



世界资源研究所
WORLD RESOURCES INSTITUTE

苏州市碳排放达峰路径 优化与2050长期愿景

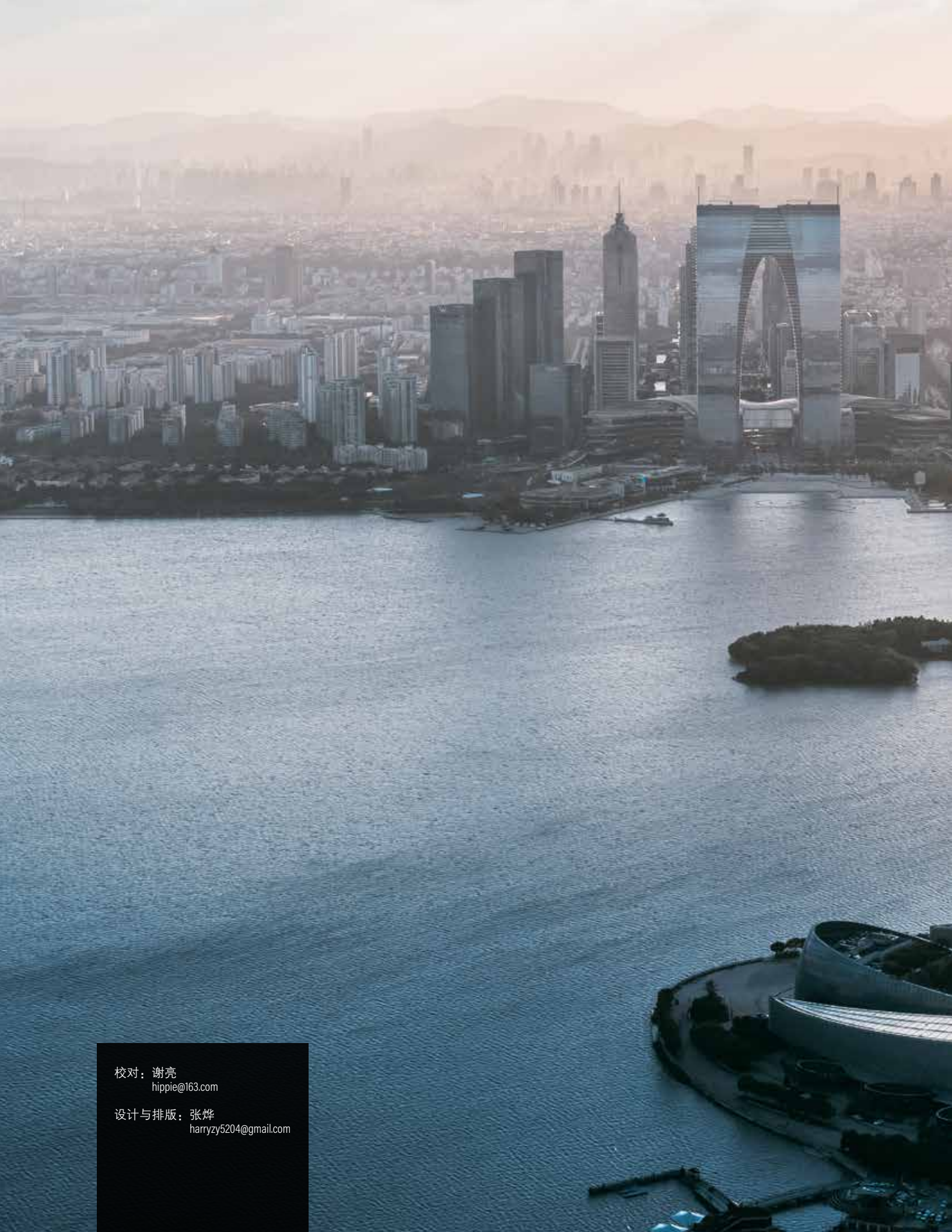
OPTIMIZATION OF SUZHOU'S CARBON EMISSIONS
PEAK ROADMAP AND A LONG-TERM VISION FOR 2050

刘苗苗 邱言言 蒋小谦 毕军



南京大学环境学院
SCHOOL OF THE ENVIRONMENT NANJING UNIVERSITY

WRI.ORG.CN



校对：谢亮
hippie@163.com

设计与排版：张焯
harryzy5204@gmail.com

目录

V 执行摘要

XI Executive Summary

1 第1章 城市碳排放达峰与长期愿景的外在要求与内在驱动

- 1 实现温室气体净零排放是应对气候变化的必然要求
- 1 苏州市是低碳发展的先行者
- 1 苏州市碳排放达峰面临挑战

5 第2章 苏州市能耗与碳排放特征

- 5 能效水平持续提升，但高耗能工业行业能源消费占比较高、煤等化石燃料依然占主导
- 7 碳排放增速放缓，主要贡献因素的影响呈现波动

11 第3章 苏州市碳排放达峰路径与长期排放预测

- 11 苏州市可于2020年实现碳排放达峰，2050年人均排放有望降至2.8吨
- 14 工业部门可于2020年前达峰，是影响苏州市整体达峰的最主要因素
- 16 长期来看，清洁能源替换、低碳技术推广、重大项目转移关停是苏州实现深度减排的关键因素
- 19 不同时期研究结果的差异体现了工作成效以及对低碳工作持续优化回顾的意义

23 第4章 结论与建议

- 23 产业结构和工业体系是最主要的减排领域
- 25 清洁能源和“负碳”技术是长期深度减排的关键
- 28 发展绿色节能建筑，构建低碳交通体系
- 30 苏州的启示

33 附录 苏州市碳排放情景分析方法学

46 参考文献

图目录

图1	已经向UNFCCC秘书处提交长期战略的国家	2
图2	苏州市地图	2
图3	苏州市六大高耗能产业产值	6
图4	苏州市六大高耗能产业能耗	6
图5	苏州市2010—2017年分品种能源消费情况	7
图6	苏州市2005—2017年碳排放总量及变化情况	7
图7	苏州市2005—2017年分部门碳排放情况	8
图8	苏州市2007—2017年二氧化碳排放增量的各因素贡献度分析	9
图9	苏州市二氧化碳排放总量预测结果	11
图10	苏州市二氧化碳排放强度预测结果	12
图11	苏州市人均二氧化碳排放量预测结果	12
图12	苏州市2018—2050年分部门碳排放预测情况（达峰情景）	15
图13	苏州市2018—2050年分部门碳排放预测情况（2050愿景情景）	15
图14	苏州市未来减排潜力分析（达峰情景和2050愿景情景对比）	16
图15	苏州市2050愿景情景低碳发展优化线路图（相较于达峰情景）	17
图16	苏州市二氧化碳排放总量预测结果对比	18
图17	苏州市二氧化碳排放强度预测结果对比	19
图18	苏州市人均二氧化碳排放量预测结果对比	19
图19	情景设计及关键参数	34

表目录

表1	苏州市和江苏省、中国、发达国家历史碳排放数据对比	13
表2	2016年苏州市和其他国家建筑部门人均碳排放对比（吨/人）	13
表3	苏州市与各国未来预测人均碳排放数据对比（吨/人）	14
表4	情景分析中主要参数与特征设定一览表	35
表5	重要节点年GDP与人口发展情况	36
表6	重要节点年各行业规上工业总产值（亿元）	37
表7	重要节点年各行业单位产值碳排放（吨/万元）	39
表8	重要节点年工业产品产量（万吨）	41
表9	重要节点年公共建筑面积及单位建筑面积能耗水平	41
表10	重要节点年居民人均住宅面积及单位建筑面积能耗水平	41
表11	重要节点年水运交通周转量	42
表12	重要节点年轨道交通能源消耗情况	42
表13	重要节点年铁路周转量及电气化率	43
表14	重要节点年载货汽车不同车型占有所有车型比例（%）	43
表15	重要节点年载客汽车不同车型占有所有车型比例（%）	44
表16	重要节点年出租车与公共汽车不同车型占有所有车型比例（%）	44
表17	重要节点年垃圾焚烧量（万吨）	45



执行摘要

报告重点

- 中国在《“十三五”控制温室气体排放工作方案》中提出“支持优化开发区域碳排放率先达到峰值”。苏州作为长三角地区非常重要的工业城市，在低碳工作开展方面一直走在前列，积累了丰富的经验。2014年发布的《苏州市低碳发展规划》中提出“力争2020年二氧化碳排放总量达到峰值，峰值约为1.72亿吨，并经过较短时期（2020~2025）的波动后稳步下降”，以及苏州市2020年碳排放强度比2005年下降超50%、人均碳排放于2017年实现拐点等具体目标。2014年至今，苏州已经开展了三轮峰值研究，目的是梳理碳排放现状和新阶段低碳发展面临的形势，评估低碳措施及其成效，保证达峰的稳定性，并探索长期深度减排的路径，其做法值得其他城市借鉴。
- 根据我们的研究，苏州市能够在保证经济、社会稳定发展的前提下于2020年顺利实现碳排放总量达峰，峰值为1.6亿吨左右，之后进入下降期。确保苏州市稳定达峰的政策措施领域主要集中在产业结构和工业体系的优化调整。
- 以《巴黎协定》1.5°C温升目标和全球净零排放愿景为目标，如果在确保达峰的基础上采取更多措施，如非化石能源在电力行业、交通领域得到大力推广，整体煤气化联合循环发电系统（IGCC）、二氧化碳捕集和封存（CCS）等先进低碳技术在电力、钢铁、水泥、化工等高耗能行业得到推广，钢铁、化工等大型项目搬迁整治，电力行业机组更替，2050年苏州市二氧化碳排放可以降到约3400万吨，人均碳排放为2.8吨，单位GDP碳排放为0.05吨/万元。
- 在苏州市已经开展的三次峰值研究中，本研究的2030年碳排放总量明显低于苏州市之前开展的两次峰值研究，这说明随着经济、社会的不断发展和碳排放工作的不断推进，碳排放状况发生变化的同时也会影响未来发展趋势，对低碳工作回顾和优化的意义重大。本研究开展于2018—2019年期间，因此未能反映新型冠状病毒疫情对达峰的影响，外部形势的不断变化再次印证了低碳工作应根据减排潜力变化做出调整，保证工作绩效最大化。

背景

实现温室气体净零排放是应对气候变化的必然要求。

《巴黎协定》提出全球各国应共同努力确保将温升控制在2°C以内并争取控制在1.5°C以内。为了实现这一目标，各国需在本世纪下半叶实现温室气体源的人为排放与汇的清除之间的平衡，即“净零排放”。《联合国气候变化框架公约》秘书处要求各缔约方在2020年提交长期战略，截至目前，已经有17个国家或地区向秘书处提交了2050长期战略¹。此外，很多国外城市也制定了“净零”或“碳中和”目标和行动计划。

苏州是低碳发展的先行者。中国在《“十三五”控制温室气体排放工作方案》中提出“支持优化开发区域碳排放率先达到峰值”。苏州作为长三角地区非常重要的工业城市，在低碳工作开展方面一直走在前列，积累了丰富的经验。

苏州能效水平持续提升，但高耗能工业行业能源消费占比较高，煤等化石燃料依然占主导。2017年，苏州市单位GDP能耗约为0.4吨标准煤/万元，较2016年的0.42吨/万元下降4.7%，较2015年的0.43吨/万元下降7%。电力、钢铁、纺织、造纸、化工、建材等六大高耗能行业综合能源消费量约占规上（规模以上）工业能源消费的82%，但产

值不到规上工业总产值的四分之一。煤炭仍然是最主要的能源消费品种，占总能耗的59%，此外石油和天然气在能耗总量中的占比都呈增长趋势。

近年来苏州碳排放增速放缓。“十一五”期间，苏州碳排放总量年平均增长率约为9%，“十二五”期间，碳排放总量年平均增长率降至2%，而“十三五”期间的前两年碳排放呈现负增长，碳排放总量年平均增长率分阶段明显降低，如图ES-1所示。

主要结论

本研究以2017年为基准年，一方面对2018—2020年苏州市达峰冲刺期的达峰路径进行了优化，并根据达峰路径分析各个部门、领域应该采取的减排措施，制定低碳工作方案，确保达峰任务的顺利实现；另一方面，基于苏州市重大项目搬迁整改规划、国际提出的“净零”排放愿景、国内外研究与报告中提出的加大清洁能源替代传统能源的比例、加快推广CCS等先进低碳技术等发展目标，对2021—2050年苏州市中长期碳排放发展趋势进行预测，评估苏州市实现达峰后的峰值稳定性及长期排放趋势，讨论实现深度减排的可能性。本研究涵盖工业（含电力）、建筑（公共建筑和居民建筑）、交通运输、农业、废弃物五个部门，考虑了能源消费结构、产业结构调整、技术进步

图 ES-1 | 苏州市2005—2017年碳排放总量及变化情况

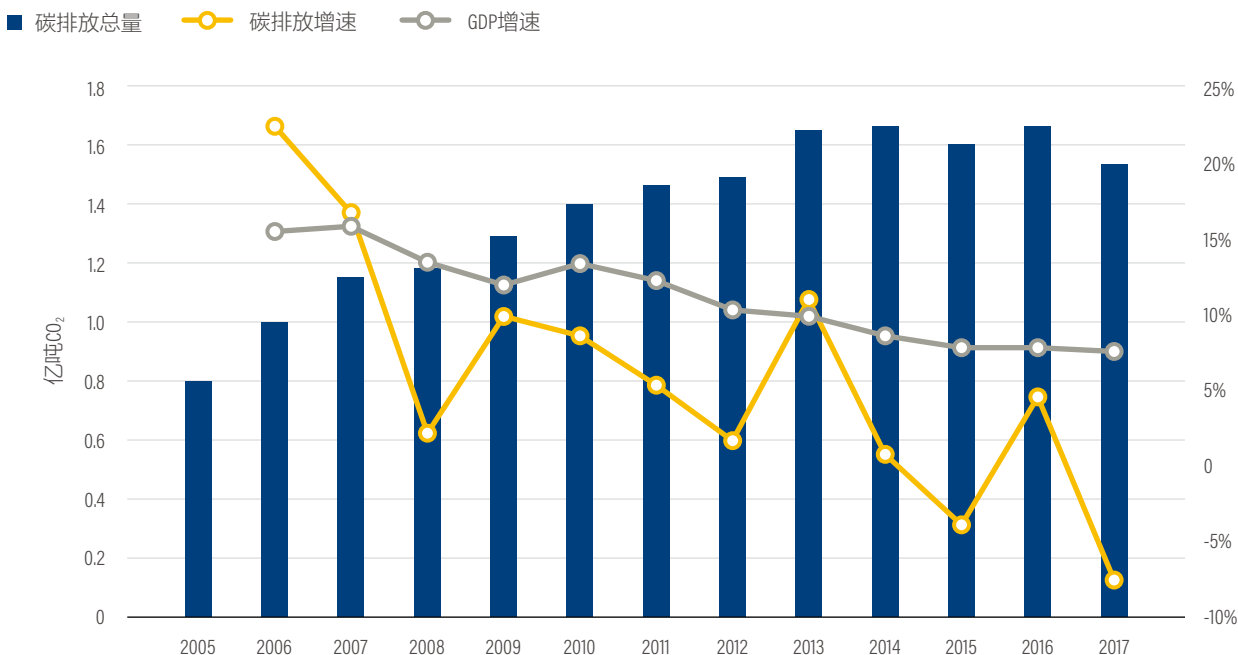


图 ES-2 | 达峰情景下苏州市碳排放三大指标发展趋势

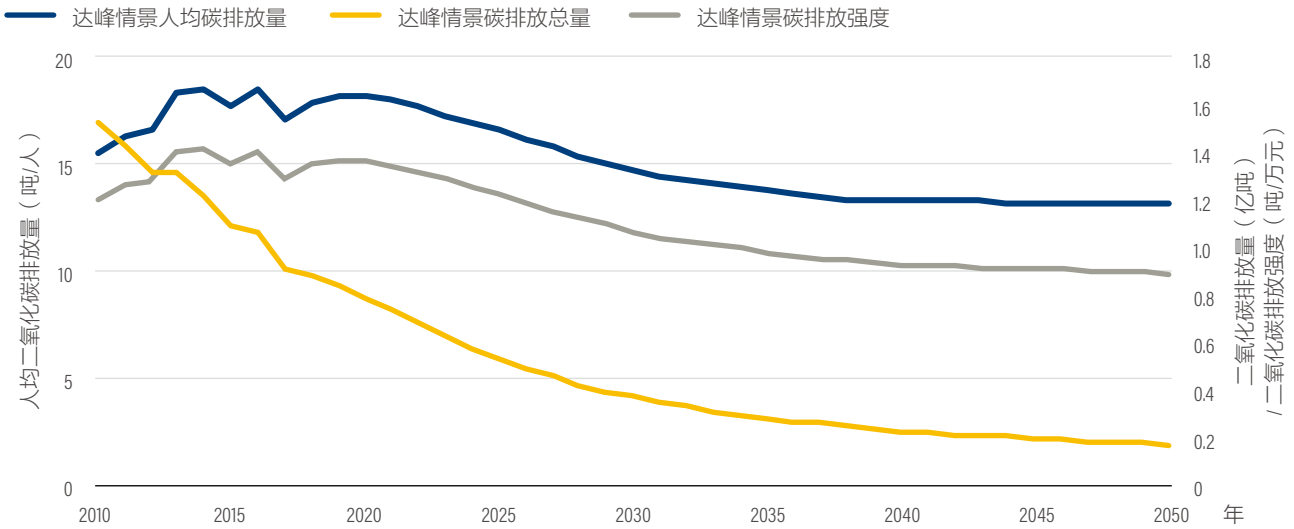
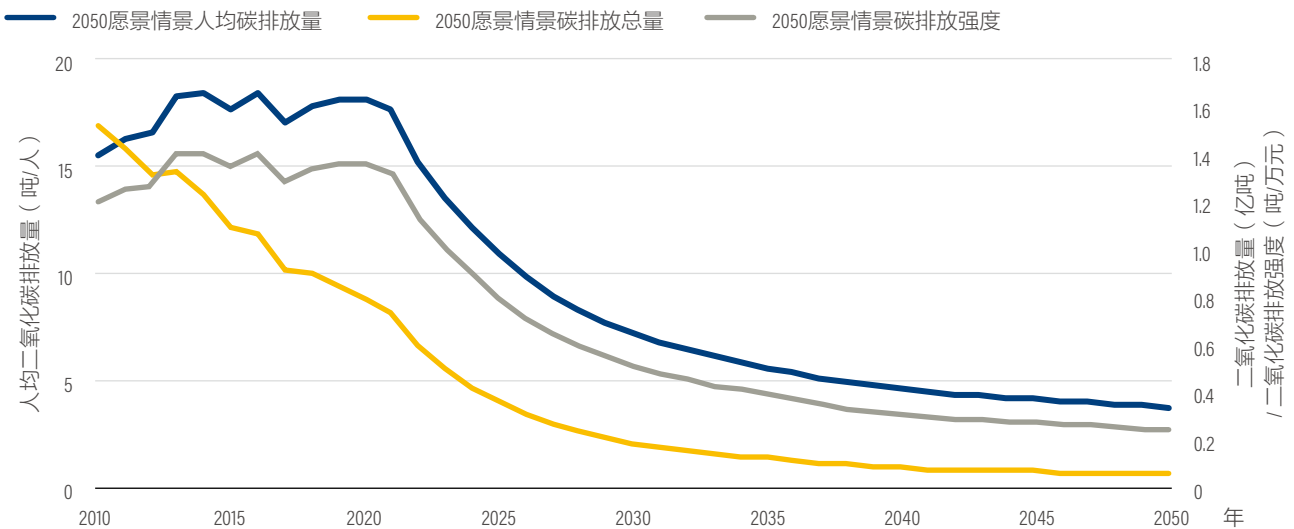


图 ES-3 | 2050愿景情景下苏州市碳排放三大指标发展趋势



水平等驱动因素，设置“达峰情景”和“2050愿景情景”两大情景，对苏州市未来可能的碳排放路径进行分析。主要结论如下：

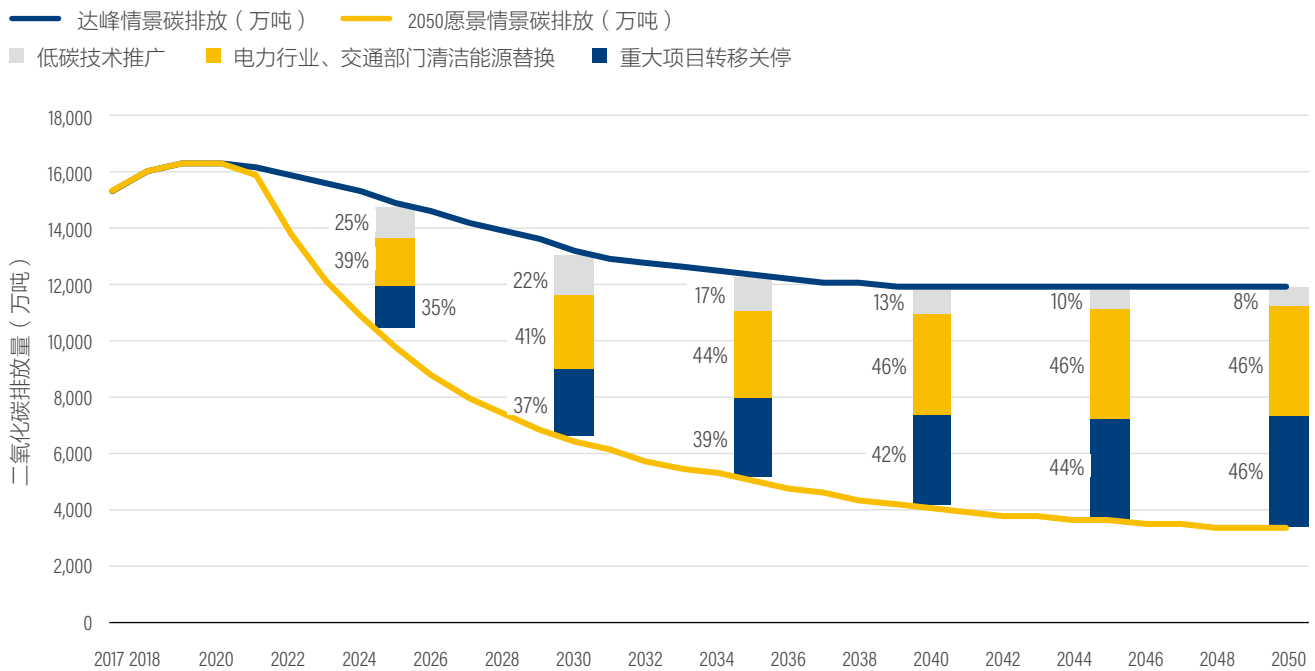
■ 苏州市可于2020年实现碳排放达峰，2050年人均排放有望降至2.8吨

达峰情景下，2020年苏州市二氧化碳排放总量即峰值为1.63亿吨，2021—2040年苏州市碳排放总量进入下降期，2040年之后碳排放总量基本保持稳定。人均碳排放于

2019年达到峰值，约为15吨/人，之后保持稳定下降。单位GDP碳排放持续保持稳定下降趋势，2020年碳排放强度约为0.79吨/万元。2050年，苏州市二氧化碳排放总量约为1.19亿吨，单位GDP碳排放为0.19吨/万元，人均碳排放为9.91吨/人，如图ES-2所示。

2050愿景情景下，苏州市仍然于2020年达峰，之后碳排放迅速下降，2050年总排放为3375万吨，单位GDP碳排放为0.05吨/万元，人均碳排放为2.8吨/人，如图ES-3所示。

图 ES-4 | 苏州市未来减排潜力分析（达峰情景和2050愿景情景对比）



■ 工业部门可于2020年前达峰，是影响苏州市整体达峰的最主要因素

在达峰情景下，工业部门为苏州市最主要的二氧化碳排放源。工业部门2020年碳排放达峰值，为1.4亿吨，占苏州市碳排放总量的85.3%，之后排放量及占比持续下降。其中，电力和钢铁行业是最主要的排放源，其碳排放均于2019年达峰，电力行业峰值为6425万吨，占工业部门碳排放总量的46.3%，占苏州市碳排放总量的39.6%。钢铁行业峰值为6280万吨，占工业部门碳排放总量的45.3%，占苏州市碳排放总量的38.7%。

2050愿景情景下，工业部门仍为苏州市最大的碳排放源，但排放量及占比大幅下降。究其原因，一是电力行业由于机组替换、区外清洁电力调入、区内清洁能源发展、CCS等先进技术推广，碳排放量于2021年起大幅下降；二是钢铁行业由于沙钢高耗能工艺搬迁、CCS等先进技术推广，碳排放量也于2021年起也大幅下降。

■ 长期来看，清洁能源替换、低碳技术推广、重大项目转移关停是苏州实现深度减排的关键因素

2050愿景情景相较于达峰情景，低碳技术推广减排潜力由2025年的1288万吨降至2050年的677万吨，占比由2025年的25%降至2050年的8%。电力行业、交通部门清洁能源替换减排潜力由2025年的2017万吨升至2050年的

3886万吨，占比由2025年的39%增长到2050年的46%。重大项目转移关停减排潜力由2025年的1806万吨升至2050年的3950万吨，占比由2025年的35%增长到2050年的46%，如图ES-4所示。

■ 不同时期研究结果的差异体现了工作成效以及对低碳工作持续优化回顾的意义

《苏州市低碳发展规划》、《苏州市“十三五”低碳发展优化对策研究》和本研究均对苏州市到2030年的碳排放进行了趋势预测。比较三次研究，峰值较为接近，稳定在1.63亿~1.75亿吨之间，但2030年碳排放总量预测结果存在较大差别，如图ES-5所示。主要原因是本研究以2017年为基准年，苏州市的经济社会发展与前两者研究的基准年（2010年、2014年）相比已然发生较大变化，“两减六治三提升”专项行动、污染防治攻坚战等工作发挥成效，此外高新技术产业、新兴产业产值在规上工业总产值占比提高、高耗能行业产值占比下降，单位产值能耗有所提升。以上情况说明，随着经济、社会的不断发展和碳排放工作的不断推进，碳排放状况发生变化的同时，也会影响未来发展趋势，低碳工作的回顾优化对于确保碳排放稳定达峰意义重大。

