WRI CHINA

粤港澳大湾区深度减排路径和金融支持低碳经济转型机遇

黄卓晖 张黛阳 李晓真 蒋小谦 崔莹 刘永红 曾雪兰 姚俊业 俞波 苗领 胡晓玲 邹立怡 陈乐澄
黎炜驰 何嘉俊

WRI.ORG.CN

致谢

本出版物是由世界资源研究所（WRI）、思汇政策研究所、大湾区绿色金融协会（GBA-GFA）、香港绿色金融协会（HK-GFA）、中央财经大学、广东工业大学以及中国质量认证中心广州分中心共同努力完成的结果。作者向为本报告编制过程中提供支持和意见的机构和专家表示诚挚的感谢。

特别感谢香港绿色金融协会主席马骏博士对本项目的指导和大力支持。

特别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）：

Ashim Roy	世界资源研究所
Manshu Deng	气候债券倡议组织
Tasos Zavitsanakis	可持续金融专家
方莉	世界资源研究所
房伟权	世界资源研究所
葛兴安	粤港澳大湾区绿色金融联盟第三方服务机构专业委员会，盟浪第三方服务供应商委员会
黄翠芝	渣打银行
黄志锋	广东省建筑科学研究院
廖翠萍	广州能源研究所
刘爽	世界资源研究所
刘苏蒙	世界资源研究所（实习生）
刘哲	世界资源研究所
邱诗永	世界资源研究所
孙隽超	渣打银行
田中华	广东省节能中心
王维	世界资源研究所（实习生）
王烨	世界资源研究所
奚文怡	世界资源研究所
谢文泓	气候债券倡议组织
袁敏	世界资源研究所
周靖蕾	世界资源研究所（实习生）

作者还感谢Kathy Schalch、Laura Van Wie McGrory、Renee Pineda、Dean Napolitano、窦瑞云、邓娅男、徐婧寒、翟立利和张烨在编辑、行政和设计方面提供的支持。

最后，我们衷心感谢渣打银行对此项目提供的慷慨资助。

校对：
谢亮 hippie@163.com

设计与排版：
张烨 harryzy5204@gmail.com

https://doi.org/10.46830/wrirpt.22.00049cn

目录

执行摘要

亮点

- 粤港澳大湾区（简称大湾区）有望引领实现碳达峰、碳中和的目标，为区域绿色低碳发展树立标杆。
- 长远来看，清洁电力可为主要能源消费部门——制造业、道路交通运输业和建筑业提供最大的减排潜力。在中期，制造业和建筑业提升能效和增加清洁能源使用比例，以及调整交通运输方式，将是脱碳的首要贡献因素。
- 我们的研究表明，大湾区如果想在2060年前或更早实现碳减排目标，大约需要1.84万亿美元的资金投入，约占2020—2060累计国内生产总值（GDP）的1%。具体来说，道路交通运输业转型需要2000亿～7000亿美元，建筑业则需要1500亿～3000亿美元。
- 我们建议通过金融手段支持加速大湾区转型，具体方法包括：在大湾区建立跨区域的机构协调机制、促进转型金融分类目录等标准和信息披露机制的互认、鼓励金融机构和企业设定净零排放目标、建立健全区域碳市场、开发与转型金融相关的工具，以及为特定行业制定金融解决方案等。

关于本报告

全球行动刻不容缓，迫在眉睫。在过去的十年里，全球温室气体排放不断上升，2019年已达到590亿吨二氧化碳当量（GtCO2e），比2010年高出约12%（IPCC，2022）。2023年，政府间气候变化专门委员会（IPCC）发布综合报告，敦促各国尽快采取“迅速而深刻”的系统性变革，才能将全球变暖幅度控制在《巴黎协定》规定的1.5℃目标之内。温室气体排放预计将最迟在2025年前达到峰值，然后在21世纪50年代初实现净零排放（IPCC，2023）。根据Climate Watch （气候观察）（2022）的数据，自2005年以来，中国已成为全球最大的二氧化碳排放国，2019年的排放量占全球的28%。因此，中国对于全球的碳减排工作来说至关重要。

在这方面，大湾区可身先士卒、率先垂范，推动在全区范围内制定更高目标，比国家制定的30-60目标（即“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和”的国家目标）更早实现碳达峰、碳中和，成为绿色低碳发展的区域性标杆。

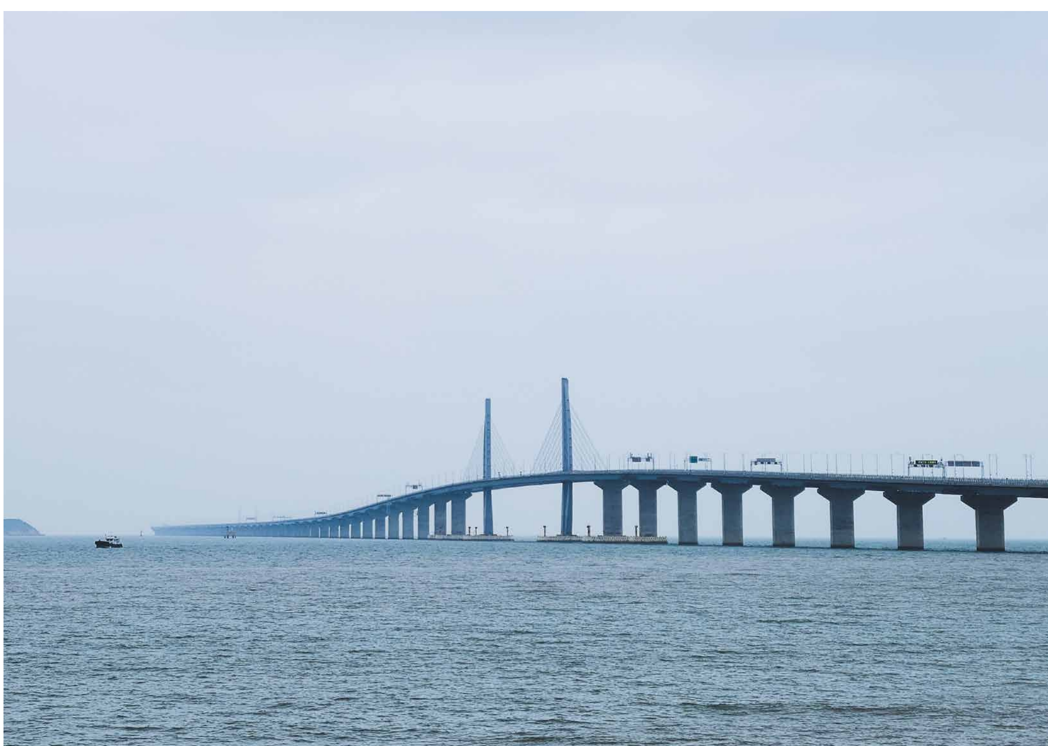
本报告旨在帮助重点行业制定碳减排方案，与所需的资金支持进行对接，加快大湾区实现净零转型。本报告首先利用“自上而下”的方法预测整个大湾区的宏观减排路径，然后采用“自下而上”的方法分析制造业、交通运输业和建筑业等重点能耗行业的具体减排路径和方案，列出了一系列为实现30-60目标需立即采取的行动，并进一步提出了更早实现碳达峰、碳中和的宏伟目标。在上述减排路径的基础上，本报告还估算了实现相关目标所需要的投资金额，分析了如何应对相关挑战，通过金融部门的支持来助力企业加快转型，实现碳中和。

总体情况及行业转型路径

大湾区是推动中国经济腾飞的引擎，也是中国社会经济和绿色发展的领头羊。但大湾区究竟能否比国家制定的30-60目标更早实现碳达峰和碳中和？本研究采用了“自上而下”的方法，根据预计的GDP总量和碳强度（单位GDP的碳排放量）估算大湾区2020—2060年间的碳排放总量，并分别设定了三种情景假设：基准情景、30-60情景、25-50情景。由于各行业实现碳达峰和碳中和的年份有所不同，因此行业分析中的“强化政策情景”和“零排放情景”等同于大湾区总体情况分析中的30-60情景和25-50情景。

分析表明，大湾区需要加大自身行动力度，才有望提前实现碳达峰和碳中和的目标。“基准情景”试图回答以下问题：如果不采取更强有力的措施，如何及何时才能实现碳达峰和碳中和目标。而30-60情景和25-50情景均预先设定了实现碳达峰和碳中和的年份，本文试图回答以下问题：大湾区的减排速度要达到多快，才能与国家30-60目标保持一致？大湾区需要多大的减排力度，才能在2025年实现碳达峰，在2050年左右实现碳中和？

- 由于中国的“十四五”规划中并未提出新的全国性或地方性碳强度目标，因此在“基准情景”



下，我们假设各城市在未来每个“五年规划期”内的碳强度下降速度将延续“十三五”的水平，这样一来，大湾区将刚好在2030年达到排放峰值，但到2060年还将有剩余的3.55亿吨排放量需要予以抵消，才能实现碳中和（见图ES-1），这一目标几乎无法实现。

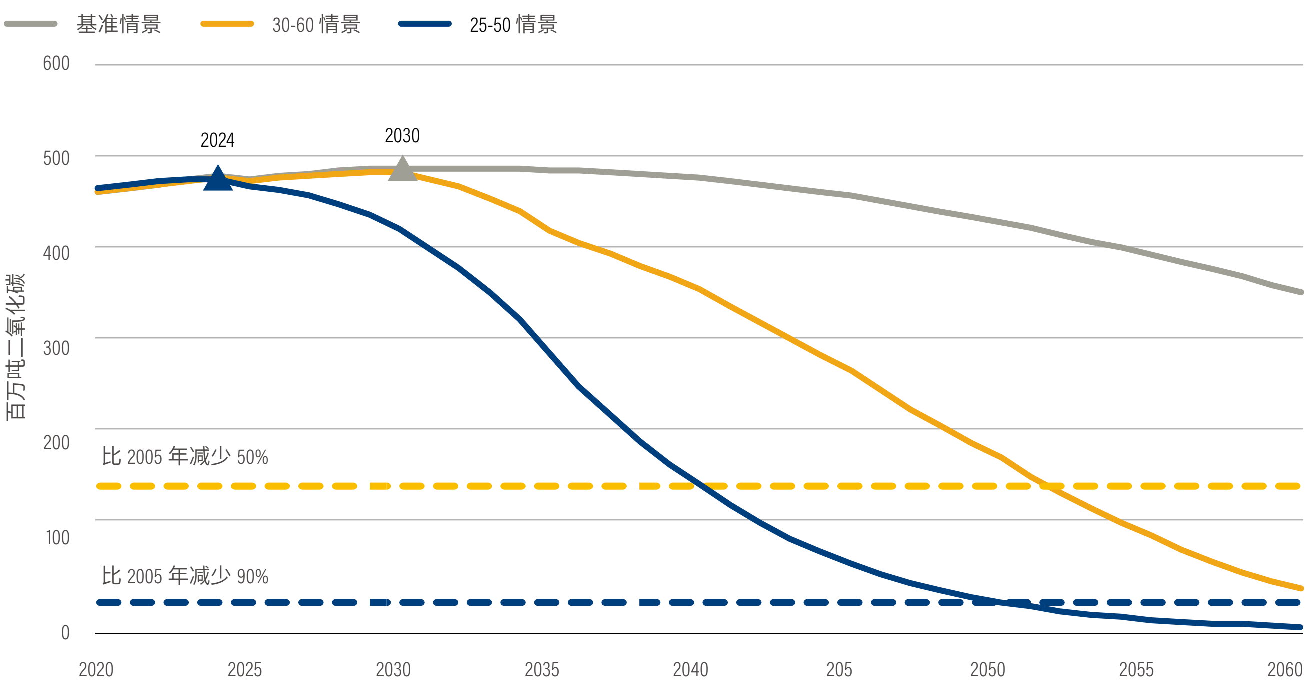
- 在30-60情景下，大湾区的碳排放要在2030年前达峰，才能与国家30-60目标保持一致；如果碳强度下降速度能与“基准情景”相等，则可确保实现这一目标。达峰排放量为4.8亿吨二氧化碳。但大湾区需从2030年开始加大减排行动力度，从而确保2060年前实现碳中和。根据许多其他国家设定的目标，如果碳中和是指减排90%，并通过森林碳汇及碳捕获、利用和封存（CCUS）等负碳技术抵消10%的碳排放，则需要从2030年开始设定排放上限目标，2030—2060年间的年减排速度需要达到7.5%左右。
- 在25-50情景下，如果“十四五”期间碳强度可以下降24%，大湾区即可在2025年实现碳达峰，其排放量为4.67亿吨二氧化碳。由于该目标高于广东省在“十三五”期间实现的碳强度下降22.35%的目标，通过提高能效等措施实现减排目标的难度会更大，因此，大湾区需要出台更为严格的政策和措施。如果想要在2050年左右实现碳中和，2025–2050年间的年减排速度应在16%左右。这一情景需要与IPCC最新报告中提出的建议保持一致，才能确保实现《巴黎协定》设定的全球升温幅度控制在1.5℃内的目标。

但如何才能实现30-60情景或25-50情景下的减排路径？大湾区的能源相关碳排放主要来自制造业、道路交通运输业和建筑业，分别占大湾区2020年碳排放总量的32%、31%和20%。本报告对这三大行业的碳减排路径进行了深入研究，在不同情景假设下，采用了“自下而上”的方法分别对每个行业进行分析。

制造业

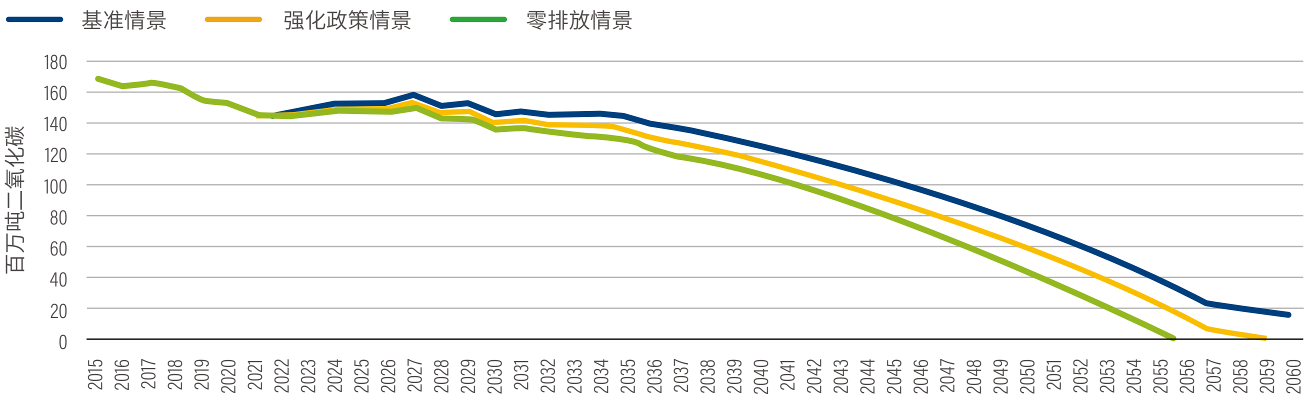
大湾区的制造业预计在“十五五”（2025—2030年）期间实现碳排放达峰，并有望在2055—2060年左右实现碳中和。新建重大项目（能耗大于一万吨标准煤并于2021年前获得广东省能源局批准的项目）会导致珠江三角洲地区（简称珠三角）在2020—2030年间的碳排放增加。但是通过调整能耗强度目标（单位工业增加值的能耗）、逐步淘汰化石燃料、应用节能技术、发电和供热系统脱碳等措施可以实现减排目标。“基准情景”下的排放峰值为1.54亿吨，“强化政策情景”下为 1.50亿

图 ES-1 | **大湾区2060年碳排放情景分析**



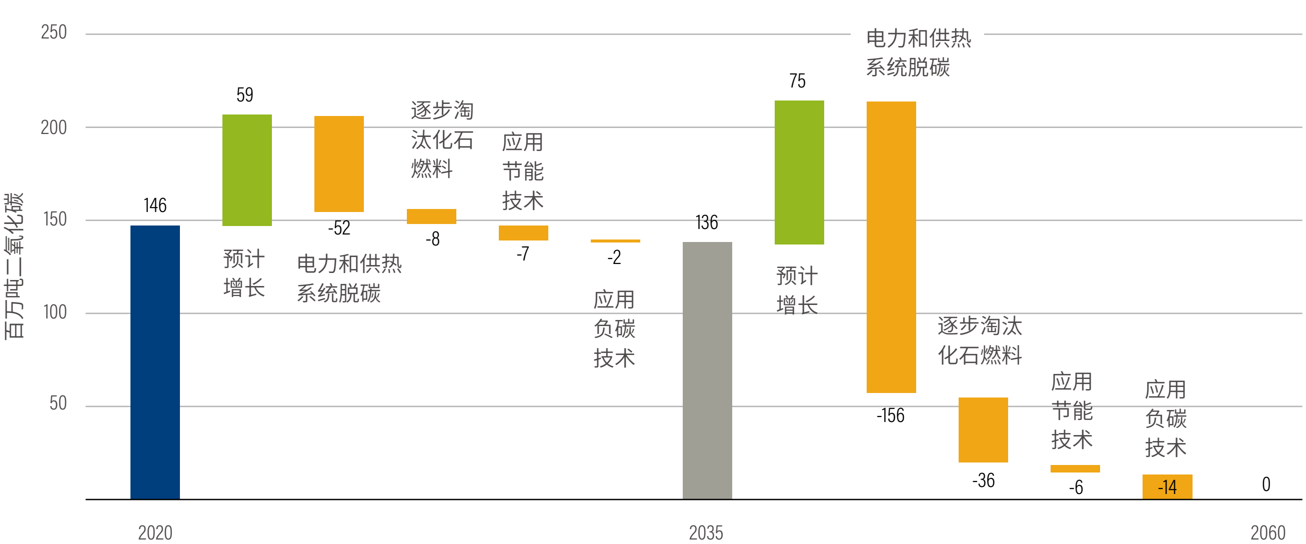
来源：项目组估算

图 ES-2 | **大湾区制造业碳排放情景分析**



来源：项目组估算

图 ES-3 | **大湾区制造业的脱碳化路径选择**



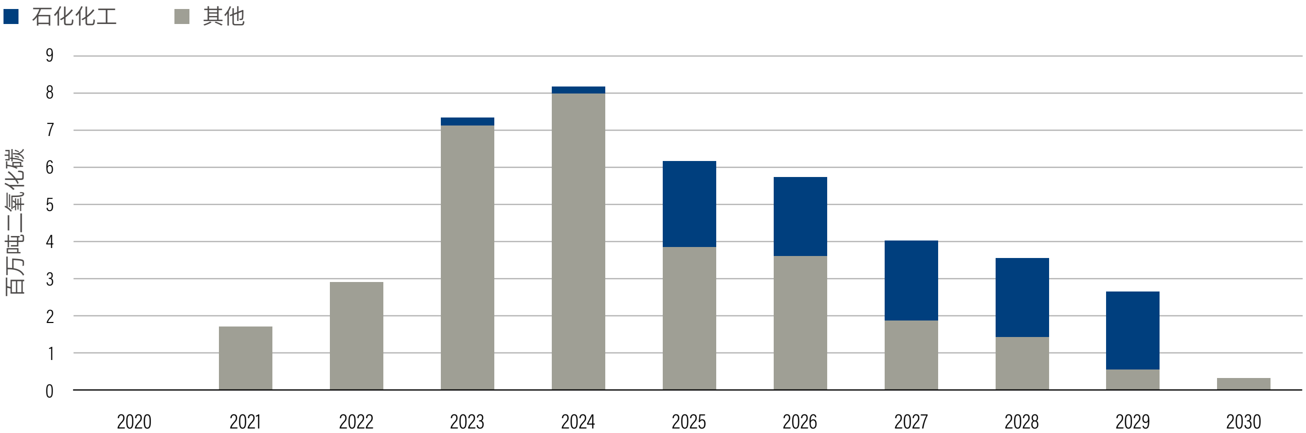
来源：项目组估算

吨，“零排放情景”下为1.47亿吨。然而，“基准情景”无法保证在2060年前实现碳中和，仍会剩余1600万吨碳排放无法抵消，而在“强化政策情景”和“零排放情景”下，预计大湾区制造业将在2055—2060年间实现碳中和（见图ES-2）。

制造业最大的减排潜力来自以下领域：

- **发电和供热系统脱碳化对实现碳中和目标起的作用最大。**在目前到2060年的总减排潜力中，发电和供热系统脱碳化可实现的减排量占总减排量的74%，逐步淘汰化石燃料可实现的减排量占16%，节能可实现的减排量占5%，负碳技术可实现的减排量占5%（见图ES-3）。通过利用电网输送低碳电力、改用可再生能源进行现场发电和供热等措施，可以实现发电和供热系统脱碳化。在供热领域，制造业可以以热力流程电气化为手段，实现供热系统脱碳化，充分利用脱碳化电力的来源。
- **逐步淘汰化石燃料是减排的第二大贡献者。**通过使用低碳、无碳的燃料和原料来代替化石燃料等措施，可以减少工业生产过程的碳排放。通过对高炉进行升级改造、逐步减少煤的使用量、鼓励余热回收利用等一系列技术措施，可以进一步减少二氧化碳的排放量。在中短期内，陶瓷窑炉、造纸和纺织锅炉中使用的煤可以替换为天然气。制氢技术创新

图 ES-4 | **2020—2030年间新建重大项目产生的制造业碳排放增量**



来源：项目组估算。

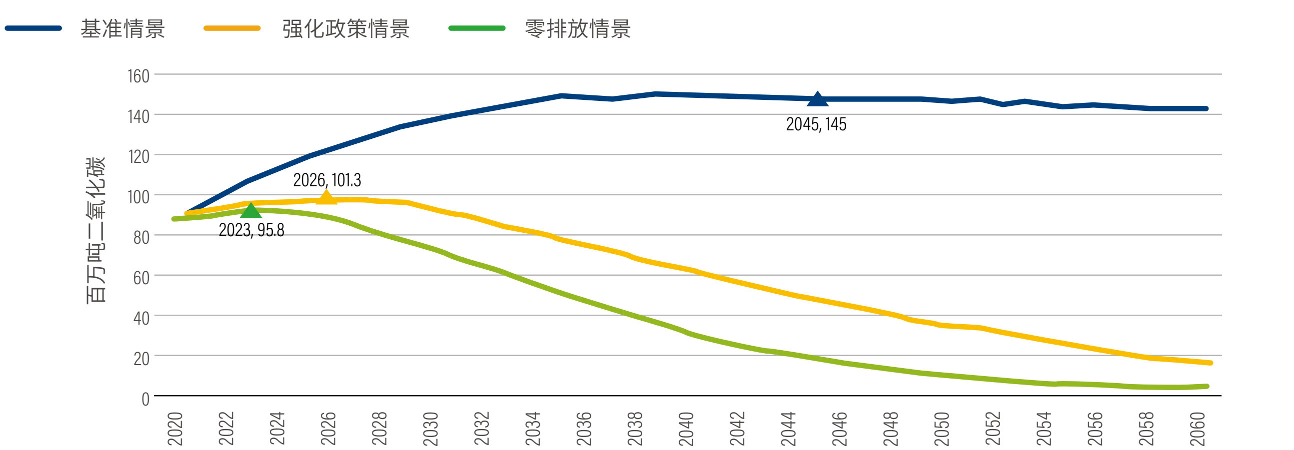
也可以减少对化石燃料中石油的依赖（如煤制氢技术）。具体氢能生产技术包括丙烷脱氢获得工业副产品氢、电解水制氢、利用非高峰期的电力和清洁能源大规模制氢等。从长远来看，水泥、钢铁和化工产业都可以有效减少其与煤相关的碳排放。到2060年，生物柴油、绿氢和氢制甲烷等低排放燃料可以代替石化行业50%~60%的石油用量。

- **石化行业是实现碳达峰的关键行业。**石化行业能源消费量占广东省2020年能源消费总量的18%，目前是全省能耗最大的行业（广东省统计局，2021）。广东省共有五个大型石化基地，其中两个位于大湾区内的广州和惠州。其中，惠州埃克森美孚乙烯一期项目将于2025年左右完工并投入运营，届时广东省的碳排放量会大幅增加（见图ES-4）。

道路交通运输业

大湾区如果采取更加严格的政策，其道路交通运输业有望在2026年前甚至更早实现碳排放达峰。2020年，大湾区道路交通运输业的碳排放量为9150万吨。私家车、轻型货车、重型货车是碳排放的主要来源。在“强化政策情景”下，大湾区道路交通运输业的碳排放将在2026年左右达峰，比2020年水平增加31%，然后到2060年下降至2000万吨二氧化碳，比2020年水平低80%。在“零排放情景”下，大湾区道路交通运输业的碳排放将会在2023年达到峰值，2060年前减排幅度达到近100%（见图ES-5）。分析表明，大湾区道路交通运输业可以在2060年前实现碳中和，但仍需下定决心，尽早采取行动，如大力推广使用新能源汽车、提高燃油经济性、调整运输模式、减少年行驶里程、使用清洁电力和绿氢等。

图 ES-5 | **不同情景下大湾区道路交通运输业的碳排放预测**



来源：项目组估算

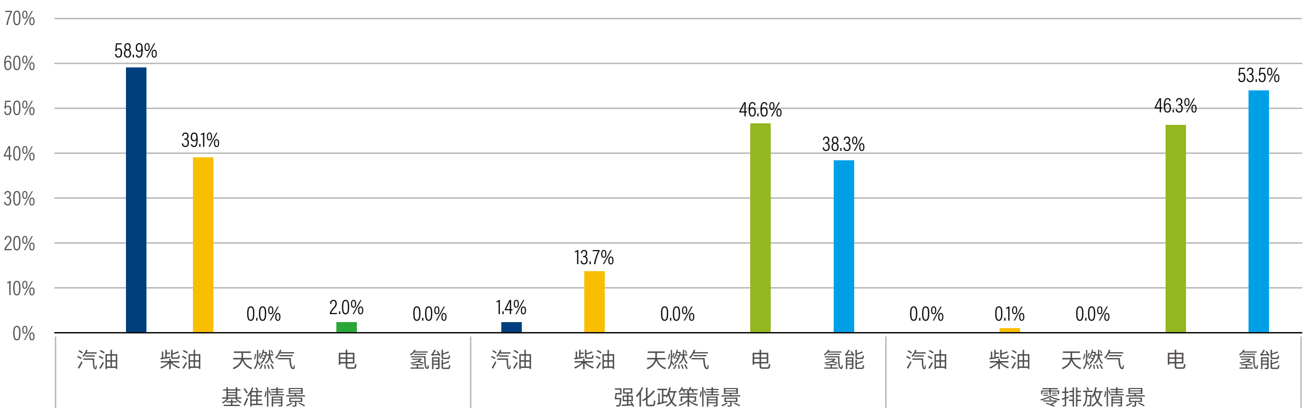
道路交通运输业最大的减排潜力来自以下领域：

- **除了广州和深圳之外（这两座城市在道路交通运输脱碳化方面遥遥领先），大湾区其他城市如果采取更积极的减排措施，将会对排放量产生巨大影响。** 除广州和深圳外，珠三角的其他城市如采取更为严格的措施，将会大幅降低排放量，比不采取更严格的措施可提前三年达到峰值。广州和深圳目前已经出台了更为严格的政策，大力推广使用新能源汽车。

- **在未来很长一段时间内，汽油和柴油仍将是主要的能源来源，但电力和氢能最终会成为主要的能源供给形式。**在“强化政策情景”和“零排放情景”下，汽油和柴油消费量占比在达到峰值后均迅速下降。然而，在这两种情景下，直到2050年和2041年，电力和氢能的消费量才能超过汽油和柴油，成为主要的能源供给形式（见图ES-6）。这就意味着未来需要对燃油汽车采取更为严格的限制措施，如提高燃油经济性、鼓励人们改乘公共交通工具等，发挥巨大的政策效应。与此同时，必须对大湾区的交通运输基础设施进行升级改造，特别是在新能源汽车发展迅速的广州、深圳。

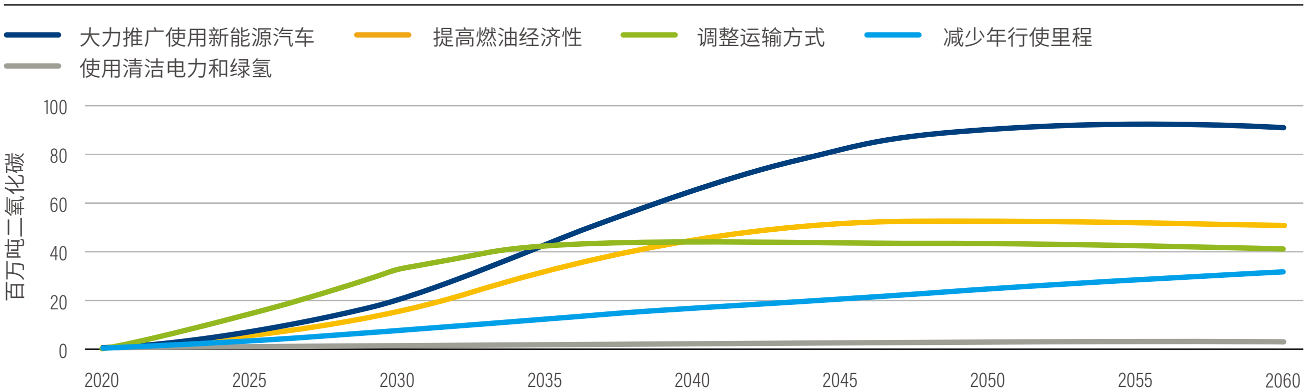
- 长期来看，在所有政策和措施中，大力推广使用新能源汽车以及使用清洁电力和绿氢的减排潜力最大。在中期，调整运输方式对脱碳的作用最大。在比较所有措施的效果时，我们分别分析了单独实施这五项措施中的任意一项所产生的减排效果。从长远来看，大力推广使用新能源汽车的减排潜力最大，而且效果会随着时间的推移而加强。如果客运方式由私家车改为公共交通，货运方式采用“公转铁”和“公转水”的话，2030年前实现的减排效果会大于推广使用新能源汽车和提高燃油经济性这两项措施（见图ES-7）。这就需要大湾区城市政府部门采取多种措施，如增加修建铁路网络的投资、出台更加积极的政策来扩大公共交通服务范围、调整货运结构，鼓励货运由公路运输转为铁路和水路运输、推行多式联运、鼓励绿色出行等。

图 ES-6 | **不同情景下大湾区道路交通运输业的碳排放预测和不同能源占比**



来源：项目组估算。

图 ES-7 | **与“基准情景”相比，“零排放情景”下不同措施的减排潜力预测**



来源：项目组估算。

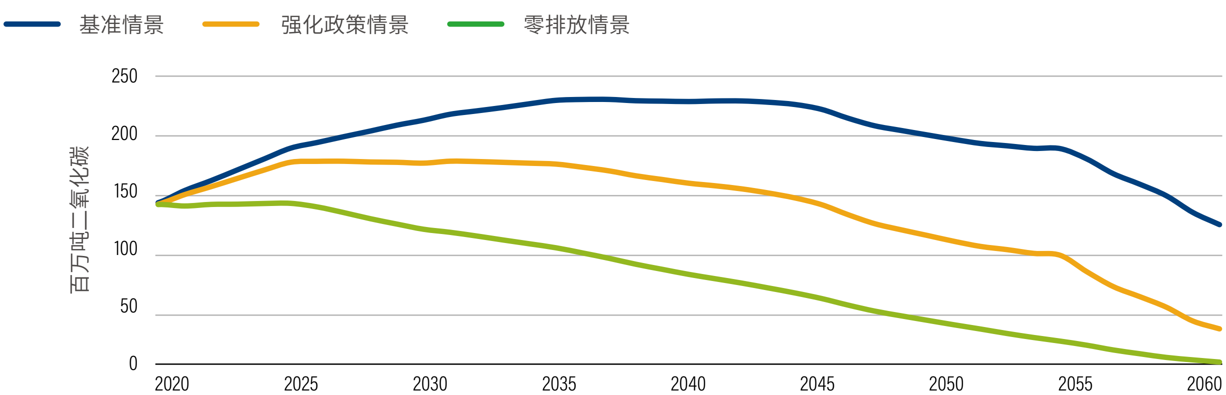
建筑业

大湾区建筑业预计最早将在2025年实现碳达峰，并在2058年之前实现碳中和。在强化政策情景下，大湾区建筑业的碳排放将在2030年达到1.8亿吨的峰值。在零排放情景下，大湾区建筑业的排放量将在2025年达到1.44亿吨的峰值，并将在2058年降至1000万吨以下（见图ES-8）。

建筑业最大的减排潜力来自以下领域：

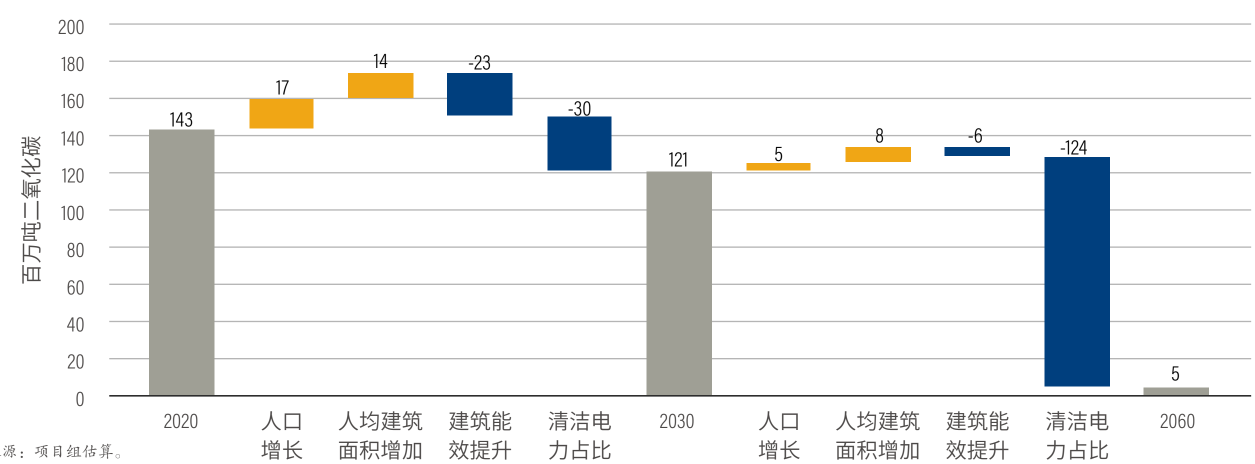
- **建筑业碳排放的存量和未来增量主要集中在公共和商业建筑中。**公共和商业建筑的排放量占建筑业总排放量的60%；大湾区人均住宅建筑面积可与欧盟和日本媲美，但人均公共和商业建筑面积较小，具备增长潜力。2020年，大湾区的人均住宅建筑面积为35.7平方米，非常接近欧盟和日本的36平方米。大湾区人均公共和商业建筑面积只有13平方米，低于欧盟和日本的14～16平方米，有望在不远的将来赶上欧盟和日本。这表明大湾区的公共和商业建筑还有进一步的减排潜力。
- **从城市建筑业总排放量来看，广州、深圳和香港位列前三名，占大湾区建筑业总排放量的60%。**由于每座城市的经济结构和发展水平不同，整个大湾区的建筑业排放水平也不尽相同。通常来说，一座城市的服务业的GDP占比越大，建筑业碳排放的占比就越大。在2017—2018年间，广州和深圳的建筑业碳排放量超过了香港。
- **在不久的将来，建筑能效提升将成为建筑业脱碳化过程中一个非常重要的指标，而清洁电力在减排方面的潜力最大。**在“零排放情景”中，在2020—2030年间，通过提升建筑能效和实施节能措施将带来45%的减排量，建筑中使用再生能源产生的清洁电力将带来55%的减排量。在2030—2060年间，

图 ES-8 | **建筑业碳排放情景预测**



来源：项目组估算。

图 ES-9 | **“零排放情景”下各因素对建筑业脱碳的贡献**



来源：项目组估算。

增加清洁电力占比带来的减排量最多，占到96%（见图ES-9）。在设计和建造阶段开始前，就应强调提高能效的措施和手段，使其成为限制能耗和早日实现碳达峰的有力工具。电力是驱动建筑碳排放增长的最大因素，占建筑碳排放增量的89%，表明大湾区建筑业的电气化率很高。大湾区可以把重点转向利用低排放燃料的发电，并利用可再生能源进行烹饪、用热或制冷。通过利用高效热泵，电力也将成为制冷的主要能源。目前，可再生能源除了可用于满足家庭的用热需求外，光热技术和各种形式的生物能源也可用于家庭烹饪活动。

转型过程需要获得相应的资金支持，解决现有金融实践中的重大挑战，从而加快总体转型速度。在助力大湾区重点行业实现区域脱碳化目标方面，金融部门发挥着举足轻重的作用。本研究测算了上述总体和分行业脱碳路径正常运行所需的资金投入。

分析估算显示，大湾区要在2060年前实现碳中和，需要投入约1.84万亿美元的资金，约占大湾区2020年至2060年累计GDP的1%。其中，交通运输业将需2000亿至7000亿美元，建筑业将需要1500亿至3000亿美元。在大湾区2060年前实现脱碳化所需的约1.84万亿美元资金中，石化、交通运输、建筑等高耗能产业的资金投入需求占55%。表ES-1详细列示了大湾区交通运输业和建筑业各投资领域的资金需求。

但上述估算投资额尚未完全得到满足。尽管其中一部分资金需求可得到绿色金融的支持，但仍存在缺口。

由于大湾区在内外“双重市场”上发挥着独特的作用，因此本报告认为，目前通过金融活动助力企业减排仍面临着五大挑战：

- **大湾区内仍缺乏跨区域的政策协调机制：**大湾区的各级政府之间需要进一步加强协作。广州、深圳、香港和澳门等重点城市的政府尚未有城市间相互协调起草的市级规划。目前还不清楚大湾区将如何促进“脱碳化金融”的跨区域协调发展，特别是新兴的转型金融。转型金融可支持碳密集型产业脱碳，是对绿色金融的有效补充。
- **转型活动的定义尚未明确：**碳密集型行业的脱碳融资对于促进大湾区实体经济转型至关重要。因此，需要对转型活动进行清晰定义，让更多的利益相关方了解并重视碳密集型行业的融资需求。然而，大湾区尚未在共同分类目录的基础上制定方法，识别重点行业的具体转型活动、行业减排目标和信息披露标准，支持区域内的净零转型并确保大湾区跨辖区的协调一致。这些行业的许多资产都不符合现有的绿色金融分类目录的要求，很难使用绿色金融工

表 ES-1 | **大湾区交通运输业和建筑业各投资领域的资金需求**

路径	投资领域	零排放情景下的估计投资额（美元）
交通运输业		6960亿
增加电动汽车和燃料电池汽车	新能源汽车推广	3650亿
	新增充电桩和充电站	340亿
	新增加氢站	40亿
运输结构调整	“公转铁”和“公转水”	2930亿
建筑业		3140亿
绿色建筑	新增绿色建筑	780亿
提高能效	超低和近零能耗建筑	10亿
	现有建筑改造	2090亿
分布式可再生能源	安装太阳能热装置 安装光伏装置 安装热泵	260亿
制造业和其他能源密集型行业		8300亿
投资总需求		18400亿

来源：项目组估算。

具。鉴于此，中国目前推出了一系列脱碳化金融工具，对绿色金融进行补充，具体工具包括可持续发展挂钩债券（SLB）、转型债券和可持续发展挂钩贷款（SLL）等，支持转型实体和相关活动。然而，由于目前对转型活动的定义尚不明确，仍存在一定的“假转型”风险。中国人民银行已牵头提出在转型金融方面建立统一分类目录，率先在煤电、钢铁、建材、农业等碳密集型行业对转型金融进行分类（马骏，2022）。国际上的一些主要金融机构也正在探索转型金融的框架，筛选并标识可以加快转型的融资活动。例如，渣打银行2021年发布了“转型金融框架”，该框架专门针对基于资产的融资活动进行设计，并与国际能源署（IEA）的2050净零排放情景保持一致。

- **转型计划缺乏科学指导：**在向低碳排放转型时，企业需要掌握统一的标准、转型目标和路径。中国一大批高排放企业尽管具有转型的意愿，但通常缺乏设定转型目标和路径方面的专业知识，制定转型计划和路径的能力不足，也不了解如何进入金融市场，以及获取支持转型的可信金融工具和产品。
- **现有金融工具仍存在一定局限性：**高排放企业在为其自身的减排及转型活动进行融资时，需要市场提供多种定义明确、易于理解的融资工具供其选择。一个成熟的转型市场中，与转型相关的金融工具应具有较高的接受度和流动性。目前，虽然可持续发展挂钩贷款（SLL）和可持续发展挂钩债券（SLB）都可用于在特定融资期内明确设定温室气体减排目标，但转型金融在工具、债券和贷款方面的可选择性仍十分有限。股权投资、保险和资产担保证券等形式的金融工具尚未明确或不存在。
- **碳市场机制不统一：**目前，大湾区内有三个碳市场，包括位于中国内地的两个试点碳市场及香港的自愿碳市场。由于碳配额初始分配和碳市场监管上的差异，两类碳市场内的碳配额无法互相交易，也无法进行互认，导致大湾区的碳市场互相割裂，各自为政，降低了交易规模和市场流动性，也无法对各行业实现全覆盖。

金融行业应该助力大湾区应对上述挑战，并充分探索脱碳化金融的支持作用，为此，本文提出以下六点建议：

1. 在大湾区建立跨区域协调机制，为脱碳化工作提供融资支持。鉴于目前大湾区内的金融市场相对独立，有必要成立一个跨区域的委员会，进行转型金融的协调工作。该委员会应以当地决策部门和监管机构为核心成员，以加快大湾区的行业转型为宗旨，可以借鉴大湾区绿色金融的发展经验，充分调动政策激励和金融资源，全力支持转型活动和投资。可考虑在现有的大湾区绿色金融联盟（GBA-GFA）的基础之上成立核心协调委员会。

2. 促进中国内地、国际和/或香港转型金融分类目录和信息披露指南的互操作性。为了降低交易成本、提高市场透明度、避免“假转型”，必须促进正在制定过程中的全国转型金融分类目录与国际、香港现有分类目录标准之间的互操作性[1]。不同监管机构之间也应就转型活动的强制性信息披露指南达成共识，促进强制性信息披露（如“气候相关财务信息披露工作组”所提倡的信息披露），推动大湾区采用国际可持续发展准则理事会（ISSB）等国际气候信息披露标准的市场成熟度，助力大湾区成为全国先锋。

3. 鼓励大湾区的金融机构和企业设定科学净零碳排放目标。设定净零目标可以极大地支持相关单位（包括主要金融机构和企业）制定可信的脱碳化技术路线图和投资/融资计划，独立评估自身的减排进展情况。大湾区现有的绿色金融协会（如粤港澳大湾区绿色金融联盟、香港绿色金融协会、广东金融学会绿色金融专业委员会）可在本研究或科学碳目标倡议（SBTi）等倡议和香港证券交易所《企业净零排放实用指南》提出的脱碳化路径的基础上，鼓励金融机构和企业设定科学净零碳排放目标。一些已加入科学碳目标倡议的国际银行（如渣打银行）可身先士卒，率先在设定碳目标、信息披露、与企业客户协作等方面发挥引领作用，助力实现减排目标和路径。

4. 开发与转型活动相关的多种金融工具，扩大融资规模，加快大湾区整体经济转型进度。鉴于大湾区在实现脱碳化目标方面的资金需求高达1.84万亿美元，金融机构可充分利用这一市场机会，吸引私营资本入场，扩大资金规模，推动更多资金流向大湾区及全国范围内的转型活动，寻找投资机会。

- **债务类：**建立大湾区资金计划，在制造业、道路交通运输业和建筑业这三个行业内，进一步扩大现有与可持续发展挂钩的和具有特定募集资金用途（use-of-proceeds）的转型债券规模。该计划应得到中国内地的政策支持（如债券发行补贴和绿色信贷贴息），采用香港金融管理局（HKMA）的绿色和可持续金融资助（GSF）计划。另外，还可以创新碳相关产品，将中国碳排放配额（CEA）、国家核证减排量（CCER）等碳资产与国际市场上认可的碳信用额度挂钩。碳产品可以将碳资产嵌入可持续发展挂钩贷款结构和其他碳交易产品内，支持能源密集型企业遵循亚太贷款市

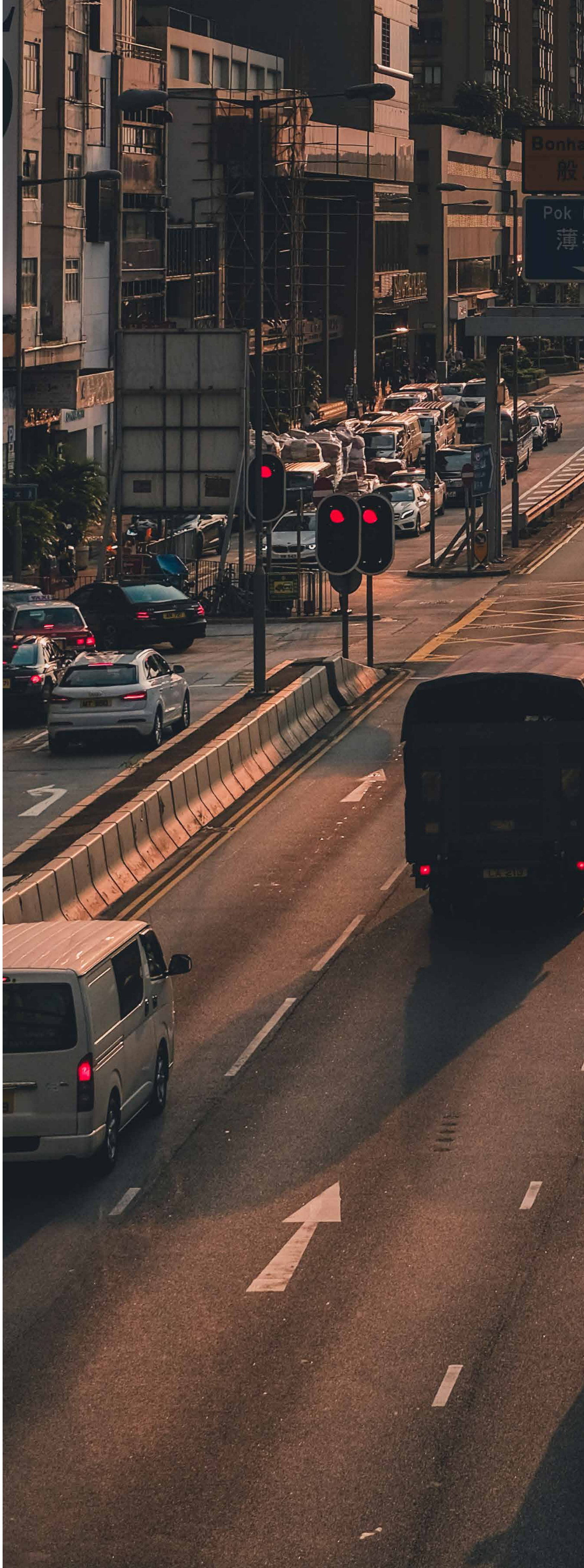
场协会发布的与可持续发展相关的贷款原则和转型金融分类目录的要求，制定转型目标和技术路线图，金融机构可提供可持续发展挂钩和转型标签贷款

- **权益类：**探索设立税收优惠的私人股权基金，投资于低碳新技术企业，利用数字技术对高碳产业进行升级，在重点行业培育创新型中小企业；利用碳配额拍卖所产生的收入建立低碳产业基金，与大湾区内的地方政府合作，共同开展脱碳化技术投资和项目活动。
- **保险类：** 创新保险产品，如绿色建筑保险、环境污染强制责任保险、碳减排损失保险、碳资产相关保险、低碳新设备保险等，为融资期间的能源绩效投保。

5. 为大湾区的各重点行业量身定制具体金融解决方案。

- **制造业：** 对于国内监管机构确定的钢铁、石化、水泥、陶瓷、造纸等重点高耗能行业，金融机构可以与行业内的跨国公司（MNCs）合作，扩大价值链上的可持续供应链金融（SSCF）的覆盖范围。利用可持续供应链金融可以提升跨国公司供应链可持续性的价值，为供应商及其买方带来实实在在的激励。
- **建筑业：**利用脱碳化金融工具，通过可持续发展挂钩贷款扩大绿色升级改造的规模，采用合同能源管理（EPC）等有效商业方式鼓励绿色改造，在大湾区推行绿色保险机制，解决期限错配的问题，扩大对国际绿色建筑认证（如“EDGE—优秀高能效设计认证”）的认可，吸引国际投资，开展能源数据的运营评估和披露。
- **道路交通运输业：**通过对新能源货运车队、电动汽车和氢燃料电池汽车出台政策激励措施，调动私人资本在大湾区内投资建设充电桩和加氢站等新能源汽车基础设施。鼓励地方政府发行可持续市政债券，进行铁路投资，利用可持续发展挂钩贷款和转型金融进行船舶融资（不包括国际海事组织的双燃料船舶）。

6. 利用地方和区域性碳市场，加快大湾区转型。全国碳市场有望进一步扩大覆盖的行业范围，恢复 CCER的交易，将国家核证减排量市场与香港的“核心气候”和国际自愿碳市场对接，从而实现与全世界气候相关产品的资本对接。广东省和深圳市现有的碳排放交易体系也可以发挥更大作用，率先将尚未被全国碳市场覆盖的行业（如陶瓷、纺织、互联网数据中心、建筑和交通运输等）纳入区域碳市场的范围，从而加快大湾区的整体转型节奏。可以探索建立与香港碳市场对接的大湾区区域性碳市场，进行金融工具和衍生品的试点。



m Road
咸道
Fu Lam
扶林
Kennedy Town
堅尼地城
Kowloon (W)
九龍(西)
3
50
TAXI


Sjoey
博澳廣告
金禾電腦
KAM WO COMPUTER

EXECUTIVE SUMMARY

HIGHLIGHTS

- The Guangdong–Hong Kong–Macao Greater Bay Area (GBA) is expected to lead by example in peaking carbon emissions and achieving carbon neutrality, as well as in creating a regional benchmark for green and low-carbon development. This is achievable.

