

辽宁灯塔西马煤矿充填式开采地表变形预测

题正义,柳东明,王 振

(辽宁工程技术大学,辽宁 阜新 123000)

摘要:针对建筑物保护煤柱的煤炭资源回收问题,根据西马煤矿具体地质采矿条件,选择概率积分法对西马峰村保护煤柱开采后引起地表移动变形进行预计;并以1326工作面似膏体充填开采结果为基础,计算出充填采区工作面的等效采高;预计结果表明,如按设计开采方案布置工作面,西马峰村建筑物损害等级为Ⅱ级,不符合预先制定的标准;将开采方案进行一定的调整后再进行预计,结果表明,西马峰村建筑物所处地表的移动变形值均在建筑物损坏等级Ⅰ级所规定的范围内,即建筑物在不用维修或简单维修的情况下可以正常使用,则西马峰村保护煤柱似膏体充填开采是可行的。

关键词:充填开采;概率积分法;开采沉陷预计;地表移动变形

文章编号:1003-8035(2014)04-0066-06

中图分类号:TD82

文献标识码:A

0 引言

“三下”开采一般指建筑物、铁路、水体下矿体的开采^[1-2]。矿山生产过程中,通常在建筑物下、铁路下、水体下预留保护煤柱,不仅造成大量煤炭资源的积压,而且影响矿井生产的合理布局和接续。我国“三下”资源储量巨大,据统计煤炭资源中,“三下”压煤约 $137.9 \times 10^8 \text{ t}$,其中建筑物下压煤量最大,约为 $94.63 \times 10^8 \text{ t}$ ^[3-5]。

近年来,“三下”开采技术发展迅速,随着充填技术及充填工艺的不断发展,“三下”压煤充填开采已经成为一种必然趋势。充填开采不仅能有效控制地表移动变形,而且资源回收率最高可达90%以上。充填开采技术主要有似膏体充填、超高水材料充填和固体废物充填等,特别是似膏体充填开采技术在我国矿井生产应用最为广泛。沈阳焦煤集团西马煤矿在南一采区1326工作面、1327工作面成功地进行了似膏体充填开采,为该项技术应用于北翼充填采区西马峰村保护煤柱开采提供了宝贵的经验。

1 矿区概况

西马煤矿位于红阳煤田南部,行政区域隶属辽宁省辽阳市灯塔县西马峰镇。西马煤矿北起后葛针泡,南止太子河北岸防洪堤,东自东马峰村,西至前葛针泡、乌大哈堡。南北长7.5km,东西宽4km,面积 30 km^2 ,其中含煤面积 25 km^2 。

北翼充填采区是把原设计的北一区 and 北二区的尚未开采部分集中在一起而重新划定的采区。由于

采区内绝大部分储量被各类保护煤柱占据,其中主要有沈大高速公路、两个村庄(白家荒地村和西马峰村)和井田边界(防水)煤柱。

西马峰村保护煤柱位于井田东北角,距西马煤矿工业广场约3km左右,东侧与南侧均为防水煤柱,西侧为北一区,北侧为沈大高速公路保护煤柱,面积约 471308 m^2 。保护煤柱上方的村庄建筑物沿东西方向分布,面积约 377880 m^2 ,村址地势基本平坦,地表平均标高为+20m。房屋建筑多为砖木结构或砖混结构。村庄下共布置5个工作面,分别为N-1201、N-1202、N-1203、N-1204和N-1213,其中N-1201、N-1202和N-1203为仰斜工作面,N-1204和N-1213为走向工作面(图1)。开采煤层为12#煤层,埋深为130~220m,全层厚度为1.66~3.37m,平均为2.52m,倾角为 $4^\circ \sim 14^\circ$ 。12#煤层伪顶为泥岩,直接顶为粉砂岩,老顶为细砂岩,直接底为粉砂岩,老底为粗砂岩,煤层为复式背向斜构造,层理、节理裂隙发育。设计开采储量为 $166.4 \times 10^4 \text{ t}$ 。工作面在12#煤层保护煤柱范围内的部分采用似膏体充填开采。

