

碳达峰碳中和背景下 山西焦化行业转型发展研究



山西科城能源环境创新研究院
Shanxi Coshare Innovation Institute of Energy & Environment



自然资源保护协会
NATURAL RESOURCES DEFENSE COUNCIL

中国煤炭消费总量控制方案和政策研究 (煤控研究项目)

中国是世界煤炭生产和消费第一大国。以煤炭为主的能源结构支撑了中国经济的高速发展，但也对生态环境造成了严重的破坏。为了应对气候变化、保护环境和减少空气污染，国际环保组织自然资源保护协会 (NRDC) 作为课题协调单位，与政府智库、科研院所和行业协会等 20 多家有影响力的单位合作，于 2013 年 10 月共同启动了“中国煤炭消费总量控制方案和政策研究”项目（即“煤控研究项目”），为设定全国煤炭消费总量控制目标、实施路线图和行动计划提供政策建议和可操作措施，助力中国实现资源节约、环境保护、气候变化与经济可持续发展的多重目标。请访问网站了解更多详情 <http://coalcap.nrdc.cn/>



自然资源保护协会 (NRDC) 是一家国际公益环保组织，成立于 1970 年。NRDC 拥有 600 多名员工，以科学、法律、政策方面的专家为主力。NRDC 自上个世纪九十年代中起在中国开展环保工作，中国项目现有成员 30 多名。NRDC 主要通过开展政策研究，介绍和展示最佳实践，以及提供专业支持等方式，促进中国的绿色发展、循环发展和低碳发展。请访问网站了解更多详情 <http://www.nrdc.cn/>



山西科城能源环境创新研究院于 2017 年 1 月获山西省民政厅批准成立，是一家独立的非营利绿色发展研究机构和协同创新平台。自成立以来，研究院围绕低碳及能源清洁化、污染源管理及治理、废物资源化与无害化、生态环境保护 and 修复以及公众环境教育等开展研究，从政策倡导、战略研究、技术建议及能力建设等角度为政府、企业和公众提供绿色转型解决方案。请访问网站了解更多详情 <http://e-coshare.com/>

煤控研究报告

- 《“十四五”山西省非煤经济发展研究》
- 《碳达峰碳中和背景下山西煤电行业转型发展研究》
- 《碳达峰碳中和背景下山西焦化行业转型发展研究》
- 《中国典型省份煤电转型优化潜力研究》
- 《碳达峰碳中和目标约束下重点行业的煤炭消费总量控制路线图研究》
- 《中国典型省份煤电转型优化潜力研究执行摘要》
- 《碳达峰碳中和目标约束下重点行业的煤炭消费总量控制路线图研究执行摘要》
- 《碳达峰碳中和目标约束下水泥行业的煤炭消费总量控制路线图研究》
- 《碳达峰碳中和目标约束下电力行业的煤炭消费总量控制路线图研究》
- 《碳达峰碳中和目标约束下钢铁行业的煤炭消费总量控制路线图研究》
- 《碳达峰碳中和目标约束下煤化工行业煤炭消费总量控制路线图研究》
- 《山西省“十四五”煤炭消费总量控制政策研究》
- 《“十四五”电力行业煤炭消费控制政策研究》
- 《新冠疫情后的中国电力战略路径抉择：煤电还是电力新基建》
- 《中国散煤综合治理研究报告 2020》
- 《“十三五”时期重点部门煤控中期评估及后期展望》
- 《“十三五”电力煤控中期评估与后期展望》
- 《中国煤控项目“十三五”中期评估与后期展望研究报告》
- 《中国实现全球 1.5°C 目标下的能源排放情景研究》
- 《持续推进电力改革 提高可再生能源消纳执行报告》
- 《2012 煤炭的真实成本》

请访问网站了解更多详情 <http://www.nrdc.cn/>

煤控研究项目系列报告

碳达峰碳中和背景下 山西焦化行业转型发展研究

山西科城能源环境创新研究院

自然资源保护协会（NRDC）

2022 年 04 月

执行摘要	1
前言	6
1. 焦化行业发展现状	7
1.1 生产情况	
1.2 消费情况	
1.3 行业发展面临的问题	
2. 能源消费及碳排放情况	15
2.1 能源消费情况	
2.2 碳排放情况	
3. 焦化行业碳排放峰值目标探讨	22
3.1 行业发展趋势判断	
3.2 情景设置	
3.3 峰值探讨	

4. “双碳”背景下焦化行业转型发展路径	28
4.1 优化焦化产能结构	
4.2 提升焦化低碳发展水平	
4.3 发展零碳负碳技术	
4.4 强化企业碳排放管理水平	
5. 政策建议	32
5.1 加快产业提档升级步伐, 发挥先进产能优势	
5.2 多措并举推进节能减排, 优化能源利用方式	
5.3 设立焦化产业转型资金, 完善资金保障机制	
5.4 强化焦化行业碳排放管理, 助力高质量达峰	
5.5 加大转型监管与扶持力度, 保障平稳转型	
结语	35
参考文献	36
附件	37

执行摘要

焦化是山西省传统优势产业，焦炭产量位居全国首位。2020 年，山西焦化行业的营业收入在工业企业中占比 9.2%，财税贡献占比 4.3%，就业贡献占比 5.1%，均位居全省前五，支撑山西经济社会发展。与此同时，山西焦炭外输量占全省焦炭总产量的 79.1%，保障全国钢铁产业发展。山西焦化行业的煤炭消费量占全省总量的 35.6%，能源消费量占全省总量的 9.3%，碳排放量占全省总量的 8.2%，是有序推动碳达峰碳中和山西行动的重点行业。

“2030 年碳达峰、2060 年碳中和”目标的提出，对山西省焦化行业发展提出严峻挑战。在下游钢铁需求缩减和电炉钢、氢冶金技术发展的外在环境影响，以及焦化产业提档升级、绿色发展的内在驱动下，本报告基于供需平衡角度，兼顾发展与减排，预判行业碳达峰、碳中和情景，探讨行业高质量达峰、平稳转型发展的实现路径和政策建议，主要结论如下：

1. 行业碳排放总量及贡献比重均呈增长趋势

山西是全国唯一焦化产能超过 1 亿吨的省份，2020 年全省焦化总产能压减至 14660 万吨，占全国焦化总产能的 23.2%，焦炭产量达到 10493.7 万吨，占全国焦炭总产量的 22.3%。随着全省焦炭产量的增加，行业碳排放量呈增长趋势，对山西碳排放的贡献由 2015 年的 6.8% 增长至 2020 年的 8.2%。碳排放来源主要包括企业自有燃煤锅炉煤炭燃烧、焦炉煤气燃烧、电力消费等。

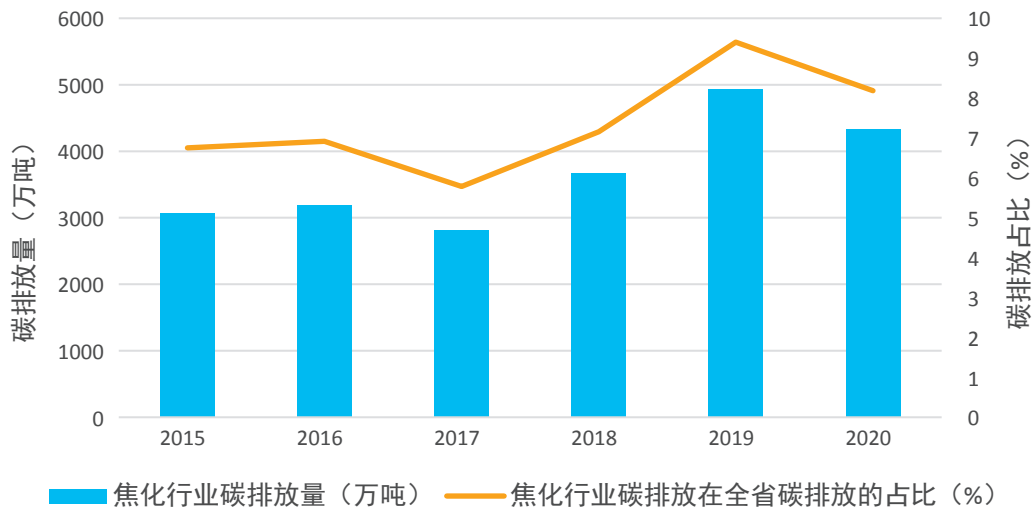


图 1 2015-2020 年山西省焦化行业碳排放总量及比重变化趋势

数据来源：课题组测算

2. 行业正处于动态调整优化期，发展水平将得到大幅提升

“十三五”期间，山西焦化行业发展面临路径依赖现象依旧明显、产能过剩、先进产能比重低、资源综合利用不足等问题；“十四五”将是山西焦化行业转型发展的关键期，通过淘汰压减、产能置换、上大关小和整体搬迁，行业装备技术水平将加速提升。

3. 山西焦化行业预计在“十四五”后期实现碳达峰

结合全国钢铁产业和山西焦化产业发展趋势，合理探讨达峰情景。基准情景下，山西焦化行业碳排放于 2025 年达峰，峰值为 0.51 亿吨；低碳情景下，山西焦化行业碳排放于 2024 年达峰，峰值为 0.49 亿吨；强化低碳情景下，山西焦化行业碳排放于 2023 年达峰，峰值为 0.47 亿吨。报告推荐山西焦化行业于 2024 年左右实现碳达峰，为焦化行业转型发展提供时间保障。

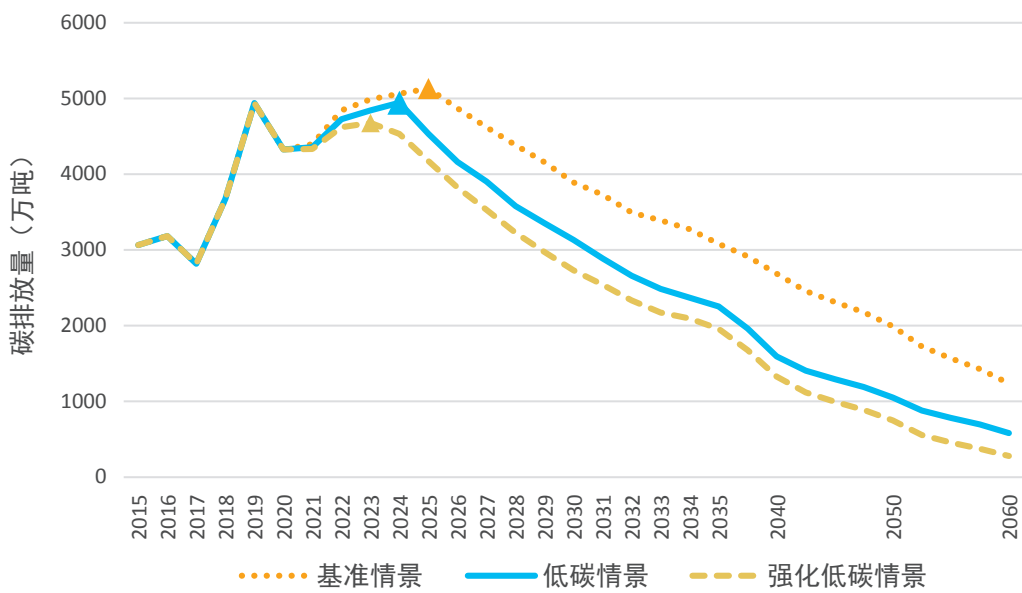


图 2 不同情景下山西省焦化行业碳排放测算

数据来源：课题组测算

4. 焦化行业低碳转型路径建议

山西是全国重要焦炭生产、供给基地，为钢铁行业发展提供强有力的能源保障。随着我国全废钢电炉短流程炼钢的推进和氢能炼钢的发展，“十四五”期间焦炭需求将趋于稳定，并逐步减少。因此山西焦炭行业未来发展关键在于绿色低碳和高质量发展，重点路径包括以下几方面：

