



中国环境与发展国际合作委员会

专题政策研究报告

中国传统能源地区低碳转型



2025



中国环境与发展国际合作委员会
专题政策研究报告

中国传统能源地区低碳转型：
以煤炭三角区为例

中国环境与发展国际合作委员会 2025 年年会

2025 年 10 月

专题研究项目组成员

（中外组长、成员、支持专家及协调员姓名、单位、职务/职称）

中外组长*：

王金南	中国工程院院士、生态环境部环境规划院名誉院长
吕文斌	国家发展和改革委员会能源研究所所长
Pete Harrison	美国环保协会执行副总裁
Helen Mountford	气候工作基金会总裁兼首席执行官

中外副组长*：

秦 虎	美国环保协会副总裁，北京代表处首席代表
张晓华	气候工作基金会北京代表处首席代表

中外成员*：

阮梓纹	生态环境部环境规划院助理研究员
蔡博峰	生态环境部环境规划院研究员
姜克隽	香港科技大学（广州）教授
田智宇	国家发展和改革委员会能源研究所研究员
王 璐	国家发展和改革委员会能源研究所助理研究员
陈 迎	中国社会科学院生态文明研究所研究员
涂建军	博众智合能源转型论坛中国区总裁
杨 林	中节能衡准科技服务（北京）有限公司总经理
陈吕军	清华大学环境学院教授
田金平	清华大学环境学院研究员
高 霁	美国环保协会北京代表处高级政策顾问
黄海莉	美国环保协会北京代表处中国能源转型项目总监
李晓梅	美国环保协会北京代表处电力项目副主任
甘奕维	美国环保协会北京代表处区域能源转型项目主管
陈 怡	气候工作基金会清洁能源转型项目总监
王秋霞	气候工作基金会北京代表处战略规划总监
孙 磊	中节能衡准科技服务（北京）有限公司绿色金融部创新研究中心主任
罗 芳	中节能衡准科技服务（北京）有限公司绿色金融部高级项目经理
王 谋	中国社会科学院生态文明研究所研究员
苗 韧	北京国宏新能咨询有限公司总经理
高莲娜	北京国宏新能咨询有限公司副总经理
陈 莎	北京工业大学环境科学与工程学院教授

李 星	清华大学环境学院环境生态学教研所主任助理
陈潇君	生态环境部环境规划院正高级工程师
赵云皓	生态环境部环境规划院 EOD 创新中心主任
卢 静	生态环境部环境规划院 EOD 创新中心副主任
王志凯	生态环境部环境规划院 EOD 创新中心高级工程师
臧宏宽	生态环境部环境规划院助理研究员
杨 舟	博众智能能源转型论坛中国地方能源转型项目副主任
赵文博	博众智能能源转型论坛中国工业项目主管
张黛阳	博众智能能源转型论坛中国地方能源转型项目咨询师

支持专家:

许其功	生态环境部环境规划院院长
严 刚	生态环境部华南环境科学研究所所长
李 忠	国家发展和改革委员会能源研究所副所长
廖 原	中国环境科学学会气候投融资委员会副秘书长
程 章	山西省能源研究会理事长
韩文科	国家发展和改革委员会能源研究所高级顾问
胡秀莲	国家发展和改革委员会能源研究所研究员
郭 敬	“一带一路”绿色发展国际研究院院长
别 涛	生态环境部法规与标准司原司长
刘 强	儿童投资基金会全球气候项目主任、中国区首席代表
Béla Galgóczi	欧洲工业协会高级研究员
Patricia Espinosa	联合国气候变化框架公约原执行秘书
杨富强	北京大学能源研究院气候变化与能源转型项目高级顾问
Sonia Medina	儿童投资基金会气候变化部执行主任
Fabby Tumiwa	印尼基本服务改革研究所执行主任
David Elzinga	亚洲开发银行首席能源专家

中外协调员:

蔡博峰	生态环境部环境规划院研究员
田智宇	国家发展和改革委员会能源研究所研究员
高 霁	美国环保协会北京代表处高级政策顾问
陈 怡	气候工作基金会清洁能源项目总监

* 本专题政策研究项目组联合组长、成员以其个人身份参加研究工作，不代表其所在单位，亦不代表国会观点。

执行摘要

为落实碳达峰碳中和目标特别是习近平主席在 2025 年 9 月 24 日联合国气候变化峰会上作出的新国家自主贡献承诺，在统筹能源安全与区域经济可持续发展的基础上，推动煤炭消费尽早达峰并有序退出，已成为中国能源结构优化与低碳转型的关键举措。当前，全球气候治理体系面临不确定性，部分国家气候政策出现回摆，能源转型进程趋于复杂。在这一背景下，中国坚定推进碳达峰碳中和战略，不仅是履行大国责任、应对全球气候变化的必然选择，更是驱动国内能源体系向绿色、安全、高效方向深刻变革的内在要求。

煤炭三角区作为中国传统能源开发与供应的重要战略区域，涵盖山西省、内蒙古自治区、陕西省和宁夏回族自治区四大资源型省份，是中国煤炭主要产区。该区域能源结构及经济社会发展实现系统性的绿色低碳转型，不仅直接关系中国能源转型及碳达峰碳中和目标的实现，同时在全球应对气候变化进程中具有重要示范作用。本报告聚焦煤炭三角区绿色低碳转型路径及其实践探索，旨在为推动传统能源地区的经济社会可持续发展与区域协同发展提供政策借鉴，同时为全球能源转型贡献中国经验。

一、研究方法 with 重点

本报告依托研究团队开发的 CEAP-CP-3.0 模型，结合定量模拟、定性分析与实地调研，系统研究煤炭三角区绿色低碳转型路径。通过现状评估、政策分析和模型情景构建，重点探讨不同转型路径下能源结构优化潜力、产业演进趋势及其对经济社会的系统性影响，力求结论兼具科学性与可操作性。同时，广泛梳理国家与地方政策文件、产业统计资料及国际典型地区转型案例，为研究提供坚实的政策支撑和现实参照。

在项目研究重点方面，研究团队系统梳理了煤炭三角区产业结构、能源结构、经济与社会发展现状，明确其在实现国家“双碳”目标过程中的战略定位与减排责任。在此基础上，聚焦传统能源产业清洁化升级路径与绿色新兴产业的发展方向，提出零碳贸易示范区建设指标与支持地区转型的系统性资金保障机制，并特别关注就业安置、区域的可持续发展等公正转型问题，以保障社会经济可持续性。最后，通过国际转型经验的对比与借鉴，研究总结提出适用于煤炭三角区的政策体系与实施路径，为中国传统能源地区低碳转型提供解决方案，并为国家层面优化能源布局 and 促进区域协同发展提供决策参考。

二、主要发现与结论

本报告在全球与中国能源转型背景下，系统分析煤炭三角区绿色低碳转型的现状、挑战与碳达峰路径，识别产业转型与新兴动能，探索零碳园区建设模式，测算资金需求，并借鉴国际经验提出公正转型政策建议。本报告主要发现与结论如下：

（一）煤炭三角区的能源转型具有重要意义，并面临多重挑战。2024 年，该区域煤炭产量达 34.5 亿吨，占全国总产量的 78.6%，约占全球的 37.3%；区域碳排放总量占到全球

总碳排放的 6.4%。与此同时，该区域绿电资源丰富，风电与光伏拥有巨大的装机潜力，风电光伏的总发电潜力可达到全国的 25%，具有巨大的绿色低碳发展能力。另一方面，该区域面临平衡好经济增长和能源转型的突出难题，经济发展高度依赖煤基产业，以煤炭开采、煤电和煤化工为核心支柱的煤基产业体系占各地区工业增加值的比重高达 15%-35%，在支撑经济增长和保障国家能源安全的同时，也造成对煤炭的“锁定效应”和路径依赖，削弱了产业多元化发展能力，并对区域经济社会可持续性形成制约。同时，煤基产业的高度依赖使煤炭三角区生态环境面临矿区塌陷、水资源紧张、空气污染和固体废物处置等多重挑战。此外，煤基产业零碳技术的研发、示范和应用尚处起步阶段，传统重工业绿色工艺革新与清洁生产技术升级等发展滞后。相比全国其他区域，该区域在面对快速能源转型、产业结构调整、生态环境保护和经济发展压力的时候，具有更大的脆弱性。

（二）在“双碳”目标的引领下，煤炭三角区的化石能源发展需顺应中国能源转型的大趋势，需要设立与减排目标适应的煤炭退出路线图。模型模拟了煤炭三角区的减排路径，经过政策努力，煤炭三角区碳排放达峰时间有望在 2026-2029 年，峰值碳排放量约为 25.1-27 亿吨。到 2060 年，该区域仍可能存在约 0.15-2.75 亿吨剩余碳排放，需要通过生态碳汇和外部负碳技术等手段进行抵消。通过加快能源结构优化，该区域的原煤产量有望在 2026-2027 年见顶，随后进入为期 3-4 年的缓慢下降阶段，年均降幅约 1%-2%；碳排放达峰后到 2035 期间，煤炭三角区年均煤炭生产下降的幅度需要达到 2.5-3%，除电力行业外，交通、建筑、钢铁、化工等行业的煤炭消费和排放均需要大幅削减；2035 到 2060 年期间煤炭消费还需要快速下降，届时电力将主要来自风、光等绿色能源，预计 2060 年剩余煤炭产量约 6.8 亿吨，在特定领域发挥“兜底保障”和“战略储备”作用。相比全国其他区域，该区域煤炭减量的任务极其艰巨。从行业来看，煤电与煤化工行业是煤炭三角区煤炭消费增长的主要来源，亟需通过技术突破与系统优化，加快重点耗煤行业实现主动减排与深度脱碳。

（三）依托现有产业基础与丰富绿电资源，系统规划区域现有产业深度脱碳和替代产业发展路径。煤炭三角区产业转型的核心在于推动煤基产业有序退出及高碳环节的技术替代与系统优化。短期内，煤电与煤化工仍将占据较大煤炭消费量，但整体已呈现规模增长与绿色转型并重趋势。重点行业将分阶段推进脱碳：2025-2035 年开展绿氢、CCUS 与氢冶金示范，2035 年后实现规模化应用。预计到 2060 年，CCUS 年捕集量达 3-5 亿吨，绿氢占氢源比例超过 90%。绿电发展方面，2030 年风电与光伏装机容量预计达 5.9 亿千瓦，2060 年增至 21.8 亿千瓦，配套储能、智能电网和绿氢设施，实现风光储氢一体化，可再生能源发电占比超过 85%，火电逐步转向调峰并与 CCUS 耦合。研究提出“技术驱动、三产联动”的产业路径，实施“双轨策略”：2025-2035 年，重点推进传统产业低碳化改造，逐步降低第二产业能耗占比；2035-2060 年，加快产业结构转型升级，推动第三产业占比提升至 60%以上，形成“退煤一育新一增值”的良性机制。系统构建以可再生能源、氢基制造业和碳移除集群为支撑的绿色制造业和服务业，实现从“黑色依赖”到“绿色主导”的全面转型。

（四）通过区域协同机制，助力绿电、绿氢等重要绿色生产要素发展，重塑区域新资

源禀赋。煤炭三角区拥有丰富的风能和太阳能资源，是国家“沙戈荒”大型风光基地的核心区域，地广人稀、土地成本低，非常适宜大规模建设风光发电项目、储能电站和源网荷储一体化等工程。同时，传统产业升级改造尤其是现代煤化工的建设，“东数西算”等国家战略的落地，增加了该区域对绿电消纳的需求，也提供了多种技术的应用场景。报告测算区域总体风电、光伏装机潜力可达 145 亿 kW，占全国总可装机潜力的 27%，风电、光伏发电潜力为 23.7 万亿 kWh，占全国总潜力的 25%。绿氢产业方面，预计到 2060 年，该区域氢能年需求量将超过 4000 万吨；伴随绿氢成本持续下降，其年消费量有望达 3700 万吨，占比超过 90%，为煤基产业深度脱碳转型提供关键支撑。绿电、绿氢等绿色要素的发展将重塑区域的资源禀赋，其优化发展也将支持煤炭消费的可持续退出。但在这个过程中，也需要区域协同与政策协调，区域内部强化能源与产业协作，提升电网等基础设施互联互通水平，推进生态环境共保联治，并推动重大改革的系统集成与创新经验的共享；区域间产业有序转移，产业链协同发展，实现产业与碳排放空间的系统优化配置。

（五）以零碳园区和零碳贸易示范区建设为抓手，探索绿色技术、方法标准和政策制度的系统集成。在煤炭三角区 169 个省级及以上园区中，其中主导产业为资源依赖型产业（煤炭、煤化工、煤电、电力、冶金、化工等）、能源配套装备制造产业的园区占比超过 60%（104 家）；169 个园区碳排放总量达 6.36 亿吨，占区域总排放的约 33%，碳强度为 1.325 吨/万元，其中仅“榆鄂宁”三大煤化工示范区 2023 年的碳排放达 1.74 亿吨，占园区排放的 27%，碳强度高达 3.334 吨/万元，远超全国开发区平均水平，降碳任务尤为紧迫。零碳园区的建设已不仅是单一的技术升级和改造，而是涉及可再生能源消纳、引导产业绿色低碳转型、促进产业布局调整、重构能源系统和用能结构、创新体制机制的系统性工程。另一方面，煤炭三角区是中国能源型产品的核心生产地，也是许多产品全生命周期碳足迹的决定性环节。煤炭三角区丰富的绿电资源，以及相关的绿氢、绿醇、绿氨等发展前景，将有利于降低园区内企业的使用外购电力、热力等产生的间接排放，乃至降低上下游供应链、产品使用和废弃等生命周期内的其他间接排放。煤炭三角区加快建设零碳园区、零碳贸易示范区，探索促进零碳产品生产、流通、贸易的绿色技术、标准认证和政策制度，将为全国产业链供应链低碳零碳转型提供重要示范。

（六）未来五年煤炭三角区的转型资金总需求规模大、挑战多，需要充分动员社会资本，加速财政、金融政策工具创新。报告展望到 2025-2030 年，煤炭三角区煤基产业关键领域的转型与升级（包括火电机组改造、新能源新增投资、退役煤矿生态修复，以及下游煤基产业技术升级）资金需求总规模将达到约 1.8 万亿元。煤炭三角区各省已初步建立转型金融支持体系，但该区域投融资机制仍存在三方面突出问题：一是资金供需错配，高新技术民企融资难，而部分政府基金因标准严、退出难，导致资金沉淀，出现“企业缺钱、钱等项目”的矛盾；二是政策协同不足，绿色信贷、债券等工具在准入与核算标准上不统一，审批流程复杂，导致金融机构“愿贷不敢贷”、企业“能申不会申”；三是风险分担机制缺失，现有增信与保险体系难以覆盖技术及市场不确定性，政府、金融机构与社会资本之间缺乏合理的风险收益分配机制，制约资本有效进入。煤炭三角区推动绿色低碳转型的关键在于发挥财政转移支付在托底社会成本、弥补财政缺口和防范系统性风险方面的保障

作用，同时通过机制创新设立区域性绿色发展基金，激发经营性项目的商业效益，并有效撬动社会资本参与。

（七）强调公正转型，实现民生发展、产业振兴与“双碳”目标协同共进。区域四省的 GDP、人均 GDP 均处于全国中后列，煤炭三角区的绿色低碳转型面临着保经济和减碳的平衡难题，而经济结构单一，对煤基产业的重度依赖，增大了该区域在面对快速能源转型、产业结构调整 and 经济发展压力等挑战的脆弱性。报告测算了产业升级和结构调整对就业的影响，预计预测煤炭三角区煤炭产业对工业 GDP 的贡献将从 20.3% 降至约 4%，煤基产业总就业规模（包括直接就业和间接就业）将从 2024 年约 450 万人（占区域总就业人口的 8%）下降至 2060 年的 50 万人（仅占区域当年总就业人口 1%）。由于绿氢、绿色交通等新兴产业仍处于培育阶段，短期内其吸纳就业的能力有限，难以完全弥补煤基产业岗位流失。长期来看，到 2060 年预计新能源领域总就业将从如今的 33 万人增加至 140 万人，其中每年约有 1400 个新增岗位适合女性。必须承认，即便新能源实现大规模发展，也难以完全吸纳煤炭行业遗留的庞大存量就业。受技能转换壁垒制约，区域劳动力市场将长期面临结构性压力。与此同时，产业升级对本地教育与培训体系提出了更高要求，加之中国就业转型规模空前，更凸显了技能重塑与社会保障体系建设的紧迫性与复杂性。

（八）借鉴国际传统能源转型经验，系统推进中国转型政策制定与实施至关重要。政策驱动与市场变化共同构成能源转型的核心动力。结合德国、波兰与英国在能源转型过程中所遭遇的挑战与教训和欧盟在多元化转型路径方面的经验为推进煤炭三角地区转型提供了深刻的启示：成功的转型必须统筹规划明确的退出时序、建立系统的产业与就业支持体系，并将公正性机制全面融入转型全过程。煤炭三角区当前的产业结构相较于国际同期转型地区更为单一，服务业占比显著偏低，面临更高的系统性转型风险。缺乏对地区产业发展与能源转型目标的系统性规划易引发区域经济长期衰退，因此需在国家层面进行统筹设计，制定分阶段退出路径，并配套实施财政、产业与社会保障措施，以有效缓解转型冲击。资金与政策工具创新是推动公正转型落地、实现区域可持续发展的关键支撑。

三、主要政策建议

本报告建议要在全中国碳达峰碳中和目标的约束下，坚持能源安全新战略，以政策机制创新统筹区域保供与减排，以产业布局优化促进区域新兴产业发展，以多元资金保障支撑产业接续发展，以构建气候和公正转型治理框架增强区域绿色低碳发展影响力，协同推动能源绿色低碳转型和增强能源安全保障能力。具体政策建议如下：

一是在国家层面制定煤炭三角地区能源转型与区域协调发展战略，设立煤炭三角区绿色低碳转型目标。建议“十五五”能源相关规划中明确提出“煤炭可持续退出”概念，并将其作为落实碳达峰碳中和目标、构建以可再生能源为主体的新型能源体系的重要抓手。同步制定煤炭可持续退出的目标和路线图，以煤炭三角区为示范，探索创新促进煤炭可持续退出的转型路径。

二是创新煤炭三角区区域内和区域间协同机制，推动煤炭三角区协同绿色低碳转型。

建议强化区域协同，构建国家与地方联动的能源安全与低碳转型政策框架，统筹产业结构优化、能源安全、生态治理与高质量发展。严格调控煤炭三角区煤基产业规模，推动内部能源、产业与基础设施协同。鼓励与经济发达及毗邻地区建立“转型发展伙伴关系”，重点培育特色农业、生态文旅、数字经济等多元产业，构建“清洁能源+多元产业”格局，助推区域经济绿色可持续发展。同时，依托煤炭三角区绿色能源、区位与产业优势，推动跨区域资源互补与高效整合，形成“能源供给—产业协作—利益共享”机制，助力煤炭三角区高效培育替代产业与新增长动能，最终实现区域互利共赢。

三是将新能源打造为区域新增长极，引领煤炭三角区产业结构优化与新兴产业集群发展。煤炭三角区富集的绿电资源禀赋，为构建清洁高效的产业体系奠定了坚实基础，是推动区域经济高质量发展的重要支撑。以此为契机，应全面加快以新型电力系统建设、氢基产业发展和碳移除技术示范为核心的“新三大建设”，依托技术创新推动低碳零碳技术在煤基行业的融合与应用，系统推进煤炭三角区绿色低碳转型。依托零碳园区建设，在绿电配置、低碳零碳认证与碳核算机制等方面率先突破，培育绿氢、绿钢、绿色化工产品等零碳产业集群。同步推动制度创新，以园区为载体深化电力体制改革，建立碳排放溯源、零碳产品标准与碳资产管理体系。打造零碳贸易示范区，推动煤三角区从“高碳产业聚集地”向“零碳产业高地”转型。通过技术创新与产业协同，催生储能、数字经济和绿色服务业等新业态，提升区域经济韧性与多元化水平，建成具有示范意义的零碳转型发展标杆。

四是完善煤炭三角区多元化资金方案，为煤炭三角区的绿色低碳转型提供资金保障。建议设立面向该区域的绿色发展基金，构建“政府引导、市场运作”的多元化投融资体系。通过财政转移支付设立矿区生态修复、采空区治理和公正转型安置专项资金。创新基金运行机制，推动多层协同与社会参与，突出对低碳、零碳及颠覆性技术创新的支持，尤其向技术型民企倾斜，加速技术规模化应用。建立地方基金容错机制，增强政策灵活性，提升绿色信贷、债券等金融服务能力。广泛撬动社会资本，构建高效多元的投融资体系。

五是建立资源型区域低碳转型的国际交流平台，构建包容性公正转型治理框架，为煤炭三角区提供经验交流并探索区域转型实践经验。传统能源地区公正转型是全球共同挑战，核心难点在于转型对就业的结构性冲击。新兴非煤产业短期内难以对冲煤基产业岗位流失。为应对煤炭三角区就业压力，应重点关注就业跟踪、社区对话和女性就业需求，加快构建稳就业支持体系，精准识别受影响群体，强化差异化技能培训与安置帮扶，实施针对弱势群体的兜底保障，实现岗位转移与收入衔接。同时，深化以中欧为代表的双多边对话，拓展与亚非拉地区的政策互鉴与项目合作，通过把煤炭三角区打造为能源绿色低碳与公正转型的示范区，为全球公正转型提供经验借鉴。

关键词：煤炭三角区；绿色低碳转型；能源转型；区域协同机制；煤基产业；新能源产业；零碳园区；公正转型；绿色发展基金

术语表

缩略词	注释
CAEP-CP 3.0	中国中长期排放路径模型版本
CCUS (Carbon Capture Utilization and Storage)	二氧化碳捕集利用与封存
CDR (Carbon Dioxide Removal)	碳移除
CGE (Computable General Equilibrium)	可计算的一般均衡模型
Coal Triangle Region	煤炭三角区
CRiT (Coal regions in transition Initiative)	煤炭地区转型倡议
ERDF (European Regional Development Fund)	欧洲地区发展基金
ESF (European Social Fund)	欧洲社会基金
EGD (European Green Deal)	欧洲绿色协议
GDP (Gross Domestic Product)	国内生产总值
IEA (International Energy Agency)	国际能源署
IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)	联合国政府间气候变化专门委员会
JTF (Just Transition Fund)	公正转型基金
LMDI (Logarithmic Mean Divisia Index)	对数平均迪式指数法
UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change)	《联合国气候变化框架公约》
SCF (Social Climate Fund)	社会气候资金
SDG (Sustainable Development Goals)	可持续发展目标

目录

一、煤炭三角区发展背景概述.....	2
(一) 煤炭三角区经济与产业发展概况	2
(二) 煤炭三角区能源生产与消费现状	4
(三) 煤炭三角区碳排放与生态与环境现状	5
(四) 煤炭三角区转型面临的问题与挑战	7
二、“双碳”目标下煤炭三角区绿色低碳转型目标	8
(一) “双碳”目标下煤炭三角区碳排放路径分析	9
(二) “双碳”目标下煤炭三角区煤基产业发展路径分析	10
(三) “双碳”目标下煤炭三角区化石能源发展目标分析	11
(四) “双碳”目标下煤炭三角区发展路线图	12
三、煤炭三角区新兴产业发展路径	13
(一) 煤炭三角区可再生能源发展路径分析	13
(二) 煤炭三角区绿氢产业发展路径分析	15
(三) 煤炭三角区其他新兴产业发展路径分析	16
四、煤炭三角区零碳园区建设模式研究	18
(一) 煤炭三角区园区发展现状	18
(二) 零碳园区建设的实践内涵	18
(三) 零碳贸易示范区的定位与发展目标	19
五、促进煤炭三角区转型的资金支持方案	20
(一) 煤炭三角区低碳转型的金融及基金支持现状	21
(二) 煤炭三角区产业低碳转型的资金需求分析	21
(三) 煤炭三角区绿色低碳转型的资金支持方案研究	22
六、煤炭三角区传统能源公正转型研究	23
(一) 公正转型的概念与定义	24
(二) 煤炭三角区绿色低碳转型对经济和社会影响	24
(三) 煤炭三角区公正转型政策机制探索	26
七、传统能源地区转型的国际经验比较分析	28
(一) 国际传统产煤国家转型进展回顾	28
(二) 中国煤炭三角区与传统产煤国家比较	32
(三) 国际传统能源地区转型的经验与启示	32
八、政策建议	34
参考文献	36
附录 A 研究方法与技术路线	41
附录 B 煤炭三角区低碳转型政策、基金及金融支持梳理	46
附录 C 国内外调研与国际合作交流情况	48

