ENERGY FOUNDATION
能源基金会

河南省传输通道城市工业园区的深度低碳化对城市空气质量影响研究

Study of Improvement on Air Quality through Deep Decarbonizaiton of Industrial Parks in Henan's Cities at the Beijing-Tianjin-Hebei Air Pollution Transmission Channel

郑州大学环境科学研究院

二〇二〇年十月

项目研究专家顾问：

杜祥琬院士 中国工程院，国家气候变化委员会主任

唐孝炎院士 北京大学

项目负责人：

张瑞芹教授 郑州大学环境科学研究院

项目主要参加人员：

王姗姗	王　克
刘　磊	卢　轩
梁　田	姬嘉琳
鲁春阳	张　敏
龙文琪	薛若雨
高更宇	刘东辉
黑婉婷	

摘　要

作为京津冀大气污染传输通道上的重要城市，郑州市、开封市、安阳市、鹤壁市、新乡市、焦作市和濮阳市是河南省大气污染防治的重点区域，面临严峻的大气污染治理和应对气候变化压力。河南省七个大气污染传输通道城市目前有工业园区 60 个，其中国家级园区 11 个，省级园区 49 个。鉴于国家级园区和典型高耗能园区对传输通道城市经济发展高达 40%以上，能源消耗贡献高达 30%以上，因此本研究选取 11 个国家级园区和两个典型高耗能省级园区（安钢集团、黄龙产业集聚区）作为研究对象。目前河南省传输通道工业园区发展仍较粗放，能源结构仍以煤炭为主，能源利用效率有待提高，能源梯级利用水平较低，余热资源浪费严重，二氧化碳和大气污染物排放量大，严重影响周边城市空气质量。因此，亟需对传输通道城市工业园区的深度低碳化进行研究，并评估优化后对城市空气质量的影响，为河南省乃至全国工业园区深度低碳化提供参考。

本项目在对河南省七个传输通道城市工业园区进行深入调研分析基础上，从园区能源环境排放现状和深度低碳化潜力探索两个视角出发，分别采用清单核算、聚类分析、物质流分析法等方法对传输通道工业园区能源环境排放水平进行了客观评价，并对园区深度低碳化节能减排潜力及其对周边城市的空气质量影响进行了深入分析，最终得出如下结论：

第一，河南省传输通道工业园区是当地经济发展的重要引擎，同时也是当地能源消耗的集中区域。目前河南省传输通道十一个国家级园区工业总产值对七个城市贡献高达 41%，其中以郑州航空港区和郑州经开区经济体量最大；主导产业主要为汽车制造业、化工和钢铁产业。在拉动当地经济发展的同时，十一个国家级园区的能源消费总量达到了 611.69 万吨标煤，能源消耗结构以煤炭为主。

第二，河南省传输通道城市工业园区温室气体排放呈现为总量大、煤炭排放占比高、高耗能行业排放占比高的特征。河南省传输通道 11 个国家级园区温室气体排放总量为 1940 万吨，其中排放量最大的园区为濮阳经开区和红旗渠经开区，这两家园区排放量占 11 个国家级园区排放总量的 63%。此外，两个典型高耗能省级工业园区安阳钢铁集团和黄龙产业集聚区的温室气体排放总量为 1625 万吨。从 11 个国家级园区能源排放特征来看，大多数园区是以煤炭燃烧产生的

温室气体排放为主，占排放总量的 62.4%。在行业排放特征方面，河南省传输通道城市工业园区温室气体排放主要集中在电力、钢铁、石油煤炭加工、化工等高耗能行业，这四类行业企业的排放量占 11 个园区总排放量的 76%。

第三，河南省传输通道城市工业园区大气污染物排放特征表现为：（1）大气污染物排放总量大，河南省传输通道十一个国家级工业园区和两个典型高耗能省级工业园区产生的 SO_2、NO_x、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 排放量分别为 42588、36893、350231、19466、7141、18051 和 2351 吨，占传输通道七个城市排放总量的 21%、7%、16%、4%、3%、4%和 1%。（2）在污染物排放特征方面，SO_2 和 NO_X 主要来自于电厂排放，CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs 和 NH_3 则主要来自于工艺过程源排放，其中 CO、PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 主要来自非金属矿物制品业中的水泥砖瓦等行业，VOCs 主要来自于纺织印染业和化工业。（3）两个典型高耗能省级园区（安钢集团和化工园区黄龙产业集聚区）大气污染物排放呈现很强的行业特征。由于钢铁生产过程燃烧大量的煤炭和焦炭，安钢集团产生的 SO_2、NO_x 和 CO 排放量较高，而典型化工园区黄龙产业集聚区 NH_3 排放量很高。

第四，发电结构调整、能效提升、产业结构调整和 CCS 技术推广等深度低碳化措施的实施，将显著减少河南省传输通道工业园区的温室气体排放。2030 年河南省五个高、中碳排放国家级园区温室气体排放量将从 2017 年的 1744 万吨降低到 1434 万吨，减排潜力为 18%，2050 年温室气体排放总量降低到 1250 万吨，减排潜力为 29%。发电结构调整、能效提升和产业结构调整三大深度低碳化措施对河南省传输通道工业园区温室气体减排的贡献最大，CCS 技术应用将在 2030 年后发挥重要作用。

第五，河南省传输通道城市工业园区深度低碳化措施的实施有助于实现大气污染物协同减排，有效改善城市空气质量。深度低碳化情景下，河南省十一个国家级园区和两个省级园区 2030 年 PM_{10}、$PM_{2.5}$ 和 VOCs 排放量分别为 13545.6、5274.7 和 4105.8 吨，减排潜力分别为 30%、26%和 77%，2050 年减排潜力分别为 50%、40%和 82%。深度低碳情景下传输通道城市 $PM_{2.5}$ 浓度都有所减低，河南省城市站点总体改善浓度为 3.48 $\mu g/m^3$。其中改善效益最大的几个城市为安阳、鹤壁、开封，$PM_{2.5}$ 浓度下降分别达到 25.50、10.00、9.86 $\mu g/m^3$。

第六，提出河南省传输通道工业园区深度低碳化路径，主要包括清洁能源替代、能效提升、产业结构调整、CCS 技术推广和末端治理。这些深度低碳化措施

的推广应用将显著减少河南省传输通道工业园区温室气体排放和大气污染物排放，加快工业园区绿色低碳发展转型，最终实现工业园区深度低碳化和高质量发展。

关键词：工业园区；深度低碳化；园区 GHG 排放清单；大气污染物协同减排；城市空气质量

目 录

一、项目概况 1

1.1 项目背景及意义 1

1.2 研究目的 2

1.3 项目实施技术路线图 2

二、河南省传输通道城市工业园区发展现状 5

2.1 河南省传输通道工业园区基本情况 5

2.1.1 分布情况 5

2.1.2 主导产业分类情况 9

2.2 国家级园区经济发展和能源消耗现状分析 12

2.2.1 郑州航空港区 13

2.2.2 郑州经开区 14

2.2.3 郑州高新区 14

2.2.4 新乡经开区 15

2.2.5 新乡高新区 16

2.2.6 濮阳经开区 17

2.2.7 鹤壁经开区 17

2.2.8 安阳高新区 18

2.2.9 红旗渠经开区 19

2.2.10 焦作高新区 20

2.2.11 开封经开区 21

2.2.12 国家级园区能源消耗特征总结 21

2.3 典型省级工业园区经济发展和能源消耗现状分析 23

2.3.1 化工类园区 23

2.3.2 钢铁类园区 27

三、河南省传输通道工业园区温室气体排放清单核算 31

3.1 工业园区温室气体排放清单核算方法 31

3.1.1 能源活动产生的直接排放 31

3.1.2 电力调入调出产生的间接排放.....32
3.2 国家级园区温室气体排放清单核算结果.....33
3.2.1 郑州航空港区.....33
3.2.2 郑州经开区.....34
3.2.3 郑州高新区.....36
3.2.4 新乡经开区.....38
3.2.5 新乡高新区.....39
3.2.6 濮阳经开区.....41
3.2.7 鹤壁经开区.....43
3.2.8 安阳高新区.....44
3.2.9 红旗渠经开区.....46
3.2.10 焦作高新区.....47
3.2.11 开封经开区.....49
3.2.12 国家级园区温室气体排放特征分析.....50
3.3 典型省级园区温室气体排放清单核算结果.....53
3.3.1 黄龙产业集聚区温室气体排放清单.....53
3.3.2 安阳钢铁集团温室气体排放清单.....53
四、河南省传输通道工业园区大气污染物排放清单核算.....55
4.1 园区大气污染物排放清单核算方法.....55
4.1.1 估算方法.....55
4.1.2 排放因子.....55
4.2 国家级园区大气污染物排放清单核算结果.....57
4.2.1 濮阳经开区.....57
4.2.2 郑州经开区.....60
4.2.3 开封经开区.....62
4.2.4 红旗渠经开区.....65
4.2.5 鹤壁经开区.....67
4.2.6 新乡经开区.....70
4.2.7 郑州高新区.....72

4.2.8 安阳高新区.....74
4.2.9 新乡高新区.....76
4.2.10 焦作高新区.....78
4.2.11 郑州航空港产业集聚区.....81
4.2.12 国家级工业园区大气污染排放特征分析.....83
4.3 典型省级园区大气污染物排放清单核算结果.....85
4.3.1 黄龙产业集聚区大气污染物排放清单.....85
4.3.2 安阳钢铁集团有限责任公司大气污染物排放清单.....87
五、国家级园区深度低碳化节能减排潜力分析.....89
5.1 研究方法.....89
5.1.1 工业园区层面自下而上模型.....89
5.1.2 情景设定和关键参数.....90
5.2 园区发电企业.....91
5.2.1 工业园区发电企业基本情况.....91
5.2.2 情景和参数与设定.....92
5.2.3 深度低碳化减排结果分析.....94
5.2.4 园区发电企业深度低碳化结果汇总.....99
5.3 园区终端用能企业.....104
5.3.1 濮阳经开区.....104
5.3.2 红旗渠经开区.....111
5.3.3 新乡经开区.....118
5.3.4 郑州高新区.....121
5.3.5 鹤壁经开区.....125
5.3.6 园区终端用能企业深度低碳化结果小结.....128
5.4 大气污染物末端治理.....130
5.4.1 园区大气污染物现状.....130
5.4.2 情景设定.....132
5.4.3 结果分析.....133
5.5 园区深度低碳化结果汇总.....137

5.5.1 节能潜力汇总分析.....137
5.5.2 二氧化碳减排潜力汇总分析.....139
5.5.3 大气污染物减排潜力汇总分析.....141
六、典型省级工业园区深度低碳化节能减排潜力分析..... 144
6.1 合成氨园区深度低碳化节能减排潜力分析 144
6.1.1 研究方法.....144
6.1.2 节能潜力分析.....146
6.1.3 碳减排潜力分析.....147
6.1.4 大气污染物减排潜力分析.....149
6.2 钢铁园区深度低碳化节能减排潜力分析 150
6.2.1 研究方法.....150
6.2.2 节能潜力分析.....153
6.2.3 碳减排潜力分析.....154
6.2.4 大气污染物减排潜力分析.....156
七、园区深度低碳化对城市空气质量影响研究 158
7.1 七个传输通道城市的空气质量状况 158
7.1.1 七城市整体情况.....158
7.1.2 七城市污染差异.....159
7.1.3 七城市空气质量排名.....161
7.1.4 冬季重污染严重.....162
7.2 传输通道城市及工业园区大气污染物排放清单 163
7.2.1 传输通道城市及工业园区大气污染物排放清单 163
7.2.2 深度低碳化情景下工业园区大气污染物排放清单 166
7.3 传输通道工业园区对城市空气质量的影响模拟 168
7.3.1 研究方法.....168
7.3.2 WRF-CMAQ 空气质量模型校验 171
7.3.3 2017 年河南省大气污染物排放对 $PM_{2.5}$ 浓度的影响评估.....171
7.3.4 2017 年传输通道工业园区大气污染物排放对河南省 $PM_{2.5}$ 浓度的贡献评估.....173

7.3.5 深度低碳情景下传输通道工业园区大气污染物排放对河南省 $PM_{2.5}$ 浓度的改善效益评估.....176
八、结论与建议 179
8.1 结论 179
8.2 工业园区深度低碳化发展建议 181
8.2.1 加强工业园区能源高效利用.....181
8.2.2 推进工业园区产业结构调整.....182
8.2.3 加快园区绿色低碳转型.....183
8.2.4 加大碳捕集利用与封存技术的支持力度.....183
8.2.5 加强工业园区温室气体与大气污染物协同控制.....184
致谢 186

一、项目概况

1.1 项目背景及意义

作为京津冀大气污染传输通道上的重要城市，河南省的郑州市、开封市、安阳市、鹤壁市、新乡市、焦作市和濮阳市是全国大气污染防治的重点区域。2018年6月发布的《打赢蓝天保卫战三年行动计划》对京津冀大气污染物传输通道城市提出了“到2020年，二氧化硫、氮氧化物排放总量分别比2015年下降15%以上，$PM_{2.5}$未达标地级及以上城市浓度比2015年下降18%以上”等严格的要求，河南省七个大气污染物传输通道城市面临更加严峻的大气污染治理压力。

政府间气候变化专门委员会（IPCC）2018年11月发布的报告认为，为了避免极端危害，世界必须将全球变暖幅度控制在1.5摄氏度以内。为应对气候变化，温室气体减排已经成为全球共识。因其能源消耗集中的特征，工业园区已经成为当前减少温室气体排放和治理城市大气污染的重要抓手。根据前期研究可知，工业园区是拉动河南省工业发展的重要引擎，同时也是能源消耗和污染物排放的集中区域。2016年河南省182个工业园区实现工业增加值1.07万亿元，占全省工业增加值的63.4%，对全省工业增长的贡献率达到91%；2016年园区工业企业综合能源消费量为9031万吨标煤，占当年全省工业总能耗的55.44%。河南省七个大气污染传输通道城市目前有工业园区60个，占河南省园区总量的三分之一，主导产业以电子信息、铝精深加工、装备制造、钢铁、汽车制造、化工等为主。目前传输通道城市的60个产业园区发展仍较粗放，能源结构仍以煤炭为主，能源利用效率有待提高，能源梯级利用水平较低，余热资源浪费严重，二氧化碳和大气污染物排放量大，严重影响周边城市空气质量。因此，亟需对传输通道城市工业园区的深度低碳化进行研究，并评估优化后对城市空气质量的影响，为河南省乃至全国工业园区深度低碳化提供参考。

基于上述分析，本项目选择河南省传输通道城市工业园区作为研究对象。一方面通过实地调研掌握传输通道城市工业园区的能源消耗、碳排放和大气污染物排放现状，编制温室气体和大气污染物排放清单。另一方面，重点围绕能源效率

提高、循环经济发展水平提升、产业结构调整、清洁能源替代等方面，探索工业园区的深度低碳化路径，并量化评估深度低碳化措施对周边城市空气质量的影响。预计该项目的实施，将示范带动河南省乃至全国产业园区的深度低碳化，加快推进京津冀及周边地区大气污染治理。

1.2 研究目的

本项目在对河南省传输通道城市工业园区数据调研的基础上，分析园区二氧化碳和大气污染物排放量,及其对城市空气质量的影响，通过提高能源利用效率、提升循环发展水平、加快产业结构调整、加快清洁能源替代利用等低碳措施，探索园区深度低碳化路径，并量化由此带来的区域空气质量的改善，以实现园区能源资源高效利用，进而推进产城融合，并为城市大气污染防治工作提供支撑。本项目的预期成果及影响主要包括以下三个方面：

一是完成河南省传输通道城市工业园区能源消费现状调研及其对区域空气质量的影响评估。完成对河南省郑州、开封、新乡、安阳、濮阳、焦作、鹤壁七个地市主要产业园区经济发展、能源消耗、二氧化碳和大气污染物排放等数据的搜集统计工作；完成对上述七地市主要产业园区能流以及温室气体和大气污染物排放清单编制；完成主要工业园区对区域空气质量影响的量化评估。

二是完成河南省传输通道城市工业园区深度低碳化措施评估。主要围绕工业园区发电企业和终端用能企业，从提高能源利用效率、加快产业结构调整、加快清洁能源替代利用、推广末端治理技术这四个方面入手，评估传输通道城市主要园区深度低碳化产生的节能量、煤炭削减量、碳减排量和大气污染物减排量。并为地方政府制定工业园区绿色循环低碳发展的决策提供技术支撑。

三是完成河南省传输通道城市工业园区深度低碳化对区域空气质量的影响研究报告，为全省园区发展提供参考，示范带动全省园区的提质增效、控煤减排和绿色低碳发展。

1.3 项目实施技术路线图

本项目通过污染源排放清单、情景分析并结合 WRF-CMAQ 模型等方法，在对河南省传输通道城市主要工业园区的产业链构成、能源消耗、二氧化碳及大气

污染排放进行调研分析的基础上，分析工业园区在低碳发展方面存在的主要问题和主要提升空间，并评估其对城市大气环境的影响，在此基础上构建园区深度低碳情景，并对所设计的情景进行环境效益评估。根据上述项目目标，该项目的主要研究内容包括以下几部分：

第一，重点工业园区能源消费、碳排放及环境影响现状评估。在调研基础上建立河南省传输通道重点工业园区的能源消耗、温室气体排放和大气污染物的排放清单，并采用 WRF-CMAQ 模式模拟评估重点工业园区对城市空气质量影响。

第二，重点工业园区深度低碳化节能减排潜力分析。主要围绕工业园区发电企业和终端用能企业，从提高能源利用效率、加快产业结构调整、加快清洁能源替代利用、推广末端治理技术这四个方面对河南省重点工业园区进行深度低碳化情景设计，量化评估深度低碳化情景下工业园区能源节约、温室气体减排和大气污染物减排潜力。

第三，模拟评估工业园区深度低碳化对城市空气质量的影响。根据重点工业园区进行深度低碳化分析的结果，采用 WRF-CMAQ 模式模拟区域空气质量，并与基准情景下的结果进行对比，量化评估深度低碳化情景下工业园区深度低碳化措施对二氧化碳减排及周边城市空气质量的影响。

在以上内容基础上提出该项目的技术路线图，如下图 1.1 所示：

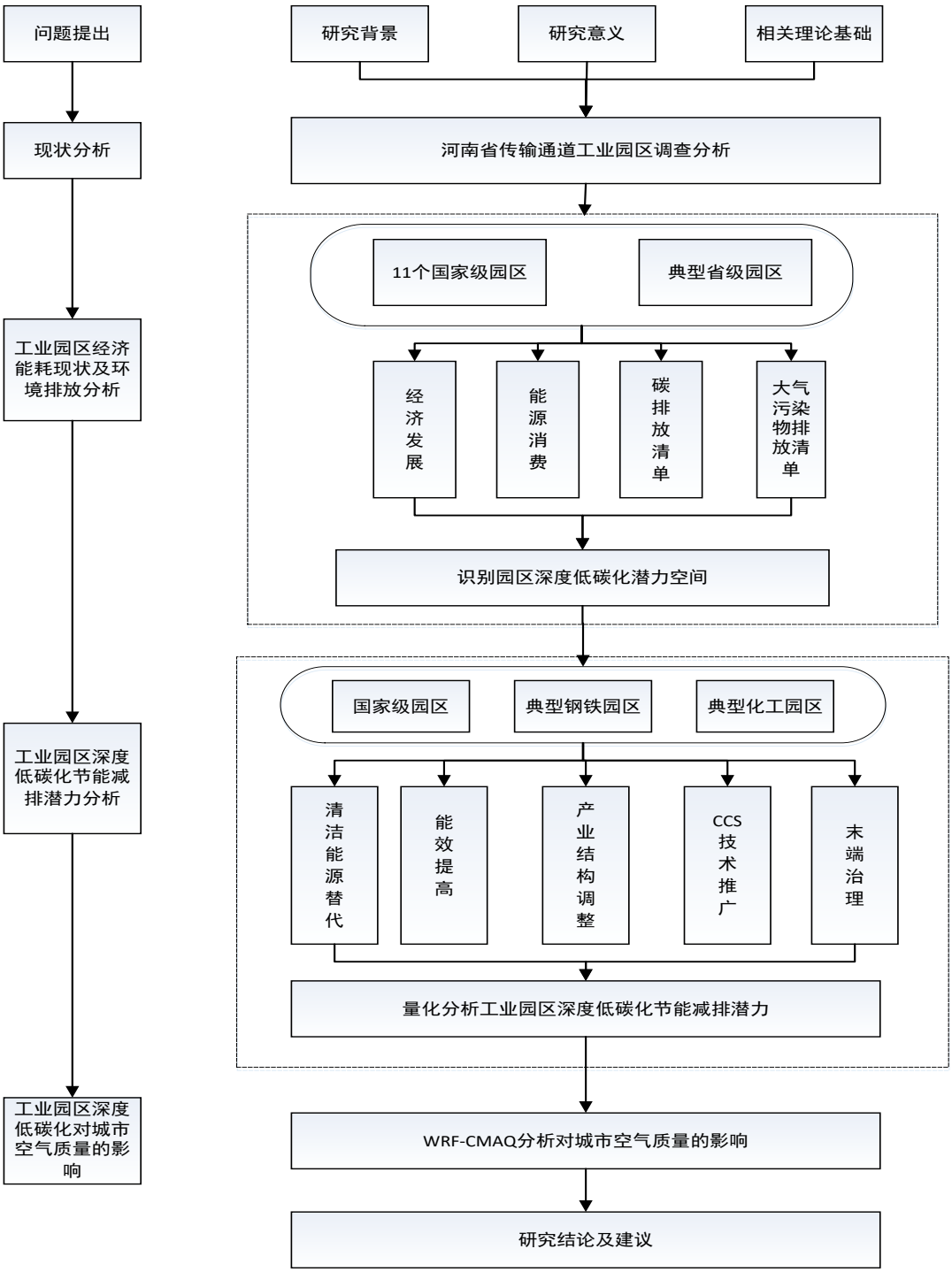


图 1.1 项目实施技术路线图

二、河南省传输通道城市工业园区发展现状

2.1 河南省传输通道工业园区基本情况

河南省产业集聚区近年发展成效显著。数据显示，2008 年规划建设以来，经过 11 年的发展，我省产业集聚区总量规模迅速壮大，产业结构不断优化，质量效益持续提升，在全省经济社会发展中的综合载体功能日益凸显。2018 年，全省产业集聚区工业增加值占全省工业的 71.6%，对全省工业增加值增长的贡献率达到 97.3%；规划面积 3758 平方公里，建成区面积超过 2200 平方公里，从业人员达到 480 万人，成为全省经济转型发展的主阵地、主战场。

2.1.1 分布情况

根据国家发展改革委、科技部、国土资源部、住房城乡建设部、商务部、海关总署发布的 2018 年版《中国开发区审核公告目录》，2018 年我国共有 2543 家开发区，其中国家级开发区 552 家、省级开发区 1991 家。河南省传输通道城市主要包括郑州市、开封市、安阳市、鹤壁市、新乡市、焦作市和濮阳市七个城市。河南省传输通道城市共有 60 家工业园区纳入 2018 年中国开发区公告目录，其中国家级开发区 11 家，省级开发区 49 家。河南省传输通道国家级园区主要集中在郑州市（3 个）、新乡市（2 个）、安阳市（2 个）、焦作（1 个）、开封（1 个）、濮阳（1 个）、鹤壁（1 个），具体分布情况如图 2.1 所示。

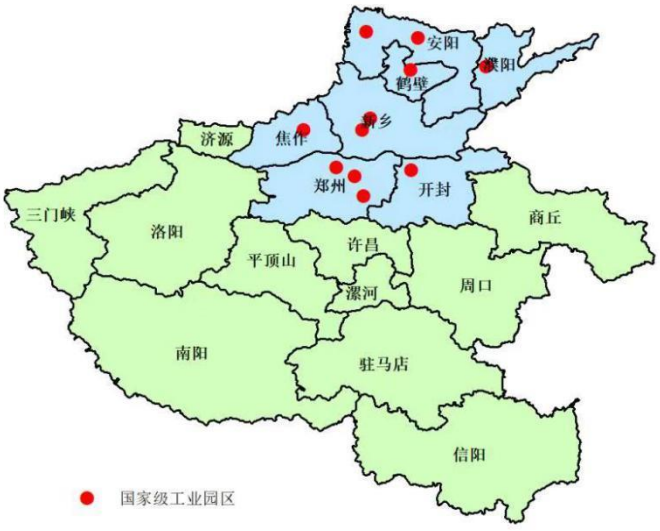


图 2.1 河南省传输通道城市 11 个国家级园区分布情况

河南省传输通道城市的 60 家工业园区名单和主导产业情况详见表 2.1 和表 2.2。

表 2.1 河南省传输通道 11 个国家级工业园区列表

工业园区名称	主导产业
郑州经济技术开发区	汽车及装备制造产业、现代物流业、 食品及生物医药产业
开封经济技术开发区	空分装备制造、汽车及零部件
红旗渠经济技术开发区	装备制造和汽车零部件加工业
鹤壁经济技术开发区	化工和建材产业
新乡经济技术开发区	化纤纺织、汽车及汽车零部件产业
濮阳经济技术开发区	化工和装备制造业。
郑州高新技术产业开发区	电子信息、新能源产业
安阳高新技术产业开发区	装备制造、电子信息业
新乡高新技术产业开发区	电子电器和生物新医药产业
焦作高新技术产业开发区	装备制造、新材料产业。
郑州航空港产业集聚区	电子信息产业、物流产业

表 2.2 河南省传输通道 49 个省级工业园区列表

工业园区名称	主导产业
郑州马寨产业集聚区	食品、装备制造
郑州金水高新技术开发区	信息技术、生物医药
河南惠济经济开发区	食品、汽车、文化创意
郑州中牟汽车产业集聚区	汽车及零配件
巩义市产业集聚区	装备制造、铝加工
新郑市新港产业集聚区	粮油储运加工、电子
登封市产业集聚区	铝加工、装备制造、新材料
新密市产业聚集区	服装加工、装备制造
荥阳市产业集聚区	装备制造、汽车及零部件产业
郑州市白沙产业集聚区	电子信息、信息服务
汴东产业集聚区	机械设备
开封市精细化工产业集聚区	精细化工、新材料
开封黄龙产业集聚区	农产品加工、物流
杞县产业集聚区	农副产品加工、新材料、新能源
通许县产业集聚区	机电、农副产品加工
尉氏县产业集聚区	纺织、农副产品加工
兰考县产业集聚区	机械、农副产品加工
安阳市纺织产业集聚区	纺织、装备制造
安阳市产业集聚区	装备制造、新材料
安阳县产业集聚区	钢铁及加工、装备制造

工业园区名称	主导产业
汤阴县产业集聚区	食品、医药
滑县产业集聚区	食品、装备制造
内黄县产业集聚区	机械、陶瓷
鹤壁市宝山循环经济产业集聚区	化工、建材
浚县产业集聚区	食品、家居用品
鹤淇产业集聚区	装备制造、食品加工
新乡电源产业集聚区	电池
获嘉县产业集聚区	煤化工、装备制造
原阳县产业集聚区	农副产品加工、汽车零部件
延津县产业集聚区	食品、机械、化工
封丘县产业集聚区	食品、纺织服装
长垣县产业集聚区	机械、物流、汽车
卫辉市产业集聚区	食品、建材
辉县市产业集聚区	装备制造、汽车及零配件
焦作市工业产业集聚区	化工、汽车零配件、铝及铝加工
修武县产业集聚区	装备制造、食品、农副产品加工
博爱县产业集聚区	汽车零配件、装备制造
武陟经济技术开发区	装备制造、生物医药、造纸
温县产业集聚区	农副产品加工、装备制造、仓储物流
沁阳经济技术开发区	能源化工、有色金属及加工、新能源

工业园区名称	主导产业
孟州高新技术产业开发区	装备制造、化工、皮毛加工
河南濮阳工业园区	玻璃制品、精细化工、农副产品加工
清丰县产业集聚区	食品、家具
南乐县产业集聚区	食品、装备制造、生物
范县产业集聚区	精细化工、有色金属加工
台前县产业集聚区	羽绒制品加工、化工
濮阳县产业集聚区	光电子、医用新材料
濮东产业集聚区	石油机械装备制造、现代物流业
濮阳市化工产业集聚区	化工、装备制造业

2.1.2 主导产业分类情况

按地市分类，河南省传输通道 60 个国家级及省级园区主要分布在郑州市（13 个）、新乡市（10 个）、濮阳市（9 个）、焦作市（8 个）、安阳市（8 个）、开封市（8 个）、鹤壁市（4 个）。

按主导产业分类，河南省传输通道 60 个工业园区可分为四大类：高载能园区（化工、铝精深、钢铁）、新兴产业园区（装备制造、汽车制造、电子信息）和传统产业园区（建材、纺织、食品和轻工）。

河南省传输通道城市高载能园区共 16 个，主要包括化工类园区 11 个、钢铁类园区 3 个、铝精深加工园区 2 个。

（一）化工类园区：

表 2.3 河南省传输通道化工类园区列表

序号	集聚区名称	主导产业
1	开封市精细化工产业集聚区	精细化工
2	濮阳经济技术产业集聚区 （含濮阳经济技术开发区）	化工和装备制造业。
3	鹤壁市宝山循环经济产业集聚区 (鹤壁经济技术开发区)	化工和建材产业
4	濮阳市产业集聚区（含濮阳工业园区）	化工产业
5	范县产业集聚区	精细化工和有色金属加工业
6	新乡经济技术产业集聚区 （含新乡经济开发区）	东区重点发展现代煤化工产业， 西区重点发展生物医药产业。
7	获嘉县产业集聚区	南区重点发展现代煤化工产业， 东区重点发展装备制造业。
8	濮阳市化工产业集聚区	油煤联合化工、清洁能源 （天然气）综合利用
9	焦作市工业产业集聚区	化工、汽车零配件、铝及铝加工
10	沁阳经济技术开发区	能源化工、有色金属及加工、 新能源
11	开封黄龙产业集聚区	合成氨

（二）铝精深加工园区：

表 2.4 河南省传输通道铝精深加工园区列表

序号	集聚区名称	主导产业
1	巩义市产业集聚区	铝加工产业
2	登封市产业集聚区	铝精深加工、装备制造产业

（三）钢铁园区：

表 2.5 河南省传输通道钢铁园区列表

序号	集聚区名称	主导产业
1	安阳县产业集聚区	钢铁精深加工和装备制造业。
2	安阳高新区	黑色金属冶炼和压延
3	林州市产业集聚区 (红旗渠经济技术开发区)	装备制造和汽车零部件加工业

河南省新兴产业园区共 17 个，主要包括汽车制造类园区 4 个、电子信息类园区 5 个、装备制造园区 8 个。

（一）汽车制造类园区：

表 2.6 河南省传输通道汽车制造类园区列表

序号	集聚区名称	主导产业
1	郑州经济技术产业集聚区 （含郑州经济技术开发区）	汽车及装备制造产业、现代物流业、食品及生物医药产业
2	郑州市中牟汽车产业集聚区	汽车整车及零部件产业
3	博爱县产业集聚区	汽车零部件和装备制造业
4	鹤壁经开区	汽车零配件、汽车制造

（二）电子信息类园区：

表 2.7 河南省传输通道电子信息类园区列表

序号	集聚区名称	主导产业
1	郑州高新技术产业集聚区 （含郑州高新技术产业开发区）	电子信息、新能源产业
2	郑州航空港产业集聚区	电子信息产业、物流产业
3	新乡高新技术产业集聚区 （含新乡高新技术产业开发区）	电子电器和生物新医药产业
4	濮阳县产业集聚区	光电子和医用新材料产业。
5	郑州金水高新技术产业开发区	信息技术、生物医药

（三）装备制造园区：

表 2.8 河南省传输通道装备制造园区列表

序号	集聚区名称	主导产业
1	开封汴西产业集聚区 (开封经济技术开发区)	空分装备制造、汽车及零部件
2	开封市汴东产业集聚区	机械设备制造业
3	安阳市产业集聚区	装备制造和新材料产业。
4	鹤壁市鹤淇产业集聚区	机械制造、纺织服装业
5	长垣县产业集聚区 （含长垣起重工业园区）	装备制造和汽车零部件产业
6	辉县市产业集聚区	装备制造和汽车及零部件产业
7	焦作经济技术产业集聚区 （含焦作高新技术产业开发区）	装备制造、新材料产业。
8	武陟县产业集聚区	装备制造和生物医药产业

其余 27 个园区为传统工业园区，主导产业为食品、纺织和轻工等。

目前我省产业集聚区发展仍存在一些突出问题，必须加快由规模扩张向质量提升转变。省委十届六次全会指出，要推进产业集聚区提质转型创新发展，使其成为产业结构调整的主战场，培育更具竞争力的产业集群。2019 年政府工作报告提出，推进产业集聚区“二次创业”，更加注重产业建链、补链、延链，打造主导产业优势明显的产业集群。

2.2 国家级园区经济发展和能源消耗现状分析

河南省 7 个传输通道城市共有 11 家国家级工业园区，分别是郑州航空港区、郑州经开区、郑州高新区、新乡经开区、新乡高新区、濮阳经开区、鹤壁经开区、安阳高新区、红旗渠经开区、焦作高新区和开封经开区。其中郑州市三个园区经济发展水平较高，2017 年均被评为河南省优秀产业集聚区；郑州经开区和郑州航空港区分别在 2015 和 2016 年荣获河南省六星级园区称号（增加值 500 亿元以上），郑州高新区获得三星级园区称号（增加值 200 亿元）。目前 11 个国家级园区中有 3 家园区被列为国家循环化改造园区试点，分别为濮阳经开区、红旗渠

经开区、新乡经开区。郑州经开区是河南省目前唯一的国家级生态工业园区。郑州高新区园区被列为国家级低碳园区试点，红旗渠经开区被列为国家级绿色园区试点。

国家级园区的具体经济发展和能源消耗现状如下所示。

2.2.1 郑州航空港区

郑州航空港经济综合实验区，简称郑州航空港区，是中国首个国家级航空港经济综合实验区，规划面积 415 平方公里，是集航空、高铁、城际铁路、地铁、高速公路于一体的综合枢纽，是以郑州新郑国际机场附近的新郑综合保税区为核心的航空经济体和航空都市区。2013 年 3 月 8 日，国务院批复《郑州航空港经济综合实验区发展规划（2013-2025 年）》，标志着全国首个国家级航空港经济实验区正式设立。郑州航空港区重点发展具有临空指向性和关联性的高端产业，培育临空高端服务功能和知识创新功能，构筑中原经济区一体化框架下具有明显特色和竞争力的空港产业体系，以航空物流业、高端制造业及现代服务业为主要产业。2017 年，郑州航空港区地区生产总值完成 700.1 亿元，增长 14%，占郑州 GDP 的 7.67%，是生产总值最高的国家级园区，达到了 700.1 亿元。以鸿富锦精密电子（郑州）有限公司和河南裕展精密科技有限公司两家公司为代表，其计算机、通信和其他电子设备制造业在园区行业占比中占据了绝对的主导地位，对航空港区的 GDP 贡献高达 95%以上。

在能源消耗方面，天然气作为航空港区最主要的能源消费形式，在其能源结构中的占比高达 61%，第二位的能源形式则是电力，占比 33%。如图 2.2 所示。

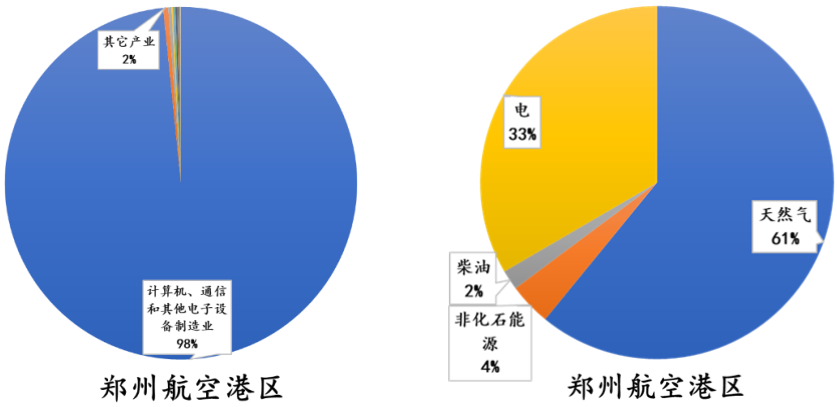


图 2.2 郑州航空港区产业结构及能源结构

2.2.2 郑州经开区

郑州经济技术开发区成立于 1993 年 4 月，2000 年 2 月获批为河南省首个国家级经济技术开发区。现规划控制范围北至陇海铁路、西至机场高速、南至福山路（郑民高速南约 1 公里）、东至万三公路（新 107 国道），面积 158.7 平方公里。管理经开综保区、国际物流园区两个正县级专业园区，下辖 6 个办事处 63 个行政村（社区）（45 个行政村、18 个社区），常住和从业人口约 40 余万人。全区共有规模以上企业 590 家，外商投资企业 106 家，超百亿企业 11 家，在区内投资的 500 强企业 65 家。全区共有科技企业孵化器 8 家，众创空间 5 个，高新技术企业 104 家，上市企业 16 家，院士工作站 13 个，市级以上企业研发中心 127 个，国家千人计划人才 7 人，累计授权专利 8579 个。逐步构建起了双创载体快速发展、双创人才高度汇聚、双创服务体系完善的全新格局。先后荣获国家新型工业化（装备制造）产业示范基地、国家生态工业示范园区、国家示范物流园区等荣誉。2017 年，郑州经开区生产总值完成 667.6 亿元，同比增长 8.9%，主导行业包括汽车制造业、烟草制品业和专用设备制造业。电力在经开区能源结构的占比高达 56%，第二位的能源类型是天然气，占比 36%。如图 2.3 所示。

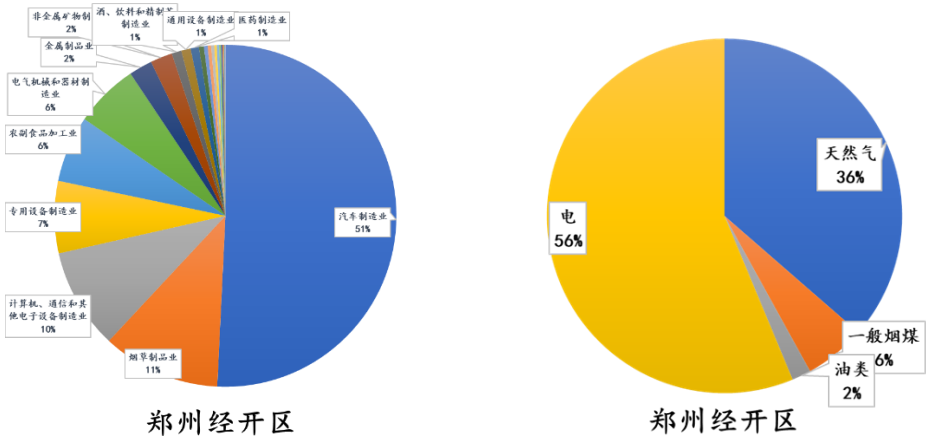


图 2.3 郑州经开区产业结构及能源结构

2.2.3 郑州高新区

郑州国家高新技术产业开发区，简称郑州高新区，位于郑州城区西北部，南临西流湖、北接连霍高速、西接郑州西南绕城高速公路，其中西四环穿区而过。建成区面积约 110 平方公里，辖区人口约 35 万，是河南省、郑州市发展高新技

术产业的核心区域。郑州高新区于 1991 年经国务院批准为国家级高新区，是中原经济区内省会城市国家级高新区，也是国家科技部部署创新体系首批 4 个重要战略支点之一。郑州高新区 2017 年生产总值为 300 亿元，占比前三的产业分别为 30%的有色金属冶炼和压延加工业、11%的通用设备制造业以及 7%的电力、热力生产和供应业。郑州高新区煤炭的消费占比达到 59%，其次是 37%的天然气。如图 2.4 所示。

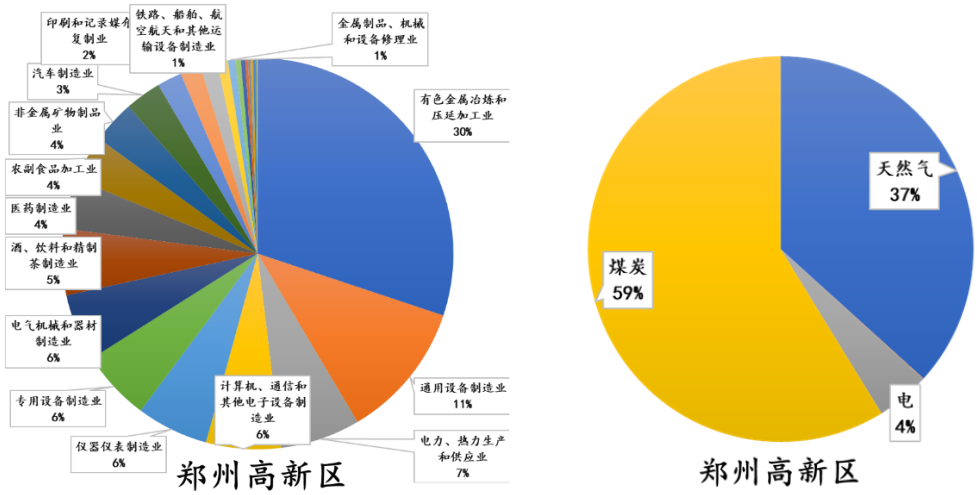


图 2.4 郑州高新区产业结构及能源结构

2.2.4 新乡经开区

新乡经济技术开发区始建于 2003 年，2012 年被国务院认定为国家级经济技术开发区，开发区位于新乡市区东部，距主城区 8.5 公里，处于中原城市群郑州大都市区次级中心城市核心区和郑州航空港辐射核心区。辖区总面积 50 平方公里，建成区面积 25 平方公里，总人口 11 万，基础设施建设实现全部覆盖。按照产城融合、集约发展的原则，形成了工业生产、生活居住、商务办公、职业教育、现代物流五大功能板块。2017 年全年，新乡经开区预计完成地区生产总值 112 亿元，同比增长 10.2%。新乡经开区主要以化学原料和化学制品制造业，化学纤维制造业，汽车制造业，纺织业，计算机、通信和其他电子设备制造业为主，主要企业包括新乡立白实业有限公司、豫北光洋转向器有限公司、中兵通信科技股份有限公司等。新乡经开区 22.66 万吨标煤的能源消耗中，煤炭占了绝大部分，原煤占 63%，一般烟煤占 11%，电力占 23%，天然气则占了 3%。如图 2.5 所示。

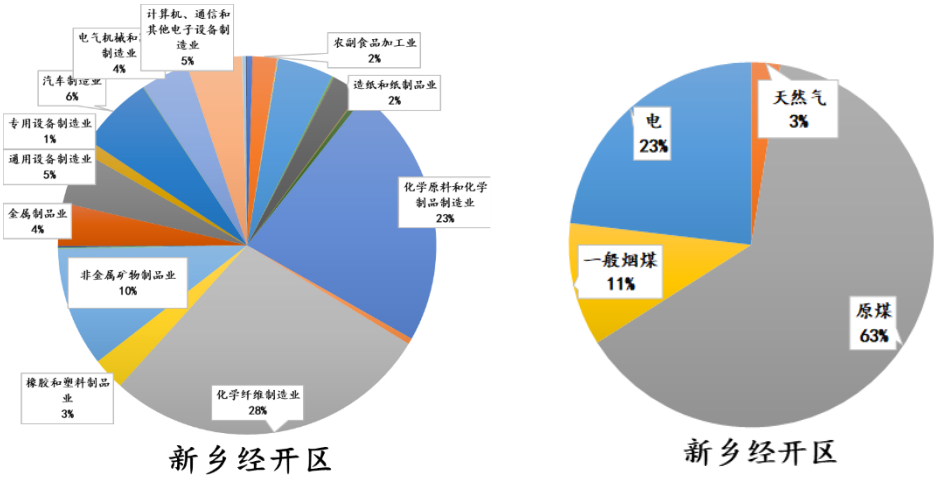


图 2.5 新乡经开区产业结构及能源结构

2.2.5 新乡高新区

新乡高新区成立于 1992 年，2012 年 8 月被国务院批准为国家级高新区。2016 年 4 月被国务院批准为郑洛新国家自主创新示范区。新乡高新技术开发区，距离市区中心 4 公里，与市区及省内交通贯通，交通便利，东接 107 国道，与京珠高速公路连接，北上 600 公里直达北京国际机场，南下 100 公里直达郑州国际机杨。全区总规划面积 52 平方公里，建成区 20 平方公里。全区下辖 1 个乡、1 个办事处，辖区总人口 11 万人。高新区 2017 年完成地区生产总值 129.6 亿元，同比增长 11.7%。高新区主要以汽车制造业，医药制造业，酒、饮料和精制茶制造业，橡胶和塑料制品业为主，以新乡市合众鑫辉车业有限公司，新乡艾迪威汽车科技有限公司，华兰生物工程股份有限公司，新乡娃哈哈昌盛饮料有限公司等企业最具代表性。在新乡高新区中，电以 79%的比重在其能源结构中占据了主导地位。如图 2.6 所示。

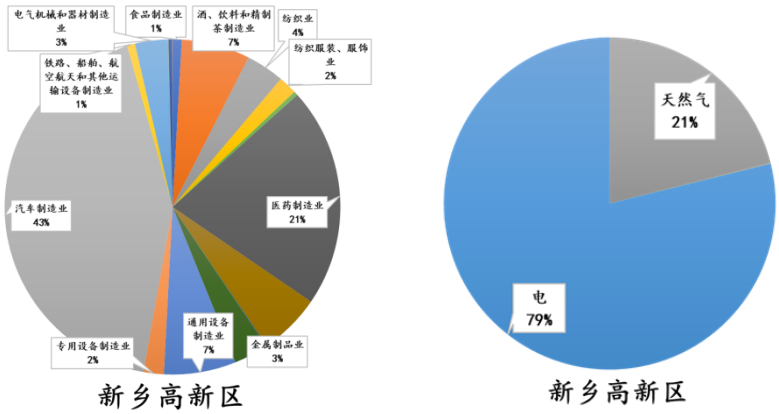


图 2.6 新乡高新区产业结构及能源结构

2.2.6 濮阳经开区

濮阳经济技术开发区成立于 1992 年 9 月，1994 年 3 月被河南省政府批准为省级高新技术产业开发区，2006 年 3 月更名为河南濮阳经济开发区。现已形成由中原乙烯、中原大化等为代表的石油化工产业；以龙丰纸业为代表的林纸林板产业；以贝英数控、双发实业为代表的装备制造业；以濮耐功能材料和泓天威药业为代表的新材料和生物医药产业。作为十一家工业园区中能耗最高的园区，濮阳经开区的能源结构为：煤炭占 67%，天然气占 21%，电占 12%。如图 2.7 所示。

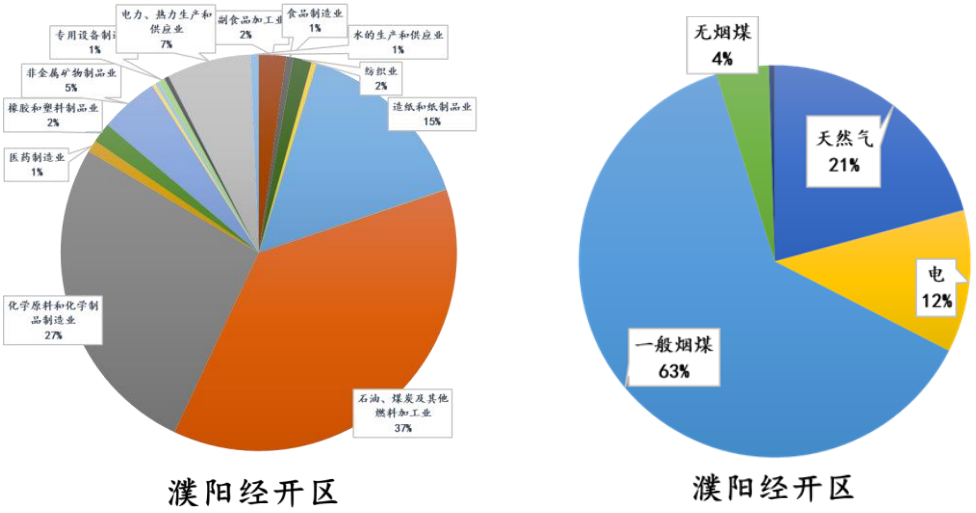


图 2.7 濮阳经开区产业结构及能源结构

2.2.7 鹤壁经开区

鹤壁经济技术开发区（金山产业集聚区），1992 年 12 月被省政府批准为首批省级经济开发区，2008 年 12 月被省政府批准为首批省级重点产业集聚区，2010 年 11 月经国务院批准升级为国家级经济技术开发区。开发区下辖城北、金山和东杨三个工业园区，11 个行政村，3.3 万人，总面积 29 平方公里，规划建设面积 18 平方公里，已建成区面积 13 平方公里。目前已入驻工业企业 400 多家，规模以上企业 109 家，是国家镁加工产业示范基地、国家金属镁产品质量提升示范区，省重点支持的电子信息、镁精深加工产业基地，省镁材料加工产业专利导航实验区，通过了 ISO9001 质量管理和 ISO14001 环境管理两项体系认证，先后被评为省 5A 最佳投资环境产业集聚区、省高新技术特色产业基地、省科技成果转化示范基地、省对外开放先进开发区、省军民融合产业园等。鹤壁经开区产业

结构中占比最大的橡胶和塑料制品业为 42%。在 11 个园区中其能源消费总量排在第四位，高达 96%的煤炭占比是几个园区中最高的，其次的能源形式则是极少量的天然气和电。如图 2.8 所示。

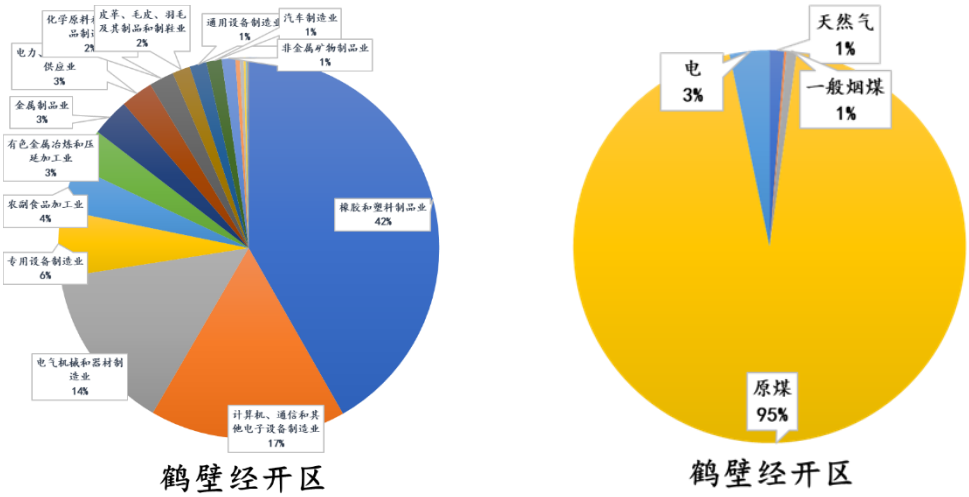


图 2.8 鹤壁经开区产业结构及能源结构

2.2.8 安阳高新区

安阳高新技术产业开发区成立于 1992 年 8 月 4 日，1995 年 3 月 5 日被省政府批准为省级高新区，2010 年 9 月 26 日被国务院批准为国家级高新区。规划面积 5.26 平方公里，辐射面积 30.1 平方公里。2018 年，全区规模以上工业累计完成工业增加值同比增长 30.1%；高新技术产业增加值增长 21.88%；财政一般公共预算收入同比增长 11%。近年来，安阳高新区按照国家科技部的功能定位，以高质量发展为根本要求，以加快转型发展为主线，坚定“一个晋升、四个重大”奋斗目标，狠抓“一大中心、两大基地”发展载体建设。围绕打造全市科技研发孵化中心，深入实施创新驱动发展战略，加快建设国家创新型特色园区，积极对接融入郑洛新国家自主创新示范区，搭科研平台、建院所分支、招领军人才，先后引进建成了华中数控安阳分中心、北清科技（安阳）创新研究院、海纳生物医药孵化器、安阳高新区中科海洋能源产业技术研究院、火炬研发园、安阳综合检测基地等一批科技创新孵化平台。围绕新能源环保装备制造产业，以金风科技、中车永电、艾尔旺环保、豫新太阳能、斯普机械海洋能等为龙头，努力打造新能源环保装备制造基地；围绕新材料产业，以安钢冷轧、立德硅钢、合力创科等企业为龙头，努力打造新型材料生产基地。先后荣获国家级显示器件产业园、中国产学研合作示范基地、全省首批创新型示范产业集聚区、省级知名品牌示范产业集

聚区、全省电子商务综合产业园区和全省首批专利导航产业发展实验区等荣誉称号。安阳高新区最主要的能源形式为一般烟煤，占比达到 54%，其次是 19%的电，再次是天然气、焦炭和燃料油。如图 2.9 所示。

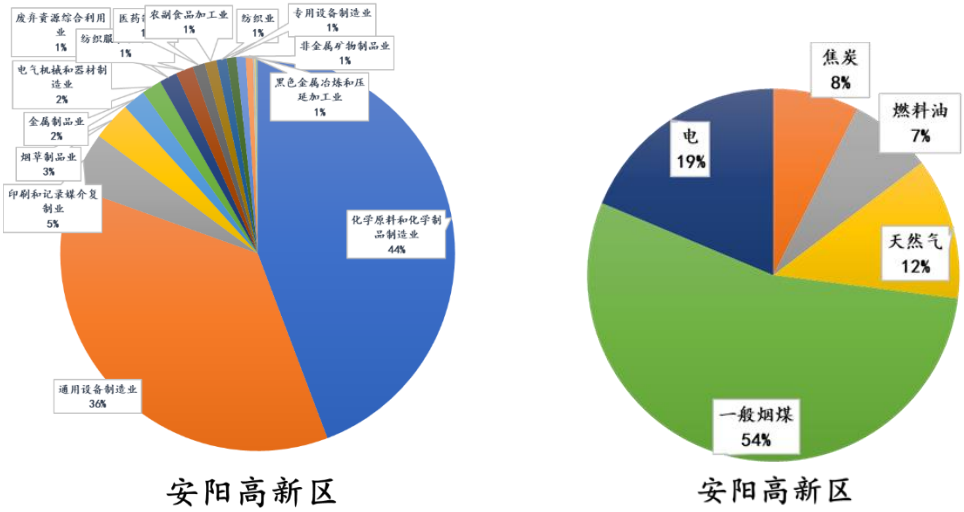


图 2.9 安阳高新区产业结构及能源结构

2.2.9 红旗渠经开区

红旗渠经济技术开发区位于河南省林州市市区东北部，成立于 1992 年，2006 年被河南省政府批准为省级经济开发区，2012 年 10 月，被国务院批准为国家级经济技术开发区。红旗渠开发区按照“工业强市”发展战略，以开放促发展，以科技求创新，吸引了中国大唐、中国一汽、中孚实业等一大批中国 500 强企业来区投资兴业，规划建设了煤机装备制造产业园、汽车装备产业园、生物科技产业园、电动汽车产业园等特色专业园区，初步形成了高端装备制造和高新技术为主导的优势产业集群，成为全国最大的天蚕素抗菌肽产业化生产基地，华中地区最大的无缝管材生产基地，全国重要的煤矿综采机械设备、优质铸造生铁、汽车配件产业生产基地。红旗渠经开区最主要的能源消费形式是煤炭，在能源结构中占比 63%，其次是焦炭，占比 27%。如图 2.10 所示。

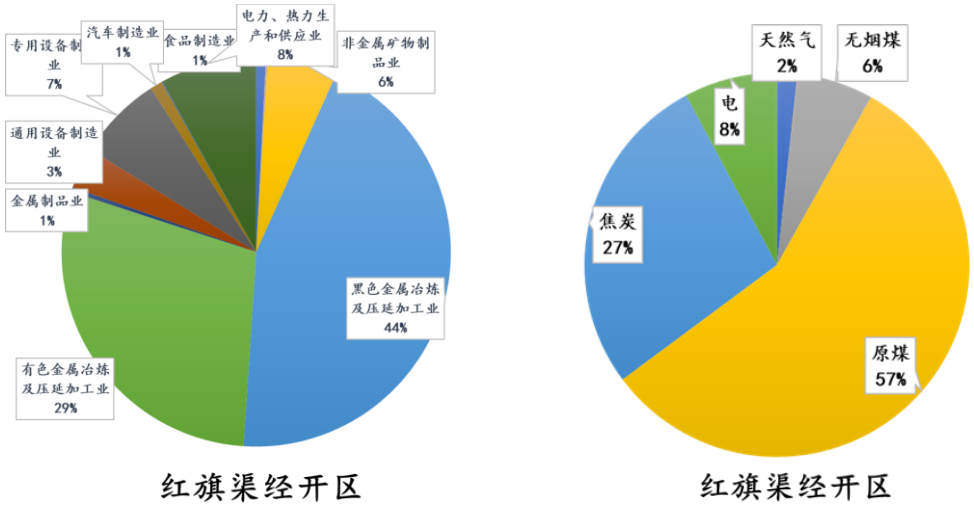


图 2.10 红旗渠经开区产业结构及能源结构

2.2.10 焦作高新区

焦作高新技术产业开发区成立于 1999 年，是焦作市辖功能区，位于焦作中心城区南部，东临修武县，南邻武陟县，北接焦作老城区，西至博爱县，辖 3 个乡镇、3 个街道，104 个村、4 个社区，总面积 210 平方公里，总人口 25 万。焦作高新区是焦作市承接国家战略、集聚创新要素、扩大对外开放的重要载体，先后获批国家级科技企业孵化器、国家级高新技术产业开发区、国家第二批科技服务业区域试点单位、国家新型工业化四星级产业示范基地等荣誉称号，正在成为焦作最具创新活力和发展前景的经济板块。

焦作高新区主要能源形式为无烟煤，占总能源消耗的 74%，电次之，占比 22%，柴油占比为 4%。如图 2.11 所示。

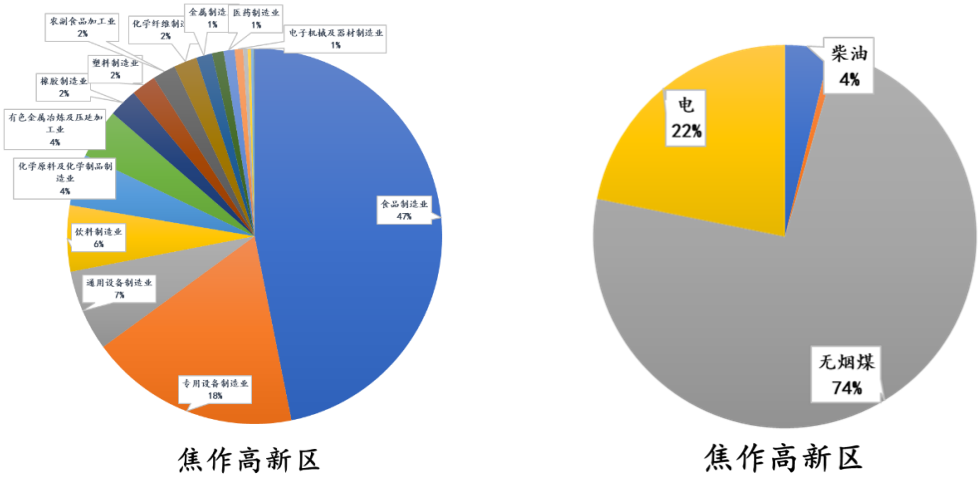


图 2.11 焦作高新区产业结构及能源结构

2.2.11 开封经开区

开封经济技术开发区的城市发展区和产业集聚区，规划面积218.7平方公里。主导产业为汽车制造业和农副食品加工业。2014 年，开封新区主导产业进一步突显，汽车、农机及零部件规模以上企业24家，完成产值64.1亿元，同比增长19.4%；空分及配套规模以上企业5家，完成产值9.98亿元。开封新区现已形成了以先进装备制造、农副产品深加工、医药化工等为支柱的工业生产体系，空分设备产业、汽车及零部件产业、农副产品深加工产业已在新区初步形成产业聚集。

