

深部泵房吸水井硐室群围岩稳定性一体化控制技术

蔡峰^{1,2}

(1. 中国矿业大学(北京) 深部岩土力学与地下工程国家重点实验室 力学与建筑工程学院, 北京 100083;
2. 中国中煤能源集团有限公司, 北京 100120)

摘 要 泵房吸水井硐室群是矿井巷道立体交叉最密集、应力最集中、最容易破坏的部位, 其围岩稳定性控制效果直接影响着矿井安全生产。为解决孔庄煤矿-1015m 水平深部泵房吸水井硐室群围岩稳定性控制问题, 从工程地质条件分析出发, 针对“三高一扰动”强烈、膨胀性软岩矿物含量高(伊/蒙混层的总量最大值达89%)、工程施工极其复杂等不利条件, 通过集约化设计消除立体交叉巷道硐室群的空间效应, 利用数值模拟手段确定最优施工过程, 采用桁架+锚网索耦合支护技术实现围岩荷载均匀化。结果表明: 深部泵房硐室群稳定性一体化控制技术能够有效地控制围岩变形和破坏, 保证巷道长期稳定, 具有广阔的推广应用前景。

关键词 深部硐室群; 一体化控制; 集约化设计; 采矿工程

中图分类号 TD353 **文献标识码** A **文章编号** 1006-6225 (2017) 01-0060-05

Integrated Control Technology of Surrounding Stability of Pump House Absorbing Water Well Chambers in Deep

CAI Feng^{1,2}

(1. State Key Laboratory for Geomechanics & Deep Underground Engineering, School of Mechanics and Civil Engineering, China University of Mining & Technology (Beijing), Beijing 100083, China; 2. China Coal Energy Group Co., Ltd., Beijing 100120, China)

Abstract: Pump house absorbing water well chambers is an important site, which include the following characters the most intensive mine roadways interchange, the most concentrated stress, the most easily broken point, surrounding rock stability control effect would influenced mine safety production directly. In order to solve surrounding rock stability control problem of pump house absorbing water well chambers in deep at the level -1015m of Kongzhuang coal mine, based on engineering geological situation, under some difficulty situation of strongly ‘three high and one disturbance’, highly ratio of expansive soft rock (the maximum ratio of illite-montmorillonite mixed-layer reached 89%, engineering construction was extremely complex, the spacial effect of interchange roadway chambers was eliminated by integrated control, the most optimal construction process was determined by numerical simulation, the loading of surrounding rock was homogenized by truss and cable net coupling supporting technology, the results showed that the surrounding rock deformation and broken could be controlled effectively with integrated control technology, long time roadway stability could be ensured, it has widely application prospect.

Key words: chambers in deep; integrated control; integration design; mining engineering

泵房吸水井硐室群作为煤矿井下排水系统的“咽喉”, 由于立体交叉布置, 巷道断面大等原因, 往往成为矿井特别是深部矿井巷道围岩稳定性控制最脆弱的环节。

目前, 国内外大多数矿井的泵房吸水井系统均采用常规方法设计, 根据排水量的需求确定泵及吸水小井的个数, 吸水小井的个数及配水巷长度随着井下排水量的增大而增多, 立体交叉布置方式也随之更加复杂。在这种常规设计中, 很少考虑开挖过程对围岩稳定性的影响, 而且一般采用简单的锚网

索支护。随着开采深度不断增加, 深部围岩施工条件更加复杂^[1-3], 采用常规设计的泵房吸水井硐室群由于巷道系统复杂、开挖过程不科学、支护设计不合理, 易引起泵房吸水井硐室群严重破坏变形, 进而危及到矿井的安全生产。在兖州、徐州、鹤岗、龙口及芙蓉等国内十几个矿区均出现过泵房吸水井硐室群严重变形破坏^[6-7], 影响矿井正常生产的情况。现场工程实践中迫切需要一种行之有效的方法解决深部泵房吸水井稳定性控制问题。

本文以中煤集团所属大屯煤电公司孔庄煤矿-

收稿日期 2016-09-18

DOI 10.13532/j.cnki.cn11-3677/td.2017.01.014

基金项目 国家十三五重点研发计划(2016YFC0600900); 国家自然科学基金项目(51374214, 51479195); 中央高校基本科研业务费专项资金(2009QL06)

作者简介 蔡峰(1985-), 男, 山西绛县人, 工程师, 从事岩土力学和软岩工程力学等方面研究工作。

引用格式 蔡峰. 深部泵房吸水井硐室群围岩稳定性一体化控制技术[J]. 煤矿开采, 2017, 22(1): 60-64.