N-1201工作面煤层埋深170~200m,倾角 4° ,工作面长度200m,推进长度410m;N-1202工作面煤层埋深160~200m,倾角 5° ,工作面长度200m,推进长

收稿日期:2014-01-15;**修订日期:**2014-02-17

基金项目:国家自然科学基金项目(51204089)

作者简介:题正义(1957—),男,博士,教授,博士生导师,主要从事煤矿“三下开采”、矿业系统工程、计算机在矿业工程中应用方面的研究。

E-mail:252901756@qq.com

度 480m;N-1203 工作面煤层埋深 160 ~ 220m,倾角 6°,工作面长度 200m,推进长度 560m;N-1204 充填面呈三角型,工作面煤层埋深 200 ~ 220m,倾角 6°,工作面长度 200m,推进长度 335m;N-1213 工作面呈刀型,工作面煤层埋深 130 ~ 190m,倾角 11° ~ 14°,工作面最大长度 217m,最小长度 78m,推进长度 1115m。工作面全部采用沿空留巷,相互之间不留区段煤柱,运顺和回顺巷道断面形状均为矩形,净断面 4.4m × 2.5m,工作面的采高为 2.5m。

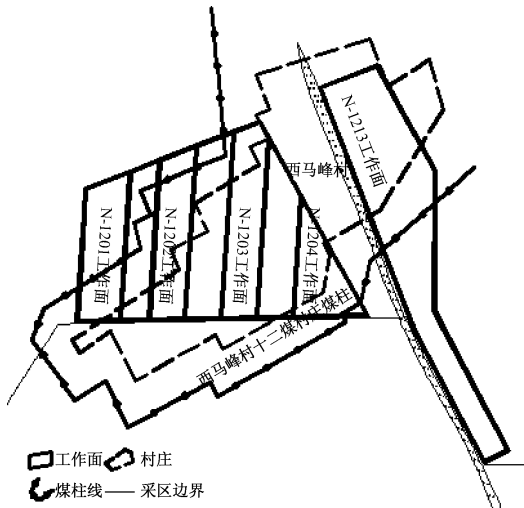


图 1 西马峰村保护煤柱工作面布置
Fig. 1 Filling working face arrangement of Ximafeng protective coal pillar

2 方案可行性标准的确定

按照《“三下”规程》的相关规定,在开采方案可行性研究过程中,选择保护等级最高的 I 级损坏所允许的变形值作为可行性判定的标准,即把主要变形值控制在以下范围内:水平变形 $\varepsilon \leq 2.0\text{mm/m}$,曲率 $K \leq 0.2 \times 10^{-3}/\text{m}$,倾斜 $i \leq 3.0\text{mm/m}$ 。在此范围内,地表建筑物在不用维修或简单维修条件下即可以正常使用。

3 地表移动及变形预计

3.1 预计方法及岩移参数确定

西马煤矿上覆岩层性质为中硬,煤层大部分为缓斜(局部急倾斜)、缓倾斜煤层,而缓斜、缓倾斜煤层开采后地表沉陷规律基本符合随机介质理论,适合于用概率积分法进行预计。北翼充填采区煤层属于缓倾斜煤层,因此,选用概率积分法对地表移动变形进

行预计^[6-8]。
根据煤科总院煤炭开采所《关于修订沈南矿区保护煤柱角量参数技术咨询报告》补充说明及煤矿岩层移动资料,最终确定西马煤矿的岩移参数如表 1 所示:

表 1 西马煤矿概率积分法预计参数
Table 1 Prediction parameter of probability integral method for Xima coal mine

下沉系数 q	水平移动系数 b	主要影响角 正切 $\tan\beta$	开采影响传播角 $\theta(^{\circ})$	拐点偏移 距 s
0.72	0.35	2.0	90-0.65a	0.05H