政策建议

本研究针对产业结构、能源结构、工业、建筑、交通和其他领域提出了政策建议，具体如表ES-1所示。

图 ES-5 | 苏州市二氧化碳排放总量预测结果对比

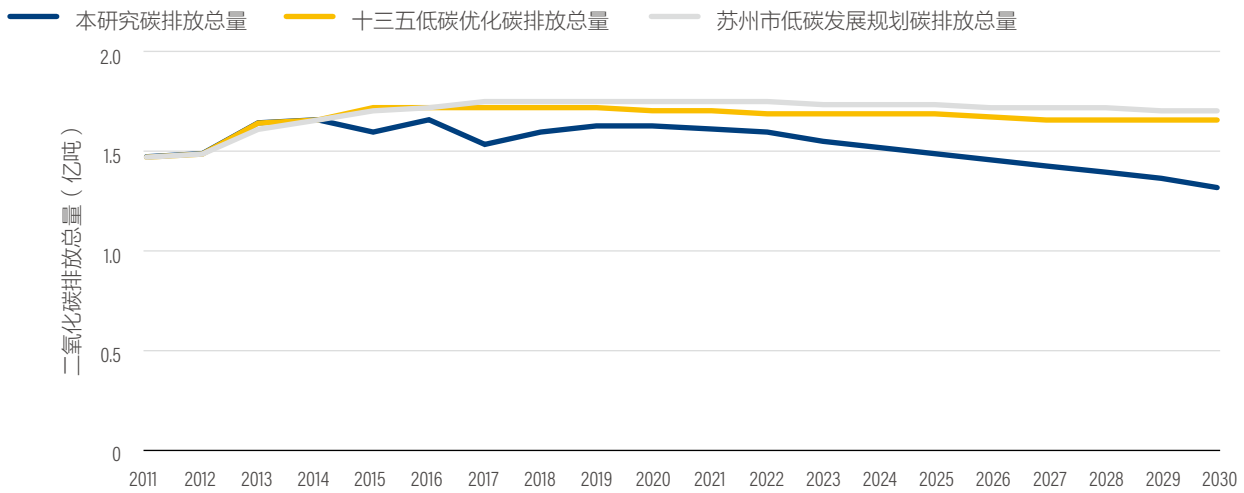


表 ES-1 | 苏州市低碳发展建议一览

发展领域	“十四五”（2020—2025年）	中远期（2026—2050年）
产业结构	<ul style="list-style-type: none"> 加大对传统产业尤其是高耗能产业的升级改造，提高技术水平和管理水平 探索能耗准入、碳排放评估制度 加快发展现代服务业 	<ul style="list-style-type: none"> 在未来10~15年完成落后产能淘汰，完成传统产业转型升级 完成能源审计和碳排放评估制度的构建，选择性发展新兴产业和高新技术产业 大力发展生产性服务业，重点发展高端服务业
能源结构	<ul style="list-style-type: none"> 继续控制煤炭消费总量，强化能耗源头控制；继续实施能耗“双控”，降低煤炭消耗，加强煤炭清洁利用 继续推进既有电厂机组升级改造 大力发展清洁能源、可再生能源 	<ul style="list-style-type: none"> 提高非化石能源的比例 加大科技投入，重视科研成果转化
工业部门	<ul style="list-style-type: none"> 加大节能技术宣贯力度 加大节能技术推广应用力度 提高资源回收再利用率 加快推动实施低碳产品和低碳企业标准、标识和认证制度，加快绿色低碳工业体系建设 	<ul style="list-style-type: none"> 推进重大项目转移关停 一方面，积极推广国家已经发布的先进低碳技术，加大科研投入、促进科研成果转化落地，积极建设绿色新材料工业链。另一方面，应关注国际先进低碳技术的发展，科学引进并开展试点 分析苏州市的地质条件，探索实现二氧化碳地质封存的可能，发展碳捕集利用与封存产业链
建筑部门	<ul style="list-style-type: none"> 全面推广绿色建筑建设要求 扩大既有建筑节能改造市场 加大可再生能源在建筑部门的使用 加强能耗数据统计与能耗监测 加强建筑使用阶段的能耗监管、监督、绩效管理 	<ul style="list-style-type: none"> 推动既有建筑节能改造市场发展，2050年既有建筑节能改造面积达1亿平方米 全面推进绿色建筑产业发展 探索被动式超低能耗建筑发展模式 加强绿色低碳建筑的宣传推广
交通部门	<ul style="list-style-type: none"> 控制机动车保有量的增长，出台机动车增量控制政策 加大新能源动力车的推广力度 建设完善的城市公交系统，大力发展城市轨道交通，提高公共交通出行分担率 完善交通运输网络，提高铁路、水运交通的运输占比 	<ul style="list-style-type: none"> 控制机动车保有量的增长，同时大力推动清洁动力机动车普及 加快完善基础设施的建设，加强智能化交通网络体系的设计 关注立体交通的发展 增强绿色低碳出行理念
其他领域		<ul style="list-style-type: none"> 关注城市密度，划分空间层次，构建集约型城市 促进土地混合使用 构建绿楔系统 引进新工艺、新技术，实现智慧城管 继续推进森林碳汇的建设 积极探索土壤碳汇利用的可能性 建立绿色碳基金、完善生态补偿制度



EXECUTIVE SUMMARY

HIGHLIGHT

- In the “Work Plan for Controlling Greenhouse Gas Emission during the 13th Five-Year Plan Period”, China proposed “first supporting developed areas in reaching peak carbon emissions”. Suzhou is an important industrial city in the Yangtze River Delta and has always been at the forefront of low-carbon development, accumulating a wealth of experience. In the 2014 Suzhou Low-Carbon Development Plan, it was proposed that Suzhou should peak CO₂ emissions by 2020, reaching a peak value of about 172 million tonnes, then steadily decreasing after a short period of fluctuation (2020-2025). It was also proposed that Suzhou's carbon emission intensity in 2020 should fall by more than 50% from 2005 levels, and that per capita carbon emissions should reach a turning point in 2017. Since 2014, Suzhou has carried out three rounds of emissions peak analysis, aiming to assess the current state of carbon emissions and the circumstances of a new stage of low-carbon development. These analyses also evaluated low-carbon measures and their effectiveness to ensure that Suzhou can reach its peak and explore pathways toward long-term deep decarbonization. Suzhou's practices provide a valuable point of reference for other cities.
- The results of this study show that Suzhou will successfully achieve its carbon emissions peak in 2020 while also ensuring stable economic and social development. The total amount of CO₂ emissions will reach approximately 163 million tonnes in 2020, after which it will enter a period of decline. Policy measures to ensure carbon emissions peak have focused on optimizing and adjusting industry structures and industrial systems.
- To achieve the goals a 1.5°C target for increases in global temperatures as outlined in the Paris Agreement and the long-term vision of global net-zero emissions, after ensuring that peak carbon emissions are achieved, more measures can be adopted. These include the promotion of non-fossil fuel based transportation and power generation technologies, the promotion of advanced low-carbon technologies such as integrated gasification combined cycle power generation systems (IGCC) and carbon dioxide capture and storage (CCS) in energy-intensive industries like power, steel, cement and chemicals, the relocation and renovation of large-scale iron, steel and chemical facilities as well as replacement of power generation units. These more radical measures could reduce Suzhou's CO₂ emissions to around 34 million tonnes by 2050, with per capita carbon emission of 2.8 tonnes and per unit GDP carbon emission of 0.05 tonnes/10,000 RMB.
- Suzhou has carried out three carbon emissions peak studies. In this study, total carbon emissions for 2030 were significantly lower than the two previous studies, indicating that continued economic and social development along with continued efforts in promoting low-carbon development can effect a change in future carbon emissions. This shows just how important continued review and improvement of low carbon work can be. This study was conducted between 2018 and 2019 and does not reflect the impact that the Covid-19 pandemic has had on achieving peak levels. Constant changes in external factors once again proves that low-carbon efforts should continually be adjusted according to the changes in the potential for emissions reduction in order to ensure that maximum effectiveness of the work being done.

Background

Net-zero greenhouse gas emissions is essential in combating climate change. The Paris Agreement’s central goal is to strengthen the global response to the threat of climate change by keeping the increase in global temperatures this century well below 2°C above pre-industrial levels and to pursue efforts to limit a further temperature increase to 1.5°C. To achieve this goal, all countries must achieve a balance between anthropogenic emissions by sources and removals by sinks in the second half of this century --”net-zero emissions”. The Secretariat of the United Nations Framework Convention on Climate Change requires parties to submit their long-term strategies (LTS) by 2020. Currently, 17 countries or regions have submitted 2050 long-term strategies to the Secretariat. In addition, many foreign cities have developed “net-zero” or “carbon neutral” goals and action plans.

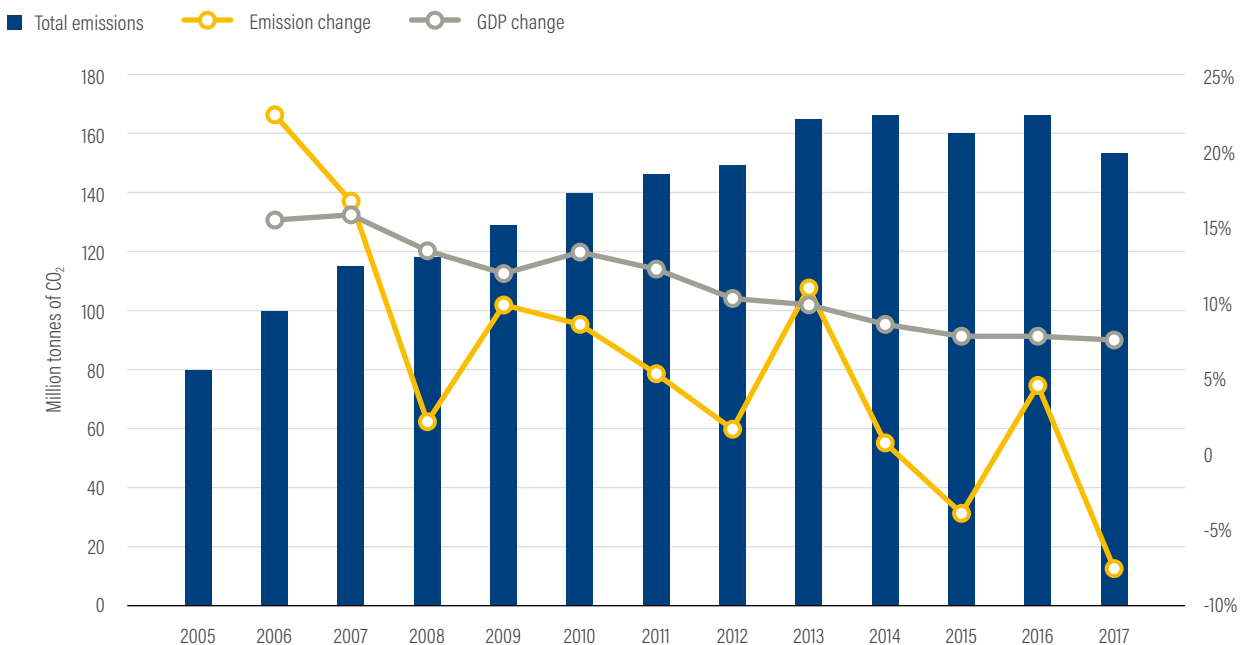
Suzhou is a pioneer in low carbon development. In the “Work Plan for Controlling Greenhouse Gas Emission during the 13th Five-Year Plan Period”, China proposed “first supporting developed areas in reaching peak carbon emissions”. Suzhou is an important

industrial city in the Yangtze River Delta and has always been at the forefront of low-carbon development, accumulating a wealth of experience.

Energy efficiency in Suzhou has continually improved, but energy-intensive industries accounted for a relatively high proportion of energy consumption and fossil fuels such as coal still dominate. In 2017, energy consumption per unit of GDP was about 0.4tce/10,000 RMB, 4.7% lower than 2016, and 7% lower than 2015. Energy consumption of six energy intensive industries including power generation, steel, textiles, paper making, chemicals and construction materials, account for about 82% of total energy consumption, while output values account for less than a quarter. Coal remains the main energy source, accounting for 59% of total energy consumption, and the proportion of oil and gas in total energy consumption is increasing.

Growth of carbon emissions has slowed in recent years. The annual average growth rate for total carbon emissions in Suzhou was about 9% during the 11th Five-Year Plan . This was brought down to 2% during the 12th Five-Year Plan and became negative during the first two years of the 13th Five Year Plan as shown in Figure ES-1.

Figure ES-1 | Suzhou’s Carbon Emissions and Change 2005-2017



Key findings

This study uses 2017 as the base year, first focusing on a sprint period between 2018 and 2020 during which the carbon emissions peak should occur. Here, we analyze emissions reduction measures advised for departments and sectors and formulate low-carbon plans to ensure a smooth process for achieving the emission peak. We also look at Suzhou’s development goals including the relocation and reform of major projects, the vision for “net-zero” emissions as proposed by the international community, the replacement of traditional energy sources with clean energy as proposed by domestic and foreign research and the promotion of advanced low-carbon technologies like CSS in order to provide forecasts for Suzhou’s mid- and long-term carbon emissions pathway from 2021 to 2050, assess the stability of maintaining peak emissions and long-term emissions trends as well as the possibility of achieving deep decarbonization. To analyze the future emission pathway of Suzhou, this study covers five sectors - industrial manufacturing (including electricity), building (commercial and residential), transportation, agriculture, and waste - taking into consideration driving factors such as changes to energy consumption and

industrial structures and the development of new technologies, and establishes two scenarios - a “Peaking Scenario” and a “2050 Vision Scenario”. The key findings are outlined below.

■ Suzhou will reach peak of carbon emissions in 2020 and per capita emissions are expected to drop to 2.8 tonnes by 2050.

Under the Peaking Scenario, Suzhou’s total CO₂ emissions in 2020 are expected to peak at 163 million tonnes. Between 2021 and 2040, total carbon emissions in Suzhou will experience a period of decline with carbon emissions stabilizing after 2040. Per capita carbon emissions peaked in 2019 at about 15.08 tonnes and carbon emission per unit of GDP has continued on a steady downward trend, reaching about 0.79 tonnes / 10,000 yuan in 2020. By 2050, total CO₂ emission in Suzhou is expected to be approximately 119 million tonnes, while per unit GDP emissions will be 0.19 tonnes / 10,000 yuan, and per capita emissions will be 9.91 tonnes as shown in Figure ES-2.

Under the 2050 Vision Scenario, Suzhou still peak in 2020, followed by a rapid decline. In 2050, total

Figure ES-2 | Trends for Three Major Indicators in Suzhou under the Peaking Scenario

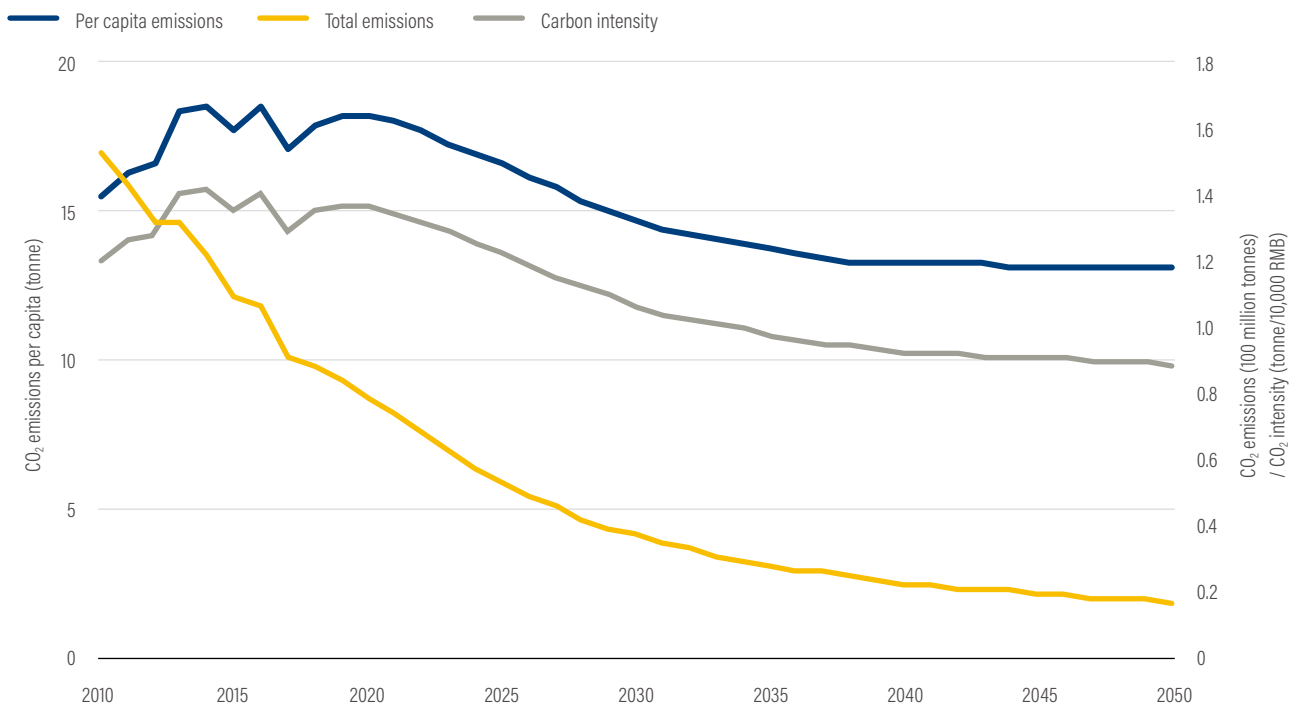
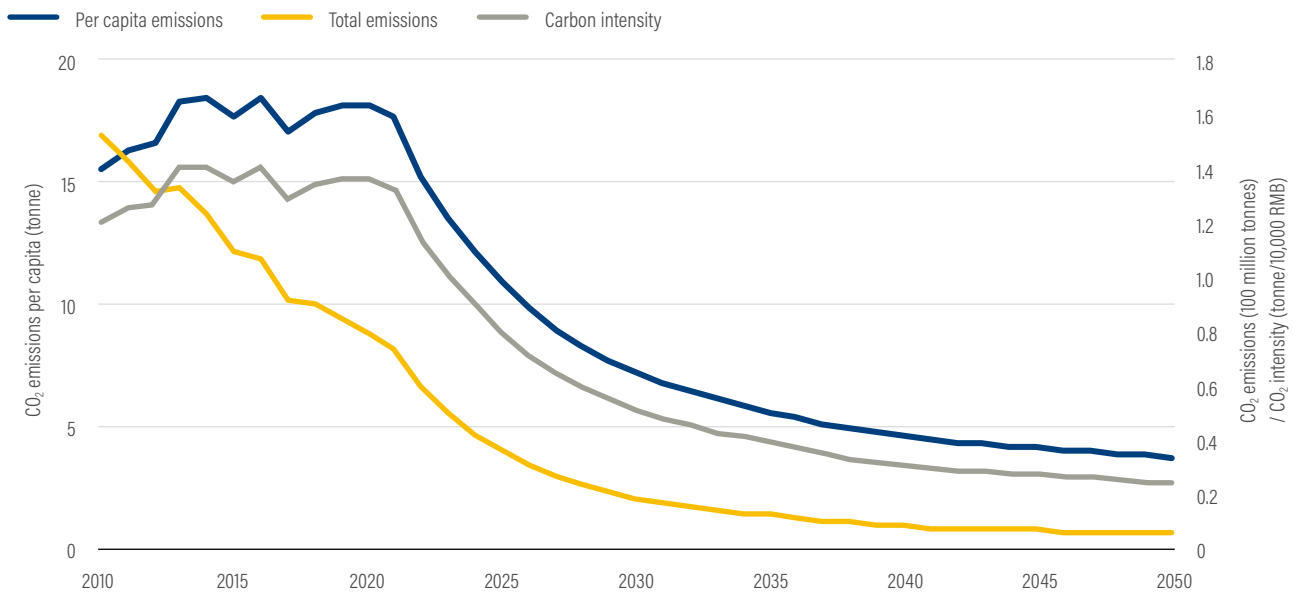


Figure ES-3 | Trends for Three Major Indicators in Suzhou under the 2050 Vision Scenario



emissions are estimated at 33.75 million tonnes with per unit of GDP emissions of 0.05 tonnes / 10,000 yuan, and per capita carbon emissions of 2.81 tonnes as shown in Figure ES-3.

■ **The industrial sectors can peak by 2020, a key factor affecting overall peaking in Suzhou.**

In the Peaking Scenario, industrial sectors are the key source of CO₂ emissions in Suzhou. In 2020, industrial sectors will reach a carbon emissions peak value of 140 million tonnes, accounting for 85.3% of total carbon emission in Suzhou, followed by a continued decline. Of these, the power and steel industries are the main sources of carbon emissions, which peaked in 2019. The peak value for power generation was 64.25 million tonnes, accounting for 46.3% of total carbon emissions from industrial sectors and 39.6% of total carbon emissions for Suzhou. The peak value for the steel industry was 62.8 million tonnes, accounting for 45.3% of total carbon emissions from industrial sectors and 38.7% of total carbon emissions in Suzhou.

Under the 2050 Vision Scenario, industrial sectors are still the largest source of carbon emissions in Suzhou, but total emissions and percentages are significantly lower. There are two main reasons for this: The first group is replacement of power

generation units, transfer of power from clean power sources outside Suzhou, the development of clean energy in Suzhou, the promotion of CCS and other advanced technologies in power sector, causing significant drops in carbon emissions after 2021. The second group is the relocation of energy-intensive processing at Shagang Steel, the promotion of CCS and other advanced technologies in steel industry so that the carbon emission has also dropped significantly since 2021.

■ **Clean energy, low-carbon technology and closure or relocation of major projects are the key factors in Suzhou achieving considerable long-term emissions reductions.**

Compared with the “Peaking Scenario”, the promotion of low-carbon technology in the “2050 Vision Scenario” has the potential to reduce total carbon emissions from 12.88 million tonnes (25%) in 2025 to 6.77 million tonnes (8%) in 2050. Potential total reduction in carbon output through clean energy replacement in the power and transportation sectors showed increases of 20.17 million tonnes (39%) in 2025 to 38.86 million tonnes (46%) in 2050. The potential for emissions reduction by transferring or shutting down major industrial projects rose from 18.06 million tonnes (35%) in 2025 to 39.5 million tonnes (46%) in 2050. See Figure ES-4.

Figure ES-4 | Emission Reduction Potential in Suzhou (comparison of Peaking Scenario and 2050 Vision Scenario)

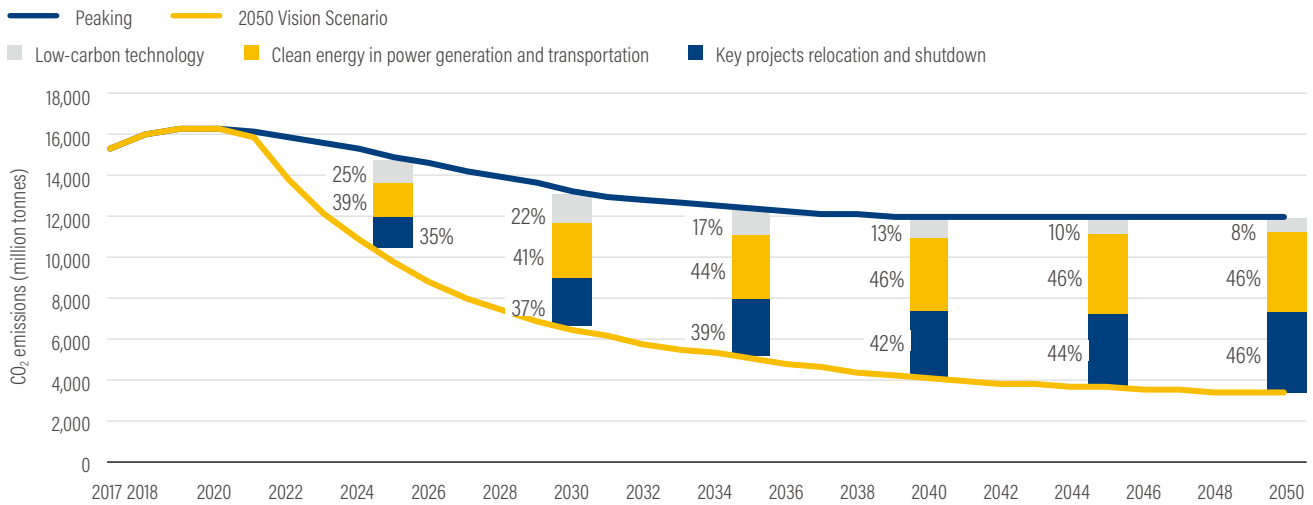
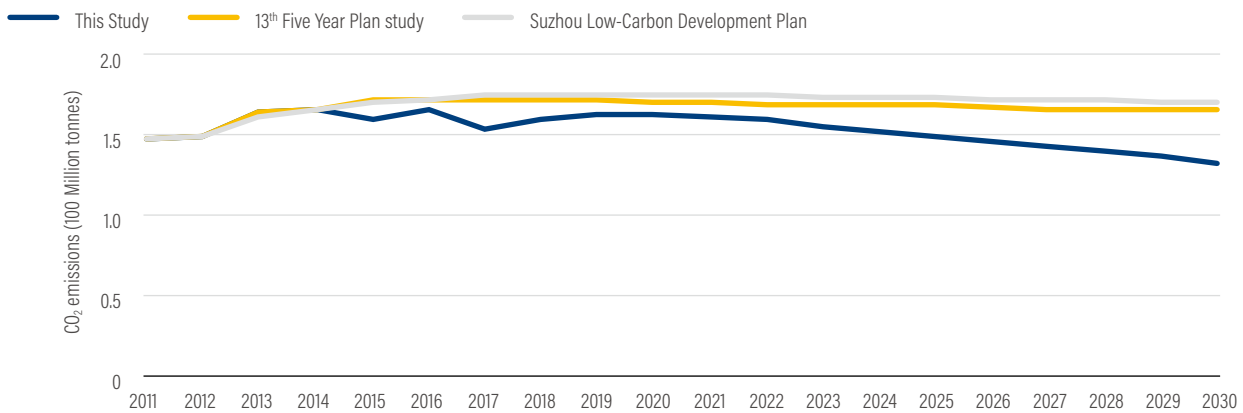


Figure ES-5 | Comparison of Carbon Emissions Projection in Different Studies



■ **Differences in research results from different periods show the value of reviewing the effectiveness of previous work and the continued optimization of low-carbon efforts.**

The “Suzhou Low-Carbon Development Plan”, “Research on Low-Carbon Development Optimization Strategies” in Suzhou 13th Five-Year Plan and this study all provided forecasts for trends in carbon emissions for Suzhou through 2030. The peak predictions of these three different studies were relatively close, soundly ranging between 163-175 million tonnes. However, forecasts of total carbon emissions for 2030 were quite different, as shown in Figure ES-5. The main reason for this was that this study uses 2017 as the benchmark year and both the economic and social development in

Suzhou had changed considerably compared with the benchmark years of the previous two studies (2010, 2014). The success of the “Two Reductions, Six Treatments and Three Improvements” program, efforts to prevent and control pollution and other work was considerable. At the same time, innovative high-tech industries and newly emerging industries showed an increase in production value in terms of overall planning and a decrease in energy consumption for energy-intensive industries. Energy consumption per unit of production value also saw improvement. This shows that continued economic and social development along with constant promotion of low-carbon efforts, changes in carbon emission will also affect future development trends. Reviews and optimization of low-carbon work is of great significance in ensuring that carbon emissions peak remains stable.

