

# 实现碳达峰及空气质量达标双重目标下 广州交通系统可持续发展路径研究

Study on Sustainable Transportation System Development Pathway  
under the Environmental-Climate Constraints in Guangzhou

2020 年 7 月  
July, 2020

实施单位：中国科学院广州能源研究所

Guangzhou Institute of Energy Conversion, CAS

广东省交通运输规划研究中心

Guangdong Provincial Transportation Planning Research Center

资助单位：能源基金会

Energy Foundation



## 摘 要

随着经济社会活动持续升级以及城镇化进程的加快，我国的温室气体排放和大气环境质量形势严峻。在多年实施工业与能源供应结构调整、技术升级改造等措施之后，传统工业行业的温室气体和空气污染物排放逐渐趋于稳定，交通领域逐渐成为我国温室气体和空气污染物排放的主要部门。如何控制交通领域的温室气体和大气污染物排放成为我国城市可持续发展亟需解决的问题。在此背景下，本研究以广州为案例，探索实现碳达峰及空气质量达标双重目标下交通领域的可持续发展路径，以期推动广州市交通发展“十四五”规划工作开展，促进广州市低碳城市试点工作，为实现我国其他城市碳排放和空气质量双达目标提供经验借鉴。

**1. 交通运输已成为广州市能源消费和排放的重点领域，且总量和占比呈持续上升趋势。**2018 年，全市交通领域的能源消费量为 2437 万吨标煤，约占全市能源消费总量的 39%，由此产生的 CO<sub>2</sub> 排放为 5147 万吨，约占全市二氧化碳排放总量的 35%，但 CO<sub>2</sub> 排放的年均增长速度已由“十一五”期间的 12.5% 下降至“十三五”期间的 10.4%。同时，交通领域的空气污染物排放量占全市排放总量的比重仍居高不下，特别是 NO<sub>x</sub> 排放占比已达到 80%。

**2. 广州市要实现 CO<sub>2</sub> 排放达峰和空气污染物排放达标，迫切需要交通领域采取严格的节能减排政策措施，实现其 CO<sub>2</sub> 和空气污染物排放达峰。**根据 LEAP-广州双达交通模型分析，在现有政策情景

下，广州市交通领域的 CO<sub>2</sub> 和空气污染物排放将持续增长；碳排放达峰情景下，其 CO<sub>2</sub> 排放可于 2030 年达到峰值，空气污染物排放可于 2025-2030 年达到峰值，但主要空气污染物的排放量仍高于现状水平；在双达情景下，通过政策措施的进一步强化，其 CO<sub>2</sub> 排放达峰时间将提前到 2025 年左右，同时空气污染物排放达峰时间将提前至 2020-2022 年，2035 年的排放量将下降至现状水平的一半以内。

### **3. 货运、城际客运和市内客运交通均具有较好的减排潜力。**

(1) 货运交通是广州市交通运输减排潜力最大的领域。2035 年，双达情景下将较现有政策情景减排 47% 的 CO<sub>2</sub>、73% 的 NO<sub>x</sub> 和 HC 以及 44-49% 的 PM<sub>2.5</sub> 和 SO<sub>2</sub>。

(2) 城际客运到 2035 年，在双达情景下将较现有政策情景减排 40% 的 CO<sub>2</sub>、56% 的 HC 和 SO<sub>2</sub> 以及 72% 的 NO<sub>x</sub> 和 PM<sub>2.5</sub>。

(3) 市内客运到 2035 年，在双达情景下将较现有政策情景减排 68% 的 CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、PM<sub>2.5</sub> 和 SO<sub>2</sub>、以及 73% 的 HC。

**4. 运输结构优化是广州市交通领域减排 CO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub>、HC 的重要途径，能源结构清洁化是减排 PM<sub>2.5</sub> 和 SO<sub>2</sub> 的重要途径。**运输结构优化约能贡献 44-47% 的 CO<sub>2</sub> 减排以及 40-60% 的 HC 和 NO<sub>x</sub> 减排；能源结构清洁化约能贡献 45-50% 的 PM<sub>2.5</sub> 和 SO<sub>2</sub> 减排，同时也能带来 20-35% 的 CO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 减排；运输需求控制也是影响广州市交通领域 CO<sub>2</sub> 和空气污染物排放的重要因素；排放标准提升是空气污染物减排的有效补充措施。

**5. 交通领域的碳减排措施多数可以协同减排空气污染物，但是推广天然气车船会导致 HC、NO<sub>x</sub> 的排放增加，发展水路货运将增**

加  $\text{SO}_2$  和  $\text{PM}_{2.5}$  排放。根据对措施的减排协同效应分析，运输需求控制、运输结构优化、管理水平优化以及推广天然气汽车和公交车、出租车、私家车电气化等可作为优先发展的措施；公路客货运电动化、推广天然气货船、发展氢燃料电池公交和出租车等可作为中期长期减排的关键措施；氢能、生物燃油的规模化应用有待技术突破以及成本下降，是广州市交通领域远期减排的关键措施。

**6. 广州市交通领域可持续发展路径：2025 年前加强交通基础设施建设，促进电动车的推广和应用；2030 年前形成一体化公交体系和以铁路为骨架的城际运输体系，逐步提升交通工具排放标准；2035 年形成广州市综合交通运输体系，实现清洁能源规模化应用。**

（1）2025 年前，优化城市规划布局，加强交通基础设施建设，优先发展公共交通，积极发展高速铁路；推广电动汽车在私家车领域的使用，促进天然气的推广应用；通过技术进步和管理水平提升有效提升交通运输能效。

（2）2030 年前，形成一体化公交体系和以铁路为骨架的城际运输体系；规模化使用天然气，实现面向长距离、大载荷电动汽车技术突破，示范应用氢燃料、生物燃油；逐步提升各类交通工具排放标准。

（3）2035 年前，形成高效、集约的交通运输组织形式和运输模式，减少不合理运输需求增长，提高运输能效；实现铁水、公铁、空铁、江河海联运的无缝对接，建成广州市综合交通运输体系；氢能源、生物燃油得到规模化应用。

# 第一章 研究概述

## 一、 研究背景

城市作为物质和能源消耗最集中的地区，是温室气体和空气污染物排放的最主要来源，同时也是受气候变化和空气污染影响最大的地区之一。研究表明目前交通领域的碳排放约占全球城市碳排放总量的 17.5%，并且预计到 2030 年，全球城市交通碳排放仍将保持 1.7% 的年增长率，在发展中国家和经济转型国家中更会高达 3.4% 和 2.2%。同时，交通工具排放的尾气也是城市空气污染物的重要来源。特别是北京、上海、广州等大城市，机动车已成为 PM<sub>2.5</sub> 等主要大气污染物最大的本地污染源。未来，随着城镇化进程的加快和来自生产生活运输需求的提升，交通领域的温室气体和空气污染物排放将越来越成为影响城市可持续发展的重点和难点，采取何种发展模式和路径来实现城市交通可持续发展成为人们关注的重点。

广州市是我国华南地区的中心城市，同时也是国际综合交通枢纽、国家综合运输服务示范城市和公交都市，拥有我国第三大国际枢纽机场和第四大铁路客运枢纽。2018 年，全市交通领域的能源消费约占能源消费总量的 39%，产生的 CO<sub>2</sub> 排放约占全市 CO<sub>2</sub> 排放总量的 35%，并产生了 77% 的氮氧化物排放、21% 的挥发性有机物排放、17% 的 PM<sub>2.5</sub> 排放以及 29% 的二氧化硫排放。广州市国际综合交通枢纽的定位也势必带来其交通领域的持续快速发展，预计“十三五”后期广州市交通部门将超过工业部门成为能源消费需求和

CO<sub>2</sub>排放最大的部门，必将严重影响广州市空气质量达标目标和碳减排及达峰目标的实现。因此，采取何种发展模式和路径来实现交通部门的可持续发展成为广州市亟待解决的问题。

鉴于此，本项目以广州市为案例，联合能源和交通专业的力量，有机结合能源和交通分析方法，深入探索广州市交通部门的绿色低碳发展路径，设计具有可操作性的交通可持续发展路线图，以期推动广州市交通发展“十四五”规划工作开展，促进广州市低碳城市试点工作，为实现我国其他城市碳排放和空气质量双达目标提供经验借鉴，共同推进打响蓝天保卫战及应对气候变化的进程。

## 二、 研究思路与主要活动

本项目在掌握广州市交通领域能源消费和二氧化碳排放现状特征基础上，以综合分析交通低碳发展与空气污染防治的协同效益为目标，采用情景分析方法，通过设定不同的发展情景，分析在碳排放和空气质量“双达标”约束下，广州市交通领域未来的能源消费需求、CO<sub>2</sub>排放和主要空气污染物排放趋势，并通过与广州市“一促三控”协同战略研究的双向反馈，综合分析关键措施的减排协同效益，设计广州市交通领域可持续发展路径。

主要研究内容包括：

(1) **分析广州市交通领域能源消费和排放现状。**以传统统计数据为基础，结合桌面研究、座谈、实地调研、专家访谈等方式，获得准确的广州市各运输方式的活动水平和能源效率等数据，计算广

