

新疆煤炭资源开发潜力与开发策略

卞正富^{1,5}, 张益东², 王 猛³, 王长申⁴, 韩晓彤^{1,5}, 牟守国⁵, 任清晨⁵, 李国栋⁶

(1. 中国矿业大学 教育部矿山生态修复工程研究中心, 江苏 徐州 221008; 2. 中国矿业大学 矿业工程学院, 江苏 徐州 221008; 3. 中国矿业大学 碳中和研究院, 江苏 徐州 221008; 4. 中国矿业大学 资源与地球科学学院, 江苏 徐州 221008; 5. 中国矿业大学 公共管理学院, 江苏 徐州 221008; 6. 新疆大学 地矿学院, 新疆 乌鲁木齐 830046)

摘 要: 鉴于新疆煤炭资源赋存条件的独特性以及煤炭赋存区生态环境的脆弱性, 科学开发新疆煤炭资源成为当务之急。为此, 简要论述了新疆煤炭资源地质赋存条件、赋煤区水文地质条件、自然地理与生态环境条件, 分析了新疆煤炭资源开发潜力。结果表明: 新疆煤炭资源极为丰富, 全区预测煤炭资源量 2.19 万亿 t, 占全国总预测储量的 40% 以上; 新疆共有 24 个预测资源量超过 100 亿 t 的煤田, 其中 5 个煤田预测资源量超过 1 000 亿 t, 8 个煤田预测资源量在 400 亿~1 000 亿 t, 11 个煤田预测资源量在 100 亿~400 亿 t; 潜在煤炭资源量中, 1 000 m 以下浅储量占比 52.8%。新疆煤炭资源以低阶烟煤和中阶烟煤为主要煤阶, 其次是中煤阶煤中的高阶烟煤, 而低煤阶煤中的褐煤和中煤阶煤中的超高阶烟煤以及高煤阶煤中的无烟煤, 分布范围和数量极为有限, 所占资源总量的比例很低; 综合考虑疆煤外运、疆电外送、西气东输以及本地煤化工产业规划, 预计 2035 年新疆煤炭产能有望超 8 亿 t。在此基础上, 构建了生态环境承载力评价指标体系, 对新疆规划建设的五大煤矿区生态环境承载力进行了评价, 得出: 新疆煤炭资源赋存区生态环境承载力整体处于中低水平, 五大煤矿区生态环境承载力均值排序为伊犁 (0.42)>库拜 (0.38)>和丰 (0.31)>准东 (0.25)>吐哈 (0.22), 呈现出由西到东递减的趋势。针对新疆煤炭资源开发条件与潜力, 提出了优化煤炭资源开发布局、推动开采技术升级、推进智能采矿技术、强化绿色开采理念、拓展煤炭多元化利用渠道等策略。

关键词: 新疆煤炭开发; 潜力; 生态承载力; 开发策略

中图分类号: TD80 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-9993(2024)02-0967-11

Research on the potential and strategy for coal resources exploitation in Xinjiang

BIAN Zhengfu^{1,5}, ZHANG Yidong², WANG Meng³, WANG Changshen⁴, HAN Xiaotong^{1,5}, MU Shouguo⁵,
REN Qingchen⁵, LI Guodong⁶

(1. Mine Ecological Restoration Engineering Research Center, the Ministry of Education, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China; 2. School of Mines, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China; 3. Carbon Neutrality Research Institute, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China; 4. School of Resources and Earth Sciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China; 5. School of Public Administration, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China; 6. School of Geology and Mineral Resources, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

Abstract: In view of the uniqueness of the occurrence conditions of coal resources in Xinjiang and the fragility of the ecological environment in the coal occurrence area, it is urgent to develop coal resources in Xinjiang scientifically. Therefore, in this paper, the geological occurrence conditions, hydrogeological conditions, physical geography and ecological enviro-

收稿日期: 2023-12-19 修回日期: 2024-02-28 责任编辑: 钱小静 DOI: 10.13225/j.cnki.jccs.YH23.1713

基金项目: 国家自然科学基金新疆联合基金资助项目 (U1903209)

作者简介: 卞正富 (1965—), 男, 江苏建湖人, 教授, 博士生导师。E-mail: zfbian@cumt.edu.cn

引用格式: 卞正富, 张益东, 王猛, 等. 新疆煤炭资源开发潜力与开发策略[J]. 煤炭学报, 2024, 49(2): 967-977.

BIAN Zhengfu, ZHANG Yidong, WANG Meng, et al. Research on the potential and strategy for coal resources exploitation in Xinjiang[J]. Journal of China Coal Society, 2024, 49(2): 967-977.



移动阅读

onment conditions of coal resources in Xinjiang were briefly discussed, and the exploitation potential of coal resources was analyzed. The results show that the coal resources in Xinjiang are extremely abundant, with an estimated coal resource of 2.19 trillion tonnes in the entire region, accounting for more than 40% of the total estimated coal resources in China. There are 24 coal fields in Xinjiang with estimated resource levels exceeding 10 billion tonnes, of which 5 have estimated resource levels exceeding 100 billion tonnes, 8 have estimated resource levels between 40 billion–100 billion tonnes, and 11 have estimated resource levels between 10 billion–40 billion tonnes. Among the potential coal resources, shallow resources below 1 000 meters account for 52.8%. The main coal rank of Xinjiang's coal resources is low-rank bituminous coal and medium-rank bituminous coal, followed by high-rank bituminous coal in middling coal rank coal, while lignite in low-rank coal, ultra-high rank bituminous coal in middling coal rank coal and anthracite in high-rank coal have extremely limited distribution range and quantity, accounting for a very low proportion of the total resources. Taking into account the transportation of coal from Xinjiang, the transmission of electricity from Xinjiang, the transmission of natural gas from the west to the east, and the local coal chemical industry plan, it is expected that Xinjiang's coal production capacity will exceed 800 million tonnes by 2035. On this basis, an ecological environment carrying capacity evaluation index system was constructed, and the ecological environment carrying capacity of the five major coal mining areas planned and constructed in Xinjiang was evaluated. The results show that the overall ecological environment carrying capacity of the coal resource areas in Xinjiang is at a medium to low level, and the average ecological environment carrying capacity of the five major coal mining areas is ranked as Yili (0.42)>Kubai (0.38)>Hefeng (0.31)>Zhundong (0.25)>Tuha (0.22). It shows a decreasing trend from west to east. In response to the conditions and potential of coal resource development in Xinjiang, strategies have been proposed to optimize the layout of coal resource development, promote mining technology upgrading, promote intelligent mining technology, strengthen the concept of green mining, and expand diversified channels for coal utilization.