第一，严格控制焦化产能产量，优化产能结构与布局。“十四五”期间，严格执行分类压减焦化产能，加快推进在建大机焦项目投产，焦化产能严格控制在 14660 万吨以内，“十五五”、“十六五”确保产能稳中有降。加快推进产能结构优化，2023 年全面淘汰炭化室高度 4.3 米焦炉，确保 2025 年先进产能比重达到 95% 以上，“十五五”、“十六五”达到 100%。推动位于汾河谷地污染较为严重区域的焦化企业，按照大气扩散条件、环境承载能力、经济发展水平等要素进行合理转移或布局建设，推动焦化产业集聚化、园区化发展。

第二，优化焦炉煤气利用方式，发展固碳产品。利用焦炉煤气的高氢低碳特性，采用“碳耦合”相关技术，开发“固碳”化工产品，推进氢能开发利用；减少焦炉煤气用于发电或供热的比例，优先发展高端高固碳率产品；利用焦炉煤气中的一氧化碳、二氧化碳和甲烷等成分，积极开展碳捕集利用示范项目。

第三，推动关键技术应用，协同减污降碳。“十四五”期间，采用余热回收、干熄焦、煤自动化调湿、自动加热优化控制等成熟技术推进 5.5 米及以上炭化室高度的大机焦和热回收焦炉实施技术改造；开发焦化工艺流程信息化与智能化技术，提高智能制造水平。“十五五”及以后重点开展先进技术示范应用。技术改造过程中，需兼顾焦化行业超低排放改造需求和节能降碳要求，确保协同发展。

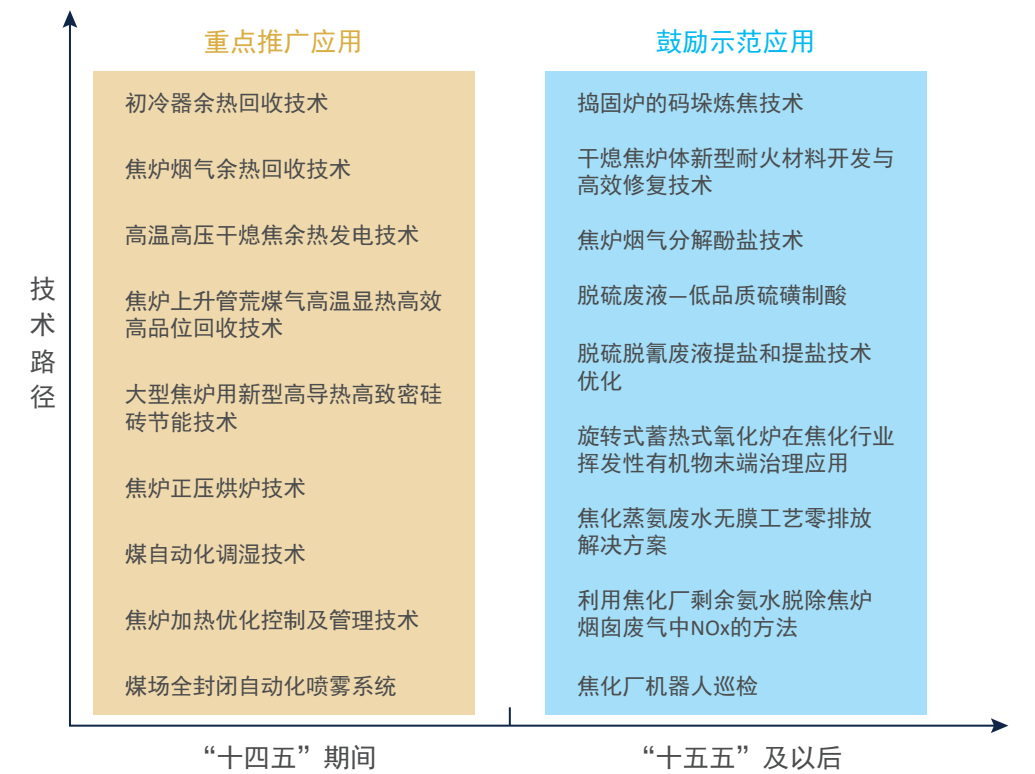


图 3 焦化行业技术路径图

第四，鼓励企业建设分布式光伏，提高绿电使用比例。鼓励焦化企业合理利用煤棚、办公楼顶等区域，通过合同能源管理、自行建设运营等模式发展分布式光伏项目，提高企业绿电应用比例，降低电力消费方面的碳排放。

5. 政策建议

第一，加快产业提档升级步伐。严格控制焦化总产能，分类淘汰压减 4.3 米焦炉，加快推进大机焦项目建设；对确有必要建设的焦炭产能，严格执行产能置换、煤炭消费减量、节能评估、环境影响评价等手续，确保新建焦炉达到国内先进水平。

第二，划定单位产品能耗基准线。定期调度企业能源消费情况，划定焦炭单位产品能耗基准线，健全奖惩机制，倒逼企业技术改造，并完善容错机制，鼓励企业敢于应用新技术。

第三，强化行业碳排放管理。鼓励将碳排放影响评价纳入环境影响评价，提高行业准入门槛；将焦化行业纳入碳排放核查范围，为碳排放权交易奠定数据基础；建立焦化行业的低碳发展标准体系，实施分级管理。

第四，加大企业转型监管与扶持力度。山西省 80% 的焦化产能为民营独立焦化企业，在人才吸引、企业管理方面相对欠缺，建议强化政府监管与引导作用，在双碳战略宣传、专业人才引进与培养、职工稳妥安置与再就业指导方面予以扶持。

前言

2021年11月14日，在第26届联合国气候变化大会（COP26）上达成的《格拉斯哥气候公约》，首次列入煤炭和化石燃料问题，要求各国“加速努力”，逐步减少煤炭使用。在COP26开幕前，我国连续印发两个指导碳达峰碳中和工作的重磅文件《中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》、《2030年前碳达峰行动方案》，均明确提出“加快煤炭减量步伐，‘十四五’时期严控煤炭消费增长，‘十五五’时期逐步减少”，表明我国坚定走绿色低碳发展的决心。

焦化是山西的传统优势产业，2020年，营业收入、财税贡献、就业贡献在全省工业企业中均位居前五。焦化行业的煤炭消费量占全省总量的35.6%，碳排放占全省总量的8.2%，也是全省煤炭消费和碳排放的重点行业。全球应对气候变化背景和国家双碳目标下，山西作为国家资源型经济转型发展示范区、全国能源革命综合改革试点先行区、全国最大焦炭生产基地，需全面建设国家绿色焦化产业基地，实现行业高质量碳达峰，为碳中和奠定基础。

2021年，课题组在自然资源保护协会（NRDC）的支持下启动了“碳达峰碳中和背景下山西焦化行业转型发展研究”课题，力求从供需平衡角度，兼顾发展与减排，探讨山西省焦化行业合理的碳达峰目标及实现路径。希望研究成果可为山西省有序推进碳达峰提供科学参考。

课题负责人：阿红

1

焦化行业发展现状

1.1 生产情况

(1) 焦炭产量位居全国第一

山西是全国唯一焦化产能超过1亿吨的省份^[1]，产量位居全国第一。2020年焦炭产量10493.7万吨，占全国的22.3%^[2]，较2015年增长30.5%，较2010年增长23.4%。而河北、江苏、辽宁、山东、河南等主要钢铁生产省份，焦炭产量增长较少，甚至出现负增长^[3]。

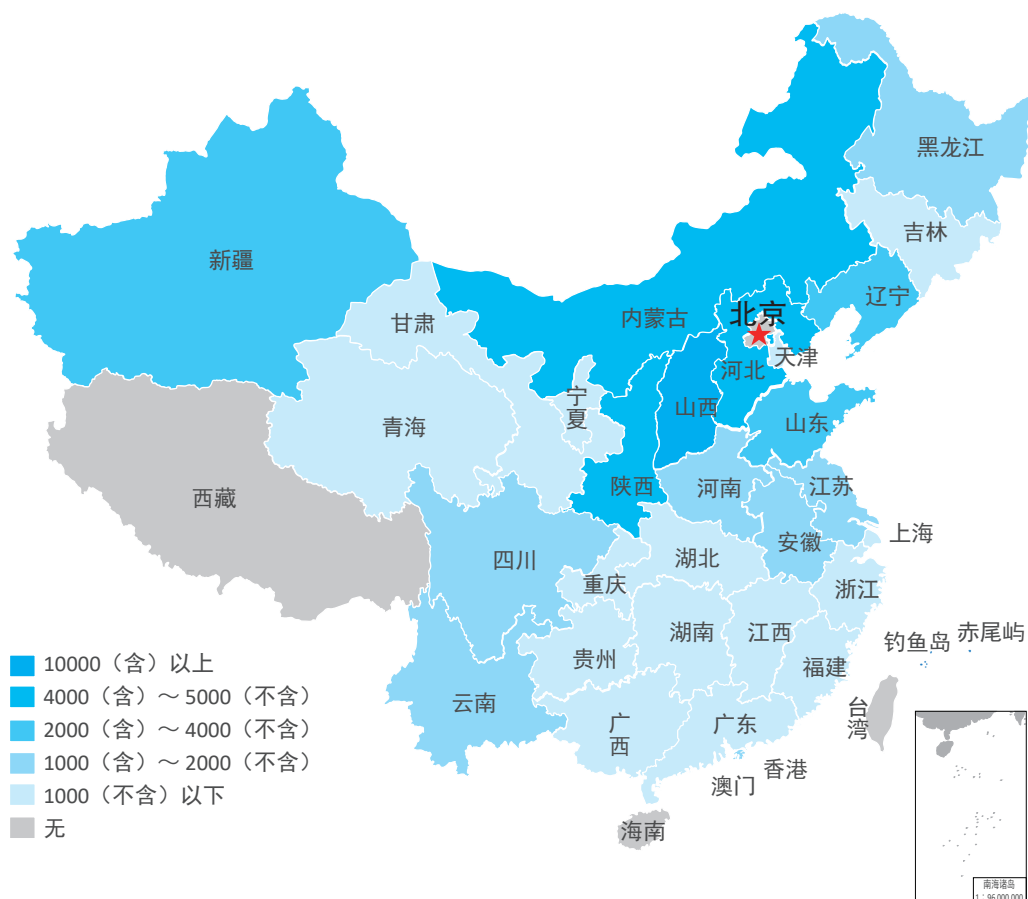


图 1-1 2020 年全国焦炭产量分布 (万吨)

