

宜昌磷矿地压显现规律及数值模拟

周春梅^{1,2}, 张 旭², 王章琼³

(1. 中国科学院武汉岩土力学研究所, 湖北 武汉 430071;

2. 武汉工程大学环境与城市建设学院, 湖北 武汉 430074;

3. 中国地质大学(武汉)研究生院, 湖北 武汉 430074)

摘 要:在调查宜昌神农、樟村坪、桃坪河等磷矿的地压显现情况的基础上,总结了宜昌磷矿地压显现规律,主要表现为:顶板易发生不规则块体冒落、板状冒落、窝状冒落、顶板下沉等破坏现象;矿柱易发生片落(或剥落)式破坏、劈裂破坏、剪切破坏,以及这些破坏形式的组合;底板易发生鼓胀及开裂变形。利用离散元软件 3DEC,结合研究区工程地质条件,分析了宜昌磷矿地压显现机理,认为引起地压活动的原因可归纳为内因和外因两个方面。其中,矿山岩体赋存的地应力条件、地质构造及岩体结构是决定地压活动规律的内因,矿山开采活动、地下水是控制地压活动形式及剧烈程度的外因。建议因地制宜,选择合理的开采方式,并加强地压及变形监测。

关键词:宜昌磷矿;采场地压;破坏机理

中图分类号:TD803

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2012.10.001

0 引 言

矿山地压活动是采矿过程中常见现象,地压灾害直接威胁井下作业人员和设备的安全^[1]。随着开采规模的增大及开采向深部发展,矿山地压引起的问题日益突出,给矿山生产带来了严重影响。研究人员根据实测矿压数据,研究岩层倾角、岩体结构等对矿压活动规律的影响^[2-6];也有采用模型试验方法,研究采矿工程上部地形、岩层倾角、顶板岩性对矿压显现规律的影响^[7-10];还有采用数值模拟方法研究了不同地质构造、不同开采方式下地压显现规律^[11-13]。目前对于矿山地压活动规律的研究,多针对某个具体矿山的地压活动,可推广性不够强。宜昌磷矿位于地质构造复杂的鄂西地区,分布范围较广,但矿体赋存条件及矿压显现形式都较为类似。本文拟在现场调查的基础上,对宜昌神农、樟村坪、桃坪河等典型磷矿区的地压显现规律进行总结,并从工程地质的角度,采用数值模拟方法分析地压显现规律,为同类矿山的地压管理提供依据和参考。

1 宜昌磷矿工程概况

宜昌磷矿位于湖北西部宜昌、远安、兴山三县境内,面积 340 余平方公里,是全国四大磷矿之一^[14]。矿区内震旦系上统陡山沱组 Ph_3^1 是主要工业矿层,其矿层为平缓单斜层,分层厚度 1~6 m,平均厚度 2.5~3.5 m,倾角一般 5~15°,多数矿体上部覆盖层厚度在 100 m 以上。矿区地质构造复杂,大的地质构造主要为黄陵背斜和秭归向斜,区域性断裂构造较为发育,构造应力水平较高,多为 10 MPa 量级^[15]。宜昌磷矿历经 60 余年的开采,近年来,由于地下开采形成的大面积采空区^[16],诱发了一系列的矿山地质环境问题,不仅大大降低了宜昌磷矿开采率,还危及到采矿人员及设备的安全问题。目前地表和浅部较易开采的磷矿体已日趋枯竭,需要不断增加采深和增大采空体积,开采难以开采的深埋矿体,宜昌磷矿开采后形成大而复杂的采空区群引起地压使得顶板冒顶、底板地鼓、矿柱压剪破坏、片帮剥落等工程问题及灾害频繁发生,越来越引起人们的重视。

收稿日期:2012-09-18

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(41002112);湖北省教育厅科学技术研究计划优秀中青年人才项目(Q20101509);湖北省自然科学基金项目(2010CDB11102);中国博士后基金项目(第 48 批)(20100480922);武汉市晨光计划(201271031415)

作者简介:周春梅(1979-),女,湖北随州人,副教授,博士。研究方向:磷矿山地压与岩体稳定性研究。

2 采场地压显现规律

2.1 顶 板

宜昌磷矿采空区顶板的变形破坏形式主要有:不规则块体冒落、板状冒落、窝状冒落。

a. 不规则块体冒落. 这种顶板的破坏在神农磷矿比较多见,从二期工程三中段北至三期工程 625 中段北的大多数采场空区均出现这种冒落方式. 其特征是顶板呈块状冒落,冒落体不规则. 顶板中结构面较密但连续性差,且不规则,结构面间隙见方解石充填,这种冒落往往与地下水有一定联系. 顶板冒落规模小的只有几平方米~几十平方米,大面积冒落可达几千平方米,冒落高度可深入白云岩老顶 3~4 m. 这类破坏的形态见图 1.

