

棘洪滩水库渗流量观测分析

张朋涛¹, 柴丽娜², 李义均²

(1. 广州南方测绘科技股份有限公司青岛分公司, 山东 青岛 266111;

2. 山东省调水工程运行维护中心棘洪滩水库管理站, 山东 青岛 266111)

【摘要】渗流量是监测平原水库工程稳定性的重要指标,也是研究水库实际蓄水能力的重要特征参数。通过对棘洪滩水库建造结构及工程管理建设等论述,对平原水库大坝、输泄水建筑物、排导水、渗流观测等分析,研究影响水库渗流量的基本条件和因素,根据大坝实际渗流情况的分析结果,分断面、分层次,采用水力学计算和影响因子方法求解平原水库渗流量的近似值,根据雨水情监测及引供水量计算进行必要的统计经验修正,得出修正后的近似值,并通过计算机平台整合到数字孪生场景应用中,用修正的渗流量值指导水库安全及水量调度管理。

【关键词】平原水库;棘洪滩水库;渗流量;数字孪生

【中图分类号】TV697

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2025)-11-0057-04

Seepage Discharge Observation and Analysis in Jihongtan Reservoir

ZHANG Pengtao¹, CHAI Lina², LI Yijun²

(1. Qingdao Branch of South Surveying and Mapping Technology Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266111, China; 2. Jihongtan Reservoir Management Station, Water Diversion Project Operation and Maintenance Center of Shandong Province, Qingdao, Shandong 266111, China)

Abstract: Seepage discharge is an important indicator for monitoring the stability of plain reservoir projects and a key characteristic parameter for studying the actual water storage capacity of reservoirs. By discussing the construction structure and engineering management of Jihongtan Reservoir, analyzing the plain reservoir dam, water diverting and discharge structures, water drainage, and seepage observation, this paper studies the basic conditions and factors affecting the seepage discharge of the reservoir. According to the analysis results of the actual seepage situation of the dam, the approximate value of the seepage discharge of the plain reservoir is solved by section and layer using hydraulic calculation methods and impact factor methods. Necessary statistical experience corrections are made based on rainfall and runoff monitoring and water diversion and supply calculation to obtain the corrected approximate value. The corrected value is integrated into the digital twin scenario application through a computer platform, and the corrected seepage discharge value is used to guide the safety and water regulation management of the reservoir project.

Key words: Plain reservoir; Jihongtan Reservoir; Seepage discharge; Digital twin

平原水库一般是由土石料帷幕填筑碾压,并建设防渗心墙而成的大坝,因坝体庞大,存在坝体、坝基、输泄建筑物等自身和结合部分渗流情况。因此,建设可靠的排导水系统疏导渗流水是保持大坝渗流正常的重要条件,可较好防止因渗流异常造成的坝体管涌及滑坡等问题。

1 棘洪滩水库结构概况

1.1 棘洪滩水库建造基本结构

棘洪滩水库主要由围坝、输泄水建筑物、排

导水系统组成。围坝长 14 km,坝顶高程 17 m,最大坝高 15 m,坝顶宽 8 m。围坝为宽黏土心墙坝,坝壳料采用强风化砂质黏土岩及黏土质砂岩石渣料组成,心墙为黏土及黏土岩风化石料混合料。桩号 0+000—7+648、12+765—14+227 段上游坝坡坡比 1:2.5,下游坝坡坡比 1:2.25;桩号 7+648—12+765 上游坝坡坡比 1:2.25,下游坝坡坡比 1:2.0。输泄水建筑物为入库泵站及闸门、泄水闸、供水

