

粘土固化浆液固结过程的 SEM 研究^{*}

SEM study of hardening processes of clay-hardening grouts

王星华

(长沙铁道学院隧道与地下工程研究所, 410075)

文 摘 分析了粘土固化浆液中各组分的水化反应过程以及固化剂的催化机理, 用 SEM 方法研究了粘土固化浆液固结过程中的中间产物和反应产物的微观结构, 证实了固化剂的催化机理。在此基础上, 提出了粘土固化浆液的固结模型。

关键词 SEM, 固结机理, 粘土固化浆液。

中图法分类号 TU 867

作者简介 王星华, 男, 1957 年生, 教授。1995 年在中南工业大学获工学博士学位, 1995 年至 1997 年在西南交通大学岩土所做博士后, 现为长沙铁道学院研究生处副处长兼隧道与地下工程研究所所长。主要从事地下工程与岩土工程方面的研究工作。

Wang Xinghua

(Institute of Tunnel and Underground Engineering, Changsha Railway University, 410075)

Abstract The hydrous reaction processes of each component of clay-hardening grouts (CHG) and catalytic mechanics of the hardening agent in the CHG have been studied and analyzed in the paper. The microstructure of the reaction products and intermediate products in hardening process of CHG are studied with scanning electron microscopy (SEM). The catalytic mechanics of hardening agent has been proved. On the basis of the analysis and study, the hardening model of clay-hardening grouts is proposed.

Key words scanning electron microscopy (SEM), hardening mechanics, clay-hardening grouts (CHG).

1 引 言

向粘土泥浆中加入水泥与固化剂之后, 就成为粘土固化浆液, 其内部立即发生化学反应, 随着时间的延长, 这些化学反应不断进行, 使得浆液凝固直至固结成结石体。在固结过程中浆液内部发生了何种化学反应, 生成了什么样的反应产物; 固结机理怎样等, 现在人们都还不很清楚, 还值得人们进行深入、细致的研究。本文借助现代测试技术——扫描电子显微镜 (SEM) 研究粘土固化浆液固结过程中的中间产物和反应产物的微观结构, 并根据研究结果提出粘土固化浆液的固结机理模型。

2 试验技术

2.1 试验材料

本研究所用粘土为四川名山粘土矿生产的粘土块, 粘土粒度较细, 重量 50% 的平均粒径约为 $10.1\mu\text{m}$, 比表面积为 $6103.9\text{cm}^2/\text{g}$, 主要成份为: 高岭石、蒙脱石、埃洛石、奥长石、伊利石等。所用水泥为四川峨嵋水泥厂生产的 #425 普通硅酸盐水泥。固化剂 B 为自己配制, 化学成分为一些无机盐 (中国专利号 No. 96117823.X), 其中: 铝酸盐 30% ~ 50%; 硫酸盐 5% ~ 20%; 硅酸盐 5% ~ 15%; 氧化硅 1% ~ 10%; 氧化钙 1% ~ 10% 等。

2.2 试样的制备

为使试验条件尽可能一致, 首先将粘土浸入水中浸泡两天以上, 进行预水化, 然后用搅拌机搅拌一天以上, 并调节其漏斗粘度值达到要求, 按比例 (水泥重量与粘土泥浆体积百分比) 加入水泥并搅拌 5min 就制成了粘土-水泥浆, 再按比例 (固化剂重量与粘土水泥浆体积百分比) 加入固化剂 B 与水玻璃 (水玻璃体积与粘土水泥浆体积百分比), 然后搅拌十秒钟左右即制成粘土固化浆液。

用不同配比的粘土固化浆液制成标准试体 ($40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 200\text{mm}$), 然后在水中养护至不同龄期进行测试。测试前, 首先将试样人工折断, 然后用无水酒精终止其水化过程, 送入真空干燥箱中烘干去水分, 最后在样品断口表面喷涂一层金属铂, 即为 SEM 样品。

本项试验的有关试验技术可详见参考文献 [1]。

3 粘土固化浆液固结机理研究

粘土固化浆液由粘土、水泥、水玻璃 (固化剂 A)、固化剂 B 与水组成, 在浆液中发生的化学反应必将与水泥的水化反应、水泥与水玻璃的反应、水泥与粘土的反应

^{*} 人事部博士后科研基金 (批准文号: 中博基 [1996] 2 号) 资助项目。

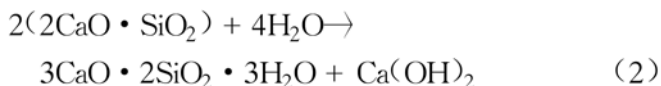
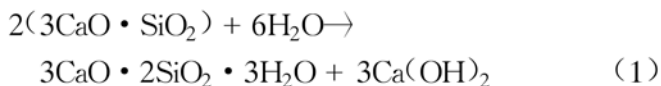
到稿日期: 1998-03-24.

