

蛟潭庄水库大坝除险加固工程设计

刘杰

河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司, 中国·天津 300250

摘要: 以蛟潭庄水库大坝除险加固工程展开研究。详细阐述了该水库大坝存在的病险问题, 包括坝体结构缺陷、渗漏情况以及设施老化等。通过地质勘察、水文分析等前期工作, 综合考虑水库的功能需求与安全标准, 运用先进的设计理念与方法, 提出了针对性的加固设计方案。主要涵盖坝体加固措施, 对溢洪道进行拓宽、加固与优化设计, 提升泄洪能力; 对输水设施进行修复与更新, 保障输水效率与安全。加固后的大坝各项指标满足设计要求, 有效提高了水库大坝的安全性与可靠性, 为类似工程的设计与实施提供了有益参考。

关键词: 拦河坝; 溢洪道; 放水洞

Design of Jiaotanzhuang Reservoir Dam Risk Removal and Reinforcement Project

Jie Liu

Hebei Province Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Research Institute Group Co., Ltd., Tianjin, 300250, China

Abstract: This study focuses on the reinforcement project of the Jiaotanzhuang Reservoir dam. Detailed explanations were given on the hazardous issues of the reservoir dam, including structural defects, leakage, and aging facilities. Through preliminary work such as geological exploration and hydrological analysis, taking into account the functional requirements and safety standards of the reservoir, and utilizing advanced design concepts and methods, a targeted reinforcement design scheme has been proposed. Mainly covering dam reinforcement measures, widening, strengthening, and optimizing the design of the spillway to enhance its flood discharge capacity; repair and update water conveyance facilities to ensure water conveyance efficiency and safety. The various indicators of the reinforced dam meet the design requirements, effectively improving the safety and reliability of the reservoir dam, and providing useful references for the design and implementation of similar projects.

Keywords: barrage; spillway; water release cave

0 前言

论文对蛟潭庄水库大坝除险加固工程设计进行了全面深入的探讨。通过详细的工程地质勘察、水文分析以及对大坝病险状况的精准诊断, 制定并阐述了科学合理、针对性强的加固设计方案。采用多种先进技术与措施, 如坝体防渗的有效处理、结构稳定性的增强以及泄洪设施的优化等, 从根本上解决了大坝存在的安全隐患, 显著提升了大坝的防洪、蓄水等综合性能, 确保了水库下游地区人民生命财产安全和经济社会的稳定发展。

1 工程概况

蛟潭庄水库位于平山县蛟潭庄镇蛟潭庄村, 滹沱河流域卸甲河支流, 控制流域面积 12.5km^2 , 水库总库容 $27.8\text{万}\text{m}^3$, 兴利库容 $14\text{万}\text{m}^3$, 是一座以防洪为主, 兼顾农业灌溉的小 II 型水库。

水库由拦河坝、溢洪道与输水洞三部分组成。

拦河坝为粘土心墙坝, 坝长 70m , 最拦河坝高 17m , 坝顶平均宽 3.6m , 上游坝坡坡比为 $1:1.28$, 下游坝坡坡比为 $1:1.19$, 上、下游坝坡均为干砌石护坡。坝顶设浆砌

石防浪墙, 高 1.2m 。坝顶路面未硬化, 坝基设截水槽。坝上未设观测设施。

溢洪道位于拦河坝右岸, 为岸边正槽开敞式溢洪道, 进口高程 597.71m , 宽 11.0m 。

输水洞位于拦河坝右岸, 洞身形式为压力涵管, 穿过坝体进入下游坝脚的灌溉渠道, 出口为城门洞型, 采用闸阀控制, 最大输水能力为 $1.6\text{m}^3/\text{s}$, 设计灌溉面积 500 亩。

蛟潭庄水库保护了下游 2 个村庄 1800 人、 900 亩耕地及 1km 公路的防洪安全, 运行 30 多年来, 在防洪灌溉等方面发挥了较大的作用。

2 工程建设的必要性

2.1 水库存在主要问题

水库建成运用 30 多年来, 发挥了较为明显的效益。经过工程的现场查勘, 水库现状存在一些问题:

①上游坝坡杂草丛生, 干砌石破损, 局部凸起、有亏坡现象。

②坝顶土路面, 下雨天泥泞, 不利于防汛。

③无上坝交通路, 且坝坡较陡, 坝坡稳定性较差, 不

利于管理及防汛抢险工作。

④溢洪道有塌滑体,影响正常泄洪。

⑤无法对水库进行安全监测,无管理房屋,管理薄弱。

2.2 除险加固的必要性

为确保水库下游广大地区人民生命财产安全,对水库除险加固是十分必要的。

3 水文

3.1 流域概况

蛟潭庄水库位于平山县蛟潭庄镇蛟潭庄村,滹沱河流域卸甲河支流,控制流域面积 12.5km^2 ,坝址以上主河道长度 7.0km ,主河道纵坡 45% 。水库流域特征值由 $1:5$ 万地形图量测,

3.2 水文、气象

该流域属大陆性季风气候,四季分明,日照充足,春季干旱多风,夏季炎热多雨,秋季天高气爽,冬季寒冷少雨雪。流域极端最高气温 42.5°C 以上,极端最低气温 -19.5°C ,年平均气温 12.5°C ,多年平均降水量 660mm 。多年平均最大风速 9.33m/s 。一年内的降水大部分集中在夏季,6~9 月的降水约占全年降水的 80% 以上。

4 工程地质情况

①工程区最大冻土深度约为 0.6m 。

②拦河坝。

第一,根据《水利水电工程天然建筑材料勘察规程》附录 A 关于防渗体土料的质量指标要求,对比坑探及试验成果可见:坝体粘土心墙 $0\sim 1.8\text{m}$ 深度内为粉质壤土,粘粒含量 $13.2\%\sim 17.7\%$,其中探坑 JTZK₂ 土样不满足 $15\%\sim 40\%$ 的规范要求,其余两组土样均满足规范要求;塑性指数 $9.2\sim 11.1$,其中探坑 JTZK₂ 土样不满足 $10\%\sim 20\%$ 的规范要求,其余两组土样均满足要求;渗透系数 $7.2\times 10^{-5}\sim 4.2\times 10^{-5}\text{cm/s}$,不满足 $< 10^{-5}\text{cm/s}$ 的要求;天然含水率 $16.1\%\sim 20.6\%$,接近塑限 $16.9\%\sim 17.3\%$ 。因该库区地形原因,钻机无法上坝,仅采用探坑取心墙 1.8m 深度范围内土样进行试验,结果发现,心墙表层土粘粒含量、塑性指数、渗透系数及天然含水率等指标部分不满足规范要求,但都接近规范要求,推测深部土体质量应优于表层土体,故认为坝体粘土心墙质量基本满足规范要求。

第二,水库无上坝交通路,且上坝需穿过溢洪道,无交通桥,对管理、监测及防洪抢险不利。

第三,拦河坝上、下游坝坡较陡,不利于拦河坝稳定。

③坝基。

第一,坝基坐落于砾砂及弱风化角闪斜长片麻岩上,均是良好的天然持力层。

第二,根据地质调查、多年实际运用情况,并结合实地走访发现,该拦河坝下游无明显渗漏现象,坝基弱风化岩体具弱~微透水性,故坝基渗漏量应不大。

④溢洪道。

第一,溢洪道地质结构单一,底板及两侧边坡出露岩体为弱风化角闪斜长片麻岩,节理裂隙较发育,岩体被切割成块状及条带状,锤击脆声,强度较高。

第二,弱风化岩体承载力 f_k 建议值为 $1000\sim 3000\text{kPa}$ 。

⑤输水洞。

闸室破损,闸门严重损坏,不能正常运行。

⑥由于勘探精度所限,开工后岩性层位及岩石风化界线可能有所变化,施工时应加强施工地质工作,以应对地质条件的变化对工程的影响,以便及时采取工程措施,保证工程的安全。

5 工程现状安全复核

5.1 拦河坝现状安全复核

5.1.1 坝顶高程复核

根据《碾压式土石坝设计规范》,坝顶高程由水库静水位与坝顶安全超高之和确定。经计算,在正常运用条件下,坝顶高于静水位,满足规范要求的 20 年一遇设计;在正常运用条件下,坝顶低于静水位,不能满足 200 年一遇校核标准。因防浪墙与粘土心墙顶相接,故本次对心墙顶高程不再进行复核。

