

# 盐城市重点行业碳排放脱钩及差异化达峰路径

丁旺旺

盐城师范学院数学与统计学院, 中国·江苏 盐城 224000

**摘要:** 以全国首批碳达峰试点城市盐城市为研究对象, 基于 2011—2024 年统计数据, 采用 IPCC 排放因子法、Tapio 脱钩模型、Kaya 恒等式 LMDI 分解与减排脱钩努力指数开展实证分析。结果表明: 全市碳排放由 2011 年的 2851 万吨增至 2024 年的 3678 万吨, 2019 年出现阶段性峰值, 2023—2024 年受火电增发驱动明显反弹, 尚未实现稳定达峰; 不变价碳强度累计下降 50.1%, 能源强度自 2018 年起波动回升; 规上工业直接排放高度集中于电力热力与钢铁两大行业, 合计占 94.5%; 经济增长与碳排放的脱钩状态在 2020—2022 年连续强脱钩后, 于 2023—2024 年逆转为扩张负脱钩, 减排脱钩努力指数连续两年为负。据此提出重点行业分类达峰路径及对策建议。

**关键词:** 碳排放核算; Tapio 脱钩模型; LMDI 分解; 差异化达峰路径; 盐城市

## Key Industries in Yancheng City: Carbon Emission Decoupling and Differentiated Peaking Path

Ding Wangwang

Yancheng teachers university, school of mathematics and statistics, China Jiangsu Yancheng 224000

**Abstract:** Taking Yancheng, one of the first pilot cities for carbon peak in China, as the research object, based on statistical data from 2011 to 2024, empirical analysis was conducted using IPCC emission factor method, Tapio decoupling model, Kaya identity LMDI decomposition and emission reduction decoupling effort index. The results show that the city's carbon emissions increased from 28.51 million tons in 2011 to 36.78 million tons in 2024, with a temporary peak in 2019. From 2023 to 2024, driven by the increase in thermal power generation, there was a significant rebound, and stable peak has not yet been achieved; The cumulative decrease in carbon intensity at constant prices has been 50.1%, while energy intensity has fluctuated and rebounded since 2018; The direct emissions of large-scale industries are highly concentrated in the two major industries of electricity, heat and steel, accounting for a total of 94.5%; The decoupling state between economic growth and carbon emissions has reversed from strong decoupling in 2020-2022 to expansion negative decoupling in 2023-2024, and the emissions reduction decoupling effort index has been negative for two consecutive years. Based on this, propose key industry classification peak paths and countermeasures.

**Keywords:** Carbon emission accounting; Tapio decoupling model; LMDI decomposition; Differentiated peak path; Yancheng City

## 0 引言

实现碳达峰碳中和是党中央统筹国内国际两个大局作出的重大战略决策, 地级市的碳排放治理效能直接影响全国碳达峰进程。2023 年, 国家发展改革委先后印发《国家碳达峰试点建设方案》(发改环资〔2023〕1409 号) 和首批碳达峰试点名单(发改办环资〔2023〕942 号), 盐城市入选全国首批碳达峰试点城市, 系江苏省唯一入选城市。盐城兼具世界自然遗产地的生态禀赋与沿海重化工业集聚的产业特征, 海上风电、光伏发电资源全国领先, 其碳排放演变路径在同类沿海工业城市中具有典型性。摸清重点

行业碳排放底数, 研判碳排放与经济增长的脱钩态势, 设计差异化行业达峰路径, 对盐城及苏北、苏中地区绿色低碳转型具有现实价值。

既有研究可归纳为三条脉络。(1) 以 IPCC 清单指南为代表的排放因子法因数据可得性强、结果可比性好, 成为区域和行业尺度碳排放核算的主流方法, 并在工业园区、民航、造纸等行业得到本土化应用<sup>[1]</sup>。(2) Tapio 脱钩弹性八分法与 LMDI 因素分解的组合框架被广泛用于全国<sup>[1]</sup>、省域<sup>[3]</sup>、城市群、县级市及交通等行业的脱钩判定与驱动机制识别<sup>[4]</sup>, 城市尺度大样本研究进一步揭示了脱钩进程

