

极松散厚煤层巷道锚杆与钢棚架相互增强支护技术

薛维培¹, 姚直书¹, 杨仁树², 经来旺¹, 经纬¹

(1. 安徽理工大学 土木建筑学院 安徽 淮南 232001; 2. 中国矿业大学(北京) 力学与建筑工程学院 北京 100083)

摘要: 为解决极松散厚煤层工作面巷道变形严重的问题, 采用了巷道围岩蠕变变形破坏分析方法对巷道围岩侧压系数进行测试, 分析了极松散厚煤层中锚杆能够产生极大拉拔力的作用机理, 对控制巷道变形十分有利, 基于此提出了锚杆与U型钢棚架相互增强支护技术。结果表明: 使用U型钢棚架与锚杆联合作用的支护方式, 不仅使U型钢棚架抗弯能力得到提高, 而且巷道帮部和底部的稳定性也随之提高, 从而增强了巷道整体稳定性。巷道围岩最终顶底板移近速率为0.021 mm/d, 两帮移近速率为0.01 mm/d, 证明该技术对极松散厚煤层巷道支护作用是有效的。

关键词: 极松散厚煤层; 锚杆锚固; U型钢棚架; 巷道支护

中图分类号: TD353

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2015)05-0046-05

Mutual reinforcement support technology with bolt and steel frame of ultra soft thick seam gateway

XUE Wei - pei¹, YAO Zhi - shu¹, YANG Ren - shu², JING Lai - wang¹, JING Wei¹

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China;

2. School of Mechanics and Civil Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: In order to solve the serious deformation problem of the gateway, a surround rock creep deformation and failure analysis method of the mine gateway was applied to the test on the side pressure coefficient relationship of the gateway surrounding rock. The paper analyzed the function mechanism of the ultra high drawing force from the bolt in the extreme soft thick seam. The high drawing force could be very favorable to control the deformation of the gateway surrounding rock. Thus the mutual reinforcement technology of the bolt anchoring and frame support was provided. The results showed that a support method with a U type frame support and bolt combined function would not only improve the anti bending capacity of the U steel frame support, but also could improve the stability of the gateway sidewalls and the stability of the floor and the stability of the gateway sidewall and floor. Thus the completed stability of the gateway was enhanced. A final convergence rate between the mine roof and floor of the gateway was 0.021 mm/d, the convergence rate of the two sidewalls along the gateway was 0.01 mm/d and the technology support role of the gateway in the extreme soft and thick seam was effective.

Key words: ultra soft thick seam; bolt anchoring; U-steel frame support; gateway support

0 引言

目前,我国大部分矿区回采巷道支护面临的问题仍然较多,例如高地应力问题、煤体的膨胀压力问题、采动影响及煤层开采后地应力重新分布形成的应力集中问题等。新支护方法和新支护产品的使用,对解决上述问题起到了一定的积极作用^[1-5]。其中在松散厚煤层回采巷道支护方面,赵岩峰等^[6]针对松散煤体巷道顶煤易垮落问题提出采用顶板全

锚索支护技术,利用锚索预应力大的特点进行支护;李明远等^[7]在极不稳定煤巷破坏机理分析的基础上,提出了锚注支护方案;张学文^[8]对采空区下松散煤层双沿空大断面掘巷,提出采用新型高性能预拉力锚杆支护。但通过对两淮地区某些煤矿的实地考察,发现对于一些特殊的高应力极松散深厚煤层且底板软弱的回采巷道,很多支护设计并不理想,绝大部分巷道虽经二次、三次修复,金属支架、锚杆锚索并用仍未能充分挖掘其各种支护构件的支护潜

收稿日期: 2014-12-28; 责任编辑: 曾康生 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2015.05.012

基金项目: 国家自然科学基金重点项目煤炭联合基金资助项目(51134025); 高等学校博士学科重点专项科研基金资助项目(20133415110004)

作者简介: 薛维培(1990—),男,安徽舒城人,博士研究生。Tel: 18255468835, E-mail: 471122905@qq.com

引用格式: 薛维培,姚直书,杨仁树,等. 极松散厚煤层巷道锚杆与钢棚架相互增强支护技术[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(5): 46-50.

XUE Wei - pei, YAO Zhi - shu, YANG Ren - shu, et al. Mutual reinforcement support technology with bolt and steel frame of ultra soft thick seam gateway [J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(5): 46-50.

