

# 某水电站1号堆积体锚索砂浆固壁成孔试验与研究

邱顺兵, 韦 猛, 刘 俊, 舒振杰  
(成都理工大学环境与土木工程学院, 四川 成都 610059)

**摘要:**在松散破碎、严重架空地层中钻进成孔及快速施工技术是一直困扰着工程技术人员的难题之一。为解决水电站坝区堆积体中锚索钻孔中成孔率极低问题,经过固壁灌浆试验研究,向普通硅酸盐水泥中加入一定量的速凝剂和硫酸钙,改善浆液的凝结时间和抗压强度,起到很好的固壁灌浆效果,提高了锚索孔施工的成孔功效。

**关键词:**架空地层;固壁灌浆;边坡治理;锚索钻孔

中图分类号:TV698.2<sup>+</sup>32 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2012)08-0075-04

**Test and Research of Anchor Cable Mortar Wall Consolidation on the 1st Accumulation Body of a Hydroelectric Station/QIU Shun-bing, WEI Meng, LIU Jun, SHU Zhen-jie** (Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China)

**Abstract:** Engineering and technical personnel are always been plagued by drilling the hole and the rapid construction of technology in loose broken, serious overhead formation. In order to solve low rate of drilling anchor hole in the dam accumulation body, carrying on the solid wall grouting test, adding a certain amount of accelerating and calcium sulfate to Ordinary Portland cement, Improving the slurry setting time and compressive strength. As a result, It plays a good solid wall grouting effect, Improves the efficacy of the construction of anchor cable hole, and get a good use in the slope control.

**Key words:** aerial strata; solid wall grouting; experimental study; slope control

## 1 工程概况

某水电站1号堆积体位于其坝肩下游侧,为一覆盖层内部早期蠕滑形成。堆积体底部高程位于大渡河河床水边线以下3~4.5 m,顶部高程为740 m。堆积体内无冲沟发育,地形坡度较陡,从河床至后缘平均坡度38°,在过坝公路以上坡度一般为44°~48°,上游侧650 m高程以上坡度达55°,并在后缘形成以高1~2 m的覆盖层陡坎(滑坡壁),后缘以上为河流阶地形成的缓坡。堆积体在平面上成不规则扇形,上部窄、下部宽,堆积体前缘沿过坝公路线长约240 m,垂直河流方向最大宽度约180 m,蠕滑区面积约1.9万m<sup>2</sup>,总方量约65万m<sup>3</sup>。水电站库区过坝公路通过该堆积体,根据1号堆积体覆盖层边坡的地质条件,1号堆积体过坝公路采用抗滑桩、承台板、混凝土挡墙及预应力锚索等措施进行处理。挡墙锚索共布置139束,锚索长度45~65 m,锚固段长度均为11 m,覆盖层张拉段采用跟管钻进成孔。其中,坝纵向K0+107.5~242.5 m沿墙身垂直方向布置3排,坝纵向K0+242.5~392.5 m沿墙身垂直方向布置2排,锚索孔间距为5 m。锚索布置在过坝公路C15混凝土挡墙上,墙高为20 m(高程为606~626 m),墙厚6~11 m,墙背与堆积体边

坡间采用石渣回填,厚度为3~16 m,形成过坝公路路基,锚索穿越混凝土挡墙和回填区后进入堆积体岩层。

## 2 锚索成孔技术难题

通过已开孔的锚索孔钻进情况,均在穿过挡墙、路基石渣回填区及进入堆积体表层时,频繁出现掉块卡钻、塌孔埋钻、套管靴拉断等现象。锚索开工1个多月,现场仅成功下索4根,钻进机具损失严重,投入过大且无产值,成孔效率极低。经过综合分析,锚索成孔困难主要是由以下原因造成的。

### 2.1 钻孔技术指标要求高

锚索孔设计深度45~65 m,锚固段长度达11 m,孔径170 mm。要求钻孔开孔偏差≤10 cm,钻孔轴线方位角偏差≤3°,终孔孔轴偏差不得大于孔深的2%,终孔孔深应大于设计孔深50 cm,终孔孔径不小于设计孔径10 mm。

### 2.2 地质条件复杂

根据锚索孔施工钻进情况及ZK02钻孔摄像资料显示,1号堆积体结构极为复杂:堆积体覆盖层主要由大孤石、大块石、部分夹粘土及粗砂组成;堆积体表层0~8 m为大孤石堆积体,架空现象严重,呈