中国传统能源地区低碳转型：以煤炭三角区为例

在全球应对气候变化的紧迫形势下，控制温室气体排放、推动能源系统低碳转型已成为全球可持续发展的关键路径。然而，受地缘政治冲突、能源安全危机等多重因素影响，部分国家化石能源政策出现阶段性回摆。例如美国在气候政策上的逆转，退出《巴黎协定》并强化“能源主导权”，推动扩大煤炭、石油和天然气的开采。这对全球减缓气候变化的进程带来了显著的不确定性。

面对全球气候治理新形势，中国展现出坚定决心。2025 年 9 月 24 日，习近平主席在联合国气候变化峰会上宣布了中国到 2035 年的国家自主贡献目标，承诺全经济范围温室气体净排放量比峰值下降 7%-10%，并力争更好实现。中国扎实推进“双碳”战略，既是履行大国国际责任的体现，也是推动国内能源体系向绿色低碳深刻转型的内在需求。当前，以煤炭为主的能源体系面临多重挑战：高碳排放、环境外部性突出、生态压力持续，难以适应绿色低碳、系统韧性和战略自主为导向的现代能源体系建设，也偏离了能源安全新战略中可持续与安全并重的目标。过度依赖煤炭不仅加剧碳锁定效应、推高系统性转型成本，也制约能源结构优化与系统抗风险能力。因此，推动能源结构转型、逐步降低煤炭依赖，已成为中国实现高质量发展与高水平安全的必然路径。正如国务院《中国的能源转型》白皮书所指出的，中国能源转型“立足于高质量发展，着眼于生态文明建设，服务于构建人类命运共同体”。这一表述深刻揭示了能源体系清洁低碳转型的紧迫性与战略意义，为中国乃至全球绿色未来指明了方向。

在上述背景下，本研究在中国环境与发展国际合作委员会的支持下，以山西省、内蒙古自治区、陕西省和宁夏回族自治区构成的“煤炭三角区”为研究对象。该区域作为国家能源安全供应的核心地带，其低碳转型成效不仅关乎区域经济社会可持续发展与当地社会民生保障，更直接影响全国碳达峰碳中和进程与能源体系的整体韧性和安全。本报告系统探讨了该区域在高碳产业退出、社会公平过渡与绿色低碳产业培育等方面的转型路径，并深入研究配套政策体系的设计与实施，旨在为国家构建清洁低碳、安全高效的能源体系提供区域实践范例与制度创新示范。

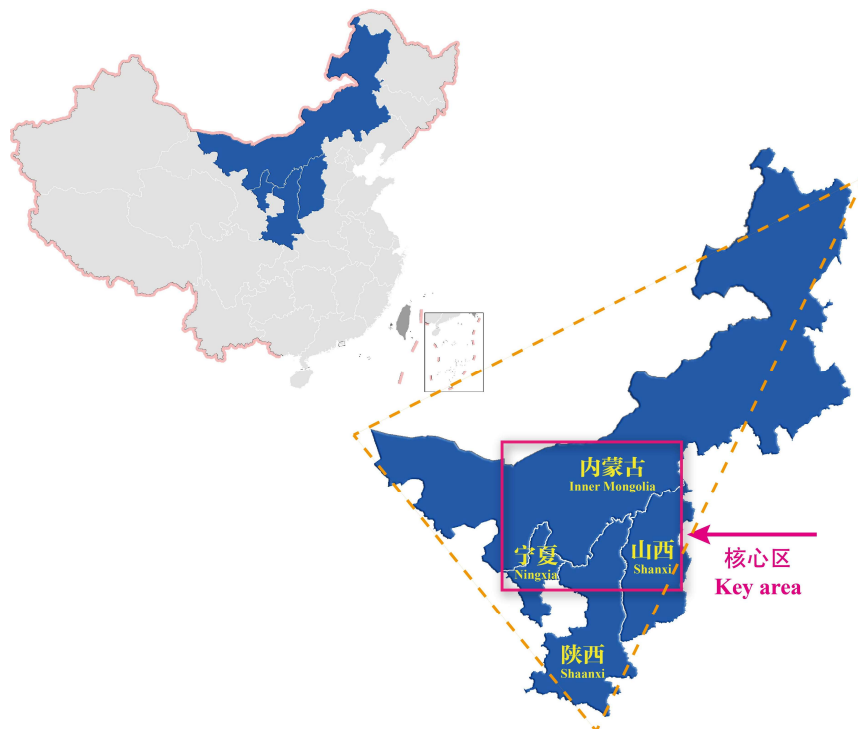


图 1-1 煤炭三角区地理位置图

一、煤炭三角区发展背景概述

主要发现：

- 2024 年，煤炭三角区的煤炭产量达 34.5 亿吨，占全国总产量的 73%、全球产量的 37%，在国家及全球能源格局中占据举足轻重的地位。
- 该区域经济高度依赖煤炭资源及煤基产业，第二产业 GDP 占比高于全国平均水平，煤基产业在工业增加值中的占比达到 20.3%，凸显出显著的结构性转型压力。
- 煤炭三角区煤炭调出比例高达 69%，调出电量占当地发电总量的 37%，作为中国重要的能源基地，长期肩负能源保障供应的重任。
- 近十年来，煤炭三角区碳排放量由 2015 年的 15.47 亿吨增加至 2024 年的 24.07 亿吨，煤基产业依然是碳排放的主要来源，煤炭生产与消费占当地碳排放的 85%。
- 煤基产业的高度依赖使煤炭三角区生态环境面临矿区塌陷、水资源紧张、空气污染和固体废物处置等多重挑战。
- 煤炭三角区在能源转型中，存在产业结构单一、转型动力不足以及资金支持不足等突出问题。

（一）煤炭三角区经济与产业发展概况

1. 煤炭三角区经济发展概况

煤炭三角区占据中国 16.8%的土地面积，该区域人口占全国总人口的 7.5%，2024 年创造了全国 6.9%的 GDP。煤炭三角区中，除内蒙古人均 GDP（11 万元）高于全国平均水平（9.6 万元）外，山西（7.4 万元）、宁夏（7.3 万元）和陕西（8.5 万元）均低于全国均值，其中山西、宁夏人均 GDP 比全国低约 18%。此外，2024 年数据显示，除山西外，内蒙古、陕西和宁夏的第一产业占比均高于全国平均水平（7.4%）；四省区第二产业占比全部高于全国均值（36.5%），而第三产业占比全部低于全国均值（56.7%）。

表 1-1 煤炭三角区四省区社会经济基本情况

项目	省份	山西	内蒙古	陕西	宁夏	合计
人口 (2023 年年底)	人口 (万人)	3466	2396	3953	729	10543
	全国占比	2.5%	1.7%	2.8%	0.5%	7.5%
GDP (2024 年)	GDP (万亿元)	2.55	2.63	3.55	0.55	9.28
	全国占比	1.9%	2%	2.6%	0.4%	6.9%
	人均 GDP (万元/人)	7.4	11.0	9.0	7.5	8.8
	煤基产业 GDP (亿元)	3746	1876	1889	501	8012
	煤基产业 GDP 占总 GDP 比例	14.7%	7.2%	5.3%	9.1%	8.6%
	煤基产业 GDP 占工业 GDP 比例	34.0%	16.2%	13.0%	21.4%	20.3%
面积	土地面积 (万平方公里)	15.67	118.3	20.56	6.64	161.17

项目	省份	山西	内蒙古	陕西	宁夏	合计
	全国占比	1.6%	12.3%	2.1%	0.7%	16.8%

数据来源：国家统计局、中国工业统计年鉴、中国工业企业数据。

2. 煤炭三角区煤基产业发展概况

煤炭的生产与使用主要受下游需求驱动。本报告对煤基产业的界定不仅涵盖上游的煤炭开采与洗选环节，也包括中游依赖煤炭作为原料或能源的煤电和煤化工行业，以及下游大量用煤的钢铁、水泥等行业（详见附录 A）。

图 1-2 展示了煤炭三角区与全国 GDP 的发展趋势。2015-2024 年间，煤炭三角区地区 GDP 总体与全国增长趋势大致一致，但煤基产业在 GDP 中的占比呈现“先降后升”的波动特征。尽管 2015 年后该占比有所下降，但降幅相对有限，且始终高于全国平均水平。特别是在 2019-2022 年期间，煤基产业占 GDP 的比重明显回升，反映出区域经济对煤炭资源开采与利用的依赖依然显著。截至 2024 年，煤基产业在煤炭三角区工业 GDP 中的占比达到 20.3%，其中山西省占比最高，达到 34%，显示出煤基产业在区域工业体系中仍具有较强的支撑作用。**煤炭三角区的经济发展趋势表明，高度依赖煤基产业并未带来与之匹配的增值效应：以山西为例，煤基产业占工业的 GDP 比重居煤炭三角区四省区之首，而全省的 GDP 增速却连年在全国末位，传统煤基产业对经济增长的拉动作用已显著弱化。**

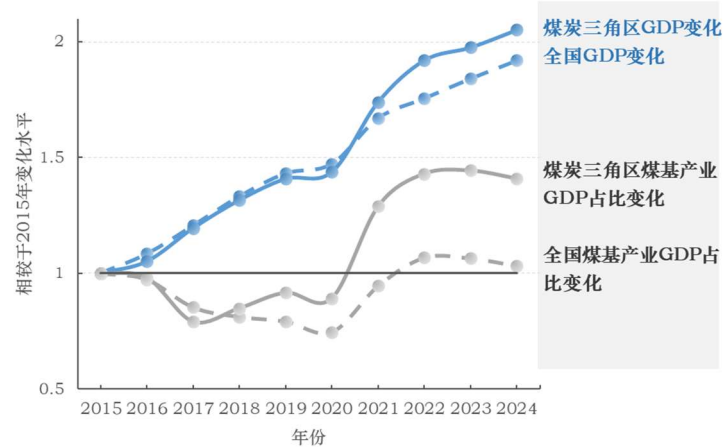


图 1-2 2015-2024 年煤炭三角区与全国 GDP 及煤基产业占 GDP 比重变化情况

通过梳理煤炭三角区煤基产业体系的构成，汇总其主要行业的基本情况如下：

（1）**煤炭开采与洗选业：资源优势与强经济依赖。**2024 年，该区域煤炭开采与洗选业的营业收入占全国该行业的 75.1%，区域煤炭开采与洗选业拉动了区域总 GDP 的 5.7%，成为地方经济发展的重要支柱。

（2）**煤电产业：规模优势与效率瓶颈。**煤电是煤炭三角区能源消费与碳排放的主要来源，四省区煤电装机容量占全国总量的 22.4%，煤电发电量占比 22.6%。区域煤电平均供电煤耗高于全国平均水平，主要受制于老旧机组占比高、灵活性改造滞后及电网调峰能力不足。

（3）**煤化工产业：低附加值与高碳锁定。**煤炭三角区是全国煤化工产业的核心集聚区，现代煤化工（如煤制油、煤制气、煤制烯烃）产能占全国总量的 60%以上。煤化工产业的高碳锁定效应显著：一是原料煤和燃料煤的双重碳排放；二是深度脱碳技术应用成本高昂，导致碳减排潜力难以释放；三是高附加值产品开发不足，产业链仍集中于基础化工原料，产品附加值低于全国化工行业平均水平。

（4）**钢铁产业：长流程主导与煤焦联动强。**2024 年，该区域钢铁行业营业收入占全国总量的约 1

0%。目前，当地钢企单位产品能耗和碳排放强度普遍高于全国平均水平。同时，对焦炭的大量依赖带动了煤焦化产业发展，形成了煤炭开采—焦化—钢铁的紧密联动模式。

（5）水泥等其他煤基产业：中小产能与边际支撑作用。水泥及其他用煤产业在煤炭三角区所占比重较小。2024 年，区域水泥熟料产量占全国的 9.4%，水泥、石灰和石膏制造行业营业收入约占全国的 8.4%，其行业 GDP 占当地 GDP 比重仅为 0.53%。这类产业并非推动区域煤炭消费的核心动力，但中小型生产线广泛分布，一定程度上驱动了对煤炭需求，增加了区域碳减排的复杂性。

（二）煤炭三角区能源生产与消费现状

1. 能源生产

2015-2024 年，煤炭三角区的煤炭产量总体呈上升趋势，到 2024 年煤炭三角区产量已达到 34.5 亿吨，其中内蒙古自治区、山西省、陕西省的煤炭产量分别为 12.97 亿吨、12.7 亿吨、7.8 亿吨，内蒙古自治区、山西省煤炭产量分别占全国煤炭产量的 27.3%、26.7%，陕西省煤炭产量占全国煤炭产量的 16.4%，宁夏回族自治区煤炭产量占全国煤炭产量的 2.2%，煤炭三角区共计占全国煤炭产量的 72.5%，该区域作为全国能源保供基地的重要性不言而喻。

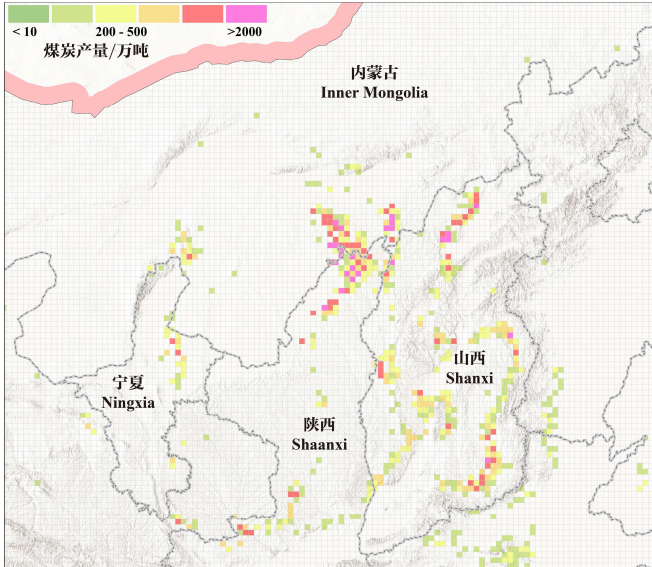


图 1-3 中国煤炭三角区煤炭产量格局（10 公里网格）

从电力的生产来看，2024 年煤炭三角区火电装机容量为 30004 万千瓦，占全国总火电装机量的 20.8%。该区域火电发电量为 14352 亿千瓦时，占全国总火电发电量的 22.5%。煤炭三角区的可再生能源装机与发电同样发展迅速。2024 年煤炭三角区风电装机量为 14403 万千瓦，占全国总风电装机量的 27.7%。内蒙古自治区具有较大的风电资源与土地优势，到 2024 年风电总装机量达到了 8689 万千瓦。在太阳能发电中，2024 年煤炭三角区装机量为 14345 万千瓦，占全国总太阳能装机量的 16.2%。此外，由于水资源有限，其水电装机比例相对来说较小，2024 年煤炭三角区水电装机量仅为 806 万千瓦。

图 1-4 汇总了 2015-2024 年全国及煤炭三角区发电结构变化情况，数据表明，近十年间煤炭三角区非化石能源发电量占比虽年均增速显著高于全国平均水平，但该指标持续低于全国总体水平。期间，该区域火电装机容量增加 1.24 亿千瓦，火电发电量增长达 6200 亿千瓦时，其占总发电量的比重从 2015 年的 89.5%降至 2024 年的 76.5%。然而，该区域火电占比仍大幅高于全国平均水平（2024 年 67.4%）。受益于丰富的风光资源和国家政策支持，2015-2024 年煤炭三角区非化石能源发电量占比提升至 20.9%，发电总量较 2015 年增长 4.1 倍，年均增速远超全国。

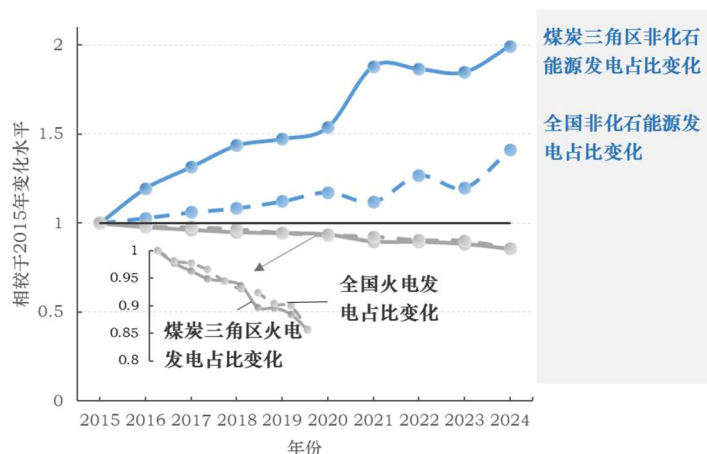


图 1-4 2015-2024 年全国与煤炭三角区发电结构变化情况

2. 能源消费

2024 年全国能源消费总量达到 59.6 亿标准煤，其中煤炭消费量占能源消费总量比重为 53.2%，原煤消费量约为 45 亿吨（实物量）。煤炭三角区煤炭消费总量占全国煤炭消费总量的 34.9%，其中山西省、内蒙古自治区、陕西省、宁夏回族自治区的煤炭消费量分别达 6.0 亿吨、5.5 亿吨、2.4 亿吨、1.7 亿吨。此外，煤炭三角区煤炭加工转换消费量占煤炭消费总量的 87.7%，略高于全国平均水平（约 81.5%）。煤炭消费的加工转换环节中，煤炭三角区火力发电对煤炭消费的占比（47.3%）较全国平均水平（63.1%）低 15.8 个百分点，而煤炭洗选占比（19.8%）则大幅高于全国水平（2.7%）；终端消费环节，工业用煤占比高达 91.1%，超出全国均值 6.6 个百分点。电力消费同样呈现工业主导特征，工业用电占比达 79%，较全国水平高出 15.3 个百分点。这种能源消费结构虽然支撑了区域经济发展，但也给能源结构转型和生态环境带来了较大压力，亟需通过产业升级和技术创新推动绿色低碳转型。

3. 能源外供量

煤炭三角区是中国煤炭和煤电的主要调出地区，长期承担国家能源保供的重要责任。2024 年，煤炭三角区煤炭调出实物量超过 20 亿吨，占区域煤炭产量的 60% 以上。其中，山西省调出量居首，近两年年均外运规模约 7.5 亿吨。鉴于国家官方统计数据尚未发布，依据不完全统计，2024 年煤炭三角区整体电力外送量约为 0.6 万亿千瓦时，占地区总发电量的 37%。其中内蒙古自治区电力外送量居首，约达 0.3 万亿千瓦时。因此，在能源转型过程中，亟需通过与传统煤电输入大省的跨区域协作，在新能源发展、产业升级、技术支持、绿色投资和市场机制等方面实现互补与利益共享，保障能源产地在承担全国供能责任的同时实现经济多元化与可持续发展。

（三）煤炭三角区碳排放与生态与环境现状

1. 碳排放现状与驱动因素

2024 年煤炭三角区碳排放量为 24.1 亿吨，占全国总碳排放量的 19.6%，占全球总碳排放量的 6.4%。其中煤炭三角区的能源活动碳排放量占据了碳排放总量的 88.5%，工业过程占比 6.2%。在能源活动中，电力行业的贡献最大，紧随其后的是钢铁行业中能源使用带来的直接排放。此外，交通和建筑领域中的能源活动也分别贡献了总碳排放的 2.8% 和 2.4%。在 2024 年煤炭三角区的碳排放总量中，煤炭的生产与使用贡献了 20.5 亿吨碳排放，占总碳排放量的 85.2%。在时间序列上，煤炭三角区的碳排放从 2015 年的 15.5 亿吨增长至 2024 年的 24.1 亿吨，碳排放增量中煤炭的贡献高达 86.0%。

经济发展是推动煤炭三角区碳排放增长的核心变量，而能源消费强度的降低则是碳排放减少的主导因素。2015-2024 年期间，该区域人均 GDP 增长累计带动碳排放增加 10.58 亿吨。历史数据分析表明，煤炭三角区 GDP 每增长 1%，碳排放增加 269 万吨；能源消费强度每降低 1%，碳排放相应减少 3 55 万吨；单位能源消费的碳排放每降低 1%，碳排放减少 172 万吨。技术进步带来的能源消费强度下降，在 2015-2024 年间为煤炭三角区累计减少了 2.76 亿吨碳排放。

产业结构调整在 2015-2020 年期间对减排有所贡献，但在 2020-2024 年期间却出现了增排情况。主要原因是，煤炭价格的上涨显著提高了煤炭及相关行业的产值，带动工业产业增加值占比回升，延缓产业结构优化进程，加剧了区域碳排放压力。在能源结构优化方面，尽管 2015-2024 年间煤炭三角区可再生能源快速发展，非化石能源发电占比由 10.5%提高至 20.4%，但在一次能源消费结构中的占比提升仍然有限，导致能源结构调整对碳减排的总体贡献不足。

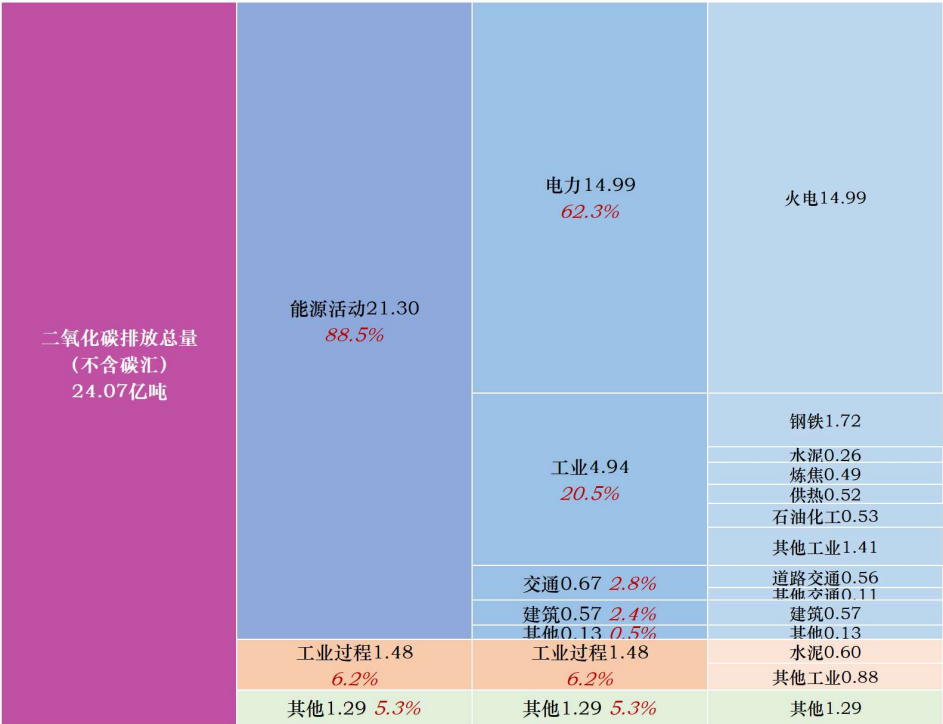


图 1-5 煤炭三角区 2024 年二氧化碳排放情况（亿吨）

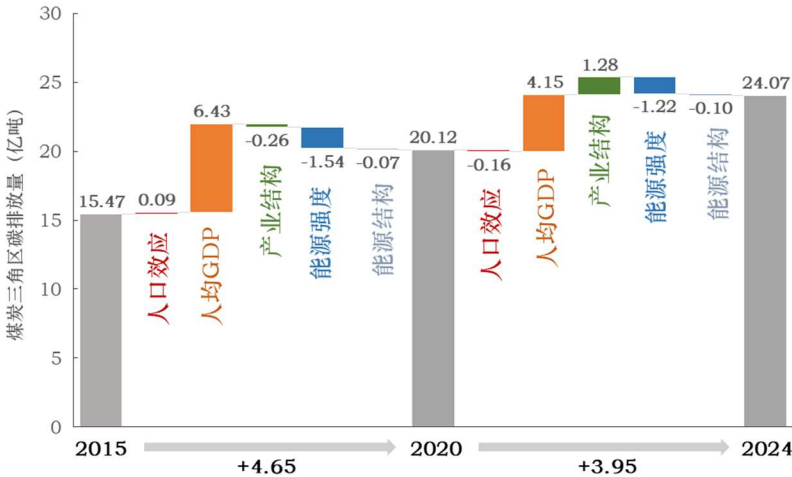


图 1-6 煤炭三角区 2015-2024 年碳排放量驱动因素分解

2. 生态环境现状概述

煤炭三角区横跨黄土丘陵、鄂尔多斯沙地、汾渭平原及贺兰山—宁夏平原等多个生态单元，地貌类型多样但系统脆弱，风蚀沙化、水土流失、采煤塌陷与盐渍化等生态问题交织分布，土地抗扰动能力总体偏低。由于长期以煤基产业为主导的发展模式，该区域面临自然脆弱性突出、资源开发强度过大与水、气、固污染多重叠加的系统性压力，生态退化呈现出显著的历史累积性与结构固化特征。

