

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2015.01.008

开采孤岛煤柱的冲击危险性区预测

陈善乐^{1,2}, 汪华君², 张继华³

(1. 辽宁工程技术大学安全科学与工程学院, 辽宁 阜新 123000;

2. 贵州工程应用技术学院, 贵州 毕节 551700;

3. 中国矿业大学力学与建筑工程学院, 江苏 徐州 221116)

摘要: 为了确保“孤岛”煤柱资源回采过程中的安全生产, 预测其冲击危险性, 通过 Flac3D 实现对矿井 4、6 煤层采空区和煤柱支承应力分布与塑性变形区域分布模拟, 详细分析了两煤层中的 7 个应力集中点在走向、倾向上的应力分布和塑性变形区域分布, 并按照分析结果, 在 4 煤层划分了 5 个高危冲击危险区, 在 6 煤层划分了 2 个高危冲击危险区。该研究为制定防冲、防突等措施提供参数数据, 对于指导现场生产具有重要的应用价值。

关键词: 孤岛煤柱; 应力分布; 冲击倾向性

中图分类号: TD323

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2015)01-0049-07

Prediction of rock burst zones during isolated coal-pillar mining

CHEN Shanle^{1,2}, WANG Huajun¹, ZHANG Jihua³

(1. LiaoNing Technical University College of Safety Science and Engineering, FuXin, Liaoning 123000, China;

2. Guizhou University of Engineering and Science, College of mining and engineering, BiJie, Guizhou 551700, China;

3. China university of Mining & Technology School of Mechanics and Civil Engineering,
Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

Abstract: In order to ensure production safe in mining the “isolated island” coal-pillar resources, predict the shock risk propensity, Carried out the simulation of bearing stress and plastic deformed region distribution of goaf and coal-pillar in the 4th and 6th coal seam, by Flac3D. Seven points had been analyzed the stress and plastic deformed region distribution on strike and trend, which belong to the 4th and 6th coal seam. and according to the results, there is 5 high risk impact region has been divided in the 4th coal seam, and 2 high risk impact region in the 6th coal seam. This research provide the parameters to outburst and impingement prevention measures, and it has important application value to guide field production.

Keywords: isolated island coal-pillar; stress distribution; rockburst in pact tendency

0 引言

随着煤炭工业迅速发展,我国部分老矿井可采煤量的逐渐枯竭,为提高煤矿产量和煤炭回收率,煤柱开采显得越来越重要。在我国大量矿井中,区段回采结束后,形成采区煤柱类“孤岛”,对这类“孤岛”煤柱的

回采,由于采场中分布有大量的废旧巷道,导致开采难度增加,而四周采空区的存在使得应力分布向煤柱内延伸,矿压显现十分突出,冲击矿压的危害显著增加^[1]。

冲击矿压具有很大的破坏性,如片帮冒顶、支架折损、巷道堵塞及摧毁设施和人员伤亡等,强烈的冲击矿

收稿日期: 2013-11-14; 修订日期: 2013-11-29

基金项目: 贵州省基金计划项目(LKB[2012]03)

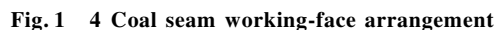
第一作者: 陈善乐(1984-),男,硕士,讲师,博士,主要从事矿井瓦斯灾害的教学与科研工作。E-mail:lelechen131452@163.com

本文以某煤矿的煤柱回采区域为研究对象,利用Flac3D实现区域内应力分布与变形特征的模拟计算,最终进行冲击危险区域的划分。

某煤矿西采区下段北部、西部为井田边界煤柱,东南部为 F21-3 断层保护煤柱,块段形状为三角形。采区内 4、6 煤层煤柱可采出煤炭资源量为 $14.84 \times 10^4 \text{ t}$,为充分利用有限的煤炭资源,分别在 4 煤中布置 3 个煤柱回采工作面,在 6 煤中布置了 3 个煤柱回采工作面(图 1、图 2)。

2.1 模型的几何尺寸

4、6 煤工作面皆沿走向开采,模型长取 670 m,宽取 340 m,高取 270 m,工作面上覆岩层平均容重取 $2.5 \times 10^4 \text{ N/m}^3$ 。建立模型时,岩层取 3 煤底板至 6 煤老底,共分为 9 层,分别为 4 煤、5 煤、6 煤及其顶底板岩层;模型单元体划分时,距离煤层较远处的岩层进行粗处理,煤层进行细化划分,共 369036 个单元,382024 个结点。模型上部采用应力边界,其他采用固支边界条件(图 4)。