- Clean electricity will contribute to the largest emissions reductions in the long-term for the key energy-consumption sectors of manufacturing, road transport, and buildings. In the medium term, energy efficiency improvement and cleaner energies in manufacturing and buildings, as well as a mode shift in transport, will be the key to decarbonisation.

- Our analysis estimates that the GBA needs approximately US$1.84 trillion to achieve carbon neutrality by 2060, equivalent to around 1 percent of cumulative gross domestic product (GDP) during the 2020–60 period. We also estimate that $200 billion to $700 billion will be needed for road transport, with $150 billion to $300 billion required for the buildings sector.

- We recommend financial practices to accelerate the transition: establishing a cross-regional agency coordination mechanism in the GBA; facilitating interoperability of transition finance taxonomies and information disclosure standards on the Chinese mainland and in Hong Kong, as well as internationally; encouraging financial institutes and enterprises to set net-zero targets; facilitating development of regional carbon markets; developing a transition-related financial toolbox to scale up financing; and developing sector-specific financial solutions.

About this report

The need for action is urgent. Greenhouse gas (GHG) emissions rose over the past decade, reaching 59 gigatonnes of carbon dioxide equivalent ($GtCO_2e$) in 2019—roughly 12 percent higher than emissions in 2010 (IPCC 2022). In its 2023 synthesis report, the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) warned that 'rapid and deep' systemic changes are needed to limit global warming to the Paris Agreement's 1.5-degree Celsius (1.5°C) goal, and GHG emissions need to peak before 2025, at the latest, and then reach net-zero CO_2 emissions in the early 2050s (IPCC 2023). As the world's largest CO_2 emitter since 2005 (Climate Watch 2022), contributing 28 percent of the planet's CO_2 emissions, China is critical to carbon emissions reduction.

The GBA is expected to lead by example in peaking carbon emissions and achieving carbon neutrality earlier than the national '30-60' goals—China's national goal of peaking its carbon emissions by 2030 and achieving carbon neutrality by 2060, as well as in creating a regional benchmark for green and low-carbon development.

This report aims to connect decarbonisation solutions with the finance required to accelerate the net-zero transition in the GBA. It first applies a top-down approach to predict macro pathways for the whole GBA, then uses a bottom-up approach to analyse specific decarbonisation pathways and solutions for the key energy-consuming sectors—manufacturing, road transport and buildings—to highlight the actions most needed to achieve the 30-60 goal, as well as more ambitious goals to peak emissions and achieve carbon neutrality earlier. Based on the above decarbonisation pathways, this report estimates how much investment will be required and how challenges can be solved to ensure the finance needed to accelerate businesses' transition to carbon neutrality.

Overall and sectoral transition pathways

The GBA is one of the engines driving China's economic progress and a leader in the country's socioeconomic and green development. Can it lead by peaking its carbon emissions and achieving carbon neutrality earlier than the national 30-60 goals? This study estimates the GBA's carbon emissions from 2020 to 2060 using a top-down approach based on projected GDP and carbon intensity, and sets up three scenarios: the Baseline Scenario, the 30-60 Scenario and the 25-50 Scenario. Because the peak year and carbon

neutrality year vary from sector to sector, we use *Enhanced Policy Scenario* and *Zero-Emission Scenario* in the sectoral analysis as equivalents for the 30-60 Scenario and 25-50 Scenario in the overall GBA analysis.

Our analysis shows that ambitious actions are needed for the GBA's carbon emissions to peak earlier and achieve carbon neutrality. The Baseline Scenario answers the question of whether and when carbon emissions will peak and carbon neutrality will be achieved if no stronger measures are taken. The 30-60 Scenario and 25-50 Scenario predetermine the peaking year and carbon neutrality year as assumptions, and the analysis answers the question of how fast emissions will need to be reduced to be consistent with the national 30-60 goals, and how much more sharply they need to be cut to peak by 2025 and achieve carbon neutrality around 2050.

- As the 14th Five-Year Plan (FYP) includes no new national or subnational targets for carbon intensity, under the Baseline Scenario we assume that in future five-year periods the rate of each city's carbon-intensity reduction remains what it was in the 13th FYP. Under this scenario, our results show that the GBA will only reach its peak emissions in 2030, and a remaining 355 million tonnes of CO_2 emissions will need to be offset in 2060 (Figure ES-1), which seems beyond what is achievable.

- Under the 30-60 Scenario, to be consistent with the national 30-60 goals, carbon emissions in the GBA need to peak by 2030; carbon-intensity reductions equal to those of the Baseline Scenario can enable this. Emissions when peaking are 480 million tonnes of CO_2. But more ambitious actions need to start from 2030 to enable a sufficiently sharp emissions decline to achieve carbon neutrality by 2060. If carbon neutrality means a 90 percent emissions reduction and a 10 percent offset by forest sink and negative emissions technologies such as carbon capture, utilisation and storage (CCUS), as many other countries set their targets, an emissions cap goal will be needed beginning in 2030 and annual emissions reductions during the 2030–60 period will need to be around 7.5 percent.

- Under the 25-50 Scenario, if carbon intensity can be reduced by 24 percent in the 14th FYP, the GBA can peak its emissions by 2025. Emissions when peaking will be 467 million tonnes of CO_2. This will require much stricter

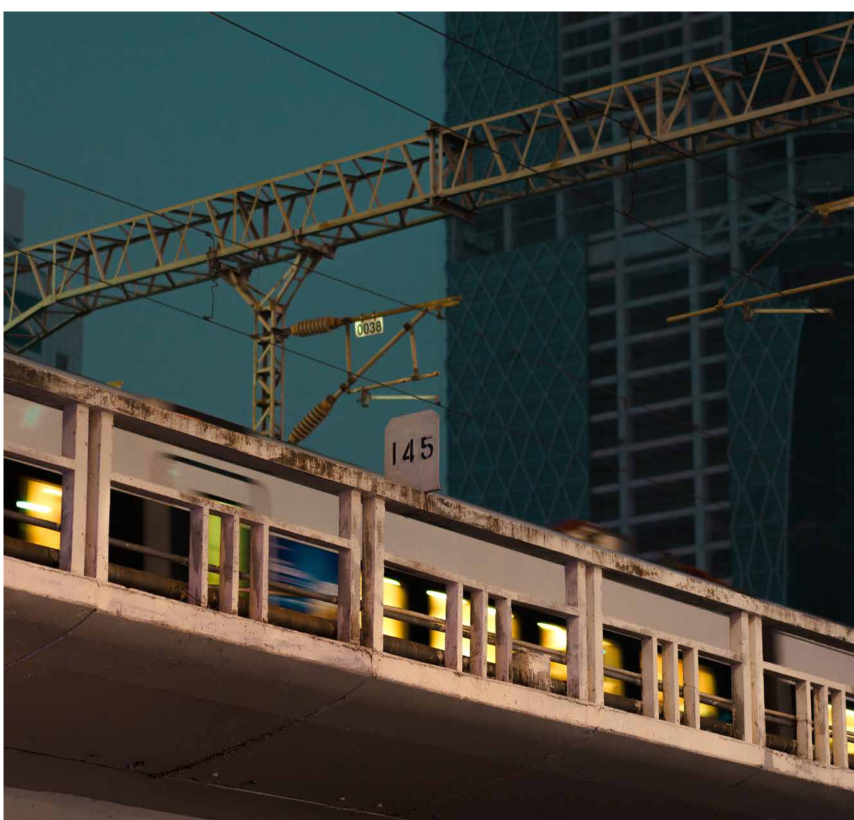
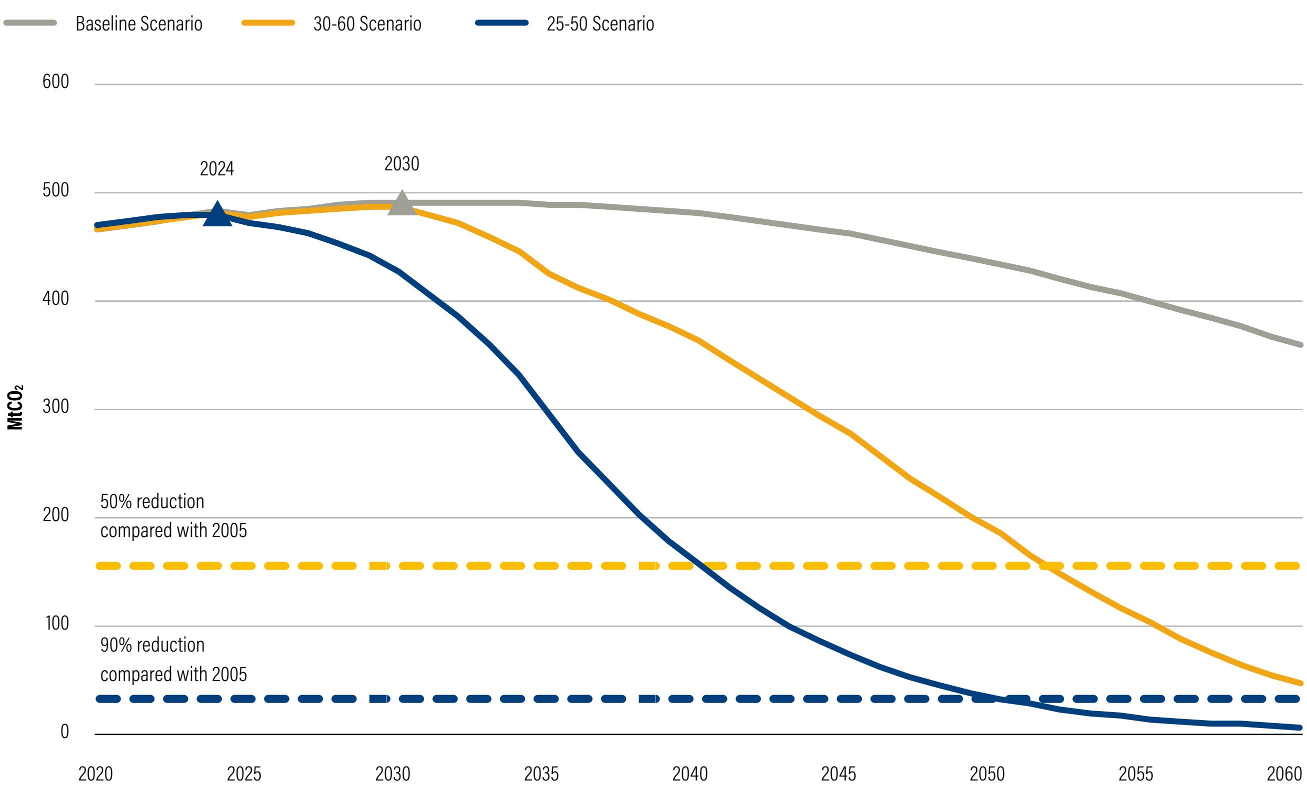


Figure ES-1 | **Scenario analysis of carbon emissions in the GBA towards 2060**



Note: $MtCO_2$ = million tonnes of carbon dioxide.
Source: Project team.

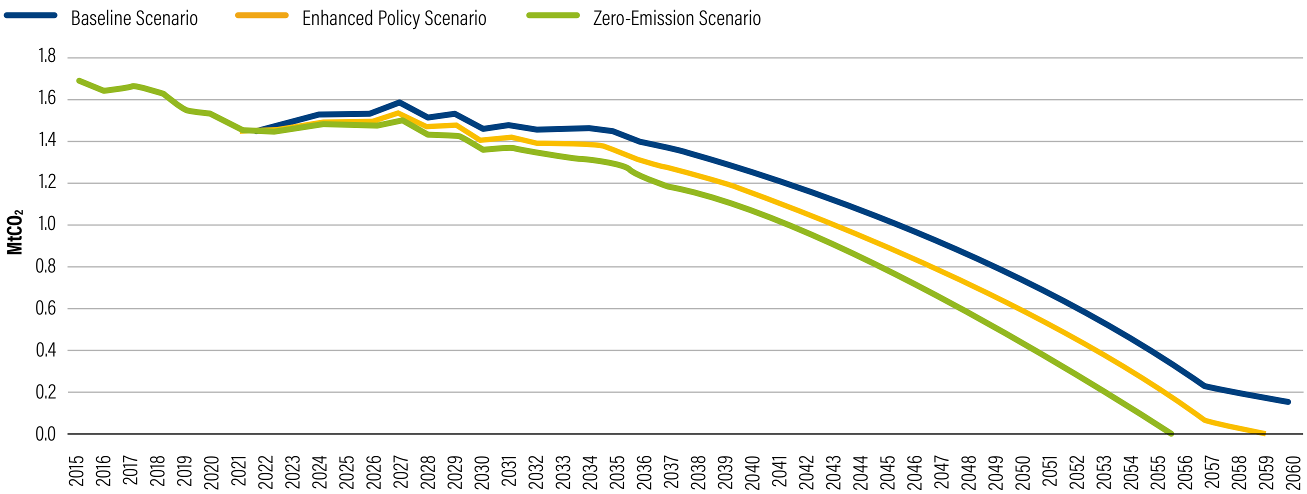
policies and measures because the target is higher than what was achieved in the 13th FYP in Guangdong—a 22.35 percent carbon intensity reduction, and emissions reductions from some measures such as energy efficiency will get harder. The annual rate of emissions reduction during the 2025–50 period should be around 16 percent if we want to achieve carbon neutrality around 2050. This scenario is consistent with advice in the newest IPCC report to ensure attainment of the Paris Agreement's 1.5°C goal.

How can the 30-60 or even the 25-50 Scenario pathway be achieved? The GBA's energy-related carbon emissions come mainly from three key sectors: manufacturing, building operations and road transport, which accounted for 32 percent, 31 percent and 20 percent of emissions, respectively, in 2020. This study provides in-depth analysis for the three sectors. A bottom-up approach was applied to model different scenarios for each sector.

Manufacturing

The GBA's manufacturing is expected to peak its carbon emissions during the 15th FYP (2025–30) and to achieve carbon neutrality around 2055–60. 'New Major Projects' (projects with energy consumption greater than 10,000 tonnes of coal equivalent and approved by the Energy Bureau of Guangdong Province before 2021) would lead to increased carbon emissions in the Pearl River Delta during the 2020–30 decade. But different interventions in energy intensity (energy consumption per unit of industrial value added), phasing down fossil fuels use, energy conservation technologies, and decarbonised power and heating systems will result in emissions reductions. Emissions peak values are 154.2 million tonnes for the Baseline Scenario, 150 million tonnes for the Enhanced Policy Scenario and 147.2 million tonnes for the Zero-Emission Scenario. However, the Baseline Scenario will not achieve carbon neutrality by 2060, with a residual 16 million tonnes of emissions, and the GBA's manufacturing

Figure ES-2 | **Scenario analysis for industrial carbon emissions**



Note: $MtCO_2$ = million tonnes of carbon dioxide.
Source: Project team.

industrial sector is expected to achieve carbon neutrality during the 2055–60 period under the Enhanced Policy and Zero-Emission Scenarios (Figure ES-2).

The largest emissions-reduction potential lies in the following areas:

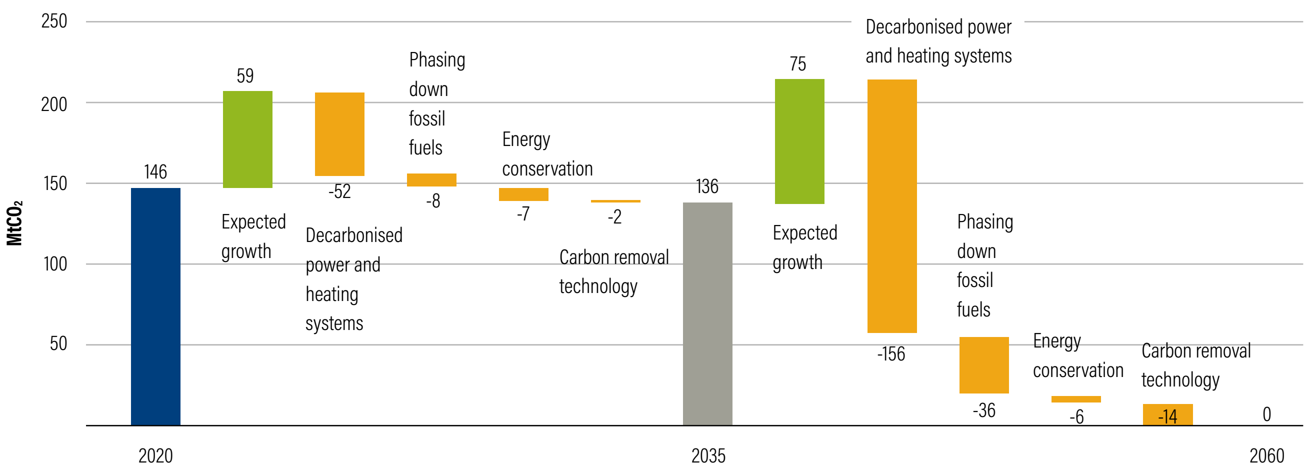
- **The most important contribution to carbon neutrality comes from decarbonised power generation and heating systems.** Decarbonised power and heating systems account for 74 percent of the total emissions-reduction potential from now to 2060. Phasing down fossil fuels in production accounts for 16 percent, energy conservation 5 percent and carbon removal technologies 5 percent (Figure ES-3). Power and heating generation can be decarbonised by leveraging advances in low-carbon electricity from the grid and switching to renewable energy to generate on-site electricity and heating. Decarbonised heating systems are also important to manufacturing, and the electrification of thermal processes should be one strategy to decarbonise heating systems and leverage decarbonised electricity sources.

- **Phasing down fossil fuels use, the second-largest contributor to emissions reduction,** can be achieved by substituting low- and no-carbon fuel and feedstocks to

reduce emissions for industrial processes. Technical improvements can lower emissions, including upgrading furnaces to phase down coal and consume waste heat. Coal used in ceramic kilns, papermaking and textile boilers can be replaced with natural gas in the short and medium term. Innovation in hydrogen production can also reduce the use of fossil fuels (such as coal-based hydrogen production). Hydrogen energy can be produced using industrial by-product hydrogen from propane dehydrogenation, from electrolysis of water via off-peak power and clean energy. Coal-related carbon emissions can be effectively reduced in the cement, steel and chemical industries over the long term. By 2060, low-emission fuels, including biodiesel, green hydrogen and methane produced from hydrogen, could replace approximately 50–60 percent of oil consumption in the petrochemical and chemical industries.

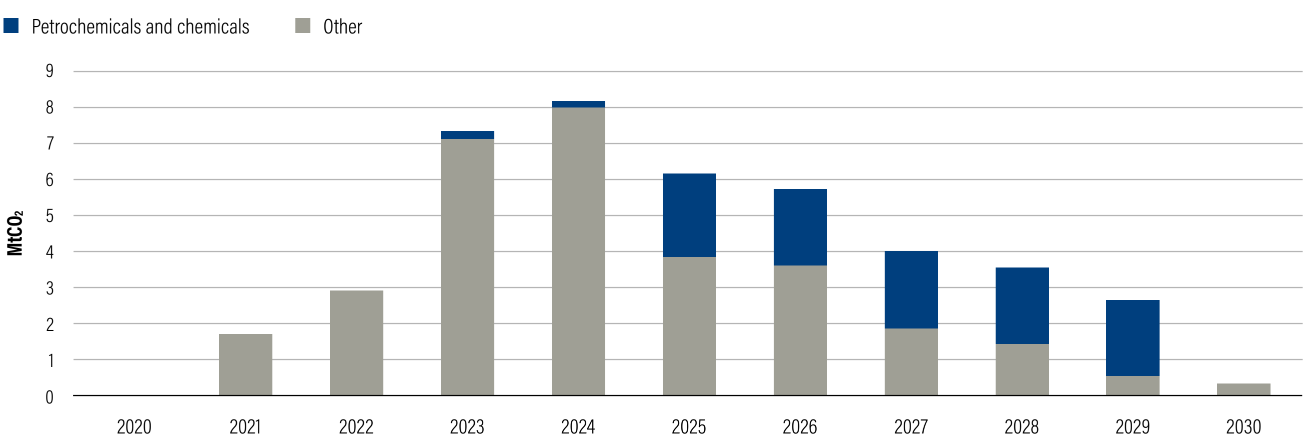
- **The petrochemical industry is a key sector for emissions peaking.** The petrochemical industry accounted for 18 percent of total energy use in Guangdong in 2020 and is the number one sector for energy use (Guangdong Provincial Bureau of Statistics 2021). There are five large

Figure ES-3 | **Contribution of decarbonisation pathways in industries in the GBA**



Note: $MtCO_2$ = million tonnes of carbon dioxide.
Source: Project team.

Figure ES-4 | **Manufacturing carbon emissions increase from the 'New Major Projects' during the 2020–30 period**



Note: $MtCO_2$ = million tonnes of carbon dioxide.
Source: Project team.

petrochemical bases in Guangdong and two in the GBA—Guangzhou and Huizhou. The Huizhou ExxonMobil Huizhou Ethylene Phase I Project will be completed and put into operation around 2025, leading to a large increase in emissions (Figure ES-4).

Road transport

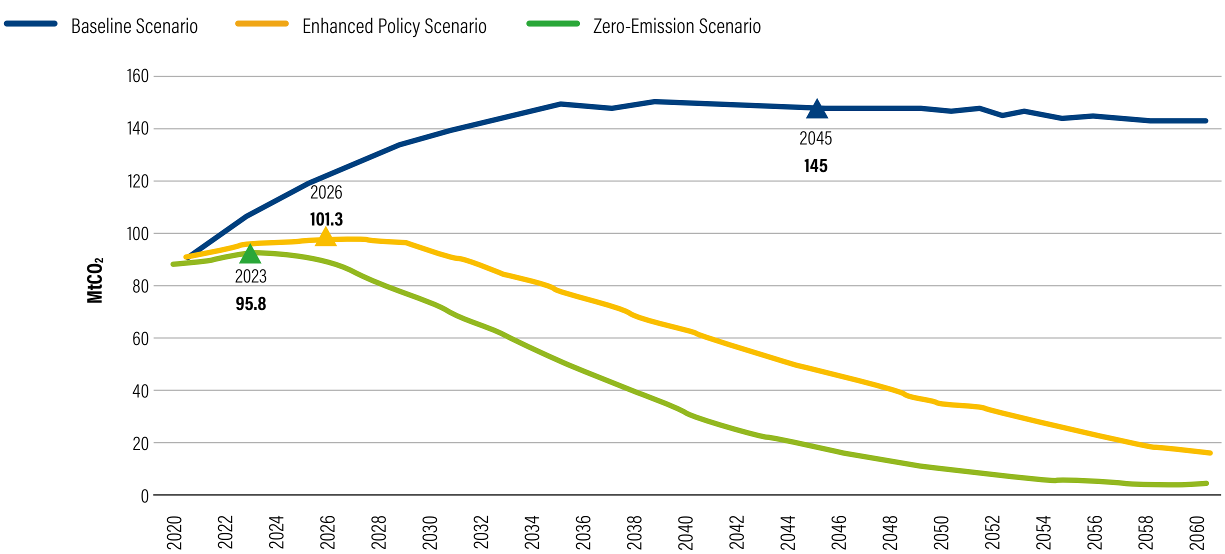
Stricter policies could allow the GBA's road transport sector to peak emissions by 2026 or even earlier. Carbon emissions from road transport in the GBA were 91.5 million tonnes in 2020. Private cars, light-duty vehicles and heavy-duty vehicles are the main sources of carbon emissions. Under the Enhanced Policy Scenario, road transport carbon emissions in the GBA would rise 31 percent above 2020 levels, peak around 2026, then fall to 20 million tonnes of CO_2—80 percent below the 2020 level—by 2060. In the Zero-Emission Scenario, road transport carbon emissions in the GBA would peak in 2023 and reach a near 100 percent reduction by 2060 (Figure ES-5). Carbon neutrality for road transport by 2060 is possible, but it will require greater determination and earlier actions, including more ambitious new-energy vehicle (NEV) promotion, fuel economy improvement, mode shift, reduced annual kilometres travelled, and clean electricity and green hydrogen.

The largest emissions-reduction potential lies in the following areas:

- **Outside of Guangzhou and Shenzhen (which is ahead of other cities in road transport decarbonisation), more aggressive emissions reduction measures have a dramatic impact on emissions.** We found that stricter measures would dramatically lower emissions peak in cities other than Guangzhou and Shenzhen in the Pearl River Delta and allow them to peak three years earlier than they otherwise would. This is because Guangzhou and Shenzhen have already adopted stricter policies, such as NEV promotion.

- **Gasoline and diesel will still be the main energy sources for a long time, but electricity and hydrogen will eventually become the main energy supply.** Under both the *Enhanced Policy Scenario and Zero-Emission Scenario*, the proportion of gasoline and diesel consumed drops rapidly after it peaks. However, by 2050 and 2041, respectively, under the two scenarios, the consumption of electricity and hydrogen can surpass gasoline and diesel and become the main energy supply (Figure

Figure ES-5 | **Road transport carbon emissions projections in the GBA under different scenarios**

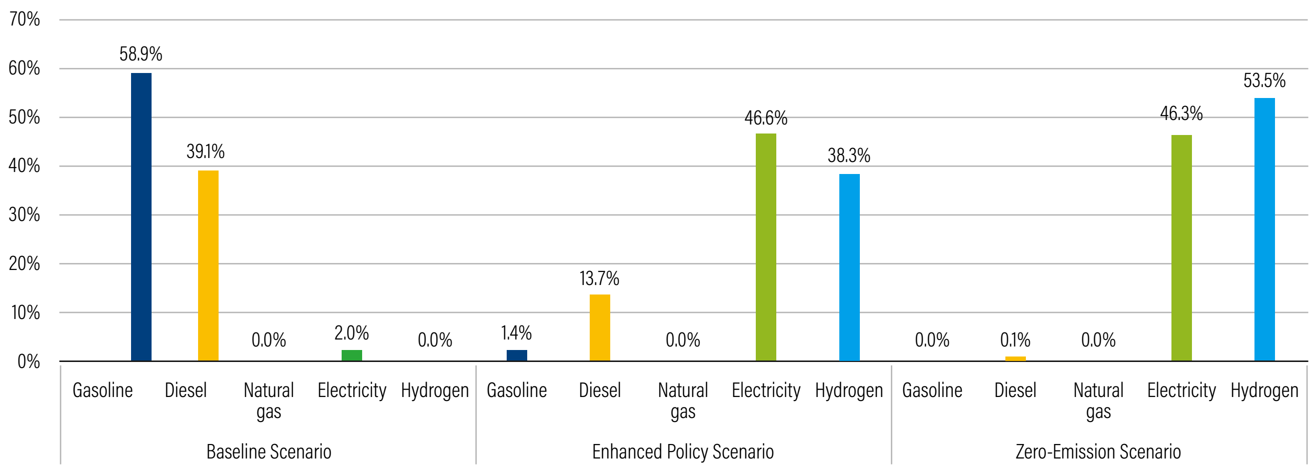


Note: $MtCO_2$ = million tonnes of carbon dioxide.
Source: Project team.

ES-6). This implies that intervention in internal combustion engine vehicles, such as improving fuel economy, shifting to public transport and the like, will still have significant impact. Meanwhile, the GBA's road transport infrastructure will need to be upgraded, especially in Guangzhou and Shenzhen, where NEVs are developing rapidly.

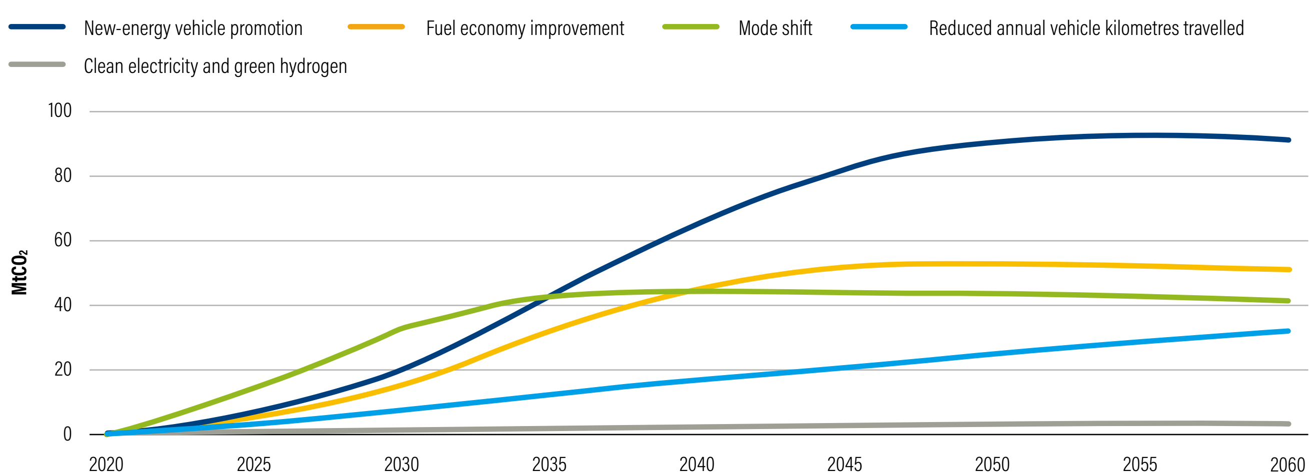
- **Among all policies and measures, promotion of NEVs together with upstream clean electricity and green hydrogen will contribute the largest emissions-reduction potential in the long term. In the medium term, mode shift will be the largest contributor to decarbonisation.** To compare the contributions of all measures, we analysed the emissions-reduction potential of five measures when any one of the measures is implemented alone. In the long run, a high proportion of NEVs has the greatest potential

Figure ES-6 | **Road transport carbon emissions projections in the GBA under different scenarios and proportion of different energies**



Source: Project team

Figure ES-7 | **Estimate of emission reduction potential of single measures under the Zero-Emission Scenario compared with the Baseline Scenario**



Note: $MtCO_2$ = million tonnes of carbon dioxide.
Source: Project team.

to reduce emissions, and its effect increases over time. Shifting passenger transport from private vehicles to public transit services and shifting road transport to railway and ships would bring larger emissions reductions than NEV promotion and fuel economy improvement before 2030 (Figure ES-7). This would require major investments in railway construction; more aggressive policies to expand public transit services and shift freight transportation from highways to railways and waterways; and multimodal transport, as well as green mobility in the Greater Bay Area.

Buildings

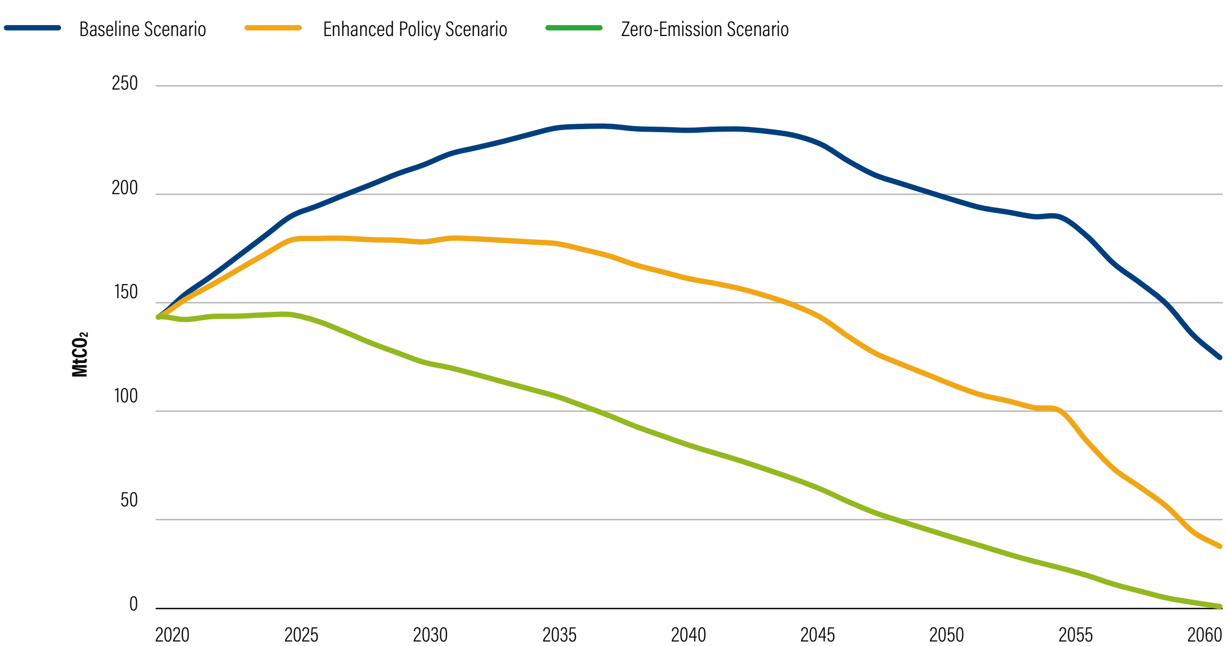
The GBA's buildings sector is projected to peak its carbon emissions in 2025 at the earliest and achieve carbon neutrality by 2058. Under the Enhanced Policy Scenario, carbon emissions from buildings in the GBA will reach their peak in 2030 at 180 million tonnes of CO_2. Under the Zero-Emission Scenario, the GBA buildings sector emissions will peak at a lower level of 144 million tonnes by 2025 and will fall to less than 10 million tonnes by 2058 (Figure ES-8).

The largest emissions-reduction potential lies in the following areas:

- **Both the stock and future increment of building emissions are mainly in public and commercial buildings.** Public and commercial buildings are responsible for 60 percent of emissions. Residential building area per capita in the GBA rivals that of the European Union and Japan, but public and commercial building area per capita is smaller and likely to grow. The GBA's residential area per capita was 35.7 square metres (m^2) in 2020, which is very close to the 36 m^2 for Europe and Japan. The GBA's public and commercial buildings area per capita is only 13 m^2, lower than the 14–16 m^2 for Europe and Japan, and is expected to catch up in the near future. This indicates that public and commercial buildings have further emissions-reduction potential.

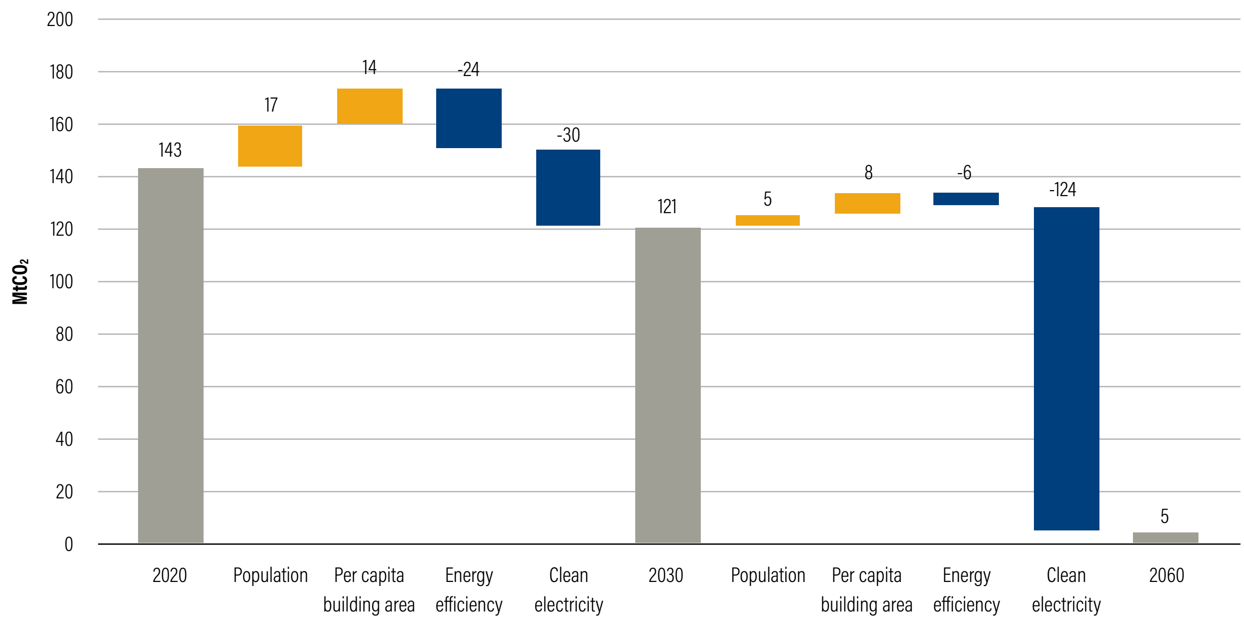
- **The three largest-emitting cities, Guangzhou, Shenzhen and Hong Kong, account for 60 percent of total emissions in buildings.** Buildings sector emissions across the GBA are varied. Usually, the higher the proportion of service industries,

Figure ES-8 | **Scenario projections of carbon emissions in the buildings sector**



Notes: $MtCO_2$ = million tonnes of carbon dioxide.
Source: Project team.

Figure ES-9 | **Contributions of decarbonisation pathways in the buildings sector under the Zero-Emission Scenario**



Note: $MtCO_2$ = million tonnes of carbon dioxide.
Source: Project team.

the greater the proportion of buildings emissions. Buildings emissions in Guangzhou and Shenzhen surpassed those of Hong Kong between 2017 and 2018.

- **Energy efficiency is important to decarbonise the buildings sector in the near future, while decarbonised electricity contributes the largest potential for emissions reduction.** In the Zero-Emission Scenario, between 2020 and 2030, improved energy efficiency and energy conservation will contribute 45 percent of emissions reductions, and the use of renewable energy in buildings and electricity generation will provide 55 percent of reductions. Between 2030 and 2060, the use of renewable energy will contribute the most emissions reductions (96 percent) (Figure ES-9). Efficiency improvement measures should be emphasised ahead of the design and construction stages and can be a potent tool for restricting energy consumption and enabling emissions to peak earlier. Electricity drove most of emissions increase in buildings and accounts for 89 percent of emissions, indicating a high electrification rate of the GBA's buildings sector. The GBA can focus on shifting to low-emission fuel for electricity generation and use renewable energy for cooking, water heating and space cooling. Electricity, and especially high-efficiency electric heat pumps, will become the primary source of energy use for space cooling. In addition to renewable energy now used to heat water in buildings, solar thermal technology can be used for cooking, and various forms of bioenergy can be tapped as well.

Funding needs to support the transition and key challenges in existing financial practices to accelerate the transition. Finance plays a pivotal role in helping the GBA's key sectors achieve the region's decarbonisation goals. This study estimates the investment needed to stay on track with the overall and sectoral decarbonisation pathways suggested above.

Our analysis estimates that the GBA needs approximately $1.84 trillion to achieve carbon neutrality by 2060, the equivalent of about 1 percent of cumulative GDP from now to 2060. We also estimate that $200 billion to $700 billion will be needed for road transport, and $150 billion to $300 billion for the buildings

Table ES-1 | **Estimates on the investment needed for the GBA**

PATHWAYS	INVESTMENT AREA	ESTIMATED AMOUNT UNDER ZERO-EMISSION SCENARIO (BILLION US$)
Road transport		696
Increase EV and Fuel Cell Vehicles	Promotion of new-energy vehicles	365
	New chargers and charge stations	34
	New hydrogen refilling stations	4
Mode shift	Road transport to railway and water transport	293
Buildings sector		314
Green buildings	New green buildings	78
Improved energy efficiency	Ultra-low and near-zero buildings	1
	Retrofitting existing buildings	209
Distributed renewable energy	Install solar thermal Install photovoltaics Install heat pumps	26
Manufacturing and other energy-intensive industries		830
Total Investment needs		1,840

Note: EV = electric vehicles.
Source: Authors.

sector. Of the estimated $1.84 trillion in financing required for the GBA's decarbonisation by 2060, 55 percent would be needed in energy-intensive industries, such as petrochemicals, road transport and buildings. Table ES-1 breaks down the investment needs.

The above investment estimates are not fully met. They can be partly supported by green finance, but the shortfall remains. Why does this shortfall exist and what challenges do we face in trying to fill it?

This study summarises five challenges of unlocking finance to accelerate business decarbonisation given the GBA's unique role in the 'dual markets':

- **More cross-regional policy coordination needed:** Government coordination at all levels across the GBA needs to be strengthened. The governments of key cities such as Guangzhou, Shenzhen, Hong Kong and Macao have not issued municipal-level planning guidelines that are drafted in tandem with each other. It is also not clear how the GBA will promote the coordinated cross-regional development of 'financing decarbonisation', especially the emerging transition finance, which is important to support decarbonising of carbon-intensive industries and is an efficient supplement to green finance.
- **Ambiguous definition for transition activities:** Financing decarbonisation of carbon-intensive sectors will be essential to facilitate the transition of the real economy in the GBA. A clear definition of transition activities is needed, allowing a broader range of stakeholders to understand and appreciate financing carbon-intensive sectors. However, there is a lack of common taxonomy-based approaches to identify specific transition activities, sectoral decarbonisation targets and information disclosure standards in the key sectors that support the net-zero transition and ensure an alignment approach across jurisdictions in the GBA. A great number of assets in these industries do not meet the requirements of the existing green finance

taxonomy and thus cannot leverage green financial tools. Therefore, as a complement to green finance, China has started launching some tools for financing decarbonisation, including sustainability-linked bonds (SLBs), transition bonds and sustainability-linked loans (SLLs), to support the transition entities and activities. However, there is risk of greenwashing due to an ambiguous definition of transition activities. The People's Bank of China is leading on transition finance taxonomy, beginning with carbon-intensive sectors like coal-fired power generation, steel, building materials and agriculture (Ma 2022). Some leading international financial institutions are exploring transition finance frameworks to qualify and label financing that accelerates transition activities. For instance, in 2021 Standard Charted Bank released its transition finance framework, which is designed for asset-based financing and aligns with the International Energy Agency's 2050 net-zero scenario.

- **Insufficient scientific guidance for transition plans:** To transition to lower carbon emissions, enterprises will need unified standards, transition goals and pathways. Many high-carbon enterprises in China have the will to transition, but they often lack sector-specific guidance and expertise to set the transition goals, the ability to prepare transition plans and pathways, and the understanding of how to access the financial market with credible tools and products to support the transition.

- **Limited financial tools to accelerate transition:** A wide range of well-defined and well-understood financing tools are prerequisites for financing the decarbonisation of high-carbon enterprises and their transition activities. The acceptance and liquidity of transition-related financial tools are also an indication of the maturity of the transition market. At present, while SLLs and SLBs are being adopted for setting clear GHG reduction targets during the financing terms, transition finance tools, bonds and loans remain limited. Financial tools in the form of equity investment, insurance and asset-backed securities are relatively undefined or non existent.

- **Unaligned carbon market mechanisms:** There are now three carbon markets in the GBA, two pilot carbon markets on the Chinese mainland and one voluntary carbon market in Hong Kong. Due to differences in the allocation of carbon allowances and the regulation of the carbon market, the allowances in these three markets cannot be traded or mutually recognised, fragmenting the carbon markets in the GBA, which reduces the scale and liquidity of transactions and leads to the lack of comprehensive coverage of industries.

We offer six recommendations for finance to address the above challenges and fully exploit the supporting role of financing decarbonisation in the GBA:

1. Establish a cross-regional agency coordination mechanism for financing decarbonisation in the GBA. Given the fragmented nature of the GBA's finance market, it is imperative to establish a committee spanning regional agencies to coordinate transition finance. This committee, of which local policymakers and regulators should be key members, should aim to accelerate the GBA's sectoral transition by mobilising policy incentives and finance resources in support of transition activities and investment, drawing on the experience of green finance development in the region. This core coordination panel could be established based on the existing GBA Green Finance Alliance (GBA-GFA).

