

某土石坝下游坡散浸原因分析及对策研究

戴霖^{1,2}, 邓伟¹, 舒华鑫²

(1. 江西省水利科学院, 江西 南昌 330000; 2. 江西省洪图技术咨询有限公司, 江西 南昌 330000)

摘要: 小型水库因建设年代早、质量标准低, 病险水库比例较高。尤其是水库长期在高水位运行下, 会抬高大坝坝体内浸润线, 对大坝的结构安全构成威胁。针对某小型水库大坝下游坡面出现的散浸现象, 以历年水库运行情况现场查勘为基础, 结合有限元软件 Geo-studio 对大坝渗流性态进行计算, 通过综合分析结果表明: 下游排水棱体淤堵会抬升坝体的浸润线, 导致背水坡出逸点位置相应提高, 从而对坝体的渗透稳定性产生不利的影响。并结合工程实际, 分析了排水棱体淤堵的原因并提出了相应的建议, 为保障大坝安全运行提供依据, 同时为其他小型水库提供一定的参考。

关键词: Geo-Studio; 土石坝; 散浸; 排水棱体; 渗流性态

中图分类号: TV64

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)01-0145-04

Study on Causes and Countermeasures of Loose Leaching on Downstream Slope of Earth-rock Dam

DAI Lin^{1,2}, DENG Wei¹, SHU Huaxin²

(1. Jiangxi Academy of Water Science and Engineering, Nanchang 330000, China; 2. Jiangxi Hongtu Technical Consulting Co., Ltd., Nanchang 330000, China)

Abstract: Because of the early construction age and low quality standard, the proportion of small reservoirs in danger is higher. Especially when the reservoir runs at high water level for a long time, it will raise the infiltration line in the dam body and pose a threat to the structural safety of the dam. Aiming at the phenomenon of loose leaching on the downstream slope of a small reservoir dam, the seepage behavior of the dam is calculated according to the operation of the reservoir over the years and on-site survey, and combined with the finite element software Geo-studio. The comprehensive analysis results show that the silting of the downstream drainage edge will raise the seepage line of the dam body, resulting in an increase in the position of the escape point of the back slope, which will adversely affect the permeability stability of the dam body. Combined with the engineering practice, the reasons for the silting of the drainage prism are analyzed and the corresponding suggestions are put forward, which provide a basis for the safe operation of the dam and a certain reference for other small reservoirs.

Keywords: Geo-Studio; earth-rock dam; loose leaching; drainage prism; seepage behavior

0 引言

江西省小型水库数量多、分布广, 在农村区域防洪、抗旱等方面发挥了巨大的效益, 对促进农村经济发展发挥了重要作用^[1]。但小型水库多建于上世纪五、六十年代, 始建工程质量差, 标准低, 加之多年运行, 仍有些小型水库因维修养护不到位, 存在着一些安全隐患。余干县小型水库上一次除险加固均在

2010—2013年, 距今已超过10 a, 根据最近一次水库安全鉴定可知, 部分小型水库存在下游坡出现局部范围的散浸现象。因此, 需对小型水库的渗流性态进行分析, 确保水库安全运行^[2-3]。

目前, 针对土石坝渗流性态的分析的常用方法主要为数值模拟计算、监测资料分析^[4-5], 但由于小型水库因监测设施不完善, 监测频次少等原因无法通过监测资料对水库大坝的渗流性态进行分析。本文以余干县某小型水库为例, 结合历年水库运行及现场查勘情况为基础, 通过 Geo-studio 进行数值模拟, 对大坝渗流安全状态进行反演及分析评价, 为保障小型水库大坝安全运行提供一定的依据及参考。

收稿日期: 2024-07-26

基金项目: 江西省水利厅科技项目(202224ZDKT06)

作者简介: 戴霖(1989—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事水利工程设计、规划及安全评估工作。

1 工程概况

某水库位于江西省余干县黄金埠镇上洪村,坝址位于信江河二级支流流源水上;距余干县城 31.0 km,地理座标为东经 116°52'00",北纬 28°31'31"。坝址以上流域面积为 0.62 km²,主河道长 1.23 km,河道平均坡降 88.1‰,水库总库容为 20.08 万 m³,是一座以灌溉为主,兼有防洪等综合效益的小(二)型水库。主要建筑物有大坝、溢洪道及灌溉涵管。流源水库自 1960 年 11 月动工兴建,于 1961 年 6 月初步建成蓄水并发挥部分效益。后经过历次除险加固达到现有规模,最近一次除险加固于 2013 年进行。

