

# 地方碳中和规划——河南省案例

## 一、经济发展现状与减排基础

河南省作为黄河流域生态保护和高质量发展战略核心省份、中原经济区枢纽，兼具农业大省与工业重镇双重属性，其碳中和进程对国家“双碳”目标实现具有关键示范意义。全省总面积 16.7 万平方公里，2024 年常住人口 9785 万人，城镇化率 59.22%，实现 GDP 63589.99 亿元，三次产业结构优化为 8.6:38.3:53.1，但能源结构长期“偏煤”（2024 年化石能源占比 74.4%）、产业结构“偏重”（高耗能行业占工业碳排放 80%以上），2028 年左右将迎来能源相关碳排放峰值（591Mt），碳中和转型需兼顾经济增长与生态约束，任务艰巨且路径清晰。

河南省可再生能源资源禀赋突出，太阳能资源呈“北高南低”分布，南阳、安阳等地光伏最大发电量局部达 4MWh/km<sup>2</sup>；风能资源“东强西弱”，周口、南阳等地年最大发电量超 7000 万 MWh；生物质资源、地热能丰富。能源消费方面，第二产业用电占比 55.7%，火电仍占电力供应主力，能源结构转型任重道远。

河南省碳排放总量在 2004 年至 2012 年间持续攀升，随后进入高位平稳期，排放量稳定在 550Mt 左右（图 1）。碳排放强度整体呈现“先升后降”的趋势（图 2）。与 2004 年相比，2024 年河南省碳排放强度降低近 70%，经济发展模式逐步从高能耗驱动向绿色低碳方向转型。

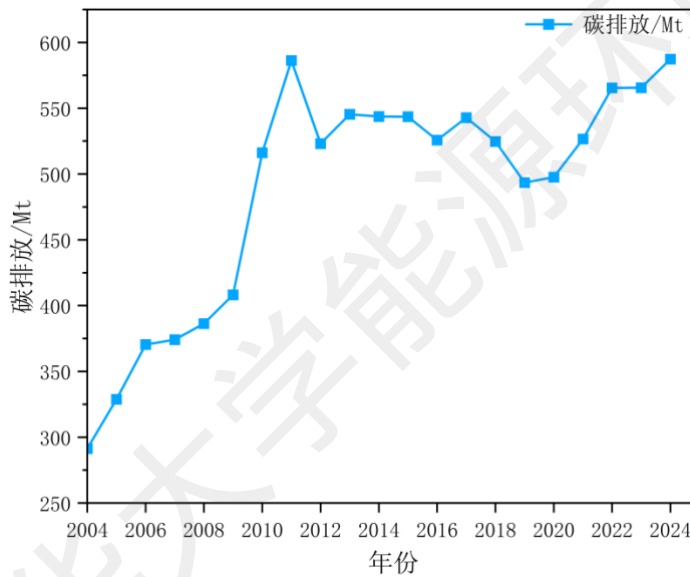


图 1 河南省碳排放情况（2000-2024 年）

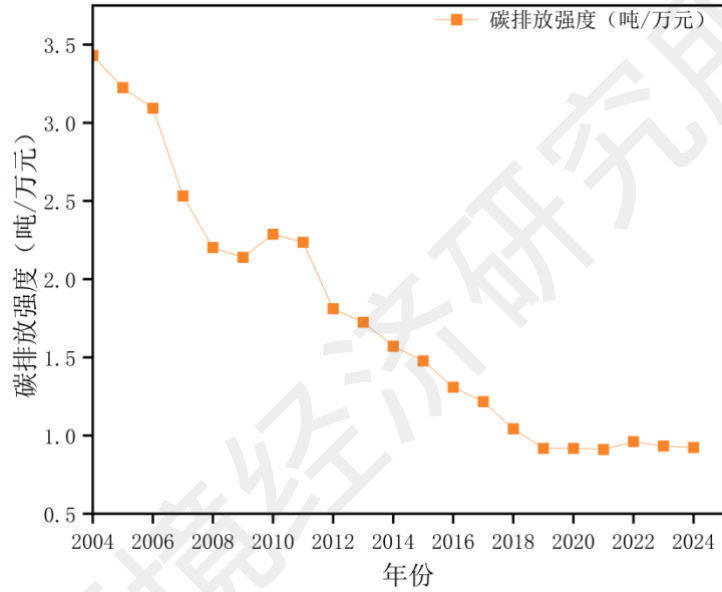


图 2 河南省碳排放强度分布 (2000 年—2024 年)

