



WRI CHINA

广东省道路交通领域 中长期深度减排研究

PATHWAYS TO DECARBONIZE THE ROAD
TRANSPORT SECTOR IN GUANGDONG, CHINA

苗领 刘永红 曾雪兰 任焕焕 黄卓晖 薛露露

WRI.ORG.CN





<https://doi.org/10.46830/wrirpt.22.00102>

校对
谢亮 hippie@163.com

设计与排版
张烨 harryzy5204@gmail.com

目录

- V 执行摘要
- XV Executive Summary
- 1 研究问题
- 5 研究方法
- 6 地域划分
- 7 碳排放核算方法
- 9 广东省道路交通运输发展现状与区域差异
- 9 广东省道路机动车辆结构与区域差异
- 14 广东省道路交通运输结构
- 17 广东省新能源汽车推广及区域差异
- 24 上游发电和制氢环节
- 26 广东省道路交通运输能耗、碳排放现状与区域差异
- 31 情景设置
- 31 广东省道路交通“十四五”政策分析
- 37 未来情景设置
- 45 预测结果
- 45 能源消耗预测
- 48 二氧化碳排放预测
- 52 不同措施减排潜力评估
- 55 污染物协同减排效应分析
- 59 总结与政策建议
- 63 附录 . 广东省未来人口与经济增长预测
- 65 注释
- 66 参考文献
- 69 致谢
- 70 关于作者

图目录

图1	粤港澳大湾区和深圳市交通领域碳排在能源活动排放中的占比	2
图2	广东省21个地级市与本研究地理范围	6
图3	2020年广东省载客汽车保有量占比	9
图4	广东省道路客运车辆分车型保有量变化	10
图5	广东省分区域道路客运车辆分车型保有量变化情况	11
图6	2020年广东省载货汽车保有量占比	12
图7	广东省道路货运车辆保有量2015—2020年变化情况	13
图8	广东省分区域载货汽车保有量（2015—2020年）	13
图9	广东省分区域的公共汽电车和轨道交通客运量年变化统计	15
图10	广东省分区域的私家车千人保有量年变化统计	15
图11	2020年国内部分沿海省份的运输结构（周转量）对比	16
图12	2020年全国新能源汽车保有量前五名的省份	17
图13	2020年全国新能源商用车（分车型）保有量前五名的省份	17
图14	2020年广东省分区域汽车保有量与新能源汽车保有量分布	18
图15	2014—2020年广东省纯电动公交车保有量发展情况统计	19
图16	2014—2020年广东省纯电动出租车保有量发展情况统计	19
图17	2014—2020年广东省新能源私家车保有量发展情况统计	20
图18	2014—2020年广东省新能源轻型货车保有量统计	23
图19	2018—2021年广东省内电力供应情况	24
图20	2018—2021年广东省内电力供应情况	25
图21	2020年广东省氢气产能结构	25
图22	2015—2020年广东省分区域道路交通能源消耗量	26
图23	2015—2020年广东省道路交通分燃料类型能源消耗量	27
图24	2015—2020年广东省分区域道路交通碳排放量	27
图25	2015—2020年广东省道路交通分地区碳排放增长量	27
图26	2015—2020年广东省道路交通分车型碳排放量	28
图27	2015—2020年广东省道路交通分车型碳排放增长量	28
图28	三种情景下广东省道路交通终端运输能源消耗预测	45
图29	广东省道路交通分燃料类型运输能源消耗预测	46
图30	三种情景2060年广东省道路交通的能耗结构	47
图31	三种情景下广东省道路交通碳排放预测	48
图32	三种情景下广州、深圳道路交通碳排放预测	48
图33	三种情景下珠三角地区（非穗深）道路交通碳排放预测	49
图34	三种情景下非珠三角地区道路交通碳排放预测	50
图35	广东省不同区域道路交通碳排放占比	51
图36	不同政策情景下广东省2030年、2050年分车型道路交通碳排放占比	51
图37	广东省现有政策延续情景下单一措施的减排潜力	52
图38	广东省零排放情景下单一措施的减排潜力	53
图39	深圳市不同政策情景下单一措施的减排潜力	53
图40	非珠三角地区不同政策情景下单一措施的减排潜力	54
图41	广东省三种情景下污染物排放预测	55

图42	两种政策情景下不同措施的一氧化碳减排潜力	56
图43	两种政策情景下不同措施的碳氢化合物减排潜力	56
图44	两种政策情景下不同措施的氮氧化物减排潜力	57
图45	两种政策情景下不同措施的细颗粒物减排潜力	57
图S1	广东省及各区域人口历史趋势和预测	63
图S2	广东省及各区域GDP总量历史趋势和预测	64
图S3	广东省及各区域人均GDP历史趋势和预测	64

表目录

表1	2020年广东省和全国社会经济发展情况对比	1
表2	2020年广东省分区域社会经济发展情况对比	3
表3	本研究道路交通的车型分类	5
表4	全国2020年载客汽车保有量前五名省份的千人保有量情况	10
表5	2020年广东省各区域载客汽车保有量	11
表6	2020年全国各类型载货汽车保有量排名前五名的省份	12
表7	2020年广东省各区域载货汽车保有量分布	14
表8	广东省不同区域的出行结构	15
表9	截至2020年底广东省各区域新能源汽车保有量及占比统计	18
表10	广州、深圳的小客车限购政策	21
表11	广东省各区域新能源私家车推广政策	21
表12	中小城市新能源私家车推广	23
表13	各类减排措施的影响变量与实施主体	31
表14	广东省“十四五”新能源汽车推广与替代目标	32
表15	广东省“十四五”城市绿色出行分担率目标	34
表16	广东省“十四五”货运运输结构调整目标	35
表17	广东省道路交通两种主要车型未来保有量预测统计	38
表18	现有政策情景广东省新能源汽车在新车销量占比达100%的时间点	39
表19	零排放情景下广东省新能源汽车在新车销量中占比达100%的时间节点	40
表20	情景设置中相关措施对比	42
表21	不同情景设置中相关措施的地域差异性对比	43
表22	两种政策情景下不同措施的细颗粒物减排潜力	60

专栏目录

专栏1	污染物排放核算	7
专栏2	中小城市新能源私家车推广	22
专栏3	未来车辆技术讨论	39

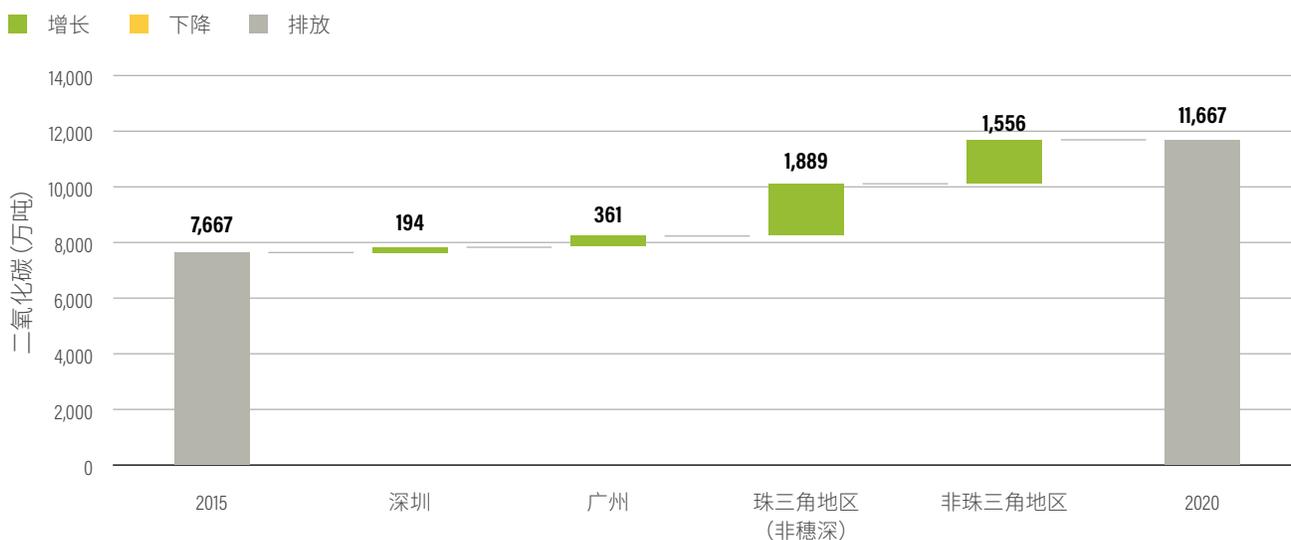


执行摘要

亮点

- 从区域上看，广州、深圳以外区域的道路交通碳排放在广东全省道路交通二氧化碳排放（简称“道路交通碳排放”）中占比最大，且增速最快；从车型上看，私家车是广东省道路交通领域最大的碳排放源（排放占比为48.1%），且增幅最快。
- 在现有政策延续情景下，广东省道路交通碳排放将有望在2027年实现达峰；到2060年，道路交通碳排放比2020年降低80%；在零排放情景下，广东省道路交通碳排放将在2024年达峰，并于2060年实现近零排放。
- 无论在现有政策延续情景下还是零排放情景下，深圳道路交通碳排放都将在2023年达峰，广州将在2024—2026年达峰，非珠三角地区达峰时间为2026—2033年。
- 2050年前，广东省交通碳排放主要区域为珠三角地区（非穗深），在2050年后，非珠三角地区道路交通碳排放将超越珠三角地区（非穗深），成为广东省道路交通碳排放占比最大的区域。
- 在所有减排措施中，无论是二氧化碳和各种空气污染物，新能源汽车推广和替代的减排潜力都是最大的。为实现2060年广东省道路交通近零排放的目标，广东省亟须加强在珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区的新能源汽车推广与替代工作，并在全省加速推广应用零排放重型货车。

图 ES-2 | 广东省2015—2020年道路交通碳排放增长贡献:分区域



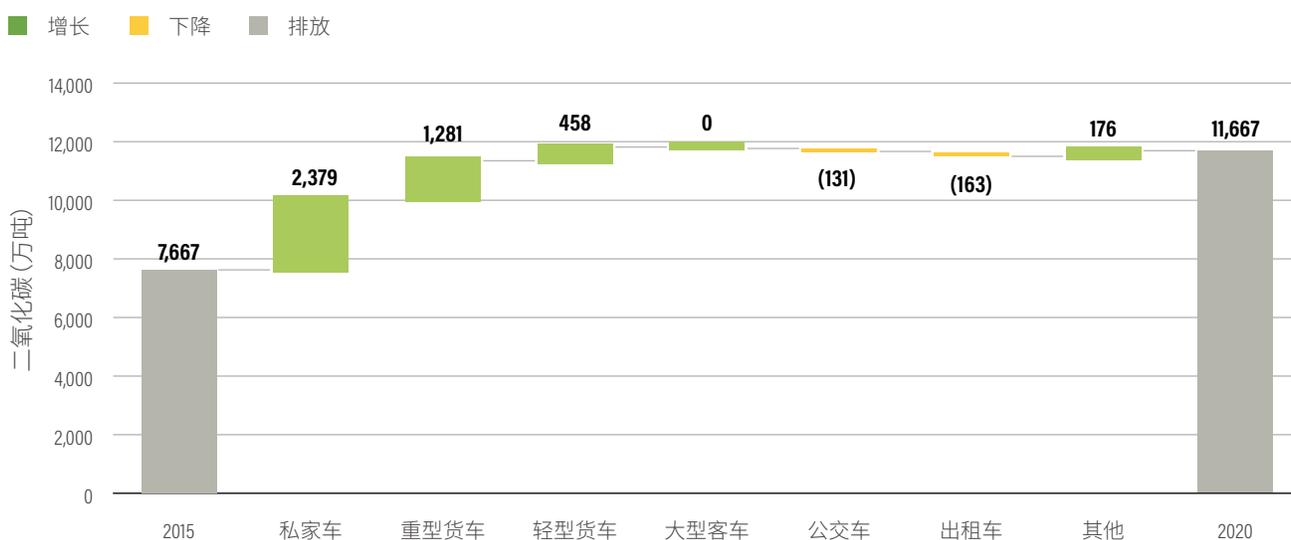
来源：作者计算。

由于私家车保有量快速增长，2015—2020年广东省道路交通汽油消费在道路交通各类燃料消费中的贡献最大、增幅最快，2020年私家车的碳排在道路交通排放中的占比达48.1%（见执行摘要图3）。由于未出台小客车限购政策、轨道交通尚未成网，以及绿色交通基础设施仍有待完善，珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区私家车保有量增长在广东省最快，绿色出行正快速向私家车出行转移。此外，由于缺乏新能源汽车推广相关的经济激励与基础设施配套等措施，珠三角地区（非

穗深）、非珠三角地区的私家车中，新能源汽车数量有限，增速较为缓慢。

重型货车是广东省道路交通第二大排放源（排放占比23.1%），2015—2020年重型货车的碳排放增速仅次于私家车。这主要是由于铁路货运在广东省综合运输体系中作用发挥不足，重点区域如大型港口、工业园区的运输仍依赖柴油重型货车；此外，广东省新能源重型货车整体发展也处在起步阶段，发展水平有限。

图 ES-3 | 广东省2015—2020年道路交通碳排放增长贡献:分车型



来源：作者计算。

本文对广东省分区域2020—2060年道路交通碳排放的情景预测结果显示：

第一，广东省道路交通有望为全省2030年前碳达峰的目标做出贡献。在现有政策延续情景下，广东省道路交通将有望在2027年实现达峰，达峰时碳排放比2020年增加17%。在零排放情景下，广东省道路交通碳排放的达峰时间将提前到2024年，达峰时碳排放比2020年仅增加7%。

然而，在现有政策延续情景下，广东省道路交通领域实现2060年碳中和目标仍存在难度，有必要采取更为激进的新能源汽车推广与替代、运输结构优化调整等措施，才能实现道路交通领域的近零排放。具体而言，根据本研究预测，到2060年，现有政策延续情景下，广东省道路交通碳排放比2020年降低80%，仍有20%的碳排放需要通过负碳技术去除；而在零排放情景下，2060年广东省道路交通碳排放可比2020年降低100%，实现近零排放（见执行摘要图4）。

第二，分区域看，在近中期（2030年前），珠三角地区（非穗深）和非珠三角地区道路交通及早达峰是广东省实现道路交通碳排放2030年前达峰的关键。在现有政策延续情景下，2030年前，珠三角地区（非穗深）为广

东省交通碳排放主要贡献区域（道路交通碳排放占比为40%左右），非珠三角地区次之（道路交通碳排放占比为29%~34%）（见执行摘要图5）。根据本研究预测，珠三角地区道路交通碳排放有望在2024—2027年达峰；广州市、深圳市甚至有望在“十四五”末实现道路交通碳排放达峰。但非珠三角地区道路交通碳排放的达峰时间较晚，预计在2026—2033年之间（见执行摘要表1）。所以，广东省有必要在降低珠三角道路交通碳排放峰值的同时，帮助非珠三角地区道路交通碳排放及早达峰。

在中长期（2030年后），非珠三角地区将是广东省实现道路交通2060年近零排放的关键。特别是在2040—2050年，非珠三角地区道路交通碳排放将逐渐超越珠三角地区（非穗深），成为广东省道路交通碳排放最大的区域（道路交通碳排放占比为40%~45%），珠三角地区（非穗深）次之（见执行摘要图5）。到2060年，即便在现有政策延续情景下，珠三角地区（非穗深）道路交通碳排放可较2020年下降80%左右，深圳甚至可以较2020年下降90%，实现深度减排。然而，与珠三角地区（非穗深）不同，非珠三角地区2060年道路交通碳排放仅能较2020年下降68%（见执行摘要表1）。如果非珠三角地区要实现道路交通近零排放的目标，需要在现有政策基础上更大幅度地加大减排力度。

图 ES-4 | 三种情景下广东省道路交通碳排放预测

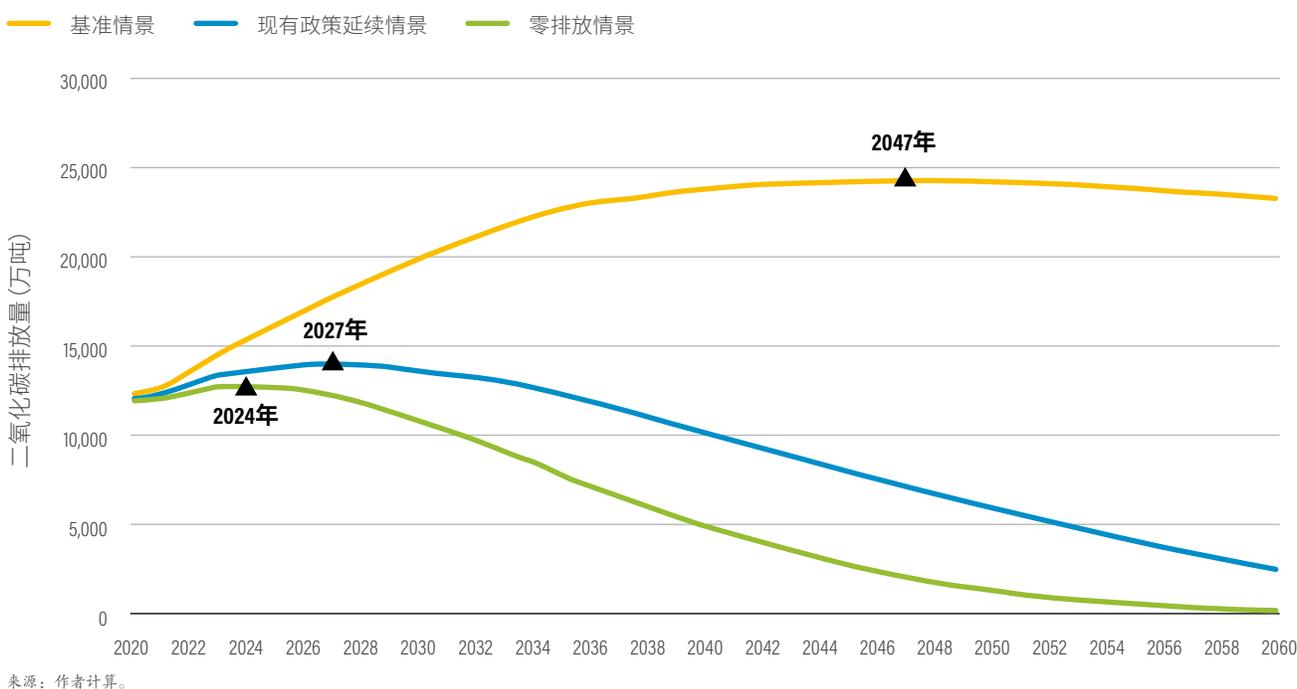
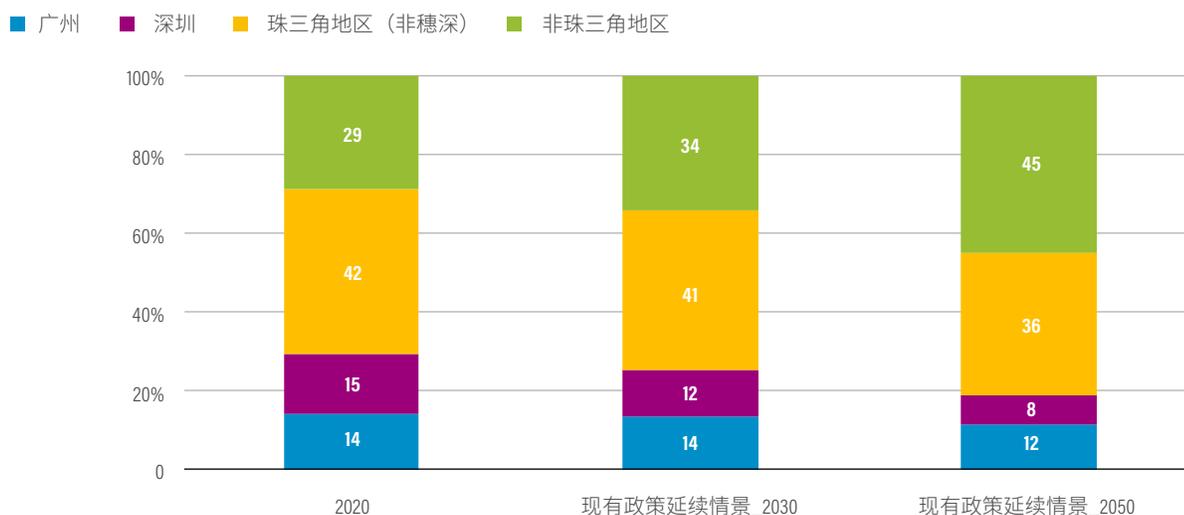


图 ES-5 | 广东省不同区域道路交通碳排放占比



来源：作者计算。

表 ES-1 | 广东省不同区域道路交通碳排放达峰年份与2060年碳排放水平

区域	达峰年份	达峰碳排放相对2020年增幅	2060年碳排放相对2020年降幅
深圳市	2023年	4%~9%	91%~100%
广州市	2024—2026年	9%~19%	85%~100%
珠三角地区（非穗深）	2024—2027年	5%~15%	82%~100%
非珠三角地区	2026—2033年	12%~38%	68%~100%

来源：作者计算。

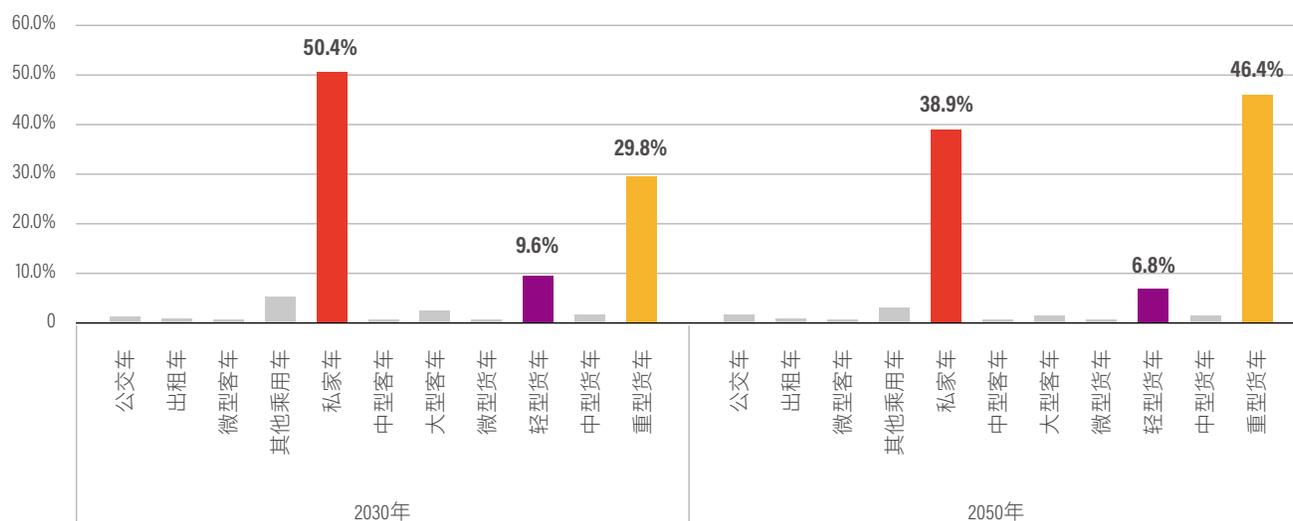
第三，分车型看，私家车和重型货车的减排是广东省道路交通碳排放能否实现2030年前达峰的关键。到2030年，私家车仍是广东省道路交通最大的碳排放源（排放占比为50%左右），重型货车次之（排放占比为30%左右，见执行摘要图6）。这主要是因为私家车保有量的增长速度比货车更快，特别是在珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区。所以，控制近期珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区私家车的减排水平，对广东省2030年前实现道路交通碳排放达峰尤为重要。

中长期，重型货车减排对广东省2060年前实现碳中和至关重要。到2050年，随着新能源私家车数量的增加，私家车碳排放有望大幅下降，重型货车将成为广东省道路交通最大的排放源（排放占比达50%左右，见执行摘要图6）。

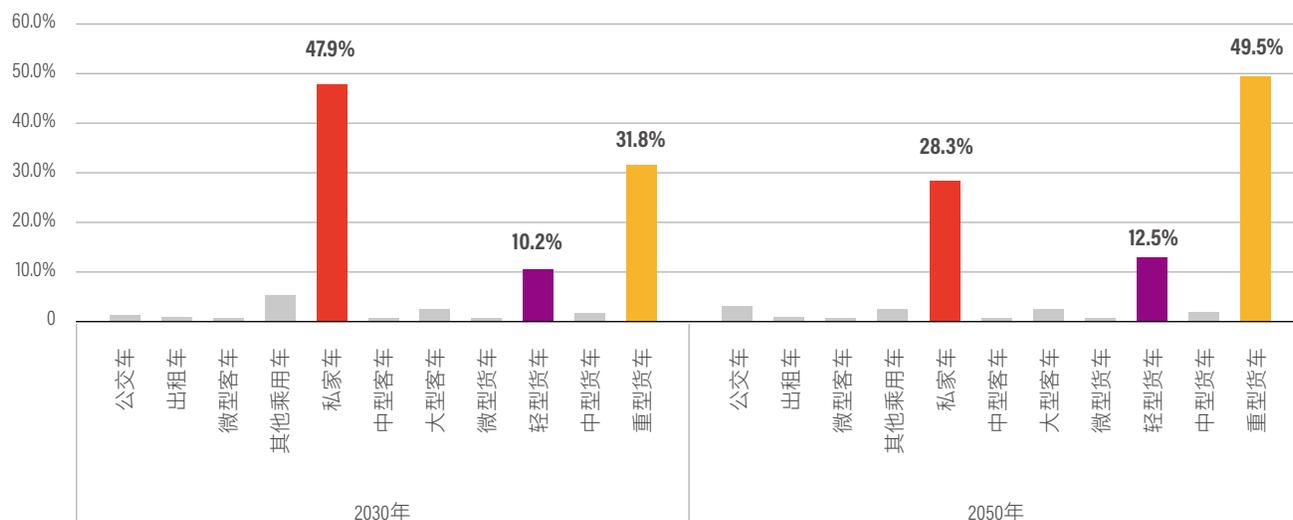
第四，从各项措施的减排潜力来看，对于二氧化碳和各种空气污染物，新能源汽车推广与替代均比基准情景有更大的减排潜力。为实现2060年广东省道路交通零排放的目标（即零排放情景设定的减排目标），广东省亟须加强

图 ES-6 | 不同政策情景下广东省道路交通2030年、2050年分车型碳排放占比

a. 现有政策延续情景



b. 零排放情景



来源：作者计算。

珠三角地区（非穗深）及非珠三角地区的新能源汽车推广与替代力度。具体而言：

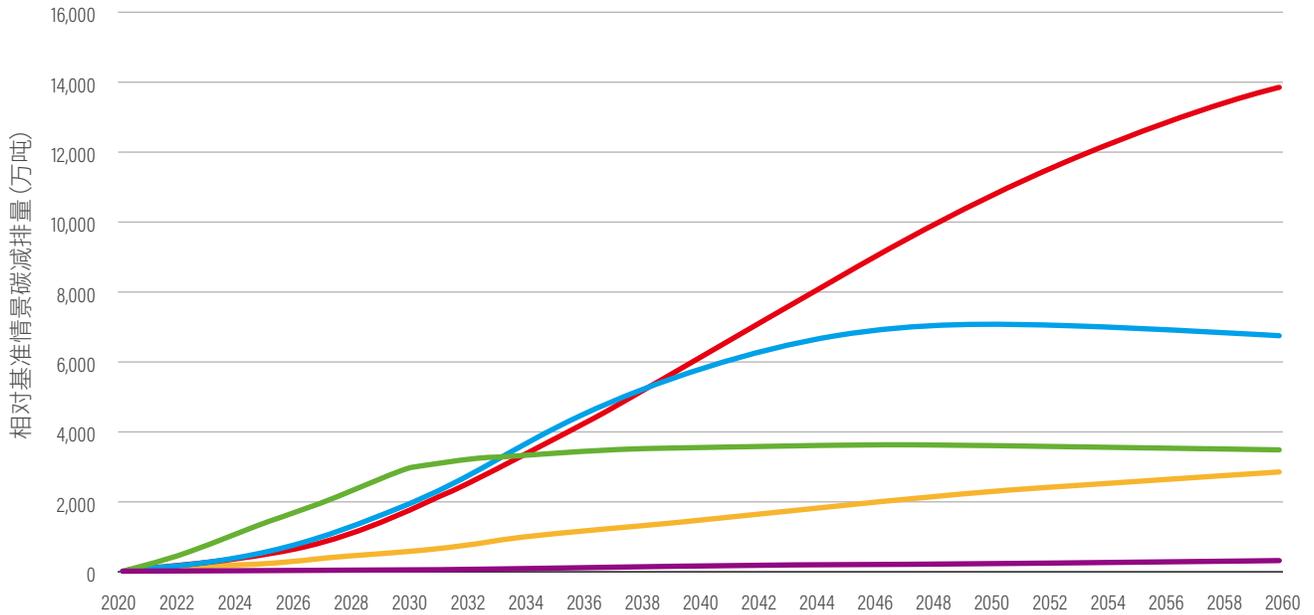
在近期（2020—2030年），运输结构调整的减排潜力最大，其次为新能源汽车推广与替代和新车燃油经济性提升。但在中长期（2030—2060年），新能源汽车推广与替代的减排潜力最大（见执行摘要图7）。

分区域看，近期，新能源汽车推广与替代在深圳的减排潜力更大，而在珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区，鉴于其私家车保有量在短期内增速快、增量空间大，所以，需要结合新能源汽车推广与替代、运输结构调整等措施，综合施策才能在近期减少道路交通碳排放。但在中长期，在所有区域，新能源汽车推广与替代的减排潜力最大。

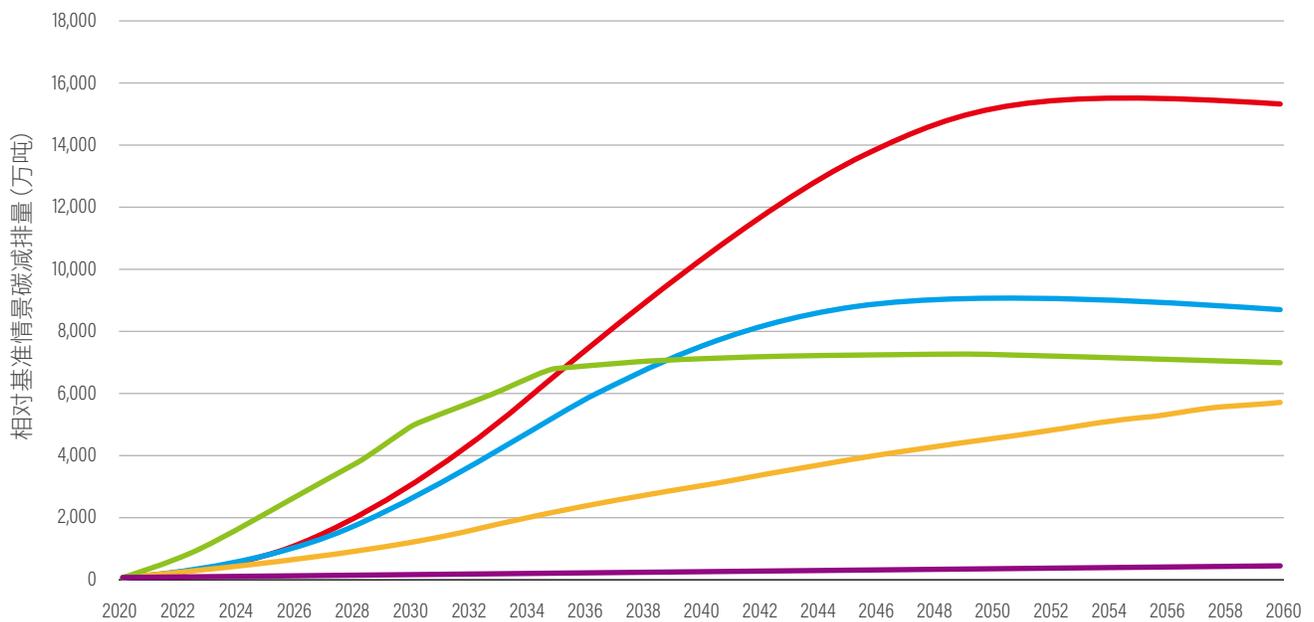
图 ES-7 | 广东省现有政策延续情景与零排放情景下单一措施的减排潜力

— 新能源汽车推广与替代 — 运输结构调整 — 燃料经济性提升 — 活动水平下降 — 上游发电制氢环节减排

a. 现有政策延续情景



b. 零排放情景



来源：作者计算。

政策建议

实现广东省道路交通中长期的深度减排，需要各级政府形成多方合力，也需要政府各部门之间的协调，因而，本文提出如下建议（见执行摘要表2）：

在广东省层面，广东省政府有必要：

一是加强珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区新能源私家车推广。鉴于广东省广州、深圳以外区域，私家车增长是道路交通碳排放的重要贡献源，应从省政府层面加大对珠三角地区（非穗深）和非珠三角地区新能源私家车推广的支持力度，在用地规划、电网扩容、基础设施建设等方面提供资金、政策等支持，考虑对该区域新能源汽车推广情况进行绩效考核。

二是在广东省相关“十四五”规划中，明确近期各类新能源汽车发展的优先级与推广目标。其中，鉴于部分新能源物流车已具备经济性，广东省有望继公交车、出租车后在近期实现城市物流车的全面电动化。

三是加大新能源中重型货车的技术研发与推广工作。通过建立政府股权基金、优化企业融资额度与利率等方式，调动更多市场主体参与新能源汽车产业发展。在全省层面，统筹梳理中重型货车运输场景特点，精细化地规划新能源中重型货车推广路线图。通过出台新能源中重型货车地方补贴、高速公路路权政策，支持重点城市、典型场景的新能源中重型货车推广及示范应用。

四是制定全省高速公路充电（加氢）基础设施规划，协调各地政府在用地规划、电网扩容、基础设施建设

表 ES-2 | 广东省道路交通近期、中长期重点减排措施建议

	深圳市	广州市	珠三角地区（非穗深）	非珠三角地区
市政府	<p>近期：</p> <ul style="list-style-type: none"> 加速新能源私家车、物流车和中重型货车推广及替换（地方补贴、路权、基础设施等） 发展深圳港集装箱海铁联运与水水中转 <p>中长期：</p> <ul style="list-style-type: none"> 加速新能源中重型货车推广及替换 	<p>近期：</p> <ul style="list-style-type: none"> 加速新能源私家车、物流车和中重型货车推广及替换 发展广州港集装箱海铁联运与水水中转 <p>中长期：</p> <ul style="list-style-type: none"> 加速新能源中重型货车推广及替换 	<p>近期：</p> <ul style="list-style-type: none"> 加速轨道交通建设、优先绿色出行、推出“出行即服务”、制定严格的小汽车需求管理措施 加速新能源私家车、物流车推广及替换 加强内河航道和铁路专用线建设 <p>中长期：</p> <ul style="list-style-type: none"> 加速新能源私家车、物流车、中重型货车推广及替换 	<p>近期：</p> <ul style="list-style-type: none"> 改善常规公共交通服务，优先绿色出行，出台交通需求管理措施 加速新能源私家车、物流车推广及替换 加强内河航道和铁路专用线建设 <p>中长期：</p> <ul style="list-style-type: none"> 加速新能源私家车、物流车、中重型货车推广及替换
省政府	<p>近期：</p> <ul style="list-style-type: none"> 明确近期各类新能源汽车发展的优先级与推广目标（如新能源物流车）；制定全省高速公路充电（加氢）基础设施规划，从用地规划、电网扩容、基础设施建设等方面为新能源汽车推广提供基础设施保障；加大对珠三角地区（非穗深）和非珠三角地区新能源私家车推广的支撑力度；结合氢燃料示范群，规划广东省新能源重型货车的推广方案 完善广东省地方货运铁路专项规划，协调深圳港、广州港周边城市支撑港口货运运输结构调整，加大物流枢纽和内陆港建设，支持有关铁路和水运企业在内陆省份的货源获取工作 完善广东省交通运输统计数据基础，建立全省和各地级市的交通碳排放清单与数据平台 <p>中长期：</p> <ul style="list-style-type: none"> 加大广东省低碳氢气供给，推动加氢站分布式电解水制氢、可再生能源制氢（即绿氢）、集中式核电制氢（即粉氢）的发展；加速推动广东省的电力清洁化 			

来源：作者总结。

设等方面提供资金、政策等支持，协同规划充电（加氢）基础设施的布局，为新能源汽车推广奠定基础。

五是完善广东省地方货运铁路专项规划，协调深圳港、广州港周边城市支撑港口货运运输结构调整，加大物流枢纽和内陆港建设，支持有关铁路和水运企业在内陆省份的货源获取工作。

六是加大广东省低碳氢气供给，推动加氢站分布式电解水制氢、可再生能源制氢（即绿氢）、集中式核电制氢（即粉氢）的发展，尽早让车用低碳氢气终端售价降到30元/千克以下，同时加速推动广东省的电力清洁化。

七是完善广东省交通运输统计数据基础（如将远洋货运周转量从水运货运周转量中拆分出来），建立全省和各地级市的交通碳排放清单与数据平台。

在珠三角地区（非穗深）及非珠三角地区，各城市政府有必要：

一是鼓励珠三角地区（非穗深）的城市加速轨道交通建设、优先发展绿色出行、推出“出行即服务（Mobility-as-a-service, MaaS）”、制定更加严格的小汽车需求管理措施；非珠三角地区城市有必要在巩固慢行出行环境的基础上，大幅改善常规公共交通服务，出台交通需求管理政策。

二是加强珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区中小城市新能源私家车推广力度，通过提供地方补贴、大力发展充电网等方式，推动新能源私家车发展。

三是珠三角地区（非穗深）的重点城市如佛山市、东莞市和中山市等，应出台新能源物流车优先路权、购置及运营补贴与充电（加氢）基础设施等激励措施，尽早实现新能源物流车在城市物流车新车销量中占比达100%。

在广州市与深圳市，城市政府有必要：

一是在加速新能源私家车、物流车推广及替换的基础上，通过示范补贴、明确路权、基础设施建设等措施，促进新能源中重型货车推广及替换，为广东省乃至全国做出表率。

二是发展广州港、深圳港的集装箱海铁联运与水水中转，减少中重型货车的数量需求及其对城市交通碳排放的影响。





EXECUTIVE SUMMARY

HIGHLIGHTS

- In Guangdong Province, the major contributors of road transport carbon dioxide (CO₂) emissions are the Pearl River Delta Region (PRDR), excluding Shenzhen and Guangzhou; the Non-PRDR (NPRDR); and private cars.
- In the stated policy scenario, Guangdong's road transport CO₂ emissions are likely to peak around 2027. By 2060, its road transport emissions will decrease 80 percent from the 2020 level. In the deep decarbonization scenario, Guangdong's road transport CO₂ emissions would possibly peak around 2024 and be near zero emissions in 2060.
- In the stated policy and deep decarbonization scenarios, Shenzhen's road transport CO₂ emissions will peak around 2023, followed by Guangzhou's around 2024–26. Road transport emissions for the less economically advanced NPRDR will peak during 2026–33.
- Before 2050, PRDR is the largest contributor of Guangdong's road transport emissions; after 2050, NPRDR will surpass PRDR to become the largest source of road transport emissions. If Guangdong is to achieve its carbon peaking and neutrality goals, it is critical to prioritize resources that help the less advanced PRDR and NPRDR decarbonize their road transport sectors.
- The promotion of zero-emission vehicles offers the largest potential to reduce both CO₂ emissions and the criteria pollutants. To achieve zero emissions by 2060 in the deep decarbonization scenario, Guangdong needs to accelerate the adoption of zero-emission vehicles outside of PRDR and catalyze the zero-emission transition of heavy-duty trucks (HDTs).

Research questions and methodology

As a relatively developed province with carbon emissions that could possibly peak before 2030—earlier than other regions—it is important for Guangdong Province to decarbonize its transport sector to achieve its carbon peaking and neutrality goals. According to the authors’ estimation, transport CO₂ emissions accounted for 14.3 percent of energy-related emissions in Guangdong Province in 2020. This share is even larger in the Greater Bay Area and on the city level. For example, in the Greater Bay Area, the transport sector represented 31 percent of energy-related CO₂ emissions in 2017, becoming the second-largest source of CO₂ emissions. In Shenzhen, the transport sector consisted of 52 percent of energy-related CO₂ emissions in 2015, rising to become the largest source of emissions.

