



移动阅读

田会,王忠鑫. 露天开采对环境的扰动行为及其控制技术[J]. 煤炭学报, 2018, 43(9): 2416-2421. doi:10.13225/j.cnki.jccs.2018.0928

TIAN Hui, WANG Zhongxin. Disturbance behavior of open-pit mine on environment and its control technology[J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(9): 2416-2421. doi:10.13225/j.cnki.jccs.2018.0928

露天开采对环境的扰动行为及其控制技术

田会¹, 王忠鑫^{2,3}

(1. 中国煤炭工业协会, 北京 100713; 2. 煤炭科学研究总院 沈阳露天采矿技术研究分院, 辽宁 沈阳 110015; 3. 中煤科工集团沈阳设计研究院有限公司, 辽宁 沈阳 110015)

摘要: 阐述了露天开采产生环境扰动的概念, 基于扰动对象和矿田开发阶段确定了扰动行为的分类方法, 提出了扰动行为具有自恢复性、过程性和可控性等特征。创建了扰动行为的管理控制理论, 其基本原理是将露天矿区的环境背景值作为基准值, 以露天矿开采后恢复原始环境为最低控制目标, 对扰动行为实施全生命周期的动态管理与控制, 确保露天矿开采后的周边环境恢复到原始状态, 力争实现对周边环境的重构和改善。提出了“扰动系数”的概念和计算方法, 用于量化露天开采对环境的综合扰动程度, 建立了露天开采对水、大气、土地和生态环境扰动的分类控制指标, 共4大类7个指标。研究了中国典型露天煤矿的扰动系数, 构建了扰动控制关键技术体系。提出的综合扰动程度评价指标主要适用于露天开采, 对于矿井开采也可提供一定借鉴。

关键词: 露天矿; 扰动系数; 绿色开采; 矿山环境; 生态重构

中图分类号: TD824

文献标志码: A

文章编号: 0253-9993(2018)09-2416-06

Disturbance behavior of open-pit mine on environment and its control technology

TIAN Hui¹, WANG Zhongxin^{2,3}

(1. China National Coal Association, Beijing 100713, China; 2. Open Pit Mining Technology Research Branch, China Coal Research Institute, Shenyang 110015, China; 3. CCTEG Shenyang Engineering Company, Shenyang 110015, China)

Abstract: The concept of environmental disturbance caused by surface mining is expounded in this paper. The classification method of disturbance behavior is determined based on the disturbance object and the development stage of the surface mine. The characteristics of self-recovery, process and controllability are proposed, and the theory of management and control of disturbance behavior is also presented. The basic principle of the theory is to take the baseline values of the surface mine as a reference, the original environment will then be restored after mining as the lowest goal. The dynamic management and control of the whole life cycle of the disturbance behavior will be carried out to ensure that the surrounding environment will not be damaged after the mining operation of surface mine. To achieve the reconstruction and improvement of the surrounding environment, the management and control indexes of surface mining for water, atmosphere, land and ecological environment disturbance are constructed. There are four major categories and seven indexes. The concept and calculation method of DC are put forward for the first time. It will be used to quantify the environment disturbance degree of surface mine. The DC of typical surface coal mines in China is studied. The key technology system of disturbance control has been set up.

Key words: open pit mine; disturbance coefficient; green mine; mine environment; ecological restructure

由于露天开采具有资源采出率高、安全生产条件好和生产效率高的优势, 世界各主要产煤国均以露天

开采为主。目前全球露天煤矿年产量约 50 亿 t, 美国、澳大利亚、俄罗斯、德国、印度、南非等国露天煤炭

收稿日期: 2018-07-12 修回日期: 2018-08-30 责任编辑: 毕永华

基金项目: 煤炭科学研究总院科技创新基金资助项目(2016ZYMS019)