1015m 泵房吸水井硐室群工程为背景, 提出了泵房吸水井集约化设计、施工过程优化设计、锚网索+桁架耦合支护技术, 在现场应用中取得了良好效果。

1 工程地质条件分析

1.1 工程概况

为了充分利用深部煤炭资源, 延长矿井生产服务年限, 孔庄煤矿立项进行深部改扩建工程, 将矿井开采延深至-1015m 水平, 共划分 8 个采区。孔庄煤矿-1015m 水平泵房吸水井硐室群布置于砂岩和厚达 9m 的泥岩中。

1.2 工程地质条件

1.2.1 埋深大, “三高一扰动” 强烈^[8-9]

孔庄煤矿-1015m 水平泵房吸水井工程埋深大, 受到高地应力 (最大主应力约 34.9MPa)、高地温 (围岩温度超过 40℃)、高岩溶水压影响较大, 同时泵房吸水井系统内巷道、硐室较多, 在较小的范围内密集交叉, 巷道围岩应力重叠, 开挖扰动影响十分剧烈。“三高一扰动” 的复杂力学环境对巷道围岩的稳定性控制造成了很大的影响。

1.2.2 膨胀性软岩矿物含量高

从岩石样品扫描电镜分析结果 (图 1) 可以看出: 将岩样表面放大 5000 倍后, 可以看到片状伊利石, 将岩样表面放大 6000 倍时, 可看到绿泥石与伊利石。

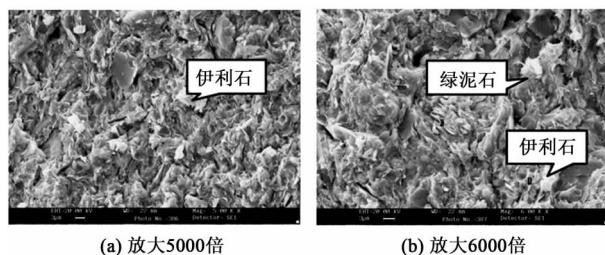


图 1 岩石样品微观结构

全岩矿物分析和黏土矿物分析试验表明, 顶底板砂岩、泥岩、灰岩和砂质泥岩等代表性岩样主要矿物成分以黏土矿物和石英为主, 其中黏土矿物总量最大值达到 51.7%, 各岩石样品中黏土矿物含量主要是伊/蒙混层, 其次是高岭石等矿物。其中

伊/蒙混层的总量最大值为 89%, 平均值为 57.5%; 高岭石的总量最大值为 54%, 平均值为 32.75%。矿区各岩组中, 除灰岩外, 泥岩、砂质泥岩以及砂岩遇水较易发生泥化和膨胀, 属于遇水易膨胀性软岩。

1.2.3 工程量大, 施工复杂

与一般巷道相比, 泵房吸水井硐室群由于功能配置需要不可避免地存在巷道开挖量大、巷道立体交叉、施工复杂等特点, 其围岩稳定性控制难度较大。

2 深部泵房吸水井集约化设计

2.1 集约化设计原理

泵房吸水井集约化设计就是将常规设计中由多个吸水井、配水巷、泵房通道、管子道、内外水仓和泵房组成的立体交叉复杂的硐室群结构集约组合成一个组合吸水井、泵房通道、管子道、水仓和泵房组成的简单结构 (图 2), 泵房吸水井集约化设计有效地克服了常规设计巷道开挖量大、硐室立体交叉施工复杂、应力集中比较严重等缺点, 使围岩应力集中程度大大减轻 (图 3), 有效地消除了立体巷道硐室群的空间效应, 提高了泵房吸水井硐室群系统整体稳定性。