的非线性与时空异质性<sup>[7]</sup>。(3) 系统动力学、LEAP 等模型被用于模拟达峰时序与峰值水平<sup>[5]</sup>, 分类施策、差异化达峰成为路径设计的共识<sup>[6]</sup>。既有成果仍存在三方面拓展空间: 针对地级市尤其是碳达峰试点城市的系统性实证相对薄弱, 城市尺度研究多聚焦脱钩判定而缺乏与行业核算的贯通<sup>[8]</sup>; 对峰值平台期后的反弹风险缺乏跟踪识别; 行业差异化达峰缺乏分行业核算结果的直接支撑。鉴于此, 本文构建核算、测度、分解与路径设计的完整实证链条, 基于 2011—2024 年全市尺度与 2023—2024 年规上工业分行业尺度统计数据, 核算碳排放总量与结构, 测度脱钩弹性, 分解驱动因素, 评估减排努力效率, 进而研判达峰态势并提出重点行业差异化达峰路径。

## 1 研究方法与数据来源

### 1.1 碳排放核算方法

采用 IPCC (2006)《国家温室气体清单指南》推荐的排放因子法核算化石能源消费的二氧化碳排放, 计算公式为:

$$CE = \sum_j E_j \times NCV_j \times CC_j \times O_j \times \frac{44}{12} \quad (1)$$

式(1)中, CE 为能源消费碳排放总量;  $j$  为能源品种;  $E_j$  为第  $j$  种能源消费量 (式中以下标  $j$  标示);  $NCV_j$  为平均低位发热量, 取自《中国能源统计年鉴》附录;  $CC_j$  为单位热值含碳量, 取自 IPCC (2006) 清单指南;  $O_j$  为氧化率; 44/12 为二氧化碳与碳的分子量之比。电力、热力等二次能源在终端消费环节不直接产生排放, 其排放按发电、供热环节的一次能源投入核算并计入电力热力生产和供应业。碳排放强度 (CI) 为单位 GDP 碳排放量, 计算公式为:

$$CI = \frac{CE}{GDP} \quad (2)$$

式(2)中 GDP 按不变价计算。

### 1.2 Tapio 脱钩模型

采用 Tapio 脱钩弹性指数刻画经济增长 (GI)、能源消耗 (EC) 与碳排放 (CE) 之间的脱钩关系, 计算公式为:

$$\varepsilon_{CE,GI} = (\Delta CE/CE)/(\Delta GI/GI) \quad (3)$$

$$\varepsilon_{EC,GI} = (\Delta EC/EC)/(\Delta GI/GI) \quad (4)$$

$$\varepsilon_{CE,EC} = (\Delta CE/CE)/(\Delta EC/EC) \quad (5)$$

式(3)—(5)中,  $\varepsilon_{CE,GI}$  为碳排放对经济增长的脱钩弹性,  $\varepsilon_{EC,GI}$  为能源消耗对经济增长的脱钩弹性即节能弹性,  $\varepsilon_{CE,EC}$  为碳排放对能源消耗的脱钩弹性即减排弹性, GDP 增速采用不变价增速。依据 Tapio 判

定标准, 以弹性值 0.8 和 1.2 为临界值并结合两个变量的增减方向, 将脱钩状态划分为八种类型: 经济增、排放减且  $\varepsilon < 0$  为强脱钩; 二者同增时,  $0 \leq \varepsilon < 0.8$  为弱脱钩,  $0.8 \leq \varepsilon \leq 1.2$  为扩张链接,  $\varepsilon > 1.2$  为扩张负脱钩。

### 1.3 Kaya 恒等式与 LMDI 因素分解

基于 Kaya 恒等式将碳排放总量分解为四个驱动因素:

$$CE = POP \times \frac{GDP}{POP} \times \frac{EC}{GDP} \times \frac{CE}{EC} \quad (6)$$

式(6)中, POP 为常住人口, 反映人口规模效应; GDP/POP 为人均 GDP (不变价), 反映经济发展效应; EC/GDP 为能源强度, 反映产业结构与能源技术效率效应; CE/EC 为能源碳强度, 反映能源结构低碳化效应。采用 LMDI 加法分解法对式(6)进行无残差分解:

$$\Delta CE = CE^t - CE^0 = \Delta CE_P + \Delta CE_G + \Delta CE_{EI} + \Delta CE_{ECI} \quad (7)$$

各因素贡献量的计算公式为:

$$\Delta CE_x = L(CE^0, CE^t) \times \ln \frac{x^t}{x^0}, L(a, b) = \frac{b-a}{\ln b - \ln a} \quad (8)$$