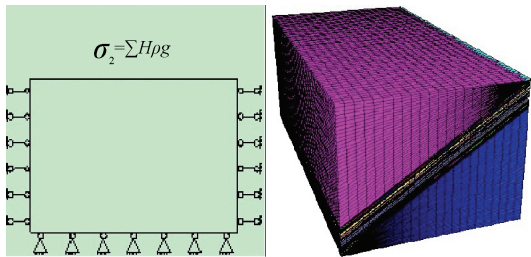


图 4 数值模拟模型网格划分和边界条件

Fig. 4 Numerical simulation mesh model and boundary conditions

2.2 模型力学参数选择

根据岩石力学试验结果,当载荷达到强度极限后,岩体产生破坏,在峰后塑性流动过程中,岩体残余强度随着变形发展逐步减小。因此,计算中采用莫尔-库仑 (Mohr-Coulomb) 屈服准则判断岩体的破坏式^[13-14]。岩体力学参数如表 1 所示。

表 1 岩石力学参数表

Table 1 Rock mechanics parameters						
岩石名称	密度 /kg·m ³	体积模量/GPa	剪切模量/GPa	内聚力 /MPa	抗拉强度/MPa	内摩擦角/(°)
煤 4	1380	0.8	0.35	1.25	0.15	32
砂质页岩	2570	8.8	4.3	9.7	0.18	14.4
细砂岩	2540	3.09	2.03	3.2	1.29	42
砂质泥岩	2510	2.78	0.72	2.16	0.75	36
煤 5	1380	0.8	0.35	1.25	0.15	32
煤 6	1380	0.8	0.35	1.25	0.15	32
中粒砂岩	2540	2.78	2.08	9.8	6.8	38
石灰岩	2090	22.6	11.1	6.72	1.58	42

2.3 模拟方案

本次模拟按以下流程进行模拟分析:

- (1)模拟模型当前状态的原始应力分布,获得 4 煤、6 煤上的应力分布(切片显示);
- (2)选取特征点,分别分析其在倾向和走向上的应力分布规律;
- (3)模拟显示所选特征点在走向与倾向上的剪切屈服单元和拉伸屈服单元,分析变形规律;
- (4)根据模拟分析,划分煤柱开采前高危冲击危险区域。

3 模拟结果分析

3.1 应力分布规律分析

分别沿 4 煤、6 煤煤层层面方向作切片,可得到层面应力分布情况(图 5、6)。

通过提取图 5、6 中的数据,可得到应力集中区为

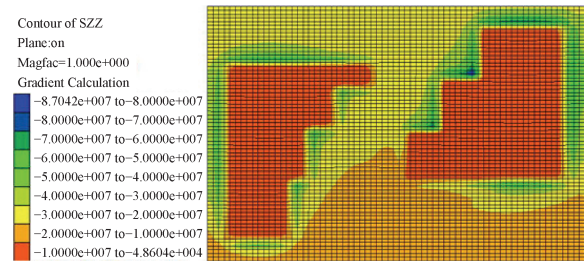


图 5 沿 4 煤层层面切片应力分布图

Fig. 5 The 4th coal section stress distribution

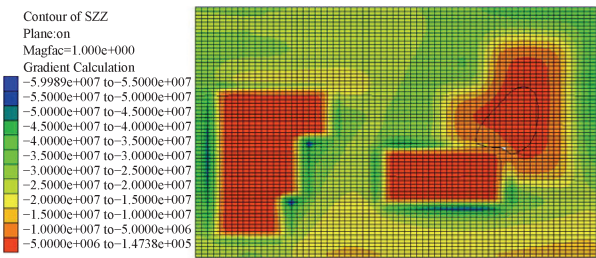
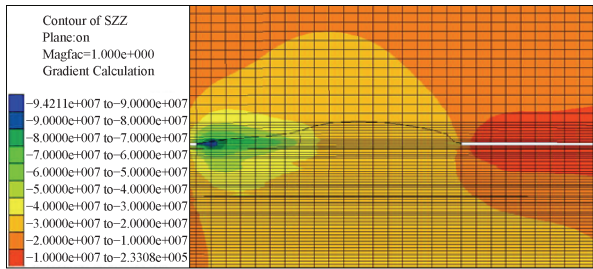