Policy Recommendations

This study proposes policy recommendations for industrial and energy structures as well as the industry, building and transportation sectors. These are shown in Table ES-1.

Table ES-1 | **List of Low-Carbon Development Recommendations for Suzhou**

FIELDS	SHORT TERM (2020-2025)	MEDIUM AND LONG TERM (2026-2050)
Industry Structures	<ul style="list-style-type: none"> Promote upgrades and transitions in traditional industries, especially energy-intensive industries; improve technical knowledge of management Explore assessment mechanisms for energy consumption access and carbon emissions Accelerate the development of a modern service industry 	<ul style="list-style-type: none"> Eliminate outdated production methods and transition/ update traditional industries over next 10-15 years Complete assessment system for energy audits and carbon emissions; selectively develop emerging industries and high-tech industries Vigorously develop production-based service industries and emphasize development of high-end service industries
Energy Structures	<ul style="list-style-type: none"> Continue to control total coal consumption and strengthen control of energy sources; continue "double control" energy consumption policy, reduce coal consumption and strengthen the clean use of coal Continue to promote updates to existing power plant units Vigorously develop clean energy and renewable energy 	<ul style="list-style-type: none"> Develop non-fossil fuel based energy Increase investment in science and technology and increase importance of application of R&D results
Industrial Sector	<ul style="list-style-type: none"> Continue strengthening education about energy-saving technologies Continue strengthening promotion and application of energy-saving technologies Increase rate of recovery and reuse for key resources Accelerate application of low-carbon products and low-carbon enterprise standards, designation and certification systems, and the establishment of a green low-carbon industrial system 	<ul style="list-style-type: none"> Move forward relocation and renovation of large-scale projects Actively promote approved advanced low-carbon technology; increase investment in scientific research; promote transformation and implementation of R&D results; actively form an industrial chain for new, green raw materials; Meanwhile, strengthen focus on development of international advanced low-carbon technologies and introduce/implement pilot projects Analyze geological conditions of Suzhou to assess possibility of carbon dioxide geological and marine storage; develop carbon capture, utilization and storage chain
Building	<ul style="list-style-type: none"> Comprehensively promote green construction requirements Expand market for energy-saving retrofitting projects Increase use of renewable energy in the building sector Strengthen collection and monitoring of energy use data Strengthen supervision and performance management for buildings in use 	<ul style="list-style-type: none"> Promote development of energy-saving retrofitting market 100m sqm by 2050 Comprehensively promote the development of green building industry Explore models for development of passive ultra-low energy structures Strengthen publicity and promotion for green and low-carbon buildings

Table ES-1 | **List of Low-Carbon Development Recommendations for Suzhou**

FIELDS	SHORT TERM (2020-2025)	MEDIUM AND LONG TERM (2026-2050)
Transport	<ul style="list-style-type: none"> Control growth of motor vehicle ownership; issue policies on controlling total vehicle numbers Increase promotion of new energy vehicles Perfect urban public transport systems, strengthen development of urban rail transit and ridership ratio on public transport Improve transportation network and increase the proportion of railway and water transportation 	<ul style="list-style-type: none"> Control growth of vehicle ownership and vigorously promote popularization of clean energy vehicles Accelerate improvements in infrastructure construction and strengthen design of smart transportation network systems Focus on the development of multi-level transportation Enhance concepts of green and low-carbon travel
Others		<ul style="list-style-type: none"> Monitor urban density, divide spatial levels and create consolidated urban areas Promote mixed use of land Establish a "green wedge" system Introduce smart urban management new techniques and new technologies Continue to promote creation of forest carbon sinks Actively explore the possibility of soil carbon sinks Establish green carbon fund and improve systems for ecological compensation





第一章

城市碳排放达峰与长期愿景的外在要求与内在驱动

达峰与2050长期战略是本报告的两大关键词。

中国在《“十三五”控制温室气体排放工作方案》中提出“支持优化开发区域碳排放率先达到峰值”，苏州作为长三角地区非常重要的工业城市，在低碳工作开展方面一直走在前列，积累了丰富的经验。苏州市在2012年和2014年已经开展过两次峰值研究，本研究旨在再次优化分析苏州市碳排放峰值路径，确保苏州市在新的经济形势和能源消费情况下，能够完成2020年达峰目标。

同时，在众多国家已经或即将向《联合国应对气候变化框架公约》秘书处提交2050应对气候变化长期战略的背景下，国外很多城市已经制定了“净零”或“碳中和”愿景和行动计划，中国城市也应该行动起来，从制定长期目标开始，为中国和全球应对气候变化长期目标的实现做出贡献。苏州在开展峰值研究的同时将展望年份延伸到2050年，成为国内最早开展长期愿景研究的城市之一。

1.1 实现温室气体净零排放是应对气候变化的必然要求

《巴黎协定》于2016年11月正式生效，其中提出全球各国应共同努力确保将升温控制在2°C以内并争取控制在1.5°C以内。为了实现这一目标，各国需在本世纪下半叶实现温室气体源的人为排放与汇的清除之间的平衡，即“净零排放”。根据联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）2018年10月发布的1.5°C特别报告，

人类活动已经导致了全球温度比工业化前升高了大约1°C。如果这一趋势继续下去，很可能在2030—2050年间导致升温1.5°C。如果要将升温控制在2°C以内，2030年全球二氧化碳净排放需要在2010年基础上减排20%，2075年实现净零排放；如果要将升温控制在1.5°C以内，2030年需要在2010年基础上减排45%，2050年实现净零排放。全球升温1.5°C目标的实现，要求在能源、土地、城市与基础建设，以及工业等领域有快速和大规模的转型。然而基于对现有国家减排目标的评估，全球温室气体排放放在2030年将达到520亿~580亿吨二氧化碳当量。按照这一趋势，即使2030年以后大幅减排，也无法实现将升温控制在1.5°C以内的目标。

《巴黎协定》要求各国于2020年前提交应对气候变化长期战略，截至2020年4月，有17个国家提交了相关战略，如图1所示。此外，全球有60多个城市已经制定了2050长期愿景或者正在开展相关研究。苏州作为中国的低碳发展排头兵，此时就制定2050长期愿景开展科学研究支持，将为其他城市提供很好的示范。

1.2 苏州市是低碳发展的先行者

苏州市行政区划为8657.32平方公里，其中市区面积为4652.84平方公里，下辖6个区：吴江区、吴中区、相城区、姑苏区、苏州工业园区、苏州高新区（虎丘区），4个县级市：张家港市、常熟市、太仓市、昆山市，如图2所示。根据《苏州统计年鉴（2018）》，2017年全市常住人口为1068.4万人，全市实现地区生产总值17319.51亿元，人均地区生产总值（按常住人口计

图 1 | 已经向UNFCCC秘书处提交长期战略的国家

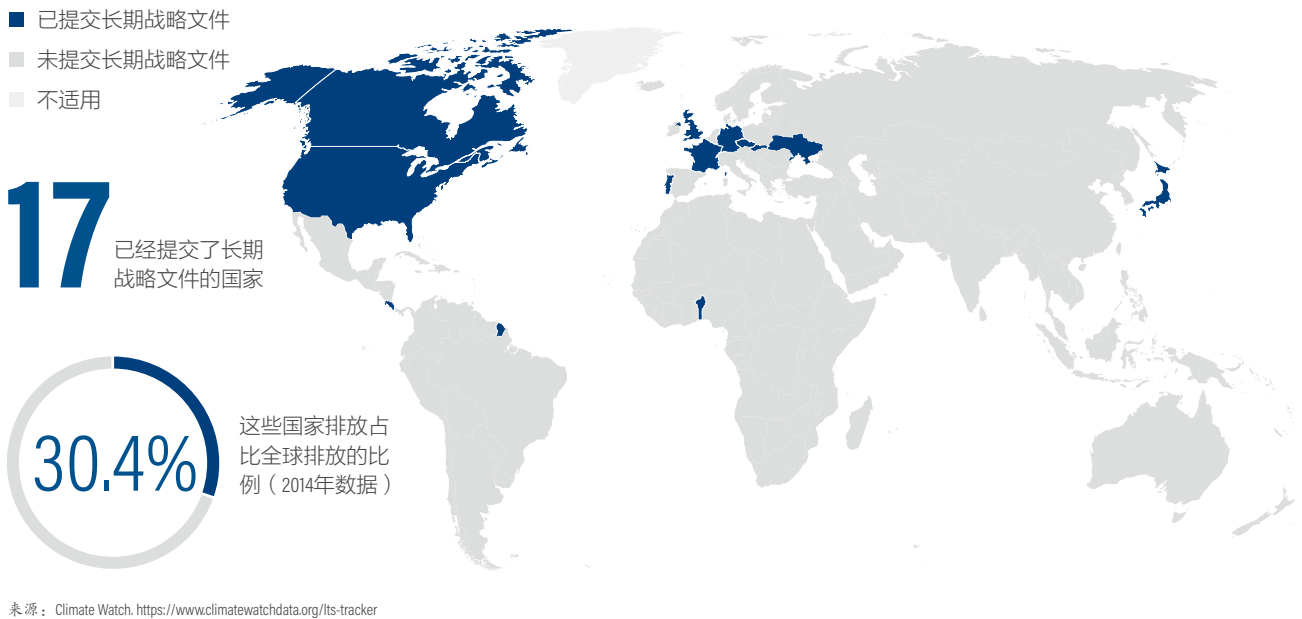
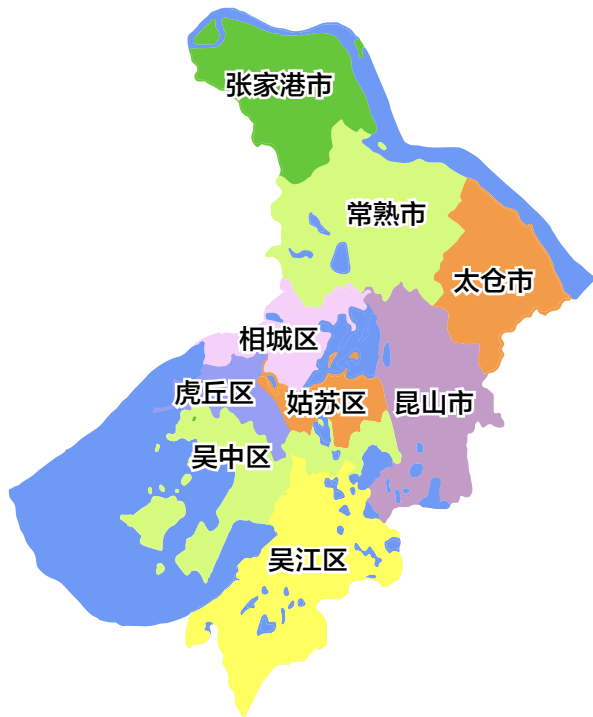


图 2 | 苏州市地图



算)达16.21万元。“十三五”以来,伴随着经济新常态的宏观社会背景,苏州市经济增速换挡,GDP年均增长率为7.2%(2016—2018年)。

苏州一直致力于调轻调优产业结构。截至2017年,苏州市第二产业增加值比重降低至47.6%,第三产业增加值比重提高至51.2%，“三、二、一”的产业结构体系初步形成,蓬勃发展的第三产业基本弥补了工业转型期第二产业增速放缓对经济总量的影响,从而保证了社会经济的稳步提升。与此同时,高新技术产业及新兴产业快速壮大,高新技术产业产值占规上工业产值比重从2010年的37%提升到2017年的47%,全年实现产值15300亿元。高新技术产业及新兴产业已成为拉动苏州工业经济增长新的主导力量,为苏州发展低碳经济提供了有力的技术保障。

2012年12月,苏州成功入选成为国家第二批低碳试点城市,同年将《苏州市国家低碳试点城市工作初步实施方案》上报至国家发展和改革委员会,并启动编撰《苏州市低碳发展规划》。

2014年2月,《苏州市低碳发展规划》正式出台,提出苏州市2020年碳排放总量达到峰值、碳排放强度比2005年下降超50%、人均碳排放于2017年实现拐点等具体目标。同年9月,苏州市“十三五”低碳发展优化对策研究启动,总结了2010—2014年苏州社会经济、产业结构、能源利用概况,归纳分析《苏州市低碳发展规划》实施后苏

州市采取的低碳措施及其成效，梳理碳排放现状和新阶段低碳发展面临的形势。同时，该研究对碳排放进行重新预测，基于减排潜力分析绘制了苏州市“十三五”低碳发展优化路线图，提出了苏州市低碳发展新的优化对策。

2015年，苏州市构建落实重点单位碳排放报告和核查制度，完成了第一批68家企业的碳核查与报送工作，并于同年启动苏州市碳强度降低目标责任考核评估机制设计项目，从体制机制建设层面保障低碳举措顺利推进。同年，首届国际能源变革论坛在苏州召开，论坛由国家能源局、江苏省政府、国际可再生能源署联合主办。

2016年，苏州市对低碳城市建设进行了阶段性评估，回顾低碳试点获批以来的主要工作举措，总结有益经验及现存挑战。

2017年，苏州市完成了全市层面2016年度温室气体清单报告编制工作。

2018年，苏州市充分完成各区市碳强度降低情况测算，将“十三五”碳强度目标工作进行区市分解。此外，启动苏州市碳排放达峰路径优化与2050长期愿景研究项目（本研究）。

1.3 苏州市碳排放达峰面临挑战

苏州市开展了大量减煤、减碳、节能、提效工作，制定了碳排放总量、碳排放强度等明确的发展目标，积累了丰富的低碳工作经验，取得了良好的成绩。但苏州市人均碳排放处于较高水平，产业结构仍然偏重，能源消费结构尚待优化，低碳发展仍存在较大进步空间。现在距离2020年达峰目标期限时间不足一年，实现稳定碳达峰的最终目标仍存在以下挑战：

复杂多变的国际环境。全球经济发展态势不容乐观，全球经济贸易、政治主权争夺日益加剧，贸易保护主义对产品要求更高，低碳产品、绿色产品将在国际贸易中占据主导地位，这对以工业产品为主的苏州来说要求更高、挑战更大，需要通过提高技术水平，或发展高端产业链，生产更加低碳的产品。苏州市需要积极迎接新时代的挑战，早日完成可持续的发展模式转型，以免失去国际贸易竞争制高点，错失发展良机。

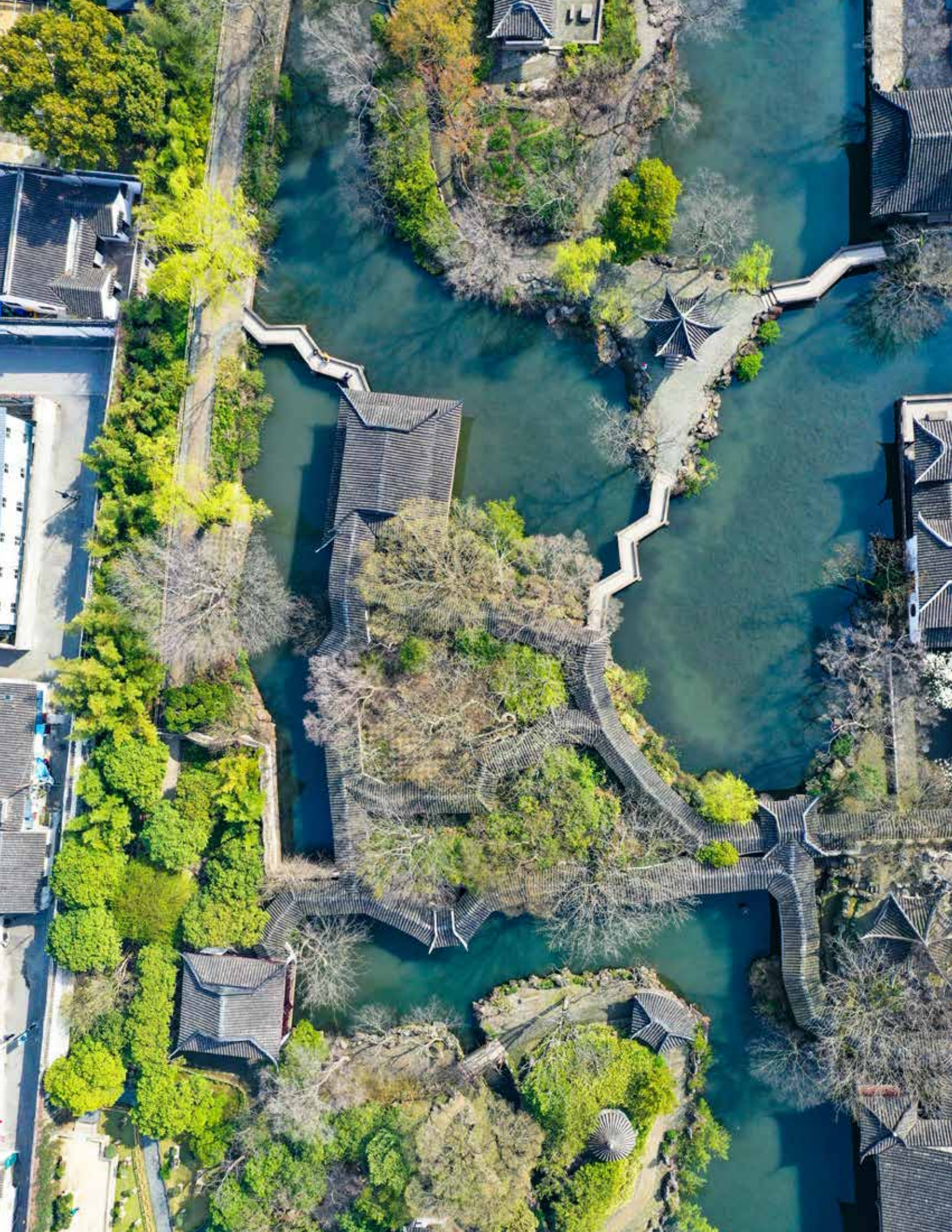
特殊的社会经济时期。中国经济步入“新常态”时期，面临产业结构调整、经济增速换挡等发展模式的转变，宏观经济的不稳定影响能源消费，进而使得碳排放不确定性增加，2014年至今，苏州市每年的二氧化碳排放总量在1.5

亿吨附近，存在500万至1000万吨的波动。一方面，苏州需要顺应国家低碳发展政策，承担减排责任；另一方面，面临经济转型，低碳发展与社会发展协调性降低、不确定性增加，都将给苏州低碳工作带来压力与挑战。

有限的城市资源禀赋。苏州虽为工业大市，但资源禀赋有限，一次能源全部依赖外地调入，且能源消费以煤为主，新能源资源有限且在能源消费中占比较低，不足30%。苏州如果不能发展低碳技术、提高能源利用率，将面临低碳目标和资源有限的双重发展约束。

各领域节能减排难度增大。一方面，苏州工业技术虽在国内处于领先水平，但高耗能行业碳排放体量依然居高不下，工业结构亟须改善，新兴产业有待发展，产业层次有待提高，工业发展仍需转型。另一方面，随着经济社会的发展，人民生活水平提高，建筑能耗增加，现有建筑缺少合理的能耗监管设计，将导致能源消耗和碳排放增加。机动车保有量持续增长，新能源汽车还未占据市场优势，交通部门对能源的需求也将更大，导致碳排放增加。





第二章

苏州市能耗与碳排放特征

苏州是工业型城市，能源消耗呈现出以下主要特征：能效水平持续提升，但高耗能工业行业能源消费占比高，煤等化石燃料依然占主导。2017年苏州市碳排放总量为1.5亿吨，单位GDP碳排放为0.9吨/万元，人均碳排放为14.3吨/人，较2010年增长近1吨/人。苏州市近年来碳排放增速放缓，主要贡献因素的影响呈现波动趋势。

2.1 能效水平持续提升，但高耗能工业行业能源消费占比高、煤等化石燃料依然占主导

■ 能效水平持续提升

近年来，苏州市节能减排工作卓有成效，能耗强度持续下降，根据苏州市“双控”自查报告等文件^{2,3}，苏州市2017年单位GDP能耗约为0.4吨/万元，较2016年的0.42吨/万元下降4.7%，较2015年的0.43吨/万元下降7%。2016年苏州市规上工业综合能源消费量控制目标为5290万吨标准煤，顺利实现。但是，苏州市能源消费总量仍保持上涨态势，“十三五”增量控制目标为555万吨标准煤，2016年、2017年两年实际能源消费增量为378.3万吨标准煤，共超出增量控制目标156.3万吨标准煤，较2015年增长约6%，节能工作仍存压力。

低碳城市建设过程中，苏州市积极化解过剩产能，严控高能耗高排放企业，2010—2017年除纺织、钢铁行业能耗强度维持在2010年的水平（分别为0.22吨/万

元、0.65吨/万元）外，其他重点工业行业能耗强度不断降低，电力、建材、造纸、化工行业能耗强度分别比2010年下降超过8.7%、52.4%、15.6%、8.5%。

■ 高耗能工业行业能源消费占比高

根据统计数据，2017年苏州市规上工业综合能源消耗量达5307万吨标准煤，其中电力、钢铁、纺织、造纸、化工、建材等六大高耗能行业（单位产值综合能耗高）综合能源消费量达4375万吨标准煤，约占规上工业能源消费的82%，但产值占规上工业总产值不到四分之一，如图3和图4所示。

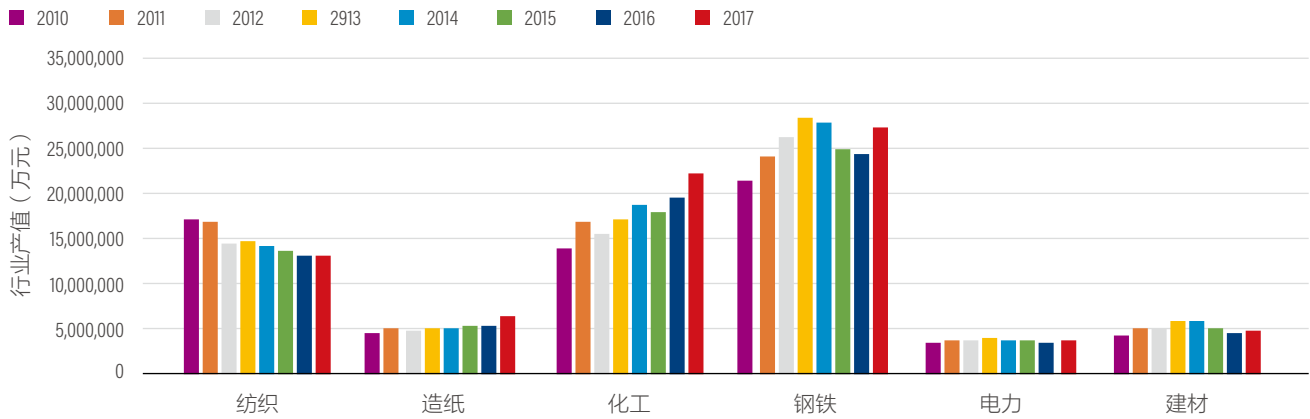
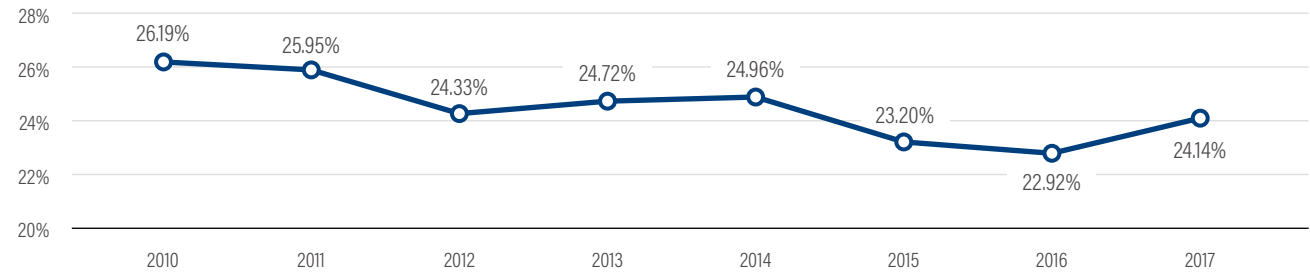
■ 能源消费结构依然偏重，煤炭消费占比偏高，化石燃料占主导

苏州市能源消费结构呈现出以下特点，如图5所示：

- 目前苏州市煤炭消费量依然保持稳定，2017年煤炭消费总量约为5400万吨标准煤，较2010年增加约348万吨，在总能源消费量中的占比从68%降低至59%，累计下降近10%，但仍然是最主要的一次能源。
- 伴随着快速发展的石化工业，苏州市石油消费总量逐年增加，在总能源消费中的占比呈增长趋势，2010年苏州市石油消费量折合标准煤599万吨，2017年石油消费量折合标准煤1003万吨，增长率为67.5%。
- 天然气在总能源消费中的占比呈上升趋势，2017年天然气消费量折合标准煤约771

图 3 | 苏州市六大高耗能产业产值

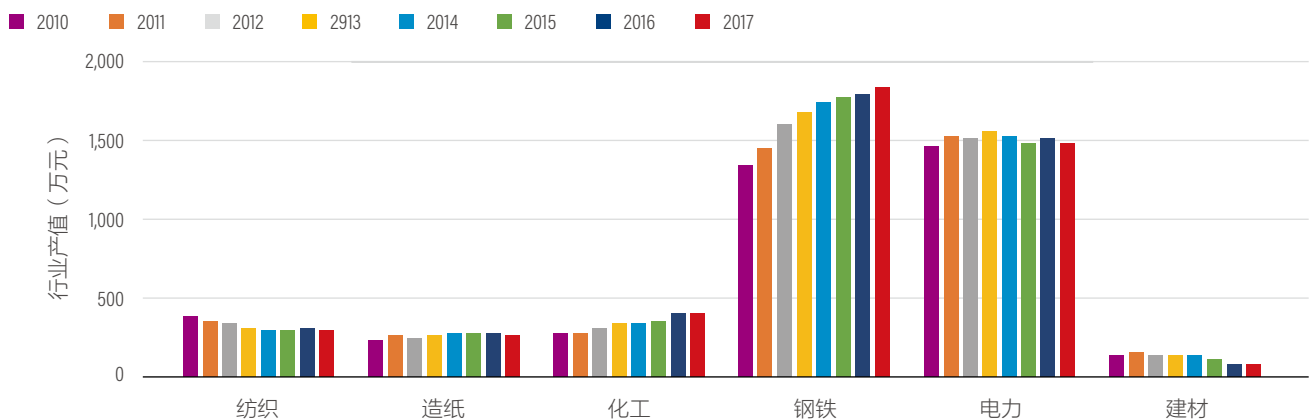
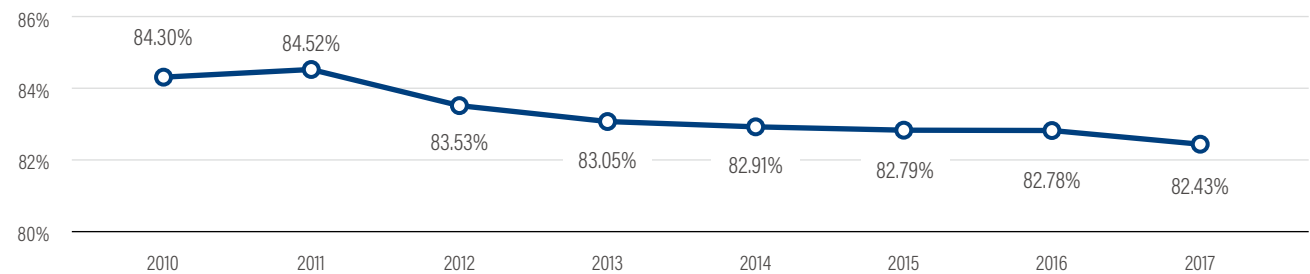
六大高耗能行业在规上工业总产值占比



