

地方碳中和规划——江苏省案例

一、经济发展现状与减排基础

作为中国经济大省，江苏省地区生产总值排全国第二，占全国的比重达 10% 以上。在疫情影响结束后，2023 年江苏省地区生产总值达 12.90 万亿元；一般公共预算收入达 9059 亿元，比上年增长 2.9%；其中，税收收入 7413.9 亿元，增长 1%。战略性新兴产业、高新技术产业产值占规模以上工业产值比重分别达到 37.8% 和 46.5%，数字经济规模超过 4 万亿元。产业结构调整速度加快，先进制造业集群和重点产业链培育发展取得明显成效，制造业基础更加坚实，竞争力进一步增强。与此同时，二氧化碳排放总量也快速上升，2000 年的 2.32 亿吨增至 2023 年的 9.28 亿吨，增幅为 4 倍（图 1）。

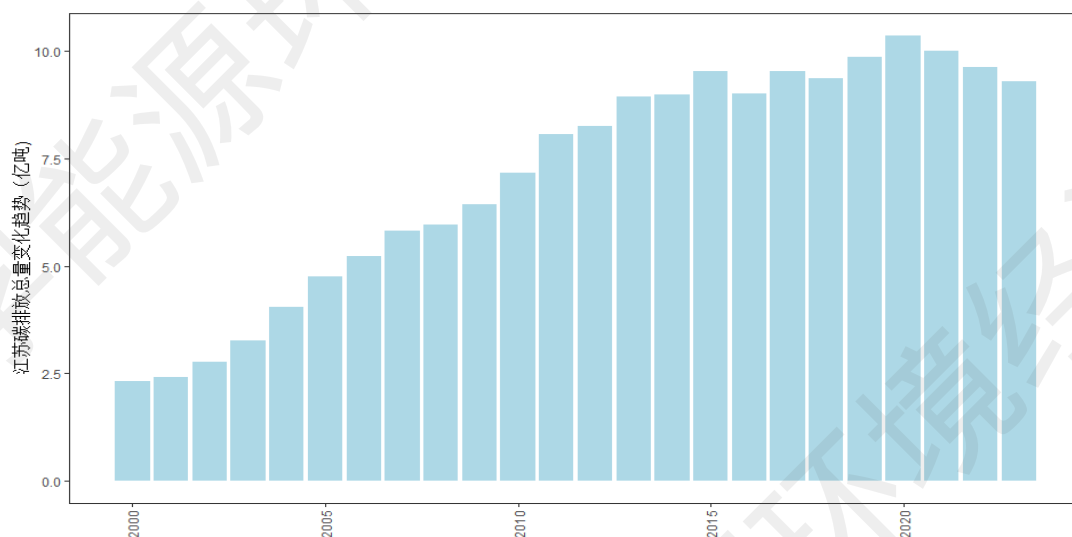


图 1 2000-2023 年江苏省碳排放总量变化趋势

从行业发展来看，江苏最大的困境是重工业仍占主导地位，工业产出增长是工业碳排放增长的最大驱动力，尤其是煤炭开采和洗选业、石油加工、炼焦和核燃料加工业、化学原料和化学制品制造业化工原料和化工产品、黑色金属冶炼和压延加工业以及电力、热力生产和供应业对工业碳排放贡献最大（88.2%）。“十四五”以来，得益于江苏省不断推动低碳转型，江苏省工业碳排放量逐年下降，且碳排放强度呈逐年下降趋势，高耗能行业碳排放量基本趋于稳定。当前，江苏省第二产业碳排放量绝对占比仍很高，但相对占比有所下降，第二产业减少的碳排放量未能抵消第三产业增加的碳排放量，使得江苏省整体碳排放量仍呈上升趋势。

江苏省交通运输业碳排放量由 2000 年的 1018.64 万吨增加到 2014 年的 5616.02 万吨，年均复合增长率达到 12.97%。其中，江苏省公路运输贡献了全省交通运输业碳排放总量的 80% 以上，并总体呈现出逐步增长的态势。