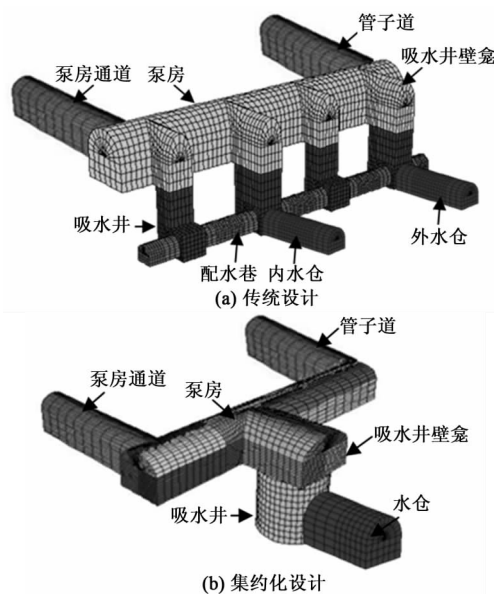


图 2 泵房系统设计方案

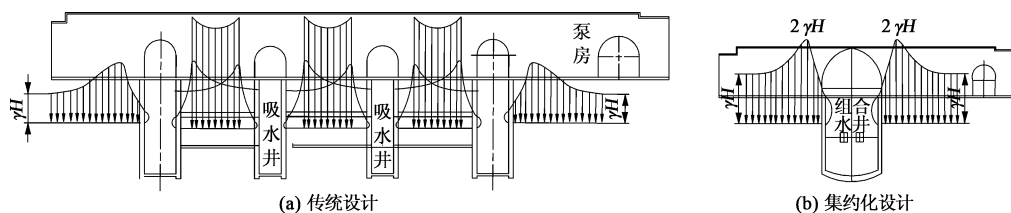


图 3 吸水井围岩应力分布

2.2 组合吸水井设计

泵房吸水井集约化设计的关键是利用一个组合吸水井替代多个小的吸水井,利用径向钢筋混凝土隔断将组合吸水井分割成多个吸水小井(图 4)。组合吸水井的设计既要最大限度地减少工程量,又要满足功能需要。为此,组合吸水井的尺寸计算公式如下:

$$R = (1 + \sqrt{2})r + \sqrt{2}d/2$$

式中, R 为集约化设计组合井半径, m; r 为常规设计等效吸水半径, m; d 为集约化设计隔断宽度, m。

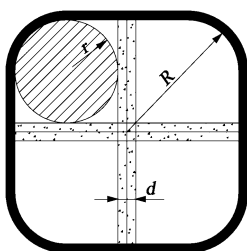


图 4 组合吸水井形式

经计算及吸水阻力校核,孔庄煤矿集约化设计组合井半径取为 3m。

2.3 集约化设计的优点

与常规泵房吸水井设计相比,采用集约化设计的泵房吸水井系统减少了 3 个吸水井,省去了 28m 长的配水巷,外水仓长度也缩短了 29m,工程造价大幅减少,稳定性大大提高,施工也更为简单。

3 泵房吸水井施工过程优化设计

深部工程岩体的稳定性与施工过程密切相关^[10-11]。为确定泵房吸水井最佳施工过程,采用三维有限差分程序 FLAC^{3D} 数值模拟软件进行数值模拟^[12-13],泵房吸水井施工过程采用以下 3 种开挖模拟方案:

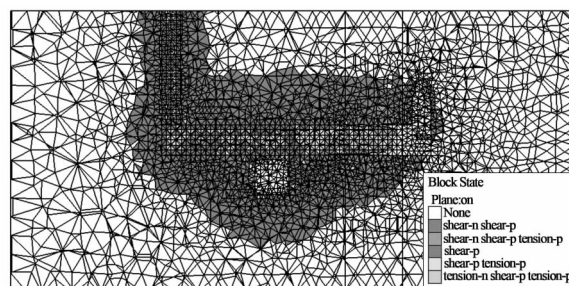
方案 1 泵房通道→泵房通道与泵房交叉点→泵房→泵房与管子道交叉点→管子道→泵房与吸水井壁龛交叉点→吸水井壁龛→吸水井。

方案 2 管子道→泵房与管子道交叉点→泵房→泵房与泵房通道交叉点→泵房通道→泵房与吸水井壁龛交叉点→吸水井壁龛→吸水井。

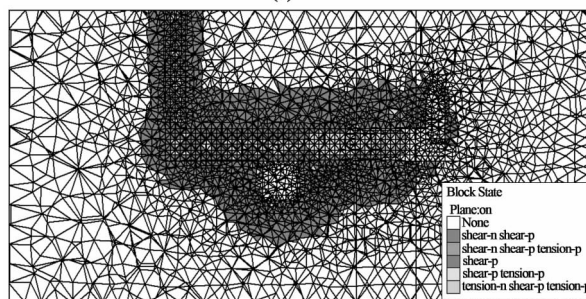
方案 3 泵房通道→泵房通道与泵房交叉点→泵房左→泵房与吸水井壁龛交叉点→吸水井壁龛→泵房右→泵房与管子道交叉点→管子道→吸水井。