州市交通领域的能源消费及 CO<sub>2</sub> 和主要空气污染物排放现状；选取典型道路路段，利用道路交通大数据，分析广州市道路交通 CO<sub>2</sub> 和主要空气污染物排放特征。

**（2）广州市交通领域 CO<sub>2</sub> 和主要空气污染物排放趋势预测。**结合广州市未来的社会经济发展水平、城市空间规划以及交通领域的发展定位和规划，以 2015 年为基准年，分别以 2020、2025、2035 年为目标年，预测不同发展情景下各类运输方式未来的 CO<sub>2</sub> 和主要空气污染物排放趋势，确定广州交通领域排放达峰的时间和峰值量，分析各类运输方式未来的节能减排潜力及贡献，明确广州市交通领域可持续发展的重点方向。

**（3）双达约束目标下广州市交通领域可持续发展路径研究。**结合活动 2 的研究结果，通过与广州市“一促三控”协同战略研究的双向反馈，构建广州市交通领域可持续发展措施库，并筛选关键措施，定量评估关键政策措施的 CO<sub>2</sub> 和主要空气污染物减排协同效应及经济性，进而梳理出广州市实现交通可持续发展的路径。

**（4）城市交通领域可持续发展政策建议。**在广州交通领域可持续发展路径基础上，梳理形成广州市交通领域可持续发展政策建议，提交广州市交通运输局和广东省交通运输厅，推动广州市交通发展“十四五”规划工作开展，切实促进广州市交通领域的可持续发展，为国内城市交通绿色低碳发展研究提供参考。

## 第二章 广州市交通排放现状

### 一、广州市交通领域排放现状

#### 1. 广州市交通领域碳排放现状

近年来广州市交通领域由能源消费产生的 CO<sub>2</sub> 排放呈快速增长趋势。2018 年,全市交通领域的 CO<sub>2</sub> 排放(不含电力消费产生的 CO<sub>2</sub>) 约为 5147 万吨, 约占全市由 CO<sub>2</sub> 排放总量的 35%, 较 2005 年增长了 3.3 倍, 但其年均增长速度已由“十一五”期间的 12.5% 下降至“十三五”期间的 10.4% (图 2-1)。

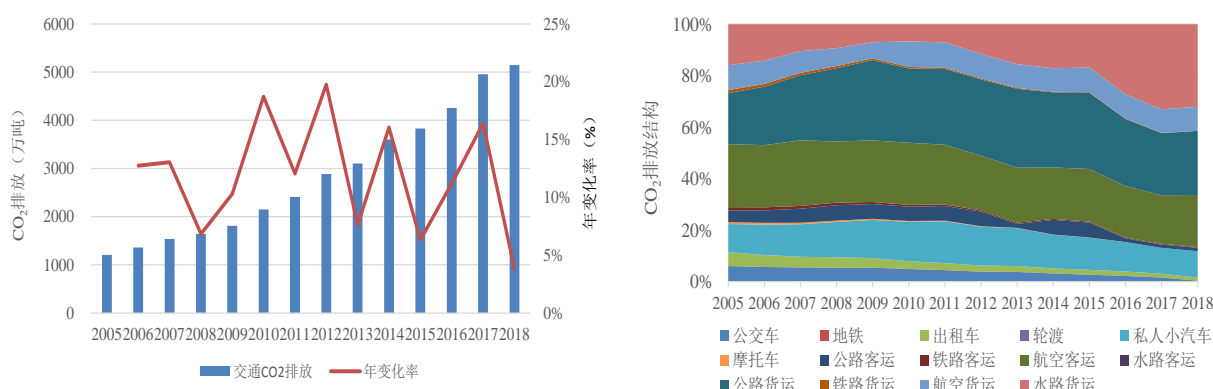


图 2-1 广州市交通碳排放现状及结构

货运交通是广州市交通领域最主要的 CO<sub>2</sub> 排放源, 并呈逐年增长的趋势, 2018 年的 CO<sub>2</sub> 排放量占比约为 66%, 其中公路和水路货运排放量最大; 城际客运是广州市交通领域 CO<sub>2</sub> 排放的第二大来源, 但其 CO<sub>2</sub> 排放量的增长速度明显低于货运交通, 2018 年的 CO<sub>2</sub> 排放量占比约 22%, 其中航空客运排放量最大, 其次是公路客运和铁路客运, 水路客运的 CO<sub>2</sub> 排放极少; 随着积极发展公共交通、中小客车总量调控等措施的实施, 广州市内客运的 CO<sub>2</sub> 排放相对较少, 2018 年的 CO<sub>2</sub>

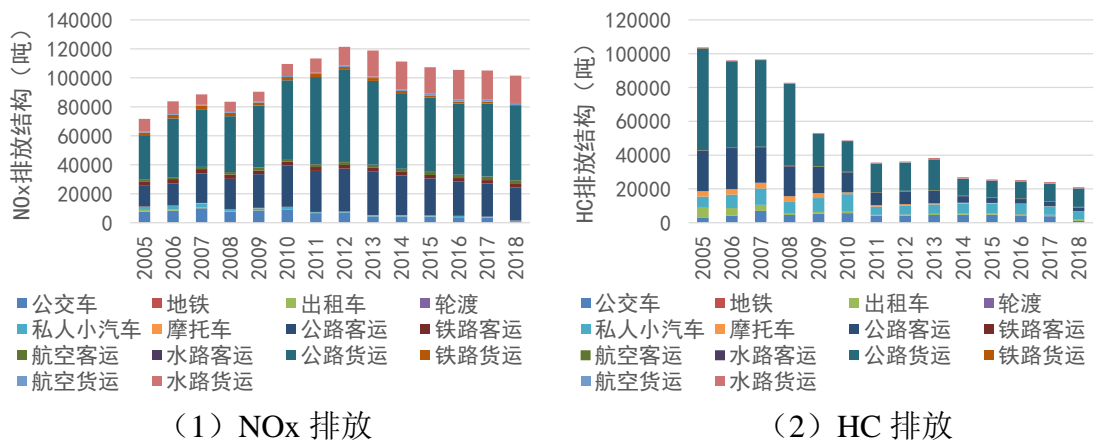


排放量占比已下降至 12%，其中私人小汽车是最主要的排放源。

## 2. 广州市交通领域空气污染物排放现状

由于运输需求的增加，交通领域的空气污染物排在早期均有不同程度的增长，但近年来随着道路运输排放标准的不断提升以及船舶排放控制区政策的实施，主要空气污染物排放均得到了一定的控制。其中， $\text{NO}_x$  是广州市交通领域排放量最大的空气污染物，其次是 HC 排放， $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{SO}_2$  的排放量相对较小。

其中，公路货运是广州市交通领域  $\text{NO}_x$  和 HC 排放最主要的来源，随着道路运输排放标准的提高，排放量逐年下降，但占全市排放量的比重仍居高不下；公路客、货运是  $\text{PM}_{2.5}$  排放的主要来源，随着水路货运的快速发展，也逐渐成为重要的  $\text{PM}_{2.5}$  排放源； $\text{SO}_2$  排放主要来自水路货运，随着船舶排放控制区政策的实施，排放量快速下降（图 2-2）。



