

松软破碎围岩巷道注浆参数试验研究

李飞¹,周泽²,赖笼¹,车勇¹

(1. 贵州盘江精煤股份有限公司 火烧铺矿, 贵州 六盘水 553536; 2. 湖南科技大学 能源与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要: 注浆加固能够有效改善巷道围岩的破碎状态, 针对火铺矿 213 石门在采用水灰比 2:1 的浆液注浆效果不理想的情况, 分析了巷道围岩注浆加固效果的影响因素, 并通过水灰比配比实验, 最终确定了采用水灰比为 0.8 的浆液注浆是合理的, 并对注浆后巷道的顶板下沉量及两帮移近量进行了监测, 监测结果表明, 当采用水灰比为 0.8 的浆液, 注浆孔深为 4 m 的注浆方案时, 注浆加固效果比较理想, 极大的改善了 213 石门巷道破碎围岩状态。

关键词: 注浆参数; 水灰比; 破碎围岩; 注浆效果

中图分类号: TD35 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-9102(2014)04-0007-05

Study on grouting parameters with soft broken surrounding rock mine

LI Fei¹, ZHOU Ze², LAI Long¹, CHE Yong¹

(1. Guizhou Panjiang Refined Coal Stock Limited Company, Huoshaopu Mine, Liupanshui 553536, China;

2. School of Energy and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: Grouting reinforcement can effectively improve the state of roadway fractured surrounding rock. According the fact that the grouting effect of 213 roadway of HUOPU coal mining is not ideal when water cement ratio was 2:1, the influencing factors of grouting were analyses, and the reasonable water cement ratio 0.8 was obtained by proportioning test. Roof convergence and two side deformation were monitoring, the result shows that: when water cement ratio is 0.8, and depth of grouting hole is 4 meter, the grouting quality is more ideal, and the state of fractured surround rock of 213 roadway is greatly improved.

Key words: grouting parameters; water cement ratio; fractured rock; grouting quality

注浆技术是一种巷道围岩加固技术,在巷道开挖后进行注浆作业,其实质是通过浆液填充巷道围岩裂缝,对巷道围岩进行加固,提高巷道围岩强度,能够有效改善巷道破碎围岩状态.近年来,国内外学者对围岩注浆加固技术进行了广泛而深入的研究,得到了关于注浆量^[1-2]、注浆压力^[3-4]、注浆扩散半径^[5-7]等一系列的成果.在关于注浆理论研究方面,根据注浆介质运移机制和浆体力学的不同,可分为渗透注浆、充填注浆、劈裂注浆、压密注浆、超高压喷射注浆^[8-10]和电化学注浆^[11-13].其中,基于地下水渗流力学发展起来的渗透注浆理论最

为完善^[14].但目前关于注浆加固的注浆深度,及其注浆浆液的水灰比均无较多的理论研究,作者认为:由于岩层条件、施工方式等客观因素的不同,巷道围岩的裂隙发育程度均不会相同,裂隙的性质、分布特征和规律难以准确定量把握,施工操作尚无明确的标准和规程,带有随意性,注浆效果难以保证^[15],故而在进行注浆加固时需严格根据现场条件的不同确定注浆参数.火铺矿 213 石门由于受到 21125 工作面采动影响,破坏严重.在火铺矿原有的支护体系下,采用水灰比为 2:1 的浆液注浆,注浆浆液流动性较大,浆液在胶结凝固之前就会由裂

隙向巷道空间内渗流出来,不能对巷道围岩裂隙进行有效的加固.本文以火铺矿213石门背景,对巷道松软破碎围岩的注浆参数进行了研究.

1 地质概况

火铺矿生产能力240 Mt/a,21采区213石门原设计全长570 m,断面5.0 m×3.2 m,其与可采煤层位置关系如图1所示.由于受到21125采动影响,213石门巷道围岩破碎较为严重,强度较低,在原有的支护体系下,巷道变形较为严重.根据巷道岩层条件,现场采用了CXK6矿用本安型钻孔成像仪对213石门进行了围岩裂隙探测,发现213石门巷道围岩裂隙分布不均匀,围岩裂隙大部分集中在巷道4 m范围内.

