

新型无机注浆材料加固破碎围岩技术

王茂盛^{1,2}, 王 萌², 都海龙²

(1. 中国矿业大学(北京) 资源与安全工程学院, 北京 100083; 2. 山西晋城无烟煤矿业集团有限责任公司, 山西 晋城 048000)

摘 要: 为分析新型无机注浆材料的性能及其在破碎围岩中的应用效果, 采用实验室试验的方法研究了水灰比对浆体的流动度、凝结时间和抗压强度 3 个指标的影响, 并对试验巷道围岩变形量及围岩破碎情况进行观测。结果表明: 水灰比越大, 流动度就越大, 当水灰质量比为 0.7: 1.0 时, 浆体的扩展度为 265 mm, 满足要求; 抗压强度随水灰比增大而减小, 水灰质量比大于 0.9: 1.0 时, 抗压强度不能满足要求, 因此, 水灰比应为 (0.7~0.9): 1.0。注浆后煤体内部的裂隙得到充填和固结, 钻孔内浆液固结体呈薄厚不一的片状或条状, 空隙得到压实, 煤体完整性和稳定性增加。

关键词: 无机注浆材料; 破碎围岩; 注浆加固; 围岩稳定性

中图分类号: TD353.8 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2014)08-0008-04

New Inorganic Grouting Material Applied to Reinforce Broken Surrounding Rock

WANG Mao-sheng^{1,2}, WANG Meng², DU Hai-long²

(1. School of Resources and Safety Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China;

2. Shanxi Jincheng Anthracite Mining Group Corporation Limited, Jincheng 048000, China)

Abstract: In order to analyze the performances of new organic grouting material and applied effect in the broken surrounding rock, a lab experiment method was applied to study a water cement ratio affected to three indexes of grout fluidity, setting time and compressive strength and an observation was conducted on the surrounding deformation value and surrounding broken condition of the trial roadway. The results showed that the higher the water cement ratio was and the higher the fluidity would be. When the water cement ratio was 0.7: 1.0, the spreading degree of the grout would be 265 mm and could meet the requirements. The compressive strength would be reduced with the water cement ratio increased. When the water cement ratio was over 0.9: 1.0, the compressive strength could not meet the requirements. Therefore, the water cement ratio should be (0.7~0.9): 1.0. After the grouting operation completed, the cracks in the coal would be backfilled and consolidated. The grout consolidation in the borehole would be in sheet with different thickness or in strip, thus the spaces in the borehole were compacted and the coal integrality and stability were improved.

Key words: organic grouting material; broken surrounding rock; grouting reinforcement; stability of surrounding rock

0 引 言

我国煤炭资源丰富, 开采规模大, 储量居世界第三位, 产量则高居世界首位^[1-3]。根据目前的开采状况, 浅部煤炭资源日益枯竭, 我国的煤炭开采逐步转向深部开采, 开采深度以每年 8~12 m 的速度增加。随着煤炭开采深度的增加, 越来越多的巷道呈现出软岩特性^[4-8]。巷道进入软岩状态表现在破碎

煤岩体增多、地质条件恶化、各种灾害频发, 对矿井行人、运输、通风等构成极大威胁, 严重影响煤矿的安全生产^[9-12]。通过注浆加固可以对软岩破碎巷道维护起到很好的效果, 注浆材料主要有有机材料和无机材料 2 种^[13-15]。有机材料主要包括聚氨酯类、脲醛树脂类、酚醛树脂等, 其优点是可注性好, 具有较强的黏结性; 缺点是价格昂贵, 存在腐蚀性、有毒等重大安全隐患。普通无机材料主要是普通水泥

收稿日期: 2014-03-25; 责任编辑: 杨正凯 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2014.08.003

基金项目: 山西省科技重大专项资助项目(20121101002)

作者简介: 王茂盛(1968—), 男, 山西晋城人, 高级工程师, 现任山西晋城无烟煤矿业集团有限责任公司副总经理。

引用格式: 王茂盛, 王 萌, 都海龙. 新型无机注浆材料加固破碎围岩技术[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(8): 8-11.

WANG Mao-sheng, WANG Meng, DU Hai-long. New Inorganic Grouting Material Applied to Reinforce Broken Surrounding Rock[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(8): 8-11.

