



双碳目标下煤炭行业转型

发展研究

Research on the Transformation Development Plan of China's Coal Industry under the dual carbon goals

北京中创碳投科技有限公司

2022年7月

SinoCarbon Innovation & Investment Co.,Ltd.

July, 2022

致谢：

本研究由【北京中创碳投科技有限公司】统筹撰写，由能源基金会（美国）北京办事处提供资金支持。

本研究是【能源基金会低碳转型项目工作组的课题】。

免责声明

- 若无特别声明，报告中陈述的观点仅代表作者个人意见，不代表能源基金会的观点。能源基金会不保证本报告中信息及数据的准确性，不对任何人使用本报告引起的后果承担责任。

- 凡提及某些公司、产品及服务时，并不意味着它们已为能源基金会所认可或推荐，或优于未提及的其他类似公司、产品及服务。

目 录

摘 要	1
一、双碳目标下煤炭转型的必要性和意义	1
1.1 我国煤炭生产消费特点	1
1.1.1 生产向西部地区集中	1
1.1.2 消费主要分布在中东部地区	3
1.1.3 电力行业消费占比逐步提高	3
1.2 新形势新要求下煤炭必须转型	4
1.2.1 双碳目标加快煤炭转型步伐	4
1.2.2 生态环境约束倒逼煤炭转型	6
1.2.3 煤炭地位变化要求行业转型升级	6
二、煤炭行业转型面临的形势	8
2.1 煤炭行业转型面临的机遇	8
2.1.1 具备向新能源协同发展的基础条件	8
2.1.2 拥有向原料转型的技术优势	8
2.1.3 国家相关政策支持行业转型	9
2.2 煤炭行业转型面临的挑战	11
2.2.1 亟需统筹能源供应安全与煤炭长远转型的关系	11
2.2.2 经济发展高度依赖煤炭产业，接续产业不足	12
2.2.3 人员再就业难度大	13
2.2.4 煤炭低碳减排仍没有根本性技术支撑	14
三、国内外煤炭行业转型经验借鉴	15
3.1 国内煤炭退出矿井（地区）转型探索	15
3.1.1 山西大同晋华宫矿	15
3.1.2 京西煤矿	16

3.1.3	辽宁省阜新市	18
3.1.4	小结	20
3.2	国外典型案例	22
3.2.1	德国	22
3.2.2	英国	24
3.2.3	日本	26
3.2.4	经验借鉴	28
四、	我国煤炭行业转型发展的总体思路	31
4.1	转型思路	31
4.2	转型路径	31
4.2.1	煤炭	31
4.2.2	煤电	34
4.2.3	钢铁	37
4.2.4	水泥	39
4.2.5	煤化工	41
五、	煤炭开发利用转型发展重点	43
5.1	煤炭开发转型重点	43
5.1.1	煤炭主产区	43
5.1.2	煤炭资源枯竭区	44
5.1.3	煤炭开发战略区转型重点	46
5.2	煤炭利用转型重点	47
5.2.1	电力行业煤炭消费转型	47
5.2.2	钢铁行业煤炭消费转型	51
5.2.3	建材行业煤炭消费转型	53
5.2.4	现代煤化工行业煤炭消费转型	55
六、	推进煤炭行业转型发展的政策建议	59

6.1 加强顶层设计，支持有序退出和转型	59
6.2 发挥金融财税政策对煤炭转型的支持作用	60
6.3 推动矿区生产与转型的超前对接	62
6.4 优化人员结构，健全人才保障机制	63
6.5 强化煤炭转型综合性服务平台建设	64
6.6 完善市场机制，营造有序规范的市场环境和营商环境	65
6.7 建立长期转型效果评价体系，务求实效促进转型发展	65

摘 要

能源是工业的粮食，我国以煤为主的能源资源禀赋，形成了“煤为基础，多元发展”的能源生产和消费格局。随着我国经济发展，人们生活质量逐步提高，煤炭供给和消费带来的相关问题逐步凸显，如传统煤矿开发引发了采煤沉陷区破坏，煤炭利用排放了 SO₂、烟尘和 CO₂ 等等，传统的煤炭生产、消费方式不可持续。

当前煤炭是我国主体能源，煤炭消费也是主要的碳排放源。在我国进入新时代，双碳目标倒逼、绿色低碳发展新形势下，新能源将快速发展，在我国能源体系中的占比也将不断提升，而煤炭在能源体系中的占比将不断下降，煤炭发挥的作用将由提供生产用电到应急调峰、战略储备转变。随着，能源定位的变化，煤炭行业转型势在必行。

新中国成立以来，党和政府高度重视煤炭行业，运用各种政策、法规等手段帮助煤炭行业转型升级和发展壮大，煤炭行业的转型虽然取得了一定成绩，但是随着我国需求结构开始发生明显变化，“亟需统筹能源供应安全与煤炭长远转型的关系”、“煤炭主产区经济发展高度依赖煤炭产业，接续产业不足”、“从业人员整体素质不高，人员再就业难度大”、“煤炭低碳减排仍没有根本性技术支撑”等挑战也日益浮现，需要深入研究煤炭行业转型发展的重点、难点问题，提出思路、方法和途径，助推煤炭行业平稳转型。

面对新形势、新问题，本报告从国内外煤炭行业转型的典型案例中，总结经验，提出了煤炭行业转型发展总体思路，从“煤炭、电力、钢铁、水泥”等不同方面；开发利用不同角度；“煤炭主产区（晋蒙陕

甘宁地区)、煤炭资源枯竭区(东北部)、煤炭开发战略区(新疆)”等不同区域,提出了转型重点,力求为煤炭行业转型提供借鉴参考。

目前,煤炭行业正处于转型升级的重要阶段,迫切需要从顶层设计,支持有序退出和转型;发挥金融财税政策对煤炭转型的支持;推动老矿区生产与转型的超前对接;优化人员结构,健全人才保障机制;强化煤炭转型综合性服务平台建设;完善市场机制;建立长期的转型效果评价体系等方面提供政策支持,助推煤炭行业转型升级和高质量发展。

一、双碳目标下煤炭转型的必要性和意义

1.1 我国煤炭生产消费特点

1.1.1 生产向西部地区集中

自 2016 年煤炭行业积极推进“去产能”工作以来，已淘汰各类落后产能 9 亿吨以上，产业结构进一步优化，生产力水平不断提高。截至 2021 年底，全国煤矿数量减少到 4500 处以下、平均单井（矿）产能提高到 110 万吨/年以上，年产 120 万吨以上的大型现代化煤矿产量占全国的 85%左右。其中，建成年产千万吨级煤矿 72 处，产能 11.24 亿吨/年。大型现代化煤矿已成为全国煤炭生产主体。

与些同时，我国煤炭生产重心也加快向西部优势资源以及开采条件较好的地区聚集。1949 年，我国煤炭工业重心主要集中在东部地区，产量 2153 万 t，占全国煤炭产量的 66.3%。其中，辽宁省煤炭产量 544 万 t，居全国各省市之首。当年，中部地区煤炭产量 679 万 t，占全国煤炭产量的 21%。西部地区煤炭产量 411 万 t，仅占全国煤炭产量的 12.7%。

2008 年，我国西部地区煤炭产量达到 11.71 亿 t，占全国煤炭产量的 43%，首次超越中部地区成为全国煤炭主要供应地和重要商品煤调出地区；中部地区煤炭产量 10.73 亿 t，占全国煤炭产量的 40%；东部地区煤炭产量 4.66 亿 t，占全国煤炭产量的 17%。

2019 年以来，中东部一些省份提出大比例退出煤炭产能，我国煤炭开发进一步向西部地区集中。2021 年，我国西部地区产煤占全国煤炭产量的 62.32%，中部地区煤炭产量占全国煤炭产量的 31.48%；东部地区煤炭产量占全国煤炭产量的 6.2%。

而晋陕蒙三省区产量比重也由 1978 年的 20.7%上升到 2021 年的

72.02%，煤炭开发布局集中趋势进一步明显，如图 1-1-1 和图 1-1-2 所示。

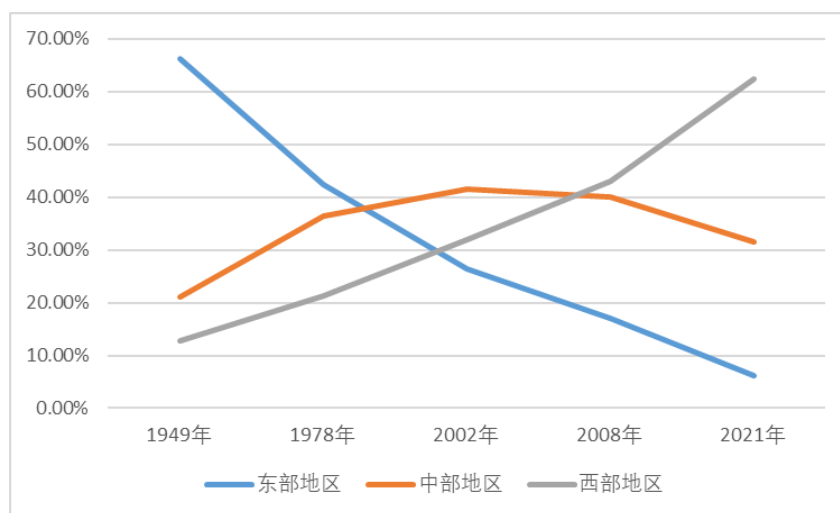


图 1-1-1 我国东中西部煤炭产量占比变化情况

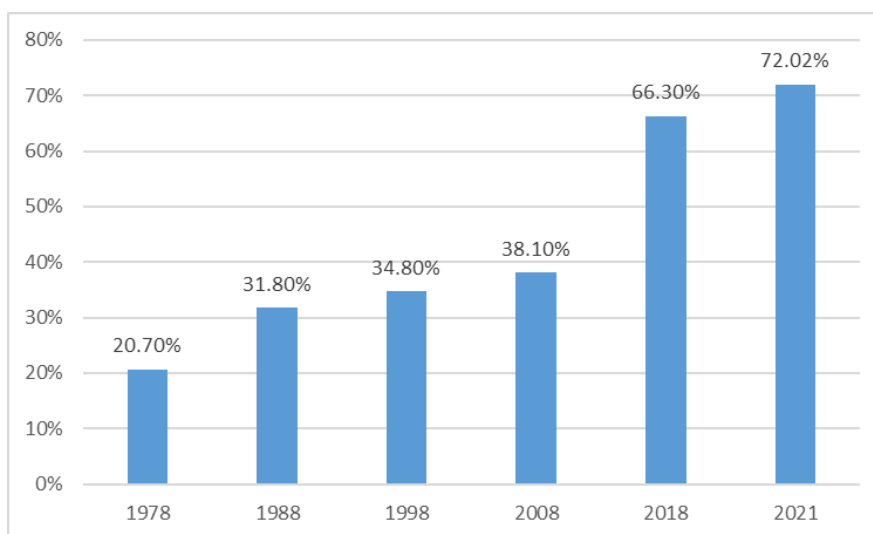


图 1-1-2 晋陕蒙煤炭产量占全国的比重情况

根据煤炭生产特点，及中国工程院重大咨询项目“中国能源中长期（2030—2050）发展战略研究”的研究成果，综合考虑煤炭生产的区域化特点和行政区划等因素，全国可分成煤炭主产区（晋蒙陕甘宁地区）、煤炭资源枯竭区（东北部）、煤炭开发战略区（新疆）等不同区域类型。

1.1.2 消费主要分布在中东部地区

从煤炭消费情况来看，我国煤炭年平均消费量较高的地区集中在中东部地区（如图 1-1-3 所示），近五年，煤炭消费量超过 25000 万 t 的地区分别是山东、山西、河北、江苏和内蒙古；安徽、广东、河南、辽宁、新疆和陕西的消费量在 15000 万 t 以上，紧随其后；海南、青海、北京的煤炭消费量为全国最低。从近五年的煤炭消费量的平均增长率来看，新疆、山西、宁夏、内蒙古、广西全部超过 6%，而北京的煤炭消费量平均增长率最低并呈现负增长。

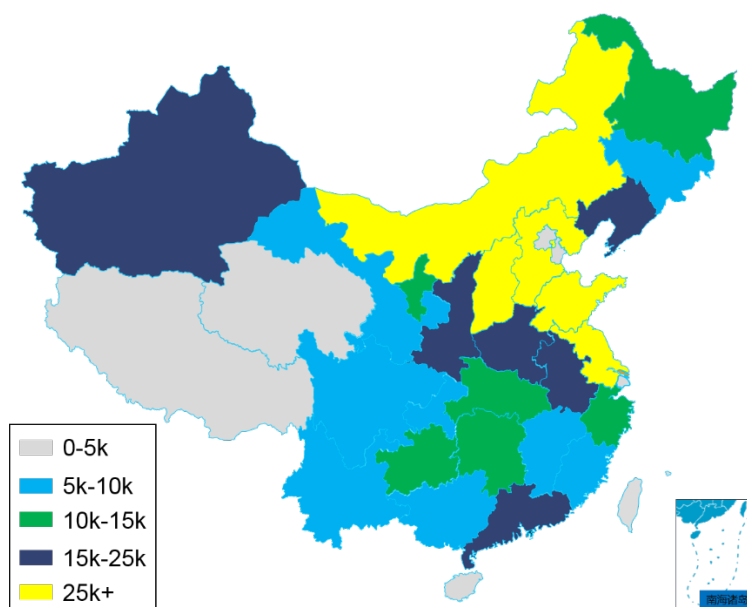


图 1-1-3 2015-2020 年各省平均煤炭消费量（单位：t）

总体来看，我国煤炭资源主要分布在西部地区，而煤炭消费主要集中在东部地区。可见，资源承载区域与消费区域不平衡，产地和消费地逆向分布。

1.1.3 电力行业消费占比逐步提高

我国煤炭消费主要集中在电力、钢铁、建材及煤化工行业，其中电力行业消费占比最大，由 2000 年的 40.7%，呈现快速增加到 2008 年的 46.9%，而后呈现波动状态，直至 2015 年由 47.5% 逐渐增加的到

58.6%；钢铁行业的煤炭消费量则由 2000 年的 11.4%，增加到 2008 年的 16.0%，而后呈现稳定状态 2021 占比为 16.71%；建材行业煤炭消费占比近年呈现由 2000 年的 17.1%逐渐降低到 2008 年 13.6%，而后处于稳定状态，2021 年占比为 13.08%；煤化工行业煤炭消费量占比自 2013 年国家大力支持发展煤化工后得到了快速的发展，由 2013 年的 5.0%，逐渐增加到 2021 年的 8.14%；其他行业煤炭消费量占比近年呈现逐渐降低趋势，特别是 2015 年禁止散煤燃烧，大力推行“煤改气”、“煤改电”及清洁煤替代政策后，散煤消费量显著降低，其占比由 2015 年的 17.8%，快速降低到 2021 年的 3.49%。如图 1-1-4 所示。