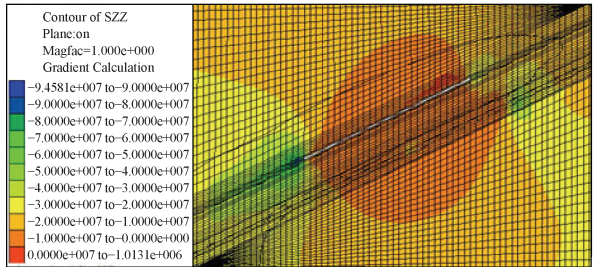
图 6 沿 6 煤层层面切片应力分布图

Fig. 6 The 6th coal section stress distribution

图 3 中的点①~⑦,为详细分析各点的应力分布情况,做各点在走向和倾向上的剖面图,本文以 4 煤中的④和 6 煤中的⑦点为例进行分析,分别见图 7、图 8,视图方向为图 3 中的 x、y 轴的正方向。



(a) 点④走向应力分布(on Strike)



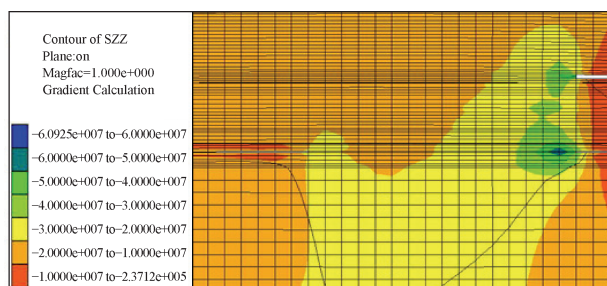
(b) 点④倾向应力分布(on Trendency)

图 7 点④应力分布

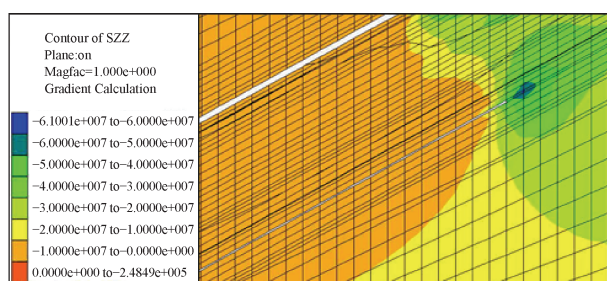
Fig. 7 Stress distribution of the 4th point

从图 7(a)中可以看出,点 4 走向应力分布曲线为“拱形”。左侧应力集中中心在 2~4 m 处,集中带长度 8~9 m,集中系数 1.2,剧烈影响范围约 20 m,影响范围 68 m;右侧应力集中中心在 2~3 m 处,集中带长

度约 5 m,集中系数 1.65,剧烈影响范围约 18 m。从图 7(b)中看出,点 4 下侧煤层应力集中位置在 2 m 处,应力集中带长度约 5 m,应力集中系数 1.84,剧烈影响范围 13 m,影响范围 67 m。



(a) 点⑦走向应力分布(on Strike)



(b) 点⑦倾向应力分布(on Trendency)

图 8 点⑦应力分布

Fig. 8 Stress distribution of the 7th point

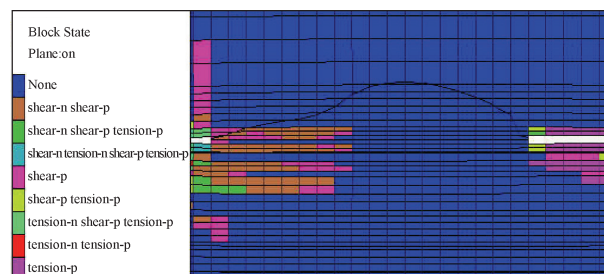
从图 8(a)中可以看出,点 7 走向应力分布曲线为“马鞍形”。左侧应力集中中心在 8 ~ 10 m 处,集中带长度 5 m,集中系数 1.2,剧烈影响范围约 18 m,影响范围 25 m;右侧应力集中中心在 10 m 处,集中带长度约 2 m,集中系数 1.48,剧烈影响范围约 12 m,影响范围 36 m。从图 8(b)中可以看出,点 7 上侧煤层应力集中位置在 5 m 处,应力集中带长度约 1 m,应力集中系数 1.48,剧烈影响范围 12 m,影响范围 45 m。

