

矿业综述

文章编号: 1004-4051(2023)09-0022-10

DOI: 10.12075/j.issn.1004-4051.20230483

## “双碳”目标下煤炭发展及对策建议

唐珏, 王俊

(自然资源部中央地质勘查基金管理中心, 北京 100830)

**摘要:** 煤炭作为我国储量最大、最经济、最安全的能源资源,是我国能源体系的基石,长期以来支撑着我国国民经济和人民生活用能的需要,为我国经济社会发展和国家能源安全稳定提供了有力保障。随着我国步入新的发展阶段,在推动经济发展的同时,更加重视对生态环境的保护,“双碳”战略是党中央落实环境保护的重大战略决策,体现了我国基于推动构建人类命运共同体的责任担当,同时也对煤炭发展提出了更新、更高的要求。在“双碳”目标倒逼煤炭绿色低碳发展的新形势下,煤炭兜底保供和支撑新能源发展的责任更为重大。基于我国能源消费现状,研究分析了“双碳”目标下我国煤炭发展面临的挑战和原因,指出需立足煤炭主体能源地位的基本国情,以“双碳”目标为指引,聚焦煤炭增产、保供、维稳工作,推动煤炭低碳转型发展,统筹抓好科技创新和人才建设,加快构建煤炭发展新格局,为夯实煤炭能源“压舱石”基础,助推煤炭低碳转型和高质量发展,保障国家能源安全与经济生态和谐共进提供有益参考。

**关键词:** 煤炭; 增产保供; 能源安全; “双碳”目标; 降碳; 节能减排; 清洁利用

**中图分类号:** TD-9 **文献标识码:** A

### Coal development and countermeasures under the carbon peaking and carbon neutrality goals

TANG Jue, WANG Jun

(Central Geological Exploration Fund Management Center, Ministry of Natural Resources, Beijing 100830, China)

**Abstract:** As the largest, most economical and safest energy resource in China, coal is the cornerstone of China's energy system, which has long supported the needs of China's national economy and people's living energy, providing a strong guarantee for China's economic and social development, as well as national energy security and stability. As China enters a new stage of development, it pays more attention to the protection of ecological environment while promoting economic development. The carbon peaking and carbon neutrality strategy is a major strategic decision of the Party Central Committee to implement environmental protection. It reflects China's responsibility to promote the construction of a community with a shared future for mankind, and also puts forward newer and higher requirements for coal development. In the new situation where the carbon peaking and carbon neutrality goals forces the green and low-carbon development of coal, the responsibility of ensuring the supply of coal and supporting the development of new energy is more significant. Based on the current situation of China's energy consumption, studies and analyzes the challenges and reasons for China's coal

收稿日期: 2023-07-03 责任编辑: 刘硕

第一作者简介: 唐珏(1986—),女,助理研究员,主要从事矿产资源管理与政策研究、信息化管理工作, E-mail: 986011583@qq.com。

引用格式: 唐珏, 王俊. “双碳”目标下煤炭发展及对策建议[J]. 中国矿业, 2023, 32(9): 22-31.

TANG Jue, WANG Jun. Coal development and countermeasures under the carbon peaking and carbon neutrality goals[J]. China Mining Magazine, 2023, 32(9): 22-31.

development under the carbon peaking and carbon neutrality goals. It then points out that it is necessary to base on the basic national conditions of coal as the main energy source, takes the carbon peaking and carbon neutrality goals as guidance, focuses on the work of increasing coal production, ensuring supply and maintaining stability, promotes the low-carbon transformation development of coal, and coordinates scientific and technological innovation and talent construction to accelerate the construction of a new pattern of coal development. It provides useful references for consolidating the “ballast stone” foundation of coal energy, promoting the low-carbon transformation and high-quality development of coal, and ensuring national energy security and harmonious economic and ecological progress.

**Keywords:** coal; increase production and ensure supply; energy safety; carbon peaking and carbon neutrality goals; carbon reduction; energy conservation and emission reduction; clean utilization

## 0 引言

煤炭是我国重要的基础性矿产资源和主体性能源原料,为国家经济和社会发展做出了不可磨灭的历史贡献。然而,随着工业蓬勃发展,煤炭资源的大规模开发利用引发了温室效应、地表塌陷、水环境污染和废弃物排放等生态环境污染问题,威胁人类生存安全。

在我国,煤炭燃烧产生的二氧化碳占二氧化碳排放总量的70%以上。我国主动承担大国责任,积极采取措施应对气候变化,践行绿色发展理念,将重点放在管控二氧化碳排放方面,同全球各国一道保护地球家园,提出二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,单位国内生产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,且努力争取2060年之前实现碳中和的“双碳”发展目标和重大战略决策,为人类发展和进步指明了新的前进方向。

“双碳”新形势下,煤炭作为我国基础能源和重点碳减排对象,坚定不移走生态优先的绿色低碳之路,对于保障我国资源和能源安全供应,以及煤炭可持续发展具有重要意义。

### 1 我国现阶段能源消费结构概述

根据《中国矿产资源报告2022》数据,截至2021年底,我国煤炭探明资源储量2 078.85亿t,是我国最为丰富的能源<sup>[1]</sup>。我国能源消费结构中,煤炭占比在2017年之前始终超过60%。尽管近几年随着能源多元化和新能源迅猛发展,煤炭在能源消费中的比重有所下降,但根据《中华人民共和国2022年国民经济和社会发展统计公报》数据,我国煤炭消费量仍占能源消费总量的56.2%,是我国能源安全的基石。

#### 1.1 经济高速发展带来能源需求刚性增长

我国经济整体保持稳中向好,能源需求不断增加,煤炭作为基础能源和重要原料的地位也更加凸显。2018—2020年,我国煤炭累计新增查明资源储量975.84亿t<sup>[2]</sup>,目前我国每年煤炭消费量在40亿t

左右;预计2022—2025年煤炭供应将保持高位水平,全国能源消费总量年均增速约为3.3%,2025年达到59.4亿t标准煤,其中煤炭消费量将保持年均2.07%的增长<sup>[3]</sup>。

与此同时,我国农村和城镇化发展对能源的需求不断增大。现阶段我国城镇人均能源消费量是农村的3.5倍,将来农村能源消费水平会随着发展逐渐增加,未来20年农村将成为汽车消费的主要市场,且随着城镇化步伐加快,每年约有1 000万人口从农村进入城镇,能源消费总量将继续提升,对能源提出巨大需求,对于以煤炭为主要能源的我国而言,能源可持续发展至关重要。