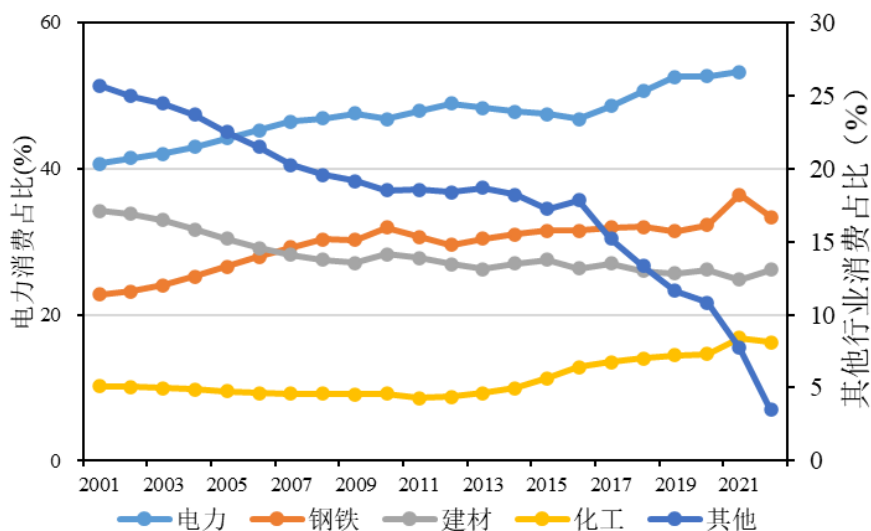


图 1-1-4 2000-2020 年我国分行业煤炭消费量

1.2 新形势新要求下煤炭必须转型

1.2.1 双碳目标加快煤炭转型步伐

煤炭等化石能源生产消费相关的碳排放是我国碳排放的重要来源。从碳排放来看，据相关报告数据测算，我国由化石能源消费产生的碳排放总量为 100 亿 t 左右，2021 年煤炭利用过程碳排放总量 74 亿吨左右。其中燃煤发电碳排放 42.74 亿吨，占煤炭利用碳排放的 57.17%；煤化工 4.25 亿吨，占比 5.68%；钢铁行业用煤（焦化、高炉

喷吹等)碳排放 15.42 亿吨, 占比 20.62%; 建材行业用煤(燃煤锅炉的燃烧)碳排放 9.62 亿吨, 占比 12.87%; 其他行业(散煤燃烧等) 2.73 亿吨, 占比 3.66%。

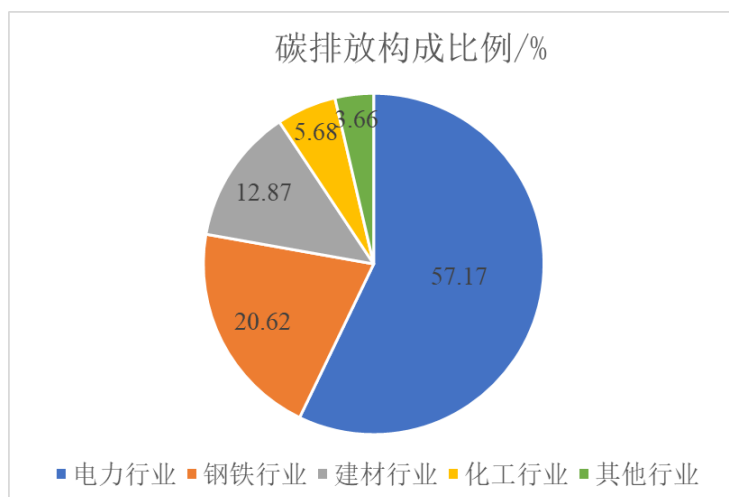


图 1-2-1 2021 年煤炭利用过程碳排放构成

碳中和目标要求着力提高能源利用效能, 控制化石能源消费总量, 实施可再生能源替代, 构建新能源占比逐渐提高的新型电力系统, 建立清洁低碳安全高效的能源体系, 将我国的发展建立在高效利用资源、严格保护生态环境、有效控制温室气体排放的基础上, 推动我国绿色发展迈上新台阶。

为实现“双碳”战略目标, 必须在强化节能优先的同时, 加快推进能源低碳转型发展步伐。未来我国必将加大对高碳能源消费总量的控制, 鼓励非化石能源和天然气等清洁能源利用。推进能源结构优化, 加快发展水电、风电、太阳能等清洁能源, 与世界同步进入低碳能源时代, 是我国能源发展的重要趋势。

可以预见, 未来终端能源领域的电气化步伐将明显加快, 多能互补的分布式清洁能源利用更为广泛, 从而推动能源生产消费方式发生重大转变。在建设美丽中国的新时代, 在全面推进能源生产和消费革命的高质量经济发展新阶段, 在全面推进碳达峰碳中和目标的新时期, 煤炭必须转型升级, 提高供给质量。

1.2.2 生态环境约束倒逼煤炭转型

“双碳”背景下，随着我国生产力水平的提升和人们对生活品质的要求提高，工业生产和人民生活对能源的要求发生了深刻变化，从“用上能”到“用好能”、“用节能”、“用绿能”的梯级需求成为新时代能源体系服务经济社会发展的重要方向。与此同时，人民对美好生活的向往，社会公众对环境风险认知和防范意识增强，使人民对环境安全、环境质量改善诉求更加强烈，人民群众对清新空气、清澈水质、清洁环境的需求越来越迫切。传统煤炭开发破坏了地下水系、引起了地面塌陷，煤炭利用排放了 SO₂、烟尘和 CO₂ 等，引起了严重环境问题，其发展方式不可持续。

1.2.3 煤炭地位变化要求行业转型升级

1. 2030 年我国煤炭消费占比为 45%左右，仍是重要的基础能源

《能源生产和消费革命战略（2016—2030）》提出，2030 年天然气占比达要处理好绿色低碳发展与保障国家能源安全供应的关系总值二氧化碳排放将比 2005 年下降 65%以上，非化石能源占一次能源消费比重将达到 25%左右；同时，根据中石化技术经济研究院预测，2025-2040 年石油在能源消费结构占比为 15%-16%。综合以上研究成果，根据天然气、石油、非化石能源的发展，项目组判断 2030 年我国煤炭消费占比为 45%左右。

2. 2060 年煤炭开始转向战略应急能源

按照双碳目标的要求，清华大学、中石油经济技术研究院等机构对我国未来能源和煤炭需求进行了预测，其中：一次能源消费总量大部机构预测在 2030 年左右达峰，峰值 53-61 亿吨标煤，均值 56 亿吨标煤。煤炭需求如表 1-2-1 所示。

表 1-2-1 2060 年相关机构对我国能源消费结构预测

研究机构	2060 年消费结构(%)			
	煤炭	石油	天然气	非化石
挪威船级社	7.8	6.5	15.9	69.8
中石油经研院碳中和	8.0	6.0	11.0	75.0
中石化经研院碳中和	3.1	7.9	10.0	79.0
国网深度减排情景	7.6	3.4	7.6	81.4
清华 2 度情景	7.6	4.3	5.2	82.9
国网零碳情景	3.3	1.3	8.4	87.0
清华 1.5 度情景	2.8	1.9	2.7	92.6
全球能源互联网	1.7	2.2	3.1	93.0

项目组考虑新能源最大化发展，对未来我国煤炭消费量进行了预测，结果如表 1-2-2 所示。

表 1-2-2 2060 年前我国煤炭需求预测

	2020	2025	2030	2035	2050	2060
能源消费总量（亿吨标煤）	49.8	55	58.5	60	63.3	63
煤炭占比	56.80%	50%	45%	40%	20%	10%
石油占比	19%	20%	16%	15%	8%	5%
天然气占比	8.5%	10%	14%	15%	12%	5%
非化石占比	15.7%	20%	25%	30%	60%	80%
煤炭消费量（亿吨原煤）	39.6	40.0	36.9	33.6	17.7	8.8

随着煤炭在能源消费结构占比减少，煤炭发挥的作用将由提供生产用电到应急调峰、战略储备转变，煤炭市场将进入存量竞争时代，原有的粗放型发展方式已不再适合，必须转型升级。

二、煤炭行业转型面临的形势

2.1 煤炭行业转型面临的机遇

2.1.1 具备向新能源协同发展的基础条件

煤炭与可再生能源具有良好的互补性。燃煤发电与可再生能源发电优化组合，可充分利用燃煤发电的稳定性，为可再生能源平抑波动提供基底，规避可再生能源发电的不稳定性。同时，煤矿区具有发展可再生能源的先天优势。煤矿区除了丰富的煤炭资源外，还有大量的土地、风、光等其它资源。可以充分发挥煤矿区优势，以煤电为核心，与太阳能发电、风电协同发展，构建多能互补的清洁能源系统，将煤矿区建设成为地面-井下一体化的风、光、电、热、气多元协同的清洁能源基地。

2.1.2 拥有向原料转型的技术优势

20世纪80年代以来，我国对煤炭化工转化科技攻关投入不断加大，新技术不断出现并持续迭代，一些工艺和技术已达到国际先进甚至领先水平。特别是进入21世纪后，经过多年发展，我国现代煤化工产业已经取得长足进步。一是总体规模在全球前列。截至2020年，我国煤制油产能931万t/a，煤制烯烃产能1582万t/a，煤制乙二醇产能为489万t/a，煤制气产能为51.05亿m³/a。二是示范或生产装置运行水平不断提高。采用具有国内自主知识产权技术建成的400万t/a煤间接液化示范项目、百万吨级煤直接液化示范项目和数十套50—60万t/a煤制烯烃（MTO）项目实现了安全稳定长周期运行，物耗、

能耗、水耗和“三废”排放量不断降低，产品差异化水平有所提升。三是相当一部分技术处于国际先进或领先水平。具体来说，大型煤气化技术已经处于国际水平，高温费托合成技术处于国际先进水平，煤制烯烃、煤制芳烃、低温费托合成、煤制乙二醇处于国际领先水平，煤直接液化等技术属于国际首创。

2.1.3 国家相关政策支持行业转型

煤炭行业转型一直是社会各界关注的焦点，也引起了党中央、国务院、社会各界高度重视。党和国家领导人也曾多次调研煤炭老矿区，推进煤炭的转型工作。2018年习总书记在视察东北老工业基地时，专程来到抚顺矿业集团西露天矿，关心老矿区发展转型过程中的民生保障问题，要求做好矿区转型这篇大文章。2021年习总书记在陕西榆林考察时提出要“推进煤炭消费转型升级”。

为支持煤炭（矿区）转型，国务院、财政部以及国家发展改革委等部门相继出台一系列政策，从财政补贴、产业引导、保障民生等方面支持我国煤炭（矿区）的转型发展（如表 2-1-1 所示）。

表 2-1-1 我国支持煤炭（矿区）转型发展的部分政策一览

序号	发布时间	发布单位	政策名称
1	2007年12月18日	国务院	关于促进资源型城市可持续发展的若干意见
2	2012年6月14日	财政部	2012年中央对地方资源枯竭城市转移支付管理办法
3	2013年11月12日	国务院	全国资源型城市可持续发展规划（2013-2020年）

4	2016年6月30日	财政部	中央对地方资源枯竭城市转移支付办法
5	2016年9月13日	国家发展改革委	关于支持老工业城市和资源型城市产业转型升级的实施意见
6	2017年1月6日	国家发展改革委	关于加强分类引导培育资源型城市转型发展新动能的指导意见
7	2018年1月5日	国家发展改革委	关于进一步推进煤炭企业兼并重组转型升级的意见
8	2019年8月30日	国家发展改革委	关于进一步推进产业转型升级示范区建设的通知
9	2021年11月26日	国家发展改革委	推进资源型地区高质量发展“十四五”实施方案

2.2 煤炭行业转型面临的挑战

2.2.1 亟需统筹能源供应安全与煤炭长远转型的关系

碳中和需要近 40 年的奋斗期才能最终实现，煤炭消费将随着碳达峰碳中和进程逐步减少。尽管我国煤炭需求整体将呈下降态势，但煤炭安全保障形势并不容乐观。

一是未来 5 至 10 年，我国煤炭需求仍处在相对高位，市场处于紧平衡状态。随着“十四五”电力、钢铁、化工、建材等一批重大项目陆续投产，未来煤炭消费面临小幅反弹风险，需求仍在高位。而煤炭供应集中于生态环境脆弱的西部地区，很可能因生态、安全、运输等因素导致煤炭短时供应困难。

二是从中长期看，伴随可再生能源占比提高，煤炭需求波动加剧，时序性紧张问题将持续存在。

在能源低碳转型的大趋势下，煤炭在未来能源结构中的兜底保障和对新能源发展的支撑作用，以及日益增长的能源资源安全、可靠性调峰作用将愈发凸显，煤炭作为中国能源安全的“稳定器”和“压舱石”作用突出。为了支撑我国国民经济发展和能源结构绿色低碳转型，要有序减量替代煤炭，不能一蹴而就；亟需在能源低碳转型和煤炭转型中，统筹好保障国家能源供应安全与煤炭和能源长远绿色低碳转型的关系，对于更好支持和促进新能源发展、支撑能源结构调整和转型发展具有重要意义。

2.2.2 经济发展高度依赖煤炭产业，接续产业不足

我国经济发展过程中煤炭消费巨大，经济与煤炭两者相互依赖、相互促进。纵观近 20 年来经济增长与煤炭消费增长的全过程，不难发现，两者增长速度变化趋势非常接近，波动周期也基本趋同，具有较大的相关特征。

尤其在地处我国西部的晋陕蒙甘宁新等煤炭主产区，煤炭对区域经济的拉动作用明显，由于经济欠发达，煤炭肩负着引领区域地方经济发展的重担，对区域经济的带拉动作用更加突出。

从山西来看，历史最好时期的 GDP、利润几乎占到全省的“半壁江山”。2019 年，利润约占全省工业企业的 55.14%；企业个数 1286 户，占全省工业企业有 26.8%；从 2011 年以来，煤炭行业的利润有 2/3 年份占到全省工业企业的 50%以上（详见图 2-2-1）。