式(8)中,  $x$  分别代表 POP、GDP/POP、EC/GDP 和 CE/EC,  $L(a, b)$  为对数平均权重函数。

### 1.4 减排脱钩努力指数

基于压力、状态、响应 (PSR) 框架, 将人口增长与经济发展引致的碳排放增量视为压力, 将降低能源强度和能源碳强度实现的减排量视为减排响应, 构建减排脱钩努力指数:

$$ACT = -(\Delta CE_{EI} + \Delta CE_{ECI})/(\Delta CE_P + \Delta CE_G) \quad (9)$$

ACT  $\geq 1$  表明减排响应完全对冲发展压力, 为强脱钩努力;  $0 < ACT < 1$  为弱脱钩努力; ACT  $\leq 0$  为未脱钩努力。该指数仅当分母压力项为正时可有效判定, 分母趋近于零时指数发散, 判读需谨慎; 2020 年人口效应受人口普查数据修订扰动, 该年指数仅作参考。

### 1.5 数据来源与处理

数据来源于历年《盐城统计年鉴》和 2023 年、2024 年《盐城市国民经济和社会发展统计公报》。2011—2022 年常住人口、GDP、能源消费与碳排放序列沿用课题组前期成果《盐城市实现碳中和的关键问题与对策研究》的 IPCC 部门法核算结果; 2023—2024 年常住人口与 GDP 取自统计公报及《盐城统计年鉴 2025》, 能源消费总量按规上工业综合能源消费量加非工业部门能耗 (按非工业用电量增速外推, 2024 年约 1030.5 万吨标煤) 估算, 碳排放按化石能源消费量乘平均碳排放系数 (2022 年实际值 2.3361 吨/吨标煤) 估算, 化石能源消费量为能耗总量扣除新能源发电折标煤 (等价值口径 2.622 万吨标煤/亿千瓦时)

后的余额，2024 年约 1574.1 万吨标煤。系数  $\pm 2\%$  扰动下，2024 年碳排放落于 3604 万~3751 万吨区间；按规上工业燃料投入全口径核算的排放增速（16.2%）高于上述估算（9.8%），两个方向的参照均不改变反弹态势判断。需要说明的是，全市总量序列（序列 A）为能源消费总量口径，规上工业分行业核算（序列 B）为燃料投入全口径，两者边界不同、不可直接比较；主要桥接因素为电力净输出，2024 年盐城全社会发电量 606.0 亿千瓦时，用电量 515.4 亿千瓦时，净输出约 90.6 亿千瓦时，外送电力对应的发电燃料排放约 500 万吨量级，解释了序列 B（4024.8 万吨）高于序列 A（3677.5 万吨）的口径落差。序列 A 用于总量趋势与脱钩、分解分析，序列 B 用于行业结构分析。分行业排放依据年鉴 10-18、10-20、10-21 表按式（1）核算；为避免重复计算，高炉煤气、转炉煤气等副产煤气未计入；不含外购电力、热力间接排放及工业过程排放。

2 盐城市碳排放核算结果分析

2.1 全市碳排放总量与强度演变特征

2011—2024 年盐城市人口、经济、能源与碳排放主要指标如表 1 和图 1 所示。

从总量看，碳排放演变经历三个阶段：2011—2013 年快速增长，由 2851 万吨增至 3255 万吨，年均增速 6.9%；2014—2022 年波动达峰与平台期，2014 年、2016 年、2017 年多次回落，2018—2019 年受焦炭消费扩张拉动再度冲高，2019 年达到阶段性峰值 3212 万吨，2020—2022 年稳定在 3110 万~3131 万吨区间；2023—2024 年反弹上升，分别增至 3348 万吨和 3678 万吨，同比增长 7.7% 和 9.8%，突破前期峰值，尚未实现稳定达峰。反弹的直接驱动来自

电力部门：2023—2024 年全社会发电量由 523.7 亿千瓦时增至 606.0 亿千瓦时，年均增长 15% 以上，尽管新能源发电量由 279.2 亿千瓦时增至 311.8 亿千瓦时、占全社会用电量比重由 57.9% 升至 60.5%，但火电增量仍超过新能源发电增量，带动发电用煤大幅增长。

