



露天煤矿工作帮过断层参数控制方法

刘光伟 黄云龙 曹博 王亮 赵美玲

引用本文:

刘光伟, 黄云龙, 曹博, 等. 露天煤矿工作帮过断层参数控制方法[J]. 煤炭科学技术, 2023, 51(4): 56–65.

LIU Guangwei, HUANG Yunlong, CAO Bo. Parameter control method of working slope passing fault in open-pit coal mine[J]. Coal Science and Technology, 2023, 51(4): 56–65.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13199/j.cnki.cst.2022-0837>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

斜交断层影响下露天煤矿顺倾层状边坡稳定性研究

Study on dip bedded slope stability of open-pit coal mine under influence of oblique fault

煤炭科学技术. 2020, 48(5) <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/9b828d2b-9279-401e-a20e-3cf8f7ff6ca5>

胜利东二露天矿南帮滑坡区压煤回采边坡稳定性研究

Research on slope stability of coal recovery on landslide area underlying southern slope in Shengli No.2 East Open-pit Mine

煤炭科学技术. 2019(10) <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/9410f81f-35a9-47fa-a2a5-108e7d798ff7>

复合煤层露天矿软岩边坡参数逐阶段优化方法研究

Study on stage-by-stage optimization method for slope parameters of soft rock open-pit mine in composite coal seam

煤炭科学技术. 2019(10) <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/221a3761-ff79-4f03-84ad-f110a2b0c05f>

我国露天煤矿开采技术综述及展望

Summary and prospect of open-pit coal mining technology in China

煤炭科学技术. 2019(10) <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/71d7fc23-0d4f-4c9e-b663-3da2191e65bd>

露天煤矿绿色开采生态环境评价体系模糊评判研究

Study on evaluation model and application of green mining ecological environment evaluation system in open-pit coal mine

煤炭科学技术. 2019(10) <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/5ac1606a-275a-44ce-99fa-ad72adf94ba0>

露天煤矿端帮逆倾软岩边坡稳定性研究

Study on stability of reversed inclined soft rock slope at end slope of surface mine

煤炭科学技术. 2017(3) <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/f00b3558-b092-4e97-8dd0-48c14110f588>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息



移动扫码阅读

刘光伟, 黄云龙, 曹博, 等. 露天煤矿工作帮过断层参数控制方法[J]. 煤炭科学技术, 2023, 51(4): 56–65.

LIU Guangwei, HUANG Yunlong, CAO Bo, *et al.* Parameter control method of working slope passing fault in open-pit coal mine[J]. Coal Science and Technology, 2023, 51(4): 56–65.

露天煤矿工作帮过断层参数控制方法

刘光伟¹, 黄云龙¹, 曹博¹, 王亮², 赵美玲²

(1. 辽宁工程技术大学 矿业学院, 辽宁 阜新 123000; 2. 锡林郭勒盟蒙东矿业有限责任公司, 内蒙古 锡林浩特 026000)

摘要:大型露天煤矿在开采境界内常会遇到发育范围、发育程度不同的断层构造。为了对露天煤矿工作帮过断层相关参数进行优化确定, 分析了采剥工作线与断层走向相对位置不同时工作帮过断层方式及工作线长度变化情况, 确定了断层影响区域煤炭资源回收原则, 阐述了工作线与断层走向相交时工作帮推进过程中生产剥采比变化的影响因素。依据露天开采基本原理, 建立了工作帮相交断层走向布置工程模型, 论述了工作线的组成并给出工作线长度计算方法。构建了以工作线布置方向、工作帮推进方向为轴的三维空间直角坐标系, 计算了各工程模型的断面剥离量和原煤量, 确定了采煤工作线长度、工作线与断层走向夹角、工作帮推进距离和生产剥采比之间的函数关系。采用控制变量手段分析生产剥采比变化规律, 结果显示: 采剥工作线与断层走向正交时初始生产剥采比与断层下降盘工作线长度呈正相关关系; 工作帮斜交断层走向推进时, 初始生产剥采比与断层上升盘工作线长度、工作线与断层走向夹角呈负相关关系, 且工作线与断层走向夹角越小, 生产剥采比变化越剧烈。给出了露天煤矿工作帮过断层参数优化原则, 提出了利用计算机程序循环判断确定参数的方法。以胜利西二号煤矿为工程背景, 将上述优化原则及确定方法进行应用研究。结果表明: 工作线与断层走向夹角70°, 初始下盘采煤工作线长度为1700 m时, 工作帮在F13断层区域推进过程中生产剥采比小于经济合理剥采比, 工作线长度始终满足设备作业、走行、调配所需的最小工作线长度要求, 且东帮扩帮工程量最小。

关键词:露天煤矿; 断层; 工作帮; 工作线长度; 生产剥采比

中图分类号: TD824

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2023)04-0056-10

Parameter control method of working slope passing fault in open-pit coal mine

LIU Guangwei¹, HUANG Yunlong¹, CAO Bo¹, WANG Liang², ZHAO Meiling²

(1. Institute of Mining Technology, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China; 2. Xilingol Mengdong Mining Co., Ltd., Xilinhot 026000, China)

Abstract: Large open-pit coal mines often encounter fault structures with different development scope and degree within the mining boundary. In order to optimize and determine the relevant parameters of the working slope passing through the fault in the open-pit coal mine, the change of the working slope passing through the fault mode and the length of the working line when the relative position between the working line and the fault strike is different is analyzed, the principle of coal resource recovery in the fault affected area is determined, and the influencing factors of the production stripping ratio change in the process of working slope advancing when the working line intersects the fault strike are expounded. According to the basic principle of open-pit mining, the engineering model of the strike arrangement of the intersecting faults of the working slope is established, the composition of the working line is discussed, and the calculation method of the working line length is given. The three-dimensional space rectangular coordinate system with the working line layout direction and the working side advancing direction as the axis is constructed, the section stripping volume and raw coal volume of each en-

收稿日期: 2022-05-03

责任编辑: 朱恩光

DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2022-0837

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51974144); 辽宁省“揭榜挂帅”科技攻关资助项目(2021JH1/10400011); 辽宁工程技术大学学科创新团队资助项目(LNTU20TD-07)

作者简介: 刘光伟(1981—), 男, 辽宁沈阳人, 教授, 博士生导师。E-mail: liu_guangwei@yeah.net

通讯作者: 黄云龙(1994—), 男, 山西朔州人, 博士研究生。E-mail: lgdckgchyl@163.com

gineering model are calculated, and the functional relationship between the working line length, the angle between the working line and the fault strike, the working side advancing distance and the production stripping ratio is determined. The change rule of production stripping ratio is analyzed by means of control variables. The results show that the initial production stripping ratio is positively related to the length of the fault descending wall working line when the stripping working line is orthogonal to the fault strike; When the strike of the oblique fault of the working wall is advancing, the initial production stripping ratio is negatively related to the length of the working line of the fault riser and the angle between the working line and the fault strike. The smaller the angle between the working line and the fault strike, the more intense the change of the production stripping ratio. This paper presents the optimization principle of the parameters of the working slope passing through the fault in the open-pit coal mine, and puts forward the method of determining the parameters by using the computer program to judge circularly. Taking Shengli West No. 2 Coal Mine as the engineering background, the above optimization principles and determination methods are applied and studied. The results show that when the angle between the working line and the fault strike is 70° and the length of the initial footwall mining working line is 1 700 m, the production stripping ratio of the working side is less than the economic and reasonable stripping ratio in the process of advancing in the F13 fault area, the length of the working line always meets the minimum working line length requirements for equipment operation, running and deployment, and the east side slope expansion is the minimum.

