



推动交通运输行业绿色低碳转型 促进大气污染物与温室气体协同减排

郝吉明

清华大学环境学院

澳门国际环保合作发展论坛及展览，2022年12月10日



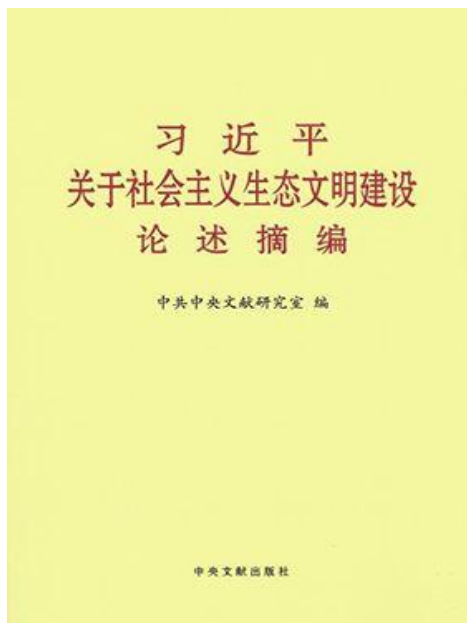
汇报内容

CONTENTS

- 1 背景
- 2 控制政策
- 3 交通电动化案例分析

生态文明建设成为大湾区创新发展的重要组成部分

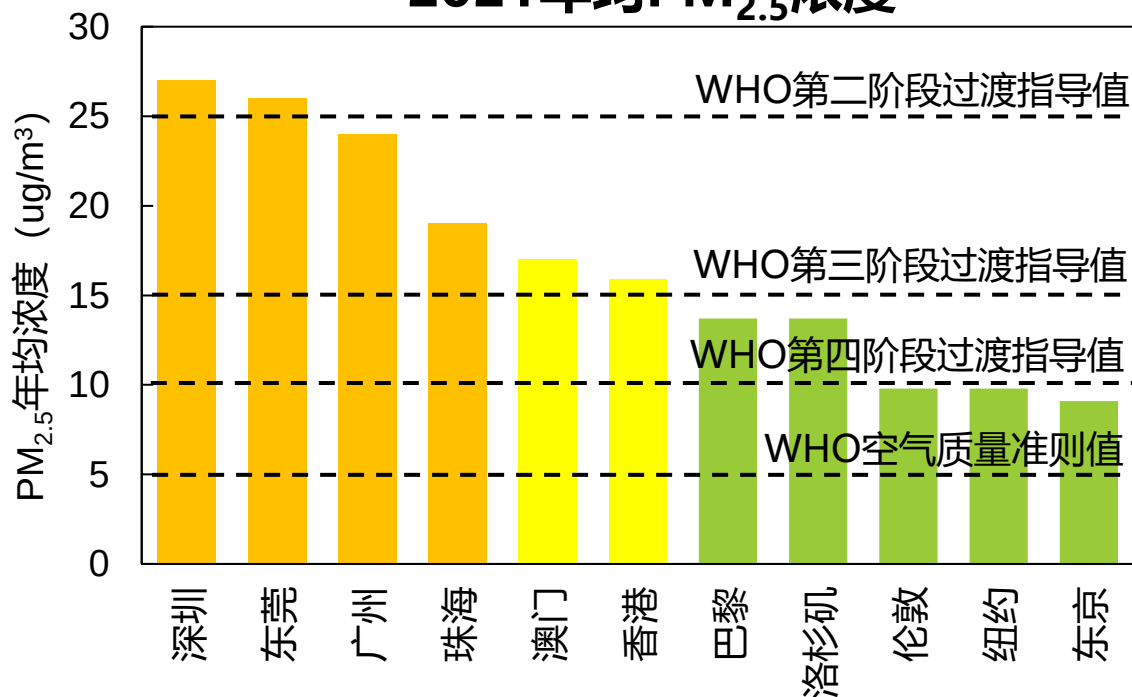
- 践行习近平生态文明思想：
 - “保护生态环境就是保护生产力，改善生态环境就是发展生产力”
 - “绿水青山就是金山银山”
- 《粤港澳大湾区发展规划纲要》：提出将粤港澳大湾区建成发展活力充沛、创新能力突出、产业结构优化、要素流动顺畅、**生态环境优美**的国际一流湾区和世界级城市群



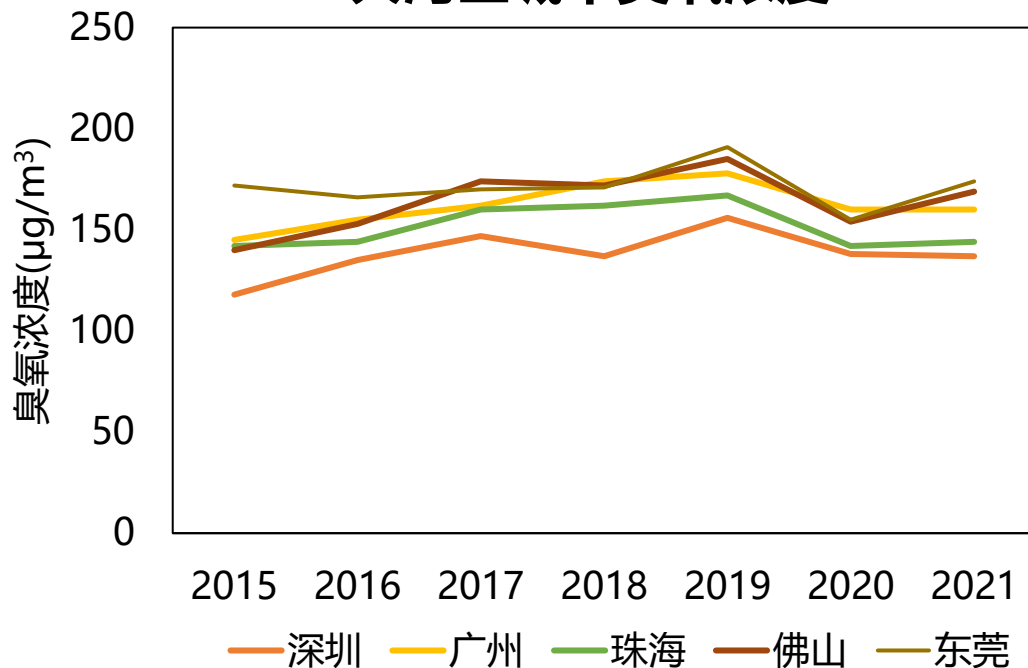
大湾区仍需持续努力改善环境空气质量

- 大湾区城市空气质量持续向好，2021年珠三角九城市空气质量优良天数比例达91%
- **PM_{2.5}持续改善天花板明显**，对标国际大城市和WHO更严格指导值仍**差距显著**
- **臭氧浓度居高不下**，臭氧作为首要污染物的占比不断提高，已经成为影响大湾区空气质量达标的关键因素之一

2021年均PM_{2.5}浓度



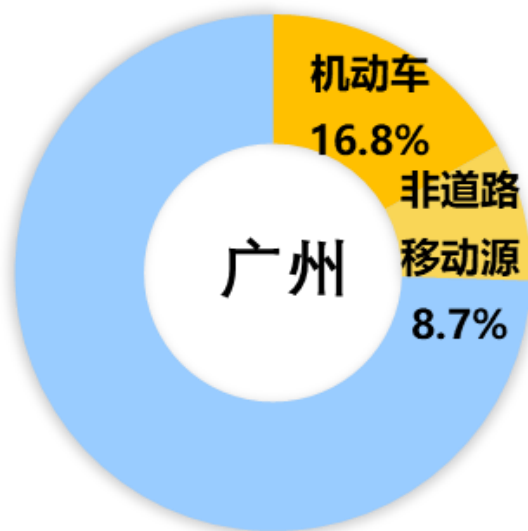
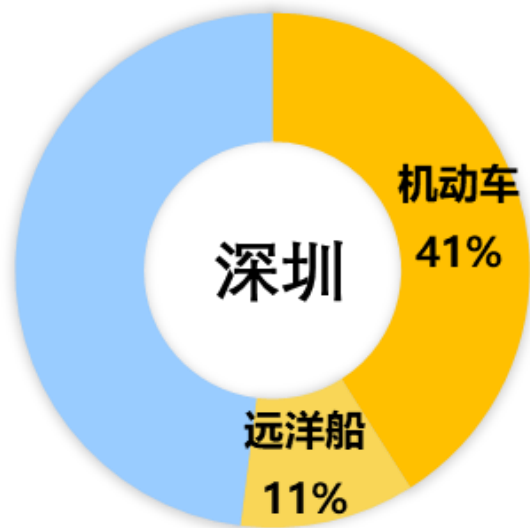
大湾区城市臭氧浓度



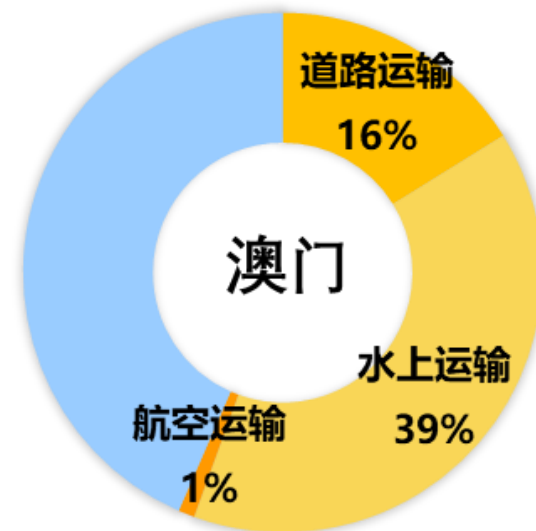
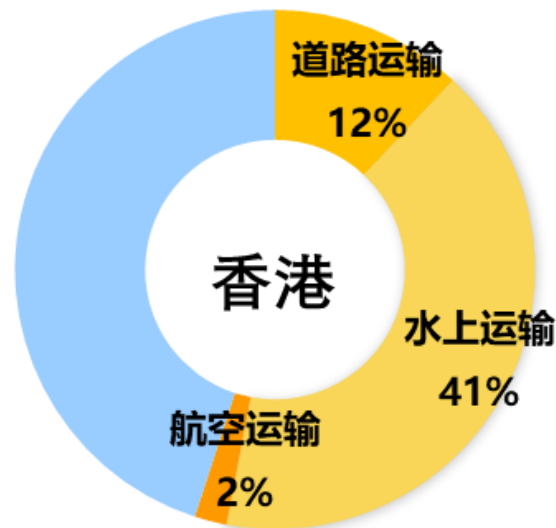
移动源已成为重要的本地大气污染源

- 移动源成为大湾区城市PM_{2.5}主要来源之一，移动源排放对臭氧污染贡献也日益突出

PM_{2.5}源解析结果



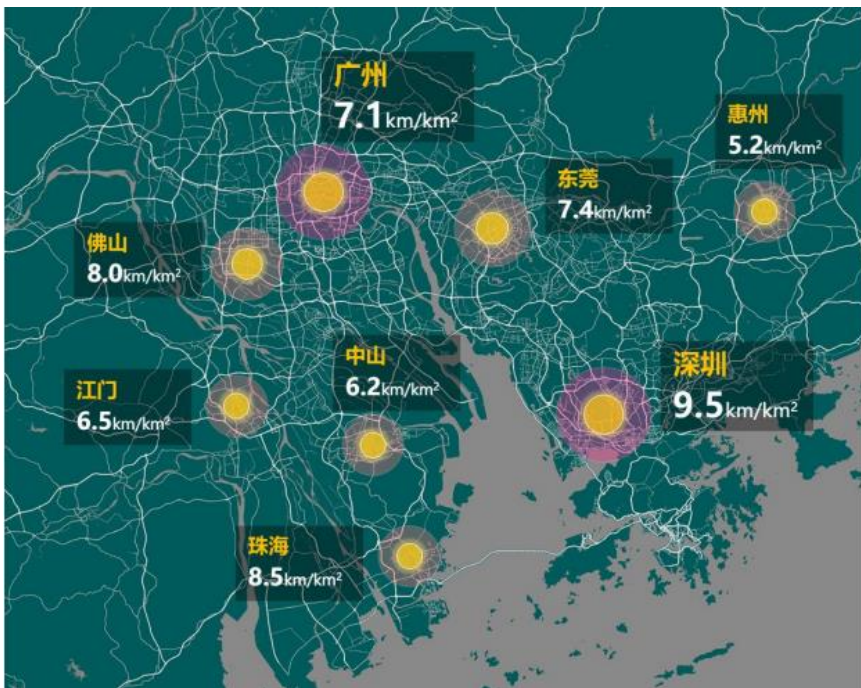
PM_{2.5}排放分担率



道路交通： 机动车高速发展、 高度聚集

- 2021年大湾区城市仅占全国0.6%的土地面积，汽车保有量占全国总量约 **9%**
- 中心城区建成区总体平均道路网密度为**7.3 km/km²**，是全国平均路网密度的**3.2**倍
- 截至2021年底，粤港澳大湾区高速公路通车里程已达4972公里，路网密度达到9.1公里/百平方公里，在国内外主要城市群中位居前列

