

水利水电工程灌浆施工技术与质量管理对策研究

阳林宏 黎亮

中交长江(重庆)水利工程有限公司 重庆 401147

【摘要】：国内老旧水利水电工程多存在坝体渗水、设备老化等结构病害，多数三类病险坝可在原位改造条件下完成加固，灌浆施工技术此类工程病害治理与结构补强的核心工艺。文章以混凝土拦河坝病险加固项目为依托，梳理水利水电灌浆施工的应用场景、功能作用与技术品类，介绍浆液调配、钻孔作业、灌浆施工、孔口封闭等全套工序的核心技术要点。结合现场施工实况，从质量动态把控、现场过程管控、制度体系搭建、信息化管控四个层面，制定全面的施工质量提升方案。该研究可规范灌浆施工工序，解决老旧坝体渗水加固难题，提高水利灌浆施工品质与长期运维能力，为同类病险水库加固工程提供参考依据。

【关键词】：水利水电工程；灌浆施工；病险水库；施工技术；质量管控

DOI:10.12417/2811-0722.26.07.077

引言

国内水利设施常年服役，存量水库大坝受自然老化、水流侵蚀、运维疏漏、外力破坏等影响，多出现坝体渗漏、排水系统失效等病害，部分工程防洪供水指标不符合现行规范，存在明显安全隐患。灌浆技术相较大规模拆改坝体，成本更低、施工高效、整体扰动小，常应用于病险坝加固与水利地基防渗施工。结合三类病险坝加固实际项目，围绕灌浆工艺不规范、现场管控不足等常见问题，探析灌浆核心技术，梳理全流程质量优化举措，提升水利工程结构稳定性，延长设施服役时长。

1 水利水电灌浆施工相关基础概况

1.1 工程施工应用背景

国内水利水电基建体系历经长期发展逐步完善，存量水库大坝受水流冲刷、自然老化及运维疏漏等各类因素影响，持续产生坝体渗漏、排水系统失效等病害缺陷^[1]。本次研究涉及的混凝土拦河坝坝高25m、坝顶总长1627m，坝体结构受超限车辆碾压、坡面排水通道淤堵、砖砌渡槽风化破损等问题影响，原有防洪标准无法适配现行防汛要求，被划定为三类病险坝，库区防汛功能与农田供水安全无法得到保障。老旧坝体有限改造模式下的灌浆处置方式经济实用、施工效率突出，成为老旧水库病害治理的主流手段。水利枢纽建设面对复杂水文地质与高地下水位环境，地基防渗和结构固结施工均需依托灌浆工艺，形成现阶段该技术普遍应用的行业背景。

1.2 灌浆施工核心作用与必要性

灌浆通过浆液填充土体裂隙、坝体空洞及岩层缝隙，增强地基与坝体整体密实程度，阻隔地下水渗透通道，改善工程整体渗流状态。案例病险水库排水设施丧失原有作用，坝体背水坡长期浸泡于水体中，土体含水状态失衡易引发滑坡、塌陷等结构险情。灌浆作业可填补坝体内部隐蔽空隙，根除结构渗水隐患，降低库区周边人居安全风险。水工建筑渗漏问题会加速结构老化损耗，造成水体资源流失，增加后续工程养护成本。坝体抗渗性能与结构强度可通过灌浆手段得到提升，维持水库

水资源调度、农田灌溉等基础功能常态运行，延长水工构筑物整体使用周期。灌浆已然成为病险水库隐患治理及新建水利工程结构防护的关键施工环节。

1.3 灌浆施工技术主要分类

水利水电灌浆存在多维分类标准，功能上包含帷幕、固结、回填、岩石灌浆四类，施工方式分为循环式、分段阻塞、纯压式，材料分为水泥灌浆与化学灌浆，施工压力涵盖高压与常规压力两类。各类工艺适配现场地质条件与坝体破损情况，构建出体系完整、适配性高的灌浆技术分类框架。

1.4 各类灌浆技术适用场景分析

帷幕灌浆适用于大坝地基深部防渗作业，案例水库坝基防渗改造可匹配该项工艺，通过深层打孔注浆形成连续防渗结构，阻断基底渗水通道^[2]。固结灌浆可压实松散岩体与坝体浅层土体，常用来加固坝坡表层结构，施工注浆速率管控更为宽松。回填灌浆主要填充渡槽、坝体空腔及衬砌缝隙，适配老旧水工结构的空洞修补工作。纯压式灌浆适合小型裂缝局部修补的小规模作业，循环灌浆多用于大中型坝整体施工场景。分段阻塞灌浆适配地层起伏明显、岩层倾角平缓的坝段施工，高压灌浆用于深层土体劈裂加固，常规压力灌浆则适用于浅层回填与固结作业。

