

# “喷灌结合”技术在锅浪跷水电站围堰防渗中的应用

习书田, 高强, 吴小兵

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 成都 610036)

**摘要:**围堰高喷防渗墙施工质量在很大程度上依赖地层情况,若特殊地层处理不当将带来严重后果。以锅浪跷水电站厂房尾水围堰防渗施工为例,叙述了控制性灌浆结合高喷施工的“喷灌结合”技术在孤(漂)石含量高、颗粒级配不均匀、架空严重、动水等复杂地层中的成功应用。

**关键词:**复杂地层;高压旋喷;控制性灌浆;喷灌结合;锅浪跷水电站

**中图分类号:**TV7;TV551;TV52;TV223.4

**文献标识码:**B

**文章编号:**1001-2184(2016)06-0079-05

## 1 工程概述

锅浪跷水电站系青衣江一级支流天全河水电梯级开发中的龙头水库,位于四川省雅安市天全县紫石乡境内,距县城37 km。该工程坝址位于两河口下游约700 m处,厂址位于下游约11 km处的傍海腔。电站装机容量为 $3 \times 70$  MW,水库正常蓄水位高程1 280 m,总库容1.84亿 $m^3$ 。

厂房及尾水施工采用全年钢筋石笼围堰挡水,采用10 a一遇的洪水设计标准,相应导流设计流量为 $1\ 720\ m^3/s$ ,堰体高约11 m,堰顶宽7 m,围堰两侧坡比为1:1.2,堰体顶部轴线总长约230 m,围堰戽堤及堰基需进行防渗处理,上部围堰加高采用粘土心墙进行防渗。

## 2 围堰地质条件

通过现场地质资料及走访调查得知,尾水全年围堰所处位置工程地质情况复杂多变,孤(漂)石含量高、含砂量少、颗粒级配不均匀、架空严重、地层透水性强、动水。考虑到施工组织安排,结合围堰地层特点,将围堰分成上、下游横向围堰及纵向围堰三个区段。各区段地层具体结构如下:

(1)上游横向围堰(桩号K0+024~K0+098)施工轴线长74 m。0~6 m为人工填筑层,6~7 m为细砂层,7~15 m为砂卵石层,含少量孤(漂)石,15~16 m为红色花岗岩。孤(漂)石含量约为10%,最大粒径约为2 m。

(2)纵向围堰(桩号K0+098~K0+218)施工轴线长120 m。0~6 m为人工填筑层,6~7.5

m为细砂层,7.5~17 m为砂卵石层,孤(漂)石多且大多分布在11 m至基岩段,15~18 m为红色花岗岩。孤(漂)石含量约为40%,最大粒径约为3 m。

(3)下游横向围堰(桩号K0+218~K0+254)施工轴线长36 m。0~3 m为人工填筑层,3~6.5 m为卵石夹细砂层,6.5~9 m为红色花岗岩。

## 3 围堰防渗方案的选择

### 3.1 方案比选

水利水电工程围堰防渗的闭气方法较多,比如水泥灌浆、水泥化学浆液复合型灌浆、高压喷射灌浆、控制性灌浆、混凝土防渗墙等,每种方法都有其自身的优点和缺点,但多具有很强的互补性。常见的围堰防渗施工方法主要是高压喷射灌浆、混凝土防渗墙及控制性灌浆。针对该工程围堰地层情况,经初步研究讨论,推荐单一高压喷射灌浆法、混凝土防渗墙法及喷灌结合法供比较选择。项目部在2个月的规定工期内,从地层适用性、施工质量、施工成本等方面进行了比较,具体结果见表1。

由表1可知:(1)施工成本由高至低为混凝土防渗墙>单一高压旋喷>喷灌结合;(2)防渗效果由高至低为混凝土防渗墙>喷灌结合>单一高压旋喷。另外,由于混凝土防渗墙施工临建量大、投入设备多,单一高压旋喷防渗效果可靠性较差,最终综合选定该围堰防渗工程采用“喷灌结合”法施工。“喷灌结合法”即采取高压喷射灌浆配合控制性灌浆施工,对复杂地段先灌注控制性浆液进行地层改良,然后进行高喷灌浆。喷灌结

