

# 我国干旱半干旱煤矿区环境问题及对策

闫庆武<sup>1,2</sup>, 厉飞<sup>2</sup>, 朝鲁孟其其格<sup>3</sup>, 董霁红<sup>2</sup>

(1.中国矿业大学公共管理学院,徐州 221116;2.中国矿业大学环境与测绘学院,徐州 221116;

3.内蒙古自治区草原勘察规划院,呼和浩特 010051)

**【摘要】**近年来,伴随着东部地区煤炭资源的枯竭,我国煤炭开采的重心逐步由东部湿润地区转移到西部干旱半干旱地区。生态环境脆弱是干旱半干旱区自然本底特征,大规模的煤炭开采一定程度上改变了当地的环境现状,带来了诸多环境问题。基于“井工”和“露天”两种不同煤炭开采方式,文章分析了干旱半干旱区煤炭开采造成的主要环境问题,并基于生态累积效应理论,分析了采煤活动的生态累积评估方法。最后,针对存在的主要环境问题提出了相应的对策与策略。

**【关键词】**干旱半干旱区;煤炭开采;生态累积效应

中图分类号:X3

文献标识码:A

文章编号:1673-288X(2021)02-0079-04

DOI:10.19758/j.cnki.issn1673-288x.202102079

## 1 干旱半干旱煤矿区开采背景及现状

《2019年国民经济和社会发展统计公报》<sup>[1]</sup>显示,2019年全国累计原煤产量38.5亿吨;全年能源消费总量48.6亿吨标准煤;煤炭消费量占能源消费总量的57.7%。煤炭产业在国民经济和社会发展过程中仍起到了十分重要的作用。《2019煤炭行业发展年度报告》<sup>[2]</sup>表明,2019年,内蒙古、山西、陕西和新疆4个亿吨级煤炭生产省份原煤产量29.6亿吨,占全国的76.9%,同比提高1.7个百分点。由此可见干旱半干旱煤矿区已成为我国煤炭的主要生产地区。

受到诸多自然条件的影响,如地形、气候、植被覆盖等,我国干旱半干旱煤矿区生态环境脆弱且承载力较小,长时间、大规模的煤炭开采导致了一系列生态环境问题。2007年的“大型煤炭基地煤炭资源、水资源和生态环境综合评价”项目报告<sup>[3]</sup>显示,除云贵基地外,西部的大型煤炭基地均分布在干旱、半干旱地区;神东、陕北等基地的环境容量小;蒙东(东北)、宁东、黄陇等基地的环境容量较小。《煤炭工业发展“十三五”规划》<sup>[4]</sup>指出,干旱半干旱煤矿区水资源缺乏,植被稀少,

生态环境脆弱,主要环境影响是地下水径流破坏、地下潜水位下降和地表水减少,引起地表干旱、水土流失、荒漠化和植被减少,煤矸石和瓦斯产生量大。西部地区资源丰富,开采条件好,生态环境脆弱,要加大资源开发与生态环境保护统筹协调力度。据预测,2020年西部地区将产生煤矸石4.03亿吨、煤泥9120万吨、矿井水35.47亿立方米,新形成沉陷土地面积3.34万公顷。

## 2 环境问题的表现

煤炭产业在促进国民经济发展方面起到了至关重要的作用,也一定程度上破坏了煤矿区的生态环境,进而导致了一系列生态环境和社会问题。本文从煤炭开采的两种形式(井工开采和露天开采)出发,探讨不同采煤工艺对干旱半干旱煤矿区的生态环境造成的累积影响。

### 2.1 井工开采的主要环境问题

井工开采对煤矿区生态环境的影响表现如下:

(1)塌陷。井工开采过程中工作面的掘进和回填工作严重影响地质结构,进而使得岩层发生变形,导致地表发生塌陷、裂缝和滑坡等环

基金项目:内蒙古自治区科技计划项目(2060399-273);国家自然科学基金项目(51874306)

作者简介:闫庆武,副教授,主要从事土地资源评价与GIS应用研究

境问题。

(2)水土流失。井工开采形成的导水裂隙带破坏地下含水层,从而导致地下水流失。地表沉降会导致土壤变得疏松,涵水抗蚀能力下降,使得土壤侵蚀现象加剧,降低土地的生产力。

(3)压占及土壤污染。由于煤矸石的堆积形成的矸石山压占了矿区的其他土地资源,改变了土地利用状态,破坏了地表植被;同时,煤矸石中含有的重金属离子还会污染压占区土壤,严重损害土地的生产能力。

(4)大气污染。煤矸石的燃烧产生大量的氮氧化物和硫氧化物等有害气体,这些气体被释放到空气中会形成酸雨对地表环境造成进一步损害。煤炭储运产生的煤尘以及煤炭加工过程中锅炉产生的烟气都会造成空气污染。

