

# 活盘水库大坝加固振动沉模防渗板墙设计

贾绍莲

(漳州市水利水电勘测设计有限公司, 福建 漳州 363000)

**摘要:** 介绍了振动沉模防渗板墙技术在活盘水库大坝防渗加固中的应用, 实践表明该技术大坝成墙防渗效果显著, 具有施工速度快、效率高、成墙质量好、防渗效果好、不污染环境等特点。

**关键词:** 土坝; 防渗加固; 振动沉模; 防渗板墙

**中图分类号:** TV543+.8 **文献标识码:** B **文章编号:** 1008-0112(2018)09-0019-04

## 1 工程概况

活盘水库位于福建省长泰县陈巷镇上花村, 距城关约 13 km, 所在河流为龙津溪支流, 坝址控制流域面积为 30.5 km<sup>2</sup>, 枢纽工程建设时间为 1959 年 10 月至 1962 年 3 月, 是一座综合利用的多年调节中型水利工程, 以灌溉为主, 另有防洪、发电、渔业等功能。

大坝为均质土坝, 坝基防渗形式为浆砌石齿墙。坝体上游坡采用干砌块石护坡, 下游坡为草皮护坡(大坝现状见图 1)。溢洪道位于大坝右侧, 堰型为实

用堰, 堰顶高程为 57.30 m, 净宽为 18.4 m, 闸墩厚为 1.03 m, 闸底板为 C15 钢筋混凝土, 闸墩及边墙为 M10 浆砌条石。闸室段长为 11.5 m, 平坡段长为 25m, 陡坡段长为 95.2 m; 下游采用消力池消能。闸门采用 20 t 手摇电动两用螺杆式启闭机启闭; 输水涵洞位于大坝左岸, 由坝内穿过, 形式为圪工箱涵套钢管, 闸门为铸铁转动门盖, 采用 5 t 手动绞车启闭机启闭, 最大输水流量为 3.5 m<sup>3</sup>/s。水库正常蓄水位为 62.30 m, 总库容为 1 992.8 万 m<sup>3</sup>。

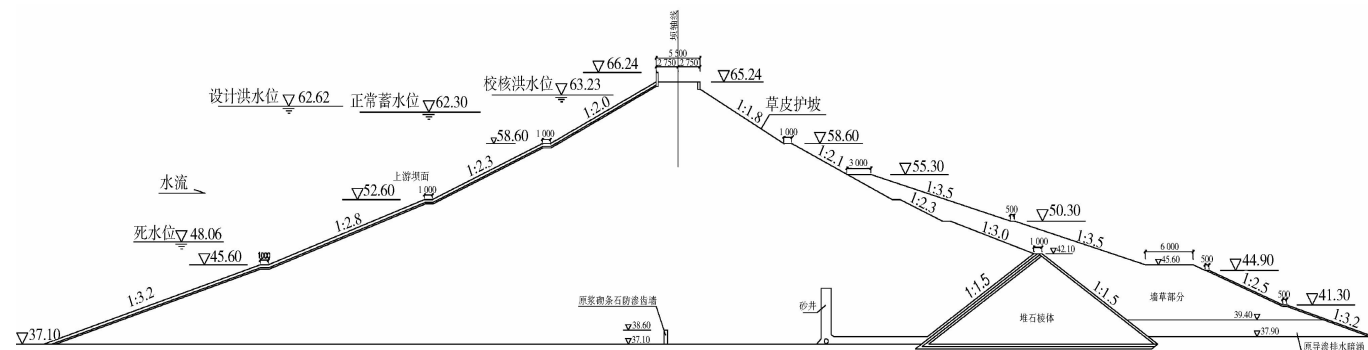


图 1 大坝现状示意

活盘水库建成后已运行 40 多 a, 由于工程建设过程中设计施工质量原因以及运行年代久远, 质量没有达到规范要求。实际施工中, 山坡接合槽挖深不够, 基础面清理不够彻底, 未对裂隙发育的基岩面进行灌浆处理, 未对坝基岩进行灌浆防渗处理。大坝坝体和坝基存在渗漏, 同时绕坝渗漏也较为严重, 总体渗流量较大, 大坝存在安全隐患且危及水库的正常运行。根据《活盘水库大坝安全鉴定报告书》的分析与评价,

该水库大坝属三类坝。

## 2 坝体防渗加固设计方案比选

活盘水库大坝施工时, 取料与施工质量控制不严, 填筑土中夹碎石、草根等杂物, 为零星分布, 无规律性及成层性。坝体土质密实程度不均一, 坝体填筑土的强度变化大且偏低, 坝体压实度普遍较低。坝体填筑土的渗透性差异很大, 存在中等透土层。特别是水库高水位长期运行时, 渗流量较大, 大坝坝体渗漏和

