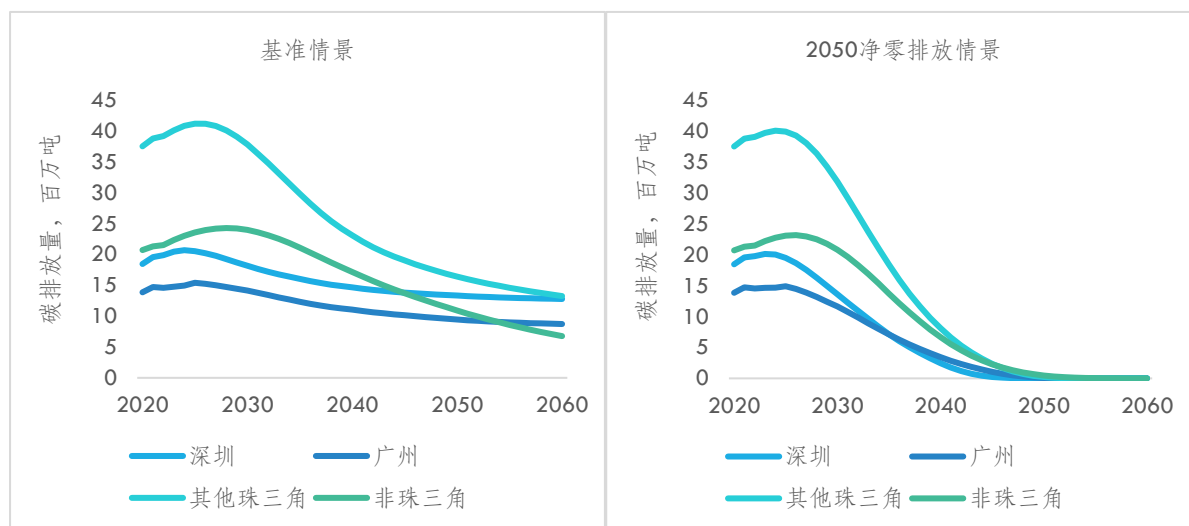
摘要-图 3 广东省道路交通碳排放预测



注：各情景下累计数值为 2020~2060 年道路交通碳排放总量，比例为净零排放情景相对于基准情景下的累计减排比例。

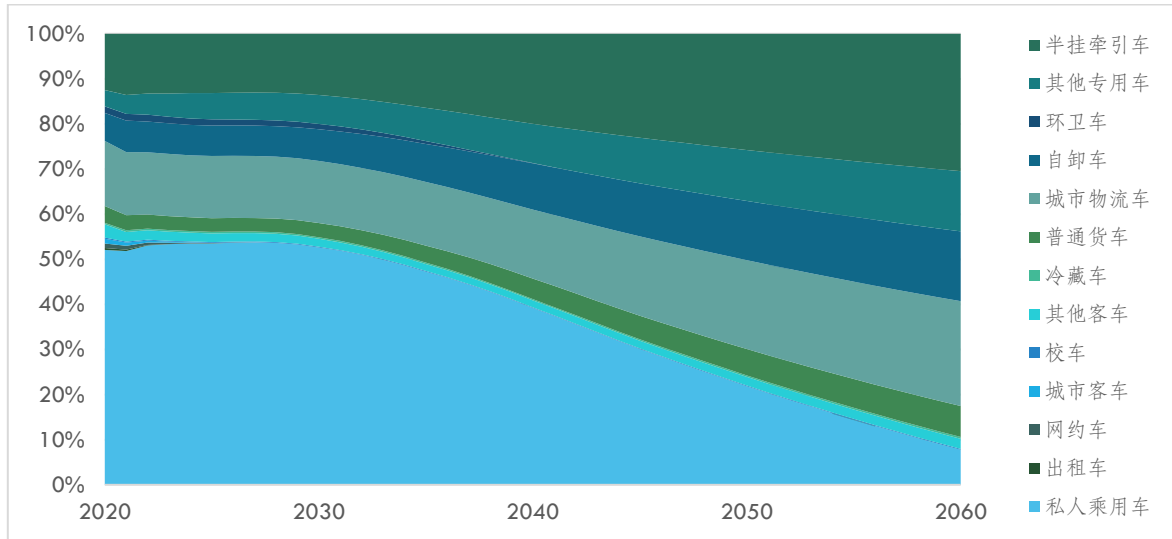
摘要-图 4 2020~2060 年不同情景下广东省道路交通累计碳排放及相对减排量

(3) 深圳、广州、其他珠三角和非珠三角四个区域道路交通发展趋势差异明显。深圳市将最早实现道路交通碳排放达峰。在基准情景和 2060 净零排放情景下，深圳市达峰时间在 2024 年。在 2050 净零排放情景下，达峰时间进一步提前至 2023 年。非珠三角地区达峰时间最晚，在基准情景下，达峰时间为 2028 年，在 2060 和 2050 两个净零排放情景下，达峰时间分别为 2027 和 2026 年。广州和其他珠三角城市的碳达峰时间主要集中在 2025 年前后（见摘要-图 5）。



摘要-图 5 基准情景和 2050 净零排放情景下各区域道路交通碳排放趋势

(4) 不同车型对道路交通碳排放的贡献率不同。乘用车、半挂牵引车、城市物流车和自卸车是碳排放占比最高的类别。其他专用车、普通货车以及其他客车的碳排放量处在第三梯队。至 2060 年，乘用车碳排放占比将下降至 8%，半挂牵引车碳排放占比则上升至 30%（见摘要-图 6）。在基准情景下，乘用车碳排放达峰时间约在 2026 年，城市物流车与自卸车可在 2025 年前后实现碳排放达峰，半挂牵引车则要到 2040 年左右才能实现达峰（见摘要-表 2）。这表明在达峰阶段，减缓乘用车保有量增速将能降低达峰峰值水平，而在实现净零排放的中长期阶段，需要给中重型商用车制定更为明确、合理的低碳发展规划，如加快推进零排放汽车在中重型车领域的发展进度。



摘要-图 6 基准情景下各车型碳排放占比

摘要-表 2 不同车型碳排放达峰时间汇总

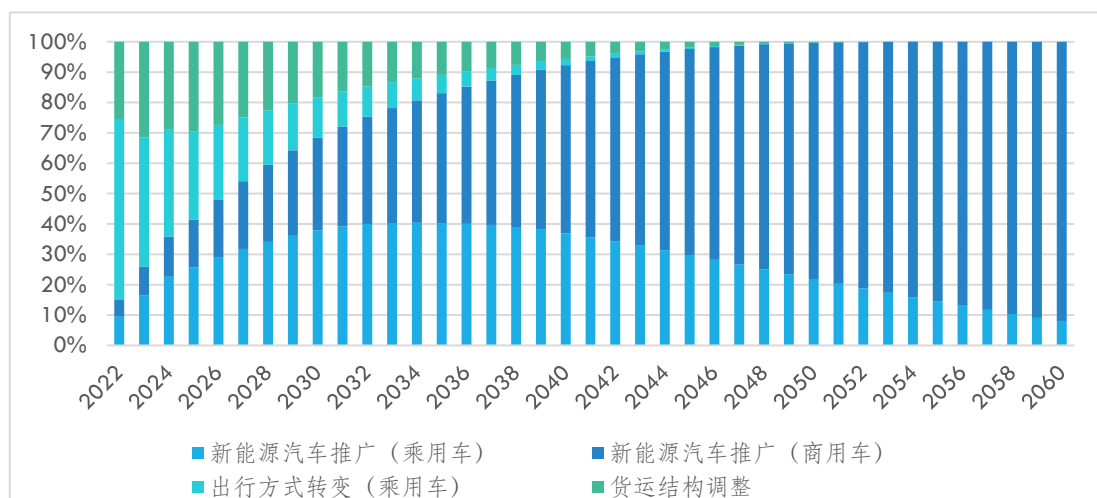
车型	基准情景	2060 净零排放情景	2050 净零排放情景	2050 优化净零排放情景
出租车、网约车	已经下降			
私人乘用车	~2026	~2025		~2024
城市客车、校车、其他客车	已经下降			
冷藏车	~2025			平台期
普通货车	已经下降			
城市物流车	~2025			平台期
自卸车	~2025		~2024	平台期
环卫车	~2023			
其他专用车	~2028	~2026		~2025
半挂牵引车	~2040	~2025		平台期

(5) 不同时期应注重和应用不同减排措施组合。出行方式转变及货运结构调整主要在 2040 年前具有较大的减排潜力，后期由于车队新能源汽车比例大幅提高，上述两种方式的减排效果逐渐下降。新能源乘用车推广应用产生的减排潜力在 2030~2050 年间达到高峰，新能源商用车推广应用产生的减排潜力这主要发生在 2040 年以后，成为支撑道路交通后期减排的主要驱动力。与基准情景相比，2050 优化净零排放情景累计可减排约 15 亿吨 CO₂。2020~2060 年间，新能源商用车的推广应用累计贡献了 64%的减排量，新能源乘用车的推广应用累计贡献了 27%，出行方式转变和货运结构调整则分别贡献了 3%和 5%的减排量（见摘要-图 7 和摘要-表 3）。

摘要-表 3 不同时期各种措施的累计减排潜力（从基准情景到 2050 优化净零排放情景）

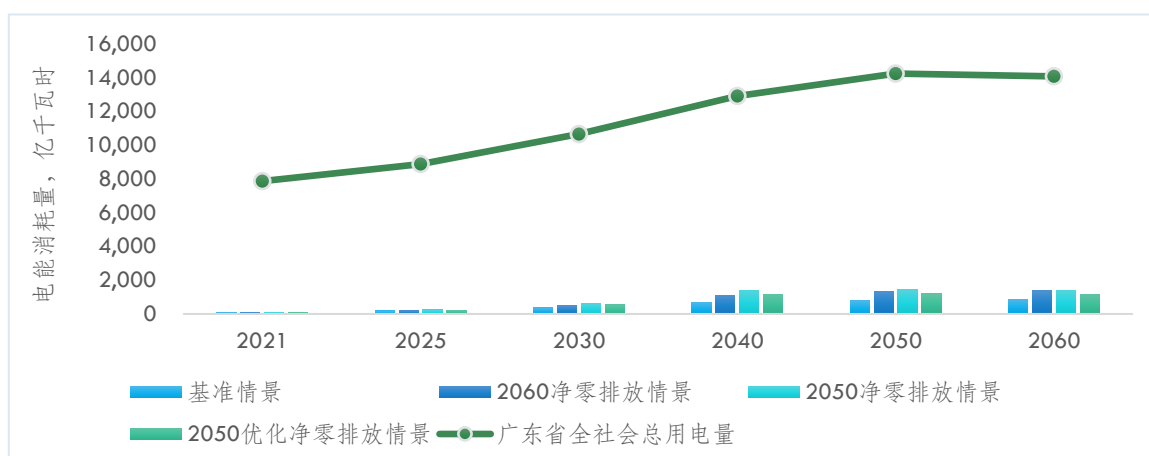
	2020~2030累计	2030~2040累计	2040~2050累计	2050~2060累计	2020~2060累计
新能源汽车推广（乘用车），百万吨	33.5	155.6	147.8	63.2	400.1
新能源汽车推广（商用车），百万吨	24.7	179.3	349.6	385.3	939.0
出行方式转变（乘用车），百万吨	22.3	21.8	2.6	0.0	46.7
货运结构调整，百万吨	24.1	39.5	10.5	0.2	74.2
总计，百万吨	104.6	396.2	510.6	448.7	1460.0

注：表中数据为作者根据研究测算



摘要-图 7 不同措施对广东省道路交通减排量逐年贡献率（从基准情景到 2050 优化净零排放情景）

(6) 新能源汽车保有量的快速增加将导致总耗电量的增加：2060 年广东省电动汽车年耗电量将达到 821~1,374 亿千瓦时，预计将占广东省社会总用电量的 5.8%~9.8%（见摘要-图 8）。在配电侧，电动汽车大规模无序充电将增加峰段负荷，影响电网稳定，可通过有序充电、换电模式以及选择充放电模式（V2G）方式缓解。



注：广东省全社会用电量数据为本研究根据 2000 年以来的历史数据，结合“十四五”发展规划、“双碳”目标以及经济发展等多项因素，通过 LEAP 模型预测得到。

摘要-图 8 不同情景下广东省电动汽车总耗电量预测

提出广东省道路交通净零排放路线图

实现净零排放是道路交通减排的最终目标，对广东省而言，目前道路交通排放尚未达峰，距离净零排放目标时间跨度较大，为更好实现净零排放目标，建议制定相应的路线图。基于综合研究结果，本研究提出以 2060 年和 2050 年作为道路交通净零排放目标实现时间节点的两套路线图方案（摘要-图 9）。

在 2060 净零排放路线图中，2030 年之前非珠三角地区的主要任务是争取实现碳排放的尽早达峰，其他区域则需要是在达峰的基础上尽量缩短平台期并使碳排放进入下降通道。在新能源汽车推广方面，目前由于新能源乘用车市场规模不断扩大，后期在推广方面整体问题可能不大，但由于乘用车总量基数大，新能源汽车数量的快速增长需要各类配套设施的建设和布局同步跟上。对新能源商用车而言，路线图的设置中对照了国家和部分城市提出的公共领域电动化目标，例如 2035 年之前实现公共领域全面电动化，实际上在某些欠发达区域（如非珠三角），公共领域电动化目前仍处在较低水平，目标的落实依然任重道远。

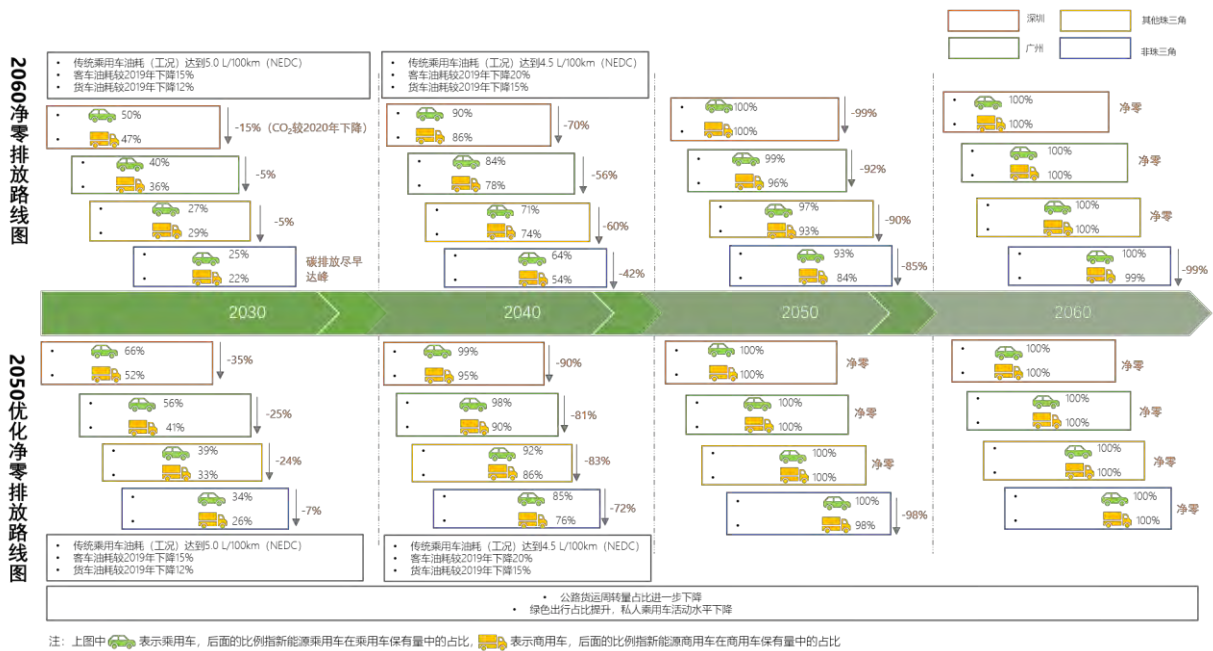
在 2050 优化净零排放路线图中，为进一步降低整体碳排放，建议在减排过程中不断倡导绿色出行方式和提升绿色出行占比，同时在货运领域大力发展多式联运，发挥省内铁路和水运运输优势，降低公路货运周转量比例，各区域细分目标需根据区域情况进行综合考量。

发达国家的经验表明，交通减排进程相对于其他部门更慢，全球大部分发达地区都以 2050 为碳中和目标节点。广东省具有独特的经济、政策及产业等多方面优势，完全有能力走在全国前列。研究建议广东省基于 2050 优化净零排放路线图制定道路交通脱碳战略。相较于 2060 净零排放路线图，实施 2050 优化净零排放路线图能实现多重效益（见摘要-表 4）。但需注意，任何政策的制定都需要结合当地乃至全国的综合情况，并做好政策影响评估。

摘要-表 4 实施 2050 优化净零排放路线图的效果评估（相较于 2060 净零排放路线图）

	相较于实施 200 净零排放路线图
实现净零排放时间	提前 10 年（2050 年）
碳排放峰值水平	-540 万吨（-5.4%）
2020~2060 累计石油消耗总量	-1.39 亿吨（-24%）
2020~2060 因石油进口节省的外汇支出*	697 亿美元
2020~2060 累计碳排放量	-4.6 亿吨（-25%）
2020~2060 累计碳减排量占 2021 全国碳排放量比例	3.9%

注*：按 70%石油进口量计算，油价基于 2021 年测算；2021 全国碳排放量约为 119 亿吨，数字来源于 IEA-Global Energy Review: CO₂ Emissions in 2021.



摘要-图 9 广东省道路交通 2060 和 2050 年净零排放路线图

提出各层级量化减排目标及碳预算表

高质量的温室气体排放数据库是衡量减排工作成效的基础，该量化工作需要一套公平、科学且可操作性强的机制来实现。国际上，IPCC 提出了碳预算概念，该预算是指在有机会避免气候变化危险影响的前提下，全球仍能排放的 CO₂。该预算是以全球为主体提出的一系列非约束性数值，不区分地区和行业，难以作为某一具体行业的减排战略指导。在此背景下，本研究率先提出了道路交通逐年碳预算的概念，这是从需求和市场一侧出发计算得到的数值，而非按照“自上而下”模式给出的常规意义上的“预算”，因此在数值上更加符合行业发展情况，因而也更具针对性。本研究首次得出广东省及各区域道路交通量化减排目标及碳预算表。

根据研究结果，我们将 2060 净零排放情景下的碳排放量作为广东省道路交通碳预算的上限，将以 2050 优化净零排放情景下得出的碳排放量作为碳预算目标值。这是因为 2060 年是国家层面实现全面碳中和的时间点，广东省作为全国第一经济强省，政策决策和执行能力也很强，有责任和能力为实现碳中和目标做出表率。在情景设定过程中，2060 净零排放情景下新能源汽车的推广应用在 2025 年之前已基本贴近现有政策目标或预期，“十四五”之后才相应幅度地提高了新能源汽车渗透率水平，从技术和市场上看也留有一定的缓冲和发展期。

各区域道路交通碳预算表将为地方政府实现碳中和目标提出指导性方向，并为监督及监管各级政府碳中和工作推进提出量化指标。随着我国政府要求各行业及各级政府加强编制碳排放清单，这项工作将起到积极的推动作用。

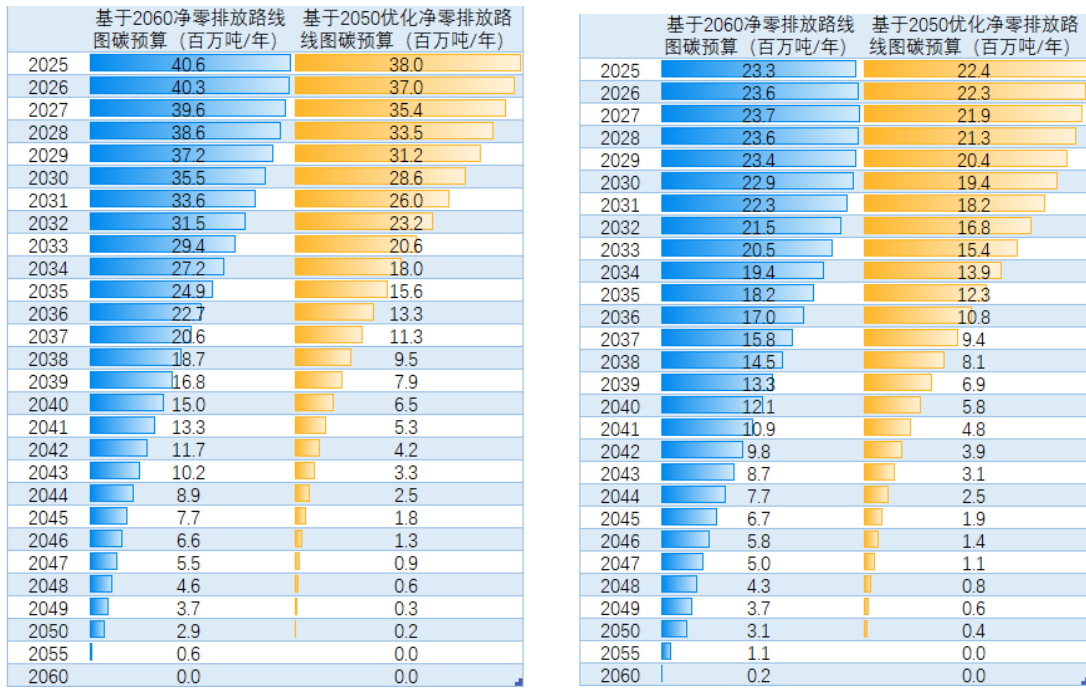
	基于2060净零排放路线图碳预算 (百万吨/年)	基于2050优化净零排放路线图碳预算 (百万吨/年)	2050优化净零排放路线图碳预算较2060路线图下降幅度
2025	99.4	92.8	-7%
2026	98.6	90.1	-9%
2027	96.8	86.2	-11%
2028	94.2	81.5	-14%
2029	91.0	76.1	-16%
2030	87.3	70.4	-19%
2031	83.0	64.4	-22%
2032	78.3	58.1	-26%
2033	73.4	51.8	-29%
2034	68.2	45.6	-33%
2035	63.0	39.7	-37%
2036	57.8	34.2	-41%
2037	52.9	29.2	-45%
2038	48.0	24.7	-48%
2039	43.4	20.6	-52%
2040	38.8	16.9	-57%
2041	34.4	13.6	-61%
2042	30.3	10.7	-64%
2043	26.4	8.4	-68%
2044	22.8	6.4	-72%
2045	19.5	4.7	-76%
2046	16.5	3.4	-80%
2047	13.9	2.4	-83%
2048	11.5	1.6	-86%
2049	9.4	1.0	-89%
2050	7.6	0.6	-92%
2055	2.1	0.0	-98%
2060	0.3	0.0	-99%

摘要-图 10 广东省道路交通逐年碳预算表

	基于2060净零排放路线图碳预算 (百万吨/年)	基于2050优化净零排放路线图碳预算 (百万吨/年)		基于2060净零排放路线图碳预算 (百万吨/年)	基于2050优化净零排放路线图碳预算 (百万吨/年)
2025	20.1	18.1		15.3	14.3
2026	19.6	17.1		15.1	13.7
2027	18.8	15.9		14.7	13.0
2028	17.8	14.6		14.2	12.1
2029	16.8	13.3		13.7	11.3
2030	15.7	12.0		13.2	10.4
2031	14.6	10.7		12.6	9.5
2032	13.5	9.4		11.9	8.6
2033	12.4	8.2		11.1	7.7
2034	11.3	7.0		10.4	6.8
2035	10.3	5.9		9.6	5.9
2036	9.3	4.9		8.8	5.1
2037	8.3	4.1		8.1	4.4
2038	7.4	3.3		7.5	3.8
2039	6.5	2.6		6.8	3.2
2040	5.6	1.9		6.2	2.7
2041	4.7	1.4		5.5	2.2
2042	3.8	0.9		4.9	1.8
2043	3.1	0.6		4.4	1.4
2044	2.4	0.3		3.9	1.1
2045	1.8	0.2		3.3	0.8
2046	1.3	0.1		2.9	0.5
2047	0.9	0.0		2.4	0.4
2048	0.5	0.0		2.0	0.2
2049	0.3	0.0		1.7	0.1
2050	0.1	0.0		1.4	0.1
2055	0.0	0.0		0.4	0.0
2060	0.0	0.0		0.0	0.0

(深圳)

(广州)



(其他珠三角)

(非珠三角)

摘要-图 11 广东省各区域道路交通逐年碳预算表

政策建议

本研究在分区域、分场景的基础上，对广东省道路交通碳排放中长期发展趋势及减排潜力进行了分析。整体上看，若能基于已有政策推进新能源汽车应用及汽车能效提升，广东省道路交通将能取得较为显著的减排效果。

在研究过程中，我们也发现在广东省道路交通碳减排工作中仍然存在诸多问题：（1）缺乏量化减排目标引导监控机制，该问题并非特例，即便在全国层面，也仅有全行业在 2030 年前实现碳达峰和 2060 年前碳中和的战略目标，细化到交通领域，尚未有具体目标，阶段性减排目标也处于缺位状态，不利于减排工作的管理部门制定相关政策；（2）道路交通碳排放标准计量体系缺位，这不利于各区域的交通排放清单编制，也使得上述交通减排阶段性目标的制定缺乏对标基准。不过，这一局面有望得到改善，2022 年 10 月 31 日市场监管局等多部门联合发布了《建立健全碳达峰碳中和标准计量体系实施方案》，强调了加强交通运输低碳发展标准制修订；（3）广东省各区域道路交通低碳转型差异化明显。深圳和广州在新能源汽车的推广应用方面已经走在全省甚至全国前列，同时也制定了明确的 2025 推广目标和方案。与之相对地，其他地区则未能根据当地情况提出相应目标，在新能源汽车推广方面略显被动；（4）与乘用车相比，商用车的新能源推广和应用仍然任重道远。本研究中所设的净零排放情景下，广东省道路交通减排效果明显，但这是基于激进的新能源商用车推广情况进行预测的，实际上，长途干线新能源货车

在技术和市场方案都仍存在诸多难点，即便是政策特殊扶持的特定场景，如深圳的纯电动泥头车案例，在补贴退场后仍然问题重重。

广东省作为全国经济强省，在产业、政策实施等方面具备优势，若有更强政策或市场推动力，实现交通净零排放还有进一步加快的可能。这需要当地政府在政策、法规、市场等层面形成合力，针对广东省乃至各区域的具体问题提出解决方案和指导建议，以进一步推进道路交通脱碳进程。

本研究从政府决策、社会及市场等层面对不同时期广东省道路交通减排提出了若干政策建议，具体如摘要-表 5 所示。基于研究结果，建议广东省积极争取以 2050 作为净零排放时间节点，基于研究提出的 2050 优化净零排放路线图来推进道路交通减排。这需要当地政府在政策、法规、市场等层面形成合力，针对广东省乃至各区域的具体问题提出解决方案和指导建议，以进一步推进道路交通脱碳进程。在政府决策方面，制定不同时期的新能源乘用车发展目标，基于技术中立原则制定交通减排量化目标、建立以城市为基础的碳预算信用机制及城市间碳预算交易机制等。在社会及市场方面，包括进一步提高私人充电桩使用率、提升居民绿色出行意识、研究制定居民绿色出行激励政策（如碳普惠、建立个人碳账户）等。通过这些政策和措施，广东省道路交通工具增速将有望放缓，车辆更趋于清洁，助力碳排放尽快达峰及后期的不断下降。

摘要-表 5 广东省道路交通净零排放政策建议汇总

建议层面	时期	适用区域	主要问题	具体建议
政府决策	面向 2025	其他珠三角和非珠三角	新能源汽车发展目标缺位	<p>地方发改部门、交通运输厅、生态环境厅</p> <ul style="list-style-type: none"> 根据当地情况制定新能源汽车推广目标
		全省	<ul style="list-style-type: none"> 新能源汽车保有量快速增加，现有基础设施规模不足以支撑 新能源商用车市场规模仍然难以拓展 	<p>地方发改部门、住房和城乡建设厅</p> <ul style="list-style-type: none"> 加快布局充电基础设施，充分评估充、换电技术实现情况，合理规划和建设充、换电基础设施 <p>地方发改部门、交通运输厅、公安部门</p> <ul style="list-style-type: none"> 积极落实国家层面关于新能源商用车推广的利好政策，如对新能源货车不断开放路权，继续做好公共领域新能源商用车的推广，同时根据区域自身情况在某些特定场景（如封闭园区、定点线路）推广新能源汽车
	2025~2035	全省	<ul style="list-style-type: none"> 2025 年以后地方层面的新能源乘用车推广目标缺位 公共领域商用车电动化率水平与 2035 年全面电动化目标差距甚远 氢燃料电池汽车产业链待完善 货运车辆仍在增长 	<p>地方发改部门、交通运输厅、生态环境厅</p> <ul style="list-style-type: none"> 在乘用车领域，根据当地情况制定新能源汽车推广目标 在商用车领域，通过政策干预等方式积极实现环卫、轻型物流、邮政等公共领域全面电动化 <p>地方住房和城乡建设部门、交通运输厅、国土资源部门、公安部门</p> <ul style="list-style-type: none"> 充、换电基础设施建设与规划能力进一步提升，加氢站等其他交通用能设施建设步入正轨 进一步完善多式联运体系，引导部分公路运输需求向铁路、水运等方向转移
	长期	全省	<ul style="list-style-type: none"> 交通碳排放计量标准体系缺位，各地标准不一，减排目标缺乏对标基准 现有政策具有较为明显的技术倾向，企业（尤其是商用车企业）难以根据自身技术优势和成本选择个性化的技术战略 电动汽车保有量的快速增长将对电网造成冲击 	<p>地方发改、交通运输厅、标准制定机构</p> <ul style="list-style-type: none"> 基于 MRV 原则，建立省、市两级交通碳排放清单编制机制 尽快研究制定广东省交通减排阶段性量化目标，以支撑相关政策制定。建议交通、发改等政府下属研究机构充分研究论证各种减排措施的减排潜力，综合评估未来不同时期的可行措施，据此制定交通减排阶段性量化目标 在交通减排目标制定过程中保持技术中立原则 在交通领域建立以城市为基础的碳预算信用机制，及城市间碳预算交易机制，确保实际排放不过多偏离预算数值 <p>地方发改部门、电网公司、标准制定机构、企业</p> <ul style="list-style-type: none"> 实行分时电价，引导电动汽车有序充电，降低峰谷差

			<ul style="list-style-type: none"> • 省内各区域道路交通减排进展差距明显 	<ul style="list-style-type: none"> • 支持电网企业、加氢站企业及天然气加气站企业联合车企等产业链上下游，打造新能源汽车与智慧能源融合创新平台，开展跨行业联合创新与技术研发，加速推进新能源汽车与清洁能源网的互动试验测试与标准化体系建设 地方发改、交通运输厅等 • 成立道路交通减排交流学习平台，分享成功的减排场景案例及城市经验 • 先进城市与落后城市可形成帮扶小组，进行“点对点”沟通 地方住房和城乡建设部门、充换电企业及联盟、私桩所有者
社会、市场	近期 (5~10 年)	全省	<ul style="list-style-type: none"> • 私人充电桩安装条件待提升、使用率低 	<ul style="list-style-type: none"> • 进一步优化居民住宅区充电桩安装条件，简化申报流程 • 制定私人充电桩共享标准，提高私桩使用率
	长期	全省	<ul style="list-style-type: none"> • 道路交通工具数量仍在快速增长 • 居民绿色出行意识有待提升 	<ul style="list-style-type: none"> • 加强建设公交、慢行系统等，引导降低私人车辆保有量及使用强度 • 提高公交、地铁等公共交通出行意识，短距离尽量选择步行、自行车等慢行交通方式 • 研究制定居民绿色出行激励政策，如碳普惠，建立个人碳账户，推动全省乃至全国个人账户互通互认

Executive Summary

Background

According to IEA data^③, global greenhouse gas (GHG) emissions have continued their upward trajectory. In 2021, GHG emissions reached 40.8 gigatons of carbon dioxide equivalent (CO₂e), surpassing the historic peak level in 2019 and reaching a record high. In 2021, China is the largest emitter of GHG, accounting for 30% of global emissions, while rising to the second-largest emitter in terms of its historical cumulative emissions (since 1850)^④. GHG can linger in the atmosphere for thousands of years and can have an enduring and large-scale impact on climate change. As a responsible global power, China must, through its own efforts, significantly reduce its accumulated carbon emissions by mid-century, reach and lower carbon peak as soon as possible, and rapidly cut down its emissions to achieve its net zero agenda ahead of schedule. Significantly reducing cumulative carbon emissions would also serve to bolster China's voice and leverage in international climate negotiations.

Net zero emissions refer to an equilibrium between GHG (CO₂e) emissions and absorption. In other words, it seeks to negate GHG production by eliminating an exact amount. The Kyoto Protocol stipulates six kinds of greenhouse gases, namely carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O), hydrofluorocarbons (HFCs), perfluorocarbons (PFCs), and sulfur hexafluoride (SF₆). For the transportation sector, CO₂ remains the most crucial type of GHG emissions. In 2014 (the most recent year for which official emissions data is available), CO₂ emissions account for 99% of China's total transportation GHG emissions. Hence, this study only discusses transportation CO₂ emissions and does not currently include other GHG gases. Unless otherwise specified, the term "carbon emissions" in this study exclusively pertains to CO₂ emissions.

The transportation sector contributes more than 1/5 of global CO₂ emissions. The decarbonization process in the sector will significantly influence the scale of global emissions and the realization of the goal to control global average temperature rise within 2°C or even below 1.5°C. Currently, transportation accounts for 10% of China's total carbon emissions, and this

^③ IEA, Global Energy Review: CO₂ Emissions in 2021.

^④ Carbon Brief, <https://www.carbonbrief.org/analysis-which-countries-are-historically-responsible-for-climate-change/>

percentage is increasing annually, making it one of the key areas in supporting China's goal for carbon peak and carbon neutrality. As the leading industry reflective of national economic development and as individual incomes continue to rise, the demand for transportation corresponds to this growth. China's emission reduction in the transportation sector is facing the dual pressure of achieving domestic carbon neutrality and supporting global climate goals. In response to this challenge, official documents put forth phased goals and guiding principles in accelerating the greening and low-carbon transformation of the transportation sector, as well as realizing future sustainable transportation development. Such documents include *Action Plan for Carbon Peak by 2030, Comprehensively Implementing the New Development Concept in the Path toward Carbon Peak and Neutrality*, and *the Implementation Plan for Pollution and Carbon Emission Reduction Synergy*, and others.

Road transportation is the most crucial and largest emission source, amounting to 85% of China's total carbon emissions in the transportation sector, which makes it the absolute key in emissions reduction. An in-depth analysis of the medium- and long-term emissions reduction efforts on road transportation based on the MRV principle will keep tracking these emission reduction effects and strategizing future directions, which will then in turn provide guidance for the formulation and course-correction of road transportation emission reduction policies.

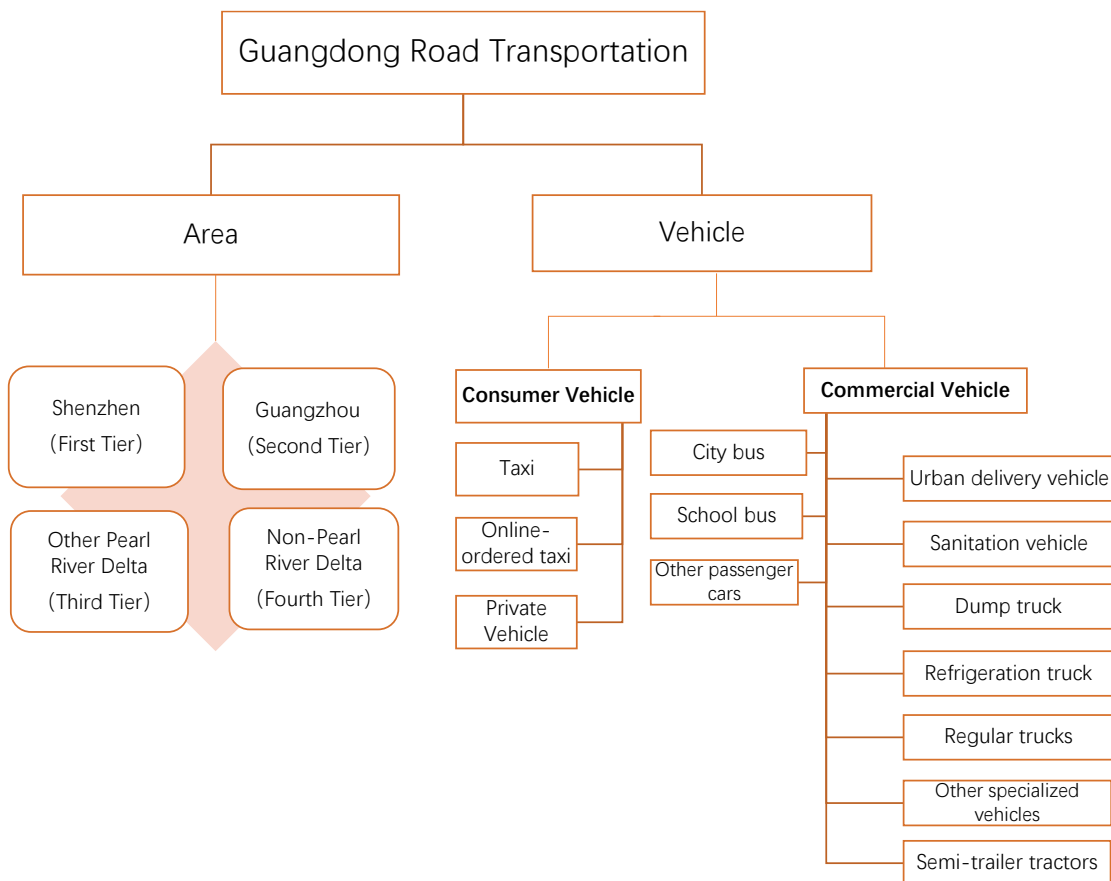
China has vast and diverse territories in terms of regional geographical location, climate characteristics, economic development, new energy vehicle proliferation, and infrastructure development, which will affect the path and strategic implementation of road transportation net-zero goals. Over the years, the implementation of many policy objectives has been carried out via a "demonstration first, proliferation later" model. The experience accumulated in trial regions will offer valuable references for other areas. In the process of promoting the realization of the carbon peak and neutrality goals, the above model has apparent values for reference. Guangdong Province has China's largest economy. It has two megacities, Shenzhen and Guangzhou, are at center of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay area, and therefore has inherent advantages in policy implementation and innovation. It has the ability and superior resources in exploring sound and creative implementation measures and policy tools for China's transportation carbon peaking and neutrality goals.

Research Methodology

This study focuses on Guangdong Province's Road Transportation sector, establishes a Transportation Long-Term Energy and Emission Model (TLEEM) based on the "bottom-up" emission methodology, and analyzes the impacts of different scenarios on medium- and long-term emission reduction pathways and its subsequent effects on the power grid. Based through this analysis, annual carbon budgets at the provincial and regional levels are formulated in order to ensure annual carbon emission reductions are sufficiently measured and accounted. This study includes Pearl River Delta cities of Dongguan, Huizhou, Zhongshan, Foshan, Zhuhai, Jiangmen and Zhaoqing; and non-Pearl River Delta cities of Meizhou, Chaozhou, Shantou, Shanwei, Jieyang, Shaoguan, Heyuan, Qingyuan, Yunfu, Yangjiang, Maoming and Zhanjiang, a total of 12 cities.

The *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Emissions Inventory* pointed out that emissions in the transportation sector only include direct emissions generated during the use of vehicles. This study also adopts this classification. Unless otherwise specified, this study refers to the direct emissions of vehicles as carbon emissions.

For regional emission assessments, a comprehensive consideration of various factors leads to better differentiation of emissions sources and a more accurate outcome. Our research categorizes Guangdong Province into four tiers based on factors such as regional economic level, industry characteristics, and policy formulation and implementation. These tiers are Shenzhen (Tier 1), Guangzhou (Tier 2), other Pearl River Delta regions (Tier 3), and non-Pearl River Delta regions (Tier 4). Higher tiers have a faster pace towards achieving net zero emissions from road transportation. Within each tier, road vehicles are divided into two broad categories: passenger vehicles and commercial vehicles. Passenger vehicles are further sub-divided into taxi (ride-hailing), online ride-hailing, and private cars, while commercial vehicles include city buses, school buses, other passenger buses, city logistics vehicles, sanitation vehicles, dump trucks, refrigerated trucks, general trucks, other specialized vehicles, and semi-trailer tractors (see Figure 1).



ES-FIGURE 1 GUANGDONG PROVINCE ROAD TRANSPORTATION RESEARCH FRAMEWORK, BY VEHICLE AND BY REGION

There are four major approaches to reduce road transportation emissions:

- 1) Reducing the overall level of car ownership. For passenger vehicles, some can leverage more advanced car-sharing service platforms and future autonomous driving modes, while others can turn to slower means of transportation or green public transportation. Commercial vehicles will need to rely on a combination of various transportation methods to increase the percentage of low-energy and low-emission transportation methods.
- 2) Reducing the travel distance of motor vehicles. Many methods in achieving this are similar to those used in reducing car ownership.
- 3) Reducing average vehicle energy consumption and emissions. If only vehicular direct emissions are considered, this part then mainly relies on the continuous reduction of energy consumption of traditional fuel vehicles.
- 4) Promoting new energy vehicles, especially pure battery electric vehicles and hydrogen fuel cell vehicles; and utilizing low-carbon biofuels.

Scenario Developments

In order to assess the impact of existing policies and analyze the medium- and long-term emission reduction potential for road transportation in Guangdong Province, the study simulates four scenarios and their corresponding deducted results:

- 1) Baseline scenario, which is based on existing policy strategies. In this scenario, factors such as the level of vehicle electrification and the proportion of alternate fuel vehicles such as natural gas are all based on existing policies or industry goals. For years without official data, inferences are made based on the natural continuation of existing policies.
- 2) 2060 net zero scenario, which is to achieve carbon neutrality in Guangdong's road transportation carbon emissions by 2060.
- 3) 2050 net zero scenario, which is to achieve carbon neutrality in Guangdong's road transportation carbon emissions by 2050.
- 4) Optimized 2050 net zero scenario. This scenario is premised upon the 2050 net zero scenario but hypothesizes a major structural adjustment and optimization of travel and transportation, which would in turn lead to a substantial decrease in vehicle ownership and vehicle kilometer traveled (VKT) when compared with that of the other three scenarios (structural adjustments in travel and transportation are not taken into account in the other three scenarios). Compared with the 2050 net zero scenario, the overall carbon emissions in this scenario are lower and decline faster.

The projected data for the 2060 and 2050 scenarios are based on the ultimate emissions target, the premise for the reversely deduced development of the new energy vehicle penetration rates.

ES-TABLE 1 MAIN PARAMETERS AND RESULTS OF REGIONAL DEDUCTION FOR THE FOUR SCENARIOS

		2020	Baseline Scenario	2060 Net Zero Scenario	2050 Net Zero Scenario	2050 Optimized Net Zero Scenario
Transportation needs and Structural Optimization (~2060)						
Number of passenger vehicles/ thousand people	Shenzhen	170		230		190
	Guangzhou	132		260		205
	Other Pearl River Delta	248		400		340
	Non-Pearl River Delta	130		380		320
Freight turnover, billion tons kilometers	Shenzhen	2,014		3,873		
	Guangzhou	21,614		44,280		
	Other Pearl River Delta	2,416		5,126		
	Non-Pearl River Delta	1,530		4,610		
Proportion of road freight turnover	Shenzhen	22%		20%		14%
	Guangzhou	3%		5%		3%
	Other Pearl River Delta	27%		28%		20%
	Non-Pearl River Delta	57%		58%		45%
Vehicle energy efficiency						
Traditional passenger car, L/100km		6.4 (fuel consumption)	In 2025, 2030, and 2035, fuel consumption per vehicle will reach 5.5, 5.0, and 4.5 L/100km, respectively (under NEDC working condition)			
Traditional commercial vehicle		Varies according to vehicle type and weight	In 2025, the fuel consumption of passenger cars and trucks will be reduced by 10% compared to that of 2019. In 2030, compared to that of 2019, it will be reduced by more than 15% and 12% respectively. In 2035, compared to that of 2019. It will be reduced by more than 20% and 15% respectively.			
Penetration rate of additional and replaced new energy vehicles						
Taxi/Online Ordered Taxi	Other Pearl River Delta	100%	100% for 2020 and beyond			
	Non-Pearl River Delta	88%	100% for 2025 and beyond	100% for 2023 and beyond		
Private vehicle	Shenzhen	21%	100% by 2060	100% for 2036 and beyond	100% for 2026 and beyond	

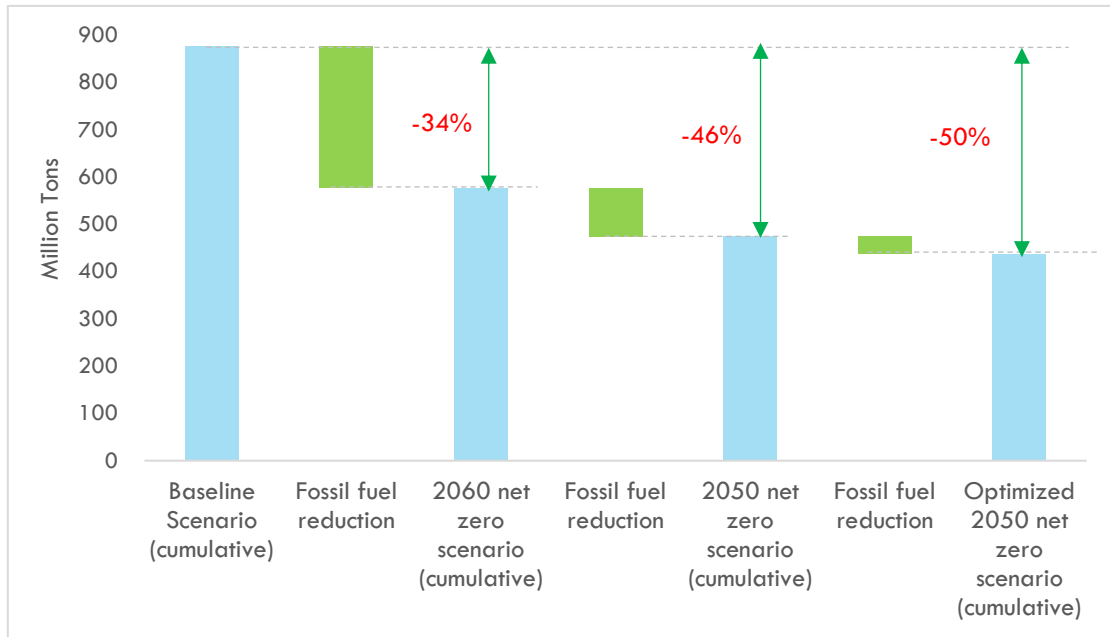
	Guangzhou	8%		100% for 2039 and beyond	100% for 2029 and beyond
	Other Pearl River Delta	2%		100% for 2042 and beyond	100% for 2032 and beyond
	Non-Pearl River Delta	2%		100% for 2045 and beyond	100% for 2035 and beyond
City bus		100%		100% for 2020 and beyond	
School bus		0	50% (2060)	100% no later than 2055 (non-Pearl River Delta)	
Other passenger cars		4~26%	No less than 50% (2060)		
Sanitation vehicles, light delivery/refrigeration trucks		/		100% for 2035 and beyond	
Dump and ordinary trucks, other specialized vehicles, semi-trailer tractors, mid-heavy delivery/refrigeration trucks	Other Pearl River Delta	/	20% (2060)	100% for 2055 and beyond	100% for 2045 and beyond
	Non-Pearl River Delta	/	20% (2060)	100% for 2060 and beyond	100% for 2050 and beyond

Note: the 2020 data in the table above are statistical data from the Statistical Yearbook and the Ministry of Industry and Information Technology. The scenario-related data is inferred by the author from relevant policies and other studies. The penetration rate of new energy vehicles is reversely deduced according to the final emission reduction target.

Research Discoveries and Results

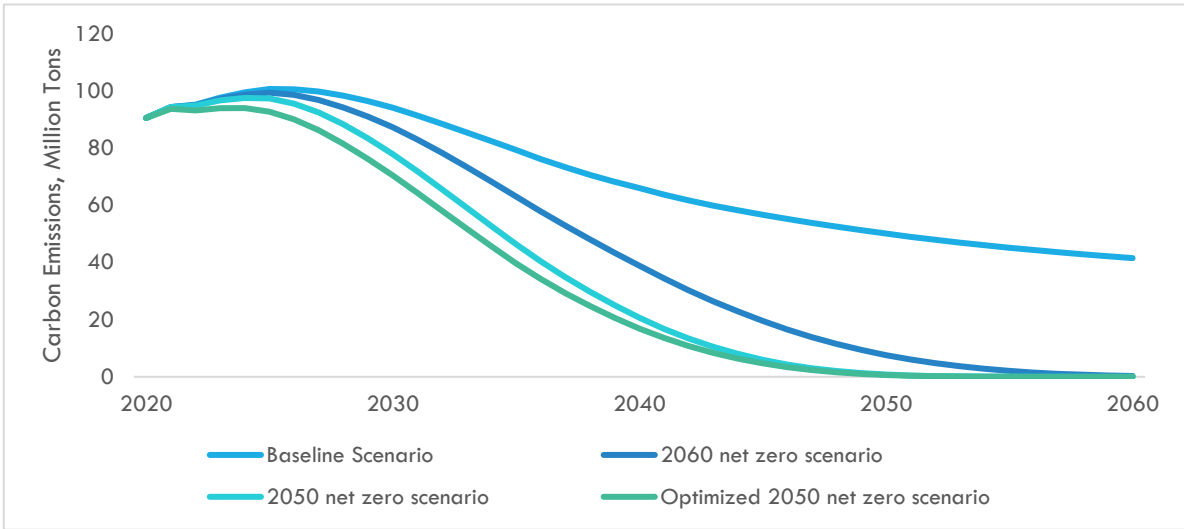
The main findings of this study are as follows:

1) Total oil consumption will decrease dramatically with the application of various emission reduction measures. Under the 2060 net zero scenario, the total road transportation oil consumption in Guangdong Province between 2020 and 2060 will be reduced by nearly 300 million tons compared with the baseline scenario, a drop of 34%. If carbon neutrality can be achieved by 2050, the cumulative total oil consumption can be reduced by 400 to 440 million tons compared with the baseline scenario, which is a reduction of up to 50% (Figure 2). If we assume an import ratio of 70%, these calculations will lead to a reduction of 310 million tons in oil imports and, subsequently, of 155.5 billion USD (2021 exchange rates) in foreign exchange savings.