开封经开区主要能源形式为煤炭，占总能源消耗的 73%，其次是电，占比22%。如图2.12所示。

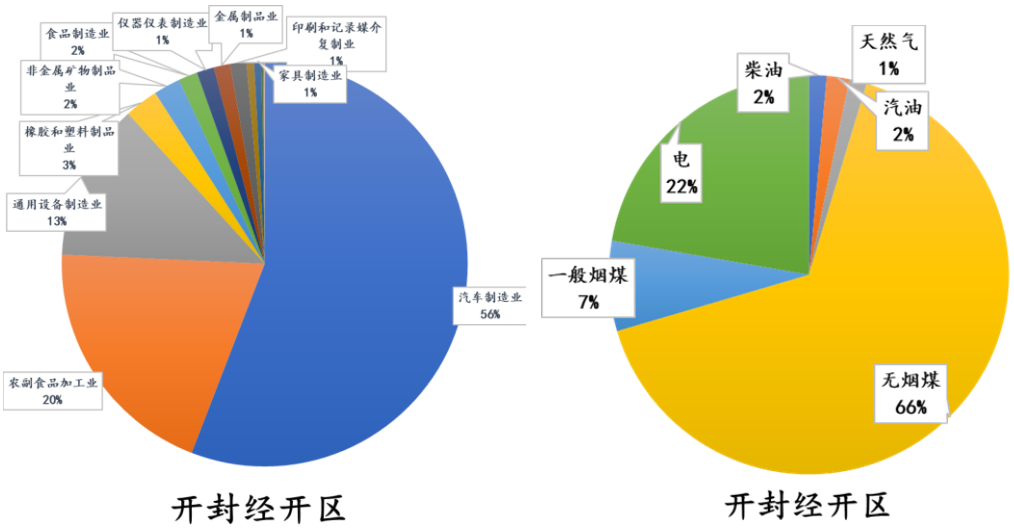


图 2.12 开封经开区产业结构及能源结构

2.2.12 国家级园区能源消耗特征总结

综上所示，11个国家级园区的能源消费总量达到了611.69万吨标煤。其中，排名前三位的是濮阳经开区能耗206.66万吨标煤，红旗渠经开区能耗159.37万吨标煤以及郑州高新区能耗 100.95 万吨标煤。这三家园区的能源消耗总量占了11个国家级园区能耗总量的76.3%。如图2.13 所示。

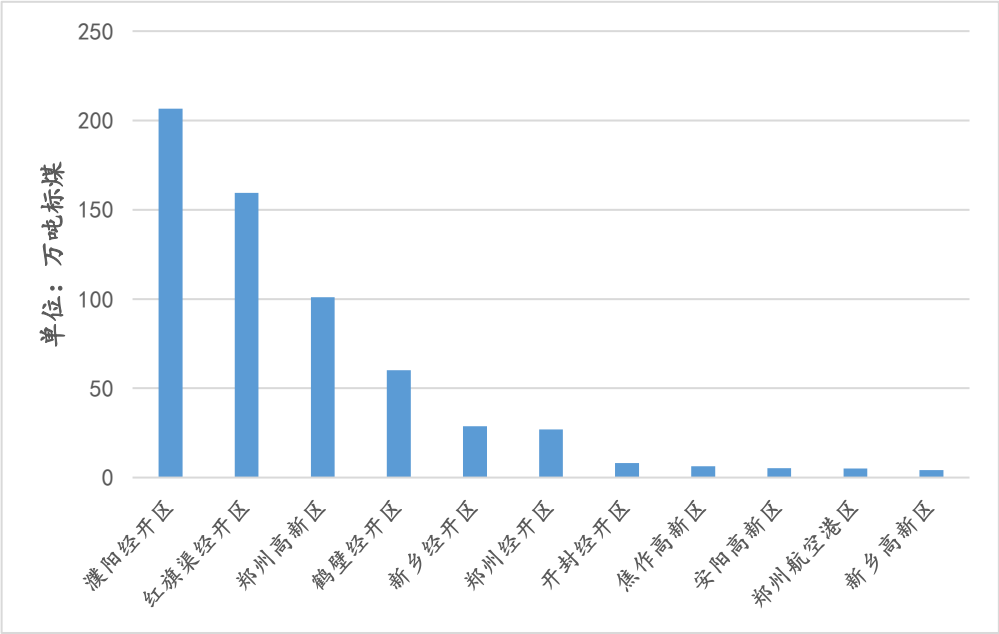


图 2.13 十一家国家级园区能耗情况

河南省十一家国家级工业园区的能源占比情况如下图所示。在河南省十一个国家级工业园区中，煤炭占比高的园区有八家，分别是新乡经开区、安阳高新区、鹤壁经开区、红旗渠经开区、濮阳经开区、焦作高新区、郑州高新区和开封经开区。这些园区煤炭占比均在 50%以上，其中鹤壁经开区的煤炭占比高达 93.4%。电力占比和天然气占比高的园区有新乡高新区、郑州航空港和郑州经开区。焦炭的消耗主要集中在安阳高新区和红旗渠经开区，这和园区内的企业产业类型相关。

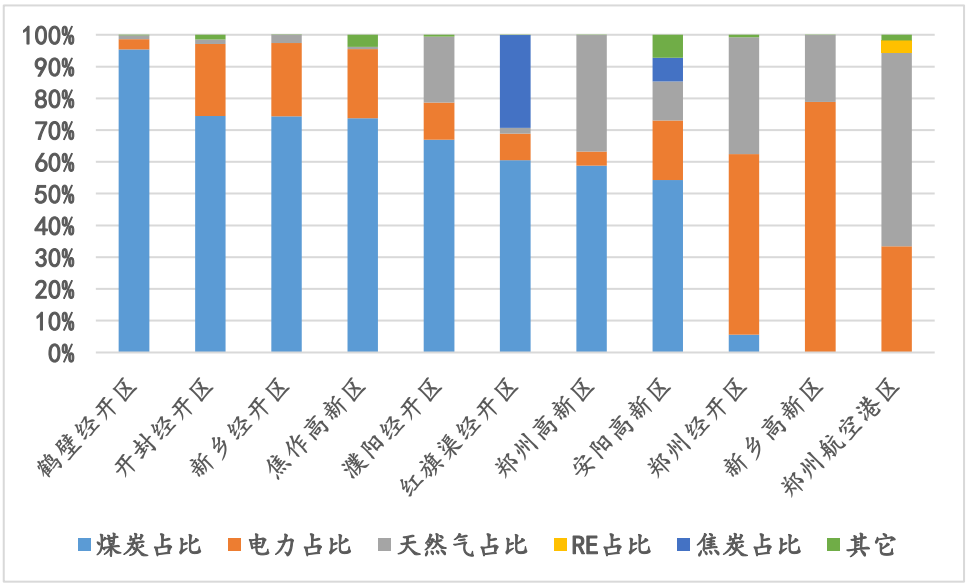


图 2.14 十一个国家级园区能源消费类型占比

河南省十一家国家级工业园区主要使用的能源类型为煤炭、天然气、电力、焦炭。煤炭能源包括无烟煤、原煤和一般烟煤，其所占比例达到了总能源的 61%，是最大的能源贡献者。其次是天然气和电力，分别占总能源的 19%和 12%。再次是焦炭能源，其所占比例达到 7%。焦炭能源的使用与行业类型密切相关，并不会广泛的出现在所有园区。最后，还有少量的其他燃料使用，包括柴油、液化石油气、液化天然气等。

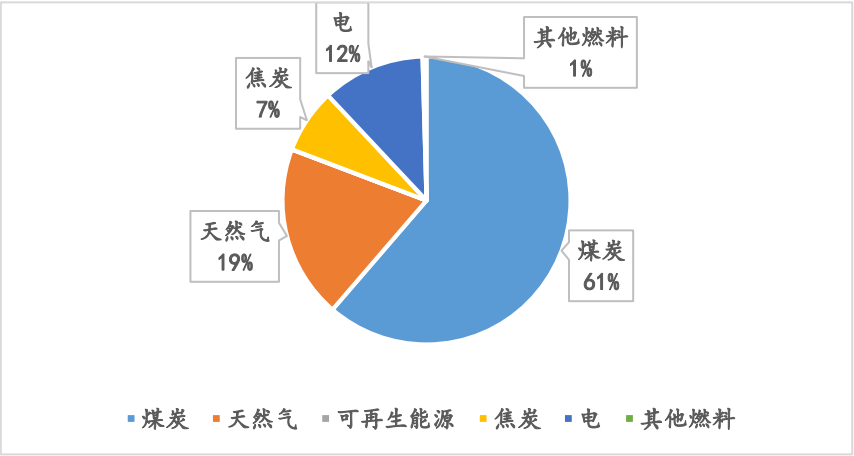


图 2.15 十一个国家级园区能源结构图

2.3 典型省级工业园区经济发展和能源消耗现状分析

河南省 7 个传输通道城市共有 49 个省级工业园区，本项目选取高能耗、高污染、高排放的化工园区和钢铁园区为代表来进行深入分析。

2.3.1 化工类园区

（一）河南省化工园区概况

河南省目前化工园区主要集中分布在濮阳、新乡、鹤壁、济源、焦作和开封等地市。濮阳市化工产业集聚区分为精细化工产业园、石油化工产业园、煤盐化工产业园和能源动力产业园；新乡延津县产业集聚区主要为节能环保和食品加工两个产业园区；鹤壁宝山循环经济产业集聚区形成了精细化学品、新材料、清洁能源三条循环经济产业链；济源虎岭产业集聚区从煤化工、石油化工、盐化工、精细化工、化工新材料等方面进行发展规划；焦作孟州产业集聚区形成以石油化工、煤化工为主体，相关产业协调发展的化工专业园区；开封精细化工产业集聚区主要打造和培育煤化工、农副产品精深加工及其物流三大支柱产业。

在合成氨、纯碱和烧碱等基础化工领域，河南省的产品产量一直居于全国领先位置。近五年，河南省基础化工产品产量呈现平稳增长趋势。如图 2.16 所示，合成氨的年产量最高，2017 年产量为 644 万吨，其次纯碱 368 万吨，烧碱总产量最低，为 165 万吨。在 2013 - 2017 年期间，烧碱年产量基本持平且在 2015 年略有减少；纯碱的年产量逐年增加但增幅很小；而合成氨产量持续增加，且增幅较大，但在 2016 年后稍有下降。

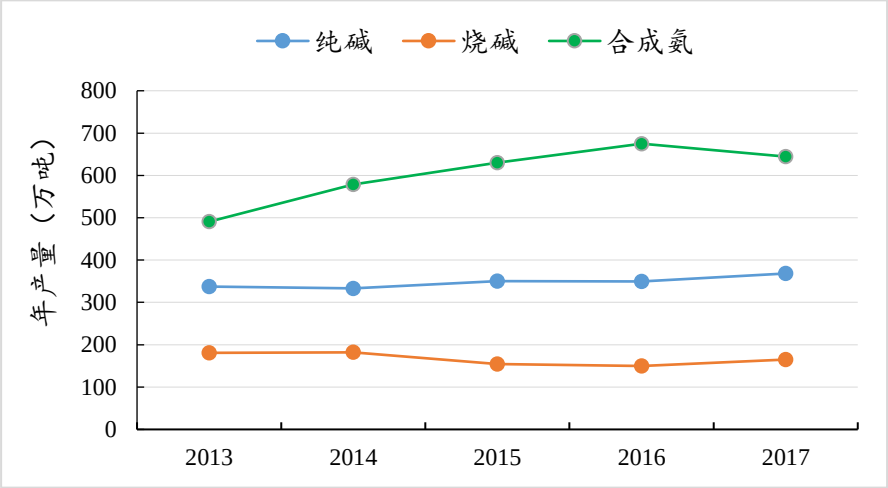


图 2.16 河南省化工主要产品产量示意图

如图 2.17 所示，河南省合成氨产量主要集中分布在新乡、开封和驻马店三个地市。2017 年新乡市合成氨产量为 195 万吨，占 2017 年河南省总产量的 30.27%；其次为开封市 169 万吨，占比 26.23%；再次为驻马店市 134 万吨，占比 20.78%。

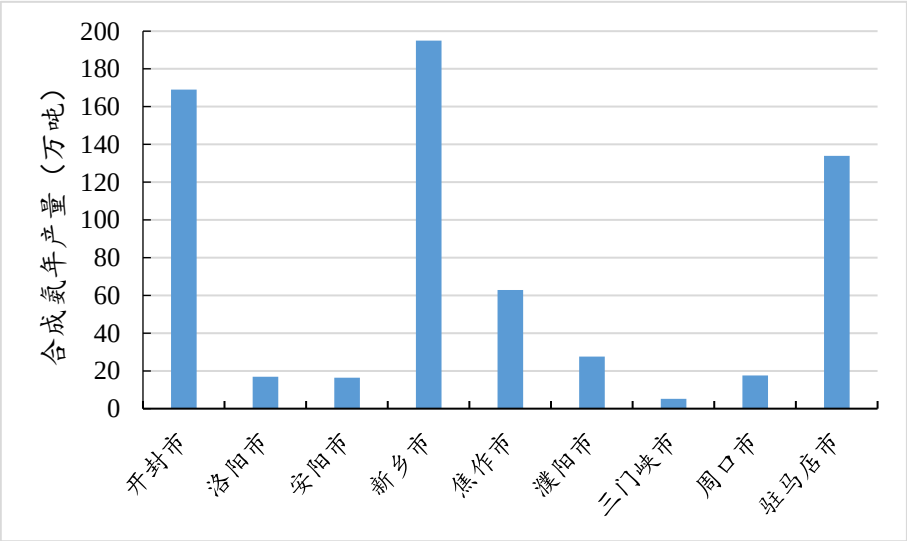


图 2.17 河南省各地市 2017 年合成氨产量示意图

河南省 2017 年合成氨、纯碱、烧碱产量如表 2.9 所示。合成氨产量最高的

三大公司分别是河南晋开化工投资控股集团有限责任公司、河南骏化发展股份有限公司和河南心连心化肥有限公司，产量分别为 120 万吨、46 万吨和 45 万吨。

表 2.9 河南省 2017 年合成氨、纯碱、烧碱产量

单位详细名称	产品名称	实际产量（吨）
河南晋开化工投资控股集团有限责任公司	合成氨	1198890
河南骏化发展股份有限公司	合成氨	462000
河南心连心化肥有限公司四分公司	合成氨	450000
河南晋开化工投资控股集团有限责任公司一分公司	合成氨	414763
河南心连心化肥有限公司二分公司	合成氨	380000
河南金大地化工有限责任公司	纯碱	850000
河南骏化发展股份有限公司	纯碱	500000
河南金天化工有限公司	纯碱	300000
河南金山化工有限公司	纯碱	200000
桐柏海晶碱业有限责任公司旭日分厂	纯碱	158200
昊华宇航化工有限责任公司	烧碱	437182
河南联创化工有限公司	烧碱	338207
河南神马氯碱发展有限责任公司	烧碱	285967
焦作煤业（集团）开元化工有限责任公司	烧碱	173290
河南神马氯碱化工股份有限公司	烧碱	148028

河南省开封黄龙产业集聚区是河南省通道城市中的一个典型化工园区，其中河南晋开化工投资控股集团有限责任公司是河南省合成氨产量最大的企业，如图 2.18 所示，其产量占河南省总产量的 25%，对河南省的整个合成氨产业具有一定的代表性。我们视其为化工园区的典型代表对象，来全面、深入分析化工园区能源消耗、碳排放清单和大气污染物排放情况。

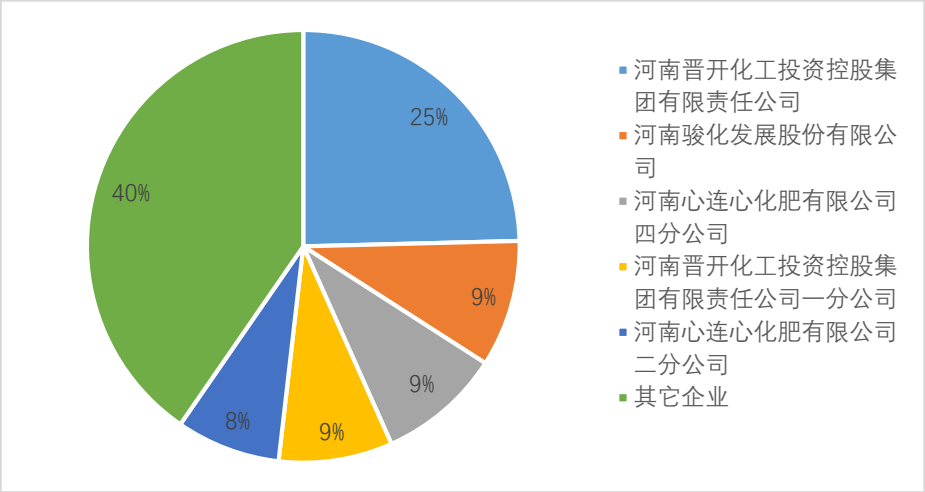


图 2.18 河南省企业的合成氨产量占比

（二）开封黄龙产业集聚区经济发展和能源消耗情况

开封黄龙产业集聚区是河南省首批 175 个产业集聚区和 50 个重点对外开放产业集聚区之一，规划面积达 13.39 平方公里，化工和食品工业为其主导产业，是郑汴洛工业经济走廊东部起点，是开封市东部新城区的核心区域。2017 年，开封黄龙产业集聚区工业总产值为 55 亿元，集聚区内代表性企业的工业总产值如表 2.10 所示。河南晋开化工投资控股集团有限公司最为园区内最大的化工企业，工业总产值为 30.4 亿元，占黄龙产业集聚区总产值的 55.3%。

表 2.10 开封黄龙产业集聚区企业

单位详细名称	行业名称	工业总产值 (千元)
河南晋开化工投资控股集团有限责任公司	氮肥制造	3042368
开封龙大植物油有限公司	食用植物油加工	385100
开封市会利辉煌服饰有限公司	针织或钩针编织服装制造	150000
开封新农肉类食品有限公司	牲畜屠宰	120000
爱阁瑞奇（开封）饲料有限公司	饲料加工	109270
嘉吉饲料（开封）有限公司	饲料加工	108003
开封普度牧业有限公司（1）	饲料加工	95806
开封普度牧业有限公司（2）	饲料加工	95806
河南晋开集团雨露复合肥有限公司	复混肥料制造	92316
开封市金源水稻种植农民专业合作社	稻谷加工	86400

开封黄龙产业集聚区能源消耗总量为 183 万吨标煤，能源类型有无烟煤、柴油、天然气、液化天然气及其它燃料。无烟煤消耗量是 174 万吨标煤，占开封黄龙产业集聚区能源消耗总量的 98%；柴油、天然气、液化天然气消耗量依次为 2.4 万吨标煤、0.32 万吨标煤和 0.28 万吨标煤。从图 2.19 可以看出，开封黄龙产业集聚区能源结构以无烟煤为主，其它能源类型消耗量较少。

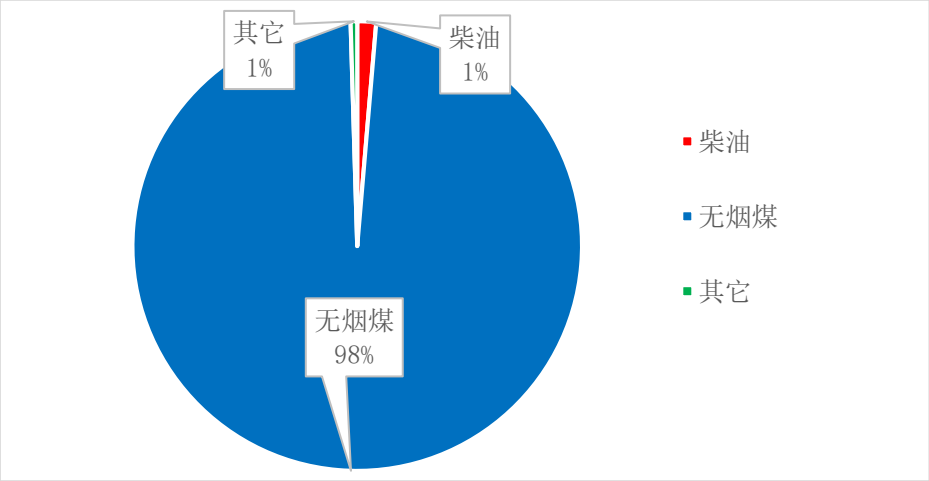


图 2.19 开封黄龙产业集聚区能源消耗

开封黄龙产业集聚区锅炉类型有燃煤锅炉、燃油锅炉、燃气锅炉、燃生物质锅炉和余热利用五种，使用五种锅炉的企业个数依次为 8、14、12、1 和 3 个。河南晋开化工投资控股集团有限公司有五个燃煤锅炉，其余各企业均只有 1 个锅炉。在开封黄龙产业集聚区中，由于无烟煤是最主要的能源消耗类型，所以燃煤锅炉在几种锅炉类型中更重要，其详细信息见表 2.11。

表 2.11 燃煤锅炉企业及能耗

单位详细名称	工业锅炉类型	锅炉个数	燃料消耗量（吨）
河南晋开化工投资控股集团有限责任公司	燃煤锅炉	5	1734724
开封市众诚路桥工程有限公司	燃煤锅炉	1	2000
河南双鱼食品有限公司	燃煤锅炉	1	40
爱阁瑞奇（开封）饲料有限公司	燃煤锅炉	1	36

2.3.2 钢铁类园区

（一）河南省钢铁行业概况

钢铁工业是国民经济基础性产业和河南省的传统支柱产业，涉及面广、产业关联度高、消费拉动大，在经济建设、社会发展及稳定就业等方面发挥着重要作用。2013 年河南省政府《关于加快推进产业结构战略性调整的指导意见》（豫政〔2013〕65 号）提出，要以提高钢铁区域市场占有率为重点，突出发展高强机械和建筑用钢，扩大特色产品和深加工产品规模，建设安阳、济源、平顶山、南阳等优特钢产业基地。河南钢铁行业经过几十年的发展，行业规模逐渐扩大，形成了目前以安钢、济钢、亚新等一批大型企业为首的钢铁生产基地。但与此同时，粗放型的发展模式致使全省资源环境变得较为脆弱，由此引发的资源短缺、环境污染、生态破坏等问题也日益突出。因此，十分有必要对河南省钢铁园区的深度低碳化进行分析。

河南省 2017 年各地市粗钢产量如图 2.20，全省粗钢生产主要集中在安阳市，占比为 59.4%，安阳市对河南省的整个钢铁产业具有一定的代表性。因此选取安阳市作为钢铁类园区的案例研究对象。

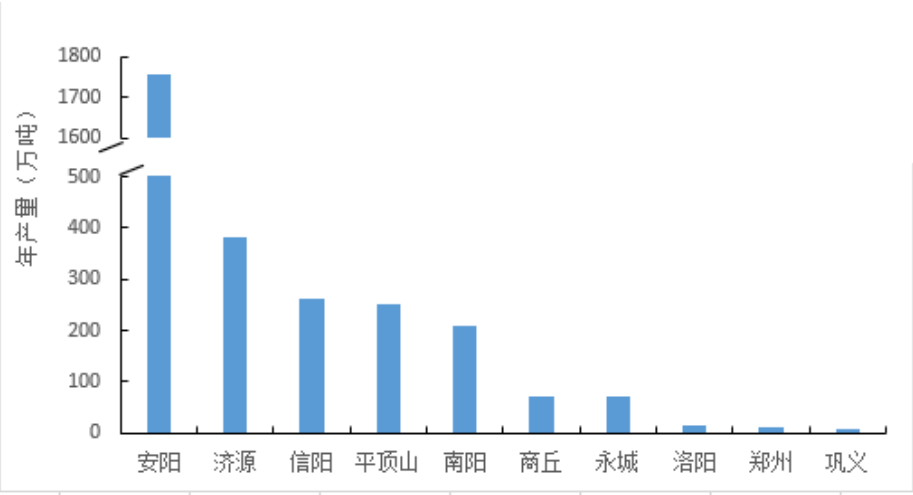


图 2.20 河南省 2017 年各地市粗钢产量图

安阳市钢铁企业工业总产值分布情况如图 2.21 所示。安阳钢铁股份有限公司的工业总产值占安阳市钢铁企业的 45%，对安阳市的整个钢铁产业具有一定的代表性。因此，本项目选择安阳钢铁集团股份有限公司作为钢铁类园区的研究对象。

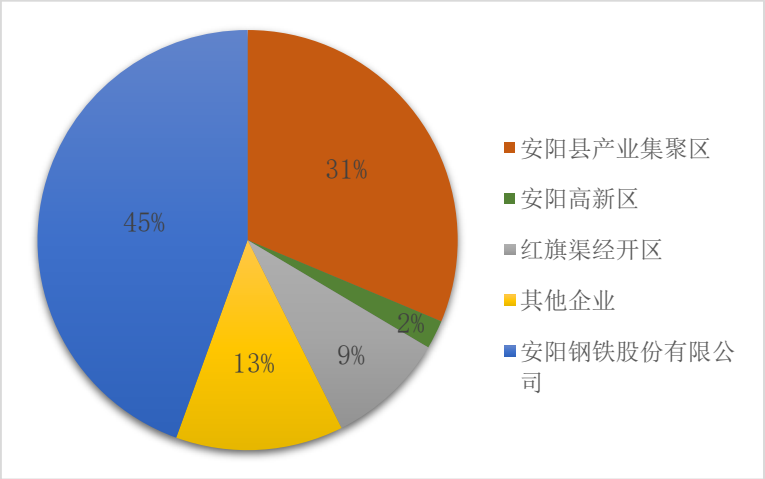


图 2.21 安阳市工业园区钢铁企业 2017 年工业总产值占比

（二）安阳钢铁集团有限责任公司

安阳钢铁集团有限责任公司（简称“安钢”）始建于 1958 年，经过 60 多年的发展，现已成为集采矿选矿、炼焦烧结、钢铁冶炼、轧钢及机械加工、冶金建筑、科研开发、信息技术、物流运输、国际贸易、房地产等产业于一体，年产钢能力 1000 万吨的现代化钢铁集团，事河南省最大的精品板材和优质建材生产基地。 截止 2009 年底，公司拥有资产总额 268.5 亿元，净资产 105.9 亿元。近年来，为适应国内外钢铁工业发展趋势，安钢加快转变发展方式，推进结构调整，相继建成了一大批国内外先进的工艺装备，形成了中厚板、热轧和冷轧卷板、高速线材、型棒材、球墨铸管等丰富的产品系列，产品广泛应用于国防、航天、交通、装备制造、船舶平台、石油管线、高层建筑等行业，远销 50 多个国家和地区。

安钢是河南省重要的钢铁产业基地之一，其能源结构如表 2.12 所示。主要有汽油、焦炭、洗精煤（用于炼焦）、原煤和柴油，总能耗达 420 万标准煤。从能源结构来看，安钢主要消耗的能源类型为洗精煤和原煤，分别占总能耗的 74.27%和 22.72%。焦炭占比为 2.82%，而柴油的仅仅为 0.19%。安钢重点用能设施为燃煤锅炉，过度依赖煤炭，由此会导致温室气体和大气污染的排放量增加。因此，合理地调整能源结构，使用清洁能源代替化石燃料，从而推动企业实现可持续发展。

表 2.12 安阳钢铁股份有限公司能源消费情况

主要能源消耗- 原辅材料/能源名称	主要能源消耗- 计量单位	主要能源消耗- 使用量	能耗占比
汽油	吨	59	0.002%
焦炭	吨	122477	2.82%
洗精煤（用于炼焦）	吨	3476798	74.27%
原煤	吨	1339989	22.72%
柴油	吨	5531	0.19%

三、河南省传输通道工业园区温室气体排放清单核算

3.1 工业园区温室气体排放清单核算方法

建立温室气体排放清单是工业园区进行深度低碳化的重要工作基础。通过清单可以识别出园区内温室气体的主要排放源，了解各企业排放现状，预测未来减排潜力，从而有效实现工业园区的深度低碳化。由于工业园区属于地理边界，相比省级、城市等具有不同的排放特征，因此，不能简单套用省级和城市的温室气体清单编制方法，有必要建立一套科学合理的工业园区温室气体排放清单核算方法。

目前针对工业园区温室气体清单编制方法的研究较少，仍处于起步阶段。工业园区温室气体排放主要包括以下 5 类排放源：能源活动直接排放，电力热力净调入所导致的间接排放，工业生产过程排放，废弃物处理，其他间接排放。陈彬、齐静等基于对低碳城市的相关研究，对工业园区温室气体排放清单进行了探讨，提出将工业园区碳排放基于全生命周期划分为园区建设、园区运行管理以及园区拆除处置三大阶段来进行核算，但由于所采用的生命周期评价方法所需数据量大且难获取，所以该方法不具备实操性和可行性。吕斌等人对中国产业园区温室气体排放核算方法进行系统研究，指出工业园区温室气体排放主要来源于能源活动的直接排放和电力热力净调入引起的间接排放，两部分排放一般占到园区排放总量的 90%以上；且园区温室气体排放以二氧化碳为主，二氧化碳在园区排放总量中占比高达 90%以上。鉴于二氧化碳占比较高，且当前国家低碳工业园区试点的工作重点是减少二氧化碳的排放，因此，本项目中工业园区温室气体排放核算种类只考虑二氧化碳，核算边界以工业园区行政区划为准。在核算范围方面，本项目温室气体排放清单核算范围为能源活动产生的直接排放和电力调入调出产生的间接排放两部分。

3.1.1 能源活动产生的直接排放

能源活动是温室气体排放的重要来源，本项目中涉及的产业园区能源活动主要包括化石燃料的固定燃烧直接排放。根据《2006 年 IPCC 温室气体清单指南》

推荐的方法，具体核算如下所示：

$$E_{GHG_燃烧} = \sum_i \left(AD_i \times E_{i,CO_2}\right)$$

$$E_{i,CO2} = NCV_i \times EF_i \times OF_i \times \frac{44}{12}$$

式中，$E_{GHG_燃烧}$ 为园区边界内化石燃料燃烧温室气体排放量，单位为 t; i 为化石燃料的种类；AD_i为化石燃料品种 i 明确用作燃料燃烧的消费量，对固体或液体燃料以 t 为单位，对气体燃料以万 Nm^3 为单位；NCV_i为化石燃料品种 i 的低位发热量，对固体和液体燃料以 GJ/t 为单位，对气体燃料以 GJ/ Nm^3 为单位；EF_i为燃料品种 i 的单位热值含碳量，单位为 tC/GJ。OF_i为化石燃料 i 的碳氧化率，单位为%。常见能源的低位发热量、单位热值含碳量、碳氧化率见表 3.1。

表 3.1 常见能源特性参数缺省值

能源类型	低位发热量	单位热值含碳量（EF_i）	碳氧化率（OF_i）	排放因子（E_{i,CO_2}）
原煤	20908 kJ/kg	26.37 t C/TJ	0.94	1.90 tCO_2/t 燃料
一般烟煤	26620 kJ/kg	26.1 t C/TJ	0.93	1.97tCO_2/t 燃料
天然气	35584 kJ/m^3	15.3 t C/TJ	0.99	19.76 tCO_2/万立方米
液化天然气	51434.72 kJ/kg	17.2 t C/TJ	0.98	3.10 tCO_2/t 燃料
液化石油气	50719 kJ/kg	17.2 t C/TJ	0.98	3.10 tCO_2/t 燃料
汽油	43070 kJ/kg	18.9 t C/TJ	0.98	2.93 tCO_2/t 燃料
柴油	42652 kJ/kg	20.2 t C/TJ	0.98	3.10 tCO_2/t 燃料
燃料油	41816 kJ/kg	21.1 t C/TJ	0.98	3.17 tCO_2/t 燃料
煤矸石	—	—	—	2.77c tCO_2/t 燃料
焦炉煤气	—	—	—	8.56c tCO_2/万立方米

注：资料来源：1）低位发热量：《中国能源统计年鉴 2017》；《中国温室气体清单研究》

2）单位热值含碳量：《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》；《省温室气体清单指南（试行）》

3）碳氧化率：《省级温室气体清单编制指南（试行）》

3.1.2 电力调入调出产生的间接排放

工业园区电力调入调出产生的 CO_2 排放量从生产侧进行计算，即以电厂化石燃料燃烧为基础进行计算。通常情况下，园区净调入电力主要有以下三种情况：（1）园区内无电厂，电力全部调入。这种情况下，园区电厂二氧化碳间接排放

量=调入电量×所在区域电网排放因子；（2）园区内有电厂，电力部分调入，这种情况下，园区电厂二氧化碳排放量=电力净调入量（即总用电量-区域供电量）×所在区域电网排放因子（3）园区内有电厂电力净调出，这种情况下，园区电厂二氧化碳排放量=直接排放-电力净调出量（即区域用电量-总用电量）×所在区域电网排放因子。计算公式如下：

$$E_{GHG_电厂} = \mathrm{AD}_{净调入电力量} \times \mathrm{EF}_{平均排放因子}$$

其中$E_{GHG_电厂}$为园区内电厂间接排放二氧化碳量，单位为 t，$\mathrm{AD}_{净调入电力量}$是园区净调入电量。$\mathrm{EF}_{平均排放因子}$则是电厂排放因子，单位为 $kgCO_2/kWh$。河南省内园区内电厂都属于华中电网，根据生态环境部发布的“2017 年度减排项目中国区域电网基准线排放因子”，华中电网排放因子为 0.6063 kg CO_2/ kWh。

3.2 国家级园区温室气体排放清单核算结果

3.2.1 郑州航空港区

（1）能源活动相关的 CO_2 排放

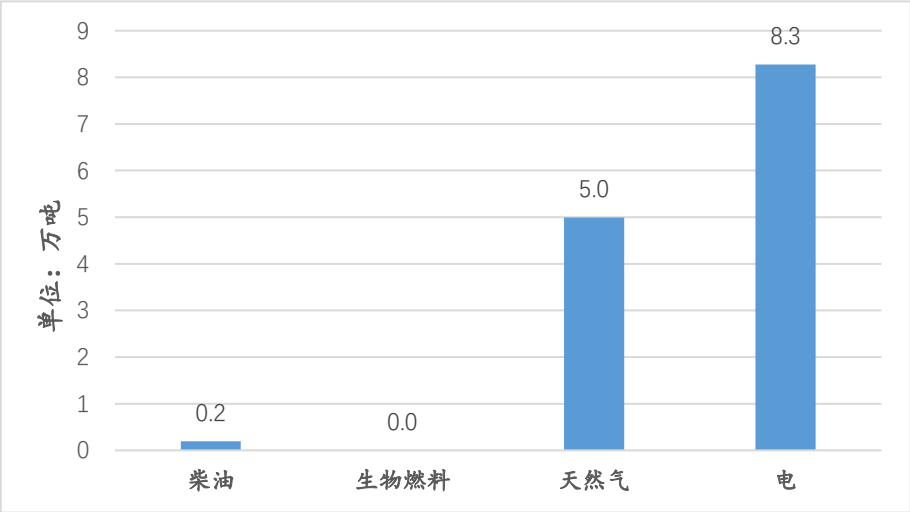


图 3.1 郑州航空港区 CO_2 排放量示意图

郑州航空港区 CO_2 排放总量为 134633 吨，其中，电力调入调出产生的 CO_2 排放量最高，排放量为 82753 吨，占比 61%，由其他能源活动产生的直接排放则相对很少，如图 3.1 所示。这是因为园区内存在以郑州市热力总公司、郑州统一

企业有限公司、郑州花花牛乳制品有限公司、河南华电金源管道有限公司和河南大有塑业发展有限公司为代表的数家用电量非常大的企业，仅以上五家企业年用电总量就达到了 84×10^6 千瓦时，产生了大量的电力调入，进而导致了 CO_2 的大量排放。

在由能源活动产生的直接排放中，天然气燃烧产生的 CO_2 排放量最大，为 49931 吨。

（2）按行业分类的 CO_2 排放

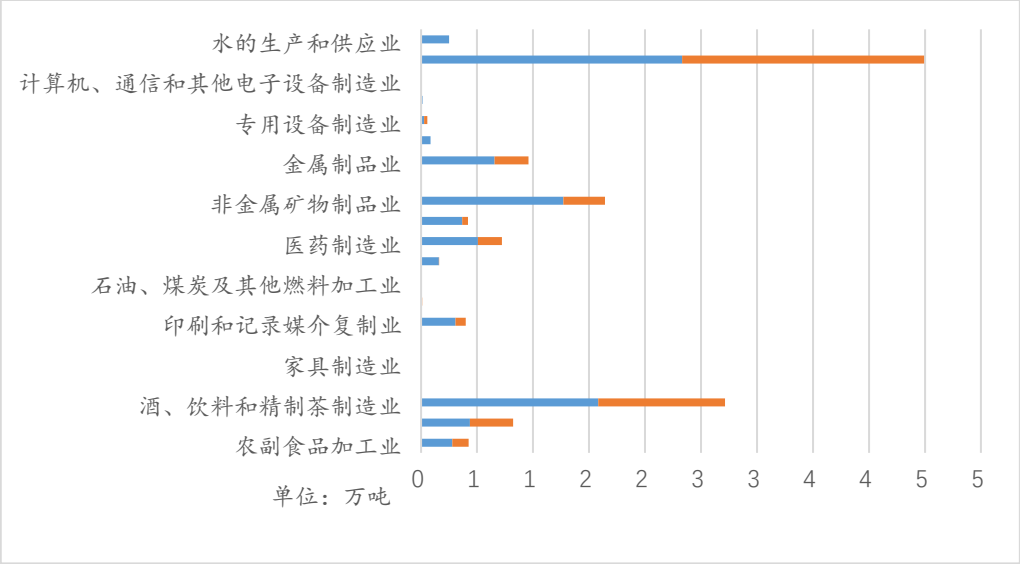


图 3.2 郑州航空港区不同部门 CO_2 排放示意图

郑州航空港区 CO_2 排放主要来源于各个行业的电力调入，如图 3.2 所示，图中橙色条表示由能源活动引发的直接 CO_2 排放，蓝色条表示由电力调入和调出引发的间接 CO_2 排放。园区 CO_2 排放量贡献最高的行业为电力、热力生产和供应业，其次为酒、饮料和精制茶制造业和非金属矿物制品业，这三个行业企业排放的 CO_2 大部分来源于电力引起的间接排放。而能源活动所引起的排放中，电力、热力生产和供应业相应产生的排放最多。

3.2.2 郑州经开区

（1）能源流向

郑州经开区没有能源转换企业。

（2）CO_2 排放（能源）

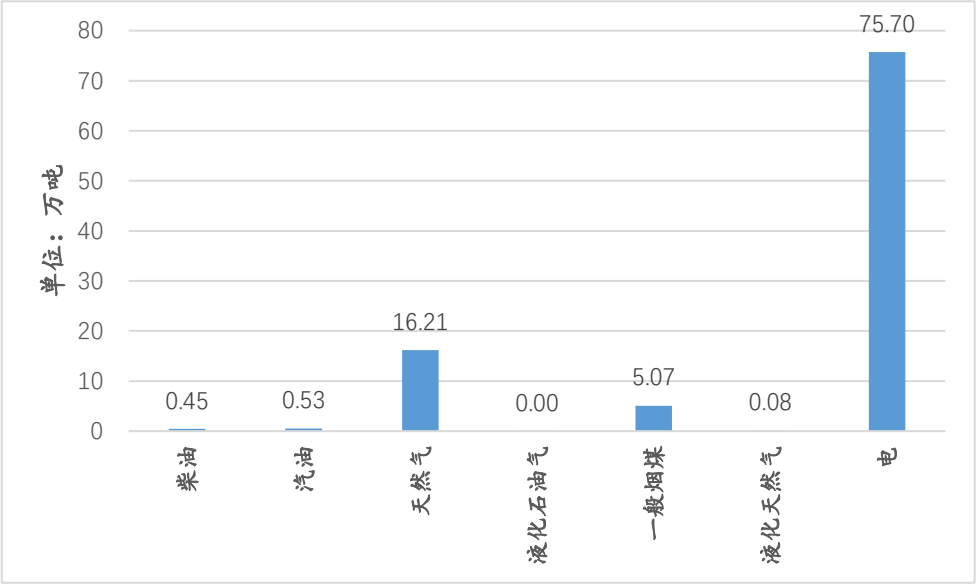


图 3.3 郑州经开区 CO_2 排放量示意图

郑州经开区 CO_2 排放总量为 980499 吨，其中，电力调入调出产生的 CO_2 排放量为 757025 吨，占比 77%；而由能源活动产生的直接排放则相对很少，如图 3.3 所示。这是因为园区内存在以郑州宇通客车股份有限公司客车专用车分公司、郑州宇通客车股份有限公司新能源客车分公司、广州风神汽车有限公司郑州分公司、河南中烟工业有限责任公司黄金叶生产制造中心和郑州煤矿机械集团股份有限公司为代表的数家用电量非常大的企业，仅以上五家企业年用电总量就达到了 691×10^6 千瓦时，产生了大量的电力调入，进而导致了 CO_2 的大量排放。

在由能源活动产生的直接排放中，天然气燃烧产生的 CO_2 排放量最大，为 162144 吨。

（3）CO_2 排放（行业）

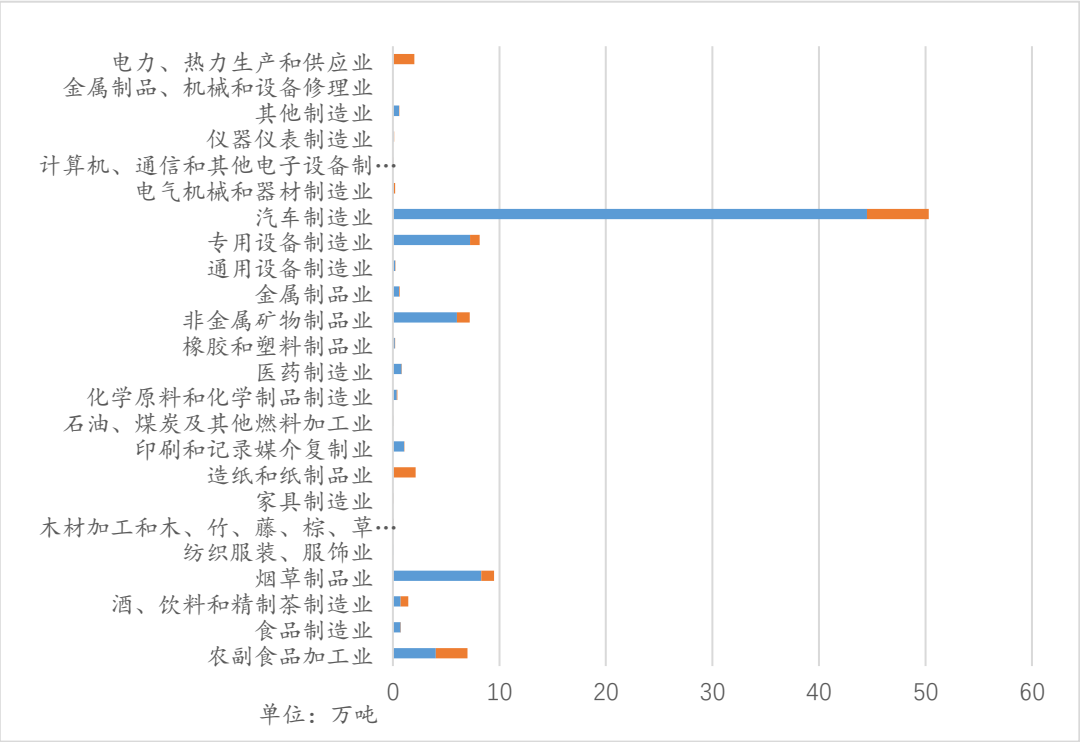


图 3.4 郑州经开区不同部门 CO_2 排放示意图

郑州经济开发区 CO_2 排放主要来源于各个行业的电力调入，如图 3.4 所示，图中橙色条表示由能源活动引发的直接 CO_2 排放，蓝色条表示由电力调入和调出引发的间接 CO_2 排放。园区 CO_2 排放量贡献最高的行业为汽车制造业，其次为烟草制品业和专用设备制造业，这三个行业企业排放的 CO_2 均主要来源于电力引起的间接排放。而能源活动所引起的排放中，汽车制造业相应产生的排放最多。

3.2.3 郑州高新区

（1）能源流向

郑州高新区有一家能源转换企业，园区发电消耗的天然气量为 28989 万立方米，总发电量为 81523.06 万千瓦时。

（2）CO_2 排放（能源）

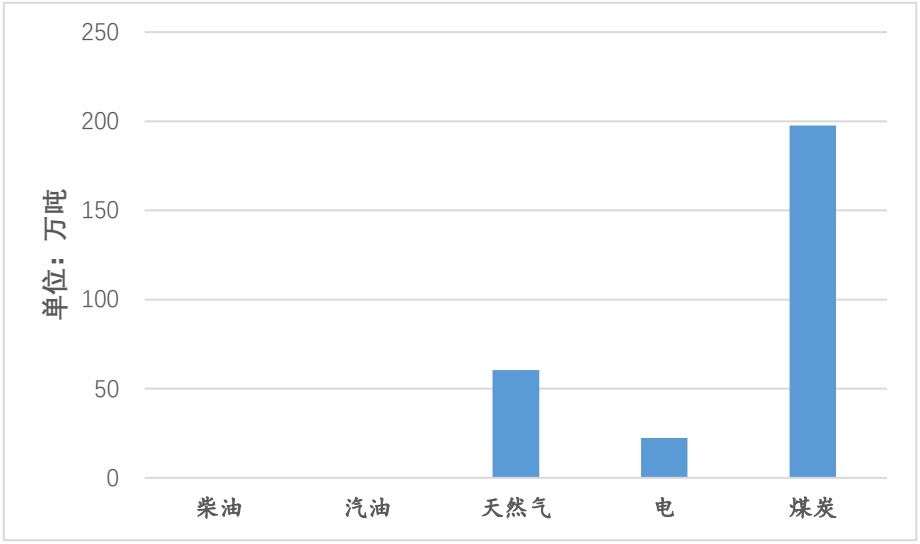


图 3.5 郑州高新区 CO_2 排放量示意图

郑州高新区 CO_2 排放总量为 2806299 吨，其中，煤炭消耗产生的 CO_2 排放量最多，为 1977013.7 吨，占总排放量的 70%；这是因为园区内存在一家热电供应企业：国家电投集团郑州燃气发电有限公司，该企业年煤炭使用量为 834183 吨，因而导致了 CO_2 的大量排放。其次是天然气产生的 CO_2 排放量，为 605077 吨，占比 21%；由电力调入调出产生的 CO_2 排放量为 223365 吨，占比 8%。

（3）CO_2 排放（行业）

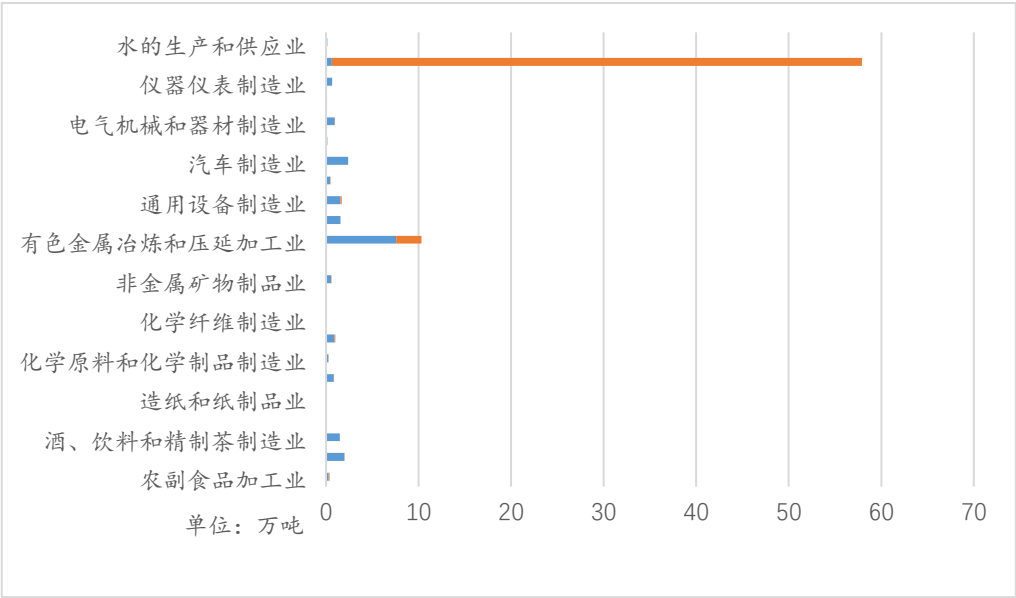


图 3.6 郑州高新区不同部门 CO_2 排放示意图

郑州高新区 CO_2 排放主要来源于电力、热力生产和供应业，如图 3.6 所示，

图中橙色条表示由能源活动引发的直接 CO_2 排放，蓝色条表示由电力调入和调出引发的间接 CO_2 排放。郑州高新区有一家能源产出企业：国家电投集团郑州燃气发电有限公司，消耗了大量的天然气，造成的大量的 CO_2 排放。园区 CO_2 排放量贡献较高的行业还有有色金属冶炼和压延加工业、汽车制造业和食品制造业，这三个行业企业排放的 CO_2 均主要来源于电力引起的间接排放。

3.2.4 新乡经开区

（1）能源流向

新乡经济技术开发区园区内建有一座电厂，发电量为 12651 万千瓦时，发电消耗煤制品 243008 吨。供热消耗煤制品 228779 吨，天然气 316.5 万立方米，。园区供热量为 522624 万吉焦。

（2）CO_2 排放（能源）

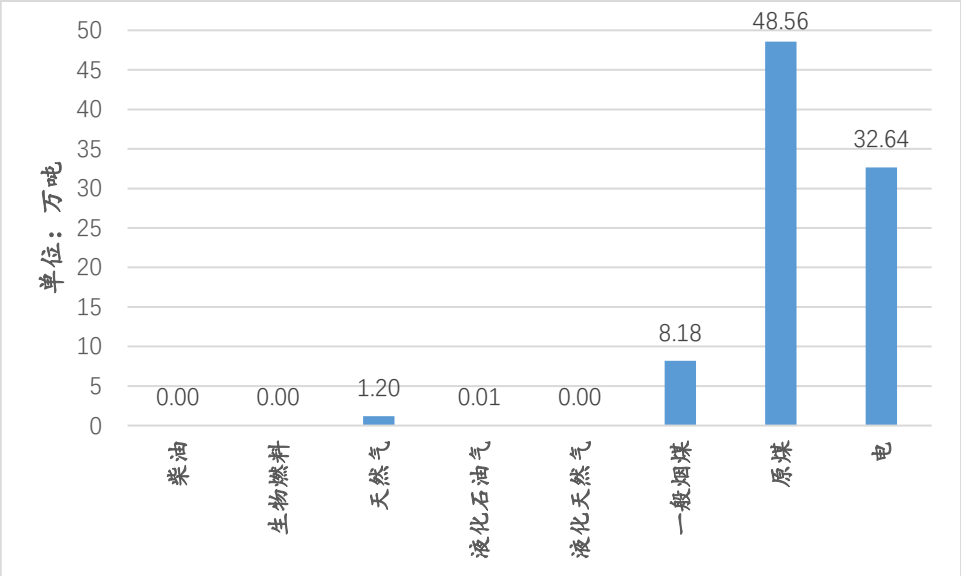


图 3.7 新乡经济技术开发区 CO_2 排放量示意图

新乡技术开发区 CO_2 排放总量为 905964 吨，其中，煤炭消耗产生的 CO_2 排放量最多，为 567406 吨，占总排放量的 63%；电力调入调出产生的 CO_2 排放量为 326442 吨，占比 36%；而由其他能源活动产生的直接排放则相对很少，如图 3.7 所示。这是因为园区内存在以新乡化纤股份有限公司、新乡市护神特种织物有限公司和新乡立白实业有限公司为代表的数家用煤炭量非常大的企业，仅新乡化纤股份有限公司一家企业用煤炭量就达到了 255560 吨，占园区用煤炭总量的

45%。由此产生的大量煤炭消耗导致了 CO_2 的大量排放。

（3）CO_2 排放（行业）

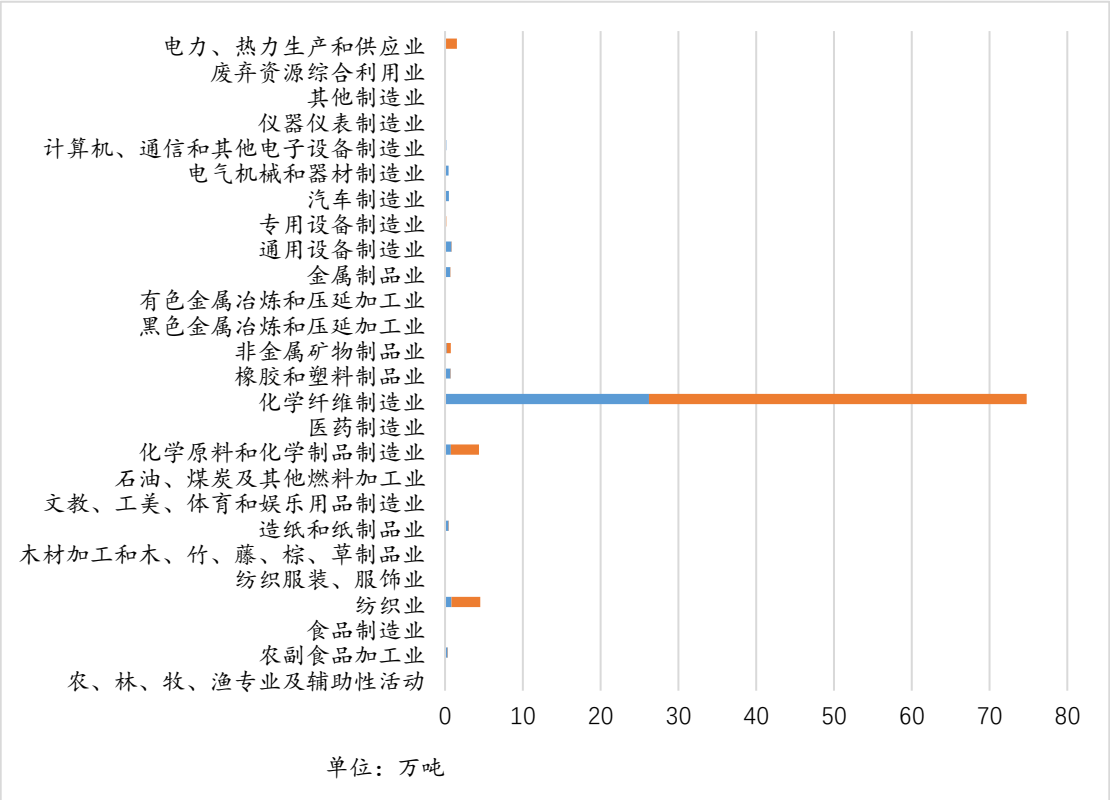


图 3.8 新乡经济技术开发区不同部门 CO_2 排放示意图

新乡经济技术开发区 CO_2 排放主要来源于化学纤维制造业，如图 3.8 所示，图中橙色条表示由能源活动引发的直接 CO_2 排放，蓝色条表示由电力调入和调出引发的间接 CO_2 排放。园区 CO_2 排放量贡献最高的行业为化学纤维制造业，占园区 CO_2 排放总量的 82.5%，主要原因是新乡化纤股份有限公司设有自备电厂，消耗了大量的煤炭。且该公司规模较大，运转生产人造纤维需要大量的电力。

3.2.5 新乡高新区

（1）能源流向

新乡高新技术开发区园区内未建有电厂，所用电力基本上来自外部电网购入，没有电力能源消耗。供热消耗天然气 668.6 万立方米。园区内供热量和发电量都为零。

（2）CO_2 排放（能源）

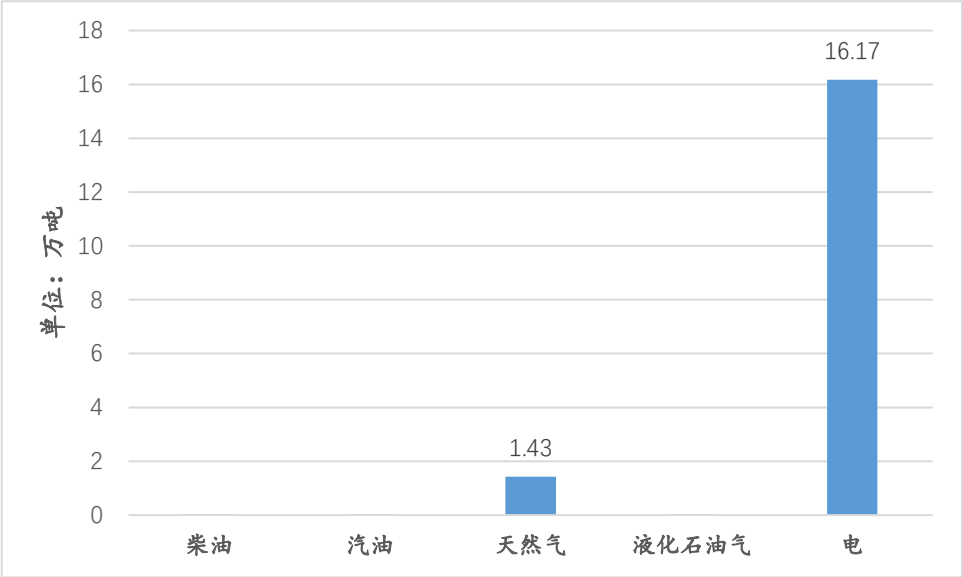


图 3.9 新乡高新技术开发区 CO_2 排放量示意图

新乡高新技术开发区 CO_2 排放总量为 176017 吨，其中，电力调入调出产生的 CO_2 排放量为 161735 吨，占比 92%；而由能源活动产生的直接排放则相对很少如图 3.9 所示。这是因为园区内存在以新乡娃哈哈昌盛饮料有限公司、河南现代包装材料有限公司和华兰生物疫苗有限公司为代表的数家用电量非常大的企业，仅新乡娃哈哈昌盛饮料有限公司一家企业用电量就达到了 4×10^7 千瓦时，占所有企业用电量的 15%。而园区内不存在发电企业，远远不能满足园区企业的用电和用热需求，由此产生的大量电力调入导致了 CO_2 的大量排放。