江苏省建筑全生命周期碳排放在 2012 年已达到峰值，碳排放总体呈现负变动。江苏省建筑业排放量从 2022 年的 2.4016 亿吨逐渐下降到 2026 年的 2.2351 亿吨（预计）。

江苏省种植业碳排放主要来源于农田土壤利用，农田土壤利用碳排放占比为 77.73%~86.95%，农资投入碳排放占比为 13.05%~22.27%。2000 年至 2020 期间，江苏沿海经济带的农业区域净碳汇从 716 万吨增加到 1002 万吨。碳储量表现出显著的空间异质性。

从江苏省碳排放在全国的占比来看，江苏省的碳排放总量在全国碳排放总量的 10% 左右，略高于江苏 GDP 占全国的比重。从江苏碳排放占比的趋势来看呈现了先降低后上升的变化趋势，由 2000 年的 11.15% 下降到 2010 年的 8.21%，随后近十年呈现波动上升的趋势，2023 年江苏省碳排放总量占全国总碳排放量的 12.33%。江苏省的碳排放总量在全国碳排放总量的 10% 左右，略高于江苏 GDP 占全国的比重，2024 年这一特征基本保持不变。

从碳排放强度变化趋势来看，近 20 年江苏省碳排放强度下降趋势明显。首先在全省排放强度上，排放强度变化趋势呈现逐年稳步下降的变化趋势，由 2000 年的 2.058 吨/万元下降至 2023 年的 0.723 吨/万元，年均下降 4.26%。按照当前江苏省经济发展趋势，预计 2024 年江苏省碳排放强度将进一步下降至约为 0.670 吨/万元。

从各区域来看，苏南、苏中、苏北城市的低碳发展大致呈现出“南高北低”的区域分布特征。苏南地区对江苏省的碳排放总量贡献不断增大，而苏北和苏中地区贡献水平逐年下降，人均碳排放量在整体上呈现持续增加趋势。苏南地区是江苏省的核心经济发展区，工业产值高，以制造业为主。它拥有高度集中的能源密集型和高排放行业，如钢铁、水泥和石化，其生产过程通常涉及大量的碳排放。相比之下，苏北地区经济发展水平相对较低，工业化进程较慢，高耗能产业比重较低，能源消费结构较为清洁。2001-2023 年江苏省 13 个地级市均已实现碳排放强度的下降。其中下降速度最快的地区分别为以徐州市、盐城市、连云港市为代表的苏北城市和苏州市。2001 年徐州市碳排放强度为 4.43 吨/万元，位居全省第

二，随着各项碳减排政策的出台实施，2023 年碳排放强度已经下降至 1.73 吨/万元。

二、碳中和指数分析

本研究通过构建碳中和综合指数进行综合评价，5 个分项指标（能源消耗情况、碳排放水平、碳排放效率、碳再平衡能力、生态承载能力）分别代表了碳排放系统的不同方面，能够更直观地看到碳排放系统的不足之处。各分指标对总指标的影响方向如表 1 所示。

表 1 碳中和指数评价指标体系

序号	一级指标	二级指标	计算方法	指标方向
1	能源消耗情况	能耗强度	能源消耗/GDP	-
		清洁能源结构	清洁能源/能源消耗	+
		能源依赖度	能源净流入/能源消耗	-
		碳排放强度	碳排放/GDP	-
2	碳排放水平	固碳能力	各类型固碳域的固碳总量/ 总面积	+
		本地化碳排放因子	根据 IPCC 排放因子进行调整	-
3	碳排放效率	投入占比	经济、人力、能源投入占比	-
			科技投入占比	+
		产出占比	经济、科技产出占比	+
4	碳再平衡能力		碳排放产出占比	-
		绿色技术投入	绿色技术投资/营业收入	+
5	生态承载能力	协同降污能力	污染物协同减排耦合度	+
		城市建设用地比率	城市建设用地占比	-
		城市绿化率	森林、耕地、草地面积占比	+
		水域面积比率	水系面积占比	+