收稿日期:2012-03-20;修回日期:2012-06-07

作者简介:邱顺兵(1986-),男(汉族),四川隆昌人,成都理工大学硕士研究生在读,地质工程专业,从事岩土钻掘工程方面的研究工作,四川省成都市成华区二仙桥东三段一号,474984942@qq.com。

现出较大空腔;8~24 m 多为块石、卵砾石夹砂、粘土物质结构,极为松散;24 m 以深多为块石夹粘土,基岩为破碎~较破碎,地层软硬不均。

### 2.3 工艺技术要求高

为满足设计锚索孔径要求,必须选择壁厚 8 mm、孔径 178 mm 的高刚度钢套管。在跟管钻进时,由于套管设计管径较大,套管与孔壁间的摩擦阻力很高;在回填区时,回填石渣受套管钻进冲击影响,致使周围石渣对套管的摩擦力增大,导致套管无法向前跟进;地层架空现象严重,当通过架空层后,孔壁上方不稳定的石块在重力及钻具振动的影响下,掉入已成孔段,导致钻具卡死,造成套管靴被拉断,套管无法跟管钻进。

## 3 锚索砂浆固壁成孔试验

### 3.1 试验目的

为了确定合理的堆积体锚索砂浆固壁成孔施工措施,参照相关工程实例,结合前期已施工的锚索成孔施工技术,采用多种砂浆固壁措施进行试验,从中选定较优的砂浆固壁灌注控制参数,如砂浆浓度配比、外加剂掺量、注浆过程控制及成孔效率等,从而达到以下目的:(1)解决在 1 号松散堆积体中锚索成孔困难、钻进效率低的难题;(2)提出在 1 号松散堆积体中经济合理的固壁灌浆成孔工艺;(3)在满足锚索成孔的前提下,选择合理的砂浆固壁措施指导下续锚索施工,加快整个工程的建设进度,缩短工期,节约成本。

### 3.2 试验孔选择

根据已开孔的 4 个锚索孔钻进情况,结合堆积体覆盖层结构和锚索布置区域,由四方(业主、设计、监理、施工方)现场勘查选择具有代表性的地质区域,桩号为 0+175~200 m 区间的 ZK25、ZK26、ZK34 及 ZK35 号孔作为试验孔。

### 3.3 试验过程

根据试验要求,灌浆材料要有以下特点:(1)良好的流动性,利于泵送灌注;(2)凝结时间适当,初终凝时间间隔短,利于提高效率;(3)早期强度高,且持续增长。因此对普通硅酸盐水泥(P. O42.5)净浆的主要灌浆性能进行试验研究,获得在不同水灰比条件下普通硅酸盐水泥净浆的灌浆特性见表 1。不同水灰比的普通硅酸盐水泥的凝结时间及强度如图 1、图 2 所示。

由表 1 和图 1、图 2 可知,在不同水灰比条件下,其凝结时间存在差异,水灰比越高,其凝结时间

表 1 普通硅酸盐水泥灌浆成果表

序号	水灰比	水泥用量 /g	水用量 /mL	泌水率 /%	流动度 /cm	凝结时间 /min		抗压强度 /MPa		
						初凝	终凝	3d	7d	14d
1	5	200	1000	75	42	819	1108	4.76	5.34	7.63
2	3	300	900	66	41	643	993	5.42	7.13	9.02
3	2	400	800	56	41	627	956	5.85	8.27	10.26
4	1	500	500	29	36	457	803	6.77	8.89	11.09
5	0.5	600	300	5	22	296	433	8.87	11.03	21.03