浆,虽然普通水泥浆成本较低,但是普通水泥颗粒较大,可注性较差,且煤的黏结性差,起不到很好的注浆效果。近年来,很多学者对不同性质的注浆材料进行了有针对性的研究,并在国内外煤矿生产中得到了广泛的应用,为井下安全高效生产提供了保障。无机注浆材料由于颗粒大、可注性差,加之对煤矿工程的实际要求和科学合理应用等方面认识深度不够,在煤矿井下应用成功率不高,给煤矿安全生产带来较严重的负面影响。笔者针对破碎围岩化学注浆存在价格昂贵、有毒、可燃,以及普通水泥浆可注性、黏结性差等主要问题,开发研制了新型无机注浆材料,以期达到有效加固破碎围岩的目的。

1 工程概况

为了进一步检验无机高强注浆材料的使用效果,在成庄煤矿进行了现场试验。试验巷道为 23191 运输巷,其为 2319 综放工作面的主要进风巷,兼作辅助运输巷,其井上对应位置位于中街村以北,大尖山保林点以西,发射站和发射塔以东。2317 工作面已经采空,2321 工作面已经形成,23191 轨道巷平面布置如图 1 所示。成庄煤矿主采 3 号煤层,全井田可采,平均厚度为 6.01 m,煤层结构简单,煤层倾角 $2^{\circ} \sim 8^{\circ}$ 。煤层直接顶为含粉砂细粒砂岩泥岩互层,平均厚度 1.77 m;基本顶为中砂岩,平均厚度 7.33 m;直接底为泥岩,平均厚度 1.10 m,基本底为含粉砂粗粒砂岩,平均厚度 2.68 m。

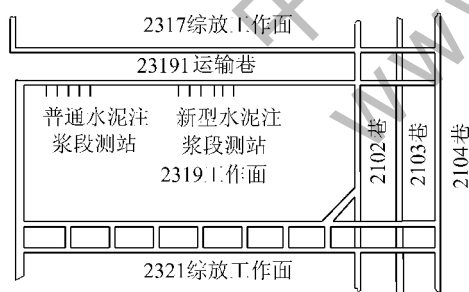


图1 23191 轨道巷平面布置

23191 运输巷成巷后发生的严重变形,主要是由于巷道前期支护强度不够,以及受到 2319 工作面回采动压及采空的 2317 工作面的影响,23191 运输巷所处区域煤体的整体性遭到破坏,强度大幅降低,区域煤层结构面发育,整体性和强度低,使同等支护条件的抗扰能力大幅降低,导致巷道围岩没有形成一个完整的整体;2319 工作面正在回采,将导致处于支承压力区域的 23191 运输巷发生变形。从现场勘察看,23191 运输巷巷帮煤体非常破碎,裂隙也

非常发育,两帮变形量较大。煤层顶板也有大量裂隙产生,部分区域出现网兜现象,巷道浅部离层仪出现警戒现象。试验巷道已采用普通硅酸盐水泥或有机材料注浆加固。但是由于有机材料注浆存在安全隐患,且成本较高;同时,普通水泥注浆初凝、强度不够,因而需要寻求一种新型无机注浆加固材料。

2 新型无机注浆材料性能分析

通过对普通硅酸盐水泥基单液注浆材料的研究,得出在水灰比为 0.6:1.0 时,虽能满足其流动度的要求,但却不能满足其结石率及抗压强度的要求;若通过降低水灰比来提高其结石率和抗压强度,但其流动性又不能满足其要求。为了解决这一矛盾,将各组成材料进行超细粉磨,超细粉磨后的材料比表面积均大于 $800 \text{ m}^2/\text{kg}$,笔者对超细硅酸盐水泥基单液注浆材料进行了研究(以下简称超细注浆材料)。

2.1 水灰比对浆液性能的影响

1) 水灰比对浆液流动度的影响。在实验室条件下,固定萘系减水剂掺量为 1%,通过变化用水量,测试不同用水量时,超细注浆材料的流动度,水灰比和流动度关系曲线如图 2 所示,由图 2 可知,随着水灰比的增大,流动度近似地呈线性增大,即水灰比越大,则流动度就越大,可注性就越好。当水灰比为 0.7:1.0 时,浆体的流动度为 265 mm,大于其要求的 260 mm,即水灰比应大于 0.7:1.0,同时,水灰比越大,离析泌水的可能性就越大,因此,将水灰比确定为 (0.7~0.9):1.0。而相对于普通注浆材料来说,当水灰比为 0.6:1.0 时,就能满足注浆材料流动度的要求,因此,超细注浆材料由于颗粒变小,比表面积变大,从而需水量增大。