注：暂未包括香港、澳门特别行政区和台湾省数据

数据来源：中国统计年鉴 2021

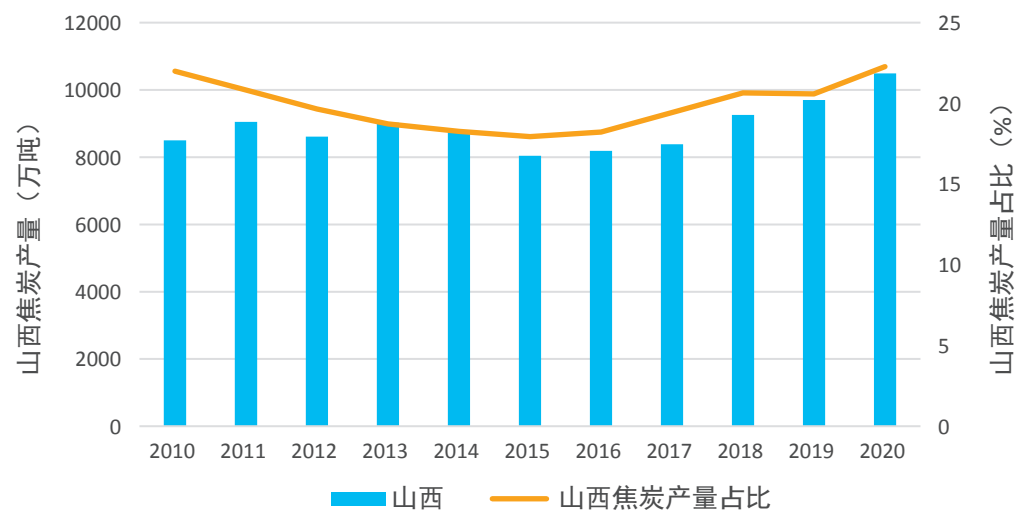


图 1-2 山西省焦炭产量及占全国比重

数据来源：中国统计年鉴、山西统计年鉴

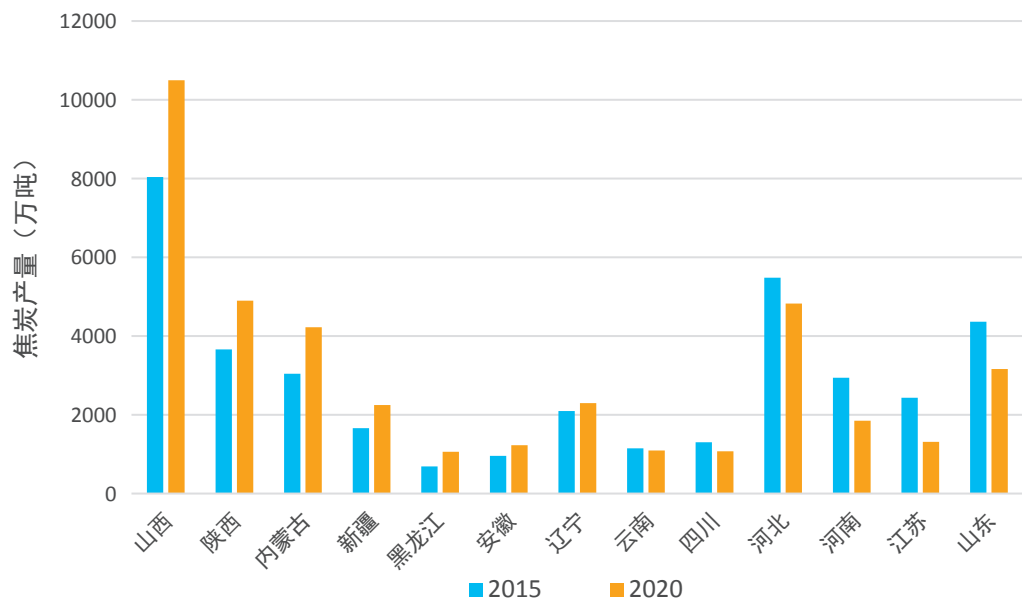


图 1-3 焦炭产量千万吨以上的省份（万吨）

数据来源：中国统计年鉴

（2）吕梁是山西的焦炭主产区

2020 年，吕梁市焦炭产量 2673.5 万吨^[4]，约占全省的 25.5%，位居全省第一。临汾、长治也是省内焦炭生产的主要区域，分别占全省焦炭总产量的 17.3%、16.6%。全省 65% 左右的焦化企业分布在汾河流域¹。

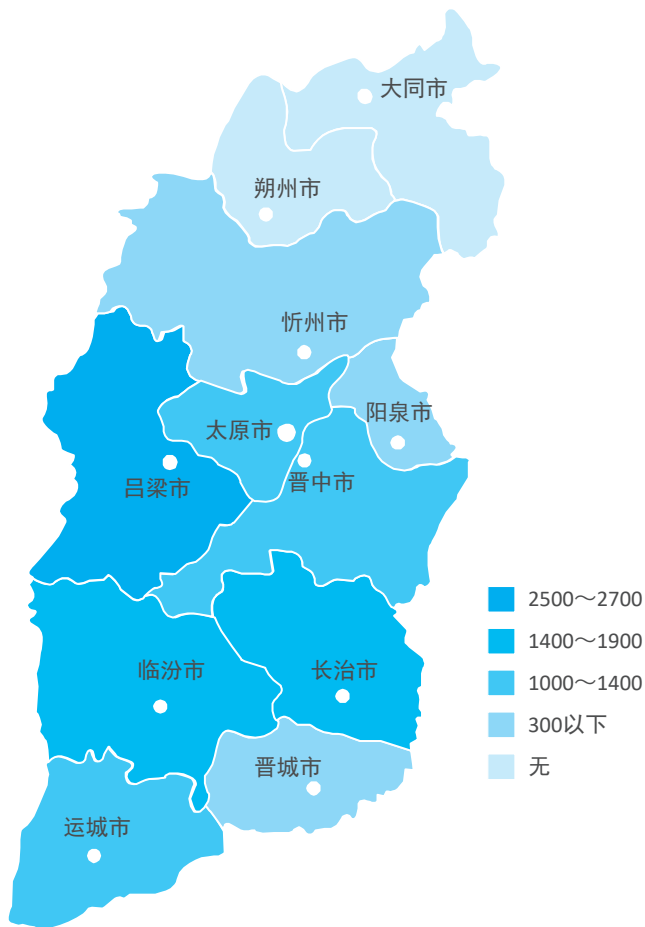


图 1-4 2020 年山西省各市焦炭产量分布（万吨）

数据来源：山西统计年鉴 2021

1 注：课题组根据专家咨询整理

(3) 产能利用率上升至 70%

山西省焦化行业产能不断缩减，产能利用率不断提升。2011-2020 年，山西焦化总产能从 1.6 亿吨压减至 1.47 亿吨^[5]，产能利用率从 57% 上升至 70% 左右。但与全国 2020 年焦化产能利用率 77.5%^[3] 相比，山西焦化产能利用率仍然偏低，主要是由于山西焦化行业面临产能过剩、环保要求减产限产等问题。

(4) 以民营独立焦化企业为主

山西省焦化企业包括钢焦配套企业和独立焦化企业，其中独立焦化产能占比 80% 以上，以民营企业为主体²。根据 2017 年颁布的《山西省焦化产业布局意见》，山西仅保留 12 家钢铁配套类焦化企业。

1.2 消费情况

(1) 焦炭外销量呈增长态势

2020 年，山西焦炭外调量 8303.9 万吨，占当年产量的 79.1%；外调量较 2015 年增长 40.7%，较 2010 年增长 35.7%^[4]。主要外销河北、天津、山东、河南、江苏等重点产钢省份，辐射东北、西南省份³。

2 注：课题组根据专家咨询整理
3 注：课题组根据专家咨询整理

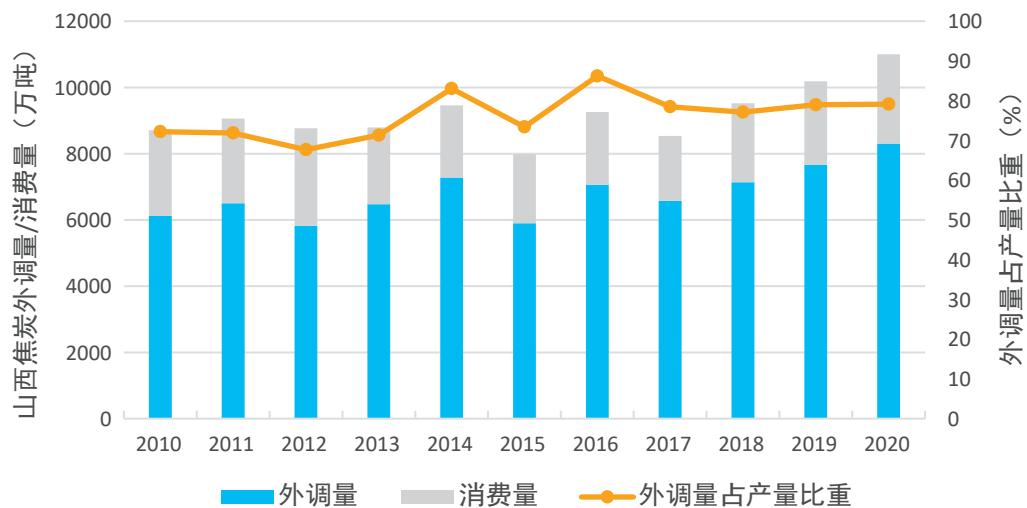


图 1-5 山西省焦炭外调量、消费量及外调量占产量比重

(2) 省内焦炭消费 96% 集中在钢铁行业

2020 年，山西省内焦炭消费量 2699.0 万吨^[4]，占焦炭产量的 25.7%；消费量较 2015 年增长 29.5%，年均增长 5.3%。其中钢铁行业是消费焦炭的主要行业，2020 年消费 2612.9 万吨，占省内焦炭消费的 96.8%，比重较 2015 年提高 2.8 个百分点。