从强度看，碳强度由 2011 年的 1.029 吨 / 万元持续降至 2022 年的 0.485 吨 / 万元，累计下降 52.9%，2023—2024 年受排放反弹影响回升至 0.493 和 0.514 吨 / 万元，截至 2024 年累计下降 50.1%；能源强度由 0.490 吨标煤 / 万元降至 2017 年的低点 0.284 吨标煤 / 万元，2018 年起波动回升，2024 年升至 0.334 吨标煤 / 万元，累计降幅收窄至 31.8%，反映新投产高耗能项目对全市能效水平的稀释效应；能源碳强度由 2.100 吨 / 吨标煤波动降至 1.538 吨 / 吨标煤，累计下降 26.8%，凸显新能源对能源结构低碳化的持续贡献。按现价口径横向比较，2022 年盐城碳排放强度约 0.439 吨 / 万元，仅为同期全国水平（约 0.89 吨 / 万元）的一半左右，低强度、高新能源占比是盐城碳排放禀赋的突出特征。

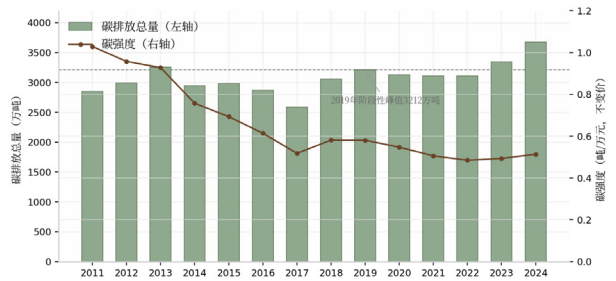


图 1 2011—2024 年盐城市碳排放总量与碳强度（不变价）演变

表 1 2011—2024 年盐城市人口、经济、能源消耗与碳排放主要指标

| 年份   | 常住人口（万人） | GDP 现价（亿元） | GDP 不变价（亿元） | 能源消费总量（万吨标煤） | 碳排放总量（万吨） | 能源强度（吨标煤 / 万元） | 能源碳强度（吨 / 吨标煤） | 碳强度（吨 / 万元） |
|------|----------|------------|-------------|--------------|-----------|----------------|----------------|-------------|
| 2011 | 724.0    | 2770.7     | 2770.7      | 1357.7       | 2851.1    | 0.490          | 2.100          | 1.029       |
| 2012 | 721.9    | 3119.4     | 3122.6      | 1421.7       | 2991.4    | 0.455          | 2.104          | 0.958       |
| 2013 | 722.3    | 3474.9     | 3506.7      | 1551.7       | 3255.2    | 0.443          | 2.098          | 0.928       |
| 2014 | 722.6    | 3835.0     | 3888.9      | 1438.3       | 2945.6    | 0.370          | 2.048          | 0.757       |
| 2015 | 723.1    | 4211.9     | 4297.2      | 1467.4       | 2980.7    | 0.341          | 2.031          | 0.694       |
| 2016 | 723.8    | 4575.3     | 4675.4      | 1476.2       | 2870.9    | 0.316          | 1.945          | 0.614       |
| 2017 | 724.5    | 4989.3     | 4993.3      | 1419.0       | 2586.9    | 0.284          | 1.823          | 0.518       |
| 2018 | 720.3    | 5486.1     | 5267.9      | 1592.4       | 3061.1    | 0.302          | 1.922          | 0.581       |
| 2019 | 721.2    | 5700.9     | 5531.3      | 1675.0       | 3211.7    | 0.303          | 1.917          | 0.581       |
| 2020 | 671.3    | 5951.8     | 5719.4      | 1754.8       | 3130.5    | 0.307          | 1.784          | 0.547       |
| 2021 | 671.6    | 6615.7     | 6148.3      | 1901.4       | 3110.9    | 0.309          | 1.636          | 0.506       |
| 2022 | 669.3    | 7078.4     | 6412.7      | 2026.2       | 3109.9    | 0.316          | 1.535          | 0.485       |
| 2023 | 668.9    | 7432.9     | 6784.7      | 2165.2       | 3348.2    | 0.319          | 1.546          | 0.493       |
| 2024 | 667.1    | 7779.2     | 7157.8      | 2391.6       | 3677.5    | 0.334          | 1.538          | 0.514       |

注：GDP 不变价以 2011 年为基期，依据《盐城统计年鉴 2025》2-11 表地区生产总值环比指数（上年=100，第五次全国经济普查修订口径）链式推算；能源强度与碳强度均按不变价 GDP 计算；2020 年常住人口为第七次全国人口普查修订数。