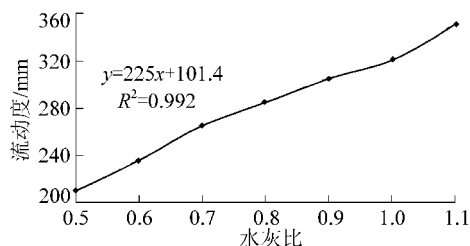


图2 水灰比和流动度关系曲线

2) 水灰比对凝结时间的影响。在实验室条件下,固定萘系减水剂掺量为 1%,变化用水量测试不同用水量时超细注浆材料的初凝和终凝时间,水灰比和凝结时间的关系曲线如图 3 所示。由图 3 可知,随着水灰比的增大,初凝和终凝时间逐渐延长,

当水灰比为 0.5:1.0 时,初凝时间为 43 min,当水灰比增大至 1.1:1.0 时,初凝时间为 137 min。但从存放时间而言,由于采用单液注浆,因此,为保证充分的施工时间,凝结时间越长越好,对凝结时间而言,水灰比越大越好。

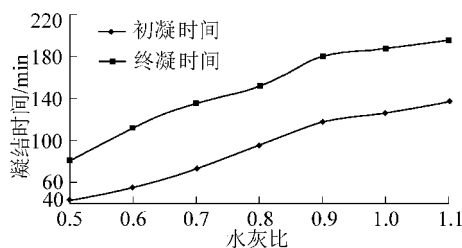


图 3 水灰比和凝结时间的关系曲线

3) 水灰比对抗压强度的影响。在实验室条件下,固定萘系减水剂掺量为 1%,变化用水量测试不同用水量时超细注浆材料硬化后 1、3、28 d 的抗压强度。水灰比和抗压强度的关系曲线如图 4 所示。从图 4 可以看出,随着水灰比的增大,1、3 和 28 d 的抗压强度呈逐渐减小的趋势。对于注浆材料抗压强度,则是越大越好。当水灰比为 0.9:1.0 时,28 d 的抗压强度为 57.6 MPa,即当水灰比大于 0.9:1.0 时,抗压强度就不能满足要求,因此,对抗压强度而言,水灰比应小于 0.9:1.0。

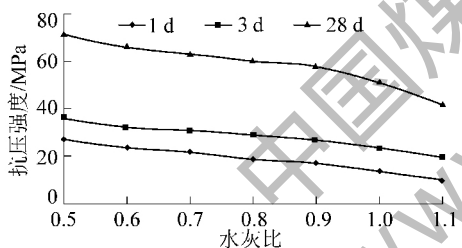


图 4 水灰比和抗压强度的关系曲线

2.2 新型无机注浆材料强度测试

1) 参照相关技术标准对新型无机注浆材料的强度进行了测试,新型无机注浆材料、标准砂、水的质量配比为 1.0:3.0:0.7。将制作成型并做好标记的试模放入标准养护箱中养护 1 d 后,脱模,继续放入标准养护箱中养护,至相应的龄期测试其抗压强度和抗剪强度,1、3、28 d 的抗压强度分别为 18.5、30.3、66.1 MPa,28 d 的抗剪强度和黏结强度分别为 12.20、1.53 MPa。

2) 为得到注浆后煤岩体的力学性能,将粒径 5~20 mm 的煤粒首先装满 150 mm×150 mm×150 mm 的试模,然后采用水灰比 0.7:1.0 的新型无机注浆材料注满该试模,放入标准养护箱中养护,至相

