

水利水电工程施工中的灌浆技术研究

周志涛

中国葛洲坝集团第二工程有限公司 四川 成都 610000

摘要: 灌浆技术是水利水电工程地基加固与防渗治水的核心工艺, 直接关系到工程整体稳定性与使用寿命。本文系统阐述帷幕、固结、回填、高压喷射四种主流灌浆技术的施工原理与适用场景, 梳理灌浆施工全流程工艺要点, 分析施工中浆液流失、灌浆不饱满、岩体劈裂等常见问题。针对性提出浆液配方、施工工艺、设备升级优化策略, 构建全过程质量控制体系, 为复杂地质条件下水利工程灌浆施工提质增效提供技术参考。

关键词: 水利水电; 工程施工; 灌浆技术

引言: 水利水电工程多依托复杂水文与地质环境建设, 地基渗漏、岩土松散、结构变形是影响工程安全运行的主要隐患。灌浆技术凭借优异的加固与防渗性能, 成为解决水工基础施工缺陷的关键技术。随着水利工程建设规模扩大、施工地质条件愈发复杂, 传统灌浆施工工艺弊端逐渐凸显。为提升工程施工质量, 保障基础结构稳定性, 本文深入研究各类灌浆技术特性与施工要点, 剖析施工难题并制定优化方案, 助力灌浆施工技术标准化、精细化发展。

1 水利水电工程常用灌浆技术类型及施工原理

1.1 帷幕灌浆技术

(1) 施工原理: 借助专业高压灌浆设备, 将调配好的水泥浆液持续压入地基岩体缝隙与土层孔隙内部, 浆液充分填充空隙后, 经过凝固、硬化作用, 形成一道连续、密闭的防渗帷幕墙体。该墙体可彻底阻断地下水渗透通道, 有效降低地基渗透压力, 从根源上解决地基渗漏隐患, 达成工程防渗治水的核心目标。(2) 适用场景: 作为水利水电核心防渗技术, 主要应用于大坝坝基、闸基、水库岸坡等防渗标准严苛的关键工程部位, 是保障大型蓄水、挡水工程稳定运行的关键工艺。(3) 技术特点: 具备灌浆压力大、施工深度深、防渗效果优异的核心优势, 能够精准处理深层地基的细微渗漏通道, 彻底解决深层地基渗漏难题, 稳定性与耐久性极强, 是水利工程防渗体系的核心技术^[1]。

1.2 固结灌浆技术

(1) 施工原理: 通过低压匀速注浆方式, 将浆液均匀注入浅层破碎岩体、松散土层的空隙中, 利用浆液填充岩土体孔隙、粘结松散岩土颗粒, 使零散的岩土体形成整体结构, 有效提升地基岩体的密实度、整体性和抗

压承载能力。(2) 适用场景: 多用于坝基浅层加固、隧洞围岩密实加固、边坡松散岩体加固等场景, 主要针对工程浅层岩土体松散、承载力不足的问题开展施工。(3) 技术特点: 灌浆覆盖范围广、施工压力小、工艺流程简单高效, 施工成本较低, 核心作用是岩土体整体加固, 可显著提升地基的承载稳定性和抗变形能力, 适配各类浅层基础加固工程。

1.3 回填灌浆技术

(1) 施工原理: 专门针对隧洞衬砌与围岩、混凝土结构与岩土体之间的施工遗留空隙、空洞, 采用低压注浆工艺精准填充浆液, 完全消除结构间隙, 避免工程结构因受力不均出现沉降、变形、开裂等破损问题, 保障结构受力均衡。(2) 适用场景: 普遍应用于水利隧洞、输水涵洞、地下厂房等工程的衬砌后背空隙填充施工, 是弥补土建施工缺陷的配套关键技术。(3) 技术特点: 施工压力低、靶向性极强, 仅针对空隙空隙填充, 不损伤原有结构, 主要用于修复施工遗留的结构缺陷, 保障水工结构整体完整性和受力稳定性。