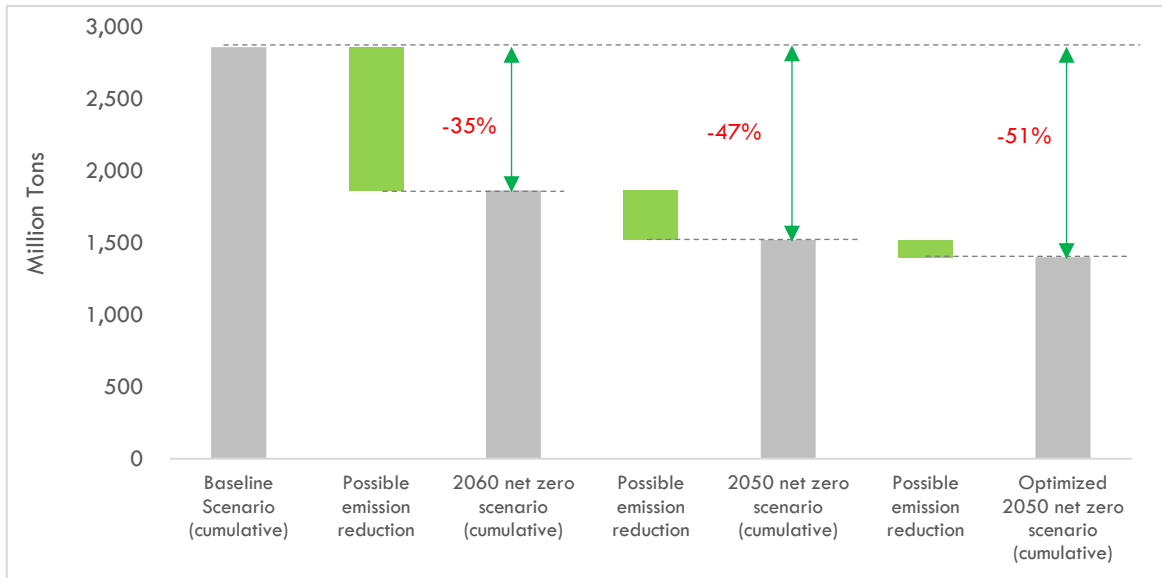


ES-FIGURE 2 CUMULATIVE OIL CONSUMPTION AND RELATIVE REDUCTION IN FOSSIL FUEL CONSUMPTION FOR ROAD TRANSPORTATION IN GUANGDONG PROVINCE UNDER VARIOUS SCENARIOS, 2020-2060

2) These measures will accelerate carbon peaking and dramatically reduce overall carbon emissions. While carbon peak at the national level is typically achieved around 2030, under our scenarios, carbon peaking for Guangdong road transportation emissions will no later than 2025, and it can be accelerated to 2024 under the 2050 net zero scenario. Under the optimized 2050 NetZero scenario, road transportation carbon emissions can enter a plateau in a short period of time. Compared with the baseline scenario, the other three scenarios all yield considerable CO₂ emission reductions. From 2020 to 2060, the 2060 net zero scenario reduces carbon emissions by more than 1 billion tons, a reduction ratio of 35%. The 2050 and optimized 2050 net zero scenarios reduce 47% and 51%, respectively. Achieving carbon neutrality as early as possible will minimize the total amount of CO₂ emitted into the atmosphere and reduce its long-term impacts on global climate change (see Figures 3 and 4).



ES-FIGURE 3 GUANGDONG ROAD TRANSPORTATION CARBON EMISSIONS

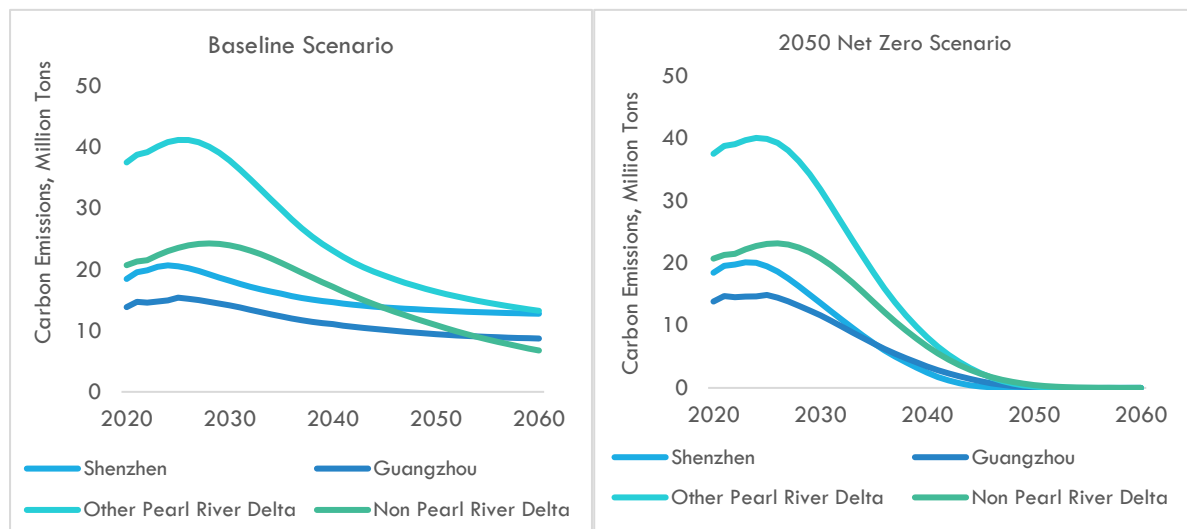


Note: The cumulative value under each scenario is the total amount of road transportation carbon emissions from 2020 to 2060, and the percentage is the cumulative emission reduction ratio of the particular net zero scenario relative to the baseline scenario.

ES-FIGURE 4 CUMULATIVE ROAD TRANSPORTATION CARBON EMISSIONS AND RELATIVE EMISSION REDUCTIONS IN GUANGDONG PROVINCE UNDER VARIOUS SCENARIOS, 2020 TO 2060

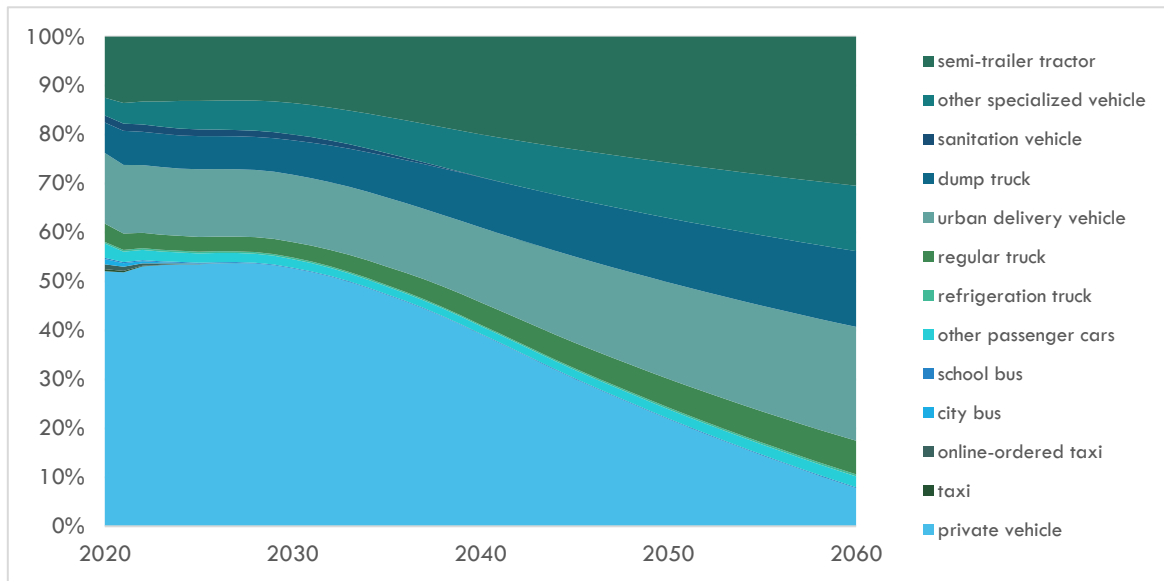
3) There are distinct variations of developmental trends in Shenzhen, Guangzhou, other Pearl River Delta regions, and non-Pearl River Delta regions. Shenzhen will be the first to achieve carbon peak in road transportation emissions. Under the baseline and 2060 net zero scenario, Shenzhen will peak in 2024. Under the 2050 net zero scenario, this date is brought forward to 2023. Non-Pearl River Delta regions have the latest peak time. Under the baseline scenario, this region will peak in

2028. Under the 2060 and 2050 net zero scenarios, it will peak in 2027 and 2026, respectively. Guangzhou and other Pearl River Delta regions will peak mostly in around 2025 (see Figure 5).



ES-FIGURE 5 REGIONAL ROAD TRANSPORTATION CARBON EMISSION TRENDS UNDER THE BASELINE AND 2050 NET ZERO SCENARIOS

4) Different vehicle types contribute various amounts to road transportation carbon emissions. Passenger cars, semi-trailer tractors, urban delivery vehicles, and dump trucks are the largest carbon emitters. Carbon emissions from other specialized vehicles, ordinary trucks, and other passenger vehicles are in the third tier. Under the baseline scenario, by 2060, carbon emission shares from passenger vehicles will drop to 8% while that from semi-trailer tractors will rise to 30% (see Figure 6). Carbon emissions from passenger vehicles will peak around 2026, that from urban delivery vehicles and dump trucks around 2025, and that from semi-trailer tractors around 2040 (see Caption-Table 2). A more comprehensive and aggressive roadmap is needed for medium and heavy-duty commercial vehicles to reduce carbon emissions.



ES-FIGURE 6 CARBON EMISSIONS DISTRIBUTION BASED ON VEHICLE TYPE, THE BASELINE SCENARIO

ES-TABLE 2 CARBON PEAK CHART BASED ON VEHICLE TYPE

Vehicle Type	Baseline scenario	2060 net zero scenario	2050 net zero scenario	Optimized 2050 net zero scenario
Taxi/Online-ordered taxi	Already declining			
Private vehicle	~2026	~2025		~2024
City bus/ school bus/ other passenger vehicles	Already declining			
Refrigeration truck	~2025		Plateau	
Regular truck	Already declining			
Urban delivery truck	~2025			Plateau
Dump truck	~2025		~2024	Plateau
Sanitation truck	~2023			
Other specialized vehicles	~2028	~2026	~2025	
Semi-trailer tractors	~2040	~2025		Plateau

5) Different combinations of emission reduction measures should be utilized and emphasized during various periods for maximum efficiency. The change in travel behavior and adjustments in freight structure have great potential for emission reduction before 2040. In later periods, due to

substantial increases in the proportion of new energy vehicles in the fleet, reduction effects of the aforementioned two methods will gradually decline. The emission reduction potential generated through the promotion and application of new energy passenger vehicles will reach its peak between 2030 and 2040, while that of new energy commercial vehicles will occur after 2040, making them the main driving forces supporting road transportation emission reductions in later periods.

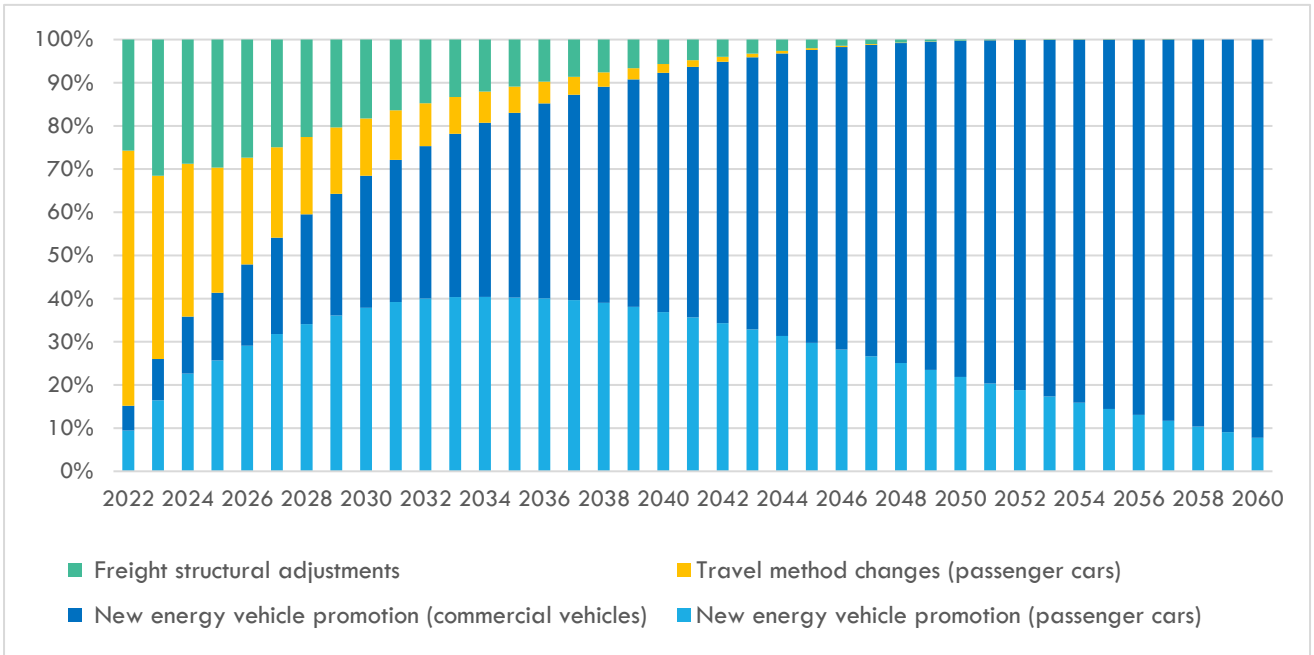
When compared with the baseline scenario, the optimized 2050 net zero scenario will cumulatively reduce approximately 1.5 billion tons of CO₂ between 2020 and 2060. The utilization of new energy consumer vehicles cumulatively contributed 64% of emission reductions, new energy passenger vehicles contributed 27%, while travel method change and freight structural adjustments contributed 3% and 5%, respectively (see Figure 7 and Caption-Table 3).

ES-TABLE 3 CUMULATIVE EMISSION REDUCTION POTENTIAL OF VARIOUS MEASURES OVER TIME (FROM THE BASELINE SCENARIO TO THE OPTIMIZED 2050 NET ZERO SCENARIO)

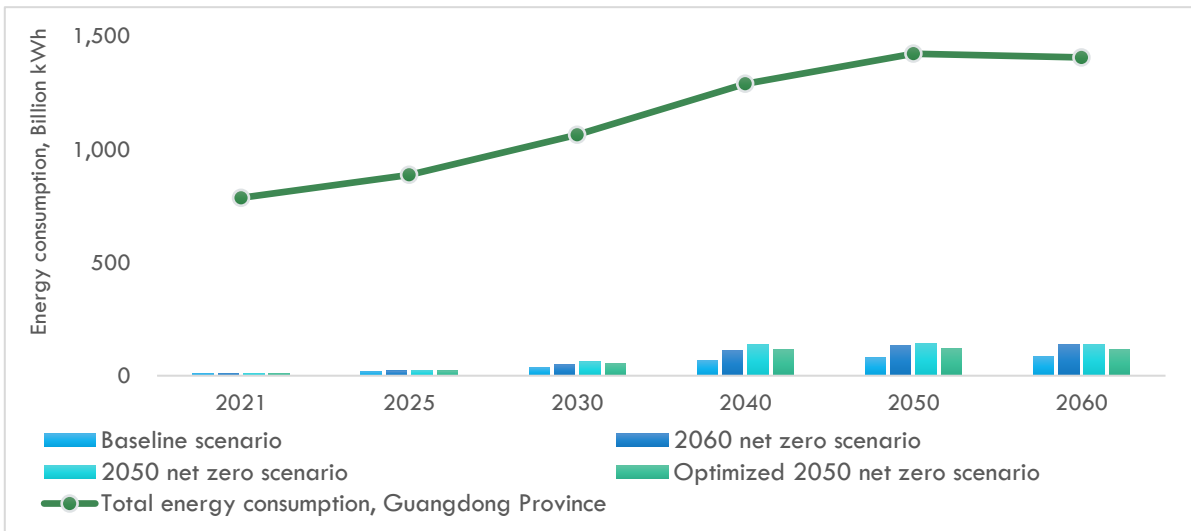
	2020-2030, cumulative	2030-2040, cumulative	2040-2050, cumulative	2050-2060, cumulative	2020-2060, cumulative
New energy vehicle promotion (passenger cars), million tons	33.5	155.6	147.8	63.2	400.1
New energy vehicle promotion (commercial vehicles), million tons	24.7	179.3	349.6	385.3	939.0
Travel method changes (passenger cars), million tons	22.3	21.8	2.6	0.0	46.7
Freight structural adjustments, million tons	24.1	39.5	10.5	0.2	74.2
Cumulative, million tons	104.6	396.2	510.6	448.7	1460.0

Note: Data in the table are calculated by the author through referencing research

6) The rapid increase in new energy vehicles will accelerate growth in electricity consumption: by 2060, electric vehicle consumption of electricity will reach 82.1 to 137.4 billion kWh, which will account for 5.8-9.8% of Guangdong's total electricity consumption (see Figure 8). In terms of power distribution, widespread haphazard charging of electric vehicles will affect the stability of the power grid, which can be alleviated through smart charging, battery swapping, and vehicle-to-grid systems (V2G).



ES-FIGURE 7 ANNUAL CONTRIBUTION RATE TO ROAD TRANSPORTATION EMISSION REDUCTIONS IN GUANGDONG PROVINCE, BY METHOD (FROM THE BASELINE SCENARIO TO THE OPTIMIZED 2050 NET ZERO SCENARIO)



Note: Total energy consumption for Guangdong Province combines precedential data since 2000, along with the 14th Five-Year development plan, dual carbon goals, economic development, and a myriad of other factors, and is predicted through the LEAP model.

ES-FIGURE 8 FORECAST OF TOTAL POWER CONSUMPTION OF ELECTRIC VEHICLES IN GUANGDONG PROVINCE UNDER VARIOUS SCENARIOS

Propose the Roadmap for Guangdong Road Transportation Carbon Neutrality

Achieving carbon neutrality is the ultimate goal for road transportation sector. For Guangdong Province, road transportation emissions have not yet peaked and the pathway to reaching carbon neutrality remains lengthy. In order to better achieve carbon neutrality, this study recommends the formulation of a comprehensive blueprint. Based on the research results, this study proposes two sets of roadmaps, each reverse-derived from 2060 and 2050 as the target year for reaching carbon neutrality in road transportation emissions (Figure 9).

In the 2060 net zero roadmap, the main task for non-Pearl River Delta regions is to achieve carbon peak as soon as possible prior to 2030, while the other regions should shorten the plateau period and begin reducing carbon emissions after reaching the peak. In terms of promoting new energy passenger vehicles, due to the expansion of the new energy passenger vehicle market, there will be no significant challenges in raising awareness and vehicle promotion. However, as the user base for electric vehicles has expanded to a significantly large community, continued rapid growth would require construction and strategic deployments of various supporting infrastructures. For new energy commercial vehicles, the roadmap is developed by referencing the electrification goals of the public sector as put forth by the state and some cities, such as the full electrification of public transportation before 2035. In reality, however, in certain underdeveloped regions (such as the non-Pearl River Delta regions), public transport electrification is still at relatively low levels, hence highlighting the long path ahead in realizing carbon neutrality.

In the optimized 2050 net zero roadmap, in order to further reduce overall carbon emissions, this study recommends continuously advocating green travel methods, while taking advantage of interprovincial rail and water transportation to develop multi-modal freight structures. This would greatly reduce the share of road transportation, though subregional planning in consideration of regional differences.

The precedent from developed nations reveals that carbon reductions in the transportation sector are slower than that of other sectors, and most developed regions in the world set 2050 as the target for carbon neutrality. Guangdong province has unique advantages in economy, policy, and industry, and is fully capable of being the leader and setting an example for the country. This study recommends Guangdong Province formulate a road transportation decarbonization strategy

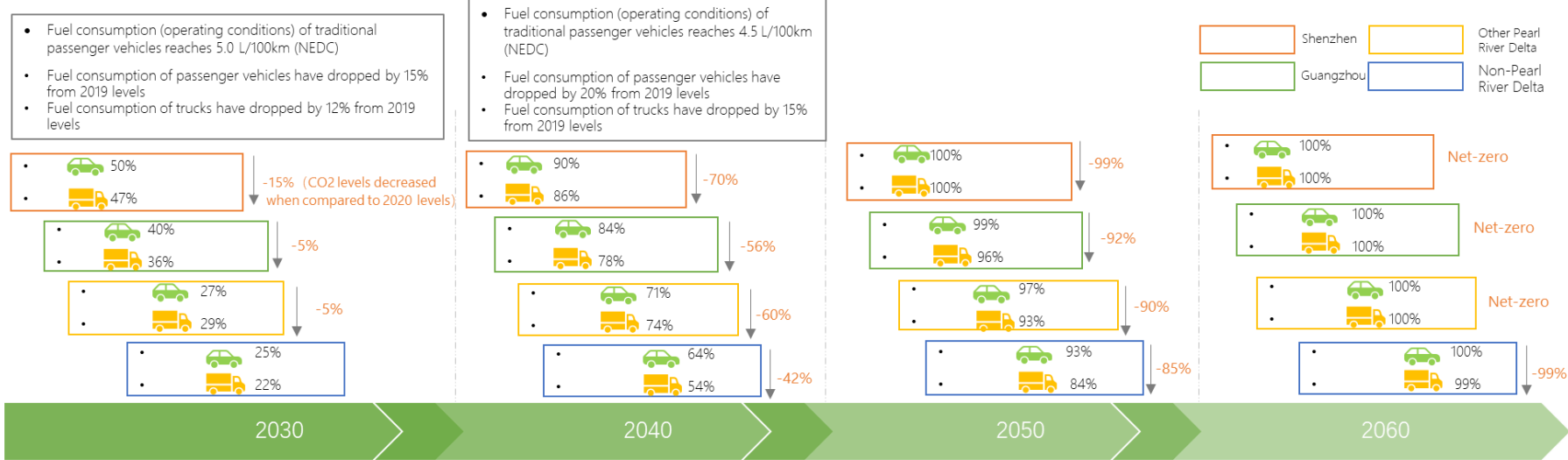
based on the optimized 2050 net zero roadmap. In comparison to the 2060 net zero roadmap, achieving the optimized 2050 roadmap will achieve multiple benefits (see Caption-Table 4). However, it should be noted that policy development and implementation should all need to take into consideration the regional and even national contextual situations, and an effective policy impact assessment should be conducted.

ES-TABLE 4 EVALUATION OF THE EFFECT OF IMPLEMENTING THE OPTIMIZED 2050 NET ZERO ROADMAP (COMPARED TO THE 2060 NET ZERO ROADMAP)

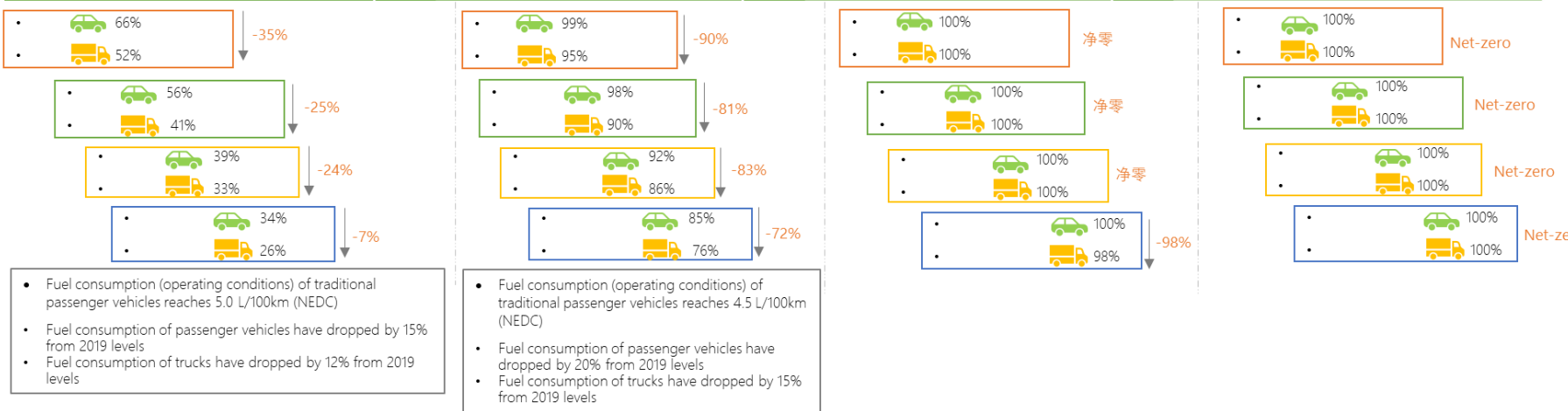
	Compared to implementing the 2060 Net Zero Roadmap
Time in Reaching Carbon Neutrality	Brought forward by 10 years (2050)
Carbon emissions peak level	-5.4 million tons (-5.4%)
Cumulative oil consumption, 2020-2060	-139 million tons (-24%)
Cumulative foreign exchange savings from oil imports, 2020-2060*	\$69.7 billion
Cumulative carbon emissions, 2020-2060	-460 million tons (-25%)
Cumulative carbon emission reduction from 2021 levels, 2020-2060	3.9%

Note*: Calculated with the assumption that 70% of oil consumption are imported, oil prices are estimated from 2021 levels. in 2021, national carbon emissions are approximately 11.9 billion tons. The above figures are from IEA-Global Energy Review: CO₂ Emissions in 2021.

2060 Net Zero Road Map



2050 Net Zero Road Map



• The proportion of road freight turnover has further declined
 • The proportion of green travel increased, and the level of private passenger vehicle activity decreased

Note: In the above image, 🚗 represents passenger vehicles, the percentage behind it represents the ratio of new energy cars to total private vehicle ownership. The 🚚 represents commercial vehicles, the percentage behind it represents the ratio of new energy cars to total commercial vehicle ownership

ES-FIGURE 9 GUANGDONG PROVINCE ROAD TRANSPORTATION NET ZERO EMISSIONS ROADMAPS FOR 2060 AND 2050

Proposed Quantitative Emission Reduction Targets and Annual Carbon Budget at the Provincial and City Level

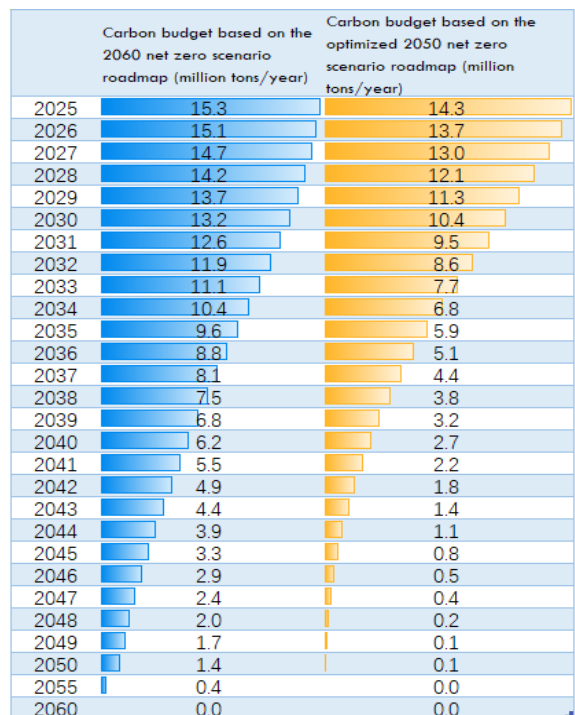
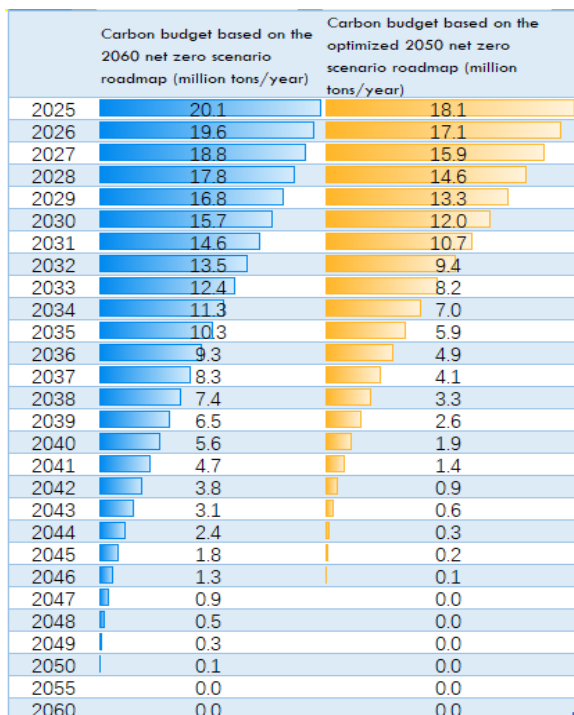
A reliable, high-quality accounting of carbon emissions is the basis for measuring the effectiveness of emission reduction efforts. Such quantitative work requires an unbiased, scientific, and operable mechanism. Internationally, the IPCC proposed the concept of carbon budget. This budget refers to the CO₂ that the world can still emit under the premise of avoiding the catastrophic impact of climate change. It is a series of non-binding values put forth with the entire globe as the basic unit and does not differentiate between regions and industries, therefore is inadequate to serve as the strategic guide for emission reduction in a specific industry. Under this context, this study is the first to propose the concept of an annual carbon budget for road transportation, one calculated from demand and the market side, rather than the conventional “budget” developed from a top-down method, and is, therefore, a value more in line with the development of the industry and more specific. This study is the first to develop quantitative emission tables and budget forms for road transportation in Guangdong Province and its various regions.

From the research results, carbon emissions under the 2060 net zero scenario are considered to be the upper limit of the road transport carbon budget in Guangdong Province, while those under the optimized 2050 scenario are considered the target value. This is due to the fact that 2060 is identified by the state as the target for achieving comprehensive carbon neutrality at the national level. Guangdong Province, as the most economically advantageous province with strong policy decision-making and implementation capabilities, has the resources and responsibility to set an example in achieving more ambitious carbon neutrality goals.

Regional road transportation carbon budgets will provide guidance for local governments in achieving carbon neutrality goals as well as aid in the development of quantitative indicators in supervising the progress of carbon neutrality at all levels of the government. As the Chinese government is starting to require all industries and governments at different levels to strengthen the preparation of carbon emission inventories, this study will work to positively encourage progress.

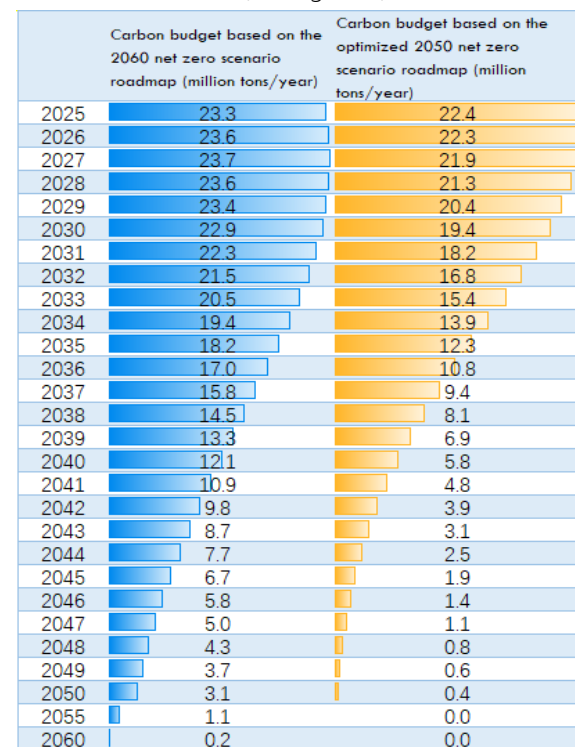
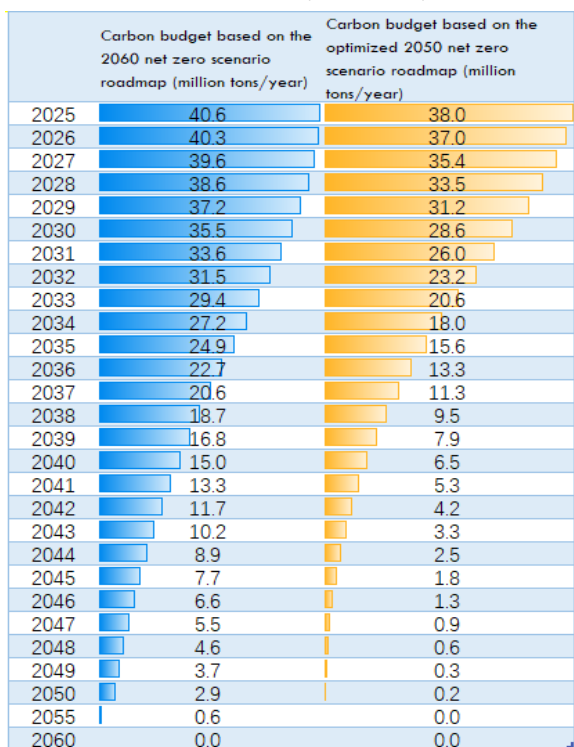
	Carbon budget based on the 2060 net zero scenario roadmap (million tons/year)	Carbon budget based on the optimized 2050 net zero scenario roadmap (million tons/year)	Percentage increase of the optimized 2050 net zero carbon budget when compared to that of 2060
2025	99.4	92.8	-7%
2026	98.6	90.1	-9%
2027	96.8	86.2	-11%
2028	94.2	81.5	-14%
2029	91.0	76.1	-16%
2030	87.3	70.4	-19%
2031	83.0	64.4	-22%
2032	78.3	58.1	-26%
2033	73.4	51.8	-29%
2034	68.2	45.6	-33%
2035	63.0	39.7	-37%
2036	57.8	34.2	-41%
2037	52.9	29.2	-45%
2038	48.0	24.7	-48%
2039	43.4	20.6	-52%
2040	38.8	16.9	-57%
2041	34.4	13.6	-61%
2042	30.3	10.7	-64%
2043	26.4	8.4	-68%
2044	22.8	6.4	-72%
2045	19.5	4.7	-76%
2046	16.5	3.4	-80%
2047	13.9	2.4	-83%
2048	11.5	1.6	-86%
2049	9.4	1.0	-89%
2050	7.6	0.6	-92%
2055	2.1	0.0	-98%
2060	0.3	0.0	-99%

ES-FIGURE 10 ANNUAL CARBON BUDGET FOR ROAD TRANSPORTATION IN GUANGDONG PROVINCE



(Shenzhen)

(Guangzhou)



(Other Pearl River Delta)

(Non-Pearl River Delta)

ES-FIGURE 11 ANNUAL CARBON BUDGET FOR ROAD TRANSPORTATION OF GUANGDONG PROVINCE, BY REGION

Policy Recommendations

This study analyzes the medium- and long-term development trends and emission reduction potentials in road transportation carbon emissions in Guangdong Province, by regions and scenarios. If the application of new energy vehicles and the improvement of vehicle energy efficiency can be further accelerated and enhanced from the current policy regulations, a more significant emission reduction can be achieved for road transportation in Guangdong Province.

During the research process, we discovered several issues in road transportation carbon emission reduction work in Guangdong Province:

(1) First, there is a lack of quantitative emission reduction target guidance and monitoring mechanisms. This is not a unique case but instead a ubiquitous issue. Even at the national level, there is only an overarching “2030 carbon peak, 2060 carbon neutrality” strategic plan, and does not have a specific target for the transportation industry or phased emission reduction goals. This lack of policy guidance is not conducive to the formulation of policy recommendations for emission reduction management departments.

(2) Second, there is an absence of a standard measuring system for road transportation carbon emissions, which is not conducive to the compilation of transportation emission inventories in various regions, and also feeds into the aforementioned lack of benchmarks for each phased goal. However, this situation is expected to be improved. On October 31, 2022, the Market Supervision Bureau and other departments jointly issued the *Implementation Plan for Establishing and Improving the Standard Measurement System for Carbon Peak and Carbon Neutrality*, emphasizing the importance of strengthening a standardized system to quantify the low-carbon development of transportation.

(3) Third, the low-carbon transformation of road transportation differs by region. Shenzhen and Guangzhou have been at the forefront of the province and the country in promoting and utilizing new energy vehicles and have also formulated clear promotion targets and plans for 2025. In contrast, other regions have not proposed targets corresponding to their local conditions and are relatively more passive in new energy vehicle utilization.

(4) Lastly, in comparison to passenger vehicles, the promotion and application of new energy commercial vehicles still have a long way to go. Under the net zero scenarios set forth in this study,

the emission reduction potential of road transportation in Guangdong Province is obvious, but this is premised upon a radical proliferation of new energy commercial vehicles. In reality, there are still many difficulties in technology and market plans for long-distance new energy trucks, even in specific scenarios with policy support, such as the lingering case of electric dump trucks in Shenzhen after subsidies are removed.

This study puts forth several policy recommendations for road transportation emission reduction in Guangdong Province, emphasizing a phased approach, from government decision-making, social factors, and the market, as seen in Caption-Table 5. Based on the research results, the study recommends that Guangdong Province actively strive to reach carbon neutrality in 2050 based on the optimized net zero roadmap. As a strong economic province, Guangdong has distinct advantages in industry and policy implementation. With stronger policy or market impetus, the realization of carbon neutrality in road transportation emissions can be achieved on an accelerated timeline. This would require the local government to form a joint force for policies, regulations, and markets, and propose targeted solutions and guidance for the various regions in Guangdong Province, in order to further promote the road transportation decarbonization process. In terms of government decision-making, methods include formulating development goals for new energy passenger vehicles in different periods, formulating quantitative transportation emission reduction goals based on technology neutrality, and establishing a city-based carbon budget credit mechanism and inter-city carbon budget trading mechanism, and so on. In terms of the social context and market aspect, tactics include increasing the utilization of private charging ports, raising residents' awareness in green travel incentive policies (such as carbon inclusiveness credits or establishing personal carbon accounts), etc. These policies and measures are expected to slow down the growth rate of road vehicles in Guangdong Province, increase the proportion of clean energy vehicles, and accelerate carbon peak and subsequent emission reductions.

ES-TABLE 5 SUMMARY OF POLICY RECOMMENDATIONS FOR NET ZERO EMISSIONS IN GUANGDONG PROVINCE'S ROAD TRANSPORTATION

Rec' Area	Time Period	Applicable Regions	Main Issue	Specific Recommendations
Government Policy	Current-2025	Other Pearl River Delta and Non-Pearl River Delta	Absence of new energy vehicle development goals	<p>Local development and reform departments, Department of Transportation, Department of Ecology and Environment</p> <ul style="list-style-type: none"> Formulate new energy vehicle promotion goals according to local conditions
		Entire Province	<ul style="list-style-type: none"> Current infrastructure is inadequate in supporting the rapid increase of new energy vehicles New energy commercial vehicle market remains limited 	<p>Local development and reform departments, Departments of Housing and Urban-Rural Development</p> <ul style="list-style-type: none"> Accelerate the rollout of charging infrastructure, fully evaluate the implementation of charging and battery replacement technology, and adequately plan and build charging and battery replacement infrastructure <p>Local development and reform departments, transportation departments, public security departments</p> <ul style="list-style-type: none"> Actively implement favorable national policies in promoting new energy commercial vehicles, such as continuously opening up the right of way for new energy trucks, continue to promote new energy commercial vehicles among the public, and, taken into consideration of regional differences, promote new energy vehicles in closed parks or on designated routes
	2025-2035	Entire Province	<ul style="list-style-type: none"> Lack of new energy passenger vehicle promotion targets at the local level after 2025 The electrification rate of commercial vehicles in the public sector is far from the goal of 	<p>Local development and reform departments, Department of Transportation, Department of Ecology and Environment</p> <ul style="list-style-type: none"> In the field of passenger vehicles, formulate new energy vehicle promotion goals according to local conditions In the field of commercial vehicles, comprehensively electrify public areas such as sanitation, delivery, and postal services through policy intervention <p>Local housing and urban-rural development departments, land and resources departments, public security departments</p>

			<p>comprehensive electrification in 2035</p> <ul style="list-style-type: none"> Hydrogen fuel cell vehicle industry chain needs to be improved Freight vehicles are still growing 	<ul style="list-style-type: none"> The charging and batter replacement infrastructure constructions should be further increased while the construction of hydrogen refueling stations and other transportation energy facilities are put on the right track Further improve the multimodal transportation system and reorient part of road transport demands to railway and water transport
Long-term	Entire Province	<ul style="list-style-type: none"> Lack of standardization in transportation carbon emission measurement and emission reduction benchmarks. Existing policies have an obvious technical orientation, and it is difficult for companies (especially commercial vehicle companies) to choose personalized technology strategies based on their own advantages and costs The rapid growth of electric vehicle ownership will have an impact on the power grid Significant variations remain by region 	<p>Local development and reform departments, Department of Transportation, Standard-setting Institutions</p> <ul style="list-style-type: none"> Establish a transportation carbon emission inventory compilation mechanism at the provincial and municipal levels based on the MRV principle Study and formulate phased quantitative targets for transportation emission reduction in Guangdong Province as soon as possible to support relevant policy formulation. It is recommended that government-affiliated research to study and demonstrate the emission reduction potential of various emission reduction measures, comprehensively evaluate the feasible measures in different periods in the future, and formulate phased quantitative goals for transportation emission reduction Maintain the principle of technology neutrality in the process of setting transportation emission reduction targets Establish a city-based carbon budget credit mechanism and an inter-city carbon budget trading mechanism in the transportation sector to ensure that actual emissions do not deviate too much from the budgeted value <p>Local development and reform departments, power grid companies, standard setting institutions, corporations</p> <ul style="list-style-type: none"> Implement time-of-use electricity prices, coordinate orderly charging, decrease peak-to-valley differences Support power grid companies, hydrogen and natural gas refueling station companies, and their upstream and downstream companies to cooperate with vehicle industries, to build an innovation platform for new energy vehicles and smart energy, carry out cross-industry joint innovation and technology research and 	

				<p>development, and accelerate the promotion of new energy vehicles and standardized systems</p> <p>Local development and reform departments, Department of Transportation, etc.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Establish an exchange and learning platform for road transportation emission reduction to share successful case studies • Form support groups between advanced cities and disadvantaged cities for point-to-point communication
Social, market	Recent (5-10 years)	Entire Province	The contextual affordances for the installation of private charging ports need to be improved, and their utilization rate is low	<p>Local housing and urban-rural development departments, charging and battery-replacing companies and alliances, owners of private charging posts</p> <ul style="list-style-type: none"> • Further optimize the installation conditions of charging ports in residential areas and simplify the application and reporting process • Formulate sharing standards and guidelines for private charging posts to increase their utilization rate
	Long-term	Entire Province	<ul style="list-style-type: none"> • The number of road vehicles is still growing rapidly • Residents' awareness of green travel needs to be improved 	<p>Local land and resources departments, transportation departments, public security departments, science and technology departments, urban and rural residents</p> <ul style="list-style-type: none"> • Strengthen the construction of public transportation and slow transportation systems, etc., and assist the reduction of private vehicle ownership and utilization rate • Raise awareness for public transportation, such as buses and subways, and incentivize sustainable transportation methods, such as walking, biking, and other slow-moving transportation methods for short distances • Research and formulate incentive policies for residents' green travel, such as carbon inclusiveness, establishment of personal carbon accounts, and promotion of mutual recognition of personal accounts across the province and even across the country

道路交通净零排放路线图研究

Background

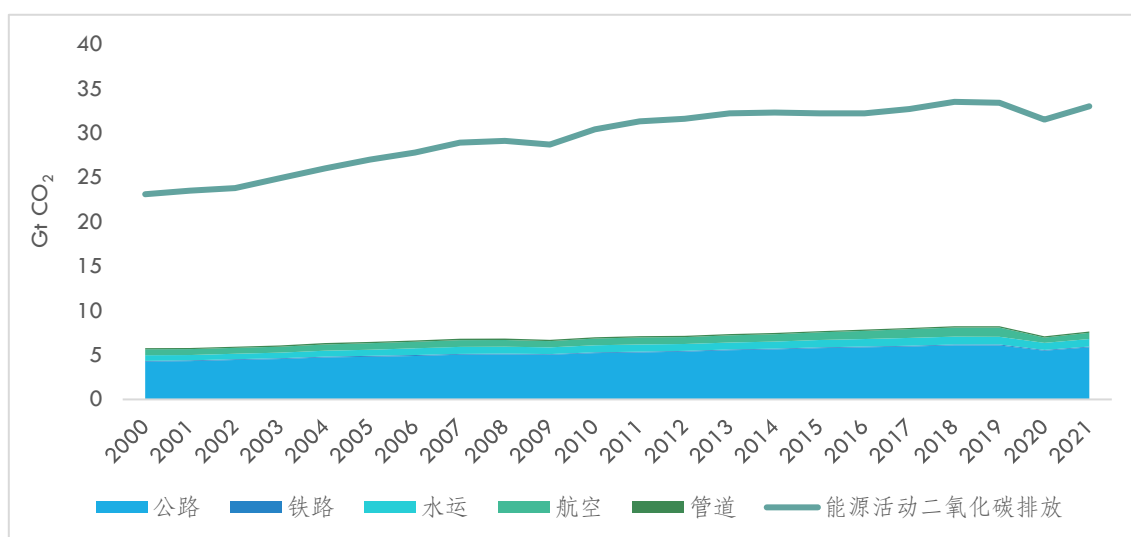


第一章 道路交通净零排放路线图研究背景

全球温室气体排放仍在加剧，据统计，2021 年全球温室气体排放量达到 40.8 吉吨二氧化碳当量 (CO₂e)，超过了 2019 年水平，创造了历史新高¹。温室气体对大气环境的影响显著，以二氧化碳 (CO₂) 为例，排放出的 CO₂ 约有 65~80% 会在 20~200 年间溶解到海洋里，其余的 CO₂ 则需要经过缓慢的化学风化或岩石形成过程被吸收，这也意味着只要 CO₂ 存在大气中，将会持续影响大气数千年之久²。全球必须共同努力尽快让温室气体排放达峰并后进入下降通道，直至实现净零排放。2021 年中国温室气体排放位据全球第一，占比达 30%，且历史累积排放 (1850 年至今) 也升至全球第二³。中国作为负责任的大国，必须通过自身努力，从现在到本世纪中叶大幅降低累计碳排放量，使温室气体排放尽早达峰，努力降低峰值，快速进入下降通道，以提前实现净零排放。

政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 特别报告《全球变暖 1.5°C》⁴中对气候变化中经常提及的两个术语进行了定义：碳中和 (也可称为净零碳排放) 是指一个组织的年度碳排放通过碳去除技术应用达到平衡，净零排放是指一个组织在一年内的所有温室气体 (以 CO₂e 衡量) 排放量与消除量达到平衡。对交通领域而言，CO₂ 是最主要的温室气体排放种类⁵，因此本研究中通用净零排放与碳中和的含义。

交通运输是支撑我国实现碳达峰碳中和目标的关键领域之一，全球范围来看，交通领域的脱碳进程也将影响温室气体排放体量变化以及温控目标的实现。IEA 数据显示，交通领域对化石能源的依赖程度最高，2021 年交通领域消耗的化石燃料燃烧产生的 CO₂ 占化石燃料终端使用行业 CO₂ 排放总量的 37%⁶。在能源活动相关的 CO₂ 排放中，交通领域排放占到总排放量的 1/4 左右⁷ (见图 1)。



来源: IEA

图 1 全球能源活动相关 CO₂ 排放与交通 CO₂ 排放趋势

与其他领域相比，交通部门脱碳进展相对迟缓。如美国 2007 年左右实现碳达峰，至 2019 年总碳排放量下降 12%，但同期交通部门碳排放仅降低 5%⁸。欧盟(27 国)2019 年国内总碳排放量(基于 UNFCCC)较 1990 年下降 32%，交通部门碳排放却增加了 24%⁹。

我国还没有权威的交通碳排放量逐年的核算和统计数值，经测算，目前交通运输排放约占我国碳排放总量的 10%¹⁰，相比于 2014 年的 7%¹¹已经有了大幅提升。交通运输是国民经济发展的先导性和基础性行业，我国经济发展在进入“新常态”后，国民收入进一步提高，交通运输需求空间潜力巨大，这将对交通行业碳排放控制产生较大压力。《2030 年前碳达峰行动方案》《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》等文件对加快推进交通运输绿色低碳转型和实现交通部门碳中和提出了阶段性目标及指导。

国家温室气体排放清单数据显示，道路交通是交通运输领域最主要的排放源，占到我国交通碳排放总量的 85%左右，是交通减排的绝对重点。道路交通运输工具体量大、增速快、场景复杂，运营及归属主体差异性大，尤其是对在国民经济中起到重要支撑作用的货运车辆的减碳工作，需综合考虑技术、成本、运行等多重因素，任务十分艰巨。基于核算数据对道路交通中长期减排潜力进行分析，有助于梳理减排措施成效及战略部署，为道路交通减排政策制定提供参考。

我国地域广阔，区域地理位置、气候变化、经济发展等因素都将影响道路交通减排战略的路径及战略部署。历年以来，很多政策目标的落实是以“先示范、后推广”的模式进行，先行先试地区积累的经验可以为其他地区提供宝贵借鉴。在推进碳达峰碳中和目标实施的过程中，上述模式仍有借鉴意义。

粤港澳大湾区为世界第四大湾区，包括香港、澳门两个特别行政区，和广东省的广州、深圳、珠海、佛山、惠州、东莞、中山、江门和肇庆九市，是国家建设世界级城市群和参与全球竞争的重要空间载体。粤港澳大湾区经济发达，区域面积仅占中国国土面积的 0.58%，却集中了超过 6%的人口，地区 GDP 占全国总量的 11%¹²（2020 数据）。粤港澳大湾区交通运输产业发达，香港国际机场是全球最繁忙的货运机场，港口物流及海运规模稳居全球前列¹³，广州白云机场旅客吞吐量全国第一，在货运方面，白云机场和深圳宝安机场位列国内前三¹⁴。因此，粤港澳大湾区交通净零排放对全国交通减排具有重要示范意义。能源与交通创新中心（CET）自 2020 年起联合多家顶尖智库、高校与科研机构，持续开展中国广东省及大湾区交通零碳排放路线图研究，聚焦广东省及粤港澳大湾区，旨在加快大湾区交通领域碳中和进程。

广东省是我国第一经济大省，拥有深圳、广州两个超大型城市，依托粤港澳大湾区，在政策落地和开拓创新方面具有先天优势，有能力、有基础为全国的碳达峰碳中和工作探索落实措施与配套政策体系。2021 年广东省成立了全国首个省级碳达峰碳中和标准化技术委员会，2022 年相继出台了《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》和《广东省碳达峰实施方案》¹⁵，对广东省“双碳”工作提出了具体目标，使全省“双碳”工作进入全面实施阶段。

本研究为《广东省及粤港澳大湾区交通净零排放路线图》的一期项目，主要分析广东省道路交通净零排放的路径与方案，研究结果进一步支撑广东省及大湾区综合交通净零排放目标的制定及推进。



道路交通净零排放方法学

Methodology

第二章 道路交通净零排放方法学

2.1 研究范围

2.1.1 研究对象

《城市温室气体核算工具指南》《道路机动车大气污染物排放清单编制技术指南》等文件中对道路交通的范围认定一般包括载客汽车、载货汽车、以及动力驱动的两轮/三轮车辆。从碳排放量来看，摩托车、农用运输车等两轮/三轮车辆排放的温室气体仅占道路交通总排放量的 2.3%左右¹⁶，对整体碳排放的影响不大。同时，这类车的保有量、使用规律等影响参数的获取难度较高。因此，在本研究中道路交通工具的对象仅包括载客汽车和载货汽车。

从运输需求的角度来看，道路交通可被划分为客运和货运两大类。客运车辆包括私家车、出租车、中型客车、大型客车、公交车以及网约车等车辆。货运车辆则有不同的划分标准，既可以按照车辆的大小、重量划分为微、轻、中、重型，也可以按照使用场景划分为物流、冷藏等类别。此外，道路车辆还可按照《汽车和挂车类型的术语和定义》(GB/T 3730.1-2001)，根据用途划分为乘用车和商用车两类，这也是目前国家宏观汽车销售统计中所使用的分类方法。与客、货运分类相比，该分类方法中每一类型之间的车辆在性能、参数等方面更为接近。在本研究中将遵循这一划分标准，以使两类汽车在下面的分析中更具有针对性。在商用车中仍会按照统计归类方法进一步细分为客车和货车，商用车中的细分车型（表 1）则是根据车辆实际运营中承担的角色和定位进行区分。

