

# 黄金坪水电站大坝防渗墙下基岩帷幕 钻灌施工技术研究

魏祥，李阳，马鹏奎

(四川二滩国际工程咨询有限责任公司,四川成都 611130)

**摘要:**黄金坪水电站大坝座落于大渡河干流深厚覆盖层上,防渗墙最大深度达130 m。墙下基岩帷幕灌浆施工具有钻孔深度较深、技术难度高、施工空间狭小等特点。通过有针对性的采取钻灌设备合理选型、预埋灌浆钢孔口管、精密控制孔斜等技术措施,大坝墙下深孔基岩帷幕取得了较好的防渗效果。研究并总结了黄金坪水电站大坝墙下基岩帷幕灌浆施工所采取的先进钻灌工艺与技术,可供类似水利水电工程推广与应用。

**关键词:**大坝防渗墙下基岩帷幕;无芯钻孔;合理选型;钻孔全景图像;黄金坪水电站

中图分类号:TV7;TV543;TV52;TV53+8.1

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2016)02-0068-03

## 1 工程概述

黄金坪水电站拦河大坝采用沥青混凝土心墙堆石坝,坝顶高程1481.5 m,最大坝高85.5 m,坝顶宽度为12 m,坝顶长度为407.44 m。

大坝防渗系统自上而下由沥青混凝土防渗心墙、河床廊道、混凝土防渗墙、基岩防渗帷幕组成。覆盖层坝基采用一道全封闭混凝土防渗墙防渗,墙厚1.2 m,最大深度130 m。防渗墙底部下接双排基岩帷幕防渗,最大基岩帷幕设计钻灌深度为145.5 m。墙下基岩帷幕灌浆施工在大坝河床灌浆监测廊道内进行。

沥青混凝土心墙堆石坝坝基地质结构:河床漂(块)砂卵(碎)砾石覆盖层,厚度分布约56~130 m,最大厚度为133.92 m。覆盖层下的基岩主要为斜长花岗岩。大坝左右岸基岩防渗帷幕底线要求深入弱风化岩层 $q=5$  Lu界线以下。

## 2 大坝墙下基岩防渗帷幕的设计

大坝墙下基岩防渗帷幕沿防渗轴线上下游两侧共布置2排,排距0.8 m,孔距2.4 m,共计布置了231个基岩帷幕孔,划分为12个灌浆单元工程(第10单元~第21单元)。

帷幕孔口高程为1400.5 m,最低终孔高程为1255 m,设计总孔深为89.26~145.5 m,设计最大钻灌深度为145.5 m。混凝土防渗墙内孔口管设计深度为5.2~129.2 m,基岩灌浆段分布深度为16.3~120.04 m。大坝防渗墙下基岩帷幕灌

浆质量合格标准:灌后透水率 $q \leq 3$  Lu。

为防止大坝墙下基岩帷幕灌浆钻孔钻穿和压水试验、高压帷幕灌浆劈裂防渗墙混凝土墙体而造成大坝防渗墙混凝土墙体不可修复的破坏,进而危及堆石坝结构安全,必须对大坝墙下基岩帷幕钻孔、压水试验、灌浆、封孔利用防渗墙内预埋的灌浆钢孔口管进行施工。

## 3 大坝墙下基岩帷幕灌浆施工

### (1) 现场生产性试验。

大坝墙下基岩帷幕结构直接关系到建于深厚覆盖层坝基上的堆石坝的长期安全稳定运行,必须对设计初步拟定的大坝墙下基岩帷幕灌浆施工参数进行严格的生产性试验和验证。

大坝深孔基岩防渗帷幕施工难度较大,对地质钻机、灌浆泵等钻灌设备选型和钻灌施工方法、孔内灌浆事故预防等施工技术均提出了较高的要求,因此,必须进行现场生产性试验进行探索、优化和论证。

经慎重比选,最终选定地质条件具有代表性的坝段第13单元——坝0+122.32~坝0+145.17(高程1400.5~1255 m)为大坝墙下基岩帷幕灌浆现场生产性试验区。

### (2) 钻灌施工参数及其主要钻灌设备。

①经大坝墙下基岩帷幕灌浆现场生产性试验论证最终选定了大坝墙下基岩帷幕灌浆施工参数及其施工工艺:钻孔采用无芯钻进工艺,灌浆采用孔口封闭灌浆法等重要施工技术(表1、2)。

收稿日期:2016-01-15

表1 大坝防渗墙下基岩帷幕灌浆钻灌施工技术参数表

序号	钻灌段次/段	钻灌分段段长/m	基岩帷幕灌浆压力 / MPa		
			I序孔	II序孔	III序孔
1	1	2	0.5	0.8	1
2	2	3	1	1.5	2
3	3	5	2	2.5	3
4	4	5	3	3.5	4
5	5	5	4	4	4
6	...	...	4	4	4

