

水利工程堤防渗漏问题与防渗漏加固施工技术

左小昭¹ 左婷琪²

1. 内蒙古河套灌区水利发展中心解放闸分中心 内蒙古巴彦淖尔 015000

2. 内蒙古河套灌区水利发展中心乌兰布和分中心 内蒙古巴彦淖尔 015000

摘要: 水利工程堤防的安全稳定运行至关重要,然而渗漏问题却时常威胁着堤防工程的正常功能。本文深入分析了水利工程堤防渗漏问题的成因,包括地质与水文因素、设计与施工因素以及运行管理与维护因素等。详细阐述了堤防渗漏对工程安全、水资源和社会经济造成的危害。同时,系统探讨了多种防渗漏加固施工技术要点,如混凝土防渗墙技术、高压喷射灌浆技术、劈裂灌浆技术和垂直铺塑防渗技术等。旨在为水利工程堤防的建设、维护和管理提供科学依据,有效解决堤防渗漏问题,保障水利工程的可持续发展。

关键词: 水利工程; 堤防渗漏; 成因分析; 危害; 防渗漏加固技术

引言

水利工程是我国基础设施中非常重要的一部分,在水资源合理配置、防洪减灾和农业灌溉中发挥着至关重要的作用。堤防是水利工程中一道重要的防线,堤防的安全直接影响着周边区域人民生命财产安全以及社会经济平稳发展。但在实际工作中,堤防渗漏现象并不少见,极大地影响堤防正常功能及使用寿命。渗漏不仅使堤防结构遭到破坏,而且有可能诱发滑坡、坍塌等安全事故的发生,还会浪费水资源,给生态环境带来负面影响。因此,对水利工程堤防渗漏的原因、危害及防渗漏加固施工技术进行深入的研究具有十分现实的意义。

一、水利工程堤防渗漏问题的成因分析

(一) 地质与水文因素

(1) 地层透水性差异: 堤基若存在砂砾石层、裂隙岩体等强透水层,水体易通过孔隙或裂隙渗透,形成集中渗漏通道。例如,山东乔店水库坝基砂卵石层厚度达15米,渗透系数达0.5m/d,导致渗漏量占蓄水量的12%。

(2) 地下水位动态变化: 汛期江河水位上涨导致堤内外水头差增大,渗透压力突破堤身抗渗能力,引发管涌或流土。三峡围堰工程中,库水位上升至175米时,坝基渗透压力达2.5MPa,需通过防渗墙降低水力梯度。

(3) 地质构造活动: 断层、溶洞等地质缺陷为渗漏提供天然通道。云南麦子河水库坝基溶洞发育,渗漏量达500m³/d,经高压喷射灌浆处理后降至10m³/d。

(二) 设计与施工因素

水利工程堤防设计和施工因素,是诱发渗漏最主要

的内因。在设计阶段,如果地质条件调查不充分,没有针对透水层和断层等地质缺陷编制专门的防渗方案,容易造成防渗体系的薄弱。如在某段堤防设计中没有考虑砂砾石层的分布情况、没有设置截水槽和防渗墙,渗流便沿着透水层的通道进行。在施工环节,材料质量的好坏对防渗性能有着直接的影响,如果砂石料的含泥量过高,混凝土强度不够,将使结构的抗渗能力下降。工艺控制缺陷也是重点,混凝土防渗墙在施工过程中由于清孔不够彻底、泥浆残留等原因造成墙段接缝漏水;劈裂灌浆时泥浆的容重不够,很难形成有效的防渗帷幕;高压喷射灌浆孔的斜率超限,破坏了防渗墙连续性。另外,隐蔽工程监管的缺位加剧了风险,地下防渗设施建设隐蔽性高,质量检测手段受限,孔斜和断桩现象不易被及时发现,给渗漏埋下了安全隐患。设计和施工中任何一个疏忽都会使堤防抗渗能力减弱,并最终导致工程安全事故。