收稿日期:2025-07-10

作者简介:张朋涛(1985—),男,高级工程师

闸, 供水闸穿坝涵洞设截水环防渗为强风化岩毛刺浇筑混凝土连接, 入库流量 $28 \text{ m}^3/\text{s}$, 最大泄水流量 $124 \text{ m}^3/\text{s}$ 。坝基防渗主要采用垂直防渗, 截渗槽土料为黏土及黏土岩风化石料。围坝上游坝坡设石块、混凝土板和消浪坎护坡; 下游坝坡设草皮护坡, 设纵横向排水沟, 断面净尺寸 $0.3 \text{ m} \times 0.3 \text{ m}$, 底板及边墙厚 0.2 m , 并在坝基近区分段设两排并行排导渗沟疏通渗水。

2 棘洪滩水库渗流量观测分析

水库建设了大坝安全监测, 布置了浸润线和位移监测, 实现了雨水情监测, 有相对完善的排导水系统。目前渗流量监测来源于数字孪生平台的计算预估, 利用影响因子计算预估值, 输出至数字孪生平台用于查看分析。实时的渗流量监测有待建设评估并进行监测分析, 形成实时监测与影响因子预估的对比修正, 修正值指导水库运行管理。

2.1 大坝结构性渗流量监测分析

棘洪滩水库经过 30 多年运行, 浸润线趋于平滑, 以 5 号断面 3+673 浸润线为例, 如图 1 所示。

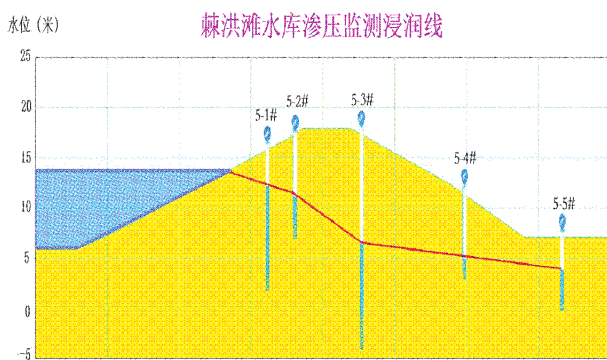


图 1 5 号断面 3+673 浸润线

水库排导水系统基本正常, 心墙式大坝防渗较为稳固。3 个节制闸站经多次改扩建加固处理后连接密实, 其中供水闸有截渗环, 防渗及渗水较稳定。大坝截渗沟沿围坝分为 5 段, 长度分别表述为 L_a 、 L_b 、 L_c 、 L_d 、 L_e 。其中, 北坝线一段排导渗水汇至一起排至河道为 L_a 段, 桩号 5+000—10+450 区间坝段; L_b 段为桩号 10+450—13+847 东坝线区间坝段; L_c 段为 1+350—0+000—13+847 西南坝线区间坝段; L_d 段为桩号 3+750—5+000 西坝线区间坝段; L_e 段为桩号 1+350—3+750 西坝线区间坝段; 水库坝基导渗通过 5 个管道或

明渠排水道排至下游河道, 坝体表面设有 50 m 间距的纵向排水沟和一条环坝的横向排水沟。

其他渗流量影响因素: 降雨 $Q_{雨}$ 、河道河水倒灌 $Q_{倒灌}$ 、蒸发量 $Q_{蒸}$, 调供水量 $Q_{调}$ 及坝体等建筑物异常引起的渗流量 $Q_{异常}$ 。上述分析结果可得出水库渗流量 3 个测量计算方法, 因水库浸润线平滑, 心墙防渗较好, 渗流经过坝基进入导渗沟。

1) 分层分段计算方法。可设定大坝为理想条件下的渗流, 大坝渗流监测的坝基观测管水位可作为渗流量计算参数, 共 14 个断面 14 支管; 设定水库总渗流量为 Q_1 , 14 个断面管水位分别为 q_1 、 q_2 ... q_{14} , 14 个断面长度为 L_1 、 L_2 ... L_{14} , 利用计算渗流量理想公式求总渗流量:

$$Q_1 = K(q_1 \times L_1 + q_2 \times L_2 + \dots + q_{14} \times L_{14}) \quad (1)$$