Key words: Xinjiang coal development; potential; ecological carrying capacity; development strategy

新疆自治区煤炭资源丰富,全区预测煤炭资源量 2.19 万亿 t,占全国总预测储量的 40% 以上,居全国首位,累计查明资源量 4 500.4 亿 t,居全国第 2,是我国重要的能源接替区和战略能源储备区^[1]。进入新时代,国家赋予新疆打造“三基地一通道”的重要战略定位,即:建设国家大型油气生产加工和储备基地、大型煤炭煤电煤化工基地、大型风电基地、国家能源资源陆上大通道,煤炭煤电煤化工成为新疆努力打造的八大产业集群之一。2015 年以来,全区煤炭产量持续增长,从 2015 年的 1.52 亿 t 增长至 2022 年的 4.13 亿 t,同比增长 28.6%,增速比上年同期上升 10.3%。据新疆煤管局统计,截止到 2022 年 7 月,全疆持证生产、在建矿山由 2010 年的 323 处减少到 95 处,其中生产煤矿 66 处、产能 31 273 万 t/a,建设煤矿 29 处、产能 5 435 万 t/a。准东、吐哈、伊犁和库拜等重点矿区产能分别为 15 980 万 t、11 258 万 t、2 590 万 t 和 2 230 万 t,占全区产能超 91%。新疆煤炭资源赋存条件的独特性以及煤炭赋存区生态环境的脆弱性给新疆煤炭资源开发带来了我国其他煤炭能源基地前所未有的技术挑战,如何科学开发新疆煤炭资源,急需加强战略研究。笔者在分析新疆煤炭资源赋存条件及煤炭赋存

区生态承载力的基础上,提出了新疆煤炭资源开发潜力与开发策略。

1 新疆煤炭资源地质赋存条件

新疆聚煤作用从古生代石炭纪到中生代侏罗纪均有发生,根据新疆早—中侏罗世聚煤规律与古地理环境、古构造的关系,全区可划分为两大赋煤区,分别为准噶尔盆地赋煤区和塔里木盆地赋煤区,两大赋煤区进一步划分成 13 个赋煤带,并细分出 60 个煤田(煤产地、煤矿点)^[2],已列入重点规划开发的煤田包括准东、吐哈、库拜、伊犁与和丰,如图 1 所示。中生代聚煤作用表现为内陆湖泊型沉积,含煤地层与煤层主要分布在早、中侏罗世地层中,且出露面积大、分布广、煤层层数多,单层厚度及资源潜力大。这一时期的主要聚煤作用发生在塔北、准噶尔、伊犁、吐哈等盆地,分别形成早—中侏罗世的聚煤中心;聚煤后的燕山运动、喜山运动对主要含煤盆地构造改造作用较弱,盆内煤层变形小,断层稀少,煤层产状平缓,盆缘煤层呈波状褶曲,少数地带发育有逆冲推覆构造。

1.1 准噶尔盆地含煤地层区

准噶尔盆地主要包括准东、淮北、淮南、巴里坤—

三塘湖、伊犁和吐哈等煤田, 含煤地层为中-下统侏罗系水西沟群 (J_{1-2s}), 该群依据岩性、植物群及含煤性分为: 侏罗系下统八道湾组 (下含煤组 J_{1b})、三工河组 (不含煤组 J_{1s}) 和上统西山窑组 (上含煤组 J_{2x}) 3 组。

岩性主要是灰绿灰白色砂岩、砾岩、灰绿、灰黄色、少量棕红色泥岩、灰黑色炭质泥岩, 夹煤层及菱铁矿为主, 属河流沼泽相而以湖沼相为主, 如图 2 所示^[3], 厚度在 122~1 684 m。

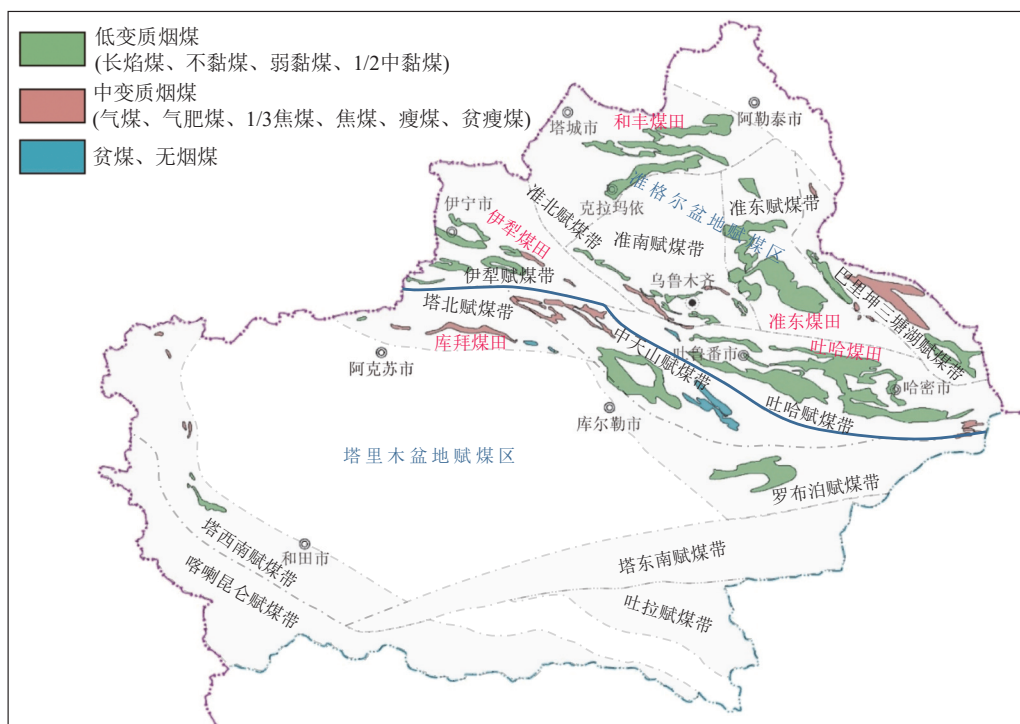


图 1 新疆赋煤区分布

Fig.1 Distribution of coal-endowed areas in Xinjiang

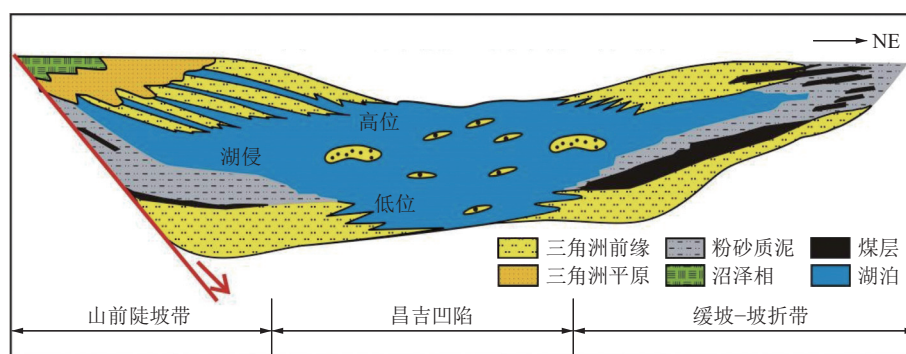


图 2 淮南侏罗系中下统层序构型模式^[3]

Fig.2 Sequence configuration model diagram of middle and lower Jurassic in Zhunnan^[3]

盆地内部构造形变微弱, 呈一个向南缓倾斜的大单斜。但在盆地的西缘、南缘逆冲推覆构造发育。盆地东缘的巴里坤煤田、三塘湖煤田、淖毛湖煤田的赋煤构造主要为复式向斜; 卡姆斯特煤田为 NWW 向不对称的褶皱, 南缓北陡; 准东煤田为一组 NWW 向斜褶皱。西缘的托里—和布托洛盖煤田、和布托赛尔—福海煤田的赋煤构造主要为 NEE 向断裂和向斜; 克拉玛依煤田为倾向 SE 的单斜, 南缘的乌鲁木齐矿区、阜康矿区赋煤构造主要为一组由南向北推覆的逆