(三) 运行管理与维护因素

水利工程堤防在运行管理和养护过程中出现疏漏,是导致渗漏问题不断加重的重点诱因。由于长时间超出设计标准的运行,堤防持续面临高水位的压力,导致土壤饱和度上升,同时抗剪和抗渗性能也逐渐减弱。某堤防在连续五年的汛期中,水位超出了设计标准的20%,而渗漏量每年平均增加8%,这就是一个明显的例子。维护不足体现在堤身隐患听之任之:没有及时清除杂草,修复缝隙,给雨水入渗提供渠道;由于动物的洞穴没有被封闭,因此形成了一个连续的渗漏通道,由生物破坏引起的渗漏占了15%~20%的比例。缺少监测预警体系更是让风险一发不可收拾,一些堤防缺少渗流压力、浸润

线等重要参数实时监测装置,很难捕捉到渗透系数突变及其他险情先兆,某水库由于接触渗漏没有得到及时处理,造成混凝土剥落,险情不断扩大,修复费用猛增。粗放的运行管理和落后的养护共同弱化了堤防动态适应能力,使得本来可以控制的渗漏逐渐演变成危及工程安全的主要隐患。

二、水利工程堤防渗漏的危害

(一)对工程安全的危害

水利工程堤防渗漏对工程安全构成多维度致命威胁。持续渗漏会逐步掏空堤身内部土体,形成集中渗流通道,某堤防因长期渗漏导致堤内出现直径超2米的空洞,最终引发局部坍塌。渗透破坏还会引发管涌险情,细颗粒随渗流流失,堤基土体结构失稳,某河段因管涌未及时处置,12小时内堤脚塌陷达3米,直接威胁大堤安全。渗漏引发的浸润线抬升会显著降低土体抗剪强度,某实验显示,饱和土体抗剪强度较干燥状态下降60%以上,极易诱发滑坡失稳。此外,渗漏可能腐蚀混凝土结构,某水库因渗水携带化学物质,导致闸墩钢筋锈蚀、混凝土剥落,结构承载力锐减。这些危害往往具有隐蔽性与突发性,一旦叠加作用,可能引发连锁反应,使堤防在短时间内丧失防洪功能,造成不可估量的生命财产损失。

(二)对水资源的危害

水利工程堤防渗漏,给水资源带来了广泛而又深刻的危害。渗漏可将大量珍贵水资源白白地损失掉,本应得到有效贮存与使用的水分,却从堤防上的空洞渗透到地下或附近地区,造成水库、湖泊及其他蓄水设施蓄水量急剧减少,影响了区域水资源调配和供给。渗漏也可改变地下水动态平衡,渗水过多可导致地下水位畸高,诱发土壤盐碱化、损害周围生态环境、影响作物生长、减少土地生产能力。并且,漏出的水如果带有污染物,将会对地下水源造成污染,使得本来洁净的水资源遭到侵犯,对居民饮用水安全构成威胁。部分干旱地区堤防渗漏导致水资源损失更加剧了水资源短缺局面,使本来就紧张的水供需关系变得更加严峻,对当地经济和社会发展产生了严重障碍。

(三)对社会经济的危害

水利工程堤防渗漏对社会经济造成的危害表现出连锁式扩散效应。农田由于渗漏造成灌溉水源短缺,作物减产乃至绝收的情况频繁发生,某县灌区曾经因为堤防渗漏致使万亩农田遭受干旱,造成了数千万元的直接经济损失,极大地影响了粮食安全和农民的收入。交通设施也受到影响,渗漏诱发堤防塌陷将对公路和铁路路基造成损害,某段铁路沿线由于堤防失稳使轨道发生形变,

断运持续多日,致使货物积压,旅客延误出行,地区物流成本突然上升。旅游行业也面临困境,由于水渗漏导致的水域面积减少和水质下降,滨水的景观吸引力受到影响,某湿地公园的水面积因渗漏减少了30%,游客量急剧减少,附近的餐饮、住宿和其他服务业收入也急剧下降。另外,险情处置和工程修复需要大量的资金投入,某市水库除险加固工程总投资上亿元人民币,增加了地方财政负担并挤占了教育和医疗等民生领域的开支,限制了该地区的可持续发展。