一是在长期高强度资源开发压力下，区域生态系统受到严重扰动。大规模地下开采引发的地表塌陷持续扩展，草原退化和沙化过程加快，土地生产力显著下降。统计数据显示，2023 年该区域新增采矿塌陷面积占全国的 47%，其中大部分源于多年累积的煤炭开采活动，生态恢复难度极高。

二是水资源本底条件脆弱，区域水资源总量仅占全国的 4.6%，却长期承担全国约 1/5 煤基产业的用水需求。煤化工、煤电、冶金等高耗水产业链消耗了约 80%的取水，主要依赖黄河干支流和浅层地下水，导致区域水资源连续多年处于“红灯”预警状态，形成“资源型缺水+结构性超采”的双重矛盾。

三是煤—焦—电—冶等高污染产业的叠加排放，使区域大气环境长期处于高压状态，PM_{2.5} 与臭氧复合污染问题突出。以汾渭平原为首的区域虽重点开展散煤治理，但整体改善有限。同时，矿区扬尘、矸石山自燃、焦炉逸散等历史遗留问题依然严重，总悬浮颗粒物浓度常年维持在背景水平的数倍至十倍，并呈现明显的跨省输送特征。煤矿开采活动还导致大量甲烷泄漏，加剧了区域的温室气体排放。

四是煤炭开采与利用过程中产生的固体废物问题尤为突出，主要为煤矸石和粉煤灰。一吨原煤的生产约伴生 0.1 吨煤矸石和 0.15 吨燃煤副产物（灰渣与石膏），合计约 0.25 吨固废。由此测算，煤炭三角区外调煤炭每年将残留超过 5 亿吨固体废物。煤矸石长期堆存不仅占用土地，还易引发滑坡与自燃，释放二氧化硫、一氧化碳及多环芳烃，加剧二次大气污染；粉煤灰则因含有重金属，在风蚀和雨淋条件下易发生迁移和渗滤，导致土壤和地下水污染，显著增加环境风险。

总体而言，煤炭三角区生态环境治理仍处于“点上修复、面上破坏”的拉锯状态，历史遗留的生态欠账尚未得到系统性化解。因此，必须从源头上推动能源结构与产业结构转型，逐步削减对煤炭资源的依赖，加快构建绿色低碳产业体系。在此基础上，协同推进能源替代、生态修复、空间管控与治理机制创新，真正实现从末端治理向系统调控的根本转变，促进区域高质量发展与生态安全良性互动。

表 1-2 煤炭三角区四省区采矿损毁与水资源主要指标统计

指标		山西	内蒙古	陕西	宁夏	合计
采矿损毁土地面积 (2023 年)	现存采矿损毁土地面积（公顷）	93871	119636	32439	11736	257682
	现存采矿损毁土地面积全国占比	11.0%	14.1%	3.8%	1.4%	30.2%
	新增采矿损毁土地面积（公顷）	18410	15531	17850	734	52525
	新增采矿损毁土地面积全国占比	16.5%	13.9%	16.0%	0.7%	47.1%
水资源 (2023 年)	水资源总量（亿立方米）	143.9	491.9	546.3	8.1	1190.2
	全国占比	0.6%	1.9%	2.1%	0.03%	4.6%

数据来源：中国环境统计年鉴。

（四）煤炭三角区转型面临的问题与挑战

煤炭三角区在产业发展中已经形成了对煤炭的“锁定效应”，区域经济结构较为单一、发展韧性不足，煤炭开采与利用也对当地的生态环境造成了显著压力。综合其产业基础、战略地位和绿色发展现状，在煤炭三角区构建安全、低碳、可持续现代能源体系，实现区域的绿色低碳转型，不仅有助于增强

中国绿色能源供给的长期稳定性，也将带动产业体系优化升级，推动资源型地区实现可持续发展与社会稳定。总结当前煤炭三角区实现绿色低碳转型面临的挑战主要包括：

1. 煤炭三角区长期肩负国家能源供应重任，区域经济深度依赖煤基产业，转型动力不足、目标不明确的问题长期存在。煤炭三角区缺乏清晰可行的替代产业方向，制约了绿色低碳转型的战略谋划与路径选择。煤基产业在该区域经济体系中占据主导地位，煤炭生产与区域经济增长相互强化，显著抬升了能源结构调整的制度和社会成本。同时，作为国家能源基地，煤炭三角区面临着减排压力与煤炭保供责任的双重约束，转型进程复杂艰难，地方政府在推进过程中需在多重政策压力下协调不同利益诉求。该区域的产业结构调整仍依赖外部推动，内生转型机制仍未形成。

2. 煤基产业的零碳绿色技术仍处于实验和示范阶段，应用成本高、技术稳定性不足，使其发展前景不明、推广难度大，从而对煤炭三角区的技术替代与减排转型形成多重制约。实现区域能源结构的转型，关键在于加快推动煤基产业零碳绿色技术的突破与应用，逐步削弱煤炭在产业链中的主导地位。然而，高耗能行业的绿色替代工艺尚未形成规模化解决方案，低碳、零碳技术体系尚未建立，产业升级缺乏技术驱动的内在动力。当前，技术支撑力不足已成为制约煤炭三角区绿色转型和碳排放削减的核心瓶颈。特别是，在可替代产业路径尚未明晰的背景下，如何提升零碳技术的研发投入强度，构建系统化的政策支持体系，推动关键技术的集成示范与产业化落地，已成为转型能否真正破局的关键所在。

3. 煤炭三角区的企业、行业与地方政府尚未形成统一的转型共识，整体缺乏对未来能源公正转型及相关产业调整的前瞻性规划与主动部署。目前社会层面对气候变化与能源转型的认知仍不充分，制约了相关政策的系统谋划与高效实施。能源结构调整和高碳产业替代将引发广泛的就业冲击，传统能源从业者技能转换空间有限，再就业难度大。同时，承担产业承接与经济转化功能的替代性产业尚未形成有效支撑，例如特色农业、文化旅游、现代服务业等新兴产业发展缓慢、带动能力有限，未能为区域经济提供新的持续增长动力。在社会稳定与绿色发展双重目标下，地方政府与企业面临协调压力。如何在保障经济持续发展的同时，统筹环境责任与社会公平，切实维护弱势群体与劳动者权益，建立更加包容、公正的绿色转型机制，已成为推动煤炭三角区高质量转型的关键课题。

4. 具有颠覆性、可显著减少碳排放的绿色零碳技术成本高昂，推广应用大量资金，但现有基金和金融支持体系尚不完善，缺乏多元化的资金来源渠道，财政引导与金融投入存在不足。作为国家重要能源战略基地，煤炭资源富集区的低碳转型路径与“双碳”战略目标具有深度耦合性，亟需国家财政支持体系的重点倾斜，特别是通过纵向财政转移支付机制强化资金保障。然而现有区域基金存在资金投放精准度不足的结构性矛盾，尤其体现在传统重工业绿色工艺革新与清洁生产技术升级等关键领域。以 CCUS、氢冶金为代表的绿色零碳技术需彻底重构既有生产流程，前期研发投入大、示范周期长、商业化收益兑现慢，金融机构投资意愿不足，导致其对区域低碳转型的支撑效能未能充分释放。同时，地方转型金融和基金尚未有效引导社会资本，限制了基金的杠杆效应，制约了绿色低碳发展速度。

二、“双碳”目标下煤炭三角区绿色低碳转型目标

主要发现：

- 煤炭三角区碳排放达峰时间预计在 2026–2029 年，峰值碳排放量约为 25.1–27 亿吨。到 2060 年，该区域仍可能存在约 0.15–2.75 亿吨剩余碳排放，需要通过生态碳汇和外部负碳技术等手段进行抵消。
- 煤电与煤化工行业是未来五年内推动煤炭三角区碳排放与煤炭消费增长的主要来源，亟需通过技术突破与系统优化推动该区域的煤基产业实现主动减排与深度脱碳。

- 煤炭三角区原煤产量预计在 2026-2027 年达到峰值（约 36.8 亿吨），随后进入为期 3-4 年的缓慢下降阶段，年均降幅约 1%-2%。在 2030-2040 年间，煤炭产量预计以年均约 4%-5% 的速度下降，煤炭以可持续退出的方式至 2060 年降至约 6.8 亿吨。
- 为实现全国及区域“双碳”目标，煤炭三角区应推进以“新三大建设”为核心的产业转型路径，包括新型能源系统、氢基产业和碳移除，同步实施传统能源清洁化改造与新兴产业培育。

（一）“双碳”目标下煤炭三角区碳排放路径分析

依据研究团队开展的中国各地区碳排放跟踪以及未来不同情景下的碳排放路径预测，全国整体碳排放（涵盖能源活动与工业生产过程）将在 2026-2028 年期间达到峰值，达峰年碳排放范围为 125.1-130.4 亿吨。然而，煤炭三角区作为重要的传统能源基地，承担着关键的能源保供任务，同时，煤化工等高碳产业的锁定效应显著，导致该区域预计在 2026-2029 年期间实现碳排放达峰，达峰年碳排放范围在 25.1-27 亿吨之间。在实现碳中和目标的进程中，煤炭三角区至碳中和年份可能仍有 0.15-2.75 亿吨的碳排放残余，这部分剩余排放主要来自交通、建筑等目前尚难有效采用碳移除技术的部门，以及剩余的煤基工业中难以完全脱碳的环节。

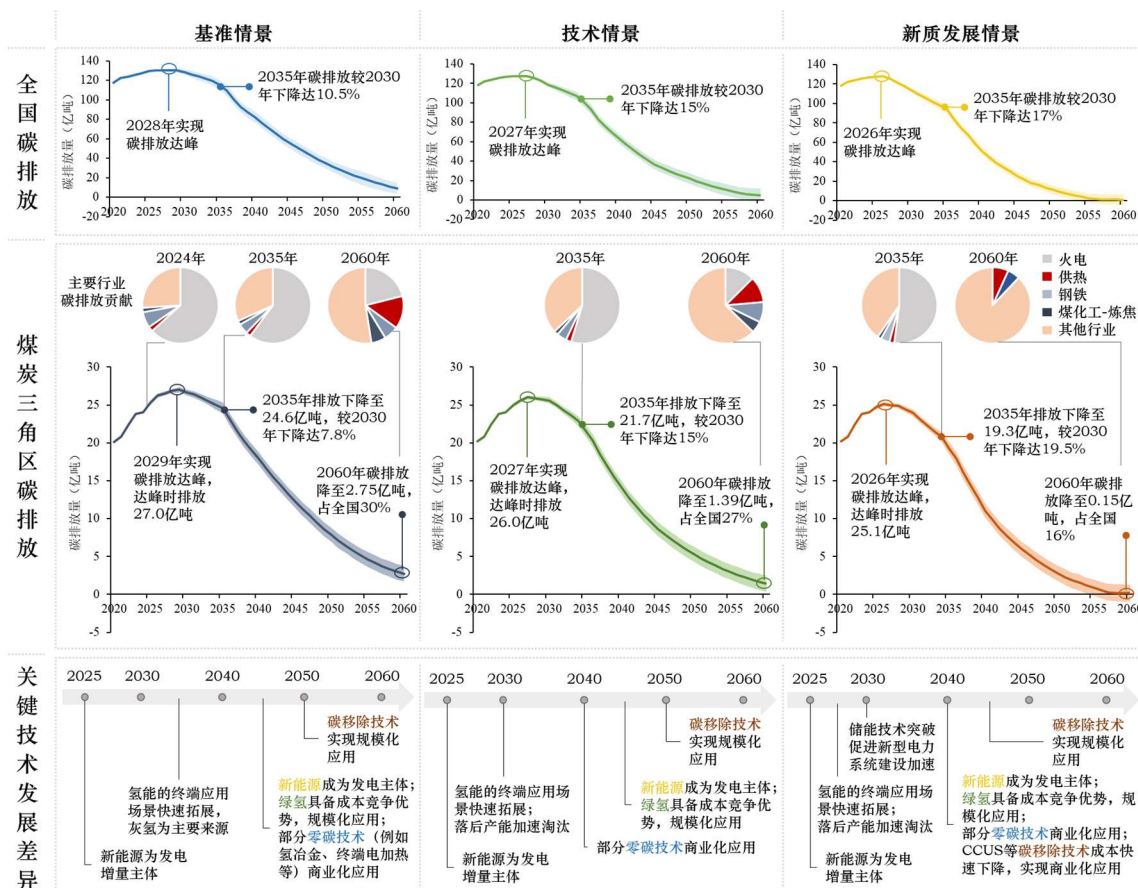


图 2-1 “双碳”目标下煤炭三角区二氧化碳排放路径¹

¹ 上述情景的碳排放核算已计入 CCUS 等工业级碳移除量，未将生物碳汇纳入核算范围。在不同类别情景中，**基准情景**代表在“双碳”目标下延续现行政策与已落地技术，开展较为保守的减排措施；**技术情景**为在基准情景上强化可再生能源、氢基产业、CCUS 等技术的前瞻性布局；**新质发展情景**为更为激进的引入绿氢、零碳工艺、负碳工艺等前沿技术，并同步加速需求侧转型。

达峰后至 2035 年期间，煤炭三角区年均碳排放降幅预计为 1.0%-2.6%，低于全国（1.7%-3.0%）。这主要源于区域内高碳产业集中，减排难度较大。一方面，受制于技术瓶颈、设备更新周期和产业路径依赖，高碳行业的减排进程相较全国其他地区更为缓慢；另一方面，尽管可再生能源利用持续推进，但在终端用能中的替代速度仍显滞后，清洁能源基础设施建设亟待加强。进一步分析山西、内蒙古、陕西、宁夏四省区的碳排放路径可以发现，由于煤基产业依赖度高、重工业占比大、风光资源并网技术相对落后以及清洁电力和低碳技术在重点产业中的应用不足等原因，山西与内蒙古预计在 2027-2029 年期间实现碳排放达峰，而陕西与宁夏预计在 2026-2028 年期间实现碳排放达峰。

值得注意的是，在更加激进的技术进步与新质发展情景下，如果能够加快低碳、零碳技术的前瞻性部署，并充分利用煤炭三角区在大规模示范与产业应用方面的优势，该区域的减排路径有望与全国保持同步，甚至在 2035 年后实现较全国更快的降幅。这一对比表明，前瞻性部署绿色低碳技术不仅是突破区域减排瓶颈的关键手段，也可能推动煤炭三角区由传统高碳能源基地转型为全国零碳技术应用与“双碳”目标实现的示范性区域。

（二）“双碳”目标下煤炭三角区煤基产业发展路径分析

煤炭三角区产业转型的核心在于，顺应低碳发展需求，积极推进煤基产业的有序退出和高碳排放环节的技术替代与系统优化。其中，煤基产业的产品需求变动构成关键影响因素。从行业演进趋势看，钢铁行业已越过需求顶点，水泥产量进入下行通道，二者对煤炭的拉动力持续减弱；现代煤化工仍处于产能扩张平台期；煤电发电量因全社会用电需求增长仍处于增长阶段。综合来看，**煤化工和煤电行业在短期内仍将锁定该区域大量的煤炭消费。**

作为全国煤化工产业的核心集聚区，煤炭三角区的煤化工产业发展呈现出规模增长与绿色转型并重的特征。从煤炭消费结构来看，传统煤化工仍占区域煤炭消费量的 18.6%，正逐步缩减并加速退出；现代煤化工目前消费占比约 4%，保持年均 3% 的稳健增长，产品结构持续向烯烃、芳烃和可降解材料等高端化学品升级，高附加值产品产值占比预计 2025 年达 25%、2030 年超 35%。2025-2030 年间，全国现代煤化工新增投资预计超 1 万亿元，该区域占比可达 85%。在煤化工的碳减排路径上，区域应从源头、过程与末端系统推进降碳：源头推动绿氢/绿电替代和含碳废弃物利用；过程推广先进气化、高效催化剂和余热回收；末端发展 CO₂ 制化学品与驱油等“减排—增值”型技术。此外，各省的煤化工发展路径呈现差异化：陕西严控产能、聚焦提质降碳；内蒙古与宁夏依托集群优势，推进绿电绿氢耦合与 CCUS 集成；山西重点推进产能替代与高端化转型。未来应加强区域协同与政策协调，构建多元互补、绿色高效的现代煤化工体系，在全国转型中发挥示范作用。

煤电方面，受电力需求刚性增长推动，全国煤电装机容量预计在 2030 年前仍有增长空间，发电量将于 2027 年前后达峰，煤炭三角区煤电发展路径与全国趋势基本一致。整体上，煤电角色正逐渐由主力电源向调峰电源转变。当前阶段，煤炭三角区煤电仍承担电力供应主体的任务，但随着新能源装机规模扩大，煤电调峰作用增强，其利用小时数大概率下降，单位供电能耗与碳排放强度面临上升压力。预计到 2035 年后，新能源有望成为发电结构主体，该区域存量煤电装机将加速退出。

此外，若仅依赖市场需求收缩难以在长期内实现煤炭消费的有效压减，必须依靠技术变革推动“主动减量”。除市场机制外，低碳转型亟需突破关键共性技术瓶颈。煤基产业低碳及零碳转型的重点技术方向包括电气化、氢能替代、CCUS 以及资源循环利用等技术。目前，多数关键技术仍处于示范或初步产业化阶段，普遍面临成熟度不足、成本偏高、政策支持体系不健全等挑战。下一步应加快推进低碳技术的集成创新与规模化应用，构建覆盖煤炭开采、加工、转化和终端利用全链条的系统性减碳体系，为煤基产业实现安全、绿色、深度脱碳发展奠定坚实基础。

专栏 2-1：鄂尔多斯煤化工产业园区低碳发展案例分析

传统的煤化工产业面临着巨大的转型压力。为此，鄂尔多斯煤化工产业园拟分两个阶段开展低碳技术的应用工作，以实现可持续发展。

第一阶段（2023-2040 年）：开展高浓度 CO₂ 捕获与绿氢利用

在第一阶段，产业园将重点捕获煤化工过程中产生的高浓度 CO₂，并结合绿氢生产低碳甲醇和烯烃等高附加值产品。目前，高浓度 CO₂ 的捕获成本约为 100 元/吨 CO₂。随着技术进步、绿氢成本降低以及全国碳市场煤化工行业的纳入，预计未来几年内，低碳甲醇和烯烃的生产成本将比传统煤基产品具有竞争力。这一阶段的转型不仅能够显著减少 CO₂ 排放，还能使重点化工产品的产量翻倍，提升产业园的经济效益。

第二阶段（2040 年以后）：低浓度 CO₂ 捕获与空气直接捕获技术

在第二阶段，产业园将逐步捕获低浓度 CO₂，并引入空气直接捕获 CO₂ 技术，以替代减少的煤基化工碳量。同时，煤基化工产品的产量将逐渐下降，取而代之的是利用绿氢生产的化工产品。这一阶段的转型需要依赖低成本的零碳电力，从工艺设计初期就应考虑如何利用低成本的光伏和风电资源。尽管鄂尔多斯拥有丰富的光伏资源，但仍需要通过技术创新和政策支持来降低开发成本，确保零碳电力的经济性和市场竞争力。

资料来源：《2024 年鄂尔多斯低碳转型及案例研究报告》

（三）“双碳”目标下煤炭三角区化石能源发展目标分析

在“双碳”目标的引领下，煤炭三角区的化石能源发展需顺应中国能源转型的大趋势。据预测，中国煤炭消费量将在 2026-2027 年期间实现达到峰值，原煤产量也在同一时期达到顶点，峰值约为 51.6 亿吨，之后进入 3-5 年的平台期。煤炭三角区作为国家重要的能源供应基地，并考虑到新疆等地区煤炭产量仍处于增长阶段，预计煤炭三角区的原煤产量将与全国趋势基本同步，于 2026-2027 年达到峰值，峰值为 36.8 亿吨。具体到各省份，陕西和宁夏的原煤产量预计将在 2026 年提前达到峰值，分别约为 8.39 亿吨和 1.08 亿吨；而山西和内蒙古的原煤产量则预计在 2027 年达到峰值，分别约为 13.70 亿吨和 13.47 亿吨。

在达到峰值之后，煤炭三角区的煤炭产量预计将会进入一个为期 3-4 年的缓慢下降阶段，产量年均降幅约 1%-2%。综合考虑到新疆煤炭产量持续快速增长以及全国煤炭消费结构变化，区域煤炭供需格局正在调整。鉴于疆煤以优质动力煤为主，销售半径集中于周边地区，而煤炭三角区则主产炼焦煤与化工用煤，双方在煤种与应用领域上形成天然互补，因此短期内直接竞争有限。因此，煤炭三角区煤炭产量的一变化主要受重点工业行业煤炭需求变化驱动：一方面，钢铁、水泥等部分行业已经实现了产能与产量的双达峰，促进煤炭消费的快速下降；另一方面，现代煤化工的扩张驱动煤炭消费上升，而传统煤化工（尤以煤制焦炭为代表）的衰退则拉动其缓慢下降。此外，煤电发电量预计在 2027 年达到峰值，但由于火电发挥在电网的调峰作用，发电煤耗量有所上升，因此煤电对煤炭的消费预计在 2027 至 2030 年期间将进入平台期。

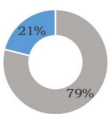
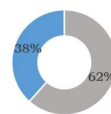
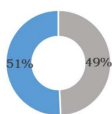
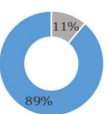
预计到 2030 年之后，随着电力行业整体达峰（火电行业的发电量预计在 2027 年达到峰值，装机容量则预计在 2030 年达到峰值）以及清洁生产技术的广泛实施，全国煤炭产量将进入快速下降阶段。在此期间，全国煤炭产量的年均下降速度预计在 2030 至 2040 年间达到 4%-5%，在 2040 至 2050 年间达到 5%-6.5% 之间。煤炭三角区的煤炭产量下降速度预计与全国趋势基本保持一致。展望 2050 至 2060 年，煤炭产量将进入一个缓慢下降的阶段。到 2060 年，全国原煤产量预计将稳定在约 9.5 亿吨，而煤

炭三角区的煤炭产量则预计下降至约 6.8 亿吨，剩余的煤炭将在特定领域发挥“兜底保障”和“战略储备”作用。与此同时，剩余煤炭在保障能源安全的关键领域所产生的碳排放，将主要依靠 CCUS、生物碳汇等碳移除技术加以消除，确保实现 2060 年的碳中和目标。

（四）“双碳”目标下煤炭三角区发展路线图

煤炭三角区实现绿色低碳发展的核心在于加快推进煤基产业绿色低碳改造与创新发展，推动传统煤炭产业向清洁高效、循环利用和多元化方向转型升级，重点发展氢能、煤化工升级、煤电优化以及煤炭深加工等绿色技术应用，促进产业链上下游融合，提升整体能源利用效率和环境效益，最终实现经济效益与生态效益的协同提升。表 2-1 呈现了在国家“双碳”目标背景下，煤炭三角区产业转型的发展目标。值得说明的是，如果在发电侧可再生能源的推广速度加快，终端需求侧电力或氢基产业替代加速，从而对煤炭的需求下降得更快，那么表中预测通过碳移除的减排量可能会更少。