根据本研究的指标体系，中国的碳中和指数（图 2）在 2012 年出现了暴跌，但在之后的 2012 年-2024 年一直在缓慢增加。自碳目标提出后，中国高度重视碳减排相关工作，系列政策的出台推动了我国低碳发展。

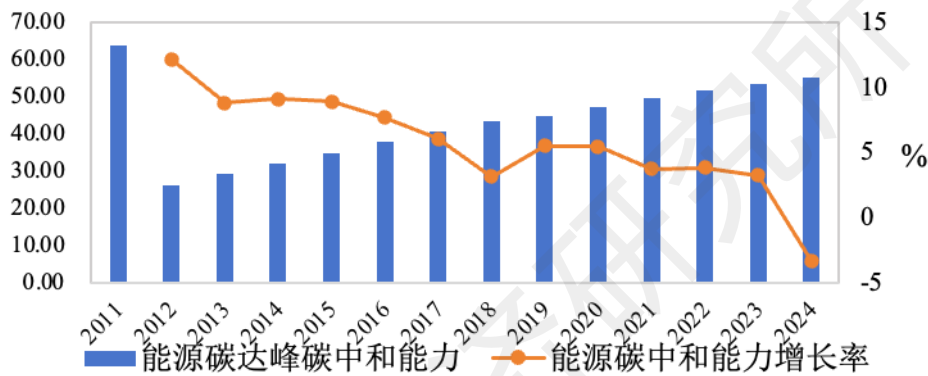


图 2 中国碳中和能力和增长率

江苏省碳中和指标自 2010 年后稳步上升(图 3), 趋势与我国整体情况接近, 反映了 2010 年后一系列减排措施的成效。2020 年后, 受疫情等因素影响, 碳中和指数小幅波动。后期需持续跟踪该指标的变化, 及时做出策略调整。