式中: K 为坝体渗透系数。

该方法可直接在计算机平台建立应用界面进行查询管理。

2) 分段计算方法。通过在大坝导渗沟设置量水堰, 水流通常大于 1 L/s 时正常使用, 在 5 段渗流导渗沟内分别布置 2~4 个矩形量水堰, L_b 、 L_c 、 L_d 、 L_e 段均布置 2 个量水堰, L_a 段为 5.6 km , 且有一段汇流至排水沟后共同排到下游河道。在 2 个分段分别设置 2 个量水堰, 5 段导渗沟排水出口必须设 1 个量水堰, 量水堰总数为 12 个。每段量水堰渗流计算方法为平差法计算, 对 2 个量水堰观测值平差; 设总渗流量为 Q_2 , 假设各量水堰测值均已平差, 各量水堰在不淹没情况下计算的分段流量:

$$q_1 = m \times b \times \sqrt{2g} \times H^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

式中: b 为堰宽, m ; H 为堰水头高度, m ; $m = 0.405 + 0.0027/H$ 。

总渗流量:

$$Q_2 = q_1 \times h + q_2 \times h + \dots + q_6 \times h \quad (3)$$

式中: h 为时间, s 。

该方法量水堰观测渗流量的数据可通过光纤组网传输至计算机监控平台, 设计应用页面管理使用。

3) 影响因子法。通过雨水情监测, 得出影响因子水量值, 前述已经设定为蒸发量 $Q_{蒸}$ 、调供水量 $Q_{调}$ 、降雨量 $Q_{雨}$ 、 $Q_{倒灌}$ 、 $Q_{异常}$ 、库容为 $C_{原}$ 和 $C_{当前}$ 、渗流量为 Q_3 , 则:

$$Q_3 = C_{原} - C_{当前} - Q_{蒸} - Q_{调} - Q_{雨} - Q_{倒灌} (+/-) Q_{异常} \quad (4)$$

$Q_{异常}$ 可以导致渗流量取值正负变化,这里 Q_3 不能体现出监测大坝的实际渗流量,只是从外部影响推导出水库的渗流量,对水库渗流量统计有一定的作用,但对水库工程分段管理,了解水库工程稳定性有局限性。

实际应用中常把第一、第二种方法进行修正,减掉影响因子渗流量,得出一个实际渗流量值,考虑了外部影响因素,得出:

$$Q_{1实际}(Q_{2实际}) = Q_1(Q_2) - Q_{雨} - Q_{倒灌} (+/-) Q_{异常} \quad (5)$$

分别求出 $Q_{1实际}$ 、 $Q_{2实际}$ 。

综合上述得出了水库渗流量监测值为第一种方法的 $Q_{1实际}$,第二种方法的 $Q_{2实际}$,第三种方法的 Q_3 。

2.2 棘洪滩水库渗流量观测应用分析

通过对大坝结构性渗流量观测分析,总结出了通过影响因子计算水库渗流量的计算方法,得出了渗流量 $Q_{1实际}$ 、 $Q_{2实际}$ 、 Q_3 。目前水库建设有数字孪生平台,平台引用了简单计算的 Q_3 ,没有考虑 $Q_{倒灌}$ 和 $Q_{异常}$ 的特殊情况,考虑到工程影响的复杂性,应该考虑这两个因素,也是工程稳定性检查的重要内容。

