

水库除险加固工程地质条件评价分析

王丽峰

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司

DOI:10.32629/hwr.v10i2.6863

[摘要] 本文以水库项目区及库区存在的地质问题为切入点,系统分析并评估了问题成因。评价结果表明,坝体填土层的力学性质总体差异较小,整体稳定性较为良好。为此建议,坝体填土施工前,前坝坡坡比应控制在1:2.5以内,后坝坡坡比不宜小于1:2.0;坝体压实系数宜保持在0.98,整体地质条件能够满足除险加固工程的要求。

[关键词] 地质; 压实度; 除险加固

中图分类号: P51 **文献标识码:** A

Geological Condition Evaluation and Analysis of Dam Safety Improvement Project

Lifeng Wang

Xinjiang Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Research Institute Co., LTD.

[Abstract] This paper takes the geological problems existing in the reservoir project area and the reservoir area as the starting point, and systematically analyzes and assesses the causes of these problems. The evaluation results show that the mechanical properties of the fill layer of the dam body generally vary little, and the overall stability is relatively good. Therefore, it is suggested that before the construction of the dam fill layer, the slope ratio of the front dam slope should be controlled within 1:2.5, and the slope ratio of the rear dam slope should not be less than 1:2.0; the compaction coefficient of the dam body should be maintained at 0.98, and the overall geological conditions can meet the requirements of the hazard mitigation and reinforcement project.

[Key words] geology; Compaction; And consolidate

引言

随着我国水利工程的快速发展,众多水库大坝在20世纪中叶建成并投入使用。然而,随着时间的推移,这些大坝暴露出设计标准低、施工质量欠佳及年久失修等问题,安全隐患随之显现^[1]。在极端天气和自然灾害频发的背景下,大坝的安全性与稳定性遭受严重挑战,威胁下游居民的生命财产安全^[2-3]。因此,实施水库除险加固工程,已成为保障水利安全和适应气候变化的关键任务^[4]。

1 项目区概况

水库位于疏勒县县城以南38公里,建设于1963年,1965年建成投入运行,水库运行49年,现有库容为120万 m^3 ,坝体、坝基年渗漏量很大,坝后土壤沼泽化、盐碱化严重。根据《水利水电工程等级划分及洪水标准》^[5]SL252-2017和《防洪标准》GB50201-2014,确定本工程等别为IV等小(1)型工程^[6]。

2 区域地质概况

疏勒县地处克孜河、盖孜河和库山河冲积平原中下游地区,境内地势平坦,地形开阔,仅在东南部的沙漠区地形起伏较大。县境海拔最高点在西部1310m左右;最低点在东部,为1198m左右。

按地形倾向和地貌成因,全县可分为三大地貌单元。

2.1 克孜河冲积平原

位于疏勒县至岳普湖县公路以北,地形高程约1310~1224m,地势向北东方向缓倾,地面纵坡约为2.86%。区内克孜河分为南、北两支,自西向东流过。历史上,南支曾在洋大曼乡与亚曼牙乡之间汇入北支,留下古河道及牛轭湖地貌。此后河道向东摆动,先在亚曼牙乡与岳普湖县之间改道汇入北支。

2.2 盖孜河—库山河冲积平原

分布于疏勒县—岳普湖县公路以南,海拔介于1295~1200m之间,地势向北东向倾斜,地面纵坡2.86%。该区盖孜河(又名岳普湖河)河道宽泛,在库木西力克乡贝希塔木村以东,发育河流泛滥平原。本区相较于克孜河冲积平原区,沙丘地及沼泽湿地分布更为广泛。

2.3 布古拉库木沙漠

分布于县境东南部,面积较广,海拔介于1231~1198m之间。地势总体倾向北东向,地面坡降1.3%。该区从东南向中部、背部依次分布着波状沙丘、多垄沙地和风蚀残丘等地貌景观。

3 地质构造与地震

水库位于库山河下游冲洪积平原区,周围地形开阔平坦,工程区在区域大地构造上,无断裂构造发育,无其他不良地质现象,该区域是平原区,地震活动较少,相对比较稳定,根据2001年国家技术质量监督局发布的1/400万《中国地震动参数区划图》(GB18306—2001),工程区地震动峰值加速度为0.20g,地震特征周期为0.45s,相应地震基本烈度为Ⅷ度^[7]。

4 水库区地质问题

水库位于塔里木盆地西缘的喀什凹陷内,西南为昆仑山隆起山区,北部为天山山脉,总体地势西高东低,海拔高程在1270~1285m之间,具有由东向西呈起伏不大,高差较小及地形平坦的特点。