数据来源：苏州市历年统计年鉴

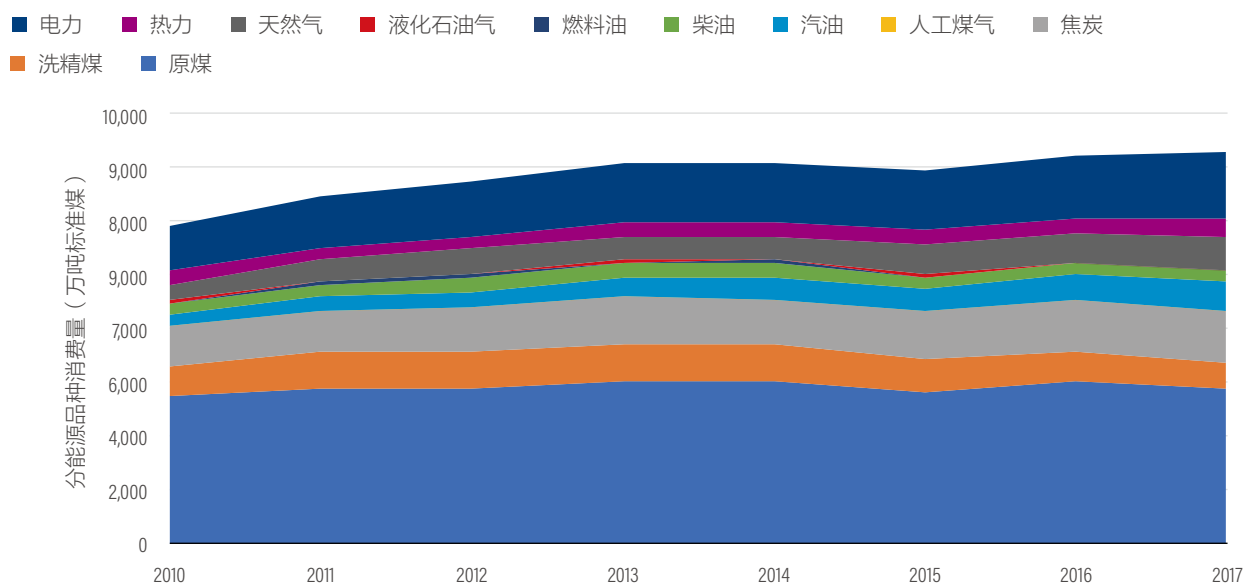
图 4 | 苏州市六大高耗能产业能耗

六大高耗能行业在规上工业综合能源消费量占比



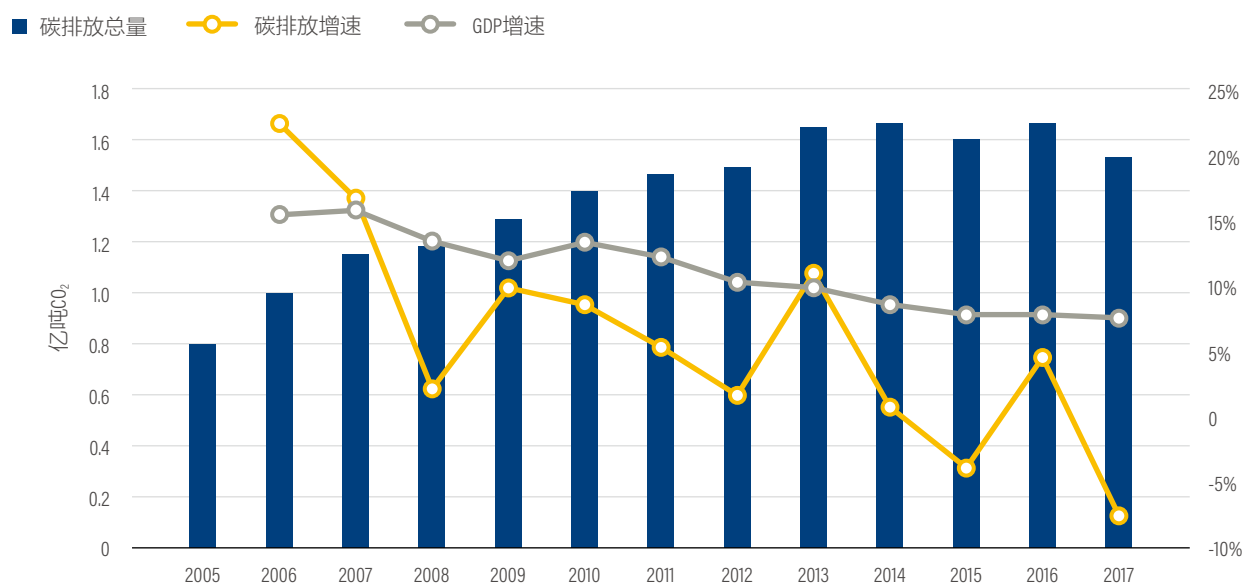
数据来源：苏州市历年统计年鉴

图 5 | 苏州市2010—2017年分品种能源消费情况



注：数据不包括规下（规模以下）工业，未减去加工转换。

图 6 | 苏州市2005—2017年碳排放总量及变化情况



万吨，在总能源消费量中的占比约8.4%，较2010年的404万吨增长91%左右，年平均增长率达9.7%。

- 外调电量占总用电量比例升高，输入清洁电量总体呈上升趋势。其中，2017年电力消费量折合标准煤1584万吨，在总能源消费量中的占比约17.3%，较2010年增长42.2%，年平均增长率达5.2%。

2.2 碳排放增速放缓，主要贡献因素的影响呈现波动

■ 碳排放增速放缓

苏州市2005—2017年二氧化碳总排放和分部门排放趋势如图6所示，2005年碳排放总量为8000万吨，2007年碳排放总量破亿吨，2017年全市碳排放总量为1.5亿吨，

2005—2017年碳排放总量年平均增长率为5.4%。可以看到，2014年以前苏州市碳排放呈增长趋势，2014年以后碳排放工作成效开始凸显，再加上经济发展“新常态”的影响，二氧化碳排放出现波动态势，2015年与2017年碳排放出现负增长现象。

分阶段来看，“十一五”期间，碳排放总量年平均增长率约9%，“十二五”期间，碳排放总量年平均增长率降至2%，而“十三五”期间的前两年碳排放呈现负增长，碳排放总量年平均增长率分阶段明显降低。

■ 工业部门仍是最主要的排放源，但占比下降

从各个部门的排放贡献来看，工业部门（包括能源工业和制造业）贡献了苏州市二氧化碳排放总量的绝大部分，如图7所示。2013年以前，工业部门碳排放均占碳排放总量的90%以上，但总体呈下降趋势，2017年降至84%左右，比2005年下降9.3%，比2010年下降6.1%。交通部门成为苏州市仅次于工业部门的第二大碳排放源，排放量及排放占比均逐年上升，2015年之后交通部门碳排放占苏州市碳排放总量的10%以上。服务业及居民建筑没有考虑电力消费造成的间接碳排放，故而占比较低，但如果从消费端考虑，建筑运营碳排放对苏州市碳排放总量的贡献度与交通部门相近。

从单位GDP碳排放来看，2010年碳排放强度为1.5吨/万元，2017年碳排放强度为0.9吨/万元，碳排放强度首次小于1吨/万元，2010—2017年碳排放强度年平均下降率为7%。

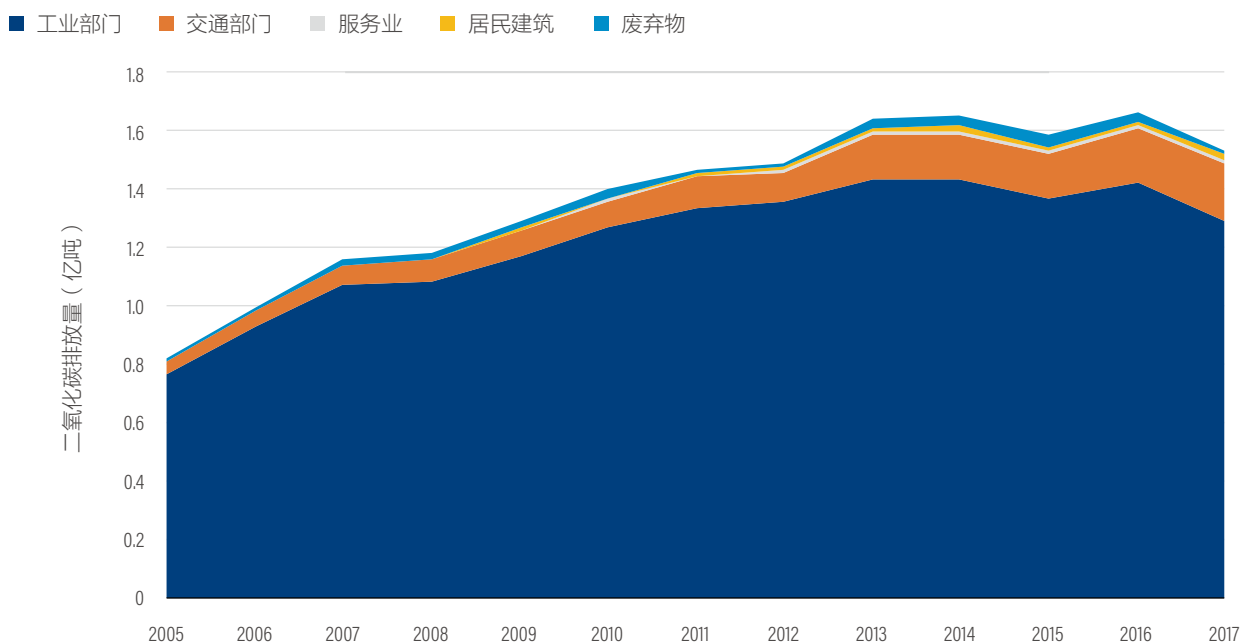
从人均碳排放量来看，2014年以前苏州市人均二氧化碳碳排放整体呈增长趋势。由于人口增长、碳排放总量呈波动态势，近年来苏州市人均二氧化碳排放量也出现波动现象，2017年苏州市人均碳排放为14.3吨/人，较2010年增长近1吨/人。

■ 经济增长、能效提升和能源结构对减排的贡献近期呈现波动

本研究利用KAYA模型与LMDI指数分解方法，分析了人口、人均GDP、能耗强度和能源结构对苏州市二氧化碳碳排放的贡献率。如图8所示，可以看到：

- 人口对碳排放总量的贡献较小，2010年后人口对碳排放的贡献度降低，近年来人口对碳排放的影响极小，且2015年、2017年呈现负的驱动作用。
- 人均GDP是驱动苏州市碳排放增长的主要因素，且2007—2014年均呈拉动作用，2015—2017年人均GDP对碳排放的影响产生波动。

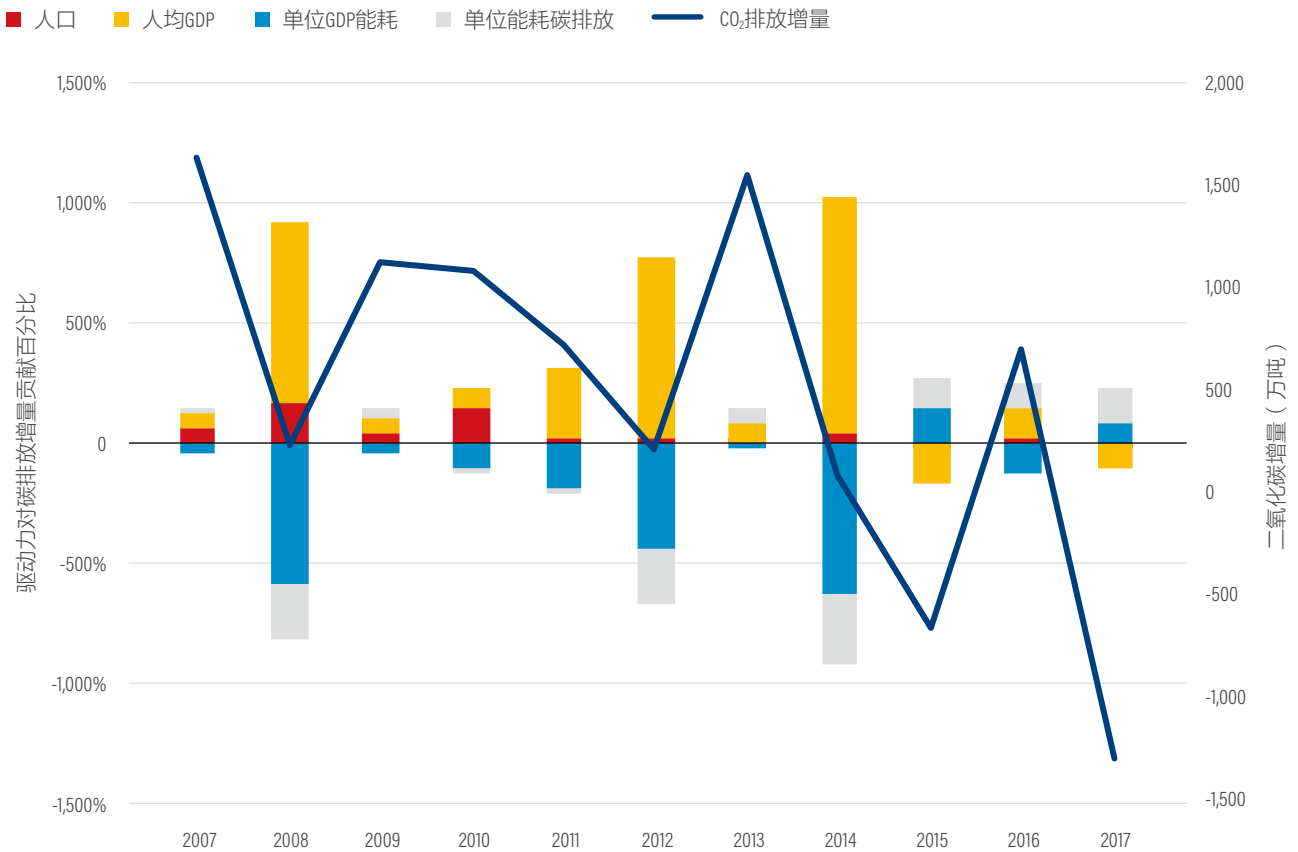
图7 | 苏州市2005—2017年分部门碳排放情况



注：工业包括能源工业和制造业

- 单位GDP能耗是降低碳排放的重要因素，表明苏州市在降低碳排放强度上取得较好效果。
- 单位能耗碳排放即能源结构对降低碳排放的贡献度有待提高，且对碳排放增量的作用变化较大。
- 总体来看，2015—2017年各因素贡献度与贡献方向均有所波动，这与“十三五”时期苏州市经济发展进入“新常态”有关，随着达峰年的接近，达峰不确定性的提高，需要加强对苏州市现状的把握和未来发展趋势的分析，减小不确定性的干扰，确保苏州市碳排放稳定达峰。

图 8 | 苏州市2007—2017年二氧化碳排放增量的各因素贡献度分析





第三章

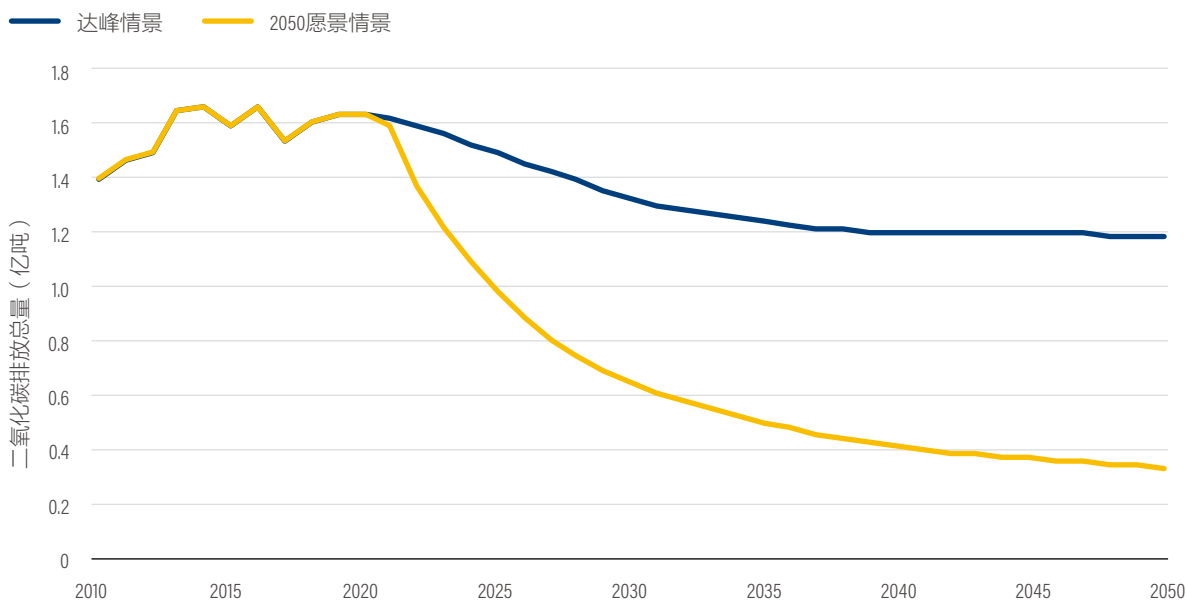
苏州市碳排放达峰 路径与长期排放预测

本章将介绍苏州市碳排放预测结果，并将结果与之前的研究进行了比较。本研究设置了达峰情景和2050愿景情景来分析未来可能的排放轨迹：达峰情景下加大了现有政策力度，确保苏州能够实现2020年达峰且低位达峰；2050愿景情景的主要目标是尽可能降低2050年的碳排放，帮助苏州尽早实现净零排放。

3.1 苏州市可于2020年实现碳排放达峰，2050年人均排放有望降至2.8吨

苏州市二氧化碳排放总量预测结果如图9所示，达峰情景、2050愿景情景下，2020年碳排放总量均为1.63亿吨；2030年碳排放总量分别为1.32亿吨、0.65亿吨；2040年碳排放总量分别为1.20亿吨、0.41亿吨；2050年碳排放总量分别为1.19亿吨、0.34亿吨。

图9 | 苏州市二氧化碳排放总量预测结果



苏州市二氧化碳排放强度预测如图 10 所示，达峰情景、2050 愿景情景下，2020 年碳排放强度均为 0.79 吨/万元；2030 年碳排放强度分别为 0.39 吨/万元、0.19 吨/万元；2040 年碳排放强度分别为 0.25 吨/万元、0.08 吨/万元；2050 年碳排放强度分别为 0.19 吨/万元、0.05 吨/万元。

苏州市人均二氧化碳排放如图 11 所示，达峰情景、2050 愿景情景下，2020 年人均碳排放均为 15.08 吨/人；2030 年人均碳排放分别为 11.83 吨/人、5.80 吨/人；2040 年人均碳排放分别为 10.35 吨/人、3.55 吨/人；2050 年人均

碳排放分别为 9.91 吨/人、2.81 吨/人。

为更加准确地把握苏州市的碳排放相较于江苏省、中国、发达国家的水平，本研究对不同研究中的碳排放数据进行对比，包括历史碳排放数据对比、分部门碳排放数据对比和预测碳排放数据对比。由于各研究的时间范围、工作重点不同，无法做到逐年、所有排放指标的对比，但通过现有研究结论对比，在一定程度上仍能反映苏州市相较于其他地区的碳排放水平。

对比苏州市与江苏省、中国、发达国家的历史数据（见表 1），苏州市 2017 年碳排放总量为 1.5 亿吨，碳排放

图 10 | 苏州市二氧化碳排放强度预测结果

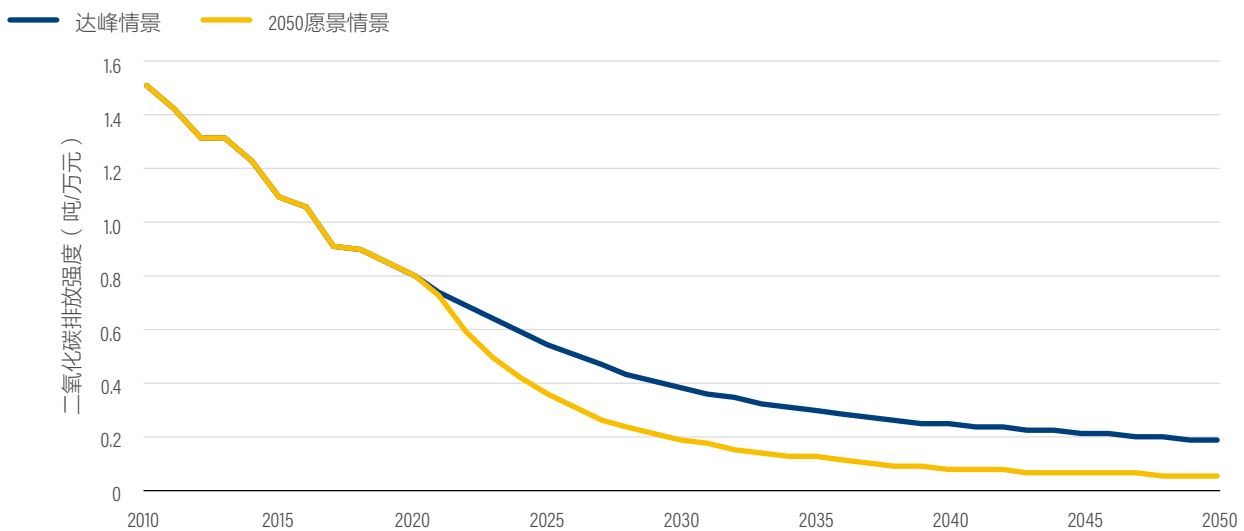


图 11 | 苏州市人均二氧化碳排放量预测结果

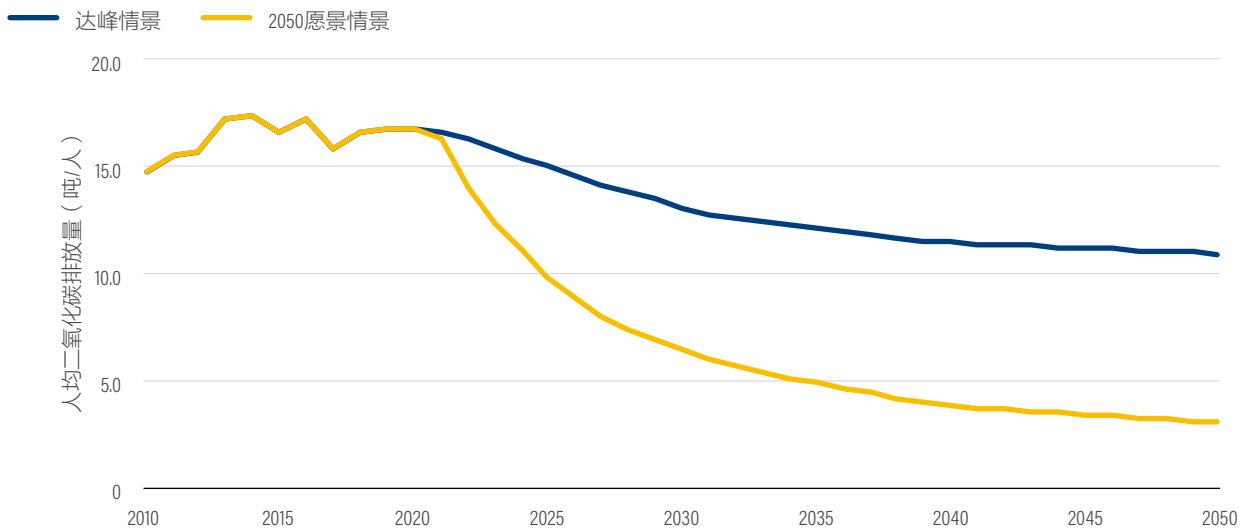


表 1 | 苏州市和江苏省、中国、发达国家历史碳排放数据对比

地区	碳排放总量 (亿吨)	人均碳排放 (吨/人)	碳排放强度 (吨/万元)
美国 (2016年)	65.26	14.95	-
日本 (2016年)	13.22	9.04	-
中国 (2016年)	90.84	6.57	-
江苏 (2017年)	8.5	10.6	0.99
苏州 (2017年)	1.5	14.3	0.9

数据来源：江苏、苏州数据来自课题组测算，国家人均排放数据来自 IEA，美国总排放数据来自美国环境保护署 (EPA)⁵，日本总排放数据来自 <https://www.env.go.jp/press/files/en/743.pdf>，中国总排放数据按照 IEA 人均排放和人口推算。

表 2 | 2016年苏州市和其他国家建筑部门人均碳排放对比 (吨/人)

地区	住宅建筑	商业和公共建筑
加拿大	1.01	1.02
美国	0.87	0.66
日本	0.44	0.51
韩国	0.66	0.35
法国	0.69	0.36
德国	1.08	0.56
中国	0.27	0.11
苏州	0.90	1.10

数据来源：IEA

强度为0.9吨/万元，人均碳排放为14.3吨/人。江苏省2017年化石燃料燃烧碳排放总量为8.5亿吨，碳排放强度为0.99吨/万元，人均碳排放为10.6吨/人。

根据国际能源署 (IEA) 二氧化碳燃料燃烧排放数据⁴，2016年中国人均碳排放为6.57吨/人，美国人均碳排放为14.95吨/人，日本人均碳排放为9.04吨/人。苏州市碳排放强度稍高，且人均碳排放高于部分发达国家整体人均碳排放水平，是中国人均碳排放水平的2.2倍。

