

# 水泥 粘土稳定浆液的试验研究

阮文军<sup>1</sup>, 张恒志<sup>2</sup>

(1. 长春工程学院 岩土与道桥系, 长春 130021; 2. 武警黄金第三支队, 哈尔滨 150049)

**摘要:** 针对两个大型水利灌浆工程对低粘度稳定性浆液的要求, 对水泥 粘土浆液进行了优选试验和单因素对比试验, 得到了两个优选配方。研究了水灰比、减水剂加量和粘土加量三个单因素对浆液析水量、初凝时间、终凝时间的影响, 得到了各因素的适用加量范围, 阐明了一些有意义的结论。

**关键词:** 水泥粘土浆液; 正交试验; 粘度; 强度

**中图分类号:** TU472.5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-8984(2003)04-0005-03

注浆法出现于19世纪初。在200多年中, 注浆技术各个方面得到了巨大发展, 在水利水电、城市地下工程、矿井建设、交通工程、地质探矿与油气开发等诸多领域得到广泛应用。

在水利水电工程中, 越来越多地使用稳定性浆液。稳定性浆液, 是指浆液在配制完2h以后的析水率不大于5%的浆液。浆液的稳定性对大坝灌浆非常重要, 因为稳定性浆液在灌注后达到一个有限距离后即停止扩散, 从而不会造成浆液的过多流失。这不仅使结石体强度稍高(比同样条件的非稳定性浆液结石体强度高7%), 更重要的是与缝隙的粘结力大, 结石体构造致密, 抗渗流溶蚀能力强<sup>[1]</sup>。试验还证明, 非稳定性浆液结石体Ca<sup>2+</sup>溶出量比稳定性浆液结石体Ca<sup>2+</sup>溶出量大, 且Ca<sup>2+</sup>溶出稳定时间长。所以稳定性浆液作防渗帷幕体的耐久性比非稳定性浆液的要好<sup>[2]</sup>。

对浆液稳定性问题已得到的研究结论有: (1) 当水灰比W/C 0.6、屈服值 10Pa、塑性粘度 p 0.1Pa s时, 浆液为稳定性浆液, 但此时浆液流动性差; (2) W/C 0.7时, 流动性变好, 但纯水泥浆不属于稳定性浆液, 需向其中加入膨润土、粉煤灰、赤泥等掺和料使浆液具有稳定性。在水泥浆中加入膨润

土后, 使其稳定性得到很大提高。但粘土的加入不仅降低了结石体强度<sup>[3]</sup>, 而且使浆液粘度提高, 流动性受到影响。而为了降低粘度加入的减水剂却大幅度提高了浆液析水率, 造成浆液不稳定。因此, 需要在粘土加量和减水剂加量之间找到平衡点。

鉴于水泥粘土浆液理论研究的必要性, 加之该类型浆液具有诸多工程优点(如可注性好、无污染、固结体强度较高、凝胶时间易于控制, 价格便宜和施工方便), 本文结合吉林省白山、敦化两水库大坝灌浆对稳定性浆液的要求, 在浆液优选和浆液析水性、凝结时间的影响因素方面进行了较系统的研究。

## 1 试验方法

试验方法包括测定浆液的凝结时间、浆液的漏斗粘度和旋转粘度, 以及优选配方的抗压和抗折强度。其中, 抗压强度用CBR-1型承载力试验仪测定; 抗折强度用KZJ-600型电动抗折试验机测定; 旋转粘度用ZNN-2型旋转粘度仪测定; 凝结时间按照国家2001年颁布的水泥性能测试方法新标准<sup>[4]</sup>测定; 析水率按以下方法测定: 把1000ml新配水泥粘土浆液倒入量筒, 2h后测定上层析出水的体积, 即为析水量。析水量与量筒中浆液总体积(1000ml)之比, 即为浆液析水率。

## 2 水泥粘土复合浆液的正交试验及成果分析

### 2.1 正交试验法的数学原理

正交试验法的理论基础是正交拉丁方理论与群论。在工作中可用的多因素寻优工作方法, 其中正交试验法是, 在优选区内一次布置一批试验点, 通过对这批试验结果的分析, 逐步缩小优选范围从而找到较优点。科研中普遍采用正交试验法, 是因它具有如下优点是: 使用时按表格安排试验, 使用方便; 布点均衡、试验次数较少; 在正交试验法中的最好点, 虽然不一定是全面试验的最好点, 但也往往是相