在由能源活动产生的直接排放中，华兰生物工程股份有限公司供热消耗了 396 万立方米天然气，产生 CO_2 0.8 万吨，是天然气的主要使用企业。

（3）CO_2 排放（行业）

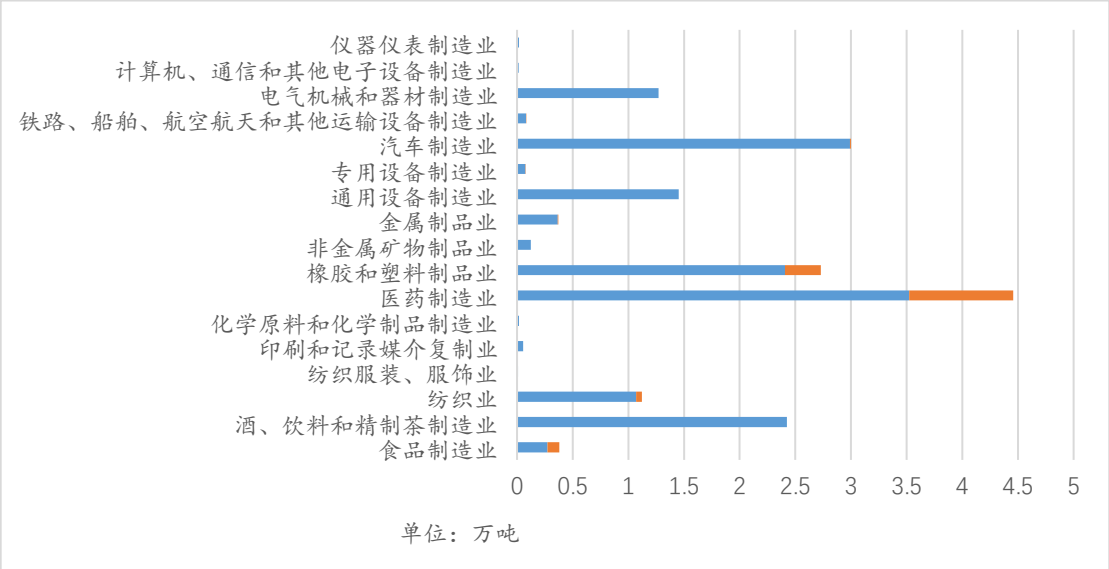


图 3.10 新乡高新技术开发区不同部门 CO_2 排放示意图

新乡高新技术开发区 CO_2 排放主要来源于各个行业的电力调入，如图 3.10 所示，图中橙色条表示由能源活动引发的直接 CO_2 排放，蓝色条表示由电力调入和调出引发的间接 CO_2 排放。园区 CO_2 排放量贡献最高的行业为医药制造业，其次为汽车制造业和橡胶和塑料制品业，这三个行业企业排放的 CO_2 均主要来源于电力引起的间接排放。而能源活动所引起的排放中，医药制造业和橡胶和塑料制品业产生的 CO_2 排放最多，电力引起的间接排放也是这两个行业 CO_2 排放的主要来源。

3.2.6 濮阳经开区

（1）能源流向

濮阳经济技术开发区有一家能源转换企业，园区发电消耗的一般烟煤量为 659663 吨，供热消耗的一般烟煤量为 544670 吨。园区的总发电量为 179223.4 万千瓦时，供热量为 901.6 万吉焦。

（2）CO_2 排放（能源）

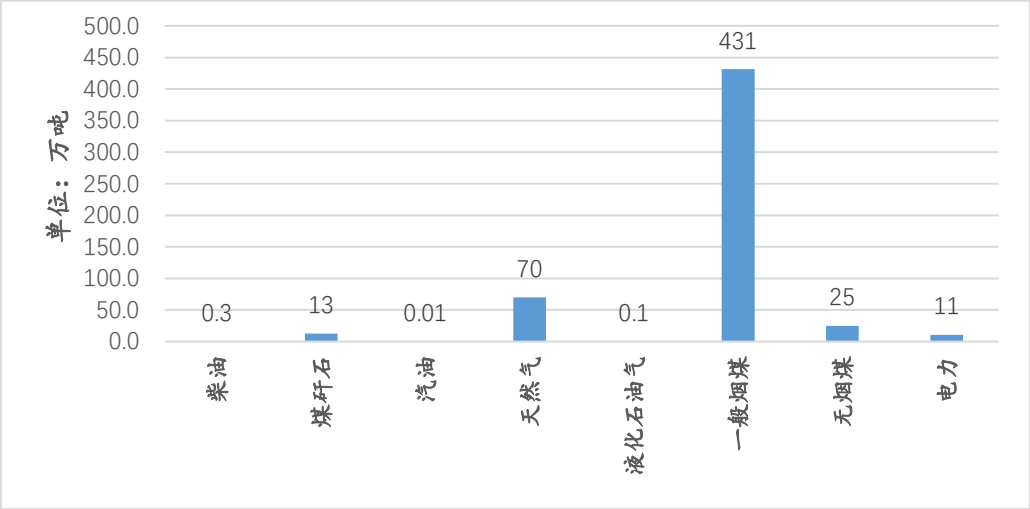


图 3.11 濮阳经济技术开发区 CO_2 排放量示意图

濮阳经济技术开发区 CO_2 排放总量为 6638333 吨，其中，煤炭消耗产生的 CO_2 排放量最多，为 4613444 吨，占 CO_2 排放总量的 69%；电力调入调出产生的 CO_2 排放量为 1192781 吨，占比 18%；而由其他能源活动产生的直接排放则相对很少，如图 3.11 所示。这是因为园区内存在以河南省中原大化集团有限责任公司、国电濮阳热电有限公司和濮阳龙宇化工有限责任公司为代表的数家用煤炭量非常大的企业，仅以上三家企业年用煤炭总量就达到了 1944751 吨，因此产生了大量的煤炭消耗，进而导致了 CO_2 的大量排放。

（3）CO_2 排放（行业）

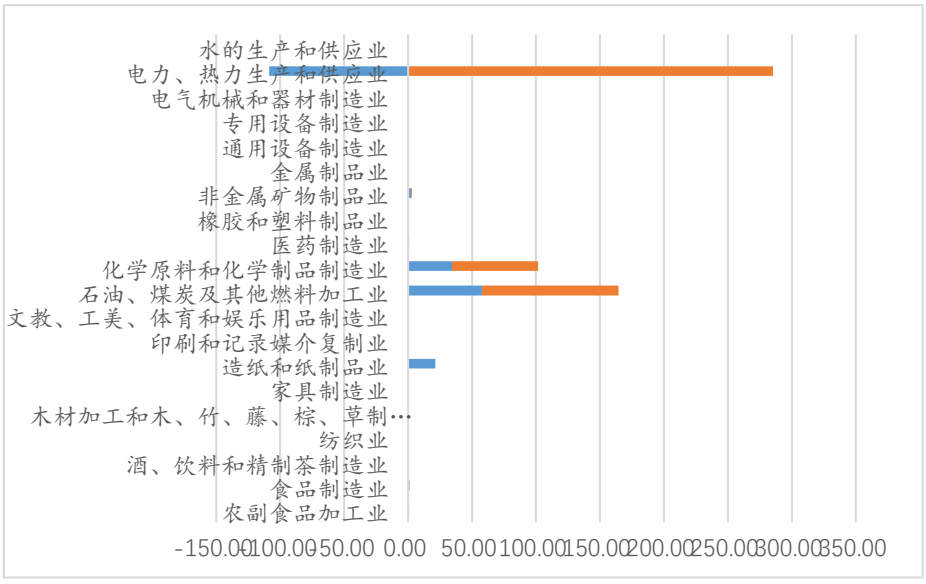


图 3.12 濮阳经济技术开发区不同部门 CO_2 排放示意图

濮阳经济开发区 CO_2 排放主要来源于电力、热力生产和供应业，如图 3.12 所示，图中橙色条表示由能源活动引发的直接 CO_2 排放，蓝色条表示由电力调入和调出引发的间接 CO_2 排放。濮阳经济技术开发区有一家能源产出企业：国电濮阳热电有限公司（热电联产），该企业消耗了大量的煤炭，产生了大量的 CO_2 排放。园区 CO_2 排放量贡献较高的行业还有石油、煤炭及其他燃料加工业和化学原料和化学制品制造业。这两个行业企业由电力引起的间接 CO_2 排放比例较大。

3.2.7 鹤壁经开区

（1）能源流向

鹤壁经济技术开发区有 13 家能源转换企业，其中只有一家热电厂：鹤壁煤电股份有限公司热电厂。鹤壁经开区发电消耗的原煤 658308 吨，供热消耗原煤 140552 吨、天然气 525 万立方米。园区的总发电量为 119129 万千瓦时，供热量为 291 万吉焦。

（2）CO_2 排放（能源）

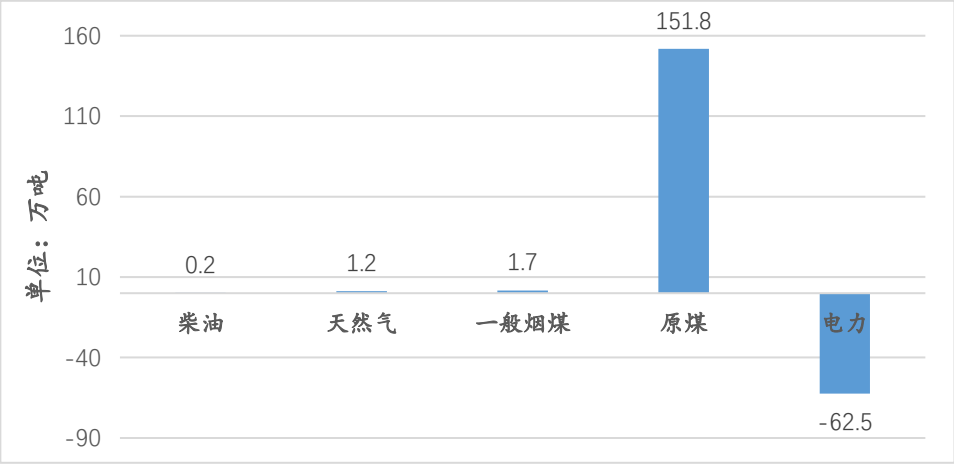


图 3.13 鹤壁经济技术开发区 CO_2 排放量示意图

鹤壁经济技术开发区 CO_2 排放总量为 1646313 吨，其中，煤炭消耗产生的 CO_2 排放量最多，为 1535105 吨，占 CO_2 排放总量的 93%；电力调入调出产生的 CO_2 排放量为 97217 吨，占比 6%；其他类型能源活动产生的排放则相对较少，如图 3.13 所示。这是因为园区内存在鹤壁煤电股份有限公司热电厂，该企业年煤炭消耗量为 798969 吨，进而导致了 CO_2 的大量排放。

（3）CO_2 排放（行业）

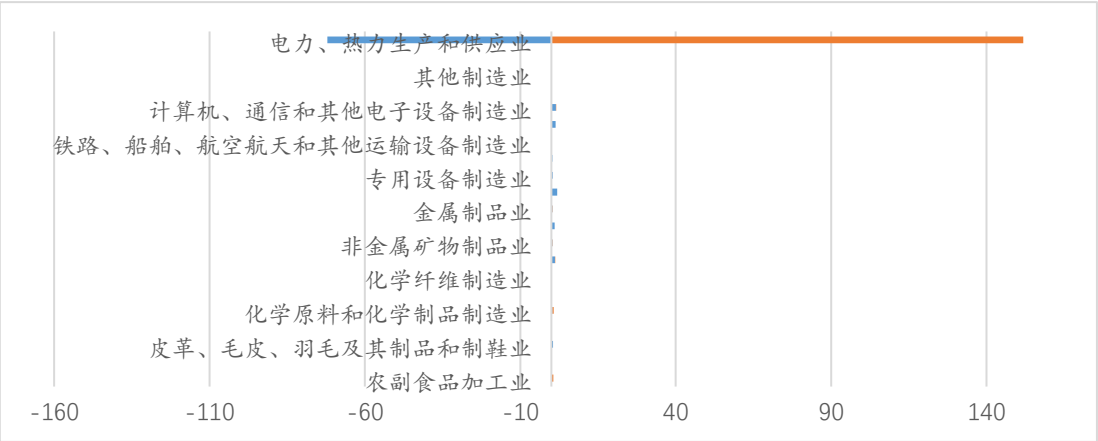


图 3.14 鹤壁经济技术开发区不同部门 CO_2 排放示意图

鹤壁经济开发区 CO_2 排放主要来源于电力、热力生产和供应业，如图 3.14 所示，图中橙色条表示由能源活动引发的直接 CO_2 排放，蓝色条表示由电力调入和调出引发的间接 CO_2 排放。鹤壁经济技术开发区有一家电力产出企业：鹤壁煤电股份有限公司热电厂（热电联产），该企业消耗了大量的煤炭，产生了大量的 CO_2 排放。

3.2.8 安阳高新区

（1）能源流向

安阳高新技术开发区有一家能源转换企业。园区无发电厂，供热消耗煤制品 30323 吨、一般烟煤 40596 吨、天然气 106 万立方米。园区总供热量为 4 吉焦。

（2）CO_2 排放（能源）

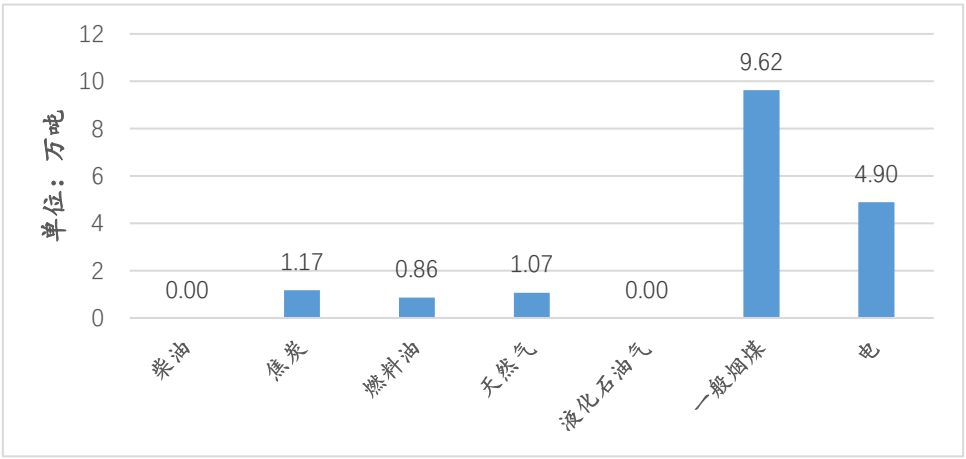


图 3.15 安阳高新技术开发区 CO_2 排放量示意图

安阳高新技术开发区 CO_2 排放总量为 176169 吨，其中，由使用一般烟煤产生的 CO_2 排放量为 96213 吨，占 CO_2 排放总量的 55%；其次是电力调入调出产生的 CO_2 排放量为 48970 吨，占比 28%；中石化南阳能源化工有限公司消耗了大量的一般烟煤，是 CO_2 的主要排放源，而由其他能源活动产生的直接排放则相对很少，如图 3.15 所示。因电力引起的 CO_2 排放量高的原因是园区内存在以安阳龙宇投资管理有限公司、安阳桦炜齿轮有限责任公司和安阳路德药业有限责任公司为代表的数家用电量非常大的企业，仅安阳龙宇投资管理有限公司一家企业用电量就达到了 6.125×10^6 千瓦时，由此产生的大量电力调入导致了 CO_2 的大量排放。

在由能源活动产生的直接排放中，焦炭的 CO_2 排放量占总排放量的 7%，这是因为安阳高新区内存在安阳市永昌废料利用有限公司等数家以焦炭为原料的公司工厂。

（3）CO_2 排放（行业）

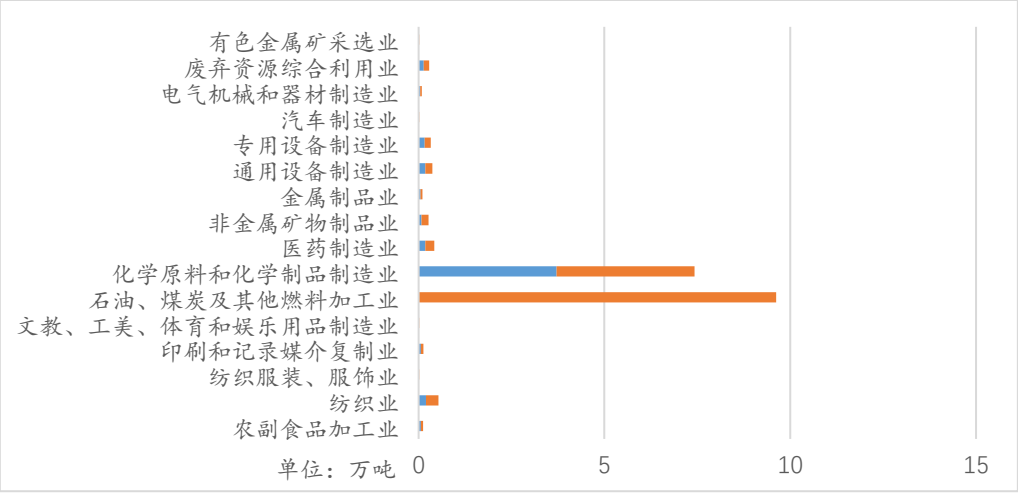


图 3.16 安阳高新技术开发区不同部门 CO_2 排放示意图

安阳高新技术开发区 CO_2 排放主要来源于石油、煤炭及其他燃料加工业，如图 3.16 所示，图中橙色条表示由能源活动引发的直接 CO_2 排放，蓝色条表示由电力调入和调出引发的间接 CO_2 排放。安阳高新技术开发区无电力产出企业。园区 CO_2 排放量贡献最高的行业为石油、煤炭及其他燃料加工业和化学原料和化学制品制造业（安阳龙宇投资管理有限公司），能源活动也是行业 CO_2 排放的主要来源。由电力调入和调出引发的间接 CO_2 排放主要在化学原料和化学制品制造业。

3.2.9 红旗渠经开区

（1）能源流向

红旗渠经济技术开发区有 5 家能源转换企业。园区发电消耗原煤 981105 吨、天然气 55705 万立方米，供热消耗原煤 113812 吨、天然气 73 万立方米。园区的总发电量为 254745 万千瓦时，供热量为 176 万吉焦。

（2）CO_2 排放（能源）

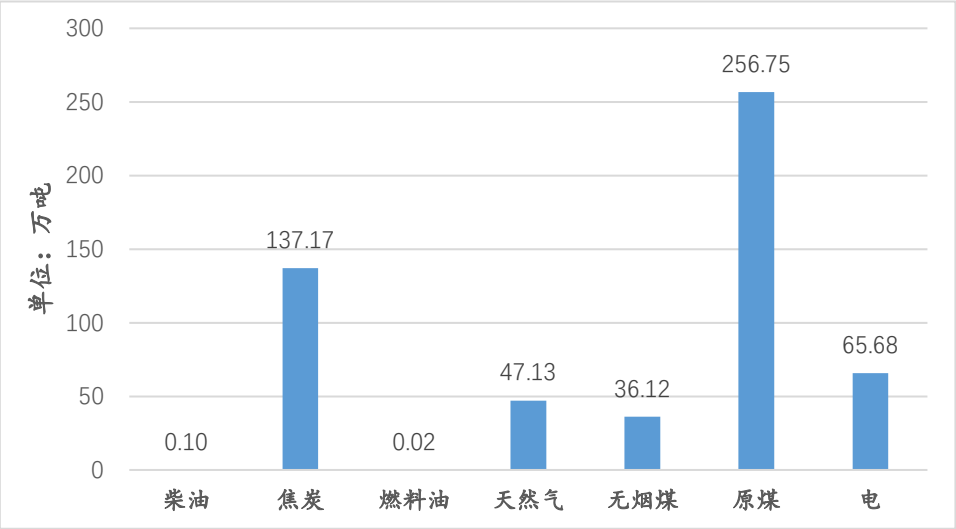


图 3.17 红旗渠经济技术开发区 CO_2 排放量示意图

红旗渠经济技术开发区 CO_2 排放总量为 5429684 吨，其中，因为煤炭消耗产生的 CO_2 排放量为 2928730 吨，占 CO_2 排放总量的 53%，是主要的 CO_2 排放源；其次是因为焦炭消耗产生的 CO_2 排放量，占 CO_2 排放总量的 25%；电力调入调出产生的 CO_2 排放量为 656809 吨，占比 12%；而由其他能源活动产生的直接排放则相对较低，如图 3.17 所示。其中，焦炭消耗产生的 CO_2 排放量占比高达 25%，这在其他园区内并不常见。这是因为园区的河南凤宝特钢有限公司和林州市重机林钢钢铁有限公司消耗了大量的焦炭，高达 479600 吨，因而导致了 CO_2 的大量排放。

（3）CO_2 排放（行业）

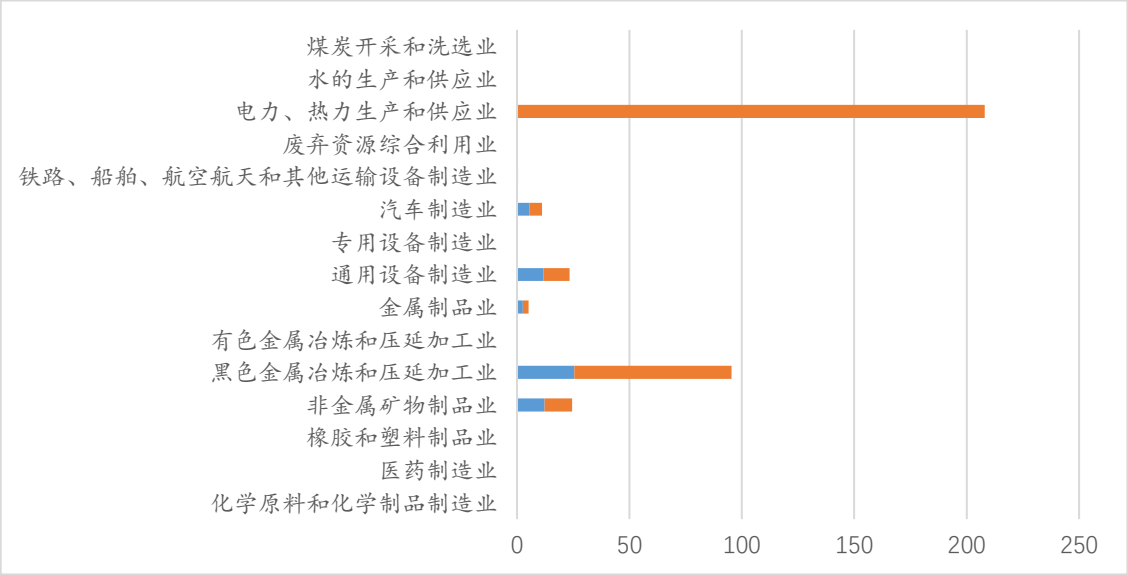


图 3.18 红旗渠经济技术开发区不同部门 CO_2 排放示意图

红旗渠经济开发区 CO_2 排放主要来源于电力、热力生产和供应业，如图 3.18 所示，图中橙色条表示由能源活动引发的直接 CO_2 排放，蓝色条表示由电力调入和调出引发的间接 CO_2 排放。红旗渠经济技术开发区有 5 家电力产出企业：河南凤宝特钢有限公司、林州新达焦化有限公司、林州市重机林钢钢铁有限公司、大唐林州热电有限责任公司和林州市合鑫铸业有限公司，以上企业消耗了大量煤炭，造成了大量的 CO_2 排放。园区 CO_2 排放量贡献较高的行业还有黑色金属冶炼和压延加工业、非金属矿物制品业和通用设备制造业。这三个行业企业排放的 CO_2 主要来源于由能源活动引发的直接 CO_2 排放，部分来源于电力引起的间接排放。

3.2.10 焦作高新区

（1）能源流向

焦作高新区有一家能源转换企业。园区发电消耗的无烟煤为 5485 吨，供热消耗的一般烟煤量为 60000 吨。园区的总发电量为 12966 万千瓦时，供热量为 109.8 万吉焦。

（2）CO_2 排放（能源）

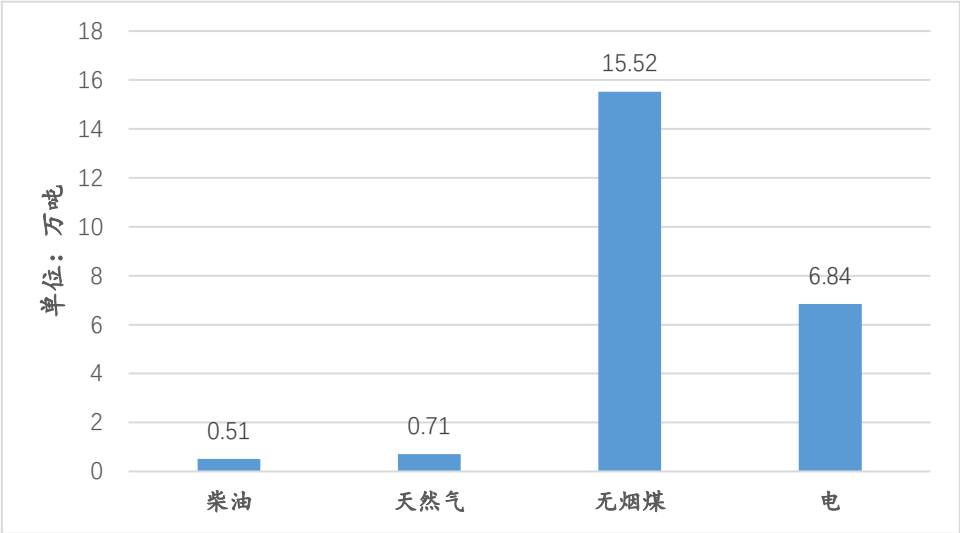


图 3.19 焦作高新区 CO_2 排放量示意图

焦作高新区 CO_2 排放总量为 235810 吨，其中，煤炭消耗产生的 CO_2 排放量最多，为 155199 吨，占 CO_2 排放总量的 66%；电力调入调出产生的 CO_2 排放量为 1192781 吨，占比 30%；而由其他能源活动产生的直接排放则相对很少，如图 3.19 所示。这是因为园区内存在焦作市高新热力有限责任公司，消耗了大量的煤炭，进而导致了 CO_2 的大量排放。

（3）CO_2 排放（行业）

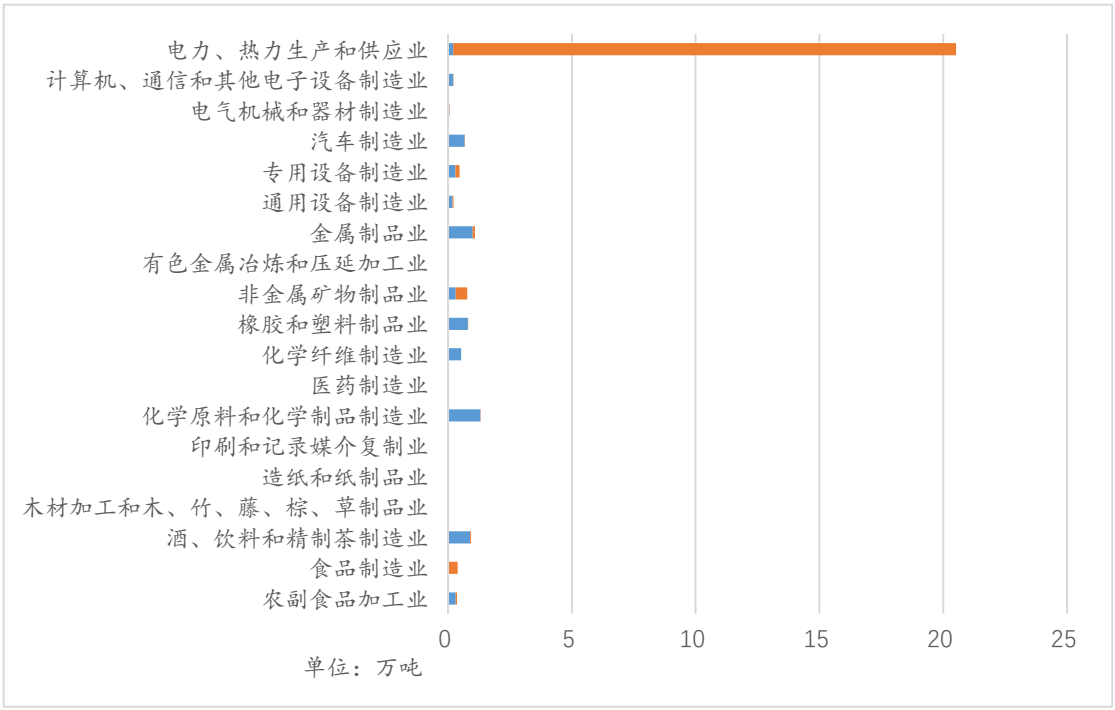


图 3.20 焦作高新区不同部门 CO_2 排放示意图

焦作高新区 CO_2 排放主要来源于电力、热力生产和供应业，如图 3.20 所示，图中橙色条表示由能源活动引发的直接 CO_2 排放，蓝色条表示由电力调入和调出引发的间接 CO_2 排放。焦作高新区有一家能源产出企业：焦作市高新热力有限责任公司（热电联产），该公司消耗了大量的煤炭，造成了大量的 CO_2 排放。园区其他行业企业排放的 CO_2 主要来源于电力引起的间接排放。

3.2.11 开封经开区

（1）能源流向

开封经济技术开发区内未建有电厂，所用电力基本上来自外部电网购入，没有电力能源消耗。供热消耗煤制品 65793 吨，天然气 577 万立方米，液化天然气 443 吨，生物燃料 61 吨。园区供热量为 4730 万吉焦。

（2）CO_2 排放（能源）

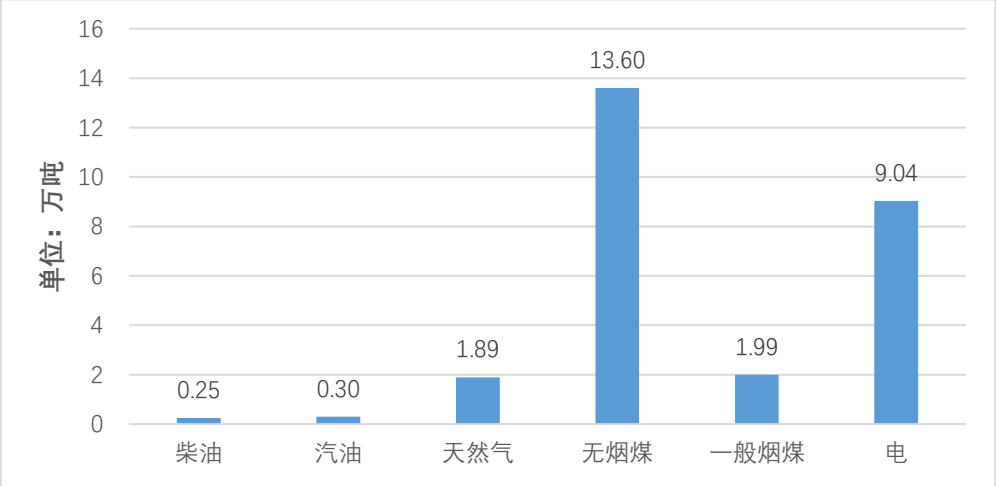


图 3.21 开封经济技术开发区 CO_2 排放量示意图

开封技术开发区 CO_2 排放总量为 270703 吨，其中，煤炭消耗产生的 CO_2 排放量最多，为 155929 吨，占 CO_2 排放总量的 58%；电力调入调出产生的 CO_2 排放量为 90360 吨，占比 33%；其他类型能源活动产生的排放则相对较少，如图 3.21 所示。这是因为园区内的阳光油脂集团开封植物蛋白有限公司等数家公司消耗了大量的煤炭，因此产生了 CO_2 的大量排放。与此同时，园区内存在以北京汇源集团开封有限公司、开封市金盛热力有限公司和开封空分集团有限公司为代表

的数家用电量非常大的企业，仅北京汇源集团开封有限公司一家企业用电量就达到了 1.24×10^7 千瓦时，由此产生的大量电力调入导致了 CO_2 的排放。

（3）CO_2 排放（行业）

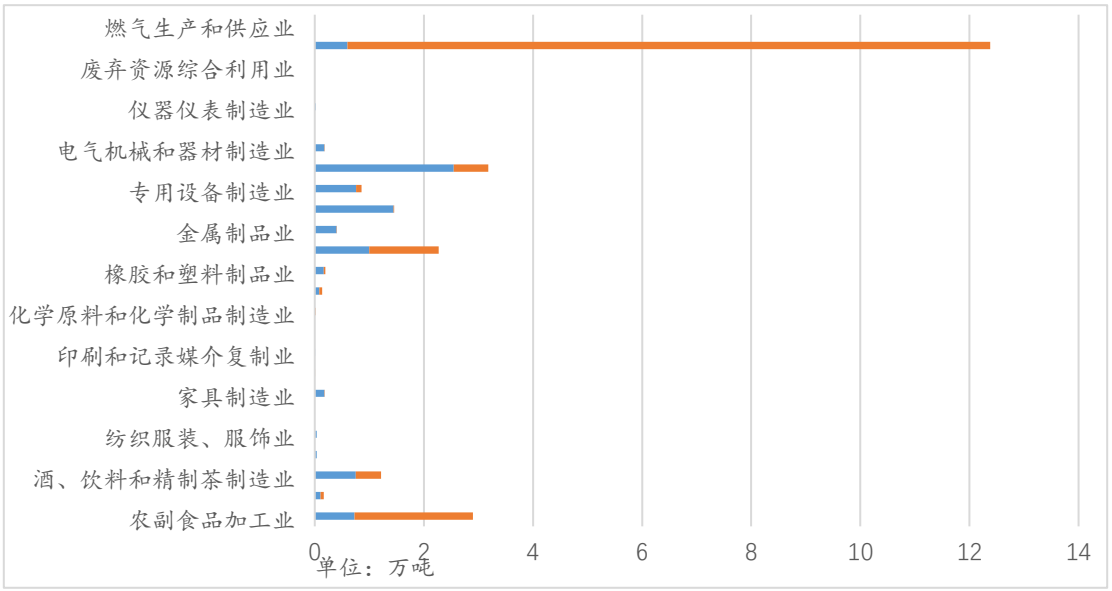


图 3.22 开封经济技术开发区不同部门 CO_2 排放示意图

开封经济技术开发区 CO_2 排放主要来源于电力、热力生产和供应业，占该园区 CO_2 排放总量的 43%，如图 3.22 所示，图中橙色条表示由能源活动引发的直接 CO_2 排放，蓝色条表示由电力调入和调出引发的间接 CO_2 排放。园区 CO_2 排放量贡献较高的行业还有汽车制造业，农副食品加工业和非金属矿物制品业，这三个行业企业排放的 CO_2 部分来源于电力引起的间接排放。

3.2.12 国家级园区温室气体排放特征分析

十一家国家级工业园区由能源造成的温室气体排放量共 1940 万吨，其中排放量最大的工业园区为濮阳经开区和红旗渠经开区，这两家园区排放量占 11 个国家级园区排放总量的 63%。各个工业园区温室气体排放量如表 3.2 所示。

表 3.2 十一家国家级园区温室气体排放量

园区名称	GHG 排放量（万吨 CO_2）
濮阳经开区	663.8
红旗渠经开区	542.9
郑州高新区	280.6
鹤壁经开区	164.6

园区名称	GHG 排放量（万吨 CO_2）
郑州经开区	98.1
新乡经开区	90.6
开封经开区	27.1
焦作高新区	23.6
安阳高新区	17.6
新乡高新区	17.6
郑州航空港区	13.5
总计	1940

按能源消耗种类来看，十一家国家级园区能源燃烧所排放的温室气体中，煤炭燃烧产生的温室气体是 1207.9 万 t CO_2，占排放总量的 62.4%；电力燃烧造成的温室气体排放量为 365.7 万 t CO_2，占十一家园区温室气体排放总量的 18.9%；天然气燃烧产生 206.4 万 t CO_2，占排放总量的 10.7%。具体如图 3.23 所示。

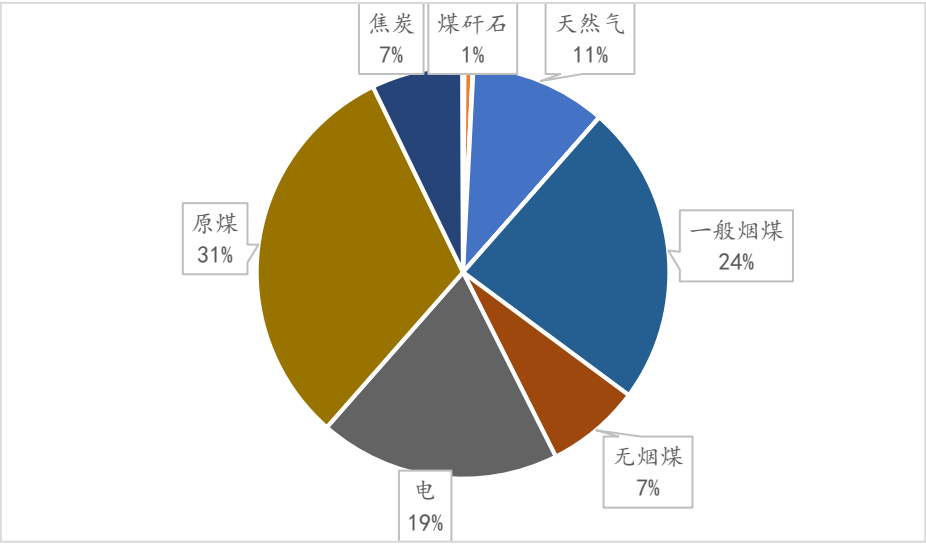


图 3.23 十一家国家级园区能源消耗温室气体排放情况

按行业分布特征来看，半数以上的温室气体排放来自于电力、热力生产和供应业和黑色金属冶炼和压延业两个行业，其排放量分别达到了园区排放总量的 29.1%和 21.9%，如图 3.24 所示。其次是石油、煤炭及其他燃料加工业与化学原料和化学制品制造业，排放量占比分别为 12.7%和 12.2%。河南省传输通道城市工业园区温室气体排放主要集中在电力、钢铁、石油加工、化工等高耗能行业，这四个行业的排放量占总排放量的 76%。

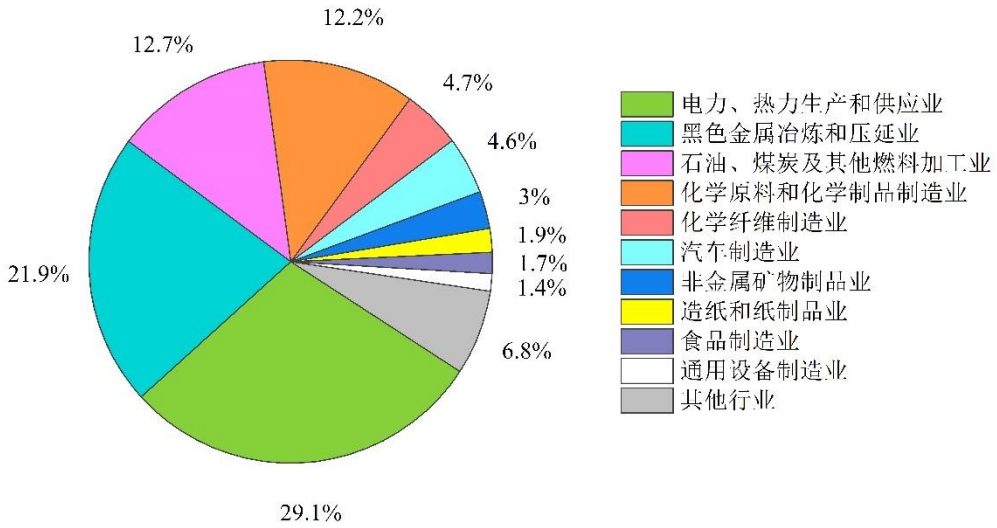


图 3.24 十一家国家级园区各行业部门温室气体排放情况

根据十一家国家级工业园区的经济、能耗及温室气体排放等特征，本研究采用聚类分析方法将上述园区分为“3H”工业园区（碳排放强度高、高耗能行业产值占比高、煤炭在能源消费中的占比高）、“3L”工业园区（碳排放强度低、高耗能行业产值占比低、煤炭在能源消费中的比例低）和“Mixed”工业园区（介于“3H”和“3L”之间）三类。具体特征如下所述。

“3H”工业园区包括濮阳经开区和红旗渠经开区，这两家园区都是传统的重工业园区，以高耗能的石油煤炭加工、化工制品制造、黑色金属和有色金属的冶炼压延为主导产业，其煤炭消费占比高，温室气体排放占所有园区总排放的 62%，碳排放强度也远高于其他工业园区。

“3L”工业园区包括新乡高新区、郑州经开区和郑州航空港区，这些园区以新兴的计算机电子设备制造、汽车制造业等技术主导型行业为主导产业，煤炭消费占比和高耗能行业企业占比非常小甚至为零，碳排放强度也远低于其他园区。

“Mixed”工业园区包括其他六家工业园区，它们多为同时具有传统制造业和新兴产业的混合型工业园区。其碳排放强度、高耗能产业产值占比和煤炭消费占比介于上述两类园区之间。

3.3 典型省级园区温室气体排放清单核算结果

3.3.1 黄龙产业集聚区温室气体排放清单

开封黄龙产业集聚区温室气体排放总量为493万吨二氧化碳，贡献最大的企业为河南晋开化工投资控股集团有限责任公司，排放480万吨二氧化碳，占产业集聚区排放量的 97.42%。其次是开封市祥符区安平新型建筑材料有限公司，排放5.4万吨二氧化碳，占整个产业集聚区排放总量的1.2%。如表3.3所示。开封黄龙产业集聚区温室气体排放量大，与其能源消耗类型（无烟煤）紧密相关。

表3.3 开封黄龙产业集聚区温室气体排放清单

能源名称	CO_2 排放量（吨）	占比
柴油	2350	0.048%
煤矸石（用于燃料）	95565	1.94%
其他燃料	4111	0.083%
天然气	5198	0.106%
无烟煤	4813922	97.72%
液化天然气	5055	0.103%
总计	4926201	100%

3.3.2 安阳钢铁集团温室气体排放清单

安阳钢铁集团有限责任公司的碳排放清单如表3.4所示：温室气体排放总量为1132万吨 CO_2。其中原煤和洗精煤（用于炼焦）的燃烧造成的温室气体排放量分别达到256万吨 CO_2 和840万吨 CO_2，尤其是洗精煤的燃烧，排放占比到达了 74.15%，是安阳钢铁集团最大的温室气体贡献者。焦炭和柴油的燃烧产生温室气体排放占比分别为3.11%和0.15%，而汽油的仅为0.002%。温室气体排放清单与能源结构和生产结构具有一定的关系，因此对能源结构和生产结构进行合理优化，是减少温室气体排放的有效途径。

表 3.4 安阳钢铁集团有限责任公司碳排放清单

能源消耗类型	温室气体排放量 （万吨 CO_2）	占比
原煤	256	22.59%
洗精煤（用于炼焦）	840	74.15%
焦炭	35	3.11%
汽油	0.017	0.002%
柴油	1.72	0.15%
总计	1132	100%

四、河南省传输通道工业园区大气污染物排放清单核算

4.1 园区大气污染物排放清单核算方法

4.1.1 估算方法

本研究主要采取自上而下的排放因子法对河南省国家级园区进行排放清单的估算。其中，电厂和工业燃烧源 SO_2 排放量计算采用质量平衡法，燃烧源其他污染物及工艺过程源污染物的排放量的计算采用基于活动水平的排放因子法，具体公式如下：

1、电厂和工业燃烧源 SO_2 排放量的估算采用物料平衡法：

$$E = \sum_{i,k} A_{i,k} \times S_{i,k} \times C_k \times (1 - \eta_i) \quad (1)$$

式中，E 为 SO_2 排放量（t）；i 为燃料类型；C 为基于燃料的系数，燃煤时 C=16，燃油时 C=20，燃天然气时 C=0.02；A 为燃料年消耗量（t）；S 为燃料的含硫份；η 为 SO_2 的脱硫效率。

2、燃烧源其他污染物及工艺过程源污染物排放量的估算采用排放因子法：

$$E_i = \sum_{k,m} A_k \times \mathrm{EF}_{i,k,m} \times (1 - \eta) \times 10^{-3} \quad (2)$$

式中，E_i 为污染物排放总量（t）；i 为污染物种类；k，m 分别为燃料或产品类型、技术类型；A_k 为活动水平数据（燃料消耗量或产品产量，t）；$EF_{i,k,m}$ 为排放因子（kg/t）；η 为控制措施去除效率。

4.1.2 排放因子

排放因子是估算污染物排放清单的关键，本研究主要参考了国内外学者的相关文献及环保部发布的《大气可吸入颗粒物一次源排放清单编制技术指南（试行）》（PM_{10}）、《大气细颗粒物一次源排放清单编制技术指南（试行）》（$PM_{2.5}$）及《大气挥发性有机物源排放清单编制技术指南（试行）》等相关资料，鉴于国内部分大气污染物排放因子不完善，本研究的少部分排放因子借鉴环保部发布的《工业源产排污系数手册（2019 年修订）》和美国环保署 AP-42 排放因子数据库。以下是综合以上文献资料对本研究选取的排放因子总结。

表 4.1 固定燃烧源排放因子（g/kg-燃料）

部门	次级部门	SO_2	NO_x	CO	PM_{10}	$PM_{2.5}$	VOCs	NH_3
电厂	煤粉炉	16S	A	2	46	12	0.15	0.02[h]
	流化床	16S	1.5[c]	2.1[c]	1.54B[c]	0.45B[c]	0.15	0.02[h]
	垃圾/生物质	2.67[a]	1.54[a]	3.6[e]	10.28[a,e]	5.88[a,e]	5.3[f]	0.04[b]
	天燃气	0.02S	9.82[a]	1.3	0.24	0.17	0.12[c]	0.05[h]
工业燃烧	层燃炉	16S	4	15	5.4	1.89	0.18	0.02[h]
	煤粉炉	16S	4.72[a]	2[c]	3.51B[a]	0.22B[a]	0.18	0.02[h]
	流化床	16S	7.5	2	28.08	5.04	0.18	0.02[h]
	焦炭	16S	4.8[c]	6.6[c]	0.2888[c]	0.144[c]	0.04[c]	0.02[h]
	天然气	0.02S	2.09[d]	1.3	0.24	0.17	0.18	0.05[h]
	柴油	20S	9.62	0.6	0.5	0.5	0.15	0.13[h]

注：天然气单位为 g/m^3；A 的取值与机组装机容量有关，装机容量<100MW 无 LNB 时取 10.5，100<=装机容量<300 无 LNB 时取 8.85，100<=装机容量<300 有 LNB 时取 5.85，装机容量>=300 有 LNB 时取 5.55；B 表示含灰分;a 数据来自于中国环境监测总站[1]；b 数据来自来源于 Pham 等[2]；c 数据来源于何敏等[3]；d 数据来源于黄成等[4]；e 数据来源于 U.S.EPA[5]；f 数据来源于环保部[6]；h 数据来源于尹沙沙[7]；未标注因子来源于 Zheng 等[8]。

表 4.2 工艺过程排放因子（g/kg-产品或原料）

工艺过程	分类	SO_2	NO_x	CO	PM_{10}	$PM_{2.5}$	VOCs	NH_3
非金属矿物制品业	水泥（粉磨）				8	2		
	水泥（新型干法）	4.8[c]	13.1[c]	40.2	8.05[e]	3.40[e]	0.18[d]	
	砖瓦	0.6	0.05	4.04	0.13	0.04[a]	0.13[a]	
	耐火材料				2.27[b]	1.63[b]		
	陶瓷	2.25	5		2.42	0.67	29.22	
	玻璃				3.07[f]	2.94[f]		
	碳素				1.6[f]	1.44[f]		
有色金属	电解铝				6.97[f]	5.2[f]		
	铝冶炼							

工艺过程	分类	SO_2	NO_x	CO	PM_{10}	$PM_{2.5}$	VOCs	NH_3
	联合法				56.4[f]	42.3[f]		
	拜耳法				12.4[f]	9.18[f]		
化工业	化肥				2.12 [f]	1.86[f]		2[n]
	纺织印染						81.4[f]	
	合成橡胶						7.17[f]	
	聚丙烯						3	
	粘胶纤维						14.5[f]	
	油漆						15[f]	
	合成氨	3[g]	0.9[g]	142[n]			4.72[f]	2.1[m]
黑色金属	电炉炼钢				8.12[f]	6.02[f]		
	转炉炼钢				14.68[f]	10.5[f]		
	热轧炼钢						0.3[f]	
造纸业							2.6[f]	
油墨印刷							750[f]	
纺织印染							81.4f	

注：a 数据来源于 USEPA[9]，b 数据来源于赵盟[10]，c 数据来源于 Lei 等[11]，d 数据来源于 Bo 等[12]， e 数据来源于雷宇[13]， f 数据来源于环保部[14]，g 数据来源于赵斌和马建中[15]，m 数据来源于尹沙沙[7]，n 数据来源于 Zhao[16]，未做标注的数据来源于贺克斌等[17]。

4.2 国家级园区大气污染物排放清单核算结果

4.2.1 濮阳经开区

濮阳经济技术开发区 2017 年工业源大气污染物排放清单及各部门贡献率如表 4.3 所示，SO_2、NO_x、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 年排放量分别为 8445.8、7667.7、4430、1794.5、766.8、478.8、995.9 吨。由表可知，电厂是 SO_2 和 CO 的主要排放源，贡献率达到 64%和 54%；工业锅炉对 NO_x 的贡献最大，分别达到 51%。工艺过程对 $PM_{2.5}$ 和 NH_3 的贡献最大，分别达到 66%和 96%。工艺过程所排放的 PM_{10}、$PM_{2.5}$ 比电厂和工业锅炉的多，其原因是濮阳经济开发区王助镇建

安预制厂、濮阳经济开发区新习镇二跃搅拌站、濮阳经济开发区新习镇德世预制构件厂等企业在生产过程中没有采取任何控制措施；工艺过程所排放的 NH_3 最大，其原因是其排放因子高（工艺过程排放因子是 2g/m^3 产品，电厂和锅炉排放因子均小于 0.2g/m^3 产品）。

表 4.3 濮阳经济技术开发区 2017 年工业源清单及部门贡献

部门		SO_2	NO_x	CO	PM_{10}	$PM_{2.5}$	VOCs	NH_3
电 厂	排放量/t	5395.4	3730.4	2408.7	554.0	144.5	180.6	24.1
	贡献率/%	64	49	54	31	19	38	2
工 业 锅 炉	排放量/t	2978.1	3931.3	1534.3	568.1	116.1	137.2	15.8
	贡献率/%	35	51	35	32	15	29	2
工 艺 过 程	排放量/t	72.3	6.0	487.0	672.4	506.2	161.0	956.0
	贡献率/%	1	0	11	37	66	34	96
总计	排放量/t	8445.8	7667.7	4430	1794.5	766.8	478.8	995.9

（一）电厂

濮阳经济技术开发区有 1 家电厂，两个燃煤锅炉，其装机容量、燃料类型、锅炉类型以及污染物控制措施等如表 4.4 所示。濮阳经济技术开发区总装机容量为 420MW，电厂均安装了污染物控制措施。对于 PM_{10}、$PM_{2.5}$、二氧化硫和氮氧化物采取的污染控制措施依次为“高效静电除尘+其他（湿法脱硫协同）+其他（湿式电除尘）”、石灰石/石膏法和选择性催化还原法（SCR），去除效率依次为 99.37%、99%、80%和 65%。

表 4.4 濮阳经济技术开发区电厂信息

序号	装机容量/MW	燃料年耗量/×10^4 吨	燃烧方式	除尘工艺	脱硫工艺	脱硝工艺
1	210	56.4	煤粉炉	高效静电除尘+其他（湿法脱硫协同）+其他（湿式电除尘）	石灰石/石膏法	选择性催化还原法（SCR）
2	210	64.0	煤粉炉	高效静电除尘+其他（湿法脱硫协同）+其他（湿式电除尘）	石灰石/石膏法	选择性催化还原法（SCR）

（二）锅炉

濮阳经济技术开发区燃料类型主要为无烟煤、一般烟煤、天然气和生物质燃料，锅炉燃烧方式分为层燃炉、流化床锅炉和室燃炉（表 4.5）。濮阳经济技术开发区主要采用了室燃炉（28 个）和流化床锅炉（9 个），其中室燃炉使用较多。大部分企业均安装了污染物控制措施，除尘工艺主要包括袋式除尘、电袋组合和“布袋/电袋/静电除尘+湿式静电除尘（湿式除雾）”除尘效率基本上都达到了99.37%；脱硫工艺包括“炉内脱硫+双碱法”和“炉内脱硫+氨法”，脱硝工艺包括选择性非催化还原法（SNCR）和选择性催化还原法（SCR），同种燃料不同锅炉类型或同种锅炉类型不同燃料含有不同去除效率，如烟煤作为燃料，“（炉内脱硫）+双碱法”作为脱硫工艺，在层燃炉和流化床锅炉的脱硫效率分别为 84%和 87.75%。

在工业锅炉燃烧所排放的大气污染物中，氮氧化物排放量最大，2017 年高达到 3931.3 吨，占园区氮氧化物排放总量的 51%。主要的原因是流化床锅炉脱硝效率，其脱硝工艺主要为选择性非催化还原法（SNCR），无烟煤和一般烟煤作为燃料类型时，脱硝效率分别为 30%和 50%。

表 4.5 濮阳经济技术开发区锅炉信息

锅炉燃烧方式	锅炉类型	燃料类型	燃料消耗量（tce）	锅炉个数	除尘工艺	脱硫工艺	脱硝工艺
层燃炉	燃煤锅炉	无烟煤	1665	1	袋式除尘	炉内脱硫+双碱法	SCR
	燃生物质锅炉	生物质燃料	201.52	2	/	/	/
流化床	燃煤锅炉	无烟煤	111976.2	3	布袋/电袋/静电除尘+湿式静电除尘（湿式除雾）	炉内脱硫+双碱法	SNCR 或 SCR
		一般烟煤	440008.8	6	电袋组合	炉内脱硫+氨法	SNCR
室燃炉	燃气锅炉	天然气	23997.01	28	/	/	/

注：SCR 代表选择性催化还原法；SNCR 代表选择性非催化还原法

（三）工艺过程

工艺过程产生的 PM_{10}、$PM_{2.5}$ 和 NH_3 排放量分别为 672.4 t、506.2 t、956.0 t，占园区污染物排放量分别为 37%、66%和 96%。PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 贡献较大主要原因是园区有较多水泥制品及混凝土等建材类企业，该类企业 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 排放因子较高（8g/kg 产品、2g/kg 产品），且物料输送储存过程没有安装除尘设施。工艺过程引起的 NH_3 排放量较高原因主要是园区内存在 NH_3 排放因子较大（2g/kg 产品）的生产尿素和复合肥料的化工企业（如河南省中原大化集团有限责任公司）。濮阳经开区建材类和化工类主要企业信息如表 4.6 所示。

表 4.6 濮阳经济技术开发区建材类和化工类企业信息

企业	产品名称	工艺名称	产品产量（吨-产品）
濮阳市龙城混凝土有限公司	混凝土	物料输送储存/物料混合搅拌	9125790.6
濮阳市军安混凝土有限公司	混凝土	物料输送储存/物料混合搅拌	960000
濮阳同力水泥有限公司	水泥	粉磨站	770000
河南瑞华新型环保材料有限公司	混凝土	物料输送储存/物料混合搅拌	543790
河南省中原大化集团有限责任公司（天然气）	复混肥料	团粒法	30000
河南省中原大化集团有限责任公司（天然气）	尿素	二氧化碳汽提法、氨汽提法	448000

4.2.2 郑州经开区

郑州经济技术开发区 2017 年工业源大气污染物排放清单及各部门贡献率如表 4.7 所示，SO_2、NO_x、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 年排放量分别为 307.8、157.0、1975.0、1445.8、471.8、238.7、2.2 吨。郑州经开区没有电厂。NH_3 的最大贡献者是工业锅炉，贡献率为 100%，因为工艺过程对这种污染物的排放量很少。SO_2、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs 的最大贡献者是工艺过程。贡献率分别为

92.1%、96.6%、95.8%、96.5%、96.4%。对于 PM_{10}、$PM_{2.5}$ 来说，其主要的排放量大是因为园区内存在非金属矿物制品业类的企业（河南鑫邦混凝土有限公司），虽然企业进行了除尘措施，但是其产品产量大，所以造成的污染也相对多。VOCs 排放量大的主要原因是，园区内的行业针对 VOCs 污染物的去除工艺效率低下。SO_2、NO_x 排放量大的主要原因是园区内存在非金属矿物制品业类的企业（河南华兴玻璃有限公司），虽然企业进行了除尘措施，但是其产品产量大，所以造成的污染也相对多。

表 4.7 郑州经济技术开发区 2017 年工业源清单及部门贡献

部门		SO_2	NO_x	CO	PM_{10}	$PM_{2.5}$	VOCs	NH_3
电厂	排放量/t	0	0	0	0	0	0	0
	贡献率/%	0	0	0	0	0	0	0
工业锅炉	排放量/t	24.4	133.4	66.7	61.3	16.3	8.6	2.2
	贡献率/%	7.9	85.0	3.4	4.2	3.5	3.6	100.0
工艺过程	排放量/t	283.4	23.6	1908.3	1384.4	455.5	230.0	0.0
	贡献率/%	92.1	15.0	96.6	95.8	96.5	96.4	0.0
总计	排放量/t	307.8	157.0	1975.0	1445.8	471.8	238.7	2.2

（一）锅炉

郑州经济技术开发区燃料类型主要为一般烟煤和天然气，锅炉燃烧方式分为循环流化床锅炉和室燃炉（表 4.8）。郑州经济技术开发区主要采用了室燃炉（51 个）和流化床锅炉（2 个），其中室燃炉使用较多。其中，有 2 个企业安装了污染物控制措施，除尘工艺主要是袋式除尘，除尘效率为 99.37%；脱硫工艺包括活性炭法和双碱法，脱硫效率分别为 70%和 80%；脱硝工艺主要是活性炭法，脱硝效率为 70%。此外，室燃炉的脱硝工艺主要为活性炭法，脱硝效率为 70%。其他工业锅炉均没有进行脱硝处理。

表 4.8 郑州经济技术开发区锅炉信息

锅炉燃烧方式	锅炉类型	燃料类型	燃料消耗量	锅炉个数	除尘工艺	脱硫工艺	脱硝工艺
流化床	燃煤锅炉	一般烟煤	6086 吨	2	袋式除尘	双碱法	/
室燃炉	燃气锅炉	天然气	4197 万立方米	51	/	活性炭法	活性炭法

（二）工艺过程

工艺过程对 SO_2、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs 的贡献率分别为 92.1%、96.6%、95.8%、96.5%、96.4%。郑州经开区污染物排放主要企业信息如表 4.9 所示。

表 4.9 郑州经济技术开发区污染物排放主要企业信息

企业	产品名称	工艺名称	产品产量（吨-产品）
河南鑫邦混凝土有限公司	各种水泥制品	物料混合搅拌	965500
河南华兴玻璃有限公司	玻璃瓶罐	燃发生炉煤气池窑	35581.3