对比苏州市与其他国家的分部门碳排放数据 (见表 2)，根据IEA分部门人均碳排放数据，苏州市住宅建筑

人均二氧化碳排放水平低于加拿大和德国，与美国较为接近，为0.90吨/人，商业和公共建筑人均碳排放与加拿大较为接近，为1.10吨/人。需要说明的是，这里为对比苏州与其他国家建筑部门人均碳排放水平，苏州建筑部门碳排放从消费端计算，即考虑了建筑部门电力消耗导致的碳排放。

对比苏州市 (达峰情景) 与中国、美国等国家的碳排放预测数据。结合相关学者的研究成果^{6,7}，中国2030年碳排放约为90亿吨，人口约13.8亿人，碳排放强度为1.1~1.3吨/万元。苏州2030年碳排放约占中国碳排放总量的1.5%，碳排放强度远低于中国总体碳排放强度。

表 3 | 苏州市与各国未来预测人均碳排放数据对比（吨/人）

国家或城市	2025年	2030年	2035年	2040年
中国	6.73	6.69	6.54	6.39
美国	13.15	12.24	11.39	10.82
德国	8.0 ~ 8.1	6.5 ~ 6.8	4.6 ~ 5.5	2.7 ~ 4.3
英国	5.5	4.7	3.8	3.0
日本	7.8	6.5	5.1	3.7
苏州（达峰情景）	13.52	11.83	10.90	10.35
苏州（2050愿景情景）	8.87	5.80	4.42	3.55

数据来源：中国和美国数据是根据IEA排放预测和世界人口展望数据计算，德国、英国、日本数据根据其排放现状、2050年目标和人口展望数据计算。其中德国数据是一个范围，因为德国2050年目标是在1990年基础上减排80%~95%。

此外，根据IEA世界能源展望新政策情景二氧化碳排放总量预测数据⁵，结合世界人口展望预测的人口数据⁶，计算未来中国、美国等国家的人均碳排放水平，并与苏州市达峰情景、2050愿景情景预测的碳排放水平进行对比。达峰情景下未来苏州市人均碳排放远高于中国，但两者差距逐渐减小，苏州市与美国人均碳排放水平十分接近甚至低于美国人均碳排放水平。2050愿景情景下，苏州市人均碳排放水平接近欧盟国家与日本的人均碳排放水平（见表3）。

3.2 工业部门可于2020年前达峰，是影响苏州市整体达峰的最主要因素

达峰情景下苏州市2018—2050年各部门二氧化碳排放趋势如图12所示。

工业部门为苏州市最主要的二氧化碳排放源，2020年碳排放达到峰值，为13887万吨，占苏州市碳排放总量的85.3%，之后排放量及占比持续下降，2033年之后降至80%以下，到2050年工业部门碳排放量为9093万吨，占比为76.5%。其中，电力和钢铁行业是最主要的排放源，其碳排放均于2019年达峰，电力行业峰值为6425万吨，占工业部门碳排放总量的46.3%，占苏州市碳排放总量的

39.6%。钢铁行业峰值为6280万吨，占工业部门碳排放总量的45.3%，占苏州市碳排放总量的38.7%。

交通部门为第二大碳排放源，2020年碳排放达到峰值，为1904万吨，占苏州市碳排放总量的11.7%，之后排放量呈下降趋势，到2050年交通部门碳排放量为1593万吨，占比为13.4%。

未来居民建筑碳排放总量及占比均持续升高，2020年碳排放量为218万吨，占比为1.3%，到2050年居民建筑碳排放量为697万吨，占比为5.9%。

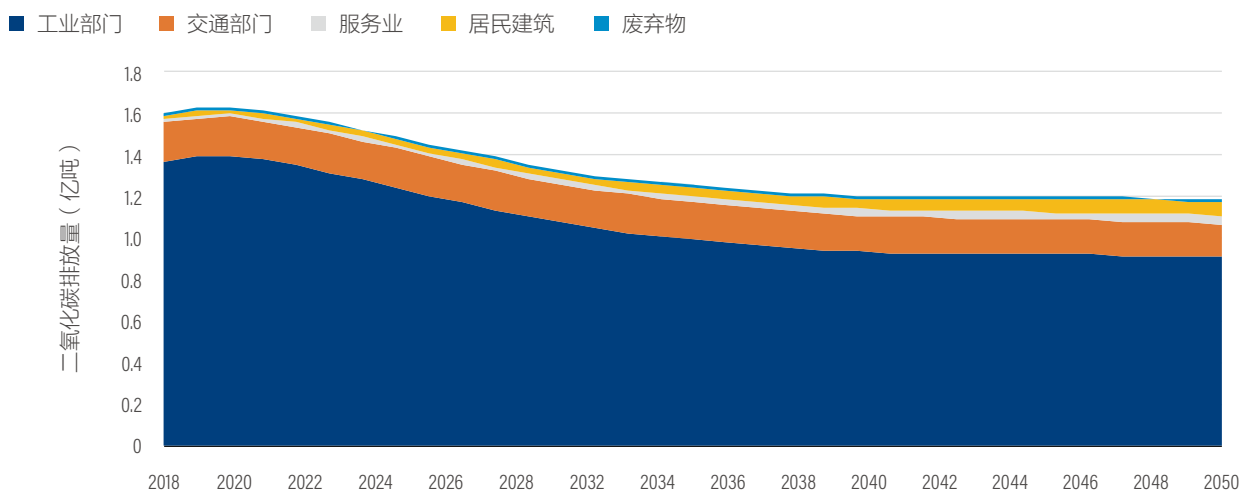
服务业碳排放量及占比同样呈升高趋势，但低于居民建筑，2020年服务业导致的碳排放量为144万吨，占比为0.9%，到2050年服务业碳排放量为384万吨，占比为3.2%。

废弃物碳排放在苏州市碳排放总量中占比最低，约为1%。

2050愿景情景下苏州市2018—2050年各部门二氧化碳碳排放趋势如图13所示。

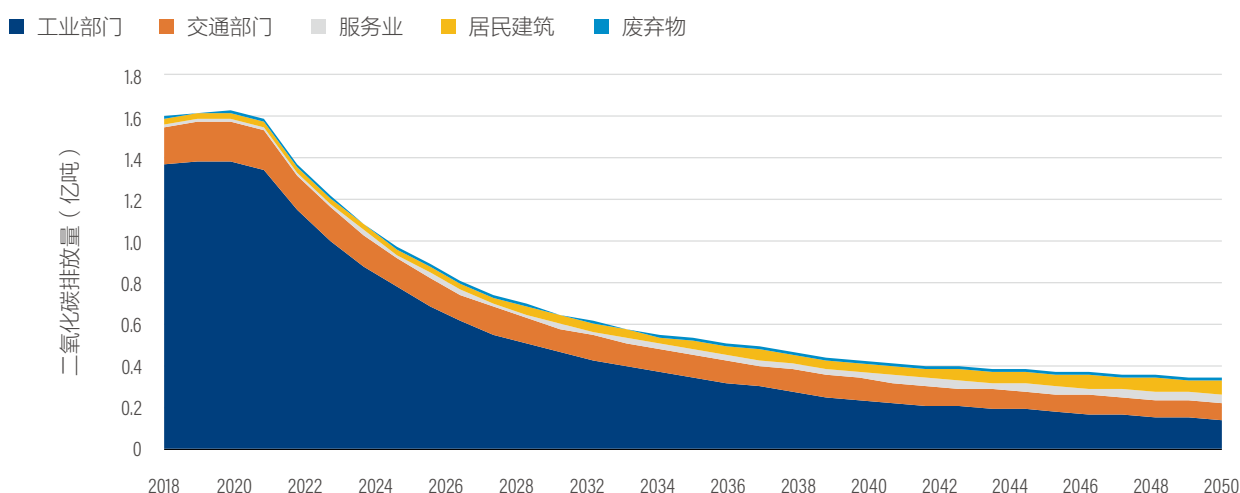
工业部门仍为苏州市最大的碳排放源，但排放量及占比大幅下降，2030年、2040年、2050年工业部门碳排放量分别为4578万吨、2212万吨、1377万吨，在苏州市碳排

图 12 | 苏州市2018—2050年分部门碳排放预测情况（达峰情景）



注：工业包括能源工业和制造业

图 13 | 苏州市2018—2050年分部门碳排放预测情况（2050愿景情景）



注：工业包括能源工业和制造业

放总量中的占比分别为70.6%、53.8%、40.8%。相较于达峰情景，2050愿景情景中电力行业由于机组替换、区外清洁电力调入、区内清洁能源发展、CCS等先进技术推广，碳排放量于2021年起大幅下降，2030年、2040年、2050年电力行业碳排放分别为1770万吨、627万吨、300万吨；钢铁行业由于沙钢高耗能工艺搬迁、CCS等先进技术推广，碳排放量于2021年起大幅下降，2030年、2040年、2050年钢铁行业碳排放分别为2330万吨、1335万吨、1067万吨。

交通部门为第二大碳排放源，排放量同样呈下降趋势，2030年、2040年、2050年交通部门碳排放量分别为1209万吨、957万吨、796万吨，在苏州市碳排放总量中的占比分别为18.7%、23.3%、23.6%。

居民建筑排放量及占比均呈上升趋势，2030年、2040年、2050年居民建筑碳排放量分别为347万吨、511万吨、697万吨，在苏州市碳排放总量中的占比分别为5.4%、12.4%、20.7%。

服务业排放量及占比同样呈上升趋势，2030年、2040年、2050年服务业碳排放量分别为228万吨、314万吨、384万吨，在苏州市碳排放总量中的占比分别为3.5%、7.6%、11.4%。

废弃物部门碳排放量在120万吨左右，在苏州市碳排放总量中占比均低于4%。

3.3 长期来看，清洁能源替换、低碳技术推广、重大项目转移关停是苏州实现深度减排的关键因素

苏州市化工企业整治、钢铁企业搬迁、电力行业机组替换等重大项目的转移关停对于碳排放削减具有重要影响。随着国家大力发展非化石能源、推动能源结构优化改革，未来非化石能源、可再生能源使用量将有所提升，替代传统化石能源，对二氧化碳减排具有重要意义。此外，国际上高度重视先进低碳技术的研发推广，整体煤气化联合循环发电系统（IGCC）、二氧化碳捕集和封存（CCS）、绿色照明（LED）、混合动力相关技术的利用，对于未来降低减排经济成本，提高减排力度具有战略意义。

为了进一步探索未来重大项目转移关停、清洁能源替

换、先进低碳技术推广在苏州市的减排潜力，本研究设置了2050愿景情景。2050愿景情景即在达峰情景的基础上，假设2020年之后，重大项目转移关停工作有序开展，清洁能源在电力行业、交通领域得到大力推广，替代传统化石能源，二氧化碳捕集和封存等先进低碳技术在高耗能工业行业得到推广，通过捕集和封存减少二氧化碳实际排放。其中，重大项目转移关停具体包括：沙钢的焦化、烧结、炼铁等高耗能工艺搬迁，沿江一公里及生产工业与技术装备不符合环保要求的化工企业搬迁、入园、关停，电力行业燃煤机组更换，水泥行业前端生料粉磨、熟料煅烧高耗能工序搬迁等。清洁能源替换包括区外清洁电力调入、区内清洁能源发展。二氧化碳捕集和封存推广的工业行业包括电力、钢铁、水泥、化工、有色金属等高耗能行业。

如图 14所示，相较于达峰情景，2050愿景情景各因素减排潜力（即分析由于重大项目转移关停、清洁能源替换、低碳技术推广产生的减排潜力）分别为：

图 14 | 苏州市未来减排潜力分析（达峰情景和2050愿景情景对比）

累计减排潜力

■ 重大项目转移关停 ■ 电力行业、交通部门清洁能源替换 ■ 低碳技术推广

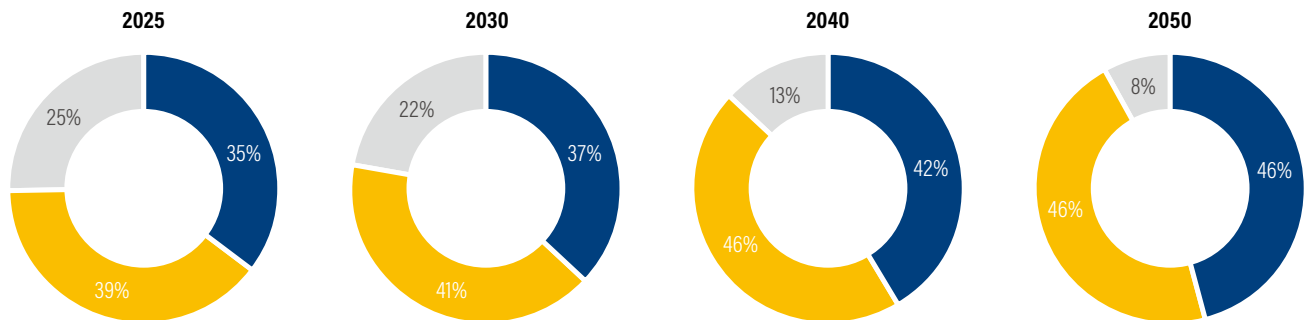
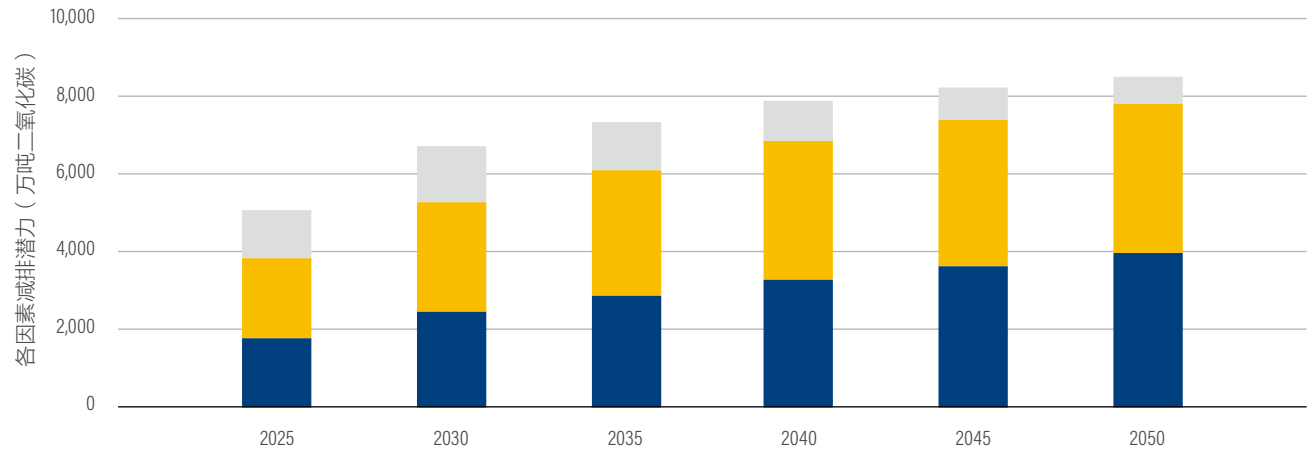
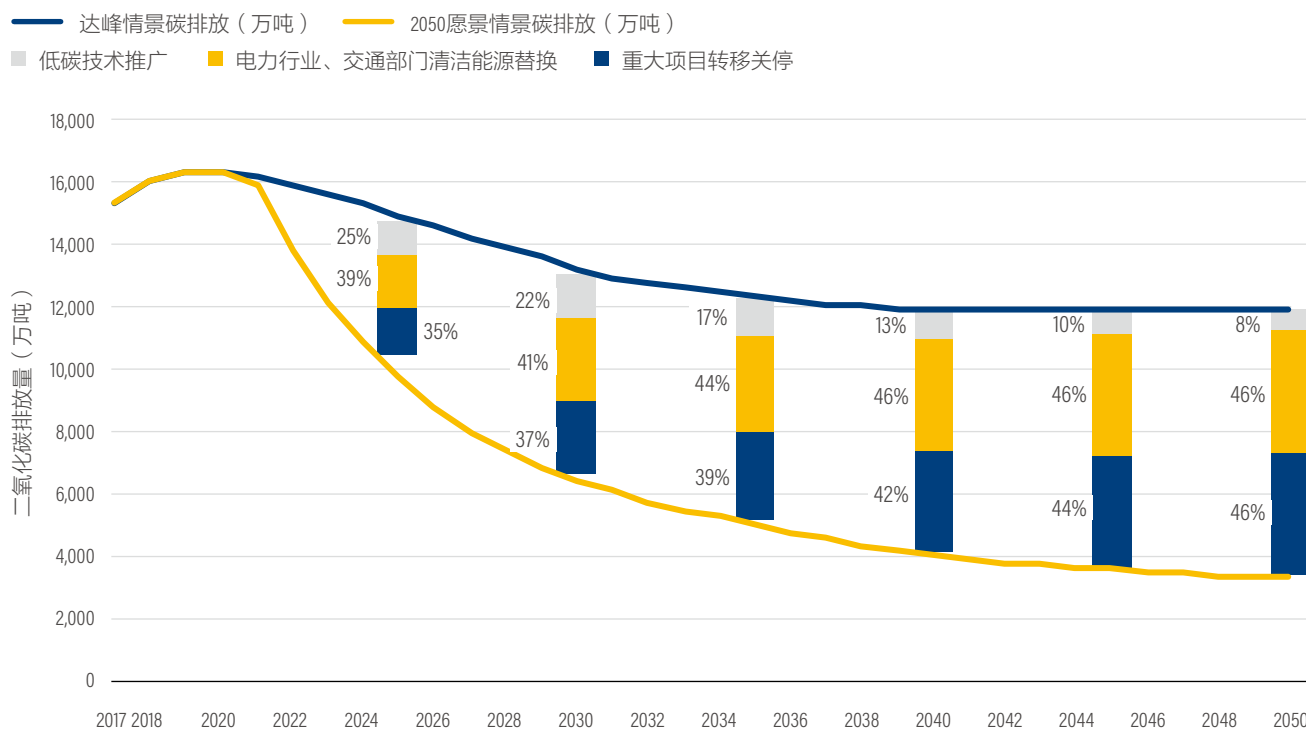


图 15 | 苏州市2050愿景情景低碳发展优化线路图（相较于达峰情景）



注：工业包括能源工业和制造业

2030年共减排6748万吨，其中重大项目转移关停减排量为2494万吨，清洁能源替换减排量为2787万吨，低碳技术推广减排量为1467万吨。

2040年共减排7875万吨，其中重大项目转移关停减排量为3288万吨，清洁能源替换减排量为3588万吨，低碳技术推广减排量为999万吨。

2050年共减排8513万吨，其中重大项目转移关停减排量为3950万吨，清洁能源替换减排量为3886万吨，低碳技术推广减排量为677万吨。

结合全球长期净零排放愿景，探究更加激进的减排路径，考虑未来重大项目转移关停、清洁能源的使用、碳捕集技术的推广，分析在达峰情景的基础上，重大项目转移关停、清洁能源替换和低碳技术推广的减排潜力，绘制苏州市2050愿景情景下的高位达峰路径如图 15所示，通过线路图的执行可以实现苏州市从达峰情景到2050愿景情景的发展转变。

此外，需要考虑在达峰情景的基础上2050愿景情景实现的可能性。

钢铁行业重大项目转移关停方面：出于生态环境保护压力，部分钢铁企业面临搬迁问题，沙钢产品产量约占苏州市钢铁行业总产量的70%，而钢铁生产前端焦化、炼铁等工艺耗能占总能耗的90%，前端高耗能生产工艺搬迁减排潜力巨大，有助于2050愿景情景实现。但钢铁企业搬迁周期长、成本高、社会影响大，不宜轻易进行搬迁调整，且搬迁不是唯一选择，提高企业环境治理水平、实现绿色发展才是根本。

化工行业重大项目转移关停方面：苏州市积极推进“两减六治三提升”专项行动计划，在“减少落后化工产能”方面，积极进行沿江一公里化工企业、不符合环保规定治理无望企业的搬迁、关停工作，推动化工企业入园。2018年前三个季度共关停化工企业94家，占年度任务的62%，太湖一级保护区化工生产企业关停并转15家，化工生产企业入园进区率达63.8%。可见，未来随着专项行动计划的推进，苏州市化工企业搬迁整治工作将带来更大的减排潜力。

电力行业重大项目转移关停方面：苏州市电力企业发电煤耗大概在280克/千瓦时，距离国际先进水平仍有一定提升空间，电力行业具有一定减排空间，但减排潜力受制于经济成本。

水泥行业重大项目转移关停方面：根据工业和信息化部发布的《产业发展与转移指导目录（2018年本）》，江苏等省部分范围不再承接水泥或逐步退出水泥产业。作为高耗能行业之一，水泥生产前端生料粉磨、熟料煅烧工序搬迁可降低50%的能耗。

清洁能源使用方面：锦苏直流工程满送阶段日均输送电量为1.6亿千瓦时，占苏州电网迎峰度夏期间网供电量的三分之一左右，到2020年清洁电力占比将提升至50%左右。区外清洁电力调入将为苏州电力供给侧结构性调整、节能减排做出巨大贡献。此外，核心城区电动汽车“一公里”充电圈设施建设和服务不断升级；分布式光伏建设速度快，并网规模增加；配电网“单元制”规划建设有望实现本地风、光电的全额消纳。到2020年，苏州本地风电、太阳能发电装机容量预计达200万千瓦。根据《苏州国际能源变革发展典范城市智能电网建设展望》，将围绕“能源供应清洁化”等思路，将苏州电网建设成为世界一流城市电网，外调清洁电及区内清洁能源建设将在工业、交通部门为苏州市碳减排提供巨大减排潜力。

碳捕集技术推广方面：2011年以来，我国出台了一系列碳捕集、利用与封存技术（CCUS）发展支持政

策，2019年5月《中国CCUS技术发展路线图（2019版）》发布，鄂尔多斯二氧化碳地质储存、国华锦界电厂二氧化碳捕集和封存等示范工程、项目的建设充分说明我国十分重视并且支持CCUS减排和示范应用。未来，国家将进一步拓展驱油、驱气、驱水、强化地热开采等利用方式，研发矿化利用、生物利用、化学合成、仿生利用等新型二氧化碳利用技术；利用体制机制创新，促成现有碳源和碳汇之间的合作，拓展开发更加广泛的二氧化碳应用渠道，探索建立CCUS区域商业化运行模式，提升CCUS技术的适应性。通过IGCC技术、富氧燃烧技术、碳捕集技术（CCS）等先进技术可以分别实现燃烧前、燃烧中、燃烧后的碳捕集，通过生物质利用、地质封存等先进技术可以实现二氧化碳减排与二次利用。苏州市的沙钢、永钢等企业与苏北油田、泰州油田距离近，为二氧化碳运输、驱油封存提供了良好的地理条件。但由于目前CCS等先进技术的经济成本大（投资、维护、捕集成本约为1200~1300元/吨二氧化碳），可推广性有待提高，且封存后的风险防控与监管制度有待完善，故先进技术减排潜力存在较大不确定性。未来政府政策、经济保障制度、监测监管及社会对碳捕集与封存项目的风险应对能力均会对先进技术减排潜力的实现造成影响^{10, 11, 12, 13}。



3.4 不同时期研究结果的差异体现了工作成效以及对低碳工作持续优化回顾的意义

2014年《苏州市低碳发展规划》和2016年《苏州市“十三五”低碳发展优化对策研究》均对苏州市到2030年的碳排放进行了趋势预测，为了探索在不同阶段苏州市碳达峰情景的差别，对本研究与上述研究进行对比分析。

■ 碳排放总量对比分析：本研究2030年碳排放总量与《苏州市低碳发展规划》、《苏州市“十三五”低碳发展优化对策研究》存在较大差别

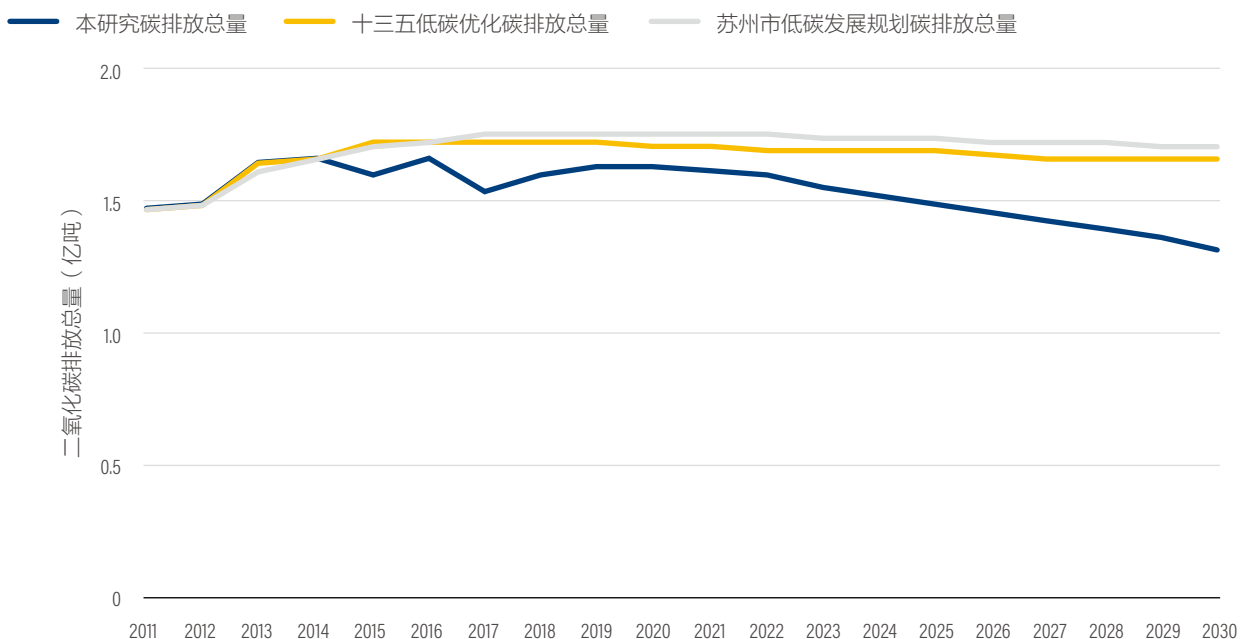
《苏州市低碳发展规划》基准年为2010年，达峰年为2020年，达峰总量1.75亿吨，2030年碳排放总量为1.69亿吨；《苏州市“十三五”低碳发展优化对策研究》基准年为2014年，达峰年为2018年，达峰总量为1.72亿吨，2030年碳排放总量为1.65亿吨；本研究基准年为2017年，达峰年为2020年，达峰总量为1.63亿吨，2030年碳排放总量为1.32亿吨。由图16可知，《苏州市低碳发展规划》对2011—2014年的预测值与碳排放总量实际