大坝为均质坝,坝身采用冲抓套井黏土心墙防渗,现状坝顶高程为 78.3 m,最大坝高 13.5 m,坝顶长 145 m,坝顶宽 4.0 m。上游坝坡为混凝土实心六角预制块护坡,下游坝坡为草皮护坡,上、下游坝坡坡比均为 1:2.5(见图 1)。坝脚设有贴坡排水棱体,棱体顶高程为 69.00 m。

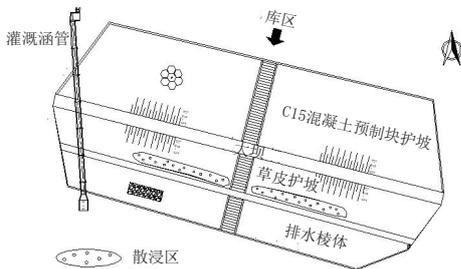


图1 大坝下游坡面散浸区示意图

2 历年运行情况及现场查勘分析

某水库自 1961 年建成蓄水以来,坝坡及坝脚均存在不同程度的渗漏现象,在 2012 年对大坝进行了除险加固,对大坝坝体增设了冲抓套井黏土防渗墙,下游坝脚设置了排水反滤体,加固完工后经现场调查,下游坝坡未出现明显的渗漏点,渗漏问题得到了有效控制。水库运行至今已将近 10 a,在近期的现场查勘中(库水位 74.0 m),发现排水体顶部坝坡存在局部散浸现象。初步判断排水棱体淤堵而影响排水效果,抬高了下游水位,造成下游坡再现渗水现象。经对现场排水棱体局部进行开挖发现,排水体表层为 25~30 cm 块石,与原设计相符,但块石层下部则为 1 层厚约 30~40 cm 的混合层(风化料、砾石、黏土混合在一起),未明显见反滤层,或反滤层已淤堵。

3 渗流计算及分析

3.1 饱和土渗流计算原理

Frelund 和 Rahardjo 研究指出^[6-7],非饱和土中渗流与饱和土体中渗流一样符合达西定律和连续性方程。只是在非饱和土中渗透系数是随基质吸力变化的函数,随着土中体积含水率随时间变化而改变。考虑到土中渗流的各向异性,将达西定律导入渗流连续性方程,可得到非饱和土的渗流控制方程为:

$$\frac{k_x}{\gamma_w} \frac{\partial^2 \mu_w}{\partial x^2} + \frac{k_y}{\gamma_w} \frac{\partial^2 \mu_w}{\partial y^2} + \frac{\partial \theta_w}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

式中: k_x 、 k_y 为渗透系数(x 和 y 方向); γ_w 为水的重度; θ_w 为体积含水率; t 为时间。

因此,基于以上数学模型,本次渗流计算分析采用 GeoStudio 软件,该软件由加拿大岩土软件开发商 GEO-SLOPE 公司开发的一套仿真分析软件,其软件中 Seep 模块可计算模型在各种设计水位下的渗流性态。

3.2 计算断面与参数

为分析水库大坝渗流性态,本文选取具有代表性大坝最大断面(桩号 0+060 m)为渗流复核计算断面。根据除险加固初步设计报告,将大坝的渗透分区分为 5 个区,各土层的物理性质分布见图 2。

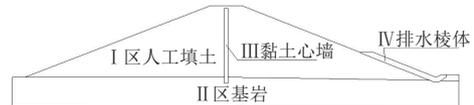


图2 大坝桩号 0+060 断面渗流计算材料分区图

各区的渗透系数取值则根据水库竣工验收及质检报告等资料确定,其中由于排水棱体淤堵,其渗透系数需通过反演计算得出;本次将该系数作为变量,根据匹配其不同淤堵程度下的浸润线与现场勘察时段对应的水位进行对比,最后确定其渗透系数;对应渗透系数取值见表 1。