Key words: open-pit coal mine; faults; working slope; working line length; production stripping ratio

0 引言

大型露天煤矿在开采周期内需要进行巨量的土石方挖掘及搬运工作。因此,在生产过程中剥采比变化平稳,产能稳定接续,穿、采、运、排各生产环节衔接顺畅,是露天煤矿在整个开采周期内矿产资源安全高效开发利用的基本保障。

目前,已开发的大型露天矿山在采场范围内均不同程度的存在复杂地质构造,尤其是断层的出现,露天矿在推进至其影响区域时煤层厚度、倾角及上覆剥离物厚度剧烈变化,生产剥采比剧烈震荡,生产接续困难^[1-2]。面对露天矿在开采过程中遇到断层致使矿山地质条件及开采条件复杂化的情况,若开采方式选择不当或者不能及时调整开采程序,将会造成开采难度加大、边坡稳定性下降、矿产资源浪费、产能接续困难,甚至是矿山提前关停等严重后果。因此,选择合理的工作帮过断层方式及开采程序对于提高断层区域资源采出率,增加矿山企业经济效益具有重要意义^[3-5]。

围绕煤矿在生产过程中遇到断层时产生相关问题的研究,井工开采涉及较多且主要集中于工作面过断层围岩力学特性及失稳机制^[6-7]、采掘工作面及巷道过断层技术^[8-11]、工作面或巷道过断层支护及加固技术^[12-15]等方面。露天开采大部分针对含断层边坡破坏特征和边坡稳定性进行分析研究^[16-18],而对于工作帮过断层开采方式、开采程序优化,重点研究了工作帮在断层倾向方向上推进时的产能过渡接续优化^[19-20]。针对不同断层类型、工作帮以不同方式过断层时的剥采比控制定量分析相关研究较少,且最优工作帮过断层参数优化确定方法有待提高。

笔者基于前人的研究成果,通过对露天煤矿断层走向与工作线布置的位置关系及工作帮推进方式进行分析,构建了过断层工作帮推进模型,建立了工作线长度、断层主要几何要素、工作线与断层走向夹角和生产剥采比之间的数学关系。重点研究不同类型断层工作线长度计算方法、工作线相交于断层走向推进时生产剥采比的变化规律,并以胜利西二号露天煤矿为工程实例进行优化分析。

1 断层概述及工作帮过断层方式分析

1.1 断层概述

断层是被断裂面分割成两部分的岩层或岩体沿破裂面发生明显相对位移的一种断裂结构。断层发育广泛,是地壳中最重要的构造类型之一,其规模变化很大。断层规模不同,其影响程度也不同。大型断层通常构成区域地质格架,不仅控制区域地质的结构和演化,还控制和影响区域成矿作用;中小型断层常常直接决定某些矿床和矿体的形状,影响矿产资源的赋存,进而影响矿产资源的开发和矿井建设^[21]。

相对于褶皱和节理,断层对露天矿生产的影响较为严重。由于断层破坏了煤层的连续性和完整性。致使露天矿生产剥采比、采剥运距发生大幅度变化,剥排关系复杂化,生产成本增加,严重影响露天矿产能的稳定接续和企业经济效益。

露天矿工作帮在推进过程中遇到断层时,工作帮与断层的相对位置关系并不固定,此外受帮坡角和经济合理剥采比影响,使得露天矿工作帮过断层及断层区域煤层回采具有多种方式。

1.2 工作线与断层走向平行

采煤工作线平行于断层走向布置时,由于断层

导致的煤层错断,使得工作帮在推进的过程中会出现煤层突然缺失或者重复现象。当煤层缺失时,剥采比急剧增大,需要进行超前剥离或采用组合台阶方式来调整生产剥采比,使其小于经济合理剥采比。若上述方式依然无法满足生产剥采比小于经济合理剥采比的原则,则只能采取过断层期间降低产能的方式,即通过减小推进度或者缩短采煤工作线长度实现;煤层重复时,剥采比减小,为了保证产能的稳定及生产剥采比的平稳变化通常采取减小推进度的方式;上述情况的出现均不利于设备能力及设备效率的发挥。

露天矿过断层开采期间,在保证边坡安全稳定的前提下,以开采断层煤的生产剥采比小于经济合理剥采比为原则,最大限度回收受断层影响的煤炭资源,使经济效益最大化。当回收断层区域煤炭资源剥采比大于经济合理剥采比时,保留断层面并留设煤柱,如图1所示;当回收断层区域煤炭剥采比小于经济合理剥采比时,破坏断层面,将受断层影响煤炭全部采出,如图2所示。