3.2 变形特征分析

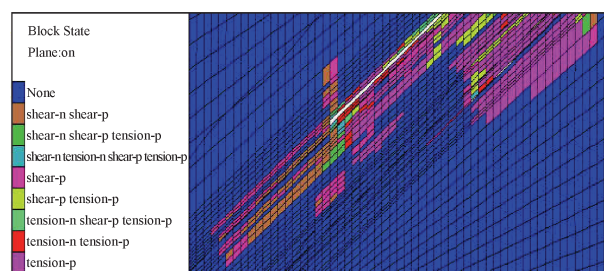
同样以④和⑦点为例,对其在走向和倾向上煤岩的弹塑性变形剖面图分析(图 9、图 10)。

从图 9(a)中看出,点 4 左侧煤层发生塑性破坏范围为 10 m,顶板塑性破坏范围为 80 m,而底板塑性区范围为 20 m,右侧煤层未发生塑性破坏。从图 9(b)中看出,4 点上侧煤层塑性破坏范围为 5 ~ 10 m,顶板破坏范围为 80 m,底板破坏范围 75 m。

从图 10(a)中看出,点 7 左侧煤层未产生塑性变形;右侧煤层发生塑性破坏的范围为 10 m,顶板塑性破坏范围为 30 m,底板未发生破坏;从图 10(b)中看出,7 点上侧煤层塑性破坏范围为 5 m,顶板破坏范围为 20 ~ 30 m,底板未发生塑性破坏。



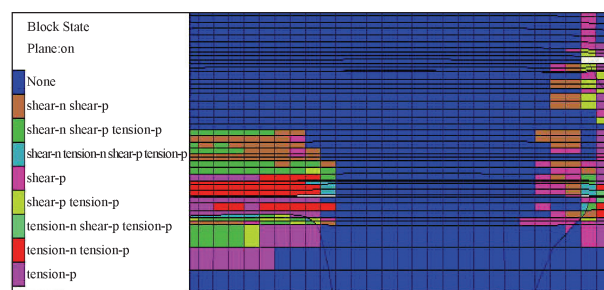
(a) 点④走向应力分布(on Strike)



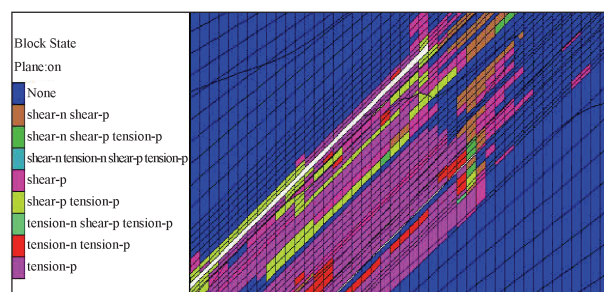
(b) 点④倾向应力分布(on Trendency)

图 9 点④塑性区分布

Fig. 9 Plastic zone distribution of the 4th point



(a) 点⑦走向应力分布(on Strike)



(b) 点⑦倾向应力分布(on Trendency)

图 10 点⑦塑性区分布

Fig. 10 Plastic zone distribution of the 7th point

同④和⑦点分析,其它各点应力分布、塑性区域分布详见表 2。

综合上述对研究区域内的模拟分析,可及时客观的评价孤岛煤柱采掘点冲击危险性及其冲击危险程度,适时确定支承压力带的宽度、应力峰值的大小和位置。研究表明:峰值越大,集中应力越高;距离煤壁愈近,冲击危险性越大,冲击危险程度也越大。

表 2 煤柱高危区应力和塑性区分布一览表

Table 2 High risk area of stress and plastic zone distribution in coal-pillar

序号	位置		边角煤柱应力分布情况					塑性区分布情况		
			应力集中 中心/m	集中带 长度/m	应力集 中系数	剧烈影响 范围/m	影响范 围/m	直接顶 /m	煤层 /m	直接底 /m
①	走向	左侧	2~3	5	2.02	12	25	10	—	10
		右侧	10	15	2.17	30	60	20	20	90
	倾向	上侧	5	6	2.17	17	60	10	5	25~35
②	走向	左侧	1~2	2	2.04	12	20	10	—	20
		右侧	4~5	12	2.1	35	50	30	20	60
	倾向	上侧	5	6	1.11	12	65	10~50	5~70	75
③	走向	左侧	115	60	4.24	100	125	—	—	—
		右侧	4~5	8	2	15	30	40	10~30	40
	倾向	上侧	5	8	2	32	65	10~85	5~20	65
④	走向	左侧	2~4	8~9	1.2	20	68	80	10	20
		右侧	2~3	5	1.65	18	—	—	—	—
	倾向	下侧	2	5	1.84	13	67	80	5~10	75
⑤	走向	左侧	0~2	2	3.27	18	65	30	10~20	20
		右侧	2~3	4	1.21	15	—	—	—	—
	倾向	下侧	5	8	3.27	13	80	15~75	5~10	75
⑥	走向	左侧	165	35	1.23	85	140	—	—	—
		右侧	10	5	1.93	20	75	40	20	—
	倾向	上侧	6	3	1.68	15	80	65~80	5	—
⑦	走向	左侧	8~10	5	1.2	18	25	—	—	—
		右侧	10	2	1.48	12	36	30	10	—
	倾向	上侧	5	1	1.48	12	45	20~30	5	—