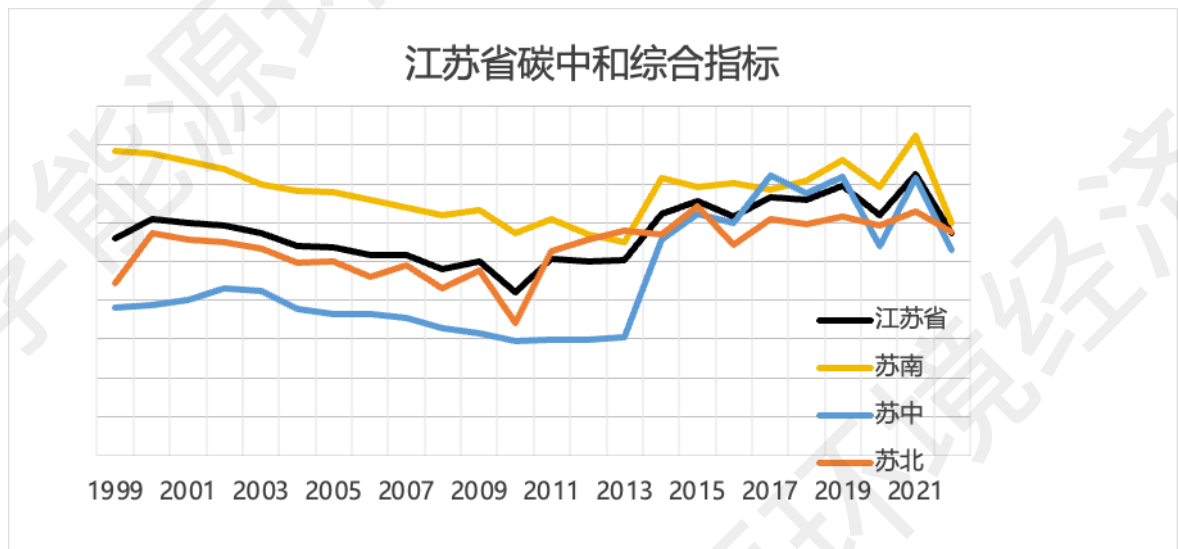


图 3 江苏省碳中和指数

分地区来看, 苏南地区在碳中和方面的发展较为成熟, 初期的高增长阶段逐渐过渡到稳定增长阶段, 收敛趋势较为明显。苏南地区的高新技术产业发达, 在能源利用效率和减排技术方面具有优势, 从而促进了碳中和指标的收敛。苏中地区在碳中和发展中的位置靠后。苏中地区可以借助与苏南地区的经济合作, 引进先进的碳中和技术和经验, 加快自身的收敛速度。苏北地区的碳中和进程处于一个相对平衡的状态, 既不像某些地区那样快速收敛, 也没有出现明显的发散趋势。苏北地区在能源转型方面面临一些挑战, 但也有机会通过发展可再生能源和加强

环保产业来推动碳中和指标的收敛。江苏省碳中和综合指数前列并且发展均衡的城市有南京、苏州、无锡、扬州，泰州、徐州在后列，各城市差距有但是不太多（图 4）。

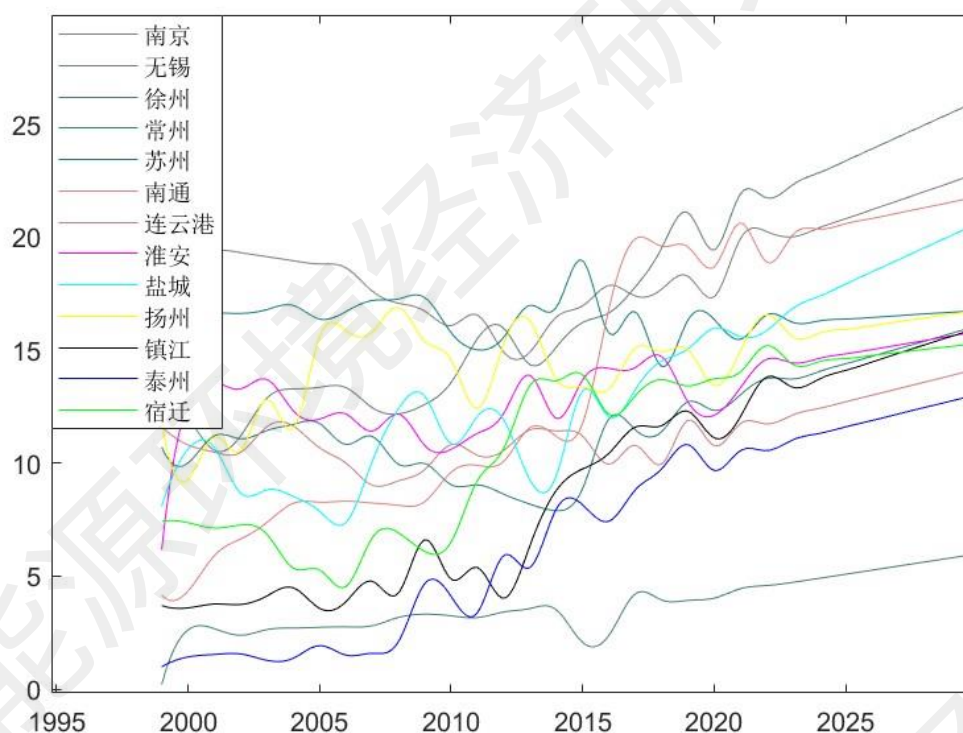


图 4 江苏省各城市碳中和综合指数趋势变化图

三、目标制定

按当前江苏省碳排放量及其排放趋势，江苏省碳排放量短期内将保持增长趋势。江苏省预计于 2030-2035 年实现碳达峰。通过制定并坚持严格降低碳排放强度的目标，江苏省有望于 2030 前实现碳达峰。根据已有文献的预测结果，江苏省碳达峰时碳排放量约为 9.30 亿吨，经咨询能源领域相关专家后，该结果与实际相比相对较低。为此，综合江苏省发展趋势、研究成果和江苏省能源局和生态环境厅专家咨询的结果，本报告认为江苏省碳排放量预计于 2035 年碳达峰，达峰时碳排放量约为 10.5 亿吨。碳达峰后，碳排放量将持续下降，至 2060 年实现碳中和。碳中和时，江苏省碳排放量降至约 2.31 亿吨（图 4），占全国的比重约降至 8%。随着江苏省低碳措施的深入落实，江苏省碳排放强度将持续保持下降趋势，预计到 2035 年将降至约 0.404 吨/万元，2060 年将下降约至 0.041 吨/万元

