

# 基于对水库除险加固工程施工技术的探究

王恺毅

(国能大渡河枕头坝发电有限公司,四川 成都 614700)

**摘要:**水库工程中的除险加固是保障水库运行安全、延长水库使用寿命的一项关键举措,这对水利工程的运行管理具有重要意义。基于此,以四川地区某水库为例对除险加固施工中遇到的问题及后续的加固施工技术进行了深入的探讨和分析,以期为业界工作者提供一些有益的参考和借鉴。

**关键词:**水库;除险加固;施工技术;问题分析

**中图分类号:**TV697.3

**文献标识码:**A

**文章编号:**1004-7344(2023)35-0064-03

## 1 工程概述

为进一步提高水库的供水可靠性及防洪标准,四川地区某水利电力勘测设计院于1989年4月完成了对水库枢纽工程加固初步设计,1993年进行专家会审,并于1997年1月开工对水库进行加固建设,1998年完工。完成了对水库坝体和坝基帷幕灌浆,上下游坝坡整修,坝面整护和排水工程的增设,输水涵洞漏水段的回填灌浆,改建溢洪道以及扩大东干渠首段和建跨河渡槽等工程措施。加固处理后,大坝的渗流问题得到一定改善,但2017年又发生坝体、坝基渗漏和输水涵洞断裂渗水等问题,且有加剧趋势,表明坝体、坝基和输水涵洞的渗漏问题依然存在。

## 2 四川某水库除险加固施工中的问题分析

由于上坝土料质量较差,坝基松散层未彻底清除,加之当时的施工条件仅限于人工挑土、拖拉机碾压,两岸接合部和涵洞接合部用人工夯压,施工碾压质量较差,虽作过除险加固设计与施工,但现状运行中坝体、坝基及涵洞仍存在严重的渗漏问题。根据现场勘察巡视,水库主要建筑物存在的主要病险情况分项说明如下<sup>[1]</sup>。

### 2.1 大坝

大坝下游坝坡输水涵洞出口高程一线存在明显的浸润渗漏现象,渗漏量随库水位的升高而逐渐增大。在库水位2053.24m时,靠近输水涵洞出口附近的下游坡高程2042~2045m渗漏面积超过456m<sup>2</sup>;在坡脚排水沟内,见有多个漏水点,经三角堰观测漏水量约为164m<sup>3</sup>/d(1.9L/s);排水沟至鱼池间的空地常年浸没潮湿,出露两泉眼,有涌砂现象,砂粒成分为砂页岩岩屑。

此外,坝后鱼池常年不干枯,现场巡视,虽未发现明显的渗漏现象,但水库高水位时尚需对鱼池进行排泄水处理,说明坝后鱼池内存在渗漏问题,据水库管理所人员的长期观测,渗漏水量与库水位的变化关系密切。

### 2.2 输水低涵

1998年对输水涵洞漏水段作回填灌浆,并在原闸门后增设工作闸门,同时另建工作桥,处理后,低涵渗漏状况得到一定程度的改善。由于输水涵洞均为坝下埋管,加之处理不彻底,现状输水涵洞渗漏变形问题依然严重,经现场巡视检查,里程0+014.00m、0+0017.30m、0+020.00m处,涵洞顶板及右侧墙裂开,裂缝顶板滴水,裂缝宽1~2mm;0+050.00m处,涵洞顶板及右侧墙裂开,裂缝宽2~5mm;0+063.00处,涵洞顶板裂开,裂缝宽1~2mm;0+023.30m、0+051.60m、0+065.00m、0+072.50m、0+073.30m处,涵洞顶板滴水,其中里程0+072.50m、0+073.30m渗漏较严重,约0.05L/S;0+010.00~0+074.30m涵洞潮湿,洞顶及两侧墙多处有渗漏痕迹,钙化等淋滤物沿涵洞顶及两侧墙堆积,渗漏严重处钙化堆积延伸至洞底,厚10~30mm。总体涵洞右侧渗漏较为严重,说明在高库水位时该部位涵洞存在着渗漏问题。工作闸现状轻微锈蚀,闸阀失灵、破损,水流从闸阀处呈股状漏出<sup>[2]</sup>。