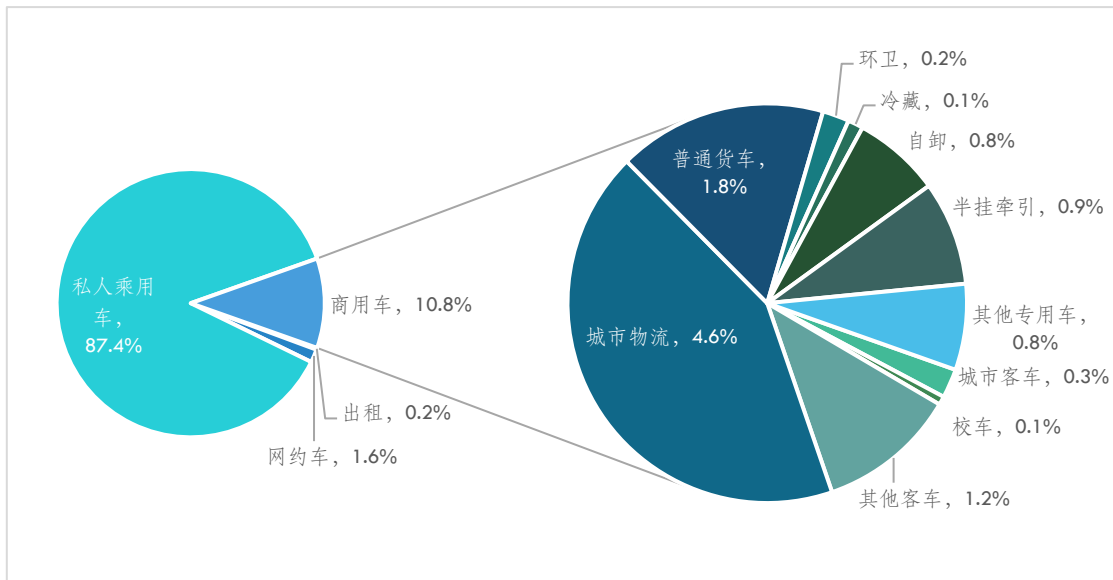
就乘用车而言，出租车作为城市公共交通的一部分，其运营较为规范，数据获取难度不大。网约车的准入以及平台接入管理正在逐步规范化，目前国内网约车生态主要由“B2C+C2C”两种模式构成，前者包括车企入股投资或自建的车队，如吉利汽车旗下的“曹操出行”、小鹏汽车旗下的“有鹏出行”、威马汽车旗下的“即客行”、广汽旗下的“如祺出行”等，后者仍主要以滴滴平台的网约车注册司机为主。B2C 模式的网约车运营相对稳定，而 C2C 模式的个人网约车运营则具有较大的不确定性，这也将是网约车运营数据收集的难点之一。公务车相关数据的难点在于，难以精确获得各地区的公务车数量，考虑到公务车总体数量有限，在实际计算中将其与私家车进行合并，统一并入“私人乘用车”类别。

商用车方面，客车和货车在整体销量、使用等方面差异较大，在研究中分别讨论。其中，客车按照使用性质的不同划分为城市客车、校车和其他客车三类。货车划分为半挂牵引车、冷藏车、自卸车、环卫车、物流车、普通货车以及其他专用车，研究中根据表 1 所列说明将各类车从数据库中手动分类。

表 1 本研究涵盖的道路交通工具及功能细分

	功能细分	说明
乘用车	(巡游) 出租车	传统意义上的出租车，招手即停，部分出租车也会接入网络约车平台
	网约车	通过出行平台 APP 进行预约和乘坐，有 B2C 和 C2C 两种模式
	私人乘用车	乘用车中除巡游出租和网约车以外的车辆
商用车（客车）	城市客车	运营城市公交线路，其中深圳和广州体量最大
	校车	接送中、小学生及幼儿园上、下学，总量处在相对稳定的水平
	其他客车	主要指城市客运车辆，受经济等因素影响较大
商用车（货车）	半挂牵引车	装备特殊装置用于牵引半挂车的车辆，多在长途货运中使用
	冷藏车	主要用于运送需要维持冷冻或保鲜的货物，实际上是物流车的一种细分应用场景
	自卸车	专用运输车辆的一种，主要用来运输建筑材料、煤炭等货物，常在固定区域内使用，如泥头车
	环卫车	专用作业车的一种，用于道路清扫、垃圾转运、道路洒水等多个作业环境，种类繁多
	城市物流车	特征为封闭式厢式货车，最主要的类型为轻型城市物流车
	普通货车	货运车辆中除以上单列出来的其他车辆，如栏板式、仓栅式货车等
	其他专用车	包含专用运输和专用作业车

来源：本课题组



数据来源：作者根据统计数据、车辆上险数据综合整理

图 2 广东省各类道路车辆保有量占比情况 (2021)

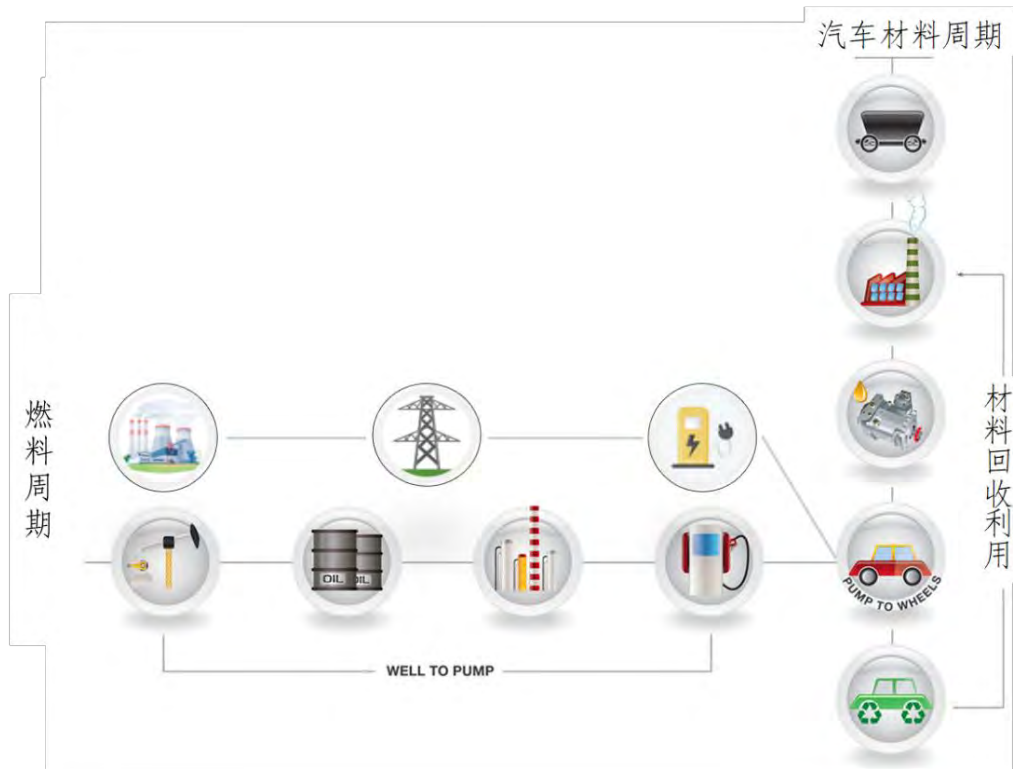
2.1.2 核算边界

生命周期评价 (LCA) 是指对一个产品或服务系统生命周期过程中的物质与能量输入输出及其相应的环境影响进行衡量与汇总的体系过程。由美国阿贡国家实验室开发的 GREET 模型¹⁷是目前国际上通用的汽车生命周期评价方法。GREET 模型包含燃料周期和汽车材料周期两部分 (见图 3), 其中, 燃料周期又包括“油井到油箱” (Well-to-Pump, WTP) 和“油箱到车轮” (Pump-to-Wheel, PTW) 两个环节, 汽车材料周期则包括车辆生产、使用和回收利用三个基本环节。根据研究需要以及数据的可及性, 在实际研究中, 汽车排放研究分为三种: (1) 包含汽车材料周期和燃料周期的全生命周期排放, 这类研究涉及的信息和参数最广最全, 能够较为全面地反映汽车产品在全生命周期内的环境影响; (2) 燃料周期排放, 这类研究主要关注汽车燃料的燃烧以及这些燃料在生产运输过程所产生的环境影响; (3) “油箱到车轮”的终端使用环节排放 (即“直接碳排放”), 这类研究甚至不考虑燃料上游生产和配送过程的环境影响, 数据涉及面最小, 该类核算中影响结果的参数主要包括燃料类型以及汽车的燃料消耗量水平。

汽车全生命周期涵盖了汽车制造、能源、电力、冶金等诸多行业, 进行全生命周期评价的复杂度高。在碳达峰、碳中和目标“全国一盘棋”的局面下, 全生命周期评价可能造成多行业排放核算的交叉甚至重复计算, 同时基于全生命周期核算的碳排放数据并不能直接作为交通领域减排政策制定的依据, 例如, 电力生产及输配环节碳排放归属于电力行业, 而非交通领域。《2006 年 IPCC 国家温室气体排放清单指南》中, 交通运输部门排放仅包括“油箱到车轮”部分。换言之, 只要交通领域使用的车辆及能源在终端环节不产生碳排放, 就可以认为该领域实现了零排放。

在本研究中, 以车队直接排放作为主要核算指标, 即通常所说的“范围一”排放。如无特别说明, 研究所称碳排放均指直接碳排放。电力上游排放及制氢环节产生的排放均不在本研究核算范围之内。也就是说, 本研究中纯电动汽车和氢燃料电池汽车的直接碳排放均为零。需要注意的是, 这种核算方式有可能鼓励一些高碳燃料的使用, 例如基于化石燃料生产的“灰氢”, 这需要在制氢领域制定基于全生命周期的碳排放评价方法, 并出台鼓励生命周期碳排放强度更低燃料的政策。

在城市温室气体排放清单编制中, 一般以城市的管辖边界为核算边界, 即采用属地原则为基础的居民活动法。具体到车辆方面, 主要考虑在本地注册的运输工具或本地注册运输公司下辖的运输工具所产生的排放¹⁸。本研究也基于这一边界进行道路交通碳排放核算。



资料来源: GREET[®] Model, ICET

图 3 汽车全生命周期图示

2.1.3 排放物核算种类

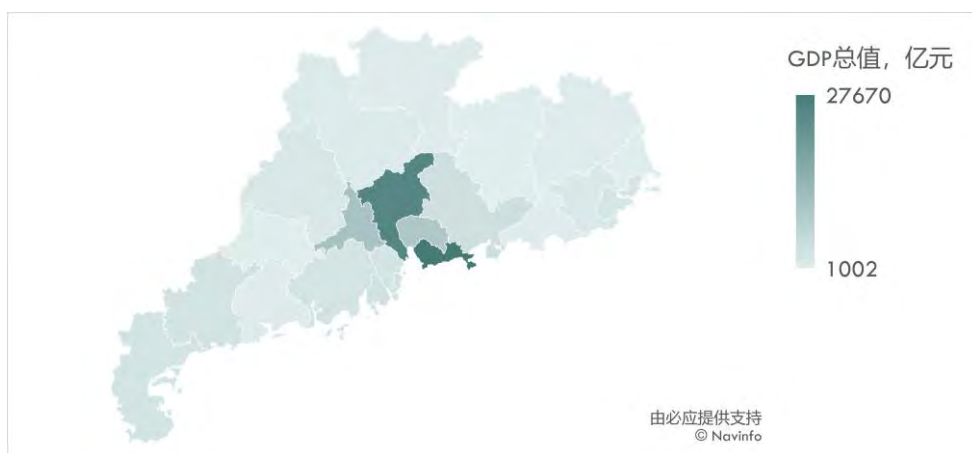
温室气体核算种类方面, 京都议定书汇总规定的 6 种温室气体为: 二氧化碳 (CO₂)、甲烷 (CH₄)、氧化亚氮 (N₂O)、氢氟碳化合物 (HFCs)、全氟碳化合物 (PFCs)、六氟化硫 (SF₆)。根据气候变化国家信息通报文件核算结果, 中国温室气体排放的主要来源是能源活动和工业生产, 气体类型上看, CO₂ 则是最主要的温室气体。在交通运输领域, CO₂ 排放占到温室气体排放总量的比例达到 99%, 也是最主要的温室气体种类¹⁶。在本研究中, 除非特殊说明, 我们也仅评估由车辆能源使用所产生的 CO₂ 排放, 不包含其他种类的温室气体。因此, 以下所提到的碳排放 (除非特别指明为温室气体排放) 亦指代 CO₂ 排放。

在空气污染物排放核算中, 主要测算车辆污染物的直接排放和蒸发排放, 污染物种类与生态环境部机动车排污监控中心发布《中国移动源管理年报》中一致, 包括一氧化碳 (CO)、碳氢化合物 (HC)、氮氧化物 (NO_x) 和颗粒物 (PM) 四大项, 其中, 颗粒物中只测算细颗粒物, 即 PM_{2.5}。

2.2 区域划分

积极推动道路交通低碳转型是通过人为措施对市场进行干预的做法，在该过程中需要一定的经济基础、社会认知和政策落实手段作保障，这在全球不同地区提出的净零排放时间表上可以得到印证，即越发达国家和地区的时间表越激进，反之亦然¹⁹。

就广东省内而言，也存在发展步调的不一致性。首先，从经济总量上来看，珠三角九市具有明显优势（见图 4），GDP 占广东全省 GDP 总量的 80%左右；其次，广东省目前的新能源汽车产业集群也基本集中在珠三角经济区（见图 5），产业集群的存在一方面将继续拉动经济增长，另一方面也能为当地的新能源汽车推广助力。



数据来源：广东省统计年鉴

图 4 广东省各地市 GDP 总值情况（2020）

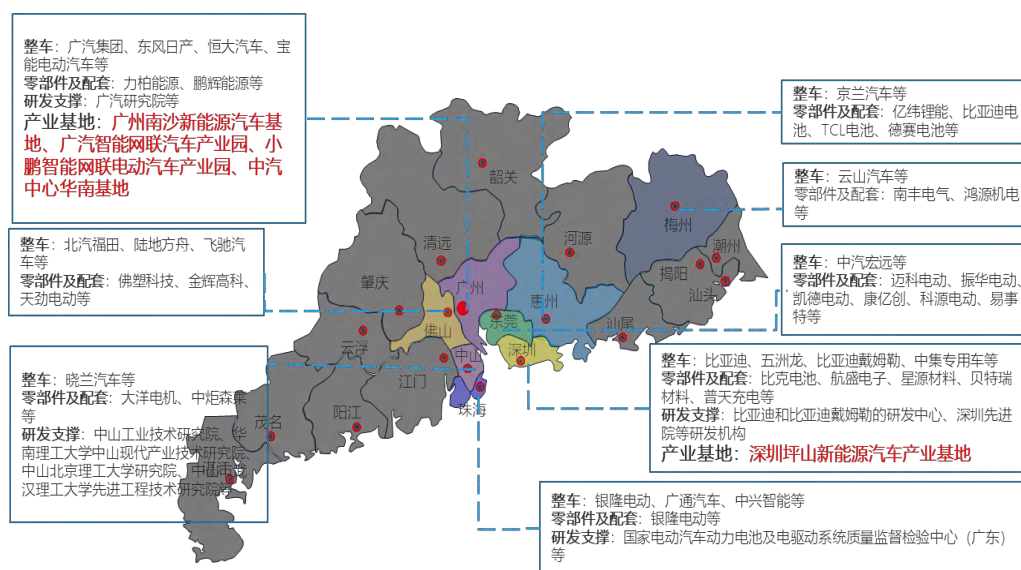


图 5 广东省新能源汽车及上下游产业链布局

乘用车是用以满足居民日常出行需求的重要工具，全球范围的发展规律表明，其保有量和电动化发展水平与经济水平呈现强相关性²⁰。商用车常被认为是重要的生产工具，与经济发展之间呈现交叉影响的态势。

图 6 显示广东省各地市在经济发展与汽车保有率方面呈现出了较强的相关性，即经济发展水平高的区域（图中红色圆点代表的城市）往往也具有更高的汽车保有率水平。粤东西北地区的经济发展相对落后，进而也影响到这些城市的汽车消费，致使总体保有率水平偏低。

除上述因素外，地方政府的决策力和政策执行能力是推动交通净零排放发展的另一个重要因素²¹。在这方面，深圳市和广州市具有其他城市所不可比拟的优势。深圳市辖我国重要的经济特区——深圳经济特区，自改革开放以来经济社会发展一直走在全国前列，当地政府的政策规划和执行能力很强，使深圳成为我国也是全球首个实现公交、出租和网约车全面电动化的城市。广州市是广东省的省会，也是省级政治中心，在相关数据的获取和政策制定方面有着独特的优势。但也应注意到，尽管广州市在“双碳”领域出台了文件，目前广州市尚没有在某一个细分交通领域实现全面电动化，相关经验较深圳有所欠缺。

综合以上分析，在本研究中我们认为广东省要实现道路交通净零排放，更好的选择是将全省划分为若干区域并分别制定针对性的净零排放策略，使其尽量在各区域的承受范围之内。

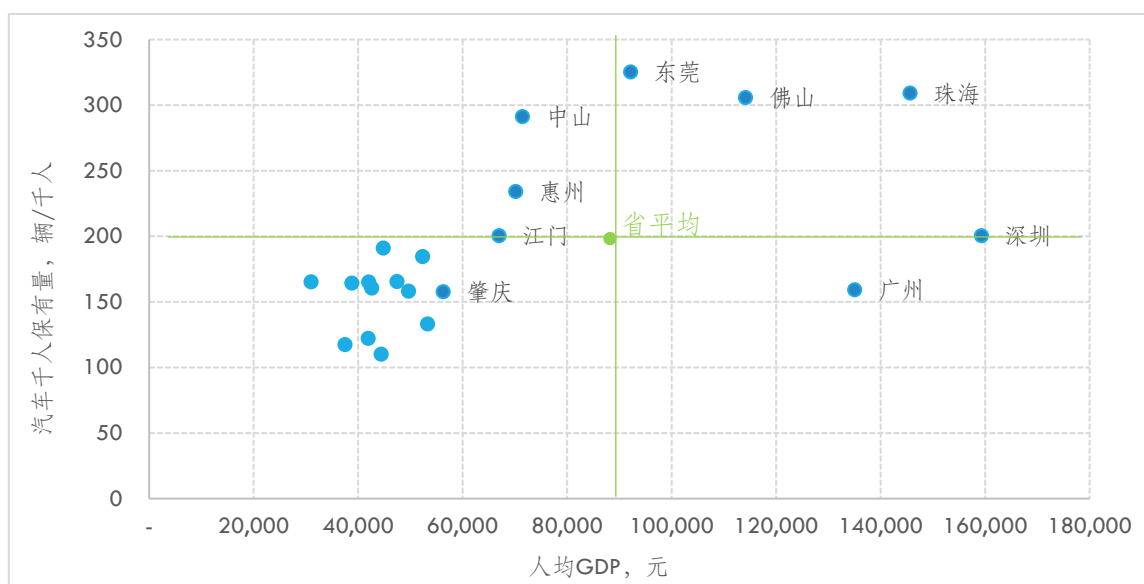
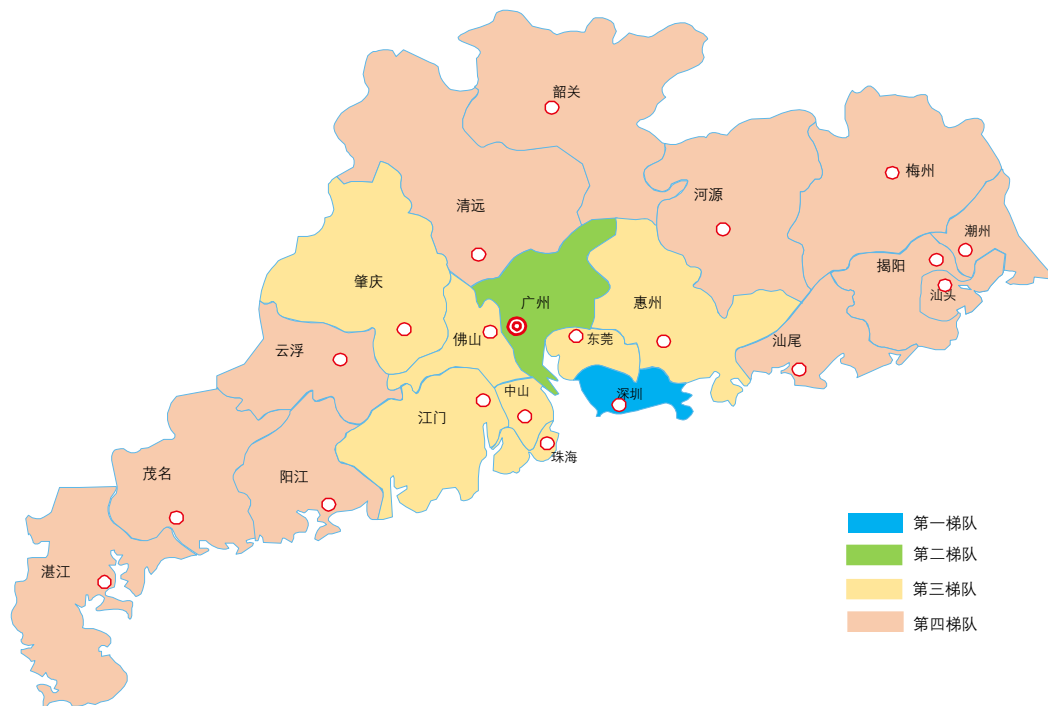


图 6 广东省各地市经济水平与汽车保有率情况 (2020)



来源：作者绘制

图 7 广东省达成道路交通净零排放目标的区域划分

第一梯队被认为是可以最快实现净零排放的区域，研究中认为深圳市可以单独划分到这一级。通过制定相对较快的电动化进度来加速深圳市道路交通净零排放进程，可在广东省内乃至全国形成示范效应。

第二梯队被认为可以以相对较快的速度实现道路交通净零排放。结合以上分析，将广州市划分到这一级。

第三梯队包括佛山、东莞、惠州、中山、珠海、江门和肇庆七个城市，即广东省内除广、深两市的其他珠三角城市。该区域紧邻广州和深圳两个经济中心，经济水平领先于粤东西北地区，且背靠珠三角新能源汽车产业集群，在推广新能源汽车方面具有较大优势。

第四梯队包括珠三角九市之外的所有粤东西北地区，该区域的经济发展相对落后，且缺少产业支撑，在新能源汽车发展上也较为滞后。因此，该区域的道路交通电动化不适合提出过于激进的目标。

2.3 模型方法

2.3.1 碳排放核算方法

核算交通领域 CO₂ 排放量是分解碳达峰、碳中和战略目标，评估地方交通碳排情况，引导交通领域实现碳减排的重要基础。目前道路交通领域 CO₂ 排放核算方法有三种：一是“自上而下”方法：按照地区范围内的交通领域实际能源消耗量数据乘以燃料碳排放系数计算交通碳排放量，这其中需要注意的是，在统计数据中，交通运输行业能源消耗量主要指经营性质的交通活动能耗，并未覆盖全部交通活动；二是“自下而上”方法：依据各种交通方式的活动水平（如行驶里程）乘以单位活动水平的碳排放因子，计算交通碳排放量；三是生命周期方法：计算各类交通工具生产、运营、回收等整个生命周期内产生的碳排放总量。三种方法的优缺点对照如表 2 所示。

“自上而下”法可通过能源统计年鉴获取数据，但由于我国能源终端消费统计中将交通运输、仓储和邮政作为一个行业，难以按照交通运输管理部门业务范畴拆分，无法精准获取不同交通方式能源消耗量。全生命周期法无论是数据需求还是量化方法均涉及多学科、多环节、多部门，计算复杂度较高，误差相对较大。“自下而上”法由于各类数据分散在不同部门、企业，数据获取有一定难度，但基于完善的跨部门协调机制则可实现各类数据收集，且可精准反映不同交通方式在城市 CO₂ 排放中的贡献度，便于交通运输管理部门引导开展针对性减排措施。得益于能源、交通、生态环境等跨部门数据来源，本研究采用“自下而上”法进行碳排放计算。

表 2 三种碳排放核算方法比较²²

方法	特点	优点	不足
自上而下法	依据交通运输行业整体能源消耗计算交通碳排放量	数据易于获取	无法体现不同交通方式碳排放情况； 将交通运输、仓储和邮政作为一个行业统计，难以按照管理部分范畴进行拆分
自下而上法	依据不同交通方式的出行需求计算交通碳排放量	能够精准反应不同交通方式碳排放贡献，引导针对性减排措施	数据需求较多，分散在不同部分、企业等，获取难度较大
全生命周期法	依据不同交通工具从生产到淘汰整个生命周期耗能计算交通碳排放量	能够全面的反应各种交通工具全生命周期能耗情况	数据需求涉及多学科、多环节、多部门，计算较为复杂，误差较大

在以“自下而上”法进行城市交通排放核算时，不同交通方式往往需要采用不同的具体方法，目前而言主要有能耗法、周转量法、里程法、起降法四种（表 3）。由于城市往往较难直接获得细分的各类交通方式的能源消耗数据，因此从实操性较高的角度，推荐城市采用根据活动水平进行核算的方法，如周转量法和里程法。一般来说，轨道交通、民航、水运和部分营运道路推荐采用周转量法。非营运道路交通以

及营运道路交通中的出租车、公交车等多以保有量、客运量、行驶里程等数据进行统计，推荐采用里程法²³。本研究中，结合数据可获得性，对乘用车和商用车均采用里程法进行碳排放计算。

表 3 各类交通方式的排放清单核算方法

	营运道路		非营运道路		轨道		水运		民航	
	CO ₂	污染物	CO ₂	污染物	CO ₂	污染物	CO ₂	污染物	CO ₂	污染物
能耗法	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
周转量法	√				○	○	○	○	√	
里程法	○	○	○	○	√		√		√	
路网清单法	○	○	○	○						
起降法									○	○

来源：《城市交通大气污染物与温室气体协同控制技术指南（1.0 版本）》

2.3.2 汽车保有量预测方法

(1) 乘用车

根据国内外关于乘用车保有量预测的经验，在研究中使用 Gompertz 曲线进行乘用车保有量的预测，该曲线是一个具有饱和值的三参数模型，模型基于两大假设，第一是随着经济发展，汽车增长速度分为加速、减速和饱和三个阶段，分别对应汽车总量的缓慢增长期、井喷期和饱和期；第二是收入水平也对增速产生影响，模型会对不同收入阶段赋予不同曲率。研究中建立的 Gompertz 模型见公式（2-1）。

$$P(X) = \gamma e^{\alpha e^{\beta X}} \quad \text{公式 (2-1)}$$

其中， $P(X)$ 为每千人乘用车保有量， γ 为千人乘用车保有量的饱和值， X 表示人均 GDP（万元）， α 和 β 是方程的两个参数，通过对历史数据的拟合而得。

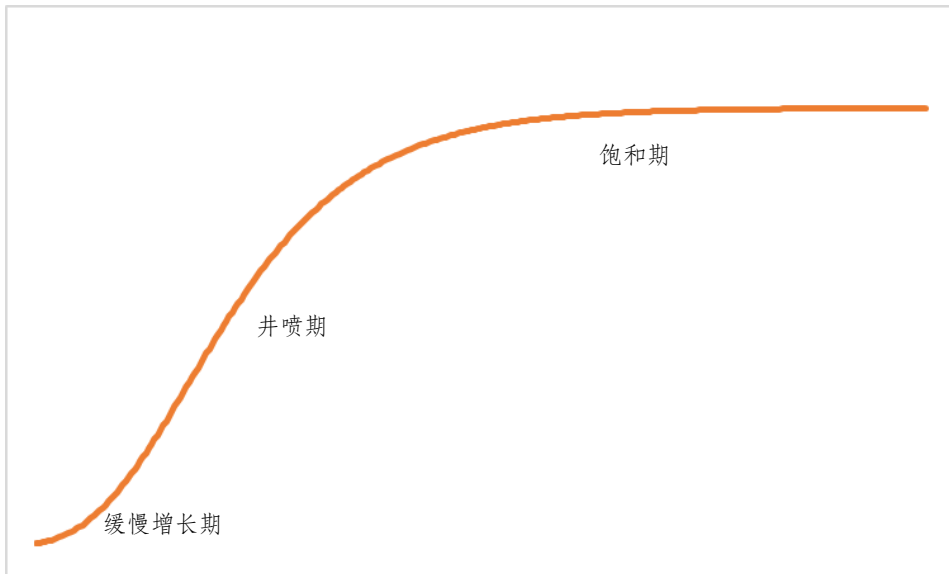


图 8 典型的 GOMPERTZ 曲线形状

将公式 (2-1) 进行变型，得到线性回归模型：

$$\ln(\ln y - \ln P(X)) = C + \beta X \quad \text{公式 (2-2)}$$

将广东省的数据代入，拟合结果见图 15， R^2 超过 0.996，拟合效果非常理想。

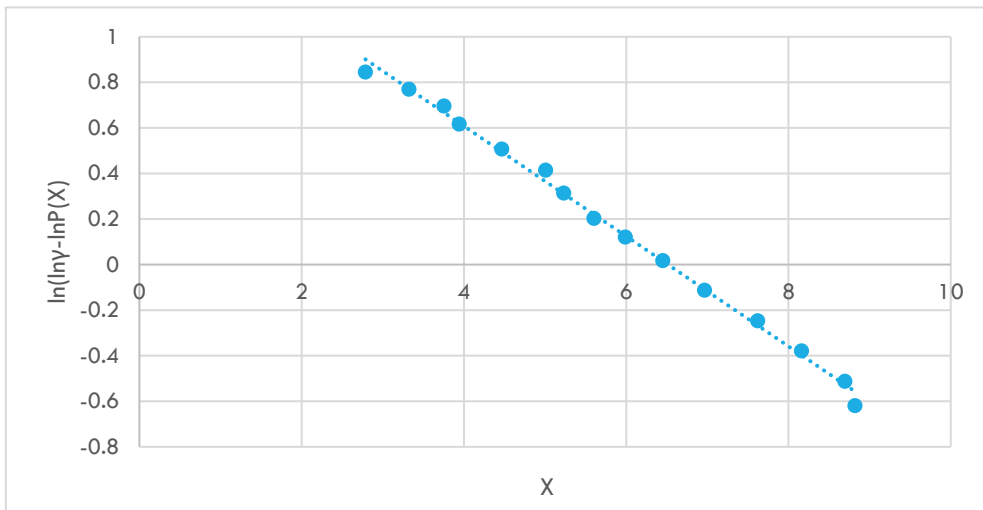


图 9 GOMPERTZ 模型对广东省乘用车保有量的线性拟合关系

(2) 商用车

货运车辆数量与公路货物周转量之间存在近似线性关系，本研究将建立货运车辆千人保有量与公路货运周转量的线性关系式，通过预测公路货运周转量实现对货运车辆需求量的预测。具体可表示为：

$$V = mX_{road} + n \quad (\text{公式 2-3})$$

式中， V 为货运车辆的千人保有量， X_{road} 为某地区公路货运周转量， n 为常数项。

公路货运周转量是总体货运周转量的一部分，在相关研究中，对总体货运周转量的预测方法更为成熟，如采用弹性系数法进行预测，影响因素包括人均 GDP 和燃料价格，具体公式如下：

$$D(x) = \alpha \cdot x_{income}^{\beta} \cdot x_{price}^{\gamma} \quad (\text{公式 2-4})$$

其中， $D(x)$ 指包含公路、水运、航空、铁路等所有方式的总体货运周转量， x_{income} 是指人均 GDP（基于不变价）， x_{price} 指燃料价格，在研究中采用国际原油价格。 α 、 β 和 γ 是待拟合的系数， β 为长期人均收入弹性系数， γ 为长期燃料价格弹性系数。

$$X_{road} = D(x) \cdot r_{road} \quad (\text{公式 2-5})$$

上式中， r_{road} 为公路货运周转量在货物周转量总量中的占比， X_{road} 为公路货运周转量。

除货运车辆外，环卫车未来发展采用万人保有量的方法进行预测，该方法在公共服务领域车辆的预测中常被使用²⁴。其他专用车，如警车、救护车等，同样也受到经济发展、政府投入力度等多个因素的影响，本研究中对其他专用车保有量的预测基于各区域经济水平发展速度进行，研究预判在本世纪中叶左右其他专用车保有量基本是能实现与经济发展的脱钩，达到较为稳定的水平。其中，深圳、广州、其他珠三角地区的经济水平较非珠三角地区更为发达，其他专用车保有量与经济发展脱钩的时间也相对有所提前。

2.3.3 模型搭建与开发

(1) 基本框架

本研究在里程法的基础上开发了一套软件模型，即交通部门长期能源与排放分析模型（Transportation Long-Term Energy and Emission Model, TLEEM）。用户只需输入准备的基础数据，模型可提供四项服务，分别为年度车辆车队结构推导，能源消耗、碳排放、污染物排放核算。从模型的架构图（图 10）可以看出，年度车辆车队结构推导是最基础也是需要首先完成的任务，其余三个核算需求都是在此基础上进行。能源消耗的核算需要在推导出的保有量结构数据的基础上添加车辆的活动水平及能耗水平；碳排放核算需要在能耗核算的基础上添加碳排放因子数据；污染物排放核算与能源消耗核算、碳排放核算是并行的结构，需要在推导出的保有量结构数据的基础上添加车辆的活动水平、污染物排放因子、排放标准的实施时间及相关的车辆平均速度等数据。

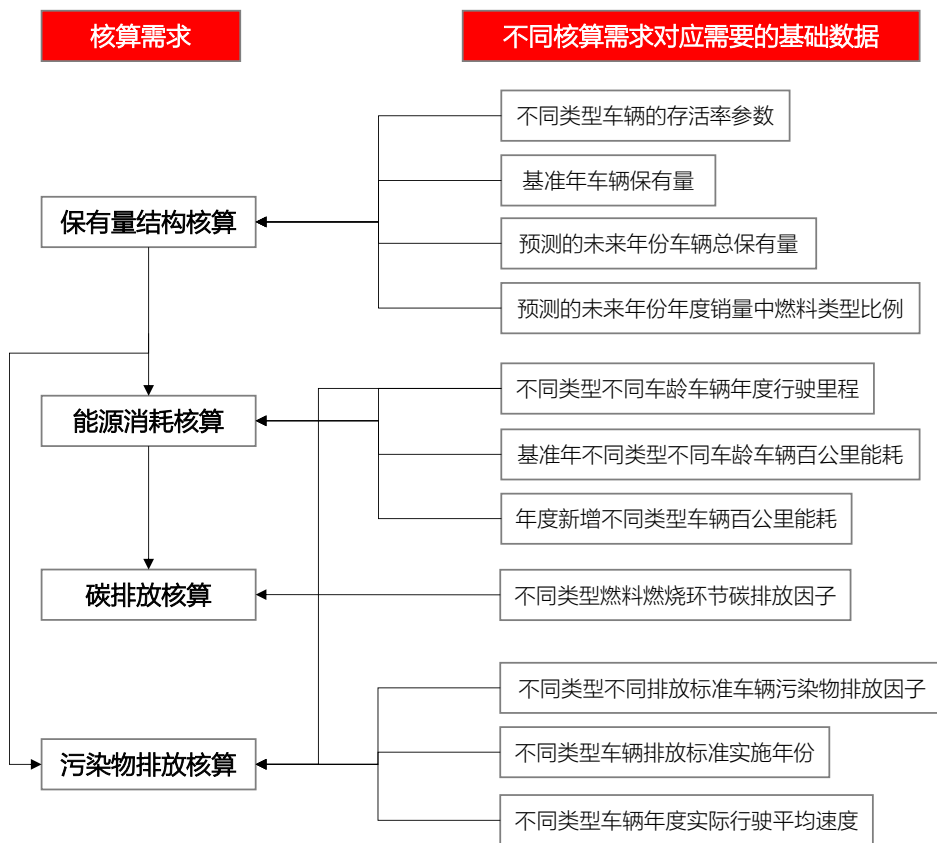


图 10 TLEEM 模型框架分解图

(2) 基础数据的逻辑关系

TLEEM 模型的基础数据及逻辑关系如图 11 所示。车辆保有量从整体上分为“年度存活的车辆”与“年度新增的车辆”。“年度存活的车辆”即按照存活曲线对应的存活率从上一年度存活下来的车辆；“年度新增的车辆”为本年度新置换和登记注册的车辆。这两类下又分别对应五个层级，层级的划分是为了更好的梳理基础数据，用户可以根据自己研究的需要自定义层级，包括层级的前后关系及分类。

第一层级：“年份”，项目研究为 2020-2060 年，用户可以设置为任意年份；

第二层级：“区域”，每一年的数据对应不同的区域，目前项目研究暂时设置为深圳、广州、其他珠三角和非珠三角，用户可以设置为任意区域；

第三层级：“车辆类型”，目前项目研究将车型划分为 13 个类别，即：出租车、网约车、私家车、城市客车、校车、其他客车、城市物流车、普通货车、环卫车、冷藏车、自卸车、半挂牵引车和其他专用车。其中，除出租车、网约车、其他乘用车以及半挂牵引车外，其他车型均按照相应标准划分为轻、中、重（大）型，其中，货运车辆中微型货车由于数量较少，一并计入轻型货车。用户可以设置为任意车型；

第四层级：“燃料类型”，目前项目研究将燃料类型划分为 6 个类别，分别为：汽油、柴油、天然气、混合动力（插电混动）、纯电动、燃料电池。用户可以设置为任意燃料类型。

第五层级：“车龄”，目前项目研究将车龄划分为 0-25 共计 26 个类别，每个车龄对应不同的存活率，用户可以设置为任意车龄年限。

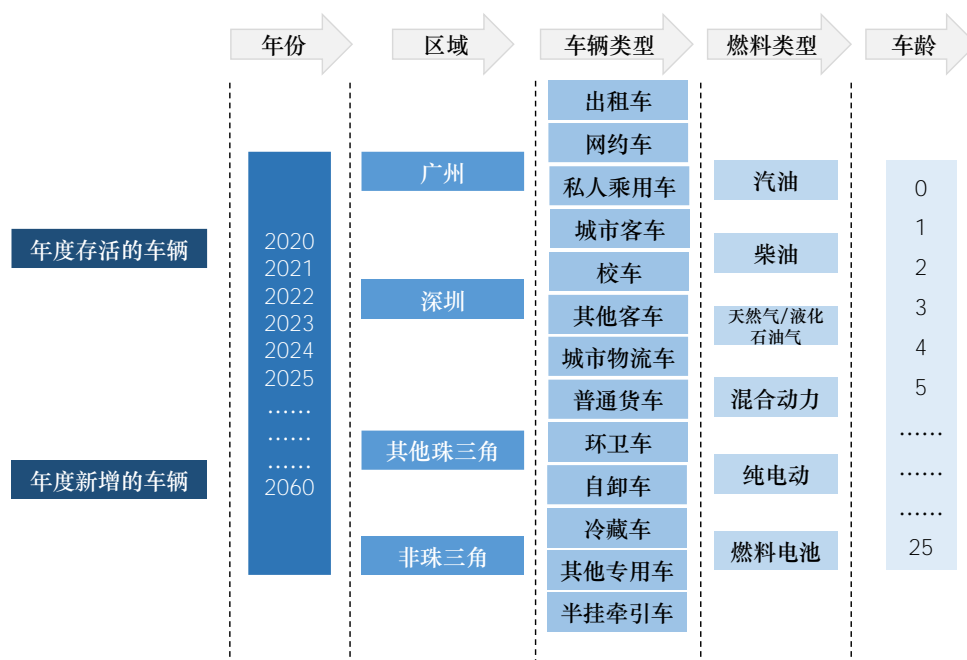


图 11 TLEEM 模型基础数据层级分类图

(3) 模型公式

■ 车队保有量的推算

机动车保有量、新注册车辆和不同车龄车辆的存活概率之间存在一定的规律，利用这一规律可建立车队模型，动态模拟车队新旧车交替过程，获取车队车龄分布，由机动车销量和存活曲线可以获取机动车保有量，如下式所示。

$$VP_{i,j,k} = S_{j,k-i} \times \varphi_{i,j}(k) \quad (\text{公式 2-6})$$

$$VP_k = \sum_j \sum_i VP_{i,j,k} \quad (\text{公式 2-7})$$

其中，k 为年份；i 为车龄；j 为车型。VP_{i,j,k} 为 k 年车龄为 i 的机动车的保有量，即一个车队的车龄分布；VP_k 为 k 年机动车保有量；S_{j,k-1} 为第 k-1 年该类车的新车注册量，也有研究采用新车销售量代表新车注册量；φ_{i,j}(k) 为 k 年 j 车型 i 车龄车辆的存活概率。

■ 能源消耗量计算

能源消耗核算由机动车保有量、活动水平（年均行驶里程）、燃料经济性水平的乘积得到，如下面公式所示：

$$F_k = \sum P_{ijk} \times VKT_{ijk} \times U_{ijk} \quad (\text{公式 2-8})$$

其中，i、j、k 分别代表机动车车型、注册时间、能源种类；F 代表机动车的能源消费量；P 代表机动车保有量；VKT 代表机动车年均行驶里程数；U 代表机动车的燃料经济性。

■ 碳排放计算

道路交通机动车的碳排放分为使用周期的碳排放与燃料上游的碳排放，由末端的能源消耗量与燃料碳排放因子乘积得到，公式如下所示。在不同研究中，EF 需要根据碳排放的核算范围选择相应的排放因子数值，如只计算使用周期的碳排放，那么 EF 则对应每种燃料燃烧时的碳排放因子即可：

$$E_k = F_k \times EF_k \quad (\text{公式 2-9})$$

k 代表燃料类型；E 代表不同能源消耗排放的 CO₂（吨）；F 代表机动车的能源消费量；EF 代表不同燃料类型的碳排放因子。

■ 尾气污染物排放

使用阶段污染物排放主要包括尾气排放（E1）和 HC 蒸发排放（E2）两部分，相关测算方法参考《道路机动车大气污染物排放清单编制技术指南（试行）》。

污染物的尾气排放计算公式如（公式 2-10）所示：

$$E_1 = \sum_i^N P_i \times EF_i \times VKT_i \quad (\text{公式 2-10})$$

其中，P_i表示测算地区 i 类型车辆的保有量；

EF_i表示 i 类车辆行驶单位距离尾气所排放的污染物的量，g/km；

VKT_i表示 i 类车辆的年均行驶距离。

车辆行驶及驻车期间蒸发排放的碳氢化合物（HC）按照下面的公式计算：

$$E_2 = \left(EF_1 \times \frac{VKT}{V} + EF_2 \times 365 \right) \times P_i \quad (\text{公式 2-11})$$

其中，EF1 表示车辆行驶过程中的蒸发排放系数，g/小时；

VKT 为所测算地区车辆的单车年均行驶距离；

V 为车辆运行的平均行驶速度，km/小时；

EF2 表示驻车期间的排放系数，主要包括热浸、昼间和渗透过程中的排放系数，g/天；

Pi 表示测算地区以汽油为燃料的车辆保有量。

附录 2 中对模型的使用进行了简单介绍。

2.3.4 数据来源

本研究中涉及到不同类型车辆的保有量、能耗及行驶里程等多个数据种类，表 4 总结了上述数据的主要来源。其中，汽车销量、保有量及能耗的历史数据主要来自于汽车行业的监管部门和行业协会，细分到各车型各地市的数据主要来自于车辆上险数据，数据质量较高。汽车活动水平具有很大的个体差异，一般情况下研究者可采用调研数据，但需要明确调研数据的偏差性。本研究中，出租车和网约车的历史活动水平数据来自于广东省及各地市发布的出租汽车市场运行指标信息监测报告，具有权威性，私家车活动水平基于全国平均水平进行设定，商用车细分车类则是基于实际调研和行业研究综合进行设定。

目前，新能源汽车运营数据可通过新能源汽车国家监测与管理平台基本掌握，未来该平台可进一步扩充至覆盖所有车辆，以追踪车辆的整体活动，为交通研究提供更准确更及时的底层数据。

表 4 本研究使用数据的主要来源

数据种类	数据来源	备注
汽车销量（历史数据）	中国汽车工业协会，车辆上险数据	数据质量高
汽车保有量（历史数据）	广东省及各地市统计年鉴，部分细分车型的保有量为基于销量和车辆存活曲线计算而得	数据质量较高（细分到具体车类，缺乏广东本地的车辆存活曲线）
汽车能耗（历史数据）	工业和信息化部，中国汽车技术研究中心，中国汽车工程学会，实际调研	数据质量高
汽车活动水平（历史数据）	实际调研，广东省及各地市出租汽车市场运行指标信息监测报告，已发表研究报告及行业报告	数据质量较高



广东省道路交通净零排放情景设置

Key Factors and Scenarios

第三章 广东省道路交通净零排放情景设置

3.1 道路交通净零排放的影响因素与应对措施

汽车减排的主要途径主要有四类：（1）降低汽车整体保有量水平，对乘用车而言，未来可以借助更发达的共享汽车服务平台以及自动驾驶技术，同时将部分私家车出行转向绿色公共交通或慢行交通实现，对商用车而言，更多需要借助多种运输方式之间的联合，提升低耗能运输方式的比例；（2）降低汽车出行距离，实现方式与降低保有量水平基本一致；（3）降低单车能耗与排放，若仅考虑交通工具的直接排放，该部分则主要是指不断降低传统燃油车辆的能耗；（4）使用碳强度更低的燃料，如使用生物燃料，推广和应用新能源汽车，尤其是纯电动汽车和燃料电池汽车，这两类车辆在使用环节不产生 CO₂ 以及污染物排放。

表 5 梳理了道路交通碳排放的主要影响因素以及理论上可以采用的应对措施，在这些方面广东省或者国家层面都出台了相应的政策目标或释放出一些政策信号。整体上看，目前为了复苏和振兴汽车消费市场，通过汽车限购降低汽车保有量的手段已不可取²⁵，道路交通减排将主要通过出行或运输结构优化、提高汽车燃料经济性水平、使用更加低碳的燃料或新能源汽车等措施进行。

在上述措施中，汽车燃料经济性水平改善主要以国家层面实施的政策为主，如乘用车、轻型商用车以及重型商用车燃料消耗量限值标准，通过强制性准入机制来倒逼车企生产和销售燃料经济性更高的汽车产品。出行或运输结构优化、使用低碳燃料或新能源汽车这两大措施则以地方出台的针对性目标为主。广东省具有铁路、水运运输优势，《广东省“十四五”节能减排实施方案》《广东省推进多式联运发展优化调整运输结构实施方案》等政策文件中都提出要大力发展多式联运，推动各种交通运输方式深度融合，以进一步优化和调整运输结构。在低碳燃料方面，目前道路交通最常见的仍然是乙醇汽油，但受原料、供需关系等条件制约，广东省内目前仅有茂名和湛江两市封闭推广乙醇汽油²⁶。LNG 等燃料目前推广应用的焦点已经转移至船舶（见《广东省“十四五”节能减排实施方案》《广东省推进多式联运发展优化调整运输结构实施方案》等政策文件），在道路交通领域，新能源汽车仍是目前最主要的减碳技术路径，其中，乘用车以纯电动和插电式混合动力汽车为主，商用车的新能源化仍处在起步阶段，这也意味着更多可能性。就现有研究来看，商用车未来的减排技术路径除了纯电动和燃料电池以外，零碳内燃机也是讨论较多的选择²⁷。如果仅从直接碳排放的角度来看，无论是纯电动汽车、燃料电池汽车，还是零碳内燃机汽车，由于终端用能均不产生排放，对实际碳排放并不产生直接影响。在这种情况下，政策难以从技术鼓励的角度对不同减排技术进行针对性扶持，长期来看，决策者更应站在技术中立的角度，通过制定行业的阶段性减排目标来倒逼行业减排，而选择何种技术则应该是企业对市场、技术储备、成本等多种因素综合评估后的自由选择。

表 5 道路交通碳排放的影响因素及相应减排措施

	保有量	VKT	单车能耗	燃料类型
如何降低碳排放	下降↓	下降↓	下降↓	使用低碳强度燃料
可采取的措施 (部分)	<ul style="list-style-type: none"> • 汽车限购 • 收费、税制 (如停车收费、燃油税等) • 出行/运输结构优化 	<ul style="list-style-type: none"> • 出行/运输结构优化 • 智慧货运/智能调度 	<ul style="list-style-type: none"> • 更严格的燃料消耗量管理标准 • 鼓励混合动力等先进节能技术 • 改善驾驶习惯, 降低实际操作中的能耗 	<ul style="list-style-type: none"> • 使用低碳燃料, 如生物燃料等 • 推广新能源汽车, 尤其是纯电动汽车和燃料电池汽车
广东省相关政策现状	<ul style="list-style-type: none"> • 逐步放宽广州、深圳汽车上牌指标限制, 扩大准购规模, 其他地市不得再出台汽车限购规定 (《广东省完善促进消费体制机制实施方案》《关于促进城市消费的若干政策措施》) • 推动大宗货物和长途货物“公转水”“公转铁”及“水水中转”, 建设完善多式联运集疏运网络, 大力发展铁水、公铁、公水等多式联运; 力争到 2025 年, 全省多式联运发展水平明显提升, 运输结构更加优化, 基本形成大宗货物及集装箱中长距离运输以铁路和水路为主的发展格局 (《广东省推进多式联运发展优化调整运输结构实施方案》《广东省“十四五”节能减排实施方案》) • 大力提升公共交通服务品质、优化慢行交通系统服务、降低小汽车使用强度、加强停车治理 (国家) (交通部《绿色出行行动计划 (2019-2022 年)》) • 积极践行“135”出行方式: 1 公里内步行, 3 公里内骑自行车, 5 公里内选择公交车 (广东省《关于错峰卸油、夜间加油和绿色出行的倡议书》) 		<ul style="list-style-type: none"> • 实行乘用车、轻型商用车和重型商用车燃料消耗量限值标准管理 (国家) • 新能源汽车积分比例按照每年 2 个百分点进行提升, 至 2023 年积分比例为 18%; 低油耗乘用车 (主要是混合动力汽车) 在乘用车新能源汽车积分中按照低于 1 倍的产量计算 (《乘用车企业平均燃料消耗量与新能源汽车积分并行管理办法》) • 2025 年新能源汽车销售比例达 20%; 到 2030 年, 大气污染防治重点区域新能源汽车新车销售量达到汽车新车销售量的 50% 左右; 到 2035 年纯电动汽车成为新销售车辆的主流, 公共领域用车全面电动化, 燃料电池汽车实现商业化应用 (全国) (《新能源汽车产业发展规划 (2021—2035 年)》《减污降碳协同增效实施方案》) • 推动公共机构带头率先淘汰老旧车和使用新能源汽车, 每年新增及更新的公务用车中新能源汽车和节能车比例不低于 60%, 其中, 新能源汽车比例原则上不低于 30% (《广东省“十四五”节能减排实施方案》) • 广州、深圳等部分地市出台的新能源汽车推广目标 (《广州市智能与新能源汽车创新发展“十四五”规划》《深圳市新能源汽车推广应用工作方案 (2021-2025 年)》《东莞市汽车能源基础设施“十四五”规划》) • 茂名和湛江两市封闭推广乙醇汽油 	

表 6 道路交通减排应用的主要汽车技术路线及本研究选择

技术路线	现状	优势	不足	本研究选择
纯电动汽车	<ul style="list-style-type: none"> 纯电动汽车在新能源乘用车销量中的比例基本维持在 75~85%范围（全国） 纯电动汽车在新能源商用车新车销售中的比例自 2017 年以来占比都超过 95%（全国） 	<ul style="list-style-type: none"> 终端零排放 市场规模稳步扩大 电池能量密度等核心技术不断提升 通过车电分离、换电等多种方式实现快速补能 政策鼓励与扶持（牌照、路权等） 	<ul style="list-style-type: none"> 续航里程与电池重量成正比，过重的电池尤其不利于货运车辆运营 	<ul style="list-style-type: none"> 乘用车（√） 商用车（√）
插电式混合动力汽车	<ul style="list-style-type: none"> 纯电动汽车的有力补充 在乘用车领域，插电式混合动力汽车占新能源汽车销量的比例约为 20%左右。在商用车领域，插电式混合动力汽车的销量份额低于 5% 	<ul style="list-style-type: none"> 纯电模式时，与传统车相比仍具有一定减排潜力 与电动汽车相比续航更长 政策红利（乘用车双积分、牌照、路权等） 	<ul style="list-style-type: none"> 电量耗尽后实际上是传统燃油汽车，缺乏减排潜力 	<ul style="list-style-type: none"> 乘用车（√） 商用车（×）
燃料电池汽车	<ul style="list-style-type: none"> 仍处在示范运营阶段，尤其是在公共领域 	<ul style="list-style-type: none"> 终端零排放 补能时间短、续航更长 	<ul style="list-style-type: none"> 现阶段主要为灰氢，绿氢制氢成本高 产业链尚未成熟、存在多个技术挑战 	<ul style="list-style-type: none"> 乘用车（×） 商用车（√）
传统混合动力汽车	<ul style="list-style-type: none"> 主要在乘用车领域应用，在政策的多重激励下，2020 年起 HEV 乘用车销量出现较大幅度提升 	<ul style="list-style-type: none"> 与同级别传统燃油汽车相比能耗和排放更低 与纯电动汽车相比补能时间短 政策激励（乘用车双积分） 	<ul style="list-style-type: none"> 价格一般比同级别传统燃油汽车高 技术长期被日系企业垄断 	<ul style="list-style-type: none"> 乘用车（√） 商用车（√）
零碳内燃机	<ul style="list-style-type: none"> 仍处在研究和示范运营阶段 	<ul style="list-style-type: none"> 终端零排放 无需大幅改变现有内燃机结构 补能时间短、长续航 	<ul style="list-style-type: none"> 尚无具体政策扶持 现阶段主要为氢内燃机，技术和产业发展受制于氢能产业发展 	<ul style="list-style-type: none"> 乘用车（×） 商用车（×）