冲断裂带, 其间的含煤断块呈 NWW 向斜列, 向盆地内部, 煤系呈不对称紧闭褶皱。

1.2 塔里木盆地含煤地层区

塔里木含煤盆地主要有塔北、塔西南、塔东南盆地、中天山、罗布泊、库拜、昆仑山—喀喇昆仑山等煤田, 含煤地层为侏罗系克拉苏群和叶尔羌群, 下统塔里其克组、阿合组 (不含煤组) 康苏组、阳霞组、和中统克孜努尔组、杨叶组, 以河湖相、湖泊相、沼泽相沉积为主, 岩性为灰色、深灰色、灰白色、浅红色砂岩, 粉砂岩、

细砂岩、泥岩、煤层组成,地层厚度各区差异较大与下覆地层为不整合接触,分布于塔里木盆地及边缘地带。

位于塔北盆地的库车—拜城煤田具有南北向“对冲式”构造特点,EW 向构造发育,煤层赋存在向斜中,

如图 3 所示^[3]。塔西南的莎车—叶城煤田呈 NW—EW 向斜列的背、向斜构造,褶皱两翼大多为断裂破坏,煤层赋存于向斜中。塔东南主要呈地垒、地堑式含煤构造,沿阿尔金断裂带有 NE 向的小型含煤向斜分布。

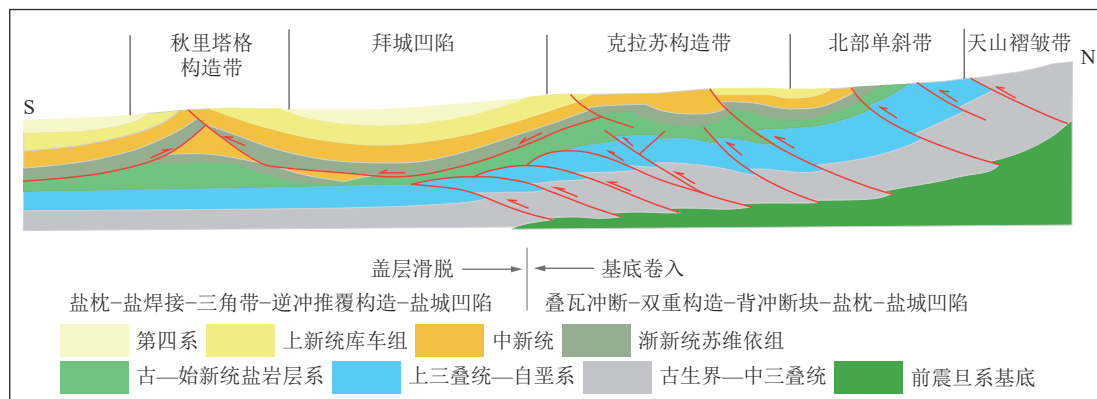


图 3 塔里木盆地北部构造模式^[3]

Fig.3 Tectonic model map of northern Tarim Basin^[3]

1.3 重点煤矿区自然地理与水文条件

受中生代尤其是第四纪以来新构造运动控制,新疆形成了准噶尔盆地和塔里木盆地被高大山系阿尔泰山、天山和昆仑山包围的“三山夹两盆”区域地貌,呈现山地、高原、沙漠和盆地相间的特点。同时,受地理位置和地形地貌控制,新疆与中亚干旱区连成一片,构成世界中纬度干旱气候带的一部分,属于典型的大陆性干旱气候区,降水稀少,蒸发强烈,气候干燥。盆地多年平均降水 200 mm 左右,蒸发大于 1 500 mm,干旱指数达 3~7。

新疆地区水汽循环的最大特点是垂向分带、横向“向心”和转换频繁。盆地周边高大山系截留地中海西风水汽和部分北冰洋水汽,形成山区降水或降雪,流经山区径流区,进入平原耗散区,最终汇聚或消失于盆地低洼区。盆地周边河流都为典型的内陆型向心水系。新疆水资源主要源于山区降水,2021 年水资源总量 $809.0 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,近 5 a 已连续略有减小。

中新生代山前平原潜水和承压水是新疆干旱区最主要的地下水储水构造,尤其以山前平原第四系含水层为主。地下水由山前向盆地中心依次沿山前砾质平原潜水带和细土平原承压水带,向湖沼低地高矿化地下水带运移和排泄。准东、和丰、吐哈、伊犁、库拜等重点煤矿区主要分布于准噶尔、吐哈、伊犁、塔里木等聚煤盆地边缘,尤其是山前砾质倾斜平原区或荒漠区,多属于区域性地下水循环的径流区和区域性第四系含水层系统的贫水区,气候干旱,植被稀疏,环境更加脆弱。煤田侏罗统裂隙孔隙含水系统具有水循环较慢和富水性弱的特点,不属于区域水资源系统

构成。

2 新疆煤炭资源开发潜力

2.1 新疆煤炭资源量大

新疆煤炭资源极为丰富,全区预测煤炭资源量 2.19 万亿 t,占全国总预测储量的 40% 以上。新疆共有 24 个预测资源量超过 100 亿 t 的煤田,其中准东、沙尔湖、伊宁、吐鲁番和大南湖—梧桐窝子 5 个煤田预测资源量超过 1 000 亿 t,占全区预测资源量的 60%^[4],此外 8 个煤田预测资源量在 400 亿~1 000 亿 t、11 个煤田预测资源量在 100 亿~400 亿 t。含煤地层集中分布在准噶尔盆地南缘和东部(包括吐—哈盆地、伊宁盆地)及塔里木盆地北缘,这些地区集中了全疆总资源量的 98%。准东、吐哈、伊犁和库拜煤田预测资源量分别为 3 900 亿 t、5 700 亿 t、3 000 亿 t 和 1 300 亿 t。按照深度划分:0~600 m,4 608.59 亿 t;600~1 000 m,4 193.42 亿 t;1 000~1 500 m,4 268.41 亿 t;1 500~2 000 m,3 611.43 亿 t^[5]。总体看,新疆煤炭资源量潜力大,有较好的勘查开发利用前景。

2.2 新疆煤炭资源煤种齐全

新疆煤炭按低、中、高三大变质程度分 0~Ⅷ 九个煤阶,以及褐煤、烟煤、无烟煤三大煤类中的各煤种。以中下侏罗统水西沟群的八道湾、三工河、西山窑组含煤地层煤阶多为 0~Ⅰ 阶,南疆塔里木区煤层煤的变质程度多在Ⅱ 阶以上。在不同的煤田中各煤种均有不同程度的分布,但不同煤种的资源量和在全疆煤炭资源总量中所占比例相差悬殊,并且在地域上分布极为不均。总体上各煤田的煤层中,以中煤阶煤中的