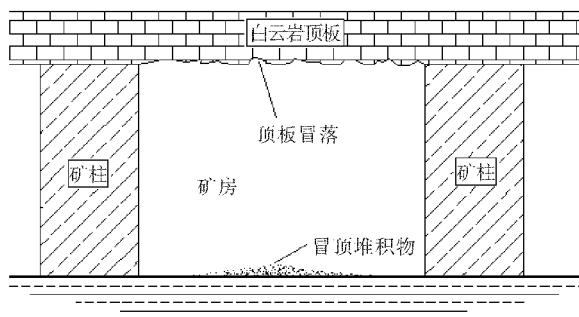


图 1 冒落后不规则的白云岩顶板

Fig. 1 Irregular dolostone roof after caving

b. 板状冒落. 这类冒落主要出现在呈层状的上贫矿与顶板白云岩之中,岩体呈层状且厚度不大,这种顶板岩体容易因自重弯曲而引起拉伸破坏. 冒落体呈板状,规模不大,仅在矿房内产生,冒落体与上部岩层间产生撕裂离层,冒落后形成断口. 有的采场在开采的过程中即发生了局部冒落,因此对采场人员及设备构成了一定的危险性. 见图 2.

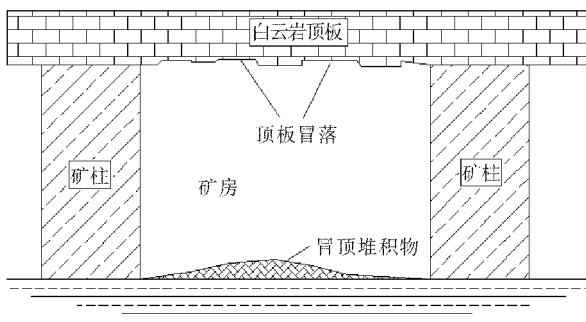


图 2 板状冒落示意图

Fig. 2 Schematic diagram of platy caving

c. 窝状冒落. 这类顶板冒落主要是受褶皱作用,层面产生弯曲,且层面间因水的作用失去粘结力,采矿后突起部分在重力的作用下易冒落下来,

见于三期的部分采场中,见图 3. 这类顶板的冒落规模不大,但对采场作业人员的安全构成了较大的威胁.

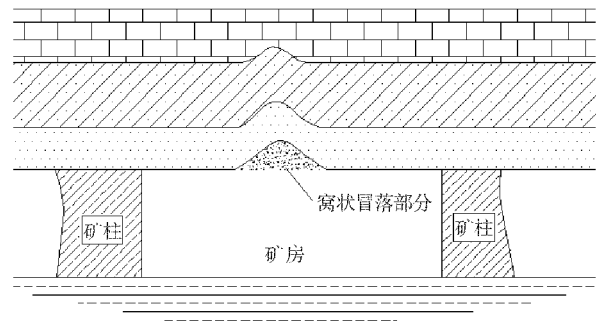


图 3 窝状冒落示意图

Fig. 3 Schematic diagram of fossa caving

d. 顶板下沉. 采空区暴露面积较大,顶板下沉变形及压力对采空区的安全稳定性有重要的影响,目前矿区对采空区顶板下沉变形及压力主要采用木尺及木柱进行定量和定性监测,见图 4. 2005 年 4 月在桃柯坪磷矿距 790 中段平硐口 400 m 处的采空区中建立的测量木尺,到 2005 年 9 月中旬,测得该位置共下沉 17.3 cm.