(图 5)。

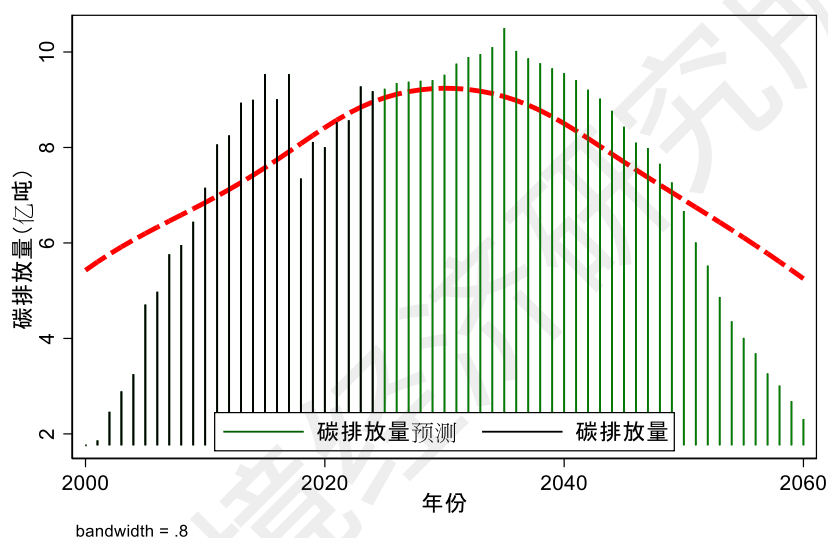


图 4 江苏省碳排放量

注：本报告预测结果仅为二氧化碳排放量，不包括碳汇和 CCUS 减排效应。

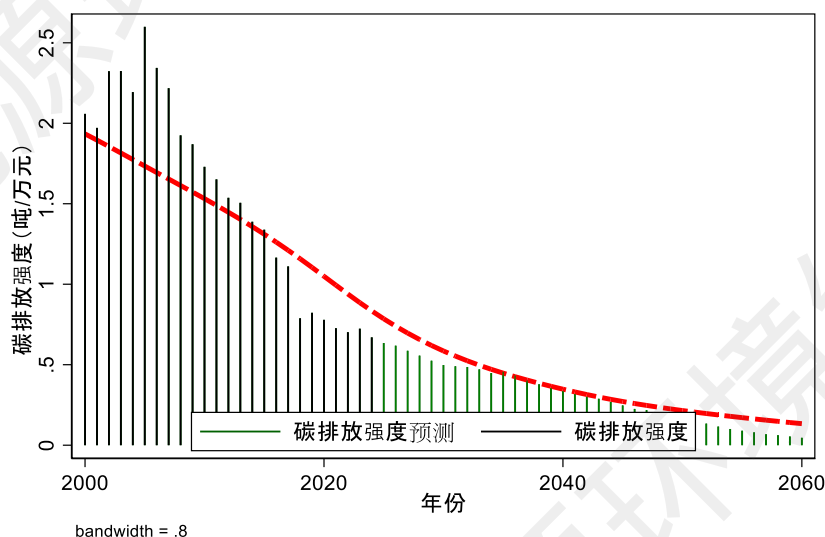


图 5 江苏省碳排放强度变化趋势（吨/万元）

终端能源强度、电力生产结构和终端能源消费结构是碳减排的主要影响因素，降低能源强度、优化产业结构、提高终端电气化水平、调整能源结构的贡献率分别为 30.3%、26.2%、20.9%和 17%。为此，江苏省应当在 2025~2035 年间调整产业和能源结构，将非化石能源占比增至 30%，单位能耗排放下降 28.6%，实现碳达峰。在 2050 年前后，将非化石能源占比提高到 50%，单位能耗下降 46.1%。在 2060 年前后将非化石能源占比超过 80%，单位能耗下降 54.6%，碳排放减少 77.9%，达到碳中和。

