

# 通化桃园水利枢纽工程特殊坝段帷幕灌浆工艺技术

王福平<sup>1</sup>, 蔺刚<sup>1</sup>, 王立民<sup>2</sup>, 黄建国<sup>1</sup>

(1. 吉林大学应用技术学院, 吉林 长春 130022; 2. 吉林省水利水电勘测设计研究院, 吉林 长春 130000)

**摘要:**主要论述在坚硬的石英岩层, 节理极其发育, 涌水压力达 0.2 MPa, 涌水量达 20 t/h 的施工条件下, 采用特殊钻头全面钻进不提钻、稳定浆液灌浆并适当提高灌浆压力(把涌水压力考虑进去)的边固边灌, 在涌水严重孔段采用适当延长屏浆时间等措施, 取得了满意的效果, 满足了设计的要求。

**关键词:**坝基; 帷幕灌浆; 涌水; 破碎; 节理; 裂隙; 排水孔

**中图分类号:** TV543 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2009)08-0064-02

**Curtain Grouting Technology of Special Dam Section in Taoyuan Hydro-junction of Tonghua/WANG Fu-ping<sup>1</sup>, LIN Gang<sup>1</sup>, WANG Li-min<sup>2</sup>, HUANG Jian-guo<sup>1</sup>** (1. Jilin University, Changchun Jilin 130022, China; 2. Jilin Province Water Resource and Hydropower Consultative Company, Changchun Jilin 130000, China)

**Abstract:** The paper discussed full-face drilling without drill pipe lifting and consolidating by stable grouting with the pressure increasing in hard quartzite layer with developmental joints. Close grouting time was prolonged in serious water gushing segment to meet the design requirement.

**Key words:** dam foundation; curtain grouting; water gushing; broken; joint; fracture; drainage hole

帷幕灌浆是通过在地面钻地质探孔和注浆孔, 再向孔内压注水泥(或水泥-水玻璃等浆液), 浆液挤出开挖断面及其周围一定范围内的岩缝中的水, 保证围岩的裂隙被具有一定强度的混合浆体充填密实, 并与岩体固结成一体, 形成止水帷幕。针对不同工程实况可采用多种灌浆工艺。本文介绍的是在通化桃园水利枢纽工程特殊地段采用帷幕灌浆防渗, 由于地层特殊, 涌水量大, 采用了特殊施工工艺。

市二道江区桃园村桃园屯北约 1 km 处, 距河口约 20.1 km。坝址距通化市 17 km, 交通方便。

桃园水利枢纽工程是以供水为主, 结合发电、防洪、养鱼等综合利用的水电工程。枢纽由砼重力坝、电站、取水拦河坝和供水隧洞等项建筑物组成。

## 1.2 地层岩性

坝址区基岩主要为青白口系钓鱼台组石英岩, 呈灰白夹杂紫红色细粒结构, 厚层状构造, 具有明显交错层理。基岩在近地表段受到不同程度的风化, 强风化带厚度为 2~4 m, 弱风化带厚度为 10~13 m, 其岩石物理力学指标见表 1。

## 1 工程概况

### 1.1 位置及性质

桃园水利枢纽位于浑江支流哈泥河下游的通化

表 1 岩石物理力学指标统计表

岩石名称	项目类别	密度 /(g·cm <sup>-3</sup> )	容重/(g·cm <sup>-3</sup> )		紧密度 /%	孔隙率 /%	吸水率 /%	抗压强度/MPa		软化系数
			干	湿				干	湿	
石英岩	试验组数	10	20	10	10	10	8	9	23	8
	最大值	2.73	2.64	2.65	97.40	4.40	0.48	247.0	234.1	0.84
	最小值	2.68	2.58	2.59	95.56	2.60	0.13	154.6	76.1	0.57
	平均值	2.69	2.62	2.63	96.85	3.15	0.19	182.5	147.2	0.80