4.2.3 开封经开区

开封经济技术开发区 2017 年工业源大气污染物排放清单及各部门贡献率如表 4.10 所示，SO_2、NO_x、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 年排放量分别为 1097.3、459.3、5718.8、520.1、149.8、1764.6、10.5 吨。由于开封经济技术开发区园区内没有电厂，所以只计算比较了工业锅炉和工艺过程的数据。由表 4.10 可知，NH_3 主要来自于工艺过程，这是由于化肥行业所产生的，主要是开封市三胜肥业有限公司、开封进万家测土配方肥业有限公司生产以复合肥料生产为主，导致排放的 NH_3 贡献率达到了 81%。NO_X 主要来自于工业锅炉源，排放占比达到了 81%。工艺过程是 SO_2、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 的主要排放源，贡献率分别达到了 76%、97%、97%、96%、99%、81%，而对 CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs，工艺过程所排放的 PM_{10}、$PM_{2.5}$ 和 CO 比锅炉多得多，其原因是开封经济技术开发区园区内开封市德盛祥建设工程有限公司、开封路平建筑材料有限公司、开封政通商砼有限公司等企业在物料输送混合搅拌、输送存储等过程没有采取任何控制措施。

表 4.10 开封经济技术开发区 2017 年工业源清单及部门贡献

部门		SO_2	NO_x	CO	PM_{10}	$PM_{2.5}$	VOCs	NH_3
电厂	排放量/t	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	贡献率/%	0	0	0	0	0	0	0
工业锅炉	排放量/t	264.0	372.2	163.7	17.7	6.1	14.3	2.0
	贡献率/%	24	81	3	3	4	1	19
工艺过程	排放量/t	833.3	87.2	5555.1	502.4	143.7	1750.2	8.5
	贡献率/%	76	19	97	97	96	99	81
总计	排放量/t	1097.3	459.3	5718.8	520.1	149.8	1764.6	10.5

（一）电厂

开封经济技术开发区园区内未设有电厂。

（二）锅炉

开封经济技术开发区燃料类型主要为无烟煤、一般烟煤、天然气和生物质燃料，锅炉燃烧方式分为层燃炉、循环流化床锅炉和室燃炉（表 4.11）。开封经济技术开发区主要采用了室燃炉（20 个）和流化床锅炉（7 个）以及层燃炉（5 个），其中室燃炉使用较多。大部分企业均安装了污染物控制措施，除尘工艺主要包括湿式除雾，“多管旋风+袋式除尘+喷淋塔+冲击水浴”，“板式/袋式除尘”，以及袋式除尘，除尘效率分别为 87%、99% 、99.37%和 99.6%；脱硫工艺有双碱法一种，脱硝工艺则是选择性非催化还原法（SNCR），同种燃料不同锅炉类型或同种锅炉类型不同燃料含有不同去除效率，如在循环流化床锅炉中，无烟煤和一般烟煤作为燃料，双碱法作为两者的共同脱硫工艺，无烟煤和一般烟煤脱硫效率一般都为 80%。

在工业锅炉燃烧所排放的大气污染物中，氮氧化物排放量最大，2017 年高达到 372.2 吨，占园区氮氧化物排放总量的 81%。主要的原因是流化床锅炉脱硝效率过低，其脱硝工艺主要为选择性非催化还原法（SNCR），无烟煤和一般烟煤作为燃料类型时，脱硝效率分别为 30%和 50%。

表 4.11 开封经济技术开发区锅炉信息

锅炉燃烧方式	锅炉类型	燃料类型	燃料消耗量（tce）	锅炉个数	除尘工艺	脱硫工艺	脱硝工艺
层燃炉	燃煤锅炉	无烟煤	1063	2	湿式除雾	双碱法	/
	燃生物质锅炉	生物质燃料	61.39	3	/多管旋风/袋式除尘/喷淋塔/冲击水浴	/	/
流化床	燃煤锅炉	无烟煤	56330	6	板式/袋式除尘	双碱法	SNCR
		一般烟煤	8400	1	袋式除尘	双碱法	SNCR
室燃炉	燃气锅炉	天然气	1382	28	袋式除尘	/	/

注：SCR 代表选择性催化还原法；SNCR 代表选择性非催化还原法。

（三）工艺过程

在开封经济开发区工艺过程产生的大气污染物中，SO_2、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs 和 NH_3 较高，排放量分别为 1097.3、5718.8、520.1、149.8、1764.6、10.5 吨，分别占园区污染物排放量的 76%、97%、97%、96%、99%和 81%。SO_2、CO、PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 贡献较大主要原因是园区有较多煤矸石砖和水泥制品以及混凝土等建材类企业，该类企业 SO_2 和 CO 排放量较大，PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 排放因子较高（8g/kg 产品和 2g/kg 产品），且物料输送储存过程没有安装除尘设施。工业过程引起的 VOCs 排放量较高原因主要是园区内存在 VOCs 排放因子较大的生产塑料和油漆涂料的化工企业（如奇瑞商用车（安徽）有限公司河南分公司）。工艺过程引起 NH_3 排放量较高的主要原因是园区内化肥行业（开封市三胜肥业有限公司）生产过程所排放的。开封经开区 PM 和 VOCs 主要排放源企业信息如表 4.12 所示。

表 4.12 开封经济技术开发区 PM 和 VOCs 主要排放源企业信息

企业	产品名称	工艺名称	产品产量（吨-产品）
开封力天混凝土有限公司	混凝土	物料混合搅拌	60000
开封市德盛祥建设工程有限公司	混凝土	物料混合搅拌	75000
开封路平建筑材料有限公司	各种水泥制品	物料输送储存	50000
开封政通商砼有限公司	混凝土	物料混合搅拌	70000
开封市天开市政园林工程有限公司商砼分公司	混凝土	物料混合搅拌	60000
开封市大中市政混凝土制品有限公司	混凝土	物料混合搅拌	277184
开封市中信混凝土有限公司	混凝土	物料混合搅拌	220000

4.2.4 红旗渠经开区

红旗渠经济技术开发区 2017 年工业源大气污染物排放清单及各部门贡献率如表 4.13 所示，SO_2、NO_x、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 年排放量分别为 6454.6、5405.1、16016.7、582.9、391.3、660.4、34.3 吨。由表可知，SO_2、NO_x、PM_{10} 和 NH_3 的主要排放源是电厂，贡献率分别达到 68%、94%、64%和 97%； CO、$PM_{2.5}$ 和 VOCs 的主要来源是工艺过程，贡献率分别达到 84%、57%和 71%。电厂 SO_2 和 NO_x 的排放量高是因为大唐林州热电有限责任公司发电消耗的原煤量大；且河南凤宝特钢有限公司使用天然气作为燃料为其自备电厂发电，产生的 NO_x 没有采取脱硝措施而直接排放。电厂排放的 PM_{10} 比例较高是因为电厂燃烧使用了大量的原煤，且没有采取任何防护措施。工艺过程所排放的 $PM_{2.5}$ 比电厂和工业锅炉的多，其原因是河南凤宝特钢有限公司电炉炼钢和林州市林丰铝电有限责任公司用拜耳法生产氧化铝年产品产量高，排放因子也高（PM_{10} 分别为 8.12g/kg 和 12.4g/kg 产品；$PM_{2.5}$ 分别为 6.02 g/kg 和 9.18 g/kg 产品）；工艺过程 CO 排放量高是因为园区非金属矿物制品类生产砖瓦的企业数量多、产量高且排放因子大（4.04g/kg 产品）。

表 4.13 红旗渠经济技术开发区 2017 年工业源清单及部门贡献

部门		SO_2	NO_x	CO	PM_{10}	$PM_{2.5}$	VOCs	NH_3
电 厂	排放量/t	4392.3	5091.3	2482.0	371.3	169.6	191.2	33.1
	贡献率/%	68	94	15	64	43	29	97
工业锅炉	排放量/t	0.0	1.2	0.8	0.1	0.1	0.1	0.0
	贡献率/%	0	0	0	0	0	0	0
工艺过程	排放量/t	2062.3	312.6	13534	211.5	221.6	469.0	1.1
	贡献率/%	32	6	84	36	57	71	3
总计	排放量/t	6454.6	5405.1	16016.7	582.9	391.3	660.4	34.3

（一）电厂

红旗渠经济技术开发区有 5 家电厂，分别是大唐林州热电有限责任公司、河南凤宝特钢有限公司、林州新达焦化有限公司、林州市重机林钢钢铁有限公司和林州市合鑫铸业有限公司。其中大唐林州热电有限责任公司拥有两个燃煤锅炉，总装机容量为 700 MW；其余四家企业拥有七个燃气锅炉，总装机容量为 30 MW。红旗渠经济技术开发区各电厂锅炉的装机容量、燃料类型、锅炉类型以及污染物控制措施等如表 4.14 所示。

红旗渠经济技术开发区大唐林州热电有限责任公司和林州新达焦化有限公司两家企业安装了污染物控制设施。对于 PM_{10}、$PM_{2.5}$、SO_2 和 NO_X 采取的污染控制措施分别为电袋除尘+湿式除雾、双碱法和选择性催化还原法（SCR），去除效率依次为 99.37%、99%、80%和 65%。

表 4.14 红旗渠经济技术开发区电厂信息

序号		装机容量/MW	燃料年耗量/×10⁴吨/万立方米	燃烧方式	除尘工艺	脱硫工艺	脱硝工艺
1	燃煤锅炉	350	38.2	煤粉炉	电袋组合除尘+湿式除雾	其他	其他
2		350	71.3	煤粉炉	电袋组合除尘+湿式除雾	/	/
3	燃气锅炉	3	1.13	室燃炉	/	/	/
4		6	1.12	室燃炉	/	/	/
5		6	0.30	室燃炉	其他	双碱法	选择性催化还原法（SCR）
6		3	0.57	室燃炉	/	/	/
7		3	0.57	室燃炉	/	/	/
8		3	0.66	室燃炉	/	/	/
9		6	1.15	室燃炉	/	/	/

（二）锅炉

红旗渠经济技术开发区燃料类型主要为原煤和天然气，锅炉燃烧方式主要为室燃炉（6 个）和其他燃炉（1 个）（表 4.15），其中室燃炉使用较多。部分企业安装了污染物控制措施，除尘工艺主要为袋式除尘，不同锅炉类型除尘效率不同，燃煤锅炉除尘效率为 99%，燃气锅炉为 95%；脱硫工艺主要为“双碱法”，效率为 80%；无脱硝设施。

工业锅炉排放的各类污染区占比均很小，其原因是该园区的锅炉多为燃气锅炉，其燃气消耗量和排放因子均较小。此外，燃煤锅炉所消耗的燃煤量远远小于电厂，故其产生的污染物排放也小得多。

表 4.15 红旗渠经济技术开发区锅炉信息

锅炉燃烧方式	锅炉类型	燃料类型	燃料消耗量-吨/万立方米	锅炉个数	除尘工艺	脱硫工艺	脱硝工艺
室燃炉	燃气锅炉	天然气	57.836	6	袋式除尘	/	/
其他	燃煤锅炉	原　煤	150	1	袋式除尘	双碱法	/

（三）工艺过程

在红旗渠经济开发区工艺过程产生的大气污染物中，$PM_{2.5}$、CO 和 VOCs 排放量最高，分别为 221.6 t、13534.0 t 和 469.0 t，占园区污染物排放量分别为 57%、84%和 71%。$PM_{2.5}$ 贡献较大主要原因是园区电炉炼钢和用拜耳法生产氧化铝的企业年产量高，且该类企业 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 排放因子较高。工艺过程引起的 VOCs 排放量较高的原因是园区内存在生产砖瓦等建材类企业，该类企业生产规模较大，且未采取任何控制措施。工业过程引起的 CO 排放量较高原因主要是园区内非金属矿物制品业生产砖瓦的企业较多且产品产量高，其 CO 排放因子较大（4.04g/kg 产品）且部分企业在其破碎、筛分等工艺过程中未安装除尘设施导致 CO 直接排放。红旗渠经济技术开发区 PM 和 CO 主要排放源企业信息如表 4.16 所示。

表 4.16 红旗渠经济技术开发区 PM 和 CO 主要排放源企业信息

企　业	产品名称	工艺名称	产品产量（吨/万立方米）
河南凤宝特钢有限公司	合金钢	电炉法	453100
林州市林丰铝电有限责任公司	氧化铝	拜耳法	237809
林州市豫鑫水泥厂	水泥	粉磨站	23022
林州市绿坤水泥有限公司	水泥	粉磨站	18458.94
林州市兴通达建材有限责任公司	其他建筑材料	破碎、筛分等	460000
林州市市政搅拌有限公司	其他建筑材料	破碎、筛分等	200000
林州中宝骨料建材有限公司	人造石材	真空凝胶固化成型、锯解、抛光、裁切	1200000
安阳鑫宝国际贸易有限公司石料分公司	人造石材	真空凝胶固化成型、锯解、抛光、裁切	10000
林州市红旗渠公路养护工程有限公司	其他建筑材料	破碎、筛分等	80000

4.2.5 鹤壁经开区

鹤壁经济技术开发区 2017 年工业源大气污染物排放清单及各部门贡献率如

表 4.17 所示，SO_2、NO_x、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 年排放量分别为 3205.0、2484.1、1603.7、1133.5、684.1、556.8、16.2 吨。由表可知，SO_2、NO_x、PM_{10}、$PM_{2.5}$、CO、NH_3 的主要排放源是电厂，贡献率分别达到 100%、100%、100%、98%、98%、99%；VOCs 主要来源于工艺过程，贡献率达到了 78%。电厂的 SO_2、NO_x、PM_{10}、$PM_{2.5}$、NH_3 的排放量远大于锅炉和工艺过程，其原因是鹤壁煤电股份有限公司热电厂燃煤锅炉的原煤消耗量大，该企业两个燃煤锅炉消耗的原煤总量达到约 79.89 万吨，且 NH_3 为直接排放。工艺过程的 VOCs 排放量高是因为园区存在生产有机试剂的化工类企业（鹤壁联昊化工股份有限公司和河南国路高科新材料科技有限公司），其 VOCs 的排放因子很高（81.4 g/kg）。

表 4.17 鹤壁经济技术开发区 2017 年工业源清单及部门贡献

部门		SO_2	NO_x	CO	PM_{10}	$PM_{2.5}$	VOCs	NH_3
电 厂	排放量/t	3205.0	2474.5	1597.7	1102.4	671.0	119.8	16.0
	贡献率/%	100	100	100	98	98	22	99
工业锅炉	排放量/t	0.0002	9.6	6.0	1.1	0.8	0.8	0.2
	贡献率/%	0	0	0	0	0	0	1
工艺过程	排放量/t	0.0	0.0	0.0	31.1	12.3	436.2	0.0
	贡献率/%	0	0	0	1	2	78	0
总计	排放量/t	3205.0	2484.1	1603.7	1133.5	684.1	556.8	16.2

（一）电厂

鹤壁经济技术开发区有 1 家电厂（鹤壁煤电股份有限公司热电厂），该电厂有两个燃煤锅炉，其装机容量、燃料类型、锅炉类型以及污染物控制措施等如表 4.18 所示。鹤壁经济技术开发区总装机容量为 270MW，电厂均安装了污染物控制措施。对于 PM_{10}、$PM_{2.5}$、二氧化硫和氮氧化物采取的污染控制措施依次为静电除尘、石灰石/石膏法和选择性催化还原法（SCR），去除效率依次为 97%、93%、80%和 65%。

表 4.18 鹤壁经济技术开发区电厂信息

序号	装机容量/MW	燃料年耗量/$\times 10^4$ 吨	燃烧方式	除尘工艺	脱硫工艺	脱硝工艺
1	135	399284	煤粉炉	低低温	石灰石/石膏法	选择性催化还原法
2	135	399576	煤粉炉	低低温	石灰石/石膏法	选择性催化还原法

（二）锅炉

鹤壁经济技术开发区燃料类型主要为天然气，锅炉燃烧方式分为室燃炉和其

他燃炉（表 4.19）。鹤壁经济技术开发区主要采用了室燃炉（10 个）和其他锅炉（6 个），其中室燃炉使用较多。园区河南帮太食品有限公司采用低氮燃烧的工艺减少 NO_x 的排放量，脱硝效率为 20%。

工业锅炉燃烧所排放的大气污染物占比均很小，其原因是该园区锅炉均为燃气锅炉，且排放因子小；其中排放因子最大的 NO_x 也采用了低氮燃烧工艺来减少 NO_x 排放量。

表 4.19 鹤壁经济技术开发区锅炉信息

锅炉燃烧方式	锅 炉 类 型	燃 料 类 型	燃料消耗量（tce）	锅炉个数	除 尘 工 艺	脱硫工艺	脱硝工艺
室燃炉	燃气锅炉	天然气	459.388	10	/	/	低氮燃烧
其他	燃气锅炉	天然气	66.114	6	/	/	/

（三）工艺过程

在鹤壁经济技术开发区工艺过程产生的大气污染物中，VOCs 排放量最高，为 436.2 吨，接近园区 VOCs 排放总量的 100%； PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的排放量也较高，分别为 26.0 吨、10.3 吨。VOCs 贡献较大主要原因是园区化工企业（如鹤壁联昊化工股份有限公司）产生 VOCs 的排放因子很高（81.4 g/kg 产品），且没有安装处理设施，VOCs 直接排放。工艺过程引起的 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 排放量较多的原因主要是园区内非金属矿物制品业生产水泥的企业（如鹤壁定海混凝土有限责任公司）产品产量高，且排放因子高（PM_{10} 为 8 g/kg 产品；$PM_{2.5}$ 为 2 g/kg）。鹤壁经济技术开发区 PM 和 VOCs 主要排放源企业信息如表 4.20 所示。

表 4.20 鹤壁经济技术开发区 PM 和 VOCs 主要排放源企业信息

企业	产品名称	工艺名称	产品产量（吨-产品）
鹤壁联昊化工股份有限公司	有机试剂	精制提纯或合成	4478.59
河南国路高科新材料科技有限公司	水基型胶黏剂	聚合反应、物理混合	880
鹤壁福田舒布洛克建材有限公司	混凝土	物料混合搅拌	175613.1
鹤壁市海阳砼业有限公司	混凝土	物料混合搅拌	100000
鹤壁东江建筑工业科技有限公司	混凝土	物料混合搅拌	6800
鹤壁定海混凝土有限责任公司	混凝土	物料混合搅拌	230000
鹤壁市开发区天铭水泥管道厂	各种水泥制品	物料混合搅拌	2900
河南东大高温节能材料有限公司	其他煅烧耐火材料	耐火材料用炉(煅烧窑，包括隧道窑、回转窑和竖窑)	1215.682

4.2.6 新乡经开区

新乡经济技术开发区 2017 年工业源大气污染物排放清单及各部门贡献率如表 4.21 所示，SO_2、NO_x、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 年排放量分别为 1242.9、1160.1、514.0、426.5、111.7、89.6、5.1 吨。由表可知，所有大气污染的主要排放源除 VOCs 以外均是电厂，对 SO_2 的贡献率达到 98%、对 NO_x 的贡献达到 97%、对 CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、NH_3 的贡献分别达到 95%、100%、99%和 95%。电厂部门之所以是主要的大气污染物排放源，是因为新乡化纤股份有限公司相对于其他公司消耗了更多的无烟煤燃料，合计为 243008 吨，虽然该公司进行了脱硫脱硝除尘等相关操作，但是其燃料消耗量远超其他部门，所以成为了主要的大气污染物排放源。而 VOCs 则主要来自于工艺过程，这是因为园区内存在造纸类企业，且该类企业规模较大，产品产量较多，VOCs 的排放因子很高（2.6 g/kg），企业在污染物排放时没有采取任何防治措施。

表 4.21 新乡经济技术开发区 2017 年工业源清单及部门贡献

部门		SO_2	NO_x	CO	PM_{10}	$PM_{2.5}$	VOCs	NH_3
电厂	排放量/t	1218.7	1122.4	486.0	424.5	110.7	36.5	4.9
	贡献率/%	98	97	95	100	99	41	95
工业锅炉	排放量/t	24.1	37.7	15.8	1.8	0.8	1.6	0.3
	贡献率/%	2	3	3	0	1	2	5
工艺过程	排放量/t	0.2	0.1	12.1	0.2	0.1	51.5	0
	贡献率/%	0	0	2	0	0	58	0
总计	排放量/t	1242.9	1160.1	514.0	426.5	111.7	89.6	5.1

（一）电厂

新乡经济技术开发区有 1 家电厂（新乡化纤股份有限公司），3 个燃煤锅炉，其装机容量、燃料类型、锅炉类型以及污染物控制措施等如表 4.22 所示。新乡经济技术开发区总装机容量为 55 MW，电厂全部安装了污染物控制措施。对于 PM_{10}、$PM_{2.5}$、SO_2 和 NO_X 采取的污染控制措施依次为电袋组合法、其他法和低氮燃烧法或选择性催化还原法，去除效率依次为 95%、95%、24%和 65%。

表 4.22 新乡经济技术开发区电厂信息

序号	装机容量/MW	燃料年耗量/×10^4 吨	燃烧方式	除尘工艺	脱硫工艺	脱硝工艺
1	18	9.7	煤粉炉	电袋组合	其他	低氮燃烧法
2	12	4.8	煤粉炉	电袋组合	其他	低氮燃烧法
3	25	9.7	煤粉炉	电袋组合	其他	选择性催化还原法（SCR）

（二）锅炉

新乡经济技术开发区燃料类型主要为一般烟煤、天然气和液化石油气，锅炉燃烧方式分为循环流化床锅炉和室燃炉（表 4.23）。新乡经济技术开发区主要采用了室燃炉（6 个）和流化床锅炉（1 个），其中室燃炉使用较多。其中，有 3 个企业安装了污染物控制措施，除尘工艺主要包括袋式除尘、旋风除尘+布袋，除尘效率分别为 99.37%和 99%；脱硫工艺包括活性炭法和双碱法，脱硫效率均为 80%；脱硝工艺包括选择性非催化还原法（SNCR）和活性炭法，脱硝效率均为 30%。

新乡经济技术开发区产生污染物量小的原因是使用天然气、液化石油气等清洁能源较多。

表 4.23 新乡经济技术开发区锅炉信息

锅炉燃烧方式	锅炉类型	燃料类型	燃料消耗量	锅炉个数	除尘工艺	脱硫工艺	脱硝工艺
室燃炉	燃气锅炉	天然气	294.5 万立方米	5	袋式除尘、旋风除尘+布袋	活性炭法	活性炭法
		液化石油气	0.9 吨	1	/	/	/
流化床	燃煤锅炉	一般烟煤	6000 吨	1	袋式除尘	双碱法	选择性非催化还原法（SNCR）

注： SNCR 代表选择性非催化还原法。

（三）工艺过程

工艺过程产生的污染量较其他两个部门相比很少，这是因为产品产量和燃料消耗量相对其他两个部门都很低，也没有建材类企业。其中，造纸业产生的 VOCs

污染物较多。这些企业信息如表 4.24 所示。

表 4.24 新乡经济技术开发区 VOCs 主要排放源企业信息

企业	产品名称	工艺名称	产品产量（吨-产品）
新乡锦绣防水材料股份有限公司	沥青基防水卷材	熔炼、浸涂	3000
河南华瑞高新材料有限公司	反应型胶黏剂	聚合反应、物理混合	1000
河南信谊纸塑包装股份有限公司	印刷品(承印物为纸)	平版印刷	5000

4.2.7 郑州高新区

郑州高新区 2017 年工业源大气污染物排放清单及各部门贡献率如表 4.25 所示，SO_2、NO_x、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 年排放量分别为 3262.3 吨、5731.3 吨、3397.1 吨、786.9 吨、337.8 吨、1266.5 吨、29.7 吨。

表 4.25 郑州高新区 2017 年工业源清单及部门贡献

部门		SO_2	NO_x	CO	PM_{10}	$PM_{2.5}$	VOCs	NH_3
电厂	排放量/t	3038.4	5709.0	1891.5	289.0	140.1	148.3	29.6
	贡献率/%	93.1	99.6	55.7	36.7	41.5	11.7	99.7
工业锅炉	排放量/t	0.6	3.6	2.1	0.4	0.3	0.3	0.1
	贡献率/%	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.3
工艺过程	排放量/t	223.3	18.6	1503.5	497.5	197.4	1117.8	0.0
	贡献率/%	6.8	0.3	44.3	63.2	58.4	88.3	0.0
总计	排放量/t	3262.3	5731.3	3397.1	786.9	337.8	1266.5	29.7

由表可知， SO_2、NO_x、CO、NH_3 这四种污染物均主要来自于电厂的排放，电厂对这四种污染物的贡献率分别达到 93.1%、99.6%、55.7%、99.7%；其主要原因是电厂消耗的燃料量远超另外两个部门，且国家电投集团郑州燃气发电有限公司没有采取污染物控制措施，而另一家发电厂燃烧使用了大量的一般烟煤。

PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs 的最大贡献者是工艺过程，其贡献率分别为 63.2%、58.4%和 88.3%。PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 主要来自于工艺过程，这是因为园区内存在生产水泥砖瓦等建材类企业，该类企业的产品量较大，且排放因子较高。工艺过程之所以产

生最多的 VOCs 污染，是因为园区内存在油墨印刷类企业（郑州宝蓝包装技术有限公司）和造纸类企业（郑州世纪精信机械制造有限公司）其产品产量大且缺乏污染物控制工艺或污染物去除效率不高（去除效率最高为 40%）。

（一）电厂

郑州经开区有 2 家电厂（国家电投集团郑州燃气发电有限公司和郑州泰祥热电股份有限公司），2 个燃气锅炉和 2 个燃煤锅炉，其装机容量、燃料类型、锅炉类型以及污染物控制措施等如表 4.26 所示。郑州高新区总装机容量为 1050MW，国家电投集团郑州燃气发电有限公司没有安装污染物控制措施，而郑州泰祥热电股份有限公司的除尘工艺为袋式除尘，针对 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的去除效率为 99.37% 和 99%，脱硫工艺为石灰石膏法，去除效率为 80%，脱销工艺为低氮燃烧，去除效率为 22%。

表 4.26 郑州高新区电厂信息

序号	装机容量/MW	燃料年耗量	燃烧方式	除尘工艺	脱硫工艺	脱硝工艺
1	390	18290.23 万立方米	/	/	/	/
2	390	10699.05 万立方米	/	/	/	/
3	135	284809 吨	煤粉炉	袋式除尘	石灰石膏法	低氮燃烧
4	135	472521 吨	煤粉炉	袋式除尘	石灰石膏法	低氮燃烧

（二）锅炉

郑州高新区燃料类型主要为天然气和柴油，锅炉燃烧方式主要为室燃炉（表 4.27）。郑州高新区主要采用了 10 个室燃炉，且均没有污染物控制工艺。

表 4.27 郑州高新区锅炉信息

锅炉燃烧方式	锅炉类型	燃料类型	燃料消耗量	锅炉个数	除尘工艺	脱硫工艺	脱硝工艺
室燃炉	燃气锅炉	天然气	160.6 万立方米	9	/	/	/
		柴油	30 吨	1	/	/	/

（三）工艺过程

工艺过程产生的 VOCs 较为突出，占整个园区 VOCs 排放总量的 88.3%。这是因为园区内存在油墨印刷类企业和造纸类企业，该类企业产品产量大且缺乏污染物控制工艺或污染物去除效率不高（去除效率最高为 40%），并且排放因子较高（750 g/kg 产品）。而 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 排放量较大是园区内存在建材类企业，该类企业在生产过程中会向空气中排放大量的颗粒物，且排放因子高（PM_{10} 为 8g/kg；$PM_{2.5}$ 为 2 g/kg 产品）。郑州高新区污染物排放主要企业信息如表 4.28 所示。

表 4.28 郑州高新区 VOCs、PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 污染物排放主要企业信息

企业	产品名称	工艺名称	产品产量（吨-产品）
河南九一环保科技股份有限公司	其他建筑材料	破碎、筛分等	350000
郑州瑞龙混凝土有限公司	混凝土	物料混合搅拌	1920000
河南七彩印务有限公司	印刷品(承印物为塑料)	凹版印刷	/
郑州世纪精信机械制造有限公司	塑料零件及其他塑料制品	注塑/挤出	16560

4.2.8 安阳高新区

安阳高新技术开发区 2017 年工业源大气污染物排放清单及各部门贡献率如表 4.29 所示，SO_2、NO_x、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 年排放量分别为 256.6、132.7、531.6、5.3、2.0、17.4、1.2 吨。安阳高新技术开发区园区内没有电厂，所以数据都为 0。由表可知，SO_2、NO_x、CO、NH_3、VOCs 的主要排放源是工业锅炉，贡献率分别达到 87%、98%、58%、59%和 100%。PM_{10}、$PM_{2.5}$ 这两种污染物主要来自于工艺过程，分别达到 69%和 72%。工艺过程所排放的 PM_{10}、$PM_{2.5}$ 比工业锅炉的多，其原因是河南祥泰路桥有限公司、安阳天超水泥制品有限公司、安阳市鑫中天建筑材料有限责任公司等企业产品生产量较大，且在破碎、筛分等过程中采取的控制措施不到位。

表 4.29 安阳高新技术开发区 2017 年工业源清单及部门贡献

部门		SO_2	NO_x	CO	PM_{10}	$PM_{2.5}$	VOCs	NH_3
电厂	排放量/t	0	0	0	0	0	0	0
	贡献率/%	0	0	0	0	0	0	0
工业锅炉	排放量/t	223.7	129.9	310.0	1.7	0.6	10.2	1.2
	贡献率/%	87	98	58	31	28	59	100
工艺过程	排放量/t	32.9	2.7	221.6	3.6	1.5	7.1	0.0
	贡献率/%	13	2	42	69	72	41	0
总计	排放量/t	256.6	132.7	531.6	5.3	2.0	17.4	1.2

（一）电厂

安阳高新技术开发区园区内未建设电厂。

（二）锅炉

安阳高新技术开发区燃料类型主要为煤制品、一般烟煤、天然气和燃料油，锅炉燃烧方式分为层燃炉、煤粉炉和室燃炉（表 4.30）。安阳高新技术开发区主要采用了室燃炉（8 个）和层燃炉（2 个）以及煤粉炉（1 个），其中室燃炉使用较多。大部分企业均安装了污染物控制措施，除尘工艺主要包括袋式除尘，除尘效率为 99.6%；脱硫工艺包括双碱法和氧化镁法，脱硝工艺包括低氮燃烧和选择性催化还原法（SCR）。

在工业锅炉燃烧所排放的大气污染物中，一氧化碳排放量最大，2017 年高达到 310.0 吨，占园区一氧化碳排放总量的 58%。主要的原因是园区内层燃炉煤制品消耗量大，一氧化碳排放因子高（15 g/kg 燃料），且未安装污染物控制措施而直接排放。

表 4.30 安阳高新技术开发区锅炉信息

锅炉燃烧方式	锅炉类型	燃料类型	燃料消耗量（tce）	锅炉个数	除尘工艺	脱硫工艺	脱硝工艺
室燃炉	燃气锅炉	天然气	105.893	8	/	/	低氮燃烧
	燃油锅炉	燃料油	201.52	1	/	/	/
层燃炉	燃煤锅炉	煤制品	15161.7	26	袋式除尘	双碱法	/
煤粉炉	燃煤锅炉	一般烟煤	40596	1	其他	氧化镁法	SCR

注：SCR 代表选择性催化还原法；SNCR 代表选择性非催化还原法。

（三）工艺过程

在安阳高新技术开发区工艺过程产生的大气污染物中，PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 排放量最高，分别为 3.6 吨和 1.5 吨，分别占园区污染物排放量的 69%和 72%。PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 贡献较大主要原因是园区有较多建筑材料生产企业，该类企业 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 排放因子较高，且破碎+筛分等过程没有安装除尘设施。安阳高新区 PM 和 VOCs 主要排放源企业信息如表 4.31 所示。

表 4.31 安阳高新技术开发区 PM 和 VOCs 主要排放源企业信息

企业	产品名称	工艺名称	产品产量（吨-产品）
河南祥泰路桥有限公司	混凝土	物料混合搅拌	71280
安阳天超水泥制品有限公司	各种水泥制品	物料混合搅拌	179.82
安阳市鑫中天建筑材料有限责任公司	其他建筑材料	破碎、筛分等	54860

4.2.9 新乡高新区

新乡高新技术开发区 2017 年工业源大气污染物排放清单及各部门贡献率如表 4.32 所示，SO_2、NO_x、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 年排放量分别为 0.0、14.0、8.7、1.6、1.1、29.5、0.3 吨。因为该园区内没有建立发电厂，因此电厂数据都为 0。由表可知，SO_2、NO_x、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、NH 这六种污染物均主要来自于锅炉的排放，锅炉对这六种污染物的贡献率都基本快达到 100%；其主要原因是锅炉消耗天然气的燃料量远超工艺过程，且园区内企业较少，工艺过程中企业基本只排放了大量 VOCs，且没有采取污染物控制措施。

VOCs 的最大贡献者是工艺过程，其贡献率接近 100%。工艺过程之所以产生最多的 VOCs 污染，是因为园区内存在油墨印刷类企业（新乡市今彩彩印有限公司），该类产品 VOCs 的排放因子很高（750 g/kg），其产品产量大且缺乏污染物控制工艺或污染物去除效率不高（去除效率最高为 40%）。

表 4.32 新乡高新技术开发区 2017 年工业源清单及部门贡献

部门		SO_2	NO_x	CO	PM_{10}	$PM_{2.5}$	VOCs	NH_3
电 厂	排放量/t	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	贡献率/%	0	0	0	0	0	0	0
工业锅炉	排放量/t	0.0	14.0	8.7	1.6	1.1	1.2	0.3
	贡献率/%	100	100	100	100	100	4	100
工艺过程	排放量/t	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.3	0.0
	贡献率/%	0	0	0	0	0	96	0
总计	排放量/t	0.0	14.0	8.7	1.6	1.1	29.5	0.3

（一）电厂

新乡高新区园区内未建立电厂。

（二）锅炉

新乡高新技术开发区燃料类型主要为天然气，锅炉燃烧方式主要为室燃炉（表 4.33）。新乡高新技术开发区主要采用了室燃炉（15 个）。因为燃料使用的是天然气，大部分企业均未安装污染物控制措施。

在工业锅炉燃烧所排放的大气污染物中，氮氧化物排放量最大，2017 年高达到 14 吨，占园区氮氧化物排放总量的 100%。主要的原因是大量天然气的燃烧使用，并且没有任何污染物控制措施。

表 4.33 新乡高新技术开发区锅炉信息

锅炉燃烧方式	锅炉类型	燃料类型	燃料消耗量（tce）	锅炉个数	除尘工艺	脱硫工艺	脱硝工艺
室燃炉	燃气锅炉	天然气	664.232	15	/	/	/

（三）工艺过程

工艺过程产生的VOCs排放量为28.3 t，占园区该类污染物排放总量的96%。工艺过程引起的 VOCs 排放量较高原因主要是园区内存在 VOCs 排放因子较大的油墨印刷类企业（新乡市今彩彩印有限公司）。新乡高新区 PM 和 VOCs 主要排放源企业信息如表 4.34 所示。

表 4.34 新乡高新技术开发区 PM 和 VOCs 主要排放源企业信息

企业	产品名称	工艺名称	产品产量（吨-产品）
河南现代包装材料有限公司	塑料薄膜	配料-混合-挤出	60190
河南飞鸿实业股份有限公司	日用塑料制品	配料-混合-挤出/注塑	5407.38
新乡拓新药业股份有限公司	化学药品原药	化学合成工艺	755.21
新乡娃哈哈昌盛饮料有限公司	塑料包装箱及容器	配料-混合-挤出/注塑	1942
河南李烨包装科技有限公司	塑料薄膜	配料-混合-挤出	2400

4.2.10 焦作高新区

焦作高新技术开发区 2017 年工业源大气污染物排放清单及各部门贡献率如表 4.35 所示，SO_2、NO_x、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 年排放量分别为 356.0、48.3、768.8、81.4、31、123.5、1.5 吨。由表可知，SO_2、NO_x 和 NH_3 的主要来源于电厂，贡献率分别达到 74%、71%和 90%；对 CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$ 和 VOCs 贡献最大的是工艺过程，分别达到 82%、91%、88%和 92%。工艺过程所排放的 PM_{10}、$PM_{2.5}$ 比电厂和工业锅炉的多，其原因是焦作市鹏远水泥有限公司、焦作高新区宁郭镇明峰水泥制品厂、焦作市建鑫砼业有限责任公司等企业产品生产量较大，并且有的企业在物料输送混合搅拌、氧气切割、破碎等过程没有采取任何控制措施；而其 VOCs 比电厂和工业锅炉多的原因则是油墨印刷行业（如焦作亿思达科技有限公司）排放因子较大，且去除效率较小；CO 比电厂和工业锅炉多的原因则是河南省钰泰建筑工程有限公司、焦作市慧民建材有限公司、焦作新区红达建材厂等建材公司产品生产时会有 CO 产生，且排放量较大，相关控制措施不到位。

表 4.35 焦作高新技术开发区 2017 年工业源清单及部门贡献

部门		SO_2	NO_x	CO	PM_{10}	$PM_{2.5}$	VOCs	NH_3
电厂	排放量/t	262.7	34.4	137.5	6.7	3.1	9.8	1.3
	贡献率/%	74	71	18	8	10	8	90
工业锅炉	排放量/t	0	6.2	3.8	0.7	0.5	0.5	0.1
	贡献率/%	0	13	1	1	2	0	10
工艺过程	排放量/t	93.2	7.8	627.5	74	27.4	113.1	0
	贡献率/%	26	16	82	91	88	92	0
总计	排放量/t	356.0	48.3	768.8	81.4	31.0	123.5	1.5

（一）电厂

焦作高新技术开发区有 1 家电厂，即焦作市高新热力有限责任公司，该电厂设有两个燃煤锅炉，其装机容量、燃料类型、锅炉类型以及污染物控制措施等如表 4.36 所示。焦作高新技术开发区总装机容量为 18MW，电厂均安装了污染物控制措施。对于 PM_{10}、$PM_{2.5}$、二氧化硫和氮氧化物采取的污染控制措施依次为“袋式除尘/电袋组合+石灰石/石膏法+选择性催化还原法（SNCR），去除效率依次为 99.37%、99%、80%和 30%。

表 4.36 焦作高新技术开发区电厂信息

序号	装机容量/MW	燃料年耗量/$\times10^4$ 吨	燃烧方式	除尘工艺	脱硫工艺	脱硝工艺
1	6	3.27	循环流化床锅炉	袋式除尘/电袋组合	石灰石/石膏法	选择性催化还原法（SCR）/选择性非催化还原法（SNCR）
2	12	3.27	循环流化床锅炉	袋式除尘/电袋组合	石灰石/石膏法	选择性催化还原法（SCR）/选择性非催化还原法（SNCR）

（二）锅炉

焦作高新技术开发区燃料类型主要为天然气，锅炉燃烧方式主要是室燃炉（表 4.37）。焦作高新技术开发区主要采用了室燃炉（10 个）。大部分企业均没有安装污染物控制措施，只有焦作和农饲料有限公司这一家企业安装了除尘工艺，即湿式除雾，除尘效率为 90%。

在工业锅炉燃烧所排放的大气污染物中，氮氧化物排放量最大，2017 年高达到 6.19 吨，占园区氮氧化物排放总量的 24%。其原因主要是园区内的蒙牛乳业（焦作）有限公司对天然气的使用消耗量较大，占整个园区能源消耗总量的 65%。

表 4.37 焦作高新技术开发区锅炉信息

锅炉燃烧方式	锅 炉 类 型	燃 料 类 型	燃料消耗量（tce）	锅炉个数	除尘工艺	脱硫工艺	脱硝工艺
室燃炉	燃气锅炉	天然气	393.7	10	湿式除雾	/	/

注：SCR 代表选择性催化还原法；SNCR 代表选择性非催化还原法。

（三）工艺过程

焦作高新技术开发区工艺过程产生的大气污染物中 CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$ 和 VOCs 排放量最高，分别为 627.5 t、74 t、27.4 t、113.1 t，分别占园区污染物排放量的 82%、91%、88%和 92%。PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 以及 NOx 贡献较大主要原因是园区有较多水泥制品、混凝土及煤矸石等建材类企业，该类企业 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 排放因子较高，产品产量也相对较高，且物料输送储存过程没有安装除尘设施。工艺过程引起的 VOCs 排放量较高原因主要是园区内存在油墨印刷行业（如焦作亿思达科技有限公司），其污染物排放因子较高。焦作高新技术开发区 PM 和 VOCs 主要排放源企业信息如表 4.38 所示。

表 4.38 焦作市高新技术开发区 PM 和 VOCs 主要排放源企业信息

企业	产品名称	工艺名称	产品产量（吨-产品）/（万块-标砖）
焦作市鹏远水泥有限公司	水泥	粉磨站	61687.19
焦作高新区宁郭镇明峰水泥制品厂	各种水泥制品	物料混合搅拌	3861
焦作市建鑫砼业有限责任公司	混凝土	物料混合搅拌	69900
焦作亿建建材有限公司	混凝土	物料混合搅拌	280000
焦作市巨力商品混凝土有限公司	混凝土	物料混合搅拌	120000
焦作亿思达科技有限公司	印刷品(承印物为塑料)	印后整理工艺	102.6
焦作市天天彩印有限公司	印刷品(承印物为纸)	平版印刷	60

4.2.11 郑州航空港产业集聚区

郑州航空港产业集聚区 2017 年工业源大气污染物排放清单及各部门贡献率如表 4.39 所示，SO_2、NO_x、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 年排放量分别为 222.5、69.4、1528.3、1511.4、516.4、53.2、3.8 吨。由表可知， SO_2、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs 和 NH_3 的主要排放源是工艺过程，贡献率分别为 99.6%、97.7%、99.6%、99.1%、90.3%和 64.1%；NO_x 主要来源于工业锅炉，占比达到 73.4%。

工业锅炉排放的 NO_x 比工艺过程多，其原因是园区燃气锅炉天然气消耗量大，且排放因子较大（2.09 g/m^3）。此外，园区内存在排放因子很高的其他燃料锅炉和层燃炉（排放因子分别为 4.72 g/Kg 燃料和 4 g/Kg 燃料），而且这两类锅炉均未采取脱硝措施而使 NO_x 直接排放。工艺过程是除 NO_x 之外其他六种主要污染物的主要排放源，是因为园区内生产水泥和砖瓦的非金属矿物制品类企业数量多且产量非常高，而水泥行业的排放因子高。同时，有一部分生产水泥的企业和所有的砖瓦企业在物料输送储存、手工电弧焊等环节均没有安装除尘或脱硫脱硝设施。

表 4.39 郑州航空港产业集聚区 2017 年工业源清单及部门贡献

部门		SO_2	NO_x	CO	PM_{10}	$PM_{2.5}$	VOCs	NH_3
电 厂	排放量/t	0	0	0	0	0	0	0
	贡献率/%	0	0	0	0	0	0	0
工业锅炉	排放量/t	0.8	50.9	35.7	6.6	4.8	5.2	1.4
	贡献率/%	0.4	73.4	2.3	0.4	0.9	9.7	35.9
工艺过程	排放量/t	221.7	18.5	1492.6	1504.7	511.6	48.0	2.5
	贡献率/%	99.6	26.6	97.7	99.6	99.1	90.3	64.1
总计	排放量/t	222.5	69.4	1528.3	1511.4	516.4	53.2	3.8

（一）电厂

郑州航空港产业集聚区园区内没有电厂。

（二）锅炉

郑州航空港产业集聚区燃料类型主要为天然气、生物质燃料和其他燃料，锅炉燃烧方式分为室燃炉和层燃炉（表 4.40）。郑州航空港产业集聚区主要采用了室燃炉（34 个）和层燃炉（1 个），其中室燃炉使用较多。河南省新斗彩印刷有限公司安装了除尘设施，采用其他类除尘工艺，除尘效率为 75%。

在工业锅炉燃烧所排放的大气污染物中，氮氧化物的排放量占比最大，2017年高达到50.9吨，占园区氮氧化物排放总量的73.4%。主要的原因是园区内锅炉天然气消耗量大，达到 2312 万立方米，且天然气室燃炉的排放因子较大（2.09 g/m3）。此外，河南省新郑市黄河饲料有限公司和河南省新斗彩印刷有限公司存在排放因子更高的其他燃料室燃炉和层燃炉（排放因子分别为4.72 g/Kg燃料和4 g/Kg 燃料），而且这两类锅炉均未采取脱硝措施。

表 4.40 郑州航空港产业集聚区锅炉信息

锅炉燃烧方式	锅 炉类 型	燃 料类 型	燃料消耗量（tce）	锅炉个数	除尘工艺	脱硫工艺	脱硝工艺
室燃炉	燃气锅炉	天然气	2807.624	33	/	/	/
		其他燃料	15.64	1	/	/	/
层燃炉	燃生物质锅炉	生物燃料	900.93	1	其他	/	/

（三）工艺过程

在郑州航空港产业集聚区工艺过程产生的大气污染物中，SO_2、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$和 VOCs 排放量均最高，分别为 221.7、1492.6、1504.7、511.6、48.0 吨，分别占园区排放总量的 99.6%、97.7%、99.6%、99.1%、90.3%。SO_2、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$和 VOCs 贡献较大的主要原因是园区内有较多水泥及砖瓦制品企业，该类企业产品产量大且上述污染物的排放因子较高，且只有部分企业在物料混合、搅拌、输送环节安装了除尘设施，其余企业均为安装除尘及脱硫脱硝设施。工业过程引起的 NH_3 排放量较高的原因主要是该园区生产化肥的化工企业（河南省沃土鲜呈环保科技有限公司和郑州牟山波恩微肥有限公司）产品产量高且 NH_3 的排放因子也较高（2 g/kg 产品）。郑州航空港产业集聚区非金属矿物制品类和化工类主要企业信息如表 4.41 所示。

表 4.41 郑州航空港区 SO_2、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs 和 NH_3 主要排放源企业信息

企业	产品名称	工艺名称	产品产量（吨-产品）
河南固邦混凝土有限公司	混凝土	物料输送储存	1180000
中电建建筑集团有限公司（中电建建筑集团有限公司郑州航空港二标二处小件预制厂）	各种水泥制品	物料混合搅拌	35000

企业	产品名称	工艺名称	产品产量（吨-产品）
河南环球商品混凝土有限公司	混凝土	物料输送储存	161760
河南天利混凝土有限公司	混凝土	物料混合搅拌	13200
河南佳运混凝土有限公司	混凝土	物料输送储存	60000
河南双龙混凝土有限公司	混凝土	物料混合搅拌	600000
山东龙泉管道工程股份有限公司河南分公司	各种水泥制品	物料输送储存	70000
河南恒润建材有限公司	有机试剂	精制提纯合成	15000
河南省沃土鲜呈环保科技有限公司	有机肥/生物有机肥	非罐式发酵	1100
郑州牟山波恩微肥有限公司	硫酸钾	曼海姆法	126

4.2.12 国家级工业园区大气污染排放特征分析

河南省传输通道工业园区大气污染物排放总量大，是城市污染的集中区域。十一家园区排放的 SO_2、NO_x、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 总量分别为 24850.8、23329、36492.7、8289.9、3463.8、5276.3 和 1100.7 吨，分别占七个城市对应污染物排放总量的 12.0%、4.2%、1.7%、1.6%、1.6%、1.2%和 0.4%。各园区具体排放情况见表 4.42。

在大气污染物排放源特征方面，SO_2 和 NO_x 排放主要由电厂产生，占 11 个园区排放总量的 70.4%和 61.8%，最根本的原因是大量使用煤炭，尽管政府正在推行能源替代政策，例如使用天然气代替煤炭作为燃料，大多数发电厂仍然使用原始的燃煤锅炉，且园区的发电厂装机容量较大，濮阳经开区拥有 2 座 210 兆瓦的燃煤锅炉，鹤壁经开区拥有 2 座 135 兆瓦的燃煤锅炉，红旗渠拥有 2 座 350 兆瓦的燃煤锅炉，郑州高新区除了 2 座 135 兆瓦的燃煤锅炉还拥有 2 座 390 兆瓦的燃气锅炉。CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs 和 NH_3 主要来自于工艺过程。其中，工艺过程源产生的 CO 主要来自于非金属矿物制品业。PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的主要来源也是非金属矿物产品行业，其中水泥，砖瓦等建筑类企业排放贡献较大。VOCs 主要来自于纺织印刷业，其次是化工业。NH_3 排放主要来自化工业和非金属矿物制品业，其中化学工业占主导地位，占排放总量的 90％。

在具体工业园区排放特征方面，SO_2 排放量最大的三个国家级工业园区为濮

阳经开区（8445.8 吨），红旗渠经开区（6454.6 吨）和郑州高新区（3262.6 吨），一共占 11 个国家园区排放总量的 73.1%。NO_X 排放主要集中在濮阳经开区、郑州高新区和红旗渠经开区，分别为 7667.7 吨、5731.3 吨和 5405.1 吨，占 11 个国家级园区排放总量的 81%。CO 排放量前三的园区分别是红旗渠经开区，开封经开区和濮阳经开区，对应的排放量为 16016.7 吨、5718.8 吨和 4430 吨，占国家级工业园区排放总量的 71.7%，PM_{10} 排放量前三的园区是濮阳经开区（1794.5 吨），郑州航空港区（1511.4 吨）和郑州经开区（1445.8 吨），这三个园区产生 PM_{10} 占 11 个园区排放总量的 57.3%，$PM_{2.5}$ 排放量前三的园区是濮阳经开区、鹤壁经开区和郑州航空港区，排放量分别为 766.8、684.1 和 516.4 吨，一共占园区总排放的 56.8%。VOCs 主要来自开封经开区和郑州高新区，排放量分别为 1764.6 吨和 1266.5 吨，一共占园区排放总量的 57.4%。NH_3 主要由濮阳经开区排放，排放量为 995.9 吨，高达总排放量的 90％。

表 4.42 国家级工业园区 2017 年大气污染物排放清单汇总

园区	SO_2（t）	NOx（t）	CO（t）	PM_{10}（t）	$PM_{2.5}$（t）	VOCs（t）	NH_3（t）
濮阳经开区	8445.8	7667.7	4430	1794.5	766.8	478.8	995.9
郑州经开区	307.8	157	1975	1445.8	471.8	238.7	2.2
开封经开区	1097.3	459.3	5718.8	520.1	149.8	1764.6	10.5
红旗渠经开区	6454.6	5405.1	16016.7	582.9	391.3	660.4	34.3
鹤壁经开区	3205	2484.1	1603.7	1133.5	684.1	556.8	16.2
新乡经开区	1242.9	1160.1	514	426.5	111.7	89.6	5.1
郑州高新区	3262.3	5731.3	3397.1	786.9	337.8	1266.5	29.7
安阳高新区	256.6	132.7	531.6	5.3	2	17.4	1.2
新乡高新区	0	14	8.7	1.6	1.1	29.5	0.3
焦作高新区	356	48.3	768.8	81.4	31	123.5	1.5
郑州航空港	222.5	69.4	1528.3	1511.4	516.4	53.2	3.8
总计	24850.8	23329	36492.7	8289.9	3463.8	5276.3	1100.7

4.3 典型省级园区大气污染物排放清单核算结果

4.3.1 黄龙产业集聚区大气污染物排放清单

黄龙产业集聚区大气污染物主要排放源为电厂废气、锅炉废气和工艺过程废气三部分。2017 年大气污染物排放清单及各部门贡献率如表 4.43 所示，SO_2、NO_x、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs 和 NH_3 年排放量分别为 443 吨、792 吨、8061 吨、8038 吨、1559 吨、2482 吨和 1250 吨。工业锅炉是 SO_2 的主要排放源，贡献率达到 54.77%；同时工业锅炉对 NO_x 排放总量的贡献也较大，达到 47.11%。工艺过程中 CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、和 VOCs 的排放分别占总排放量的 23.72%、2.56%、9.7%、和 99.58%。

表 4.43 黄龙产业集聚区 2017 年大气污染物排放清单及部门贡献

部门		SO_2	NO_x	CO	PM_{10}	$PM_{2.5}$	VOCs	NH_3
电厂	排放量/t	7	125	1283	4	2	0	14
	贡献率/%	1.61%	15.74%	15.91%	0.05%	0.13%	0.00%	1.14%
工业锅炉	排放量/t	243	373	4866	7829	1405	11	49
	贡献率/%	54.77%	47.11%	60.36%	97.39%	90.17%	0.42%	3.9%
工艺过程	排放量/t	193	294	1912	206	151	2471	1187
	贡献率/%	43.62%	37.15%	23.72%	2.56%	9.7%	99.58%	94.96%
总计	排放量/t	443	792	8061	8038	1559	2482	1250

（一）电厂

黄龙产业集聚区有 1 家电厂，配有 3 个燃生物质锅炉，其装机容量、燃料类型、锅炉燃烧方式以及污染物末端治理措施等如表 4.44 所示。黄龙产业集聚区电厂总装机容量为 270 MW，发电量为 16329 万千瓦时。电厂配有大气污染物末端治理措施，对于颗粒物、二氧化硫和氮氧化物采取的污染控制措施依次为袋式除尘、旋转喷雾干燥法和选择性非催化还原法（SNCR），对应的去除效率依次为 99.9%、85%和 70%。

表 4.44 黄龙产业集聚区电厂信息

序号	装机容量/MW	燃料类型	燃料年耗量/万吨	燃烧方式	除尘工艺	脱硫工艺	脱硝工艺
1	90	城市生活垃圾	121	层燃炉	袋式除尘	旋转喷雾干燥法	选择性非催化还原法
2	90	城市生活垃圾	123	层燃炉	袋式除尘	旋转喷雾干燥法	选择性非催化还原法
3	90	城市生活垃圾	112	层燃炉	袋式除尘	旋转喷雾干燥法	选择性非催化还原法

（二）锅炉

黄龙产业集聚区燃料类型主要为无烟煤、天然气和柴油，锅炉类型分为燃煤锅炉（8 个）、燃气锅炉（16 个）和燃油锅炉（3 个），锅炉详细信息如表 4.45 所示。大部分企业均安装了污染物末端处理措施，除尘工艺主要包括文丘里、离心水膜、电袋组合、袋式除尘，除尘效率分别为 95%、90%、99.9%和 99.6%。仅燃煤锅炉配有选择性非催化还原法（SNCR）的脱硝工艺。脱硫工艺包括双碱法和氨法，氨法去除效率（96%）高于双碱法（90%）。

在所有工业锅炉中，燃煤锅炉排放的大气污染物量最大，SO_2、NO_x、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 年排放量分别为 242 吨、373 吨、4866 吨、7829 吨、1405 吨、11 吨和 49 吨，几乎等于所有工业锅炉的大气污染物排放总量。这主要与其以无烟煤为燃料有关，并且无烟煤占据整个集聚区能源结构的主要部分。

表 4.45 黄龙产业集聚区锅炉信息

锅炉类型	锅炉燃烧方式	燃料类型	燃料消耗量	锅炉个数	除尘工艺	脱硫工艺	脱硝工艺
燃煤锅炉	层燃炉	无烟煤	76（吨）	2	文丘里	双碱法	/
	煤粉炉	无烟煤	1800（吨）	1	离心水膜	双碱法	/
	流化床	无烟煤	2429065（吨）	5	电袋组合	氨法	选择性非催化还原法（SNCR）
燃气锅炉	室燃炉	天然气	236.8（万立方米）	16	/	/	/
燃油锅炉	室燃炉	柴油	219.2（吨）	3	袋式除尘	双碱法	/

（三）工艺过程

在黄龙产业集聚区工艺过程产生的大气污染物中，PM_{10}、$PM_{2.5}$ 和 NH_3 排放量分别为 206 吨、151 吨和 1187 吨，占园区污染物排放总量的 2.56%、9.7%和

94.96%。工业过程引起的 NH_3 排放量较高原因主要是园区内存在 NH_3 排放因子较大（0.407g/kg-产品）的生产尿素和复合肥料的化工企业（如河南晋开化工投资控股集团有限责任公司）。

4.3.2 安阳钢铁集团有限责任公司大气污染物排放清单

目前安阳钢铁集团大气污染物主要排放源为锅炉废气和工艺过程废气两部分。主要的污染物有 SO_2、NO_x、$PM_{2.5}$、PM_{10}、CO 和 VOCs 六种。2017 年安阳钢铁集团有限责任公司大气污染物排放清单及各部门贡献率如表4.46所示，SO_2、NO_x、$PM_{2.5}$、PM_{10}、CO 和 VOCs 年排放量分别为 17294 吨、12772 吨、2118 吨、3138 吨、305677 吨和 10290 吨。

表 4.46 2017 年安阳钢铁集团有限责任公司工业源清单及部门贡献

部门		SO_2	NO_x	$PM_{2.5}$	PM_{10}	CO	VOCs
工业锅炉	排放量/吨	925	1138	135	135	5844	205
	贡献率/%	5.35%	8.91%	6.37%	4.9%	1.91%	2%
工艺过程	排放量/吨	16369	11635	1984	3003	299833	10085
	贡献率/%	94.65%	91.09%	93.63%	95.7%	98.09%	98%
总计	排放量/吨	17294	12772	2118	3138	305677	10290

（一）锅炉

安阳钢铁集团有限责任公司的锅炉燃料类型主要是高炉煤气和焦炉煤气，锅炉燃烧方式全部为室燃炉。安阳钢铁集团锅炉信息如表 4.47 所示。其中使用高炉煤气作为燃料的锅炉有 6 个，使用焦炉煤气的锅炉有 7 个。燃气锅炉没有除尘工艺和脱硫工艺，而脱硝工艺使用的是低氮燃烧技术，去除效率为 20%。在工业锅炉燃烧所排放的大气污染物中，NO_x 的贡献率最大，2017 年排放 1138 吨，占整个企业 NO_x 排放总量的 8.91%。此外，SO_2 的排放量为 925 吨，CO 的排放量为 5844 吨，分别占整个企业总排放量的 5.35%和 1.91%。

表 4.47 安阳钢铁集团有限责任公司锅炉信息

锅炉燃烧方式	锅炉类型	燃料类型	燃料消耗量（万立方米）	锅炉个数	除尘工艺	脱硫工艺	脱硝工艺
室燃炉	燃气锅炉	高炉煤气	385134	6	/	/	低氮燃烧
		焦炉煤气	64393	7	/	/	低氮燃烧

（二）工艺过程

安阳钢铁集团工艺过程大气污染物排放清单如表 4.48 所示。其中工艺过程排放量最大的污染物是 CO，排放量为 30 万吨，占园区 CO 排放量的 98%。其贡献较大的原因是炼钢过程中高炉炼铁过程焦炭的不完全燃烧释放大量 CO 用于化学反应冶炼铁，排放因子较高（40 g/kg 产品），并且无末端治理措施，导致大量 CO 排放入大气。工艺过程中 SO_2 排放量较高的原因主要是炼焦工序中焦炉和地面站等排放源的影响，除了烧结工序使用了氨法（脱硫效率为 89%）进行脱硫外，其他工段均为直接排放。对于颗粒物的排放来说，除了热轧工序外，几乎所有工序都有除尘设施，大部分是除尘效率为 99.6%的布袋除尘或袋式除尘。

表 4.48 安阳钢铁集团有限责任公司工艺过程大气污染物排放清单

污染物种类 / 工序	SO_2	NO_x	$PM_{2.5}$	PM_{10}	CO	VOCs
焦化	2741	4314	132	223	4060	7512
烧结	11399	4679	215	494	136116	2127
炼铁	866	1053	327	522	94599	0
转炉炼钢	0	0	768	1076	64342	441
电炉炼钢	0	0	5	6	716	5
热轧	1362	1589	537	682	0	0
总计	16369	11635	1984	3003	299833	10085

五、国家级园区深度低碳化节能减排潜力分析

5.1 研究方法

5.1.1 工业园区层面自下而上模型

在对河南省 11 个国家级园区 2017 年经济发展、能源消耗和温室气体排放进行深入分析的基础上，本项目选择了高碳排放园区（濮阳经开区、红旗渠经开区）和中碳排放园区（郑州高新区、鹤壁经开区、新乡经开区）为重点进行深度低碳化。以 2017 年为基准年，2030 年和 2050 年为关键时间节点进行预测分析。

