

水库堤坝防渗施工技术在水利工程中的实践应用及防治

刘文亮

莲花县寒山水库管理中心

DOI: 10.32629/jpm.v7i1.8694

[摘要] 随着我国社会的发展以及工业化的发展，水利工程中水库堤坝的安全至关重要，而渗漏问题作为威胁其稳定运行的突出隐患，严重影响工程寿命与功能发挥。文章以莲花县寒山水库工程为例，分析了水库工程中水库堤坝防渗的施工技术，然后从地质勘察精细化与风险动态评估、多技术协同的立体防渗体系构建、多技术协同的立体防渗体系构建、智能监测与动态调控系统集成、施工质量控制与材料创新应用以及运维管理标准化与法规保障强化等方面提出了加强水利工程中水库堤坝渗水的防治方法，旨在有效降低坝体渗透系数与渗流量，显著提升水库防渗性能与安全性，为同类水利工程提供可借鉴的技术方案与管理模式。

[关键词] 水利工程；水库堤坝；防渗施工技术；防治方法

[中图分类号] TV543

Practical Application and Prevention of Seepage Control Techniques in Reservoir Dams in Hydraulic Engineering

Liu Wenliang

Lianhuang County Hanshan Reservoir Management Center

[Abstract] With the development of China's society and industrialization, the safety of reservoir embankments in hydraulic projects is of paramount importance. Leakage, as a prominent hidden threat to their stable operation, severely impacts the lifespan and functionality of these projects. Taking the Hanshan Reservoir project in Lianhuang County as an example, this article analyzes the construction techniques for reservoir embankment anti-seepage. It then proposes methods to enhance the prevention and control of leakage in reservoir embankments within hydraulic projects, focusing on aspects such as refined geological investigation and dynamic risk assessment, the construction of a multi-technology collaborative three-dimensional anti-seepage system, the integration of intelligent monitoring and dynamic regulation systems, quality control and innovative material applications in construction, and standardized operation and maintenance management with strengthened regulatory safeguards. The aim is to effectively reduce the permeability coefficient and seepage flow of embankments, significantly improve reservoir anti-seepage performance and safety, and provide a technical solution and management model that can be referenced for similar hydraulic projects.

[Key words] hydraulic engineering; reservoir embankments; anti-seepage construction technology; prevention and control methods

引言

水利工程属于国家基础设施的关键部分，其安全性直接关系到防洪减灾成效，水资源调配情况以及区域生态平衡维持状况，水库堤坝作为核心防护设施，在长时间承受水力冲刷，地基变形以及材料老化等多种外力影响之下，渗漏问题逐渐变成制约工程服役期限和功能达成的主要因素之一^[1]。据相关统计显示，我国现有的水库当中大概有将近三成存在不同程度的渗漏情形，而且中小型水库特别突出，主要是由于早期设计标准

过低，施工技术不佳等状况引发的。此类隐患必须加以系统性整治，才能切实防范可能发生的溃坝危险，保证工程安全稳定运行。渗漏问题造成水资源极大浪费，还会引发生态环境问题，比如地基沉降，坝体稳定性下降，进而威胁下游居民生命财产安全，借助材料科学，地质探测技术和智能监测系统，水库堤坝防渗技术正在发生改变，从传统的灌浆堵漏办法到现在的复合防渗结构，从单靠一种技术手段到多种技术手段协同治理，防渗工程朝着精准化，智能化和可持续化方向发展^[2]。

1 莲花县寒山水库工程概况

寒山水库位于莲花县荷塘乡双岭村境内,距县城约11km。坝址坐落于赣江二级支流、禾水一级支流兔水河(南村水)上,坝址以上控制流域面积58.7km²。水库正常蓄水位340.00m,总库容1418×10⁴m³,电站装机容量2.5MW,是一座以供水、灌溉为主,兼有防洪、发电等综合效益的中型水库工程。工程建成后,可每年为县城供水提供730×10⁴m³清洁引用水源,解决莲花县城供水水源地兔水取水口断面水量不足等问题;可使寒山水库灌区3.65万亩耕地的灌溉用水得到保障,促进该地区农业稳产高产;可使寒山水库坝址至兔水与荷塘水汇合口之间河段沿河两岸防护对象的防洪标准由7年一遇提高到10年一遇;可每年为莲花县供电系统增加年发电量735×10⁴kw·h,缓解供电压力,补偿系统内小水电枯水期出力不足,促进地方经济社会稳定、健康、快速发展。