表 2-1 煤炭三角区能源产业转型发展目标

发展目标		2024	2030	2035	2060
		黑色能源	蓝色能源		绿色能源
能源生产	煤炭产量	 34.5 亿吨	 32.5 亿吨	 28.3 亿吨	 6.8 亿吨
	电力生产结构	 ■ 灰氢 ■ 其他电力			
氢能产业	氢能来源	灰氢  >99%	灰氢:绿氢  6:1	灰氢:绿氢  3:1	绿氢  >90%
	氢能主要应用领域	化工	化工、交通	化工、交通、钢铁	化工、交通、钢铁、水泥等
	氢能需求	~1800 万吨 	~2300 万吨 	~2800 万吨 	>4500 万吨 
碳移除	移除量	<100 万吨 	>100 万吨 	>1000 万吨 	3-5 亿吨 
产业发展	煤基产业直接就业人数	203 万人 	160 万人 	120 万人 	30 万人 
	新能源产业直接就业人数	18 万人 	27 万人 	42 万人 	65 万人 
	第三产业 GDP 占比	49% 	50% 	52% 	>60% 

基于这一核心目标，煤炭三角区的产业结构优化应以“技术驱动、三产联动”为主线，分阶段推进传统能源清洁化与新兴产业培育的“双轨策略”。在 2025-2035 年的短期阶段，煤炭三角区应聚焦于传统煤基产业链的低碳化改造与延伸，并逐步降低第二产业在能源消费中的比重。中长期阶段（2035-

2060 年)，需加速三产结构从“二产主导”向“三产引领”跃迁，建立“退煤一育新一增值”的良性循环机制，将第三产业占比提升至 60%以上。

在此基础上，为系统推进区域产业低碳转型，本报告提出以“新三大建设”为抓手，聚焦碳减排的根本目标：一是在能源系统层面，立足资源禀赋，统筹碳减排、能源安全与经济可行性，推动化石能源清洁高效利用和清洁能源规模化发展，构建以新能源为主体的新型电力系统；二是加快煤基产业电气化进程，将氢能作为产业重构的关键支撑，培育以绿氢为核心的新型用能体系；三是强化碳移除能力建设，以 CCUS 等技术作为兜底手段，支撑煤基产业实现深度脱碳和最终排放削减。通过技术集成与路径演进，推动煤基产业由“黑色依赖”向“绿色主导”转型，形成系统性绿色低碳跃迁。中短期内，“新三大建设”虽难形成直接经济增量，但其长期经济性将随技术成本下降和政策完善而显现。因此，路径规划需将技术预测与经济社会效益评估结合，通过配套的产业与技能政策，将技术优势转化为发展红利与就业岗位，从而降低转型阻力、凝聚社会共识。

此外，煤炭三角区各省区的产业基础存在较大差异，在推动产业转型过程中路径各异，产业转型的开展重点应有所差异。陕西依托榆林国家级能源革命创新示范区，聚焦煤炭分质利用、高端能与 CCUS 技术，推进煤基特种燃料、可降解材料等产业发展。内蒙古应重点打造“风光氢储”一体化产业集群，探索“绿电+碳汇”产品。宁夏则突出“光伏+治沙”特色，推进光伏全链与绿氢耦合煤化工发展，需统筹宁东基地低碳改造与“新能源—生态修复—碳汇开发”一体化产业发展机制，兼顾经济效益与生态保护。而对于山西，其转型不应局限于能源结构调整，由于其可再生能源禀赋有限（见第 3 节），且新兴可再生能源产业的就业岗位与煤炭从业人员的技能存在明显错配，单纯依靠能源转型难以实现平稳转型。因此，山西实现和谐转型的关键在于挖掘农业、文旅、大数据、先进制造等多元潜力产业，以逐步替代煤炭依赖，创造更加安全、体面和可持续的就业岗位，从而实现煤基产业有序退出与接续产业的顺畅衔接。

三、煤炭三角区新兴产业发展路径

主要发现：

- 煤炭三角区风电、光伏资源禀赋优越，在“双碳”目标引领下，预计到 2060 年风电与光伏总装机容量将达到 21.8 亿千瓦，是 2024 年的 7.6 倍，形成全国领先的可再生能源基地。探索构建“转型发展伙伴关系”，借鉴“对口支援”成熟模式，形成“能源互供—产业协作—利益共享”格局。
- “十五五”期间，可再生能源装机有望保持约 15%的年均增速。鉴于其波动性特征，应同步加快智能微电网、跨区域输电及储能体系建设，增强可再生能源消纳能力。
- 依托大规模可再生能源发电优势，可推动绿氢生产与应用。近中期应加快氢能应用场景布局，重点推进绿氢生产与运输的技术示范，扩大在交通、化工、新能源装备制造等领域的应用，为下游产业提供稳定的低碳能源支撑，全面提升区域新能源产业链竞争力。
- 结合可再生能源发展与传统产业低碳改造，培育碳移除技术、人工智能等新兴产业，推动“风光+农业”“风光+治沙”等模式，实现能源转型与生态服务业的融合发展。

（一）煤炭三角区可再生能源发展路径分析

煤炭三角区拥有丰富的风能和太阳能资源。在综合考虑土地属性、坡度等地理特征后，该区域总

体风能装机潜力可达 40.7 亿 kW，占全国总可装机潜力的 46.8%，风电发电潜力为 8.2 万亿 kWh，占全国总潜力的 27.9%。在太阳能发电方面，集中式光伏和分布式光伏的装机潜力分别达 99.8 和 4.5 亿 kW，占全国总装机潜力的 23.8%和 12.1%，太阳能发电总潜力达到 15.5 万亿 kWh，占全国总潜力的 23.2%。然而在煤炭三角区中，四省区的可再生能源资源分布存在明显差异，其中内蒙古自治区因其广阔的土地面积，其风电与太阳能利用小时数相较于其他省份更具优势，为大规模开发可再生能源提供了得天独厚的条件。相比之下，山西、陕西和宁夏的风光资源总量相对有限，单纯依靠资源开发规模难以形成显著经济优势。因此，这些省份更应注重围绕新能源构建完整产业链，通过发展新能源装备制造、储能技术集成、“风光+其他产业”等高附加值环节，形成以产业链竞争力驱动区域经济增长的新模式。

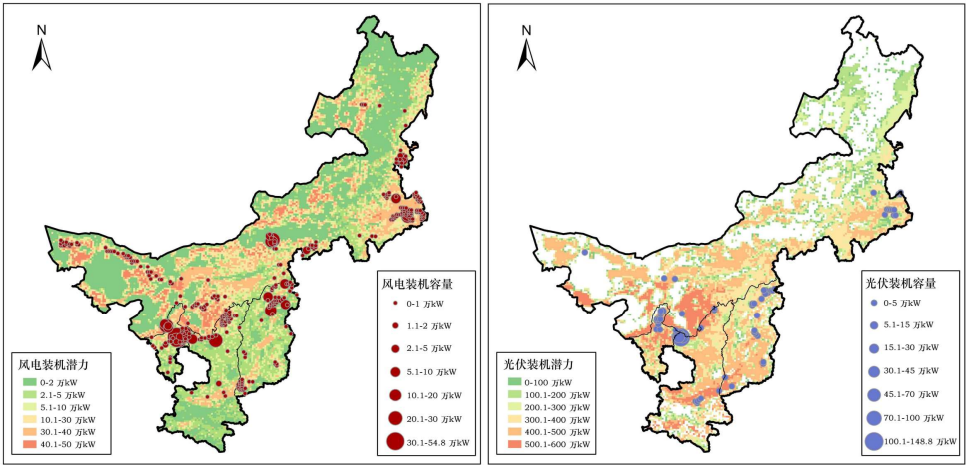


图 3-1 煤炭三角地区风电与光伏装机现状及装机潜力分布

在“双碳目标”的引领下，中国可再生能源将实现迅猛发展，预计到 2030 年，全国风电光伏装机容量达到 28 亿 kW。到 2060 年有望提升至 110 亿 kW。在这一进程中，煤炭三角区，尤其是内蒙古自治区，将在全国可再生能源布局中扮演极为关键的角色。据预测，到 2030 年，煤炭三角区的风电与光伏总装机容量将达到 5.9 亿 kW，而到 2060 年，这一数字将大幅攀升至 21.8 亿 kW，凸显了该区域在推动全国能源结构转型中的核心地位和巨大潜力。

然而，大规模风电和光伏发电的快速扩张也将为煤炭三角地区电力基础设施带来了一系列挑战，为应对风电与光伏固有的发电间歇性、不稳定性及波动性，需要在基础设施和电网系统方面进行相应的优化和升级。尤其是在煤炭三角区的偏远地区，基础设施不足可能会影响项目的建设和运营效率，因此加强基础设施建设、提高项目可达性和运营便利性是实现可再生能源大规模发展的关键。

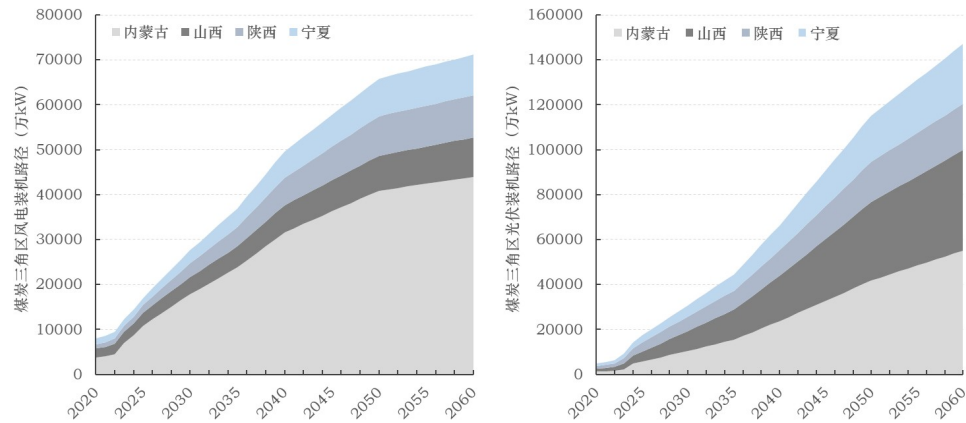


图 3-2 “双碳”目标下煤炭三角区风电与光伏装机路径

此外，中国的主要电力消纳省份集中在沿海地区，煤炭三角区建设清洁能源大基地需依托跨区域输电与市场机制实现高效外送。为推动煤炭三角区新兴产业发展，可探索构建“转型发展伙伴关系”，与经济发达且传统依赖煤炭输入的省份形成产业反哺合作机制。借鉴“对口支援”成熟模式，围绕产业链协同、市场共建、技术转化、人才共育等维度，在新能源消纳、产业链配套、技术研发、绿色金融等方面开展深度合作，实现区域优势互补与资源高效整合。沿海省份可通过投资和技术支持，加快煤炭三角区可再生能源建设与产业升级；煤炭三角区则稳定向协作省份输送绿色能源和装备产品，形成“能源互供—产业协作—利益共享”格局。

(二) 煤炭三角区绿氢产业发展路径分析

在可再生能源规模化发展的推动下，煤炭三角区具备良好的绿氢产业发展基础。区域内风能和太阳能资源丰富，为绿氢制取提供了稳定且低碳的电力来源，有助于显著降低电解水制氢的边际成本，拓展绿氢在能源和工业原料端的应用空间。绿氢产业链的构建不仅有助于提升新能源系统的柔性调节能力与消纳水平，还将带动电解设备、高端材料、储运装备等上下游制造业发展，逐步塑造支撑区域能源转型与产业升级的新增长引擎，和支撑实现煤炭消费的可持续退出。

当前，煤炭三角区以煤化工为代表的煤基产业是氢能消费的主体，煤制合成氨、甲醇等工艺对氢气的原料需求将持续存在。该区域可依托丰富的绿电资源，推动从源头、工艺到系统的全面重构，逐步以绿氢替代煤气化制氢，构建“绿氢补氢、CO₂资源化利用、管网适配”的近零排放新体系。在排放指标等约束政策倒逼下，应推动煤化工企业逐步从“灰氢”转向“蓝氢”和“绿氢”，实现系统性技术改进而非简单扩大煤制氢规模。未来 5-10 年，煤炭三角区应率先在现代煤化工增量项目中规模化应用绿氢，并逐步向存量系统替代扩展，进而推动氢冶金、航空燃料等场景深度脱碳。同时，交通领域氢能应用持续推进，区域可再生电力优势为绿氢规模化制备提供基础。需注意的是，受储运技术、基础设施及经济性制约，2050 年前绿氢仍将主要服务于区内消纳。预计到 2060 年，该区域氢能年需求量将超过 4 000 万吨，化工是氢能的主要消费领域；伴随绿氢成本持续下降，其年消费量有望达 3700 万吨，占比超过 90%，为煤基产业深度脱碳转型提供关键支撑。

如今，由于氢能应用场景的受限，绿氢的发展路径仍存在不确定性，煤炭三角区需要统筹技术替代与风险管理，构建分阶段的过渡方案：短期依托灰氢和蓝氢保障供应，推动氢能煤化工碳捕集利用相结合的示范项目；中长期逐步向绿氢过渡，并积极布局绿电—绿氢—绿色化工一体化系统，制定多元化的技术备案，以确保不同发展情景下能源转型的安全性及可行性。

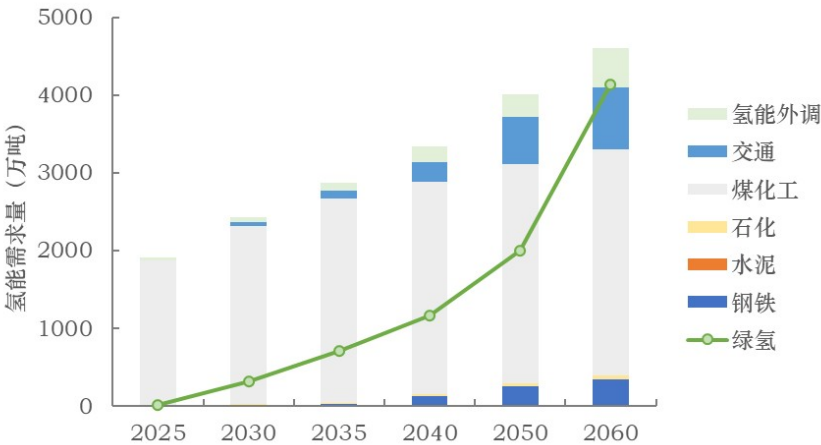


图 3-3 煤炭三角区分行业氢能总需求与绿氢需求量

专栏 3-1：山西省吕梁市氢能产业调研：鹏飞集团的转型实践与挑战

鹏飞集团目前已形成涵盖煤炭（3000 万吨）、选煤（3400 万吨）、焦炭（500 万吨）、甲醇（30 万吨）、LNG（2 亿立方米）、合成氨（10 万吨）、高纯氢（2 万吨）等在内的综合生产体系，并延伸至商用车制造、氢能核心装备制造、零碳智慧物流、公路铁路运输、文化旅游地产、五星级酒店及 5G 智能应用。近年来，鹏飞集团加速氢能产业布局，形成了“制—储—运—加—用—研”全链条模式，并在氢能重卡、电堆及装备制造等领域持续投资。企业在转型过程中面临以下主要问题，这在一定程度上反映了传统能源企业普遍存在的挑战：

（1）碳减排激励不足：目前，全国碳排放权交易市场尚未全面覆盖化工、交通等行业，且中国核证自愿减排机制中也尚未纳入绿色氢能相关项目。绿氢应用在零碳物流的减排量难以实现量化并转化为经济收益，削弱了企业的减排积极性和产业经济性。

（2）氢能下游应用受限：氢能重卡推广仍依赖政策驱动，民用交通（如公交、轻卡）渗透率较低，市场化需求不足，制约了氢能产业链的可持续发展。

（3）成本压力与技术路径不确定性：受煤化工产业基础影响，灰氢成本维持在 20 元/kg 以内，显著低于风电、光伏等可再生能源制氢成本。目前绿氢制氢规模有限，尚未具备成本竞争力。同时，氢能技术更新迭代迅速，燃料电池技术路线仍存在竞争，绿氢制甲醇等衍生产业规划较为激进（全国目标 1 亿吨），存在投资过热的潜在风险。

资料来源：2025 年 4 月项目组前往山西吕梁鹏飞集团调研

（三）煤炭三角区其他新兴产业发展路径分析

在煤炭三角区推进绿色低碳转型的过程中，为应对打破“煤炭锁定”可能带来的阶段性经济下行压力，需突破现有产业框架，积极拓展多元化新兴领域。建议加快发展以“风光+”为核心的新型产业体系，因地制宜推动“绿电+储能”“绿电+数据中心”“绿电+低碳制造”等融合业态，逐步形成绿色能源与新兴产业良性互动的集群发展格局，为区域构建长期稳定、可持续的经济新增长极提供坚实支撑。

储能等电力系统配套措施：加快储能技术和多能互补系统的规模化应用，提升电力系统的调节能力和运行稳定性。加快智能电网、柔性直流输电等先进电网技术建设，增强电力输送与消纳能力。内蒙古可依托丰富资源优势扩大清洁能源与储能产业规模，提升区域消纳能力；山西、陕西、宁夏应统筹风光装机与电网规划，推动传统能源与清洁能源协同发展，实现能源结构优化与系统高效运行。

AI 及数据中心：煤炭三角区具备发展低碳数字产业的潜力，依托绿电资源和相对较低的土地与气候冷却成本，内蒙古、宁夏等地可加快布局低碳数据中心和人工智能产业集群，推动“东数西算”工程落地，承接东部数据计算需求。应充分发挥当地的可再生电力富集和制造业基础等优势，加强对高性能算力中心的规划指导，与信息产业头部企业精准对接，推动数据中心绿色供能体系建设，实现“源网荷储算”一体化发展。同时，通过数字技术支撑区域产业智能化升级，为传统能源、制造等行业提供数字化转型解决方案。

碳移除产业：煤炭三角区具备发展碳移除产业的必要性与技术应用潜力。经过测算，2060 年煤炭三角区的碳移除需求预计约为 3-5 亿吨，煤炭三角区可通过 CCUS、生物质能与碳捕集（BECCS）、土壤碳汇、矿化封存等多路径参与其中。尽管当前碳移除技术在短期内难以形成显著的经济增量，但值得关注的是，全国温室气体自愿减排项目已纳入造林碳汇。且随着全国碳市场机制的持续完善，其他碳移除技术所实现的碳减排效益有望纳入全国碳市场交易体系，从而进一步激发相关技术的发展动力，

同时将为企业带来可观的低碳收益与绿色效益。此外，碳移除项目可与文旅产业相结合，例如打造负碳生态旅游示范区，增强产业多元价值和区域生态服务功能。

新能源耦合旅游与生态服务业：应充分挖掘传统能源基础与生态资源优势，推动新能源与生态修复、文旅融合发展。例如，可在退役煤矿区建设光伏项目，兼顾发电与生态治理。鼓励煤炭企业转向可再生能源投资，拓展业务边界，并推动“风光+农业”“风光+治沙”等新能源与生态服务业的融合发展，打造以绿色能源为支撑的新兴服务产业集群，推动传统能源型地区向绿色服务经济转型，促进就业结构优化和区域经济高质量发展。

文旅产业：煤炭三角地区缺乏对于文旅产业潜力的深度挖掘和广度拓展，也缺乏硬性的基础设施和推介渠道，而这恰恰是拥有更加悠久市场化经济头脑的珠三角和长三角的政府、学者和企业所具备的。应依托当地特色文化与自然资源，通过联合策划主题文旅活动、开发文创产品、景点数字孪生、共建区域旅游品牌等方式，推动文旅市场发展。

农业领域：作为煤炭三角区的特色产业，应聚焦粗粮精细化加工升级，借助发达地区产业资源，搭建高端企业对接桥梁，在原产地管理、产品深加工、品牌营销、电商渠道建设等环节开展深度合作；同时，以本地需求为牵引，引入先进技术与产能，推动风力光伏设备的本地化制造，助力本地制造业向绿色低碳、高端智能制造转型。

综合产业发展来看，煤炭三角区可借助园区为载体推动新兴产业与区域资源深度融合。通过建设零碳园区，尤其是与“转型发展伙伴”省份、地区的合作，将推动新能源装备制造、碳移除技术、氢能利用、数字经济、现代服务业等多元业态集聚，形成产业链协同和规模效应。在此过程中，零碳产业园区不仅是传统产业转型升级的重要承接地，也是培育新兴产业和探索制度创新的试验场。

专栏 3-2：山西省大同市能源转型经验：从“一煤独大”到“多柱擎天”

大同曾以“煤都”闻名——建国以来累计向全国输出煤炭超 30 亿吨，却也因此陷入生态破碎、经济单一的困境。20 世纪 90 年代末，大同把“调结构”列为头号工程，通过关闭矿井、淘汰落后产能，为产业置换腾出空间。

能源之城：大同在继续以煤炭为基础扛牢保障国家能源安全的政治责任之上，更持续深化能源革命综合改革试点，锚准了“向绿向未来”的方向。进入“十四五”，大同抓住风光资源与冷凉气候优势，加快建设晋北新能源基地。在 2024 年，大同的电力总装机达到 1755 万千瓦，其中新能源和可再生能源占比 54%、高于全省近 4 个百分点；4 个独立储能项目并网，总规模 32 万千瓦，居山西第一。

算力之城：与此同时，依托绿色电力，大同同步推进算力产业融入“东数西算”、融入京津冀、融入全国算力网络一体化布局，持续壮大算力产业规模，不断优化政策支持配套，构建产业链集群配套，加快建设全国有影响力的环首都核心算力城市。2018 年起引入秦淮数据、京东、抖音等头部企业，累计完成算力投资超 282 亿元，城市算力分指数跃居全国第三。

文化之城：大同市持续加强文物保护利用，深化云冈学研究，大力发展文化旅游业，高水准推动大同古城综合型旅游核心区与消费聚集地建设，持续推进恒山 5A 级景区创建，加快云冈大景区等高品质景区集群建设，推动文旅与康养、农业、工业、商贸、体育深度融合，与文博、文创、文艺协同发展，加快建设国际知名文化旅游城市。曾经位于云冈石窟附近的污染源之一——晋华宫矿山，已变身为矿山公园，成为中国首批工业遗产旅游基地之一，成了旅游线路上的重要打卡点。

资料来源：晋青可持续发展公益服务中心

四、煤炭三角区零碳园区建设模式研究

主要发现：

- 工业园区是煤炭三角区经济发展的核心载体，其中资源依赖型产业园区占省级及以上园区总数的 33.7%，占据主导地位，而新兴产业园区发展相对滞后。
- 在零碳园区建设的基础上，升级打造零碳贸易示范区，将成为打造绿色零碳产业链和产品的“先手棋”，也是推动传统高碳地区绿色转型、带动国内产业升级的重要抓手，并为政策、市场与金融机制的集成创新提供试点平台。
- 依托煤炭三角区能源基地优势，对标国际碳核算规则，零碳贸易示范区的建设应形成涵盖碳足迹核算、能源结构优化、绿色供应链等核心指标体系，实现与国内和国际标准的有效衔接。

（一）煤炭三角区园区发展现状

园区是推动产业绿色低碳转型的重要载体。自 2024 年首次提出零碳园区建设以来，园区在引导资源集聚、推动技术应用方面的作用日益凸显。煤炭三角区产业结构高度依赖能源投入，能源结构直接决定区域产品碳足迹与竞争力，需探索更具系统性和标志性的转型机制。

据统计，煤炭三角区共设立省级以上工业园区 169 个，包括国家级经济开发区 14 家、国家级高新技术产业开发区 14 家以及省级开发区 141 家。而在煤炭三角区省级以上工业园区的主导产业中，资源依赖型产业（煤炭、煤化工、煤电、电力、冶金、化工等）合计 57 家，占园区总数的 33.7%，占据主导地位，显示出区域产业结构高度依赖煤炭资源与能源密集型产业的特征。装备制造规模次之（47 家，27.8%），虽占比较高，但细分领域集中于矿山机械、煤化工设备等能源配套领域，未能脱离煤炭产业生态。煤炭三角区工业园区新兴产业发展较为滞后（新能源、生物医药、电子信息、汽车制造等新兴产业合计仅 36 家，占比 21.3%），结构性失衡凸显。