### 2.3 溢洪道

经现场巡视检查,溢洪道边墙及底板稳定性好,未发现渗漏迹象。但下部平缓地段河槽淤积堵塞,对溢洪道的正常泄流将产生较大影响。

## 3 水库除险加固施工技术

### 3.1 大坝结构布置

坝顶:现状坝顶高程为2061.20m,坝顶宽5.0m,坝顶长120m,防浪墙顶高程2061.50m,经坝顶安全超高复核,坝顶防浪墙高程满足坝顶安全超高的要求(复核值为2061.28m,与现有防浪墙顶高程2061.50m相差0.22m)。但现状防浪墙(实际为路缘石)为圪工砌体,多处断裂。因此本次除险加固拆除原防浪墙,新建混凝土防浪墙来满足坝顶安全超高的要求,新建混凝土防浪墙顶高程为2061.5m(与现有防浪墙顶高程相同)。坝顶

路面现为混凝土路面,多处开裂,因此,本次除险加固拆除原混凝土路面,新建混凝土路面满足坝顶安全要求。

上、下游坝坡坡面加固:大坝上游坝坡在稳定水位各种工况下,其抗滑稳定安全系数大于现行规范值,上游坝坡稳定满足要求;下游坝坡在坝体采用混凝土防渗墙加固和培厚后,抗滑稳定安全系数满足规范要求。现状上游护坡的高程 2042.00~2061.20m 均为边长 0.45m 厚 0.12m 六边形预制混凝土板护坡,下设 0.25m 反滤料垫层,其中,碎石厚 0.10m,砂厚 0.15m;下游护坡为草皮护坡。针对上、下游坝坡护坡现状,本次除险加固,上游护坡拟维持现状不变,下游护坡待培厚完成后采用 C15 混凝土分格草皮护坡;下游排水棱体拆除重建,排水棱体与坝土间增设反滤保护层。

### 3.2 坝体防添加固处理

#### 3.2.1 加固处理方案

根据水库大坝渗流和坝坡稳定存在的问题,加固处理方案主要是通过工程措施来达到降低坝体浸润线的目的。降低坝体浸润线,可从两种技术途径来实现。

①改善第Ⅱ层坝土的透水性能,以达到降低浸润线的目的,因第Ⅱ层坝土处于坝体下部,此技术途径实施较为困难,效果难以保证,针对本工程的实际是不可行的技术途径。②对坝体采用防渗板(幕)墙将浸润线降低,此技术途径可有多种较成熟、可行的施工技术来实现。因此,本次对坝体防添加固处理方案推荐采用第二种技术途径来降低坝体浸润线。水库大坝高度已达 25.8m,比较可行的技术方案推荐以下两种<sup>③</sup>。

方案一:塑性混凝土防渗墙方案。

初拟墙厚 40cm,墙体混凝土的渗透系数  $K=1\times 10^{-7}\sim 1\times 10^{-8}\text{cm/s}$ ,渗透比降 $\geq 80$ ,单轴抗压强度 $<10\text{MPa}$ ,初始切线弹模 $<10000\text{MPa}$ 。

方案二:高压旋喷防渗板墙方案。

初拟渗板墙最小有效墙厚为 60cm,桩距 80cm,桩径 100cm,墙体渗透系数  $K\leq 1\times 10^{-6}\text{cm/s}$ 。

#### 3.2.2 防渗体计算结果及分析

(1)坝体的渗流性态。通过大坝横剖面上多种工况的二维有限元渗流计算,水库大坝在采取混凝土防渗墙处理后,坝体浸润线通过防渗墙后均有明显的下降,并进入排水棱体内,消除了防渗体后坝体浸润线较高的现象。但通过对比防渗能力的渗透性计算得:若防渗墙渗透系数小于  $1\times 10^{-6}\text{cm/s}$ ,下游坝坡的浸润线能下降得比较有效。若大于  $1\times 10^{-6}\text{cm/s}$  达到  $1\times 10^{-5}\text{cm/s}$  量级,则浸润线基本没有降低。

(2)坝基与坝体的渗流安全。从渗流计算成果看,当大坝采用混凝土防渗墙进行防渗处理后,浸润线降

低,下游坝坡处的渗流比降下降很大,仅为 0.05~0.06 左右,下游坝坡不会存在渗流破坏的可能,在各种工况渗流均从排水棱体排除;防渗墙的最大渗透比降为 26.1,小于混凝土防渗墙容许渗透比降  $J=80$ ,坝体的渗透稳定性是安全的。但坝基各部位的渗透比降均有所增加,强风化基岩部位最大渗透比降最大值达 0.12,小于容许比降 0.3。冲洪积层靠近出口部位渗透比降为 0.23~0.55,局部位置有可能接近或超过其容许渗透比降,在翻修倒滤体时应将该层切穿并作反滤保护。