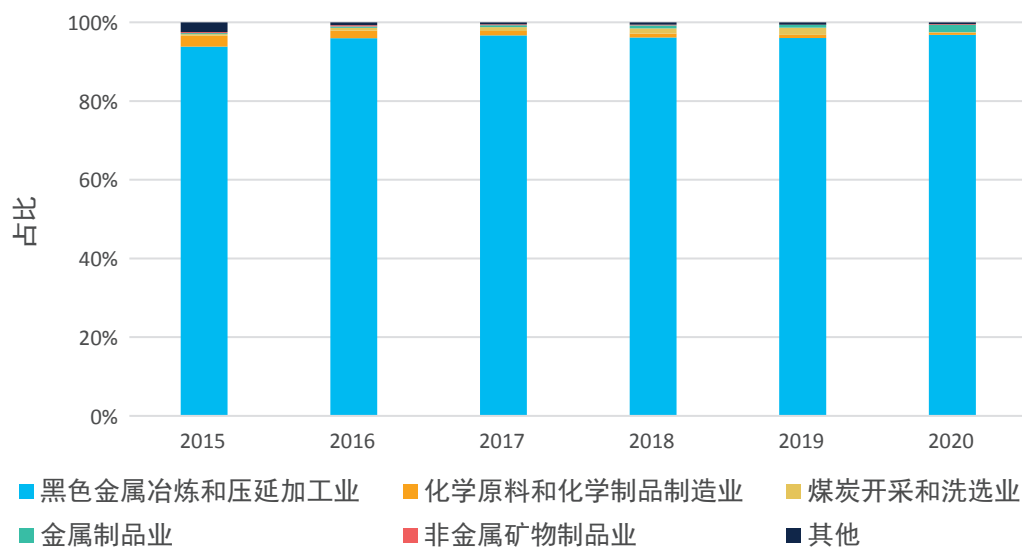


图 1-6 山西省分行业焦炭消费情况

数据来源：山西统计年鉴

1.3 行业发展面临的问题

(1) 先进产能有待提高

截至 2020 年，全省建成炭化室高度 5.5 米及以上大型机焦炉产能 6810 万吨，占比 56.5%，较 2016 年增加 30 个百分点，较全国平均水平（62.7%^[6]）低 6 个百分点；炭化室高度 4.3 米普通机焦炉产能 4710 万吨，占比 39.1%；热回收焦炉产能 541 万吨，占比 4.5%⁴。

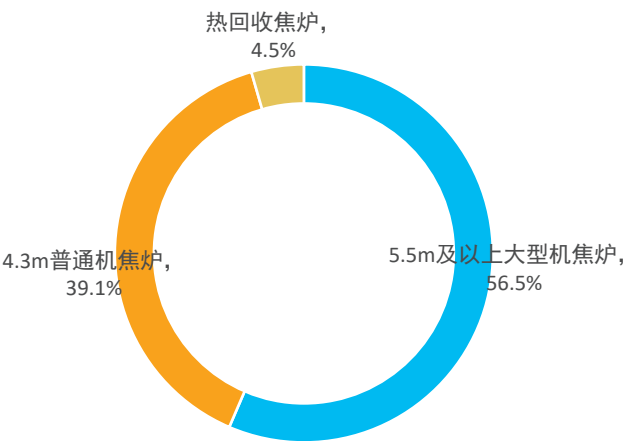


图 1-7 2020 年山西省不同类型焦炉分布

(2) 资源综合利用不足

焦化行业可利用的余热余气资源包括：焦炭显热、焦炉煤气、烟道气显热、焦化初冷水显热^[7]等。省内部分 4.3 米焦炉因涉及淘汰压减、上大关小，未能开展技术改造，需尽快完善上大关小项目相关手续，推动项目建设，提高资源综合利用能力⁵。

4 注：课题组根据专家咨询整理
5 注：课题组根据调研整理分析

（3）违法违规问题相对突出

2021 年 7 月，中央环保督察组反馈：一些焦化企业违法违规问题频发，如金晖煤焦化公司等 9 个项目手续不全，擅自开工建设；晋茂煤化工等项目违法建成投产，大气污染严重；太谷恒达煤气化有限公司长期私开旁路直排烟气，在线监测设施数据造假^[8]；介休昌盛、平遥煤化公司违规取水等。

（4）面临人员就业安置问题

焦化企业产能淘汰压减、产能置换、上大关小、整体搬迁过程中，因人员整合、工作地点变动、提供就业岗位缩减等，会出现部分员工失业等问题，需及时解决好人员就业安置问题。根据调研了解，焦炉大型化可能使企业就业岗位缩减 25% 以上⁶。

6 注：课题组根据调研整理分析

2

能源消费及碳排放情况

2.1 能源消费情况

(1) 能源消费呈增长趋势

2020 年，焦化行业能源消费量 1958.2 万吨标煤，较 2015 年增长 43.3%；占全省能源消费总量的 9.3%，位居第 5，仅次于钢铁、煤炭、化工、人民生活及其他；比重较 2015 年提高 2.3 个百分点。能源消费品种主要包括煤炭、电力、汽油、柴油和天然气等。

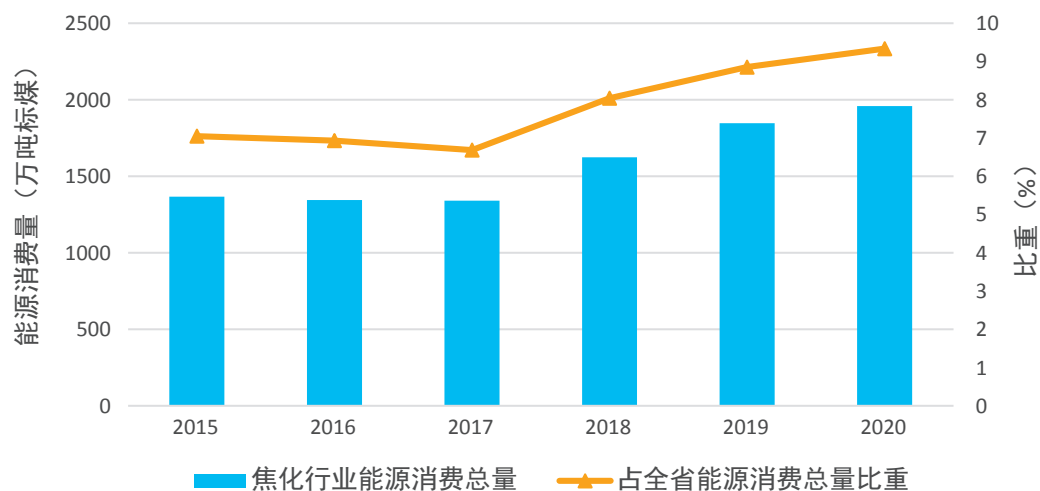


图 2-1 2015-2020 年山西省焦化行业能源消费情况

数据来源：山西省统计年鉴

(2) 煤炭消费位居全省第二

2020 年，焦化行业消费煤炭 1.3 亿吨，占全省煤炭消费的 35.6%，位居全省第二，仅次于电力行业。“十三五”期间，煤炭消费量较 2015 年增长 31.2%，煤炭消费比重较 2015 年增加 2.2 个百分点。焦化行业单位产品煤耗在 1.2-1.3 吨，耗煤环节主要是焦炉炼焦环节，因产业特性，单位产品煤耗降低空间有限。

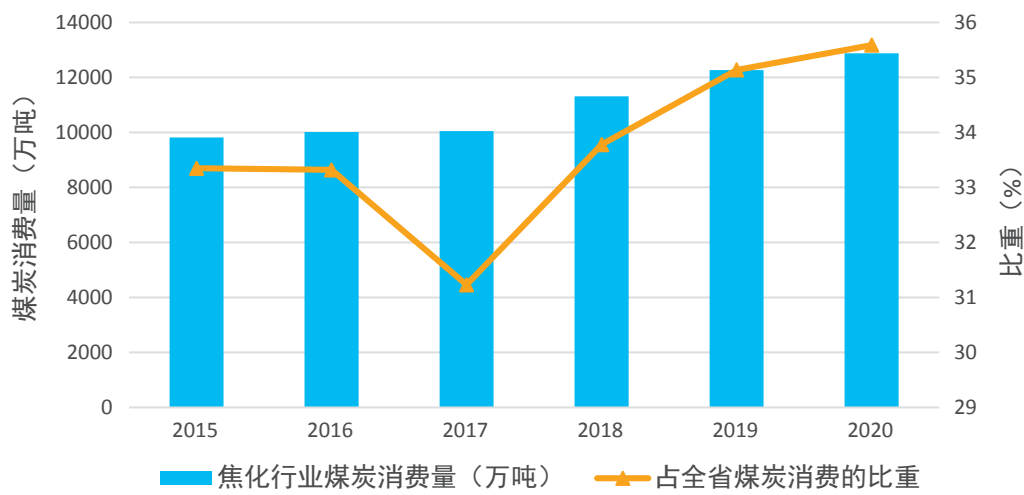


图 2-2 2015-2020 年山西省焦化行业煤炭消费情况

数据来源：山西省统计年鉴

2.2 碳排放情况

(1) 焦化行业碳排放量呈增长趋势

据课题组测算，2020 年山西焦化行业碳排放量约为 4327.7 万吨，较 2015 年增长 41.2%；占全省碳排放总量的 8.2%⁷。其中山西焦化行业化石能源消费产生的直接碳排放占行业碳排放总量的 86.1%，电力消费产生的间接碳排放占行业碳排放总量的 13.9%。依据公开的统计数据和调研结果，燃煤锅炉煤炭消费、电力消费、焦炉煤气燃烧是排放重点⁸。

7 注：核算基础数据来自《山西统计年鉴》的“分行业能源消费总量”；核算边界包括不同品种的化石能源消费产生的直接排放（即能源活动的二氧化碳）以及电力消费的间接排放。