大湾区主要城市道路网密度



来源：中国主要城市道路网密度监测报告2020

2021年大湾区城市群汽车保有量及保有量密度

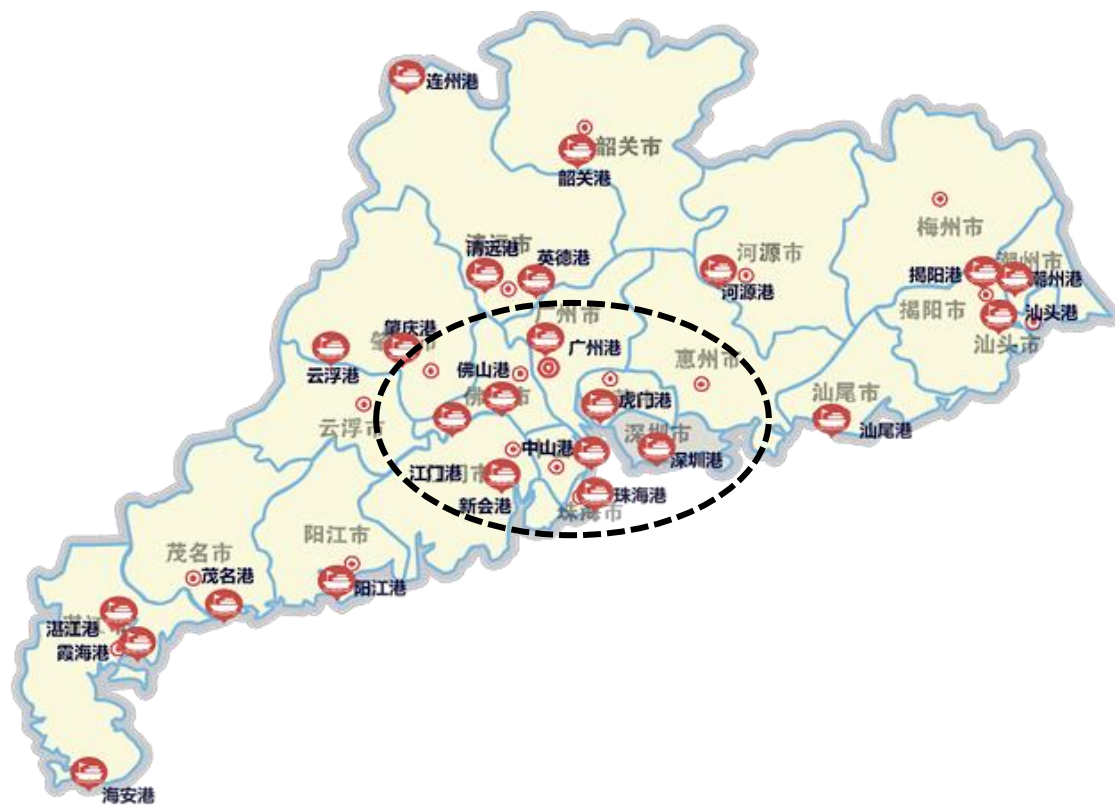
城市	汽车保有量 (万辆)	人均保有量 (辆/千人)
深圳	372.7	211
东莞	363.9	345
广州	319.8	170
佛山	316.4	329
惠州	156.5	258
中山	139.2	312
江门	104.7	216
香港	82.6	111
珠海	83.1	337
肇庆	69.4	168
澳门	12.0	176

注：未包括摩托车

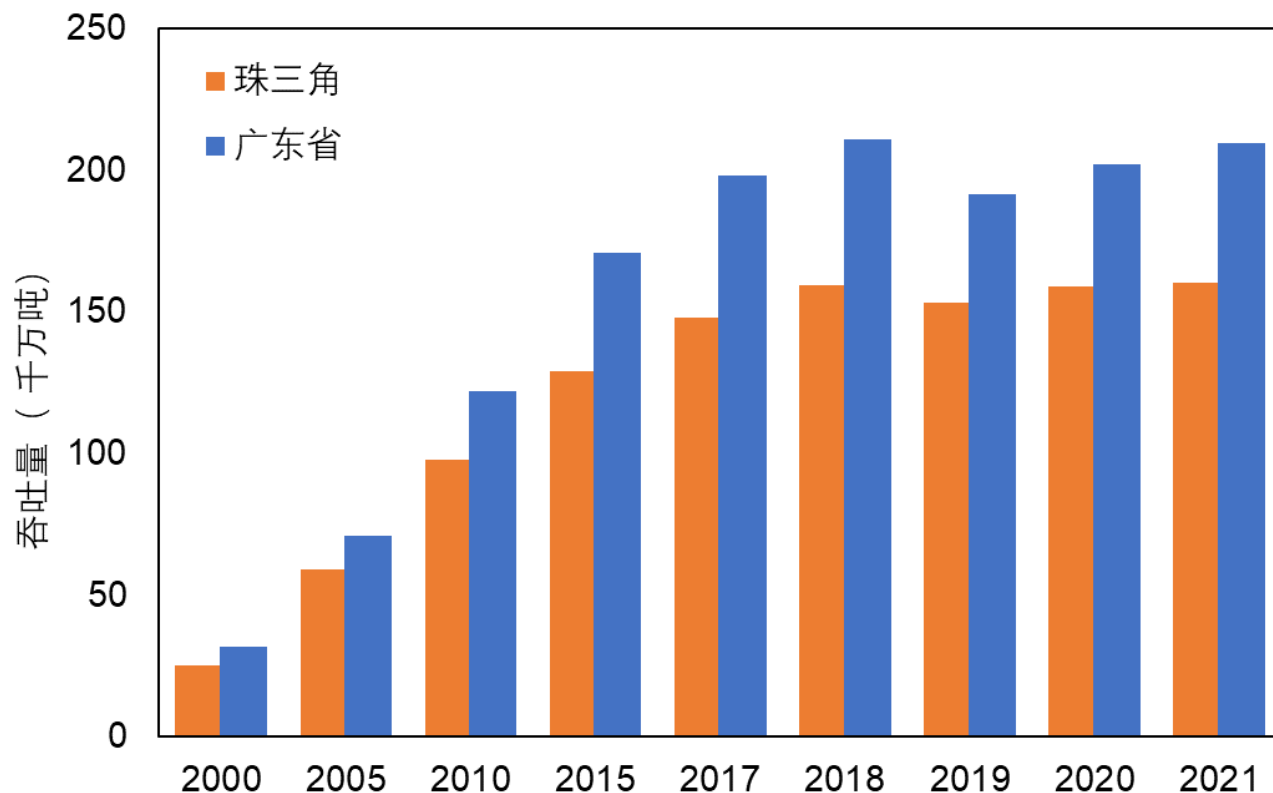
大湾区平均：~210

航运：形成世界级集装箱港口群

- **吞吐量**：大湾区港口集装箱吞吐量约占全国1/5，近年来年均吞吐量增长达6%
- **世界级集装箱港口**：深圳港（**第四**）、广州港（**第五**）、香港港（**第七**）



珠三角地区吞吐量增长趋势：2000-2021年



航空：形成多核驱动、多点联动区域机场群

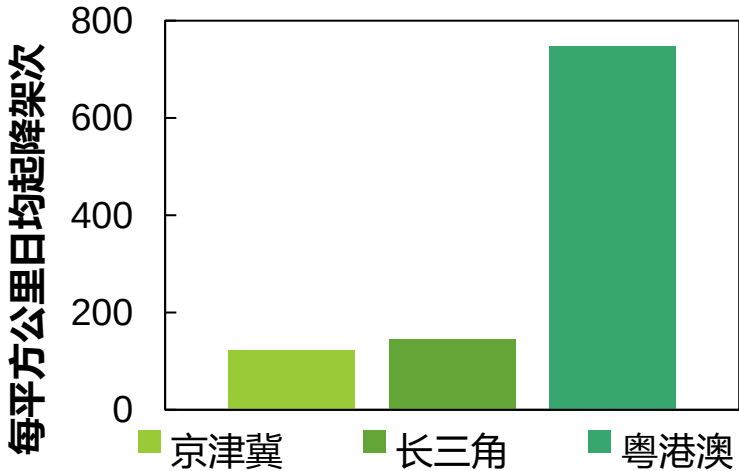
- **7大机场**：以香港、广州、深圳国际航空枢纽多核驱动，澳门、珠海等机场多点联动
- **起降架次**：2019年大湾区机场起降架次约占全国**12%**
- 《民航局关于支持粤港澳大湾区民航协同发展的实施意见》：**2035年**全面建成**世界级机场群**



2019年粤港澳大湾区枢纽机场活动水平

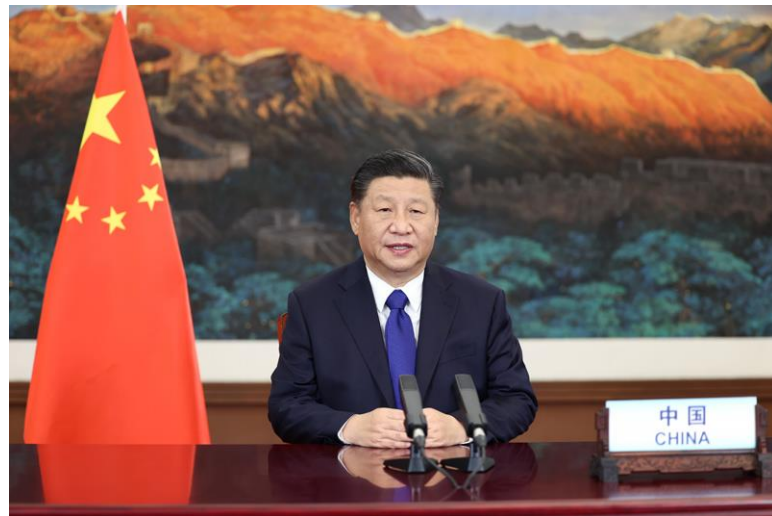
机场	起降架次 (万)	全国排名
广州白云国际机场	49	3
香港国际机场	42	4
深圳宝安国际机场	37	5
大湾区机场总计	147	
全国总计	1216	

2019年粤港澳大湾区、京津冀、长三角地区
单位面积航班起降强度对比

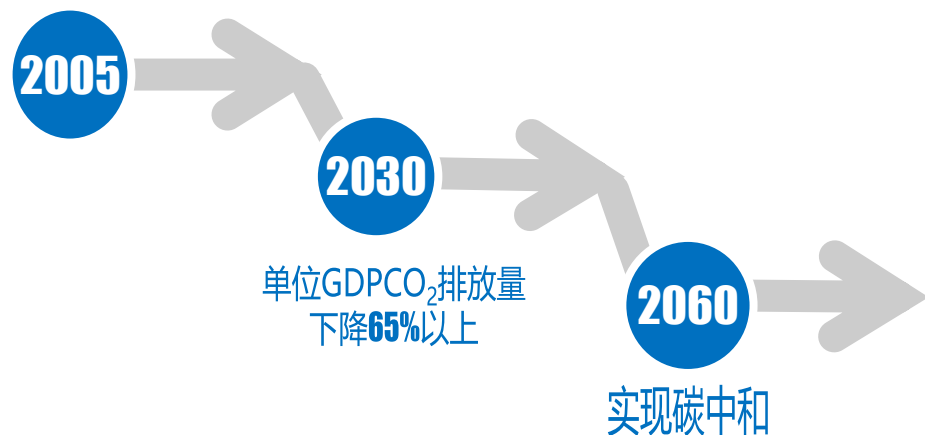


大湾区应率先实现能源转型，促进低碳发展

- 到2030年，中国单位国内生产总值二氧化碳排放将比2005年**下降65%**以上，力争2030年前**碳达峰**，努力争取2060年前实现**碳中和**
- 《大湾区发展规划纲要》：实行**最严格的生态环境保护制度**，推动形成绿色低碳的生产生活方式和城市建设运营模式，促进大湾区可持续发展
- 大湾区城市积极制定**低碳发展**目标：
 - **深圳**：国家首批低碳试点和碳排放权交易试点城市
 - **广州**：力争2020年左右能源消费碳排放总量达到峰值，单位GDP碳排放比2015年下降23%，人均碳排放量降低至8.5吨/(人·年)
 - **香港**：2030年碳强度降低至2005年的65%-70%，相当于26%-36%绝对减排量，人均排放量降低至3.3-3.8吨
 - **澳门**：2020年单位GDP能耗降低到8.5TJ/澳门元



