

# 江雄水库新建大坝渗漏成因分析与处理

辛建芳<sup>1</sup>, 普布<sup>2</sup>, 杨俊<sup>3</sup>, 司马世华<sup>1</sup>, 朱家旺<sup>1</sup>

(1. 长江岩土工程总公司〈武汉〉, 湖北 武汉 430010; 2. 西藏自治区重点水利建设项目管理中心, 西藏 拉萨 850000; 3. 湖南澧水流域水利水电开发有限责任公司, 湖南 长沙 410000)

**摘要:**江雄水库蓄水初期,随着库水位逐渐上升,观测孔内水位高,坝下游陆续出现的渗漏量不断增大,量水堰最大渗漏量达到 300 L/s 的异常现象,影响大坝安全。通过大坝监测系统、电法探测、连通试验等成果,分析了坝基、绕坝、溢洪道、输水洞等渗漏主因,查找到主要渗流通道,为大坝堵漏处理方案设计提供了决策依据。还提出了安全渗流对保护下游生态有巨大作用的观点。

**关键词:**水库大坝;渗漏;成因;分析;处理;灌浆

中图分类号:TV543 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2012)12-0040-05

**Causes Analysis on Seepage of Newly Built Dam of Tibet Jiangxiong Reservoir and Treatment/XIN Jian-fang<sup>1</sup>, PU Bu<sup>2</sup>, YANG Jun<sup>3</sup>, SIMA Shi-hua<sup>1</sup>, ZHU Jia-wang<sup>1</sup>** (1. Changjiang Geotechnical Engineering Corporation 〈Wuhan〉, Wuhan Hubei 430010, China; 2. Key Hydro-project Management Center of Tibet, Lhasa Tibet 850000, China; 3. Hunan Lishui Hydro & Power Co., Ltd., Changsha Hunan 410000, China)

**Abstract:** At initial impoundment period, the water level in observation hole became high, the seepage amount was gradually increasing at the downstream of Jiangxiong reservoir dam and the abnormal phenomena appeared with maximum seepage amount of 300 L/s at the measuring weir, which affect the dam safety. Analysis was made on the major seepage causes of dam foundation, around-the-dam, spillway and water intake tunnel by dam observation system, electricity detection and interconnection test, the main seepage channels found to provide decision basis for dam impermeable scheme. And a view is also presented in this paper that safe seepage has enormous function to protect downstream ecology.

**Key words:** reservoir dam; seepage; cause; analysis; treatment; grouting

## 1 工程概况

江雄水库位于西藏山南地区贡嘎县境内,在朗杰雄曲上游河段江雄曲上。坝址海拔 3790 m,以上流域面积 154.17 km<sup>2</sup>,河道长 18.58 km,比降 47%。坝高 33.66 m,长 691.5 m,总库容 1169.19 万 m<sup>3</sup>,坝顶高程 3824.15 m,宽 5.0 m,正常蓄水位 3821.05 m。

有挡水坝、输水洞、溢洪道等建筑物,大坝为土工膜心墙土石坝。坝基防渗为“上墙下帷”,即河间地块深厚覆盖层段,设砼防渗墙,最深 40 m,墙下设有帷幕灌浆,最深 35 m。左右坝肩库岸设有单排帷幕灌浆防渗体。左岸布置溢洪道。右坝肩设穿山输水隧洞,洞长 136 m,进出口段属 V 类围岩;洞身段属 III 类围岩。

## 2 坝址地质条件

### 2.1 地形地貌

坝址区位于横向河谷地段,为高山深切宽谷,谷底宽约 400 m;左坝肩羊达帮山海拔 4460 m,右坝肩协帮日山海拔 4561 m。坝区右段为冲洪积扇,左段

为河床漫滩。

### 2.2 地层岩性

坝址区地层为第四系冲积、冲洪积松散堆积地层和晚三迭系浅变质岩地层。

全新统冲积与冲洪积,由含漂石砂卵石组成,分选较差、磨圆较好,粒径 0.5~20 cm,厚 7~16 m;

下部上更新统冲积或冲洪积,为含粘性土砂砾卵石层、砾质壤土等组成,粒径 0.5~7 cm,厚度 20~30 m;底部中更新统冲积,含粘性土砾卵石夹微含粘性土砂砾卵石层、砾质壤土等组成,粒径 0.5~10 cm,厚 32~43 m。