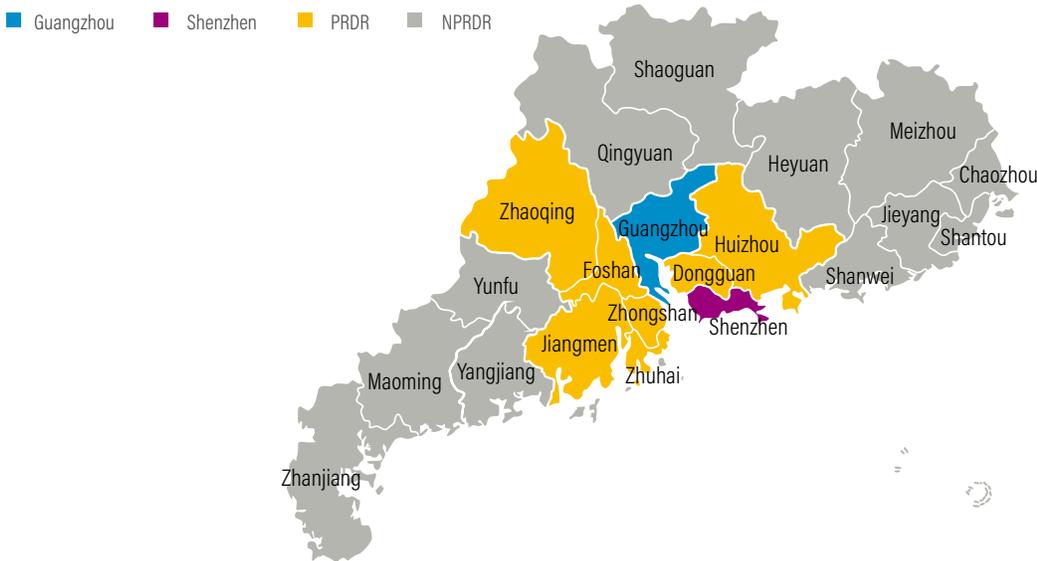
Although Guangdong is a highly advanced province in China, the socioeconomic development is rather uneven among its 21 municipalities. The municipalities are characterized by thriving metropolises, such as Shenzhen and Guangzhou, but also by less economically advanced NPRDR cities with gross domestic product (GDP) per capita lower than the national average (China

National Bureau of Statistics 2021). Yet how to decarbonize the transport sector—while promoting equitable access and economic development through investments on low-carbon transport infrastructure and zero-emission vehicle industries—remains to be solved.

To this end, this study investigated the decarbonization roadmap of the road transport sector that represented 78 percent of Guangdong’s transport CO₂ emissions. Given the regional disparity in Guangdong, the study breaks the province into four regions for region-specific analysis (Figure ES-1):

- Shenzhen and Guangzhou, which are characterized by higher regional GDP levels and more low-carbon transport measures implemented than the rest of the regions; they also have the potential for road transport emissions to peak early
- PRDR (excluding Shenzhen and Guangzhou), which features relatively high regional GDP but lacks low-carbon transport measures
- NPRDR, which is less developed in Guangdong and does not seek enough low-carbon transport measures

Figure ES-1 | The study areas of Guangdong Province



Notes: NPRDR = Non-Pearl River Delta Region; PRDR = Pearl River Delta Region.
Source: Authors.

Based on the status quo analysis and the review of Guangdong transport related to the 14th Five-Year Plan, this study developed three scenarios for the province's four regions to stimulate the decarbonization potentials of different mitigation measures, including the promotion of zero-emission vehicles, a mode shift from high-emitting modes (such as trucks) to low-emitting modes (such as railways), improved vehicle fuel efficiency, avoided travel, and decarbonizing upstream power/hydrogen generation up to 2060. Based on the scenario analysis, policy implications were drawn.

Research findings

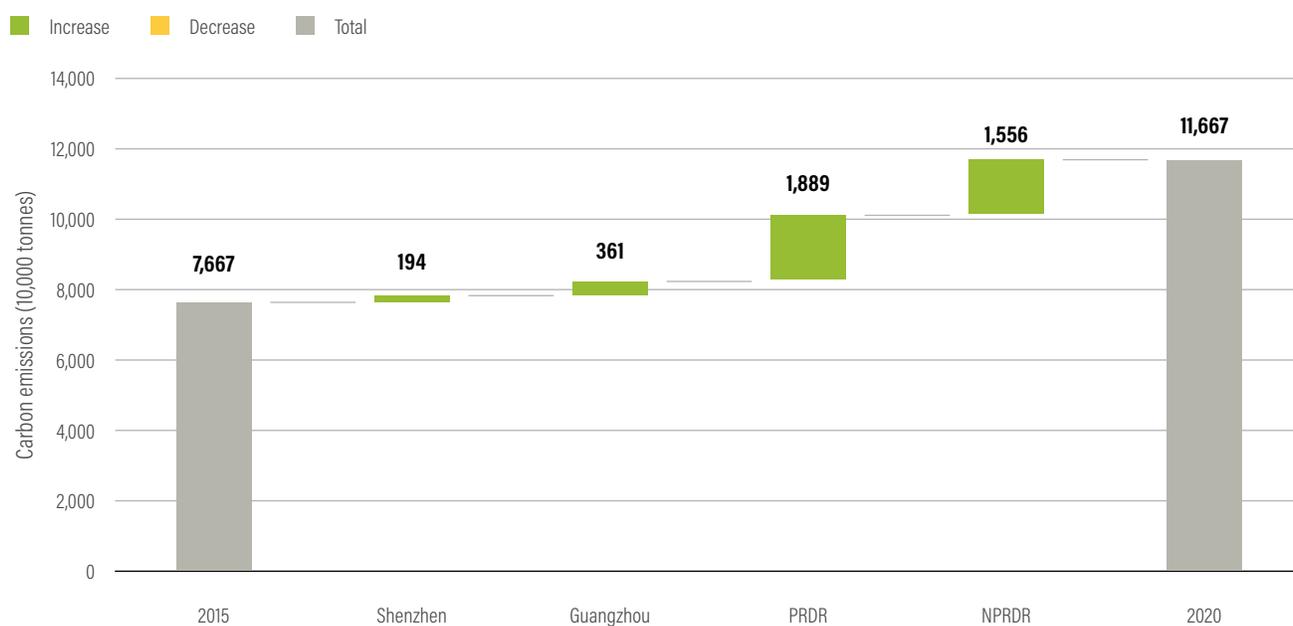
The study estimated the historic road transport carbon emissions during 2015–20, which revealed that although Guangdong is economically advanced, large disparity exists among the four regions. Although the growth in road transport carbon emissions in Shenzhen and Guangzhou had slowed down, the emissions in PRDR and NPRDR had accelerated (increasing by 61 percent and 86 percent, respectively, from 2015 to 2020). PRDR and NPRDR had become the largest road transport emitters in the province (representing 71 percent

of Guangdong's road transport emissions in 2020) (Figure ES-2).

Further, due to rapid car motorization, private cars accounted for 48.1 percent of road transport emissions in Guangdong in 2020 and became the main driver of road transport emissions growth (Figure ES-3). The growth in private car ownership was particularly rapid in PRDR and NPRDR; without travel-demand management measures, an integrated public transit network, and a friendly walking and cycling environment, the two regions had witnessed the most rapid increases in private car ownership in Guangdong. Further, due to the lack of incentives, the adoption of zero-emission private cars is also the lowest in both regions.

HDTs are the second-largest road transport emitter in Guangdong, representing 23.1 percent of road transport emissions. However, the adoption of zero-emission HDTs remains at the early stage, after Shenzhen's unsuccessful attempt to promote electric dump trucks. Further, the potentials of freight railways are untapped, with railways accounting for 1 percent of freight tonne-kilometers in Guangdong.

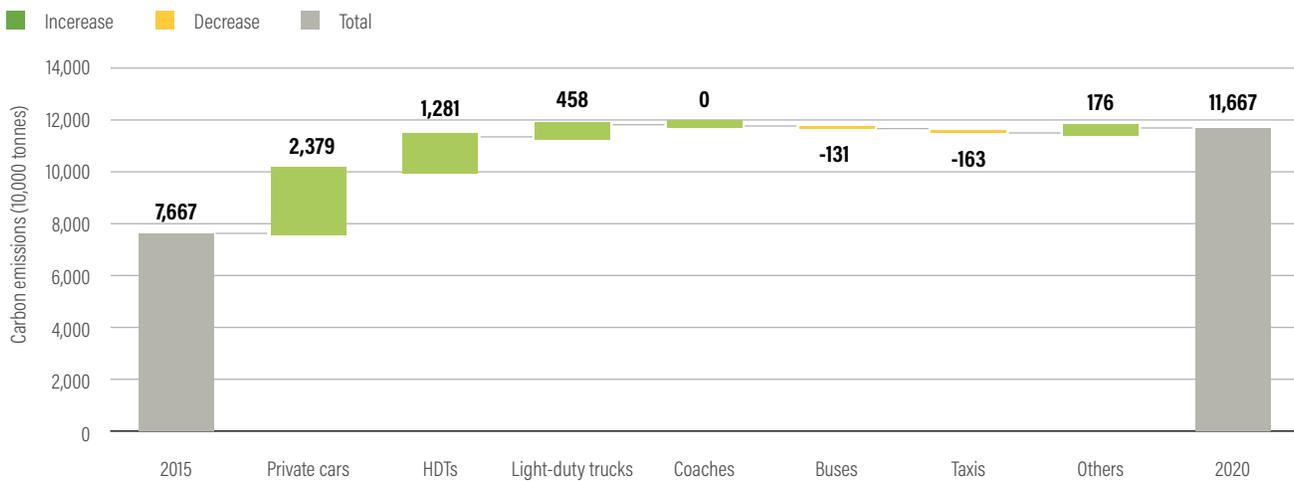
Figure ES-2 | Attribution of Guangdong's road transport CO₂ emissions during 2015–2020 by region



Notes: NPRDR = Non-Pearl River Delta Region; PRDR = Pearl River Delta Region.

Source: Authors' estimation.

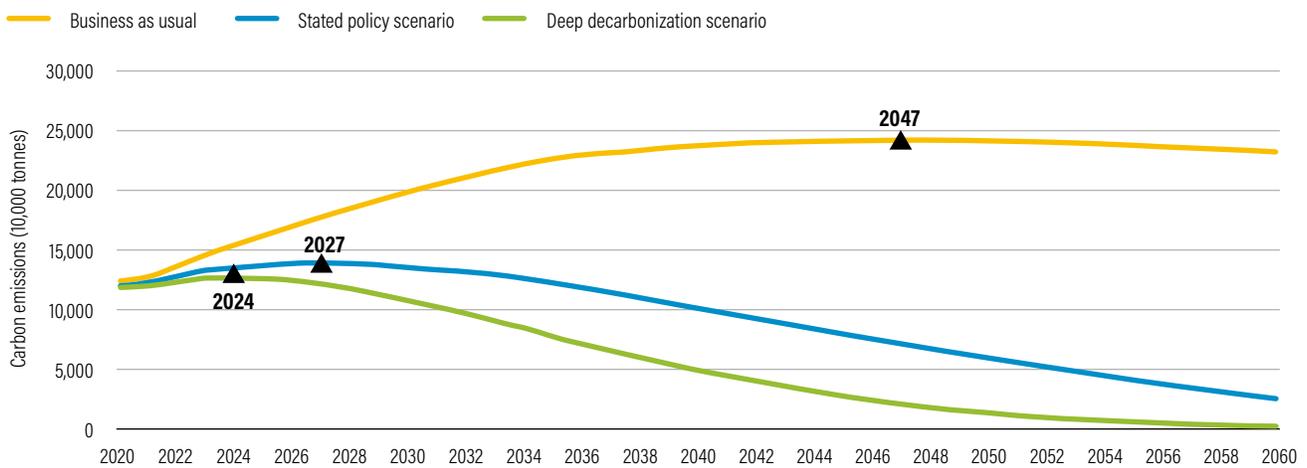
Figure ES-3 | Attribution of Guangdong's road transport CO₂ emissions during 2015–2020 by vehicle category



Notes: HDT = heavy-duty truck; NPRDR = Non-Pearl River Delta Region; PRDR = Pearl River Delta Region.

Source: Authors' estimation.

Figure ES-4 | Guangdong road transport CO₂ emissions projections in the three scenarios



Source: Authors' estimation.

The following discussion outlines the findings of the scenario forecasting of the business-as-usual, stated policy, and deep decarbonization scenarios for Guangdong's four regions.

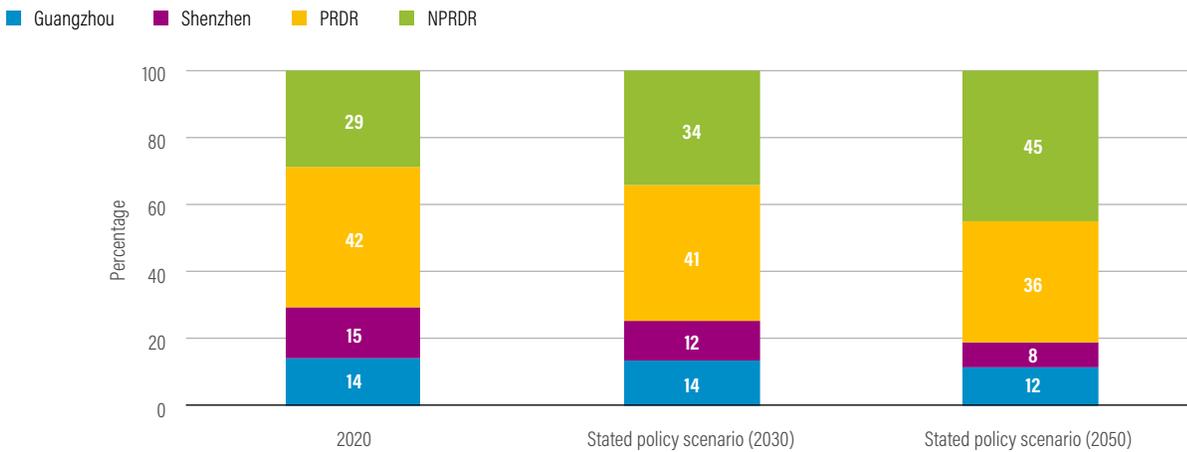
First, under the stated policy scenario, Guangdong's road transport emissions are likely to peak around 2027 (a 17 percent increase from the 2020 level) if the province continues promoting zero-emission vehicles and taking mode shift measures. In the deep decarbonization scenario, road transport emissions are likely to peak around 2024 (a 7 percent increase from the 2020 level) with more

proactive measures, such as achieving 100 percent zero-emission vehicles in new sales of private cars in 2040 and in new sales of HDTs in 2050.

By 2060, in the stated policy scenario, Guangdong's road transport emissions will decrease by 80 percent compared to 2020's level, and they will become close to zero emissions in the deep decarbonization scenario (Figure ES-4).

Second, different regions have different importance in reducing road transport emissions (Figure ES-5 and Table ES-1).

Figure ES-5 | Shares of Guangdong's road transport emissions by region



Notes: HDT = heavy-duty truck; NPRDR = Non-Pearl River Delta Region; PRDR = Pearl River Delta Region.

Source: Authors' estimation.

Table ES-1 | Peak year and carbon emissions in 2060 of the road transport sector for four regions in Guangdong

	PEAK YEAR	GROWTH IN EMISSIONS IN THE PEAK YEAR COMPARED TO 2020 (%)	EMISSIONS REDUCTION BETWEEN 2020 AND 2060(%)
Shenzhen	2023	4-9	91-100
Guangzhou	2024-26	9-19	85-100
PRDR	2024-27	5-15	82-100
NPRDR	2026-33	12-38	68-100

Notes: NPRDR = Non-Pearl River Delta Region; PRDR = Pearl River Delta Region.

Source: Authors' estimation.

In the near term (before 2030), PRDR and NPRDR will be critical for Guangdong to peak road transport emissions earlier. In the stated policy scenario, PRDR is the largest contributor of Guangdong's road transport emissions (representing around 40 percent), followed by NPRDR (representing about 30 percent). Further, based on the forecasting of the stated policy and deep decarbonization scenarios, PRDR's road transport emissions are likely to peak around 2024-27, Shenzhen and Guangdong are even likely to peak by the end of the 14th Five-Year period. By contrast, NPRDR will be the last region to peak road transport emissions; in the stated policy scenario, NPRDR will likely peak emissions post-2030.

Over the long term (after 2030), the decarbonization efforts taken in NPRDR will determine whether Guangdong's road transport emissions will drop to zero. Particularly, NPRDR will surpass PRDR to become the largest source of road transport emissions around 2040-50. By 2060, NPRDR is unlikely to be zero emissions; in the stated policy scenario, NPRDR's road transport emissions could only reduce by 68 percent compared to the 2020 level. Prioritizing resources to support the less advanced NPRDR and seeking more proactive measures to decarbonize road transport is critical for Guangdong to achieve its carbon neutrality goals.

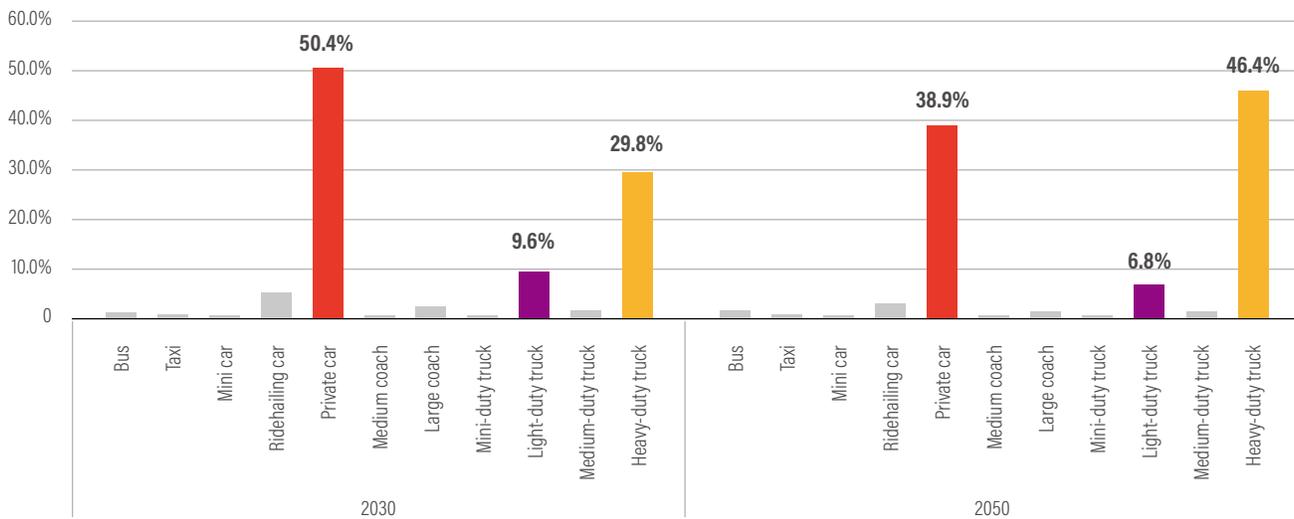
Third, in the near term (before 2030), private cars and HDTs are the key for Guangdong to peak road transport emissions earlier (Figure ES-6). By 2030, private cars will be the largest source of emissions, representing around 50 percent of Guangdong’s road transport emissions, followed by HDTs with around 30 percent of emissions. The growth in carbon emissions from private cars is particularly concentrated in PRDR and NPRDR. Consequently,

reducing private car emissions should be prioritized in the two regions.

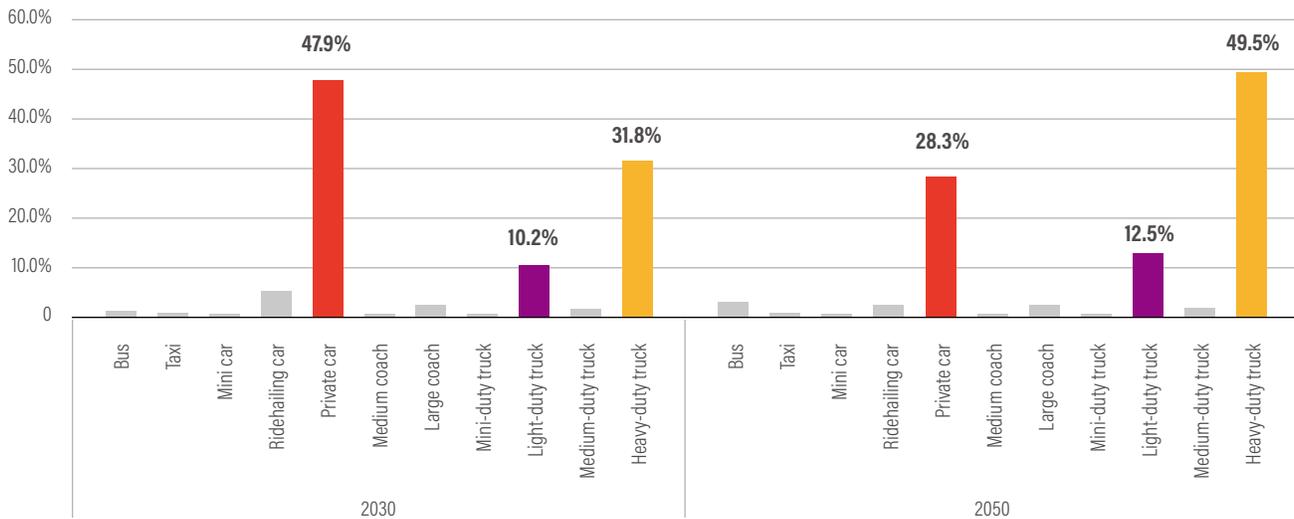
Over the long term (after 2030), curbing HDT emissions is important for Guangdong to achieve its carbon neutrality goal; HDTs will rise to become the largest source of road transport emissions in Guangdong in 2050, representing around 50 percent of the province’s road transport emissions.

Figure ES-6 | Breakdown of road transport emissions by mode in different policy scenarios in 2030 and 2050

a. Stated policy scenario



b. Deep decarbonization scenario



Source: Authors’ estimation.

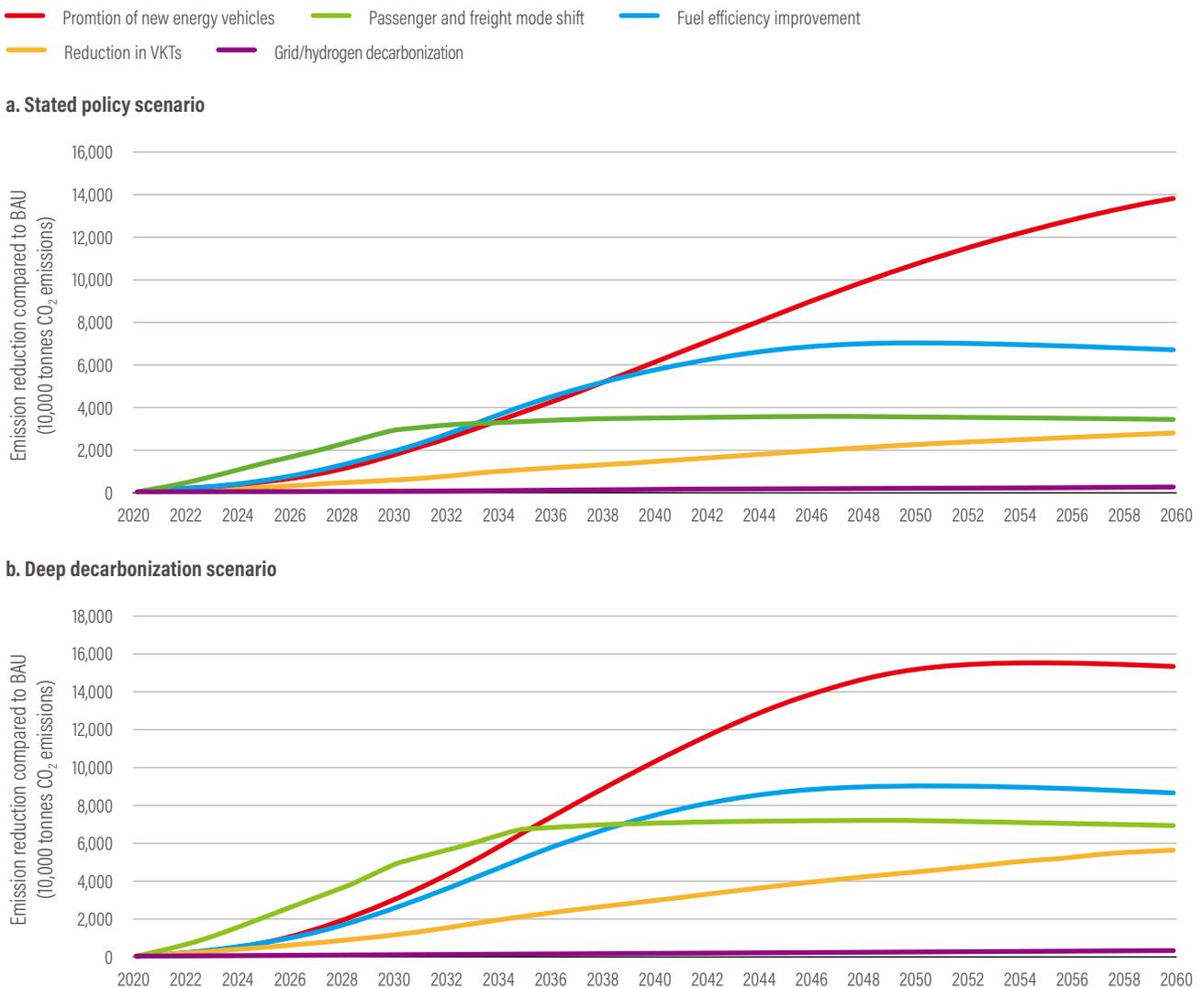
Fourth, for decarbonization potentials, among all the measures, the promotion of zero-emission vehicles offers the greatest potential to reduce both CO₂ emissions and the criteria pollutants. To achieve its zero-emissions goal by 2060 in the deep decarbonization scenario, Guangdong needs to accelerate the adoption of zero-emission vehicles in the NPRDR region and catalyze the zero-emission transition of HDTs.

The study also reveals that in the near term (2020–30), mode-shift measures have the largest CO₂

emissions reduction potentials, whereas in the long term, the promotion of zero-emission vehicles has the largest emissions reduction potential.

Different measures have varying decarbonization potentials in different regions. For example, in the near term, the promotion of zero-emission vehicles has the larger emissions reduction potential in Shenzhen than in NPRDR. For NPRDR to curb the rapid road transport emissions growth, it needs comprehensive measures to decarbonize transport, such as more proactive mode-shift measures.

Figure ES-7 | Different measures have different decarbonization potential in the stated policy and deep decarbonization scenarios



Notes: BAU = business as usual; CO₂ = carbon dioxide; VKT = vehicle-kilometer traveled.

Source: Authors' estimation.

Policy implications

Decarbonizing Guangdong’s road transport sector requires synergies between different levels of governments. Table ES-2 outlines the study’s recommendations.

For Guangdong provincial governments, the following measures are necessary:

- Incentivize the accelerated adoption of zero-emission private cars in PRDR and NPRDR by providing provincial matching funds on local vehicle purchases, land acquisitions, grid

augmentations/integrations, and charging network expansions. The provincial government could also benchmark the performance of zero-emission private car adoption among PRDR and NPRDR cities.

- Establish clear targets in the 14th Five-Year Plan for zero-emission vehicle adoption. Certain models of zero-emission logistic vehicles are now economically viable, so the provincial government should set up clear five-year targets for their adoption and encourage leading cities, such as Guangzhou, Shenzhen, Foshan, Dongguan,

Table ES-2 | **Key decarbonization measures for Guangdong’s road transport sector**

	SHENZHEN	GUANGZHOU	PRDR	NPRDR
Municipal government	<p>Before 2030:</p> <ul style="list-style-type: none"> Accelerate the adoption of zero-emission private cars, logistic vehicles, and heavy-duty trucks (HDTs) via subsidies, road access privilege, and infrastructure provision. Promote sea-to-rail or sea-to-water (short-sea/river shipping) intermodal services at the Shenzhen port. <p>After 2030:</p> <ul style="list-style-type: none"> Accelerate the adoption of zero-emission HDTs. 	<p>Before 2030:</p> <ul style="list-style-type: none"> Accelerate the adoption of zero-emission private cars, logistic vehicles, and HDTs. Promote sea-to-rail or sea-to-water (short-sea/river shipping) intermodal services at the Guangzhou port. <p>After 2030:</p> <ul style="list-style-type: none"> Accelerate the adoption of zero-emission HDTs. 	<p>Before 2030:</p> <ul style="list-style-type: none"> Accelerate the construction of urban metro/bus rapid transit systems, prioritize green transport, introduce mobility-as-a-service and travel-demand management measures. Prioritize the promotion of zero-emission private cars and logistic vehicles. Improve inland waterway and railway services. <p>After 2030:</p> <ul style="list-style-type: none"> Accelerate the adoption of zero-emission private cars, logistic vehicles, and HDTs. 	<p>Before 2030:</p> <ul style="list-style-type: none"> Improve regular bus services, prioritize walking and cycling, implement travel-demand management policies. Prioritize the promotion of zero-emission private cars and logistic vehicles. Improve inland waterway and railway services. <p>After 2030:</p> <ul style="list-style-type: none"> Accelerate the adoption of zero-emission private cars, logistic vehicles, and HDTs.
Provincial government	<p>Before 2030:</p> <ul style="list-style-type: none"> Establish clear targets in the 14th Five-Year Plan on zero-emission vehicle adoption, develop charging/refueling infrastructure plans along provincial highways, incentivize the accelerated adoption of zero-emission private cars in PRDR and NPRDR, and develop long-term zero-emission transition plans for HDTs in the province and zero-emission HDT pilots in urban/seaport/industrial zone duty cycles. Improve Guangdong local freight railway plans; increase provincial and local investments in railway feeder lines connecting to (Guangzhou and Shenzhen) seaports, major industrial parks, and inland ports; and provide necessary coordination among cities in infrastructure delivery. Improve transport-related statistical data collection, build emissions data platforms, and establish dedicated offices or personnel responsible for Guangdong’s transport inventory development and validation. <p>After 2030:</p> <ul style="list-style-type: none"> Scale up the adoption of electrolyzers using nuclear and renewable power for low-carbon hydrogen production and accelerate the decarbonization of power generation. 			

Source: Authors’ summary.

and Zhongshan, to achieve 100 percent zero-emission logistic vehicles in new sales.

- Develop long-term zero-emission transition plans for HDTs in the province. In the near term, launch zero-emission HDT pilots in urban/seaport/industrial zone duty cycles, and provide dedicated provincial subsidies and intercity highway access privilege policies. Provide low-carbon financing mechanisms for local original equipment manufacturers and suppliers to foster research and development of zero-emission HDT technologies.
- Develop charging/refueling infrastructure plans along provincial highways and establish coordinate mechanisms among different levels of governments and highway investment companies on land acquisition, grid augmentation/integration, and charging/refueling facility construction.
- Improve Guangdong's local freight railway plans; increase provincial and local investments in railway feeder lines connecting to (Guangzhou and Shenzhen) seaports, major industrial parks, and inland ports; promote intermodal terminals; provide necessary coordination among cities in land use planning and railway (or dry ports) infrastructure delivery; and support the growth in freight railway/waterway demands by acquiring new customers in other provinces.
- Scale up the adoption of electrolyzers using nuclear and renewable power for low-carbon hydrogen production and provide funding supports/carbon pricing mechanisms so that the prices of low-carbon hydrogen will drop to an affordable level (less than 30 Chinese yuan per kilogram) and accelerate the decarbonization of power generation.
- Improve transport-related statistical data collection, build emissions data platforms, establish dedicated offices or personnel responsible for Guangdong's transport inventory development and validation, and build data collection and inventory development capacities to better inform low-carbon transport planning.



For municipal governments in PRDR and NPRDR, the following measures are necessary:

- Municipal governments in PRDR should accelerate the construction of urban metro/bus rapid transit systems, prioritize green transport, and introduce mobility-as-a-service and travel-demand management measures. Municipal governments in NPRDR need to work on improving the walking and cycling environment and transit services as well as introducing travel-demand management policies.
- Municipal governments in PRDR and NPRDR should prioritize the promotion of zero-emission private cars by providing local subsidies and expanding charging networks.
- Cities such as Foshan, Dongguan, and Zhongshan in PRDR should also prioritize the adoption of zero-emission logistic vehicles in the near term by providing local purchase and operation subsidies, road access privileges for zero-emission vehicles, and improved infrastructure accessibility and convenience.

For Shenzhen and Guangzhou municipal governments, the following measures are necessary:

- Accelerate the adoption of zero-emission HDTs, including dump trucks, drayage trucks, and other HDTs operating in urban delivery duty cycles and set a model example for Guangdong and the rest of China to follow.
- Enhance sea-to-rail or sea-to-water intermodal services at the Shenzhen and Guangzhou ports to reduce traffic impacts on the two cities and the difficulties in the zero-emission transition of HDTs.

廣御點
本座三樓
平手藝打造一席茶點

訂座電話
020-88503633
3F
漲格

漲格
電話:3699 8848

羊鼎秘烤本座

城市

旺角冰室
旺角冰室

旺角冰

專業植發找雍禾



第一章

研究问题

2020年，广东省常住人口约1.3亿人，GDP约11.1万亿元（广东省统计局 2021），是全国人口和GDP排名第一的省份（见表1）。作为经济开放地区，广东省对外贸易发展迅速，占全国对外贸易总额比重大，货物进出口总量连续三十余年位居全国首位（莫柏旭 2018）。在“一带一路”倡议和粤港澳大湾区建设的带动下，广东省将有望通过与港澳地区的优势互补，实现产业结构调整升级，以提升对外开放程度、增强整体竞争力。

广东省交通网络发达，港口、机场、桥梁、高速铁路等主要基础设施完备，具有紧密的城际交通网络。广东省包含“广佛肇”、“深莞惠”和“珠中江”三大经济圈，需要便捷的省内交通联系；同时，广东省也是“外向型”省份，与香港、澳门深度融合，与海上丝绸之路沿线地区和国家有着密切的联系。为满足省内、省际及国际联系的需要，“十三五”期间：

表 1 | 2020年广东省和全国社会经济发展情况对比

	人口 (亿人)	GDP (万亿元)	人均GDP (万元)	第三产业 占比	单位面积 高速公路里程 (km/km ²)	千人汽车 保有量 (辆)
广东省	1.3	11.1	8.8	56.5%	0.058	198
山东省	1.0	7.3	7.2	53.5%	0.047	250
江苏省	0.8	10.3	12.1	52.5%	0.046	240
辽宁省	0.4	2.5	5.9	53.5%	0.029	219
全国	14.1	101.4	7.2	54.5%	0.02	194

来源：作者根据国家统计局（2021）相关数据整理。

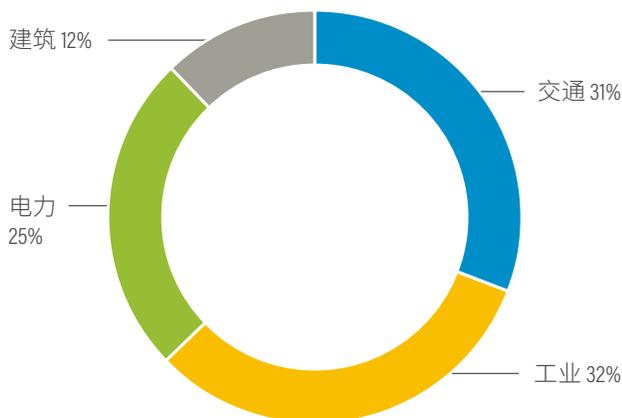
- **公路建设：**广东省不断完善公路网络，港珠澳大桥、汕昆高速广东段等建成通车，高速公路通车里程及新增里程连续七年保持全国第一。截至2020年底，广东省公路通车里程为221873千米，单位面积高速公路通车里程在全国排名第一，是全国平均水平的三倍（国家统计局 2021）。
- **铁路和枢纽建设：**到2020年，广东省以高速铁路为骨干的铁路网络基本形成，实现全省21个地级及以上市全部通高速铁路或快速铁路，与各陆路相邻省份有高速铁路连接。但与国内其他省份相比，广东省的铁路系统发展速度较缓慢。例如，广东省2020年单位面积客运铁路营业里程为2.73千米/百平方千米，低于多数沿海发达省份，如山东省、江苏省与福建省（国家统计局 2021）。
- **民用机场发展：**广东省拥有广州白云国际机场、深圳宝安国际机场、珠海金湾机场三个国际机场及惠州、佛山、韶关等小型民用机场。其中，广州白云国际机场和深圳宝安国际机场的客货运量均非常大。2021年，广州白云国际机场的旅客吞吐量在全国民用机场中排名第一，货物吞吐量位列第二（仅次于上海浦东国际机场）；深圳宝安国际机场的旅客吞吐量和货物吞吐量均位列全国第三位（中国民用航空局 2021）。
- **港口和内河水运发展：**广东省滨江临海，是世界上通过能力最大、水深条件最好的区域性港口群之一（张

国强 2019）。2021年底，广东省所有港口吞吐量和集装箱吞吐量均位列全国沿海省份第一位，拥有7个吞吐量超过5000万吨的沿海港口。其中，深圳港、广州港是全国主要的集装箱港口，集装箱吞吐量仅次于上海港和宁波舟山港，位列全国第三和第四位（交通运输部 2022）。另外，“十三五”期间，广东省也大力发展内河水运，完成湛江徐闻港客货滚装码头等建设和西江、北江等航道扩能升级（广东省人民政府办公厅 2021）。2021年底，广东省内河水运吞吐量位列全国第五位，拥有佛山港、肇庆港、云浮港、江门港、清远港、新塘港等吞吐量超过千万吨的内河港口（交通运输部 2022）。

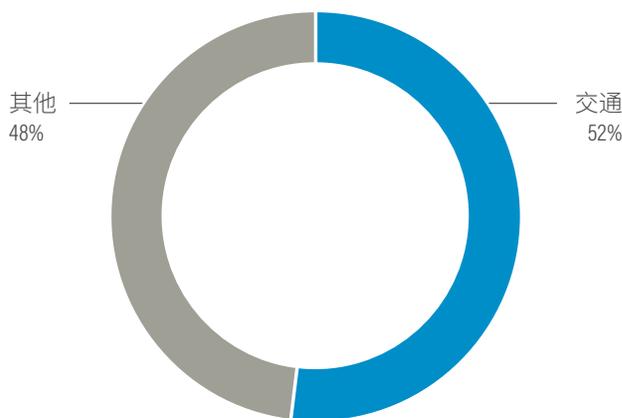
广东省的发展阶段意味着其需要在2030年前（可能比全国其他省份更早）实现碳达峰。因此，各行业均需要为更早的达峰时间做出贡献。交通领域是广东省的主要碳排放源之一。根据项目组对广东省全行业二氧化碳排放情况进行核算的结果，2020年，广东省交通领域碳排放占能源活动排放的14.3%。在粤港澳大湾区（包括珠三角地区、香港特别行政区和澳门特别行政区）以及一些城市，交通领域碳排放占能源活动排放中的占比更高（见图1）。例如，2017年，粤港澳大湾区交通领域碳排放占能源活动排放中的占比达31%，为第二大排放源；2015年，深圳市交通领域碳排放占能源活动排放中的占比达52%，为第一大排放源（哈尔滨工业大学（深圳）2019）。

图 1 | 粤港澳大湾区和深圳市交通领域碳排放占能源活动排放中的占比

a. 粤港澳大湾区 (2017年)



b. 深圳市 (2015年)



来源：《粤港澳大湾区能源转型中长期情景研究》项目组（2020）、哈尔滨工业大学（深圳）等（2019）。

虽然广东省经济高度发达，但下辖21个地级市发展不均衡，既包括经济发达的广州和深圳，也包括人均GDP尚未达到全国平均水平（2020年为7.2万元）的非珠三角地区（国家统计局 2021）（见表2）。未来，发达的珠三角地区如何能够在交通绿色低碳行动方面为其他省市做出表率，非珠三角地区如何在公共资金有限的条件下，满足城市居民对交通出行便捷性的要求，协助其更大规模地推广新能源汽车，通过基础设施互联互通与新能源汽车等产业集群发展，带动区域经济发展与低碳转型，将是广东省道路交通低碳转型的关键。此外，针对广东省道路交通领域开展深度减排研究，并兼顾区域发展的不均衡性，不仅对广东省自身发展具有现实意义，也为国内其他省份交通领域低碳转型提供参考。

行便捷性的要求，协助其更大规模地推广新能源汽车，通过基础设施互联互通与新能源汽车等产业集群发展，带动区域经济发展与低碳转型，将是广东省道路交通低碳转型的关键。此外，针对广东省道路交通领域开展深度减排研究，并兼顾区域发展的不均衡性，不仅对广东省自身发展具有现实意义，也为国内其他省份交通领域低碳转型提供参考。

表 2 | 2020年广东省分区域社会经济发展情况对比

区域	2020年人口 (万人)	2020年GDP (亿元)	2020年人均GDP (万元)	2020年人均 GDP标准差 (万元)	2020年第三产 业占比	2020年千人汽 车保有量 (辆)	城市是否有 地铁系统
深圳	1763	27670	15.7	--	62%	200	是
广州	1874	25019	13.4	--	73%	159	是
珠三角地区 (非穗深)	4186	36835	8.8	3.1	46%	272	佛山、东莞 有，珠海建 设中
非珠三角地区	4800	21237	4.4	0.6	49%	147	否

来源：广东省统计局（2021）。





第二章

研究方法

本研究以2020年为基准年，即统计数据能支持的最新年份，通过分析广东省不同区域的发展现状和特点，预测2020—2060年广东省各区域道路交通领域低碳发展情景，并提出近、中、长期广东省分区域道路交通减排建议。

由于交通领域中道路交通碳排放占比大——2015

年广东省道路交通碳排放占交通领域碳排放的78.3%（晏为谦等 2018）。因此，本研究聚焦于广东省道路交通领域的二氧化碳排放。其中，本研究将广东省道路机动车辆按行业标准《道路交通管理 机动车类型》（GA 802—2019）划分成8类。由于活动水平差异，私家车、出租车和公交车分别从“大型、中型载客汽车”与“小型、微型载客汽车”中分离出来，并单作为一类（见表3）。

