

水利水电工程中防渗处理施工技术探讨

张若虎¹ 王晓健²

1 云南苍泰工程有限公司, 云南昆明, 671000;

2 云南新佳宇建设工程有限公司, 云南昆明, 650200;

摘要: 随着国家水网建设规划纲要实施及“十四五”水利发展规划推进, 水利水电工程安全性与耐久性受关注。防渗处理是保障大坝等安全的核心, 其施工技术先进性和质量控制严密性决定工程整体效能。本文剖析工程渗漏成因机理及潜在危害, 阐述混凝土防渗墙等关键防渗施工技术原理与应用场景。重点构建涵盖材料管控等的全方位质量控制体系, 旨在通过革新与升级提升我国防渗施工水平, 为现代化水利基础设施提供技术支持。

关键词: 水利水电工程; 防渗处理; 施工技术; 质量控制; 渗漏机理

DOI: 10.69979/3060-8767.26.05.042

引言

我国水利事业正处于从大规模建设向高质量发展转型的关键时期。《国家水网建设规划纲要》明确提出要加快构建系统完备、安全可靠、集约高效、绿色智能、循环通畅、调控有序的国家水网, 其中工程安全是水网运行的底线要求^[1]。与此同时, “十四五”水利发展规划强调要补齐水利工程短板, 强化病险水库除险加固和堤防达标建设, 而防渗处理则是解决工程结构性缺陷、延长工程寿命的关键手段。在复杂地质条件与极端气候频发的双重挑战下, 传统防渗技术已难以完全满足现代水利工程对高标准的密封性与稳定性需求。因此, 深入探讨防渗处理施工技术的创新应用与精细化质量控制, 不仅是落实国家水利政策的具体实践, 更是保障人民生命财产安全、促进水资源可持续利用的必然选择。

1 水利水电工程渗漏成因及危害分析

1.1 工程渗漏的主要成因机理

水利水电工程渗漏形成是涉及地质、水文、材料及施工工艺等多因素耦合的复杂物理过程, 核心机理是渗流通道水力梯度超介质抗渗能力。从地质构造看, 坝基或库区的断层破碎带、节理裂隙发育区和岩溶洞穴构成

优先渗流路径, 在库水压力下易形成贯通性渗漏通道。从材料特性讲, 混凝土冷缝、蜂窝麻面及土石坝填筑料孔隙率高提供微观渗流通道, 长期渗透压力使细颗粒流失, 扩宽渗流路径。此外, 施工工艺控制不严是人为致漏重要因素, 如灌浆压力不足、防渗墙接头处理不当、土工膜铺设问题等破坏防渗体系连续性^[2]。值得注意, 工程运行年限增长, 材料老化、化学溶蚀及地震等造成结构损伤, 使微小缺陷演变成严重渗漏隐患, 渗漏成因分析需动态考量全生命周期演化规律。

1.2 渗漏对工程安全的具体危害

渗漏对水利水电工程危害具隐蔽性、渐进性和突发性, 失控会引发灾难性后果。首先, 持续渗漏产生渗透压力, 降低有效应力, 削弱抗剪强度, 威胁工程结构稳定性。其次, 渗漏水流携带颗粒造成内部侵蚀, 形成管涌或流土, 掏空坝体或地基, 不及时封堵可能引发溃坝。再者, 渗漏量增加导致水库蓄水能力下降, 影响发电、灌溉及供水效益, 造成经济损失。更严重的是, 渗漏水中化学物质会对混凝土产生侵蚀反应, 加速材料劣化, 缩短工程寿命。极端工况下, 渗漏通道扩张会打破渗流平衡, 导致防渗体系失效, 危及下游安全。为直观展示不同渗漏类型及危害等级, 整理数据表(见表1)。

表1: 水利水电工程常见渗漏类型及其危害等级评估表

渗漏类型	主要发生部位	典型表现形式	潜在危害等级	关键风险指标
接触渗漏	坝体与基岩结合面	绕坝渗流、集中涌水	高	渗透坡降>临界值
裂缝渗漏	混凝土坝体、闸墩	线状渗水、析出物	中	裂缝宽度>0.2mm
孔隙渗漏	土石坝填筑体	大面积散浸、浑水	极高	含沙量突增
岩溶渗漏	喀斯特地貌库区	地下暗河、落水洞	高	库水位骤降