### 2.2 露天开采的主要环境问题

露天开采造成的煤矿区生态环境问题主要表现为以下几个方面:

(1)挖损。露天开采需要对矿区地表土壤进行剥离,直接改变了矿区的地表形态、植被覆盖和土地利用状态,形成了许多裸露矿坑。即使在开采工作结束后对矿坑进行回填工作,开采痕迹依旧清晰可见,无法完全修复挖损带来的环境问题。

(2)压占。露天开采过程中土壤、岩石的转移以及煤炭的储存需要压占大量的土地资源,这既改变了土地利用状态,也破坏了压占区的植被覆盖。

(3)空气污染。露天开采造成的挖损、压占等问题严重破坏了植被覆盖,使得植被的防风固沙作用减弱,进而导致大量在开采过程中产生的固体废弃物飘浮至空中形成扬尘。同时,开采过程中有大量的粉尘被排放至空气中,给煤矿区的大气环境造成了严重的负担。有关资料表明,有些矿区向大气中排放的煤尘是煤炭产量的1.6%以上<sup>[5]</sup>。

煤矿开采过程中会给周边环境造成大气污染、水体污染以及生态失衡等多方面的问题,严重影响周边居民的生活以及资源的可持续开采(图1)。煤炭生产不仅直接影响了采矿区及其周边环境,而且给后续煤炭加工产业基地的环境带来沉重的负担。

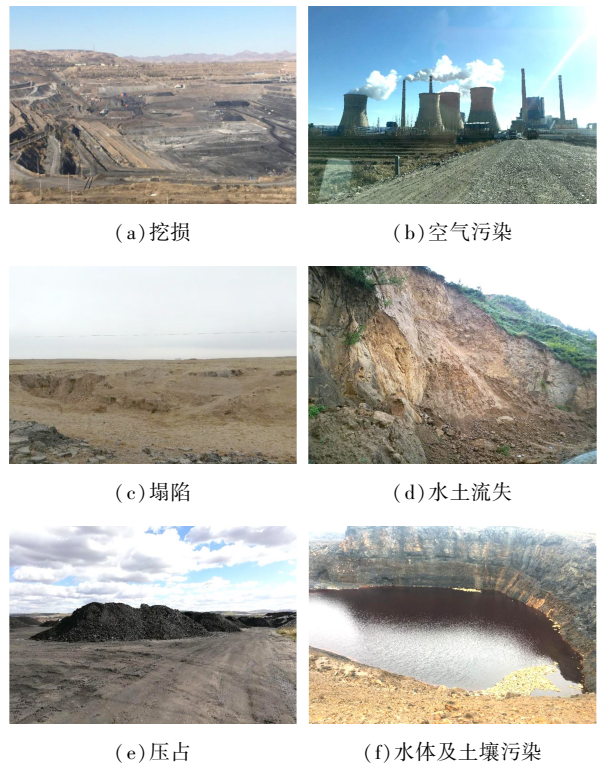


图1 干旱半干旱煤炭开采带来的环境问题

### 3 环境累积评价模型的构建

干旱半干旱煤矿区凸显的环境问题是历史时期煤炭开采对生态环境影响累积的结果,如果要想有效地治理相关环境问题,必须研究生态环境累积的相关机理。因此,本文借助生态累积效应理论,基于两种开采方式带来的生态环境问题,综合选取了不同的累积因子,构建了干旱半干旱区环境累积评价模型,为科学地制定解决不同环境问题的策略提供支持。生态累积效应的概念已经广泛地应用于各个领域<sup>[5-6]</sup>,王行风等<sup>[7]</sup>从经济、社会和环境多方面分析了山西潞安矿区的时空累积效应,构建了矿区的景观生态累积评价模型,探究了煤炭开采活动对矿区土地利用类型和景观生态的累积影响。

干旱半干旱矿区生态累积效应的表征模型选取景观格局干扰累积、植被退化累积、水土流失累积和空气污染累积四个方面构建生态累积效应指数(*ECEI*)来表征这种因煤炭资源开发活动而造成的矿区生态累积损失,其概念模型为:

$$ECEI = CLDI + CVDI + CWSLI + CAPI \quad (1)$$

式中,*ECEI*为生态累积效应指数;*CLDI*为景

观格局干扰累积指数;  $CVDI$  为植被退化累积指数;  $CWSLI$  为水土流失累积指数模型;  $CAPI$  为空气污染累积指数。

(1) 景观格局干扰累积指数模型

煤矿区的生态环境对外界影响的响应能力不仅和景观类型组成有关,而且和景观格局结构有着密不可分的关系。为了评价煤矿区的开采活动给当地景观格局带来的累积影响,参考相关研究<sup>[8]</sup>,选取破碎度、分离度和优势度3个指标来表征干旱半干旱草原矿区景观格局受各种干扰影响的程度,其表达式为:

$$LDI_i = \alpha DP_i + \beta V_i + \gamma FD_i \quad (2)$$

式中,  $LDI_i$  为煤矿区景观类型  $i$  的格局干扰指数;  $DP_i$ 、 $V_i$ 、 $FD_i$  分别为景观类型  $i$  的破碎度、分离度和分维数倒数;  $\alpha$ 、 $\beta$  和  $\gamma$  为各指标对应的权重,  $\alpha + \beta + \gamma = 1$ , 借鉴相关研究,对  $\alpha$ 、 $\beta$  和  $\gamma$  分别赋值 0.3、0.5 和 0.2。

采用差分分析法构建景观干扰累积指数 ( $CLDI$ ),其表达式为:

$$CLDI_{it} = \frac{LDI_{it} - LDI_{i0}}{LDI_{i0}} \quad (3)$$

式中,  $CLDI_{it}$  为格局干扰累积指数;  $t$  为研究期;  $i$  为景观类型;  $CLDI_{it} > 0$  为景观格局受到外界的负面影响增强;  $CLDI_{it} < 0$  为景观格局受到外界的负面影响减弱。

(2) 植被退化累积指数模型

采用趋势线法构建植被退化累积指数,表示干旱半干旱草原矿区煤炭开采对当地的植被覆盖带来的累积影响。表达式为:

$$CVDI_t = (n - 1) \frac{n \cdot \sum_{t=1}^n t \cdot NDVI_t - \sum_{t=1}^n t \cdot \sum_{t=1}^n NDVI_t}{(\sum_{t=1}^n t)^2 - n \cdot \sum_{t=1}^n t^2} \quad (4)$$

式中,  $CVDI_t$  为植被退化累积指数;  $t$  为研究期;  $NDVI_t$  为植被指数平均值;  $n$  为时间。  $CVDI_t > 0$  为  $NDVI_t$  在研究期内呈下降趋势;  $CVDI_t < 0$  为  $NDVI_t$  在研究期内呈上升趋势。

(3) 水土流失累积指数模型

利用 RUSLE 模型来评价干旱半干旱草原矿区的水土流失情况。RUSLE 模型是目前国内外应用广泛的土壤侵蚀预测模型之一<sup>[9-10]</sup>,它不仅

弥补了实地观测在大尺度应用上的局限性,而且在不同尺度的模拟中取得了较好的效果,其表达式为:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (5)$$

式中,  $A$  为年土壤侵蚀量;  $R$  为降雨侵蚀力因子;  $K$  为土壤可蚀性因子;  $L$  为坡长因子;  $S$  为坡度因子;  $C$  为地表植被覆盖因子;  $P$  为水土保持措施因子。

通过差分分析法获得水土流失累积指数 ( $CWSLI$ ),其表达式为:

$$CWSLI_t = \frac{A_t - A_0}{A_0} \quad (6)$$

式中,  $CWSLI_t$  为  $t$  时期研究区的水土流失累积指数;  $A_t$  为  $t$  时期的水土流失指数。

(4) 空气污染累积指数模型

本研究选取可吸入颗粒物  $PM_{2.5}$  和  $PM_{10}$  的浓度作为衡量干旱半干旱草原矿区空气污染的指标,构建空气污染累积指数,公式如下:

$$CAPI_t = \sum_{i=1}^n \frac{PM_{it} - PM_{i0}}{PM_{i0}} \quad (7)$$

式中,  $CAPI_t$  为  $t$  时期研究区空气污染累积指数;  $PM_{it}$  为  $t$  时期第  $i$  种污染物的浓度;  $n$  为污染物的种类。

## 4 环境问题的相应对策

根据干旱半干旱煤矿区在开采过程中产生的生态环境问题与生态累积效应评价结果,应对煤炭开采带来的环境问题需要采取的对策有:

(1) 顺之以天理,应之以自然

根据干旱半干旱煤矿区水土资源和植被覆盖等生态环境本底条件,参照其景观格局特点,遵循自然规律,制定相关的环境治理与生态恢复对策。具体来说,应根据生态环境损毁程度进行环境修复区划,制定分区修复策略,实行分区修复;因地制宜,将自然修复和人工修复相结合,适合自然修复的区域则采用自然修复的方式,自修复能力较弱的地区则采取以人工修复为主、自然修复为辅的治理方式,提高矿区生态环境修复效率、节约成本。