本研究在文献调研的基础上，采用自下而上方法对工业园区分部门、分能源品种的能源节约量、温室气体和大气污染物减排量进行预测。主要公式如下所示：

$$\mathrm{EC}_l = \sum_{i,j} AC_{i,j,l} \times \mathrm{EI}_{i,j,l} \tag{5.1}$$

$$\mathrm{EE}_{GHG} = \sum_{i,j} \mathrm{EF}_{GHG,l} \times \mathrm{EC}_l \tag{5.2}$$

$$\mathrm{EE}_{AP} = \sum_{i,j} EF_{AP,l} \times \mathrm{EC}_l \times (1-\eta) \tag{5.3}$$

式中 EC 代表能源消费量，AC 代表用能企业的活动水平（例如产品产量、增加值等），EI 代表以单位活动水平能源消费量表示的能源强度，$\mathrm{EE_{GHG}}$ 和 $\mathrm{EE_{AP}}$ 分别代表化石能源燃烧产生的二氧化碳排和大气污染污染物排放量，η为各种大气污染物控制措施的去除效率，下标 i，j，l 分别代表了部门、企业和能源品种。其中各种化石能源燃料的排放因子包括单位热值含碳量、碳氧化率和低位发热量，均来自《省级温室气体清单编制指南》和《中国能源统计年鉴》。

在活动水平方面，本研究假设各个工业园区的产品产量和增加值保持 2017 年水平不变。在能源强度分析预测方面，主要基于节能减排技术和年均能源强度下降率两类方法，基本公式如下：

$$\mathrm{EI}_T = EI_0 - \sum_m ESP_m \tag{5.4}$$

$$\mathrm{EI}_T = EI_0 \times (1-ADR)^{(T-0)} \tag{5.5}$$

其中 ESP 代替节能减排技术的节能量，ADR 代表年均能源强度下降率，下标 m 代表节能减排技术，上标 T 和 0 分别代表目标年和基准年。

5.1.2 情景设定和关键参数

工业源是工业园区最主要的排放源，本研究根据能源消耗形式将各个工业园区能源消耗分为发电企业和终端用能企业两部分。结合各工业园区主导产业特征，终端用能企业又细分为钢铁、水泥、合成氨、电子信息业和其他工业等行业类型。

在此基础上，本研究建立了基准和深度低碳化两种情景对国家级园区深度低碳化节能减排潜力进行分析。表 5.1 分别从能效提升、能源结构调整、产业结构调整和末端治理技术推广等方面对两种情景进行具体描述。

表 5.1 情景描述

	能效水平	能源结构	产业结构	末端治理技术
基准情景	维持历史趋势，工业能效缓慢进步	能源结构维持不变	产业结构维持不变	无 CCS 应用
深度低碳化情景	高效节能技术得到大力推广，工业能效达到世界领先水平	煤炭消费逐渐被天然气和清洁能源替代，非化石能源占比大幅提升	加快淘汰落后产能，高耗能高排放产业逐渐被智新兴产业替代	2030 年后进入钢铁和水泥 CCS 推广和大规模商业化应用阶段

具体情景设定如下：

(1) 基准情景：与园区 2017 年发展水平保持一致，不考虑能效提升、清洁能源替代、产业结构调整等，无 CCS 应用。

(2) 深度低碳化情景：高效节能技术得到了大力推广，超临界和超超临界技术得到广泛推广应用，常规燃煤机组发电效率大幅提升，工业园区电厂能效达到世界领先水平；推动能源结构调整，加大清洁能源替代力度，通过大力发展可再生能源和加快园区余热利用等措施来加快园区清洁能源替代，煤炭消费逐渐被天然气和清洁能源替代，非化石能源占比大幅提升；推动产业结构调整，加快工业园区产业结构从高耗能高排放产业向智能化低碳化的新兴产业转型，加快淘汰落后产能；2030 年后进入钢铁和水泥 CCS 推广和大规模商业化应用阶段，大力提升 NO_x、SO_2、PM_{10}、$PM_{2.5}$ 和 VOCs 五种污染物的末端治理技术推广比例。

5.2 园区发电企业

5.2.1 工业园区发电企业基本情况

河南省十一家国家级工业园区共有 22 座电厂锅炉，分布于焦作高新区、濮阳经开区、鹤壁经开区、红旗渠经开区、新乡经开区和郑州高新区 6 家园区，锅炉的基本信息如表 5.2 所示。其中，机组装机容量最大的是郑州高新区国家电投集团郑州燃气发电有限公司的两座 390MW 燃气锅炉，其次是红旗渠经开区大唐林州热电有限责任公司的两座 350MW 燃煤锅炉、濮阳经开区国电濮阳热电有限公司的两座 210MW 燃煤锅炉、鹤壁经开区鹤壁煤电股份有限公司热电厂两座 135MW 燃煤锅炉和郑州高新区郑州泰祥热电股份有限公司两座 135MW 燃煤锅炉。其余电厂锅炉单机装机容量均小于 100MW。此外，企业的燃煤锅炉均为热电联产锅炉，而企业自备电站锅炉大多为燃气锅炉（除新乡化纤股份有限公司外），且装机容量均小于 100MW。

表 5.2 河南省国家级园区电站锅炉基本信息表

工业园区	单位名称	电站锅炉类型	燃料类型	热电联产	自备电厂	装机容量(兆瓦)
焦作高新区	焦作市高新热力有限责任公司	燃煤锅炉	无烟煤	是	否	6
	焦作市高新热力有限责任公司	燃煤锅炉	无烟煤	是	否	12
濮阳经开区	国电濮阳热电有限公司	燃煤锅炉	一般烟煤	是	否	2*210
鹤壁经开区	鹤壁煤电股份有限公司热电厂	燃煤锅炉	原煤	是	否	2*135
红旗渠经开区	河南凤宝特钢有限公司	燃气锅炉	天然气	否	是	3
	河南凤宝特钢有限公司	燃气锅炉	天然气	否	是	6
	林州新达焦化有限公司	燃气锅炉	焦炉煤气	否	是	6
	林州市重机林钢钢铁有限公司	燃气锅炉	高炉煤气	否	是	3
	林州市重机林钢钢铁有限公司	燃气锅炉	高炉煤气	否	是	3
	大唐林州热电有限责任公司	燃煤锅炉	原煤	是	否	2*350

工业园区	单位名称	电站锅炉类型	燃料类型	热电联产	自备电厂	装机容量(兆瓦)
	林州市合鑫铸业有限公司	燃气锅炉	高炉煤气	否	是	3
	林州市合鑫铸业有限公司	燃气锅炉	高炉煤气	否	是	6
新乡经开区	新乡化纤股份有限公司	燃煤锅炉	无烟煤	是	是	18
	新乡化纤股份有限公司	燃煤锅炉	无烟煤	是	是	12
	新乡化纤股份有限公司	燃煤锅炉	无烟煤	是	是	25
郑州高新区	国家电投集团郑州燃气发电有限公司	燃气轮机	天然气	否	否	2*390
	郑州泰祥热电股份有限公司	燃煤锅炉	一般烟煤	是	否	2*135

根据各企业电站锅炉燃料类型，分析知林州新达焦化有限公司、林州市重机林钢钢铁有限公司和林州市合鑫铸业有限公司三家企业的电站锅炉为余热回收利用锅炉，故在后续的情景设定中不再对其进行调整。火电机组规模最大的大唐林州热电有限公司供电煤耗为 312 gce/kWh，与 2017 年电厂火力供电标准煤耗 309gce/kWh（来自《中国能源统计年鉴 2018》）相比，仍有较大能效差距。

表 5.3 河南省国家级工业园区电站锅炉基本信息

单位名称	装机容量（MW）	供电煤耗（gce/kwh)
国电濮阳热电有限公司	210*2	332
大唐林州热电有限责任公司	350*2	312
郑州泰祥热电股份有限公司	135*2	312
鹤壁煤电股份有限公司热电厂	135*2	312
国家电投集团郑州燃气发电有限公司	390*2	/
河南凤宝特钢有限公司	3+6	/
新乡化纤股份有限公司	18+12+25	362
焦作市高新热力有限责任公司	6+12	328

5.2.2 情景和参数与设定

根据《煤电节能减排升级与改造行动计划（2014-2020 年）》、《河南省热电联产规划建设办法》及《热电联产管理办法》中关于“关停单机 50 MW 及以下的常规小火电机组”的政策规定，并考虑单位供电煤耗的能效对标水平，本情景首先将新乡化纤股份有限公司和焦作市高新热力有限责任公司的机组进行关停，

所需电力全由外购电进行补足。在此基础上，针对本项目选择的高、中碳排放园区（濮阳经开区、红旗渠经开区、郑州高新区、鹤壁经开区）的电厂锅炉进行能效提升情景分析。

工业园区发电企业深度低碳化主要考虑以下三方面：一是可再生能源的开发利用；二是煤电机组能效提升；三是 2030 年以后火电企业 CCS 技术的采用。

在可再生能源开发利用方面: 将逐步降低发电企业的发电结构中燃煤发电比例，用燃气发电、风能发电、太阳能发电和生物质发电替代（如表 5.4 所示）。假设到 2030 年可再生能源发电技术持续发展，可以替代部分煤炭、天然气进行发电，占发电结构的 11%。到 2050 年，可再生能源发电技术逐渐成熟，可再生能源发电设施数量增加，可再生能源发电比例显著增加至 24%。

表 5.4. 深度低碳化情景下发电企业的发电结构变化 （%）

发电结构	2017	2030	2050
燃煤发电	77	64	50
燃气发电	23	25	26
风能发电	0	3	6
太阳能发电	0	2	6
生物质发电	0	6	12

在煤电机组能效提升方面，首先根据《2017 年国家重点节能低碳技术推广目录》筛选了 11 项节能技术（如表 5.5 所示），假设到 2030 年 11 项节能技术在工业园区电厂得到全面推广使用。11 项能效技术的总节能量为 10.1gce/kWh，其中节能量最大的技术为富氧双强点火稳燃节油技术（节能量 1.5 gce/kWh）、高温空气点火技术（节能量 1.4 gce/kWh）和弱爆炸波吹灰技术（节能量 1.4 gce/kWh）。与此同时，2030 年超临界和超超临界技术在河南省工业园区得到了广泛使用，常规燃煤机组发电效率大幅提升，供电煤耗进一步降低到 280 gce/kWh。到 2050 年，煤电加工转化技术取得重大创新突破，煤电转化效率提升到 50%，供电煤耗进一步下降到 260 gce/kWh。

表 5.5 燃煤电厂 11 项能效技术节能量

序号	技术名称	节能量（gce/kWh）
1	气化微油点火技术	0.7
2	等离子煤粉点火技术	0.2
3	高温空气点火技术	1.4
4	富氧双强点火稳燃节油技术	1.5
5	领机蒸汽加热启动技术	0.3
6	弱爆炸波吹灰技术	1.4
7	电袋复合除尘器节能技术	0.9
8	电除尘器节能提交控制技术	0.7
9	锅炉智能吹风优化与在线结焦预警系统技术	1.1
10	烟气系统优化与余热回收技术	1.1
11	在线信息监测技术	0.8

在 CCS 技术利用方面，目前对二氧化碳进行封存和利用的关键技术主要包括深部咸水层封存、二氧化碳驱提高石油采收率、二氧化碳驱替煤层气等。截止 2019 年底，我国共开展了 9 个二氧化碳捕集示范项目和 12 个地质利用与封存项目。考虑到河南省“富煤少气少油”的资源禀赋，煤层封存二氧化碳在河南省具有一定的开发利用潜力。本项目中假设 2030 年之后在工业园区 IGCC 电站开始使用 CCS 技术。 根据《IPCC 二氧化碳捕集和封存特别报告》，CCS 技术的二氧化碳去除效率可到 85-90%，本研究中采用 90%的去除效率。

5.2.3 深度低碳化减排结果分析

（1）濮阳经开区

濮阳经开区 2017 年发电企业能源消耗类型为煤炭，能源结构单一。在发电结构调整和能效技术的提升下，2030 年煤炭占比显著下降，达到 60%，2050 年煤炭占比下降到 44%。如图 5.1 所示，2030 年濮阳经开区天然气、风能、太阳能和生物质能占比依次为 28%、3%、2%和 7%，在 2050 年占比分别为 29%、7%、7%和 13%。通过发电结构调整、能效提升和 CCS 技术的采用，濮阳经开区温室气体排放呈现明显下降趋势。2030 年和 2050 年濮阳经开区发电企业 CO_2 排放量分别降至 158 万吨和 117 万吨，减排率分别为 11%和 17%。在大气污染物协同减排方面，濮阳经开区七种大气污染物在深度低碳化情景下均呈显著下降趋势，如图 5.2 所示。在发电企业深度低碳化情景下，2030 年 SO_2、NO_x、CO、PM_{10}、

$PM_{2.5}$、VOCs 和 NH_3 的减排量分别达到 2483、1347、879、213、36、51 和 2 吨，减排率分别为 46%、54%、20%、3%、1%、11%和 0%；2050 年 SO_2、NO_x、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs 和 NH_3 的减排量分别达到 3283、1885、1226、293、57、77 和 5 吨，减排率分别为 61%、25%、27%、3%、2%、16%和 1%。结果表明，发电企业深度低碳化情景下，濮阳经开区 NO_x、SO_2 和 CO 的协同减排效果最好。因此，发电结构调整和能效提升措施的推广应用，不仅能减少园区温室气体排放，同时也能带来较好的大气污染物协同减排效果。

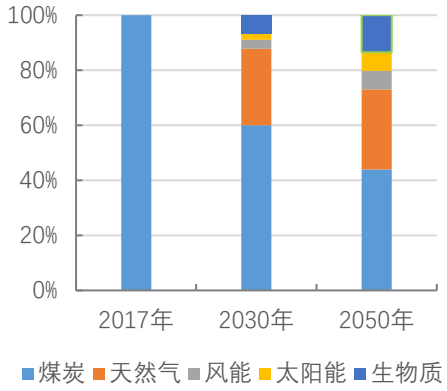


图 5.1 濮阳经开区发电企业能源结构变化趋势

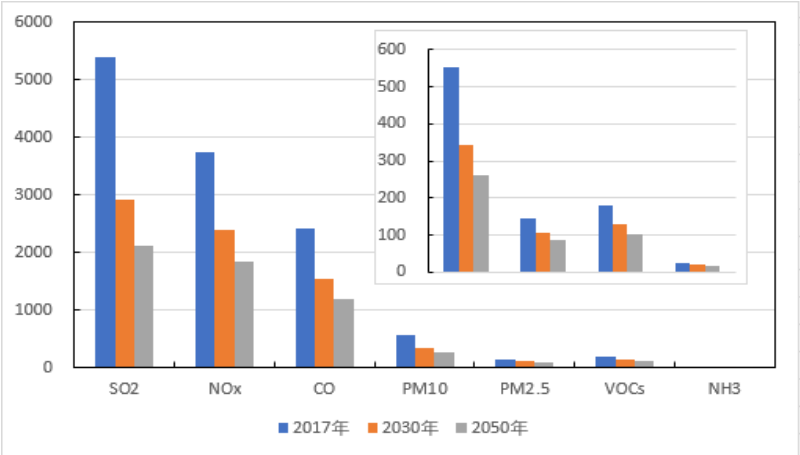


图 5.2 濮阳经开区电厂污染物排放量变化趋势

（2）红旗渠经开区

红旗渠经开区电厂能源消耗类型为煤炭，天然气和焦炉煤气。通过发电结构调整，增加了清洁能源（风能、太阳能和生物质能）的投入。在发电结构调整和能效技术的提升下，2030 年煤炭在能源结构中的占比显著下降，达到 52%，到 2050 年煤炭占比达到能源结构的 46%，清洁能源的总占比在 2030 年和 2050 年

分别提升至 6%和 10%，如图 5.3 所示。通过发电结构调整、能效提升和 CCS 技术的采用，红旗渠经开区温室气体排放呈现明显下降趋势。2030 年和 2050 年红旗渠经开区发电企业 CO_2 排放量分别降至 211 万吨和 174 万吨，减排率分别为 8%和 15%。在大气污染物协同减排方面，红旗渠经开区七种大气污染物在深度低碳化情景下均呈显著下降趋势，如图 5.4 所示。在发电企业深度低碳化情景下，2030 年 SO_2、NO_x、NH_3、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$ 和 VOCs 的减排量分别达到 920、328、443、64、25、33 和 4 吨，减排率分别为 14%、6%、3%、11%、7%、5%和 12%；2050 年 SO_2、NO_x、NH_3、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$ 和 VOCs 的减排量分别达到 1461、489、700、100、40、52 和 6 吨，减排率分别为 23%、9%、4%、17%、10%、8%和 18%。结果表明，发电企业深度低碳化情景下，红旗渠经开区 VOCs、SO_2 和 CO 的协同减排效果最好。因此，发电结构调整和能效提升措施的推广应用，不仅能减少园区温室气体排放，同时能带来较好的大气污染物协同减排效果。

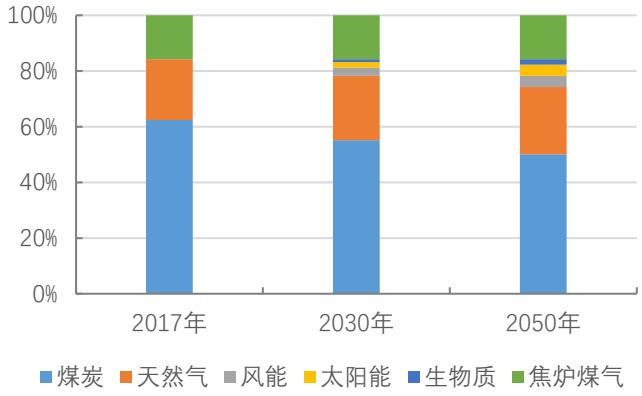


图 5.3 红旗渠经开区发电企业能源结构变化趋

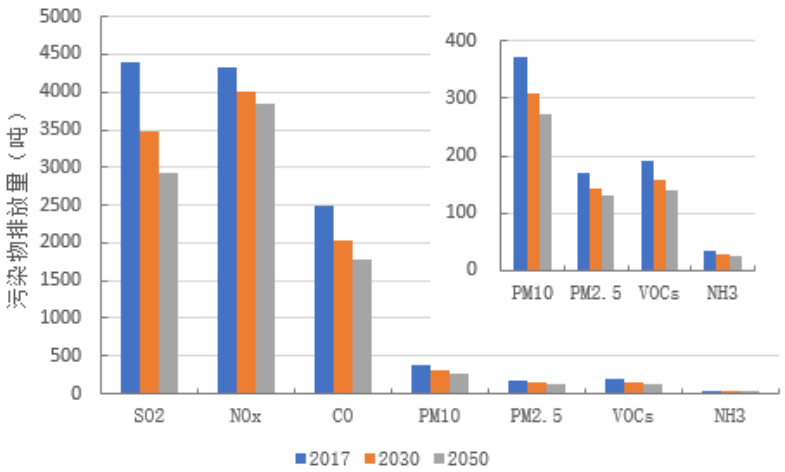


图 5.4 红旗渠经开区电厂污染物排放量变化趋势

（3）鹤壁经开区

鹤壁经开区电厂能源消耗类型为煤炭，能源结构单一。在发电结构调整和能效技术提升的情景下，2030 年煤炭在能源结构中的占比显著下降，达到 61%，2050 年的煤炭占比达到 45%，如图 5.5 所示。通过发电结构调整、能效提升和 CCS 技术的采用，鹤壁经开区温室气体排放呈现明显下降趋势。2030 年和 2050 年红旗渠经开区发电企业 CO_2 排放量分别降至 110 万吨和 81 万吨，减排率分别为 25%和 43%。在大气污染物协同减排方面，鹤壁经开区七种大气污染物在深度低碳化情景下均呈显著下降趋势，如图 5.6 所示。在发电企业深度低碳化情景下，2030 年 SO_2、NO_x、NH_3、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$ 和 VOCs 的减排量分别达到 1367、810、529、442、266、30 和 1 吨，减排率分别为 43%、33%、33%、39%、39%、5%和 6%；2050 年 SO_2、NO_x、NH_3、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$ 和 VOCs 的减排量分别达到 1871、1190、774、614、371、48 和 3 吨，减排率分别为 58%、48%、48%、54%、54%、9%和 20%。结果表明，发电企业深度低碳化情景下，鹤壁经开区 SO_2、PM_{10} 和 CO 的协同减排效果最好。因此，发电结构调整和能效提升措施的推广应用，不仅能减少园区温室气体排放，同时也能带来较好的大气污染物协同减排效果。

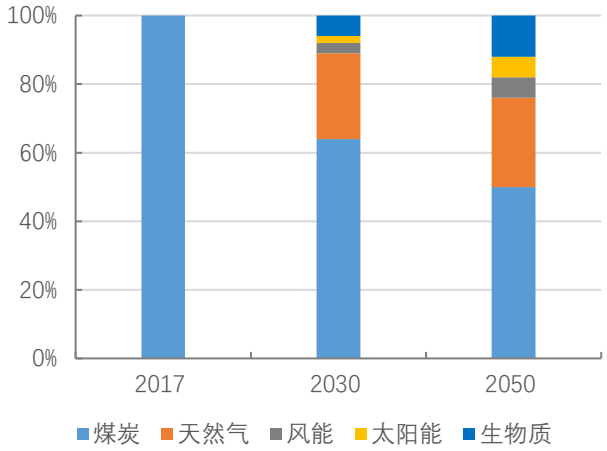


图 5.5 鹤壁经开区发电企业能源结构变化趋势

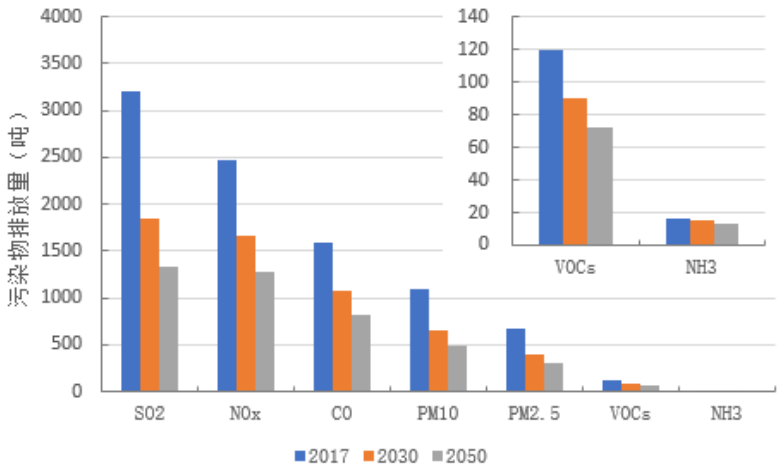


图 5.6 鹤壁经开区电厂污染物排放量变化趋势

（4）郑州高新区

郑州高新区电厂能源消耗类型为煤炭和天然气。通过发电结构调整，增加了清洁能源（风能、太阳能和生物质能）的投入。在发电结构调整和能效技术提升的情景下，2030 年煤炭在能源结构中的占比下降至 47%，2050 年煤炭占比达到 36%。在 2030 年，天然气、风能、太阳能和生物质能占比依次达 41%、3%、2%和 6%，在 2050 年占比分别达 43%、6%、4%和 11%，如图 5.7 所示。通过发电结构调整、能效提升和 CCS 技术的采用，郑州高新区温室气体排放呈现明显下降趋势。2030 年和 2050 年电厂排放 CO_2 的量分别为 164 万吨和 129 万吨，减排率分别为 13%和 26%。在大气污染物协同减排方面，郑州高新区七种大气污染物在深度低碳化情景下均呈显著下降趋势，如图 5.8 所示。在发电企业深度低碳化情景下，2030 年 SO_2、NO_x、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs 和 NH_3 的减排量分别达到 789、1357、393、57、15、29 和 4 吨，减排率分别为 22%、17%、9%、7%、4%、2%和 13%；2050 年 SO_2、NO_x、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs 和 NH_3 的减排量分别达到 1367、2344、676、98、25、50 和 7 吨，38%、29%、15%、12%、7%、4%和 21%。结果表明，发电企业深度低碳化情景下，郑州高新区 SO_2 和 NO_x 的协同减排效果最好。因此，发电结构调整和能效提升措施的推广应用，不仅能减少园区温室气体排放，同时也能带来较好的大气污染物协同减排效果。

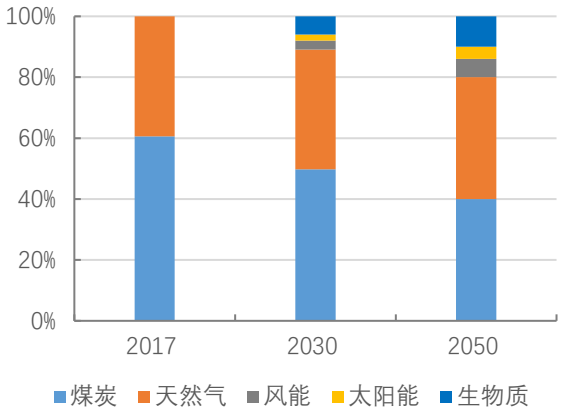


图 5.7 郑州高新区发电企业能源结构变化趋势

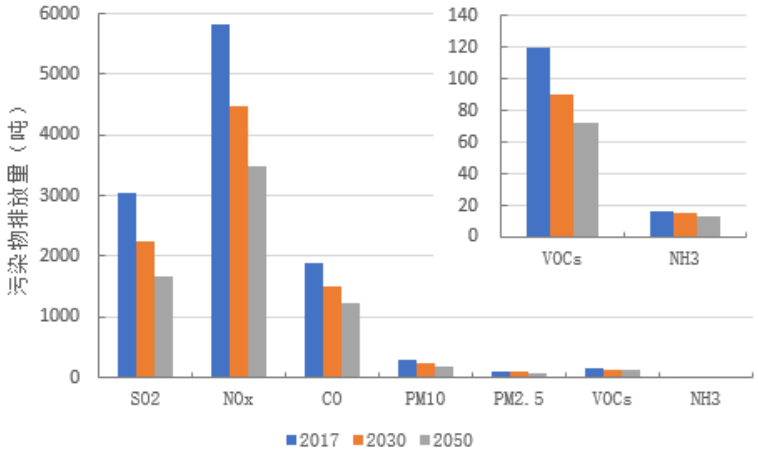


图 5.8 郑州高新区电厂污染物排放量变化趋势

5.2.4 园区发电企业深度低碳化结果汇总

（一）发电能源结构变化情况

2017 年，园区发电企业一次能源结构中占比最大的是煤炭，高达 78%。其次是天然气，占比为 17%，最后是焦炉煤气，占比为 5%。2030 年，通过关停小火电机组和对园区发电企业的可再生能源开发利用和煤电机组能效提升，园区发电企业一次能源结构产生了明显的变化。煤炭依然是主要的发电燃料，但其比例降低至 54%，相比 2017 年减少了 24%；天然气的比例小幅增加，达到 30%；清洁能源（风能、太阳能、生物质）首次出现在能源结构中，占比合计为 10%；焦炉煤气在能源结构中并无明显变化。2050 年，园区发电企业的一次能源结构在 2030 年的基础上继续发生变化。煤炭的占比持续下降，跌至 43%。天然气和焦炉煤气在能源结构中并无变化。相比 2030 年，可再生能源使用量比 2030 年增加

10%，占能源总量的 20%，其中，风能、太阳能和生物质占比依次提高至 6%、5%和 9%。

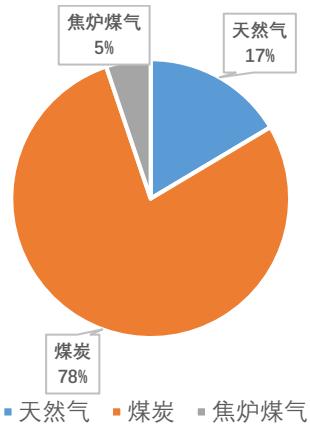


图 5.9 发电企业一次能源结构（2017 年）

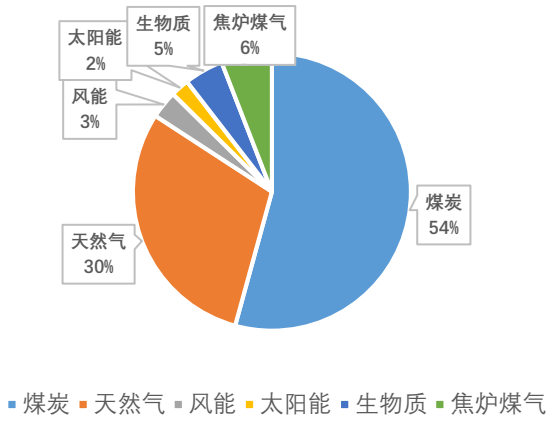


图 5.10 发电企业一次能源结构（2030 年）

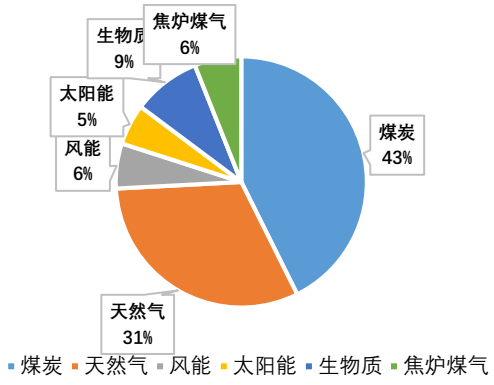


图 5.11 发电企业一次能源结构（2050 年）

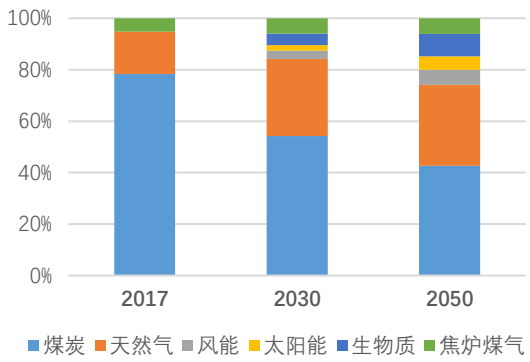


图 5.12 发电企业一次能源结构占比变化趋势

（二）温室气体排放情况预测

2017 年，园区发电企业的温室气体排放量为 895 万吨。基于对园区发电企业的可再生能源开发利用和煤电机组能效提升，分别核算 2030 年和 2050 年的温室气体减排量和温室气体减排率。2030 年和 2050 年园区发电企业的温室气体排放量分别为 644 万吨和 501 万吨。温室气体排放量结果如图 5.13 和图 5.14 所示。结果表明，相比 2017 年，到 2030 年可减少 CO_2 排放 251 万吨，减排效率为 14%；到 2050 年可减少 CO_2 排放 394 万吨，减排效率为 22%。

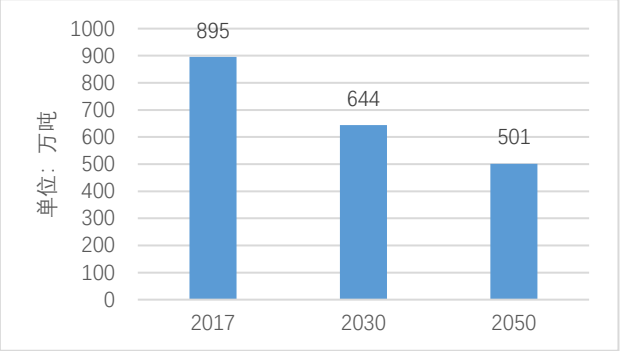


图 5.13 园区发电企业电厂温室气体排放总量

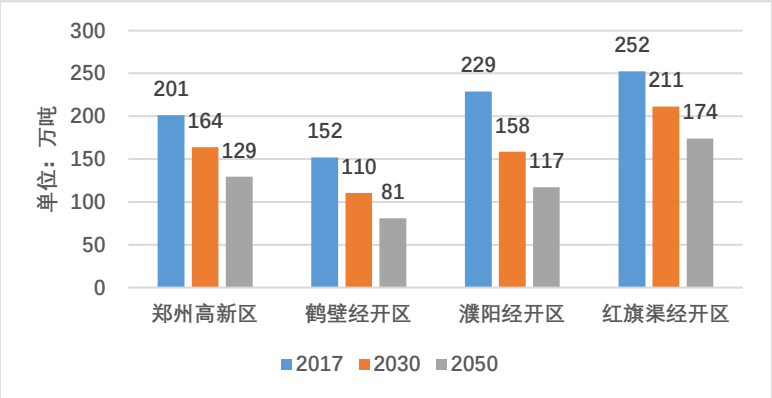


图 5.14 主要发电企业所在工业园区的发电相关温室气体排放量

在具体减排贡献方面，发电结构调整措施比能效提升措施的温室气体减排效果更为显著。到 2030 年，通过发电结构调整措施可带来 187 万吨的 CO_2 减排量，能效提升可带来 64 万吨的 CO_2 减排量；到 2050 年，通过发电结构调整措施可带来 285 万吨的 CO_2 减排量，能效提升可带来 81 万吨的 CO_2 减排量，CCS 技术应用的 CO_2 减排量为 28 万吨。减排效果如图 5.15 所示。

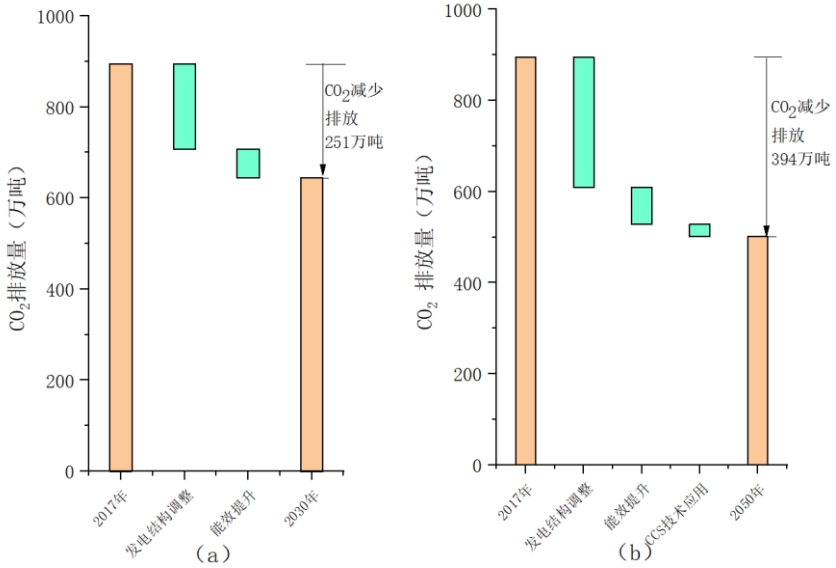


图 5.15 四个核心工业园区发电企业 CO_2 减排贡献

（三）大气污染物协同减排效果

2017 年，在园区发电企业排放的大气污染物中，排放量最高的是 NO_X，其次是 SO_2 和 CO。通过对园区发电企业的可再生能源开发利用和煤电机组能效提升，2030 年和 2050 年的大气污染物排放量均明显下降，且排放量名次并无明显变化。详细的排放量核算结果见图 5.16。

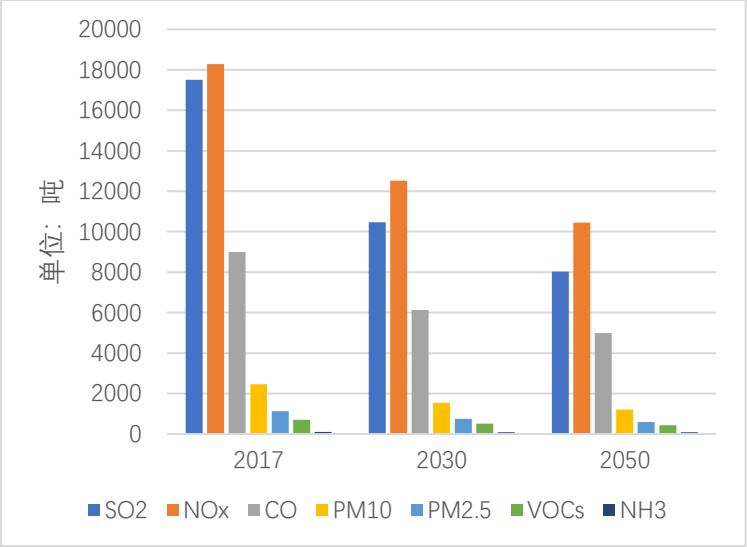


图 5.16 园区发电企业大气污染物排放量

基于对园区发电企业的小火电机组关停、进行可再生能源开发利用和煤电机组能效提升，分别对 2030 年和 2050 年的大气污染物减排量和大气污染物减排率进行核算，结果如表 5.6 所示。其中，减排效果最好的是 SO_2 和 NO_X，二者的减排率在 2030 年和 2050 年是最高的。

表 5.6 大气污染物减排量和减排率结果

年份		SO2	NOx	CO	PM_{10}	$PM_{2.5}$	VOCs	NH_3
2030	减排量 t	7056	5770	2870	919	380	190	17
	减排率	31%	26%	11%	8%	8%	1%	2%
2050	减排量 t	9476	7835	4000	1248	530	274	27
	减排率	41%	35%	15%	11%	11%	2%	2%

综上所述，通过燃煤小锅炉关停、可再生能源利用推广、能效提升和 CCS 技术推广等措施的采用，能显著降低工业园区温室气体排放量，实现工业园区发电企业的深度低碳化。预计通过上述措施的采用，到 2030 年将节省煤炭 116 万吨标煤，减少 CO_2 排放 250 万吨，减少大气污染物 SO_2、NO_X、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOC_S 和 NH_3 排放 7056 吨、5770 吨、2870 吨、919 吨、380 吨、190 吨和 17 吨；

到 2050 年，节能减排效果进一步提升，预计将节省煤炭 147 万吨标煤，减少 CO_2 排放 393 万吨，分别减少大气污染物 SO_2、NO_X、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOC_S 和 NH_3 排放 9476 吨、7835 吨、4000 吨、1248 吨、530 吨、274 吨和 27 吨。详细结果如表 5.7 和表 5.8 所示。

表 5.7 河南省国家级发电园区 2030 年情景节能减排结果汇总

园区名称	节煤潜力 (万 tce)	减排潜力							
		CO_2 （t）	SO_2 （t）	NOx （t）	CO （t）	PM_{10} （t）	$PM_{2.5}$ （t）	VOCs （t）	NH_3 （t）
濮阳经开区	39.4	703571	2483	1347	879	213	36	51	2
鹤壁经开区	24.2	415337	1367	810	529	442	266	30	1
红旗渠经开区	16.3	420763	935	1100	452	65	26	34	4
郑州高新区	14.0	373615	789	1357	393	57	15	29	4
焦作高新区	4.7	124422	263	34	131	30	8	10	1
新乡经开区	17.3	461715	1219	1122	486	112	29	36	5
总计	115.9	2499423	7056	5770	2870	919	380	190	17

表 5.8 河南省国家级发电园区 2050 年情景节能减排结果汇总

园区名称	节煤潜力 (万 tce)	减排潜力							
		CO2 （t）	SO2 （t）	NOx （t）	CO （t）	PM_{10} （t）	$PM_{2.5}$ （t）	VOCs （t）	NH_3 （t）
濮阳经开区	52.1	1118287	3283	1885	1226	293	57	77	5
鹤壁经开区	33.2	708253	1871	1190	774	614	371	48	3
红旗渠经开区	16.3	793920	1473	1260	707	101	40	53	6
郑州高新区	24.2	718672	1367	2344	676	98	25	50	7
焦作高新区	4.7	124422	263	34	131	30	8	10	1
新乡经开区	17.3	461715	1219	1122	486	112	29	36	5
总计	147.8	3925269	9476	7835	4000	1248	530	274	27

5.3 园区终端用能企业

5.3.1 濮阳经开区

（一）工业企业现状

濮阳经开区是以石油煤炭加工和化工制品制造业为主导产业，主要能源类型为煤炭和天然气，其核心企业如下表 5.9 所示。其中，能耗最大的企业为河南省中原大化集团有限责任公司（天然气），年均能耗为 59 万吨标煤，占园区总能耗的 28%；产值最大的企业为中国石化中原石油化工有限责任公司，年总产值为 45 亿元，对园区贡献比例高达 33%；单位产值能耗最大的企业为河南省中原大化集团有限责任公司（煤化工）。

表 5.9 濮阳经开区核心企业 2017 年基本概况

核心企业	主要产品	主要产品产量	年总能耗（tce）
河南省中原大化集团有限责任公司（天然气）	尿素	448000 吨	588637.1
	合成氨	276000 吨	
	复混肥料	30000 吨	
河南省中原大化集团有限责任公司（煤化工）	甲醇	290000 吨	242862.0
濮阳龙宇化工有限责任公司	甲醇	173122 吨	88879.5
	二甲醚	81047 吨	
中国石化中原石油化工有限责任公司	催化裂化汽油、柴油	/	20652.1
濮阳高新区新习乡刘堤口北窑厂	烧结类砖瓦及建筑砌块	7000 万块标砖	7743.0
迈奇化学股份有限公司	甲胺	25000 吨	5577.0
	1,4-丁二醇	25000 吨	
濮阳经济开发区	烧结类砖瓦	3150	5428.3

核心企业	主要产品	主要产品产量	年总能耗（tce）
新习镇刘西新型墙材厂	及建筑砌块	万块标砖	
中农发河南农化有限公司	其他酰胺类农药	10477 吨	3183.9
	乙草胺、异丙甲草胺、丁草胺	2103 吨	
濮阳市濮耐功能材料有限公司	定型高铝耐火砖	11102 吨	2851.7
	烧成高铝、粘土、硅砖	3707 吨	
濮阳市瑞森石油树脂有限公司	聚乙烯	8000 吨	2431.5
	溶剂型涂料用树脂	8000 吨	
濮阳市华鼎新型建材有限公司	烧结类砖瓦及建筑砌块、煤矸石砖、免烧砖、蒸养砖	2500 万块标砖	2265.7
	建筑材料	87080 吨	
河南省雪汇食品有限公司	冰淇淋	6000 吨	1069.0

在此基础上，筛选出濮阳经开区主要产品为合成氨，2017 年产量为 27.6 万吨。除此之外，其他工业企业采取工业产值进行分析。

表 5.10 其他工业企业经济能源概况

主要企业	除主要产品外每年能耗（tce）	工业总产值（万元）	单位产值能耗（tce/万元)
河南省中原大化集团有限责任公司（煤化工）	242862	10800	22.49
濮阳龙宇化工有限责任公司	88879	39489	2.25
中国石化中原石油化工有限责任公司	20652	452558	0.05
河南省中原大化集团有限责任公司（天然气）	298837	95850	3.12
迈奇化学股份有限公司	5577	51000	0.11

主要企业	除主要产品外每年能耗（tce）	工业总产值（万元）	单位产值能耗（tce/万元)
中农发河南农化有限公司	3184	18969	0.17
濮阳市瑞森石油树脂有限公司	2432	12000	0.20
濮阳高新区新习乡刘堤口北窑厂	7743	2000	3.87
濮阳经济开发区新习镇刘西新型墙材厂	5428	880	6.17
濮阳市濮耐功能材料有限公司	2852	13122	0.22
濮阳市华鼎新型建材有限公司	2266	440	5.15
河南省雪汇食品有限公司	1069	2553	0.42

（二）深度低碳化情景设置

本研究选取合成氨为该园区的主要高耗能产品进行分析，着重分析节能减排技术推广带来的能效提升效果。此外，考虑到受资源禀赋等因素影响，濮阳经开区以石油化工为主的产业结构不会发生较大改变，预计未来园区石油化工产业将改变目前粗放发展模式，产业结构将向纵深精细化方向发展。

在对国内外相关文献、报告和规划文件进行调研的基础上，本研究根据河南省自身实际情况针对合成氨产品生产过程，选择了 20 项节能减排技术。具体技术及相关参数如表 5.11 所示。

表 5.11 合成氨产品节能减排技术参数

技术分类	技术名称	节能量（kgce/t）	单位节能量投资（元/tce）
合成氨	粉煤加压气化技术	220	5091
	多喷嘴水煤浆气化技术	220	5205
	非熔渣—熔渣水煤浆分级气化技术	220	4936
	全低变技术	15	6494
	中低低技术	51	2135
	NHD 脱硫脱碳技术	198	1566
	低温甲醇洗技术	19	1705
	两段法变压吸附脱碳技术	64	1258

技术分类	技术名称	节能量（kgce/t）	单位节能量投资（元/tce）
	醇烃化净化工艺技术	46	5787
	氨合成回路分子筛节能技术	23	3532
	轴径向、低阻力大型氨合成反应技术	116	5800
	节能型氨合成技术	62	5200
	氨合成塔内件技术	23	4300
	新型氧化亚铁基氨合成催化剂技术	13	3300
	无动力氨回收技术	32	2249
	三废混燃炉技术	79	2306
	全自热非等压醇烷化净化原料气技术	39	8680
	氨合成塔温度的自动控制及优化技术	30	1667
	蒸发冷凝器冷却技术	8	1905
	高效转子技术	0	5204

对于除工业园区主要产品合成氨生产企业外的其他工业行业的核心企业，本研究在各行业历史趋势的基础上，参考国家层面的研究结果和历史趋势，认为未来濮阳经开区化工产业向精细化和精深化方向发展，能效提到较大提高，故设定以石油化工行业企业为主的核心企业单位产值能耗在 2017-2030 年按每年下降0.5%的速度下降，2030-2050 年按每年 1.5%速度下降。

（三）深度低碳化预测结果分析

1. 主要产品能效提升

基于节能技术潜力分析，本研究预测了河南省合成氨单位产品能耗，结果如图 5.17 所示。由图可见，深度低碳化情景下，到 2030 和 2050 年时，河南省合成氨单位能耗将分别降至 878 kgce/t 和 876 kgce/t，分别较基准年 2017 年下降 16%和 17%。合成氨能效提升效果在 2030 年之前非常显著，受技术自身规模限制，2030-2050 年合成氨单位产品能耗趋于稳定，达到世界领先水平。

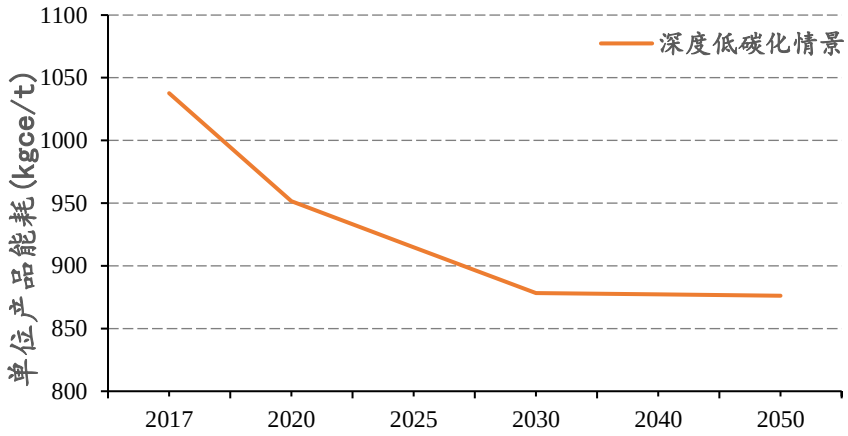


图 5.17 河南省合成氨单位能耗预测

基于上述对合成氨单位能耗的预测，分别对 2030 年和 2050 年产生的节能量和减排量进行核算。结果表明，到 2030 年合成氨能效提升可节约能源 4.7 万吨标煤，占工业终端能耗的 3.93%，减少 CO_2 排放 7.7 万吨，占工业终端碳排放的 1.77%；到 2050 年的节能减排潜力为 4.8 万吨标煤和 7.8 万吨二氧化碳，在工业终端的节能和减排效率分别为 3.98%和 1.80%。

2. 产业结构调整

产业结构调整方面，依托当地丰富的石油煤炭资源，加快石油化工和煤化工产业链纵向延伸，积极发展深加工产品，辐射带动下游产业发展，形成多元化和精细化的产品结构。受数据限制，本研究采用单位产值能耗作为产业结构调整效果评估指标。本研究结果表明，产业结构调整能为园区带来较大节能减排效果。2030 年可节约能源 2.1 万吨标煤，工业终端节能效率为 1.72%，减少 CO_2 排放 7.5 万吨，减排效率为 1.73%；到 2050 年可节约能源 10.1 万吨标煤，减少 CO_2 排放 36.7 万吨，工业终端节能和减排效率分别达到 8.39%和 8.43%。

表 5.12 工业企业产业结构调整节能潜力分析结果

	2030				2050			
主要企业	单位产值能耗（tce/万元)	总能耗（tce）	节能量（tce）	减排量（t）	单位产值能耗（tce/万元)	总能耗（tce）	节能量（tce）	减排量（t）
河南省中原大化集团有限责任公司（煤化工）	21.07	227541	15321	50817	15.57	168184	74678	247694
濮阳龙宇化工有限责任公司	2.11	83272	5607	15499	1.56	61550	27330	75547
中国石化中原石油化工有限责任公司	0.04	19349	1303	2120	0.03	14302	6350	10335
河南省中原大化集团有限责任公司（天然气）	2.92	279985	18852	62530	2.16	206947	91890	304783
迈奇化学股份有限公司	0.10	5225	352	573	0.08	3862	1715	2791
中农发河南农化有限公司	0.16	2983	201	327	0.12	2205	979	1593
濮阳市瑞森石油树脂有限公司	0.19	2278	153	250	0.14	1684	748	1217
濮阳高新区新习乡刘堤口北窑厂	3.63	7255	488	6314	2.68	5362	2381	30777
濮阳经济开发区新习镇刘西新型墙材厂	5.78	5086	342	4427	4.27	3759	1669	21577
濮阳市濮耐功能材料有限公司	0.20	2672	180	293	0.15	1975	877	1427
濮阳市华鼎新型建材有限公司	4.82	2123	143	395	3.57	1569	697	1926
河南省雪汇食品有限公司	0.39	1002	67	110	0.29	740	329	535
总　　计	/	/	20779	75217	/	/	101284	366626

上述研究结果表明，在深度低碳化情景下采用主要产品能效提升和其他工业企业产业结构调整措施均可产生一定程度的节能减排效果，如图 5.18 所示。通过以上两种措施的协同作用，在深度低碳化情景下，到 2030 年可节约能源 6.8 万吨标煤，工业终端节能效率为 5.65%，可减少 CO_2 排放 15.2 万吨，占比 3.5%；

到 2050 年可节约能源 14.9 万吨，减少 CO_2 排放 44.5 万吨，工业终端的节能和减排效率分别达到 12.37%和 10.22%。

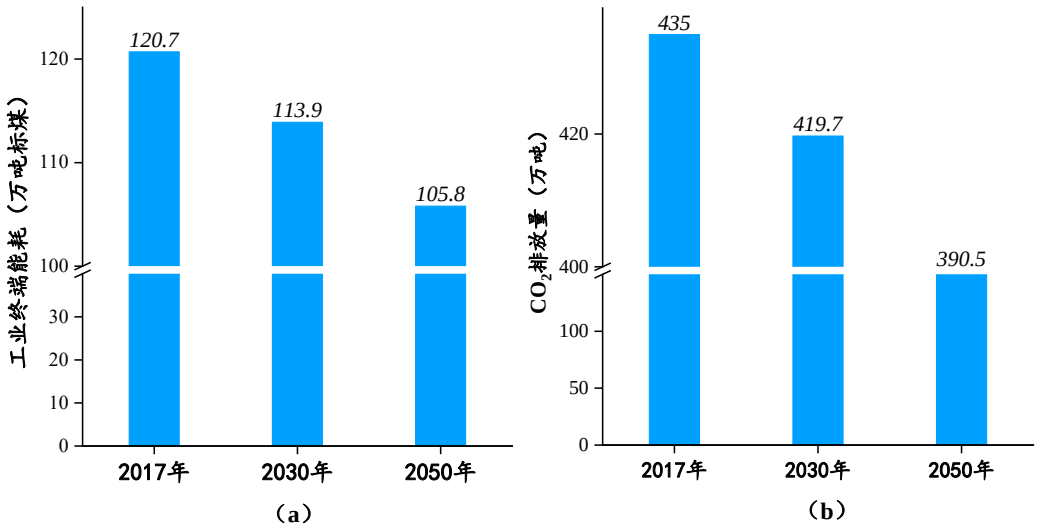


图 5.18 深度低碳化情景下基准年和目标年的工业终端能耗和 CO_2 排放量

此外，研究结果表明，从基准年 2017 年到目标年 2030 年，上述两种措施产生的 CO_2 减排效果几乎相同，对于园区 CO_2 总排放的总计减排效率为 2.3%，如图 5.19 所示。而从 2017 年到目标年 2050 年，产业结构调整措施的减排效果更为显著，两种措施的协同减排效率达到 6.7%。故综上所述，短期范围内（2020-2030 年），濮阳经开区应以能效提升为主要深度低碳化路径，长期来看，产业结构调整在深度低碳化过程中将发挥更为重要的作用。

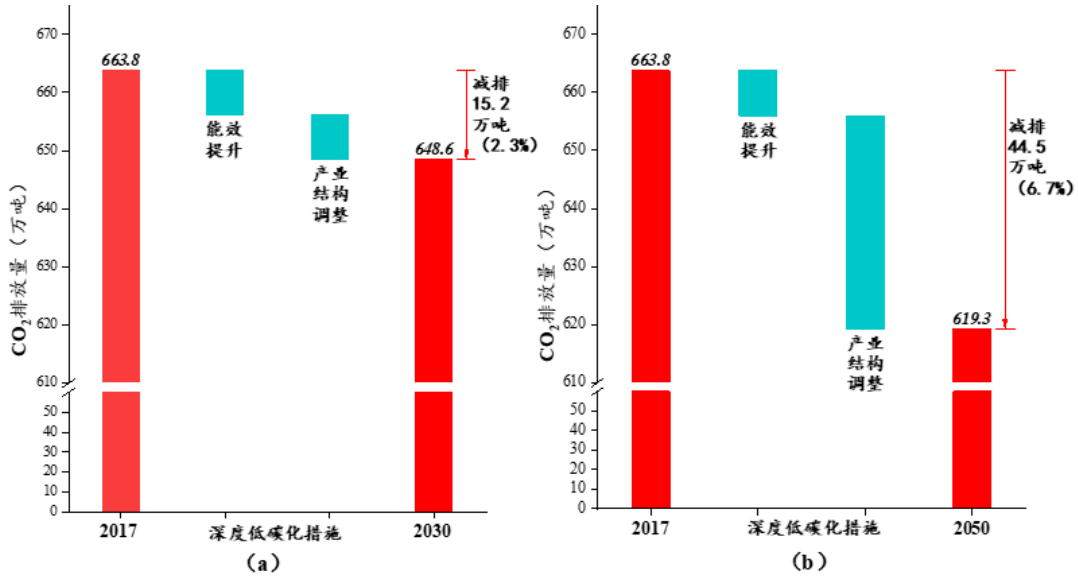


图 5.19 濮阳经开区终端用能企业 CO_2 减排贡献分析

5.3.2 红旗渠经开区

（一）工业企业现状

红旗渠经开区以黑色金属冶炼和压延加工业、有色金属冶炼为主导产业，其能耗量前十的企业如表 5.13 所示。园区中每年总能耗最高的企业是河南凤宝特钢有限公司，年总能耗为 74 万吨标煤；产值最大的企业为河南凤宝特钢有限公司，年总产值为 35 亿元；单位产值能耗最大的企业为林州重机林钢钢铁有限公司。

表 5.13 红旗渠经开区核心企业基本情况

主要企业	主要产品	主要产品产量	年总能耗（tce）
河南凤宝特钢有限公司	熔融还原铁	927400 吨	744755.2
	烧结矿	1237000 吨	
	炼钢生铁	927400 吨	
	合金钢	906200 吨	
林州重机林钢钢铁有限公司	球团矿	340000 吨	236856.6
	烧结矿	250000 吨	
	炼钢生铁	230000 吨	
林州市合鑫铸业有限公司	铸件	45000 吨	94509.15
	炼钢生铁	190000 吨	
	烧结矿	349800 吨	
林州新达焦化有限公司	焦炭	339314.1 吨	53753.74
林州凤宝管业有限公司	热轧无缝管	707165 吨	49551.71
林州凤宝高能材料科技有限公司	热轧中小型材	148105.1 吨	12355.21
河南光远新材料股份有限公司	玻璃纤维纱	28102.09 吨	2431.503
林州市义仁实业有限公司	铝用阳极碳块	10820 吨	1080.022
林州电业万源企业有限公司	各种水泥制品	6000 吨	300
林州市林丰铝电有限责任公司	氧化铝	237809	291.42
	原铝	237809	

在此基础上，筛选出红旗渠经开区主要产品为粗钢，2017 年产量为 90.6 万吨。除此之外，其他工业企业采取工业产值进行分析。处理后的其他企业数据表格如表 5.14 所示。

表 5.14 红旗渠不含粗钢产品的其他企业数据

主要企业	除主要产品外每年能耗（tce）	工业总产值 （万元）	单位产值能耗（tce/万元)
河南凤宝特钢有限公司	402211.6	346775	1.15986
林州重机林钢钢铁有限公司	236856.6	60200	3.9345
林州市合鑫铸业有限公司	94509.15	79981	1.18165
林州新达焦化有限公司	53753.74	40000	1.34384
林州凤宝管业有限公司	49551.71	34565	1.43357
林州凤宝高能材料科技有限公司	12355.21	58858	0.20992
林州市义仁实业有限公司	1080.022	4323	0.24983
河南光远新材料股份有限公司	2431.503	50000	0.04863
林州电业万源企业有限公司	300	1200	0.25
林州市林丰铝电有限责任公司	291.42	288586	0.00101

（二）工业企业深度低碳化情景设置

本研究选取钢铁为该园区的主要高耗能产品进行分析，着重分析节能减排技术推广带来的能效提升效果。此外，钢铁行业作为高污染行业，又是园区的主导产业，红旗渠经开区以钢铁行业为主的产业结构不会发生较大变化，预计未来园区钢铁企业将大力推广短流程炼钢，增加废钢回用比例，降低钢铁生产过程中的能源消耗和温室气体排放。

1. EAF 技术推广

EAF 技术的推广，将大大降低粗钢的单位产品能耗。常规流程的 BF-BOF 主要是“从矿石到钢材”，而 EAF 主要是“从废钢到钢材”，前者不仅炼钢效率较低，产生的温室气体较多，单位产值能耗也较大，而 EAF 具有明显的低能耗，低排放的特征。中国钢铁行业 90%以上的产能是采用高炉（BOF）技术生产的长流程钢。而相比于美国钢铁总产量中的 70%来自电炉技术路线，中国的 EAF 技术应用比例还需大大提高。由于目前我国废钢及电力不够充足，以及 EAF 成本较高，

EAF 的推广存在一定困难。随着我国经济发展方式的转变，特别是低碳经济和循环经济的发展需要，对我国目前的炼钢方式提出了挑战，EAF 这种绿色的冶炼方式在未来也将受到足够的重视，EAF 在我国的应用比例也将逐步提高。

预计到 2030 年，EAF 在粗钢生产线上的应用比例可达到 25%，而到 2050 年，可达到 45%。EAF 技术可大大降低粗钢的单位产品能耗，应用后的产品能耗为 286 kgce/t，较基准年下降 48%。

2. 能效提升

在对国内外相关文献、报告和规划文件进行调研的基础上，本研究根据河南省自身实际情况针对粗钢产品生产过程，选择了 47 项节能减排技术。具体技术及相关参数如表 5.15 所示。