3 常用防渗处理施工关键技术解析

3.1 混凝土防渗墙施工技术

混凝土防渗墙技术是用专用成槽机械在松散透水地层开挖槽孔,在泥浆护壁下浇筑混凝土形成连续墙切断渗流路径的高效防渗手段。技术关键是槽孔垂直度控制与接头处理,现广泛用液压铣槽机与抓斗配合工艺,可应对卵砾石层及硬岩地层,保证墙体嵌入基岩深度达标。泥浆制备用高性能膨润土泥浆维持槽壁稳定、减少沉渣厚度,浇筑时严格控制导管理深与混凝土坍落度,防断墙或夹泥。深覆盖层防渗中,柔性墙体材料应用成趋势,调整混凝土弹性模量使与周围地层变形协调,防墙体开裂。此外,数字化施工监测系统实现对成槽深度、垂直度及混凝土浇筑面实时反馈,提升施工精度与效率,确保防渗墙在复杂地质条件下的完整性与可靠性^[3]。

3.2 高压喷射灌浆防渗技术

高压喷射灌浆技术通过钻孔将注浆管放至预定深度,用高压射流冲击切割土体并注入水泥浆液,使浆液与土体混合凝固成固结体防渗。其核心优势是适应性强,可用于多种地层,且施工设备轻便、噪音低、扰动小。施工需精确控制喷射压力等关键参数,确保旋喷桩质量。针对特殊地层,常采用三重管法提高效率。近年来,定向喷射与摆喷技术结合使防渗墙体形态更灵活,能封闭不规则渗流通道。引入智能化注浆记录仪,实现施工参数自动化采集分析,保证旋喷桩质量均一,形成连续致密防渗屏障。

3.3 帷幕灌浆与固结灌浆技术

帷幕灌浆与固结灌浆是岩基防渗经典技术,相辅相成构建坝基立体防渗体系。帷幕灌浆在坝基上游侧形成阻水幕布,采用多孔并行、分序加密注浆,将浆液压入岩体裂隙深处,阻断深层渗流,关键是合理选取灌浆压力、控制浆液扩散半径,遵循“由稀到浓、由低压到高压”原则防抬动变形。固结灌浆侧重提高坝基岩体整体性与力学强度,用浅孔、低压注浆填充表层裂隙,减少透水性。现代施工中,基于超声波成像与微震监测的裂隙探测技术广泛应用,可精准定位优势渗流通道,指导注浆孔布置与浆液配方优化。此外,引入纳米改性浆液与化学灌浆材料,提升细微裂隙充填效果与固结体耐久性,使灌浆技术处理微细裂隙渗漏优势更强。

3.4 土工合成材料防渗技术

土工合成材料防渗技术利用土工膜、土工复合材料等高分子聚合物防渗性能,铺设于坝体上游面、库盆或渠道底部形成物理阻隔层。其核心是材料选择与连接工艺,要根据工程环境选抗老化、抗穿刺能力强的HDPE或LLDPE土工膜。施工时重点处理基层平整度、保证土工膜焊接质量及与周边建筑物锚固连接,双轨热熔焊接与气压检测确保焊缝严密。复杂地形下,土工格栅与土工布复合应用增强保护层稳定性,防土工膜受损。随着材料科学进步,纳米复合土工膜与自修复土工材料研发提供新方案,其抗渗系数高、环境适应性强,在高寒、高海拔及强紫外线地区推广前景广阔,是生态型防渗体系重要组成部分。

4 水利水电工程中防渗处理施工质量控制措施

4.1 原材料与配合比的精细化管控

原材料质量是防渗工程的生命线,必须建立从源头到施工现场的全链条追溯体系。对于水泥、膨润土、外加剂及土工合成材料等关键物资,严格执行进场复检制度,重点检测其物理力学性能与化学稳定性,杜绝不合格材料流入工地。在混凝土和浆液配合比的设计中,根据现场地质情况以及试验段的数据,做多组对比试验来优化水胶比、砂率、外加剂掺量等参数,保证拌合物有良好的流动性、抗离析性以及最终硬化后的抗渗指标^[4]。

尤其对于特殊的地质环境,需要采用耐久性设计思想,掺入粉煤灰、矿渣粉等矿物掺合料来改善微观孔隙结构,提高抗渗体的长期耐蚀性。并且,利用数字化实验室管理系统对原材料库存状况和检测数据进行实时监控,配合比可以得到动态调整并准确执行,从根本上消除由于材料波动而造成的质量隐患。