(2) 实时监测,靶向修复

将无人机遥感监测和人工实地勘察相结合,

从“天地一体”的角度对干旱半干旱煤矿区及其周边地区进行全方位实时监测,全面了解煤矿区的生态环境现状,记录整理用于生态环境修复的数据;结合历史数据和监测数据,对比分析煤炭开采前后生态环境的变化,总结煤炭开采活动对周边生态环境带来的累积影响;根据生态环境累积评价结果表现出来的景观格局干扰状况、植被退化、水土流失和空气污染等方面的问题,实施精准靶向修复。例如:针对植被退化及水土流失问题,采取措施加强煤矿区的绿化工作,修复被破坏的植被,并在矿区实施相关的治坡工程(梯田、台地)、治沟工程(淤地坝、拦沙坝、沟头防护等)和小型水利工程等,开展水土流失工程治理。

### (3) 统筹兼顾,动态修复

统筹煤炭开采和环境保护之间的关系,实行“边开采边治理”策略。从土地、煤炭和生态环境等资源角度出发,以确保综合效益最大化为目标,权衡煤炭开采和生态环境保护间的关系,制定科学合理的“边开采边治理”方案。以方案为指导,在进行煤炭开采活动的同时,系统地、有针对性地对于干旱半干旱煤矿区及其周边地区的生态环境进行动态治理与修复。

### (4) 弹性应对,协同管理

从景观格局干扰、植被退化、水土流失和空气污染四个方面探索并掌握干旱半干旱煤矿区负面生态效应的影响机制,把基于单一工程技术手法的应对机制转变为基于复杂系统的弹性应对机制

模式,制定一整套干旱半干旱煤矿区生态弹性应对策略和协同管理体系,推广应用于相似地域。从生态和社会两部分对煤矿区进行功能分类、层次划分和适宜性匹配。结合工程弹性、经济弹性、社会弹性和生态弹性,采取动态复垦、目标靶向修复、无人区自然恢复、荒漠景观再造等优化模式,分区、分层次实施煤矿区生态恢复与治理。

### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局.2019年国民经济和社会发展统计公报[R].2020.
- [2] 中国煤炭工业协会.2019煤炭行业发展年度报告[R].2020.
- [3] 中国地质调查总局.“大型煤炭基地煤炭资源、水资源和生态环境综合评价”项目报告[R].2007.
- [4] 中华人民共和国国家发展和改革委员会,中华人民共和国国家能源局.煤炭工业发展“十三五”规划[R].2017.
- [5] 史婉丽,杨帆,王尚玉,等.梯级水电开发累积环境影响评价理论框架[J].南水北调与水利科技,2015(05):871-876.
- [6] 李佳承.基于遥感和GIS的青藏铁路生态累积效应研究[D].南京:南京信息工程大学,2013:44-54.
- [7] 王行风,汪云甲,马晓黎,等.煤矿区景观演变的生态累积效应:以山西省潞安矿区为例[J].地理研究,2011(05):879-892.
- [8] 邱彭华,徐颂军,谢跟踪,等.基于景观格局和生态敏感性的海南西部地区生态脆弱性分析[J].生态学报,2007(04):1257-1264.
- [9] 李柏延,任志远,易浪.2001—2010年榆林市土壤侵蚀动态变化趋势[J].干旱区研究,2015(05):918-925.
- [10] 秦伟,朱清科,张岩.基于GIS和RUSLE的黄土高原小流域土壤侵蚀评估[J].农业工程学报,2009(08):157-163+4.

## Environmental problems and countermeasures in arid and semi-arid coal mine areas

YAN Qingwu<sup>1,2</sup>, LI Fei<sup>2</sup>, CHAO Lumengqiqige<sup>3</sup>, DONG Jihong<sup>2</sup>

(1.School of Public Policy and Management,China University of Mining and Technology,Xuzhou 221116,China;

2.School of Environment Science and Spatial Informatics,China University of Mining and Technology,Xuzhou 221116,China;

3.Inner Mongolia Institute of Grassland Investigation and Planning,Hohhot 010051,China)

**Abstract:** In recent years, with the depletion of coal resources in eastern China, the focus of coal mining in China has gradually shifted from the eastern humid areas to the western arid and semi-arid areas. The fragile ecology and environment is the natural background characteristics of arid and semi-arid areas. Large scale coal mining has changed the local environmental status to a certain extent, and brought many environmental problems. Based on the two different coal mining methods of “underground” and “open pit”, this paper analyzes the main environmental problems caused by coal mining in arid and semi-arid areas. And then, based on the theory of ecological cumulative effect, the ecological accumulation assessment method of coal mining activities is analyzed. Finally, the corresponding countermeasures and strategies for the main environmental problems are put forward.

**Keywords:** arid and semi-arid area; coal mining; ecological cumulative effect