

Experimental Study on Rheological Properties of Cement Slurry

Qin Wang¹, Ze Liu^{2*}

¹Shaoxing Keqiao District Traffic Construction Co., Ltd., Shaoxing Zhejiang

²School of Civil Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan Hunan

Email: csuzeliu@13.com

Received: Sep. 6th, 2018; accepted: Sep. 20th, 2018; published: Sep. 27th, 2018

Abstract

Slurry rheological property is one of the important factors affecting the effect of grouting. By using the funnel viscometer, the viscosity change with different substitution was tested on the basis of the test of viscosity coefficient of different water cement ratio of pure cement paste; the tests include cement-fly ash slurry whose part of cement is replaced by fly ash, cement-clay ash slurry whose part of cement is replaced by clay, and cement-slag ash slurry whose part of cement is replaced by slag. The results show that: the dynamic viscosity coefficient of cement pastes decreases with the increase of the water cement ratio according to the power function law. The cement-fly ash grout viscosity increases with the cement replacement volume increased; when the replacement amount is less than 30%, the viscosity of increased linearly, when the replacement amount is more than 30%, the viscosity increases slowly. However, the cement-clay ash grout and the cement-slag ash grout viscosity decrease with the cement replacement volume increased, but the viscosity coefficient nearly unchanged when the replacement amount is more than 15%.

Keywords

Cement Slurry, Clay, Fly Ash, Slag, Rheological Property of Slurry

水泥基浆液的流变性能试验研究

王 钦¹, 刘 泽^{2*}

¹绍兴市柯桥区交通建设有限公司, 浙江 绍兴

²湖南科技大学, 土木工程学院, 湖南 湘潭

Email: csuzeliu@13.com

收稿日期: 2018年9月6日; 录用日期: 2018年9月20日; 发布日期: 2018年9月27日

*通讯作者。

摘要

浆液流变性是影响注浆效果重要因素之一。本文采用漏斗粘度计,在测试不同水灰比纯水泥浆粘度系数的基础上,以粘土、粉煤灰、矿渣代替部分水泥制备了水泥-粉煤灰浆液、水泥-粘土浆液和水泥-矿渣浆液等三种水泥基浆液,测试了不同替代量时粘度变化。研究表明,水泥浆的动力粘度系数随着水灰比增加按幂函数规律减小。水泥-粉煤灰浆液的粘度随着水泥替代量的增加而增大,当替代量小于30%时,粘度基本上呈线性增加,当替代量大于30%后,粘度增加变缓;而水泥-矿渣浆液和水泥-粘土浆液的粘度随着水泥替代量的增加而减小,但替代量增加到15%后,浆液粘度系数基本保持不变。

关键词

水泥浆, 粘土, 粉煤灰, 矿渣, 浆液流变性

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

注浆加固是以加压的方法将预配浆液注入到岩土体中,待浆液凝固后达到提高岩土体强度和结构整体性的工程技术[1][2]。注浆加固起源于1802年法国土木工程师查理斯·贝里格尼(Charles Berigny)采用人工锤击的方法向地层挤压粘土浆液用于修理第厄普(Dieppe)冲砂闸,经过长期的研究与实践,目前注浆已成为岩土工程加固的主要方法之一,广泛用于边坡、地基、堤坝、挡土墙等工程结构的加固维护中[2]。

注浆材料是注浆技术的核心,国内外的研究者都非常重视浆液的研究,已从早期的水泥浆发展到种类繁多、性能各异的化学浆。对于山区公路挡土墙而言,墙后多以砂性土为填料,填料间的孔隙较大,可注性强,多以水泥浆为注浆浆液。因此研究水泥基浆液的流变性能有重要意义。张家奇[3]通过试验探索了土石分层介质中的注浆扩散规律。杜野[4]通过注浆材料流动性正交试验探讨了水灰比、外掺剂对浆液流动性能的影响规律,揭示了黏度时变性浆液流动度时间变化特征。张聪[5]对黏土水泥浆液和纯水泥浆液的浆液稳定性能进行了定量评价,探讨浆液稳定性能对充填注浆工程的影响,并进行了工程验证。阮文军[6]通过试验研究了影响浆液扩散性能的因素。朱赤[7]结合工程实例分析了双液注浆加固沿河浸水挡土墙墙趾的施工工艺。