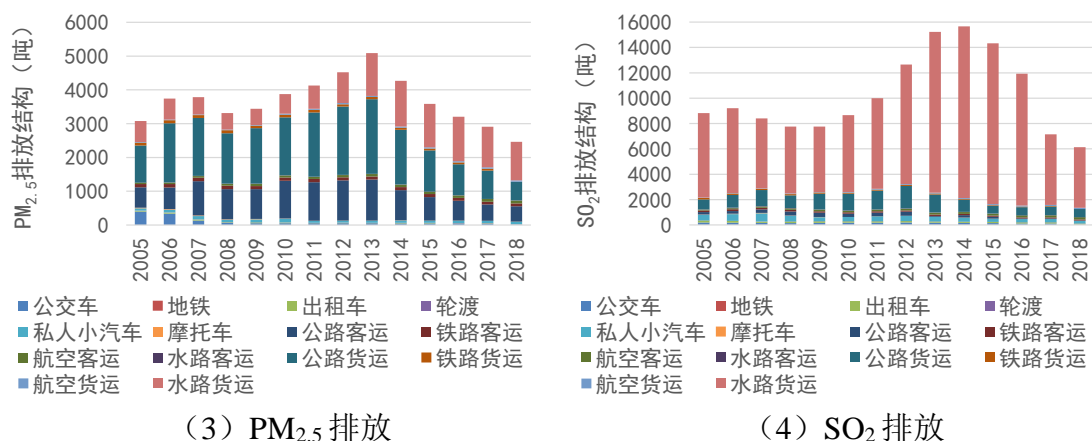


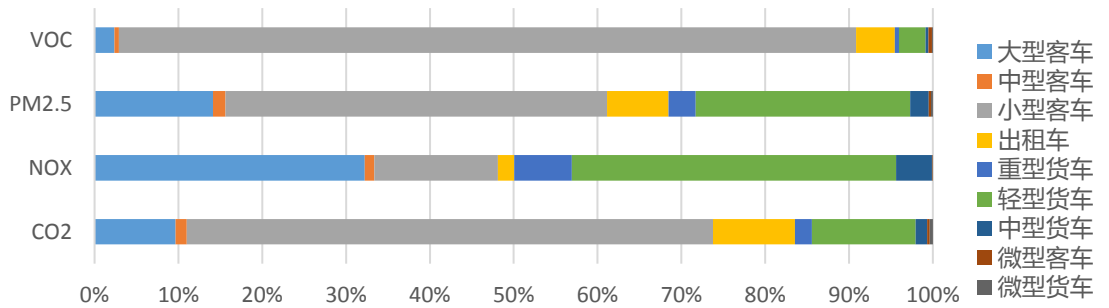
图 2-2 广州市交通领域主要空气污染物排放结构（分运输类型）

## 二、 基于大数据的广州市道路交通能耗和排放特征

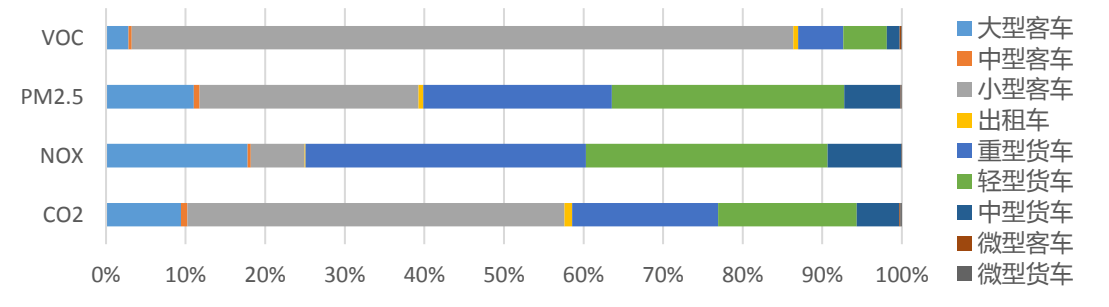
道路交通是城市层面进行交通领域 CO<sub>2</sub> 和空气污染物排放管理最直接有效的部门。本研究选取广州大道（以市内客运为主）和广园快速路（以进出广州的客货运为主）的典型路段，收集道路分车型交通流量、机动车行驶状态等交通运行监测数据，车龄、燃油类型、排放标准等车队特征数据，温度、湿度等城市环境数据，以及道路类型、路段长度等道路数据，采用 COPERT 模型进一步分析广州市道路交通的排放特征，明确未来道路交通减排重点方向。

（1）从典型路段工作日和非工作日逐时的交通量变化和 CO<sub>2</sub> 和空气污染物排放特征来看，广州市道路交通的排放动态变化与交通量变化特征基本一致，畅通运行状态的排放显著低于基本畅通及拥堵状态。因此，通过改善道路交通拥堵，提升道路交通运行水平，优化道路交通客货运输结构等也是广州市道路交通减排的重要方向。需要从基础设施建设改造、智能化交通控制管理手段、交通需求管理等多方面的综合考虑。

(2) 市内主要道路的 CO<sub>2</sub> 和空气污染物排放来自小型客车、轻型、大型客车和重型货车以及出租车（图 2-3），也是广州市道路交通减排的重要方向。未来要继续加强对小型客车拥有、使用等方面的引导和管控，大力发展公共交通，同时促进出租车、私家车电动化；通过客运班线公交化改造，线路资源优化整合，客运企业规模化发展；通过运输结构减少大宗货物公路运输，采用先进运输组织模式以提高公路货运效率，同时促进新能源物流车的推广应用。



(a) 广州大道北分车型的排放分担率

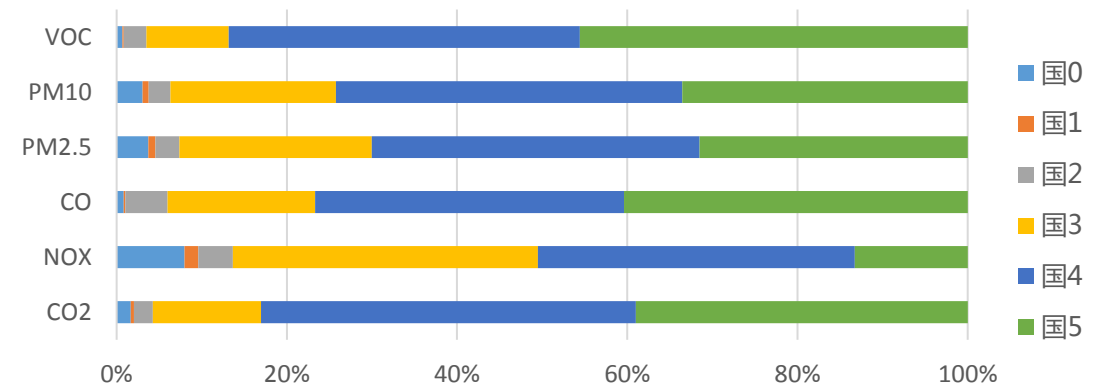


(b) 广园快速路分车型的排放分担率

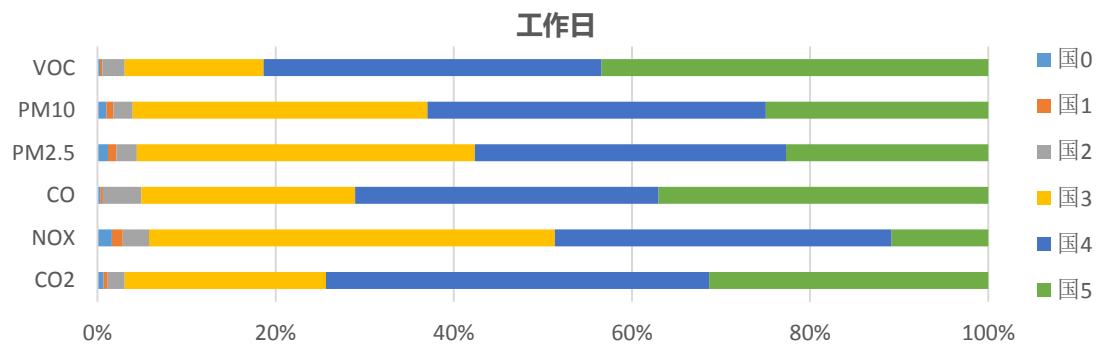
图 2-3 典型道路不同车型的排放分担率

(3) 虽然广州市已于 2019 年 7 月开始对轻型车实施国 5 标准，但是国 3、国 4 车的排放占比还是很大，特别是对大气污染物国 3 车型数量较少但贡献量较大（图 2-4）。CO<sub>2</sub> 排放中国 3、国 4 车型的排放占接近 65%，国 3 和国 4 车辆的污染防治是未来广州市道路交通 CO<sub>2</sub> 减排的重点方向。NO<sub>x</sub> 及 PM<sub>2.5</sub> 排放的国 3 及以下车辆分担率分

别达到 50%、40%左右，近期应加快推进国 3 及以下柴油车淘汰方面的政策，通过扩大货车限行政策等对国 3 及以下的柴油车通行进行管控。



(a) 广州大道北不同排放标准车型的排放分担率



(a) 广园快速路不同排放标准车型的排放分担率

图 2-4 典型道路不同排放标准车型的排放分担率

### 第三章 广州市交通领域未来排放情景分析

在掌握广州市交通领域排放现状的基础上，以 2015 年为基准年，2035 年为目标年，采用情景分析的方法，分析城市交通领域实现碳排放达峰和空气污染物排放达标的时间、峰值量以及减排潜力，从而探索其可持续发展的重点方向。

#### 一、 LEAP-广州交通双达模型构建

根据广州市交通领域的特征，研究构建了 LEAP-广州交通双达模型（图 3-1）。模型涵盖客运交通和货运交通，其中客运交通细分为公交车、地铁、出租车、轮渡以及私人小汽车等市内客运以及公路、铁路航空和水路等城际客运，货运交通细分为公路、铁路、航空和水路货运。模型的模拟过程主要分为 4 个部分：能源消费需求、二氧化碳排放量、空气污染物排放量和减排潜力计算，主要依据不同交通发展情景下各运输类型的活动水平、能源利用效率和燃料类型等进行。

