

粉煤灰改性水泥-水玻璃双液注浆性能试验研究

宋 雪 飞^{1,2}

(1. 中国煤炭科工集团有限公司,北京 100013;2. 北京中煤矿山工程有限公司,北京 100013)

摘 要:为解决传统水泥-水玻璃双液浆结石体后期抗压强度下降的问题,采用理论分析、实验室试验和现场观测的手段进行了双液体系统中活性工业废渣粉煤灰部分替代水泥的试验,研究了掺入 30%~50% 粉煤灰对浆液凝胶时间及结石体抗压强度的改性作用。研究表明:粉煤灰改性后的浆液凝胶时间增大,可缓解浆液凝胶过快;粉煤灰的活性作用提高了结石体的后期强度,其中掺入 50% 的粉煤灰,结石体在 2 年后的强度可提高 15% 以上。

关键词:粉煤灰;双液注浆;抗压强度;注浆加固

中图分类号:TD2654

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2014)01-0143-03

Study on Performance Experiment of Fly Ash Modified Cement-Sodium Silicate Double Liquid Grouting

SONG Xue-fei^{1,2}

(1. China Coal Technology and Engineering Group Corporation Limited, Beijing 100013, China;

2. Beijing China Coal Mine Engineering Company Limited, Beijing 100013, China)

Abstract: In order to solve the problem of late period compressive strength reduce about the traditional cement-sodium silicate double liquid consolidated mass, a theoretical analysis, lab experiment and site observation means were applied to the experiment with the active industrial waste fly ash partially replaced the cement in double liquid system. The experiment studied the 30%~50% fly ash mixed affected to the double liquid setting time and the modification role in compressive strength of the consolidated mass. The study results showed that the setting time of the grout was increased to modified fly ash and could relax the too quick setting of the grout. The active role of the fly ash could improve the late strength of consolidated mass and with 50% fly ash mixed, strength of the consolidated mass after two years could be improved over 15%.

Key words: fly ash; double liquid grouting; compressive strength; grouting reinforcement

0 引 言

水泥-水玻璃浆液也称 C-S 浆液,是目前应用最多的水玻璃悬浊型双液注浆材料^[1-2],是以水泥和水玻璃为主剂,两者按一定的比例,必要时加入速凝剂或缓凝剂,采用双液注入方式组成的注浆材料。C-S 浆液在处理煤矿透水事故及封堵井壁漏水应用效果较好^[3-4],近年来在公路、铁路、水利水电、岩土工程领域^[5-7]的加固应用也较多。然而长期的工程实践表明,C-S 浆液结石体耐久性较差^[8],有的井

壁注浆 1~2 年后又开始渗水,目前公认 C-S 浆液存在结石体后期强度下降的问题,其使用已受到了限制,在有些行业仅作为临时性材料,鲜有用于永久性加固。目前国内对以大掺量粉煤灰和水泥为主料,水玻璃为辅料的单液注浆充填的试验研究较多,赵洪水等^[9]研究了掺入不同量的水玻璃对 C-S 浆液的影响,认为水玻璃最佳掺入量为 3%;王清秋^[10]结合煤矿采空区治理工程实例,认为粉煤灰掺入量不得大于 80%、水固比为(0.7~0.8):1.0、水玻璃掺量为 1%~3%;邹友平等^[11]认为水玻璃占水泥 2%

收稿日期:2013-08-10;责任编辑:杨正凯 DOI:10.13199/j.cnki.est.2014.01.033

基金项目:天地科技股份有限公司发展基金资助项目(TZ-JJ-2010-ZM-3)

作者简介:宋雪飞(1976—),女,山东烟台人,高级工程师,硕士。Tel:13520711255,E-mail:sxuefei@163.com

引用格式:宋雪飞.粉煤灰改性水泥-水玻璃双液注浆性能试验研究[J].煤炭科学技术,2014,42(1):143-145,150.

SONG Xue-fei. Study on Performance Experiment of Fly Ash Modified Cement-Sodium Silicate Double Liquid Grouting[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(1): 143-145, 150.

或3%时结石率及单轴抗压强度满足工程需要。张义顺等^[12]基于水玻璃碱激发工业废渣的原理,研究出以钢渣为主最佳配合比的工业废渣-水玻璃双液注浆材料,既优化了骨料的级配又最大限度地使用了工业废渣。目前国内大掺量粉煤灰的水泥粉煤灰注浆材料应用不广,其配合比设计尚无标准^[13],在水利水电行业,对粉煤灰掺量质量分数超过30%的结石体后期抗压强度仍存在怀疑^[14]。基于此,笔者对粉煤灰改性水泥-水玻璃双液注浆性能进行试验研究,以期在工程应用中得以推广应用。

1 粉煤灰改性试验研究

1.1 试验材料

试验是在C-S双液浆体系中,掺入30%~50%的粉煤灰,形成新型的C-F-S浆液。利用粉煤灰中活性成分 SiO_2 和 Al_2O_3 的碱性激发,提高结石体的后期抗压强度。