以及水玻璃与粘土的反应有关,这些反应组成了粘土固化浆液的一些基本反应,但由于又加有固化剂 B,故粘土固化浆液中发生的化学反应又与以上反应有所不同。

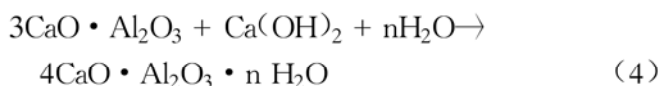
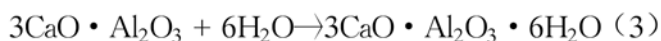
3.1 粘土固化浆液的水化反应过程

(1) 水泥的水化反应过程^[2,3]

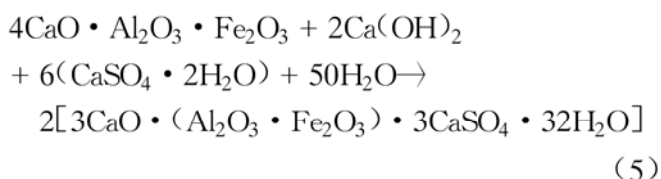
水泥中的硅酸三钙、硅酸二钙、铝酸三钙和铁铝酸四钙等与水发生如下水化反应:



上式是在常温条件下的反应式;在粘土固化浆液配比条件下(高碱)以及常温时 C_3A 的水化产物为水化铝酸四钙,但其很不稳定,易转化为 C_3AH_6 ,所以 C_3A 的水化反应式一般写如下式:



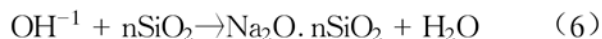
由于固化剂 B 中含有硫酸盐,故在常温条件下铁铝酸四钙的水化反应式为



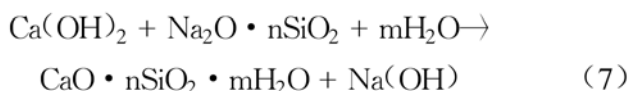
在以上反应式中,水化速度大小的顺序为(式(3))>(式(1))>(式(5))>(式(2));各反应的强度增长速度顺序为(式(1))>(式(5))>(式(2))>(式(3))。

(2) 固化剂 B 的催化反应

当固化剂 B 加入到粘土水泥浆体系后,固化剂 B 中的无机盐首先溶解于水中生成大量的铝酸根离子、硫酸根离子及硅酸根离子;氧化钙也发生水化作用,生成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,生成的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 又为式(5)的进行提供了充分条件,加快了铁铝酸四钙的水化反应; $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶解后生成的 Ca^{+2} 和 OH^{-1} 很快就使溶液处于饱和状态,同时其与铝酸根、硫酸根、硅酸根等起反应,生成水化铝酸三钙,硫酸钙与水化硅酸钙结晶产物,并溶解部分氧化硅,生成硅酸钠(因固化剂 B 中含有硅酸盐)

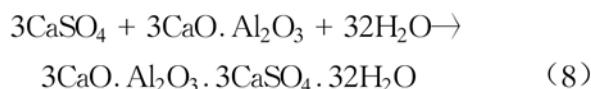


生成的硅酸钠与体系中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 反应(式 7),生成有一定强度的凝胶体——水化硅酸钙



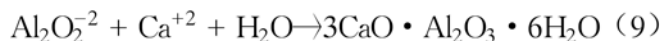
所生成的硫酸钙在水溶液中的存在降低了 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的溶解度,促使 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 晶体加快生成,并促使式

(1)、式(2)与式(4)向右边加快进行,并且硫酸钙与铝酸三钙一起与水发生下述水化反应:

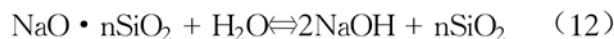


这种反应迅速,反应结果把大量的自由水以结晶形式固定下来,使体系中自由水大大减少。

但由于固化剂中氧化钙含量较少(1%~10%)以及在加入固化剂之前就加入了水泥,水泥中的熟料矿物已经开始进行水化反应,生成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,而 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶解后的产物 Ca^{+2} 被固化剂中的铝酸根、硫酸根、硅酸根结合,生成水化铝酸三钙,硫酸钙与水化硅酸钙,从而降低了溶液中 Ca^{+2} 的浓度,加快了水泥熟料矿物的水化(式(9),(10),(11))。