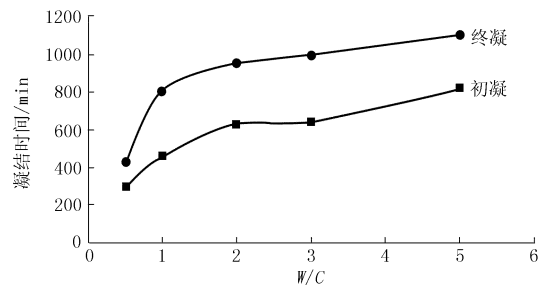


图 1 凝结时间与水灰比关系图

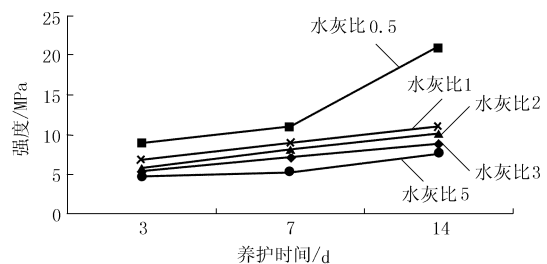


图 2 强度与养护时间关系图

越长。在高水灰比的条件下,强度较低,增长缓慢。而水灰比小于 1 时强度增长快,水灰比在 0.5 时 14 d 强度可达 21.03 MPa。为保证砂浆有较高的早期强度,根据试验施工时选择固定水灰比为 0.5。

采用普通水泥浆液进行锚索钻孔固壁灌浆,待凝时间较长,成孔效率低,施工进度慢。因此,为满足快速固壁成孔,减少待凝时间,向普通硅酸盐水泥中加入一定量的 TF-85 高效速凝剂。根据该工程实际并结合既有施工技术经验,初步确定速凝剂的 3 种不同加量,其试验所得结果见表 2。

表 2 水泥净浆+速凝剂试验成果表

序号	水:水泥:速凝剂	速凝剂掺量 /%	凝结时间 /min	
			初凝	终凝
1	0.5:1:0.008	0.8	23.50	96.40
2	0.5:1:0.006	0.6	39.70	120.60
3	0.5:1:0.004	0.4	47.70	145.30

注:试验温度为 14~20℃,相对湿度 98%。

根据试验结果可得,随着速凝剂掺量的提高,其浆液凝结时间并不是简单的线性关系。根据施工可行性,为减少固壁待凝时间,施工时现场速凝剂掺量

按 0.6% 选用。

在现场实际应用中,结合孔内摄像结果,ZK25 号试验孔在 0 ~ 8.1 m 时为砼挡墙,钻进顺利;8.1 ~ 18.2 m 为石渣回填层,钻进漏风、卡钻,采用套管跟进,钻至 18.3 m 时,无法跟管钻进,改为直钎钻进;18.3 ~ 24.2 m 直钎钻进,钻遇大孤石及块石,结构松散,发生掉块卡钻,无法钻进,经孔内摄像,在 21.2 ~ 22.9 m 间发现一空腔,采取速凝剂加 0.6% 的固壁措施,待凝后扫孔钻进,扫孔后钻进无改善,复灌 1 次,继续钻进;24.8 ~ 27.9 m 跟管钻进,块石夹粘土,结构松散,严重漏风,大量水泥砂浆结块返出,发生掉块卡钻,套管靴被拉断,复灌 4 次,返出砂浆结块中有微小

空洞,且经孔内摄像,之前固壁段结石孔壁不规则,且有裂纹和剥落掉块。

经过分析,水泥浆 + 速凝剂固壁灌浆存在以下不足:(1)硅酸盐水泥中硅酸三钙、硅酸二钙和铝酸三钙等水化不充分,结石率低;(2)普通硅酸盐水泥早期强度低,强度增长缓慢,早期抗压和抗冲击强度低,在钻进通过固壁灌浆段后,结石容易在钻进的各种扰动载荷下产生裂纹或剥落掉块现象。针对此情况,为确保顺利钻进,向试验配比中加入适量的硫酸钙(化学组成  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ),改善其早期强度,其试验结果见表 3、图 3 和图 4。

表 3 水泥浆 + 硫酸钙试验成果表

序号	水: 水泥: 硫酸钙	硫酸钙掺量 /%	速凝剂掺量 /%	初凝时间 /min	终凝时间 /min	抗压强度/MPa			
						3d	7d	14d	28d
1	0.5: 1: 0.025	2.5		38.50	114.60	8.89	11.05	16.32	18.76
2	0.5: 1: 0.030	3.0		35.80	112.10	8.91	11.07	20.02	20.45
3	0.5: 1: 0.035	3.5	0.6	30.40	103.80	8.98	11.05	20.14	20.32
4	0.5: 1: 0.040	4.0		27.80	87.30	10.15	13.12	22.16	23.68
5	0.5: 1: 0.045	4.5		20.40	82.50	10.36	12.43	21.97	20.17