作者简介: 田会(1951—), 男, 辽宁铁岭人, 教授级高级工程师, 全国工程勘察设计大师。E-mail: tianhui51@163.com

通讯作者: 王忠鑫(1984—), 男, 内蒙古赤峰人, 高级工程师。Tel: 024-24156602, E-mail: 310558291@qq.com

产量占比均在50%以上,其中德国和印度均达90%以上。中国露天煤矿产量约占世界露天煤矿产量的10%左右,占国内总采煤量的15%~17%,露天开采的比重远小于世界其它主要产煤国。

露天开采的特点决定了开采过程中及闭坑以后必然伴随产生一系列的环境与生态问题需要研究解决^[1],而从现实和长远的意义上寻求开采与环境的和谐共存,是实现煤炭科学开采的目标之一^[2]。2017年6月,中国发布的《煤矿安全生产“十三五”规划》中明确提出要积极发展大型露天煤矿。但随着人们对生态环境和发展质量要求的不断提高,露天采矿与环境保护之间的矛盾越来越引起人们的关注。如何在资源开发的全过程实现对开采扰动的科学评估和有效控制,在环境保护和露天采矿间寻求平衡点,从而实现资源的绿色、安全、高效开发是露天开采行业亟待解决的关键问题。

国内外众多学者从露天矿绿色开发理论与开采技术等方面进行了研究,应用了先进多样的研究方法,形成了丰厚的理论研究成果。近年主要的理论创新有:首次提出了“尊重自然、回馈自然是露天矿区可持续发展基本要求”的现代化露天煤矿设计、建设理念^[3];建立了矿产资源开发的生态资源占用核算方法,构建了矿区“生态-经济”协调发展的动态监测和预警模型^[4-6];将生态成本内化,纳入到露天矿技术方案整体评价之中,实现了矿山技术决策的“生态-经济”一体化优化^[7-10];确定了露天煤矿绿色开采的目标,建立了露天煤矿绿色开采技术体系,构建了露天煤矿绿色开采工艺的评价指标体系和评价模型,研发了露天煤矿绿色开采工艺优选决策技术^[11-16];研究了近水平或缓倾斜煤层露天开采时,通过尽早实现内排以减少环境冲击的开采顺序设计技术^[17]。相关的研究和实践成果还有很多,在此不再赘述。

已有的成果多是从露天开采的生态资源占用视角对矿山的可持续发展程度进行评价,与技术决策的关联性不强,属于事后评价,无法实现对项目全过程的管理和控制。对于形成的“生态-经济”一体化优化方法,尚无法在实际的技术方案决策中得到广泛应用,主要原因是目前生态成本并未作为矿山实际生产成本的一部分被纳入到成本核算体系中,且生态成本计量方法种类繁多,尚未形成统一标准,所以优化的结论无法指导工程实践。建立的露天矿绿色开采技术体系,一定程度上可以为减小露天开采对环境的扰动提供技术支撑,但仍是站在企业的视角展开的研究,经济效益仍是关注的首要因素,与“尊重自然、回馈自然”的基本要求存在差距。更重要的是,既有的

理论都是针对矿山生产过程中的技术问题展开的,力图通过一定的技术手段来减小露天开采对环境的扰动,而未对露天矿自矿业权设置至闭坑这一全过程的开采扰动行为和扰动机制进行系统的研究。

露天矿的生产过程仅仅是矿山生命周期中的多个阶段之一,而一座矿山仅仅是其所在矿田的一部分,因此,研究露天开采对环境的扰动问题,应该在矿田的视域下,以矿山的全生命周期为时间范畴展开。本文正是在这样的背景和前提下,基于生态文明的视角,阐述了露天开采产生环境扰动的概念和科学内涵,确定了扰动行为的分类方法和基本特征,深入研究了矿山规划、设计、建设施工、生产运行、闭坑等全过程的扰动行为和扰动机制,创建了扰动行为的管理控制理论,建立了露天开采扰动系数指标,研究了中国典型露天煤矿的扰动系数,构建了扰动控制关键技术体系,为实现露天开采与环境的协调发展提供理论依据和技术支撑。

