

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2015.01.012

厚松散层下采动系数确定方法

陈俊杰, 闫伟涛, 邹友峰
(河南理工大学, 河南 焦作 454003)

摘要:在用传统方法求取采动系数时,往往直接笼统地利用开采深度,而对岩性差异没有做区分对待。在分析传统方法确定采动系数存在问题的基础上,探讨了开采深度中的岩性差异对采动系数的影响程度。从充分开采的临界开采宽度出发,通过理论推导,给出了考虑上覆岩层岩性时走向和倾向采动系数的计算公式,分析了松基比、上覆岩层岩性等地质采矿条件对临界开采宽度和采动系数的影响。并结合具体地表移动观测站资料,分别采用传统方法、考虑松散层岩性时和未考虑松散层岩性三种情况,求取和分析了各开采工作面达到充分采动时走向和倾向临界开采宽度以及采动系数。结果表明:本文中提出的充分采动系数计算方法与采用传统方法得到的采动系数差别较大,相对误差在3.7%~51.7%。当其他影响因素不变时,松基比越大,上覆岩层岩性越软,充分采动系数越大。在厚松散层开采条件下,评定充分采动程度时,应该考虑上覆岩层中松散层的厚度。

关键词:采动系数;临界开采宽度;松基比;覆岩岩性

中图分类号:TD803

文献标识码:A

文章编号:1003-8035(2015)01-0071-06

Determination methods of mining coefficient under thick alluvium stratum

CHEN Junjie, YAN Weitao, ZOU Youfeng
(Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454003, China)

Abstract: Mining depth is adopted directly to compute mining coefficient according traditional methods generally, and the difference of lithology is not considered in mining depth. Based on analyzing existing problems of traditional method on determining mining coefficient, the difference of lithology to mining coefficient is discussed in mining depth. From critical mining width of full mining perspective, in the conditions of considering lithology of overlying rock, the computational formulas of is obtained by theoretical derivation along the strike and dip direction respectively, the influence to mining coefficient and that geology and mining conditions is analyzed, such as the ratio of alluvium thickness and thickness of bedrock, lithology of overlying rock, and so on. Through the following three ways: in traditional ways, considering and without considering the lithology of alluvium stratum, combining with surveying data of 10 the surface movement observation stations, the critical mining width and mining coefficient are calculated and analyzed along the strike and dip direction when the faces reach full mining. The results are, compared the method proposed by the paper with traditional method, there are greater differences, and its absolute relative deviation is 3.7%~51.7%. When other factors keep constant, the larger is the ratio of alluvium thickness and thickness of bedrock, the softer is the lithology of overlying rock, and the larger is coefficient of mining influence. So the thickness of alluvium should be considered when full mining degree is evaluated under thick alluvium stratum.

Keywords: mining coefficient; critical mining width; the ratio of the alluvium thickness and bedrock thickness; lithology of overlying rock

收稿日期:2014-01-18; 修订日期:2014-12-28

基金项目:国家自然科学基金委员会与神华集团有限责任公司联合资助项目(U1261206);河南省教育厅科学技术研究重点资助项目(13A440464);河南理工大学创新型科研团队支持计划资助(T2013-1)

第一作者:陈俊杰(1972-),男,河南柘城人,教授,从事矿山测量与开采沉陷方面的教学与研究工作。E-mail:chenjj@hpu.edu.cn

松散层作为上覆岩层的一部分,既承接基岩面上的移动变形,又按自身介质特性把开采影响传达到地表,引起地表的移动和变形。松散层对于充分采动程度、传递方向以及地表移动范围等都会产生较大的影响^[1-2]。刘瑾,等^[3]在一定地质采矿条件下,通过数值模拟分析,探讨了松散层厚度对地表移动变形规律的影响。王金庄教授^[4-5]提出,在厚松散层下采煤时,采用基岩厚度评定采动程度时更为合理,更符合实际。廉旭刚^[6]在探讨充分采动程度时,提出了时间影响系数关于充分采动程度的计算公式。张连贵^[7]通过对兖州矿区非充分开采地表移动观测站的实测数据进行分析总结,指出在薄松散层条件下采用宽深比,在厚松散层条件下按采宽与基岩厚度之比来评价采动程度比较合理。作者查阅了大量的资料,发现研究松基比对充分采动程度造成的影响方面的相关研究文献尚不多见。事实上,在不同的开采深度下,采动程度与不同松散层厚度和基岩厚度密切相关,所以,从松散层厚度和基岩厚度之间的比例关系(以下简称“松基比”)的角度,来分析采动程度更符合开采实际。本文在分析传统方法确定充分采动存在问题的基础上,推导了采动系数的求取新公式,对其合理性进行了分析。为矿山开采过程中有效地保护地表建(构)筑物,提供一定参考。