第四种计算方法,数字孪生平台可以把这三种计算方法导入到知识库,并利用统计数据对三种计算方法得出的渗流量值进行有限平差,求出渗流量修正值 $Q_{修正}$ 。

$$Q_{修正} = a \times (Q_{1实际} + Q_{2实际} + Q_3) / 3 \quad (6)$$

式中: a 为修正系数(取值 0.9~1.1),修正系数 a 通常考虑了 $Q_{倒灌}$ 和 $Q_{异常}$ 是否代入计算的不确定因素。

$Q_{修正}$ 导入数字孪生平台知识库作为水库渗流量计算模型的公式,从而得到一个有效的渗流量计算值,指导工程运行管理和水量调度管理。

2.2.1 在工程运行管理中的应用

平原水库分断面、分层次观测渗流量,可以较为准确地研究水库渗漏情况,通过观测分段的渗水流量,结合各断面浸润线监测,分析坝体上下游渗透情况。特别是下游浸润线上扬时,结合渗流量大小,观察判断坝体下游渗流是否有不畅通情况,有无排水阻挡和坝体局部变形问题;下游浸润线过度下降,观察判断坝体下游是否有管涌、滑坡、坝体异常变形等情况,结合大坝安全位

移监测,分析断面可能存在的坡降变化,可用渗流量 Q_1 实际和 Q_3 做跟踪对比,能够较好地分析大坝的异常情况引起的渗流量变化。跟踪查找到异常点后,在变形位置埋设应力计或位移计观测,确定变形受力大小,并进行人工位移观测,确定位移量变化,根据变化速率及变形大小,采取清理加固等措施保护大坝的安全稳定。

棘洪滩水库在大坝内坡多次护坡改造后,如果出现大坝上游浸润线变化仍过大,结合渗流量的变化,观察判断坝体异常点是否存在塌陷、裂缝、局部滑坡等问题,引起了渗流量变动过大,可通过水下成像拍摄或物理探测查找原因,结合大坝安全位移监测分析,找到异常点后,埋设应力计等观测受力情况,并根据变形大小进行除险加固,确保工程安全运行。水库渗流量变化异常,应及时巡查各断面测压管有无堵塞,坝体排水、导渗情况,以及量水堰是否存在河水倒灌等异常,及时疏通排水,根据雨水情监测、大坝安全监测、水量调度等,确定引起渗流量变化的原因,及时跟踪处理,并进行渗水水质监测,与水库水质进行对比,观察水质变化,适当进行排水等处理。因此,水库渗流量的变化反映了大坝渗透的变化情况,可为判断分析工程变形、破坏等异常情况提供依据,及时判断异常点并确定修复施工,保护大坝的安全运行。

2.2.2 在水量调度管理中的应用

水量调度作为水库的重要业务体现在引水调配、供水调配、库容变化、库水位、流量控制、水质监测保护、调度运用等方面,其核心是库容变化、调度运用决策。调度运用根据库容变化进行引水、供水、库水位、流量控制等调配,实现水库的水量调度运行管理。同时库容又受各业务的影响而变化。在观测渗流量 $Q_{1实际}$ 、 $Q_{2实际}$ 、 Q_3 时,均采用了影响因子法,因此库容 $C_{当前}$ 也受这些因素影响而变化。从 Q_3 反推导出,则库容:

$$C_{当前} = C_{原} - Q_{蒸} - Q_{调} - Q_{雨} - Q_3 - Q_{倒灌} (+/-) Q_{异常} \quad (7)$$

显然,影响因子同样对计算库容很重要,这里 Q_3 就是渗流量。如果影响因子量值不稳定,对精确求解库容就很困难。所以,渗流量在库容计算中占有重要位置,渗流量变化过大,影响库水位实际测值,对计算库容造成隐形误判,调度运用的实施也产生一定的误差,引供水的流量控制

产生不精确的执行值,同时也引起水质问题,需要多批次进行渗流水与库水质人工对比,确定渗流影响水质程度,并适当处理。在现代化的水量调度管理中,精确观测每个影响因子很重要,特别是在智慧管理水库中能够有效地分析各个影响因子的作用,并推出更优化的水量调度方案,发挥水库在科学调配水源上的重要作用。

