

水库坝体渗漏病害成因分析及防渗加固技术探究

欧阳林

新余市渝水区水利局 江西新余 338025

摘要: 本文围绕水库坝体渗漏病害展开深入研究。详细分析了水库坝体渗漏病害的主要表现形式,深入探究了导致渗漏病害的设计、施工、材料以及运行管理等方面的成因。在此基础上,系统阐述了垂直防渗、水平防渗、渗漏点修复和生物防治等多种防渗加固技术要点。旨在为水库坝体渗漏病害的防治提供科学依据和技术支持,保障水库的安全稳定运行。

关键词: 水库坝体; 渗漏病害; 成因分析; 防渗加固技术

引言

水库作为重要的水利基础设施,在防洪、灌溉、供水、发电等方面发挥着至关重要的作用。然而,随着时间的推移和各种因素的影响,水库坝体可能会出现渗漏病害,这不仅会降低水库的效益,还可能威胁到下游地区的生命财产安全。因此,对水库坝体渗漏病害的成因进行分析,并探究有效的防渗加固技术具有重要的现实意义。

一、水库坝体渗漏病害的主要表现形式

1. 渗漏类型分类

水库坝体渗漏主要可分为坝身渗漏、坝基渗漏和绕坝渗漏三种类型。

坝身渗漏是指水流通过坝体本身的孔隙、裂缝等通道渗出。这种渗漏通常是由于坝体填筑质量不佳、材料抗渗性能差或坝体出现裂缝等原因引起的。例如,在一些土石坝中,如果填筑土料的压实度不够,土料之间存在较多的孔隙,就容易形成渗漏通道。

坝基渗漏是指水流通过坝基的岩石、土壤等介质渗出。坝基的地质条件复杂多样,若存在断层、节理、软弱夹层等不良地质构造,或者坝基处理不当,就可能导致坝基渗漏。比如,在岩溶地区修建的水库,岩溶洞穴和裂隙可能成为坝基渗漏的主要通道。

绕坝渗漏是指水流绕过坝体的两端,从坝肩的山体或其他部位渗出。绕坝渗漏往往与坝肩的地质条件和防渗措施有关。如果坝肩的岩石存在裂隙、风化严重,或者坝肩的防渗帷幕施工质量不好,就容易发生绕坝渗漏。

2. 典型症状与危害

坝体渗漏的典型症状包括坝体表面出现湿润区域、渗水点、流土现象等。当渗漏较为严重时,还可能出现

浑水渗出,这表明坝体的土料正在被水流带走,可能会导致坝体的结构破坏。

坝体渗漏会带来诸多危害。渗漏会导致水库的水量损失,降低水库的蓄水量和供水能力,影响水库的正常运行效益。长期的渗漏会使坝体的土料被侵蚀,导致坝体的强度降低,增加坝体滑坡、塌陷等事故的发生风险。渗漏还可能引发坝基和坝肩的渗透变形,如管涌、流土等,严重威胁坝体的稳定性。例如,在一些水库中,由于坝体渗漏导致坝基出现管涌现象,若不及时处理,可能会使坝基失稳,最终导致坝体溃决,给下游地区带来巨大的灾难。

二、水库坝体渗漏病害成因分析

1. 设计缺陷

设计阶段的缺陷是导致水库坝体渗漏病害的重要原因之一。在坝体设计时,如果对坝址的地质条件勘察不充分,就可能会遗漏一些重要的地质信息,如断层、岩溶洞穴等。这会使得设计方案无法针对实际的地质情况采取有效的防渗措施,从而为坝体渗漏埋下隐患。

例如,在某水库的设计中,由于对坝址的岩溶发育情况认识不足,没有在坝基和坝肩设置足够深度的防渗帷幕。水库建成后,岩溶洞穴成为了渗漏通道,导致坝基和绕坝渗漏问题严重。

坝体的结构设计不合理也可能导致渗漏。如坝体的坡度设计过陡,会增加坝体的稳定性风险,同时也可能使坝体在运行过程中产生裂缝,从而引发渗漏。还有,坝体的排水系统设计不完善,不能及时排除坝体内的积水,也会使坝体长期处于饱和状态,降低坝体的抗渗性能。

2. 施工缺陷

施工过程中的质量问题也是造成坝体渗漏的关键因素。在坝体填筑施工中,如果土料的质量不符合要求,

如土料的颗粒级配不合理、含水量过高或过低，就会影响坝体的压实效果，导致坝体存在较多的孔隙，形成渗漏通道。

例如，在某土石坝施工中，由于使用了含泥量过高的土料，且压实度不够，坝体填筑完成后，出现了大面积的渗漏现象。

另外，混凝土坝的施工缝处理不当也会引发渗漏。如果施工缝的表面没有进行妥善的清理和凿毛处理，新老混凝土之间的结合就不紧密，容易形成渗水通道。在防渗帷幕施工中，钻孔的深度、间距不符合设计要求，或者灌浆的压力、浆液的配合比控制不当，都会影响防渗帷幕的质量，导致防渗效果不佳。