### 1.3 地质构造

坝址区断裂构造发育, 以 N-E 向为主, 坝区见有 15 条断层。据施工开挖观察, 有 5 条断层(F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>、F<sub>9</sub>、F<sub>10</sub>、F<sub>11</sub>) 在 3、4、5、6 坝段与坝轴线斜交。石

英岩岩层经多次构造变动, 节理裂隙发育, 尤其受 F<sub>1</sub> 顺河向正断层影响较强, 岩层透水性很大, 平均透水率为 20.85 Lu, 最大可达 128 Lu。

破碎带走向多为 N-E: 15°~40°, 倾向 S-E,

收稿日期: 2009-03-30

**作者简介:**王福平(1964-), 男(汉族), 黑龙江双城人, 吉林大学讲师, 探矿工程专业, 从事岩土钻掘设备教学和科研工作, 吉林省长春市亚泰大街 4026 号; 蔺刚(1970-), 男(汉族), 吉林舒兰人, 吉林大学副教授, 地质工程专业, 博士, 从事多工艺潜孔锤钻进技术研究和岩土钻掘工程教学工作, fortell@qq.com。

倾角 $50^{\circ}\sim 80^{\circ}$ ,宽度 $2\sim 3\text{ m}$ ,个别影响带宽 $30\sim 40\text{ m}$ ,断层带内角砾岩的胶结物为硅铁质,个别构造复合位置胶结差,受层间挤压、错动影响,普遍有挠曲现象,局部见有泥化现象。

#### 1.4 水文地质

坝区地下水类型有:第四系孔隙潜水、基岩裂隙水、裂隙承压水(局部)。石英岩历经多次构造变动,节理裂隙异常发育,且多张开,尤以河床部位岩石受 $F_1$ 、 $F_2$ 顺河向正断层影响较强烈,岩层透水性很大,单孔涌水量 $20\sim 24\text{ t/h}$ ,涌水压力为 $0.1\sim 0.2\text{ MPa}$ ,河床段钻孔深达 $50\text{ m}$ 时,其吕荣值仍大于 $3\text{ Lu}$ 。

地下水涌水情况:坝址区地下水与河水的水化学类型均为重碳酸钙镁型水,环境水对普通硅酸盐水泥和抗硫酸盐的硅酸盐水泥均有溶出性侵蚀。

### 2 特殊坝段的概况

1~4坝段靠近左坝肩孔壁稳定性差,涌水量 $3\sim 5\text{ t/h}$ ;5~6坝段涌水量 $18\sim 20\text{ t/h}$ ,涌水压力为 $0.1\sim 0.2\text{ MPa}$ ,孔口有大量的棱角状岩石碎屑返出,孔壁极不稳定;7~8坝段涌水压力为 $0.15\sim 0.2\text{ MPa}$ ,孔壁稳定性一般。这些极大地增加了帷幕灌浆施工难度。

### 3 特殊坝段帷幕设计方案

依据帷幕灌浆试验的结果和工程实践,在1~8坝段坝基帷幕灌浆由设计的单排帷幕灌浆孔,修改为双排帷幕灌浆孔。排距为 $1.0\text{ m}$ ,帷幕灌浆孔距为 $2.0\text{ m}$ ;上游排钻孔为斜孔,倾向上游,倾角为 $80^{\circ}$ ;上游排钻孔孔口距廊道上游边壁为 $1.0\text{ m}$ ;下游排钻孔为垂直孔,距上游排 $0.8\text{ m}$ 。钻孔距廊道上游边壁为 $1.0\text{ m}$ 。

在破碎、涌水、涌砾坝段,每坝段施工前首先钻 $2\sim 3$ 个排水孔,缩短段长(依据工程施工具体情况定),采用全面钻进不提钻稳定浆液灌浆并适当提高灌浆压力(把涌水压力考虑进去)的边固边灌的措施。