试验用水泥为P.O42.5等级;粉煤灰为I级,北京某发电厂的粉煤灰中 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 的含量分别为48.95%、38.41%、3.07%、3.52%、0.98%;水玻璃液态二级,模数3.3。传统C-S浆分为甲液、乙液两个体系,而研究的新

C-F-S浆液,是将一定量的粉煤灰分别掺入到甲液、乙液体系中,其形成的甲液组分为粉煤灰、水泥、水,乙液组分为粉煤灰、水玻璃。由于粉煤灰的密度小于水泥的密度,试验中采用等质量粉煤灰替代水泥,而甲液、乙液体积之比的调整,则通过改变乙液中水玻璃用量来实现,以下试验中粉煤灰掺量为甲液和乙液粉煤灰掺量之和。将掺入粉煤灰后的甲液和乙液注入 $4\text{ cm}\times 4\text{ cm}\times 4\text{ cm}$ 试模成型,在水泥标准养护箱中养护24 h后脱模,在恒温水养箱养护,然后进行抗压强度测试。

1.2 凝胶时间影响因素分析

与单液注浆相比,C-S双液注浆凝胶较快,在一些复杂多变的水文地质条件下,对C-S浆液的凝胶时间会有不同的要求,必要时需要加入速凝剂或缓凝剂调整凝胶时间,达到缩短或者延长凝胶时间的目的,满足施工要求。

1) 粉煤灰掺量对凝胶时间的影响。粉煤灰掺量是指粉煤灰替代水泥的质量分数。粉煤灰掺量对凝胶时间的影响如图1a所示,浆液配比中乙液、甲液的体积比为1:1,水玻璃浓度为 37°Be 。随着粉煤灰掺量的增加,浆液的凝胶时间逐渐增大,而且粉煤灰掺量越大,对凝胶时间的影响越显著。

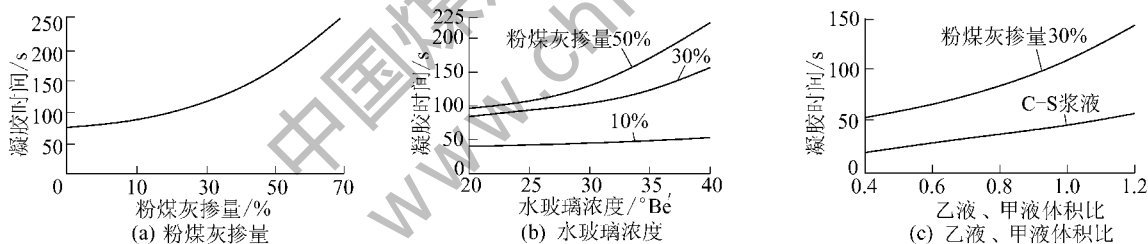


图1 粉煤灰掺量、水玻璃浓度、乙液和甲液体积比对凝胶时间的影响

2) 水玻璃浓度对凝胶时间的影响。试验研究了水固比为1,粉煤灰掺量分别为10%、30%、50%条件下,水玻璃浓度对凝胶时间的影响,如图1b所示,各种粉煤灰掺量下水玻璃浓度越大,浆液凝胶时间越长。而在水玻璃浓度一定条件下,粉煤灰掺量越大,浆液凝胶时间越长。考虑到经济性及施工中易操作性,可对水玻璃浓度进行适当的调整^[15]。

3) 乙液与甲液体积比对凝胶时间的影响。在双液注浆施工中,常采用等体积比的注浆方式,但是乙液与甲液的体积比对凝胶时间还是有较大影响,如图1c所示,随着乙液体积的增大,浆液的凝胶时间增加;粉煤灰的掺入,延缓了浆液的凝胶时间。

综上所述,在其他条件相同的条件下,随着粉煤灰掺量的增大,浆液的凝胶时间均有所增加。传统

C-S浆凝胶时间一般在1 min左右,而掺入粉煤灰之后,可以在一定程度上缓解浆液凝胶速度。

1.3 结石体抗压强度影响因素分析

1) 粉煤灰掺量对结石体28 d后抗压强度的影响。在水灰比为1、水玻璃 30°Be 条件下,粉煤灰掺量对结石体28 d后抗压强度的影响,如图2a所示,随着粉煤灰掺量的增加,结石体28 d后抗压强度逐渐下降,在掺入30%~50%的粉煤灰后,抗压强度下降速度趋于缓慢。

2) 水玻璃浓度对结石体28 d抗压强度的影响。水玻璃浓度对抗压强度的影响如图2b所示,随水固比的不同呈现不同的趋势,抗压强度变化较为复杂。由图2b可知,不同水玻璃浓度时也可达到相同的抗压强度。而在进一步的抗压强度试验测定中发现,