注：以上内容为作者根据多渠道资料进行整理

3.2 情景设置及政策推演

本研究通过设置不同情景探索广东省道路交通减排的多种可能性，并以此做出相应政策推演：（1）基准情景，在本研究中实际上基于现有政策目标来制定该情景，这是因为现有政策目标的时间节点主要集中在 2025~2035 年，且从实际情况来看政策目标的实现概率较高。该情景下，汽车电动化率水平、天然气等替代燃料车辆占比等均参照已有政策或行业目标，无具体参考的年份基于政策自然延续进行设定；

（2）2060 净零排放情景，即在不使用碳汇的情况下，在 2060 年使广东省道路交通碳排放达到净零状态；（3）2050 净零排放情景，即在不使用碳汇的情况下，在 2050 年使广东省道路交通碳排放达到净零状态；（4）2050 优化净零排放情景，该情景是在 2050 年实现广东省道路交通净零排放的基础上，假设出行和运输结构将大幅优化调整，进而导致车辆整体保有量以及车辆活动水平相对其他三个情景有所降低（其他三个情景中暂不考虑）。相对于 2050 净零排放情景，该情景下整体碳排放量更低且下降更快。

从表 5 的参数可知，若在不使用碳汇的情况下使道路交通直接碳排放达到净零状态，只能不断加大零排放汽车在车队中的比例，直至达到 100%。除基准情景外，其他情景均基于预期减排目标进行反向推导，如若要在 2060 年实现道路交通净零排放，那么需要在某一时间节点实现新增车辆完全是零排放汽车的目标，这一时间节点需根据不同车辆的使用年限等因素进行确定。

本研究中将基准情景作为基准来评估其他三种情景的减排潜力。2060/2050 净零排放情景将倒逼出阶段性减排目标和新能源汽车市场渗透率。我们将以此推演出阶段性政策目标及减排量需求，指导政策制定和核查量化指标。

3.2.1 车辆保有量

（1）乘用车

广东省为中国第一经济大省，自 1989 年起 GDP 连续居全国首位，经济总量占全国的八分之一，具有极强的省域经济综合竞争力。而乘用车是现代居民生活出行必不可少的一部分，其产销及保有量水平与区域经济发展密切相关。十余年来，广东省乘用车销量呈现快速增长趋势，与地区人均 GDP 水平具有较强的相关性。2020 年是新冠肺炎疫情集中爆发的第一年，广东省人均 GDP 较上一年同期仅增长 1.4%^⑤，为 2006 年以来的最低增幅。与此同时，乘用车销量也为近十年来首次负增长。2021 年，中国乘用车整

^⑤ 为绝对值，如果按照上年=100 计算，2020 年人均 GDP 指数仅为 101.1，为 1978 年以来最低水平。

销量同比增长 6.5%左右, 实现连续三年下降后的首增²⁸, 但受疫情持续、汽车半导体芯片短缺等问题, 广东省乘用车销量略低于上年 (见图 12)。

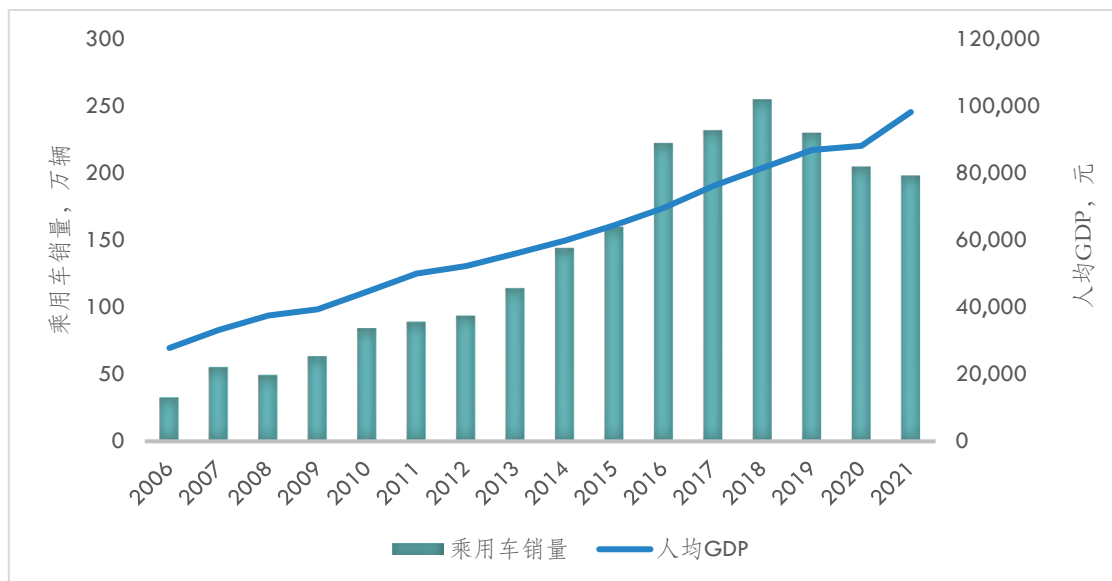
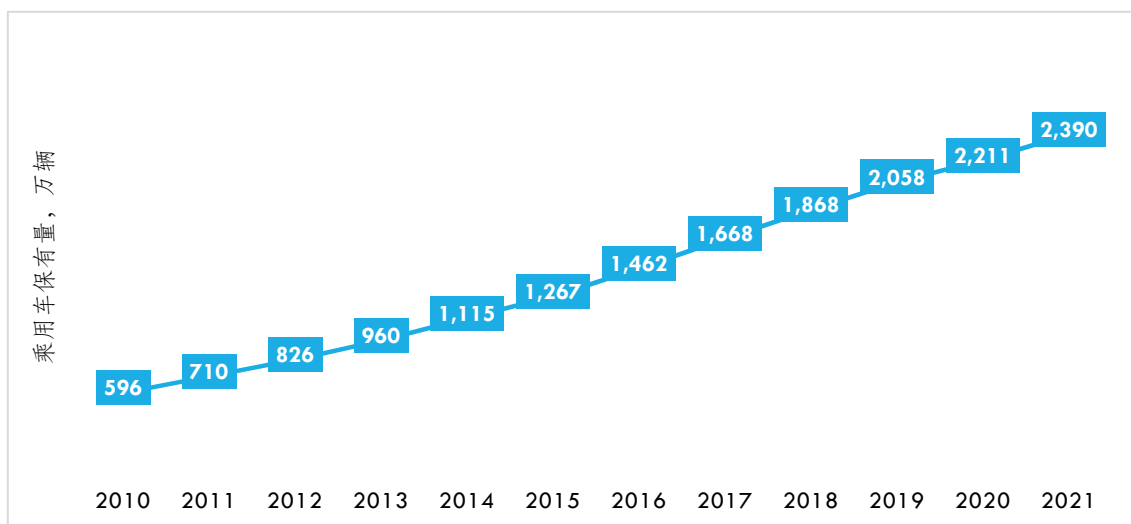


图 12 广东省乘用车销量与人均 GDP 情况

从 2010 年起, 广东省乘用车保有量保持约 15% 的年均增长速度, 2018 年以来受国内汽车市场大环境下行趋势影响, 保有量增长速度略有减缓, 2020 年叠加新冠肺炎疫情影响, 当年广东省乘用车保有量较上年仅增加 7%, 为十余年来最低。2021 年乘用车保有量增至 2390.3 万辆, 同比增加 8% (图 13)。



数据来源: 广东省统计局

图 13 广东省乘用车历年保有量情况

欧洲主要国家的乘用车千人保有量都在 500~600 辆/千人左右, 已经接近饱和值。一些研究根据中国的经济、社会等多种因素分析认为, 若不在现有政策基础上采取限制措施, 中国乘用车千人保有量饱

和值可能达到约 400 辆/千人左右²⁹⁻³⁰的水平。事实上，国内乘用车销量自 2018 年遭遇近三十年的首降之后，为稳固市场，国家和地方政府不断出台相关政策来刺激汽车消费。2019 年广东省出台《广东省完善促进消费体制机制实施方案》，提出要逐步放宽广州、深圳汽车摇号和竞拍指标，扩大准购规模³¹。

从广东省各地区过去十余年乘用车千人保有量的发展趋势来看，各地区之间存在很大差异(图 14)。其中，深圳的千人保有量在 2013 年左右达到 205.6 辆/千人的峰值，此后呈现不断下降趋势，近几年维持在 170 辆/千人水平。广州市的情况与之相似，乘用车千人保有量在 2013 年达到 137 辆/千人后也呈现下降趋势，至 2017 年降至 115 辆/千人，近几年千人保有量又回升，至 2020 年达到 132 辆/千人左右。其他珠三角和非珠三角地区则表现出较强的增长势头，尤其是其他珠三角城市，自 2014 年以来千人保有量直线上升，2020 年达到 248 辆/千人，非珠三角地区的千人保有量均值约为 130 辆/千人。根据统计数据测算，2020 年中国乘用车千人保有量平均值约为 170 辆/千人。也就是说，目前广、深以外的其他珠三角城市的乘用车千人保有量水平远高于全国平均值，深圳市的情况与全国基本持平，广州和非珠三角地区则低于全国平均水平。

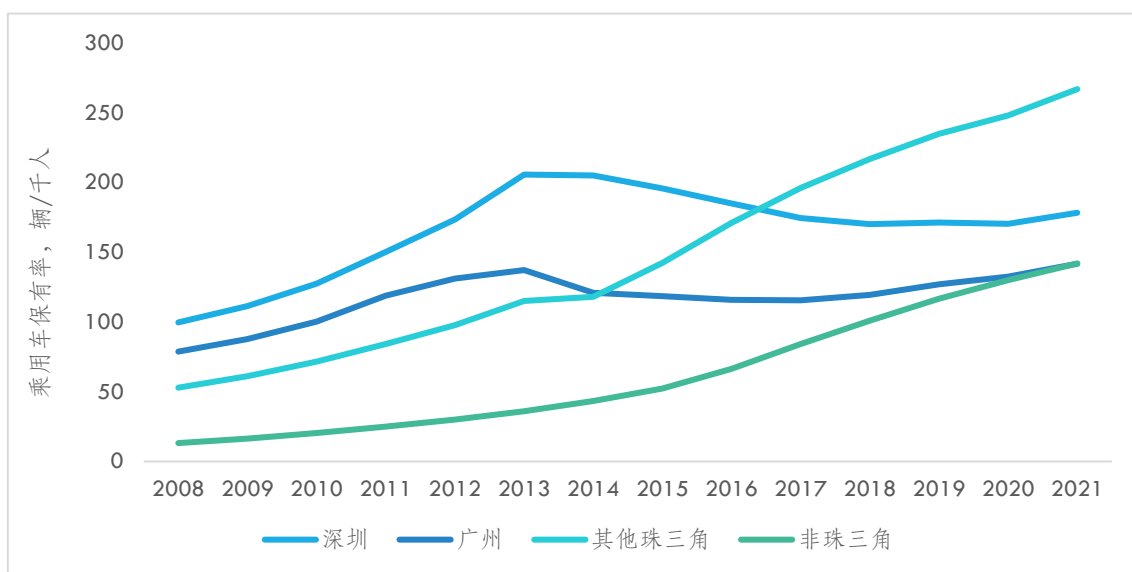
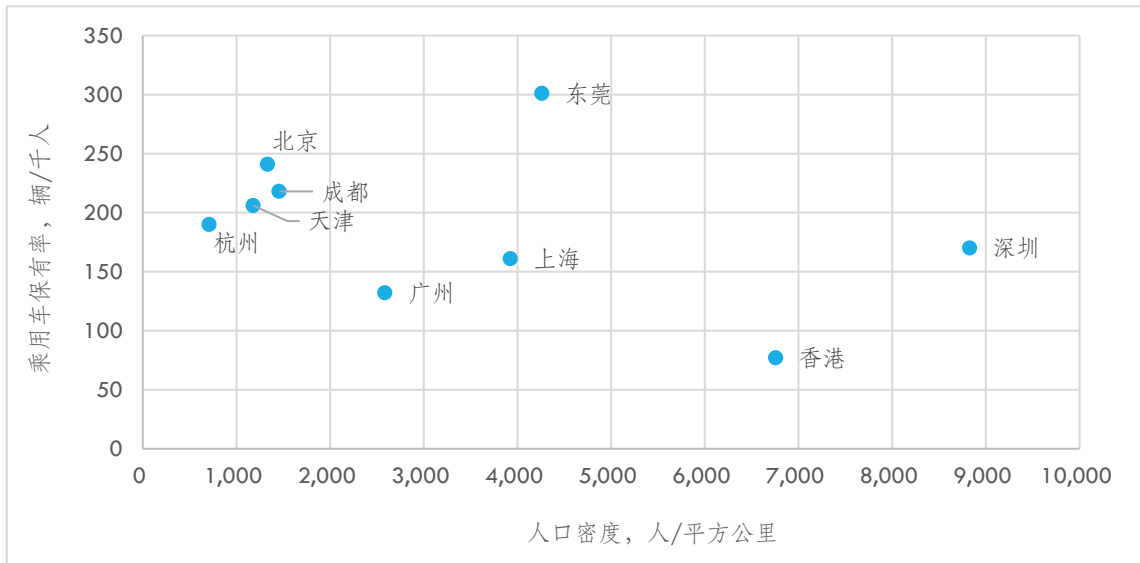


图 14 广东省各区域乘用车千人保有量趋势

未来，深圳和广州市的乘用车千人保有量饱和值必然会低于其他地区，这主要在于这两座超大型城市人口稠密，道路资源相对紧张，同时公共交通和新型出行方式的普及率高，同时面对环境压力也必然会采取一些措施来制约汽车保有量的不断增长。国内部分大型城市的乘用车千人保有量与人口密度分布见图 15，可以看出，人口密度的增长与乘用车千人保有量之间相互制约，香港、深圳、上海等城市都呈现出了这一特点。具体而言，广州市乘用车容纳能力将高于深圳，截至 2020 年深圳的人口密度已经达到 8828 人/平方公里，是广州的 3.4 倍，且已经超过了香港。深圳和广州两座城市都实施了较长时间的汽车限购政策，近两年政策虽有所松动，但长期来看汽车保有量增长仍将会受到制约。



数据来源：各省、市统计年鉴，以上为 2020 年数据，作者整理

图 15 国内部分城市乘用车千人保有量与人口密度分布

其他珠三角城市作为粤港澳大湾区城市圈成员，经济发展迅速，在这一区域乘用车的使用频率和使用强度都有很大增长空间，乘用车千人保有量与全国平均水平相当。非珠三角地区乘用车千人保有量近几年虽然迅速增加，但其经济基础相对薄弱，未来随着城市化进程加速，大城市圈层划定，非珠三角地区的经济和社会发展存在较多不确定性，研究中认为这一地区乘用车千人保有量饱和值略低于全国平均水平。

在 2050 优化净零排放情景下，广州和深圳两座大城市的乘用车保有量预计将会有较大幅度下降，这是因为大型城市在构建和完善绿色交通出行体系方面更具备优势。截至 2021 年底，深圳市绿色交通出行分担率达到 77.42%，全市已基本建成“轨道交通为骨架、常规公交为网络、出租车为补充、慢行交通为延伸”的多层级公共交通体系³²。2021 年广州市中心城区绿色出行比例也达到 77.59%³³，绿色出行方式也得到了广大市民的认可，满意度高达 84.5%。目前，鲜少有在优化出行结构前提下对区域乘用车保有量的预测，对全国乘用车千人保有量的预测水平约为 260~350 辆/千人^{34,35,36}。本研究中第三、四梯队 2050 优化净零排放情景下的千人保有量将据此设置，具体见表 7。

基于千人保有量计算得到的是各区域的乘用车总体保有量，出租车、网约车的具体保有量预测见附录 3。

表 7 广东省各区域乘用车千人保有量饱和值设定

	2020	基准情景/2060 净零排放情景/2050 净零排放情景	2050 优化净零排放情景
深圳	170	230	190
广州	132	260	205
其他珠三角	248	400	340
非珠三角	130	380	320

(2) 商用车

■ 客车

根据国内的客运统计口径，统计数据中的客运量及客运周转量只包括城际客运部分。本研究中客车分类包括城市公交、校车和其他客车，前两者均属于市内客运部分，对城市公交而言，其保有量水平相对稳定，且广东省内多个城市都已经实现了新增及替换公交车为纯电动汽车，在研究中认为城市公交保有量保持稳定。校车目前的新能源化率很低，但从需求上来看增量空间也不大，研究中采用与城市公交同样保守的保有量预测水平。

统计年鉴数据显示，近三十年来，广东省公路客运周转量在客运结构中的占比不断下降，从最高点 85%（1987 年）下降至 2020 年的 21%。公路客运周转量绝对数值在近年来也进入平台期，甚至有萎缩趋势。但尽管有越来越多的出行选择，公路客运仍是城际交通不可或缺的重要一环，尤其是在粤港澳大湾区一体化建设不断加速的背景之下。广州³⁷、深圳等城市的相关规划中也强调了整合客运功能，实现与轨道、铁路等其他客运方式的无缝衔接，提高运输效率。在本研究中，我们对公路客运的预测持谨慎激进态度，未来城际客车的保有量预测处在相对稳定的水平。这一设定实际上对车队碳排放产生的影响很小，一方面是因为广东省客车对车队碳排放的整体贡献率很低（约为 2~3%），另一方面客车的电动化率水平相对较高（目前约为 25%）。

■ 货运车辆

广东省货运量及周转量约从 2008 年起开始迅速增加，2018 年货运量和周转量分别为 2008 年同期的 2.3 倍和 6.0 倍（见图 16），货运周转量增速明显高于货运量，表明近十年平均货物运输距离也有显著增加。

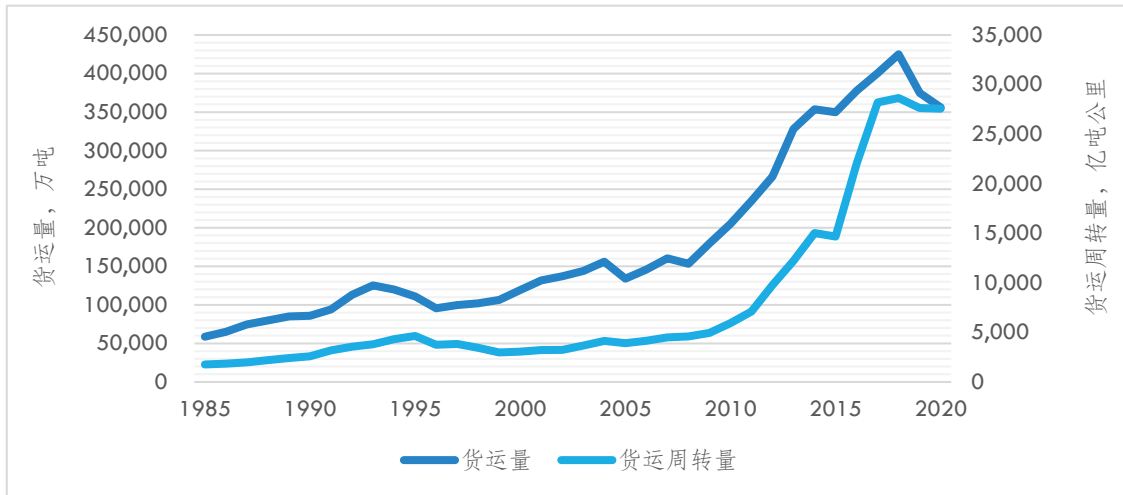


图 16 广东省货运量及货运周转量历史趋势

在各种运输方式中，公路和水路的作用更加突出（图 17）。以货运量计算，公路是最主要的运输方式，运送了 60~75%的货物量，其次为水路，两者占比合计达到 85%以上。以货运周转量计算，水路运输占比超过了公路运输，并占据绝对优势，这是因为水路运输价格更低，距离也相对更长³⁸。自 2009 年以来，公路、铁路货运周转量占比都呈现下降趋势，到 2020 年两者的占比分别下降到 9%（2009 年为 31%）和 1%（2009 年为 6%），而这期间水运运输周转量则从 59%提升至 89%。

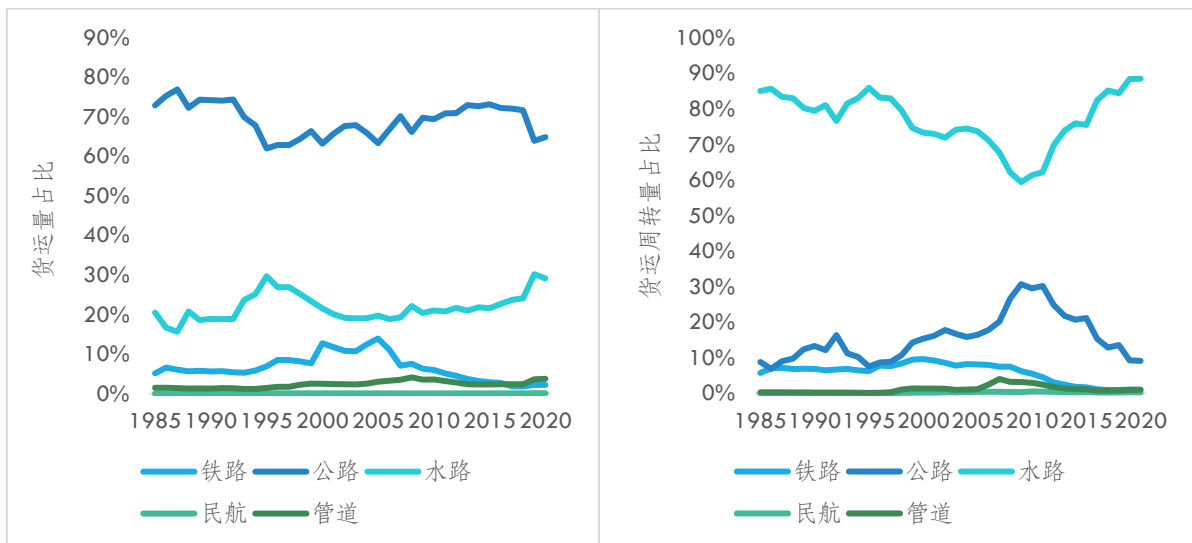


图 17 广东省不同货运方式占比趋势

相关资料中关于广东省未来货运周转量的预测研究很少且缺乏长期研究，中科院广州能源所与广东省交通运输规划研究中心发布的一份项目报告中预测，2035 年广州市货运周转量大约在 3.7 万亿吨公里以内³⁹。《广东省普通省道网规划（2016-2030）》中提出，到 2030 年货运量和货物周转量分别提高到 2015 年的 3.4 倍和 4.1 倍，即达到 1,189,429 万吨和 60,136 亿吨公里。不过，近几年省内货运量及周转

量增幅不大，实现该目标难度较大。中科院广州能源所的另一项研究中认为未来广州市货运周转量年均增速在 0.9~1.3% 之间⁴⁰。也有研究从人均货运量与平均运距着手预测货运周转量⁴¹，发达国家在进入后工业化阶段后人均货运量围绕 50 吨/人的水平波动，平均运距则因地而异。

广东省各地区之间的货运情况呈现明显化差异。广州市是省内最重要的货物集散地，货运周转量占全省总量的一半以上，2016 年以来占比始终在 70% 以上（见图 18）。广州市货运的另一个特点是平均运距长，这是因为广州市水运周转量占比高，同时广州市也是重要的国际货运班列出发地⁴²。

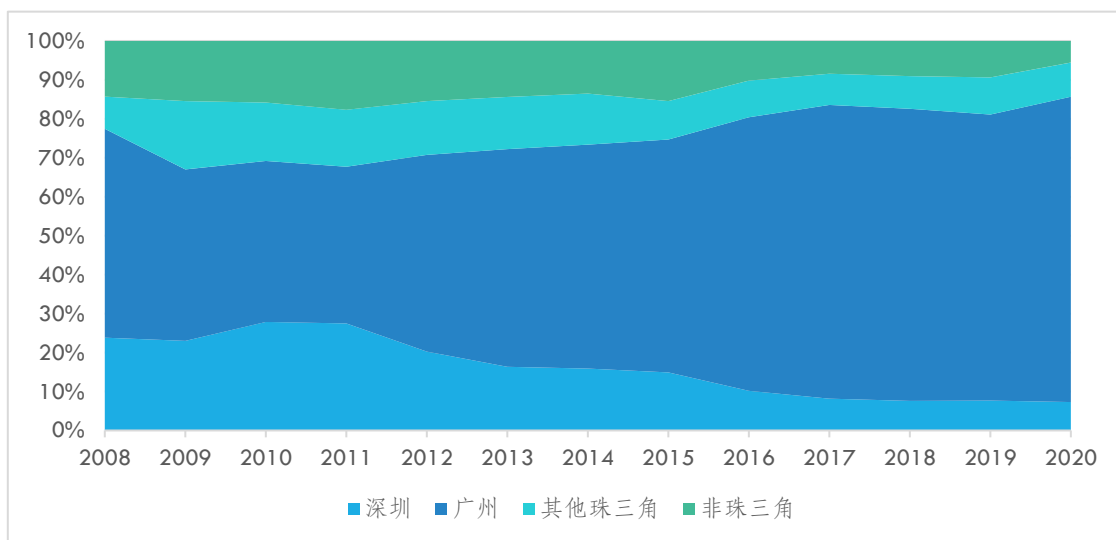


图 18 广东省各区域货运周转量历史占比

影响货运周转量的因素很多，这也是难以根据若干参数预测货运周转量的原因，而要将省级区域进一步细分，预测的难度就更大且不确定性也会增加。在本研究中，根据文献调研及各区域的历史货运量、运距等参数，对各区域 2060 年的货运周转量进行了预估，并在弹性系数法中调整至相应数值（见表 8）。

表 8 广东省各趋于 2060 年货运周转量水平预测

亿吨公里	深圳	广州	其他珠三角	非珠三角
货运周转量 (2020)	2,014	21,614	2,416	1,530
货运周转量 (2060)	3,873	44,280	5,126	4,610

《广东省综合交通运输体系“十四五”发展规划》中也提出“积极引导大宗货物运输‘公转铁’‘公转水’”。广东省紧邻南海，海岸线长度全国第一，在货物运输方面也充分发挥了水运运力优势（图 19）。相反地，广东省公路货运周转量在总量中的比例（2020 年 9%）低于全国平均水平（2020 年 54%）。具体来看，广州市的公路货运周转量比例最低，近十年平均占比不足 10%，2020 年仅为 3%。深圳市公路货运周转

量比例在经历了一个低谷后呈现上升趋势，2020 年达到 22%。其他珠三角城市公路货运周转量比例则在近几年呈现出下降趋势，由 2015 年的 47%下降至 2020 年的 27%。非珠三角地区公路货运周转量比例高于全国平均水平，近几年维持在 60%左右。

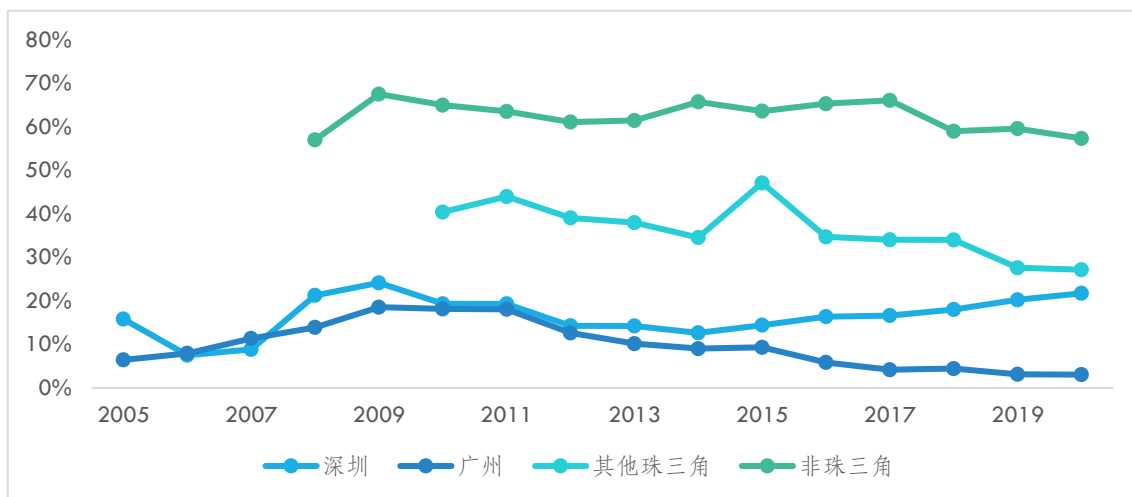


图 19 广东省各区域公路货运占总周转量的比例

目前各地市尚未对“公转铁”“公转水”提出定量化目标，全国范围内由于主要运输方式与广东省存在很大差异，前者主要为铁路和公路，后者主要是水运和公路，参考价值也不高。在基准情景下，研究认为公路货运的占比略有下降，但由于缺乏具体可行的引导措施，下降幅度不大。在 2050 优化净零排放情景下，结合相关研究，认为公路货运占比能够在基准情景的基础上再下降十个百分点左右⁴³（表 9）。

表 9 不同情景下各区域公路货运周转量比例

	基准情景/2060 净零排放情景/2050 净零排放情景	2050 优化净零排放情景
深圳市	20%	14%
广州市	5%	3%
其他珠三角	28%	20%
非珠三角	58%	45%

3.2.2 VKT

(1) 乘用车

广东省交通运输厅针对全省的出租和网约车市场运营情况定期发布监测报告，《广东省 2021 年下半年度出租汽车市场运行指标信息监测报告》显示，2021 年下半年统计周期内，珠三角地区出租车日均运营里程约 289.95 公里，较上半年下降 4.1%；粤东、西、北地区日均行驶里程分别约为 245.9、257.5 和 203

公里，除粤北地区外，行驶里程较上半年均有不同程度的下降。网约车方面，珠三角地区单车日均行驶里程约为 154.2 公里，与上半年基本持平；粤东、西、北地区单车日均行驶里程分别约为 201、117.7 和 135 公里，变化规律与出租车类似。

从各地市各自发布的监测信息来看，广州、深圳两市的巡游出租车单日平均运营里程最高，约在 325~365 公里范围，深圳市略高。但两市的网约车单日运营里程较低，基本都在 130 公里以下，多个月份甚至低于 100 公里。珠三角其他城市方面，巡游出租车日均运营里程低于广、深，整体处在 210~305 公里范围，网约车日均运营里程高于广、深，整体处在 110~180 公里范围。

未来行驶里程的发展趋势会受到交通政策、人口数量、经济发展以及城市规划等宏观因素的影响。2020 年广州市交通发展年报显示，小汽车出行占机动化比例从 36% 上升到 45.5%，车辆载客率增加但出行距离和车辆使用强度均有所下降⁴⁴。深圳市小汽车占机动化出行比例在 2016 年就达到 41.1%⁴⁵。对私家车而言，随着城市基础设施建设的日益完善，市区交通出行情况下私家车使用强度可能会有所下降，但另一方面，以粤港澳大湾区为代表的城市圈级别的城市间出行次数和距离可能会有显著增长。出租车和网约车的单车活动水平变化同样会受到多种因素影响，在短期内，城镇化率的提升和人口密度的增加会导致出行强度的增加。

本研究中，在基准情景及 2050/2060 净零排放情景下，私家车年均行驶里程保持相对稳定，采用文献及调研的数值 12000 公里/年⁴⁶；在 2050 优化净零排放情景下，考虑到绿色出行比例的增加以及共享汽车等出行方式得到更充分利用，私家车年出行距离将略有下降⁴⁷。网约车年均行驶里程将呈现增加趋势，在基准情景及 2050/2060 净零排放情景下，增速逐渐减缓。在 2050 优化净零排放情景下，由于认为网约车出行将替代一部分的私家车出行，网约车年均行驶里程会在 2030 年后仍然呈现较快的增长趋势。由于出租车服务业态已经成型且单位距离价格较网约车略高，假设出租车年均行驶距离先小幅增加后下降，在所有情景下均采用一致的假设（见表 10）。

表 10 不同情景下各类车型年均行驶里程预测

单位：km/年		基准情景、2050/2060 净零排放情景				2050 优化净零排放情景			
		深圳	广州	其他珠三角	非珠三角	深圳	广州	其他珠三角	非珠三角
出租车	2020	130,000	120,000	100,000	84,000	130,000	120,000	100,000	84,000
	2060	132,000	122,000	104,000	84,000	132,000	122,000	104,000	84,000
网约车	2020	45,000	41,500	54,000	49,000	45,000	41,500	54,000	49,000
	2060	53,000	51,000	62,000	57,000	76,000	74,000	82,000	75,000
私人乘用车	2020	12,000				12,000			
	2060	12,000				9,000			

需要注意的是，相关研究表明乘用车的年行驶里程数与车龄也有一定的关系。美国橡树岭国家实验室发布的《交通能源数据》中对美国不同车龄的在用轿车（car）和轻型卡车（light truck）的年均行驶里程进行了估测，结果显示，年均行驶里程会随着车龄的下降而减少，在第 15 年约下降至新车的 60%左右⁴⁸。考虑到国内这方面的研究尚不足以支撑假设，研究中对不同车龄单车的行驶里程仍以年度统一值作为计算基准，在一些导致车辆使用强度下降的特殊年份，可酌情对能耗和排放结果进行修正。

(2) 商用车

商用车不同场景车型之间的平均行驶里程有很大差异，这与车辆承担的社会经济角色等因素有关。以公路货运为例，2017 年发布的一份《中国货运体系评估》⁴⁹报告指出，受运输距离、货源组织条件等因素影响，不同货运细分市场车辆的行驶里程存在巨大差异：长途干线货运车辆年行驶里程约为 10-15 万公里，而快递企业自有车辆年运输里程可达 25-30 万公里，城市物流配送车辆年均行驶里程则基本在 5 万公里左右。

由于个体差异性较大，商用车年均行驶里程的获取难度很大，这方面也缺乏较为系统的研究，本研究中商用车年均行驶里程数据主要基于调研和统计数据（基准年数据）。在对未来的预测中，由于经济持续发展，载货类车辆的行驶里程将呈现增加趋势，如半挂牵引车、物流车、普通货车、自卸车等；同时政府对公共交通出行重视程度也在增加，城市客车年均行驶里程在未来也会有一定程度的上浮；城际公路客运近年来形势并不激进，这样也将对此类客车的平均行驶里程产生不利影响；其他专用车类车辆，诸如电视转播车、救护车等，年均行驶里程长期内都将维持在相对稳定的水平。

在本研究中，各场景商用车年均行驶里程不随所设的净零排放情景变化，这是因为，多数商用车是以运营盈利为目的，在不受限情况下，车辆将尽可能高强度运营。

3.2.3 单车能耗

(1) 乘用车

乘用车的燃料结构相对简单（图 20），汽油是最主要的传统燃料类型，在 2018 年之前汽油车的新车销量占比在 90%以上。如前所述，柴油乘用车的新车占比非常小，在研究中可以并入汽油车进行计算。常规汽油混合动力销量近几年提升较快，但本质上仍是燃烧汽油的车型。天然气以及油气两用车型在乘用车中的占比不大。除此之外，纯电动和插电式混合动力汽车销量占比近几年迅速增长。

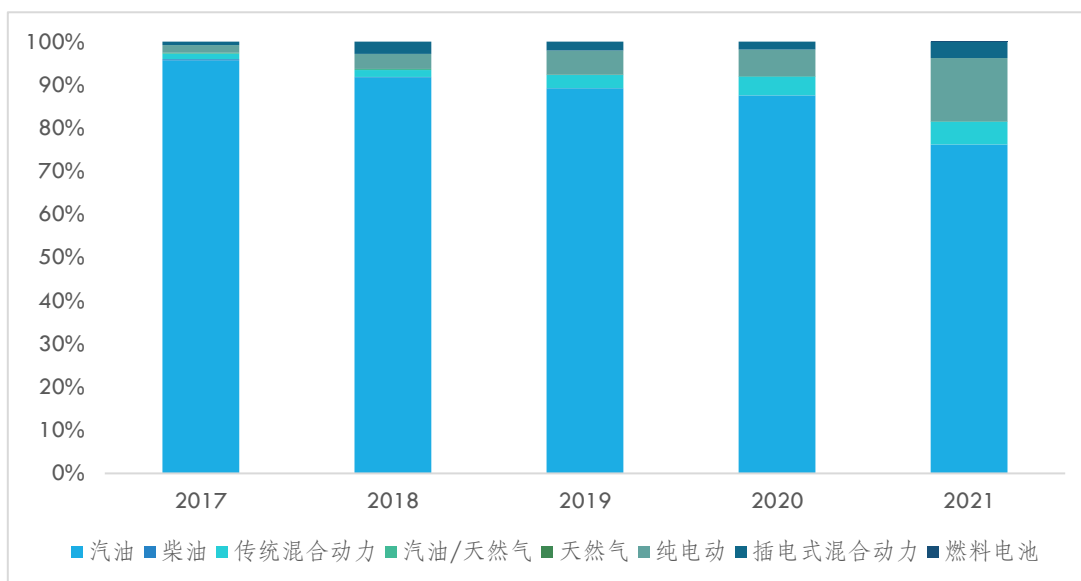


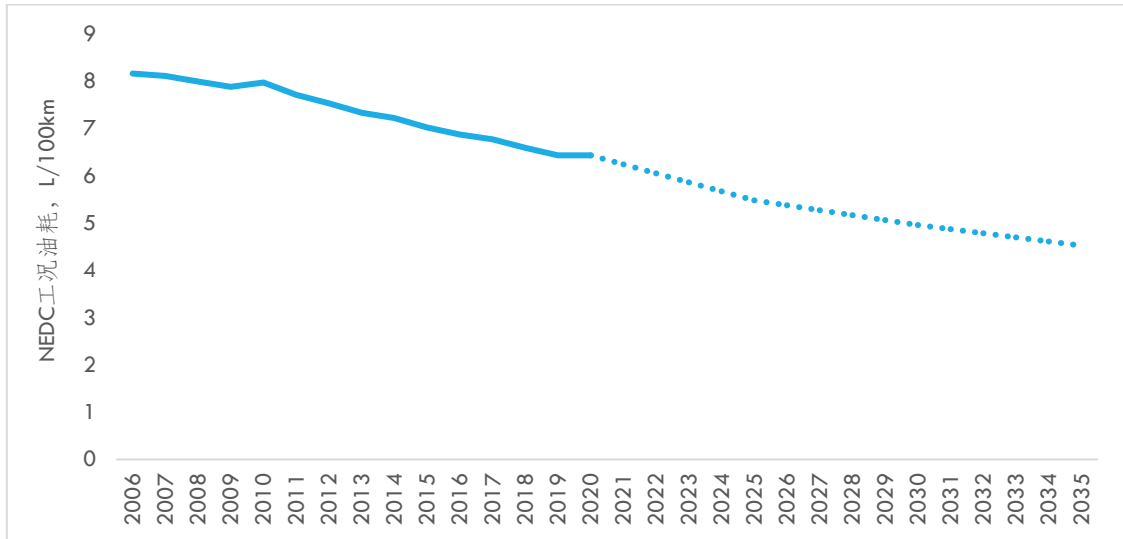
图 20 广东省新销售乘用车的燃料类型分布

需要注意的是，目前汽车的能耗水平一般是指在试验场内通过固定的测试循环测得的工况能耗，但在实际驾驶过程中，由于驾驶习惯、路况等因素影响，车辆的实际能耗和工况能耗之间存在一定的差异。一些针对乘用车实际油耗和工况油耗之间差异的研究显示，二者之间的差异可能达到 15%左右⁵⁰，中国汽车技术研究中心对这一差异的相关研究数值高达 29%⁵¹。综合以上信息，在本研究中，将用于碳排放计算的乘用车能耗实际值设定为工况数据的 120%。

■ 传统燃油车能耗

研究中对 2017-2021 年广东省各地市当年销售新车的油耗进行了整理和离散度分析，21 个地市传统燃油车新车能耗的标准差在 0.11-0.13 之间，油耗水平分布较为集中。汽车能耗主要由行业整体发展水平决定，受区域差异影响较小，在其他相关研究中，省市一级的油耗基本上也都会采用全国平均油耗水平作为基础参数进行测算。因此，在本研究中，传统燃油乘用车油耗采用当年全国平均水平代入。

在未来油耗发展方面，一方面传统内燃机效率存在极限，油耗达到一定水平后再下降的难度和成本都会快速增加，另一方面由于乘用车的主要技术路线迅速向纯电动转移，企业在传统汽车能耗提升方面的投入将会逐渐减少。所以，在研究中我们认为 2035 年之后传统燃油车的燃料消耗量水平保持不变。从 2021 年起传统乘用车燃料消耗量测试方法由 NEDC 工况统一改为 WLTC 工况，但为了保持连续性，本研究中依然采用经换算后的 NEDC 工况油耗数值（见图 21）。



数据来源：2020年及之前数据来自于CET《中国乘用车双积分研究报告》，2021-2030年根据《节能与新能源汽车技术路线图2.0》中目标进行折算。

图 21 传统燃油乘用车油耗变化

■ 传统混合动力汽车能耗

在多种政策的激励下，可以预见传统混合动力汽车具有较好的市场发展前景。从广东省乘用车的上险数据发现，近几年传统混合动力乘用车的平均油耗处于小幅上升阶段，一方面是由于整体油耗偏高的混合动力 SUV 车型有不错的销量，另一方面自主品牌企业也越来越多地加入传统混合动力乘用车战局，正在打破由丰田和本田垄断的市场。《节能与新能源汽车技术路线图 2.0》提到，2025、2030、2035 年混合动力乘用车油耗目标分别为 5.3 L/100km、4.5 L/100km 和 4.0 L/100km (WLTC)。研究中以这一目标值作为传统混合动力乘用车未来能耗发展的趋势，并认为在 2035 年之后维持这一水平（见图 22）。

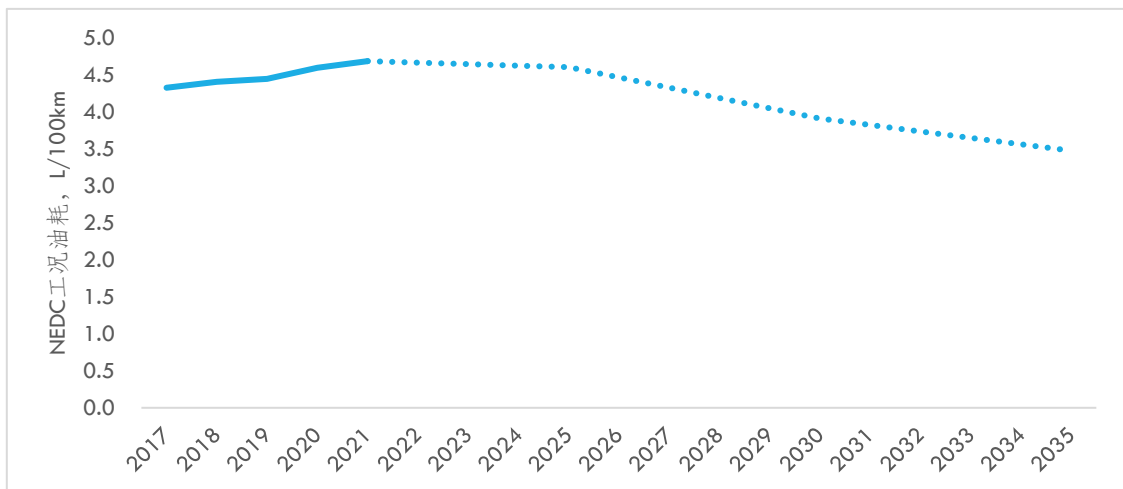


图 22 传统混合动力乘用车油耗变化

■ 纯电动汽车能耗

2018 年底国家标准化管理委员会发布了全球首个针对纯电动汽车能耗指标的推荐性标准《电动汽车能量消耗率限值》，中汽中心汽车标准化研究所根据该标准预测第二阶段限值实施后纯电动乘用车平均能源消耗量约为 13.85 kWh/100km⁵²。实际上，工信部发布的《乘用车企业平均燃料消耗量与新能源汽车积分并行管理实施情况年度报告 2022》⁵³显示，2021 年度纯电动乘用车平均电能消耗量为 12.24 kWh/100km，较 2020 年下降 2%，较 2016 年下降 22%。

国务院办公厅印发的《新能源汽车产业发展规划（2021~2035 年）》指出到 2025 年，纯电动乘用车新车平均电耗降至 12.0 kWh/100km。《节能与新能源汽车技术路线图 2.0》中提出，技术领先的典型 A 级 BEV 综合工况电耗到 2025 年小于 11 kWh/100km，2030 和 2035 年分别小于 10.5 kWh/100km 和 10 kWh/100km，B 级 BEV 的电耗比 A 级约高 20~30%左右。2021 年，从市场销量来看，B 级及以上新能源乘用车的销量较往年有较大提升，市场占比约为 32%，高于 A 级车占比（约 30%），特斯拉、小鹏、蔚来等品牌车型均在 B 级及以上细分市场布局，未来这一市场新能源乘用车发展潜力很大。

从我国乘用车细分市场的销量趋势来看，技术发展成熟之后市场更青睐舒适性高且空间更大的 SUV 车型，目前电动乘用车市场也已经显现出类似的苗头。考虑这一因素，未来纯电动乘用车平均单车能耗下降速度也将减缓。综合以上，本研究对纯电动乘用车单车能耗的预测如图 23 所示。由于现有政策的电能消耗量目标已经具有国际先进性，在研究所设的四个发展情景下，统一采用这一预测数值。

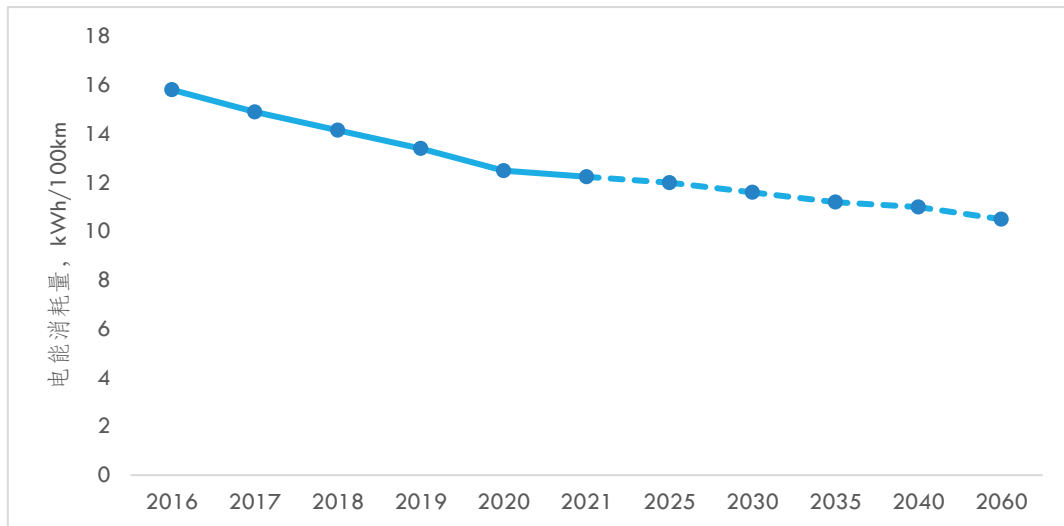


图 23 纯电动乘用车电能消耗量变化

(2) 商用车

我国对于传统燃油商用车的能源消耗量是按照轻型车和重型车两个标准分别进行限值管理的，目前两个限值标准均已进入第三阶段（见图 24）。其中，重型商用车作为目前我国道路交通中柴油消耗的主体，为加快达到国际先进水平，2022 年工业和信息化部对《重型商用车燃料消耗量限值（第四阶段）》公开征求意见⁵⁴，第四阶段限值将在三阶段限值基础上加严 15%左右，以实现 2025 年我国商用车油耗达到国际领先水平的目标。

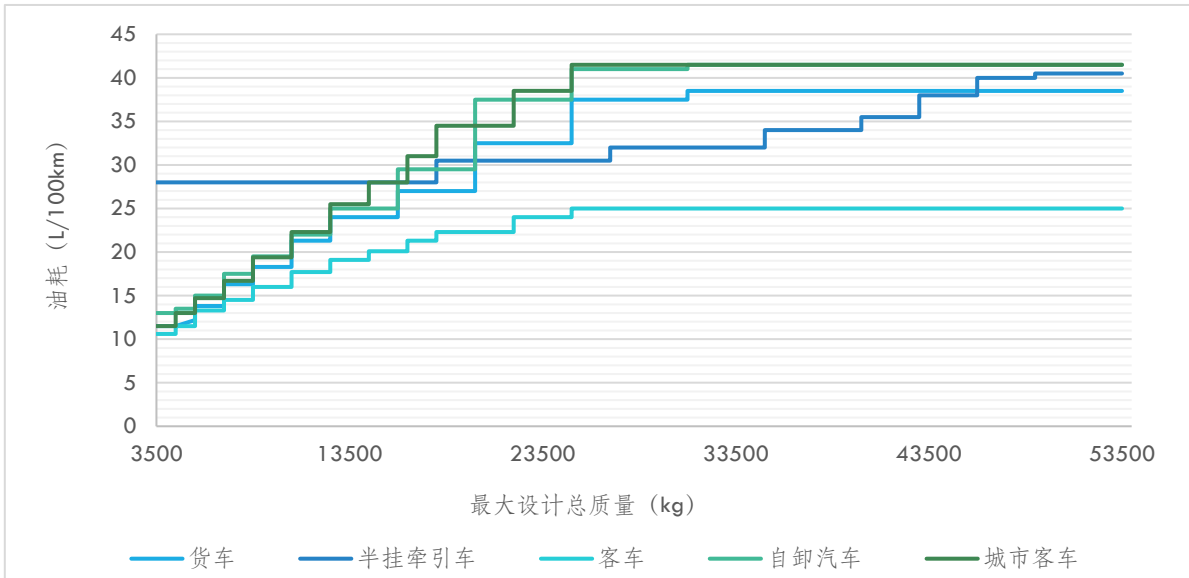


图 24 我国现行重型商用车燃料消耗量限值标准（第三阶段）

限值管理是对车辆生产和准入最基本的要求，商用车油耗的长期走势仍缺乏相关目标。本研究参照《节能与新能源汽车技术路线图（2.0）》中对客车和货车油耗下降目标的预期，并将货车的能耗降速适当调快，以期在货车电动化尚未形成规模效应前持续降低货车碳排放。到 2025 年，研究设定客车和货车油耗较 2019 年均降低 10%，2030 年较 2019 年分别降低 15%和 12%以上，2035 年较 2019 年分别降低 20%和 15%以上。