表 5.15 粗钢产品节能减排技术参考

技术名称	节能量（kgce/t）	单位节能量投资（元/tce）
小球烧结技术	9	2226
低温烧结技术	9	3187
环冷机流体密封技术	1	5150
进料方式改进	3	3006
降低烧结漏风技术	1	1207
厚床层烧结技术	3	0
烧结余热利用	14	2058
烧结过程废弃物利用技术	5	369
焦炉压缩机变频驱动技术	0	8989
煤炭调湿技术	11	5082
干熄焦技术	28	4363
捣固炼焦技术	2	277
高炉鼓风脱湿技术	8	2272
高炉顶压利用技术	7	3211
煤气联合发电技术	8	3188
高炉煤气回收利用	3	3621
热风炉控制改进	11	281
高炉控制改进	11	465
高炉热风炉双预热技术	3	3875
旋转式高风温顶燃热风炉节能技术	7	8128
整体铸造和轧制技术	25	2440
转炉显热回收利用技术	19	11794
高效钢包预热	1	843
钢水真空循环脱气工艺干式真空系统	3	1039

技术名称	节能量（kgce/t）	单位节能量投资（元/tce）
转炉煤气净化与回收	2	0
转炉顶底复合吹炼技术	1	2260
电炉渣热回收	3	1717
废钢预热	12	3324
超高功率电炉	4	22653
改善电炉过程控制	16	764
无焰富氧燃烧器	20	1274
风机变频调速及含氧量控制技术	8	620
加热炉保温	5	14046
热装技术	16	9382
热轧过程控制	10	702
冷却水废热回收	1	7959
连续退火	4	742925
减少酸洗蒸汽使用量	9	3046
自动监控徐彤	0	83996
预防性维护	13	8
退火过程热回收	9	3046
换热、蓄热式烧嘴	19	1334
低温轧制技术	4	2334
钢板连续热轧	12	5252
薄板坯连铸	40	0
电机变频驱动	3	5082
能源管理系统	4	426

3. 产业结构调整

对于除工业园区主要产品粗钢生产企业外的其他工业行业的核心企业，本研究在各行业历史趋势的基础上，参考国家层面的研究结果和历史趋势，认为未来红旗渠经开区钢铁行业将更加高度集中化以及成熟化，能效能够得到较大提高，故设定以粗钢行业企业为主的核心企业能源消费强度（单位产值能耗）在 2017-2050 年按每年下降 0.25%的速度下降。

（三）深度低碳化预测结果分析

1. EAF 推广

EAF 技术的推广能显著减少红旗渠经开区的能源消耗和温室气体排放。研究表明，2030 年通过 EAF 推广可节约 6.0 万吨标煤，减少 CO_2 排放 14.6 万吨；预计 2050 年，EAF 应用比例达到 45%时，可节约 10.8 万吨标煤，减少 CO_2 排放 26.2 万吨。

2. 能效提升

基于节能技术潜力分析，本研究预测了河南省粗钢单位产品能耗，结果如图5.20 所示。由图可见，深度低碳化情景下，到 2030 和 2050 年时，河南省粗钢单位能耗将分别降至 378kgce/t 和 358kgce/t，分别较基准年 2017 年下降 31%和 35%。粗钢能效提升效果在 2030 年之前非常显著，受技术自身规模限制，2030-2050 年粗钢单位产品能耗趋于稳定，达到世界领先水平。

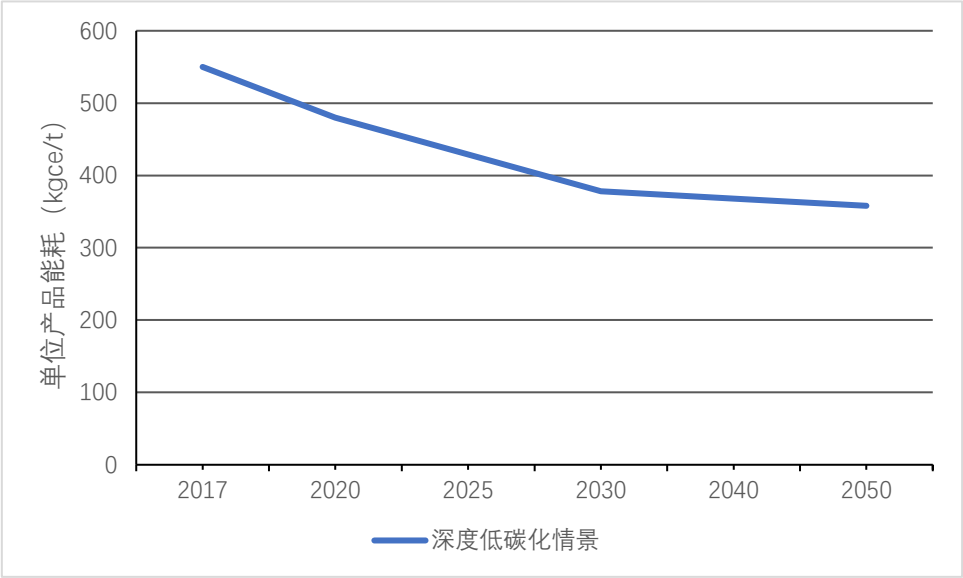


图 5.20 河南省粗钢单位能耗预测

基于上述对粗钢单位能耗的预测，分别对 2030 年和 2050 年产生的节能量和减排量进行核算。结果表明，到 2030 年粗钢能效提升可节约能源 11.7 万吨标煤，减少 CO_2 排放 28.5 万吨；到 2050 年的节能减排潜力为 9.6 万吨标煤和 23.3 万吨二氧化碳。

3. 产业结构调整

产业结构调整方面，在当地政府的扶持下，加快各企业的技术升级，降低产品生产所消耗能源。受数据限制，本研究采用单位产值能耗作为产业结构调整效果评估指标。预计到 2030 年，可节约能源 2.2 万吨标煤，减少 CO_2 排放 4.9 万吨；到 2050 年，可节约能源 5.5 万吨标煤，减少 CO_2 排放 14.4 万吨。

表 5.16 工业企业产业结构调整节能潜力分析结果

	2030				2050			
主要企业	**单位产值能耗（kCNY/tce)**	**总能耗（tce）**	**节能量（tce）**	**减排量（t）**	**单位产值能耗（kCNY/tce)**	**总能耗（tce）**	**节能量（tce）**	**减排量（t）**
河南凤宝特钢有限公司	0.07	238458	7887	19196	0.07	226814	19531	47535
林州重机林钢钢铁有限公司	0.38	229273	7583	21147	0.36	218078	18779	52367
林州市合鑫铸业有限公司	0.11	91483	3025	8817.	0.11	87016	7493	21835
林州新达焦化有限公司	0.13	52033	1721	3269	0.12	49492	4262	8097
林州凤宝管业有限公司	0.14	47965	1586	4221	0.13	45623	3929	10452
林州凤宝高能材料科技有限公司	0.02	11959	396	1052	0.02	11376	980	2606
林州市义仁实业有限公司	0.02	1045	35	92	0.02	994	86	228
河南光远新材料股份有限公司	0.00	2354	78	127	0.00	2239	193	314
林州电业万源企业有限公司	0.02	290	9	9	0.02	276	24	24
林州市林丰铝电有限责任公司	0.0001	282	9	20	0.00	268	23	49

综上所述，粗钢能效提升、EAF 推广和园区产业结构调整等措施能给红旗渠经开区带来显著的能源节约和温室气体减排效果，具体如下图 5.21 所示。到 2030 年，红旗渠经开区可节约能源 19.9 万吨标煤，并减少 CO_2 排放 48.8 万吨减排率达到了 8.99%；预计到 2050 年，红旗渠经开区可节约能源 25.9 万吨标准煤，并减少 CO_2 排放 63.8 万吨，减排率达到了 11.76%。

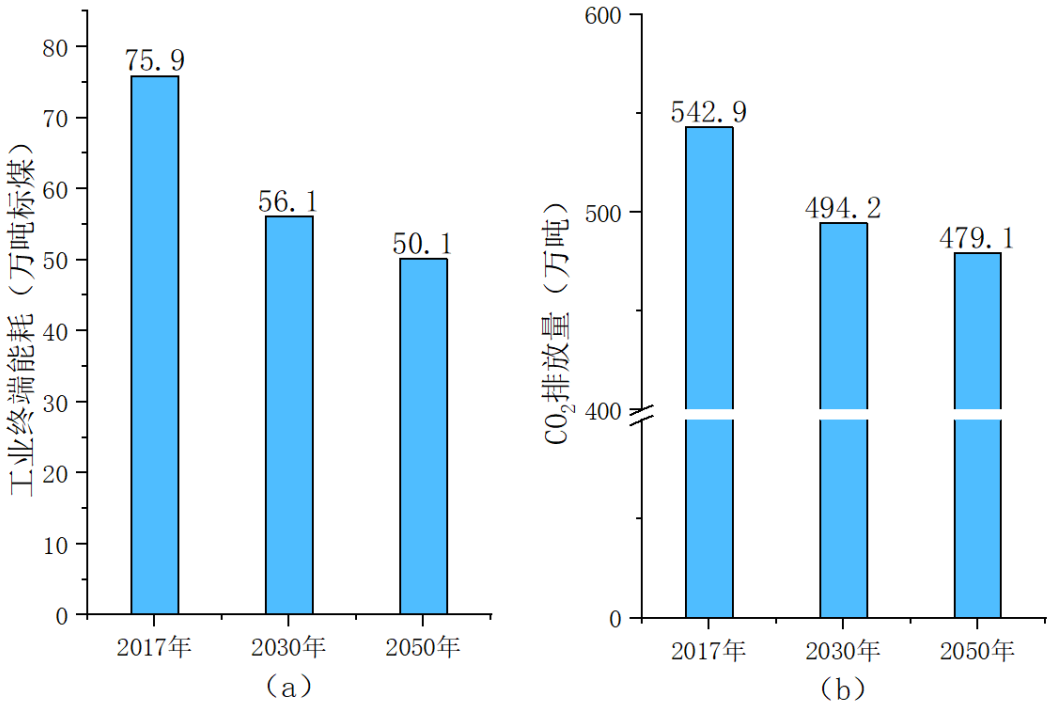


图 5.21 深度低碳化情景下基准年和目标年的工业终端能耗和 CO_2 排放量

通过比较三种深度低碳化措施发现，短期来看（2017-2030 年），能效提升能带来较好的温室气体减排潜力；中长期来看（2030-2050 年），EAF 推广能带来更好的减排效果，如图 5.22 所示。因此，未来红旗渠经开区应该在提升能效的同时，大力推广短流程炼钢 EAF 的应用，同时逐步优化产业结构，以实现工业园区的深度低碳化目标。

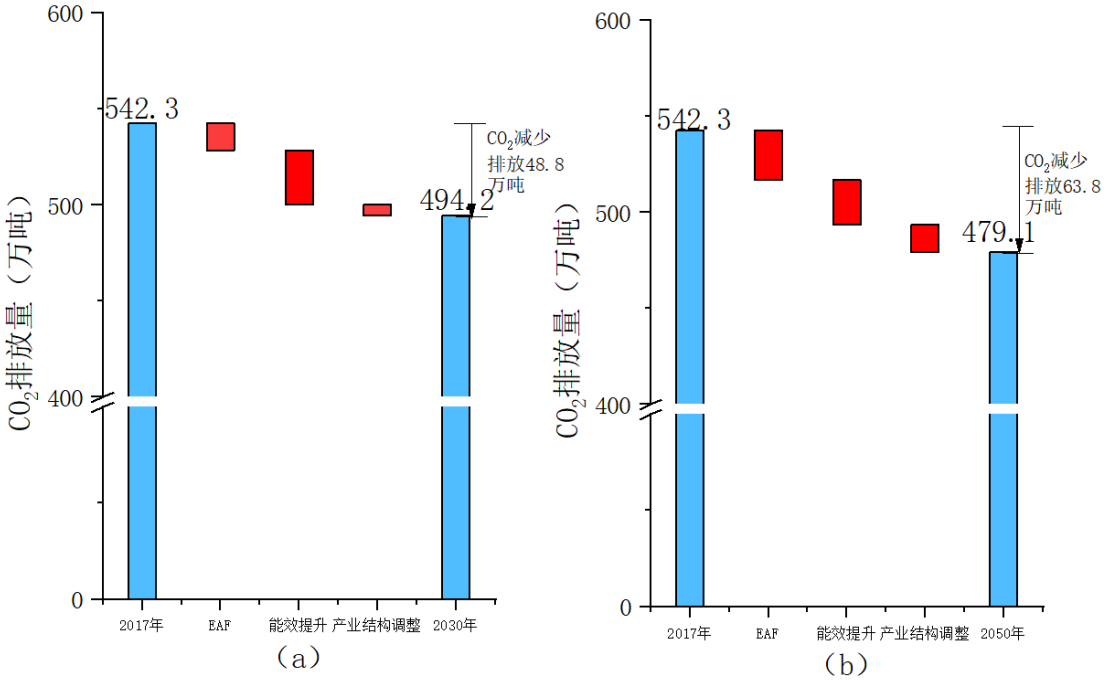


图 5.22 红旗渠经开区终端用能企业 CO_2 减排贡献分析

5.3.3 新乡经开区

（一）工业企业现状

新乡经开区以化学纤维制造业、化学原料和化学制品制造业为主导产业，主要能源类型为煤炭，其核心企业如下表 5.17 所示。其中，能耗和工业总产值最大的企业均为新乡化纤股份有限公司，年均能耗为 1.8 万吨标煤，占园区总能耗的 63%，年总产值 2.5 亿元，对园区贡献比例高达 23%；单位产值能耗最大的企业为新乡市奇航科技有限公司。

表 5.17 新乡经开区核心企业 2017 年基本概况

主要企业	主要产品	主要产品产量	每年能耗（tce）
新乡化纤股份有限公司	纤维素纤维短纤	70000 吨	181814.2
	纤维素纤维长丝	4900 吨	
	氨纶纤维	36000 吨	
	醋酸纤维丝束	36000 吨	
新乡立白实业有限公司	粉状洗涤剂	135000 吨	13581.6
	液体洗涤剂	279000 吨	
	肥(香)皂	25000 吨	
新乡市护神特种织物有限公司	棉布类	13577 吨	12161.9
新乡锦绣防水材料股份有限公司	沥青基防水卷材	3000 万平方米	1815.5
新乡市炬能耐材有限公司	定型高铝耐火砖	1650 吨	1573.4
新乡市奇航科技有限公司	硅酸钠	2000 吨	267.2
新乡市新飞散热器有限公司	\	\	181.6
新乡市振华钻井液材料有限公司	\	\	121.0
新乡市金苑邦达富农业科技有限公司	\	\	90.5
新乡市恒星科技有限责任公司	\	\	85.8
新乡市锦汇机械制造有限公司	\	\	60.5

其中，新乡化纤股份有限公司建设有企业自备锅炉，根据《河南省煤炭消费减量行动计划》等相关政策规定，在深度低碳化情景下，将新乡化纤股份有限公司的 5.5 万千瓦自备电厂小机组关停，去除该部分后，工业园区各核心企业 2017 年的工业终端能耗和产值情况如下表 5.18 所示。

表 5.18 工业终端企业经济能源概况

主要企业	每年能耗（tce）	工业总产值（万元）	单位产值能耗（tce/万元)
新乡化纤股份有限公司	8998.0	253782	0.035
新乡立白实业有限公司	13581.6	199981	0.068
新乡市护神特种织物有限公司	12161.9	28183	0.432
新乡锦绣防水材料股份有限公司	1815.5	90000	0.020
新乡市炬能耐材有限公司	1573.4	1500	1.049
新乡市奇航科技有限公司	267.2	180	1.484
新乡市新飞散热器有限公司	181.5	4000	0.045
新乡市振华钻井液材料有限公司	121.0	4400	0.028
新乡市金苑邦达富农业科技有限公司	90.5	2200	0.041
新乡市恒星科技有限责任公司	85.8	4000	0.021
新乡市锦汇机械制造有限公司	60.5	2000	0.030

（二）深度低碳化情景设置

化学制品和化学纤维制造业为典型的高耗能产业，有产品品类多、产业链长的特征，从原料供应、生产加工、到消费回收各环节与生态环境关系紧密。受资源禀赋和园区自身经济管理制度等影响，新乡经开区以化学制品和化学纤维制造业为主导产业的产业结构不会发生较大改变，预计未来化纤工业将依靠技术创新驱动，强化基础研究、突破关键技术，全面增强自主创新源动力，向绿色制造和高质量发展转型。因此，本研究在分析行业历史趋势的基础上，参考国家层面的研究结果，对新乡经开区进行产业结构调整，设定该园区以化工化纤行业为主的核心企业单位产值能耗在 2017-2030 年按每年下降 0.5%的速度下降，2030-2050 年按每年 1.5%速度下降。

（三）深度低碳化预测结果分析

受数据限制，本研究采用单位产值能耗作为产业结构调整效果评估指标。本研究结果表明，产业结构调整能为园区带来较为明显的节能减排效果，如图 5.23 所示。2030 年可节约能源 2456 吨标煤，工业终端节能效率为 2.75%，减少 CO_2 排放 7337 吨，减排效率为 1.96%；到 2050 年可节约能源 11973 吨标煤，减少 CO_2 排放 35763 万吨，工业终端节能和减排效率分别达到 13.41%和 9.57%。

表 5.19 工业企业产业结构调整节能潜力分析结果

	2030				2050			
主要企业	单位产值能耗（tce/万元）	总能耗（tce）	节能量（tce）	减排量（t）	单位产值能耗（tce/万元）	总能耗（tce）	节能量（tce）	减排量（t）
新乡化纤股份有限公司	0.033	8430	568	1510	0.025	6231	2767	7360
新乡立白实业有限公司	0.064	12725	857	2842	0.047	9405	4176	13852
新乡市护神特种织物有限公司	0.404	11395	767	2545	0.299	8422	3740	12404
新乡锦绣防水材料股份有限公司	0.019	1701	115	186	0.014	1257	558	909
新乡市炬能耐材有限公司	0.983	1474	99	162	0.726	1090	484	787
新乡市奇航科技有限公司	1.391	250	17	27	1.028	185	82	134
新乡市新飞散热器有限公司	0.043	170	11	19	0.031	126	56	91
新乡市振华钻井液材料有限公司	0.026	113	8	12	0.019	84	37	61
新乡市金苑邦达富农业科技有限公司	0.039	85	6	19	0.029	63	28	92
新乡市恒星科技有限责任公司	0.020	80	5	9	0.015	59	26	43
新乡市锦汇机械制造有限公司	0.028	57	4	6	0.021	42	19	30
合　计	\	\	2456	7337	\	\	11973	35763

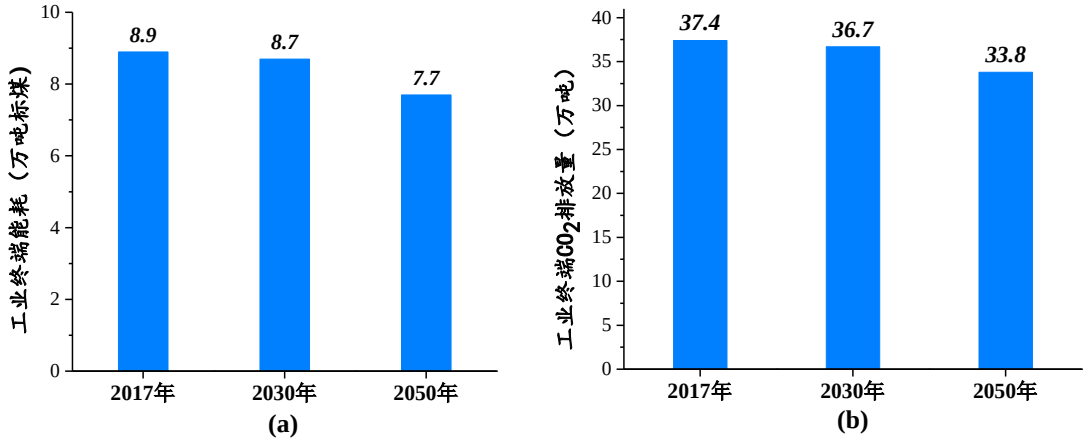


图 5.23 新乡经开区工业终端能耗和 CO2 排放量变化情况

5.3.4 郑州高新区

（一）工业企业现状

郑州高新区以有色金属冶炼和压延加工业为主导产业，如表 5.20 所示。园

区中年能耗最高的企业是郑州拓洋实业有限公司，年总能耗达到了 5.5 万吨标煤，占园区总能耗的 42.9%，年总产值 7.2 亿元；单位产值最高的企业是郑州高新磨料磨具有限公司。

表 5.20 郑州高新区核心企业基本情况

主要企业	主要产品	主要产品产量	年总能耗（tce）
郑州拓洋实业有限公司	黄原胶	14722 吨	54896.81
郑州高新磨料磨具有限公司	内墙硅藻泥	259 吨	21613.56
郑州世纪精信机械制造有限公司	水基型胶黏剂	160 吨	18214.5
郑州明泰实业有限公司	热处理件	210000 吨	16951.63
格力电器（郑州）有限公司	家用空调、冷热风器、空气去湿气、加湿器、空气净化器、家用电热取暖器	5000 台	2970.18
郑州蜀海实业有限公司	火锅底料	5483 吨	2282.89
郑州凌达压缩机有限公司	铝箔	568 吨	1407.13
郑州富龙新材料科技有限公司	内墙硅藻泥	2654 吨	503.93
河南远大生物制药有限公司	生物药品	6 千克	415.44
河南凯邦电机有限公司	控制微电机、驱动微电机、专用微电机	4500 台	378.86

为了更好地对工业企业进行深度低碳化，收集整理园区内主要企业 2017 年的工业终端能耗和产值情况，如下表 5.21 所示。

表 5.21 工业终端企业经济能源概况

主要企业	每年能耗（tce）	工业总产值 （万元）	单位产值能耗（tce/万元）
郑州拓洋实业有限公司	54896.81	71500	0.76
郑州高新磨料磨具有限公司	21613.56	182	11.9
郑州世纪精信机械制造有限公司	18214.5	1000	18.2
郑州明泰实业有限公司	16951.63	430000	0.04
格力电器（郑州）有限公司	2970.18	1017700	0.003
郑州蜀海实业有限公司	2282.88	88337	0.025
郑州凌达压缩机有限公司	1407.13	220000	0.0064
郑州富龙新材料科技有限公司	503.93	2188	0.23
河南远大生物制药有限公司	415.44	10885	0.038
河南凯邦电机有限公司	378.86	50000	0.08

（二）深度低碳化情景设置

郑州高新区作为河南省第一个开发区，以科技创新为园区特点，园区内主要企业大部分所用燃料都是相比石油煤炭而更环保的天然气。主导企业类型也是多种多样，有压延加工业，食品制造业，非金属矿物制品业等。受资源和政策影响，郑州高新区以压延加工业，食品制造业，非金属矿物制品业的产业结构不会发生较大改变，预计未来园区将以技术创新为核心，政府支持为依靠，深化基础研究，突破关键技术，全面加强园区在中国中部的竞争实力，减少温室气体排放。因此，本研究在分析行业历史趋势的基础上，参考国家层面的研究结果，对郑州高新区进行产业结构调整，设定该园区的核心企业单位产值能耗在 2017-2030 年按每年

下降 0.5%的速度下降，2030-2050 年按每年 1.5%速度下降。

（三）深度低碳化预测结果分析

本研究结果表明，产业结构调整能为园区带来较为明显的节能减排效果，如图 5.24 所示。2030 年可节约能源 7547 吨标煤，工业终端节能效率为 6%，减少 CO2 排放 18409 吨，减排效率为 0.66%；到 2050 年可节约能源 36787 吨标煤，减少 CO2 排放 89728 吨，工业终端节能和减排效率分别达到 29%和 3.20%。

表 5.22 工业企业产业结构调整节能潜力分析结果

	2030				2050			
主要企业	单位产值能耗（tce/万元)	总能耗（tce）	节能量（tce）	减排量（t）	单位产值能耗（tce/万元)	总能耗（tce）	节能量（tce）	减排量（t）
郑州拓洋实业有限公司	0.72	51434	3463	11487	0.53	38016	16880	55989
郑州高新磨料磨具有限公司	111.45	20250	1363	2467	82.38	14968	6646	12023
郑州世纪精信机械制造有限公司	17.07	17065	1149	1870	12.61	12614	5601	9115
郑州明泰实业有限公司	0.04	15882	1069	1740	0.03	11739	5212	8483
格力电器（郑州）有限公司	0.003	2783	187	305	0.00	2057	913	1486
郑州蜀海实业有限公司	0.02	2139	144	234	0.02	1581	702	1142
郑州凌达压缩机有限公司	0.01	1318	89	144	0.00	974	433	704
郑州富龙新材料科技有限公司	0.22	472	32	68	0.16	349	155	329
河南远大生物制药有限公司	0.04	389	26	47	0.03	288	128	231
河南凯邦电机有限公司	0.01	355	24	46	0.01	262	116	223
郑州拓洋实业有限公司	0.72	51434	3463	11487	0.53	38016	16880	55989
郑州高新磨料磨具有限公司	111.45	20250	1363	2467	82.38	14968	6646	12023

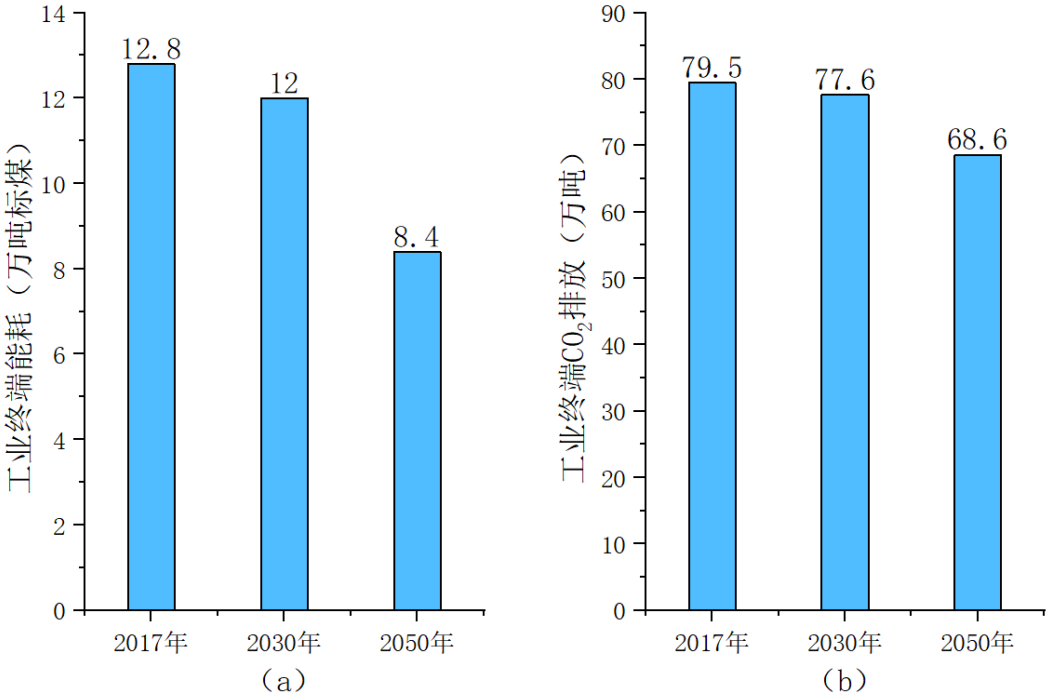


图 5.24 郑州高新区工业终端能耗和 CO_2 排放量变化情况

5.3.5 鹤壁经开区

（一）工业企业现状

鹤壁经开区以橡胶和塑料制品业、计算机、通信和其他电子设备制造业以及电气机械和器材制造业为主导产业，如表 5.23 所示。园区中年总能耗最高和单位产值能耗最大的企业是德芬根（鹤壁）汽车零部件有限公司，年总能耗为 510 吨标煤，年总产值 2866 万。园区内工业企业能耗普遍较小，工业产值也较低。

表 5.23 鹤壁经开区核心企业 2017 年基本概况

主要企业	主要产品	主要产品产量	每年能耗（tce）
德芬根（鹤壁）汽车零部件有限公司	注塑件、吹塑件、搪塑件、纤维材料	/	510
河南永达康食源食品有限公司	酱卤制品、糟肉制品、肉松、肉干、肉脯、血肠、调理肉制品、肉糕	18620 吨	262
鹤壁联昊化工股份有限公司	有机试剂(精制或合成)	44799 吨	231
河南东大高温节能材料有限公司	定型高铝耐火砖	2431 吨	48
	其他煅烧耐火材料	1216 吨	
鹤壁天海电子信息	通信发射机、通信接收机、	360 台	48

主要企业	主要产品	主要产品产量	每年能耗（tce）
系统有限公司	微波通信设备、卫星地面站设备、散射通信设备、通用无线电通信设备、光通信设备、载波通信系统设备、通信传输设备零件、移动通信设备、移动通信终端设备		
河南帮太食品有限公司	/	/	44
河南金山环保科技工业园有限公司	陶粒	150 吨	39
鹤壁东江建筑工业科技有限公司	混凝土	6800 吨	22
河南省淇花食用油有限公司	/	/	10
鹤壁神康生物制品有限公司	生物药品	1000 千克	8
鹤壁市高信生物科技有限公司	浓缩饲料	13300 吨	8

为了更好地对工业企业进行深度低碳化，现收集整理园区内主要企业 2017 年的工业终端能耗和产值情况，如下表 5.24 所示。

表 5.24 工业终端企业经济能源概况

主要企业	每年能耗（tce）	工业总产值 （万元）	单位产值能耗（tce/万元）
德芬根（鹤壁）汽车零部件有限公司	510	2866	0.178
河南永达康食源食品有限公司	262	2000	0.131
鹤壁联昊化工股份有限公司	231	9720	0.024
河南东大高温节能材料有限公司	48	2500	0.019
鹤壁天海电子信息系统有限公司	48	60000	0.001
河南帮太食品有限公司	44	21000	0.002
河南金山环保科技工业园有限公司	39	20400	0.002

主要企业	每年能耗（tce）	工业总产值 （万元）	单位产值能耗（tce/万元）
鹤壁东江建筑工业科技有限公司	22	520	0.042
河南省淇花食用油有限公司	10	11720	0.001
鹤壁神康生物制品有限公司	8	603	0.013
鹤壁市高信生物科技有限公司	8	4500	0.002

（二）深度低碳化情景设置

鹤壁经开区作为鹤壁市对外开放的形象和窗口，现已入驻多家工业企业，有橡胶和塑料制品业、计算机、通信和其他电子设备制造业以及电气机械和器材制造业等多种行业的企业，受资源禀赋和园区自身经济管理制度等影响，鹤壁经开区当前的产业结构不会发生较大变化，预计未来鹤壁经开区将不断明确产业主攻方向，推进产业集群发展，加快产业要素聚焦，不断提升创新能力，全面优化发展环境，打造成最佳的投资发展平台，向绿色园区不断转型。因此，本研究在分析行业历史趋势的基础上，参考国家层面的研究结果，对鹤壁经开区进行产业结构调整，设定该园区以化工化纤行业为主的核心企业单位产值能耗在 2017-2030 年按每年下降 0.5%的速度下降，2030-2050 年按每年 1.5%速度下降。

（三）深度低碳化预测结果分析

因为鹤壁经开区除发电供热能耗之外，主要能源类型为电力，因此对工业部门的产业结构调整结果并不是很显著。如图 5.25 所示。2030 年可节约能源 78 吨标煤，工业终端节能效率为 0.28%，减少 CO_2 排放 142 吨，减排效率为 0.11%；到 2050 年可节约能源 378 吨标煤，减少 CO_2 排放 694 吨，工业终端节能和减排效率分别达 1.38%和 0.55%。

表 5.25 工业企业产业结构调整节能潜力分析结果

	2030				2050			
主要企业	单位产值能耗（tce/万元)	总能耗（tce）	节能量（tce）	减排量（t）	单位产值能耗（tce/万元)	总能耗（tce）	节能量（tce）	减排量（t）
德芬根（鹤壁）汽车零部件有限公司	0.167	478	32.2	68.4	0.123	353	156.8	333.2
河南永达康食源食品有限公司	0.123	246	16.5	26.9	0.091	182	80.7	131.3
鹤壁联昊化工股份有限公司	0.022	217	14.6	23.8	0.016	160	71.1	115.8
河南东大高温节能材料有限公司	0.018	45	3.0	4.9	0.013	33	14.7	24.0
鹤壁天海电子信息系统有限公司	0.001	45	3.0	4.9	0.001	33	14.7	23.9
河南帮太食品有限公司	0.002	41	2.8	4.5	0.001	30	13.4	21.9
河南金山环保科技工业园有限公司	0.002	37	2.5	4.0	0.001	27	12.1	19.7
鹤壁东江建筑工业科技有限公司	0.039	20	1.4	2.2	0.029	15	6.7	10.9
河南省淇花食用油有限公司	0.001	9	0.6	1.0	0.001	7	3.0	4.9
鹤壁神康生物制品有限公司	0.012	8	0.5	0.8	0.009	6	2.5	4.0
鹤壁市高信生物科技有限公司	0.002	7	0.5	0.8	0.001	5	2.4	4.0

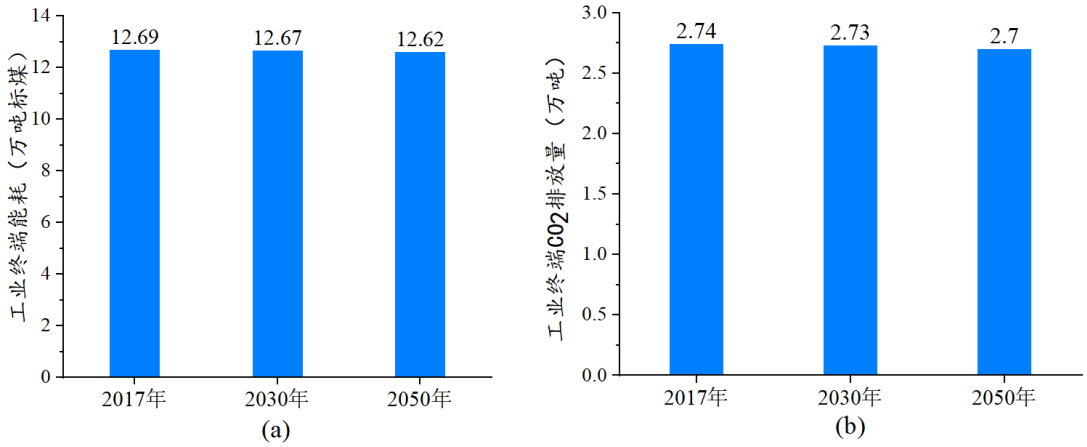


图 5.25 鹤壁经开区工业终端能耗和 CO2 排放量变化情况

5.3.6 园区终端用能企业深度低碳化结果小结

通过对河南省高碳排放园区（濮阳经开区、红旗渠经开区）和中碳排放园区（郑州高新区、鹤壁经开区、新乡经开区）这五个园区的工业企业进行深度低碳

化，2030 年，预计共将节约能源 27.7 万吨标准煤，减少 CO_2 排放 73.1 万吨，er 到了 2050 年，预计共将节约能源 45.8 万吨标准煤，减少 CO_2 排放 121.0 万吨，如图表 5.26 所示。

本研究认为园区应该大大降低其主要产品的能耗，并严格依据相关政策进行产业结构调整，在不影响园区经济发展的前提下，努力降低企业生产产品的单位产值能耗，以达到节能减排的效果。

表 5.26　河南省高、中碳排放国家级园区工业企业深度低碳化情景结果汇总

	2030 年			2050 年		
园区名称	节能量（万吨标煤）	CO2 减排量（万吨）	减排效率（%）	节能量（万吨标煤）	CO2 减排量（万吨）	减排效率（%）
濮阳经开区	6.8	15.2	3.50	14.9	44.5	10.22
红旗渠经开区	19.9	48.8	8.99	25.9	63.8	11.76
新乡经开区	0.2	7.3	1.96	1.2	3.6	9.6
郑州高新区	0.8	1.8	0.66	3.8	9.0	3.20
鹤壁经开区	0.008	0.014	0.11	0.04	0.07	0.55
总计	27.708	73.114	/	45.84	120.97	/

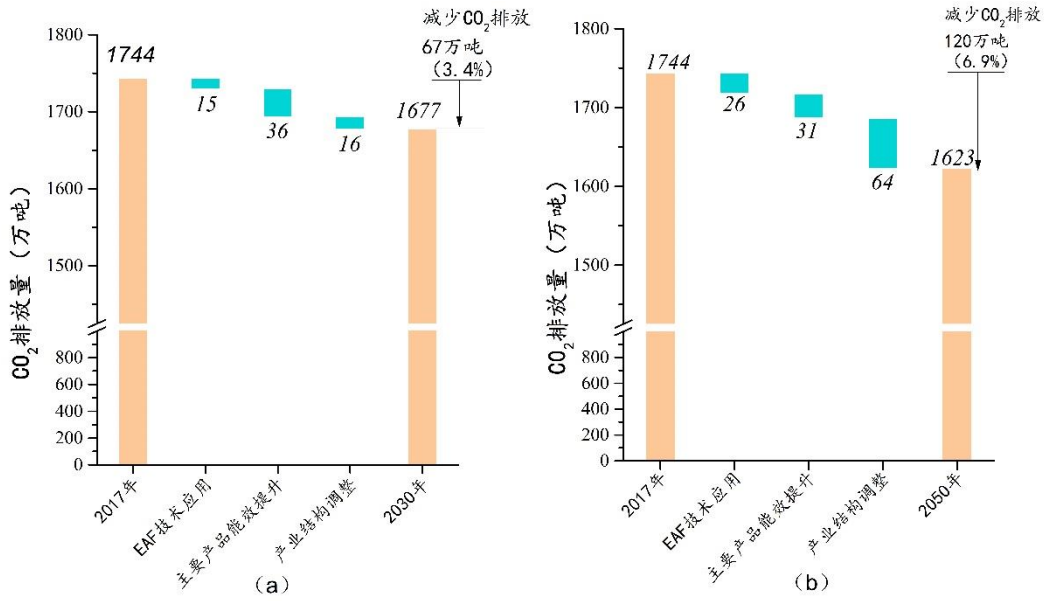


图 5.26 工业园区终端用能企业各个措施的 CO_2 减排贡献

研究结果表明，从基准年 2017 年到目标年 2030 年，主要产品能效提升措施

对工业园区 CO_2 减排的贡献较大，减排效率为 2.1%，如图 5.26 所示。而从 2017 年到目标年 2050 年，产业结构调整措施的减排效果更为显著，各种措施的协同减排效率达到 6.9%。故综上所述，短期范围内（2020-2030 年），终端用能企业应以主要产品能效提升为主要深度低碳化路径，长期来看，产业结构调整在深度低碳化过程中将发挥更为重要的作用。

5.4 大气污染物末端治理

5.4.1 园区大气污染物现状

十一个国家园区由电厂、锅炉和工艺过程排放的 SO_2、NO_x、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 这七种污染物总量巨大，排放量分别为 24850.8、23329、36492.7、8289.9、3463.8、5276.3 和 1100.7 吨，因此将这七种污染物的现状列图，如图 5.27：

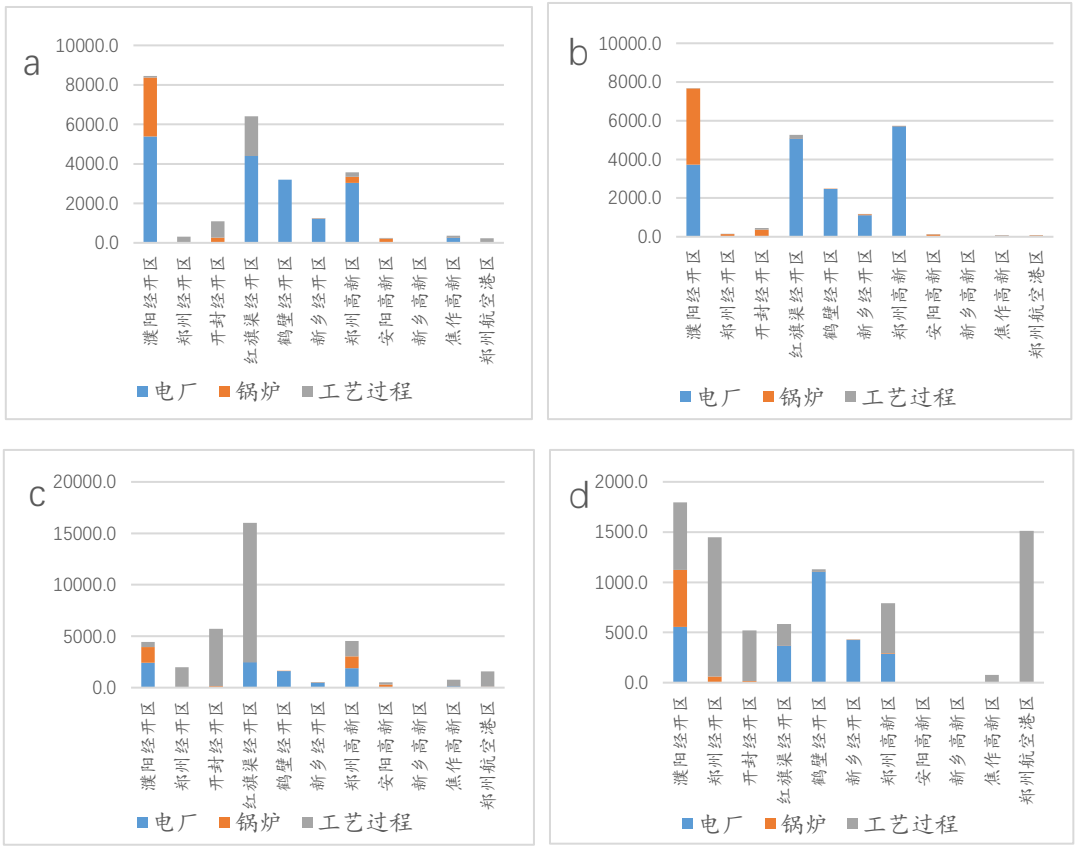


图 5.27 国家级园区大气污染物排放量图

a：SO_2 排放量；b：NO_X 排放量；c：CO 排放量；d：PM_{10} 排放量；e：$PM_{2.5}$ 排放量；f：VOCs 排放量；g：NH_3 排放量。单位：吨。

由各图分析可知，SO_2 和 NO_X 排放量最多的园区为濮阳经开区，排放量分别为 8452.0 吨和 7667.7 吨，电厂是 SO_2 主要的排放源，工艺过程也是造成 SO_2 排放量过多的原因之一，园区内存在建材类企业，在砖瓦等产品生产制造时，会向大气中排放大量的 SO_2，而工业锅炉是 NO_X 的主要来源；CO 排放量最多的园区为红旗渠经开区，排放量为 16016.7 吨，这是因为园区内建材类企业在生产砖瓦等产品时，针对 CO 未采取任何控制措施，且排放量过大造成的；开封经开区排放的 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 量是最大的，为 1794.5 吨和 766.8 吨，主要来源于工艺过程，这是因为园区内存在许多煤矸石砖和水泥制品以及混凝土等建材类企业，该类企业的生产活动会产生大量的颗粒物；VOCs 排放量最多的园区也是开封经开，排放量高达 1764.6 吨，主要原因是园区内化工类企业生产活动水平较高，排放因子也很高，导致 VOCs 排放量巨大；NH_3 排放量最大的园区为濮阳经开区，为 995.9 吨，主要来自于工艺过程中化肥的制造。

5.4.2 情景设定

末端治理情景中，有些企业的末端治理方面存在没有治理措施和治理效率不高的问题，为使工业园区产生的污染物排放量大量降低，不同类型的污染物对应的末端治理技术也应该选择去除效率最高的一种。对于 SO_2，电厂锅炉以及工艺过程普遍选择去除效率为 90%的碱钠脱硫技术，而以生物质为燃料的锅炉选择烟气脱硫来消除 SO_2，脱硫率为 88%；对于 NO_x，电厂锅炉以及工艺过程普遍选择去除效率为 65%的选择性催化还原法（SCR），以生物质为燃料的锅炉选择低氮燃烧法混合选择性催化还原法，去除效率高达 88%；而对于 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 两种不同粒径的颗粒物，目前去除效率最高的技术为袋式除尘法，PM_{10} 的去除效率高达 99.37%，$PM_{2.5}$ 去除效率略低，为 99%，而对于特殊的生物质锅炉，同样选择袋式除尘法，但去除效率略有不同，PM_{10} 的去除效率为 95%，$PM_{2.5}$ 的去除效率为 94.5%；对于挥发性有机物 VOCs，选择吸附燃烧法作为末端治理技术，该技术可以应用于电厂锅炉以及工艺过程等，去除效率高达 90%；而针对 NH_3，由于该类污染物排放量较小，目前没有很好的末端治理技术。技术选取和去除效率如表 5.27 所示。

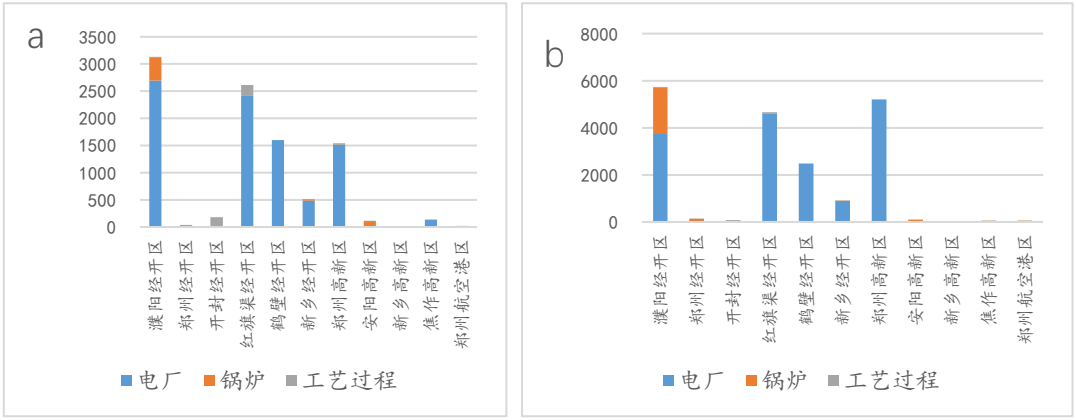
表 5.27 末端治理情景中的技术选取及去除效率设定

部门	类型	污染物	技术	去除效率
电厂	煤粉炉（无烟煤）	SO_2	钠碱脱硫	90%
		NO_x	SCR	65.00%
		PM_{10}	袋式除尘	99.37%
		$PM_{2.5}$	袋式除尘	99%
		VOCs	吸附燃烧	90%
工业锅炉	层燃炉（无烟煤）	SO_2	钠碱脱硫	90.00%
		NO_x	SCR	65.00%
		PM_{10}	袋式除尘	99.37%
		$PM_{2.5}$	袋式除尘	99%
		VOCs	吸附燃烧	90%
	层燃炉（生物质燃料）	SO_2	炉内喷钙	88%
		NO_x	LNB+SCR	86%
		PM_{10}	袋式除尘	95.00%
		$PM_{2.5}$	袋式除尘	94.50%
		VOCs	吸附燃烧	90.00%
		SO_2	钠碱脱硫	90%

部门	类型	污染物	技术	去除效率
	流化床（煤）	NO_x	SCR	65.00%
		PM_{10}	袋式除尘	99.37%
		$PM_{2.5}$	袋式除尘	99%
		VOCs	吸附燃烧	90%
工艺过程	化肥	PM_{10}	袋式除尘	99.37%
		$PM_{2.5}$	袋式除尘	99%
	聚丙烯	VOCs	吸附燃烧	90%
	合成橡胶	VOCs	吸附燃烧	90.00%
	纺织印染	VOCs	吸附燃烧	90.00%
	水泥	PM_{10}	袋式除尘	99.37%
		$PM_{2.5}$	袋式除尘	99.00%
	砖瓦	PM_{10}	袋式除尘	99.37%
		$PM_{2.5}$	袋式除尘	99%
		SO_2	钠碱脱硫	90%
	耐火材料	PM_{10}	袋式除尘	99.37%
		$PM_{2.5}$	袋式除尘	99%

5.4.3 结果分析

在末端情景下，园区内各企业经过大气污染物防治措施以及去除工艺的更新，各园区的大气污染物排放量大大降低，SO_2、NO_x、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 排放量分别为 9903.4、19561.0、36493.3、4146.3、1897.5、679.5、1097.0 吨。排放量如图 5.28 所示：



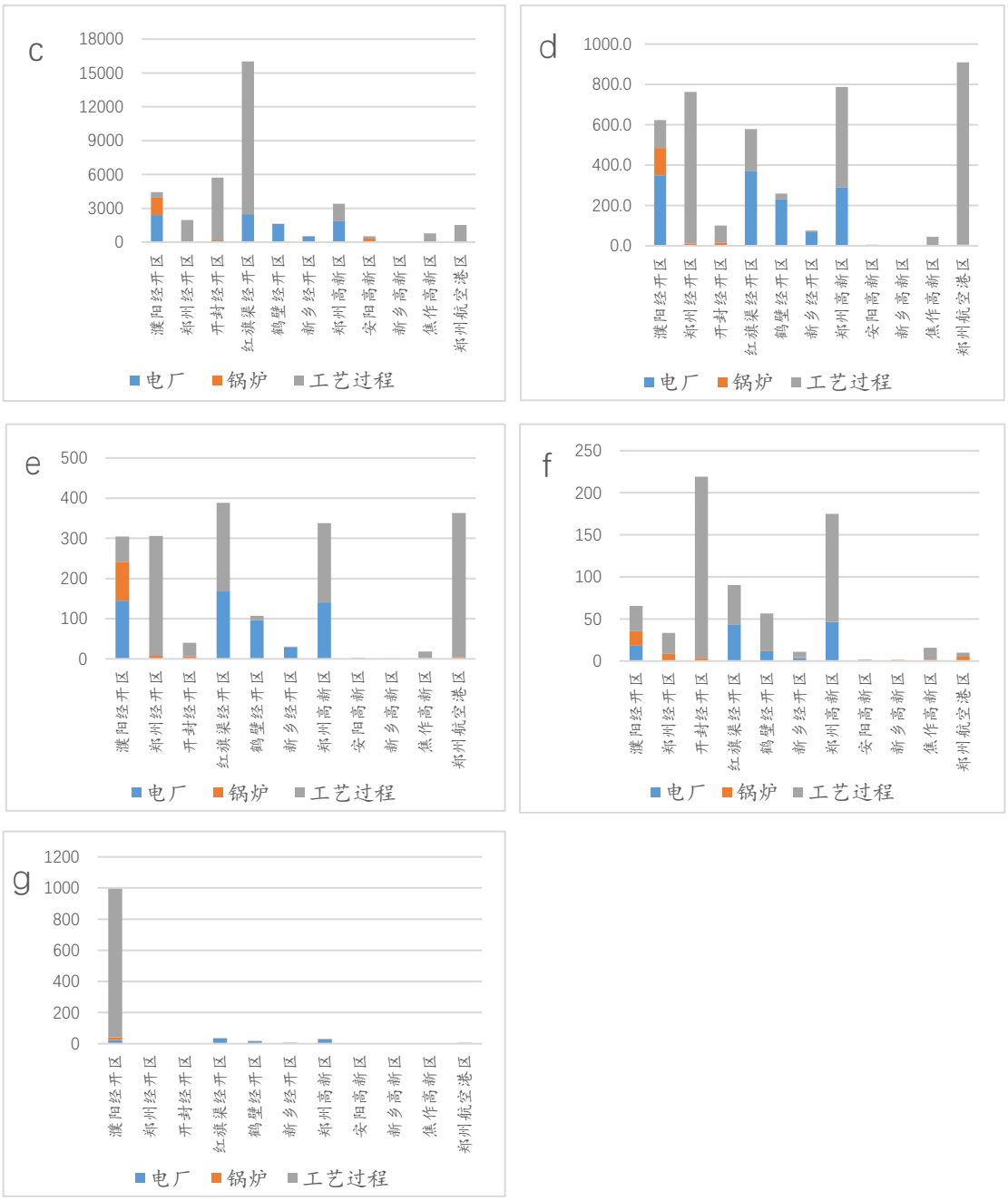


图 5.28 情景下国家级园区大气污染物排放量

a：SO_2 排放量；b：NO_x 排放量；c：CO 排放量；d：PM_{10} 排放量；e：$PM_{2.5}$ 排放量；f：VOCs 排放量；g：NH_3 排放量。单位：吨。

在末端治理情景中，SO_2、NO_x、PM_{10}、$PM_{2.5}$ 和 VOCs 的减排量分别为 15546.2、6153.8、3878.2、1502.4、4627.0 吨，减排率依次为 63%、26%、47%、43%和 88%。如下图 5.29 所示：

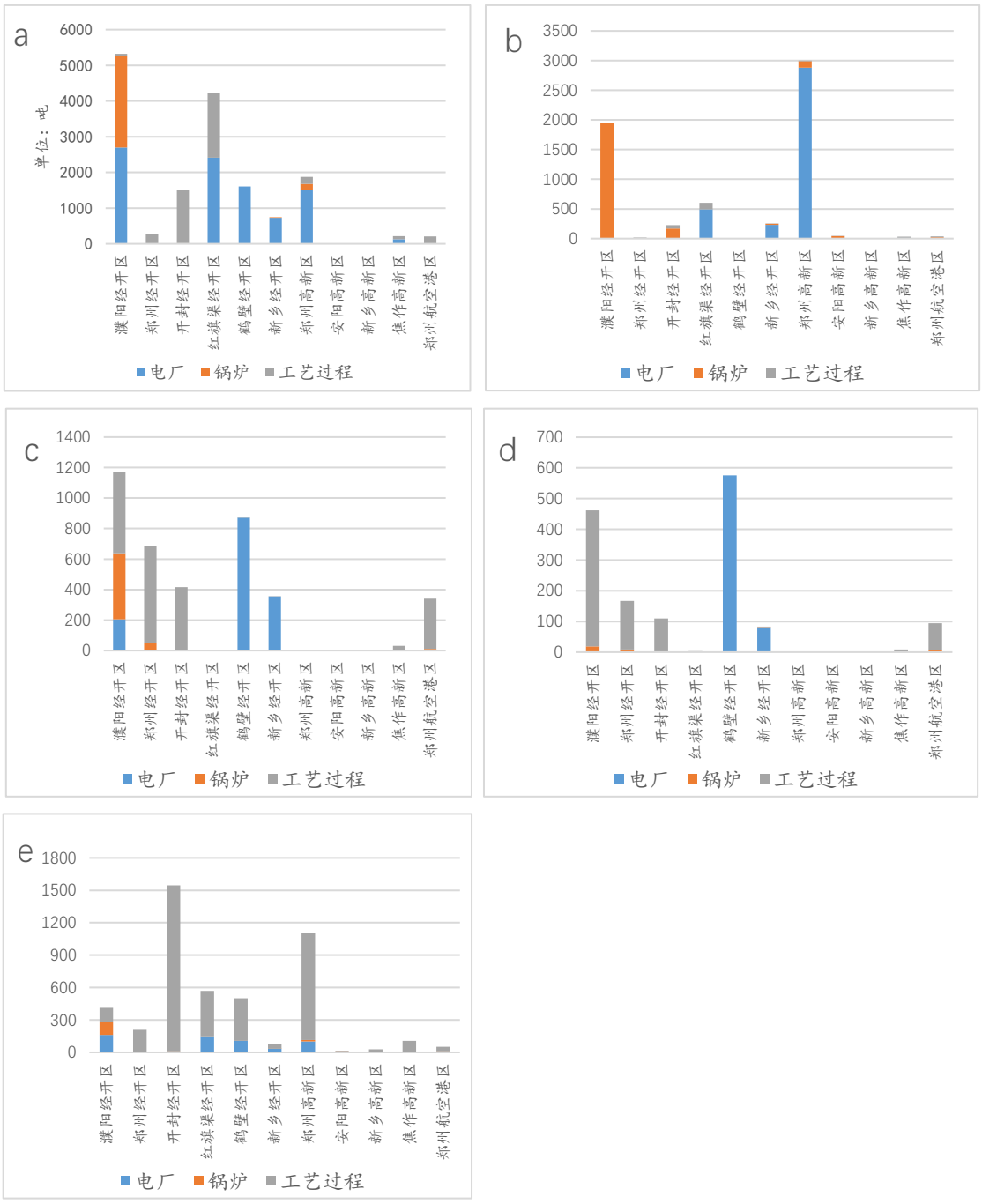


图 5.29 国家级各园区大气污染物减排量

a：SO_2 减排量；b：NO_x 减排量；c：PM_{10} 减排量；d：$PM_{2.5}$ 减排量；e：VOCs 减排量。单位：吨。

从大气污染物类型来看，末端治理情景下大气污染物减排潜力最大的是 SO_2，减少了 15178.3 吨，该情景下选用的设施主要为“钠碱脱硫”，除硫效率为 90%。其次，PM_{10} 的减排潜力为 3878.2 吨，该情景下选用的除尘工艺主要为袋式除尘法，去除效率为 99.37%。接下来是 NO_x 和 VOCs，减排量分别为 6153.9 吨和 4627.0 吨，该情景下选用的主要设施为“选择性催化还原法”和燃烧吸附法，去除

效率依次为 65%和 90%。最后是在电厂和工业锅炉中，VOCs 和 NH_3 原来没有末端治理措施的企业，该情景下也未设置相应的去除设施，在工业过程中，NH_3 原来没有治理措施的企业，该情景下也未设置去除设施，VOCs 有治理措施的企业，该情景下选择最大的去除效率。

从园区层面来看，对比各个园区，大气污染物的减排量各有特点。对于 SO_2，减排量最大的是濮阳经开区，这是因为园区内 SO_2 排放主要来自于电厂和工艺过程，在末端治理情景下，园区内的企业和电厂使用钠碱脱硫法，去除该类污染物，使 SO_2 排放量大大降低，降低了 5315.1 吨；郑州高新区的 NO_x 减排量最大，主要原因是郑州高新区内的电厂锅炉和工业锅炉以及工艺过程源控制措施不完善；PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 减排量最大的是濮阳经开区和鹤壁经开区，主要原因是园区内存在大量建材类企业，生产规模较大，且大部分企业未安装污染控制措施或控制措施不完善，在末端治理情景下，选择除尘效率高达 99.37%的袋式除尘法，减排量为 1171.2 吨和 575.2 吨；VOCs 减排量最大的园区是郑州高新区，这是因为园区内的 VOCs 主要来自于工艺过程，在末端治理情景下，油墨印刷类和建材类企业选择去除效率为 90%的燃烧吸附法，减排量高达 1105.2 吨。

