

大沟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: 论文聚焦大沟水库大坝除险加固工程设计。详细阐述了大沟水库大坝现存病险状况, 包括坝顶防洪标准未达到规范要求等关键问题。通过地质勘察、水文分析等前期工作, 对现状大坝进行渗流、稳定等方面的复核计算, 运用先进的设计理念与方法, 提出针对性的加固方案, 如坝顶增设防浪墙, 有效提升了大坝安全性与可靠性, 确保水库正常运行功能的恢复与提升, 为类似水库除险加固工程设计提供了有益的参考与借鉴, 具有一定的工程应用价值与理论指导意义。

关键词: 拦河坝; 溢洪道; 泄洪洞

Design of Dam Reinforcement Project for Dagou Reservoir

Jie Liu

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

Abstract: This paper focuses on the design of the dam reinforcement project for Dagou Reservoir. Detailed explanation was given on the current dangerous situation of the Dagou Reservoir dam, including key issues such as the failure of the dam crest flood control standards to meet regulatory requirements. Through geological exploration, hydrological analysis and other preliminary work, the current dam was reviewed and calculated in terms of seepage and stability. Advanced design concepts and methods were applied to propose targeted reinforcement plans, such as adding wave walls to the dam crest, which effectively improved the safety and reliability of the dam, ensured the restoration and improvement of the normal operation function of the reservoir, and provided useful reference and inspiration for the design of similar reservoir reinforcement projects. It has certain engineering application value and theoretical guidance significance.

Keywords: barrage; spillway; spillway tunnel

0 前言

水库大坝除险加固工程是水利工程常见的后期维护工作, 不仅可以保障居民用水安全对当地农业生产和生态环境都有诸多益处, 常见的施工方法有灌浆施工技术、粘土截水墙修筑技术和堵塞漏洞裂缝施工等。论文提出针对性的加固方案, 如坝顶增设防浪墙, 有效提升了大坝安全性与可靠性。

1 工程概况

大沟水库位于永定河水系洋河支流清水河上游东沟下半部右岸一条中等支沟中, 位于崇礼区大沟村西南约 1km 处, 控制流域面积 21.0km^2 , 总库容 41万 m^3 , 是一座以防洪为主的小 II 型缓洪水库。

水库枢纽工程由拦河坝、溢洪道与泄洪洞三部分组成。

拦河坝为均质土坝, 坝顶长 180m, 最拦河坝高 18.20m, 上游坡比为 1 : 2.15, 下游坡比为 1 : 2.3, 上游为干砌石防护, 下游坝坡无护砌, 杂草丛生。坝顶宽 2.0m, 高程为 963.17m (假定高程, 下同)。

溢洪道位于水库拦河坝左坝头, 为标准的侧槽式溢洪道, 全长 192m, 其中侧堰长 32m, 泄水槽长 160m, 大体与坝轴线垂直。堰顶高程为 960.74m, 最大泄量 $155.12\text{m}^3/\text{s}$ 。

下游采用挑流消能形式, 堰面及挑坎采用混凝土结构。

泄洪洞位于距离拦河坝左坝肩 70m 处。全长 75m, 底坡为 1/50, 库水经泄洪洞下泄。泄洪洞断面形式为浆砌石门洞形拱涵, 断面尺寸为 $1.0 \times 1.3\text{m}$ (宽 $\times$ 高), 进口底高程为 947.27m, 最大泄量 $10.0\text{m}^3/\text{s}$ 。

大沟水库是一座缓洪水库, 自建成三十多年来, 对上游洪水起到了很好的调蓄作用, 保护了下游村镇。

大沟水库于 1971 年动工兴建, 1972 年 6 月竣工, 最初设计洪水标准为 50 年一遇, 校核标准为 100 年一遇。水库于 1976 年按照地区处理病险库的意见进行了加固处理, 将上下游坝坡加宽加固, 坡比达到 1 : 2.5, 泄洪洞加长到 75m, 重修了消力池。1981 年, 根据水利部颁发的《水利水电枢纽等级划分及设计标准 (山区丘陵区部分)》和地方处理病险库的安排意见, 进行了溢洪道的加固处理, 将溢洪道改建为标准的侧槽式溢洪道, 并延长了 60m。经过两次大的加固工程, 达到现状规模。

2 工程建设的必要性

2.1 水库存在主要问题

大沟水库建成运用 30 多年来, 对上游洪水起到了很好

的调蓄作用,保护了下游村镇。经过工程现场的查勘,水库现状存在一些问题:

①拦河坝坝顶未达到原设计高程,上游浆砌石坝护坡破损严重,冲刷严重;下游坝坡局部不平整。

②溢洪道底板为浆砌石结构,现状为坡残积含砂砾石壤土,其上已种了作物,底板存有碎石土,影响泄洪能力;右岸挡墙破损,左岸部分岩体坍塌。

③泄洪洞进出口浆砌石导墙破损较严重,出口底板衬砌混凝土冲刷严重,浆砌石底板裸露,混凝土衬砌剥落,消力坎局部缺损。

④管理设施不完善。

2.2 除险加固的必要性

为彻底消除影响水库工程安全的隐患,充分发挥其在防洪方面的综合效益,对水库除险加固工程是十分必要的。

3 水文

3.1 流域概况

大沟水库位于永定河水系洋河支流清水河上游东沟下半部右岸一条中等支沟中,坝址以上控制流域面积 21.0km^2 ,主河道长度 4.97km ,主河道坡降 57.15‰ 。

3.2 水文、气象

本区属寒温带大陆性季风气候,春秋多风少雨、夏季凉爽短促,昼夜温差较大,冬季寒冷漫长,气候干燥。流域内多年平均气温 7.5°C ,最高温度达 40.5°C 以上,最低温度达 -31°C ,年温差为 70.5°C ;冰冻期由 11 月上旬至来年 1 月中旬近 3 个月之久;多年平均降水量 418mm 。流域内全年降水量较小,一年内的降水大部分集中在汛期,6~9 月降水约占全年降水的 80% 以上。多年平均最大风速 16m/s 。

4 工程地质情况

通过工程地质勘察,查明了坝址区及溢洪道工程地质条件。

第一,工程区最大冻土深度约为 1.6m 。

得让,坝体。

①室内试验成果表明,拦河坝土体为含少量砾轻壤土、轻壤土、轻粉质壤土等,粘粒含量 $11.0\%\sim 14.8\%$,满足规范 $10\%\sim 30\%$ 的要求;塑性指数 $6.9\sim 8.6$,大多满足规范 $7\sim 17$ 的规范要求;水平渗透系数 $6.4\times 10^{-7}\sim 2.0\times 10^{-5}\text{cm/s}$,满足规范 $< 10^{-4}\text{cm/s}$ 的要求。根据《水利水电工程天然建筑材料》附表可判断,坝体的粘粒含量、水平渗透系数满足规范要求,塑性指数指标个别不满足规范规定的均质坝土料要求。

②根据室内土工试验成果表明,坝体壤土水平渗透系数为 $6.4\times 10^{-7}\sim 2.0\times 10^{-5}\text{cm/s}$,具极微~弱透水性,推断拦河坝壤土层透水性不大。

③根据压水实验数据分析,钻孔 DG1 和 DG2 坝基岩

体弱风化属弱透水。结合岩心钻探岩芯揭露情况,岩芯大部分成柱状,局部成碎块状,两组节理发育,节理面锈染严重,但连通性较差,推测坝基弱风化层岩体为弱透水,渗流量不大。

第三,坝基。

通过现场勘探成果表明,钻孔 DG1 和 DG2 孔深 17.1m 和 16.6m 中均揭露含壤土砾石,在钻孔 DG1 钻探过程中孔口不返水,分析认为系建坝时清基不彻底所致,具强透水性,为坝基渗漏的主要通道。根据压水实验数据分析,钻孔 DG1 和 DG2 坝基岩体弱风化流纹岩透水率为 2.34Lu 和 2.08Lu ,属弱透水,上部全、强风化岩体破碎,且节理裂隙发育,推测具弱~中等透水性,在坝下游约 50m 处有基岩裂隙水溢出,进一步证明坝基岩体有渗漏问题。综合分析认为,坝基含壤土砾石及全、强风化流纹岩系坝基渗漏的主要通道。

左右坝肩出露基岩为流纹岩,强风化,节理裂隙发育,岩体层理产状: $\text{NE}35^\circ$, $\text{SE} \angle 10^\circ \sim 30^\circ$,拦河坝坝体走向 $\text{NW}309^\circ$,基岩产状不利于蓄水工况下坝基长期稳定和防渗安全。