值贴近，2015年之后苏州经济发展呈现“新常态”，碳排放出现较大的波动。三个研究达峰值较为接近，峰值稳定在1.63亿~1.75亿吨之间。由于本研究以2017年为基准年，2017年苏州市的经济社会发展与2010年、2014年相比已然发生较大变化，“两减六治三提升”专项行动、污染防治攻坚战等工作发挥成效，此外高新技术产业、新兴产业产值在规上工业总产值占比提高、高耗能行业产值占比下降，单位产值能耗有所提升，故本研究2030年碳排放总量与《苏州市低碳发展规划》、《苏州市“十三五”低碳发展优化对策研究》存在较大差别，说明随着经济、社会的不断发展和碳排放工作的不断推进，碳排放状况发生变化的同时，也会影响未来发展趋势，低碳工作的回顾优化对于确保碳排放稳定达峰意义重大。

■ 碳排放强度对比分析：差别较小

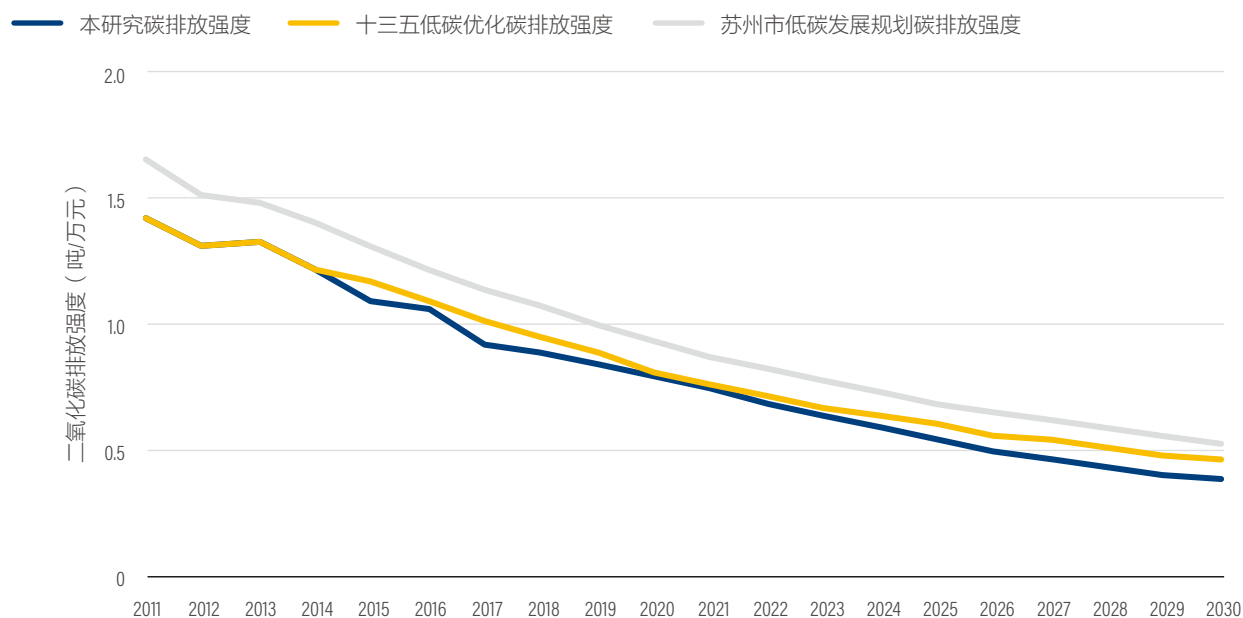
碳排放强度对比如图17所示，由于三次研究期间数据量不同，加之新环保政策实施，以及统计数据调整，故对碳排放预测值有所影响，但可以看到，未来苏州市碳排放强度将持续稳定下降。《苏州市低碳发展规划》预测的2017年碳排放强度为1.14吨/万元，《苏州市“十三五”

图 16 | 苏州市二氧化碳排放总量预测结果对比



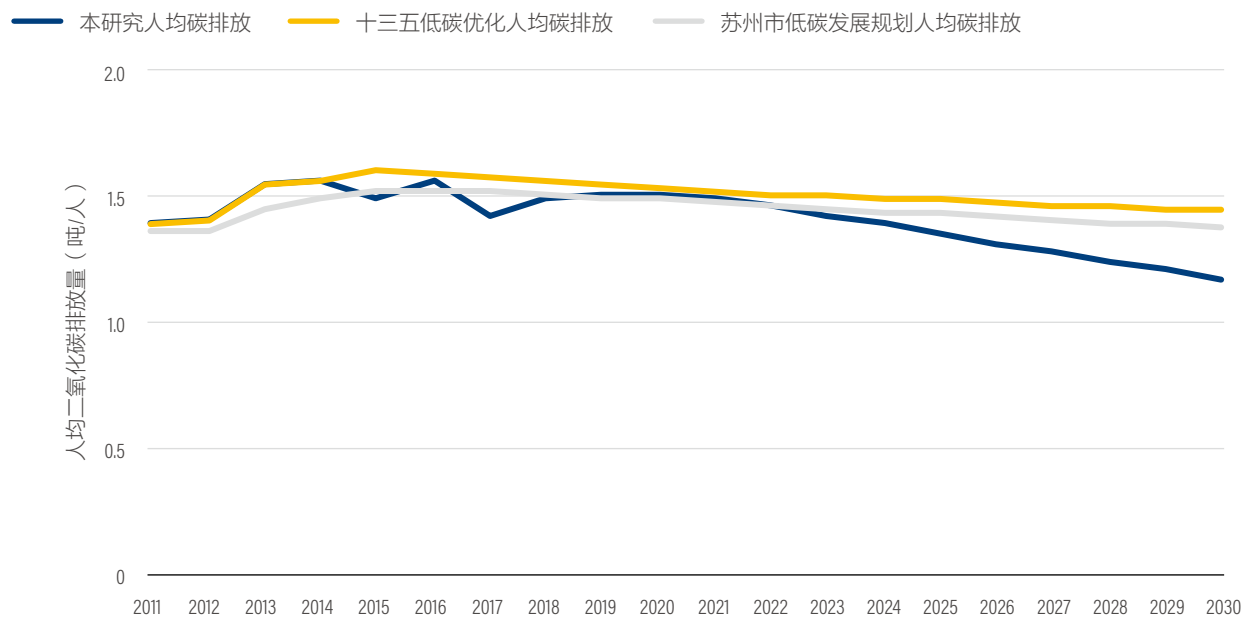
注：图中“本研究”展示的是达峰情景数据

图 17 | 苏州市二氧化碳排放强度预测结果对比



注：图中“本研究”展示的是达峰情景数据

图 18 | 苏州市人均二氧化碳排放量预测结果对比



注：图中“本研究”展示的是达峰情景数据

低碳发展优化对策研究》预测的2017年碳排放强度为1.01吨/万元，本研究计算的2017年实际碳排放强度为0.91吨/万元。《苏州市低碳发展规划》2020年碳排放强度预测值为0.94吨/万元、2030年碳排放强度预测值为0.53吨/万元；《苏州市“十三五”低碳发展优化对策研究》2020年碳排放强度预测值为0.82吨/万元、2030年碳排放强度预测值为0.46吨/万元；本研究2020年碳排放强度预测值为0.79吨/万元、2030年碳排放强度预测值为0.39吨/万元。可以看到，近期内三个规划碳排放强度整体相差不大，但由于碳排放状况改变，到2030年会出现0.1吨/万元左右差别。

■ 人均碳排放对比分析：差别较小

人均碳排放指标对比如图 18所示，《苏州市低碳发展规划》人均碳排放达峰年为2017年，峰值为15.19吨/人，2020年预测值为14.89吨/人，2030年预测值为13.83吨/人。《苏州市“十三五”低碳发展优化对策研究》人均碳排放达峰年为2015年，峰值为15.97吨/人，2020年预测值为15.29吨/人，2030年预测值为14.49吨/人。本研究人均碳排放达峰年为2019年，峰值为15.08吨/人，2020年预测值为15.07吨/人，2030年预测值为11.83吨/人。由于经济社会发展状况变化、人口增速放缓，本研究人均碳排放达峰年后移，到2030年人均碳排放较早期规划有所降低。





第四章

结论与建议

本章根据国际背景及国家、长三角和江苏省的低碳发展目标，结合苏州市的低碳发展现状、后达峰时期的阶段性发展目标及各因素的减排潜力，分别对苏州市各个领域低碳发展提出“十四五”期间建议和远期建议。此外，本章还总结了苏州案例对其他城市的启示。

4.1 产业结构和工业体系是最主要的减排领域

4.1.1 推进产业结构调整

未来调整第三产业结构、优化工业行业内部结构的减排潜力不容忽视。加快产业结构转型是低碳发展工作的重点，对实现2020年碳排放达峰具有重要意义和作用，同时也是苏州市实现城市转型、建设现代化先进城市的必经之路。到2020年，第三产业增加值占国内生产总值比重提高到54%以上，高新技术产业及新兴产业增加值占国内生产总值比重提高到55%，高耗能行业产值占比降至20%左右。

“十四五”期间，苏州市可通过以下途径实现产业结构减排目标：

加大对传统产业尤其是高耗能产业的升级改造，提高技术水平和管理水平。在钢铁行业，通过坯料热装热送技术可节能20%~30%，铁水一包到底工艺可实现每吨铁水节能8千克标准煤，烧结合余热发电、低热值高炉煤气燃气-蒸汽联合循环发电、烧结合废气余

热循环利用等工艺技术均可提高能源利用效率。在电力行业，通过变频器调速节能技术、中小型汽轮机节能技术、火电厂凝汽器真空保持节能系统技术、回转式空气预热器密封节能技术，以及余热回收、能量梯级利用、码头岸电改造等节能技术、工程，均可实现不同程度的能源节约。水泥厂通过水泥窑纯低温余热发电技术、全氧燃烧技术可实现万元投资额年节能2~10吨标准煤。造纸生产线蒸汽梯级利用及高效换热能量系统优化、余热余压利用技术可实现万元投资额年节能3~7吨标准煤。此外，发展合同能源管理模式、开展能源审计、落实节能目标至车间和个人的企业运作模式与管理手段均会对节能减碳产生贡献。

探索能耗准入、碳排放评估制度。首先，应继续推行严格的能耗准入制度，从源头控制高耗能企业落地，辅以能耗等量或减量置换，提高区域企业低碳化水平。其次，对于新引进的项目、技术、产业应实施全过程、长期性的能源资源消耗和碳排放评估制度，通过全生命周期的能源消耗和碳排放预测评价，合理规划苏州市长期能源消耗及碳排放总量控制，协调好新兴产业与能源消耗、碳排放之间的关系。统计数据表明，汽车电子、生物医药、光电子等新兴产业耗能增速加快，如果只控制传统高耗能行业的发展，不科学、无规划地引进新技术、新能源项目、新兴产业，忽略了对新兴行业、新技术的能耗评估，将出现扰动碳排放稳定达峰的结果。未来苏州市应逐步建立能源审计及碳排放评估制度，不盲目引入新兴产业，避免出现新型高耗能行业。此外，苏州市应加快制定准入标准，鼓励第三方测评机构的发展，加快形成完善的项目、技术、行业引入和碳排放预测控制制度。

加快发展现代服务业。信息技术的快速发展为现代服务业融入先进制造业提供了便利。加快先进制造业和现代服务业的融合符合国家整体发展目标，符合社会经济发展需要，有利于增强市场竞争力、优化产业链、形成新的增长极、提高资源配备效率，最终形成以战略新兴产业为先导、先进制造业为主体、生产性服务业为支撑的现代工业发展体系，实现将苏州打造为具有国际竞争力的先进制造业基地、具有较强综合实力的国际化大城市的发展目标。

长期来看，建议苏州市：

在未来10~15年完成落后产能淘汰和传统产业转型升级。对钢铁、水泥等高耗能、高排放行业，实施产能等量或减量替代、能耗和污染物排放总量减量替代。通过企业自主创新或引进先进技术，加强节能新技术的研发和推广应用，积极推广国家重点节能减排推荐技术、产品和工艺，促进企业生产工艺优化，降低二氧化碳排放，实现传统产业升级改造。

完成能源审计和碳排放评估制度的构建，选择性发展新兴产业和高新技术产业。利用十年左右的时间逐步试点、推广能源审计和碳排放评估制度，并聚焦于新一代电子信息产业、高端装备制造产业、新材料产业、软件和集成电路产业、新能源与节能环保产业、医疗器械和生物医

药产业等六大重点产业领域，通过碳排放评估选择发展能源消耗低、碳排放强度低的新兴产业，引领全市制造业向中高端迈进，致力于打造具有国际竞争力的先进制造业基地，实现到2050年高新技术产业与新兴产业产值在规上企业总产值中占比达68%的发展目标。

着力提升现代服务业，大力发展生产性服务业，重点发展高端服务业。加快发展软件开发、生物医药、检测认证、研发设计、动漫创意、供应链管理、金融后台、现代物流等服务外包业态，培育壮大一批服务外包企业，到2050年实现第三产业占比达70%~78%的目标。

打造总部经济新高地。通过集聚土地资源、完善政策框架与服务体系，吸引高端要素，提高城市技术创新能力、辐射带动能力和竞争力，参与全球价值链重构，推动产业迈向中高端，实现经济创新转型和高质量发展。

4.1.2 建设低碳工业体系

关于苏州市建设低碳工业体系的建议如下：

推进重大项目转移关停。科学合理评估钢铁等重大项目转移的必要性，探索钢铁行业转型、高附加值产业基地的发展模式，加快电力行业老旧机组关停，推进化工企业



搬迁、入园、关停、整治工作，淘汰化工行业落后产能，探索水泥行业工艺链转移可能性，通过高耗能行业迁移、转型实现工业体系低碳化建设。

加大节能技术推广应用力度。通过走进企业、节能技术对接、现场节能诊断等方式开展推广工作，充分发挥节能（循环经济）专项和绿色信贷等资金引导作用和节能服务机构积极性，支持企业实施重点节能技术应用改造，对符合条件、绩效显著的节能改造项目优先给予支持，不断提升全市工业能效水平。

加大资源回收再利用率。首先，要制定资源回收利用政策，建立健全回收管理制度，要求各单位积极推进生产过程中的资源回收利用。其次，要建立完善的垃圾分类、回收体系，加快技术规范的编制，加强技术开发与工作人员培训，增强回收过程的规范性，提高回收利用率，并防止二次污染。此外，要加强宣传教育，增强企业垃圾分类、资源回收利用的意识。

加快推动实施低碳产品和低碳企业标准、标识和认证制度，加快绿色低碳工业体系建设。完善主要耗能产品能耗限额和产品能效标准，加大高效节能家电、汽车、电机、照明产品的推广力度，刺激低碳产品需求，倡导低碳消费，并制定相应的激励措施，鼓励企业生产绿色低碳产

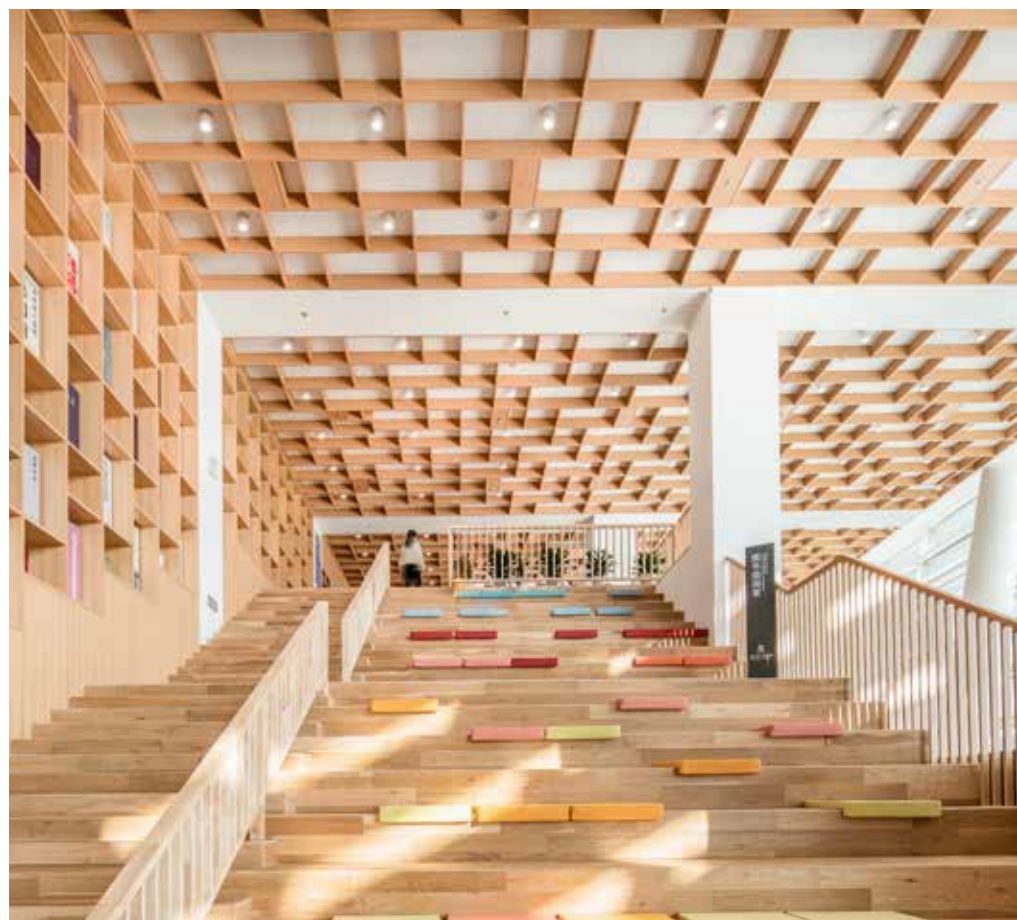
品，加快向低碳生产模式转变。加快推进工业绿色制造，建设本市绿色园区、绿色工厂、绿色产品、绿色供应链名单，开展绿色制造系统集成工作。

加大节能技术宣贯力度。结合重点用能单位“百千万”行动、节能宣传周等，组织开展专题培训、交流研讨等活动，突出高耗能行业 and 重点用能单位，重点对工业和信息化部2018年第5号公告《绿色数据中心先进适用技术产品目录（第二批）》、2017年第49号公告《“能效之星”产品目录（2017）》、2017年第50号公告《国家工业节能技术装备推荐目录（2017）》和原苏州市经济和信息化委员会历年公布的节能新技术（产品）推荐名单等进行宣贯，指导节能改造工作的开展^{14,15,16}。

4.2 清洁能源和“负碳”技术是长期深度减排的关键

4.2.1 构建低碳能源结构

苏州市仍面临资源禀赋差、可再生能源匮乏且发展难度大等挑战，未来苏州市需要优化传统用能结构、深入推进能源结构改革、加大清洁能源的利用、促进能源结构转型。



“十四五”期间，具体建议如下：

继续控制煤炭消费总量，强化能耗源头控制。首先，要严格控制高耗能行业过快增长，严守行业准入门槛，强化节能、环保、土地、安全等指标的约束作用。对“双控”目标完成滞后、被列入一级预警的地区，暂停审批高耗能新、改建项目，对列入一级和二级预警地区已建成的高耗能项目，暂缓接电，限制高能耗、低产出企业发展。其次，要优化煤炭利用方式，提高用煤质量和利用效率，促进煤炭清洁利用，构建高效、清洁、低碳、循环的绿色制造体系。最后，应继续加大推进节能重点工程、持续开展“能效之星”培育活动。围绕钢铁、化工、电力等重点行业，通过政策引导，发挥苏州市低碳工作先进优势，推动全流程、系统性的低碳节能工作发展。

继续推进既有电厂机组升级改造，对标国际先进水平，推广节能技术、降低发电煤耗和供电煤耗。

大力发展清洁能源、可再生能源。结合弱风发电、低风速发电等先进技术，以工业厂房区为重点区域，加大推广分布式光伏发电技术。提高特高压区外清洁电力输送能力，积极引进外来清洁水电，根据国网苏州供电公司工作总结，到2020年，苏州特高压区外清洁电力输送能力将提升至1400万千瓦左右，预计将占苏州全社会最高用电负荷2780万千瓦的50%以上，改变以火电就地平衡为主的电力供应格局。通过转变用能结构、提高用能效率，实现节能减排目标，有望助力苏州市实现2020年碳排放总量达峰的目标。

长期来看，建议苏州市：

继续实施能耗“双控”，降低煤炭消耗，加强煤炭清洁利用。结合国家“百千万”行动，采取能耗总量、能耗强度双控目标责任考核，在降低煤炭消费比重方面，明确煤炭消费总量、建立煤炭统计制度、严控耗煤项目审批、整治燃煤锅炉，实现从源头审批到过程管理全周期的煤炭减量。同时，优化煤炭利用方式，加强煤炭清洁高效综合利用。落实《商品煤质量管理暂行办法》，提高煤炭质量和利用效率。加大煤炭洗选比重，建立健全煤炭质量管理体系，加强对煤炭开发、加工转化和使用过程的监督管理。有序实施“煤改气”工程，加强余热、余压利用，加快淘汰分散燃煤小锅炉。

加快非化石能源基础设施建设、提高清洁能源调入率。推广天然气分布式项目，积极推进风能、太阳能、空气能等清洁能源建设与调入。大力发展第三代光伏发电技术，提高组件转换效率，降低光伏发电成本。探索“光伏+”发展模式，实现光伏发电与风电结合，光伏发电与储能

结合。加快发展或调入地热发电、生物能源发电、陆上风能发电、海上风能发电等清洁能源，积极引进区外清洁水电，充分利用苏州的特高压设备优势，加大对西部清洁水电的引入，增强对水电的消纳能力，减少弃水现象，并通过降低过网收费标准，降低电价，提升苏州市对水电的接受能力，从而实现对传统能源的替代，从能源生产端实现“无碳化”发展。

加大科技投入，重视科研成果转化，通过科技进步实现能源效率的提升和二氧化碳的减排。例如，天然气为方便运输通常需要液化，使用时通过气化器气化时会释放出冷能，这部分能量可转化为电能使用。发展冷能发电技术，一方面可以减小煤炭发电的用能压力，另一方面可通过能源的梯级利用，提高用能效率，实现二氧化碳减排。通过技术进步可以克服装置设备的局限，未来可建设大型接收站，实现冷能发电，进而助力能源革命及清洁能源结构的建设。

4.2.2 引进先进低碳技术

中国重视节能低碳技术推广。国家发展和改革委员会于2014年和2015年推出两批《国家重点推广的低碳技术目录》，并对技术内容、典型项目、推广比例等内容制定了详细的参考依据。2017年发布《国家重点节能低碳技术推广目录》（2017年本低碳部分），2018年发布《国家重点节能低碳技术推广目录（节能部分）技术报告》，给重点行业实施低碳工作以充分的技术支持，有利于行业企业节能、低碳工作的开展^{17,18,19,20}。除国家推广的低碳技术外，国际先进低碳技术如IGCC、高参数超超临界机组技术、太阳能光伏电池技术、碳捕集与封存技术（CCS）对于二氧化碳减排也具有重要贡献。以CCS技术为例，其作用远远超过了“洁净煤技术”，没有CCS技术，到2050年全球实现二氧化碳减排一半的成本将增加70%。陈俊武等人在《中国中长期碳减排战略目标初探（II）——中国煤炭消费过程的碳排放及减排措施》中指出，到2050年，通过在燃煤发电等高耗煤工业中采取CCS技术，中国最高可实现60%左右的减排量。《国家“十二五”碳捕集利用与封存科技发展专项规划》²¹等一系列发展规划也彰显了CCS技术在中国的重要作用，此外，近年来碳捕集利用与封存技术不断发展，产业链也不断完善，未来发展前景可观。

从苏州市的长期发展来看，引进国际先进低碳技术，对于控制二氧化碳排放及实现“净零”排放具有重要意义。江苏省正在发展以产业发展为核心、以技术创新为驱动、以绿色低碳为引领的低碳新经济，依托苏州、常州、南京等市打造绿色新材料特色产业基地，并计划到2025年，培育一批全国标志性乃至全球有影响力的低碳特色产业基地，这给苏州市提高新能源使用率、发展先进低碳技



术、控制二氧化碳排放提供了极大的可能性。无碳技术方面，江苏省风电开发潜力巨大，且光伏产业是江苏省的明星产业，未来大规模离岸风力发电技术、多能互补、产品创新等将给苏州市缓解发电、用电压力，提高清洁能源使用率提供重要能源支持。降碳技术方面，超超临界火力发电技术、IGCC技术已具备使用基础，混合动力汽车、绿色新材料产业链未来也具有极大的降碳潜力开发空间和发展可能。固碳技术方面，国家与江苏省均在投资建设碳捕集利用与封存项目，探索负排放固碳技术的可能性，此外，苏州市钢铁企业与苏北油田、泰州油田地理位置接近，为二氧化碳驱油封存提供可能。积极使用新能源，科学引进先进低碳技术，发展低碳管理服务产业链对于苏州市建设国际化工业体系、实现低碳城市建设意义重大。

未来，建议苏州市：

一方面应积极推广国家已经发布的先进低碳技术，加大科研投入、促进科研成果转化落地，积极建设绿色新材料工业链；另一方面应关注国际先进低碳技术的发展，科学引进开展试点。例如，要求新建火电厂装配CCS设备，探索实现IGCC-CCS联合生产的可能性，在钢铁、水泥、石化等高耗能行业的生产过程中引进碳捕集设备和生产工艺，实现燃烧前、燃烧后及生产过程中的碳捕集。同时应重视碳运输条件和封存场地等基础设施的规划与建设，选择经济可行的运输方式，在城市建设、工业园区规划时要考虑CCS技术应用的条件。

在推动CCS应用上，一方面应分析苏州市的地质条

件，探索实现二氧化碳地质封存的可能，推动碳排放企业与苏北油田、泰州油田建立合作模式，拓展驱油利用方式，并建立针对CCS的经济保障与环境污染强制责任保险制度，加强监测、监管，提高风险应对与管控能力。另一方面，可发展碳捕集利用与封存产业链。例如，将二氧化碳作为反应物生产含碳化工产品，引进二氧化碳制塑料、二氧化碳制甲酸、二氧化碳制取高辛烷值汽油等生产工艺，打造国际先进工业生产体系。随着技术的进步，二氧化碳捕集、运输与封存方式将会得到极大的发展。苏州市工业体量大、碳排放量大且工业技术已处于先进水平，传统技术进步空间较小，未来应考虑加大对IGCC、CCS等先进低碳技术的投入，走出传统减碳模式，以减碳发展实现低碳发展。

4.2.3 将森林碳汇作为补充手段

除了从技术方面实现碳减排，增加碳汇更加经济可行，且具有改善生态环境、美化城市风貌的作用。研究表明，1公顷的森林每储存1吨二氧化碳，成本只有122元人民币，林木每生长1立方米平均可吸收1.38吨二氧化碳，排放1.62吨氧气，可见碳汇在应对气候变化，促进国民经济低碳运转方面具有重要作用。2017年，苏州市森林覆盖总面积为125604.37公顷，其中林地面积为82520.45公顷，灌木林地面积为20025.92公顷，四旁树折算面积为23058公顷，林木覆盖率为20.76%。未来苏州市应贯彻落实国务院印发的《“十三五”生态环境保护规划》，推进大气、水、土壤污染防治，持续加大生态环境保护力度，划定并严守生态保护红线。

