

水利工程中的渗漏在水利工程施工技术控制

罗 俊

南通通源建设监理有限公司 江苏 南通 226600

摘 要：水利工程渗漏直接影响工程安全与效益。坝体、坝基及绕坝渗漏等类型，由地质条件复杂、设计缺陷及施工不规范等因素引发。施工技术控制中，需强化地质勘察与设计优化，严格把控施工质量，应用先进防渗技术。智能化监测预警、新材料新技术应用及全生命周期管理，正成为未来渗漏控制的发展方向。科学应对渗漏问题，对保障水利工程长期稳定运行、提升水资源利用效率意义重大。

关键词：水利工程；渗漏；施工技术；控制

引言

水利工程作为水资源调配与防洪减灾的关键设施，其安全性和耐久性关乎国计民生。渗漏是水利工程常见且危害严重的问题，可能引发坝体失稳、水资源浪费等后果。不同类型的渗漏成因各异，地质条件的不确定性、设计方案的局限性以及施工过程的质量隐患，均会增加渗漏风险。本文基于对水利工程渗漏类型与成因的深入分析，探讨施工技术控制要点，并展望其未来发展趋势，旨在为提升水利工程防渗水平提供理论与实践参考。

1 水利工程渗漏的类型与成因分析

1.1 类型

1.1.1 坝体渗漏

坝体渗漏指水体通过坝身材料或结构缺陷渗出的现象。土石坝坝体渗漏多源于填筑材料压实度不足，导致颗粒间孔隙过大形成渗流通道；或因坝体内部存在裂缝，在水力梯度作用下，水流沿裂缝持续侵蚀扩展，造成渗漏量不断增大。混凝土坝的坝体渗漏则常因浇筑过程中振捣不密实，出现蜂窝、麻面等缺陷，且当坝体遭遇温度应力、不均匀沉降时，这些薄弱部位易形成贯穿性裂缝，使库水沿裂缝渗出，不仅降低坝体强度，严重时还可能引发坝体失稳。

1.1.2 坝基渗漏

坝基渗漏发生于坝体与地基接触区域及地基内部。透水地基是坝基渗漏的主要载体，如砂卵石地层、强风化岩层等，其渗透系数较大，在水库蓄水后，库水在水头压力作用下通过地基孔隙产生渗流。当坝基存在岩溶通道时，渗漏问题更为严重，库水会迅速沿溶洞、溶蚀裂隙等通道流失，形成集中渗漏。坝基渗漏不仅造成水量损失，还可能引起坝基扬压力升高，降低坝体抗滑稳定性，威胁工程安全运行。

1.1.3 绕坝渗漏

绕坝渗漏是指库水绕过坝肩向坝下游渗出的现象。

坝肩岩土体的工程地质条件对绕坝渗漏影响显著，若坝肩存在破碎带、节理裂隙发育带或软弱夹层，库水就易沿这些薄弱部位渗流。当坝肩地形陡峻，岸坡岩土体完整性差，且未进行有效防渗处理时，库水会绕过坝体，沿山体斜坡向下游渗漏。绕坝渗漏不仅造成水资源浪费，还可能导致坝肩岩土体长期浸泡软化，引发岸坡失稳，危及整个水利工程的安全。

1.2 成因分析

1.2.1 地质条件因素

地质条件是水利工程渗漏的自然基础因素。复杂的地质构造，如断层、褶皱等，会破坏岩土体的完整性，形成导水通道，增加渗漏风险。不同地层的岩性差异也影响着渗漏情况，透水性强的砂层、砾石层易形成渗漏通道，而黏性土层相对隔水。岩溶地区广泛分布的可溶性岩石，在地下水长期溶蚀作用下形成大量溶洞、暗河等岩溶形态，为库水渗漏提供了天然通道，极大地增加了水利工程防渗处理的难度。

1.2.2 设计因素

设计阶段若对工程地质条件勘察不全面、不准确，未能充分考虑可能的渗漏问题，就会导致防渗设计不合理。例如，防渗体厚度不足、防渗材料选择不当，无法有效阻挡库水渗透；帷幕灌浆深度未达到相对隔水层，不能截断渗漏通道。排水系统设计不合理，不能及时排除坝体和坝基内的渗水，会使渗流压力升高，加速渗漏发展。不合理的设计使水利工程从建设之初就存在渗漏隐患，严重影响工程的安全性和耐久性。

1.2.3 施工因素

施工质量对水利工程防渗性能起决定性作用。在土石坝施工中，若土料含水量控制不当、分层填筑厚度过大、碾压次数不足，会导致坝体密实度不达标，形成

渗漏通道。混凝土坝施工时,模板拼接不严密、混凝土浇筑速度不均匀、振捣不充分,会产生蜂窝、孔洞等缺陷。在防渗工程施工中,帷幕灌浆的浆液配比不合理、灌浆压力和时间控制不当,无法形成连续有效的防渗帷幕。这些施工环节的缺陷,为库水渗漏创造了条件,降低了水利工程的防渗效果。