情景分析表明，在基准情景下，江苏省重点行业碳排放总量将于 2060 年将

达到 5.99 亿吨，年均增速为 4.47%。而通过相关措施的推进，碳排放量显著降低，表现为峰值达到 2025 年或 2030 年，并逐步下降。

四、关键行业的减排路径

1. 化石能源（非发电）

煤炭：江苏省作为中国重要的经济大省，煤炭在非发电领域的使用仍占据重要地位。2024 年，江苏省煤炭消费量约为 20888.03 万吨。煤炭消费主要集中在工业领域，尤其是钢铁、水泥等行业，非发电领域煤炭消费总量占煤炭消费总量的 47%。该领域低碳转型难点主要在于：**绿色开发技术体系尚不完善、煤化工行业面临技术和人才短缺、碳市场机制激励作用不足**。主要路径为：**提升煤炭清洁利用技术、推进“煤改气”发电、加强科技创新体系建设、加强碳市场建设与碳排放管理、加快产业结构与能源结构调整等**。

石油：江苏省作为化工大省，石化产业发展迅速，形成了以连云港石化产业基地为核心的产业集群。2023 年，江苏省石油非发电 CO₂ 排放量为 16533.47 万吨，主要用于交通运输、石化行业等领域。该领域低碳转型难点主要在于：**交通领域新能源转型缓慢、石化行业原料替代困难、碳市场机制激励作用不足、产业结构调整难度大、区域发展不平衡、公众低碳意识有待提高等**。主要路径为：**加快交通基础设施建设、支持石化行业原料创新、强化分散燃油监管与支持等**。

天然气：江苏省天然气消费量居全国之首，主要用于火力发电、工业终端消费和交通运输等领域。2023 年，天然气消费量为 370 亿立方米，非发电领域占比约 40%。该领域低碳转型难点主要在于：**高效设备成本高、天然气供应链压力大、分布式能源碳排放管理滞后**。主要路径为：**加大高效设备补贴力度、加强天然气储运能力建设、完善分布式能源管理制度等**。

2. 发电与智能电网

燃煤与燃气发电：江苏省发电量居全国前列，2023 年发电量为 5827.68 亿千瓦时，其中燃煤及燃气发电占比 75.80%。2024 年，江苏省火电发电装机容量为 10493 万千瓦，占比达到 7.36%。该领域低碳转型难点主要在于：**燃煤电厂减排改造成本高、燃气供应与价格波动压力、新能源消纳能力不足**。主要路径为：**加大低碳改造资金支持、优化天然气供应链布局、提升电网调度能力等**。

新能源发电：江苏省是中国新能源发电的主要省份之一，涵盖了风能、太阳能、生物质能等多种形式。2023 年，新能源发电装机容量约为 7000 万千瓦，占全省总装机容量的 38%。该领域低碳转型难点主要在于：**新能源波动性影响电网稳定性、设备制造环节碳排放较高、生物质燃料供应链管理不足**。主要路径为：**加快储能与电网调度升级、优化新能源设备制造工艺、完善生物质燃料管理体系等**。

智能电网：江苏省是中国智能电网建设的示范区域之一，电网数字化、清洁化和智能化进程持续加快。2023 年，江苏省电网清洁能源接入比例超过 30%，并建成了多个智能电网试点工程。2024 年，江苏省建成我国首个省级数字智慧电网。该领域低碳转型难点主要在于：**智能电网设备制造与运营碳足迹较高、跨区域能源调度与输电协调困难、数字化技术应用推广受限**。主要路径为：**优化智能电网产业链低碳化、加强区域协同与输电优化、推动智能电网技术普及与应用等**。