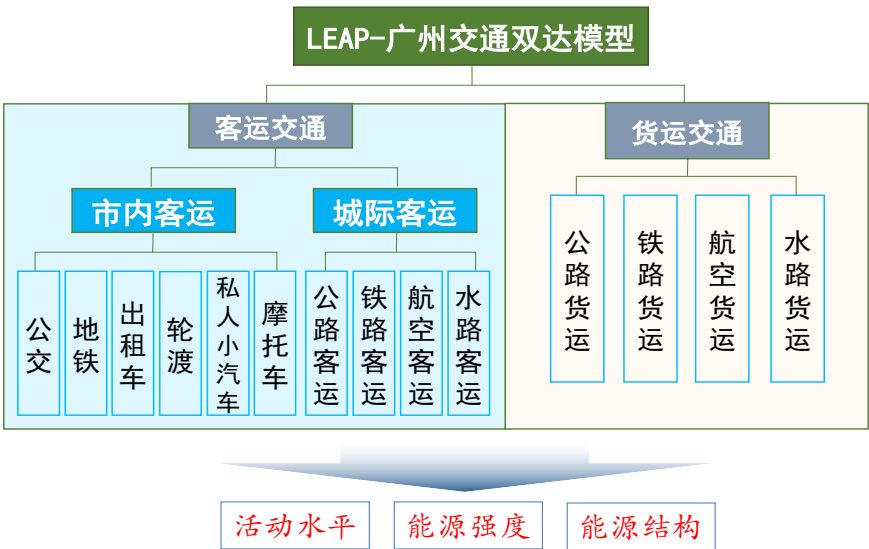


图 3-1 LEAP-广州交通双达模型结构

## 二、 广州市交通领域 CO<sub>2</sub> 和空气污染物排放预测情景设置

在既定的经济社会发展目标下，设计了三种交通发展情景：

### （1）现有政策情景

现有政策情景指在新常态经济发展模式下，以广州市目前已发布的政策文件为导向，按照目前的实施力度执行现有政策措施，争取运输结构、能源结构、能源效率均较现状水平有所优化和提高。

### （2）碳排放达峰情景

在现有政策情景基础上，进一步鼓励发展城市公共交通，大力发展铁路和水路运输，提高交通工具的能源效率，加快燃料的电气化转化，实现广州市交通领域碳排放达到峰值。

### （3）双达情景

在碳排放达峰情景基础上，对广州市交通领域采取力度更大的政策措施，使得交通运输模式发生革命性变化，交通工具的能源效率和交通能源结构清洁化水平显著提高，排放标准进一步提高，实现交通领域碳排放达峰和空气污染物达标。

## 三、 广州市交通领域未来 CO<sub>2</sub> 排放情景分析

### 1. 广州市交通领域 CO<sub>2</sub> 排放趋势和结构

根据模型的结果，未来广州市交通领域的 CO<sub>2</sub> 排放将保持增长的趋势，但增长幅度将明显降低；但在碳排放达峰情景下，随着节能减排措施力度的加大，广州市交通领域的 CO<sub>2</sub> 排放有望将于 2030 年左右达到峰值，峰值量约为 6750 万吨；双达情景下，广州市交通领域

的 CO<sub>2</sub> 排放达峰时间将进一步提前到 2025 年左右，峰值量下降至 6150 万吨，到 2035 年回归到现状水平。

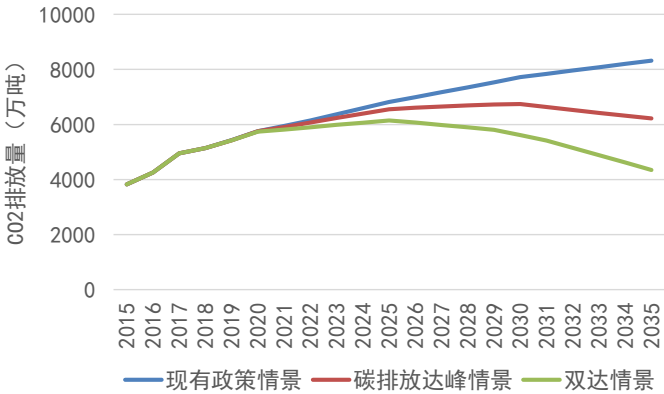


图 3-2 广州市交通领域到 2035 年的 CO<sub>2</sub> 排放趋势

货运交通将一直是广州市交通领域未来 CO<sub>2</sub> 排放最主要的来源，在不同情景下占全市交通领域 CO<sub>2</sub> 排放的比重均在 65% 左右；其次是城际客运交通，不同情景下占全市交通领域 CO<sub>2</sub> 排放的比重均在 25% 以上，并呈逐年增长的趋势；市内客运交通的 CO<sub>2</sub> 排放相对较少，并且随着电动化水平的不断提高，呈逐年减少的趋势。

就能源消费结构而言，传统石油制品消费产生的 CO<sub>2</sub> 排放仍将是广州市交通领域 CO<sub>2</sub> 排放最重要的来源，但随着油品消费占比的逐渐下降，其产生的 CO<sub>2</sub> 排放在不同情景下也将不同程度下降，碳排放达峰情景和双达情景下将于 2025 年左右达到峰值。清洁能源消费产生的 CO<sub>2</sub> 排放也将逐渐增加，但增量有限。

2. 广州市交通领域 CO<sub>2</sub> 减排重点方向

选取活动水平、运输结构、能源结构以及能源利用效率等指标，分析广州市交通领域 CO<sub>2</sub> 减排潜力的来源。根据图 3-3 所示，运输结

构优化将是广州市交通领域实现 CO<sub>2</sub> 减排最重要的途径，将贡献 44-47% 的 CO<sub>2</sub> 减排；其次是活动水平下降和能源结构优化，约能贡献 20-23% 的 CO<sub>2</sub> 减排；能效水平提升的 CO<sub>2</sub> 减排贡献相对较小。

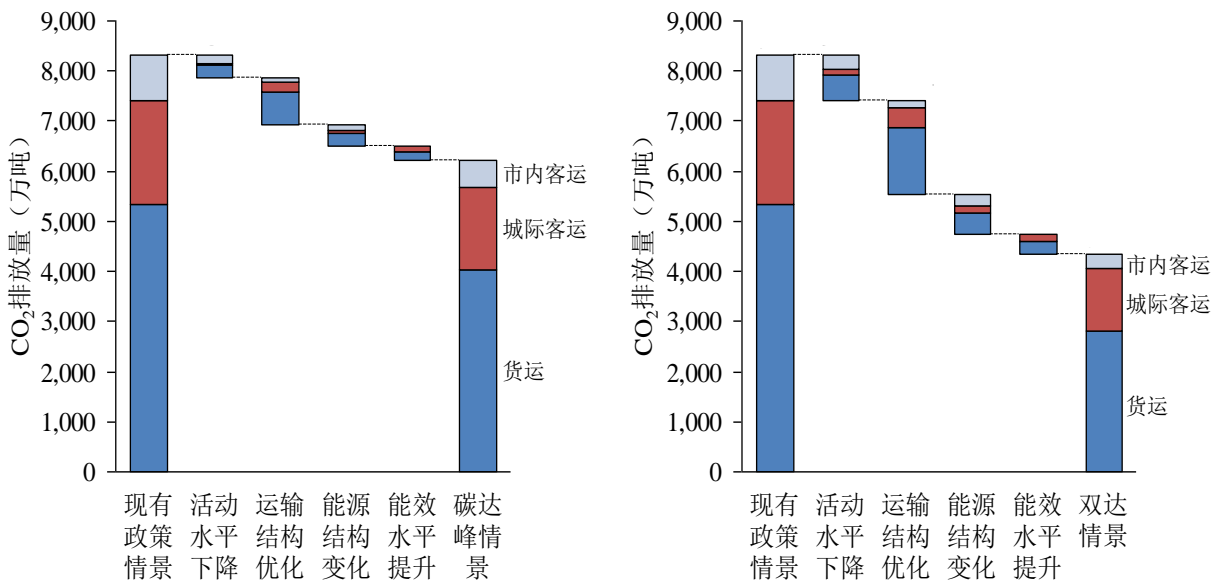


图 3-3 广州市交通领域未来 CO<sub>2</sub> 减排贡献 (万吨)

综合碳排放趋势以及减排贡献分析结果，梳理得到广州市交通领域 CO<sub>2</sub> 减排重点方向如表 3-1 所示。货运交通将一直是广州市交通领域 CO<sub>2</sub> 减排的重点，将主要依靠运输结构向水路货运和铁路货运的优化实现 CO<sub>2</sub> 减排，其次是减少货运周转需求和能源结构的清洁化，货运交通工具能效提升带来的 CO<sub>2</sub> 减排相对较小；城际客运的 CO<sub>2</sub> 减排主要依靠客运结构向铁路客运的转换，其次是能源结构的清洁化和交通工具的能效提升，城际客运需求减少产生的 CO<sub>2</sub> 减排有限；通过优化城市空间布局、调整土地利用方式等控制市内客运需求增长是实现市内客运 CO<sub>2</sub> 减排的重要途径，同时需要在实现公共交通电动化基础上，有效提高私人小汽车的电气化水平。



表 3-1 广州市交通领域未来 CO<sub>2</sub> 减排重点方向

运输类型	2035 年减排贡献 (双达情景)	重点方向
货运交通	63%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 重点发展水路和铁路货运</li> <li>• 减少货运周转需求</li> <li>• 提高公路货运电气化水平、促进天然气、氢能、生物燃油在货运交通中的使用比例</li> <li>• 提高货运交通工具能效</li> </ul>
城际客运	19%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 快速发展高速铁路客运</li> <li>• 促进公路客运电气化水平、促进天然气、生物燃油在城际客运交通中的推广应用</li> <li>• 提高城际客运交通工具能效</li> <li>• 减少不必要的城际客运需求</li> </ul>
市内客运	18%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 降低城市机动车出行需求</li> <li>• 有效提高私人小汽车电动化水平</li> <li>• 优先发展公共交通</li> </ul>