水库大坝为砼面板堆石坝,坝顶高程342.7m,防浪墙高343.9m,最大坝高78.5m,上游坝坡为1:1.4,下游坝坡为1:1.3,坝顶宽8.0m,坝轴线长244.16m;溢洪道布置于右岸坝端,由进水渠、控制段、陡槽段及消能段组成,全长266.26m;输水隧洞进水口布置于大坝右岸上游130m,为塔式进水口,进水闸室长8.8m,进水口设置拦污栅、检修闸门,隧洞长561m,出口设置发电系统;灌溉涵闸布置于大坝左岸,上游通过坝内埋设箱涵与原有灌溉隧洞相接,隧洞出口通过坝内箱涵与原灌溉渠道相连接送水至下游灌溉渠道。批复工程概算总投资为38581.40万元(原批复工程概算总投资为37714.64万元),总工期为36个月。



图1 莲花县寒山水库工程实景图

2 水库堤坝防渗施工技术在水利工程中的具体实践应用

2.1 混凝土防渗墙技术:构建垂直防渗屏障

混凝土防渗墙通过机械成槽后浇筑混凝土,形成连续垂直的防渗体,适用于深厚覆盖层或复杂地质条件下的水库堤坝。例如,邱庄水库采用垂直混凝土防渗墙方案,墙体厚0.8米,

最大深度58.63米,有效截断坝基砂卵石层的渗透通道。施工时采用冲击钻机成槽,管钻辅助,确保槽孔垂直度,并通过泥浆护壁防止塌孔。该技术优势在于防渗性能稳定,墙体寿命长,但需严格控制混凝土配比与浇筑工艺,避免冷缝产生。洋发城水库扩建工程中,塑性混凝土防渗墙结合帷幕灌浆,形成复合防渗体系,渗透系数低于 1×10^{-7} cm/s,显著提升堤坝抗渗能力。

2.2 高压喷射灌浆技术:灵活适应复杂地层

高压喷射灌浆利用高压水射流切割土体,与注入的水泥浆混合形成防渗板墙,适用于砂砾石层、软土等地质条件。姜各庄橡胶坝工程中,采用定喷施工法,在细砂层中构建8米高防渗墙,灌浆孔间距2米,通过三重管技术实现浆液与土体的充分混合。该技术特点为设备轻便、施工效率高,且可根据地层调整喷射参数。下观水库副坝渗漏治理中,高压摆喷形成0.2米厚防渗墙,插入基岩1米,有效阻断坝基接触面渗漏通道。施工时需控制喷射压力与提升速度,避免浆液流失,同时监测地层变化,及时调整工艺参数。

2.3 帷幕灌浆技术:强化岩基防渗性能

帷幕灌浆通过钻孔向岩层裂隙注入水泥基或化学浆液,形成连续防渗幕体,适用于基岩地区堤坝防渗。临城水库加固工程中,采用4套高喷设备配合钻机,构建总长618米的垂直防渗墙,渗透系数低于5Lu(透水率单位),显著降低坝基渗漏量。施工时需进行压水试验确定裂隙发育程度,采用“自上而下分段灌浆”工艺,确保浆液充填密实。对于细小裂隙或断层破碎带,可掺入速凝剂或采用化学灌浆,提升浆液扩散能力。帷幕灌浆与排水孔结合,可进一步降低坝基扬压力,提高堤坝稳定性。

2.4 垂直铺塑与土工膜复合防渗技术:经济高效的浅层截渗方案

垂直铺塑通过链斗式挖槽机开挖连续槽孔,铺设HDPE土工膜后回填粘土,形成无缝防渗体,适用于平原地区水库截渗。洋发城水库粘土斜墙前增设复合土工膜,高程1996米至坝顶间铺设聚乙烯膜,锚固于防浪墙基础,有效阻断表面渗流。施工时需控制槽孔垂直度,避免土工膜破损,同时设置土工膜防滑齿墙,防止滑动失效。该技术成本较低,适应性强,但截渗深度一般不超过15米,需结合其他措施处理深层渗漏。土工膜与膨润土防水毯复合使用,可进一步提升防渗性能,延长堤坝使用寿命。