力, 支护效果不佳, 很多回采巷道断面收缩率达 50%。这都严重影响了生产的正常进行和人员的生命安全, 因此研发出稳定性能更高、承载力更强、返修率更低的理想支护体系非常迫切。

笔者以涡北煤矿 8203 运输巷为试验巷道, 提出了极松散厚煤层锚杆锚固与 U 型钢棚架相互增强支护技术, 在国内首次实现了极松散厚煤层巷道近 4 年零返修记录。

1 工程概况

涡北煤矿煤层赋存稳定, 但结构复杂、力学特征极为特殊。结构复杂主要表现为煤层中含多层夹矸, 力学特征极为特殊主要表现为煤的强度极低、稍碰即碎, 属极松散煤层范畴。自涡北煤矿投产至今, 同一煤层所有采区巷道断面均大幅缩小、巷道返修率高。其中 8203 运输巷分别采用了圆拱斜腿 36U 型钢棚架、圆拱拱形腿 36U 型钢棚架等支护形式, 但均由于煤层极为松散, 底板十分软弱, 支护很难保持 10 d 以上, 整个施工过程处于前掘后修状态, 巷道掘进速度非常缓慢。

8203 工作面标高 -557—-655 m, 该工作面为二采区首个回采工作面, 除外段正在施工的国风石门及轨道上山, 周边再无其他采掘活动。该工作面煤层倾角较大, 平均 26°, 局部达到 40°以上, 赋存稳定, 结构较复杂。8₁ 煤为灰黑—黑色, 粉末—碎块状, 属半暗型煤, 平均厚度 5.55 m。8₂ 煤为黑色未状—碎块状, 局部鳞片状, 属半暗型煤, 平均厚度 3.23 m。8₁、8₂ 煤之间的夹矸为灰—深灰色块状泥岩, 局部粉砂岩, 性脆, 含植物化石, 平均厚度 2.30 m。2 煤层(岩)总厚度 8.78 m, 包含其间的夹矸, 总厚度达 10.08 m, 2 层煤一次开采, 巷道底板为软弱泥岩。以现有地质资料来看, 该工作面回采过程中分别要穿越 F6、F7 断层, 落差为 8~10 m。

2 巷道围岩侧压系数测试试验

8203 工作面煤层极为松散、软弱, 可以断定煤体的侧压系数较大。侧压大, 巷道变形大、柱腿内移严重, 给支护带来极大的难度^[9]。因此弄清楚围岩侧压系数对后续支护方案的设计是十分必要的。试验选用的煤样来自涡北煤矿 8203 运输巷掘进工作面破碎煤体, 极度松散并保持原有含水率。试验采用壁厚为 11.5 mm, 内径为 136.3 mm, 高 202.0 mm 的低碳钢制作成加载圆筒, 上下垫片高度为 37.5 mm, 41.8 mm, 直径为 136 mm。试验前采用常规贴

片工艺对金属圆筒进行贴片处理, 确保贴片的可靠与稳定, 并采用 600 kN 液压万能试验机用于加载, YJ-4501 静态数字电阻应变仪用于采集圆筒的轴向和环向应变。

试验共重复进行 2 次, 第 1 次是初步测试, 目的是使煤体压密, 接近于真实煤体情况。第 2 次具体测试, 测量主动轴向压力下所得到的轴向应变和环向应变。然后经过计算, 求解出对应于内壁的压力, 从而计算出侧压系数。金属圆筒可以近似认为是薄壁圆筒, 受力分析如图 1 所示。

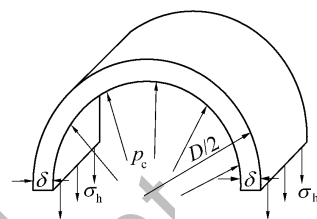


图1 金属圆筒受力分析

根据材料力学计算, 可以得出环向应力 σ_h 为

$$\sigma_h = p_c D / (2\delta) \quad (1)$$

由胡克定律, 可以得出环向应变 ε_h 为

$$\varepsilon_h = \sigma_h / E = p_c D / (2E\delta) \quad (2)$$

其中, E 为圆筒弹性模量; 联立求解式(1)和式(2)可以得到作用在圆筒内壁上的径向压力为

$$p_c = 2\delta E \varepsilon_h / D \quad (3)$$

设煤体获得的轴向压力为 p_z , 根据作用在煤体上的竖向外力静力学平衡方程即可求解出煤体中轴向压力为

$$p_z = 4F / (\pi D_n^2) \quad (4)$$

其中: F 为煤体竖向载荷; D_n 为上下垫片直径。联立求解式(3)、式(4)即可得到煤体的侧压系数为

$$\lambda = p_c / p_z = \pi D_n^2 \delta E \varepsilon_h / (2DF) \quad (5)$$

根据测量结果, 在实际计算时, 式(5)中参数取值如下: $D = 147.8 \text{ mm}$, $D_n = 136 \text{ mm}$, $\delta = 11.5 \text{ mm}$, $E = 2.1 \times 10^5 \text{ MPa}$ 。通过数据处理, 得到煤体竖向载荷—侧压系数关系曲线, 如图 2 所示。