收稿日期: 2018-07-19; 修回日期: 2018-08-23

作者简介: 贾绍莲(1980-), 女, 本科, 工程师, 从事水工结构设计等工作。

绕坝渗漏较为严重, 这些均是大坝运行中大坝背水坡漏水及湿坡、大坝渗漏量较大的成因。故坝体需进行整体防渗处理。

坝基及坝肩采用帷幕灌浆防渗, 坝体防渗处理拟定4个方案进行比选, 其优缺点比较如表1所示。

表1 坝体防渗处理方案比选

	方案一	方案二	方案三	方案四
防渗处理方案	坝体中上部采用振动沉模板墙, 板墙与坝基及坝肩之间采用高压旋喷防渗墙, 坝基及坝肩进行帷幕灌浆, 以形成大坝垂直防渗幕墙	坝体采用高压旋喷桩, 坝基及坝肩进行帷幕灌浆形成大坝垂直防渗幕墙	上游面铺设土工膜与高压旋喷桩相结合形成大坝防渗幕墙方案	坝体采用劈裂灌浆及高压旋喷形成大坝垂直防渗幕墙方案
优点	施工速度快、效率高, 振动沉模形成的防渗板墙质量高, 防渗效果好, 不污染环境, 振动沉模板墙与高压旋喷灌浆形成垂直连续防渗墙与坝基及坝肩帷幕灌浆形成整体防渗, 且切断坝体、坝基、坝肩的各个渗漏, 防渗效果好, 且投资较省	施工场地要求不高、机动灵活, 与周边建筑物连接可靠	对坝体扰动较小	劈裂灌浆浆液渗透使封闭泥浆帷幕与原来漏水通道相通, 起到充填灌浆作用。且坝体变形稳定性得以提高, 在坝体与坝基接触带采用高压旋喷灌浆, 成墙整体性较好, 同时投资较省
缺点	施工工艺复杂、高喷灌浆技术要求高、需要专业队伍施工	施工控制复杂、需要专业队伍施工、成本费用高	土工膜与高压旋喷防渗墙及两岸山体的搭接技术难度高, 质量不能保证, 坝基帷幕灌浆量较大, 投资较大	对坝体扰动较大, 坝体劈裂灌浆施工技术要求较高, 且工期长, 成墙耐久性较差

考虑到上游面土工膜与两岸结合可靠性较难保证, 与坝基防渗难以形成整体性防渗; 高压旋喷桩需要专业队伍施工, 成墙造价较高; 劈裂灌浆对坝体扰动较大, 施工工期长质量难以保证, 而且成墙耐久性差。而振动沉模板墙施工速度快、效率高, 振动沉模形成的防渗板墙质量好, 防渗效果好, 不污染环境, 且板墙与坝基及坝肩之间采用高压旋喷防渗墙能有效切断坝体填筑土与坝基存在的接触渗漏。此外, 由于活盘水库大坝自1962年投入运行后进行了一系列防渗加固措施, 如对大坝进行充填灌浆, 坝肩防渗灌浆, 但处理后效果均不佳。

经综合比较, 方案一投资相对较省, 防渗性能好, 施工技术可行。因此, 坝体防渗处理推荐方案一, 即坝体上部采用振动沉模板墙、板墙与坝基及坝肩之间采用高压旋喷防渗墙、坝基及坝肩进行帷幕灌浆, 形成大坝垂直防渗幕墙方案。

### 3 坝体振动沉模防渗加固设计

#### 3.1 振动沉模防渗板墙技术

振动沉模防渗板墙施工时先用振动锤将矩形的钢板桩振入地下, 达到设计深度后停止, 再利用3PN立轴泥浆泵使水泥浆通过高压管输送到钢板桩, 经桩尖处特别设计喷门喷出。一边灌浆, 一边缓慢提升钢板桩, 直到完成全桩灌注。墙体两侧土体经板层压缩后,

与墙体一同起防渗作用, 防渗效果好。该技术适用于粘性土、砂性土、砂砾、淤泥质土的坝体和基础。振动沉模防渗板墙法成墙效率较高, 每天可造墙200 m<sup>2</sup>以上。墙体深度可达20 m左右, 适宜墙厚8~20 cm。振动沉模防渗板墙设计运用时必须确定墙体伸入坝基及坝肩深度及墙体厚度、渗透系数、抗压强度、使用材料等技术参数。

#### 3.2 活盘水库大坝防渗板墙设计

##### 1) 深度的确定

防渗墙最大水头差的2.5倍作为防渗墙深入透水地层的深度, 室内渗透试验填筑土的水平渗透系数 $k_H$ 值为 $8.47 \times 10^{-7} \sim 1.95 \times 10^{-4}$  cm/s。根据上述试验并结合大坝填土实际状况, 综合确定坝体填筑土渗透系数 $K$ 为 $7.0 \times 10^{-5}$  cm/s, 为弱透水。