习近平主席在气候雄心峰会发表重要讲话

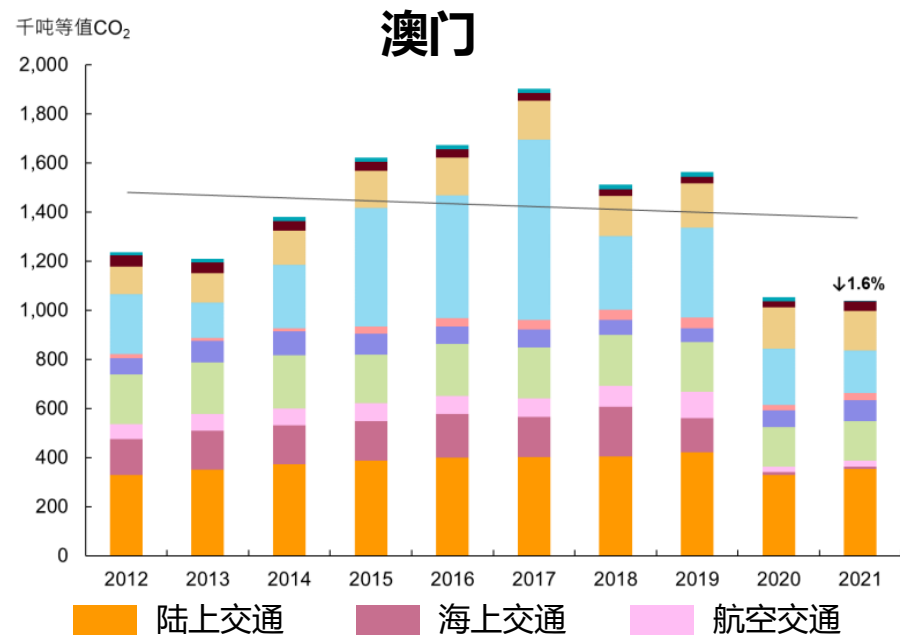
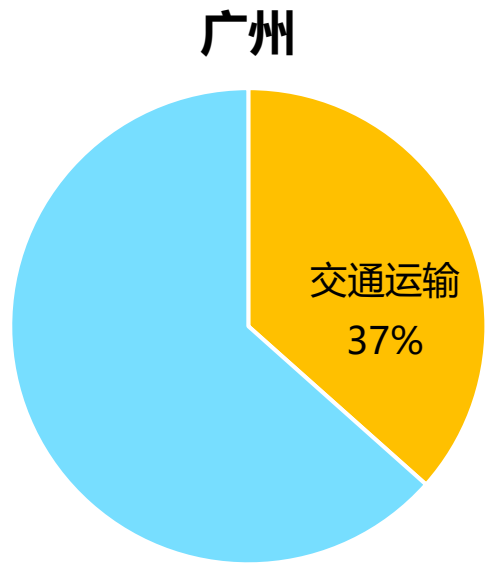
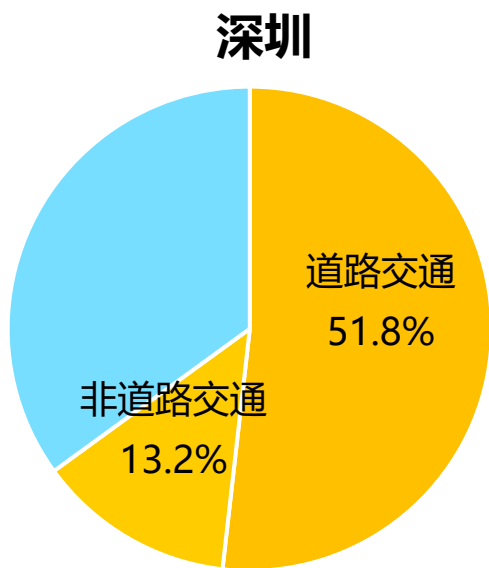


大湾区城市交通部门碳排放的贡献突出

■ 交通低碳转型是城市应对气候变化的重要路径：

- 深圳：交通行业碳排放贡献高达65%
- 广州：碳排放强度为0.63吨CO₂ / 万元，交通行业的贡献占37%
- 澳门：交通运输占温室气体排放总量约40%，近两年交通运输排放受疫情影响明显

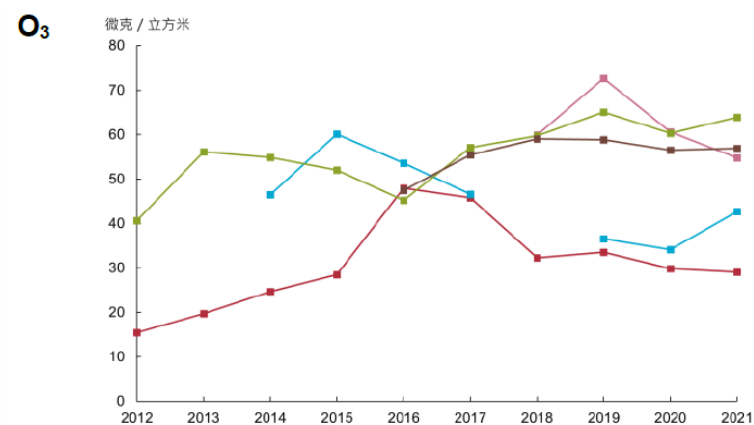
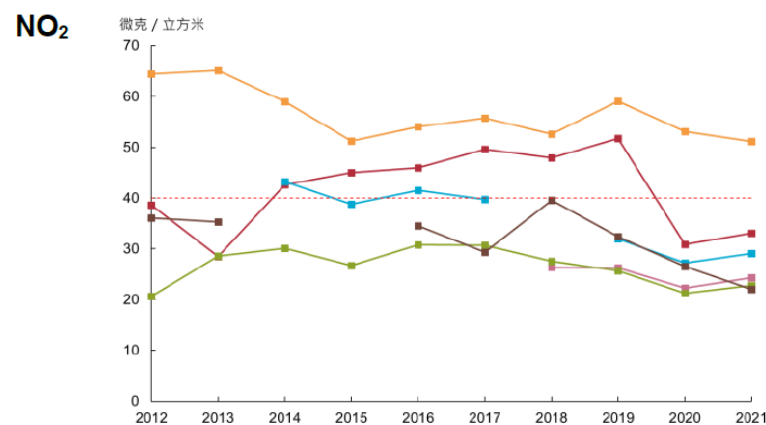
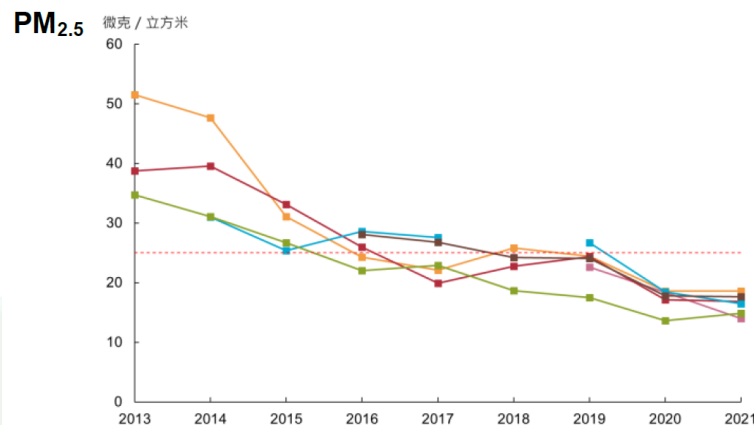
城市温室气体排放来源



来源：能源基金会，澳门环境保护局

交通清洁和低碳化对大湾区生态文明建设至关重要

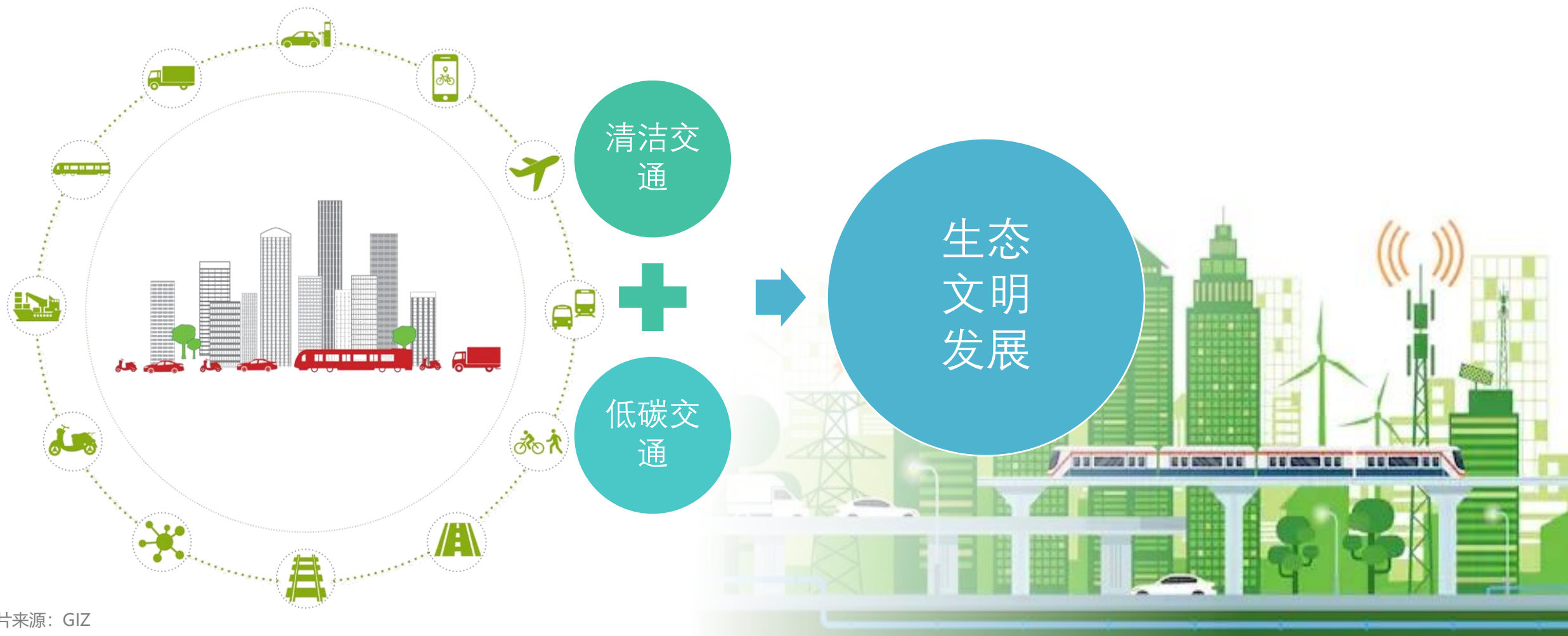
- 澳门PM_{2.5}浓度受益于区域和本地联防联控持续降低；但澳门NO₂浓度居高不下，显示本地交通排放贡献日益突出
- 积极探索PM_{2.5}和O₃协同控制路径，强化CO₂深度减排，共创绿色低碳新时代



