

# 膏浆灌浆结合高压旋喷工法在围堰防渗中的应用

杨绍卿

(重庆大唐国际彭水水电开发公司,重庆彭水 409600)

**摘要:**乌江银盘水电站二期主河床围堰防渗工程量大、工期紧,河床地质条件复杂,河床覆盖层厚,且卵石、漂石含量高,并有架空现象。在施工试验中研究采用了以水泥膏浆为主要灌浆材料的可控性灌浆工艺,结合高压旋喷灌浆的综合防渗工法,利用两种工法的有效特性,相互补充,有针对性地解决了单一防渗工艺对于不同地层条件防渗效果的不足。使围堰防渗施工一次闭气成功。较详尽介绍了施工过程控制要点、施工控制指标和工序要求,并且通过资料分析、注水试验等,充分验证了防渗效果的可靠性。

**关键词:**膏浆灌浆;高压旋喷;土石围堰防渗;银盘水电站

**中图分类号:**TV543 **文献标志码:**A

银盘水电站位于乌江下游河段,地处重庆市武隆县,是乌江干流水电梯级开发中的第 11 个梯级电站。枢纽建筑物主要由挡水建筑物、泄洪建筑物、电站厂房和通航建筑物组成。枢纽施工采取分 3 期导流的方案,其中二期导流建筑物为上、下游全年挡水土石围堰<sup>[1]</sup>。银盘水电站二期主河床围堰基础地质条件复杂,且河床底部卵石、漂石多,防渗工程量大(防渗面积 11 000 m<sup>2</sup>,防渗高度 42 m),工期紧,为了确保围堰防渗闭气一次成功,经试验研究,选用以可控性灌浆为主,结合高压旋喷灌浆的防渗方案。即利用可控性膏浆灌浆在高喷墙上下游侧对空隙较大的地层(如卵石、漂石、块石及龙口段等堆石区)进行充填和封堵,形成防渗基本骨架并达到初步防渗的目的,然后采用高压旋喷灌浆工法连接成墙。这种综合防渗施工措施利用了各自特点,解决了在较复杂地质条件下应用单一工法的局限性,达到了堰体防渗闭气与快速施工的目的。

该电站施工二期上游围堰防渗轴线长 268 m,左岸基岩裸露,部分堆积覆盖层。河床覆盖层厚度 27.0 ~ 19.25 m,主要物质成分为砂及砂砾石、块石夹少量漂石、粉质粘土。块径 5 ~ 10 cm,最大 25 cm,漂石最

大块径 1.6 m,砾石、块石、漂石含量 30% ~ 40%<sup>[2]</sup>。

二期下游围堰防渗轴长 213 m,左岸为堆积覆盖层,河床覆盖层厚度 10 ~ 31 m,物质成分主要为细中砂夹少量卵石、漂石及块石,块径 5 ~ 18 cm,含量 25% ~ 35%。

## 1 防渗施工方案布置

上下游围堰均布置 3 排防渗灌浆孔,孔、排距为 1.0 m × 1.5 m,其中上、下游排为可控性灌浆孔,分 3 序施工;中间排为高喷灌浆孔,分 2 序施工。先施工上下游排可控性灌浆孔,再对中间排孔进行高喷灌浆。

**孔深控制:**下游排 I 序孔深入基岩深度 5.0 m,其它孔深入基岩深度 1.0 m。

防渗墙体左岸堰肩 20 m 范围内,由于基岩表层为强风化、断层、破碎带和宽大裂隙影响,需要进行帷幕灌浆,灌浆孔深入基岩按 10 m 控制,分为 2 段灌浆。

## 2 灌浆材料和浆液配合比

(1) 可控性灌浆浆液采用 0.5:1 纯水泥浆、膏浆、混合浆 3 种形式,各排序孔均以 0.5:1 的纯水泥浆开灌。

膏浆为水泥与膨润土的混合浆液,采用如下 3 种比级:

水:水泥:膨润土为 0.5:1:0.1;

水:水泥:膨润土为 0.5:1:0.14;

