

水利工程防渗施工技术 with 质量控制研究

任启媛

山东省水利工程局有限公司, 山东 济南 250000

[摘要]水利工程防渗施工质量对于工程安全稳定性和使用寿命有直接影响,如果渗漏问题不能得到有效的控制,就会导致工程效益下降,出现结构性病害。本文整理出水利工程中常见的渗漏类型,从地质条件、施工材料、施工工艺、施工设备与人员、施工管理五个方面分析了防渗施工质量的影响因素,在此基础上提出优化防渗技术方案、加强施工过程动态管理、完善质量检测与监测体系、强化施工人员和设备管理、健全质量责任和验收机制等优化措施,为水利工程防渗施工质量控制提供一定的参考。

[关键词]水利工程; 防渗施工; 渗漏类型; 质量控制; 施工管理

DOI: 10.33142/aem.v8i8.20499

中图分类号: TV543

文献标识码: A

Research on Anti-seepage Construction Technology and Quality Control in Hydraulic Engineering

REN Qiyuan

Shandong Province Water Conservancy Bureau Co., Ltd., Ji'nan, Shandong, 250000, China

Abstract: The quality of anti-seepage construction in hydraulic engineering has a direct impact on the safety, stability, and service life of the project. If the leakage problem cannot be effectively controlled, it will lead to a decrease in engineering efficiency and the occurrence of structural diseases. This article summarizes the common types of leakage in water conservancy projects and analyzes the factors affecting the quality of anti-seepage construction from five aspects: geological conditions, construction materials, construction technology, construction equipment and personnel, and construction management. Based on this, optimization measures are proposed, including optimizing anti-seepage technology schemes, strengthening dynamic management of construction processes, improving quality inspection and monitoring systems, enhancing management of construction personnel and equipment, and improving quality responsibility and acceptance mechanisms, which provides a certain reference for quality control in anti-seepage construction in water conservancy projects.

Keywords: water conservancy engineering; anti-seepage construction; leakage type; quality control; construction management

引言

水利工程具有防洪、灌溉、供水、发电等多种功能,结构完整性的好坏直接影响到工程效益的发挥。渗漏是水利工程运行中常见的病害形式之一,渗漏量大时会大大降低水库的调蓄效益,抬高下游地下水位,还会引发坝体滑坡、管涌等险情。防渗施工贯穿于工程建设的各个环节,从基础处理、墙体构筑、材料选用、工艺控制等任何一个环节出现偏差都会形成渗漏通道。近年来,由于防渗材料以及施工技术不断更新,工程界对于防渗施工质量的认识越来越深入,但是实际操作过程中还存在着技术方案针对性欠缺、过程控制不细致、检测手段不全面等状况。本文主要从渗漏类型识别、质量影响因素分析以及优化措施三

个方面入手,试图给防渗施工质量的提高提供系统的思路。

1 水利工程常见渗漏类型

水利工程中渗漏按发生部位、成因可分为若干基本类型。坝基渗漏是指水体通过坝基及坝肩透水岩土带渗流到地表或地下水中的现象,其产生原因主要是由于基础覆盖层厚、基岩裂隙发育或者岩溶透水带处理不好造成的。坝体渗漏是水体通过坝身填筑体渗透造成的,当填筑土料选择不当或者夯压不密实时,在持续高水位的浸润作用下,浸润线会明显升高,出逸点附近容易产生散浸、漏洞甚至塌坑等病害。接触渗漏是坝体与坝基、岸坡或者涵闸等刚性建筑物接触处的渗漏,由于两种材料的变形特性不同而造成界面结合不密,形成集中渗流通道。绕坝渗漏指的是

水体从大坝两侧岸坡岩土体中向下游渗漏的情况,在坝肩岩体风化破碎或者节理裂隙发育的情况下更为明显。涵闸渗漏、溢洪道渗漏属于与输水建筑物有关的渗漏形式,大多由于结构接缝止水失效或者基础处理不当所造成。上述渗漏类型在工程实际中常常不是单独出现的,而是互相联系、互相促进,所以在防渗设计阶段要对坝址区水文地质条件做系统的勘察,准确判断出可能的渗漏通道走向,才能有针对性地选择防渗方案。