1 问题的提出

1.1 目前采动系数确定存在的问题

充分采动程度是用倾斜方向的采动系数 n_1 和走向方向的采动系数 n_3 来表示的^[8]。如公式(1)所示。

$$\begin{cases} n_1 = k_1 \frac{D_1}{H_0} \\ n_3 = k_3 \frac{D_3}{H_0} \end{cases} \quad (1)$$

式中: k_1 、 k_3 ——为小于1的系数,由实测资料确定。

H_0 ——平均开采深度/m;

D_1 、 D_3 ——采空区沿倾向和走向的实际长度/m。

当 $n_1 = 1$, $n_3 = 1$ 时,倾向和走向方向均达到充分采动,此时,对应的开采工作面尺寸为临界开采尺寸。即随着工作面开采尺寸的增加,工作面尺寸的大小对地表移动和变形值大小无影响。

在公式(1)中,存在的主要问题在于:

(1) k_1 、 k_3 由实测资料的统计规律确定的,是一般地质采矿条件下笼统的数值,其科学性如何,无相关验证。

(2) 在公式(1)中的开采深度 H_0 ,没有考虑和区分基岩与松散层的岩性及其厚度的比例关系,而它们

是影响充分采动程度非常重要的因素之一。

所以,采用公式(1)确定的 n_1 、 n_3 ,存在较大误差,需要重新建立采动系数计算的新方法。

1.2 重新建立采动系数计算公式

采动系数,是采空区倾斜方向或走向方向的实际长度与地表达达到充分采动时相应方向上最小长度(即达到充分采动时临界开采宽度)之比^[9]。根据该定义,采动系数的计算公式为:

$$\begin{cases} n_1 = \frac{D_{1\text{实际}}}{D_{1\text{临界}}} \\ n_3 = \frac{D_{3\text{实际}}}{D_{3\text{临界}}} \end{cases} \quad (2)$$

式中: $D_{1\text{实际}}$ ——倾斜方向实际开采长度/m;

$D_{1\text{临界}}$ ——达到充分采动时采空区倾斜方向临界长度/m;

$D_{3\text{实际}}$ ——走向方向实际开采长度/m;

$D_{3\text{临界}}$ ——达到充分采动时采空区走向方向临界长度/m。

2 采动系数求取

2.1 松基比 f 的确定

采空区上覆岩层中包含松散层和基岩两种介质,基于它们岩性的差异,在数据处理时应将其区别对待。松基比 f 为:

$$f = \frac{H_s}{H_j} \quad (3)$$

式中: H_s ——上覆岩层中松散层厚度/m;

H_j ——上覆岩层中基岩厚度/m。

2.2 达到充分采动时临界开采宽度的计算

2.2.1 倾向达到充分采动时临界开采宽度的计算

(1) 考虑松散层岩性时

当考虑上覆岩层中松散层岩性时,倾向方向的临界开采宽度计算如图1所示。

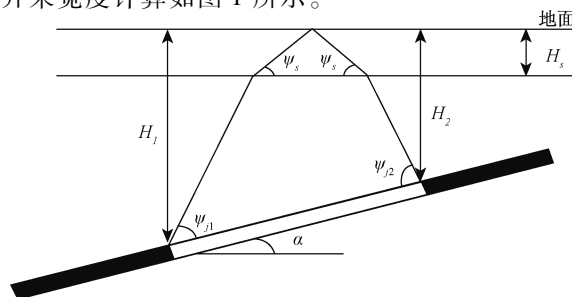


图1 倾向临界开采宽度计算示意图

Fig.1 Diagram about critical mining width computation of dip main principle section

由图1,倾向临界开采宽度 $D_{1\text{临界}}$ 为:

$$D_{1\text{临界}} = \frac{(H_1 - H_s) \cot(\psi_{j1} + \alpha) + (H_2 - H_s) (\cot\psi_{j2} - \alpha) + 2H_s \cot\psi_s}{\cos\alpha} \quad (4)$$

式中: H_1 ——上山开采深度/m;

H_2 ——下山开采深度/m;

H_s ——松散层厚度/m;

