

文章编号:1001-1986(2005)02-0079-02

## 水泥灌浆锚杆浆液材料改性的试验研究

代国忠<sup>1,2</sup>,殷琨<sup>1</sup>,靖向党<sup>2</sup>

(1. 吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026;

2. 长春工程学院岩土与道桥工程系, 吉林 长春 130021)

**摘要:**通过室内水泥浆液正交试验, 优选出水泥灌浆锚杆的水泥外加剂类型及加量比例, 以提高锚杆固结水泥结石体的早期强度, 在确保水泥浆液的可灌性条件下, 可使水泥(2~3 d)凝期的强度提高50%~100%, 即将锚杆张拉与锁定的时间缩短到2~3 d左右, 确保边坡支护体系的安全性。

**关键词:**锚杆工程; 水泥浆液; 水泥外加剂; 锚杆极限承载力

**中图分类号:**TU432 **文献标识码:**A

## Study and test on the modification of cement grouting material for anchor engineering

DAI Guo-zhong<sup>1,2</sup>, YIN Kun<sup>1</sup>, JING Xiang-dang<sup>2</sup>

(1. College of Construction Engineering of Jilin University, Changchun 130021, China;

2. Changchun Engineering College, Changchun 130021, China)

**Abstract:** In order to greatly enhance the primary compressive strength of cement grouting liquid used for anchor engineering, through laboratory and ground testing, types and weights of cement's additive obtained optimizing. Under the condition that the cement slurry is groutable, the compressive strength of cement grouting liquid could increase 50 to 100 percent in two or three days condensing time, which would greatly enhance the construction speed of anchor engineering, timely control metamorphose of border-slope, as to insure safety of supporting system.

**Key words:** anchor engineering; cement grouting; cement's additive; bearing capacity of anchor

## 1 引言

近些年来, 水泥灌浆锚杆广泛用于高层建筑深基坑支护、岩体边坡加固等各类岩土工程中。但国内锚固工程一般都采用425标号的普通硅酸盐水泥浆液, 此种浆液凝结时间长, 锚固体早期强度低, 对于基坑工程的土层锚杆, 注浆之后往往需要7 d以上的养护时间, 其水泥结石体的抗压强度才能达到15 MPa, 此时方可进行锚杆的张拉锁定作业, 造成了基坑工程施工周期过长的问题。

针对上述问题, 决定对普通硅酸盐水泥浆液进行改性的试验研究, 以提高锚杆结石体的早期强度, 加快锚固工程施工速度, 使边坡的变形等得到及时的控制, 更好地确保支护体系的安全性<sup>[1]</sup>。

## 2 水泥外加剂的固结机理

选用425标号普通硅酸盐水泥为主剂; 选用氯化钠(NaCl)和三乙醇胺[N(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>OH)<sub>3</sub>]组合物, 或氯化钙(CaCl<sub>2</sub>)为水泥早强剂; 选用水玻璃(Na<sub>2</sub>O·nSiO<sub>2</sub>)为水泥速凝剂<sup>[2]</sup>。

## 2.1 三乙醇胺-氯化钠-水玻璃水泥浆液

**a. 氯化钠(NaCl)的作用:** NaCl与水泥水化产物Ca(OH)<sub>2</sub>作用生成CaCl<sub>2</sub>, 又因为水泥熟料中掺有一定的石膏(CaSO<sub>4</sub>), 而当铝酸三钙(C<sub>3</sub>A)在有石膏(CaSO<sub>4</sub>)和CaCl<sub>2</sub>同时存在时, CaCl<sub>2</sub>能加速C<sub>3</sub>A与CaSO<sub>4</sub>的反应, 首先生成

C<sub>3</sub>A·3CaSO<sub>4</sub>·31H<sub>2</sub>O(钙矾); 当SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>耗尽时, C<sub>3</sub>A与CaCl<sub>2</sub>·12H<sub>2</sub>O反应。这些硫酸盐和氯铝酸复盐的生成, 发生体积膨胀, 促使水泥结石体更为致密, 从而提高其早期强度。