第四,溢洪道。

①溢洪道进口至渡槽处底板表层覆盖 $0.5\sim 1.0\text{m}$ 碎石土层,抗冲能力较差。

②溢洪道左侧挡墙以上为强风化片流纹岩,岩体被切割成碎块状,节理裂隙发育,易失稳坍塌,堵塞溢洪道。

③渡槽处溢洪道堵塞严重,不利于行洪。

④强风化流纹岩承载力 f_k 建议值为 400kPa ,混凝土和坝基强风化岩体之间的抗剪强度指标建议值为 $f=0.65$ 。

第五,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》,坝顶在水库静水位以上的超高按下列公式计算。

$$y = R + e + A$$

式中: y ——坝顶在静水位以上的超高, m ;

R ——最大波浪在坝坡上的爬高, m ,按莆田试验站公式计算;

e ——计算点处的风壅水面高度, m ;

A ——安全加高,正常情况取 0.5m ,非常情况取 0.3m 。

经计算,20 年一遇的设计洪水位和 200 年一遇的校核洪水位所对应的计算坝顶高程均高于现状坝顶高程。因此,大沟水库现状坝顶高程不满足防洪标准要求。

5.1.2 拦河坝渗流稳定复核

第一, 渗透指标。

根据对拦河坝进行的勘探试验, 坝体土为壤土, 渗透系数为 $3.8 \times 10^{-6} \text{cm/s}$; 坝基为砾石, 渗透系数为 $4.0 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 。

第二, 计算断面。

拦河坝为均质土坝, 填筑材料以素填土为主; 坝基条件比较均一, 为砾石, 计算时选取河床部位坝高最大断面作为本次计算断面。

第三, 计算工况。

根据《碾压式土石坝设计规范》, 本次稳定复核选以下工况进行计算:

①稳定渗流。

上游溢洪道顶高水位, 下游无水;

上游设计洪水位, 下游无水;

上游校核洪水位, 下游无水;

上游设计洪水位, 下游无水, 遇Ⅶ度地震;

上游 1/3 坝高水位, 下游无水。

②非稳定渗流。

上游水位由设计洪水位降至库底高程;

上游水位由校核洪水位降至设计洪水位;

上游水位由设计洪水位, 降至库底高程, 遇Ⅶ度地震。

第四, 计算方法。

大沟水库大坝渗流采用河海大学水工结构有限元分析系统 (AutoBANK) 进行计算。

第五, 稳定渗流计算结果。

稳定渗流期的各种工况下的坝体浸润线。

第六, 非稳定渗流计算结果。

①坝体给水度的确定。

坝体给水度参照下式计算:

$$\mu = 0.117K^{1/7}$$

式中: μ ——坝体给水度;

K ——坝体渗透系数, m/d 。

坝体土 $K = 3.8 \times 10^{-6} \text{cm/s} = 3.28 \times 10^{-3} \text{m/d}$ 。

经计算, 坝体土给水度 $\mu = 0.05$ 。

②库水位降落速率的判定。

库水位由设计洪水位降至库底高程的时间为 6.81h。

根据经验公式: $K/(\mu \cdot v) < 0.1$, 库水位为骤降;

$K/(\mu \cdot v) > 60$, 库水位为极缓慢降落;

$0.1 < K/(\mu \cdot v) < 60$, 库水位为缓降。

式中: K ——坝体渗透系数, m/s ;

μ ——给水度;

v ——水位降落速度, m/s 。

该种情况 $K/(\mu \cdot v) = 0.002$, 按骤降考虑。

库水位由校核洪水位降至设计洪水位的时间为 0.17h。

该种情况 $K/(\mu \cdot v) = 0.0004$, 按骤降考虑。

非稳定渗流期的各种工况下的坝体浸润线。

第七, 拦河坝渗透稳定复核。

经计算, 在溢洪道顶高程水位、校核洪水位、设计洪水位和 1/3 坝高水位情况下, 坝体最大渗透坡降 J 分别为 0.19、0.20、0.22、0.07, 允许渗流坡降 $[J] = 0.25$, 坝体渗透稳定满足要求。

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。

①下游坝坡。

正常运用工况:

上游溢洪道顶高程, 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;

上游设计洪水位, 下游无水, 遇Ⅶ度地震。

②上游坝坡。

正常运用工况:

上游设计洪水位降至库底高程;

上游 1/3 坝高水位, 下游无水。

非常运用工况:

上游由校核洪水位降至设计洪水位;