#### 四、 广州市交通领域空气污染物排放情景分析

##### 1. 广州市交通领域未来空气污染物排放趋势和结构

随着运输需求的增加，未来广州市交通领域的空气污染物排放将不同程度增长，即使在碳排放达峰情景下也仅能维持现状水平，要实现空气污染物的大幅度减排需要采取更为严格的政策措施（图 3-4）。

公路客/货运将一直是广州市交通领域 NO<sub>x</sub> 和 HC 排放最主要的来源，而水路货运是 SO<sub>2</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 排放的主要来源，因此运输结构的低碳化将有助于 NO<sub>x</sub> 和 HC 减排，但有可能增加 SO<sub>2</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 排放。

石油制品消费将一直是广州市交通领域空气污染物排放的主要来源，其中柴油、燃料油和汽油产生的空气污染物排放最大，但会随着清洁燃料的使用逐渐减少。但由于天然气的 HC 排放因子较汽油、柴油大，天然气的推广有可能导致 HC 排放的增加，因此能源结构的

低碳化将有助于交通领域空气污染物的减排，但天然气的使用将不利于 HC 的减排。

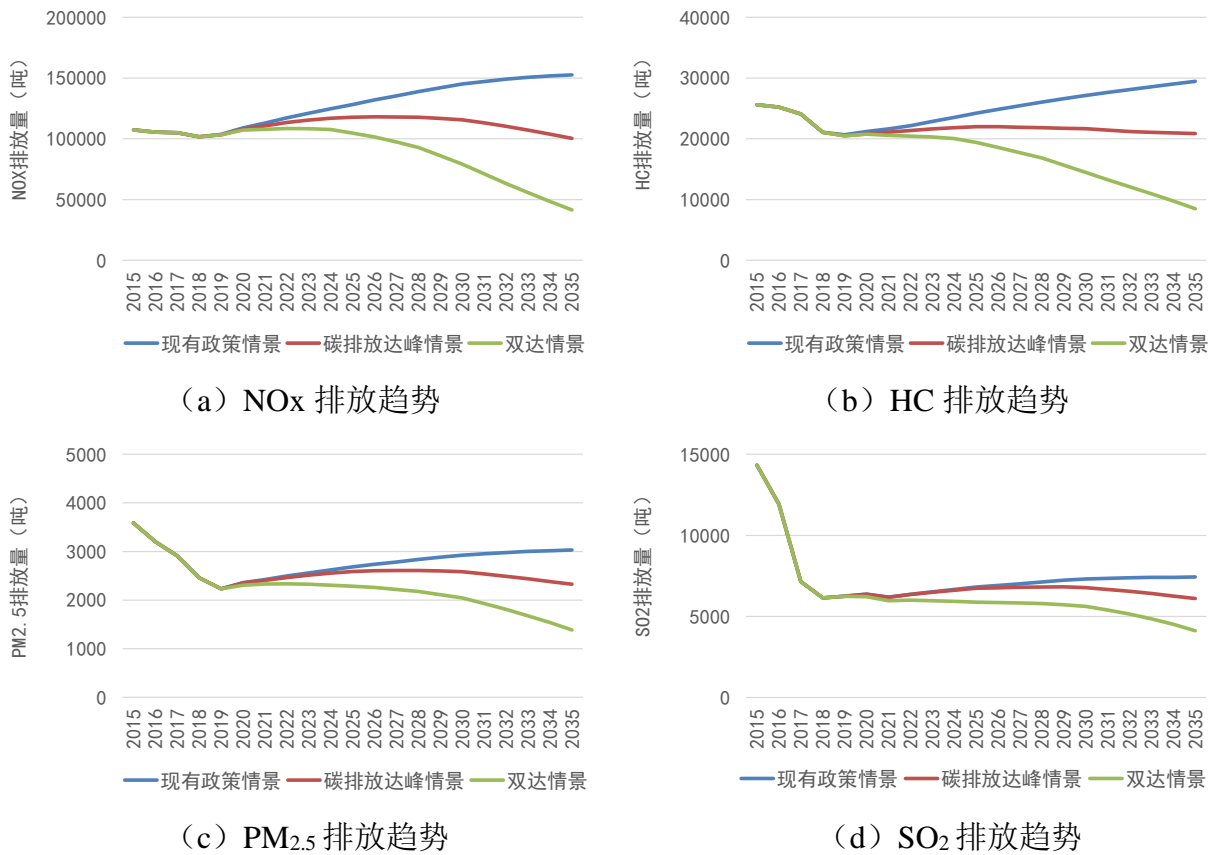


图 3-4 广州市交通领域到 2035 年的主要空气污染物排放趋势（吨）

## 2. 广州市交通领域空气污染物减排重点方向

选取活动水平、运输结构、能源结构、能源利用效率、污染物排放标准等指标，进一步分析交通领域的主要空气污染物减排贡献。如图 3-5 所示，运输结构优化是 NO<sub>x</sub> 和 HC 减排的重要途径，对 PM<sub>2.5</sub> 也有一定的减排贡献，但会增加 SO<sub>2</sub> 排放；能源结构的清洁化将有助于 NO<sub>x</sub>、PM<sub>2.5</sub> 和 SO<sub>2</sub> 的减排，对 HC 的减排作用不大；运输需求控制和排放标准提升的污染物减排作用显著，但空间有限。

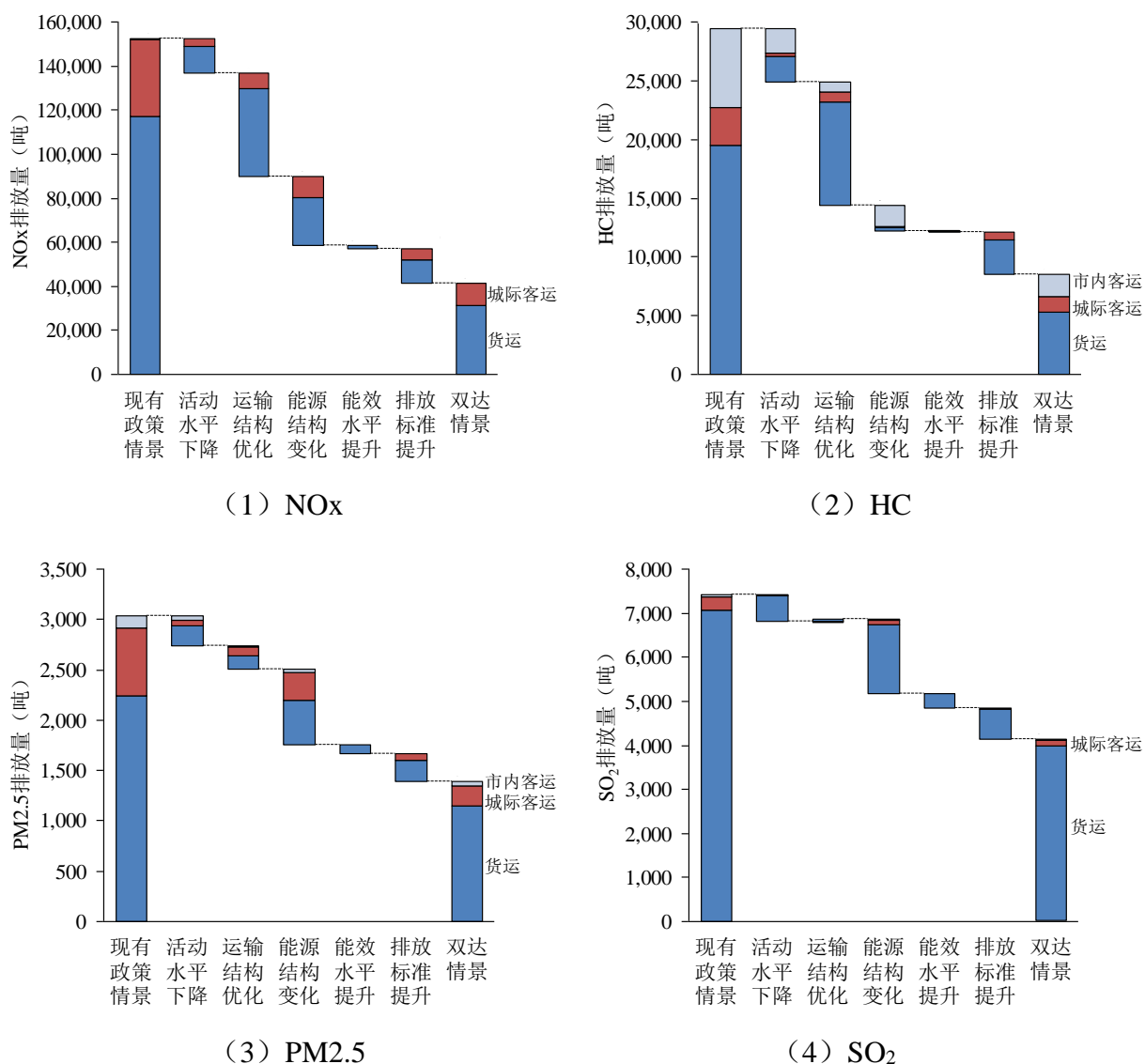


图 3-5 广州市交通领域未来空气污染物减排贡献（吨）

综合空气污染物排放趋势以及减排贡献分析结果，梳理得到广州市交通领域空气污染物减排重点方向如表 3-2 所示。货运交通将一直是广州市交通领域未来空气污染物排放最主要的来源，也将是实现减排最重要的部门。运输结构的低碳化是广州市交通领域 NO<sub>x</sub> 和 HC 减排的重要途径；能源结构的清洁化将有助于 NO<sub>x</sub>、PM<sub>2.5</sub> 和 SO<sub>2</sub> 的减排；活动水平下降和排放标准提升的污染物减排空间有限；能效水平提升对污染物减排作用不明显。