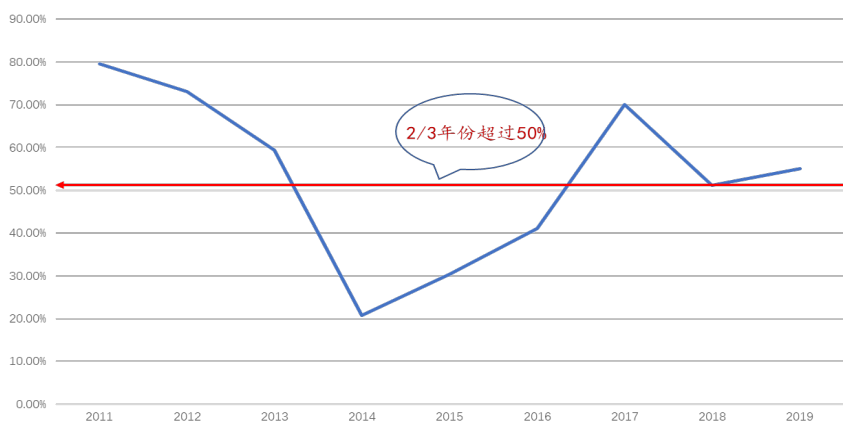


图 2-2-1 山西煤炭采选业利润占工业企业比重情况

从内蒙古来看，2019 年，内蒙古煤炭产业 GDP 约占全区的 16.3%，利润约占全区工业企业的 47.3%；从业人员 18.09 万人，占全区采矿业的 81.4%，占全区第二产业的 20.3%，详见图 2-2-2。可见，煤炭产

业是内蒙古经济的支柱产业。

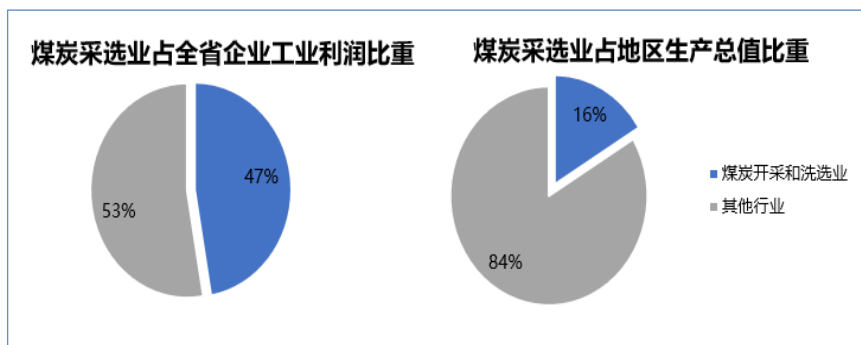


图 2-2-2 2019 年内蒙煤炭采选业利润占工业企业比重及产值占 GDP 比重

可见，煤炭主产区的经济增长对煤炭存在严重的依赖性，煤炭退出与当地社会经济发展如何协同匹配成为煤炭主产区经济持续发展面临的重要难题。

2.2.3 人员再就业难度大

煤炭行业从业人员虽然数量众多，但整体质量偏低。一是年龄偏大，后备劳动力不足。我国采矿业 40 岁以上人员占比 56.8%，超过全行业平均水平。二是整体素质不高，高级技术人员短缺。根据调研情况，当前从业人员中以中专生为主，近一半为中专及以下学历。

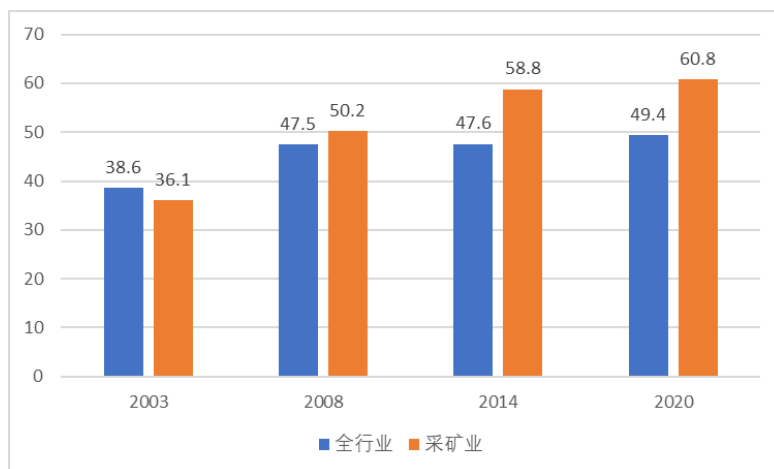


表 2-2-3 我国采矿行业与全行业大于 40 岁人员占比情况（单位：%）

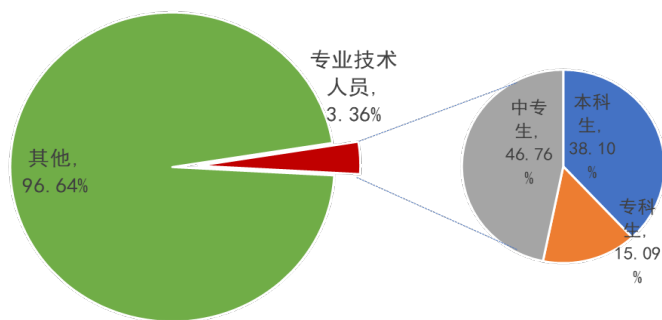


图 2-2-4 调研矿井专业技术人员学历构成情况

年龄大、整体素质不高，导致煤矿从业人员的再就业问题将会变得愈发严重。

2.2.4 煤炭低碳减排仍没有根本性技术支撑

现有绿色开采、清洁利用等技术仍难以满足碳中和目标。当前超临界发电技术几乎将燃烧效率提升至极限，但它并不能脱碳，对碳减排贡献有限。CCUS 虽已开展示范，但在经济性、规模化及关键科学问题上仍存在明显差距，难以满足碳减排的新要求。而煤与新能源协同耦合、煤矿区地下储能及碳矿化、流态化开采等仍均处于科学探索阶段，减碳效果并未得到工业化论证。此外，煤炭开发利用全过程的节能技术水平还不够高，节水节材的水平还偏低，利用余热余压等方式实现矿区能力循环利用的能力还不够高。在能源低碳发展的新时代，煤炭产业能否成功转型取决于低碳科技的发展，支撑煤炭利用全过程实现绿色、清洁与低碳。

三、国内外煤炭行业转型经验借鉴

3.1 国内煤炭退出矿井（地区）转型探索

3.1.1 山西大同晋华官矿

1. 概况

晋华官矿位于山西省大同市西 12.5 公里处，居大同煤田东北端，与世界文化遗产云冈石窟隔河相望，地理位置优越，交通十分便利。

矿井于 1956 年建成投产，总面积 41 平方公里，可采储量 1.5 亿吨，核定生产能力为 450 万吨，是同煤集团主力生产矿井之一。全矿原来由大井和南山井两对生产井口组成，曾是同煤集团唯一的一个多井口矿井。开采至今，矿井年产虽达到 500 多万吨，但可采储量只剩下 5000 万吨，按照当前开采规模，剩下不到 10 年的开采年限，晋华官矿亟待转型发展。

2. 转型思路

大同市素有“中国煤都”之称，同时又是国家首批历史文化名城，加之大同市地处晋、冀、蒙三省交界的“金三角”地带，辐射环渤海经济圈，境内外铁路、公路四通八达、纵横交错，因此吸引了国内外众多的旅游人群。云冈石窟和北岳恒山是大同市主要的旅游景点，且已纳入世界文化遗产。晋华官矿与云冈石窟一河之隔，具备较高的旅游开发潜力。此外，晋华官矿周围以山地，丘陵自然地形为主，具有丰富的自然植被资源，且远离市中心，环境清静优美。

综合考虑晋华官矿具备较大的旅游开发潜力和矿业遗产价值，结

合其自然资源和人文景观，晋华官矿将转型发展的道路定位于开发晋华官国家矿山公园旅游项目。

2005 年晋华官矿经国土资源部专家组严格评定，获得国家矿山公园建设资格，所属同煤集团成为山西省第一家拥有此资格的企业。经过两年多的时间，晋华官矿建成了一座融合煤炭工业遗产和自然景观为一体的国家矿山公园，在生态环境保护和社会效益方面取得了一定的成果，具有重要的示范价值和社会意义。晋华官国家矿山公园实现了云冈石窟“佛”文化和国家矿山公园“煤”文化两张旅游文化名片的对接和融合，为当地创造了新的就业岗位和无限的旅游商机。

3.1.2 京西煤矿

1. 概况

京煤集团在北京市辖区有 5 个矿井，即：长沟峪煤矿、大安山煤矿、木城涧煤矿和大台煤矿和王平村煤矿（统称京西煤矿）。其中：大安山煤矿和长沟峪煤矿位于房山区，木城涧煤矿、大台煤矿和王平村煤矿位于门头沟区，如图 3-1-1 所示。

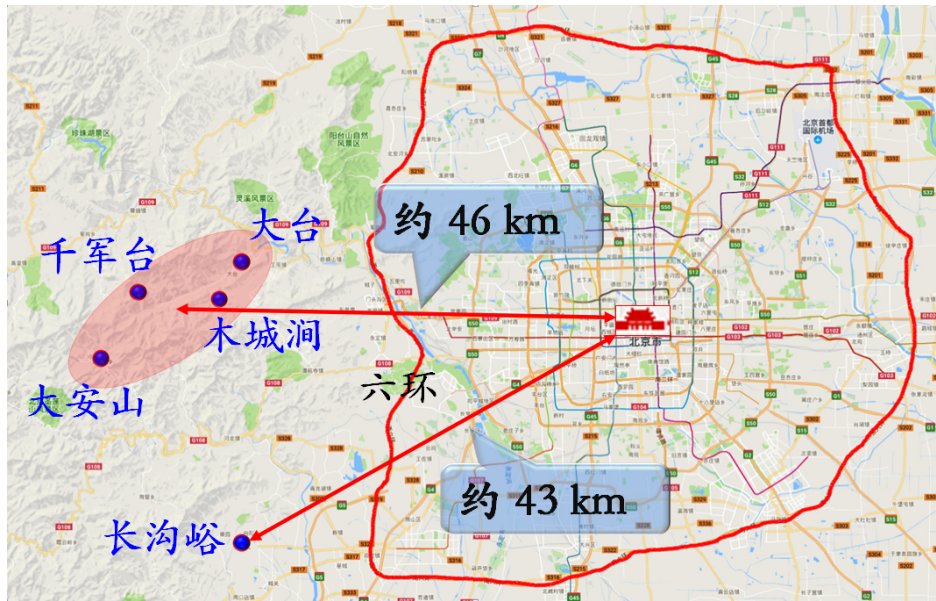


图 3-1-1 京煤集团的京西煤矿地理位置图

京西煤矿根据《北京市化解煤炭过剩产能方案》（京政办函[2016]34号）的要求，主动引导退出煤炭产能 600 万吨，分流安置职工 11615 人，实现煤矿全部退出目标。但是产能退出后，造成了煤矿地面和井下空间资源的闲置、浪费。在此背景下，京西煤矿积极谋划煤矿退出转型。

2. 转型思路

北京城市发展受限于土地资源匮乏，交通堵塞。开发地下空间不仅可以有效缓解城市土地供应压力、解决交通拥堵、保障城市的可持续发展，而且开发利用地下空间也是城市、战备设施抗击军事打击，防范自然灾害影响的选择。开发地下空间可以引导产业转型、培育新兴产业、具有较好的社会经济效益和生态环境效益。因此，结合北京旅游、度假的市场需求，抓住国家和北京市支持煤矿转型升级、深部地下空间科学利用的机遇。京西煤矿科学谋划矿井的地下空间，创造性地建设一个集地下房地产、休闲度假、疗养娱乐、教学科研、工

程实验、地下存储、蓄能发电等于一体的地下城市示范区。

3.1.3 辽宁省阜新市

阜新市具有上百年的煤炭开采历史，是一座典型的因煤炭资源而建立并兴起的资源型城市。建国以来，阜新市累计为我国生产煤炭 6.5 亿吨，发电 1700 亿千瓦时，曾被誉为“共和国的发动机”、“煤电之城”。然而，上世纪 80 年代之后，阜新市煤炭资源进入衰竭期，从 1986 年新邱区两座煤矿报废开始，资源枯竭的煤矿逐年增多，与煤电相关的地方企业也陷入了关闭停产的窘境。传统工业的衰落，使产业结构单一的城市经济发展陷入困境，2001 年国务院正式将阜新市确定为全国资源型城市经济转型试点市，自此，阜新市已开始转型发展之路。

1. 概况

阜新市位于辽宁省西部的低山丘陵区，是辽宁省十四个地级市之一，面积和人口分别占辽宁省的 7% 和 4%。

煤炭产业的萎缩造成阜新市经济总量常年落后于辽宁省的其他地级市。从 1996 年到 2000 年，全市 GDP 在 5 五年间的平均增长率仅为 2.1%，其中 1999 年和 2000 年增长率仅为 0.4% 和 0.2%，连续两年增长幅度低于 1%，甚至低于西部经济欠发达地区。2001 年底，阜新市 GDP 仅占辽宁省的 1.4%，人均 GDP 远远低于辽宁省平均水平。大批煤矿关闭还造成严重的失业问题。截至 2001 年底，城市登记失业率为辽宁省最高。而下岗和失业人群中以矿区职工为主，这些人员中较为普遍的特点是年龄偏大，劳动技能较为单一，自主择业观念不强，从而导致就业难度大，并带来严重的社会问题。

在阜新市以煤炭、煤电为主的单一经济结构中，煤电固定资产投资额占全市固定资产投资总额的 60%，使其他产业发展受到极大的制约。非煤产业投入少，科技含量低，缺少龙头企业，产业一直未能形成一定规模。在以种植业为主的第一产业中，由于对农业基础设施的投入较少，导致种植业机械化程度低，科技种植水平低。

在长期的煤炭资源开采过程中，由于阜新市没有重视人口、资源、环境及社会之间的关系，未能科学合理开发利用资源，因此造成了严重的生态破坏、环境污染。“九五”期间，由于大量的矸石山、坑口电厂及工业垃圾的影响，造成阜新市中总悬浮颗粒物超过Ⅱ级标准 0.56 倍；降尘超标 1 倍，最严重的地区超标高达 16.5 倍。阜新矿区的采煤沉陷区范围 101.38km²，影响住宅建筑面积 147.29 万 km²，居民近 8 万人，沉陷区中住宅严重受损急需搬迁的居 4.1 万人。采矿造成的废水污染，造成地表和地下水系严重污染、土壤贫瘠、植被破坏。