低阶烟煤和中阶烟煤为主要煤阶, 其次是中煤阶煤中的高阶烟煤, 而低煤阶煤中的褐煤和中煤阶煤中的超高阶烟煤以及高煤阶煤中的无烟煤, 分布范围和数量极为有限, 所占资源总量的比例很低。低煤阶的褐煤主要在淮北、准东、三塘湖—淖毛湖赋煤带, 以及吐哈赋煤带中的大南湖、沙尔湖、艾丁湖煤田中零星分布, 一般不成片、数量有限; 高阶和超高阶烟煤主要分布在塔北赋煤带中的库拜煤田西部的铁列克矿区和温宿煤田; 高煤阶煤的无烟煤均分布在塔西南赋煤带中的乌恰煤田托云矿区、陶克陶煤田的赛斯特盖矿区和

多数石炭、二叠纪煤田中, 但资源量极为有限, 难于进行正规的规模化开发与利用。从煤种分布看, 低变质的长焰煤、不黏煤、弱黏煤等占全部查明保有资源/储量的 95%; 中变质和中高变质的气煤、气肥煤、1/3 焦煤、焦煤和瘦煤等炼配焦煤相对较少, 其资源/储量不足查明资源储量的 3.4%; 而高变质的贫煤、无烟煤甚少, 仅占总资源量的 1.6%^[6], 见表 1。根据新疆侏罗纪煤层的化学性质和工艺性能, 除少部分中阶到高阶烟煤可作为炼焦用煤外, 绝大部分属动力燃料用煤, 亦可作为气化和液化的优质原料。

表 1 各煤种比例

Table 1 Proportion of each coal type

%

低变质			中变质和中高变质				高变质	
长焰煤	不黏煤	弱黏煤	气煤与气肥煤	1/3焦煤	焦煤	瘦煤	贫煤	无烟煤
41.0	52.7	1.3	2.3	0.2	0.8	0.1	0.1	1.5

2.3 新疆煤炭资源开发潜力

2022 年全国煤炭产量为 44.96 亿 t, 增速为 9.0%, 而新疆煤炭资源产量为 4.13 亿 t, 增速为 28.6%, 远高于全国增速。新疆煤炭资源丰富, 其开发利用潜力大, 但受疆煤外运、疆电外送、西气东输及本地煤电煤化工产能的影响较大。

(1) 疆煤外运能力。

新疆铁路原煤调出量从 2017 年的 994.7 万 t 增加到 2022 年的 5 521.4 万 t, 增长了 5.5 倍。据不完全统计, 2022 年新疆原煤铁路和公路调出量超 8 000 万 t^[7]。新疆煤炭外运以铁路为主、公路为补充, 铁路通道呈现“一主两翼”格局^[8]。随着新疆铁路的不断建设和完善, 已经形成以兰新铁路为主通道、临河至哈密铁路为北通道、格尔木至库尔勒铁路为南通道的“一主两翼”进出疆三大铁路通道。“一主”是指兰新铁路, 该线路为主要的货运线路, 承担疆煤外运的主要量。兰新铁路设计运输能力在 7 000 万~8 000 万 t/a。兰新线近期煤炭运力约 5 000 万 t/a, 短期运力持续紧张, 只有对兰新线进行扩能改造, 煤炭输送能力才有望进一步提升。两翼主要是指“北翼”和“南翼”。“北翼”为环天山北坡临哈线及向西延伸线, 即临河线—哈密—将军庙线。临哈铁路年运力约 2 000 万 t/a, 外运潜力较大, 根据内蒙古自治区“十四五”铁路发展规划, 临河及哈密内蒙古段将进行扩能改造, 项目建成后, 临哈铁路运输能力将提升 45% 左右。“南翼”格库线通向西南区域, 是出入新疆的第 3 条铁路通道, 主要供青海、西藏、四川地区, 年度货运量达 2 600 万 t/a,

《青海省中长期铁路网规划 (2021—2050 年)》中提到格库铁路增建复线工程将作为青海 2036—2050 年规划铁路项目。红淖铁路是连接新疆南北翼运输通道的重要纽带, 2023 年 9 月底, 将淖铁路一线已完成施工, 二线项目也已开工建设, 待红淖铁路与将淖铁路联通后, 将贯通准东和哈密两大煤炭基地。准东地区煤炭可从将军庙绕道乌将线、兰新线至红柳河, 出疆运距从 1 080 km 缩短到 780 km, 缩短近 28% 的运输距离, 运费从 202 元/t 下降到 150 元/t, 节约 26% 的运输成本。同时可连通兰新铁路、额哈铁路, 形成出疆北部新通道, 成为大秦线煤炭集运系统的后备通道。哈密在出疆铁路布局中占据着核心位置。

(2) 疆电外送能力。

2010 年 11 月, “疆电外送”第 1 通道——哈密至敦煌 750 kV 输变电工程, 实现了新疆与全国电网的互联互通; 2013 年 6 月, 750 kV 第 2 通道——烟墩至沙洲 750 kV 输变电工程建成投运; 2014 年 1 月, 哈密南—郑州±800 kV 特高压直流输电工程投运, “疆电外送”第 3 通道建成。2019 年 9 月, 2016 年 1 月开工建设的昌吉—古泉±1 100 kV 特高压直流输电工程投运, 建成“疆电外送”第 4 通道, 途经新疆、甘肃、宁夏、陕西、河南、安徽 6 省区, 成为世界上第 1 个也是目前唯一的±1 100 kV 特高压直流输电网, 首次将新疆电能直接输送到华东地区用电负荷中心。“疆电外送”第 5 条通道——“疆电入渝”工程于 2022 年 9 月开工建设。疆电外送能力达到 2 500 万 kW, 外送范围覆盖重庆、江苏、四川、湖南等 20 个省市, 外送电量由 2010 年

30 亿 kW · h 迅速扩大至 2022 年的超 1 100 亿 kW · h, 连续 8 a 实现百亿级阶梯式增长, 有力推动新疆资源优势转化为经济优势, 也为其他省市经济发展带来了强劲动力。“疆电外送”规模的不断扩大, 也拉动了新疆电网能源装机的快速增长。据统计, 新疆电网装机容量从 2010 年的 1 405 万 kW 提升至 2022 年 11 月底的 11 117 万 kW, 增长近 8 倍。在疆电外送电量中, 70% 以上为煤电, 新能源电量占 27.84%^[9]。

(3) 西气东输能力。

自 2004-01-01 西气东输一线工程正式向上海供气, 至 2022-09-28, 国家“十四五”石油天然气发展规划重点项目——西气东输四线天然气管道工程正式开工, 已有 4 条西气东输线路运营或在建。虽然西气东输主要气源为中亚及新疆的天然气, 一旦天然气源不足或输气能力增强, 西气东输管网同样可承担输送煤制气功能, 如三线工程途经新疆、甘肃、宁夏、陕西、河南、湖北、湖南、江西、福建、广东等 10 个省(区), 设计年输气量 30 km³, 主要气源来自中亚国家和国内塔里木盆地增产气, 也将新疆煤制气作为补充气源。截至 2022 年底, 西气东输管道系统总里程超过 2 万 km, 西气东输突破 8 000 亿 m³, 替代标煤 10.7 亿 t, 惠及我国西部、长三角、珠三角、华中及中原地区的 400 多个城市、3 000 余家大中型企业和近 5 亿人口^[10]。