表 3-2 广州市交通领域未来主要空气污染物减排重点方向

污染物	运输类型	双达情景下的减排贡献	重点方向	污染物	运输类型	双达情景下的减排贡献	重点方向
NO <sub>x</sub>	货运交通	77.0%	<ul style="list-style-type: none"> <li>重点发展水路和铁路货运</li> <li>货运燃料清洁化</li> <li>减少货运周转需求</li> <li>排放标准提升</li> <li>提高货运交通工具能效</li> </ul>	HC	货运交通	68%	<ul style="list-style-type: none"> <li>重点发展水路和铁路货运</li> <li>排放标准提升</li> <li>减少货运周转需求</li> <li>货运燃料清洁化</li> </ul>
	城际客运	22.5%	<ul style="list-style-type: none"> <li>城际客运燃料清洁化</li> <li>快速发展高速铁路客运</li> <li>排放标准提升</li> <li>减少不必要的城际客运需求</li> </ul>		城际客运	9%	<ul style="list-style-type: none"> <li>快速发展高速铁路客运</li> <li>排放标准提升</li> <li>减少不必要的城际客运需求</li> <li>城际客运燃料清洁化</li> </ul>
	市内客运	0.5%	<ul style="list-style-type: none"> <li>降低城市机动车出行需求</li> <li>有效提高私人小汽车电动化水平</li> <li>优先发展公共交通</li> <li>排放标准提升</li> </ul>		市内客运	23%	<ul style="list-style-type: none"> <li>降低城市机动车出行需求</li> <li>有效提高私人小汽车电动化水平</li> <li>优先发展公共交通</li> </ul>
PM <sub>2.5</sub>	货运交通	66%	<ul style="list-style-type: none"> <li>货运燃料清洁化</li> <li>排放标准提升</li> <li>减少货运周转需求</li> <li>重点发展水路和铁路货运</li> <li>能源效率提升</li> </ul>	SO <sub>2</sub>	货运交通	94%	<ul style="list-style-type: none"> <li>提货运燃料清洁化</li> <li>排放标准提升</li> <li>减少货运周转需求</li> <li>能源效率提升</li> </ul>
	城际客运	29%	<ul style="list-style-type: none"> <li>城际客运燃料清洁化</li> <li>快速发展高速铁路客运</li> <li>排放标准提升</li> <li>减少不必要的城际客运需求</li> </ul>		城际客运	5%	<ul style="list-style-type: none"> <li>城际客运燃料清洁化</li> <li>快速发展高速铁路客运</li> <li>减少不必要的城际客运需求</li> <li>排放标准提升</li> </ul>
	市内客运	5%	<ul style="list-style-type: none"> <li>降低城市机动车出行需求</li> <li>有效提高私人小汽车电动化水平</li> <li>优先发展公共交通</li> <li>排放标准提升</li> </ul>		市内客运	1%	<ul style="list-style-type: none"> <li>降低城市机动车出行需求</li> <li>有效提高私人小汽车电动化水平</li> <li>优先发展公共交通</li> <li>排放标准提升</li> </ul>

## 第四章 广州市交通领域关键措施减排协同效应分析

根据情景分析确定的广州市交通领域可持续发展重点方向，结合国际先进城市发展经验，采用德尔菲方法筛选出 24 项广州市交通领域减排优选措施，开展减排协同效应以及减排成本分析。

### 一、广州市交通领域关键措施的减排协同效应分析

针对城际客运选择的 10 项措施均具有一定的减排协同效应（图 4-1）。其中，私家车电动化水平提升措施具有最好的 CO<sub>2</sub> 和空气污染物综合当量减排协同效应，且减排潜力最大；停车管理、优先发展城市轨道交通、汽油私家车能效水平提升、中小客车总量调控和积极发展公交车都能从源头上有效降低私家车的排放水平，也具有较好的减排协同效应，且减排潜力也较大；出租车 100% 纯电动化、公交车 100% 纯电动化、发展氢燃料电池公交车和发展氢燃料电池出租车等针对公交车、出租车本身的措施也具有一定的减排协同效应，但其空气污染物减排效果要好于 CO<sub>2</sub> 减排。

针对城际客运选择的 5 项措施中，除积极推广天然气客车不具备减排协同效应外，其他措施均具有一定的减排协同效应。其中，大力发展高速铁路措施具有最佳的 CO<sub>2</sub> 和空气污染物综合当量减排协同效应，且减排潜力最大；提高公路客运电动化水平措施的污染物减排效果好于 CO<sub>2</sub> 减排效果；鼓励航空客运使用生物航煤措施的 CO<sub>2</sub> 减排程度大于空气污染物综合当量减排程度；由于水路客运运输量较小，其 CO<sub>2</sub> 和空气污染物减排潜力非常有限。

针对货运交通选择的关键措施中，大力发展水路货运、积极发展铁路货运、提高公路货运电动化水平和推进氢燃料货车措施具有最佳的减排协同效应，且减排潜力较大；公路物流大型化发展措施的空气污染物减排效果好于 CO<sub>2</sub> 减排；鼓励航空货运、水路货运使用生物燃油以及推广天然气货船的减排潜力有限；推广天然气货车措施的 CO<sub>2</sub> 减排潜力较小，且会导致空气污染物增排，不具备减排协同效应。