煤炭三角区的 169 个省级以上工业园区是区域经济的核心载体，2023 年实现规上工业总产值 4.8 万亿元，占区域工业总产值的 48.5%。同时，其碳排放总量达 6.36 亿吨，占区域总排放的约 33%，碳强度为 1.325 吨/万元。煤化工作为最具战略价值的支柱产业，2023 年鄂尔多斯现代煤化工产业示范区产值达 2080 亿元、陕西榆林煤化工产业示范区产值达 1338.3 亿元、宁夏宁东煤化工产业示范区产值达到 1800 亿元，“榆鄂宁”三大煤化工示范区产值合计 5218.4 亿元，占园区总产值的 10.9%。但其碳排放达 1.74 亿吨，占园区排放的 27%，碳强度高达 3.334 吨/万元，远超全国开发区平均水平，降碳任务尤为紧迫。

（二）零碳园区建设的实践内涵

自 2024 年底中央经济工作会议首次提出“建立一批零碳园区”以来，零碳园区建设逐步上升为国家战略重点。2025 年政府工作报告将其列为年度重点任务，国家发展改革委、工业和信息化部、国家能源局于 2025 年 7 月联合印发《关于开展零碳园区建设的通知》，首次在国家层面统一了建设标准、认定程序和配套政策，标志着零碳园区由地方试点进入系统化、规模化推进的新阶段。与此同时，2025 年 5 月国家发展改革委、国家能源局发布《关于有序推动绿电直连发展有关事项的通知》，明确了“绿电专线、电量单列、电价协商”等制度红利，为园区构建稳定、可追溯的绿色电力供应体系奠定了政策基础。

在此背景下，零碳园区的建设已不仅是单一的技术升级，而是涉及能源系统重构、产业结构调整

与体制机制创新的系统性工程。一方面，需要推动园区范围内工业生产、建筑运行、交通运输等关键领域的深度低碳化，加快先进低碳和零碳技术的规模化应用；另一方面，还需引入碳移除与生态碳汇等负碳手段，为实现园区层面的净零排放提供保障。煤炭三角区在这一过程中不仅承载着传统工业园区的绿色改造任务，更强调以绿电直连、能效提升、碳管理服务和产业结构优化为核心的综合路径。

然而，现有零碳园区建设目标仍主要聚焦于碳排放核算范围一和范围二²，通过“源网荷储”一体化提升绿电比例，并辅以绿证交易和碳汇抵消等手段实现运营环节的净零排放。因受数据基础、核算能力与管理权责的制约，范围三碳排放的核算与管理尚未系统纳入零碳园区的建设框架中。面向未来，零碳园区建设应以实现范围一至范围三的全覆盖为目标，推动温室气体全流程净零排放，并在路径设计中兼顾阶段性、可行性与战略性。**基于此，本报告提出在煤炭三角区探索建设“零碳贸易示范区”，作为零碳园区的升级与延伸。该示范区将通过产业链视角强化园区的示范引领功能，拓展建设示范边界，推动高碳地区产业升级与能源结构优化。**

（三）零碳贸易示范区的定位与发展目标

设立零碳贸易示范区的核心任务在于创新零碳产品贸易制度体系、打造低碳技术与企业应用示范高地，并构建基于全产业链的跨区域资源整合平台。示范区应聚焦零碳产品的标准制定、认证与国际对接，全面提升煤炭三角区绿色低碳产业竞争力。其重在**以全产业链视角，推动多园区协同，将绿电直供、碳足迹认证与绿色金融系统性嵌入产业集群，从而深度融合国内绿色经济，实现产业协同与低碳交易的一体化发展**。相较于零碳园区聚焦企业减排与能源替代，示范区更强调政策协同、市场机制与金融工具的集成创新，尤其注重吸引民营资本和外资企业参与，激发市场活力。因此，建立零碳贸易示范区既是撬动传统高碳区域绿色转型与国内产业升级的重要抓手，推动零碳产业链发展的示范举措。

煤炭三角区作为中国能源型产品的核心生产地，不仅在能源生产、煤化工等碳密集型产业中承担关键产能，更是许多产品全生命周期碳足迹的决定性环节。其他地区的制造业在能源消费上高度依赖煤炭三角区外送的煤炭与电力，其产品碳强度与煤炭三角区的能源结构呈现耦合关系。因此，推动煤炭三角区的能源结构优化与绿色生产体系建设，将为全国制造业产品的碳足迹优化提供直接支撑。

煤炭三角区同时具备大规模绿电接入的资源优势，不仅能够率先实现绿电直供与产业耦合发展，系统降低出口产品的碳强度，还可在此基础上打造超越传统绿电直供园区和零碳园区的发展模式。零碳贸易示范区可通过引入巴黎协定第6条机制（即国家间碳减排合作和交易机制）³等国际碳交易规则，实现碳资产的合规交易与国际碳减排合作，推动区域产业链的重构与升级。同时，依托完善的煤炭、煤制及煤化工全流程数据体系，建立可追溯、可验证的碳足迹核算机制，满足国际碳披露与认证要求，从而提升产品的环境友好性和资源集约性，降低产品碳足迹。

因此，零碳贸易示范区的建设指标体系需围绕环境、经济、技术、政策与社会五维目标，与国际标准及国内“双碳”政策精准对接。表4-1汇总了建议的零碳贸易示范区的主要建设指标，主要从七个领域开展工作。量化指标需结合当地园区的具体特点和适应性进行调整。总体来看，零碳贸易示范区的建设指标应坚持“可量化、可追踪、可对标”的原则，既符合国际先进碳足迹核算标准，又与中国零碳园区的碳核算体系保持一致，确保方法论的协调统一。通过动态优化指标体系，可精准识别短板（如技术瓶颈或政策滞后），推动示范区从“低碳试点”向“全球零碳标杆”跃升。

² 范围一为园区内的直接排放，范围二为使用外购电力、热力等产生的间接排放，范围三则涵盖上下游供应链、产品使用和废弃等生命周期内的其他间接排放。

³ 巴黎协定第6条机制（Article 6）是基于国家间政府间合作的国际减排交易框架，强调国家层面的碳减排成果互认和交易，推动各国共同实现减排目标。它包括“国际转让机制”、“可持续发展机制”等，具有较强的国际协调性和合规性

表 4-1 建议选取的零碳贸易示范区建设指标

评价体系	指标	指标解释
碳排放与资源效率	碳强度相关指标	单位 GDP 碳排放量（吨 CO ₂ /万元）、重点行业（钢铁、铝、化工）产品碳足迹（kgCO ₂ e/吨产品）、绿电使用比例（%）及可再生能源装机容量（GW）
	资源循环利用	工业固废综合利用率（%）、水资源重复利用率（%）、重点行业原料替代率（如绿氢替代焦炭比例）
低碳产业与供应链	产业转型成效	低碳产业增加值占 GDP 比重（%）、绿氢、绿钢、绿铝等绿色产品出口规模（万吨/年）
	供应链可持续性	重点企业供应商碳绩效达标率（%）、绿色物流占比（如氢能运输工具使用率、电动重卡渗透率、新能源货车保有量）
技术创新与基础设施	技术研发与应用	零碳技术专利数量（件/年）、颠覆性技术商业化应用比例
	基础设施支撑	智能电网覆盖率（%）、绿氢加注站/充换电网络密度、碳捕集与封存（CCS）设施规模（万吨 CO ₂ /年）、星级绿色建筑占比（%）、是否建立统一的碳排放数据平台，实时监测企业生产过程中的直接和间接排放
政策与市场机制	政策有效性	是否制定示范区专属的碳核算标准，并与欧盟的核算边界一致、是否制定并实施税收减免、补贴等激励措施，鼓励采用可再生能源和低碳技术、企业碳税/碳交易参与率（%）、绿色金融工具规模（如转型债券发行量、碳质押贷款额）
	零碳产品市场激励机制	是否建立“绿色产品清单”，优先支持低碳产品并推动其减排贡献的市场认可；是否建立“零碳白名单”制度，对使用绿电比例超 70%、碳强度在行业前 5% 的产品进行分类管理，在市场准入、采购指引、认证标识等环节中给予优先支持
社会公平与协同发展	就业与公正转型	新能源产业新增就业岗位数（百个/年）、传统能源从业人员转岗培训率（%）、女性就业占比（%）
	公众参与福祉	公众低碳意识普及率、空气质量改善指数（PM _{2.5} 年均浓度下降率）
国际合规	国际规则对接	获得国际认证的零碳产品种类、参与国际标准制定的案例数、国际技术合作项目数量

五、促进煤炭三角区转型的资金支持方案

主要发现：

- 尽管煤炭三角已初步建立转型金融支持体系且在路径和重点上各具特色，但存在资金供需错位、政策协同不足和风险分担缺位等问题，尚未有效激发资本参与转型的活力。
- 测算显示，煤炭三角区未来五年低碳转型资金需求约 1.8 万亿元，其中 1 万亿元可通过市场化融资解决，用于新能源与工业技改。其余部分如公正转型、生态修复等仍依赖财政支持。
- 建议设立地区绿色发展转型基金，其主要目的是通过多元化融资支持和精准投资，系统推动煤炭三角区能源与产业低碳转型，重点支持具有显著碳减排效益和包容性发展效应的项目。

（一）煤炭三角区低碳转型的金融及基金支持现状

1. 煤炭三角区低碳转型金融支持现状

在“双碳”战略引导下，煤炭三角区各省已初步建立转型金融支持体系，并在路径和重点上各具特色（详细请看附录 B 中表 B-1）。山西于 2023 年 8 月落地全国首笔公正转型贷款，支持晋能煤业集团的低碳转型，部分资金专门用于员工技能培训，探索了“企业减碳+就业保障”并重的模式。内蒙古依托煤炭绿色化、智慧化转型基础，积极争取国家开发银行等政策性金融支持，开发煤电转型贷款产品及专项基金。陕西则注重推动煤炭清洁高效利用技术的研发和应用，通过创新绿色信贷、绿色债券等金融产品为企业转型提供多元融资工具。宁夏在借助国家和地方绿色金融政策的同时，加强与多边开发金融机构合作，争取国际低成本资金，开发契合本地煤炭产业转型需求的金融工具。

总体来看，当前煤炭三角区转型金融实践主要聚焦五个方向：一是支持碳捕集封存、整体煤气化联合循环等关键技术研发，推动煤炭清洁高效利用；二是鼓励发展风电、光伏、天然气等清洁能源，增强能源替代能力；三是推动金融机构开发转型贷款、绿色债券、可持续发展挂钩债券等多样化融资产品；四是通过财政贴息、产业引导基金、绿色审批通道等方式撬动社会资本广泛参与；五是积极争取多边金融机构低成本融资和技术协同，提升区域绿色转型的金融保障水平。

2. 煤炭三角区低碳转型基金支持现状

煤炭三角区的各省区也在积极探索开展低碳转型基金支持，地方间的转型基金存在明显差异，整体在推动煤炭三角区的能源转型动能上存在不足。山西的政府引导基金主要聚焦能源产业、科技成果转化及民营企业创新转型，助力能源革命和经济升级，但存在资金闲置问题，亟需差异化调整以提高精准度；内蒙古的基金起步晚但规模较大，投资方向包括国企转型及重大项目等，近年向市区县下沉，侧重创新创业、节能环保和新能源领域，不过区县级基金因经验不足和产业基础薄弱，投资效率有待提升；陕西的产业类引导基金占比较大，投资范围广泛，但面临规模小、合力不足等问题，需优化架构和强化协同；宁夏的产业引导基金涵盖多领域，但部分投向产能过剩和高风险企业，应强化产业政策协同，将绿色指标纳入投资决策。总体来看，各地基金在推动低碳转型中发挥了积极作用，但也暴露出诸多问题，需针对性改进以增强效能。

3. 煤炭三角区转型金融和基金支持现存的问题

煤炭三角地区的低碳转型金融和基金支持在推动低碳转型中存在三方面突出问题：首先，资金供需错位，高新技术民营企业融资难，而部分政府基金却因标准过严和退出机制不清出现资金沉淀，形成“企业等钱、钱等项目”的矛盾；其次，政策协同不足，绿色信贷、债券、补贴等工具在准入条件和核算口径上缺乏统一，审批流程繁琐，导致金融机构“愿贷不敢贷”、企业“能申不会申”；最后，风险分担机制缺位，现有增信和保险体系难以覆盖技术与市场不确定性，政府、金融机构和社会资本之间未能形成合理的风险与收益分配，制约了资本的有效流入。

（二）煤炭三角区产业低碳转型的资金需求分析

通过对煤炭三角区的煤炭产业链，主要包括煤炭开采、煤化工、电力系统、钢铁、水泥等重点煤炭使用领域，本报告对该区域绿色低碳转型资金需求开展总体测算。整体来看，2025-2030 年，预计煤炭三角区煤基产业主要领域的转型总需求约 1.8 万亿元，年均资金需求超 3000 亿元。而在重点项目的资金需求中，2025-2030 年煤矿关停与改造的累计资金需求约为 151.4 亿元，年均 30.3 亿元。在产业转型方面，煤化工低碳技术改造所需投资显著，2025-2030 年预计资金需求达 4372.8 亿元，年均 874.6 亿

元。下游行业方面，钢铁转型涉及电炉炼钢、氢基还原、能效提升和碳捕集等技术，预计 2025-2030 年资金需求为 3063 亿元，年均 612.6 亿元；水泥行业的低碳转型资金需求同期为 377.4 亿元，年均 75.5 亿元。能源转型方面，煤炭三角区 2025-2030 年资金需求约为 9873.3 亿元，年均 1974.7 亿元。对比既有测算，仅山西煤电、钢铁、焦化三大行业 2025-2035 年转型资金缺口已突破 8000 亿。

表 5-1 煤炭三角区低碳转型聚焦领域及投资路径⁴

煤炭产业链	主要行业	转型方向	2025-2030 年资金需求测算（亿元）
上游	煤炭开采与洗选业	煤矿关停改造	151
中游	煤化工	低碳转型技术改造	4373
下游	电力系统	新型电力系统发展	9873
	钢铁	产能优化与低碳转型技术改造	3063
	水泥	产能优化与低碳转型技术改造	377
公正转型-人员补偿及技能培训			2150
煤矿产区生态修复			122
零碳园区及零碳贸易示范区建设			2620
总计			17810

数据来源：基于报告第二、三章开展的转型路径测算得出。

（三）煤炭三角区绿色低碳转型的资金支持方案研究

煤炭三角区转型项目可融资性呈现明显两极分化：公益属性突出的煤矿关停、生态修复与公正转型（约 2300 亿元）高度依赖中央及地方财政转移支付和政策性资金支持；而收益预期明确的新兴产业（如新能源、储能，规模超万亿元）和传统工业技改项目（超 7800 亿元）具备较高可融资性，预计可吸引 50%-90%的市场化资金，并成为绿色信贷、债券、产业基金和 REITs 等多元金融工具的重点支持领域。因此，在煤炭三角区成功推进绿色低碳转型的关键，在于充分发挥财政转移支付在托底社会成本、弥补财政收入缺口和防范系统性风险方面的保障作用，同时通过机制创新激活经营性项目的商业效益，有效撬动社会资本参与。

基于此，建议在煤炭三角区设立地区性绿色发展基金，并构建以财政转移支付为基础、市场与社会资本协同跟进的多元化资金支持体系。尤其在基金初期，应在可获得资金范围内，优化一般性转移支付以保障基层财政稳定，同时通过设立退煤、新兴技术培育和跨区域生态补偿的专项转移支付项目，结合市场化融资力量，逐步形成多层次资金工具箱。该基金可在国家设立的相关转型基金框架下，设立面向该区域或重点行业的子基金，有效发挥国家绿色发展基金等现有平台的引导功能，优化资金配置、统一政策标准、分散投资风险，全面提升对煤炭资源型地区绿色低碳转型的系统性支持。基金投资应严格遵循煤炭三角区能源与产业转型政策导向，重点支持碳减排效益显著的成熟项目，优先考虑承诺吸纳转型职工、推行员工持股计划的项目，并积极探索“光伏+社区就业”等包容性发展模式。绿色发展基金应重点投向以下领域：

- 能源结构优化：支持存量煤电灵活性改造项目，以及具有规模化效益的新能源基地项目及“风光+”类产业链提升项目。
- 产业节能减碳：投资能效和碳排放指标达到行业领先水平的现代煤化工项目，包括低质煤炭

⁴ 表中“公正转型-人员补偿及技能培训”“煤矿产区生态修复”“零碳园区及零碳贸易示范区建设”为交叉项，总计资金需求中不予重复统计。

资源的高质利用项目及并购类项目。

- 循环经济领域：粉煤灰、煤矸石等大宗工业固体废治理和资源化项目。
- 创新技术应用：绿氢、CCUS 项目及其与传统煤基产业的耦合应用。
- 生态保护修复：矿山生态恢复、荒漠化治理、“光伏+生态修复”及生态产品价值实现项目。
- 零碳园区建设：专项支持零碳贸易示范区、零碳园区建设、集群产业孵化等。

在投资方式方面，主要采取股权投资、股债结合、投贷联动等灵活多样的投资方式，同时探索私募 REITs 基金及市场化债转股等创新工具。运作层面，以财政转移支付“稳住基本盘、支付改革成本”，以绿色发展基金“撬动新投资、培育新引擎”，两者协同发力，形成兼顾公平与效率、稳定与发展的系统性金融解决方案。

表 5-2 煤炭三角区产业转型资金需求可融资性分析

类别	转型方向	可融资性	可市场化融资规模估算（亿元）	资金来源
传统能源产业转型	煤矿关停与生态修复	低（★）	0	主导：政府财政资金
	火电装机改造	较高（★★★） 预计可吸引 60%-80%的市场化融资	250-340	主导：绿色信贷、基础设施 REITs 辅助：财政补贴
	煤化工低碳转型技术改造	中（★★） 预计可吸引 50%-70%的市场化融资	2000-3000	主导：绿色信贷 绿色债券、融资租赁 辅助：企业自投、财政补贴
	钢铁产能优化与低碳技术改造		1500-2200	
	水泥产能优化与低碳技术改造		100-270	
新能源产业	新能源及相关产业建设	较高（★★★★） 预计可吸引 80%-90%的市场化融资	7500-8500	主导：绿色信贷、基础设施 REITs、政府产业基金 辅助：企业自投、绿色债券
	储能及新型电力系统建设	中（★★） 预计可吸引 50%-70%的市场化融资	300-450	主导：政府产业基金、风险投资/私募股权 辅助：绿色信贷
其他	公正转型	低（★）	0	主导：政府财政资金

六、煤炭三角区传统能源公正转型研究

主要发现：

- 公正转型旨在通过统筹资源、完善社会保障和配套产业政策，确保在开展气候与环境治理进程中保障受影响的群体和地区实现有尊严的可持续发展。
- 煤炭三角区能源转型将导致煤炭相关产业就业岗位显著减少，短期内新兴产业吸纳就业的能力有限，可能造成阶段性就业缺口及结构性失业压力。预计到 2060 年新能源相关产业可吸纳的直接就业人数将超过 65 万人，新能源产业吸纳的总就业人数可达 140 万人以上，有助

于缓解长期就业压力。与此同时，女性就业在转型中有望获得更多机会。

- 煤炭三角区在全国能源保供体系中的战略地位，意味着转型成本与社会风险高度集中在当地，提前部署公正转型机制，有助于降低社会冲击并争取更合理的利益分配。
- 公正转型的政策机制应包括：制定区域差异化转型规划、建立多元化就业培训体系、完善社会保障与再就业支持、引导多元资本投入新兴产业、建立煤基产业就业岗位流失情况的监测调控机制、加强性别与弱势群体保护，以及推动中央与地方、政府与市场的协同治理。

（一）公正转型的概念与定义

“公正转型”概念最早由 20 世纪 70 年代末的美国工会提出，用于争取因环境监管而失业工人的权益。1997 年《京都议定书》谈判将其引入国际气候治理，此后在《坎昆协议》（2010）、《巴黎协定》（2015）中持续被纳入。2019 年马德里大会进一步推动了其制度化进程，2022 年沙姆沙伊赫大会则正式设立“公正转型路径工作方案议题”，引发广泛关注。当前，欧盟、美国等已将公正转型纳入国家气候议程，并推动构建发达国家与发展中国家的公正能源转型伙伴关系，推动该议题从理念走向行动。

由于对公正转型的覆盖领域、内涵、涉及对象等的理解尚有不同，目前公正转型并没有一个比较统一的界定。从覆盖领域来看，最开始公正转型“主要针对那些工作机会受到石油、化学和核工业环境监管威胁的工人”。从内涵来看，公正转型既关注由于气候环境变化导致的直接就业损失，更要注气候政策实施所导致的部分传统产业萎缩和全产业链就业机会减少，以及转型期由于部分资源、能源价格上涨，增加的脆弱人群的生活负担。从涉及对象来看，部分研究认为公正转型特指人的转型、劳动力市场的转型，也有观点认为公正转型还包括区域经济或者是城市经济的整体转型，是一个更加宏观的概念，不仅包括就业转型也包括经济发展方式的转型。

总体来看，公正转型研究的关注对象都是在气候、环境治理进程中或者转型发展进程中可能受到影响的群体和地区，这些人群和地区需要依靠政策和外界的帮助使其走出困境并寻求新的发展机遇。因此，本文认为公正转型是指由于人为引起的气候与环境变化以及相应的治理进程导致的行业性萎缩、工作机会损失乃至地区经济发展困境，需要从国际和国内不同层面统筹资源，通过综合的经济与社会发展措施，包括转型规划、社会保障、投资、教育培训等，帮助面临发展困境的人群和地区实现有尊严的、高质量的转型，在气候与环境治理进程中以最低的社会福利损失实现人和地区的公正发展权益并实现可持续发展。

公正转型已成为全球气候治理的核心机制，正加速融入各国碳中和路径，其核心价值体现在三方面：首先，破解低碳转型与经济社会系统脱节的全球性难题，需通过机制化建设平衡转型节奏差异；其次，作为气候政策与经济社会发展的缓冲带，通过社会对话机制和补偿政策降低减排政策的次生冲击，提升政策可接受性；最后，与 2030 可持续发展目标形成协同效应，在健康、能源、社会公平等领域创造系统价值。研究表明，有效实施公正转型可提升减排目标雄心度 30%以上，并减少政策执行阻力 40%，实质成为高质量转型的加速器而非成本负担。

（二）煤炭三角区绿色低碳转型对经济和社会影响

1. 对经济的影响

当前中国的第三产业占比已超过一半，体现出经济结构正加速向现代化与多元化演进。然而，从煤炭三角区来看，四省区第二产业在 GDP 中的占比仍显著高于全国平均水平，显示出区域经济对传统工业的依赖仍较为突出。目前，煤基产业在该区域工业 GDP 中的占比约为 20.3%，对 GDP 的贡献为 8.