#### 3.2.3 坝土防渗方案比选

根据以上计算,不论是采用塑性混凝土防渗墙,还是高压旋喷防渗板墙,都能达到本工程防渗的要求,从两种墙体的特性分析如下。

方案一:塑性混凝土防渗墙。

(1)塑性混凝土防渗墙具有不论在黏土、粉土和卵砾石土层中均能成地下连续墙的优点,且目前的施工技术对各期槽孔接头的连续性技术已达到连墙完整的要求。

(2)混凝土防渗墙体渗透系数可达到  $1.0\times 10^{-7}\text{cm/s}$  以下,抗渗比降较大, $J=80\sim 100$ 。

(3)缺点:墙体深度较大时有墙体下部存在局部交叉的问题。

(4)防渗墙混凝土弹模控制有一定难度。

方案二:高压旋喷灌浆。

(1)高压旋喷灌浆同样具有能在地下形成连续墙的优点,但土质不均一时,桩径及墙体厚度变化较大,对土质有一定的选择性。

(2)根据本工程运行条件,作用在高压旋喷板墙上的最大水头差为 23.3m,取旋喷板墙的允许渗透比降  $J=60$ ,则墙体计算厚度为 0.388m,考虑到施工影响因素和参考其他工程的经验,墙体设计厚度确定为 0.50m。只有当高压旋喷桩孔距在 0.8m,桩径 1.0m 时,墙体厚度才能达到本工程的施工要求。

(3)高压旋喷板墙成本比塑性混凝土防渗墙低,弹性模量也相对混凝土防渗墙低。

经技术、经济、施工等因素并结合本工程的实际综合比选,坝体防渗选定防渗体质量可靠、投资相对较高的塑性混凝土防渗墙(厚 40cm)方案。防渗墙轴线与坝轴线相同。

### 3.3 坝基防添加固处理

枢纽工程所在地区的地质为二叠系梁山组砂页岩和石炭系马平组灰岩。坝体全在砂页岩风化层及第四系地层上,第四系地层松散,砂页岩地层破碎,砂页岩下部为灰岩,节理、裂隙发育,导致基础渗漏过大,q 值达

0.61~66.1Lu。作为均质坝坝基,其承载力能满足施工要求,不存在压缩变形问题。

两坝肩均由 P<sub>1l</sub> 地层组成,岩性为灰、褐黄、灰黑、灰紫色强风化粉砂质泥岩、炭质页岩夹石英砂岩及煤线,岩石节理裂隙较发育,坝两肩地形较缓,自然坡度 20°~30°。左岸坝基 P<sub>1l</sub> 砂页岩厚 7.5~20m,层位分布基本稳定,其中,16.80~23.0m 为一灰岩透镜体,C<sub>3mp</sub> 灰岩埋藏深度 26.5~29.5m(坝顶起算),岩层节理裂隙均较发育,砂页岩岩心多呈不规则块状,灰岩溶蚀现象较明显。据钻孔压(注)水试验资料,岩石的单位透水率 q 多在 10~100Lu,中等透水。右岸坝基坝基下 P<sub>1l</sub> 砂页岩厚 9.0~22.5m,层位分布稳定,C<sub>3mp</sub> 灰岩埋藏深度 30.2~31.0m,岩层节理裂隙均较发育,灰岩溶蚀现象不甚明显。据钻孔压(注)水试验资料,砂页岩岩体的单位透水率 q 多在 10~100Lu,中等透水。而灰岩岩体的单位透水率 q ≤ 10Lu,弱透水。左岸下游由于冲沟切割存在低邻谷,该段砂页岩坝基存在渗漏问题。由于两坝肩岩体风化较强烈破碎,且下部 C<sub>3mp</sub> 灰岩溶孔、溶洞较发育,两坝肩存在绕坝渗漏问题。