2 水利工程渗漏在水利工程施工技术的控制要点

2.1 加强地质勘察与设计优化

地质条件是影响水利工程渗漏的关键因素,对工程区域地质情况进行全面且深入的勘察,是保障工程防渗效果的重要前提。在勘察过程中,需运用钻探、物探等多种技术手段,精确获取地层结构、岩性特征、地下水分布及运动规律等详细信息。对于复杂地质区域,应加密勘察点,提高勘察精度,确保不遗漏断层、溶洞、裂隙等可能导致渗漏的地质缺陷。基于精准的地质勘察资料,设计人员要进行针对性的优化设计。对于存在强透水层的区域,可合理设计截水帷幕,确定帷幕的深度、厚度及材料参数,使其能够有效截断渗漏通道;在坝基设计时,充分考虑岩石的抗渗性能,通过优化坝型、调整坝体结构,增强坝基的防渗能力。针对不同部位的防渗需求,设计多样化的防渗结构,如在混凝土坝体与地基接触部位设置混凝土齿墙,增强结合面的防渗效果;在土石坝坝体上游设置黏土铺盖,延长渗径,降低渗透坡降。设计阶段还需进行渗流分析计算,运用专业软件模拟不同工况下的渗流场,评估设计方案的防渗性能,及时调整优化,从源头上降低渗漏风险^[1]。

2.2 严格控制施工质量

施工环节的质量优劣直接关系到水利工程的防渗性能,每一道施工工序都需严格把控。在基础处理施工中,对于岩石基础,要彻底清理表面的风化层、破碎带,确保基础面平整、坚实,为后续防渗结构施工提供良好基础;对于软土地基,需采用合适的地基处理方法,如换填、强夯、排水固结等,提高地基的承载能力和抗渗性能。在混凝土浇筑过程中,要严格控制混凝土的配合比,确保水泥、骨料、水及外加剂的用量准确,保证混凝土的强度和抗渗等级满足设计要求。加强混凝土的振捣作业,避免出现蜂窝、麻面、孔洞等缺陷,保证混凝土的密实性;合理设置施工缝和伸缩缝,并做好缝面处理,采用止水带、止水条等止水材料,防止渗漏发生。在土石坝填筑施工时,要严格控制土料的含水量和压实度。根据土料的特性,选择合适的压实机械和压实参数,分层填筑、分层压实,确保坝体的密实度均匀,减少孔隙率,提高防渗能力。对于防渗体所用的黏

土等材料,要进行严格的质量检验,保证其渗透系数等指标符合设计标准。在施工过程中,要加强对施工人员的技术培训和管理,提高施工人员的质量意识和操作技能,使其严格按照施工规范和设计要求进行施工,确保每一个施工环节都达到高质量标准,从而有效控制水利工程渗漏问题。

2.3 采用先进的防渗施工技术

随着科技的不断发展,各种先进的防渗施工技术为水利工程渗漏控制提供了有力保障。高压喷射灌浆技术是一种高效的防渗施工方法,通过高压喷射流将水泥浆液与土体充分搅拌混合,形成连续的防渗墙体。该技术适用于多种地层条件,能够在复杂地质环境下快速施工,且墙体的防渗性能良好。在施工过程中,可根据不同的地质情况调整喷射参数,如喷射压力、提升速度、旋转速度等,确保形成的防渗墙厚度均匀、强度满足要求。土工膜防渗技术凭借其优异的防渗性能和良好的柔韧性,在水利工程中得到广泛应用。土工膜具有极低的渗透系数,能够有效阻挡水分渗透。在施工时,要选择合适规格和材质的土工膜,确保其抗拉强度、抗撕裂强度等指标符合工程要求。严格控制土工膜的铺设质量,保证膜面平整、无褶皱,膜与膜之间的焊接或粘接牢固,避免出现接缝渗漏。复合土工排水网、防渗帷幕灌浆等技术也各有优势,可根据工程的具体情况,合理组合应用多种先进防渗技术,形成综合防渗体系,全方位提升水利工程的防渗效果,有效解决渗漏问题,保障水利工程的安全稳定运行^[2]。

3 水利工程渗漏在水利工程施工技术控制的发展趋势

3.1 智能化监测与预警

(1)随着传感器技术的飞速发展,分布式光纤传感器、微机电系统(MEMS)传感器等新型监测设备被广泛应用于水利工程渗漏监测。分布式光纤传感器可沿输水管道或大坝坝体布设,通过检测光纤中光信号的变化,实现对渗漏点温度、应变等物理量的实时感知,能够精确捕捉到毫米级的渗漏变化。MEMS传感器则凭借其体积小、精度高、功耗低的特点,可植入到水利结构的关键部位,对渗漏引发的微小振动和压力变化进行持续监测。(2)大数据与人工智能算法的深度融合,为渗漏监测数据的分析与处理提供了强大支撑。机器学习算法能够对海量的监测数据进行深度挖掘,建立渗漏预测模型,通过分析历史数据与实时数据,预测渗漏发生的可能性及发展趋势。深度学习算法则可模拟渗漏的复杂物理过程,结合三维可视化技术,直观呈现渗漏的扩散路径和影响范围,为工程管理人员提供精准的决策依