在涌水严重的坝段,预先钻排水孔减少涌水量和降低涌水的压力。适当延长屏浆时间,利于浆液排水固结。

### 4 特殊坝段的帷幕工程施工

在这一地层钻进,钻头的平均寿命在 $2\sim 4\text{ m}$ 。孔壁不稳定,涌水涌砾现象的存在无法成孔也无法

灌浆成为了一个难题。为解决这2个难题,我们从4个方面采取针对性的措施。

(1)在钻头上做了很大的改进,设计了小孔径全断面钻进钻头,采用 $\text{O}56\text{ mm}$ 底喷式全断面钻进钻头结合 $\text{O}56\text{ mm}$ 球齿状三牙轮钻头并用,可以不提钻灌浆,效果不错,但钻头平均寿命为 $5\sim 7\text{ m}$ ,仍比较短;

(2)在涌水的坝段提前钻 $2\sim 3$ 个排水孔,用以减小涌水量和涌水压力,利于灌浆,如果排水孔出现串浆可待返出浓浆液后封堵,灌浆单元结束后扫孔全孔灌浆、封孔;

(3)在灌浆工艺方面,提高灌浆的压力(在正常的压力的基础上加上涌水压力作为灌浆的压力)、缩短灌浆的设计段长(由规范要求的 $2\sim 5\text{ m/段}$ 施工时修改为 $0.8\sim 2\text{ m/段}$ )、延长屏浆的时间、采用稳定的浆液灌注( $0.75:1$ );

(4)在涌水涌砾及极为破碎坝段施工工序上采取的措施为限量灌注( $500\text{ kg/m}$ ),“灌浆→待凝→扫孔→灌浆”循环作业多达 $8\sim 9$ 次,最终达到设计孔深,满足灌浆质量要求。

## 5 帷幕灌浆施工效果

### 5.1 帷幕灌浆质量检查

帷幕灌浆质量检查以检查孔压水试验为主,检查孔宜为灌浆孔数的 $10\%$ 。一个坝段或一个单元工程内,至少布置一个检查孔。检查孔在坝段灌浆结束 $14$ 天后进行。本工程质量检查孔均由监理单位、设计单位布置。共布置检查孔 $12$ 个,完成压水试验 $57$ 段。

检查结果:压水试验均小于 $3\text{ Lu}$ ,合格率 $100\%$ 。具体检查结果见表2。

表2 坝基帷幕灌浆检查孔压水试验成果表

单元	检查孔		总段数	不同透水性段数		
	孔数/个	进尺/m		<1 Lu	1~2 Lu	2~3 Lu
1	2	35.90	6	2	2	2
2	2	38.70	7		4	3
3	4	106.00	22			22
4	4	106.70	22		5	17

注:(1)防渗标准为透水性 $<3\text{ Lu}$ ;(2)经压水试验检查各段透水性合格率为 $100\%$ 。

### 5.2 运行效果验证

#### 5.2.1 坝基基础扬压力

在帷幕后布置一排排水孔,经过高、低水位运行后,观测渗透压力值全部低于设计指标(见表3)。

(下转第68页)

因素,在基坑开挖时可能会发现局部有渗水较大现象,则应在附近位置采用双液注浆实施封堵,如果为水平渗漏水,采用将水引到围堰内,通过内部埋设水管,待砼达到强度后最后注浆将水管封堵。

在砂砾石层灌浆中,对灌浆压力的确定,目前还缺乏统一的、比较准确的计算灌浆压力的公式。灌浆初期,也可先凭经验预估的压力灌浆,然后根据吸浆情况以及对地表的观察,视有无冒浆或抬动变形情况,再做压力调整。