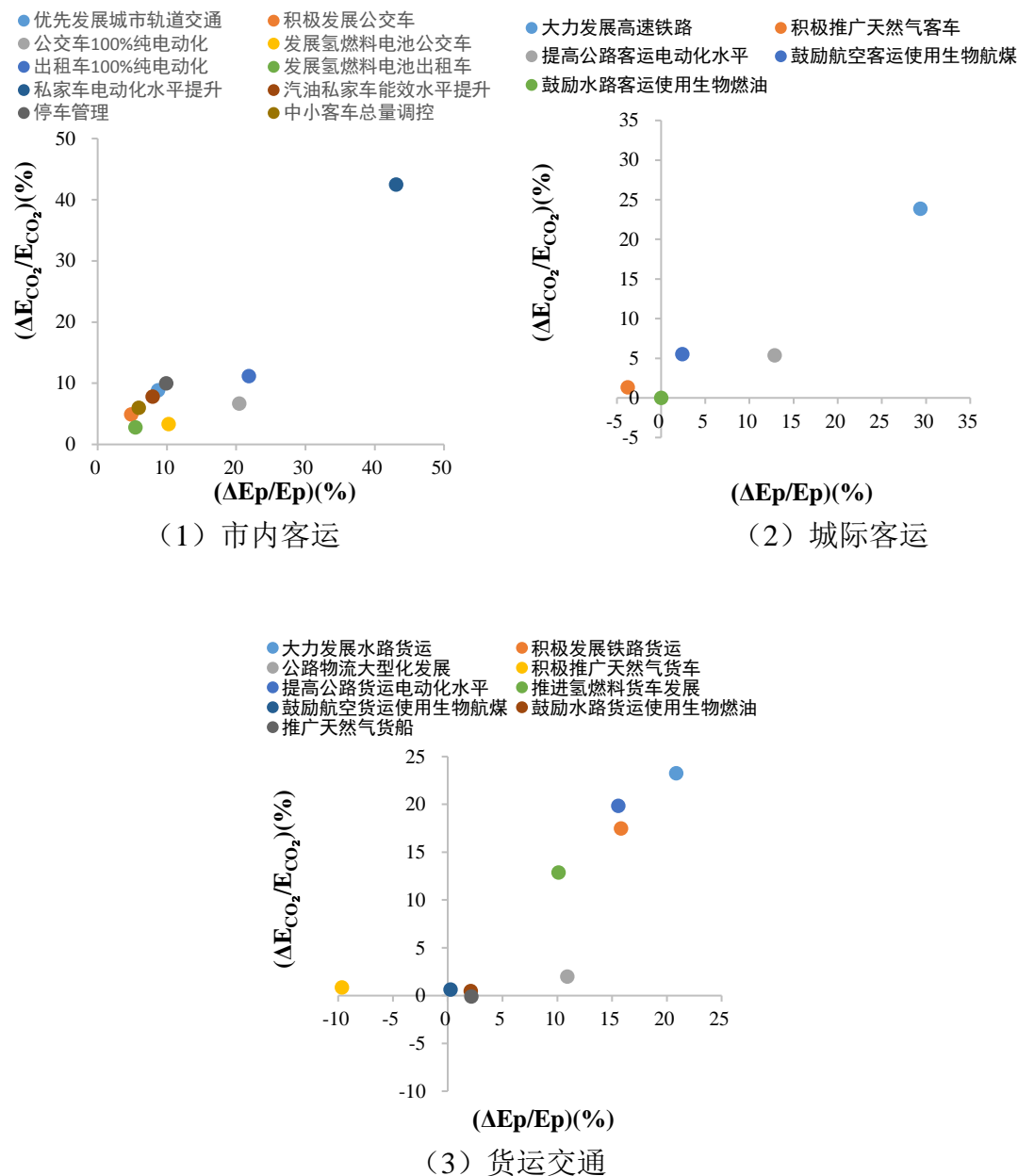


图 4-1 市内客运关键措施的 CO<sub>2</sub> 与空气污染物综合当量减排协同效应

## 二、 关键措施的减排成本

根据关键措施的边际减排成本曲线（图 4-2），市内客运中中小客车总量调控、积极发展公交车、优先发展城市轨道交通、停车管理以及私家车能效水平提升措施的单位减排成本为负，公交车和出租车电动化措施的减排成本也相对较低，是市内客运需要优先发展的减排措施；私家车电动化措施的减排潜力巨大，但减排成本也较高，可作为广州市内客运中长期减排的重要措施；氢燃料电池公交车和出租车将成为广州市氢能发展的试点项目，但考虑到我国氢燃料电池车技术的发展现状，预计要实现大规模应用还需要较长的时间，且减排成本较高，可作为广州市内客运远期减排的重要措施。

城际客运中，大力发展高速铁路的单位综合当量减排成本为负，且减排潜力巨大，是城际客运需要优先发展的减排措施；积极推广天然气客车措施的减排成本也为负值，但如果天然气价格持续走高，其减排成本也可能提高，需要理清天然气价格机制，并配合使用污染物末端脱除装置；提高公路客运电动化水平措施的减排潜力也较大，减排成本相对较小，可作为广州城际客运中长期减排的重要措施；生物燃油是航空和水路运输领域实现减排的重要途径，但由于目前生物燃油技术还处于研发阶段，可作为广州城际客运远期减排的重要措施。

货运交通中，积极推广天然气货车、大力发展水路货运、积极发展铁路货运以及公路物流大型化发展的减排成本为负，且具有一定的减排效果，是货运交通中需要优先发展的减排措施。提高公路货运电动化水平措施的减排潜力很大，减排成本也在可承受的范围，但考虑

到长距离、大容量电动车技术的发展趋势，可作为广州城际客运中长期减排的重要措施；天然气货车推广措施的减排成本与电动货车措施基本相当，也可作为广州城际客运中长期减排的重要措施，且需要配合使用污染物末端脱除装置；氢能和生物燃油在货运交通中的应用可作为广州货运交通远期减排的重要措施。

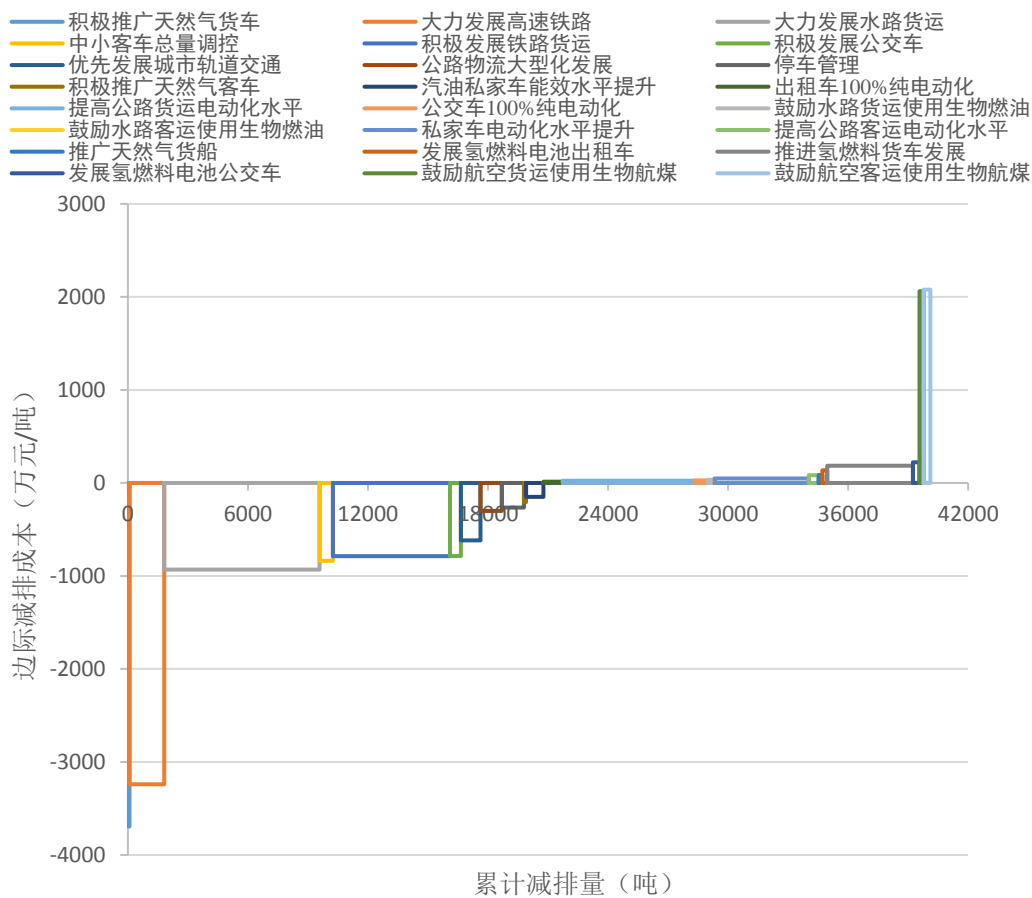


图 4-2 货运交通关键措施的边际减排成本曲线



## 第五章 双达约束下的广州市交通可持续发展路径

综合考虑广州市交通领域的减排潜力以及关键措施的减排协同效应、减排成本、技术成熟度、本地适用性等因素，提出广州市交通领域到 2035 年分阶段可持续发展目标和路线图（图 5-1）。

### 1. 2025 年前加强交通基础设施建设，促进电动车的推广和应用

以粤港澳大湾区建设为契机，优化城市空间布局，推动经济结构转型升级，合理布局物流集散地，有效控制运输需求增长；坚持公交优先发展战略，实现到 2025 年广州市公交分担率提高到 65%，加速高速铁路和城际铁路的建设和运营，完善内河和远洋航道与疏港铁路、公路等集疏运网络；大力推进充电桩等基础设施的规划与建设，力争 2021 年前实现出租车 100% 纯电动化，引导私人购买和使用纯电动汽车，鼓励天然气在公路、水路运输中的推广和应用，实现到 2025 年广州市交通领域油品消费、碳排放以及主要空气污染物排放达到峰值；继续淘汰老旧车船，推动交通领域技术进步和节能改造，引导交通运输企业向大型化、专业化方向发展，不断提高运输效率。

### 2. 2030 年前形成一体化公交体系和以铁路为骨架的城际运输体系，逐步提升交通工具排放标准

优化城市功能结构布局，构建紧凑型城市，促进现代物流业快速发展，进一步减少不必要的运输需求增长；强化城市公共交通与航空、铁路等城际客运的无缝衔接，构建一体化公交体系，实现到 2030 年

全市公交分担率达到 70%，规划建设珠三角城市 1 小时通达的城际铁路交通圈，形成以高速铁路为骨架的城际运输体系，推广货运多式联运；进一步鼓励私人购买和使用纯电动汽车，促进公路客货运“电气化”进程，实现天然气在公路、水路运输中的规模化应用，公交领域氢燃料电池汽车占比达到 30%，推进生物燃油在水运和航空运输领域的示范应用，实现到 2030 年广州市交通终端能源消费达到峰值；强化运输排放标准管理，逐步提升排放标准。

### **3. 2035 年形成广州市综合交通运输体系，实现清洁能源规模化应用**

实现信息化与交通运输系统深度融合，发展智能交通系统；实现市内公共交通与城际客运的零换乘和无缝衔接，有效控制私人小汽车的增长速度和使用频率，实现到 2030 年全市公交分担率达到 75%，逐步实现多式联运有机衔接，构建综合交通运输体系；实现私人小汽车纯电动化率达到 30-50%，加快公路客货运的电气化，逐渐实现氢能、生物燃油在交通领域的大规模应用；进一步挖掘技术进步和管理水平提升空间，有效提高交通工具能效水平；严格淘汰老旧交通工具，合理提升交通工具排放标准。实现到 2035 年全市交通领域能源消费和碳排放回归现状水平，空气污染物排放量较现状水平减少一半以上。