#### 1.2 新形势下煤炭的战略属性与“压舱石”作用更加突出

基于“富煤贫油”的能源结构特点,目前我国煤炭生产与消费占比较高,石油和天然气高度依赖进口,2022年我国石油对外依存度为71.2%、天然气对外依存度为40.2%,能源供应安全面临严峻挑战<sup>[4]</sup>。乌克兰危机的长期化和复杂化给全球能源体系带来深远影响,煤炭、石油和天然气供需错位、价格飙升。国际能源进口成本大增、地缘政治等不稳定因素,致使我国油气进口保供面临多重挑战。国内能源高质量保障实体经济对能源消费增长的刚性需求与油气进口保供风险叠加,对保障国家能源安全提出了更新、更高的要求。

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高。其他能源方面,目前我国除青藏高原和雅鲁藏布江等地外,水电能源基本开采殆尽,发展空间不大;风力和太阳能受到风力和地理条件的限制,产量有限,且因输出电力不稳定和并网技术的限制,很难在短时间内大规模投入应用;受铀的原材料和地域限制,核裂变发电在总量和规模上均无法占据主导地位;目前比较成熟、有望替代煤炭的非化石能源,则受技术、经济、环保等方面因素的制约,难以在短期内取代煤炭<sup>[5]</sup>。

煤炭资源利用不受气候、季节的影响,具有经济、稳定、可靠等优点,同时由于煤炭资源大宗商品的属性,在企业、产业、市场、全社会消费等层面具有良好的基础和积累,煤炭基础能源地位和资源优势依然明显<sup>[6]</sup>。未来一段时间内,工业化、城镇化、信息化和农业现代化依然是我国的主要发展方向,能源需求仍将保持稳步增长,在石油和天然气资源储量不足,且没有储量大、价格低、绿色环保的其他新能源接替的情况下,煤炭资源在我国国家能源结构中的主体地位短期内难以被取代。煤炭资源是我国经济建设的重要推动力,也是我国能源安全供应的重要支撑力,我国不仅要保障煤炭资源的安全稳定供应,同时要促进煤炭改革,为能源结构调整、新能源和可再生能源的发展提供更大的支持和发展空间。

## 2 “双碳”目标下我国煤炭发展面临挑战

煤炭推动着我国的经济的发展,但随之而来的环境问题也日益凸显,高污染高排放加快了实施发展低碳经济的步伐,“双碳”目标下我国煤炭发展迎来巨大挑战。

### 2.1 煤炭资源安全保供能力亟待提升

受资源分布消费不匹配、探采积极性下滑等因素影响,我国煤炭对内供需形势偏紧、对外依存度偏高、应对安全风险能力偏弱。

#### 2.1.1 煤炭产地和消费地逆向分布

1)我国煤炭资源总量丰富、品种齐全、分布广泛,但在区域储量、分布和消费等方面存在不均衡性。从煤炭资源分布及储量情况看,我国煤炭资源分布不均衡,呈现“西多东少、北多南少”的特征。根据《2020年全国矿产资源储量统计表》数据,我国西部地区煤炭储量 896.50 亿 t,占全国储量的 55.2%;中部地区煤炭储量 606.23 亿 t,占全国储量的 37.4%;东部地区煤炭储量 74.74 亿 t,占全国储量的 4.6%;东北地区煤炭储量 45.41 亿 t,占全国储量的 2.8%<sup>[7]</sup>。从大型煤炭开发基地建设情况看,根据《全国矿产资源规划(2016—2020年)》数据,我国共有 14 个煤炭能源基地,包含 162 个国家规划煤矿,其中 9 个煤炭基地分布在晋陕蒙新地区(图 1)<sup>[8]</sup>。从煤炭消费情况看,我国煤炭年平均消费量较高的地区集中在中东部地区,近五年煤炭消费量超过 25 000 万 t 的省份分别是山东省、山西省、河北省、江苏省和内蒙古自治区;安徽省、广东省、河南省、辽宁省、新疆维吾尔自治区和陕西省的消费量在 15 000 万 t 以上,紧随其后;海南省、青海省、北京市的煤炭消费量为全国最低。由此可见,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,资源承载区域与消费

区域不平衡,产地和消费地逆向分布,随着国家加速推进“走出去”产能工作,煤矿的生产能力逐渐集中到西部地区,区域供需矛盾将越发凸显<sup>[8]</sup>。

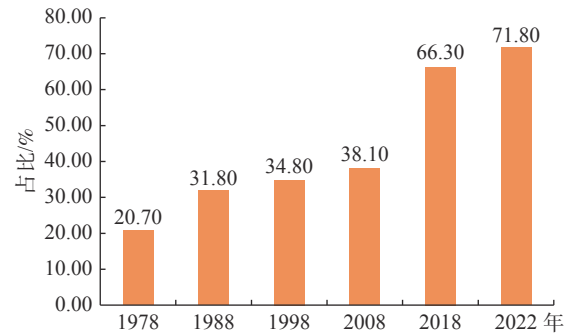


图 1 1978—2022 年晋陕蒙新煤炭产量占全国的比重情况  
Fig. 1 Proportion of coal production in Shanxi, Shaanxi, Inner Mongolia and Xinjiang in the whole country from 1978 to 2022

2)我国的煤炭资源和产量主要集中在晋陕蒙新地区,而消费地多集中在东南沿海地区、南方地区等,煤炭生产基地远离消费中心,呈现出“北煤南运,西煤东运”的供需格局,运输距离长、运输成本高,加剧了远距离输配煤炭的压力。此外,铁路煤炭运力配置不足,运煤专用车比重低,用煤高峰存在运力缺口。近年来,随着煤炭产量、运输和供应重心向鄂尔多斯市、榆林市等地区偏移,煤炭供应对铁路煤炭运输的依赖程度进一步提高,而既有铁路短期运力增扩难度大,无法满足煤炭外运需求,或将制约煤炭供应。

#### 2.1.2 精准调控能力不足,探采积极性不高

1)随着大部分煤矿开采水平向深部延伸,生产系统衔接增多,我国优质、易开采煤炭资源储量急剧下降;此外,由于我国煤炭资源的精细勘探能力较弱,煤炭储备信息化和智能化程度偏低、煤炭储备应急管理协同能力不强、煤炭供给弹性产能机制缺乏,导致煤炭供应的精准调控和保障能力不足<sup>[9]</sup>。