对于天然气、纯电动以及燃料电池车辆，目前尚未有相关标准对此类商用车的能耗进行限制或制定改善目标，研究中基于调研和文献统计数据确定。在对未来的预测中，参考清华大学《车用能源展望 2012》的相关研究成果⁵⁵，该报告中以 2014 年作为基准年，考虑到天然气、纯电动和燃料电池这三类商用车近十年来的发展情况，在引用时对能耗改善幅度进行略微调整。

由于上述关于商用车能耗改善的目标均已在《节能与新能源汽车技术路线图（2.0）》中体现，即基准情景中商用车能耗约束也依据此，而在其他三个减排情景中，新能源汽车是商用车发展的主要方向，因此在研究所设四个情景中，商用车能耗降幅一致。

3.2.4 新能源汽车渗透率

(1) 乘用车

据相关研究测算，目前在道路交通领域，推广和应用新能源汽车是最主要也是最具潜力的减碳手段⁴³。在现有政策中，提高新能源汽车应用比例是乘用车减排的重要参考指标因素。需要注意的是，由于广东省对出租车和网约车已经明确提出了新能源汽车应用比例，新能源新车渗透率均已达到或非常接近100%，下面主要讨论的是私人乘用车领域的新能源汽车应用比例。

广东省内来看，深圳和广州提出了2025年的新能源汽车推广应用目标，《深圳市新能源汽车推广应用工作方案（2021-2025年）》提出“到2025年累计推广新能源私家车78万辆”，折合新增注册汽车中新能源汽车比重达到60%左右。《广州市智能与新能源汽车创新发展“十四五”规划》中提出2025年新能源汽车新车渗透率达到50%。其他方面，东莞在《东莞市汽车能源基础设施“十四五”规划》中提到“十四五”期间新能源私家车预计增加9万辆的目标，其他城市目前尚未提出具体的新能源汽车推广应用目标。

国家层面出台的政策中，《新能源汽车产业发展规划（2021-2035年）》指出到2025年新能源汽车新车销量占比达到20%，《工业领域碳达峰实施方案》⁵⁶中提出到2030年，新增新能源、清洁能源动力交通工具比例达到40%，《减污降碳协同增效实施方案》要求到2030年，在大气污染防治重点区域，新能源汽车新车销量占比达到50%左右。上述三份文件中均未指明新能源汽车在乘用车细分领域的目标占比，根据新能源汽车产业发展情况及乘、商用车市场规模推断，新能源乘用车在指定年份的新车销量占比应至少达到上述文件中提及的目标。作为国家级别的行业研究文件，《节能与新能源汽车技术路线图2.0》中设定了非约束性目标，即2030/2035/2060三个时间节点新能源乘用车新车市场占比分别达到40%、50%和100%。

根据以上信息，研究对各区域新能源乘用车的渗透率进行如下设定：

基准情景中，对深圳和广州两市，2025年之前按照各自政策目标数值进行设定即分别为60%和50%，2025年之后则基于《节能与新能源汽车技术路线图2.0》中提出的2060年100%的目标进行数值内插；对其他珠三角和非珠三角区域，2025年按照国家政策设定为20%目标设定，2030年分别为50%和40%，非珠三角地区2035年比例为50%，此后也按照《节能与新能源汽车技术路线图2.0》中提出的2060年100%的目标进行内插获得，同时假设新能源乘用车的发展也符合S型曲线规律³⁰。

除基准情景外，其他情景中新能源汽车渗透率则基于预期减排结果进行反向推演。考虑到国内乘用车的使用年限和报废高峰期是14-15年⁵⁷，若要在2050和2060年实现道路交通领域的净零排放，应分别至少提前于净零排放目标年份15年实现新能源汽车100%市场销售占比。由于本研究所讨论的净零排放是以广东全省为主体的，也就是说净零排放目标的实现取决于电动化进程最慢的非珠三角地区，理论

上其他三个区域的新能源汽车应用进程快于非珠三角地区。以深圳市为例，2020 和 2021 全年新能源乘用车市场渗透率分别为 21%和 32%，2022 年 1-5 月新能源渗透率为 46.6%⁵⁸，呈现线性增长趋势，那么在不考虑补贴退出等外在因素影响的前提下，据此外推得到深圳市最快可在 2026 年前后实现新车 100% 新能源化，这是目前最激进的情况，在本研究中便作为 2050 情景中的新能源汽车渗透率趋势。在 2050 优化净零排放情景下，新能源汽车的渗透率与 2050 净零排放情景保持一致（见图 25）。

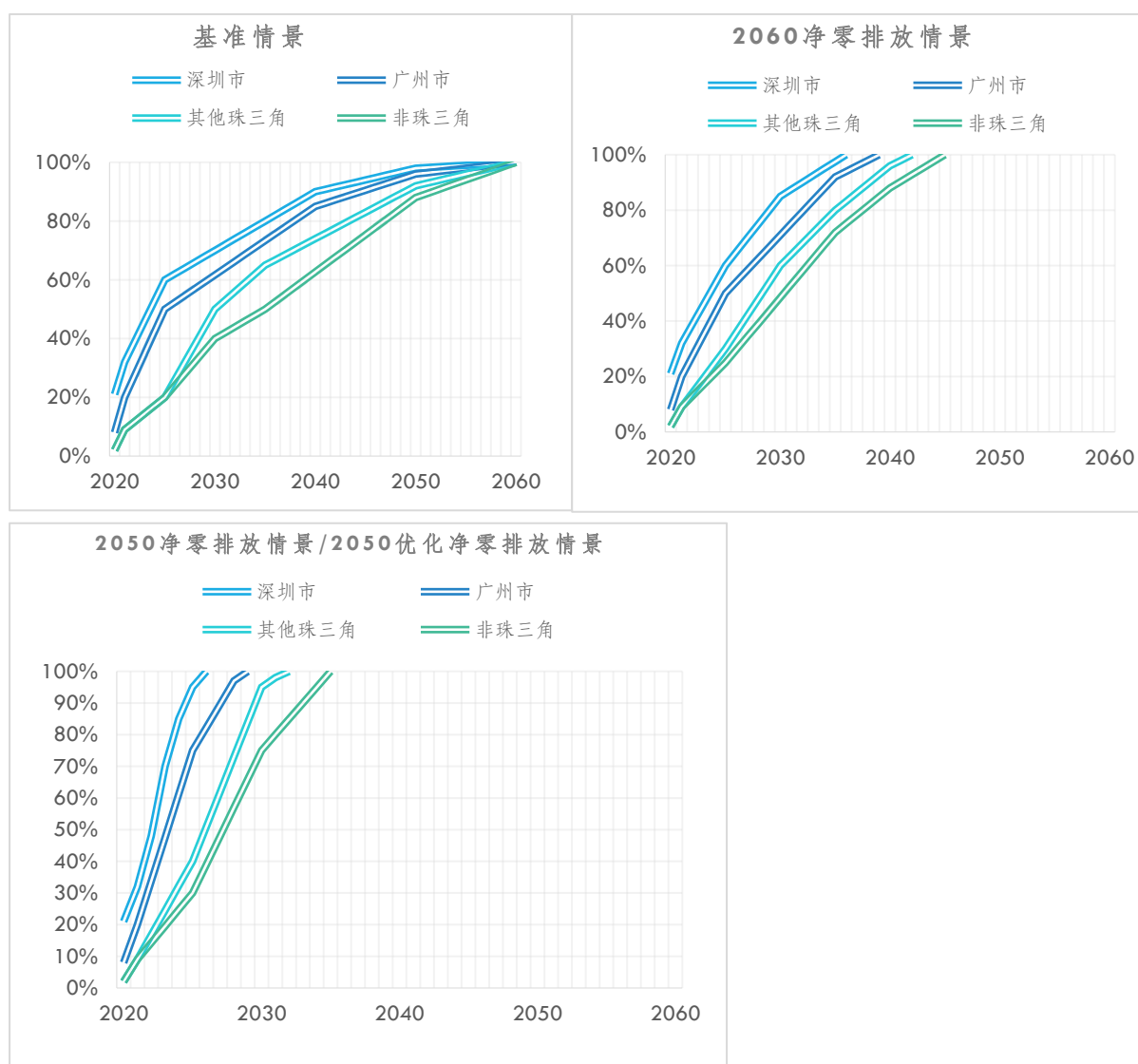
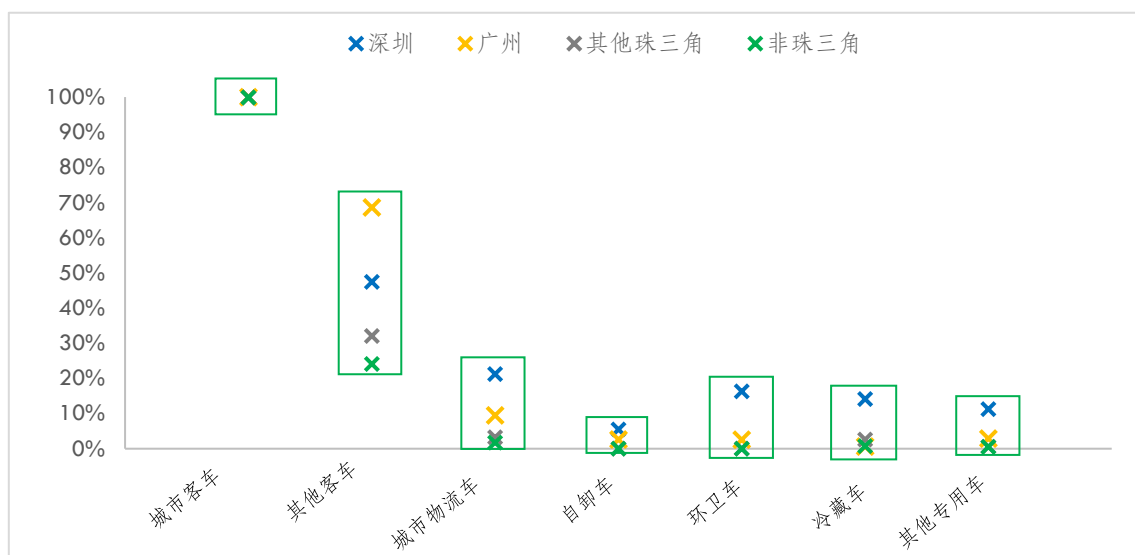


图 25 不同情景下各区域新能源汽车渗透率（私人乘用车领域）

(2) 商用车

目前新能源商用车新车渗透率低且在各车型、各区域之间呈现巨大差异。电动化程度较高的车型如图 26 所示，城市客车无疑是电动化率最高的场景，四个区域的新能源渗透率均已基本达到 100%。在城市客车的带动下，纯电动大型客车在其他客车领域也逐渐打开销售市场，广州 2021 年大型其他客车新车

销售中新能源渗透率接近 70%，深圳接近 50%，其他珠三角和非珠三角地区分别为 32%和 24%，在电动化推进进度上仅次于城市客车。轻型物流车是另一个新能源渗透率较高的场景，这主要得益于各地政府推出的路权及运营补贴政策⁵⁹，但也可以看到，新能源轻型物流车在深圳、广州这类大城市中推广效果更好，非珠三角地区的新能源渗透率要低得多。这种情况在自卸车、环卫车、冷藏车及其他专用车等分类上也有所体现。



注：图中仅展示新能源化率较高的部分车型，其中，城市客车和其他客车渗透率为相应分类中大型车辆数据，自卸车为重型车数据，其他为对应分类中的轻型车数据。

图 26 部分商用车车型新能源汽车渗透率情况 (2021)

由于不同场景商用车的服务属性不同，很难对其提出统一的新能源发展规划。目前而言，商用车电动化整体还处在起步阶段，政策仅有对部分公共领域场景车型提出新能源发展目标。《新能源汽车发展规划（2021-2035 年）》指出，力争到 2035 年实现公共领域全面电动化。城市物流车方面，现有新能源汽车推广情况距离政策提出的 2021 年至少 80% 的目标甚远，不过有研究表明纯电动城市物流车有望在 2024-2025 年之间与传统燃油汽车实现 TCO 平价⁴³。因此，在所有情景中，新能源物流车市场渗透率均将在 2035 年达到 100%。轻型冷藏车实际上也可以算作城市物流车的一类，其新能源汽车渗透率设置与城市物流车一致。对于环卫车，在现有政策目标的加持下，所有情景中，环卫车新能源渗透率都将不晚于 2035 年达到 100%，其中深圳市还将适当提前。

《节能与新能源汽车技术路线图（2.0）》研究中也从全国层面对客、货两类商用车的新能源推广提出了预期性目标：新能源客车占客车总销量的比例在 2025、2030 和 2035 年分别达到 30%、40%和 50%；新能源货车占货车总销量的比例在 2025、2030 和 2035 年分别大于 12%、17%和 20%。在基准情景中，本研究对目前尚无政策引导目标的商用车场景的新能源渗透率采用路线图中设置的最高目标。2035 年

后，在基准情景下，上述场景新能源商用车渗透率假设维持 2035 年水平。在其他三个情景下，与乘用车类似，新能源汽车渗透率基于预期减排结果进行反向推演。

表 11 现有政策中对部分场景商用车提出的新能源发展目标

场景	政策目标	深圳	广州	其他珠三角	非珠三角
城市客车	2021 年起新增或更新车辆新能源汽车比例不低于 80% ^①	√	√	√	
物流配送	2021 年起新增或更新车辆新能源汽车比例不低于 80% ^①	√	√	√	
环卫	2020 年底前基本实现柴油环卫车全部更换为纯电动环卫车目标 ^② ； 2025 年新能源环卫车达 0.8 万辆 ^③	√			
	2017 年起每年新增或更新车辆，选用新能源汽车比例不低于 50%且逐年提高 5 个百分点 ^④		√		
	2018 年 5 月起，全市新招标道路清扫工程使用电动车辆比例不低于 80%，2019 年 1 月 1 日起，上述比例达到 100% ^⑤			(仅东莞)	
公共领域	力争 2035 年实现全面电动化 ^⑥	√	√	√	√
泥头车（自卸车）	2025 年新能源泥头车达到 0.8 万辆 ^③	√			

注：①《新能源汽车产业发展规划（2021-2035）》中对“国家生态文明试验区、大气污染防治重点区域”的要求；②《深圳市城市管理局关于推广使用纯电动环卫车的通知》（2018）；③《深圳市新能源汽车推广应用工作方案（2021-2025 年）》；④广州市人民政府关于印发《广州市新能源汽车发展工作方案（2017-2020 年）》的通知；⑤《东莞市蓝天保卫战行动方案》（2018）；⑥《新能源汽车产业发展规划（2021-2035）》

3.2.5 其他燃料及低碳技术

对乘用车而言，由于车队的燃料结构相对简单，除在出租车等营运类车辆中有部分天然气替代燃料车辆外，其他车类基本以汽油和新能源汽车为主。而且，广东省已经提出了实现出租、网约新增车辆完全新能源化的目标（非珠三角区域除外，但目前这一比例也已经达到 80%以上），乘用车相关的分析中不再讨论天然气等替代燃料车型。

对商用车而言，由于运输场景复杂且电动化发展尚处在起步阶段，减排工作仍然要借助于新能源汽车以外的低碳燃料，如天然气、液化石油气、燃料乙醇、甲醇、生物柴油等类型。在我国，由于缺少政策支持，燃料乙醇、甲醇、生物柴油等低碳燃料的推广存在一定障碍，产业发展仍然受限。目前在商用车领域最普遍的替代燃料仍是液化天然气（LNG），这也是本研究中讨论的主要替代燃料类型。不过，

在联合国环境规划署（UNEP）更新的《排放差距报告》系列报告中认为，对交通领域的长期减排而言，使用天然气以及生物燃料是一种不可持续的解决方案（Unsustainable solutions），因为这会造成森林砍伐或与粮食生产之间的竞争⁶⁰。

广东省交通运输规划研究中心发起的一项调研⁶¹（2015）显示，在货车领域 LNG 车辆主要为长途干线运输车、港口拖车、工程运输车和天然气运输车，随着新能源汽车技术的成熟，上述几个场景内仅有长途干线运输车在短期内难以被新能源汽车替代，天然气运输车数量很少，可忽略不计。在客车领域 LNG 车辆过去主要应用在公交和城际客运车辆上，近几年客车电动化发展迅猛，电动客车的 TCO 与燃油车也基本实现了平衡^{62,63}，在公交领域全面实现电动化的情况下，LNG 车辆未来可能应用的客车场景仅为一些中大型长途客车或大型校车。值得一提的是，《广东省“十四五”节能减排实施方案》中 LNG 在交通领域的应用重点已经向船舶转移，道路交通领域的主要减排措施仍被认为是新能源车辆。

除天然气车辆外，另一个探讨较为激烈的技术是混合动力，虽然在一些研究中混合动力常被作为汽车零排放转型过程的“过渡”车型，但近几年多个国内外卡车厂商在这方面开始发力，日本的日野、五十铃和三菱均推出了混合动力卡车，国内企业如东风、一汽等在近两年也有混合动力版重卡推出⁶⁴。混合动力汽车虽然不能实现终端零排放，但由于能耗较低，相对于传统燃油车仍然具有一定的减排潜力，使用混合动力汽车替代传统燃油车也是逐步降低乘用车整体碳排放的路径之一。研究所设的四个情景中混合动力乘用车的新车渗透率参考《节能与新能源汽车技术路线图 2.0》中的非约束性目标，即 2025、2030 和 2035 三个时间节点上混动新车占传统能源乘用车销量的比例分别为 50%、75%和 100%。

在商用车领域，本研究认为在新能源汽车尚不能成为市场主流之前，混合动力技术仍有发展空间。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⁶⁵，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⁶⁶。



广东省道路交通净零排放情景分析
Scenario Analysis and Results

第四章 广东省道路交通净零排放情景分析

4.1 基准年结果

本研究以 2020 年作为基准年，研究中对能源消耗量以及碳排放均采用“自下而上”的保有量核算方法，为交叉验证计算结果，我们获取了广东省 2020 年的汽柴油消费量数据（中石化经研院数据），对比显示，模型核算的汽油消耗量结果较中石化测算数据略微偏高，不过两者之间的差异低于 10%。可以料想，由于 2020 年受新冠肺炎疫情爆发等因素影响，乘用车使用率及里程同比略有下降，但由于缺乏实际数据和研究支撑，在模型中并未考虑这一影响，这很有可能是造成上述偏差的主要原因之一。模型核算的柴油消耗量与中石化测算数据高度吻合，两者之间差异小于 1%。

2020 年广东省道路交通能源消耗总量为 13.16 亿 GJ，使用环节碳排放量达到 9,056 万吨，尾气污染物排放总量为 78.3 万吨。

分车型来看，乘用车碳排放占比近 54%，其中网约车和出租车占比分别为 1.0%和 0.4%，私人乘用车占比最高。商用车中，城市物流车和半挂牵引车碳排放占比分别达到 14.4%和 12.5%，仅次于其他乘用车。自卸车、普通货车、其他专用车碳排放量占比均超过 3%。其他场景车类由于保有量低或电动化程度较高，致使其碳排放量占比处在较低水平（见图 27）。

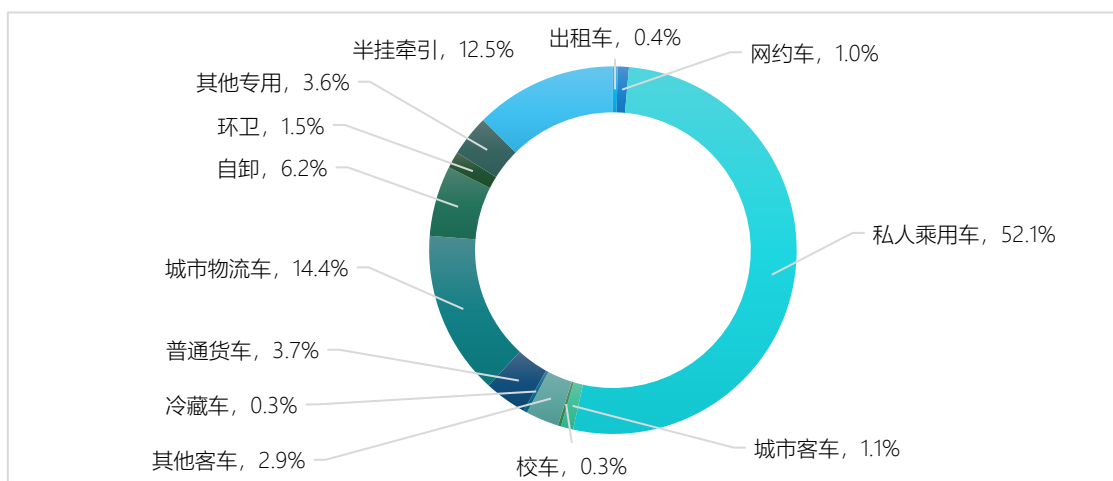
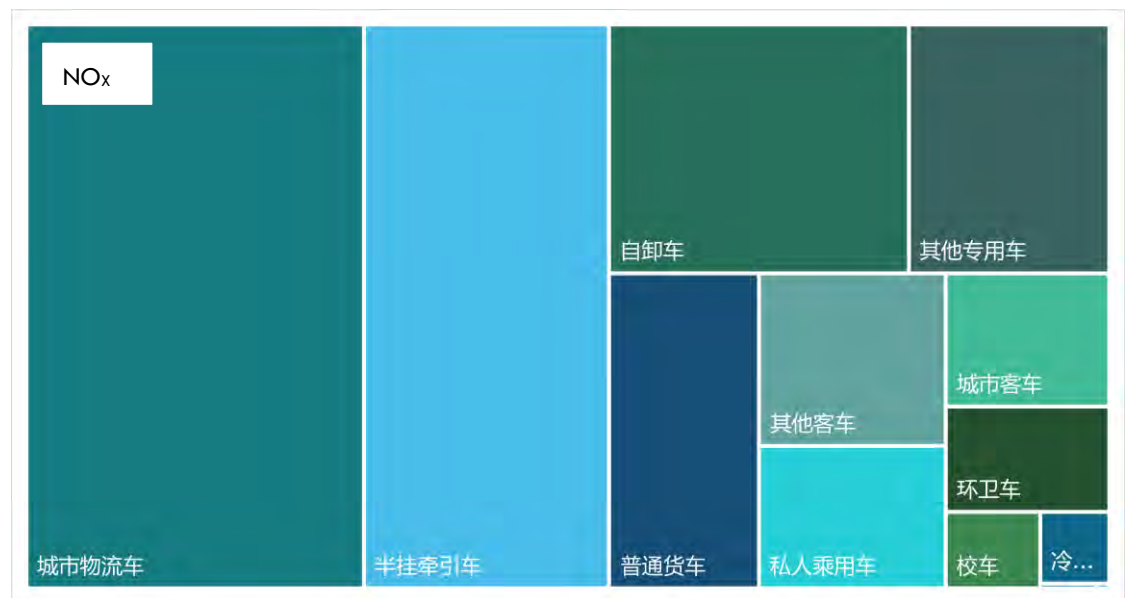
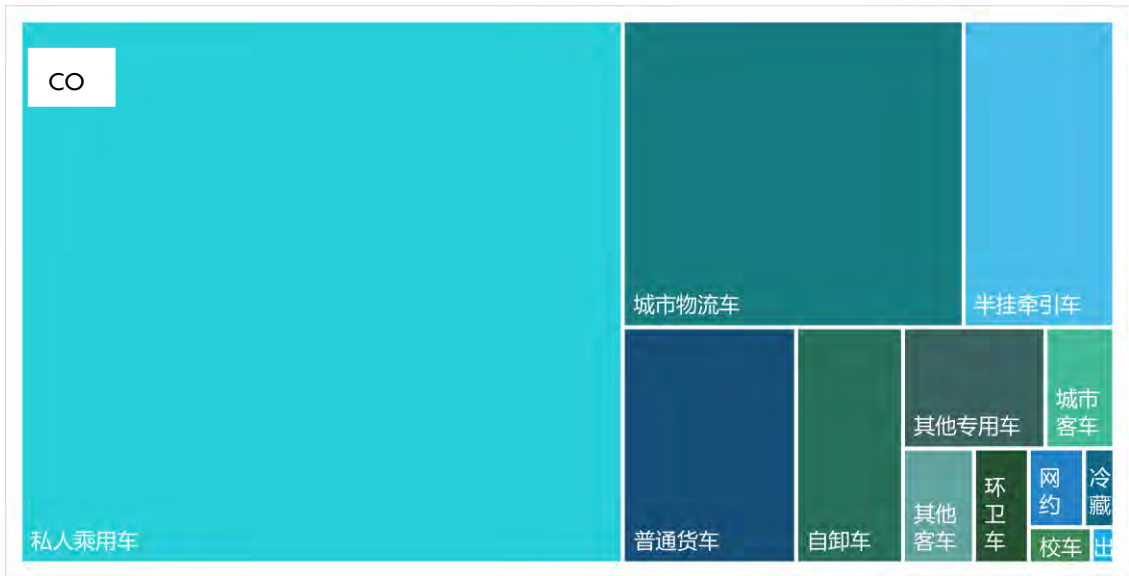


图 27 基准年各车型碳排放占比

尾气污染物方面，除 NO_x 以外，CO 和 HC 的主要排放源都是乘用车，乘用车对上述两种污染物排放量的贡献率分别为 55.9%和 89.2%。商用车则是主要的 NO_x 及 $\text{PM}_{2.5}$ 排放源，其中，城市物流车、半挂牵引车和自卸车是商用车中对尾气污染物排放贡献最高的三类车型（见图 28）。



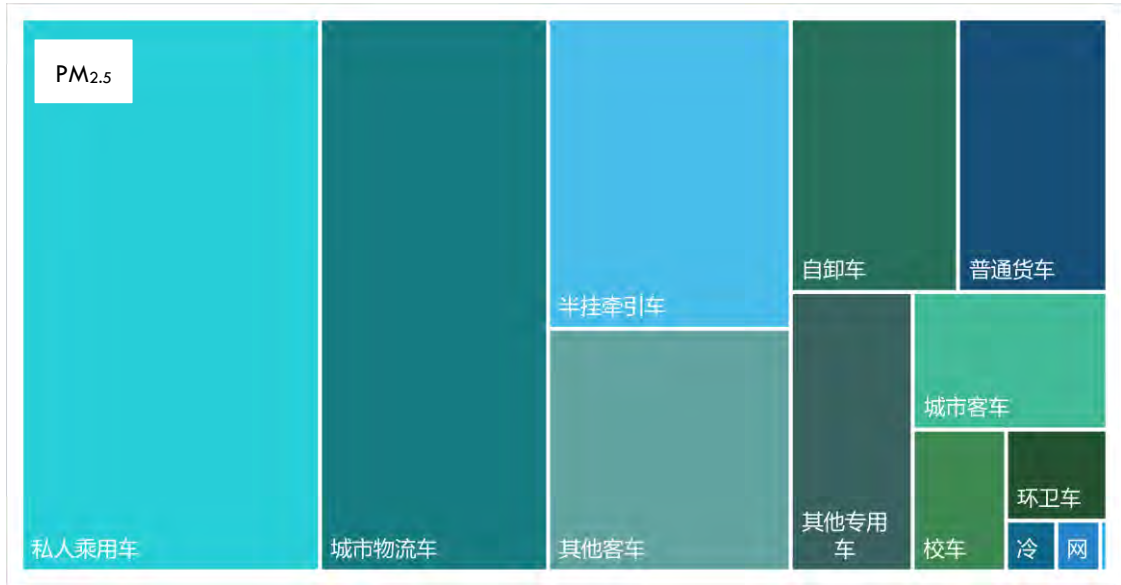


图 28 基准年各车型对道路交通不同尾气污染物排放量的贡献

从区域层面来看，其他珠三角地区对广东省道路交通直接碳排放量的贡献最高，达到 41%，这是因为该地区的汽车保有量在四个区域中最高。非珠三角紧随其后，贡献了 23%的碳排放，深圳和广州的贡献率分别为 20%和 15%（见图 29）。

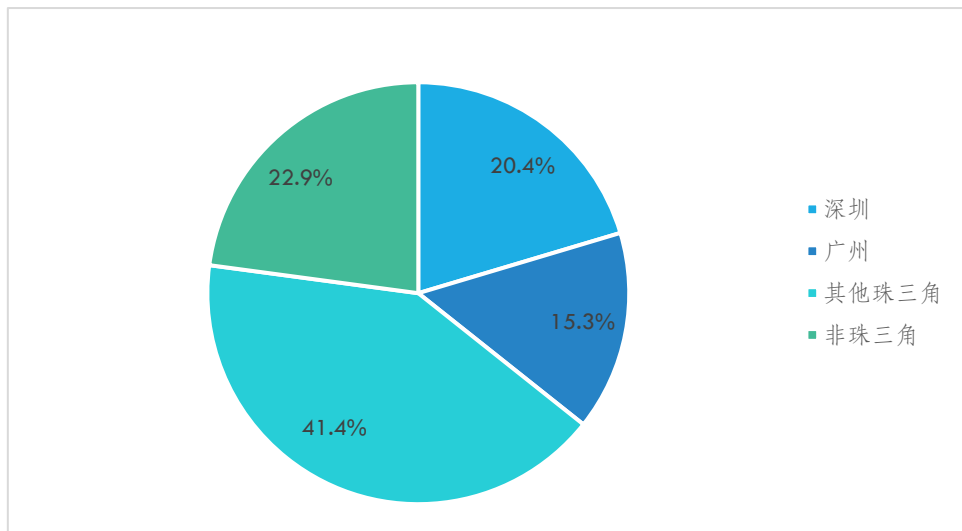


图 29 广东省各区域对基准年道路交通碳排放的贡献

4.2 情景预测结果

4.2.1 汽车保有量

(1) 乘用车

在不考虑出行结构调整以及乘用车总量政策控制等因素下，广东省乘用车保有量预计在 2048 年前后达到峰值 4,539 万辆，此后下降至 2060 年的 4,507 万辆，届时广东省乘用车保有量约是 2020 年的 2.04 倍。在 2050 优化净零排放情景下，广东乘用车总量较上述情景显著下降，峰值水平出现在 2045 年，约为 3812 万辆，2060 年下降至 3776 万辆，较 2020 年增长 71%（见图 30）。

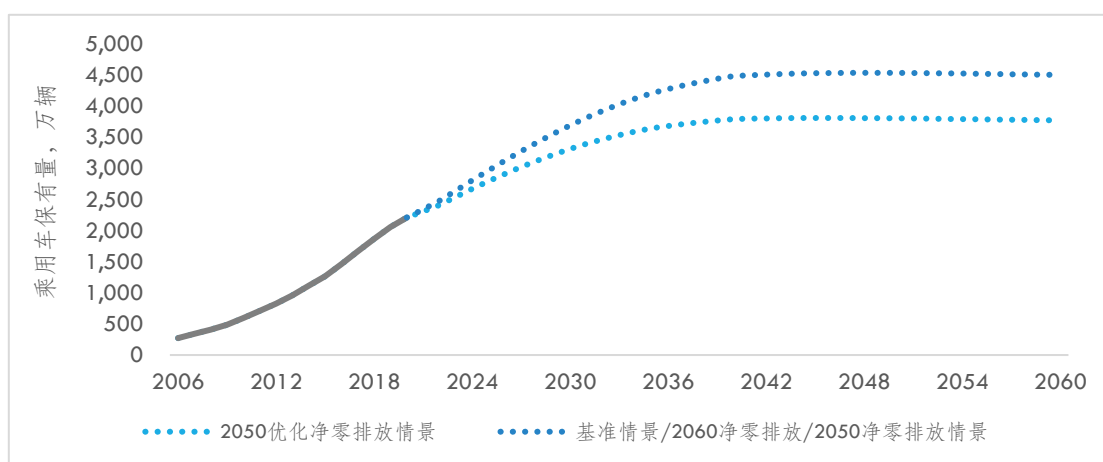


图 30 不同情景下广东省乘用车保有量预测

在不同情景下，新能源乘用车保有量及其占比也呈现出不同的趋势。在基准情景下，新能源乘用车保有量的平均增速最慢，到 2060 年新能源乘用车保有量可达到 4,224 万辆，在车队中的占比为 94%。在 2060 净零排放情景下，新能源乘用车保有量平均增速略高于基准情景，2057 年之后保有量进入平台期。2050 净零排放情景与 2050 优化净零排放情景下，在 2050 年左右新能源乘用车在车队中的占比就已经达到 100%，2050 优化净零排放情景下由于总体保有量较低，到 2060 年新能源乘用车的保有量也处在四个情景中的最低水平（见图 31）。

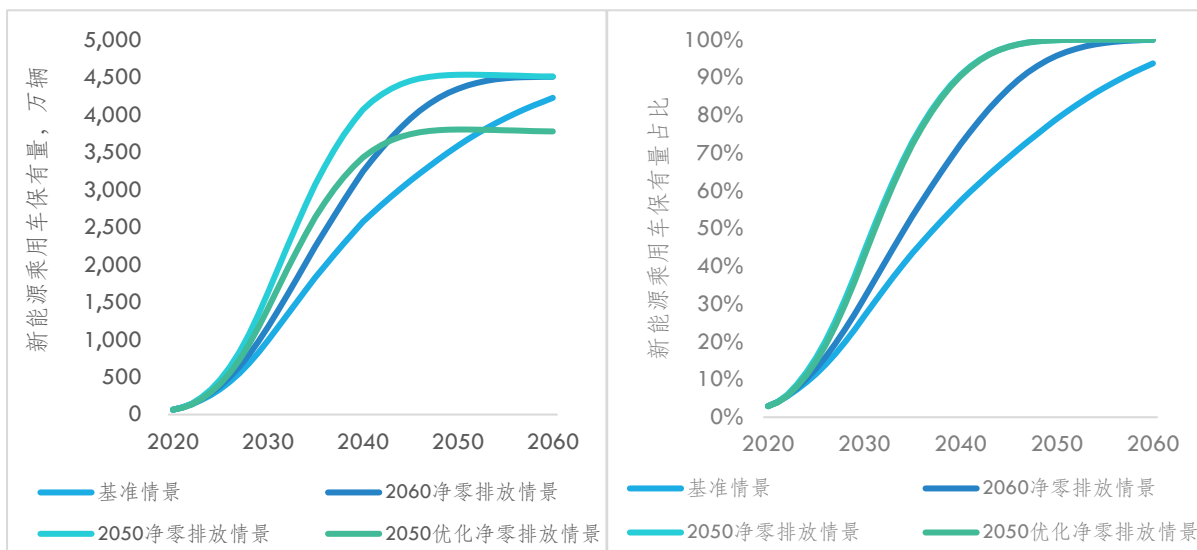


图 31 不同情景下新能源乘用车保有量及占比趋势

(2) 商用车

在常规情况下，即假设货运车辆不受“公转铁”“公转水”等运输结构调整因素影响，广东省商用车保有量在 2053 年前后达到峰值 412 万辆，较 2020 年增加约 60%，此后进入平台期直至 2060 年。在 2050 优化净零排放情景下，商用车总量在 2050 年前后达到峰值 339 万辆，较 2020 年增加 31%左右（见图 32）。

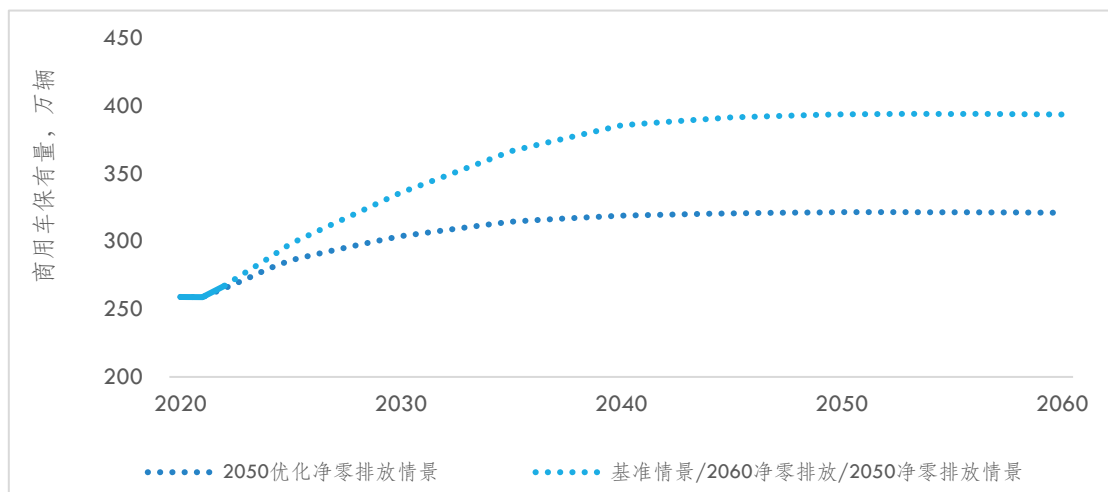


图 32 不同情景下广东省商用车保有量预测

在基准情景下，2040 年之前汽油、柴油商用车保有量占比快速下降，新能源汽车比例逐渐增加至 58% 左右并在此后保持，这是因为研究中认为现有政策对新能源汽车的目标设定主要集中在 2035 年之前，这以后缺乏目标引导而发展滞缓。在该情景下，天然气和混合动力汽车在保有量中的占比均约为 3%。

2060 净零排放情景下，新能源汽车在保有量中的占比迅速增加并将于 2057 年前后接近 100%，其中，燃料电池汽车约占 15% 的保有份额。在该情景下，商用车队以净零排放为目标导向，并以纯电动和燃料电池汽车作为主要实现路径，因此天然气车辆和混合动力汽车在此过程中“过渡者”的角色定位更加突出，在总保有量中的占比约为 1~2%，并于后期逐渐退出。2050 净零排放情景下各燃料类型商用车保有量的占比趋势与 2060 净零排放情景类似，只不过对前者而言，净零排放目标更为激进，在 2050 年新能源汽车在保有量中的比例已经达到 100%，且在此过程中天然气和混合动力汽车的发展空间更小（见图 33）。

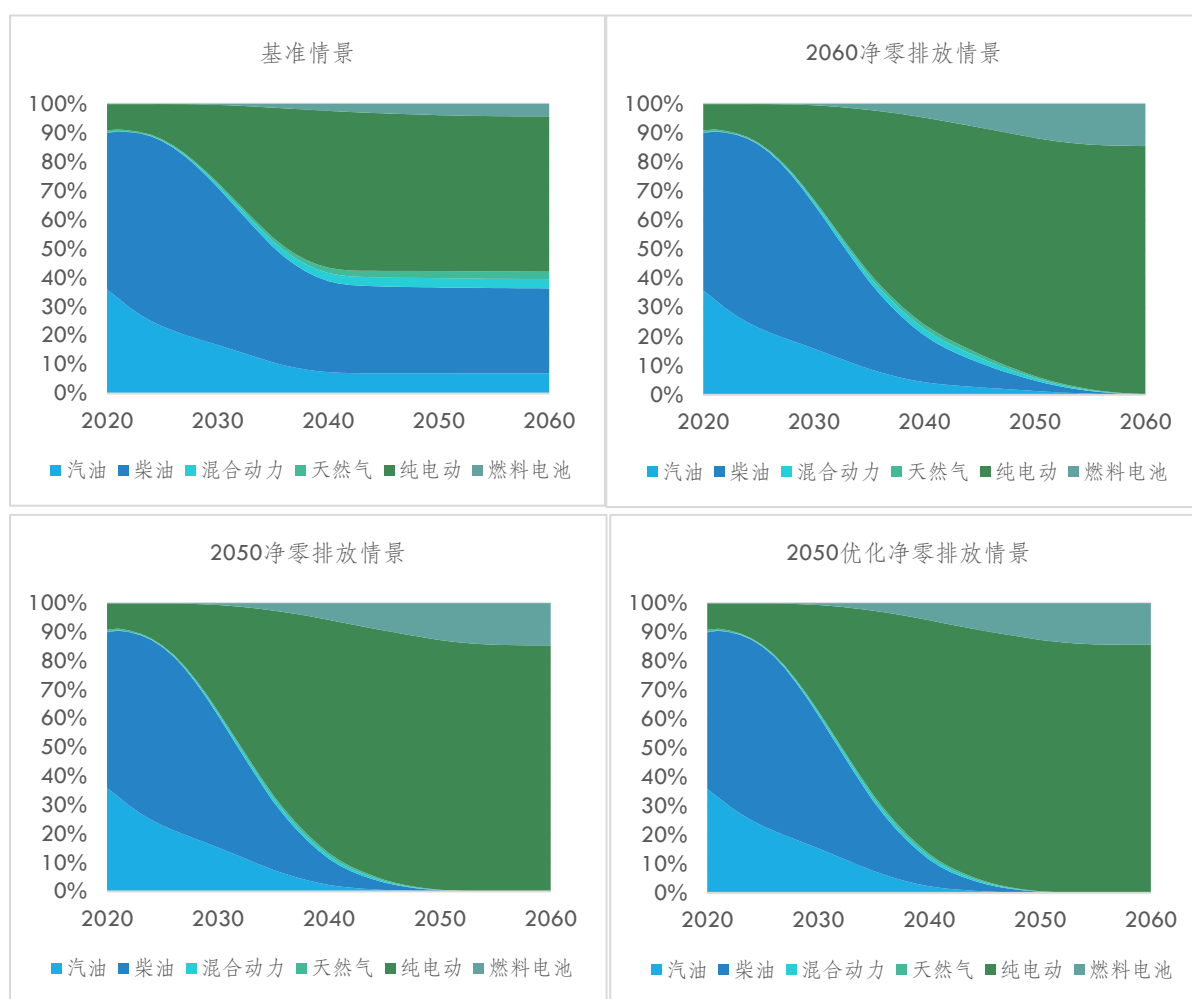


图 33 不同情景下广东省各燃料类型商用车保有量占比情况

4.2.2 能源消耗量

石油消耗量会随着多种减排措施的应用快速下降。在基准情景下，广东省道路交通石油消耗量将在 2025 年前后达到峰值水平，大幅提前于国家层面提出的 2030 年陆路交通石油消耗量达峰的目标⁶⁷，也早于其他研究中测算的我国道路交通领域石油消耗量达峰年份（约在 2027 年）⁴³，究其原因，主要是广

东省部分地区提出了更为激进新能源汽车发展目标，如深圳和广州，尤其是在乘用车领域。深圳和广州在部分商用车场景下相对较高的新能源渗透率也促使石油消耗量进一步下降。在 2060 净零排放情景下，石油消耗量达峰时间与基准情景一致，峰值消耗量较基准情景下降 1%。在 2050 净零排放情景下，石油消耗量达峰时间提前至 2024 年。在 2050 优化净零排放情景下，石油消耗量目前已经进入平台期，从 2024 年起开始快速下降。在基准情景下，2060 年石油消耗量较 2020 年下降 59%，这主要是因为 2035 年以后尚未出台明确的电动化引导政策。在其他情景下，2060 年石油消耗量均将接近或达到零，即道路交通发展实现了与石油能源的脱钩（仅考虑直接使用环节）。

总体能源消耗量变化与石油消耗量的整体趋势较为一致。能源消耗量达峰时间在四个情景下分别为 2027 年、2026 年、2025 年和 2024 年。在基准情景下，2060 年车队能源消耗量为 9.6 亿 GJ。在 2060/2050 净零排放情景下，2060 年车队能源消耗量均在 6.9 亿 GJ 左右，在 2050 优化净零排放情景下，能源消耗量进一步降低，2060 年约为 5.6 亿 GJ，较 2050 净零排放情景减少 19%（见图 34）。这也说明，在保证新能源汽车推广稳步进行的前提下，在乘用车领域通过绿色出行倡导，借助日益精进的共享出行调度功能，在商用车领域通过“公转铁”“公转水”降低公路货物周转量比例，可大幅降低车队对能源的总体需求量。

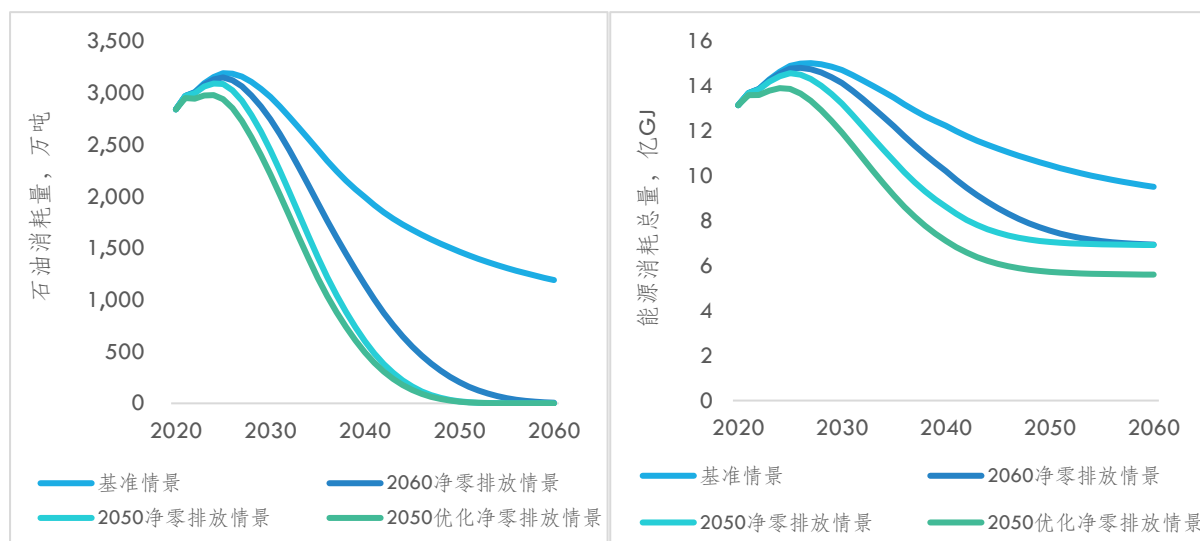
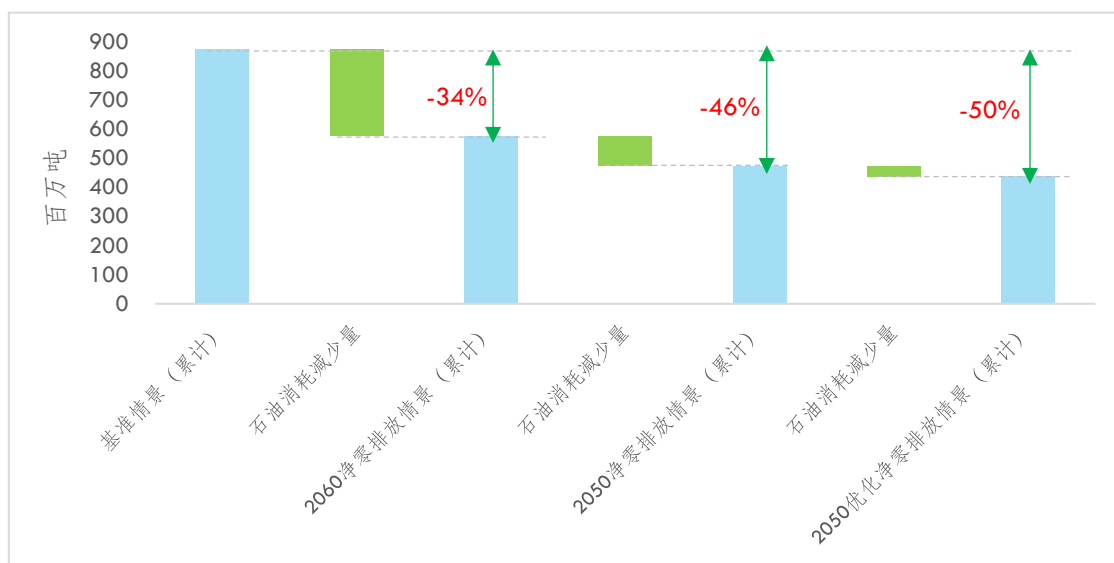


图 34 不同情景下广东省道路交通石油消耗量与能源消耗总量预测

相较于基准情景，其他三种净零排放情景均能大幅减少道路交通石油消耗量。在 2060 净零排放情景下，2020~2060 年间广东省道路交通石油消耗总量较基准情景减少了近 3 亿吨，降幅达到 34%。若能在 2050 年前后实现道路交通净零排放，2020~2060 年间广东省道路交通累计石油消耗总量较基准情景可减少 4.0~4.4 亿吨，降幅最高可达 50%（见图 35）。我国 2021 年原油进口量为 5.13 亿吨⁶⁸，进口金额高达 2573.31 亿美元⁶⁹，可见尽早实现净零排放将能显著减少我国石油的对外依存程度，同时减少外汇

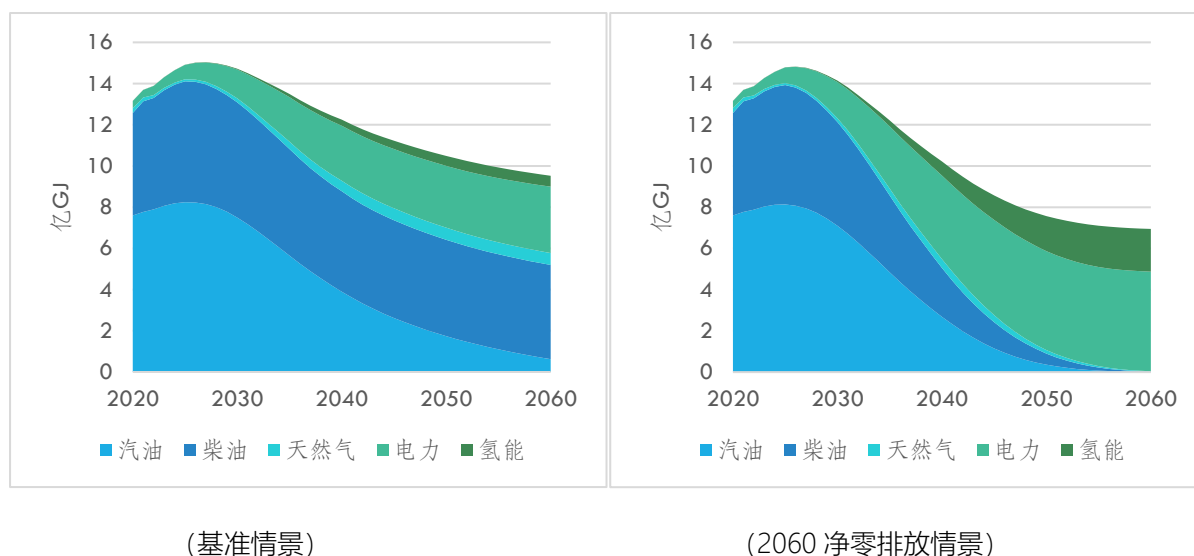
支出，具有多重效益。如果按照 70%的石油进口比例计算，将累计减少石油进口 3.1 亿吨，可节省外汇达 1555 亿美元（2021 年价计）。

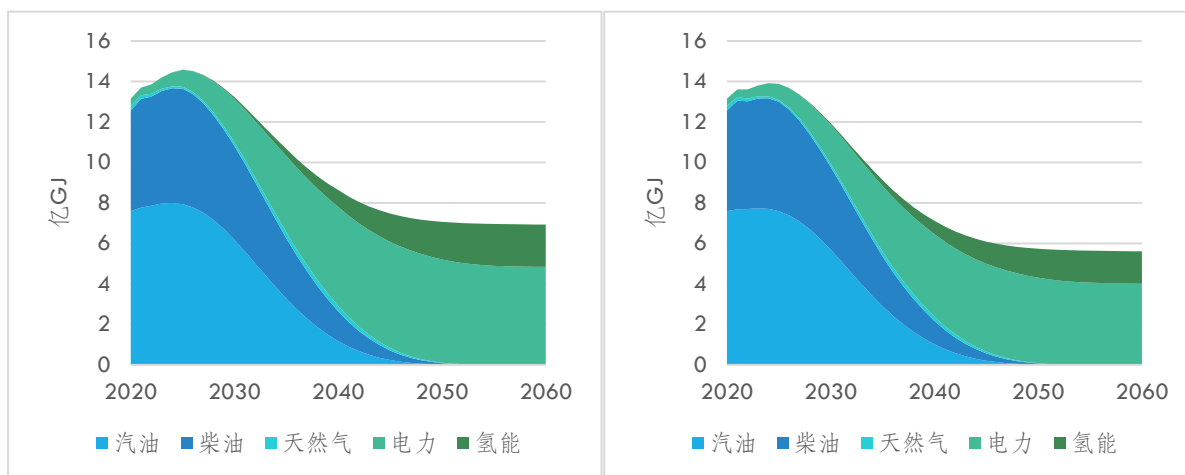


注：各情景下累计数值为 2020~2060 年石油消耗总量，比例为净零排放情景相对于基准情景下的累计石油消耗减少比例。

图 35 2020~2060 年不同情景下广东省道路交通累计石油消耗及相对减少量

车队燃料结构的变化也导致不同能源消耗量及其占比的变化（见图 36）。在基准情景下，石油自始至终都是最重要的车队用能，石油消耗量占车队总能源消耗量的比例由 2020 年的 96% 下降至 2060 年的 55%，届时天然气消耗量约占 6%，电力和氢能合计占到总能源消耗量的 39%。其他三种情景下，石油消耗量在总能源消耗量中的比例将在 2052~2060 年下降至零，天然气消耗量占比在 1~4% 范围，并在后期逐步退出车队用能舞台，至 2060 年，电力和氢能消耗量比例约为 7:3。