3. 材料缺陷

坝体所使用的材料质量直接影响坝体的抗渗性能。对于土石坝而言，土料的抗渗性是关键。如果土料的渗透系数过大，就容易发生渗漏。一些地区的土料可能含有较多的砂粒或粉粒，其抗渗性能较差，在填筑坝体时就需要采取特殊的处理措施。

混凝土坝中，混凝土的质量对防渗至关重要。如果混凝土的配合比不合理，水灰比过大，就会导致混凝土的孔隙率增加，抗渗性能降低。混凝土中使用的水泥质量不佳、骨料级配不合理等，也会影响混凝土的抗渗性能。例如，在一些混凝土坝中，由于使用了安定性不合格的水泥，导致混凝土出现裂缝，从而引发渗漏。

4. 运行管理缺陷

水库的运行管理对坝体的安全也有着重要影响。在水库的运行过程中，如果缺乏定期的检查和维护，就难以及时发现坝体渗漏等问题。例如，没有对坝体的表面进行定期巡查，可能会错过渗漏初期的一些迹象，导致问题得不到及时处理，逐渐恶化。

另外，水库的水位控制不当也可能引发渗漏病害。如果水库在高水位运行时间过长，坝体承受的水头压力过大，就会增加渗漏的可能性。不合理的水库调度也可能导致坝体的应力状态发生变化，产生裂缝，进而引发渗漏。例如，在一些水库中，由于频繁地进行水位大幅度升降操作，使得坝体受到较大的应力变化，导致坝体出现裂缝，最终发生渗漏。

三、水库坝体防渗加固技术要点

1. 垂直防渗技术

垂直防渗技术作为水库坝体防渗的关键手段，旨在通过构建垂直防渗体来截断水流渗漏通道，保障坝体安全稳定。混凝土防渗墙是其中应用广泛且效果显著的一

种，借助专用成槽设备在坝体或坝基中挖掘槽孔，而后向槽孔内浇筑混凝土形成连续墙体。其优势显著，防渗性能优良，能有效阻挡水流渗透；墙体强度高，可承受较大水压力与土压力；耐久性强，能在长期水环境中保持稳定性能。不过，施工要求严苛，需精准控制槽孔垂直度，确保防渗墙连续性与完整性，避免出现偏斜影响防渗效果；要保证槽壁稳定性，防止槽壁坍塌影响施工进度与质量；严格把控混凝土浇筑质量，从原材料选择到配合比设计，再到浇筑工艺，每个环节都关乎墙体性能。高压喷射灌浆防渗墙利用高压喷射设备将水泥浆液喷射至地层，与土体充分混合形成防渗体。该技术施工速度快，能在较短时间内完成防渗墙建设，适应不同地层条件，无论是砂性土、粉质土还是其他复杂地层，都能通过调整喷射参数，如喷射压力、提升速度等，使浆液与土体充分融合，形成连续、密实的防渗结构。水泥土搅拌桩防渗墙适用于软土地基与坝体防添加固，通过深层搅拌机械将水泥浆与土体强制搅拌，使水泥与土颗粒充分裹覆、胶结，形成具有一定强度的水泥土桩体，桩体相互搭接构成防渗墙。施工时，搅拌均匀性至关重要，若搅拌不均，水泥分布不均，会影响桩体强度与防渗性能；桩体搭接质量也不容忽视，良好的搭接可确保防渗墙的连续性，防止出现渗漏薄弱点，从而有效提升坝体防渗能力，保障水库长期安全运行。

2. 水平防渗技术

水平防渗技术为水库坝体构筑起一道抵御渗漏的坚实防线，通过在坝体上游面或坝基表面铺设水平防渗材料，有效削减水流渗漏量。土工膜以其独特优势成为常用之选，其质量轻盈，便于运输与铺设，防渗性能卓越，能有效阻隔水流渗透。在铺设时，需精心处理拼接环节，采用热熔焊接或胶粘等方式，确保拼接强度满足要求，一般拼接宽度不小于10cm，焊接缝抗拉强度不低于母材的80%，防止渗漏水从拼接缝隙处侵入。同时，要做好与坝体的锚固，采用锚固沟或锚固板等方式，锚固深度依据坝体土质和土工膜特性确定，通常不小于0.5m，保证土工膜在大水位差作用下不发生滑动。

黏土铺盖利用黏土的低渗透性发挥防渗作用，施工时对黏土质量要求严格，黏土的塑性指数宜在15-30之间，含水量控制在最优含水量的 $\pm 2\%$ 范围内，以保证黏土的压实性能和防渗效果。铺设厚度根据坝基土质和水库运行条件确定，一般不小于1.5m，采用分层压实的方法，每层压实厚度不超过0.3m，压实度不小于0.95，使黏土形成致密结构，有效阻止水流渗漏。

混凝土面板在坝体上游面构筑起坚固的防渗屏障，其防渗性能和耐久性优异。混凝土设计强度等级不低于C25，抗渗等级不低于W8，以满足防渗和承载要求。在浇筑过程中，要严格控制混凝土的配合比，水灰比不大于0.5，砂率在35%~45%之间，确保混凝土的密实性。采用分层分段浇筑方法，每层浇筑厚度不超过0.5m，分段长度根据混凝土散热和施工能力确定，避免出现裂缝。同时，加强养护工作，养护时间不少于28天，保持混凝土表面湿润，防止因干缩产生裂缝，影响防渗效果。