2)近几年,我国煤矿固定资产投资完成率总体下降,呈现出煤炭资源储量高位、资源勘查投入降低、探矿权数量下降态势。第一,矿井建设周期长,尽管国家不断深化“放管服”改革,优化部分审批程序,但受手续繁杂、项目管理难度大等因素影响,煤矿建设项目周期长,核准的新建项目或改扩建项目实际贡献产能明显滞后,一定程度上打击了投机性建矿活动。第二,受相关政策调整影响,煤矿生产成本增大、收益减弱,主要表现在矿业权出让费用大幅增高、新建矿井项目前期投资加大、煤矿投资收益率下降,造成矿业权人面临较大的资金压力,探采积极性降低。第三,由于生态环境保护管理和探矿权分配机制不健全,探矿权的有效投资范围收窄;同时,政府

宏观调控加强,对煤矿在建项目进行清理,并对新开工项目进行控制,一定程度上抑制了煤炭投资增速,限制了煤矿产能的扩张。

### 2.1.3 国内供应偏紧,对外依存度高

1)我国国内煤炭市场供应偏弱。从能源消费总量来看,我国仍处于能源消费上行阶段,2022年我国能源消费总量为54.10亿t标准煤,较2021年增长了1.70亿t,同比增长2.9%(图2);疫情常态化防控下经济稳定复苏,煤炭消费在能源消费总量中占比虽有所下降,但绝对量仍呈现刚性增长态势,2021年我国煤炭消费量为30.60亿t标准煤,比2020年增长了1.26亿t,同比增长4.3%。2021年以来,我国煤炭供给不足问题突出,煤炭市场剧烈波动,煤炭等能源价格创多年来新高,区域性出现“一刀切”拉闸限电、限产或运动式“减碳”现象,能源安全和煤炭保供引起国家高层及社会广泛关注。从2021年4月出现电煤缺口开始,国家和地方出台了一系列保供增产稳价的超常应急调控措施,各主产煤省区和大型国有煤炭生产企业纷纷加快煤炭产能释放,煤炭供需形势有所好转,但仍存在一定程度的供给缺口<sup>[4]</sup>。

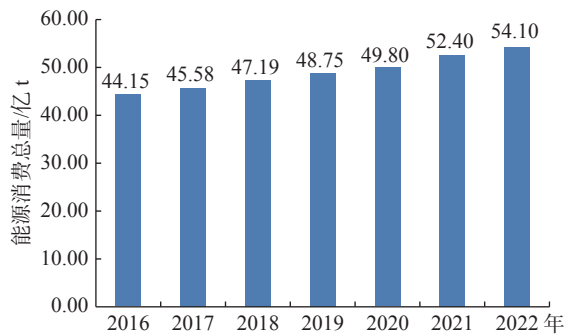


图2 2016—2022年我国能源消费总量

Fig. 2 Total energy consumption in China from 2016 to 2022

2)我国煤炭进口量保持高位。2022年,我国煤炭生产量为44.96亿t,同比增长9%,煤炭产能持续释放,煤炭产量稳定增长(图3);煤炭进口量为2.93亿t,同比减少9%(图4);耗煤量占世界总量的48%,仍需进口大量煤炭。2021年以来,受疫情、极端天气、能源绿色转型等多因素叠加影响,全球煤炭供应紧张,煤价持续高涨;此外,地缘政治、贸易摩擦、限价政策等因素也促使了全球油气供需紧张以及价格持续上涨,导致国际煤炭格局重塑,能源消费向煤炭倾斜,而煤炭主要出口国的产量和出口量均同比下滑,煤炭出口持续收紧,加之欧洲对俄罗斯煤炭实行禁运,进一步加剧了全球煤炭供应紧张,国际能源供应形势更加严峻复杂,我国煤炭进口难度加大,煤炭安全面临国际性挑战。

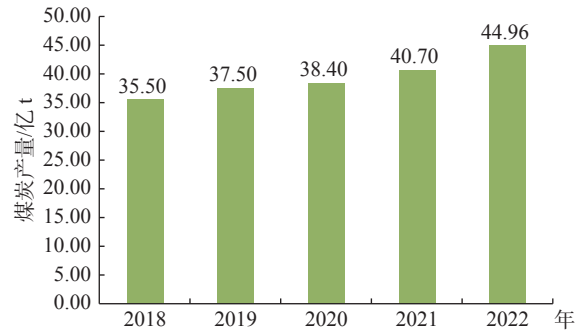


图3 2018—2022年我国煤炭产量

Fig. 3 Coal production in China from 2018 to 2022

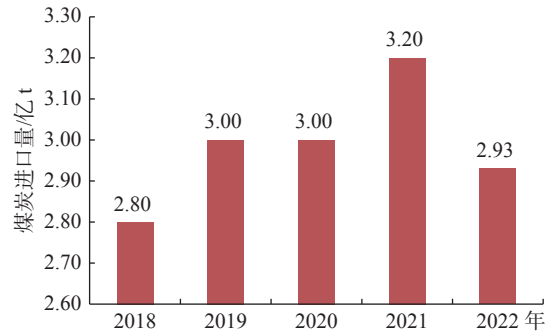


图4 2018—2022年我国煤炭进口量

Fig. 4 Coal imports in China from 2018 to 2022

## 2.2 “双碳”目标对煤炭发展提出新要求

“双碳”目标是我国做出的重大战略决策,明确提出要推动我国工业领域绿色低碳发展,对我国煤炭发展及能源供需格局均产生深远影响。

### 2.2.1 地位变化要求煤炭转型升级

作为煤炭生产大国和消费大国,我国经济发展长期依赖传统化石能源,尤其对煤炭依赖度偏高,“双碳”战略的实施,对我国煤炭发展形成了巨大压力,也提出了严峻挑战。根据国家发展战略规划,我国化石能源消费比重将逐年下降,从2019年84.7%降至2025年80.0%,2030年降至75.0%,到2060年将降至20.0%以下。尽管我国大幅消减了煤炭产能,但根据国家统计局数据,2022年全国煤炭消费量占能源消费总量的56.2%<sup>[2]</sup>,比2021年上升了0.3%。

此外,新能源产业的快速发展也对煤炭行业造成巨大冲击。根据国家能源局数据,2020年我国非化石能源占一次能源消费比重为15.9%,可再生能源在能源消费中的占比持续提升,从能源电力消费的增量补充变为能源电力消费增量的主体;随着可持续发展的不断深入,可再生能源的成本持续下降,风力发电、太阳能发电的大规模使用将加快我国能源结构的转型,以煤炭为代表的传统高碳能源的优势正逐渐消失<sup>[9]</sup>。按照“双碳”目标要求,随着煤炭在能源消费结构占比的降低,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。