1.4 高压喷射灌浆技术

(1) 施工原理: 利用高压射流的强大冲击力切割、扰动原有土层, 同时将水泥浆液与破碎土体充分混合搅拌, 混合物料静置固化后, 形成高强度、不透水的固结体, 同步实现地基加固和防渗止水双重效果^[2]。(2) 适用场景: 主要适配软土地基、砂卵石地层等承载力弱、渗透性强的复杂软弱地质, 是不良地质条件下水利工程基础施工的核心技术。(3) 技术特点: 地质适应性强、固结体密实度高、整体强度大, 施工效率高、成型效果好, 可有效改良各类复杂软弱地基的性能, 兼顾加固与防渗双重作用。

2 水利水电工程灌浆施工核心工艺与关键点

2.1 施工前期准备工作

(1) 地质勘察: 地质勘察是灌浆施工的基础前置工序, 直接决定施工方案的合理性与可行性。施工前需采用专业探测设备, 全面、精准勘察施工区域的岩土结构、岩层厚度、孔隙裂隙分布情况, 同时精准检测地下水水位、水流速度及区域内地质缺陷位置和规模。通过完整的勘察工作获取精准地质数据, 为后续灌浆技术选型、灌浆参数设定、施工工艺调整提供可靠的数据支撑, 从源头规避地质条件带来的施工风险。(2) 技术方案编制: 在完整掌握地质条件与工程设计要求的基础上, 编制专项灌浆施工技术看案。结合工程防渗、地基加固的核心需求, 科学确定灌浆施工类型, 精准规划灌浆孔的间距、排布方式、孔径及深度, 明确灌浆压力、注浆速度、浆液标准配比等核心施工参数。同时针对施工中可能出现的漏浆、塌孔等问题制定应急预案, 保障后续施工有序推进^[3]。(3) 设备与材料准备: 施工前需完成全套施工设备的检查与调试工作, 重点校验灌浆机、注浆管道、压力表、流量计等核心设备, 确保设备运行稳定、数据计量精准, 杜绝设备故障影响施工进度与质量。同时严格筛选施工原材料, 优先选用合规标号的水泥、适配性外加剂等材料, 进场前完成质量检测, 杜绝不合格材料投入使用, 全面保障施工原材料性能符合工程施工标准。

2.2 核心施工工艺流程

(1) 钻孔施工: 钻孔是灌浆施工的首要核心工序, 施工人员需严格依照设计图纸标注的点位、孔径及深度开展作业。施工过程中严控钻孔垂直度, 保证孔壁平整光滑, 避免出现孔位偏移、孔壁坍塌等问题。钻孔完成后, 及时采用高压风、清水清理孔内岩屑、杂物与积水, 确保灌浆孔干净通畅, 为后续浆液灌注、填充固化奠定良好基础。(2) 浆液配制: 浆液质量直接决定灌浆加固与防渗效果, 配制过程需严格遵循设计配比标准。根据施工地质条件与施工部位需求, 精准调配水泥浆液或复合浆液, 严格把控水灰比与浆液粘稠度。均匀搅拌浆液, 确保浆液无结块、分层现象, 保障浆液具备良好的流动性与稳定性, 既能顺利渗入岩土细微裂隙, 又能快速固化成型, 满足施工质量要求。(3) 压力灌浆: 正式注浆作业需严格按照预设压力、注浆速度稳步开展, 全程遵循“由稀到浓、分段灌浆、逐级加压”的核心施工原则。初期采用稀浆渗透填充细微孔隙, 后续根据

吸浆量变化逐步调浓浆液、提升灌浆压力, 分段完成深层、中层、浅层灌浆作业, 杜绝压力骤升骤降, 确保浆液充分填充岩土空隙, 提升灌浆饱满度。(4) 封孔养护: 各段灌浆作业完成且浆液初凝后, 及时开展封孔处理, 选用适配封堵材料密封灌浆孔, 杜绝孔内浆液外流、杂物混入。封孔完成后做好成品养护工作, 在规定养护周期内避免施工区域受到机械扰动、水流冲刷及外力挤压, 保障浆液充分固化, 确保固体强度、防渗性能达到设计标准^[4]。