表 3 | 本研究道路交通的车型分类

a.《道路交通管理 机动车类型》(GA 802—2019)的分类

类别	分类标准
客运车辆	微型客车 车长小于或等于3500mm且内燃机气缸总排量小于或等于1000mL（对纯电动汽车为驱动电机总峰值功率小于或等于15kW）的载客汽车
	小型客车 车长小于6000mm且乘坐人数小于或等于9人的载客汽车，但不包括微型载客汽车
	中型客车 车长小于6000 mm且乘坐人数为10~19人的载客汽车
	大型客车 车长大于或等于6000 mm或者乘坐人数大于或等于20人的载客汽车
货运车辆	微型货车 车长小于或等于3500 mm且总质量小于或等于1800 kg的载货汽车，但不包括低速汽车（三轮汽车和低速货车的总称）
	轻型货车 车长小于6000 mm且总质量小于4500 kg的载货汽车，但不包括微型载货汽车和低速汽车
	中型货车 车长大于或等于6000 mm的载货汽车，或者总质量大于或等于4500 kg且小于12000 kg的载货汽车；但不包括重型载货汽车和低速货车
	重型货车 总质量大于或等于12000 kg的载货汽车

表 3 | 本研究道路车辆的车型分类(续)

b. 本研究在GA 802—2019分类基础上的细化

类型		解释
小型、微型客车	私家车 (即私人汽车)	乘坐人数小于或等于9人, 且为非营运性的载客车辆
	出租车	已领取出租汽车专用牌照的运营性载客车辆
	其他乘用车	车长小于6000 mm且乘坐人数小于或等于9人的公务用车、运营性载客车辆
中型、大型客车	公交车	城市中用于公共交通业务的中型、大型客车
	其他中型、大型客车	非公交车类别的中型、大型客车

说明：“其他乘用车”的保有量为《广东省统计年鉴》“民用小型客车”保有量减去“私人汽车”保有量与“出租车”保有量。

2.1 地域划分

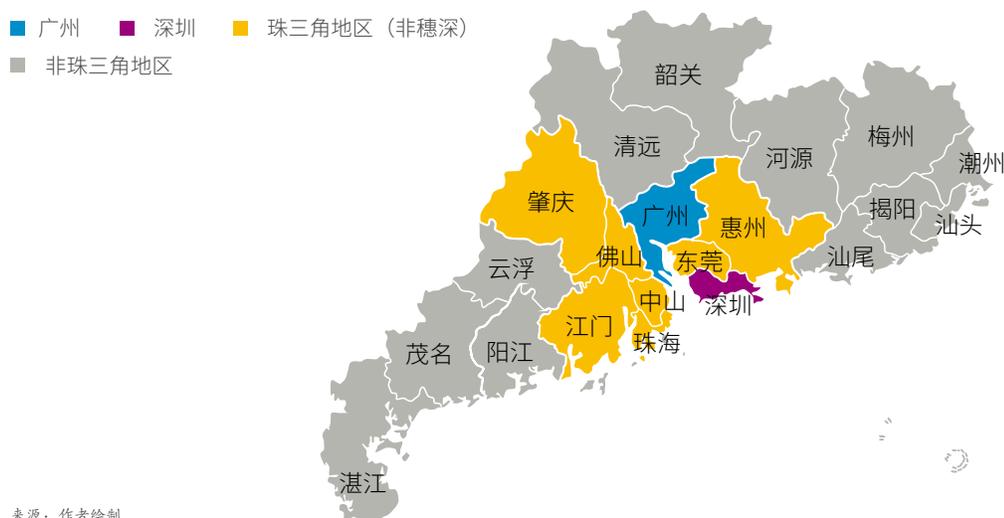
考虑到广东省内不同区域经济发展的异质性和道路交通减排路径的差异, 本研究将广东省分为广州、深圳、珠三角地区(非穗深)、非珠三角地区(粤东、粤西和粤北)四个区域(见图2), 开展道路交通减排潜力研究, 其中:

深圳和广州的经济发展水平最高——2020年人均GDP分别为15.7万元和13.4万元——且产业结构以第三产业为主²(广东省统计局 2021)。广州和深圳在交通低碳发展等方面“一马当先”, 城市轨道交通已经成网, 出台了小客车限购政策, 并在新能源汽车推广与替代方面领先全国大多数城市, 有望在广东省道路交通领域实现率先达峰。

珠三角地区(非穗深)——共计7个城市, 经济发展水平高——2020年人均GDP为8.8万元(广东省统计局 2021)。对比广州、深圳, 一些珠三角城市(如佛山、东莞和惠州)的经济结构仍以工业为主³。此外, 这些城市2020年千人汽车保有量处于较高水平, 如东莞为325辆、珠海为309辆、佛山为306辆(广东省统计局 2021)。这些城市在交通低碳发展方面(包括城市轨道交通建设、新能源汽车推广与替代)不及广州、深圳, 未来道路交通碳排放增长势头较强。

非珠三角地区——包括粤东、粤西和粤北, 共计12个城市, 覆盖了广东省38%的人口, 经济发展水平相当(2020年人均GDP标准差为6000元)且人均GDP(4.4万元)低于全国平均水平(国家统计局 2021)。所以, 广东省未来道路交通低碳转型尤为需要兼顾非珠三角地区发展的公平性。

图 2 | 广东省21个地级市与本研究地理范围



来源: 作者绘制。

2.2 碳排放核算方法

由于本文目标为核算广东省及省内不同区域交通碳排放现状，预测其排放量及各措施的减排潜力，因此，“自下而上”的保有量法与本文目标更相符。对跨边界出行碳排放按归属地划分，本文采用“居民活动”法，即根据车辆籍所在地计算广东省及四个区域的道路交通碳排放，不包括异地车辆在广东省及四个区域产生的道路交通碳排放。

本研究指的道路交通碳排放包括车辆使用周期的“直接”碳排放与上游发电与制氢过程的“间接”碳排放：

- 车辆使用周期的“直接”碳排放包括化石燃料燃烧排放，但不含润滑油燃烧排放、柴油车尾气净化排放等其他碳排放。计算公式如下：

$$E_k = \sum P_{ijk} \times \frac{VK T_{ijk}}{100} \times U_{ijk} \times EF_k \quad (\text{公式1})$$

其中， i 、 j 、 k 分别为汽车车型、注册时间、能源种类； P 为汽车保有量，单位：辆； VKT 为汽车年均行驶里程数，单位：千米； U 为汽车的燃油经济性，单位：千克/100千米； EF 为不同燃料类型燃烧时的碳排放因子。

- 上游发电和制氢过程的“间接”碳排放由发电结构与氢气供给结构决定，计算公式如下：

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

k 为车型与燃料类型； E 为道路的上游发电、制氢过程产生的二氧化碳排放量，单位：千克； F 为上游能源消费量，单位：千克； EF 为上游发电、制氢过程的碳排放因子。

值得注意的是，为简化模型，本研究仅关注道路交通领域，电力与制氢部门减排为模型外生值，即不考虑新能源汽车推广对上游发电、制氢过程碳排放因子的影响。

上述公式中，2015—2020年活动水平数据主要来自广东省统计局（2021）（保有量、车队结构）、中国汽车技术研究中心有限公司（2021a）（百公里能耗）及薛露露等（2019）（分车型年行驶里程）。各类交通燃料（如汽油、柴油）的碳排放因子来自《省级温室气体清单编制指南（试行）》（国家发展改革委2011），而2020年上游发电和制氢过程的碳排放因子是项目组根据广东省发电结构（广东电力交易中心2022；中国电力统计年鉴委员会2022）与制氢结构（谢鹏程等2022），通过GREET 2.0模型（ANL 2014）计算得到。

各项减排措施通过影响公式1和公式2的各项参数施加影响。其中，新能源汽车推广与替代以及新车燃油经济性提升措施主要对新车及淘汰的车辆施加影响。汽车保有量、每年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辆更替过程，由新注册车辆和存活曲线（林晓芳等2019）可以得到分车型、分排放标准 and 分技术的保有量（见公式3），并模拟2020—2060年每年新增和淘汰的车辆情况。

$$P_{i,k,n} = S_{k,n-i} \times \varphi_{i,k}(n) \\ P_n = \sum_k \sum_i P_{i,k,n} \quad (\text{公式3})$$

其中， n 为年份； i 为车龄； k 为车型。 $P_{i,k,n}$ 为车型 k 第 n 年、车龄为 i 的保有量，即一个车队的车龄分布，单位：辆； P_n 为第 n 年汽车保有量； $S_{k,n-i}$ 为第 $n-i$ 年车型 k 的新车注册量（或新车销售量）； $\varphi_{i,k}(n)$ 为第 n 年 k 车型、车龄为 i 的车辆的存活概率。

运输结构调整措施主要对车辆保有量及年行驶里程施加影响。由于广东省货运运输结构中包含国际远洋货运，难以剔除，这里主要参考文献经验值对车辆保有量与年行驶里程进行调整。

专栏 1 | 污染物排放核算

为分析各项碳减排措施的污染物协同减排效应，本文也对主要空气污染物（包括一氧化碳、氮氧化物、碳氢化合物和细颗粒物）进行核算与预测。

在核算方法上，本文依据《道路机动车大气污染物排放清单编制技术指南（试行）》中的方法，测算基准年的机动车尾气排放，未包括蒸发排放。由于交通相关的空气污染物产生的健康影响主要集中在车辆尾气排放环节，因此本研究范围仅涉及尾气端的污染物排放。机动车尾气污染物排放量计算公式如下所示：

$$E_p = \sum P_{ijk} \times VK T_{ijk} \times EF_{ijkp} \quad (\text{公式4})$$

其中， p 、 i 、 j 、 k 分别为污染物种类、车型、排放标准、能源种类； E 为污染物排放量，单位：千克； P 为汽车保有量，单位：辆； VKT 为汽车年均行驶里程数，单位：千米； EF 为污染物排放因子，单位：千克/千米。



第三章

广东省道路交通运输发展现状与区域差异

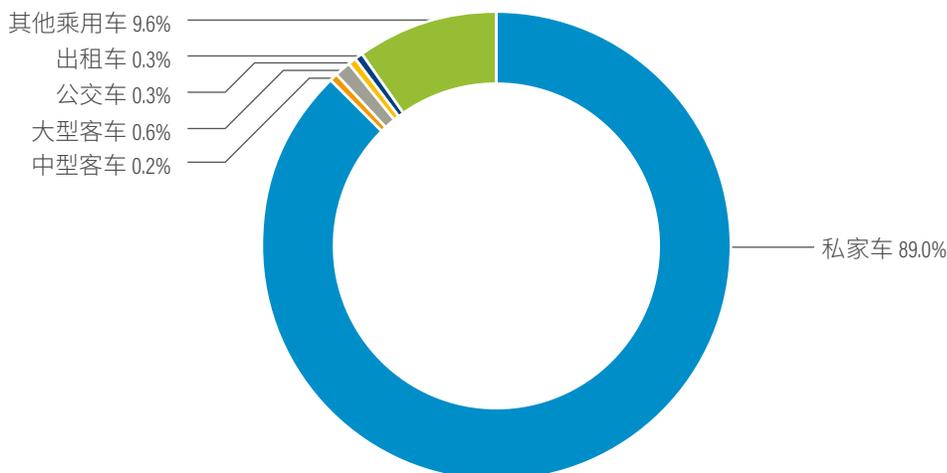
3.1 广东省道路交通车辆结构与区域差异

3.1.1 客车保有量、结构与区域差异

2020年，广东省载客汽车保有量为2232万辆，在全国31个省份（未包括香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾省，下同）中排名第一（国家统计局 2021）。其中，广东省的私家车保有量达1986.4万辆，占载客汽车保有量的89.0%（见图3）；其次是其他乘用车（含网约车、公务用车及企业用车），保有量为214.3万辆，占比9.6%；最后为大型客车（0.6%）、出租车（0.3%）、公交车（0.3%）和中型客车（0.2%）（广东省统计局 2021）。

虽然2020年广东省载客汽车保有量在全国排名第一，但其车辆渗透率（以千人载客汽车保有量表示）仍处于较低水平（见表4）。2020年广东省千人载客汽车保有量为176.8辆，低于浙江省⁴、山东省与江苏省（国家统计局 2021）。广东省千人载客汽车保有量较发达省份仍较低的原因是省内发展不均衡以及重点城市（如广州、深圳）出台了小客车限购政策（见本节后续分析）。

图 3 | 2020年广东省载客汽车保有量占比



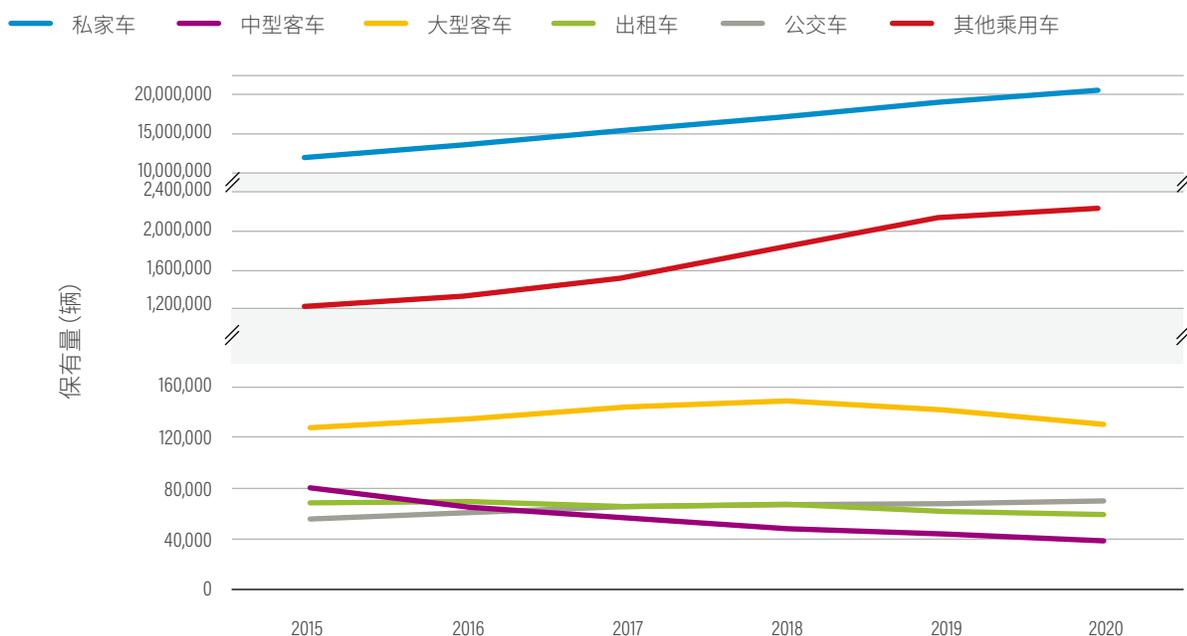
来源：广东省统计局（2021）。

表 4 | 全国2020年载客汽车保有量前五名省份的千人保有量情况

2020年载客汽车保有量全国排名	省份	载客汽车保有量 (万辆)	千人载客汽车保有量 (辆)	千人私人小型和微型客车保有量 (辆)
1	广东省	2231.96	176.8	162.0
2	山东省	2230.50	219.4	205.0
3	江苏省	1887.90	222.7	197.6
4	浙江省	1650.96	255.3	225.8
5	河南省	1553.96	156.3	148.7

来源：国家统计局（2021）。

图 4 | 广东省道路客运车辆分车型保有量变化



来源：广东省统计局（2021）。

从2015—2020年变化趋势来看，广东省载客汽车保有量持续增加，其中私家车、网约车、公务用车及企业用车保有量上升趋势明显（见图4）（广东省统计局 2021）。私家车年均增长率为11.6%，与全国私家车的年均增速11.9%相当（国家统计局 2021）。相比之下，受公共交通优先政策的引导与新能源公交车推广政策的影响，公交车保有量略有上升；中型客车和出租车保有量呈小幅下降趋势。

分区域来看（见图5），珠三角地区（非穗深）和非珠三角地区是载客汽车主要集中地。2015—2020年间，珠三角地区（非穗深）和非珠三角地区载客汽车保有量占比不断上升，分别从42%和22%上升至46%和29%。受到小客车限购政策影响，广州、深圳载客汽车保有量占比不断下降，两个城市载客汽车保有量之和占比从2015年的36%降至2020年的25%（广东省统计局 2021）。

从私家车看,珠三角地区(非穗深)私家车保有量和渗透率在省内最高,非珠三角地区的增速最快(见表5),具体如下:

- 2020年,珠三角地区(非穗深)私家车保有量为909.8万辆,私家车渗透率在全省已处于较高水平——千人私家车保有量为229.9辆(广东省统计局 2021)。
- 虽然非珠三角地区的千人私家车保有量(124.5辆)低于广东省的平均水平,但非珠三角地区2015—2020年私家车保有量增速最快,年均增速为20.1%,超过珠三

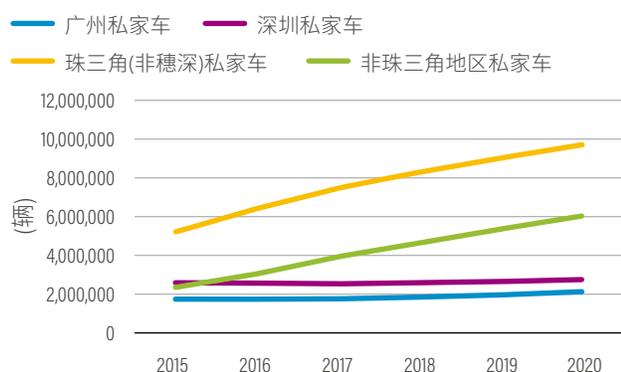
角地区(非穗深)的13.2%和和广东省的11.6%(广东省统计局 2021)。

- 由于实施了较严格的中小客车总量调控政策,广州市和深圳市的私家车渗透率较低,千人私家车保有量分别为114.6辆和153.7辆,且增速放缓,年均增长率分别为5.0%和1.1%(广东省统计局 2021)。

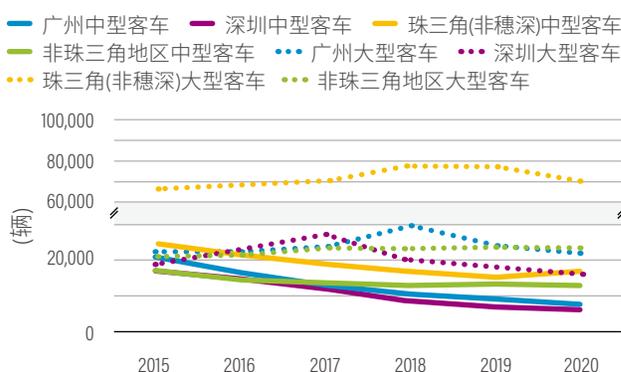
驱动未来广东省私家车保有量增长的省内区域,将集中在未实施任何限购政策的珠三角地区(非穗深)、非珠三角地区。

图 5 | 广东省分区域道路客运车辆分车型保有量变化情况

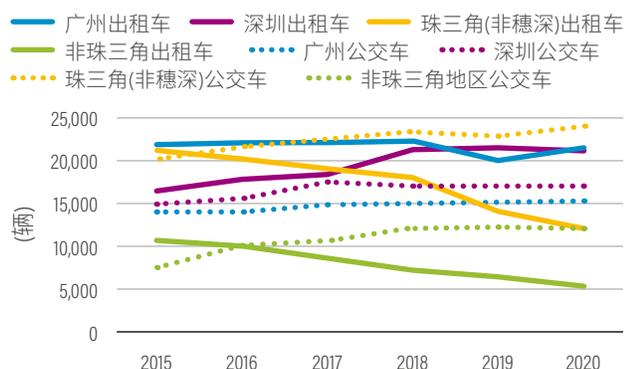
a. 私家车



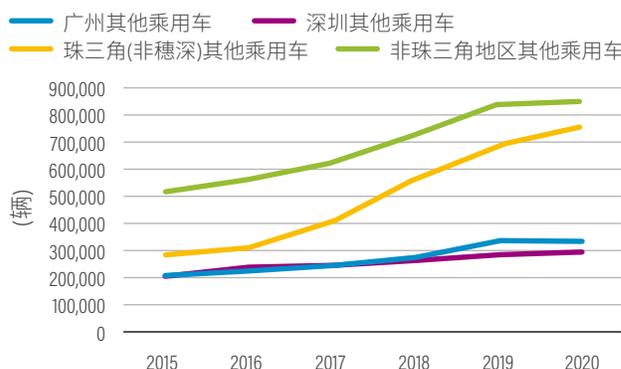
b. 中型客车



c. 出租车和公交车



d. 其他乘用车



来源: 广东省统计局(2021)。

表 5 | 2020年广东省各区域载客汽车保有量

	载客汽车保有量占比	私家车千人保有量(辆)	其他乘用车千人保有量(辆)	公交车千人保有量(辆)	出租车千人保有量(辆)
深圳	13.6%	153.7	16.7	1.0	1.2
广州	11.3%	114.6	17.9	0.8	1.1
珠三角地区(非穗深)	46.9%	229.9	18.0	0.6	0.3
非珠三角地区	28.2%	124.5	17.7	0.3	0.1
广东省	100%	162.0	17.7	0.5	0.5

来源: 广东省统计局(2021)。

3.1.2 货车保有量、结构与区域差异

2020年，广东省载货汽车保有量为259.5万辆，全国排名第二，略低于山东省（广东省统计局 2021）。

广东省载货汽车保有量中，轻型货车保有量最多（197.6万辆），占比高达76.1%（见图6），其次是重型货车（49.4万辆）和中型货车（10.8万辆），占载货汽车保有量的19.0%和4.2%（广东省统计局2021）。较之其他省份，广东省的载货汽车结构以轻型货车为主，重型货车保有量占比不高。从全国范围来看，广东省轻型货车和

中型货车保有量均在全国排名第一，但其重型货车保有量仅为山东省的一半、河北省的2/3（国家统计局 2021）（见表6）。

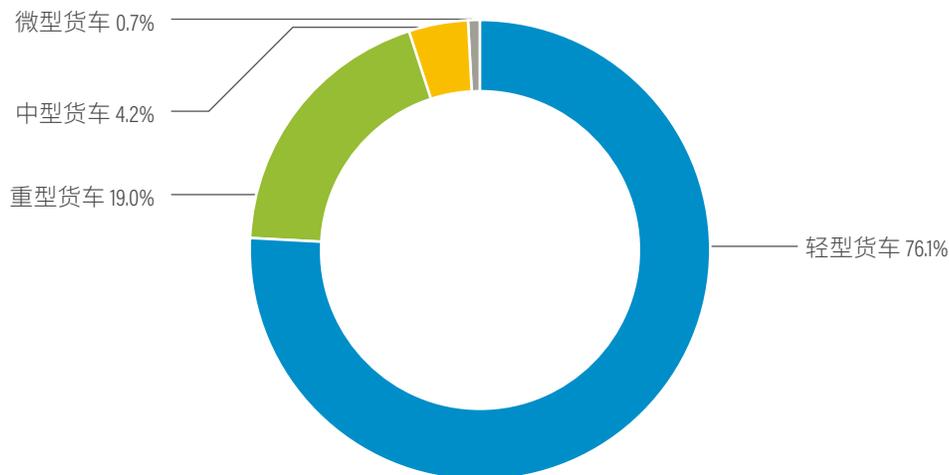
从广东省载货汽车保有量变化趋势看（见图7），2015—2020年间，广东省重型货车保有量增速较快，年均增速达13.4%，高于全国平均水平（9.7%）⁵，说明广东省长途货运需求增速可能在上升（国家统计局2021）。此外，虽然广东省轻型货车保有量位列全国第一，但年均增速仅为8.4%，略低于全国平均增速（8.8%），说明城市内配送需求的增速可能趋于放缓（国家统计局 2021）。

表 6 | 2020年全国各类型载货汽车保有量排名前五的省份

排名	省份	载货汽车保有量 (万辆)	排名	省份	轻型货车保有量 (万辆)	排名	省份	中型货车保有量 (万辆)	排名	省份	重型货车保有量 (万辆)
1	山东省	295.6	1	广东省	197.6 (76.1%)	1	江苏省	10.8 (7.7%)	1	山东省	95.8 (32.4%)
2	广东省	259.5	2	山东省	192.7 (65.2%)	2	广东省	10.8 (4.2%)	2	河北省	73.4 (32.3%)
3	河北省	227.4	3	河北省	150.5 (66.2%)	3	山东省	6.9 (2.3%)	3	河南省	59.9 (31.5%)
4	浙江省	161.4	4	浙江省	127.2 (78.8%)	4	四川省	5.7 (4.5%)	4	江苏省	56.7 (40.5%)
5	江苏省	140.0	5	河南省	127.1 (66.9%)	5	湖北省	5.5 (5.4%)	5	广东省	49.4 (19.0%)

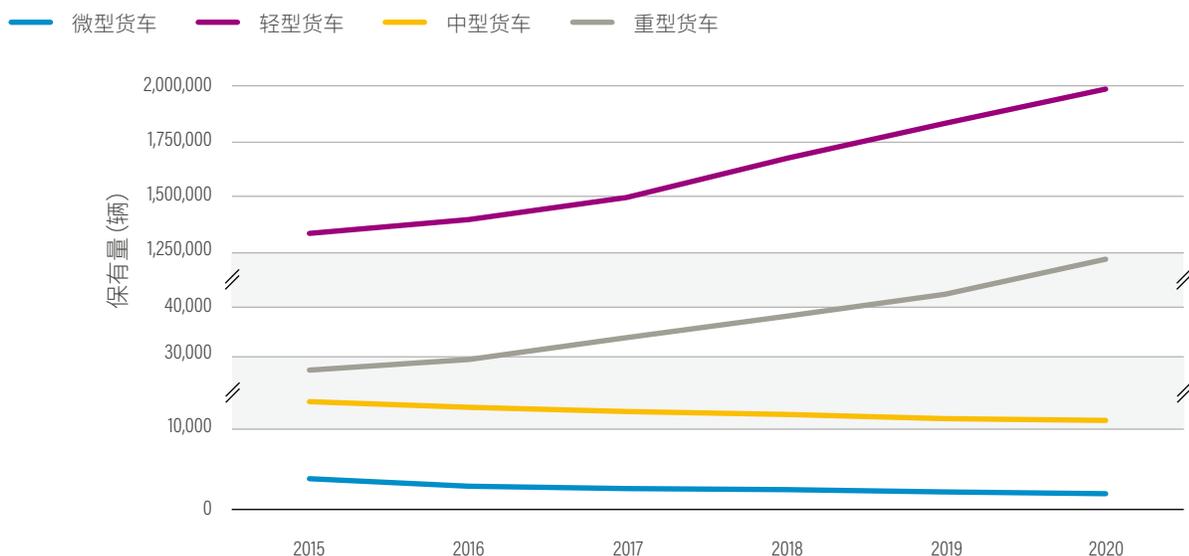
说明：括号中数值为该省份该类型载货汽车在该省份载货汽车总保有量中的占比。
来源：国家统计局（2021）。

图 6 | 2020年广东省载货汽车保有量占比



来源：广东省统计局（2021）。

图 7 | 广东省道路货运车辆保有量2015—2020年变化情况



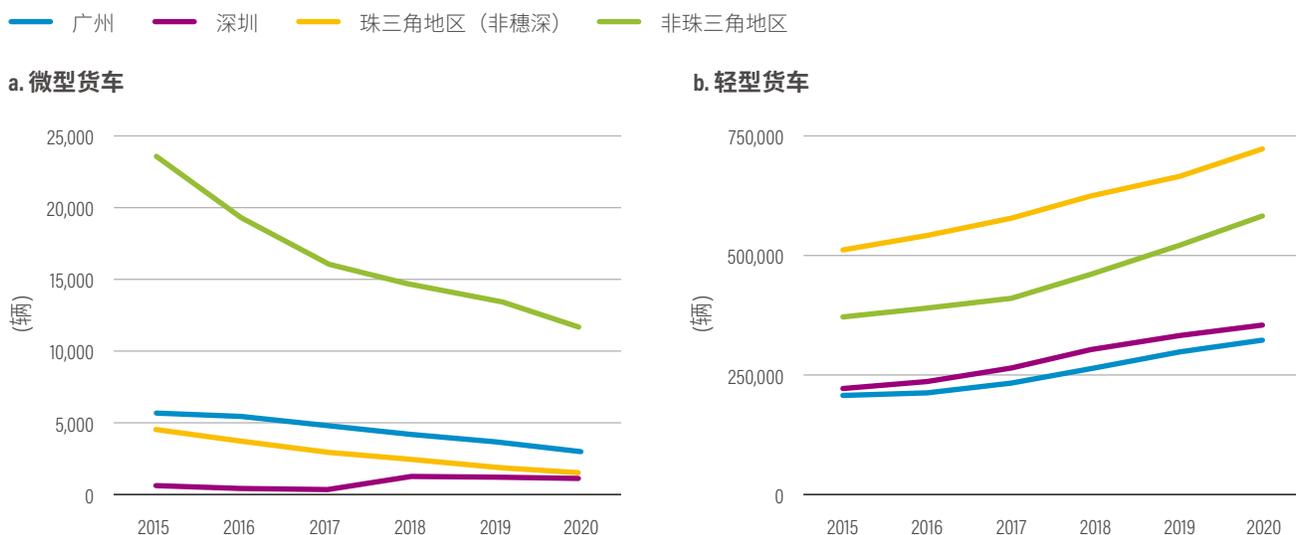
来源：广东省统计局（2021）。

从各区域情况看，广州、深圳是广东省载货汽车主要的注册地。2020年两个城市载货汽车保有量之和占广东省总保有量的34%（广东省统计局，2021）（见图8和表7）。其中：

- 轻型货车中：广州、深圳轻型货车保有量最大，二者之和占广东省轻型货车保有量的34%。珠三角地区（非穗深）的佛山、东莞和中山三个城市轻型货车保有量之和次之，占比为24%（广东省统计局 2021）。

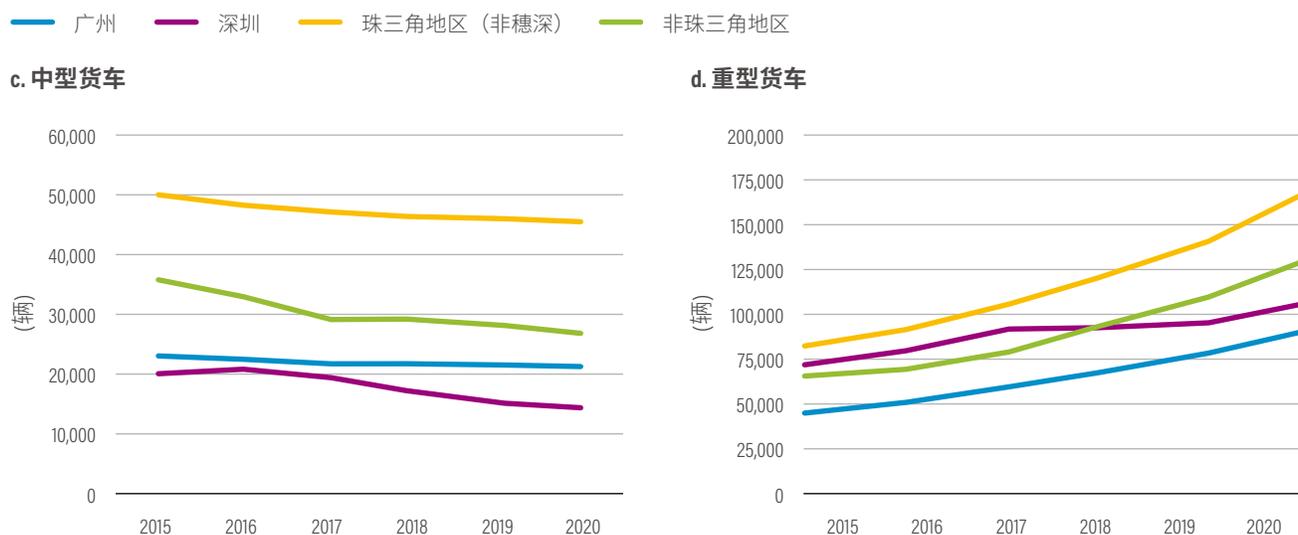
- 重型货车中：由于较高的货运需求（如广州港和深圳港的疏港需求），广州、深圳重型货车保有量最大，其2020年重型货车保有量之和约占广东省重型货车保有量的40%。珠三角地区（非穗深）的佛山和东莞次之，两个城市重型货车保有量之和占珠三角地区（非穗深）七个城市的51%，广东省的17%。非珠三角地区城市数量多，重型货车保有量也较高，占广东省的36%（广东省统计局 2021）。

图 8 | 广东省分区域载货汽车保有量 (2015—2020年)



来源：广东省统计局（2021）。

图 8 | 广东省分区域载货汽车保有量(2015—2020年) (续)



来源：广东省统计局（2021）。

表 7 | 2020年广东省各区域载货汽车保有量分布

	载货汽车保有量占比	微型货车保有量占比	轻型货车保有量占比	中型货车保有量占比	重型货车保有量占比
深圳	18.2%	71%	17.8%	13.3%	21.4%
广州	16.8%	17.4%	16.3%	19.4%	18.3%
珠三角地区（非穗深）	36.2%	8.6%	36.6%	42.4%	34.0%
非珠三角地区	28.8%	66.9%	29.3%	24.9%	26.3%
广东省	100%	100%	100%	100%	100%

来源：广东省统计局（2021）。

3.2 广东省道路交通运输结构

3.2.1 客运结构与区域差异

广东省不同区域的出行结构差异较大（见表8），有必要因地制宜制定城市出行结构优化措施：

广州、深圳：得益于大规模城市轨道交通建设、绿色出行优先政策以及严格的小客车限购措施（深圳交通运输局 2021；广州市规划和自然资源局 2022），广州、深圳绿色出行分担率处于较高水平，均在75%以上，与清华大学气候变化与可持续发展研究院（2020）预测的中国城市中长期绿

色出行分担率（75%~85%）相差不大，说明城市出行结构良好。虽然广州、深圳公共汽电车客运量呈现明显下降趋势（见图9），但城市轨道交通客运量高速增长，尤其是深圳，四年几乎翻一番。同时，由于实施了小客车限购政策，两个城市私家车千人保有量增长缓慢（见图10）。

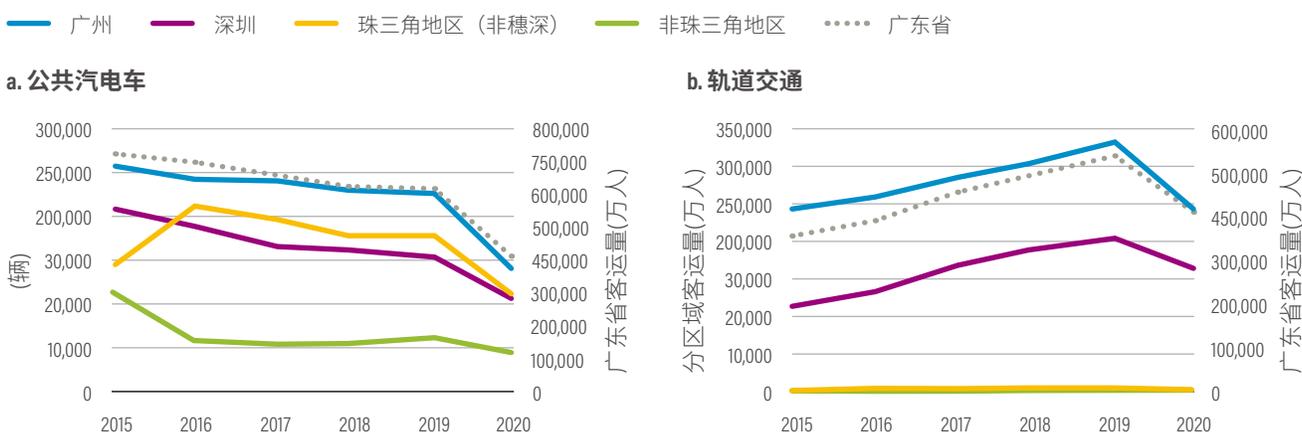
珠三角地区（非穗深）：由于珠三角地区（非穗深）城市轨道交通网络尚处于起步阶段，加之无任何小客车限购政策，其城市出行结构正快速向私家车转移。以佛山为例，2020年佛山绿色出行分担率仅为53%，公共交通占机动化出行比例也远低于50%，说明佛山以小汽车出行为主，公交与慢行出行比例都较低。

表 8 | 广东省不同区域的出行结构

	绿色出行分担率	公共交通占机动化出行比例
深圳（2020）	77%	63%（高峰期机动化分担率）
广州（2021）	78%（中心城区）	61%
珠三角地区：佛山（2020）	53%	13%（城区目标28%）
非珠三角地区：汕尾（2020）	75%	24%

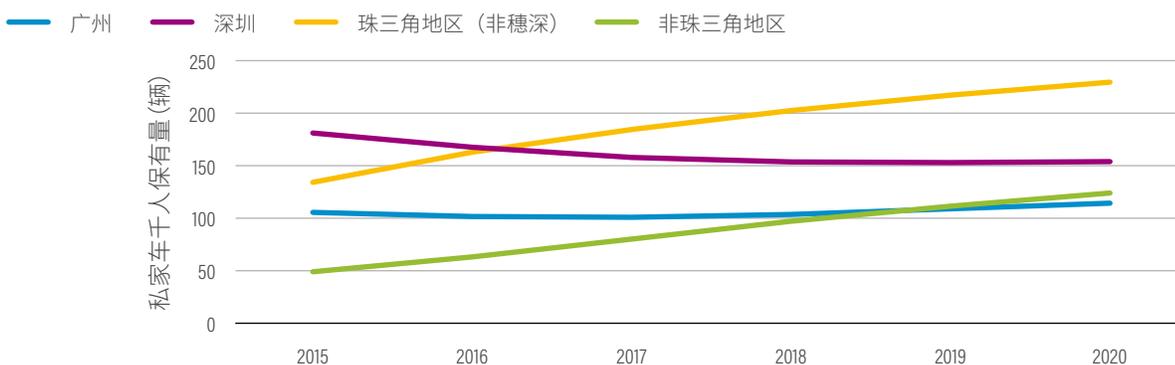
来源：中国交通新闻网（2021）、广州市规划和自然资源局（2022）、深圳市城市交通规划设计研究中心（日期未知）、汕尾市交通运输局（2021）。

图 9 | 广东省分区域的公共汽电车和轨道交通客运量年变化统计



来源：广东省统计局（2021）。

图 10 | 广东省分区域的私家车千人保有量年变化统计



来源：广东省统计局（2021）。

非珠三角：非珠三角城市出行分担率仍以绿色出行为主，但小汽车在机动化出行占比中有所抬头。以汕尾为例，2020年汕尾绿色出行分担率达75%，但公共交通占机动化出行比例仅有24%，说明汕尾城市出行以慢行出行为主，机动化出行仍以小汽车为主。

综上，广州、深圳城市出行结构较为优化；相比之下，珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区城市出行结构优化措施较薄弱，绿色出行正向私家车出行转移——这也给广东省道路交通领域碳达峰目标带来了挑战。

3.2.2 货运运输结构

2020年广东省全社会货运周转量为27211亿吨公里，仅次于上海，位列全国第二（国家统计局 2021）。

广东省的全社会货运周转量主要由水运贡献：基于周转量的货运运输结构上，广东省水运货运周转量占全社会货运周转量的比例高达90%。其主要原因如下：一是广东省大型港口多（包括广州港、深圳港、东莞港和珠海港等亿吨级港口），且统计数据中未剔除（国际）远洋运输周转量。二是“十三五”期间，广东省加大“公转水”力度，新增内河高等级航道483千米，“3000吨级船舶可从广州港、深圳港、珠海高栏港等直达广西境内，1000吨级船舶可从佛山三水直达韶关市区”（南方网 2021）。按2020年国家层面远洋运输在水运周转量中占比为85%计算，远洋运输在广东省货运结构中的贡献更大，内河与沿海水运在全社会货运周转量中的占比约为22%（国家统计局 2021）。为更好地支撑广东省的国内货运运输结构调整政策制定，建议未来进行货运周转量统计时，区分国内与国际周转量（及能耗）。

相比水运周转量，广东省铁路货运在运输结构中占比微乎其微，仅有1%（见图11）。广东省铁路周转量绝对量也较低——2020年为282亿吨公里，在全国31个省份中排名第24位（国家统计局 2021）。此外，广东省铁路多式联运发展仍然滞后。2020年底，集装箱铁水联运量占比不足1%（广东省统计局 2021），低于全国2016年5.4%的铁路集装箱多式联运比例（傅志寰等 2019）。这说明，

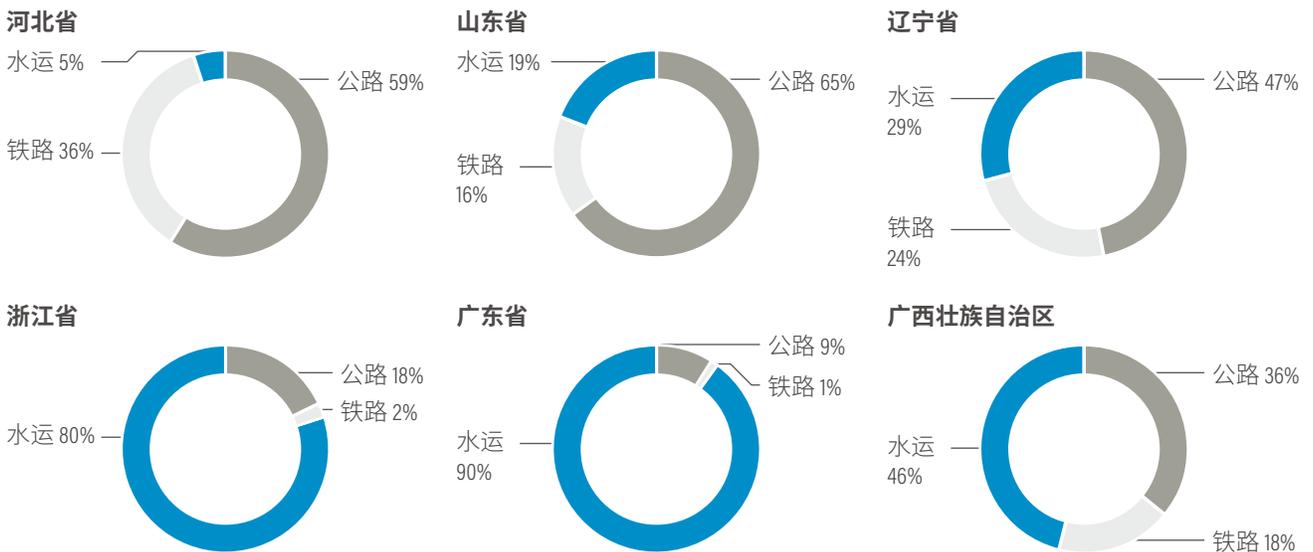
虽然“十三五”期间广东省在“公转水”方面取得显著进展，但“铁路货运在广东省综合运输体系中作用发挥不足”（广东省交通运输厅 2021）。