(3) 固化剂 A(水玻璃)的催化反应过程



当水玻璃最后加入时,水玻璃马上水解(式(12)),但这是一个可逆反应,而固化剂 B 中的无定形氧化硅促成反应向左进行,生成更多的硅酸钠,硅酸钠则与溶液的氢氧化钙反应(式(7)),生成有一定强度的凝胶体——水化硅酸钙。此时的无定形氧化硅限制了水玻璃的水解,促使其向生成水化硅酸钙方向反应,从而加快了反应速度;同时,细小的无定形氧化硅在水泥颗粒的表面起到晶核的作用,加快了水化反应物晶体的生成。而由固化剂 B 中的铝酸根、硫酸根与硅酸根离子生成的水化铝酸三钙,硫酸钙与水化硅酸钙的结晶体成为后续反应物晶体生长的晶核,从而加快了各种水化产物晶体的生长,使得结石体强度增长较快,浆液凝固加快,初凝时间变短。

3.2 粘土颗粒与水泥及水化产物的作用

在粘土固化浆液中,由于水泥的水解和水化反应完全在具有一定活性的介质——土的围绕下进行,所以当水泥的各种水化产物产生的同时,这些水化产物一部分自身继续硬化,形成水泥水化物的骨架,另一部分则与周围具有一定活性的粘土颗粒发生反应。反应方式主要为离子交换及团粒化作用和凝硬反应,因而构成一个复杂的物理化学反应过程。

在粘土固化浆液中粘土颗粒得到分散后,在水中分散成片状颗粒,而这些颗粒的板面与边缘带有不同的电荷,在一个较大的 pH 值范围内,边缘往往带有正电荷,而板面总是带负电,且板面所带的负电荷在数值上远大于边缘所带的正电荷^[4],这样,边和面将相互吸

引,形成棚架结构(图1)^[5,6,7]。而所加入的水泥颗粒相对于粘土颗粒要粗些,并且水泥颗粒表面带有正电荷,与带有负电荷的片状粘土颗粒的面相遇后,相互发生静电吸引,破坏部分棚架结构,使片状粘土颗粒的面吸向水泥颗粒,形成以水泥颗粒为中心的粘土水泥球^[5,6](图2)。由于水泥加量较少,在浆液体系中棚架结构不可能全部被破坏掉,因此,是棚架结构与粘土水泥球共存。在这些粘土水泥球中,水泥颗粒发生水化反应时所生成的水化产物是从水泥的颗粒表面开始生成的,并向外扩散,继而充填粘土颗粒之间的空隙,形成强度。

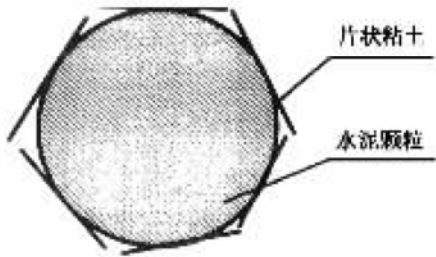


图1 粘土-水泥球结构示意图

Fig.1 Sketch of structure of clay-cement sphere



图2 棚架结构示意图

Fig.2 Sketch of bridge structure of clay mud

粘土颗粒的表面除了能与带正电荷的水泥颗粒相吸附外,同样也能和水泥水化所生成的水化产物——氢氧化钙中的钙离子 Ca^{+2} 进行当量吸附,使分散的粘土颗粒形成较大的团粒,从而使浆液体系的强度提高。水泥水化生成的凝胶粒子,由于其比表面积比水泥颗粒大很多,因此产生很大的表面能,具有强烈的吸附活性,能与较大的土团粒进一步结合起来,形成团粒结构,并封闭各土团之间的空隙,形成整体的联结。

3.3 粘土固化浆液固结过程的 SEM 研究

粘土固化浆液在加入水泥、固化剂 B 与固化剂 A (水玻璃)后立即开始发生水化反应,但由于粘土在其中占主要成份(达 30%~50%),而水化反应主要是水泥的水化反应,水泥所占比例较少(仅 5%~20%),所以发生的水化反应要比纯水泥浆的水化反应要慢;同时,由于所加入的固化剂 B 中的铝酸盐、硫酸盐、硅酸盐与氧化钙等首先起反应,在粘土颗粒表面生成一些

晶核,促使以后的水化产物结晶速度加快,图3为1d龄期粘土固化浆液结石体断口 SEM 照片,从照片可清楚看到小颗粒的晶核存在,以及晶核上长出的粗针状晶芽;图中小颗粒为水化氧化钙凝胶,粗针状晶体为钙矾石;从照片上还可见粘土固化浆液结石体比较疏松,在粘土和水泥颗粒的周围开始生成一些凝胶体。