2.2 重点行业碳排放核算结果

核算 2023—2024 年规上工业分行业化石燃料直接碳排放，结果如表 2 所示。2024 年规上工业直接排放 4024.8 万吨，较 2023 年增长 16.2%。行业结构高度集中：电力热力生产和供应业排放 3340.9 万吨，占 83.0%，同比增长 21.5%，对全部排放增量的贡献率达 105.2%；黑色金属冶炼和压延加工业排放 463.3 万吨，占 11.5%，同比下降 3.8%；两大行业合计占 94.5%。化学纤维、非金属矿物制品业分居第三、四位，占比分别为 2.5% 和 1.8%。盐城工业减排的关键在于电力热力与钢铁两大行业，电力热力行业的排放走势直接决定全市达峰进程。

3 脱钩弹性测度与驱动因素分解

3.1 脱钩状态演变分析

2012—2024 年脱钩弹性测算结果如表 3 所示。

经济增长与碳排放的脱钩关系呈总体改善、阶段反复的演变特征。2012—2022 年，除 2018 年因焦炭消费大幅扩张出现扩张负脱钩、2019 年处于扩张链接外，其余年份均处于强脱钩或弱脱钩状态，2020—2022 年连续三年强脱钩，反映新能源大规模替代使碳排放在经济持续增长背景下保持零增长或负增长。2023—2024 年脱钩状态逆转为

扩张负脱钩，弹性系数分别升至 1.32 和 1.79，碳排放增速连续超过经济增速。从弹性分解看，节能弹性同期分别达 1.18 和 1.90，经济增长对能源消耗的依赖重新走强，是脱钩逆转的深层原因；减排弹性维持在 0.94~1.12 的扩张链接区间，新能源对新增能耗的覆盖能力已被火电增发稀释。2022—2024 年盐城全社会用电量年均增长约 7.2%，新能源发电量年均增长约 8.5%，两者已十分接近，增量替代的边际空间明显收窄。

3.2 碳排放驱动因素分解

采用 LMDI 加法分解法测度人口规模、经济发展、能源强度和能源碳强度对碳排放变动的贡献，结果如表 4 和图 2 所示。

2011—2024 年全市碳排放累计增加 826.4 万吨。经济发展是最主要的正向驱动因素，累计引致排放增加 3148.6 万吨；能源强度下降是最主要的抑制因素，累计减排 1106.2 万吨；能源碳强度下降次之，累计减排 957.6 万吨；人口净流出累计减排 258.4 万吨。其中，2020 年人口效应（-227.4 万吨）主要源于第七次全国人口普查对常住人口口径的修订，属统计口径调整而非真实人口变动引致的减排，剔除该年扰动后人口效应累计仅减排 31.1 万吨，

表 2 2023—2024 年盐城市规模以上工业重点行业化石燃料直接碳排放

| 行业           | 2023 年（万吨） | 2024 年（万吨） | 增量（万吨） | 2024 年占比（%） |
|--------------|------------|------------|--------|-------------|
| 电力热力生产和供应业   | 2749.2     | 3340.9     | 591.8  | 83.0        |
| 黑色金属冶炼和压延加工业 | 481.4      | 463.3      | -18.1  | 11.5        |
| 化学纤维制造业      | 93.2       | 102.3      | 9.1    | 2.5         |
| 非金属矿物制品业     | 69.5       | 73.2       | 3.7    | 1.8         |
| 金属制品业        | 35.0       | 13.1       | -21.9  | 0.3         |
| 农副食品加工业      | 9.2        | 6.6        | -2.6   | 0.2         |
| 纺织业          | 5.1        | 4.3        | -0.9   | 0.1         |
| 其他行业合计       | 19.8       | 21.2       | 1.3    | 0.5         |
| 规上工业合计       | 3462.5     | 4024.8     | 562.3  | 100.0       |

