

水利工程施工中防渗技术的应用与质量控制研究

朱鹏伟

新疆华瑞工程管理咨询有限公司 新疆 北屯 836099

摘要: 本文聚焦水利工程防渗技术, 阐述其以水力学渗透原理等为核心的理论基础, 分析土质、混凝土及砂浆、土工合成材料等主流防渗技术及应用场景。探讨施工前期、过程、后期质量控制关键环节, 以及检测技术方法。提出从组织管理、制度、数字化管控体系三方面优化质量控制体系, 旨在为水利工程防渗施工提供全面的技术指导与质量控制策略, 保障工程防渗效果与长期稳定运行。

关键词: 水利工程; 防渗技术; 施工工艺; 质量控制

引言: 水利工程关乎国计民生, 防渗是关键环节。一旦防渗不力, 会引发渗漏、管涌等问题, 威胁工程安全与效益。当前水利工程防渗技术多样, 各有优劣, 施工质量控制涉及多环节、多因素。深入探究防渗技术应用与质量控制, 对提高水利工程防渗水平、保障其安全稳定运行意义重大。本文将系统阐述相关内容, 为实际工程提供参考。

1 水利工程防渗技术核心理论基础

水利工程防渗技术的核心理论基础以水力学渗透原理、材料力学性能理论及工程结构稳定性理论为三大支柱。水力学渗透原理明确, 水流在岩土介质中的渗透遵循达西定律, 即渗透流量与水力梯度、渗透面积呈正相关, 与渗透路径长度呈负相关, 这为防渗技术的选型与设计提供了核心依据, 通过阻断或延长渗透路径、降低水力梯度实现防渗目标。材料力学性能理论聚焦防渗材料的抗渗性、耐久性与适配性, 要求防渗材料具备低渗透系数、强抗冻融能力、抗化学侵蚀性及与基底材料的良好结合性, 保障防渗层长期有效^[1]。工程结构稳定性理论则强调防渗体系与主体工程的协同受力, 避免因防渗层变形、开裂破坏防渗效果, 同时兼顾工程所在区域的地质条件、水文特征, 确保防渗结构在荷载与自然环境作用下的稳定性。三大理论相互支撑, 构成了防渗技术设计、施工与质量控制的完整理论体系, 为水利工程防渗方案的科学制定提供了根本遵循。

2 水利工程主流防渗技术及应用分析

2.1 土质防渗技术及应用

土质防渗技术是传统且应用广泛的防渗手段, 核心是利用改良或原状黏性土的低渗透特性构建防渗层, 主要包括黏性土防渗层、灰土防渗层及水泥土防渗层等类型。该技术施工工艺相对简单, 多采用分层碾压方式成型, 材料就地取材, 成本较低, 适配于土质基底、中

小型水利工程及对防渗等级要求适中的场景, 如小型水库堤坝、灌溉渠道等。在应用过程中, 需严格控制土料的颗粒级配、含水量与压实度, 一般要求压实度不低于93%, 渗透系数降至10-6cm/s以下。对于土质较差的区域, 可通过掺入石灰、水泥等改良剂提升土料抗渗性与强度。但该技术受气候条件影响较大, 在冻融频繁或地下水水位较高区域易出现冻胀开裂、溶蚀等问题, 需配套设置排水设施与保护层, 其适用范围受土料资源与地质条件的限制相对明显。

2.2 混凝土及砂浆防渗技术及应用

混凝土及砂浆防渗技术凭借高强度、高抗渗性与耐久性, 成为大中型水利工程的核心防渗技术之一, 主要形式包括混凝土防渗墙、混凝土防渗面板、砂浆抹面防渗等。混凝土防渗墙通过钻机成槽、浇筑混凝土形成连续的垂直防渗屏障, 适用于堤坝、水电站等核心构筑物的深层防渗, 可有效阻断深层渗透通道; 混凝土防渗面板多应用于土石坝上游面, 采用预制或现浇方式施工, 配合止水铜片、密封胶等止水构造, 形成完整的表层防渗体系; 砂浆抹面则适用于渠道、涵洞等小型构筑物的内壁防渗, 施工便捷、成本可控。该技术适配性强, 可根据工程需求调整混凝土强度等级与抗渗等级(常用P8-P12级), 能适应复杂地质条件。但施工对工艺要求较高, 需严格控制混凝土配合比、浇筑振捣质量与养护过程, 避免出现裂缝影响防渗效果, 其施工周期相对较长, 成本高于土质防渗技术。

2.3 土工合成材料防渗技术及应用

土工合成材料防渗技术是现代水利工程中极具优势的防渗手段, 核心材料包括高密度聚乙烯(HDPE)土工膜、复合土工膜、土工格栅等, 凭借低渗透系数(可达10-12cm/s)、轻质、柔性好、抗腐蚀等特点广泛应用。该技术施工便捷, 可根据工程形状裁剪拼接, 通过热熔