(2050 净零排放情景)

(2050 优化净零排放情景)

图 36 不同情景下广东省道路交通能源消耗量结构变化

4.2.3 碳排放

广东省道路交通碳排放量将不晚于 2025 年达峰（基准情景），在 2050 净零排放情景下，达峰时间可提前至 2024 年，在 2050 优化净零排放情景下，结果显示现阶段道路交通碳排放已经进入平台期并开始缓慢下降。现有政策中已经提出了明确的新能源汽车推广应用目标且距离达峰时间较近，峰值年份碳排放量比 2020 年增加 11%，在研究设定的 2060 及 2050 净零排放情景下，峰值年份碳排放较 2020 年仅增加 10%和 8%，这说明若能稳步推进现有政策目标的落实，广东省道路交通领域碳排放量峰值可以控制在较低增长水平。

达峰之后，基准情景中由于缺乏长期目标定位，碳排放下降速度趋缓，2060 年碳排放量仍较为可观，约为 4,152 万吨。如果加速推进新能源汽车的推广应用，将能快速使碳排放量降低。在 2060 净零排放情景下，2060 年广东省乘用车碳排放量仅为 27 万吨，较 2020 年下降 99.7%，在 2050 净零排放情景和 2050 优化净零排放情景下，道路交通领域直接碳排放在 2058 年前后便可接近净零状态（见图 37）。

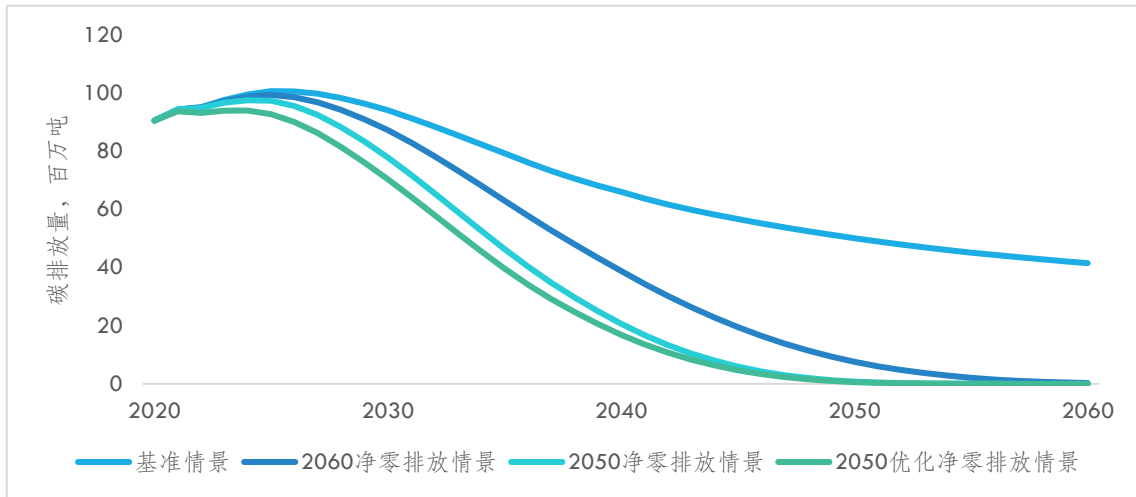
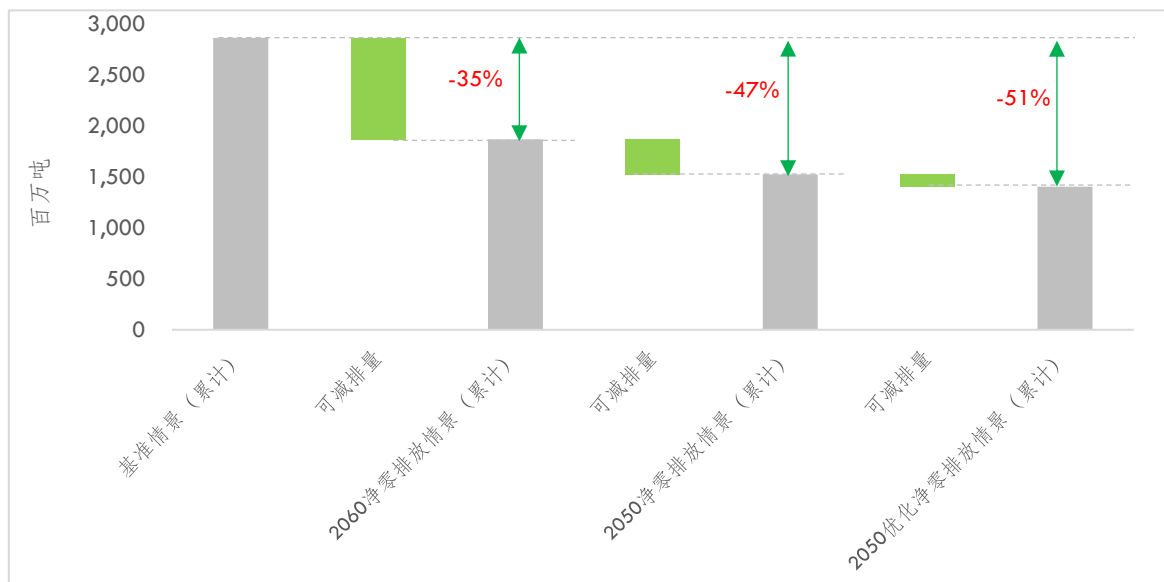


图 37 广东省道路交通碳排放预测

相较于基准情景，其他三种情景均能减少可观的 CO₂ 排放量。根据测算，2020~2060 年间，2060 净零排放情景可比基准情景减少超过 10 亿吨碳排放，减排比例达到 35%，在 2050 净零排放情景及 2050 优化净零排放情景下，减排比例分别高达 47%和 51%（见图 38）。尽早实现净零排放将能更大限度地减少排放到大气中的 CO₂ 总量，降低对全球气候变化的影响。因此，尽管减排过程仍存在多种挑战，仍建议像广东省这样具备政策、经济和社会基础认知优势的区域提前规划布局，尽早实现交通净零排放。



注：各情景下累计数值为 2020~2060 年道路交通碳排放总量，比例为净零排放情景相对于基准情景下的累计减排比例。

图 38 2020~2060 年不同情景下广东省道路交通累计碳排放及相对减排量

各区域的情况略有不同。深圳市将最早实现道路交通碳排放达峰：在基准情景和 2060 净零排放情景下，深圳市达峰时间约在 2024 年，在 2050 净零排放情景下，达峰时间可提前至 2023 年。非珠三角

地区达峰时间最晚，在基准情景下达峰时间为 2028 年，在 2060 和 2050 两个净零排放情景下，达峰时间分别为 2027 和 2026 年。广州和其他珠三角城市的碳达峰时间集中在 2025 年前后（见图 39）。

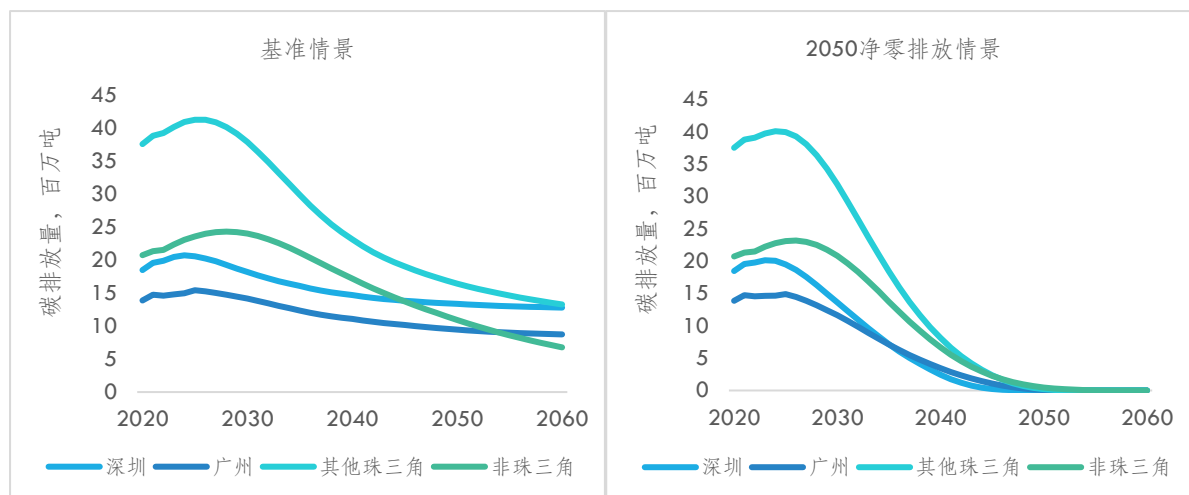


图 39 基准情景和 2050 净零排放情景下各区域道路交通碳排放趋势

分车型来看，乘用车碳排放占比最高，其次为城市物流车、半挂牵引车和自卸车（见图 40）。在基准情景下，乘用车碳排放达峰时间约为 2026 年，城市物流车和自卸车可在 2025 年前后实现碳排放达峰，半挂牵引车则需要到 2040 年左右才能实现达峰。其他专用车、普通货车以及其他客车的碳排放量处在第三梯队，除其他专用车外，其他两类车的碳排放已经进入下降通道。至 2060 年，乘用车碳排放占比将下降至 8%，半挂牵引车碳排放占比则上升至 30%。这表明在达峰阶段，乘用车对车队整体碳排放的贡献明显，减缓乘用车保有量增速将能降低达峰峰值水平，而在实现净零排放的中长期阶段，需要给中重型商用车制定更为明确、合理的低碳发展规划，如加快推进零排放汽车在中重型车领域的发展进度。

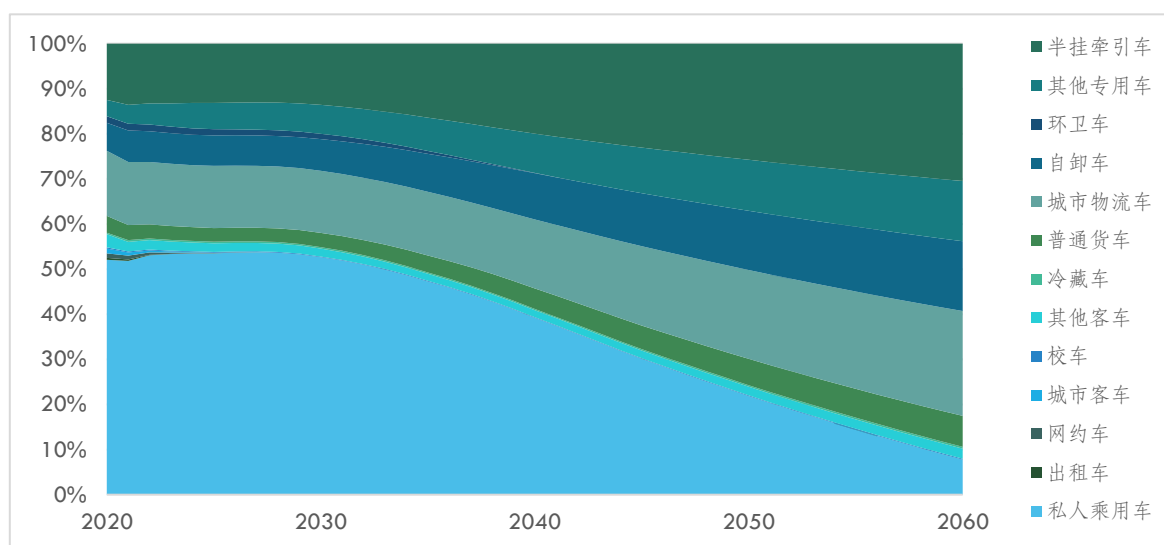
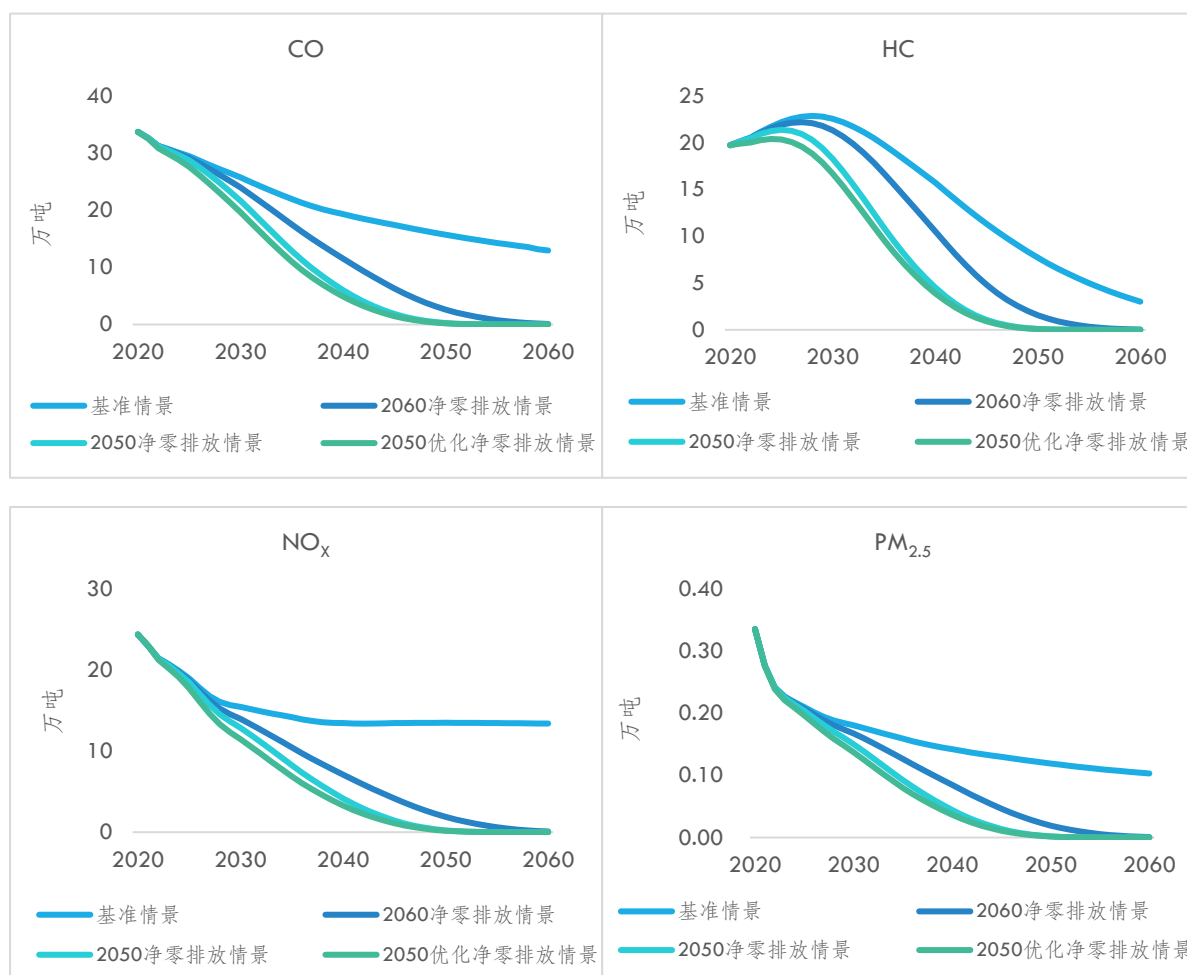


图 40 基准情景下各场景车类碳排放情况

4.2.4 空气污染物排放

CO、NO_x和PM_{2.5}的直接排放量在研究所设的四种情景下均已经进入下降阶段。在基准情景下，至2060年，CO和PM_{2.5}的直接排放量较2020年分别下降62%和69%，NO_x下降则相对较慢，较2020年下降45%，这主要是由于中重型商用车是NO_x的主要排放源，而在基准情景中，中重型商用车的电动化目标较保守或缺位。HC排放量呈现出先达峰后迅速下降的状态。在基准情景下，达峰时间在2028年左右，在2050净零排放情景和2050优化净零排放情景下，达峰时间可提前至2025和2023年。这是由于HC的主要排放主体是乘用车，HC排放量达到峰值的时间与传统燃油乘用车保有量达到峰值的时间基本一致。至2060年，基准情景下HC排放量较2020年下降85%（见图41）。

至2060年，除基准情景外，其他三种情景下车队均已基本实现完全电动化，因此空气污染物的直接排放量都将趋近于零。



注：数据为本研究测算，注意图中数据并未考虑比现行的国六排放标准更严格的排放标准的执行。

图 41 不同情景下空气污染物排放量趋势

4.3 各类措施的减排潜力

相较于基准情景，2050 优化净零排放情景累计可减排约 15 亿吨 CO₂。从减排措施来看，新能源汽车推广是最有效的手段，尤其是新能源商用车的置换和应用，对中长期道路交通减碳作用明显。2020~2060 年间，新能源商用车的推广应用贡献了 64%的减排量。新能源乘用车的推广应用累计贡献了 27%的减排量，出行方式转变和货运结构调整分别贡献了 3%和 5%的减排量（见图 42 和表 12）。与全国层面的研究结果⁴³相比，广东货运结构调整带来的减排潜力偏低，这主要是因为广东省公路货运周转量在总量中的占比（2020 年 9%）远低于全国平均水平（2020 年 54%）。

不同措施在不同时期的减排潜力差异明显。出行方式转变及货运结构调整主要在 2040 年前具有较大的减排潜力，后期由于车队新能源汽车比例大幅提高，上述两种方式的减排效果逐渐下降。新能源乘用车推广应用产生的减排潜力在 2030~2050 年间达到高峰，新能源商用车推广应用产生的减排潜力这主要发生在 2040 年以后，成为支撑道路交通后期减排的主要驱动力。现阶段，倡导城市绿色出行和货运结构调整的相关举措落实仍面临挑战，各级地方政府应采取多种措施应对，从而在近期（2040 年之前）充分发挥这两种措施的减排潜力。与此同时，还应通过政策扶持等措施激励新能源商用车市场发展，同时积极完善上下游产业链，以迎接新能源商用车规模迅速扩大带来的挑战。

表 12 不同时期各种措施的累计减排潜力（从基准情景到 2050 优化净零排放情景）

	2020~2030累计	2030~2040累计	2040~2050累计	2050~2060累计	2020~2060累计
新能源汽车推广（乘用车），百万吨	33.5	155.6	147.8	63.2	400.1
新能源汽车推广（商用车），百万吨	24.7	179.3	349.6	385.3	939.0
出行方式转变（乘用车），百万吨	22.3	21.8	2.6	0.0	46.7
货运结构调整，百万吨	24.1	39.5	10.5	0.2	74.2
总计，百万吨	104.6	396.2	510.6	448.7	1460.0

注：表中数据为作者根据研究测算

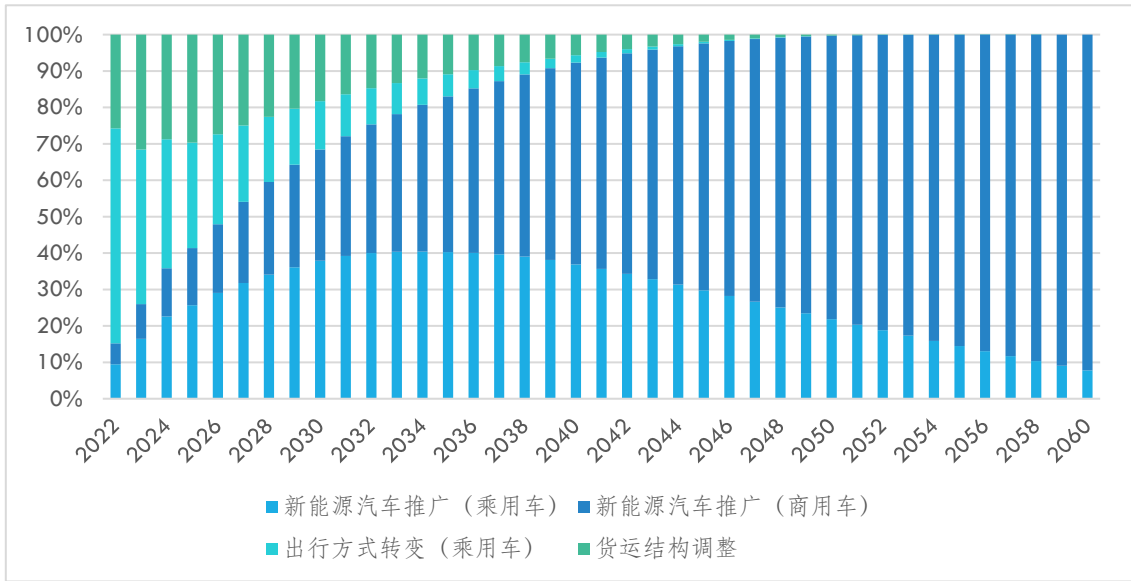


图 42 不同措施对广东省道路交通减排量逐年贡献率 (从基准情景到 2050 优化净零排放情景)

A photograph of an electric vehicle charging station. A red car is plugged into a charging station. The background shows a row of charging stations and green trees. A semi-transparent blue box is overlaid on the image, containing the title text.

新能源汽车发展对电网的影响

Impacts on the Grid

第五章 新能源汽车发展对电网的影响

5.1 充换电基础设施发展

在现有道路交通净零排放发展战略研究中，发展新能源汽车被认为是最主要的措施。随着新能源汽车保有量的不断增加，充电便利性成为影响新能源汽车发展的重要因素，充电基础设施建设则成为新能源汽车发展的基本保障。

5.1.1 广东省充换电基础设施现状

(1) 公共充电桩

“十三五”期间，我国基础设施体系形成了涵盖专用充换电站、城际和城市公共充换电网络、单位和个人充电设施组成的充电基础设施体系，电动汽车充电桩数量逐年上升。广东是我国新能源汽车发展的重要阵地，充电基础设施发展也走在前列。在各类充电基础设施中，公共充电桩对电动汽车使用便利性提升的重要性尤其突出，它是指为社会车辆（全部或部分）提供充电服务而进行建设运营的充电桩。按照归属及服务对象的不同，公共充电桩又可分为公用充电桩、专用充电桩和共享私桩。其中，公用充电桩占比最高，约为 68%，专用充电桩占比约 27%，共享私桩数量不足 8 万台（以上数据来源于中国电动汽车充电基础设施联盟，皆为截至 2022 年 9 月统计数据）。

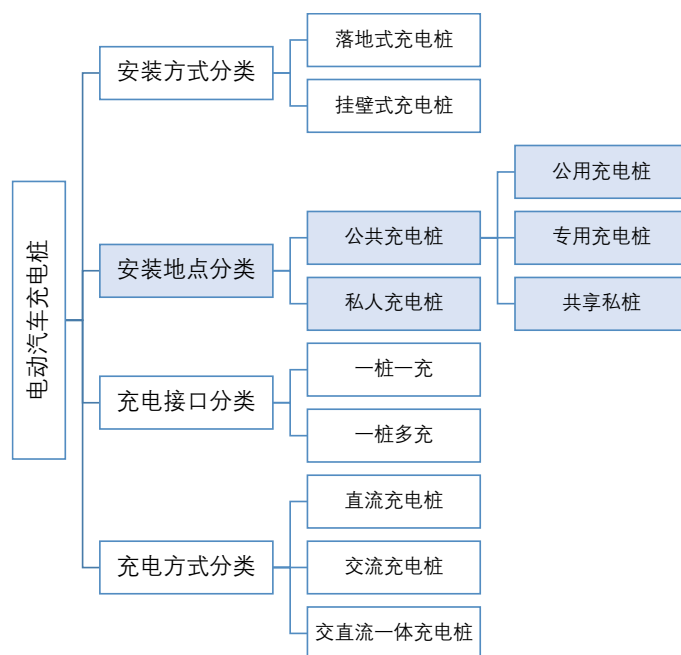
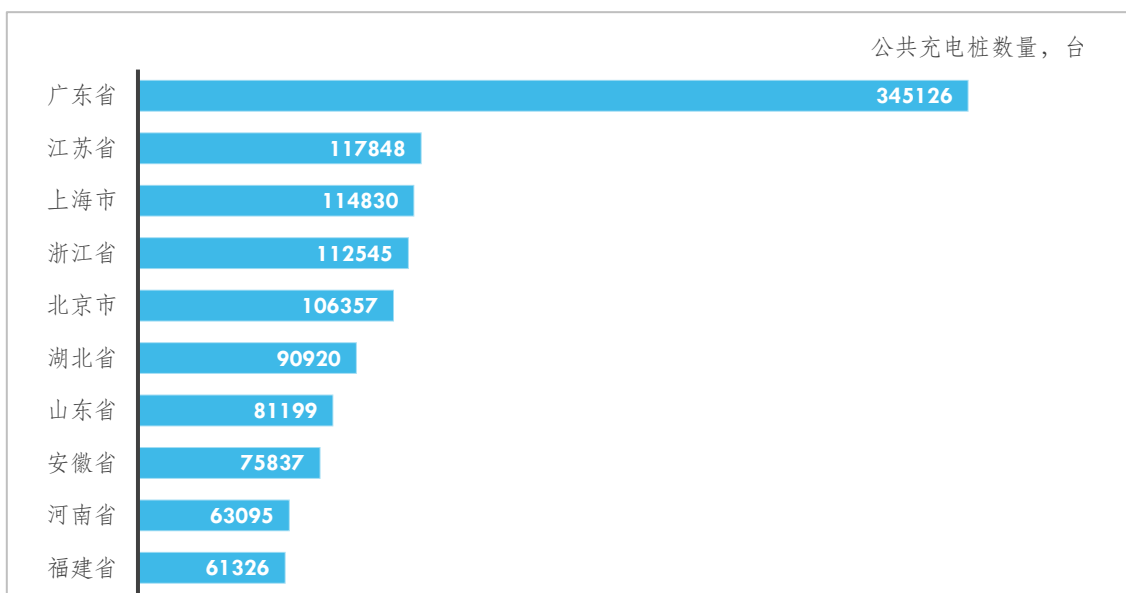


图 43 电动汽车充电桩的不同分类方式

中国电动汽车充电基础设施促进联盟（EVCIPA，以下简称“充电联盟”）统计数据显示，截至 2022 年 9 月，广东省公共充电桩数量达到 34.5 万台，高居全国首位（见图 44）。与此同时，公共充电桩充电电量^⑥也位列全国第一。



注：数据截至 2022 年 9 月

图 44 全国公共充电桩数量前十省份

广东地区建设的公共充电设施主要集中在一、二线大型城市，中小城市和乡镇覆盖率明显不足（见表 13）。据测算，2021 年底，广东省车桩（公共桩）比约为 5.2:1，而同期全国平均车桩比约为 6.8:1，广东省充电桩覆盖率优于全国平均水平。其中，深圳、广州两地车桩比约为 4:1，其他珠三角地区车桩比约为 10:1，非珠三角地区车桩比更高，约为 11.3:1，由此可见省内不同区域的车桩比差异明显，公共充电设施发展不均衡，用户充电体验有待提升。

表 13 广东省不同区域车桩比情况

地区	全国平均	广东省	深圳、广州	其他珠三角	非珠三角
车桩比	6.8:1	5.2:1	4:1	10:1	11.3:1

注：此处充电桩仅为公共充电桩。数据为作者测算，充电桩数据来自充电联盟，电动汽车数据为统计数据。

此外，目前公共充电基础发展还存在无序发展的问题，由于公共充电设施发展不均衡，部分热点地区公共充电场站排队现象较为突出，非城市中心大部分区域不同程度出现充电设施供给过剩。大多数地

^⑥ 充电联盟统计，不含国家电网、中国普天和小鹏。

区充电桩闲置率高，整体容量利用率偏低。2021 年广州市公共充电桩平均时间利用率达到 18.0%，即平均一天的充电总时长超过了 4 小时，而深圳市利用率为仅为广州的四分之一⁷⁰，公用桩效能仍有较大的提升空间。

(2) 私人充电桩

私人充电桩具有充电时段灵活自由、并网充电时间长、且充电价格按照“合表用户”民用电价标准计费等多方面特点，是私人电动汽车用户当前阶段最佳充电解决方案。据充电联盟统计，截至 2022 年 9 月，通过联盟成员内整车企业采样约 328.5 万辆车的私人充电基础设施配建情况，其中随车配建私人充电桩 285.2 万台，配建比例达到 86.8%（全国情况）。但目前住宅区私人充电桩建设还存在以下诸多方面挑战：固定车位停车资源不足，现有小区公共停车位普遍紧张，且固定车位电气化改造投资大和协调难，导致目前固定车位电气化覆盖率不足；建设公共充电桩面临土地资源有限和管理挑战较大，配套不足等问题。即使在政策层面已要求所有新建小区停车位必须 100%具备或预留充电桩建设安装条件，但已新建小区普遍不具备直接装表接电条件。

(3) 换电站

换电方式具有标准化、便捷化的特点，在出租车、公交车等特定使用场景具有优势，主要特点是能源补给时间短，有利于合理安排充电功率，减小对电网的冲击负荷。但这种方式的前提是高度统一的电池规格与标准。自 2008 年起，我国就已经开始在纯电动客车领域开展换电模式的推广，受限于当时政策环境、技术水平、成本因素和市场规模，换电模式并没有得到大规模应用。近年来，随着换电技术进步、换电站建设成本降低、换电标准不断完善，以北汽新能源、蔚来汽车、奥动新能源等为代表的企业开始加大换电模式的应用推广。

2021 年 4 月，工业和信息化部、国家能源局决定联合组织开展新能源汽车换电模式应用试点工作，编制《电动乘用车共享换电站建设规范》，配合国家坚持以市场为主导来推动创新换电商业模式探索的工作部署和要求⁷¹。充电联盟数据显示，截至 2022 年 9 月，全国共有换电站 1405 座，其中广东省共有 229 座，仅次于北京居全国第二。《广州市智能与新能源汽车创新发展“十四五”规划》指出，广州市将进一步加快构建换电基础设施服务网络，到 2025 年换电站达到 400 个。

5.1.2 充换电技术发展

目前，我国的充电基础技术已经基本成熟，在私人充电桩领域以交流慢充充电桩为主，而在公共充电领域以直流快充充电桩为主、直流慢充充电桩为辅的格局，同时充换电技术正小规模运营。

随着大功率的充电设备不断研发投产，根据《广东省能源发展“十四五”规划》，预计 2030 年全省将建成和更换包含 30 kW、60 kW、120 kW、350 kW、480 kW 五种充电模块的综合公共充电桩 150 万台和 7000 座充电站，其中预计 120 kW 充电桩约 105 万台，占比 70%以上，350 kW 至 480 kW 的充电桩约 21 万台，占比约 14%（见表 14）。基于大数据交通信息技术和实时充电监测技术，完成构建全省“10 分钟充电圈”和 5 分钟 300 公里续航效率。

表 14 广东省充电设施建设规划

	充电站（座）	公共充电桩 （万台）	30/60 kW 占 比	120 kW 占比	350/480 kW 占比
2025 年底	4,500	55	65%	30%	3%
2030 年底	7,000	150	18%	70%	14%

数据来源：本研究测算，基于《广东省能源发展“十四五”规划》并结合电动汽车及充电桩数量发展预测，各种功率充电桩的市场占有率比例咨询充电头部企业后确定。

电动汽车的充电方式主要有传导式充电和感应式充电，传导式充电通过充电电缆连接，而感应式充电则以无线充电模式为主。传导式充电也叫接触式充电，是以电缆为传输介质，通过电缆和耦合器（插头与插座）的金属接触来传递电能，一般可分为交流充电、直流充电和交直流混合充电三种充电模式。

交流充电和直流充电都属于整车充电技术，其发展已经相对成熟。但是目前存在电池容量有限和充电时间过长等问题，限制了整车充电技术的大规模推广应用。于是，采用电池组快速更换技术的换电模式开始受到重视和发展。电动汽车换电是通过全自动或半自动机械设备，为电动汽车进行快速的电池更换。

电池更换站指的是采用电池更换方式为电动汽车提供电能供给的场所。相较于电动汽车充电站，电池更换站具有电池更换时间短、电能补充速度快、自动化程度高的特点。同时，通过对标准电池箱进行集中有序充电，可以有效利用电网负荷低谷时段对电池进行统一充电，对电网负荷起到良好的削峰填谷作用。电池的统一管理和定期保养维护提高了电池的全生命周期，降低了电池的使用成本，但相对地，电动汽车换电的标准化要求高、电池换电站需要专业人员维护，日常运营成本也相对较高。

为进一步改善电动汽车用户的充电体验，充电技术的更新迭代使得充电桩从“快充充电桩”迈向“超级充电桩”发展方向。同时，由于“车到网”（Vehicle-to-Grid, V2G）技术的发展，电动汽车在能源互联网中作为分散式移动储能单元，V2G 技术能够实现电动汽车与智能电网双向融合互动，对电动汽车用户、充电桩运营商、电网多方主体均产生积极影响。

电动汽车同时具备源、荷二重属性，V2G 技术使得电动汽车电池既是电力的消费端，也是电力的供应端。在 V2G 架构下，克服了传统电力负荷与电网“双向通信，单向输能”的局限，使得电动汽车与电网能够做到“双向通信，双向输能”。

在电动汽车充放电技术的支持下，电动汽车参与 V2G 提供的主要服务包括：

(1) 电动汽车的有序充放电帮助电网削峰填谷。依据电网状态信息、发布峰谷电价信息、车辆电池充放电负荷信息等，对车辆并网与充放电行为进行管控，用电高峰时段向电网放电，用电低谷时段充电，在需求响应执行时段保证发电出力与用电负荷相平衡。电动汽车用户利用峰谷价差获得电力辅助服务收益，实现多方获益。

(2) 参与微电网调峰调频。基于 V2G 技术的电动汽车以可控负荷与分布式电源双重角色参与电网调频，有效参与系统频率的上调和下调，提高微电网的电能质量。当微电网收到负荷突增扰动时，V2G 参与调频可明显减小频率变化幅度、调节时间和超调量，提高了微电网的响应速度和稳定性。具有双向功率调节功能的电动车的充放电可实现最高毫秒级的响应速度，同时由于电能从配电网末端分散接入，可直接供给负荷，造成的网损非常小，能够产生明显的社会效益与经济效益。

(3) 消纳可再生能源。可再生能源的发电严重依赖于环境因素，因此可再生能源发电出力具有不可预测性、不稳定性和间歇性，电动汽车电池优先消纳绿电并存储不确定的绿电发电，当可再生能源发电不足时，反向向电网提供电力支撑。

国内 V2G 充放电领域的前期应用研发侧重于电动汽车并网技术与系统控制方面，通过交互式软硬件控制使车辆接入电网，已实现作为直接电源供电或备用电源参与电力辅助服务。日常亦可通过调度中心的多时间尺度控制策略，提供无功功率支撑和有功功率控制、协调可再生能源发电、负载均衡、削峰填谷，电网相位平衡等多种服务模式，并实现协同电动汽车聚合代理优化配置与充电功率调节。

近五年，我国陆续出台了多项政策，鼓励发展电动汽车充放电技术，并在多个城市如北京、上海、广州、武汉、长沙、无锡等推动 V2G 协同创新和试点示范。2022 年 7 月，广州市工信局印发了《广州市虚拟电厂实施细则》，激励用户参与并推动 V2G 电动汽车储荷资源灵活参与调峰调频市场。

未来，电动汽车作为智慧交通和智慧城市的基本单元，V2X (Vehicle-to-Everything) 技术也受到了世界各国的高度重视。V2X 包含车辆与车辆 (V2V)、车辆与基础设施 (V2I)、车辆与网络 (V2N)、车辆与家庭 (V2H) 等各种应用场景 (图 45)，在电动汽车完成充放电的同时，支持车辆驾驶安全、数据服务、绿色能源等业务发展。

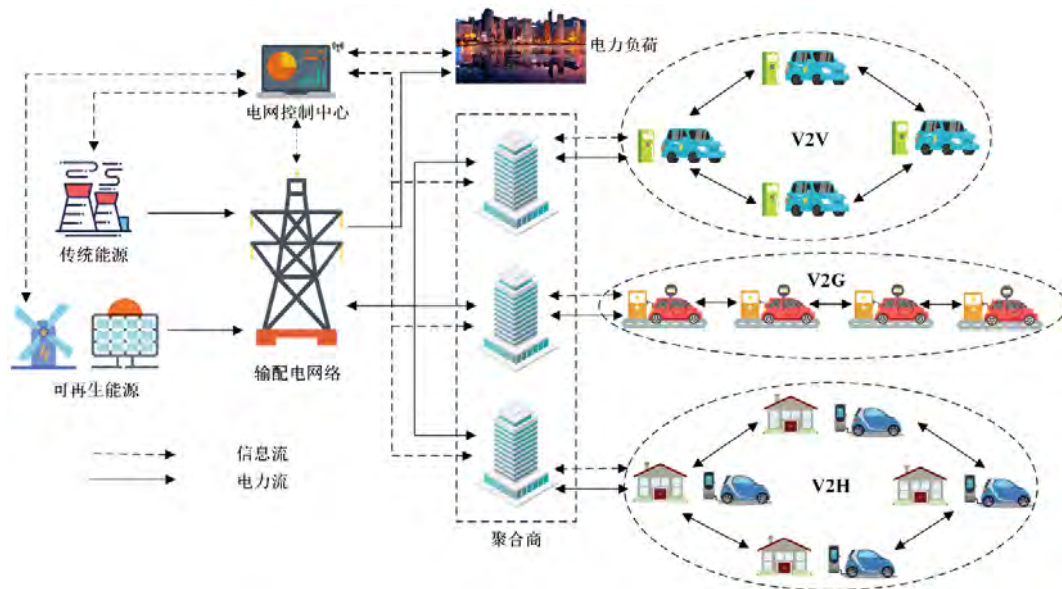


图 45 车网互动 V2G、V2V 与 V2H 技术

5.1.3 充换电基础设施布局规划

广东省城市充电桩的布局应结合电动汽车的存量现状、政策导向、应用场景、技术发展水平与市场发展预测情况进行综合统筹，以满足不同类型电动汽车的多样化需求。广东省内各城市的充电桩发展情况较不均衡，截至 2021 年底，深圳市的中心城区公用桩密度高达 129 台/平方公里，位居全国第一，广州市的中心城区公用桩密度达 34 台/平方公里，位居全国第三，且深圳、广州两地公用桩覆盖率均超过 90%；而珠三角其他城市如佛山、东莞等中心城区公用桩数量与密度均与广深两地有较大差距⁷⁰；粤东西北其他城市充电桩设施尚处于起步阶段，因此将按省内城市充电设施发展进度分类分析各自布局规划。

目前，深圳、广州充电桩规模已经占据全国前列，然而深圳的直流快充公用桩占比仅有 15%左右，广州的直流快充公用桩占比高达 70%左右⁷⁰，相比之下，深圳的直流快充公用桩占比存在提升空间，向直流快充和超充方向发展。需进一步细化不同区域、不同类型的电动汽车充电需求，合理布局充电设施，充分利用城市碎片化空间进行规划布局，建设多功率充电技术组合的充电站，以进一步完善充电设施体系建设，积极协调配电网运行，鼓励电动汽车与电网能量高效互动，服务电网调峰调频、安全应急响应，同时利用峰谷电价提升充电站运营收益，根据配电网现状及发展统筹布局以确保为不同用途的车辆提供稳定充电设施与服务，远期可实现中心城区 1.5 公里，远郊区聚集区 3 公里的有效服务半径；鼓励进行服务和商业模式创新，在拓展数据服务、新零售等业务的同时促进电网和电动汽车协同发展。

珠三角地区其它城市，如佛山、东莞、珠海等城市，80%以上充电桩以私人桩为主⁷⁰，充电效率低且占用社会资源高。各地方政府正逐步推动充电桩发展，完善设立充电桩发展需五年规划与长期计划，利用现有停车场等公共场所布局大型集中式充电站，优先配合民生事业部门的车辆电动化升级改造，满足其充电服务需求。

非珠三角地区充电桩发展相对落后，由于电动汽车保有量增长较为缓慢，公共桩以品牌充电运营企业投资建设、占领当地充电市场为主，政府需关注充电桩运营相关企业投资行为，避免使用采用淘汰技术、不符合产业发展的充电设备。政府统筹规划，对新建住宅、商业建筑、交通枢纽、公共停车场所等场所，明确落实国家充电设施配套建设要求，推进已建停车场所逐步增设充电设施。优先充足配建公交场站、出租车、市政车辆集中停放地、物流集中区的充电设施。

5.2 车网互动示范性案例

本节将对光储充放一体化、驻地充电小区和超充站三种车网互动示范性案例进行简要介绍与经济分析。

(1) 光储充放一体化电站案例

东莞市某新能源汽车城“光-储-充-放”一体化电站项目规划建设包括模块化群充电系统、建筑屋顶光伏发电系统、停车防雨棚光伏发电系统以及锂电池储能系统，利用建筑屋顶及车棚建设光伏发电，光伏所发电量部分由充电桩消纳，部分由汽车城日常用电消纳，并采取余电上网的策略。该项目计划总共建设充电车位16个，包含1个480 kW的液冷超充车位及11个240 kW的快充车位、4个160 kW的充放电车位，并配备1个100 kWh的电池柜。



图 46 东莞市东部汽车城光储充放一体化案例规划图



图 47 光储充放一体化电站

以东莞市东部汽车城光储充放一体化项目为例进行测算，光伏部分建设面积约 4000 m²，总装机为 850 kWp (kWp 表示光伏电池的峰值总功率)，总投资约 420 万元；光、储、充放电部分建设包含 15 台充电终端（其中 4 台为 V2G 充放电终端）、1 台液冷超充终端等，建设投资约为 300 万元，项目前期基础设施建设总投资约为 720 万元。

我国光伏发电系统中，1kWp 太阳能电池平均每年发电约 1,200 kWh⁷²，以此推算该项目每年光伏发电约 100 万 kWh。考虑到天气等一些不可控外力因素以及年限增长对光伏板发电效率的影响，研究中每年光伏发电量为额定发电量乘以相应系数所得。结合东莞市公共快充站运营经验，16 台快充桩消纳光伏系统发电量问题不大。按照每度电价 0.6 元，充电服务费 0.5 元/kWh 计算，每年充电服务收益在 100 万元左右。考虑到光伏发电的绿色可再生能源属性，与火电相比，该项目每年可从上游为电力减排 CO₂ 排放超过七百万吨，若未来进入碳市场交易，则还可将产生一定的碳交易收益。整体来看，以 15 年作为项目投资周期，项目总体收益接近 1,600 万元，是投资资金的 2.2 倍（见表 15）。

作为“互联网+”在能源领域的创新型应用，光储充放一体化电站优化利用电动汽车储能资源、大幅提升了配电网接纳新能源、分布式电源及多元负荷的能力，对推进区域节能减排和实现交通低碳绿色转型、可持续发展具有重要意义。随着新能源汽车智能网联化及充电网的不断完善，光储充放一体化电站成为面向“双碳”区域交通与分布式能源领域上绿色低碳转型的主流方向。

表 15 东莞市东部汽车城光储充放一体化案例碳减排测算

年度		光伏年发电量, 万 kWh	充电服务收益, 万元	CO ₂ 减排, 吨	潜在碳收益, 万元	年度总收益潜力, 万元
2023	第 1 年	97.64	107.4	800.4	3.2	110.6
2024	第 2 年	97.11	106.8	792.1	3.2	110.0
2025	第 3 年	96.57	106.2	783.7	3.1	109.4
2026	第 4 年	96.04	105.6	775.5	3.1	108.7
2027	第 5 年	95.51	105.1	767.4	3.1	108.1
2028	第 6 年	94.99	104.5	759.4	3.0	107.5
2029	第 7 年	94.47	103.9	751.5	3.0	106.9
2030	第 8 年	93.95	103.3	743.6	3.0	106.3
2031	第 9 年	93.43	102.8	735.8	2.9	105.7
2032	第 10 年	92.92	102.2	728.1	2.9	105.1
2033	第 11 年	92.40	101.6	720.4	2.9	104.5
2034	第 12 年	91.90	101.1	712.9	2.9	103.9
2035	第 13 年	91.39	100.5	705.4	2.8	103.4
2036	第 14 年	90.89	100.0	698.1	2.8	102.8
2037	第 15 年	90.39	99.4	690.7	2.8	102.2
总计		1,409.59	1550.6	11,165.0	44.7	1,595.2

数据来源：本研究测算。2021 年我国单位火电发电量二氧化碳排放为 828 g/kWh，较 2005 年下降 21%，保守估计未来单位火电发电量二氧化碳排放每年同比下降 0.5%。

(2) 驻地充电小区案例

广州市海珠区某集中充电站是驻地充电的典型示例，老旧小区配建充电设施采用“统建统管”模式，并提供“有序充电+群管群控+小功率直流”的整套解决方案。项目规划建设 60 个充电车位，采用 20 kW 小功率直流分体式充电机方案，单枪平均功率 3.3 kW，满足小区居民电动汽车日常补电需求。与当前交流慢充技术不同，小功率直流分体式充电机配备负荷调度技术，可以实现充电负荷管控，缓解电网压力，有效减轻分散电桩无序充电对电网的冲击；可读取车辆 BMS 充电全过程信息，进行车辆充电安全监控及防护，实现设备侧及数据侧防护。针对小区用电负荷特性，结合市场数据分析，多台小功率直流充电设施（如 20 kW 1 拖 6 设备、24 kW 1 拖 8 设备）基本能满足小区车辆需求。此外小区的充电高峰基本在夜间，采用小功率直流慢充方案更适用于住宅小区等场所。以该项目为案例测算驻地充电项目的建设投资成本，建设包含 10 台 20 kW 的小功率直流充电终端（每台可供 6 辆汽车轮流充电）的小区充电站，总投资成本约为 30 万元（案例实际成本支出）。

(3) 超充站案例

以广州市某超充站项目规划为例，建设 36 个充电车位，其中 6 个为超充电位，30 个为快充车位，大功率液冷超充充电电压范围为 50-1,000 V，电流范围为 0-600 A，输出功率范围为 0-480 kW。该项目创新模式和液冷超充技术，打造双重保证的极速充电网和安全防护网络。利用超充技术可将汽车充电效率提升两倍左右，大大节省了充电时间，但是短时间大功率充电会造成对电网的冲击，对汽车自身的要求也比较高且适用特定品牌车辆。目前仅适用于对时间、电量需求比较大的用户，如公交车、物流车、高速公路汽车等。以投资建设一座大型快充站为例，配置 6 个 480 kW 的液冷超充桩和 30 个 120 kW 的充放电桩所需投资约为 400 万元（根据项目方提供费用计算）。

表 16 广州市某超充站案例超充枪参数表

输出	普通枪	超充枪
电压范围	50~900 V	50~1,000 V
电流范围	0~250 A	0~600 A
功率范围	0~180 kW	0~480 kW

5.3 车网互动模式对区域电网的影响

5.3.1 广东省道路交通电能消耗量预测

(1) 乘用车电能消耗量

新能源乘用车目前已经进入高速发展期，新能源乘用车的电能消耗量也随汽车保有量的增加而快速攀升。预计到 2025 年，广东省电动乘用车的电能消耗量将比 2021 年增加 132~186%。到 2060 年，广东省电动乘用车的电能消耗量有望达到 525~617 亿千瓦时，较 2021 年增加 14 倍以上（图 48）。

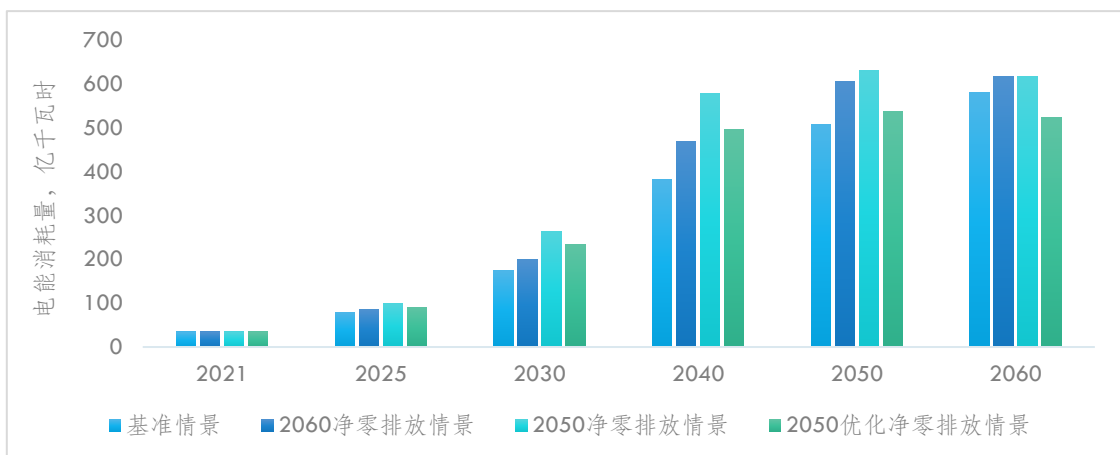


图 48 不同情景下广东省电动乘用车电能消耗量预测

分区域来看，2021年，深圳、广州、其他珠三角和非珠三角四个地区的纯电动乘用车总电耗量分别为12.03、10.49、8.75和3.06亿千瓦时。此后，全省纯电动乘用车的总电耗量呈现明显上升趋势，2030年后，预计纯电动乘用车总电耗量的增速将提高，且其他珠三角和非珠三角两地区纯电动乘用车的总电耗量增速将明显快于广、深两地（图49）。其主要原因是2030年是中国实现碳达峰目标的时间节点，也是碳中和目标加速减排的新起点，由于政策引导与新能源汽车市场成熟，2030年后纯电动乘用车的数量将呈现加速增长的趋势。随着其他珠三角地区及非珠三角地区交通电气化的大规模发展逐渐体现，电动乘用车的保有量急剧增长，进而总体电耗量增长的幅度更大。

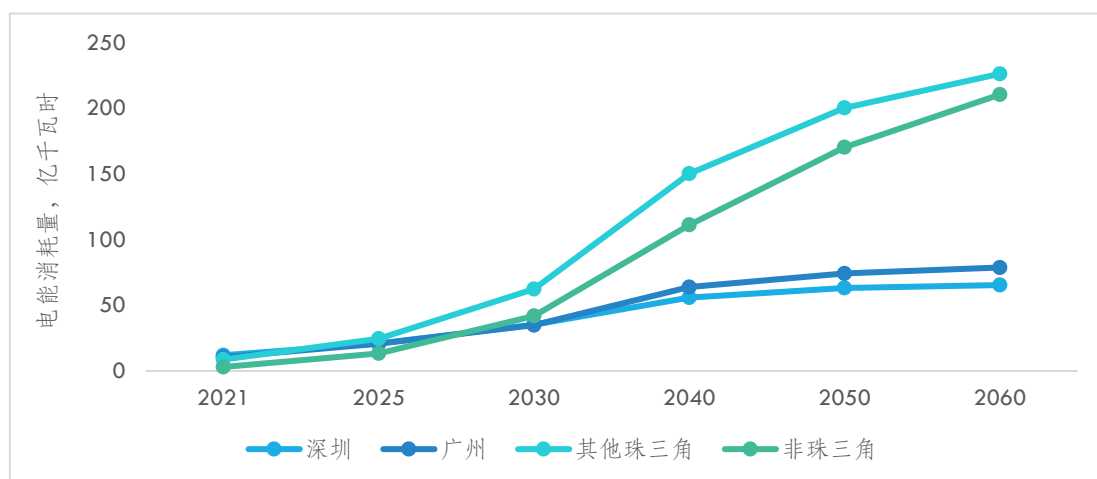


图 49 基准情景下广东省不同区域电动乘用车电能消耗量预测

分车型来看，现阶段由于出租车和网约车的电动化率远高于私人乘用车，这两个场景消耗了更多的电能。随着电动汽车在私人乘用车领域的不断渗透，到2025年前后私人乘用车将成为电能消耗最高的乘用车场景。2021年，深圳和广州两市纯电动私家车的电耗量分别约为3.19和1.74亿千瓦时，占各市纯电动乘用车总耗电量的比例分别为27%和17%。预计到2060年，上述比例可分别达到75%和72%。在此期间，出租车的电耗量保持稳定，网约车的电耗量逐渐增加，而私人乘用车的电耗量相较前两者增量更大、增速更快（图50）。

