

大坝防渗施工工艺要点及现场管控措施

周君熙

中国水利水电第四工程局有限公司 青海 西宁 810000

摘 要：大坝防渗现场施工选用的技术包含混凝土浇筑、帷幕注浆、高压旋喷以及表层防渗涂料施工等类型。现场成型效果会被原料品质、施工操作、外界气候与机具工况等条件左右。围绕防渗结构成型原理，文章分项梳理各类施工手段的实操细节与参数管控准则，厘清各类干扰因素的影响逻辑。围绕原料验收、工序管控、机具环境管护、施工人员管理制定落地管控办法，能够给大坝防渗精细化现场管控提供实操依据。

关键词：大坝防渗；施工工艺；帷幕灌浆；现场管控；质量控制

引言：大坝作为水工建筑的关键构筑物，其防渗性能直接关乎工程安全与运行耐久。防渗施工涵盖混凝土浇筑、帷幕灌浆、高压喷射及涂层板材铺设等多种工艺类型，作业空间分散、工序交叉密集，对施工精度与过程管控提出较高要求。施工过程中材料性能波动、操作行为偏差、环境条件变化及设备工况异常等因素相互叠加，持续干预防渗结构的成型质量。围绕大坝防渗施工的工艺要点与现场管控展开探讨，对提升防渗工程整体施工水平具有实际价值。

1 大坝防渗施工基础理论与施工条件

1.1 大坝防渗体系构成与防渗机理

大坝防渗体系由多层功能性结构组合而成，各结构层级依托自身材料属性与空间布置形式，形成完整的阻水隔水屏障。坝体主体防渗结构承担主要的水体阻隔作用，通过致密的结构层阻挡上游水体向坝体内部渗透^[1]。辅助防渗结构配合主体结构填补防渗薄弱区域，弥补坝体结构自身存在的透水缺陷。排水减压结构可疏导细微渗透水体，降低坝体内部渗透压力，减少水体持续渗入的动力来源。整套防渗体系通过阻隔水体渗透路径、消散渗透水压、疏导残余渗水的方式，削弱水体对坝体结构的侵蚀与穿透作用，维持坝体整体的隔水稳定性。

1.2 大坝防渗施工的作业特性

大坝防渗施工依托坝体特殊的水工建筑形态开展，作业空间贴合坝体曲面、坡面及深部隐蔽区域，施工开展会受到建筑结构形态的约束。防渗施工工序与坝体土建施工深度交织，作业开展需要适配坝体结构成型状态，施工节奏贴合整体工程的建设进度。施工介质长期接触水体与潮湿环境，作业过程对施工材料的适配性、结构成型的致密性有着较高标准。防渗作业覆盖坝体表层、内部结构及细部节点，施工范围分布零散且覆盖区域复杂，对施工操作的精细度有着严格要求。

1.3 坝体渗漏产生的诱发机制

坝体长期处于水环境荷载作用下，水体持续对坝体结构产生渗透作用力，逐步穿透结构表层缝隙与内部疏松区域。坝体结构成型过程中留存的细微孔隙与结构性缝隙，会成为水体渗透的天然通道。外部环境湿度、湿度的持续变化，会引发坝体结构产生细微形变，扩大结构内部的孔隙尺度与缝隙宽度。长期的水压作用会逐步冲刷结构内部的松散介质，拓展渗透通道的空间规模，让水体渗透的持续性与范围逐步提升，最终形成稳定的渗漏通道并引发渗漏问题。

1.4 防渗施工的基础施工条件分析

防渗施工开展需要依托达标成型的坝体基层结构，基层整体平整度、密实度与完整性，直接决定防渗结构的铺设与成型质量。施工场地的环境状态适配防渗材料成型要求，温湿度环境可保障防渗材料固化、粘接及成型的稳定性。施工所用防渗原材料、配套辅助材料需保持稳定的性能状态，材料自身致密性与隔水属性可满足防渗结构的建设标准。施工设备的运行精度与作业状态，能够适配精细化防渗作业的操作需求，为防渗结构均匀成型、节点完整处理提供基础支撑。

2 大坝主流防渗施工工艺及技术要点

2.1 坝体混凝土防渗施工工艺要点

坝体混凝土防渗依靠结构自身密实度阻断渗水通道，材料配制环节需要严控骨料级配与胶凝材料用量，减少内部孔隙生成空间^[2]。拌合过程保持均匀拌合状态，保障混合料整体物性均匀，规避材质不均引发的局部透水问题。浇筑作业遵循分层连续的施工模式，合理控制下料速度与铺筑厚度，避免浇筑过程中出现离析分层。振捣作业贴合浇筑进程有序开展，充分消除混凝土内部空隙与细微蜂窝结构，提升整体结构致密程度。浇筑完成后开展阶段性养护工作，合理调控结构表层水分散失