上游由设计洪水位降至库底高程, 遇Ⅶ度地震。

第三, 计算方法。

拦河坝为均质土坝, 根据《碾压式土石坝设计规范》, 坝坡抗滑稳定计算按计及条块间作用力的简化毕肖普法。计算采用河海大学土石坝稳定分析系统进行计算。

第四, 计算成果及分析。

经计算, 上、下游坝坡在各种工况下抗滑稳定安全系数均满足要求。

5.2 溢洪道现状安全复核

5.2.1 工程现状

溢洪道位于水库拦河坝左坝头, 为标准的侧槽式溢洪道。全长 192m, 堰顶高程 960.74m, 堰顶宽度为 2m, 侧堰长 32m, 泄水槽长 160m, 最大泄水量 $155.2 \text{m}^3/\text{s}$ 。

溢洪道泄洪断面为较规则的矩形断面, 为浆砌石结构, 底板采用混凝土护砌, 槽底表层为坡残积含砂砾石壤土, 当地百姓已经在其上种植了作物, 局部裸露混凝土衬砌剥落, 浆砌石边墙基本完好, 有少数几条裂缝; 溢洪道出口有挑流消能设施, 堰面和挑坎采用混凝土结构, 表层存在局部碳化和裂缝, 浆砌石边墙局部破损; 溢洪道中段有一座浆砌石拱形渡槽, 边墙及底板基本完好。溢洪道左岸岩石存在崩塌现象。

5.2.2 泄流能力复核

本次计算公式如下:

$$Q = \sigma_s \sigma_c m n b \sqrt{2gH_0^{3/2}}$$

式中: Q ——流量, m^3/s ;

b ——每孔净宽, m ;

n ——孔数;

H_0 ——包括行近流速水头的进口水头, m ;

m ——自由溢流的流量系数;

σ_c ——侧收缩系数;

σ_s ——淹没系数。

经计算, 溢洪道泄洪能力不满足泄量要求。

5.2.3 溢洪道抗冲能力复核

溢洪道渡槽至下游坝坡底板为混凝土护砌。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, 满足规范要求。

5.3 泄洪洞现状安全复核

5.3.1 工程现状

泄洪洞距离左坝肩 70m, 为浆砌石拱涵结构, 全长 75m, 底坡为 1/50, 洞身断面形式为浆砌石拱涵, 断面为 $1.0 \times 1.3\text{m}$ (宽 $\times$ 高), 进口底高程为 947.27m, 最大泄量 $10.0\text{m}^3/\text{s}$ 。进出口浆砌石导墙破损较严重, 出口底板衬砌混凝土冲刷严重, 浆砌石裸露, 消力坎局部缺损。

5.3.2 泄洪洞泄流能力复核

对现状泄洪洞进行泄流能力复核计算。由于该泄洪洞为无压输水洞。泄流量计算公式如下:

$$Q = m \sigma_s b \sqrt{2gH_0^{1.5}}$$

式中: b ——矩形过水断面的宽度, m ;

σ_s ——淹没系数;

H_0 ——总水头, m ;

m ——流量系数。

经计算, 泄洪洞泄流能力不满足要求。

6 除险加固工程设计

6.1 拦河坝加固设计

拦河坝加固主要项目包括: 拦河坝坝顶路面硬化、增设防浪墙、上游坝坡翻修、下游坝坡局部整修, 增设贴坡排水。

6.1.1 坝顶加固

目前坝顶路面未硬化, 遇雨季泥泞不堪, 通行困难。本次加固首先将现状坝顶清表, 结合本次上游坝坡加固设计, 坝顶宽由 2.0m 拓宽到 2.4m; 坝顶采用泥结碎石路面。下游侧设预制混凝土路缘石, 路缘石顶面与坝顶路面齐平。坝顶路面采用单侧向下游排水, 坡度 1.5%。

6.1.2 新建防浪墙

经调洪演算, 水库坝顶防洪标准未能够达到规范要求的 20 年一遇的设计, 200 年一遇的校核标准, 本次加固新建防浪墙, 采用浆砌石砌筑, 墙高 1.2m (高出坝顶 0.7m), 宽 0.4m, 水泥砂浆勾缝。防浪墙长 180m, 每 10m 设置一