应的龄期测试其抗压强度,1、3、28 d 的抗压强度分别为 10.3、15.1、32.7 MPa。

3 新型无机注浆材料工业性试验

3.1 注浆施工工艺

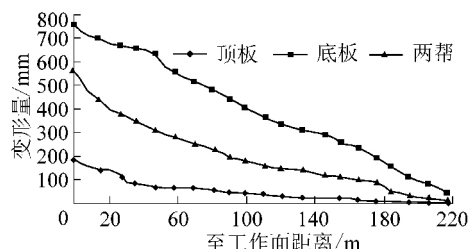
试验巷道采用 3~6 MPa 的高压进行注浆,采用先低压后高压的方法。采用顺序或间隔跳跃施工,由工作面向外的钻孔顺序注浆。先布置浅孔,浅孔注浆后布置深孔,钻孔内埋无缝注浆钢管,并进行相应的封孔。注浆时先注浅孔,同区域的深孔一般滞后于浅孔充填注浆的 1~2 d。

1) 低压浅孔注浆参数。根据情况,每帮布置 1 排注浆钻孔,钻孔采取深浅孔交错布置,浅孔深 2 000 mm,深浅孔间距为 1 500 mm,浅孔间距为 3 000 mm,距底 1 700 mm。

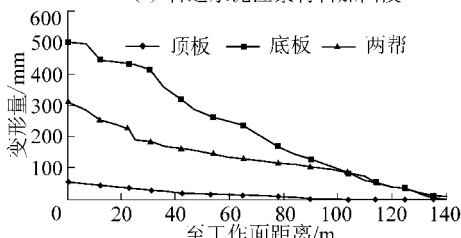
2) 高压深孔渗透注浆参数。每帮布置 1 排注浆钻孔,钻孔采取深浅孔交错布置,深孔深 6 000 mm,深浅孔间距为 1 500 mm,深孔间距为 3 000 mm,距底 1 500 mm。

3.2 破碎围岩加固注浆效果检测

1) 巷道变形观测。为了检验新型无机注浆材料的性能,对新型无机注浆材料注浆区段进行观测,本次观测布置 11 个新型无机注浆材料注浆区段测站,7 个普通水泥注浆测站,测站间隔距离 5.6 m,测站巷道变形量如图 5 所示。由图 5 可知,新型无机注浆材料段巷道的变形量明显小于普通水泥浆,由此可以得到新型水泥注浆材料及注浆工艺在此次围岩加固试验中相对于普通水泥加固效果具有明显优势。



(a) 普通水泥注浆材料加固段



(b) 新型无机注浆材料加固段

图 5 测站巷道围岩变形量

2) 窥视镜探测。为了对注浆孔内浆液的凝固情况进行观测,在井下巷道中施工钻孔,进行钻孔观察。注浆之前钻孔内煤体松散、破碎、纵横交错的裂隙发育明显,孔内破碎小煤块多,煤的整体性较差。注浆之后发现孔内破碎煤块明显减少,煤体内部纵横交错的裂隙得到充填和固结,钻孔孔壁、孔底能清楚看到有浆体充填痕迹,钻孔内浆液固结体呈薄厚不一的片状或条状,空隙得到压实,煤体完整性和稳定性增加。这说明浆液在煤体裂隙内充填范围广,注浆达到预期效果。

3) 片帮情况观察。当工作面推进到注浆区域以后,对工作面片帮情况进行了现场观察,由于煤壁比较破碎,受采动应力影响,工作面煤壁整体性不是很好,新型无机注浆材料注浆段有部分煤壁落下,但不影响采煤机通过和正常采煤,由此说明新型水泥注浆材料可以在煤壁大孔隙中良好扩散,同时可以渗透到微裂隙中。

4 结 语

新型无机注浆材料注浆之后孔内破碎煤块明显减少,煤体内部纵横交错的裂隙得到充填和固结,钻孔孔壁、孔底能清楚看到有浆体充填痕迹,钻孔内浆液固结体呈薄厚不一的片状或条状,空隙得到压实,煤体完整性和稳定性增加。采用新型无机注浆材料及注浆工艺加固围岩的效果明显好于普通水泥的加固效果,采用新型材料和新工艺加固后,能满足正常的回采要求。

(上接第 7 页)

水平变形量有关,地表拉伸变形量大于 1.8 mm/m 时,岩溶发生地表塌陷的可能性较大。岩溶腔体体积越大,承受采动变形的能力越小。为了防范采动区岩溶地表塌陷,进行采前岩溶探测和预测分析十分必要。

参考文献:

- [1] 胡炳南. 丰城矿区坪湖煤矿岩溶塌陷破坏研究[J]. 矿山测量, 2012 (6): 1-4.
- [2] 康彦仁. 论岩溶塌陷形成的致塌模式[J]. 水文地质工程地质, 1992, 19(4): 32-34.
- [3] 王 滨, 李治广, 董 昕, 等. 岩溶塌陷的致塌力学模型研究[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(4): 119-125.
- [4] 张丽芬, 曾夏生, 姚运生, 等. 我国岩溶塌陷研究综述[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2007, 18(3): 126-130.