表2 大坝墙下基岩帷幕灌浆施工主要钻灌设备选型表

序号	钻灌设备	设备型号
1	地质钻机	XY - 2
2	高压灌浆泵	3SNS
3	灌浆自动记录仪	中大华瑞 JT - IV
4	测斜仪	KXP - 1

②各基岩帷幕孔段无芯钻进完成后,向上提升钻杆距孔底 20~50 cm,采用灌浆泵进行钻孔冲洗。钻孔冲洗合格后,孔内钻杆即做为灌浆射浆管,安装孔口封闭器后可连续进行裂隙冲洗、灌前压水试验、帷幕灌浆和无芯钻进下一孔段施工。

③大坝墙下基岩帷幕灌浆浆液比级采用  $W:C = 5:1, 3:1, 2:1, 1:1, 0.8:1, 0.5:1$  共计 6 个比级,开灌水灰比采用  $W:C = 5:1$ 。

④大坝墙下基岩帷幕灌浆浆液变换原则:按照《大坝基础基岩防渗帷幕灌浆施工技术要求》(2013 年 12 月)和《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》(DL/T 5148—2012)执行。

⑤大坝墙下基岩帷幕各孔段灌浆结束标准:在该灌浆段最大设计压力下,注入率不大于 1 L/min,继续灌注 30 min 后可结束灌浆。当地质条件复杂、地下水水流速大、注入量较大、灌浆压力较低时,持续屏浆时间应延长至 60 min。遇有涌水孔段时,其灌后必须采取闭浆待凝措施,闭浆待凝时间不得小于 8 h。

⑥大坝墙下基岩帷幕孔的封孔方法:0.5:1 浓浆置换稀浆后,采用全孔灌浆法进行封孔,孔口封闭纯压 30 min,封孔压力采用最大灌浆压力。

#### 4 大坝墙下深孔基岩帷幕施工技术研究与探讨

##### (1) 预埋灌浆钢孔口管施工技术。

为防止大坝墙下基岩帷幕灌浆钢孔口管在防渗墙混凝土浇筑过程中发生位移和变形,确保墙下基岩帷幕灌浆钢孔口管的垂直度和通畅性,必

须采用 φ22 螺纹钢筋焊接制作刚度较大的灌浆钢孔口管固定桁架,每节灌浆钢孔口管固定桁架长 12 m。

大坝墙下基岩帷幕灌浆钢孔口管采用 φ110、壁厚 4 mm 的钢管。对钢孔口管管材及其焊接接头必须进行抗渗耐压试验。抗渗耐压试验方法采用压水试验进行,其压水压力为最大基岩帷幕灌浆压力(4 MPa)。灌浆钢孔口管本身也是固定桁架的重要支撑固定构件之一。

大坝墙下基岩帷幕灌浆钢孔口管必须与钢筋固定桁架或防渗墙钢筋笼之间焊接固定牢靠。上部防渗墙钢筋笼和下部钢筋固定桁架之间的灌浆钢孔口管必须焊接连接顺直。灌浆钢孔口管固定桁架必须分节起吊、防渗墙槽孔孔口连接后再整体起吊下放安装就位。

##### (2) 深孔基岩帷幕钻孔无芯钻进工艺。

因大坝墙下基岩帷幕灌浆孔钻孔较深,为节省钻孔取芯和灌浆射浆管下设工序时间,黄金坪水电站大坝墙下基岩帷幕钻孔采用了无芯钻进和无芯钻杆做为灌浆射浆管的新工艺。无芯钻头采用普通金刚石钻头,内焊合金牙轮,无芯钻头和扩孔器总长度为 20~30 cm。

##### (3) 深孔基岩帷幕钻灌施工设备合理选型。

大坝墙下基岩帷幕设计总孔深为 89.26~145.5 m,为深孔基岩帷幕灌浆施工。在钻孔孔斜控制、钻杆起吊或下设、射浆管钻杆防铸等灌浆技术方面均存在较大的施工难度,在国内已建水利水电工程深孔基础帷幕施工中也是极为少见的。

大坝墙下基岩帷幕钻孔选用 XY - 2 型地质钻机,先导孔钻孔取芯采用 φ75 金刚石取芯钻头,普通基岩帷幕孔采用 φ75 金钢石无芯钻头,选用 φ60 矩形内螺纹钻杆清水钻进。

所选用的 XY - 2 型地质钻机在回转扭矩、钻孔效率、孔斜控制等方面均明显优于 XY - 2PC 型地质钻机。3SNS 三缸高压灌浆泵在输出排量、泵压和机械性能稳定等方面均较好。