2. 转型思路

阜新市转型发展在政策指引下逐步开展。2001 年，在辽宁省第九次党代会上，阜新市把“继续推进资源枯竭型矿山和严重资不抵债、扭亏无望的煤矿企业破产关停和调整重组”，写进了党代会的报告中，与此同时，阜新市作出了以结构调整为主线，实施资源型城市经济转型的重大决策。2006 年，阜新市在召开的第十次党代会上明确提出了“三大产业基地”目标。主要包括建设全国重要的农产品及食品加工供应基地、全国重要的新型能源基地、全国重要的煤化工基地，确立了阜新市的多元产业结构基本框架，同时充分挖掘阜新现有产业基础，

加大培育有一定技术含量和竞争优势的装备制造、新型建材、精细化工、新型电子、北派服装、玛瑙加工等特色产业，尽可能做大做强，形成若干支柱产业。阜新市的“三大基地、六大优势特色产业”已正式成为阜新经济转型中推进工业化的主攻方向和工作重点。在政策指引下，阜新市转型发展的具体步骤如下：

- (1) 优化经济结构，因地施策大力发展替代产业
- (2) 生态治理与经济转型相结合，建设环境友好型城市
- (3) 促进再就业，保障和改善民生，积极有效解决社会问题
- (4) 大力施策，推进多项支持金融财税政策实施

3.1.4 小结

1. 重视矿区地面地下空间利用

从现有转型案例来看，我国煤炭退出矿井（地区）转型发展路径分为土地资源综合利用和地下空间综合利用，主要集中在矿区生态修复、矿区文化服务产业、矿区经济结构调整。总体来看，我国煤炭退出转型仍处于探索阶段，尚未形成充足的发展规模与可广泛推广的发展模式。

(1) 地面空间资源利用

当前，我国退出煤矿地面空间利用可分为两类：一是煤炭开采造成的塌陷土地，塌陷对土地资源的占用面积更大，破坏更严重，对于这部分地面资源要求按照“宜游则游、宜农则农、宜林则林、宜工则工”的原则，实施基本农田整理、采煤塌陷地复垦、生态环境修复、湿地景观开发等治理措施；二是不受采煤扰动影响的矿井建设征用的土

地，由于未受采动影响，其工程地质条件稳定、安全，土地资源可直接用于工程建设和工业生产。

(2) 地下空间资源利用

矿井地下空间资源综合高效利用一直是世界性难题，我国在该方面的研究起步较晚，相关基础理论研究薄弱，生产和关闭退出煤矿井下空间资源利用方式较少，当前我国关停煤矿对井下空间的利用方式主要集中在地下水库、地下文化旅游产业、特殊地下场所等方面。相对于煤矿的地下空间体量和潜在利用价值而言，利用率和利用程度还远远不够。

2. 积极寻求接续产业

大同晋华宫将文化旅游业作为切入点，阜新市将生态农业、新能源产业作为切入点，以接续产业为支点，通过新产业发展带动煤矿从业人员再就业。从现有转型案例来看，无论是关闭退出矿井还是资源型城市，都通过积极寻求接续产业来推动转型发展，而不是简单将煤矿一闭了之，任由煤矿从业人员去外地寻求生存发展。

3. 金融财税政策支持

金融财税政策具备精准调节的功能，从现有案例来看，金融财税政策在煤炭转型过程中发挥了重要作用。以阜新市为例，阜新市自转型以来就实施了专项转移支付、土地和矿产优惠、失业保险贷款贴息高科技项目贷款贴息等多项金融财税政策，支持转型发展，取得了显著效果。

虽然目前我国煤炭退出转型发展经验较少且面临诸多阻碍，但在

煤炭产业向绿色低碳转型以及“碳达峰、碳中和”发展要求下，煤炭作为我国最大的碳排放原料来源，需要探索出一条清洁、绿色、低碳的发展道路，推动煤炭行业清洁低碳转型。

3.2 国外典型案例

3.2.1 德国

1. 概况

煤炭工业是德国历史悠久的工业部门，煤炭的大力开发和综合利用，是产业革命时期德国迅速成为世界工业强国的重要原因之一。德国的煤炭开采矿区主要包括西部的鲁尔硬煤矿区、萨尔硬煤矿区、莱茵褐煤矿区和东部的劳齐茨褐煤矿区。其中鲁尔矿区是典型代表，集中体现了德国煤炭工业的发展历程。

19 世纪中期开始，德国进入了煤炭开采的黄金期，鲁尔区因煤炭资源丰富而成为德国最重要的工业基地，1870 年产煤 1180 万吨，并在此基础上建立了钢铁、电力、机械、化工等工业部门，形成了以煤炭工业为中心的最大的综合性工业区。1957 年，鲁尔矿区煤炭工业发展达到顶峰，煤矿总数为 155 个，产煤量 1.3 亿吨。但随着 20 世纪中期石油工业的崛起，鲁尔区开始陷入衰退。

2. 转型举措

20 世纪中叶鲁尔区的经济持续衰退，其传统的煤炭工业和钢铁工业开始走向衰落，直接导致失业人数的不断上升，1961 年鲁尔区工业部门的失业率与德国平均水平相比高出 15 个百分点。此外，人口外迁、空气、河流污染等社会和环境问题更是加剧了地区动荡，此时

的鲁尔区迫切需要转型发展。

(1) 强化关闭矿井的再利用、再开发

大批煤钢企业的衰落，相继关闭破产，导致鲁尔区遗留下大量的闲置土地、废弃厂房以及工业设施。随着 20 世纪中后期工业遗产保护的观念在欧洲逐渐成熟，鲁尔区对具有一定价值的废弃工业场地和设施采取的是工业遗产保护和再利用的策略，其目的在于保护和传承该地区繁荣时期的工业文化，同时以工业遗产带动旅游资源的开发，将工业遗产的保护和利用作为鲁尔区转型的一个方面。

(2) 改革传统产业结构，调整区域产业布局

1968 年，鲁尔区所属的北威州政府出台了第一个产业结构调整方案《鲁尔发展纲要》，该方案重点针对传统产业的改造。方案首先对传统企业进行集中化、合理化的改造，具体措施包括对矿区进行清理整顿，调整传统企业的产品结构，提高产品技术含量；对能耗高、污染大、经营困难的煤炭和钢铁企业通过关闭、改建、合并等形式，使传统产业组织结构不断优化。在政府的扶持和补贴下，1969 年鲁尔区 26 家煤炭公司联合成立鲁尔煤炭公司，把采煤作业集约化至机械化程度高，盈利多的大型煤炭企业，关闭不盈利的小型企业。对整个鲁尔煤田重新规划，重新制定生产计划，并且实行了全部机械化生产。

(3) 实施积极的金融财税政策，促进新旧产业平稳转换

在推动鲁尔地区转型发展的过程中，德国一方面充分发挥市场的作用，另一方面也一直非常重视发挥政府的作用，依托来自于市政管理机构、北威州政府、联邦政府以及欧盟的政策和项目，促进经济转

型，推动社会公平，减轻“转型阵痛”。其特色比较鲜明的做法是，支持困难地区再振兴，以新的发展解决当地居民的就业和收入增长问题，而不是任由当地居民甚至是鼓励当地居民到外地寻求生存发展之路。这种做法与美国等一些国家做法不同，他们是积极鼓励困难地区的劳动力向其他地区流动，以应对区域性的经济衰退。

3.2.2 英国

1. 概况

英国是世界上最早开采煤炭资源的国家之一，第二次世界大战结束后，英国煤炭工业进入鼎盛时期，1952年英国煤炭产量为2.3亿吨，就业人员超过70万。到上世纪80年代后，由于石油工业的兴起，煤炭产能出现过剩，政府负担不起高额亏损补贴，开始大量关闭煤矿。1994年，英国对煤炭工业实施了私有化，煤炭产量出现持续下降。2015年12月18日，英国煤炭控股有限公司“凯灵利”煤矿正式宣告关闭，始于300年前工业革命时期的英国煤炭工业彻底告别历史舞台。虽然英国退出了世界煤炭生产大国，但是其煤炭生产技术、煤矿安全管理以及洁净煤利用技术仍然处于世界先进水平。

2. 转型举措

(1) 加强洁净煤技术研究开发

英国政府在1993年公布了“煤炭白皮书”，加强了清洁煤技术研究开发，并成立了煤炭研究咨询委员会和洁净煤发电集团。“煤炭白皮书”指出未来英国煤炭科研的重点将转向燃煤发电技术的研究。

1994年10月英国政府又发布了“能源政策63号报告”，该报告进一

步将洁净煤技术作为煤炭科研的核心，提出了洁净煤技术计划、策略和最终目标，鼓励开发具有竞争力和有利环境的洁净煤技术。

(2) 推进煤炭工业私有化改革

上世纪 80 年代末，英国政府由于不堪负担国有煤矿企业的巨额补贴，保守党政府积极推进私有化。1994 年英国议会通过了煤炭工业私有化法案，煤炭工业私有化后，政府继续承担退休职工津贴和社会补贴，以及电煤价格补贴，资助国产煤与进口煤或其他能源的竞争。英国煤矿的私有化政策与英国政府强调把公平竞争作为社会稳定、经济发展的主要保证的政策是相一致的，也是摆脱煤炭困境的重要举措。

(3) 建立企业开发区，减少煤矿退出对社会和经济的影响

在英国，所有受煤矿关闭影响的地区都尽其最大努力吸引新产业在煤矿地区发展。英国政府在许多矿区建立了企业开发区，并对在此开发区内成立新公司提供财政鼓励，这一作法对进一步缓解煤田地区的经济衰退起到了一定的作用。

1997 年，英国成立了一个特别工作组，该工作组对英国煤田地区社会和经济状况做了评估。根据该工作组的调查报告，英国政府制定了煤田地区长期经济振兴规划。从 1997 年起，英国 10 年规划采取的主要措施是：每年为振兴煤田地区经济拨款 1.5 亿美元；创建地区经济振兴机构，指导经济发展，并协调现行地区开支计划；前 3 年投资 5.0 亿美元；煤田经济振兴托管机构投资 6500 万美元，用于支持社区的创建；煤田企业基金支持经济发展有潜力的小型企业（2200 万美元）；提供其它鼓励振兴前矿区，创办新的工业园区，增加交通运输

基础设施和住房，以创造新的工作机会。另外，长期规划还包括对现有公共行业住宅的改造和改善原矿区的教育条件。

(4) 保障职工安置工作

针对失业矿工的再就业及福利问题，根据《1920年矿工福利法》，英国首先通过矿工的福利基金、然后通过矿工福利委员会，向英国煤矿社区在采矿工业衰落过程中失去工作的矿工提供再培训。《1952年矿工福利法》再次认可了培训计划，并授权煤炭工业社会福利组织（CISWO）负责管理培训工作。

3.2.3 日本

1. 概况

日本的煤炭资源开采的历史有 200 多年，20 世纪 40 年代是日本煤炭工业的鼎盛时期，年产煤炭曾达 5630 万吨，从业人员超过 45 万人。北九州市地处日本西南水路交通要道，地理位置优越，煤炭资源丰富，是日本著名的煤矿产区。

随着能源革命的兴起及石油价格的降低，日本能源结构发生改变，从“煤炭为主石油为辅”转变为“石油为主煤炭为辅”，煤炭产量逐年下降，2002 年日本国内煤炭产量仅为 140 万吨，在此情况下，北九州地区煤炭产业受到了重创。2002 年 1 月 30 日，日本停产最后一家煤矿公司，日本国内的煤矿产业彻底结束。

2. 转型举措

(1) 着力环境修复，优先发展第三产业

上个世纪中期，随着煤炭等矿产资产的开采，九州地区环境不断

恶化，生态破坏严重，为了达到产业转型与环境优化并举，日本政府把环境修复与发展循环经济放在首位，通过制订《公害对策基本法》，明确各级政府和企业在环境保护中的义务和责任，并实行严格的责任追究制，把环境修复与产业调整、国土整治相结合，通过建立生态园，以优美的环境吸引国内外旅客和投资者，达到发展循环经济，改善生态环境，实现产业转型的目的。1998年，九州环境产业产值2.3万亿日元，占全国同类产业的10.6%。

(2) 成立专门的行政机构

为了振兴产煤地域经济，1962年成立了产煤地域振兴事业团，着手九州的经济复兴工作。为了减少矿山关闭给矿产地域经济带来的负面影响。地域振兴整備公团在安置和转移煤炭产业劳动力，促进调整衰退产业与扶持新产业，实现煤炭地区经济振兴中起到了重要作用。

(3) 多措并举，实现人员再就业

产业转型，企业转产，许多人员不适应新的工作岗位而必须进行培训，才能实现再就业。日本政府紧紧抓住提高工人技能水平，增强工人适应性这个顺利实现产业转型和工人再就业的关键，对煤矿离岗人员的培训从开始着手产业转型时就一着不让地抓实抓好。日本政府明确规定，再就业的煤炭从业人员，在再就业前都要进行职业培训，培训经费由煤炭企业或接受单位承担，政府对它们给予相应的补贴。与此同时，政府对下岗职工提供生活补贴和求职资助，对接受下岗职工的企业进行奖励。一系列行之有效的政策出台与实施，保证了九州地区失业人员得到有效安置，如福冈的三井三池煤矿关闭后，再就

业人员比例达到 80.7%。

3.2.4 经验借鉴

1. 在主导产业衰退之前就着手培育替代产业

从国外煤炭行业转型历程来看，多数国家煤炭行业的转型并不是等煤炭行业完全衰退才开始转型，而是提前谋划，逐步实施，有序推进转型工作。

2. 设立专项资金，促进转型和减轻失业人员困难

从德国来看，设立专项资金，用于工人失业时的政府补助金计划、困难补助计划、再就业培训的补助金计划、就业岗位转换损失补助计划、提前退休资金支持计划以及矿工养老金资金支持计划等，对失业人员进行补助，减轻失业人员困难。其次，对煤炭消费进行补贴，防止煤炭产量过快下降而造成社会冲击。此外，多方筹集转型资金，支持煤炭转型。

3. 制定金融财税政策，保障煤炭转型

煤炭转型发展是一个长期的过程，除需要政府引导、提前进行战略布局之外，还需要依靠一定的金融财税政策，为传统产业转型发展提供支持。

从德国来看，将转型后的老矿区定位为高新技术产业区，对从事信息技术、新材料的新兴产业的高新技术企业给予一定的财政补贴和优惠政策，促进煤炭退出区向高新技术产业转型发展。