(4) 煤化工能力。

截至 2022 年, 新疆(不含生产建设兵团)煤制天然气产能达 33.75 亿 m³、煤制烯烃产能达 68 万 t、煤

制 BDO 产能达 52 万 t、煤制乙二醇产能达 40 万 t。据《新疆维吾尔自治区煤炭工业发展“十四五”规划》, “十四五”期间, 新疆将稳步发展煤炭煤化工资源密集型产业, 加快推进现代煤化工与电力、石油、化工、化纤、冶金、建材、新能源等产业融合发展。加快推动自治区传统煤化工产业转型升级, 向高端化、精细化、新材料等方向发展, 实现产品由初级原料型产品向高端新材料产品转变, 重点发展准东、吐哈地区煤制油、煤制气、煤制烯烃、煤炭分质综合利用、煤制乙二醇等现代煤化工产业及下游延伸产业。新疆煤化工产业的发展主要受水资源约束。

疆煤自用、外运及消费现状如图 4 所示。结合上述疆煤外运、疆电外送、西气东输以及煤化工生产规划, 可以预期疆煤自用和外运能力都将有较大的增长。对 2015—2023 年新疆原煤产量进行线性拟合, 得到

$$y(t) = 0.3985t + 0.6290, R^2 = 0.934 \quad (1)$$

其中, $y(t)$ 为 t 年原煤产量, 亿 t; t 为时间, 以 2015 年为第 1 年。据此预计到 2030 年时, 煤炭资源产量为 7.005 亿 t, 2035 年产量为 8.9975 亿 t。考虑到 2030 年碳达峰后, 全国煤炭需求量逐年减少, 新疆煤炭产量增幅减缓, 按照年增量由 2030 年前的 3 985 万 t/a 下降到 2 000 万 t/a 计算, 到 2035 年新疆煤炭产量为 8.005 亿 t。火电、煤化工、外运和其他将分别达到 2.96 亿 t、0.97 亿 t、1.55 亿 t、2.51 亿 t。

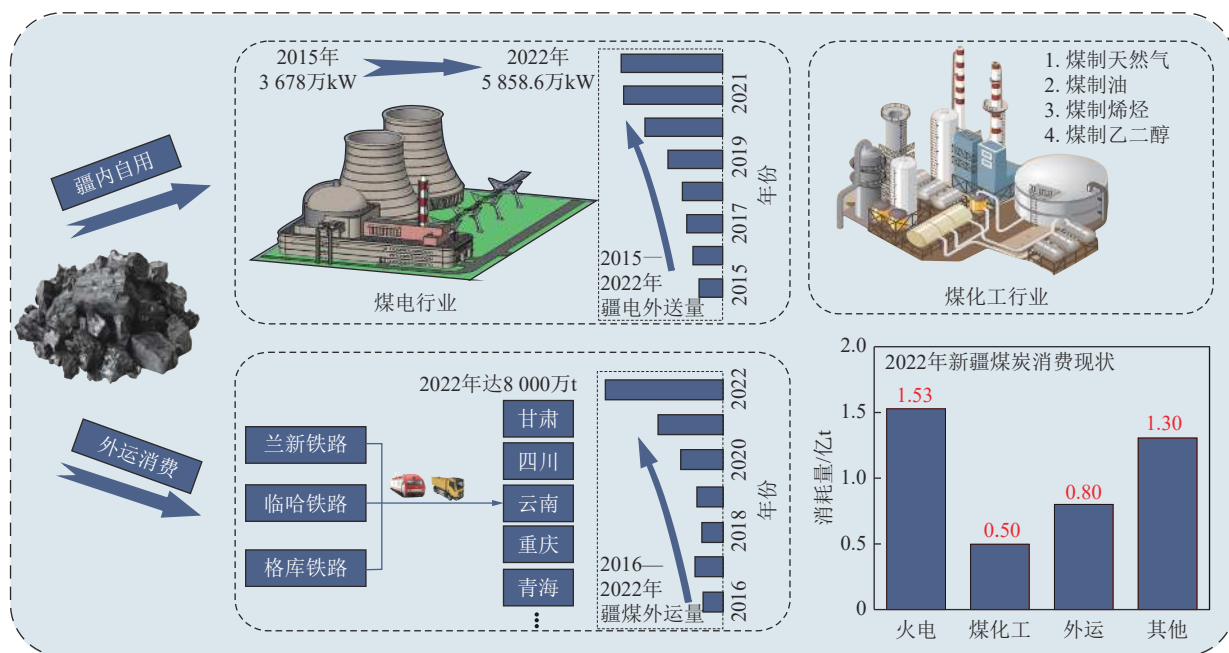


图 4 新疆煤炭资源外运与转化利用现状

Fig.4 Current situation of Xinjiang coal resources transportation, transformation and utilization

3 新疆煤炭资源赋存区生态条件及其承载力

3.1 新疆煤炭资源赋存区生态环境条件

由于新疆地域辽阔,不同煤炭资源赋存区的生态条件也存在多样性与复杂性^[11]。对已经纳入规划的准东、吐哈、伊犁、库拜、和丰5个主要产煤区的生态环境条件分述如下:

(1) 准东地区。地处天山北坡经济带,由五彩湾、大井、将军庙、西黑山、老君庙等矿区组成,为大型煤电基地与现代化煤化工基地。区内气候酷热干旱,年降水量仅为160~200 mm(数据来源:准东经济技术开发区国土空间规划(2021—2035年)),自然降水分布不均且无常年地表径流,局部地区分布有稀少的浅层地下水;地形以平原、台地、丘陵为主;地处沙漠、荒漠区,土壤沙化、荒漠化严重,土壤类型为砂土;自然植被为温带半灌木、矮乔木,属荒漠草原带,植物群落单一,覆盖度仅为5%~10%(数据来源:准东经济技术开发区国土空间规划(2021—2035年))。

(2) 吐哈地区。地处东疆的吐鲁番—哈密盆地,由大南湖、沙尔湖、三塘湖、淖毛湖、巴里坤等矿区组成,以“疆煤外运、疆电外送”为主^[1]。属大陆性温带干旱气候,昼夜温差大,降水稀少,蒸发强烈,风沙大,日照时间长;地处戈壁荒漠区,地表水和地下水资源较少;地形以平原、台地、丘陵为主;土壤以壤土和砂土为主;植被稀疏,物种多样性不高,覆盖度低于5%^[12]。

(3) 伊犁地区。地处新疆西北边陲的伊犁河谷盆地,由伊宁、昭苏、尼勒克等矿区组成,为煤制天然气和煤化工的煤炭生产基地,以满足当地生产及生活用煤为主。区内属大陆性北温带半干旱气候,四季分明,年降水量约为300 mm,区内水系较发育;区内土壤主要为壤土、粉(砂)壤土,局部存在粉质黏土;属荒漠草原区,植被主要为小半灌木荒漠植被和荒漠草原植被,在河谷地带零星分布有少量次生林,地表植被覆盖度20%左右。

(4) 库拜地区。地处塔里木盆地北缘—天山南麓交界处,由俄霍布拉克、拜城、阿艾等矿区组成,适度发展煤电和煤化工,满足南疆四地州生产生活用煤。属大陆性暖温带干旱气候,降水稀少(73~171 mm)^[13];属中低山、丘陵地貌,切割较强烈,冲沟发育,区内地表水系和地下水资源较为丰富;土壤类型为壤土;大部分地表呈半荒漠景观,以小半灌木荒漠植被和荒漠草原植被为主。