由图 2 可知, 在压力较低时, 由于煤体密实不够, 测点数据不准确, 出现跳跃, 但总体偏差较小, 当压力足够大时, 侧压系数曲线近似平直, 故取试验后期点的平均值计算, 得到侧压系数 $\lambda = 0.5138$ 。试验巷道中所采用的锚架组合结构正是基于这一较大侧压系数而确定的, 支护设计中锚杆参数、棚架型号与排距的选择也是依据该侧压系数。

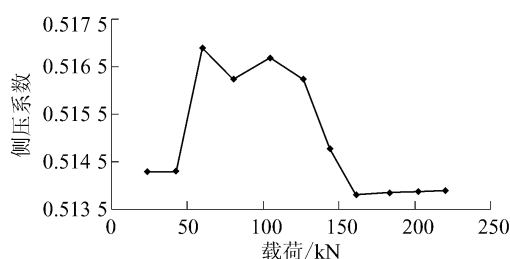


图2 煤体竖向载荷-侧压系数关系曲线

3 巷道变形机理与控制技术

3.1 巷道变形机理

根据研究结果得知,围岩变形并不全部来自于松动圈部分的碎胀与变形^[10],而包括松动圈在内的巷道周围一定围岩区域均会发生相应程度的形状和体积的弹性变形和长期的蠕变,这构成了软岩巷道变形的重要原因。导致围岩质点发生蠕变的因素有很多^[11],但就具体某条巷道而言,还应考虑到其所处软岩岩层厚度,对抑制围岩的蠕变动力有一定影响。此外巷道开挖后,围岩一定范围内地应力重新分布,发生巷道切向应力集中,周围相当大范围岩层内某点的应力状态都发生了改变。依据应力状态理论,一点的应力状态发生改变势必导致2种情况发生:①围岩内某点首先发生弹性形状改变与弹性体积改变,这一变化对于不同位置的岩体内某点也不是同时完成的,靠近巷道部分首先完成,而围岩深处岩体处的这一变形受制于内侧围岩内某点的变形与位移;②围岩内某点在发生完弹性变形之后,接着会进入一个缓慢的蠕变过程,这一过程对于巷道围岩不同位置处的该点而言也是不一样的,因为各部位围岩内某点的应力状态始终随着巷道的变形、破坏和松动圈范围的扩展而发生着变化,而深部围岩内某点应力状态的改变受限于浅部围岩点应力状态的变化。

8203 运输巷处于极松散的煤体之中,煤岩层总厚度达 8.78 m,底板为软弱泥岩,抗压强度很低。由于巷道所在的煤岩很厚,均是软弱围岩,因应力状态的改变导致某点位移来自于巷道四周,而不仅来自于巷道两侧,围岩质点移动过程中几乎不会受到图 3 所示的摩擦力的影响,犹如流体在较大断面中管道内流动时滞留效应非常微弱情况一样,故围岩的蠕变过程受不到相关约束力的作用,很长时期内巷道围岩蠕变动力不仅不会衰减,反而会随着围岩松动圈的扩大而加快速度,松动圈对支护材料的压力也会随着松动圈的扩大而增加。因此,巷道围岩

一方面会因强度问题产生较大的松动圈^[12],另一方面巷道开挖导致围岩应力状态变化较大使得围岩蠕变动力增强,蠕变无法自止。从而造成整个施工过程中处于前掘后修状况,2 个月进尺不足 100 m。