可见，发挥财税政策的核心作用，运用补贴、差别税率或税收优惠等政策，可以帮助实现资源的重新有效配置，促进煤炭行业平稳转

型。

4. 成立专门机构，专门负责产业转型相关工作

在国外煤炭行业的转型过程中，许多国家都成立了负责转型的专门机构，如：英国成立了特别工作组、日本成立了产煤地域振兴事业团。这种专门机构，架起了政府与企业联系的桥梁，为企业提供新技术的应用、人才开发培训、筹措资金和各类咨询服务，帮助企业更好更快的实施转型。

5. 重视转岗培训，确保职工安置

国外主要煤炭国家在矿井关闭退出的过程中，都非常重视对职工进行再就业培训，多措并举保障职工安置。我国煤炭行业拥有直接从业人员约 300 万人，从业人员众多，任何矿井关闭退出都牵涉着一定规模的矿工及煤矿家庭，职工安置尤为重要。英国针对失业矿工的再就业及福利问题，首先进行了立法，通过法律保障矿工的基本福利。根据法律，依次建立福利基金、矿工福利委员会，向矿工提供一定的救济补助和再就业培训，维护矿工的生活保障并帮助矿工积极应对新工作的挑战。

6. 注重关停矿井再利用

关停矿井在过去数十年的开采中，已然形成大体量的地下空间、建筑物、铁路、公路、厂房、煤炭、煤层气等各种资源，一味地选择封井必然会造成巨大的资源浪费，同时巨额的固定资产变为零。德国、英国等许多国家在煤炭行业转型过程中，十分注重关停矿井的再利用，依托关闭老矿井，利用废弃矿井的开发利用技术，形成了多种废弃矿

井再利用新模式，盘活废弃矿井资源。

众多国内外煤炭转型典型案例，为我国煤炭行业的转型提供了不少经验。但是同时也可以看出，现有成功转型案例中的矿区规模都相对较小，德国鲁尔区转型前煤炭年产量 1 亿吨左右，从业人员 30 万人；日本北九州转型前煤炭年产量 3000 万吨以上，从业人员 2.5 万人；无论是从产量还是从业人员数量来看，与我国当前煤炭产量 40 亿吨，从业人员 300 万人的规模都有不少差距。可以说，目前，全球尚未有大规模煤炭行业转型成功案例，这为我国煤炭行业整体成功转型带来了巨大挑战。

四、我国煤炭行业转型发展的总体思路

4.1 转型思路

通过提升内生动力、发展活力和整体竞争力，推动煤炭行业向形态更高级、结构更合理的高质量发展阶段演进，形成具有比较优势的现代产业体系。

4.2 转型路径

国家双碳目标对煤炭转型升级发展提出了更高要求，基于现有条件、挑战，未来煤炭的转型道路不会轻而易举，需要有序实施减煤限煤、科学优化用煤结构、稳定提升用煤效能、大力创新绿色科技。具体如图 4-2-1 所示。

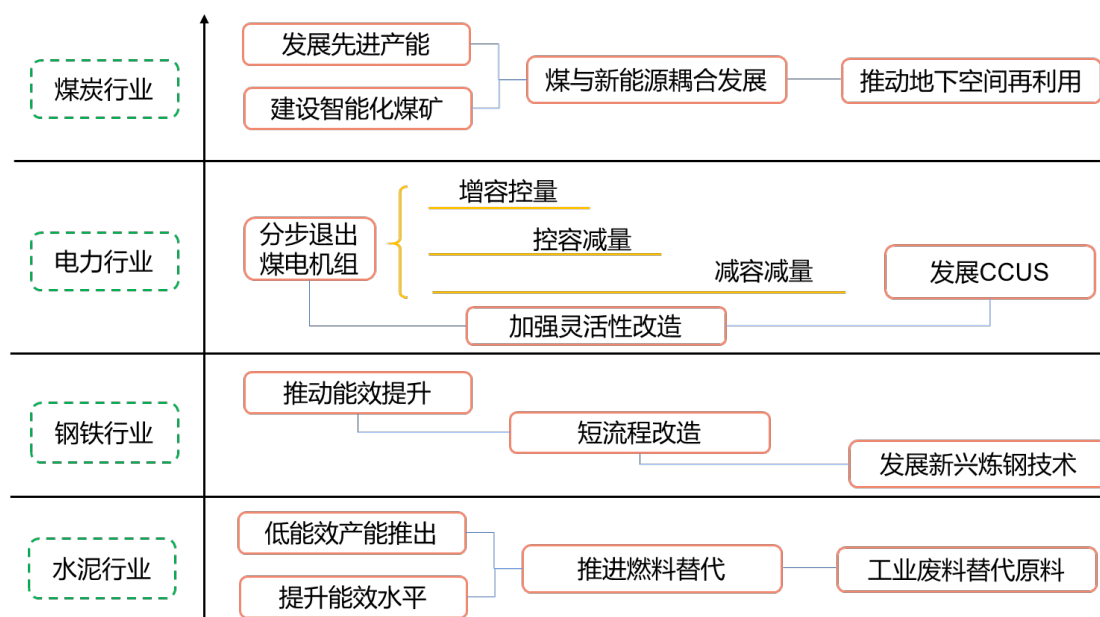


图 4-2-1 煤炭转型路径示意图

4.2.1 煤炭

一是发展先进产能和智能化矿井。当前最大程度地提升煤炭开发

效率，降低单耗，是碳减排最重要的途径之一，也是提高煤炭供给质量的重要途径。通过先进产能、智能化矿井建设，实现行业技术积累，逐步减少从业人员，推动煤炭行业由劳动密集型产业向技术密集型产业转变，不仅提升了煤炭资源开发效率，降低了碳排放；更为后续煤炭行业转型发展提供了坚实的技术和人才基础。

二是推进煤炭产区与新能源耦合发展。顺应新能源快速发展趋势，充分利用采煤沉陷区、工业场地、排土场、巷道等地上地下空间资源及配套设施，发展风能、太阳能、生物质能、地热能、氢能等新能源，因地制宜发展抽水蓄能、压缩空气储能，发挥退出矿区在新能源发展中的积极作用。特别是推进煤矿区以煤电为核心，与太阳能发电、风电和水电协同发展，实现多种电力能源的协同高效开发利用。

四是推动地下空间再利用。推动地下空间再利用是盘活关闭矿井资产、优化资源配置、保护矿区安全的必然需求，也是解决煤炭从业人员再就业的重要路径之一。因此，煤炭的转型升级离不开地下空间的再开发、再利用。妥善开发煤矿地下空间资源，将提高关闭矿井的利用质量，开辟煤炭低碳转型发展新路径。

分阶段路径如下：

1. 当前—2025 年

此阶段的主要任务是：先立后破，保障能源安全稳定供应。

●煤炭产业布局方面：继续淘汰落后产能，大力发展先进产能和智能化矿井。到 2025 年力争 70%以上煤矿成为先进产能¹，70%以上

¹ 根据国家发改委通报，截止 2020 年底，山西省先进产能占比已达 68%。考虑陕蒙其它煤炭主产区

煤矿成为智能化矿井²。建立煤炭产能、产品储备体系。形成相当于年煤炭消费量 15% 的产品储备能力，平抑新能源波动造成的煤炭短时需求波动。

- 煤炭与新能源协同发展方面：研究制定煤炭与新能源协同发展方案。推进煤炭和新能源、储能协同发展。

- 煤矿地下空间再利用方面：开展关闭退出煤矿地下空间再利用技术攻关与示范。

2. 2025—2030 年

此阶段的主要任务是：有序减量替代，逐步退出。

- 煤炭产业布局方面：继续淘汰落后产能，大力发展先进产能和智能化矿井。到 2030 年力争 90% 以上煤矿成为先进产能³，90% 以上煤矿成为智能化矿井⁴。煤炭储备体系完整。

- 煤炭与新能源协同发展方面：探索建设煤炭与新能源协同发展示范基地，逐步推广。

- 煤矿地下空间再利用方面：关闭退出煤矿地下空间再利用技术取得突破，示范效应显著。

地质条件更好，更易建设先进产能，同时在“十四五”期间我国将继续加大淘汰落后产能的力度。据此，提出到“十四五”末，力争 70% 以上煤矿成为先进产能。

² 《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》中提出到 2025 年底，中国大型煤矿和灾害严重的矿井基本实现智能化。同时应急管理部提出到 2022 年全国大型煤矿的占比将达到 70% 以上。据此，提出到 2025 年，70% 以上煤矿成为智能化矿井。

³ 到 2030 年，我国已经碳达峰，预计届时 90% 以上的煤矿产能集中在晋陕蒙新等西部地质条件较好的地区，这些区域作为我国煤矿先进产能的代表，应力争全区全域建成先进产能。

⁴ 《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》中提出到 2035 年各类矿井基本实现智能化，据此倒推至 2030 年，至少 90% 以上矿井实现智能化，才能为后续全部矿井实现智能化奠定基础。

3. 2030 年—2050 年

此阶段的主要任务是：大幅度减量，加快退出。

- 煤炭产业布局方面：加快退出煤炭产能，落后产能全部退出，保留的煤炭产能全部为先进产能和智能化矿井。

- 煤与新能源协同发展方面：煤矿区煤炭煤电、煤化工与新能源协同发展模式不断扩展，矿区新能源产业规模迈入新台阶，煤炭低碳化绿色化生产方式全面形成。

- 煤矿地下空间再利用方面：形成一批关闭退出煤矿地下空间再利用成熟技术与模式。

4. 2050 年-2060 年

此阶段的主要任务是：战略应急，有效应对突发事件。

- 煤炭产业布局方面：一方面要提升应急调运能力。建设一批高效、智能、少人可“低成本运转、宽负荷生产”的“柔性煤矿”，增强短时间内煤炭产量快速调节能力。

- 煤矿地下空间再利用方面：形成煤矿地下空间再利用的新业态、新产业，矿区及周边地区生态环境全面改善。

4.2.2 煤电

一是分步退出煤电机组。煤电与非化石能源并非简单的此消彼长，而应是协调互补的发展关系。双碳目标下，煤电由电量主体转变为容量主体，在为新能源发展腾出电量空间的同时，需按照“增容控量”“控容减量”“减容减量”不同阶段逐步退出煤电机组，防止煤电大规模过快退出而影响电力安全稳定供应。

二是统筹煤电发展和保供调峰，兼顾效率和功能升级。一方面加快现役煤电机组节能提效升级，通过大力开展汽轮机通流、锅炉和汽轮机冷端余热深度利用、煤电机组能量梯级利用、探索高温亚临界综合升级等，进一步提升煤电机组能效水平；另一方面，要加快实施煤电机组灵活性制造灵活性改造，推动现役机组灵活性改造应改尽改。

三是推进煤电与新能源协同发展。推进煤电与新能源深度融合，互为支撑，破解各自发展瓶颈。一方面利用煤电的稳定性，为新能源发电平抑波动提供基底，规避新能源开发利用的不稳定性；另一方面利用新能源的零碳特性，为煤电提供碳减排途径，可以在很大程度上减轻单纯燃煤利用的碳减排压力。

四是大力发展 CCUS 技术。提升 CO₂ 大规模低能耗捕集、资源化利用与可靠封存技术水平，突破大容量富氧燃烧、燃烧后 CO₂ 捕集、CO₂ 的驱油/气/水、CO₂ 封存、监测预警和工程体系等关键技术壁垒。

分阶段路径如下：

1. 当前—2025 年

此阶段的主要任务是：“增容控量”，保障电力系统平稳。

● 机组建设方面：“十四五”装机容量仍需有一定的增长，在此基础上要严控发电量增长。

● 机组灵活性改造方面：大力推进机组灵活性改造，力争 2025 年前，完成 2 亿千瓦运行灵活性改造，完成 5000 万千瓦燃料灵活性改造。⁵

⁵ 《全国煤电机组改造升级实施方案》中提出：存量煤电机组灵活性改造应改尽改，“十四五”期间完

● CCUS 方面：攻关低成本 CCUS 技术，推进 CCUS 示范工程建设。

2. 2025 年—2030 年

此阶段的主要任务是：“控容减量”，不在新建煤电机组

● 机组建设方面：“十五五”不在新建新煤电机组，发电量稳步下降。

● 机组灵活性改造方面：力争 2030 年前，完成 2.8 亿千瓦运行灵活性改造，完成 1.1 亿千瓦燃料灵活性改造，增加 1 亿千瓦左右的调峰空间。

● CCUS 方面：加大 CCUS 技术投入，积极推进 CCUS 改造试点建设。

3. 2030 年—2050 年

此阶段的主要任务是：加速退出。

● 机组建设方面：加速退出煤电机组，20 万千瓦级以下亚临界非供热煤电机组全部退出。

● 机组灵活性改造方面：根据调峰需求，继续推进机组灵活性改造。

● CCUS 方面：低成本的 CCUS 改造技术逐步成熟，逐步推广部署 CCUS 技术。

4. 2050 年-2060 年

成 2 亿千瓦，增加系统调节能力 3000—4000 万千瓦，促进清洁能源消纳。据此，2025 年煤电灵活性改造为 2 亿千瓦。同时，根据历史改造速度和新能源建设规模，预计 2025-2030 年，应力争完成 2.8 亿千瓦的煤电灵活性改造。

此阶段的主要任务是：战略应急，保障电网安全稳定运行。

- 机组建设方面：将 5000 万千瓦规模寿命满 30 年的煤电机组延寿 10 年作为战略备用机组。

- CCUS 方面：低成本的 CCUS 技术取得突破，大规模应用 CCUS 技术。

4.2.3 钢铁

一是推动能效提升。通过推广应用数字化、智能化技术及先进适用技术，降低能耗。如加大高效电机推广及电气化改造升级，促进高效电能使用转换；利用清洁能源与钢铁高炉煤气余热发电调峰自供等。