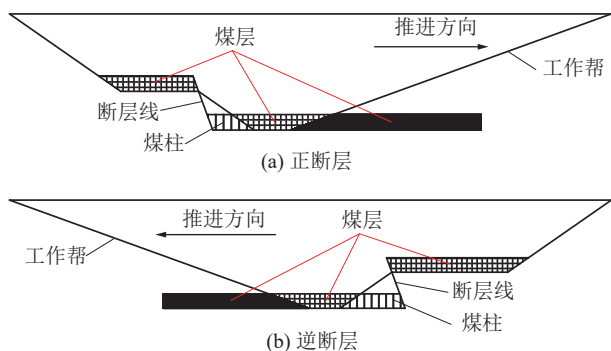


图1 留煤柱过断层示意

Fig.1 Schematic diagram of retain coal pillars through faults

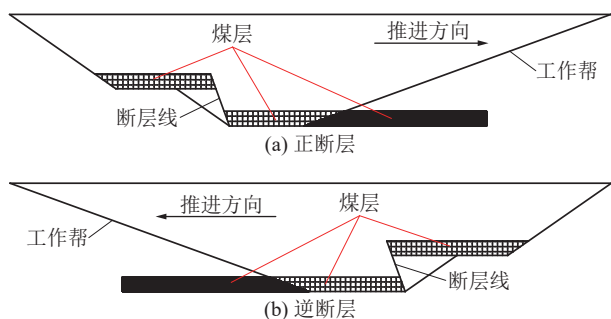


图2 原煤全部回采过断层示意

Fig.2 Schematic diagram of all raw coal mining through faults

1.3 工作线与断层走向相交

工作线与断层走向相交时,煤层相对位置固定,断层区域煤炭回收方式与工作线平行断层走向布置时回收方式相同,分别为保留断层面留设煤柱和破

坏断层面将受断层影响煤炭全部采出。

1)工作线与断层走向正交。当工作线与断层走向正交时,如图3所示。工作帮在向前推进的过程中,断层上、下盘工作线长度基本固定,生产剥采比变化稳定。

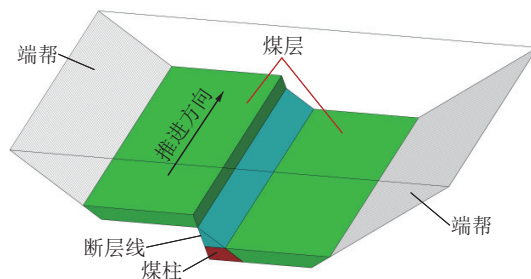


图3 工作线正交断层走向示意(留煤柱过正断层)

Fig.3 Schematic diagram of orthogonality between working line and fault strike (reserved coal pillar passes through normal fault)

2)工作线与断层走向斜交。当工作线与断层走向斜交时,如图4所示。工作帮在向前推进的过程中,断层上、下盘工作线长度呈线性变化,剥采比与断层上、下盘采剥工作线长度呈固定的函数关系。此外,生产剥采比的变化还受工作线与断层走向的相对位置即采剥工作线与断层走向夹角影响。

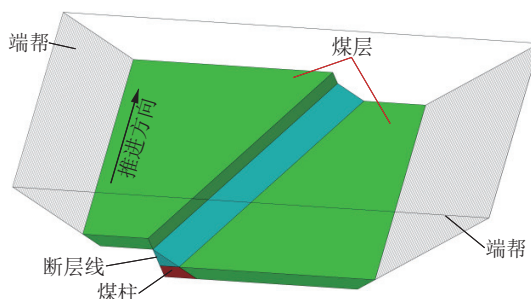


图4 工作线斜交断层走向示意(留煤柱过正断层)

Fig.4 Schematic diagram of oblique intersection between the working line and fault strike (reserved coal pillar passes through normal fault)

重点对工作线与断层走向斜交时断层上(下)盘采剥工作线长度、工作线与断层走向夹角和生产剥采比之间的关系进行研究。

2 工作帮相交断层推进分析

2.1 工作帮相交断层推进工程模型

为了揭示采剥工作线布置方向与断层走向相交时生产剥采比随着工作帮推进时的变化规律,建立了工作帮沿断层推进工程模型。假设可采煤层1层,煤层倾角为 θ ,厚度为 h 。断层类型为倾向断层,即

煤层倾向与断层走向一致。断面倾角为 λ , 断层落差为 h , 端帮帮坡角为 β , 工作线与断层走向夹角为

ω ($0^\circ < \omega \leq 90^\circ$), 断面倾角大于端帮帮坡角。工程位置模型如图5所示。

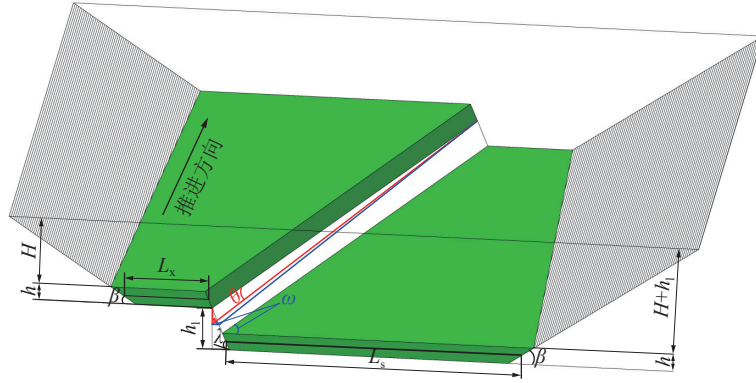


图5 工作帮斜交过断层工程模型(以正断层为例)

Fig.5 Engineering model of working slope oblique to fault (taking normal fault as an example)

2.2 工作帮推进过程中生产剥采比变化规律分析

生产剥采比是露天矿在一定生产时期剥离的岩石和采出的矿石的比值,是露天矿在实际生产过程中的一项非常重要的指标,它是决定露天矿剥岩总量、基建投资和生产成本的重要因素^[22]。生产剥采比不仅受煤层赋存状况、地形条件的影响,还受到开采技术及开拓、开采程序的影响。因此,露天矿在生产过程中常通过调整开采参数和开采程序来达到均衡生产剥采比的目的。

2.2.1 工作线长度计算

目前露天煤矿工作线长度主要通过以下2种方式确定:①通过分析露天煤矿在一定生产能力情况下工作线长度与推进速度的关系,计算出技术可行的工作线长度;分析在目标产能下露天矿剥离总费用与工作线长度的关系,计算出经济合理的工作线长度。最终确定满足生产能力时剥离总费用最小的工作线长度即为露天煤矿合理的工作线长度^[23-25]。②利用计算机辅助设计系统构建三维地质模型及开采模型,选取不同工作线长度布置方案进行模拟开采,对比分析不同工作线长度开采时的技术、经济指标,综合确定露天煤矿合理工作线长度^[26]。

实际上露天煤矿在生产过程中,由于开采工艺、设备和开采条件的限制,年推进度是基本固定的。在生产能力确定的情况下,其采煤工作线也基本为定值。因此,工作线长度可按式(1)计算:

$$L_m = \frac{A_p}{v\gamma h\mu} \quad (1)$$

式中: L_m 为采煤工作线长度(取 1/2 煤层厚度处), m; A_p 为露天矿年生产能力, t/a; v 为年推进速度, m/a; γ

为原煤密度, t/m³; μ 为采出率, %。

1) 工作帮沿断层走向推进时,采煤工作线分为上盘工作线 and 下盘工作线,当断层区域留煤柱回采时,工作线长度受断层上、下盘采煤工作线长度、断层平错和留设煤柱长度影响,如图6所示。分析几何关系可得留煤柱情况下:

正断层工作线长度为

$$L = L_m + L_z + l'_p \quad (2)$$

逆断层工作线长度为

$$L = L_m + L_z - l'_p \quad (3)$$

其中

$$\begin{cases} L_m = L_s + L_x \\ l'_p = \frac{l_p}{\sin \omega} \\ l_p = \frac{h_1}{\tan \lambda} \\ L_z = \frac{h_1 - h/2}{\tan \beta} - l'_p \end{cases} \quad (4)$$