5.1.2 拦河坝渗流稳定复核

第一,计算断面。

拦河坝为粘土心墙坝,坝基条件较均一,为砾砂及弱风化角闪斜长片麻岩,计算时选取河床部位坝高最大断面作为计算断面。

第二,渗透指标确定。

采用的指标分别为:坝体砂壤土渗透系数为 $1.0\times 10^{-4}\text{cm/s}$,心墙土渗透系数为 $6.0\times 10^{-5}\text{cm/s}$,碎石渗透系数为 2.0cm/s ,坝基为砾砂,渗透系数为 $8.0\times 10^{-3}\text{cm/s}$ 。

第三,计算工况。

①稳定渗流。

上游正常蓄水位,下游水位与地面齐平。

上游设计洪水位,下游水位与地面齐平。

上游校核水位,下游水位与地面齐平。

②非稳定渗流。

上游水位由正常蓄水位,降至死水位。

上游水位由校核水位,降至正常蓄水位。

第四,计算方法。

拦河坝渗流根据河海大学水工结构有限元分析系统 (AutoBANK) 进行的计算。

第五,渗流量计算。

拦河坝为粘土心墙坝,坝基设有截水槽,坝体、坝基渗流量采用《水力计算手册》中公式计算。经计算,正常蓄水位情况下拦河坝渗流量为 $Q=1.08\times 10^{-5}\text{m}^3/\text{s}$,年渗漏量约为 0.03万 m^3 ,约占水库兴利库容的 0.21% ,由此可见,坝体、

坝基渗漏量很小,对拦河坝安全和效益的正常发挥不会造成太大影响。

第六,拦河坝渗透稳定复核。

大坝坝基下设粘土截水槽,截水槽坐落在砂砾层上。拦河坝破坏位置可能在坝后不同砌坝材料接合处以及坝脚处,坝基渗透稳定计算时渗透坡降计算公式如下:

$$J=\Delta H/L$$

式中: J ——计算渗透坡降;

ΔH ——坝基渗流溢出水的水头损失, m;

L ——折算后的坝基流线长度, m。

$$L=(L_{\text{基}}-L_{\text{槽}})+(K_{\text{基}}/K_{\text{槽}})L_{\text{槽}}$$

式中: $L_{\text{基}}$ ——坝基流线长度, m;

$L_{\text{槽}}$ ——坝基截水槽流线长度, m;

$K_{\text{基}}$ ——坝基渗透系数;

$K_{\text{槽}}$ ——坝基截水槽渗透系数。

经计算,正常蓄水位、设计洪水位和校核洪水位情况下,坝基最大水平渗流坡降小于坝基允许渗透坡降,坝基渗透稳定满足要求。

第七,渗透稳定分析。

经渗流稳定复核,蛟潭庄水库渗透稳定满足规范要求,不会产生渗透破坏,故此次除险加固工程不采取防渗措施。

5.1.3 拦河坝坝坡稳定复核

第一,计算断面。

为了结果一致性,选取坝坡稳定复核计算断面同坝体渗流计算断面。

第二,计算工况。

根据《碾压式土石坝设计规范》,本次复核选取以下工况进行计算。

①下游坝坡。

正常运用工况:上游正常蓄水位,下游无水。

上游设计洪水位下游无水。

非常运用工况:上游校核洪水位,下游无水。

②上游坝坡。

正常运用工况:上游水位由正常蓄水位降至死水位。

非常运用工况:上游水位由校核洪水位降至正常蓄水位。

第三,计算方法。

拦河坝为粘土心墙坝,上、下游坝坡为砌石,根据《碾压式土石坝设计规范》,坝坡稳定采用折线法进行计算。

第四,计算成果及分析。

经计算,拦河坝上游坝坡抗滑稳定安全系数满足的规范要求,下游坝坡在各种工况下均不满足设计规范要求,坝坡需进行处理。

5.2 溢洪道现状安全复核

5.2.1 工程现状

溢洪道位于拦河坝右岸,为天然岩石开挖而成的岸边

开敞式溢洪道,底宽 11.0m,长 28m。

溢洪道地质结构单一,底板及两侧边坡出露岩体为弱风化角闪斜长片麻岩,节理裂隙较发育,岩体被切割成块状及条带状,两侧山体有塌滑体,底板凹凸不平。

5.2.2 泄流能力复核

溢洪道纵向坡降较缓,渠道长与溢流堰上水头之比大于 10,已经超过宽顶堰计算范围,本次复核按明渠渐变流复核溢流堰的过流能力,计算公式如下。

$$Q=AC\sqrt{Ri}$$

式中: Q ——流量, m^3/s ;