注：为避免与焦炭、原煤所含碳重复计算，高炉煤气、转炉煤气等副产煤气未计入；不含外购电力、热力间接排放；分项经四舍五入，分项之和与合计存在尾差。

表 3 2012—2024 年盐城市脱钩弹性指数及脱钩状态

| 年份   | $\varepsilon$ （碳排放，GDP） | 脱钩状态  | $\varepsilon$ （能源，GDP） | 节能脱钩状态 | $\varepsilon$ （碳排放，能源） | 减排脱钩状态 |
|------|-------------------------|-------|------------------------|--------|------------------------|--------|
| 2012 | 0.39                    | 弱脱钩   | 0.37                   | 弱脱钩    | 1.04                   | 扩张链接   |
| 2013 | 0.72                    | 弱脱钩   | 0.74                   | 弱脱钩    | 0.96                   | 扩张链接   |
| 2014 | -0.87                   | 强脱钩   | -0.67                  | 强脱钩    | 1.30                   | 衰退脱钩   |
| 2015 | 0.11                    | 弱脱钩   | 0.19                   | 弱脱钩    | 0.59                   | 弱脱钩    |
| 2016 | -0.42                   | 强脱钩   | 0.07                   | 弱脱钩    | -6.14                  | 强脱钩    |
| 2017 | -1.46                   | 强脱钩   | -0.57                  | 强脱钩    | 2.55                   | 衰退脱钩   |
| 2018 | 3.33                    | 扩张负脱钩 | 2.22                   | 扩张负脱钩  | 1.50                   | 扩张负脱钩  |
| 2019 | 0.98                    | 扩张链接  | 1.04                   | 扩张链接   | 0.95                   | 扩张链接   |
| 2020 | -0.74                   | 强脱钩   | 1.40                   | 扩张负脱钩  | -0.53                  | 强脱钩    |
| 2021 | -0.08                   | 强脱钩   | 1.11                   | 扩张链接   | -0.08                  | 强脱钩    |
| 2022 | -0.01                   | 强脱钩   | 1.53                   | 扩张负脱钩  | -0.01                  | 强脱钩    |
| 2023 | 1.32                    | 扩张负脱钩 | 1.18                   | 扩张链接   | 1.12                   | 扩张链接   |
| 2024 | 1.79                    | 扩张负脱钩 | 1.90                   | 扩张负脱钩  | 0.94                   | 扩张链接   |

注：弹性系数保留两位小数；脱钩状态依据 Tapio 判定标准以 0.8、1.2 为临界值划分。

表 4 2012—2024 年盐城市碳排放驱动因素 LMDI 分解结果（万吨）

| 年份            | 人口效应   | 经济效应   | 能源强度效应  | 能源碳强度效应 | 合计     |
|---------------|--------|--------|---------|---------|--------|
| 2012          | -8.5   | 357.7  | -214.7  | 5.8     | 140.3  |
| 2013          | 1.7    | 360.4  | -89.0   | -9.3    | 263.8  |
| 2014          | 1.3    | 319.2  | -555.6  | -74.5   | -309.6 |
| 2015          | 2.0    | 293.8  | -236.5  | -24.3   | 35.1   |
| 2016          | 2.8    | 243.9  | -229.2  | -127.3  | -109.8 |
| 2017          | 2.6    | 176.7  | -287.1  | -176.3  | -284.0 |
| 2018          | -16.4  | 167.2  | 174.0   | 149.4   | 474.2  |
| 2019          | 3.9    | 149.1  | 5.6     | -8.0    | 150.6  |
| 2020          | -227.4 | 333.4  | 41.6    | -228.8  | -81.2  |
| 2021          | 1.4    | 224.3  | 24.7    | -270.0  | -19.6  |
| 2022          | -10.7  | 141.6  | 66.8    | -198.7  | -1.0   |
| 2023          | -1.9   | 183.9  | 32.2    | 24.1    | 238.3  |
| 2024          | -9.5   | 197.4  | 161.2   | -19.8   | 329.3  |
| 累计（2012—2024） | -258.4 | 3148.6 | -1106.2 | -957.6  | 826.4  |

注：分解基于不变价 GDP 口径链式逐年进行；分项经四舍五入，合计列为实际排放增量；累计行为各年链式分解结果的逐年加总。

实际影响有限。从阶段演变看，两个抑制因素此消彼长：2014—2017 年能源强度效应占主导，年均减排约 327.1 万吨；2020—2022 年能源碳强度效应接替成为减排主力，年均减排约 232.5 万吨，对应新能源装机的爆发式增长。但 2023—2024 年能源强度效应连续两年由负转正（分别为 32.2 万吨、161.2 万吨），高耗能项目集中投产使能效红利转为排放压力；2023 年能源碳强度效应短暂转正（24.1 万吨），2024 年其减排贡献收窄至 -19.8 万吨。两大抑制因素同步弱化，是碳排放反弹的结构性根源。