收稿日期:2016-10-10

合区施工的总程序为：控制性灌浆 I 序孔→控制性灌浆 II 序孔→高喷灌浆 I 序孔→高喷灌浆 II 序孔。

### 3.2 防渗体系的布置

对不同地段采取不同的防渗体系布置，具体情况见表 2。

表 1 不同施工方案比较表

方案名称	规格	暂定工程量	地层适用性	防渗效果	投入设备/套	暂定成本/万元
单一高压旋喷	双排、排距 0.6 m、孔距 0.8 m	7 200 m	较适用	较好	高喷设备 4 套	548
混凝土防渗墙	墙厚 0.8 m	4 000 m <sup>2</sup>	适用	好	冲击钻 12 套	640
喷灌结合	高喷单排、孔距 0.8 m，控制性灌浆孔孔距 0.8 m	高喷 4 505 m，控制性灌浆 3 275 m	适用	好	高喷设备 3 套，灌浆设备 1 套	450

表 2 不同地段防渗体系布置表

桩号	防渗体系	施工参数	工程量
K0 + 024 ~ K0 + 098	单一高喷	单排，孔距 0.8 m，平均孔深 16 m，入岩 0.5 m	1 420 m
K0 + 098 ~ K0 + 184、 K0 + 195 ~ K0 + 218	“喷灌结合”	一排高喷孔和一排控制性灌浆孔，排距 0.6 m，控制性灌浆孔布置在围堰临河一侧，高喷孔布置在靠基坑一侧。高喷孔及控制性灌浆孔孔距 0.8 m，平均孔深 20 m，入岩 0.5 m	高喷量 2 725 m，控制性灌浆 2 725 m
K0 + 184 ~ K0 + 195	两排控制性灌浆孔	排距 0.6 m，孔距 0.8 m，平均孔深 20 m，入岩 0.5 m	550 m
K0 + 218 ~ K0 + 254	单一高喷	单排，孔距 0.8 m，平均孔深 8 m，入岩 0.5 m	360 m

## 4 控制性灌浆施工

### 4.1 施工工艺

测量放线→钻进至设计孔深→钻具起拔→下设 PVC 花管置换地质套管→埋设灌浆管→孔口封闭→分段灌浆→待凝→施工下一个孔。

### 4.2 钻孔

采用 HM - 90A 履带式液压钻机跟管钻进，孔径为 146 mm。由于该围堰地层富含大块（漂、孤）石，进尺慢，钻具损坏、废孔等相当频繁，给控制性灌浆及高喷灌浆钻孔造成极大的困难，不仅影响施工工期，增加施工成本，还留下了质量隐患。工程先后使用三件套、五件套偏心锤钻头、同心钻头及同心扩孔钻头、调整大块（漂、孤）石层钻进参数等，成功克服了该地层的钻进难题。对大块（漂、孤）石层采用同心扩孔钻头成孔，其余地层采用同心钻头成孔。

### 4.3 下设 PVC 花管置换地质套管

钻孔完成、钻具起拔后，下设直径 110 mm PVC 花管用以置换孔内地质套管。

### 4.4 埋设灌浆管

每个控制性灌浆孔孔内埋设 3 根直径为 20 mm 的 PE 管（图 1）。第一根 PE 管底部距孔底 50 cm，第二根 PE 管底部距回填层与原始河床分界处往下 50 cm，第三根 PE 管底部距孔顶 50 ~ 100