据。(3)物联网技术的应用构建起水利工程渗漏智能化监测网络,实现了数据的实时传输与共享。现场监测设备采集的数据可通过无线通信网络,如5G、NB-IoT等,实时传输至远程监控中心。一旦监测数据超过预设阈值,系统将自动触发预警机制,通过短信、邮件等多种方式通知相关人员,以便及时采取处理措施,有效降低渗漏带来的安全风险^[3]。

3.2 新材料与新技术的应用

(1)纳米材料在水利工程防渗领域展现出巨大潜力。纳米级防水材料具有独特的表面效应和小尺寸效应,能够填充混凝土、土体等材料的微小孔隙,显著提高材料的密实度和抗渗性能。例如,纳米二氧化硅改性混凝土,可有效改善混凝土的微观结构,增强其抗氯离子渗透能力,延长水利工程结构的使用寿命。纳米复合防渗膜具有高拉伸强度、低渗透性和良好的耐老化性能,在渠道防渗、围堰防渗等工程中得到广泛应用。

(2)微生物诱导碳酸钙沉淀(MICP)技术为水利工程防渗提供了新途径。该技术利用微生物代谢活动产生的碳酸钙沉淀,对土体或混凝土孔隙进行填充和封堵。在实际应用中,通过向目标区域注入含有特定微生物和营养物质的溶液,微生物在适宜条件下生长繁殖,将溶液中的钙离子和碳酸根离子转化为碳酸钙晶体,从而降低土体的渗透性,增强其防渗性能。该技术具有环境友好、自修复等特点,尤其适用于难以采用传统防渗方法处理的区域。(3)超高压水射流防渗技术通过高压水流对土体或岩石进行切割和重塑,形成连续的防渗墙。超高压水射流能够破碎坚硬的岩石和密实的土体,同时将水泥浆等防渗材料注入切割形成的缝隙中,形成高强度、低渗透性的防渗结构。该技术施工效率高、适应性强,可应用于不同地质条件的水利工程防渗处理,相比传统的防渗墙施工技术,具有工期短、成本低等优势。

3.3 全生命周期管理理念的深入

(1)在水利工程规划设计阶段,全生命周期管理理念要求充分考虑工程在整个服役期内可能面临的渗漏问题。这需要运用科学系统的方法,借助先进的数值模拟技术,像有限元分析、离散元分析等,对工程结构在不

同复杂工况下的渗流场展开精准模拟。依据模拟结果优化工程设计方案,从源头上降低渗漏风险。要合理选择防渗材料和防渗工艺,确保工程具备良好的防渗性能,满足长期运行的需求。(2)施工阶段是保障水利工程防渗质量的关键环节。全生命周期管理强调对施工过程进行精细化管控,这要求充分利用现代信息技术。运用BIM技术建立三维施工模型,直观呈现施工场景,对防渗施工流程进行细致模拟和优化,以此实现施工进度、质量和成本的有效平衡与控制。在施工过程中,还要加强对原材料质量、施工工艺参数等的实时监测,严格把关,确保每一道防渗施工工序都符合设计要求,为工程的长期安全运行奠定坚实基础。(3)在工程运行维护阶段,全生命周期管理理念注重建立长效的渗漏监测与维护机制。通过智能化监测系统对工程进行实时监测,及时发现渗漏隐患,并结合工程运行历史数据和健康状况评估模型,制定科学合理的维护方案。针对出现的渗漏问题,采用先进的修复技术进行处理,同时对修复效果进行跟踪评估,不断优化维护策略,确保水利工程在整个生命周期内始终保持良好的防渗性能和运行状态^[4]。

结语

综上所述,水利工程渗漏问题的有效控制需多维度协同发力。通过剖析渗漏类型与成因,从地质勘察、施工质量把控、技术创新等方面实施技术控制,可显著降低渗漏风险。随着智能化、新材料与全生命周期管理理念的深入发展,水利工程渗漏控制将迈向更高水平。未来,仍需持续探索更科学、高效的控制方法,以适应水利工程建设与运维的新需求,确保工程安全与可持续发展。

参考文献

- [1]张润超.防渗处理施工技术在水利工程中的具体应用[J].价值工程,2025,44(11):151-154.
- [2]蒋琪.水利工程中防渗墙施工技术与质量控制研究[J].中国新技术新产品,2023(4):79-81.
- [3]邢怀路,张红燕.水利工程堤防防渗施工技术及其监理控制的策略探讨[J].魅力中国,2025(7):124-126.
- [4]徐立军.水利工程施工中堤坝防渗加固技术应用及质量控制[J].中国科技纵横,2022(6):91-93.