3.2 等效采高确定

充填采煤方法与自然垮落采煤方法的主要区别是采空区顶板沉降高度不同,自然垮落法的顶板沉降高度是开采厚度,而充填法的顶板沉降高度是充填体未接顶高度、充填体自身被压缩高度及以架后顶底板移近高度的总和^[9]。两种开采方法的区别可以简单地设定为“采高”不同,充填法的“采高”可表示为:

$$M_c = h_m + h_q + h_y \tag{1}$$

$$h_y = (M - h_m - h_q) \cdot \eta \tag{2}$$

将式(2)代入式(1)中,经过整理,得出等效采高计算式为:

$$M_c = (h_m + h_q) \cdot (1 - \eta) + \eta \cdot M \tag{3}$$

式中: M_c ——等效采高(m);

h_m ——充填前顶底板移近量(m);

h_q ——充填欠接顶量(m);

h_y ——充填体压缩量(m)。

η ——充填体压缩率(%);

M ——采厚(m)。

采高作为概率积分法预计的重要参数,对预计结果的准确性起决定性作用。为了提高预计准确性,在西马峰村保护煤柱开采之前,在同矿区 1326 工作面尝试进行似膏体充填开采并对开采效果进行统计,结果显示,充填前顶底下沉量范围为 0.005 ~ 0.05m,计算时取最大值 0.05m;走向充填工作面充填欠接顶量取 0.317m,倾斜充填工作面充填欠接顶量取 0.241m;充填后充填体的最大压缩率达到了 3.65%。

以充填体压缩率和采高(2.5m)计算充填体压缩量,走向充填工作面充填体压缩量为(2.5 -

$0.317 - 0.05) \times 3.65\% = 0.078\text{m}$; 倾斜充填工作面充填体压缩量为 $(2.5 - 0.241 - 0.05) \times 3.65\% = 0.081\text{m}$ 。

综上所述,将各值代入式(1),计算得到北翼充填采区西马峰村保护煤柱布置走向充填工作面等效采高为 $M_e = 0.05 + 0.317 + 0.078 = 0.445\text{m}$; 布置倾斜充填工作面等效采高为 $M_e = 0.05 + 0.241 + 0.081 = 0.372\text{m}$ 。

3.3 地表移动变形预计

根据以上预计方法及预计参数,利用矿山开采沉陷可视化预计系统软件对西马峰村保护煤柱似膏体充填开采后地表移动变形进行预计。地表移动变形预计值如表 2。

表 2 地表移动变形预计值
Table 2 Prediction results of ground movement and deformation

最大下沉值 $W(\text{mm})$	最大倾斜值 $i(\text{mm} \cdot \text{m}^{-1})$	最大水平变形值 $\varepsilon(\text{mm} \cdot \text{m}^{-1})$	最大曲率变形值 $K(\times 10^{-3} \cdot \text{m}^{-1})$
313.02	4.72	-1.51	-0.0635
		3.06	0.1374

根据预计结果,绘出西马峰村保护煤柱似膏体充填开采后的地表移动变形等值线(图 2~图 5)。

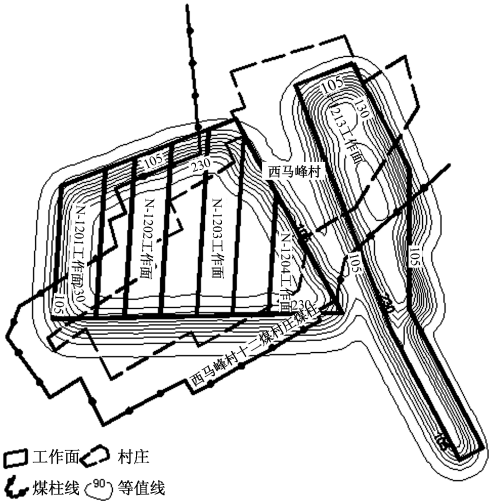


图 2 下沉等值线
Fig. 2 Isoline map of the surface subsidence

3.4 预计结果分析

表 2 显示与建筑物损坏密切相关的倾斜、曲率、水平变形的最大值分别为 4.72mm/m 、 $0.1374 \times 10^{-3}/\text{m}$ 、 3.06mm/m , 其中倾斜和水平变形值大于《“三下”规程》中建筑物损坏等级 I 级所规定的最大