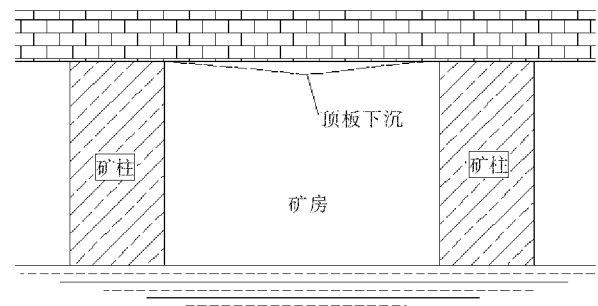


图 4 采空区顶板变形示意图

Fig. 4 Schematic diagram of roof deformation in goaf

2.2 矿 柱

矿柱的变形破坏往往是由于应力超过矿柱承载力而引起. 矿柱破坏的后果之一是可能引起“多米诺效应”. 若一个采区内所有矿柱都承受高应力,而各个矿柱的安全系数又都接近于 1,则某个矿柱的破坏将导致荷载转移至周围矿柱上,并依次引起其它矿柱的破坏. 究竟矿柱是否突然破坏、全部破坏或逐渐破坏,还是局部破坏,这还要取决于矿柱刚度和围岩刚度之间的关系.

井下矿柱变形破坏比较普遍,主要的破坏形态有三种:矿柱片落(或剥落)式破坏、矿柱劈裂破坏、剪切破坏,以及这些破坏形式的组合.

a. 矿柱片落(或剥落)式破坏. 房柱法开采主要靠矿柱控制采场跨度并支撑上覆岩层的压力. 矿柱设计为方形,但采矿过程中爆破对矿柱造成一定的破坏,因此实际上矿柱形状不

规则。

对于方形矿柱,这类破坏往往是在矿柱四个角部开始,由于应力集中且应力超过矿柱抗压强度而在这些部位产生片落或剥落,这种剥落如果不向矿柱中心发展,一般不会造成矿柱整体破坏。对于受很大应力的矿柱,在拐角处及矿柱侧壁的中央部位开始的破坏将使部分荷载从破坏区转移到矿柱的中心,在极端情况下,这种荷载转移可能大到使矿柱中心部位的岩石强度与应力之比值降低到 1 的程度,此时整个矿柱可能产生破坏。单一的片剥破坏并不多见。

b. 矿柱劈裂破坏。这种破坏往往是矿柱在高应力作用下劈裂成矿体小柱或薄板,这些小柱或薄板的抗压能力降低,在压力作用下失稳而破坏,见图 5。

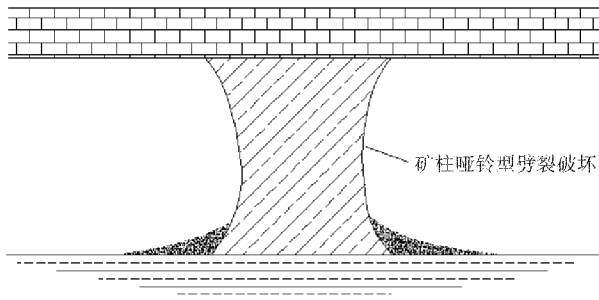


图 5 矿柱哑铃型劈裂破坏

Fig. 5 Dumbbell-shaped splitting failure of phosphorite pillar

c. 剪切破坏。这种破坏是矿柱在上覆岩层作用下,矿柱中的剪应力达到或超过矿柱的抗剪强度,则会在矿柱内产生沿近 45° 交角的剪切破坏。这种破坏在二期及三期工程的采场内比较常见,见图 6。

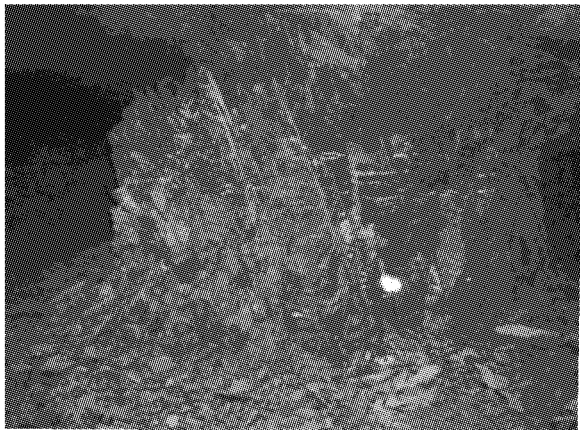


图 6 矿柱沿节理破坏

Fig. 6 Shear destruction of phosphorite pillar

2.3 底板

采空区底鼓在神农磷矿比较普遍,尤其是在

矿体底板隆起的采空区,底鼓更为严重。神农磷矿采空区底鼓普遍与底板裂缝共存,表明底板在矿柱压力及下部岩体反力的共同作用下产生了断裂,并伴随有底板滑移现象,见图 7,地鼓呈条隆起,与走向一致,显示有顺倾向滑移的迹象。