cm，PE 管外露 20 cm 以上，每根 PE 管做好标记，便于区分。

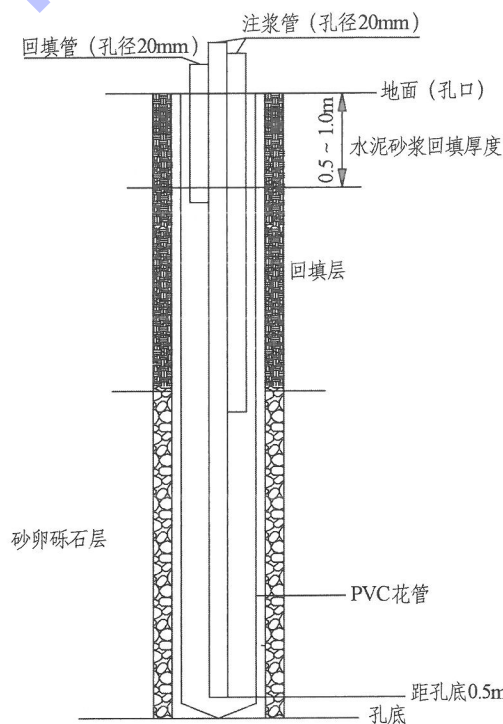


图 1 控制性灌浆孔孔内灌浆管埋设示意图

### 4.5 孔口封闭

为保证灌浆能够施加一定的压力，从孔口往下 0.5 ~ 1 m 区段用水泥砂浆封填密实，待凝 1 d，

即可进行灌浆。

#### 4.6 灌浆

(1) 灌浆方式。采用自下而上分段、孔口循环灌注的方式。控制性灌浆孔与高喷灌浆孔均分两序施工,先施工I序孔,再施工II序孔。先灌注埋深最深的管,封闭埋深次深的管,埋深最浅的管作为回浆管,待灌浆达到结束条件后停止灌浆,封闭该灌浆管,改为灌注埋深次深的管,直至灌浆结束。

(2) 灌浆压力。根据技术文件要求、水头大小及国内外类似工程进行设计选用,该工程灌浆压力为0.2~0.5 MPa,II序孔灌浆压力较I序孔灌浆压力提高10%~20%。

(3) 浆液配比。控制灌浆浆液共三种,分别为0.8:1、0.6:1和0.5:1纯水泥浆液;掺加水玻璃含量为水泥干灰量2%~10%的水泥-水玻璃浆液或掺加细砂、锯木粉等的混合浆液;掺加量为水泥干灰量1%~5%的絮凝剂(为水下抗分散剂)、2%~10%的水玻璃和细砂等组成的水泥膏浆。

①对于不存在或存在较小漏失的一般地层,灌浆浆液按照纯水泥浆液→混合浆液→水泥膏浆的顺序选用,开灌水灰比为0.8:1;

②对于存在较大的漏失地段,灌浆浆液按照纯水泥浆液→混合浆液→水泥膏浆的顺序选用,开灌水灰比为0.5:1;

③对于架空严重、漏失很大的地段,灌浆浆液按照混合浆液→水泥膏浆的顺序选用。

#### (4) 变浆标准。

①在某级压力下,耗浆量大于1 000 L、压力无变化或者变化不显著时,可变浓一级浆液;

②灌浆过程中,若压力呈上升趋势,则不得变换浆液浓度;

③若灌浆流量超过40 L/min时,可越级变浓。

#### (5) 结束标准。

采用单孔限量或压力与注入率控制的方式作为灌浆结束标准。

①当I序孔灌浆压力达到0.2~0.4 MPa、II序孔灌浆压力达到0.3~0.5 MPa且吸浆率小于5 L/min,屏浆10 min即可结束;

②当I序孔单孔累计注浆量达到8 000 L,II序孔单孔累计注浆量达到10 000 L时,灌浆压力及注入率均无大的变化时可结束灌浆,待凝1 d,复灌。重复灌注3次仍达不到结束标准时,对该

区域单独进行加密处理。

#### 4.7 灌浆成果

该围堰防渗施工累计完成控制性灌浆孔191个,控制性灌浆完成2 880.1 m,平均耗灰量为138.6 kg/m,水玻璃用量7 547 L,砂用量12 150 kg,UWB-II型絮凝剂用量785 kg。