分行业来看 (图 3)，电力与热力行业是最大的碳排放源。2010 年之前，伴随经济高速增长与用电需求大幅上升，该行业碳排放持续增加。2010 年后，通过关停小型火电机组、推进技术改造等措施，行业碳排放强度显著下降，但排放总量仍处于较高水平。近年来，尽管风电、光伏等可再生能源装机容量增长迅速，但煤电在电力系统中承担的基础负荷与调节功能短期内仍难以被完全替代。制造业是第二大碳排放来源，其内部结构呈现明显差异。其中，非金属矿物制造业 (以水泥、玻璃为主)、黑色金属制造业占比较高。在 2000 - 2024 年间，多数制造业碳排放量均呈上升态势，这与河南省快速推进的工业化与城镇化进程密切相关。

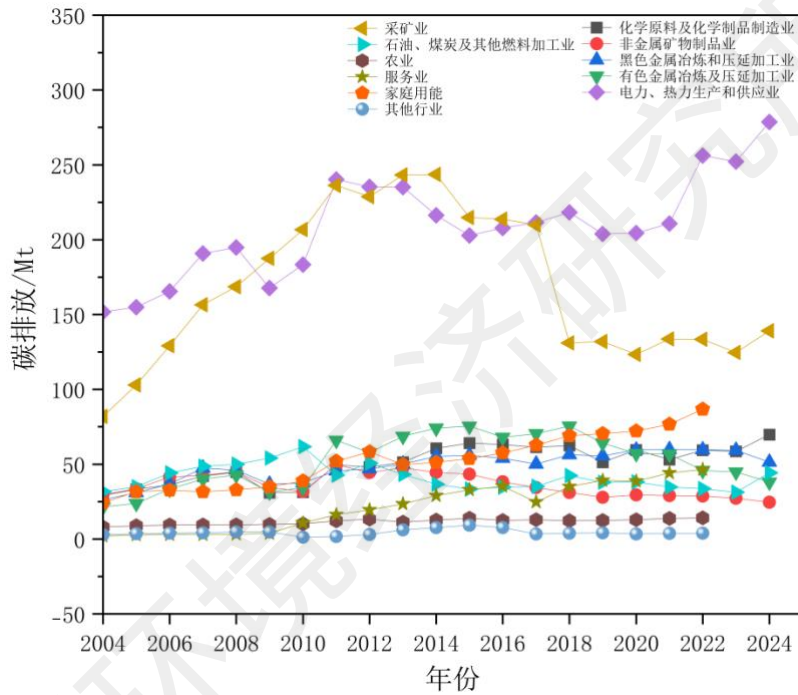


图 3 河南省分行业碳排放

在城市尺度上，碳排放呈现显著差异。郑州、洛阳、安阳等豫中、豫北工业城市排放总量较高，而信阳、南阳等豫南农业主导型城市排放强度相对较低。河南省碳汇总量的变化在 2004 - 2024 年间整体呈波动上升的趋势，2024 年达 277.58 Mt。南阳、信阳等豫南地区碳汇基础较好，整体分布呈“南高北低”的空间格局。

河南省碳平衡收支比在 2004 - 2024 整体呈现下降趋势，总体上仍处于碳失衡状态。2020 年之后，碳平衡收支比逐渐稳定，河南省的碳控排措施逐渐显效，能源结构优化与生态保护工作推动碳收支进入一个新的、相对稳定的动态平衡阶段。各地市的碳平衡量呈梯度分异特征，郑州、开封、洛阳等市的碳失衡程度较高，南阳、信阳与三门峡等市的碳失衡程度中等。

当前河南省在推动低碳转型过程中面临产业与能源结构的路径锁定以及低碳技术增长乏力等挑战。能源消费结构偏煤，减排压力长期存在；重化工业基础雄厚，高排放行业集中度高；区域发展不均衡，低碳转型能力差异显著；消费侧排放增长较快，低碳生活转型相对滞后；碳汇波动性较大，碳收支长期处于赤字状态。

## 二、目标制定

结合河南省实现碳达峰与碳中和目标的实际情况，全面评估经济发展水平、能源资源禀赋及产业结构特征，强化碳排放强度下降目标，明确碳排放总量控制路径，持续优化能源结构，推动重点行业绿色低碳转型，并充分发挥市场机制的激励作用。在此基础上，将目标分为近期（2030年前）、中期（2031~2035年）两个阶段，逐步实现碳达峰和碳中和目标，确保减排目标科学、合理、可操作。