晚三迭系江雄组基岩地层岩性为薄层泥质板岩、砂泥质板岩和中~厚层砂岩、薄~中厚层砂质板岩等。

### 2.3 岩体风化带

左岸地表残积层厚 5.4~6.1 m,强风化带厚 7.7~23 m;右岸地表基岩裸露,强风化带厚 10~23 m。

强风化带均为泥质板岩,呈片状碎石夹土状,渗透系数为  $1.1 \times 10^{-2} \sim 5.6 \times 10^{-3}$  cm/s。

收稿日期:2012-06-27

作者简介:辛建芳(1975-),女(汉族),湖北武汉人,长江岩土工程总公司(武汉)工程师,工程地质专业,从事水利水电工程的设计与施工管理工作,湖北省武汉市解放大道 1863 号,yantuxj@126.com。

弱风化带呈片状碎块及岩屑,为泥、砂质板岩、砂岩等组成。38 m 以浅岩体透水性  $3.55 \times 10^{-2}$  cm/s;44.75 ~ 47.25 m 岩体透水率 15.7 Lu;49.15 ~ 54.05 m 岩体透水率 9 Lu。

## 2.4 水文地质

朗杰雄曲有常年流水,两岸冲沟汇集季节性流水。河滩及右岸水沟均有地表水流入施工区后汇入河床。地表渗水能力强,降水直渗地下,洪水汇流、起涨、流速快等特点。最大日降水量 35.9 mm,最大年降水量 549.6 mm。冻土深度 1.5 m。

坝址区地下水主要为松散介质孔隙水与基岩裂隙水,水量较丰富。岩体构造作用强烈,裂隙发育,部分裂隙张开,倾角约  $45^\circ$ ,垂直裂隙多。强风化带及弱风化带中赋存有裂隙潜水,与松散介质孔隙潜水为同一潜水面,同江雄河水及右岸支流等地表水存在补排关系。

## 3 大坝渗漏观测

2003 年 8 月,江雄水库开工建设;2006 年 9 月主体工程完工;2007 年 7 月,大坝自动监测系统建成完工。2007 年 7 月 20 日,水库初次蓄水。9 月上旬,库水位 3813 m 时,大坝下游渗水量加大,量水堰渗漏量为 200 ~ 300 L/s,相当年渗漏量 600 多万  $m^3$ ,大于设计允许渗漏量 180 万  $m^3$ /年。

### 3.1 右岸坝下渗流

2007 年 7 月 31 日,库水位达 3805 m,水深 15 m 时,右岸坝下量水堰开始有渗流现象,渗流量 90 ~ 100 L/s;8 月 3 日,库水位达 3807 m 时,8 号观测孔涌水较大,渗漏量 110 ~ 120 L/s;9 月 16 日,水库最高蓄水位 3813 m,最大水深 23 m 时,最大渗流量 300 L/s。

9 月底水库开始加大放水流量。10 月中旬,水位回落至 3811.20 m,减小放流至关闭水闸阀,保持库来水量与放水量基本平衡,维持库水位稳定。量水堰渗漏量为 180 ~ 220 L/s。

11 月初,上游来水量逐渐减小时,闸阀全部关闭,库水位每天下降 1 ~ 2 cm。右岸坝下量水堰渗漏量 160 ~ 200 L/s,渗漏水为清水,不含泥砂。

11 月上旬,沿坝下游平行坝脚线,间距 2 m 位置为轴线,开挖深 2 m 的探渗沟观测渗水情况。库水位 3811 m 时,坝右侧桩号 0 + 410 ~ 550、0 + 615 ~ 650 渗漏量约占探渗沟流量的 50% 和 30%,渗流水情具有面宽、点多、分散的特点,见表 1。

此间渗漏水,来自输水洞山体绕右坝肩渗流的可能性极大。

表 1 主要透水点漏水状况

序号	桩号	渗水高程/m	渗水形态	备注
1	0 + 416	3784.5	片状	渗量较大
2	0 + 418	3784.3	片状	渗量大
3	0 + 467	3783.4	线状	渗量较大
4	0 + 470	3784	带状、线状	渗量大
5	0 + 486	3783.6	面状	渗量大
6	0 + 503	3783.5	径流	渗量特大

### 3.2 左岸坝下渗流

2007 年 8 月 13 日,左岸溢洪道出口,下游约 52 m 处,距坝脚 146.36 m,开始产生渗水现象,渗流量 80 ~ 130 L/s,平均渗流量 105 L/s,出水点高程 3794.51 m。