### 5 高喷灌浆施工

#### 5.1 施工工艺

高喷灌浆施工工艺见图2。

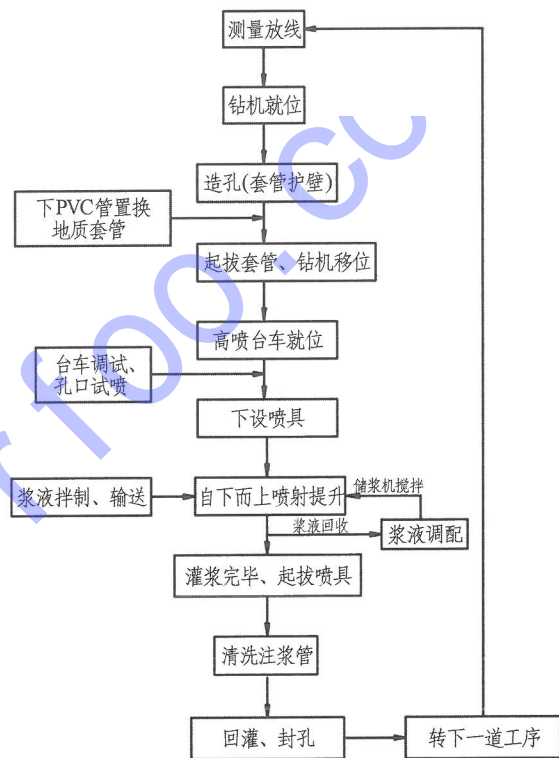


图2 高喷灌浆施工工艺图

#### 5.2 主要施工参数

根据设计文件及《水电水利工程高压喷射灌浆施工技术规范》(DL/T5200-2004)中的相关技术要求,施工过程中采用的主要施工参数见表3。

#### 5.3 钻孔

参考控制性灌浆孔钻孔施工。

#### 5.4 下设PVC管置换地质套管

钻孔完成、钻具起拔后,下设直径为110 mm的PVC管置换孔内地质套管。PVC管底部用塑料胶带或专用密封件进行密封,采用“注水法”下设PVC管。

#### 5.5 试喷

喷具组装完毕、下设高喷孔前应进行试喷,无

表3 高喷施工主要控制参数表

项目	技术参数	相应要求	备注
钻孔	孔位偏差不大于50 mm	孔斜不超过1%	
高压水	压力:35~40 MPa 排量:75 L/min	水嘴个数:2个 水嘴直径:1.8~2 mm	
风	压力:0.6~0.8 MPa 排量:0.8~1.2 m <sup>3</sup> /min	风嘴个数:2个 气嘴与水嘴间隙1.8~2 mm	
浆液	水灰比(1:1~0.5:1) 压力:0.2~1 MPa 排量:60~90 L/min	进浆比重 $\geq 1.5$ g/cm <sup>3</sup> 回浆比重 $\geq 1.2$ g/cm <sup>3</sup>	
提升速度	I序孔:6~7 cm/min II序孔:8~10 cm/min 上部回填层:10~15 cm/min		
旋转速度 摆角	5~12 r/min 60°	转速为提升速度的80%~100%	

异常即可结束试喷。喷嘴用胶带密封,以免下设时堵嘴。

#### 5.6 下设喷具

将喷具下入到孔内并确保其下入到终孔深度。

#### 5.7 喷射及提升

(1)按照先通浆、后通风、水的顺序施工,先原位喷射,待孔口返浆正常后边旋转边提升。

(2)喷射作业采用自下而上连续施工。在喷浆过程中,时刻注意检查风、水、浆的流量,旋转、提升速度等各参数是否符合要求。

#### 5.8 机具清洗

每喷射完一孔后,用清水冲洗机具及喷头,以免堵塞。

#### 5.9 孔口回灌

高喷结束后,对高喷孔回填饱满。

#### 5.10 特殊情况的处理

针对喷浆过程中出现的返浆量及返浆浓度不达标、间歇性返浆或不返浆等异常情况,采取浓浆

喷灌、静喷、降低提速、孔口加砂、掺加水玻璃、掺加絮凝剂、灌注膏浆等方法进行处理。

#### 5.11 高喷成果

累计完成高喷灌浆孔394个,喷浆完成5 567.6 m,平均耗灰量为1 051.5 kg/m,水玻璃用量为51 540.7 L,砂用量为37 740 kg,絮凝剂用量为140 kg。