水库为平原水库,其渗漏主要包括库盘渗漏、坝体侧向渗漏和坝基侧向渗漏三部分,渗漏条件主要受地层岩性、地下水埋深以及库区蓄水位等因素控制。根据库区实际情况,地形低平且水头较小,不存在向邻近河谷的渗漏通道,渗漏形式主要表现为坝基渗漏。

从上述库区岩性条件分析得出:坝体和坝基土层粉土、粉砂为主,其结构松散,透水性能较好,构成了水库侧向渗漏的良好介质,其渗漏量的大小直接与库区蓄水深度的相关性。当库区蓄水位增高时,其渗漏形成的水力坡度增加,其渗流量就越大。库区周边地下水位的明显抬升,即是库区侧向渗漏的结果。

坝体、坝基渗漏主要是由于其土质差,坝体、坝基结合质量不好,水库大坝修建时形成的多处结合部没有压实,坝基未作防渗处理所致。因此,坝体、坝基的渗漏问题将是水库的主要问题,在除险加固时,应认真做好坝基和坝体的防渗处理工作。

5 水库工程地质条件分析

5.1 水库区工程地质概况

项目区位于昆仑山山系小帕米尔山山前,喀什噶尔平原东南角,山脉由古生代结晶岩组成,自第三系末期以来,新构造运动激烈,山区不断隆起,喀什噶尔平原呈向东开口的三角形,平原区地质构造在南部为英吉沙背斜,北部为阿图什背斜带。第四纪以来一直处于相对下降,其间沉积了巨厚的洪积物。水库位于库山河冲洪积平原上,地层岩性由第四系全新统(Q₄^{al})冲积物组成,岩性主要以粉土、粉砂及少量的淤泥为主。

5.2 水库区水文地质概况

水库位于库山河冲积山前缘溢带,水库及外围沼泽湿地连片。水库地下水接受来自库山河上游冲积扇卵砾石层潜水及上游水库渗漏水补给。水库附近地下水一部分以水平径流形式自西向东向下游流去,另一部分通过蒸发大量排泄。

经勘察探明,在水库范围内,主要赋存地下水为潜水,此段地下水埋深一般在1m以内,矿化度1-3g/L。本次勘察为水库蓄水期,各坝段地下水位埋深分别为:右坝(0+000~1+255)主坝地下水位在2.5~3.7m,左坝(0+000~0+950)主坝地下水位在2.0~3.1m。左右坝段全坝段坝后地下水位出露。根据地质勘察结

果,库区主要透水层为水库库盘,岩性为粉砂,其渗透系数为 $2.71 \times 10^{-3} \sim 4.72 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 。由于水库坝基没有较好的防渗措施,坝基粉土、粉砂渗透较强,水库渗漏严重,坝后地下水直接出露地表,造成坝后50m范围之内发生淹没。

6 坝体处地质条件分析及评价

6.1 坝体地层岩性评价

水库坝型为均质土坝,坝体地层岩性主要以粉土为主、局部有0.5-1.5m厚的粉砂和淤泥质土互层。经野外原位测试及室内土工试验,坝体填土层力学性质基本上相差不大,整体稳定性较好。

6.2 坝体填土的物理力学性质指标评价

主要物理力学性质:标贯击数3~14击,天然容重 $1.86 \sim 1.98 \text{g/cm}^3$,干密度 $1.54 \sim 1.62 \text{g/cm}^3$,含水率14.9~26.7%,比重 $2.68 \sim 2.71$,孔隙比 $0.66 \sim 0.74$,休止角 $27.4 \sim 29.1^\circ$,饱和度 $60.2 \sim 97.9$,地质承载力 $60 \sim 100 \text{KPa}$ 。根据室内击实试验,控制干密度为1.73。渗透系数 $3.57 \times 10^{-4} \text{cm/s} \sim 7.26 \times 10^{-4} \text{cm/s}$,属中等透水的土层。

根据以上的物理力学性质指标,在此,建议前坝坡比不应陡于1:2.5,后坝坡不应陡于1:2.0。

6.3 坝体质量评价

6.3.1 坝体的密实程度

坝体地层岩性主要以粉土为主、局部有0.5-1.5m厚的粉砂和淤泥质土互层。密实度较好,根据室内击实试验,25击次,最优含水量15.4%,最大干密度 1.77g/cm^3 。据《碾压土石坝设计规范》,建议压实系数控制在0.98。

6.3.2 坝体浸润线

本次勘察工作中共选取4条剖面进行坝体浸润线观测。坝顶水位利用已完成的钻孔来进行观测,坝后坡脚处利用探井及钻孔来观测。经统计分析,浸润线趋于稳定的区域为坝体土与坝基土的分界线附近,这说明筑坝时坝体坝基结合质量不好,水库大坝修筑时形成的多处结合部没有压实。而库水位升高后,坝后地带湿润现象不太明显,说明坝体整体上是稳定的。