通过对园区内末端治理情景分析，研究认为各园区应加大末端治理技术在各个企业间的应用，并保证其对污染物的去除效率。

表 5.28 各园区大气污染物末端治理情景下的减排量

园区	SO_2（t）	NO_x（t）	CO（t）	PM_{10}（t）	$PM_{2.5}$（t）	VOCs（t）	NH_3（t）
濮阳经开区	5315.1	1947.6	0.0	1171.2	462.0	413.5	0.0
郑州经开区	267.3	19.7	0.0	685.2	167.1	208.8	0.0
开封经开区	881.8	228.4	0.0	416.1	109.3	1545.4	0.0
红旗渠经开区	3786.2	600.1	0.0	4.8	3.0	570.5	0.0
鹤壁经开区	1602.5	0.0	0.0	870.9	575.2	500.4	0.0
新乡经开区	733.3	248.4	0.0	354.2	82.1	78.9	0.0
郑州高新区	2029.0	3001.9	0.0	4.4	0.9	1105.2	0.0
安阳高新区	141.5	41.2	0.0	0.0	0.0	15.5	0.0
新乡高新区	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.3	0.0
焦作高新区	215.0	31.1	0.0	31.8	8.5	108.1	0.0
郑州航空港	206.5	35.3	0.0	339.5	94.4	52.4	0.0
总计	15178.3	6153.8	0.0	3878.2	1502.4	4626.9	0.0

5.5 园区深度低碳化结果汇总

5.5.1 节能潜力汇总分析

研究表明，对河南省高、中碳排放国家级园区的发电企业和终端用能企业进行深度低碳化，将产生显著的节能效益，具体如表 5.29 所示。其中，节能潜力最大的是濮阳经开区，在 2030 年和 2050 年将分别产生 46.2 万吨标煤和 67 万吨标煤的节能效益。在 2030 年，两种措施共计节约能源 139.8 万吨标煤。其中，发电企业深度低碳化的节能潜力为 112.1 万吨标煤，终端用能企业深度低碳化的节能潜力为 27.7 吨标煤。到 2050 年，共计节约能源 189.8 万吨标煤。其中，发电企业深度低碳化的节能潜力为 144 万吨标煤，终端用能企业深度低碳化的节能潜力为 45.8 吨标煤。由此可见，发电企业深度低碳化的节能量较大，节能效果更好。

具体来说，发电企业深度低碳化措施主要包括煤电机组能效提升、清洁能源

替代和 CCS 技术推广，终端用能企业深度低碳化措施主要包括主要产品能效提升和产业结构调整等措施。终端用能企业 2030 年和 2050 年各措施的节能潜力如表 5.30 所示。2030 年主要产品能效提升的节能贡献最大，该措施的能源节约量为 16.4 万吨标煤；2050 年产业结构调整带来的节能贡献最大。终上所述，发电企业深度低碳化始终是河南省工业园区未来节能减排工作的重点，能效提升措施在短期内贡献较大，长期来看能源结构调整和产业结构调整仍是最重要的节能措施。

表 5.29 工业园区深度低碳化节能潜力汇总表

单位：万吨标煤

园区名称	2030 年			2050 年		
	发电企业深度低碳化	终端用能企业深度低碳化	总计	发电企业深度低碳化	终端用能企业深度低碳化	总计
濮阳经开区	39.4	6.8	46.2	52.1	14.9	67
红旗渠经开区	16.3	19.9	36.2	16.3	25.9	42.2
新乡经开区	18.2	0.2	18.4	18.2	1.2	19.4
郑州高新区	14	0.8	14.8	24.2	3.8	28
鹤壁经开区	24.2	0.01	24.2	33.2	0.1	33.2
总计	112.1	27.7	139.8	144	45.8	189.8

表 5.30 工业园区终端用能企业深度低碳化措施节能潜力汇总表

单位：万吨标煤

园区名称	2030 年			2050 年		
	能效提升	产业结构调整	EAF	能效提升	产业结构调整	EAF
红旗渠经开区	11.69	2.23	5.98	9.57	5.53	10.77
濮阳经开区	4.75	2.08	/	4.8	10.1	/
鹤壁经开区	/	0.01	/	/	0.04	/
新乡经开区	/	0.25	/	/	1.2	/
郑州高新区	/	0.75	/	/	3.68	/
总计	16.44	5.32	5.98	14.37	20.54	10.77

5.5.2 二氧化碳减排潜力汇总分析

通过发电结构调整、能效提升、产业结构调整和 CCS 技术推广等深度低碳化措施的实施，将显著减少河南省传输通道工业园区的温室气体排放。结果显示，2030 年河南省五个高中碳排放国家级园区温室气体排放量将从 2017 年的 1744 万吨降低到 1434 万吨，减排潜力为 18%，2050 年温室气体排放总量降低到 1250 万吨，减排潜力为 29%。此外，从具体园区来看，濮阳经开区和红旗渠经开区的温室气体排放始终在五个园区中居首位。各园区二氧化碳排放量如表 5.31 所示。

表 5.31 工业园区基准情景和深度低碳化情景下二氧化碳排放量

工业园区	CO_2 排放量（万吨）		
	2017	2030	2050
濮阳经开区	664	578	507
红旗渠经开区	543	453	401
新乡经开区	91	41	38
郑州高新区	281	239	210
鹤壁经开区	165	123	94
总计（万吨）	1744	1434	1250

从不同企业的减排角度来看，工业园区发电企业深度低碳化带来的减排效果比终端用能企业更加显著。2030 年发电企业深度低碳化带来的减排量为 240 万吨，占减排总量的 78%；2050 年发电企业深度低碳化产生的减排量为 382 万吨，占比为 76%。具体各园区不同企业的温室气体减排量如表 5.32 所示。

表 5.32 工业园区深度低碳化情景下二氧化碳减排量

	2030			2050		
工业园区	发电企业深度低碳化（万吨）	工业企业深度低碳化（万吨）	总计（万吨）	发电企业深度低碳化（万吨）	工业企业深度低碳化（万吨）	总计（万吨）
濮阳经开区	71	15	86	112	45	157
红旗渠经开区	41	49	90	78	64	142
新乡经开区	49	0.7	50	49	4	53
郑州高新区	37	2	39	72	9	81
鹤壁经开区	42	0.01	42	71	0.1	71
总计（万吨）	240	67	307	382	122	504

在不同深度低碳化措施的减排贡献方面，研究结果表明，通过发电结构调整、发电机组能效提升、CCS 技术应用、终端用能企业主要产品能效提升、产业结构调整和 EAF 技术应用等深度低碳化措施的协同作用，将在工业园区产生显著的 CO_2 减排效果。到 2030 年将实现 CO_2 减排 307 万吨，减排效率达到 17.6%。其中，对重点发电企业的发电结构调整措施的减排贡献最大，为 10.0%，其次是发电机组能效提升措施，贡献率为 3.7%。到 2050 年可实现 CO_2 减排 504 万吨，减排效率达到 28.9%。其中，发电结构调整措施的减排贡献最大，为 15.6%。其次是发电机组能效提升和终端用能企业产业结构调整，贡献率分别为 4.6%和 3.7%。综上所述，发电结构调整、能效提升和产业结构调整三大深度低碳化措施对河南省传输通道工业园区温室气体减排贡献最大，CCS 技术应用将在 2030 年后发挥重要作用。不同深度低碳化措施的减排贡献如图 5.30 所示。

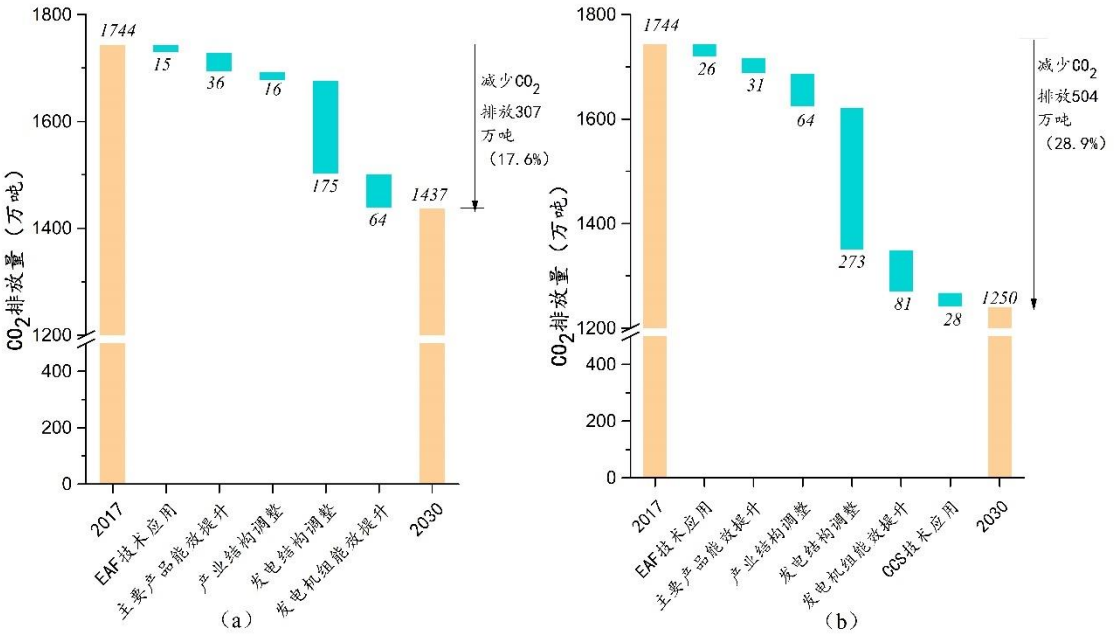


图 5.30 工业园区不同深度低碳化措施的 CO_2 减排贡献情况

5.5.3 大气污染物减排潜力汇总分析

工业园区深度低碳化措施的实施将带来大气污染物协同减排效果。2030 年十一家园区 SO_2、NO_x、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 减排量分别为 12815.1、7103.9、2886.0、3369.2、1225.1、4229.2 和 17.0 吨，2050 年减排量分别达到 15738.0、9647.7、3993.0、4004.8、1455.8、4313.2 和 26.9 吨。

具体到不同大气污染物，SO_2、NOx、CO、PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 减排潜力最大的园区为濮阳经开区，减排贡献主要来自发电企业深度低碳化措施；VOCs 减排潜力最大的园区为开封经开区，减排贡献最大来自末端治理措施。2030 年和 2050 年十一个国家级工业园区具体的减排量见表 5.33 和 5.34。

表 5.33 2030 年河南省国家级园区深度低碳化情景下大气污染物减排潜力

单位：吨

园区	SO_2 (t)	NOx (t)	CO (t)	PM_{10} (t)	$PM_{2.5}$ (t)	VOCs (t)	NH_3 (t)
濮阳经开区	4846.8	3295.0	879.0	1179.2	497.9	301.9	2.0
郑州经开区	267.3	45	0	686.2	167.3	209.7	0
开封经开区	881.8	228.4	0	416.1	109.3	1545.4	0
红旗渠经开区	2729	436.9	443	68.8	28.0	455.7	4
鹤壁经开区	1367	810	529	442	266	422.5	1
新乡经开区	1037.0	804.8	511	118.1	31.1	78.9	5
郑州高新区	990.5	1369.3	393	57.2	15.0	1018.2	4
安阳高新区	141.5	41.2	0	0	0	15.5	0
新乡高新区	0	0	0	0	0	28.3	0
焦作高新区	347.7	39.3	131	62.2	16.1	109.8	1
郑州航空港	206.4	34.1	0	339.5	94.4	43.3	0
总计	12815.1	7103.9	2886.0	3369.2	1225.1	4229.2	17.0

表 5.34 2050 年河南省国家级园区深度低碳化情景下大气污染物减排潜力

单位：吨

园区	SO_2（t）	NOx（t）	CO（t）	PM_{10}（t）	$PM_{2.5}$（t）	VOCs（t）	NH_3（t）
濮阳经开区	5900.4	3832.6	1226.0	1259.2	518.9	327.9	5.0
郑州经开区	267.3	45	0	686.2	167.3	209.7	0
开封经开区	881.8	228.4	0	416.1	109.3	1545.4	0
红旗渠经开区	3322.7	742.6	700	104.8	42.9	474.7	6
鹤壁经开区	1871	1190	774	614	371	440.6	3
新乡经开区	1230.7	1138.2	486.0	424.6	110.8	78.9	4.9
郑州高新区	1568.5	2356.3	676	98.2	25.0	1039.2	7
安阳高新区	141.5	41.2	0	0	0	15.5	0
新乡高新区	0	0	0	0	0	28.3	0
焦作高新区	347.7	39.3	131	62.2	16.1	109.8	1
郑州航空港	206.4	34.1	0	339.5	94.4	43.3	0
总计	15738.0	9647.7	3993.0	4004.8	1455.8	4313.2	26.9

六、典型省级工业园区深度低碳化节能减排潜力分析

6.1 合成氨园区深度低碳化节能减排潜力分析

6.1.1 研究方法

本研究基于当前河南省合成氨工业能耗情况，提出能效提升、能源结构调整和末端治理等切实可行的节能减排措施，分析了典型合成氨工业园区深度低碳化带来的节能减排潜力。以 2017 年为基准年，建立了基准情景和深度低碳化情景，并且选取 2030 年和 2050 年为时间节点，量化评估合成氨园区在 2030 年和 2050 年的节能潜力和环境效益。

在基准情景中，能源结构调整措施、能效提高技术改进措施和末端治理改进措施均不考虑。合成氨园区的能源结构、能源效率和末端治理均与 2017 年的现状水平保持一致。

在深度低碳化情景中，同时考虑提高能效措施、调整能源结构和末端治理措施，以最大限度地实现节能减排潜力。在能效提升方面，根据《合成氨单位产品能源消耗限额（GB-21344）》，国内合成氨单位能耗先进值为 33.81 GJ/t-氨（注：根据 GB-21344，以粉煤为原料的合成氨单位产品能耗为 1500 kgce/t, 以优质无烟煤为原料的合成氨单位产品能耗为 1150 kgce/t。晋开化工在黄龙产业集聚区采用的是航天炉，原料为粉煤，应该采用 1500 kgce/t 单耗标准。但由于 2017 年晋开化工的合成氨单耗为 1441 kgce/t，远低于 1500 kgce/t 标准。此外考虑到 GB-21344 中电力当量值和等价值的核算口径不一致的问题，本研究中合成氨 2030 年单耗标准采用 1150 kgce/t, 即 33.81 GJ/t）。根据国际化肥协会发布的《合成氨生产中的能源效率和二氧化碳排放摘要报告》，目前国际合成氨单位能耗先进值为 27 GJ/t-氨。而所选择的典型合成氨园区 2017 年单位能耗为 42.37 GJ/t-氨，能源利用效率远低于国内外合成氨单位能耗先进值。因此，通过大力推广能效提升技术，本研究假设 2030 年和 2050 年分别达到国内和国外合成氨单位能耗标准，来评估合成氨园区在 2030 年和 2050 年节能潜力和环境效益。

在能源结构调整方面，目前合成氨园区主要以煤炭为原料来制备氢气。氢能

作为一种清洁高效的二次能源，具有能量密度大、燃烧热值高、来源广、可压缩、可储存、可再生的特点。用可再生能源电解水制得的氢被称为“绿氢”，是未来制氢及氢能开发利用的主要发展方向。预计未来随着可再生电力成本的下降，可再生能源电解水制氢将在经济和技术上可行，因此以电解水制氢为原料制备合成氨将成为化工行业中长期节能减排的新选择。此外，以天然气作为制取合成氨原料具有成本低廉和清洁的优势。在本研究中，预计 2030 年，该典型园区的合成氨生产原料将 10%来自天然气，10%来自可再生能源电解水制氢；预计到 2050 年，以氢能为原料制取合成氨的技术也越来越成熟，因此预计 40%合成氨原料来自电解水制氢，10%来自天然气。

在末端治理方面，主要针对合成氨工业产生的 NO_x、SO_2、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、CO 和 NH_3 七种污染物的排放现状及所采用的措施手段展开深入分析。在该合成氨工业园区，目前 NO_x、SO_2、PM_{10}、$PM_{2.5}$ 四种污染物配有末端治理措施，但效率不高，深度低碳化情景下将进一步强化末端治理措施，提高治理效率；而目前 VOCs 和 NH_3 直接排放，因此深度低碳化情景下将采取合适的末端治理措施，减少 VOCs 和 NH_3 的排放。深度低碳化情景下末端治理措施详细信息如表 6.2 所示。

表 6.1 典型合成氨工业园区深度低碳化情景描述

	能效提升	能源结构调整	末端治理
基准情景	与 2017 年保持一致	与 2017 年保持一致	与 2017 年保持一致
深度低碳化情景	大力推广能效提升技术，使合成氨单耗达到国内外合成氨单位能耗先进值	逐步采用天然气、氢能等替代煤炭作为合成氨制氢原料	强化大气污染物末端治理技术普及，在 2050 年推广 CCS 技术

表 6.2 深度低碳化情景下大气污染物末端治理措施描述

大气污染物类型	排放源	强化末端治理措施	去除效率/%
NO_x	电厂	选择性非催化还法（SNCR）	80
	锅炉	选择性非催化还法（SNCR）	80
	工艺过程	选择性催化还原法（SCR）	84.44
SO_2	电厂	氨法	96
	锅炉	氨法	96
	工艺过程	双碱法	90
	电厂	无（处理效率以达最高）	99.99

大气污染物类型	排放源	强化末端治理措施	去除效率/%
NO_x	电厂	选择性非催化还法（SNCR）	80
	锅炉	选择性非催化还法（SNCR）	80
	工艺过程	选择性催化还原法（SCR）	84.44
$PM_{2.5/10}$	锅炉	电袋组合	99.9
	工艺过程	袋式除尘	99.7
VOCs	电厂	/	/
	锅炉	吸附/热力燃烧法	85.5
	工艺过程	吸附/热力燃烧法	85.5
NH_3	电厂	/	/
	锅炉	/	/
	工艺过程	喷淋塔/冲击水浴	39.58

6.1.2 节能潜力分析

氨本身热值较高，生产过程极易出现能量严重损耗现象，合成氨产品被列为高能耗产品。经过深入分析后得知，合成氨工业生产过程蕴含着较大的节能减排潜力价值。通过采取切实可行的技术手段或者节能管理措施，往往可以将合成氨工业生产中产生的能耗问题降到最低限度。实地调研搜集得到 2017 年该合成氨园区的能源消耗数据，如表 6.3 所示。该合成氨工业园区 2017 年能源消耗总计为 183 万吨标煤。

表 6.3 该合成氨园区 2017 年能源消耗情况

能源名称	能源消耗量（吨/万立方米）	低位发热量 (KJ/(kg/m^3))	折算为标煤（tce）
液化天然气	1590	51434	2782
无烟煤	2438017	26620	1733812
生物燃料	1558	29400	1558
其他燃料	604	29400	604
煤油	1	43070	1
煤矸石	34500	6300	7393
城市生活垃圾	356368	6532	79177
柴油	759	42652	1101
天然气	263	35584	3183

注：1tce=29.4GJ

经计算可知，深度低碳化情景下合成氨园区节能潜力如下表 6.4 所示，深度低碳化情景下该合成氨园区的节能量在 2030 年和 2050 年分别达到了 35 万 tce 和 63 万 tce，占园区总能耗的 19.07.2%和 34.25%。合成氨工业生产过程蕴含着如此大的节能潜力价值，应采取切实可行的技术手段或者节能管理措施，将合成

氨工业生产中产生的能耗问题降到最低限度。

表 6.4 合成氨园区深度低碳化情景下的节能潜力

	2030 年 深度低碳化情景	**2050 年 深度低碳化情景**
节能潜力（万 tce）	35	63
节能率	20.2%	36.27%

6.1.3 碳减排潜力分析

在梳理该合成氨园区能源消费情况的基础上，采用排放因子法计算得出该园区内能源使用过程所造成的温室气体排放量。该园区 2017 年温室气体排放总量为 493 万吨 CO_2，其中无烟煤燃烧产生的排放占整个园区排放量的 98%。温室气体排放具体结果如表 6.5 所示。

表 6.5 典型合成氨园区 2017 年温室气体排放情况

能源名称	**能源消耗量 （吨/万立方米）**	**排放因子 (tCO_2/(吨/万立方米))**	**GHG 排放量 （tCO_2e）**
液化天然气	1590	3.18	5055
无烟煤	2438017	1.97	4813922
生物燃料	1558	1.90	2961
其他燃料	604	1.90	1148
煤油	1	3.03	3
煤矸石	34500	2.77	95565
柴油	759	3.10	2350
天然气	263	19.76	5198

经计算可知，深度低碳化情景下合成氨园区碳减排潜力如下表 6.6 所示，研究表明能效提高和能源结构调整可以为合成氨园区带来显著的碳减排潜力。2030 年和 2050 年，在国际合成氨单位能耗先进值（27GJ/t-氨）和国内合成氨单位能耗先进值（33.81GJ/t-氨）标准下，碳减排潜力分别到达了 167 万吨 CO_2 和 388 万吨 CO_2，碳减排率分别为 33.88%和 78.74%。通过调整能源供给方式，用天然气和氢能取代部分煤炭，虽然总能源消耗量没有降低，但使用清洁能源天然气和氢能代替高污染的化石能源煤炭，具有一定的碳减排潜力，因此提高清洁能源的使用比例同样是减少碳排放量的有效途径。

表 6.6 合成氨园区深度低碳化情景下的碳减排量

	2030 年 深度低碳化情景	**2050 年 深度低碳化情景**
碳减排潜力（万吨 CO_2）	167	388
减排率	33.88%	78.74%

此外，研究结果表明，从基准年 2017 年到目标年 2030 年和 2050 年，在能源结构调整和能效提升的协同作用下，合成氨园区 CO_2 总排放的总计减排效率为 33.88%和 78.74%，减排效果十分显著，如图 6.1 所示。通过对比调整能源结构和采用先进的节能技术这两种措施发现，短期范围内（2020-2030 年），合成氨工业园区应以能效提升为深度低碳化的主要路径；长期来看，大力推广可再生电力制氢（氢能的利用）将在合成氨深度低碳化过程中将发挥更为重要的作用。

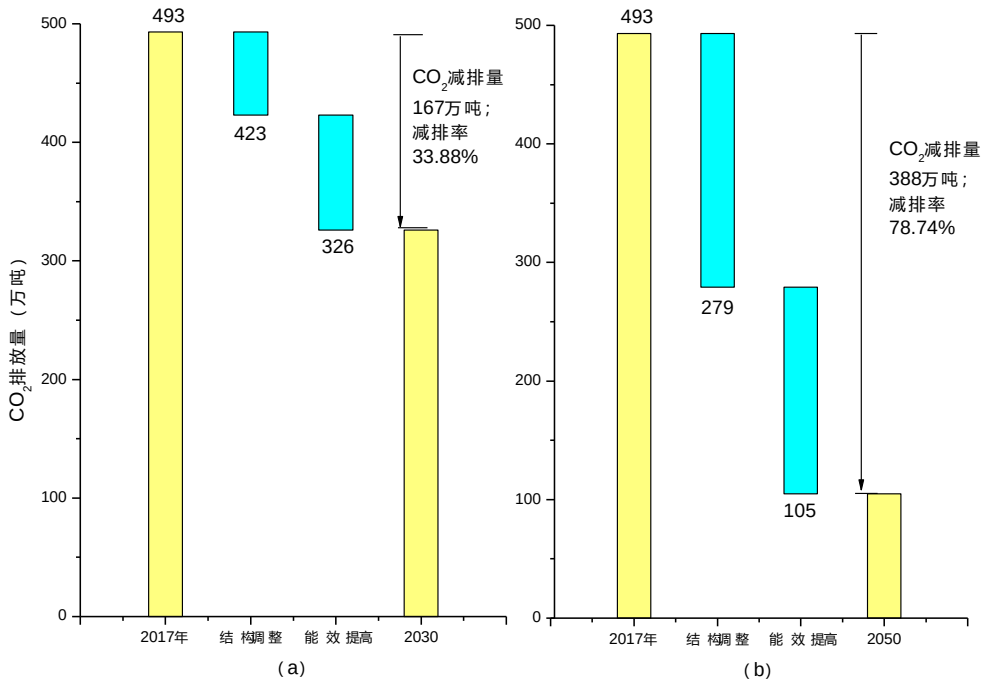


图 6.1　2030 年、2050 年能源结构调整和能效提升协同 CO_2 减排潜力

6.1.4 大气污染物减排潜力分析

本研究分析了 SO_2、NO_x、PM_{10}、$PM_{2.5}$、CO、VOCs 和 NH_3 七种污染物在深度低碳化情景下的减排潜力。通过排放因子法可以得出 2017 年该典型合成氨工业园区的大气污染物排放量分别为 443 吨、792 吨、8038 吨、1559 吨、8061 吨、2482 吨和 1250 吨。2017 年该园区的大气污染物排放情况如表 6.7 所示。

表 6.7 2017 年合成氨园区大气污染物排放清单

单位：吨

类型 / 部门	SO_2	NO_x	PM_{10}	$PM_{2.5}$	CO	VOCs	NH_3
电厂	7	125	4	2	1283	0	14
锅炉	243	373	7829	1405	4866	11	49
工艺过程	193	294	206	151	1912	2471	1187
总计	443	792	8038	1559	8061	2482	1250

经计算可知，深度低碳化情景下合成氨园区大气污染减排潜力如表 6.8 所示，研究表明提高能效、调整能源结构以及强化末端治理可以为合成氨园区带来显著的大气污染物减排潜力。在能效提高、生产结构调整和末端治理措施的协同影响下，2030 年合成氨园区的 SO_2 和 NO_x 的排放量为 350 吨和 690 吨，减排率分别为 20.99%和 12.84%，减排效果十分明显。污染物 PM_{10}、 $PM_{2.5}$、CO 和 VOCs 的减排率分别为 25.9%、22.83%、21.96%和 86.01%。2050 年深度低碳化情景下的节能量为 63 万 tce，减碳量 388 万吨 CO_2，六种大气污染物 SO_2、NO_x、PM_{10}、$PM_{2.5}$、CO、和 VOCs 的减排量分别达到 243 吨、530 吨、3169 吨、703 吨、4053 吨和 337 吨。

表 6.8 合成氨园区深度低碳化情景下大气污染物减排潜力

单位：吨

污染物类型 / 低碳化情景	SO_2	NO_x	$PM_{2.5}$	PM_{10}	CO	VOCs
2017 年排放量	443	792	1559	8038	8061	2482
2030 年排放量	350	690	1203	5956	6291	347
2030 年减排潜力	20.99%	12.84%	22.83%	25.9%	21.96%	86.01%
2050 年排放量	243	530	703	3169	4053	337
2050 年减排潜力	45.25%	33.04%	54.92%	60.57%	49.73%	86.44%

6.2 钢铁园区深度低碳化节能减排潜力分析

钢铁工业是对国民经济增长具有重要影响的最重要的工业部门之一，也是一个高能耗、高污染、高排放的重型装备制造业，与资源环境问题密切相关。从 1996 年以后，中国的钢铁产量在世界上排名第一。2016 年，世界粗钢总产量 16.3 亿吨，其中，中国粗钢产量占 49.6%。在 2015 年，中国钢铁行业排放的 CO_2 占全国 CO_2 排放总量的 15%。钢铁生产对中国的环境影响和资源消耗是一个巨大的挑战，对钢铁园区进行深度低碳化的分析工作是非常有必要的。

目前对安阳钢铁集团有限责任公司的生产流程、能源消耗情况及大气污染物排放情况进行了现状分析。首先，发现安阳钢铁集团内主要的钢铁生产流程是以高炉和转炉为主的长流程，以电弧炉炼钢的短流程生产很少。与长流程相比，短流程不但能耗低，而且排放的温室气体和大气污染物也相对较少。因此需要增加短流程炼钢来间接减少大气污染物的排放。其次，安阳钢铁集团的单位粗钢能耗也低于国际先进值，仍具有一定的节能空间，需要采取先进的节能技术来降低单位粗钢能耗。最后，通过对大气污染物计算之后，发现现阶段污染物的去除工艺设施不完善，并且设施运行效率不达标，所以需要完善设施并增加去除效率更高的设施。

6.2.1 研究方法

本文对安阳钢铁集团的现状进行了系统分析之后，以 2017 年为基准年，建立了基准情景和深度低碳化情景，并且选取 2030 年和 2050 年为时间节点，分别

量化评估了安阳钢铁集团有限责任公司在 2030 年和 2050 年的节能潜力和环境效益。

在基准情景中，能源结构调整措施、能效提高技术改进措施和末端治理措施改进均不考虑。安阳钢铁集团的能源结构、能源效率和末端治理均与 2017 年的水平保持一致。

在深度低碳化情景中，将提高电炉炼钢比例、提高能效措施和末端治理措施同时考虑，以最大限度地实现节能减排潜力。在这一情景中，以粗钢产量来进行工艺流程的质量分配。在 2030 年，将情景设置为 75%的粗钢通过长流程生产，25%的粗钢通过电弧炉生产。在 2050 年，将情景设置为 55%的粗钢通过长流程生产，45%的粗钢通过电弧炉生产。此外，还通过节能供给曲线方法筛选关键节能减排技术，评估节能减排潜力。具体技术详细信息如表 6.9 所示。其中，考虑了钢铁行业的具有经济可行性 26 项节能减排技术，从节能潜力来看，节能潜力最大的四项技术措施分别是高炉喷煤技术（130 kg/t）、低温烧结技术、转炉煤气净化与回收和烧结和烧结冷却器的热回收技术，累计节能减排潜力约占 33.6%。从工艺流程来看，节能潜力最大的是炼铁流程和轧钢流程，潜力最小的是烧结流程。因为这些技术措施既有经济可行性，又具有较大的节能减排潜力，是钢铁行业开展节能减排的关键技术。由于安阳钢铁集团污染物的去除工艺设施不完善，因此将 SO_2、NO_x、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs 和 NH_3 六种污染物的末端治理措施进行强化，完善措施并增加高效率工艺措施。具体治理措施如表 6.10 所示。对于氮氧化物排放，钢铁企业对其污染治理措施效率不高，有的企业没有任何措施，因此选用了活性炭（焦）法进行脱销，其脱除效率为 90%。对于二氧化硫的排放，选取石灰石石膏法脱硫进行脱硫，其脱除效率为 97%。对于颗粒物的排放，本情景选取静电除尘，其除尘效率为 99.85%。对于挥发性有机物和氨的排放，企业没有任何治理措施，分别选取了活性炭吸附和硫铵法对其进行治理，其治理效率分别为 65%和 95%。

表 6.9 节能减排技术详细信息

能效提高技术名称	节能量（GJ/t)
高炉喷煤技术（130kg/t）	0.7
连铸技术	0.39
制氢装置压力位移吸收技术	0.05
低温烧结技术	0.35
降低烧结漏风技术	0.18
焦炉程序加热	0.16
控制燃烧风机的氧气水平和 VSDs	0.14
高效包预热	0.02
高炉控制	0.36
从液态铁中真空脱气	0.1
转炉煤气净化与回收	0.69
氧气燃料燃烧器	0.6
增加床深度	0.08
喷吹焦炉煤气技术	0.39
热风炉燃料和空气预热	0.25
烧结和烧结冷却器的热回收	0.35
高炉顶压利用技术	0.12
铸坯热送热装	0.23
小颗粒烧结技术	0.26
高炉除湿吹气技术	0.23
回热式或再生式燃烧器	0.15
高炉煤气干袋除尘系统	0.01
转炉煤气和显热回收	0.12
能源监测和管理系统	0.12
环冷机液密封技术	0.03
气干燥清洗系统	0.14

表 6.10 末端治理技术选取

污染物种类	末端治理的工艺	去除效率
NO_x	活性炭（焦）法-脱硝	90%
SO_2	石灰石/石灰-石膏法	97%
$PM_{2.5}/PM_{10}$	静电除尘	99.85%
VOCs	活性炭吸附	65%
NH_3	硫铵法	95%

6.2.2 节能潜力分析

根据实地调研搜集得到的 2017 年安阳钢铁集团有限责任公司能源消耗数据，再通过使用不同类型能源的低位发热值进行换算得出能源热值，进而折标煤计算得出各能源换算成标煤的量，如表 6.11 所示，能源消耗总计 419 万 tce 标煤，由于安阳钢铁股份有限公司内主要是炼焦工序和烧结工序，所以洗精煤和原煤的能源占比最大，分别占园区总能源消耗的 74.27%和 22.72%。

表 6.11 安阳钢铁股份有限公司能源消耗情况

能源名称	能源消耗量（吨）	低位发热量 (KJ/kg)	标煤（tce）
原煤	1339989	20908	952942
洗精煤（用于炼焦）	3476798	26344	3115400
焦炭	122477	28435	118457
汽油	59	43070	86
柴油	5531	42652	8024

注：1tce=29.4GJ

深度低碳化情景下安阳钢铁集团有限责任公司节能潜力如下表 6.12 所示，研究表明能效提高和再生钢利用措施能为安阳钢铁集团带来较大的节能潜力，在 2030 年和 2050 年的节能潜力分别为 82 和 150 万 tce。

表 6.12 深度低碳化情景下安阳钢铁集团节能潜力

	2030 年 深度低碳化情景	2050 年 深度低碳化情景
节能潜力（万 tce）	82	150
节能率	19.54%	35.71%

电炉炼钢不消耗化石能源，其生产过程主要消耗的能源是电力，消耗的生产原料为废铁废钢。目前，在我国钢铁产量过剩的情况下，未来将会产生更多的废铁废钢，回收后可以用于电炉炼钢生产，废铁废钢的资源足以支撑电炉炼钢生产。对比来看，长流程中炼焦、烧结、炼铁工序消耗大量化石能源和其他资源，并产生大量温室气体，其中，焦炭的生产过程中洗精煤消耗量是最大的，其次高炉炼铁过程作为原料的焦炭消耗也是最大的，并伴随着高炉喷吹煤的使用，导致了高炉炼铁过程能源消耗和温室气体排放量较大。因此，安阳钢铁集团未来应该增加电炉炼钢比例，减少高炉-转炉炼钢比重，从而达到资源能源节约和污染物减排

的目的。

本研究考虑了钢铁行业的具有经济可行性 26 项节能减排技术，累计节能潜力约为 6.22GJ/吨钢。从节能潜力来看，节能潜力最大的四项技术措施分别是高炉喷煤技术（130kg/t）、低温烧结技术、转炉煤气净化与回收和烧结冷却器的热回收技术，累计节能减排潜力约占 33.6%。从工艺流程来看，节能潜力最大的是炼铁流程和轧钢流程，潜力最小的是烧结流程。从近期来看，采取先进的节能减排技术是钢铁行业最有效的途径。相关的决策者应制定相应的政策鼓励钢铁行业使用先进的节能技术，这对于钢铁行业实现绿色可持续发展至关重要。

6.2.3 碳减排潜力分析

根据安阳钢铁集团有限责任公司能源消费情况，以及通过 3.1 部分的温室气体排放核算方法得出各能源的排放因子，计算得出能源使用过程所造成的温室气体排放，总计 1132 万吨 CO_2，其中洗精煤和原煤的温室气体排放量最大，分别排放出 840 万吨 CO_2 和 256 万吨 CO_2，分别占安阳钢铁集团温室气体排放量的 74.15%和 22.59%，具体结果如表 6.13 所示。

表 6.13 安阳钢铁集团有限责任公司 CO_2 排放情况

能源消耗类型	能源消耗量（吨）	排放因子 (吨 CO_2/吨燃料)	CO_2 排放量（万吨 CO_2）
原煤	1339989	1.9	256
洗精煤（用于炼焦）	3476798	2.4	840
焦炭	122477	2.9	35
汽油	59	2.9	0.017
柴油	5531	3.1	1.72

深度低碳化情景的碳减排计算结果如下表 6.14 所示，2030 年和 2050 年的碳减排潜力分别为 515 和 875 万吨 CO_2，碳减排率分别为 45.5%和 77.23%。在 2030 年深度低碳化情境中，增加短流程粗钢产量，即 75%的粗钢通过长流程生产，25%的粗钢通过电弧炉生产，有效地减少量温室气体的排放。电炉炼钢中没有化石能源的使用，所以钢铁生产过程没有化石能源燃烧所产生的温室气体。适当增加电炉炼钢可以减少温室气体的排放，并减少化石能源的消耗。通过提高能源效率，安阳钢铁集团使用节能技术可以带来明显的碳减排效益。在节能潜力最大的高炉炼铁中，高炉喷煤技术能有效提高能源使用效率，在碳排放最大的高炉内充分发

挥作用，低温烧结技术也可以有效地提高能源使用效率，间接减少碳排放。因此，提高能效可以针对温室气体排放较高的环节进行控制。

表 6.14 安阳钢铁集团深度低碳化情景下的碳减排潜力

	2030 年 深度低碳化情景	**2050 年 深度低碳化情景**
碳减排潜力（万吨 CO_2）	515	875
减排率	45.5%	77.23%

此外，研究结果表明，从基准年 2017 年到目标年 2030 年和 2050 年，在能源结构调整和能效提升的协同作用下，钢铁园区 CO_2 总排放的总计减排效率为 51.5%和 77.21%，减排效果十分显著，如图 6.2 所示。通过对比调整能源结构和采用先进的节能技术这两种措施发现，调整能源结构带来的碳减排效果更佳显著。短期范围内（2020-2030 年），钢铁园区应以能效提升为主要深度低碳化路径，长期来看，产业结构调整在深度低碳化过程中将发挥更为重要的作用。

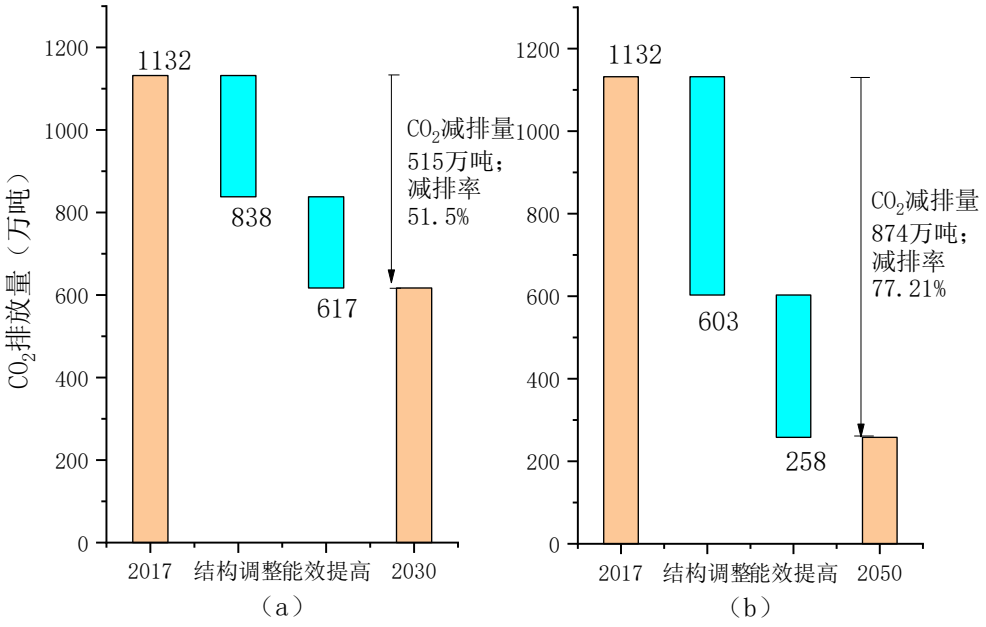


图 6.2 2030 年、2050 年结构调整和能效提升协同 CO_2 减排潜力

6.2.4 大气污染物减排潜力分析

本研究分析了 SO_2、NO_x、PM_{10}、$PM_{2.5}$、CO 和 VOCs 六种污染物在深度低碳化情景下计算得出的减排潜力。计算方法依据本研究 4.1 部分的方法，得出以上六种污染物的大气污染物排放量分别为 17294 吨、12772 吨、3138 吨、2118 吨、305677 吨和 10290 吨。基准情景下的大气污染物排放结果如表 6.15 所示。

表 6.15 2017 年安阳钢铁集团有限责任公司大气污染物排放清单

单位：吨

污染物类型 / 部门	CO	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	NO_x	VOCs
工业锅炉	5844	135	135	925	1138	205
工艺过程	299833	3003	1984	16369	11635	10085
总计	305677	3138	2118	17294	12772	10290

深度低碳化情景的大气污染减排潜力如表 6.16 所示。在能效提高、生产结构调整和末端治理措施的协同影响下，2030 年安阳钢铁集团的 SO_2 和 NO_x 的减排效果最好，深度低碳化潜力分别为 17039 吨和 12081 吨。污染物 PM_{10}、$PM_{2.5}$、CO 和 VOCs 的减排率分别为 15.22%、13.48%、20.82%和 73.67%。2050 年深度低碳化情景下的节能量为 150 万 tce，减碳量 875 万吨 CO_2，六种大气污染物 SO_2、NO_x、PM_{10}、$PM_{2.5}$、CO、和 VOCs 的减排量分别达到 17159 吨、12464 吨、515 吨、856 吨、112790 吨和 8281 吨。通过对钢铁企业深度低碳化节能潜力分析，研究认为安阳钢铁集团有限责任公司应适当增加电炉炼钢，使用能效较高的节能技术，并加大末端治理技术在各个生产环节的覆盖率以及保证其对污染物去除效率。

表 6.16 安阳钢铁集团深度低碳化情景下大气污染物排放量

单位：吨

污染物类型 / 低碳化情景	SO_2	NO_x	$PM_{2.5}$	PM_{10}	CO	VOCs
2017 年排放量	17294	12772	2118	3138	305677	10290
2030 年排放量	255	691	1833	2669	242035	2709
2030 年减排潜力	98.52%	94.59%	13.48%	15.22%	20.82%	73.67%
2050 年排放量	135	308	1604	2282	192887	2009
2050 年减排潜力	99.22%	97.59%	24.30%	27.27%	36.90%	80.48%

七、园区深度低碳化对城市空气质量影响研究

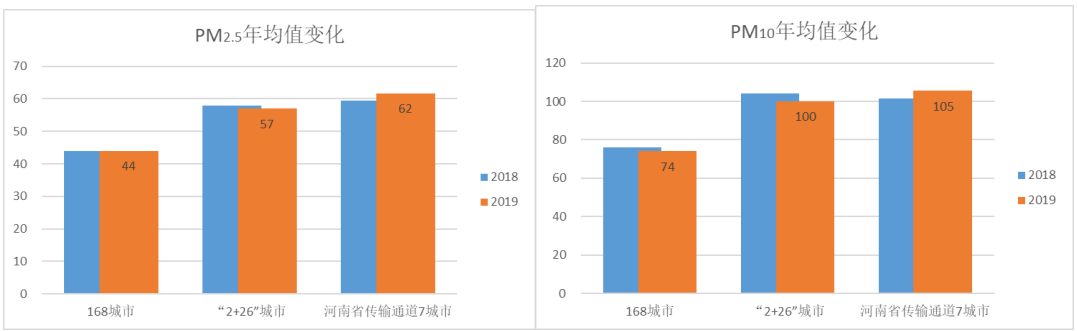
7.1 七个传输通道城市的空气质量状况

7.1.1 七城市整体情况

2019 年河南省传输通道七城市 $PM_{2.5}$ 年均浓度 62 μg/m^{-3}，较 2018 年升高 3 μg/m^{-3}，超过国家二级标准 0.77 倍，且高于全国 168 重点城市和 2+26 城市平均水平；2019 年 PM_{10} 浓度 105μg/m^{-3}，较 2018 年上升 4 μg/m^{-3}，超过国家二级标准 0.5 倍，且高于 168 重点城市和 2+26 城市平均水平，7 城市颗粒物污染程度仍十分严重，且对比其他地区出现不降反升态势。

七城市 SO_2 浓度由 2018 年 18 μg/m^{-3} 降至 2019 年的 13 μg/m^{-3}，下降 28%，在六项污染物中降幅最高，且降幅高于全国 168 城市和“2+26 城市”平均水平；2019 年 NO_2 浓度 38 μg/m^{-3}，较 2018 年明显改善，达到国家二级标准，且浓度低于“2+26 城市” 平均水平；CO 浓度由 2018 年 2.3mg/m^{-3} 下降到 2019 年 2.0 mg/m^{-3}，降低 13%，与“2+26”城市平均浓度持平，三种一次气态污染物大幅下降说明河南省“双替代”政策和燃煤电厂超低排放等环保落实到位，效果明显。

O_3 作为一种二次污染物，近年来在全国范围内污染逐渐加剧，在夏季以轻中度污染为主。七城市浓度由 2018 年 195 μg/m^{-3} 下降至 2019 年 192 μg/m^{-3}，略有改善，但仍超过国家二级标准 0.2 倍，浓度水平处于 168 城市和“2+26”城市之间。



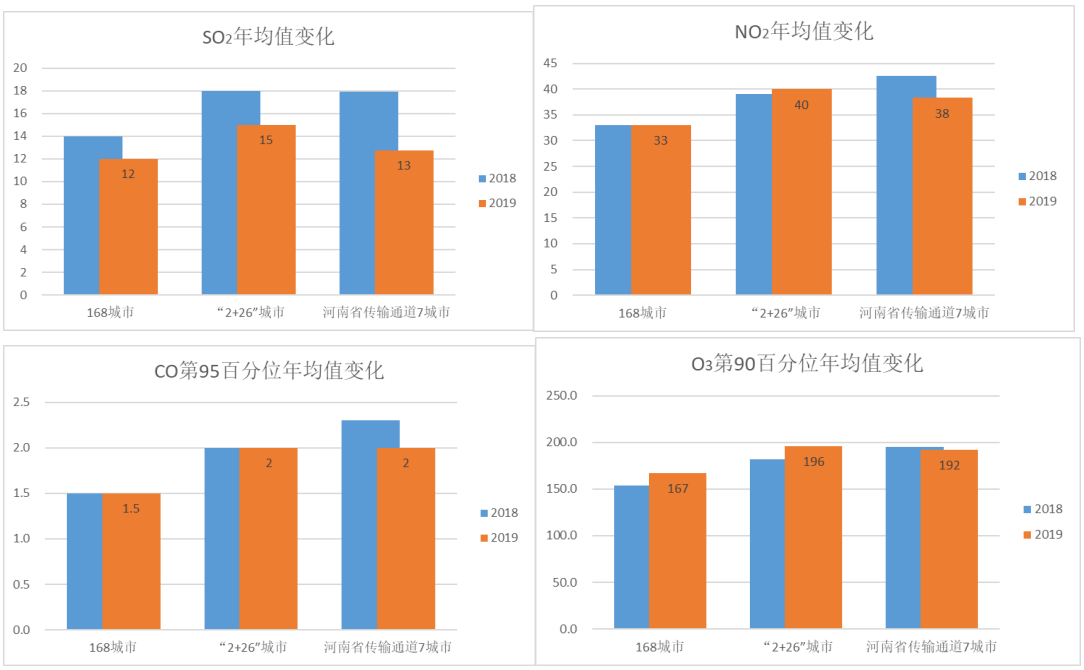
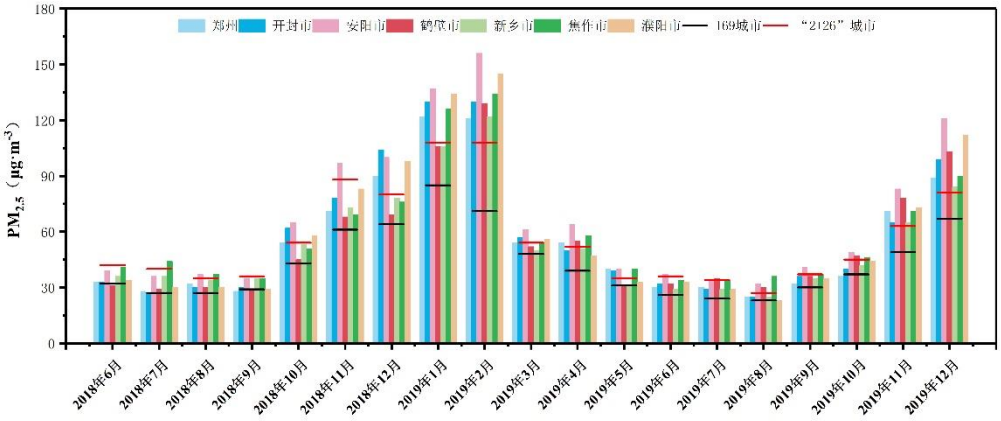
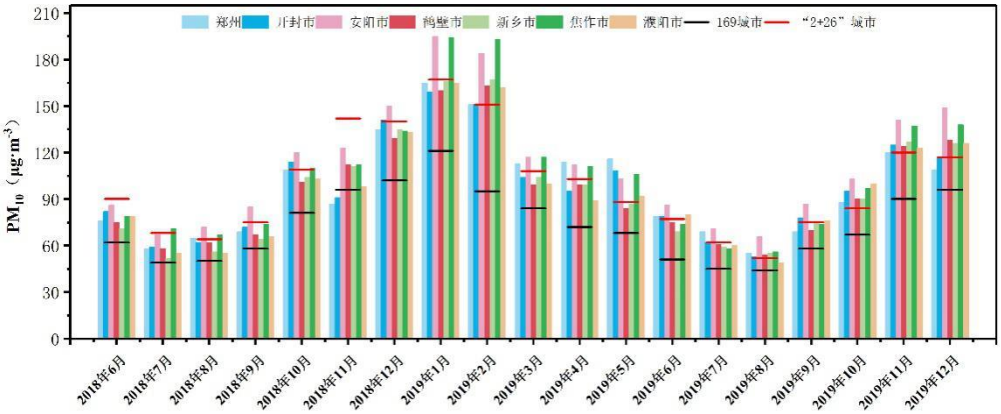


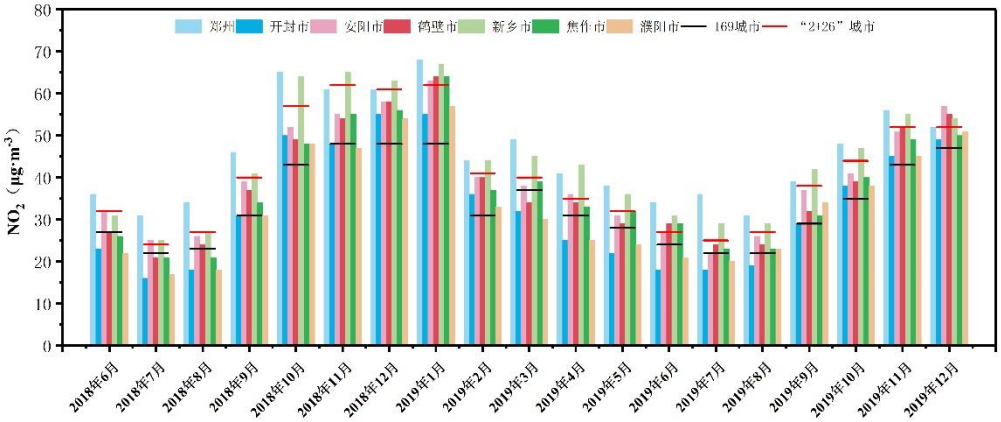
图 7.1 2018-2019 河南省传输通道七城市常规污染物浓度

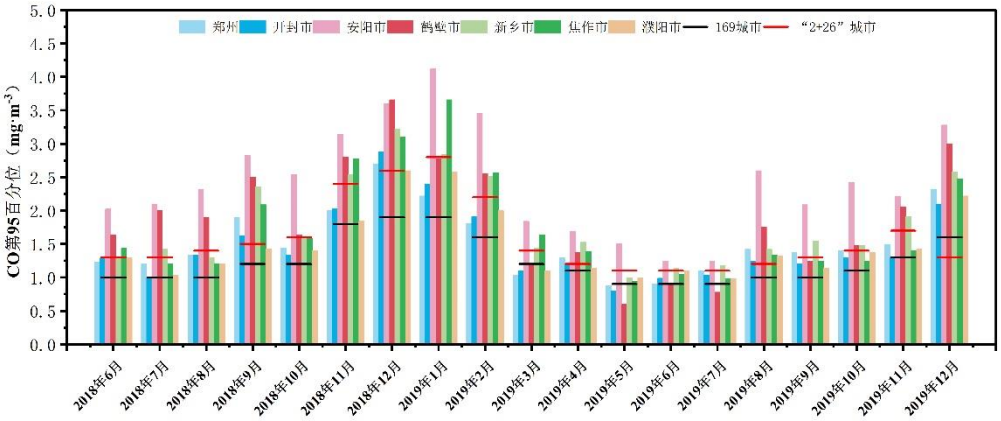
7.1.2 七城市污染差异

分城市看各污染物浓度每月变化，$PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度有明显的季节变化特征，秋冬季节污染浓度较高，从 11 月至次年 2 月浓度逐渐升高，超过 2+26 平均水平的城市不断增加，秋冬季 $PM_{2.5}$ 污染较重的城市主要是安阳、濮阳、开封和焦作；PM_{10} 污染较重的是安阳和焦作；NO_2 浓度较高的是开封、新乡和安阳；CO 较高的是安阳、焦作和鹤壁；SO_2 浓度在冬季安阳市浓度较高，其他季节新乡浓度较高。臭氧浓度水平月变化各城市有所差异，2018 年焦作新乡浓度较高，2019 年郑州、鹤壁浓度较高。




郑州
开封市
安阳市
鹤壁市
新乡市
焦作市
濮阳市
169城市
“2+26”城市
PM10（μg·m-3）
0
30
60
90
120
150
180
210
2018年6月
2018年7月
2018年8月
2018年9月
2018年10月
2018年11月
2018年12月
2019年1月
2019年2月
2019年3月
2019年4月
2019年5月
2019年6月
2019年7月
2019年8月
2019年9月
2019年10月
2019年11月
2019年12月


郑州
开封市
安阳市
鹤壁市
新乡市
焦作市
濮阳市
169城市
“2126”城市
NO2（μg·m-3）
0
10
20
30
40
50
60
70
80
2018年6月
2018年7月
2018年8月
2018年9月
2018年10月
2018年11月
2018年12月
2019年1月
2019年2月
2019年3月
2019年4月
2019年5月
2019年6月
2019年7月
2019年8月
2019年9月
2019年10月
2019年11月
2019年12月


郑州
开封市
安阳市
鹤壁市
新乡市
焦作市
濮阳市
169城市
“2+26”城市
CO第95百分位（mg·m-3）
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
2018年6月
2018年7月
2018年8月
2018年9月
2018年10月
2018年11月
2018年12月
2019年1月
2019年2月
2019年3月
2019年4月
2019年5月
2019年6月
2019年7月
2019年8月
2019年9月
2019年10月
2019年11月
2019年12月

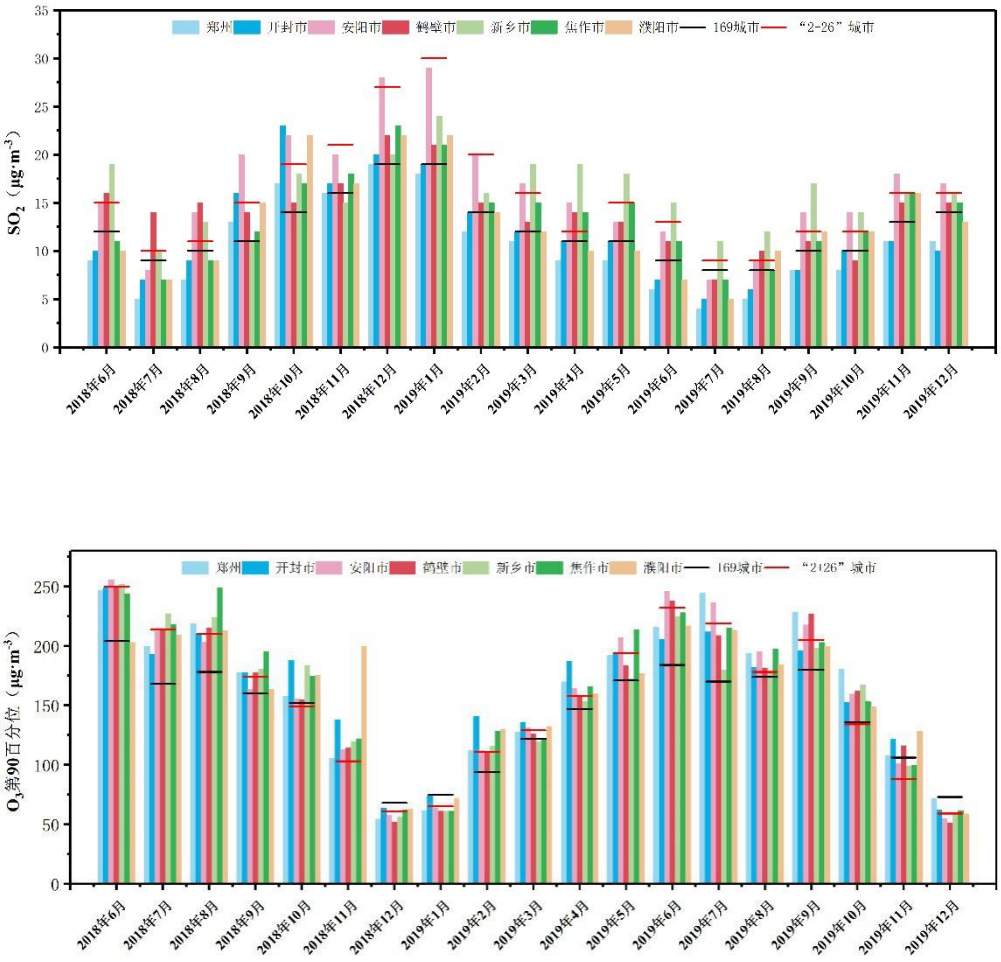


图 7.2 七城市污染物浓度月度变化

7.1.3 七城市空气质量排名

图 7.3 为七城市综合指数排名，可以看出七城市在全国 168 重点城市中普遍排名靠后，基本在 120 名以后，且后 20 名中七城市出现次数较多；秋冬季的污染状况要严重于春夏季。2019 年较 2018 年同期有明显改善，有三个月除安阳外六城市均退出后 20 名。

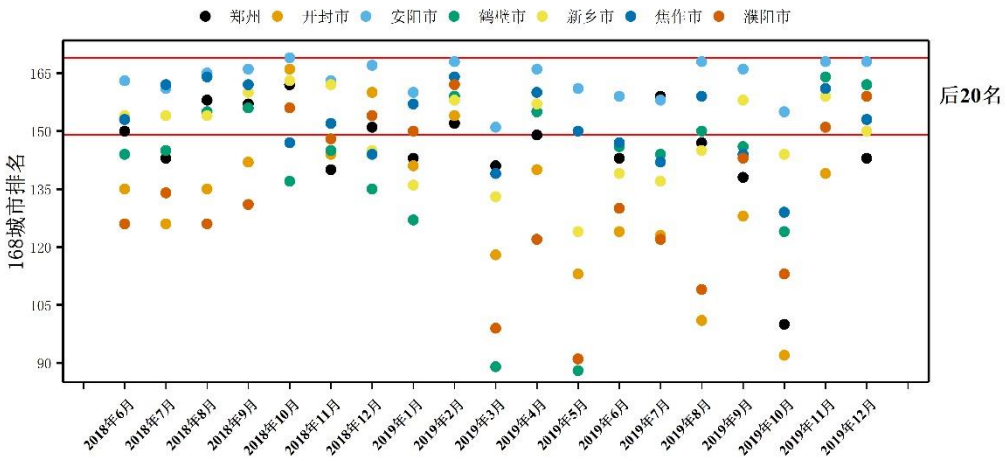


图 7.3 2018 年 6 月-2019 年 12 月七城市综合指数排名

7.1.4 冬季重污染严重

秋冬季由于大气静稳，容易出现逆温现象，大气水平和垂直扩散能力显著下降，容易导致一次排放污染物的累积且不利气象条件往往导致豫北地区出现高湿条件，加速了气态污染物向 $PM_{2.5}$ 二次组分的转化，显著推高 $PM_{2.5}$ 浓度。通过对 2019 年 11 月 23 日和 2019 年 12 月 22 日京津冀及周边地区典型重污染过程的分析发现，河南省北部城市往往最先出现 $PM_{2.5}$ 小时重度污染，河南河北地区在重污染过程中污染相对比较严重。