一是继续推进森林碳汇的建设。继续保护森林生态系统、湿地生态系统，增加碳汇，提升城乡绿化水平，继续提高建成区绿化覆盖率。加快完善以丘陵山区公益林为核心，环城环工业区大型片林为主体，沿路沿水绿色通道为骨架，森林公园、湿地公园、生态园、镇村绿化为基点的森林生态系统。突出生态文明建设主题，围绕打造宜居美丽新苏州目标，解放思想、与时俱进、深化改革、攻坚克难、扎实推进，将苏州建设成为具有独特魅力的国际文化旅游胜地。

二是积极探索土壤碳汇利用的可能性。研究表明，土壤是生态系统中主要的碳库，存碳量比植物更大，良好的土壤管理可以增强其碳汇功能，破坏性的管理则可能释放土壤中的碳。未来应保护土壤生态系统，充分发挥生态系统的自净能力。

三是建立绿色碳基金，完善生态补偿制度。通过建立碳储存信用平台，鼓励企业、居民捐资造林，获取碳排放资格和享受生态收益。完善森林生态服务价值计量评估，发挥市场作用，遵循“受益者付费、损害者赔偿”的原则，建立公平、公开、公正的生态利益共享及责任分担机制。



4.3 发展绿色节能建筑，构建低碳交通体系

4.3.1 发展绿色节能建筑

“十四五”期间，建议：

全面推广绿色建筑建设要求。提高新建建筑中绿色建筑的比例，使用绿色、低碳建筑材料，贯彻落实《江苏省绿色建筑发展条例》、《苏州市绿色建筑工作实施方案》²²等要求，到2020年，全市50%的新建民用建筑按二星及以上绿色建筑标准设计建造。

扩大既有建筑节能改造市场。根据江苏省住房和城乡建设厅推广的墙体保温、围护结构节能、照明系统节能等节能技术对既有建筑进行改造，加速扩大既有建筑节能改造市场规模。未来可通过合同能源管理模式实现商业建筑的改造，结合政策资金支持进行机关办公建筑节能改造，结合节约型校园建设推进校园节能改造。

加大可再生能源在建筑部门的使用，强化建筑运行用能管理。苏州市已在加快建设可再生能源应用项目，宝时得中国总部大楼、常熟世联书院、苏州科技城医院、吴江示范区的金刚玻璃太阳能光伏建筑一体化及中衡设计等新建项目、可再生能源应用项目中，大力发展太阳能光伏、太阳能光热系统，加大地源热泵、风电等清洁能源的利用，并对建筑的能耗进行监测，回收建筑能量，实现建筑能效的极大提升。其中，宝时得中国总部大楼按照绿色建筑三星级标准建造，单位面积造价约0.28万元/平方米，绿色建筑可节约的运行费用为170万元/年；中衡设计按照绿色建筑三星级标准建造，单位面积造价约0.61万元/平方米；常熟世联书院为实现绿色建筑而增加的初投资成本约0.016万元/平方米。可再生能源应用项目均起到很好的示范作用，符合绿色建筑发展理念，未来应对成功示范项目进行推广，加大建筑部门清洁能源的替换比例，加强建筑能耗监管。此外，应加强经济效益评估，按照《绿色建筑评价标准》，加强建筑的运行用能与维护成本监管，防范高能耗、高运行成本、高维护费用的绿色建筑发展。

加强能耗数据统计与能耗监测。扩大能耗监测数据监测范围，将公共建筑能耗信息纳入到“苏州市公共建筑能耗监测平台”。强化公共建筑运行能耗统计、公示和管理，建立完善公共机构能耗统计、能源审计、能效公示和能耗定额管理制度，加强能耗监测平台和节能监管体系建设，对能耗超过定额标准的建筑实行强制改造。

加强建筑使用阶段的能耗监管、监督、绩效管理。建筑建成后，部分建筑并未发挥充分的节能作用，存在节

能功能、节能设备被闲置的现象。由于节能意识不强、监管不够，建筑使用阶段未得到有效监管，而导致节能率不高。未来应加强建筑节能功能使用的监管机制建设，将建筑能效和建筑管理者、负责人的工作绩效挂钩，设立有效的奖惩机制，提高建筑能效管理水平。

长远来看，要实现建筑部门的低碳发展目标，未来苏州市：

一是要积极推动既有建筑节能改造市场发展，通过合同能源管理推动商业建筑节能改造，通过资金扶持实现大型公共机构的节能改造工作，争取实现到2050年既有建筑节能改造面积达1亿平方米。

二是全面推进绿色建筑产业发展，争取尽早实现新建建筑100%为绿色建筑，并按照超低排放、近零排放、余能利用的路线，有序推动绿色建筑产业发展，加快促进BIM、智能智慧等技术与绿色低碳建筑的深度融合。

三是探索被动式超低能耗建筑发展模式，通过充分利用太阳能、合理规划建筑布局、使用节能环保材料实现建筑的自我调节，降低建筑机械用能，实现建筑部门二氧化碳减排。

四是加强绿色低碳建筑的宣传推广，对绿色建筑、低碳建筑颁发并展示相应的节能、低碳标志，从而起到鼓励、宣传和引导的作用。

4.3.2 构建低碳交通体系

实现交通部门减排，苏州市“十四五”期间可以从以下几方面入手：

控制机动车保有量的增长，出台机动车增量控制政策。制定车辆限牌、限行等措施，采取摇号上牌、限制牌照使用年限等方式，并防止外地上牌、本地使用的现象出现，争取2020年将千人机动车保有量限制在350辆左右。

加大新能源动力车的推广力度。新能源汽车的推广可以减少化石燃料的用量，有利于缓解交通减排压力。苏州市应加快淘汰市内老旧高耗能机动车，淘汰港口、码头货运黄标车，推进城市建成区新增和更新的公交、环卫、邮政、出租、通勤、轻型物流配送等车辆使用新能源或清洁能源汽车，重点区域港口、机场、铁路货场等新增或更换作业车辆使用新能源或清洁能源汽车。依托常熟氢能汽车产业园，以市场主导和政府扶持相结合，建立长期稳定的新能源汽车发展政策体系，加快培育市场，创造良好发展环境，促进新能源汽车产业健康快速发展。另外，在物

流园、产业园、工业园、大型商业购物中心、停车场等地建设集中式充电桩和快速充电桩，为新能源车辆在城市通行提供便利，为电动汽车营造良好发展环境。

建设完善的城市公交系统、大力发展城市轨道交通，提高公共交通出行分担率。应加快完善公交系统，建设公交专用道、公交场站等设施 and 公共自行车服务系统，建设城市步行和自行车交通系统，提高公共交通分担率，确立公共交通在城市交通中的主导地位。此外，应重视轨道交通建设，创建绿色、低碳轨道交通体系，根据《苏州市城市轨道交通线网规划（2035）》，“优化交通发展模式，实施绿色交通战略”，“形成以‘轨道+’为主体的可持续交通发展模式”，加快发展轨道运行自动优化控制系统，探索再生制动能量利用，提高太阳能、风能、地热能等清洁能源的供能比例。建立以轨道交通和地面公交为主体，出租车为补充的城市公共客运交通体系，推进“公交都市”创建活动。

完善交通运输网络，提高铁路、水运交通的运输占比。水运具有承载能力强、成本低、能耗小等特点，运输成本仅为公路运输的五分之一，耗能仅为公路运输的八分之一，在发展绿色、低碳交通系统中具有重要优势。未来苏州市应加强水运基础设施的完善，推进实施岸电改造项目，加快港口照明、拖运、装卸等设备的建设与技术改造，建设信息化、一体化水运管理体系。铁路具有占地面积小、生态环境影响小、运能大、成本低、能耗低的特点，中国高铁发展处于世界领先水平，铁路运输已成为交通运输中必不可少的方式，未来应充分规划铁路运输的发展，完善铁路基础设施，提高铁路运输资源利用效率与运输承载力。此外，应加快现代信息技术在交通运输领域的研发应用，逐步实现智能化、数字化交通运输系统，加快形成市内以公共交通、轨道交通为核心，新能源汽车为辅助，市外铁路、水运、公路组合运输的综合交通运输体系，发挥不同运输方式的比较优势和组合效率，提高多式联运率和物流效率，降低车辆空驶率，减少能源消耗。

长期来看，随着交通部门清洁能源替换比例的增大、先进技术和低碳出行理念的普及，减排潜力仍有很大发展空间。未来苏州市交通系统应向动力低碳化、管理智慧化发展。

一是控制机动车保有量增长，同时大力推动清洁动力机动车普及。大力支持纯电动汽车、混合动力汽车、燃料电池汽车的发展，争取到2050年，清洁公交车占比达80%以上，清洁动力汽车占比达30%以上，千人机动车保有量控制在400辆左右。

二是加快完善基础设施建设、加强智能化交通网络体系设计。加快建设充换电设施，满足电动汽车的动力需求，完善步行和自行车出行系统的建设，支持共享单车的发展。此外，通过技术支持和信息化支撑，引进和消化城市交通信号控制系统，通过完善基础数据库、气象数据采集等方式，为出行者提供准确的出行信息服务，普及交通信息数字化与其他服务系统一体化，实现对路网交通状况的实时监控，借助人工智能服务对路网信息进行整合处理，选择符合出行预算和时间要求的交通工具与出行路线。通过路网智能运行，大幅度提高现有路网基础设施的使用效率，在减轻道路拥堵的同时，实现污染物减少、二氧化碳减排。

三是关注立体交通发展，实现集约交通和智能交通相互促进。突破路面交通的限制，拓展路面以上的交通空间，密切关注无人驾驶汽车、无人驾驶飞行器的发展。

四是增强绿色低碳出行理念。鼓励居民出行乘坐公共交通，或采取步行、自行车等低碳出行方式，引导居民购买清洁能源汽车，从出行源头实现碳减排。

4.4 苏州的启示

部分城市率先达峰将对国家目标的实现做出重要贡献。中国在《“十三五”控制温室气体排放工作方案》中提出“支持优化开发区域碳排放率先达到峰值”。苏州作为长三角地区非常重要的工业城市，在低碳工作开展方面一直走在前列，积累了丰富的经验。苏州市2020年达峰的目标比国家目标提前十年，这无疑将对国家目标的实现做出重要贡献，而这些城市也将对其他城市起到示范作用。

不同类型城市达峰和深度减排的关键贡献因素不同。对于和苏州一样的工业型城市来说，未来几年内达峰的关键在于产业结构调整、节能和能效提高。但如果想要在本世纪中叶实现深度脱碳，关键还在于电力清洁化（包括清洁能源发电和CCS），以及交通和建筑等消费领域的减排措施。由于中国目前绝大多数地区的工业排放占主导地位，因此苏州的经验可能适用于很多其他城市。

达峰具有不确定性，其中重大项目的上马或关停转移是其中一个主要的不确定性因素。以苏州为例，苏州目前没有机场，如果未来计划新建机场，对于达峰后的稳定下降会有较大影响。此外，长远来看，重大项目的关停转移对深度减排会产生影响，建议对新上或关停转移项目开展经济、社会、环境、碳排放的影响评估。

持续开展目标追踪意义重大。苏州市在2012年和2014年已经开展过两次峰值研究，本研究再次分析优化苏州市碳排放峰值路径，确保苏州市在新的经济形势和能源消费情况下能够完成2020年达峰目标。这意味着目标制定和追踪并不是一次性工作，需要做到持续开展和追踪。相关研究也会从一开始的较为宏观，逐步过渡到聚焦行业或重点问题的精细化研究。以最近的新型冠状病毒疫情为例，疫情势必会对城市的经济生产活动产生影响，而政府采取的一系列措施也会作用于能源消耗和碳排放。城市有必要及时分析这些影响，以确保达峰和相关目标的顺利实现。

现在就开展长期目标研究十分必要。对于中国和其大部分城市来说，像欧美发达国家或者城市一样在2050年甚至更早就实现“净零”排放难度较大。但城市可以从现在就开始相关研究，除了制定目标本身，还必须转化为相关决策过程，尤其是指导制定近期和中期目标，并实施相关政策措施和投资。





附录

苏州市碳排放 情景分析方法学

边界

本研究涵盖工业、建筑、交通、农业和废弃物五个部门的二氧化碳排放。其中工业包括发电、供热、制造业和建筑业。由于统计部门无法统计规下企业的能耗数据，且苏州市碳达峰目标中涉及的碳排放源不包括规下企业，故本研究中，工业部门数据只包括规上企业能耗及碳排放数据。工业部门中电力行业考虑了区外调入清洁电力、区内清洁能源发展、机组替换等因素对碳排放的影响。

情景设置

本研究采用情景分析法，以2017年为基准年预测苏州市2018—2050年的二氧化碳排放趋势。本研究设置了达峰情景和2050愿景情景两大情景，对苏州市未来可能的碳排放路径进行分析：

- 达峰情景是指加大现有政策力度，确保苏州能够实现2020年达峰且低位达峰的政策情景。此情景充分考虑苏州市未来发展的需求和愿望，根据苏州市创新驱动、加快经济增长动力转换的发展要求，假设未来高新技术产业、新兴产业有一定发展，高污染、高耗能产业比重有所下降。根据苏州市节能减排措施，未来主要节能减排技术进一步得到开发，关键低碳技术获得重大突破，重大节能减排技术成本下降更快，并得到普遍利用。
- 2050愿景情景是在达峰情景的基础上，充分考虑苏州市的减排决心，假设未来在大力发展新兴产业、使用清洁能源、改变消费方式的基础上，有序开展重大项目转移关停工作；清洁能源、可再生能源在交通部门得到推广使用，在电力行业充分运用以高度替代化石能源发电；碳捕集与封存等先进低碳技术得到广泛推广。主要目标是尽可能降低2050年排放，帮助苏州尽早实现净零排放。

本研究从不同的碳排放驱动因素以及节能减排的潜在路径出发，将定量分析与定性分析相结合，

重点研究在实现既定的经济发展目标时，不同措施所能取得的最大减排效果，梳理苏州市未来可能的碳排放达峰路径。总体技术路径如图 19所示。

达峰情景及2050愿景情景主要参数与特征设定见表 4。

图 19 | 情景设计及关键参数

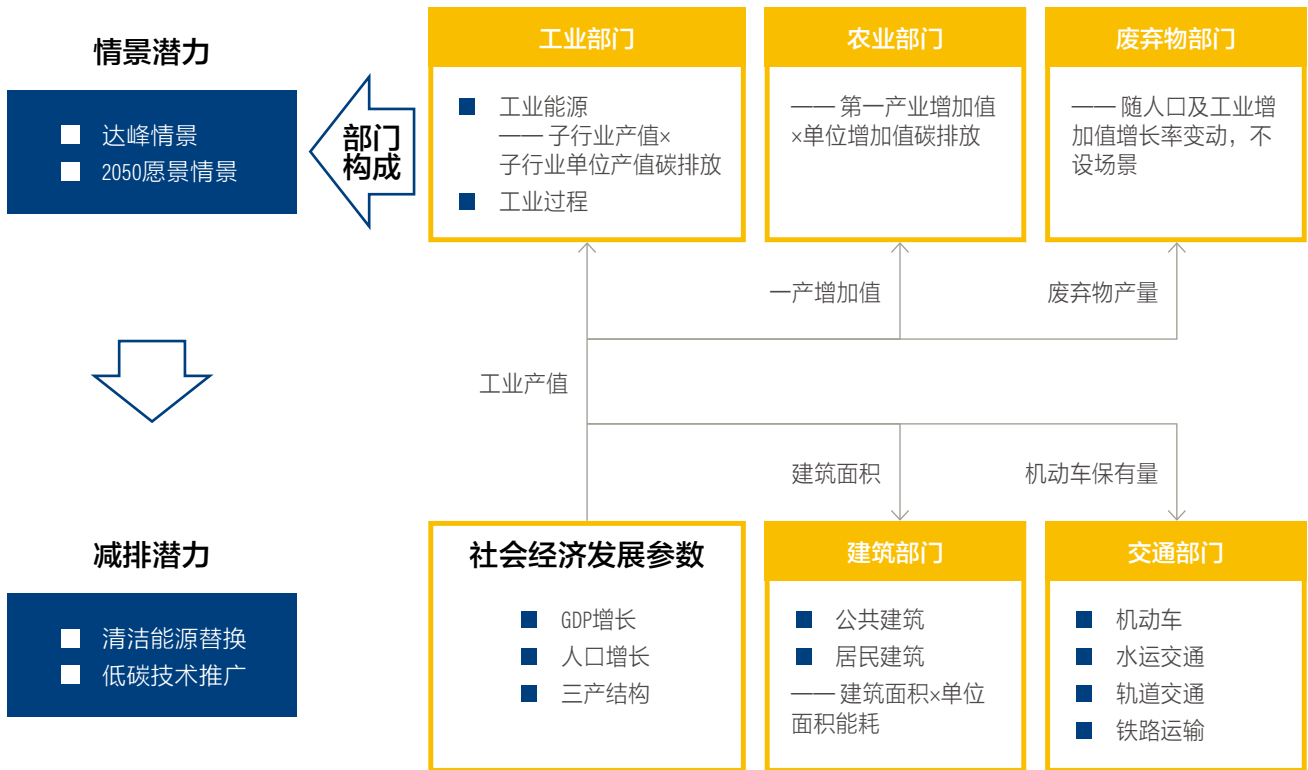


表 4 | 情景分析中主要参数与特征设定一览表

参数		达峰情景	2050 愿景情景
GDP		根据《苏州市国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》，假定苏州市 2018—2020 年 GDP 年均增长速度为 7%，之后逐步稳定下降，2021—2025 年为 6%，2030 年降至 4%，2040 年降至 3.5%，2050 年降至 2.5%，接近发达国家近年来水平	<p>在达峰情景的基础上，开展重大项目转移关停工作，大力推动清洁能源替代化石能源，加大国际先进低碳技术的投入</p> <p>i) 重大项目转移关停方面，沙钢搬迁减排量达企业总排放的 90%，化工企业搬迁、入园、关停减排率达 70%，电力行业机组替换减排率达 18%，水泥高耗能工艺搬迁减排率达 50%</p> <p>ii) 交通部门清洁能源替代率达 50%，电力行业清洁能源替代率达 72%</p> <p>iii) 电力、钢铁、水泥、化工、有色金属等高耗能行业采用 IGCC、碳捕集与封存 (CCS) 等先进低碳技术，减排率达 30% (上述减排率均于 2050 年逐步实现)</p>
人口		根据《苏州市国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》，假定苏州市 2020 年常住人口控制在 1100 万左右，2050 年常住人口控制在 1200 万左右	
产业结构		经济结构进一步优化，与目前发达国家格局类似：2020 年服务业增加值比重为 55% 左右，2030 年为 65% 左右，2040 年为 73% 左右，2050 年为 78% 左右	
农业发展		考虑农业增加值的变化以及高效农业发展等因素导致单位增加值排放量的变化	
工业产品产量发展		根据未来非金属矿物制品业产值、黑色金属冶炼及压延加工业产值、化学原料及化学制品制造业产值在工业总产值的比重变化，分别预测 2018—2050 年苏州市水泥、钢铁、合成氨产品产量的变化趋势。纯碱主要用作化工原料，考虑到化工行业的发展趋势，假定纯碱产量增加到 2025 年之后保持不变。由于国家严格控制玻璃产能过剩，故未来玻璃产量不会有大幅度增产，本研究假定未来玻璃产量为前五年玻璃产量滚动平均值	
工业发展	工业结构	到 2020 年，高新技术产业与新兴产业产值占全市规上工业产值的 55% 左右，2030 年比重为 60% 左右，2040 年为 64% 左右，2050 年为 68% 左右	
	工业能源效率	各行业技术水平主要反映在单位产值 CO ₂ 排放这个变量，预测年份单位产值碳排放较基准年不断下降，到 2050 年约降低 20%	
公共建筑	公共建筑面积	假设 2020 年前公共建筑面积对第三产业增加值的弹性系数 (ET) 为 0.65，之后每五年呈梯度增长，2046 到 2050 年间为 0.75。到 2020 年，第三产业单位面积产出达到 0.791 万元/平方米左右，达亚洲发达国家水平	
	单位面积能耗水平	通过节能率与能耗现状水平预测未来能耗水平，假定 2017 年单位面积天然气、液化石油气能耗均已达苏州 65% 节能率水平，之后能耗不断减小，新建公共建筑到 2050 年达到 85% 左右节能率水平，既有建筑改造可在现有基础上实现 25% 左右节能率。单位面积耗电增加率不断减小	
居民建筑	住宅面积	假定 2020 年人均住宅面积增至 35 平方米/人，之后保持该水平不变	
	单位面积能耗水平	人均收入增加，居民生活舒适度要求提高，单位建筑面积能耗增加，但增长率持续降低。低碳、环境友好住宅广泛利用，充分利用清洁能源，新建建筑较既有改造建筑更加节能	
交通发展	机动车变化	快速发展公交出行，清洁能源公交车 2020 年占公交车总数量的 30% 左右，2050 年达 100%；2050 年私家车中清洁能源汽车比例占 35% 左右。燃油经济性提高，2030 年较 2017 年提高 15%，2050 年较 2017 年提高 24%	
	铁路	客运周转量到 2050 年保持缓慢增长，货运周转量 2018—2020 年持续降低，之后不变。电气化率不断提高，到 2030 年电气化率达 97%，之后不变	
	水运	载客周转量和载货周转量到 2050 年保持缓慢增长	
	轨道交通	根据《苏州市城市轨道交通线网规划 (2035)》预测运营总里程，从而决定轨道交通场站环节汽油、柴油、天然气的用量变化趋势	
固体废弃物		生活垃圾与人口增长率一致。工业固体废弃物与危险废弃物到 2050 年均比 2017 年减少 70% 左右	

社会经济

社会经济主要包括国民经济生产总值（GDP）、人口、产业结构三个参数。

对于GDP参数的预测，根据《苏州市国民经济和社会发展规划第十三个五年规划纲要》²³，“十三五”期间保持地区生产总值年均增长7%左右，提前完成国内生产总值比2010年翻一番的目标，以及美日韩等发达国家的经济发展趋势，本研究假定苏州市2018—2020年GDP年均增长速度为7%，2021—2025年为6%，2026—2040年间逐步稳定下降，2041—2050年降至2.5%，接近美国2010年水平。

对于人口参数的预测，《苏州市国民经济和社会发展规划第十三个五年规划纲要》与《苏州市“十三五”人口发展规划》²⁴指出，“十三五”期间，人口增长与经济社会发展和资源环境承载力相适应，人口自然增长率预期在4‰以内，到2020年常住人口规模力争控制在1100万左右，2050年常住人口控制在1200万左右。GDP与人口的未来发展模式见表5。

对于产业结构参数的预测，根据《苏州市国民经济和社会发展规划第十三个五年规划纲要》，“十三五”期间服务业增加值占地区生产总值比重达到53%左右，结合苏州市经济发展历史趋势、相关城市的发展经验和专家意见，本研究假设到2020年第三产业占比为54.5%，2030年第三产业占比为65%，2040年第三产业占比为73%，2050年第三产业占比为78%。

表5 | 重要节点年GDP与人口发展情况

年份	GDP（亿元，2010年不变价）	人口（万人）
2020年	20492	1080
2030年	34336	1118
2040年	48903	1158
2050年	62600	1200

工业部门

工业部门的二氧化碳排放包括工业燃料燃烧与工业生产过程导致的两部分碳排放。

工业能源消耗碳排放预测思路是子行业总产值乘以子行业单位产值碳排放，得出每个子行业的碳排放量，再相加得到工业能源消耗的总碳排放，核算方法如公式（1）所示：

$$E_{industry} = \sum_i [GOV_i \cdot CI_i \cdot (1 - CERR) \cdot (1 - NERR)] \quad (1)$$

其中， $E_{industry}$ 为工业能源活动产生的碳排放量，万吨二氧化碳； GOV 为子行业总产值，亿元； CI 为子行业单位产值碳排放，吨二氧化碳/万元； $CERR$ 为清洁能源替换比例，主要为清洁电力，%，参数设置参照国家发展和改革委员会能源研究所相关研究²⁵； $NERR$ 为负排放技术削减比例，%，参数设置参照相关学者研究^{26,27}； i 为工业部门不同子行业。

截至2017年，苏州市共有35个工业行业，选取其中典型的行业进行分析，其他工业行业汇总或合并分析，行业选取的原则如下：（1）二氧化碳排放量大的行业；（2）工业产值比重大的行业；（3）工业结构调整中涉及的主要行业。符合上述三项原则中任意一项的行业均纳入情景分析选取的行业范围。最终确定以下30个子行业作为情景分析考虑的行业：

非金属矿采选业，农副食品加工业，食品制造业，纺织业，纺织服装、服饰业，皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业，木材加工及木、竹、藤、棕、草制品业，家具制造业，造纸及纸制品业，印刷业和记录媒介复制业，文教、工美、体育和娱乐用品制造业，石油加工、炼焦及核燃料加工业，化学原料及化学制品制造业，医药制造业，化学纤维制造业，橡胶制品业和塑料制品业，非金属矿物制品业，黑色金属冶炼及压延加工业，有色金属冶炼及压延加工业，金属制品业，通用设备制造业，专用设备制造业，交通运输设备制造业，电气机械及器材制造业，计算机、通信和其他电子设备制造业，仪器仪表制造业，废弃资源综合利用业，电力、热力生产和供应业，煤气生产和

供应业，自来水生产和供应业。

根据城市规划，苏州市将大力发展医药制造、通信设备、计算机及其他电子设备制造、交通运输设备制造业、仪器仪表制造等战略新兴产业和高新产业，对于化工、造纸、电力、钢铁等高耗能行业则采取逐步限制发展的措施，故前者的产值占比将逐步提高，后者产值占比将逐步下降。由于苏州市工业行业技术发展整体处于较高水平，在结合历史发展趋势的基础上，将苏州工业技术对标世界先进水平。结合规划文件、发展趋势、发展经验和专家意见，重要节点年份各行业规上工业总产值设置见表 6；重要节点年份各行业单位产值碳排放见表 7。

表 6 | 重要节点年各行业规上工业总产值（亿元）

行业名称	规上工业总产值			
	2020年	2030年	2040年	2050年
总计	38456	50551	55554	56891
非金属矿采选业	2	3	3	3
农副食品加工业	334	466	485	420
食品制造业	257	359	373	323
纺织业	1409	1302	1181	1171
纺织服装、服饰业	754	1053	1095	949
皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业	52	73	76	66
木材加工及木、竹、藤、棕、草制品业	62	87	90	78
家具制造业	99	139	144	125
造纸及纸制品业	677	625	567	562
印刷业和记录媒介复制业	223	311	324	280
文教、工美、体育和娱乐用品制造业	205	286	297	258
石油加工、炼焦及核燃料加工业	163	228	237	206