A ——过水断面面积, m^2 ;

C ——谢才系数, $\text{m}^{1/2}/\text{s}$;

R ——水力半径, m;

i ——底坡。

5.2.3 溢洪道抗冲能力复核

溢洪道为天然岩石开挖而成,底板及边坡均为弱风化角闪斜长片麻岩。经计算校核洪水情况下泄槽内最大流速小于允许不冲流速,泄槽满足允许不冲流速。

5.3 输水洞现状安全复核

经过现场安全检查,输水洞出口排水管腐蚀比较严重,出口闸阀损坏严重,已无法正常关闭。

本次加固更换损坏闸阀,选用手动法兰铸铁闸阀。

6 拦河坝稳定的加固方案确定

通过以上分析发现,拦河坝现状渗流及下游坝坡抗滑稳定均不满足要求。拦河坝上、下游坝坡采用堆石,干砌石护面,上游坡比为 1 : 1.28,下游坝坡高程 592.71m 以上坡比为 1 : 1.19,以下坡比为 1 : 1.4。按照水工设计手册《土石坝》并类比其他同类工程,堆石坝体上下游边坡应满足堆石自然边坡,从安全角度考虑,上游堆石坡比不小于 1 : 1.2,下游坡比不小于 1 : 1.4~1 : 1.6。大坝上、下游坝坡抗滑稳定满足要求。

正常蓄水位、设计洪水位和校核洪水位情况下,坝基最大水平渗流坡降小于坝基允许渗透坡降,加固后的坝基渗透稳定满足要求。本次加固对下游坝脚进行压坡处理,压坡顶高程 592.71m,顶宽 2.0m,坡比 1 : 1.4,采用直径不小于 40cm 的块石干砌。

7 除险加固工程设计

7.1 拦河坝加固设计

拦河坝加固主要项目包括:拦河坝坝顶硬化,上游坝坡局部整修,下游坝脚干砌石压坡。

目前坝顶路面未硬化,雨季泥泞不堪,通行困难,本次加固将对坝顶路面进行硬化。首先将清除坝顶表层土,采用 20cm 厚泥结碎石路面,下游侧设预制混凝土路缘石,顶面与坝顶路面齐平。上游坝坡局部整修,下游坝脚干砌石压坡。

拦河坝上游坝坡局部破坏,本次加固对坝坡破算部位进行翻修处理。下游坝坡抗滑稳定均不满足规范要求,本次加固对下游坝脚进行压坡处理,压坡顶高程 592.71m,顶宽 2.0m,坡比 1 : 1.4,采用直径不小于 40cm 的块石干砌。

7.2 溢洪道加固设计

溢洪道为天然岩石开挖而成,底板及边坡均为弱风化角闪斜长片麻岩。本次溢洪道加固设计共考虑了两个方案,分别为降低溢洪道堰顶高程与拓宽溢洪道底宽相结合的方案、降低溢洪道堰顶高程。

7.2.1 方案 I: 降低溢洪道堰顶高程 + 拓宽溢洪道底宽

将溢洪道堰顶高程降低 1.0m,开挖溢洪道两侧山体,溢洪道底度由 11m 拓宽至 16.5m,开挖底坡 $i=0.265$,开挖边坡坡比为 1 : 0.75。

7.2.2 方案 II: 降低溢洪道堰顶高程

将溢洪道堰顶高程降低 2.0m,开挖底坡 $i=0.211$,开挖边坡坡比为 1 : 0.6。

7.2.3 方案比较

方案 I、方案 II 两种方案开挖量均为石方,施工难度大,通过工程量的比较,方案 I 工程量较大,但能保有更多的库容,本次除险加固确定采用方案 I: 降低溢洪道堰顶高程 + 拓宽溢洪道底宽的加固方案。