1 露天开采对环境的扰动问题

1.1 扰动的概念及类型

露天矿的开发不仅支撑了国民经济的发展,也带动了区域经济的发展,推进了城市化进程,加速了区域基础设施建设,为当地提供了大量的就业机会,增加了地方政府的财政收入和当地的居民收入。从历史的角度看,如果没有阜新海州露天煤矿和抚顺西露天煤矿的开发建设,就不会有阜新市和抚顺市当时的工业布局,更不会有两座城市辉煌的发展历史。类似因露天煤矿而得到发展和壮大的城市还有很多,如朔州、准格尔、赤峰、锡林浩特、鄂尔多斯、榆林等。

在肯定露天矿开发建设对国家和地区经济发展做出重大贡献的同时,我们也要看到其开发对矿区环境也造成了巨大影响。露天矿开采过程的本质是大规模的土石方时空移运过程^[1]。土石方的移运改变并重塑了矿区的地形、地貌及外部环境,甚至改变了矿区的生态环境,主要包括压占和挖损大量土地,矿坑疏干地下水造成地下水位下降、破坏了水力平衡,矿坑水排放和排土场淋溶水污染水体和土壤,露天矿生产产生大量烟尘、粉尘污染大气环境,露天开采改变了当地的生态环境等^[18]。综上所述,露天开采过程中导致的自然环境要素原始状态发生了改变,即称之为扰动行为(简称扰动)。

露天开采对自然环境的扰动行为可以按扰动对象或矿田开发阶段进行分类。自然环境要素一般包括:水、大气、土壤及生态环境等。因此,按扰动对象可以分为对水、大气、土地和生态环境的扰动。矿田

的开发阶段一般可划分为:矿业权设置、规划设计、建设施工、生产运行和闭坑等阶段,因此,按矿田开发阶段可以分为矿业权设置的扰动、规划设计的扰动、建设施工的扰动、生产运行的扰动和闭坑的扰动等。研究露天开采对环境的扰动行为,本质上是研究露天开采对自然环境要素的扰动,所以按扰动对象进行分类更具现实意义。露天开采扰动行为的类型及其对环境要素的一般影响见表1。

表1 扰动行为类型及其对环境要素的影响
Table 1 Disturbance types and influence on the environmental factors

扰动行为类型	对环境要素的影响
对水的扰动	水位下降 水力平衡被打破 水体污染
对大气的扰动	大气污染
对土地的扰动	土地的压占 土地的挖损 土地类型的改变
对生态环境的扰动	生物物种的减少 生物量的改变 原有生态平衡被打破 植被覆盖率降低

1.2 扰动的基本特征

基于露天采矿工程的时空发展过程分析,露天采矿对环境的扰动具有以下3个特征:

(1)过程性。从时空关系角度分析,露天矿开采的过程就是矿坑在采剥方向上不断向前移动的过程。如果说地下采矿是地下移动的工场,则露天采矿就是地面移动的工场。矿山的生命周期是由若干个“原始生态—扰动—复垦/重构—新生态”的循环过程组成,可见扰动具有过程性的突出特点。我国绝大多数露天煤矿的采空区都可实现边开采、边内排,而表土会被单独堆存,用于内、外排土场重新覆土造田。如内蒙古呼伦贝尔地区的伊敏露天煤矿在多年的生产过程中,不断科学合理的重复着上述循环过程,目前矿区土地复垦率达98.89%,绿化率达96.09%,现状远好于原始的草原生态环境,使当地的生态环境得到了很好的改善。

(2)可控性。可控性也可以理解为重构性,露天采矿不可避免的会改变矿区的生态环境,即对矿区生态环境进行重构。露天采矿对生态环境的扰动并非只有破坏的一面,在科学规划、系统实施的前提下,可以保证当地生态环境的恢复,甚至实现生态环境的改善。加拿大有将闭坑的露天矿建成矿山公园的成功案例。国内的平朔安太堡露天煤矿,建矿伊始就按照