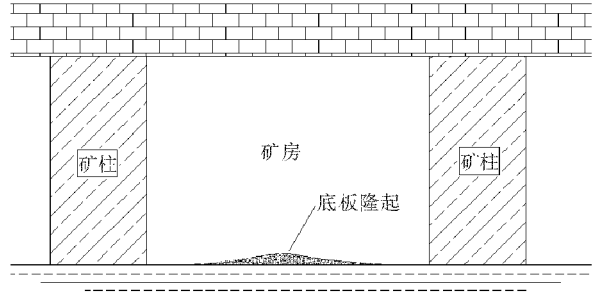


图 7 巷道底面隆起示意图

Fig. 7 Schematic diagram of tunnel bottom surface uplift

2.4 巷道侧壁

桃柯坪磷矿部分巷道侧壁出现鼓胀及开裂变形。780 主平硐巷道侧壁出现鼓胀,见图 8,并且其侧壁支护体中出现裂缝。

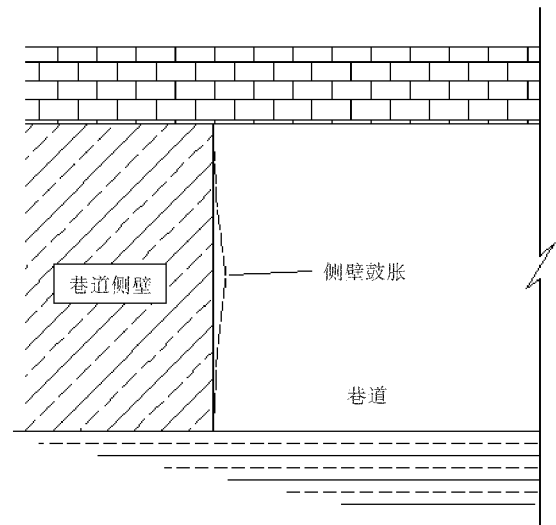


图 8 主平硐巷道侧壁出现鼓胀示意图

Fig. 8 Schematic diagram of craking in main adit lateral wall

3 地压显现规律数值模拟分析

为深入分析宜昌磷矿地压活动机理,利用离散元分析软件 3DEC 对磷矿地压活动规律及影响因素进行了数值模拟。

3.1 数值计算模型

假定模型的顶面埋深为 100 m。考虑到磷矿层实际厚度及边界效应的影响,数值计算模型 x 、 y 、 z 三个方向上的尺寸取为 $82\text{ m} \times 50\text{ m} \times 36.5\text{ m}$ 。岩层倾角为 10° ,从上至下岩性分别为:白云岩、磷矿层、页岩、白云岩。根据前人调查研究成果,取 y

方向的水平主应力为 10.2 MPa, x 方向上的水平主应力为 11.8 MPa, 水平方向剪应力为 1.83 MPa. 对模型底部采用固定约束, 对西边界面和北边界面分别约束 x 方向及 y 方向位移, 其余三个面无约束. 见图 9.

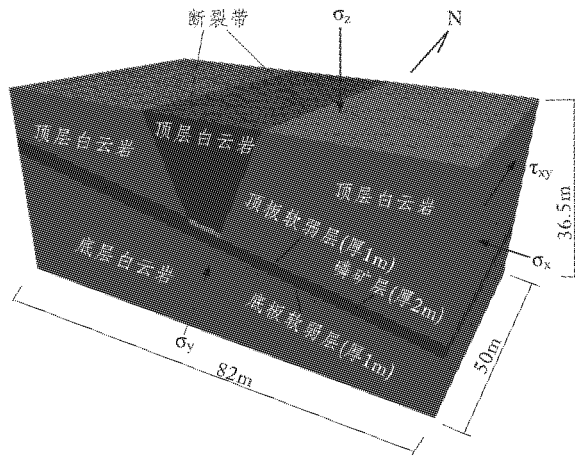


图 9 数值模拟模型

Fig. 9 Numerical simulation model

根据室内试验并结合工程经验^[17], 确定材料物理力学参数, 见表 1.

表 1 材料物理力学参数

Table 1 Physical and mechanical parameters of materials

岩石名称	体积模量/GPa	剪切模量/GPa	内摩擦角/(°)	粘聚力/MPa	密度/(kg/m ³)
白云岩	1.88	1.47	29.5	6	2 740
页岩	1.82	1.14	27.8	4.5	2 700
断裂带	—	—	23.6	3	—
磷矿层	1.27	0.73	23.6	3.1	2 959

3.2 数值模拟结果

3.2.1 塑性区分布特点

巷道开挖后矿柱主要处于受剪屈服状态, 顶板、底板主要处于受拉屈服状态.