水:水泥:膨润土为 0.45:1:0.13。

混合浆是指在水泥浆或膏浆中掺入海带、砂、水玻璃、锯木粉、稻草、麻等纤维物掺合料的浆液。主要用于块石架空严重、漏浆量较大的孔段,一般在保持灌浆管路畅通的情况下尽量提高掺含量,以快速对地层空腔进行充填,控制浆液的扩散范围。

(2) 左堰肩 20 m 内基岩进行帷幕灌浆,采用水灰比 1:1 和 1:0.5 两个比级。

### 3 生产性试验

鉴于围堰基础地质条件复杂,防渗难度大,质量要求高。防渗效果的好坏将直接影响大坝基坑的开挖和后续工作的直线工期。为此,在施工前进行了生产性试验,获取施工工艺参数,以指导实际的大规模施工。生产性试验孔布置见图 1。

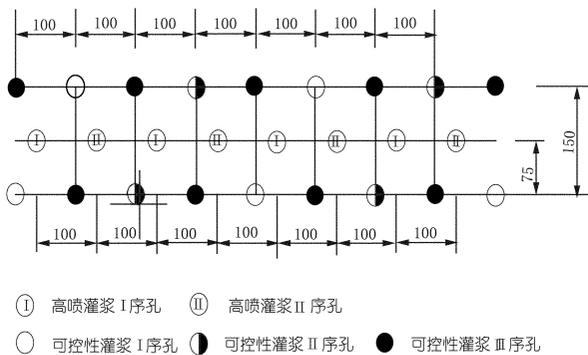


图 1 高喷灌浆和可控性灌浆试验布孔示意(尺寸单位:cm)

#### 3.1 试验材料和浆液配合比的选择

(1) 灌浆材料试验。结合实际施工情况,灌浆用水泥采用 PC32.5 级复合硅酸盐水泥;施工用水在乌江直接取用;膨润土采用湖南澧县裕隆化工厂生产的膨润土粉,所配制泥浆用于制膏浆及高喷孔护壁。在泥浆中加入适量  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  分散剂和 CMC 增粘剂,以形成稳定性浆液。

(2) 浆液配合比。试验中水泥浆、膏浆、混合浆按实际施工配合比配制浆液,膏浆在灌浆时根据不同的吸浆条件及浆液变换标准选用不同的配合比。

#### 3.2 试验过程及结果

(1) 膏浆灌浆顺序。膏浆上下游排可控性灌浆分 3 序进行。按先施工下游排,后施工上游排,同排孔先施工 I 序孔,后施工 II 序孔,再施工 III 序孔的灌浆顺序进行。

(2) 高喷灌浆施工。高喷灌浆采用 MGY-80 钻机跟管钻进成孔,用 GYP-50 或 GP-II 型高喷台车控制旋转喷射提升,喷浆时视地层情况可分别采取 10,12,15 cm/min 的提升速度。施工参数如下。

喷灌压力: 30~40 MPa

浆体流量: 40~80 L/min

浆嘴个数: 1~2 个

孔排距: 孔距 1.0 m,当相邻 I 序孔浆液单耗变小时,可取消中间 II 序孔

浆液配比(重量比): 0.8:1~1:1

同浆比重:  $\geq 1.30 \text{ g/cm}^3$

加气压力: 0.7~1.0 MPa

气流量: 0.8~1.5  $\text{m}^3/\text{min}$

气嘴个数: 1~2 个

提升速度: 10~15 cm/min

旋转速度: 5~10 r/min

浆液比重:  $\geq 1.60 \text{ g/cm}^3$

(3) 试验结果。生产性试验质量检查采用了注水检查和开挖检查两种方法。

注水检查。在上游围堰检查了 4 个孔 18 个段次,下游围堰检查了 3 个孔 5 个段次。试验数据显示,其渗透系数最小为  $i \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ ,绝大部分达  $i \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ ,基本满足了基坑抽水要求。

开挖检查。2007 年 11 月,在试验区进行了全断面开挖检查,检查探坑挖掘深度 3 m,可清晰观察到墙体厚度大于 1.5 m,2 m 以下墙体致密、坚固,高喷混凝土与灌浆水泥结石相互充填、搭接良好。