3. 渗漏点修复技术

渗漏点修复需根据渗漏规模、位置及成因精准施策。针对孔径小于5厘米的集中渗漏点，采用快凝水泥基材料分层填塞，材料配比为水泥与SH外掺剂按10:1混合，初凝时间控制在5分钟内，填塞时分层厚度不超过3厘米，每层压力维持10分钟以确保密实度，此方法适用于坝体浅层渗漏的快速封堵。对于裂缝宽度大于2毫米的贯穿性渗漏，优先选用聚氨酯-水泥复合浆液进行压力灌浆，浆液体积比为1:1，固化后抗压强度不低于15兆帕，注浆压力根据坝体结构动态调整，初始压力0.3兆帕，终压控制在0.8兆帕以内，避免因压力过高导致坝体二次开裂，该技术能有效填充裂缝并形成柔性防渗体，适应坝体微小变形。当渗漏通道较深或存在管涌风险时，采用埋管注浆法，在渗漏通道中埋设直径32至50毫米的PVC花管，灌注水泥-水玻璃双液浆，水灰比0.8:1，水玻璃模数2.4至3.4，注浆压力0.3至0.5兆帕，通过双液浆的快速凝胶特性封堵深层渗漏通道，同时利用花管的渗透性确保浆液均匀扩散。对于大面积散浸渗漏，沿坝脚开挖纵向导渗沟，沟深1至2米，间距5至10米，填充级配砂石，粒径2至20毫米，形成反滤层以降低浸润线，配合透水后戽法，在坝体下游坡脚填筑宽度不小于3米的碎石透水料，配合土工布反滤层使用，有效分散渗流压力，防止土体流失。所有修复施工均需建立实时监测系统，通过渗流量、浸润线等参数动态评估修复效果，确保坝体安全稳定。

4. 生物防治技术

生物防治技术为水库坝体防渗开辟了一条绿色可持续的新路径，巧妙借助植物根系与微生物的协同作用，从根源上改善坝体防渗性能。在植物选择上，深根型草本植物如狗牙根、高羊茅是理想之选，其根系能深入坝体土层0.5至1.2米，形成密集根系网络。种植时，按行距0.3米、株距0.2米的规格播种，每平方米播种量控制在15至20克，确保根系均匀分布。随着植物生长，根

系不断伸展、穿插，使土体颗粒间咬合更紧密，孔隙率降低20%至30%，有效减少水流渗透通道。

微生物防治则聚焦于具有胶结作用的菌种，如巴氏芽孢杆菌。将菌液与营养液按1:5的比例混合，通过高压喷射装置注入坝体表层0.3至0.5米的土体中，喷射压力控制在0.2至0.3兆帕，确保菌液均匀渗透。这些微生物在代谢过程中会分泌多糖、蛋白质等黏性物质，将土体颗粒胶结成团，使土体抗压强度提升15%至25%，渗透系数降低至 10^{-6} 至 10^{-7} 厘米/秒量级。

为强化生物防治效果，可采用植物-微生物联合修复模式。先在坝体表面铺设一层厚度5至10厘米的腐殖质土层，为微生物提供适宜的生存环境，再将选定的植物种子与微生物菌剂混合撒播。种植后定期灌溉，保持土壤含水量在20%至25%，促进植物生长与微生物繁殖。经过1至2个生长周期，坝体表层0.5米范围内的土体防渗性能显著提升，形成一道天然的生物防渗屏障，既环保又经济，为水库坝体防渗提供了创新解决方案。

结语

水库坝体防渗中，垂直防渗技术凭借其深度阻断渗流通道的能力，为坝体安全筑牢根基；水平防渗技术通过在坝体表面构建防渗层，有效抵御表层渗漏威胁；渗漏点修复技术精准定位并封堵渗漏部位，及时消除安全隐患；生物防治技术则以绿色、可持续的方式，从内部改善坝体土体性能，提升防渗效果。四者各有优势又相互补充，在实际工程中需综合考量坝体状况、地质条件及环境因素，灵活组合运用，方能构建起全方位、多层次的防渗体系，切实保障水库长期安全稳定运行。

参考文献

- [1] 朱其海. 小型水库常见病害及除险加固技术分析[J]. 越野世界, 2023, 18(8): 97-99.
- [2] 张文勇. 黄田水库大坝防渗加固方案分析[J]. 陕西水利, 2023(12): 173-174.
- [3] 周俊伶. 坝体渗流病害成因及防渗关键技术研究[J]. 东北水利水电, 2023, 41(1): 56-58.
- [4] 孙金莲, 诸葛刚. 水库大坝除险加固工程中的技术难题与对策[J]. 中文科技期刊数据库(引文版)工程技术, 2024(003): 000.
- [5] 于海宽. 水库除险加固主要技术措施探析[J]. Water Conservancy & Electric Power Technology & Application, 2023, 5(7).