### 2.2.2 “双碳”目标加快煤炭科技升级

随着我国生产力水平的提升和人们对生活品质要求的提高,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,人们对环境安全、环境质量改善的诉求更加强烈。煤炭等化石能源开发利用过程中的碳排放是我国碳排放的主要来源,传统煤炭粗放式的开发破坏了地下水系,导致了地面塌陷,煤炭利用排放的二氧化硫、烟尘和二氧化碳等引起了严重的环境问题,其发展方式不可持续。

我国现阶段虽已建立了煤炭分选、精制加工、清洁转化与污染控制等技术体系,但由于煤炭清洁利用技术发展不平衡、核心技术自主创新能力薄弱、管理机制和政策环境不完善等多种因素制约,我国煤炭清洁利用水平尚难以满足“双碳”目标要求。一是煤炭生产和加工过程中的节能技术水平偏低,矿区循环利用能力不高,资源利用不充分。二是煤炭零碳负碳开采、动态监测开采修复一体化技术、煤与新能源协同耦合等仍均处于科学探索阶段,减碳效果有限。三是现代煤化工污染物治理技术研究不够深入、煤化工废水协同治理、大宗固废综合利用等处理技术存在瓶颈,土地复垦等措施力度不足,无法有力实现水、气、渣等废弃物的无害、减量、资源化利用<sup>[4]</sup>,在设备可靠性、大型智能化等方面还有很大的发展空间。四是碳捕集、利用与封存技术(以下简称“CCUS 技术”)捕集能源消耗成本较高,短期内难以实现经济效益,与其他技术竞争优势不明显,技术推广应用受到一定制约;同时,该技术对综合技术水平要求较高、时间需求较迫切,我国现有技术距离大规模商业化运行仍有一定距离,亟需加快技术研发和迭代升级,以保证发挥减排效益。

### 2.3 煤炭高质量发展缺乏强有力高科技支撑

近年来,我国加速推进煤矿智能化建设,大力培养煤炭高新技术人才,但在规模以及关键科学问题上仍难以满足“双碳”目标下煤炭降碳减排新要求。一是煤炭智能化渗透率低。截至 2022 年底,我国智能化采煤工作面渗透率仅为 11%,距离全面建成矿井智能化的发展目标仍有较大差距。我国 85% 左右的煤炭产量来自井工煤矿,露天煤矿所占比重较低,井工煤矿作业环境复杂,存在瓦斯爆炸、煤尘爆炸、土地坍塌等安全风险,煤矿智能化开采水平不高,不仅提高煤炭开采成本和资源消耗,也增加了我国煤

矿安全生产的压力。二是专业人才储备力量不足。我国煤炭行业门槛相对较低、劳动人力较多,矿井恶劣的作业环境难以吸引年轻人加入,招工困难、老龄化严重,后备力量不足;此外,煤炭从业人员整体素质偏低,高级技术人才短缺,难以满足当今时代提出的技术要求,也致使煤矿从业人员的再就业问题变得愈发严重;同时,煤炭技能和高素质人才培养滞后,科学研究服务体系缺乏支持,教育资源配置偏离,知识体系及专业设置与实际需求脱节,致使高素质复合型人才十分紧缺,难以适应煤炭智能化发展的新形势。

## 3 我国煤炭发展对策建议

煤炭是我国最可靠且最重要的能源和化工原料,对于增强能源安全稳定和风险管控能力具有重要的兜底保障和支撑作用。以煤为主的能源结构在 2050 年前不会改变,要捍卫能源安全,就必须保证煤炭的主体能源地位,统筹好保障国家能源供应安全与煤炭长远绿色低碳转型发展的关系,主动夯实煤炭生产基础,推动煤炭低碳转型,提升科技和人才创新驱动,聚焦增产、保供、维稳,努力探索“双碳”战略下适合我国发展现状和新经济内涵要求的煤炭高质量发展新路径。

### 3.1 夯实煤炭生产基础,保障煤炭供应安全

煤炭高质高效发展是一项系统工程,需要从国家层面加强顶层设计,增产保供持续发力,支持优质煤炭稳产增产,强化国内煤炭供应保障。

#### 3.1.1 加大勘查开发力度,实现煤炭安全增产

1) 加快煤炭资源勘查,将保障煤炭资源安全作为经济发展的首要任务。加强煤炭安全托底保障,利用我国煤矿资源丰富、种类繁多、分布广泛的优势,加大对煤矿资源的勘探和评估;进一步开展煤系中具有应用价值的其他矿产资源的综合勘查及评价,如锂、铝、稀土等新兴战略性矿产资源,石墨、黏土矿等非金属矿产资源,页岩气、油页岩、天然气等能源性矿产资源,推进从单一煤炭地质勘查向煤系矿产资源勘查转变,加强各矿产资源的协同开发与综合利用,以提高资源利用效率<sup>[8]</sup>。

2) 提升煤炭运力运量,打破煤炭运输瓶颈。一是持续提升煤炭铁路运输占比,利用铁路运量大、运距长、运价低等优势,进一步挖掘运输潜力,加速进行国内运煤铁路建设和扩能改造,缓解部分线路运能不足问题,减轻远距离输配煤炭压力,保障煤炭外运能力。二是大力推动煤炭运输“散改集”,研究完善敞顶集装箱铁路多式联运计费标准和运价优惠政策,加大敞顶集装箱推广使用力度,有力推动煤炭外

运铁路运输线路扩张,促进煤炭外运运力进一步增加。三是加速物流基地建设和配套铁路专用线建设,制定煤炭保供物流服务考核标准体系,提高物流专业化程度,对物流全过程实行主体责任制度,加强运输质量监控,优化煤炭运输网络,提升煤炭运输效率。四是大力发展远程智能化铁路系统,逐步完善煤炭生产运输协同保障体系,提高煤炭安全稳定供应能力,以满足国民经济持续快速发展需要。