本文以水泥浆为研究对象,配制不同水灰比的浆液,测量其粘度系数及其粘度随时间变化的规律。随着节能降耗、生态环保和改善浆液性能的需要,可采用粘土、粉煤灰、矿渣代替部分水泥,因此本次研究时也进行了不同替代量的水泥-粉煤灰浆液、水泥-粘土浆液和水泥-矿渣浆液的粘度系数测试。

2. 试验材料与方法

试验所用水泥为强度等级为32.5的普通硅酸盐水泥。粉煤灰为电厂排出二级粉煤灰,粘土为原状粘土经水洗、沉淀、晒干、过0.075 mm(200目)筛孔后制得,矿渣为铁矿选矿厂的尾矿砂,取样后晒干、过0.075 mm筛孔后获得。纯水泥浆的配比为1:0.5~1:1.5,制备水泥-粉煤灰(粘土或矿渣)浆液时,控制水灰为1:1,粉煤灰、粘土、矿渣替代水泥的替代量分别为:5%、10%、15%、20%、30%、40%。

试验采用漏斗粘度计测量。先按照设的水灰比称量适量的水泥、水和掺料,配制700 ml浆液。固定

好漏斗粘度计的位置,用手指堵住下方漏孔,将配置好的浆液倒入漏斗中。然后移开手指,打开下方漏孔,浆液开始流出,同时用秒表开始计时。当流出的浆液注满下方量杯,即浆液流出 500 ml 时,停止计时。记下所用时间,该时间即为此浆液的漏斗粘度。试验的同时采用密度计测量浆液的密度(图 1)。

3. 试验结果与分析

3.1. 水灰比对水泥浆粘度的影响分析

试验获得了水同水灰比纯水泥浆的漏斗粘度,如表 1 所示。

在浆液扩散半径的计算中通常用的是浆液的动力粘度而不是漏斗粘度,两者可通过式(1)进行换算,换算结果见表 1。

$$\mu = \left[0.0731 \times \frac{A+35}{50} - \frac{0.0631}{\frac{A+35}{50}} \right] \rho \quad (1)$$

式中: μ 为动力粘度(mPa·s); A 为漏斗粘度计直管的横截面积(mm²); ρ 为浆液密度(g/cm³)。

图 2 为纯水泥浆水动力粘度系数与水灰比的关系曲线。可见,随着水灰比增加水泥浆的动力粘度系数呈非线性减小。回归分析表明,两者间符合幂函数关系,相关系数达到 0.91。



Figure 1. Rheological test of slurry
图 1. 浆液流变试验

Table 1. Experimental results of pure cement slurry
表 1. 纯水泥浆的实验结果

序号	水灰比	漏斗粘度(s)	动力粘度(mPa·s)
1	0.5	97	0.169082
2	0.6	66	0.116424
3	0.7	34.35	0.055896
4	0.8	25.91	0.037253
5	0.9	21.85	0.027618
6	1	20.26	0.023696
7	1.1	19.05	0.020649
8	1.2	18.2	0.018474
9	1.3	17.57	0.016842
10	1.4	17.2	0.015876
11	1.5	16.93	0.015167