2 水利水电工程灌浆关键施工技术要点

2.1 灌浆浆液科学配制管控要点

浆液配制质量直接影响结构固结与防渗成效，施工可依据结构设计强度确定砂浆等级与配比参数，项目现场采用M15、M50两种强度砂浆，依托95%保证率对应系数与标准差，核算得出21.6MPa、58.6MPa的实际配置强度。浆液水灰比普遍维持1:1以上，水泥原料细度按工序类别差异化管控，回填灌浆采用80 μ m筛网完成原料筛选，接缝灌浆所用水泥细度控制在70 μ m以内。浆液掺和料选取黏性土、河砂、粉煤灰与水玻璃等材料，砂料粒径控制在2.5mm以下，黏性土塑性指数高于15，水玻璃浓度稳定在30°Be。施工现场统一实行集中制浆

模式，浆液制备完成后通过沉降法与标准漏斗黏度计检测浓度、细度指标，各项参数合格后方可输送至作业面投入施工（见图1）。

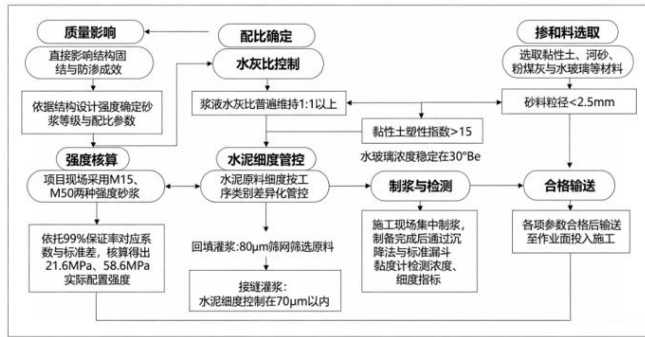


图1 灌浆浆液科学配制管控要点

2.2 钻孔施工工序精度控制要点

项目采用回转式地质钻机实施钻孔作业，钻孔点位按单排形式布置，成孔深度维持在60至80m范围。作业全程把控孔位偏差，将误差限值控制在10cm以内，保障钻孔垂直度契合设计标准。松软土质施工区域可先对软弱土层注浆固结，再开展钻孔作业，规避塌孔串浆引发的渗漏问题。钻孔工序结束后利用高压水枪清除孔内渣土与杂质，孔道清理验收合格后开展后续灌浆作业，依托钻孔精度与孔道洁净度把控，筑牢灌浆施工的基础条件。

2.3 主流灌浆施工工艺操作要点

项目结合坝体防渗需求对比劈裂灌浆与单管高压旋喷工艺，选用整体性能与耐久性能更优的单管高压旋喷工艺。高压泵加压输送水泥浆液，钻杆端部喷嘴雾化浆液并拌合原位土体，匀速抬升钻杆构筑连续防渗墙体。循环灌浆分为孔口循环与孔内循环，孔口循环作业监测浆液流动状态，防止管道淤堵。自上而下分段灌浆每5m洗孔一次，待上段浆液固化后开展下段施工。帷幕灌浆注浆速率0.4-1L/min，持续灌注60-90min，固结灌浆注浆速率0.4L/min，达标后保压灌注30min。施工动态调节注浆压力，峰值不超出灌浆塞上部压力与地层承载力之和，防止超压破坏原生地层结构。

2.4 灌浆收尾与封孔施工技术要点

灌浆收尾与封孔属于施工末端关键工序，影响坝体防渗结构完整度与长期稳定状态，施工流程不得随意缩减或中途终止灌注作业。现场作业贴合项目既定注浆速率标准，注浆量、压力、时长各项参数达标后，逐步放缓注浆节奏完成作业收尾，避免骤然停灌造成浆液回流、孔道空洞等施工缺陷^[3]。停灌作业结束后开展压水压力试验，通过专业设备测定地层透水性、孔道吸水量等核心指标，核验坝体防渗加固整体施工品质。检测参数契合工程规范与项目设计标准后，利用压力封孔工艺封闭全部灌浆孔道，填塞钻孔遗留缝隙，避免雨水、地下水沿孔道渗入坝体产生渗漏与土体软化问题。封孔作业结束后汇总整

理施工与检测资料，搭建专项施工档案，为坝体后期运维、质量核查、病害追溯提供完整的数据支撑。

3 水利水电灌浆施工全流程质量管理优化对策

3.1 构建全流程动态质量监测体系

灌浆施工全过程需搭建动态质量监测体系，依托全流程管控模式处置各类施工异常，规避缺陷遗留形成安全隐患。作业现场出现坝体周边冒浆现象，即刻停止施工开展隐患排查，核查基底土体空洞、疏松、裂隙发育等不良地质情况，调整注浆管布设高度、补充局部注浆作业、加密现场注浆点位完成隐患处理。溢浆问题源于注浆管破损或密封性能缺失，可下调现场注浆压力并更换损坏构件，保障施工作业持续推进。注浆管路堵塞问题可依托常态化设备检查规避，定期核查管线与喷嘴通畅状态，高压泵进水端加装1mm精密滤网、注浆泵配置2mm滤网，阻挡砂石杂质进入管路内部。泵体排量不足、流量恒定等异常工况，可排查缸套、高压管路、活塞等核心配件磨损状态，替换老化破损构件。现场动态监测模式可及时处置各类施工问题，有效规避灌浆作业产生的质量缺陷。