表1 大坝各分区的渗透系数取值表

断面	分区	分区土层	渗透系数 $K/(cm \cdot s^{-1})$	
			原设计值	反演计算值
大坝 0+060 断面	I	人工填土	4.0×10^{-4}	4.0×10^{-4}
	II	黏土心墙	5.0×10^{-6}	5.0×10^{-6}
	III	坝基冲积层	2.0×10^{-4}	2.0×10^{-4}
	IV	坝基基岩	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}
	V	排水棱体	1.0×10^{-2} (正常)	5.0×10^{-4} (淤堵)

3.3 计算工况

根据《碾压式土石坝设计规范》(SL274—2001)^[8]的规定要求,本次大坝渗流计算考虑 3 种水位组合

工况:

工况 1:上游水位为正常蓄水位 74.80 m,下游水位为 65.30 m 时形成的稳定渗流;

工况 2:上游水位为设计洪水位 76.04 m,下游水位为 65.30 m 时形成的稳定渗流;

工况 3:上游水位为校核洪水位 76.40 m,下游水位为 65.30 m 时形成的稳定渗流;

3.4 计算成果

通过现场查勘(库水位 74.00 m)时大坝渗流现状反演出排水棱体淤堵情况,计算成果见图 3;然后按不同工况水位组合进行渗流计算,见图 4 至图 6;各种工况下坝体内最大渗透坡降值等成果见表 2。

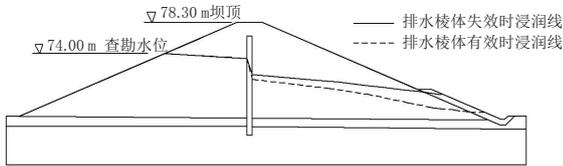


图 3 现场查勘水位下稳定渗流计算成果图

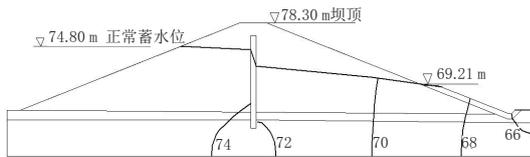


图 4 正常蓄水位下稳定渗流计算成果图

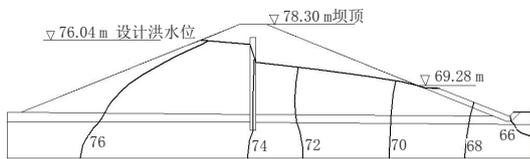


图 5 设计洪水位下稳定渗流计算成果图

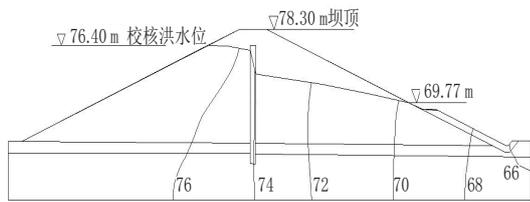


图 6 校核洪水位下稳定渗流计算成果图

3.5 渗流安全评价

由图 3 排水棱体有效及失效时坝体浸润线对比可知:随着排水棱体渗透系数变小,从运行正常至淤

堵失效,坝体内浸润线会逐渐抬高,导致下游坝坡渗水出逸点位置相应升高。通过渗流反演计算,出逸点高程与现场勘察时对应的水位下游坝坡散浸区接近,与实际状况较符合,表明排水棱体已基本处于淤堵失效状态。

由图 4 至图 6 各种工况下的计算结果可以看出,大坝浸润线规律正常,下游坝坡出逸点位置较高,从排水体顶部坝坡出逸,不利于坝体的稳定;且在设计水位及校核水位工况下的下游坝坡出逸坡降值大于规范、公式计算及地勘建议允许值,存在高水位情况下坝体产生渗透破坏的隐患。

4 排水棱体淤堵原因分析

根据大坝安全鉴定及除险加固的有关情况和资料,结合大坝运行管理人员的巡坝记录,影响排水棱体淤堵的原因^[9-10]主要有以下两个方面。

4.1 坝体土料方面

水库坝体土料主要取自于大坝附近山体表层的残坡积土及风化块石,为含砾低液限黏土,结构较为松散。由于存在渗透力作用,黏土细粒逐步进入排水棱体,阻塞排水通道。

4.2 棱体反滤层方面

在最近一次加固中,新建棱体及大坝坡面填土施工面有交叉重合,导致坝坡部分填土进入反滤层导致含泥量过大,此外,反滤层未按设计满足连续级配的要求,导致排水性能降低,使得反滤层的透水能力越来越弱,随之发生淤堵。