式中, L 为工作线长度, m; L_s 为断层上盘采煤工作线长度, m; L_x 为断层下盘采煤工作线长度, m; l_p 为断层平错, m; l'_p 为断层视平错, m; L_z 为留设煤柱长度, m。

2) 当断层区域煤层可全部回采时,工作线长度仅受断层上、下盘采煤工作线长度及断层平错影响。因此:

正断层工作线长度为

$$L = L_m + l'_p \quad (5)$$

逆断层工作线长度为

$$L = L_m - l'_p \quad (6)$$

由上述分析可知,采煤工作线长度由断层上、下

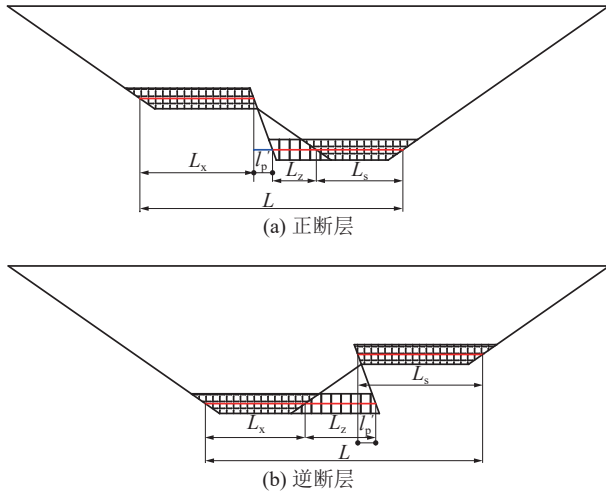


图6 留断层煤柱工作线长度计算

Fig.6 Calculation of working line length of coal pillar in reserved fault

盘2部分工作线长度构成,且工作线长度随断层落差、断面倾角及工作线与断层夹角变化而变化。

2.2.2 生产剥采比计算分析

以工作线布置方向为 \$x\$ 轴,工作帮推进方向为 \$y\$ 轴,垂直于 \$x\$-\$y\$ 平面为 \$z\$ 轴,建立空间坐标系,如图7所示。设 \$x\$ 轴正方向为断面倾向,假定地表水平。依据建立的空间直角坐标系和工作帮沿断层推进断面图,计算工作帮推进过程中各位置的断面剥采比,即生产剥采比。

1)断面剥离量计算。依据断面图中几何关系分析可得,工作帮推进过程断层区域原煤全部回采时(图8)断面剥离量计算如下:

正断层:

$$V = S_1 + S_2 + S_3 \quad (7)$$

其中:

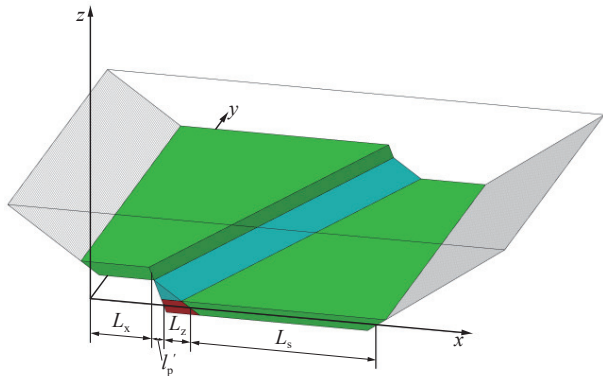


图7 空间直角坐标系示意(留煤柱过正断层)

Fig.7 Schematic diagram of space rectangular coordinate system (reserved coal pillar passes through normal fault)

$$\begin{cases} S_1 = \frac{H}{2} \left(\frac{H+h}{\tan \beta} + 2L_x - \frac{H+h}{\tan \lambda'} \right) \\ S_2 = \frac{H+h_1}{2} \left(\frac{H+h_1+h}{\tan \lambda'} + 2L_s + \frac{H+h_1+h}{\tan \beta} \right) \\ S_3 = \frac{h_1^2}{2} \left(\frac{1}{\tan \beta} - \frac{1}{\tan \lambda'} \right) \end{cases} \quad (8)$$

式中: \$V\$ 为断面剥离量, \$\text{m}^3/\text{m}\$; \$H\$ 为地表至断层上升盘开采深度, \$\text{m}\$; \$\lambda'\$ 为断面视倾角, \$(^\circ)\$, 当工作线方向与断层走向正交时 \$\lambda' = \lambda\$。

$$\tan \lambda' = \tan \lambda \sin \omega \quad (9)$$

逆断层:

$$V = \frac{H+h_1}{2} \left(\frac{H+h_1+h}{\tan \beta} + 2L_x - \frac{H+h_1+h}{\tan \lambda} \right) + \frac{H}{2} \left(\frac{H+h}{\tan \lambda'} + 2L_s + \frac{H+h}{\tan \beta} \right) + \frac{h_1^2}{2} \left(\frac{1}{\tan \beta} + \frac{1}{\tan \lambda^2} \right) \quad (10)$$

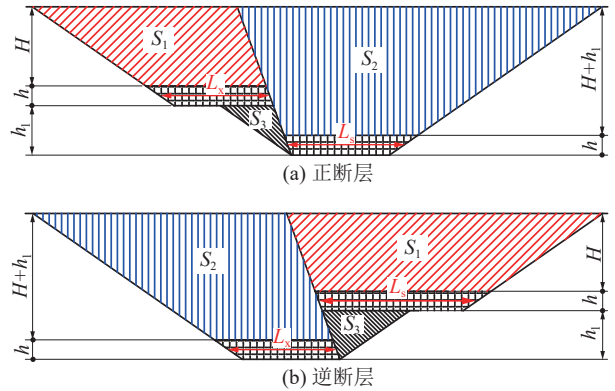


图8 断层煤全部回采断面剥离量计算示意

Fig.8 Schematic diagram of calculation of section stripping amount when fault coal is fully mined

工作帮推进过程中断层区域煤层无法全部回采而留设煤柱时(图9),断面剥离量计算如下:

正断层:

$$V = \frac{H}{2} \left(\frac{H+h}{\tan \beta} + 2L_x - \frac{H+h}{\tan \lambda'} \right) + \frac{H+h_1}{2} \left(2L_s + \frac{H+h_1+2h}{\tan \beta} + \frac{H+h_1}{\tan \lambda'} \right) + \frac{2H+h_1-h}{2} \left(\frac{h_1-h}{\tan \beta} - \frac{h_1-h}{\tan \lambda'} \right) \quad (11)$$

逆断层:

$$V = \frac{H+h_1}{2} \left(\frac{H+h_1+2h}{\tan \beta} + 2L_x - \frac{H+h_1}{\tan \lambda'} \right) + \frac{H}{2} \left(\frac{H+h}{\tan \lambda'} + 2L_s + \frac{H+h}{\tan \beta} \right) + \frac{2H+h_1-h}{2} \left(\frac{h_1-h}{\tan \beta} + \frac{h_1-h}{\tan \lambda'} \right) \quad (12)$$