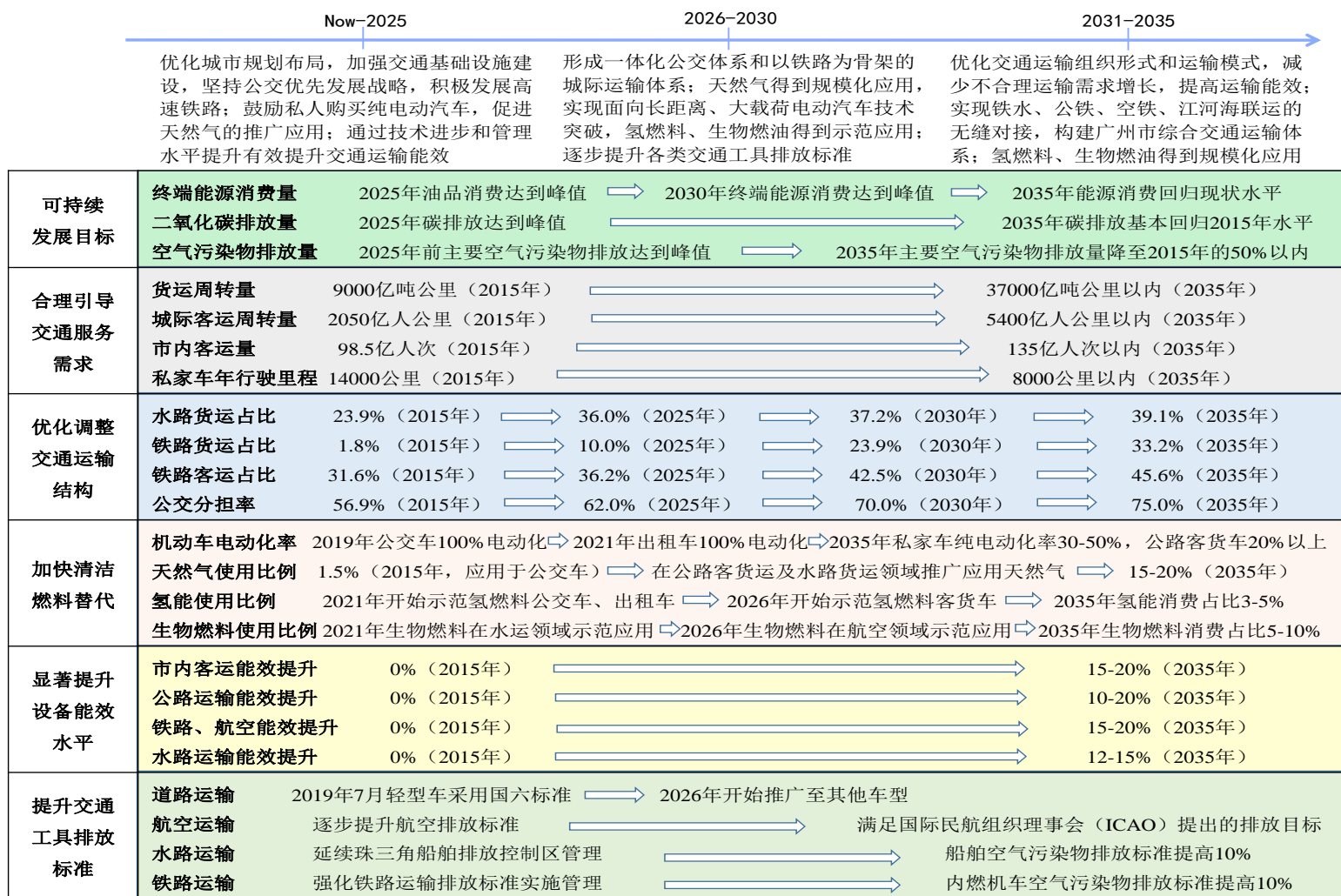


图 5-1 广州市交通领域可持续发展路线图

## 第六章 双达约束下的广州市交通可持续发展政策建议

### 1. 合理控制交通运输需求增长。

(1) 货运交通：深化产业转型升级，有效降低货运强度；优化产业空间布局，合理布局物流集散地；发展现代物流业，实现货运企业大型化、专业化；优化物流组织形式，有效提高货运实载率。实现到 2035 年货运需求较现有政策情景下降 5-10%，减少 10% 的 CO<sub>2</sub> 以及空气污染物排放。

(2) 客运交通：优化城市空间布局，深化 TOD 发展模式；提倡远程办公和会议；完善慢行交通系统，构建非机动化出行友好环境，减少机动化出行需求。到 2035 年实现客运需求较现有政策情景下降 5%，分别减少 48% 的 CO<sub>2</sub> 排放以及 58%-70% 的空气污染物排放。

### 2. 优化调整运输结构。

(1) 货运交通：大宗货物运输以水路和铁路为主要运输方式。优化广州四大港区功能布局，加快深水航道拓宽、内河航道扩能升级；加大铁路基础设施建设，完善铁路运输通道，升级铁路网密度和运输能力，规划预留高铁物流基地发展条件；强化集疏运网络建设，加强公铁、空铁、铁水、江海联运，推行货运“一单制”联运，实现多式联运，构建综合性现代货运体系。到 2035 年，全市水路和铁路货运量占比分别达到 37% 和 36%，较现有政策情景实现 25% 的 CO<sub>2</sub> 减排、34%-45% 的 NO<sub>x</sub> 和 HC 减排以及 1%-6% 的 PM<sub>2.5</sub> 和 SO<sub>2</sub> 减排。

(2) 城际客运：以高速铁路和公路为主体，构筑城际快速客运交通网络。加快高铁基础设施建设；规划建设城际铁路网线；加速对外高速公路建设；推进各种客运交通方式之间、城市内外客运交通之间的有机衔接。到 2035 年，全市铁路和公路客运量占比分别达到 45.6% 和 35.7%，较现有政策情景实现 20% 的 CO<sub>2</sub> 减排、21%-24% 的 NO<sub>x</sub> 和 HC 减排以及 9%-12% 的 PM<sub>2.5</sub> 和 SO<sub>2</sub> 减排。

(3) 市内客运：大力发展城市公共交通，合理控制私家车出行。加速地铁、有轨电车规划和建设，提升城市轨道交通运能和覆盖率；优化公交线网，合理发展定制公交；合理建设客运码头和航线，提升水上巴士服务质量；强化城市公共交通与城际客运的无缝衔接；研究远期中小客车总量调控指标缩减方案；全面实行分区域、分类型、分时段差别化停车收费；研究拥堵收费、低排区管理等政策。实现到 2035 年全市公共交通分担率达到 75%，私家车保有量控制在 445 万辆以内，私家车年平均行驶里程较现状水平减少 45%，较现有政策情景分别减少 12%-14% 的 CO<sub>2</sub> 以及空气污染物排放。

### 3. 促进燃料清洁化替代。

大力发展电动车，推进充电桩等基础设施的规划与建设，加快道路交通电动化进程，力争 2021 年前完成出租车的全面电动化，到 2035 年私家车电动化率达到 30%-50%，公路客/货运电动化率提升至 20%-39%。鼓励天然气在公路和水路运输中的应用，配合使用空气污染物末端脱除装置，到 2035 年实现全市天然气车船占比均达到 20%；加速氢能和生物燃油技术研发，促进其在交通领域的规模化应

用，到 2035 年实现氢燃料电池公交车、出租车、货车占比分别达到 15-30%，生物燃油在航空和水路运输中的消费占比均达到 15%，力争在 2025 年实现石油消费达峰，较现有政策情景分别减少 7%-9% 的 CO<sub>2</sub> 和 HC 排放，以及 20%-25% 的 NO<sub>x</sub>、PM<sub>2.5</sub> 和 SO<sub>2</sub> 排放。

#### **4. 提升交通运输工具能源效率。**

强制性报废老旧交通工具，实施客/货运站场、空港、海港节能改造；推广先进客/货运组织管理模式，引导交通运输企业向大型化、专业化方向发展；强化信息技术和共享模式在交通领域的应用，提高交通智能管理水平。实现到 2035 年，全市交通工具综合能效较现状水平提升 20%，较现有政策情景分别减少 3%-5% 的 CO<sub>2</sub> 以及空气污染物排放。

#### **5. 提高交通运输工具的排放标准。**

逐步实现道路运输全部采用国六 B 标准；积极促进航空运输工具空气污染物排放标准提升，强化排放标准实施管理；严格落实珠三角船舶排放控制区管理，进一步提高船舶排放标准。到 2035 年，实现全市交通领域较现有政策情景分别减少 10% 左右的空气污染物排放。

#### **6. 创新交通大数据共享机制。**

以广州市交通运行综合监测与融合管理平台为基础，结合公安、交通、环境等多部门的交通、环境数据，研究建立广州市交通运输能耗排放监测方法及监测平台，提升交通运输节能减排辅助决策及精细化管理水平，推动建设跨地域、跨部门、跨业务的交通大数据共享机制，实现数据驱动的交通运输业高质量发展。