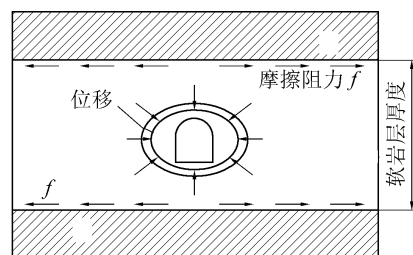


图3 软岩层较厚情况下巷道围岩蠕变动力演化示意

3.2 巷道变形控制技术

由于 8203 运输巷所处煤层厚度较厚,围岩蠕变动力难以自制,为了有效改善围岩的应力状态,较大幅度地降低围岩蠕变动力,此时巷道必须采用“强支”的手段。通过将钢棚支架单一支护结构变成锚架组合结构,使得支护强度得到大幅提高,锚架组合结构中锚杆给予了棚腿较大的向外作用力,使得棚架承载能力提高的同时刚度也得到了很大提高,而棚架刚度的提高反过来又保证了松动圈内碎胀力的大幅提升,碎胀力的提升又有效提高了煤与锚杆之间的摩擦力,摩擦力的增大又有效增强了锚梁对棚腿的约束力,使得棚架的承载力和刚度进一步提升,因此,锚架组合结构中,锚杆与棚架之间是一种相互增强的关系。

4 支护参数设计

8203 运输巷最初采用的设计方案是使用 U36 型钢曲腿棚架支护,棚距 500 mm,搭接长度 500 mm,一副普通卡缆,二副限位卡缆,钢筋网配合双抗网腰帮过顶。通过布设测点观测得到巷道变形十分严重,底鼓、两帮变形十分明显,其中巷顶平均每天沉降 295 mm,巷宽平均每天收敛量 658 mm。整体巷道处于前进后修状态,局部出现迎山倒棚现象,支护效果十分不佳。故重新采取加固措施,修整后的支护方案采用 U36 型钢斜腿棚架支护,巷道两帮及底脚用槽钢配合锚杆进行加固,具体支护参数如下。

1) 主体支护构件参数:①金属支架为 3 节 U36 型钢,顶梁为圆弧形,弧长 5 236 mm,半圆拱半径 2.3 m,棚腿长 3 265 mm。采区巷道 U 型钢平面布置如图 4 所示。②锚杆采用 $\phi 22 \text{ mm} \times 2\ 400 \text{ mm}$ 的 20MnSi 左旋无纵筋螺纹钢高强预应力锚杆,锚杆托盘为 $10 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ 的钢板冷轧碟型

盘。

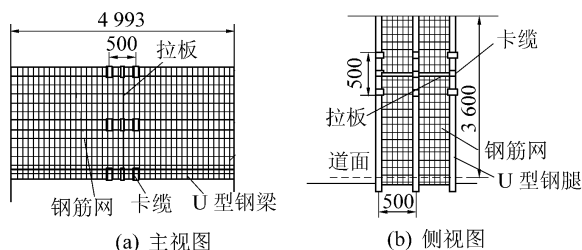


图4 8203采区巷道U型钢平面布置

2) 辅助支护设施参数: ①钢筋网采用 $\phi 10$ mm 圆钢焊接, 网眼密度 $100\text{ mm} \times 100\text{ mm}$; ②双抗布采用防静电性能材料, $1\ 000\text{ mm} \times 1\ 800\text{ mm}$; ③18号槽钢, 每段长 700 mm , 槽钢腹板紧贴棚腿, 在槽钢腹板中心部位开设直径 25 mm 的圆孔作为锚杆的穿孔; ④木楔采用硬质木料进行加工制成, 长 \times 宽 \times 高为 $300\text{ mm} \times 150\text{ mm} \times 100\text{ mm}$; ⑤拉板用 10 mm 厚钢板加工而成, 长 \times 宽 \times 厚为 $450\text{ mm} \times 80\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 。

3) 其他相关支护参数: 支架棚距 500 mm , 棚梁节数 3 节, 搭接长度 500 mm , 支架卡缆间距 230 mm , 螺母扭紧转矩大于 $300\text{ N} \cdot \text{m}$, 腿窝深度 200 mm , 棚腿扎角 80° 。

4) 施工工艺: 风镐挖掘拱部 \rightarrow 敲帮问顶 \rightarrow 前移前探梁、铺双抗布、挂防片帮网 \rightarrow 按中线或腰线安装拱梁(钢棚梁) \rightarrow 安装拉板、过顶、刹紧 \rightarrow 出煤(矸)、刨腿窝(深度、棚距合格) \rightarrow 栽棚腿 \rightarrow 紧固卡缆、上拉板 \rightarrow 封帮 \rightarrow 检查支架调斜情况后用木楔整体加固 \rightarrow 安装锚杆。