2.3 施工关键控制要点

(1) 浆液配比控制: 浆液配比需结合现场地质条件动态调整, 杜绝统一配比施工。针对裂隙宽大、孔隙密集的松散地层, 采用浓浆进行灌注, 提升浆液固结强度, 快速填充大空隙; 针对岩体致密、细微裂隙发育的地层, 选用稀浆提升渗透性能, 让浆液充分渗入细微孔隙。通过差异化配比调控, 全面保障不同地质条件下的灌浆填充效果。(2) 灌浆压力控制: 灌浆压力是把控施工质量的关键指标, 需严格执行分段分级压力控制标准。若灌浆压力过低, 浆液渗透范围有限, 容易出现灌浆不饱满、空隙填充不彻底等问题, 遗留渗漏隐患; 若灌浆压力过高, 且加压速度过快, 会超出岩体承载极限, 引发岩体劈裂、岩层松动、结构破损等问题, 破坏地基整体稳定性^[5]。(3) 灌浆顺序控制: 施工全过程需严格遵循“分序加密、自上而下、先周边后中间”的科学灌浆顺序。优先完成周边灌浆孔施工, 形成封闭防渗区域, 再进行中间孔灌浆, 同时自上而下分段注浆、分序加密施工, 可有效规避串浆、漏浆问题, 逐步提升岩土体密实度, 大幅提升整体灌浆施工质量与结构整体性。

2.4 特殊地质施工处理要点

(1) 岩溶地质: 岩溶地质溶洞、溶槽发育, 孔隙连通性强, 极易出现浆液流失、填充不密实等质量问题。针对该类地质, 采用间歇灌浆与充填灌浆相结合的施工方式, 对大型空洞先填充骨料封堵空隙, 再分段注浆; 对小型溶槽采用间歇注浆工艺, 分次补灌, 有效避免浆液大量流失, 保障岩溶区域填充密实度, 提升地基防渗透与加固效果。(2) 破碎岩体地质: 破碎岩体结构松散、整体性差, 抗扰动能力弱。施工中需适当降低单次灌浆压力, 采用小流量、慢速度的注浆模式, 搭配多次补灌的施工方式, 循序渐进填充岩体空隙, 避免高压注浆冲击导致岩体进一步破碎、松动, 有效提升破碎岩体的粘结性与整体性, 强化地基加固效果。

3 水利水电工程灌浆施工常见问题、优化策略与质量控制

3.1 施工常见质量问题及成因

(1) 浆液流失问题: 该问题是灌浆施工高频质量缺陷, 多出现于岩溶、裂隙发育地层。核心成因因为施工现场岩体裂隙贯通、溶洞空洞发育, 加之施工过程中灌浆压力把控不合理、参数匹配不当, 导致浆液不受控扩散、大量流失, 不仅造成原材料浪费, 还会使灌浆区域浆液填充不足, 大幅降低防渗与加固效果, 导致工程质量不达标。(2) 灌浆不饱满问题: 主要由前期施工处理不到位与施工参数把控不严导致。钻孔完成后孔内杂物、积水清理不彻底, 会堵塞岩土细微裂隙; 浆液配比不合理造成流动性不足, 无法渗透至深层空隙; 同时灌浆时长不足、注浆流程简化, 都会使岩土空隙填充不充分, 后期极易出现渗漏、地基沉降等安全隐患。(3) 岩体劈裂变形问题: 属于施工操作不当引发的结构性缺陷。施工中灌浆压力过大、加压速度过快, 瞬间压力超出原有岩体的承载极限和抗裂强度, 会直接导致岩体开裂、错位, 引发地基结构变形、岩层松动, 破坏岩土体原有稳定性, 严重影响工程基础安全。