2. Facilitate interoperability of the Chinese mainland, international and/or Hong Kong transition finance taxonomies and information disclosure. To reduce transaction costs, improve market transparency and avoid transition washing in the region, it is necessary to promote interoperability of the transition taxonomies currently being developed on the Chinese mainland with international and Hong Kong standards whenever these taxonomies become available[1]. It is also essential to find consensus on mandatory information disclosure for transition activities among different regulators, promote mandatory information disclosure such as that advocated by the Task Force on Climate-Related Financial Disclosures, and facilitate market readiness for adopting international climate disclosure standards like those of the International Sustainability Standards Board in the region which will be served as a pioneer for China nationwide.

3. Encourage the GBA's financial institutions and enterprises to set net-zero targets. Setting net-zero targets is key to supporting businesses, including leading financial institutions and enterprises, to develop a credible technical roadmap and investment or financing plan for decarbonisation, with independent assessment for this progress. Existing green finance associations in the region, like GBA-GFA, Hong Kong GFA, and the Guangdong Green Finance Committee, can encourage financial institutions and enterprises to set net-zero targets, based on decarbonisation pathways from this study or other initiatives, such the Science Based Target initiative (SBTi) and the Hong Kong Exchange's *Practical Net-Zero Guide for Business*. The net-zero targets should be ambitious enough to achieve net-zero well before 2060. Some international banks that have joined SBTi, like Standard Chartered Bank, can play leading roles in target-setting, disclosure and engagement with corporate clients.

4. Develop a transition-related financial toolbox to scale up finance and accelerate the GBA's economy-wide transition.
The huge investment demand for the GBA's decarbonisation, $1.84 trillion, offers an enormous opportunity for financial institutions to mobilise private capital and scale up financial flows to transition activities and investments identified in the region and nationwide.

- **Debt:** Establish the GBA grant scheme to scale up the existing sustainability-linked and use-of-proceeds transition bonds in the identified sectors of manufacturing, buildings and transport. The scheme should adopt both policy supports on the Chinese mainland (e.g., subsidies for bond issuance and discount interest on green credit) and the Hong Kong Monetary Authority (HKMA) Green and Sustainable (GSF) grant scheme. In addition, carbon-related products can be innovated to link with carbon assets, such as Chinese Emissions Allowances (CEAs), China-Certified Emissions Reductions (CCERs) and carbon credits recognised in the international market. The carbon-related products are embedded carbon assets in the structure of SLLs and other carbon-trading products. They support energy-intensive enterprises in developing transition targets and technical roadmaps which follow the requirements of the Sustainability-Linked Loan Principles issued by the Asia-Pacific Loan Market Association, as well as those of China or GBA regional transition finance taxonomies.

- **Equity:** Consider setting up a tax concession private equity fund to invest in companies that are adopting new low-carbon technologies, upgrading high-carbon industries by using digital technologies or incubating innovative small and medium-sized enterprises in the key sectors; and utilise potential revenue from carbon allowance auctions to establish the industrial low-carbon fund, in collaboration with local governments for decarbonisation technology investment and projects in the GBA.

- **Insurance:** Innovate insurance products, such as green building insurance, mandatory liability insurance for environmental pollution, carbon-reduction loss insurance, carbon asset–related insurance and new low-carbon equipment insurance, to insure energy performance during the financing tenor.

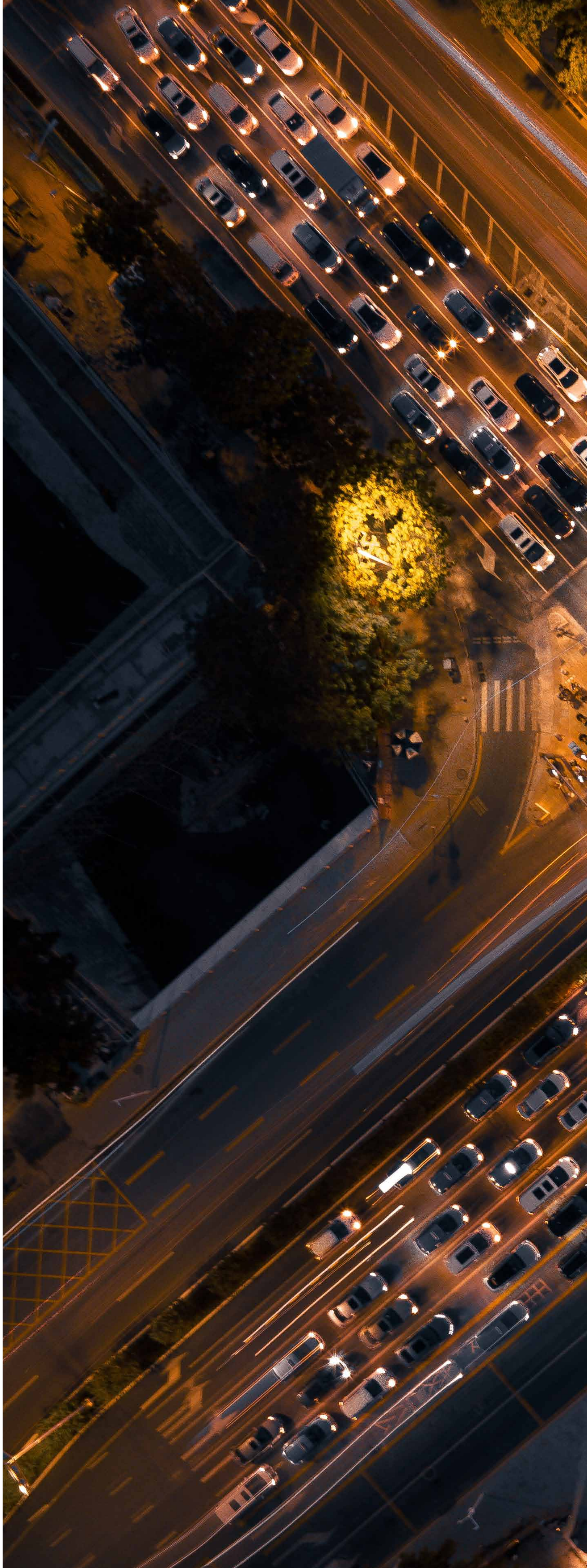
5. Develop industry-specific financial solutions for the key sectors in the GBA.

- **Manufacturing:** For the key energy-intensive industries identified by Chinese regulators, such as steel, petrochemicals, cement, ceramics and papermaking, financial institutions can partner with multinational corporations (MNCs) in those sectors to scale up sustainable supply chain finance (SSCF) along the value chain. Leveraging SSCF can assign value to MNCs' supply chain sustainability and provide tangible incentives to suppliers and their buyers.

- **Buildings:** Leveraging tools for financing decarbonisation to scale up green retrofitting via sustainability-linked loans, implement an effective energy performance contracting business model for green retrofitting, adopt a green insurance mechanism in the GBA to address term mismatch, expand recognition of international green building certifications (such as the Financial Corporation Excellence in Design for Greater Efficiencies [EDGE] certificate) to attract international funding and conduct operational assessment and disclosure of energy data.

- **Transport:** Through policy incentives for new energy–based freight fleet, electric and hydrogen fuel cell vehicles, mobilise private capital for construction in the region of new-energy vehicle infrastructure, such as charging piles and hydrogen refuelling stations. Encourage local governments to issue sustainable municipal bonds to invest in railways and leverage SLL and transition financing for shipping financing (beyond International Maritime Organization and duel-fuelled vessels).

6. Use local and regional carbon markets to accelerate the GBA's transition. The national carbon market, which is expected to expand the covered sectors and reboot the transaction of CCERs, presents an opportunity to connect with the Chinese mainland CCER market, the Hong Kong 'Core Climate' and international voluntary carbon markets linking capital with climate-related products worldwide. The existing Guangdong and Shenzhen carbon emissions trading systems can also help accelerate the GBA's transition by pioneering expansion of the scope of regional carbon markets to include the covered sectors not included in the national carbon market: ceramics, textiles, data centres, buildings and transport. The possibility could also be explored of establishing a GBA regional carbon market linking to the Hong Kong market to pilot financial tools and derivatives.




黃大仙站 Wong Tai Sin Station

引言

背景

气候变化是当前全球各国共同面临的一项严峻挑战。在过去十年内，温室气体排放量不断上升，2019年达到590亿吨二氧化碳当量（GtCO2e），较2010年高出约12%（IPCC，2022）。按照将气温升高幅度保持在1.5℃之内的路径模型，全球温室气体排放将在2025年之前达到峰值，然后在21世纪50年代初达到净零排放（IPCC，2023）。

自2005年以来，中国已成为全球最大的二氧化碳排放国，2019年，中国的二氧化碳排放量占全球的28%，因此，中国在全球气候治理中发挥着关键作用。2021年，中国提出了新的国家自主贡献目标（NDCs），并承诺力争在2060年前实现碳中和，彰显了中国在这一问题上做出的庄重承诺。同年，中国政府发布了《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》，明确了碳达峰、碳中和目标，将全面绿色转型作为经济和社会发展的引领和支撑。

以“广东—香港—澳门”为基础的大湾区可以在转型中起到身先士卒的引领作用。大湾区的经济主要依赖于消耗化石燃料的排放密集型产业，难以在一夜之间彻底发生结构性变革。要实现全面绿色转型和低碳发展的要求，大湾区需要大力提高清洁能源的使用比例，对排放密集型产业进行转型升级，提高能源效率，逐步淘汰化石燃料。

大湾区必须立刻行动起来，刻不容缓。本研究详细列举了具体目标、政策措施、行动方案，指明了政府和私营部门各个利益相关方、相关机构未来需要发挥的作用，为大湾区提供了一条切实有效、落地可行的发展道路。

关于本报告

作为“Hong Kong 2050 is Now”倡议的一部分，本报告重点聚焦于大湾区，具体包括珠三角的九座城市（广东省的广州市、深圳市、珠海市、佛山市、东莞市、中山市、江门市、惠州市和肇庆市）及香港和澳门两个特别行政区（国务院，2019）。

本报告旨在将脱碳化解决方案与加快大湾区净零转型节奏所需的必要资金进行对接。首先采用“自上而下”的方法预测整个大湾区的宏观脱碳化路径，然后采用“自下而上”的方法分析制造业、道路交通运输业和建筑业三个重点能耗行业的具体脱碳化路径和解决方案，提出了实现30-60目标最需要采取的行动，并提出了更高的25-50目标，即2025年前实现碳达峰、2050年前实现碳中和，该目标与政府间气候变化专门委员会（IPCC）最新报告的建议一致。根据上述脱碳化路径，本报告估算了未来所需的投资额和金融支持转型机遇。

在研究中，我们使用来自大湾区各城市的公开统计数据对相关行业的发展和碳排放状况进行评估，并在情景分析的基础上对碳减排路径进行建模分析。由于

香港和澳门特别行政区的服务业在整个经济活动中的占比高达90%以上，工业活动较少，因此本报告对制造业的研究主要涵盖珠三角内的其他9座城市，对交通运输业和建筑业的分析则涵盖珠三角9座城市及香港特别行政区。由于无法获取相关数据，澳门特别行政区未包含在研究中。

根据报告估算，大湾区要在2060年前实现脱碳化目标，共需要约1.84万亿美元的资金，其中1.015万亿美元将用于制造业（以石化行业为主）、交通运输业和建筑业。根据对整个经济部门和各行业减排所需的投资额的估算，本报告系统梳理了现有的和潜在的脱碳化金融工具，总结了面临的障碍，并就如何利用金融工具加快大湾区脱碳进程提出了具体政策建议。

本文结构如下：

- 第1章到第4章系统性梳理了整个经济部门和重点排放行业（制造业、交通运输业和建筑业）的能源消费和碳排放现状。通过建立模型，估算了三种情景下2021—2060年大湾区各城市的能源消费量和碳排放量。
- 第5章到第6章估算了大湾区整个经济部门及三大重点行业的投资需求。根据大湾区GDP占全国GDP的比重和实现碳中和的国内投资需求，采用“自上而下”的方法估算了大湾区的投资总需求。我们还采用“自下而上”的方法，利用碳减排成本和碳减排技术的普及率深入分析计算相关行业的投资需求。此外，这两章还分析了转型金融的发展历程和脱碳化金融可能用到的工具，总结了使用这些工具加快大湾区脱碳所面临的主要挑战。
- 第7章提出了在推动大湾区的净零排放转型过程中对行业脱碳和金融实践的政策建议。
- 附录列明了本研究的研究范围、数据来源、研究方法、主要假设和情景设置。

中銀香港資產管理
MANDARIN ORIENTAL
The Henderson
EDDID
KMB

第一章

大湾区在实现碳中和过程中的排放缺口分析

大湾区的经济活力势头强劲，也是中国城市化水平最高的地区之一，有望率先实现碳达峰、碳中和，成为绿色低碳发展的区域性标杆（广东省人民政府，2021）。

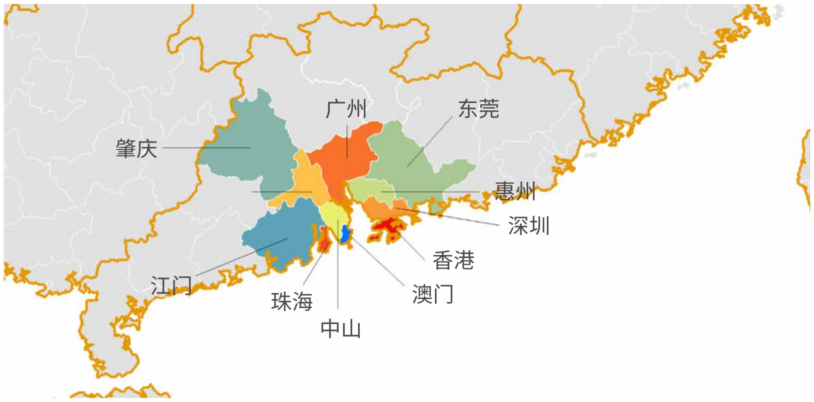
1.1 大湾区有望引领绿色发展和脱碳化进程

如图1所示，大湾区总面积约为56098平方千米，总人口超过8600万人，2020年GDP为16688亿美元（大湾区，2022）[2]，分别占全国总面积、总人口和GDP总量的0.6%、6%和11%。大湾区是推动中国经济腾飞的主要引擎，这一地位造成了显著的人口虹吸效应。截至2020年，大湾区的城市化率为87 %（广东省统计局，2021），远高于64%的全国平均水平（国家统计局，2021）。

中央政府高度重视大湾区在中国经济发展中所发挥的关键作用。作为拉动中国经济腾飞的引擎，大湾区在脱碳化方面也同样可以成为全国的排头兵。大湾区与长江三角洲地区、京津冀地区并列中国的三大国家重大战略区域。如表1所示，在这三大战略区域中，尽管大湾区的占地面积最小、人口最少，但其经济总量却位居第二，其人均GDP（22585美元）与长江三角洲地区（18200美元）和京津冀地区（11500美元）相比遥遥领先（国家统计局，2021）。大湾区服务业的比重达62%（广东省统计局，2021），也远高于其他两个地区（国家统计局，2021）。大湾区服务业的碳排放较低，有潜力成为脱碳化的佼佼者。

大湾区的二氧化碳排放已开始与GDP增长脱钩。自2005年以来，大湾区的碳排放增长速度慢于区域经济增速。从2015年之后，随着能源效率的提升和清洁能源的广泛使用，大湾区的碳排放呈下降趋势，而经济则继续保持增长势头。尽管2019年大湾区的碳排放出现了反弹抬头，引发了关于碳排放何时达峰的讨论，但也表明大湾区未来的减排工作仍任重而道远。尽管受新冠肺炎疫情的影响，2020年大湾区的碳排放增速暂时放缓，为4.57亿吨，约占全国二氧化碳排放总量的4%，如图2所示（香港特区政府环境及生态局，2023；公共与环境事务研究所，2022），但随着疫情后的经济复苏，2023年大湾区的碳排放很可能会再次反弹。

图 1 | **大湾区的地理位置**



来源：项目组制作。

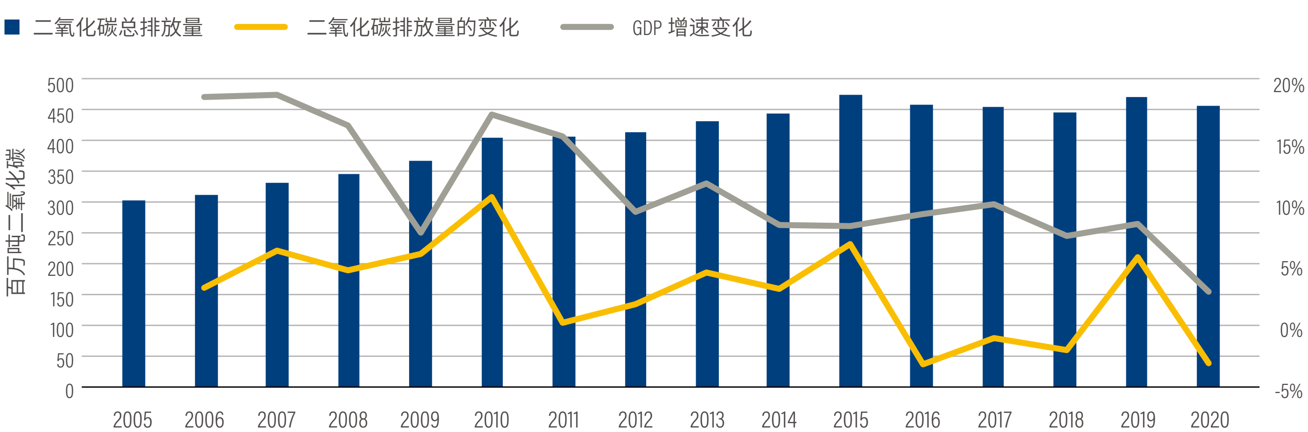
表 1 | **大湾区与中国其他城市群的对比**

	大湾区	京津冀地区	长江三角洲地区
占地面积（平方公里）	56,098	218,000	358,000
人口（万）	86.7	110.1	236.5
国内生产总值（亿美元）	1,958	1,290	4,280
人均GDP（美元）	22,585	11,500	18,200
第三产业占GDP比重	62%		

注：表中数据为 2020 年数据。

来源：相关数据来自 2021 年广东、北京、河北、天津、江苏、上海、浙江等省份的统计年鉴。

图 2 | **大湾区二氧化碳总排放量及二氧化碳排放量和GDP增速的变化**



注：由于缺少澳门的公开数据，此处的二氧化碳总排放量不包括澳门。

来源：香港的二氧化碳排放数据来自香港环境及生态局（2023）；珠三角各城市的二氧化碳排放数据来自 IPE 零碳地图（公共与环境事务研究所，2022）。GDP 数据来自《2021 年广东统计年鉴》（广东省统计局，2021）。

1.2 如果要更早实现碳达峰、碳中和目标，大湾区仍需要下大力气，采取行动

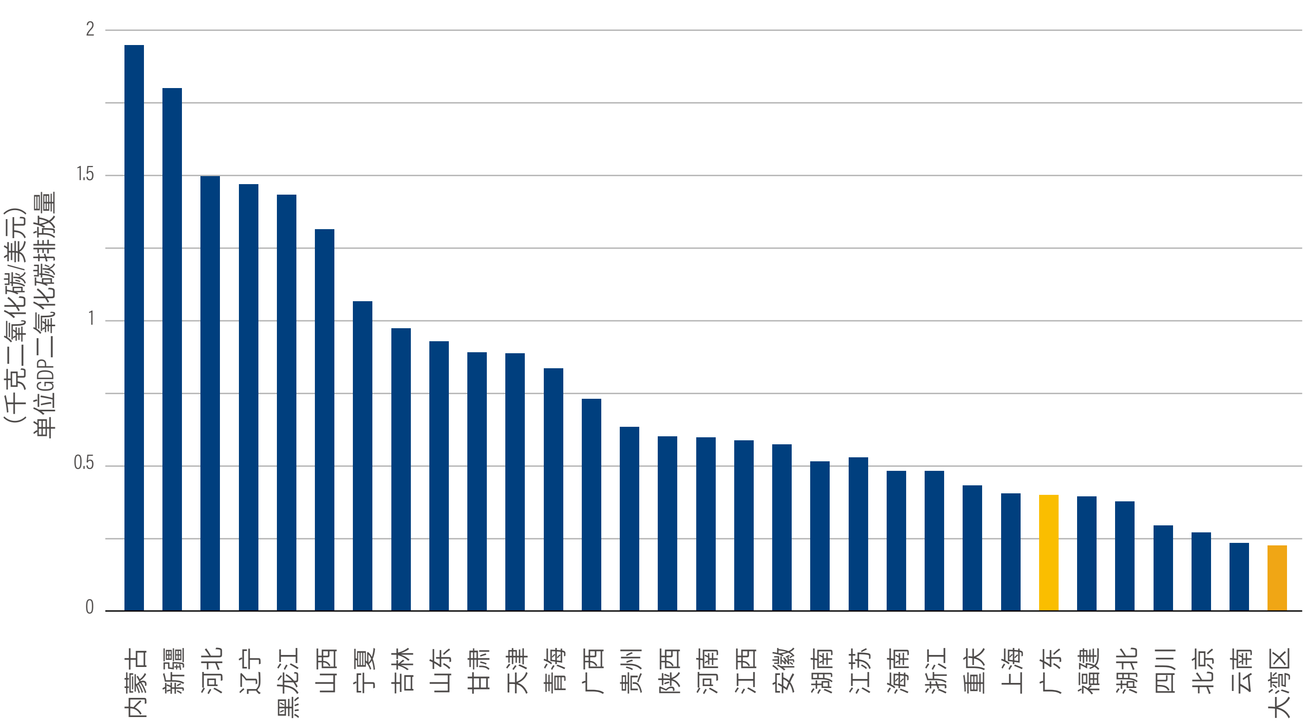
在促进低碳发展方面，大湾区一直走在全国的最前列。深圳、广州和中山分别于2010年、2012年和2017年被批准为国家低碳试点城市。经过多年的创新性探索，试点地区形成了鼓励低排放制造业、推广清洁能源、低碳建筑和低碳交通的政策框架和制度安排，形成了创新激励机制。广东省和深圳市进一步推进碳排放权交易体系（ETS）的试点工作。一方面，实施碳排放权交易，系统性地提高了区域低碳发展能力；另一方面加大对高排放企业的整治，为实现区域性减排奠定了坚实的基础。与此同时，大湾区内各乡镇、社区和工业园区也积极开展了近零排放的示范项目，开创碳中和的先河。香港是首个承诺在2050年前实现碳中和的中国城市，还明确出台政策，将禁止私家车使用化石燃料，到2035年使用化石燃料的私家车不再予以登记。香港也于1997年决定不再兴建新的燃煤电厂，2020年将煤电在发电中的比例成功地降至25%（温新元等，2022）。技术创新始终是实现碳达峰、碳中和的重要手段。大湾区拥有优越的科研环境和雄厚的研发基础。2021年，广东省的研发投入达620亿美元，居全国各省份之首（National Bureau of Statistics，2022）。

由于在提高能效、扶持低碳和清洁能源产业减排等方面成绩斐然，广东省在2020年成为碳强度最低的省份之一，如图3所示。同时，大湾区的碳强度仅为广东省平均水平的一半。

本研究通过估算大湾区的GDP总量和碳强度（详细方法见附录A），采用“自上而下”的方法估算大湾区2020—2060年间的碳排放总量，并设定了三种情景假设，即基准情景、30-60情景和25-50情景。（由于各行业实现碳达峰和碳中和的年份有所不同，因此行业分析中的“强化政策情景”和“零排放情景”等同于大湾区总体情况分析中的30-60情景和25-50情景）。“基准情景”试图回答以下问题：如果不采取更强有力的措施，如何及何时才能实现碳排放达峰和碳中和目标。30-60情景和25-50情景均预先设定了实现碳达峰和碳中和的年份，在本文分析中，我们试图回答以下问题：大湾区的减排速度要多快，才能与国家30-60目标保持一致？大湾区需要多大幅度的减排力度，才能在2025年实现碳达峰、在2050年左右实现碳中和？

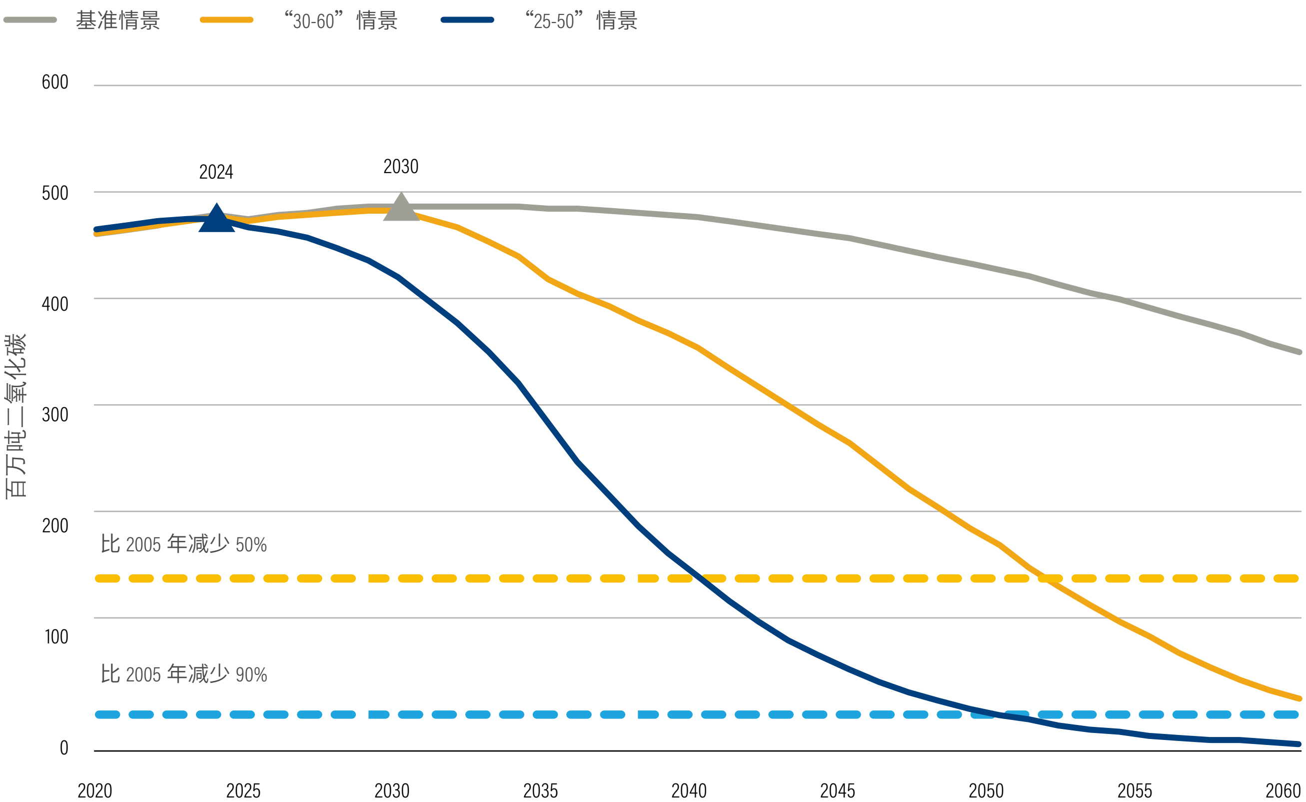
- 由于“十四五”规划中并未提出新的全国性或地方性碳强度目标，因此在“基准情景”下，我们假设各城市在未来每个“五年规划期”内的碳强度下降速度将延续“十三五”的水平，大湾区将

图 3 | **2020年中国各省份与大湾区的碳强度对比**



来源：项目组根据CEADs（中国碳核算数据库）和各省份统计年鉴进行估算。

图 4 | **大湾区到2060年的碳排放情景分析**



来源：项目组估算。

刚好在2030年达到排放峰值，但到2060年还将有剩余的3.55亿吨排放量需要予以抵消，才能实现碳中和（见图4），这一目标几乎无法实现。

- 在30-60情景下，大湾区的碳排放要在2030年前达峰，才能与国家30-60目标保持一致；如果碳强度下降速度能与“基准情景”相等，即可确保实现这一目标。达峰时排放量为4.8亿吨二氧化碳。但是从2030年开始，大湾区需要加大行动力度，才能确保减排幅度足以在2060年前实现碳中和。按照许多其他国家设定的目标，如果碳中和是指减排90%，并通过森林碳汇及碳捕获、利用和封存（CCUS）等负碳技术抵消10%的碳排放，则需要从2030年开始设定排放上限目标，2030—2060年间的年减排速度需要达到7.5%左右。

- 在25-50情景下，如果“十四五”期间碳强度可以下降24%，则大湾区可在2025年实现碳达峰，达峰排放量为4.67亿吨二氧化碳。由于该目标高于广东省在“十三五”期间实现的碳强度下降22.35%的目标，通过提高能效等措施实现减排目标的难度会更大，因此大湾区必须出台更加严格的政策和措施。如果想要在2050年左右实现碳中和，2025—2050年间的年减排速度应保持在16%左右。这种情景也与IPCC最新报告中提出的建议保持一致，从而确保实现《巴黎协定》设定的全球升温幅度控制在1.5℃的目标。


利昌金舖
亞洲燕窩
參茸批發中心
樓上
煌
DVD
Mercer St


SIX FEET DOWN
SINCERITY UNPARALLELED

第二章

大湾区制造业碳中和路线图

以制造业为主的工业部门支撑着整个大湾区的经济社会发展，其制造业产值占中国国内工业增加值的十分之一（广东省统计局，2021；国家统计局，2021），其竞争力对推动国内经济高质量发展举足轻重。

2.1 大湾区制造业现状

■ 制造业碳排放量约占大湾区碳排放总量的三分之一

2020年，大湾区制造业的碳排放量占大湾区碳排放总量的32%。其工业增加值从2010年的2620亿美元增至2020年的4920亿美元，但同期制造业占广东省GDP的比重却由37%降至29%（广东省统计局，2021）。随着服务业的飞速发展，制造业对大湾区经济增长的贡献率逐渐降低，其碳排放量也由2015年的1.67亿吨降至2020年的1.46亿吨，同期制造业的能源消费量由9700万吨标准煤降至9500万吨标准煤（见图5）。随着广东省社会经济转型升级进一步深化，全省经济由工业型向服务型转型，先进制造业升级至高端制造业，制造业产值占GDP的比重不断下降，其对区域经济的拉动作用也逐渐减弱。制造业产值的增长率由2010年13.8%的峰值降至2020年的4.9%。

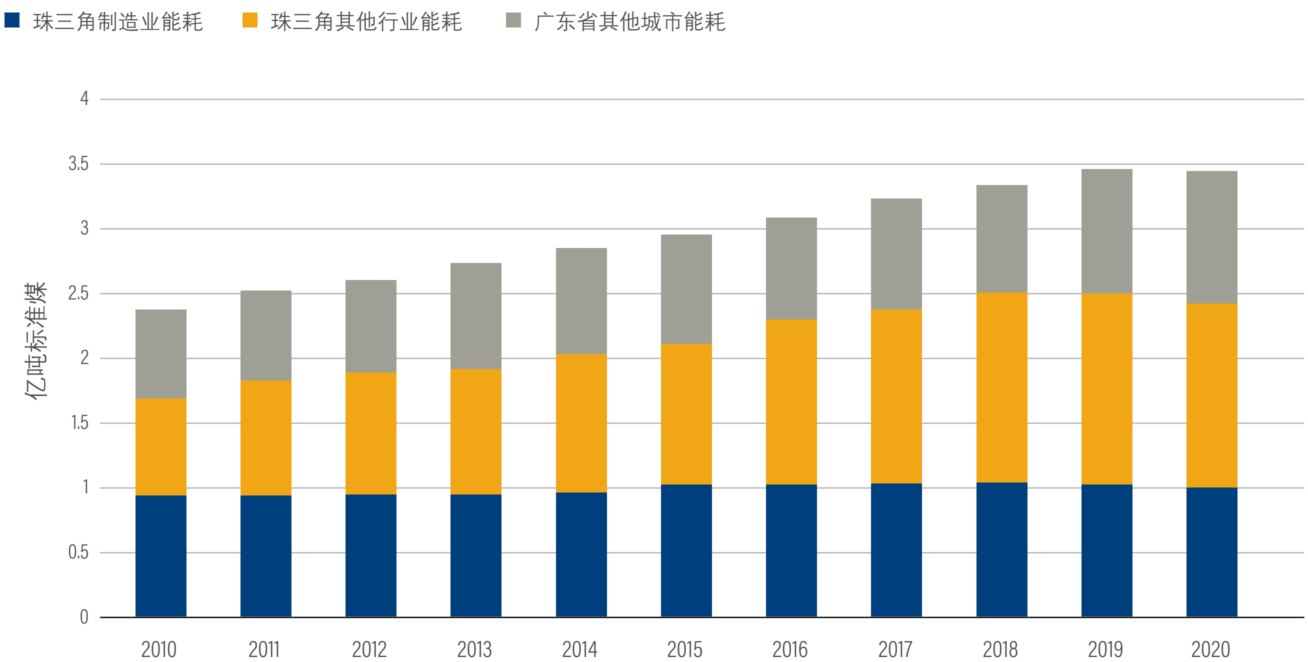
对能源消费弹性系数（即用能源消费增长率除以GDP或工业增加值增长率所得到的比率）的分析表明，大湾区制造业的能源消费增速慢于该地区GDP的增速，能源消费弹性系数正逐渐趋零，在最近的2019和2020两年甚至变为负数（广东省统计局，2021）。这表明制造业的发展正在与能源消费脱钩，能源效率不断提高。

■ 每座城市的主流产业布局各所不同，各城市政府需要根据本地情况制定相关政策，推动重点领域和行业的碳达峰行动

2020年，广州、深圳、东莞、佛山、惠州五座城市的工业增加值占大湾区工业产值的79.5%，深圳位居榜首，其工业增加值是广州的1.5倍。大湾区的碳排放也具有相同的空间分布特征，主要集中在上述五座城市（见图6），占大湾区制造业碳排放的79%。惠州的情况较为特殊，它位于产业链的上游，生产石化和化工产品等原料，用于其他制造行业的生产。2017—2019年间，由于新建的大型石化项目陆续投产，惠州制造业的碳排放迅速攀升。

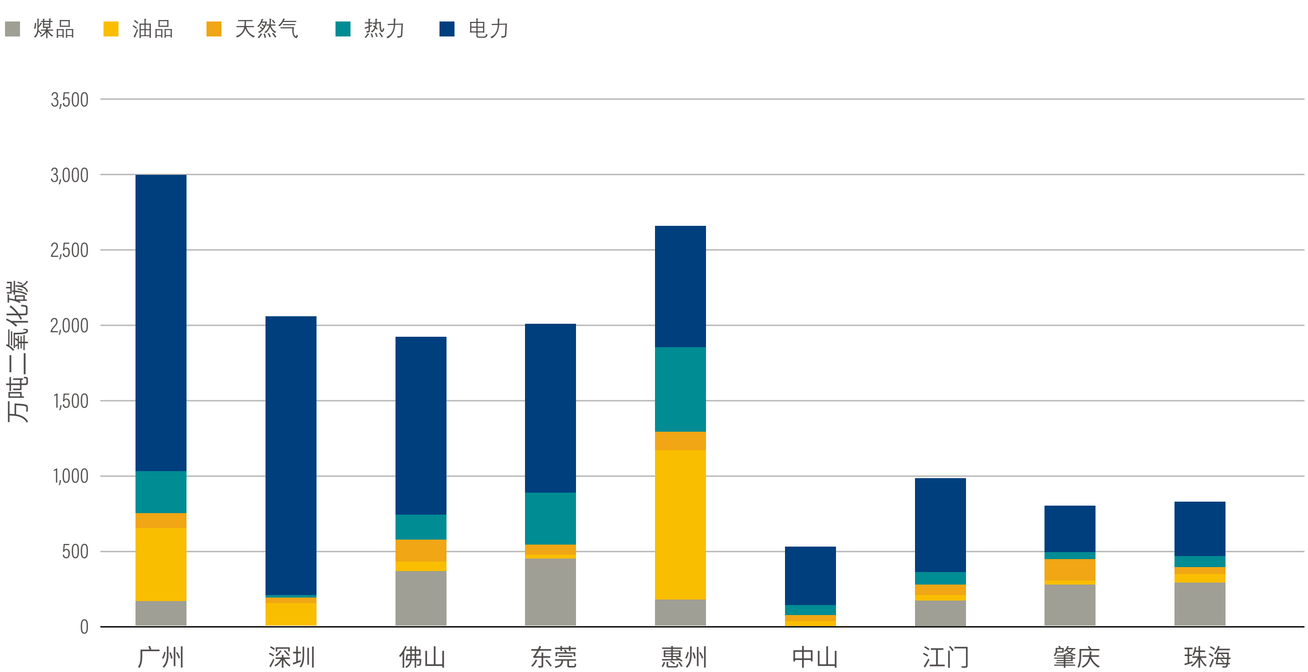
我们通过对比大湾区各城市的碳排放来源（见图6）和各行业的能源消费（见图7），发现制造业的碳排放与各城市的主流产业布局密切相关。发电产生的碳排放是图6中九座城市制造业碳排放的最主要来源。广东省有五座生产高能耗石化产品的城市，其中包括惠州和

图 5 | 大湾区能源消费量的演变(2010—2020年)



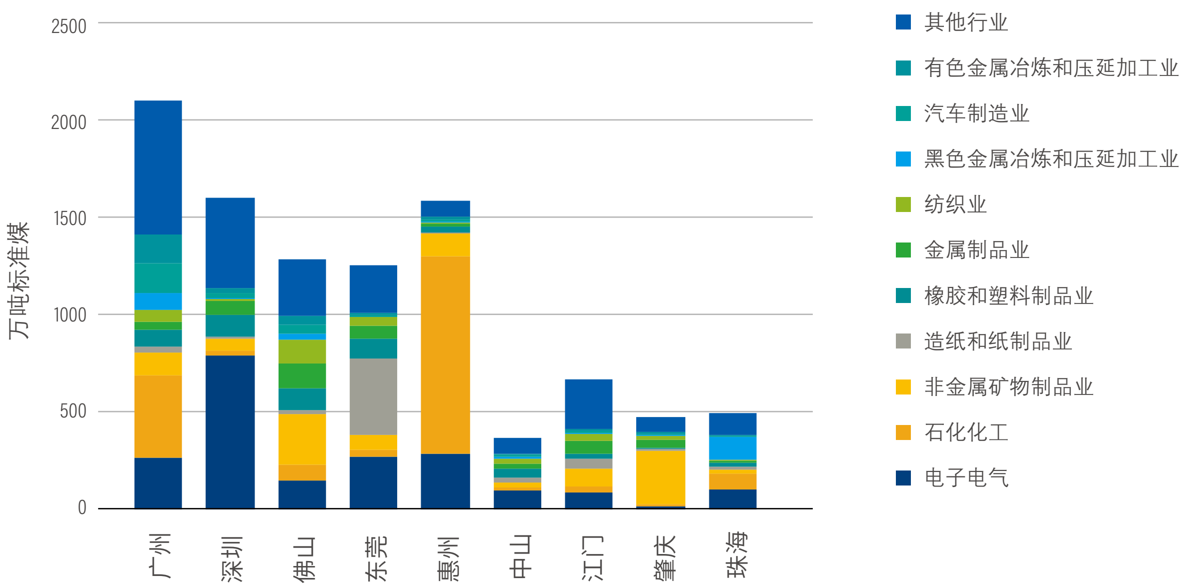
来源:根据 2011—2021 年的广东省统计年鉴总结。

图 6 | 大湾区各城市制造业碳排放的主要来源(2020年)



来源:根据大湾区各城市 2021 年统计年鉴总结。

图 7 | **大湾区各城市制造业能源消费的行业构成(2020年)**



来源:根据大湾区各城市2021年统计年鉴总结。

广州,石油产品是惠州的第一大排放源、广州的第二大排放源。在佛山、东莞、肇庆和珠海,煤炭则是其制造业碳排放的主要来源:佛山用于生产陶瓷(非金属矿物制品),东莞用于发电和造纸,肇庆用于生产水泥(非金属矿物制品),珠海则用于钢铁冶炼加工(黑色金属冶炼和压延加工)。以惠州市为例,当地政府在制定相关政策、推动重点领域和行业实施碳达峰行动时,应重点关注石化化工行业的脱碳化和碳减排目标的制定。

■ 石化化工和电子电气行业是大湾区制造业脱碳关键

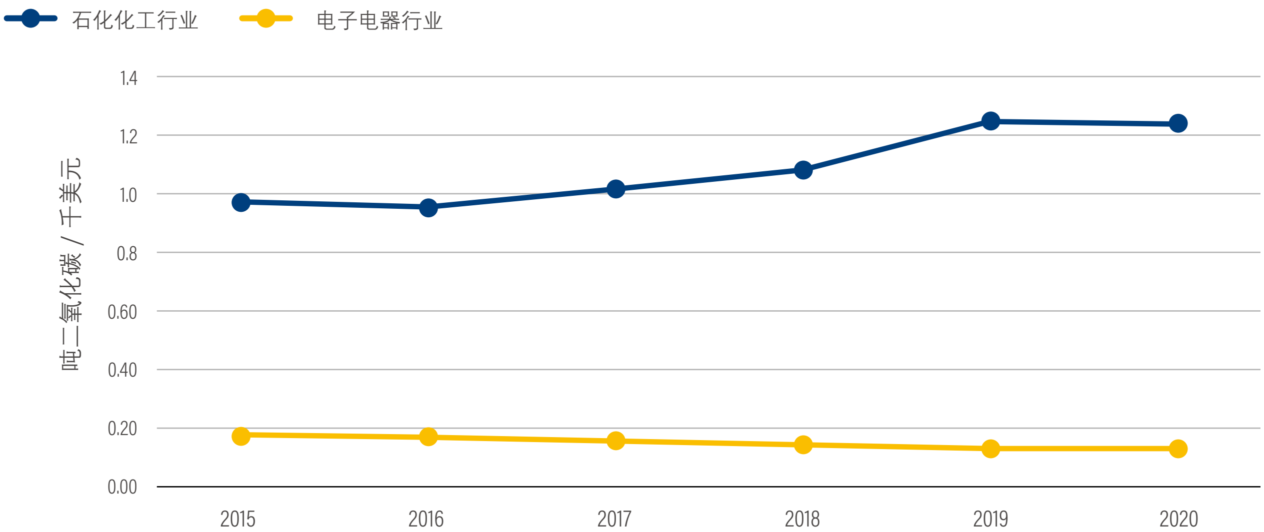
2020年,大湾区纺织、造纸和纸制品、非金属矿物制品、黑色金属冶炼和压延加工、有色金属冶炼和压延加工等高能耗行业的能源消费量较2015年下降了3%(广东省统计局,2021),而同期石化化工行业的能源消费量增长了13%。由于广东省计划进一步扩大产能,在广州和惠州建成两个综合炼油化工基地(广东省工业和信息化厅,2020),预计未来十年大湾区石化化工行业能源消费量还将进一步增长。

大湾区另一个高能耗重点产业是电子电气(计算机、通信设备及其他电子产品、电力机械和设备)。2015—2020年间,电子电气业的能源消费量增长了18.6%,占2020年大湾区制造业能源消费量的19.8%,工业增加值复合增长率达到6%。电子电气业是推动工业增长的引擎,大湾区正计划在珠江东岸打造电子信息产业群,将深圳作为研发中心(国务院,2019),东莞和惠州等城市作为生产基地(《南方日报》,2021a;东莞市商务局,2020)。

尽管大湾区能源消费量持续增长,但由于制造业减少了化石燃料的使用,清洁能源在电力供应中的占比稳步提升(2018年至2020年增长了5%),因此,石化化工和电子电气行业的碳排放总量并未显著增加(广东电力交易中心,2022)。2015—2020年,大湾区石化化工行业的碳排放量出现波动,2018年曾达到3089万吨的峰值,但2020年则降至2958万吨,可能受到新冠肺炎疫情的影响。大湾区电子电气行业的碳排放总量由2017年的2765万吨逐渐降至2020年的2570万吨。

这两大产业在2015—2020年间的碳强度轨迹截然不同(见图8)。石化化工行业的碳强度大约增长了27%(由0.975吨二氧化碳/千美元升至1.242吨二氧化碳/千美元),原因是2017—2018年间一些大型石化项目在惠州陆续投入试运行,消耗了较多能源,但试运行阶段的工业增加值并未相应增长。相比之下,电子电气行业的碳强度下降了约29%(由0.176吨二氧化碳/千美元下降到0.124吨二氧化碳/千美元)。因此,深入研究大湾区石化化工行业的碳中和路径至关重要。石化化工行业在努力实现碳达峰的过程中面临重重

图 8 | **大湾区石化化工和电子电气行业的碳强度轨迹(2015—2020年)**



来源:根据2016—2021年广东统计年鉴总结。

挑战。

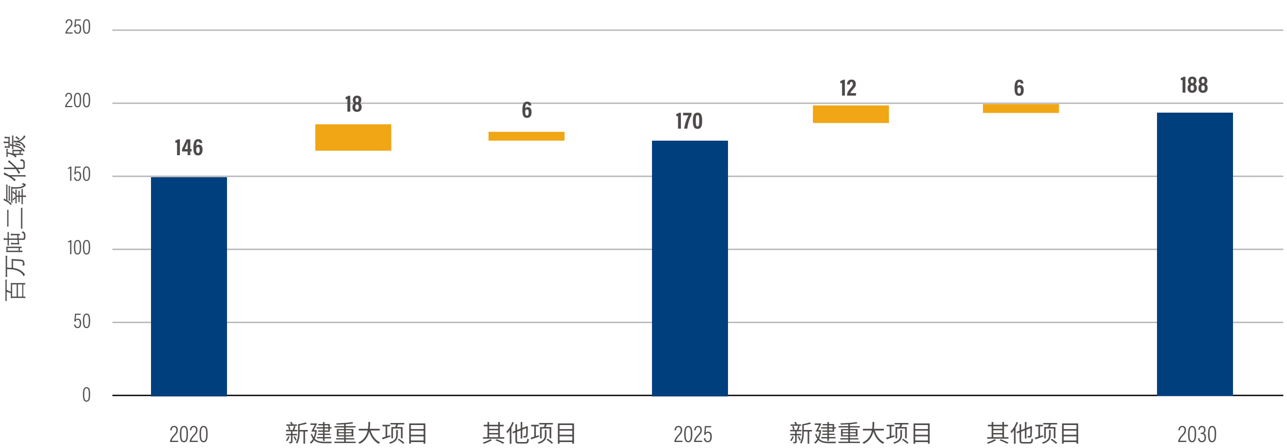
2.2 情景分析和减排潜力

■ **大湾区制造业预计将在"十五五"期间实现碳达峰,2055—2060年左右实现碳中和**

本节通过情景分析,概述大湾区制造业的脱碳化路径,然后提出具体的脱碳化路径建议。我们提出了三种情景假设,即基准情景、强化政策情景、零排放情景(情景分析的详细方法参见附录B)。

在基准情景下,2025年大湾区制造业能源消费总量将达到1.10亿吨标准煤,2030年将达到1.24亿吨标准煤。新建重大项目(即能耗大于一万吨标准煤,并于2021年前获广东省能源局批准的项目)将导致2021—2030年珠三角的碳排放量增加2940万吨,而其他项目的碳排放量将增加1280万吨。在基准情景下,2025年大湾区制造业的碳排放总量将达到1.70亿吨二氧化碳,2030年将达到1.88亿吨二