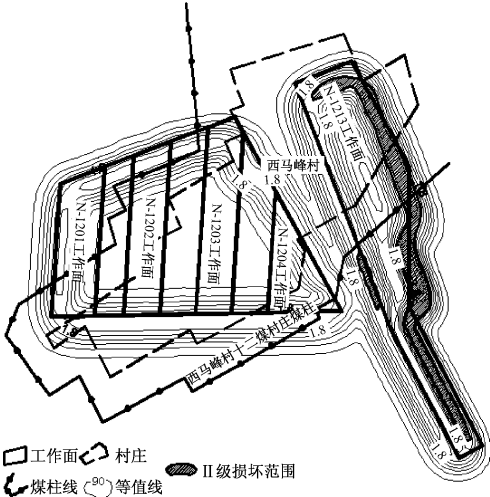


图 3 倾斜变形等值线
Fig. 3 Isoline map of the surface incline

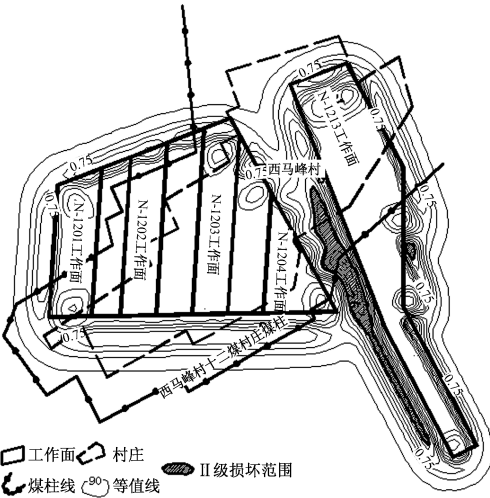


图 4 水平变形等值线
Fig. 4 Isoline map of the surface level transmutation

值,小于损坏等级 II 级所规定的最大值(倾斜 $i \leq 6.0\text{mm/m}$, 曲率 $K \leq 0.4 \times 10^{-3}/\text{m}$, 水平变形 $\varepsilon \leq 4.0\text{mm/m}$)。

从图 3 中的阴影范围可以看出,地表最大倾斜值大于 I 级损坏等级的规定而在 II 级损坏等级规定值的范围内,II 级损坏的范围分布在 N-1213 工作面上方的地表,阴影范围包括村庄部分建筑物,受 II 级损坏的建筑物主要分布 N-1213 工作面上方。图 4 中的阴影范围显示,地表最大水平变形值也大于 I 级损坏等级的规定而在 II 级损坏等级规定值的范围内,II 级损坏的范围分布在 N-1213 工作面和 N-1204 工作面之间的上方地表。

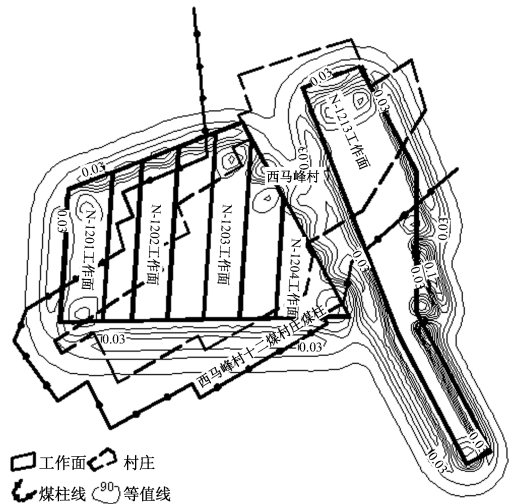


图 5 曲率等值线

Fig. 5 Isoline map of the surface curvature

从图 2 至图 5 可以看出,西马峰村建筑物地表下沉值在 $0 \sim 313.02\text{mm}$ 之间,倾斜变形值在 $0 \sim 3.4\text{mm/m}$ 之间,曲率变形值在 $-0.0500 \sim 0.0700 \times 10^{-3}/\text{m}$ 之间,水平变形值在 $-1.0 \sim 2.15\text{mm/m}$ 之间。