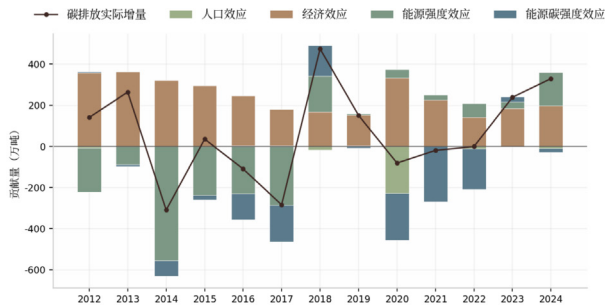


图 2 2012—2024 年盐城市碳排放驱动因素 LMDI 分解贡献结构

3.3 减排脱钩努力分析

依据式（9）测算减排脱钩努力指数。2012—2022 年，盐城市 ACT 指数有 6 年大于 1，2014 年、2016 年、2017 年、2020 年、2021 年、2022 年分别为 1.97、1.45、2.58、1.77、1.09、1.01，呈强脱钩努力状态，显示新能源替代驱动下的高强度减排行动；2018 年 ACT 为 -2.14，对焦炭消费扩张引致的排放冲高未能形成有效对冲；2019 年 ACT 为 0.02，因压力项趋近于零而处于临界状态，判读意义有限。2023—2024 年，ACT 指数分别为 -0.31 和 -0.75，连续两年处于未脱钩努力状态且负向程度加深，表明降低能源强度与能源碳强度实现的减排量已无法对冲经济发展引

致的排放增量，减排行动的边际效率显著下降。

4 差异化达峰路径研判与对策建议

4.1 达峰态势研判

综合实证结果，盐城市碳排放呈现三个新特征：总量上突破前期峰值，2024 年碳排放较 2019 年阶段性峰值高出 14.5%；动力上由新能源替代驱动转为火电增发驱动，电力热力行业贡献了 2024 年规上工业全部排放增量；机制上能源强度效应与能源碳强度效应两大减排通道同步弱化，减排脱钩努力转负。据此研判：自然演进情景下，若碳排放延续 2023—2024 年年均约 8.8% 的增速，2025—2026 年排放总量将突破 4000 万吨，达峰时点存在延后至 2028—2030 年的风险；强化管控情景下，若能将电力热力行业排放增速控制在 5% 以内并保持新能源年均 10% 以上的增量替代，使全市碳排放年均增速降至 1% 左右，则 2027 年排放约 3789 万吨、2028 年约 3827 万吨，有望在 2027—2028 年实现稳定在 3800 万吨左右的平台式达峰。上述判断为基于当前趋势的定量外推，尚需引入情景模拟模型进一步验证。

4.2 重点行业分类达峰路径

依据分行业排放核算结果、能耗变动趋势及减排潜力，将盐城市重点行业划分为四类达峰路径。

（1）重点管控类为电力热力生产和供应业。该行业占规上工业排放的 83.0% 且仍在快速增长，是决定全市达峰时点的关键环节。路径为严控增量、优化存量、增量替代：严控新增煤电规模，新建机组严格执行等容量替代与最低供电煤耗标准；推进现役机组节能降碳、供热和灵活性改造的三改联动；扩大海上风电、光伏、储能和智能电网等清洁电力供给，确保新能源发电增量重新覆盖全社会用电增量，推动行业排放 2027 年前后进入平台期。

(2) 率先达峰类为黑色金属冶炼和压延加工业。该行业 2024 年综合能耗下降 14.2%、排放下降 3.8%，已具备率先达峰基础。路径为产能约束与流程再造：严格落实产能置换与产量调控，有序提升废钢短流程电炉炼钢比重，推进高炉煤气、转炉煤气高效回收利用，前瞻布局氢冶金示范，力争行业排放 2025—2026 年稳定达峰并进入下降通道。

(3) 同步达峰类为化学纤维、非金属矿物制品、化学原料和化学制品、造纸等行业。此类行业直接排放占比合计约 4.4%，能耗增速平缓。路径为能效对标与燃料替代：实施单位产品能耗限额对标管理，推广高效电机、余热余压回收等节能技术，推进燃煤锅炉清洁能源替代与生物质耦合利用，力争与全市同步达峰。