图 9 | **基准情景下若不采取减排干预措施大湾区制造业的碳排放增量**



注:新建重大项目是指能耗大于一万吨标准煤并且2021年前获广东省能源局批准的项目。
来源:项目组估算。

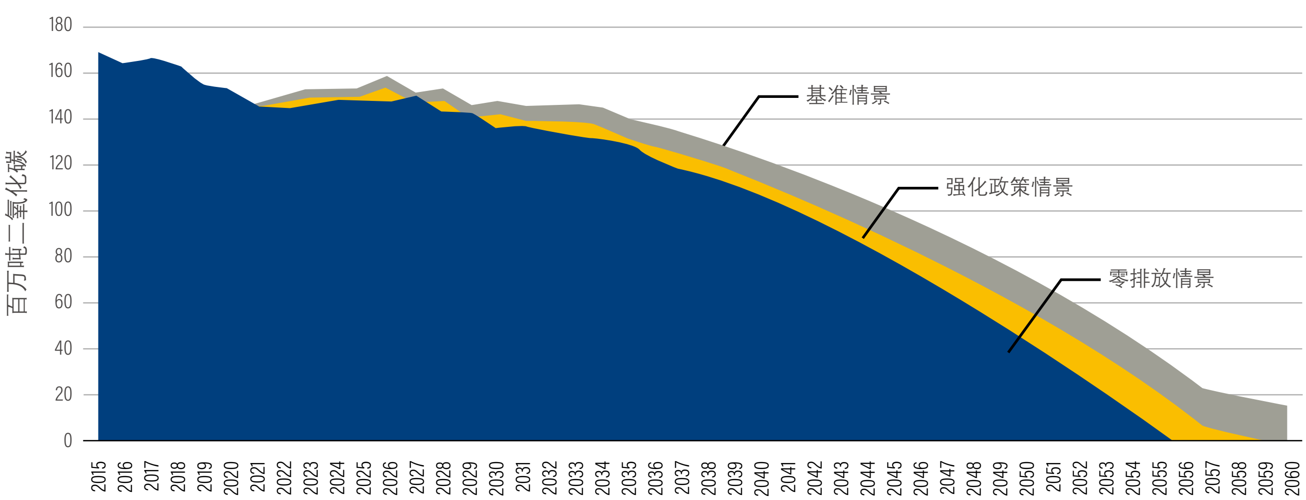
氧化碳（见图9）。

三种情景分析将针对调整能耗强度目标（单位工业增加值的能耗）、逐步淘汰化石燃料、应用节能技术以及实现电力和供热系统脱碳几个方面进行不同的情景设定。由于惠州埃克森美孚乙烯一期项目将于2025年左右投入运营，届时会对能源使用和碳达峰产生巨大影响。在三种情景下大湾区制造业都将在2027年前实现碳达峰：基准情景下其碳排放峰值为1.54亿吨，强化政策情景下为1.50亿吨，零排放情景下为1.47亿吨。然而，在"基准情景"下，大湾区制造业在2060年前无法实现碳中和，将仍有1600万吨碳排放，而在"强化政策情景"和"零排放情景"下，预计会在2055—2060年间实现碳中和（见图10）。

■ 电力和供热系统脱碳化对大湾区制造业实现减排作用最大

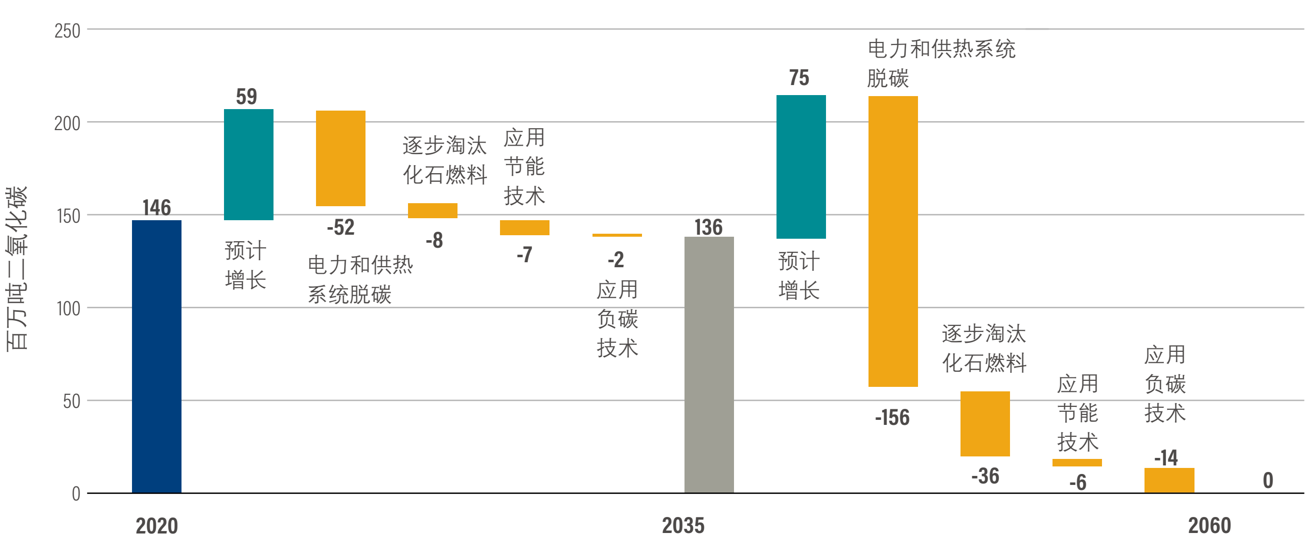
按照"零排放情景"的情景设定，我们分析了大湾区制造业的脱碳化路径（见图11）。一般来说，由于电力在大湾区制造业能源消费中的占比很大，电力和供热系统脱碳化对实现碳中和目标贡献最大，其减排量可占大湾区制造业减排量

图 10 ｜ **大湾区制造业碳排放情景分析**



来源：项目组估算。

图 11 ｜ **大湾区制造业的脱碳化路径选择**



来源：项目组估算。

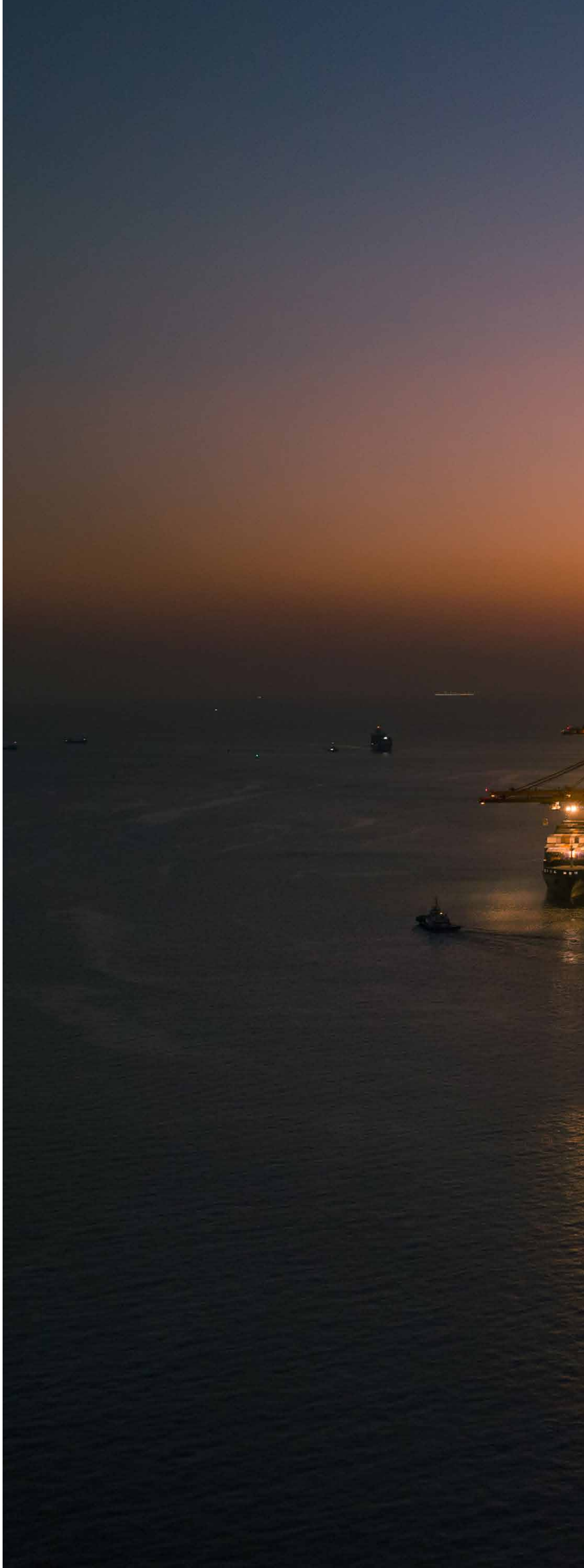
的74%。通过电网输送低碳电力、改用可再生能源发电和供热等措施，可实现电力和供热系统脱碳化。使用脱碳化电力来源，可实现热力过程的脱碳化。

■ 逐步淘汰化石燃料对减排的作用位列第二

虽然在2035年之前，在生产过程中逐步淘汰化石燃料对实现碳中和目标起的作用不及电力和供热系统脱碳化，但在中远期内，通过替换为低碳和无碳燃料和原料，减少工业过程产生的排放，会实现更大的减排量，在大湾区制造业减排量中的占比将达到16%。在中短期内，可通过在工业过程中灵活使用其他燃料、改用天然气等低碳燃料的方式，逐步减少化石燃料的使用。通过对高炉进行升级改造、鼓励使用天然气和废热回收利用等一系列技术措施，可以进一步减少二氧化碳的排放量。根据2021年各城市统计年鉴计算，2020年，大湾区制造业的煤和石油消费分别产生了1898万吨和1793万吨二氧化碳。在中短期内，可将制陶瓷业的窑炉、造纸和纺织业的锅炉中使用的煤替换为天然气等低碳燃料。但由于技术局限性，水泥、石化和化工业短期内难以减少煤和石油的消费。

从长远来看，逐步减少化石燃料就需要逐步淘汰煤、天然气和石油等所有化石燃料。制造过程中需要采取技术改进，在水泥、石化和化工业减少煤炭和石油的消费。原材料生产创新也可以减少使用化石燃料来生产氢、甲醇和氨。石化和化工业可以将氢作为燃料和原料融入生产过程，使用生物质生产生物柴油等生物燃料。

但即便如此，预计到2060年，大湾区仍将无法完全淘汰化石燃料。尽管化石燃料的用量无法直接减少（麦肯锡中国区，2021），但可以通过碳捕获、利用与封存（CCUS）等二氧化碳去除技术予以抵消。在“零排放情景”下，预计到2060年，大湾区的煤、石油和天然气消费将分别排放二氧化碳430万吨、770万吨、150万吨。




EVERGREEN

第三章

大湾区道路交通运输业的碳中和路线图

2019年，广东省道路交通运输业的碳排放量占能源相关总排放量的18.7%（中国能源统计年鉴委员会，2020），而在大湾区各城市中，这一占比更高。2017年，道路交通运输业的能源消费量占大湾区能源消费总量的31%（谢克昌等，2020），对于深圳市，该比例为36%。未来，随着大湾区的持续快速发展，交通运输需求日益扩大，发展低碳交通运输和新能源汽车（NEVs）[3]迫在眉睫。

3.1 大湾区道路交通运输业现状

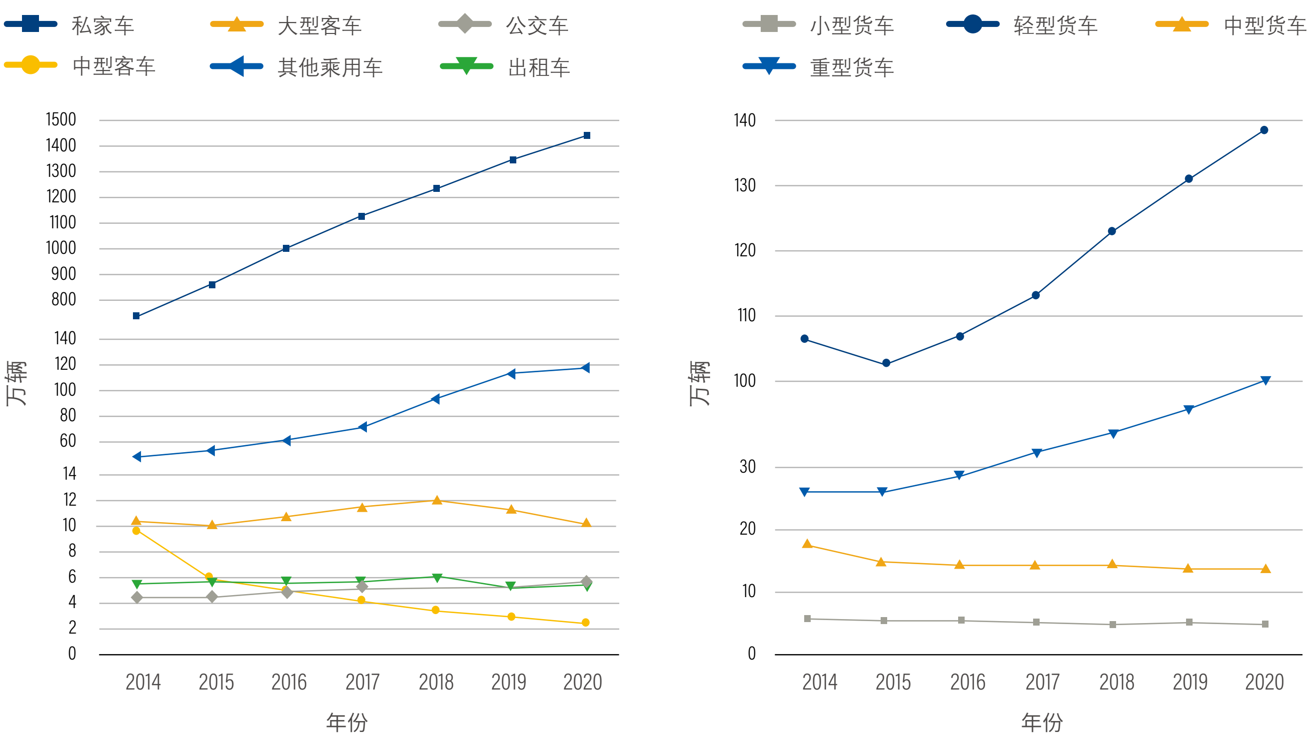
■ **私家车、轻型货车、重型货车的数量快速增长是最主要的碳排放来源**

大湾区的大多数车辆为私家车（广东省统计局，2021）。在2015—2020年间，乘用车数量急剧上升，其中私家车、网约车[4]、政府公车和企业用车的增长趋势十分明显（见下页图12）。私家车数量增长了54%，年均增速达9.0%。在政府大力推动发展公共交通的政策影响下，大湾区公交车数量有所增加，但中型客车和出租车的数量略有减少。

2015—2020年间，大湾区货运车辆的数量增长了48%，年均增速达8.1%（广东省统计局，2015—2021年）。如图12所示，重型货车的年均增速（12%）高于轻型货车（8.1%）。

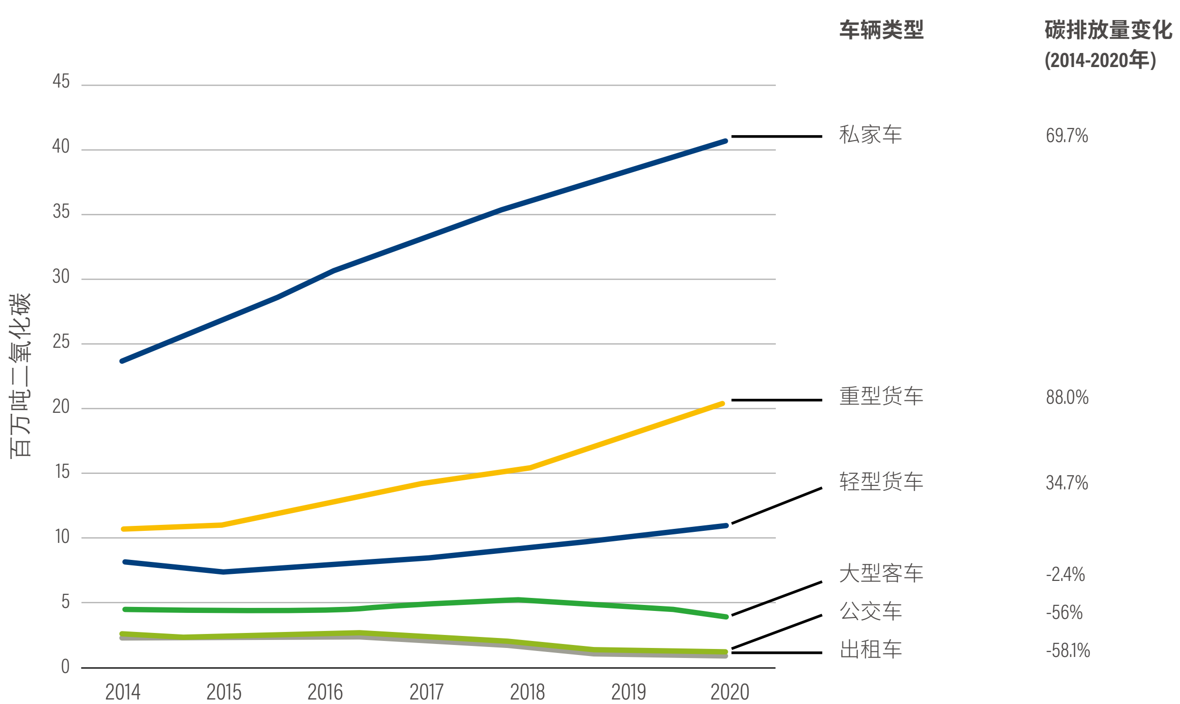
图13（见下页）显示了在2014—2020年间，出租车、公交车、大型客车、私家车、轻型货车和重型货车产生的碳排放量。出租车、公交车和大型客车的排放量呈下降趋势。其中，出租车和公交车的排放量分别下降58.1%和56%，主要原因是大量出租车和公交车更换为混合动力汽车和纯电动汽车，因而排放量降幅明显。截至2020年，随着新能源汽车的不断推广和广泛应用，大湾区的所有公交车和一半以上出租车都已更新为新能源汽车；深圳则于2020年率先实现了公交车和出租车的全面电动化（广东省能源局，2022）。相比之下，大湾区的私家车和货车仍以燃油车为主。2014—2020年间，私家车、轻型货车和重型货车不仅在大湾区碳排放总量中的占比高，排放量增速也最快，分别达到69.7%、34.7%和88.0%。因此，严格控制并降低这三类车辆的碳排放量对于解决大湾区交通运输业的碳排放问题至关重要。

图 12 | **大湾区乘用车和货车的构成（按类型）**



注：其他乘用车包括网约车、政府公车和企业用车。
来源：根据 2015—2021 年广东统计年鉴总结。

图 13 | **大湾区交通运输业的碳排放情况（按车型）**



来源：项目组根据车辆构成和车辆的年行驶里程估算。

■ **广州、深圳和香港之外的大湾区城市碳排放量急剧攀升，对交通运输业的碳达峰构成重大挑战**

广州、深圳和香港等城市鼓励市民改用新能源汽车，减少碳排放。深圳和广州均已出台了燃油车的限购政策，但购买新能源汽车则不受此政策限制。深圳每年只允许销售8万到10万辆新的燃油车，但市民购买混合动力汽车和纯电动汽车则不受限制（深圳市人民政府，2019）。这一政策有效抑制了交通运输业对化石燃料的消费，2015—2020年间深圳道路交通能耗增长了11%，同期珠三角其他城市增长了近50%。

香港由于拥有一体化的交通与用地规划、四通八达的公共交通系统，并对私家车征收重税，因而其持牌车辆数量由2014年的72.83万辆增加至2020年的80.27万辆，增幅仅为10.2%（香港运输署，2022）。香港交通运输业的碳排放总量甚至由2015年的740万吨减少至2020年的660万吨，降低了10%。这主要得益于香港采取了积极的政策措施，通过完善成熟的技术、力度强劲的激励措施推动汽车电动化。同时，香港还出台了一系列出行需求管理措施，如征收车辆首次登记税（FRT）、牌照年费（ALFs）、停车位购买费和道路（隧道）通行费等，管理私家车的购买和使用（薛露露等，2022）。

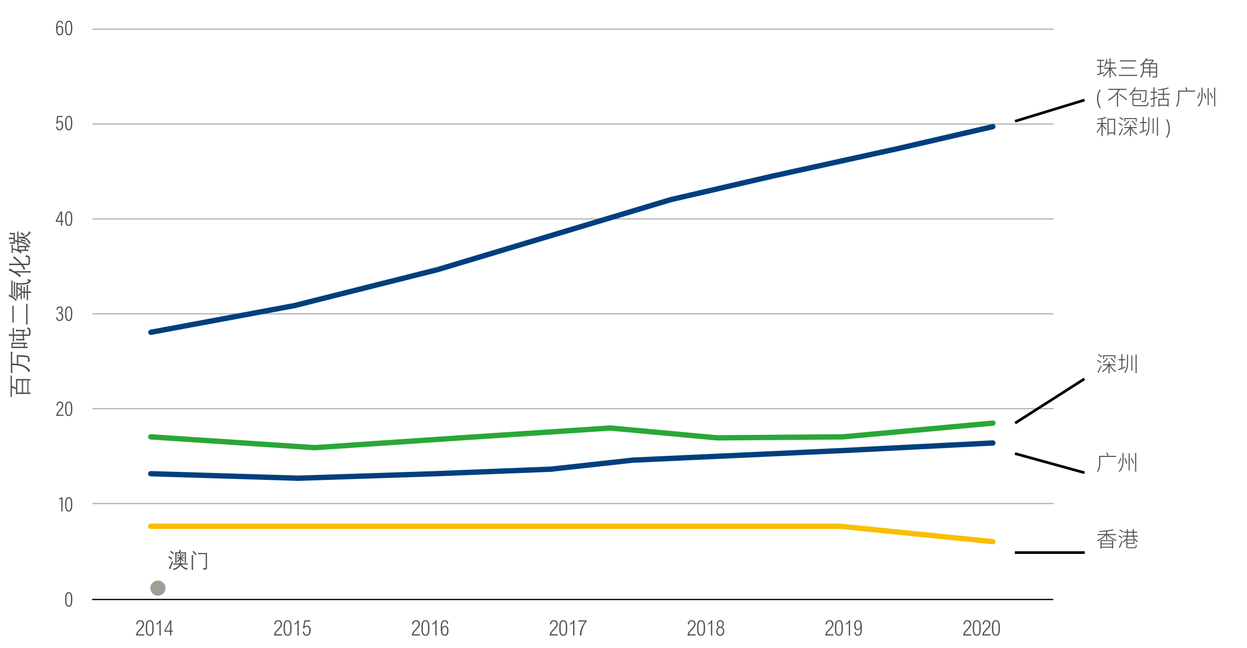
尽管这几座城市在交通运输业的节能减排方面付出了超乎寻常的努力，但2015—2020年间大湾区交通运输业的能源消费总量仍然猛增了42%。图14显示了大湾区城市（除广州、深圳和香港外）的碳排放增长量的主要来源。这些地区由于不限购私家车，并且轨道交通网络和绿色交通基础设施不发达，导致私家车越来越多，城市道路车满为患、拥挤不堪。燃油车备受消费者的青睐，低碳出行的交通工具占比很低，甚至日益下降。这些城市（除广州、深圳和香港外）缺乏经济激励措施、宣传手段、完善的电动车充电站等基础设施，难以鼓励人们购买新能源汽车。2015—2020年，这些城市的碳排放量激增61%，大约是广州碳排放量增速（31%）的两倍、深圳碳排放量增速（11%）的5.5倍以上。

■ **目前，大湾区乘用车能源正在由传统燃料向清洁能源转化，但货运车辆仍以燃油车为主**

如图15所示，汽油车仍然在大湾区车辆总体构成中占据主导地位。2014—2020年间，大湾区的汽油消费量增长了38%以上，但同期柴油消费量温和仅增长了23%（广东省统计局，2021）。具体计算方法见附录C。

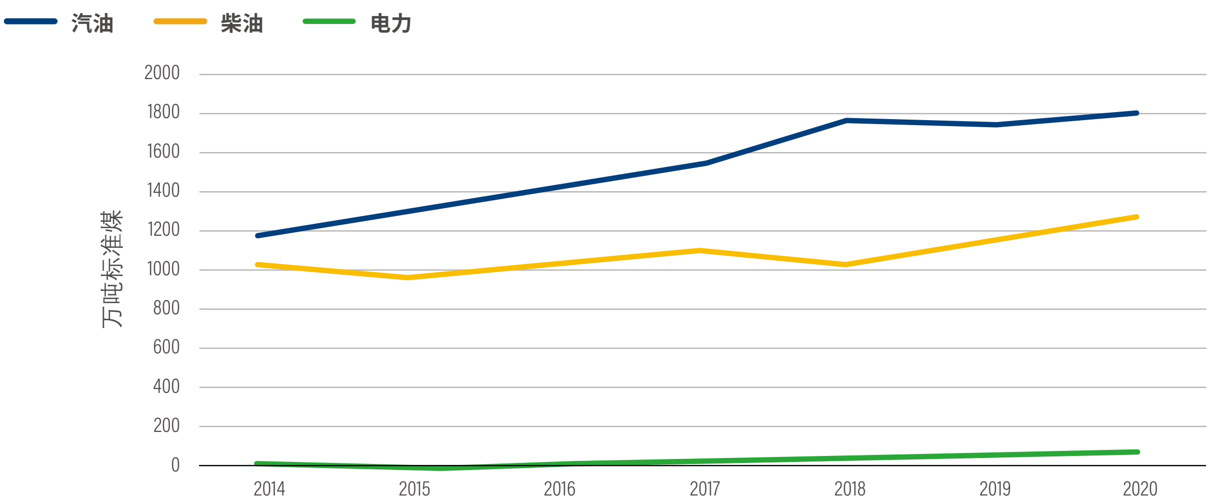
在乘用车当中，汽油车正逐步被清洁燃料车型所取代，如天然气车、混合动力车和电动车。在广州和深圳，10%以上的私家车是新能源汽车，而2017—2021年间在香港注册的电动私家车的比例也增长了近两倍，从8.8%跃升至24.4%。“十三五”期间，大湾区着力打造更加绿色、更可持

图 14 | **大湾区交通运输业的碳排放（按地区）**



来源：项目组根据2015—2021年广东统计年鉴、香港环境及生态局（2022）、中华人民共和国生态环境部（2018）提供的相关数据估算。

图 15 | **大湾区交通运输业的能源消费（按燃料）**



来源：项目组根据据 2015—2021 年广东统计年鉴估算。

续的交通运输行业，重点推动在公共交通领域广泛使用新能源汽车。尽管公共交通的电力消费在交通运输业中的占比依然很小，但截至2020年已经翻了一倍，达到了2%。

然而，货运车辆仍以柴油车为主，柴油车在大湾区的中、重型货车中占到了90%以上。虽然电动重型货车已经完成了测试，但由于成本高昂、续航里程有限，广泛应用仍面临阻碍。随着近些年电动汽车技术日趋成熟，电动轻型货车有望迅速得到青睐。氢燃料电池汽车是新能源货车的另一条发展路径。目前，佛山等一些城市正在开展小规模示范项目，但目前仍无法实现大规模商业化。

■ **交通运输业的现行政策存在以下六个方面的差距和不足：**

在“十三五”期间，大湾区的交通运输业在节能减排方面取得了长足进展。然而，快速增长的运输需求仍为顺利实现碳达峰、碳中和带来诸多挑战。

1. 非化石燃料在电力部门的占比仍然较低。2018—2020年间，广东省的化石燃料在发电行业的占比保持在55%左右，非化石燃料（水电、核能、太阳能、风能和生物质能）占比则逐步提高至23%（广东省电力交易中心，2022）。
2. 目前，氢能生产主要来源为煤制氢（占90%）和工业副产品氢（占7.4%），绿氢仅占0.03%。
3. 新能源汽车在大湾区的渗透率参差不齐，广州、深圳和香港遥遥领先于其他城市。阻碍新能源汽车在其他城市发展的主要因素包括需求低迷、基础设施薄弱、缺乏激励政策等。另外，大湾区城市的交通相关规划仍缺乏推广零排放中、重型货车的明确目标和措施，而这些目标和措施是实现中长期减排的关键所在。
4. 基础设施（如电动汽车充电站）不足也严重阻碍着新能源汽车的广泛应用，这一问题在小城市尤其突出（Huang et al.，2018）。尽管广州、深圳和香港外的很多大湾区城市通过提供补贴，使电动车价格更亲民，但由于缺乏广为覆盖的充电网络，电动车的推广一直面临着重重困难（广东省能源局，2021）。
5. 大湾区一些城市的“十四五”规划中设定的公共交通占比目标偏低。香港90%的客运已经通过公共交通完成了（香港环境及生态局，2017），广州、深圳和佛山设定的全市公共交通在机动车出行中的占比目标为到2025年要达到50%以上（广州市交通运输局，2021；深圳市交通运输局，2022；佛山市人民政府，2021）。但惠州、肇庆和江门设定的城市中心地区公共交通占比目标偏低：到2025年仅达到35%到50%。东莞和中山尚未制定通过公共交通优先发展绿色出行的量化目标。
6. 由于大湾区缺乏互联互通的铁路网络，因此大量货物需要通过公路运输，只有1.15%的货物通过铁路运输，远远低于9.06%的全国平均水平，而且这一比例在2015—2020年间进一步下降。大湾区拥有广州、深圳、佛山等多个货运枢纽城市，货运量将进一步增加，仅靠这些枢纽城市的努力无法抵消大湾区严重依赖且日益增长的碳排放密集型公路运输产生的碳排放。

3.2 情景分析和减排潜力

■ **更严格的政策可促使大湾区的交通运输业最早于2023年实现碳达峰**

通过分析现行政策和已发现的政策缺口，本研究根据新能源汽车的推广情况、燃油经济性的提升程度、运输方式的调整、年行驶里程、清洁能源在上游电力中的占比、氢能生产等方面的不同假设条件，共设定了三种情景——基准情景、强化政策情景和零排放情景。由于模型的局限性，本研究不考虑影响大湾区交通运输业碳排放的其他措施，如自动驾驶、共享出行、交通碳定价、零排放区（详细方法见附录C）。

图16显示了情景分析的结果。在“基准情景”下，大湾区交通运输业的碳排放将继续增长，于2045年达到1.45亿吨的峰值。2060年，大湾区每年仍会排放1.40亿吨的二氧化碳，是2020年的1.8倍。在“强化政策情景”下，到2026年，大湾区交通运输业的碳排放将比2020年水平增长31%，达到1.013亿吨的峰值，然后到2060年降至2000万吨，比2020年水平低80%。在“零排放情景”下，大湾区交通运输业的碳排放将会在2023年达到9580吨的峰值，到2060年减排幅度接近100%。分析表明，大湾区在2060年前实现碳中和是可以做到的，但需加大决心，尽早行动。大湾区不同地区的达峰年度和达峰后的排放量变化情况见表2。

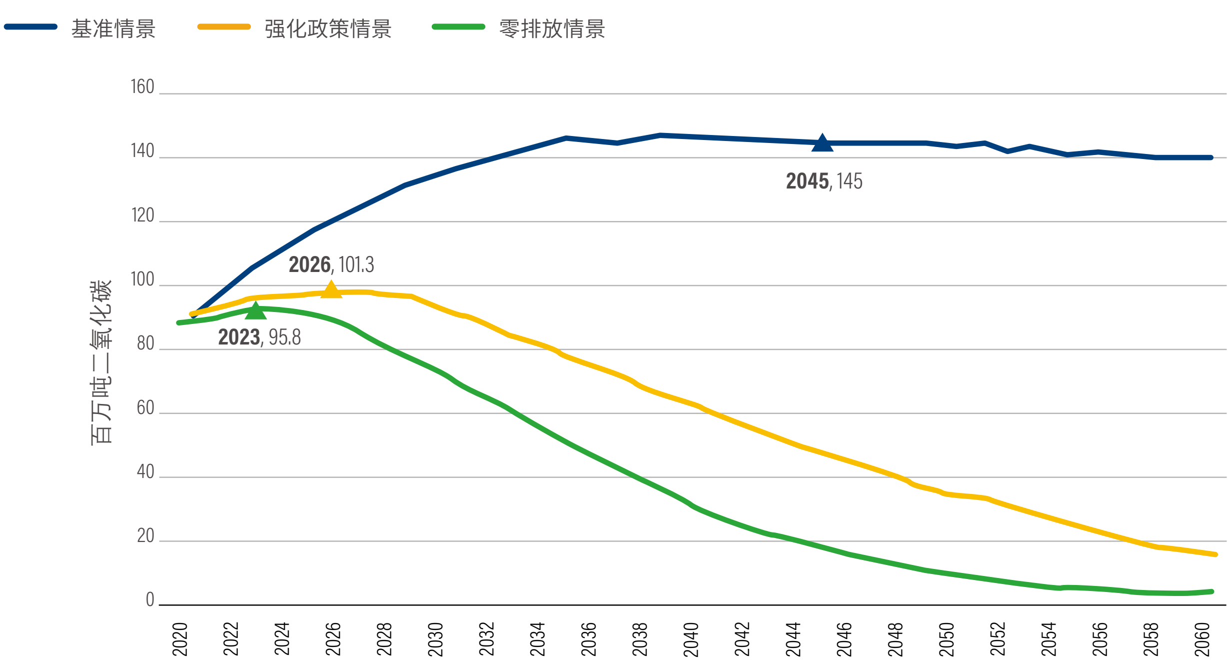
■ **除了已在道路交通运输业脱碳遥遥领先的深圳外，其他城市采取更有力的减排措施会取得显著的减排效果**

由于各城市的交通发展阶段不同，本研究将大湾区城市分为四组进行分析：广州、深圳、香港和其他城市（不包括广州、深圳和香港），如图17所示。

在“强化政策情景”和“零排放情景”下，广州的道路交通运输业碳排放将分别于2026年前和2024年前达到峰值；深圳的道路交通运输业碳排放都能在2023年前达到峰值；珠三角其他城市的道路交通运输业碳排放将在2027年前达到峰值，而如果采取更严格的措施，可提前三年于2024年达到峰值。

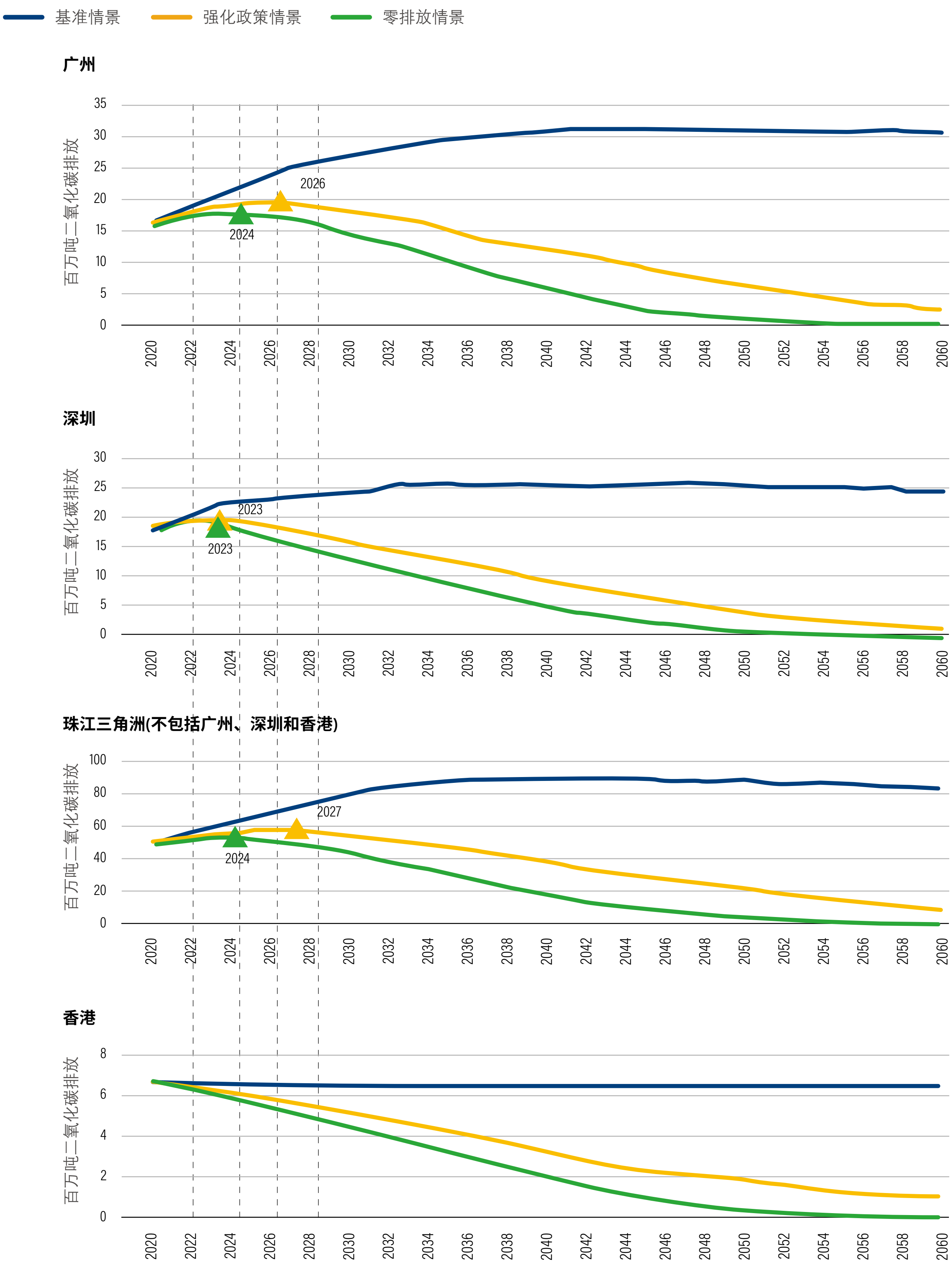
如果出台更为严格的政策，也可以进一步降低排放的峰值水平。例如，在“零排放情景”下，广州的碳排放量会在2024年达到峰值，仅比2020年水平增长8.6%。而在“基准情

图 16 | **不同情景下大湾区交通运输业的碳排放预测**



来源：项目组估算。

图 17 | **广州、深圳、香港和珠三角其他城市的交通运输碳排放预测**



来源：广州、深圳、珠三角其他城市（不包括广州、深圳、香港）的数据为项目组估算得出，香港的数据来自香港能源政策模拟器（EPS），网址为 https://hongkong.energypolicy.solutions。

表 2 | **“基准情景”和“零排放情景”下大湾区不同地区的碳达峰年度和碳达峰时的排放量变化**

地区	碳达峰年份		碳达峰时排放量较2020年水平的变化	
	基准情景	零排放情景	基准情景	零排放情景
广州	2026年	2024年	增长18.6%	增长8.6%
深圳	2023年	2023年	增长8.5%	增长4.4%
珠三角其他城市（不包括广州、深圳和香港）	2027年	2024年	增长14.7%	增长5.3%
香港	已达峰	已达峰	不适用	不适用
大湾区	2026年	2023年	增长10.7%	增长4.7%

来源：项目组

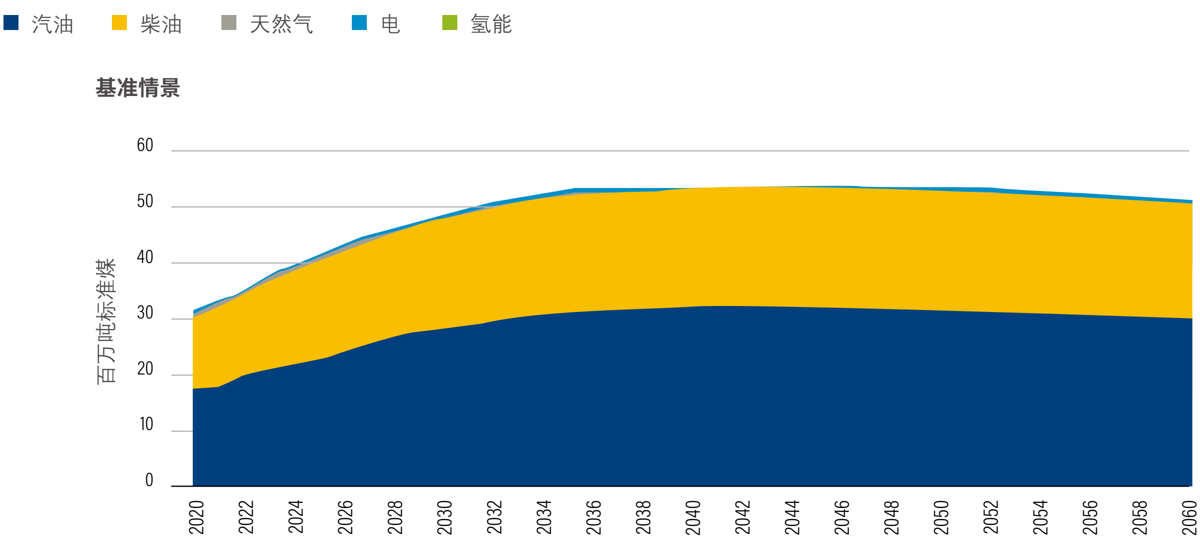
景”下，广州的碳排放将于2026年达到峰值，且比2020年水平高出18.6%。大湾区城市的更多数据参见表2。

■ **如果提高减排目标，未来大湾区交通运输业的能源结构中，清洁能源的占比将会更大**

在“强化政策情景”和“零排放情景”下，大湾区交通运输业的汽油和柴油消费量占比在达到峰值后均迅速下降，如图18所示。在“强化政策情景”下，电力和氢能的消费量将于2050年超过汽油和柴油，成为大湾区交通运输业主要的能源供给方式；在“零排放情景”下，时间点会提前至2041年。这就体现出对大湾区的交通运输基础设施（新能源汽车充电站和加氢站）进行升级改造的重要性，尤其是在新能源汽车飞速发展的广州和深圳。

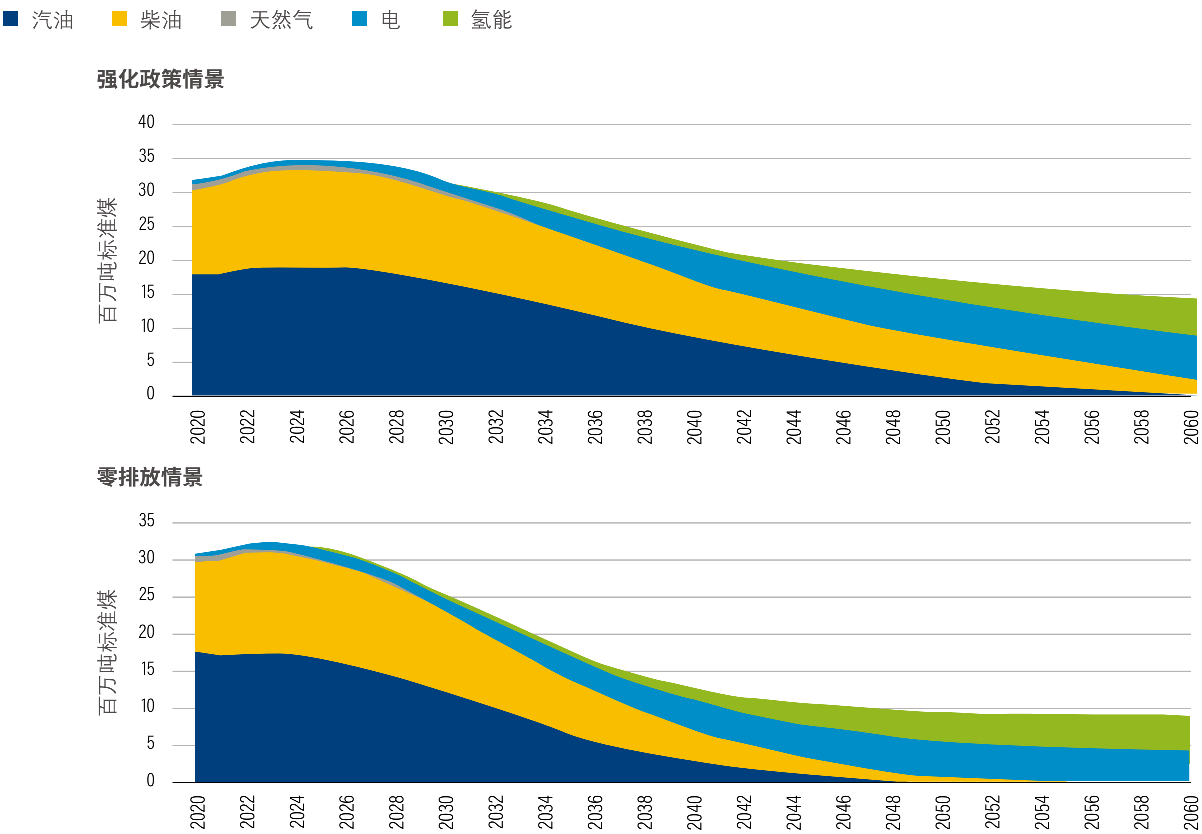
“强化政策情景”与“零排放情景”的主要区别在于中、重型货车的燃料选择，主要体现在柴油和氢能的占比上。在“强化政策情景”下，2060年仍有一些中、重型货车在使用汽油和柴油。而在“零排放情景”下，2060年前所有

图 18 | **“基准情景”、“强化政策情景”和“零排放情景”下大湾区交通运输部门的能源结构**



来源：项目组估算。

图 18 |“基准情景”、“强化政策情景”和“零排放情景”下大湾区交通运输部门的能源结构（续）



来源：项目组估算。

中、重型货车都会是电力或燃料电池驱动。基于长途运输的要求，电动重型货车的全生命周期成本居高不下，充电基础设施欠缺，运行表现不尽如人意。因此，氢燃料电池重型货车将是主要解决方案，这也是“零排放情景”下氢能占比高于“强化政策情景”的原因（见图19）。这也需要大湾区克服氢能供应不足和氢能储运成本较高的挑战。

- **从短期来看，调整运输方式可以提供最大的减排潜力；从中长期来看，新能源汽车的推广普及对减排的效果最为显著**

本节估算“零排放情景”下各种减排措施的减排潜力。我们分析了单独实施这五项措施中的任意一项所产生的减排效果。“减排潜力”是指在“零排放情景”下单独实施一项措施，比其在“基准情景”下减少的碳排放量。测算减排潜力可消除各种减排措施之间的关联性和相互影响（见图20）。