α ——煤层倾角/(°);

ψ_s ——松散层充分采动角/(°);

ψ_{j1} ——下山基岩充分采动角/(°);

ψ_{j2} ——上山基岩充分采动角/(°)。

其中:

$$H_1 = H_0 + 0.5D_{1\text{临界}} \sin\alpha = (1 + 1/f)H_s + 0.5D_{1\text{临界}} \sin\alpha$$

$$H_2 = H_0 - 0.5D_{1\text{临界}} \sin\alpha = (1 + 1/f)H_s - 0.5D_{1\text{临界}} \sin\alpha \quad (5)$$

将式(5)代入式(4),得

$$D_{1\text{临界}} = \frac{2H_s \cot\psi_s + H_s [\cot(\psi_{j1} + \alpha) + \cot(\psi_{j2} - \alpha)]/f}{\cos\alpha - 0.5\sin\alpha [\cot(\psi_{j1} + \alpha) - \cot(\psi_{j2} - \alpha)]} \quad (6)$$

(2) 未考虑松散层岩性时

当未考虑上覆岩层中松散层岩性时,充分采动角统一采用基岩充分采动角。其倾向临界开采宽度 $D_{1\text{临界}}$ 为:

$$D_{1\text{临界}} = \frac{H_1 \cot(\psi_{j1} + \alpha) + H_2 \cot(\psi_{j2} - \alpha)}{\cos\alpha} \quad (7)$$

将式(5)代入式(7),得

$$D_{1\text{临界}} = \frac{2(1 + 1/f)H_s [\cot(\psi_{j1} + \alpha) + \cot(\psi_{j2} - \alpha)]}{2\cos\alpha - \sin\alpha [\cot(\psi_{j1} + \alpha) - \cot(\psi_{j2} - \alpha)]} \quad (8)$$

2.2.2 走向达到充分采动时临界开采宽度计算

(1) 考虑松散层岩性时

在走向方向上,当考虑上覆岩层中松散层岩性时,将松散层与基岩区别看待。

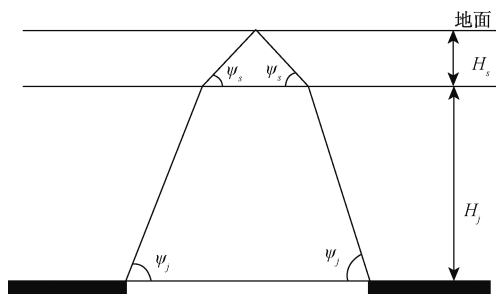


图2 走向临界开采宽度计算示意图

Fig.2 Diagram about critical mining width computation of trend main principle section

由图2,走向临界开采宽度为:

$$D_{3\text{临界}} = 2H_s \cot\psi_s + 2H_j \cot\psi_j = 2H_s \cot\psi_s + 2H_s \cot\psi_j/f$$

$$= 2H_s (\cot\psi_s + \cot\psi_j/f) \quad (9)$$

(2) 未考虑松散层岩性时

当未考虑松散层岩性时,充分采动角统一采用基岩充分采动角。其走向临界开采宽度 $D_{3\text{临界}}$ 为:

$$D_{3\text{临界}} = 2(H_s + H_j) \cot\psi_j = 2(f + 1)H_s \cot\psi_j/f \quad (10)$$

式中: ψ_j ——基岩充分采动角/(°);

H_j ——基岩厚度/m。

2.3 新的采动程度计算公式的建立

2.3.1 在倾向方向上

(1) 考虑松散层岩性时,将公式(6)代入公式(2),则有:

$$n_1 = \frac{D_{1\text{实际}}}{D_{1\text{临界}}} = \frac{D_{1\text{实际}}}{\frac{2H_s \cot\psi_s + H_s [\cot(\psi_{j1} + \alpha) + \cot(\psi_{j2} - \alpha)]/f}{\cos\alpha - 0.5\sin\alpha [\cot(\psi_{j1} + \alpha) - \cot(\psi_{j2} - \alpha)]}} = \frac{\cos\alpha - 0.5\sin\alpha [\cot(\psi_{j1} + \alpha) - \cot(\psi_{j2} - \alpha)]}{2H_s \cot\psi_s + H_s [\cot(\psi_{j1} + \alpha) + \cot(\psi_{j2} - \alpha)]/f} \quad (11)$$