8 注：课题组根据调研整理分析

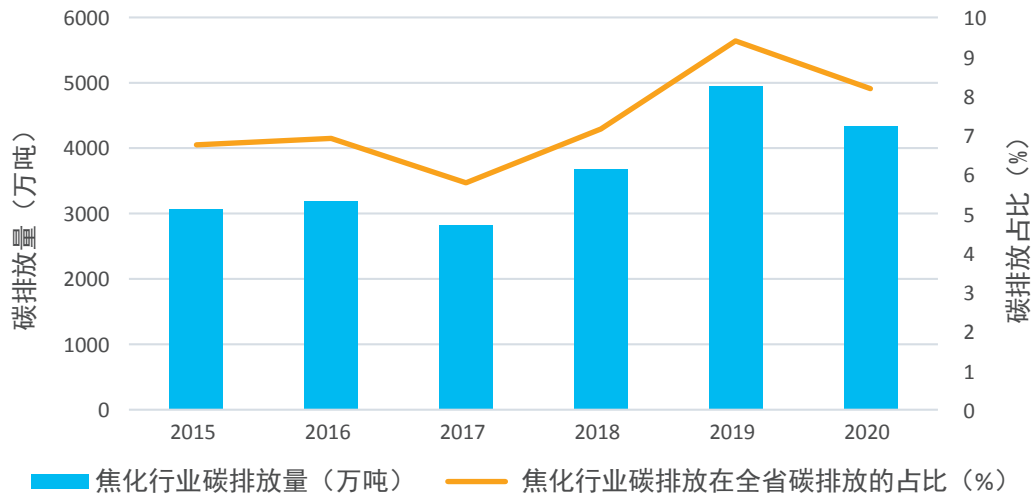


图 2-3 2015-2020 年山西省焦化行业碳排放总量及比重变化趋势

数据来源：课题组测算

煤炭消费是焦化行业碳排放的主要来源。2015-2020 年，煤炭消费产生的碳排放占行业碳排放总量的比重从 88.7% 下降至 85.8%，电力消费产生的碳排放占行业碳排放总量的比重从 10.9% 增长至 13.9%。

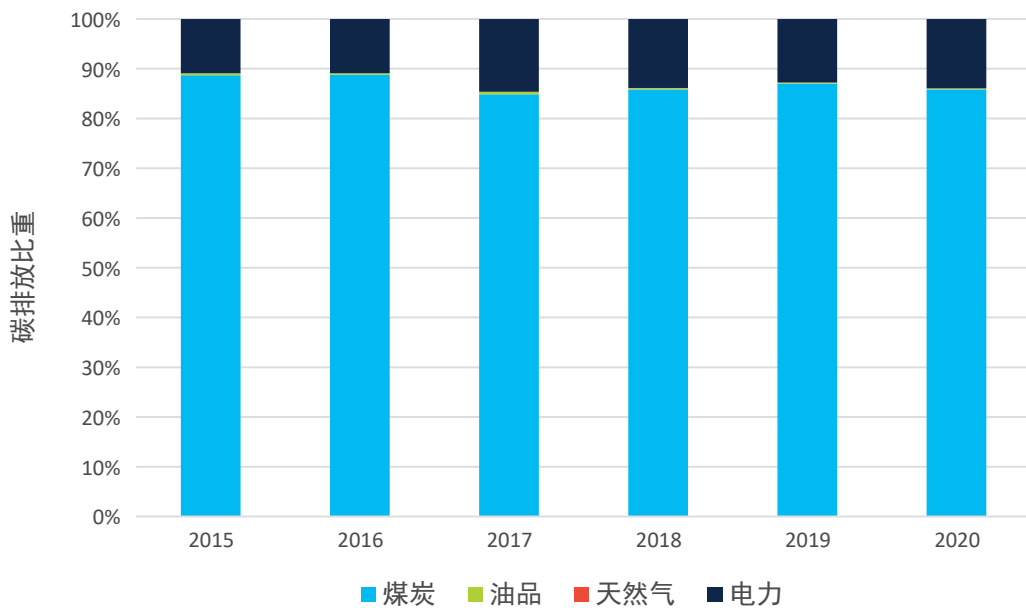


图 2-4 2015-2020 年山西省焦化行业碳排放结构

数据来源：课题组测算

（2）企业碳排放强度差异明显

山西焦炉类型包括常规机焦炉和热回收焦炉，以常规机焦炉为主；炭化室高度包括4.3米、5.5米、6.25米、7米等。以炼焦（含熄焦）、煤气净化、环保等工序为核算边界，考虑焦炉煤气和柴油等化石能源消费直接碳排放、工业生产过程产生的直接碳排放、外购电力和热力消费产生的间接碳排放，可知单位产品碳排放量为0.26-0.55吨二氧化碳/吨焦⁹。因热回收焦炉的煤气在炉内直接燃烧，不存在焦炉煤气回收利用，较常规机焦炉碳排放强度大。大型焦炉工业设备水平高，资源综合利用水平高，碳排放强度低于4.3米焦炉。

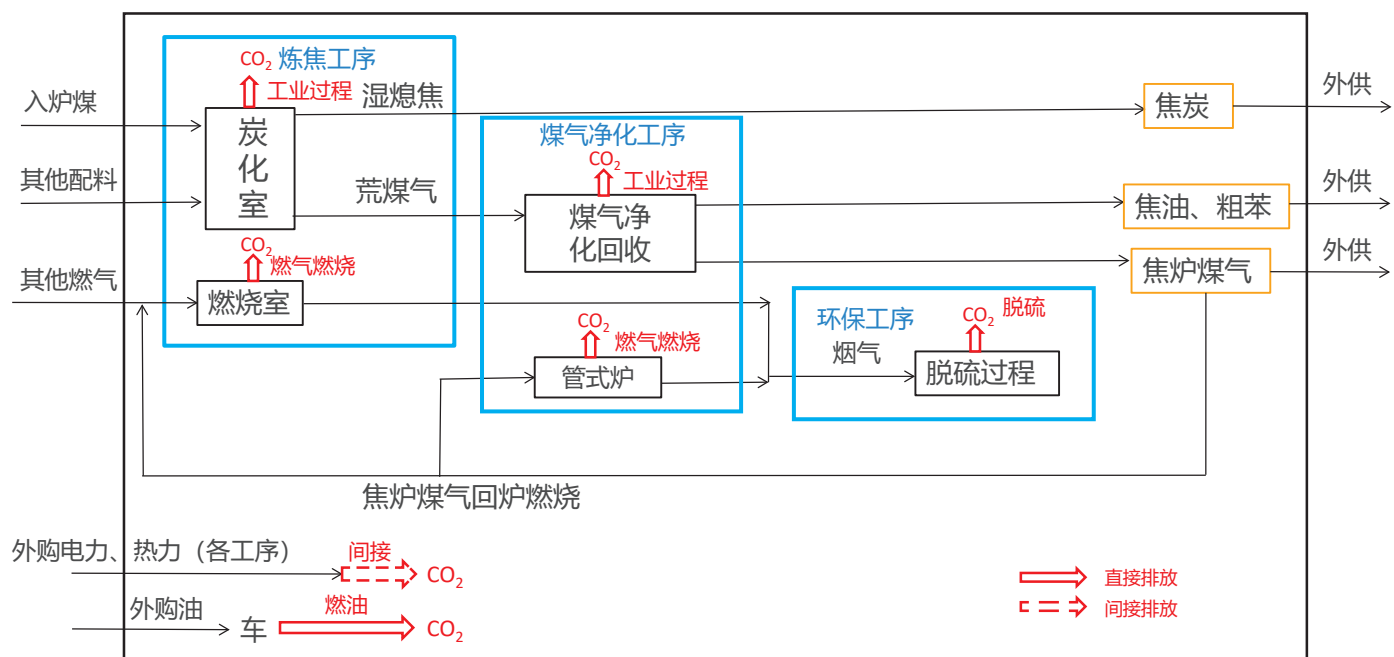


图 2-5 焦化企业碳排放示意图

9 注：课题组测算

表 2-1 山西省典型企业基本情况

序号	企业类型	焦炉类型	炭化室高度(米)	能源消费品种	电力来源	热力来源	单位焦炭二氧化碳排放量(tCO ₂ /t)
企业1	独立焦化	常规机焦炉	6.25	洗精煤、柴油、液化天然气、电力、热力以及自产焦炉煤气	外购、干熄焦余热发电	干熄焦余热锅炉、脱硫脱硝余热锅炉	0.266
企业2	独立焦化	常规机焦炉	4.3	洗精煤、柴油、电力、热力以及自产焦炉煤气	外购	外购、焦炉余热回收	0.291
企业3	钢铁焦化联合	常规机焦炉	6.25&7	洗精煤、高炉煤气、柴油、电力、热力以及自产焦炉煤气	外购、干熄焦余热发电	外购、焦炉余热回收	0.383
企业4	独立焦化	热回收焦炉	2.8	洗精煤、柴油、汽油、电力以及热力	外购	外购、焦炉余热回收	0.549

数据来源：课题组测算

(3) 多因素影响企业碳减排

① 焦炉自身因素影响

现行部分焦炉运行时间长，与新工艺、新设备存在一定差距。企业虽不断实施节能技术改造，但由于焦炉本身原因，能耗相对偏高，在同等水平下，企业碳排放量偏高，现有减排空间较小，未来减排压力较大。

② 环保深度治理影响

山西焦化行业推行超低排放改造，实施环保深度治理，一定程度上会增加耗电设施。短期内，在减少污染物排放的同时也会增加能耗，导致企业碳排放总量增加。另外受重污染天气影响，焦化企业部分时间处于限产焖炉状态，后续环保治理设施存在处理能力与实际需求不匹配的情况，造成资金投入和设施设备的浪费，增加企业能耗与碳排放强度。从长期看，山西焦化行业随着可再生能源进一步的发展，有望实现减污降碳协同效应。

③ 经济效益影响

随着企业节能减排改造工作的深入推进，未来节能空间不断压缩，节能减排的边际投入进一步增加，若企业经济效益下行，节能技改资金无法落实，会影响企业后续投入力度。

④ 企业碳排放管理影响

焦化行业尚未纳入全国碳交易范围，也未纳入碳核查范围，企业对碳排放的相关政策、知识等了解相对欠缺，缺乏专业的碳排放管理人才。且企业能源计量管理不到位，能源计量设备的配备率和精度基本符合要求，但仍无法满足能源和碳排放的精细化管理。

⑤ 公共基础设施配套影响

企业周边基础设施有待完善，据调研，部分焦化企业暂无直通厂区的铁路运输路线，难以实现大宗物料和产品的清洁运输；且因管线铺设不足、无消纳对象等原因造成企业余热资源浪费。

3

焦化行业碳排放峰值 目标探讨

3.1 行业发展趋势判断

山西作为重要的焦炭生产基地，在保障自身焦炭需求的同时，也是焦炭的主要供给基地，为全国钢铁行业发展提供强有力的能源保障。未来 5 年是山西焦化行业转型发展的关键期，立足新发展阶段，基于碳达峰、碳中和、减污降碳协同治理等新要求，焦化行业将面临几大趋势：

（1）焦化产能仍将过剩。“十四五”初期，国家、山西相继出台多项政策，从环境、水耗、能耗、煤耗等方面提出严把两高项目准入关，严格控制焦化总产能。双碳目标下，随着钢铁消费量下降和电炉钢的发展，以及氢冶金等新技术应用，焦炭消费将呈逐渐下降趋势^[1]，会导致未来焦化产能过剩局面进一步扩大。