7%，而新能源产业对 GDP 贡献则仅为 0.9%，尚处于起步阶段。

2030 年前，煤炭在能源结构中仍占据主体地位，短期内不会退出，而是通过优化布局、提效降耗和与新能源协同，继续为能源安全与经济平稳运行提供关键支撑。2030-2040 年进入结构转换窗口期：煤炭在一次能源中的占比逐年递减，新旧动能加速更替，煤基产业占工业 GDP 比重快速下滑，至 2040 年降至约 10%，经济发展对煤炭的依赖显著弱化。2040 年以后，区域进入转型成熟期，新能源与战略性新兴产业逐步成为主导力量，煤炭完成从主导能源向清洁化与战略储备资源的功能转变。预计到 2060 年，煤炭产业对工业 GDP 的贡献将降至约 4%，其在区域经济中的主导地位将明显减弱。

表 6-1 煤炭三角区煤基产业占工业 GDP 比重变化趋势

年份	山西	内蒙古	陕西	宁夏	煤炭三角区
2024	34.0%	16.2%	13.1%	21.4%	20.3%
2030	30.8%-32.8%	14.4%-15.4%	12.3%-12.7%	19.0%-20.4%	18.3%-20.1%
2035	24.5%-30.5%	11.2%-13.2%	10.9%-11.7%	16.4%-18.4%	14.5-17.1%
2060	3.6%-7.6%	2.5%-4.9%	1.4%-3.0%	2.7%-5.7%	2.5%-5.5%

数据来源：基于中国工业统计年鉴、中国工业企业数据及报告第二、三章开展的转型路径测算得出。

2. 对就业的影响

煤炭三角区当前就业市场呈现出典型的资源依赖特征。煤基产业直接吸纳就业约 202.6 万人，其中山西 123.2 万人，内蒙古、陕西和宁夏分别为 37.4 万、31.1 万和 10.9 万人；相关间接就业人数超过 250 万人。相比之下，新能源产业（包括制造、发电及运维）直接就业仅 18.1 万人，间接就业人数约 15 万人，仍处于发展初期，劳动力吸纳能力有限。

预计到 2030 年，区域就业将总体保持“总量平稳、结构优化”的态势。煤基产业仍是就业的重要支撑，直接就业人数预计降至 160.3 万人，总就业损失约 83.1 万人。在此期间，传统岗位有所保留，但对技术工人和智能运维等新岗位的需求逐步上升。新能源产业直接就业增至 27 万人，间接就业带动超过 25 万人，风电、光伏及配套电网和储能的发展推动绿色产业链初步形成。然而，绿氢、绿色交通等清洁能源产业仍处于建设初期，整体就业贡献尚不足以完全弥补煤基产业岗位的持续流失。

2030-2040 年间，传统就业岗位将加速流失，结构性就业压力显著增大。随着去产能政策的深入推进，煤基产业直接就业预计下降至 83.5 万人，间接就业人数下降至 90 万人以下。新能源中，特别是绿氢和绿色交通加快发展，带动新能源相关总就业突破 90 万人，对区域就业稳定形成一定支撑。但受技能错配等因素影响，劳动者仍面临转岗困难、提前退休等现实挑战。2040 年后，区域就业结构将基本完成绿色重构。煤炭行业仅保留少量高技能岗位，传统就业体系逐步退出，新能源及相关新兴产业成为就业主体，推动就业结构向绿色化、高技能化和多元化转型。预计到 2060 年，煤基产业直接就业降至 30.6 万人，间接就业不足 20 万人；新能源直接就业增至 65 万人，带动总就业达到 140 万人。2025 至 2060 年间，同步考虑就业人口变化趋势，煤炭三角区煤基产业就业岗位预计净减少约 338 万人。

必须承认的是，2025 至 2060 年期间，由于煤炭行业属于高劳动密集型产业，其历史累计的就业规模远超清洁能源行业可提供的岗位数量。即便在大规模发展新能源的前提下，清洁能源仍难以完全弥补煤基产业岗位的流失。这意味着区域劳动力市场可能长期承受结构性压力，特别是在技能错配、岗位转移困难以及社会保障需求方面，挑战可能持续存在。

与此同时，新能源产业的女性就业占比较高，相较于煤基产业中约 14-19% 的女性就业比例（因行业与地区差异略有不同），新能源产业的女性就业比例约为 33%-37%。测算结果表明，随着煤炭三角区产业转型与升级推进，预计每年可新增约 1400 个适合女性从业的岗位，为提升女性在转型进程中的就

业参与度和促进性别平等提供了重要支撑。

表 6-2 煤炭三角区煤基产业就业人数损失的变化趋势（万人）⁵

省份	就业损失分类	2025-2030	2030-2035	2035-2040	2040-2050	2050-2060	2025-2060
山西	直接就业损失	25.4	25.9	21.6	22.3	9.9	105.1
	间接就业损失	24.3	24.9	20.7	21.4	9.5	100.9
	总就业损失	49.7	50.8	42.3	43.7	19.4	205.9
内蒙古	直接就业损失	8.8	7.4	6.6	6.4	3.0	32.3
	间接就业损失	8.7	7.3	6.5	6.3	2.9	31.7
	总就业损失	17.5	14.7	13.1	12.7	5.9	64.0
陕西	直接就业损失	5.9	5.9	5.4	5.2	3.0	25.4
	间接就业损失	5.9	5.8	5.3	5.1	2.9	25.1
	总就业损失	11.8	11.7	10.7	10.3	5.9	50.5
宁夏	直接就业损失	2.1	1.9	2.1	2.1	1.1	9.2
	间接就业损失	2.0	1.8	1.9	1.9	1.0	8.7
	总就业损失	4.1	3.7	4.0	4.0	2.1	17.9
煤炭三角区	直接就业损失	42.2	41.1	35.7	36	17	172
	间接就业损失	40.9	39.8	34.4	34.7	16.3	166.4
	总就业损失	83.1	80.9	70.1	70.7	33.3	338.3

数据来源：基于中国第四次经济普查数据、中国工业企业数据及报告第二、三章开展的转型路径测算得出。

3. 能源保供带来的公正转型问题

煤炭三角区长期承担国家能源保供任务，这在客观上强化了区域经济对煤炭产业的结构性依赖，迟滞了其向多元化产业体系的转型进程。若煤炭三角区持续以能源保供作为当地产业发展的核心依据，将进一步延缓产能有序退出，加剧区域减排路径与全国整体节奏之间的结构性错位，推高资产搁浅、就业风险与地方财政压力，凸显出能源系统转型过程中亟待系统应对的公正性挑战。总体来看，若 2025-2030 年间继续依赖以煤炭为核心的传统能源发展政策，将在短期内进一步强化高碳路径依赖，抑制清洁能源产业的突破性发展。这种制度性锁定将使 2030 年后区域经济面临更剧烈的转型阵痛、更高的搁置资产风险与更严峻的就业结构性矛盾，最终导致转型成本代际不公。

因此，亟需建立有效的补偿与产业替代机制，通过跨省协作形成利益共享与成本共担体系，缓解能源产地的结构性转型压力。尽管煤炭仍将承担能源体系的“压舱石”和“稳定器”角色，但在“双碳”目标约束和能源安全新战略背景下，煤炭三角区应提前布局技术升级，实现区域能源和产业的高质量转型并降低长期总体成本。推迟行动可能加剧资产搁浅、民生冲击及产业竞争劣势。区域协作在转型初期可引入新能源消纳、产业链配套及再就业培训，以缓解未来集中转型带来的社会和经济压力。

（三）煤炭三角区公正转型政策机制探索

公正转型在中国被逐步理解为在实现“双碳”目标及更广泛气候治理进程中，协调经济、社会与环境多重目标的系统性任务。2025 年 4 月 23 日，中国国家主席习近平在气候与公正转型领导人视频峰

⁵ 直接就业损失人数，指在特定产业或行业中，因企业关停、减产或转型而直接减少的正式雇员数量，该指标反映了某一产业对劳动力的直接吸纳能力的变化。间接就业损失人数，指因上述直接就业减少，通过产业链关联、收入下降及消费减弱等效应上下游产业及相关服务业就业产生的连带影响而减少的就业岗位数量，该指标反映了特定产业对区域就业生态的系统性影响。

会上发表重要致辞，提出“坚持多边主义、深化国际合作、推动公正转型、强化务实行动”四项关键倡议，获得国际社会广泛关注。致辞中首次正式提出“公正转型”概念，强调绿色转型必须以人民为中心，统筹民生福祉改善与气候治理。这一表态不仅为全球气候治理贡献了中国方案，也体现了中国愿与国际社会共同建设清洁、美丽、可持续世界的责任与决心。

从国内实践来看，中国在长期产业结构调整过程中，已开展与公正转型相关的探索，如通过下岗职工再就业、社会保障完善及财政转移支付等措施，缓解产业收缩和结构转型带来的社会冲击。然而，这类政策多聚焦于阶段性稳定与民生保障，尚未形成面向低碳转型全周期的系统化机制。特别是在产业转型的关键阶段，更需要前瞻性设计公正转型政策，构建涵盖产业替代、技能培训、区域财政支持及绿色投资引导的综合框架，以确保资源型地区和受影响群体能够在低碳转型中获得稳定、公平的发展机会。因此，本节建议将煤炭三角区作为中国重点产业区域，率先开展公正转型政策机制的探索。

第一，国家层面，考虑地区贡献，给予政策倾斜。需要充分考虑煤炭三角区历史上包括当前和今后一段时间为国家经济社会发展做出的贡献，在未来国家经济和产业发展总体布局调整中，降低煤炭三角区对煤炭等化石能源产业的依赖，布局更大比例的战略新兴产业，并制定倾斜政策、提供资金支持推动战略性新兴产业发展，大力扶持接续产业逐步进入煤炭三角区并发展壮大，为地方经济可持续发展创造条件。

专栏 6-1：中国邮政储蓄银行落地全国首笔公正转型贷款

2023 年 8 月，中国邮政储蓄银行在山西省大同市成功落地全国首笔公正转型贷款，这是银行业在支持高碳行业低碳转型过程中的重要创新实践。该笔贷款金额 1 亿元，发放对象为以煤炭生产和火力发电为主业的晋能控股煤业集团有限公司。邮储银行严格遵循《G20 转型金融框架》，创新公正转型金融工具，精准支持企业在低碳转型过程中实现高质量公正转型。此次贷款的创新之处在于，部分资金将专项用于员工轮岗培训、操作资格培训等人力资源提升项目，重点保障企业转型过程中员工就业能力和劳动技能的提升，充分体现了公正转型关注就业保障和社会公平的核心内涵。

作为全国首笔公正转型贷款，该项目不仅实现了环境价值、社会价值和经济价值的统一，更是为行业提供了可复制、可推广的创新范式，对银行业支持碳密集产业高质量公正转型具有重要的示范意义和参考价值。

资料来源：中国邮政报 2023-08-08

第二，地方层面，制定公正转型规划，系统推进实施。煤炭三角区省市应制定公正转型中长期规划，并将其纳入地方总体发展规划及相关专项规划，如经济社会发展五年规划、城市总体规划、产业规划、国土空间规划、教育与人力资源规划等，明确写入公正转型目标并持续更新。鼓励建立以公正转型为导向的“能源—产业”双维协同机制，在保障区域能源与产业链安全、支持发达地区发展的同时，加快替代产业建设，实现绿色低碳权益跨省共享。建立跨部门协作机制，明确牵头单位及产业、国土、社保、教育等相关责任部门；设立五年为周期的实施评估机制，定期评估规划执行情况并制定下一步工作方案；同时建立煤基产业岗位流失动态监测与预警体系，并配套实施经济与社会应对措施。

专栏 6-2：山西多渠道落实人员安置：去产能，职工转岗不下岗

晋青可持续发展公益服务中心在山西对 9000 余名公众的调研表明，煤炭直接从业人员对“就业率”的关注明显高于“就业收入”。因此，任何转型的首要原则必须是保障直接从业人员的再就业，避免大规模失业，这也凸显了推动经济多样化和非煤产业发展的必要性。在这一背景下，山西在 2017 年去产能过程中，晋煤集团通过多渠道、多

层次的安置策略，有效应对了职工安置问题，确保了“转岗不下岗”：其一，内部转岗安置是核心渠道之一，集团依托自身庞大的产业体系，将关停矿井的职工优先调至其他生产稳定的矿井或新建项目，确保其继续就业；其二，跨行业培训转移，集团投入资源对职工进行专业培训、系统考证、带薪培训的方式，成功将部分员工从煤炭生产领域转移至非煤新兴产业；其三，支持自主创业，通过停薪留职、提供创业园区及资金支持等优惠政策，鼓励并扶持职工开辟新就业路径；其四，实行提前退养及资产看护，对符合条件的老职工予以退养保障，还安排部分人员留守负责关停矿井的资产处置与看护工作。通过企业主导和多渠道分流，能够在不将员工简单推向社会的前提下，稳妥有序地完成去产能过程中的职工安置任务。

资料来源：晋青可持续发展公益服务中心

第三，公众层面，建立培训机制，提升转型能力。公正转型不仅是产业、地区经济和社会的转型，更是受碳中和政策影响的群体中每个个体的转型。公众对其所在地区的经济、社会与个人发展应享有知情权，政府与企业有责任提供畅通的信息渠道，使其能够理解甚至参与未来发展方向的选择与判断。提升公正转型的公众认知，不应仅局限于直接受影响的青年群体，也应覆盖煤炭三角区中学生及家长群体，避免教育和人力资源的低效投入。应通过系统性的能力建设计划，增强公众认知与转型自觉，政府则应主导推动公正转型项目，引导公众有计划、有序地实现转型。

第四，区域层面，建立合作机制，共促高质量转型。煤炭三角区兼具能源富集、生态脆弱与民族聚居等多重属性，区域内各省区产业同质化明显，面临相似的社会经济发展挑战。建立区域合作机制推进公正转型，一是有利于共享转型经验，降低整体转型成本，提升高质量转型效率；二是可探索区域联动机制，共同培育新产业与新业态，以统一市场扩大需求和投资规模，协同建设接续产业与人才体系；三是能够增强向中央争取产业布局优化与资金支持的整体议价能力，凝聚政策合力，避免内部无序竞争推高转型成本。通过高效协同，该区域可从“能源高地”转型升级为“绿色引擎”，实现高质量公正转型与可持续发展，并为全球煤炭资源型地区提供中国方案与实践经验。

七、传统能源地区转型的国际经验比较分析

主要发现：

- 国际传统产煤国家的转型经验表明，政策驱动与市场供需变化是能源转型的核心推动力，其中部分国家在政策制定中同步引入公正转型机制及配套的财政支持、就业转移与社会保障措施，为中国传统能源地区转型提供了重要借鉴。
- 煤炭三角区产业多元化程度和服务业比重显著低于发达经济体，这意味着其在能源转型过程中将面临更高的系统性风险。
- 国际经验与教训表明，通过国家统筹、分阶段退出与财政配套，可有效缓解转型对经济与社会冲击。

（一）国际传统产煤国家转型进展回顾

本节梳理了英国、德国、波兰、西班牙、印尼和加拿大在内的国际主要传统产煤国家的转型实践，这些国家代表了发达经济体、转轨国家及能源出口国的典型路径，其经验对于中国具有重要参考价值。

1. 英国：盛极而衰，主动顺应时代潮流

英国煤炭开采始于工业革命前，19 世纪随工业化进程大规模扩张，成为经济、军事与社会核心支柱。1850-1910 年代，英国成为全球最大煤炭生产国和出口国，支撑钢铁、造船和发电产业。1913 年产量达峰值 2.92 亿吨，3000 多座煤矿雇佣超 100 万人，满足全国 90% 以上能源需求。二战后，煤炭业因全球市场萎缩、油气兴起（尤其是北海油气）而衰落。1970 年产量降至 1.45 亿吨（仅为 1913 年一半），矿工人数从 1950 年 70 万锐减至 1979 年 23 万。1980 年代，撒切尔政府推行新自由主义政策，关闭低效煤矿并引发全国性罢工。1994 年私有化后，进口煤炭和天然气挤压国产煤市场，矿工数量从 7 万骤降至 90 年代末不足 1 万。21 世纪初，英国煤电占比保持稳定，但 2012 年后受欧盟《大型燃烧装置指令》及英国“碳价格下限”等政策影响，煤电比例从 39% 骤降至 2017 年的 7%，2020 年后仅占 2%。2015 年英国宣布 2025 年淘汰煤电，2021 年提前至 2024 年。2024 年 9 月 30 日，最后一座燃煤电厂——拉特克利夫火电厂关闭，标志英国 142 年煤电时代终结。

2. 德国：政策主导与制度保障并重

德国煤炭产业历经八个世纪的兴衰，20 世纪中叶达历史峰值（西德硬煤年产量 1.5 亿吨，从业者超 60 万）。1958 年首现结构性危机后，产业在能源市场化改革、国际竞争冲击下持续衰退。1990 年两德统一触发剧变：东德褐煤产大幅缩减生产规模，政府通过能源私有化、环境监管一体化、废除补贴等结构性改革，构建起转型制度框架。这一阶段揭示了传统能源转型的必然性——当硬煤生产成本超出市场价 3 倍时，产业存续已悖离经济规律。21 世纪以来，德国通过政策迭代实现系统化转型：2007 年立法终结 40 年硬煤补贴，2018 年关闭最后两座硬煤矿井；2016 年《气候行动方案 2050》确立退煤战略，2020 年《退煤法案》形成法律闭环，将 2038 年退煤目标法定化。创新性设计体现在市场化机制运用——2019-2023 年实施七轮退煤反向竞标，以动态补偿机制有序清退 46.8 GW 煤电产能，同步推动气候目标升级至 2045 年碳中和。这种“立法强制+市场激励”的双轨模式，保障了能源安全平稳过渡，展现出制度设计对产业转型的决定性作用。例如，德国在最新退煤政策中，同步从欧盟碳排放交易体系中注销了已关停煤电机组对应的碳排放配额（共计 51.4 万吨 CO₂），以防止“水床效应”，确保退煤所带来的减排量在碳市场中得到真实反映与兑现。

3. 波兰：外部压力下的渐进式转型

波兰煤炭行业起源于 15 世纪，19 世纪工业化带动煤矿就业激增。二战后，煤炭成为波兰工业发展的核心动力，至 1950 年代跻身全球主要煤炭生产国。1970 年代石油危机期间，波兰依赖煤炭出口缓解外债压力，1979 年硬煤出口达 2.01 亿吨创下历史峰值。为增强能源安全，政府将褐煤纳入战略能源体系，推动其产量快速上升。1989 年转向市场经济后，煤炭行业启动重组改革，效益低下矿井大批关闭，行业就业由 1990 年的 41.5 万人降至 2002 年的 16 万人，产业结构大幅调整。2004 年加入欧盟后，波兰煤炭行业始终面临欧盟碳市场与气候政策的持续压力。作为欧盟中最依赖煤炭的成员国，波兰在碳价不断上涨的背景下，能源安全与减排目标之间的矛盾日益突出，充分反映出其在转型与稳定之间寻求平衡的复杂局面。直至 2020 年，波兰政府才与煤矿工会达成协议，确定于 2049 年前全面退出硬煤开采；2021 年通过的《能源政策 2040》标志着该国能源转型路径得以明确，成为向低碳能源体系过渡的关键转折。2025 年 7 月，波兰批准新版《国家能源与气候计划》，目标到 2030 年实现可再生能源发电占比超 50%、温室气体排放较 1990 年降低 53.9%。波兰是欧盟“绿色转型基金”中最大的受益国。

4. 西班牙：能源产业公正转型实践

自 1984 年煤炭产量峰值 4000 万吨以来，西班牙煤炭产量持续下降，2018 年关闭 26 个煤矿后降至 250 万吨，2021 年宣布 2030 年全面淘汰煤炭，目前产量仅约 7 万吨。西班牙能源转型以“公正转

型”（Transición Justa）为核心，覆盖产业升级与社会就业，并通过 2024 年能源转型法案设定 2030 年减排至少 23% 的目标，同时限制新化石能源开发。生态转型与人口挑战部下属公正转型研究院负责划定转型区、制定协议、统筹资金与培训，并通过政府—工会—企业三方对话落实社会保障。截至目前，西班牙已支持 427 个商业项目和 83 个能源项目，撬动社会投资 25.87 亿欧元，新能源投资预计创造 2 276 个长期岗位。创新的“节点招标”机制将退役燃煤电厂节点转化为可再生能源和储能竞标平台，截至 2024 年底总容量已超 3796 兆瓦，为高碳区域绿色转型提供可复制经验。

5. 印度尼西亚：出口导向与国际合作并重

印尼煤炭行业的发展经历了从国有化到市场化的转型。早期受限于基础设施与投资，煤炭规模较小；1945 年独立后煤炭资源实现国有化，但在 20 世纪中叶，能源战略重心仍集中于石油和天然气。1980 年代，印尼通过修订《矿业法》引入私人投资，叠加东亚煤炭需求上升与本币贬值，推动煤炭出口快速增长。政府同步推进燃煤电厂建设和“国内市场义务”政策，煤炭逐渐成为电力供应核心。进入 2010 年代，受中国需求放缓及全球低碳趋势影响，印尼煤炭行业面临市场下行与融资受限的双重压力。政府加强矿业监管，推动能源结构调整。2021 年印尼提出 2060 年前实现净零排放的战略目标，2022 年通过 G20 “公正能源转型伙伴关系”启动 200 亿美元清洁能源投资计划，标志着其向可再生能源体系转型的方向已初步明晰。

6. 加拿大：国家与地方政府协同推进

为实现更清洁的能源结构并推进《巴黎协定》目标，早在 2012 加拿大启动了《燃煤发电二氧化碳减排法规》，设定全国燃煤电厂温室气体排放标准，并在 2018 年进一步修订法规，加速碳减排进程。同时，加拿大发起并担任“超越燃煤联盟”联合主席，推动全球范围内的煤电淘汰与清洁能源转型。在地方层面，安大略省于 2003 年启动逐步关停燃煤电厂的计划，并在 2014 年完成退煤，2015 年成为北美首个不依赖煤炭发电的省份，清洁能源占比显著提升。阿尔伯塔省在 2024 年完成燃煤电厂退役，依托多元化能源结构推动煤电转型，与 2030 年底清零目标保持一致。萨斯喀彻温省、新斯科舍省、新不伦瑞克省等也均设定了到 2030 年淘汰煤电的目标，并实施清洁替代能源政策。得益于煤电退役和可再生能源增加，全国发电部门温室气体排放自 2005 年至 2022 年减少了约 59%。截至 2022 年，全国电网碳强度已降至约 100 克 CO₂e/kWh，相较 2005 年的 220 克下降逾 55%。为保障转型的公平性，加拿大在 2018 年成立了煤电工人及地区公平转型工作组，动员利益相关者共同讨论转型路径与支持机制。2024 年，联邦政府出台《可持续就业法》，建立制度化保障体系，为依赖化石能源的地区工人和社区提供转型与再就业支持。

7. 欧盟对成员国的基金支持力度

欧盟在支持成员国煤炭转型方面提供了系统性的资金支持，主要依托三大结构性基金工具：**公正过渡基金（Just Transition Fund, JTF）、欧洲社会基金（European Social Fund, ESF）和欧洲地区发展基金（European Regional Development Fund, ERDF）**。其中，JTF 专门针对煤炭产区实施精准扶持，重点支持工人再就业培训、清洁能源产业转型和矿区生态修复；ESF 覆盖产煤区所在的整个州，通过职业培训、教育提升和社会包容项目缓解转型冲击；ERDF 同样面向全州范围，着力推动经济结构调整，资助中小企业创新、基础设施现代化及低碳技术研发。值得说明的是，ESF 设立初衷旨在缓解欧盟碳排放交易体系 II 中对建筑和交通领域中弱势群体造成的社会影响，并推动其绿色转型。该基金将在 2026 至 2032 年间提供 867 亿欧元，各成员国需制定社会气候计划，明确资金用于建筑能效提升、供暖制冷脱碳或临时收入支持等措施。本研究通过计算 JTF、ESF 和 ERDF 三项基金对德国单位产煤量支持强度和单位煤炭从业者扶持力度，为中国煤炭产区转型提供可借鉴的政策参考（见表 7-1）。

表 7-1 欧盟三项基金对德国三大产煤区的支持

煤炭产区	EU 资助项目	资助金额 (万欧元, 2021-2027)	单位产量受资 (欧元/万吨)	单位人员受资 (欧元/人)
Rheinland 莱茵兰矿区	JTF	68,291	109,091	80,523
	ESF	56,034	89,511	66,070
	ERDF	130,000	207,668	153,284
Mitteldeutsches Revier & Lausitz 德国中部矿区、路 萨提亚矿区	JTF	179,476	281,752	190,648
	ESF	96,791	151,948	102,816
	ERDF	410,719	644,771	436,285

数据来源：课题组根据欧盟委员会数据计算。

专栏 7-1：欧盟针对煤炭产区的公正转型政策与机制

欧盟在煤炭地区转型中发挥了统筹协调作用，对煤炭产区的公正转型问题开展了如下相关工作：

对煤炭产业的财政补贴：硬煤开采高度依赖国家援助，以保障能源安全和矿区就业，这也成为向经济性不佳的硬煤行业提供支持的正当理由。2002 年，欧盟通过第 1407/2002 号条例《国家援助煤炭行业》，允许成员国继续为煤炭企业提供补贴。该条例在 2010 年终止。据统计，欧盟在 2000-2012 年间，成员国对硬煤供应商提供的援助高达 870 亿欧元。2010 年，欧盟理事会通过过渡性规则第 2010/787 号决议，允许在 2011-2027 年期间提供有限援助，以促进没有市场竞争力的煤矿逐步关闭。在 2011-2020 年期间，欧盟向 8 个成员国的煤矿企业提供了近 193 亿欧元的国家援助。这一时期，欧盟的能源政策开始向可再生能源和低碳经济倾斜。