从变化趋势上看，广东省“十三五”期间全社会货运周转量增速快，“公转水”成效显著。2015—2020年广东省全社会货运周转量年均增速高达13%，远高于全国平均水平（3%）。这一增长主要由水运助推：去除统计口径变化的影响后，广东省水运货运周转量年均增速为16%，远高于全国平均增速（3%）。水运在广东省全社会货运周转量中的占比从2015年的77%增长到2020年的85%（国家统计局 2021）。

在同样去除统计口径变化的影响后，广东省2015—2020年公路货运周转量年增速达到约6%。由于水运货运周转量的快速增加，公路货运周转量在全社会货运周转量中的占比从2015年的21%下降到2020年的14%（广东省统计局 2021）。

尽管如此，铁路货运仍是广东省货运的薄弱环节，由于“铁路运价优势不如水运，大型港口与工厂货运铁路专线缺乏，智能化水平不高”，以及内陆省份货源尚未挖掘等因素（广东省交通运输厅 2022），2015—2020年间铁路运输在货运运输结构中的占比下降了1%（广东省统计局 2021）。特别是在深圳港、广州港，2020年港口集装箱铁水联运量占吞吐量的比例仅为0.68%、0.48%，不仅远低于国际港口20%~40%的先进水平，也低于国内港口平均水平，集装箱铁水联运仍有较大的提升空间（作者访谈 2022a）。因此，未来广东省仍有待在“公转铁”上发力。

图 11 | 2020年国内部分沿海省份的运输结构(周转量)对比



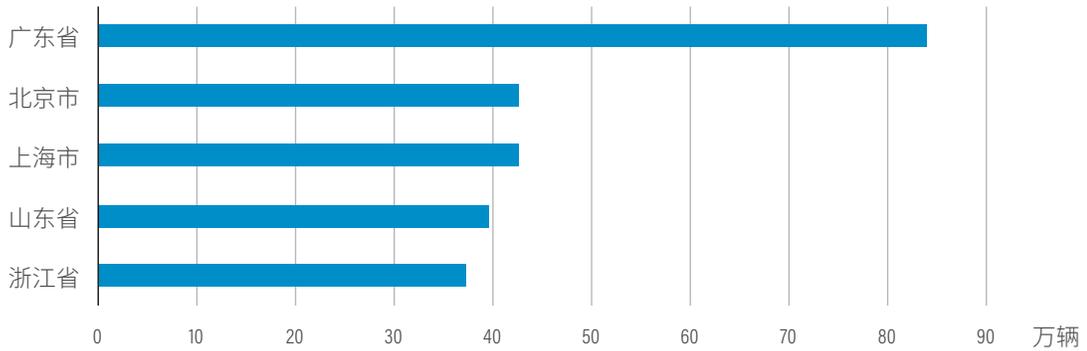
说明：水运含远洋运输。
来源：国家统计局（2021）。

3.3 广东省新能源汽车推广及区域差异

近年来，得益于大力发展新能源汽车产业与新能源汽车推广应用政策，广东省在新能源汽车推广上一直保持全国领先的地位（见图12）。从细分车型看，2020年底，广东省拥有全国数量最多的新能源公交车、新能源轻型货车、新能源中重型货车（见图13）。同时，广东省也是全国氢燃料汽车保有量最多的省份（作者访谈 2022b）。

从区域分布上看，广东省新能源汽车保有量区域分布不均现象明显，主要集中在广州、深圳两个城市。2020年底，广州、深圳新能源汽车保有量占广东省新能源汽车保有量的81%，珠三角地区（非穗深）占比为15%左右，而非珠三角地区占比仅为4%。由此可见，广东省汽车保有量占比大的区域——珠三角地区（非穗深）（46%）和非珠三角地区（28%），新能源汽车保有量有限，仍需发力。

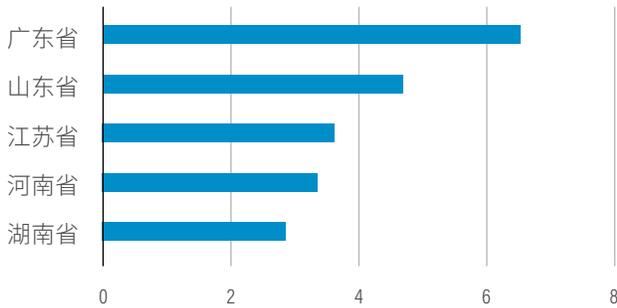
图 12 | 2020年全国新能源汽车保有量前五名的省份



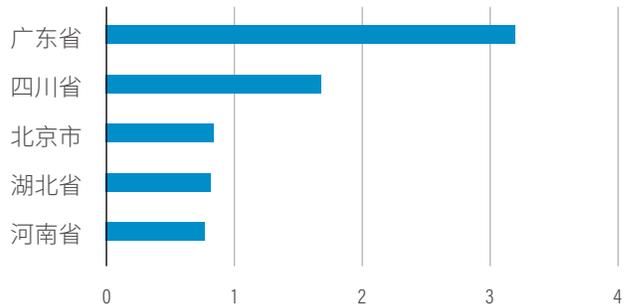
来源：作者访谈（2022b）。

图 13 | 2020年全国新能源商用车(分车型)保有量前五名的省份

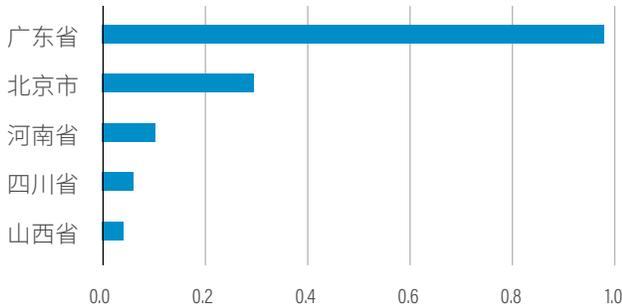
新能源公交车保有量(万辆)



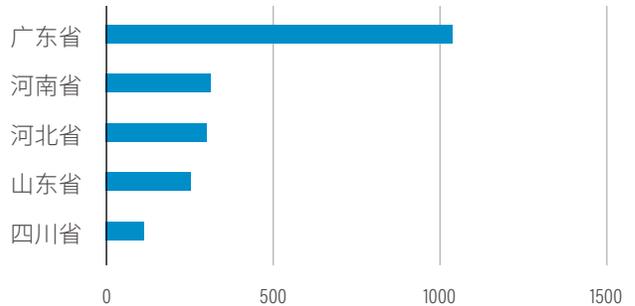
新能源轻型货车保有量(万辆)



新能源中重型货车保有量(万辆)



氢燃料汽车保有量(辆)



来源：作者访谈（2022b）。

从推广情况上看，2020年底广东省不同车型的新能源汽车推广与替代大致情况如下（见表9）：

- 广东省新能源公交车推广情况最为突出，无论广州、深圳，还是非珠三角地区，新能源公交车保有量占比均已高达85%以上。
- 广东省新能源出租车推广数量也可观，广州、深圳和珠三角地区（非穗深）新能源出租车保有量中占比超过50%，而非珠三角地区新能源出租车推广仍有待发力。

- 在载货汽车方面，新能源汽车推广与替代主要体现在轻型货车上，特别是2020年，深圳和广州纯电动轻型货车推广数量均位居全国前三位；佛山的氢燃料货车保有量位居全国前三位（作者访谈 2022b）。虽然广东省的新能源中重型货车仍处在规模化推广的早期，但深圳已率先在一些场景中推广新能源中重型货车。

以下通过2014—2020年新能源汽车保有量历史变化趋势，分析广东省新能源公交车、新能源出租车、新能源私家车、新能源轻型货车和新能源重型货车的推广情况。

图 14 | 2020年广东省分区域汽车保有量与新能源汽车保有量分布

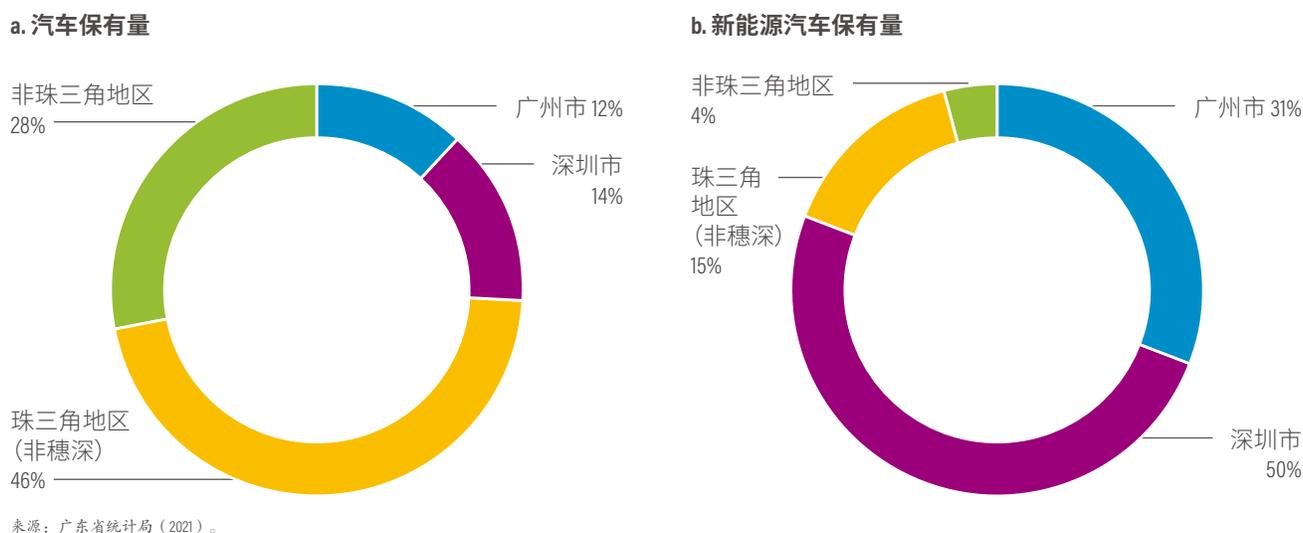


表 9 | 截至2020年底广东省各区域新能源汽车保有量及占比统计

区域	新能源汽车保有量（万辆）	私家车	公交车	出租车	轻型货车	中型货车	重型货车
深圳	43.3	11.1%	100.0%	100.0%	22.7%	48.7%	5.7%
广州	26.7	10.0%	100.0%	65.5%	6.8%	/	/
珠三角地区（非穗深）	10.2	0.6%	100.0%	50.1%	1.7%	/	/
非珠三角地区	2.4	0.2%	87.6%	18.4%	0.2%	/	/
广东省	82.6	2.9%	97.8%	71.3%	5.6%	/	/

说明：部分数据来源于官方统计数据，包括广东省能源局（2022）；其余数据来源于第三方统计数据，如节能与新能源汽车年鉴、作者访谈（2022b）等。

3.3.1 新能源公交车和新能源出租车推广及区域差异

广东省的新能源公交车与新能源出租车推广是从深圳开始的：基于以公共服务领域为突破口，起到示范应用和示范推广作用的考虑，深圳市出台了一系列补贴措施，如《深圳市新能源公交车示范推广期运营补贴办法》（深财规〔2016〕3号）、《深圳市新能源公交车示范推广期运营补贴办法》（深财规〔2017〕7号）、《深圳市2015—2019年城市公交车成品油价格补助及新能源运营补助办法（试行）》（深交规〔2017〕7号）、《深圳市纯电动巡游出租车超额减排奖励试点实施方案（2017—2018年度）》（深交规〔2017〕8号）等政策的出台，通过购置补贴、运营补贴、充电设施建设补贴、动力蓄电池回收补贴等措施，快速促进深圳市新能源公交车和新能源出租车数量的增长。2017年，深圳实现全市1.63万辆

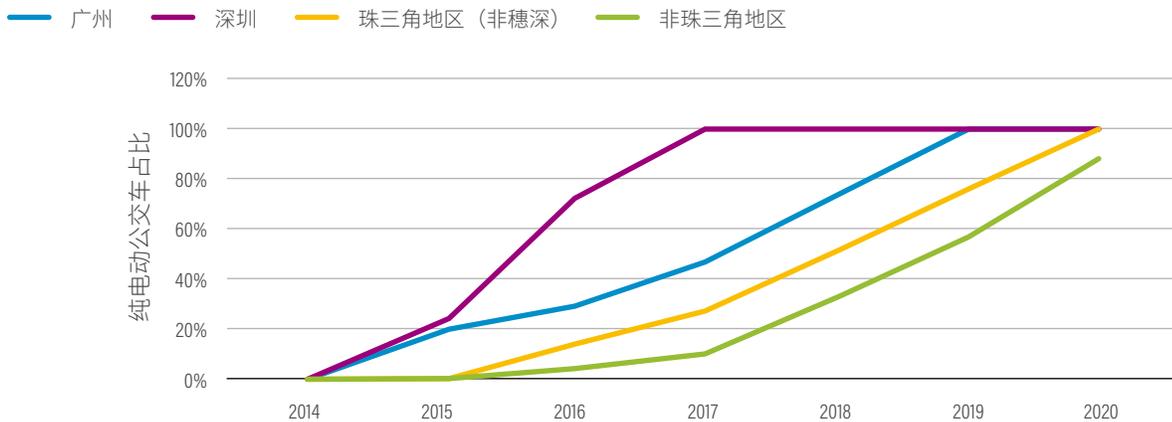
公交车全面电动化；2018年，深圳实现全市出租车全面电动化；2020年，深圳更是实现了网约车大规模纯电动化。

与此同时，深圳也带动了广州及珠三角地区（非穗深）的新能源公交车和新能源出租车推广：

广州、珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区城市在2017年也都进入了新能源公交车快速增长的轨道（见图15），广州在2019年基本实现100%公交车保有量为新能源公交车，珠三角地区（非穗深）在2020年基本实现100%公交车保有量为新能源公交车，非珠三角地区在2020年也达到87.6%的新能源公交车占比。

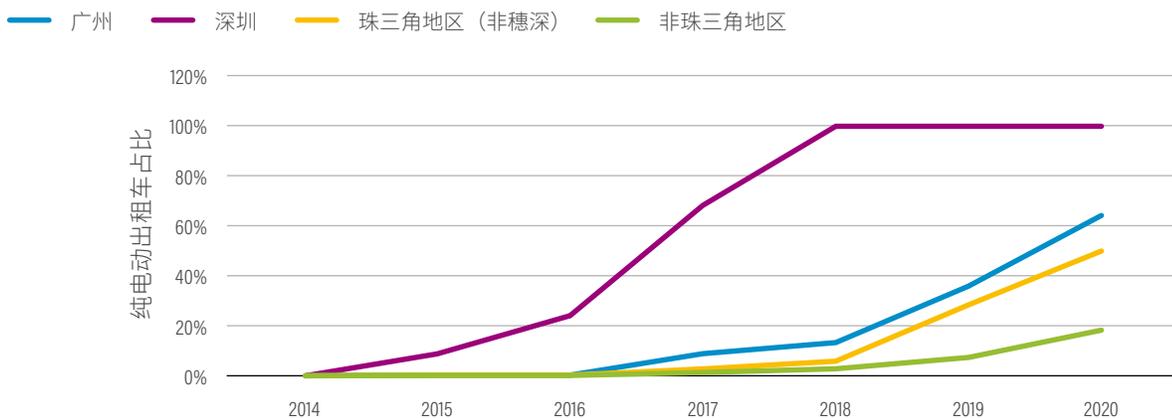
到2020年底，广州和珠三角地区（非穗深）出租车保有量中，纯电动出租车占比分别达到65%、50%左右，但非珠三角地区城市还有待提升（见图16）。

图 15 | 2014—2020年广东省纯电动公交车保有量发展情况统计



来源：广东省能源局（2022）、节能与新能源汽车年鉴、作者访谈（2022b）等。

图 16 | 2014—2020年广东省纯电动出租车保有量发展情况统计



来源：广东省能源局（2022）、节能与新能源汽车年鉴、作者访谈（2022b）等。

3.3.2 新能源私家车推广及区域差异

目前，广东省新能源私家车的推广主要集中在广州、深圳：截至2020年底，广州、深圳新能源私家车保有量占比约为10%。虽然珠三角地区（非穗深）与非珠三角地区城市新能源私家车也在增长，但与广州、深圳两市相比，新能源私家车保有量差异较大。截至2020年底，珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区城市的新能源私家车保有量占比均不到1%。

这一区域不均衡不仅是由于不同区域对新能源车的成本敏感性不一（Huang等 2018），也是由于限购政策严格、经济激励有限、新能源车基础设施配套不足等原因所致：

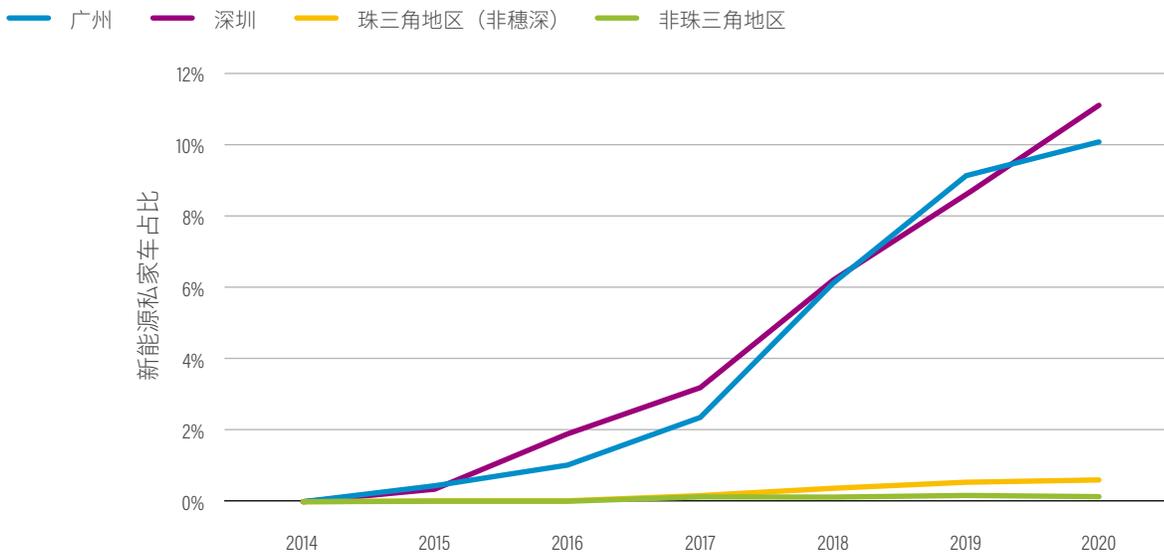
- 广州、深圳及早出台限购政策与新能源汽车推广与替代综合措施：两个城市实施了小客车限购政策（见表10），但不包括新能源私家车，因此，刺激了新能源私家车的增长。此外，两个城市也提供了地方购车补贴，并大力发展充（换）电网络建设（见表11）。
- 珠三角地区（非穗深）出台地方购车补贴等政策：虽然没有小客车限购措施，但作为广东省汽车工业集聚区之一，珠三角地区（非穗深）也积极出台新能源汽车地方购置补贴政策（见表11）。然而，由于缺乏充电基础设施配套，在2020年前，新能源私家车推广数量有限。

- 非珠三角地区缺乏系统政策支持：非珠三角地区城市政府财力有限，除在公共领域进行新能源汽车推广与替代外，较难提供与珠三角地区（非穗深）相当的市、区、县级购车与充电基础设施补贴，因此，新能源私家车推广仍处于初期阶段（见表11）。

除地市补贴外，广东省级财政每年也按照“锁定预算、总额控制”的原则提供省级补贴资金，覆盖购车综合补助及充（换）电基础设施补助（广东省财政厅 2015）。省级补贴根据地方财政、产业发展情况等在各城市进行分配。由于珠三角地区（非穗深）的经济发达城市（江门和肇庆除外）原则上不给予省级补贴资金，因此，绝大部分补贴资金向非珠三角地区城市倾斜。但广东省每年提供的新能源汽车补贴资金体量有限——2017年、2018年分别为8739万元、1.1亿元专项资金，低于北京市同期新能源小客车16.4亿元和13.8亿元的地方财政补助（北京产权交易所 2022）。

由于广东省私家车保有量及增长主要集中于珠三角地区（非穗深）和非珠三角地区（两地载客汽车保有量在广东省占比达75%，见第3.1.1节），所以，完善珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区城市的新能源私家车推广政策，加速新能源私家车在这些区域的推广与应用，对广东道路交通领域减排至关重要。

图 17 | 2014—2020年广东省新能源私家车保有量发展情况统计



来源：广东省能源局（2022）、节能与新能源汽车年鉴、作者访谈（2022b）等。

表 10 | 广州、深圳的小客车限购政策

		广州	深圳
小客车总量控制政策	启动时间	2012年	2015年
	传统燃油车	摇号与竞价方式配置指标： · 2012—2021年为每年12万个 · 2022年提升至每年20万个 (含9.2万个混合动力汽车指标)	摇号与竞价方式配置指标： · 2015—2017年为每年10万个 · 2018年降低到每年8万个 · 2022年提升至每年10万个
	新能源车	直接申领指标	2015—2018年：每年摇号配置2万个指标 2019年及以后：无额度限制

来源：深圳市交通运输局（2015）、原深圳市交通运输委员会（2019）、广州市人民政府（2012、2019）。

表 11 | 广东省各区域新能源私家车推广政策

区域	地方补贴额度	充电基础设施配建要求与补贴
深圳	<ul style="list-style-type: none"> · 2009—2012年：入选国家私人购买新能源汽车补贴试点城市，私人购买纯电动乘用车最高补贴6万元 · 2013—2017年：按照国家补贴标准，给予1:1配套地方补贴 · 2018—2019年：按照国家补贴标准，给予1:0.5配套地方补贴 · 2019年：地方补贴全面退出 · 2020年：因疫情出台促消费补贴，额度为每辆车1万~2万元不等 	<p>2018年12月31日前，在全市住宅区新建充电桩5000套以上</p> <p>2020年规划新能源汽车与充电桩比例为2:1</p> <p>新建办公楼等公共建筑建停车场和社会公共停车场，建设或预留安装充电设施接口的车位数量不低于车位总数量的30%</p> <p>对直流充电设备按600元/kW进行补贴；对交流充电设备按300元/kW进行补贴</p>
广州	<ul style="list-style-type: none"> · 2013—2015年：按照国家补贴标准，给予1:1配套地方补贴 · 2016—2019年：按照国家补贴标准，给予1:0.5配套地方补贴 · 2019年：地方补贴全面退出 · 2020年：因疫情出台促消费补贴，额度为每辆车8000~10000元不等 	<p>2022年提供电动汽车充电基础设施建设补贴专项资金，申报的项目可获得15~600元/kW不等的资金补贴</p>
珠三角地区（非穗深）	<ul style="list-style-type: none"> · 佛山：2014年按照国家补贴标准，给予1:1配套地方补贴；2016年起分别按照国家补贴标准的100%和50%给予燃料电池汽车和其余新能源车地方补贴 · 东莞：2017—2020年间，按照国家补贴1:0.5配套地方补贴；2019—2022年补贴退坡20% · 惠州：2013—2015年按照国家补贴标准，给予1:1配套地方补贴，并有推广补贴3.5万~6万元/辆 · 中山：2014—2015年，按照国家补贴1:1配套地方补贴 · 江门：2016年，按照国家补贴标准，给予1:1配套地方补贴；2017—2019年按照国家补贴标准的50%配套地方补贴；2019起不再进行地方补贴。对2018年起在市内注册登记的氢燃料电池汽车，根据燃料电池装机额定功率，按照国家补贴标准，给予1:1配套地方补贴 	<p>惠州：2016年规划到2020年全市充换电站达60座以上，充电桩达7200个以上，满足超过2万辆电动汽车的充（换）电服务</p> <p>东莞：2018年底前，建成公共机构充电设施1336处。2020年底，在全市构建适度超前、高效开放的充电基础设施服务体系。新建住宅小区停车位100%建设充电设施或预留充电设施安装接口</p> <p>中山：2018年建成竣工验收并投入使用的充电基础设施，按直流充电桩550元/kW、交流充电桩100元/kW予以补贴；2019—2020年按直流充电桩300元/kW、交流充电桩60元/kW予以补贴</p>
非珠三角地区	<ul style="list-style-type: none"> · 湛江市：2016—2019年间，按照国家补贴标准1:0.5配套地方补贴；2019—2020年退坡20%；2019年起全面退出新能源车地方购置补贴；2020年因疫情恢复补贴。2020—2022年补贴标准分别在上一年基础上退坡10%、20%、30% 	<p>云浮：2021年规划支出电动汽车充电基础设施专项资金337万元，补贴38家企业累计208万元，用于建造充电桩</p> <p>潮州：2019—2020年间补贴直流充电桩不超过300元/kW，交流充电桩不超过60元/kW。潮安区规划在2018年安装新能源汽车充电桩112个</p>

来源：广州市发展和改革委员会（2017）、云浮市发展和改革委员会（2022）、中山市发展和改革委员会（2018）、湛江市发展和改革委员会（2020）、广州市工业和信息化局（2022）、惠州市人民政府（2016）。

虽然中小城市消费者价格敏感度高，政府财政实力有限，但并不意味着中小城市无法引领新能源汽车发展。在国内，诸如柳州、菏泽等中小城市也有成功推广新能源私家车的经验。以柳州市为例，在综合措施的推动下，柳州市新能源乘用车市场占比增长迅速，从2017年的9.7%上升到2020年的28.8%（中国汽车技术研究中心有限公司 2021b）。根据国家新能源汽车大数据平台数据，2021年，柳州市的小型纯电动乘用车累计接入量位列全国所有城市第一位（新能源汽车国家大数据联盟 2021）。

柳州市是全国著名的汽车工业基地，作为不到400万人口的中型城市（柳州市统计局 2021），柳州发挥自身的汽车产业优势，通过全面且贴近市民生活的扶持政策和市场推动措施，促进了新能源私家车的推广与替代（中国汽车技术研究中心有限公司 2021b）。具体包括以下方面：

一是基于里程的电费补贴。根据2017年出台的《柳州市新能源汽车推广应用财政补贴资金管理实施细则》，柳州市对新能源乘用车提供三年电费补贴，按照里程拨付，每年最高1000元。

二是给予新能源汽车停车优惠，重点区域停车免费，商业停车位每天免费停车2小时。

三是大力发展新能源汽车充电网络。柳州市相关部门与车企合作，推出交流充电插座，可在无需电力扩容的前提下，实现充电网络的大规模扩展。截至2021年9月底，柳州市累计建成各类充电设施2.8万处、充电站点1330个（新能源汽车国家大数据联盟 2021）。

四是采取路权政策，2018年，柳州出台《关于在推广应用期进一步规范和加强柳州市新能源汽车道路交通管理的通告》，允许新能源私家车使用公交专用道，节省通勤时间。

五是柳州市政府与上汽通用五菱汽车股份有限公司合作，在居民小区、企事业单位（含超市）、主干道建立新能源汽车示范区，通过试驾等商业运营模式，提高消费者对新能源汽车的认识。

此外，柳州企业抓准市民需求，研发并生产宝骏系列车型，满足短距离（即次均里程小于10千米）市内通勤需求（新能源汽车国家大数据联盟 2021）。

3.3.3 新能源轻型货车推广及区域差异

自2016年起，深圳市新能源物流车（即用于城市物流配送的车辆，包括微型、轻型与中型货车）——特别是新能源轻型物流车，呈快速发展的态势。这不仅得益于深圳在全国率先出台的新能源物流车运营补贴政策，如《深圳市现代物流业发展专项资金管理办法》（原深圳市交通运输委员会 2018），也得益于深圳市针对新能源物流车的路权优惠政策，通过“绿色物流区”对燃油货车的限行政策以及全市新能源物流车路权优先政策，促进了新能源轻型物流车的推广应用。截至2020年底，深圳纯电动轻型货车保有量在全部轻型货车保有量中占比达22.7%（见图18）。根据《深圳市新能源汽车推广应用工作方案（2021—2025年）》，深圳市正“尽快实现轻型物流车和环卫车全面纯电动化”（深圳市发展和改革委员会 2021）。

自2018年起，广州新能源物流车也进入快速发展阶段。考虑到城市缓堵，广州新能源物流车推广力度不及深圳，未出台新能源物流车运营补贴政策，也未开放路权。但是，得益于广州自身城市配送特点，部分新能源物流微

面已展现出经济性（电车资源 2019），广州新能源物流车的数量得以迅速增长，截至2020年底，广州市纯电动轻型货车保有量在全部轻型货车保有量中占比为7%左右（见图18），在全国城市中位列前三。

虽然与广州、深圳相比，珠三角地区（非穗深）穗深发展水平略缓慢，但新能源物流车发展在提速。以佛山为例，为发展氢燃料物流车，佛山不仅提供购车补贴、运营补贴，也出台了路权优惠政策。2020年底，佛山市氢燃料货车推广数量已位列全国城市前三。

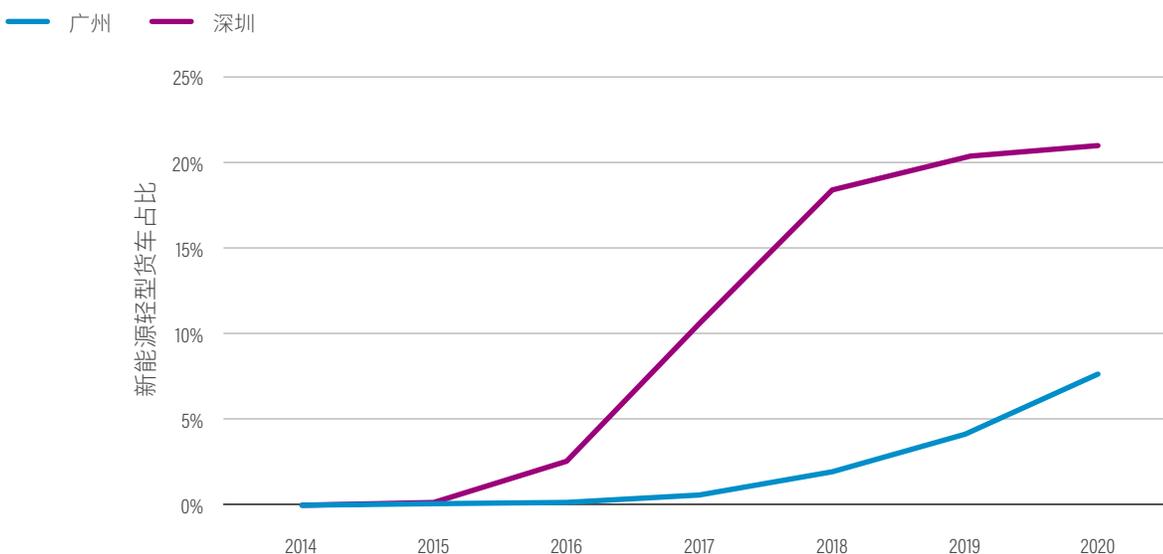
综上，广东省新能源物流车发展正进入增长快车道（见表12）。与私家车不同，目前，广东省传统燃料轻型货车主要集中于广州市、深圳市、佛山市、东莞市和中山市（2020年，五市轻型货车保有量之和占广东省轻型货车总保有量的58%，见3.1.2节）。随着这五个城市相继出台与路权、购置及运营补贴、充电（加氢）基础设施等有关的激励措施，以及新能源物流车正逐渐具备经济性，广东省有条件在“十四五”期间实现新能源物流车的规模化推广。

表 12 | 广东省各区域新能源物流车推广政策

区域	购置补贴	新能源物流车运营补贴	新能源物流车路权政策
深圳	见表11	2020年：对通过考核的企业，每车根据动力电池总储电量，按照500~750元/kWh的标准提供运营补助。单车三年资助总额不超过75万元	2016年：纯电动轻型货车不限行（除深南大道外） 2018年：建立10个绿色物流区，全天禁止轻型柴油车通行。对车长6m及以下的中重型电动货车，参照普通轻型货车限行规定
广州	见表11	无	2020年：在市区货车限行区域为14家城市物流配送重点企业提供全天24h通行便利；开展绿色物流试点区域划分工作
珠三角地区（非穗深）	见表11	佛山：2023—2025年，对符合条件的氢燃料物流车，每车每年最高补贴75万元、10.0万元、11.5万元。对纯电动配送货车，每车每年最高补贴6千~3万元不等	佛山：在禅桂中心城区设立绿色物流试点区域 佛山南海区：对在南海区登记备案的12吨以下氢能源物流车辆，在南海区中心城区实行全时段不限行政策。2023年起，南海区中心城区不允许传统燃油市政工程车辆和传统燃油物流车进入 东莞：2021年8月起，全天禁止柴油货车（冷链运输货车除外）在4个绿色物流片区通行，有效期5年
非珠三角地区	见表11	无	无

来源：佛山市南海区人民政府（2021）、广州市交通运输局（2020）、深圳市人民政府办公厅（2018）、深圳市交通运输局（2021）、东莞市公安局（2021）、佛山市交通运输局（2022）。

图 18 | 2014—2020年广东省新能源轻型货车保有量统计



说明：珠三角地区（非穗深）和非珠三角地区新能源轻型货车保有量较小，图中忽略不计。

来源：广东省能源局（2022）、节能与新能源汽车年鉴、作者访谈（2022b）等。

3.3.4 新能源重型货车推广及区域差异

目前，广东省新能源重型货车的推广主要集中在深圳。2018年，深圳市以纯电动泥头车（即自卸货车）为突破口，计划将纯电动泥头车的示范经验逐步向货车及专用车推广。为此，深圳市发布了《深圳市纯电动泥头车超额减排奖励实施办法》（深发改规〔2018〕4号）（深圳市发展和改革委员会 2018），为取得深圳市纯电动泥头车营运资格证的运输企业或租赁企业提供不超过80万元/车的奖励。在补贴政策刺激下，深圳2019年一次性上牌了4200辆纯电动泥头车。但是，由于纯电动泥头车生命周期成本高、充电基础设施配套不健全、车辆售后体系不完善，实际运营效果不佳；因此，近两年，深圳纯电动泥头车增长停滞，新能源重型货车增长主要集中在环卫车（谢海明 2022）。

此外，广东省也是国家“3+2”燃料电池汽车示范城市群之一；2020年底，广东省氢燃料汽车保有量为全国之首。根据《广东省加快建设燃料电池汽车示范城市群行动计划（2022—2025年）》（广东省发展和改革委员会等2022），广东省计划到2025年底推广1万辆以上燃料电池汽车——主要为重载货运、工程车辆和港口牵引车辆、冷链物流车辆，并“对符合行驶里程、技术标准并获得国家综合评定奖励积分的燃料电池汽车给予购置补贴”（广东省发展和改革委员会 2022a）。由于广东省目前仍面临氢气制、储、运体系的挑战，包括上游（绿色）氢气供应不足、氢气运输和加注成本高等，近期广东省氢燃料推广数量可能有限；未来，随着技术突破、国产化率提升与生产规模化，广东省氢燃料货车数量可能快速增长。

整体看，广东省新能源重型货车发展正处在起步阶段。目前，广东省重型货车主要集中于广州市、深圳市、佛山市和东莞市四个城市（2020年四城市重型货车保有量之和占广东省重型货车保有量的57%，见3.1.2节），如果近期重点在这四个城市中推广新能源重型货车，将有助于促进重型货车的减排。此外，广东省也有必要在全省层面统筹，梳理各场景运输特点，系统规划新能源重型货车推广场景，安排基础设施（如城际充电基础设施建设）与财政资源投入的优先级。

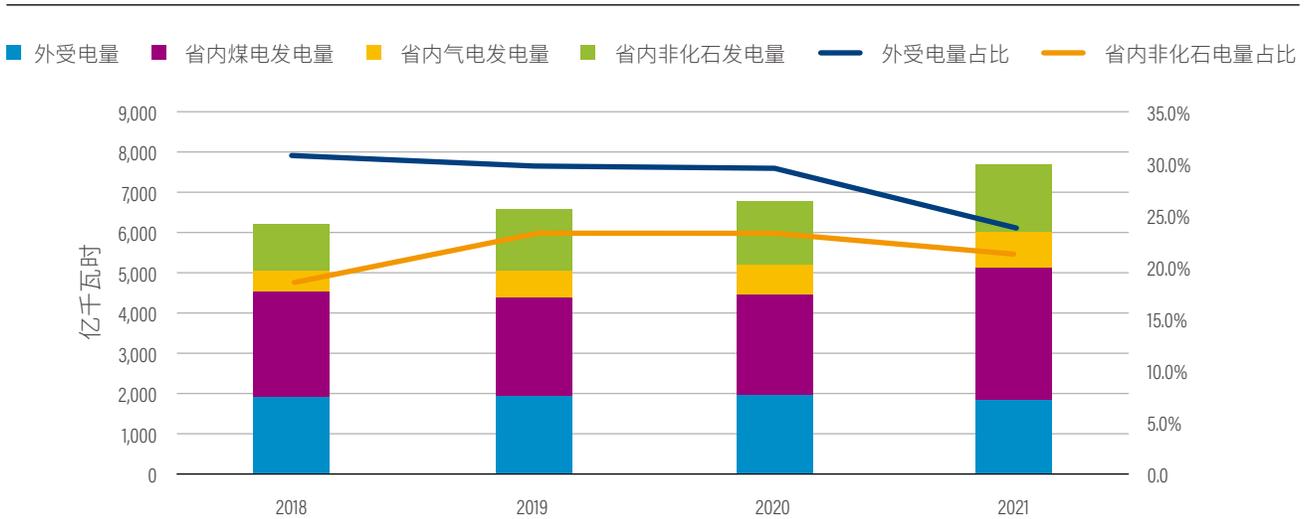
3.4 上游发电和制氢环节

尽管新能源汽车在尾气环节是零排放，但在上游发电和制氢环境的排放仍不可小觑。因此，广东省在上游发电和制氢环节提升非化石能源占比和降低碳排放强度，也将为道路交通减排提供支撑。

3.4.1 电力供给现状及展望

广东省电力行业正处在积极低碳转型阶段，目前，电力生产结构的低碳转型已有较好成果，非化石能源发电量占比逐步上升。根据广东省电力交易中心的数据（广东电力交易中心 2022），广东省的发受电量在2018—2021年间增长了24%，以省内自发电为主，煤电和气电的化石能源发电量占比保持在50%左右，非化石能源发电量占比逐步上升到23%左右（见图 19）。非化石能源中，核电的发电量增长最快，2018—2021年的核电发电量增长了42%。另外，广东省也积极对发电机组进行节能改造。根据相关学者研究测算（张鹏飞等 2022），广东省电力生产侧碳排放强度已从2007年的0.653 千克每千瓦时下降到2017年的0.554 千克每千瓦时。

图 19 | 2018—2021年广东省内电力供应情况



来源：广东电力交易中心 2018—2021 年度报告。

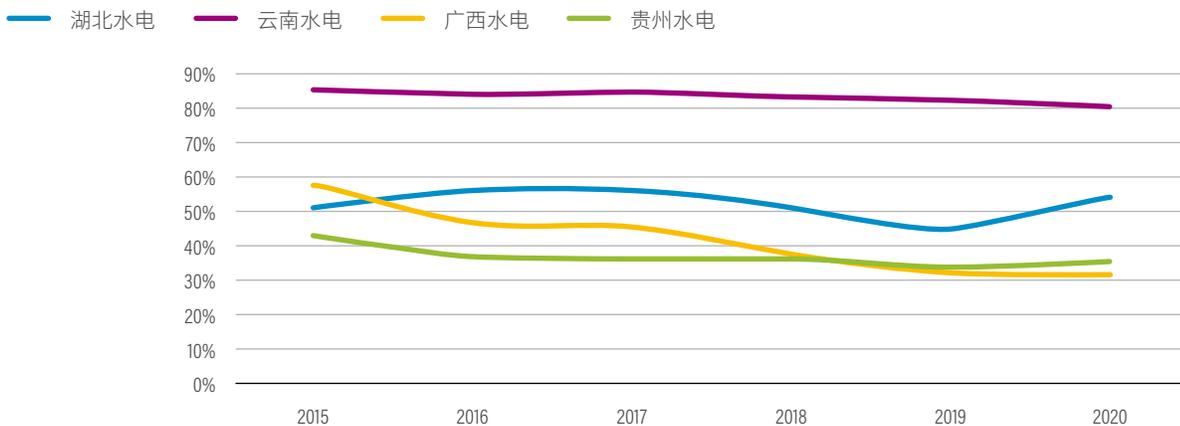
广东省外受电力以水电为主，调入电力的碳排放因子较低，进一步降低了广东省供给侧电力的碳排放。广东省承担着电力枢纽的角色，一方面接受来自云南、湖北、广西、贵州等省份的电力输入，另一方面，也向港澳和海南省输出电力。根据《中国电力统计年鉴》，湖北、云南、广西、贵州四省份的水电占比较高（见图20），向广东省提供电力的碳排放因子均低于广东省自身电力生成的碳排放因子（中国电力统计年鉴委员会 2022）。