二是推进短流程改造，提升废钢使用量。在京津冀及周边、长三角等经济较发达地区（废钢产生量相对较高），及西南地区等绿电资源丰富地区，优先鼓励布局发展短流程炼钢。

三是发展新兴炼钢技术。探索开展氢冶金技术试点示范，推动规模化低成本的新兴炼钢技术发展。

分阶段路径如下：

1. 当前—2025 年

此阶段的主要任务是：控制总量，提高能效。

- 能效提升方面：通过标准化水平提高、原燃料品质提升和数字化技术应用，提高能效。

- 短流程改造方面：提升电炉钢比例，到 2025 年，短流程电炉

钢产量占比达 15%以上⁶。

- 新兴炼钢技术方面：开展新兴炼钢技术试点示范。

2. 2025 年—2030 年

此阶段的主要任务是：逐步达峰，加快推动废钢再利用。

- 能效提升方面：到 2030 年入炉焦比、喷煤比等指标达到国际先进水平。

- 短流程改造方面：到 2030 年，短流程电炉钢产量占比达 30% 以上。

- 新兴炼钢技术方面：新兴炼钢技术具备规模化发展条件。

2. 2030 年—2050 年

此阶段的主要任务是：对标国际，能效进一步提升。

- 能效提升方面：通过技术手段，进一步提高能效，钢铁行业所有工序能耗指标达到国际先进水平。

- 短流程改造方面：进一步提升电炉钢比例。力争到 2050 年，短流程电炉钢产量占比达 70% 以上。

- 新兴炼钢技术方面：新兴炼钢技术取得突破，可规模化发展。

3. 2050 年—2060 年

此阶段的主要任务是：形成绿色低碳的钢铁产业。

国民经济所需的钢铁全部由“电炉钢+新兴炼钢技术”供应，钢铁

⁶ 《关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》中提出：到 2025 年，电炉钢产量占粗钢总产量比例提升至 15% 以上。同时，根据中国废钢铁应用协会预测，2030 年废钢资源量有望达 3.5-3.8 亿吨，到 2050 年达到 4.5 亿吨左右。据此预测，通过短流程产能的逐步爬坡，短流程电炉钢产量占比从当前的 10%，到 2030 年预计提升到 30%，到 2050 年预计提升到 70% 以上。

产业的耗煤量、耗能量、碳排放量大幅下降，绿色低碳的钢铁生产方式全面形成。

4.2.4 水泥

一是加强建材产能置换监管，加快低效产能退出，严禁新增水泥熟料、平板玻璃产能，引导建材行业向轻型化、集约化、制品化转型。

二是推广节能技术。加快推广高效粉磨技术和先进烧成系统技术，推进现有炉窑系统辅助技术改造；推广使用新型隔热、保温耐火材料及回转窑高效密封技术，减少散热损失。

三是推进燃料替代。加强水泥窑协同处置废轮胎、生活垃圾、污泥等固体废物，鼓励烘干等工序使用余热或电能。

四是鼓励建材企业使用粉煤灰、工业废渣、尾矿渣等作为原料或水泥混合材，降低煤炭消耗水平。

分阶段路径如下：

1. 当前—2025 年

此阶段的主要任务是：推进结构调整，及早达峰。

● 结构调整方面：严控行业新增产能，加快淘汰落后产能。到 2025 年，规模 2000 吨/日以下普通水泥熟料生产线全部淘汰退出⁷。

● 能效提升方面：升级余热发电技术，逐渐淘汰 2012 年前的落后系统；到 2025 年，采用高效粉磨技术的粉磨站企业达到 40%。

⁷ 根据《冶金、建材重点行业严格能效约束推动节能降碳行动方案（2021-2025 年）》，到 2025 年水泥行业基准水平为可比熟料综合能耗要达 117kgce/t。据调研，目前我国日产 2500 吨及以下规模水泥熟料生产线产能通过改造升级，虽然能够达到《节能降碳行动方案》和新版 GB16780 的底线要求，但是实现规模化、技术改造能效水平提升空间和投资回报有限，预计未来将全部退出。

- 燃料替代方面：大力推广相关燃料替代技术的研发和应用，力争实现 2030 年水泥行业使用替代燃料技术的生产线占比达到 30%。

- 工业废料替代原料方面：加大对粉煤灰，钢渣，硅钙渣，矿渣等氧化钙含量较高的大宗工业固体废物的规模化应用技术研究。

1. 2025 年—2030 年

此阶段的主要任务是：提升能效水平。

- 结构调整方面：逐步淘汰规模 2500 吨/日以下普通水泥熟料生产线。

- 能效提升方面：加快推广高效粉磨技术，到 2030 年，采用高效粉磨技术的粉磨站企业达到 60%。

- 燃料替代方面：力争实现 2030 年水泥行业使用替代燃料技术的生产线占比达到 40%。

- 工业废料替代原料方面：逐步推广开展大宗工业固体废物规模化应用技术示范。

3. 2030 年—2050 年

此阶段的主要任务是：技术变革，推动水泥燃料和原料替代。

- 结构调整方面：继续引导低效产能有序退出。到 2050 年，规模 2500 吨/日以下普通水泥熟料生产线全部淘汰退出。

- 能效提升方面：到 2050 年，采用高效粉磨技术的粉磨站企业达到 100%。

- 燃料替代方面：全面推广燃料替代技术应用，2050 年水泥行业使用替代燃料技术的生产线占比达到 100%。

● 工业废料替代原料方面：全面推广使用以高炉废渣、电厂粉煤灰、煤矸石等废渣为主要原料的超细粉替代普通混合材，大幅减少水泥熟料的消耗量。

4. 2050 年—2060 年

此阶段的主要任务是：生产新品种，形成新业态。

鼓励生产低钙、低碳新水泥产品，研发应用新型胶凝材料技术、低碳混凝土技术、吸碳技术等。

4.2.5 煤化工

利用新能源的零碳特性，为煤炭转化提供碳减排途径，在很大程度上减轻单纯煤炭转化的碳减排压力。

1. 当前—2025 年

探索新能源与煤炭清洁转化耦合利用。试验示范绿 H₂ 用作补氢原料，绿电驱动替代蒸汽驱动，降低燃料煤和原料煤消耗，实现碳减排。

2. 2025—2030 年

现代煤化工与可再生能源制氢的深度结合，并得到规模化应用，实现现代煤化工的大幅降碳。

3. 2030 年—2050 年

随着技术的进步，煤化工与新能源协同发展模式不断扩展，逐步实现煤炭化工转化近零排放。

4. 2050 年-2060 年

实现煤炭向高端原料转变。将煤炭作为先进碳素材料的前驱体，

制备煤基石墨化结构材料、碳基储能材料、新能源发电材料、碳纤维及其复材等功能碳材料等，向储能、煤基新能源新材料领域发展。

五、煤炭开发利用转型发展重点

5.1 煤炭开发转型重点

为了更清晰阐述我国不同地区煤炭开发转型发展重点，根据本报告的区域划分，将全国分成煤炭主产区、煤炭资源枯竭区、煤炭开发战略区进行转型分析。

5.1.1 煤炭主产区

1. 发展先进产能

(1) 必要性

根据《中国煤炭生产企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》，煤矿碳排放主要存在于生产用能、瓦斯排放及矿后活动 3 个环节。其中瓦斯排放环节碳排放占比最高，生产用能次之。项目组通过调研煤矿的生产用能碳排放情况，经过对各煤矿碳排放因子的概率分布统计，得出煤矿先进产能的碳排放水平远低于非先进产能。

(2) 具体举措

由于先进产能煤矿碳排放强度显著低于非先进产能煤矿，因此，煤炭主产区应统筹煤炭、土地等要素配置，优先发展先进产能。

一是新建矿井必须符合先进产能标准，大力推进先进产能创建达标工作，支持现有煤矿加快实施改造成为先进产能；二是加快退出非先进产能煤矿，促进煤炭产能结构优化升级。

2. 建设智能化矿井

(1) 必要性

煤矿智能化改造特别是井下工作面、智能运输系统、洗选系统改造可以显著减少作业人数、降低单位产品能耗，大幅减低煤炭生产用能产生的碳排放。且通过智能化建设，能减少煤矿从业人员数量、提升从业人员技能水平，为煤矿后续退出转型奠定良好基础。

(2) 具体举措

1) 推进智能煤机装备研发应用

智能装备是煤矿智能化建设的基础，应大力推广国内外智能采掘装备新技术、新经验，加大我国智能煤机装备的研发投入，保持对高端装备引进与对外产业转移的双向开放，通过原始创新、集成创新和引进消化吸收再创新，在开放与创新中进一步优化、提升我国智能煤机装备水平。

2) 分步建设智能化煤矿

针对不同地区不同矿井的实际情况，按照先易后难、先局部后整体的思路，统筹规划，分布实施，有序推动智能化煤矿建设。

5.1.2 煤炭资源枯竭区

1. 推动地下空间再利用

(1) 必要性

从国外煤炭行业转型经验来看，废弃矿井处理不当将带来严重的社会与环境问题，也为煤炭行业转型发展带来障碍，发达国家十分重视废弃矿井的再利用工作。

因此，充分利用煤炭退出矿井的地下空间十分重要，可以深度挖掘废弃矿井的价值，改善矿区环境，为行业转型升级提供良好基础。

(2) 具体举措

一些关闭退出煤矿的井下空间广阔、结构稳定，具备特殊的温度和湿度条件，一般被用作储存空间。目前，煤矿井下空间利用的各项技术在国内正在积极研究，部分技术取得了突破性进展。煤矿井下空间主要利用方向如下：1) CO₂封存；2) 蓄能；3) 处置工业垃圾；4) 高校技术研发实训基地。

2. 发展“生态修复+”、“新能源+”产业

(1) 必要性

煤炭资源枯竭区的一个焦点问题便是生态环境的严重破坏：土壤质量下降、生物多样性丧失、自然景观的破坏等等，并严重威胁到人体健康。即使煤矿开采结束以后，采矿遗留的地质灾害可能对周围环境产生严重影响，因而对资源枯竭区的生态环境进行修复和改善就成了矿区经济转型必须要考虑的重要因素。

与此同时，当前煤炭资源枯竭区的新能源资源都较为丰富，如：东北三省的大部分地区都处于太阳能资源“很丰富-较丰富”地带，也是风能资源非常丰富的地区。因此，利用因关闭退出而闲置的大量煤矿土地资源发展新能源，是煤炭行业转型发展的重要途径。

(2) 具体举措

1) 发展“生态修复+”产业

矿山“生态修复+”产业可以将生态修复后产生的土地资源和生态资源作为基础，将矿山生态修复从矿业开采活动的终点变为新的经济活动起点，促使矿山生态修复由被动行为转变为自发行为，由片面追

逐经济效益和短期效益转变为追求长期的经济 - 生态 - 社会复合效益。可见，进行矿山生态修复与其他产业融合发展探索，可以促进转型发展。

2) 发展“新能源+”产业

由于新能源发电能量密度（或土地密度）低，土地问题将成为困扰新能源发展最大障碍，特别是土地资源紧张的中东部地区。退出煤矿具有丰富的废弃土地，发展新能源的潜力巨大。因此，根据新能源赋存特点和废弃矿井（沉陷区、采空区、排土场）的地理环境特性，结合沙漠光伏、东数西算等国家政策导向，大力发展“新能源+”产业。

5.1.3 煤炭开发战略区转型重点

1. 新疆开发现状

新疆是我国煤炭未来发展的重中之重。新疆具有丰富的煤炭资源，是我国第十四个大型煤炭基地和国家五大综合能源基地之一，是承接我国煤炭产业西移的重要地区，在国家能源发展格局中具有重要的战略地位和作用。

就目前来看，新疆地区煤炭开发发展总体缺乏宏观统筹，各产业定位、功能不清，致使产业布局和资源配​​置不尽合理，产业发展不够高效，区内缺乏整体协调互动。主要体现在：一是产业体系不完善，各地多以资源开发和一次能源生产为主，下游产业或配套产业发展滞后。二是煤炭开发利用路线趋同，以煤炭开发为主，延伸煤电、煤化工产业链，是各煤炭富集区所在地（州、市）的共同特征，产业同质化将导致对水资源、运输通道等基础设施资源争夺激烈。

可见，多年以来新疆地区粗放型的开山挖矿模式造成了煤炭产业层次低、产品附加值低等问题已不能满足新时代新疆地区发展低碳、绿色经济的需求，亟需及早探索新型煤炭开发形式，提升产品和服务，向高端价值链转型升级。

2.打造新型协同开发模式，实现产业链协同节能减碳

通过产业链横纵向延伸，由单一煤炭资源采出拓展为煤炭及共伴生资源综合利用，由提供单一的初级产品升级为提供高附加值的多元产品优化组合。基于产业集群协同生产，实现产业链节能减排，推动煤炭行业减碳、去碳。

基于此，新疆地区应按照基地化、规模化、一体化的发展要求，推进煤炭开发利用一体化，煤炭在煤矿区就近转化为电力、热力、新材料、化工品，变煤炭产品直接外售为煤炭深加工产品输出，推动煤炭由燃料向原料转型，形成煤基综合能源供应商，打造新型协同开发模式。

5.2 煤炭利用转型重点

我国煤炭消费主要集中在电力行业，2021年占比58.6%；钢铁、建材、化工分别占比16.7%、13.1%、8.1%。因此，本报告着重研究电力、钢铁、建材以及现代煤化工4个行业的煤炭消费转型。

5.2.1 电力行业煤炭消费转型

1. 行业现状

截至2021年底，我国火电装机容量13亿千瓦，其中：煤电装机容量11.1亿千瓦，同比增长2.8%，占我国电源总装机容量的46.7%

(如图 5-2-1 所示), 同比降低 2.3 个百分点。2021 年, 我国火电发电量 5.64 亿千瓦时, 占我国总发电量的 67.41%, 具体如图 5-2-2 所示。2015 年以来我国煤电年发电量保持平稳, 略有增加。2021 年, 我国煤电利用小时数 4586 小时, 同比增加约 246 小时。

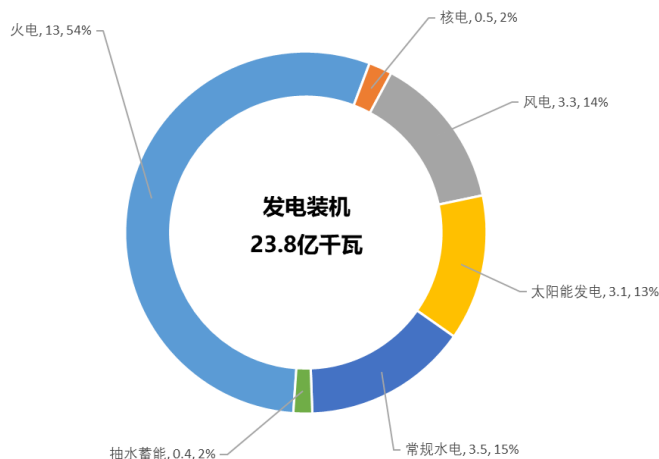


图 5-2-1 2021 年我国电源装机结构情况

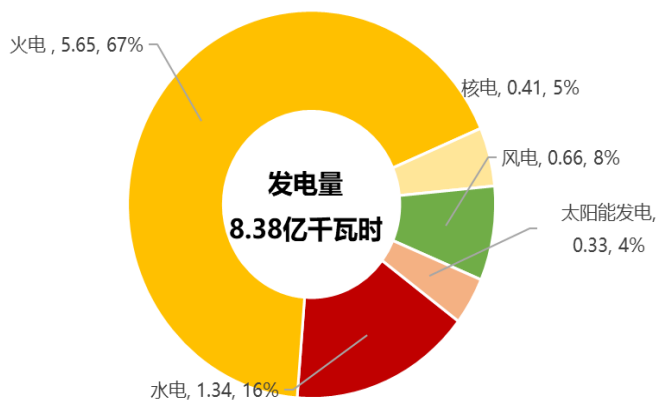


图 5-2-2 2021 年我国各类电源发电量情况

截至 2020 年底, 全国达到超低排放限值的煤电机组已达 9.5 亿千瓦, 占总装机容量的 88%, 全球最大规模超低排放煤电供应体系逐步完善。全国累计完成节能改造煤电机组约 8 亿千瓦以上, 其中, “十三五”期间累计完成改造 5.2 亿千瓦, 超额完成“节能改造约 3.4 亿千