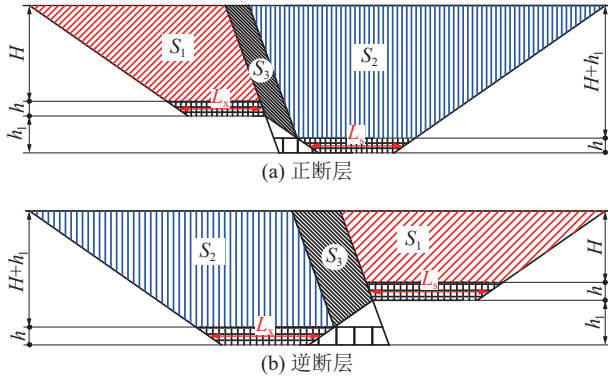


图9 留煤柱回采断面剥离量计算示意

Fig.9 Schematic diagram of calculation of section stripping amount during mining of retained coal pillar

当断面视倾角小于端帮帮坡角时(图10),正断层不存在断层区域留设断层煤柱情况。断层上升盘下部岩层无需进行剥离,而逆断层仍需考虑是否留设煤柱情况。正断层情况下断面剥离量计算如下:

$$V = \frac{H}{2} \left(\frac{H+h}{\tan \beta} + 2L_x - \frac{H+h}{\tan \lambda'} \right) + \frac{H+h_1}{2} \left(\frac{H+h_1+h}{\tan \lambda'} + 2L_s + \frac{H+h_1+h}{\tan \beta} \right) \quad (13)$$

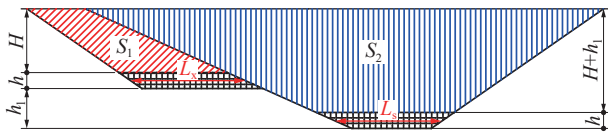


图10 断面视倾角小于端帮角断面剥离量计算示意

Fig.10 Calculation diagram of section stripping amount when section apparent inclination is less than end slope angle

2)断面煤量计算。工作帮沿断层走向推进时,断面煤量仅与煤层可采工作线长度有关,即断面煤量为除去留设断层煤柱的原煤量。计算如式(14):

$$P = L_m h \gamma \mu \quad (14)$$

式中: P 为断面煤量, t/m 。

工作帮沿断层走向推进过程中,开采深度,断层上、下盘工作线长度随着工程位置的改变始终发生变化。

当工作线与断层走向正交时,仅开采深度发生变化。具体变化关系可用下式表达。

$$H = H_c + l \tan \theta \quad (15)$$

式中: H_c 为初始工程位置时地表至断层上升盘的深度, m ; l 为工作帮推进距离, m 。

当工作线与断层走向斜交时有:

$$H = H_c + l \tan \theta' \quad (16)$$

其中

$$\begin{cases} 0 < l < L_d \sin \omega \\ \tan \theta' = \frac{\tan \theta}{\sin \omega} \end{cases} \quad (17)$$

式中: θ' 为工作线与断层走向斜交时煤层视倾角, $(^\circ)$; L_d 为断层走向长度, m 。

令 L_{sc} 、 L_{xc} 分别为初始工程位置的断层上、下盘采煤工作线长度, $0 < L_{sc}(L_{xc}) < L_m/2$ 。随着工程位置向前推进, L_s 、 L_x 变化关系如下:

$$\begin{cases} L_s = L_{sc} - \frac{l}{\tan \omega} \\ L_x = L_{xc} + \frac{l}{\tan \omega} \end{cases} \quad (18)$$

3)剥采比计算。生产剥采比可看作工作帮推进单位距离时的剥离量与原煤量之比。根据已建立的空间直角坐标系,现将工作帮推进过程中生产剥采比变化定义如下:

$$n_s = \frac{V}{P} \quad (19)$$

式中, n_s 为推进到任意工程位置的生产剥采比, m^3/t 。

令 $n_s = f(L_{sc}, \omega, l)$ 或 $n_s = f(L_{xc}, \omega, l)$, 当工作线正交于断层走向布置时有 $\lambda' = \lambda$ 、 $l'_p = l_p$ 、 $\theta' = \theta$, 断层上、下盘采煤工作线长度在工作帮沿断层走向推进的过程中不发生变化。此时 $n_s = f(L_{sc}, l)$ 或 $n_s = f(L_{xc}, l)$, 且满足 $L_s = L_{sc}$ 、 $L_x = L_{xc}$ 。绘制 n_s 函数图像如图11所示。

分析函数图像可知,当工作线与断层走向正交时,生产剥采比与推进距离呈正相关关系。断层下降盘采煤工作线长度越大,初始生产剥采比越大。因此,在实际生产过程中应调整断层上、下盘采剥工作线长度,以使生产剥采比小于经济合理剥采比。

当工作线斜交于断层走向布置时,断层上、下盘采煤工作线长度在工作帮推进过程中始终发生变化。此时 $n_s = f(L_{sc}, \omega, l)$ 或 $n_s = f(L_{xc}, \omega, l)$, L_s 和 L_x 随着工作帮在断层区域推进的变化情况见式(18)。此时 n_s 为关于 L_{sc} (L_{xc})、 ω 、 l 的多元函数,为了更好地揭示工作线与断层走向夹角以及初始上、下盘采煤工作线长度发生变化时生产剥采比随着工作帮推进的变化规律。通过设定工作线与断层走向夹角值 ω ,进而分析在不同初始上、下盘采煤工作线长度情况下生产剥采比随着工作帮推进的变化规律。

由于工作帮在推进过程中受断层走向延伸距离的影响,因此工作线与断层走向夹角不同时,工作帮沿断层区域推进距离也不同,致使 ω 发生变化时, l 的取值范围也会随之发生变化。为了消除在不同 ω 时, l 取值变化范围不一致的情况,需要对 l 取值进

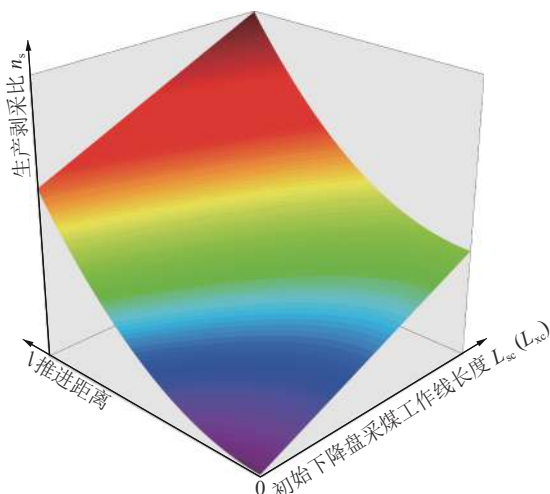


图11 工作线正交断层走向时生产剥采比变化规律

Fig.11 Variation law of production stripping ratio when working line is orthogonal to fault strike