— 澳門路邊站 — 九澳路邊站 — 澳門高密度住宅區站 — 氹仔高密度住宅區站 — 氹仔一般性站 — 路環一般性站

交通清洁和低碳化对生态文明发展至关重要

- 以建设粤港澳大湾区和澳门特区优质生态环境为导向，协同控制交通的温室气体和污染物减排，提升生态文明建设水平，实现绿色低碳循环发展





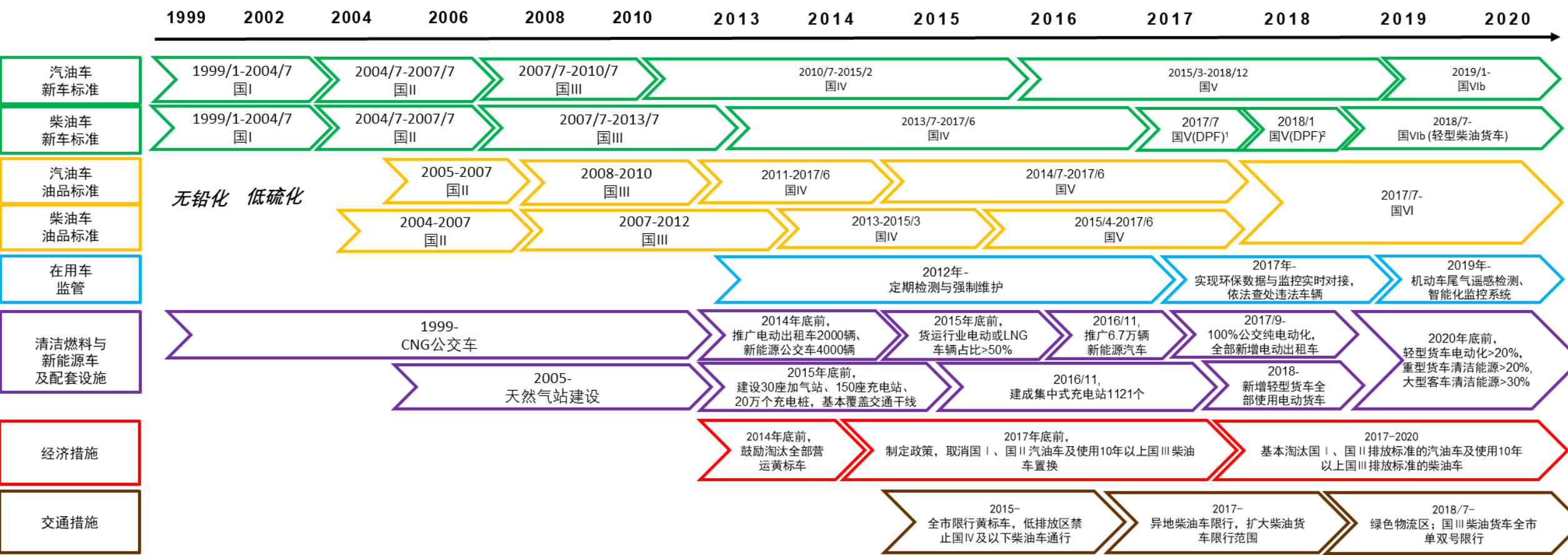
汇报内容

CONTENTS

- 1 背景
- 2 **控制政策**
- 3 交通电动化案例分析

典型城市控制历程：深圳

■ 构建 “车-油-路” 一体化的综合控制体系，推广**新能源车的先锋城市**



深圳：电动化先锋城市

高比例的公共车队电动化

- 基本实现**出租车和公交车100%电动化**

私家车电动化的先锋城市

- 截至2019年底，深圳电动乘用车累计销量**世界第三**
- 深圳的电动汽车保有量占比已超过11%，全国城市领先
- 公共充电桩数量遥遥领先

货车运输能源结构调整

- 连续五年成为全球新能源电动货车保有量最大的城市
- 划定**绿色物流区**，实施货车管控措施，制定港口运输结构调整规划（港铁联运）

电动公交车



电动出租车



电动卡车

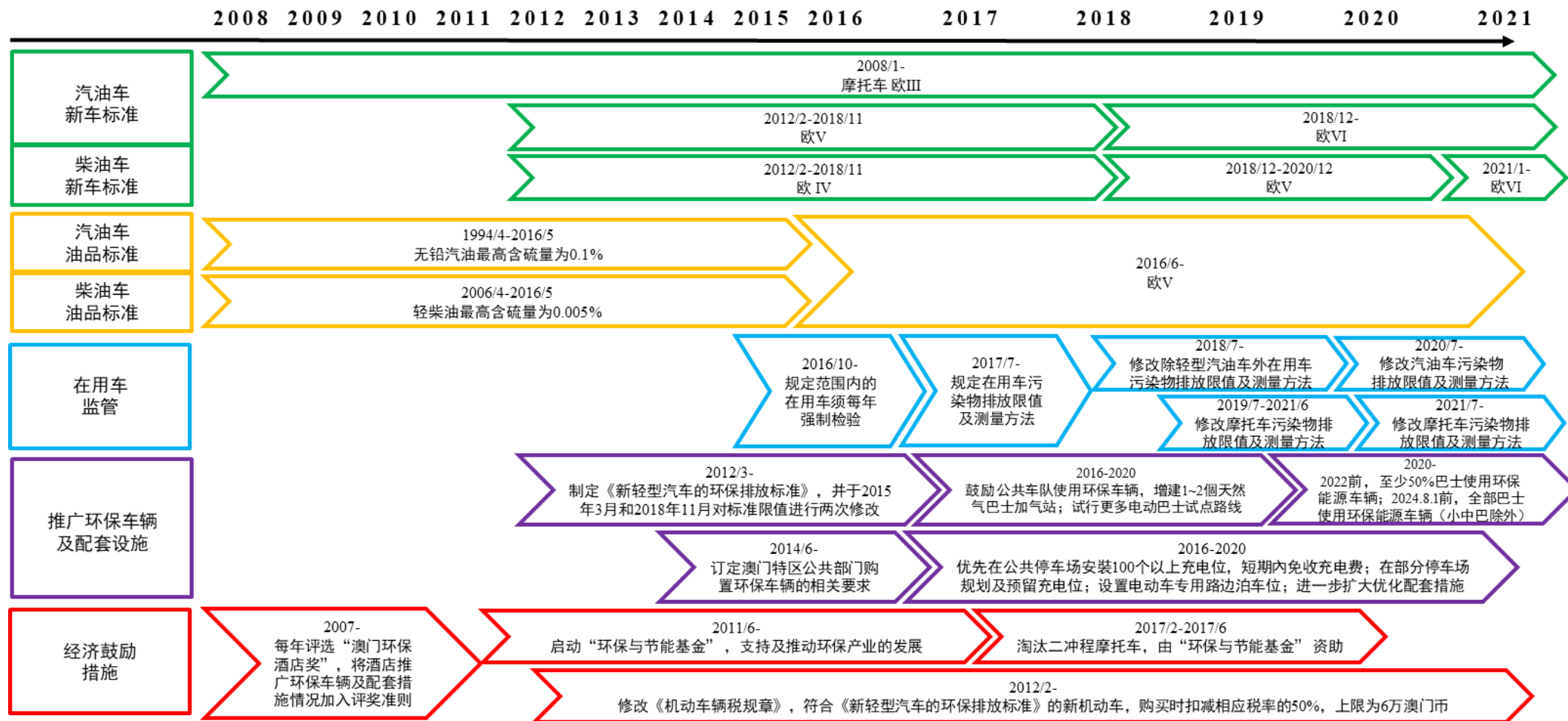


充电桩



澳门机动车排放控制发展历程

■ 逐步形成综合完善的绿色交通和排放控制体系



澳门：公交优先的绿色交通城市

积极推进二冲程摩托车淘汰

- 2017年，推出《淘汰重型及轻型二冲程摩托车资助计划》，以减少车辆尾气排放，改善道路空气质量
- 目前已基本淘汰二冲程摩托车，共淘汰5000余辆摩托车；积极推广电动摩托车，目前电动摩托车注册超过4000辆

排放控制体系逐渐与国际接轨

- 澳门新进口汽车尾气排放标准均已提升至相当于欧盟六期水平
- 基本达到世界先进水平

公交优先的绿色交通政策

- 澳门贯彻“**公交优先**”政策，完善巴士服务，优化的士运营管理
- 《澳门环境保护规划（2021-2025）》中将公交车使用新能源车辆比例提升至**>90%**作为**2025年**的约束性指标（目前新能源公交比例达30%）
- 氹仔线等轻轨线路正式运营，促进“**步行+轻轨/巴士**”的绿色出行方式
- 利用减免税费及设置酒店环保奖等经济措施，推动特区公共部门和酒店车队使用环保车辆

摩托车淘汰和电动化计划



公交优先政策



对标国际一流湾区和世界级城市群

- 建成充满活力的世界级城市群、国际科技创新中心、“一带一路”建设的重要支撑、内地与港澳深度合作示范区
- 打造宜居宜业宜游的优质生活圈，建设绿色低碳湾区



纽约湾区



东京湾区



加州湾区

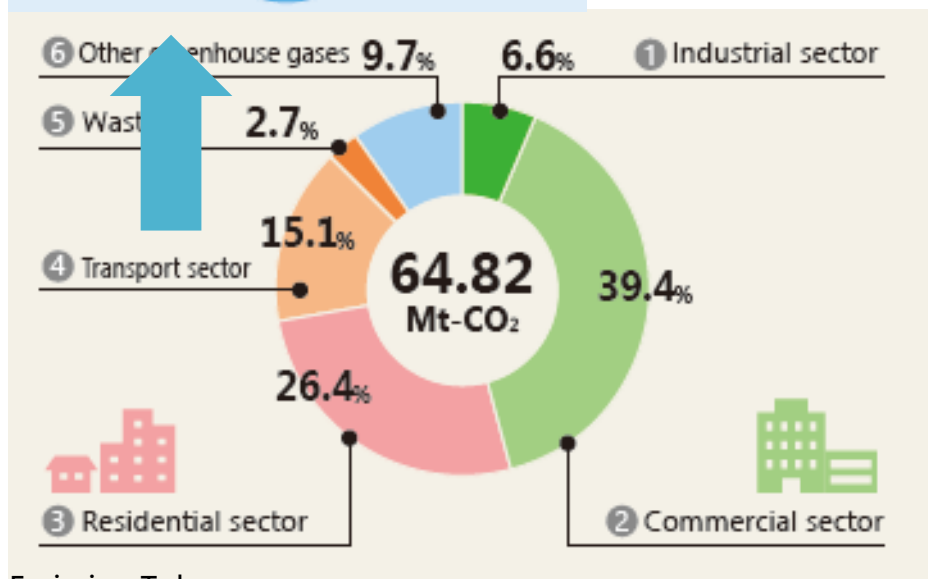
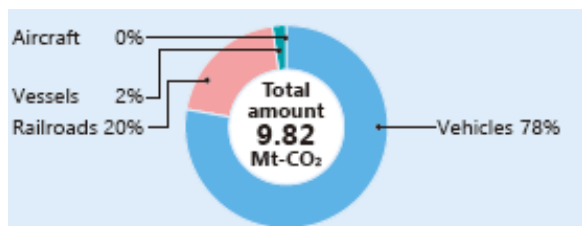


粤港澳大湾区

交通排放控制经验：东京湾

■ 现状（2018年）：

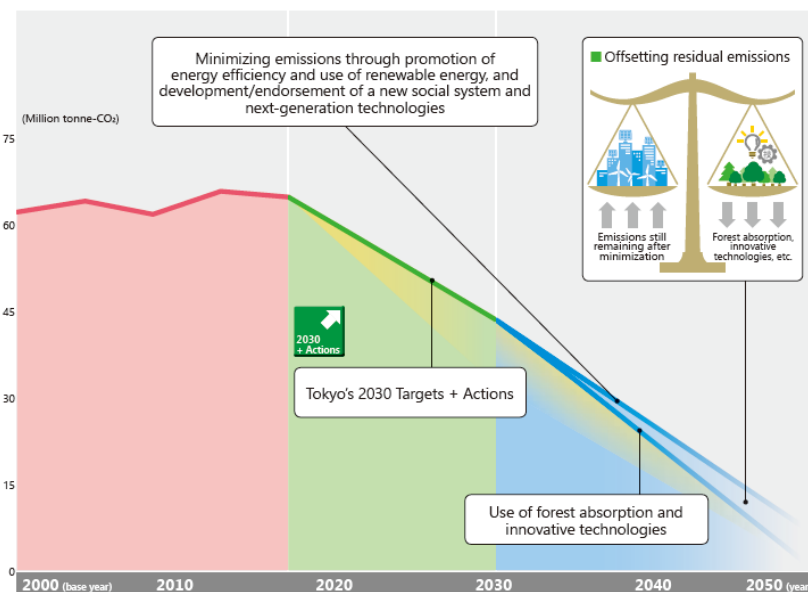
- 机动车碳排放占交通部门80%
- **公交出行比例76%**
- 乘用车销售中ZEV占比1.6%