### 3.1.2 优化煤炭资源配置,保障煤炭稳定供应

1)推动煤炭整合,释放先进优势产能。一是在保证煤炭稳定供应的前提下,进一步优化煤炭资源配置和煤炭开发布局与产能结构,实现对全国煤炭产能的全面统筹与综合协调。中南地区、西南地区、东北地区、华东地区等煤炭产能分布小而散、规模化程度较低的区域,应继续加速退出与整合重组进程,淘汰落后产能;西北地区、华北地区等煤炭资源储量、规模化程度较高的地区,应逐步形成区域集中发展的煤炭工业格局,在合理控制煤炭生产总量的前提下,集中煤炭优势产能,突出其战略地位,以提高先进产能比重,扩大优质煤炭供给,促进煤炭供需动态平衡<sup>[8]</sup>,为我国煤矿大型化发展奠定坚实基础。在集中发展大型、特大型煤矿的基础上,加大对大型煤炭基地的详查和勘探力度,有力保障资源供给;加强深部煤炭资源勘探力度,提高矿井服务年限;加大对大型整装煤田的地质勘查和评价,为煤炭资源枯竭地区转型和持续发展奠定基础<sup>[8]</sup>。二是统筹考虑市场需求和环境污染等因素,科学优化煤炭开发速度和开发规模,按照“核增为主、新建为辅”的原则,积极推动机械化程度高、用林草地占用少、生态治理效果好、具有增产潜力的现代化煤矿区进行产能核增,促进优质煤矿产能释放<sup>[9]</sup>;逐渐压缩煤炭基地资源储量有限、开采条件复杂、生产成本高的东部地区煤炭生产规模,从严控制目前开发强度大、投资效益低、接续资源多在深部的中东部地区的接续煤矿建设,有序推进煤炭产业发展,降低煤炭供需矛盾<sup>[8]</sup>。持续推进在建煤矿加速建设投产,优化项目建设核准,加快完成竣工验收,落实煤炭增产措施和地方稳产保供责任,推动符合条件的应急保供产能转化为常态化产能,确保煤炭稳定供应,加强煤炭兜底保障能力。

2)建立储备机制,增强煤炭调节能力。一是合理库存和适度储备,针对我国当前煤炭供需状况,构建以产能储备为核心、产品储备为调节、资源储备为支撑的煤炭储备体系,根据供需形势和新能源出力情况有序调节煤炭产能,通过实行煤炭产能弹性

释放制度及时填补能源供需缺口,发挥煤炭的灵活调节能力<sup>[10-12]</sup>。二是完善“有控有进”的煤炭进口动态调节机制,适度控制煤炭进口规模和节奏,发挥好进口煤炭的补充调节作用,避免进口煤激增冲击国内市场;健全商品煤质量监督管理体系,完善煤炭生产、流通、消费的全程质量监控与监督管理,加强进口煤质量管理,限制劣质煤进口<sup>[13]</sup>。

3)政策市场两手抓,保证煤炭稳定供应。一是完善煤炭税费管理制度,发挥财税政策的核心作用。第一,完善矿业权出让收益,明确企业仅上缴国家出资成本及相应利润,使矿业权出让与投入挂钩,充分平衡好国家和企业之间的利益分配,激发探采积极性。第二,针对煤炭资源转化的排放特征及减排难度对矿业权使用费进行调整,如对于占有清洁煤炭资源但转化开发进度缓慢的探矿权人,可增加矿业权使用费;对于积极优化探矿权结构的矿业权人,可降低剩余探矿权的使用费;对于加快碳汇、开展“风光火储一体化”等资源综合利用布局的探矿权人,可降低整体探矿权使用费率,为碳中和创造有利条件<sup>[14]</sup>。第三,灵活调整探矿权政策,如对于扩大植被条件有利于进行碳汇和实行多能互补的探矿权,可适当延长探矿权时间、增加探矿权次数;对于勘探结果显示煤炭资源品位低、开发污染程度高、生态治理难度大的探矿权或煤炭资源富集地区的探矿权,可适当缩紧探矿权以促进资源的合理分配;对于已完成煤炭勘探、无开发前景且转让困难的,应及时注销探矿权,引导探矿权人将投资重点向绿色低碳煤炭资源集中<sup>[14]</sup>。二是加强投资和煤炭市场运行机制建设,促进实现煤炭资源高效配置。第一,扩大财政投资,引导社会资本加入,从政府主导、市场协作,逐步转向引导社会主体的投资模式,支持促进区域协调发展的重大工程,拉动以煤炭为主的能源需求的增长。第二,设立专项基金,如建立煤炭清洁高效利用专项贷款,支持煤炭绿色智能开采、低碳清洁加工、高效综合利用,推动煤炭绿色低碳发展;设立煤炭开发利用及生态环境治理专项基金,建立煤炭资源综合补偿和生态补偿机制,促进煤炭与生态和谐发展;设立煤矿退出专项基金,支持煤矿关闭后的设施拆建及生态重塑工作,助力废旧矿区退出和新兴产业发展<sup>[9]</sup>。第三,建立煤炭中长期合约模式,建立根据合约期限调整“基本价格+浮动价格”的价格体系,推进我国煤炭稳步发展<sup>[11]</sup>。第四,建立健全煤炭排放体系,科学制定煤炭排放指标,完善科技创新路径及平台建设,设立如煤基能源清洁高效利用国家重点实验室、大型煤气化及煤基新材料国家工程研究中心等科研

平台,构建绿色低碳技术创新体系,促进煤炭产业低碳转型<sup>[9]</sup>。

### 3.1.3 构建多元化发展体系,夯实能源安全保障

科学规划现代煤化工产业布局,充分发挥我国煤炭资源丰富、品种齐全的优势,加快发展煤制油气战略基地建设,积极推动煤油化一体化低碳煤化工与煤制油气相关战略基地建设,构建多元化新能源供应体系,实现能源结构优化,进一步降低我国油气对外依存度,为高质量健康可持续发展奠定基础<sup>[14]</sup>。在以发展煤化工为重点的基础上,积极利用现有闲置土地、地下空间、尾矿采坑、复垦区等资源,探索光伏、风电、氢能、储能、智慧能源等领域,加快在煤炭主产区建立“风光火储”综合性能源基地,积极推进煤炭与风能、太阳能等新能源耦合发电、耦合化学转化的技术研发与工程示范<sup>[10]</sup>,实现煤炭绿色清洁能源系统的多元化协同发展,提高煤炭综合竞争实力和抗风险能力。

## 3.2 推动煤炭低碳转型,助力煤炭高质量发展

当前形势下,我国能源消费结构发生巨大变化,须立足于我国资源禀赋和产业结构,大力推进煤炭安全、清洁、高效开发与利用,不断提高煤炭质量、减少污染物排放量,从而实现“双碳”目标下煤炭健康可持续发展。