3 应用工程

棘洪滩水库已建成数字孪生-平原水库智慧管控系统,包括工程安全、水量调度、智能安防和标准化管理4个应用。智慧管控系统把水库各管理要素的监控、预警、分析等自动化监测数据汇集在平台上,根据4个应用建立了工程安全、水量调度、智能巡检等水利模型,并建立了水质、水量调度预演,实现与原自动化监测系统并行运行,实现了智能巡检和水量调度,对影响水库的水量调配和水质进行预演,使水库运行管理更趋于高效

安全性。渗流量观测数据已嵌入到数字孪生平台的应用页面上,在水库工程管理及水量调度预演、尤其是对坝体安全预警具有重要使用价值。

4 结语

平原水库渗流量观测的分析结果形成了渗流量4种计算方法,通过渗流量的观测分析,具有精确研判工程特性,及时巡查工程隐患,并进行除险加固,优化库容计算,及时掌握对工程稳定性和水量调度的跟踪预判,并在数字孪生、四预管理中得到广泛的应用,提高水库工程安全管理、水量调度的社会使用效益和水资源利用价值。

参考文献

- [1] 姜保东,张峰,薛逸娇.智慧水利数字孪生技术应用[M].北京:中国水利水电出版社,2021.
- [2] 中国水利水电科学研究院.土石坝安全监测技术规范:SL551-2012[S].北京:中国水利水电出版社,2012.

(责任编辑 崔春梅)

(上接第40页)

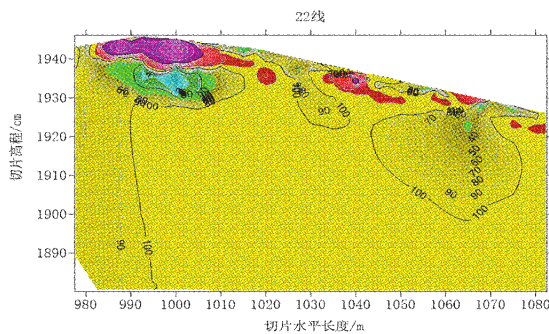


图 12 22 线反演切片图

低含水率介质的分布范围;20Ω·m 以下的低阻区详细反映了含水率较高的黏土等介质分布范围。

从切片图像结果看,未见雨水沿坝顶路面裂缝渗透产生的低阻反映,表明裂缝灌浆封堵效果较好或裂缝深度较浅。图3~图5切片显示了坝体在该区域附近有明显的低阻区,图10~图12切片显示了坝体防渗墙附近两侧有明显的低阻区,推断这两处的防渗墙可能经多年运行之后及穿黄工程实施后产生了裂隙透水病害,但注浆处理后效果不明显,坝体本身含水量仍然较低,未从根本上截断渗漏通道,需进行二次注浆处理。图1~图6切片显示了坝体背水面地表10m左右深度以下有明显的低阻区,推断该处坝体含水

丰富,存在渗漏通道,也需进行二次注浆处理。除此之外,其余区域灌浆处理效果显著,未见明显低阻区。结果表明:采用高密度电法层析成像进行穿黄工程注浆隐患处理检测方法可行,能直观显示各位置隐患处理结果,后续可针对不同坝体材料和不同注浆饱满度的电阻率检测成像结果开展系列研究,为后续渗漏指标判定提供量化依据。

3 结论

1)通过电阻率成像法进行诊断,能直观反映穿黄隧道灌浆处理后隐患体大小和基本位置,实现隐患可视化处理。

2)坝体内部电场反演结果表明,电阻率层析成像可直观反映穿黄工程周围坝体材料电阻率,根据电阻率随含水量增大而减小的原则能够判定注浆前后渗漏通道处理效果。

3)基于电阻率层析成像可以直观分析黄河坝体高、低阻异常区。结果显示坝体表面附近,由于长期暴露在空气中,土石体的含水量较小,出现高阻异常,电阻率值较大;渗漏区域土体含水量较高,会出现低阻异常区,高低电阻率的成像显示可为判定灌浆是否截断渗漏通道提供检测依据。

(责任编辑 张玉燕)