##### (4) 深孔基岩帷幕孔斜测量及其仪器的合理选型。

因大坝墙下基岩帷幕总孔深较深,其终孔孔斜测量验收采用 KXP - 1 型电子测斜仪,自孔底向孔口每间隔 10 m 测量一次孔斜值。由于电子测斜仪操作简便,既保证了基岩帷幕终孔孔斜测

量的准确性,也能加快基岩帷幕终孔验收进度,其终孔验收效率明显高于其他机械测斜仪器。

#### (5) 深孔基岩帷幕钻孔深度测量方法。

为有效控制每一基岩帷幕灌浆孔段的钻孔深度,防止出现较大的孔深超钻或欠钻现象,要求在每一帷幕灌浆孔段钻孔工作结束后,必须及时申请让监理测量验收实际钻孔的深度。

各基岩帷幕灌浆孔段的钻孔冲洗合格后,将细钢绳测绳的测针( $\varphi 6$ 圆钢、 $L=50$ cm)穿过钻杆中心孔下放至孔底进行孔深测量。

#### (6) 深孔基岩帷幕灌浆施工排污系统。

大坝墙下基岩帷幕灌浆施工位于堆石坝最底层的大坝河床灌浆监测廊道内。必须及时抽排和清运灌浆施工产生的大量废水、废浆、废渣,以防止其污染基岩帷幕灌浆孔。

大坝墙下基岩帷幕灌浆施工期间,在大坝河床灌浆监测廊道内布置了1个集水池,2台37kW污水泵,经4in(1in=2.54cm)排污钢管抽排至洞外沉淀池,再次沉淀后达标排放。各施工班组独立配置专职清渣人员,将施工废渣及时装袋并采用卷扬机提升清运出洞。

### 5 大坝墙下基岩帷幕灌浆质量检查及其防渗效果

#### (1) 钻孔、压水试验质量检查。

为防止大坝墙下基岩帷幕灌浆质量检查钻孔钻穿和压水试验劈裂防渗墙混凝土墙体而造成大坝防渗墙混凝土墙体不可修复的破坏,进而危及堆石坝结构安全,将大坝墙下基岩帷幕灌浆质量检查孔布置在原混凝土防渗墙墙体质量取芯孔、墙下基岩帷幕灌浆原孔部位。

表3 大坝墙下基岩帷幕灌浆施工质量检查成果表

质量检 查单位	质量检 查单元	质量检查孔 /孔	透水率最大值 $q/Lu$	透水率最小值 $q/Lu$	透水率平均值 $q/Lu$
监理质 量检查	12个单元	22	3.48	0	0.87
第三方 质量检查	3个单元	3	1.94	0	0.13

#### (4) 大坝墙下基岩帷幕灌浆实际防渗效果。

2015年5月1日,黄金坪水电站工程大坝下闸蓄水,大坝最高蓄水至高程1472.3m。根据对当日大坝安全监测数据进行的分析:坝基防渗墙前渗压水位高程为1472.3m,防渗墙后渗压水位高程为1410.6m,深厚覆盖层坝基防渗体系上下

大坝墙下基岩帷幕灌浆各质量检查孔钻孔取芯、压水试验分段与灌浆分段段长一致。检查孔各孔段压水试验均采用单点法,自上而下、分段卡塞进行。压水试验塞采用顶压塞结构。

大坝墙下基岩帷幕灌浆质量检查孔压水压力为:第1段(2m)先采用0.4MPa压水压力进行质量检查,再采用1MPa压水压力进行一次质量检查。其余孔段的压水压力均采用1MPa。大坝墙下基岩帷幕检查孔压水试验合格标准:灌后透水率 $q \leq 3 Lu$ 。大坝墙下基岩帷幕灌浆施工监理质量检查成果见表2。

#### (2) 钻孔全景图像检查。

为直观探查大坝墙下基岩帷幕灌浆水泥浆液在坝基花岗岩岩体中的扩散半径以及裂隙、破碎带岩体中的充填结石状况,采用钻孔全景图像检查方法做为大坝墙下基岩帷幕灌浆施工质量检查的辅助检查方法。钻孔全景图像检查和检测成果分析必须由具有相应物探检测资质的物探检测中心进行。

#### (3) 第三方质量检查。

为确保大坝基岩防渗帷幕体系施工质量,客观、准确评价大坝左右岸基岩帷幕灌浆防渗效果,黄金坪水电站工程引入了第三方灌浆质量检查方式。

大坝墙下基岩帷幕灌浆监理质量检查完成后,由发包人重新布置大坝墙下基岩帷幕灌浆第三方质量检查孔,由第三方灌浆质量检查单位独立进行灌浆质量检查并出具第三方灌浆质量检查报告。大坝墙下基岩帷幕灌浆施工第三方质量检查成果见表3。