收稿日期: 2003-10-28

作者简介: 阮文军(1969, 10-), 男(汉), 辽宁建平, 副教授, 在读博士

主要研究岩土工程 (0431) 5605075

当好的点。特别在只有一两个因素起主要作用时,正交试验法能保证主要因素的各种可能都不会漏掉。这点在探索性工作中很重要,其他试验方法难以做到;正交试验法提供一种分析结果(包括交互作用)的方法,结果直观,容易分析。每个试验水平都重复相同次数,可以消除部分试验误差的干扰;因其具有正交性,易于分析出各因素的主效应。

## 2.2 正交试验

本文采用四因素、三水平的  $L_9(3^4)$  正交试验表来试验复合浆液各因素作用的大小及优选配方。

表1 水泥粘土浆液正交试验结果

试验序号	试验因素及加量			浆液性能		
	水灰比(W/C)	粘土加量/%	减水剂加量/%	析水率/%	初凝时间/h	终凝时间/h
1	0.5	5	0.2	0	5.87	6.77
2	0.5	10	0.6	0	6.42	7.13
3	0.5	15	1	0	8.08	9.43
4	0.75	5	0.6	5	11.35	11.77
5	0.75	10	1	9	12.25	12.67
6	0.75	15	0.2	2	8.9	10.48
7	1	5	1	12.5	14.63	17.72
8	1	10	0.2	13.5	11.41	15.17
9	1	15	0.6	13	11.55	14.17
$K_1$	0/6.78/7.78	9.83/10.6/12.09	5.2/8.71/10.8			
$K_2$	5.3/10.8/11.64	7.5/10.03/11.66	6/9.77/11.02			
$K_3$	13/12.65/15.09	5/9.51/11.36	7.2/11.65/13.2			
R	13/5.87/7.9	4.83/1.09/0.73	2/2.94/2.47			

注:1. 粘土加量为浆液中粘土与水泥的质量比;

2. 减水剂加量为浆液中减水剂与水泥的质量比;

3.  $K_1, K_2, K_3$  为某列因素的三个相同加量所对应某种性能结果的平均值。如, 0/6.78/7.78 中的 0 是水灰比为 0.5 的三个析水率结果 (0, 0, 0) 的平均值, 6.78 是初凝时间结果 (5.87, 6.42, 8.08) 的平均值, 7.78 是终凝时间结果 (6.77, 7.13, 9.43) 的平均值。其他结果依此规则得出。

4. R 称为极差值, 是  $K_1, K_2, K_3$  对应数据中的最大值与最小值之差。如, 13/5.87/7.9 中的 13 是 0, 5.3, 13 三数据中的 13-0 所得。其他结果依此规则得出。

## 2.3 正交试验结果分析

通过分析可得出以下结论:

(1) 对析水量、初凝时间、终凝时间影响最显著的因素是水灰比。

(2) 对析水量影响最不显著的因素是减水剂; 对初凝、终凝时间影响最不显著因素是粘土。

优选配方有两个, 分别为:  $A_2B_3C_1$  和  $A_3B_3C_1$ 。为验证两个配方浆液的性能, 进行了漏斗粘度、旋转粘度、抗压强度和抗折强度试验。试验结果见表 2 和表 3。

试验结果表明, 粘度随着水灰比的增大而变小; 强度随着时间的增长而增强, 且水灰比小的强度较大。W/C 为 0.75 的浆液的抗压和抗折强度明显大于 W/C 为 1 的浆液。随着养护时间的延长, 其抗压强度呈上升的趋势。但 W/C 为 1 的浆液的粘度

这里, L 表示正交表, 9 表示完成正交表要作 9 次试验, 3 表示每个因素都有 3 个水平, 4 表示安排 4 个因素。复合浆液的组成成分及其作用为:

因素 A: 水灰比; 即以水泥浆作为主剂。

因素 B: 粘土; 由于粘土的分散性较高, 亲水性好, 因而沉淀析水性较小, 故水泥浆中加入粘土后, 使浆液的稳定性大大提高。

因素 C: 减水剂; 减水剂的主要目的是减少水的掺量, 增大浆液的流动性。

正交试验结果见表 1。

较小, 可灌性更好。

表2 优选配方浆液粘度

水灰比	漏斗粘度 /s	表观粘度 ( $\rho_A$ /cP)	塑性粘度 ( $\rho_P$ /cP)	动切力 ( $\rho_d$ /MPa)
0.75	60	54	38	16
1	24.375	22.5	21	1.5

注: 漏斗粘度用野外漏斗粘度测定, 表观粘度  $\rho_A$ 、塑性粘度  $\rho_P$  和动切力  $\rho_d$  用 ZNN-2 型旋转粘度计测定。