为煤炭产区提供的基金支持：为创造就业和支持可持续投资，欧盟在 2014-2020 预算中设置了 5 种基金，统称“欧洲结构与投资基金”，包括欧洲区域发展基金、欧洲社会基金、欧盟凝聚力基金、欧洲农村发展农业基金、欧洲海洋与渔业基金。前三种基金可以为煤炭产区提供支持。

煤炭地区转型倡议：2017 年，欧盟委员会发起“煤炭地区转型倡议”（Coal regions in transition Initiative, CRiT），旨在帮助煤炭、泥炭和油页岩产区减少在低碳转型中受到的社会影响。CRiT 汇聚了地方居民、政府、企业、工会、NGO 和学术界代表，促进欧盟煤炭地区知识共享与经验交流，为各地因地制宜推进公正转型提供支持。

欧盟公正转型机制：CRiT 还与公正转型机制密切配合，共同促进主要产煤区和用煤区的公正转型。公正转型机制是欧盟“欧洲绿色新政”下的重要政策工具，旨在确保全社会公平向气候中性目标转型，不让任何人或地区掉队。该机制在 2021-2027 年期间为受转型影响严重的地区提供有针对性的支持。总资金预算为 550 亿欧元。该机制包括三大支柱：（1）公正转型基金，为提供受绿色转型影响较大的地区提供赠款。（2）欧盟投资计划，针对欧盟发展优先事项，设立投资窗口，撬动公共和私人投资。（3）公共部门贷款机制，向公共部门提供贷款和补助，用于公正转型区域的投资，支持地方政府和公共机构开展可持续发展项目。

资料来源：根据欧盟委员会信息整理

（二）中国煤炭三角区与传统产煤国家比较

政策驱动与市场供需变化是推动煤炭产业转型的主要驱动力。相较而言，德国的转型得益于德国国内政策的驱动，而波兰的加速转型得益于欧盟层面的政策支持。通过汇总中国传统煤炭产区（以山西、陕西为代表）与国际上煤炭地区在经济发展、能源结构、就业等维度的关键指标（表 7-2），中国传统煤炭产区的产业多元化程度和服务业比重显著低于发达国家，这意味着在能源转型过程中可能面临更高的系统性风险，因此在转型过程中必须高度重视其社会影响。

表 7-2 中国煤炭三角区与传统产煤国家比较

维度	指标	山西	陕西	德国	波兰	印尼	英国
经济	人均 GDP（元/人）	73,769	85,448	395,854	162,778	35,833	363,484
	GDP 增速（5 年平均）	5.2%	6.8%	0.7%	3.8%	3.4%	0.7%
	服务业占比	42.7%	44.6%	63.7%	57.5%	42.9%	72.5%
能源	煤炭鼎盛时期	煤炭与煤电规模持续上涨	煤炭与煤电规模持续上涨	硬煤 1957 褐煤 1980	1970 晚期- 1980 早期	煤炭与煤电规模持续上涨	1913
	鼎盛时期产量	-	-	硬煤 1.5 亿吨 褐煤 2.58 亿吨	硬煤: 1.48 亿吨	-	2.92 亿吨
	现产量（亿吨）	13.3	7.6	10.23	8.87	6.95	0.02
	煤电占比	78.90%	68%	26.6%	60.3%	66.0%	1.6%
	煤炭出口+外调占比	63%	81%	6%	21%	64%	140%
就业	鼎盛时期煤炭行业就业人数	-	-	硬煤 60 万人 (1957) 褐煤 13 万人 (1990)	38.8 万人 (1990)	-	110 万人
	目前煤炭行业就业人数	90.93 万人	19.78 万人	2.63 万人 (2024)	7.29 万人 (2022)	15.99 万人 (2023)	-
转型动能		政策驱动	政策驱动	市场+政策平衡	市场主导+欧盟支持	政策驱动+国际支持	市场主导

数据来源：项目组根据国家统计局、德国统计局、德国煤炭经济统计协会以及博众智合能源转型报告《中欧产煤区能源转型国际对比研究》整理。

（三）国际传统能源地区转型的经验与启示

国际经验表明，传统煤炭产区的低碳转型必须兼顾公平与效率。**缺乏系统规划容易造成区域经济长期衰退，而通过国家统筹、分阶段退出及财政配套，可有效缓解转型冲击。**欧洲实践进一步表明，

公正转型需充分纳入利益相关方——包括地方政府、企业与工人代表——参与政策制定与实施过程。这不仅关乎程序正义，也有助于提升政策执行效率与公众接受度，增强转型进程的社会可持续性。借鉴国际经验，中国传统能源转型地区构建“国家统筹、省级落实、多元协商、财政保障、社会包容”的治理框架：治理框架由发展改革部门牵头、各部门共同参与的跨部门协调机制，统筹战略规划、资金监管及落实举措；在省级层面形成差异化转型方案，避免无序退煤带来的社会风险；在社会层面强化企业、工会及社区等多方协商机制，提升政策透明度与基层认同度，减少失业与社会不稳定风险。

资金与政策工具的创新是推动公正转型落地的核心。探索设立国家级公正转型基金（借鉴欧盟 JTF），重点支持煤炭三角区的就业培训、产业升级与清洁基础设施建设；同时发展绿色金融与转型金融，鼓励银行提供低息贷款，探索 PPP 模式吸引社会资本，提高投资效率。结合国际合作经验，可引入国际伙伴机制，共同推进氢能、智能电网、绿色制造等新兴产业研发与示范，加快低碳技术落地，实现经济转型与国际绿色竞争力的同步提升。

除了良好经验，欧洲国家在煤炭转型方面，转型过程中的经验教训也为煤炭三角区的转型提供了启示和借鉴。

（1）德国：缺乏明确转型计划，容易导致资源浪费

长期补贴硬煤行业并提升煤电效率，若无明确退出计划，易导致资源浪费、资产搁浅并延缓脱碳。德国自 20 世纪 50 年代起持续补贴煤炭业，直至 2018 年；2000-2010 年代又投入煤电技改，将其作为“过渡方案”。但随着气候政策收紧，德国 2019 年设定 2038 年退煤目标，然而其退煤时间表始终存在反复与不确定性。上一届政府曾提出 2030 年前退煤的意向，但未将其纳入法律；当前政府则明确反对提前退煤，因此最晚的煤炭淘汰时间仍为 2038 年。据估算，全面退煤所需成本预计将高达联邦年度预算的 1%至 1.4%。

（2）波兰：单一补偿机制无法长期解决煤炭区的就业

经济体制转型导致波兰在 20 世纪 90 年代发生大规模裁员，为此波兰于 1998 年启动“黄金握手”政策，主要通过一次性补偿金和提前退休安排，鼓励矿工自愿离岗。至 2006 年，煤矿就业人数从 1990 年的超 40 万人下降至约 12 万人，缓解了初期社会压力。然而，这一政策也暴露出严重问题。据统计，1998 至 2002 年煤炭重组的财政成本高达约 90 亿兹罗提，其中大部分用于人员补偿，而用于再就业与职业培训的资金比例不到 10%。波兰最高审计署在 2004 年的报告指出，接受黄金握手补偿的矿工中，仅约 15%在两年内成功实现再就业。同时，有超过 10%的矿工在离岗后通过外包或临时工形式重返煤矿。此外，传统煤区如比托姆市因缺乏产业替代，2010 年前后失业率一度高达 15%，远高于全国平均水平。事实表明，单一的补偿退出机制虽能暂时“止痛”，但无法支撑长期、公正的结构性转型。

（3）英国：转型过程中缺乏对公正性重视，将导致转型后的产煤地区面临长期社会经济问题

英国煤炭转型的历史经验表明，煤炭在能源结构中占比降至 1%以下并不意味着转型的真正完成。该国曾历经多个缺乏公正性的转型阶段，其中尤以 1980 年代撒切尔政府时期为典型。该时期政府以提升经济效率为由大规模关停煤矿，十年内导致超过 25 万个就业岗位流失，却未配套实施有效的再就业支持或区域振兴规划，最终引发全国性罢工与社会分裂。1990 年代推行私有化改革后，煤矿数量急剧减少，政府全面退出监管职责，私营企业纯粹以利润为导向运作，致使转型过程严重忽视公正性考量。这些历史阶段共同反映出系统性转型支持机制的长期缺位，其负面影响延续至今——最新研究显示，英国最后一个煤炭产区南威尔士在公正转型多项评估中的表现甚至逊于德国仍具煤炭生产的地区，集中体现于经济结构单一、创新能力不足与社会公平缺失等方面。该案例深刻揭示，真正的公正转型不能仅以去煤程度为衡量标准，而应从根本上重视受影响群体与区域的可持续发展能力及公平参与机会。

（4）对中国的启示：已有的传统能源国家转型实践表明，很少有国家能够以公正方式妥善解决煤炭行业退出问题。然而，对这些案例中政治、社会及经济（包括历史与现实）因素的深入反思，对中国

及其他煤炭依赖国家，均具有重要借鉴意义。这些经验对中国煤炭行业退出提供了以下启示：

- 越早规划煤炭退出路径，越能减少资源浪费与社会代价；
- 反之，若推迟退出、长期提效，不仅会增加财政成本，还会拖延低碳转型进程；
- 过渡性技术投资必须服务于退出目标，而非掩盖退出的不确定性；
- 应建立清晰的政策节奏和退出时间表，强化市场和社会的预期管理。

八、政策建议

本报告建议要在全中国“双碳”目标的约束下，坚持能源安全新战略，以政策机制统筹区域保供与减排，以产业布局调整优化区域新兴产业发展，以多元资金保障支撑产业接续，以转型治理推动构建国际交流机制，协同推动能源转型和增强能源安全保障能力。具体政策建议如下：

（一）以“双碳”目标为引领，坚持能源安全新战略，明确煤炭三角区绿色低碳转型的目标与路线图。

推动煤炭可持续退出与能源结构优化，是落实碳达峰碳中和目标的紧迫任务，也是实现能源体系可持续发展的内在要求。建议强化顶层设计与区域协同，在国家层面确立以“煤炭可持续退出”为核心的能源转型战略。这一战略旨在逐步减少煤炭依赖，并统筹保障能源安全、适应区域差异与促进公正转型，需配套制定清晰的时间表与路线图，统筹能源供给安全、消费转型、技术创新和制度变革，加大对煤炭主产区的政策聚焦与资源倾斜。通过健全标准体系、强化监管约束、优化政策激励，推动地方政府提升转型紧迫感和行动力，形成央地协同的治理合力。在保障能源安全的前提下，以产业结构升级激发新增长动力，协同推动实现能源转型、经济高质量发展与生态保护的多重目标。

（二）推动将煤炭三角区建设成为国家能源绿色低碳与公正转型的示范区，并纳入国家区域协调发展战略整体布局，协同区域内、区域间的绿色低碳转型。

应建立统筹能源转型、产业重构、生态修复、区域协同、就业保障与民生改善的协同推进机制，推动煤炭三角区在国家能源与生态安全保障、黄河流域生态保护和高质量发展中发挥更大支撑作用。建议重点推进以下三方面工作：

第一，强化中央统筹与部门协同。建立发展改革、能源和生态环境等部门的跨部门协调机制，统一规划煤炭产能调控与能源输出策略，科学设定减量目标，防止无序竞争和资源浪费，推动煤基产业有序减量升级与替代产业培育，实现区域转型与国家“双碳”战略相协调。

第二，制定煤炭三角区能源公正转型路线图。构建涵盖生态保护、经济发展、就业创造与减贫的综合政策框架，明确煤炭去产能路径与煤基产业调整方向，引导更积极的低碳能源发展目标。

第三，建立基于能源转型的区域合作与产业协同机制。借鉴“对口支援”统筹模式，探索构建煤炭三角区“转型发展伙伴关系”，与经济发达且传统依赖煤炭输入的省份形成产业反哺合作机制，助力煤炭三角区新兴产业优化升级。围绕产业链协同、市场共建、技术转化、人才共育等维度，实现区域优势互补与资源高效整合，形成“能源互供—产业协作—利益共享”格局。

（三）立足地区产业与资源禀赋，打造以新能源为核心的经济增长新引擎，以“新三大建设”、零碳园区建设为抓手，探索零碳贸易示范区建设机制，为区域绿色发展提供制度载体与平台支撑。

煤炭三角区富集的绿电资源禀赋，为构建清洁、高效的产业体系提供了坚实基础，可推动区域经济高质量发展迈向新阶段。应加快推动以新型电力系统建设、氢基产业发展和碳移除技术示范为核心的“新三大建设”，依托技术创新加速低碳技术在煤基行业的融合应用，系统推动煤炭三角区绿色转型。以零碳园区为主要抓手，探索以“新能源—储能”为支撑的现代能源体系和产业形态，系统推进煤基工业电气化改造，布局绿电直供、绿电制氢、储运与加氢网络，拓展氢能在工业、交通、储能等领域的融合应用，形成“绿电—绿氢—终端”一体化示范体系。统筹布局 CCUS、生物碳汇等多元碳移除路径，建设碳移除技术创新与示范集群。依托零碳产业链供应链体系，打造国家或区域级零碳贸易示范区，发展对接国际先进标准的零碳低碳产品。

（四）构建多元化的煤炭三角区转型资金保障体系，综合运用财政转移支付、绿色发展基金等政策工具，配套建立风险分担与容错机制，形成“资金+机制+政策”三位一体的支持格局。

为强化煤炭三角区绿色转型的资金保障能力，建议依托国家绿色发展基金等顶层设计，设立面向煤炭三角区转型的绿色发展基金，构建“政府引导、市场运作”的多元化投融资体系。基金应重点支持零碳园区基础设施、传统产业低碳改造、新兴产业集群培育及劳动力转型培训等领域，有效缓解社会结构性阵痛，培育区域新发展动能。在此基础上，积极运用财政转移支付等政策工具，设立针对矿区生态修复、采空区治理与公正转型人员安置的专项保障资金，形成“生态—民生”协同支持机制，为资源衰退地区提供可持续的财政托底。创新基金运行机制，推动多层协同与社会参与，突出对低碳、零碳及颠覆性技术创新的支持，尤其向技术型民企倾斜，加速技术规模化应用。同时，建立地方基金容错机制，增强政策灵活性，提升绿色信贷、债券等金融服务能力。最终广泛撬动社会资本，构建高效多元的投融资体系，为区域绿色转型提供可持续支撑。

（五）构建资源型地区绿色低碳转型的国际交流与合作平台，建立以公正转型、气候治理为核心的转型框架，打造全球能源转型的中国标杆。

传统能源地区公正转型是全球很多国家面临的共同挑战，特别是能源转型对就业的结构性影响。尽管新兴非煤产业可以创造新的就业机会，但短期内难以对冲煤基产业转型造成的岗位损失。为应对煤炭三角区转型中的就业挑战，需加快构建稳就业政策支持体系：一是精准识别与动态追踪煤基产业受影响从业人员；二是强化差异化职业技能培训与精准安置帮扶，实现岗位转移与收入保障有效衔接；三是实施针对性兜底措施，重点关注女性等弱势群体，保障其在就业安置全过程中机会公平、帮扶到位。在此基础上，跟踪和总结煤炭三角区绿色转型示范的实践经验，同步构建传统能源地区公正转型国际联盟，推动以中欧区域转型对话交流机制为代表的国际交流，加强在区域合作经验、政策设计和实践操作方面的学习借鉴。拓展与亚非拉等地区的多边交流合作，通过转型政策、技术和解决方案的经验交流与项目合作开发等多种方式，为推动全球公正转型提供中国方案。

参考文献

- [1] An K, Zheng X, Shen J, et al. Repositioning coal power to accelerate net-zero transition of China's power system [J]. Nature Communications, 2025, 16(2311).
- [2] Agora Energiewende, Energy Foundation. Promoting regional coal just transitions in China, Europe and beyond [R/OL]. https://www.agora-energie-wende.org/fileadmin/Projekte/2022/Publications_other/A-EW_262_EFC_China_WEB.pdf.
- [3] Cai B, Li Q, Liu G, et al. Environmental concern-based site screening of carbon dioxide geological storage in China [J]. Scientific Reports, 2017, 7(1): 7598.
- [4] Chen S, Liu J, Zhang Q, et al. A critical review on deployment planning and risk analysis of carbon capture, utilization, and storage (CCUS) toward carbon neutrality [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2022, 167: 112537.
- [5] Dong J, Cai B, Zhang S, et al. Closing the Gap between Carbon Neutrality Targets and Action: Technology Solutions for China's Key Energy-Intensive Sectors [J]. Environmental Science & Technology, 2023, 57(11): 4396-4405.
- [6] Gong C C, Ueckerdt F, Bertranm C, et al. Multilevel emission impacts of electrification and coal pathways in China's net-zero transition [J]. Joule, 2025, 9(6): 101945.
- [7] Guo J, Wang R, Zhang L, et al. Fine-grained prediction of solar-wind deployment unlocks China's 2060 pathways to carbon neutrality and lower energy costs [J]. Energy & Environmental Science, 2025, 18: 8142-8160.
- [8] Gong W, Lewis J. The politics of China's just transition and the shift away from coal [J]. Energy Research & Social Science, 2024, 115: 103643.
- [9] Guo Y, Zhou M, Peng L, et al. Carbon Mitigation and Environmental Co-Benefits of a Clean Energy Transition in China's Industrial Parks [J]. Environmental Science & Technology, 2023, 57(16): 6494-6505.
- [10] Guo Y, Tian J, Chen L. Managing energy infrastructure to decarbonize industrial parks in China [J]. Nature Communications, 2020, 11(1): 981.
- [11] International Energy Agency (IEA). Accelerating Just Transitions for the Coal Sector [R/OL]. <https://www.iea.org/reports/accelerating-just-transitions-for-the-coal-sector>.
- [12] International Energy Agency (IEA). Net Zero by 2050 [R/OL]. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>.
- [13] International Energy Agency (IEA). World energy outlook 2024 [R/OL]. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>.
- [14] Innovative Green Development Program (iGDP). Just Transition of Coal Regions in China [R/OL]. <https://www.igdp.cn/wp-content/uploads/2022/07/Just-Transition-in-Coal-Regions-in-China-clean-v2.pdf>.
- [15] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023 [R/OL]. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle>.

- [16] Jermain D, Pilcher R, Ren J, et al. Coal in the 21st century: Industry transformation and transition justice in the phaseout of coal-as-fuel and the phase-in of coal as multi-asset resource platforms [J]. *Energy and Climate Change*, 2024, 5: 100142.
- [17] Jiang W, Sun Y. Which is the more important factor of carbon emission, coal consumption or industrial structure [J]. *Energy Policy*, 2023, 176:113508.
- [18] Li B, Rahman M, Haneklaus N. Assessing China's energy transition pathway: Insights from the synergistic effects of key drivers [J]. *Energy Strategy Reviews*, 2024, 55: 101528.
- [19] Niu N, Ma J, Zhang B, et al. Ripple effects of coal phaseout on employment in China: From mining to coal consumption sectors [J]. *Resources Policy*, 2024, 97: 105290.
- [20] Ma R, Gao J, Guang C, et al. Coal mine closure substantially increases terrestrial water storage in China [J]. *Communications Earth & Environment*, 2024, 5(418): 1-8.
- [21] Meng J, Zhao W, Li J, et al. Technologies and gaps in deep decarbonization of hard-to-abate industrial sectors [J]. *Nature Reviews Clean Technology*, 2025.
- [22] Öztaner Y B, Soltanzadeh M, Zhao S, et al. Health benefits of phasing out coal-fired power plants in Ontario, Alberta, and Canada [J]. *Atmospheric Environment*, 2024, 120711: 1352-3310.
- [23] Ruan Z, Wang Y, Lu X, et al. A systems-oriented review of China's wind and solar power development toward carbon neutrality [J]. *Technology Review for Carbon Neutrality*, 2025, 1: 9550010.
- [24] Wang F, Harindintwali J, Yuan Z, et al. Technologies and perspectives for achieving carbon neutrality [J]. *The Innovation*, 2021, 2(4): 100180.
- [25] Wang J, Chen X, Zhuang M, et al. Toward accelerating exploitation and integration of global renewable energy resources [J]. *The Innovation*, 2025, 6(7): 100873.
- [26] Wang J, Lu X, Wang H, et al. Reassessing Immediate Coal Phase-Out: Dual Imperatives of Capacity Control and Renewables Expansion in China's Net-zero Strategy [J]. *Nexus*, 2025, 2(3): 100081.
- [27] Wang Y, Chao Q, Zhao L, et al. Assessment of wind and photovoltaic power potential in China [J]. *Carbon Neutrality*, 2022, 1: 15.
- [28] Wang Y, Wang R, Tanaka K, et al. Accelerating the energy transition towards photovoltaic and wind in China [J]. *Nature*, 2023, 619(7971): 761-767.
- [29] Wang Z, Liu X, Gu W, et al. Power-to-Hydrogen-to-Power as a pathway for wind and solar renewable energy utilization in China: Opportunities and challenges [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2026, 226: 116195.
- [30] World Resources Institute (WRI). From Concept to Application Analyzing Just Transition in the Core Climate Documents of 80 Paris Agreement Partners [R/OL]. <https://wri.org.cn/en/research/just-transition-core-climate-documents-80-paris-agreement>.
- [31] Yan Y, Ruan Z, Zhang L, et al. Supporting technologies and pathways for industrial sector decarbonization in China [J]. *Technology Review for Carbon Neutrality*, 2025, 1: 9550007.

- [32] Younas M, Shafique S, Hafees A, et al. An Overview of Hydrogen Production: Current Status, Potential, and Challenges [J]. Fuel, 2022, 316: 123317.
- [33] Yang X, Yuan J, Ren Y, et al. Mapping the inter-provincial pathways of resources and socio-economic impacts in China's just transition of coal power [J]. Resources Policy, 2024, 97: 105273.
- [34] Zhang Z, Liu G, and Lu X. Supply scale, carbon footprint, and levelized cost assessment of hydrogen production technologies during carbon neutrality transition in China [J]. Energy Strategy Reviews, 2024, 54: 101429.
- [35] Zheng X, Lu Y, Yuan J, et al. Drivers of change in China's energy-related CO₂ emissions [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2020, 117(1): 29-36.
- [36] 陈吕军, 严坤, 田金平. 美丽园区建设的路径研究 [J]. 生态经济, 2025, 41(01): 44-51.
- [37] 陈艳波, 张宁, 李嘉祺, 等. 零碳园区研究综述及展望 [J]. 中国电机工程学报, 2024, 44(14): 5496-5517.
- [38] 陈燕和, 潘玉, 黄琳. 煤炭行业公正转型的国际实践 [J]. 中国金融, 2022, (18): 87-88.
- [39] 窦晓铭, 庄贵阳, 王思博. 碳中和目标下公正转型的主流化:概念源起与政策设计 [J/OL].北京工业大学学报(社会科学版), 1-14.
- [40] 国家统计局, 生态环境部. 2024 中国环境统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2024 年.
- [41] 国家统计局. 中国统计年鉴 2024 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2024 年.
- [42] 国家统计局工业统计司. 中国工业统计年鉴 2023 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2024 年.
- [43] 李杨, 张帆, 姜大霖, 等. “双碳”目标下我国煤基能源产业挑战及优化发展策略研究 [J]. 中国煤炭, 2024, 50(11): 33-39.
- [44] 林伯强. 加速新型能源基础设施建设推动中国能源绿色转型 [J]. 新经济导刊, 2025, (Z1): 24-29.
- [45] 吕昊东, 鲁玺, 张贤. 碳中和目标下 CCUS 技术部署在公正转型中的协同效益 [J]. 洁净煤技术, 2024, 30(10): 138-146.
- [46] 清华大学碳中和研究院. 中国碳中和目标下的风光技术展望[R]. 北京: 清华大学碳中和研究院, 清华大学环境学院, 能源基金会, 2024.
- [47] 生态环境部环境规划院. 中国风能和太阳能发电潜力评估 (2024) [R]. 北京: 生态环境部环境规划院, 2024.
- [48] 生态环境部环境规划院. 中国区域二氧化碳地质封存经济可行性研究 [R]. 北京: 生态环境部环境规划院, 2024.
- [49] 生态环境部环境规划院. 中国碳中和目标下的工业低碳技术展望[R]. 北京: 生态环境部环境规划院, 清华大学碳中和研究院, 能源基金会, 2025.
- [50] 王金南. 加快零碳园区示范及其标准建设 [J]. 北京观察, 2025, 03: 22.
- [51] 王戎, 陈祉叶, 曾嘉伟, 等. “双碳”目标下中国能源转型的战略思考 [J]. 科技导报, 2024, 42(19): 10-19.
- [52] 谢典, 高亚静, 芦新波, 等. 零碳园区建设的发展现状、挑战与建议 [J]. 中国电力企业管理, 2024, (25): 92-93.