瓦”的目标。“十三五”期间我国煤电供电标准煤耗率由 315 克标煤/千瓦时降至约 310 克标煤/千瓦时，达到世界先进水平。

2. 转型路径

(1) 分步退出煤电机组

目前，我国煤电装机中约 9 亿千瓦的是高参数、大容量的煤电机组；应合理利用这些优质存量资产，科学谋划煤电退出路径，协调好煤电与可再生能源的发展节奏，防止煤电大规模过快退出而影响电力安全稳定供应。根据舒印彪院士团队研究成果，可按照“增容控量”“控容减量”“减容减量”3 个阶段逐步退出煤电机组。

①“增容控量”阶段。“十四五”时期煤电发展难以“急刹车”，装机容量仍需有一定的增长，在此基础上要严控发电量增长；新增煤电主要发挥高峰电力平衡和应急保障作用并提供转动惯量，保障电力系统安全稳定运行。

②“控容减量”阶段。“十五五”时期煤电进入装机峰值的平台期，发电量、耗煤量稳步下降，更多承担系统调节、高峰电力平衡的功能；同时“十五五”时期煤电 CCUS 改造进入示范应用、产业化培育的初期阶段。

③“减容减量”阶段。2030 年以后，煤电装机和发电量稳步下降，一部分逐步退出常规运行而作为应急备用；远期加装 CCUS 设备，逐步增加“近零脱碳机组”并形成碳循环经济发展新模式。

(2) 推进煤电机组灵活性改造

煤电机组实施灵活性改造是火电配合系统调峰的重要举措。从调

峰深度和调峰效率来看，煤电并不是一种非常好的调峰资源，水电、汽电的调节能力都比煤电要强（传统煤电的调峰深度⁸大概在 50%左右，供热机组的调峰深度更是只有 30%）。但由于我国绝大多数水电资源已开发完毕⁹，同时天然气资源供应又比较有限，因此电网系统灵活调峰，短期内仍需要由煤电机组承担。

从各个地区来看，山东、内蒙古、山西等省份都已出台相应政策。截至 2020 年底，“三北”地区煤电灵活性改造已完成约 8241 万千瓦，其中东北、西北、华北改造规模分别为 3378 万千瓦、3678 万千瓦、1185 万千瓦。综合考虑电力需求增长、新能源布局进一步优化、电网侧调峰能力增强、辅助服务市场稳步推广、需求侧管理手段进一步释放等因素，预计未来我国煤电灵活性改造需求将大幅增长。

（3）大力发展 CCUS 技术

在碳中和愿景下，我国一方面须加快建设以新能源为主体的能源体系，另一方面还必须要坚守能源安全底线，增强能源安全体系韧性，避免能源转型出现“青黄不接”风险。同时，我国燃煤电厂约 50% 在过去十余年建成，必须考虑这些资产以低碳方式持续发挥作用，避免过早关闭造成搁浅资产损失及就业减少等问题。作为一项可以实现化石能源大规模低碳利用的技术，CCUS 恰好提供了这样一种可能，既能确保既有电厂等基础设施物尽其用、能源安全有保障，又能实现零碳

⁸ 调峰深度是指满足调峰需求的机组最小负荷及最大负荷之比。例如，调峰深度为 50%，即一台满发 100MW 的发电机，只能下降到 50MW（50%）。

⁹ 根据测算，我国经济可开发水电装机为 4.02 亿千瓦，2020 年底已经装机的水电约为 3.3 亿千瓦，即具有经济性的可开发容量已经开发了 82.1%。

排放甚至负排放。

5.2.2 钢铁行业煤炭消费转型

1. 行业现状

进入新世纪我国工业化、城市化进程持续加快，汽车、房地产及基础设施投资需求拉动钢铁产量迅速增长。十三五前期虽然受到淘汰过剩产能和大气污染治理的影响出现产量下降，但只是短暂调整，2021年粗钢产量达到10.33亿吨，较2005年的3.4亿吨增长了6.93亿吨，粗钢产量已占世界粗钢总产量的52.95%。其中长流程工艺产量约9.1亿吨，短流程工艺产量约1.2亿吨，年消耗煤炭约6.8亿吨，主要消耗冶金煤，包括焦煤和喷吹煤等。相应的，我国生铁产量也2005年的3.3亿吨上升到2020年的8.68亿吨。

2. 转型路径

(1) 推动能效提升

近年来，随着我国钢铁行业技术进步、设备大型化、落后生产能力逐步淘汰、节能技术普及以及铁钢比降低和喷煤比提高，我国钢铁工业能耗指标有很大改善。在重点钢铁企业主要生产工序中，烧结、焦化、炼铁、转炉、电炉等工序的能效已经超越国际先进水平，未来继续挖掘这些环节的节能潜力越来越小。

但是在入炉焦比和喷煤比指标较国际上还有较大差距，可见我国在高炉耗煤结构上还有优化空间。主要抓手包括标准化水平提高、原燃料品质提升和数字化技术应用。通过完善工艺技术标准、提高标准化操作水平，可以提升综合燃料利用效率。长流程冶炼中原辅料质量

提升也可以进一步降低煤炭消耗，包括提升铁矿石品位、使用高质量焦炭、提高炼铁炉料球团矿配比等。未来可以推广应用数字化、智能化技术，可进一步降低能耗。

（2）推进短流程改造，提升废钢使用量

钢铁生产过程中直接煤炭消耗主要来自于长流程（高炉-顶吹氧转炉）工艺，短流程（电弧炉）工艺可直接使用电力熔化废钢进行冶炼，减煤效果显著。由于我国废钢资源匮乏，我国铁钢比高居不下，远高于国际水平。2020年我国铁钢比为0.82，世界平均水平为0.71，扣除中国后的世界平均铁钢比为0.56，详见图5-2-3。

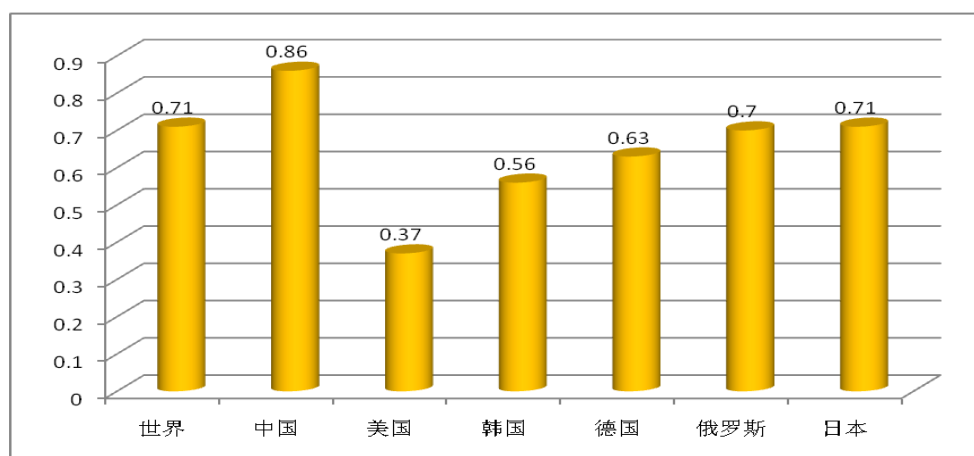


图 5-2-3 我国与世界主要国家铁钢比

随着国内废钢供应量的上升，预计中国未来的电炉钢比例将逐步提升。工业和信息化部2020年12月31日编制的《关于推动钢铁工业高质量发展的指导意见（征求意见稿）》中提到：到2025年电炉钢产量占粗钢总产量比例提升至15%以上，力争达到20%；废钢比达到30%。2020年社会废钢产量约为2.4亿吨，根据麦肯锡报告预测，2030年有望提升到3.7亿吨，2050年达到4.5亿吨。通过短流程产能的逐步爬坡，

短流程电炉钢产量占比从当前的10%，到2030年预计提升到30%，到2050年预计提升到70%以上。按照这个比例测算，短流程工艺将贡献1.5亿吨减煤潜力。

（3）发展新兴炼钢技术，如氢能冶炼

氢气冶炼技术如氢气直接还原炼钢取得技术突破，同时国内制绿氢的成本快速下降，将使得国内氢气炼钢项目可以规模化发展，国内钢铁行业煤耗和碳排放曲线将出现明显的拐点。

5.2.3 建材行业煤炭消费转型

传统的建筑材料包括水泥、平板玻璃、建筑卫生陶瓷、墙体材料以及石灰等产业，属能耗较高的窑炉工业。从耗煤结构来看，水泥耗煤占建材总体耗煤量的60%以上，是最主要的耗煤建材。因此本节重点分析水泥的煤炭消费转型。

1. 行业现状

（1）水泥产量进入高位平台期，熟料产量仍保持增长态势

自1985年以来，我国水泥产量已连续35年稳居世界第一，目前产量约占世界水泥总产量的57%左右。2014年我国水泥产量达到阶段性高点24.8亿吨；2015-2021年，全国水泥产量基本在22-24亿吨波动。2021年水泥产量为23.8亿吨，人均水泥消费量约1700千克，远高于发达国家人均600-700千克的水泥消费峰值。

（2）规模结构有明显提升，日产2500吨以上水泥熟料生产线产能占比超过70%

我国水泥熟料生产线单线规模逐年上升，据统计，日产2500吨以

上生产线产能已占总产能71.6%。

(3) 碳排放主要来源于熟料生产

水泥生产过程中的二氧化碳排放来源主要包括：工艺过程导致的二氧化碳直接排放、燃料燃烧导致二氧化碳直接排放、外购电力消耗引起的二氧化碳间接排放等。其中，工艺过程二氧化碳排放占到60%以上，主要是石灰质原料在熟料搬烧过程中受热分解产生的二氧化碳；燃料燃烧排放次之（35%左右），外购电力消耗的排放最小。

2. 转型路径

(1) 推进结构调整，引导低效产能有序退出

大型窑炉能效较高，结构调整减少了与燃料和动力相关的排放。与2000—2500t/d的窑炉相比，5000t/d以上的窑炉的燃料和动力强度分别降低了8.90%和14.57%。因此，要加快淘汰落后产能进程，大力推进2000吨/日及以下普通水泥熟料生产线淘汰或产能置换；对产能利用率较低的内蒙、宁夏、黑龙江、吉林、辽宁等省（区），加大2500吨/日及以下普通水泥熟料生产线淘汰力度。

(2) 推广高效节能技术，提升能效水平

对超过《水泥单位产品能源消耗限额》（GB16780）标准的企业实行高效节能技术改造。推广六级预热预分解、两档式短窑、第四代冷却机等先进烧成系统技术；配备低一次风量新型燃烧器，推进现有炉窑系统辅助技术改造；同时，加快推广立磨、辐压机终粉磨以及联合粉磨等高效粉磨技术。

(3) 积极推进燃料替代，加大清洁能源使用

水泥行业可利用的替代燃料有 100 多种，替代燃料经预处理后投入回转窑中，可实现煤的替代，是重要的行业减碳技术。当前，应加强水泥窑协同处置废轮胎、生活垃圾、污泥等固体废物工作，提升关键技术装备水平，大力推广相关燃料替代技术的研发和应用。同时，逐步加大清洁能源的使用，鼓励烘干等工序使用余热或电能，禁止采用独立热源的烘干设备。

(4) 鼓励工业废料替代原料

利用电石渣、白泥等替代石灰石生产水泥熟料，可有效降低单线二氧化碳排放。应加大对粉煤灰，钢渣，硅钙渣，矿渣等氧化钙含量较高的大宗工业固体废物的规模化应用研究，替代石灰质原料，在保障水泥产品质量的基础上，有效降低碳酸盐分解系数。推广使用以高炉废渣、电厂粉煤灰、煤矸石等废渣为主要原料的超细粉替代普通混合材，有效减少水泥熟料的消耗量。

5.2.4 现代煤化工行业煤炭消费转型

1. 行业现状

(1) 现代煤化工行业碳排放量已占石化化工行业的 1/5 左右

当前在我国煤炭主产区布局了一批现代煤化工项目（如图 5-2-7 所示），其碳排放也是我国煤炭利用的碳排放来源之一。根据 2020 年现代煤化工产品的产量，测算可知，2020 年现代煤化工产业 CO₂ 排放总量约 3.2 亿 t，约占石化化工行业碳排放量的 22.5%。在现代煤化工产业中，煤制烯烃碳排放约占 23.3%、煤制油碳排放约占 10.9%、煤制天然气碳排放约占 6.8%、煤制乙二醇碳排放约占 6.2%、煤制甲