表3 优选配方浆液强度

龄期 /d	$A_2B_3C_1$ 浆液		$A_3B_3C_1$ 浆液	
	抗折强度 /MPa	抗压强度 /MPa	抗折强度 /MPa	抗压强度 /MPa
1	0.8	2.6	0.3	0.904
3	1.8	5.96	0.65	2.4
7	2.9	8.22	1.35	6.04

注: 因仪器额定量程所限, 表中 8.22 一值不是试样破坏值, 实际抗压强度比此值要大。

### 3 水泥粘土浆液的单因素对比试验

对比实验的原理是在正交试验优选配方基础上,固定三因素中的两个因素不变,通过改变第三因素,来研究单因素加量变化对凝结时间和析水率的影响。

#### 3.1 减水剂加量对析水率及凝结时间的影响

水灰比和粘土的加量分别固定为 0.75 和 15%,减水剂加量变化为 0%、0.2%、0.6% 和 1%。试验结果见图 1。

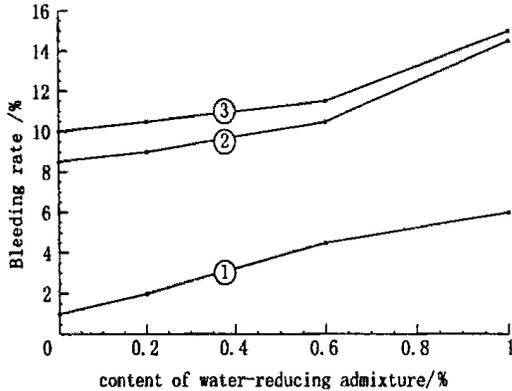


图 1 减水剂加量对凝结时间及析水率的影响

1 减水剂加量 析水率曲线;2 减水剂加量 初凝时间曲线;3 减水剂加量 终凝时间曲线

试验表明,在 0~1% 范围内,随着减水剂加量增加,析水量逐渐变大,初终凝时间变长。可进行优化配合的粘土加量范围为 0.2~0.6%。

#### 3.2 水灰比对析水率及凝结时间的影响

粘土的含量和减水剂的加量固定为 15% 和 0.2%,水灰比分别为 0.55、0.75、0.85、1。试验结果见图 2。

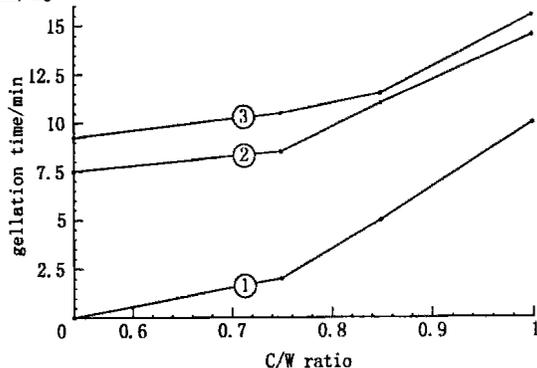


图 2 水灰比对析水率及凝结时间的影响

1 水灰比 析水率曲线;2 水灰比 初凝时间曲线;3 水灰比 终凝时间曲线

试验表明,随着水灰比增大,析水量逐渐增大,初终凝时间变长。可进行优化配合的水灰比范围为 0.

75~0.85。

#### 3.3 粘土加量对析水率及凝结时间的影响

水灰比和减水剂加量固定为 0.75 和 0.2%,粘土加量变化为 5%、10%、15%、20%。试验结果见图 3。

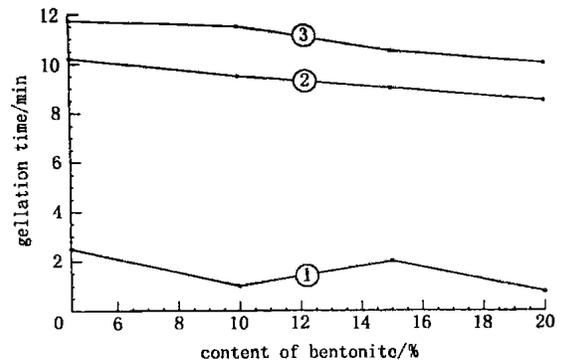


图 3 粘土加量对析水率及凝结时间的影响

1 粘土加量 析水率曲线;2 粘土加量 初凝时间曲线;3 粘土加量 终凝时间曲线

试验表明,在 5%~20% 范围内随着粘土量增加,析水量逐渐减小,初终凝时间均变短。从有关文献资料<sup>[5]</sup>可以得到相同结论。但这并不说明粘土量的增加会导致浆液结石体强度的增加。相反,粘土量的增加会导致浆液结石体强度的下降<sup>[2,5]</sup>。可进行优化配合的粘土加量范围为 5%~15%。