2 水利工程防渗施工质量影响因素

2.1 地质条件因素

地质条件是决定防渗方案是否可行、施工质量好坏的基本因素。坝址区岩土体渗透特性直接影响防渗措施的选择及参数的设计,砂砾石覆盖层深厚、坝基需要采用混凝土防渗墙或者帷幕灌浆截渗时,岩溶发育地区灌浆处理问题更为复杂。由于经费或者其它种种原因,地质情况没有被探明或者探明后没有得到妥善处理,在运行多年之后,隐患逐渐暴露出来并导致坝基、坝肩严重漏水,这一教训在很多工程中反复出现。土壤渗透性好、地下水位较高的地方,施工期间地下水对槽孔稳定性的影响不能忽略,泥浆护壁的难度也会增大。地质勘察的精度也会影响施工质量,如果对基岩面起伏、断层破碎带的位置、溶洞的发育情况了解不够清楚,防渗墙就不能与基岩形成有效的嵌接,帷幕灌浆也会出现漏灌段。另外,坝址区存在膨胀土、分散性土等特殊土类,会对防渗结构的长期稳定造成潜在威胁,施工时要采取相应的处理措施。

2.2 施工材料因素

防渗施工所用材料的性能指标属于控制渗漏的重要变量。混凝土防渗墙的墙体材料要同时满足强度、抗渗性及变形适应性等要求,塑性混凝土由于弹性模量小、适应地基变形能力强而被广泛应用,但是配合比设计对防渗性能影响很大。土工膜防渗体系里,材料的抗穿刺强度和断裂强度决定着它在施工扰动和运行荷载下的完整性,力学指标要上浮 20%,即断裂强度 $\geq 30\text{kN/m}$ 、抗穿刺强度 $\geq 400\text{N}$,来应对风沙侵蚀和施工扰动^[1]。灌浆材料的选择也不可忽视,水泥浆液的析水率、黏度、凝胶时间要与地层渗透性相适应,浆液配比要按照地层情况作出匹配性改变,从而保证浆液在目标渗漏通道内有足够大的扩散范围和充填能力。材料进场检验是质量控制的第一道防线,如果对防渗材料的渗透系数、力学性能和耐久性指标没有严格检测,不合格的材料就会进入施工现场,造成质量隐患。

2.3 施工工艺因素

施工工艺是否合理、是否执行到位,会直接影响到防渗体成墙质量的好坏以及防渗效果能否持久。混凝土防渗

墙施工过程中导墙精度对槽孔垂直度造成影响,泥浆配比和性能控制对槽壁稳定性产生影响,清孔换浆彻底程度对墙体与基岩嵌接质量有影响。帷幕灌浆施工时灌浆孔间距、排距及分序方式要依照地层透水率动态调节,灌浆压力要分段控制,防止压力突升或者突降给地层结构带来破坏,并且要设置抬动观测装置,及时掌握地层变形状况。高压喷射灌浆的成墙质量是由喷射压力、提升速度、浆液配比三者共同作用的结果,任何一个参数的偏离都会造成固结体连续性不够。土工膜铺设工艺中,接缝焊接的温度、速度、压力控制是保证焊缝密实性的关键环节,焊缝质量不好常常是后期渗漏的原因。工艺控制还要考虑特殊地质条件下施工适应性调整,岩溶地区采用充填灌浆和帷幕灌浆相结合的复合工艺,软土地基控制成槽速度防止槽壁坍塌。

2.4 施工设备与人员因素

防渗施工具有很强的专业性,设备是否适用、人员技术水平高低都会影响到工艺执行质量。钻孔设备的选择要与地层条件相适应,在含大粒径卵石的地层中使用常规回转钻机效率低、孔斜难以控制,而液压抓斗或者冲击钻的适用性更好。灌浆设备压力控制精度以及浆液搅拌的均匀程度,都会影响到灌浆的质量,自动化灌浆记录仪可以对灌浆参数进行实时监测,并且可以追踪灌浆的过程。施工人员的操作经验在关键工序中起着非常重要的作用,钻孔测斜、槽孔清底、接头管起拔等环节对操作精细度要求很高,没有经验的人员很容易在细节上出错^[2]。目前中小型水利工程施工队伍的技术工人流动量大,岗前培训覆盖面小、深度不够,对防渗施工质量造成一定的影响。