左岸坝下游,桩号 0 + 066 ~ 289,均设 8 个探坑;溢洪道坡角设 3 个探坑。各探坑均有不同程度渗水,高程为 3783 ~ 3785 m。

坝后溢洪道中部冲沟的左侧约 50 m 处,观测孔内发出水流声响。

### 3.3 坝基渗流

坝脚下游距离 400 m 处为旱地农田,水位明显抬升,有地表径流,漫浸范围逐步扩大,有沼泽化现象。农田水位高程为 3783.27 m,此时,输水渠水位高程 3784.51 m,相差 1.24 m。冰封期坝上游水面观测,桩号 0 + 410 处,冰层下有微弱小股旋窝状水流,至接近坝基部位流向下流。

### 3.4 输水洞渗流

库水位为 3811.1 m 时,洞身两侧及洞顶有 8 个透水点,均在砼接缝处,分布帷幕轴线上下游,渗流量 100 ~ 120 L/s。局部呈线状射流,截水环部位渗水量较小。

## 4 大坝渗漏及成因分析

### 4.1 安全监测布置

大坝安全监测系统主要包括:中心站、变形、浸润线、视频等监测项目,坝体和表面均布置有监测仪器。

滑坡体位移监测,采用视准线及三角网控制相结合的方法。布置有 12 个觐标点,周边布置有 6 个控制觐标点。内部断层、夹层监测布置有 2 套测斜仪,测斜方向平行于坝轴线。

大坝变形观测觐标点布置有大坝两端控制点 N3 和 N5,施工控制点 JX7 和 JXs - 4,坝两侧各埋设了 3 个校核标点,下游空旷地带埋设有 2 个校核标点,共 12 个标点,采用视准线和水准测量等方法观测。

大坝渗流监测布置有 6 个断面,共 24 个浸润线

监测孔,见图1。监测仪器有水位传感器、绕坝渗流监测孔、渗流收集三角量水堰。新增探渗沟1条,探

渗坑10个,勘探及连通试验孔16个。

#### 4.2 勘探及连通试验

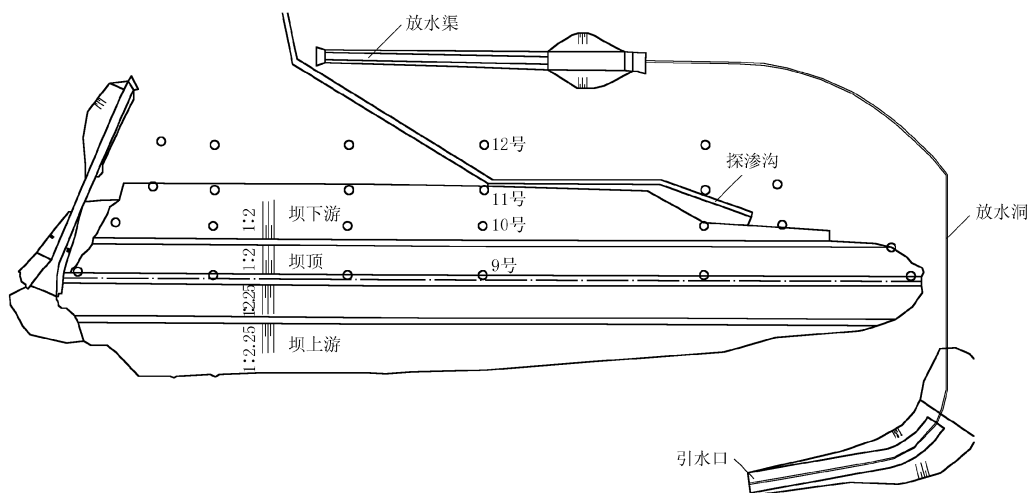


图1 大坝浸润线监测孔平面布置示意图

取可疑点设钻孔,钻探取心率,冲洗液漏失量大,揭露岩层破碎,垂直裂隙多。桩号0+684.5~715.5段6个孔的压水试验表明,岩层20~35 m透水率为14.36~9.2 Lu>5 Lu。

经过多次连通试验,示踪剂表明9、10、11孔同坝后探渗沟之间有良好的连通性。其透水率从9号孔→10孔→11孔,呈渐进增大趋势。通过计算、分析、对比,观测孔、探渗沟、量水堰及库内水温、电解质、电阻等指标变化规律,获得渗流层边界成果:

(1)高温渗流层在22 m以浅,浅部渗漏通道在25 m以浅,范围较宽广;