6.4 坝基工程地质条件及评价

水库坝基分布的地层岩性为全新统(Q₄^{al})冲积层粉土和粉砂。水库坝体分为左坝和右坝,现对各坝段坝基描述如下:

6.4.1 右坝(0+000~1+255)

(1)0+000~0+600段:该段为主坝段,坝基为第四系全新统冲积层粉土和粉砂互土层上。根据地质纵剖面图,该段地层共分5层,下面分别描述。

第①层亚砂土:0~0.5-1.3m,主要是粉砂和粉土组成,含大量的树枝,土质干燥,松散,层厚0.5~1.3m。第②层互土层:0.5-1.3~6.0-7.5m,主要是粉砂和粉土为主,还有少量淤泥,层厚5.0~6.7m。粉砂:青灰色,稍密~中密,饱和。粉土:土灰色,饱和,可一软塑态,有臭味。第③层粉砂:6.0-7.5~7.1-8.6m,青灰色,稍密~中密,饱和,层厚0.5~1.4m。第④层粉土:7.1-8.6~7.7-9.4m,土黄色,硬可一软塑态,饱和,含钙质结核,层厚

0.5~2.0m。第⑤层粉砂: 7.7~9.4m以下青灰色, 中密, 饱和, 以石英颗粒为主。

(2)0+600~1+255段: 该段为主坝段, 坝基为第四系全新统冲积层粉土和粉砂互土层上。根据地质纵剖面图, 该段地层共分7层, 下面分别描述。

第①层亚砂土: 0~0.5~1.0m, 主要是粉砂和粉土组成, 含大量的树枝, 土质干燥, 松散, 层厚0.5~1.0m。第②层粉土: 0.5~1.0~4.5~5.5m, 土灰色, 饱和, 可一软塑态, 有臭味, 层厚4.0~4.7m。第③层粉砂: 4.5~5.5~5.0~6.0m, 青灰色, 稍密~中密, 饱和, 层厚0.5m。第④层粉土: 5.0~6.0~7.5~9.0m, 土黄色, 硬可一软塑态, 饱和, 含钙质结核, 层厚1.5~3.0m。第⑤层粉砂: 7.5~9.0~8.5~9.5m, 青灰色, 稍密~中密, 饱和, 层厚0.5~1.0m。第⑥层粉土: 8.5~9.5~9.0~10.5m, 土黄色, 硬可一软塑态, 饱和, 含钙质结核, 层厚0.5~1.0m。第⑦层粉砂: 9.0~10.5m以下青灰色, 中密, 饱和, 以石英颗粒为主。

6.4.2左坝(0+000~0+950)

(1)0+000~0+600段: 该段为主坝段, 坝基为第四系全新统冲积层粉土和粉砂互土层上。根据地质纵剖面图, 该段地层共分5层, 下面分别描述。

第①层亚砂土: 0~0.4~1.0m, 主要是粉砂和粉土组成, 含大量的树枝, 土质干燥, 松散, 层厚0.5~1.3m。第②层互层土: 0.4~1.0~5.0~6.5m, 主要是粉砂和粉土为主, 还有少量淤泥, 层厚5.0~6.0m。粉砂: 青灰色, 稍密~中密, 饱和。粉土: 土灰色, 饱和, 可一软塑态。第③层粉砂: 5.0~6.5~7.0~9.0m, 青灰色, 稍密~中密, 饱和, 层厚1.0~4.0m。第④层粉土: 7.0~9.0~7.5~9.5m, 土黄色, 硬可一软塑态, 饱和, 含钙质结核, 层厚0.5m。第⑤层粉砂: 7.5~9.5m以下青灰色, 中密, 饱和, 以石英颗粒为主。

(2)0+600~0+950段: 该段为主坝段, 坝基为第四系全新统冲积层粉土和粉砂互土层上。根据地质纵剖面图, 该段地层共分3层, 下面分别描述。

第①层亚砂土: 0~0.7m, 主要是粉砂和粉土组成, 含大量的树枝, 土质干燥, 松散, 层厚0.5~1.3m。第②层粉土: 0.7~4.0~5.0m, 土黄色, 硬可一软塑态, 饱和, 含钙质结核, 层厚3.5~4.5m。第③层粉砂: 4.0~5.0m以下青灰色, 中密, 饱和, 以石英颗粒为主。