坝体振动沉模板墙中心线沿坝轴线布置, 坝体中上部采用振动沉模板墙、板墙与坝基及坝肩之间采用高压旋喷防渗墙、坝基及坝肩进行帷幕灌浆, 以形成大坝垂直防渗幕墙; 板墙布置在大坝中上部, 两岸侧深10 m, 河床段深20 m, 深10 m板墙与深20 m板墙间采用14 m板墙过渡。高压旋喷防渗墙顶部与振动板墙底部间搭接长度为1 m, 伸入坝基及坝肩2 m。

##### 2) 厚度的确定

根据式(1)确定厚度:

$$d = K\Delta H_{\max} / J_{\max} \quad (1)$$

式中  $\Delta H_{\max}$  为作用在防渗墙的最大水头差； $J_{\max}$  为渗透破坏坡降； $K$  为抗压坡降安全系数，一般取 3~5。

根据作用在防渗墙的最大水头差及渗透破坏坡降，经计算防渗墙厚度采用 15 cm。

### 3) 设计参数

防渗墙体渗透系数  $K \leq i \times 10^{-7}$  cm/s ( $1 \leq i \leq 10$ )，渗透坡降  $J_{\max} > 500$ 。

防渗墙 28 d 抗压强度采用 4 MPa，弹性模量采用  $4 \times 10^3$  MPa。

### 4) 墙体材料

防渗墙墙体材料采用水泥粉煤灰砂浆，水泥采用强度为 32.5 级的普通硅酸盐水泥。配合比参考值为水：水泥：粉煤灰：砂 = 0.56 : 1 : 1 : 2。通过现场试验，据设计墙体的物理力学指标要求及地质地层情况，确定其浆液配方。

### 5) 施工注意事项

① 振动沉模施工前应将表层杂填土挖除干净。

② 当遇坚硬土质，施工难度大，难以沉板时，可按工序上段采用振动沉模防渗墙，下段采用高喷防渗墙衔接。

## 4 稳定和渗流复核分析

### 4.1 坝坡稳定分析

#### 4.1.1 计算原理和方法

根据国家地震局颁布的《中国地震烈度区划图》资料，活盘水库坝址处于地震基本烈度 7 度区，按照《水工建筑物抗震设计规范》(SL 203—97) 的规定，进行抗震稳定分析。按照《碾压式土石坝设计规范》(SL 274—2001) 的要求，稳定计算按平面问题采用不计条块之间作用力的瑞典圆弧法，稳定渗流期和水库水位降落期的安全系数，按下式计算(有效应力法)

$$K = \frac{\sum \{ C' b \sec \beta + [(W_1 + W_2) \cos \beta - (u - \gamma_w Z) b \sec \beta] \} \times \tan \Phi'}{\sum (W_1 + W_2) \sin \beta} \quad (2)$$

式中  $b$  为条块宽度； $W_1$  为坝坡外水位以上条块实重； $W_2$  为坝坡外水位以下条块浮重； $Z$  为坝坡外水位高出条块底面中点距离； $U$  为稳定渗流期或水库水位降落期坝体或地基中的孔隙水压力； $\beta$  为条块的重力线与通过此条块底面中点的半径之间角； $\gamma_w$  为水的容重； $C'$ 、 $\Phi'$  为土的有效强度指标。

#### 4.1.2 计算工况

根据土石坝设计规范的要求，并结合活盘水库的具体运用情况，采用洪水复核后的计算工况如下。

### 1) 正常运用情况

工况 1：上游库水位为死水位 48.06 m，下游水位为最低水位 38.80 m 时，上游坝坡的稳定。

工况 2：上游库水位为设计洪水位 62.62 m，下游水位为最低水位 38.80 m 时，上游坝坡的稳定。

工况 3：上游库水位为设计洪水位 62.62 m，下游水位为最低水位 38.80 m 时，下游坝坡的稳定。

### 2) 非常运用情况

#### ① 非常运用条件 I

工况 4：上游库水位为校核洪水位 63.23 m 骤降至堰顶高程 57.30 m，下游水位为最低水位 38.80 m 时，上游坝坡的稳定。

工况 5：上游库水位为校核洪水位 63.23 m，下游水位为最低水位 38.80 m 时，下游坝坡的稳定。

#### ② 非常运用条件 II

工况 6：上游库水位为设计洪水位 62.62 m，下游水位为最低水位 38.80 m 时，考虑 VII 级地震作用，上游坝坡的稳定。

工况 7：上游库水位为设计洪水位 62.62 m，下游水位为最低水位 38.80 m 时，考虑 VII 级地震作用，下游坝坡的稳定。

### 4.1.3 坝体材料物理力学指标

坝体填土的计算指标由土工试验结果按设计规范的要求整理分析后确定，堆石体等计算指标参照现有工程经验选用，大坝采用的材料物理力学指标如表 2 所示。加固后坝体的稳定安全系数计算结果见表 3。