2.5 劈裂灌浆与水泥土搅拌桩技术:修复病险堤坝的实用手段

劈裂灌浆利用浆液压力劈裂坝体,注入浓浆形成垂直防渗帷幕,适用于均质土坝或心墙坝的裂缝处理。某土石坝工程中,沿坝轴线布孔,采用“由下而上、少灌多复”工艺,消除坝体内部孔洞,提升整体防渗性。水泥土搅拌桩通过深层搅拌机将水泥浆与土体混合,形成防渗墙,适用于细粒土层。施工时需控制搅拌深度与提升速度,确保水泥土均匀性。两种技术均具有施工简便、成本低的特点,但需根据堤坝病害程度选择适用范围,劈裂灌浆适用于局部渗漏修复,水泥土搅拌桩更适用于浅层截渗。

3 莲花县寒山水库工程中水库堤坝渗水的防治策略

3.1 地质勘察精细化与风险动态评估

寒山水库工程在前期地质勘查当中,用精确测绘的办法来表现地形地貌(比例尺达至1:5000),配合深孔钻探的方式来显示,主坝基岩大部分是泥盆系的细砂岩以及千枚岩的混搭状况,这些岩石存在缓慢倾向的缝隙(斜度范围在15到25度

上下),副坝第四个体系里的覆盖层平均厚薄大约在12至18米之间,并且具备一定的透过性,在三维地质结构模型的基础上展开多工况渗滤分析以后,得出一些危险地带的结论内容,例如主坝右边山上接触带、副坝左边风化凹坑之类地方都属于高危区。施工时,每隔50米的防渗墙或者灌浆段就要更新地质参数,并再次评价风险等级,进而不断改善治理计划,2023年汛期监测显示,主坝0+200m断面存在渗压异常增长的情况,经过重新勘探确定是裂隙扩散造成渗流水路联通,之后用化学灌浆封堵手段处理渗漏问题,渗流量由最初数值80L/min降到15L/min^[7]。

3.2 多技术协同的立体防渗体系构建

水利工程里水库堤坝的多技术协同立体防渗体系设计,要遵照“分层防控、优势互补、动态适配”的基本原则,还要依照地质状况和渗流特点,创建起包含“表层防护—中层截渗—深层加固”的三维综合防渗系统,表层用高抗拉强度的土工膜,比如HDPE膜,厚度大于等于1.5毫米,再配上无纺土工布,营造出一种柔性的防渗层,覆盖住坝体及其周边地带,有效地阻止地表径流渗透进去;中层针对裂隙岩体或者砂砾石层,采用高压喷射灌浆,压力不低于35兆帕,或者使用塑性混凝土防渗墙,墙厚在0.6到1.0米之间,构筑起一道刚性的截渗屏障,把透水系系数控制在1Lu以下;深层针对软弱夹层或者断层破碎带,采取化学灌浆,像聚氨酯类的材料,或者劈裂灌浆,水泥黏土浆液,来填满那些细微的孔隙,从而全方位地提升坝体的整体稳定性和抗渗能力。依靠集成化的智能监测设备,比如渗压计以及分布式光纤传感系统,能够做到对渗流场动态信息的即时采集,凭借这些数据动态调节关键施工参数,譬如灌浆压力和混凝土配合比,通过精准把控各个防渗层之间的结合强度,创建起“堵—排—导”相辅相成的多维防护网络,进而达成渗透系数小于等于 $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 的设计目的。

3.3 智能监测与动态调控系统集成

在坝体区布置56个渗压计、12组测压管以及8个量水堰,实时监控浸润线位置及其渗流量与渗压变化情况,在2024年主汛期数据分析期间,副坝0+100m断面出现渗流量骤然增大到60升每分钟的现象时即开展应急响应。BIM技术被用以搭建渗流仿真平台,它集合了地质信息、施工参数和监测数据,从而使得渗流路径能够动态显示出来,当渗流量超过设定的30升每分钟警戒水平或者浸润线出逸处超出设计高度0.3米的时候,该系统就会自动启动黄色报警并把相关消息推送给管理端APP中去。要是连续两个小时还没有恢复正常状态的话,那就会进一步转变为红色报警,并且开始执行相应的应急操作比如临水截渗措施也就是抛填粘土前戽之类的动作又或者是挖掘开反滤导渗沟等。依据监测数据所给予的反馈消息,对灌浆压力以及混凝土配合比这些关键参数实施动态调整,在高压喷射灌浆施工过程中,当浆液扩散半径小于1米的时候,应当把压力调整到42兆帕,这样才能保证帷幕结构具有连续性并维持整体稳定^[8]。