(5) 和丰地区。地处北疆的准噶尔盆地西北部,由和什托洛盖、白杨河等矿区组成,以供应当地及邻近区域用煤为主。属北温带大陆性干旱气候,气温变化

较大,降水分布不均,多年平均降水量为142 mm^[14];地形以平原、台地、丘陵为主;土壤类型为壤土、砂土和黏壤土,植被类型以荒漠植被为主。

3.2 新疆煤炭资源赋存区生态环境承载力

由于煤炭资源的稀缺性与不可再生性,兼顾新疆煤炭资源赋存区自然本底的脆弱性,要想实现煤炭开发与环境保护协调统一,须保证煤炭开发活动维持在生态环境承载力范围内。承载力较早的定义是指特定的生存空间,在诸多生态因子的配合下,某种生物个体存在数量的最高极限^[15]。生态环境承载力是指在一定的社会经济与技术条件下,特定区域生态环境对人类活动支持能力的最大限度,其取决于生态环境系统的供容能力与社会经济系统的发展能力^[16]。本文兼顾资源禀赋、生态环境、社会经济发展水平,选取了24个评价指标,基于DPSIR模型构建了生态环境承载力评价指标体系^[17],并辅以变异系数法与层次分析法判定指标权重(表2),按指标正负向作标准化处理,并按照式(2)作栅格叠加,测算2020年新疆煤炭资源赋存区的生态环境承载力指数(Eco-Environment Carrying Capacity, I_{EECC}),结果如图5所示。

$$I_{EECC} = D w_d + S w_s + R w_r + P w_p + I w_i \quad (2)$$

式中, I_{EECC} 为环境承载力指数; D 、 P 、 S 、 I 、 R 分别为驱动力、压力、状态、影响和响应子系统; w_d 、 w_s 、 w_r 、 w_p 、 w_i 分别为对应各子系统的权重。

2020年,新疆煤炭资源赋存区生态环境承载力指数集中在0.146 5~0.584 7,整体处于中低水平;五大煤炭资源赋存区生态环境承载力均值排序为伊犁煤田(0.42)>库拜煤田(0.38)>和丰煤田(0.31)>准东煤田(0.25)>吐哈煤田(0.22),呈现出由西到东递减的趋势。利用自然断点法进行重分类,划分为低、较低、中、较高和高承载力5个等级,利用空间统计分析法得到了五大煤炭资源赋存区生态环境承载力情况,具体见表3。

从整体看,伊犁地区生态环境承载力最强,无低承载力和较低承载力等级土地,中承载力土地面积占比仅为0.19%,较高承载力土地面积占比29.48%,高承载力土地面积占比高达70.33%。伊犁煤炭资源赋存区地处伊犁河上游流域,得天独厚的水热条件使其植被资源丰富、耕地面积多、生态环境承载能力强。

库拜地区平均生态环境承载力为0.38,区内以较高承载力和高承载力等级土地为主,分别占比89.06%和10.94%。库拜地区虽降水量较少,但有库车河流经,周边植被覆盖度高,且大多为井工开采,对生态环境破坏程度小。

表 2 生态环境承载力评价评价指标体系与权重
Table 2 Evaluation index system and weight of ecological environment carrying capacity evaluation

目标层	准则层		指标层		
	指标	权重	指标	属性	权重
生态环境承载力EECC	驱动力 <i>D</i>	0.199 2	年均温	+	0.003 6
			年降水量	+	0.108 1
			地均GDP	+	0.590 5
			GDP增长率	+	0.207 1
			工业产值占比	+	0.090 7
	压力 <i>P</i>	0.055 4	干旱指数	−	0.194 7
			污水排放量	−	0.266 0
			人口密度	−	0.029 5
			人均用水量	−	0.237 0
			土地利用强度	−	0.272 7
	状态 <i>S</i>	0.389 6	植被指数	+	0.091 2
			空气质量优良率	+	0.069 0
			人均水资源量	+	0.118 9
			人均耕地面积	+	0.475 5
			净初级生产力	+	0.245 5
	影响 <i>I</i>	0.155 4	人均原煤产量	−	0.350 1
			万元GDP能耗	−	0.297 0
			细颗粒物质量浓度	−	0.199 7
			裸地空间分布	−	0.097 4
			工矿用地分布	−	0.055 8
	响应 <i>R</i>	0.200 4	第三产业比重	+	0.219 3
			污水处理率	+	0.210 5
			造林面积	+	0.352 5
			水土流失治理面积	+	0.217 7

注：“+”代表正向指标，“−”代表负向指标；各指标数据来源于中国科学院资源环境数据中心(<http://www.geodata.cn/>)、资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn/>)、《新疆统计年鉴》、《中国城市建设统计年鉴》、《中国区域经济统计年鉴》、《新疆维吾尔自治区第七次全国人口普查主要数据》以及利用MODIS、Landsat数据处理后获得。

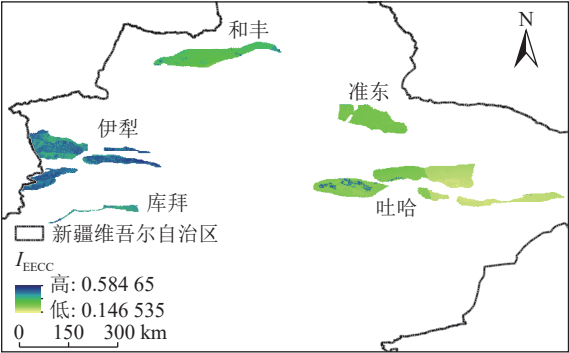


图 5 2020 年新疆煤炭资源赋存区生态环境承载力空间格局
Fig.5 Spatial pattern of ecological environment carrying capacity in coal resource occurrence area of Xinjiang in 2020

和丰地区平均生态环境承载力为 0.31,中承载力等级土地面积占比最大,为 92.61%,较低、较高、高承

载力等级土地面积占比分别为 1.96%、4.38%、1.05%。和丰煤炭资源赋存区横跨阿勒泰和塔城地区,属于新疆北部,虽水土资源条件良好,但人口、资源、环境压力较大,使得该区生态环境承载力处于中等水平。
准东地区生态环境承载力居第 4 位,其中较低承载力土地面积占比高达 99.46%,其他等级土地面积占比不足 1%。其降水量少、蒸发量大的气候特点导致该区生态环境较为脆弱,水资源成为发展的限制因素,且准东煤田是我国最大的整装煤田,以露天开采为主,大规模开采引起植被覆盖度降低和土地沙化等生态问题,使区域生态环境承载力较低。
吐哈地区生态环境承载力最低,低承载力土地面积占比为 49.24%,较低承载力土地面积占比为 46.18%,

表 3 新疆煤炭资源赋存区生态环境承载力数据统计

Table 3 Statistics of ecological environment carrying capacity in Xinjiang coal resource occurrence area