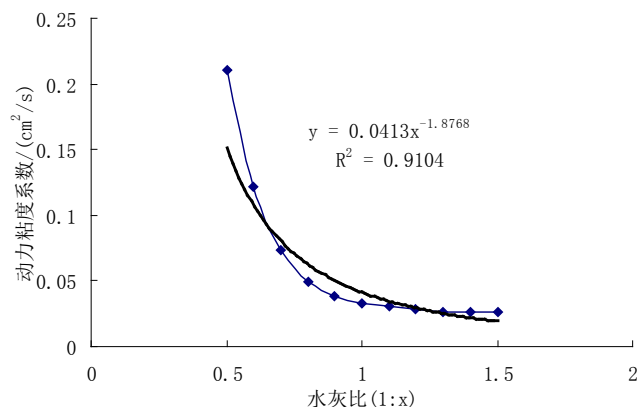


Figure 2. Relationship between dynamic viscosity coefficient and water cement ratio of pure cement
图 2. 纯水泥动力粘度系数与水灰比的关系

$$\mu = 0.0413 \left(\frac{W}{C} \right)^{-1.8768} \quad (2)$$

水泥浆是一种悬浊型浆液, 当水和水泥搅拌、混合后, 细小的水泥颗粒因搅动而悬浮于水中, 一方面与周围的水开始发生化学反应, 另一方面因重力作用开始下沉。随着水灰比的增加, 单位质量浆液中的水含量增加、水泥含量减少, 水泥颗粒间的相互影响减少, 能起润滑作用的水分增加。

3.2. 掺灰对水泥基浆液粘度的影响

表 2 为水泥 - 粉煤灰(粘土、矿渣)浆(水灰比为 1:1)的试验结果。同样按式 1 转换为动力粘度, 换算结果见表 3。

图 3 为三种水泥基浆液动力粘度系数与水泥替代量的关系曲线。可见, 当替代量比较小(<5%)时, 三种水泥基浆液的粘度都较纯水泥浆有所增大, 但随着替代量增加, 三条曲线分作两个方向发展, 水泥 - 粉煤灰浆液的粘度随着水泥替代量的增加, 粘度出现继续增大, 且在替代量小于 30%时, 粘度基本上呈线性增加, 当替代量大于 30%后, 粘度增速变缓。而水泥 - 矿渣浆液和水泥 - 粘土浆液的粘度随着水泥替代量的增加出现减小, 但替代量增加到 15%后, 浆液粘度系数基本保持不变。

粉煤灰是火力发电厂锅炉烟道中收集的粉状飞灰, 其颗粒粒径(一般为 1~50 μm)较水泥颗粒粒径(一般为 7~200 μm)小, 主要化学成分是 SiO_2 和 Al_2O_3 , 粉煤灰颗粒呈多孔型蜂窝状组织, 比表面积较大, 具有较高的吸附活性, 并且珠壁具有多孔结构, 孔隙率高达 50%~80%, 有很强的吸水性。因此, 当粉煤灰作为水泥的替代品加入到浆液内后, 吸水量增大, 颗粒间的水厚度减小, 摩擦作用增大, 从而使得浆液的流动性减小, 粘度系数增大。粉煤灰具有较高的火山灰活性。当有水存在时, 粉煤灰能与石灰起化学反应, 生成具有胶凝性能的水化产物。将粉煤灰掺入水泥浆中水泥熟料矿物的水化反应和粉煤灰反应二次水化交替进行, 相辅相成, 有利于提高结石体的强度。

与水泥颗粒相比, 矿渣粉和粘土的粒径要小, 比表面积要大。当作用掺合料加入到水泥浆中时, 颗粒周围吸附的水更多, 但矿渣和粘土是一种惰性掺合料, 基本上不会发生水化学反应, 即用于水化反应的水较少, 使得浆液中颗粒周围的隔离水层厚度增加, 相互间的摩擦作用减少, 从而浆液的粘度出现减小。

4. 结论

注浆是岩土工程加固的主要方法之一, 而浆液性能是影响注浆效果的主要因素之一。本文通过漏斗

Table 2. Viscosity data of cement fly ash (clay and slag) slurry
表 2. 水泥 - 粉煤灰(粘土、矿渣)浆液的粘度实验数据