(2) 未考虑松散层岩性时,将公式(8)代入公式(2),则有:

$$n'_1 = \frac{D_{1\text{实际}}}{D_{1\text{临界}}} = \frac{D_{1\text{实际}}}{\frac{2(1 + 1/f)H_s [\cot(\psi_{j1} + \alpha) + \cot(\psi_{j2} - \alpha)]}{2\cos\alpha - \sin\alpha [\cot(\psi_{j1} + \alpha) - \cot(\psi_{j2} - \alpha)]}} = \frac{2\cos\alpha - \sin\alpha [\cot(\psi_{j1} + \alpha) - \cot(\psi_{j2} - \alpha)]}{2(1 + 1/f)H_s [\cot(\psi_{j1} + \alpha) + \cot(\psi_{j2} - \alpha)]} \quad (12)$$

2.3.2 在走向方向上

(1) 考虑松散层岩性时,将公式(9)代入公式(2),则有:

$$n_3 = \frac{D_{3\text{实际}}}{D_{3\text{临界}}} = \frac{D_{3\text{实际}}}{2H_s (\cot\psi_s + \cot\psi_j/f)} \quad (13)$$

(2) 未考虑松散层岩性时,将公式(10)代入公式(2),则有:

$$n'_3 = \frac{D_{3\text{实际}}}{D_{3\text{临界}}} = \frac{D_{3\text{实际}}}{2(f + 1)H_s \cot\psi_j/f} \quad (14)$$

3 松基比与采动系数关系

由以上分析与计算可知,松基比是影响采动系数的主要因素之一,充分采动时临界开采宽度随松基比的变化关系如图3所示。

从图3可以看出:

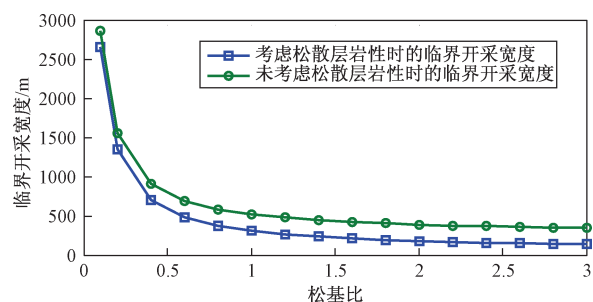


图3 临界开采宽度与松基比的关系

Fig.3 Relationships about critical mining width and the ratio of alluvium thickness and bedrock thickness

(1)工作面开采达到充分采动时,临界开采宽度均随松基比的增加而减小,且减小的幅度基本一致,与上覆岩层中松散层岩性无关。

(2)在评定采动程度时,不考虑松散层岩性会存在一定误差。

在相同地质采矿条件下,本文提出的求取采动系数方法与传统方法进行对比分析(图4)。

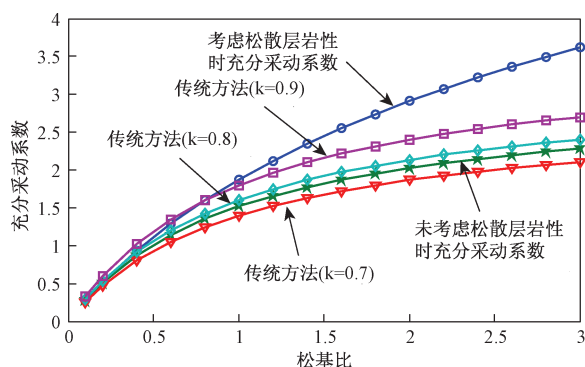


图4 采动系数与松基比关系

Fig.4 Relationships about mining coefficient and the ratio of alluvium thickness and bedrock thickness

从图4可以看出:

(1)采动系数均随松基比的增加而增加。

(2)本文提出的采动系数计算得到的曲线,最为接近上覆岩层为中硬时 $k=0.8$ 时采动系数曲线。由于采用传统方法确定采动系数时,没有考虑松基比的影响,所以,当上覆岩层中松散层厚度较大时,采用传统方法评价采动程度是不科学的。

(3)当考虑上覆岩层中松散层岩性时,本文提出的采动系数,与传统方法相比,增加的速率较大。主要因为随着松基比的增加,松散层厚度不断增大,开采工作面容易达到充分采动。

4 实例分析

为了进一步探讨松基比对采动系数计算中的影响程度,选取了开滦矿区的10个回采工作面的地表移动观测站资料^[10-13]。分别按考虑与未考虑上覆岩层的岩性时的两种情况,求取了10个回采工作面走向和倾向方向的临界开采宽度与采动系数(表3、表4)。