■ 控制措施：

- 构建公交引导的城市发展模式
- 推广全燃料生命周期零排放车ZEV
- 2030年：新车销售中ZEV占比50%，150加氢站
- 2050年：碳中和

Roadmap for CO₂ emissions reductions by 2050



Tokyo's Key Targets toward 2030

Market share of ZEVs in new passenger car sales

50%



Introduction of zero emission buses

300+



New small route buses* for sale

Limited to ZEVs in principle



* Route buses with a capacity of approx. 30 passengers

ZEV infrastructure development

1,000 fast chargers
150 hydrogen stations

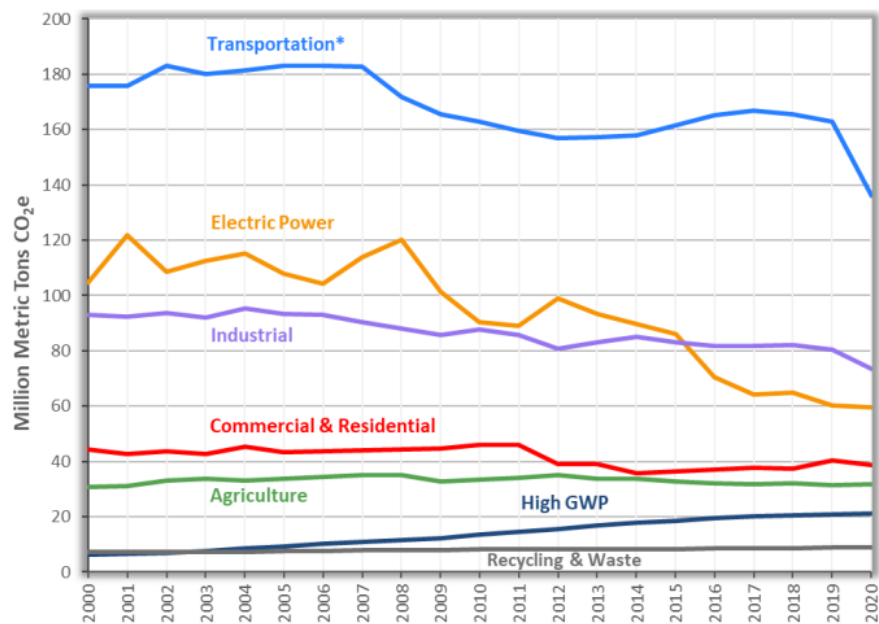


In parallel with efforts to achieve the above targets, other efforts have begun to expand for local sharing of decarbonized energy by utilizing the power storage function of ZEVs.

交通排放控制经验：加州湾

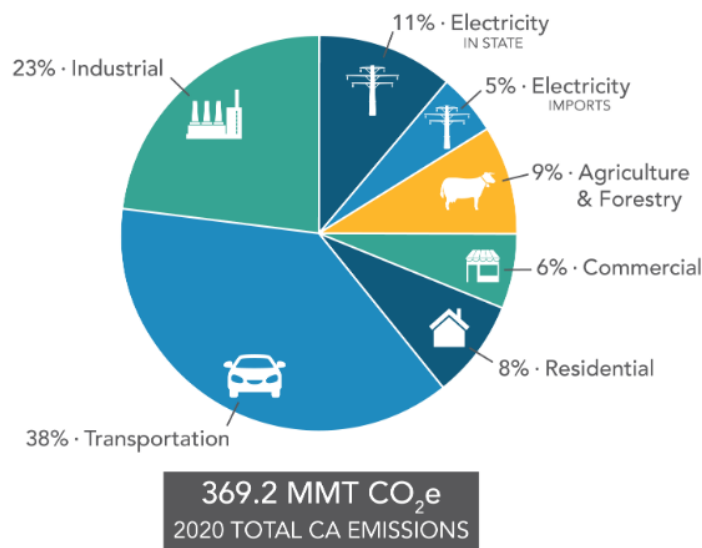
■ 现状：

- 交通碳排放近年受疫情影响有所下降
- 2020年交通源的碳排放占比38%
- 交通源的颗粒物排放占比81%



■ 控制措施：

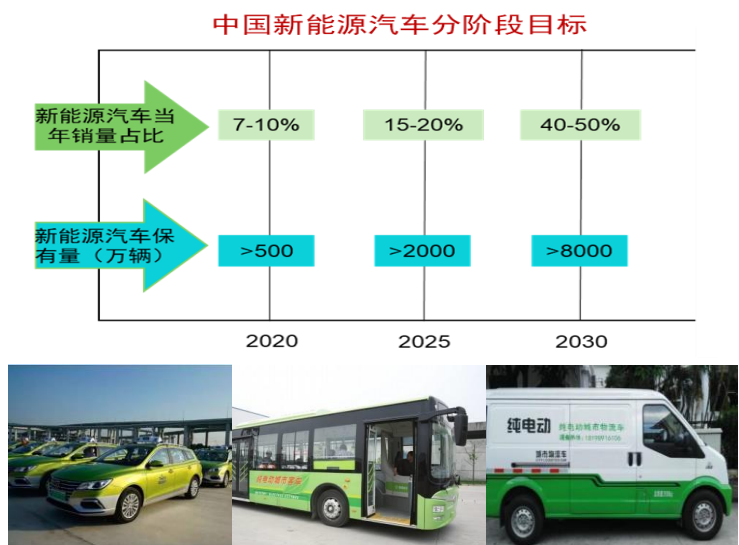
- 发展多式联运：货运铁路阿拉米达走廊
- 港区货车清洁化：电/混动货车和NO_x超低排放标准（比重型车国六NO_x排放限值低90%以上）
- 目标：2030年可再生能源比例增加到60%，2045年实现气候中和



阿拉米达走廊

大湾区未来绿色低碳交通发展对策

- 积极探索**低碳能源转型**、**运输结构调整**，借助物联网、大数据等**先进智慧技术**支撑排放监管和综合决策



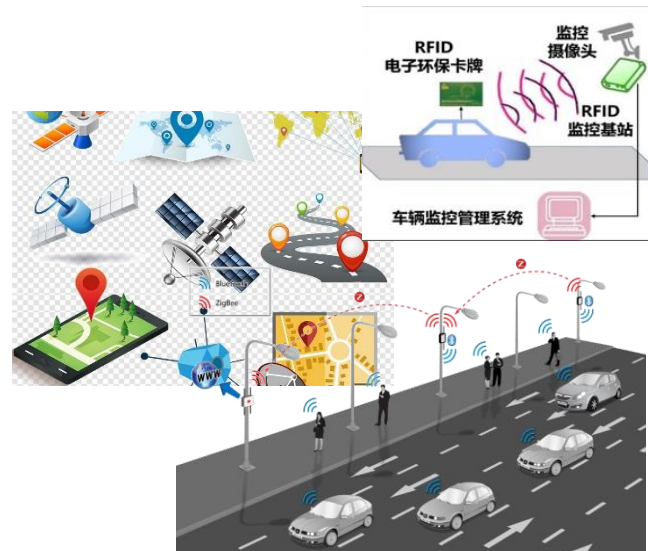
低碳能源转型

公共车队新能源推广
新能源配套基础设施建设
购置补贴、通行豁免、充电优惠



运输结构调整

多式联运互联互通
推进“公转铁”“公转水”
加快铁路专用线建设



智慧技术支撑

大样本在线排放监测
交通活动动态识别
智能综合决策平台



汇报内容

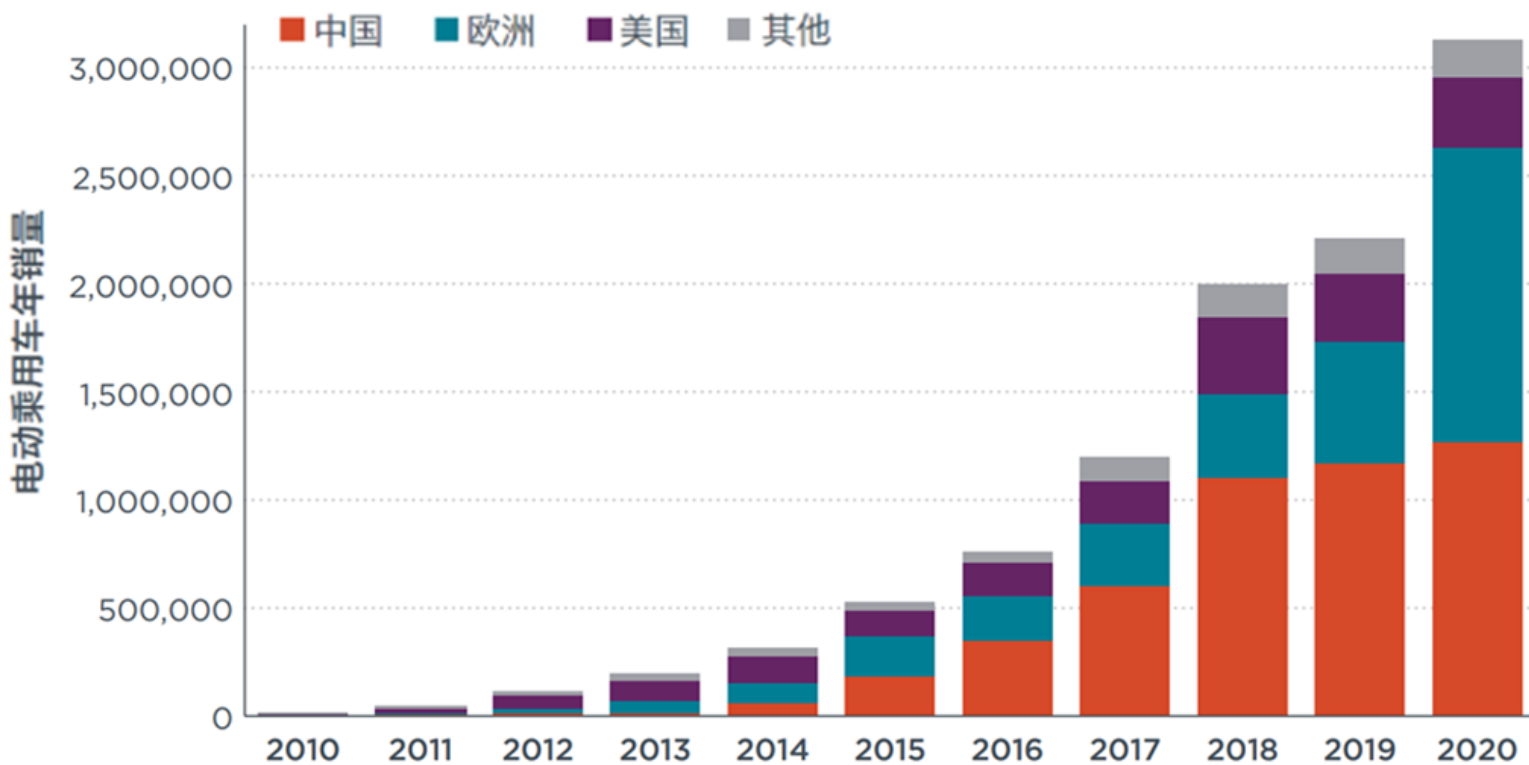
CONTENTS

- ① 背景
- ② 控制政策
- ③ 交通电动化案例分析

交通能源转型案例分析：电动车环境效益评估

- 发展电动汽车（EV）是振兴汽车产业、推动节能低碳、降低大气污染的重要途径
- 我国已成为全球EV第一大国，2022年上半年电动车保有量已突破**1000万辆**