省内发电的清洁化、高效化以及外受电力清洁化，均有效降低了广东省区域电网的排放因子，从2015年的0.5003千克每千瓦时降低到了2020年的0.4512千克每千瓦时（广东省生态环境厅 2020），比生态环境部最近公布的全国电网排放因子低22%（生态环境部办公厅 2022）。由此可见，广东省区域电网的低碳发展水平高于我国平均水平。

3.4.2 氢能供给现状及展望

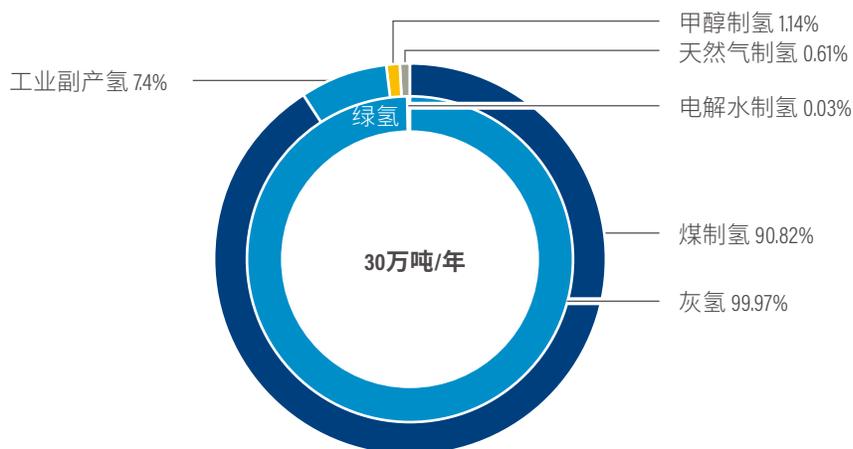
广东省氢能供应体系亟待持续完善，当前氢能生产以煤制氢和工业副产氢为主，可再生能源制氢将是广东省氢能生产的主要发展方向。截至2020年，广东省制氢能力约为30万吨/年，超过90%分布在粤东和粤西两翼。其中，90.8%为煤制氢，7.4%为工业副产氢，电解水制氢仅占0.03%（见图21）。近期，我国提出了重点发展可再生能源制氢的政策，2025年可再生能源制氢量达到10万~20万吨/年，2030年广泛应用可再生能源制氢技术（国家发展和改革委员会 2022）；同时，广东省也计划建立惠州、茂名、东莞、湛江氢能制储运产业集聚区（广东省人民政府办公厅 2022）。根据云浮（佛山）氢能标准化创新研发中心的研究，广东省2020年的制氢潜力约为88万吨（约合98.54亿标准立方），其中，可再生能源制氢潜力占比约为12%（云浮（佛山）氢能标准化创新研发中心 2018）。

图 20 | 广东省主要电力调入省份的水电发电量占比



来源：中国电力统计年鉴（2021）。

图 21 | 2020年广东省氢气产能结构



来源：谢鹏程等（2022）。

广东省在全国燃料电池汽车产业发展过程中起到引领示范作用，根据《广东省加快建设燃料电池汽车示范城市群行动计划（2022—2025年）》的要求（广东省发展和改革委员会 2022b），到2025年，广东省计划实现推广一万辆以上燃料电池汽车的目标，年供氢能力超过10万吨，建成加氢站超200座，车用氢气终端售价降到30元/千克以下，推动加氢站分布式电解水制氢以及集中式核电制氢（即粉氢）、可再生能源制氢（即绿氢）的发展。“双碳”政策的不断推进和深化，以及可再生能源度电成本的不断降低，将进一步有利于氢燃料电池汽车的规模化推广，提升交通运输行业对氢能的需求。

3.5 广东省道路交通能耗、碳排放现状与区域差异

3.5.1 能耗现状与区域差异

根据前述方法，本研究对广东省2015—2020年的能源消耗进行了测算，结果如图22所示。与2015年相比，2020年广东省道路交通能耗呈现明显的上升趋势，增长了50%左右。分区域看，得益于新能源汽车的推广、绿色出行的普及与交通需求管理政策的出台，广州和深圳的道路交通能耗增长相对较慢。特别是深圳，道路交通能耗增长不明显，2020年较2015年的增幅不到9%——几乎达到增长的平台期；同期，广州的增幅约为29%。然而，相较广州、

深圳两个城市，珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区的道路交通能耗上升幅度分别超过了60%、85%，是全省道路运输能耗增长的主要推手。

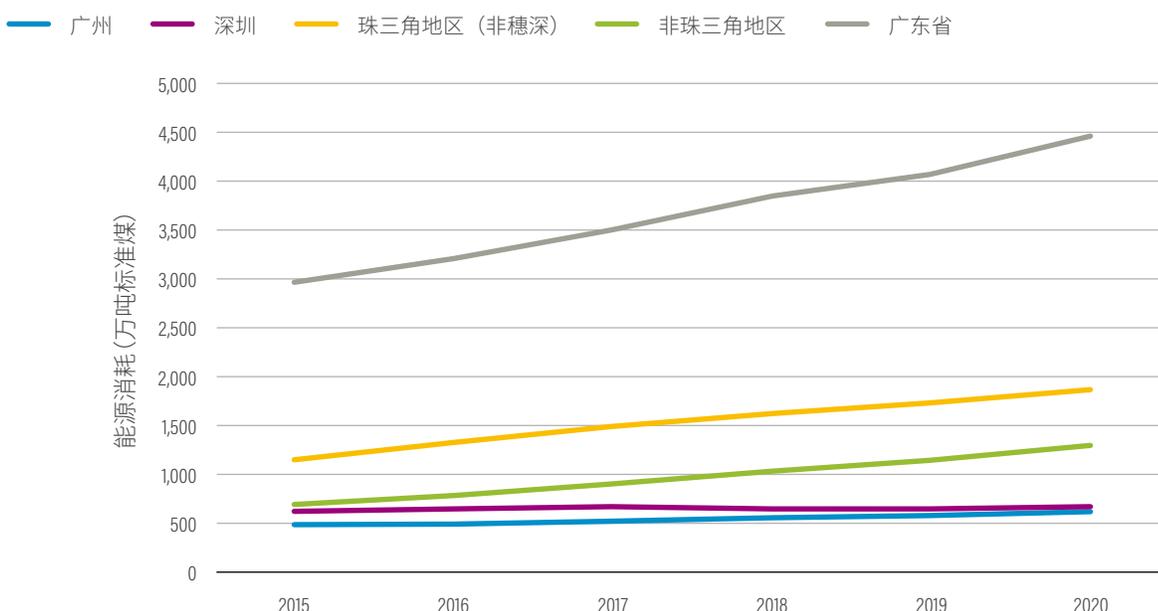
从能源类型看（交通用天然气、氢燃料消耗量较小，不计入），汽油消耗量增速明显，与2015年相比，2020年广东道路交通汽油消耗增长幅度超过59%（见图23）。相比之下，柴油消耗增长幅度相对缓和，2020年较2015年增长约28%。这说明，私家车保有量（及使用强度）的增长是近期广东省道路交通能耗增长的主要推手，控制私家车排放的进一步增长将有助于广东省道路交通碳排放及早达峰。

3.5.2 碳排放现状与区域差异

如图24和图25所示，广东省道路交通碳排放变化趋势与能耗的变化趋势大致相同，2020年较2015年增长52%。

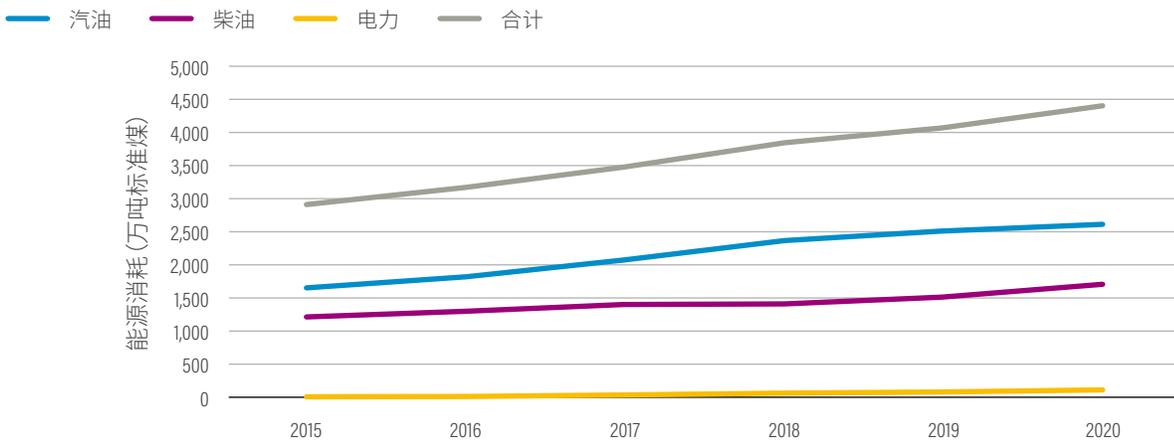
从区域分析，广东省不同区域的道路交通碳排放呈现两极分化：广州、深圳道路交通碳排放增速正放缓，2020年较2015年增长29.7%、10.5%；珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区道路交通碳排放增速最快，2020年较2015年增长61.4%、86.0%。2015—2020年广东省道路交通碳排放增长主要来自珠三角地区（非穗深）和非珠三角地区，且珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区道路交通碳排放在全省道路交通碳排放中的占比也在持续上升——从2015年的63%上升到2020年的71%，是需重点关注的区域。

图 22 | 2015—2020年广东省分区域道路交通能源消耗量



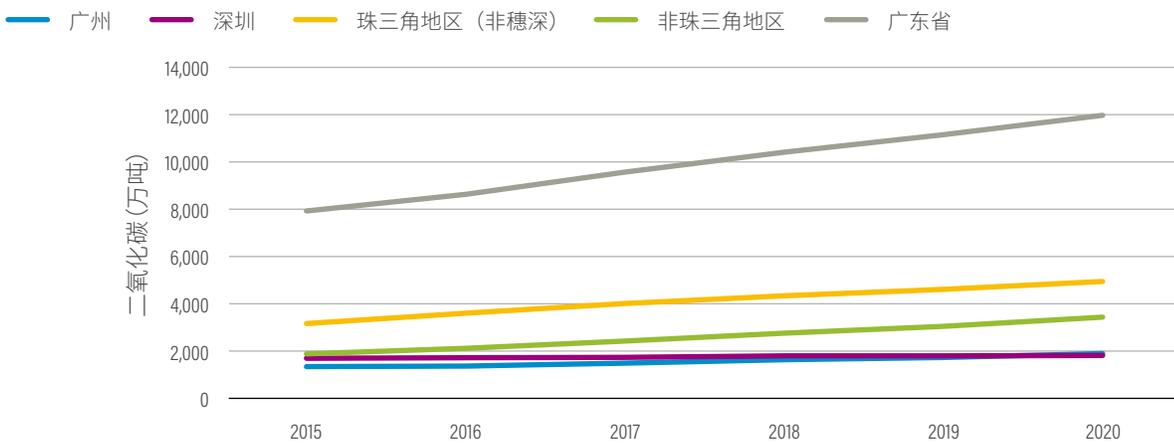
来源：作者计算。

图 23 | 2015—2020年广东省道路交通分燃料类型能源消耗量



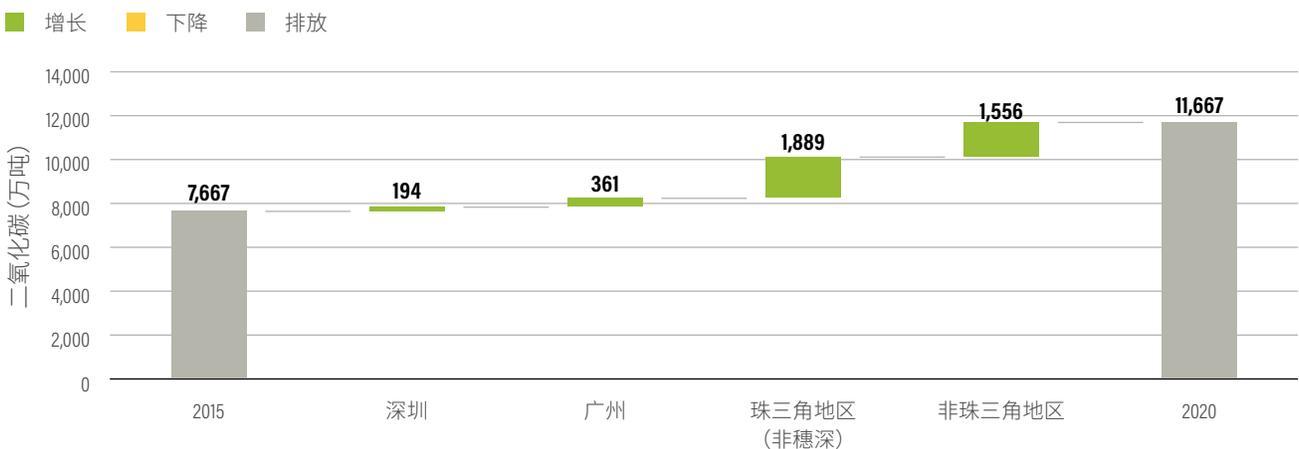
来源：作者计算。

图 24 | 2015—2020年广东省分区域道路交通碳排放量



来源：作者计算。

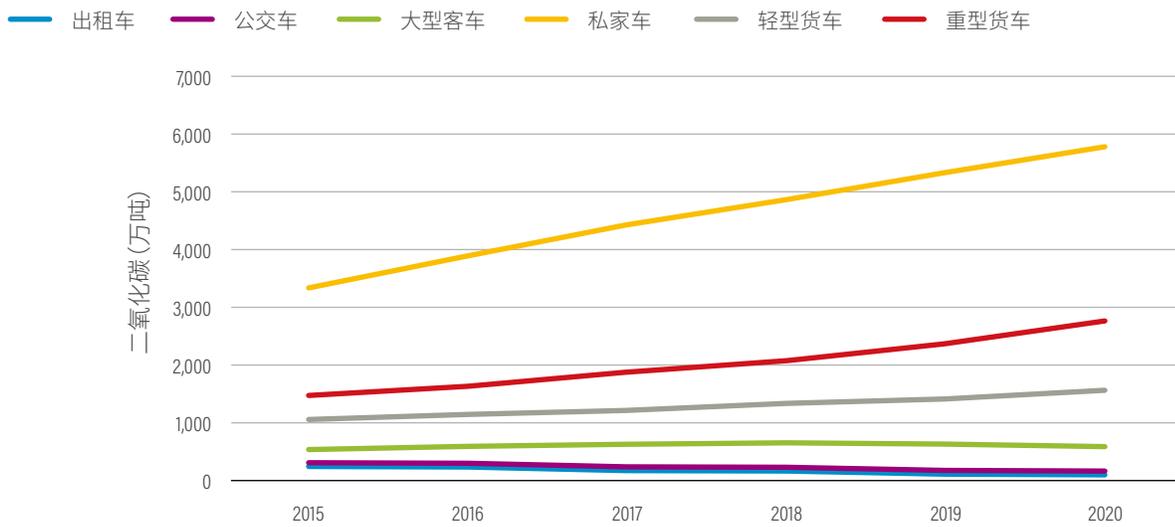
图 25 | 2015—2020年广东省道路交通分地区碳排放增长量



来源：作者计算。

从排放源分析，2020年私家车的碳排放最高，在道路交通碳排放中的占比达48.1%，其次为重型货车（占比23.1%）、轻型货车（占比13.0%）；大型客车、出租车、公交车和中型货车等排放占比较小（见图26）。从碳排放变化趋势分析，2015—2020年，私家车、重型货车是广东省道路交通碳排放增长的主要推手：广东省道路交通碳排放2020年较2015年52%的增幅中，私家车和重型货车分别贡献了31.9%、17.2%的增幅（见图27）。

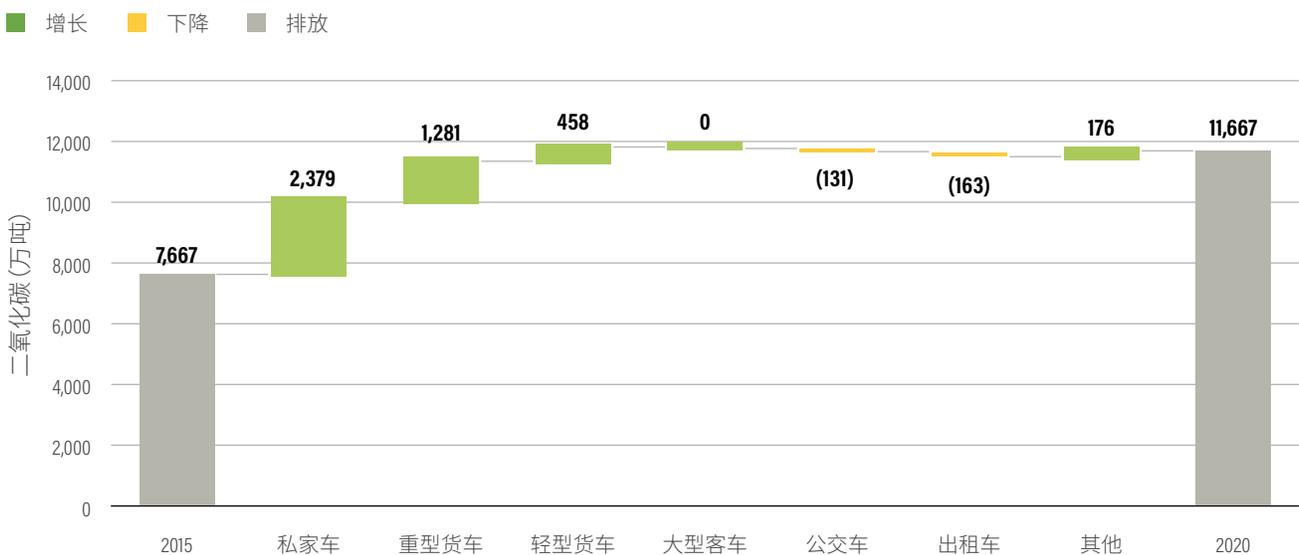
图 26 | 2015—2020年广东省道路交通分车型碳排放量



来源：作者计算。

说明：由于中型货车保有量低，碳排放量最小，因此未在图中显示。

图 27 | 2015—2020年广东省道路交通分车型碳排放增长量



来源：作者计算。





第四章

情景设置

在道路交通碳排放预测方面，本研究基于广东省分区域社会经济发展、车辆存活率曲线与文献中千人保有量饱和值，分别对各类车型保有量做预测。

在保有量预测的基础上，本文基于广东省道路运输现状、“十四五”减排相关政策，结合现有文献对技术进步的预测，分别对未来新能源汽车推广与替代、运输结构调整、新车燃油经济性提升、降低活动水平、上游发电制氢环节减排等措施做假设，并基于不同影响因素的假设，评估不同措施的减排潜力。

值得注意的是，不同减排措施施策主体不同，事权未必在省级层面。例如，新车燃油经济性提升主要通过

国家层面的车辆燃料消耗量标准、双积分管理办法等推动（中国汽车技术研究中心有限公司 2021），仅有极少数小客车限购城市（如广州）可通过增加混合动力汽车购车指标促进新车燃油经济性提升。所以，后续分析中将侧重广东省具有事权、能够施加影响的因素。

4.1 广东省道路交通“十四五”政策分析

为实现碳达峰目标，广东省及各地级市已经出台“十四五”期间交通相关的政策文件，包括《广东省综合交通运输体系“十四五”发展规划》，以及各地级市

表 13 | 各类减排措施的影响变量与实施主体

减排措施	影响变量	实施主体
新能源汽车推广与替代	车队技术结构	国家、地方政策共同推动
运输结构调整	车辆保有量、年行驶里程	地方政策为主
新车燃油经济性提升	新车燃油经济性	国家政策为主
降低活动水平	年行驶里程	地方政策为主
上游发电制氢环节减排	发电制氢排放因子	地方政策为主

来源：作者总结。

的综合交通运输体系“十四五”规划和新能源汽车的创新推广和推广应用方案等。这些文件提出有关“十四五”的道路交通减排目标主要涉及新能源汽车推广与替代、客运和货运运输结构调整等。其中，广东省提出的道路交通绿色低碳发展目标为：到2025年，营运车辆单位运输周转量能耗下降4.0%，单位运输周转量二氧化碳排放量下降3.5%，人口300万以上城市绿色出行比例上升到80%。

4.1.1 新能源汽车推广与替代政策

广东省发展和改革委员会和广东省能源局在2020年和2022年分别印发了《广东省加快氢燃料电池汽车发展实施方案》

案》(广东省发展和改革委员会 2020)和《广东省加快建设燃料电池汽车示范城市群行动计划(2022—2025年)》(广东省发展和改革委员会 2022b),以及《广东省电动汽车充电基础设施的发展“十四五”规划》(广东省能源局 2021),但尚未有系统的“十四五”新能源汽车发展规划。相比之下,广州和深圳已设立了新能源汽车推广与替代目标,并编制了行动方案:深圳市计划2025年实现全市新增注册汽车(不包含置换更新)中新能源汽车比重达到60%左右;广州市计划2025年新能源汽车渗透率超过50%,保有量占比超20%。多数珠三角城市和非珠三角城市在各自的综合交通运输体系发展“十四五”规划中,提出了公共服务领域的新能源车推广目标,但还缺少私家车或货车的新能源渗透率目标及具体的实施方案。

表 14 | 广东省“十四五”新能源汽车推广与替代目标

省/市	政策文件	发布时间	新能源汽车推广与替代目标
广东省	《广东省加快氢燃料电池汽车产业发展实施方案》	2020年11月	推动氢燃料电池物流车规模化应用,鼓励氢燃料电池汽车生产企业与省内重点物流企业合作 珠三角各市自2020年起不再新增燃油货运车辆入城证,适时在广州、深圳、深汕特别合作区等地试点开展氢燃料电池乘用车示范运行,力争2022年实现首批氢燃料电池乘用车示范运行
	《广东省加快建设燃料电池汽车示范城市群行动计划(2022—2025年)》	2022年8月	到2025年末,实现推广1万辆以上燃料电池汽车目标,年供氢能力超过10万t,建成加氢站超200座,车用氢气终端售价降到30元/kg以下,示范城市群产业链更加完善
	《广东省电动汽车充电基础设施发展“十四五”规划》	2022年6月	到2025年底,全省累计建成集中式充电站4500座以上,累计建成公共充电桩约25万个,包括公用充电桩约21.7万个、专用充电桩约3.3万个 累计建成高速公路快速充电站约830座,全省高速公路服务区全部建成充电基础设施 珠三角地区城市核心区充电设施服务半径不超过0.9km,粤东西北地区城市核心区充电设施服务半径不超过2km。公共桩桩车比约为1:6.4
深圳市	《深圳市新能源汽车推广应用工作方案(2021—2025年)》	2021年6月	“十四五”期间,全市新增注册汽车(不包含置换更新)中新能源汽车比重达到60%左右,至2025年,新能源汽车保有量达到100万辆左右,累计建成公共网络和专用网络快速充电桩4.3万个左右,基础网络慢速充电桩79万个左右 在物流配送、环卫、工程建设、党政机关、国企用车等领域进一步推广使用新能源汽车,尽快实现网约车、轻型物流车和环卫车全面纯电动化 未来五年,深圳市新能源汽车推广重点领域在于私人自用市场。一是加大宣传推广力度,提高市民绿色出行意识,综合运用经济、行政、法律多种手段鼓励引导私人购买使用新能源汽车,至2025年,全市新能源私家车保有量达到78万辆左右

说明:红色内容为“十四五”期间量化目标。

表 14 | 广东省“十四五”新能源汽车推广与替代目标 (续)

省/市	政策文件	发布时间	新能源汽车推广与替代目标
广州市	《广州市智能与新能源汽车创新发展“十四五”规划》	2021年12月	<p>新能源汽车产能超200万辆，进入全国城市前三名；新能源汽车渗透率超过50%，保有量提升至80万辆，占汽车保有量比重超20%，纯电动乘用车新车平均电耗小于12kWh/100km</p> <p>燃料电池汽车保有量超过2500辆，加快形成氢能产供储网络，依托广州石化等企业提升氢气生产能力，建设燃料电池供氢中心</p> <p>到2025年，换电站达到400个，新增充电桩15000个，加氢站数量超过50个，车用氢气终端销售价格低于35元/kg</p>
佛山市	《佛山市交通发展“十四五”规划》	2021年12月	<p>持续推进新能源车更新，重点推进氢能源车辆的产出与应用。新增出租车100%使用新能源车，到2025年，新能源出租车占比60%以上</p> <p>新增或更新的党政机关、公共机构、市政等车辆全部使用新能源汽车，鼓励新增物流车辆使用新能源汽车</p> <p>在各区中心探索设立5处“绿色物流区”，全天24h禁止轻型柴油货车通行</p>
肇庆市	《肇庆市综合交通运输体系发展“十四五”规划》	2022年6月	<p>到2025年，新能源和清洁能源出租车保有量占比提高至100%，新能源和清洁能源公交车保有量占比保持100%</p>
江门市	《江门市综合交通运输体系发展“十四五”规划》	2021年11月	<p>到2025年，江门市新能源公交车保有量占比保持100%。加快出租、农村客运、城市配送、城乡物流等业务采用纯电动化车辆</p> <p>加强充换电、加氢等基础设施建设</p>
韶关市	《韶关市生态环境保护“十四五”规划》	2022年3月	<p>到“十四五”末，新能源汽车新车销量占比力争达到20%，实现城市短途客运汽车、城市公交车、出租车100%更换为清洁、环保的新能源车</p>
茂名市	《茂名市综合交通运输体系发展“十四五”规划》	2022年3月	<p>推动氢能源公交车和电动汽车、电动船发展，推广新能源车等节能环保车型应用于公交车、出租车和城市配送车辆，实现全市公交车电动化率100%</p>
揭阳市	《揭阳市综合交通运输体系发展“十四五”规划》	2021年12月	<p>2025年，城乡交通运输一体化、均等化发展水平进一步提升，新能源和清洁能源公交车占比达95%</p>

说明：红色内容为“十四五”期间量化目标。

4.1.2 城市绿色出行分担率

与广州、深圳相比，目前珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区城市绿色出行基础较薄弱，一些珠三角地区（非穗深）城市更依赖私家车出行。在“十四五”城市绿色出行分担率或公共交通出行占机动化出行比例目标设置上，大部分城市都提出了“绿色出行/公共交通出行优先”

的要求，但在设定具体目标时呈现两极分化（见表15）：一方面，广州和深圳要求在2025年绿色出行分担率达到80%~85%；另一方面，珠三角地区（非穗深）和非珠三角地区城市仅有少数提出公共交通出行占机动化出行比例的目标，且目标不高——2025年中心城区公共交通出行占机动化出行比例仅为35%~50%，很多城市只有定性的“绿色出行/公共交通出行优先”目标。

表 15 | 广东省“十四五”城市绿色出行分担率目标

区域	政策文件	发布时间	城市绿色出行分担率目标
广东省	《广东省综合交通运输体系“十四五”发展规划》	2021年9月	2025年，城区常住人口300万以上城市绿色出行比例达到80%
深圳市	《深圳市综合交通“十四五”规划》	2022年2月	2025年公共交通出行占机动化出行比例50%以上，绿色交通出行分担率达到81%，2035年达85%。完成1~2条自行车高速公路建设，打通12条慢行骨干网节点，完成1500km机动车道建设目标
广州市	《广州市交通运输“十四五”规划》	2021年9月	2025年，公共交通出行占机动化出行比例50%以上，中心城区公共交通+出租车占机动化出行比例超过70%，中心城区绿色交通分担率超过80%
佛山市	《佛山市交通发展“十四五”规划》	2021年12月	到2025年，绿色交通出行比例全市域不低于70%，禅桂核心区不低于75%；公路、铁路、水路、航空客运占比分别达到67.6%、30.1%、0.6%、1.7%
惠州市	《惠州市综合交通运输“十四五”发展规划》	2022年2月	到2025年，中心城区公共交通出行占机动化出行比例达50%，优化公共交通系统、慢行交通系统、无障碍出行系统，完善以服务“步行+公共交通”“自行车+公共交通”出行为主的绿色交通体系
中山市	《中山市综合交通运输“十四五”规划》	2022年7月	完善城市慢行交通系统，提升城市步行和非机动车的出行品质，构建安全、连续和舒适的城市慢行交通体系。开展绿色出行创建行动，改善绿色出行环境，提高城市绿色出行比例
肇庆市	《肇庆市综合交通运输体系发展“十四五”规划》	2022年6月	到2025年，中心城区公共交通出行占机动化出行比例为40%。大力发展公共交通，鼓励自行车、步行等绿色出行方式，做好慢行交通与公共交通的衔接换乘
江门市	《江门市综合交通运输体系发展“十四五”规划》	2021年11月	到2025年，中心城区公共交通出行占机动化出行比例达到35%左右
潮州市	《潮州市综合交通运输体系发展“十四五”规划》	2021年11月	保障城市公共交通的道路使用权，扩大中心城区300m范围公交站点覆盖率。鼓励自行车、步行等绿色出行方式
韶关市	《韶关市综合交通运输“十四五”发展规划》	2021年12月	2025年，长途客运服务模式进一步优化，满足群众多样化出行需求；城市公共交通服务车辆逐步增加，城市公交车辆达800标台，出租车达500辆
河源市	《河源市综合交通运输体系发展“十四五”规划》	2022年8月	到2025年，中心城区公共交通机动化出行分担率达40%。鼓励和支持更多市民采用“步行+自行车”的绿色出行方式，提高公共交通、慢行交通、共享交通出行比例
湛江市	《湛江市综合交通运输体系“十四五”发展规划》	2022年11月	鼓励公众使用绿色出行方式，大力发展公共交通，鼓励自行车、步行等绿色出行方式
云浮市	《云浮市综合交通运输体系发展“十四五”规划》	2021年12月	全面开展绿色出行行动，进一步提升公交车、地铁等绿色低碳出行方式比重
清远市	《清远市综合交通运输体系发展“十四五”规划》	2022年5月	坚持“公交优先”的城市交通发展战略，积极探索公共交通发展新模式，持续优化公交网络，统筹完善公共交通枢纽体系

说明：红色内容为“十四五”期间量化目标。

4.1.3 货运运输结构调整

鉴于铁路运输在广东省货运运输结构中占比低且不断下降，“十四五”期间，广东省应从全省层面到各地市层面全面发力，进行货运运输结构调整，加速发展“公转铁、公转水”以及港口集装箱多式联运。例如，《广东省综合交通运输体系“十四五”发展规划》中提出了铁水联运年均增长20%的积极目标。广东省的21个地级行政区中

有17个城市在其综合交通运输体系“十四五”规划中提出了货物运输结构调整目标，调整目标和具体措施分为两种情况：对于货物运输枢纽城市（如广州、深圳、佛山），这些城市提出铁路和水路货运量、多式联运运量或占比的具体目标；对于货运通道城市，这些城市作为连接运输枢纽的重要节点，提出的目标多以货运或多式联运基础设施建设为主，如潮州市和梅州市提出货运枢纽和铁路专线的建设目标。

表 16 | 广东省“十四五”货运运输结构调整目标

区域	政策文件	发布时间	货运运输结构调整目标
广东省	《广东省综合交通运输体系“十四五”发展规划》	2021年9月	充分发挥铁路、水运的运输优势，积极引导大宗货物运输“公转铁”“公转水”，推动交通运输结构性节能减排。 港口集装箱铁水联运量年均增长20%
	《广东省铁路货运“十四五”发展规划》	2021年11月	集装箱铁水联运量年均增长20%，铁路运输组织效率提升20%。 “十四五”末铁路货运量达到1.2亿t，集装箱铁水联运量达到100万TEU
	《广东省推进多式联运发展优化调整运输结构实施方案》	2022年8月	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， 铁路货运量、水路货运量、集装箱铁水联运量分别增长达到1.2亿t、12.5亿t、100万TEU ，珠三角地区沿海主要港口利用疏港铁路、水路、封闭式皮带廊道、新能源汽车运输大宗货物的比例达到80%
深圳市	《深圳市综合交通“十四五”规划》	2022年2月	提升水水中转比例，逐步降低公路集疏运比例， 2025年深圳港水水集疏运占比提升至34% 。引导大宗货物和中长距离货运“公转铁”，推动货物“公转水”运输
广州市	《广州市生态文明建设“十四五”规划》	2021年9月	大力发展海铁联运、江海联运、内河铁水联运业务发展，推进大宗货物运输“公转铁”。 到2025年，海铁联运运输量不低于30万TEU
佛山市	《佛山市交通发展“十四五”规划》	2021年12月	到2025年，公路、铁路、水路、航空货运占比分别达到76.47%、3.5%、20.0%、0.03%
韶关市	《韶关市生态环境保护“十四五”规划》	2022年3月	大力发展“公转铁、公转水”、铁水联运、多式联运等。 到2025年，全市铁路货运量比2020年增长20%以上 ，水路货运量保持增长趋势
揭阳市	《揭阳市综合交通运输体系发展“十四五”规划》	2021年12月	推动建设揭阳至惠来铁路，支撑揭阳市“打造沿海经济带上的产业强市”的发展格局，推动生产要素高效流动，优化调整运输结构，发展“海铁”联运

说明：红色内容为“十四五”期间量化目标。

表 16 | 广东省“十四五”货运运输结构调整目标(续)

区域	政策文件	发布时间	货运运输结构调整目标
潮州市	《潮州市综合交通运输体系发展“十四五”规划》	2021年11月	加快大宗货物运输“公转铁”发展格局。结合潮州港港口建设及货物运输需求，加强港区集疏港铁路与干线铁路和码头堆场的衔接规划，依托广梅汕铁路因地制宜发展公铁联运，打造物流基地和现代快递产业园
梅州市	《梅州市综合交通运输体系“十四五”规划》	2021年12月	强化运输结构调整的基础条件建设。加快推进铁路货运枢纽站场、铁路专线等项目建设，实现铁路干线运输与潮州港、大型企业、工业园区、物流园等的高效联通和无缝衔接
河源市	《河源市综合交通运输体系发展“十四五”规划》	2022年8月	优化调整货运结构，推进多式联运发展。补齐铁路、港口码头集疏运基础设施短板，推进铁路专用线直达堆场、码头 引导传统货运站场转型。支持公路货运站场改造和转型升级，适应甩挂运输等先进物流组织形式
惠州市	《惠州市综合交通运输“十四五”发展规划》	2022年2月	大力发展铁水联运、江海联运，推广大宗货物陆转水、陆转铁。推进惠州港口铁水联运、江海联运配套码头、锚地等基础设施建设，推动“海陆空铁”多式联运无缝衔接
中山市	《中山市综合交通运输“十四五”规划》	2022年7月	优化运输结构，推进港口集疏运铁路、物流园区铁路专用线建设，推动大宗货物及中长距离货物运输“公转铁”或“公转水”
江门市	《江门市综合交通运输体系发展“十四五”规划》	2021年11月	加强港口主要港区集疏运铁路、物流园区铁路专用线规划建设。推进货物多式联运发展，利用铁路连通广州南沙港、珠海高栏港、深圳盐田港等主要港口港区
阳江市	《阳江市综合交通运输体系“十四五”发展规划》	2022年9月	完善货运物流交通基础设施，大力发展多式联运、甩挂运输，土洞货运结构优化调整，提供一体化衔接水平和中转换装效率
茂名市	《茂名市综合交通运输体系发展“十四五”规划》	2022年3月	大力发展多式联运、集装箱运输和甩挂运输等高效运输组织方式。提高水路、铁路承担的大宗货物运输量，逐步降低全市公路货运分担率
湛江市	《湛江市综合交通运输体系“十四五”发展规划》	2022年11月	持续推进运输结构调整，提高铁路、水运等绿色低碳运输方式的承运比重。积极发展甩挂运输、多式联运
云浮市	《云浮市综合交通运输体系发展“十四五”规划》	2021年12月	优化旅客运输结构，推进铁路、公路、水运、民航等客运系统有机衔接和差异化发展；改善货物运输结构，坚持“宜水则水、宜陆则陆、宜空则空”的原则
肇庆市	《肇庆市综合交通运输体系发展“十四五”规划》	2022年5月	加快推进铁路货运枢纽站场、铁路专线等项目建设，实现铁路干线运输与肇庆港、大型企业、工业园区、物流园等的高效联通和无缝衔接
清远市	《清远市综合交通运输体系发展“十四五”规划》	2022年5月	重点支持具备多式联运、干支衔接等功能的货运枢纽（物流园区）建设，以发展多式联运作为综合运输服务体系建设的先导战略，着力构建设施高效衔接、枢纽快速转运、信息互联共享、装备标准专业、服务一体对接的多式联运组织体系

说明：红色内容为“十四五”期间量化目标。

4.1.4 有待加强的政策

虽然广东省及各城市“十四五”规划全面地覆盖所有道路交通领域减污降碳相关的措施，但仍可考虑加强新能源汽车推广与替代和运输结构调整等措施，包括：

(1) 加强珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区新能源私家车推广政策。

多数珠三角地区（非穗深）和非珠三角地区城市在综合交通运输体系发展“十四五”规划中，还缺少新能源私家车渗透率目标及具体的实施方案。考虑到2020年广东省私家车保有量75%集中在珠三角地区（非穗深）与非珠三角地区，且这些地区私家车保有量增速快，有必要加强这些地区的新能源私家车推广：第一，珠三角地区（非穗深）和非珠三角地区城市可通过提供地方补贴、大力发展充电网络、共享出行等商业化运营模式，加速推动新能源私家车的普及；第二，广东省政府应考虑加强支持力度，从用地、电网扩容到充电基础设施建设的资金支持，特别是加大对非珠三角地区的支撑力度，考虑出台对该区域新能源私家车推广的绩效考核。

(2) 加强广东省零排放货车推广。

鉴于部分新能源物流车已具备经济性，广东省有望继公交车、出租车后在近期实现城市物流车的全面电动化。所以，广东省有关部门应提出“十四五”新能源物流车发展目标及措施，鼓励重点城市（特别是广州市、深圳市、佛山市、东莞市和中山市）出台新能源物流车优先路权、购置及运营补贴与充电（加氢）基础设施等激励措施。

另外，相关“十四五”规划仍缺乏零排放中重型货车推广的明确目标与支撑措施。考虑到中重型货车是实现中长期深度减排的重点，广东省有必要考虑以下措施，加速零排放中重型货车的推广：一是在全省层面统筹，梳理各重型货车运输场景特点，精细化地规划新能源货车推广路线图。近期，港口、工厂等封闭场景和城市内运输场景（特别是在深圳、广州、佛山与东莞）均具备推广新能源重型货车的可行性。此外，城际短途运输线路（如广州—佛山、深圳—东莞）也具备试点推广新能源货车的可行性；二是安排财政资金，出台新能源中重型货车地方补贴、高速公路优惠路权政策，支持重点城市典型场景的新能源中重型货车推广。

(3) 重点在珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区优先推广绿色出行。

珠三角地区（非穗深）和非珠三角地区城市设置的“十四五”公共交通分担率目标不高——2025年中心城区

公共交通出行占机动化出行比例仅为35%~50%。更是有许多珠三角地区（非穗深）和非珠三角地区城市未设立定量的“绿色出行/公共交通出行优先”目标。

实际上，珠三角地区（非穗深）的城市有条件借鉴广州和深圳的经验——如加速轨道交通和大容量快速公交（BRT）建设、优先绿色出行、制定更加严格的小汽车需求管理措施，通过“出行即服务（MaaS）”⁶加强城际铁路、城市轨道交通与城市内其他绿色交通模式之间的接驳。非珠三角地区城市尚不具备发展城市轨道交通的条件，在未来相当长的一段时间里，可以通过大幅提升常规公共交通服务质量、加强慢行出行环境建设、出台交通需求管理政策，推动绿色出行的发展。

4.2 未来情景设置

基于第4.1节对现有政策的梳理，本研究设置并分析了三个情景：基准情景、现有政策延续情景、零排放情景，分别对未来新能源汽车的推广与替代、运输结构调整、新车燃油经济性提升、降低活动水平、上游发电制氢环节减排等相关参数做假设。

由于模型限制，本文没有考虑其他可能影响广东省道路交通碳排放的措施，如无人驾驶、共享出行、交通碳定价及零排放区等。

4.2.1 基准情景

设置基准情景的目的是为对比其他政策情景下的减排潜力，主要考虑汽车保有量在现状基础上保持自然增长，新能源汽车的推广与替代、运输结构调整、燃油经济性提升、活动水平降低等影响碳排放量的重要参数均保持当前水平的情况（不考虑“十四五”规划等已出台政策的影响），作为与现有政策延续情景、零排放情景对比的基线。

考虑到未来人口与经济增长（见附录）驱动以及土地等资源的限制，车辆保有量预测依据不同车型，采用不同预测方法。其中，私家车保有量预测采用Gompertz曲线法（Wu等 2014），而商用车预测采用弹性系数法（林晓芳等 2019）。由于私家车、重型货车在广东省道路交通碳排放中占比达84%，所以，以下主要分析对私家车与重型货车2060年保有量进行预测（见表17）。