2.5 施工管理因素

施工管理因素存在于防渗施工的全过程之中,是各项技术措施得以顺利实施的制度保证。质量管理体系是否健全、质量责任是否落实到岗到人,会直接影响到施工过程中发现问题并加以纠正的速度。隐蔽工程的质量控制是防渗施工管理的难点,防渗墙槽孔、接触带处理、土工膜铺设等工序覆盖之后就很难直接检查,在施工过程中如果没有同步验收并做好影像记录,后期质量追溯就会很困难。施工进度的不合理压缩也会造成质量让步,在灌浆施工时缩短养护时间、在混凝土浇筑时简化温控措施等行为都会对防渗体的长期性能造成不良影响。另外参建各方之间信息交流是否畅通、监理指令和设计变更能否及时传达到施工一线,也会影响到质量管理的效果。

3 水利工程防渗施工质量优化措施

3.1 优化防渗施工技术方案

技术方案具有针对性,这是防渗施工质量的保证。方案编制阶段要充分考虑地质勘察成果,对不同坝段的地层

结构、渗透特性及渗漏特点实施分区分类剖析,不能采取“一刀切”的防渗措施。对坝基覆盖层较浅、基岩完整的地方优先选择帷幕灌浆方案,对覆盖层深厚、透水性强的地方采用混凝土防渗墙或塑性混凝土防渗墙截渗效果较好,对岩溶发育、断层破碎带等地质异常区应采用充填灌浆和帷幕灌浆相结合的方式。方案比选还要考虑工期、造价和环境影响,使技术可行和经济合理相统一。技术方案的优化表现在施工参数的动态调整上,在灌浆施工时,要按照先序孔灌浆记录和检查孔透水率反馈来及时改变后续孔的灌浆压力、浆液配比和灌浆段长,使施工参数同地层条件处在动态适应之中。新型防渗材料、工法正式施工前应做现场试验,检验其在本工程地质条件下的适用性,试验结果作为方案优化的依据。

3.2 加强施工过程动态管理

防渗施工质量控制不能只靠事后检测,而应该把控制重点放在施工过程中。动态管理的关键之处就在于对重要工序实施即时的监督并加以及时的纠正。灌浆施工过程中,利用多参数传感器和人工智能模型,创建起“网络记录+集中管控+远程指令”的灌浆管理新模式,可以对灌浆压力、流量、浆液密度等主要参数实施实时动态监测,全程数据详细记载并同步上传到云端,彻底消除深层灌浆“摸黑施工”的历史难题。防渗墙成槽时测斜仪定期使用可以掌握孔斜变化的趋势,当孔斜接近允许偏差时就可以调节钻进参数,防止产生难以处理的偏斜槽孔^[3]。对土工膜焊接作业逐条焊缝做气密性检测并做好记录,不合格焊缝立即补焊,严禁带病进入下道工序。动态管理要保证施工方、监理方、设计方之间信息畅通,对于施工过程中出现的地质异常及时沟通,尽快制定出处理方案。

3.3 完善质量检测与监测体系

质量检测是防渗施工质量评定的直接方法,监测体系是工程运行期渗流安全的屏障。检测体系要包括原材料检验、过程检验和成品检验这三个层次。原材料检验主要对防渗材料的性能指标进行核查,过程检验主要对各个工序的执行情况进行检查,成品检验主要是通过钻孔取芯、注水试验或者无损检测等方式来评价防渗体的防渗性能。堤

身、堤基防渗墙的渗透系数、墙体厚度、连续性、墙体强度等指标,每 1000m 堤长至少抽检一组,每个单位工程至少抽检一组。深层搅拌防渗墙钻孔检查,堤防工程每 300~500m 抽检一孔,不足 300m 也要设一孔,坝体防渗墙及挡墙应加密。运行期监测要对坝体、坝基、绕坝等部位设置渗压计、测压管,定时采集渗流数据,创建渗流异常预警阈值,从而达成由“被动修补”到“主动防控”的改变。现将防渗施工主要检测项目指标及方法汇总如下表。