河床坝基坝轴下游(Zk5 孔)至坝脚范围内坝基为冲洪积层,其余范围坝基为全强风化砂泥岩地层,兴建时坝基未清彻底。根据钻揭露 P<sub>1l</sub> 厚分别为 5.8m 和 15.50m,向库内逐渐增厚,向下游逐渐变薄而剥蚀;Zk2 孔的 31.30~49.00m、58.20~72.90m 和 Zk5 孔的 25.40~26.20m 处揭露有溶洞,均为充填型溶洞,Zk2 孔处揭露的溶洞规模较大,坝底至上部溶洞顶板厚仅 7.5m,其中砂页岩厚 5.8m,灰岩厚 1.7m,对坝基的稳定不利。

Zk6 孔揭露的 Q<sup>ml</sup> 层厚 3.2m,该层属中压缩性土,作为均质土坝坝基,该层的承载力和抗滑稳定性基本能满足坝体荷载要求。据钻孔压(注)水试验资料分析,坝基岩层或冲洪积层的单位透水率 q 多在 10~100Lu,中等透水,局部 q > 100Lu,强透水,砂页岩坝基岩体风化破碎,下伏灰岩坝基,溶洞及溶隙较发育,河床下游由于河流切割存在低谷,河床坝基及其一定深度存在渗漏的问题。

坝基及两坝肩在 1997 年除险加固时虽进行过灌浆处理,但据本次孔勘探资料分析,存在部分失效问题。本次除险加固施工,拟对大坝坝基及两坝肩进行帷幕灌浆处理,灌浆材料采用 42.5 等级的普通硅酸盐水泥。帷幕灌浆底界按透水率小于 5Lu 控制,同时考虑对坝基溶洞也进行灌浆。由于两岸坝肩存在绕坝渗漏问题,故防渗帷幕向左、右坝肩延伸,因地下水位较低,故延伸长度按一倍坝高考虑,取 30.0m。坝基防渗墙需嵌入基岩 1.0m。帷幕线长 180.0m。坝基帷幕灌浆采用单

排孔布置,孔距为 2.0m。帷幕灌浆分 3 序施工,推荐用中等压力进行灌浆。实际施工控制孔距、压力可根据灌浆试验结果加以调整。帷幕灌浆轴线布置于坝轴线(防渗墙轴线)上游 1.0m 处,且与坝轴线平行<sup>[9]</sup>。

### 3.4 下游坝坡进行培厚处理

水库坝体设计为均质土坝,但在 14.21m 坝高处明显分层,土体性质迥异,14.21m 坝高以上筑坝土料为中液限黏土(平均液限值 36.79%,平均塑限值 18.47%)14.21m 坝高以下筑坝土料为高液限黏土(平均液限值 58.35%,平均塑限值 28.38%),下游坝坡坡度较陡等情况。本次除险加固施工,拟对下游坝坡进行培厚处理,参照已建工程,初定培厚后下游坝坡坡比为 1:3。

## 4 水库除险加固后运行效果

目前水库病险最为常见的情况多为渗漏、滑坡和裂缝,所以需要做好防渗加固措施,通常采用的措施堵、排、封闭、翻筑、灌浆及加保护层等,通过除险加固施工以后,水库的质量得到有效的提高,在拦蓄洪水、削峰错峰及减少下游洪水风险方面发挥了重要的作用,使得水库的社会效益和经济效益得以有效的发挥出来<sup>[9]</sup>。

## 5 结语

综上所述,本文以四川地区某水库为例对其水库除险加固施工中出现的问题进行了深入的探讨和分析,并针对这些问题提出了相关的除险加固措施,特别是在坝体的防渗加固处理中所采用的塑性混凝土防渗墙,大大提升了水库坝体的防渗效果,提高了水库的使用寿命。总之,希望这些加固设计能够在水库加固施工中充分发挥其价值,同时希望能够为业界工作者提供一些有益的参考。

### 参考文献

- [1] 孙永文.水利工程大坝加固施工技术实践[J].科技传播,2011(19):153-154.
- [2] 张清明,徐帅,王锐,等.基于时移 3D 高密度电法的堤坝涵管接触渗漏探测研究[J].人民黄河,2021,43(12):135-138.
- [3] 吕绍文.水库坝体防渗加固处理方案的比选研究[J].云南水力发电,2022,38(11):139-142.
- [4] 米跃霞.浅析帷幕灌浆在中型水库坝基防渗加固处理中的应用[J].治淮,2016(4):45-46.
- [5] 杨静.病险水库除险加固效果的量化评价模型分析[J].陕西水利,2021(7):31-32,36.

作者简介:王恺毅(1987—),男,汉族,四川成都人,本科,工程师,主要从事水电站大坝运行管理工作。