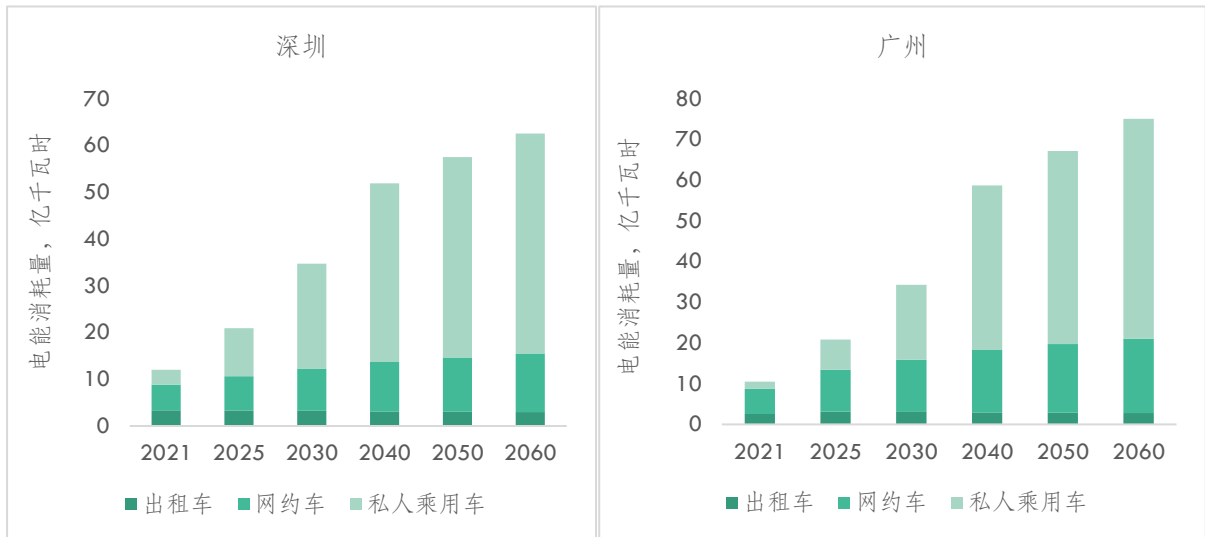


图 50 基准情景下深圳和广州电动乘用车电能消耗量预测

(2) 商用车电能消耗量

预计到 2060 年，基准情景下广东省纯电动商用车的总电耗量达 271.6 亿千瓦时，2060 净零排放情景与 2050 净零排放情景下分别为 756.7 和 759.4 亿千瓦时，是基准情景下的 2.8 倍；2050 优化净零排放情景下广东省纯电动商用车的总电耗量为 625.1 亿千瓦时，是基准情景下的 2.3 倍（图 51）。

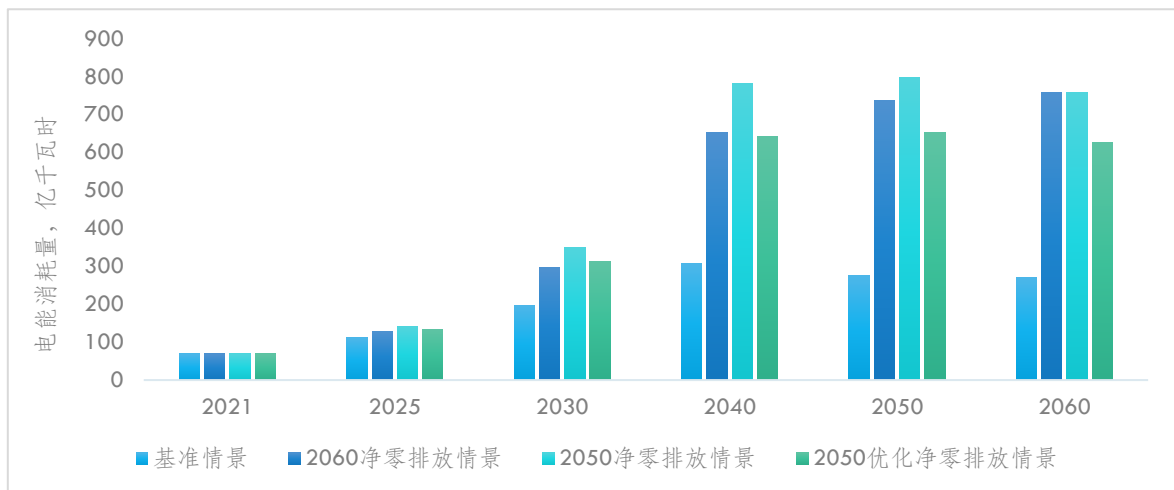


图 51 不同情景下广东省商用车电能消耗量预测

分车型来看，城市客车及环卫车受电动化政策影响较大。在基准情景下，这两类车受电动化政策推动，电动化进程更快，对电能消耗量的贡献也较高。在所有场景下，城市物流车的电能消耗量占比都高于其他场景。预计到 2060 年，在基准情景下，城市物流车的电耗量可达 89.1 亿千瓦时，占广东省商用车总耗电量的 32.8%；2060 净零排放情景、2050 净零排放情景和 2050 优化净零排放情景下，城市物

流车的电耗量分别达 205.8、205.8、144.7 亿千瓦时，分别占广东省商用车总耗电量的 27.2%、27.1%和 23.2%。除此之外，半挂牵引车和其他专用车的电能消耗量也排在前三（图 52）。

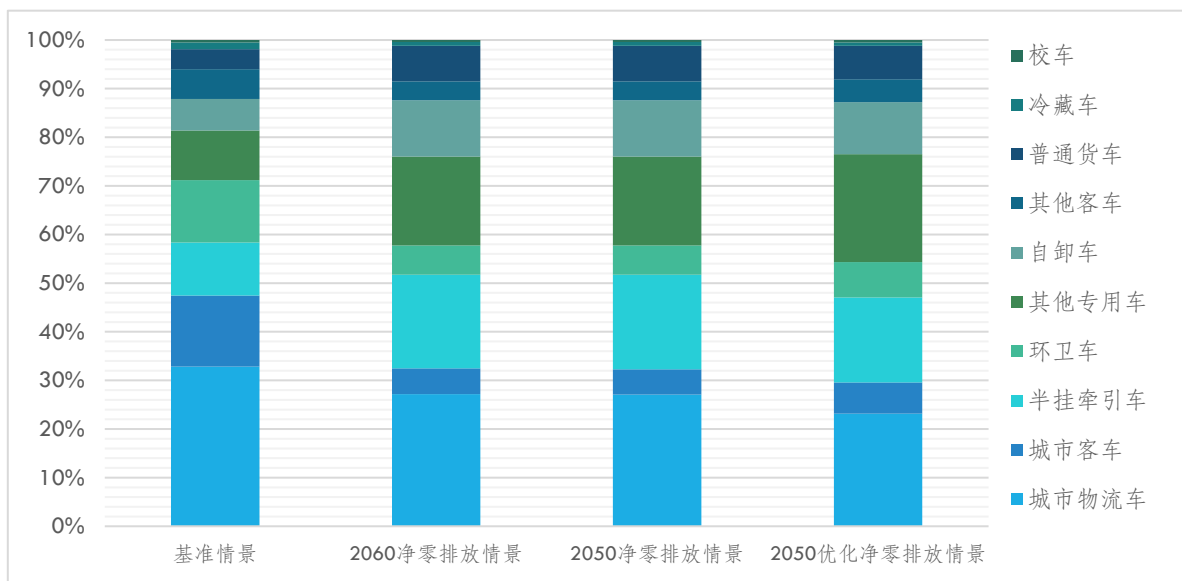


图 52 各类别电动商用车电能消耗量占比 (2060)

与此同时，电动汽车保有量的不断增长也将导致总电耗量增加。2021 年，广东省的全社会总用电量为 7,866 亿千瓦时，电动乘用车、商用车的总耗电量分别占全省全社会总用电量的 0.44%和 0.88%。根据本研究测算，到 2060 年广东省社会总用电量预计将达到 14,072 亿千瓦时，届时，即便在基准情景下，电动乘、商用车的总耗电量分别占全社会总用电量的 4.13%和 1.93%（表 17）。

表 17 广东省电动汽车电能消耗量及其占全社会用电量比例变化

年份	2021	2025	2030	2040	2050	2060
广东省全社会总用电量 (亿千瓦时)	7,866	8,880	10,655	12,908	14,238	14,072
广东省乘用车总耗电量 (亿千瓦时)	34.3	79.8	174.6	381.7	508.8	581.3
广东省商用车总耗电量 (亿千瓦时)	69	111.7	197.5	307.3	275.9	271.6
电动乘用车耗电占全社会用电量比例	0.44%	0.90%	1.64%	2.96%	3.57%	4.13%
电动商用车耗电占全社会用电量比例	0.88%	1.26%	1.85%	2.38%	1.94%	1.93%

注：上表中乘用车和商用车耗电量基于研究所设基准情景测算。广东省全社会用电量数据为本研究根据 2000 年以来的历史数据，结合“十四五”发展规划、“双碳”目标以及经济发展等多项因素，通过 LEAP 模型预测得到。

5.3.2 不同充电行为及模式对电网的影响

(1) 大规模充电对电网的影响

未来，随着新能源汽车保有量持续走高，电网负荷压力增大，电动汽车的充电方式将不再以无序充电为主（无序充电：即随时、随地与随机的充电，容易导致大量电动汽车在电网负荷高峰时段集中充电，给发电、输电、配电系统带来挑战）。据相关机构预测^{73,74}，在汽车高比例电动化和快充普及的情况下，电动汽车无序充电将导致 2030 年和 2035 年电网峰值负荷可能增加 12%~13%。

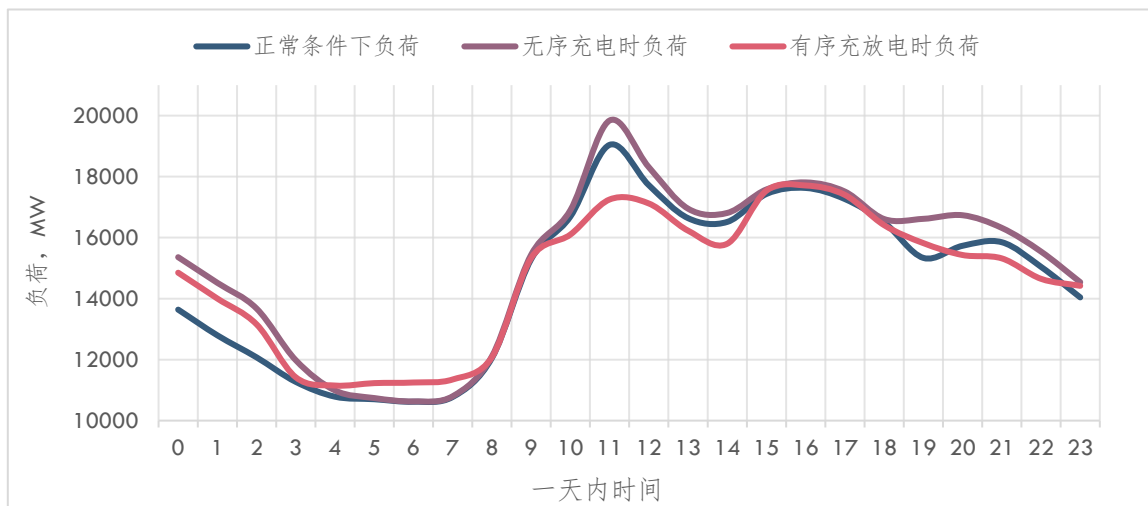
预计 2025 年，广东省（公共）充电桩用电量将达到约 57 亿 kWh^⑦，比 2019 年增长 7 倍以上。大量的充电需求也会影响本地配电网的安全运行。相关研究表明，在局部配电网中，私人电动汽车无序充电会显著增加配电变压器负荷峰值，当车辆电动化比例达到 50% 时，多数住宅小区配电系统都面临超载风险⁷³。

然而，由于电动汽车负荷属于柔性负荷，具有可调度性。当电动汽车作为储能设施进行充放电时，不仅可以降低电动汽车充电对电网的影响，也为电力系统调控提供新型储能资源，更能避免电网和电力容量相关的投资建设。考虑电动汽车充电时间以及空间的强不确定性，大规模车辆并网不仅增加了电力系统的负荷，还会增加电网运行优化的控制难度以及电网电能质量。通过有序充电或双向充放电（V2G）两种方式可实现电动汽车与电网的能量协同、资源优化利用。

以广州 2020 年夏季电网日均负荷曲线（图 53）为例，广州夏季用电需求量大，出现明显的用电高峰低谷，峰段一般集中在上午 11 点和下午 3 点，负荷谷段集中在早上 4 点到 8 点。由于日负荷峰谷差很大，结合电动汽车停驶规律，在无序充电的情况下，容易形成局部时间段内电网负荷过大，增加峰段负荷，最高瞬时负荷能增大达到 5%，出现“峰上加峰”的现象，加剧峰谷差，严重影响了电网的安全稳定。

在智慧有序充电技术平台支撑下，执行“尖峰谷平”电价，根据用户需求安排合适充电时段，通过感知配变负荷的变化趋势，动态调整充电时间和功率，提高电力资源的利用率，促使电网运行更加平稳。

^⑦ 本研究测算，充电桩用电量基于需求侧计算。



注：图中数据引用了《电动汽车充电行为对广州电网负荷峰谷特性的影响研究》的电力负荷数据并结合广东电网计量中心的统计数据对夏季电网日均负荷曲线进行了调整。同时，本研究利用多元回归算法对无序充电负荷和有序充电负荷数据进行了重新估算。

图 53 有序和无序充放电对电网负荷的影响（广州，2020 夏）

考虑充放电技术以及能源互联网技术发展，预计到 2030 年，粤港澳大湾区利用车网互动技术，调整电动汽车有序和无序充放电时段，在 10 点到 13 点峰值时段削减 5,300 MW^⑥的电量，有效减少电网的波动，在一定程度实现电网负荷削峰填谷。

基于有序充电调节电网负荷有三种模式：（1）基于峰谷电价方式：即通过电价信号，激励电动汽车用户自发响应调整充电时间，实现“削峰填谷”的效果；（2）基于智能管理方式：结合配网变压器的负荷状态、开放容量及用户的出行需求，对电动汽车的充电时间、充电功率进行计划控制或实时控制；（3）二者结合：通过峰谷电价方式，鼓励电动汽车车主参与基于智能管理的有序充电。

（2）换电模式的经济性及对电网的影响

换电模式可合理运用城市的波峰和波谷电量，在降低购电成本提高经济效益的同时，缓解城市用电高峰压力。对电池集中管理，合理利用城市的波峰和波谷电量，避免用电高峰给电网带来的冲击，为社会电网提供支撑式辅助服务；也可在特定区域（如发电量较多、电价低的地方）对电池进行充电，降低换电站的购电成本，提高其经济效益的同时，缓解城市用电压力，减轻电力系统运行负担，帮助电网平衡峰谷供需矛盾，促进可再生能源消纳，提升用能效率。

^⑥ 在某时段内，如高峰时段，预计无序充电负荷-有序充电负荷（采用 EV 充电调度模型计算）=调整后的削减电量。

换电模式可推动循环经济和电池梯次利用，实现废旧电池统一回收并进行二次利用，达到绿色经济环保的目的。电池全生命周期价值重构是车电分离的核心，以此达到电池使用情况全程可追溯。换电模式下电池未出售给消费者，所有权未发生转移，因此可通过对电池统一集中管理。通过回收再利用已淘汰的电池能够提高报废电池回收率，减少资源浪费，降低环境污染，形成绿色电池生态。

(3) 充放电模式的经济性及对电网的影响

《新能源汽车产业发展规划（2021-2035年）》中对新能源汽车充放电设施指明了大功率、智能化、网络平台化的发展方向，从两方面对新能源汽车充放电基础设施建设做出了指示性要求，一是加强新能源汽车与电网（V2G）能量互动，二是促进新能源汽车与可再生能源高效协同。

V2G技术的核心是电动汽车与电网的互动。随着电动汽车数量不断增加，电网受其影响也承受着较大的压力，V2G则起到调节电网的作用——当电网负荷过高时，电动汽车将电池自身存储的电能销售给电网；当电网负荷过低时，电动汽车会存储电网多余的发电量。这样可充分发挥电动汽车的移动储能属性，成为高度灵活的电网互动单元，也可使电动汽车在调整用电负荷、改善电能质量、消纳可再生能源方面发挥重要作用。

V2G技术推动了“车网双向充电”的车网互动关系，对电网和用户而言是一种双赢局面：一方面，电动汽车参与电网实时调控与调峰辅助服务，能够有效提高电力系统的运行效率和调节能力，减少电网端充电负荷；另一方面，V2G可以更高效地进行调峰工作。V2G技术调峰的响应速度能够达到毫秒级，而传统调峰方式的响应速度以秒计；与此同时，车主能够通过V2G技术向电网售电并获得收益。夜晚和波谷时段电价低，电动车主可以在此时间段充满电，在白天或高峰时段将车载电池储存的电能以高价售给电网，从中获取成本差价。

按广东省5000万辆电动汽车保有量（2060年左右水平）计算，对电动汽车参与车网互动V2G服务进行经济性测算。选取年度预期收益、能量交易与金额交易作为对比分析目标值，通过调整单位电网互动度电收益、参与V2G服务的车辆比例，年度服务次数等变量，对比分析不同续航里程车辆参与V2G的能源贡献与经济贡献情况。在上述三者变量不变的情况下，拥有更高动力电池容量的电动汽车在V2G服务与交易能提供更大的能量贡献值，并带来更高的预期收益：

(a) 图54展示了电网互动度电收益提升时，在车辆电池容量相同的前提下，增加电网互动度电收益，年度收益潜力与金额交易量（参与V2G车辆比例取50%，服务次数取180次/年）均有增加，且二者增幅与电网互动度电收益增幅较为一致。

(b) 图55展示了参与V2G车辆比例按30%、50%和70%时，不同车辆电池容量的电动汽车参与V2G服务所带来的影响变化：当车辆参与比例逐步增加时，能量交易额与金额交易量均有增加。如图所

示，车辆参加 V2G 比例由 30% 增加至 50% 时，电池容量为 80 kWh 的电动汽车能量交易额从 2.16 千亿 kWh/年增加至 3.60 千亿 kWh/年，金额交易量从 1.08 千亿 kWh/年增加至 1.80 千亿 kWh/年，增幅均为 66%（服务次数取 180 次/年）。

(c) 图 56 展示了车辆年度参与 V2G 服务次数增加时，在相同车辆电池容量下，增加车辆服务次数对车辆年度预期收益以及 V2G 系统的能量与经济收益都有促进作用。其中，电池容量 160 kWh 且年度服务 150 次的车辆与电池容量为 80 kWh 且年度服务 300 次的车辆所产生的预期收益、能量及金额交易额均相同，即电池容量较小的电动汽车可通过增加 V2G 服务次数给电力系统带来相同的收益（参与 V2G 车辆比例取 50%）。

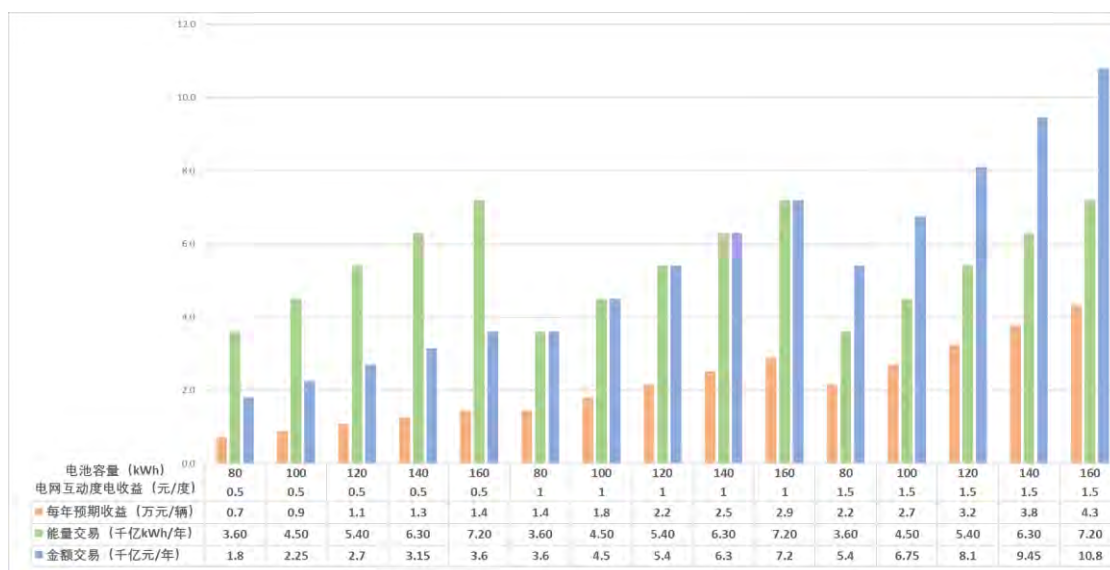


图 54 车网互动度电收益相关经济性测算

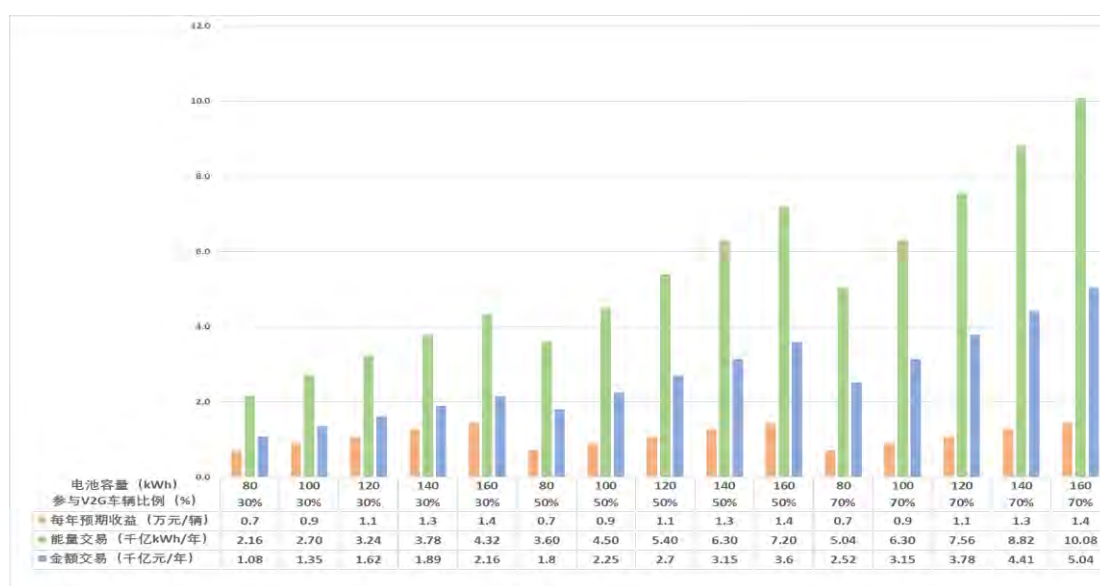


图 55 车网互动时车辆参与 V2G 比例相关经济性测算

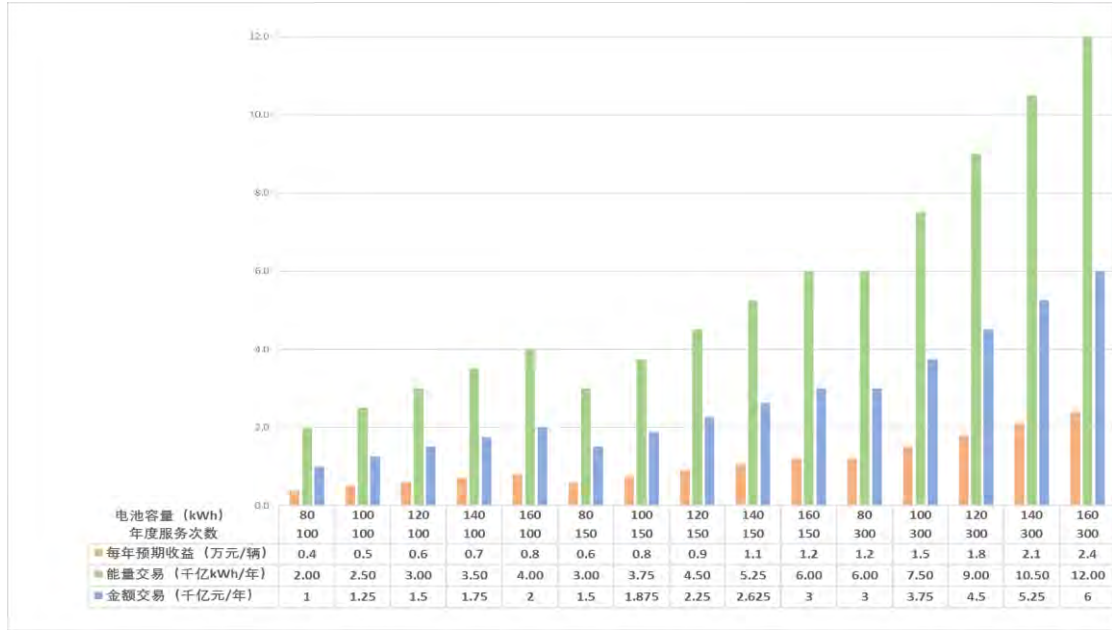


图 56 车网互动时车辆年度服务次数相关经济性测算

分析结果显示，车辆电池容量的增加对电动汽车参与 V2G 给各方带来的收益变化最为明显。同时，受充放电桩设施分布均衡性和场地资源的约束，使用电池容量较大的电动汽车参与 V2G 服务带来的可调节空间更大，灵活性更强，能源与经济收益也更为显著。

随着电动汽车保有量不断增长，借助政策与激励措施的推动，电动汽车车群参与 V2G 电网互动服务能力将得到充分的提升，同时车辆参与电力辅助服务的收益潜力得到充分挖掘。此外，V2G 技术及模式深度依赖于充放电基础设施的建设和运营，V2G 充放电模式是系统性工程，需要将各个环节打通，才能顺利地推广。首先要保证新能源汽车可以对外放电，但该功能的实现对电池质量提出了更高要求；其次将充电桩转换为充放电桩，需要建立全国通用的安全标准；最后是电网互动环节，车辆作为分布式电源向电网送电，需要更为严格的电力保护装置、数据通信系统以及市场机制。



广东省道路交通净零排放路线图与逐年碳预算

Net Zero Roadmap and Annual Carbon Budget

第六章 广东省道路交通净零排放路线图与逐年碳预算

6.1 广东省道路交通净零排放路线图

实现净零排放是道路交通减排的最终目标，对广东省而言，目前道路交通排放尚未达峰，距离净零排放目标时间跨度较大，为更好实现净零排放目标，建议制定相应的路线图。

基于综合研究结果，本研究提出以 2060 年和 2050 年作为道路交通净零排放目标实现时间节点的两套路线图方案，其中，2060 净零排放路线图基于研究所设 2060 净零排放情景制定，2050 优化净零排放路线图基于研究所设 2050 优化净零排放情景制定。按照本研究思路，两套路线图方案中均包含四个不同区域在不同时间节点的具体分解目标，其中，传统燃油汽车能耗降幅适用于全部区域，各个时间节点下的新能源汽车发展目标及量化的减排目标则因不同区域而异。

在 2060 净零排放路线图中，2030 年之前非珠三角地区的主要任务是争取实现碳排放的尽早达峰，其他区域则需要是在达峰的基础上尽量缩短平台期并使碳排放进入下降通道。在新能源汽车推广方面，目前由于新能源乘用车市场规模不断扩大，后期在推广方面整体问题可能不大，但由于乘用车总量基数大，新能源汽车数量的快速增长需要各类配套设施的建设和布局同步跟上。对新能源商用车而言，路线图的设置中对照了国家和部分城市提出的公共领域电动化目标，例如 2035 年之前实现公共领域全面电动化，实际上在某些欠发达区域（如非珠三角），公共领域电动化目前仍处于较低水平，目标的落实依然任重道远。

在 2050 优化净零排放路线图中，为进一步降低整体碳排放，建议在减排过程中不断倡导绿色出行方式和提升绿色出行占比，同时在货运领域大力发展多式联运，发挥省内铁路和水运运输优势，降低公路货运周转量比例，各区域细分目标需根据区域情况进行综合考量。

发达国家的经验表明，交通减排进程相对于其他部门更慢，全球大部分发达地区都以 2050 为碳中和目标节点。广东省具有独特的经济、政策及产业等多方面优势，完全有能力走在全国前列。研究建议广东省基于 2050 优化净零排放路线图进行道路交通脱碳。相较于 2060 净零排放路线图，实施 2050 优化净零排放路线图能实现多重效益（见表 18）。但需注意，任何政策的制定都需要结合当地乃至全国的综合情况，并做好政策影响评估。

表 18 实施 2050 优化净零排放路线图的效果评估（相较于 2060 净零排放路线图）

	相较于实施 200 净零排放路线图
实现净零排放时间	提前 10 年
碳排放峰值水平	-540 万吨 (-5.4%)

2020~2060 累计石油消耗总量	-1.39 亿吨 (-24%)
2020~2060 因石油进口节省的外汇支出*	697 亿美元
2020~2060 累计碳排放量	-4.6 亿吨 (-25%)
2020~2060 累计碳减排量占 2021 全国碳排放量比例	3.9%

注*：按 70%石油进口量计算，油价基于 2021 年测算；2021 年全国碳排放量约为 119 亿吨，数字来源于 IEA-Global Energy Review: CO₂ Emissions in 2021.

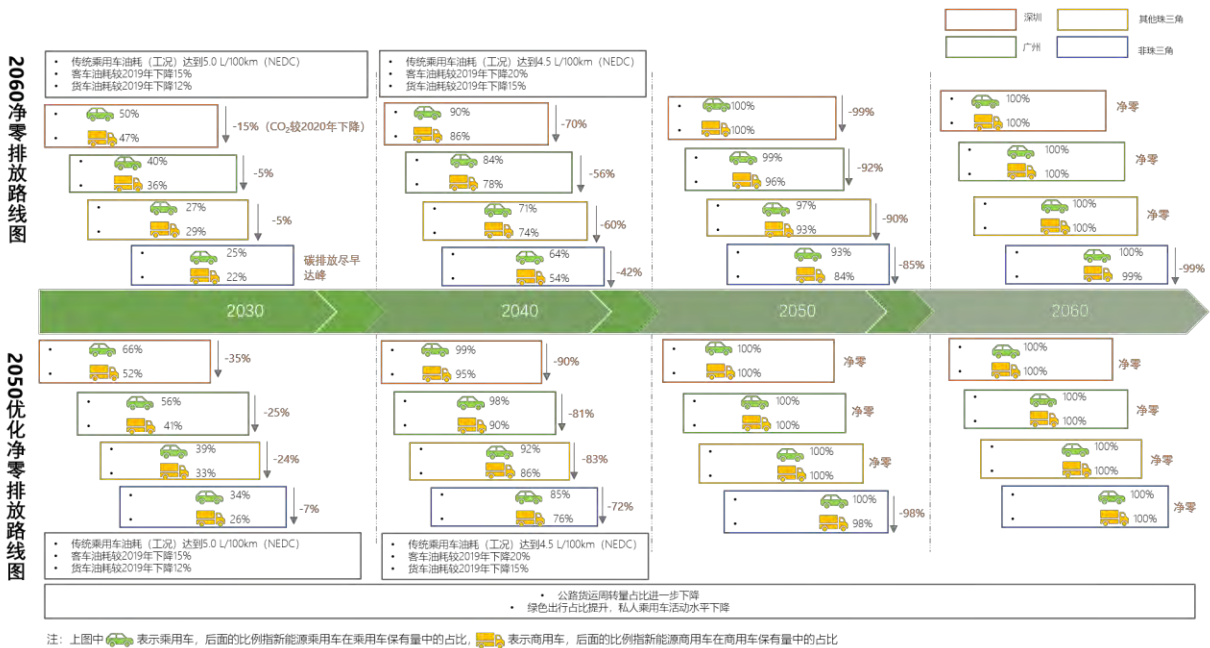


图 57 广东省道路交通 2060 和 2050 年净零排放路线图

6.2 碳排放预算的必要性

高质量的温室气体排放数据是衡量减排工作成效的基础，该量化工作则需要一套公平、科学且可操作性强的机制来实现。

MRV 机制 (Measurement、Reporting、Verification) (以下简称“MRV”，或称“三可”原则) 是指可监测、可报告、可核查的体系。它是各国温室气体管理工作的基础，是国际社会对温室气体排放和减排监测的基本要求，也是碳市场和碳交易得以运行的关键与核心机制。其中，M (测量) 是指标准化的指南及核算方法学，保证排放数据的准确性和科学性；R (报告) 是指报告规则及数据的公开；V (核查) 是指第三方核查机制，以提升排放整体报告结果的可信度。

MRV 机制包括四个层面⁷⁵，分别为企业报告 MRV、减排项目 MRV、国家清单 MRV 和政策减排成效 MRV，每个层面的管理对象、技术要求、核算预报告执行方等均不相同。在地区层面的分领域碳达峰碳

中和政策制定中，国家清单 MRV 和政策减排成效 MRV 将发挥重要作用。前者将服务于该领域历史排放数据的准确核算过程，后者将帮助决策者识别出政策减排潜力，并据此制定出符合地区特色的减排政策组合机制。

历史排放数据有助于决策者了解真实排放水平并衡量减排工作的紧迫性。在充分认知历史数据的基础上，逐年制定碳预算也十分重要，相当于给行业设定排放限值或目标值，以使行业减排按照既定轨道进行。

IPCC 提出了全球“碳预算”概念，即在有机会避免气候变化危险影响的前提下，全球仍能排放的 CO₂。IPCC 2021 年更新的报告数据⁷⁶显示，在最激进情况下，即 83% 概率实现 1.5 度温升目标，从 2020 年起至全球实现 CO₂ 净零排放目标之时，全球碳预算仅为 3000 亿吨。

表 19 IPCC 不同温升目标下的碳预算

温升目标	从 2020 年起剩余的碳排放预算值 (Gt CO ₂)				
	17%*	33%	50%	67%	83%
1.5°C	900	650	500	400	300
1.7°C	1,450	1,050	850	700	550
2.0°C	2,300	1,700	1,350	1,150	900

来源：IPCC。*该行数值表示将温升目标控制在相应数值内的概率。

广东省在迈向道路交通乃至全行业碳中和目标的过程中，有必要基于 MRV 机制构建一套统一的排放核算方案，并根据全省及地区情况制定相应的碳中和路线图，以逐年碳预算的方式倒逼行业减排。这里的碳预算并不同于基于 IPCC 报告内容核算的数值，而仅作为地区实现碳中和目标的参考。

6.3 广东省道路交通逐年碳预算

本节提出的道路交通逐年碳预算实际上是从需求和市场一侧出发计算得到的数值，而非按照“自上而下”模式给出的常规意义上的“预算”。作为首次运用该概念并做出数值估算，本研究结果可作为政策研究参考，暂不具有约束力。

根据研究结果，我们将 2060 净零排放情景下的碳排放量作为广东省道路交通碳预算的上限，将 2050 优化净零排放情景下的碳排放量作为碳预算目标值。这是因为 2060 年是国家层面实现全面碳中和的时间点，广东省作为全国第一经济强省，政策决策和执行能力也很强，有责任和能力为实现碳中和目标做出表率。在情景设定过程中，2060 净零排放情景下新能源汽车的推广应用在 2025 年之前也基本贴近现有政策目标或预期，“十四五”之后才相应幅度地提高了新能源汽车渗透率水平，从技术和市场上看也留有一定的缓冲和发展期。

2020年,全球人均碳排放为4.47吨,这其中还包含了新冠肺炎疫情对全球经济发展的冲击和影响,否则这一数字还将更高。同期中国人均碳排放达到7.41吨,远远高于全球平均水平。在IPCC提出的不同温升目标下,按照全球80亿人口计算,以2060年实现全球CO₂净零排放为基准,在此期间全球人均碳排放预算如表20所示。若将温升目标控制在1.5°C,人均碳预算需控制在0.94~2.81吨/年,大幅严格于2020年全球平均水平。即便将温升目标控制在2°C,在67%实现概率下,人均碳预算也需要控制在3.59吨/年,按照现有情况来看,目标实现难度仍然很大。

表 20 IPCC 不同温升目标下全球人均碳预算

2020年人均碳排放(吨)	温升目标	实现不同温控目标概率下的人均碳预算(吨/年)				
		17%	33%	50%	67%	83%
全球: 4.47 中国: 7.41	1.5°C	2.81	2.03	1.56	1.25	0.94
	1.7°C	4.53	3.28	2.66	2.19	1.72
	2.0°C	7.19	5.31	4.22	3.59	2.81

注: 2020年人均碳排放数据来自于Our World in Data; IPCC不同温控目标下的人均碳预算数据根据表14中总的碳预算量除以全球人口(按80亿计),再除以40年(以2060年实现全球CO₂净零排放计)。

目前我国交通运输碳排放约占碳排放总量的10%¹⁰,按照道路交通85%左右的占比,道路交通在我国碳排放总量中的占比达到8.5%。美国和欧洲交通运输碳排放则分别占到各自总碳排放量的29%和24%⁴³,远高于我国平均水平。未来随着我国经济结构的转变,交通碳排放占比还将有提升空间。有研究表明,至2050年,交通运输碳排放在我国碳排放总量中的比例可达到15~16%⁷⁷。

广东省经济发展领先全国,交通运输碳排放占比也达到了发达国家水平。大湾区交通运输有关的碳排放占总排放量的比例达到了31%⁷⁸,其中深圳市交通碳排放已经占到全市碳排放总量的40%左右⁷⁹。根据广东省四个区域碳排放占比推算,广东省交通运输碳排放占全省碳排放总量的比例约为23.4%,基本与欧洲水平相当。

为评估研究中提出的广东省道路交通净零排放路线图的合理性与参考价值,下面将使用1.25吨/人/年的碳排放预算作为对照,即对应IPCC框架下67%概率实现1.5°C温升目标下的数值。

在2060净零排放目标情景下,2025年广东省道路交通碳排放可控制在9942万吨,这也是道路交通碳排放的峰值水平,此后快速进入下降通道,至2050年下降至760万吨左右。到2060年,也就是实现国家碳中和目标的时间节点上,道路交通领域仅产生少量的直接碳排放,可通过碳汇方式进行中和。

在 2050 实现净零排放目标情景 (2050 优化净零排放情景) 下, 2025 年广东省道路交通碳排放可控制在 9276 万吨, 此后下降速度大幅快于 2060 净零排放情景, 至 2050 年碳排放已经跌破百万吨大关, 至 61 万吨, 至 2055 年接近净零排放 (图 58)。

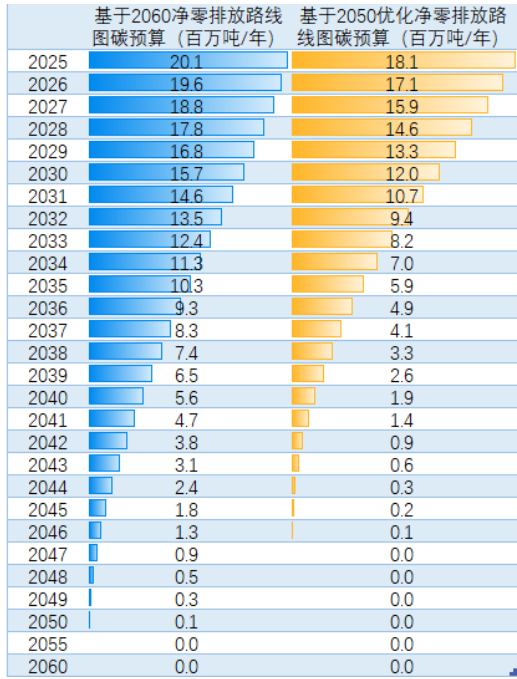
作为参考, 在人均 1.25 吨/年的碳预算目标情景下, 广东省道路交通碳预算约为每年 3200 万吨, 在 2036 年之前, 广东省道路交通碳排放在各情景下均高于该数值。不过在此之后, 随着零排放汽车保有量及其占比的增加, 道路交通碳排放将持续下降, 在 2040~2045 年间将达到或低于人均 1.25 吨/年碳预算目标下的排放水平。

	基于2060净零排放路线图碳预算 (百万吨/年)	基于2050优化净零排放路线图碳预算 (百万吨/年)	2050优化净零排放路线图碳预算较2060路线图下降幅度
2025	99.4	92.8	-7%
2026	98.6	90.1	-9%
2027	96.8	86.2	-11%
2028	94.2	81.5	-14%
2029	91.0	76.1	-16%
2030	87.3	70.4	-19%
2031	83.0	64.4	-22%
2032	78.3	58.1	-26%
2033	73.4	51.8	-29%
2034	68.2	45.6	-33%
2035	63.0	39.7	-37%
2036	57.8	34.2	-41%
2037	52.9	29.2	-45%
2038	48.0	24.7	-48%
2039	43.4	20.6	-52%
2040	38.8	16.9	-57%
2041	34.4	13.6	-61%
2042	30.3	10.7	-64%
2043	26.4	8.4	-68%
2044	22.8	6.4	-72%
2045	19.5	4.7	-76%
2046	16.5	3.4	-80%
2047	13.9	2.4	-83%
2048	11.5	1.6	-86%
2049	9.4	1.0	-89%
2050	7.6	0.6	-92%
2055	2.1	0.0	-98%
2060	0.3	0.0	-99%

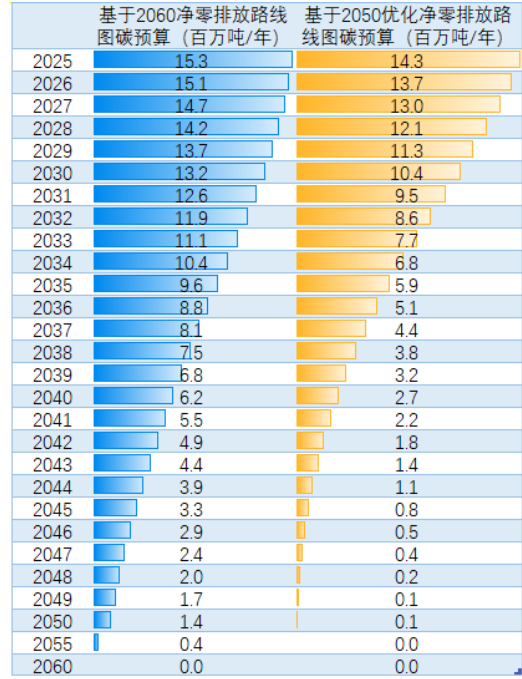
图 58 广东省道路交通逐年碳预算表

基于本研究, 广东省四个区域道路交通逐年碳预算见图 59。各区域道路交通碳预算表将为地方政府实现碳中和目标提出指导性方向, 并为监督及监管各级政府碳中和工作推进提出量化指标。随着我国政府要求各行业及各级政府加强编制碳排放清单, 这项工作将起到抛砖引玉的作用。

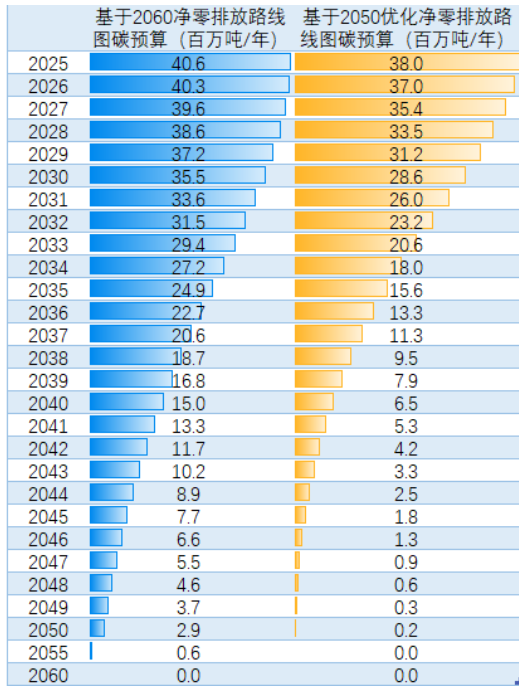
建议广东省及各地区政府在力所能及的情况下, 积极制定比 2060 净零排放情景更为严苛的交通碳中和目标及规划, 探索全国乃至全球交通碳中和目标实现的更多可能。



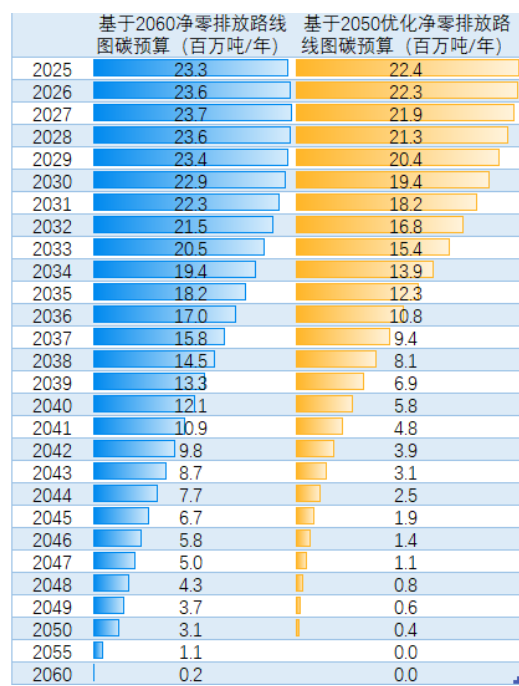
(深圳)



(广州)



(其他珠三角)



(非珠三角)

图 59 广东省四个区域道路交通碳预算



主要结论与政策建议

Conclusions and Policy Recommendations

第七章 主要结论与政策建议

7.1 主要结论

道路交通净零排放是推动“大交通”（全部交通运输部门）实现碳中和的关键环节，对地区及国家的碳中和战略都将具有重要意义。

本研究以广东省作为研究对象，基于“自下而上”的碳排放核算方法构建了交通部门长期能源与排放分析模型，对广东省道路交通中长期碳排放及空气污染物排放趋势与减排潜力进行了分析，同时量化净零排放转型过程中对电力的需求和对电网的负荷冲击。研究结果表明：

(1) 石油消耗量会随着多种减排措施的应用快速下降。在 2060 净零排放情景下，2020~2060 年间广东省道路交通石油消耗总量较基准情景减少了近 3 亿吨，降幅达到 34%。若能在 2050 年前后实现道路交通净零排放，2020~2060 年间广东省道路交通累计石油消耗总量较基准情景可减少 4.0~4.4 亿吨，降幅最高可达 50%。如果按照 70%的石油进口比例计算，将累计减少石油进口 3.1 亿吨，可节省外汇达 1555 亿美元（2021 年价计）。

(2) 减排措施的应用将使广东省道路交通碳排放加速达峰并降低净零排放过程的总体排放量。其他研究中，国家层面道路交通碳排放达峰时间约在 2030 年前后。在基准情景下，广东省道路交通碳排放达峰时间不晚于 2025 年，在 2050 净零排放情景下可提前至 2024 年，若从现阶段开始调控道路客运及货运结构，即在 2050 优化净零排放情景下，广东省道路交通碳排放短期内即可进入平台期。相较于基准情景，其他三种情景均能减少可观的 CO₂ 排放量。2020~2060 年间，2060 净零排放情景可比基准情景减少超过 10 亿吨碳排放，减排比例达到 35%，在 2050 净零排放情景及 2050 优化净零排放情景下，减排比例分别高达 47%和 51%。尽早实现净零排放将能更大限度地减少排放到大气中的 CO₂ 总量，降低对全球气候变化的影响。

(3) 在基准情景下，2060 年广东省道路交通碳排放将比 2020 年降低 50%，峰值年份碳排放量较 2020 年增加 11%。在 2050 净零排放情景及 2050 优化净零排放情景下，至 2050 年道路交通碳排放可达到净零状态，且峰值年份碳排放量较 2020 年分别增加 10%和 8%。说明若能稳步推进现有政策目标的落实，广东省道路交通领域峰值年份碳排放量可以控制在较低增长水平。

(4) 深圳、广州、其他珠三角和非珠三角四个区域道路交通发展趋势差异明显。深圳市将最早实现道路交通碳排放达峰。在基准情景和 2060 净零排放情景下，深圳市达峰时间在 2024 年。在 2050 净零排放情景下，达峰时间进一步提前至 2023 年。非珠三角地区达峰时间最晚，在基准情景下，达峰时间为

2028年，在2060和2050两个净零排放情景下，达峰时间分别为2027和2026年。广州和其他珠三角城市的碳达峰时间主要集中在2025年前后。

(5) 不同场景车类对道路交通直接碳排放的贡献率不同。乘用车、城市物流车、半挂牵引车和自卸车是碳排放占比最高的类别。其他专用车、普通货车以及其他客车的碳排放量处在第三梯队。至2060年，乘用车碳排放占比将下降至8%，半挂牵引车碳排放占比则上升至30%。在基准情景下，乘用车碳排放达峰时间约在2026年，城市物流车与自卸车可在2025年前后实现碳排放达峰，半挂牵引车则要到2040年左右才能实现达峰。这表明在达峰阶段，减缓乘用车保有量增速将能降低达峰峰值水平，而在实现净零排放的中长期阶段，需要给中重型商用车制定更为明确、合理的低碳发展规划，如加快推进零排放汽车在中重型车领域的发展进度。

(6) 不同时期应注重和应用不同减排措施组合。出行方式转变及货运结构调整主要在2040年前具有较大的减排潜力，后期由于车队新能源汽车比例大幅提高，上述两种方式的减排效果逐渐下降。新能源乘用车推广应用产生的减排潜力在2030~2050年间达到高峰，新能源商用车推广应用产生的减排潜力这主要发生在2040年以后，成为支撑道路交通后期减排的主要驱动力。与基准情景相比，2050优化净零排放情景累计可减排约15亿吨CO₂。2020~2060年间，新能源商用车的推广应用累计贡献了64%的减排量，新能源乘用车的推广应用累计贡献了27%，出行方式转变和货运结构调整则分别贡献了3%和5%的减排量。

(7) 广东省道路交通空气污染物排放量将能实现快速下降。其中，CO、NO_x和PM_{2.5}排放量已经进入下降阶段，HC排放量呈现出先达峰后迅速下降的状态：在基准情景下，达峰时间在2028年左右，在2050净零排放情景和2050优化净零排放情景下，达峰时间可提前至2025和2023年。这是由于HC的主要排放主体是乘用车，HC排放量达到峰值的时间与传统燃油乘用车保有量达到峰值的时间基本一致。至2060年，基准情景下HC排放量较2020年下降85%。

(8) 新能源汽车保有量的快速增加将导致总耗电量的增加：2060年广东省电动汽车年耗电量将达到821~1,374亿千瓦时，占全社会用电量的5.8%~9.8%。在配电侧，电动汽车大规模无序充电将增加峰段负荷，影响电网稳定，有序充电、换电模式以及充放电模式(V2G)都能不同程度地削峰填谷，保证电力系统的稳定。