- 大力推广使用新能源汽车：从长远来看，大力推广使用新能源汽车的减排潜力最大，减排量可达到9000万吨左右，而且效果会随着时间的推移而加强。

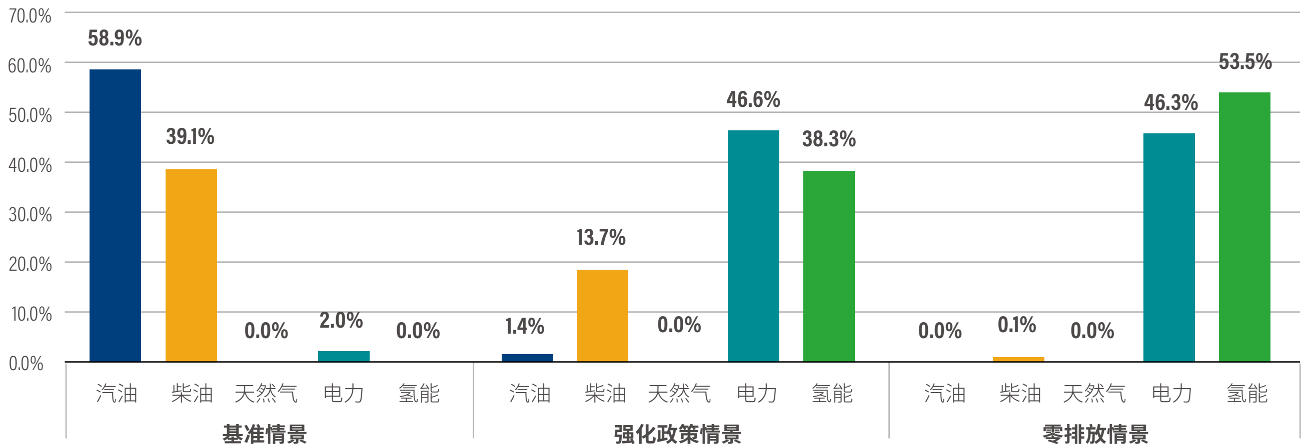
- 提高燃油经济性：这一措施的减排潜力在中短期内会提升，然后随着内燃机效率提升和车身轻量化的技术逐渐达到极限，减排潜力会转而下降。

- 调整运输方式：如果客运方式由私家车改为公共交通，货运方式采用“公转铁”和“公转水”的话，2030年前实现的减排效果会大于大力推广使用新能源汽车和提高燃油经济性这两项措施。但这需要大湾区城市政府部门采取多种措施，如加大铁路投资力度、出台更加积极的政策（如限制私家车总量、提高车辆购置税等）、扩大公共交通服务、调整货运结构、鼓励由公路运输转为铁路和水路运输、推行多式联运及绿色出行等。

- 使用清洁电力和绿氢：如果不推广新能源汽车，这两项措施本身的减排效果最小。但如果将清洁电力和绿氢和新能源汽车推广结合起来，则可以大幅减少碳排放，因为新能源汽车在使用时采用清洁电力和绿氢，可进一步减少碳排放。

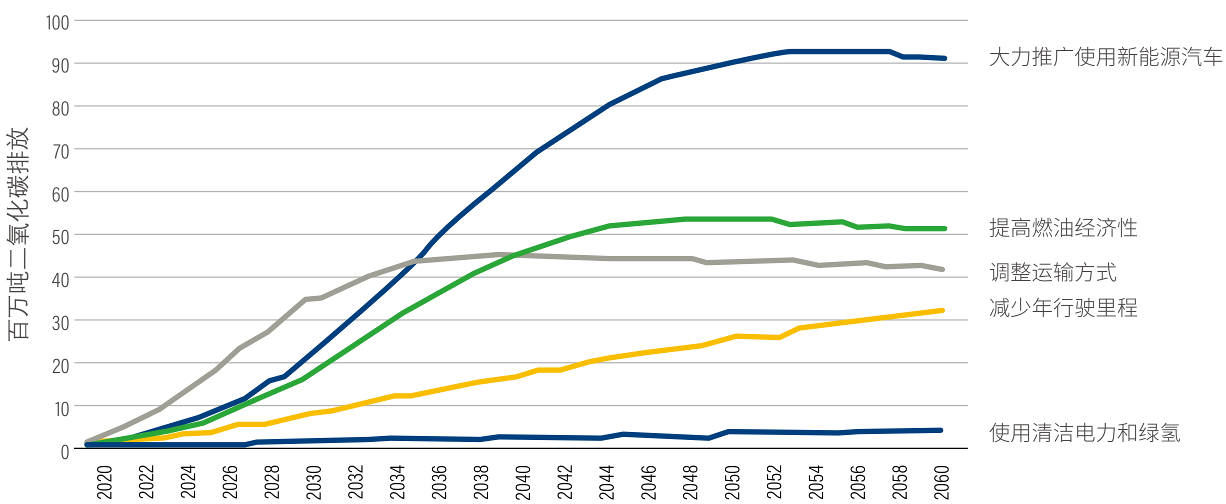
总体来说，大力推广使用新能源汽车这一措施在中长期内的减排潜力最大。调整运输方式这一措施在短期内产生的

图 19 | 到2060年时，三种情景下大湾区道路车辆的不同能源来源占比



来源：项目组估算。

图 20 | 与“基准情景”相比，“零排放情景”下不同措施的减排潜力



来源：项目组估算。

影响最大，但其减排效果在2035年以后会趋于稳定。从短期来看，提高燃油经济性对减排的影响小于调整运输方式，虽然其效果在后期会趋于平稳，但其总体减排效果略优于调整运输方式。

■ **私家车是碳中和的重点关注对象，地方政府应将大力推广使用新能源汽车和调整运输方式这两项措施结合起来，实现减排**

如本章前文所述，除广州、深圳和香港之外，大湾区其他城市的私家车数量及其碳排放量2015—2020年之间急剧增长（见图13）。调整运输方式和大力推广使用新能源汽车这两项措施双管齐下，可以减少私家车的碳排放，大湾区各城市应根据自身情况因城施策。

虽然广州、深圳和香港的新能源汽车渗透率高于大湾区其他城市，但其电动车在私家车中的占比仍只有10%（广东省能源局，2021）。这些城市仍需加快推广新能源汽车以替代燃油车，大力建设新能源汽车基础设施（如充电站和充电桩），并建立先进的充电服务网络系统。除广州、深圳和香港之外的大湾区其他城市应以调整运输方式为重点，提升公共交通服务水平，扩大轨道交通覆盖范围，促进绿色出行。地方政府应出台相应措施，控制燃油车总量，提供新能源汽车购置补贴和税收减免，推广“出行即服务”的交通理念[5]。另外，大湾区各城市政府还应出台优惠政策（如土地供应和税收激励），吸引民间资本投资基础设施建设。


Admiralty
金鐘
24 hrs
全日
948

第四章

大湾区建筑业的碳中和路线图

2020年，建筑业的能源消费量和碳排放量分别占大湾区能源消费总量和碳排放总量的13%和22%（谢克昌等，2020）。本章分析了如何在建筑实践中选择脱碳化路径，加快推进碳达峰、碳中和进程。

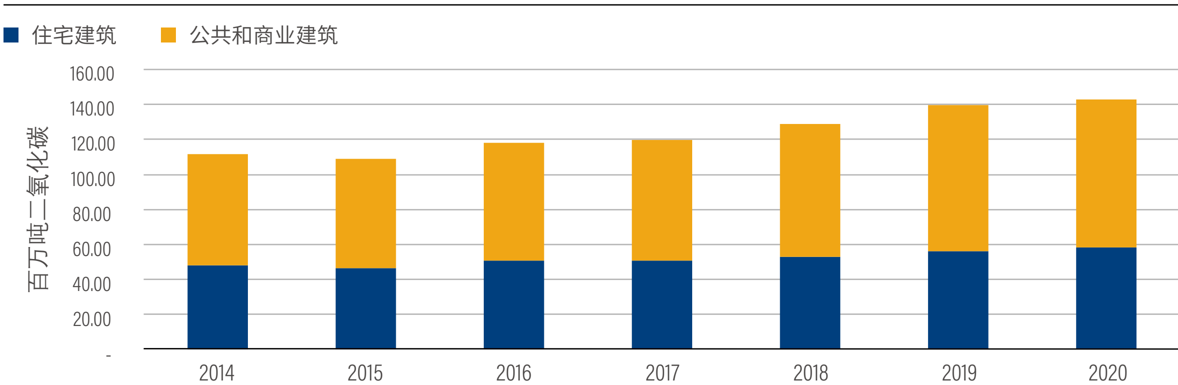
4.1 大湾区建筑业现状

■ **2015—2020年期间，大湾区建筑业的碳排放总量增长了31%**

2015—2020年，大湾区的建筑能耗从2820万吨标准煤增至3700万吨标准煤，增幅高达31.3%。2019—2020年，建筑能耗增速最快，尽管自新冠肺炎疫情以来有所下降，但很可能会在疫情后出现反弹。同样，在2015—2020年期间，大湾区建筑业的二氧化碳排放量也从1.089亿吨增长到1.429亿吨，增长了31.3%，年增长率为5.6%[6]。

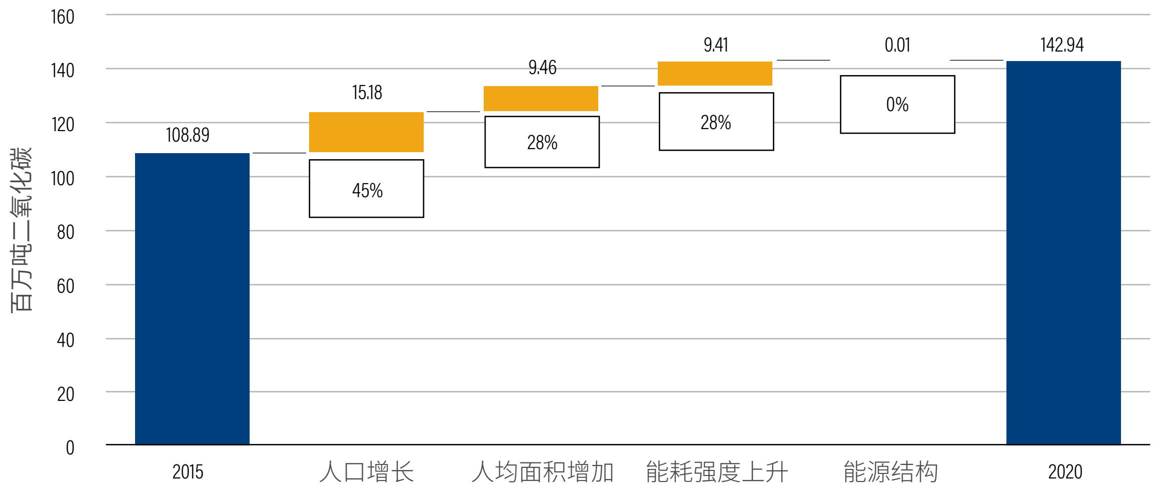
2014—2020年，大湾区公共和商业建筑排放量约占建筑业总排放量的60%，住宅建筑排放量占40%（见图21）。公共和商业建筑的二氧化碳排放量从6210万吨跃升至8440万吨，年增长率为6.3%，远高于住宅建筑的4.6%。

图 21 | **大湾区按建筑类型划分的建筑业碳排放量（2014—2020年）**



来源：项目组根据2015—2021年大湾区各城市统计年鉴估算。

图 22 | **按不同驱动因素划分的建筑业碳排放增长量（2015—2020年）**



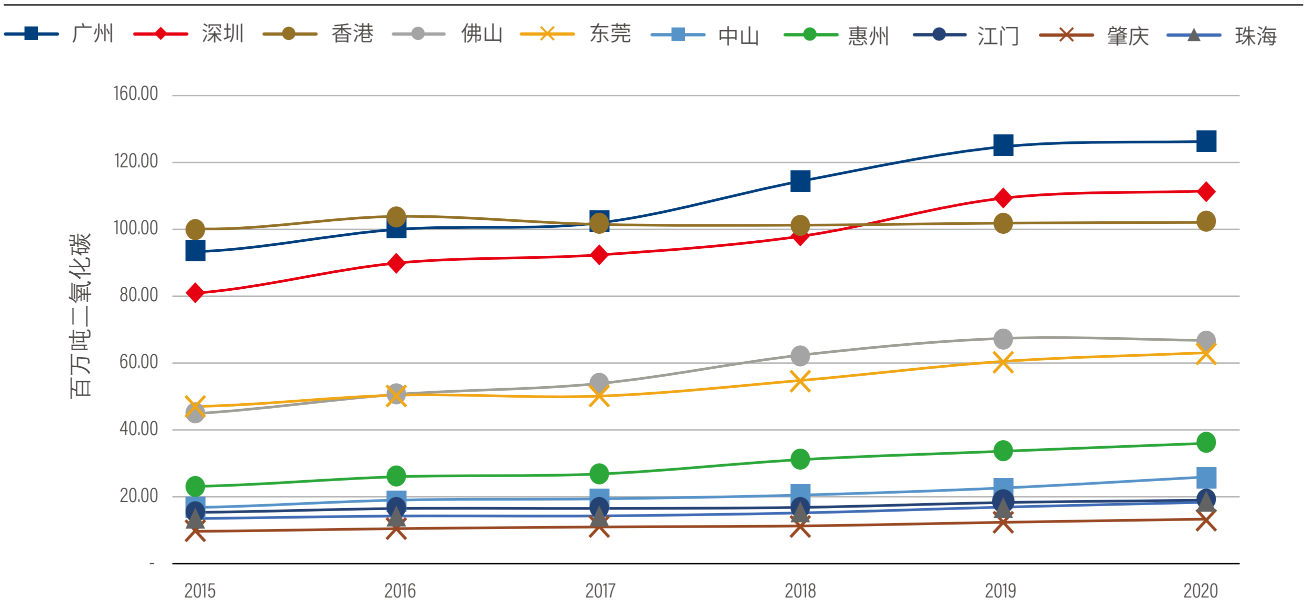
来源：项目组估算。

2015—2020年，人口增长是大湾区建筑业碳排放增长的主要驱动因素（中国建筑节能协会和重庆大学，2022）。图22显示，在推动建筑业碳排放增长的四个因素中，人口增长位列第一，贡献了45%的排放增长量。人均建筑面积增加和建筑能耗强度上升的贡献率均为28%。

■ **从城市排放量来看，广州、深圳和香港在2020年位列前三名，占大湾区建筑业总排放量的60%**

由于每座城市的经济结构和发展水平不同，整个大湾区的建筑业排放水平也不尽相同。从城市排放量来看，广州、深圳和香港位列前三名，占大湾区建筑业总排放量的60%。在2017—2018年间，广州和深圳的建筑业碳排放量超过了香港。在2015—2020年期间，广州和深圳的建筑业碳排放量年增长率分别为6.2%和6.6%，远高于香港，如图23所示。

图 23 | **大湾区各城市建筑行业碳排放量（2015—2020年）**



注：澳门数据暂缺。

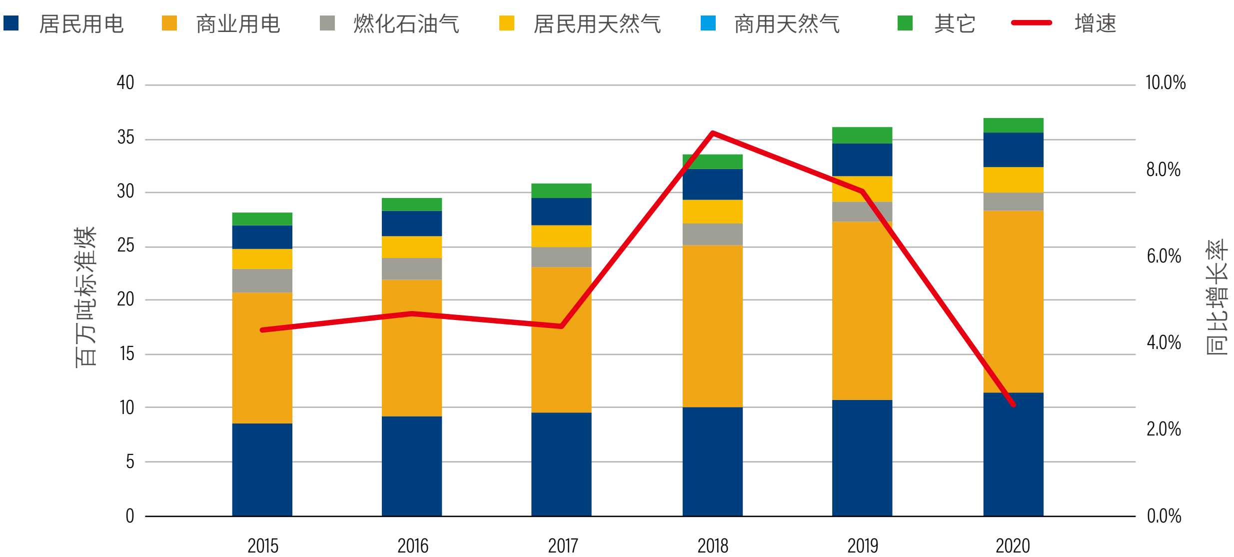
来源：项目组根据2015—2021年各城市统计年鉴估算。

电力是最主要的排放来源

2015—2020年，大湾区建筑业电力消费占总能源消费量的75%以上，表明建筑业的电气化水平很高，如图24所示。专栏1中给出了深圳市大型公共建筑的耗电量。

电力同时也是主要的碳排放源，占2020年大湾区建筑业碳排放总量的89%。住宅、公共和商业建筑均使用天然气进行烹饪和加热，产生约6%的排放量。一些住宅楼使用液化石油气进行烹饪和加热，占碳排放总量的一小部分。因为建筑业的电气化率已经很高，所以进一步提高电气化率对实现碳减排的作用十分有限。如果要加大减排量，则需将发电来源从化石燃料转向清洁可再生能源。

图 24 | 按燃料类型划分的大湾区建筑业能耗（2015—2020年）



来源：项目组根据大湾区11座城市的统计年鉴估算。

专栏1 | 深圳市大型公共和商业建筑的能耗[a]

深圳市有关部门对大型公共和商业建筑的能耗进行监测，以确保其符合国家《民用建筑节能条例》的要求。深圳政府从2018年开始对大型公共和商业建筑的能耗进行监测。2020年，深圳对886栋建筑进行了监测，覆盖总面积为3456万平方米。所监测的建筑类型包括政府办公楼（8.4%）、商业办公楼（32.8%）、商场（12.8%）、酒店及餐厅（6.8%）、文化及教学楼（5.7%）、一般楼宇（27.9%），以及医院和体育场馆（5.6%）。

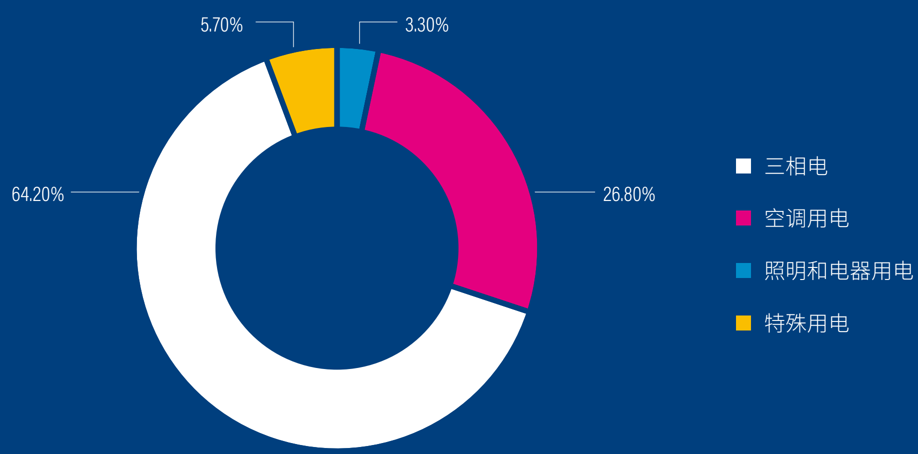
监测结果表明，深圳市的公共和商业建筑在各类建筑中能耗最大，主要集中在照明和空调用电（见下页图B1）。

根据《2021年深圳统计年鉴》，2020年，深圳市公共和商业建筑的用电量约占全市用电量的28%，部分由于能源效率的提升，其单位面积用电量为96.5千瓦时/平方米，较2019年的109千瓦时/平方米下降了11.5%。截至2020年，购物中心是能耗强度最高的公共和商业建筑，单位面积用电量为168.9千瓦时/平方米。就最终用途而言，照明和电器用电量占总用电量的64.2%，其次是空调用电，占比为26.8%。7月份的用电量最高，为11.8千瓦时/平方米；2月份的用电量最低，为2.8千瓦时/平方米。

注：a 根据深圳市住房和建设局（2021a）的规定，“大型公共和商业建筑”是指使用中央空调系统的、面积超过20000平方米的单体建筑。
来源：项目组根据深圳市住房和建设局（2021a）相关数据估算。

专栏1 | **深圳市大型公共和商业建筑的能耗[a] (续)**

图 B1 | **2020年深圳市按最终用途划分的大型公共和商业建筑的能耗**

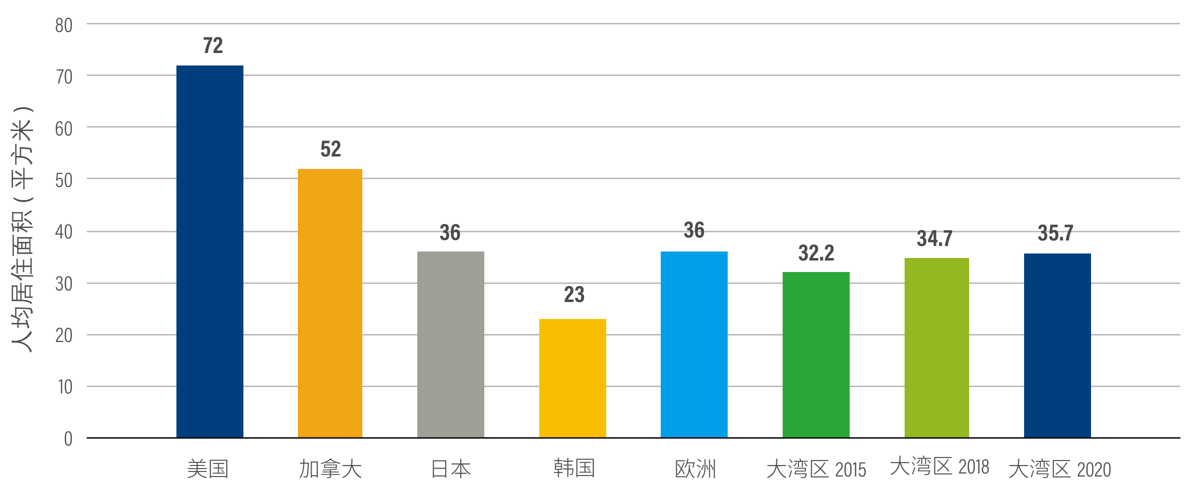


来源：项目组根据深圳市住房和建设局（2021a）相关数据估算。

■ **大湾区的人均住宅建筑面积与欧盟和日本相当，但人均公共和商业建筑面积较小，未来仍有增长空间**

如图25所示，2020年，大湾区的人均居住面积为35.7平方米，接近欧盟和日本的36平方米。大湾区的人均公共和商业建筑面积仅为13平方米（住房和城乡建设部，2022；第七次全国人口普查办公室，2020），低于欧盟和日本的14～16平方米（住房和城乡建设部标准定额研究所，2019）。

图 25 | **大湾区与其他大型工业化经济体在人均住宅建筑面积上的对比**



来源：项目组根据住房和城乡建设部标准定额研究所（2019）相关数据估算。

表 3 | 2020年人均建筑面积和城市开发用地

	人均住宅建筑面积（平方米/人）	城市住宅用地（平方千米）	人均公共和商业建筑面积（平方米/人）	行政和公共服务用地（平方千米）	商业及商业设施用地（平方千米）
中国	41.8	-	13 (2018)	-	-
大湾区	35.7	-	13	-	-
广州	36.8	223.2		111.7	58.4
深圳	22.5	227.5		37.7	60.6
珠海	32.4	107.3		31.8	35.9
佛山	45.2	52.5		12.5	16.5
东莞	58.3	312.1	14	66.7	77.8
中山	38.8	49.7		9.1	11.2
惠州	42.6	95.9		18.3	19.6
江门	35.6	31.0		9.0	6.9
肇庆	35.4	37.6		12.2	7.3
香港	14.84	44	6.34	25	5

来源：项目组根据住房和城乡建设部（2022）、全国第七次人口普查办公室（2020）相关数据估算。

广州市的建成区面积为950平方千米，占整个大湾区建成区面积的近四分之一（24%），是2020年大湾区中面积最大的城市（广东省统计局，2021）。因此，广州留给公共和商业建筑扩展的面积也最大（见表3）。

深圳需要兴建更多的住宅，满足人口快速增长的需求。目前，在大湾区内，深圳的人口密度仅次于香港。深圳是一个相对较新的城市，人口年龄结构年轻化，80%的居民年龄集中在15~59岁。根据深圳市近期出台的政策，到2035年，居民人均住宅建筑面积将增至40平方米（深圳市规划和自然资源局，2021），对住宅和公共建筑的需求也会持续增长。

2020年，香港的建筑能耗和碳排放量与广州和深圳类似，尽管香港的人均住宅、公共和商业建筑面积在大湾区是最小的。香港的建筑能耗是广州和深圳的数倍，因为香港的人口密度更大，且大部分建筑是高能耗的商业建筑。由于面积有限，人口增长缓慢，香港不太会出现大湾区其他城市那样的建设热潮。

建筑业的重点工作调整

2023年2月发布的《广东省碳达峰实施方案》提出，要从绿色建筑转向近零能耗建筑[7]，同时提高电气化水平和可再生能源的利用比例。

《城乡建设领域碳达峰实施方案》（住房和城乡建设部和国家发展改革委，2022）也明确提出，建设重点要转向超低能耗建筑，并最终转向近零能耗建筑，同时开展试点项目。超低能耗建筑以20世纪80年代初的建筑能耗为基准，要求节能率达到82.5%。近零能耗建筑则要求节能率达到91%~95%，且使用的主要能源为可再生能源。

大湾区的建筑节能率正在进入下一个阶段。到2025年，所有新建建筑都将为绿色建筑。“十三五”期间，绿色建筑已成为主流，以广东省为例，其绿色建筑占所有新建城市建筑的63%，超过了“十三五”规划中的目标。广东省新建绿色建筑超过5亿平方米（南方日报，2021b）。自2021年12月

表 4 | **大湾区关于绿色建筑的主要政策文件**

年份	城市	政策文件（详见参考文献）	核心目的和目标
2022	佛山市	佛山市住房和城乡建设局（2022）	2022—2025年，绿色建筑在新建民用建筑中的比例达80%、85%、95%、100%。到2023年，一星及以上级别新建建筑的比例达35%，到2025年，这一比例达45%
2022	惠州	惠州市住房和城乡建设局（2022）	2022—2023年，绿色建筑在新建民用建筑中的比例达80%和90%。到2023年，一星及以上级别新建建筑的比例达35%
2021	东莞市	东莞市住房和城乡建设局（2021）	2021—2023年，绿色建筑在新建民用建筑中的比例达75%、80%、90%。到2023年，一星及以上级别新建建筑的比例达35%
2021	中山市	中山市住房和城乡建设局（2022）	2021—2023年，绿色建筑在新建民用建筑中的比例达75%、80%、90%。到2023年，一星及以上级别新建建筑的比例达35%
2021	深圳	深圳市住房和建设局（2021b）	到2025年，新建民用建筑100%执行绿色建筑标准；新建绿色建筑面积为8000万平方米；现有建筑节能改造和绿色改造面积为1000万平方米

来源：项目组根据深圳市住房和建设局（2021b）、中山市住房和城乡建设局（2022）、东莞市住房和城乡建设局（2021）、惠州市住房和城乡建设局（2022）、佛山市住房和城乡建设局（2022）相关数据整理。

以来，深圳、中山、东莞、惠州和佛山等城市相继出台文件，对超低能耗建筑的目标面积进行规定（见表4）。深圳在制定绿色建筑标准、目标和激励计划方面政策力度最大（深圳市住房和建设局，2021b）。广州尚未出台专门针对建筑业的行动方案，但有可能会在未来制定更详细的目标。

降低建筑业排放量的另一个重要方法是利用可再生能源。《广东省建筑业“十四五”发展规划》（2021）中给出了可再生能源利用目标。该文件提出，到2025年，太阳能光伏建筑装机容量将增加1000兆瓦，面积将达到300万平方米。该文件要求在酒店、学校等热水需求稳定的公共建筑推广太阳能热系统，并鼓励在建筑屋顶加装太阳能光伏系统。

2021年，大湾区城市的建筑电气化率超出全国平均水平48%，其中深圳处于领先地位。《城乡建设领域碳达峰实施方案》对建筑业提出了强制性电气化目标，即电气化率到2025年达到55%，到2030年达到65%，并特别要求提高建筑物供暖系统、烹饪系统的电气化率。由于大湾区的电气化率已经很高，以下分析表明，长远来看，更清洁的电力来源将成为建筑脱碳的驱动因素。

4.2 情景分析和减排潜力

■ **在零排放情景下，大湾区建筑业排放量预计将在2025年达到峰值1.44亿吨，并在2058年之前实现碳中和**

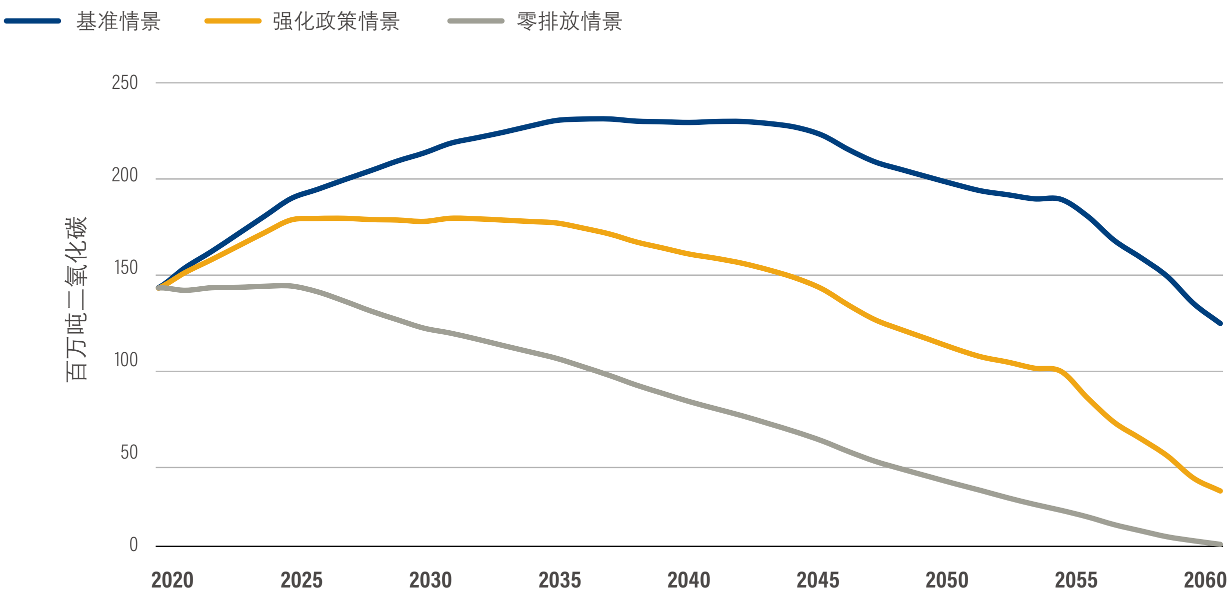
本研究采用情景分析法，对2020—2060年期间大湾区建筑业的脱碳化情况进行分析（详情见附录D）。

在“基准情景”下，大湾区建筑业排放量将在2037年达到峰值2.34亿吨，几乎是2020年排放量的1.6倍，且到2060年仍将有1.23亿吨排放量，远远落后于碳中和目标。

在“强化政策情景”下，大湾区建筑业将在2030年实现碳达峰，但峰值更高，为1.80亿吨。与“基准情景”相比，2020—2060年期间的累计减排量将减少31%，至24.8亿吨。所有城市都将提前达峰，且排放水平较低。大多数城市将在2030年之前达峰，除深圳、珠海和东莞外，这三座城市的人口增长将导致排放量在2032—2035年期间处于上升趋势。

在“零排放情景”下，大湾区建筑业排放量将在2025年达到峰值1.44亿吨，并将在2058年降至0.1亿吨以下。佛山、中山、江门和广州最早将在2021—2024年期间达峰，而

图 26 | **大湾区建筑业碳排放情景预测**

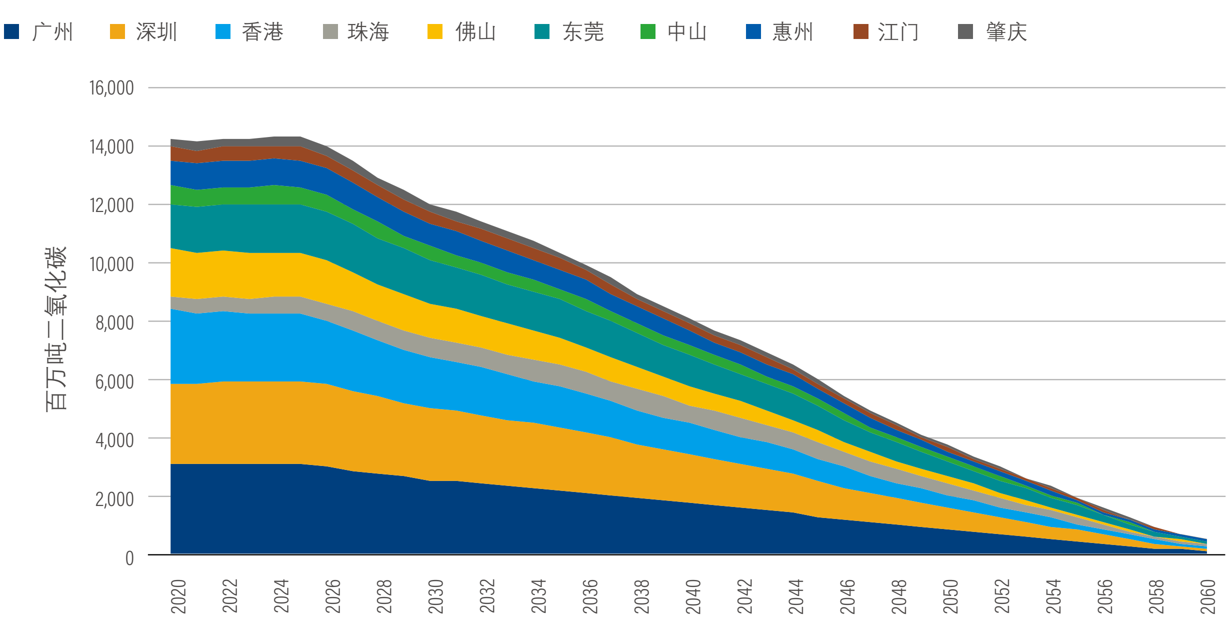


来源：项目组估算。

珠海最晚将在2035年达峰。与“基准情景”相比，“零排放情景”下，建筑业将在2020—2060年期间减少49.1亿吨的累计排放量。与前两种情景一样，广州和深圳仍将是最大的排放源，减排潜力最大，在2020—2060年期间累计可减排22.3亿吨。情景分析结果如图26所示。

在“零排放情景”下，除珠海外，大多数城市的建筑业排放量预计将在2020—2025年达到峰值。2025年之后，排放总量将出现快速下降，如图27所示。与“基准情景”相比，广州和深圳的累计减排量最大，分别为11.7亿吨和10.6亿吨，而香港和东莞的累计减排量将分别达到7亿吨和6.5亿吨。

图 27 | **大湾区城市脱碳化情景下的碳排放量（2020-2060年）**



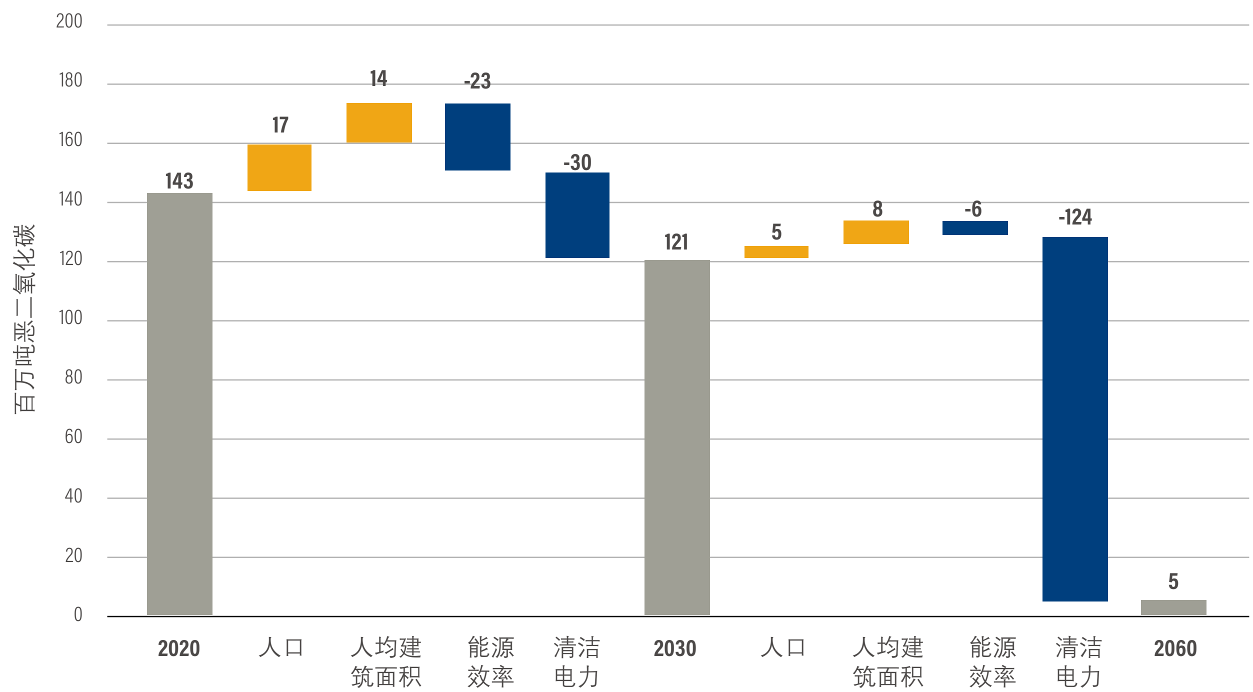
来源：项目组估算。

■ **在不久的将来，能效将成为建筑业脱碳化过程中一个非常重要的指标，而脱碳化电力在行业减排方面的潜力最大**

项目组基于四个因素（人口增长、人均建筑面积增加、建筑能效提升和增加清洁电力占比）对建筑的碳排放量和减排潜力进行了研究。如图28所示，碳排放量受人口和人均建筑面积增长的驱动。利用可再生能源电力为建筑物供电是最有效的减排方法。仅改用脱碳化电力一项就可为大湾区建筑业贡献81%的潜在减排量。然而，能效对于降低建筑物的能源强度仍很重要；在短期内，能效仍有很大的提升空间，并有可能对减碳产生很大的边际效应。

在"零排放情景"中，能效是转型的支柱，可帮助减少16%（2400万吨）的碳排放量。应在设计和建造阶段开始前就考虑能效提升措施，使其成为限制能耗和尽早碳达峰的有力工具。到2030年，通过提高能效，可使能源强度在2020年的基础上降低20%。实现电力脱碳化还需要进行电气化改造和改用低排放燃料。大湾区没有供暖需求，且电气化率很高，因此可以把重点转向利用低排放燃料发电，并利用可再生能源进行烹饪、加热和制冷。通过利用高效热泵，电力也将成为制冷的主要能源。目前，可再生能源除了可用于满足家庭的用热需求外，光热技术和各种形式的生物能源也可用于家庭烹饪活动。

图 28 | **建筑业中各脱碳化路径的贡献率**



来源：项目组估算。


One·ArtLane
STATELYHOME
TAXI


CMA CGM
COSCO
COSCO
Interasia
Interasia
Interasia
Interasia

第五章

大湾区在实现碳中和过程中的排放缺口分析

如第2~4章所述，绿色和低碳措施是实现行业脱碳和2060年碳中和目标的关键。在本章中，我们强调了金融部门的重要性（包括公共财政部门和私人金融部门）。金融部门既是排放的关键参与者和驱动者，又是减排的利益相关者。我们发现，公共财政部门在采用和实施新技术以及提供实现净零目标所需的资金方面存在不足。绿色、转型和可持续融资工具缺一不可。

在本章中，绿色和低碳措施的成本与政府补贴之间的差额，即为我们计算出的投资需求。对于成本，我们关注的是采取绿色措施所带来的额外成本，并非该行业所需的总建设成本。换句话说，成本为需添加绿色措施的传统技术本身的成本与应用新绿色技术所产生的增量成本之和。例如，对建筑业而言，绿色建筑成本既包括加固外墙、照明系统、空调等额外成本，也包括节水措施、空气净化装置、业务信息建模系统等非绿色建筑不涉及的增量成本。

5.1 大湾区在2060年之前实现碳中和转型所需投资约为1.84万亿美元

表5列出了部分主流研究机构对于中国实现30-60目标所需投资的预测。尽管各机构的研究方法不同，得出的结果也不尽相同，但所有的研究都表明对绿色低碳投资的需求巨大。总体来说，中国如要在2030年前实现碳达峰，将需要数万亿美元的投资；如要在2060年前实现碳中和，将需要数十万亿美元的投资。

我们对中国国际金融股份有限公司（CICC）和国家应对气候变化战略研究和国际合作中心的投资需求估算进行了交叉核对。这两家机构的估算结果均显示，2020—2060年，实现碳达峰、碳中和的投资需求为21.4万亿美元。由于我们的研究与CICC的研究选择的行业具有相似性，在本报告中，我们按大湾区国内生产总值占中国国内生产总值的比率，同比例缩小CICC研究得出的数据，估算大湾区的总体投资需求[8]。我们假设在2021—2060年期间，大湾区占中国国内生产总值和全球经济增长的份额以及大湾区的规模收益（随

表 5 | **部分主流研究机构对中国实现“30-60”目标所需投资的估算**

机构名称	方法	实现碳达峰所需投资（2020—2030年，万亿美元）	实现碳中和所需投资（2030—2060年，万亿美元）
中国人民银行	未明确	3.4	18
中国国际金融股份有限公司	“自下而上”法[a]	3.4	18
清华大学气候变化与可持续发展研究院	“自上而下”法与“自下而上”法相结合[b]	26.8（2020—2050年）	
中国金融学会绿色金融专业委员会	“自上而下法”与“自下而上”法相结合[c]	75（2020—2050年）	
国家应对气候变化战略研究和国际合作中心	IAMC模型法[d]	21.4	
落基山研究所和中国投资协会	未明确	10.8（2020—2050年，用于7个关键领域，即可再生资源、能源效率、终端能源消费电气化、零排放发电技术、储能、氢能、数字化）	
渣打银行	未明确	20～30（2020—2050年）	
高盛集团	未明确	16（用于清洁能源基础设施建设）	

注：a 对电力、钢铁、交通、水泥、化工、农业、建筑等中国碳排放量最高的七个行业的投资需求进行估算。
b 为了实现《巴黎协定》规定的1.5℃温控目标，中国需要在能源供应、工业、建筑和交通领域进行低碳投资。
c 根据《绿色产业指导目录》中的211个领域，研究团队利用能源政策模拟模型（EPS模型）估算了电力、工业、交通、建筑等领域的投资需求，以及低碳能源系统和生态环保领域的投资需求。
d 全球气候变化综合评估模型（IAMC）提出了一个由经济、能源、农业与土地利用、气候影响和适应子模型组成的混合模型。
来源：项目组根据柴麒敏（2021）、中国投资协会和落基山研究所（2021）、渣打银行（2021）、高盛集团（2021）的研究总结得出。

着生产规模的增长产生的长期收益）保持不变。在2011—2020年期间，珠三角的国内生产总值平均占全国国内生产总值的8.95%。在此期间，香港和澳门对全球经济增长的平均贡献率分别为0.32%和0.10%（Trading Economics，2022）。研究显示，大湾区在2030年前实现碳达峰所需的投资约为2260亿美元。在2031—2060年期间，还需要额外1.61万亿美元的投资才能实现碳中和。因此，在2021—2060年期间，大湾区实现碳达峰、碳中和的总投资需求约为1.84万亿美元。虽然按国内生产总值比例缩减进行估算的方法存在局限性，因为某些假设与实际情况有一定差距，并且会随着中国的实际情况和大湾区在未来40年经济贡献率的变化而发生改变，但该方法是此研究领域最常用的方法。这些估算仅是对大湾区绿色转型金融缺口的粗略预测，并非具体的数值。我们还使用了两个不同的比例对投资需求估算进行交叉核对：一个是2020年大湾区农业和制造业生产总值占全国农业和制造业生产总值的份额（8.4%），另一个是2020年大湾区制造业和服务业生产总值占全国制造业和服务业生产总值的份额（12.1%）。所得出的投资需求分别为1.37万亿美元和1.97万亿美元。因此，我们认为1.84万亿美元是一个合理的估算值。在下一小节中，我们将对具体行业的投资机会进行详细阐述。

5.2 在“强化政策情景”下，大湾区石化化工子行业的投资需求约为16亿美元

由于制造业中各子行业的脱碳技术各不相同，对制造业脱碳投资的预测需要我们使用“自下而上”的方法对各个子行业的投资需求进行计算，但子行业的公开数据不足以支撑研究。此外，正如我们在第2章中所述，电力和供热系统脱碳具有最大的减排潜力，但电力行业所需投资较大，而且不在本研究范围之内。因此，我们选取其中一个关键子行业——石化化工——作为案例研究对象，估算该子行业的碳中和投资需求（不包括对脱碳电力和供暖系统的投资）。

在2015—2020年期间，石化化工作为大湾区一个主要能耗和高碳子行业，能源强度增长了30%，碳排放量增长了11%（广东省统计局，2021）。正如第二章所指出的，石化化工业将在2025—2030年间快速发展，并在"基准情景"下，每年产生约250万吨的碳排放量。鉴于以上原因，本小节旨在分析石化化工子行业的投资缺口，以得出"强化政策情景"下的投资需求规模。在第2章中提供了三种脱碳方法，以实现最终净零排放目标：能源结构转变（逐步淘汰生产环节的化石燃料）、节能降耗（供热和电力系统脱碳）和负碳技术（CCUS）（国家发展改革委，2017；国际能源署，2020年、2019；生态环境部环境规划院，2021）。潜在解决方案的单位成本和技术成熟度如表6所示。