- [53] 余壮雄, 薛钊杰, 胡毅. 欧美碳关税对中国产业发展的影响与福利分析 [J]. 管理科学学报, 2025, 28(06): 17-32.
- [54] 张抗, 苗淼, 张立勤. “双碳”目标与中国能源转型思考(二)——能源转型中的化石能源 [J]. 中外能源, 2022, 27(04): 1-7.
- [55] 张莹, 陈一鸣. 欧盟构建公正转型机制的进展与启示 [J]. 阅江学刊, 2025, 17(03): 45-57.

致 谢

非常感谢中国环境与发展国际合作委员会（国合会）设立并支持“中国传统能源地区低碳转型”专题政策研究项目，为中外方专家提供了一个充分讨论和交流的平台。特别感谢国合会副主席解振华先生对本课题的悉心指导。感谢国合会中方首席顾问刘世锦先生、外方首席顾问 Scott Vaughan 先生、首席顾问的支持专家组 Knut Alfsen 博士、生态环境部国际合作司司长、国合会副秘书长周国梅女士，以及生态环境部对外合作与交流中心主任、国合会副秘书长李永红先生在课题实施过程中提供的咨询建议。感谢国合会秘书处处长刘侃女士，国合会秘书处和国际支持办公室为本课题提供的组织和协调等方面的支持。

附录 A 研究方法与技术路线

1. 研究方法 with 课题分工

研究方法包括文献和现场调研、专家咨询和政府座谈等形式。

文献调研：系统梳理传统产业绿色低碳转型国际国内最新研究和典型案例，归纳总结国际国内传统产业绿色低碳转型经验。

现场调研：在煤炭三角区开展现场调研，组织国际国内能源领域权威专家和项目研究团队深入实地调研，系统评估煤炭三角区能源消费和生产底数，准确摸清煤炭发展与可再生能源发展现状。

专家咨询：针对煤炭三角区未来产业发展方向、新能源一体化产业配套建设路径等问题召开系列专家咨询会议，提出发展建议和战略路径。

政府座谈：全面开展煤炭三角区内蒙古、宁夏、陕西和山西四省区发改委、生态环境厅等政府职能机构和科研机构座谈会，深入探讨煤炭三角区能源转型路径及其对区域经济发展和乡村振兴等区域社会经济方面的重要影响，为未来转型提供科学性政策建议。

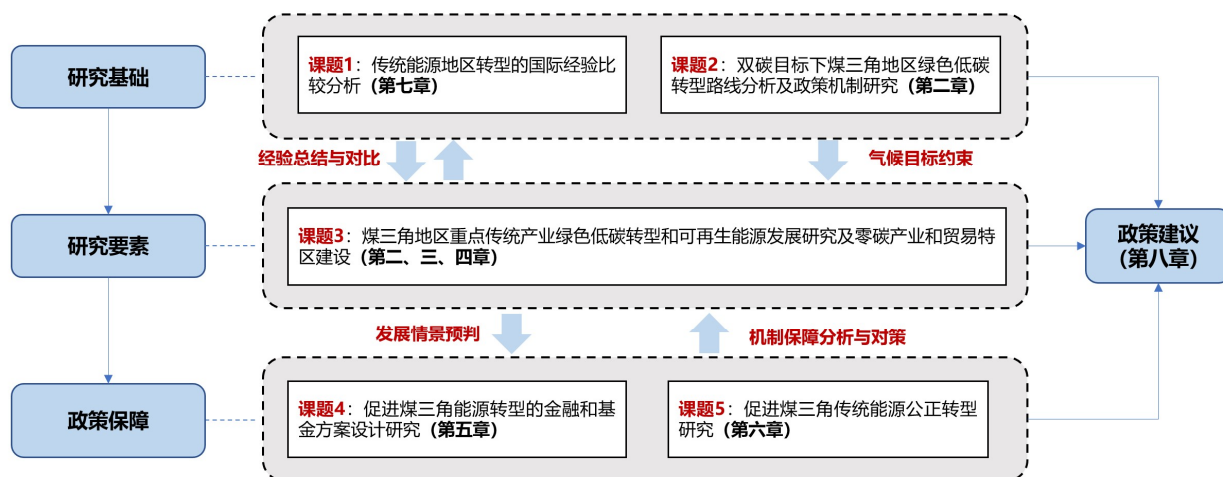


图 A-1 本项目子课题间的逻辑关系

2. 中国中长期排放路径模型 CAEP-CP 3.0

中国中长期排放路径模型 CAEP-CP 3.0 是生态环境部环境规划院王金南院士牵头建立的中国排放路径综合模型。CAEP-CP 3.0 模型基于自上而下宏观模型和自下而上的演化模型，主要包括高空间分辨率排放网格化模块、中长期能源模块、M3C-CGE 模型、空间化新能源潜力评估模块、减排技术评估模块、碳移除模块和关键产业预测模块等。其中，自上而下宏观模型充分考虑社会经济发展、中国 2030 年前实现碳达峰、2060 年前实现碳中和等目标约束，同时考虑技术可达性、措施可行性等因素，通过反复迭代优化，形成基于行业/领域的排放路径；自下而上方法是在空间排放网格层面，以年为单位，通过特定规则和约束，演化出不同阶段的排放格局。

省区碳排放等数据形成了基准年数据。模型涵盖 40 个部门，包括生产模块、国内外贸易市场模块、政府和居民的收支模块以及碳排放模块，以 1 年为步长，动态地模拟了不同碳排放约束情景下，2020-2060 年期间省区产业经济态势、产业结构变化、能源消费及其碳排放量的变化。

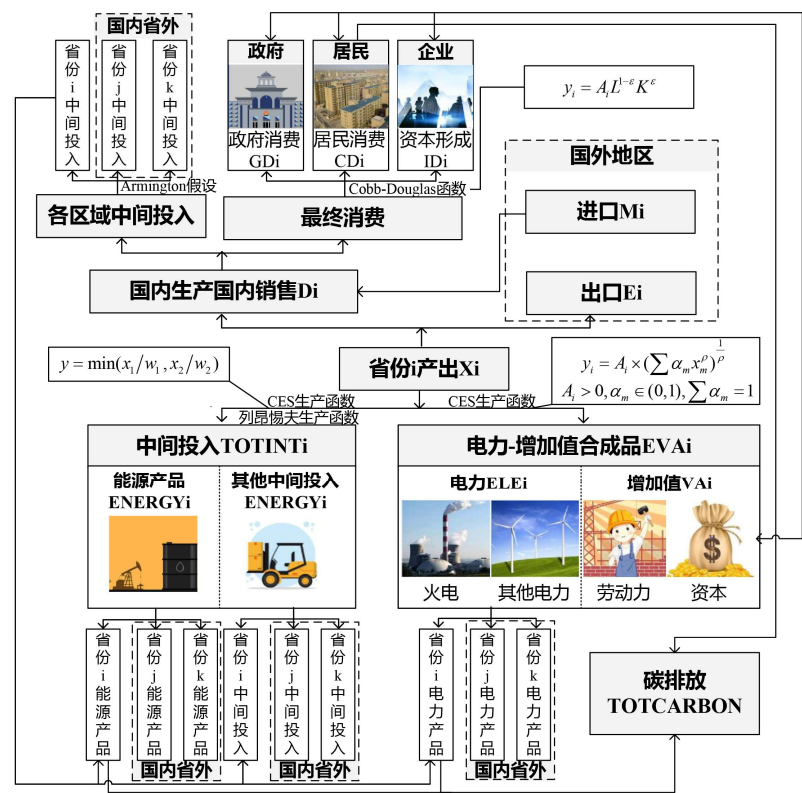


图 A-3 碳调节经济模型（CARBON-CGE）模块

2.2 新能源潜力评估模块

基于 GIS 空间分析平台，基于高分辨率风光资源图谱（风资源图谱（100 米高度）、地表总辐射、光伏发电潜力等效小时数据（等效小时数）），结合限制因素数据库（生态红线、水域、居民区、机场跑道等）、地形参数库（高程数据 SRTM、坡度、坡向）、地貌、设备数据库、区域特性参数等等，通过 GIS 空间分析、最优设备选型、运营期发电量评估等评估算法，评估区域风电、光伏可开发区域，并结合区域内地形、资源特性选取适配的设备，最终得到区域内的风电、光伏理论可开发容量以及发电小时数。最优发电设备根据潜在可供可再生资源开发的区域内资源特征匹配。特别对于风电开发，风电机组叶轮扫风面积、发电机功率、塔筒高度等决定了风能转化效率。结合 80-140m 高度风资源禀赋情况以实现度电成本最低。风资源数据来自依据风电行业长期历史实际测风数据订正的高分辨率风资源图谱。机组信息来自于行业主流机型技术参数数据库及对未来技术发展的预估。

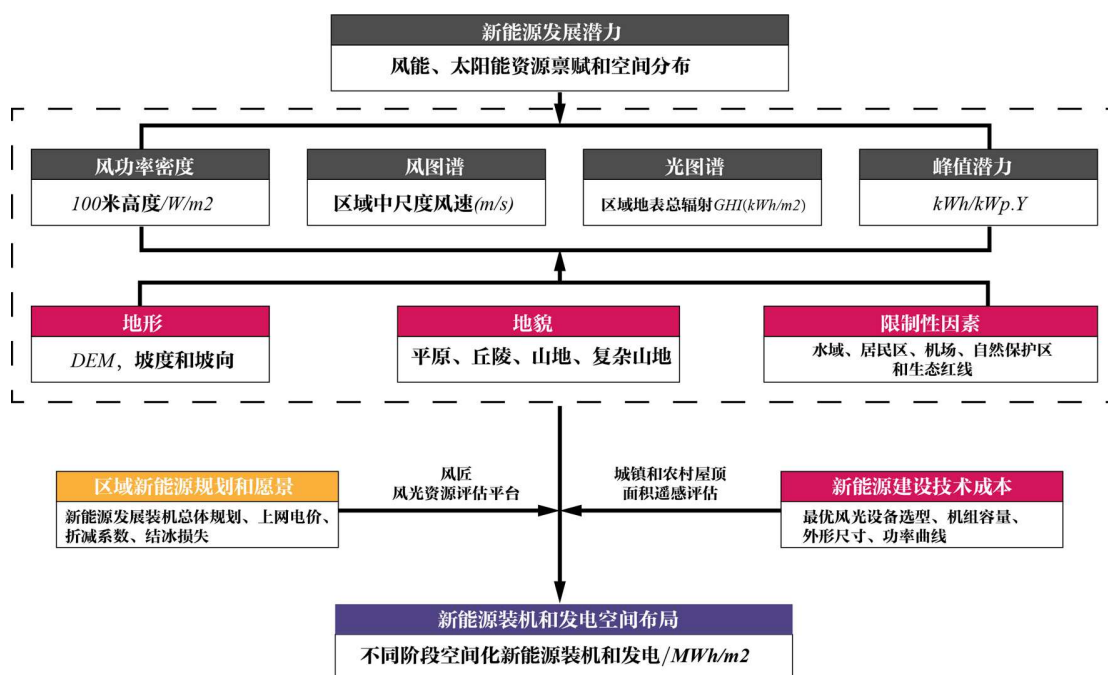


图 A-4 新能源潜力评估模块

3. 经济社会主要发展指标假设

为便于本报告的情景模拟与政策分析，对煤炭三角区 2025-2060 年主要经济社会指标作统一基准假设（具体参数如下）。

表 A-1 煤炭三角区 GDP 年均增速假设

省级行政区 /地区	2020- 2025	2025- 2030	2030- 2035	2035- 2040	2040- 2045	2045- 2050	2050- 2055	2055- 2060
内蒙古	6.0%	5.5%	3.2%	1.5%	1.6%	2.5%	2.5%	3.1%
山西	4.9%	3.8%	3.5%	3.1%	3.1%	3.7%	3.1%	3.5%
陕西	5.2%	3.5%	4.1%	3.7%	4.5%	4.2%	4.2%	4.2%
宁夏	5.8%	4.5%	4.4%	4.6%	3.1%	3.9%	4.0%	3.9%

表 A-2 煤炭三角区人均 GDP 假设（单位：万元/人）

省级行政区 /地区	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
内蒙古	12.8	15.0	17.4	19.2	22.1	25.8	30.2
山西	8.2	9.8	11.6	13.8	16.9	20.2	25.0
陕西	11.4	13.9	16.8	21.2	26.7	30.9	35.4
宁夏	8.4	10.2	12.6	14.5	17.6	21.4	26.3

4. 煤基产业的范围划分

本报告对煤基产业的研究范围覆盖煤炭资源的生产、加工及其主要下游利用环节，按照产业链逻辑将其划分为上游、中游和下游三大板块。上游环节主要包括煤炭资源的开采与洗选，中游环节聚焦于煤炭加工转化过程，主要为煤化工产业，下游环节则涵盖煤炭的典型使用场景，主要包括燃煤发电与供热、钢铁及其他工业行业。通过上述产业链划分，本报告系统梳理煤基产业各环节的转型动态与经济社会影响，为区域转型路径分析提供基础支撑。

表 A-3 本报告煤基产业范围的划分

主要行业划分	所处煤炭产业链位置	具体行业代码
煤炭开采与洗选业	上游	06 煤炭开采和洗选业（0610 烟煤和无烟煤开采洗选、0620 褐煤开采洗选、0690 其他煤炭采选）；1110 其他煤炭采选
煤化工	中游：煤炭加工	252 煤炭加工（2521 炼焦、2522 煤制合成气生产、2523 煤制液体燃料生产、2524 煤制品制造、2529 其他煤炭加工）
燃煤发电与供热	下游：煤炭使用	441 电力生产（4411 火力发电、4412 热电联产）；4430 热力生产和供应
钢铁	下游：煤炭使用	3110 炼铁；3120 炼钢
水泥	下游：煤炭使用	301 水泥、石灰和石膏制造（3011 水泥制造、3012 石灰和石膏制造）
其他工业行业	下游：煤炭使用	251 精炼石油产品制；26 化学原料和化学产品制造业；303 砖瓦、石材等建筑材料制造；304 玻璃制造；306 陶瓷制品制造

附录 B 煤炭三角区低碳转型政策、基金及金融支持梳理

本报告系统梳理了煤炭三角区主要省份在转型金融领域的实践探索与现有基金运作情况，具体如下表 B-1 和 B-2。

表 B-1 煤炭三角地区转型金融支持现状梳理

省份	金融支持现状
山西	- 截至 2024 年 9 月末，山西省全省金融机构累计发放碳减排贷款 37.7 亿元，支持风电、光伏等 372 个项目，加权平均利率低至 3.22%。 - 通过“绿票通”再贴现业务为绿色企业提供 23.5 亿元票据融资支持。 - 在碳金融机制创新方面，山西省率先推行“碳账户+碳征信”模式，依托长治市试点经验，归集企业碳排放数据并生成碳信用报告。截至 2024 年三季度末，金融机构据此发放转型贷款 23 笔，金额达 6.45 亿元。 - 产品服务上，晋商银行等推出合同能源管理贷款，以节能收益权质押提供低成本资金，并联合发起清洁能源基金，通过财政贴息支持减排项目。
内蒙古	- 截至 2024 年 12 月末，内蒙古自治区全区绿色贷款余额达 5996.3 亿元，同比增长 26.8%。 - 中国人民银行内蒙古分行通过科技创新再贷款等政策工具，精准对接 621 家科技型中小企业和 225 个技改项目，实现融资服务全覆盖，累计签约贷款 47.3 亿元，实际发放 23 亿元，其中获得专项再贷款支持 2.4 亿元。 - 金融机构持续加大对民营和中小微企业的支持力度，民营企业贷款余额 7495.7 亿元（同比增长 10.4%），中小微企业贷款余额 11857 亿元（同比增长 5.5%）。
陕西	- 截至 2024 年 12 月末，全省绿色贷款余额达 8229.04 亿元，同比增长 19%，增速居全国前列。 - 中国人民银行陕西省分行积极运用碳减排支持工具和煤炭清洁高效利用专项再贷款两项政策工具，引导资金精准投向绿色领域，截至 11 月末累计发放政策资金超 560 亿元。 - 陕西省积极推动金融机构创新绿色金融产品，辖内银行机构已开发 120 余种绿色金融产品，其中 70 余种实现落地，覆盖碳减排、清洁能源等重点领域，为全省经济绿色低碳转型提供了有力支撑。
宁夏	- 截至 2024 年末，全区绿色贷款余额达 1627.32 亿元，同比增长 11.0%，增速领跑各项贷款。全年新增绿色贷款 161.31 亿元，占全部贷款增量的 39.8%，重点投向太阳能利用和传统能源清洁化等重大项目领域。 - 人民银行宁夏分行充分发挥政策引导作用，碳减排支持工具余额突破 200 亿元，有效撬动社会资本。科技创新领域同步发力，全年签订技改贷款合同 34.41 亿元，实际投放 6.53 亿元。

表 B-2 煤炭三角地区低碳转型基金支持现状梳理

区域	基金名称	设立时间	规模（亿元）	投向领域	存在的问题
山西	能源转型发展基金	2021	50.0	氢能、光伏、风电、生物质、地热等绿色低碳新能源产业化项目	在推动区域经济方面的贡献有限。
	国投绿色能源发展	2018	10.0	绿色能源项目	

区域	基金名称	设立时间	规模（亿元）	投向领域	存在的问题
	基金				
	太行产业基金	2017	100.0	支持山西转型发展、培育新动能的重要产业	
	煤炭清洁利用投资基金	2016	100.0	煤电一体化、现代煤化工、煤层气抽采利用和碳交易及减排、碳捕集及封存方面	
内蒙古	碳中和基金	2022	100.0	支持节能减排及绿色发展等	区县级引导基金自身经验不足，很多下沉区县的产业基础较为薄弱。
	国企转型升级基金	2019	300.0	支持实体国有企业转型和国有经济布局结构优化升级	
	新兴产业创业投资引导基金	2015	5.0	支持新兴产业	
陕西	绿色能源基金	2023	10.7	氢能、智能制造、负碳排放等相关领域	总体规模偏小、各方合力不够、运作机制待优。
	碳中和产业投资基金	2022	8.1	以氢能为主的各类清洁能源、储能、新能源汽车、智能制造、绿色建筑等“双碳战略”核心产业	
	政府投资引导基金	2019	200.0	新兴产业、现代服务业、现代农业、基础设施和公共服务等领域	
宁夏	黄河流域生态保护和高质量发展先行区建设基金	2021	100.0	为先行区建设有关的黄河安澜、生态环境保护、污染防治、节水降耗、现代化灌区、交通和水网体系建设等领域的基础设施项目提供资本金支持	部分产业引导基金投向产能过剩、资金风险突出的企业。
	政府产业引导基金	2015	30.0	支持新兴战略性产业、高端装备制造业、生物医药、大数据、对外开放等优势特色产业领域	

附录 C 国内外调研与国际合作交流情况

项目组以山西省吕梁市为重点调研对象，深入开展对当地钢铁企业、氢能企业及煤炭物流企业的实地走访与交流。调研发现，尽管当地在传统产业的减碳升级方面取得初步进展，但对零碳技术的推广应用和新兴产业的系统布局仍较为薄弱。调研企业普遍存在对煤炭主导型产业结构的高度依赖，清洁能源项目多处于示范或起步阶段，转型路径尚不清晰。同时，突破既有技术路径、实现结构性调整仍面临较高的转型成本与政策不确定性。



图 C-1 项目组前往山西省吕梁市开展调研与转型座谈

在国际调研方面，项目组前往波兰、德国和西班牙等欧盟传统能源转型地区，深入了解其在推进煤炭行业有序退出、产业替代与就业安置方面的实践经验。调研发现，欧盟通过立法确立“公平转型”框架，设立公正转型基金，推动地方政府、企业与工会等多元主体参与，逐步构建了“多层次治理+利益相关方协同+透明参与”的政策体系。尽管欧盟经验具有重要借鉴价值，但其转型规模相对较小，经济已基本实现与高碳产业的脱钩，整体路径与中国面临的“去碳”与“发展”双重压力存在显著差异。因此，中国亟需探索更契合本国国情的系统性转型路径。

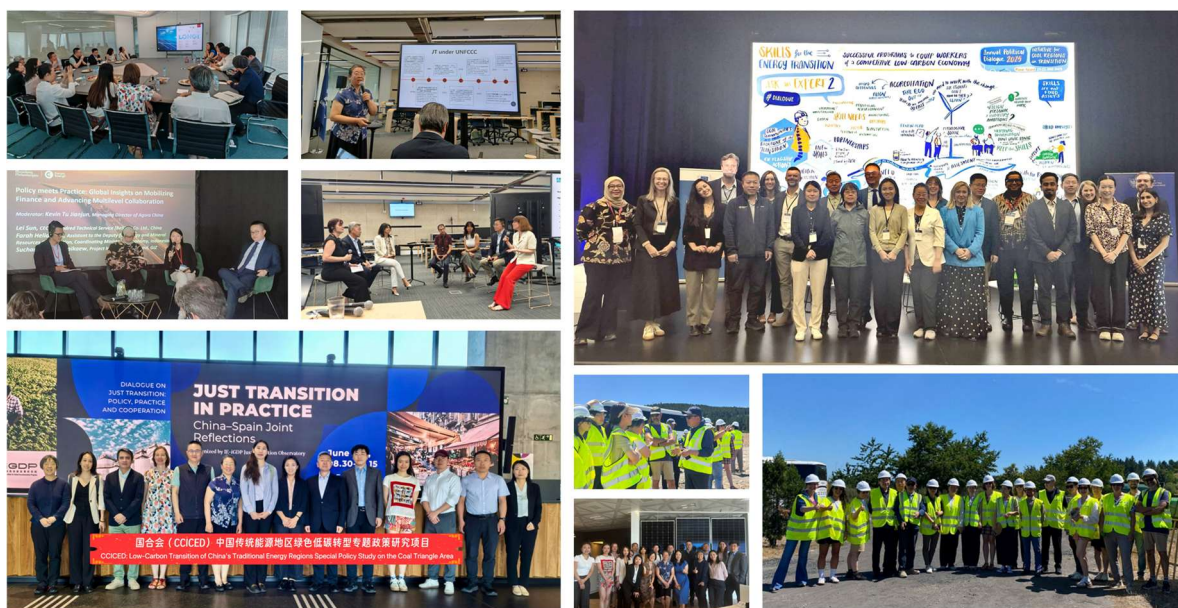


图 C-2 项目组前往波兰、西班牙和德国开展国际能源公正转型调研

项目组积极开展国际对话，项目组邀请联合国秘书长气候行动特别顾问、气候行动团队助理秘书长塞尔温·哈特（Selwin Hart）先生，就“加速能源绿色与公正转型”主题举办专题座谈会。会上，项目组与国际专家围绕全球气候治理、公正转型机制和发展中国家的现实诉求进行了深入交流。会议指出，中国虽已在新能源开发方面取得显著成就，光伏、风电等产业处于全球领先地位，但传统能源产业体系庞大、退出路径复杂，仍面临资源型地区转型动力不足、成本压力大、就业转移难等多重挑战。因此，亟需国家层面加强前瞻性规划与顶层设计，引导地方政府主动谋划产业结构调整、技术替代和绿色动能培育，构建以政策统筹、机制保障与资金支持相结合的公正转型路径。



图 C-3 项目组与塞尔温·哈特先生就中国能源绿色与公正转型开展研讨