全球2010-2020年电动乘用车年销量



基于生命周期方法系统评估新能源车环境影响

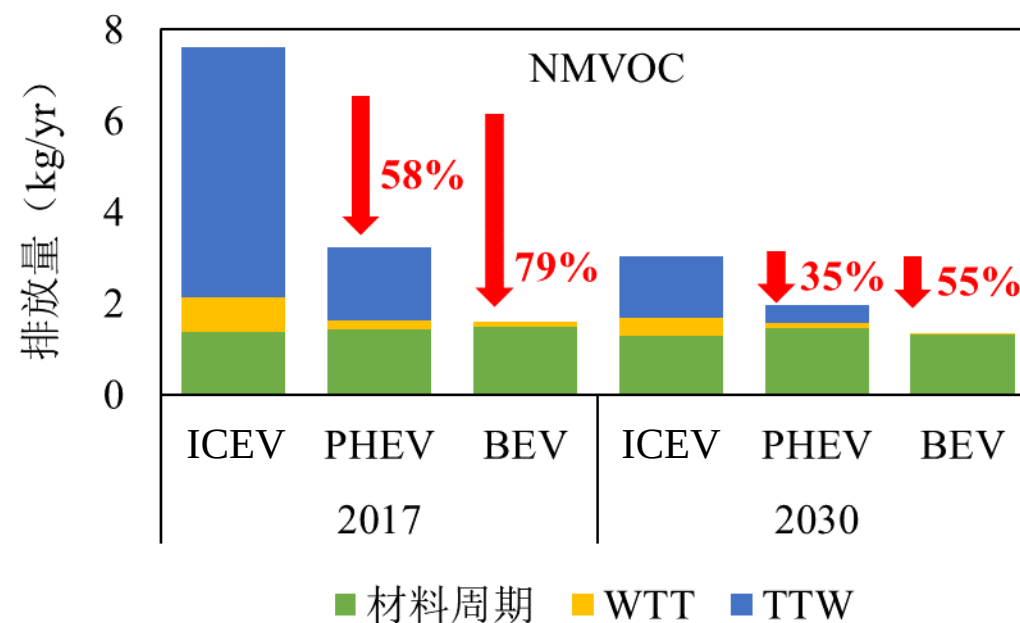
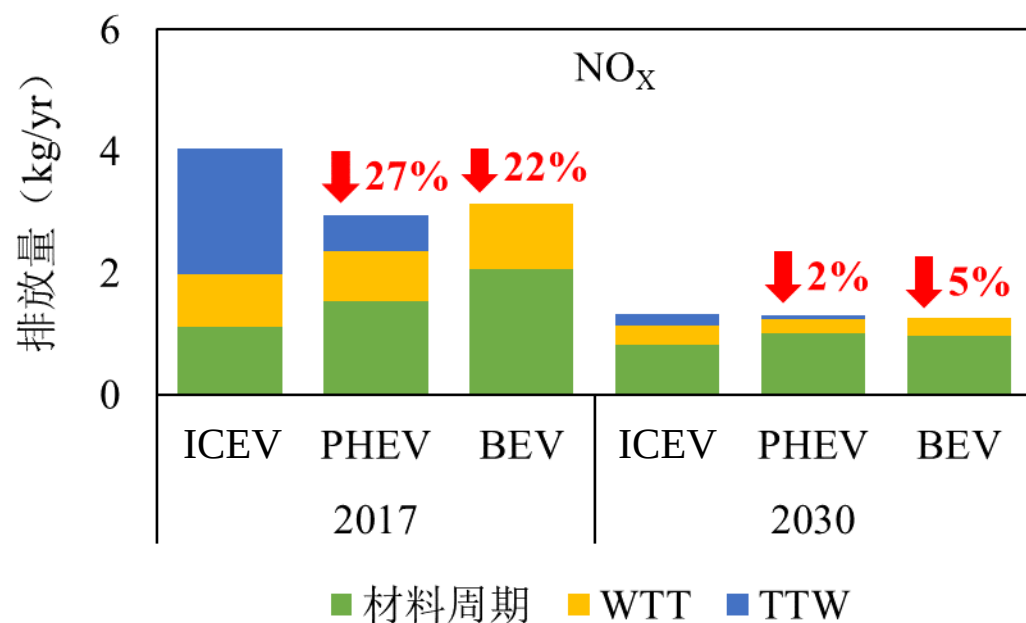
- 基于全生命周期视角，EV推广会显著改变排放的部门及空间分布
- 生命周期分析方法：1) 燃料周期：原料生产、储运、输配及燃料生产、储运、输配及使用；2) 材料周期：矿石开采、运输、生产加工、电池与整车装配及报废回收



中国电动小客车的全生命周期污染物排放特征

- 得益于道路运行阶段（TTW）的减排，小客车电动化可削减LCA NMVOC和 NO_x
- 燃料周期上游（WTT）及材料周期贡献不可忽视： $\text{NO}_x > 50\%$ 、NMVOC $> 30\%$

我国2017和2030年小型客车单车全生命周期污染物排放

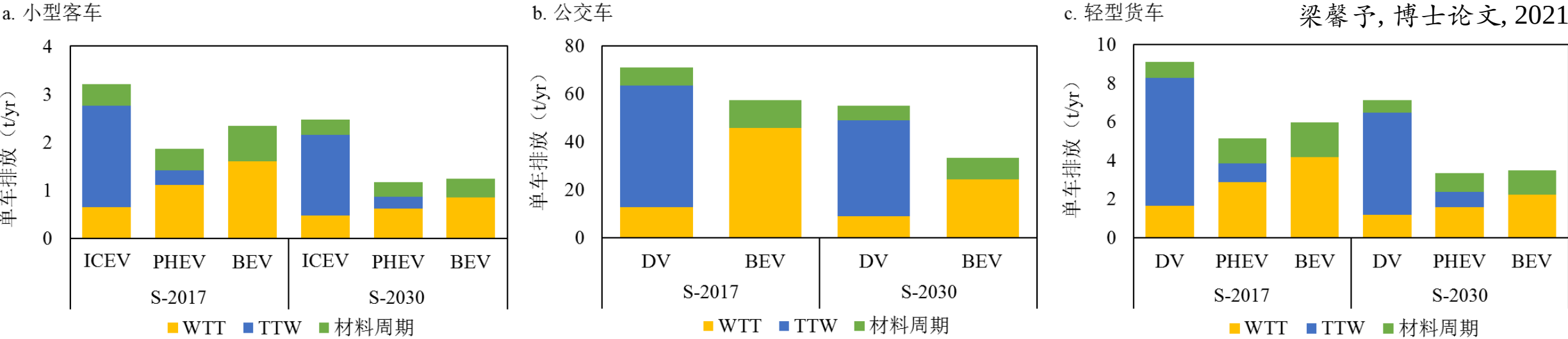


中国电动汽车的全生命周期温室气体排放特征

■ 得益于电力构成清洁化和材料低碳化等因素，所有车型实现生命周期GHGs削减

- 小型客车：2017和2030年分别减排27%-42%和49%-52%
- 公交车：2017和2030年分别减排19%和40%
- 轻型货车：2017和2030年减排35%-53%

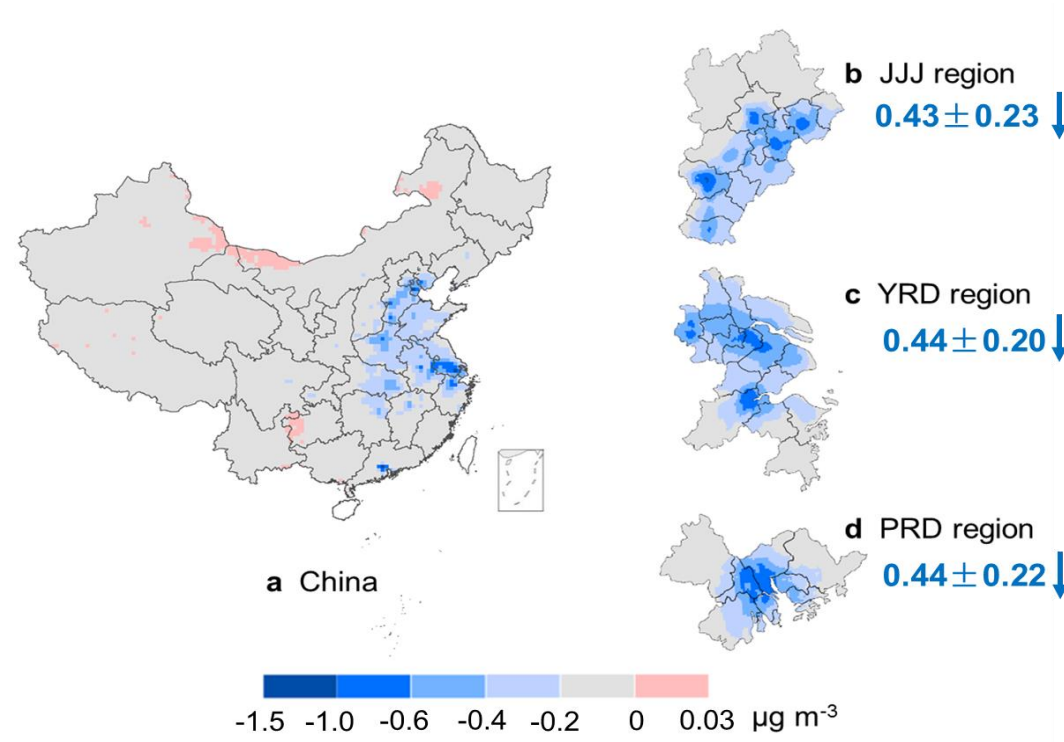
2017和2030年我国不同车型及燃料技术的单车LCA GHGs排放



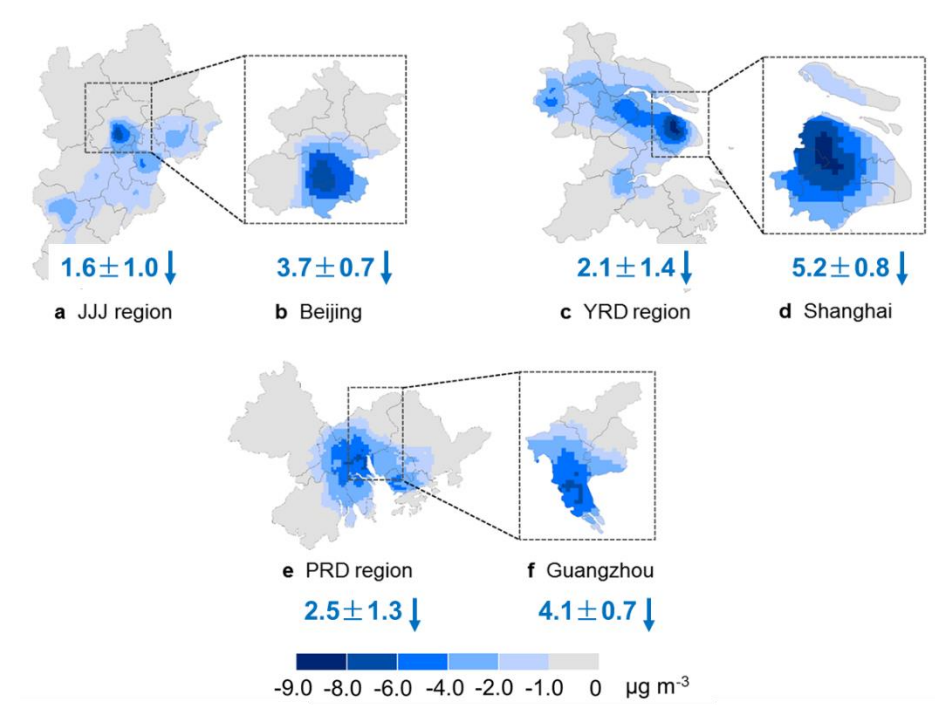
车队电动化空气质量和健康效益

- 清华大学研究团队发表在《自然-可持续发展》的研究显示，中国电动汽车发展将有效削减区域PM_{2.5}和城市NO₂年均浓度、夏季O₃日最大8小时浓度（2030年）。

年均PM_{2.5}浓度改善效益模拟



年均NO₂浓度改善效益模拟



车队电动化空气质量和健康效益

- 车队电动化可减少约17000例由于年PM_{2.5}和夏季O₃暴露导致死亡（2030年）。
- 健康效益在城市的核心区域内更加显著（人口密度大、空气质量效益高）。
- 未来十年内，车队电动化的健康效益强于净气候变化控制效益。



Air quality and health benefits from fleet electrification in China

Xinyu Liang^{1,2}, Shaojun Zhang^{1,2,3}, Ye Wu^{1,2,4}, Jia Xing^{1,3}, Xiaoyi He^{1,4}, K. Max Zhang^{1,2}, Shuxiao Wang^{1,3} and Jiming Hao^{1,3}

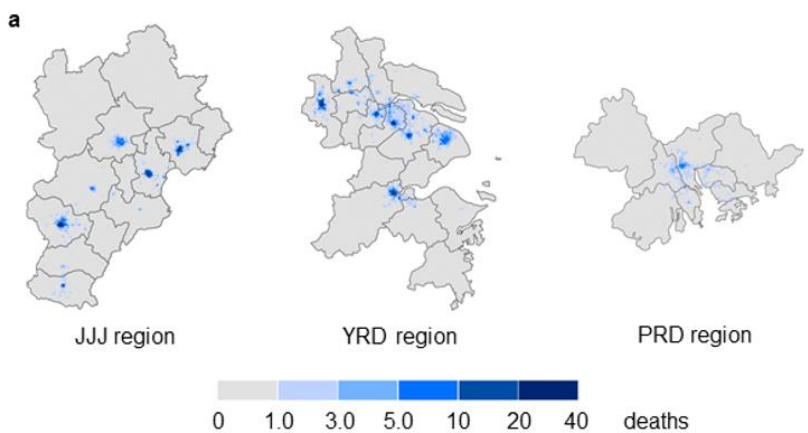
China has emerged as a leading electric vehicle (EV) market, accounting for approximately half of the global EV sales volume. We employed an atmospheric chemistry model to evaluate the air quality impacts from multiple scenarios by considering various EV penetration levels in China and assessed the avoided premature mortality attributed to fine particulate matter and ozone pollution. We find higher fleet electrification ratios can synergistically deliver greater air quality, climate and health benefits. For example, electrifying 27% of private vehicles and a larger proportion of certain commercial fleets can readily reduce the annual concentrations of fine particulate matter, nitrogen dioxide and summer concentrations of ozone by 2030. This scenario can reduce the number of annual premature deaths nationwide by 17,456 (95% confidence interval: 10,656–22,160), with the Beijing–Tianjin–Hebei, Yangtze River Delta and Pearl River Delta regions accounting for ~37% of the total number. The high concentration of health benefits in populous megacities implies that their municipal governments should promote more supportive local incentives. This study further reveals that fleet electrification in China could have more health benefits than net climate benefits in the next decade, which should be realized by policymakers to develop cost-effective strategies for EV development.