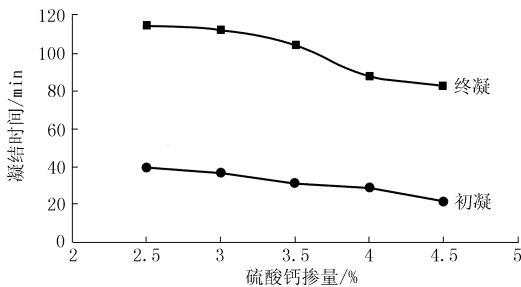


图 3 硫酸钙掺量与凝结时间关系图

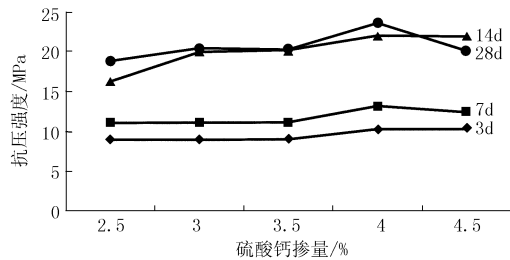


图 4 不同养护时间下强度与硫酸钙掺量关系图

根据表 2 和图 3 可知,随着硫酸钙掺量的增加,水泥浆的凝结时间逐渐变短,其掺量从 2.5% ~ 3.5% 时,其凝结时间变短较明显,而 4.0% ~ 4.5% 时,凝结时间变化不明显。由图 4 可知,加入硫酸钙后,结石抗压强度有明显的提高,而在硫酸钙掺量为 2.5% ~ 3.5% 时,其强度变化较小,增长缓慢,在硫酸钙掺量为 4.0% 左右时,其强度有明显的上升阶段,强度增长较快。而在硫酸钙掺量为 4.5% 时,其 28 天抗压强度

反而比 14 天抗压强度低,这可能是由于硫酸钙水化后,生成钙矾石,由于钙矾石的膨胀机理会使得结石体的后期强度变低。

基于试验研究结果,根据砂浆固壁掺外加剂的主要目的,在施工时采用砂浆固壁配合比为水: 水泥: 硫酸钙: 速凝剂 = 0.5: 1: 0.006: 0.04。在现场施工过程中,结合现场需要及实际情况可对掺量逐步调整。

### 3.4 现场施工

根据现场施工环境,采用集中拌制纯水泥浆,泵送至工作面掺砂拌制成砂浆进行灌注。纯水泥制浆站设置在挡墙外原便道内侧坝纵向 K0 + 205 m 处,采用 ZJ - 600L 型高速搅拌机制浆,采用 200 L × 2 储浆搅拌机储浆,3SNS 输送泵输送纯浆至工作面。利用 EL626 过坝公路作为材料运输通道,排架顶端 EL624 工作平台布置 2 台 350 型砂浆搅拌机拌制浆液,2 台卧式螺杆砂浆泵(6 ~ 8 m<sup>3</sup>/h) 灌送砂浆,送浆管路为 Ø32 mm 高压塑料管,注浆量采用灌浆自动记录仪自动记录。

按试验配制的浆液准备好后,注浆前,将 Ø32 mm 注浆管插入需固壁孔段的底端,另一根 Ø20 mm 注浆检查管插入固壁段顶端,注浆时随时采用人工排气法检查固壁段返浆情况,如在注浆过程中排气管不畅通,即砂浆已达固壁段顶端,立即停止注浆,以免造成浆液浪费及增加扫孔工作量。

经过固壁灌浆,试验孔 ZK25 号刚开始时,跟管钻进效率极低,在孔深为 21.2~27.9 m 时,固壁段共复灌 5 次。

复灌前后孔内出现的情况:第一次固壁待凝后扫孔钻进,孔内无砂浆填充情况、漏风严重,钻进难度基本同灌注前;第二次复灌后孔壁掉块卡钻、孔内无返风、返渣现象;第三次复灌后,固壁情况有所改善,固壁段顶端少许掉块,扫孔钻进十分困难;第四次和第五次复灌后,扫孔至孔底有水泥砂浆结石,孔壁有少许掉块,多次卡钻,经多次进退钻杆后,勉强维持钻进。其单次灌段最大灰砂单耗 1429.5 kg/m,最小单耗 594.71 kg/m,固壁段平均单耗为 1140.57 kg/m。