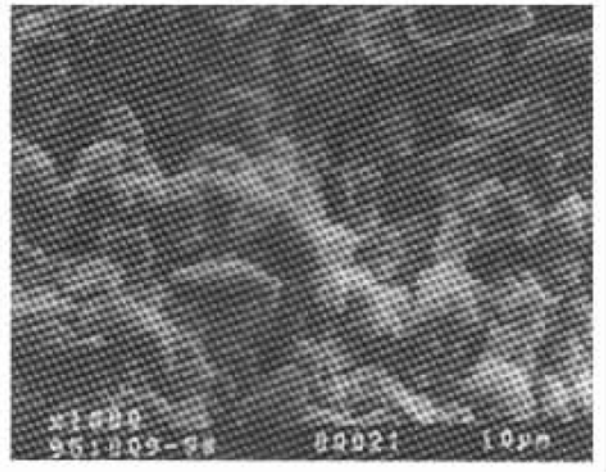


图3 粘土固化浆液结石体断口 SEM 照片($\times 1000$, 1d, 泥浆粘度 67.8s, 水泥 15%, 固化剂 A 7%, 固化剂 B 5%)

Fig.3 SEM picture of fracture of CHG($\times 1000$, 1 day, with viscosity of mud 67.8s, cement 15%, HA A 7% and HA B 5%)



图4 粘土固化浆液结石体断口 SEM 照片($\times 1000$, 3d, 泥浆粘度 67.8s, 水泥 5%, 固化剂 A 1%, 固化剂 B 5%)

Fig.4 SEM picture of fracture of CHG($\times 1000$, 3 day, with viscosity of mud 67.8s, cement 5%, HA A 1% and HA B 5%)

随着时间的延长,水化反应的继续,水泥各成分都开始水化,生成的水化产物增多。龄期为 3d 时,水化产物主要是以粗针状的钙矾石为主,但其晶体明显要比 1d 期的大(图4);同时也开始出现一些纤维状或细针状的结晶体(水化硅酸钙)(图5)以及皱泊状的 C-S-H 凝胶体(花朵状凝胶体,图6);薄叶片状的铁铝酸四钙结晶体也开始出现(图7)。在粘土与水泥颗粒的周围还存在许多凝胶体,并且这些水化产物开始从粘土和水泥颗粒的表面向四周的空隙生长。

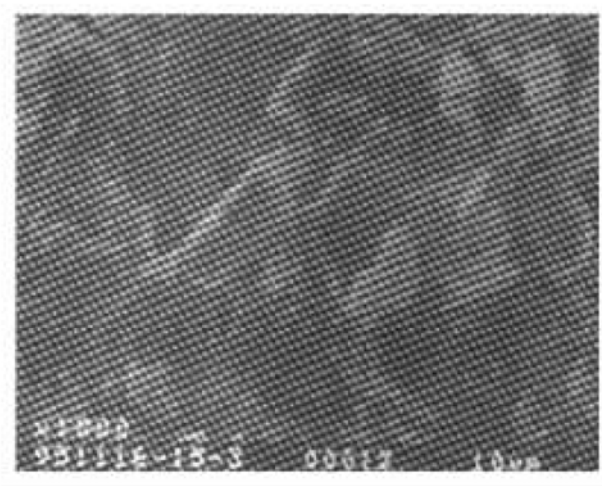


图 5 细纤维状结晶体 SEM 照片($\times 1000$, 3d, 泥浆粘度 67.8s, 水泥 15%, 固化剂 A 3%, 固化剂 B 10%)

Fig.5 SEM picture of fine fiber crystal($\times 1000$, 3 day, with viscosity of mud 67.8s, cement 15%, HA A 3% and HA B 10%)



图 8 7 天期粘土固化浆液结石体断口 SEM 照片($\times 1000$, 泥浆粘度 67.8s, 水泥 5%, 固化剂 A 5%, 固化剂 B 10%)

Fig.8 SEM picture of fracture of time CHG($\times 1000$, 7 day, with viscosity of mud 67.8s, cement 5%, HA A 5% and HA B 10%)

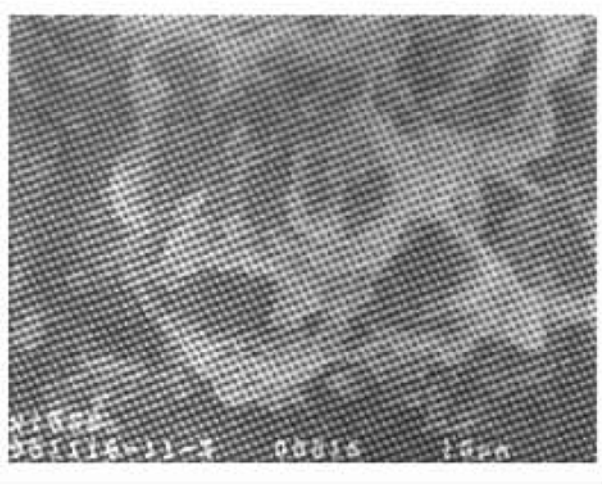


图 6 花朵状水化产物 SEM 照片($\times 1500$, 3d, 泥浆粘度 67.8s, 水泥 5%, 固化剂 A 1%, 固化剂 B 5%)

Fig.6 SEM picture of petal-like hydrate($\times 1500$, 3 day, with viscosity of mud 67.8s, cement 5%, HA A 1% and HA B 5%)