5 结语

本次土石坝渗流性态计算结果与实际运行情况一致,即下游排水棱体存在淤堵。计算结果表明:在各工况水位下,坝体浸润线均较高,下游坝坡出逸点位置均位于排水体顶高程以上,存在一定的渗流安全隐患。后期水库管理单位应做好水库安全管理工作,尽快排除隐患,确保大坝安全运行。根据存在的问题建议以下处理措施。

表 2 大坝典型断面渗流计算成果表

断面	工况	水头 /m	黏土防渗墙最大渗透坡降		下游坝坡最大出逸坡降		单宽渗流量/ (m ³ ·d·m)
			J	J _允	J	J _允	
主坝 0+60 断面	工况 1	9.50	3.25		0.20		0.33
	工况 2	10.76	3.50	6~8	0.31	0.30	0.43
	工况 3	11.10	4.20		0.35		0.47

(1) 翻修重建排水棱体

对原排水棱体进行开挖后,建议按规范及设计的要求增设排水反滤层,砂卵石反滤料需保证铺设相应的厚度,棱体顶高程、内外坡比则按原设计进行施工复原。

(2) 加强运行管理

在排水棱体翻修重建后,管理单位应做好日常的巡视检查,尤其在高水位期间提升巡查频次,确保坝体出逸点位于棱体较低位置,保障水库运行安全。

参考文献:

- [1] 戴霖,杨霞,简鸿福.赣州市赣县区小型水库监测能力提升设计[J].水利技术监督,2024(1):29-32.
- [2] 徐升,胡强,王姣,等.某水库排水棱体工作性态及淤堵原因分析[J].水利水电快报,2018,39(9):48-50.
- [3] 叶合欣,董海洲,万广林,等.某水库土坝下游坡大面积渗水原因分析[J].广东水利水电,2008(9):31-34,43.
- [4] 简鸿福,罗志雄,冷美玲.基于监测资料反演土坝渗流安全分析[J].水利建设与管理,2020,40(2):27-31,22.
- [5] 吕辉,简鸿福,戴霖,等.基于观测资料反演的土石坝渗流稳定计算分析[J].水利规划与设计,2022(4):74-78.
- [6] 李辉,陈大雷,贾璐.基于COMSOL Multiphysics的土石坝边坡渗流稳定数值研究[J].水利技术监督,2020(3):66-69.
- [7] 邹玉华,陈群,谷宏海.心墙堆石坝应力状态对渗流场影响的有限元分析[J].岩土力学,2011,32(7):2177-2183.
- [8] SL274—2001,碾压式土石坝设计规范[S].
- [9] 翟超,郭伟锋,严驰.黏性土渗透淤堵室内模拟试验及分析[J].岩土工程学报,2016,38(增刊1):147-151.
- [10] 李江,龙向阳.上福冲水库主坝排水棱体失效成因及坝体排水措施[J].湖南水利水电,2007(3):8-9.

(上接第134页)

部流速有较大影响,超过允许不冲流速下限。

综上,从对过流面积的影响、对洪水位的影响、对河势的影响这三方面论证,新桥桩基的布设都会对漕河泾港行洪产生较大影响。因此此方案的桥墩布设不够合理,需要从不对行洪产生影响的角度重新布设桥墩方案。

5 结语

(1) 考虑桥墩作为永久性工程,同时考虑漕河

泾港作为淀北片东西向的排水骨干河道这一重要地位,平移施工技术方案的桥墩布设会对漕河泾港的河势产生永久性的影响。建议设计方案根据现有桥墩位置东西向同排布设新桥墩。

(2) 涉河工程施工应选择在非汛期进行,单侧半幅围堰不得跨汛施工。在汛期前应撤除河道蓝线范围内的阻水构筑物,恢复河道行洪断面,确保汛期安全;同时对上下游30 m范围内的防汛墙同步实施改造,保证堤防封闭及工程安全。