### 3.2.1 推进煤炭清洁高效低碳利用,提高煤炭质量及利用率

1)煤炭绿色开采方面。一是调研煤炭主要产区及生态影响状况,有针对性地研究在建矿区煤炭开采与生态环境保护一体化技术体系,如露天采矿可采用剥离-排土-开采-造地-复垦技术,实现生态环境再造的最优化;类似于黄河流域等对煤炭资源绿色开采与生态修复要求较高的地区,可研发煤水资源协调开采、井下采-选-充一体化技术等;针对我国大部分煤炭资源分布于较为干旱、冬季寒冷的西北部地区,矸石泥化现象突出,可采用干法工艺,减少水资源污染及占用,降低成本及资源综合能耗;地下开采则可利用以减轻地表沉陷为重点的充填开采技术,有利于加快生态修复与土地再利用<sup>[15-16]</sup>,深入推进“负碳高效充填开采”,构建基于二氧化碳、矸石与快速胶结剂混合物充填体的近零生态损害、近零冲击地压及负碳开采的矿山充填全新技术体系,形成煤炭负碳开采、低碳利用的开发利用新格局。二是利用智能化设备支持煤炭绿色开采,研发适应于各种煤层的智能化采煤装备,合理规划开采流程及相关环节的人员配置,打造精准、智能、绿色的煤炭探采技术优势,不断提升煤炭矿区资源综合开发水平,

有效降低煤炭生产综合能耗、减少污染物排放。

2)煤炭清洁利用方面。一是综合利用煤炭与可再生能源的转化关系,攻克近零排放的煤制清洁燃料和化学品技术,推动煤炭由单一燃料属性向原料与燃料并重转变,进一步推动低能耗、低水耗、低成本、低排放的煤炭清洁高效转化以及煤炭分质分级利用,推进大型煤炭气化、煤炭液化、煤制天然气发展,创新煤化工技术及其耦合模式,变“富煤”为“富气”,进一步拓展煤炭的消费利用空间。二是深入研究推广超临界二氧化碳等先进燃煤发电技术,以实现高效、超低排放的供热与发电,鼓励“煤-化-电-热”一体化发展,同时加快超低排放电厂的建设与改造工作,提高电煤在煤炭消费中的比重,实现燃煤电厂可持续清洁发电,大幅度降低二氧化碳排放量<sup>[17]</sup>。三是积极推动高效煤粉锅炉取代常规燃煤锅炉,提高煤炭燃烧率;大力推动清洁煤技术体系建立,合理利用、转化、污染物控制,为用煤产业提供优质、绿色、环保的煤炭产品,构建一条“产煤-销煤-用煤”的高效、环保产业链<sup>[18]</sup>。

### 3.2.2 做好煤矿退出与修复,促进协同发展

1)合理规划煤炭退出转型发展路径。完善煤炭退出机制,制定规范的煤矿关闭和退出的常态化管理方针政策,推动煤炭从政策性退出过渡为市场化退出<sup>[9]</sup>;提前谋划,建立煤炭产业转型发展长效机制,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,探索老矿区转型发展的适用方向,搭建煤炭资源枯竭矿区与区域产业体系融合发展的平台,推动煤矿区与区域经济建设同步规划、同步设计、协同发展<sup>[12]</sup>,根据矿区资源枯竭后的转型途径指导矿区生产布局,有序推进矿区退出和转型发展工作,以降低突发转型对社会的冲击。

2)持续发力煤炭矿山生态治理工作。一是地面空间综合利用方面。第一,对于煤炭开采造成的塌陷土地占用面积大、破坏严重的,可以按照“宜游则游、宜农则农、宜林则林、宜工则工”原则实施治理措施,如具有高危险性、存在地质灾害的地区,建议采取恢复植被法,选择适应性强、生长良好的树种大力建设生态林,进行自然修复,通过提高植被覆盖率,加强对损毁土地的形态恢复和功能恢复,改善废弃露天矿山的碳源状况,恢复废弃矿山的碳汇能力<sup>[19]</sup>;对于开发前以农业用为主的,开采后水土资源污染较轻、土壤质量下降较少、水资源相对丰富,可采取土地平整措施将其改造为农田,通过埋入植物秸秆、动物粪便等措施改良土壤生产能力,增加粮食产量,提高土壤的固碳能力;对于矿山开采揭露地质遗迹

景观、典型地层岩层或古生物活动遗迹等的废弃矿山,可通过景观重建将其打造成为地质公园或矿山公园,与旅游业相结合,将自然资源转变为经济优势,实现残存资源再利用和生态环境可持续发展<sup>[20]</sup>。第二,对于不受采煤扰动影响的矿井建设征用的土地,其工程地质条件较为稳定安全,土地资源可直接用于工程建设和工业生产。二是煤矿地下空间资源利用方面。对于如北京市等发展受限于土地资源匮乏、交通拥堵的地区,可结合当地旅游和度假的市场需求,科学谋划矿井的地下空间,建设集地下休闲度假、疗养娱乐、工程实验、蓄能发电等于一体的地下城市示范区,有效缓解城市土地和交通压力,同时具有较好的经济效益和生态环境效益,保障城市的可持续发展。三是积极挖掘老旧矿区现有发展新能源项目的有利条件,充分利用废弃场区、企业厂房楼顶等自有资源开发分布式光伏项目,积极探索矿区沉陷区光伏示范项目,开创工业化恢复治理方式,提高沉陷区土地资源利用价值,促进生态环境恢复和经济转型发展<sup>[15]</sup>。

### 3.2.3 攻关二氧化碳处置利用,加强排放端治理力度

1) 聚焦二氧化碳的化学性质,创新研发高价值的化工品和高性能材料,以二氧化碳作为原料,生产工业、农业、食品、医药、消防等领域的下游产品,建立以二氧化碳为原料的循环工业体系,如利用二氧化碳制取可全降解塑料、二氧化碳制金刚石,或利用二氧化碳为原料进行催化加氢合成甲醇、甲烷、甲酸等化工原料,有效降低资源利用成本<sup>[21]</sup>,实现二氧化碳的清洁高效转化。

2) 全力研发适合我国国情的碳捕集、封存和能耗较低的CCUS技术,扶持CCUS产业发展,实现二氧化碳的回收、循环和资源化利用,构建绿色、可循环发展的现代化煤化工工业体系。一是立足我国能源结构和资源禀赋基本国情,明确“双碳”目标不同阶段的CCUS技术战略定位,研究制订CCUS技术中长期发展规划,开展精细化CCUS技术潜力和发展趋势评估。二是构建面向“双碳”目标的CCUS技术体系,加快推进部署低成本、低能耗的CCUS技术研发和大规模集成示范,建设规模化CCUS全产业链技术研发平台,形成国家级CCUS技术创新策源地。三是制定CCUS技术行业规范、制度法规以及科学合理的建设、运营、监管、终止标准体系,优化CCUS技术协同创新平台与人才队伍建设,探索CCUS技术激励机制,引导形成各主体有效参与的商业模式,深化CCUS技术领域国际交流合作,构建低碳、循环、绿色的现代化煤炭发展体系。