试验结果显示,试验所采用的施工参数、施工方法、施工工艺,以及所使用的灌浆材料和配合比合理可行,可应用于二期围堰防渗墙施工中。

## 4 灌浆施工

### 4.1 可控性灌浆施工

(1) 施工工艺流程。膏浆灌浆施工工艺流程为:钻孔至设计孔深→起钻→安装灌浆孔口装置→以纯水泥浆液灌注孔底→达到结束标准后,向上拔套管 1.5 m→灌注第一段,直至达到结束标准后,向上拔套管→灌注最上一段→封孔→下一孔。

(2) 钻孔。① 孔深控制:下游排 I 序孔深入基岩深度 5.0 m,其他孔深入基岩深度 1.0 m。② 钻孔:采用 MGY-80 钻机冲击跟管钻进,孔径为 150 mm。③ 在钻孔过程中特别注意钻孔的返渣及钻机的运转情况,并依其返渣及钻机的运转情况判断填筑层、河床砂卵石层和基岩深度并确定是否终孔。

(3) 制浆。膨润土浆在制浆站集中搅制或采用调

整搅拌机的方法进行搅拌制浆,并储存在浆池中,润胀 24 h 后再用于制膏浆。

(4) 灌浆。灌浆方式及段长:采用“套管”灌浆法,进行自下而上分段、纯压式灌浆,灌浆分段长度为 1.5~3.0 m。

灌浆压力:I、II 序孔进浆压力为 0.2~0.5 MPa, III 序孔进浆压力为 0.5~0.8 MPa,并根据灌浆具体情况及吸浆量大小进行适当调整。

浆液配比及变换标准:①在某级压力下耗浆量大于 500 L,压力无变化,可变浓一级浆液。②在某级浆液灌注达 500 L 且流量大于 50 L/min、压力无明显变化时,可越级变浓。③灌浆过程中,若压力呈上升趋势,则不得变换浆液浓度;在拔管过程中失压时,停止拔管,采用原浆灌注,当压力继续增大且流量减少至 10 L/min 时,改为用水灰比 0.5:1 的纯水泥浆液进行灌注。④当注入量达 5 000 L 以上,无灌浆压力时,可以考虑灌混合浆、间歇(待凝)灌浆的方法或掺入促凝剂以加速膏浆的凝固。

结束标准:I、II 序孔达到了规定的 0.2~0.5 MPa 压力(初始灌浆无压时)且吸浆率小于 10 L/min、或达到规定的灌浆压力,灌入浆量已达到 1 000 L 时即可结束;III 序孔进浆压力达到 0.5~0.8 MPa,且吸浆率小于 10 L/min,或灌入浆量达 500 L 以上时,即可结束。

(5) 特殊情况处理。为防止套管拔起困难,在灌浆起压后每隔 10~30 min 拔管 5 cm 左右。在间歇灌浆期间和灌注速凝膏浆时,必须活动套管,当灌浆没有达到结束标准时,提升高度宜小。在灌浆过程中如孔口已经起压,则可缓慢提升套管,且须保证在提升过程中孔口有压,严禁在无压的状况下起拔套管。

在漂石、块石集中段和龙口段,因漏浆严重,可调整可控性浆液的流动性能指标,采用较浓膏浆、速凝膏浆或纤维膏浆进行快速封堵,确保架空部位封堵密实。浆液中掺加纤维材料时,一般在保持灌浆管路畅通的情况下尽量提高掺含量,以控制浆液的扩散范围。

当采用了间歇灌浆(如供浆不及时)或套管被堵时,用冲击钻机在套管内扫孔至灌段底以下 1.0 m,再继续灌注。

## 4.2 高喷灌浆施工

高喷灌浆采用 MGY-80 钻机跟管钻进成孔,GYP-50 或 GP-II 型高喷台车进行旋转喷射提升。

高喷灌浆配备 ZJ-800 型高速搅浆机制备水泥浆液,由 PP-120 高压浆泵加压,通过高压浆管输送至喷管内,从 1.9~2.8 mm 直径的喷嘴喷出,形成高速射流切割、破坏地层,同时使用空压机提供压缩空气从