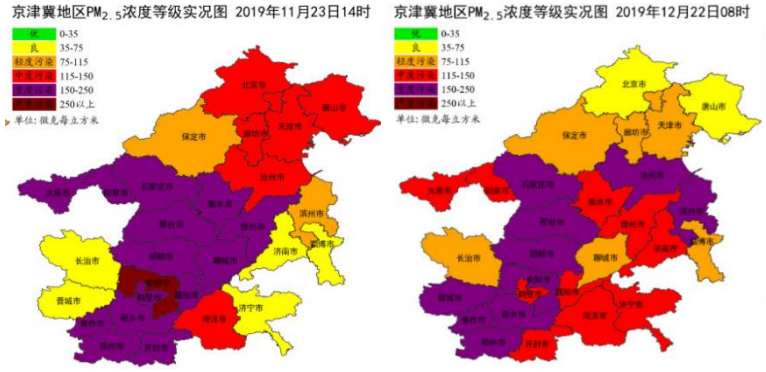


图 7.4 2019 年秋冬季污染地图

综上，尽管我省在大气污染防治方面多措并举、攻坚克难、坚持科学精准治污，取得了阶段性效果，污染排放明显下降，环境质量逐年改善。但是，由于豫北传输通道七城市产业结构重、布局不合理、排放总量大、地理气象条件不利，结构性、区域性大气污染问题突出，环境空气质量在 2+26 传输通道城市中仍属

于污染重的城市，工业园区大气污染排放是区域城市污染的最重要的贡献者，因此，推进工业园区绿色低碳化发展，减少大气污染物排放，对城市空气质量的改善起重要作用。

7.2 传输通道城市及工业园区大气污染物排放清单

7.2.1 传输通道城市及工业园区大气污染物排放清单

本研究涉及的传输通道城市一共有七个，分别为郑州市，开封市，安阳市，鹤壁市，新乡市，焦作市和濮阳市。其城市排放的 SO_2、NO_X、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 总量分别为 206753.5、561668.3、2133628.3、502738.7、220886.3、436308.5 和 265446.7 吨。各城市的排放量见表 7.1。其中 SO_2 排放量最高的城市为安阳市，NH_3 排放量最高的城市是开封市，而剩余五种污染物排放量最高的都是郑州市，郑州市的常住人口、城市规模以及经济发展都明显优于其他城市，相对应的产生的大气污染物也较多。

表 7.1　七城市的大气污染物排放量

城市	SO_2	NO_X	CO	PM_{10}	$PM_{2.5}$	VOCs	NH_3
郑州市	24806.2	171831.1	551232.5	182982.1	63908.1	149541.8	27203.7
开封市	32155.5	51741.5	196519.6	43687.7	20582.5	62240.9	77019.8
安阳市	48989.7	93605.8	524042.0	107470.6	58628.5	65768.9	39500.9
鹤壁市	19515.8	31747.6	93312.3	23916.0	9186.4	9798.7	13781.6
新乡市	29964.4	87391.8	361360.6	68720.1	31649.7	55499.5	46072.4
焦作市	19775.3	89157.9	255703.3	47901.2	24335.4	67496.9	22962.9
濮阳市	31546.5	36192.6	151458.0	28061.1	12595.5	25961.8	38905.6
总计	206753.5	561668.3	2133628.3	502738.7	220886.3	436308.5	265446.7

本研究建立了工业园区层面的大气污染物排放清单，十三家工业园排放的 SO_2、NO_X、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 总量分别为 42588、36893、350231、19466、7141、18051、2351 吨，具体排放情况见表 7.2。其中 SO_2、NO_X、CO、$PM_{2.5}$ 和 VOCs 排放量最高的园区为安阳钢铁集团有限公司，钢铁作为高污染行业之一，耗能量大，产生的污染物量也较多。PM_{10} 排放量最高的园区为黄龙产业

集聚区，主要原因是其园区内存在大量水泥厂等建材企业。NH_3 排放量最高的园区为黄龙产业集聚区，该园区作为典型的合成氨园区，园区内有大规模的化工类企业，对应的 NH_3 排放量也较高。

表 7.2　2017 年 13 个工业园区大气污染物排放清单

园区	SO_2（t）	NO_X（t）	CO（t）	PM_{10}（t）	$PM_{2.5}$（t）	VOCs（t）	NH_3（t）
濮阳经开区	8445.8	7667.7	4430	1794.5	766.8	478.8	995.9
郑州经开区	307.8	157	1975	1445.8	471.8	238.7	2.2
开封经开区	1097.3	459.3	5718.8	520.1	149.8	1764.6	10.5
红旗渠经开区	6454.6	5405.1	16016.7	582.9	391.3	660.4	34.3
鹤壁经开区	3205	2484.1	1603.7	1133.5	684.1	556.8	16.2
新乡经开区	1242.9	1160.1	514	426.5	111.7	89.6	5.1
郑州高新区	3262.3	5731.3	3397.1	786.9	337.8	1266.5	29.7
安阳高新区	256.6	132.7	531.6	5.3	2	17.4	1.2
新乡高新区	0	14	8.7	1.6	1.1	29.5	0.3
焦作高新区	356	48.3	768.8	81.4	31	123.5	1.5
郑州航空港	222.5	69.4	1528.3	1511.4	516.4	53.2	3.8
黄龙产业集聚区	443	792	8061	8038	1559	2482	1250
安阳钢铁集团有限责任公司	17294	12772	305677	3138	2118	10290	0
总计	42588	36893	350231	19466	7141	18051	2351

在工业园区对城市排放的贡献方面，对于郑州市而言，三个工业园区排放的 SO_2、NO_X、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 对郑州市的总贡献率分别为 15.29%、3.47%、1.25%、2.05%、2.07%、1.04%和 0.13%。三个园区中郑州高新区对城市的贡献率相对较高，其中 SO_2 的贡献尤为突出，主要原因是郑州高新区内存在高装机容量的电厂。而新乡市中，新乡经开区和新乡高新区排放的 SO_2、NO_X、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 总量分别占城市的 4.15%、1.34%、0.14%、0.62%、0.36%、0.21%和 0.01%。其中新乡经开区对新乡市的贡献要多于新乡高新区。开封市两个工业园区排放的 SO_2、NO_X、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 对开封市的贡献占比分别为 4.79%、2.42%、7.01%、19.59%、8.30%、6.82%和 1.64%。黄

龙产业集聚区的贡献占比多于开封市经开区，其 PM_{10} 的贡献率较高，主要来源于该园区内的工艺过程源，尤其是水泥等建材企业的排放。安阳市三个园区排放的 SO_2、NO_X、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 总量占安阳市的 49.00%、19.56%、61.49%、3.47%、4.28%、16.68%和 0.00%。其中安阳钢铁集团是主要贡献源，该园区是河南省最大的钢铁园区，钢铁作为典型的高污染行业，加上安钢集团规模较大，各类污染物排放的也较多。焦作高新区产生的 SO_2、NO_X、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 占焦作市的 1.80%、0.05%、0.30%、0.17%、0.13%、0.18%和 0.01%。鹤壁经开区排放的 SO_2、NO_X、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 占鹤壁市的 16.42%、7.82%、1.72%、4.74%、7.45%、5.68%和 0.12%。SO_2 占比较高的原因是因为鹤壁经开区内存在电厂，电厂的运行需要燃烧大量的煤炭。濮阳经开区排放的 SO_2、NO_X、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 分别占濮阳市的 26.77%、21.19%、2.92%、6.39%、6.09%、1.84%和 2.56%，SO_2 贡献高的原因也是因为该园区内存在电厂。七个城市的园区排放的 SO_2、NO_X、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 总量占七个城市的 21%、7%、16%、4%、3%、4%和 1%。各个城市的工业园区详细占比见表 7.3。

表 7.3 工业园区排放大气污染物对相应城市的贡献比例

城市	园区	SO_2	NO_X	CO	PM_{10}	$PM_{2.5}$	VOCs	NH_3
郑州市	郑州经开区	1.24%	0.09%	0.36%	0.79%	0.74%	0.16%	0.01%
	郑州高新区	13.15%	3.34%	0.62%	0.43%	0.53%	0.85%	0.11%
	郑州航空港	0.90%	0.04%	0.28%	0.83%	0.81%	0.04%	0.01%
	总计	15.29%	3.47%	1.25%	2.05%	2.07%	1.04%	0.13%
新乡市	新乡经开区	4.15%	1.33%	0.14%	0.62%	0.35%	0.16%	0.01%
	新乡高新区	0.00%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.00%
	总计	4.15%	1.34%	0.14%	0.62%	0.36%	0.21%	0.01%
开封市	开封市经开区	3.41%	0.89%	2.91%	1.19%	0.73%	2.84%	0.01%
	黄龙产业集聚区	1.38%	1.53%	4.10%	18.40%	7.57%	3.99%	1.62%
	总计	4.79%	2.42%	7.01%	19.59%	8.30%	6.82%	1.64%
安阳市	安阳高新区	0.52%	0.14%	0.10%	0.00%	0.00%	0.03%	0.00%

城市	园区	SO_2	NO_X	CO	PM_{10}	$PM_{2.5}$	VOCs	NH_3
	红旗渠经开区	13.18%	5.77%	3.06%	0.54%	0.67%	1.00%	0.00%
	安钢集团	35.30%	13.64%	58.33%	2.92%	3.61%	15.65%	0.00%
	总计	49.00%	19.56%	61.49%	3.47%	4.28%	16.68%	0.00%
焦作市	焦作高新区	1.80%	0.05%	0.30%	0.17%	0.13%	0.18%	0.01%
鹤壁市	鹤壁经开区	16.42%	7.82%	1.72%	4.74%	7.45%	5.68%	0.12%
濮阳市	濮阳经开区	26.77%	21.19%	2.92%	6.39%	6.09%	1.84%	2.56%
传输通道 7 个城市	13 个工业园区	21%	7%	16%	4%	3%	4%	1%

7.2.2 深度低碳化情景下工业园区大气污染物排放清单

工业园区深度低碳化措施的实施能有效实现大气污染物协同减排。2030 年深度低碳化情景下十一个国家级园区和两个典型省级园区的 SO_2、NO_X、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 总量分别为 12640.8、17606、281933、13545.6、5274.7、4105.8 和 1083.7 吨，减排潜力分别为 70%、52%、20%、30%、26%、77%和 23%。具体排放情况见表 7.4。2050 年深度低碳化情景下十一个国家级园区和两个典型省级园区的 SO_2、NO_X、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 总量分别为 9491、14519、229440、9736、4315、3312 和 1808 吨，减排潜力分别为 78%、61%、34%、50%、40%、82%和 23%。具体排放情况见表 7.5。

表 7.4　2030 年深度低碳化情景下 13 个工业园区大气污染物排放清单

园区	SO_2（t）	NO_X（t）	CO（t）	PM_{10}（t）	$PM_{2.5}$（t）	VOCs（t）	NH_3（t）
濮阳经开区	3599	4372.7	3551	615.3	268.9	176.9	993.9
郑州经开区	40.5	112	1975	759.6	304.5	29	2.2
开封经开区	215.5	230.9	5718.8	104	40.5	219.2	10.5
红旗渠经开区	3725.6	4968.2	15573.7	514.1	363.3	204.7	30.3
鹤壁经开区	1838	1674.1	1074.7	691.5	418.1	134.3	15.2
新乡经开区	205.9	355.3	3	308.4	80.6	10.7	0.1
郑州高新区	2271.8	4362	3004.1	729.7	322.8	248.3	25.7
安阳高新区	115.1	91.5	531.6	5.3	2	1.9	1.2
新乡高新区	0	14	8.7	1.6	1.1	1.2	0.3
焦作高新区	8.3	9	637.8	19.2	14.9	13.7	0.5
郑州航空港	16.1	35.3	1528.3	1171.9	422	9.9	3.8
安钢	255	691	242035	2669	1833	2709	0
黄龙	350	690	6291	5956	1203	347	734
总计	12640.8	17606	281933	13545.6	5274.7	4105.8	1817.7

表 7.5　2050 年深度低碳化情景下 13 个工业园区大气污染物排放清单

园区	SO_2（t）	NO_X（t）	CO（t）	PM_{10}（t）	$PM_{2.5}$（t）	VOCs（t）	NH_3（t）
濮阳经开区	2545.4	3835.1	3204.0	535.3	247.9	150.9	990.9
郑州经开区	40.5	112.0	1975.0	759.6	304.5	29.0	2.2
开封经开区	215.5	230.9	5718.8	104.0	40.5	219.2	10.5
红旗渠经开区	3131.9	4662.5	15316.7	478.1	348.3	185.7	28.3
鹤壁经开区	1334.0	1294.1	829.7	519.5	313.1	116.2	13.2

园区	SO_2（t）	NO_X（t）	CO（t）	PM_{10}（t）	$PM_{2.5}$（t）	VOCs（t）	NH_3（t）
新乡经开区	12.2	21.9	28.0	1.9	0.9	10.7	0.2
郑州高新区	1693.8	3375.0	2721.1	688.7	312.8	227.3	22.7
安阳高新区	115.1	91.5	531.6	5.3	2.0	1.9	1.2
新乡高新区	0.0	14.0	8.7	1.6	1.1	1.2	0.3
焦作高新区	8.3	9.0	637.8	19.2	14.9	13.7	0.5
郑州航空港	16.1	35.3	1528.3	1171.9	422.0	9.9	3.8
黄龙产业集聚区	243	530	4053	3169	703	337	734
安阳钢铁集团有限责任公司	135	308	192887	2282	1604	2009	0
总计	9491	14519	229440	9736	4315	3312	1808

7.3 传输通道工业园区对城市空气质量的影响模拟

7.3.1 研究方法

（一）WRF-CMAQ 空气质量模型及参数设置

本研究采用空气质量模型 CMAQv5.0.2 版本对工业园区 2017 年大气污染排放和深度低碳化情景排放进行模拟分析，选取 1 月、4 月、7 月和 10 月作为模拟时段，分别代表冬、春、夏、秋四季。在 CMAQ 模型中模拟区域使用兰伯特投影坐标系，采用三层嵌套网格，第一层模型域为中国及周边区域，网格格距为 36 km；第二层模型域为中国中东部地区，网格格距为 12 km；第三层模型域为河南省及周边区域，网格格距为 4 km。本研究设置模拟区域的气象垂直分层结构为 14 个气压层，层距自下向上逐渐增加。模型模拟中选取的化学机制为 SAPRC99 气相化学反应机制和 Aero6 气溶胶反应机制。具体设置参数如表 7.6 所示。在 CMAQ 模型中，除了传输通道工业园区大气污染物排放清单数据，其中河南省境内排放清单采用的清单由郑州大学环境科学研究院编制，河南省境外其他人为源排放清单数据采用清华大学编制的中国多分辨率排放（MEIC）清单，天然源

清单数据则是结合气象数据利用天然源排放模型 MEGAN 计算得到的。

表 7.6　CMAQ 模型具体参数设定

参数名称	设定
参数名称	CMAQv5.0.2
网格嵌套	三层
水平分辨率	4km，12km，36km
垂直分层	十四层
气相化学反应机制	SAPRC99
气溶胶反应机制	Aero6
光化学反应速率	in-line
沙尘	in-line
初始条件	逐日积累
边界条件	默认

本研究中气象预报模式采用中尺度气象模式 WRF4.0 版本。模拟时段仍为 1 月、4 月、7 月和 10 月。WRF 模拟与 CMAQ 模拟使用相同的投影坐标系，也采用三层嵌套网格模拟，每层模型域的网格格距与 CMAQ 设置相同，但网格范围略大于 CMAQ 模拟范围。垂直分层结构共设置为 43 个气压层，层距自下而上逐渐增加。其中输入的地形数据采用 MODIS 卫星空间分别率为 30"的地形数据。输入的气象数据采用由美国国家环境预报中心（NCEP，National Centers for Environmental Prediction）提供的时间分辨率为 6 小时，空间分辨率为 1°×1°的 FNL 全球分析资料。WRF 模拟的具体参数设置如表 7.7 所示。

表 7.7　WRF 模拟具体参数设定

参数名称	设定标准
模型版本	WRF4.0
垂直分层	43 层
水平分辨率	4km，12km，36km
微物理方案	Thompson graupel scheme
长波辐射方案	RRTM scheme
短波辐射方案	短波辐射方案 Goddard shortwave scheme
近地层方案	Monin-Obukhov scheme
陆面过程方案	unified Noah land-surface model
边界层方案	YSU scheme
积云对流方案	Grell-Devenyi ensemble scheme
四维同化	第一层网格进行同化

（二）WRF-CMAQ 空气质量模型校验评价

本研究选取河南省国控监测站点 2017 年 1 月、4 月、7 月和 10 月的 $PM_{2.5}$ 观测数据日均值，与模拟的 2017 年 $PM_{2.5}$ 小时浓度值结果进行提取整理得到的四个月日均 $PM_{2.5}$ 浓度进行定量分析，评估模拟结果与监测数据的相关性，并进一步验证模拟结果的可靠性。本研究采用的校验指标主要有标准化平均偏差 NMB（Normalized Mean Bias）、标准化平均误差 NME（Normalized Mean Error）、平均分数偏差 MFB（Mean Fractional Bias）、平均分数误差 MFE（Mean Fractional Error）以及相关系数 R。各项比对指标的计算公式如下：

$$NNMB = \frac{\sum_{i=1}^{N}(C_m - C_0)}{\sum_{i=1}^{N} C_0} x100\% \quad (1)$$

$$NME = \frac{\sum_{i=1}^{N}|C_m - C_0|}{\sum_{i=1}^{N} C_0} x100\% \quad (2)$$

$$MFB = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{(C_m - C_0)}{(C_m + C_0)/2} x100\% \quad (3)$$

$$MFE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{|C_m - C_0|}{(C_m + C_0)/2} x100\% \quad (4)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{N}(C_m - \overline{C}_m) - (C_0 - \overline{C}_0)}{\{\sum_{i=1}^{N}(C_m - \overline{C}_m)^2 \sum_{i=1}^{N}(C_0 - \overline{C}_0)^2\}^{\frac{1}{2}}} x100\% \quad (5)$$

式中，C_m 为第 i 天的 $PM_{2.5}$ 模拟日均浓度值，μg/m^3；C_0 为第 i 天的 $PM_{2.5}$ 观测日均浓度值，μg/m^3；C_m 为评估时段内模拟浓度日均值的平均值，μg/m^3；$\overline{C}_0$ 为评估时段内观测浓度日均值的平均值，μg/m^3；N 为评估时段的总天数。其中 NMB 反映模拟值与观测值平均偏离程度，NME 反映模拟值与观测值平均误差的大小，若 NMB 和 NME 的值均小于 50%，则表示模拟结果较好。若以 MFB 和 MFE 为评价标准，当 MFB 达到合理范围-60%≤MFB≤60%时，则 MFE≤75%，当 MFB 达到理想水平范围-30%≤MFB≤30%时，则 MFE≤50%，此时说明模型对 $PM_{2.5}$ 排放的模拟性能很好。相关系数 R 表征模拟结果与观测值之间变化趋势吻合程度，R 值越接近 1，则表示模拟值与观测值的吻合程度越高，模拟效果越好。

（三）WRF-CMAQ 空气质量模型中情景影响评估

本研究中设置了两种情景在 WRF-CMAQ 空气质量模型中进行模拟分析。一是基准情景，以 2017 年传输通道工业园区实际排放为准的河南省大气污染物排

放清单；二是园区深度低碳情景，以 2017 年传输通道工业园区采取低碳减排措施后排放为准的河南省大气污染物排放清单。通过模拟两种情景下的 $PM_{2.5}$ 浓度，评估园区深度低碳所带来的减排效益。

7.3.2 WRF-CMAQ 空气质量模型校验

基于河南省大气污染物排放清单，通过 WRF-CMAQ 空气质量模型模拟，得到 2017 年河南省 $PM_{2.5}$ 的模拟浓度。根据上述模型校验指标评价的方法进行计算，得到 NMB 值为 5.73%，NME 值为 31.1%，MFB 值为 3.11%，MFE 值为 30.15%，R 值为 0.54，与上述参数评价标准范围相一致，这说明模拟值和监测值的相关性较好。因此，本文所选择的 CMAQ 模型模拟参数可靠，可以较好地模拟河南省大气污染物排放对 $PM_{2.5}$ 浓度的影响。

表 7.8 模拟效果评估结果

	NMB	NME	MFB	MFE	R
郑州	30.07%	48.46%	21.02%	37.75%	0.4273
安阳	12.63%	34.45%	9.39%	31.84%	0.5274
鹤壁	-13.81%	24.70%	-13.79%	25.90%	0.6144
焦作	0.49%	25.58%	-0.41%	25.00%	0.4300
开封	-5.51%	29.73%	-9.05%	32.23%	0.5500
洛阳	19.50%	34.53%	18.64%	32.02%	0.5900
漯河	10.71%	25.82%	6.99%	24.76%	0.6800
南阳	-5.97%	27.23%	-7.52%	28.89%	0.4647
平顶山	14.51%	29.02%	13.33%	26.92%	0.5200
濮阳	-2.14%	32.69%	-4.11%	33.95%	0.5200
三门峡	0.28%	34.50%	3.34%	36.42%	0.2191
商丘	4.22%	30.80%	1.15%	30.46%	0.5808
新乡	34.23%	46.06%	25.23%	37.51%	0.5695
信阳	-12.22%	24.14%	-15.89%	27.10%	0.6260
许昌	2.95%	29.83%	0.49%	30.17%	0.5600
周口	2.78%	27.92%	1.90%	28.28%	0.6015
驻马店	4.69%	23.15%	2.07%	23.31%	0.6790

7.3.3 2017 年河南省大气污染物排放对 $PM_{2.5}$ 浓度的影响评估

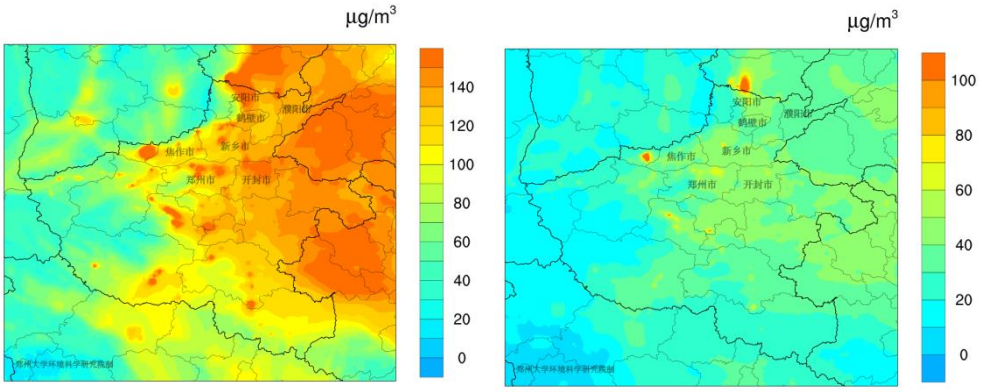
本研究采用 2017 年基准情景下河南省大气污染物排放清单，通过 WRF-CMAQ 空气质量模型模拟，得到 2017 年河南省以及各地市的 $PM_{2.5}$ 浓度如表 7.8

和图 7.5 所示。2017 年，基准情景下河南省 $PM_{2.5}$ 年均浓度值为 59.48 μg/m^3。其中 $PM_{2.5}$ 年均浓度比较高的地区集中在安阳、郑州、开封、鹤壁，分别达到 89.07 μg/m^3, 73.06 μg/m^3, 66.40 μg/m^3, 64.72 μg/m^3。这些地市均是京津冀传输通道城市。从图 7.5 中可以看出，河南省的北部，西北部及中部地区的 $PM_{2.5}$ 浓度较高。河南省中部和北部地区工业城市密集，工业源排放强度都较大，因此是 $PM_{2.5}$ 的高浓度区域。而东部及西南部地区农业较为发达，所以 $PM_{2.5}$ 浓度相对较低。

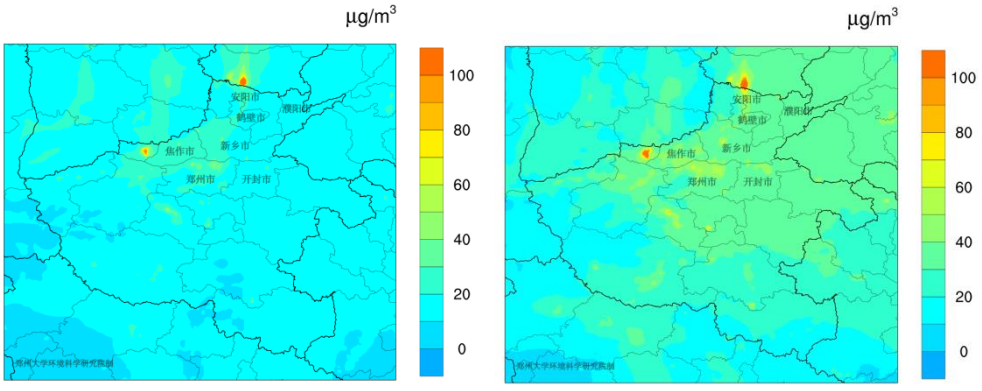
从河南省 $PM_{2.5}$ 月均浓度空间分布来看，对比分析 1 月，4 月，7 月，10 月可以得出，由于气象条件的影响，不同月份的 $PM_{2.5}$ 浓度具有显著差异，受季节变化影响明显。$PM_{2.5}$ 浓度的高低依次为冬季 1 月、秋季 10 月、春季 4 月和夏季 7 月。引起这一现象的主要原因：一是冬季的采暖需求较其他季节更高，大量的燃料消费产生的一次排放以及大气中各组分发生二次排放造成 $PM_{2.5}$ 排放强度较大，加重污染；二是不利气象条件的影响。冬季降水量较少，逆温现象突出，污染物集聚，导致空气污染严重。相比而言，四月份和七月份的 $PM_{2.5}$ 月均浓度较低，$PM_{2.5}$ 浓度较高的地区仅集中分布在工业源密集的地区。

表 7.9　2017 年基准情景下河南省各地市 $PM_{2.5}$ 浓度

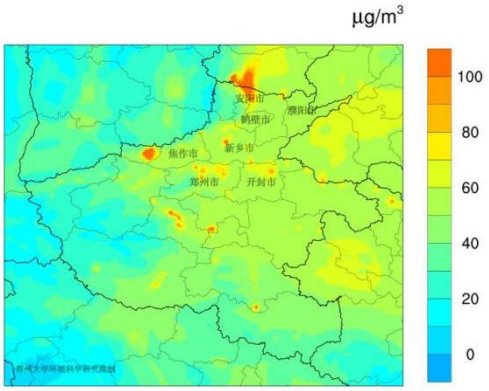
浓度 μg/m^3	一月	四月	七月	十月	年均
安阳	230.04	59.42	30.16	36.68	89.07
鹤壁	150.32	44.95	21.51	42.12	64.72
焦作	98.31	37.62	26.53	39.03	50.37
开封	157.97	47.77	18.90	40.95	66.40
漯河	134.58	40.34	14.59	35.65	56.29
洛阳	114.74	47.68	29.80	45.04	59.31
南阳	140.78	42.67	19.18	35.13	59.44
平顶山	136.17	46.93	17.26	37.57	59.48
濮阳	132.75	40.33	15.11	37.99	56.55
三门峡	79.69	27.33	19.79	29.58	39.10
商丘	143.82	44.80	15.58	38.90	60.78
新乡	132.08	48.23	24.33	40.12	61.19
信阳	100.51	28.10	13.92	26.18	42.18
许昌	137.44	47.25	17.05	36.65	59.60
郑州	145.46	63.03	32.85	50.92	73.06
周口	141.74	42.90	16.25	38.36	59.82
驻马店	127.04	39.57	13.65	35.50	53.94
河南	136.83	46.05	21.74	39.39	59.48



（a）2017 年基准情景下 1 月份 $PM_{2.5}$ 浓度　　（b）2017 年基准情景下 4 月份 $PM_{2.5}$ 浓度



（c）2017 年基准情景下 7 月份 $PM_{2.5}$ 浓度　　（d）2017 年基准情景下 10 月份 $PM_{2.5}$ 浓度



（e）2017 年基准情景下年均 $PM_{2.5}$ 浓度

图 7.5　2017 年基准情景下 $PM_{2.5}$ 浓度空间分布图

7.3.4 2017 年传输通道工业园区大气污染物排放对河南 $PM_{2.5}$ 浓度的贡献评估

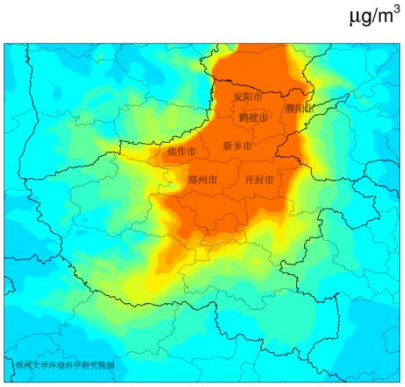
基于 2017 年河南省大气污染物排放清单，扣除河南省 11 个国家级工业园区和 2 个典型省级工业园区的大气污染排放后，通过 WRF-CMAQ 空气质量模

拟，得到无园区排放影响的河南省 $PM_{2.5}$ 浓度。用基准情景下的河南省 $PM_{2.5}$ 浓度减去此结果，即可得到这 13 个工业园区排放对河南省以及各地市 $PM_{2.5}$ 浓度的贡献，如表 7.9 和图 7.6 所示。河南省工业园区大气污染排放对河南省总体年均 $PM_{2.5}$ 浓度的贡献值为 4.01 μg/m^3。对京津冀传输通道上的安阳、鹤壁、焦作、开封、洛阳、新乡、郑州市的 $PM_{2.5}$ 浓度的贡献值分别为 36.46 μg/m^3 、10.13 μg/m^3、1.16 μg/m^3、11.83 μg/m^3、0.61 μg/m^3、3.77 μg/m^3、2.46 μg/m^3，这是由于这些城市工业较为密集，工业源的能源消费量和排放强度都较大，所以 $PM_{2.5}$ 的浓度较高。其中安阳安钢集团，开封黄龙产业集聚区为河南省典型高耗能省级工业园区，排放基数大，且安阳和开封两地的国控站点距离产业园区较近，因此园区深度低碳化对区域城市空气质量的改善较为明显，同时也对南部下风向城市有一定的影响，具体数值见表 5。经对比分析，1 月，4 月，7 月，10 月的平均排放贡献浓度有相似的空间分布图，$PM_{2.5}$ 浓度较高的地区仍集中在河南省中部及北部地区，但相比较而言 1 月份的 $PM_{2.5}$ 浓度比其他几个月份略高。这可能是由于属于冬季的 1 月，面临取暖问题，且冬季污染物扩散慢，污染物的累积导致各种污染物的浓度较高，并与周边省份的大气污染物相互作用，形成大范围的辐射效应导致污染物的积累。除此之外，冬季的气象条件较容易发生逆温现象，从而导致 $PM_{2.5}$ 集中聚集，难以扩散。

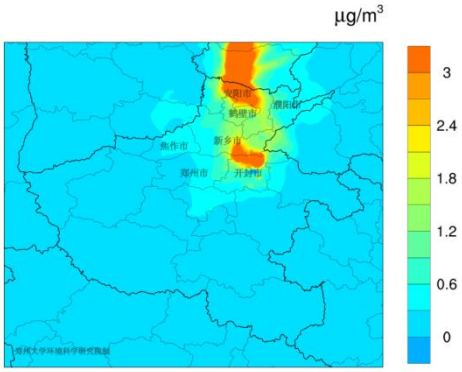
表 7.10 工业园区贡献 $PM_{2.5}$ 浓度

浓度 μg/m^3	一月	四月	七月	十月	年均
安阳	113.06	21.52	6.34	4.93	36.46
鹤壁	32.07	3.47	0.52	4.46	10.13
焦作	3.23	0.43	0.10	0.88	1.16
开封	32.05	6.98	3.34	4.94	11.83
漯河	2.28	0.12	0.01	0.16	0.64
洛阳	1.63	0.24	0.03	0.55	0.61
南阳	2.49	0.15	0.00	0.15	0.70
平顶山	3.20	0.29	0.01	0.31	0.95
濮阳	6.24	1.18	0.35	0.56	2.08
三门峡	0.87	0.11	0.04	0.21	0.31
商丘	0.83	0.08	0.00	0.00	0.23
新乡	11.63	1.00	0.35	2.09	3.77
信阳	0.64	0.01	0.00	0.09	0.19
许昌	4.17	0.38	0.02	0.51	1.27

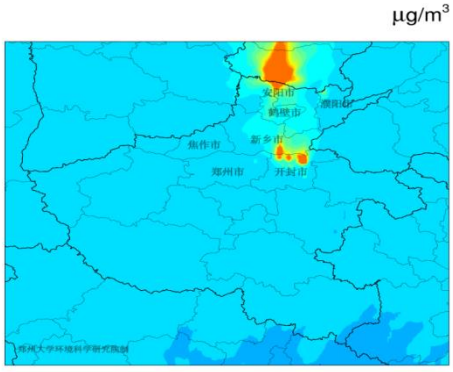
浓度 μg/m³	一月	四月	七月	十月	年均
郑州	7.75	0.60	0.08	1.41	2.46
周口	2.28	0.12	0.00	0.02	0.61
驻马店	1.43	0.06	0.00	0.12	0.40
河南	12.28	1.97	0.60	1.21	4.01



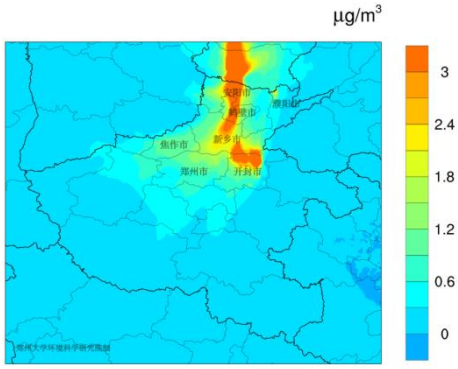
（a）工业园区贡献 1 月份 $PM_{2.5}$ 浓度



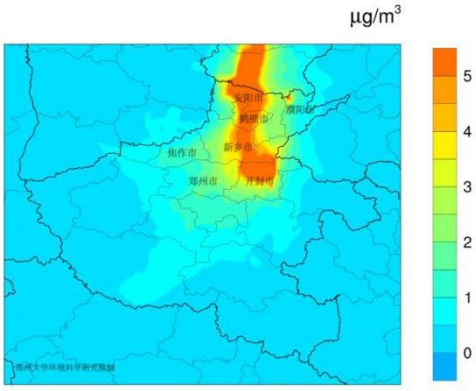
（b）工业园区贡献 4 月份 $PM_{2.5}$ 浓度



（c）工业园区贡献 7 月份 $PM_{2.5}$ 浓度



（d）工业园区贡献 10 月份 $PM_{2.5}$ 浓度



（e）工业园区贡献年均 $PM_{2.5}$ 浓度

图 7.6　工业园区贡献 $PM_{2.5}$ 浓度空间分布图

7.3.5 深度低碳情景下传输通道工业园区大气污染物排放对河南省 $PM_{2.5}$ 浓度的改善效益评估

基于园区深度低碳情景下的河南省大气污染物排放清单，通过 WRF-CMAQ 空气质量模拟，得到河南省及各地市年均和月均 $PM_{2.5}$ 浓度如表 7.11 所示。此情景下，河南省 $PM_{2.5}$ 的年均浓度值为 57.26 μg/m^3。其中 $PM_{2.5}$ 浓度比较高的地区集中在郑州、安阳、商丘、周口，浓度值分别为 70.78 μg /m^3，63.57 μg/m^3，60.58 μg/m^3，59.82 μg /m^3 。从月均浓度来看，一月份的污染情况较其它三个月份更为严重。

表 7.11　深度低碳情景下河南省各地区 $PM_{2.5}$ 浓度

浓度 μg/m^3	一月	四月	七月	十月	年均
安阳	144.68	48.55	24.07	36.97	63.57
鹤壁	118.58	41.60	21.03	37.69	54.72
焦作	95.19	37.24	26.45	38.17	49.26
开封	131.75	42.00	15.91	36.48	56.53
漯河	132.51	40.25	14.58	35.51	55.71
洛阳	113.21	47.48	29.77	44.50	58.74
南阳	138.40	42.54	19.18	34.98	58.78
平顶山	133.25	46.69	17.25	37.27	58.61
濮阳	128.76	39.57	14.95	37.56	55.21
三门峡	78.89	27.23	19.75	29.37	38.81
商丘	143.10	44.74	15.58	38.90	60.58
新乡	120.80	47.37	24.02	38.10	57.57
信阳	99.92	28.09	13.92	26.10	42.01
许昌	133.86	46.93	17.03	36.17	58.50
郑州	138.24	62.54	32.78	49.57	70.78
周口	139.71	42.81	16.25	38.34	59.28
驻马店	125.69	39.53	13.64	35.39	53.56
河南	125.36	44.25	21.19	38.24	57.26

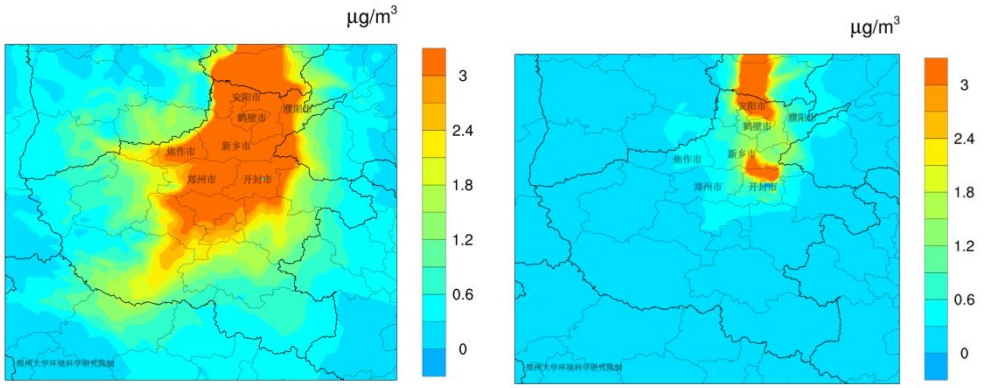
基于基准情景和园区深度低碳情景下的河南省 $PM_{2.5}$ 浓度模拟结果，两者相减，得到园区深度低碳情景下传输通道工业园区大气污染物排放对河南省 $PM_{2.5}$ 浓度的改善效益，如表 7.11 和图 7.7 所示。可以看出，深度低碳情景下所有地区 $PM_{2.5}$ 浓度都有所减低，带来一定的改善效益。其中改善效益最大的几个

城市为安阳、鹤壁、开封，$PM_{2.5}$浓度下降分别达到 25.50 μg/m^3、10.00 μg/m^3、9.86 μg/m^3。河南省城市站点总体改善浓度 3.48 μg/m^3。其中中部和北部地区有较大的改善效益，这由于中部和北部地区工业较为密集，所以深度低碳措施对北部和中部地区有着更为明显的改善效益。

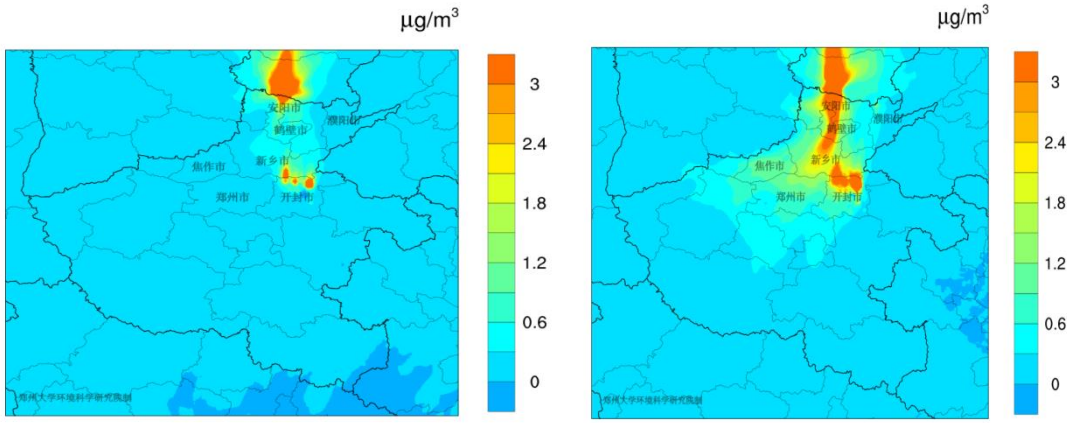
从改善效益的月均 $PM_{2.5}$浓度空间分布图看出，与 2017 年相比，深度低碳情景下各月份河南省的 $PM_{2.5}$浓度有明显降低，这主要是由于采取了清洁能源替代，能效提升，产业结构调整，CCS 技术推广，还有末端治理等深度低碳化措施，所以 $PM_{2.5}$浓度大大降低。除此之外，各月份有着相似的改善效益，说明深度低碳措施的实施，在每个月份都起到明显的效果。

表 7.12　改善效益 $PM_{2.5}$浓度

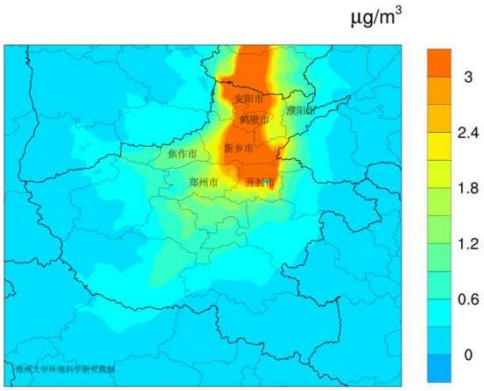
浓度 μg/m^3	一月	四月	七月	十月	年均
安阳	76.36	15.88	5.98	3.71	25.50
鹤壁	31.74	3.36	0.48	4.43	10.00
焦作	3.12	0.38	0.08	0.86	1.11
开封	26.22	5.77	2.99	4.47	9.86
漯河	2.07	0.09	0.00	0.14	0.58
洛阳	1.53	0.21	0.03	0.55	0.58
南阳	2.38	0.13	0.00	0.15	0.67
平顶山	2.93	0.24	0.01	0.30	0.87
濮阳	3.99	0.76	0.16	0.43	1.34
三门峡	0.80	0.10	0.03	0.20	0.28
商丘	0.72	0.07	0.00	0.00	0.20
新乡	11.28	0.86	0.31	2.02	3.62
信阳	0.59	0.01	0.00	0.08	0.17
许昌	3.58	0.32	0.02	0.48	1.10
郑州	7.22	0.49	0.06	1.34	2.28
周口	2.03	0.09	0.00	0.02	0.54
驻马店	1.35	0.04	0.00	0.11	0.38
河南	11.47	1.80	0.54	1.15	3.48



（a）改善效益 1 月份 $PM_{2.5}$ 浓度　　（b）改善效益 4 月份 $PM_{2.5}$ 浓度



（c）改善效益 7 月份 $PM_{2.5}$ 浓度　　（d）改善效益 10 月份 $PM_{2.5}$ 浓



（e）改善效益年均 $PM_{2.5}$ 浓度

图 7.7　改善效益 $PM_{2.5}$ 浓度空间分布图

八、结论与建议

8.1 结论

在对河南省七个传输通道城市工业园区进行深入调研分析基础上，本项目从园区能源环境排放现状和深度低碳化潜力探索两个视角出发，分别采用清单核算、聚类分析、物质流分析法等方法对传输通道工业园区能源环境排放水平进行了客观评价，并对园区深度低碳化节能减排潜力进行了深入分析，最终得出如下结论：

第一，河南省传输通道工业园区经济能源发展特征：七个传输通道城市的十一个国家级工业园区对当地经济发展起到重要的拉动作用，同时也是能源消耗的集中区域。2017年十一个国家级园区工业总产值对当年七个城市贡献高达41%，其中郑州航空港区和郑州经开区经济体量最大；主导产业方面以汽车制造业、化工和钢铁产业最为突出。在能源消耗方面，2017 年十一个国家级园区的能源消费总量达到了 611.69 万吨标煤，能源消耗结构以煤炭为主。其中重化工园区能耗高，经济贡献低（濮阳经开区、红旗渠经开区）；新兴园区能耗较低，经济贡献高（郑州航空港区、郑州经开区）。

第二，河南省传输通道城市工业园区温室气体排放特征：（1）温室气体排放总量大，高耗能工业园区是排放的重点区域。河南省传输通道 11 个国家级园区能源活动和电力调入调出产生的温室气体排放总量为 1940 万吨，其中排放量最大的园区为濮阳经开区和红旗渠经开区，这两家园区排放量占 11 个国家级园区排放总量的 63%。此外，两个典型高耗能省级工业园区安钢集团和黄龙产业集聚区的温室气体排放总量为 1625 万吨。（2）以煤炭燃烧产生的温室气体排放量为主。从 11 个国家级园区能源排放特征来看，大多数园区是以煤炭燃烧产生的温室气体排放为主，占排放总量的 62.4%。（3）在行业排放特征方面，河南省传输通道城市工业园区温室气体排放主要集中在电力、钢铁、石油加工、化工等高耗能行业，这四类行业企业的排放量占 11 个园区总排放量的 76%。（4）根据聚类分析结果，河南省传输通道十一个园区可以划分为三类，分别是“3H”工业园区（碳排放强度高、高耗能行业产值占比高、煤炭在能源消费中的占比高；代表园区为濮阳经开区和红旗渠经开区）、“3L” 工业园区（碳排放强度低、高耗能行业产值占比低、煤炭在能源消费中的比例低；代表园区为新乡高新区、郑州

经开区和郑州航空港区）和“Mixed” 工业园区。

第三，河南省传输通道城市工业园区大气污染物排放特征：（1）大气污染物排放总量大。河南省传输通道 11 个国家级工业园区和 2 个典型省级工业园区产生的 SO_2、NO_X、CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs、NH_3 排放量分别为 42588、36893、350231、19466、7141、18051 和 2351 吨，对七个传输通道城市污染物排放的贡献占比分别为 21%、7%、16%、4%、3%、4%和 1%。（2）在污染物排放特征方面，SO_2 和 NO_X 主要来自于电厂，电厂的排放分别占总排放的 70.4%和 61.8%；CO、PM_{10}、$PM_{2.5}$、VOCs 和 NH_3 则主要来自于工艺过程源，排放占比分别为 69%、58.9%、59.9%、83.6%和 87.9%，其中对于 CO、PM_{10} 和 $PM_{2.5}$，非金属矿物制品业中的水泥，砖瓦等行业起着主要贡献作用。而 VOCs 主要来自于纺织印染业和化工业，NH_3 主要来自于化工业。（3）在园区排放特征方面，SO_2 排放量最大的三个国家级工业园区为濮阳经开区，红旗渠经开区和郑州高新区，一共占国家工业园区排放总量的 73.1%。NO_X 排放主要集中在濮阳经开区、郑州高新区和红旗渠经开区，共占 11 个国家级园区排放总量的 81%。CO 排放量最多的三个园区分别是红旗渠经开区，开封经开区和濮阳经开区，共占国家级工业园区排放总量的 71.7%。PM_{10} 排放量前三的园区是濮阳经开区，郑州航空港区和郑州经开区，这三个园区产生 PM_{10} 占国家级工业园区排放总量的 57.3%。$PM_{2.5}$ 排放量前三的园区是濮阳经开区、鹤壁经开区和郑州航空港区，一共占园区总排放的 56.8%。VOCs 主要来自开封经开区和郑州高新区，共占园区排放总量的 57.4%。NH_3 主要由濮阳经开区排放，排放量为 995.9 吨，高达总排放量的 90%。（4）钢铁和化工类工业园区大气污染物排放呈现很强的行业特征。由于钢铁生产过程燃烧大量的煤炭和焦炭，安钢集团产生的 SO_2、NO_X 和 CO 排放量较高，而典型化工园区黄龙产业集聚区 NH_3 排放量很高。

第四，深度低碳化措施的实施将给工业园区带来显著的温室气体减排效果，同时有助于实现大气污染物协同减排。（1）国家级工业园区层面：通过发电结构调整、能效提升、产业结构调整和 CCS 技术推广等深度低碳化措施的实施，将显著减少河南省传输通道工业园区的温室气体排放。2030 年河南省五个高中碳排放国家级园区温室气体排放量将从 2017 年的 1744 万吨降低到 1434 万吨，减排潜力为 18%，2050 年温室气体排放总量降低到 1250 万吨，减排潜力为 29%。发电结构调整、能效提升和产业结构调整三大深度低碳化措施对河南省传输通道

工业园区温室气体减排贡献最大，CCS 技术应用将在 2030 年后发挥重要作用。同时，工业园区深度低碳化措施的实施将带来明显的大气污染物协同减排效果。（2）省级工业园区层面：合成氨工业园区短期范围内（2020-2030 年）应以能效提升为深度低碳化的主要路径，长期来看应大力推广可再生电力制氢（氢能的利用）等深度低碳化路径；钢铁园区短期内应以能效提升为主要深度低碳化路径，长期范围内应大力推广电弧炉炼钢，加快钢铁产业结构调整。（3）工业园区深度低碳化措施的实施将带来明显的大气污染物协同减排效果。深度低碳化情景下，河南省十一个国家级园区和两个省级园区 2030 年 PM_{10}、$PM_{2.5}$ 和 VOCs 排放量分别为 13545.6、5274.7 和 4105.8 吨，减排潜力分别为 30%、26%和 77%，2050 年减排潜力分别为 50%、40%和 82%。

第五，河南省传输通道城市工业园区深度低碳化能显著改善周边城市空气质量。2017 年河南省工业园区大气污染排放对河南省总体年均 $PM_{2.5}$ 浓度的贡献值为 4.01 μg/m^3，对传输通道上的安阳、鹤壁、焦作、开封、洛阳、新乡、郑州市的 $PM_{2.5}$ 浓度的贡献值分别为 36.46、10.13、1.16、11.83、0.61、3.77、2.46 μg/m^3。深度低碳情景下传输通道城市 $PM_{2.5}$ 浓度都有所减低，带来一定的改善效益。其中改善效益最大的几个城市为安阳、鹤壁、开封，$PM_{2.5}$ 浓度下降分别达到 25.50、10.00、9.86 μg/m^3，河南省城市站点总体改善浓度 3.48 μg/m^3。

8.2 工业园区深度低碳化发展建议

8.2.1 加强工业园区能源高效利用

基于河南省传输通道城市目前的能源消耗情况，按照循环经济减量化优先的原则，各个园区应该积极推行清洁生产，坚持节约优先，提高园区能源利用效率，促进企业降本增效，加快园区内企业形成绿色集约化生产方式。

把优化能源消费结构作为推进园区绿色循环发展的重要途径。各个工业园区的能源消耗结构有着不同的特点，总体目标却是一致的，向能源消费结构优化这个方向聚拢。首先，应大力调整产品结构，积极开发高附加值、低消耗、低排放产品；同时园区还应推进工业能源消费结构绿色低碳转型，鼓励企业开发利用可再生能源，加快园区能源控制中心的建设；在园区内，实施煤炭清洁高效利用行动计划，推进煤炭清洁、高效、分质利用。

以先进适用技术装备应用为手段，强化技术节能。园区应全面推进传统行业节

能技术改造，围绕高耗能行业企业，实施系统节能改造，鼓励先进节能技术的集成优化运用，推广企业之间资源循环利用，推动工业节能从局部、单体节能向全流程、系统节能转变；普及中低品位余热余压发电、供热及循环利用，积极推进利用园区内钢铁、化工等行业企业的低品位余热向城市居民供热，促进产城融合；实施工业园区节能改造工程，加强园区能源梯级利用，推进集中供热制冷。加快实施工业园区煤电超低排放和节能改造。河南省传输通道城市工业园区拥有大量煤电机组，应持续在园区推进淘汰关停落后煤电机组，加快推动现有煤电机组超低排放和节能改造，提升在役煤电机组供电煤耗水平。

以能源管理体系建设为核心，提升管理节能。推动重点企业能源管理体系建设，将能源管理体系贯穿于企业生产全过程，定期开展能源计量审查、能源审计、能效诊断和对标，发掘节能潜力。

8.2.2 推进工业园区产业结构调整

工业园区作为适应市场竞争和产业升级的现代化产业分工协作生产区，具有产业特色突出，产业功能布局合理的特点。河南省传输通道城市众多工业园区产业特征差异明显，因此需要根据工业园区主导产业提出针对性产业结构调整政策建议。

以高耗能行业为主的工业园区需要持续化解过剩产能。发展改革委 2019 年印发《关于做好 2019 年重点领域化解过剩产能工作的通知》，提出了 2019 年钢铁、煤炭、煤电化解过剩产能工作要点。以高耗能行业为主的工业园区应扎实推进过剩产能化解工作，粗钢，分阶段设定煤炭、钢铁、煤电等重点产品的减产减能目标。

加强扶持战略性新兴产业发展。统计局发布《战略性新兴产业分类（2018）》，对结构和内容等方面进行调整，在对应的国民经济行业类别上增加符合现代战略性新兴产业特点的类别 126 个，共计达到 485 个行业类别，并细化了新材料产业。工业园区作为高技术产业发展的重要载体，河南省传输通道城市的各园区应提高制造产业的竞争力，促进企业抓紧时机攻坚克难，调整和促进产业结构升级，解决当前发展的瓶颈障碍，大力扶持战略性新兴产业发展。河南省传输通道工业园区应实行差异化发展道路，立足于当地优势，优化园区的产业结构，将新能源节能环保、电动汽车、新材料、新医药、生物育种和信息产业等作为现阶段重点发展的

战略性新兴产业。

8.2.3 加快园区绿色低碳转型

目前国家正开展的生态工业示范园区建设、园区循环化改造、绿色园区和低碳园区试点所涉及的工业园区数量小，且主要集中在东部地区。河南省工业园区绿色低碳发展水平仍处于初级阶段，亟需加快工业园区绿色低碳转型。

控制能源活动温室气体排放，基于目前园区的能源结构，提高能源利用效率，提高清洁能源使用的比例，提升煤炭清洁化利用水平。结合国家政策，推进园区碳排放清单编制工作，推动园区企业参与碳排放权交易。园区还需引导企业实施低碳发展战略，逐步建立低碳企业评价标准、指标体系和激励约束机制，培育低碳标杆企业，增强企业低碳竞争力。鼓励建材、化工等行业实施碳捕集、利用与封存试点示范，促进二氧化碳资源化利用。结合园区碳排放特点，应制定低碳技术推广实施方案，促进企业使用低碳新技术、新工艺、新设备和新材料。研究制定煤化工、有色、钢铁、建材、电力等重点行业碳排放控制目标和行动方案，提升重点行业碳生产力水平。在重点行业，选择一批减排潜力大、成熟度高、先进适用的低碳技术示范推广，促进工业行业碳排放强度下降。

不断推进园区企业的绿色化改造。通过强化政策支持力度，鼓励煤化工、有色、钢铁等重点行业实施绿色化改造，提高能源高效利用效率，减少污染物排放，促进工业固废资源化利用。同时，园区积极推进探索低碳发展新模式，对园区绿色转型发挥出较大带动作用。

创新园区管理机制，强化监督管理。将工业园区作为环境管理体制机制先行先试创新基地，传输通道城市工业园区众多，应根据园区不同的发展阶段、产业结构特征、区域生态环境保护需求，推进差异化、个性化、系统化、精准化的环境管理机制创新，如建立“一园一策”的精准化污染防治方案，建立工业园区“环境领跑者”制度，制定工业园区环境负面清单等，根据园区类型、主导产业、发展阶段，探索实施不同的绿色低碳化建设路径，加快园区绿色发展进程。

8.2.4 加大碳捕集利用与封存技术的支持力度

二氧化（CO_2）捕集、利用与封（Carbon Dioxide Capture,Utilization and Storage，简称 CCUS 或 CCS）作为一项有望实现化石能源大规模低碳利用的新兴技术，受到了国际社会的广泛关注。截至 2019 年底，中国共开展了 9 个捕集示范项目、

12 个地质利用与封存项目，其中包含 10 个全流程示范项目。捕集主要集中在煤化工行业，其次为火电行业等。经济成本依然是制约中国 CCUS 发展的重要因素，在 CCUS 捕集、输送、利用与封存环节中，捕集是能耗和成本最高的环节。在此，各个园区应该加大碳捕集利用与封存技术的支持力度，尤其是在经济成本上，应该尽园区所能，加大投资力度。

出台鼓励和补贴政策，探索市场化激励机制，完善投融资环境。CCUS 技术的发展需要解决商业化应用之前的巨额研发资金投入的问题。建议出台政策实施经济鼓励和补贴；探索市场化激励政策，开通银行贷款绿色通道，引进社会资本，推进 CCUS 纳入中国碳排放权交易体系等；政府加强基础设施建设，包括建设二氧化碳运输管道等，降低 CCUS 运营商的成本；建议设计合理的投融资机制和政策，克服 CCUS 投资与运行成本高的障碍。

建立跨部门、跨行业协调机制，分阶段、分行业、分重点逐步推进 CCUS 技术的商业化进程。CCUS 项目的开展涉及多部门、跨行业的配合和协调，建议成立由园区内领导和省内生态环境部领导的专门跨部门协调机构，统筹 CCUS 规划、研究、评估、立项等环节中不同部门之间的协调工作，设计合理的成本、效益和责任分担机制。以规模化地质封存为驱动，以大规模安全封存与减排为目标，在 “ 十四五 ” 期间，开展工业园区 CCUS 整体布局规划工作。

8.2.5 加强工业园区温室气体与大气污染物协同控制

2018 年 6 月，国务院印发《打赢蓝天保卫战三年行动计划》，提出协同控制温室气体和大气污染物的工作要求。2019 年 6-7 月，生态环境部印发《重点行业挥发性有机物综合治理方案》《工业炉窑大气污染综合治理方案》，在推进大气污染治理的同时，协同控制温室气体排放。河南省工业园区应积极推动低碳发展，加强园区内温室气体与大气污染物协同控制。

加强工业园区温室气体清单和大气污染物清单核算基础能力建设。由于工业园区尚未建立独立的经济能源统计体系，目前河南省工业园区数据统计基础薄弱，亟需构建工业园区温室气体排放和大气污染物排放清单，摸清家底，识别分析园区温室气体与大气污染物协同控制潜力空间。积极开展工业园区应对气候变化和大气污染物攻坚能力建设，推进基础数据采集、统计、监测等相关工作领域协同及融合。

推进清洁生产技术改造。针对工业园区的温室气体、二氧化硫、氮氧化物、化

学需氧量、氨氮、烟（粉）尘等排放情况，积极引导园区企业实施清洁生产技术改造，逐步建立基于技术进步的清洁生产高效模式。组织实施钢铁、建材等重点企业清洁生产水平提升工程，降低温室气体、二氧化硫、氮氧化物、烟（粉）尘排放强度。围绕重点污染物开展清洁生产技术改造，推广绿色基础制造工艺，降低污染物排放强度，促进大气、水、土壤污染防治行动计划落实。

减少高碳、高污染及有毒有害原料使用。园区应引导企业在生产过程中使用低碳、低污染、无毒无害原料，从源头削减或避免污染物的产生，推进高碳高污染及有毒有害物质替代。继续实施高风险污染物削减行动计划，逐步扩大实施范围，降低环境风险。实施挥发性有机物削减计划，在工业园区内化工、钢铁、涂料、家具等重点企业推广替代或减量化技术。

致谢

本研究获得能源基金会的项目资金支持，实施过程中得到河南省发改委环资处的大力支持，研究团队在此表示感谢。