(9) 相较于以2060年为道路交通净零排放时间节点，实施2050优化净零排放路线图能产生多重效益：碳排放峰值水平可减少354万吨(-3.6%)，2020~2060年间累计石油消耗量可减少1.39亿吨(-24%)，因石油进口节省的外汇支出约为697亿美元。2020~2060年间累积碳排放量可减少4.6亿吨(-25%)，累计减排量占2021年全国碳排放量的3.9%。

当然，本研究也存在一些不足之处，有待进一步改善：

(1) 受时间制约,本研究未能对广东省 21 个城市进行逐一分析。(本研究分类下)同一区域的城市之间固然有较多共性,但各城市的特异性也将决定其未来的减排方案、路径、措施及目标实现难度。如条件允许,在以后的研究中可进一步完善。

(2) 在以零排放汽车作为推进道路交通净零排放的主要措施时,充电基础设施建设和布局影响目标实现的关键。现阶段各地区充电基础设施发展很不均衡,基于电动汽车保有量简单估算充电设施数量的做法有较大争议,本研究中也未进行未来充电基础设施数量的测算,在下一步研究中可进一步完善。

(3) 本研究中认为,道路交通净零排放作为实现碳中和目标的重要环节,环境压力是推进净零排放的主要内生驱动力,因而暂未对过程中可能产生的经济成本进行具体测算。从文献资料来看,道路交通减排所需要的低碳投资大约在 2035 年前后(全国水平)达峰,此后持续下降。

7.2 政策建议

本研究在分区域、分场景的基础上,对广东省道路交通碳排放中长期发展趋势及减排潜力进行了分析。整体上看,若能基于已有政策推进新能源汽车应用及汽车能效提升,广东省道路交通将能取得较为显著的减排效果。目前广东省在交通领域尚未制定具体减排目标,长效目标导向机制的缺失不利于交通减排工作的统筹管理,相关政策制定也将缺乏依据和对标方向。广东省作为全国经济强省,在产业、政策实施等方面具备优势,若有更强政策或市场推动力,实现交通净零排放还有进一步加快的可能。

基于研究结果,我们建议广东省积极争取以 2050 作为净零排放时间节点,基于研究提出的 2050 优化净零排放路线图来推进道路交通减排。这需要当地政府在政策、法规、市场等层面形成合力,针对广东省乃至各区域的具体问题提出解决方案和指导建议,以进一步推进道路交通脱碳进程。

在政策实施方面,需意识到“十四五”时期是广东省道路交通碳排放达峰的关键时期,在此期间要切实落实相关指标实现:

- (1) 未来 5-10 年仍是新能源乘用车的高速发展期,是新能源商用车的发展提速期。对商用车而言,尤其是中重型货车,所有区域在新能源汽车推广和应用上都需要不断加力,措施包括但不限于
 - (i) 积极落实国家层面关于新能源商用车推广的利好政策,如对新能源货车不断开放路权,继续做好公共领域新能源商用车的推广,同时根据区域自身情况在某些特定场景(如封闭园区、定点线路)推广新能源汽车;
 - (ii) 充分评估充、换电技术实现情况,合理规划和建设充、换电基础设施。
- (2) 长期来看,在国家“公转铁”“公转水”等政策指导下,广东省提出了借助铁路、水运等运输方式优势,大力发展多式联运,不断优化调整货运结构的整体发展方向。在此期间,各部门应严格按

照《广东省推进多式联运发展优化调整运输结构实施方案》中提出的分解任务进行执行，并设立省级领导小组，对工作成果进行验收。

与此同时，还应制定道路交通减排的多项目标：

- (1) 加强深圳、广州以外其他区域的新能源汽车推广力度，措施包括但不限于因地制宜地制定各地市的 2025、2030 新能源汽车推广应用目标，并划归责任到相应部门，这些目标应分别不低于国家层面提出的新能源汽车新车渗透率值，广州和深圳也要在综合评估“十四五”期间新能源汽车推广成效的基础上，抓紧研究制定下一步工作目标和方案；
- (2) 尽快研究制定广东省交通减排阶段性量化目标，以支撑相关政策制定。建议交通、发改等政府下属研究机构充分研究论证各种减排措施的减排潜力，综合评估未来不同时期的可行措施，据此制定交通减排阶段性量化目标。国家层面正在开展碳达峰碳中和标准计量体系建立工作，借助这一契机，广东省有能力走在前列，推动省、市两级交通排放清单编制，对交通碳排放进行综合摸底，为交通减排阶段性量化目标制定提供支撑。

为确保减排目标的实现，建议研究制定相应标准及工作机制：

- (1) 基于可测量、可报告、可核查（MRV）的“三可”机制，依托大湾区碳足迹公共服务平台（深圳筹建），建立省、市两级道路交通碳排放数据库，并可逐步扩充至覆盖公、铁、水、航等全交通领域的碳排放数据库，以追踪实际碳排放情况。同时，可基于本研究中 2060/2050 净零排放情景，建立广东省道路交通净零排放路线图，并据此结果作为省、市级的道路交通碳排放预算，并对实际碳排放情况与碳预算进行逐年核对和校正，确保实际排放不过多偏离预算数值，从而保障道路交通碳排放逐步稳妥逐年下降；
- (2) 加强区域协作，“以点带面”形成联动，带动全省交通减排工作积极发展。广东省内交通减排工作也存在部分地区走在前面，其他地区相对落后的局面。省级交通主管部门可成立道路交通减排交流学习平台，分享成功的减排场景案例及城市经验。先进城市与落后城市可形成帮扶小组，进行“点对点”沟通。对成功案例进行总结提炼，并根据各地区特点加以改良，制定出符合地区特征的减排方案；
- (3) 建议在交通领域建立以城市为基础的碳预算信用机制，及城市间碳预算交易机制。先行城市可将“碳预算结余”过渡性资助或转让给落后城市，以减轻落后城市在中短期满足碳预算压力。城市内碳预算可以 3-5 年结算一次，碳预算可以结转，储蓄或欠账。坚持全省一盘棋，确保广东省交通领域达到净零排放目标；

- (4) 为降低未来新能源汽车保有量大幅增长对区域电网负荷的冲击，应积极识别和利用电动汽车移动储能单元的属性，推动车网互动技术标准、认证体系和运营机制的构建与推广，提高 V2G 车辆接入比例；
- (5) 为提高绿色出行比例，建议研究制定居民绿色出行激励政策，如碳普惠，建立个人碳账户，推动全省乃至全国个人账户互通互认。

表 21 广东省道路交通净零排放政策建议汇总

建议层面	时期	适用区域	主要问题	具体建议
政府决策	面向 2025	其他珠三角和非珠三角	新能源汽车发展目标缺位	地方发改部门、交通运输厅、生态环境厅 <ul style="list-style-type: none"> 根据当地情况制定新能源汽车推广目标
		全省	<ul style="list-style-type: none"> 新能源汽车保有量快速增加，现有基础设施规模不足以支撑 新能源商用车市场规模仍然难以拓展 	地方发改部门、住房和城乡建设厅 <ul style="list-style-type: none"> 加快布局充电基础设施，充分评估充、换电技术实现情况，合理规划和建设充、换电基础设施 地方发改部门、交通运输厅、公安部门 <ul style="list-style-type: none"> 积极落实国家层面关于新能源商用车推广的利好政策，如对新能源货车不断开放路权，继续做好公共领域新能源商用车的推广，同时根据区域自身情况在某些特定场景（如封闭园区、定点线路）推广新能源汽车
	2025~2035	全省	<ul style="list-style-type: none"> 2025 年以后地方层面的新能源乘用车推广目标缺位 公共领域商用车电动化率水平与 2035 年全面电动化目标差距甚远 氢燃料电池汽车产业链待完善 货运车辆仍在增长 	地方发改部门、交通运输厅、生态环境厅 <ul style="list-style-type: none"> 在乘用车领域，根据当地情况制定新能源汽车推广目标 在商用车领域，通过政策干预等方式积极实现环卫、轻型物流、邮政等公共领域全面电动化 地方住房和城乡建设部门、交通运输厅、国土资源部门、公安部门 <ul style="list-style-type: none"> 充、换电基础设施建设与规划能力进一步提升，加氢站等其他交通用能设施建设步入正轨 进一步完善多式联运体系，引导部分公路运输需求向铁路、水运等方向转移
	长期	全省	<ul style="list-style-type: none"> 交通碳排放计量标准体系缺位，各地标准不一，减排目标缺乏对标基准 现有政策具有较为明显的技术倾向，企业（尤其是商用车企业）难以根据自身技术优势和成本选择个性化的技术战略 	地方发改、交通运输厅、标准制定机构 <ul style="list-style-type: none"> 基于 MRV 原则，建立省、市两级交通碳排放清单编制机制 尽快研究制定广东省交通减排阶段性量化目标，以支撑相关政策制定。建议交通、发改等政府下属研究机构充分研究论证各种减排措施的减排潜力，综合评估未来不同时期的可行措施，据此制定交通减排阶段性量化目标 在交通减排目标制定过程中保持技术中立原则 在交通领域建立以城市为基础的碳预算信用机制，及城市间碳预算交易机制，确保实际排放不偏离预算数值 地方发改部门、电网公司、标准制定机构、企业

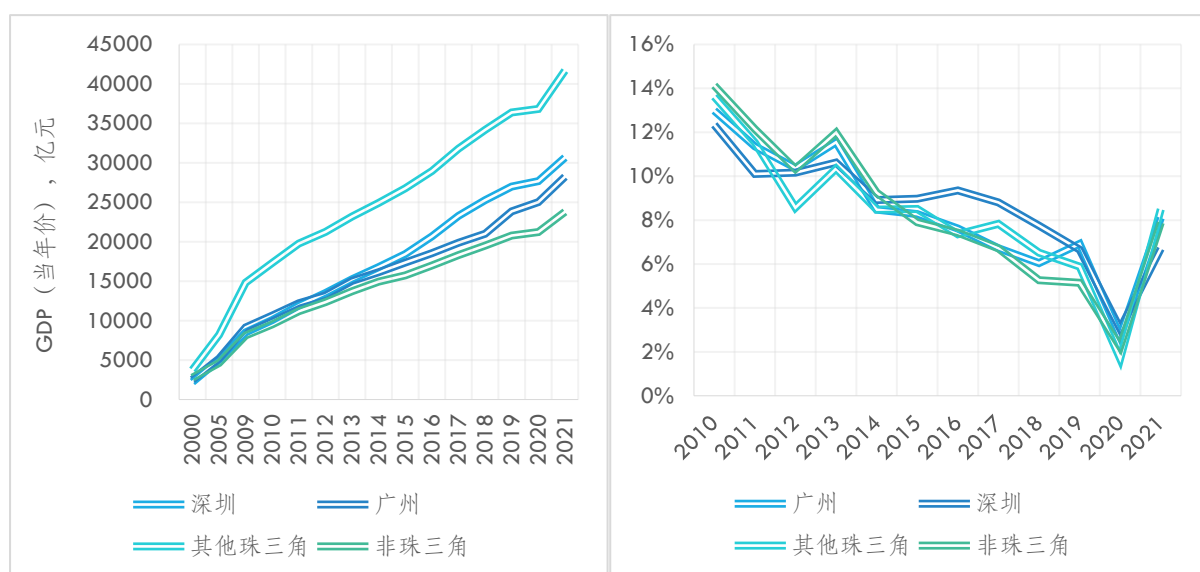
			<ul style="list-style-type: none"> • 电动汽车保有量的快速增长将对电网造成冲击 • 省内各区域道路交通减排进展差距明显 	<ul style="list-style-type: none"> • 实行分时电价，引导电动汽车有序充电，降低峰谷差 • 支持电网企业、加氢站企业及天然气加气站企业联合车企等产业链上下游，打造新能源汽车与智慧能源融合创新平台，开展跨行业联合创新与技术研发，加速推进新能源汽车与清洁能源网的互动试验测试与标准化体系建设 地方发改、交通运输厅等 • 成立道路交通减排交流学习平台，分享成功的减排场景案例及城市经验 • 先进城市与落后城市可形成帮扶小组，进行“点对点”沟通
社会、市场	近期 (5~10 年)	全省	<ul style="list-style-type: none"> • 私人充电桩安装条件待提升、使用率低 	<ul style="list-style-type: none"> 地方住房和城乡建设部门、充换电企业及联盟、私桩拥有者 • 进一步优化居民住宅区充电桩安装条件，简化申报流程 • 制定私人充电桩共享标准，提高私桩使用率
	长期	全省	<ul style="list-style-type: none"> • 道路交通工具数量仍在快速增长 • 居民绿色出行意识有待提升 	<ul style="list-style-type: none"> 地方国土资源部门、交通运输厅、公安厅、科技厅、城乡居民 • 加强建设公交、慢行系统等，引导降低私人车辆保有量及使用强度 • 提高公交、地铁等公共交通出行意识，短距离尽量选择步行、自行车等慢行交通方式 • 研究制定居民绿色出行激励政策，如碳普惠，建立个人碳账户，推动全省乃至全国个人账户互通互认

附录 1 经济与人口指标预测

(1) GDP

人均 GDP 是区域经济发展情况的重要体现，也是预测汽车保有量走势的最核心参数之一。不过在宏观经济研究中，对整体 GDP 的预测更普遍，因此本研究中以对 GDP 增速的预测作为未来经济发展指标的判断。

广东省是我国第一经济大省，在经济总量上连续 33 年居全国首位⁸⁰。省内，深圳和广州无疑是经济重镇，GDP 早在 2010 年便突破了万亿大关，2021 年深圳市 GDP 更是首次突破 3 万亿，广州 GDP 总量也超过 2.8 万亿元。其他珠三角七个地市的 GDP 总量表现也较为亮眼，2021 年总量超过 4 万亿元，其中还包括佛山和东莞两个万亿 GDP 俱乐部成员。同比增速方面，广东省的发展轨迹与国家政体情况基本一致，在经历了加入 WTO 后十年的快速增长期之后，我国经济发展进入了新常态，年均增速降至 10% 以下，2020 年受新冠肺炎疫情冲击，增速进一步下降至 2% 左右。2021 年，广东省经济强势复苏，深圳市 GDP 同比增长 6.7%，广州、其他珠三角城市和非珠三角地区的 GDP 增速则在 8% 上下。



注：左图为 GDP 总量（当年价），右图为 GDP 历年同比增速（基于 2000 年不变价）

附录-图 1 广东省各区域历年 GDP 走势

面向“十四五”，广东对全省 GDP 增速的预期在 5% 左右⁸¹，深圳和广州市也均提出了地区生产总值年均 6.0% 的预期增长目标⁸²⁻⁸³。2025 年之后，政府的宏观规划文件中尚没有给出具体的预期增长目标。深圳市委六届十七次全会提出的最新目标是“到 2035 年，深圳的经济总量、人均地区生产总值要在 2020 年基础上翻一番”，这与党的十九届五中全会提出的“到 2035 年我国人均 GDP 达到中等发达国家水平”目标基本一致，据推算，要达到这一目标，未来 15 年我国经济总量或人均收入需翻一番，意味着年均 GDP

增速要达到 4.7%左右⁸⁴。2035 年之后，主要参考国内相关研究资料⁸⁵以及发达国家经济发展历史规律⁸⁶来设定 GDP 增速。

附录-表 1 广东省各区域 GDP 年均增速预测

年份	深圳市	广州市	其他珠三角	非珠三角
2025	6.0%	6.0%	5.0%	5.0%
2030	5.5%	5.2%	5.0%	5.0%
2035	5.0%	4.7%	4.7%	5.0%
2040	4.5%	4.3%	4.3%	4.5%
2050	3.8%	3.6%	3.6%	3.6%
2060	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%

(2) 人口预测

广东省不仅是我国的经济大省，也是第一人口大省。从过去十几年各地区常住人口变化情况来看，深圳和广州两市凭借着优越的城市建设和经济发展条件，吸引了来自广东省内以及其他省市地区的人口，年末常住人口同比增速高于其他地区。2019-2020 年，深圳和广州的常住人口同比增速分别为 3%和 2%，2020 年末两市的常住人口数分别达到 1763 万和 1874 万。珠三角其他城市的总人口数量增速低于广、深两市，近五年的同比增速约为 1~2%，非珠三角地区的人口基本处于零增长状态。

目前广东本地关于人口预测权威的文件是 2018 年初发布的《广东省人口发展规划（2017-2030）》⁸⁷，其中对于 2020 年人口的规划为 11,400 万人，而统计数据显示，2020 末广东省常住人口已经达到 12,624 万人，远超过规划数值，同时这一文件中对 2030 年的人口规划为 12,500 万人，从现有情况来看已经失去了参考价值。

2020 年发布的《广东省国土空间规划（2020-2035）》⁸⁸中，关于人口发展方面提出了“按照 2035 年全省常住人口规模 1.3 亿，年均增长约 115 万人，城镇化水平约 80%的预测目标推进城镇化发展”。按照 2020 年实际人口水平，距离 2035 年 1.3 亿人口仅有 2.98%的差距，年均复合增长空间为 0.2%。

▶ 引导人口合理布局

按照2035年全省常住人口规模1.3亿,年均增长约115万人,城镇化水平约80%的预测目标推进城镇发展。

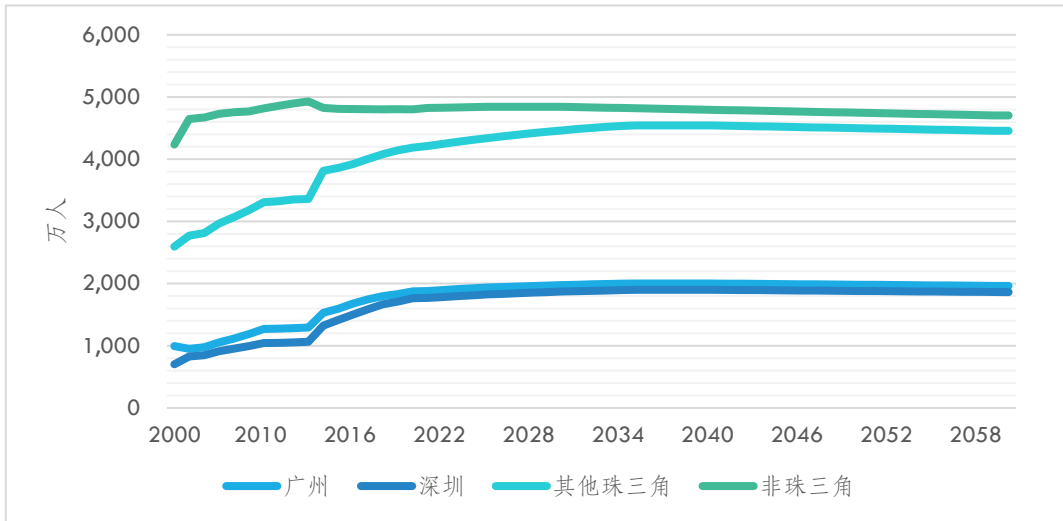


附录-图 2 《广东省国土空间规划（2020-2035）》中人口部分的表述

《广州市城市总体规划（2017-2035年）》和《深圳是国土空间总体规划（2020-2035年）》两份文件中均提出要控制人口规模,2035年常住人口总量分别控制在2,000万和1,900万人。反观其他城市,如珠海、中山、江门等,在相应文件中对人口增长显得雄心勃勃。不过,从近几年的趋势来看,其他珠三角城市的人口增长率仍在低位,非珠三角地区更是长期处在零增长状态。

全国情况来看,2020年中国生育率仅为1.3,全年仅出生1,200万人,出生率创有纪录以来的最低水平⁸⁹。一些研究认为,中国人口将在“十四五”时期陷入负增长,并与本世纪中叶急剧萎缩⁹⁰,人口增长预测较为悲观。

广州、深圳两市常住人口的增长较大程度上得益于经济发展导致的人口正向流动,比如周边城市人口的迁移,但城市面积及容纳量有限,未来人口增长的空间不会太大。随着粤港澳大湾区的进一步交流互通,产业建设和经济水平也将进一步发展,其他珠三角城市将有可能取代广、深成为人口转移的主要承接地。非珠三角地区的经济发展相对落后,人才吸引力偏弱,未来三胎生育政策的效果仍有待观望,研究中认为非珠三角地区的人口增长驱动力较弱。整体来看,广东省作为我国第一经济大省,其人才吸引力依然处在全国先进水平,本研究认为在这种优势的加持下,广东省各地区的人口在达到峰值后可能处在一个非常缓慢的下降状态。



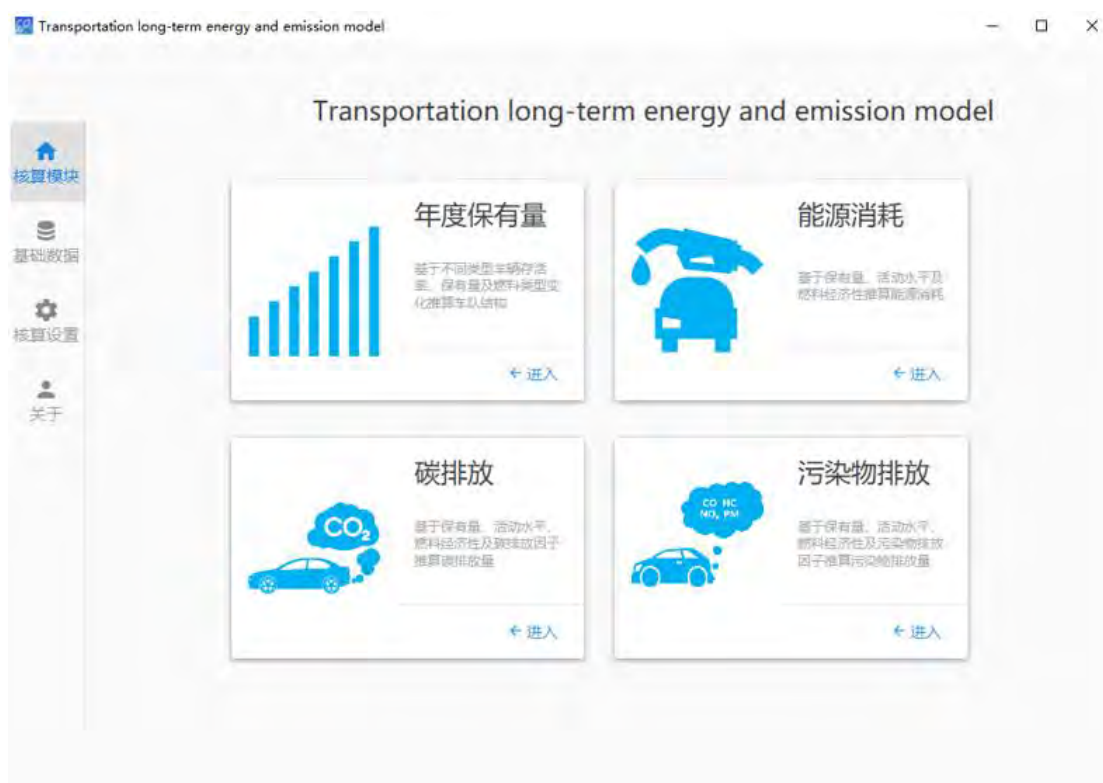
附录-图 3 广东省各区域人口发展预测

附录 2 TLEEM 模型操作介绍

TLEEM 软件共计三个模块，分别为“核算模块”、“基础数据”、“核算设置”。

(1) 核算模块（确定核算需求）

该模块的功能为核算需求的选择，根据用户的需要，该模型可以提供“年度保有量”、“能源消耗”、“碳排放”、“污染物排放”四种核算服务，如附录-图 5 所示。不同的核算需求对应着需要准备的不同基础数据，在点击相应核算需求标志中的“进入”，会跳转到下一个“基础数据”模块，输入准备的基础数据。



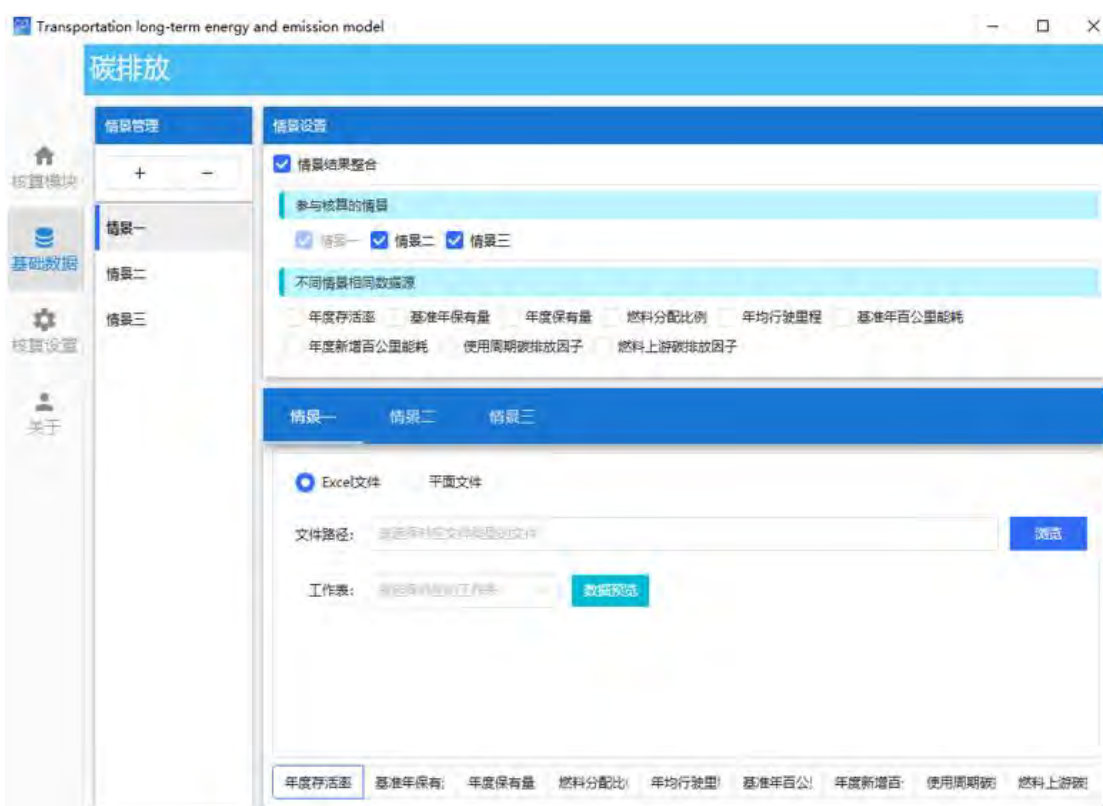
附录-图 4 “核算模块”界面展示

(2) 基础数据（输入情景设置与参数）

该模块的主要功能为输入根据核算需求准备的基础数据，不同的核算需求对应不同的基础数据，以“碳排放”核算需求为例进行说明。如附录-图 6 所示，首先进行情景设置，即“情景管理”，根据用户研究的需要可以设置不同的政策情景，在每个情景中有些参数是相同的，可以在“不同情景相同数据源”选项选取不同情景中相同的基础数据，这些相同的基础数据只需要在第一个情景中输入，而在其余的情景中无需重复输入。

其次为依次输入每个情景中对应的基础数据。通过点击“情景一”、“情景二”、“情景三”进行情景的切换，通过点击底端的“年度存活率”、“基准年保有量”、“年度保有量”等进行输入基础数据选项框的切换。输入数据的格式可以为 Excel 文件，也可以为平面文件（主要为 csv、txt 文件），在每个基础数据输入以后可以点击“数据预览”查看输入的基础数据。

最后，其余三个核算需求需要准备的基础数据如下。年度保有量：年度存活率、基准年保有量、年度保有量、燃料分配比例；能源消耗：年度存活率、基准年保有量、年度保有量、燃料分配比例、年均行驶里程、基准年百公里能耗、年度新增百公里能耗；污染物排放：年度存活率、基准年保有量、年度保有量、燃料分配比例、年均行驶里程、污染物排放因子、排放标准对应年份、平均速度。



附录-图 5 “基础数据”模块界面展示

(3) 核算设置（最后结果的计算与导出）

该模块主要对最后的计算结果进行选择与设置，如附录-图 7 所示。其中“条件选择”可以对计算结果的“年份”、“区域”、“车辆类型”、“燃料类型”、“车龄”、“排放类型”进行选择。“最大线程数”则是用户根据运算量的大小以及用户使用计算机的配置选择需要的线程数，缩短运算时间。“数据保存”主要为导出计算结果的保存路径。其中在点击“计算”后的进度条可以显示计算的进程，以及计算过程中存在的问题也能通过该处查找。



附录-图 6 “核算设置”模块界面展示



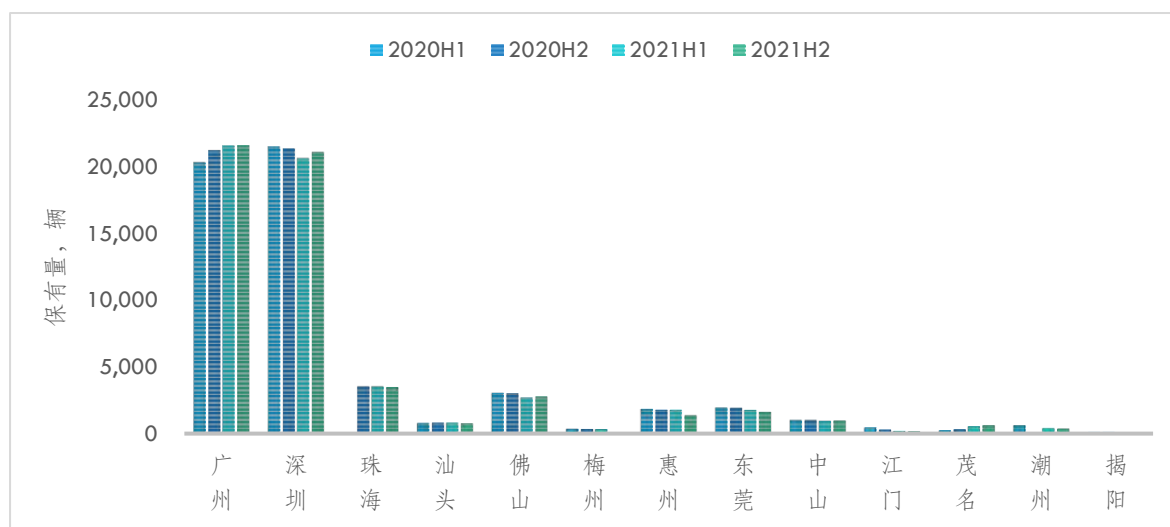
附录-图 7 核算进度界面展示

附录 3 出租与网约车保有量预测

(1) 出租车

2020年3月，广东省交通运输厅印发了《广东省交通运输厅关于进一步加强网约出租车汽车管理的指导意见》，提出“建立市场运营状况监测机制”和“建立行业信息发布机制”⁹¹。在政策要求下，省级和各地市交通运输管理部门每半年发布一次出租汽车及网约出租汽车的市场监测指标，以提升数据透明性，促进行业健康发展。

基于各地市的公开信息，发现有些城市的信息发布并不完整，附录-图9为研究整理得到的数据信息较为完整城市的巡游出租车数量图。可以看出，不同城市之间出租汽车的保有量差距很大，珠三角城市出租汽车行业较为繁荣。广州市和深圳市的巡游出租车数量均超过2万辆，远远高于其他城市，且数量的波动性较小。这是因为这两座城市经济发展为省内顶尖，客流量大，且受私家车购买限制及城市道路限行等政策影响，出租车出行较为便捷。除此以外，珠海、佛山的出租车体量分别约为3500辆和3000辆上下。东莞、惠州两市出租车体量均接近2000辆，中山市的出租车总量约为1000辆，其他城市出租车保有量则仅为几百辆。



数据来源：根据各地市出租汽车和网约汽车市场运行监测指标信息报告整理

附录-图 8 广东省部分城市巡游出租车保有量情况

国内出租车行业已经有几十年的发展历史，可以算是较为成熟的行业，但也面临着多种因素和新兴商业模式的冲击。一方面，随着私家车保有量不断增加，在人口密度不高、社会生活节奏相对较慢的城市，出租车的功能逐渐被私家车取代，且两轮电动车等非机动车出行的比例也较高，比如粤东西北的城市，这些地区的经济发展相对落后，出租车的可替代性较大，整体数量并不稳定；另一方面，网约车等

出行模式的发展也对出租车行业造成了很大冲击，与巡游出租车相比，网约车的接、派单相对更高效，自由度更高，在智能化程度越来越高的社会发展中具有更大的优势。在研究中，综合上述因素，我们对各区域出租车的保有量进行了估测，其中，广州、深圳两市出租车量基本趋于饱和，未来保有量不会发生太大变化；其他珠三角城市中，2020-2021 两年间很多城市的出租车数量均有一定量的下降，但考虑到未来粤港澳大湾区经济增长的拉动效应，预测该区域出租车的总量可以保持相对稳定；从已有数据支撑的城市情况来看，粤东西北地区出租车总量增长并不激进，未来随着私家车数量的增加和网约车及其他出行模式的发展，出租车总量可能呈现下降趋势。

(2) 网约车

国内网约车从 2010 年开始起步，经过探索、扩张、高速发展阶段，目前已经进入一个相对稳定的发展时期。截至 2022 年 2 月底，全国共有 263 家网约车平台公司获得经营许可，各地共发放网约车驾驶员证 405.3 万本，车辆运输证 163.1 万本⁹²。

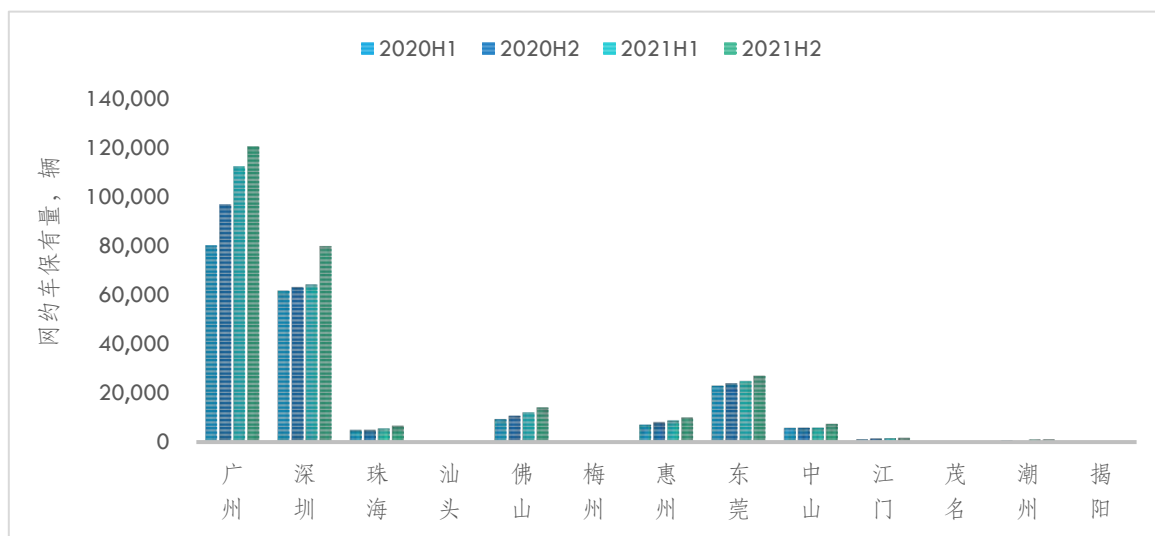
目前，网约车市场存在两大派系竞争，其一是以 OTA 与地图导航供应商为主的聚合网约车平台，第二是以第三方为主的网约车平台，其中，第三方平台仍呈现“一超多强”竞争格局，“一超”即为滴滴出行，截至 2020 年底滴滴出行的活跃用户超过 8,000 万，嘀嗒出行、花小猪出行的活跃用户数也均超过 1,400 万⁹³。

关于网约车市场的未来发展，目前主要有两种声音。第一种对网约车市场持较为激进的发展态度，主要理由包括 1) 随着网约车服务模式的日趋成熟和二三线乃至四五线城市出行需求的进一步释放，网约车有望承接相当比例的出行需求；2) 专车、顺风车等多种服务形态不断巩固，形成了并行发展的出行模式格局，各种服务形态在未来均有着较好的发展潜力。另一种观点则认为，随着自动驾驶技术的不断发展，未来私家车也可能实现随叫随到、共享利用的功能，从而大大减少对网约车的依赖。2018 年起网约车市场进入合规竞争时代，B2C 模式由于具有较高的合规率，且运营模式较为规范，未来发展潜力被看好。以滴滴出行（快车）为首的 C2C 出行市场未来发展存在诸多不确定性。

按照政策规范，只有同时获取《网络预约出租汽车运输证》和网约车驾驶员证的司机才能运营网约车业务，但在实际操作中，一些网约车平台存在接收和组织无证车辆和驾驶员进行非法运营的情况，因此在很多地市的行业市场监测指标信息报告中都会提到，网约车实际市场运营规模大于发证规模。根据全国网约车监管信息交互平台的统计，2022 年 3 月在月订单量超过 30 万单的网约车出行平台中，接单车辆及驾驶员合规率均在 90%以上的平台约占 1/3，接单车辆合规率超过 90%的平台不足 40%，主要包括享道出行、及时用车、阳光出行、T3 出行、蓝道出行、携华出行、妥妥 E 行等平台。比较而言，较

早进入网约车经营赛道的首汽约车、滴滴出行等平台，其接单车辆合规率并不高，尤其是滴滴出行，其订单合规率不足 50%⁹⁴。

附录-图 10 显示的是广东省部分地市公布的合规网约车数量情况，具体指标参考《网约预约汽车运输证》核发数据。广州、深圳两市仍然是网约车数量最高的城市，截至 2021 年底，合规网约车数量分别为 12 万辆和 8 万辆左右，且仍呈现较好的增长趋势。东莞、佛山两市的合规网约车数量分别超过 2 万辆和 1 万辆，其他城市合规车辆数量均不超过万辆。

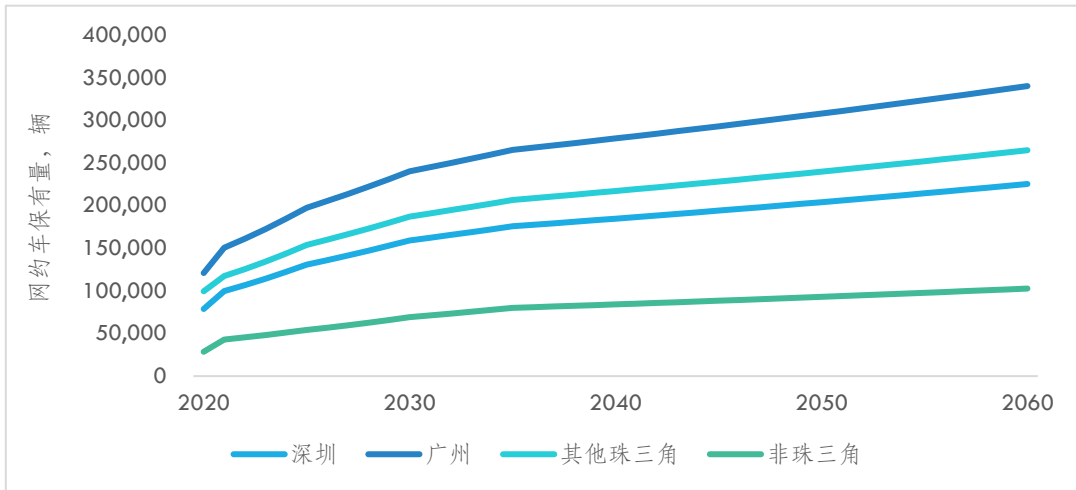


数据来源：根据各地市出租汽车和网约汽车市场运行监测指标信息报告整理

附录-图 9 广东省部分城市和合规网约车数量情况

广东省网约车市场在国内处于领先的位置，尤其是广州、深圳两市在数字平台和新业态开发等方面具有开创性和竞争优势，未来仍是网约车发展的重地。其他珠三角城市在经济社会发展的带动下，网约车市场也将有不错的增长潜力，粤东西北等地区目前网约车数量较少，结合前面对于该地区人口和经济发展的预测，研究中认为该地区网约车发展空间并不是很大。

有研究显示，2010 年以来我国市区人口超过 400 万的中大型城市人口复合增长率为 4.5%，出租车车辆增速为 1.2%，打车出行供应端仍有缺口，预测 5 年内网约车市场（交易规模）复合年增长将在 10%左右⁹⁵。交易规模的增长一部分在于更高效的订单派送和系统算法精准度的提升，另一方面在于更多的车辆保有量。结合对部分网约车司机的走访调研，研究中设定网约车市场规模的增长约有 60%来自车辆数量的增加。



附录-图 10 广东省各区域网约车保有量预测

参考资料

- ¹ IEA, Global Energy Review: CO₂ Emissions in 2021.
- ² IPCC, 常见问题, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/05/WGI_AR5_FAQ_ZH.pdf
- ³ Carbon Brief, <https://www.carbonbrief.org/analysis-which-countries-are-historically-responsible-for-climate-change/>
- ⁴ IPCC, Global Warming of 1.5 °C — Glossary.
- ⁵ US Department of Transportation, <https://www.transportation.gov/sustainability/climate/transportation-ghg-emissions-and-trends>
- ⁶ IEA, <https://www.iea.org/topics/transport>
- ⁷ IEA, Global CO₂ emissions from transport by sub-sector in the Net Zero Scenario, 2000-2030, IEA, Paris
<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-co2-emissions-from-transport-by-sub-sector-in-the-net-zero-scenario-2000-2030>
- ⁸ US EPA, Greenhouse Gas Inventory Data Explorer.
- ⁹ European Environment Agency, <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>
- ¹⁰ 中华人民共和国中央人民政府, http://www.gov.cn/xinwen/2022-01/14/content_5668085.htm
- ¹¹ 中华人民共和国气候变化第二次两年更新报告, 2018.
- ¹² 粤港澳大湾区, <https://www.bayarea.gov.hk/sc/about/overview.html>
- ¹³ 粤港澳大湾区, <https://www.bayarea.gov.hk/sc/opportunities/transport.html>
- ¹⁴ 中国民用航空局, 2021 全国民用运输机场生产统计公报.
- ¹⁵ 中华人民共和国国家发展和改革委员会,
https://www.ndrc.gov.cn/fggz/hjzy/tdftzh/202205/t20220531_1326379.html?code=&state=123
- ¹⁶ 中华人民共和国生态环境部, 中国移动源管理年报 2020.
- ¹⁷ Argonne National Laboratory, <https://greet.es.anl.gov/>
- ¹⁸ 宇恒可持续交通研究中心等, 城市交通大气污染物与温室气体协同控制技术指南 (1.0 版本), 2019.
- ¹⁹ Race to Net Zero: Carbon Neutral Goals by Country (visualcapitalist.com)
- ²⁰ 国家信息中心, <http://www.sic.gov.cn/News/457/6745.htm>
- ²¹ 能源与交通创新中心, 中国传统燃油汽车退出时间表研究, 2019.
- ²² 深圳市城市交通规划设计研究中心, 碳达峰、碳中和目标下交通领域碳排放计算展望, 2021.
- ²³ 宇恒可持续交通研究中心, 世界资源研究所, 绿色创新发展中心, 清华大学环境学院, 北京交通发展研究院,
《城市交通大气污染物与温室气体协同控制技术指南 (1.0 版本) 》, 2019.
- ²⁴ 十堰市电动汽车充换电设施布局规划 (2021-2035 年), 2021.

-
- ²⁵ 国办印发《关于进一步释放消费潜力促进消费持续恢复的意见》——巩固消费对经济发展的基础性作用, http://www.gov.cn/zhengce/2022-04/30/content_5688184.htm
- ²⁶ 中国石油新闻中心, <http://news.cnpc.com.cn/system/2020/04/02/001769750.shtml>
- ²⁷ 中汽数据, 节能与新能源汽车发展报告 2022.
- ²⁸ 中华人民共和国工信部
https://wap.miit.gov.cn/gxsj/tjfx/zbgy/qc/art/2022/art_63f16aa43e3543c28bb285b7dc759eea.html
- ²⁹ SAE, 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.
- ³⁰ WRI, 迈向碳中和目标-中国道路交通领域中长期减排战略, 2020.
- ³¹ 广东省人民政府, http://www.gd.gov.cn/gdywdt/gdyw/content/post_2484144.html
- ³² 中华人民共和国交通运输部, https://www.mot.gov.cn/jiaotongyaowen/202112/t20211207_3630018.html
- ³³ 广州市交通运输局, http://jtj.gz.gov.cn/gkmlpt/content/8/8226/post_8226691.html#389
- ³⁴ Gilbert, C. 2017. Global Passenger Car Penetration: Grid Lock! Legal & General Investment Management Limited.
- ³⁵ ANL (Argonne National Laboratory). 2018. China Vehicle Fleet Model: Estimation of Vehicle Stocks, Usage, Emissions, and Energy Use—Model Description, Technical Documentation, and User Guide. Lemont, IL: Argonne National Laboratory.
- ³⁶ Huo, H., Q. Zhang, K.B. He, Z.Z. Yao, and M. Wang. 2012b. "Vehicle-Use Intensity in China: Current Status and Future Trend." *Energy Policy* 43 (C): 6–16.
- ³⁷ 广州市人民政府办公厅关于印发广州市城市基础设施发展“十四五”规划的通知, https://www.gz.gov.cn/zwgk/fggw/sfbgtwj/content/post_8401222.html
- ³⁸ WRI, 武汉市交通碳排放达峰路径研究.
- ³⁹ 实现碳达峰及空气质量达标双重目标下广州交通系统可持续发展路径研究, 2020.
- ⁴⁰ 黄莹, 郭洪旭, 廖翠萍, 赵黛青. 基于 LEAP 模型的城市交通低碳发展路径研究-以广州市为例.
- ⁴¹ 中国能耗问题系列研究之二-交通运输部门能耗篇, 2014.
- ⁴² 关于广州市促进外贸供应链畅通若干措施的通知, http://www.yuexiu.gov.cn/tzyx/zcjc/kjmy/content/post_8156413.html
- ⁴³ WRI, 迈向碳中和目标: 中国道路交通领域中长期减排战略, 2021.
- ⁴⁴ 广州市规划和自然资源局, 广州市交通规划研究院, 2020 广州市交通发展年度报告.
- ⁴⁵ 2016 深圳市综合交通年报评估报告, 2016.
- ⁴⁶ Ou, S., Yu, R., Lin, Z. et al. Intensity and daily pattern of passenger vehicle use by region and class in China: estimation and implications for energy use and electrification. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 25, 307–327 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09887-0>
- ⁴⁷ WRI, 中国道路交通 2050 年“净零”排放路径研究, 2019.
- ⁴⁸ Oak Ridge National Laboratory, Transportation Energy Data Book: Edition 40 – Updated June, 2022.

-
- 49 中国汽车技术研究中心北京工作部, 中国货运体系评估, 2017.
- 50 能源与交通创新中心, 2018 中国乘用车实际道路行驶与油耗分析年度报告.
- 51 CATARC 观点, <https://www.catarc.ac.cn/upload/www/201809/201536266f5u.pdf>
- 52 中国汽车技术研究中心有限公司 汽车标准化研究所, 电动汽车能量消耗率限值标准研究报告, 2018.
- 53 工业和信息化部装备工业发展中心, http://www.miit-eidc.org.cn/art/2022/7/5/art_88_31014.html
- 54 中华人民共和国工业和信息化部,
https://www.miit.gov.cn/jgsj/zbys/gzdt/art/2022/art_fdbb7285735f46eb88d6128b2a7e95c1.html
- 55 清华大学中国车用能源研究中心, 中国车用能源展望 2012. 科学出版社.
- 56 工业领域碳达峰实施方案, <http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-08/01/5703910/files/f7edf770241a404c9bc608c051f13b45.pdf>
- 57 中信证券, 汽车行业 2021 年下半年投资策略, 2021.
- 58 懂车帝, <https://www.dongchedi.com/article/7111952593915593254>
- 59 腾讯网, <https://new.qq.com/rain/a/20210728A0CMNI00>
- 60 UNEP, Emissions Gap Report 2022.
- 61 广东省道路货运行业推广 LNG 应用工作方案研究, 2015.
- 62 Nuri Onat, Mansoor Jahangir Ahmed Khan, Total cost of ownership framework for procurement of buses used in public transportation, 2022.
- 63 WRI India, Evaluation of the TCO for diesel and electric buses in India, 2022.
- 64 能源与交通创新中心, 商用车电动化发展研究报告 2020.
- 65 卓众商用车, <http://www.bjcv.com/show-8-10982-1>
- 66 盖世汽车, <https://m.gasgoo.com/news/70218072.html>
- 67 2030 年前碳达峰行动方案, http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content_5644984.htm
- 68 中国石油新闻中心, <http://news.cnpc.com.cn/system/2022/02/25/030060019.shtml>
- 69 前瞻数据库, <https://d.qianzhan.com/xnews/detail/541/220923-0cb27d11.html>
- 70 中规院, 2022 中国主要城市充电基础设施监测报告。
- 71 人民网, <http://finance.people.com.cn/n1/2021/1224/c1004-32316247.html>
- 72 李俊峰, 王斯成等, 2007 中国光伏发展报告。
- 73 世界资源研究所 (WRI) 等, 中国新能源汽车规模化推广对电网的影响分析, 2020.
- 74 自然资源保护协会 (NRDC), 国网能源研究院. 电动汽车发展对配电网影响及分析, 2018.
- 75 Ninomiya, Y. Classification of MRV of Greenhouse Gas (GHG) emissions/reductions: for the discussions on NAMAs and MRV. IGES Policy Brief No.25. IGES, Hayama, Japan. 2012.
- 76 IPCC, Climate Change 2021: The Physical Science Basis.
- 77 刘俊伶, 孙一赫, 王克等. 中国交通部门中长期低碳发展路径研究[J]. 气候变化研究进展, 2018, 14 (5): 513-521
- 78 SUTPC, <http://www.sutpc.com/news/jishufenxiang/814.html>

-
- ⁷⁹ 深圳市人民政府办公厅关于印发深圳市综合交通“十四五”规划的通知,
http://www.sz.gov.cn/zwgk/zfxxgk/zfwj/szfbgtwj/content/post_9611586.html
- ⁸⁰ 搜狐, https://www.sohu.com/a/517988855_115362
- ⁸¹ 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.
- ⁸² 深圳政府在线, 深圳市国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五远景目标纲要, 2021.
- ⁸³ 广州市人民政府, 广州市国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五远景目标纲要, 2021.
- ⁸⁴ 中华人民共和国中央人民政府, http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/17/content_5593378.htm
- ⁸⁵ 《中国长期低碳发展战略与转型路径研究》综合报告[J].中国人口·资源与环境, 2020,30 (11) : 1-25.
- ⁸⁶ The World Bank, Data.
- ⁸⁷ 广东省人民政府办公厅, http://www.gd.gov.cn/gkmlpt/content/0/146/post_146685.html#7
- ⁸⁸ 广东省国土空间规划 (2020-2035 年), 公众版, <http://nr.gd.gov.cn/attachment/0/413/413359/3225407.pdf>
- ⁸⁹ 新华网, http://www.xinhuanet.com/politics/2021-05/17/c_1127456086.htm
- ⁹⁰ 第一财经, <https://www.yicai.com/news/101049007.html>
- ⁹¹ 广东省交通运输厅, http://td.gd.gov.cn/zcwj_n/bmwj/gfxwj/content/post_2989454.html
- ⁹² 中华人民共和国中央人民政府, http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/22/content_5594771.htm
- ⁹³ 前瞻经济学人, <https://www.qianzhan.com/analyst/detail/220/211105-7185eb60.html>
- ⁹⁴ 中国汽车工业协会, http://www.caam.org.cn/chn/38/cate_421/con_5235675.html
- ⁹⁵ L.E.K.领袖视角, https://www.lek.com/sites/default/files/insights/pdf-attachments/EI-Rideshare-app-China-Opportunities-Challenges%28Chinese%29_Final.pdf