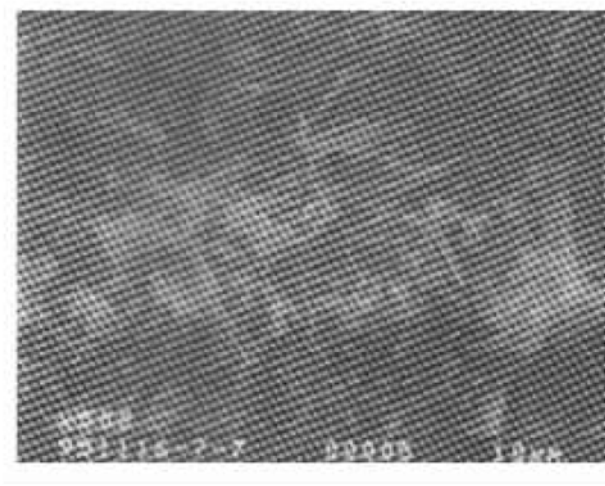


图 9 长细纤维状水化产物 SEM 照片($\times 1500$, 7d, 泥浆粘度 67.8s, 水泥 15%, 固化剂 A 5%, 固化剂 B 5%)

Fig.9 SEM picture of long-fine fiber hydrate($\times 1500$, 7 day, with viscosity of mud 67.8s, cement 15%, HA A 5% and HA B 5%)

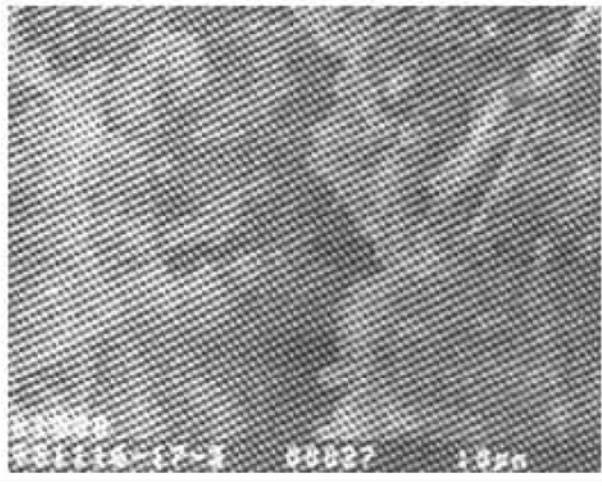


图 7 薄叶片状水化产物 SEM 照片($\times 1500$, 3d, 泥浆粘度 67.8s, 水泥 10%, 固化剂 A 3%, 固化剂 B 15%)

Fig.7 SEM picture of thin leaf hydrate($\times 1500$, 3 day, with viscosity of mud 67.8s, cement 10%, HA A 3% and HA B 15%)

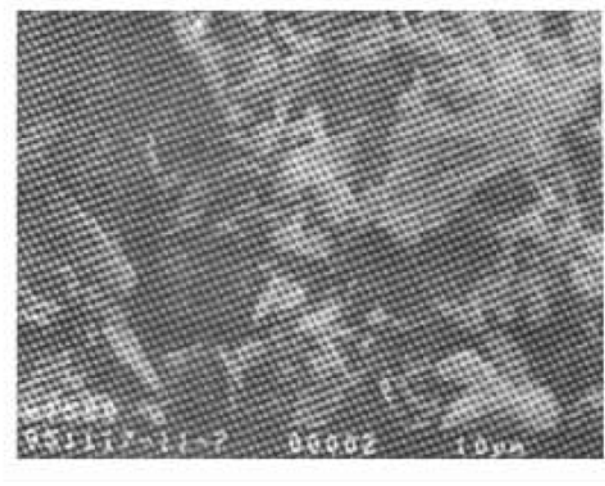


图 10 钙矾石结晶体 SEM 照片($\times 1500$, 7d, 泥浆粘度 67.8s, 水泥 5%, 固化剂 A 1%, 固化剂 B 5%)

Fig.10 SEM picture of ettringite crystal($\times 1500$, 7 day, with viscosity of mud 67.8s, cement 5%, HA A 1% and HA B 5%)

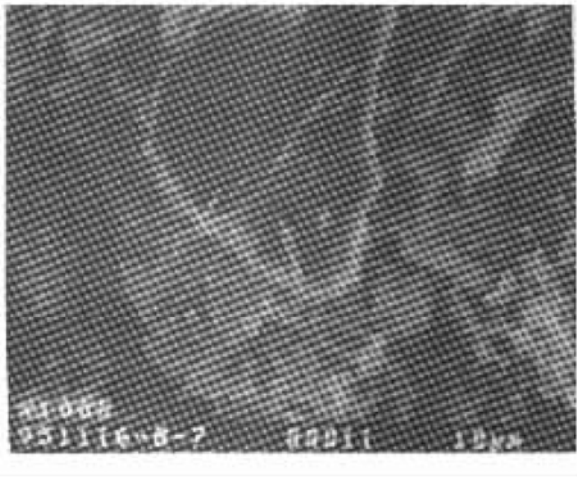


图 11 禾束状水化产物 SEM 照片($\times 1000$, 7d, 泥浆粘度 67.8s, 水泥 15%, 固化剂 A 7%, 固化剂 B 5%)