焊接形成连续防渗层，适配于各类复杂地形与构筑物，如垃圾填埋场配套水利设施、蓄水池、堤坝防渗加固等^[2]。在应用中，需重点控制材料选型（根据工程环境选择不同厚度与强度的土工膜）、基底平整压实（避免尖锐杂物刺破膜体）及焊接质量（焊接缝强度不低于母材强度）。其优势在于防渗效果显著、施工周期短、后期维护便捷，尤其适用于对防渗等级要求高的工程；但对施工环境要求较高，在高温、严寒环境下需采取特殊防护措施，且膜体易受紫外线老化影响，需配套铺设保护层延长使用寿命。

2.4 其他新型防渗技术及应用

随着水利工程技术的发展，一批新型防渗技术逐步应用于实践，主要包括高分子化学灌浆技术、渗透结晶型防水材料防渗技术、纤维增强复合材料防渗技术等。高分子化学灌浆技术通过高压注浆将聚氨酯、丙烯酸盐等化学浆液注入岩土体孔隙或裂缝，浆液固化后形成高强度、低渗透的防渗体，适用于工程渗漏治理与应急防渗，尤其对复杂裂缝与深层渗漏的处理效果显著。渗透结晶型防水材料通过涂抹或掺入混凝土方式施工，材料中的活性成分遇水发生化学反应，生成不溶于水的结晶堵塞渗透通道，适用于混凝土结构的防渗补强，具备自修复裂缝的能力。纤维增强复合材料防渗技术则利用碳纤维、玻璃纤维等复合材料的高强度与抗渗性，制作防渗板材或涂层，适用于高标准防渗工程。

3 水利工程防渗施工质量控制关键环节

3.1 施工前期质量控制

施工前期质量控制是水利工程防渗施工的基础环节，核心在于源头把控，涵盖设计交底、材料检验、施工方案审核、基底处理等关键内容。设计交底需组织施工、监理、设计单位明确防渗技术要求、质量标准及重难点防控措施，确保各方对设计意图的精准把握。材料检验需严格执行进场验收制度，对土质原料、混凝土骨料、土工膜、化学浆液等核心材料进行抽样检测，核查其渗透系数、强度、耐久性等指标，杜绝不合格材料进场。施工方案审核需重点评估施工工艺的可行性、质量控制措施的针对性及应急预案的完整性，尤其针对复杂地质条件下的防渗施工，需优化方案并进行专项论证。基底处理是前期控制的关键工序，需清理基底杂物、平整场地，对软弱夹层、孔洞等缺陷进行预处理，确保基底压实度与承载力满足设计要求，避免因基底不平整或强度不足导致后期防渗层破坏。

3.2 施工过程质量控制

施工过程质量控制是防渗施工质量保障的核心环

节，需针对各施工工序实施全过程动态管控，重点把控工序衔接、施工参数控制与现场监督检查。在工序管控方面，严格执行“三检制”，上道工序不合格不得进入下道工序，尤其针对土工膜焊接、混凝土浇筑、灌浆等关键工序，需设置质量控制点，实施旁站监理。施工参数控制需严格遵循施工方案要求，如土质防渗层的碾压含水量与压实遍数、混凝土的浇筑振捣频率与养护温度、土工膜的焊接温度与压力、灌浆的压力与浆液配比等，实时监测参数变化并及时调整^[3]。现场监督检查需配备专业检测人员与设备，对施工过程中的防渗层厚度、平整度、拼接质量等进行随机抽检，发现渗漏隐患、施工偏差等问题立即停工整改。同时，需做好施工记录，详细记录施工参数、检测结果、整改情况等信息，确保施工过程可追溯，及时化解施工过程中的质量风险，保障防渗层施工质量符合设计标准。

3.3 施工后期质量控制

施工后期质量控制聚焦于防渗工程完工后的养护、缺陷修复与竣工验收，是保障防渗体系长期稳定运行的关键。养护工作需根据不同防渗材料特性制定针对性方案，如混凝土防渗层需进行保湿养护，养护周期不少于14天，避免出现干缩裂缝；土工膜防渗层需及时铺设保护层，防止膜体受紫外线照射老化或外力损伤；土质防渗层需做好防雨淋、防冲刷措施，避免压实层松散。缺陷修复需在完工检测后开展，通过渗漏检测、外观检查等方式排查防渗层裂缝、孔洞、拼接不严密等缺陷，针对不同缺陷类型采取对应修复措施，如裂缝采用灌浆封堵、孔洞采用补丁修补、拼接缺陷重新焊接等，确保修复后防渗性能达标。竣工验收需组织各方单位，依据设计文件、质量标准与规范要求，对防渗工程的施工质量、检测报告、施工记录等进行全面核查，验收合格后方可投入使用。