从私家车来看，参考现有研究（Lu等 2018）并结合广东省现状：

■ 考虑到广州、深圳已实施严格的普通小客车限购措施，加之土地等资源的限制，广州、深圳2060年私家车千人保有量饱和值分别假设为350辆、300辆。

- 由于开始建设轨道交通网络，本文假设珠三角地区（非穗深）2060年私家车千人保有量饱和值为450辆；而随着居民收入水平的提高，非珠三角地区私家车千人保有量饱和值将达到500辆。

根据这一假设，2060年广东省私家车保有量相对2020年的增长率为150%。其中，非珠三角地区与广州市的私家车保有量增长率最高；而深圳、珠三角地区（非穗深）的增长率相对较低。在区域分布上，2060年广州、深圳私家车保有量在广东省私家车保有量中的占比为24%，与2020年大致相同，非珠三角地区私家车保有量占比上升至42%。

从重型货车来看，本文预测广东省2060年重型货车保有量较2020年增长115%，这与现有研究（薛露露等 2022）中预测全国中重型货车保有量到2060年比2020年增长111%的结果较接近。针对广东省内各区域，本文假设深圳的中重型货车增长率相对较低（50%左右），这主要是因为深圳目前货车保有量水平高，考虑到土地等资源限制，未来保有量增长空间有限。其他区域主要根据经济发展情况（见附录）、货运运输需求增长趋势进行货车保有量预测，其中，珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区重型货车增速较高，2060年保有量较大。在区域分布上，2060年广州、深圳重型货车保有量在广东省重型货车保有量中的占比为33%，比2020年（40%）有所下降；非珠三角地区重型货车保有量占比从2020年的26%上升至2060年的32%。

4.2.2 现有政策延续情景

现有政策延续情景综合考虑第4.1节广东省已发布政策中制定的目标以及对车辆技术发展的预判。

(1) 新能源汽车推广与替代

根据一些城市提出的“十四五”新能源汽车推广与替代目标，广东省未来新能源私家车推广仍将不均衡。其中，不乏设立较高推广目标的深圳和广州——到2025年，新增注册汽车中新能源汽车比重达到50%~60%左右，也有未设立新能源汽车推广与替代目标的珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区城市。鉴于此，本文在新能源汽车推广与替代应用进程上将广东省按照梯度分为深圳、广州、珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区四个区域。同时，本文进一步假设珠三角地区（非穗深）与国家层面新能源汽车推广与替代速度基本一致，而国家层面推广进程参考《新能源汽车产业发展规划（2021—2035年）》（国务院办公厅 2020）、《节能与新能源汽车技术路线图2.0》（中国汽车工程学会 2020）等文件；深圳、广州早于国家平均进程5~10年；非珠三角地区晚于国家平均进程5年。现有政策情景广东省新能源汽车在新车销量占比达100%的时间点见表18。

表 17 | 广东省道路交通两种主要车型未来保有量预测统计

车辆类型	统计项	广州	深圳	珠三角地区 (非穗深)	非珠三角地区	广东省
私家车	2020年保有量 (万辆)	215	271	962	598	2046
	2060年保有量 (万辆)	684	563	1700	2164	5110
	增长率	218%	108%	77%	262%	150%
重型货车	2020年保有量 (万辆)	9	11	17	13	49
	2060年保有量 (万辆)	19	16	37	34	106
	增长率	108%	53%	123%	159%	115%

来源：作者假设。

表 18 | 现有政策情景广东省新能源汽车在新车销量占比达100%的时间点

车辆类型	深圳	广州	珠三角地区（非穗深）	非珠三角地区
公交车	已完成	已完成	已完成	已完成
出租车	已完成	已完成	2025年	2025年
其他中大型客车	2040年	2045年	2050年	2055年
私家车	2040年	2045年	2050年	2055年
轻微型货车	2035年	2035年	2040年	2040年
中重型货车	2050年	2055年	2060年	2065年

来源：作者假设。

专栏 3 | 未来车辆技术讨论

本文假设插电式混合动力（简称插电混动）汽车主要应用在货车领域。而在私家车领域，随着纯电动汽车成本下降，插电混动技术将不再是私家车的主流技术。根据能源与交通创新中心（2021）研究，本文假设，近期重型货车中会有一些比例的插电混动货车，到2030年，插电混动汽车的销量占比将达到峰值（20%）。未来，随着纯电动技术、氢燃料电池技术成本下降与性能提升，插电混动货车会逐渐退出市场。

对中重型货车而言，由于纯电动货车的总拥有成本比氢燃料电池货车更低（Mao等2021），所以，本文假设到2060年，纯电动货车推广数量会超过氢燃料电池货车；零排放中重型货车保有量中，70%为纯电动货车，30%为氢燃料电池货车——主要用于长途干线和冷链场景。

(2) 运输结构调整

“十四五”期间，广东省将在货运运输结构调整上发力。根据《广东省铁路货运“十四五”发展规划》，“十四五”末广东省铁路货运发展目标是“集装箱铁水联运量年均增长20%，铁路运输组织效率提升20%”。《广东省推进多式联运发展优化调整运输结构实施方案》也提出“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”。随着公路运输转移到水路及铁路，本情景预测到2025年，广东省重型货车保有量将比基准情景降低10%，到2030年降低15%。

“十四五”期间，广东省城市内出行结构也将不断得到优化。根据《广东省综合交通运输体系“十四五”发展规

划》，2025年城区常住人口300万以上城市绿色出行比例达到80%。这一目标已高于国家《2030年前碳达峰行动方案》提出的“到2030年，城区常住人口100万以上的城市绿色出行比例不低于70%”的目标。广东省一些地市也提出更高的目标，包括：深圳计划2025年绿色交通出行分担率从2020年的77%上升到81%，2035年上升到85%；广州计划2025年中心城区绿色交通分担率从2021年的78%上升到超过80%；佛山计划2025年全市域绿色交通出行比例从2020年的53%上升到70%，禅桂核心区不低于75%。因此，本情景预测，在以上目标指导下，结合具体措施（包括城市轨道交通建设、公共交通服务和慢行环境改善），2025年广东省载客汽车保有量会比基准情景低8%，2030年比基准情景低15%。在该情景下，2060年，深圳和广州千人私家车保有量将降至255辆和约300辆，而珠三角地区（非穗深）和非珠三角地区的千人私家车保有量将降至383辆和425辆。

(3) 新车燃油经济性提升

新车燃油经济性提升主要通过国家的单车燃料消耗量限值标准、企业平均燃料消耗量目标值标准、企业平均燃料消耗量与新能源汽车积分管理办法推动实现（中国汽车技术研究中心有限公司 2021）。在现有政策延续情景下，未来乘用车、商用车燃油经济性提升主要基于国家层面相关研究（中国汽车工程学会 2020；能源与交通创新中心 2021）。在现有政策延续情景下，预计2035年乘用车百公里能耗比基准情景降低37.5%，商用客车百公里能耗比基准情景降低20.0%，商用货车百公里能耗比基准情景降低15.0%。2035年后，无论是乘用车还是商用车，新车燃油经济性变化不大。

(4) 活动水平下降

由于缺乏广东省本地化的年行驶里程数据，本文基于现有文献（生态环境部 2016；薛露露等 2019），假设在基准情景，广东省私家车、重型货车年行驶里程分别为12000千米、50000千米。

在现有政策情景下，受到广东省各地城市内运输结构优化、交通需求管理与城市规划等政策影响，本文假设到2060年，私家车年行驶里程比基准情景降低20.0%，降至约10000千米，与能源与交通创新中心（2018）利用大数据分析得出的深圳和广州私家车年行驶里程几乎在同一水平。商用车年行驶里程与基准情景的水平保持一致。

(5) 上游发电制氢环节减排

由于缺乏广东省本地发电和制氢中长期研究，本情景参考国家层面研究（清华大学气候变化与可持续发展研究院2020）并假设：

- 在发电结构上，广东省非化石能源发电占比为92%；到2060年，广东省非化石能源发电占比达到100%。
- 在氢气供应结构上，到2050年，广东省灰氢（即通过化石燃料制取的氢气）在氢气供给结构中的占比达15%；到2060年，灰氢完全退出市场。

4.2.3 零排放情景

零排放情景以2060年基本实现道路交通运输零排放为目标，并基于第4.1.4节对现有政策有待加强之处的分析，提出参数假设。与现有政策延续情景相比，零排放情景不仅假设更积极的减排政策，也假设零排放车辆技术在近中期有重大突破。

(1) 新能源汽车的推广与替代

零排放情景下，为实现2060年广东省道路交通零排放的目标，不同车型新能源汽车销量占比达100%的时间节点见表5-3。

表 19 | 零排放情景下广东省新能源汽车在新车销量中占比达100%的时间节点

车辆类型	深圳	广州	珠三角地区（非穗深）	非珠三角地区
公交车	已完成	已完成	已完成	已完成
出租车	已完成	已完成	2025年 (--)	2025年 (--)
其他中大型客车	2035年 (-5年)	2040年 (-5年)	2040年 (-10年)	2040年 (-15年)
私家车	2035年 (-5年)	2035年 (-10年)	2035年 (-15年)	2040年 (-15年)
轻微型货车	2030年 (-5年)	2030年 (-5年)	2035年 (-5年)	2040年 (--)
中重型货车	2040年 (-10年)	2040年 (-15年)	2045年 (-15年)	2050年 (-15年)

说明：括号内为零排放情景实现新能源汽车在新车销量中占比达100%的时间点相对现有政策延续情景的变化。

来源：作者假设。

考虑到客车和货车近10年的使用年限以及为实现2060年广东省道路交通零排放的目标，珠三角地区（非穗深）和非珠三角地区实现各车型新能源汽车新车销量占比100%的时间点需要比现有政策情景提前约15年，提前幅度远大于深圳和广州。珠三角地区（非穗深）和非珠三角地区能否实现新能源汽车销量占比100%的目标将是广东省中长期减排的重中之重。为此：

- 非珠三角地区和珠三角地区（非穗深）城市在新能源私家车推广上，应发挥政府政策引导和市场机制的作用，通过提供地方补贴、大力发展充电网络、提高消费者对新能源汽车的认知等措施，推动新能源汽车发展。
- 广东省政府可考虑加强支持力度，从用地、电网扩容、充电基础设施建设到新能源汽车购置资金支持，加大对非珠三角地区的支持力度，并考虑出台针对各地级市的新能源汽车推广与替代绩效考核。

另外，中重型货车实现新能源汽车新车销量占比100%的时间点需要比现有政策情景提前10~15年的时间，也是广东省中长期实现深度减排的重点。广东省有必要抓住汽车产业发展转型的契机，大力发展新能源汽车产业，特别是从全省层面统筹，梳理各重型货车运输场景特点，精细化地规划新能源货车推广路线图，安排财政资金重点支持产业发展的关键——充换电/加氢基础设施建设，并通过建立政府股权基金、优化企业融资额度与利率等方式，调动更多市场主体参与新能源汽车产业发展。

(2) 运输结构调整

零排放情景假设广东省将在现有政策延续情景基础上，及早采取了更为激进的客运、货运运输结构调整措施。这包括：

- 在客运方面，加速珠三角地区（非穗深）城市轨道交通和BRT建设，加强慢行出行环境建设，非珠三角地区城市出台停车管理、小汽车限行，甚至（燃油）小客车限购政策。
- 在货运方面，更大力度推进“公转铁”、“公转水”，发展多式联运，推动道路货运的碳定价（如参与区域碳市场）、道路运输效率提升等。

在更激进的措施下，本文假设，在零排放情景下，到2030年，载客汽车保有量比基准情景降低25%，2035年降低30%。到2060年，深圳和广州千人私家车保有量将降至210辆和245辆；珠三角地区（非穗深）和非珠三角地区的千人私家车保有量降至315辆和350辆。与薛露露和刘岱宗（2022）根据文献总结的若采取调整城市规划、鼓励绿



色出行等出行结构优化措施，国内2050年千人乘用车保有量将降至260~350辆的水平相一致。

到2025年，载货汽车保有量比基准情景降低14%，2035年降低30%，与薛露露和刘岱宗（2022）在深度减排情景下对国家层面道路货运保有量的预测相一致。

(3) 新车燃油经济性提升

在零排放情景下，本文未来的乘用车、商用车燃油经济性也是基于国家层面相关研究（薛露露等2022）：其中，到2035年，与基准情景相比，乘用车百公里能耗会降低45.0%，商用客车会降低30.0%，货车会降低25.0%。

(4) 活动水平的下降

车辆年均行驶里程方面，本文假设，受更激进的城市出行结构调整措施、交通需求管理措施等影响，2060年，零排放情景私家车年行驶里程比基准情景降低40.0%，而商用车年行驶里程与基准情景保持一致。

(5) 上游发电制氢环节减排

在零排放情景下，本文假设广东省将采取比国家政策更为激进的电力与制氢脱碳措施，提前实现电力等行业的碳中和；因而，假设到2050年，广东省实现非化石能源发电占比几乎达到100%、灰氢在氢气供应结构中的占比为零。

4.2.4 情景设置对比

综上，本文三个情景对新能源汽车的推广与替代、运输结构调整、新车燃油经济性提升、降低活动水平、上游发电制氢环节减排等相关参数假设总结见表20。

本文的情景参数假设中考虑了广东省不同区域间的不均衡性，特别是新能源汽车推广与替代的区域差异性。理论上，各城市间在运输结构调整与降低活动水平的措施上也存在差异性。例如，未来随着轨道交通网络建设、

“公转水”和“公转铁”措施的实施，珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区运输结构调整的潜力将有望得到更多挖掘。但由于缺乏定量模型描述不同区域在运输结构调整上的差异，本文不考虑这两项措施的地域差异性。此外，新车燃油经济性提升和上游发电/制氢减排两项措施地区间差异较小；新车燃油经济性以国家政策为主，而广东省内各区域间上游发电、制氢排放的差异也相对较小；因此，各区域间在这两个措施上的差异可忽略不计。不同情景设置中相关措施的地域差异性对比见表21。

表 20 | 情景设置中相关措施对比

政策措施	基准情景	现有政策延续情景	零排放情景
新能源汽车推广与替代	2020年水平	见表18	见表19
运输结构调整	<ul style="list-style-type: none"> · 私家车保有量：2060年比2020年增长150% · 重型货车保有量：2060年比2020年增长115% 	与基准情景相比 <ul style="list-style-type: none"> · 重型货车保有量：2025年降低10%，2030年降低15% · 载客汽车保有量：2025年降低8%，2030年降低15% 	与基准情景相比 <ul style="list-style-type: none"> · 载货汽车保有量：2025年降低14%，2035年降低30% · 载客汽车保有量：2030年降低25%，2035年降低30%
新车燃油经济性提升	2020年水平	到2035年，百公里能耗 <ul style="list-style-type: none"> · 乘用车：下降37.5% · 商用客车：下降20% · 商用货车：下降15% 2035—2060年，百公里能耗变化不大	到2035年，百公里能耗 <ul style="list-style-type: none"> · 乘用车：下降45% · 商用客车：下降30% · 商用货车：下降25% 2035—2060年，百公里能耗变化不大
降低活动水平	<ul style="list-style-type: none"> · 私家车：年行驶里程12000km · 重型货车：年行驶里程50000km 	与基准情景相比 <ul style="list-style-type: none"> · 私家车：2060年下降20% · 商用车：保持不变 	与基准情景相比 <ul style="list-style-type: none"> · 私家车：2060年下降40% · 商用车：保持不变
上游减排	2020年水平	<ul style="list-style-type: none"> · 非化石能源发电量：2050年达到92%，2060年达到100% · 灰氢占比：2050年15%，2060年降至0% 	<ul style="list-style-type: none"> · 非化石能源发电量：2050年达到100% · 灰氢占比：2050年降至0%

来源：作者假设。

表 21 | 不同情景设置中相关措施的地域差异性对比

政策措施	基准情景	现有政策延续情景	零排放情景
新能源汽车推广与替代	× (无差异)	√ (有差异)	√ (有差异)
运输结构调整	× (无差异)	× (无差异)	× (无差异)
新车燃油经济性提升	× (无差异)	× (无差异)	× (无差异)
降低活动水平	× (无差异)	× (无差异)	× (无差异)
上游减排	× (无差异)	× (无差异)	× (无差异)

来源：作者假设。





1061
8311 2424



第五章

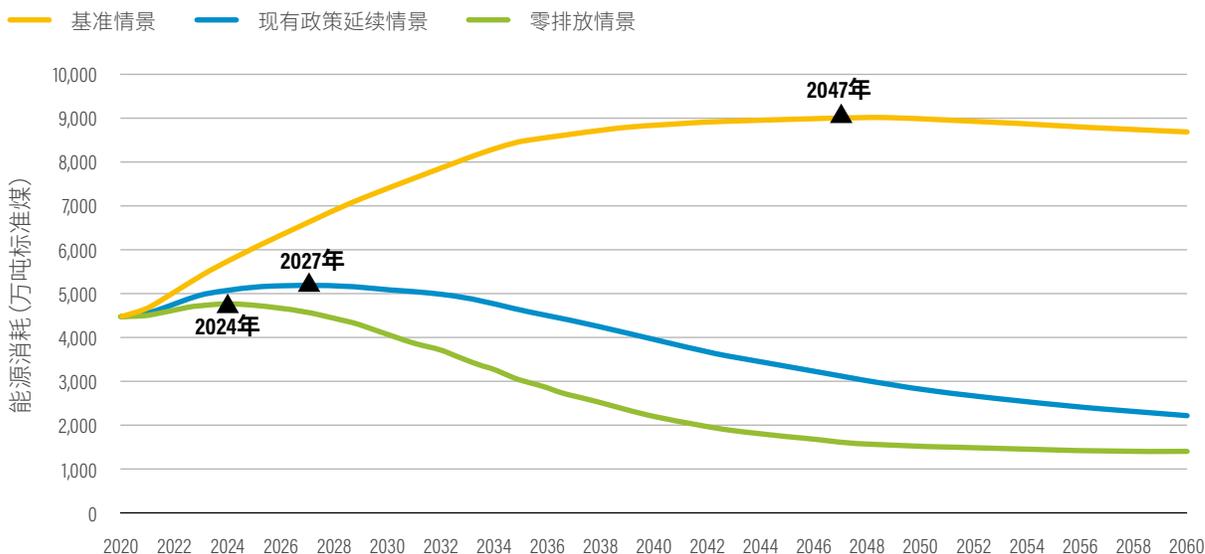
预测结果

5.1 能源消耗预测

在现有政策延续情景、零排放情景下，广东省道路交通能耗将分别在2027年、2024年达到峰值，达峰时能耗比2020年分别上升16.6%、6.9%（见图28）。在新能源汽车推广与替代、运输结构调整等一系列措施影响下，广东省道路交通能耗在达峰后将快速下降，到2060年，两种情景的能源消耗比2020年将分别下降50.2%、68.5%（见图28）。

- 在能耗结构方面，广东省道路交通能耗结构未来将发生较大变化：受新能源汽车推广与替代政策影响，在现有政策延续情景与零排放情景下，广东省汽油、柴油的能源消耗在达峰后，将呈快速下降趋势，这意味着未来有必要对广东省基础设施进行改造，特别是新能源汽车推广与替代速度快的区域（如深圳、广州）。
- 在电力消耗量方面，现有政策延续情景及零排放情景下，广东省道路交通领域的耗电量将呈

图 28 | 三种情景下广东省道路交通终端运输能源消耗预测



来源：作者计算。

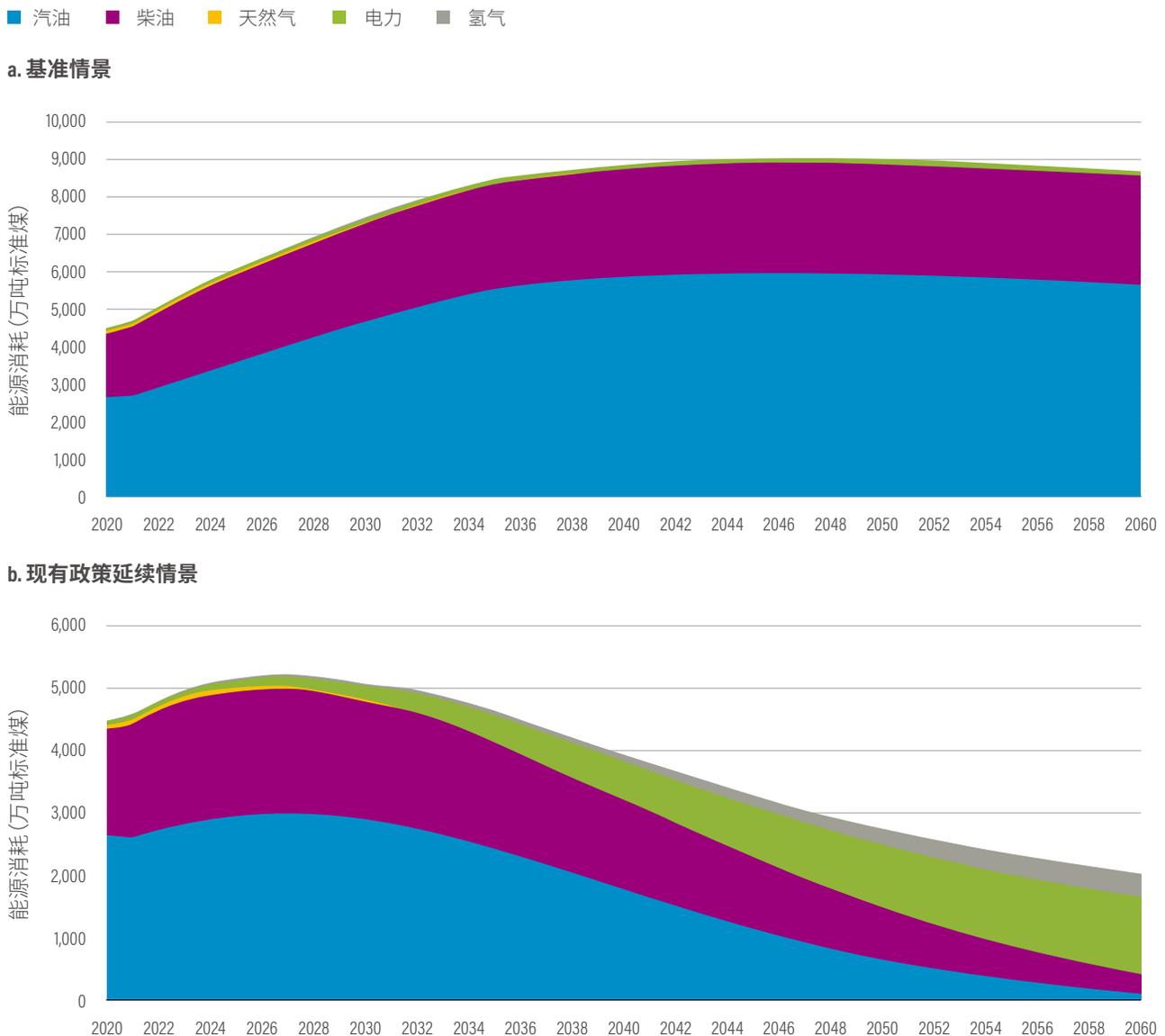
现快速增长的趋势。到2060年，电能将可能成为广东省道路交通能耗的最大贡献源。现有政策延续情景下，2060年广东省省道路交通耗电量将达到2020年的18.5倍，占2060年交通能耗的59.7%；零排放情景下，2060年耗电量将达到2020年的13.4倍，占2060年交通能耗的72.4%。这意味着广东省需要对现有电力基础设施进行评估，分析其对未来新能源汽车推广与替代的支撑程度。

- 在氢燃料消耗量方面，现有政策延续情景及零排放情景下，广东省道路交通领域的耗氢量也将快速增长。现有政策延续情景下，2060年广东省道路交通耗氢量

将是2020年的212倍，占2060年交通能耗的19.1%。零排放情景下，2060年耗氢量约为2020年的182倍，占2060年交通能耗的27.1%。这意味着广东省要加大集中式核能制氢（即粉氢）、可再生能源制氢（即绿氢）以及分布式电解水制氢的投入，加强在液氢（或高压氢气、氨气）运输上的投入，提供必要的能源保障措施。

广东省道路交通分燃料类型运输能源消耗预测如图29所示。三种情景2060年广东省道路交通的能耗结构如图30所示。

图 29 | 广东省道路交通分燃料类型运输能源消耗预测

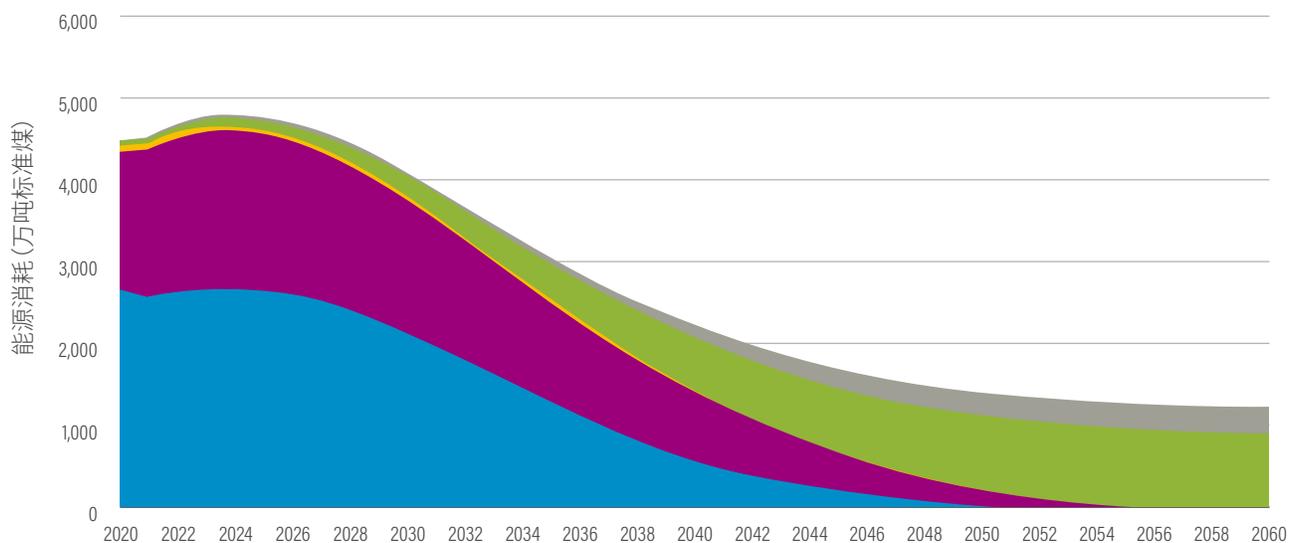


来源：作者计算。

图 29 | 广东省道路交通分燃料类型运输能源消耗预测 (续)

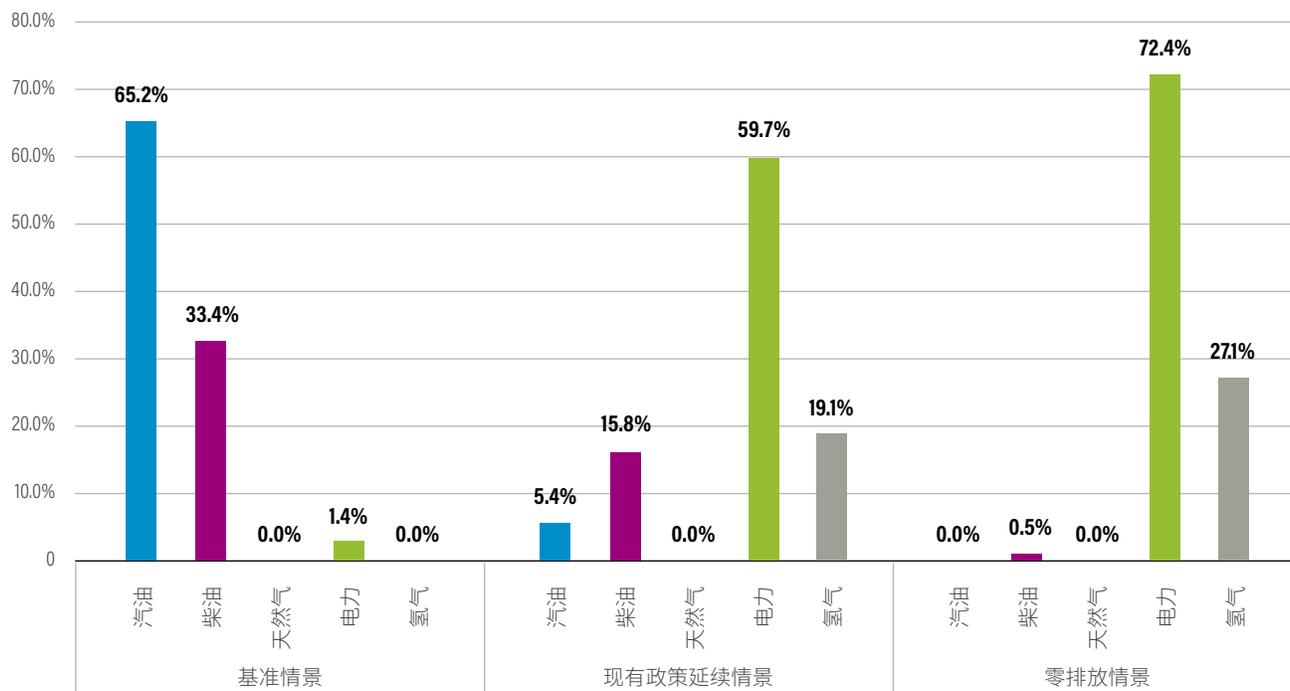
■ 汽油 ■ 柴油 ■ 天然气 ■ 电力 ■ 氢气

c. 零排放情景



来源: 作者计算。

图 30 | 三种情景2060年广东省道路交通的能耗结构



来源: 作者计算。

5.2 二氧化碳排放预测

(1) 广东省

图31为三种情景下广东省道路交通碳排放预测结果。其中，现有政策延续情景及零排放情景均有良好减碳效果，能提前达峰且达峰时峰值更低。具体看，现有政策延续情景下，广东省道路交通碳排放将有望在2027年实现达峰，达峰时峰值比2020年增加16.7%。零排放情景下，广东省道路交通碳排放将在2024年达峰，达峰时峰值比2020年仅增加6.9%。基准情景下，道路交通碳排放仍将持续增长，在2047年达到峰值，比2020年增长了102.4%。

到2060年，现有政策延续情景碳排放比2020年降低79.6%；零排放情景比2020年降低99.9%，基本实现近零排放。

(2) 广州、深圳

广州、深圳的碳达峰情况要优于广东省（见图32）。广州市在现有政策延续情景与零排放情景下，道路交通碳达峰年份分别为2026年、2024年，峰值排放量比2020年分别增加18.6%、8.6%。深圳在两种情景下，道路交通碳排放达峰年份更早，都在2023年。虽然深圳峰值排放量比广州略高，但与深圳2020年排放水平相比，增长不明显，分别增加8.5%（现有政策延续情景）和4.4%（零排放情景）。

图 31 | 三种情景下广东省道路交通碳排放预测

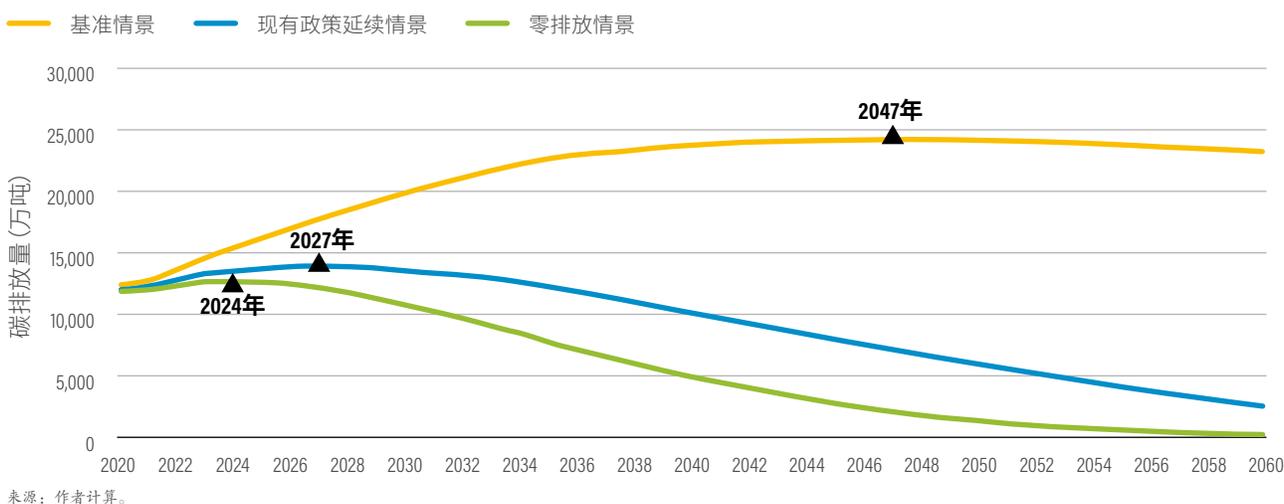
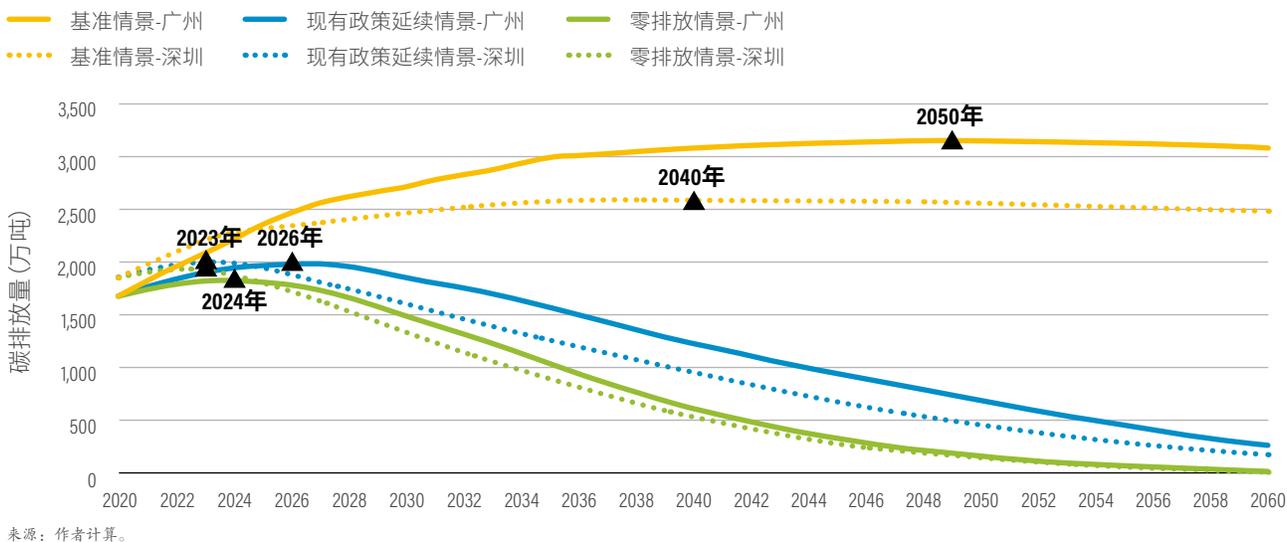


图 32 | 三种情景下广州、深圳道路交通碳排放预测



到2060年，在现有政策延续情景下，广州、深圳排放将比2020年降低84.5%和90.7%，减排潜力高于全省平均水平。零排放情景下，两个城市2060年道路交通更是实现近零排放。虽然深圳峰值排放略高于广州，但深圳在两个情景下碳排放的降幅更大。

深圳达峰时间更早、降幅更大的原因有以下几点：一是2020年深圳千人私家车保有量（153.7辆）高于广州（114.6辆）；同时，深圳小客车总量控制措施比广州更加严格——2022年度新增指标（10万辆）是广州市（20万辆）的一半（见第3.3.2节），所以，深圳机动车保有量将更快饱和，未来增量空间小。二是如第3.3节所述，深圳的新能源汽车推广与替代进度更快，减排潜力更大。

(3) 珠三角地区(非穗深)

与广州、深圳相比，珠三角地区（非穗深）在现有政策延续情景下的碳达峰时间要晚一些，为2027年，达峰时碳排放比2020年增加14.7%。零排放情景下，珠三角地区（非穗深）的达峰时间与广州市一致，可有望提前至2024年，达峰时碳排放比2020年增加5.3%。

到2060年，现有政策延续情景下，珠三角地区（非穗深）道路交通碳排放将比2020年低81.9%。虽然在这一情景下，珠三角地区（非穗深）中长期减排潜力不及广州、深圳，但在2060年也呈可观的减排潜力。零排放情景下，2060年，与广州、深圳类似，珠三角地区（非穗深）道路交通基本能实现近零排放。

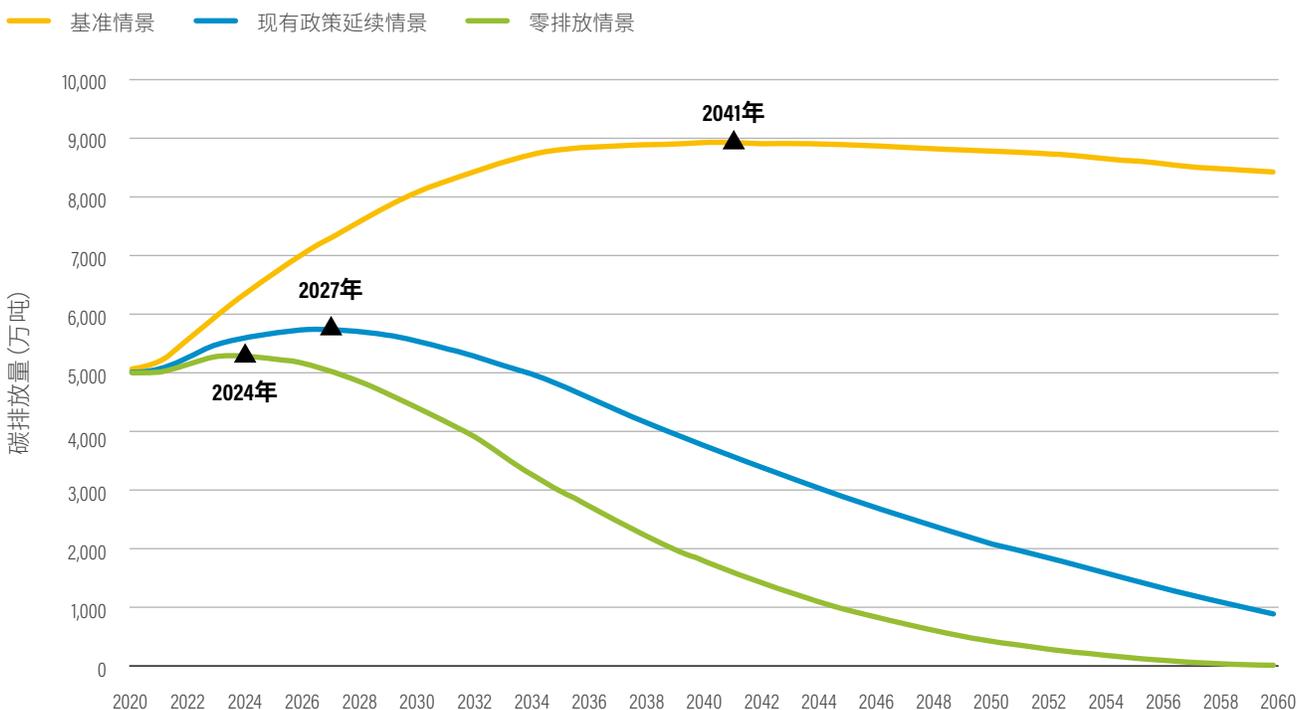
三种情景下珠三角地区（非穗深）道路交通碳排放预测如图33所示。

(4) 非珠三角地区

近期，非珠三角地区需求增长势头强劲，因此，道路交通领域的碳达峰时间要晚于广东省其他区域，也是广东省在道路交通领域减排的关键区域。现有政策延续情景下，非珠三角地区道路交通碳排放有望在2033年达峰，达峰时碳排放量比2020年增加38.0%——增幅为四个区域之首。零排放情景下，非珠三角地区有望在2026年达峰，达峰时碳排放量比2020年增加12.1%。

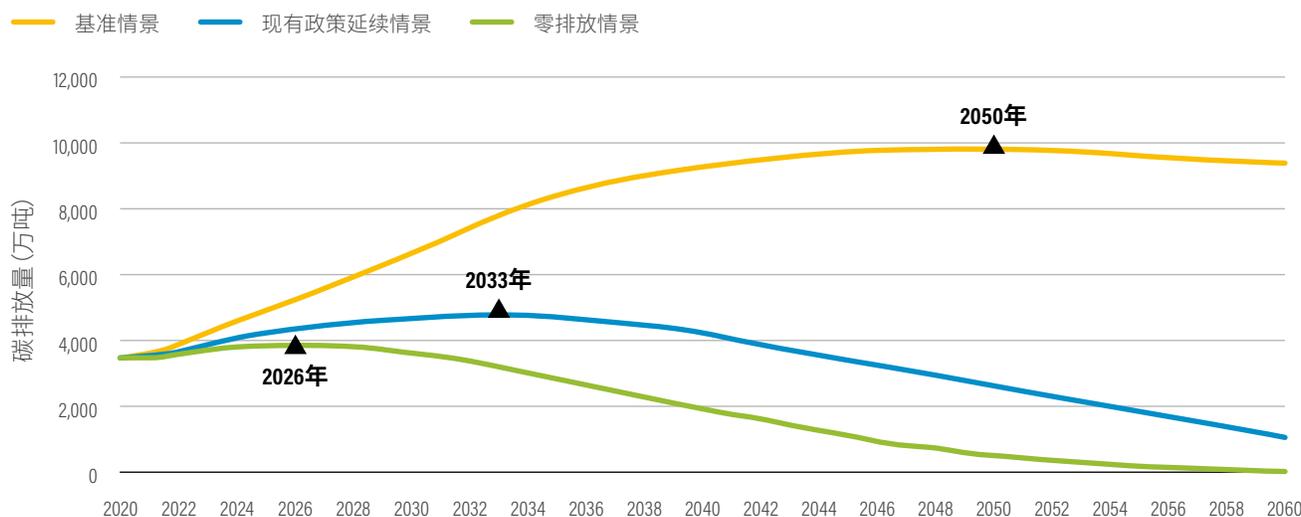
同时，现有政策延续情景下，非珠三角地区道路交通难以实现中长期的碳中和目标，有必要在未来加大减排力