Fig. 11 SEM picture of straw hydrate($\times 1000$, 7 day, with viscosity of mud 67.8s, cement 15%, HA A 7% and HA B 5%)



图 12 穿插在一起的长纤维结晶体 SEM 照片($\times 1000$, 28d, 泥浆粘度 67.8s, 水泥 10%, 固化剂 A 3%, 固化剂 B 加量 15%)

Fig. 12 SEM picture of interpenetration crystal of long-fine fiber ($\times 1000$, 28 day, with viscosity of mud 67.8s, cement 10%, HA A 3% and HA B 5%)

图 8 为 7d 龄期粘土固化浆液结石体断口照片, 可看出粘土颗粒周围的凝胶体明显增多; 从图 9 则可看到长细纤维状结晶体(水化硅酸钙结晶体)明显增加, 并从空洞中以及粘土颗粒表面长出; 托勃莫来石也开始大量生成(图 10); C_4AF 的禾束状组织的水化产物同时也出现(图 11); 28d 后, 水化产物增多, 长细纤维与凝胶体小颗粒状的水化硅酸钙开始相互穿插在一起, 并且细纤维也变粗(图 12), 从图 12 可清楚看到细纤维上“长”出一些小颗粒水化物, 从凝胶体中也“长”出长细纤维来, 与前面的照片进行比较, 可知胶凝态水化物与小颗粒状水化产物明显增多(图 13)并充填于结石体的空隙中, 形成粘土固化浆液骨架结构, 对粘土固化浆液结石体强度起决定性作用; C_4AF 的禾束状

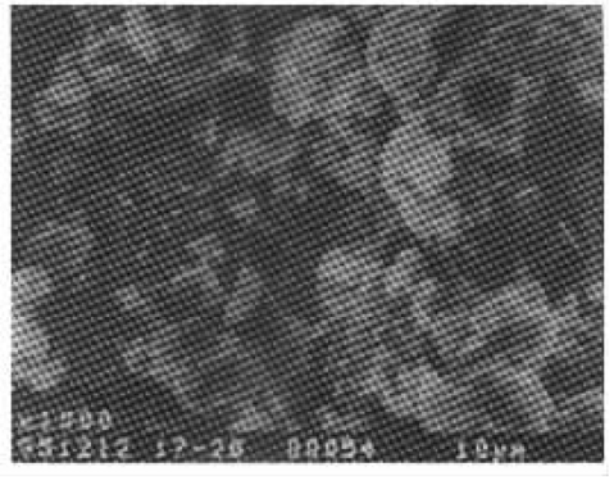


图 13 凝胶体 SEM 照片($\times 1000$, 28d, 泥浆粘度 67.8s, 水泥 10%, 固化剂 A 3%, 固化剂 B 15%)

Fig. 13 SEM picture of CHG gel($\times 1000$, 28 day, with viscosity of mud 67.8s, cement 10%, HA A 3% and HA B 15%)



图 14 禾束状水化产物 SEM 照片($\times 1500$, 28d, 泥浆粘度 67.8s, 水泥 10%, 固化剂 A 3%, 固化剂 B 5%)

Fig. 14 SEM picture of straw hydrate($\times 1500$, 28 day, with viscosity of mud 67.8s, cement 10%, HA A 3% and HA B 5%)

组织的水化产物也开始变大、变粗(图 14)。

从以上照片也可看出: 粘土固化浆液结石体结构比较松散, 空洞比较多, 所产生的水化产物不能完全将这些松散的粘土颗粒胶结起来并充填满这些空洞, 所以粘土固化浆液结石体的强度比较低。随着水泥加量的增加, 水泥水化产物充填这些空隙的程度也随之增大, 因此, 其强度也随着水泥加量的增加而增大。

3.4 粘土固化浆液结石体强度特征

粘土固化浆液结石体的强度随着时间的延长、水化深度的进行而不断增加(见表 1)(表中强度值均为无侧限单轴抗压强度值); 各种添加剂也将影响到浆液结石体强度增长的规律。水泥加量越大, 所生成的水化产物将越多, 因此浆液的强度也就越大(表 2); 固化剂 A 的加入提高了水泥的水化反应速度, 但其加量有一最佳值, 过多过少均将使水化反应速度降低^[8,9,10],