道横向伸缩缝, 缝内填沥青木板。

6.1.3 上游坝坡加固整修

现状上游坝坡局部碎石护坡砌筑的质量较差, 坡面灌木杂草丛生, 并且未设置反滤层, 为保证坝坡稳定, 对上游坝坡进行翻修处理。

拦河坝上游坝坡采用砌石护砌, 首先拆除原局部的干砌石护坡, 清除表土, 然后对坝面进行修补、平整、夯实, 维持上游坡比的不变。在平整后的坝坡上, 进行反滤料铺设, 由下至上依次铺设碎石垫层、干砌石。

6.1.4 下游坝坡整修

下游坝坡为自然草皮护坡, 本次加固设计维持原护坡的型式, 仅对局部亏坡的部位进行整修, 不满足设计坡比的部位采用坝体的开挖土方回填夯实, 恢复下游坝坡草皮护坡。

6.1.5 下游坝脚排水系统设计

本次除险加固增设下游贴坡排水及坝脚排水沟。

在拦河坝下游坝脚设排水沟, 排除坝面积水。

6.2 溢洪道加固设计

通过现场勘查, 溢洪道原底板为浆砌石结构, 表面设置混凝土衬砌, 现状为坡残积含砂砾石壤土, 其上已种了作物, 影响了泄洪能力, 局部混凝土衬砌剥落。溢洪道现状右岸挡墙破损, 左岸部分岩体坍塌。

本次加固首先对溢洪道进行清淤, 拆除重建右岸部分损坏挡墙, 采用重力式浆砌石挡墙形式, 挡墙段桩号 0+043.5~0+063.5。

①溢洪道塌滑体清除。

将左岸岸塌滑体及底板碎石土清除, 保证溢洪道泄流顺畅。

②重建溢洪道挡墙。

溢洪道挡墙采用浆砌石挡土墙结构护砌, 具体布置为: 溢洪道右侧段桩号 0+043.5 ~ 0+063.5, 长度为 20m。

新建溢洪道挡墙, 挡墙高 3.0m, 挡土墙底板厚 0.5m, 宽 3.3m, 墙顶宽 0.5m, 前趾宽 0.5m, 后趾宽 0.8m, 迎水面直立。挡墙设置单排排水孔, 距底板 0.5m, 孔距 2.0m, 孔径 75mm, 坡比为 1:0.75。挡墙每隔 10m 设置沉降缝, 缝内填聚乙烯泡沫板。

6.3 泄洪洞加固

根据多年运用情况, 泄洪洞进出口浆砌石导墙破损较严重, 出口底板衬砌混凝土冲刷严重, 浆砌石裸露, 消力坎局部缺损。

本次泄洪洞加固采用人工清淤, 泄洪洞重建进口集水池, 改建出口导流墙, 对底板进行防护。

首先拆除泄洪洞进口导墙, 新建集水池尺寸 $4.0 \times 2.5 \times 1.3\text{m}$, 采用浆砌石结构, 浆砌石护底, 集水池表面采用水泥砂浆抹面, 下设厚 15cm 碎石垫层, 泄洪洞进口底高程不变; 拆除出口导墙, 翻修出口导墙长 25m, 采用浆

砌石结构，下设厚 15cm 碎石垫层。

6.4 观测设计

本次加固对大坝增设水位监测，设计共布置 1 组水尺。

6.5 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原管理房处。

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 50m² 的砖混平房。

7 结语

通过对大坝、溢洪道、输水涵洞等关键部位的加固处理，水库的缓洪效果将得到显著提升，为当地的农业生产、居民生活和生态环境提供更加坚实的保障，在未来的岁月中持续

发挥重要作用，助力区域的稳定发展与繁荣。

参考文献：

[1] 贾明.黄沟水库大坝除险加固设计研究[J].海河水利,2023(6): 38-40.

[2] 简从义.某水库枢纽大坝工程除险加固设计要点[J].河南水利与南水北调,2023,52(10):77-78.

[3] 马丹荣,梁炎.垌塘水库除险加固设计[J].红水河,2023,42(5).

[4] 杨启贵,周和清,刘加龙.东方山水库大坝管道型渗漏的应急抢险与除险加固[J].人民长江,2022,53(3):53.

[5] 陈志鼎,李晓涵.基于模糊集理论的水库除险加固多目标权衡研究[J].水电能源科学,2021,39(6):4.

[6] 河北省水利水电勘测设计研究院.崇礼区大沟水库除险加固工程初步设计报告[R].2011.

作者简介: 刘杰(1985-), 女, 中国河北石家庄人, 本科, 高级工程师。