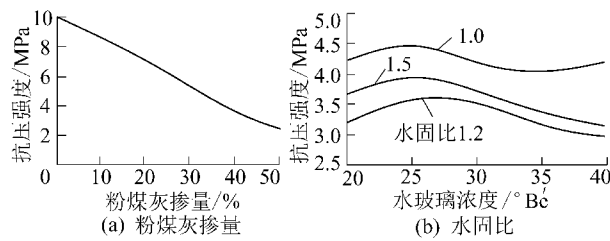


图 2 粉煤灰掺量和水固比对结石体 28 d 抗压强度影响
水玻璃浓度对试块脆性破坏方式的影响较大。

1.4 粉煤灰掺量对结石体长期抗压强度的影响

结石体的长期抗压强度是指龄期为 1 年及以上的抗压强度,期间结石体一直在恒温水养箱中养护,养护水温为(20±2)℃。粉煤灰掺量对 2 年后结石体的抗压强度的影响如图 3 所示,其中以传统 C-S 浆液 28 d 后的抗压强度为基准,对比了粉煤灰掺量分别为 30%、50%时 2 年后结石体的抗压强度增长情况。

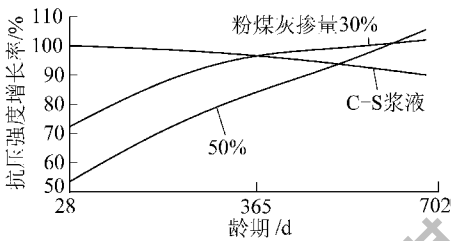
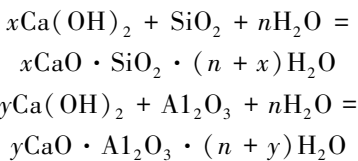


图 3 粉煤灰掺量对结石体长期抗压强度的影响
由图 3 可知,传统 C-S 浆液的抗压强度随着龄期的增长逐渐下降,而掺入粉煤灰后随着龄期的增长结石体的抗压强度均缓慢增长;粉煤灰掺量为 30%~50%,粉煤灰掺入越多,结石体长期抗压强度越大;与传统 C-S 浆液相比,大掺量粉煤灰(30%~50%)结石体 2 年后的抗压强度提高在 15%以上。

1.5 机理分析

粉煤灰中的活性成分 SiO₂、Al₂O₃在水泥水化碱性环境里活性得以激发。粉煤灰的火山灰反应是在水泥析出的 Ca(OH)₂吸附在粉煤灰颗粒表面时开始的。在 C-F-S 双液浆体系中,水泥首先水化生成 Ca(OH)₂,与粉煤灰中活性成分产生二次水化反应,形成以水化硅酸钙和水化铝酸钙为主的水化产物,其反应式为



水泥的水化反应和粉煤灰的二次水化反应交替进行,并互为条件而且相互制约。与传统 C-S 双液

浆相比,粉煤灰的活性效应及其微集料效应均能提高结石体的密实性,对改善抗渗性具有积极作用。对 C-F-S 浆液结石体 3 个部位进行局部 X 射线能谱分析可知,所分析的 3 个部位的主要成分分别为未反应的粉煤灰、水化反应形成的水化硅酸钙凝胶体和钙矾石晶体。

2 工程应用

1)工程概况。马脊梁矿位于大同煤田西北部,该矿上部侏罗纪煤层大部分已被开发利用,为实现可持续发展,对马脊梁矿进行了延深和改造,拟建设一个规模为 6.00 Mt/a 的现代化矿井。为了消除新建副立井工业广场下方侏罗纪煤层采空区的安全隐患,确保工业广场内井筒安全使用,避免地表发生较大的下沉、变形以及陷落性破坏,在矿井建设之前须对下伏采空区进行综合治理。

2)采空区注浆治理方案。在对工业广场下采空区及上覆岩层稳定性分析的基础上,通过计算确定了采空区的治理范围和治理方案。井筒治理区是以井筒为中心,半径 40 m 的区域,每个井筒设计 20 个钻孔,钻孔的布置原则为在半径 12 m 的布孔圈径上均匀布置 4 个钻孔,半径 15 m 的布孔圈径上均匀布置 4 个钻孔,交错布置。在半径 30 m 的布孔圈径上均匀布置 6 个钻孔,半径 36 m 的布孔圈径上均匀布置 6 个钻孔,交错布置。采用粉煤灰改性后的 C-F-S 浆液对采空区进行注浆加固,在采空区注浆加固过程中,根据注浆压力对注浆材料配方及时调整。对一些大的空隙或空洞,当单液水泥-粉煤灰浆液难以满足注浆要求的条件下,选用了试验研究的粉煤灰改性浆液,采用双液注浆的方式,已应用浆液约 1 000 m³,有效控制了浆液扩散半径,形成注浆帷幕,达到注浆加固的目的。

3 结 语

掺入粉煤灰改性后,浆液凝胶时间增大,这可在一定程度上解决传统 C-S 浆液凝胶过快的问题。随着粉煤灰掺量的增加,结石体早期的强度逐渐下降;在粉煤灰掺量为 30%~50%时,结石体 28 d 后抗压强度下降趋于缓慢。传统 C-S 浆液结石体后期抗压强度较低,粉煤灰的活性作用有利于增加结石体后期抗压强度,能够使新型 C-F-S 浆液结石体后期的抗压强度缓慢增长。

(下转第 150 页)