从表3、表4可知:

(1)是否考虑上覆岩层中松散层岩性,对达到充分采动时临界开采宽度影响较大,其差值变化在70.6~339.7 m,且松基比越大,临界开采宽度差值越大。所以,当判定充分采动程度时,应该考虑松散层岩性。

(2)当上覆岩层中松散层厚度较大时,采用本文中得到的采动系数与采用传统方法得到的采动系数差别较大,相对误差在3.7%~51.7%,且相对误差随着松基比的增大而增大。

表3 临界开采宽度

Table 3 Critical mining width

观测线名	松基比	基岩厚度/m	走向长/m	倾向长/m	走向临界开采宽度/m			倾向临界开采宽度/m		
					未考虑松散层岩性时	考虑松散层岩性时	两者之差	未考虑松散层岩性时	考虑松散层岩性时	两者之差
辅271	2.62	84	830	150	394.8	163.1	231.7	398.7	163.2	235.5
1176E	0.67	283	996	150	612.8	413.9	198.9	624.3	419.2	205.1
1672E	1.63	184	500	140	628.6	312.7	315.9	657.3	317.6	339.7
东小二	0.61	360	660	310	753.3	521.6	231.7	787.7	538.6	249.1
E线	1.31	119	145	397	357.2	192.9	164.3	358.5	193.2	165.3
B线	1.06	158	450	245	422.1	246.2	175.9	439.0	251.5	187.5
F线	1.71	95	292	155	333.8	163.2	170.6	335.1	163.4	171.7
岳各庄	0.31	399	550	340	680.6	548.9	131.7	681.5	549.6	131.9
5281	0.13	524	480	150	770.8	697.1	73.7	771.9	698.0	73.9
孩儿屯	0.10	651	930	270	931.9	861.3	70.6	941.1	869.3	71.8

表 4 采动系数
Table 4 Mining coefficient

观测线名	松基比	倾向采动系数				走向采动系数			
		传统方法	未考虑松 散层岩性	考虑松散 层岩性	相对误差	传统方法	未考虑松 散层岩性	考虑松散 层岩性	相对误差
辅 271	2.62	0.44	0.38	0.92	52%	2.46	2.10	5.09	52%
F 线	1.71	0.54	0.46	0.95	43%	1.02	0.87	1.79	43%
1672E	1.63	0.26	0.21	0.44	41%	0.93	0.80	1.60	42%
E 线	1.31	1.30	1.11	2.05	37%	0.47	0.40	0.75	37%
B 线	1.06	0.68	0.56	0.97	30%	1.25	1.07	1.83	32%
1176E	0.67	0.29	0.24	0.36	20%	1.90	1.63	2.40	21%
东小二	0.61	0.48	0.39	0.58	17%	1.02	0.77	1.27	20%
岳各庄	0.31	0.52	0.50	0.62	16%	0.84	0.81	1.00	16%
5281	0.13	0.20	0.19	0.21	5%	0.65	0.62	0.69	6%
孩儿屯	0.10	0.34	0.29	0.31	10%	1.17	1.00	1.08	8%

注:相对误差为考虑松散层岩性时和传统方法所得出的采动系数相对误差。

5 结论

- (1)探讨了松基比与采动系数之间的关系。随着松基比的增加,采动系数随之增加,开采工作面容易达到充分采动状态。
- (2)在分析上覆岩层中松散层岩性影响采动系数程度的基础上,建立了采动系数计算的新公式。
- (3)提出在厚松散层开采条件下评定采动程度时,应该考虑上覆岩层中松散层岩性的影响。

参考文献:

[1] 陈俊杰,陶宛东,黄成飞. 巨厚松散层下开采地表损害机理研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2013,24(1):51-55.
CHEN Junjie, TAO Wandong, HUANG Chengfei. Study on surface damage mechanism of mining under thick alluvium[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2013,24(1):51-55.

[2] 郭增长,柴华彬. 煤矿开采沉陷学[M]. 北京:煤炭工业出版社,2013:48-52.
GUO Zengzhang, CHAI Huabin. Coal mining subsidence [M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2013: 48-52.

[3] 刘瑾,孙占法,张永波. 采深和松散层厚度对开采沉陷地表移动变形影响的数值模拟研究[J]. 水文地质工程地质,2007,34(4):88-93.
LIU Jin, SUN Zhanfa, ZHANG Yongbo. Numerical simulation of the effect of thickness mining and loose seam ' s thickness on ground movement and deformation in mining subsidence [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2007,34(4):88-93.