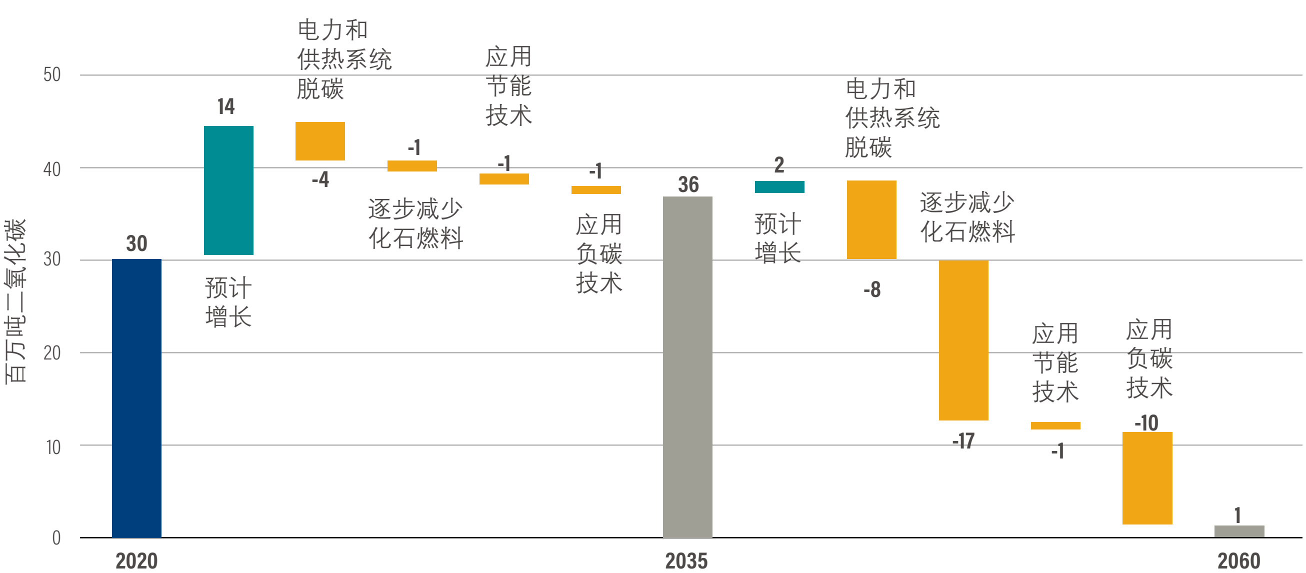
石化化工制造项目的不断建设，将推动碳排放量于2035年达到1410万吨。图29显示了不同脱碳路径的贡献份额。该估算基于第二章中的"强化政策情景"。在2021—2060年期间，除上游电力和供热系统脱碳外，其他三条路径所需的投资总额约为16亿美元，这些投资的大部分（65%）将用于取代能源利用和原料中的化石燃料。燃料替代主要指以可再生能源取代化石燃料来生产氢、氨和甲醇。在短期和中期内，用于生产氢、氨和甲醇的煤和石油等原料将被天然气取代。从长期来看，用于生产氢气的煤将被电解水取代。

表 6 | 石化化工子行业各减排技术路径的单位成本和技术成熟度

类别	技术路径	单位成本（美元/吨）	技术成熟度
节能降耗	提高能效	270	2035: 68% | 2060: 100%
	热转换	148	2035: 54% | 2060: 100%
	余热回收	82	2035: 62% | 2060: 100%
	系统优化	170	2035: 40% | 2060: 100%
能源结构转变	燃料替代：用可再生能源替代生产氢、氨、甲醇所用的化石燃料	2035: 885 | 2060: 442	2035: 16% | 2060: 95%
	原料替代：用水电解和天然气替代生产氢、氨和甲醇所用的煤	2035: 511 | 2060: 255	2035: 20% | 2060: 95%
负碳技术	碳捕获、利用与封存	2035: 500 | 2060: 200	2035: 2% | 2060: 10%

来源：项目组根据国家发展改革委（2017年）、国际能源署（2020年，2019年）、生态环境部环境规划院（2021年）的研究总结得出。

图 29 | 大湾区石化化工子行业不同脱碳路径的贡献份额



来源：项目组估算。

5.3 在“强化政策情景”和“零排放情景”下，道路运输转型的投资需求约为2000亿～7000亿美元

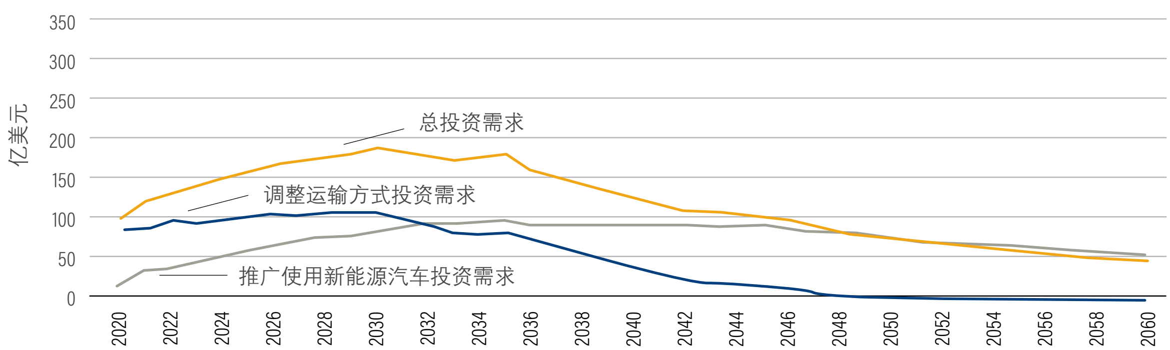
根据第3章的情景分析，对道路交通运输业的投资应优先考虑两种最有效的脱碳路径：推广使用新能源汽车（包括以电和氢气为动力的汽车）和调整运输方式，以达到“零排放情景”的目标。在“基准情景”下，到2060年，道路交通运输业所需投资约为2000亿美元，而在“零排放情景”下，所需投资约为7000亿美元。

推广使用新能源汽车包括鼓励购买和使用电动车，并建设充电站、加氢站等配套基础设施。从短期来看，新能源汽车推广的减排边际成本较高，这将持续推高新能源汽车推广的总成本，而减排量相对较低——在“强化政策情景”和“零排放情景”下分别约为700美元/吨二氧化碳和760美元/吨二氧化碳。但随着新能源汽车制造技术的进步和产业供应链的成熟，在2030—2060年期间，新能源汽车的制造成本将逐渐降低。从中长期来看，推广新能源汽车的减排潜力巨大。在“强化政策情景”和“零排放情景”下，边际减排成本将分别降至约133美元/吨二氧化碳和127美元/吨二氧化碳。

调整运输方式涉及公路、铁路和水运基础设施建设，这需要大量基础设施投资，且在短期内，其成本增长曲线将比推广使用新能源汽车更陡峭。但从长期来看，运输方式从公路转向铁路和水运，从私人交通转向公共交通，将大大减少排放量。因此，到2045年，运输方式转换的边际成本将接近于零。在“基准情景”和“零排放情景”下，减排的短期边际成本分别为813美元/吨二氧化碳和812美元/吨二氧化碳，而中长期边际成本分别降至60美元/吨二氧化碳和22美元/吨二氧化碳。

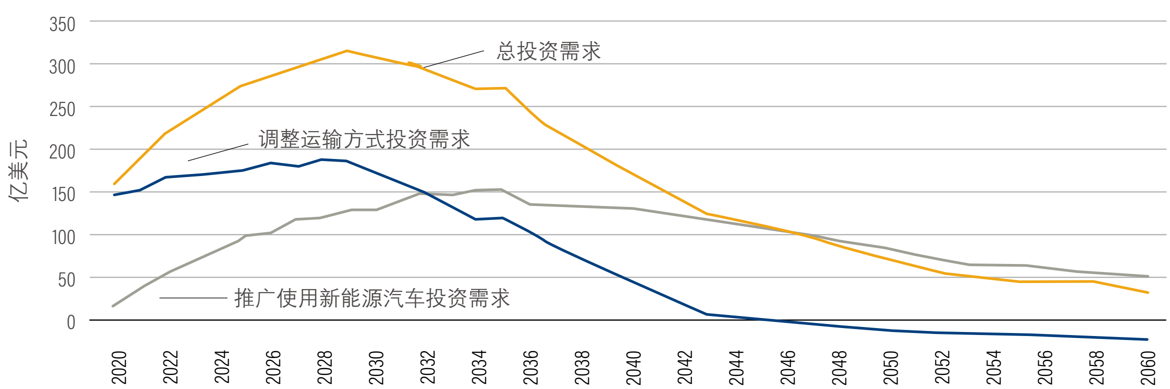
总的来说，尽管当前脱碳措施中的减排策略成本较高，且采取更加积极的措施会进一步推高成本，但相比“基准情景”，这些方法可进一步加大减排量。从长期来看，减排总成本将逐渐下降，如图30和图31所示。

图 30 | “强化政策情景”下对大湾区道路运输投资需求的估算



来源：项目组估算。

图 31 | “零排放情景”下对大湾区道路运输投资需求的估算



来源：项目组估算。

5.4“零排放情景”下，建筑业的投资缺口约为1500亿～3000亿美元。

如第4章所述，建筑业为了实现“零排放情景”下的目标，应在短期内提高能源效率，这点至关重要，但从长期来看，推动电力脱碳化更有助于目标的实现。因此，我们认为一个关键的路径是对现有建筑进行改造，提高能源效率，并在未来几十年内建设新的绿色建筑和近零能耗建筑，提高能源效率并推动电力脱碳化。另一个重要路径是用可再生能源来替代化石燃料，并鼓励使用清洁能源。我们根据“十四五”规划及不同补贴领域的政策分类确定了四种方法。本报告将采用“自下而上”的方法，通过四种建筑脱碳路径来估算投资需求[9]。大湾区各城市的估算结果如图32所示。

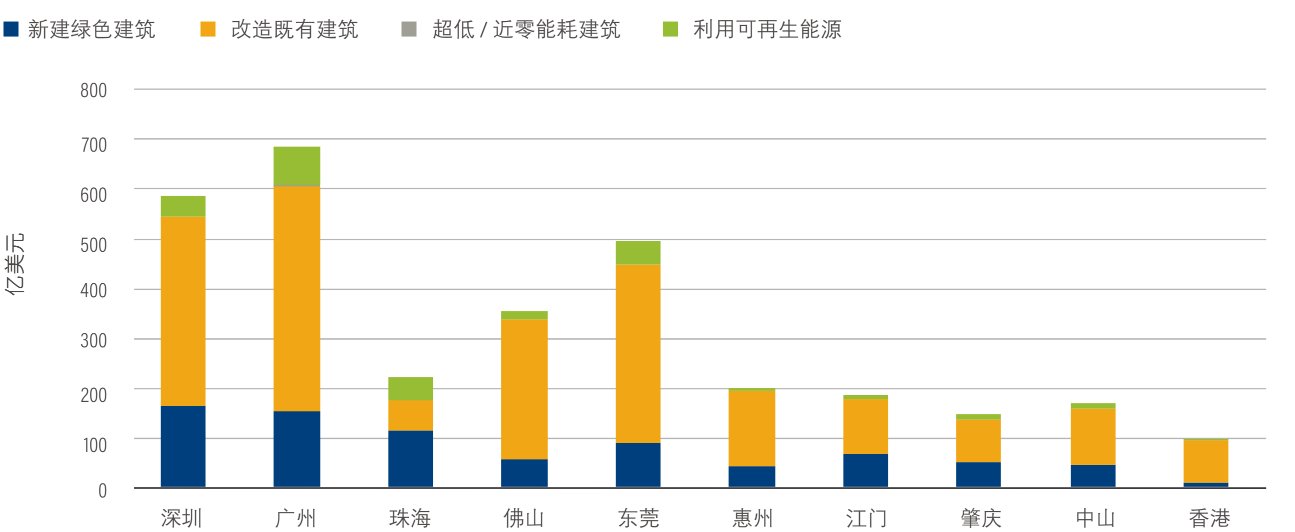
最常见的补贴形式是地方政府的财政补贴，占绿色金融激励计划的50%，其次是容积率、土地出让和税收优惠（广东省建筑设计研究院有限公司，2016）。补贴数额是根据中国绿色建筑标识（CGBL）的星级、建筑面积、建筑类型和补贴上限确定的。2012年，中国针对绿色建筑制定了一项激励措施，对CGBL二星和三星建筑分别奖励6.66美元（约合45元）/平方米和11.83美元（约合80元）/平方米（财政部和住房和城乡建设部，2012）。继国家出台激励计划之后，广东省也设立了省级激励机制，为绿色建筑提供更高额度的补贴（广东省人民政府，2013）。补贴资金主要用于绿色建筑研究和认证、星级建筑建设、开展具有示范意义的专项工程等。

据测算，补贴只能满足约5%的建筑业脱碳化总投资需求。在“强化政策情景”下，大湾区城市的总投资缺口估计约为1500亿美元，在“零排放情景”下，投资缺口估计约为3000亿美元。尽管激励计划的数量和准确性都不断提升，但由于成功申请者和支出的公开统计数据有限，很难对政策的有效性进行分析。此外，很多补贴仅限于“示范项目”。由于补贴计划的范围有限，影响力也很有限。

对现有建筑进行改造的投资缺口约为2000多亿美元，占建筑业总投资缺口的60%以上。目前建筑改造进展缓慢，主要因为还存在着一系列挑战，如缺乏建筑能源监测和评估平台来跟踪历史能源绩效、住宅业主缺乏改造意愿（因为大多数改造工作是针对住宅建筑）、申请和审查过程漫长而复杂、缺乏融资来源和市场机制等（马彦明，2018）。大湾区现有建筑存量明显大于预估的新建绿色建筑面积。随着城市升级改造在2022年上升为国家战略，我们假定在未来40年内，所有的现有建筑都需要进行基础性改造。因此，项目组从2020年现有建筑面积中减去预期拆除的建筑面积，得出了需要改造的面积。我们假定现有建筑改造的单位成本与节能水平有关，其中，绿色改造的单位成本是实现节能30%~50%所需成本的两倍。总体而言，现有建筑升级改造的规模巨大，对于大湾区建筑行业脱碳化的需求也最为迫切。

新建绿色建筑的投资缺口位居第二，约为800亿美元。根据设定的“十二五”至“十四五”期间的目标，绿色建筑面积出现了明显的上升趋势。因此，我们假定2060年之前的绿色建筑面积为线性增长，而随着技术的成熟，成本将出现线性下降，例如，2060年，2星建筑的成本将下降至1

图 32 | 大湾区各城市不同路径的投资缺口估算



注：澳门的数据暂缺。

来源：项目组根据广东省和九城市“十四五”建筑节能规划和可再生能源发展规划，以及世界资源研究所（WRI）相关研究估算。

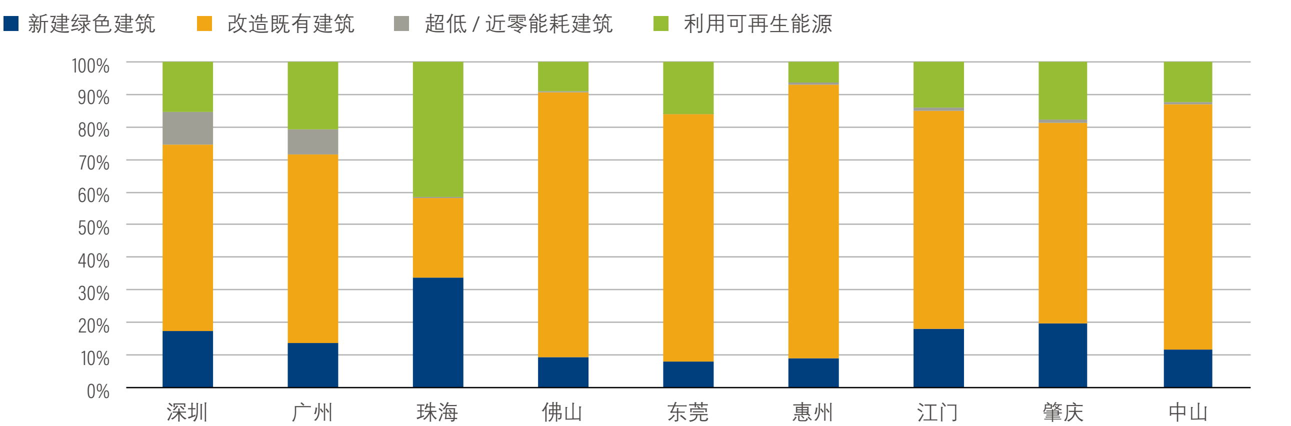
星建筑的水平。根据政府公布的政策或标准并基于假定条件，我们计算了绿色建筑的评价成本（住房和城乡建设部，2019a）和地方补贴金额。

超低或近零能耗建筑比绿色建筑更低碳。**作为绿色建筑的补充，该路径的投资缺口估计约为4亿美元。**一旦未来所有的新建建筑都为绿色建筑，近零能耗建筑的额外成本将大大降低。对于超低能耗商业和住宅建筑，可再生能源替代率需至少为10%（住房和城乡建设部，2019b），且20%~40%的增量成本来自可再生能源利用，即太阳能光伏、太阳能热水和空气源热泵的使用（中国建筑科学研究院，2020）。根据低碳措施成本和已批准示范项目的建筑面积，项目组还测算了近零能耗建筑的投资缺口（中国建筑节能协会，2022；深圳市绿色建筑协会，2022）。

在将可再生能源应用于建筑方面，投资缺口约为250亿美元。这一估算基于相关政策和可再生能源的部署案例（国盛证券，2022）。为帮助吸引所需的投资，大湾区需制定有利于可再生能源发展的政策和激励措施，这点非常重要，且政府应发放专项资金，以扩大建筑光伏一体化、屋顶光伏、空气源热泵和相关技术的应用。为避免重复计算上述三种路径中的可再生能源利用成本，我们只计算了截至2060年的可再生能源使用及维护费用，并未计算上述项目的安装费。与近零能耗建筑和超低能耗建筑相比（此类建筑强制要求利用一定比例的可再生能源），现有建筑升级改造和新建绿色建筑拥有较低的可再生能源使用成本。

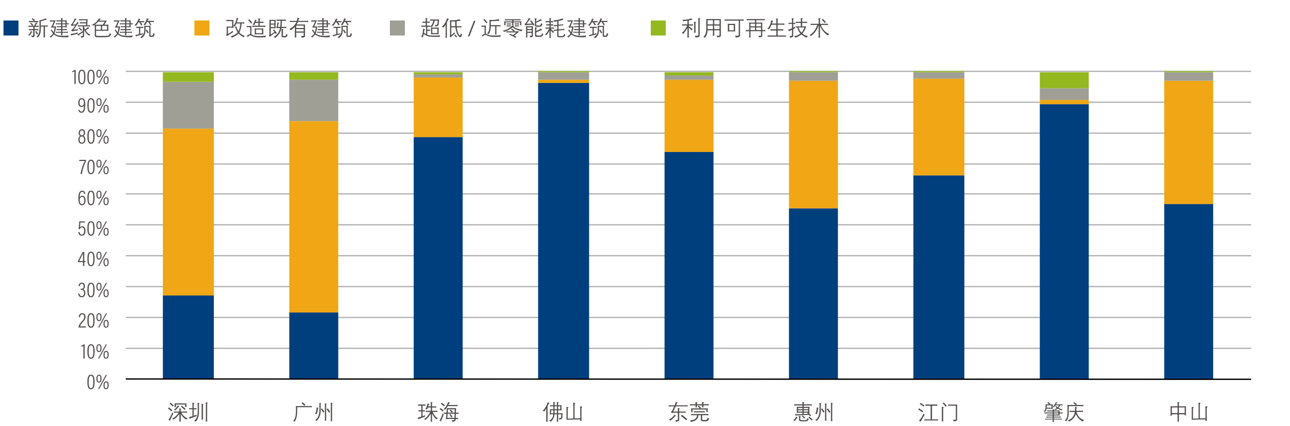
总体而言，如图33所示，对于大湾区的八座城市（除珠海外），现有建筑改造占脱碳成本的比例最大，一般超过50%。各城市绿色建筑建设和可再生能源使用成本所占的份额大致相同。然而，如图34所示，由于大部分补贴都给予了绿色建筑开发，政府优先激励建筑脱碳的决策与实际脱碳潜力之间存在明显差异。

图 33 | **建筑业脱碳总成本份额构成**



来源：项目组估算。

图 34 | **建筑业脱碳总补贴份额构成**



来源：项目组估算。

5.5 需要转型融资来填补这些投资缺口

根据预测，到2060年，大湾区交通运输业、制造业（石化化工）和建筑业脱碳所需的总投资将超过1万亿美元。这超过了整个大湾区所需总投资的一半（55%）。表7列出了这些投资需求的明细、投资领域和适用的绿色和/或转型金融工具。

在本报告中，我们将重点介绍与温室气体减排直接相关的金融工具，包括绿色债券/贷款、可持续发展挂钩债券（SLB）、可持续发展挂钩贷款（SLL）、转型债券/贷款，这些工具统称“脱碳化金融”工具。

尽管中国目前的金融体系比较发达，但其主要是为符合《绿色产业指导目录（2019年版）》和《绿色债券支持项目目录（2021年版）》标准的绿色项目提供资金支持。截至

表 7 | **大湾区潜在投资领域、需求和工具（2020—2060年）**

路径	投资领域	“零排放情景”下的排放量估算值（美元）	可用的金融工具[a]
交通运输业			
大力推广使用新能源汽车	增加电动私家车、公交车、出租车、物流车和货车	3500多亿	☒绿色金融 ☐转型金融
	增加氢能私家车、公交车、出租车、物流车和货车		☒绿色金融 ☐转型金融
	新建充电装置和充电站	300多亿	☒绿色金融 ☐转型金融
	新建加氢站	近50亿	☒绿色金融 ☐转型金融
调整运输方式	公转铁，公转水	近3000亿	☐绿色金融 ☒转型金融
小计		近7000亿	
建筑业			
绿色建筑	新建绿色建筑：16.1亿平方米	近800亿	☒绿色金融 ☐转型金融
能效提升	超低和近零能耗建筑：7690万平方米	超4亿	☒绿色金融 ☐转型金融
	改造现有建筑：25.3亿平方米	2000多亿	☒绿色金融 ☒转型金融
利用可再生能源	安装光热：120万平方米 安装光伏：8吉瓦 安装热泵：54338万平方米	近300亿	☒绿色金融 ☐转型金融
小计		3000多亿	
制造业（石化化工）			
节能降耗	提高能效	5000多万	☐绿色金融 ☒转型金融
	热能转换	近1000万	☐绿色金融 ☒转型金融
	余热回收	1000多万	☐绿色金融 ☒转型金融
	系统优化	近100万	☐绿色金融 ☒转型金融
能源结构转变	燃料替代	超6亿	☒绿色金融 ☐转型金融
	原料替代	超4亿	☒绿色金融 ☒转型金融
负碳技术	碳捕获、利用与封存	近5亿	☒绿色金融 ☐转型金融
小计		10多亿	

注释：a绿色金融工具包括绿色贷款、绿色债券、绿色基金、绿色信托和绿色保险。转型金融工具包括转型债券、可持续发展挂钩债券、可持续发展挂钩贷款、转型保险和私募股权基金。
来源：项目组估算。

2022年9月底，中国的绿色贷款余额为3.2万亿美元，同比增长41.4%；绿色债券存量超过1940亿美元（广东省地方金融监督管理局，2023）。中国银行广东省分行在绿色金融方面持续发力，2020年提供了388亿元的贷款，同比增幅超过19%（中国新闻网，2020）。

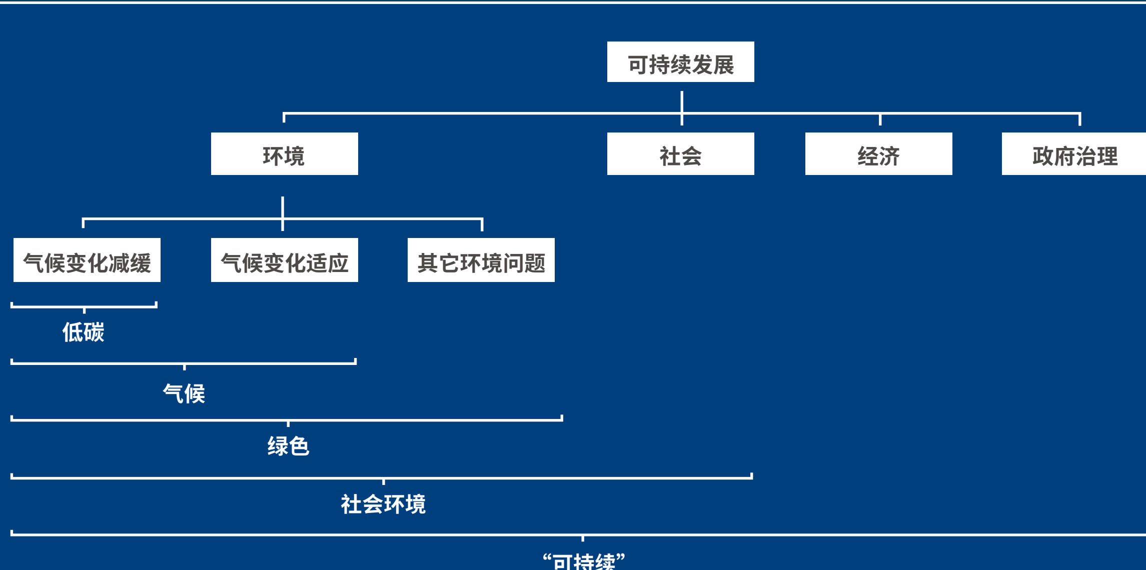
然而，一些重点行业仍然缺乏支持其向低碳和净零排放转型的融资工具。为减少石化化工业的排放，需要采取措施提高生产中的能源效率，并逐步淘汰煤炭作为燃料的使用，但这些活动尚未被纳入绿色金融中，且存在约4.86亿美元的资金缺口。根据估算，“公转铁”和“公转水”的运输方式转换需要约2930亿美元的资金支持，并且也不符合绿色金融的条件。在建筑领域，大湾区约30%~40%的建筑是在2000年之前基于过时的节能标准建造的，即使对其进行升级改造，也很难达到现行的建筑节能设计标准要求，或满足绿色债券所支持的绿色建筑星级要求。这些无法获得绿色金融系统支持的项目和活动所需的投资约为430亿~620亿美元。根据估算，大湾区共有3000多亿美元的脱碳化融资无法获得绿色金融的支持。

因此，在联合国环境规划署的可持续金融系统内，转型金融这一新兴工具被认为是可以满足高碳行业投资需求的有效解决方案（UNEP，2016）（见专栏2）。

专栏 2 | 气候金融、绿色金融、可持续金融和转型金融

可持续金融工具的范围和定义如图B2所示。气候金融主要为解决气候变化的适应和减缓问题提供资金；绿色金融收益用于特定用途，且覆盖范围较广，同时也包含一些其他环境目标（如生物多样性的保护和恢复等）；可持续金融的范围也涵盖环境、社会和治理等因素；绿色金融应被视为可持续金融的一个子集，或者可以认为可持续金融是绿色金融的进阶版。《2022年G20可持续金融报告》中给出了普遍认可的转型金融的定义，该定义也追求实现《巴黎协定》中的（净零）目标（朱拉其其格等，2022）。转型金融主要支持实现目标的过程，而并非目标本身；作为对绿色金融的补充，转型金融可以资助非绿色活动，特别是帮助高碳行业实现转型。净零银行业联盟针对转型金融，为银行业制定了四个核心融资战略：为开发和推广气候解决方案的实体和活动提供资金或支持；为已与1.5℃路径相一致的实体和活动提供资金或支持；为致力于按照1.5℃路径转型的实体和活动提供资金和支持；以及为加快高排放实物资产有序淘汰的实体和活动提供资金和支持（Net-Zero Banking Alliance，2022）。

图 B2 | 可持续金融工具的范围和定义



来源：项目组根据 Spinaci（2021）、UNEP（2016）相关研究总结。

《2022年G20可持续金融报告》给出了转型金融的明确定义，并允许在制定具体政策和规范时有一定的灵活性（G20 Sustainable Finance Working Group，2022）。在G20框架下，转型金融的核心任务是为实现低排放和净零排放的转型活动提供资金支持。虽然大湾区内存在不同的碳中和目标（如中国大陆承诺2060年实现碳中和，香港承诺2050年实现碳中和），但转型金融在为高碳行业和企业提供资金支持时，重点考虑的是其战略目标的可信度、与相关碳中和目标的一致性以及转型路径的可行性。

5.6 转型金融在中国和大湾区正处于刚刚起步的阶段

界定转型活动的标准主要有两类：基于分类目录的方法和基于原则的方法。前一种方法是一个分类目录或符合条件的转型活动列表，包括对转型路径和效果的要求。后一种方法要求转型活动主体使用科学的方法确定转型计划是否符合《巴黎协定》的要求，无须具体说明哪些活动被认定为转型活动。

在实现碳中和目标的过程中，中国重点关注能源密集型产业的净零转型（Lin and Tan，2017）。金融监管部门、金融行业协会和相关金融机构正在努力界定转型金融、识别转型活动（见专栏3）。在2020—2022年期间，中国的多家金融机构广泛发行了转型债券，支持电力和制造业的低碳转型。

香港绿色金融协会于2020年11月发布了《探索气候转型金融》报告，提出了一个基于原则的气候转型金融框架，并为钢铁、水泥和能源这三个减排难度大的行业提供了实现气候转型的路径和技术解决方案（香港绿色金融协会，2020）。

随着高碳行业向低排放转型越来越受到政府和市场关注，其发展速度也大大加快。大湾区的转型需要大量投资，特别那些是拥有高排放产业的珠三角城市。因此，大湾区可在采用中国转型金融标准、开展试点或示范项目方面发挥关键作用。香港则可以通过将转型金融标准与国际惯例相结合，弥补大湾区与国际市场的差距，加强国际合作，吸引更多的国际资本。

专栏3 | 中国转型金融的发展

- 作为2022年中国绿色金融政策框架的重点任务之一，**中国人民银行**正在牵头开展转型金融的标准和分类编制工作，首批包括钢铁、煤电、建材和农业等相关行业。
- 2022年6月，**中国银行间市场交易商协会**推出了转型债券试点项目。该项目明确了转型债券在8个能源密集型行业（电力、建材、钢铁、有色金属、石化、化工、造纸、民航）进行试点，主要支持两类项目和经济活动：一是已纳入《绿色产业指导目录（2019年版）》和《绿色债券支持项目目录（2021年版）》但技术指标未达标的项目；二是与碳达峰碳中和目标相适应、对减碳和能效提升有显著作用的项目及其他相关经济活动。
- **上海证券交易所（SSE）**于2022年6月增加了一种新的特定类型公司债券，称为低碳转型公司债券，并确定了五大低碳转型领域及募集资金的四项用途。
- **浙江省湖州市政府**于2022年1月发布了中国首个地方转型金融支持目录——《湖州市转型金融支持目录（2022年版）》。该目录覆盖纺织、造纸等九个高碳排放行业，明确具体的转型路径，并为转型活动设定转型基准值和目标范围。


FWD 富衛
6
6
5

第六章

金融实践支持大湾区转型，应对未来挑战

大湾区及中国大陆其他地区正在灵活运用各种脱碳化金融工具，推动各行业向低碳经济转型。目前已有多种与绿色低碳、可持续发展挂钩的金融工具投入使用。尽管转型金融刚刚起步，仍面临着诸多挑战，但在推动高排放行业向净零方向转型过程中仍发挥着至关重要的作用。

6.1 现有/潜在的金融工具、资金缺口及案例研究

近年来，全球范围内以“脱碳化金融”为主体的债券发行和资金借贷活动呈不断上升的趋势，市场也日益细分，在绿色债券和绿色贷款之外以其他形式发行的债券数量和贷款总量也持续攀升。据彭博社报道，2021年全球共发行了超过1.6万亿美元的可持续债务工具，其中以与可持续发展挂钩的贷款和债券增长最快，达到5300亿美元，是2020年发行量的四倍（Bloomberg，2022）。

在过去的七年中，中国的绿色金融市场上出现了内容丰富的金融工具箱，包括各种类型的贷款、债券、私募股权（PE）基金和保险产品等工具可供选择。相比之下，转型金融虽然还处于起步阶段，但却极具吸引力。尽管转型金融在刚出现时缺乏普遍的分类目录或统一标准，但随着2020年中国提出了气候目标以及2022年的《G20转型金融框架》正式推出，转型金融工具也呈现出了强劲的增长势头。目前，与可持续发展和转型金融直接挂钩的主要金融工具包括可持续发展挂钩债券（SLB）、可持续发展挂钩贷款（SLL）、转型债券和转型贷款。图35总结了可用于支持脱碳化的现有/潜在的金融工具。

图 35 | **可以加速转型的现有/潜在的金融工具**

来源：项目组估算。

中国的绿色和可持续金融市场主要受到政策驱动，中国人民银行（PBoC）在其2022年的重点工作中对这一领域进行了着重部署，强调将进一步深化转型金融研究、力求实现绿色金融和转型金融的协同融合（罗知之，2022）。随着金融市场对这一领域的兴趣日益高涨，转型金融工具的类型和数量将成倍增加。

转型债券和转型贷款

中国银行间市场交易商协会（NAFMII）是中国银行间债券市场的监管机构，也是转型债券的主要监管部门。根据《关于开展转型债券相关创新试点的通知》（中国银行间市场交易商协会，2022），转型债券指专为低碳转型筹集资金的金融工具。目前的试点范围覆盖电力、建材、钢铁、有色金属、石化、化工、造纸、民航等八大行业。转型债券可以由企业发行，并由商业银行承销。

NAFMII的转型债券试点计划主要支持以下两种类型的项目和经济活动：一是属于《绿色债券支持项目目录（2021年版）》中所列出的项目类型，但尚未达到贴标绿色债券标准的项目；二是有助于实现中国碳达峰和碳中和目标的项目及其他相关经济活动。转型债券的发行将推动低碳转型的项目、经济活动和试点工作。具体内容包括：

- 更清洁的煤炭生产和高效利用
- 天然气的清洁使用
- 八大能源密集型制造行业中淘汰落后/提升现有的产能
- 绿色设备/技术的广泛应用

2022年6月，中国发行了最初的5种转型债券，均来自传统的碳密集型行业。这五种债券在筹集资金使用、转型信息披露、第三方评估和认证、资金管理等四个核心要素方面均达到了国际资本市场协会（ICMA）的高标准（参见专栏4中的实例）。截至2022年底，中国已发行了10种转型债券，总金额达49.3亿美元，主要用于支持钢铁、电力、化工和民航行业的低碳转型。然而，目前所发行的转型债券期限相对较短（主要为两年和三年），尚未达到NAFMII鼓励企业发行中长期转型债券，促进长期低碳转型发展的目标。

在全球范围内，由于缺乏清晰明确、一致认可的定义，转型金融市场的发展受到限制，高排放行业很难入场融资。转型债券的早期几个案例显示，由于其不够明晰，缺乏明确长远目标，所做出的承诺仅按照基准情景推进，因而饱受诟病。与SLB等和关键绩效指标（KPI）密切相关的产品相比，转型产品很难进行定义和标准化，这也是有特定“募集资金用途（Use-of-proceeds）”的转型债券增长相对缓慢的主要原因之一。大湾区的香港绿色金融协会（HKGFA）于2020年11月发布了《探索气候转型金融》，其中提出了主管部门和市场主体在确定气候转型融资的运营框架时应考虑的重要原则，这项工作在2023年将会继续，重点关注如何制定稳健的转型规划。

在国内市场，有明确“募集资金用途”的转型债券目前由NAFMII进行监管，可以通过借鉴国际成功经验，提高其稳健性，重点关注在企业层面制定转型计划、设置KPI以及采用行业特有的技术标准等方面。在转型金融标准和工具的进一步协调和互联互通方面，大湾区可谓一块完美的试验田：通过早期的转型交易实例（包括中国银行发行的转型债券和香港中电集团发行的能源转型债券），分别对短、中、长期的转型轨迹进行充分说明，并对其规避“碳锁定”的计划进行解释，进一步向投资者证明其可信度。

专栏4 | 转型债券/转型贷款实例

案例1：山东钢铁集团有限公司

- 由中信银行和中信证券牵头，金额为1.539亿美元，期限为2+N（2）年。
- 发行人的转型计划：山东钢铁集团有限公司将利用清洁生产技术和设备提高能效，计划在2030年前达到排放峰值，到2035年将碳排放总量从该峰值减少30%，到2050年将碳排放量从该峰值减少80%，到2060年实现碳中和。
- 项目亮点：作为山东省的一个重大建设项目，它将取代原有的高耗能生产线，预计每年可节约32.52万吨标准煤，减少78.49万吨二氧化碳排放量（山东钢铁集团有限公司，2022）。

案例2：云升控股有限公司Maria Quitéria号海上浮式生产储卸装置（FPSO）项目（巴西）

- 渣打银行牵头为浮式生产储卸装置（FPSO）项目“设计、承销并安排”了7.2亿美元的银团贷款，满足投资者对油气领域能源转型的需求。
- 该转型金融项目内容包含减少现场燃烧的技术路线，符合渣打银行在转型金融框架下对参数的要求，成功获得相关标识。

■ 可持续发展挂钩债券

可持续发展挂钩债券（SLB）是一种以绩效为基础的前瞻性债务工具，其将债券条款与发行人对事先明确定义的可持续发展绩效目标（SPT）的实现结果联系起来。SLB的结构化设计引导发行人从机构层面实质性推动并实现可持续发展目标，目前使用的主要方法包括票面利率调整（广泛使用“提高利率作为惩罚”，未来还可考虑使用“降低利率作为激励”）、提前到期、额外的一次性赎回等方式与实现可持续发展目标挂钩。发行人应重点关注SLB的惩罚机制：当发行人未能达到SPT要求时，将会通过对利率进行上调（通常统一上调幅度为25个基点）的方式对其进行惩罚。上调幅度与债券规模、信贷质量、业务规模或各机构的一致性无关（Reznick et al.，2022）。

SLB旨在扩大债券市场在融资方面所发挥的作用，鼓励企业实现可持续发展目标。与转型债券不同，SLB的收益可用于一般用途，但仍需符合SLB的五个核心组成要件。由于减缓气候变化是联合国的十七个可持续发展目标（SDGs）之一，因此，SLB也可以作为转型金融的选择之一。

全球的SLB市场正在迅速增长，债券发行人非常多元化，通过灵活使用资金来实现碳减排的绩效指标。自国际资本市场协会（ICMA）于2020年发布《可持续发展挂钩债券原则》以来，SLB也得到了更多的关注，目前其规模约占全球债券市场的7%。然而，与SLL相比，投资者普遍认为SLB在市场上更加呈现两极分化的趋势，其在亚洲市场的进展比SLL要慢得多，仅从2018年的2.2亿美元增加到2021的162.9亿美元。截至2022年1月，中国在SLB市场共发行了61亿美元（约合396亿元）的债券，共涉及23家实体发行的27种产品（邱慈观等，2022）。

SLB包含五个核心组成要件：

- 选择关键绩效指标（KPI）
- 调整可持续发展绩效目标（SPT）
- 债券特征
- 报告
- 核准

在中国，中国银行间市场交易商协会于2021年4月根据ICMA的《可持续发展挂钩债券原则》推出了SLB，加大对传统行业低碳转型的金融支持力度，助力实现国家的脱碳化目标。截至2022年底，中国国内市场共发行了58种SLB产品，总发行规模为742亿元（中诚信绿金，2023）。就债券类型而言，其中绝大多数是中期票据，债券期限从2年到5年不等，以3年期债券最受欢迎。SLB覆盖了全部八个排放密集型行业。评估企业SLB绩效的指标主要包括煤矿资源的回收利用和钢铁生产能效的提高。具体案例参见专栏5中的实例。

当然，SLB也存在着一定局限性：债券期限过短，可能会让企业在选择SLB进行转型融资时犹豫不决；当企业未达到SPT时，如果对其回报率进行惩罚的力度不足，也将降低SLB在推动低碳转型方面的效率。

专栏 5 | 广东惠州平海发电厂有限公司第一期中期票据2021年（可持续发展挂钩债券）

发行金额：3亿元

发行期限：3年

预设的KPI和SPT配置状况：两个KPI下设有两个SPT。

KPI 1：减少用于电力供应的煤炭消耗，提高煤炭燃烧效率，减少温室气体排放量。

SPT 1：到2023年12月31日，将煤电的平均耗煤量降至290.33克/千瓦时。

KPI 2：通过碳市场实现碳履约。

SPT 2：到2023年12月31日，根据国家和广东省的相关政策要求，在全国碳交易市场或广东省碳交易市场满足履约要求（对应于各市场的履约年度）。

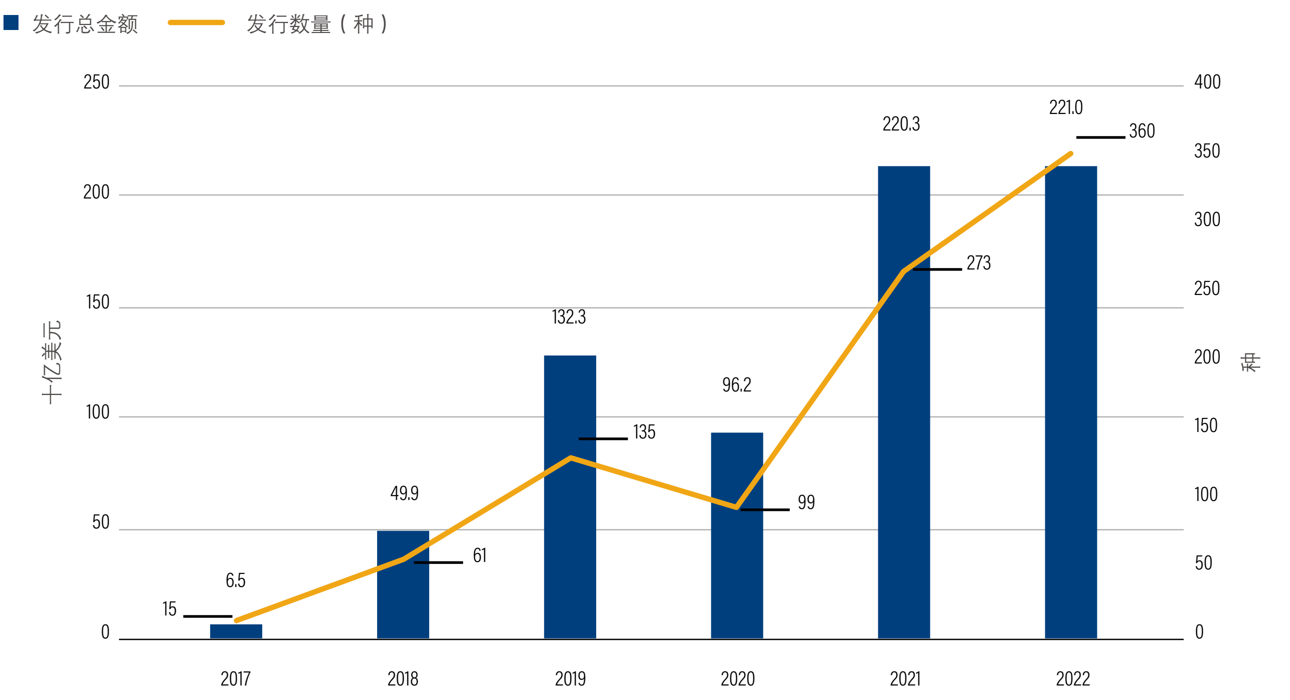
债券结构：票面利率与可持续发展绩效目标挂钩。如果达成目标，将在最后一个计息年度进行正常的还本付息；如果未达成目标，票面利率将提高10个基点（广东惠州平海发电厂有限公司，2021）。

可持续发展挂钩贷款

除了债券以外，与转型相关的其他贷款也日益被市场所接受，并建立了一套类似的规则。与SLB相比，可持续发展挂钩贷款（SLL）使用了更严格的指标判断企业的可持续发展绩效，通过这些贷款工具，激励企业去力争实现预先设定的可持续发展绩效目标（SPT）。这些SPT主要是通过关键绩效指标（KPI）来衡量的，从而能够量化和评估企业可持续发展状况的改善情况。

SLL市场发展良好，是增长最快的细分市场之一，这要归功于其收益用途十分灵活，可用作企业的营运资本，其边际价格与预先确定的KPI（激励和惩罚定价结构）绩效挂钩，可适用于多个行业。根据彭博社的数据，2021年，SLL在标识为“可持续发展债券”和贷款总量中（见图36）占据第二大市场份额（27.5%），价值高达4530亿美元。亚洲发行了580亿美元的SLL，占全球发行总额的13%。中国大陆的SLL才刚刚起步，但已经取得了实质性进展。2021年，中国大陆企业共得到67亿美元的SLL。香港的SLL起步早于中国大陆，香港的金融机构对SLL也更熟悉（参见专栏6中的实例）。2022年，SLL占香港企业贷款的9%（新浪财经，2022年）。2022年，尽管全球可持续发展挂钩产品首次出现下滑，但中国大陆市场仍在持续快速增长；同年，中国大陆和香港公司签署了史无前例的131亿美元的可持续发展挂钩贷款（SLL）（Chen et al., 2022）协议。上海首单可持续发展挂钩国际银团贷款也已经落地临港新片区，其采取了“海上风电+国际金融机构+国内银行”的模式，深度对接国内外资金来源。临港新片区选定新增绿色建筑、科创企业孵化、清洁能源产业布局等作为其可持续发展绩效指标（SPT）（文汇网，2022年）。2022年6月，瑞安中心通过其首单资产担保银团可持续发展挂钩贷款筹集了7.3245亿美元。瑞安中心将通过SLL申请“卓越设计，提高效率（EDGE）”绿色建筑认证计划，并在五年的贷款期限内证明其能源效率将高过EDGE认证水平的20%，减少了建筑在运行中的碳排放量（The Asset，2022）。

图 36 | **全球可持续发展挂钩贷款量**



来源：项目组根据日本环境省、基于环境金融数据库相关研究内容总结。

专栏6｜中国船舶（香港）航运租赁有限公司可持续发展船舶融资项目

行业：交通运输

金融工具：可持续发展挂钩贷款

2021年6月，渣打银行向中国船舶（香港）航运租赁有限公司提供了一笔为期10年的船舶抵押定期贷款，总额为9600万美元，用于四艘集装箱船的抵押融资。

与传统的船舶融资贷款不同，该贷款首次采用了与可持续发展目标挂钩的结构。在贷款期限内，金融机构会持续对融资船舶的平均能效和其他可持续发展目标进行评估。

渣打银行要求借款人遵守亚太贷款市场协会发布的《可持续发展挂钩贷款原则》的要求，包括建立并遵守借款人的可持续发展战略的核心要素（如关系、目标设定、报告、审查等）。

■ 碳市场挂钩的转型金融工具

中国的国家碳排放权交易体系（ETS）在实现碳达峰和碳中和的目标方面发挥了重要作用。自2021年7月启动以来，ETS市场不断发展壮大，现已纳入发电行业重点排放单位2100多家，年覆盖二氧化碳排放量约45亿吨，其规模超过了世界上任何其他碳减排市场（生态中国网，2022）。清华大学的一项研究表明（张希良等，2021），中国ETS市场规模将继续扩大，覆盖八个碳密集型行业，汇集大约8500家大型碳排放企业。符合交易条件的排放量将占中国能源相关碳排放总量的70%。