游渗透水头折减61.7m,折减率为85%。

上述数据证明:大坝防渗墙及其墙下基岩防渗帷幕的防渗运行效果较好。无芯钻孔工艺和孔口封闭灌浆法技术在黄金坪水电站大坝深孔基岩帷幕灌浆施工中取得了圆满成功。

(下转第75页)

最终滑坡体在阻力的作用下静止于河谷底部。涌浪波峰高度不断增大,随后首浪形成。

涌浪形成后,以入水点为圆心,迅速向对岸及上下游推进。在传播过程中,由于地形变化而发生的反射、折射、绕射等造成波浪变形及衰减。首浪分别在8 s、10 s时传播至坝址和对岸。涌浪正向传播至对岸,以较大速度爬高并回落,最大爬坡高度达15 m左右。向对岸传播的涌浪碰到回落的涌浪后相互作用,使水流高度紊乱。

涌浪斜向传播至坝前、受到大坝的阻拦后波浪变陡,波峰水质点的速度增大并迅速壅高。坝前水面涌高近10 m并导致水流漫坝,翻坝首先开始于左坝肩,随后发展至整个坝顶,最后在右坝肩处出现较大的翻坝流量。首浪产生后,还有次浪生成,但波高明显减弱,翻坝量及对岸爬高都明显减小。涌浪在库区传播及反射的作用下使库水面反复震荡,随后逐渐静止。

## 5 结语

笔者在FLOW-3D中实现了库岸滑坡引起涌浪直至翻坝整个动态变化过程的数值模拟,重现了滑坡涌浪产生-传播-翻坝的整个过程,克服了传统滑坡涌浪产生、传播、翻坝“单独、定值”研究

(上接第70页)

## 6 结语

笔者对黄金坪水电站大坝防渗墙下基岩帷幕灌浆施工中的先进钻孔工艺、灌浆方法、钻孔孔深和孔斜测量等施工方法和经验进行了总结和梳理,希望在今后的大坝深孔基岩防渗帷幕施工中得以合理运用并继续验证、优化部分钻灌施工工艺。

同时,黄金坪水电站大坝墙下基岩帷幕灌浆施工中也出现了值得继续探索、研究和论证的大坝深层基础防渗处理技术课题。

(1)大坝深层防渗帷幕钻灌深度有逐渐加深的趋势,新型钻灌设备和先进的灌浆施工技术有待积极探索、优化、创新。

(2)建议钻孔冲洗工序应做为独立工序。水

模式的不足,期望该计算成果对大坝的设计及滑坡涌浪灾害预防提供参考。

## 参考文献:

- [1] Edward Noda. Water waves generated by landslides[J]. Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division, 1970, 96(4):35-85.
- [2] Rudy Slingerlang, Barry VoightPaolo. Evaluating hazard of Landslide - Induced water waves[J]. Journal of the Waterway Port Coastal and Ocean Division 1982, 108(4):502-512.
- [3] 潘家铮.建筑物的抗滑稳定和滑坡分析[M].北京:水利出版社,1980.
- [4] 哈秋龄,胡维德.水库滑坡涌浪计算[J].人民黄河,1980,2(2):30-36.
- [5] 宋新远,邢爱国,陈龙珠.基于FLUENT的二维滑坡涌浪数值模拟[J].水文地质工程地质,2009,59(3):90-94.
- [6] P. Heinrich. Nonlinear water waves generated by submarine and aerial landslides [J]. J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng, 1992, 118(3):249-266.

## 作者简介:

明唯(1989-),女,河南安阳人,在读硕士研究生,研究方向:滑坡涌浪数值模拟;  
田忠(1977-),男,湖南保靖人,副研究员,博士,研究方向:工程水力学、山区水库滑坡涌浪翻坝机制。

(责任编辑:李燕辉)

利水电工程施工实践证明:若不采用灌浆泵输送大流量水流,采用无芯钻进的深孔基岩帷幕孔则难以将其孔底岩粉冲洗干净,势必严重影响深孔基岩帷幕灌浆的质量。

(3)大坝基岩防渗帷幕灌浆施工应重视开灌水灰比的合理选择。在稀浆开灌阶段,稀浆中的水会进一步适度劈裂岩层裂隙,水泥颗粒更易渗入、密实充填于岩层裂隙之中。

## 作者简介:

魏祥(1976-),男,四川成都人,水利部全国注册监理工程师,工程师,从事水利水电工程建设监理工作;  
李阳(1984-),男,河南信阳人,工程师,硕士,从事水利水电工程建设监理工作;  
马鹏奎(1982-),男,青海西宁人,工程师,硕士,从事水利水电工程建设管理工作。

(责任编辑:李燕辉)