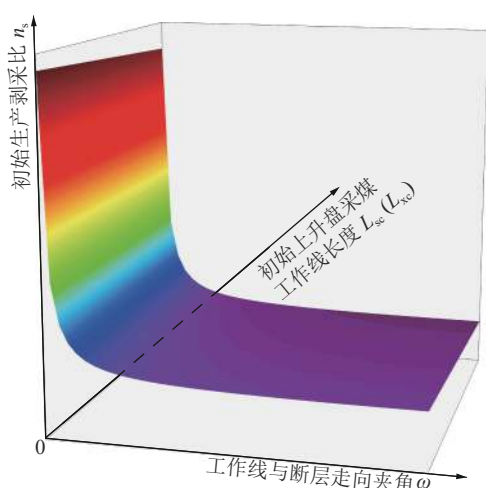
行归一化处理,使其去量纲化,进而将 l 的取值映射在 y 轴上 $(0, 1)$ 区间内。采用常用的 min-max 归一化方法对 l 的取值进行处理, min-max 归一化原理如式(20):

$$x_{\text{new}} = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (20)$$

对于 l ,归一化处理后的 l_{new} 如式(21)所示:

$$l_{\text{new}} = \frac{l}{L_d \sin \omega} \quad (21)$$

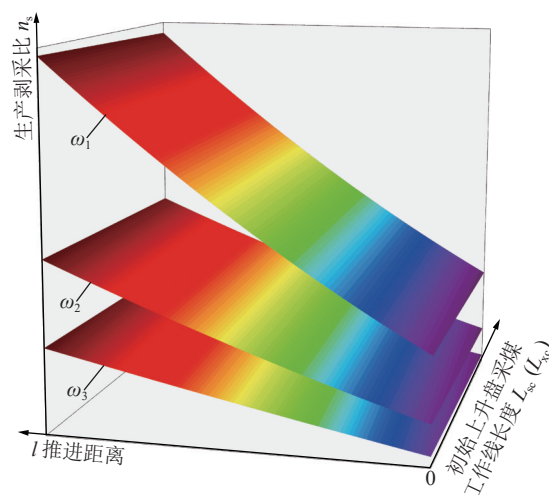
设 L_{sc} 、 L_{xc} 的单位变化量为 ΔL , ω 的单位变化量为 $\Delta \omega$ 。则断面初始生产剥采比随 $L_{\text{sc}}(L_{\text{xc}})$ 、 ω 增加时变化规律如图12所示。

图12 初始生产剥采比与 $L_{\text{sc}}(L_{\text{xc}})$ 、 ω 关系Fig.12 Diagram of relationship between initial production stripping ratio and $L_{\text{sc}}(L_{\text{xc}})$ 、 ω

分析生产剥采比函数可知当给定 ω 时, $n_s = f(L_{\text{sc}}, \omega, l)$ 或 $n_s = f(L_{\text{xc}}, \omega, l)$ 为关于变量 L_{sc} 与 l 或

L_{xc} 与 l 的二元二次函数。因此,通过对推进距离求偏导可知: $\frac{\partial^2 f}{\partial l^2}$ 越大时,剥采比曲面弯曲程度越大,即在工作帮推进的过程中生产剥采比变化越剧烈。

为了更加直观地表示 ω 对生产剥采比变化规律的影响,绘制 ω 不同时生产剥采比随着断层初始上升盘采剥工作线长度和推进距离变化的图像(其中 $\omega_1 < \omega_2 < \omega_3$),如图13所示。由图12、13可知: ω 越小时,初始生产剥采比越大,且生产剥采比增长越快。

图13 ω 取值不同时生产剥采比变化规律Fig.13 Variation law of production stripping ratio with different ω values

分析上述图像可得:工作帮斜交于断层走向推进时,断面初始生产剥采比与断层初始上升盘工作线长度、工作线与断层走向夹角呈负相关关系,且工作线与断层走向夹角越小,单位推进距离内生产剥采比的变化量越大,即生产剥采比变化越剧烈。

综上所述:笔者认为露天煤矿工作帮相交断层推进时应满足以下原则:

1)工作帮推进过断层期间生产剥采比小于经济合理剥采比,即 $n_s < n_j$ 。

2)工作帮与断层走向夹角 ω 应尽可能大,且不大于实际开采可以实现的最大夹角值 $\omega_{\max}$ 。

3)断层上、下盘采剥工作线长度应不小于设备作业、走行、调配所需的最小工作线长度 L_{zd} ,即 $L_s > L_{\text{zd}}$ 且 $L_x > L_{\text{zd}}$ 。

因此,工作帮在推进到断层区域时应及时调整工作帮进入断层时上、下盘采剥工作线长度以及尽量保证工作帮垂直断层走向或与断层走向保持较大夹角推进,避免工作线与断层走向夹角过小或者工作帮平行断层走向推进,从而确保工作帮过断层期间生产剥采比变化平稳且满足经济合理剥采比要求。

利用计算机编程可实现工作帮过断层参数的枚

举及自动循环判断,进而确定出满足剥采比条件及工作线长度条件的最优工作帮过断层参数,如图 14 所示。

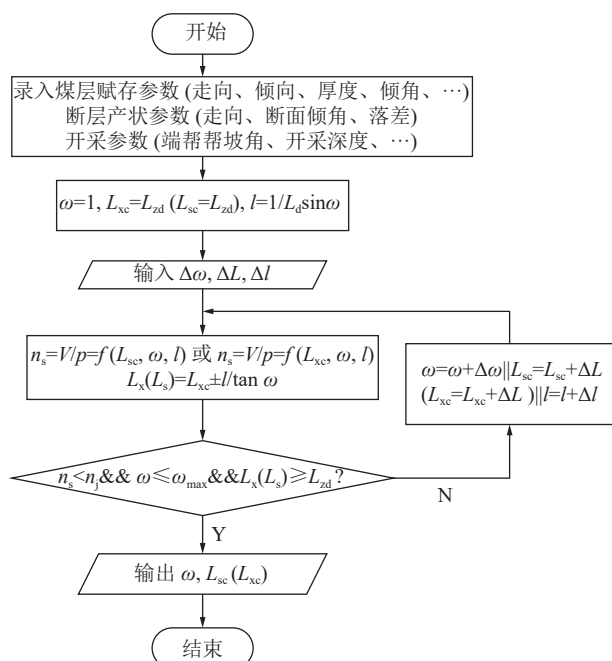


图 14 最优工作帮过断层参数确定流程

Fig.14 Determination process of optimal parameters of working slope through fault