3.2.2 应力分布特点

a. 水平应力. 巷道开挖后围岩的水平方向上拉应力区主要集中在矿柱, 这是因为开挖巷道形成了自由面, 使得矿柱应力发生重分布, 在水平方向上产生向自由面一矿房的卸荷应变. 压应力主要集中在矿柱与顶板、底板连接部位, 应力集中现象较为突出, 须引起足够的重视.

b. 垂直应力. 巷道开挖后围岩垂直方向上, 矿柱及边墙主要承受压应力, 且矿柱应力集中部位主要分布在矿柱较高一侧的上部和较低一侧的下部, 这主要受岩层倾斜与水平构造应力的影响. 顶板、底板主要承受拉应力, 这是由于巷道开挖形成自由面导致应力重分布.

3.2.3 位移分布特点

a. 水平位移. 巷道开挖后围岩水平位移较大的区域主要分布在巷道顶部、矿柱及侧壁, 其中侧壁的水平位移最大. 这表明侧壁易发生以鼓胀为主的变形破坏现象, 矿柱及矿柱与顶板角点处易发生剥落等变形破坏现象.

b. 垂直位移. 巷道开挖后围岩的垂直位移主要发生在顶板和底板, 顶板下沉、底板隆起. 其中, 顶板下沉量最大值为 14.5 mm, 底板隆起量最大值为 4.4 mm, 下沉量值大于隆起. 各跨中中间跨的底板下沉量最大, 但顶板下沉量不按跨对称分布, 对称的两跨, 高程低的顶板下沉量大, 主要受岩层倾斜影响. 可见, 应特别重视顶板, 尤其是中间跨顶板的变形及稳定性.

3.2.4 巷道埋深对矿压影响

为了研究不同巷道埋深下的地压显现情况, 采用图 10 所示模型, 对某些关键点的位移进行监测, 监测点的位置、编号及不同巷道埋深下各监测点的位移见图 11.

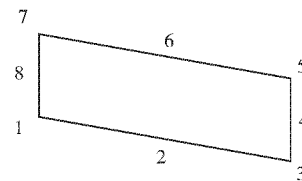


图 10 采矿巷道位移监测点布置示意图

Fig. 10 Schematic diagram of monitoring points arrangement in mining tunnel

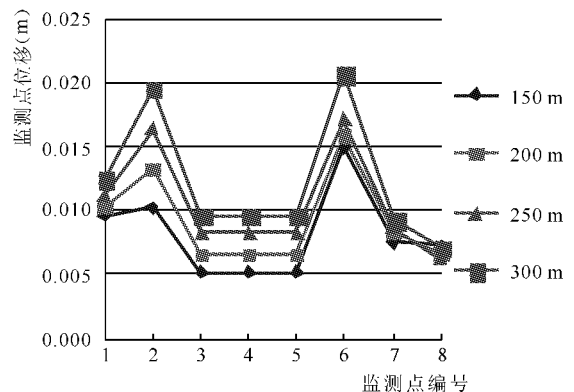


图 11 不同巷道埋深时监测点位移

Fig. 11 Displacement of monitoring points under different mining tunnel buried depth

由图 11 可知, 随着开采深度的增加, 各监测点的位移明显增大, 开挖深度为 300 m 时的各点位移接近开挖深度为 150 m 时对应各点位移的 2 倍. 表明开采深度对巷道地压显现的影响较为明显. 监测点 2、6 分别对应的底板和顶板中点位移始终最大, 其他监测点对应的边墙中点及角点处的位移量相对较小, 与实际调查情况较为吻合. 这

是由于随着开采深度的增加,垂直方向上的应力也随之增大,从而加剧了矿压活动的剧烈程度。

4 地压显现机理分析

根据现场调查及数值模拟分析,可将宜昌磷矿采场产生地压活动的原因归纳如下:

a. 复杂的地应力. 研究区受多组区域性断裂带及小规模断裂带的切割,水平地应力值较大,且地应力的分布情况复杂,影响了宜昌磷矿地压显现的模式。

b. 地质构造及岩体结构. 宜昌磷矿岩体受构造的影响形成多组构造弱面. 削弱了岩体强度,直接影响岩体移动、地压活动的范围. 采场中部弱面常常是地压活动的突破口及界线。

c. 矿山开采活动. 采矿活动是诱发地压活动的重要条件. 由于矿山开采,形成了井下大面积的采空区,矿柱留设不规范或部分矿柱因地压及构造破坏而诱发失稳。

d. 水的作用. 水在岩体中起松动、膨胀、溶解及软化作用. 水沿断层、裂隙、节理流动和渗透时,对岩体产生浮力和动水压力,降低岩体内摩擦角和凝聚力. 一些矿山常呈现出雨季多发大面积地压活动。