由此可见,村庄建筑物所处位置的最大倾斜值和最大水平变形值大于 I 级损坏等级的规定而在 II 级损坏等级规定值的范围内,最大曲率值在 I 级损坏等级的范围内,村庄建筑物损坏等级为 II 级,受 II 级倾斜变形损坏的建筑物分布在 N-1213 工作面上方,受 II 级水平变形损坏的建筑物分布在 N-1213 工作面 and N-1204 工作面之间的上方地表。因此可判定现有方案不满足预先制定的开采可行性标准。

4 开采方案的调整及分析

4.1 开采方案调整

通过对地表移动变形预计结果分析,II 级损坏范围主要在 N-1213 工作面上方的地表范围内,主要原因是 N-1213 工作面煤层埋深浅,工作面开采将达到充分采动,地表移动变形值较大,N-1213 工作面开采是引起地表移动变形值大于 I 级损坏等级变形值的关键因素。

由于工作面尺寸的大小对预计结果产生直接影响,开采尺寸越大,预计结果越大,反之,预计结果越小。为使预计结果满足预先制定的标准,需要减小工作面尺寸。开采方案调整是对 N-1213 工作面进行重新设计,设计缩小 N-1213 工作面部分尺寸使设计后的工作面开采为非充分采动,从而达到减小地表移动

变形值的目的,保留埋深较大的工作面尺寸,减小埋深较小的工作面尺寸,由于村庄保护煤柱范围以外的工作面开采对村庄建筑物没有影响,这部分工作面尺寸不变。N-1213 工作面减少尺寸长度最大为 132m ,最小为 102m ,推进长度 460m 。损失煤炭量 $31.66 \times 10^4\text{t}$ 。其它工作面尺寸不变。开采方案调整后的工作面布置见图 6。

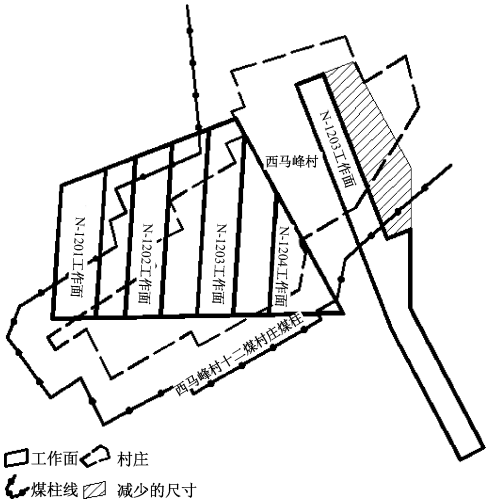


图 6 开采方案调整后的工作面布置

Fig. 6 Scheme after the adjustment face layout

4.2 地表移动变形预计

根据西马煤矿的岩移参数(表 1)及调整后工作面的参数,利用矿山开采沉陷可视化预计系统软件对开采方案调整后引起的地表移动变形进行预计。地表移动变形预计值如表 3。

表 3 地表移动变形预计值

Table 3 Prediction results of ground movement and deformation

最大下沉值 $W(\text{mm})$	最大倾斜值 $i(\text{mm} \cdot \text{m}^{-1})$	最大水平变形值 $\varepsilon(\text{mm} \cdot \text{m}^{-1})$	最大曲率变形值 $K(\times 10^{-3} \cdot \text{m}^{-1})$
267.23	3.81	-1.20 2.70	-0.0463 0.0808

根据预计结果,绘出西马峰村保护煤柱似膏体充填开采后的地表移动变形等值线(图 7 ~ 图 10)。

4.3 预计结果分析

表 3 显示,与建筑物损坏密切相关的倾斜、曲率、水平变形的最大值分别为 3.81mm/m 、 $0.0808 \times 10^{-3}/\text{m}$ 、 2.70mm/m ,其中倾斜和水平变形值大于《“三下”规程》中建筑物损坏等级 I 级所规定的最大值,小于损坏等级 II 级所规定的最大值(倾斜 $i \leq$