5 支护效果评价

5.1 金属支架承压能力测试

为了解煤壁与金属支架之间的相互作用力, 同时为金属支架的设计及补强支护提供依据, 对 8203 运输巷试验段金属支架进行承压测试。在金属支架与煤壁之间设置 YZ-2 型方形液压枕, 可直接测试出围岩对金属支架的作用力。液压枕在挂网之前以 $1\ 100\text{ mm}$ 的间距安设在 U 型钢棚架的正后方, 介于钢筋网和煤体之间, 液压枕布置点如图 5 所示。

自液压枕全部安装完毕, 每周测试 1 次, 共测试 8 次, 测试结果如图 6 所示: 前 3 次压力逐渐递增, 从第 4 次开始, 压力趋于稳定, 然后连续测试 4 次, 压力均稳定不变, 说明巷道金属支架与煤体之间的作用力已经稳定。根据测试的数据, 基本可以判断出作用在金属支架上的竖向压力约为 5.0 MPa , 水

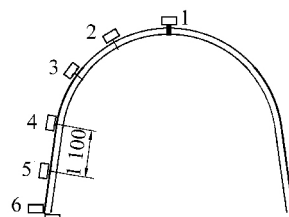


图5 液压枕布置示意

平压力约为 2.5 MPa 。这与试验得到的煤体侧压系数 0.5138 基本吻合(图 2), 该压力构成了金属支架及其补强支护设计的重要依据。

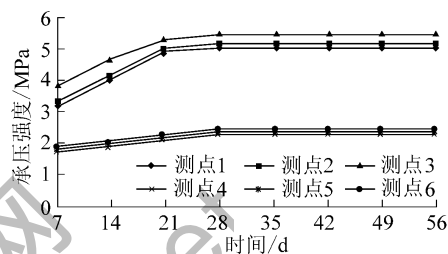


图6 各测点液压枕承压强度

5.2 锚杆拉拔力测试

8203 运输巷采用 U 型钢棚架与锚杆(帮部、底部)联合作用的支护方式, 帮部及底部的锚杆如图 7 所示。锚杆具有锁帮护腿、提高 U 型钢棚架抗弯能力的作用, 同时对棚腿向底板插入有很强的抑制作用。这些作用效果前提是锚杆要有一定的拉拔力。然而 8203 运输巷为煤巷, 且所在煤层极其松散。很多学者对极松散煤层中锚杆的作用效果提出了质疑, 认为极松散煤层中锚杆与煤层的固结存在很大障碍, 锚杆所能产生的拉拔力很小, 因而作用效果很小^[13-15]。

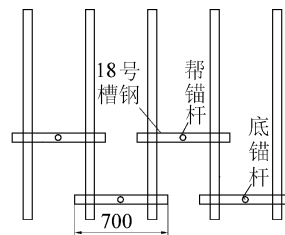


图7 帮部、底部锚杆平面示意

由于锚杆拉拔力测试为破坏性试验, 为此决定在原有 2 排锚杆中部打 3 根锚杆, 用以进行拉拔力测试, 保证了原有锚杆基本不受到测试的影响。测试过程中发现: 当 ML-20T 型液压锚杆拉力计的压力表显示压力为 20 MPa 左右时, 整个锚杆进入了屈服阶段, 也就是说锚杆及槽钢的变形不断增加而压力却无显著变化, 只在 20 MPa 作用下才抖动; 继续按动手柄注油加压 2~3 次后, 压力表的显示上升,

直到达压力表的最大量程 60 MPa 时,锚杆也未被拔出,锚杆与槽钢最终相对位移为 15 ~ 20 mm。由此可知,压力表的显示值与锚杆拉拔力之间存在 0.36 的换算关系,锚杆拉拔力测试结果见表 1。

表 1 锚杆拉拔力测试结果

锚杆号	屈服 应力/MPa	屈服 拉力/kN	最大 应力/MPa	最大 拉力/kN
1	20	72	60	216
2	24	86	60	216
3	22	79	60	216
平均值	22	79	60	216

测试过程中观察到一个现象:与 410、413、414、417 号电缆挂钩相邻的 4 架 U 型钢棚架变形较为严重,右侧(即带式输送机侧,底板为岩层)锚杆的变形也很大,锚杆端部的槽钢已被彻底拉弯,但锚杆并未被拔出,说明锚杆产生了很大的拉力。以煤层为底板的巷道左侧,U 型钢棚架棚腿插底量很大,有少量锚杆被切断,大部分锚杆在端部都有弯曲现象。8203 运输巷内没有 1 根锚杆被拔断或拔出。上述结果表明,极松散介质中的锚杆也能产生很大的拉拔力,对控制巷道的变形十分有利。