替代量(%)	粉煤灰(s)	矿渣(s)	粘土(s)
5	19.05	17.79	18.90
10	19.48	17.77	18.98
15	20.11	17.84	19.02
20	20.50	17.90	19.05
30	23.71	18.21	19.09
40	24.01	18.43	19.16
50	24.69	18.96	19.46
60	25.98	19.88	19.95

Table 3. Dynamic viscosity of cement fly ash (clay and slag) slurry
表 3. 水泥 - 粉煤灰(粘土、矿渣)浆液的动力粘度

替代量(%)	粉煤灰(mPa·s)	矿渣(mPa·s)	粘土(mPa·s)
5	0.034646	0.034546	0.034711
10	0.035981	0.033056	0.034151
15	0.038119	0.032128	0.032589
20	0.040456	0.032131	0.032558
30	0.046182	0.032205	0.032559
40	0.046421	0.032628	0.032723
50	0.047345	0.032841	0.031724
60	0.049111	0.033927	0.032512

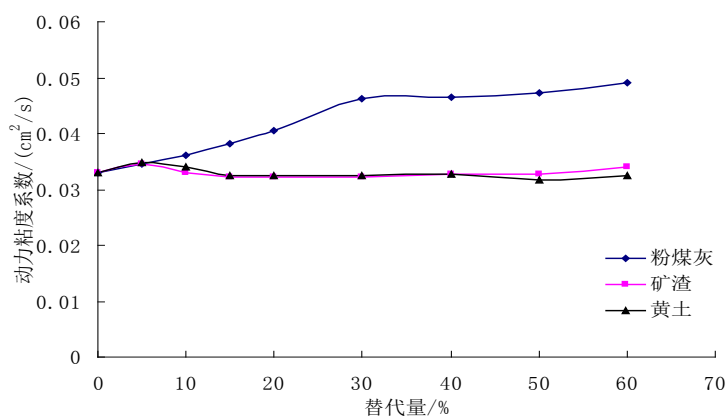


Figure 3. Relationship between the dynamic viscosity coefficient of three cement based grout and the amount of cement substitution (W:C = 1:1)

图 3. 三种水泥基浆液动力粘度系数与水泥替代量的关系(W:C = 1:1)

粘度计测试了纯水浆的粘度系数, 并探讨了采用粘土、粉煤灰和矿渣替代浆液中部分水泥量时粘度系数发展规律, 研究表明:

1) 水泥浆的动力粘度系数随着水灰比增加按幂函数规律减小。

2) 水泥 - 粉煤灰浆液的粘度随着水泥替代量的增加而增大, 当替代量小于 30% 时, 粘度基本上呈线性增加, 当替代量大于 30% 后, 粘度增加变缓; 而水泥 - 矿渣浆液和水泥 - 粘土浆液的粘度随着水泥替代量的增加而减小, 但替代量增加到 15% 后, 浆液粘度系数基本保持不变。

基金项目

浙江省交通科技项目(2013H27-6, 2016041)。

参考文献

- [1] 王星华. 黏土固化浆液在地下工程中的应用[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1998: 46-72.
- [2] 《岩土注浆理论与工程实例》编写组. 岩土注浆理论与工程实例[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [3] 张家奇, 李术才, 张霄, 等. 土石分层介质注浆扩散的试验研究[J]. 浙江大学学报(工学版), 2018, 52(5): 914-924.
- [4] 杜野, 裴向军, 黄润秋, 等. 黏度时变性注浆材料流动特性与应用研究[J]. 岩土力学, 2017, 38(12): 3498-3504.
- [5] 张聪, 阳军生, 张贵金, 等. 充填注浆浆液稳定性能试验研究与工程应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2018, 37(增1): 3604-3612.
- [6] 阮文军. 注浆扩散与浆液若干基本性能研究[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(1): 69-73.
- [7] 朱赤. 沿河浸水挡土墙墙趾注浆的施工技术[J]. 路基工程, 1997(4): 52-55.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org