(2)低温渗流层为22~45 m,深层渗流在45 m以深,划定强渗漏层应在35 m以浅。

#### 4.3 渗流与库水位关联曲线

库水位与量水堰观测到的渗漏量之间,大致呈正相关关系,见图2。库水位高,渗漏量大,库水位下降,渗漏量随之减小。

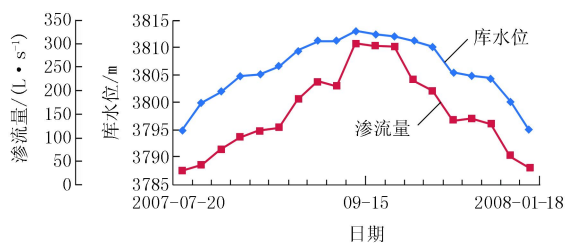


图2 库水位与渗漏量关系变化曲线图

2007年7月31日~8月3日,库水位从3804.90 m上升到3806.60 m时,库水位上升1.7 m,渗漏量由95 L/s增加到115 L/s,渗流量增加20 L/s;库水位上升1 m,渗流增量约11 L/s,渗流增量

与库水位增量比值约11:1。

2007年8月3日~9月16日,库水位从3806.60 m上升到水库最高水位3813.12 m,渗漏量由120 L/s增加到最大渗流量300 L/s。库水位上升6.52 m,渗流量增加约180 L/s,渗流增量与库水位增量的比值约28:1,库水位上升1 m,渗流增量约28 L/s,说明高水位下,渗流量变化明显。

库水位在3798 m以下时,未见量水堰有明显水流现象,其流量减小几乎为零,说明量水堰高程以下渗漏量,无法获取监测数据,此前观测到的最大渗流量仅是“相对值”,实际渗漏量要大于“相对值”。

#### 4.4 渗漏主因分析

依据监测数据分析,库水位逐步上升的同时,坝体及左右库岸围岩内水位抬高,原地质构造固有的渗流通道,开始发挥作用,加之占全年降水总量89%的大气降水补给,促成渗流量汇集增大。

##### 4.4.1 地质构造成因

江雄水库实际位于两条断裂带之间的地块上。北则约2 km处,有多条次级断层,主破碎带宽40 m。坝址冲沟切割深度20~50 m。

左岸强风化带厚23 m,裂隙张开,充填岩屑,线密度5~10条/m。右岸基岩裸露,为泥质板岩,坝肩处褶皱、破碎带、裂隙发育。褶皱平卧或倒转,裂隙张开,充填岩屑,线密度5~15条/m。河间地块,砂砾卵石层厚72.31 m(未见底),整个坝区无相对隔水层,河水及右岸支流补给地下水,工程地质条件较差。

由于坝址山体构造运动剧烈,造就的深切割河谷、褶皱、破碎带、裂隙等,分布坝轴线上下游,形成

良好的导水构造。库水位抬高后,在上下游水位差的作用下,库水沿着坝基深厚砾卵石层或大坝两端岩体中的空隙、古泉水道、裂隙、破碎带等通道向下游渗漏。是坝基和绕坝肩渗漏主要地质因素。

#### 4.4.2 坝基渗流成因

(1)水库挡水大坝为土工膜粘土芯墙碾压土石坝。芯墙同大坝基础防渗墙顶部联接方式为倒八字榫头连接。芯墙埋设及大坝填筑施工时,没有拆除坝基防渗墙的施工导墙,残留防渗墙顶部的施工废弃物和松散体有效清除难度大。导墙同地层接触带未作任何处理。

(2)河间地块,为深厚覆盖层,209 m 长坝基轴线,防渗采取上墙下帷防渗方案。墙厚 60 cm,墙体施工时,未埋设钢管,预留墙下帷幕施工通道。成墙后,为进行墙下帷幕施工,用金刚石钻头钻取防渗墙的 210 个芯孔,其孔斜率很难满足  $<0.71\%$ ,因此,一般在 35 m 以浅,钻头即漂出墙体,为墙体与上游松散层留有通道,库水位压力作用下,沿芯孔环状间隙,形成毛细渗流上升通道的可能性及大。

(3)坝基 I、II 序防渗墙接头处理,采用“平接+高压旋喷桩”工艺封闭接头。此种接头处理新工艺,未见有效验证资料,还缺少现行有效的规程、规范支撑,防渗墙体接头处必然存在软弱夹层;规范要求,高水位下,深厚砾卵石层中,慎用、不宜使用高压旋喷工艺,其成桩质量差,难以达到补强封闭的初衷。由于接头处理工艺缺陷,造成 I、II 序墙体接头未能有效封闭。