三、水利工程堤防渗漏加固施工技术要点

(一)混凝土防渗墙技术

混凝土防渗墙技术对于水利工程来说是一种极其关键的防渗方法,对于确保水工建筑物的安全具有重要的作用。20世纪50年代产生于意大利,后被世界广泛使用。它的基本原理是:在松散透水地基上不断造孔、用泥浆固壁、向孔口注入混凝土构筑墙形防渗建筑物,并将墙顶和闸坝防渗体相连,水库的两端与岸边的防渗设施相连接,底部嵌入基岩或相对不透水的地层,这样可以切断或减少地基中的渗透水流,确保地基的渗透稳定和闸坝的安全,从而充分发挥水库的效益。

混凝土防渗墙的施工技术包括造孔、清孔换浆、终孔和清孔检查验收、浇筑泥浆下面混凝土、全墙质量检查验收及处理和坝内防渗体衔接。在造孔这一工序中,所需的时间大约占据了总工期的超过60%,因此需要选用适当的工具以缩减工程时间;清孔换浆时孔内砂粒、岩屑等泥浆应更换为合格泥浆,同时刮去已沉积的岩屑、泥皮等杂物,以确保墙体混凝土质量及其与基岩的接触带等。

塑性混凝土防渗墙是一种混凝土防渗墙,它是将较多的黏土或者膨润土拌入到普通混凝土当中,水泥掺量较小,弹性模量及强度也较低,能够适应地基的变形,降低墙体的内应力避免裂缝的产生,同时能够节省水泥,并且具有良好的抗震性能,防渗效果随着时间的增加而增强。

(二)高压喷射灌浆技术

高压喷射灌浆是一种采用高压射流冲击对土体结构进行破坏,使得浆液和土粒完全混合凝结成连续防渗板墙结构的一种施工工艺,在水利工程领域,如堤坝的防渗加固和地基的处理中,这种技术得到了广泛的应用。这项技术最初是在20世纪70年代初由日本提出的,后来在70年代末,中国山东省水利科学研究所对设备进行了改进,并将其成功应用于水利工程领域,典型的应用有山东乔店水库41m深的地基处理,云南麦子河水库7000m²防渗墙的修建和三峡围堰工程中的大尺寸漂石地层的修建。

它具有丰富的机理, 高压水或者浆液由直径为2mm ~ 3mm左右的喷射嘴喷出, 并在动水压力的撞击下沿着喷射方向对土体进行冲切搅拌, 又有升扬置换、充填挤压、渗透凝结及位移挤裹。根据喷射介质的不同, 可以将其分类为单管法、双管法以及三管法, 其中单管法的浆压范围是10~25MPa, 而成桩的直径则在0.4~0.9m之间; 根据喷射的方式, 可以将其分类为旋喷、摆喷以及定喷这三种。作业中, 将钻孔钻到设计好的预定地点, 置入高压注浆管, 接通高压水泵、空气压缩机及水泥搅拌机, 根据规定要求边注入浆液边将高压注浆管抬起, 实现水泥浆与土粒掺搅拌合、结成凝结体、逐孔不断、最终连成板墙帷幕、达到防渗加固。

(三) 劈裂灌浆技术

劈裂灌浆根据水力劈裂的原理对土坝进行加固, 被广泛应用于水利和市政中治理土坝渗漏、裂缝和湿陷。它的基本原理是将浆液注到土体孔中, 并产生大于土的抗拉强度的径向压力使土沿着最小主应力面发生劈裂, 从而产生与坝轴线方向相同的裂隙, 通过构建铅直连续的灌浆通道, 进一步形成了垂直连续的防渗帷幕, 同时也填补了裂缝、孔洞等潜在危险, 从而提升了坝体的密实度和防渗性能。