碳市场是确定有效碳价格、披露气候信息的主要工具之一。透明的碳价格和高质量的信息披露有利于金融机构合理量化气候转型风险，并将其纳入日常投资决策过程。目前，全国碳市场第一个履约期的交易价格为7.7~9.2美元/吨二氧化碳（生态中国网，2022）。作为调动脱碳化资金的重要工具，全国性ETS将促进中国在低碳、零碳和碳抵消技术方面的创新和投资，推动实现低碳经济转型。

在2021—2022年间，全国性碳减排市场仅覆盖了一个能源密集型行业，因而目前的ETS无法满足中国低碳转型的要求。市场需要利用中国碳排放配额（CEA）和国家核证减排量（CCER）等基础资产开发创新的碳融资产品，吸引更多实体和资金进入低碳市场，增强市场流动性（参见专栏7中的实例）。流动性不足会影响碳价格的准确性：一旦价格过度下跌，碳价格就无法真正反映碳减排的边际成本，碳交易将失去促进企业碳减排的价值。2022年4月发布的《碳金融产品》标准也极大地推动了碳融资产品的发展（中国证券监督管理委员会，2022）。

专栏7｜与碳市场挂钩的转型金融工具案例研究

案例1：2021年，南京银行推出了全国首款名为“鑫减碳”的贷款产品，向华能南京热电有限公司发放了462万美元的贷款。“鑫减碳”是南京银行向持有国家碳市场排放配额的排放控制企业发放的贷款类产品，其特点是利率与企业在生产经营过程中的碳绩效挂钩，并将随着企业碳绩效的提高而降低（和讯网，2021）。

案例2：2021年10月，渣打银行帮助霸菱亚洲投资有限公司（BPEA）设立了价值32亿美元的SLL，将利息收入与购买碳配额的奖惩机制挂钩。这是该地区针对私募股权公司的首笔该类型的贷款，将SLL与性别多样性和气候变化的可持续发展绩效目标挂钩，如果这些目标得以实现，则贷款利率将有所降低。（渣打银行，2021）。

作为中国碳减排市场发展中的“执牛耳者”，大湾区也一直吸引了国外投资者来试验并开发新的碳金融工具。大湾区已经率先开展了很多建设碳减排市场的工作（参见专栏8），同时拥有两家试点碳交易机构、一家碳期货交易机构和两家证券交易机构，都为其发展提供了更多空间。大湾区还有望通过香港核心气候（“Core Climate”，一个旨在连接资本和气候相关产品的国际碳减排市场平台）将国内与国际的自愿碳减排市场（VCM）连接起来，然而，大湾区目前仍缺乏与国际碳减排市场之间建立的多边合作机制。此外，在建设强制碳市场和自愿碳市场过程中，由于地方碳减排市场的前景仍有着不确定性，大湾区的碳减排市场也受到加快建设“全国统一大市场”这一全国性政策的影响（国务院，2022）。

专栏8 | 大湾区的碳融资创新实践及区域碳排放权交易的发展

2020年4月，中国人民银行等四部门正式发布了《关于金融支持粤港澳大湾区建设的意见》，提出开展碳排放权交易外汇试点项目，允许通过大湾区地方碳排放权交易中心资格审核的外国投资者（境外机构和个人）以外汇或人民币形式参与大湾区碳排放权交易（中国人民银行等，2020）。

2021年4月，广州期货交易所正式成立。这是中国大陆第五家期货交易所，旨在促进创新发展以及推进市场化和国际化进程，从而达到服务于实体经济和绿色发展的目的（广东省地方金融监督管理局，2021）。

2022年3月，香港证券交易所（HKEX）与广州碳排放权交易中心有限公司签署协议，共同寻求碳金融领域的合作机会，探索区域碳减排市场的深入发展，建立适合大湾区的自愿碳减排机制。他们将积极研究国际碳减排市场的规则、标准和路径，从而支持中国碳减排市场的国际化（HKEX，2022a）。

2022年3月，中国国际金融股份有限公司（CICC）的碳期货场内交易基金（ETF）上市，这是首只在HKEX上市的碳期货ETF，进一步扩大了在香港上市的商品ETF作为碳信用产品的范围。新上市的ETF由中国国际金融香港资产管理有限公司管理（HKEX，2022b）。

2022年3月，由HKEX和香港证监会牵头、隶属于香港绿色和可持续金融跨机构督导小组下的碳市场工作组对香港碳减排市场的发展机遇进行了初步评估，建议在大湾区推进建设统一碳减排市场；探索将国际投资者与该市场、中国的全国性碳减排市场连接起来的机会；在碳减排市场发展方面加强与广州期货交易所的合作；将香港打造成中国大陆的离岸风险管理中心（绿色和可持续金融跨机构督导小组，2022）。

2022年7月，HKEX宣布成立香港国际碳市场委员会，第一批成员包括一众业内领军企业和金融机构。通过与HKEX合作，他们力图探索区域碳减排市场的发展机遇，帮助香港建立高效的国际碳减排市场，提供优质的市场基础设施、产品和服务。2022年10月，HKEX宣布推出"核心气候"平台，用户可以通过该平台获取产品信息，以及持有、交易、结算并取消自愿碳信用产品（HKEX，2022c）。

从2022年10月28日启动到11月24日，"核心气候"平台在不到一个月的时间里发生了40多笔交易，涉及约40万吨碳信用额。该平台共吸引了20多家来自香港、中国大陆和不同行业的国际组织用户，包括中国碳中和发展集团有限公司、中国节能环保集团有限公司、国家电力投资集团碳资产管理有限公司、渣打银行（香港）、Carbon Growth Partners等（HKEX，2022d）。

■ 支持转型的保险产品和担保产品

保险作为一种涉及风险识别、风险量化与管理以及风险投资的金融工具，可以多维度、全方位地支持各行业的绿色低碳发展。在资产方面，保险资金具有资金量大、周期长的优势，通过投资传统行业的低碳转型，提供了长期稳定的资金来源。在责任方面，保险业可以为经济提供风险管理和风险补偿与保护，并从低碳转型、节能减排、气候风险和环境治理这三个保险领域减少碳排放量。

然而，中国绿色低碳转型的保险产品目前大多局限于环境污染责任险。保险业为国民经济提供脱碳化机制的潜力尚未得到充分利用。随着30-60目标的出台，这一情况有所改善。中国银行保险监督管理委员会（简称银保监会）分别于2022年6月和11月发布了《银行业保险业绿色金融指引》和《绿色保险业务统计制度》，展现了其巨大的发展潜力（参见专栏9中的实例）。

专栏9 | 碳减排保险产品和拟推出的保险产品案例研究

如果被保险人由于遭受自然灾害和事故而导致碳排放过量，该保险将为排放配额交易的额外成本提供补偿。保险金额由正常生产经营的排放配额和排放配额交易的平均价格确定。2021年11月，银保监会向中国华粮物流集团北良有限公司的碳减排设备提供了该保险产品，成为中国首单碳减排损失保险。

大湾区在通过保险支持绿色低碳发展方面取得了多项成果：《深圳经济特区绿色金融条例》以立法形式建立了绿色保险制度；广州在大力推进环境污染责任保险的同时，创新并试点各种“绿色农民保险+”。在银保监会的指导下，广东银保监局将推动在大湾区设立保险服务中心。根据广东银保监局的统计，如果为“险资入粤”搭建平台，则在大湾区的累计保险资金投资余额将超过1.52万亿元（金融时报，2022）。

但总体来说，大湾区仍存在三个制度性约束。首先，绿色金融的实施目前仍依赖于强制性法规，缺乏有效的市场激励机制吸引保险机构和企业的参与。其次，绿色保险制度有待进一步加强，例如，投保、承保和保险费率体系有待完善。目前只有深圳建立了环境污染强制性责任保险制度。最后，广东、香港和澳门之间不同的管理制度也阻碍了绿色保险制度一体化，各地的保险产品制度和规则仍存在不小差异，跨境绿色保险的服务不尽如人意，跨境保险监管也缺乏统一协调机制（李莉莎和林嘉琪，2022）。

■ 私募股权（PE）基金

为了实现低碳转型，碳密集型和高污染企业（特别是制造业）往往需要采用创新的绿色低碳技术。然而，这要求企业在前期要大量投资于新技术的研发应用。目前，很多转型项目和活动无法满足金融机构的风险偏好要求，但却具有巨大的长期盈利潜力。股权基金已日益成为机构投资者参与转型金融活动的常用工具。尽管债权的资本市场正在就如何定义可信转型（credible transition）逐渐达成共识，但仍需出台明确的指导方针和相应工具，帮助私募股权（PE）基金筛选和评估具有客观气候影响的转型项目。学术界应参与确定技术成熟度和可行性，帮助将资本引向技术可行的解决方案。可参见专栏10中的实例。

专栏 10 | PE在资金或平台层面可使用SLL结构加速转型

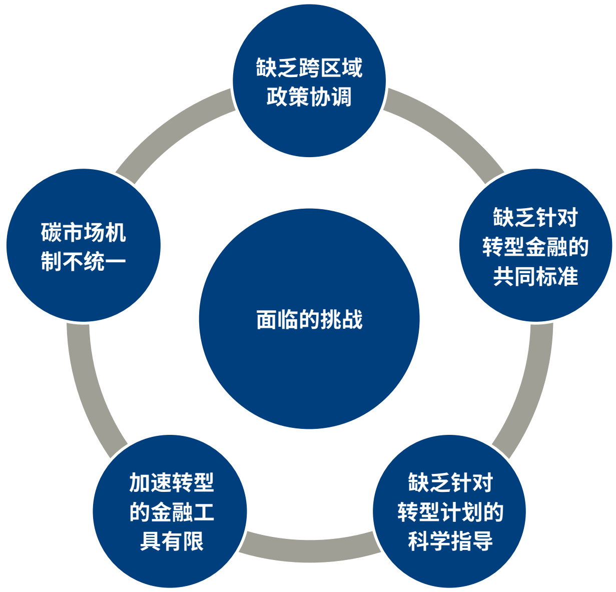
专注于亚太地区投资的太盟投资集团（PAG）于2022年9月设立了SLL，法国巴黎银行、兴业银行和渣打银行共同担任可持续发展协调方。这项为期三年的认购资金计划由多个蓝筹投资者通过“尚未出资（unfunded）的出资承诺（capital commitment）”方式进行担保，并在整个投资过程中融入了环境、社会和治理（ESG）原则。交易收益将用于支持PAG的私募股权（“PAGPE”）战略。该资金计划的规模将随着PAGPE投资范围的扩大而扩大。

来源：项目组根据 PAG（2022 年）提供的信息总结。

6.2 利用金融工具加速转型所面临的主要挑战

引入各种脱碳化金融工具，可以加快中国大陆和大湾区的脱碳化进程。但大湾区目前仍然缺乏相应的金融标准（如转型金融分类目录），金融市场的区域协同作用不足，无法与广东、香港和澳门互动以产生协同效应（见图37）。

图 37 | **利用金融工具加速大湾区转型所面临的主要挑战**



来源：项目组制作。

缺乏跨区域政策协调

大湾区各级政府间需要进一步加强合作。指导大湾区绿色金融发展的顶层设计文件《粤港澳大湾区发展规划纲要》和《关于金融支持粤港澳大湾区建设的意见》均指出，有必要加强大湾区在绿色金融领域的合作。然而，广州、深圳、香港和澳门等主要城市的政府尚未发布经过相互协调、共同起草的市级规划指南。目前也还不清楚大湾区将如何促进"脱碳化金融"，特别是新兴的转型金融的跨区域协调发展。

在中国金融学会绿色金融委员会的指导下，粤港澳大湾区绿色金融联盟（GBA-GFA）于2020年9月成立。该联盟的主要成员（包括香港绿色金融协会、广东金融学会绿色金融专业委员会、深圳市绿色金融协会以及许多监管和市场机构等）一直在协调制定针对绿色和转型金融市场的统一方法。

缺乏针对转型金融的共同标准

自2015年以来，国务院各部委对绿色金融标准进行了几轮更新与统一。绿色金融监管制度的精细度不断改进，现已能够为市场提供明确指导，避免"漂绿"行为。

相比之下，转型金融在中国大陆才刚刚起步，尚未制定公认的转型金融标准和明确的高碳行业分类。中国对绿色金融有着严格的定义，排除了许多难以减排的行业，但这些行业的转型对中国实现30-60目标至关重要。转型标签需要出台严格的分类目录和定义，尤其应考虑不同制造业之间转型活动的巨大差异。目前，建筑、交通运输、铁路等行业已经进行了转型路径的研究，但航空、航运和重工业等行业还尚未开始进行相关研究。国际社会也尚未就应被视为转型并有资格获得资助的对象达成共识。金融机构尽管已经发布了各自的转型金融框架，指导其自身的业务活动，但对于应该适用什么标准和条例、如何监督对这些标准和条例的遵守情况并确保其执行，仍存在着一定的不确定性。

缺乏通用性原则也阻碍了大湾区各城市进行更为深入的合作。例如，NAMFII发布了《关于开展转型债券相关创新试点的通知》，上海证券交易所（SSE）也规定了公司转型债券的范围，但这些债券在规则和程序上存在着明显差异。对于转型贷款，目前还没有国家层面的指导意见或规则。金融机构和企业从业者对转型贷款是否具有通用规则也产生了不少疑问。

第三方认证的一体化和互认仍需加强。发行管理、评估和认证过程中的不一致性将增加绿色资本资产的交易成本。例如，中国大陆的公司普遍参考《绿色债券支持项目目录（2021年版）》，而香港的公司则倾向于遵循ICMA与国际标准接轨的《中国绿色债券原则》。

环境信息披露标准的不一致也将影响大湾区内的金融一体化和区域合作进程。2021年，除深圳外的中国大陆的八座城市均已纳入环境信息公开试点计划。香港也已经发布了自己的ESG报告指南，澳门尚无相关的披露要求。

缺乏针对转型计划的科学指导

企业需要制定统一的标准、转型目标和途径，以向低碳排放转型。国务院国有资产监督管理委员会（SASAC）要求所有国有企业制定碳达峰行动计划，因此很多中国高排放企业都拥有转型的意愿（新华社，2022）。但这些企业通常都缺乏制定转型目标和路径的专业知识，不具备制定转型计划的能力，也不了解如何利用可信的工具和产品进入金融市场从而支持转型。再加上许多金融机构普遍要求高排放企业在申请转型融资时提交转型计划，这些都将导致其可能错过机会、传递错误信号，使企业的低碳转型停滞，而且也很可能会提高转型成本。

大多数现有转型路径的倡议（如科学碳目标倡议、转型路径倡议和低碳转型评估）都只能设法解决需要快速脱碳的经济活动、资产和项目当中的一部分。尽管大多数倡议都同意转型的最终目标是与《巴黎协定》1.5℃温控目标、到2050年实现净零排放的路径相一致；中国各城市和组织的碳中和承诺也基本上锁定了2050年（而非2060年），然而，在如何实现这一目标以及所必须花费的时间方面，还没有达成共识。这些倡议往往是全球性的，无法针对特定国家进行调整。

目前，仅有四个框架文件涉及与重工业有关的明确标准：《欧盟分类目录》、《绿色债券支持项目目录（2021年版）》、《转型路径倡议》和《企业爵士与全球清洁商业联盟分类法》（Corporate Knights and Clean Capitalism Commission Classification）。然而，前两个分类方案只与当前绩效相关，并未建立实现长期目标所需的转型途径。

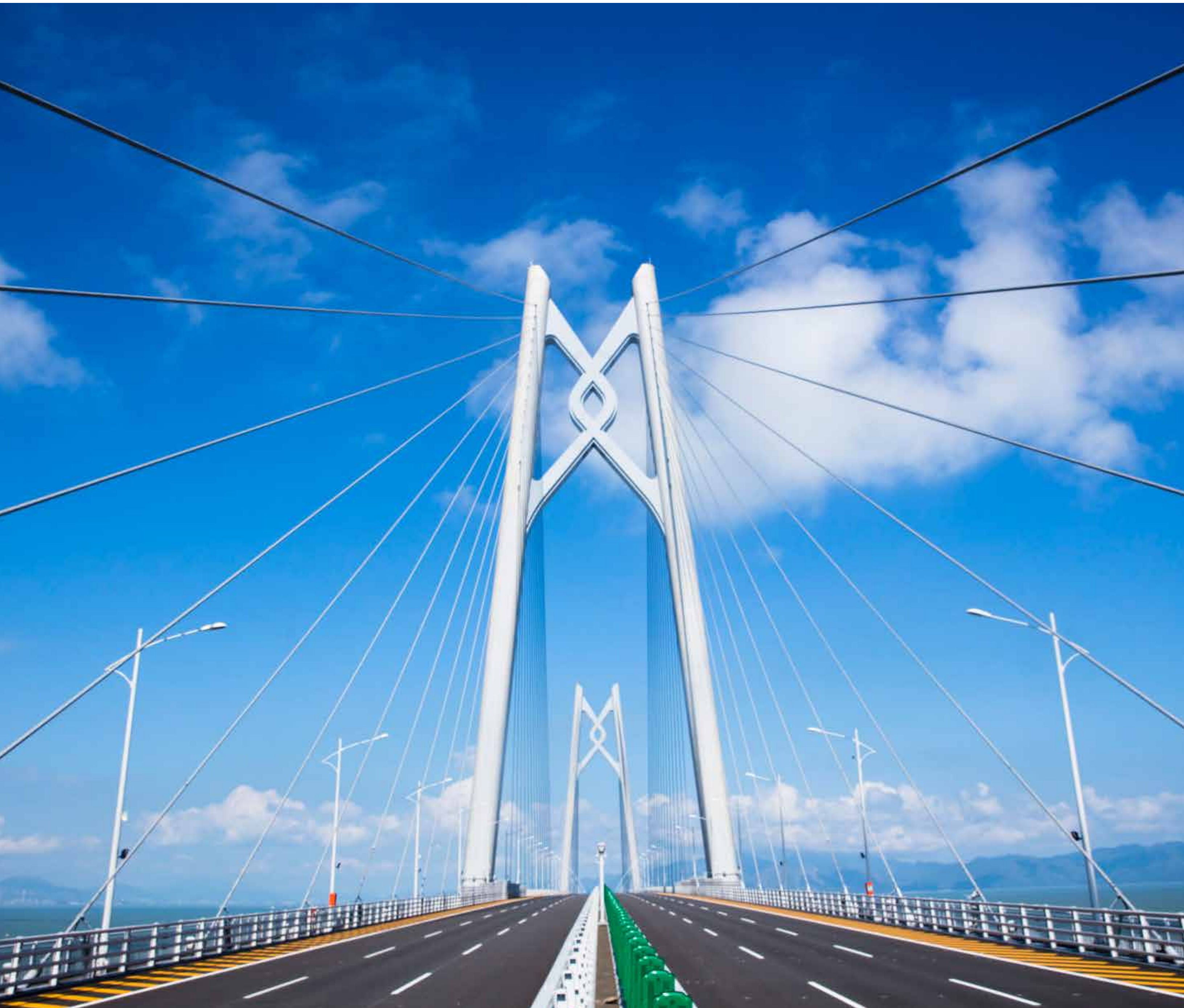
加速转型的金融工具有限

在为高排放企业的脱碳及其转型活动提供金融支持时，一个前提条件是拥有一系列定义明确、广为接受的金融工具。转型金融工具的接受度和流动性也表明了转型市场的成熟度。尽管目前在融资期内制定明确的温室气体减排目标时，采用SLL和SLB的情况较为常见，但市场上的转型金融工具、债券和贷款仍然非常有限。股权投资、保险和资产担保证券等形式的金融工具相对不明确或根本不存在。目前，与全球和香港市场（产品期限为5~10年甚至更长）相

比，中国大陆的可持续发展挂钩产品往往是短期和/或中期（3~5年）的，造成资金期限不匹配。因此，仍有必要进一步多元化脱碳化金融工具，满足对不同期限转型资金的需求，通过使用额外的产品来解决通过资本市场进行的转型活动中的风险分担问题。此外，HKEX已经推出碳期货场内交易基金（ETF），广州期货交易所也在研究适时推出碳期货产品。随着碳减排市场的逐步发展，更多与碳金融挂钩的金融工具将被开发出来，以满足各类实体在碳资产管理方面的需求。

碳市场机制不统一

现在，大湾区共有两个试点碳减排市场（广东和深圳的碳减排市场）。由于碳排放配额的初始分配和碳减排市场的监管存在差异，这两个市场的配额无法交易或互认，使得大湾区的碳减排市场较为割裂，降低了交易的规模和流动性，无法实现对行业的全覆盖。此外，由于目前全国性碳市场和地方试点碳市场并行存在，在全国统一大市场的背景下，地方试点碳市场尽管在中、短期内有更多的发展机会，但从长远来看将面临更大的挑战。例如，如果国家碳市场逐渐形成，地方试点碳市场可能会出现两极分化，甚至被淘汰出局。



第七章

对加速转型的金融实践提出的几点建议

大湾区是中国经济增长的引擎之一，引领了增长与创新，率先践行中国提出的“30-60”碳达峰、碳中和目标。本章就如何通过行业行动和金融实践加速转型提出几点建议。

大湾区具有得天独厚的优势，能够在各种区域和国际利益相关者之间建立强有力的长期合作关系，激励转型投资，并为所有转型实体创造公平的竞争环境。正如第6章所述，大湾区应率先将脱碳化金融工具与温室气体减排直接挂钩。为了充分发挥脱碳融资在大湾区的支持作用，我们建议实施以下主要措施。

7.1 在大湾区内建立“脱碳化金融”的跨区域协调机制

《粤港澳大湾区发展规划纲要》要求进一步深化粤港澳地区的合作与一体化进程，充分发挥各自的比较优势，促进区域经济协调发展，打造国际一流的宜居、宜业、宜游的大湾区。

脱碳化金融的发展需要多方共同努力，尽管大湾区内有两种制度并存，但仍应加强城市、政策和市场主体之间的合作关系。当务之急是建立跨区域委员会，促进脱碳化金融机制的协调发展，加强大湾区内的沟通与合作。

应在现有的粤港澳大湾区绿色金融联盟的基础上建立一个核心协调机构，邀请地方政策制定者和监管部门成立指导委员会，包括中国人民银行广州分行、中国人民银行深圳中心支行、广东省发展和改革委员会、广东省地方金融监督管理局、香港金融管理局和澳门金融管理局等。通过借鉴大湾区绿色金融发展的经验，这一协调机制将调动政策激励措施和金融资源，支持转型活动和投资。

7.2 加强中国大陆/国际/香港在转型金融分类目录以及信息披露方面的互联互通

中国政策制定者和市场主体均逐渐认识到可以利用金融杠杆帮助难减排的行业实现快速脱碳。中国人民银行、NAFMII和其他相关部门已经开始着手制定中国的转型金融政策框架和转型金融产品。中国人民银行正在牵头制定煤电、钢铁、建筑建材和农业等四个行业的转型金融标准，并计划在未来几年进一步覆盖石化、化工、建筑、民航和有色金属等领域。浙江省湖州市政府等地方政府也发布了地方转型分类目录，加速本地的低碳转型实践。

为了降低交易成本、提高市场透明度和避免"假转型"，中国大陆在制定其转型分类目录时，需要与国际和香港标准对标，使这些标准在应用时实现互联互通、协调一致。转型金融分类目录是指导高碳排放实体和行业转型的实用工具。其核心优势在于为与《巴黎协定》和中国30-60目标达成一致勾画出了一条清晰的、有明确时间点的道路。分类范围既可以基于大湾区内的主要制造业（如广东碳减排市场中包括的6个主要行业），也可以选择中国人民银行将要出台的转型金融标准未覆盖的行业。

信息披露对转型活动的透明度和可信度也很重要。同样重要的是，监管机构之间应就转型活动的强制性信息披露达成共识，市场应准备好采用国际气候信息披露标准（如国际可持续发展理事会制定的标准），使大湾区成为全国范围内的转型典范。

7.3 鼓励大湾区的金融机构和企业设定科学的净零目标

决定金融市场能否促进高碳行业低碳转型的先决条件之一是是否建立明确、科学的转型框架和标准体系。随着协调机制和分类目录的逐步推进，目前市场各方尤为关注企业科学转型方案的制定。迄今为止，对许多高排放行业的指导意见并不明确，其精细程度也不足以用于提出符合国内政府和国际机构利益相关方设定的气候目标的战略和投资计划。同时，基于该目标制定的转型路径应该是切实可行并得到市场高度认可的。基于这一原则，从政策导向的角度来看，中国大陆缺乏为企业指明转型路径的相关指导方针。

HKEX于2021年12月发布了《企业净零排放实用指引》。该指南是基于科学碳目标倡议的一套科学碳目标设定指南，针对香港上市公司的主要行业类别进行调整，以提供更集中、更实用的指导。因此，大湾区内的企业可以使用HKEX的《企业净零排放实用指引》或科学碳目标倡议制定其自身的转型计划。目前，科学碳目标倡议已经发布了针对服装和鞋类、水泥、金融机构、森林、土地和农业、信息和通信技术、海事和电力等行业的指导意见。市场还需要培养可持续发展咨询人才，支持企业沿着脱碳之路前进。就脱碳目标和脱碳途径而言，渣打银行以及其他加入科学碳目标倡议的国际银行可以在目标设定、信息披露以及与企业客户的交涉方面发挥主导作用。

7.4 开发与转型挂钩的金融工具箱，扩大融资规模

在脱碳化的进程中，大湾区预计需要高达1.84万亿美元的投资支持。金融机构可利用这一机会调动私人资本，扩大资金流，支持该地区和全国范围内的转型活动和投资。目前，中国已经开发了SLL及贴标债务工具（如SLB和转型债券）。大湾区可以建立一个资助计划，扩大可持续发展挂钩产品和转型金融产品范围，涉及制造、建筑和交通行业。一方面，此计划应在中国大陆提供政策支持，如提供债券发行补贴和绿色信贷贴现利息；另一方面，推行香港金融管理局（HKMA）的绿色和可持续资助（GSF）计划，帮助符合条件的债券发行人和贷款借款人支付债券发行和外部审查费用。

创新碳减排产品，以便与碳资产（如中国排放配额、国家核证自愿减排量机制和国际市场认可的碳排放信用额）挂钩。例如，国际金融公司（IFC）的森林债券为减少森林砍伐和投资低碳增长提供了经济激励。投资者可以选择在IFC森林债券中获得现金或碳排放信用额，后者可以用于抵消企业温室气体排放或在碳减排市场上出售。碳减排产品是一种嵌入在SLL和其他碳排放权交易产品结构中的碳资产，通过制定符合亚太贷款市场协会发布的《可持续发展挂钩贷款原则》以及中国或大湾区转型金融分类目录要求的转型目标和技术路线图，支持能源密集型企业。

利用风险偏好较高的金融工具（包括聚焦转型的股权投资和并购基金），解决额外的融资缺口，促进实体层面的转型。此外，可以借此探索设立税收优惠私募股权基金的机会，投资于符合特定条件的公司（采用新型低碳技术的公司，采用数字技术或孵化关键行业中的创新中小企业对高碳行业进行改造升级的公司等）。金融机构还可以与地方政府合作，利用碳配额拍卖的收益设立行业低碳基金，用于大湾区的脱碳技术投资和项目。

探索开发保险和混合金融工具（如信贷担保、优惠性资本、本币对冲和第一损失部分（first loss position），以更好地分配与转型活动相关的风险。与开发性金融

（developmental finance）和气候金融的情况类似，难减排行业的转型活动也面临着一系列风险，包括转型风险、承购方风险、政策风险、货币风险、流动性和规模风险等。因此，在融资时，风险缓解工具可以在保障转型活动的能源绩效方面发挥关键作用。

7.5 为大湾区内的重点行业定制专属的金融解决方案

制造业：对于中国监管机构确定的钢铁、石化、水泥、陶瓷和造纸等八个重点能源密集型行业，金融机构可以通过与跨国企业（MNC）合作，沿着价值链扩大可持续供应链金融（SSCF）的规模。利用SSCF可以增加MNC供应链可持续性的价值，并为供应商及其买家提供切实的激励。

交通运输业：通过对新能源货运车队、电动汽车和氢燃料电池汽车的政策激励，吸引市场资本进入新能源汽车基础设施（如充电桩和加氢站等）建设领域。鼓励地方政府发行可持续市政债券，对铁路进行投资，并利用SLL和转型融资进行航运融资（在国际海事组织的双燃料船舶之外）。

建筑业：通过SLL利用脱碳化金融工具扩大绿色改造的规模，实施有效的绿色改造合同能源管理（EPC）商业模式，在大湾区内采用绿色保险机制解决期限错配问题，扩大对国际绿色建筑认证（如国际金融公司“卓越设计，提高效率”证书）的认可，吸引国际资金，进行运营评估和能源数据披露。

7.6 利用当地和区域碳减排市场加速大湾区的转型

作为中国重要的经济引擎之一，大湾区应该采用并制定更加严格的目标，控制区域碳排放量。由于目前缺少负责监管整个大湾区的机构，因此通过区域碳减排市场实施排放量上限的做法更为现实。大湾区碳减排市场可以在以下方面发挥作用，加速大湾区的转型：

- 第一步是建立更多的区域合作。这应包括在不同的碳减排市场间建立数据交换共享机制，提高碳排放数据的透明度和有效性。
- 现有的广东和深圳碳排放权交易体系还可以通过率先扩大区域碳减排市场的范围，将陶瓷、纺织品、互联网数据中心、建筑和交通运输等未纳入国家碳减排市场的行业纳入其中，进而加快大湾区的转型。可以发展与香港市场挂钩的大湾区区域碳减排市场，试点金融工具和衍生品。
- 国家碳减排市场有望扩大其所涵盖的行业范围，重启CCER交易，为中国内地CCER市场、香港“核心气候”和国际自愿碳减排市场对接提供机会。在促进和实施《巴黎协定》第6条的过程中，建立了自愿碳减排市场诚信委员会（ICVCM），以形成针对可交易和高质量碳信用的全球统一标准。在此背景下，许多国家和地区正在建立国际自愿碳减排市场。香港推出了“核心气候”自愿碳减排市场，为国内和全球VCM提供服务，将资本与香港、中国大陆和世界各地的气候挂钩产品和机会联系起来。后续可以在相互认可的国内和国际标准、市场基础设施、贸易产品和国际合作方面进行进一步研究。


冰室
End
終止

附录

附录A 大湾区内碳排放缺口分析方法

范围和碳排放核算方法

在第一章中，项目团队基于GDP和碳强度预测了珠三角城市未来的排放量。分析时结合了香港能源政策模拟器（“香港EPS”，2020）先前对香港的研究结果。由于缺乏可用数据，此分析未包括澳门。

碳排放计算公式如下：

公式1

二氧化碳排放量=GDP×碳强度

之所以选择上述两个指标（非人口、人均GDP、单位GDP能耗、单位能耗碳排放四个指标），是因为参考了“十四五”期间GDP增长的官方预测以及省市层面的碳强度目标。然而，大湾区内没有相关的规划文件为单位能耗的碳排放指标提供参考。

数据来源、主要假设和情景设置

本研究选择2020年作为基准年。2020年碳排放的数据来源于公众环境研究中心的零碳地图（公众环境研究中心，2022）。2020年GDP数据来源于大湾区各城市2021年的统计年鉴和《2021年广东统计年鉴》。2020—2025年间的GDP增长预测来自大湾区各城市的“十四五”规划。另外，香港当前和预计的碳排放直接引用自WRI关于香港的研究报告《迈向更美好的香港：2050年实现净零碳排放蓝图》（蒋小谦等，2020）。

每年的GDP是根据上一年的GDP和增长率进行计算的，因此有必要对2021年至2060年的GDP增长率做出假设。考虑到大湾区的经济发展正在经历从“高速”向“高质量”的转变（国务院，2019），我们的主要假设之一是，2025—2060年，每五年大湾区各城市的平均GDP增长率将下降0.5%左右，如表A-1所示（见下页）。

我们创建了三种情景，即基准情景、30-60情景和25-50情景。

基准情景：如表A-2所示，2020—2060年间每五年的碳排放强度降低率将与“十三五”规划期间（2015—2020年间）相同。这是因为“十四五”规划没有设定国家碳排放强度目标。因此，我们采用“十三五”规划目标作保守估计。

30-60情景和25-50情景：30-60情景假设“到2030年达到排放峰值，到2060年达到碳中和”，25-50情景假设“到2025年达到排放峰值，到2050年达到碳中和”。我们的分析将回答以下问题：为了确保2030年/2025年达到排放峰值，分别需要将碳强度降低多少？为了在2060年，甚至在2050年达到碳中和，应当如何设定碳排放上限目标？

在30-60情景和25-50情景下，碳强度降低率假设如下：

- 在30-60情景下，广东省需要到2035年使其碳排放强度比2005年降低81%，才能实现到2030年达到排放峰值。数据来源于WRI中国论文《双碳目标下地方碳达峰目标分解的若

表 A-1 | **2020—2060年每五年大湾区各城市的GDP年增长率（%）**

	2021—2025年	2025—2030年	2030—2035年	2035—2040年	2040—2045年	2045—2050年	2051—2055年	2056—2060年
广州市	6	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5
深圳市	6	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5
珠海市	7	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5
佛山市	6	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5
东莞市	6	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5
中山市	6.5	6	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0
江门市	6	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5
惠州市	7.5	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0
肇庆市	5.35	4.9	4.4	3.9	3.4	2.9	2.4	1.9

来源：2021—2025 年间的数据来自每座城市的“十四五”规划。2025—2060 年间的数据由项目团队假设。

表 A-2 | **基准情景下每五年的碳排放强度的降低率**

	每五年的碳强度降低率（2020—2060年）
广州市	23
深圳市	23
珠海市	20.5
佛山市	23
东莞市	23
中山市	23
江门市	20.5
惠州市	20.5
肇庆市	20.5

来源：项目团队根据《广东省“十三五”控制温室气体排放工作实施方案》整理。

干思考》（Jiang，2021）。根据“十三五”期间省级目标和市级目标之间的关系，我们计算了大湾区各城市2035年的碳强度。其中，2020—2035年之间的碳强度通过线性差异计算。若各城市都在2060年实现碳中和，这将意味着碳排放量需要在2020年的基础上减少90%。基于此条件也能计算出2060年，以及2035—2060年之间的碳强度。

- 根据最新的IPCC报告的要求，我们假设排放量将在2025年达到峰值，到2040年减半，到2050年左右实现碳中和（假设排放量比2020年减少90%，剩余的通过碳抵消实现）。基于30-60情景假设，需进一步加强碳强度降低幅度才能实现相应目标。

需要注意的是，在30-60情景和25-50情景的分析中，在“十四五”规划期间，只有20-50情景下碳排放强度降低24%的假设对于政策制定具有参考意义。考虑到中国在未来将实施碳排放总量控制政策，以及若想实现碳中和目标，总减排目标比强度削减目标更有意义，因此本研究提出的关于2025年后每五年碳排放强度降低率的假设并不适用于为制定政策提供参考。相反，我们只是建议了2025年后的总减排目标，即：在30-60情景和25-50情景下，年平均降幅分别为7.5%和16%。

附录B 制造业碳排放分析与预测方法

本研究采用“自下而上”的方法，基于每种能源的消耗和排放因素，分析大湾区各制造业的二氧化碳排放情况。本研究以2020年企业和项目的碳排放为基准，估计2020年之后的新项目产生的碳排放增量。同时，本研究使用情景分析估计脱碳化措施减少的碳排放。这些措施包含逐步淘汰化石燃料、使用可再生能源生产原材料或原料、电力和供热系统脱碳、应用节能技术以及应用负碳技术等。

数据来源与范围

项目团队根据广东省生态环境厅2020年印发的《广东省市县（区）温室气体清单编制指南》（以下简称《指南》）对制造业进行了碳排放核算。

根据《指南》，制造业碳排放的范围包括每座城市管辖范围内能源组合（煤炭、石油、天然气、电力和热力）的最终消耗所产生的直接排放和间接排放，以及所消耗电力和热力所产生的间接排放。本研究中的碳排放是指二氧化碳排放，不包括其他温室气体和工业生产过程的碳排放。

在大湾区制造业中，广东省内的九个大湾区城市占主导地位，而大湾区服务业则集中在香港和澳门。在大湾区，广东省的九座城市贡献的工业增加值占比始终超过97.70%以上，而香港和澳门的工业增加值占比分别仅为2.12%和0.14%（闫梅和刘建丽，2020）。因此，本研究对大湾区制造业的分析仅聚焦于广东省的九座城市。

本文数据来源于历年的中国能源统计年鉴、广东统计年鉴、大湾区各城市统计年鉴以及香港能源最终用途数据等公共数据。2015年至2020年的能源消耗数据按城市或直辖市分类，以燃料类型为进一步划分依据。“新建重大项目”是项目团队从广东省能源局截至2021年5月的节能报告中收集的信息列表（http://drc.gd.gov.cn/snyj/tzgg/）。该列表包括能源消耗大于10000吨标准煤的项目，具体包含其名称、位置、所属行业、年能耗和能源类型等信息。本研究采用了《指南》中2015—2018年间燃煤、燃油和天然气燃烧的排放系数以及城市电网的电力排放系数。

碳排放核算方法

化石燃料消耗的直接碳排放是煤炭、石油和天然气消耗产生的二氧化碳排放的总和，如公式2所示。

公式 2

$$E_{Direct}=AD_c\times EF_c+AD_o\times EF_o+AD_g\times EF_g$$

其中：

E_{Direct}表示化石燃料消耗的直接碳排放；

AD_c表示煤炭消耗；

AD_o表示石油消耗；

AD_g表示天然气消耗；

EF_c、EF_o和EF_g分别表示煤炭、石油和天然气各自的二氧化碳排放系数。

电力和热力的间接碳排放按公式3计算：

公式 3

$$E_{Indirect}=AD_e\times EF_e+AD_h\times EF_h$$

其中：

$E_{Indirect}$表示电力和热力的间接碳排放；

AD_e表示电力消耗；

EF_e表示电力排放系数；

AD_h表示热力消耗；

EF_h表示热力排放系数。

分析方法

这项研究以2020年为基准，将制造业的现有碳排放视为“存量”。2020年后，新项目（已建成但未运营、在建和已批准建设的项目）所产生的新的碳排放，以及各种制造业增加的碳排放被视为“增量”。逐步淘汰化石燃料、在电力和热力生产中转向可再生能源以及提高能源利用效率所减少的碳排放被视为“减排量”。通过设计“增量”和“减排量”的不同情景，研究团队将概述大湾区内制造业的脱碳化途径，然后提出具体的脱碳化措施。

2020—2030年之间的“增量”排放量估计是基于新建重大项目、其他年能耗低于10000吨标准煤的新项目以及现有项目的能耗增长。

长期而言，基于广东省“十四五”规划，预计2030—2035年GDP增长率为5.0%，2035年之后每五年GDP将减少0.5%。假设工业增加值占GDP的比例从2020年的82%降至2060年的75%。为了使碳排放在2030年达到峰值，不得批准能源密集型行业中使用化石燃料的新项目。采用自回归移动平均（ARIMA）模型，基于2015—2020年各城市制造业的用电量数据估计大湾区的用电量增长。假设2030年（排放峰值年）之后不再批准能源密集型项目，以2015—2030年各城市、各行业的能源消耗和碳排放数据为基准，采用ARIMA模型预测2030年到2060年制造业的能源消耗。可使用增广迪

基—福勒平稳性检验、一阶差分和白噪声检验得到回归结果。电力排放系数和供暖排放系数的模型结果具备显著性，工业用电量和能源消耗采用显著性水平为0.24和0.15的预测结果。

基于对广东省“十四五”规划、制造业能源消耗和工业增加值的分析，假设2020—2025年，GDP增长将与“十四五”规划一致，并且2025—2035年期间，每五年将降低0.5%。其中，工业增加值根据工业增加值增长率与GDP增长率的比值进行估算，可用于估算不同碳排放强度下的碳排放量。减排量根据不同情景设定下的减排措施进行估算。本研究设计了三种情景：

- **基准情景：**基于历史数据和新建重大项目的能源消耗预测，依靠现有计划和可预见的措施来减少能源消耗和碳排放的情景。
- **强化政策情景：**规定新的政策工具，以制定更宏伟的碳减排目标。制造业加快向采取节能降碳行动的转型，以便在2030年前实现碳达峰。
- **零排放情景：**涉及额外的紧急节能降碳政策措施。在这种情况下，应限制能耗上限，以降低碳排放峰值，为2060年之前提前实现碳中和铺平道路。

情景参数设定

针对这三种情景，设计和假设一些关键参数，包括GDP、制造业增加值、新建重大项目的增量排放、化石燃料替代和产品能源强度等。我们在表B-1中呈现了这些参数设定。

表 B-1 | **三种情景下的核心参数设定**

GDP	根据广东省的“十四五”规划5%
基准情景	·“十四五”期间：6.0% ·“十五五”期间：5.5% ·“十六五”期间：5.0% ·每5年降低0.5%
强化政策情景	·“十四五”期间：5.5% ·“十五五”期间：5.0% ·“十六五”期间：4.5% ·每5年降低0.5%
零排放情景	·“十四五”期间：5.0% ·“十五五”期间：4.5% ·“十六五”期间：4.0% ·每5年降低0.5%
制造业增加值/GDP	**基于“工业增加值/GDP”比率计算，“十三五”期间为82%**
基准情景	·2035年前为82% ·2035—2060年间为75%
强化政策情景	·2035年前为82% ·2035—2060年间为75%
零排放情景	·2035年前为82% ·2035—2060年间为75%

表 B-1 | 三种情景下的核心参数设定（续）

重大项目的增量		
	短期和中期	长期
基准情景	与强化政策情景相同	与强化政策情景相同
强化政策情景	根据公众节能报告的审计意见	假设在消耗化石能源的能源密集型行业无新建项目
零排放情景	与强化政策情景相同	与强化政策情景相同
其他增量		
	短期和中期	长期
基准情景	ARIMA预测的上限	ARIMA预测的上限
强化政策情景	使用ARIMA估算电力和热力消耗的趋势	使用ARIMA估算电力和热力消耗的趋势
零排放情景	ARIMA预测的下限	ARIMA预测的下限
煤炭的替代		
基准情景	· 纺织品：2025年减少8%，2035年减少24%，2060年减少80%。 · 造纸：2025年减少20%，2035年减少40%，2060年减少80%。 · 陶瓷窑炉：2025年减少8%，2035年减少16%，2060年减少18%。 · 陶瓷原料喷雾塔：2025年减少0%，2035年减少4%，2060年减少9%。 · 水泥：2035年减少4%，2060年减少6% · 石化：2035年减少8%，2060年减少80% · 钢铁：2035年减少8%，2060年减少80%	
强化政策情景	· 纺织品：2025年减少10%，2035年减少30%，2060年减少100%； · 造纸：2025年减少25%，2035年减少50%，2060年减少100%。 · 陶瓷窑炉：2025年减少10%，2035年减少20%，2060年减少23%。 · 陶瓷原料喷雾塔：2025年减少0%，2035年减少5%，2060年减少12%。 · 水泥：2035年减少5%，2060年减少7% · 石化：2035年减少10%，2060年减少100% · 钢铁：2035年减少10%，2060年减少100%	
零排放情景	· 纺织品：2025年减少12%，2035年减少36%，2060年减少100%。 · 造纸：2025年减少30%，2035年减少60%，2060年减少100%。 · 陶瓷窑炉：2025年减少12%，2035年减少21%，2060年减少23%。 · 陶瓷原料喷雾塔：2025年减少0%，2035年减少10%，2060年减少12%。 · 水泥：2035年减少5%，2060年减少7% · 石化：2035年减少15%，2060年减少100% · 钢铁：2035年减少15%，2060年减少100%	
石油的替代		
基准情景	· 石化：2025年减少0%，2030年减少8%，2060年减少40% · 其他行业：2025年减少4%，2035年减少12%，2060年减少36% · 石油碳排放：2025年保持在80%，2035年保持在72%，2060年保持在35%	
强化政策情景	· 石化：2025年减少0%，2030年减少10%，2060年减少50% · 其他行业：2025年减少5%，2035年减少15%，2060年减少45% · 石油碳排放：2025年保持在99%，2035年保持在89%，2060年保持在43%	
零排放情景	· 石化：2025年减少0%，2030年减少12%，2060年减少60% · 其他行业：2025年减少6%，2035年减少18%，2060年减少54% · 石油碳排放：2025年保持在98%，2035年保持在85%，2060年保持在39%	

表 B-1 | 三种情景下的核心参数设定（续）

天然气替代		
基准情景	· 到 2060年减少75%，2020年至2060年间呈线性变化	
强化政策情景	· 到2060年减少88%，2020年至2060年间呈线性变化	
零排放情景	· 到2060年减少95%，2020年至2060年间呈线性变化	
新项目的化石能源替代		
基准情景	· 到2060年，煤炭使用量减少90%； · 到2060年，石油化工产品的石油用量预计将减少55%； · 到2060年，供暖和供电的天然气用量预计将减少80%	
强化政策情景	· 到2060年，煤炭使用量减少100%； · 到2060年，石油化工产品的石油用量预计将减少60%； · 到2060年，供暖和供电的天然气用量预计将减少90%	
零排放情景	· 到2060年，煤炭使用量减少100%； · 到2060年，石油化工产品的石油用量预计将减少65%； · 到2060年，供暖和供电的天然气用量预计将减少95%	
产品的能源强度		
	短期和中期	**长期**
基准情景	· “十四五”期间：降低4% · “十四五”期间：降低2%	· 2035年：降低1% · 2060年：降低5%
强化政策情景	· “十四五”期间：降低5% · “十四五”期间：降低3%	· 2035年：降低2% · 2060年：降低6%
零排放情景	· “十四五”期间：降低6% · “十四五”期间：降低4%	· 2035年：降低3% · 2060年：降低7%
二氧化碳去除技术		
	短期和中期	**长期**
基准情景	· 2035年：去除100万吨二氧化碳	· 2060年：去除1400万吨二氧化碳
强化政策情景	· 2035年：去除200万吨二氧化碳	· 2060年：去除1500万吨二氧化碳
零排放情景	· 2035年：去除250万吨二氧化碳	· 2060年：去除1800万吨二氧化碳

附录C 交通运输业碳排放分析与预测方法

数据来源与范围

本附录涵盖范围是大湾区不同类型车辆的交通运输能源消耗和碳排放。使用的变量包括车队结构、汽车保有量（所有注册车辆）、年行驶里程、油耗和燃料和电力的排放系数（见表C-1）。

碳排放核算方法

由于本研究的目的在于了解大湾区内交通运输的现状，并估算其排放量和各种措施的减排潜力，因此汽车保有量的“自下而上”方法更符合本研究的目标。将汽车保有量、活动水平（年均里程）和燃油经济性水平相乘得出交通能耗核算数值，如公式4、公式5和公式6所示：