图 33 | 三种情景下珠三角地区(非穗深)道路交通碳排放预测



来源：作者计算。

图 34 | 三种情景下非珠三角地区道路交通碳排放预测



来源：作者计算。

度。到2060年，现有政策延续情景下，非珠三角地区道路交通碳排放将比其2020年的水平降低67.9%，离实现近零排放的目标仍然有较大差距。

如果采取更激进的措施，在零排放情景下，非珠三角地区有望与广东省其他区域一样，于2060年实现近零排放。

三种情景下非珠三角地区道路交通碳排放预测如图34所示。

综上所述，广东不同区域道路交通碳排放达峰时间差异较大，大致达峰顺序为深圳、广州、珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区。特别是在现有政策延续情景下，广州、深圳和珠三角地区（非穗深）能够在2030年前达峰，而非珠三角地区在2030年后才能达峰。所以，广东省若想在2030年前实现达峰，既需要深圳、广州的道路交通碳排放及早达峰，为其他区域达峰提供更多提前量，也需要非珠三角地区在道路交通减排上发力。

到2060年，现有政策延续情景可以提供较显著的减排量，特别是广州、深圳，珠三角地区（非穗深）2060年排放可较2020年降低80%以上。然而，现有政策延续情景下，非珠三角地区道路交通仍难以实现近零排放，有必要在中长期加大减排力度。

在各区域排放占比上，2020年，广州、深圳、珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区道路交通碳排放分别占广东省道路交通碳排放总量的14.0%、15.4%、41.8%、28.8%（见图35）。在未来，以现有政策延续情景为例进

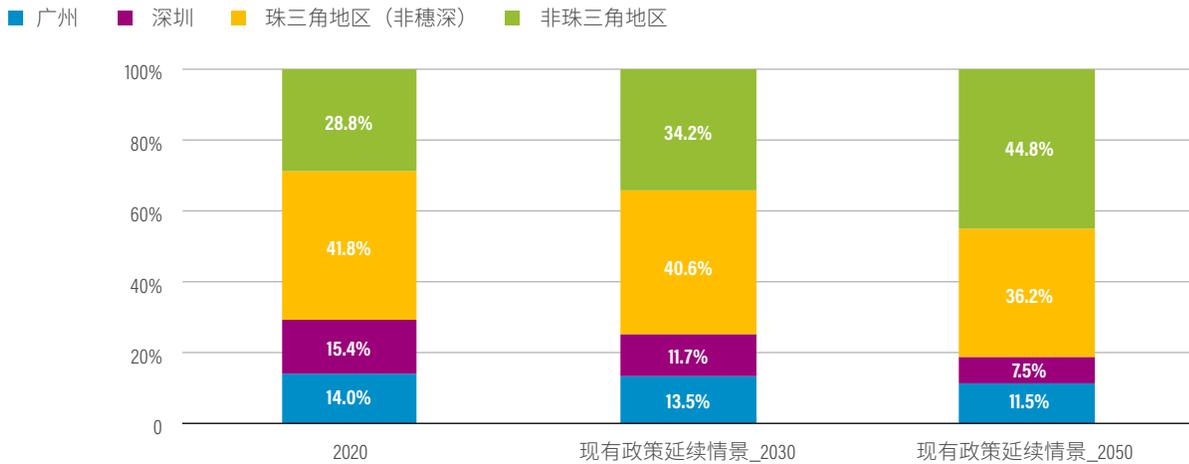
行分析，广州、深圳、珠三角地区（非穗深）的排放占比都在降低，而非珠三角地区的排放占比在快速上升：

- 2030年前，珠三角地区（非穗深）为广东省交通碳排放主要贡献地区（道路交通碳排放占比为40%左右），非珠三角地区次之（道路交通碳排放占比为29%~34%）。所以，珠三角地区（非穗深）和非珠三角地区道路交通碳排放提前达峰是广东省实现道路交通碳排放提前达峰的关键。
- 在中长期（2030年后），非珠三角地区道路交通碳排放将逐渐超越珠三角地区（非穗深），并在2040—2050年左右成为广东省道路交通碳排放最大的区域（道路交通碳排放占比为40%~45%），珠三角地区（非穗深）次之。所以，非珠三角地区将是2060年广东省道路交通实现近零排放的关键。

从车型来看，2020年广东省道路交通碳排放中，以私家车占比最大，重型货车、轻型货车次之。现有政策延续情景和零排放情景下，在不同时间（2030年、2050年），不同车型占比又呈现出不同的变化趋势（见图36）：

- 到2030年，私家车仍是广东省道路交通最大的碳排放源（占比50%左右），重型货车次之（占比30%左右）。这主要是因为私家车的增长速度比货车更快，特别是在珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区。
- 到2050年，随着新能源私家车推广数量的增加，私家车碳排放占比下降，重型货车碳排放占比上升，成为广东省道路交通最大的排放源（占比50%左右）。

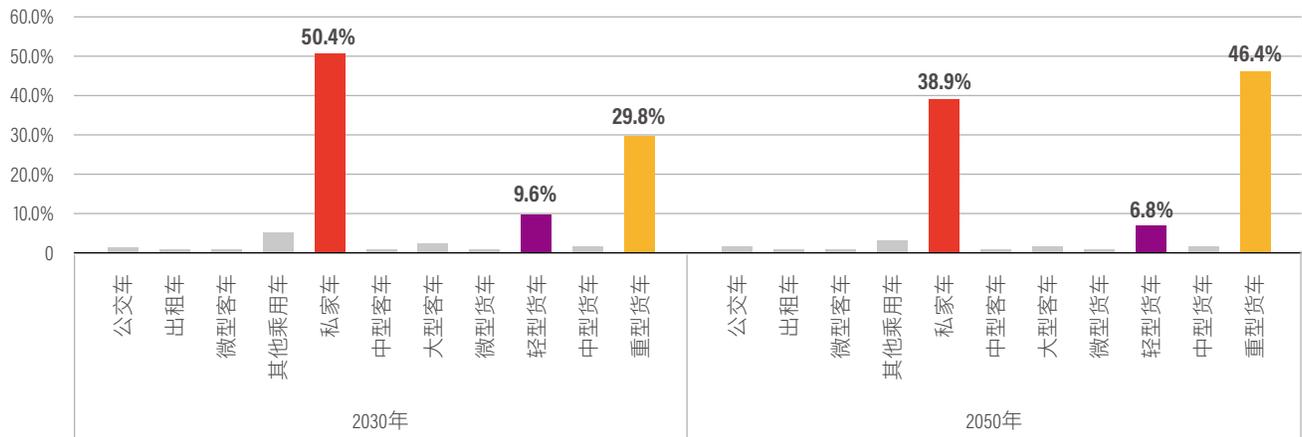
图 35 | 广东省不同区域道路交通碳排放占比



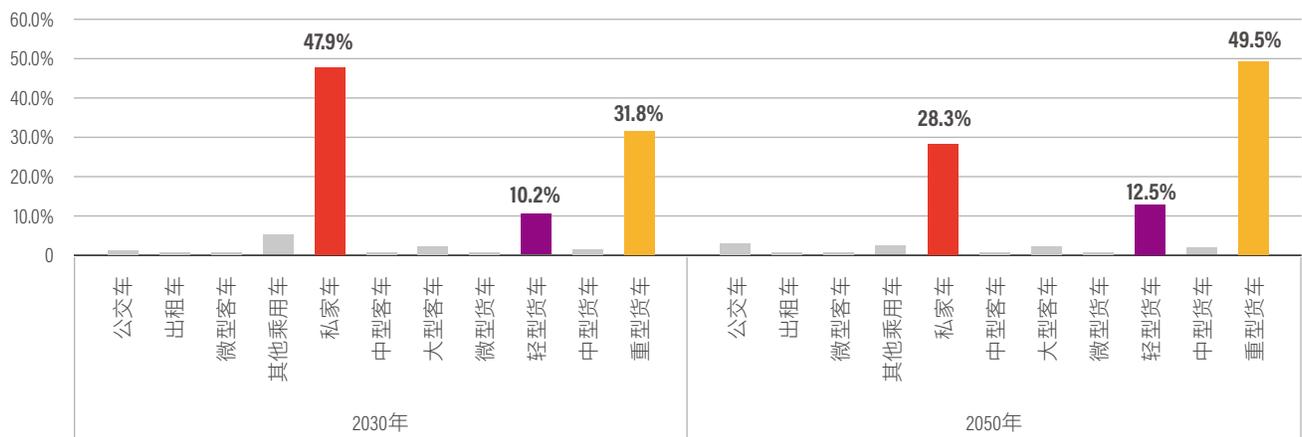
来源：作者计算。

图 36 | 不同政策情景下广东省2030年、2050年分车型道路交通碳排放占比

a. 现有政策延续情景



b. 零排放情景



来源：作者计算。

5.3 不同措施减排潜力评估

■ 不同时期减排潜力分析

本节评估第4.2节设置的情景下，各项减排措施的减排潜力。

减排潜力指在实施第4.2节政策情景（含现有政策延续情景和零排放情景）中的单一减排措施后，在不同区域、不同时段，相对基准情景碳排放的减排量大小。测定减排潜力可消除各项减排措施之间在减排效果上的关联与相互影响。例如，若各个措施叠加在一起，新能源汽车推广及替换措施，会削弱活动水平下降措施的减排潜力。

从近期（2020—2030年）与中长期（2030—2060年）看，不同措施相对基准情景的减排潜力存在差异：

在近期（2020—2030年），现有政策延续情景、零排放情景下，运输结构调整的减排量最大，其次为新能源汽车推广与替代和新车燃油经济性提升措施。在现有政策延续情景下，近期，新能源汽车推广与替代的减排潜力不及运输结构调整，并与新车燃油经济性改善在短期的减排潜力相当。这主要是由于在短期内，广东省私家车保有量增长快，而新能源汽车在新车销量中占比有限，所以需要借助运输结构调整、新车燃油经济性提升措施减少道路交

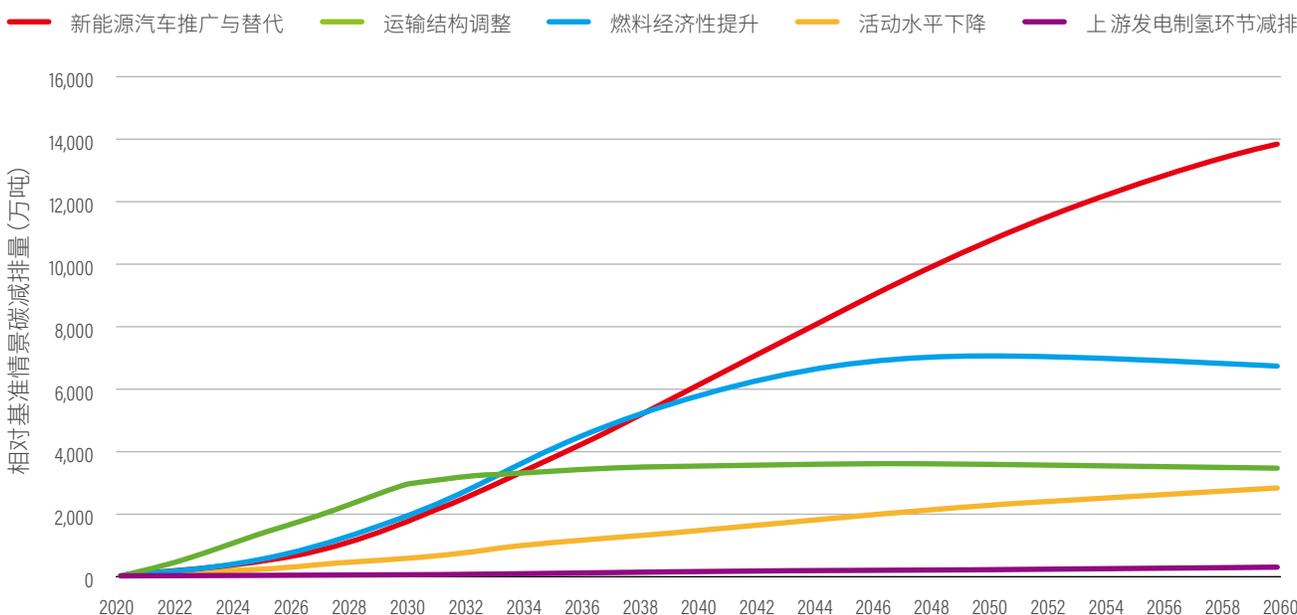
通碳排放。在零排放情景下，随着更加激进的新能源汽车推广与替代措施的落实，新能源汽车的减排潜力将释放，超过燃油经济性提升的减排潜力。最后，在近期，活动水平下降、上游发电/制氢脱碳产生的减排量相对较低。

在中长期（2030—2060年），新能源汽车推广与替代的减排潜力最大，其后依次为新车燃油经济性提升、运输结构调整、活动水平下降、上游能源结构调整：

- 由于广东省中长期运输结构调整措施尚不明确，且基础设施投资会产生“锁定效应”（IPCC 2007），所以，本文不对2035年后做运输结构调整假设。
- 新车燃油经济性提升也是如此，其减排潜力在短期内较大。未来，受技术制约，新车燃油经济性可能进入减排的平台期。
- 零排放情景下，在2050年左右，新能源汽车推广与替代措施的减排潜力也逐渐达到了平台期。这主要是因为零排放情景下新能源汽车推广与替代措施更加激进，大部分车型在2050年已经实现保有量的完全新能源化，尤其是深圳、广州、珠三角地区（非穗深）。

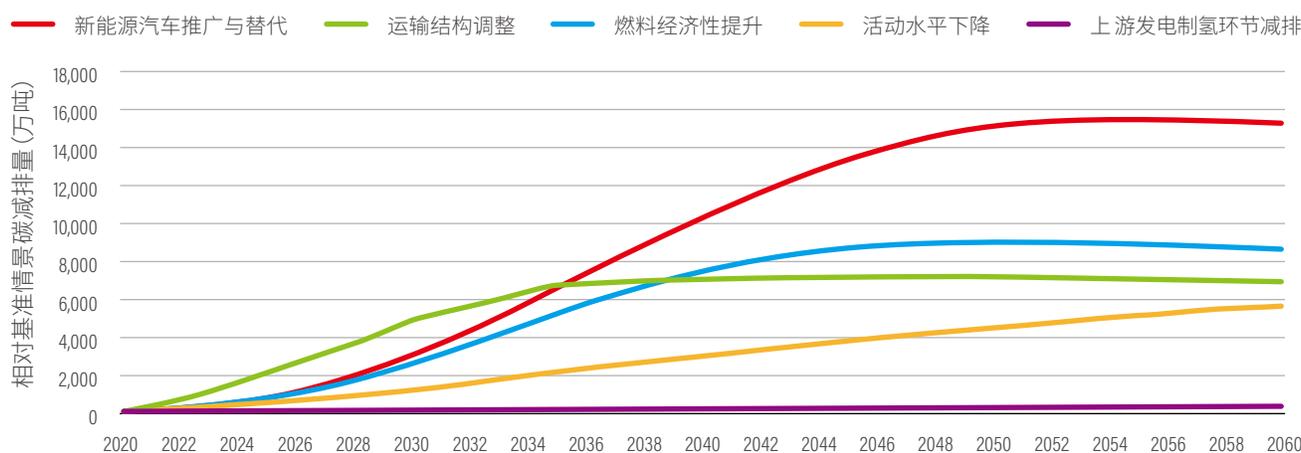
纵观2020—2060年，各项措施中，新能源汽车推广与替代的减排潜力最大，次之分别为燃油经济性提升与运输结构调整（见图37和图38）。

图 37 | 广东省现有政策延续情景下单一措施的减排潜力



来源：作者计算。

图 38 | 广东省零排放情景下单一措施的减排潜力



来源: 作者计算。

不同区域减排潜力分析

本文进一步选择深圳市和非珠三角地区, 对比政策情景下各减排措施在不同区域的减排潜力差异。

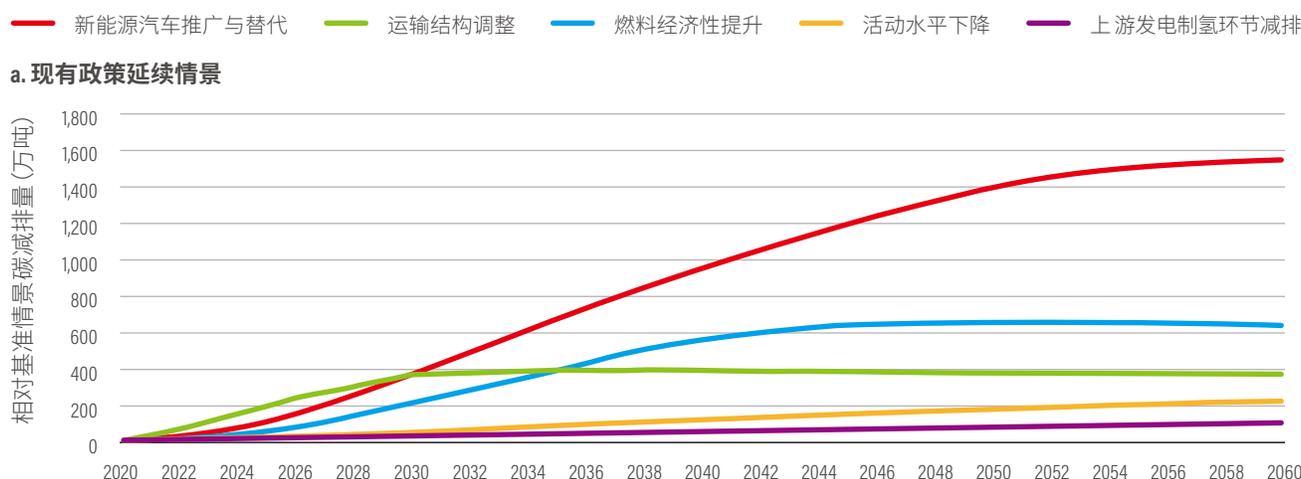
与广东省层面的减排潜力结果类似, 在近期(2020—2030年), 运输结构调整在两个区域均具有略高的减排潜力, 但从2020—2060年整体看, 新能源汽车推广与替代措施的减排潜力最大。

但分区域看, 各项减排措施的减排潜力存在差别。以深圳市和非珠三角地区为例, 无论现有政策延续情景还是零排放情景下, 预测结果显示, 深圳市新能源汽车推广与替代

在近期(2020—2030年)的减排潜力明显高于非珠三角地区(见图39和图40)。而在非珠三角地区, 近期新能源汽车推广与替代的减排潜力不如运输结构调整, 甚至不及新车燃油经济性的提升(或与燃油经济性提升相当)。

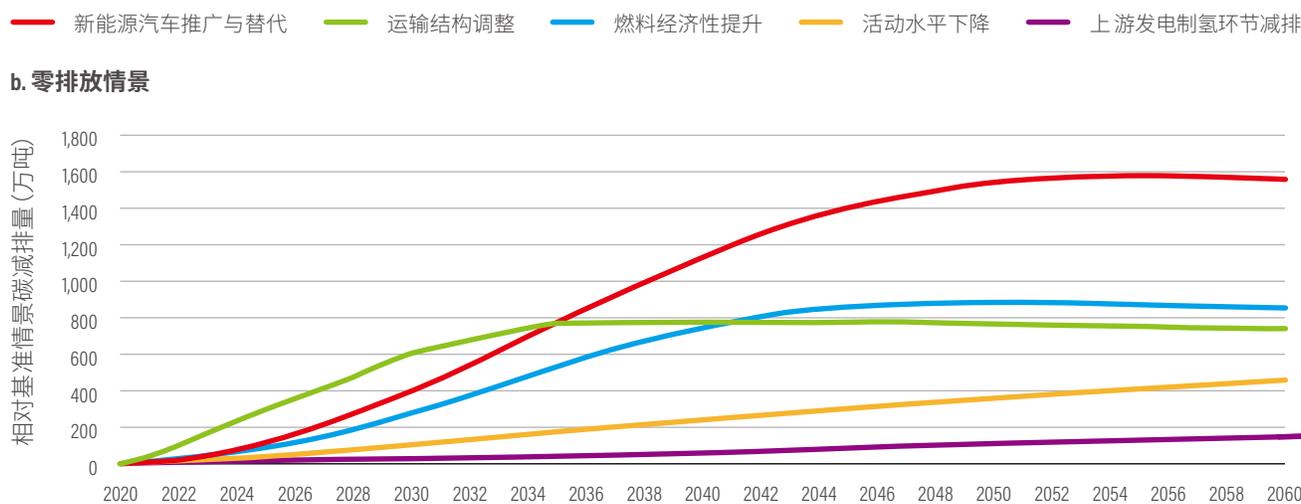
由于没有区分运输结构调整措施的地域差异, 所以, 情景预测结果无法体现运输结构措施在区域间的差异。但考虑到非珠三角地区私家车保有量在短期内增速快、增量空间大, 即便是在零排放情景的激进新能源汽车推广措施下, 也难以在近期将非珠三角地区的新能源汽车在私家车新车销量中的占比快速提升到100%。所以, 非珠三角地区需要结合交通需求管理(如控制私家车保有量增速)、鼓励绿色出行等措施, 降低私家车的排放(在道路交通碳排放中占比最大)。

图 39 | 深圳市不同政策情景下单一措施的减排潜力



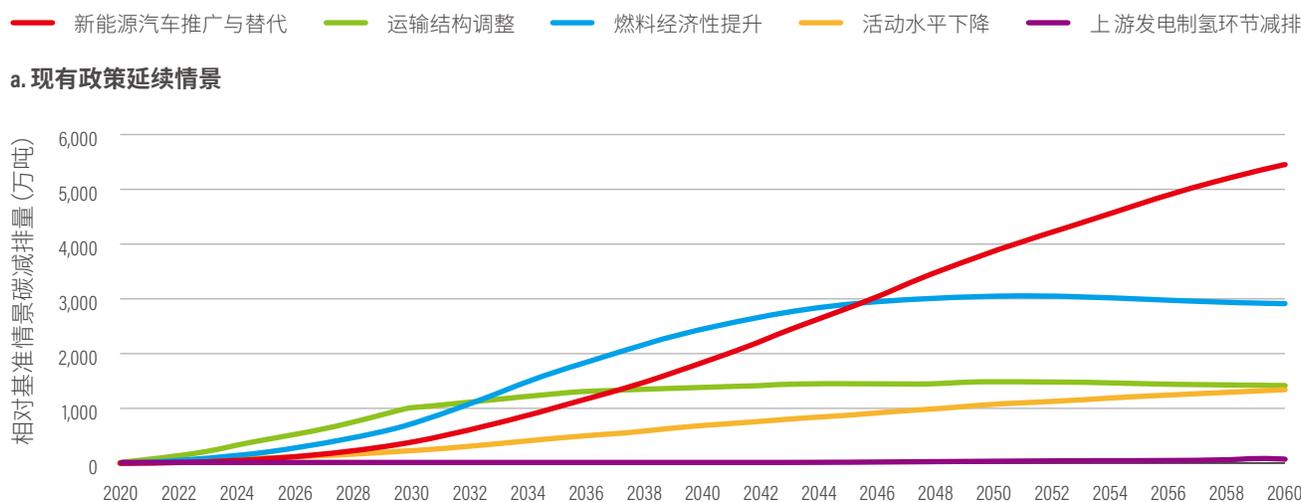
来源: 作者计算。

图 39 | 深圳市不同政策情景下单一措施的减排潜力(续)

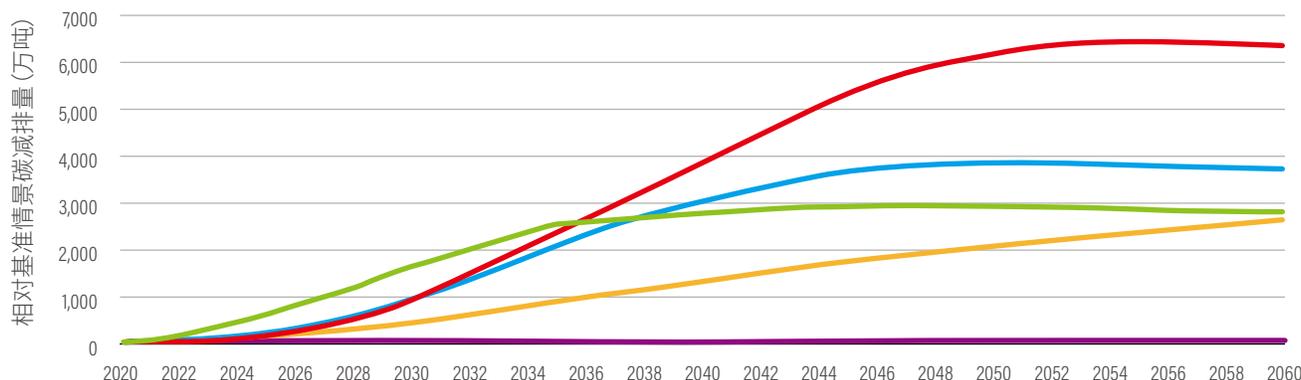


来源：作者计算。

图 40 | 非珠三角地区不同政策情景下单一措施的减排潜力



b. 零排放情景



来源：作者计算。

5.4 污染物协同减排效应分析

本文进而分析三种情景下，广东省道路交通污染物排放的协同减排效应。三种情景下，广东省道路交通污染物排放都呈下降趋势。不同的是，与基准情景相比，现有政策延续情景与零排放情景的下降趋势更明显（见图41）。

基准情景下的道路交通污染物排放下降的主要原因是随着“国一”到“国五”车辆淘汰，污染物排放小的“国六”车辆在汽车保有量中占比上升。另外，现有政策延续情景与零排放情景下实施的新能源汽车推广与替代、运输结构调整、新车燃油经济性提升等措施，也能产生减污降碳的协同效应。

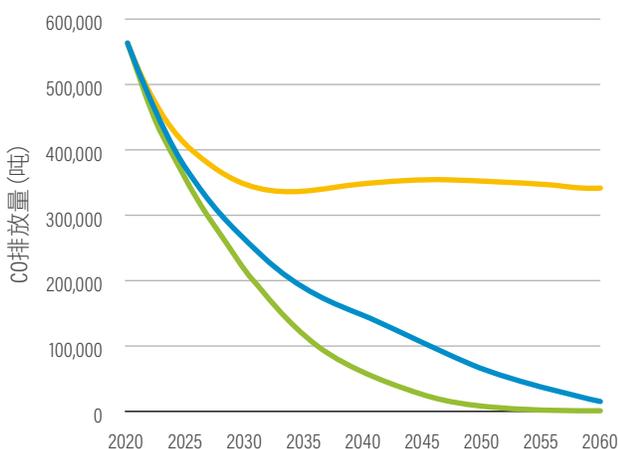
不同减排措施的减污作用如图42、图43、图44、图45所示（V1、V2分别为在现有政策延续情景、零排放情景下采取的措施）：

- 在近期（2030年前），各政策情景相对基准情景对机动车污染物减排的效果不明显；短期内污染物的减排主要得益于车辆更新置换与“国六”的推广与普及。
- 在中长期，各政策情景相对基准情景对机动车污染物减排的效果开始显现。新能源汽车推广与替代的减排潜力最大。

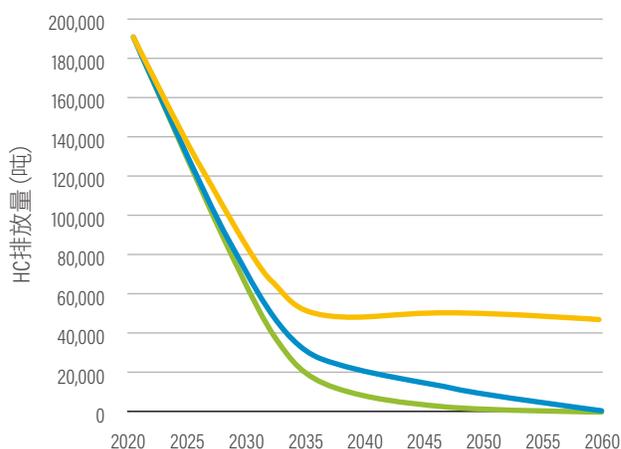
图 41 | 广东省三种情景下污染物排放预测

— 基准情景 — 现有政策延续情景 — 零排放情景

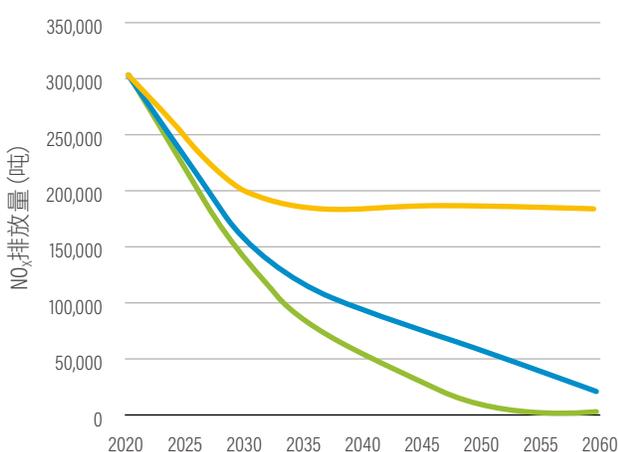
a. CO



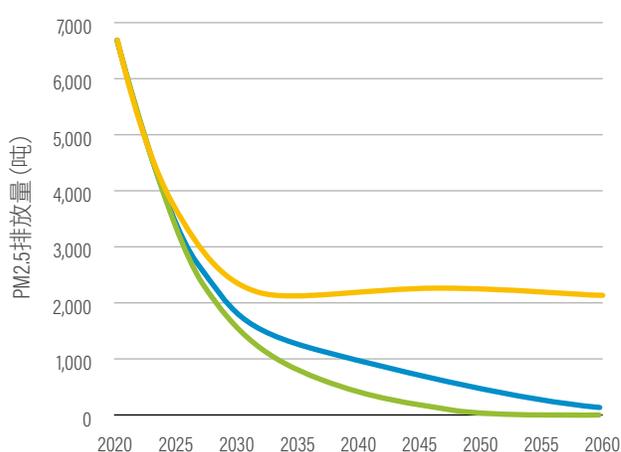
b. HC



c. NO_x

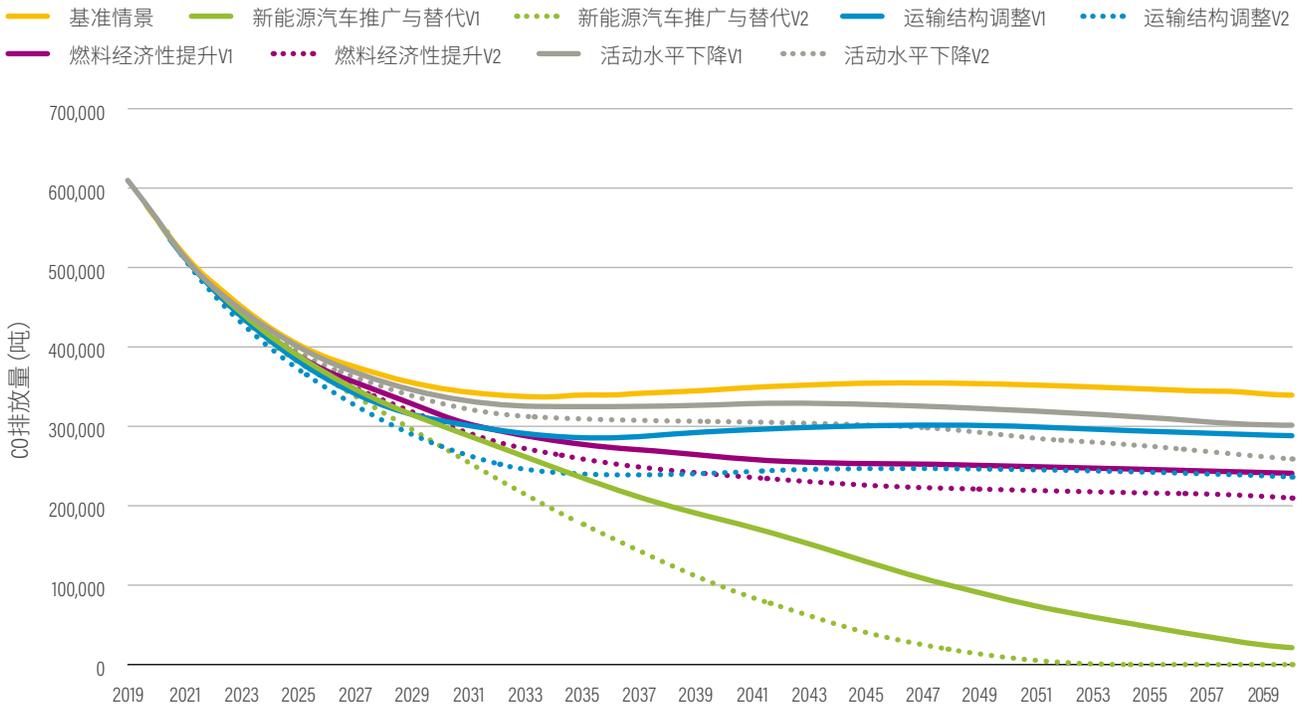


d. PM_{2.5}



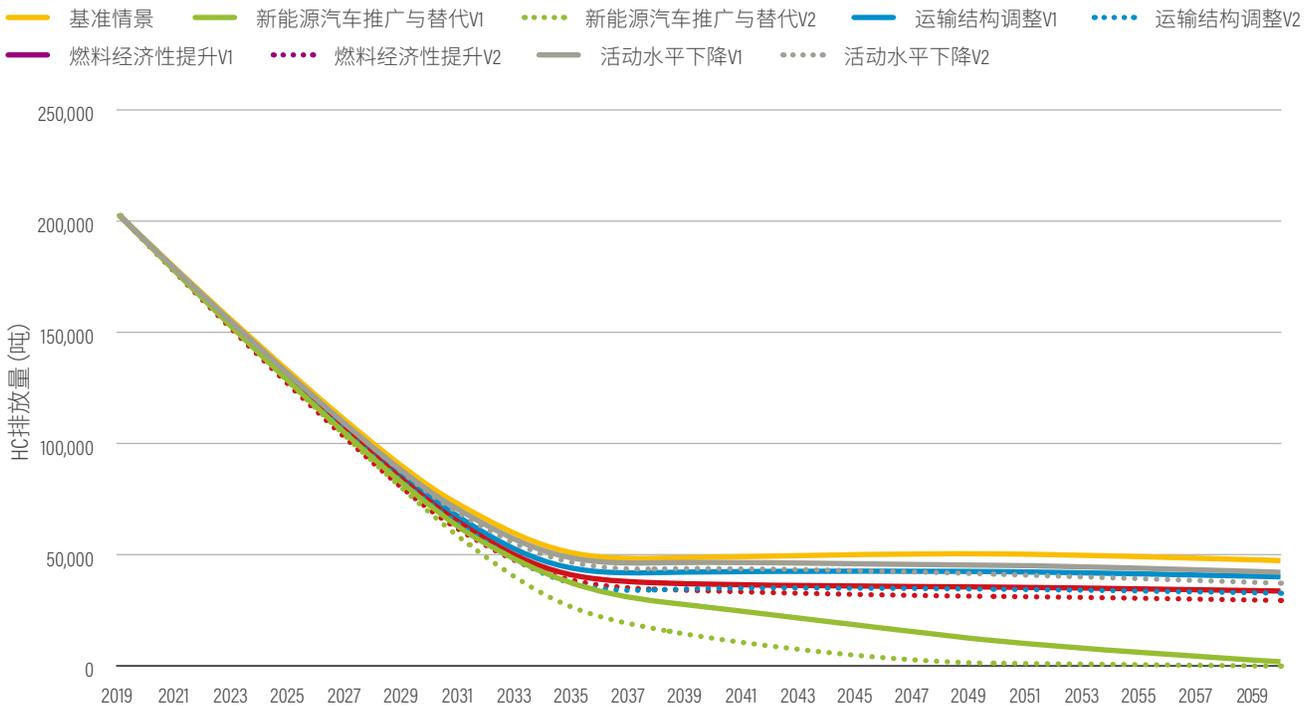
来源：作者计算。

图 42 | 两种政策情景下不同措施的一氧化碳减排潜力



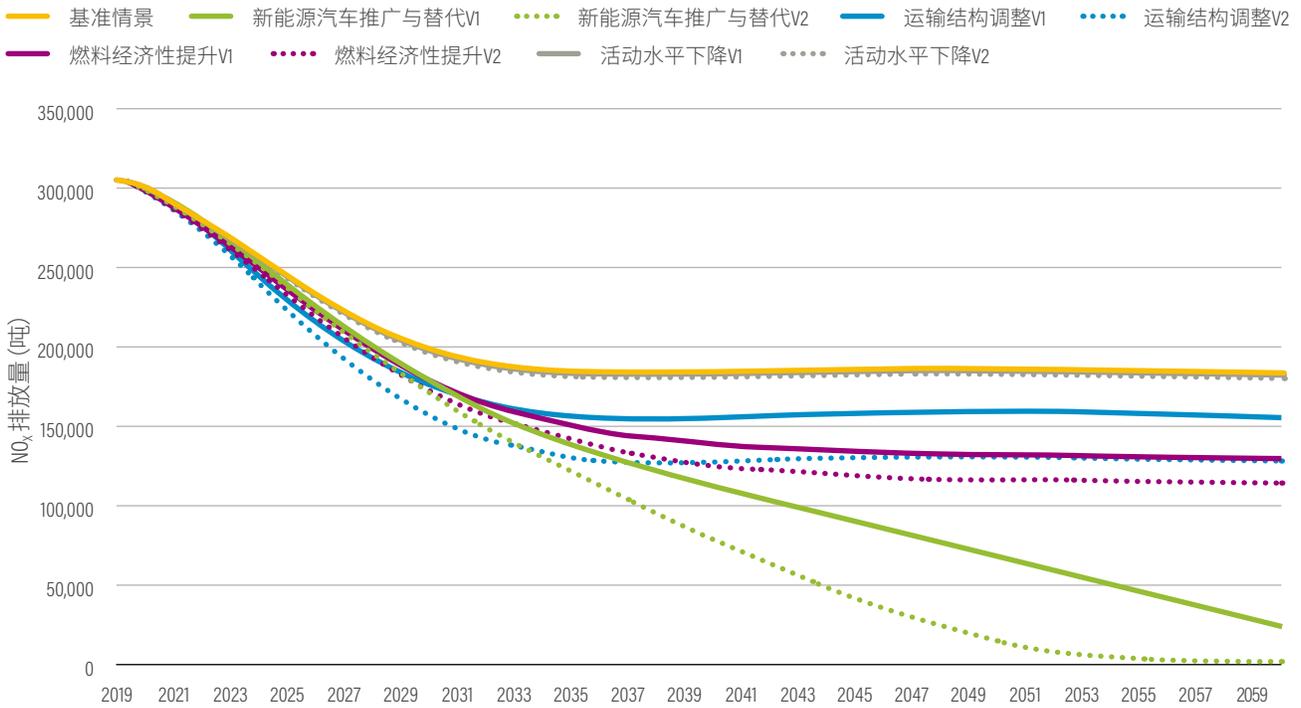
来源：作者计算。

图 43 | 两种政策情景下不同措施的碳氢化合物减排潜力



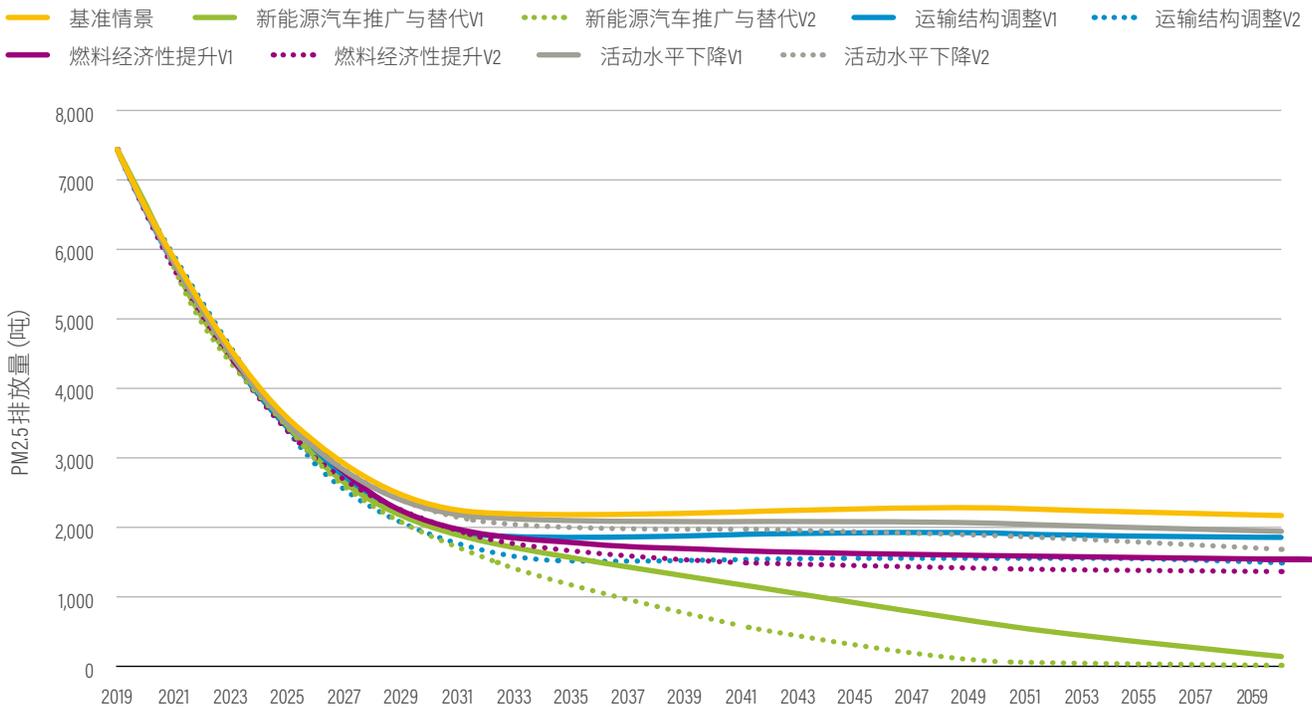
来源：作者计算。

图 44 | 两种政策情景下不同措施的氮氧化物减排潜力



来源：作者计算。

图 45 | 两种政策情景下不同措施的细颗粒物减排潜力



来源：作者计算。



第六章

总结与政策建议

作为中国乃至世界经济的重要增长点，广东省具有高度开放性和改革先导性，其率先实现碳达峰、碳中和，对中国其他省份的碳减排也具有借鉴意义。

广东省2015—2020年道路交通碳排放历史趋势分析表明，尽管广东省经济水平领先，但是存在区域差异，这是广东省实现碳达峰、碳中和目标的重要挑战。其中，广州市、深圳市道路交通碳排放增长已放缓，而珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区的道路交通碳排放增速仍较快（2020年较2015年分别增长了61%和86%），是广东省道路交通碳排放的主要贡献方（2020年占比71%），也是增长的主要推手。