3.2 灌浆技术优化改进策略

(1) 浆液配方优化: 针对不同地质工况差异化优化浆液配比, 突破传统纯水泥浆液的适配局限。在普通地层可适量掺入粉煤灰, 提升浆液和易性, 降低施工成本; 在岩溶、透水地层添加水玻璃等外加剂, 快速加速浆液凝固, 有效杜绝浆液流失问题。通过配方优化, 全面提升浆液的流动性、固结密实度、抗压强度和抗渗性能, 精准适配各类复杂地质施工场景。(2) 施工工艺优化: 摒弃传统一次性整体灌浆的粗放施工模式, 推广精细化分段式高压灌浆、循环灌浆工艺。根据钻孔深度和岩层分布分层分段注浆, 逐级加压、反复补灌, 让浆液逐层填充岩土空隙。该工艺可有效解决深层灌浆不密实、表层漏浆、填充不均匀等问题, 大幅提升岩土体空隙填充均匀度与整体密实度, 适配深层地基加固防渗施工。(3) 施工设备优化: 推进施工设备智能化升级, 替换传统人工操控设备。采用智能全自动灌浆设备, 可实时精准调控灌浆压力、注浆流量、浆液水灰比等核心参数, 全程自动化配比、稳压注浆, 有效规避人工操作失误、参数偏差、稳压不均等问题, 降低人为施工误差, 大幅提升灌浆施工精度与整体施工效率。

3.3 全过程施工质量控制措施

(1) 事前质量控制: 坚持源头管控, 全面落实施工前置质检工作。严格审核专项灌浆施工方案, 核对技术参数与应急预案的合理性; 严格执行水泥、外加剂等原材料进场质检制度, 杜绝不合格材料入场; 提前完成施工设备调试、校准工作, 同时二次复核施工现场地质数据, 确保方案、设备、材料、地质完全匹配, 从源头规避质量隐患。(2) 事中质量控制: 实行全过程动态质量管控, 施工中实时监测灌浆压力、注浆流量、浆液状态等关键指标, 结合地层吸浆量变化动态调整施工参数。严格规范现场操作流程, 杜绝违规施工、简化工序等行为, 同步做好全程施工日志记录, 留存施工数据, 保障每一段灌浆施工流程规范、参数精准、质量可控。(3) 事后质量检测: 灌浆施工完成后开展全方位质量验收检测, 采用压水试验、钻孔取样、声波检测等专业技术手段, 全面检验岩体固结效果、岩土密实度与整体防渗性能。针对检测出的薄弱区域、灌浆不达标部位, 及时开展补灌、复灌修复作业, 确保所有施工部位质量达标, 保障工程整体结构稳定与防渗安全。

结束语

灌浆施工质量是水利水电工程基础安全的核心保障, 不同灌浆技术适配场景与施工工艺差异显著。本文明确各类灌浆技术的应用优势, 总结施工流程、关键控制点及特殊地质处理方法, 梳理施工常见质量问题并提出全方位优化与质控措施。实践表明, 精准选用灌浆技术、规范施工流程、落实全过程质量管控, 可有效解决地基渗漏、岩体松散等问题, 对提升水利工程施工质量、延长工程服役年限具有重要工程实践价值。

参考文献

- [1] 包雪松. 基于水利水电工程施工中高压喷射灌浆技术研究 [J]. 大科技. 2022, 17(23): 216-218.
- [2] 薄文村. 基于水利水电工程灌浆施工技术研究 [J]. 水电站机电技术. 2023, 8(11): 147-149.
- [3] 李双良. 水利水电工程施工中灌浆施工技术的应用要点分析 [J]. 陕西水利. 2021, 23(09): 195-196.
- [4] 刘亮. 灌浆施工技术在水利水电工程混凝土施工中的应用 [J]. 黑龙江水利科技. 2022, 50(4): 134-136.
- [5] 许振强. 灌浆施工技术在水利水电工程基础处理中的应用 [J]. 水利技术监督. 2022, 33(7): 211-214.