高速射流喷嘴外圈环形喷出,以保护高速射流,减少射流能量损失,水泥浆经与土体搅拌混合、充填与置换,形成水泥土混合体。在钻杆末端喷射高压浆的同时,由高喷台车动力头带动喷管旋转提升,形成圆形水泥土柱体,依序依次形成各孔相邻且连续的防渗桩墙。

## 5 灌浆施工效果分析

### 5.1 可控性灌浆资料分析

(1) 单位注入量与孔序之间的关系分析。上下游围堰可控性灌浆单位注入量与孔序关系分析分别见表 1、表 2。

表 1 上游围堰膏浆孔单位注入量与孔序关系

排序孔序	灌段长/ 灌入灰量/ 单位注入量/		说明	
	cm	kg		(kg·m <sup>-1</sup> )
下游排 I	1721.9	1986798.0	1153.84	
II	1501.3	1127845.5	751.24	单耗占 I 序孔的 65.1%
III	2961.1	1492111.5	503.90	单耗占 I 序孔的 43.1%
小计	6184.3	4606755.0	744.91	
上游排 I	1432.3	843426.5	588.86	
II	1413.7	552823.5	391.05	单耗占 I 序孔 66.4%
III	2862.4	727034.1	253.99	单耗占 I 序孔 43.1%
小计	5708.4	2123284.1	371.96	上游排平均单耗只占下游排的 49.9%

表 2 下游围堰可控性灌浆单位注入量与孔序关系

排序孔序	灌段长/ 灌入灰量/ 单位注入量/		说明	
	cm	kg		(kg·m <sup>-1</sup> )
下游排 I	1158.3	1733104.8	1496.25	
II	1002.4	898276.0	896.13	单耗占 I 序孔 60%
III	2045.0	958159.6	468.55	单耗占 I 序孔 31.3%
小计	4205.7	3589540.4	853.50	
上游排 I	1037.2	709966.5	684.48	
II	1035.3	524249.0	506.37	单耗占 I 序孔 74.0%
III	2094.8	677699.5	323.52	单耗占上 I 序孔 47.3%
小计	4167.3	1911915.0	458.79	上游排平均单耗只占下游排的 53.7%

由表 1、表 2 可以看出,随着孔序的不断加密,总体上呈现出单位注入量逐渐减小的变化趋势,符合灌浆的一般规律,说明灌浆效果明显。

(2) 各排序孔单位注入量区间分析。上下游围堰可控性灌浆各排序孔单位注入量分别见表 3、表 4。

由表 3、表 4 可看出:上下游排各序孔随着灌浆孔序的不断加密,小于 1 000 kg/m 的区间内的段数频率均呈现出递增的明显变化趋势,而大于 1 000 kg/m 的区间内的段数频率均呈现出逐序递减的明显变化趋势,表明灌浆施工中情况正常,效果较好。

### 5.2 高喷灌浆施工过程分析

(1) 钻孔过程分析。中间排作为高喷灌浆孔,是在上下游排可控性灌浆完成后进行的。施工过程中由

表 3 上游围堰可控性灌浆单位注入量区间分析

排 (孔) 序	孔数/ 个	灌浆 段数/ 段	频率≤50		频率≤100		频率≤250		频率≤500		频率≤1000		频率≤2000		频率>2000	
			段数/ 段	注入量/ (kg·m <sup>-1</sup> )												
下游排 I	67	827	28	3.4	83	10	203	20	371	40	507	60	647	80	180	20
II	67	805	38	4.5	107	12.6	311	36.6	498	58.6	618	72.7	717	84.4	88	15.6
III	134	1438	133	9.2	319	22.2	792	55.1	1027	71.4	1212	84.3	1316	91.5	122	8.5
小计	268	3070	199	6.5	509	16.6	1306	42.5	1896	61.8	2337	76.1	2680	87.3	390	12.7
上游排 I	62	750	36	4.8	102	13.6	322	42.9	492	65.6	625	83.3	697	92.9	53	7.1
II	61	693	62	8.9	173	25.0	387	55.8	540	77.9	621	89.6	671	96.8	22	3.2
III	123	1248	225	18.0	152	41.0	939	75.2	1098	88.0	1189	95.3	1221	97.8	27	2.2
小计	246	2691	323	12	787	29.2	1648	61.2	2130	79.2	2435	90.5	2589	96.2	102	3.8