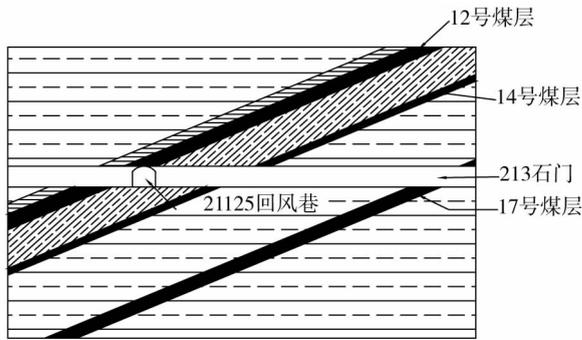


图1 213石门与可采煤层位置图

2 巷道注浆效果影响因素分析

2.1 浆液水灰比

浆液水灰比即是注浆浆液中水的用量和骨料的用量之比.不同水灰比的浆液,其力学性质、凝结时间均不相同.水灰比高的注浆浆液易和性好、流动性强,运输容易,扩散半径大,然而凝结时间较长,在裂隙较为发育的条件下容易造成漏液,从而影响注浆效果;同时水灰比较高的浆液固结后的强度较低,对于改善岩体的破碎状态效果不够理想.水灰比较低的浆液,由于含水量较少,浆液流动性不强,对于注浆泵的要求较高,但是浆液固结后强度大,能够有效提高破碎岩体的强度及其完整性.所以在注浆过程中,浆液的水灰比的不同将会对注浆效果产生不同的影响.因此根据实际情况确定合理的水灰比,对于巷道注浆效果有着至关重要的影响.

火铺矿213石门在原有的支护体系下,采用水灰比为2:1的浆液进行注浆加固,浆液流动性强,同时由于213石门巷道围岩裂隙较为发达,浆液在注入围岩后会通过裂隙流出来,造成漏液,无法对

巷道破碎围岩进行有效的注浆加固.

2.2 围岩裂隙的发育程度

巷道围岩裂隙主要有2种:1)开挖之前,岩体本身存在的弱面,如岩体形成过程中形成的层面、不整合面、节理面、以及在岩体形成后由于地质构造运动所形成的构造裂隙;2)开挖过程中,由于开挖扰动影响所产生的裂隙.这些新生的裂隙与岩体本身所存在的裂隙一起构成浆液的渗流通道.

裂隙的主要参数包括裂隙的方位角、裂隙的密集度、裂隙的开度以及裂隙的迹长.裂隙的发育程度决定了注浆孔的孔深以及注浆浆液的扩散半径.同时,当浆液固体颗粒较大时,只能进入裂隙开度大于2 mm的岩体裂隙中,当围岩裂隙开度较小时,应选用固体颗粒较小的浆液.当裂隙的迹长的均值较大时,围岩中各位置点可能被浆液渗透的范围越大,岩体中各位置点的渗透范围趋于均匀,各项同性增强^[16].因此岩体裂隙的发育决定了注浆所能作用的区域,影响了注浆浆液材料的选择.

3 213石门巷道注浆支护参数设计

3.1 浆液水灰比设计

火烧铺矿以前注浆时采用的水灰比为2:1,注浆效果较差,现利用实验室实验的方法来说明水灰比对注浆效果的影响,制作5个圆柱体试件,试件的水灰比分别为0.4,0.6,0.8,1.0,1.4,不同的水灰配比会对注浆效果有直接的影响,配比较小可以提高围岩的强度但是注浆时容易出现堵孔现象,而配比较大时达不到所需的强度要求,为了找到合适的水灰配比,分别对不同配比的圆柱形试件进行单轴压缩试验,得到与其对应的强度,找到合适的水灰配比.

1)对水灰比为0.4的混凝土试件来进行单轴压缩试验,试件尺寸为45.0 mm×110.0 mm,其试验的轴应变—应力曲线图如图2所示.

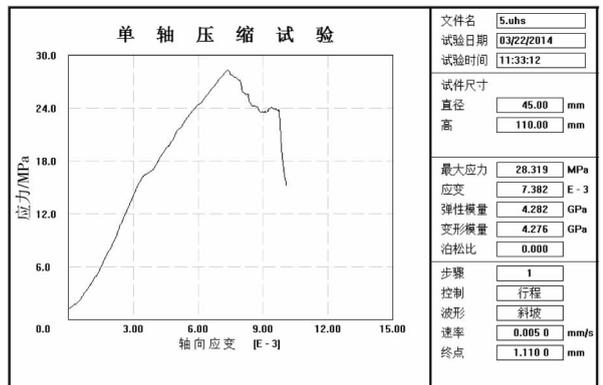


图2 水灰比为0.4的混凝土试件试验的轴应变—应力曲线图

由图2可知水灰比为0.4的混凝土试件的最大应力为28.319 MPa,强度较大,在弹塑性阶段曲线较短,当达到28.319 MPa时曲线不再继续上升反而迅速下降,进入残余强度阶段。