3.4 质量控制检测技术与方法

质量控制检测技术与方法是防渗施工质量评估的重要支撑，需结合防渗技术类型与施工环节，选用科学合理的检测手段，确保检测结果精准可靠。常用检测技术包括外观检测、渗透性能检测、强度检测等类别。外观检测主要采用目视检查、尺量等方法，核查防渗层的平整度、厚度、拼接缝外观、有无裂缝或破损等表面缺陷，适用于施工全过程的初步检测。渗透性能检测是核心检测项目，针对不同防渗材料采用对应方法，如土质防渗层采用注水试验、渗水试验检测渗透系数；混凝土防渗层采用压水试验；土工膜防渗层采用充气法、真空检测法检测焊接缝渗漏情况；灌浆工程采用压水试验或

钻孔取芯检测灌浆效果。强度检测主要针对混凝土、水泥土等刚性防渗材料,采用回弹法、钻孔取芯法检测其抗压强度与整体性。随着数字化技术发展,超声波检测、雷达探测等无损检测技术逐步应用,可实现防渗层内部缺陷的精准定位,提升检测效率与准确性。检测过程需严格遵循规范要求,确保检测样本具有代表性,检测结果为质量控制提供科学依据。

4 水利工程防渗施工质量控制体系优化

4.1 组织管理体系优化

组织管理体系优化是提升水利工程防渗施工质量控制效能的核心保障,需构建权责清晰、协同高效的组织架构,强化各参与方的协同管控。首先,明确建设、施工、监理、设计、检测等单位的质量职责,建立“全员参与、全过程管控”的质量责任体系,将质量责任细化到具体岗位与个人,签订质量责任书,实施质量责任追究制度。其次,优化组织架构,设立专门的防渗施工质量控制小组,配备专业的技术人员与管理人员,负责统筹协调施工全过程的质量管控工作,强化对关键工序、重点部位的专项管理。加强各单位间的协同沟通,建立定期会商机制,及时解决施工过程中出现的质量技术问题,确保信息传递畅通、决策高效。另外,强化人员队伍建设,定期开展质量控制技术培训与考核,提升施工人员与管理人员的专业素养,引入专业技术人才,优化队伍结构,为质量控制体系的有效运行提供人力保障。

4.2 制度体系优化

制度体系优化是规范水利工程防渗施工质量控制行为的重要基础,需完善各项管理制度,形成覆盖施工全流程的制度保障体系。健全施工质量管理体系,细化施工前期准备、过程管控、后期验收等各环节的管理要求,明确施工工艺标准、质量检验流程与合格标准,规范施工行为。完善质量监督考核制度,建立科学的考核指标体系,对施工单位、监理单位的质量控制工作进行定期考核,将考核结果与工程款支付、信用评价挂钩,强化考核激励约束作用。优化质量缺陷处理制度,明确缺陷排查、上报、修复、复查的流程与责任主体,建立缺陷台账,确保所有质量缺陷得到及时有效处理。补充应急管理制度,针对施工过程中可能出现的渗漏、坍塌

等质量安全突发事件,制定专项应急预案,明确应急处置流程、人员职责与物资保障,提升应急响应与处置能力,保障施工质量与安全。

4.3 数字化管控体系构建

数字化管控体系构建是提升水利工程防渗施工质量控制智能化水平的关键路径,通过整合数字化技术与质量控制流程,实现施工质量的精准管控与高效追溯。首先,搭建数字化管控平台,整合施工进度、质量检测数据、人员设备信息等资源,实现数据实时采集、传输、存储与分析,为管理人员提供全面的质量管控信息支撑。其次,引入物联网技术,在防渗层施工区域部署传感器、摄像头等设备,实时监测施工参数、防渗层性能(如湿度、应变)等数据,实现施工过程的动态监测与智能预警,及时发现质量隐患^[4]。同时应用BIM技术构建防渗工程三维模型,将施工图纸、质量标准、检测数据与模型关联,实现施工过程的可视化管理,辅助进行施工方案优化与质量问题排查。另外,建立数字化质量追溯系统,对材料进场、工序检验、缺陷处理等信息进行全程记录,形成完整的质量追溯链条,便于后期质量核查与维护,提升质量控制的精细化与智能化水平。

结束语

水利工程防渗技术应用与质量控制是保障工程安全与效益的核心要点。通过对主流防渗技术的分析,明确了不同技术的适用场景与施工要点;围绕施工各阶段提出的质量控制措施,为确保防渗质量提供了操作指南;优化质量控制体系则从多维度提升管理效能。未来,需持续探索创新,结合新技术、新材料,不断完善防渗技术与质量控制体系,推动水利工程高质量发展。

参考文献

- [1]刘兆林.李健.魏洁.等.堤防防渗加固施工技术及应用研究[J].长江科学院院报,2022,39(3):81-85.
- [2]李克新.王家松.蒋龙珠.堤坝防渗加固技术在大坝工程中的应用[J].现代化工,2022,42(1):192-195.
- [3]张蕾.马岩.水利工程中堤防防渗施工技术的应用与探讨[J].科技与创新,2025(18):125-127.
- [4]奚启林.水利工程土石坝施工技术及其质量控制研究[J].水上安全,2025(13):142-144.