(4)冰封期坝上游水面观测,桩号 0+410~460,冰层下有多处微弱小股旋窝状水流,说明该处大坝土工膜芯墙存在缺损。

综合上述因素,都为坝基渗流提供了导水构造条件,形成坝基汇集渗流。

#### 4.4.3 右岸绕坝渗流成因

大坝共布置有 6 条剖面,24 个水位观测孔。右岸 2 条剖面,观测孔内水位,随库水位升高而抬升,应能说明库水位变化对大坝渗流量变化之间存在的关联作用。2007 年 8~10 月,水库蓄水前后,右岸坡观测孔内水位变化明显(见表 2)。

表 2 右岸主要观测孔内水位情况

/m

观测时间	迎 1 号孔(右)	背 2 号孔	背 3 号孔	背 4 号孔	迎 5 号孔(右)	背 6 号孔	背 7 号孔	背 8 号孔
2007-08-11	3802.47	3802.05	3801.700	3800.250	3799.600	3799.28	3798.650	3798.616
2007-09-04	3805.56	3803.07	3802.867	3802.504	3801.657	3801.99	3800.744	3800.011
2007-10-03	3806.11	3803.30	3803.133	3802.193	3801.342	3801.46	3801.117	3800.408
最大增量	$\Delta 3.64$	$\Delta 1.25$	$\Delta 1.43$	$\Delta 1.943$	$\Delta 1.742$	$\Delta 2.18$	$\Delta 2.467$	$\Delta 1.792$

库水位上升期间,迎水面和背水面观测孔内水位随库水位上升而逐次抬升。库岸水位升高,库水沿输水洞山体原生古泉水通道、破碎带、裂隙等导水

构造,以近似平行坝轴线方向,流动一段路径后,遇阻隔岩层,转向流入坝下游洼地“探渗沟”内,这是大坝绕渗水流的主要渗源路径,见图 3。

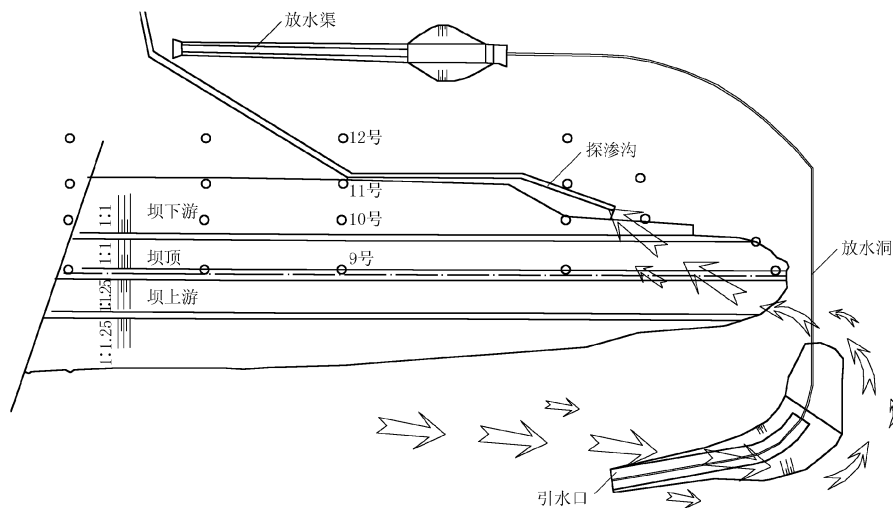


图 3 右坝肩渗源路径示意图

#### 4.4.4 左岸溢洪道渗流

左岸明显出水点在溢洪道消能段下 52 m 左右

的位置处,距坝脚线 146.36 m,出水点高程 3794.51 m,出水点流量随着库水位的降低而有明显的减少。

排除地表水因素影响,此处渗水与库水位相关。左坝肩桩号0-107~+055,两侧南东、东西向分布两条冲沟,同左库岸水位存在补排关系,库水位高时,向冲沟补水,库水位低时,冲沟向库内补水。现场观测发现,雨季蓄水期,冲沟向库内补水,然后沿左库岸山体透水层向下游排泄。

#### 4.4.5 放水洞渗流

放水洞截水环处渗流较小,该处辐射灌浆深度为3 m。不能排出截水环与防渗体连接部位能有效封闭。洞身两侧及洞顶共有8个透水点,说明洞体防渗帷幕存在缺陷,没能有效封堵岩层导水构造。通过物探手段查明该处有来自山体的渗漏通道。