速度, 弱化温度应力与干缩应力带来的结构开裂问题, 维持防渗混凝土结构长期稳定的隔水性能。

2.2 帷幕灌浆防渗施工工艺要点

帷幕灌浆针对坝基及深层岩体裂隙开展防渗处理, 通过浆液固化填充岩体内部空隙, 形成连续稳定的地下防渗屏障。钻孔作业严格把控孔道垂直度与钻进深度, 规整孔道内部形态, 清理孔内残留碎屑与积水, 保障浆液填充顺畅度。浆液配制结合岩体裂隙发育状态调控粘稠程度, 保证浆液具备良好渗透能力与固化强度。灌浆作业采用分段推进的作业模式, 让浆液充分渗入岩体细微裂隙, 填满岩体内部透水通道。灌浆结束后落实孔口封闭养护, 等待浆液充分凝固固结, 形成整体性良好的防渗帷幕, 阻断坝基深部水体渗透路径。

2.3 高压喷射防渗施工工艺要点

高压喷射防渗依托高压流体冲击扰动原地土层, 实现土体破碎与浆液混合固结, 重塑连续防渗墙体。施工前期校准设备运行参数, 稳定射流输出压力, 保证土层切割扰动范围均匀规整。升降作业保持匀速推进, 让浆液与原位土体充分拌合融合, 提升固结体整体均质程度。作业过程持续稳定输送浆液, 维持浆液流量恒定, 规避墙体厚度不均、固结松散等施工缺陷。针对不同地层土质特性调整作业参数, 适配松散土层与裂隙土层的施工需求, 保障成型防渗墙体完整连续, 强化地层整体隔水能力。

2.4 防渗涂层与防渗板材施工工艺要点

防渗涂层施工重点把控基面处理质量, 彻底清除基面表层浮渣、松散介质与污染物, 修整基面凹凸缺陷, 构建平整洁净的作业基面。涂层涂刷遵循薄层多遍的作业方式, 保证涂层厚薄均匀, 提升涂层与基面的附着效果, 封堵坝体表层细微透水缝隙。防渗板材施工前完成精准排版与裁切作业, 适配坝体不同施工区域的结构形态。铺设过程保持板材平整舒展, 紧密贴合基层表面, 杜绝空鼓、褶皱等施工问题。板材拼接位置落实密闭处理工艺, 封堵拼接缝隙产生的透水隐患, 完善坝体表层整体防渗防护体系, 提升表层结构的防水耐久性能。

3 大坝防渗施工质量影响因素分析

3.1 施工原材料性能对防渗质量的影响

大坝防渗工程建设所用原材料的综合性能决定防渗结构基础品质, 各类材料的物理特性与耐久属性直接作用于整体防渗效果^[3]。防渗混凝土所用骨料的级配状态、纯度指标会改变结构密实程度, 粒径搭配不合理或杂质含量过高, 会在结构内部形成零散孔隙, 削弱水体阻隔能力。灌浆浆液、防渗涂料等胶凝材料的固化特性、抗

渗等级决定成型结构的隔水稳定性, 胶凝活性不足会降低材料粘结能力, 造成结构贴合度不足。防渗板材的拉伸强度、耐水稳定性适配坝体长期水环境作业需求, 材料耐老化性能不足会让表层防护结构逐步出现破损脱落, 持续降低防渗体系的整体稳定性。

3.2 施工工序操作行为的影响机制

防渗施工全流程的人工操作规范程度, 会逐层改变防渗结构的成型状态与使用性能。混凝土浇筑振捣的精细程度影响结构内部致密性, 振捣幅度不足会留存隐蔽空腔, 振捣过度则会引发骨料离析, 破坏结构均匀性。灌浆钻孔与注浆作业的精细化操作, 决定防渗帷幕的连续完整程度, 孔位偏移、注浆不充分会造成帷幕断层缺陷。表层涂层涂刷与板材铺设的操作精度, 直接影响节点密封效果, 人工操作出现的细微偏差会转化为防渗薄弱区域, 逐步衍生为渗水隐患, 干扰防渗体系整体运行状态。

3.3 施工现场环境的干扰作用

施工现场的自然环境条件会持续干预防渗材料成型过程与结构固化效果。空气湿度变化会影响涂料、浆液类材料的固化速度, 湿度过高会延长固化周期, 造成表层粘结不牢, 湿度偏低则会引发材料表层快速失水开裂。环境温度波动会改变混凝土胶凝反应速率, 极端温度条件会弱化结构成型强度, 降低防渗耐久性能。露天施工场景中的风尘、水汽会附着于施工基面, 干扰材料与基面的粘结融合, 破坏防渗结构的整体性, 对各工序施工品质形成持续性干扰。