5.3 巷道变形监测

此外为检验锚杆锚固与 U 型钢棚架相互增强技术的适用性,共布置 8 个测站,每个测站内均包含 4 个观测测点:顶板测点、底板测点和两帮测点。监测结果表明:巷道 100 d 后最终顶底板移近速率为 0.021 mm/d,两帮移近速率为 0.01 mm/d;观测期间 U 型钢棚架顶底板移近量为 284 mm,两帮移近量为 352 mm。采用锚杆锚固与 U 型钢棚架相互增强技术后,直至工作面采完巷道仍完好无损。

6 结 语

所布置测点液压枕得到的数据与煤体的侧压系数基本吻合,给金属支架及其补强支护方案设计提供了重要依据。锚杆拉拔力现场测试结果表明,极松散介质中的锚杆也能产生很大的拉拔力,对控制巷道的变形十分有利。通过围岩质点应力状态的变化分析巷道破坏机理,提出了 2 排锚杆与 U 型钢棚架相辅相成、共同作用的支护方案,并且取得了很好的支护效果,同时带来了巨大的经济效益和社会效益,相关技术值得推广。

参考文献:

[1] 张 农,王 成,高明仕,等.淮南矿区深部煤巷支护难度分级

及控制对策[J].岩石力学与工程学报,2009,28(12):2421-2428.

- [2] 欧阳昶,柏建彪,王春雷,等.王庄煤矿动压破碎围岩回采巷道支护技术[J].煤炭科学技术,2009,37(9):4-7.
- [3] 冯京波.松散厚煤层全煤巷沿空掘巷锚索支护技术[J].煤炭科学技术,2008,36(2):23-26.
- [4] 单仁亮,蔚振廷,孔祥松,等.松软破碎围岩煤巷强帮强角支护控制技术[J].煤炭科学技术,2013,41(11):25-29.
- [5] 刘立明,张 农,张念超.深部煤巷围岩强化控制在谢桥矿的应用[J].煤炭工程,2010(12):27-29.
- [6] 赵岩峰,刘福军.极松散煤层全煤巷道顶板全锚索支护技术的应用[J].煤炭科学技术,2002,30(11):33-36.
- [7] 李明远,王连国,张连福.极不稳定煤巷锚注支护技术研究[J].煤炭科学技术,2003,31(12):101-103.
- [8] 张学文.松散煤层锚杆支护技术研究[J].煤炭技术,2003,22(10):134-135.
- [9] 张明建,镐 振,郜进海,等.不同水平应力作用下巷道围岩破坏特征研究[J].煤炭科学技术,2014,42(3):4-7.
- [10] 董方庭,宋宏伟,郭志宏,等.巷道围岩松动圈支护理论[J].煤炭学报,1994,19(1):21-32.
- [11] 吴拥政.地应力异常区上山群巷道蠕变围岩控制技术[J].煤炭科学技术,2012,40(8):6-10.
- [12] 郝峻青,赵 军.松软破碎顶板巷道支护技术研究与应用[J].煤炭科学技术,2011,39(3):18-21.
- [13] 于鲁海,周永辉,温润国,等.锚杆锚索联合支护在护巷中的推广应用[J].煤炭技术,2009,28(2):78-79.
- [14] 李 伟,程久龙.深井煤巷高预应力锚杆支护技术的研究与应用[J].煤炭工程,2010(1):30-31.
- [15] 康红普,王金华,林 健.煤矿巷道锚杆支护应用实例分析[J].岩石力学与工程学报,2010,29(4):649-664.

(上接第 57 页)

- [9] 汪智勇.静态破碎剂的组成对其性能的影响研究[D].北京:中国建筑材料科学研究总院,2008.
- [10] 王建鹏.静态破碎剂破岩机理研究[J].中国矿业,2008,17(11):90-92.
- [11] 郭瑞平,杨永琦.静态破碎剂膨胀机理及可控性的研究[J].煤炭学报,1994,19(5):478-485.
- [12] 游宝坤.静态爆破技术无声破碎剂及其应用[M].北京:中国建材工业出版社,2008.
- [13] 郭天魁,张士诚,葛洪魁.评价页岩压裂形成缝网能力的新方法[J].岩土力学,2013,34(4):947-954.
- [14] 张 超,林柏泉,周 延,等.本煤层深孔定向静态破碎卸压增透技术研究与应用[J].采矿与安全工程学报,2013,30(4):600-604.