3 工程实例

胜利西二号露天煤矿位于内蒙古自治区锡林郭勒盟锡林浩特市西北部宝力根(胜利)苏木境内,设计规模 10.0 Mt/a。采煤工艺为:单斗-卡车-地面半固定破碎站半连续工艺,剥离为单斗-卡车间断工艺。境界内地层总体走向 NW,倾向 NE,为产状平缓的单斜构造。境界内发育多条断层,其中 F13 正断层位置如图 15 所示。开采境界内 6 号煤层全区发育,为主采煤层。6 号煤层平均可采厚度 19.25 m,煤层沿断层走向水平赋存。采煤工作线长度为 2 km,开采深度为 180 m,端帮帮坡角为 25°。原煤售价 200.54 元/t,剥离成本 5.83 元/m³,采煤总成本 62.69 元/t。工作帮按现行推进方式推进至首采区北部境界之后向东转向进入二采区时会出现工作线与 F13 断层走向平行的情况,对露天矿的生产接续极为不利。因此,需要提前规划设计工作线布置方式及进入断层时的参数,以保证生产的稳定接续。F13 正断层各要素参数如下:

走向	北偏西 20°
落差/m	26.6
断面倾角/(°)	70

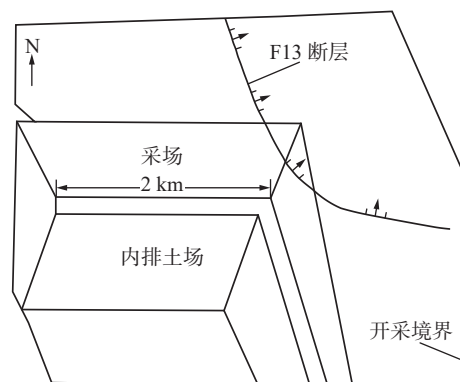


图 15 胜利西二号露天矿采场现状及 F13 断层位置

Fig.15 Current situation of the slope of Shengli West No. 2 open-pit mine and the location of F13 fault

依据《煤炭工业露天矿设计规范(2015)》:当采用卡车运输时,单斗挖掘机的工作线长度不宜小于 300 m^[27]。采用价格法计算胜利西二号露天煤矿的经济合理剥采比为 23.645 m³/t。计算过程如下:

$$n_j = \frac{D_1 - a_0}{b_0} = \frac{200.54 - 62.69}{5.83} = 23.645 \text{ m}^3/\text{t} \quad (22)$$

式中: D_1 为露天开采原煤售价,元/t; a_0 为露天开采原煤成本,元/t; b_0 为露天剥离成本,元/m³。

根据上述参数建立工作帮沿断层推进工程模型并进行断层区域原煤回采可行性分析,计算出断层区域原煤全部回采时剥采比为 1.08 m³/t。因此工作帮在断层区域推进时不需要留设断层煤柱。

西二号露天煤矿采煤工作线与 F13 断层正交时,工作帮在推进过程中不利于采区转向。因此工作线布置方向与现状工作线方向相同为由东向西布置,即与断层走向夹角为 70°,则工作帮在断层区域推进距离为 1 409.54 m。采用上述分析方法可得出满足经济合理剥采比及工作线长度要求的初始下盘采煤工作线长度为 815 ~ 2 000 m。考虑东帮扩帮作业工程量及断层上盘最小采煤工作线长度等因素,最终确定工作帮过断层初始下盘采煤工作线长度为 1 700 m。工作帮沿断层走向推进时,初始上盘采煤工作线长度为 300 m,最小下盘采煤工作线长度为 1 187 m,均满足设备作业、走行、调配所需的最小工作线长度要求,且保证了工作帮在向北推进进入断层区域时,东帮扩帮作业工程量最小。

4 结 论

1)工作线与断层走向相交情况下,工作帮推进过程中生产剥采比受断层上(下)盘采煤工作线长度及工作线与断层走向夹角影响,且断面初始生产剥

采比与断层初始上升盘工作线长度、工作线与断层走向夹角呈负相关关系。

2)工作线与断层走向夹角固定时,工作帮推进过程中生产剥采比与断层下降盘工作线长度呈正相关关系。工作线与断层走向夹角越小,生产剥采比变化越剧烈。

3)基于工作帮与断层走向相交推进时生产剥采比变化规律分析,确定了初始上、下盘采剥工作线长度和工作线与断层走向夹角优化确定原则,并通过计算机程序实现工作了帮过断层最优参数的选取确定。

4)应用上述方法对胜利西二号露天煤矿进行优化分析,最终确定工作线与断层走向夹角为 70° ,初始下盘采煤工作线为1 700 m时可满足经济合理剥采比要求、设备作业条件以及生产过渡接续稳定。

参考文献(References):