7.3 输水洞加固设计

工程自建成以后,输水洞出口采用闸阀控制,现闸阀锈蚀损坏,已无法正常关闭,更换闸阀为手动法兰铸铁闸阀。

7.4 人行桥及上坝路设计

由于水库无上坝路,汛期无法向拦河坝运送防汛物资。本次加固在距溢洪道进口处新建交通桥横跨溢洪道,与上坝路相接,并在右岸新建上坝路,以解决上坝交通问题。

7.4.1 人行桥设计

本次补充加固在距溢洪道进口处新建人行桥横跨溢洪道。

7.4.2 设计荷载

本桥为行人便桥,人群荷载标准值为 3.5KN/m。

7.4.3 设计内容

主桥共 3 跨,单跨长 8.0m,总长 24.0m,桥净宽 2.0m,桥墩采用浆砌石结构,桥台坐落在两岸基岩上。

桥面板为钢筋混凝土现浇板,宽 2.5m,长 8.0m;桥面为 10cm 厚的混凝土铺装层,桥面向两侧设 1.5% 的横坡。桥两侧为钢筋混凝土结构栏杆,高 1.2m。

桥墩和墩基础采用浆砌石结构。墩帽、台帽采用 C30 钢筋混凝土结构。

桥头直接与上坝路相连。

7.4.4 上坝路设计

本次加固在右岸新建上坝路,使其分别与新建人行桥、现存道路及坝顶汇合。首先清除表层腐殖土,对路面进行开挖、平整,采用泥结碎石路面。

7.5 观测设计

本次加固对拦河坝增设水位监测、变形监测及渗流监

测设施,设计共布置 1 组水尺、3 座位移标墩、4 个基准点和 2 个渗流监测断面、共布设 4 根测压管。

7.5.1 水位观测

水库水位监测采用水尺,在拦河坝上游左侧布置 1 组水尺对水位进行监测记录。

7.5.2 变形监测

在下游坝面布置 3 个位移监测点,桩号分别为 0+020、0+040、0+060,距坝轴线 3.0m,中间标点兼做工作基点使用。在纵断面两侧岸坡上分别布置起测基点和校核基点各 1 个,起测基点和校核基点均埋设在两岸稳固的山岩或原状土上,具体桩号现场确定。

7.5.3 渗流监测

坝体、坝基测压管各布置一个观测横断面,布置桩号 0+040、0+045,共 4 根测压管,管径为 50mm,测压管采用镀锌钢管。

7.6 管理处房屋设计

拦河坝右岸现有管理房一间,为砖混结构,现状已经无法正常使用。本次加固设计拆除原管理房,并新建管理房屋。水库管理处配备专业管理人员及必要的管理设备。

①选址:为方便管理,将管理房布置于坝体右岸上坝路进口处。

②建筑设计:考虑水库管理处配备的交通、管理设备和管理人员的日常工作需要,管理处建 30m² 的砖混平房。

8 结语

本设计方案不仅满足了蛟潭庄水库当前的实际需求,也为同类水库工程的除险加固设计提供了可借鉴的思路和方法,对推动水利工程安全保障技术的发展具有积极意义,期待能在实际工程应用中发挥其应有的价值,为水利事业的可持续发展贡献力量。

参考文献:

- [1] 肖珍宝,梁学文,班华珍,等.广西小型水库雨水情测报和大坝安全监测系统建设[J].广西水利水电,2022(1):105-107.
- [2] 解缙.武宣高达水库坝址地质条件与坝型选择分析[J].海河水利,2022(2).
- [3] 温永欢.堆石混凝土拱坝枢纽布置及结构稳定计算分析[J].中国水能及电气化,2019(5):5.
- [4] 陈建里.波波娜水电站发电引水隧洞洞径选择及投资比选[J].水利科技与经济,2013,19(6):2.
- [5] 张成军.土石坝防渗墙粘土混凝土材料研究与工程应用[D].西安:西安理工大学,2007.
- [6] 河北省水利水电勘测设计研究院.平山县蛟潭庄水库除险加固工程初步设计报告[R].2012.

作者简介:刘杰(1985-),女,中国河北石家庄人,本科,高级工程师。