3.4 施工设备运行状态的影响规律

各类施工设备的运行精度与稳定状态, 为防渗施工标准化开展提供基础支撑, 设备工况异常会直接引发施工质量偏差。拌合设备运行不稳定会造成原材料拌合不均匀, 导致混凝土、浆液配比失衡, 弱化材料自身防渗属性。钻孔设备精度偏差会造成孔道歪斜、孔径不均, 影响后续灌浆填充的饱满程度。高压喷射设备压力输出不稳, 会造成土体切割与浆液混合效果不均, 让成型防渗墙体出现厚度偏差与结构缺陷。

4 大坝防渗施工现场管控措施

4.1 施工原材料进场与存储管控方式

大坝防渗工程原材料品质管控是保障防渗结构质量的前置环节, 规范化的进场管控模式能够从源头规避材料性能缺陷^[4]。材料进场阶段落实精细化核验工作, 针对胶凝材料、骨料、防渗卷材及涂层材料开展性能核查, 杜绝性能不达标的物料投入施工环节。严格把控物料进场批次秩序, 规整各类防渗材料的进场验收标准, 细化

物料品质核查维度,保障进场物料整体性能统一稳定。材料存储阶段依托物料自身属性规划专属存放区域,干性胶凝材料堆放区域做好防潮隔水处理,规避潮湿水汽影响材料胶凝活性。防渗板材与涂层原料存放区域规避阳光直射与风尘堆积,维持材料原有物理性能与结构形态,避免外界因素造成材料老化、变质或形态形变,为后续施工成型质量提供基础保障。

4.2 施工全过程工序流程管控措施

防渗施工整体工序具备较强的连续性与关联性,全流程管控可有效规避工序偏差引发的防渗隐患。建立标准化工序执行标准,细化混凝土浇筑、灌浆作业、表层防渗处理等各环节的操作标准与作业尺度。细化各工序衔接标准,前序施工环节成型质量达标后方可推进后续作业,杜绝工序交叉作业引发的结构破损与施工缺陷。针对隐蔽施工环节增设专项管控标准,重点把控坝体深部灌浆、基层缺陷处理、节点密封等关键工序的作业状态。规范现场作业推进节奏,杜绝粗放化作业模式带来的结构孔隙、粘结不实、成型残缺等问题,维持防渗施工整体流程的规范性与有序性。

4.3 施工现场环境与设备运维管控

施工环境的稳定状态与设备运行品质,直接影响防渗结构成型的稳定性与均匀性。结合坝体施工场地的露天作业特点,制定适配的环境管控制度,及时清理作业区域堆积的杂物与浮尘,维持基面洁净状态。根据温湿度变化调整施工排布计划,规避极端气候条件下的材料施工与固化作业,减少环境因素对防渗结构成型的干扰。建立常态化设备运维体系,定期对拌合设备、钻孔设备、高压喷射设备及涂布设备开展检修养护。及时排查设备运行存在的精度偏差与机械故障,对老化配件开展更替处理,维持各类施工设备的运行精度与作业稳定性,保障各工序施工参数保持标准区间。

4.4 施工人员作业行为规范化管控

施工人员的作业熟练度与操作规范度,是稳定防渗施工质量的核心人为因素。搭建系统化作业管控体系,明确各岗位人员的作业职责与操作规范,统一防渗施工各环节的作业标准。定期组织岗位技能提升训练,强化作业人员对精细化施工工艺的掌握程度,提升复杂节点与隐蔽区域的作业质量。强化现场作业监督力度,纠正不规范的浇筑、振捣、铺设及密封操作行为,杜绝人为操作偏差引发的质量隐患。落实岗位作业责任制,将施工质量管控细化至各个作业环节,推动作业人员严格遵循工艺标准开展施工,提升整体防渗施工的精细化水平。

结束语

大坝防渗施工工艺类型多样、作业空间分散、工序交叉密集,对施工精度与过程管控有着较高要求。从混凝土防渗到帷幕灌浆,从高压喷射到涂层板材铺设,各环节的技术要点与参数控制直接决定防渗结构的成型品质。材料性能、操作规范、环境条件与设备状态等多重因素持续影响施工质量,需要依托原材料管控、工序流程管控、环境设备运维及人员行为规范等现场措施加以约束。持续强化各环节的管控力度,推动防渗施工向精细化方向发展,是保障大坝防渗体系长期稳定运行的关键所在。

参考文献

- [1]张二宝.水库大坝防渗墙混凝土加固安全施工技术研究[J].科技资讯,2026,24(6):146-148.
- [2]宋悦红.大坝防渗加固施工技术要点分析[J].工程管理,2024,5(9):147-149.
- [3]卢强,蒋伟勤.水库大坝混凝土防渗墙施工技术探讨[J].红水河,2023,42(4):30-34,38.
- [4]贺永锋,杨柳,刘军,等.乌弄龙水电站大坝坝体防渗质量控制措施综述[J].云南水力发电,2021,37(5):175-178.