4 高危区预测划分

根据研究区域的开采条件,结合分析结果,高危冲击危险区的形成因素有:

(1)开采深度影响。随着开采深度的增加,上覆岩体的自重给煤体形成的应力随之增加,煤体中聚积的弹性能也随之增加,同时由于应力的增加,煤体更容易达到发生冲击地压的极限应力,由此发生冲击地压的可能性增大且冲击发生时释放的能量也随之增加,冲击强度增强。通常情况下,当深度 $H\geq 500\text{ m}$,随着开采深度的增加,冲击地压的危险性急剧增加。西区 4 煤开采深度在 550~700 m 左右,6 煤开采深度在 600~750 m 左右,从开采深度来看,西区 4 煤和 6 煤都具有冲击地压的可能性。

(2)顶底板岩层结构特征。西区 4 煤顶板为砂质页岩,厚 2.6 m,砂泥质结构,硬度系数 $f=4\sim 5$,老顶为中粒砂岩,厚 13.5 m, $f=5\sim 6$,4 煤底板为黑色砂质页岩,厚 2.5 m,硬度系数 $f=4\sim 5$,老底为细砂岩,厚 2.5 m, $f=5\sim 6$;6 煤顶板为砂质页岩,均厚 3.8 m,硬度系数 $f=4\sim 5$,煤 6 底板为中粒砂岩,均厚 2.0 m,硬度系数 $f=5\sim 6$ 。由于 4、6 煤层坚硬厚层砂岩顶板形成悬顶,聚积大量弹性能,且在坚硬顶板破碎或滑移过

程中,大量的弹性能突然释放可能形成强烈震动,可导致冲击地压危险性升高。

根据表 2 将 4 煤划分为 5 个高危冲击区,将 6 煤划分为 2 个高危区(图 11、图 12)。

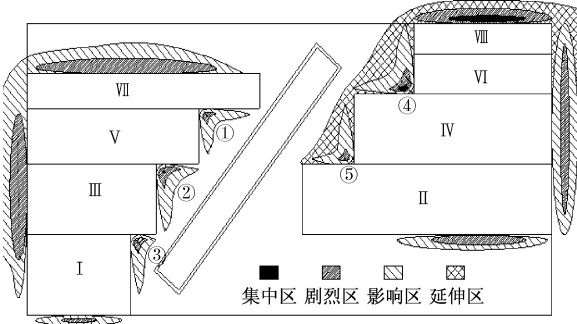


图 11 4 煤孤岛煤柱高危区分布位置示意图

Fig. 11 4th Coal Seam Isolated island coal pillar high-risk area distribution Sketch

从图 11、图 12 可以看出,区段煤柱及采空区的两侧都出现了应力集中。因此,在进行煤柱回采时,对于弱冲击倾向性区域,采煤作业应严格按照规程进行,并加强冲击地压危险状态的观察;对于中等冲击倾向性区域,回采作业应与该危险状态下的冲击地压防治措施一起进行,且必须通过预测预报确定冲击地压危险程

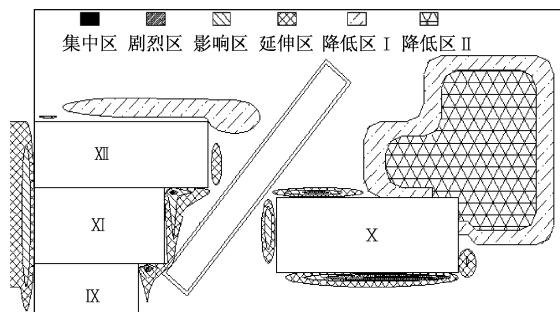


图 12 6 煤孤岛煤柱高危区分布位置示意图

Fig. 12 6th Coal Seam Isolated island coal pillar high-risk area distribution Sketch