6.5岩土物理力学性质评价

6.5.1坝基评价

坝基地层岩性主要有粉土和粉砂, 局部为少量的淤泥层。右坝(0+000~1+255)主坝段粉土层: 天然容重 $1.94\sim 1.99\text{g/cm}^3$, 干密度 $1.56\sim 1.62\text{g/cm}^3$, 渗透系数 $7.26\times 10^{-4}\text{cm/s}\sim 1.53\times 10^{-4}\text{cm/s}$, 内摩擦角: $27.6\sim 29.7^\circ$, 粘聚力 $8\sim 10$, 孔隙比 $0.62\sim 0.74\%$ 。

粉砂层: 天然容重 $1.86\sim 1.91\text{g/cm}^3$, 干密度 $1.45\sim 1.48\text{g/cm}^3$, 渗透系数 $1.91\sim 4.52\times 10^{-3}\text{cm/s}$, 孔隙比 $0.75\sim 0.84\%$ 。

左坝(0+000~0+950)主坝段粉土层: 天然容重 $1.93\sim$

1.97g/cm^3 , 干密度 $1.52\sim 1.58\text{g/cm}^3$, 渗透系数 $1.53\sim 2.35\times 10^{-4}\text{cm/s}$, 内摩擦角: $27.7\sim 29.3^\circ$, 粘聚力 $8\sim 11$, 孔隙比 $0.60\sim 0.74\%$ 。

粉砂层: 天然容重 $1.84\sim 1.90\text{g/cm}^3$, 干密度 $1.44\sim 1.48\text{g/cm}^3$, 渗透系数 $3.25\sim 4.53\times 10^{-3}\text{cm/s}$, 孔隙比 $0.82\sim 0.89\%$ 。

6.5.2坝体评价

坝体地层岩性主要以粉土为主。右坝(0+000~1+255)主坝段粉土层: 天然容重 $1.86\sim 1.98\text{g/cm}^3$, 干密度 $1.51\sim 1.62\text{g/cm}^3$, 含水率 $14.9\sim 26.7\%$, 比重 $2.68\sim 2.71$, 孔隙比 $0.66\sim 0.75$, 渗透系数 $3.57\sim 7.26\times 10^{-4}\text{cm/s}$, 内摩擦角: $27.3\sim 29.1^\circ$, 粘聚力 $8\sim 10.1$ 。

右坝(0+000~1+255)主坝粉土层通过击实试验, 压实度达到0.98时的控制干密度在 1.73g/cm^3 。

左坝(0+000~0+950)主坝段粉土层: 天然容重 $1.87\sim 1.98\text{g/cm}^3$, 干密度 $1.55\sim 1.61\text{g/cm}^3$, 含水率 $16.5\sim 26.1\%$, 比重 $2.69\sim 2.71$, 孔隙比 $0.67\sim 0.74$, 渗透系数 $3.74\sim 7.26\times 10^{-3}\text{cm/s}$, 内摩擦角: $27.5\sim 29.1^\circ$, 粘聚力 $8\sim 10.1$ 。

左坝(0+000~0+950)主坝粉土层通过击实试验, 压实度达到0.98时的控制干密度在 1.71g/cm^3 。

7 结论

本文以水库项目区、库区的地质条件存在问题为导向, 详细分析和评价了问题产生原因, 通过评价可知坝体填土层力学性质基本上相差不大, 整体稳定性较好。建议坝体填土前坝坡比不应陡于1: 2.5, 后坝坡不应陡于1: 2.0; 坝体压实系数控制在0.98, 整体地质条件满足除险加固要求。

【参考文献】

- [1]覃情.中小型水库大坝安全评价要点及方法探析[J].陕西水利,2024(3):181-182.
- [2]臧少慧,张明占,刘仲秋,等.我国水库除险加固研究进展[J].山东农业大学学报(自然科学版),2019,50(6):1097-1103.
- [3]王少伟,苏怀智,付启民.病险水利工程除险加固效果评价研究进展[J].水利水电科技进展,2018,38(6):77-85.
- [4]白阳.水库除险加固工程坝体加固设计方案研究[J].东北水利水电,2025(11):53-56.
- [5]中华人民共和国水利部.SL252-2017水利水电工程等级划分及洪水标准[S].北京:中国水利水电出版社,2017.
- [6]中华人民共和国水利部.GB50201-2014防洪标准[S].北京:中国计划出版社,2014.
- [7]国家质量监督检验检疫总局和国家标准化管理委员会.GB18306-2015中国地震动参数区划图[S].北京:中国标准出版社,2015.

作者简介:

王丽峰(1975--),女,汉族,新疆乌鲁木齐市人,本科毕业,工程师,现从事水利工程地质勘察及试验检测。