醇(不含煤制烯烃中甲醇)碳排放占比最大, 约 52.8%。

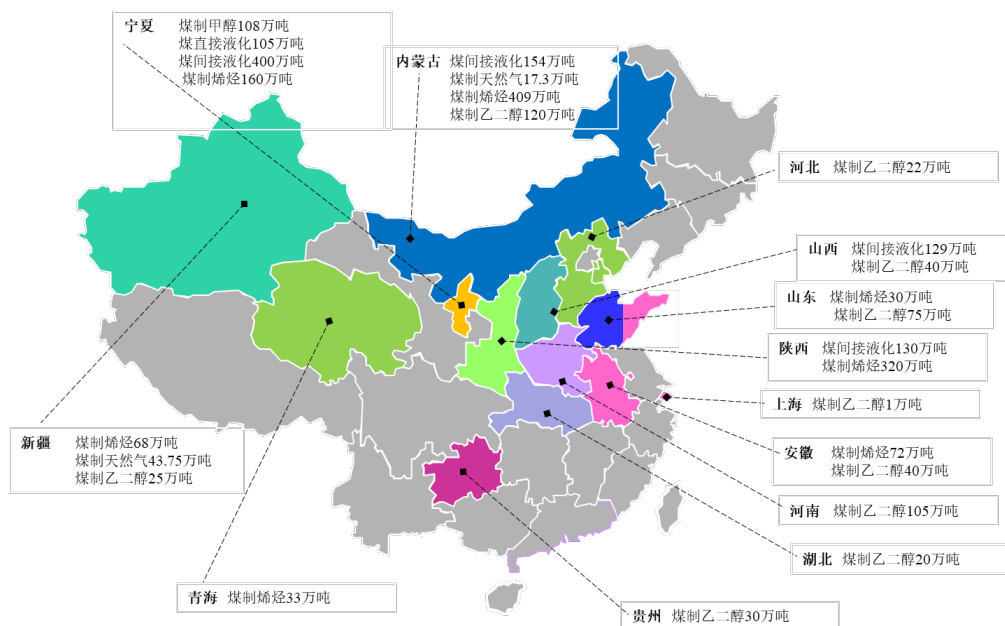


图 5-2-7 我国现代煤化工产能分布

(2) 工艺过程碳排放是现代煤化工碳排放的主要来源

统计各子行业的碳排放结构可知, 现代煤化工全行业二氧化碳中, 约 33%来源于化石燃料燃烧碳排放, 约 3.5%来源于外购电、热间接碳排放, 约 63.5%来源于工艺过程碳排放, 工艺过程碳排放主要是变换工序产生的 CO_2 , 在低温甲醇洗脱碳工序排放。由此可见, 工艺排放是现代煤化工产业碳排放中的重点, 主要是通过变换净化工序排放。变换是为了将合成气中的 CO 变换为 H_2 , 以调节后续合成反应的 H_2/CO 比。从煤气化中获得合成气中的 C 元素, 有相当一部分通过后续变换生成 CO_2 排放到了大气中。因此, 通过推进现代煤化工与新能源耦合, 使工艺过程中降低变换比或者不变换, 将大大降低工艺过程的 CO_2 排放。

2. 转型路径

(1) 绿 H₂ 用作补氢原料

现代煤化工与可再生能源制氢的深度结合，将是化工行业生产化工产品的重要理想路径。如果不发生变换反应，煤气化后进入合成气中的 C 只有少量 CO₂(煤气化过程中产生)在后续工序排放，大部分都通过合成反应进入产品。后续合成反应所需要的 H₂ 大部分由可再生能源制氢补充，这样可以做到工艺过程基本不排放 CO₂。

经初步测算，当前煤制氢成本约为 0.7 元/标方，而绿 H₂ 的成本在 2 元/标方以上。可见绿 H₂ 在成本上劣势明显，影响了企业应用的积极性，导致当前还不能大规模应用于这一技术。但随着技术的进步，碳中和的形势驱动，未来这一过程有望得到规模化应用，从而实现现代煤化工的大幅降碳。

(2) 用绿电驱动替低蒸汽驱动

化石燃料燃烧排放的 CO₂ 约占现代煤化工产业碳排放量的 30%，主要排放源来自为煤化工工艺装置提供动力蒸汽、热源和自发电而配套建设的锅炉装置。目前，大多数企业从经济性的角度选择蒸汽驱动工艺装置的大型压缩机，从而增大了燃煤消耗。实际上，工艺装置中此类压缩机可以选择电力驱动。

未来，在碳中和的大背景下，我国的电力结构将发生深刻变革，据全球能源互联网发展合作组织发布的《中国 2030 年能源电力发展规划研究及 2060 年展望》预测，2025 年我国煤电达峰，2050 年清洁能源发电占比超过 80%，2060 年煤电装机有望全部退出。因此，现

代煤化工产业进一步提高电力驱动的比例，实际上是增加了应用绿电的比例，可大大降低燃料煤的消耗，进而实现燃料端的大幅碳减排。

六、推进煤炭行业转型发展的政策建议

6.1 加强顶层设计，支持有序退出和转型

煤炭转型是一项系统工程，需要顶层设计。应成立专门机构统筹转型过程中的各项事宜；同时设立转型基金，保障公正转型。

1. 成立专门机构，制定科学退出方案

从国际经验来看，德国召集了来自能源部门、褐煤矿区、工业、环境组织、工会、科学界和联盟政党的共 31 位代表，成立了“增长、转型和就业委员会”（即退煤委员会），以兼顾各方利益，制定科学合理的退煤方案。

建议我国组织成立煤炭退出的专门行政机构，统筹做好资金安排、人员安置、资源合理利用、生态修复，以及矿区接续产业和转型发展等工作，研究制定煤炭行业退出规划，重点围绕保障国家能源安全和双碳目标、各省产业结构优化布局和升级、企业技术进步和绿色低碳化等方面，明确各省煤炭退出时序，确保煤炭平稳有序退出。

2. 设立煤炭转型发展专项基金

煤炭转型是一项长期、复杂的工程，需要巨量的资金支持。根据本报告第 3 章的分析，从国际经验来看，德国、日本等国家都设立了专项资金或专项补贴，对因煤炭退出而造成的人员失业、企业转产进行资金支持。

建议从国家层面设立煤炭转型发展专项资金，用于处置资产、治理环境、培育新业态、新产业等，在遵循“政府引导、市场运作、科学决策、防范风险”等原则的基础上，从中央、省级政府，加强资金和政

策倾斜，提高转型动力。

转型发展基金可来自以下四个方面：第一，中央政府的国有资本收益。多年来煤炭企业上缴了大量的利税，煤炭行业发展关系到国计民生，中央政府应当加大对煤炭转型发展基金的支持力度。第二，地方政府征收的资源税。煤炭行业往往是当地的经济支柱产业，煤炭转型发展基金关系到整个地区经济发展，地方政府应投入配套资金支持企业发展。第三，煤炭企业自筹资金，煤炭企业自身属性决定了企业自身发展的周期性。因此，在煤炭企业正常运行时，企业应当通过自筹的方式加大对煤炭转型发展基金的投入。第四，金融机构转型扶持资金。通过发行股债、贷债结合产品和绿色债券等，为煤炭行业提供金融支持，助力行业转型升级。

6.2 发挥金融财税政策对煤炭转型的支持作用

金融财税政策能有效的引导产业发展，效果较为明显，可达到精准调节的目的。从现有经验来看，国内外在针对煤炭转型过程中，都出台了多项金融财税政策，从税收、贷款利率、补贴补助等方面支持行业转型。

1. 制定税收优惠政策

实施支持煤矿转型发展的税费政策。由于各项历史欠账严重，再加上体制遗留包袱，我国很多老旧煤矿在资源枯竭时不能简单关闭，还需要解决人员、环境等各种问题。所以应为矿区的转型发展实施优惠的税收政策。

一是对于已经处于衰退期的煤矿企业，政府可实行增值税即征即

返、增加所得税抵扣范围等税收政策。

二是推进衰竭煤矿土地资源生态恢复、二次开发利用的税收优惠政策。通过税收优惠、资金补贴等形式，鼓励煤矿企业或地方政府积极治理煤炭开采造成的地表沉陷、矿井“三废”排放造成的环境污染等问题，二次开发利用煤矿地表建筑物及土地，积极推动当地经济发展。

三是建议国家加大税收减免力度，鼓励企业发展。尤其是针对能够解决当地煤矿工人就业问题的企业，应给予一定的经济补贴。

2. 建立多渠道融资体系，满足转型资金需求

一是引导金融机构实施差别化的金融政策，对煤炭企业转型项目，加大信贷投放，通过发行低利率专项债代替高成本融资、降低资金成本，缓解资金紧张，支持煤炭企业通过兼并重组、产品结构调整、技术升级等手段转型升级。

二是通过金融工具创新，加大对煤炭行业债转股支持力度，支持金融资产管理公司、地方资产管理公司对煤炭行业开展市场化债转股，适当增加国有资本注入、财政专项补贴等资金支持。

三是鼓励商业银行、证券公司、资产管理公司、股权投资基金等金融机构与煤炭行业共同合作投资建立产业投资基金，加大对绿色产业、环保产业、新兴产业的投资力度。

3. 完善政策体系，防范金融风险

随着煤炭的转型退出，一方面可以导致股权价值重估/股票价值缩水，甚至形成不良资产；另一方面也将影响煤炭企业偿债能力，并将企业的违约风险进一步向金融机构传导，使债权人、银行遭受财务

损失。基于此，建议：

一是加快制定出台退出煤炭企业债务和资产处置具体实施办法。一方面对退出矿井报废、减值的特定资产可以多种形式适当补偿资产处置损失。另一方面是尽快落实煤矿市场化退出配套政策，包括提供财政补贴和税收优惠，明确资本市场对煤炭企业市场化债转股的相关支持等。再一方面鼓励对退出煤矿采用银行核销、资产管理公司打包收购等多种组合处置手段，并从政策制定和实施方面给予适当倾斜。

二是加大对退出煤炭企业金融财税支持力度。一方面在科学评估基础上，结合煤炭行业以及不同区域煤炭企业实际，科学制定差异化的煤炭企业退出奖补资金标准，并优化使用范围，提高奖补资金效率。另一方面综合利用财税、金融、资源、产业等政策工具，加大对退出煤炭企业发展符合国家产业政策的相关产业的扶持力度。

6.3 推动矿区生产与转型的超前对接

转型转产需要在产业衰退之前就提前谋划布局，降低“突发转型”对社会的冲击。

一是整体考虑，明确矿区资源枯竭后的利用途径或要求。建议在矿区资源枯竭前，统筹考虑矿区所在地的经济发展、人文、地理位置、交通条件等因素，综合考虑矿区转型发展的适用方向，事先定位老矿区资源枯竭后的转型途径。根据矿区资源枯竭后的转型途径指导矿区的生产布局，有序推进矿区转型工作。

二是工程设计充分考虑矿区转型的要求。矿区转型不仅是废弃、关闭矿井要面临的问题，更是每处矿井都要面对的问题。因此，矿区

转型必须要从矿区建立时就考虑。建议矿区自工程设计之时起，就要充分考虑矿区转型发展等问题，在设计方案中增加“矿区转型发展”章节内容，结合政府对矿区转型发展的途径或要求，提前设计矿区转型。

6.4 优化人员结构，健全人才保障机制

人才队伍是煤炭行业转型升级的重要支撑，要优化人员结构，妥善安置富余人员，健全人才保障机制。

1. 妥善安置富余人员

一是加强对富余人员的技能培训。员工既是企业的宝贵财富，也是社会的宝贵财富。随着企业发展，对员工的知识技能等提出了新要求，在优化业务过程中，可能出现部分富余人员。因此，需结合业务拓展等实际需求，有的放矢地开展相关培训。

二是以员工为主体，探索有序推进混合所有制。在确保国有资产保值前提下，鼓励国企员工以资源持有者身份入股、民资以资金入股，推进资源的有效挖潜和新业务拓展，为企业实现有效益的发展创造条件。

三是给予富余人员就业和信贷支持。在保障基本收入的条件下，采用鼓励员工以国企员工身份创业等手段化解劳动力富余问题，同时，给予创业人员信贷支持。

2. 打造高素质人才队伍

一是有针对性的制定人才培养、人才引进等相关制度，加大对绿色技术人才、智能化技术人才的引进力度，尤其是在现有专业基础熟悉矿业开发、资源利用以及环保要求等方面的高端领军人才。

二是抓好人力资源开发、培训、使用和优化配置，积极培养引进安全、开采、装备、运营等方面的高端人才和节能环保、新材料新能源、金融、现代物流等方面的创新人才，打造结构合理、素质优良、梯次分明的人才队伍。

三是完善激励机制。完善人才引进、鼓励创新、促进就业等方面的配套政策，重点加大对创业创新人才的投入力度，金融支持力度和知识产权的保护力度。注重长期激励和短期激励相结合，充分调动人才工作的主动性和创造性。

6.5 强化煤炭转型综合性服务平台建设

搭建煤炭转型综合性服务平台，对接共性和个性需求。

一是利用平台整合资源，解决个性需求。煤炭转型综合性服务平台可税务、发改委等多个与转型息息相关的政府部门和专业机构的服务资源，随时通过服务平台与相关部门协调，解决个性需求，形成帮助行业转型解决问题的合力。

二是平台重点解决行业共性问题。由于行业共性问题对企业的影响面广，且比较容易成为制约行业发展的瓶颈问题。煤炭转型综合性服务平台可充分利用服务平台的优势，提高主动识别需求的能力，深入了解行业发展状况和发展规律，解决好行业转型共性问题，从而优化煤炭企业发展环境、促进行业转型。

三是通过煤炭转型综合性服务平台推动创新创业。利用平台汇聚行业创新资源，凝聚创新力量，集聚创新优势，系统优化行业创新创业环境的同时，紧密结合当前煤炭行业与企业的发展情况与实际需求，

通过提高行业科技含量、延长拓展产业链等，逐步建成创新发展、绿色环保、安全高效的煤炭行业“双创”平台，助推行业转型发展，培育行业发展新业态、新产业，形成新的经济增长点。

6.6 完善市场机制，营造有序规范的市场环境和营商环境

尊重市场在资源配置中的决定性作用。煤炭行业退出需要遵循政策引导下的市场规律，尊重市场在资源配置中的决定性作用，通过政府引导、市场主导，实现有序退出。

一是坚持市场化法治化原则，建立公平竞争的制度环境。未来在合法合规的前提下，遵循市场机制，通过安全、环保、技术、质量等标准，政府引导和规范市场规则，建立公平竞争的制度环境，通过优胜劣汰的竞争，将破坏环境、安全隐患多、经济效益差和亏损的煤企淘汰掉，企业根据市场供需来调整煤炭产量，减少成本高、质量差的煤矿产量和产能，提高资源的利用效率。政府监管部门实时发布指导性信息，指导企业走向，同时在政策、税收等方面进行调解。

二是持续推进简政放权、畅通政企沟通渠道，完善市场监管、优化政府服务，政府引导但不是主导，注重提高企业活力，鼓励高端人才引进和先进技术开发，通过土地、资金、税收等支持政策引导产业协同，降低市场运行成本，提高运行效率，构建“亲”“清”新型政商关系，营造稳定公平透明的营商环境。

6.7 建立长期转型效果评价体系，务求实效促进转型发展

当前，国家及部分省（市）政府都出台了多项支持行业转型的相关政策。但由于缺乏政策效果评价体系，导致政策执行情况无法考量，

政策不能随效果情况、形势变化等及时调整。

因此，建议政府建立一套科学、合理、客观的转型效果的评价方法，对转型结果进行如实的评价，并根据评价结果合理调整转型路径以及各项政策。同时，对转型效果的评价工作要形成一套完整的制度，能够坚决贯彻实施，对于未按要求和规划开展转型工作的企业和涉及的政府部门，要有相应惩罚措施。