灌浆孔距主要决定于地层的渗透性、灌浆压力、灌浆材料等有关因素,一般要通过试验确定,通常孔距为2~4 m。如果在灌浆施工过程中,发现浆液扩散范围不足,则可采用缩小孔距,加密钻孔的办法来补救。一般情况下,帷幕深度宜穿过砂砾石层达到基岩,这样可以起到全部封闭渗流通道的作用。帷幕的厚度( $T$ )主要是根据幕体内的允许坡降值来确定的。但可按下式作初步估算:

$$T = H/J$$

式中: $H$ ——最大作用水头, m;  $J$ ——帷幕的容许比降,对一般粘土浆可采用3~4。

对于砂砾石厚度较浅的地层,一般设置1~2排灌浆孔即可,对基础承受的水头超过25~30 m时,帷幕的组成才设置2~3排。

灌浆的施工机具比较简单,可采用专用灌浆泵,

也可以自行用普通的泥浆泵加设一个简单的搅拌器组成。对进浆量较小的粉砂层灌浆,也可以采用简单的手压注浆泵或隔膜泵来代替。

## 7 施工效果

从施工的情况看,先施工的孔透水率高,灌注量大,后施工的孔透水率低,灌注量小,说明土体透水性随灌浆次数的增加而逐渐减少,表明效果是显著的。灌后压水试验几段次,透水性均小于10 Lu,基坑开挖时仅有局部出现水平渗漏现象,透水后期封堵,完全达到设计要求。

实践证明,采用双液灌浆法进行帷幕灌浆对桥墩围堰防水是成功的、有效的,说明了施工与设计、地质情况密切配合的重要性。同时为桂林的桥墩施工积累了一定的施工经验,近两年桂林漓江多座桥梁的施工或扩建的桥墩施工也借鉴了这一施工技术进行帷幕灌浆。

## 参考文献:

- [1] 梁炯均. 锚固与注浆技术手册[M]. 北京:中国电力出版社, 1999.
- [2] 黄辉. 锦屏一级电站厂房防渗帷幕灌浆施工工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(5).

(上接第65页)

表3 坝基扬压力观测情况表

库水位 运行情况	实测扬压力最大值/MPa			库水位 高程/m	排水孔 阀情况
	3坝段	7坝段	8坝段		
蓄水前	0.065				全部打开
高水位	0.060	0.023	0.016	441.25	全部打开
低水位		0.110	0.084	434.92	全部关闭

### 5.2.2 运行效果评价

桃园水利枢纽工程于2006年7月11日开始截流蓄水,2008年8月7日库水位达到441.25 m(正常高水位440.80 m),观测扬压力最大值为0.06 MPa,低于设计指标,经过1年多的运行和观测,大坝基础通过灌浆以及排水孔形成后,增强岩体整体性,减压效果非常显著,延长了渗径,降低了承压水头,经稳定分析坝体稳定,满足设计和规范要求。

## 6 结论与建议

(1)在硬脆碎地层灌浆,依据实际情况可以适当缩短灌浆段段长,增大灌浆压力,延长屏浆时间,并结合纯压封孔、待凝、复灌等技术手段,进行有效

地施工。

(2)涌水地段宜采用2排或3排灌浆孔,形成完整的、连续的防渗帷幕。宜采用孔口封闭灌浆法,结合纯压灌浆来延长屏浆时间,使水泥尽快达到初凝,以起到良好的封堵效果。

(3)涌水量大且承压水头高坝段预先钻进2~3个排水孔,用以降低扬压力,利于保证灌浆效果。

(4)建议在这一地区灌浆考虑采用稳定浆液,其水灰比为0.7~0.8可达到最优的效果。

(5)设计和采用底喷式全断面钻进钻头或三牙轮钻头,可以不提钻灌浆,效果相当于导管灌浆又省去导管法施工的时间以及由此带来的一系列问题,效果不错;但钻头平均寿命为5~7 m,还是稍短,尚需进一步研制更适用的钻头。

## 参考文献:

- [1] 彭振斌. 注浆工程设计计算与施工[M], 武汉:中国地质大学出版社, 1997.
- [2] 张景秀. 坝基防渗与灌浆技术[M], 北京:水利水电出版社, 1992.