3. 重点行业

钢铁：钢铁行业是江苏传统优势行业，也是关乎江苏省工业稳定增长，经济平稳运行的重要领域。江苏省作为钢铁大省近年来钢铁产量稳居全国第二，且整体保持增长趋势。该领域低碳转型难点主要在于：**碳排放总量处于高位、产业布局仍待优化、短流程炼钢比例有待提高、低碳技术创新迫在眉睫**。主要路径为：**继续淘汰落后产能、优化钢铁产业布局、继续加大低碳技术投入等**。

有色金属：有色金属行业是江苏省工业产业链重要的组成部分，产品种类多，应用领域广、关联度高，在经济社会发展中发挥着重要作用。江苏有色金属市场主要分为铜、铝、锌、铅等四大类，其中铝产业是江苏有色金属产业的重点。该领域低碳转型难点主要在于：**生产成本不断上升、有色金属再利用效率低、技术装备水平参差不齐**。主要路径为：**促进产业结构优化调整、提高有色金属再生利用比重、加快智能制造建设等**。

石化：石化产业是江苏省的传统产业、支柱产业，经济总量位居全国前列。江苏省的石化行业经过多年的发展，现已形成从炼油、乙烯生产到基础化学原料、合成材料、专用化学品制造等多门类产业体系，石化行业的规模位居全国前列，在地方工业体系中占有重要地位。该领域低碳转型难点主要在于：**产业结构层次**

尚待优化、先发劣势特征依然突显、产业集约水平仍需提升、园区发展缺乏整体规划。主要路径为：提高石化行业工艺及设备能效、实施项目环保节能改造、有序推进用能低碳转型、积极探索园区“低碳”、“零碳”发展模式等。

建筑与建材：建筑业是江苏省支柱产业、优势产业和富民产业。近年来，江苏省建筑业产值稳定增长，产业规模连续保持全国领先。建材行业的主要产品包括水泥和平板玻璃。2024年1月-11月，江苏省水泥产量较去年同期下降10.6%，平板玻璃产量较去年同期增长8.6%。该领域低碳转型难点主要在于：**建材生产资源能源消耗大和污染排放仍相对较高、产业链抗风险能力较弱、建材行业专业人才不足、绿色建材政策和制度尚存缺失。**主要路径为：**严控新增产能、加快绿色建材的推广应用、推动建材产业用能优化、推广节能降碳技术应用、鼓励产业融合发展、发展低碳式建筑等。**

交通运输：江苏省交通领域的发展在全国处于领先地位。2023年江苏省货运总量为32.47亿吨，同比增长11.1%；机动车保有量达2631.8万辆，同比增长7.39%。该领域低碳转型难点主要在于：**能源利用率低、节能减排成本高、运输企业低碳运营能力弱、智能化水平有待提升。**主要路径为：**推动交通运输结构调整、保障新能源车有效推广、提高交通系统集约化水平、坚持政府引导市场主导、倡导绿色出行。**

4. 主要新兴产业

ICT产业（信息和通信技术产业）：江苏是ICT产业发展先进省份，2023年江苏省ICT产业营业收入达2.96万亿元，占全国ICT产业的10.7%，全国排名第二。江苏省ICT产业营业收入较去年增长0.2万亿元，同比增长6.6%，高于全国4.8%的总体水平，继续维持快速增长趋势。该领域低碳转型难点主要在于：**ICT服务业规模相对较小且ICT服务业的碳排放强度相对较高。**主要路径为：**加快数据中心绿色低碳技术研发、不断提高可再生能源电力的使用比例、构建废旧产品回收体系等。**

新能源汽车产业：江苏新能源汽车产业取得良好发展成效，产业规模全国领先，氢燃料电池汽车产业加快起步，新能源汽车推广应用持续深入。2023年江苏新能源汽车年产量达104.7万辆，同比增长52.4%，占全国产量的比重为10.9%。该领域低碳转型难点主要在于：**新能源汽车普及率仍相对不高（包括充电基础配**