本研究采用的计算方法为递归动态多部门多区域可计算一般均衡模型——C-REM4.0版本，其在省级层面上刻画中国30省区20个生产部门的经济和能源系统，并以生产函数的形式刻画了多种可供选择的能源技术。采用参考情景及碳中和情景进行对比分析实现河南省碳中和目标下的经济发展趋势。参考情景即基准情景，其中2030年前的碳减排力度按照我国2015年在巴黎气候变化大会上承诺的到2030年的碳减排承诺设置，2030年后的减排力度假设延续相同的力度；碳中和情景反映我国实现2060年碳中和目标的政策力度。河南省碳排放轨迹设置2℃目标下中国典型碳中和路径—Tsinghua-CMA路径<sup>1</sup>，该路径将巴黎协定全球温升控制目标与中国目前的二氧化碳排放状况和减缓政策相协调，得出了成本相对可接受的中国二氧化碳排放轨迹。该路径下中国在2028-2029年左右达到二氧化碳排放峰值，2060年能源燃烧与工业过程二氧化碳排放降低至约9亿吨，能源燃烧二氧化碳排放降低至约8亿吨。

在全国情景假设基础之上，参考已有研究，将全国路径分解到中国各省，对河南省近期碳排放变化特征、经济发展趋势进行假设，结合河南省发展阶段、资源禀赋、战略定位、生态环境等因素，并根据“十三五”期间的表现进行调整，得到碳中和情景下河南省的年平均二氧化碳强度降低率（表1）。

**表1 碳中和目标下河南CO<sub>2</sub>排放强度降低率(%/年)**

	近期	中期		远期			
年份	2025— 2030	2031— 2035	2036— 2040	2041— 2045	2046— 2050	2051— 2055	2056— 2060
降低率	4.6	6.4	8.3	10.3	12.4	14.6	16.5

<sup>1</sup> Zhang D, Huang X D, Zhong J T, et al., 2023. A representative CO<sub>2</sub> emissions pathway for China toward carbon neutrality under the Paris Agreement's 2℃ target[J]. *Advances in Climate Change Research*, 14(6): 941-951.

河南省二氧化碳总排放量目标见图 4。在碳中和情景下，其化石能源燃烧和工业过程碳排放将于 2028 年前后达峰，峰值为 591Mt，随后呈现下降趋势。2035 至 2040 年碳排放有明显下降，到 2060 年降至 39Mt，因此河南省有望在未来实现能源相关碳排放与林业和耕地碳汇相抵消，最终实现碳中和。

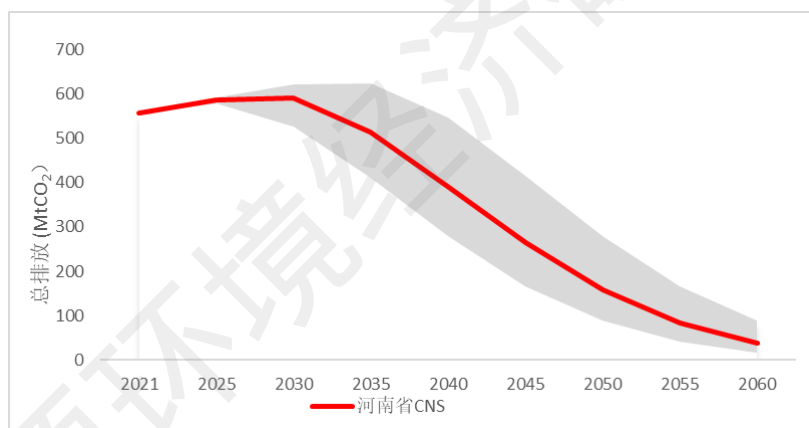


图 4 2021~2060 年河南省二氧化碳总排放量

碳中和情景下，河南省高碳行业比重锐减，实现了经济结构转型，其他主要行业也逐渐实现了绿色发展。一次能源消费量整体保持平稳下降趋势，2060 年消费总量为 290Mt，较 2030 年的 318Mt 下降约 9%。从单位能耗上来看，河南省在碳中和情景下的单位 GDP 能耗逐年降低，且 2030 年单位能耗年均下降率为 3%，2060 年达到了 4%。从结构上看，在河南省未来化石能源消费占比稳步降低，能源消费结构也将持续向清洁低碳转型。煤炭消费比重从 2030 年的 52% 大幅下降至 2060 年的 9%；天然气和石油消费均在 2035 年左右达峰，其后逐年下降至 2060 年的 3% 和 4%。一次电力消费逐年上升，从 2030 年的 19% 快速增长，至 2050 年占比突破 50%，2060 年比重高达 84%。