公式 4

$$F_k=\sum P_{ijk}\times VKT_{ijk}\times U_{ijk}$$

其中：
下角标i、j和k分别表示车辆型号、注册时间和能源类型；
F表示车辆的能耗；
P表示汽车保有量；
VKT表示车辆的年均行驶里程；
U表示车辆的燃油经济性。

道路车辆的碳排放分为生命周期碳排放和上游燃料碳排放。整个生命周期的排放量是通过将运输最终用途的能耗和燃料燃烧的排放系数相乘来获得的。

公式 5

$$E_k=F_k\times EF^1{}_k$$

其中：
下角标k表示燃料的类型；
E表示不同能耗所排放的二氧化碳；
F表示车辆的能耗；
EF^1表示不同类型燃料燃烧时的碳排放系数。

上游发电和制氢的排放量是通过将最终的运输能耗与生产燃料时的上游碳排放系数相乘得出的。

公式 6

$$E_k=F_k\times EF^2{}_k$$

其中：
下角标k表示燃料的类型；
E表示不同能耗所排放的二氧化碳；
F表示车辆的能耗；
EF^2表示发电和制氢的上游碳排放系数。

减排成本模型

本研究分别计算了不同减排技术和措施的边际减排成本。边际减排成本是指某一年内每单位减排量所对应的减排成本，如公式7所示：

公式 7

边际减排成本=减排成本/减排量

表 C-1 | **交通运输分析的数据结构**

变量	数据来源	时间
车队结构	历年广东统计年鉴、大湾区各城市统计年鉴、香港能源最终用途数据以及香港运输署相关数据	2015—2020年
汽车保有量		2015—2020年
年行驶里程	Xue等人2019年所做的研究	2015—2050年
能耗	中国汽车能耗数据库、中华人民共和国工业和信息化部提供的相关数据	不适用
燃料排放系数	《广东省市县（区）温室气体清单编制指南（试行）》	不适用
电力排放系数	《广东省市县（区）温室气体清单编制指南（试行）》	2015—2018年

减排成本是减排措施所需的成本投入与未来成本节约之间的差额，以净现值表示。考虑到补贴和税收政策的动态调整对成本计算的影响，此二项未纳入本研究的成本中。减排成本的计算公式如公式8所示：

公式 8

减排成本=(总成本-成本节约)/（1+贴现率）^{年}

情景设置

本研究在对汽车保有量和大湾区内公路运输情况的预测、对“十四五”期间减排政策的分析以及现有文献的基础上设计了相关情景，以预测技术进步。本研究选择了几个关键参数来设置情景，包括大力推广使用新能源汽车、调整运输方式、提高燃油经济性、减少年行驶里程以及使用清洁电力和绿氢。

设置的三种情景为：

- **基准情景：**此情景定义为历史趋势的延续，不反映政策干预。采取Gompertz曲线（Wu et al.，2014）和弹性系数方法（林晓芳等，2019）进行车队预测，以车型为分类依据，假定在基准情景下，车辆保有量将保持自然增长。随着新能源汽车的使用，车辆的燃油经济性和年行驶里程将维持当前水平。
- **强化政策情景：**此情景考虑到现有政策以及预测中的城市发展和技术进步。最近发布的政策为定义参数提供了可靠参考。例如，国务院提出，到2025年、2030年和2060年，非化石能源下好了将分别占总能源消耗量的20%、25%和80%（新华社，2021），到2025年，新能源汽车销量将占汽车总销量的20%左右（国务院，2020）。
- **零排放情景：**此情景基于严格的政策控制和重大的技术进步，以确保到2060年实现碳中和。例如，相比于基准情景，零排放情景下新能源汽车的普及将提早10～15年实现；对于中重型卡车而言，100%采用非化石燃料电力和绿氢作为能源将提早10年（也就是在2050年）实现。

值得注意的是，不同的减排措施所对应的实施政策不同，实施主体不一定是省级政府部门。例如，新车燃油经济性的提高主要是由国家级汽车燃油消耗标准以及“双积分”政策推动的（工业和信息化部，2020）。各种减排措施的影响变量和实施主体如表C-2所示：

在广东省，目前只有广州市和深圳市对购车实施限制，主要针对传统化石燃料汽车。除了经济发展水平之外，对汽车保有量的预测还考虑了城市人口和面积等其他主要因素。本研究采用两种模型预测不同类型的车辆数量，使用Gompertz曲线方法预测私家车数量（Wu et al.，2014），使用弹性系数方法预测商用车数量（林晓芳等，2019）。到2060年，每千人中私家车预测数量和重型卡车的增长率与现有文献和报告中的国家水平相似（薛露露等，2019；Lu et al.，2018）。

采用新能源汽车是影响交通碳排放的最重要因素。由于经济发展水平不一，大湾区各地的汽车电气化水平差异很大。本研究分别预测了广州市、深圳市和珠三角（不包括广州市和深圳市）新能源汽车的使用情况。

交通结构的变化主要包括客运车队从私人车辆转向公共交通服务，货运模式从公路转向铁路、水路以及多式联运（国务院，2021年）。这些变化主要反映在交通运输份额下降这一结果上。世界资源研究所进行的一项研究（薛露露等，2019）认为，根据大胆预测，2050年道路货运的比例可能会从2015年的48%下降至35%。清华大学—张家港氢能与先进锂电技术联合研究中心（JIHLT）（Yuan et al.，2021）认为，铁路货运比例将从2030年的23%增长至2050年的45%，取代水路货运和公路货运。公路货运占比下降的

表 C-2 | **各种减排措施的影响变量和实施主体**

减排措施	影响变量	实施主体
推广使用新能源汽车	车队结构	国家政策和地方政策相结合
调整交通方式	汽车保有量、年行驶里程	地方政策
提升燃油经济性	新车油耗	国家政策
降低活动水平	年行驶里程	地方政策
使用清洁电力和绿氢	发电和制氢生产的排放系数	地方政策

主要原因是中重型卡车拥有量降低（与基准情景相比）。

有许多关于2021年至2035年间车辆燃油经济性的研究。《节能与新能源汽车技术路线图2.0》（中国汽车工程学会，2021）中提到，到2025年、2030年和2035年，传统化石燃料乘用车的平均油耗可能将分别达到5.6升/100千米、4.8升/100千米和4.0升/100千米。到2035年，商业货运车辆的燃料消耗量可能将比2019年水平下降15%~20%。乘用车的燃料消耗量可能将比2019年水平下降20%~25%。能源与交通创新中心对各种商用车的燃油经济性以及2060年的发展趋势进行了更详细的总结和预测（秦兰芝等，2021）。多项研究表明，真实驾驶条件下的燃油经济性比测试条件下高出20%~30%。

年行驶里程主要基于《道路机动车排放清单编制技术指南（试行）》提供的数据（Zhang，2015）。然而，本研究将私家车和重型货车的数据修改为12000千米和50000千米（薛露露等，2019），因为多项研究表明，该指南所提供的这些车辆的平均年行驶里程相对较高。

清洁能源在上游发电和制氢中的份额是基于世界资源研究所之前对中国公路运输的研究（薛露露等，2022）。到2050年，清洁能源发电量在总发电量中的份额将达到92%，到2060年将进一步提高到100%；到2050年，灰氢供应量在氢气供应量中的份额将降至15%，到2060年，灰氢将完全退出市场。

交通运输部门情景分析的关键参数设置见表C-3。

表 C-3 | **三种情景下的核心参数设定**

	基准情景	强化政策情景	零排放情景
车队	私家车： 2020年：广州市，215万；深圳市，271万；其他城市，962万 2060年：广州市，503万；深圳市，375万；其他城市，1700万 重型车辆： 2020年：广州市，9万；深圳，11万；其他城市，17万 2060年：广州市，19万；深圳市，16万；其他城市，37万		
新能源汽车的采用率	与2020年相同	**深圳市：**2035-2050年实现100%新能源汽车 **广东省：**2035-2055年实现100%新能源汽车 其他城市：到2060年实现100%新能源汽车 **重型车辆：**氢燃料占70%，新能源汽车采用率为30%	**深圳市：**2030—2040年实现100%新能源汽车 **广东省：**2030—2040年实现100%新能源汽车 其他城市：2025—2045年实现100%新能源汽车 **重型车辆：**氢燃料占70%，新能源汽车采用率为30%
交通结构变化	与2020年相同	**2020—2025年：**客运车队减少8%，货运车队减少10% **2025—2030年：**客运车队减少15%，货运车队减少15%	**2020—2025年：**货运车队减少14% **2025—2030年：**客运车队减少25%，货运车队减少25% **2030—2035年：**客运车队减少30%，货运车队减少30%
车辆的燃油经济性	与2020年相同	**2020—2035年：**乘用车减少37.5%，商用车减少20%，货运车减少15% **2035—2060年：**与2035年相同	**2020—2035年：**乘用车减少45%，商用车减少30%，货运车减少25% **2035—2060年：**与2035年相同
年行驶里程	与2020年相同	私家车：12000千米 重型车辆：50000千米 其他车辆：参见《道路机动车排放清单编制技术指南（试行）》 到2060年，私家车将减少20%	私家车：12000千米 重型车辆：50000千米 其他车辆：参见《道路机动车排放清单编制技术指南》 到2060年，私家车将减少40%
清洁能源在电力和氢气生产中的份额	与2020年相同	2050年：非化石燃料电力占92%；绿氢占85% 2060年：非化石燃料电力占100%；绿氢占100%	2050年：非化石燃料电力占100%；绿氢占100%

附录D 建筑业碳排放分析和预测方法

数据来源与范围

本附录仅涵盖建筑运营过程中的排放，并建立了“自下而上”的碳排放模型。使用的变量包括人口、人均建筑面积、燃料的能源消耗，燃料和电力的排放系数（见表D-1）。数据变量来自广东省各城市近年的统计年鉴（广东省统计局，2021）、住房和城乡建设部近年发布的中国城市建设统计年报（住房和城乡建设部，2022）和香港特别行政区机电工程署发布的近年发布的香港能源最终用途数据（香港特别行政区机电工程署，2022）。

中国的EPS模型用于估算电力排放系数，并就清洁能源份额以及部署碳捕获、利用与封存（CCUS）做出假设。此外，单位建筑面积能耗是衡量建筑能耗的一个基本指标，已被广泛用于建筑节能政策和标准中（Huo et al., 2019; Zhao et al., 2016）。

碳排放核算方法

建筑行业的能耗和碳排放基于能耗和排放系数计算。本研究认为，从2000年到2018年，电力、液化石油气和天然气这三种主要能源燃料消耗共占广东省总能耗的90%以上。碳排放计算方法如公式9所示：

公式 9

$$CE(\text{运营})=\sum(Q_e\times EF_e) = \sum((Q_{r,e}+Q_{p,e})\times EF_e)$$

其中：

$Q_{r,e}$表示住宅建筑中的能源e消耗；

$Q_{p,e}$表示公共和商业建筑中的能源e消耗；

EF_e表示能源e的排放系数；

住宅建筑的能耗（$Q_{r,e}$）和公共和商业建筑的能耗（$Q_{p,e}$）可以根据人口、人均建筑面积和单位面积能耗等指标计算，如公式10所示：

公式 10

$$Q_{p,e}=\sum P\times A_{p,pp}\times EI_p\times R_e$$

其中：

P表示人口；

$A_{r,pp}$和$A_{p,pp}$分别表示人均居住面积和人均公共和商业建筑面积；

EI_r和EI_p表示住宅及公共和商业建筑的能源强度（单位建筑面积的能耗）；

R_e表示能源e在能耗中所占的比例。

情景设置

建筑业碳排放模拟的基本原理是情景分析方法。情景设置主要考虑对建筑业的能耗强度、能耗结构、清洁能源渗透率以及经济发展和人口增长等其他驱动因素的影响。碳排放是基于能耗结构和清洁能源在发电中的份额来计算的（见表D-2）。

根据绿色建筑和现有建筑节能改造的省市级政策要求，本研究设计了基准情景、强化政策情景和零排放情景。这三种情景均做出了建筑面积增加的假设，这一假设基于每座城市的面积和空间规划以及《重塑能源：中国》的关键发现（国家发展和改革委员会能源研究所等，2018）。三种情景反映了对能源强度（单位建筑面积能耗）、电气化率和电力去碳化（可再生能源发电占比）不同干预水平的设定。

表 D-1 | **建筑业分析数据结构**

细分行业	能源结构	输入参数
人口	近年广东统计年鉴、大湾区各城市近年的统计年鉴以及香港人口普查数据	2015—2020年
人均建筑面积	近年广东统计年鉴以及大湾区各城市近年的统计年鉴	2015—2020年
燃料的能源消耗	大湾区各城市近年的统计年鉴、住房和城乡建设部近年发布的中国城市建设统计年报及香港特别行政区机电工程署发布的近年发布的香港能源最终用途数据	2015—2050年
燃料排放系数	《广东省市县（区）温室气体清单编制指南（试行）》	不适用
电力排放系数	《广东省市县（区）温室气体清单编制指南（试行）》	2015—2018年

表 D-2 | 建筑业碳排放估算模型框架

细分行业	能源结构	输入参数
住宅建筑	· 电力 · 液化石油气 · 天然气	· 常住人口 · 人均居住面积 · 住宅能耗强度 · 电气化率 · 清洁能源在发电中所占的份额 · 燃料和电力的排放系数
公共和商业建筑	· 电力 · 天然气 · 其他能源（包括液化石油气）	· 常住人口 · 人均公共和商业建筑面积 · 公共和商业建筑的能源强度 · 电气化率 · 清洁能源在发电中所占的份额 · 燃料和电力的排放系数

基准情景：此情景定义为历史趋势的延续，当前的政策措施不变，不反映政策干预。在这种情景下，在2020—2030年期间，建筑能源强度将上升30%；在2030—2060年期间，能源强度将再次上升30%（Liang et al., 2020）。到2060年，能源结构将发生转变，电力将占所有能源的95%；清洁电力的比例将达到67%。

强化政策情景：考虑制定新的政策工具，以实现更具雄心的减排目标。到2030年，所有新建建筑将遵循最新版的《建筑节能与可再生能源利用通用规范》国家标准（GB 55015），将能源强度降低30%。到2030年，现有建筑的能源强度将提升30%，到2060年，现有建筑的能源强度将再次提升30%。到2060年，新建建筑的能源强度将降低30%。到2030年，电力将至少占终端能源消耗总量的85%，到2050年，达到95%。到2060年，清洁电力的比例将达到77%，且不再使用碳捕获、利用与封存（CCUS）技术。

零排放情景：考虑更具雄心的排放目标。到2030年，新建建筑的能源强度将与强化政策情景下的强度相同。此外，60%的现有建筑的能源强度将比基准情景下的强度低50%。在2030—2060年期间，所有建筑的能源强度将降低20%。到2030年，电力将至少占能源结构的85%；到2060年，该比例将达到100%。到2060年，清洁电力的比例将达到88%。碳捕获、利用与封存（CCUS）技术将用于发电厂。

建筑行业情景分析的关键参数设置见表D-3。

表 D-3 | 三种情景下的核心参数设定

政策措施	基准情景	强化政策情景	零排放情景
降低能耗强度	· 到2030年比2020年增长30% · 与 2030年相比，到 2060年增长 30%	与基准情景相比 · 现有建筑：到2030年比2020年增加30%，到2060年比2030年增加30% · 新建建筑：到2030年比2020年降低30%，到2060年比2030年降低30%	与基准情景相比 · 现有建筑：到2030年比2020年降低50%，到2060年比2030年降低20% · 新建建筑：到2030年比2020年降低30%，到2060年比2030年降低20%
提高电气化率	· 到2050年提高至95%	· 到2030年提高至85% · 到2050年提高至95%	· 到2030年提高至85% · 到2060年提高至100%
提升清洁电力占比	· 到2060年，清洁电力所占的份额将达到67%	· 清洁电力所占的份额将达到77%，且未部署CCUS。	· 清洁电力所占的份额将达到88%，并为化石燃料发电安装CCUS设备

缩写列表

CCERs	国家核证减排量
CCUS	碳捕获、利用与封存
CEA	中国碳排放配额
CGBL	中国绿色建筑标识
CICC	中国国际金融股份有限公司
EDGE	“优秀高能效设计”
ESG	环境、社会和治理
ETF	场内交易基金
ETS	碳排放权交易体系
EV	电动汽车
GBA-GFA	粤港澳大湾区绿色金融联盟
GHG	温室气体
HKEX	香港证券交易所
ICMA	国际资本市场协会
IEA	国际能源署
IFC	国际金融公司
IPE	公众环境研究中心
KPI	关键绩效指标
MNC	跨国企业
NAFMII	中国银行间市场交易商协会
NDC	国家自主贡献
PBoC	中国人民银行
PE	私募股权
SBTi	科学碳目标倡议
SLB	可持续发展挂钩债券
SLL	可持续发展挂钩贷款
SPT	可持续发展绩效目标
SSCF	可持续供应链金融
30-60 目标	中国的国家目标，即到2030年达到碳排放峰值，到2060年实现碳中和
VCM	自愿碳减排市场

注释

1. 关于“假转型”的讨论，参见Quinson的文章（2021）。
2. 本报告全文中的货币换算汇率为：1美元 = 6.5元，1元=0.1538美元。
3. 新能源汽车（NEVs）是指零排放或低排放车辆，包括电池驱动的电动汽车、插电式混合动力汽车、混合动力汽车和燃料电池汽车。
4. 网约车主要指客户雇佣司机把他们带往精准的目的地，具体操作方式包括从路上约出租车，在电话上叫车，或者从app应用程序上以虚拟方式叫车和司机。
5. “出行即服务”是一种全新的交通理念，是指将各种方式的交通服务整合到一个平台上，用户可按需访问，根据自身的出行需求，获取最有效的解决方案，减少出行难的问题。
6. 能耗数据来自大湾区各城市的统计年鉴。排放量是根据各种能源的能耗和排放系数计算的。
7. 由于大量使用可再生能源，近零能耗建筑的碳排放量极低。
8. CICC的研究涵盖建筑、农业、电力、石化、钢铁、交通和水泥等行业。
9. 绿色建筑、近零能耗建筑和现有建筑改造的增量成本也包括可再生能源利用。之所以把可再生能源利用从新建和现有建筑成本中单独列出，是因为政府出台了单独针对该项的补贴制度。但建筑费用并未考虑进去。根据第4章中预估的建筑面积，并基于总建筑面积和单位面积低碳措施成本，我们计算了投资需求。同时，根据目前低碳措施的激励政策，我们估算了政府预期发放的补贴金额。低碳措施成本和补贴之间的差额就是大湾区建筑业的投资缺口。

参考文献

Bloomberg. 2022. 1H 2022 Sustainable Finance Market Outlook. BloombergNEF (blog). Jan 24 2022. https://about.newenergyfinance.com/blog/1h-2022-sustainable-finance-market-outlook/.

Chen, L., and A. Huang，2022. “ESG Loans With Little Transparency Boom in China, Hong Kong”. Bloomberg.Com, June 22 2022. https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-06-22/esg-loans-with-little-transparency-boom-in-china-hong-kong.

Climate Watch. 2022. “Climate Watch Historical GHG Emissions”. https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions.

G20 Sustainable Finance Working Group. 2022. “2022 G20 Sustainable Finance Report”. https://g20sfwg.org/wp-content/uploads/2022/10/2022-G20-Sustainable-Finance-Report-2.pdf.

Goldman Sachs. 2021. “Goldman Sachs and the International Finance Forum Launch Green Finance Working Group”. Goldman Sachs. Dec 4 2021 https://www.goldmansachs.com/media-relations/press-releases/2021/announcement-iff-04-dec-2021.html.

Greater Bay Area. 2022. “Overview”. https://www.bayarea.gov.hk/en/about/overview.html.

HKEX. 2022a. 香港交易所歡迎首隻碳期貨ETF上市. Mar 2022. https://www.hkex.com.hk/News/News-Release/2022/220323news?sc_lang=zh-HK.

HKEX. 2022b. “香港交易所与广州碳交所签订合作备忘录共同探索大湾区和国际碳市场机遇”. Mar 2022. https://sc.hkex.com.hk/TuniS/www.hkex.com.hk/News/News-Release/2022/220324news?sc_lang=zh-HK.

HKEX. 2022c. “香港交易所推出香港国际碳市场Core Climate，支持全球净零转型”. Oct 2022. https://sc.hkex.com.hk/TuniS/www.hkex.com.hk/News/News-Release/2022/221028news?sc_lang=zh-HK.

HKEX. 2022d. “香港全新国际碳市场Core Climate平台推出后取得显著成绩”. Nov 2022. https://sc.hkex.com.hk/TuniS/www.hkex.com.hk/News/News-Release/2022/2211242news?sc_lang=zh-HK.

“Hong Kong EPS”. 2020. https://hongkong.energypolicy.solutions.

Huang, Y., and L. 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: 482–97.

Huo, T., H. Ren and W. Cai. 2019. “Estimating urban residential building-related energy consumption and energy intensity in China based on improved building stock turnover model”. Science of the Total Environment 650: 427–37.

IEA. 2019. “The Future of Hydrogen - Seizing today’s opportunities. https://iea.blob.core.windows.net/assets/9e3a3493-b9a6-4b7d-b499-7ca48e357561/The_Future_of_Hydrogen.pdf.

IEA. 2020. “Energy Technology Perspectives 2020 - Special Report on Carbon Capture Utilisation and Storage”. https://iea.blob.core.windows.net/assets/181b48b4-323f-454d-96fb-0bb1889d96a9/CCUS_in_clean_energy_transitions.pdf.

IPCC. 2022. “Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change”. https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-3/.

IPCC. 2023. “SYNTHESIS REPORT OF THE IPCC SIXTH ASSESSMENT REPORT (AR6)”, March. https://report.ipcc.ch/ar6syr/pdf/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf

Jiang, Xiaoqian. 2021. “Some Thinking on Carbon Emissions Peak Target Allocation at the Sub-national Level” （“3060”双碳目标下地方碳达峰目标分解的若干思考）. [Unpublished]

Liang, J., W. Zhang, C. Lin, J. Zhou和X. Tian. 2020. “Analysis of China’s Total Building Energy Consumption and Policy Proposal under the Background of New Urbanization”. Regrigeration and Air Conditioning, April.

Lin, B., and R. Tan. 2017. “Sustainable development of China’s energy intensive industries: From the aspect of carbon dioxide emissions reduction”. Renewable and Sustainable Energy Reviews 77 (September): 386–94. doi:10.1016/j.rser.2017.04.042.

Lu, Z., Y. Zhou, H. Cai, M. Wang, X. He and S. 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 Laboratory.

National Bureau of Statistics of China. 2022. “Communiqué on National Expenditures on Science and Technology in 2021”. http://www.stats.gov.cn/english/PressRelease/202209/t20220901_1887829.html.

Net-Zero Banking Alliance. 2022. “NZBA-Transition-Finance-Guide”. https://www.hkgreenfinance.org/wp-content/uploads/2022/10/NZBA-Transition-Finance-Guide.pdf.

PAG (Pacific Alliance Group). 2022. “PAG Closes Sustainability-linked Loan Facility”. PAG. September 2022. https://www.pag.com/en/pag-closes-sustainability-linked-loan-facility.

Quinson, Tim. 2021. “’Transition Washing’ Is the Newest Sustainability Dodge.” Bloomberg, May 12.

Reznik, M., R. Usson和S. Demare. 2022. “Do sustainability-linked bonds have a step-up problem?” Federated Hermes International. March 2022. https://www.hermes-investment.com/fr/fr/professional/insights/sustainable/sustainability-linked-bonds-like-marmite-for-markets/.

Stefano, S. 2021. “Green and Sustainable Finance”. European Parliamentary Research Service, February 2021.

The Asset. 2022. “Shui On secures HK$5.75 billion sustainability-linked loan”. June 2022. https://cpcw.theasset.com/article/47033/shui-on-secures-hk-5-75-billion-sustainability-linked-loan.

Trading Economics. 2022. “Hong Kong GDP - 2022 Data”. https://tradingeconomics.com/hong-kong/gdp.

UNEP. 2016. “The Inquiry into the Design of a Sustainable Financial System - Definitions and Concepts: Background Note”. https://unepinquiry.org/wp-content/uploads/2016/09/1_Definitions_and_Concepts.pdf.

Wu, T., H. Zhao和X. Ou. 2014. “Vehicle Ownership Analysis Based on GDP per Capita in China: 1963–2050”. Sustainability 6 (8): 4877–99. doi:10.3390/su6084877.

Yuan, Z., Z. Li, L. Kang, X. Tan, X. Zhou, X. Li, C. Li, T. Peng和X. Ou. 2021. “A review of low-carbon measurements and transition pathway of transport sector in China”. Climate Change Research 17 (1): 27.

Zhang, S. 2015. 道路机动车大气污染物排放清单编制技术指南（试行）. doi:10.13140/RG.2.1.3168.4005.

Zhao, D., A. McCoy和J. Du. 2016. “An empirical study on the energy consumption in residential buildings after adopting green building standards”. Procedia Engineering 145: 766–73.

财政部，住房和城乡建设部，2012.关于加快推动我国绿色建筑发展的实施意见. Government Website. 2012年5月. http://www.gov.cn/zwgk/2012-05/07/content_2131502.htm.

柴麒敏，2021.碳中和推动绿色金融主流化. 21财经. 2021年2月25日. https://m.21jingji.com/article/20210225/herald/f49358a75e68d8153edb6e7ab042d766.html.

第七次人口普查领导小组办公室，2020. 中国人口普查年鉴. 中国统计出版社. http://www.stats.gov.cn/sj/pcsj/rkpc/7rp/zk/indexch.htm.

东莞市商务局，2020. 东莞谋划打造世界级电子信息产业集群, 2020年9月. http://dgboc.dg.gov.cn/gkmlpt/content/3/3252/post_3252463.html#254.

东莞住房和城乡建设局，2021. 东莞市绿色建筑创建行动实施方案（2021-2023）. 东莞市住房和城乡建设局. 2021年12月20日. http://zjj.dg.gov.cn/gkmlpt/content/3/3689/post_3689909.html#796.

佛山市人民政府办公室，2021. 佛山市交通发展“十四五”规划和佛山市高快速路网规划（2021—2035年）. 2021年12月. http://www.foshan.gov.cn/gkmlpt/content/5/5139/post_5139179.html#38.

佛山市住房和城乡建设局，2022. 佛山市绿色建筑创建行动实施方案（2022-2025）. 佛山市住房和城乡建设局. 2022年3月18日. http://fszj.foshan.gov.cn/zwzt/jnqg/jnsfxm/content/post_5209699.html.

工业和信息化部. 2020，关于修改《乘用车企业平均燃料消耗量与新能源汽车积分并行管理办法》的决定. 2020年6月. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-06/22/content_5521144.htm.

公众环境研究中心. 2022， 双碳地图. 2022年10月7日. http://wwwen.ipe.org.cn/MapLowCarbon/LowCarbon.html?q=5.

广东电力交易中心，2022. 广东电力市场2021年年度报告. 广东电力交易中心. https://pm.gd.csg.cn/views/page/xwzx-Cont-10902.html.

广东惠州平海发电厂有限公司，2021. 2021 年度第一期中期票据（可持续挂钩） 募集说明书. 2021年10月. https://www.chinamoney.com.cn/dqs/cm-s-notice-query/fileDownLoad.do?mode=open&contentId=2072918&priority=0&ut=UCbmqaMGBN43GlemLaWrKUu2GvHcsUhOShX6cEIJWwvEVRSAKsvEtsYfQmckq6ocGEe5e82iG6RG%0ASCgALQfc715NB3iIZ8X%2B2FRKNqx0lJgV/FciWAaUFtV0J%2B/CVXdvS3w0hHrnq60oXi5LN9geEFj0%0AUWSSlxiwRDVtvnBtSC0=%0A&sign=Q/d8solfMh3GOoMI5WmGUaZA1ukiCpO5sMwap9ByMZnt4tsJZ-eSkX6Wq1v3lRrKsnQLcWdAPun00%0ALsYa5AtcTZpCs2CvuKf8xTKL5JKkAphGIIEbpsADAhjeg2dCZIBVMUOFd2LaiLvRLJLML9AfJTc/%0AI44XV2MvFkyyEBuTLsA=%0A.

广东省地方金融监督管理局，2021. 广州期货交易所揭牌成立！中国首家混合所有制交易所来了. 2021年4月. http://gdjr.gd.gov.cn/gdjr/jrzx/tt/content/post_3264722.html.

广东省地方金融监督管理局，2023. 我国绿色金融居全球前列. http://gdjr.gd.gov.cn/gdjr/jrzx/jryw/content/post_4074772.html.

广东省工业和信息化厅和广东省发展和改革委员会，2020. 广东省发展绿色石化战略性支柱产业集群行动计划（2021 – 2025年）. 2020年9月. http://gdii.gd.gov.cn/zwgk/tzgg1011/content/post_3096984.html.

广东省建筑设计研究院有限公司，2016. 成本制约绿色建筑 政策激励成关键. 2016年8月. https://www.gdadri.com/news/industry_2227.html.

广东省能源局，2021. 广东省电动汽车充电基础设施发展“十四五”规划. 2021年12月27日. http://drc.gd.gov.cn/snyj/tzgg/content/post_3960313.html.

广东省人民政府，2013. 广东省绿色建筑行动实施方案. 2013年11月. http://www.gd.gov.cn/gkmlpt/content/0/142/post_142480.html#7.

广东省人民政府，2021. 广东省生态文明建设“十四五”规划. 2021年10月29日. https://www.gd.gov.cn/zwgk/wjk/qbwj/yf/content/post_3595207.html.

广东省生态环境厅，2020. 广东省市县（区）级温室气体清单编制指南（试行）. http://gdee.gd.gov.cn/attachment/0/395/395006/3019513.pdf.

广东省统计局，2021. 广东省统计年鉴2021. 2021年10月8日. http://stats.gd.gov.cn/gdtjnj/content/post_3557537.html.

广州市交通运输局，2021. 广州市交通运输“十四五”规划. 2021年9月. https://www.cnbayarea.org.cn/policy/policy%20release/policies/content/post_612930.html.

国家发展和改革委员会，2017. 国家重点节能低碳技术推广目录（2017年本低碳部分）. https://www.mee.gov.cn/ywgz/ydqhbh/wsqtkz/201904/t20190419_700394.shtml.

国家发展和改革委员会能源研究所, 美国劳伦斯伯克利国家实验室和落基山研究所，2018.《重塑能源：中国》. Research Report. RMI. https://rmi.org/insight/reinventing-fire-china/.

国家统计局，2021. 分省年度数据. 国家数据. 2021年. https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=E0103.

国盛证券，2022. 建筑光伏行业研究：BAPV、BIPV发展提速，如何看待其经济性？. 2022年1月4日. https://www.toutiao.com/article/7049224636424405512.

国务院，2019. 粤港澳大湾区发展规划纲要. 2019年2月18日. http://www.gov.cn/zhengce/2019-02/18/content_5366593.htm#1.

国务院，2020. 新能源汽车产业发展规划（2021—2035年）. 2020年10月20日. http://www.gov.cn/zhengce/content/2020-11/02/content_5556716.htm.

国务院，2021. 推进多式联运发展优化调整运输结构工作方案（2021—2025年）. 2021年12月25日. http://www.gov.cn/zhengce/content/2022-01/07/content_5666914.htm.

国务院，2022. 关于加快建设全国统一大市场的意见. 2022年4月. http://www.gov.cn/zhengce/2022-04/10/content_5684385.htm.

和讯网，2021. 开发“鑫减碳”创新产品——南京银行落地全国首单碳表现挂钩贷款. 2021年8月. http://bank.hexun.com/2021-08-10/204128743.html.

惠州市住房和城乡建设局，2022. 惠州市绿色建筑创建行动实施方案（2021-2023）. 2022年2月14日. http://zjj.huizhou.gov.cn/zwgk/jcgk/content/post_4550524.html.

蒋小谦, lu L.，Gibson J.R.，Chan L.，Fong W.K.，Henning R.，2020. 迈向更美好的香港：2050年实现净零碳排放蓝图, 一月. https://wri.org.cn/research/hong-kong-pathways-net-zero-carbon-emissions-2020.

金融时报，2022. 保险创新为粤港澳大湾区互联互通提速. 2022年6月. https://finance.sina.com.cn/china/2022-06-29/doc-imizirav1080150.shtml.

李莉莎，林嘉琪，2022. “双碳”目标下绿色保险的制度构建——基于粤港澳大湾区的视角. 金融理论与实践, 期 8: 9.

林晓芳，徐伟嘉，李熙莹和马金玲，2019. 广东省车辆存活概率曲线及规律. 中山大学学报：自然科学版 58 (1): 9.

绿色和可持续金融跨机构督导小组，2022. 香港碳市场机遇的初步可行性评估. 2022年3月30日. https://www.sfc.hk/-/media/EN/files/CEOO/CASGWS3PreliminaryCarbonFeasibilityAssessmentEnglish3032022.pdf.

罗知之，2022. 人民银行：以支持绿色低碳发展为主线 继续深化转型金融研究. 人民网. 2022年4月8日. http://finance.people.com.cn/n1/2022/0408/c1004-32394268.html.

马骏，2022.《G20转型金融框架》及对中国的借鉴. 中国金融学会绿色金融专业委员会. 2022年11月17日. http://www.greenfinance.org.cn/displaynews.php?cid=77&id=3929.

马彦明，2018. 既有居住建筑节能改造工作的研究及经济效益分析的思考. 经济师, 期 2: 256–256.

麦肯锡中国区，2021. “中国加速迈向碳中和”水泥篇：水泥行业碳减排路径. McKinsey & Company. 2021年. https://www.mckinsey.com.cn/%e4%b8%ad%e5%9b%bd%e5%8a%a0%e9%80%9f%e8%bf%88%e5%90%91%e7%a2%b3%e4%b8%ad%e5%92%8c%e6%b0%b4%e6%b3%a5%e7%af%87%ef%bc%9a%e6%b0%b4%e6%b3%a5%e8%a1%8c%e4%b8%9a%e7%a2%b3%e5%87%8f%e6%8e%92/.

南方日报，2021a. 惠州：首次出台深度融入深圳都市圈方案 把融入“双区”建设纳入考核), 2021年5月8日. http://www.gd.gov.cn/gdywdt/dsdt/content/post_3277147.html.

南方日报，2021b. 广东绿色建筑总面积超5亿平方米 绿色建筑发展“十四五”规划即将颁布. 广东省人民政府. 2021年8月26日. https://www.gd.gov.cn/zwgk/zcjd/snzcsd/content/post_3497352.html.

秦兰芝，陈丽，安锋，2021. 中国商用车电动化发展研究报告. 能源与交通创新中心. https://www.efchina.org/Reports-zh/report-ctp-20220303-5.

邱慈观，张旭华，2022. 转型金融工具五问. 中国金融研究院. 2022年3月. https://www.cafr.cn/Experts/Insights_Details.aspx?id=624.

山东钢铁集团有限公司，2022. 山东钢铁集团有限公司2022 年度第一期中期票据（转型）募集说明书. 2022年6月. https://www.chinamoney.com.cn/dqs/cm-s-notice-query/fileDownLoad.do?mode=open&contentId=2395382&priority=0&ut=RsquMRGVlQPBZ08iJbaPA/2nilvEnUyj7CYZf0BKOyDpDE/cU3WbR0/K6CbeZYvQ1T8-ZuABqhQ7E%0ArVrtCnDFf6vh9tSioOLvlSie0gCKaWZZnBQRjLFQijnDPSuPk5UGd7kC/CZvw9sXcCrVRLaQGZUd%0AGQZrTmZkM3noWbK6x%2Bg=%0A&sign=Q/d8solfMh3GOoMI5WmGUaZA1ukiCpO5sMwap9ByMZnt4tsJZ-eSkX6Wq1v3lRrKsnQLcWdAPun00%0ALsYa5AtcTZpCs2CvuKf8xTKL5JKkAphGlIEbpsADAhjeg2dCZIBVMUOFd2LaiLvRLJLML9AfJTc/%0AI44XV2MvFkyyEBuTLsA=%0A.

深圳市规划和自然资源局，2021. 关于进一步加大居住用地供应的若干措施（征求意见稿）. 2021年7月9日. http://pnr.sz.gov.cn/gkmlpt/content/8/8943/post_8943114.html#4297.

深圳市交通运输局，2022. 深圳市综合交通“十四五”规划. 2022年2月. http://jtys.sz.gov.cn/zwgk/xxgkml/ghjh/fzgh/content/post_9585397.html.

深圳市绿色建筑协会，2022. 第一批近零能耗建筑测评项目评审会. http://www.cngbol.net/index.php?ac=article&at=read&did=3343.

深圳市人民政府，2019. 深圳市小汽车增量调控管理暂行规定. https://xqctk.jtys.sz.gov.cn/zxgd/.

深圳市住房和建设局，2021a. 深圳市大型公共建筑能耗监测情况报告（2020年度）. 监测报告. 深圳市大型公共建筑能耗监测情况报告. 深圳: 深圳市住房和建设局. http://www.sz.gov.cn/attachment/0/804/804560/8975434.pdf.

深圳市住房和建设局，2021b. 深圳市绿色建筑高质量发展行动实施方案（2021-2025）（征求意见稿）. 深圳市住房和建设局. 2021年12月3日. http://zjj.sz.gov.cn/hdjlpt/yjzj/answer/16100.

生态环境部环境规划院，2021. 中国二氧化碳捕集利用与封存（CCUS）年度报告（2021）. http://www.caep.org.cn/sy/dqhj/gh/202107/W020210726513427451694.pdf.

生态中国网，2022. 全国碳市场运行一周年：更多行业有待纳入，碳金融创新蓄势待发. 2022年7月. https://www.eco.gov.cn/news_info/56966.html.

温新元，蒋小谦，丁宏宇，姚俊业，陈乐澄，Sawhney S.，Fong W.K，2022. 为零碳提供动力：香港电力部门净零排放路径, 2022年8月. https://wri.org.cn/research/HongKong-Net-Zero-Emissions-Power-System.

文汇网，2022. 上海首单可持续发展挂钩国际银团人民币贷款落地临港. 2022年3月. https://www.whb.cn/zhuzhan/cs/20220329/457548.html.

香港环境及生态局，2017. 香港气候行动蓝图2030+. https://www.hkgbc.org.hk/eng/engagement/file/ClimateActionPlanEng.pdf.

香港环境及生态局，2022. 香港温室气体排放量（按排放源划分）. https://www.climateready.gov.hk/files/pdf/Greenhouse%20Gas%20Emissions%20in%20Hong%20Kong%20by%20Sector.pdf.

香港环境及生态局，2023. ClimateReady@HK, 氣候變化，香港行動. Environment and Ecology Bureau. 2023年1月11日. https://www.climateready.gov.hk/page.php?id=23.

香港绿色金融协会，2020. 探索气候转型金融. 香港: 香港绿色金融协会. https://www.hkgreenfinance.org/wp-content/uploads/2020/11/Navigating-Climate-Transition-Finance.pdf.

香港特别行政区机电工程署，2022. 能源最终用途数据和消耗量指标及基准工具. 2022年9月19日. https://www.emsd.gov.hk/en/energy_efficiency/energy_end_use_data_and_consumption_indicators/hong_kong_energy_end_use_data/data/index.html.

香港运输署，2022. 香港运输署——车辆登记及领牌. 2022年. https://www.td.gov.hk/en/transport_in_hong_kong/transport_figures/vehicle_registration_and_licensing/index.html.

谢克昌，陈勇，赵黛青，2020. 粤港澳大湾区能源转型中长期情景研究. 科学出版社. https://books.google.com.hk/books?id=0yXMzgEACAAJ.

新华社，2021. 关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见. 2021年10月24日. http://www.gov.cn/zhengce/2021-10/24/content_5644613.htm.

新华社，2022. 国资委要求中央企业"一企一策"制定碳达峰行动方案. 2022年10月. https://www.gov.cn/xinwen/2022-10/07/content_5715977.htm.

新浪财经，2022. 法国巴黎银行与蚂蚁集团签订可持续发展挂钩贷款 绿色金融工具助力可持续发展. 2022年5月. https://finance.sina.com.cn/esg/ep/2022-05-19/doc-imcwiwst8128933.shtml.

薛露露，靳雅娜，禹如杰，刘勇和任焕焕，2019. 中国道路交通2050年“净零”排放路径研究. Working Paper. Beijing: World Resources Institute. https://wri.org.cn/sites/default/files/2021-12/toward-net-zero-emissions-road-transport-sector-china-CN.pdf.

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, 五月. https://wri.org.cn/research/decarbonizing-china-road-transport-sector.

薛露露，宋苏，奚文怡，蒋小谦，姚俊业，Sawhney S.，2022. 迈向零排放：香港道路交通减排路径, 2022年9月. https://wri.org.cn/research/decarbonising-hong-kongs-roads.

闫梅，刘建丽，2020. “十四五”时期粤港澳大湾区工业高质量发展的思路与对策). 企业经济 39 (12): 121–30.

渣打银行，2021. 充满挑战的脱碳之路. 2021年5月. https://av.sc.com/cn/content/docs/cn-a-challenging-path-to-net-zero.pdf.

张希良，张达，余润心. 2021. 中国特色全国碳市场设计理论与实践. 管理世界 37 (8): 80–94.

中诚信绿金，2023. 2022年国内可持续发展挂钩债券市场运行年报. 2023年2月3日. https://new.qq.com/rain/a/20230203A05FV400.

中国建筑节能协会，2022. 2022年第三批近零能耗建筑测评项目公示. https://www.cabee.org/site/content/24395.html.

中国建筑节能协会，重庆大学，2022. 2022中国城乡建设领域碳排放系列研究报告. https://www.cabee.org/upload/file/20230104/1672820934145324.pdf.

中国建筑科学研究院，2020. 近零能耗建筑规模化推广：政策、市场和产业研究. https://www.efchina.org/Reports-zh/report-lccp-20201121-2-zh.

中国能源统计年鉴委员会，2020. 中国能源统计年鉴2020. 中国统计出版社.

中国汽车工程学会，2021. 节能与新能源汽车技术路线图2.0. 第二版. 中国: 机械工业出版社.

中国人民银行，中国银行保险监督管理委员会，中国证券监督管理委员会，国家外汇管理局，2020. 关于金融支持粤港澳大湾区建设的意见. 2020年4月. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-05/15/content_5511766.htm.

中国投资协会，落基山研究所，2021.《零碳中国·绿色投资》. RMI. https://www.cec.org.cn/upload/1/editor/1632291020615.pdf.

中国新闻网，2020. 广东中行加码绿色金融 绿色信贷余额超388亿元. https://finance.china.com.cn/roll/20200917/5373053.shtml.

中国银行间市场交易商协会，2022. 转型债券. https://nafmii.org.cn/cpxl/zwrzgj/bdffdxfcp/tsyt/202208/t20220811_284218.html.

中国证券监督管理委员会，2022.《JR/T 0244—2022 碳金融产品》. 2022年4月. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-04/16/5685514/files/cc8cf837e8c645e4beaef8cde91f2c2f.pdf.

中华人民共和国生态环境部，2018. 中华人民共和国第二次气候变化双年度更新报告. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/China%202BUR_English.pdf.

中山市住房和城乡建设局，2022. 中山市绿色建筑创建行动实施方案（2021-2023）. 2022年6月9日. http://jsj.zs.gov.cn/gkmlpt/content/2/2116/post_2116494.html#3230.

朱拉其其格，谢文泓，刘彦达，熊程程，廖原，2022.《中国转型金融研究报告》. 气候债券倡议组织工作论文. 气候债券倡议组织. https://www.climatebonds.net/files/reports/cbi_transition_china_eng_pdf.pdf.

住房和城乡建设部，2019a. 绿色建筑经济指标（征求意见稿）. https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/zhengce/zhengcefilelib/201904/20190412_240182.html.

住房和城乡建设部，2019b. 近零能耗建筑技术标准. 中国建筑工业出版社. http://zjj.panzhihua.gov.cn/uploadfiles/202203/25/2022032511103659499112.pdf.

住房和城乡建设部，2022. 城乡建设统计年鉴. Government Official Website. 住房和城乡建设部. 2022年10月12日. https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/fdzdgknr/sjfb/tjxx/jstjnj/index.html.

住房和城乡建设部，国家发展和改革委员会，2022. 城乡建设领域碳达峰实施方案. Government Official Website. 中华人民共和国中央人民政府. 2022年6月30日. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-07/13/content_5700752.htm.

住房和城乡建设部标准定额研究所，2019. 国家标准《民用建筑能耗标准》实施指南. 中国建筑工业出版社.

关于作者（按章节）

第一章

蒋小谦，世界资源研究所北京代表处，气候与能源部项目总监

第二章

俞波，中国质量认证中心广州分中心，主管工程师

黄卓晖，世界资源研究所北京代表处，气候与能源部助理研究员

第三章

刘永红，中山大学智能工程学院，副教授

曾雪兰，广东工业大学环境生态工程研究院，教授

苗领，中山大学深圳研究院，博士

黎炜驰，广东工业大学生态环境与资源学院，博士

何嘉俊，广东工业大学碳中和与绿色发展协同创新研究院，工程师

黄卓晖，世界资源研究所北京代表处，气候与能源部助理研究员

第四章

黄卓晖，世界资源研究所北京代表处，气候与能源部助理研究员

张黛阳，世界资源研究所北京代表处，气候与能源部助理研究员

姚俊业，思汇政策研究所，行政总监

邹立怡，思汇政策研究所，助理经理

陈乐澄，思汇政策研究所，研究员

第五章

崔莹，中央财经大学绿色金融国际研究院，副院长

张黛阳，世界资源研究所北京代表处，气候与能源部助理研究员

黄卓晖，世界资源研究所北京代表处，气候与能源部助理研究员

第六章和第七章

李晓真，世界资源研究所北京代表处，可持续投资部可持续金融项目总监

崔莹，中央财经大学绿色金融国际研究院，副院长

胡晓玲，中央财经大学绿色金融国际研究院，研究员

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 Unsplash/Houses Cheung; pg. i Unsplash/Derch; pg. ii Unsplash/Alex Azabache; pg. iv Unsplash/JuniperPhoton; pg. iv Unsplash/Roland Kwok; pg. iv Unsplash/Roland Kwok; pg. xiii Unsplash/Airam Dato-on; pg. xivUnsplash/Aden Lao; pg. xvi Unsplash/IMYT; pg. xvi Unsplash/JuniperPhoton; pg. xvii Unsplash/JuniperPhoton; pg. xvi from JuniperPhoton; pg. xxix from JuniperPhoton; pg. xxx Unsplash/Red John; pg. 3 Unsplash/Cheung Yin; pg. 4 Unsplash/Maurs Liu; pg. 9 Unsplash/David Clarke; pg. 10 Unsplash/Wilson Fang; pg. 16 Unsplash/JuniperPhoton; pg. 18 Unsplash/Jason Yuen; pg. 28 Unsplash/Mark Denton; pg. 37 Unsplash/Airam Dato-on; pg. 38 Unsplash/JuniperPhoton; pg. 48 Unsplash/Julian Leung; pg. 57 Unsplash/wikipedia; pg. 70 Unsplash/Jason Yuen; 76 Unsplash/Chi Hung Wong.

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