### 5 渗漏处理

在分析连通试验、电法勘探、钻探点岩层压水试验等成果,又结合分析原防渗体系薄弱部位的基础上,查明渗源及渗流路径后,确定施工处理方案。

#### 5.1 处理方案设计

(1)右岸,0+558~716原孔距1 m的单排灌浆段,再进行加排灌浆,按孔距1 m,排距0.5和2 m两种型式布置;轴线向上游偏移1 m。

(2)右岸0+716~770原孔距2 m的单排灌浆段,再进行加密灌浆,孔距按1 m布置。

(3)左岸0+008~-079原孔距1 m的单排灌浆段,再进行加密灌浆,孔距按0.5 m布置。

(4)桩号0+401~556段,坝体直接渗漏,帷幕灌浆处理范围,为防渗墙顶以上2 m至防渗墙底以下2 m。孔距1 m,轴线向上游偏移1.1~1.5 m。

(5)输水洞桩号0+233~268段洞体两侧进行固结灌浆,孔距2 m;灌浆轴线输水洞桩号0+270~278洞身两侧进行3排固结灌浆,排距均为1 m,梅花型布置。

灌注材料选用抗冲蚀、抗稀释性能强的浆液;灌浆孔深按岩层透水率 $<5 Lu$ 控制。

#### 5.2 渗漏处理效果评价

堵漏处理时,主要串浆位置发生在坝基防渗墙顶接触带或以下25~40 m部位。桩号0+479,灌浆28~30 m处时,探渗沟0+467串浆;0+493灌浆43~46 m处时,探渗沟0+430串浆,见图4。串浆现象表明,坝基、右坝绕渗探测无误,其堵漏效果明显。

江雄水库后续监测结果说明,大坝渗漏处理前后比较,同一库前水位3813 m,由原来的300 L/s减少到101 L/s,对比减少了66%,堵漏效果明显。大坝变形、沉降量观测稳定,无异常现象。



图4 桩号0+493处灌浆,探渗沟0+430处串浆

2011年,水库正常蓄水后,库水位3815 m,渗漏量85 L/s;12月库高水位3815 m,渗漏量68 L/s。排除右坝肩水渠渗漏、地表水影响,渗漏量对比不断减小,满足设计允许渗漏量60 L/s,达到了预期效果。

但应该看到水库深层渗漏依然存在,不影响大坝安全且水库仍能发挥效益的情况下,可考虑暂不作处理,适宜的安全渗流对保护下游生态有巨大作用。

水库运行管理,在做好疏导排渗的同时,应加强对大坝渗流、变形、沉降监测,保证水库安全运行。

### 6 结语

(1)江雄水库位处高海拔地区,施工季节性强,年施工期不足8个月,多在丰水期施工,地下水力坡降大,径流大,水泥浆液经过钻具通道,泵入地下,进入裂隙、破碎带后,易被地下水流稀释,地下水力作用下,部分稀释浆液被带走,流向下流,滞留岩层中的浆液所形成的帷幕,完整性较差。

(2)坝址左右岸,河间地块,分布岩层具强透水性;古泉水道、裂隙、破碎带等地质构造发育,在坝轴线上下游,形成立体网状水力通道,其导水构造的复杂性、隐蔽性,极大增加了防渗难度。

(3)江雄水库的堵漏经验表明,施工前应专题研究坝址区地层构造、生成机理,地下水高程、流向、流速、路径等规律后,制定堵塞岩层通道、截断地下水的防渗方案。通过试验,选择适合施工的材料、工艺、机械、参数等,评估方案,确认过程。实践证明,前期工作研究充分且可靠,是实现预期目标的保证。

#### 参考文献:

- [1] 于维娟,赵永财.西藏贡嘎县江雄水库工程绕坝渗流计算分析[J].水利水电工程设计,2012,31(1):9-10.
- [2] 秦淑芳,周文斌.关于混凝土面板堆石坝监测仪器布置的探讨[J].大坝与安全,2007,(2):38-42.
- [3] 魏迎奇,彭卫军,蔡红,等.新疆吉林台一级水电站混凝土面板堆石坝渗漏成因分析[M].河南郑州:黄河水利出版社,2006.
- [4] 林宗元.岩土工程治理手册[M].辽宁沈阳:辽宁科学技术出版社,1993.
- [5] 林宗元.岩土工程试验检测手册[M].辽宁沈阳:辽宁科学技术出版社,1994.