表 4 下游围堰可控性灌浆单位注入量

排 (孔) 序	孔数/ 个	灌浆 段数/ 段	频率≤50		频率≤100		频率≤250		频率≤500		频率≤1000		频率≤2000		频率>2000	
			段数/ 段	注入量/ (kg·m <sup>-1</sup> )												
下游排 I	51	55222	4.0	66	12.0	135	24.5	211	38.2	312	56.5	422	76.4	130	23.6	
II	50	547	47	8.6	89	16.3	206	37.7	301	55.0	386	7.06	469	85.7	78	14.3
III	102	1117	139	12.4	299	26.8	612	54.8	809	72.4	946	84.2	1054	94.4	63	5.6
小计	203	2216	208	9.4	454	20.5	953	43.0	1321	59.6	1644	74.2	1945	87.8	271	12.2
上游排 I	51	576	62	10.8	120	20.8	266	46.2	383	66.5	459	79.7	515	89.4	61	10.6
II	51	566	68	12.0	183	32.3	313	55.3	406	71.7	475	83.9	527	93.1	39	6.9
III	102	1115	208	18.7	495	44.4	830	74.4	952	85.4	1020	91.5	1077	96.6	38	34.1
小计	204	2257	338	15.0	798	35.4	1409	62.4	1741	77.1	1954	86.6	2119	93.9	138	6.1

于地层经过可控性灌浆后已较为密实,因而造孔钻进速度较慢,跟管困难,钻孔返渣中含有大量水泥结石,钻孔返水相对较上下游排小。人工填筑地层中大部分孔可以不跟管就能成孔,但在砂砾石地层因可灌浆性差,主要以 PVC 管护壁成孔。从整个钻孔施工过程中,随着钻孔次序、顺序的增进,地层逐渐密实,钻孔返水逐步变小,钻进逐渐困难,这说明经上下游排可控性灌浆处理后,地层的密实性得到了较大的改善。

(2) 高喷灌浆过程分析。上下游围堰高喷灌浆 I、II 序孔平均单位注入量均为 400 kg/m 左右,各序孔高喷过程中孔口返浆大,说明在上下游排可控性灌浆后,防渗轴线地层基本成墙,地层得到了改善,高喷灌浆不能有效对地层充分切割混合搅拌,成墙适应性差,但实施高喷灌浆可以对可控性灌浆可灌性较差的部位进行有效补充,确保了防渗效果。

### 5.3 注水检查及运行情况

施工完成后,上下游围堰共布置 20 个质量检查孔,其进行了 27 段注水试验,其中:上游围堰渗透系数最小值为  $5.05 \times 10^{-7}$  cm/s,最大值为  $7.8 \times 10^{-5}$  cm/s;下游围堰渗透系数最小值为  $1.32 \times 10^{-7}$  cm/s,最大值为  $2.49 \times 10^{-5}$  cm/s。渗透系数均未超过设计

控制指标,且满足防渗标准要求。

基坑抽水后,观测到的渗水量为 200 m<sup>3</sup>/h 左右,满足基坑开挖施工要求。

## 6 结语

银盘水电站二期上下游围堰防渗工程施工,采用以可控性灌浆为主,结合高喷灌浆及水泥灌浆防渗的施工方案取得了较好效果。在截流后仅用 50 d 时间即完成了防渗墙的施工,防渗效果良好。目前该围堰渡过了 3 个汛期,尤其经受了 2010 年 7 月 9 日乌江洪水(流量  $Q = 13\ 900$  m<sup>3</sup>/s、堰前水位 203 m、水深 30 m)的考验。实践表明,可控性灌浆结合高喷灌浆的工艺在深厚复杂地层防渗工程中取得了令人满意的效果,其工法和工艺参数指标可以为类似防渗工程施工提供经验借鉴。

### 参考文献:

- [1] 詹金环,陈超敏,饶志文. 乌江银盘水电站施工导流规划与设计[J]. 人民长江,2008,39(4),44-47.
- [2] 甘三才. 乌江银盘水电站坝址工程地质评价[J]. 人民长江,2008,39(4),14-17.