Electric vehicles (EVs) have the potential to not only improve energy efficiency in the transportation sector but also accommodate renewable power sources (for example, solar, wind and hydroelectricity)¹, making them an essential policy component for addressing global climate change. The International Energy Agency suggests that global EV sales will need to climb to 41 million (approximately 30% of total vehicle sales, excluding two- and three-wheelers) by 2030 to achieve the Paris Agreement's climate target of limiting global warming to 2°C. In the past decade, diversified EV policies and measures, including purchase subsidies, tax exemptions, fuel economy regulations and favourable transportation policies, have been adopted by many national and local governments across the world^{2,3}. In addition, because battery production costs have been substantially reduced, total global EV sales reached approximately 2 million in 2018 (excluding two- and three-wheelers and low-speed electric vehicles), after having reached the 1 million mark in 2017⁴. China has become the most important driver in the global EV market and has accounted for half of the global sales volume since 2017⁵. Notably, according to the latest industrial statistics, annual EV sales in China exceeded 1 million for the first time in 2018, achieving more than a 60% increase compared with EV sales in 2017⁶.

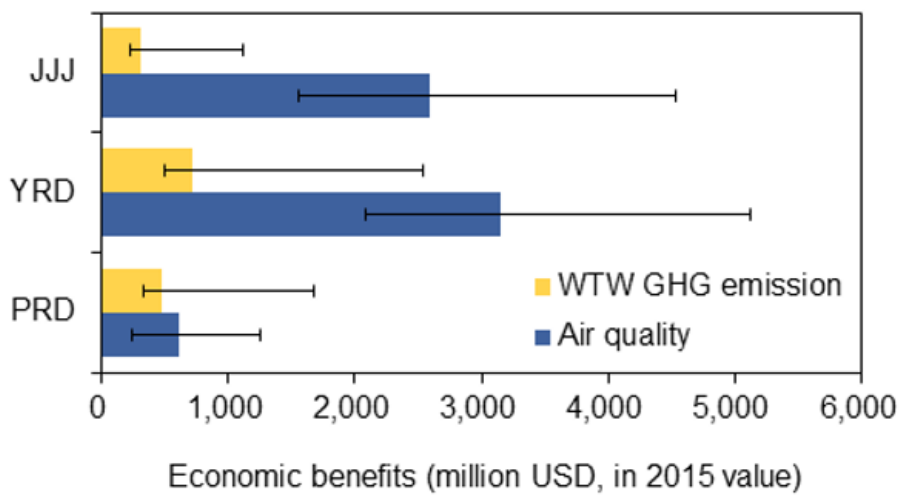
EVs are expected to mitigate urban atmospheric pollution and the health impacts caused by fossil-fuel-powered internal combustion engine vehicles (ICEVs)^{7–10}. Notably, several European countries have announced plans to eliminate ICEV sales in the future¹¹, mainly due to high real-world nitrogen oxides (NO_x) emissions and the associated health impacts of diesel vehicles^{12,13}. The post-2020 carbon dioxide (CO₂) emission regulations in combination with the real-driving emission regulations for light-duty vehicles in Europe will increase the manufacturing costs of ICEVs and at

the same time are likely to expedite fleet electrification in the near future¹⁴. However, there are reservations regarding the role of EVs in improving air quality. EVs reduce exhaust emissions of air pollutants on roads but may lead to increased emissions from electricity production processes^{15,16}. These concerns are more pronounced in China, where power generation is more heavily dependent on coal-fired units than that in Europe and the United States. Therefore, it is even more important to evaluate the air quality impacts of fleet electrification in the country with the largest EV market. Advanced air quality models have been recently employed to evaluate the impacts of fleet electrification in various countries and regions^{17–19}. These models have addressed the spatial heterogeneity of emission changes between road and power sectors and the complicated atmospheric formation of secondary pollutants caused by EV deployment. EVs may also reduce ambient nitrogen dioxide (NO₂) concentrations, especially at traffic-dense sites, where NO_x air quality standards may be exceeded²⁰. The impacts on secondary air pollutants, in particular, fine particulate matter (PM_{2.5}) and ozone (O₃), can vary greatly due to the penetration of clean electricity, the proximity to power plants and atmospheric conditions^{21–23}. Although the Chinese government's ambition regarding EV promotion is partially driven by serious air pollution problems²⁴, policymakers have not been explicitly informed of the potential impacts on air quality and human health nationwide. Consequently, until now, the systematic and comprehensive evaluation of air quality and the health benefits of fleet electrification have been absent during the process of designing governmental EV subsidies in China. In this paper, we begin with scenario development of the future penetration of EV technologies in China through 2030. One plausible scenario of fleet electrification, Scenario IV, assumed that 27% of private passenger vehicles and higher percentages of certain

所减少过早死亡的空间分布



空气质量改善和WTW阶段温室气体排放降低带来的经济效益



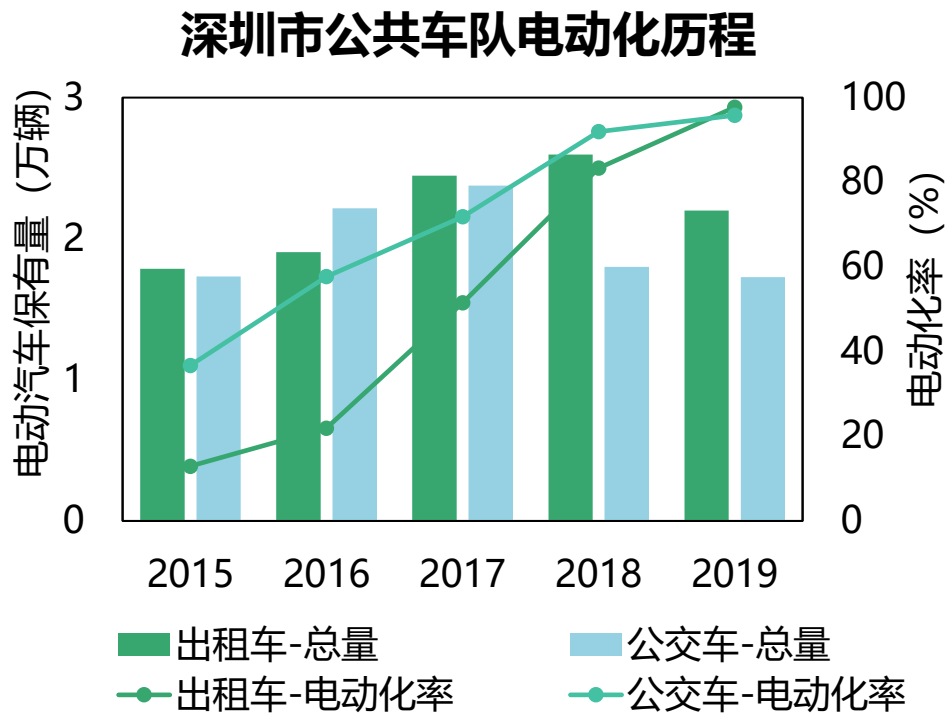
¹School of Environment, State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control, Tsinghua University, Beijing, China. ²School of Mechanical and Aerospace Engineering, Cornell University, Ithaca, NY, USA. ³State Environmental Protection Key Laboratory of Sources and Control of Air Pollution Complex, Beijing, China. ⁴School for Environment and Sustainability, University of Michigan, Ann Arbor, MI, USA. ⁵These authors contributed equally: Xinyu Liang, Shaojun Zhang. *e-mail: yewu@tsinghua.edu.cn

Liang et al., Nature Sustainability, 2019

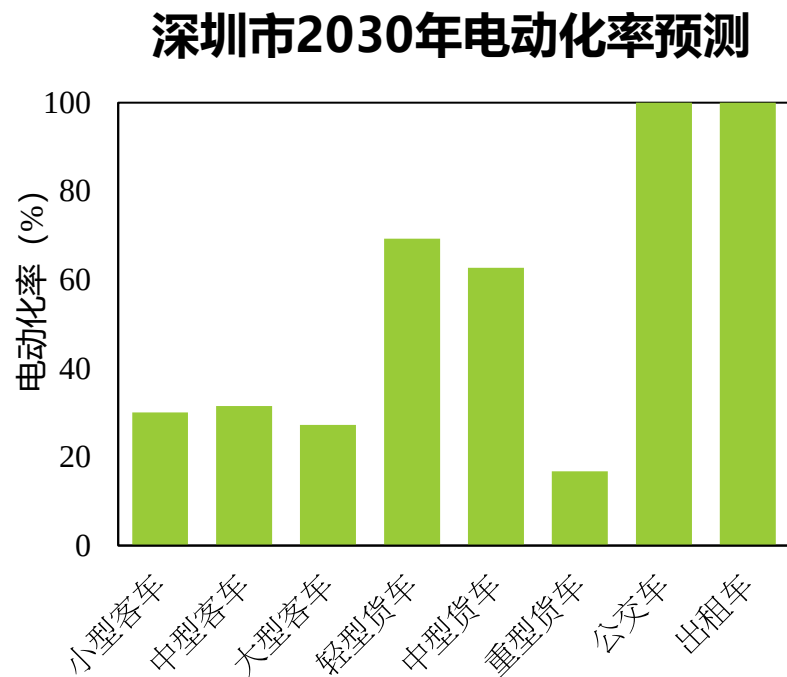
关键参数: 1) 统计学意义的生命价值: 50-150万美元（依不同城市有所差别）; 2) 碳排放社会成本: 47美元/吨

深圳是全球电动车推广的先锋城市之一

- 深圳是全球首个实现公交、出租车队全面电动化的城市；截至2020年底，深圳在各车队累计推广电动汽车近40万辆，被国际清洁交通委员会评为“世界电动汽车之都”
- 深圳充电基础设施建设情况居于世界前列，公共充电桩的车桩比达到 4.3: 1



(数据来源: 深圳市生态环境局)

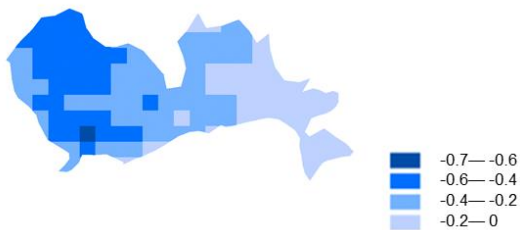


(数据来源: 能源基金会项目)

深圳交通电动化的综合环境效益评估

- 推广新能源汽车可实现**空气质量改善和气候变化应对的协同效益**:
 - 有效削减PM_{2.5}和NO₂年均浓度，空气质量改善效益在城区更加突出；夏季浓度高值区（深圳西北部分）的O₃浓度也可得到显著削减
 - 2030年推广电动汽车可获得人体健康与生命周期GHGs减排的货币化效益近35亿元，空气质量改善与气候变化货币化效益相当