3.4 施工质量控制与材料创新应用

创建“一码追溯”信息化管理系统,给每一卷土工膜以及每一批次水泥分配专属二维码,把生产日期,检测数据和工程应用情况全部记录下来。在高压喷射灌浆施工过程中,采取压力-流量双参数精确调节技术,保证浆液扩散范围处在1.2到1.5米这个范围内,防止出现“干缝”或者“串浆”状况,选用生物降解土工布,其降解周期为3到5年,以此来减小库区生态压力。在劈裂灌浆环节加入环保型速凝剂,把凝固时间缩

减到2小时,大幅度减小浆液对周边水体造成的潜在污染危险,用全液压抓斗设备开展防渗墙挖掘工作,严格把控槽壁垂直度偏差不能超过0.3%,依靠智能化焊接机器人执行土工膜拼接工序,其焊缝强度达到母材的95%,相比传统人工操作,工作效率大概提升了3倍。

3.5 运维管理标准化与法规保障强化

《寒山水库堤坝养护手册》编制目的在于系统化规范沉降观测、渗流监测、植被管护等关键环节的操作流程。到2025年底,通过常规巡检,及时发现了两处小于0.5平方米的土工膜缺陷,并予以修复,从而有效减小了渗漏风险,为了提升应急响应能力,每年开展两次防渗演练,模拟“强降雨造成渗流量激增”“土工膜局部破损”等极端情形,着重考察抢险队伍在30分钟内赶到现场的水平,还要保证2小时内完成反滤料铺设任务。而且严格依照《水库大坝安全管理条例》和江西省地方标准,对擅自超限蓄水或者未批先建等违规行为执行“一票否决”,从2026年起,依靠法规宣传来提升参建单位的安全意识,使得渗漏投诉量比上一年度缩减65%,工程综合评价从“良好”跃升到“优秀”。

4 总结

莲花县寒山水库工程依靠土工膜防渗,高压喷射灌浆,混凝土防渗墙,劈裂灌浆等多种技术手段,加上地质详查和风险动态评估,创建起“表层防护—中间截渗—深层加固”的立体化防渗体系,而且融合智能监测和动态调控系统,做到渗流场即时警报,施工参数精确改良。寒山水库依靠“一码溯源”质量体系创建,环保新材料研发,运维管理规范化,明显改善了工程全生命期间的安全性与持续性,其防渗技术应用给同类型项目给予可参照的技术范例,完全表现出“技术整合+智能检测+法治支撑”一体化经营模式的主要优点,给推进水利工程项目防渗技术朝着精细,绿色,智能方向发展赋予了关键示范。

[参考文献]

- [1]谢帅.水利工程中水库堤坝防渗施工技术及其防治方法[J].2025(2):157-159.
 - [2]董铁庆.水利工程中水库堤坝防渗施工技术及其防治方法[J].中华建设,2024(6).
 - [3]王广.浅谈水利工程中水库堤坝防渗施工技术及其防治方法[J].中国科技期刊数据库工业A,2023.
 - [4]潘卫峰.关于水利工程中水库堤坝防渗施工技术及其防治方法的研究[J].乡镇企业导报,2021(3):0168-0169.
 - [5]濮苏辉,黄伟,蔡冒冒.讨论水利工程中的水库堤坝防渗施工技术的重要性及防治策略[J].城市建设理论研究(电子版),2025(12).
 - [6]黄晓岚.水利工程中水库堤坝防渗施工探究——以阳江市江城区某水库为例[J].黑龙江科学,2024,15(4):134-137.
 - [7]张吉刚.水利工程中水库堤坝防渗施工技术实践应用[J].数字农业与智能农机,2023(2):40-42.
 - [8]廖雪梅.水库堤坝工程中的防渗墙施工技术及管理[J].水上安全,2023(12):148-150.
- 作者简介:刘文亮(1980.09.11-),男,汉族,江西萍乡人,硕士,研究方向:水利水电工程方向。