在施工方面, 成孔工艺是用穿心重锤(300kg)击打锥头, 将钻杆打入堤身至设计深度, 采用干法成孔; 在灌浆工艺中, 根据设计标准顺序, 使用压浆泵通过预先埋设的注浆管, 将浆液注入堤体, 从而形成一个帷幕。在灌浆过程中, 一般采用孔底灌浆和全程灌注的方法, 对于多排孔, 首先灌注上游排, 然后是下游排, 最终是中间排。每孔连续灌浆为一序, 间隔一孔灌浆为二序, 间隔两孔灌浆为三序, 每孔灌浆次数中第一次为初灌, 其余为复灌。

劈裂式灌浆技术采纳了分段加压的方法, 其中主灌浆的中部压力范围是0.15~0.23MPa, 而下部压力则是0.25~0.40MPa。在施工过程中, 我们通过监测裂缝的宽度来控制坝顶劈裂的最大可能值。灌浆材料主要为黏土, 掺加水泥、膨润土和硅酸钠制备混合浆液, 按照从下到上三个阶段依次进行灌浆。该项技术采用“浆坝互压”的机理来达到坝体应力重分布的目的, 主浆脉的渗透系数可达到 $10^{-7} \sim 10^{-8} \text{cm} \cdot \text{s}$ 数量级, 孤石滩水库等工程项目实施后, 坝体的干重度增加了2~3%, 这一效果在特大洪水的测试中得到了长期防渗效果的验证。

(四) 垂直铺塑防渗技术

垂直铺塑防渗技术是山东省水利科学研究院在20世纪80年代提出的一种实用的防渗方法, 它通过开沟造槽

和塑膜铺设等步骤, 形成了连续的防渗墙, 有效地阻止了堤基和堤防的渗流。本技术采用水冲、链斗或者往复式锯槽机沿迎水坡堤脚沿堤轴线纵向开槽并采用泥浆护壁的方式, 将土工膜同步放入, 然后回填疏松洁净粉质壤土形成防渗帷幕。它的核心优点是工艺简单, 造价低廉, 对砂砾石层、砂卵石层及黏土层等各种地质条件都有很好的适应性, 造槽宽16~30cm, 深10~18m不等。土工膜为顺水搭接, 成型后塑膜幕体具有连续性和整体性, 对变形有较强的适应能力, 防渗效果明显, 渗透系数能控制在很低的范围内。该工艺操作简单, 施工效率高, 开沟造槽、塑膜铺设和沟槽回填能够同步完成, 尽量减少了空槽的时间和长度。胜利油田孤河试验于1990年获得成功后, 先后在山东、河南、新疆等10多个省进行了推广和应用, 先后完成了20余个项目, 修建防渗帷幕80余万 m^2 , 都获得了较好的防渗效果, 杜绝了堤坝背水坡管涌和明流渗透变形, 减少了坝体浸润线和增加了坝体稳定性, 具有经济和社会效益。

结论

垂直铺塑防渗技术以其特有的优点在水利工程堤防防渗中显示出了强大的生命力。该项技术具有施工流程简便高效、适用性广、防渗效果显著等特点, 有效地解决了不同地质条件渗漏困难的问题, 减少了堤防浸润线的出现, 杜绝了渗透变形的隐患, 有效地保证了工程的安全。它具有经济成本低、操作方便等特点, 比较有利于大范围推广。实践表明, 这一技术为堤防渗漏提供了一种可靠的解决方案, 对于增强水利工程防洪减灾能力, 确保水资源的合理利用以及推动社会经济稳定发展等方面都发挥着不容忽视的作用。

参考文献

- [1] 李琪珊. 水利工程堤坝施工中的防渗漏加固施工技术研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (10): 205-207.
- [2] 徐丽娟. 水利工程中堤防防渗施工技术分析与应用研究[J]. 水利科学与寒区工程, 2022, 5(10): 124-126.
- [3] 王羊子. 水利工程施工中堤坝防渗加固技术的运用[J]. 中华建设, 2022, (07): 153-154.
- [4] 蔡楚辉. 水利工程中堤防防渗施工技术[J]. 四川建材, 2022, 48(04): 141-142.
- [5] 钟绵志. 探析水利工程堤坝防渗加固施工技术[J]. 工程建设与设计, 2021, (14): 155-157. DOI: 10.13616/j.cnki.gcjsysj.2021.07.247.