## 6 施工效果

### 6.1 钻孔取芯

在单一高喷旋喷套接区、“喷灌结合”施工区及双排控制性灌浆孔中间区采用单动双管植物胶取芯。根据对取出的芯样进行分析得知:取芯率高,芯样完整,水泥浆液与原地层中的砂卵石包裹充分、均匀,见图3、4。

### 6.2 基坑开挖

厂房基坑开挖期间,采用1台功率55 kW、每小时排水量为450 m<sup>3</sup>的水泵间歇排水,即能很好地满足基坑开挖,表明该围堰防渗效果良好。



图3 纵向围堰2#取芯孔芯样图



图 4 纵向围堰 3#取芯孔芯样图

## 7 结 语

锅浪跷水电站厂房全年围堰防渗施工采用高喷灌浆与控制性灌浆结合的施工工艺,较好地解决了孤(漂)石、地下水及架空等复杂地层条件下喷浆浆液极易被稀释带走的难题,提高了施工质量,保证了施工进度,降低了施工成本。所采用的“喷灌结合”施工工艺可为今后类似地层条件下的防渗施工提供经验。

### 参考文献:

[1] 李相然,贺可强. 高压喷射注浆技术与应用[M]. 北京:中国建材工业出版社,2007.

[2] 水电水利工程高压喷射灌浆技术规范,DL/T 5200-2004

(上接第 44 页)

降温养护的措施,必要时采用通风降温。

(3) 由于空心板梁通过预应力张拉达到设计承载力,钢绞线为曲线布置,张拉必将造成梁起拱(一般起拱高度为 2 cm 左右),因此,钢绞线张拉不宜在混凝土强度较高后实施,同时,应减少水泥用量,以减少水化热、提高混凝土塑性。

(4) 根据规范要求,预应力张拉应采取双控,将钢绞线的伸长值必须控制在  $\pm 6\%$  的理论伸长值。伸长值计算必须根据公式的边界条件、对照实际钢绞线布置情况分段进行计算,否则实际伸长值将不会在理论伸长值允许范围内。钢绞线曲线一般由曲线段、直线段等组成,由于张拉受力,部分段已脱开波纹管壁,故钢绞线理论伸长值应根据实际受力和布置情况进行计算。

(5) 干汉桥张拉遇到的设计问题。目前,部分设计单位对一些桥梁的设计直接照搬原国家颁

[S].

[3] 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范,DL/T 5148-2012 [S].

[4] 水电水利工程覆盖层灌浆技术规范,DL/T 5267-2012 [S].

### 作者简介:

习书田(1983-),男,江西宜春人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

高 强(1985-),男,重庆长寿人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

吴小兵(1989-),男,重庆秀山人,助理工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

布的设计图集(或废弃的图集)。但因技术进步、材料更新,原设计图集已无法适用。如该工程遇到的钢绞线强度值问题,根据设计图集应为 1 500 MPa 极限张拉强度,而设计图纸上未明确钢绞线的极限强度为 1 500 MPa,也未明确张拉力为钢绞线强度的百分比。从目前市场情况看,已无 1 500 MPa 极限张拉强度的钢绞线,普遍为 1 860 MPa 极限强度的钢绞线。因此,按照规范要求,预应力张拉力应为 75% 的钢绞线强度,张拉力应为 195.3 kN,而原设计许可的张拉力最大为 157.5 kN。最终,设计提出张拉力为预应力筋极限张拉应力的 60.5%。

### 作者简介:

刘 军(1968-),男,四川射洪人,高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

彭 明(1977-),男,四川南部人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)