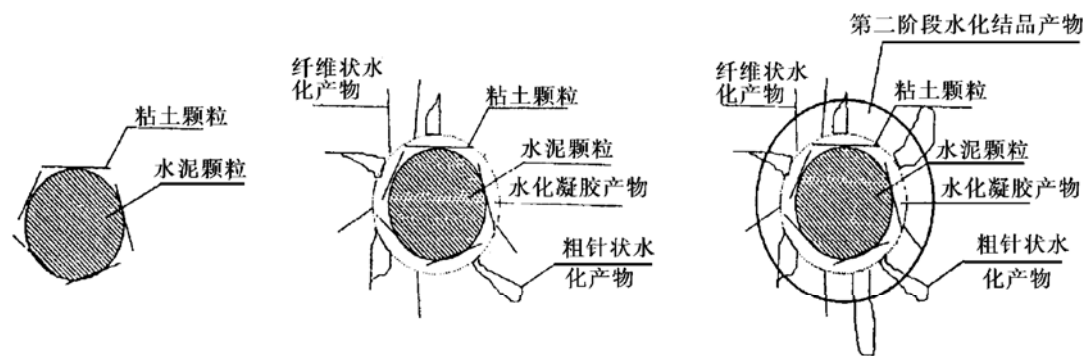


图 15 粘土固化浆液固结过程模型示意图

Fig. 15 Sketch of model of hardening process of CHG

最佳值为 3% 左右(表 3); 固化剂 B 的过量加入使得水泥的水化反应有降低的可能, 从表 4 可知: 随着固化剂 B 加量的增加, 浆液结石体强度随之而降低。但是, 固化剂 B 是作为水泥水化反应的催化剂而加入的, 如果不加入固化剂 B, 粘土固化浆液的凝结时间将很长, 强度增长也半径缓慢, 加入固化剂 B 之后, 固化剂 B 与水泥、粘土、水的相互作用从而提高了水泥的水化反应速度, 但加量应控制在一定范围之内, 从试验结果来看, 固化剂 B 的加量最好控制在 5% 以下。

表 1 粘土固化浆液结石体强度特性(q_u , kPa)

Table 1 Strength properties of CHG(q_u , kPa)

样品号	龄 期(d)					
	62	1	3	7	14	32
# 29	27	110.6	210.8	279.4	373.5	504.7
# 35	86.7	133.0	193.6	266.2	340.5	504.4

注: 泥浆粘度 67.8s, 水泥 15%, 固化剂 B 15%; # 29 样品固化剂 A 1%; # 35 固化剂 A 5%。

表 2 水泥加量对强度的影响(q_u , kPa)

Table 2 Effect of cement amount (q_u , kPa)

固化剂 A (%)	水泥加量 (%)		
	5	10	15
1	25.2	101.6	215.1
3	7.9	143.2	354.0

注: 龄期 7d, 固化剂 B 加量 5%, 泥浆粘度 67.8s。

表 3 固化剂 A 加量对强度的影响(q_u , kPa)

Table 3 Effects of HA A amount(q_u , kPa)

龄期 (d)	固化剂 A 加量 (%)		
	1	3	5
7	212.2	272.9	226.3
14	321.0	372.7	283.3
32	336.8	559.2	390.9

注: 水泥 15%, 固化剂 B 10%, 泥浆粘度 67.8s。

表 4 固化剂 B 加量对强度的影响(q_u , kPa)

Table 4 Effects of HA B amount(q_u , kPa)

龄期 (d)	固化剂 B 加量 (%)		
	5	10	15
1	185.0	115.0	86.7
3	227.5	174.5	133.0
7	364.1	226.3	193.6
32	580.9	390.9	340.5

注: 水泥 15%, 固化剂 A 5%, 泥浆粘度 67.8s。

3.5 粘土固化浆液固结模型^[1]

从以上分析可画出粘土固化浆液固结过程模型图(图 15), 并可得出粘土固化浆液固结过程的二个阶段的反应过程以及固化剂 A, B 所起作用都是和水泥的水化过程直接有关的结论。

在第一阶段: 粘土固化浆液加入水泥后破坏了泥浆体系中原来的棚架结构, 放出部分自由水, 这些自由水立即与水泥颗粒表面发生水化反应, 其产物是以极细的固体分散在水中, 同时部分固体在水中溶解, 产生大量的离子(如 Ca^{+2})使粘土颗粒产生凝聚, 颗粒变粗, 浆液开始变稠。然后, 水泥颗粒又露出新的表面继续与水作用, 直到水泥颗粒周围的液体成为饱和溶液为止。而加入的固化剂 A, B 两者又加快了水泥颗粒表面的溶解作用, 并促进水化物的结晶。溶液达到饱和后, 水泥与水继续作用的产物不再溶解, 而是以极细的固体颗粒分散在溶液中形成不定性胶体, 其中部分极细颗粒依附在氧化硅的颗粒表面而生长起来; 部分不定形胶体沉积在聚集的粘土颗粒表面, 将粘土颗粒胶结起来, 形成部分强度。水化作用的继续, 新的胶粒不断增加, 游离的自由水不断减少, 浆液开始具有部分强度。