开发与恢复治理并重的原则,统筹采掘—运输—排土—复垦一体化的生产工艺,应用地貌重塑、土壤重构、植被重建等技术,建成了比原黄土高原结构更合理、质量更高级的生态系统。通过近30年的生态重建工作,共复垦土地35420亩,复垦耕地10000亩。目前土地水源涵养量达244.8万 m^3 ,而开发之初(1996年)当地的土地水源涵养量仅为43.3万 m^3 ,提高了4.7倍。矿区现有各类植物213种,昆虫600余种,动物30余种,生物多样性大大超过开发之前。综上所述,露天开采对环境的扰动是可控的,只要因地制宜的采用科学的生态恢复、重构技术,即可对开采后的矿区环境进行恢复和改善。

(3)自恢复性。自恢复性是自然界的普遍规律。由于矿山开采本身就是一个长时间持续的人类活动,因此在采矿活动结束后,水系复原,大气污染也随之结束。水系和大气逐渐恢复常态,之后在漫长的时间里剥离物的风化会满足植被重新生长的条件,即使没有人工辅助,矿区在环境系统自我修复能力的长期作用下,也将逐步形成一个全新的环境体系,重新回归良性生态循环,只是在人工手段辅助下,可大大缩短这一过程的持续时间,或者重构了更高质量的生态环境而已。这种人工干预,一般可以分为复垦和重构两种方式。复垦是对被破坏或退化土地的再生利用及其生态系统恢复的综合性技术过程,属于被动的环境恢复,旨在通过复垦使生态环境恢复到扰动前的状态。重构是指依靠大规模的投入对被破坏或退化的生态系统进行整治,从而迅速提高土地生产力,并使生态系统进入良性循环,属于主动的环境再造,旨在通过人工干预使生态环境优于扰动前的状态。

2 扰动管理与控制理论

2.1 扰动管理与控制原理

根据项目开发阶段,矿业权设置、规划设计、建设施工、生产运行和闭坑全过程均宜对采矿活动对环境的扰动进行管理和控制,其基本原理是:在开发之前根据露天矿所在矿区的环境背景值科学确定第*i*类扰动行为控制指标的控制值 V_{Ci} ,在项目建设施工之前评估确定第*i*类扰动行为各阶段的预测值 V_{Fi} ,在建设施工之后的各阶段动态评估第*i*类扰动行为的实际值 V_{Ai} ,三者的关系应满足式(1)的约束:

$$V_{Ci} \geq \max\{V_{Fi}, V_{Ai}\} \quad (1)$$

式(1)即为扰动管理与控制的基本原理,其本质是将露天矿所在矿区的环境背景值作为基准值,以露天矿开采后恢复原始环境状态为最低控制目标,对扰动行为实施全生命周期的动态管理与控制,确保露天

矿开采后的环境恢复到原始状态,力争实现对周边环境质量的重构和改善。

2.2 扰动控制指标

2.2.1 综合控制指标

露天开采对土地的扰动强弱主要表现为扰动土地面积的大小;对水环境的扰动强弱主要表现为地下水疏干的范围大小,基本上与扰动土地的面积大小相当;对大气的扰动强弱主要表现为粉尘等污染物的排放量大小,而粉尘量的大小主要与产尘面积有关,可由采场和排土场的扰动范围近似替代;对生态环境的扰动强弱主要表现为生态系统结构和功能的改变,改变的程度与扰动区域的面积有关且呈正相关。为了便于评估矿田开发在矿业权设置、规划设计、建设施工和闭坑阶段对生态环境的扰动,笔者提出一个统一的系数来表征露天开采对环境的扰动强弱,此系数即为“扰动系数”(Disturbance Coefficient, DC),DC的计算方法见式(2)。

$$DC_t = [1\ 000 \times (S_{\text{cfr}} + S_{\text{odr}})] / Q_{\text{ct}} \quad (2)$$

式中,DC_t为露天矿t时期的扰动系数,m²/kt;S_{cfr}为露天矿t时期的采掘场面积,m²;S_{odr}为露天矿t时期的排土场面积,m²;Q_{ct}为露天矿t时期的采煤量,t。

该系数简便易行,数据易于获得,克服了以往其它评价指标体系指标数量多、数据难获取、指标叠加影响大、指标权重难确定等问题,是反映露天矿开发对环境扰动程度强弱的全新综合指标。