（2）先进产能将快速增加。“十四五”期间，山西省焦化行业装备水平处于动态优化调整阶段，将全面推进 4.3 米焦炉淘汰压减任务，4.3 米焦炉将直接淘汰或通过“上大压小”、产能置换成大机焦。山西省工信厅备案的焦化项目显示，升级改造的焦化项目炭化室高度均为 6 米以上大型焦炉。

（3）行业绿色化转型成为大势所趋。绿色低碳是山西焦化行业转型发展的核心，也是实现高质量发展的关键。山西作为全国最大的焦炭生产基地，各项绿色低碳指标应在全国起到引领作用。山西省的“十四五”规划和 2035 年远景目标中，提出“全面建设国家绿色焦化产业基地”、“推进焦化企业超低排放”，山西焦化企业要在 2023 年 10 月底前全面完成超低排放改造。

3.2 情景设置

本研究基于焦炭的总体供需平衡开展自下而上分析，行业碳排放达峰测算思路如下：

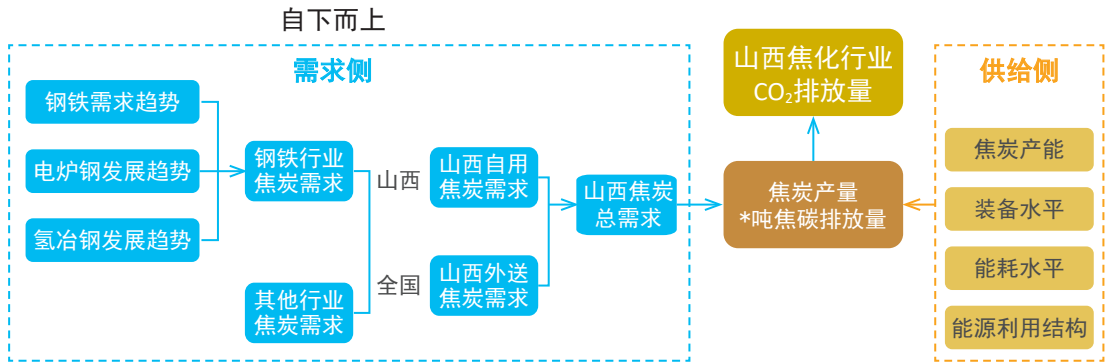


图 3-1 焦化行业碳达峰目标测算思路

基于全国未来钢铁产业发展趋势^{[9][10][11][12][13][14]}，根据山西省未来焦化产业发展政策规划，考虑先进产能比重、能耗水平下降、能源利用结构优化等因素，本研究设置基准、低碳和强化低碳三种情景，具体参数见下表：

表 3-1 不同情景下山西焦化行业碳排放预测主要参数设定

情景名称 参数名称	基准年	关键参数					
	2020	2025	2030	2035	2040	2050	2060
情景 1：基准情景							
全国粗钢产量(亿吨)	10.6	10.5	9	8.5	8	7	5.5
电炉钢产量占比	10.30%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
氢冶金产量占比	0	0					
宏观钢焦比	0.5	0.5					
山西焦炭产能(万吨)	14660	14660	14660	14660	8400	7109	5156
山西焦炭产量比重	22.3%	23%	23%	23%	24%	25%	25%
能耗水平（kgce/t）	142（2019 年）	127	120	110	105	100	100
能源利用结构	11% 可再生能 源电力	基本保持不变					
		11% 电力使用可再生能源					
情景 2：低碳情景							
全国粗钢产量(亿吨)	10.6	10.5	9	8.5	8	7	5.5

(接上表)

电炉钢产量占比	10.30%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
氢冶金产量占比	0	0	0	3%	5%	10%	15%
宏观钢焦比	0.5	0.48	0.43	0.4	0.4	0.38	0.38
山西焦炭产能(万吨)	14660	14660	14660	14660	6240	4572	2939
山西焦炭产量比重	22.3%	23%	23%	23%	24%	25%	25%
能耗水平 (kgce/t)	142 (2019 年)	125	115	105	100	98	96

能源利用结构有所优化							
能源利用结构	11% 可再生能 源电力	29.2%	40%	50%	55%	70%	80%
		电力 使用 可再 生能 源	电力 使用 可再 生能 源	电力 使用 可再 生能 源	电力 使用 可再 生能 源	电力 使用 可再 生能 源	电力 使用 可再 生能 源

情景 3：强化低碳情景							
全国粗钢产量(亿吨)	10.6	10.5	9	8.5	8	7	5.5
电炉钢产量占比	10.30%	20%	25%	30%	35%	40%	50%
氢冶金产量占比	0	0	3%	5%	8%	15%	25%
宏观钢焦比	0.5	0.48	0.43	0.4	0.4	0.35	0.35
山西焦炭产能(万吨)	14660	14660	14660	14660	5472	3445	1504
山西焦炭产量比重	22.3%	23%	23%	23%	24%	25%	25%
能耗水平 (kgce/t)	142 (2019 年)	125	115	105	100	95	90

能源利用结构明显优化							
能源利用结构	11% 可再生能 源电力	30%	45%	55%	70%	80%	90%
		电力 使用 可再 生能 源	电力 使用 可再 生能 源	电力 使用 可再 生能 源	电力 使用 可再 生能 源	电力 使用 可再 生能 源	电力 使用 可再 生能 源

3.3 峰值探讨

基准情景下，山西焦化行业碳排放于 2025 年达峰，峰值为 5132 万吨；低碳情景下，山西焦化行业碳排放于 2024 年达峰，峰值为 4944 万吨；强化低碳情景下，山西焦化行业碳排放于 2023 年达峰，峰值为 4678 万吨。

“十四五”初期是山西焦化行业动态优化调整阶段，考虑焦化行业转型的经济投入、人员安置、时间周期等问题，报告推荐选取低碳情景，即山西焦化行业将于 2024 年左右达峰，峰值约为 4944 万吨。

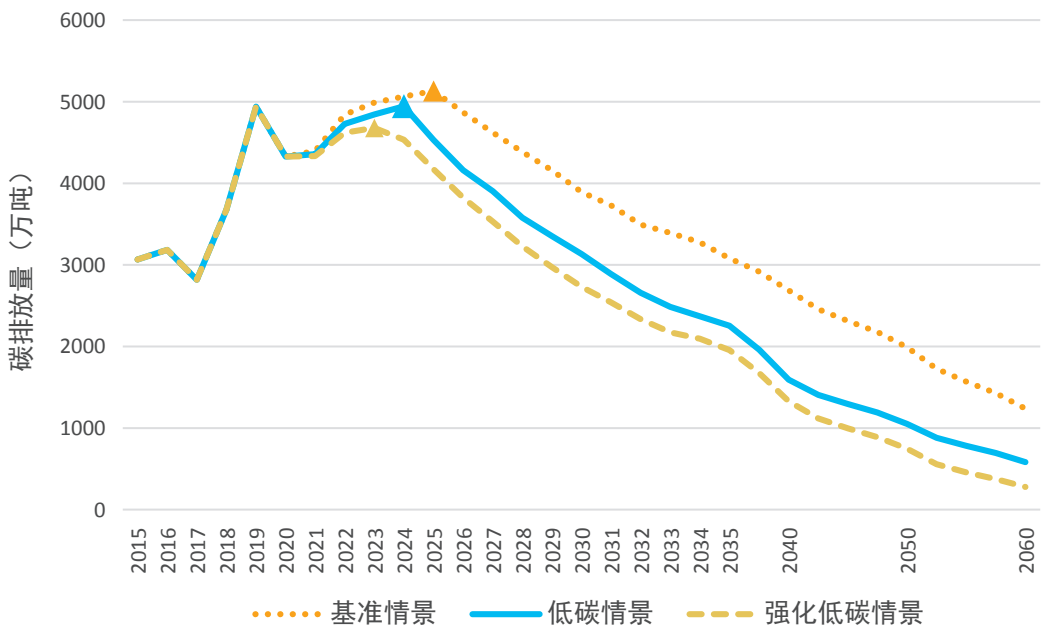


图 3-2 不同情景下山西省焦化行业碳排放测算（单位：万吨）

数据来源：课题组测算

低碳情景下，2060 年山西焦化行业仍将排放二氧化碳 582 万吨，需通过碳捕集利用技术、碳汇等负碳技术实现中和。与低碳情景下的峰值相比，全国粗钢需求减少带来的山西焦炭产量下降，可减排 36%；钢铁行业电炉钢发展减少焦炭需求，可减排 21%；氢冶金技术发展，可减排 11%；节能减排技术推广应用可减排 20%，合计减排 88%。