[4] 王金庄,张瑜. 矿区开采地表下沉率及采动程度关

系的研究[J]. 矿山测量,1996(1):10-13.
WANG Jinzhuang, ZHANG Yu. Study on the relationship between surface subsidence coefficient and the degree of mining effect[J]. Mine Surveying, 1996 (1):10-13.

[5] 王金庄,李永树,周雄,等. 巨厚松散层下采煤地表移动规律的研究[J]. 煤炭学报,1997,22(1):18-21.
WANG Jinzhuang, LI Yongshu, ZHOU Xiong, et al. Ground movement caused by mining under thick alluvium[J]. Journal of China Coal Society, 1997, 22 (1):18-21.

[6] 廉旭刚. 基于 Knothe 模型的动态地表移动变形预计与数值模拟研究[D]. 北京:中国矿业大学(北京),2012.
LIAN Xugang. Prediction method of dynamic surface movement and deformation based on knothe model and research of numerical simulation[D]. Beijing: China University of Mining and Technology(Beijing), 2012.

[7] 张连贵. 兖州矿区不充分开采覆岩破坏机理与地表沉陷规律研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2009.
ZHANG Liangui. Overburden failure mechanism and surface movement law due to sub-critical extraction in Yanzhou mining area[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2009.

[8] 郭文兵. 煤矿开采损害与保护[M]. 北京:煤炭工业出版社,2013:36-37.
GUO Wenbing. Coal mining damage and protection [M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2013: 36-37.

[9] 何国清,杨伦,凌赓娣,等. 矿山开采沉陷学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,1991:101-102.
HE Guoqing, YANG Lun, LING Gengdi, et al. Mining subsidence[M]. Xuzhou: China University of

- Mining and Technology Press, 1991: 101 - 102.
- [10] 中华人民共和国煤炭工业局. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2000: 98 - 120.
- BUREAU of Coal Industry of PRC. Building, water, railway and main well leaving coal pillar and unexploited coal regulation[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2000: 98 - 120.
- [11] 陈俊杰, 邹友峰, 郭文兵, 等. 厚松散层下下沉系数与采动程度关系研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29(2): 250 - 254.
- CHEN Junjie, ZOU Youfeng, GUO Wenbing, et al. Study on the relationship between subsidence coefficient and mining degree under a thick alluvium stratum[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2012, 29(2): 250 - 254.
- [12] 殷作如, 邹友峰, 邓智毅, 等. 开滦矿区岩层与地表移动规律及参数[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 14 - 115.
- YIN Zuoru, ZOU Youfeng, DENG Zhiyi, et al. Strata and surface movement rules and parameters in Kailuan mine[M]. Beijing: Science Publishing House. 2010: 14 - 115.
- [13] 陈俊杰, 陈勇, 郭文兵, 等. 厚松散层开采条件下地表移动规律研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(11): 95 - 97, 102.
- CHEN Junjie, CHEN Yong, GUO Wenbing, et al. Study on surface movement law under the condition of thick unconsolidated strata[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(11): 95 - 97, 102.

(上接第 65 页)

- [12] 王新刚, 胡斌, 刘强. 松树南沟矿区节理岩质边坡开挖稳定性分析[J]. 金属矿山, 2013, 446(8): 127 - 130.
- WANG Xingang, HU Bin, LIU Qiang, et al. Stability analysis of jointed rock slope after excavation in Songshunan's mining area[J]. Metal Mine, 2013, 446(8): 127 - 130.
- [13] 藏秀平, 阮含婷, 李萍, 等. 岩体分级考虑因素的现状及趋势分析[J]. 岩土力学, 2007, 28(10): 2245 - 2248.
- ZANG Xiuping, RUAN Hanting, LI Ping, et al. Status quo and trends analysis of factors considered in rock mass classification methods[J]. Rock and Soil Mechanics, 2007, 28(10): 2245 - 2248.
- [14] 陈昌彦, 王贵荣. 各类岩体质量评价方法的相关性探讨[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(12): 1894 - 1900.
- CHEN Changyan, WANG Guirong. Discussion on the interrelation of various rockmass quality classification systems at home and abroad[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(12): 1894 - 1900.
- [15] Bieniaski Z T. Classification of Rock Masses for Engineering[M]. New York: Wiley, 1993.