基于模型分析，对河南省不同时期提出以下目标。（1）近期（2030 年前）：2028 年左右实现能源相关碳排放达峰（峰值 591Mt），2030 年单位 GDP 碳排放较 2020 年下降 45%，非化石能源消费占比 50%，重点行业全部按期达峰。

（2）中期（2031-2035 年）：2040 年碳排放较峰值下降 13%（至 514Mt），一次能源消费达峰后稳步下降，煤炭占比降至 40% 以下，CCUS、氢能等技术规模化应用。

### 三、重点行业减排路径与措施

主要考虑高耗能行业与新兴产业的低碳发展。作为全国重要的能源基地和工业大省，河南省的高耗能行业（煤炭开采和洗选业、化学原料与化学制品制造业、非金属矿物制品业、黑色金属冶炼和压延加工业、有色金属冶炼和压延加工业、电力、热力生产和供应业）既是支撑区域经济增长的核心支柱，也是能源消耗和碳排放的主要来源，其低碳转型成效直接决定全省“双碳”目标的实现进程与工业高质量发展的成色。受长期形成的“资源型、重化型”产业结构影响，六大高耗能产业仍面临传统生产工艺路径依赖深、低碳技术研发与转化成本高、绿色能源保障能力不足等多重瓶颈。

**煤炭开采和洗选业：**河南省是我国主要的煤炭大省和大型煤炭基地，煤炭资源相对丰富，但可开发的后备资源不足，基础储量下降较快。目前，正处于由传统的规模扩张向高质量、绿色化、可持续转型的关键阶段，在“双碳”背景下行业重点转向优化存量和提升效率。2024年，河南原煤产量全国占比为2.18%，居全国前列。“十四五”以来，随着国家对于能源安全与绿色低碳发展要求的不断提高，河南省煤炭行业加速向“安全、高效、绿色、智能”方向迈进，且煤炭开采和洗选业的产业结构优化成效显著。该领域的低碳转型难点主要包括：产业结构转型存在“路径锁定”效应、减排技术的经济可行性面临挑战、相关环境政策协调存在困境。主要对策包括：实施产业系统性重构、完善技术-经济驱动机制、健全政策协同体系等。

**化学原料与化学制品制造业：**河南省是我国中部地区重要的化学品生产基地，依托本地丰富的煤炭、盐矿等资源，形成了以煤化工、盐化工为主导的产业体系。其产业内集群效应显著且覆盖范围广，规模以上化工企业有1300多家，化工行业规模达4000亿元。然而，当前基础原料产能结构性过剩、资源环境约束趋紧等问题逐渐凸显，正处于由规模扩张向高端化、绿色化、精细化转型的关键阶段。河南省化学原料与化学制品制造业的碳排放强度与能源消耗水平均高于全国工业平均水平，减排压力显著。该领域的低碳转型难点主要包括技术瓶颈突出以及能源与成本问题。主要对策包括：加强技术创新、加快化工行业数字化转型、优化能源与成本管理等。

**非金属矿物制品业：**非金属矿物制品业是河南省工业经济的重要组成部分，

涵盖水泥、玻璃、陶瓷、耐火材料等多个细分领域。近年来，河南省非金属矿物制品业依托省内丰富的非金属矿产资源（如石灰石、石英砂、黏土等），产业规模稳步扩大，行业竞争力不断提升。该领域的低碳转型难点主要包括存在产业结构与规模制约、技术应用与创新短板、区域协同与政策适配不足、资源与能源结构限制。主要对策包括：优化产业结构，平衡规模与低碳；强化技术驱动，破解创新与应用瓶颈；完善区域协同，提升政策精准性；推动能源与资源低碳化等。

**黑色金属冶炼和压延加工业：**河南省工业体系的核心支柱产业之一，依托交通区位优势与产业基础，近年来产业规模持续扩大，产能结构不断优化，区域集聚效应显著。2017年以来，产业进入调整期，碳排放虽仍处于较高水平，但增长势头得到遏制，“控总量”的转型目标已取得阶段性成果，部分城市排放出现回落，开始进入低碳转型的攻坚阶段。该领域的低碳转型难点主要包括：产业结构依赖性强、绿色技术推广成本高、区域产业协同机制不完善、市场与政策支持不足。主要对策包括：以产能调控、工艺升级、企业扶持助力行业低碳发展；强化低碳技术研发与创新体系建设，筑牢行业转型技术支撑；组建跨市低碳产业联盟，协同推进产业转型；创新绿色金融服务与深化碳市场机制。