在第二阶段, 水化后的胶体不稳定, 氢氧化钙、水化铝酸钙与水化铁铝酸钙的凝胶体在氧化硅颗粒的作用下, 逐渐转为结晶, 并与胶体紧密结合起来, 向粘土颗粒之间的空隙充填, 形成具有一定强度的水泥石。

随着水化时间的延长,水泥颗粒内部未水化部分继续水化,晶体逐渐增长并相互穿插,充填粘土颗粒之间的空隙,结果结石体强度与胶结力不断增大。

4 结 论

(1)粘土固化浆液的水化固结过程基本上与水泥水化过程相似,但由于加有大量的粘土及固化剂 A 和 B,又有一些不相似的地方,主要在于固化剂 B 中无机盐所起的晶核与催化作用,使得水泥水化速度加快,强度上升较快;

(2)粘土固化浆液固结过程分两阶段:第一阶段是水泥的水化反应,吸收体系中大量的自由水,生成不定形胶体,并在粘土颗粒的表面沉积下来;第二阶段是水化产物不稳定,逐步转变为晶体,晶体长大,相互穿插,充填于粘土颗粒的空隙之间,使结石体强度不断增长。

参 考 文 献

- 1 王星华. 粘土固化浆液固结机理研究——及其在广州地铁杨体区间隧道含水沙层注浆、堵水、固结、开挖的应用研究. 总结报告, 成都:西南交通大学, 1997.
- 2 李明 F M 著. 水泥和混凝土化学(第 3 版). 唐明述等译. 北京:中国建材工业出版社, 1984.
- 3 森茂二郎著. 新型水泥与混凝土. 王幼之等译. 北京:中国建材工业出版社, 1982.
- 4 李世忠等. 钻探工艺学(中)(第 2 版). 北京:地质出版社, 1987.
- 5 王星华, 曾祥熹. 粘土水泥浆液的剪切稀释作用与振凝性. 矿冶工程, 1995, 15(1), 23~25.
- 6 王星华. 粘土水泥浆流变性及其影响因素研究. 岩土工程学报, 1997, 19(5), 43~48.
- 7 王启宏等. 材料流变学. 北京:中国建筑工业出版社, 1985.
- 8 王星华. 粘土固化浆液的研究与应用. 见:中国土木工程学会隧道及地下工程学会第 9 届年会论文集. 铁道工程学报, 1996, 405~409.
- 9 王星华. 注浆施工中的一个新概念——可注期的提出, 面向 21 世纪的岩石力学与工程. 见:中国岩石力学与工程学会第 4 次学术大会论文集. 北京:中国科学技术出版社, 1996, 672~676.
- 10 王星华. 粘土固化浆液塑性强度增长规律及其影响因素. 中国有色金属学报, 1997, 7(1), 5~8.

山东岩土工程勘察总公司通过 ISO 9001 质量体系认证

山东岩土工程勘察总公司以质量开拓市场取得成效,日前通过了中设质量体系认证中心的现场审核,获得了带有多边国际互认标志的 ISO 9001 质量体系认证证书,这标志着该公司质量体系已实现了与国际质量标准的接轨,成为全国冶金地质行业首家通过 ISO 9001 质量体系认证的企业。

该公司始建于 1985 年,是从事岩土工程勘察、设计和施工的综合型企业。自成立以来,始终坚持“采用先进技术,实行科学管理,组织高效施工,提供满意产品”的质量方针和“工程达到现行规范和规定要求,验收合格率确保 100%”的质量目标。该公司积极推行全面质量管理,注重员工的素质和技术培训,使全体员工树立了较强的质量意识。该公司设备先进,技术力量雄厚,有国内先进的岩土工程设备 426 台(套),至 1998 年底,

该公司完成岩土工程勘察、设计和施工等各类大中型工程项目 2000 余项,年产值逾亿元。其中获省部级以上优秀工程奖 23 项,国家科研成果奖 2 项,全国优秀 QC 小组成果奖 2 项,工程优良率达 95% 以上,被中国质量协会评为 1995 年度全国质量效益型先进企业和全国质量管理小组活动优秀企业。1995 年 9 月 20 日,建设部勘察设计司建设体字(95)36 号文批准本公司为全国 18 家勘察单位贯彻 ISO 9000 系列标准试点单位之一。该公司领导把贯彻 ISO 9000 系列标准作为战略目标。经过 3 年多的努力,已经建立起完整的质量体系,达到 ISO 9001 质量体系认证的要求。

(冯玉国,刘升台 供稿)