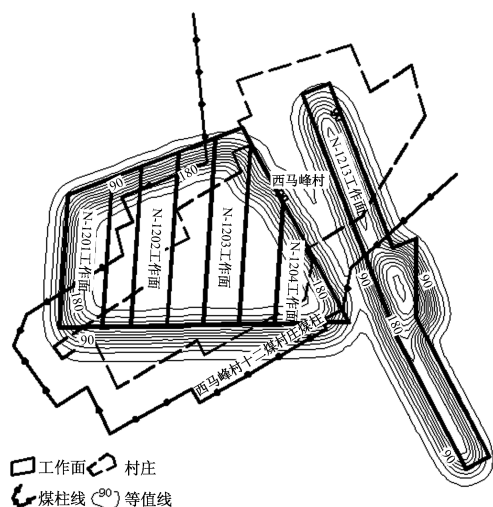


图7 下沉等值线图

Fig. 7 Isolines map of the surface subsidence

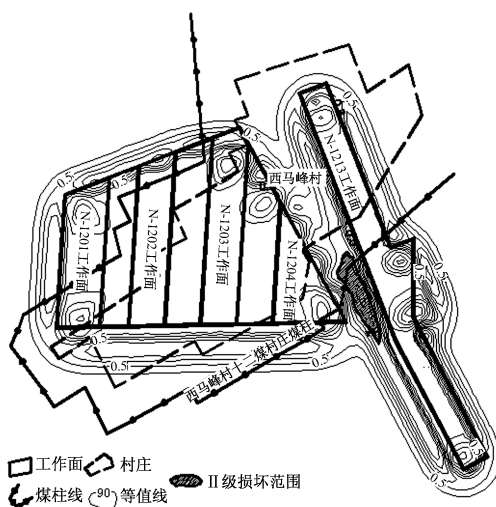


图9 水平变形等值线

Fig. 9 Isolines map of the surface level transmutation

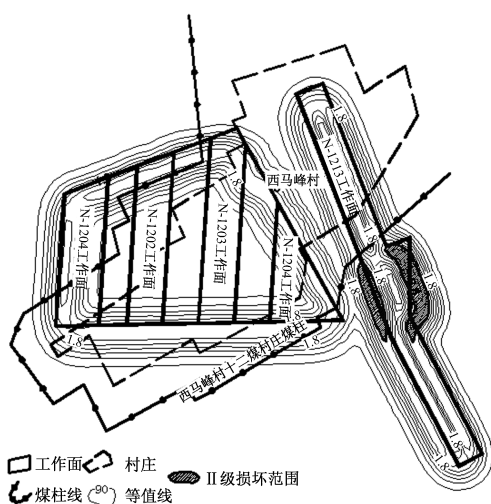


图8 倾斜变形等值线

Fig. 8 Isolines map of the surface incline

6.0mm/m, 曲率 $K \leq 0.4 \times 10^{-3}/\text{m}$, 水平变形 $\varepsilon \leq 4.0\text{mm/m}$ 。但从图8和图9可知,该区域内不存在村庄建筑物。

从图7~图10中可以看出,西马峰村建筑物地表下沉值在0~267.23mm之间,倾斜变形值在0~2.6mm/m之间,曲率变形值在 $-0.0300 \sim 0.0500 \times 10^{-3}/\text{m}$ 之间,水平变形值在 $-0.98 \sim 1.90\text{mm/m}$ 之间,均在建筑物损坏等级I级范围内。

5 结论

根据概率积分法预计得知,经过开采方案的调整,

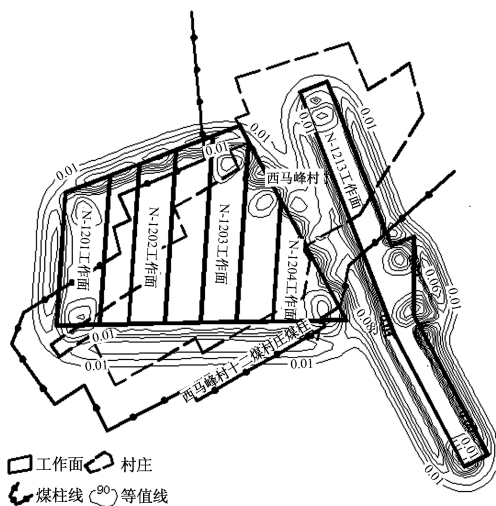


图10 曲率等值线

Fig. 10 Isolines map of the surface curvature

西马峰村保护煤柱似膏体充填开采后,村庄建筑物所处地表的移动变形值均小于《“三下”规程》中建筑物损坏等级I级所规定的最大值,即建筑物在不用维修或简单维修的情况下可以正常使用。经过开采方案的调整,西马峰村保护煤柱似膏体充填开采是可行的。