**有色金属冶炼和压延加工业：**河南省作为全国有色金属产业核心省份，凭借资源禀赋与产业基础，形成了以铝冶炼及压延加工为主导，铅、锌、铜冶炼加工协同发展的产业格局，产业规模长期位居全国前列。从碳减排规模来看，河南省是有色金属冶炼及加工业碳减排的重点省份，排全国第二位，共占全国整体碳减排规模的21%。该领域的低碳转型难点主要包括：高能耗环节依赖化石能源，减排基础薄弱；再生金属产业规模化、规范化不足；低碳技术研发与产业化脱节。主要对策包括：推动能源结构绿色转型，降低化石能源依赖；完善再生金属产业体系，提升循环利用水平。

**电力、热力生产和供应业：**作为河南省碳排放的主要来源，产业近年来保持稳定增长，产业规模位居全国前列，其低碳转型直接关系到全省整体减排成效。近年来，随着能源结构调整政策的推进，河南省可再生能源发展迅速，但火电依赖度依然较高，行业整体呈现“总量增长、结构优化”的态势。未来，随着碳减排压力的加大，行业将加速向清洁化、智能化方向转型。该领域的低碳转型难点主要包括能源结构绿色转型动力不足、新能源消纳与储能技术瓶颈突出、碳排放

量持续增长。主要对策包括：加快火电结构优化升级、建设新型电力系统、完善能效提升和碳排放管控体系。

为了实现以上目标，可将河南省未来一段时期低碳发展的主要任务概括为六项核心任务，共同构成支撑全省实现碳达峰、迈向碳中和的关键行动框架：以能源体系低碳化为主线，加快构建清洁低碳、安全高效的现代能源系统；聚焦高耗能行业深度减排，实施差异化、分行业的低碳转型路径；强化关键低碳技术攻关与规模化应用，夯实深度脱碳技术基础；强化关键低碳技术攻关与规模化应用，夯实深度脱碳技术基础；推动产业结构优化升级，培育低碳增长新动能；完善市场化减排机制与政策协同体系，提升低碳转型内生动力；统筹区域与社会转型，促进低碳发展与民生保障协同推进。

#### 四、政策建议

为保障河南省如期实现 2030 年前碳达峰、2035 年能源高质量发展取得决定性进展以及 2060 年碳中和目标，构建与“能源大省、工业重镇”省情相适应的系统性政策框架。该框架应以行政引导为基础、以市场机制为核心、以资金和技术为支撑、以多主体参与为保障，重点破解高耗能产业长期形成的路径锁定效应和能源结构对化石能源的高度依赖问题，推动低碳转型由被动约束向内生动力转变。

在政策工具设计上，应强化价格机制与市场信号的引导作用。通过深化能源价格和碳排放价格机制改革，在高耗能行业严格实施差别化、阶梯化电价政策，并将能效水平和碳排放强度与用能成本直接挂钩，形成“优者受益、劣者受压”的倒逼机制。同时，依托全国碳市场，探索扩大省内碳交易覆盖范围，推动碳排放权与用能权协同管理，引导企业在投资决策中前瞻性地纳入长期碳成本考量，降低高碳资产搁浅风险。

在财政金融支持方面，应通过优化财政资金投向和完善绿色金融体系，强化对低碳转型关键领域的保障能力。省级财政应聚焦重点工程和关键技术环节，集中支持清洁能源基地建设、煤电灵活性改造以及氢能、储能等前沿技术的研发和示范。同时，通过创新绿色信贷、绿色债券和碳金融产品，引导金融资源向高效、低排放项目和企业集聚，并通过 PPP、EOD 等模式拓宽社会资本参与渠道，

提升低碳投资的可持续性和规模效应。

在实施机制上，应强化组织协调和目标责任落实。通过建立高规格的碳达峰碳中和领导协调机制和部门联席会议制度，推动能源、产业、环保和财税政策协同发力。将碳排放强度、非化石能源占比等约束性指标分解落实到不同城市和行业，实施差异化考核，充分考虑资源型城市、工业城市和生态功能区的发展阶段与功能定位，增强政策执行的精准性和公平性。

在长期支撑层面，应夯实科技创新与人才保障基础。通过建设高水平低碳创新平台，强化产学研用协同，加快关键核心技术攻关和成果转化；同时，完善高层次人才引进和专业人才培养机制，提升政府治理能力和企业技术能力，为河南省低碳转型和能源高质量发展提供持续的人才和技术支撑。