2.2.2 分类控制指标

扰动系数反映了露天开采对环境的综合扰动效应,属于露天开采扰动的综合控制指标,可以用于矿区规划至闭坑全过程的管理和控制。为了研究露天开采在矿田开发各阶段对各环境要素的扰动程度,可以采取有针对性的技术和管理措施,减弱扰动效应,有必要建立各类型扰动的分类控制指标。

2.2.2.1 水环境的扰动控制指标

为了保障露天矿开采作业的安全和高效,需要对矿区的地下水进行疏干排放,从而扰动了地下水的径流结构,形成的降落漏斗会造成矿坑周围土地的沙化。同时,排土场的煤矸石经过大气降水淋溶,有害元素随淋溶水汇入地表水,渗入地下含水层,导致水体污染。另外还有坑内汇水排放污染地表水体的情况。可采用地下水疏干强度(Dewatering Intensity, DWI)表征露天开采过程中对地下水的扰动强弱,DWI的计算方法见式(3);采用水污染物当量排放强度(Emission Intensity of Pollution Water, EIPW)表征露天开采过程中污水排放对水体的扰动程度,EIPW

的计算方法见式(4)。

$$DWI_t = 1\ 000 Q_{\text{dwt}} / Q_{\text{ct}} \quad (3)$$

式中,DWI_t为露天矿t时期的地下水疏干强度,m³/kt;Q_{dwt}为露天矿t时期的疏干水量,m³。

$$EIPW_t = W_{\text{ct}} / Q_{\text{ct}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{10^6 W_{ij}}{w_j} / Q_{\text{ct}} \quad (4)$$

式中,EIPW_t为露天矿t时期的水污染物当量排放强度,kg/t;W_{ct}为露天矿t时期的水污染物排放当量数,kg;W_{ij}为第i个生产环节第j种水污染物的实际排放量,t;w_j为第j种水污染物的当量值,取值标准见《中华人民共和国环境保护税法》,kg;m为水污染物种类数;n为露天矿生产环节个数。

2.2.2.2 大气环境的扰动控制指标

露天开采各生产环节均有粉尘排放的问题,虽然近年来大部分矿山已经采取了有效的除尘、抑尘措施,但是仍有相当一部分中小矿山对此控制不够。另外,露天开采过程中需要投入大量的燃油设备,还会产生废气排放的问题。因粉尘排放问题是露天开采扰动大气环境的最主要方面,其它污染物所占比重较小且种类较多,所以,可采用粉尘排放强度(Dust Emission Intensity, DEI)表征露天开采对大气的扰动程度,DEI的计算方法见式(5)。

$$DEI_t = 10^3 W_{\text{dt}} / Q_{\text{ct}} = \sum_{i=1}^n 10^3 w_{\text{di}} / Q_{\text{ct}} \quad (5)$$

式中,DEI_t为露天矿t时期的粉尘排放强度,kg/kt;W_{dt}为露天矿t时期的粉尘排放总量,kg;w_{di}为露天矿t时期第i个生产环节的产尘量,kg。

2.2.2.3 土地的扰动控制指标

露天开采过程扰动了矿区原始的地形和地貌,压占和挖损一定面积的土地,压占的土地仍可由排土场替代,但挖损的土地的类型往往被彻底改变。因此,可采用土地挖损强度(Land Excavation Intensity, LEI)表征露天开采对土地的扰动强弱,LEI的计算方法见文献[4]。

2.2.2.4 对生态环境的扰动控制指标

生态环境是水、土壤、生物、气候资源数量与质量的总称。露天开采对生态环境的影响属于非污染型影响,扰动结果是改变了生态系统的结构和功能状况,主要包括水源涵养、防风固沙、生物多样性保护等。根据生态学基本原理,可采用水源涵养量(Water Conservation Quantity, WCQ)表征露天开采对生态系统水源涵养功能的扰动强弱,WCQ的计算方法见文献[19];采用防风固沙量(Sand-Fixing Quantity, SFQ)表征露天开采对生态系统防风固沙功能的扰动强弱,SFQ的计算方法见文献[20];采用香农-威纳指数(Shannon Wiener Index, SWI)表征露天开采对生