### 3.3 提升科技创新驱动力,健全人才保障机制

随着“双碳”目标提出,加快推进煤炭智能矿山建设,加强煤炭人才队伍建设,提升煤炭科技人才创新驱动力,是实现煤炭高质量发展的有力支撑,也是保障国家能源安全、对标实现“双碳”目标任务的重要途径,对我国未来社会发展和生态建设具有重要意义。

#### 3.3.1 推动智能化绿色矿山建设

积极推动煤炭智能矿山建设,加强煤炭开发与云计算、云平台、5G通信等新一代信息技术融合,实现矿山自动化、智能化、网络化和系统化应用全覆盖,通过“降耗、减排、增安、提效”,培育释放先进产能,大幅降低煤炭开发利用过程中产生的碳排放,提升我国煤矿安全生产水平和综合生产效率。一是持续推广煤炭综采设备的精准定位与智能化协同技术,打造5G煤矿智能分选数字平台,提升煤炭采选技术装备的数字化和自动化控制能力,实现采掘智能化、地面无煤化的“井上井下一张网”全自动智能化生产模式,最大限度地降低煤炭资源消耗,减少采煤对生态环境的破坏,为煤炭绿色低碳转型和煤矿后续退出转型奠定良好基础。二是加快布控智能矿山监控和通信系统,借助AI视频、电力设备监控定位和云计算等高新技术应用,对煤矿数据进行传输分析、对安全隐患进行风险预警、对井下作业人员和重要机电设备进行精准定位,实时监控煤矿矿山生产状态和安全状态,加快应急处置响应速度,为煤炭生产安全管理决策提供保障。三是加速推进智能矿山集控系统,通过集控平台实现煤流运输、井下排水、巷道通风等场景的一体化智能控制,有效降低工人劳动强度、提高生产效率。四是不断研发智能化成套装备与关键零部件、工业软件等智能矿山配套装备,围绕智能化技术和大数据技术应用,开展关键技术攻关与示范,提高智能化装备的国产化水平;借鉴国外智能装备新技术、新经验,在创新与开放中进一步优化提升智能矿山装备水平,夯实我国煤矿智能化建设基础,最终形成煤炭产能的柔性调节,保持煤炭供需平衡,保障国家能源安全,实现煤炭高质量发展。

#### 3.3.2 加强专业型人才队伍建设

1) 打造专业技术型人才培养队伍,加大人才培养。以培养实践能力为重点科学制定人才培养计划,设置内容与职业标准对接的煤炭相关专业课程,健全完善以企业为主体、产学研用一体化的科技创新体制机制,使教学内容与煤炭生产实践紧密结合,保证人才培养质量;深化专业课程改革,加快煤炭综合技

术技能人才培养速度,培养熟知国内外法律法规、政策环境以及生态要求的复合型人才;积极探索智能开采人才培养,将煤炭开采与物联网、云计算、5G通信等新一代信息技术深度融合,加大对掌握煤炭智能开采、装备、运营及管理等方面高素质人才培养力度,推动煤炭智能化发展。

2)健全人才保障机制,加强人才保护。完善人才引进、鼓励创新、促进就业等方面的配套政策,重点加大对创新创业人才的投入力度、金融支持力度和知识产权保护力度;健全薪酬与奖励制度,充分调动煤炭专业人才的主动性和积极性,发挥技术人员的创新能力,吸引科技人才和优势资源向煤炭行业聚集,助推煤炭高质量发展。

3)建立再就业培训计划,安置富余人员。针对失业矿工再就业及福利问题,设立矿工福利基金和福利委员会,减轻失业人员困难,同时结合业务拓展等实际需求,支持退出煤矿工作人员再就业和转岗培训,帮助富余人员积极应对对新工作的挑战,使其成为社会的宝贵财富,为社会发展创造有益条件;支持困难地区再振兴,以新发展从根本上解决当地居民的就业和收入增长问题。

### 3.3.3 加强国际间通力合作

积极与各国开展务实合作,推动建立全球清洁能源合作伙伴关系。一是加强与美国、俄罗斯、澳大利亚等世界能源大国和技术先进国家在煤炭清洁转型、循环经济、碳捕集利用与封存等领域的深度交流与产业合作,发挥我国资本、管理、技术、装备、人才、产能等优势,积极推进境外上市、并购重组、产能合作、装备出口,深度融入国际市场,实现互利共赢,同时也为“一带一路”倡议的实施架设桥梁。二是加强与立场相近的发展中国家、非洲国家、小岛屿国家、最不发达国家等在绿色低碳循环发展等领域的合作,就政策、资金、技术等问题开展广泛交流。三是鼓励地方政府同有关国家的地方政府开展多渠道的国家交流活动,支持煤炭企业、行业组织在标准制定、技术研发、成果转化、示范项目等方面开展国家合作<sup>[21]</sup>。

## 4 结语

加快“双碳”建设是解决我国现阶段资源和环境约束问题、实现可持续发展的迫切需要,是顺应技术进步趋势、推动经济结构转型升级的迫切需要,是促进人与自然和谐共生的迫切需要,也是我国承担大国责任、推动构建人类命运共同体的迫切需要。我国资源禀赋、能源结构和发展阶段等客观因素决定了较长时间内煤炭仍是保障能源安全供应的支柱,

必须充分认识到煤炭在我国能源消费结构中的主体地位和重要作用,立足长远,构建以煤炭高质、高效、高发展为基础,油气稳增保进、新能源加速发展的能源体系,是我国能源高质量发展、保障能源安全和实现安全“降碳”的必然战略选择。