2) 对水灰比为0.6的混凝土试件来进行单轴压缩试验尺寸为46.18 mm×96.12 mm,其试验的轴应变—应力曲线图,如图3所示。

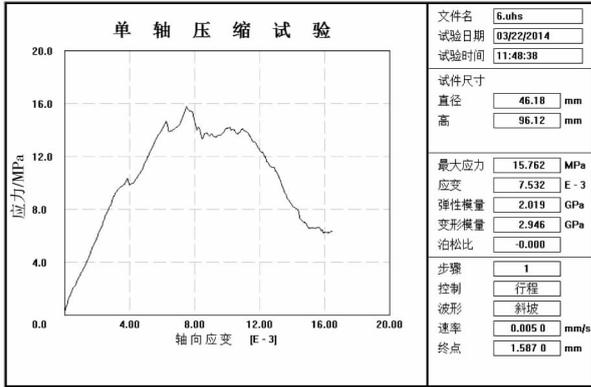


图3 水灰配比0.6的混凝土试件试验的轴应变—应力曲线图

由图3可知配比为0.6的混凝土试件可承受的最大应力为15.762 MPa,强度较大,但其强度远小于水灰比为0.4的混凝土试件强度。

3) 试验的混凝土试件尺寸为43.60 mm×96.72 mm,水灰配比为0.8的圆柱形混凝土试件,试件的轴向应变—应力曲线图如图4所示。

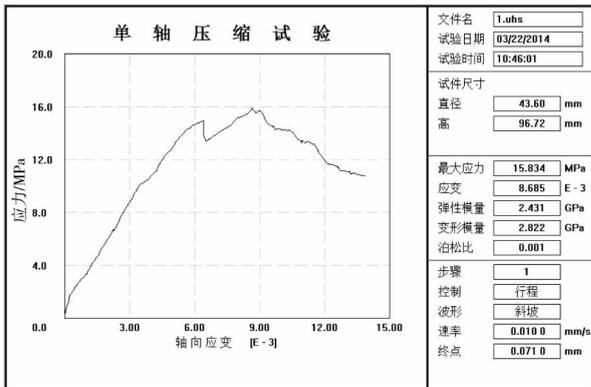


图4 水灰配比为0.8的混凝土试件单轴压缩试验曲线图

从图4中可以看到水灰配比为0.8的混凝土试件曲线在应力达到15.834 MPa之前是持续上升的,试块在此阶段处于弹性和弹塑性状态,当达到15.834 MPa时曲线不再继续上升反而逐渐下降,试块在此阶段处于塑性损伤状态,进入残余强度阶段,说明配比为0.8的混凝土的最大强度为15.834 MPa,其强度与水灰比为0.6时的试件强度

接近。

4) 对水灰比为1.0的混凝土试件进行单轴压缩试验,试件尺寸为44.34 mm×99.64 mm,其试验的轴应变—应力曲线图,如图5所示。

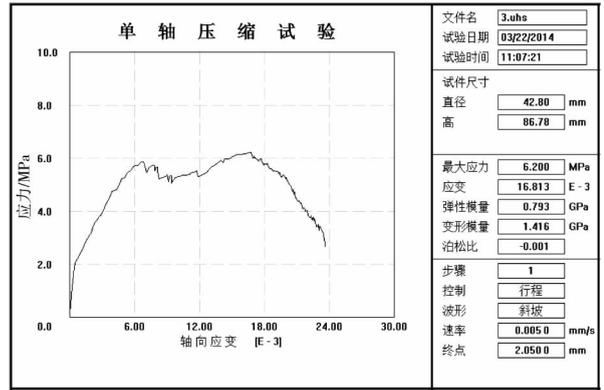


图5 水灰配比1.0的混凝土试件试验的轴应变—应力曲线图

由图5可知配比为1.0的混凝土试件的最大应力为10.66 MPa,强度较小,小于水灰比为0.8的混凝土试件强度。

5) 对1.4的水灰配比混凝土试件进行单轴压缩试验,试件尺寸为42.80 mm×86.78 mm,其试验的轴应变—应力曲线图如图6所示。

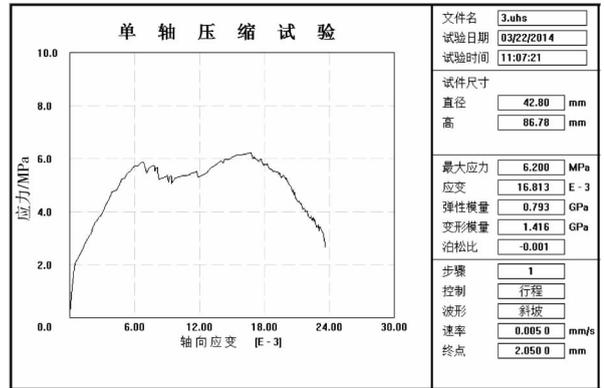


图6 水灰配比1.4的混凝土试件试验的轴应变—应力曲线图

由图6可知配比为1.4的混凝土试件的最大应力为6.2 MPa,强度较低,但是在弹塑性阶段曲线较长,塑性变形较大;试件由于在弹塑性阶段变形较大,进入残余强度后破坏较为明显,试件裂纹较多,破碎较为明显。