参考文献:

- [1] 于 洪, 李春元, 付振江. 薄基岩破碎顶板脆裂煤体工作面注浆加固技术[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(12): 23-26.
- [2] 吴怀国, 魏宏亮, 田凤兰, 等. 矿用高分子注浆加固材料性能特点及研究方向[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(12): 27-29.
- [3] 杨绍斌, 董 伟, 周晓谦, 等. 矿用聚氨酯注浆材料阻燃及加固性能研究[J]. 中国安全科学学报, 2012, 22(8): 48-53.
- [4] 李 云, 韩立军, 孙昌兴, 等. 大松动圈破碎围岩二次注浆加固试验研究[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(12): 19-23.
- [5] 谢国强, 杨军辉, 谢生荣, 等. 千米深井大断面软岩巷道锚喷注浆加固技术[J]. 中国煤炭, 2013, 39(1): 48-50.
- [6] 韩玉明. 综放工作面回风巷超前预注浆加固技术[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(8): 42-45.
- [7] 孙 建, 王连国. 基于微震信号突变分析的底板断层突水预测[J]. 煤炭学报, 2013, 38(8): 1404-1410.
- [8] 肖同强, 李化敏, 杨建立, 等. 超大断面硐室围岩变形破坏机理及控制[J]. 煤炭学报, 2014, 39(4): 631-636.
- [9] 苏清政, 杨榆生, 潘 越. 整合煤矿采空区内掘进巷道注浆加固技术[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(7): 51-53.
- [10] 王国际. 注浆技术理论与实践[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2000: 235-341.
- [11] 李木宣, 马海峰. 大断面煤巷过断层组超前预注浆加固应用研究[J]. 煤矿开采, 2013, 18(4): 78-81.
- [12] 张 永. 综采工作面过断层超前深孔注浆技术应用研究[J]. 安徽理工大学学报, 2013, 33(3): 63-68.
- [13] 徐香庆, 郭文喜. 松软破碎围岩巷道注浆加固技术应用研究[J]. 煤炭工程, 2012(7): 29-31.
- [14] 刘 勇. 断层破碎带中巷道注浆加固设计与实践[J]. 煤矿开采, 2012, 17(6): 56-58.
- [15] 岳拥军, 王 丽. 大埋深高应力条件下煤层巷道注浆加固技术[J]. 煤炭技术, 2010, 29(9): 131-132.

- [5] 王卫军, 赵延林, 李青锋, 等. 矿井岩溶突水灾变机理[J]. 煤炭学报, 2010, 35(3): 443-448.
- [6] 程 星, 彭世寿. 岩溶区地下水位下降致塌的数值模拟研究[J]. 地球与环境, 2005, 33(S0): 119-123.
- [7] 刘传正. 我国岩溶塌陷分布规律的探讨[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1997, 8(S0): 11-17.
- [8] 高锡攀, 王来斌, 许光泉, 等. 淮南煤矿岩溶塌陷现状及形成条件分析[J]. 中国煤炭, 2011, 37(11): 29-32.
- [9] 谭松林, 尹金香, 王晓燕. 湖南煤炭坝矿区岩溶塌陷的形成与易发性分区[J]. 煤田地质与勘探, 2009, 37(6): 39-46.
- [10] 刘凯栋. 贵州省岩溶塌陷类型及形成分布规律探讨[J]. 贵州地质, 1990, 7(3): 204-215.
- [11] 武 雄, 高明显, 张顺峰, 等. 枣庄岩溶塌陷形成条件及主要影响因素[J]. 地学前缘, 2007, 14(6): 227-233.
- [12] 张华兴. 井筒煤柱开采理论与技术研究[D]. 北京: 煤炭科学研究总院, 1991.
- [13] 国家煤炭工业局. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2000.