态系统生物多样性功能的扰动强弱,SWI的计算方法见文献[21]。

3 扰动控制关键技术

3.1 矿区开发规划技术

露天开采对环境的扰动最直接的表现形式即是对土地的扰动,而影响扰动程度强弱的关键因素是矿区的矿业权设置。一般来说,一个矿区中设置的矿业权越多,外排量越大,扰动系数越大。如宝日希勒矿田,48号勘探线以东原设计为1个矿权,在采用单斗-汽车-铁道综合工艺的条件下,原设计外排土场面积为 9.90 km^2 ,可采原煤量为25.28亿t。但是,现在设置为2个矿权,使外排土场面积增加到 11.06 km^2 ,采煤量减少到19.07亿t,资源损失6.21亿t,多占用土地 1.16 km^2 ,扰动系数由 $30.32\text{ m}^2/\text{kt}$ 上升到 $44.68\text{ m}^2/\text{kt}$,增大了47.4%。可见,不科学的规划和矿权设置对环境造成的扰动远比生产过程严重的多。新疆和内蒙等地的水平和近水平露天矿田都具有此类问题。因此,基于最小扰动系数的矿区开发规划技术是控制扰动的关键技术,也是实现露天矿与环境和谐共存的重要保障技术,无论是矿业权设置还是矿区规划均应符合扰动系数最小的原则。

3.2 绿色开采技术

露天矿绿色开采技术的基本目标是以最小的环境代价获得最大的资源采出量,国内外已有的研究成果基本上均是围绕着减小扰动土地面积、节能减排、安全高效等几方面展开的,取得了丰富的研究成果^[11]。开采工艺是露天开采技术决策的核心,一经确定实施,短期内难以再做改变,而不同的开采工艺造成的环境扰动有很大的差别,中国典型露天煤矿的开采工艺和扰动系数计算结果见表2。由表2可知,工艺选择对矿区扰动系数的影响很大,铁道工艺一般为汽车工艺的2倍左右。此外,首采区及初始拉沟位置、开采程序、开采强度等对扰动系数的影响也很大,本文不再详述。总之应将绿色开采的理念贯穿于露天矿全生命周期,将扰动系数纳入技术决策和管理之中。

3.3 陡边坡采排技术

陡边坡采排技术的核心要义主要包括两个方面的内容:一是通过加陡采场四周边帮最终帮坡角,以提高边帮下压煤的采出量、提高资源采出率,或在底部境界不变条件下,回缩露天矿地表境界以减小扰动土地的范围。二是通过加陡内排土场的边坡角,以增大内排量减少外排量,外排土场采用陡边坡技术,可以减小外排土场压占土地的面积,从而有效控制开采扰动系数。

表2 中国露天矿开采工艺及首采区开采时期扰动系数
Table 2 Mining technology and DC of open-pit mines
initial cut area in China

矿山名称	开采工艺	扰动系数/($\text{m}^2 \cdot \text{kt}^{-1}$)
抚顺西露天矿	单斗-铁道工艺	115.07
海州露天矿	单斗-铁道工艺	94.58
平朔安太堡露天矿	剥离:单斗-卡车 采煤:半连续工艺	54.22
平朔安家岭露天矿	剥离:单斗-卡车 采煤:半连续工艺	46.53
平朔东露天矿	剥离:单斗-卡车 采煤:半连续工艺	32.65
伊敏露天矿	剥离:单斗-卡车 采煤:半连续工艺	45.57
宝日希勒一矿	单斗-卡车	41.62
宝日希勒二矿	单斗-卡车	50.94

3.4 生态恢复与重构技术

相关研究表明,露天矿开发对周边生态环境的影响主要由内外排关系以及生态恢复与重构的时效性两方面因素决定^[1,4]。因此,研究构建不同本底环境特征下的露天矿生态恢复与重建理论与技术体系,形成露天矿“采—运—排—复—构”的一体化绿色、安全、高效开发模式,具有重要的理论和现实意义,也是露天采矿领域亟待解决的关键技术难题之一。