对比分析以上的5个试件的单轴压缩试验,如图7所示。

由图可知水灰比为0.4时,试件强度最大,采用时可以大大提高围岩的强度,但是注浆时容易出

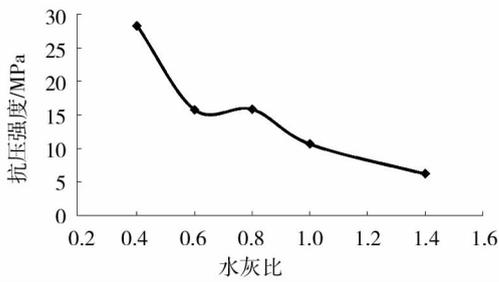


图7 不同水灰比试件单轴抗压强度

现堵孔现象;而水灰比为 1.0 和 1.4 时,其试件强度明显小于水灰比为 0.8 时的强度;而水灰比为 0.6 时的试件强度和水灰比为 0.8 时的试件强度相近,考虑到水灰比大的浆液流动性更强,易和性更好,所以水灰比采用 0.8 是合理可行的。

3.2 注浆孔深

注浆孔深主要取决于巷道围岩裂隙的发育范围,一般采用声波探测法和岩层窥测仪观测巷道围岩的破碎区域,也可以采用经验公式(1)估算^[15]:

$$r = (0.78 + 2.13\gamma H/R_c)a. \quad (1)$$

式中, γ 为顶板及两帮岩石容重, N/m^3 ; H 为巷道埋深, m ; R_c 为顶板及两帮岩石单轴抗压强度, MPa ; a 为巷道半径, m 。

在巷道围岩较为破碎的情况下,只能应根据实际情况确定注浆孔深。根据 213 石门与 21126 运输巷交界处围岩松动影响范围探测分析,测点处围岩松动破碎范围在 4 m 左右,初步将注浆孔深度设计为 4 m。

3.3 注浆孔间距

注浆的目的就是使巷道破碎围岩加固,在巷道周边形成一个整体的力学承压结构。注浆孔的间排距会影响到浆液的扩散,当注浆孔间排距过大时,浆液不能对巷道破碎围岩进行充分充填加固,难以形成整体的力学承压结构;当注浆孔间排距过小时,会浪费人力物力,造成浆液的浪费。因此应综合考虑巷道围岩破碎,确定注浆孔的间排距。为使注浆孔之间的围岩破碎区充分充填加固,一般情况下注浆孔的排距可以设计为 2 ~ 3 m,设计的注浆孔距应使 2 个注浆孔的渗透距离有一个交叉,可以取 0.65 ~ 0.75 的系数,即注浆孔排距一般为 1.2 ~ 2.2 m^[16]。根据火铺矿巷道围岩的破碎情况确定注浆孔的间排距为 1.4 m × 1.4 m。

4 注浆效果检验

在 213 石门试验巷道段每隔 20 m 设置一个测

点,在每个断面采用十字法进行测量。水平测线布置 $a-b$, $a-b$ 应与巷道腰线重合,垂直测线 $c-d$ 应与巷道中垂线重合。 ab 相对变形为两帮收敛量, cd 为顶底板移近量。每 2 天采集 1 次数据,并对采集数据进行整理,绘成曲线图进行分析说明,比较注浆前后围岩变形情况,如图 8 所示(只列测点 1)