(编辑:喻伟)

## Application of paste – slurry and high pressure jet grouting in cofferdam seepage control

YANG Shaoqing

(Pengshui Branch, Datang International Power Generation Co., Ltd. (Chongqing), Pengshui 409600, China)

**Abstract:** The cofferdam seepage control works of main river channel of the second – phase construction of Yinpan Hydropower Station on Wujiang River is characterized as large engineering amount and tight construction period. The geological condition of the river channel is complicated with thick overburden layer and large amounts of loose gravels and erratic and accompanied by aerial condition. In the experimental study during construction, controllable grouting technology using paste – slurry as major material was adopted, and was combined with high pressure jet grouting method. We made use of effective features of the two methods, which could be mutually complemented. Therefore, the insufficient impervious effect of single method could be avoided. The construction of cofferdam seepage control was achieved in the first application. We introduce the key points, control indexes and working procedure requirements of the construction process, and the reliability of impervious effect has been verified by data analysis and water injection experiment.

**Key words:** paste – slurry grouting technology; high pressure jet; seepage control of earth – rock cofferdam; Yinpan Hydropower Station

(上接第 42 页)

换带方法,则理论差值为 0 m。

由于 Cass 软件把首曲线和计曲线都放在 dgx 层,而交换文件中只定义了实体颜色默认随层,所以这样转换出来的数字图会丢失计曲线的颜色,这可以在投影换带后通过一个批处理将计曲线颜色改回来。

表 1 坐标点换带计算及较差

点号	原始 y / m	原始 x / m	换带平移 旋转后 y / m	换带平移 旋转后 x / m	y 较差 / m	x 较差 / m
1	489000.00	2944000.00	489000.00	2944000.00	0.00	0.00
2	490000.00	2945000.00	490001.03	2945001.02	1.03	1.02
3	491000.00	2946000.00	491002.06	2946002.06	2.06	2.06
4	489000.00	2942000.00	488999.97	2941997.96	-0.03	-2.04
5	490000.00	2943000.00	490001.01	2942998.96	1.01	-1.04
6	491000.00	2944000.00	491002.06	2943999.99	2.06	-0.01

### 3 结语

采用上述方法完成了转换程序的编写,并实现了对 Auto CAD 地形图的换带转换,效果很好。该方法简单易行,比较容易编程实现,且不会有精度损失,很适用于中小比例尺地形图的投影换带。不仅如此,此方法在修改算法后同样也适用于不同椭球之间的坐标转换和地方坐标系的一、二级变换,具有一定的实用参考价值。

#### 参考文献:

[1] 孔祥元,梅是义.控制测量学[M].武汉:武汉大学出版社,2006.

(编辑:赵凤超)

## Transform and projection of digital map based on South Cass survey software

JIA Jinke, WU Yong, DAI Liyun, LI Jiansheng

(Changjiang Geotechnical Engineering Corporation(Wuhan), Wuhan 430010, China)

**Abstract:** As differences exist in zoning of medium and small scale maps, projection distortion can not be avoided in the process of transform and projection of digital maps. The conventional control measures for projection distortion are dividing the original digital map into several sub maps, and through translation and rotation or adding scale distortion, the sub maps are linearly transformed, which has the disadvantage of heavy workload, large error and mistakes – prone. Using South Cass survey software and combining with self – developed program to conduct transform and projection of digital maps, we successfully solve the difficulties of splicing maps with different projection zoning, which has the advantages of idea applicability and strictness.

**Key words:** Cass software; digital maps; transform and projection; water conservancy project