**b. 三乙醇胺[N(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>OH)<sub>3</sub>]的作用:** 在水泥浆的碱性条件下, 三乙醇胺[N(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>OH)<sub>3</sub>]容易与Fe<sup>3+</sup>, Ti<sup>4+</sup>, Sn<sup>4+</sup>和少量Mn<sup>2+</sup>等离子形成比较稳定的络离子, 从而使水泥熟料中的铝酸三钙(C<sub>3</sub>A)、铁铝酸四钙(C<sub>4</sub>AF)及硅酸三钙(C<sub>3</sub>S)水化速率及水化物的结石过程发生变化, 但若碱性过高, 以上这些高价金属离子会发生水解, 则三乙醇胺就不容易再与它们生成络离子。同时三乙醇胺还能与水泥水化产物形成复杂的化合物, 能加速C<sub>3</sub>A与石膏之间形成钙矾石的过程。

**c. 水玻璃(Na<sub>2</sub>O·nSiO<sub>2</sub>)的作用:** 水玻璃加入后会立刻与浆液中已生成的氢氧化钙和氯化钙反应, 生成具有一定强度的凝胶体(水化硅酸钙和二氧化硅); 水玻璃与氢氧化钙之间反应较快, 随着反应过程的进行, 胶质体越来越多, 强度也越来越高。所以, 水泥-水玻璃浆液的初期强度主要是水玻璃与氢氧化钙的反应起主要作用, 而后期强度主要是水泥本身水化起主要作用。此外, 水泥水化生成的氢氧化钙总数量是相对固定的。因此, 水玻璃与水泥应有一个合适的配合比<sup>[3]</sup>。

## 2.2 氯化钙-水玻璃水泥浆液

**a. 氯化钙(CaCl<sub>2</sub>)**首先与水泥熟料矿物中的铝酸三钙(C<sub>3</sub>A)反应, 生成不溶性复盐——水化氯铝酸钙(C<sub>3</sub>A·CaCl<sub>2</sub>·

收稿日期:2004-10-24

**作者简介:**代国忠(1963—), 男, 吉林长春人, 长春工程学院岩土与道桥工程系教授, 在读博士, 从事岩土与基础工程专业教学、科研和新技术开发等工作。

表 1 第一批正交试验因素位级表

Table 1 The first level factor for normal-law test

因素	水灰比	三乙醇胺/%	氯化钠/%	水玻璃/%
位级 1	0.55	0.1	1	3
位级 2	0.7	0.2	2	5

表 2 第二批正交试验因素位级表

Table 2 The second level factor for normal-law test

因素	水灰比	三乙醇胺 + 氯化钠 / %	水玻璃 / %
位级 1	0.55	0.1 + 1	3
位级 2	0.65	0.2 + 2	4

表 3 水泥浆液改性试验一组数据

Table 3 A group of test data on the modification of cement grouting material

序号	水灰比(W/C)	三乙醇胺/%	氯化钠/%	水玻璃/%	可泵期 (h:min)	初凝 (h:min)	终凝 (h:min)	抗压强度/MPa		
								48 h	72 h	168 h
1	0.55	0.1	1	3	1:15	3:38	4:23	12.3	16.5	19.8
2	0.55	0.2	2	3	1:30	4:05	5:18	15.6	17.4	20.0
3	0.55	0.2	1	5	0:20	2:15	4:45	17.4	18.2	22.5
4	0.65	0.1	1	4	0:50	4:00	4:45	9.2	10.2	15.1
5	0.65	0.2	2	3	1:20	4:05	5:00	11.8	14.5	18.2
6	0.7	0.1	2	3	2:08	4:03	5:24	7.6	10.1	12.0
7	0.55				2:30	5:10	7:25	7.5	9.8	15.3
8	0.65				3:28	5:45	7:45	4.2	6.4	8.9

注:①水灰比指水与水泥的质量比;②三乙醇胺、水玻璃、氯化钠的加量百分比指与水泥的质量比。

10H<sub>2</sub>O),形成长纤维状结晶,并相互交叉结合,使它们有更大的沉淀,结晶析出来的趋势增强,这些水化物的晶核产生及晶体成长过程的加速进行,使水泥早期强度提高。同时,氯化钙能加速 C<sub>3</sub>A 与石膏的反应,可提前在水泥的水化初期就生成 C<sub>3</sub>A·CaSO<sub>4</sub>·12H<sub>2</sub>O 等固溶体,使早期的不溶性水化物增多,也明显地提高了水泥的早期强度。

b. 氯化钙能提高水泥浆液相 Ca(OH)<sub>2</sub> 的浓度,使聚集在水泥颗粒表面的 Ca(OH)<sub>2</sub> 胶体更多地溶解,促使水分子更容易与水泥颗粒未水化部分的接触,从而加速水泥的水化速度。水玻璃速凝的作用同前。