## 参考文献(References):

- [1] 国家统计局. 中华人民共和国2022年国民经济和社会发展统计公报[R]. 2021.
- [2] 中华人民共和国自然资源部. 中国矿产资源报告(2019—2022)[R]. 2019—2022.
- [3] 王国法, 刘合, 王丹丹, 等. 新形势下我国能源高质量发展与能源安全[J]. 中国科学院院刊, 2023, 38(1): 23-37.  
WANG Guofa, LIU He, WANG Dandan, et al. High-quality energy development and energy security under the new situation for China[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(1): 23-37.
- [4] 刘峰, 郭林峰, 赵路正. 双碳背景下煤炭安全区间与绿色低碳技术路径[J]. 煤炭学报, 2022, 47(1): 1-15.  
LIU Feng, GUO Linfeng, ZHAO Luzheng. Research on coal safety range and green low-carbon technology path under the dual-carbon background[J]. Journal of China Coal Society, 2022, 47(1): 1-15.
- [5] 阮立军. “双碳”形势下煤炭工业未来发展的思考[J]. 煤炭加工与综合利用, 2022(1): 55-57, 62.  
RUAN Lijun. Thinking on the future development of coal industry under the situation of “double carbon”[J]. Coal Processing & Comprehensive Utilization, 2022(1): 55-57, 62.
- [6] 孙旭东, 张蕾欣, 张博. 碳中和背景下我国煤炭行业的发展与转型研究[J]. 中国矿业, 2021, 30(2): 1-6.  
SUN Xudong, ZHANG Leixin, ZHANG Bo. Research on the coal industry development and transition in China under the background of carbon neutrality[J]. China Mining Magazine, 2021, 30(2): 1-6.
- [7] 苑东平, 夏璠, 杨贝斯. 智慧矿山未来市场空间或达万亿级[J]. 通信企业管理, 2023(5): 54-56.  
YUAN Dongping, XIA Fan, YANG Beisi. The future market space of smart mines may reach trillions[J]. C-Enterprise Management, 2023(5): 54-56.
- [8] 霍超, 刘天绩, 樊斌, 等. 双碳背景下我国煤炭资源勘查开发布局研究[J]. 地质论评, 2022, 68(3): 938-944.  
HUO Chao, LIU Tianji, FAN Bin, et al. Study on national coal resources exploration and exploitation layout under carbon neutrality and emission peak settings[J]. Geological Review, 2022, 68(3): 938-944.
- [9] 张胜利, 汤家轩, 王猛. “双碳”背景下我国煤炭行业发展面临的挑战与机遇[J]. 中国煤炭, 2022, 48(5): 1-5.  
ZHANG Shengli, TANG Jiaxuan, WANG Meng. Challenges and opportunities for the development of China's coal industry under the background of carbon peak and carbon neutrality[J]. China Coal, 2022, 48(5): 1-5.
- [10] 魏光. “双碳”背景下我国煤炭行业的发展路径[J]. 管理学家, 2022(23): 94-96.

- WEI Guang. The development path of China's coal industry under the background of "double carbon"[J]. *China Management Magazine*, 2022(23): 94-96.
- [ 11 ] 王国法, 任世华, 庞义辉, 等. 煤炭工业“十三五”发展成效与“双碳”目标实施路径[J]. *煤炭科学技术*, 2021, 49(9): 1-8.  
WANG Guofa, REN Shihua, PANG Yihui, et al. Development achievements of China's coal industry during the 13th Five-Year Plan period and implementation path of "dual carbon" target[J]. *Coal Science and Technology*, 2021, 49(9): 1-8.
- [ 12 ] 张宏. 推动“双碳”战略实施 构建煤炭产业发展新格局[J]. *中国煤炭*, 2022, 48(2): 1-4.  
ZHANG Hong. Research on promoting the strategy implementation of carbon peak and carbon neutrality and building a new pattern of coal industry development[J]. *China Coal*, 2022, 48(2): 1-4.
- [ 13 ] 孙翠芝. “双碳”形势下煤炭质量管理办法[J]. *煤炭加工与综合利用*, 2022(1): 40-42.  
SUN Cuizhi. Approaches to coal quality management under the "double carbon" situation[J]. *Coal Processing & Comprehensive Utilization*, 2022(1): 40-42.
- [ 14 ] 杨宇谦. 煤炭资源探矿权结构优化与高质量发展: “双碳”目标视角下的路径探讨[J]. *资源开发与市场*, 2022, 38(5): 546-553.  
YANG Yuqian. Structural upgrade and high quality development of coal resources exploration rights: exploring the road-map with the perspective of carbon peaking and carbon neutrality[J]. *Resource Development & Market*, 2022, 38(5): 546-553.
- [ 15 ] 刘晓康. “双碳”目标下, 煤炭企业绿色低碳转型的实践与思考[J]. *中国煤炭工业*, 2022(6): 23-25.  
LIU Xiaokang. The practice and thinking of green and low-carbon transformation of coal enterprises under the goal of "double carbon"[J]. *China Coal Industry*, 2022(6): 23-25.
- [ 16 ] 鞠建华. “双碳”目标背景下矿业发展新机遇与实现路径[J]. *中国矿业*, 2022, 31(1): 1-5.
- JU Jianhua. New opportunities and implementation path of mining development under the background of "double carbon" goal[J]. *China Mining Magazine*, 2022, 31(1): 1-5.
- [ 17 ] 王晓磊, 陈贵锋, 李文博, 等. 双碳背景下煤炭清洁高效利用方向构建[J]. *煤质技术*, 2021, 36(6): 1-5.  
WANG Xiaolei, CHEN Guifeng, LI Wenbo, et al. Construction of clean and efficient utilization direction of coal under the background of double carbon[J]. *Goal Quality Technology*, 2021, 36(6): 1-5.
- [ 18 ] 高云飞, 王义, 王国青, 等. “双碳”目标下煤炭企业绿色矿山建设路径探究[J]. *中国煤炭*, 2022, 48(1): 16-20.  
GAO Yunfei, WANG Yi, WANG Guoqing, et al. Exploring on the construction paths to green mine in coal enterprises towards the goal of carbon peak and carbon neutrality[J]. *China Coal*, 2022, 48(1): 16-20.
- [ 19 ] 杨博宇, 白中科. 碳中和背景下煤矿区土地生态系统碳源/汇研究进展及其减排对策[J]. *中国矿业*, 2021, 30(5): 1-9.  
YANG Boyu, BAI Zhongke. Research advances and emission reduction measures in carbon source and sink of land ecosystems in coal mining area under the carbon neutrality[J]. *China Mining Magazine*, 2021, 30(5): 1-9.
- [ 20 ] 刘传娥, 李生清, 胡靖爽, 等. “双碳”战略下废弃露天矿山生态修复模式研究与实践: 以山东省废弃露天矿山为例[J]. *山东国土资源*, 2022(9): 40-44.  
LIU Chuane, LI Shengqing, HU Jingshuang, et al. Study and practices on ecological restoration mode under the strategy of "carbon peaking and carbon neutrality goals": taking abandoned open pit mines in Shandong Province as an example[J]. *Shandong Land and Resources*, 2022(9): 40-44.
- [ 21 ] 碳达峰碳中和工作领导小组办公室、全国干部培训教材编审指导委员会办公室. 碳达峰碳中和干部读本[M]. 北京: 党建读物出版社, 2022.