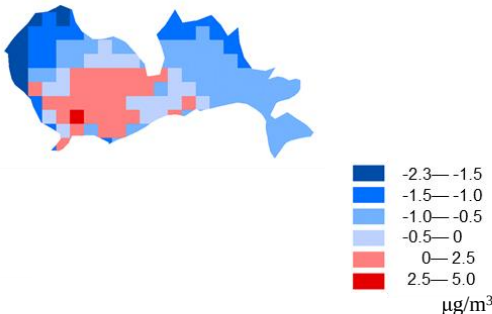
深圳2030年电动车推广的空气质量效益
年均PM_{2.5}



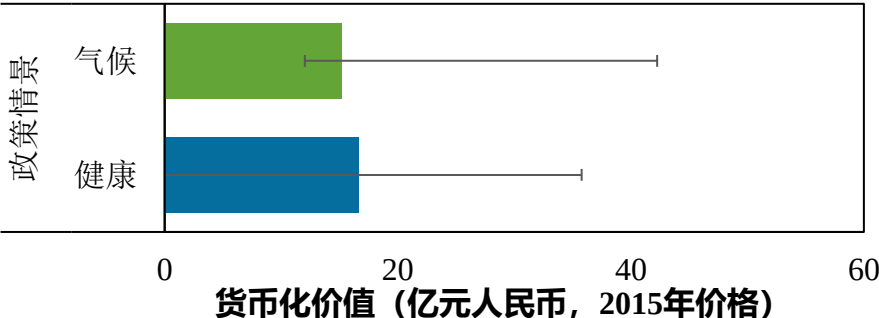
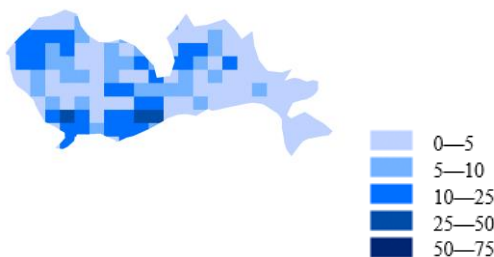
年均NO₂



夏季O₃

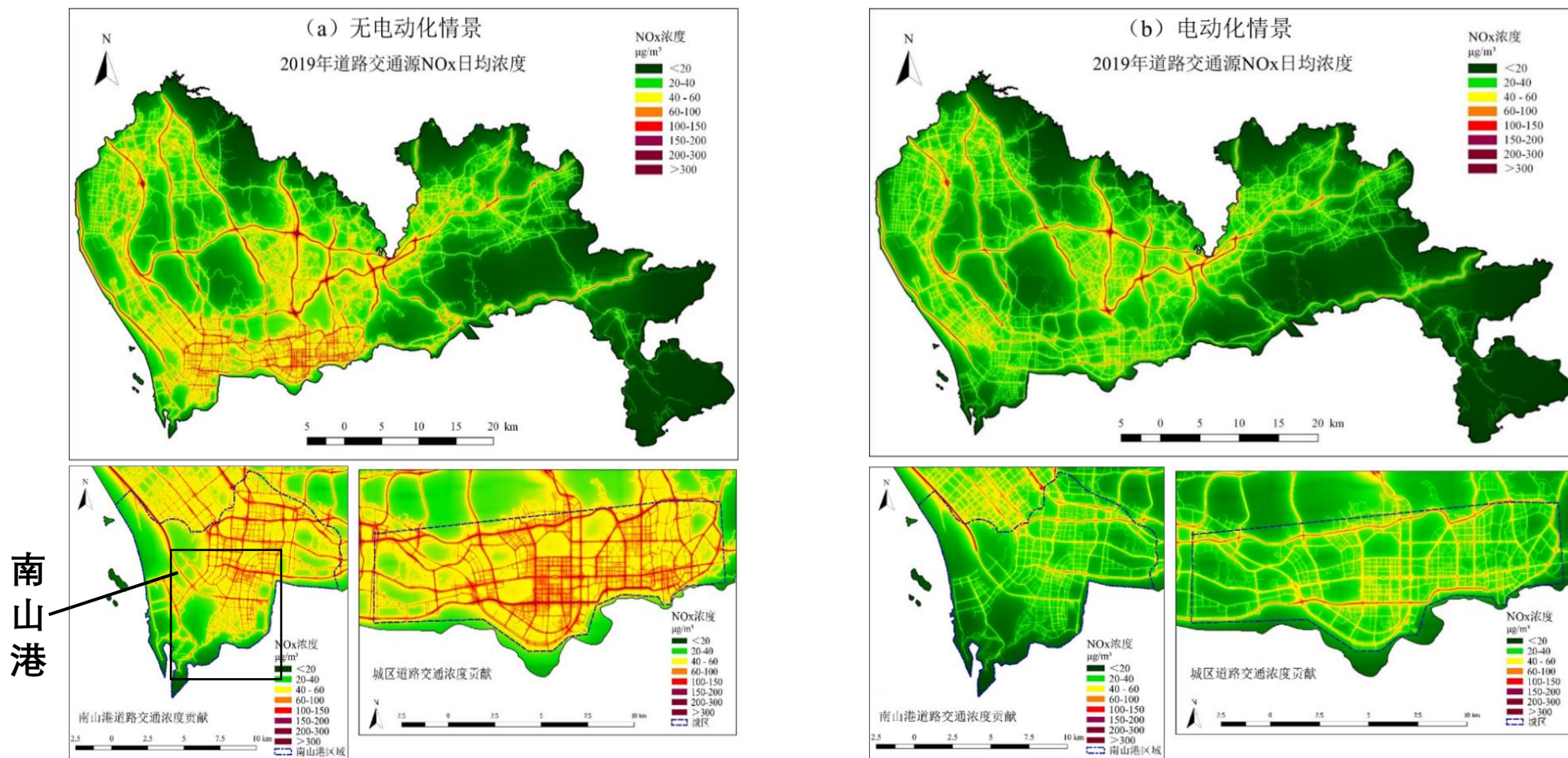


深圳2030年电动车推广的人体健康及气候货币化效益
可避免的早死人数



电动化显著降低深圳交通热点地区污染物浓度

- 电动汽车推广可以削减NO_x日均浓度贡献近4.5 μg/m³。
- 对于港口、货运场站等热点地区，通过交通电动化等绿色物流区措施可以获得显著的空气质量改善效益（例如，南山港NO_x可削减15 μg/m³）



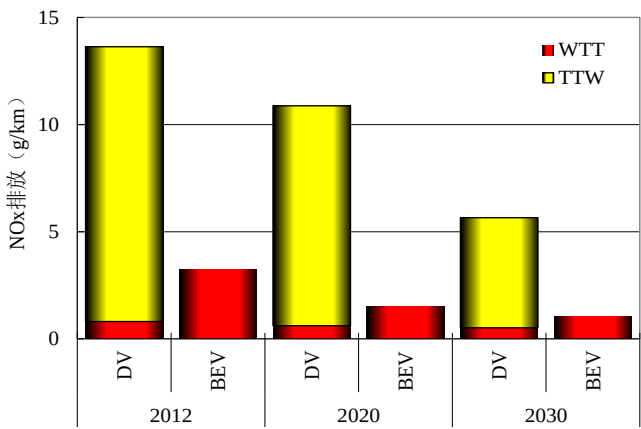
澳门电动巴士推广综合示范

- 在科技部和特区政府的联合支持下，团队在澳门开展了电动巴士的综合示范
- 该研究为澳门电动车的推广积累经验

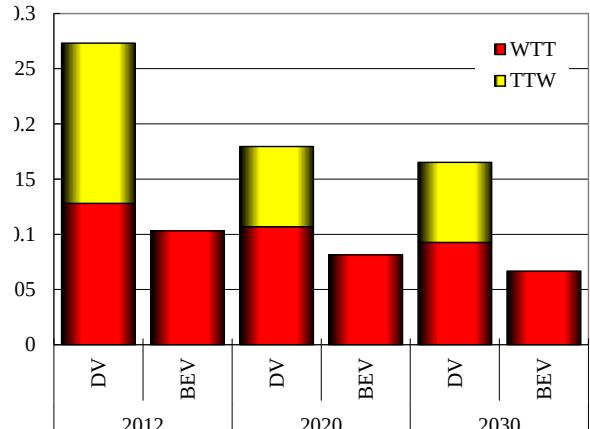


澳门适合引入并推广电动巴士，能源和环境效益可观

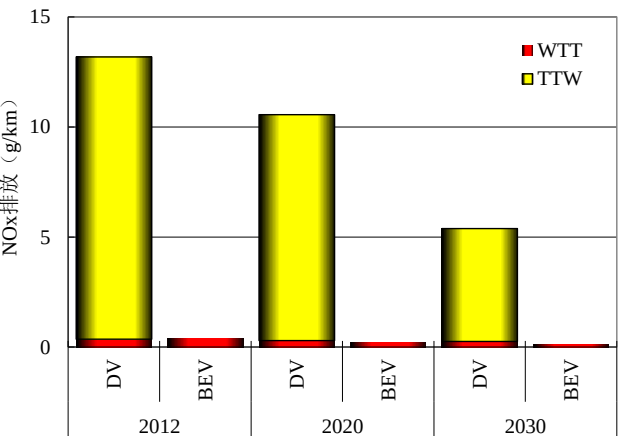
NO_x总排放



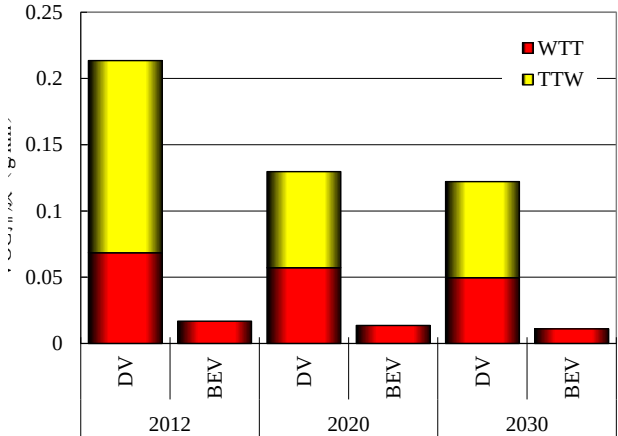
VOC总排放



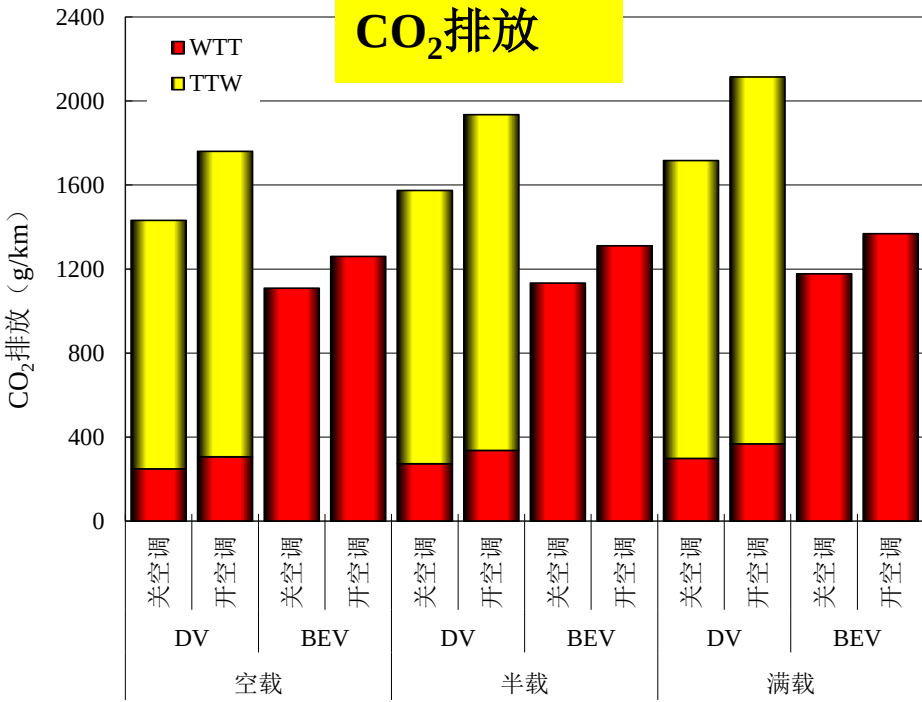
NO_x本地排放



VOC本地排放



CO₂排放





谢谢!