3.2 强化施工现场全过程监督管理

施工现场全程监管是把控灌浆施工品质、规避常规质量问题的核心方式，全程旁站、动态巡检与抽样核验形成立体化监管模式，覆盖灌浆施工全部作业工序。监管人员参照工程设计方案与行业规范，核查现场浆液拌制各项参数，随机抽检水泥细度、掺和料配比、水灰比等核心指标，保障浆液配制契合施工标准。工作人员重点把控钻孔深度、孔位偏差、钻孔垂直度以及灌浆压力、注浆速率、保压时长等关键工艺参数，参数异常、配比失衡及不规范施工现象出现时，及时叫停作业并落实整改工作^[4]。结合本次三类病险坝加固工程实况，强化坝顶破损区域、背水坡浸水区域等核心区段的监管力度，增加现场巡检频次，杜绝工艺私自改动、原料减量、工序简化等违规行为，全方位筑牢灌浆施工现场的质量防线。

3.3 健全施工质量管理体系与责任体系

健全的质量管理制度及责任体系支撑灌浆施工质管控落地执行，规整现场施工流程，填补各类管理疏漏，推动工程质管控形成标准化运行模式。水利灌浆各施工环节具备专属特性，施工班组、现场技术人员、质量巡检人员及项目管理人员的岗位权责需清晰划分，搭建分级落实的质量责任架构。各施工工序的执行标准与质量权责得到明确，工序施工可落实专人负责，质量问题可全程追溯，整改工作可闭环落地。岗前技能培训与施工技术交底为现场常态化工作，一线作业人员可系统学习浆液配制、钻孔作业、高压旋喷灌浆等实操内容，明晰施工重难点与合规标准。质检人员可参与透水率检测、现场问题研判、质量验收标准等专项学习内容。制度约束、技能提升与技术交底的全方位落实，可改善施工不规范、管控疏漏、验

收松弛等问题，让各项质量管理条例切实作用于施工现场。

3.4 依托信息化技术优化质量管控模式

水利工程精细化施工背景下，以信息化与数字化技术升级灌浆质量管控模式，补齐传统管控方式的固有短板，提升整体工程施工品质。项目依托 BIM 技术构建三维可视化施工模型，还原坝体结构形态、钻孔布置位置与灌浆作业路径，模拟完整施工工况，排查施工方案内的设计漏洞与工艺缺陷，优化施工部署，规避现场施工潜在隐患。现场配套智能自动化监测设备，持续采集灌浆压力、注浆量、浆液流速、地层形变、坝体位移等核心施工数据，数据平台联动 BIM 模型完成参数比对，掌握各施工阶段地层与坝体的结构变化状态。技术人员结合实时数据调整浆液配比、注浆压力与施工节奏，实现施工过程可视化、数字化、动态化管控，改善了传统人工管控滞后、误差偏

大的问题，提升灌浆施工管控的精细化与智能化程度。

4 结语

本文依托真实水利水电工程案例，系统剖析灌浆施工技术的应用背景与工程价值，梳理浆液调配、钻孔作业、主体灌浆、封孔收尾等全流程核心施工技术内容。结合现阶段灌浆施工质量管控存在的各类不足，从动态监测落实、现场过程监管、制度体系搭建、信息技术赋能四个维度，制定适配现场工况的质量提升策略。灌浆技术可有效治理病险水库隐患，强化水工结构防渗性能与整体稳定性。标准化施工流程与全流程质量管控模式，可妥善处理坝体渗漏病害，延长水利基础设施服役周期。研究成果可为同类水利水电灌浆施工项目提供技术支撑与管控参考，推动水利施工朝着精细化、标准化方向稳步发展。

参考文献：

- [1] 周立忠,李绍平,杨永存.水利工程复杂地质条件下防渗帷幕灌浆施工技术[J].云南水力发电,2025,41(3):128-132.
- [2] 滕守钦.水利水电工程灌浆施工技术与质量管理对策探析[J].中国设备工程,2025,(5):246-248.
- [3] 孙庆普.水利水电工程施工中帷幕灌浆施工技术的应用分析[J].中国科技纵横,2025,(5):107-109.
- [4] 薛云,屈宝莉,王艳苹.水利工程堤防防渗施工技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(6):130-132.