### 3 试验方案

试验分批进行,根据前一批正交试验获取的试验数据结果设计下一批正交试验,每批试验的每组试样不少于 9 个。限于篇幅,本文仅对用三乙醇胺等外加剂改性的水泥浆液试验情况加以介绍。

试验选用的水玻璃为工业品,其波美度 Be°=370,模数=2.7~3.0;三乙醇胺为分析醇,其密度为 1.12 g/ml;氯化钠为食用盐。试验时先将氯化钠、三乙醇胺、水玻璃等用水加以稀释或溶解(其用水量占水泥浆的总用水量)。试验时应控制好外加剂加入速度,每组试验的浆液搅拌时间宜控制在 5~8 min。第一批浆液采用 L<sub>8</sub>(2<sup>4</sup>) 正交试验表,试验因素位级见表 1。锚固工程水泥浆液试验主要考核的性能指标是水泥浆可泵期,初、终凝时间,各凝期的抗压强度,以及强度增长规律分析等;以水泥浆 48 h 的抗压强度作为试验产率,对第一批正交试验结果进行评估,并在此基础上确定第二批正交试验方案。第二批正交试验将三乙醇胺与氯化钠看作一个影响因素,试验采用 L<sub>4</sub>(2<sup>3</sup>) 正交试验表,试验因素位级见表 2。

试验共做了 16 批 150 多组,包括改性前(指不加任何外加剂)的普通水泥浆液试验。试验取得了非常满意的结果,取有代表性的 8 个试样的试验数据结果见表 3。

### 4 试验结果分析

a. 水灰比是影响实验结果最重要的因素,其次为三乙醇胺和氯化钠,水玻璃影响最小。

b. 水玻璃加量不超过 4% 为宜,否则,浆液的可泵期太短(如 3 号试样仅为 20 min),降低了浆液流动度,造成灌浆作

业困难,并且使水泥结石体后期强度增长过慢<sup>[4]</sup>。

c. 加三乙醇胺等外加剂的各组配方水泥浆液初、终凝时间,比不加外加剂的要短,且初、终凝时间间隔短(均在 1 h 左右),这就能使地下水环境中的不利灌浆条件有所缓解。

d. 水灰比相同情况下,改性后水泥浆液比改性前的水泥浆液早期抗压强度提高显著,如水灰比同为 0.55 的 2 号试样,其 48 h 抗压强度比 7 号试样提高了 110%。

e. 采用氯化钙改性的水泥浆液可泵期均大于 45 min,相同水灰比情况下,其早期抗压强度亦有较大提高,平均提高 60% 左右,但不如三乙醇胺类水泥浆液提高幅度大,后者平均提高达 80% 以上。

f. 对于锚固注浆工程,在满足灌浆作业可泵期的前提下,浆液终凝时间不超过 5 h,且 48~72 h 的结石体单向抗压强度设计值达到 10 MPa 以上为宜,以确保锚杆在实施常压(或高压)灌浆后的 2~3 d 就能进行张拉锁定作业;如有特殊需要,通过优化设计,可使灌浆作业结束之后 2 h 的锚杆抗拔力达到 150 kN<sup>[5]</sup>。

g. 考虑到浆液配制的经济成本及诸多因素,推荐使用的两类改性水泥浆液比较适用的配方如下:

三乙醇胺-氯化钠-水玻璃水泥浆液

水灰比:0.55~0.65;

三乙醇胺+氯化钠:(0.1%~0.2%+1%~2%);

水玻璃:2.5%~3.5%。

氯化钙-水玻璃水泥浆液

水灰比:0.55~0.60;

氯化钙:2%~3%;

水玻璃:3%~4%。

### 参考文献

- [1] 卢肇钧,吴肖茗.锚杆技术及其应用[C].卢肇钧院士科技论文选集.北京:中国建筑工业出版社,1985.
- [2] 陈文豹等.混凝土外加剂及其在工程中的应用[M].北京:煤炭工业出版社,1998.
- [3] 梁乃兴,陈忠明.注浆用水泥浆体性能研究[J].建筑材料学报,2000,3(3):275~278.
- [4] 郭汉,詹锦泉等.锚杆劈裂注浆试验研究[J].煤炭学报,1999,24(5):471~476.
- [5] 程良奎,岩土锚固的现状与发展[J].北京:土木工程学报,2001,34(3):7~12.