套设施建设不足、新能源汽车的安全性和续航能力影响)、**碳排放量增长不容忽视**。主要路径为：**加快推进新能源汽车的普及、完善新能源配套设施建设、加快制氢等上下游技术的研发等。**

制氢产业：江苏制氢资源绝大部分来自化工、钢铁等行业副产氢。在考虑提纯成本、纯度、质量、稳定性、环保等因素情况下，用于燃料电池领域的氢气主要来源于氯碱厂副产氢。江苏省新能源装机大，可再生能源制氢潜力较大；同时江苏省拥有较为完善制氢产业链。该领域低碳转型难点主要在于：**制氢成本高以及制氢方式较为单一**。主要路径为：**加快突破核心技术并完善制氢技术方式、优化发电结构、改善制氢能源结构等。**

5. 农业与生态系统

种植业：江苏省一直是我国重要的粮食主产省份之一，主要粮食作物按照产量依次为水稻、小麦和玉米。2023 年全省粮食产量 3797.70 万吨，位列全国第八。但随着粮食种植格局北移、劳动力成本上升等因素的影响，江苏省粮食产量占全国的比重逐渐降低。该领域低碳转型难点主要在于：**机械化带来的能源消耗成为农业碳达峰的最大不确定因素、农业低碳农业技术面临经济效益问题、农业低碳转型路径与省长负责制粮食安全协调关系问题、种植业主体低碳意识不足问题**。主要路径为：**推动化肥、农药等农业化学投入品减量增效，发展绿色农业；合理引导调整居民膳食方案，同时减少食物损耗与粮食浪费；加强种植业科研攻关、培育新型农民提高农作物种植技术等。**

畜牧业：江苏省畜牧业占全国比重相比种植业较小，且主要畜牧业集中在家庭饲养的羊和猪两类牲畜。该领域低碳转型难点主要在于：**肉蛋奶消费量的增加为畜牧业减排增加阻力、江苏省畜牧业减排体量小且减排措施单一、江苏省畜牧业以散养户户居多导致数据监测困难**。主要路径为：**优化畜牧业的产业结构，减少反刍动物饲养量；发展绿色化养殖技术，推动饲料、粪便低碳化等。**

陆地生态系统：江苏省陆地生态系统总碳储量为 975.72Tg，其中土壤碳储量为 922.03Tg，占有有机碳总储量的 94.5%；森林生态系统总碳储量为 174.81 TgC，草地植物碳储量约 0.138 Tg C，江苏省湖泊的固碳速率约为每年 0.35Tg C。该领域低碳转型难点主要在于：**农业面源污染严重、林地面积较少且增加空间受限、森林结构不合理且龄组比例失调**。主要路径为：**扩张森林面积，为森林碳汇奠**

定坚实基础；发展低碳转型的生态农业，为农业碳汇带来转化路径；用好面积巨大的湿地资源，拓展湿地碳汇；加强陆地生态系统碳收支评估，夯实科技支撑基础。

海洋生态系统：江苏海岸线 954 千米，海域面积约 3.75 万平方千米，占全省土地面积 37%，具有较乐观的储碳量。江苏省 2021 年的海水养殖固碳量约为 5.5 万吨；海岸带沉积物蓝碳储量为 2.02×10^6 吨（1m 深），具有较大的碳储量提升空间；海水养殖贝藻类年碳汇量总体保持在 6-7 万吨。该领域低碳转型难点主要在于：临海工业区的兴起致使滨海湿地剧减、港口开发改变水动力及底质、陆域污水排海与化工迁移使海水环境逐步恶化、海上风电场建设使生物洄游通道受限、养殖拓展与模式更新使微生物量不断失衡。主要路径为：减少近海营养物输入，陆海统筹减排增汇；发展相关技术措施，促进碳酸盐沉淀；推动海洋生态修复和综合养殖，促进人工上升流等。