4 结 语

露天采矿与环境间的关系本质上是如何处理环境保护与社会发展的关系问题。最终“生态红线”的划定不能以牺牲“国家安全底线”和“人民生存发展底线”为代价。如何实现露天采矿与生态文明二者的协调统一是当前和今后一段时期内需要重点研究和解决的关键技术难题。本文系统分析了露天开采对环境的扰动类型和扰动行为特征,创建了扰动管理和控制理论,构建了露天开采综合控制指标和分类控制指标,提出了“扰动系数”的概念和计算方法,建立了扰动控制关键技术体系,为评价和控制露天采矿对环境的扰动提供了可操作的、简单、实用的方法,为进一步研究确定科学的“生态红线”奠定了基础。

我国露天煤炭事业历经百年发展,在规划设计、矿山建设、工艺技术、开采装备、安全生产及生态重构等各方面都取得了空前的成就。从露天开采对环境的扰动行为和控制理论研究结果可知,为了将露天开采对生态环境的扰动降到最小,在一个矿田中应尽可能少的划分矿区。大矿田、大矿区、大规模、大设备、大转化、多股权将是露天矿山实现绿色、安全、高效发展的必由之路。

参考文献(References):

- [1] 王家臣,王忠鑫,王卫卫,等.露天矿开采扰动效应:概念、特征与评价指标体系框架[J].煤炭学报,2017,42(S2):295-301.
WANG Jiachen, WANG Zhongxin, WANG Jinjin, et al. Disturbance effect of open-pit mine: Concept, characteristics and evaluation index system framework [J]. Journal of China Coal Society, 2017, 42(S2):295-301.
- [2] 王家臣,刘峰,王蕾.煤炭科学开采与开采科学[J].煤炭学报,2016,41(11):2651-2660.
WANG Jiachen, LIU Feng, WANG Lei. Sustainable coal mining and mining sciences [J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(11):2651-2660.
- [3] 田会,才庆祥,甄选.中国露天采煤事业的发展展望[J].煤炭工程,2014,46(10):11-14.
TIAN Hui, CAI Qingxiang, ZHEN Xuan. Development prospects of surface coal mining industry in China [J]. Coal Engineering, 2014, 46(10):11-14.
- [4] 王忠鑫,王金金,王卫卫.露天矿开采扰动效应评价指标体系及评价模型[J].露天采矿技术,2018,33(2):11-15.
WANG Zhongxin, WANG Jinjin, WANG Weiwei. Mining disturbance effect evaluation index system and evaluation model of the open-pit mine [J]. Opencast Mining Technology, 2018, 33(2):11-15.
- [5] 王忠鑫.矿产资源开发的环境压力研究[D].沈阳:东北大学,2009.
- [6] 王忠鑫,韩忠岐.矿山“生态—经济”发展协调性动态监测预警模型的构建[J].露天采矿技术,2011(2):86-91.
WANG Zhongxin, HAN Zhongqi. Dynamic monitoring and early warning model construction of ecological-economy development coordination [J]. Opencast Mining Technology, 2011(2):86-91.
- [7] 顾晓薇,胥孝川,王青,等.矿山开采的生态成本[J].东北大学学报(自然科学版),2013,34(4):594-597.
GU Xiaowei, XU Xiaochuan, WANG Qing, et al. Ecological cost of mining [J]. Journal of Northeastern University (Natural Science), 2013, 34(4):594-597.
- [8] 顾晓薇,胥孝川,王青,等.露天矿最终境界的经济—生态一体化优化[J].东北大学学报(自然科学版),2013,34(9):1347-1351.
GU Xiaowei, XU Xiaochuan, WANG Qing, et al. Economic-Ecological integration optimization of the ultimate boundary of metal open-pit mine [J]. Journal of Northeastern University (Natural Science), 2013, 34(9):1347-1351.
- [9] XU Xiaochuan, GU Xiaowei, WANG Qing, et al. Ultimate pit optimization with ecological cost for open pit metal mines [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2014, 24(5):1531-1537.
- [10] 王青,胥孝川,顾晓薇,等.考虑生态成本的露天煤矿生产计划优化[J].金属矿山,2015(3):23-27.
WANG Qing, XU Xiaochuan, GU Xiaowei, et al. Production scheduling optimization of open pit coal mines considering the ecological costs [J]. Metal Mine, 2015(3):23-27.