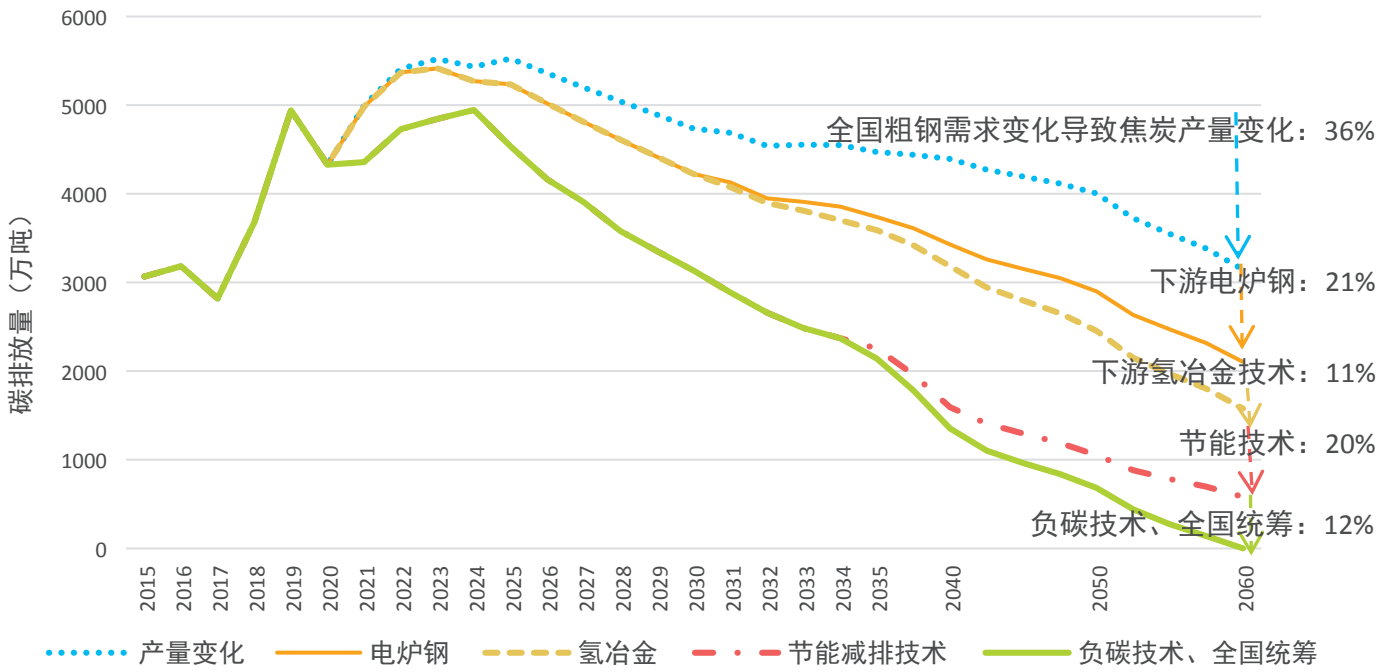


图 3-3 低碳情景下山西焦化行业碳排放各因素的影响

数据来源：课题组测算

4

“双碳”背景下焦化行业
转型发展路径

4.1 优化焦化产能结构

提高先进产能比重。“十四五”期间，严格控制焦化产能在 14660 万吨以内。按照焦化产能优先压减淘汰标准，逐步淘汰 4.3 米焦炉，争取 2023 年全面淘汰炭化室高度 4.3 米焦炉。分类处置焦化项目，严格论证拟建项目的必要性、可行性，提高新建项目准入门槛，加快推进符合开工建设要求的大机焦项目，争取 2025 年先进产能比重达到 95% 以上，提高山西焦化行业整体竞争力。

优化焦化产能布局。借助焦化产业“上大关小”“上新压旧”契机，打破区域障碍，重新优化调整焦化产能布局，推动在汾河谷地污染较为严重区域的焦化企业，按照大气扩散条件、环境承载能力、经济发展水平等要素进行合理转移或布局建设，尽量远离汾河谷地。鼓励临汾市平川区域焦化产能向浮山县、古县等地转移，晋中市太谷区焦化产能向介休市、灵石县等地转移，长治市壶关县焦化产能向黎城县转移，吕梁市离石区、柳林县焦化产能向中阳县转移，实现焦化产业高质量集约发展。

4.2 提升焦化低碳发展水平

推广应用成熟的节能低碳技术。制定焦化企业节能减碳技术推广应用清单（见附件 1），指导企业对照技术清单，深挖节能减碳潜力。力争到 2025 年，全省焦化行业焦炭单位产品能耗整体降至 125kgce/t 以内。建议山西省“十四五”期间，重点鼓励推广应用大型焦炉用新型高导热高致密硅砖节能技术、焦炉正压烘炉技术、初冷器余热回收技术、焦炉烟气余热回收技术、焦炉烟气净化及余热回收一体化技术、煤自动化调湿技术、焦炉加热优化控制及管理技术、高温高压干熄焦余热发电技术等。

表 4-1 焦化行业重点推广应用的节能减碳技术的减排效益

序号	技术名称	单位投资碳减排量 (tCO ₂ /万元)
1	初冷器余热回收技术	30.6
2	焦炉烟气余热回收技术	17.4
3	焦炉烟气净化及余热回收一体化技术	13.0
4	高温高压干熄焦余热发电技术	6.8
5	焦炉上升管荒煤气高温显热高效高品位回收技术	2.5
6	大型焦炉用新型高导热高致密硅砖节能技术	70.6
7	焦炉正压烘炉技术	35.8
8	煤自动化调湿技术	10.7
9	焦炉加热优化控制及管理技术	7.1
10	煤场全封闭自动化喷雾系统	0.02

鼓励先进技术试点示范应用。根据国内先进技术梳理、典型项目分析（见附件 2），建议未来可示范应用捣固炉的码垛炼焦技术、干熄焦炉体新型耐火材料开发与高效修复技术、焦炉烟气分解酚盐技术、脱硫废液——低品质硫磺制酸、脱硫脱氰废液提盐技术、焦化厂机器人巡检等技术，推动焦化企业的低碳化、绿色化、智能化改造。力争到 2030 年，全省焦化行业焦炭单位产品能耗整体降至 115kgce/t 以内。

优化焦炉煤气利用方式。焦炉煤气具备高氢低碳特性，主要成分是氢气和甲烷，并有少量的一氧化碳、二氧化碳、氮气和其他烃类等。目前焦炉煤气利用方式主要包括发电或供热、制天然气、制乙二醇、制氢等，前两种方式应用较为普遍，但这两种方式通过燃烧焦炉煤气产生二氧化碳排放，而制天然气和乙二醇均有固碳作用，制氢可获取清洁能源。鼓励采用“碳耦合”相关技术，开发“固碳”化工产品，推进氢能开发利用；优化焦炉煤气利用方式，减少作为燃料利用的比例，优先发展高端高固碳率产品。

4.3 发展零碳负碳技术

发展分布式光伏。焦化行业电力消费碳排放占行业碳排放总量的 12.8%，鼓励焦化企业积极开展分布式光伏可行性研究，全面摸底企业内部可发展光伏的屋顶资源，充分利用煤棚、办公楼等区域，通过合同能源管理、自行建设运营等模式发展分布式光伏项目，提高企业绿电应用比例，降低电力消费方面的碳排放。

开展碳捕集利用示范。焦炉煤气中含有一定量的一氧化碳、二氧化碳和甲烷，经过一系列转化后变成二氧化碳和氢氮气，其中氢氮气可作为合成氨原料使用，二氧化碳可通过脱碳装置，再经过压缩、精脱硫、预冷、干燥、余冷等工序得到合格液体二氧化碳产品，实现资源化再生利用。鼓励焦化联产企业率先开展碳捕集利用示范项目，运用捕集的二氧化碳作原料制取尿素。

4.4 强化企业碳排放管理水平

提高能源计量器具配备水平。按照《GB17167-2006 用能单位能源计量器具配备和管理通则》要求，提高进出主要次级用能单位、主要用能设备的能源计量器具配备率，如焦化各工序的电表、气体流量表等，为精准核算各工序碳排放奠定基础。

建立碳排放核算体系。定期开展入炉煤元素分析、焦炉煤气等气体成分分析，采用实测值分析企业碳排放水平；借助“两化”融合契机，增设企业碳排放核算功能，实现定期核算企业碳排放数据、自动识别碳排放关键环节和关键设备、碳排放监测预警等功能；及时跟踪能耗高、碳排放高的环节，挖掘原因并进行整改，降低企业碳排放强度。

组织开展碳排放能力建设。组织企业相关岗位人员，参与碳排放管理知识培训，包括低碳政策、碳排放核算、碳排放监测、报告与核查、碳资产管理、碳交易等方面内容，全面提高企业碳排放管理人员业务能力。充分利用广播、宣传栏、标语、讲座等手段，积极宣传节能减碳的方针、政策和科技知识，激发员工自觉行动力。

建立碳排放管理制度。将碳排放管理工作纳入企业能源管理部门实行统一管理，建立碳排放的管理制度，包括组织方式、负责部门、主要责任、工作流程、监测计划等；建立企业碳排放管理档案，及时将碳排放核算程序或碳排放核算表中的原始数据、核算结果存档，并整理相关证明材料一并存档；强化能源体系目标管理，从源头管控碳排放，确保目标层层分解落实，建立奖惩机制确保目标落实到位。

5

政策建议

5.1 加快产业提档升级步伐，发挥先进产能优势

山西焦化产业要立足全国，加快推进产业提档升级，实现内涵集约式发展。开展焦化项目合规性核查，实施清单动态管理；严格控制焦化总产能，严禁以任何名义、任何方式备案新增焦炭产能；分类淘汰压减 4.3 米焦炉，加快推进大机焦项目建设，全面提升先进产能比重；对确有必要建设的焦炭产能，严格执行产能置换、煤炭消费减量、节能评估、环境影响评价等手续，确保新建焦炉达到国内先进水平。

5.2 多措并举推进节能减排，优化能源利用方式

建立焦化项目动态管理清单，定期调度企业能源消费情况、节能减排技术改造情况，掌握重点技术普及情况；划定焦炭单位产品能耗基准线，健全奖惩机制，倒逼企业开展技术改造；制定焦化行业节能减排技术清单，指引企业技术改造的方向；完善企业技术改造过程的容错机制，鼓励企业敢于尝试新技术；开展焦化企业分布式光伏试点工作，打造样板焦化企业；简化接网业务环节，推动分布式光伏尽快并网运行。

5.3 设立焦化产业转型资金，完善资金保障机制

依托现有资金，探讨设立焦化产业转型专项资金，明确资金支持方向、支持范围、申请条件、申请程序、监督方式等。资金支持方向可包括主动退出焦炉、深度实施节能减排、开展碳回收利用技术示范、发展分布式光伏等方面，提高企业积极性。

5.4 强化焦化行业碳排放管理，助力高质量达峰

鼓励将碳排放影响评价纳入环境影响评价，降低新建焦化企业的碳排放强度；将焦化行业纳入碳排放核查范围，摸清全省焦化行业碳排放底数，明确焦化行业碳排放特征，为碳排放交易奠定数据基础；建立焦化行业的低碳发展标准体系，实施分级管理，将低碳发展绩效评价指标作为实施停限产的重要标准之一。

5.5 加大转型监管与扶持力度，保障平稳转型

强化政府监管与引导作用，组织开展双碳战略宣传工作，将节能降耗减排意识内化于企业日常行动；加大企业碳排放管理的专业人才引进与培养力度，提高工作人员业务能力；指导退出企业妥善处理职工安置问题，完善职工再就业指导机制，保障行业平稳转型。

结语

为客观认识山西省焦化行业发展现状，识别行业实现“30·60”目标面临的问题及瓶颈，探讨行业高质量达峰、平稳转型的实现路径和政策建议，课题组深入实施调研、开展专家咨询，完成本课题研究。在此特别感谢山西省焦化行业协会等专家对本课题的重要指导。

研究过程力求客观公正，但难免有疏漏之处，敬请批评指正。报告内容为课题组独立观点，仅供参考，不代表其他方的任何观点或立场。

行而不辍，未来可期。希望本课题研究成果能够为政府、企业和研究机构提供参考，也希望未来我们能够汇聚更多专业的力量，开展持续性、基础性的研究工作，为山西省全方位推动高质量发展，有序推动碳达峰碳中和工作提供更多研究成果。

参考文献

- [1] 中国炼焦行业协会.《焦化行业“十四五”发展规划纲要》(中焦协〔2021〕1号)[EB/OL].中焦协网,2021-1-8.
- [2] 山西省统计局.山西省2020年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL].2021-3.
- [3] 国家统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社.
- [4] 山西省统计局.山西统计年鉴[M].北京:中国统计出版社.
- [5] 山西省工业和信息化厅.山西省工业和信息化厅贯彻落实中央生态环境保护督察“回头看”反馈意见整改任务完成情况[EB/OL].2021-6-3.
- [6] 崔丕江.“十四五”开启建设现代焦化产业新征程[EB/OL].中国冶金报,2020-12-23.
- [7] 中国钢铁行业余热余压回收利用途径分析[EB/OL].再生资源循环与经济.2014-5-30.
- [8] 生态环境部.中央第一生态环境保护督察组向山西省反馈督察情况[EB/OL].2021-7-20.
- [9] 李新创.我国钢铁行业如何实现碳达峰碳中和?(上)[EB/OL].人大重阳,2021-06.
- [10] 杨帆,敖翀,华鹏伟等.碳达峰全景图:新目标、新结构、新机遇,中信证券研究,2021-3-2. <http://www.tanjiaoyi.com/article-33058-5.html>
- [11] IEA (2020), Iron and Steel Technology Roadmap, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/iron-and-steel-technology-roadmap>
- [12] 彭锋.中国电炉钢发展趋势预测及建议[EB/OL].2020-11.
- [13] 于蒙蒙.钢铁行业加快发展电炉钢势在必行[N].中国证券报,2020-12-22.
- [14] 张龙强,于治民.国外氢冶金发展现状分析[EB/OL].冶金工业信息标准研究院,2020-06-09.