- [1] 刘光伟,李 鹏,白润才.露天矿过断层开采方式及生产能力接续分析[J]. *重庆大学学报*, 2015, 38(3): 123-129.
LIU Guangwei, LI Peng, BAI Runcai. Analysis on mining mode and production capacity of open-pit through fault[J]. *Journal of Chongqing University*, 2015, 38(3): 123-129.
- [2] 魏 旭.过断层巷道围岩力学特性及其应力梯度破坏研究[D].北京:中国矿业大学(北京), 2020: 97-146.
WEI Xu. Study on mechanical properties of surrounding rock from a roadway through a fault and stress gradient failure[D]. Beijing: China University of Mining & Technology-Beijing, 2020: 97-146.
- [3] 赵毅鑫,王 浩,卢志国,等.开采扰动下断层库仑应力及诱发矿震时空演化特征[J]. *煤炭学报*, 2018, 43(2): 340-347.
ZHAO Yixin, WANG Hao, LU Zhiguo, *et al.* Characteristics of tremor time-space evolution and Coulomb stress distribution along the fault during workface excavation[J]. *Journal of China Coal Society*, 2018, 43(2): 340-347.
- [4] 王兆会,杨敬虎,孟 浩.大采高工作面过断层构造煤壁片帮机理及控制[J]. *煤炭学报*, 2015, 40(1): 42-49.
WANG Zhaohui, YANG Jinghu, MENG Hao. Mechanism and controlling technology of rib spalling in mining face with large cutting height passing through fault[J]. *Journal of China Coal Society*, 2015, 40(1): 42-49.
- [5] 高玉兵,王 炯,高海南,等.断层构造影响下切顶卸压自动成巷矿压规律及围岩控制[J]. *岩石力学与工程学报*, 2019, 38(11): 2182-2193.
GAO Yubing, WANG Jiong, GAO Hainan, *et al.* Mine pressure distribution and surrounding rock control of gob-side entry formed by roof cutting and pressure release under the influence of faults[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2019, 38(11): 2182-2193.
- [6] 王 普.工作面正断层采动效应及煤岩冲击失稳机理研究[D].青岛:山东科技大学, 2018: 103-115.
WANG Pu. Study on mining effect caused by normal fault and the inducing mechanism of rock burst[D]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology, 2018: 103-115.
- [7] 李 超.断层对大采高综采工作面矿压及顶板运移规律影响研究[D].太原:太原理工大学, 2016: 43-64.
LI Chao. Study on influence of laws on rock pressure and roof movement made by the fault in large mining height fully mechanized face[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2016: 43-64.
- [8] 葛 普.大倾角综采工作面遇断层开采技术研究[D].西安:西安科技大学, 2020: 9-18.
GE Pu. Research on fault technology on the fully mechanized working[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2020: -18.
- [9] 孟庆彬,韩立军,齐 彪,等.复杂地质条件下巷道过断层关键技术研究及应用[J]. *采矿与安全工程学报*, 2017, 34(2): 199-207.
MENG Qingbin, HAN Lijun, QI Biao, *et al.* Study and application of key technology for roadway crossing faults under complex geological conditions[J]. *Journal of Mining & Safety Engineering*, 2017, 34(2): 199-207.
- [10] 马立强,余伊河,金志远,等.大倾角综放面预掘巷道群快速过断层技术[J]. *采矿与安全工程学报*, 2015, 32(1): 84-89.
MA Liqiang, YU Yihe, JIN Zhiyuan, *et al.* Fast pushing through fault of the pre-driven roadway groups in fully mechanized top-coal caving face with big dip angle[J]. *Journal of Mining & Safety Engineering*, 2015, 32(1): 84-89.
- [11] 薛大伟.钱营孜煤矿石门过断层技术及管理研究[D].徐州:中国矿业大学, 2019: 7-35.
XUE Dawei. Research on technology and management of cross-hole passing through fault in QianYingzi Coal Mine[D]. Xuzhou: China University of Mining & Technology, 2019: 7-35.
- [12] 蔡赫男.红庆梁煤矿软岩巷道过断层支护技术研究[D].阜新:辽宁工程技术大学, 2016: 35-49.
CAI Henan. Study on the supporting technology of the fault in the soft rock roadway of Hong Qingliang coal mine[D]. Fuxin: Liaoning Technical University, 2016: 35-49.
- [13] 赵毅鑫,姜耀东,孟 磊,等.超前管棚注浆支护技术在极复杂断层带中的应用[J]. *采矿与安全工程学报*, 2013, 30(2): 262-266.
ZHAO Yixin, JIANG Yaodong, MENG Lei, *et al.* Supporting technique with advanced pipe-shed grouting in extremely complicated faulting zone[J]. *Journal of Mining & Safety Engineering*, 2013, 30(2): 262-266.
- [14] 徐 仁.晟聚矿复杂断层构造区域内回采巷道支护技术研究[D].包头:内蒙古科技大学, 2019: 44-49.
XU Ren. Research on support technology of mining roadway in complex fault structure area of Shenju coal mine[D]. Baotou: Inner Mongolia University of Science & Technology, 2019: 44-49.
- [15] 殷增光.软岩巷道穿越断层破碎带支护技术研究[D].阜新:辽宁工程技术大学, 2017: 45-54.
YIN Zengguang. Research on support technology for soft rock roadway crossing fault fracture zone[D]. Fuxin: Liaoning Technical University, 2017: 45-54.

- [16] 王 东,宋伟豪,张 岩.露天矿含断层逆倾边坡滑面确定方法及应用[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2019,38(3): 212-215.
WANG Dong, SONG Weihao, ZHANG Yan. Sliding surface determination method and application of reverse dip slope with fault in open-pit mines[J]. Journal of Liaoning Technical University (Natural Science), 2019, 38(3): 212-215.
- [17] 梅开品,武尚荣.露天矿含断层岩质边坡变形破坏机理研究[J].有色金属设计,2020,47(3): 8-11.
MEI Kaipin, WU Shangrong. Research into the deformation and break Mechanism of the fault rock slope in open-pit[J]. Nonferrous Metals Design, 2020, 47(3): 8-11.
- [18] 曹兰柱,祁利民,王 东,等.露天矿含断层复合边坡稳定性[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2016,35(8): 804-809.
CAO Lanzhu, QI Limin, WANG Dong, *et al.* Research of combination slope with fault in open-pit mine[J]. Journal of Liaoning Technical University(Natural Science), 2016, 35(8): 804-809.
- [19] 关依梦,范军富,刘光伟.露天煤矿过正断层动态剥采比时空优化控制[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2016,35(6): 571-575.
GUAN Yimeng, FAN Junfu, LIU Guangwei. Optimization and control on dynamic stripping ratio during the fault in surface coal mine[J]. Journal of Liaoning Technical University(Natural Science), 2016, 35(6): 571-575.
- [20] 李志鹏,姜 威.露天煤矿过断层生产能力过渡接续研究[J].煤炭与化工,2016,39(6): 20-24,29.
LI Zhipeng, JIANG Wei. Study on transition connection of open-pit mine production capacity crossing the fault[J]. Coal and Chemical Industry, 2016, 39(6): 20-24,29.
- [21] 何 保,张亚明.煤矿地质学[M].沈阳:东北大学出版社,2013.
- [22] 杨荣新.露天采矿学(下册)[M].徐州:中国矿业大学出版社,1990.
- [23] 于汝绶,习永峰.露天矿工作线长度的优化[J].中国矿业学院学报,1986(1): 18-32.
YU Rushou, XI Yongfeng. Optimization of working line length of open-pit mines[J]. Journal of Chinese University of Mining, 1986(1): 18-32.
- [24] 王海清,李景柱.胜利露天煤矿工作线长度优化[J].露天采矿技术,2007(3): 11-12,16.
WANG Haiqing, LI Jinzhu. Optimization of working line length of Shengli opencast mine[J]. Opencast Mining Technology, 2007(3): 11-12,16.
- [25] 宋子岭,白润才,刘仲田.武家塔露天煤矿合理工作线长度的确定[J].露天采矿技术,2005(3): 4-6.
SONG Ziling, BAI Runcai, LIU Zhongtian. Determination of reasonable front length in Wujiata open-pit coal mine[J]. Opencast Mining Technology, 2005(3): 4-6.
- [26] 白润才,付恩三,刘光伟,曲业明.吉林郭勒二号露天矿合理工作线长度的优化[J].世界科技研究与发展,2013,35(3): 365-369.
BAI Runcai, FU Ensan, LIU Guangwei, *et al.* Optimization of reasonable front length in Jilinguole NO. 2 surface coal mine[J]. World SCI-TECH R & D, 2013, 35(3): 365-369.
- [27] 中国煤炭建设协会勘察设计公司,中煤科工集团沈阳设计研究院有限公司.煤炭工业露天矿设计规范:GB50197-2015[S].北京:中国计划出版社,2015.
Survey and design committee of China coal construction association, CCTEG Shenyang engineering company. Code for design of open pit mine of coal industry: GB50197-2015 [S]. Beijing: China Planning Press, 2015.