度不再上升。

由于上层煤(4 煤)的采出,导致下层煤(6 煤)出现应力降低区,因此优先开采 4 煤中煤柱,且在 4、6 煤层中,皆按照低水平向高水平分区段开采。

5 结论

(1)通过 Flac3D 对矿井西采区的模拟计算,分析了 4、6 煤层中应力集中带和影响范围,确定了煤柱塑性变形区域,分析结果显示距离煤壁愈近,冲击危险性越大,冲击危险程度也越大。

(2)将西采区下段下山 4 煤煤柱划分 5 个冲击高危区,6 煤煤柱划分为 2 个冲击高危区,分别位于 4 煤层 I ~ VIII 工作面 and 6 煤层 IX ~ XII 工作面交接位置。

(3)影响矿井西采区冲击危险性的主要因素为开采深度和煤层的顶底板岩层性质。

参考文献:

- [1] 杜志军,李洪. 孤岛煤柱综放开采冲击危险性研究[J]. 西安科技大学学报,2012,32(2):160-163.
DU Zhijun, LI Hong. Impact risk of island pillar comprehensive caving mining[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2012,32(2):160-163.
- [2] 潘一山,耿琳,李忠华. 煤层冲击倾向性与危险性评价指标研究[J]. 煤炭学报,2010,35(12):1975-1978.
PAN Yishan, GENG Lin, LI Zhonghua. Research on evaluation indices for impact tendency and danger of coal seam[J]. Journal of China Coal Society, 2010,35(12):1975-1978.
- [3] 姚精明,闫永业,李生舟,等. 煤层冲击倾向性评价损伤指标[J]. 煤炭学报,2011,36(2):353-357.
YAO Jingming, YAN Yongye, LI Shengzhou, et al. Damage index of coal seam rock burst proneness[J]. Journal of China Coal Society, 2011,36(2):353-357.
- [4] 朱志洁,张宏伟,陈莹,等. 综放面合理护巷煤柱宽度确定与回采巷道支护方案设计[J]. 中国地质灾害与防治学报,2012,23(4):69-75.
ZHU Zhijie, ZHANG Hongwei, CHEN Ying, et al. Confirmation of reasonable chain pillar width and supporting scheme design of mining gateway in fully mechanized caving face[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2012,23(4):69-75.
- [5] 刘书贤,魏晓刚,麻凤海,等. 深部采动覆岩移动变形致灾的试验分析[J]. 水文地质工程地质,2013,40(4):88-93.
LIU Shuxian, WEI Xiaogang, MA Fenghai, et al. Experimental analyses of strata movement deformation catastrophe caused by deep coal mining[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2013,40(4):88-93.
- [6] 李佃平,窦林名,牟宗龙,等. 孤岛型边角煤柱工作面反弧形覆岩结构诱冲机理及其控制[J]. 煤炭学报,2012,37(5):719-724.
LI Dianping, DOU Linming, MU Zonglong, et al. The anti-arc overlying strata structure induced mechanism and control of isolated corner coal pillar working face[J]. Journal of China Coal Society, 2012,37(5):719-724.
- [7] 陈刚,潘一山. 遗传模拟退火的 BP 算法在冲击地压中的应用[J]. 岩土力学,2003,24(6):882-886.
CHEN Gang, PAN Yishan. Application of multilayer perceptrons based on geneticsimulated annealing algorithm to rockburst[J]. Rock and Soil Mechanics, 2003,24(6):882-886.
- [8] 郑百生,谢文兵,窦林名,等. 不规则煤柱作用下工作面开采的三维数值模拟[J]. 煤炭学报,2006,31(2):137-140.
ZHENG Baisheng, XIE Wenbing, DOU Linming, et al. 3D simulation on caving of face affected by irregular pillar[J]. Journal of China Coal Society, 2006,31(2):137-140.
- [9] 宋艳芳,唐治,潘一山,等. 孤岛工作面应力分布规律的数值分析[J]. 中国地质灾害与防治学报,2012,23(4):65-68.
SONG Yanfang, TANG Zhi, PAN Yishan, et al. Numerical analysis of stress distribution of isolated working face in underground mining area[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control,