从数值模拟结果中 3 种方案塑性区分布(图 5)和泵房表面位移量(表 1)可以看出:方案 1 和方案 2 中塑性区分布范围较大,这两种开挖方案

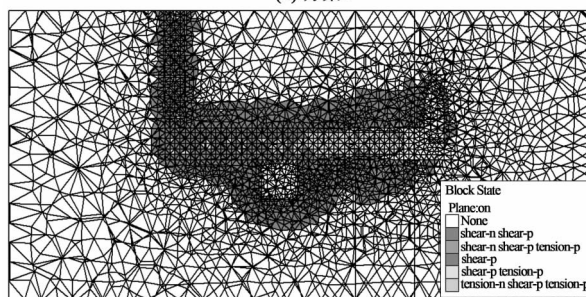
对围岩的破坏程度较为严重,泵房变形破坏最大。方案 3 中泵房吸水井硐室群围岩塑性区较小,对围岩的破坏程度较小,泵房的变形较小。综合分析各种因素,方案 3 为最优施工顺序。



(a) 方案 1



(b) 方案 2



(c) 方案 3

图 5 3 种方案塑性区分布

表 1 方案比较

方案	泵房位移/mm		
	顶沉	底鼓	帮缩
1	1406	1022	2103
2	1433	1010	1966
3	699	644	1011

4 预留空间锚网索+桁架耦合支护

4.1 技术原理

预留空间锚网索+桁架耦合支护技术就是针对深部软岩塑性大变形特点,适当扩大巷道断面,预留出围岩变形空间,利用锚索控制关键部位,同时利用锚杆控制围岩有害变形,从而使围岩变形协调,控制变形损伤扩展,充分发挥围岩的自承能力。在岩壁和桁架接触后,利用桁架的高强度、高刚度阻止围岩进一步变形破坏,从而实现巷道支护

一体化、荷载均匀化, 达到巷道围岩稳定的目的。

4.2 支护参数设计

(1) 锚杆 采用 $\phi 22\text{mm}$ 高强螺纹钢锚杆, 长度 2400mm , 间排距 $800\text{mm} \times 800\text{mm}$, 三花布置。锚杆锚固形式为端头加长锚固, 树脂锚固剂型号为 CK2360, 用量为 1 支/根。锚杆均使用配套标准螺母紧固, 安装扭矩不小于 $150\text{N} \cdot \text{m}$ 。

(2) 锚索 采用 $\phi 20\text{mm}$ 钢绞线锚索, 长度 8000mm (帮部长度 5000mm), 外露长度 $150 \sim 250\text{mm}$, 泵房采用 “3-3-3” 布置, 其他采用 “2-3-2” 布置, 间排距 $1600\text{mm} \times 1600\text{mm}$ 。采用端头锚固, 内部 1 根 CK2360 树脂药卷, 外部 1 根 K2360 树脂药卷。锚索紧跟迎头安装时预紧力为 10t , 滞后迎头安装时预紧力为 12t 。吸水井井筒支护无锚索。

(3) 托盘 锚杆托盘规格为 $120\text{mm} \times 120\text{mm} \times 10\text{mm}$ 方形托盘; 锚索托盘规格为 $\phi 260\text{mm} \times 10\text{mm}$ 碟形铁托盘。

(4) 金属网 采用 $\phi 6.0\text{mm}$ 钢筋焊接而成, 网片尺寸为 $1700\text{mm} \times 900\text{mm}$ (吸水井 $1100\text{mm} \times 900\text{mm}$), 网格尺寸 $120\text{mm} \times 80\text{mm}$ 。

(5) 底角锚杆 采用 $\phi 48\text{mm}$ 无缝钢管, 长度 2500mm , 排距为 800mm 。灌注水泥砂浆。

(6) 混凝土 初喷厚度 60mm 。待围岩变形与桁架接触时或变形稳定后, 浇筑混凝土至覆盖钢架, 并保证钢架外保护层厚度为 80mm 。浇筑混凝土强度等级 C40。