表 2 坝体材料物理力学指标

名称	自然容重 /(kN/m <sup>3</sup> )	干容重 /(kN/m <sup>3</sup> )	凝聚力 c'/kPa	内摩擦角 Φ/°
原坝体土料	18.33	13.62	29.9	19.8
堆石棱体石料	18.85	16.65	0	40
培厚土料	17.62	13.38	0	25.6

表 3 大坝除险加固后坝坡稳定安全系数

	工况	安全系数
正常运用	工况 1	1.729
	工况 2	2.164
	工况 3	1.412
非常运用 I	工况 4	1.869
	1.369	工况 5
非常运用 II	工况 6	1.636
	1.169	工况 7

活盘水库大坝建筑物等级为三级,根据《碾压土石坝设计规范》(SL 274—2001)规定,正常运用条件坝坡抗滑稳定最小安全系数 $[K] = 1.3$ ,非常运用条件I下 $[K] = 1.2$ ,非常运用条件II下 $[K] = 1.15$ 。由以上计算结果表明,大坝除险加固后坝坡稳定均能满足规范要求。

#### 4.2 渗流分析

大坝防渗加固中,坝体中上部采用振动沉模板墙,板墙与坝基及坝肩之间高压旋喷防渗墙,坝基及坝肩进行帷幕灌浆,形成大坝垂直防渗幕墙。帷幕灌浆为单排布置,灌浆孔距为1.5 m。深入基岩相对不透水层( $5 Lu < q < 10 Lu$ )。

##### 1) 坝体渗透系数的选择

根据地质钻孔的注水试验结果,确定坝体填土渗透系数 $K$ 为 $7.0 \times 10^{-5}$  cm/s。因为坝体中上部采用振动沉模板墙,板墙与坝基及坝肩之间高压旋喷防渗墙,所以计算时假定坝体防渗墙渗透系数 $K$ 为 $7.0 \times 10^{-7}$  cm/s,坝基帷幕灌浆深入基岩相对不透水层( $5 Lu < q < 10 Lu$ ),计算时坝基岩体的渗透系数 $K$ 取 $7.0 \times 10^{-5}$  cm/s。

##### 2) 计算工况

工况1:上游库水位为正常蓄水位62.30 m,下游水位为38.80 m。

工况2:上游库水位为设计洪水位62.62 m,下游水位为38.80 m。

工况3:上游库水位为校核洪水位63.23 m,下游水位为38.80 m。

工况4:上游库水位为校核洪水位63.23 m 骤降至57.30 m,下游水位为38.80 m。

##### 3) 渗流计算结果

经过渗流计算,大坝除险加固后的渗流计算结果见表4。

表4 渗流计算成果

计算工况	渗流坡降
工况1	0.28
工况2	0.28
工况3	0.30
工况4	0.20

由以上计算结果可知,大坝除险加固后在各种工况下,通过坝体的渗流坡降 $J < [J] = 0.45$ (取粘性土的允许渗流坡降),满足设计要求。

#### 5 结语

长泰县活盘水库大坝在振动沉模防渗板墙技术方案实施后,大坝渗漏情况得到明显改善,坝体、坝基基本未见渗漏点,左、右坝肩绕渗及左岸绕坝渗漏量明显减少。在方案实施过程中也充分体现了振动沉模施工速度快、效率高、成墙质量好、防渗效果好、不污染环境等特点,方案实施后显著提高了工程的社会效益和经济效益。该技术通过多年推广应用,施工工艺技术日渐成熟,在土坝和堤防防渗加固工程建设方面有着广阔的应用前景。

##### 参考文献:

- [1] 白永年. 中国堤坝防渗加固新技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
- [2] 碾压土石坝设计规范: SL 274—2001[S].
- [3] 福建省水利水电勘测设计研究院. 福建省长泰县活盘水库除险加固工程初步设计[R]. 福州: 福建省水利水电勘测设计研究院, 2008.

(本文责任编辑 马克俊)

## Reinforcement Design of Vibration and Sinking-Mold Plank Wall of Seepage Prevention in Huopan Reservoir Dam

JIA Shaolian

(Zhangzhou Water Resources Planning & Design Co., Ltd, Zhangzhou 363000, China)

**Abstract:** This paper introduces the application of vibration and sinking-mold plank wall of seepage prevention in Huopan Reservoir Dam. The practice shows that the technology has obvious anti-seepage effect, and has the characteristics of fast construction speed, high efficiency, good quality of Wall formation, good anti-seepage effect, and no pollution environment.

**Keywords:** earth dam; anti-seepage reinforcement; vibration sink mold plank wall