(4) 低碳发展类为电气机械、汽车、电子设备、通用及专用设备新能源装备与先进制造业。此类行业排放占比不足 1% 而增长强劲。路径为总量不设定、强度严约束：实施单位增加值能耗与碳排放强度准入管理，鼓励绿电直供与零碳园区建设，以低碳增量稀释全市排放强度。

## 5 结论与建议

本文对全国首批碳达峰试点城市盐城开展核算、测度、分解与路径设计的贯通式实证研究。主要结论如下：

(1) 全市碳排放总量由 2011 年的 2851 万吨增至 2024 年的 3678 万吨，2019 年出现阶段性峰值后进入平台期，2023—2024 年受火电增发驱动明显反弹，尚未稳定达峰；按不变价计算，碳强度、能源强度、能源碳强度累计分别下降 50.1%、31.8% 和 26.8%。(2) 规上工业直接排放高度集中，2024 年电力热力和钢铁两大行业合计占 94.5%，前者同比增长 21.5%、贡献全部排放增量，后者已进入下降通道。(3) 经济增长与碳排放的脱钩状态在 2020—2022 年连续三年强脱钩后，2023—2024 年逆转为扩张负脱钩，新能源增量替代空间明显收窄。(4) 经济发展是排放增长的首要驱动，能源强度与能源碳强度下降是主要抑制因素，但 2023—2024 年能源强度效应由负转正、减排脱钩努力指数连续两年为负，既有减排路径的边际效率显著衰减。据此提出电力热力行业重点管控、钢铁行业率先达峰、传统高耗能行业同步达峰、新能源装备制造制造业低碳发展的分类达峰路径及配套对策。

主要建议如下：(1) 健全碳排放统计核算与预警体系，建立分行业、分品种的碳排放月度监测与年度核算制度，将脱钩弹性系数、减排脱钩努力指数纳入双碳工作考核的预警指标，对平台期反弹风险实行分级预警管理。

(2) 实施能源消耗与碳排放双控的差异化分解，对电力热力、钢铁等管控类行业设定排放总量上限，对低碳发展类行业仅约束强度，避免一刀切限控损伤绿色产业动能。

(3) 强化新能源供给与消纳能力建设，加快海上风电、光伏基地及配套储能、送出工程建设，扩大绿电交易规模，重塑新增用能由新能源覆盖的增量替代格局。(4) 以市场机制放大减排激励，组织重点排放行业企业深度参与全国碳排放权交易市场，发展绿色金融支持钢铁行业流程再造与煤电三改联动。第四条建议属于基于实证结论的引申性政策讨论，其效果有待专门研究检验。

## 参考文献：

- [1] 张江艳. 基于扩展 STIRPAT 模型 LMDI 分解的碳排放脱钩因素[J]. 环境科学, 2024,45(4):1888-1897.
- [2] 陈四瑜, 刘晶茹, 孙光明. 基于脱钩指数的工业园区碳排放与经济发展关系[J]. 环境科学, 2023,44(11):6412-6420.
- [3] 葛青秀, 杨萍果, 蒲英霞. 中国省域交通运输碳排放脱钩状态及其驱动因素[J]. 环境科学, 2025,46(4):2009-2019.
- [4] 邵志国, 李可心, 李梦笛. 双碳背景下中国交通运输业碳排放驱动因素及脱钩效应[J]. 中国环境科学, 2025, 45(1):571-582.
- [5] 陈涛, 李晓阳, 陈斌. 双碳目标下交通运输业碳排放脱钩效应与峰值预测[J]. 交通运输工程学报, 2024, 24(4):104-116.
- [6] 赵鑫宇, 张庭婷, 谢晓敏等. 长三角地区碳排放驱动因素及脱钩分析[J]. 环境科学研究, 2025,38(4):767-776.
- [7] ZHANG J, LEI L, MU Y, et al. Unraveling the decoupling mechanisms and nonlinear drivers of carbon emissions in Chinese cities[J]. Ecological Indicators, 2025, 179: 114157.
- [8] WENG Z, XU M, LI J, et al. Carbon decoupling and drivers decomposition under the carbon neutrality target: Evidence from county-level cities in China[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2025, 222: 108465.

基金项目：盐城市社科基金项目“盐城市重点行业碳排放核算、脱钩弹性测度及差异化达峰路径研究”（26skA227）。

作者简介：丁旺旺（1985—），男，汉族，江苏盐城，统计学博士，讲师，研究方向：经济统计。