附件

表 1 “十四五”期间，山西省焦化行业可推广应用的节能减碳技术清单

序号	技术名称	主要技术内容	典型项目					
			适用范围	建设规模	投资额 (万元)	节能量 (tce/a)	二氧化碳减排量 (tCO ₂ /a)	单位投资碳减排量 (tCO ₂ /万元)
1	初冷器余热回收技术	实现初冷器余热利用的关键有循环水余热利用技术（蒸汽、热水两用型制冷，采暖双工况吸收式热泵机组）、煤气初冷器改造技术（2 段式 3 段式的循环水流程再造）、节水技术（节水型冷却塔）	年产 160 万吨焦化	荒煤气产量为 80000 Nm ³ /h	585	6777	17891	30.6
2	焦炉烟气余热回收技术	高温烟气（~1150℃）经保温管道分别进入 4 台余热锅炉，在余热锅炉内降温换热，降至~185℃ 排出余热锅炉，回收利用高温烟气热量。	200-400℃ 的低温烟气	年产 100 万吨的中型焦化厂	1250	8236	21743	17.4
3	焦炉烟气净化及余热回收一体化技术	本技术一体化流程为焦炉烟气 → 脱硝装置 → 气汽换热器 → 增压风机 → 湿法脱硫塔 → 塔顶烟囱排放。	焦炉烟道采用自然排烟方式	年产 96 万吨捣固焦	3000	14814.7	39111	13.0
4	高温高压干熄焦余热发电技术	用循环气体冷却红热焦炭，同时回收的显热产生高温高压蒸汽，供企业使用或发电。	150t/h 干熄焦余热发电项目	干熄焦处理能力为 150t/h	22565	39000	153400	6.8
5	焦炉上升管荒煤气高温显热高效高位回收技术	采用无应力复合间壁式螺旋盘管上升管换热器结构，对焦炉上升管内排出的 800℃ 高温荒煤气进行高效高位显热回收，降温幅度 150 ~ 200℃，回收热量可用于产生 ≥1.6MPa 饱和蒸汽、或对蒸汽加热至 400℃ 以上、或产生 ≥260℃ 的高温导热油，可替代脱苯管式加热炉。	年产 130 万吨、5.5m 捣固焦炉	改造 1 座焦炉的 65 孔上升管	1445.4	9636	3650	2.5

序号	技术名称	主要技术内容	典型项目					
			适用范围	建设规模	投资额 (万元)	节能量 (tce/a)	二氧化碳减排量 (tCO ₂ /a)	单位投资碳减排量 (tCO ₂ /万元)
6	大型焦炉用新型高导热高致密硅砖节能技术	采用高导热高致密的硅砖替代传统的硅砖耐火材料，提高炭化室硅砖的导热性；采用挂釉炉门预制件替代传统的粘土砖砌块，提高焦炉炉门的密封性并有效减少热辐射，从而减少燃料的消耗，达到节能目的。	焦炉炭化室及炉门改造	1座7m焦炉	1800	48120	127037	70.6
7	焦炉正压烘炉技术	焦炉正压烘炉方法是利用专门的空气供给系统和燃气供给系统，通过向炭化室内不断鼓入热气，使全炉在整个烘炉过程中保持正压，推动热气流经炭化室、燃烧室、蓄热室、烟道等部位后从烟囱排出，使焦炉升温至正常加热（或装煤）温度，整个烘炉过程实现自动控制。	2座6.78米捣固焦炉	年产焦炭180万吨	360	4880	12883	35.8
8	煤自动化调湿技术	采用焦炉烟道废气对原料煤进行分级及适度干燥处理。	废烟气温度≥180℃	日处理9062.4t原煤	10319	9226	110880	10.7
9	焦炉加热优化控制及管理技术	采用炉顶立火道自动测温技术，对焦炉温度进行精细检测，采用自主研发的控制算法，对焦炉加热煤气流量及分烟道吸力进行精确调节，每两个交换周期调节1次，调节周期短，有助于减少炉温波动，改善了焦炉温度的稳定性，可节省焦炉加热煤气量2%以上。	4座JN60型焦炉	建设2套焦炉加热控制及管理系统	806	2054	5695	7.1
10	煤场全封闭自动化喷雾系统	采用自动粉尘浓度检测系统，配套自动化喷雾装置，随时对煤场空间粉尘浓度进行检测，等浓度过高时，自动启动喷雾装置，在短时间内降低煤粉浓度。	所有焦化企业	13万平方米煤场封闭	12000	64.03	200	0.02

资料来源：课题组根据专家咨询、企业调研整理

表 2 “十五五” 期间及以后鼓励应用的节能减碳技术清单

序号	技术名称	主要技术内容
1	捣固炉的码垛炼焦技术	该技术利用超高压排气排水原理，实现高密度、低水分、智能化、清洁化、节能炼焦，该技术可适用于 5.5m、6.3m、7m、7.63m 等不同规格焦炉的改造及新建项目。
2	干熄焦炉体新型耐火材料开发与高效修复技术	干熄炉斜道区用以红柱石为主要原料的高性能耐火材料，连续使用寿命超过 5 年；干熄炉冷却室用抗剥落耐磨长寿命复合材料，使用寿命 10 年以上；干熄焦炉体砌体优化技术，开发了炉口嵌入式砖槽结构，环形气道砖体咬合与链式组合结构，斜道支柱双侧砖咬合结构，解决了水封槽运行周期短、环形气道鼓肚和倒塌、斜道支柱结构稳定性差等技术难题；炉体系列修复技术，形成多段立体式吊顶维修、抗冲刷耐磨材料喷涂技术，显著提高干熄焦炉维修效率及其寿命。
3	焦炉烟气分解酚盐技术	摆脱间歇式洗涤操作复杂、劳动强度大、中间产品质量不稳定、物料损耗较大等缺点，同时节约了浓硫酸，解决了硫酸钠废液外排污染环境的难题。而二氧化碳分解工艺中产生的 Na ₂ CO ₃ 溶液又可直接用于焦油蒸馏系统加碱及回到焦油氨水分离系统，实现了无废水、废渣排放，对周围环境尤其是土壤、水质的质量改善有着重要意义，具有很高的环保效益。
4	脱硫废液 -- 低品质硫磺制酸	一次性解决了 HPF、PDS 等焦炉煤气氨法湿式氧化脱硫工艺产生的低品质硫磺的回收利用及脱硫副盐废液的后处理问题，硫资源得到有效利用，脱硫副盐废液得到无害化处理；焚烧炉采用两段控制焚烧工艺，可有效减少 SO ₃ 及 NO _x 的生成；采用湿法净化工艺脱除 SO ₂ 中的有害杂质，净化效率更高，保证转化工序催化剂的催化活性，延长催化剂使用寿命。
5	脱硫脱氰废液提盐和提盐技术优化	采用各组成成分的物理化学特性，利用三元相图中各物质结晶条件不同，采用专有的节能措施并成功应用于硫氰酸盐与多铵盐生产过程，为连续熔硫提供了条件，且能耗低、维护费用低。
6	旋转式蓄热式氧化炉（RTO）在焦化行业挥发性有机物（VOCs）末端治理应用	采用三塔 RTO 炉焚烧处理焦化厂化产区域各工段无组织挥发废气，焚烧系统中温度维持在 850℃~900℃，并保证炉内结构以及蓄热砖可以长期耐受 1100℃，燃烧废气在焚烧系统中停留时间不低于 1.2 s，燃烧废气中 VOCs 的去除效率 ≥99%，处理后的废气排放温度约 110℃-120℃。
7	焦化蒸氨废水无膜工艺零排放解决方案	对焦化废水经过初始蒸氨后，直接把焦化废水回收用于炼钢转炉除尘系统，利用转炉尘、气在高温条件下进一步降解焦化废水中的各种污染物，再出水经过絮凝沉降、过滤、水质稳定等工序，达到转炉除尘水的水质要求，然后在炼钢转炉除尘系统中循环使用。这样不仅可以降低处理成本，还达到了焦化废水“零排放”的目的，同时更节约了大量的工业用水。
8	利用焦化厂剩余氨水脱除焦炉烟囱废气中 NO _x 的方法	氧化剂与净化后的剩余氨水在剩余氨水槽中混合，将混合所得脱硝反应液从并联的两个鼓泡反应器中的第一鼓泡反应器上部送入，除尘后的焦炉烟囱废气从其底部通入，氧化吸收反应生成脱硝废液和脱硝废气，脱硝废液从其下部排出。从下部排出的脱硝废液送入蒸发结晶器制取硝酸盐，其余送入剩余氨水槽中循环使用。
9	焦化厂机器人巡检	焦炉地下室加热系统每半小时都需要将加热废气与新鲜气进行置换，达到持续且低能耗加热的目的，操作工每半小时就要对地下室进行巡检，查看设备有无换向异常情况。由于地下室相对封闭，存在高温、煤气残留等因素，安全风险较高。防爆巡检机器人的上岗，节省了人力，提高了安全系数，把原来繁忙的巡检工段变成了如今的无人自动作业区。

资料来源：课题组根据专家咨询、企业调研整理

联系我们

地址：中国北京市朝阳区东三环北路 38 号泰康金融大厦 1706

邮编：100026

电话：+86 (10) 5927-0688

传真：+86 (10) 5927-0699

 再生纸印刷