- 2012,23(4):65-68.
- [10] 王学滨. 屈服矿柱渐进破坏及应力分布数值模拟[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2006, 18(2): 50-56.
- WANG Xuebin. Numerical simulation of progressive failure and stress distribution of yield pillars[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2006, 18(2): 50-56.
- [11] 唐治, 潘一山, 阎海鹏, 等. 急倾斜煤柱开采后对巷道影响的数值模拟[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2010, 21(2): 64-67.
- TANG Zhi, PAN Yishan, YAN Haipeng, et al. Numerical simulation about influences of steep inclined coal pillar after mining on laneway[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2010, 21(2): 64-67.
- [12] 唐治, 潘一山, 郑文红, 等. 煤柱对下层煤层开采影响的数值分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2013, 24(2): 83-86.
- TANG Zhi, PAN Yishan, ZHENG Wenhong, et al. Numerical simulation on the influence of the pillar on the lower coal seam mining[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2013, 24(2): 83-86.
- [13] 高延法. 岩石真三轴压力试验与岩体损伤力学[M]. 地震出版社, 1999.
- GAO Yanfa. The investigation on the rock strength theory and the deformation mechanics of mining floor[M]. Seismological Press, 1999.
- [14] 周维垣, 杨强. 岩石力学数值计算方法[M]. 中国电力出版社, 2005.
- ZHOU Weiyan, YANG Qiang. Numerical computational methods for rock mechanics[M]. China Electric Power Press, 2005.

云南镇雄地质灾害防治目标确定

日前,由国土资源部科技减灾扶贫联系小组指导修编的《镇雄县地质灾害防治规划(2011-2020)》(以下简称《规划》)在云南省昆明市通过了专家的审查验收,《规划》提出了到2020年基本消除镇雄县地质灾害隐患的总体目标和近期防治的具体要求。这标志着国土资源部乌蒙山片区区域发展与扶贫攻坚工作在科技减灾方面迈出了坚实的一步。

2013年1月11日,发生在云南省昭通市镇雄县的特大滑坡导致46人遇难。灾害发生后,国土资源部先后派出中国地质环境监测院(国土资源部地质灾害应急技术指导中心)两批专家组赶赴现场,按照“山要到顶,沟要到头”原则开展调查,从专业角度对这里地质灾害多发高发的特点逐一进行了科学剖析和答疑解惑,为乌蒙山片区高寒阴湿地域普及复杂减灾防灾知识提供了经验。

随后,根据国土资源部挂钩镇雄扶贫开发总体工作思路,中国地质环境监测院以“科技扶贫减灾要从根本着手”为指导,及时启动了“乌蒙山片区镇雄县地质灾害监测预警与减灾系统建设”支持项目。

一是利用新技术新方法摸清了县域内地质灾害“家底”,对可能发生灾害的隐患点进行备案,做到心中有数。借鉴中屯乡“1·28”地质灾害监测预警成功经验,强化隐患点排查、监测和防治。开展了1:5万地质灾害详细调查,对重大地质灾害点杉树乡滑坡、乌峰镇滑坡、果珠乡滑坡、中屯乡滑坡和芒部镇滑坡群进行了补充调查和风险评估,绘制了滑坡影响范围平面图和剖面图。

二是指导编制了《镇雄县地质灾害防治规划(2015-2020)》。通过充分调查镇雄县地质灾害现状分布与规模、形态分布及发育特征,规划出6个地质灾害高易发区,占县域面积的31.77%;规划出3个地质灾害重点防治区,占县域面积33.64%,提出到2020年基本消除地质灾害隐患的总体目标,并按轻重缓急对规划中的重大地质灾害隐患点进行治理。强调在治理过程中引进新的思路和防治模式,将防治工程与土地利用相结合,最大程度提升土地利用价值。

三是提高地质灾害应急预警能力,向镇雄县赠送了5套远程无线监测预警仪器、100个裂缝报警器,向群测群防监测员赠送了310套巡查监测装备,完善了县——乡级防灾减灾体系和巡查监测体系建设。研发了镇雄县地质灾害基础数据库和群测群防、气象预警、风险评估模块,进行了县域内地质灾害隐患点相关信息录入,建设地质灾害气象预警系统。

与此同时,通过对28个乡镇分管领导、国土所工作人员、群测群防员共600余人的培训,增强了基层人员的防灾减灾意识,提高了防灾减灾知识和技能。

(中国地质环境监测院 范宏喜 供稿)