名称	平均指数	不同等级承载力土地面积占比/%				
		低承载力 (<0.21)	较低承载力 ($0.21\sim0.27$)	中承载力 ($0.27\sim0.34$)	较高承载力 ($0.34\sim0.41$)	高承载力 (≥0.41)
准东	0.25	0	99.46	0.06	0.48	0
吐哈	0.22	49.24	46.18	0.10	0.27	4.21
伊犁	0.42	0	0	0.19	29.48	70.33
库拜	0.38	0	0	0	89.06	10.94
和丰	0.31	0	1.96	92.61	4.38	1.05

其余等级承载力土地面积占比不足 5%。吐哈地区水资源匮乏,生态环境恶劣,区内工矿用地面积不断增加,土地退化加剧,生态环境日趋恶化,恶劣的自然条件加之人为活动的干扰,使得吐哈地区生态环境承载力水平最低。

4 新疆煤炭资源开发利用策略

4.1 煤炭资源开发布局的优化

按照国家赋予新疆“三基地一通道”的战略定位,有序开发煤炭资源,强化煤炭资源的清洁利用。以准东、伊犁、吐哈、库拜等区域为重点,推进新疆大型煤炭基地建设,实施疆电外送、疆煤外运、西气东输、现代煤化工等重大工程。依托准东、哈密等大型煤炭产区,稳妥推进煤制油气产业建设。加大库尔勒塔什店、和田布雅等煤矿区的开发,保障南疆地区民生用煤。合理调控区内煤炭开发强度,控制改扩建及新建矿山最低开采规模,除喀什、克州、和田、阿勒泰及个别边缘缺煤县市外,禁止新建 120 万 t/a 以下产能煤矿。科学规划和合理开发煤炭资源,不仅有助于提高采煤效率,降低开采成本,减少事故风险,还能减少对环境的负面影响,实现矿业生产的安全性和可持续性。

4.2 开采技术升级的推动

新疆的煤炭资源表现为煤层层数多、厚度大、分布广,以中厚煤层、厚煤层为主,如准东煤田单层煤厚平均达 71.85 m。同时,煤炭资源的广泛分布导致不同地区的煤岩体物理力学性质和煤层赋存状态存在显著差异。以榆树田煤矿为代表的南疆煤田为典型的“两硬”煤层,坚硬的顶底板条件直接带来覆岩运动剧烈、顶板来压明显等问题;以大南湖五矿为代表的北疆煤田为典型的“三软”煤层,软弱的围岩与煤层条件直接导致巷道支护困难、顶板淋水垮落严重等问题;以乌东煤矿为代表的巨厚急倾斜矿井,急需研发、应用更加安全高效的煤炭开采方法。目前,新疆厚煤层井工开采以放顶煤,包括分层放顶煤开采方法为主,顶煤放出困难、开采采出率低的问题成为直接制约煤

炭资源高效采出的重要因素。因此,需要加强顶煤破碎机理、散体顶煤放出规律、放顶煤支架-围岩关系、冲击矿压显现规律等方面的理论研究。急倾斜特厚煤层的水平分段放顶煤开采技术也是新疆煤炭资源开采急需克服的重点难题,巨厚煤层的露天开采同样面临巨大的挑战。新疆煤炭开采技术升级,是有效解决新疆煤炭资源开采难题,提高煤炭资源采出率,保障安全高效生产的重要途径。

4.3 推进智能采矿技术

以数字化、自动化、智能化采矿装备为核心,推进矿山先进技术装备的研发与应用。对地质、掘进、回采、运输、综合保障、安全管控、生产经营等各个环节进行实时、动态、智能化监测与控制,实现矿山安全、高效和绿色开采。2021 年国家公布首批智能化示范煤矿中,新疆维吾尔自治区有新疆天池能源有限责任公司南露天煤矿、徐州矿务(集团)新疆天山矿业公司俄霍布拉克煤矿、神华新疆能源有限责任公司乌东煤矿、国家能源集团宁夏煤业有限责任公司金凤煤矿 4 处煤矿入选,涉及井工和露天煤炭,新疆煤炭资源智能开采具有良好的技术基础。2023 年 7 月,新疆应急管理厅等 9 部门联合印发了《新疆维吾尔自治区煤矿智能化建设 3 年行动计划(2023—2025 年)》,按照 3 年行动计划,未来 3 a,新疆将在智能化井工煤矿、智能化露天煤矿、智能化选煤厂、智能综合管控平台、智能化科技创新支撑体系、智能化人才队伍建设、智能化关键技术攻关和核心装备研发等方面重点突破,将为煤炭产业高质量发展奠定基础。

4.4 绿色开采理念的强化

新疆属于典型的温带大陆性干旱气候,降水稀少、蒸发强烈,水资源时空分布极不均衡,水资源严重匮乏,南疆地区干燥特征更加明显。新疆煤炭资源的开发必须加强对地表生态、水源水质保护。目前,新疆煤炭资源开发以浅部资源为主,煤炭资源开采过程中诱发的裂隙演化、覆岩移动、地表变形将直接对地下水源、生态环境、地表建筑等造成破坏,为新疆生态环

境造成不可逆的损伤^[18]。因此,强化绿色开采理念必须着眼于整个煤炭资源开发过程,将采中保护与采后治理结合起来,大力推进充填开采、保水开采等技术在新疆煤炭资源开发过程中的应用。研发以风积沙及戈壁砂砾为基质的负碳充填材料和充填技术,是实现新疆煤炭资源低碳绿色开发的有效方法,将实现新疆地区经济增长和生态环境保护的平衡发展。原煤应实现全部入洗,鼓励采用煤矸石井下充填开采技术。高度重视 CCUS 技术在新疆的研发与推广应用,随着疆电外送、西气东输等能力的扩大,越来越多的煤炭转化项目会在新疆本地完成,将造成清洁能源输出而 CO₂ 排放留在了新疆。因此,充分利用新疆油田、深部咸水层及煤矿采空区储存 CO₂ 的潜在能力^[19],研发适用的 CCUS 技术显得尤为迫切。

4.5 煤炭多元化利用渠道的拓展

积极推进新疆煤炭煤电煤化工集群发展,开展煤炭深加工、清洁高效利用、煤炭能源转化为资源、建设煤电煤化工产业集聚区,形成现代煤化工产业发展格局,是“双碳”形势下新疆煤炭资源开发利用的主要途径。煤炭资源除了作为重要的直接燃料外,还可以煤制油、煤制气、煤制氢等清洁能源,减少对传统燃料的依赖,降低温室气体排放。拓展煤炭多元化利用渠道,开展煤炭与新能源、可再生能源协同耦合发展的新模式研究,推动煤炭和新能源优化组合,对于提高新疆煤炭资源价值、促进清洁能源发展具有重要意义。煤炭资源作为化工原料具有广泛的应用场景,可以制乙烯、制甲醇等产品,用于化工、医药等领域;提取石墨烯等新材料,应用于电子、材料科学等领域。煤矸石既是采矿与选矿过程产生的废弃物,同时又是资源,可以采取多种形式加以利用,提高煤矸石综合利用率^[20]。对具有工业价值的共伴生粘土矿、煤层气(瓦斯)等矿产统一规划,综合开采,综合利用。