3.4 强化施工人员与设备管理

人员和设备是施工质量的执行载体,人员和设备的管理水平决定防渗工程的效果。在人员管理上要建立分层次的培训体系,对钻孔操作、灌浆控制、土工膜焊接等关键岗位实行持证上岗制,培训内容包括理论知识和实操技能,突出施工规范和验收标准的学习^[4]。对深基坑降水、围堰防渗等高风险环节,采用桌面推演加现场实操考核的方法来提高人员的应急处置能力。设备管理上要建立施工机械的定时保养维护制度,钻孔设备、灌浆泵、搅拌机等重要设备在每班作业之前要进行试运转检查,保证管路畅通、仪表准确、防护设施完好。对灌浆设备的压力表、流量计等计量器具要定期进行校准,防止由于仪表的误差造成灌浆参数出现偏差。

3.5 健全质量责任与验收机制

质量责任和验收机制的建立成了防渗施工质量控制的一道防线。施工单位应严格执行初检、复检、终检的“三检制”,不合格工序不得流转到下道工序,对防渗工程等重要隐蔽工程,经项目法人组织验收合格后需报质量监督机构核备。监理单位对防渗墙成槽、接触带处理、土工膜铺设等隐蔽工程及关键部位进行旁站监理,采用现场巡视、跟踪检测、平行检测相结合的方式有效的控制。验收阶段要重视资料的完备性以及可追溯性,施工记录、检验报告、影像资料等应当一同存档,从而塑造起完整的质量档案。对验收过程中发现的缺陷要确定整改责任人和整改期限,整改完毕后重新组织验收,防止带病交付。依靠责任追究机制和验收闭环管理,使得防渗施工每一个环节都有据可查、有人负责。

表 1 水利工程防渗施工主要质量检测项目与要求

施工项目	检测指标	检测方法	参考频次
混凝土防渗墙	抗压强度、抗渗等级、弹性模量	钻孔取芯、室内试验	每 100m 坝型一组,每墙段至少一组
深层搅拌防渗墙	墙体强度、渗透系数、桩径	钻孔检查、开挖检查、无损检测	堤防每 300~500m 一孔,坝体适当加密
帷幕灌浆	透水率、检查孔合格率	压水试验、检查孔取样	检查孔数量为灌浆孔总数的 10%左右
土工膜防渗体	焊缝气密性、断裂强度、抗穿刺强度	气密性检测、拉伸试验	逐条焊缝检测,材料按批次抽检
坝体填筑	压实度、渗透系数	环刀法、注水试验	每单元至少取样一次

4 结语

水利工程防渗施工质量控制是地质判断、材料选用、工艺执行、设备保障、管理制度等多方面工作的系统工程。渗漏类型正确识别是制定防渗方案的前提,地质条件、施工材料、施工工艺、设备人员、管理水平五个方面因素互相交织、互相影响,任何一个环节出现薄弱都会造成防渗体系整体失效。优化防渗施工质量,要从技术方案的针对性设计开始,把质量控制的重心前移至施工过程之中,用完善的检测监测体系作为评价标准,用人员素质和设备状态作为执行保证,用责任明确的验收机制作为最后的把关。随着防渗材料性能及施工设备水平的不断提高,以及智能灌浆系统、数字化管控手段在防渗施工中不断被采用,水利工程防渗施工质量控制正由经验驱动向数据驱动转变,

这将给工程防渗效果的长期可靠提供更坚实的科技支撑。

[参考文献]

- [1]王永亮.水利工程堤防防渗施工技术及其应用创新[J].数字农业与智能农机,2026(8):71-73.
- [2]冯宇飞.水利工程大坝防渗面板施工标准技术[J].大众标准化,2026(15):40-42.
- [3]曹海鸿.水利工程中堤防防渗施工技术的应用研究[J].全面腐蚀控制,2026,40(6):246-249.
- [4]盘昌汶.水利工程堤防防渗施工技术的应用分析[J].城市建设理论研究(电子版),2026(13):190-192.

作者简介:任启媛(1992—),女,汉族,山东省日照市莒县人,工程师,本科,毕业于中国海洋大学土木工程专业,研究方向/现从事工作为水利工程。