(7) 底拱 采用浇筑混凝土, 初次浇筑厚度为 100mm , 永久浇筑至地坪设计高度, 浇筑混凝土强度等级 C40。壁龛无底拱。

(8) 金属桁架 材料为 11 号矿用工字钢, 支架间距 800mm (吸水井支架间距为 1000mm)。每架支架共分 4 段, 顶拱部支架之间通过夹板连接件用 $\text{M}20 \times 70$ 螺栓连接, 墙部支架与底拱部支架之间利用平衡消力接口连接板及 $\text{M}22 \times 70$ 螺栓连接。夹板连接件和平衡消力接口连接板材料为 A3 钢, 厚度 16mm 。

预留空间锚网索+桁架耦合支护断面见图 6。

5 应用效果分析

在巷道开挖后对围岩进行了及时观测, 现场观测结果表明 (图 7~图 8), 巷道开挖 50d 后围岩逐渐稳定。深部泵房硐室群稳定性一体化控制技术, 能够较好地保证巷道围岩的稳定性, 现场试验效果良好 (图 9)。

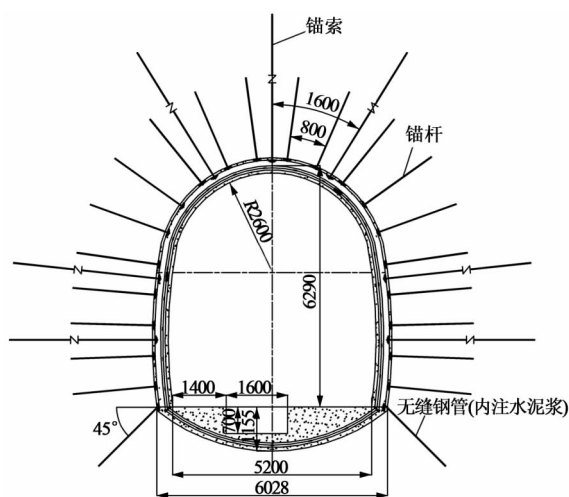


图 6 支护断面

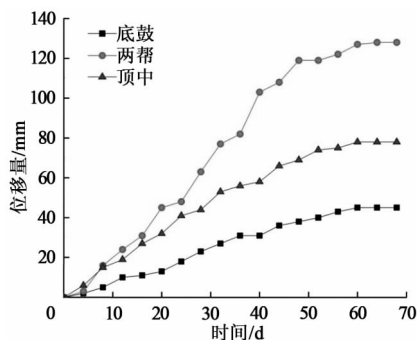


图 7 泵房通道围岩位移曲线

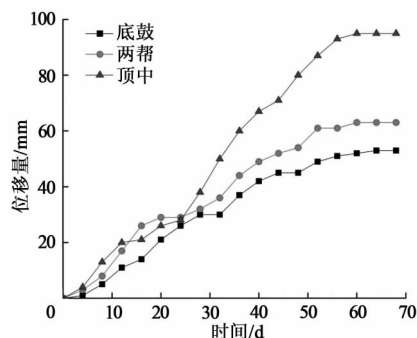


图 8 泵房围岩位移曲线



(a) 桁架支护 (b) 永久支护后的泵房

图 9 硐室群稳定性一体化控制效果

6 结 论

通过以上分析可以得出如下结论:

(1) 结合孔庄矿-1015m 水平泵房吸水井工程

地质条件,采用集约化设计,有效地减少了复杂立体交叉巷道硐室群的应力集中,降低了施工难度和造价,提高了泵房吸水井硐室群系统整体稳定性。

(2) 利用数值模拟手段比较了不同施工过程对泵房吸水井硐室群稳定性的影响,确定了最优的巷道开挖施工顺序方案。

(3) 针对深部软岩塑性大变形特点,采用预留空间桁架+锚网索耦合支护技术,有效地控制了巷道围岩变形,实现了复杂立体交叉硐室群的稳定。

(4) 深部泵房吸水井稳定性一体化控制技术在孔庄煤矿-1015m 水平泵房吸水井工程应用中取得了较好效果,对深部矿井、软岩矿井、水文地质条件复杂矿井有较好的推广应用前景。

参考文献

- [1] 何满潮. 深部的概念体系及工程评价指标 [J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24 (16): 2854-2858.
- [2] Sellers E J, Klerck P. Modeling of the effect of discontinuities on the extent of the fracture zone surrounding deep tunnels [J]. Tunneling and Underground Space Technology, 2000, 15 (4): 463-469.