表 6 | 重要节点年各行业规上工业总产值（亿元）（续）

行业名称	规上工业总产值			
	2020年	2030年	2040年	2050年
化学原料及化学制品制造业	2409	2225	2019	2002
医药制造业	438	629	737	802
化学纤维制造业	1078	1506	1565	1357
橡胶制品业和塑料制品业	939	1312	1364	1182
非金属矿物制品业	502	464	421	417
黑色金属冶炼及压延加工业	2964	2737	2483	2462
有色金属冶炼及压延加工业	657	918	954	827
金属制品业	866	1210	1257	1090
通用设备制造业	2885	4137	4850	5277
专用设备制造业	1640	2352	2757	3000
交通运输设备制造业	2487	3566	4181	4549
电气机械及器材制造业	2950	4122	4285	3713
计算机、通信和其他电子设备制造业	13116	18808	22047	23989
仪器仪表制造业	584	838	982	1069
废弃资源综合利用业	37	52	54	47
电力、热力生产和供应业	393	362	329	326
煤气生产和供应业	156	218	227	197
自来水生产和供应业	46	65	67	58
其他	70	98	102	89

表 7 | 重要节点年各行业单位产值碳排放（吨CO₂/万元）

行业名称	单位产值碳排放			
	2020年	2030年	2040年	2050年
非金属矿采选业	0.020	0.017	0.016	0.016
农副食品加工业	0.005	0.004	0.004	0.004
食品制造业	0.001	0.001	0.001	0.001
纺织业	0.212	0.179	0.173	0.171
纺织服装、服饰业	0.015	0.013	0.012	0.012
皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业	0.017	0.014	0.014	0.014
木材加工及木、竹、藤、棕、草制品业	0.031	0.026	0.025	0.025
家具制造业	0.003	0.002	0.002	0.002
造纸及纸制品业	0.990	0.838	0.808	0.798
印刷业和记录媒介复制业	0.008	0.007	0.006	0.006
文教、工美、体育和娱乐用品制造业	0.086	0.073	0.070	0.069
石油加工、炼焦及核燃料加工业	0.006	0.005	0.005	0.005
化学原料及化学制品制造业	0.184	0.156	0.150	0.148
医药制造业	0.110	0.093	0.090	0.088
化学纤维制造业	0.210	0.178	0.172	0.170
橡胶制品业和塑料制品业	0.019	0.016	0.016	0.016
非金属矿物制品业	0.146	0.123	0.119	0.117
黑色金属冶炼及压延加工业	1.929	1.633	1.574	1.555
有色金属冶炼及压延加工业	0.006	0.005	0.004	0.004
金属制品业	0.006	0.005	0.005	0.005
通用设备制造业	0.004	0.004	0.004	0.004
专用设备制造业	0.002	0.002	0.002	0.002
交通运输设备制造业	0.001	0.001	0.001	0.001
电气机械及器材制造业	0.001	0.001	0.001	0.001
计算机、通信和其他电子设备制造业	0.009	0.008	0.008	0.007
仪器仪表制造业	0.001	0.001	0.001	0.001
废弃资源综合利用业	0.080	0.067	0.065	0.064
电力、热力的生产和供应业	16.322	13.824	13.324	13.158
煤气生产和供应业	0.001	0.001	0.001	0.001
自来水生产和供应业	0.001	0.001	0.001	0.001
其他	0.047	0.040	0.039	0.038

表 8 | 重要节点年工业产品产量 (万吨)

年份	水泥熟料	玻璃	钢铁	纯碱	合成氨
2017年	448	62	3411	128	96
2020年	424	139	3224	140	91
2030年	321	135	2443	155	69
2040年	263	135	1999	155	56
2050年	230	135	1749	155	49

工业生产过程二氧化碳排放主要包括工业生产过程中由于化学或物理转化材料产生的二氧化碳排放，计算方法如公式 (2) 所示：

$$E_{Process} = \sum_i [EF_i \cdot P_i] \quad (2)$$

其中， $E_{Process}$ 为工业产品生产过程中的碳排放，万吨二氧化碳； P 为各种工业产品的产量，万吨； EF 为工业产品生产过程中的各种温室气体的排放因子，吨/吨； i 为工业产品类型，主要包括水泥熟料、玻璃、钢铁、纯碱、合成氨。

根据未来非金属矿物制品业产值、黑色金属冶炼及压延加工业产值、化学原料及化学制品制造业产值在工业总产值的比重变化，分别预测2018—2050年苏州市水泥、钢铁、合成氨产品产量的变化趋势。纯碱主要用作化工原料，考虑到化工行业的发展趋势，假定纯碱产量增加到2025年之后保持不变。由于国家严格控制玻璃产能过剩，故未来玻璃产量不会有大幅度增加，本研究假定未来玻璃产量为前五年玻璃产量滚动平均值。重要节点年份各产品产量见表 8。

公共建筑

公共建筑的碳排放量采用建筑面积乘以单位建筑面积能耗再乘以该能源品种排放因子的方法，计算如公式 (3)、公式 (4) 所示：

$$E_{building-p} = \sum_i [S_P \cdot EUI_i \cdot EF_i] \cdot 10^{-4} \quad (3)$$

$$S_{P,T} = S_{P,T-1} \cdot [1 + ET \cdot \alpha_T] \quad (4)$$

其中 $E_{building-p}$ 为公共建筑运行导致的碳排放，万吨二氧化碳； S_P 为公共建筑面积，万平方米； EUI 为单位建筑面积能耗，立方米/平方米或吨/万平方米， EF 为排放因子，吨/万立方米或吨/吨； i 为能源类型，天然气或液化石油气。 $S_{P,T}$ 表示第 T 年的公共建筑面积，万平方米， ET 表示第 T 年的公共建筑面积对第三产业增加值的弹性系数，无量纲。 α_T 表示第 T 年的第三产业增加值增长率，%。为避免重复计算，计算苏州市全社会二氧化碳排放时，不再计算公共建筑运行消耗电力产生的碳排放。由于新建建筑较节能改造建筑能效水平更高，故对新建建筑和节能改造建筑设置不同的单位建筑面积能耗水平。重要节点年公共建筑面积及单位建筑面积能耗水平见表 9。

居民建筑

居民住宅建筑的碳排放量采用建筑面积乘以单位建筑面积能耗再乘以该能源品种排放因子的方法，计算如公式 (5)、公式 (6) 所示：

$$E_{building-r} = \sum_i [S_R \cdot EUI_i \cdot EF_i] \cdot 10^{-4} \quad (5)$$

$$S_R = P \cdot D \quad (6)$$

其中 $E_{building-r}$ 为居民建筑运行导致的碳排放，万吨二氧化碳； S_R 为居民建筑面积，万平方米； EUI 为单位建筑面积能耗，立方米/平方米或吨/万平方米； EF 为排放因子，吨/万立方米或吨/吨； i 为能源类型，天然气或液化石油气。 P 表示常住人口，万人； D 表示人均住宅面积，平方米/人，根据劳伦斯伯克利国家实验室研究报告设置²⁸。为避免重复计算，在计算苏州市全社会二氧化碳排放时，不再计算居民建筑运行中消耗的电力产生的碳排放。居民建筑

面积随人口而定，由于新建建筑较节能改造建筑能效水平更高，故对新建建筑和节能改造建筑设置不同的单位建筑面积能耗水平。重要节点年居民人均住宅面积及单位建筑面积能耗水平见表 10。

表 9 | 重要节点年公共建筑面积及单位建筑面积能耗水平

年份	公共建筑面积 (万平方米)	新建建筑天然气 能耗(立方米/ 平方米)	节能改造建筑天 然气能耗(立方 米/平方米)	新建建筑液化石 油气能耗(吨/万 平方米)	节能改造建筑液 化油气能耗 (吨/万平方米)
2020年	14,044	3.90	4.10	4.72	4.97
2030年	22,592	3.02	3.76	3.65	4.55
2040年	31,751	2.33	3.45	2.83	4.17
2050年	40,131	1.80	3.16	2.19	3.83

表 10 | 重要节点年居民人均住宅面积及单位建筑面积能耗水平

年份	人均住宅面积 (平方米/人)	新建建筑天然气能耗 (立方米/平方米)	节能改造建筑天然气能 耗(立方米/平方米)	液化石油气能耗 (吨/万平方米)
2020年	35	2.20	2.22	3.56
2030年	35	3.21	3.46	3.56
2040年	35	4.00	4.77	3.56
2050年	35	4.55	6.00	3.56

交通运输

本研究中，交通部门二氧化碳排放共包括水运交通碳排放、轨道交通碳排放、铁路运输碳排放、机动车碳排放四个部分。交通部门总碳排放计算如公式（7）：

$$E_{total-transport} = [(E_w + E_{sub} + E_r + E_{transport}) \cdot (1 - CERR)] \quad (7)$$

其中 $E_{total-transport}$ 为交通部门总二氧化碳排放量，万吨； E_w 为水运交通二氧化碳排放量，万吨； E_{sub} 为轨道交通二氧化碳排放量，万吨； E_r 为铁路运输二氧化碳排放量，万吨； $E_{transport}$ 为道路交通领域机动车产生的二氧化碳排放量，万吨； $CERR$ 为交通部门清洁能源替代比例，主要为清洁电力，%，参数设置参照相关研究和规划^{29,30,31}。

水运交通二氧化碳排放通过载客周转量、载货周转量及单位货物周转量能耗、碳排放因子计算，见公式（8）：

$$E_w = T_w \cdot EOT \cdot EF \cdot 10^{-6} \quad (8)$$

其中 E_w 是水运交通二氧化碳排放量，万吨二氧化碳； T_w 为船舶货物周转量，万吨公里，载客周转量与货物周转量的换算比例为3万人公里=1万吨公里； EOT 为单

位货物周转量能耗，数据来源于《江苏省“十三五”节能规划》³²，千克标准煤/千吨公里； EF 为碳排放因子，数据来源于《国家发改委办公厅关于组织总结评估低碳省区和城市试点经验的通知》³³，吨CO₂/吨标准煤。重要节点年周转量见表 11。

轨道交通碳排放包括场站消耗的汽油、柴油、天然气所导致的二氧化碳排放，通过能源消耗量及排放因子计算，见公式（9）：

$$E_{sub} = \sum_i [EU_i \cdot EF_i] \cdot 10^{-4} \quad (9)$$

其中 E_{sub} 为轨道交通二氧化碳排放量，万吨二氧化碳； EU 为能源消耗量，吨或万立方米； EF 为排放因子，吨/单位； i 指能源种类，包括汽油、柴油、天然气。由于只考虑生产角度的碳排放，故轨道交通牵引、场站环节消耗的电力碳排放不纳入全社会总碳排放计算的范围。重要节点年能源消耗量见表 12。

铁路运输产生的二氧化碳排放包括旅客周转和货物运输两方面，由于这部分获取的数据有限，故根据江苏省的旅客周转量、货物周转量推测苏州市的铁路部门碳排放，计算的方式为周转量乘以单位周转量排放因子，并辅以电气化率优化铁路运输碳排放，见公式（10）：

$$E_r = T_r \cdot EF_r \cdot 10 \cdot (1 - ER) \quad (10)$$

表 11 | 重要节点年水运交通周转量

年份	载客周转量（万人公里）	载货周转量（万吨公里）
2020年	5,840	718,749
2030年	6,330	1,475,935
2040年	6,726	2,591,441
2050年	7,039	4,022,330

表 12 | 重要节点年轨道交通能源消耗情况

年份	汽油（吨）	柴油（吨）	天然气（万立方米）
2020年	6707	6710	8.12
2030年	104.36	141.39	17.63
2040年	141.66	215.68	27.13
2050年	178.96	289.97	36.64

表 13 | 重要节点年铁路周转量及电气化率

年份	铁路旅客周转量（亿人公里）	铁路货物周转量（亿吨公里）	电气化率（%）
2020年	119.29	11.64	74%
2030年	192.51	11.64	97%
2040年	265.74	11.64	97%
2050年	338.96	11.64	97%

表 14 | 重要节点年载货汽车不同车型占所有车型比例（%）

年份	载货汽车						
	重型	中型	轻型				微型
			总计	汽油	柴油	纯电动	
2017年	0.0137	0.0080	0.0239	0.0055	0.0182	0.0003	0.0001
2020年	0.0138	0.0072	0.0229	0.0051	0.0174	0.0004	0.0001
2030年	0.0143	0.0052	0.0199	0.0040	0.0149	0.0010	0.0001
2040年	0.0148	0.0037	0.0173	0.0032	0.0114	0.0027	0.0001
2050年	0.0153	0.0027	0.0150	0.0025	0.0050	0.0075	0.0001

其中 E_r 为铁路运输二氧化碳排放，包括客运及货运两部分，万吨； T_r 为铁路旅客周转量或铁路货物周转量，单位为亿人公里或亿吨公里； EF_r 为客运排放因子或货运排放因子，单位为千克二氧化碳/人公里或千克二氧化碳/吨公里，排放因子数据结合相关研究与报告确定^{34, 35, 36}， ER 代表电气化率，%。重要节点年周转量及电气化率见表 13。

机动车产生的碳排放采用保有量、行驶里程、燃油经济性、油品密度与燃料排放因子相结合的计算方法，具体见公式（11）：

$$E_{transport} = \sum_i [VP_i \cdot VMT_i \cdot \rho_{g/d} \cdot EF_{g/d/ng} / FE_{i,g/d/ng}] \cdot 10^{-7} \quad (11)$$

其中， $E_{transport}$ 为道路交通领域机动车行驶导致的二氧化碳排放，万吨二氧化碳； VP 为机动车保有量，辆； VMT 为年均行驶里程，公里/辆； ρ 为油品密度，千克/升； EF 为碳排放因子，千克二氧化碳/升； FE 为车辆的燃油经济性，公里/升； i 为不同机动车类型， g 为汽油， d 为柴油， ng 为天然气。结合人口发展、居民消费意愿和机动车千人保有量发展规划限制设置机动车总保有量，考虑到未来新能源车会逐步替代汽油、柴油车，并结合城市发展规划、专家咨询结果综合设置不同燃料车型公共交通车辆占比。重要节点年机动车保有量分别为：2020年379万辆，2030年440万辆，2040年485万辆，2050年500万辆。重要节点年载货汽车、载客汽车、出租车及公交车不同车型占所有车型的比例参数分别见表 14、表 15、表 16。

表 15 | 重要节点年载客汽车不同车型占所有车型比例 (%)

年份	载客汽车											
	大型				中型		小型				微型	
	汽油	柴油	天然气	纯电动	汽油	柴油	汽油	柴油	混合动力	纯电动	汽油	纯电动
2017年	0.0002	0.0019	0.0002	0.0017	0.0015	0.0014	0.9224	0.0102	0.0023	0.0020	0.0055	0.0002
2020年	0.0002	0.0019	0.0002	0.0020	0.0014	0.0013	0.9177	0.0094	0.0080	0.0040	0.0047	0.0009
2030年	0.0002	0.0017	0.0002	0.0030	0.0011	0.0011	0.8456	0.0071	0.0460	0.0460	0.0028	0.0026
2040年	0.0002	0.0013	0.0003	0.0047	0.0009	0.0009	0.7132	0.0053	0.1150	0.1150	0.0017	0.0035
2050年	0.0002	0.0002	0.0004	0.0072	0.0007	0.0007	0.6270	0.0040	0.1600	0.1600	0.0010	0.0040

表 16 | 重要节点年出租车与公共汽车不同车型占所有车型比例 (%)

年份	出租车					公共汽车				
	总计	汽油	天然气	混合动力	纯电动	总计	柴油	天然气	混合动力	纯电动
2017年	0.0026	0.0024	0.0000	0.0002	0.0000	0.0024	0.0011	0.0008	0.0004	0.0001
2020年	0.0024	0.0021	0.0000	0.0002	0.0001	0.0021	0.0011	0.0006	0.0003	0.0001
2030年	0.0018	0.0013	0.0000	0.0001	0.0004	0.0014	0.0008	0.0002	0.0002	0.0002
2040年	0.0013	0.0006	0.0000	0.0001	0.0006	0.0009	0.0004	0.0000	0.0001	0.0003
2050年	0.0010	0.0000	0.0000	0.0001	0.0009	0.0006	0.0000	0.0000	0.0001	0.0005

表 17 | 重要节点年垃圾焚烧量 (万吨)

年份	工业固体废弃物	生活垃圾	危险废弃物
2020年	108.14	379.29	5.21
2030年	75.08	392.88	3.62
2040年	52.13	406.96	2.51
2050年	36.19	421.54	1.74

废弃物

废弃物二氧化碳排放主要考虑工业固体废弃物、生活垃圾、危险废弃物三种废弃物由于燃烧导致的碳排放，具体计算见公式(12)：

$$E_{waste} = \sum_i [IW_i \cdot CCW_i \cdot FCF_i \cdot EF_i \cdot 44/12] \quad (12)$$

其中 E_{waste} 为废弃物燃烧导致的二氧化碳排放，万吨二氧化碳； IW 为废弃物焚烧量，万吨； CCW 为弃物中的碳含量比例，%； FCF 为废弃物中矿物碳在碳总量中比例，%； EF 为废弃物焚烧炉的燃烧效率，%； $44/12$ 指碳转换成二氧化碳的转换系数； i 指废弃物种类，包括工业固体废弃物、生活垃圾、危险废弃物。未来废弃物焚烧量主要根据人口发展、工业增加值增长率确定，并结合历史趋势进行调整，重要节点年垃圾焚烧量见表 17。

局限性

由于苏州市碳达峰目标中不包含对规下工业企业的规划，且规下工业企业数据未统计、不可获得，本研究中工业部门碳排放只涉及规上工业企业，不包括规下工业企业。

为避免重复计算，在计算苏州市总碳排放时，建筑和交通部门电力消耗导致的碳排放放在电力部门进行分析，即未从消费端角度进行分析，分部门对比时低估了建筑和交通部门对总排放的贡献。

本研究虽考虑了重大项目转移关停对未来二氧化碳排放趋势的影响，但由于无法得知政府重大政策、产业发展规划具体实施的时间与实施强度，从而采取逐步、连续的方式预测重大项目转移关停工作对碳排放趋势的影响，故预测出的碳排放趋势可能无法完全与实际发展吻合，存在一定不确定性。

最后，本研究主要于2018—2019年开展，因此未能反应始于2020年初的新型冠状病毒疫情对经济和社会的影响。

参考文献

1. <https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/long-term-strategies> 2020年4月2日访问
2. 苏州市人民政府, 苏州市人民政府关于2017年能源消耗总量和强度“双控”目标责任完成情况的自查报告(苏府〔2018〕47号), 2018.
3. 苏州市人民政府, 苏州市2016年能源消耗总量和强度“双控”工作情况汇报, 2017.
4. IEA, CO₂ Emissions from Fuel Combustion, OECD/IEA, Paris, 2018 version with 2016 data.
5. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-02/documents/us-ghg-inventory-2020-main-text.pdf>
6. Yuan J, Xu Y, Hu Z, et al. Peak energy consumption and CO₂ emissions in China[J]. Energy Policy, 2014, 68: 508-523.
7. Li L, Lei Y, He C, et al. Prediction on the Peak of the CO₂ Emissions in China Using the STIRPAT Model[J]. Advances in Meteorology, 2016.
8. World Energy Outlook, 2018.
9. World Population Prospects, the 2017 Revision, medium variant.
10. 王建行, 赵颖颖, 李佳慧, 袁俊生. 二氧化碳的捕集、固定与利用的研究进展[J]. 无机盐工业, 2020, 52(04): 12-17.
11. 韩学义. 电力行业二氧化碳捕集、利用与封存现状与展望[J]. 中国资源综合利用, 2020, 38(02): 110-117.
12. 曾卉洁. 中国将积极推进CCUS业内呼吁加大政策支持——《中国CCUS发展路线图(2019版)》发布[J]. 高科技与产业化, 2019(05): 11.
13. 周颖, 蔡博峰, 曹丽斌, 王保登, 赵兴雷, 王永胜, 李琦, 马劲风, 胡丽莎. 中国碳封存项目的环境应急管理研究[J]. 环境工程, 2018, 36(02): 1-5.
14. 工业和信息化部, 绿色数据中心先进适用技术产品目录(第二批), 2017.
15. 工业和信息化部, “能效之星”产品目录(2017), 2017.
16. 工业和信息化部, 国家工业节能技术装备推荐目录(2017), 2017.
17. 国家发展和改革委员会, 国家重点推广的低碳技术目录, 2014.
18. 国家发展和改革委员会, 国家重点推广的低碳技术目录, 2015.
19. 国家发展和改革委员会, 国家重点节能低碳技术推广目录(2017年本低碳部分), 2017.
20. 国家发展和改革委员会, 国家重点节能低碳技术推广目录(2017年本节能部分), 2018.
21. 科学技术部, 国家“十二五”碳捕集利用与封存科技发展专项规划, 2013.
22. 苏州市人民政府, 苏州市绿色建筑工作实施方案(苏府办〔2014〕51号), 2014.
23. 苏州市人民政府, 苏州市国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要(苏府〔2016〕36号), 2016.
24. 苏州市人民政府, 苏州市“十三五”人口发展规划(苏府办〔2017〕33号), 2017.
25. 国家发展和改革委员会能源研究所, 中国2050高比例可再生能源发展情景暨路径研究(摘要报告), 2015.
26. 陈俊武, 陈香生. 中国中长期碳减排战略目标初探(II)——中国煤炭消费过程的碳排放及减排措施[J]. 中外能源, 2011, 16(06): 1-11.
27. 姜克隽, 胡秀莲, 庄幸, 刘强. 中国2050年低碳情景和低碳发展之路[J]. 中外能源, 2009, 14(06): 1-7.
28. 劳伦斯伯克利国家实验室, Current Status and Future Scenarios of Residential Building Energy Consumption in China, 2010.
29. 张伟清. 中国将重点转向燃料电池汽车[J]. 石油炼制与化工, 2018, 49(08): 93.
30. 戴丽. 我国或可借鉴美国的清洁交通零排放机制[J]. 节能与环保, 2015(01): 34-35.
31. 国务院, 节能与新能源汽车产业发展规划(2012—2020年)(国发〔2012〕22号), 2012.
32. 江苏省经济和信息化委员会, 江苏省“十三五”节能规划(苏经信节能〔2016〕503号), 2016.
33. 国务院, 国家发展改革委关于开展低碳省区和低碳城市试点工作的通知(发改气候〔2010〕1587号), 2010.
34. EPA, Optional Emissions from Commuting, Business Travel and Product Transport, 2008.
35. 汤友富. 国内外铁路能源消耗现状比较与分析[J]. 铁道运输与经济, 2018, 40(01): 93-99.
36. 高玉明, 王术尧. 北京铁路局运输碳排放清单及碳排放基准线浅析[J]. 铁路节能环保与安全卫生, 2016, 6(03): 112-116.

致谢

在本报告的研究与编写过程中，能源和低碳领域的众多专家给予了大力支持并提供了宝贵建议，在此，我们向各位专家表示由衷的感谢。

南京大学和世界资源研究所的各位领导和同事也给予了大力支持和指导，在此特别向南京大学环境学院的王仕、杨建勋、王倩等，世界资源研究所（美国）北京代表处首席代表方莉、副首席代表房伟权、项目总监杨晓亮、袁敏，以及前首席代表李来来、前同事温华等表示诚挚的谢意。此外，感谢编辑谢亮、设计张焯对报告后期制作提供的帮助。

最后，我们要感谢英国儿童投资基金会（CIFF）对本研究提供的资金支持。

对本报告做出重要贡献的专家和同事名单如下：

Emilia Suarez 世界资源研究所

蔡和 浙江省应对气候变化和低碳发展合作中心

曹颖 国家应对气候变化战略研究和国际合作中心

方莉 世界资源研究所（美国）北京代表处

房伟权 世界资源研究所（美国）北京代表处

郭江江 浙江省应对气候变化和低碳发展合作中心

黄莹 中国科学院广州能源研究所

黄怡宁 苏州道博环保技术服务有限公司

赖力 江苏省战略与发展研究中心

李来来 世界资源研究所（美国）北京代表处前首席代表

李振全 苏州市建筑科学研究院集团股份有限公司

廖翠萍 中国科学院广州能源研究所

王倩 南京大学环境学院

王圣 国电环境保护研究院

王仕 南京大学环境学院

温华 世界资源研究所前同事

杨洁 苏州科技大学

杨建勋 南京大学环境学院

杨晓亮 世界资源研究所（美国）北京代表处

杨新宇 江苏省工程咨询中心

袁敏 世界资源研究所（美国）北京代表处

周睿 苏州道博环保技术服务有限公司

作者介绍

刘苗苗是南京大学环境学院博士。

电子邮件：liumm@nju.edu.cn

邱言言是南京大学环境学院硕士研究生。

电子邮件：yanyanqiu0603@163.com

蒋小谦是世界资源研究所（美国）北京代表处项目总监。

电子邮件：xqiang@wri.org

毕军是南京大学环境学院，教育部长江学者特聘教授。

电子邮件：jbi@nju.edu.cn

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。

关于南京大学

南京大学地处长江经济带、长三角一体化和“一带一路”三大战略交汇点，是国家首批综合性重点大学及“C9联盟”高校，2019年地球与环境科学领域NI指数位列中国高校第1，在国际上具有重要影响。南京大学环境学院是国内最早开展环境研究和教学的单位之一，环境学科门类齐全、优势突出，下设环境科学、环境工程、环境规划与管理三个系，拥有环境科学国家重点学科、环境工程国家重点学科培育点和环境科学与工程江苏省一级重点学科，2017年入选国家“双一流”建设学科及教育部评估A类学科。依托区域内雄厚的生态环保产业，环境学院形成了“基础研究—技术创新—产业孵化”全链条学科体系，原创性、高技术和跨学科研究成果丰硕，为国家节能减排、生态环境安全保障做出了重要贡献。

资助方



图片说明

Cover 摄图网; pg. i 摄图网; pg. iv 摄图网; pg. x 摄图网; pg. xvii 摄图网; pg. xviii Unsplash/John xiao; pg. 3 Flickr/xiquinho; pg. 4 摄图网; pg. 10 摄图网; pg. 18 Unsplash/Matthew Henry; pg. 21 摄图网; pg. 22 摄图网; pg. 24 Unsplash/塬; pg. 25 Flickr/xiquinho; pg. 25 摄图网; pg. 27 摄图网; pg. 28 摄图网; pg. 31 Unsplash/Dong Cheng; pg. 32 摄图网.

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



Copyright 2020 World Resources Institute. 版权所有

本产品由创用（Creative Commons）4.0许可授权，许可副本参见<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



世界资源研究所
WORLD RESOURCES INSTITUTE

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