参考文献:

- [1] 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: 118-148.
HE Guoqing, YANG Lun, LING Gengdi, et al. Mining subsidence theory [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1991: 118-148.
- [2] 杜计平. 采矿学[M]. 北京:中国矿业大学出版社

- 社,2009.
- DU Jiping. Mining science [M]. Beijing: China University of Mining and Technology Press,2009.
- [3] 惠功领. 我国煤矿充填开采技术现状与发展[J]. 煤炭工程,2010(2): 21-22.
- HUI Gongling. Current status of filling mining technology and its development in China[J]. Coal Engineering,2010(2): 21-22.
- [4] 徐法奎. 我国煤矿充填开采技术现状及发展前景[J]. 煤矿开采,2012,17(4): 6-8.
- XU Fakui. Current status of stowing mining and its development prospect in China [J]. Coal Mining Technology,2012,17(4): 6-8.
- [5] 代建四. 煤矿充填开采的现状与发展趋势[J]. 科技创新导报,2010(18): 60-61.
- DAI Jiansi. Current status of filling mining and its development tendency [J]. Science and Technology Consulting Herald,2010(18): 60-61.
- [6] 于成龙,郑百功,杨雷,等. 玄武岩台地采空塌陷发育特征—以吉林省三合城村地面塌陷为例[J]. 中国地质灾害与防治学报,2013,24(2): 68-71.
- YU Chenglong, ZHENG Baigong, YANG Lei, et al. Development characteristics of mining subsidence in basalt platform: A case study of subsidence in Sanhecheng village, Jilin province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control,2013,24(2): 68-71.
- [7] 翟树纯,刘辉,何春桂. 基于概率积分法的非充分采动地表沉陷预计[J]. 煤矿安全,2008,43(6): 29-32.
- ZHAI Shuchun, LIU Hui, HE Chungui. Surface subsidence prediction of insufficiency mining based on probability integration method[J]. Safety in Coal Mines, 2008,43(6): 29-32.
- [8] 姚琦,冯涛,李石林,等. 基于概率积分法的煤矿“三下”开采沉陷预计[J]. 煤矿安全,2012,43(7): 188-190.
- YAO Qi, FENG Tao, LI Shilin, et al. The subsidence prediction of coal mine “three under” mining based on probability integral method [J]. Safety in Coal Mines, 2012,43(7): 188-190.
- [9] 马占国,范金泉,朱发浩,等. 矸石充填巷采等价采高模型探讨[J]. 煤,2010,19(8): 1-3.
- MA Zhanguo, FAN Jinquan, ZHU Fahao, et al. Discussion about gangue filling roadway mining equivalent mining height model[J]. Coal,2010,19(8): 1-3.

Prediction and analysis of ground movement and deformation of filling mining in Xima mine

TI Zheng-yi, LIU Dong-ming, WANG Zhen

(Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: Aiming at the problem of reclaiming coal resources of protective coal building pillar, According to the geological conditions, Using probability integral method, it is predicted that ground movements and deformation of Ximafeng protective coal pillar filling mining. Based on the analysis of the results of paste-like backfill of the mined 1326 working face, it is calculated that the relative “mining height”. The results show the movement and deformation are in the range of level-Ⅱ if mining as the original plan and do not meet the advanced standard. After adjusting the scheme, The results show that movement and deformation are in the range of level-Ⅰ, the building can be used normally in the conditions of un-maintenance and simple-maintenance. Filling mining projects for protected pillars of Ximafeng village is feasible.

Key words: filling mining; probability integral method; mining subsidence prediction; ground movement and deformation