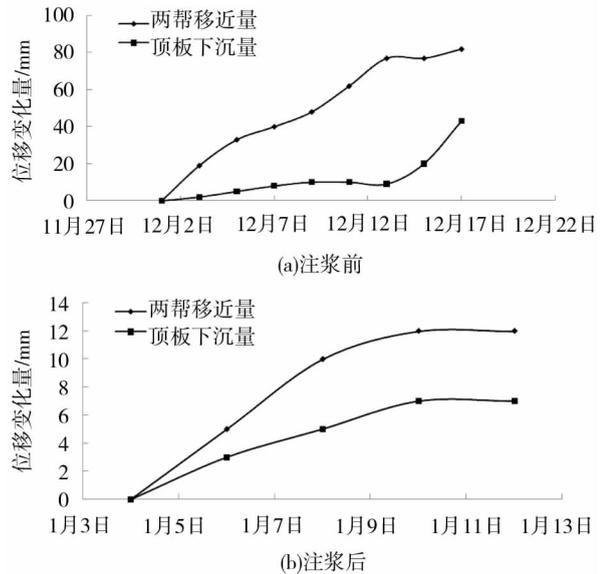


图8 测点1 注浆前后巷道围岩表面位移变化曲线

由图 8 可知,测点 1 注浆之前巷道的两帮移近量、顶板下沉量在分别达到 80 mm, 40 mm 后仍然无明显收敛现象,而是保持着变形继续变大的趋势;在注浆之后的测点 1 巷道的两帮移近量、顶板下沉量在分别达到 12 mm, 7 mm 后,巷道围岩变形趋于缓和。说明巷道注浆后围岩表面位移量均明显小于注浆前的位移变化量,注浆之后巷道尺寸基本没发生变化,巷道围岩基本稳定,注浆效果较好。

5 结论

1) 注浆浆液的水灰比对注浆加固效果有着至关重要的影响,应结合现场实际选择合理的浆液水灰比,同时注浆参数的设计应充分考虑巷道围岩裂隙的发育状况,使浆液能够充分扩散,对围岩裂隙进行充分充填加固。

2) 通过水灰比配比实验,确定火铺矿 213 石门注浆加固的合理水灰比为 0.8。当水灰比为 0.8 时,在保证浆液在具有较好的流动性的同时又能保证浆液在固结后又具有较好的抗压强度。

3) 对火铺矿 213 石门注浆加固参数进行了优化,在巷道围岩裂隙较为发育的情况下采用注浆孔间排距为 1.4 m × 1.4 m,注浆深度为 4 m 时,巷道

围岩稳定较好,顶板下沉量和两帮移近量均较小。

参考文献:

- [1] 郭惟嘉. 覆岩离层带注浆充填基本参数研究[J]. 煤炭学报, 2000, 25(6): 602 - 606.
- [2] 王连国, 李明远, 王学知. 深部高应力极软岩巷道锚注支护技术研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(16): 2889 - 2893.
- [3] 祁和刚, 郭夕祥, 于士芹. 破碎大巷变形机理与锚固技术[J]. 煤炭学报, 2008, 33(11): 1224 - 1229.
- [4] 王俊光, 梁冰, 鲁秀生, 等. 油页岩矿松软破碎围岩巷道变形机理及控制技术[J]. 煤炭学报, 2010, 35(4): 546 - 550.
- [5] 李刚, 梁冰, 张国华. 高应力软岩巷道围岩变形特征及其支护参数设计[J]. 采矿安全与工程学报, 2009, 26(2): 183 - 186.
- [6] 方新秋, 何洁, 何加省. 深部高应力软岩动压巷道加固技术研究[J]. 岩土力学, 2009, 30(6): 1693 - 1698.
- [7] 许兴亮, 张农, 徐基跟, 等. 高地应力破碎软岩巷道过程控制原理与实践[J]. 采矿安全与工程学报, 2007, 24(1): 51 - 56.
- [8] 周雄, 罗斌. 在复杂地层中高喷注浆帷幕施工[J]. 公路工程, 2012, 37(1): 196 - 199.
- [9] Nikbakhtan B, Ahangari K. Estimation of jet grouting parameters in Shahriar dam, Iran [J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2010, 20(3): 472 - 477.
- [10] Nikbakhtan B, Osanloom. Effect of grout pressure in jet grout flow on soil physical and mechanical properties in jet grouting operations [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2009, 46(3): 498 - 505.
- [11] Chien S C, Ou C Y, Lee Y C. A novel electroosmotic chemical treatment technique for soil improvement [J]. Applied Clay Science, 2010, 50(4): 481 - 492.
- [12] Burnotte F, Lefebvre G, Grondin G. A case record of electroosmotic consolidation of soft clay with improved soil - electrode contact [J]. Canadian Geotechnical Journal, 2004, 41(6): 1038 - 1053.
- [13] Asavadorndeja P, Glawe U. Electrokinetic strengthening of soft clay using the anode depolarization method [J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2005, 64(3): 237 - 245.
- [14] 孙克国. 注浆控制岩溶隧道突水地质灾害的机制和模拟方法研究[D]. 济南: 山东大学, 2010.
- [15] 张农. 巷道滞后注浆围岩控制理论与实践[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2004.
- [16] 张农, 王保贵, 郑西贵, 等. 千米深井软岩巷道二次支护中的注浆加固效果分析[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(5): 34 - 38.