- [3] Kidybinski A, Dubinski J. Strata Control in Deep Mines [M]. Rotterdam: A. A. Balkema, 1990.
- [4] RUSSO-BELLO F, MURPHY S K. Longwalling at great depth in a geologically disturbed environment—the way forward [J]. The Journal of South African Institute of Mining And Metallurgy, March/April, 2000: 91-100.
- [5] SCHWEITZER J K, JOHNSON R A. Geotechnical classification of deep and ultra-deep Witwatersrand mining areas [J]. South Africa, Mineralium Deposita, 1997, 32 (4): 335-348.
- [6] 何满潮, 景海河, 孙晓明. 软岩工程力学 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [7] 何满潮, 孙晓明. 中国煤矿软岩巷道工程支护设计与施工指南 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [8] 何满潮, 谢和平, 彭苏萍, 等. 深部开采岩体力学研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24 (16): 2803-2813.
- [9] 钱七虎. 深部岩体工程响应的特征科学现象及“深部”的界定 [J]. 东华理工学院学报, 2004, 3 (1): 1-5.
- [10] 朱维申, 何满潮. 复杂条件下围岩稳定性与岩体动态施工力学 [M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [11] 朱维申, 李术才, 白世伟, 等. 施工过程力学原理的若干发展和工程实例分析 [J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22 (10): 1586-1591.
- [12] 赵彦, 赵光明, 梁东旭. 软岩巷道二次合理支护时间的确定 [J]. 煤矿开采, 2016, 21 (4): 66-69.
- [13] 王文江, 孙颜顶. 软岩水仓变形破坏机理与支护技术 [J]. 煤矿开采, 2016, 21 (3): 75-77. 责任编辑: 周景树

(上接 90 页)

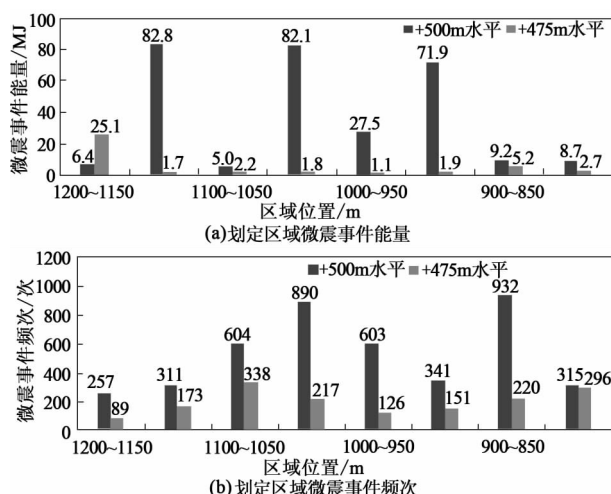


图 7 各水平不同区域微震事件统计结果

4 结论

乌东煤矿南区近直立特厚煤层已在 2 个水平分层开展了大量冲击地压治理工程,通过微震监测分析了两分层治理效果,得到如下主要结论:

(1) 通过同煤层 2 个水平同区域围岩活动微震事件能量和频次统计分析,得到了+475m 水平

总的能量释放低于+500m 水平,且+475m 水平各能量等级的能量及频次亦低于+500m 水平,表明乌东煤矿实施矿压治理工程是有效的,降低了围岩活动的强度,且上分层的治理工程对下分层有卸压作用。

(2) 通过同煤层 2 个水平同区域按 50m 单元划分的围岩活动微震事件能量和频次统计分析,得到现场划定的冲击地压危险区域与微震监测结果比较吻合;+475m 水平各单元的微震事件能量和频次均低于+500m 水平,且具有区域性特征,较好地验证了工程治理效果和分层卸压作用。

参考文献

- [1] 窦林名, 何学秋. 冲击矿压防治理论与技术 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2001.
- [2] 齐庆新, 窦林名. 冲击地压理论与技术 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2008.
- [3] 蓝航. 浅埋煤层冲击地压发生类型及防治对策 [J]. 煤炭科学技术, 2014, 42 (1): 9-13.
- [4] 蓝航, 齐庆新, 潘俊锋, 等. 我国煤矿冲击地压特点及防治技术分析 [J]. 煤炭科学技术, 2011, 39 (1): 11-15.
- [5] 蓝航. 近直立特厚两煤层同采冲击地压机理及防治 [J]. 煤炭学报, 2014, 39 (S2): 308-315.

责任编辑: 潘俊锋