4.2 施工工艺参数的标准化与动态优化

施工过程标准化作业是保证防渗效果的重要环节,必须编制详细的作业指导书,并对关键工艺参数实行刚性控制。防渗墙施工时,严格控制成槽垂直度、泥浆比重和混凝土浇筑连续性,用超声波测斜仪和液位传感器实时纠偏,在灌浆作业中根据地层吸浆量的变化来调节灌浆压力和浆液浓度,严格按照分段、分序注浆工艺进行,防止串浆和地表抬动。

对高压喷射灌浆,要定点校正钻机位置,准确调节喷嘴提升速度和旋转频率,保证桩体搭接厚度符合设计

要求。建立以大数据为基础的施工参数分析模型,把实时采集到的施工数据同设计阈值相比较,一旦出现异常马上发出预警信号,并且执行应急预案,从而达成从事后检验转向事前预防、事中控制的目的,保证每一个工序都在可控的状态下开展^[5]。

4.3 全过程质量检测与信息化监测体系

创建全方位、多层次的质量检测和监测网络,是检验防渗施工质量的一种方式。隐蔽工程验收时,采用取芯钻探、注水试验、物探检测(高密度电法、跨孔声波)等无损和微损检测手段,对防渗墙体完整性、灌浆体密实度、土工膜焊缝质量等进行定性或定量评价,保证检测覆盖率和代表性。

再者,采用物联网技术对重要部位设置渗压计、流量计、位移传感器等,创建起自动化监测体系,对运行期间的渗流量、渗透压力、结构变形等实行实时监测,并借助云平台的大数据分析来预测可能会出现渗漏。此外,创建质量信息可视化平台,把检测数据,施工记录和监测成果融合起来加以展示,达成质量状况的透明化管理,给工程安全评价及维护决策赋予科学支撑,保证防渗体系在全部生命周期内稳定运行^[6]。

4.4 人员素质提升与标准化管理体系建设

高素质的技术人员队伍、完善的管理机构是保证防渗施工质量的两个重要因素。定期对施工人员进行专业技能培训及考核,加强新工艺、新设备、质量标准的学习与掌握,实行持证上岗制度,保证关键岗位人员具有相应的实操能力及质量意识。建立完善的质量责任制,确定项目经理、技术负责人、质检员以及各班组的质量责任,实行质量终身追究制,把质量目标分解到具体的岗位和个人^[7]。

同时,实行标准化的施工现场管理,规范作业程序

和安全防护措施,创建严谨的质量文化氛围。此外,引进第三方质量检测和监理制度,加大内部监督的力度,不定期地对工程质量进行质量抽查、专项检查等,及时发现并纠正质量通病,从而达到防渗处理施工整体水平的提高和工程质量品质的提升。

5 结语

综上所述,防渗处理作为水利水电工程安全运行的“生命线”,其技术水平的优劣直接关乎国家水网建设的成败与人民生命财产的安全。面对日益复杂的地质环境与高标准的质量要求,单一的传统防渗手段已难以适应现代化水利发展的需求。展望未来,随着新材料科学的突破与数字孪生、人工智能等前沿技术在水利领域的深度融合,我国水利水电防渗处理技术必将迎来新的跨越式发展,为构建系统完备、安全可靠的国家水网提供坚实的技术支撑,助力水利事业高质量发展迈上新台阶。

参考文献

- [1]潘中圣. 水利水电工程中防渗处理施工技术探讨[J]. 价值工程, 2025, 44(34): 102-104.
- [2]王飞, 周娜娜. 水利水电工程中的防渗处理施工技术应用[J]. 城市建设, 2025, (17): 92-94.
- [3]周洪阳. 基于水利水电工程中防渗处理施工技术研究[J]. 湖南水利水电, 2025, (01): 11-12.
- [4]刘灿. 基于水利水电工程中防渗处理施工技术研究[J]. 水上安全, 2024, (12): 190-192.
- [5]周洪阳. 基于水利水电工程中防渗处理施工技术研究[J]. 湖南水利水电, 2025(1): 11-12.
- [6]尹家来. 水利水电工程中防渗处理施工技术[J]. 科技创新与应用, 2015(30): 209-209.
- [7]郭岩虎. 浅谈水利水电工程中防渗处理施工技术[J]. 建材发展导向(上), 2015(9): 286-287.