## 4 结论

(1) 通过正交试验和对比试验可以断定,水泥粘土浆液各组分都存在产生优化配合的加量范围,在这些范围内确定各组分加量可配制出析水率低且粘度小的稳定浆液。

(2) 正交试验表明,对析水量影响最显著的因素是水灰比;对初凝、终凝影响最显著的因素也是水灰比;对析水量影响最不显著的因素是减水剂;对初凝、终凝影响最不显著的因素是粘土。

(3) 一系列对比试验证明,在本文试验范围内,随着减水剂加量增加,析水量逐渐增加,初终凝时间变长;随着水灰比增大,析水量逐渐增大,初终凝时间变长;随着粘土量增加,析水量逐渐减小,初终凝时间均变短。

## 参考文献

- [1] 高钟璞. 国内外水利水电基础处理施工技术现状[A]. 中国水利水电基础工程局. 1993 年基础处理技术交流会论文集[C]. 北京: 水利部建设开发司, 1993. 3.
- [2] 扈竹芳. 稳定浆液的研究及其在红枫水电站堆石坝帷幕灌浆中的应用[A]. 1993 年基础处理技术交流会论文集[C]. 北京: 水利部建设开发司, 1993. 105~106.

(下转第 19 页)

(3) 右键点击取某一尺寸, 选择属性, 复制全名, 关闭属性。

(4) 切换到 Excel 表格, 在第二列中粘贴, 并在其下方表格中键入其相应的尺寸。(如图 5)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	chulunD1@草图1D2@草图1D3@草图1D4@草图1D5@草图1D6@草图1D7@草图1D8@草图1D9@草图1D10@										
2	cl1	44	1.75	40	3.14	38.04	3.51	35	3.14	9.05	
3	cl2	72	2.1	68	3.14	65	3.9	63	3.14	5.3	

图 5 Excel 表格建立

(5) 重复上述过程, 复制全名, 键入参数, 保存。

(6) 回到 SW 主程序中, 打开插入菜单选取系列零件设计表, 选择现有文件, 打开名为 Chilun 的电子表格, 在主窗口中空白处左键点击, 则系列零件自动生成。

(7) 选择设计树下的特征管理器, 则树中的齿轮为所求齿轮 2(如图 6)。



图 6 齿轮 2 轮齿特征图

## 2 结论

标准渐开线直齿圆柱齿轮的造型比较复杂, 是三维机械 CAD 设计的难点。系统完成了直齿圆柱

齿轮轮齿实体的参数化、系列化自动生成。关键性问题是寻找可用来自动生成的特征关键性尺寸。其思路和方法可以应用到其他零件的自动造型。

### 参考文献

- [1] 詹世良. SOLIDWORKS2000 训练教程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2001.
- [2] 孙恒. 机械原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [3] 王国强. 实用工程 ANSYS 应用[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1998.

## Gear s parameter and series molding

YANG Da-yi, et al.

(Dept. of Mechanical Engineering, Changchun Institute of Technology, Changchun 130012, China)

**Abstract:** Based on an example of making mechanically driven parts, this paper introduces the molding of parameters and series of gear tooth of normal involute spur gear with the help of solidworks, a three-dimension CAD software, which will be helpful to stress analysis, design and production.

**Key words:** gear; SW; parameter; molding

(上接第 7 页)

- [3] 邝建政, 曾月稳, 王杰, 等. 岩土注浆理论与工程实例[M]. 北京: 科学出版社, 2001. 24.
- [4] GB/T 1346 2001, 水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法[S].
- [5] 杨晓东. 锚固与注浆技术手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999. 319-320.
- [6] 熊厚金. 岩土工程化学[M]. 北京: 科学出版社, 2001.

## Experimental research on cement-bentonite stable grout

RUAN Wen-jun, et al.

(Dept. of Geotechnical and Road & Bridge Engineering,

Changchun Institute of Technology, Changchun 130021, China)

**Abstract:** In accordance with the requirement of two dam foundation-grouting projects, orthogonal tests and contrast tests are conducted in order to optimize cement-bentonite grout. Two types of optimal grouts are developed. In addition, the influence of water-cement ratio, water-reducing agent and bentonite on such properties as bleeding rate, initial setting time and final setting time are studied and the suitable amount of them, as well as a few important conclusions, are obtained.

**Key words:** cement-bentonite grout; orthogonal test; viscosity; strength