- [11] 宋子岭,范军富,祁文辉,等.露天煤矿绿色开采技术与评价指标体系研究[J].煤炭学报,2016,41(S2):350-358.
SONG Ziling, FAN Junfu, QI Wenhui, et al. Study on the surface coal mine green mining technology and appraising index system [J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(S2):350-358.
- [12] 赵浩,白润才,曲业明.露天煤矿绿色开采技术[J].矿业工程研究,2011,26(3):19-22.
ZHAO Hao, BAI Runcai, QU Yeming. Green mining technology of open pit coal mine [J]. Mineral Engineering Research, 2011, 26(3):19-22.
- [13] LASHGARI Ali, SAYADI Ahmad Reza. Statistical approach to determination of overhaul and maintenance cost of loading equipment in surface mining [J]. International Journal of Mining Science and Technology, 2013, 23:441-446.
- [14] 缪海滨.大型露天煤矿绿色开采理论与评价方法[J].煤矿安全,2017,48(9):230-233.
MIAO Haibin. Theory and Evaluation Method of Green Mining in Large Open-pit Coal Mine [J]. Safety in Coal Mines, 2017, 48(9):230-233.
- [15] 王建国,王来贵,纪玉石,等.大型露天煤矿绿色开采理论探讨[J].露天采矿技术,2015(1):1-3.
WANG Jianguo, WANG Laigui, JI Yushi, et al. Discussion on green mining theory in large open-pit coal mine [J]. Opencast Mining Technology, 2015(1):1-3.
- [16] MENA Rodrigo, ZIO Enrico, KRISTJANPOLLER Fredy. Availability-based simulation and optimization modeling framework for open-pit mine truck allocation under dynamic constraints Arcata Adolfo [J]. International Journal of Mining Science and Technology, 2013, 23:113-119.
- [17] MOLOTOLOV S G, NORRI V K, CHESKIDOV V I, et al. Nature-oriented open coal mining technologies using mined-out space in an open pit. Part I: Analysis of the current mineral mining methods [J]. Journal of Mining Science, 2006, 42(6):622-627.
- [18] 屠世浩,陈宜先.探讨绿色开采技术保护矿区生态环境[J].能源环境保护,2003,17(4):10-13.
TU Shihao, CHEN Yixian. Environment protection in mining area resulted from green mining [J]. Energy Environmental Protection, 2003, 17(4):10-13.
- [19] 龚诗涵,肖洋,郑华,等.中国生态系统水源涵养空间特征及其影响因素[J].生态学报,2017,37(7):2455-2462.
GONG Shihan, XIAO Yang, ZHENG Hua, et al. Spatial patterns of ecosystem water conservation in China and its impact factors analysis [J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(7):2455-2462.
- [20] 韩永伟,拓学森,高吉喜,等.黑河下游重要生态功能区植被防风固沙功能及其价值初步评估[J].自然资源学报,2011,26(1):58-65.
HAN Yongwei, TUO Xuesen, GAO Jixi, et al. Assessment on the sand-fixing function and its value of the vegetation in eco-function protection areas of the lower reaches of the heihe river [J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(1):58-65.
- [21] 方精云,沈泽昊,唐志尧,等.“中国山地植物物种多样性调查计划”及若干技术规范[J].生物多样性,2004,12(1):5-9.
FANG Jingyun, SHEN Zehao, TANG Zhiyao, et al. The protocol for the survey plan for plant species diversity of China's mountains [J]. Chinese Biodiversity, 2004, 12(1):5-9.