而经过掺入 0.4% 的硫酸钙后,钻进 27.9~41 m 时,复灌共 3 次:第一次为块石夹泥土结构松散,在 30.3 m 时抱死钻杆,无法钻进;第二次为块石夹泥土,严重漏风,进尺极慢;第三次为块石区,掉块卡钻,钻进特别困难。其单次灌段最大灰砂单耗 1223.5 kg/m,最小单耗 568.71 kg/m,固壁段平均单耗为 1020.57 kg/m。ZK25 孔加入硫酸钙前后复灌次数明显减少,灰砂单耗显著减少,其余相关试验成果见表 4。

表 4 固壁灌浆成孔功效表

孔号	设计孔深/m	跟管长度/m	总注入量/kg	浆液单耗/(kg·m <sup>-1</sup> )	待凝时间/h	固壁灌浆功效/(h·m <sup>-1</sup> )
ZK25	60.00	26.30	61953.60	1032.56	2.0	4.12
ZK26	65.00	19.50	80041.00	1231.40	2.0	2.45
ZK34	56.00	17.30	51494.24	919.54	2.0	3.43
ZK35	60.50	17.50	68537.43	1132.85	2.0	2.45

#### 4 效果评价

根据该工程实际需要,进行固壁灌浆试验研究,选用经调整后的试验推荐固壁灌浆配比后,取得了良好的固壁效果:(1)固壁灌浆复灌次数明显减少,减少工程量;(2)固壁灌浆灰浆总耗比以前大量减

少,灰浆单耗降低;(3)缩短固壁后待凝时间,钻进成孔功效有较大提高,工期进度加快;(4)固壁灌浆试验材料价格低廉,经济合理,各材料用量控制可操作性强;(5)在满足成孔要求前提下,节约水泥砂浆用量,降低工程造价。

#### 5 结论

(1)试验结果表明,根据工程需要在普通硅酸盐水泥中加入一定量的速凝剂和硫酸钙后,能调整其凝结时间和早期强度,且可操作性强。

(2)在掉块卡钻频发、漏风、严重架空的松散堆积体覆盖层中,采用跟管钻进效率低下时,固壁灌浆时在普通硅酸盐水泥中加入适量的速凝剂和硫酸钙,以改变其水泥特性,能很好的发挥其固壁灌浆作用,缩短固壁待凝时间,加快工程施工进度。

(3)通过试验研究及工程实践验证,采用水:水泥:速凝剂:硫酸钙=0.5:1:0.006:0.04 的配合比时,能达到很好的固壁灌浆效果,保证孔壁稳定,降低灰砂消耗,节约工程费用,在今后相关工程中可参考运用。

#### 参考文献:

- [1] 陈礼仪,胥建华.岩土工程施工技术[M].四川成都:四川大学出版社,2008.
- [2] 赵启强.硫铝酸盐水泥速凝浆液在锚索钻孔固壁中的试验与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(10):74-76.
- [3] 袁进科,陈礼仪.普通硅酸盐水泥与硫铝酸盐水泥复配改性灌浆材料性能研究[J].混凝土,2011,(1):128-130.
- [4] 张卫军,杨占东,谷建国.拉西瓦水电站 1 号变形体破碎岩体快速成孔施工技术的试验与研究[J].西北水电,2008,(5):59-62.
- [5] 缪绪樟,曾鹏九,鄢泰宁.回填砂卵石层固结灌浆[J].水力水电科技进展,2008,28(4):60-64.
- [6] 陈长俊,吕绍芬,王铁政,等.几种常用灌浆材料的分析[J].黑龙江交通科技,2001,(3):9-11.

(上接第 74 页)

意义。软弱结构面强度指标的确定无论采用哪一种方法都是不全面的,灰色信息太多,很难得出合理的取值结果,文中的综合评价法应是确定软弱结构面强度指标的有效途径。

#### 参考文献:

- [1] 陈祖煜.土质边坡稳定分析——原理·方法·程序[M].北

京:中国水利水电出版社,2003.

- [2] 陈祖煜,汪小刚,杨健,等.岩质边坡稳定分析——原理·方法·程序[M].北京:中国水利水电出版社,2005.
- [3] GB 50330-2002,建筑边坡工程技术规范[S].
- [4] GB 50021-2001,岩土工程勘察规范[S].
- [5] 林宗元.岩土工程试验监测手册[M].辽宁沈阳:辽宁科学技术出版社,1991.