5 结 语

a. 宜昌磷矿赋存的地质条件较为复杂,地压活动频繁,但地压活动表现出一定的规律性. 顶板主要发生冒落和下沉,底板主要发生底鼓、隆起,矿柱主要发生剪切破坏等. 数值模拟结果表明,宜昌磷矿矿压活动的规律性受地质构造、地应力条件影响。

b. 宜昌磷矿采场产生地压活动的原因可归纳为内因和外因两个方面. 其中,矿山岩体赋存的地应力条件、地质构造及岩体结构是决定地压活动规律的内因,矿山开采活动、地下水是控制地压活动形式及剧烈程度的外因。

为保证地下开采巷道的稳定性,建议因地制宜,选择合理的开采方式,并加强地压及变形监测。

致谢: 本文得到了武汉工程大学环境与城市建设学院张电吉教授研究课题组的大力支持和帮助,属集体科研成果,在此一并致谢!

参考文献:

- [1] 周鑫龙, 杨令杰. 矿山地压及其监测和控制研究[J]. 矿业工程, 2006, 10(5): 6-8.
- [2] 孟召平, 彭苏萍. 沉积岩体结构类型及其对煤炭开采矿压分布的影响[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 5(9): 1454-1459.
- [3] 余本胜, 周胜贵, 鄂长银. 大倾角软煤层综采工作面矿压显现规律研究[J]. 煤炭工程, 2005, 4(4): 55-57.
- [4] 窦庆峰. 急倾斜煤层开采过程中的矿压显现监测[J]. 矿业安全与环保, 2007, 2(1): 25-27.
- [5] 韦四江, 支光辉, 勾攀峰. 滑动构造下回采工作面异常矿压显现规律模拟[J]. 西安科技大学学报, 2011, 3(1): 11-15.
- [6] 徐学锋, 窦林名, 曹安业, 等. 覆岩结构对冲击矿压的影响及其微震监测[J]. 采矿安全与工程学报, 2011, 3(1): 11-15.
- [7] 许家林, 朱卫兵, 王晓振, 等. 沟谷地形对浅埋煤层开采矿压显现的影响机理[J]. 煤炭学报, 2012, 2(2): 179-185.
- [8] 张志强, 许家林, 王露, 等. 沟谷坡角对浅埋煤层工作面矿压影响的研究[J]. 采矿安全与工程学报, 2011, 12(4): 560-565.
- [9] 蔡志良, 廖学东, 韩磊. 大倾角薄煤层综采工作面矿压显现规律研究[J]. 煤炭技术, 2011, 11(11): 86-88.
- [10] 孟召平, 李国富, 雷志勇, 等. 不同岩性顶板回采工作面矿压分布规律[J]. 煤田地质与勘探, 2006, 12(6): 19-21.
- [11] 赵元放, 张向阳, 涂敏. 大倾角煤层开采顶板垮落特征及矿压显现规律[J]. 采矿安全与工程学报, 2007, 6(2): 231-234.
- [12] 王建国, 王禹, 李志强, 等. 深部软岩巷道矿压控制数值模拟研究[J]. 煤炭工程, 2009, 9(9): 97-99.
- [13] 郭敬中, 孟祥瑞, 高召宁. 大倾角煤层开采矿压规律数值模拟[J]. 煤矿开采, 2011, 8(4): 97-100.
- [14] 魏鹏. 我国磷矿分布特点及主要开采技术[J]. 武汉工程大学学报, 2011, 2(2): 108-110.
- [15] 李细光, 姚运生, 曾佐勋, 等. 三峡库首区现今构造应力场的形成体制分析[J]. 地质力学学报, 2006, 6(2): 174-151.
- [16] 王荣林. 宜昌磷矿采空区现状及隐患分析和建议[J]. 化工矿物与加工, 2008(1): 25-29.
- [17] 张电吉, 周春梅, 梅婷婷, 等. 磷块岩地下开采受力破坏机理分析研究[J]. 武汉工程大学学报, 2011, 3(3): 69-71.

(下转第 57 页)