5 结 论

(1) 新疆可分为准噶尔盆地和塔里木盆地两大赋煤区,准噶尔盆地含煤地层为中-下统侏罗系水西沟群(J_{1-2s}),塔里木盆地含煤地层为侏罗系克拉苏群和叶尔羌群;新疆地区呈现“三山夹两盆”区域地貌,水汽循环垂向分带、横向“向心”和转换频繁,地下水以山前平原第四系含水层为主。

(2) 新疆煤炭资源量大,全区预测煤炭资源量 2.19 万亿 t;煤种齐全,但以中煤阶煤中的低阶烟煤和中阶烟煤为主,低煤阶煤中的褐煤和中煤阶煤中的超高阶烟煤以及高煤阶煤中的无烟煤占比很低;开发利用潜力大,综合考虑疆煤外运、疆电外送、西气东输以

及本地煤化工产业规划,预计 2035 年新疆煤炭产能有望超 8 亿 t。

(3) 新疆煤炭资源赋存区的生态条件具有多样性与复杂性,新疆规划建设的大煤矿区生态环境承载力均值排序为伊犁(0.42) > 库拜(0.38) > 和丰(0.31) > 准东(0.25) > 吐哈(0.22),呈现出由西到东递减的趋势。

(4) 新疆煤炭资源开发利用策略包括优化煤炭资源开发布局、推动开采技术升级、推进智能采矿技术、强化绿色开采理念、拓展煤炭多元化利用渠道等。

参考文献(References):

- [1] 卞正富,雷少刚.新疆煤炭资源开发的环境效应与保护策略研究[J].煤炭科学技术,2020,48(4):43-51.
BIAN Zhengfu, LEI Shaogang. Green exploitation of coal resources and its environmental effects and protecting strategy in Xinjiang[J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(4): 43-51.
- [2] 何深伟,李赛歌,王俊民,等.新疆煤炭资源赋存规律与资源潜力预测[J].中国煤炭地质,2011,23(8):4.
HE Shenwei, LI Saige, WANG Junmin, et al. Coal Resources Hosting Pattern and Prediction in Xinjiang[J]. Coal Geology of China, 2011, 23(8): 4.
- [3] 新疆维吾尔自治区煤田地质局.新疆煤炭资源潜力评价及高钠高油煤高效洁净利用技术研究[R].2015:164.
- [4] 张东升,刘洪林,范钢伟,等.新疆大型煤炭基地科学采矿的内涵与展望[J].采矿与安全工程学报,2015,32(1):1-6.
ZHANG Dongsheng, LIU Honglin, FAN Gangwei, et al. Connotation and prospect on scientific mining of large Xinjiang coal base[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2015, 32(1): 1-6.
- [5] 新疆维吾尔自治区煤田地质局.新疆维吾尔自治区煤炭资源潜力评价成果报告[R].2010.
- [6] 信达证券.新疆煤炭供需与疆煤外运形势分析[EB/OL].(2022-12-03)[2024-01-20].https://roll.sohu.com/a/612837869_121123887.
- [7] 煤炭网.新疆煤炭外运格局和主要通道[EB/OL].(2023-03-24)[2024-01-20].<https://coal.in-en.com/html/coal-2626239.shtml>.
- [8] 李虎威,赵红超,牙生·吾甫尔,亚尔买买提·台外库力,吕金星,张晓雷.新疆煤炭资源科学开采发展趋势与前景分析[J].煤炭工程,2017,49(6):20-22,25.
LI Huwei, ZHAO Hongchao, YASHENG·Wufuer, et al. Analysis on development trend and prospects of scientific mining for coal resources in Xinjiang[J]. Coal Engineering, 2017, 49(6): 20-22, 25.
- [9] 尚杰,赵明昊.一条特高压输电网横跨 6 省区—疆电外送大通道创四项世界纪录[N].光明日报,2023-06-08(4).
- [10] 冉永平,阿尔达克,丁怡婷.惠及四百多个城市、近五亿人口:西气东输累计输气量超八千亿立方米[N].人民日报,2023-03-21(7).
- [11] 于昊辰.新疆荒漠矿区土地生态系统退化评价及调控策略研究[D].徐州:中国矿业大学,2023.
YU Haochen. Measurement of land ecosystem degradation and its regulation of desert mining area in Xinjiang[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2023.
- [12] 陈彬滔,于兴河,王天奇,等.准噶尔盆地南缘中下侏罗统含煤层

- 系层序地层及聚煤控制因素[J]. 沉积学报, 2014, 32(1): 61–67.
- CEHN Bintao, YU Xinghe, WANG Tianqi, et al. Characteristics of sequence stratigraphy and coal accumulation controlling factors of lower-middle urassic coal-bearing series, south margin of Junggar Basin, NW China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2014, 32(1): 61–67.
- [13] 蔚远江. 准噶尔盆地低煤级煤储层及煤层气成藏初步研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2003.
- WEI Yuanjiang. Preliminary Study on low-rank coal reservoirs and coalbed methane pool forming in Zhungaer Basin, NW China[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2003.
- [14] 霍超. 新疆煤炭资源分布特征与勘查开发布局研究[J]. 中国煤炭, 2020, 46(10): 16–21.
- HUO Chao. Research on distribution characteristics and exploration and development layout of coal resources in Xinjiang[J]. China Coal, 2020, 46(10): 16–21.
- [15] 段海煦, 曾维华, 陈家军. 基于可视化分析的“生态、环境、资源”承载力研究[J]. 中国环境科学, 2023, 43(9): 5031–5040
- DUAN Haixu, ZENG Weihua, CHEN Jiajun. Study on the carrying capacity of “ecology, environment and resources” based on visualization analysis[J]. China Environmental Science, 2023, 43(9): 5031–5040
- [16] 王中根, 夏军. 区域生态环境承载力的量化方法研究[J]. 长江职工大学学报, 1999, 16(4): 9–12.
- WANG Zhonggen, XIA Jun. Quantitative analysis on bearing capacity of ecological environment[J]. Journal of Changjiang Institute of Technology, 1999, 16(4): 9–12.
- [17] 任清晨. 新疆资源环境承载力评价与预警研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2023.
- REN Qingchen. Measurement and early warning of resources and environmental carrying capacity in Xinjiang[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2023.
- [18] 曾强, 李根生, 董敬宣, 等. 新疆煤炭资源开采典型生态环境问题及对策[J]. 矿业安全与环保, 2017, 44(1): 106–110.
- ZENG Qiang, LI Gensheng, DONG Jingxuan, et al. Typical Ecological and environmental issues and countermeasures in coal mining in Xinjiang region[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2017, 44(1): 106–110.
- [19] 卞正富, 伍小杰, 周跃进, 等. 煤炭零碳开采技术[J]. 煤炭学报, 2023, 48(7): 2613–2625.
- BIAN Zhengfu, WU Xiaojie, ZHOU Yuejin, et al. Coal mining technology with net zero carbon emission[J]. Journal of China Coal Society, 2023, 48(7): 2613–2625.
- [20] 黄艳利, 王文峰, 卞正富. 新疆煤基固体废物处置与资源化利用研究[J]. 煤炭科学技术, 2021, 49(1): 319–330.
- HUANG Yanli, WANG Wenfeng, BIAN Zhengfu. Prospects of resource utilization and disposal of coal-based solid wastes in Xinjiang[J]. Coal Science and Technology, 2021, 49(1): 319–330.