从道路交通碳排放源分析，由于广州、深圳之外区域的私家车保有量快速增长，2015—2020年广东省汽油消费增幅超过75%。特别是由于未出台小客车限购政策，以及轨道交通未成网、绿色交通基础设施仍有待完善，珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区私家车保有量快速增长，绿色出行分担率和公共交通出行在机动化出行中的分担率均较低，绿色出行正向私家车出行转移。此外，由于缺乏经济激励、新能源车基础设施配套等措施，珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区的新能源私家车推广也较为缓慢。

重型货车是广东省道路交通第二大排放源，2015—2020年碳排放增速仅次于私家车。虽然广东省在“十三五”期间较好实现了“公转水”，但铁路运输在运输结构中占比仅有1%且在货运结构中占比在下降，铁路货运在广东省综合运输体系中作用发挥不足。目前，

广东省新能源重型货车发展正处在起步阶段，数量有限，只有深圳正试点城市内部分场景（如自卸货车、环卫车、港口牵引车）的重型货车零排放转型。

广东省货车保有量结构以轻型货车为主，而轻型货车（城市物流车）是2020年广东省道路交通第三大碳排放源。目前，广东省轻型货车推广也存在不均衡问题，主要集中在广州和深圳，珠三角地区（非穗深）新能源物流车推广正在提速（如佛山的氢燃料城市物流车），但非珠三角地区新能源物流车推广速度仍有待提升。

基于广东省的现状、“十四五”规划等文件，本文对广东省未来道路交通碳排放建立了三种情景，从新能源汽车的推广与替代、新车燃油经济性的提升、运输结构调整、活动水平的下降、上游发电/制氢供应结构等方面，对广东省未来道路交通碳排放做预测，其结果显示：

第一，现有政策延续情景下，广东省道路交通碳排放将有望在2027年实现达峰，达峰时峰值比2020年增加17%。零排放情景下，广东省道路交通碳排放将在2024年达峰，达峰时峰值比2020年仅增加7%。到2060年，现有政策延续情景碳排放比2020年降低80%；零排放情景碳排放比2020年降低99.9%，实现近零排放。

第二，分区域看，现有政策延续情景下，珠三角地区（非穗深）有望在2030年前提前实现道路交通

碳排放达峰。而无论在现有政策延续情景还是零排放情景下，深圳道路交通碳排放达峰时间都是最早的，将在2023年达峰；广州将在2024—2026年达峰。

非珠三角地区碳排放达峰时间最晚，也将是广东省道路交通减排的重点。特别是在现有政策延续情景下，珠三角地区（非穗深）道路交通碳排放能够在2030年前达峰，而非珠三角地区将在2030年后才能达峰，且到2060年也难以实现碳中和。现阶段到2050年前，珠三角地区（非穗深）道路交通碳排放占比最大，为减排重点地区。在2040—2050年，非珠三角地区道路交通碳排放放在广东省道路交通碳排放中的占比将扩大至40%~45%，并将逐渐超越珠三角地区（非穗深），成为广东省道路交通碳排放占比最大的区域。

第三，从减排潜力来看，所有措施中，新能源汽车推广与替代对二氧化碳和各种空气污染物而言，均有最大的减排潜力。在近期（2020—2030年），运输结构调整的减排潜力最大，其次为新能源汽车推广与替代和新车燃油

经济性提升。在中长期，新能源汽车推广与替代的减排潜力最大。分区域看，近期，新能源汽车推广与替代在深圳的减排潜力更大，而鉴于非珠三角地区私家车保有量在短期内增速快、增量空间大，所以，需要结合运输结构调整等措施，帮助非珠三角地区降低道路交通碳排放。

基于对广东省道路交通领域的碳排放现状分析及未来情景预测，本文提出广东省分区域的道路交通减排建议：

在广东省层面，广东省政府有必要：

一是考虑到2020年广东省私家车保有量75%集中在珠三角地区（非穗深）与非珠三角地区且增速快，有必要从省政府层面，支持珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区城市政府的新能源私家车推广工作，加大对珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区新能源私家车推广的支持力度，在用地规划、电网扩容、基础设施建设等方面提供资金、政策支持，考虑对对该区域新能源私家车推广情况进行绩效考核。

表 22 | 广东省道路交通近期、中长期重点减排措施建议

	深圳市	广州市	珠三角地区（非穗深）	非珠三角地区
市政府	<p>近期：</p> <ul style="list-style-type: none"> 加速新能源汽车、物流车和中重型货车推广及替换（地方补贴、路权、基础设施等） 发展深圳港集装箱海铁联运与水水中转 <p>中长期：</p> <ul style="list-style-type: none"> 加速新能源中重型货车推广及替换 	<p>近期：</p> <ul style="list-style-type: none"> 加速新能源汽车、物流车和中重型货车推广及替换 发展广州港集装箱海铁联运与水水中转 <p>中长期：</p> <ul style="list-style-type: none"> 加速新能源中重型货车推广及替换 	<p>近期：</p> <ul style="list-style-type: none"> 加速轨道交通建设、优先绿色出行、推出“出行即服务”、制定严格的小汽车需求管理措施 加速新能源汽车、物流车推广及替换 加强内河航道和铁路专用线建设 <p>中长期：</p> <ul style="list-style-type: none"> 加速新能源汽车、物流车、中重型货车推广及替换 	<p>近期：</p> <ul style="list-style-type: none"> 改善常规公共交通服务，优先绿色出行，出台交通需求管理措施 加速新能源汽车、物流车推广及替换 加强内河航道和铁路专用线建设 <p>中长期：</p> <ul style="list-style-type: none"> 加速新能源汽车、物流车、中重型货车推广及替换
省政府	<p>近期：</p> <ul style="list-style-type: none"> 明确近期各类新能源汽车发展的优先级与推广目标（如新能源物流车）；制定全省高速公路充电（加氢）基础设施规划，从用地规划、电网扩容、基础设施建设等方面为新能源汽车推广提供基础设施保障；加大对珠三角地区（非穗深）和非珠三角地区新能源私家车推广的支撑力度；结合氢燃料示范群，规划广东省新能源重型货车的推广方案 完善广东省地方货运铁路专项规划，协调深圳港、广州港周边城市支撑港口货运运输结构调整，加大物流枢纽和内陆港建设，支持有关铁路和水运企业在内陆省份的货源获取工作 完善广东省交通运输统计数据基础，建立全省和各地级市的交通碳排放清单与数据平台 <p>中长期：</p> <ul style="list-style-type: none"> 加大广东省低碳氢气供给，推动加氢站分布式电解水制氢、可再生能源制氢（即绿氢）、集中式核电制氢（即粉氢）的发展；加速推动广东省的电力清洁化 			

来源：作者绘制。

二是在广东省相关“十四五”规划中，明确近期各类新能源汽车发展的优先级与推广目标。其中，鉴于部分新能源物流车已具备经济性，广东省有望继公交车、出租车后在近期实现城市物流车的全面电动化。广东省有关部门可考虑在“十四五”期间优先推广新能源物流车，并提出发展目标及措施。

三是中重型货车是广东省中长期实现深度减排的重点；广东省有必要全省层面统筹：一是抓住汽车产业发展转型的契机，通过建立政府股权基金、优化企业融资额度与利率等方式，调动更多市场主体参与新能源汽车产业发展。二是从全省层面统筹，梳理各重型货车运输场景特点，精细化地规划新能源货车推广路线图。近期，港口、工厂等封闭场景和城市内运输场景（特别是在深圳、广州、佛山与东莞）均具备推广新能源重型货车的可行性。此外，城际短途运输线路（如广州—佛山、深圳—东莞）也具备试点推广新能源货车的可行性。三是安排财政资金，出台新能源中重型货车地方补贴、高速公路优惠路权政策，支持重点城市典型场景的新能源中重型货车推广。

四是制定全省高速公路充电（加氢）基础设施规划，协调各地政府从用地规划、电网扩容、基础设施建设等方面，提供资金、政策等支持，协同规划充电（加氢）基础设施的布局，为新能源汽车推广奠定基础。

五是完善广东省地方货运铁路专项规划，协调深圳港、广州港周边城市支撑港口货运运输结构调整，加速实现“公转铁”、“水水中转”及多式联运；加大物流枢纽和内陆港建设，大力支撑“公转铁”与“公转水”；支持有关铁路和水运企业在内陆省份的货源获取工作。

六是加大广东省低碳氢气供给，推动加氢站分布式电解水制氢、可再生能源制氢（即绿氢）、集中式核制氢（即粉氢）的发展，逐渐退出煤制氢和工业副产氢，加大绿氢和粉氢的供给，尽早让车用低碳氢气终端售价降到30元/千克以下；同时加速推动广东省的电力清洁化。

七是完善广东省交通运输统计数据基础（如将远洋货运周转量从水运货运周转量中拆分出来，根据货车运营场景统计保有量和年行驶里程等），建立全省和各地级市的交通碳排放清单与数据平台，支撑交通绿色低碳行动相关的决策。

在珠三角地区（非穗深）及非珠三角地区，城市政府有必要：

一是珠三角地区（非穗深）的城市有条件借鉴广州和深圳的经验——如加速轨道交通和BRT建设、优先绿色出行、



制定更加严格的小汽车需求管理措施，通过“出行即服务”加强城际铁路、城市轨道交通与城市内其他绿色交通模式之间的接驳。非珠三角地区城市尚不具备发展城市轨道交通的条件，在未来相当长的一段时间里，有必要大幅提升常规公共交通服务质量，加强慢行出行环境建设，出台交通需求管理政策，适当控制私家车数量的快速增长。

二是加强珠三角地区（非穗深）、非珠三角地区中小城市新能源私家车推广，发挥政府政策引导、市场机制的作用，通过提供地方补贴，大力发展充电网络，试点共享出行等商业化运营模式，提高消费者对新能源汽车的认知等，推动新能源私家车发展。

三是珠三角地区（非穗深）的重点城市如佛山市、东莞市和中山市等，应出台新能源物流车优先路权、购置及运营补贴与充电（加氢）基础设施等激励措施，尽早实现新能源物流车在城市物流车新车销量中的占比达100%。

在广州市与深圳市，城市政府有必要：

一是在加速新能源私家车、物流车推广及替换的基础上，通过示范补贴、明确路权、基础设施建设等措施，促进新能源中重型货车推广及替换，为广东省乃至全国做出表率。

二是发展广州港、深圳港的集装箱海铁联运与水水中转，减少中重型货车的数量需求及其对城市交通碳排放的影响。



附录

广东省未来人口与经济增长预测

本研究对未来人口与经济增长情况的预测采用分阶段线性预测方法。

未来人口预测参考了翟、陈、李(2017),王(2021),以及陆杰华(2020)等人的研究,结果显示,广东省人口将在2035年左右达到峰值,相较于基准年增长了6.7%。从城市或区域来看,广州市和深圳市人口均在2035年左右达到峰值,较基准年分别增长了19.8%和15.0%,而珠三角地区(非穗深)和非珠三角地区人口均在2030年左右达到峰值,较基准年分别增长了3%和1.7%。

经济增长预测参考了广东省社会科学院(2018)、

国家信息中心(2021)、Johansson等(2012)等机构和个人的研究。结果显示,广东省GDP总量将持续增长并在2060年达到基准年水平的约5.0倍(以2019年不变价计),人均GDP也将持续增长并在2060年达到基准年水平的约5.2倍。从城市或区域来看,广州市、深圳市、珠三角地区(非穗深)和非珠三角地区GDP总量均保持增长趋势,并在2060年分别达到基准年水平的约4.7倍、4.6倍、5.1倍、5.8倍。值得注意的是,珠三角地区(非穗深)人均GDP的增长趋势与广东省趋势近乎一致。

研究得到的人口、GDP总量和人均GDP历史趋势和预测分别如图S1、图S2和图S3所示。

图 S1 | 广东省及各区域人口历史趋势和预测

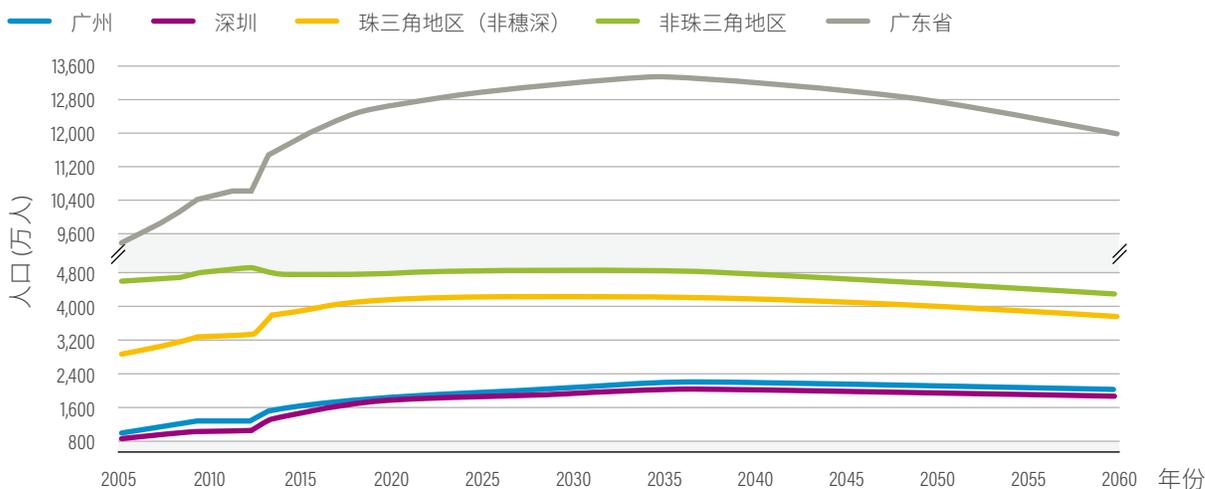


图 S2 | 广东省及各区域GDP总量历史趋势和预测

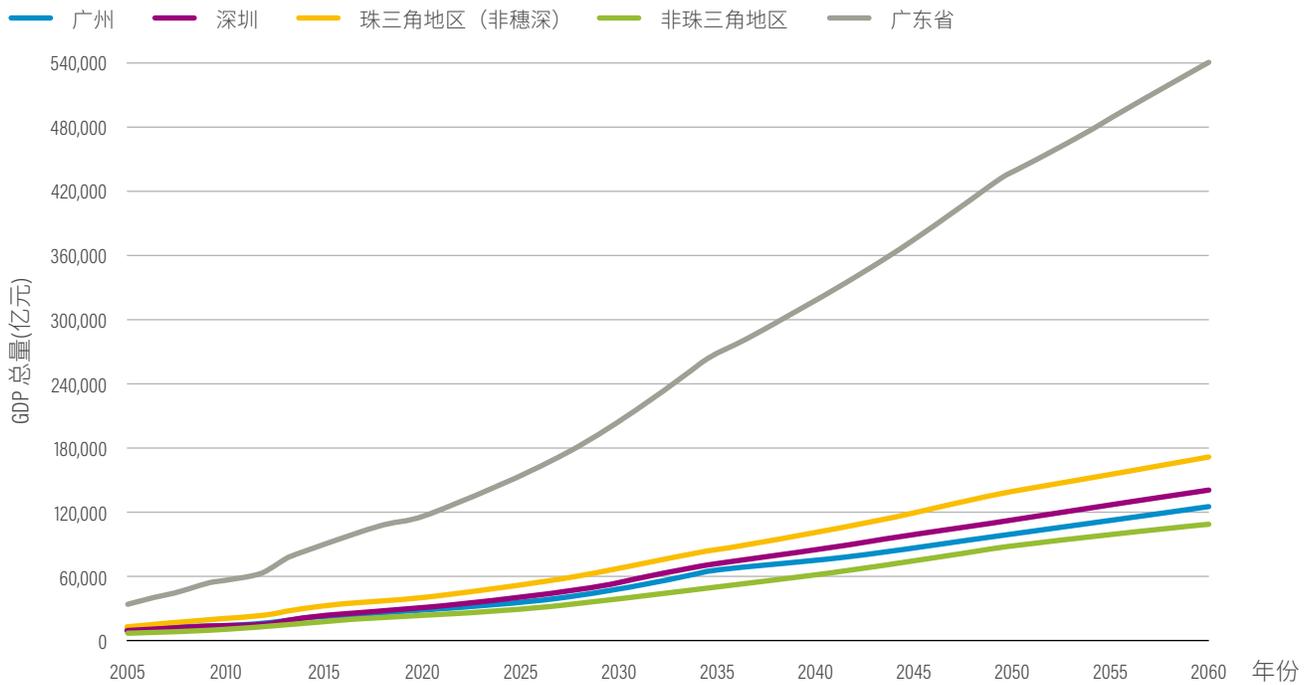
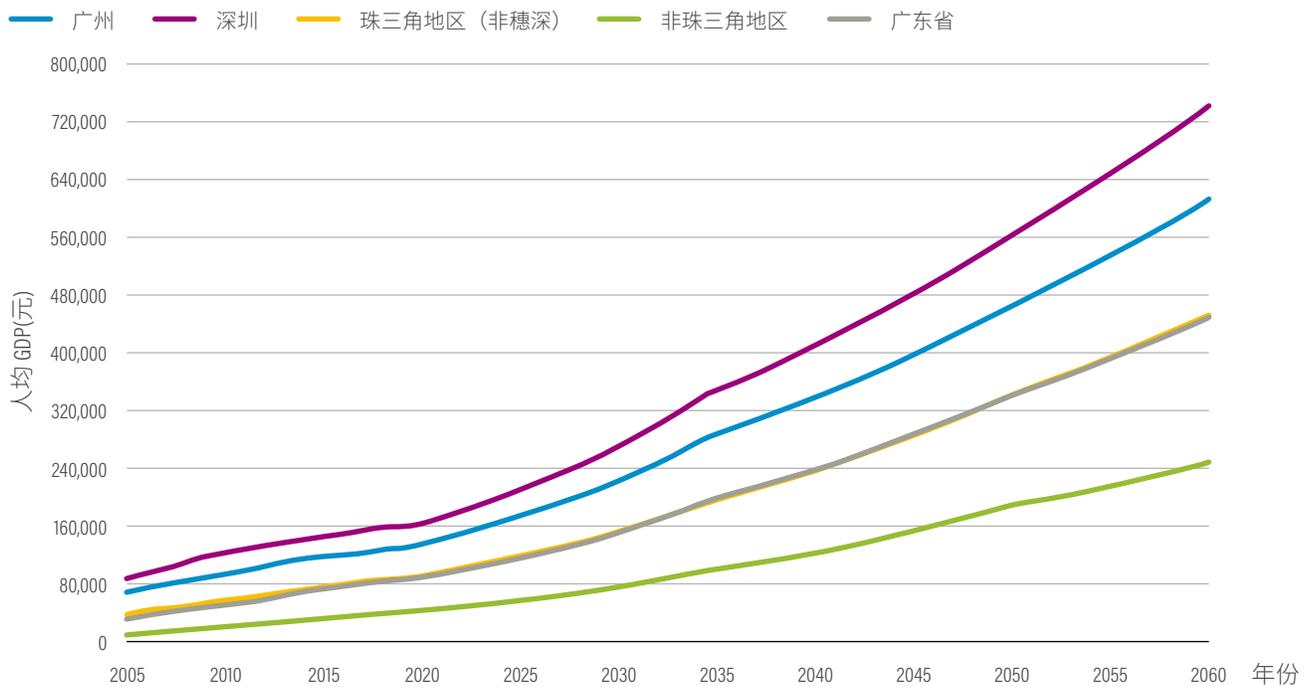


图 S3 | 广东省及各区域人均GDP历史趋势和预测



注释

1. 包括粤东、粤西和粤北, 共计12个城市(湛江、茂名、阳江、云浮、清远、韶关、河源、汕尾、汕头、揭阳、梅州和潮州)。
2. 第二产业在两市GDP中占比仅为38%和26%。
3. 第二产业在经济中占比高于50%。
4. 2020年全国千人载客汽车保有量第一位。
5. 西藏自治区除外, 西藏自治区重型货车保有量基数小(2020年为4.3万辆), 所以2015—2020年年均增速为23.9%。
6. 出行即服务利用大数据工具数字平台, 并在供应侧将多种交通方式整合到其统一平台, 在需求端充分深刻地理解公众出行需求, 最终形成一个一体化出行规划、预定、支付的出行服务产品。

参考文献

- Huang, Youlin, and Lixian Qian. 2018. Consumer Preferences for Electric Vehicles in Lower Tier Cities of China: Evidences from South Jiangsu Region. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 63 (August): 482–97. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.06.017>.
- ANL (Argonne National Laboratory). 2014. Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation (GREET) Model. Lemont, IL: Argonne National Laboratory. <https://www.osti.gov/biblio/1230609>.
- Johansson, Åsa, Yvan Guillemette, Fabrice Murтин, David Turner, Giuseppe Nicoletti, Christine de la Maisonnette, Guillaume Bousquet, and Francesca Spinelli. 2012. Looking to 2060: Long-Term Global Growth Prospects: A Going for Growth Report. Paris: OECD. <https://doi.org/10.1787/5k8zxpjsggf0-en>.
- Lu, Zifeng, Yan Zhou, Hao Cai, Michael Wang, Xin He, and Steven Przesmitzki. 2018. China Vehicle Fleet Model: Estimation of Vehicle Stocks, Usage, Emissions, and Energy Use - Model Description, Technical Documentation, and User Guide. ANL/ESD-18/15. Argonne National Lab. (ANL), Argonne, IL (United States). <https://doi.org/10.2172/1483998>.
- Mao, Shiyue, and Hussein Basma. 2021. Total Cost of Ownership for Heavy Trucks in China: Battery Electric, Fuel Cell, and Diesel Trucks. 2021. <https://theicct.org/publication/total-cost-of-ownership-for-heavy-trucks-in-china-battery-electric-fuel-cell-and-diesel-trucks/>.
- Wu, Tian, Hongmei Zhao, and Xunmin Ou. 2014. Vehicle Ownership Analysis Based on GDP per Capita in China: 1963–2050. Sustainability. <https://doi.org/10.3390/su6084877>.
- 东莞市公安局. 2021. 东莞市公安局关于绿色物流片区实施柴油货车限行的通告. http://jjzd.dg.gov.cn/jggg/tzgg/content/post_3552291.html.
- 中国民用航空局. 2021. 2021年全国民用运输机场吞吐量排名. <http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/TJSJ/202203/P020220322482530507794.pdf>.
- 中国汽车工程学会. 2020. 节能与新能源汽车技术路线图 2.0[M]. 北京: 机械工业出版社.
- 中国电力统计年鉴委员会. 2022. 中国电力统计年鉴2021[M]. 中国统计出版社.
- 中山市发展和改革局. 2018. 中山市关于广东省电动汽车充电基础设施补助专项资金管理实施细则. 2018. http://www.zs.gov.cn/zsfj/gkmlpt/content/2/2139/post_2139192.html#705
- 云浮(佛山)氢能标准化创新研发中心. 2018. 广东省氢气资源地域分布及制氢潜力分析. https://www.sohu.com/a/241473838_780457.
- 云浮市发展和改革局. 2022. 云浮市发展和改革局关于云浮市2021年度电动汽车充电基础设施建设项目财政补贴资金分配方案的公示. https://www.yunfu.gov.cn/yffgw/gkmlpt/content/1/1584/post_1584949.html#4506.
- 云浮市人民政府办公室. 2018. 云浮市人民政府办公室印发关于加快新能源汽车产业创新发展的实施方案的通知(云府办〔2018〕35号). https://www.yunfu.gov.cn/gkmlpt/content/0/559/post_559176.html#36.
- 交通运输部. 2022. 2021年12月全国港口货物、集装箱吞吐量. https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/zhghs/202201/t20220119_3637308.html.
- 佛山市交通运输局. 2022. 《佛山市新能源城市配送货车运营扶持资金管理办法》政策解读. http://jtys.foshan.gov.cn/gkmlpt/content/5/5212/post_5212056.html#367.
- 佛山市南海区人民政府. 2021. 佛山市南海区人民政府办公室关于印发佛山市南海区新能源(氢能)市政、物流车辆推广应用实施方案(2021—2024年)的通知. http://www.nanhai.gov.cn/fsnhq/zwgk/xxgk/xxgkml/qrmzf/gzjw/qt/content/post_5041399.html.
- 哈尔滨工业大学(深圳). 2019. 深圳市碳排放达峰、空气质量达标、经济高质量增长协同“三达”研究报告. <https://www.efchina.org/Attachments/Report/report-lccp-20191015/%E4%B8%89%E8%BE%BE%E7%AE%80%E7%89%88%E7%A0%94%E7%A9%B6%E6%8A%A5%E5%91%8A.pdf>
- 国务院办公厅. 2020. 国务院办公厅关于印发新能源汽车产业发展规划(2021—2035年)的通知(国办发〔2020〕39号). http://www.gov.cn/zhengce/content/2020-11/02/content_5556716.htm.
- 国家信息中心. 2021. 中国经济社会发展的中长期目标、战略与路径——‘中国长期低碳发展战略与转型路径研究’子课题1. <https://www.efchina.org/Reports-zh/report-lceg-20210207-4-zh>.
- 国家发展和改革委员会. 2022. 氢能产业发展中长期规划(2021—2035年). http://zfxxgk.nea.gov.cn/1310525630_16479984022991n.pdf.
- 广东电力交易中心. 2022. 广东电力市场2021年年度报告. <https://pm.gd.csg.cn/views/page/xwzxCont-10902.html>.
- 广东省人民政府办公厅. 2021. 广东省人民政府办公厅关于印发《广东省综合交通运输体系“十四五”发展规划》的通知. http://www.gd.gov.cn/zwgk/wjk/qbwj/yfb/content/post_3554890.html.
- 广东省人民政府办公厅. 2022. 广东省能源发展“十四五”规划. <http://www.gd.gov.cn/attachment/0/486/486725/3909371.pdf>.
- 广东省发展和改革委员会. 2020. 关于印发《广东省加快氢燃料电池汽车产业发展实施方案》的通知. http://drc.gd.gov.cn/ywtz/content/post_3125347.html.
- 广东省发展和改革委员会. 2022. 关于印发《广东省加快建设燃料电池汽车示范城市群行动计划(2022—2025年)》的通知. http://drc.gd.gov.cn/ywtz/content/post_3993253.html
- 广东省生态环境厅. 2020. 广东省市县(区)温室气体清单编制指南(试行). <http://gdee.gd.gov.cn/attachment/0/505/505999/3019513.pdf>.
- 广东省社会科学院. 2018. 广东2035: 发展趋势与战略研究[M]. 北京: 社会科学文献出版社.
- 广东省统计局. 2021. 广东统计年鉴2021年. http://stats.gd.gov.cn/gdtjnj/content/post_3557537.html.
- 广东省能源局. 2021. 广东省电动汽车充电基础设施

施发展“十四五”规划.<http://drc.gd.gov.cn/attachment/0/492/492650/3960313.pdf>.

广东省财政厅. 2015.关于修订《广东省省级新能源汽车推广应用专项资金管理办法》的通知.http://cz.t.gd.gov.cn/gkmlpt/content/0/186/post_186226.html#86.

广州市交通运输局. 2020.广州市交通运输局关于市十五届人大五次会议第20203002号建议答复的函.http://jtj.gz.gov.cn/gkmlpt/content/6/6554/post_6554225.html#14313.

广州市人民政府. 2012.关于广州市试行中小客车总量调控管理的通告.2012.<http://www.gdcsjg.com/Readart?ArtID=4673>.

广州市人民政府. 2019.广州市人民政府办公厅关于印发广州市中小客车总量调控管理办法的通知.https://www.gz.gov.cn/gfxwj/szfgfxwj/gzsrnzfbgt/content/post_5534594.html.

广州市发展和改革委员会. 2017.广州市新能源汽车发展工作方案(2017-2020年)(征求意见稿).http://fgw.gz.gov.cn/tzgg/content/post_2338430.html.

广州市工业和信息化局. 2022.广州市工业和信息化局关于做好2021年度电动汽车充电基础设施建设项目核实及专项资金补贴安排的通知.http://gxj.gz.gov.cn/qysb/xmzj/content/post_8297422.html.

作者访谈.2022a.项目组对交通运输部规划研究院的访谈.2022年12月.

作者访谈.2022b.项目组对中国汽车技术研究中心访谈.2022年9月.

张国强. 2019.粤港澳大湾区港口群优化协调发展研究[J].综合运输 41 (01): 1-6.

张鹏飞, 徐静怡, 郭巍, 等. 2022.粤港澳大湾区电力系统低碳转型[J].上海交通大学学报 56 (3): 293.

惠州市人民政府. 2016.惠州市人民政府关于加快新能源汽车产业发展的实施意见.http://www.huizhou.gov.cn/zfxgkml/hzsrnzfbghxx/content/post_4225754.html.

晏为谦, 刘凯. 2018.广东省交通领域近零碳排放的实施探析[J].广东科技 27 (11): 68-72.

林晓芳, 徐伟嘉, 刘永红, 等. 2019.广东省车辆存活概率曲线及规律[J].中山大学学报(自然科学版) 58 (01): 65-73.

深圳市交通运输委员会. 2018.关于印发《深圳市现代物流业发展专项资金管理办法》的通知.<http://szports.org.cn/en/policy/item/389-2018-06-27-03-17-01.html>.

深圳市交通运输委员会. 2019.深圳市小汽车增量调控管理实施细则.http://www.gd.gov.cn/zwgk/wjk/zcfjgk/content/post_2723178.html.

深圳市交通运输局. 2015.深圳市人民政府关于印发深圳市小汽车增量调控管理暂行规定的通知.http://jtys.sz.gov.cn/zwgk/xxgkml/zcfjgjd/zcfjgk/qcztkt/content/post_4320185.html.

深圳市交通运输局. 2021.深圳市交通运输局关于开展2020—2021年度深圳市纯电动物流配送车辆运营资助项目(第三期)申报工作的通告.http://www.sz.gov.cn/sztt2010/wgkzljcgk/jcygk/zdcjc/content/post_8727806.html.

深圳市人民政府办公厅. 2018.深圳市人民政府办公厅关于

印发2018年“深圳蓝”可持续行动计划的通知.http://www.sz.gov.cn/gkmlpt/content/7/7786/post_7786646.html#749.

深圳市发展和改革委员会. 2018.关于《深圳市纯电动泥头车超额减排奖励实施办法》的政策解读.http://www.sz.gov.cn/zfgb/zcjd/content/post_4978692.html.

深圳市发展和改革委员会. 2021.深圳市发展和改革委员会关于印发《深圳市新能源汽车推广应用工作方案(2021—2025年)》的通知.http://fgw.sz.gov.cn/zwgk/qt/tzgg/content/post_8662484.html.

湛江市发展和改革委员会. 2020.关于开展2017—2020年湛江市新能源汽车推广应用专项核查的通知.https://www.zhanjiang.gov.cn/zjsfw/bmdh/fzggj/zwgk/bmwj/content/post_1403263.html.

王勇, 解延京, 刘荣, 等. 2021.北上穗深城市人口预测及其资源配置[J].地理学报 76 (02): 352-66.

生态环境部. 2016.道路机动车大气污染物排放清单编制技术指南(试行).<https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgth/201407/W020140708387895271474.pdf>

生态环境部办公厅. 2022.企业温室气体排放核算方法与报告指南发电设施(2022年修订版).<https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202203/W020220315357528424119.pdf>.

翟振武, 陈佳鞠, 李龙. 2017.2015—2100年中国人口与老龄化变动趋势[J].人口研究 41 (04): 60-71.

能源与交通创新中心. 2021.中国商用车电动化发展研究报告.<https://www.efchina.org/Attachments/Report/report-ctp-20220303-5/%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E5%95%86%E7%94%A8%E8%BD%A6%E7%94%B5%E5%8A%A8%E5%8C%96%E5%8F%91%E5%B1%95%E7%A0%94%E7%A9%B6%E6%8A%A5%E5%91%8A.pdf>

莫柏旭. 2018.新形势下广东省对外贸易发展现状、问题及对策[J].特区经济, no. 05: 135-37.

薛露露, 靳雅娜, 禹如杰, 刘勇, 任焕焕. 2019.中国道路交通2050年“净零”排放路径.<https://wri.org.cn/research/toward-net-zero-emissions-road-transport-sector-china>.

薛露露, 刘岱宗. 2022.迈向碳中和目标: 中国道路交通领域中长期减排战略.<https://wri.org.cn/research/decarbonizing-china-road-transport-sector>.

陆杰华, 刘瑞平. 2020.新时代我国人口负增长中长期变化特征、原因与影响探究[J].中共福建省委党校(福建行政学院)学报, no. 01: 19-28.

谢鹏程, 彭澎, 王子椽, 等. 2022.粤港澳大湾区分布式光伏和氢能的发展与投融资现状、挑战和建议.https://wri.org.cn/research/GBA_DRE.

中汽数据有限公司. 2021.节能与新能源汽车发展报告2021[M].北京:人民邮电出版社.

中国汽车技术研究中心, 日产(中国)投资有限公司, 东风汽车有限公司. 2021.新能源汽车蓝皮书: 中国新能源汽车产业发展报告(2021)[M].北京:社会科学文献出版社.

国家统计局.中国统计年鉴[M].北京: 中国统计出版社.2021.

国家统计局.中国统计年鉴[M].北京：中国统计出版社,2020.

国家发展和改革委员会.2011.省级温室气体清单编制指南（试行）. <http://www.cbcsd.org.cn/sjk/nengyuan/standard/home/20140113/download/shengjiwenshiqiti.pdf>

王震坡，梁兆文，等.2021.中国新能源汽车大数据研究报告（2021）[M].北京：机械工业出版社

柳州市统计局.2021.柳州市2020年国民经济和社会发展统计公报. http://lztj.liuzhou.gov.cn/zwgk/fdzdgknr/sjfb/tjgb/202105/t20210531_2746264.shtml.

谢海明.2022.深圳市城市场景新能源重型货车推广应用经验分享.世界资源研究所城市场景新能源货车推广研讨会.

能源与交通创新中心.2018.2018中国乘用车实际道路行驶与油耗分析年度报告. <http://www.icet.org.cn/admin/upload/2019012535018777.pdf>.

致谢

本研究是国家自主贡献亚洲交通倡议项目 (NDC Transport Initiative for Asia, NDC-TIA) 的产出。该项目支持中国、印度和越南乃至全球各国全面开展交通减排战略研究,提升交通低碳发展的雄心。国家自主贡献亚洲交通倡议项目是国际气候倡议 (IKI) 的一部分。德国联邦经济和气候保护部 (BMWK) 根据德国联邦议院决议,为国际气候倡议提供支持。该项目中国部分实施方包括德国国际合作机构 (GIZ)、国际清洁交通委员会 (ICCT) 和世界资源研究所 (WRI),项目也得到德国交通转型智库 (AGORA) 在德国的支持。欲了解更多项目信息,请访问项目网站<https://www.ndctransportinitiativeforasia.org/>。

作者向为本研究提供支持和意见的机构和专家表示诚挚的感谢。感谢世界资源研究所方莉博士与刘哲博士对报告提供的中肯意见和指导。

另外,作者也感谢为本研究的撰写提供了宝贵专业建议的专家和同事(排名不分先后):

马冬	中国环境科学研究院机动车排污监控中心
郭杰	交通运输部科学研究院
廖翠萍	中国科学院广州能源研究所
张真	中国电动汽车百人会
李梦月	广东省交通运输规划研究中心
刘剑筠	广东省环境科学研究院
谢海明	深圳市协力新能源与智能网联汽车创新中心
王伟文	暨南大学
秦兰芝	能源与交通创新中心
蒋小谦	世界资源研究所
邱诗永	世界资源研究所
张依倩	世界资源研究所
刘康杰	世界资源研究所

作者感谢为本研究后期修改做了大量文献搜集与数据分析工作的世界资源研究所优秀实习生夏语。感谢Emilia Suarez、陈轲、赵雨滋、张焯和谢亮提供的研究支持、项目管理、编辑及排版支持。

作者介绍

苗领，博士后，中山大学深圳研究院

刘永红，副教授，中山大学智能工程学院

曾雪兰，教授，广东工业大学环境生态工程研究院

任焕焕，低碳业务部部长，中汽数据有限公司

黄卓晖，中国气候与能源部的助理研究员，世界资源研究所（美国）北京代表处。邮箱：Zhuohui.Huang@wri.org

薛露露，中国交通项目总监，世界资源研究所（美国）北京代表处

支持机构



on the basis of a decision
by the German Bundestag



关于世界资源研究所

世界资源研究所是一家独立的研究机构，其研究工作致力于寻求保护环境、发展经济和改善民生的实际解决方案。

我们的挑战

自然资源构成了经济机遇和人类福祉的基础。但如今，人类正以不可持续的速度消耗着地球的资源，对经济和人类生活构成了威胁。人类的生存离不开清洁的水、丰饶的土地、健康的森林和安全的气候。宜居的城市和清洁的能源对于建设一个可持续的地球至关重要。我们必须在未来十年中应对这些紧迫的全球挑战。

我们的愿景

我们的愿景是通过对自然资源的良好管理以建设公平和繁荣的地球。我们希望推动政府、企业和民众联合开展行动，消除贫困并为全人类维护自然环境。

我们的工作方法

量化

我们从数据入手，进行独立研究，并利用最新技术提出新的观点和建议。我们通过严谨的分析、识别风险，发现机遇，促进明智决策。我们重点研究影响力较强的经济体和新兴经济体，因为它们对可持续发展的未来具有决定意义。

变革

我们利用研究成果影响政府决策、企业战略和民间社会行动。我们在社区、企业和政府部门进行项目测试，以建立有力的证据基础。我们与合作伙伴努力促成改变，减少贫困，加强社会建设，并尽力争取卓越而长久的成果。

推广

我们志向远大。一旦方法经过测试，我们就与合作伙伴共同采纳，并在区域或全球范围进行推广。我们通过与决策者交流，实施想法并提升影响力。我们衡量成功的标准是，政府和企业的行动能否改善人们的生活，维护健康的环境。

图片说明

Cover freepik; pg. i freepik; pg. iv Unsplash/Loeng Lig; pg. xiii/xiv Unsplash/Joshua Fernandez; pg. xxiii Unsplash/Joshua Fernandez; pg. xxiv Unsplash/Zhu Yunxiao; pg. 3 Unsplash/Lycheeart; pg. 4 freepik; pg. 8 Unsplash/Jason Yuen; pg. 29 Unsplash/Travis Chen; pg. 30/41 Unsplash/Joshua Fernandez; pg. 43 Unsplash/Joshua Fernandez; pg. 44 Unsplash/Shawn Rain; pg. 58 Unsplash/ 安正超; pg. 61/62 Unsplash/Joshua Fernandez.

世界资源研究所 (WRI) 出版物, 皆为针对公众关注问题而开展的适时性学术性研究。世界资源研究所承担筛选研究课题的责任, 并负责保证作者及相关人员的研究自由, 同时积极征求和回应咨询团队及评审专家的指导意见。若无特别声明, 出版物中陈述观点的解释权及研究成果均由其作者专属所有。

本报告部分章节改编自欧洲智能交通协会 (ERTICO-ITS Europe) 的报告《MaaS和可持续城市出行规划》(Mobility-as-a-Service and Sustainable Urban Mobility Planning)。世界资源研究所已获得该机构以及欧盟的授权, 允许对其报告进行翻译和引用, 只要不用于商业目的。





世界资源研究所
WORLD RESOURCES INSTITUTE

世界资源研究所(美国)北京代表处
北京市东城区东中街9号
东环广场写字楼A座7层K-M室
邮编:100027
电话:+86 10 6416 5697
WWW.WRI.ORG.CN