

高压旋喷灌浆技术在大马鞍山水库除险加固工程中的应用

白景旺¹ 王中义²

1. 广西水利电力职业技术学院 广西南宁 530023

2. 广西钦州市青年水闸水利电力管理处 广西钦州 535000

摘 要: 水库除险加固工程多数是坝基、坝肩和坝体防渗加固。在诸多防渗技术方法中, 高压旋喷灌浆技术适应性广、效果可靠, 因此得以广泛应用。本文重点介绍高压旋喷灌浆技术对工程地质适应情况及其工法、工艺和程序在工程实例中取得的成功经验, 以期能为类似水利堤坝工程的防渗加固提供有效的借鉴。

关键词: 水库工程; 防渗; 高压旋喷灌浆技术; 应用

0 引言

高压旋喷灌浆技术是一种重要的坝体防渗、软土地基防渗和地基加固处理方法, 广泛应用于水利堤坝工程、工业民用建筑等基础中, 在水利工程堤坝加固与渗漏治理中具有显著效果。高压旋喷灌浆技术有着对软土地基和坝体防渗适应性广、效果可靠的特点。通过精细具体化施工参数控制和质量检测, 可取得显著的工程防渗效果, 从而改善堤坝工程, 特别是水库工程的安全性与耐久性。进一步提升水利工程综合管理能力以及信息化管理能力, 恢复和提高水利工程综合利用效益。因此, 通过实际工程案例的应用和不断完善施工技术经验, 该技术将在未来的水利工程中发挥更加重要的作用。

1 高压旋喷灌浆技术概述

高压旋喷灌浆技术主要原理是利用高压射流作用搅动地层, 喷射浆液与土体掺和凝结, 达到防渗加固的目的。具体技术原理包括冲切掺搅、升扬置换、充填挤压和渗透凝结等方面。

1.1 技术原理与特点

高压旋喷灌浆基本原理就是通过钻机将带有特殊喷嘴的注浆管置入地层预定深度, 利用高压 (35~40 MPa) 水射流切割土体, 同时注入水泥浆液与空气, 使浆液与土颗粒混合凝结固化, 形成连续、高强度的防渗帷幕或墙体。技术优势: 设备简单, 技术成熟。造价相对较低。成墙质量可靠, 工效高、可控性好。防渗效果好, 形成的固结体渗透系数低 (可达 10^{-6} cm²/s), 抗压强度达 $2 \sim 12$ MPa^[9]。施工灵活, 无需大型开挖, 对坝体扰动小, 噪音低, 环保性优。适用性广。缺点: 深度较大时易出现钻孔偏斜, 旋喷墙下部易开岔。防渗性能不如混凝土防渗墙。

1.2 施工方法与适用情况

高压旋喷灌浆技术有多种施工方法, 包括单管法、二管法、三管法和多管法, 具体原理与适用情况需根据工程要求和地质情况合理选择。

对软土地基的坝基防渗加固, 如淤泥质土、砂土层、

砂砾石地层, 通过旋喷桩形成连续防渗墙, 减少渗漏风险。

对复杂接触带, 如粘土心墙与风化基岩接触带, 通过旋喷形成灌浆盖板, 截断裂隙渗漏。

对坝体裂缝与渗漏点封堵, 对坝体内部空洞、裂缝进行定向喷射, 填充水泥浆液以恢复结构完整性。

对帷幕灌浆, 沿坝轴线设置连续防渗帷幕, 降低浸润线, 防止管涌和接触冲刷。

1.3 施工流程简述

施工前进行详细的地质勘探和方案设计。根据设计要求进行高压旋喷灌浆施工。施工完成后进行质量检测和验收。

1.4 关键施工工艺

钻孔与定位: 采用地质钻机或冲击钻机成孔, 孔位偏差需 ≤ 5 cm, 孔斜率控制在 1% 以内。套管跟进技术用于松散地层, 防止塌孔。

浆液配置与喷射参数: 水灰比通常为 1:1, 水泥用量 200 kg/m^3 , 添加外加剂以提高流动性或早强性。高压水压力 35~40 MPa, 浆液压力 10~16 MPa, 提升速度 $8 \sim 12 \text{ cm/min}$, 旋转速度 $5 \sim 10 \text{ rpm}$ 。

特殊情况处理: 如漏浆则加大浆液密度或灌注水泥砂浆, 严重时需复喷。如中断则对中断超过 20 分钟需复喷搭接 30 cm, 确保墙体连续性。

1.5 质量控制与效果验证

开挖检查: 直接观察墙体连续性及搭接质量。

压水试验: 透水率 $\leq 10 \text{ Lu}$ 为合格, 确保防渗性能达标。

强度测试: 取芯检测固结体抗压强度。

2 高压旋喷灌浆技术在大马鞍山水库除险加固工程中的应用

2.1 工程现状概述

大马鞍山水库是一座在广西钦州市以灌溉为主, 集城区应急供水、防洪等功能为一体的中型水库, 总库容为 1313 万 m³, 有效库容 808 万 m³, 正常蓄水位 22.05 m。工程始建于 1957 年 12 月, 1964 年 8 月建成

并投入使用。水库枢纽工程主要由大坝（主坝 1 座，副坝 5 座）、溢洪道、灌溉放水涵 1 座、及供水放水涵 1 座组成。大马鞍水库主坝及所有副坝都是均质土坝，主坝最大坝高 18.1m，坝顶长度 101.4m，坝顶宽度 6.0m。副坝坝高在 4.73m 到 17.32m 之间。2023 年 2 月，经水利部大坝安全管理中心复核，同意鉴定大马鞍水库大坝鉴定为“三类坝”，开展除险加固，消除工程安全隐患，恢复和提高水库综合利用效益。

2.2 大坝工程地质条件和评价

主坝及所有副坝来源于工程区附近的残坡积土、含砂粒和砾石等，粒径大小不等，部分土层为碎石及以强风化泥质粉砂岩，分布不均匀。所有坝体填土压实度为 0.837 至 0.93 之间，其填土压实度均未满足《碾压式土石坝设计规范》（SL 274-2020）的要求。所有坝体填土属于中等压缩性土，局部为高压缩性土。坝体填土的渗透系数以 $10^{-3} \sim 10^{-5}$ 级为主，属中等透水，不满足《碾压式土石坝设计规范》（SL 274-2020）规定要求。根据经验，大坝填土渗透变形的型式均为流土。

主坝及所有副坝坝基都主要由志留系下统连滩群第四组（S11nd）泥质粉砂岩及第四系（Q）地层组成。含碎石粉质粘土呈可塑~硬塑状态，碎石含量 10~15%，粒径约 1cm-3cm，河床部位层厚在 0.5m-1.8m，左右坝肩厚约 0.5m-2.5m。主坝坝基、坝肩含碎石粘土层基本为中等透水层，坝基（肩）接触带存在一定的渗漏问题。

2.3 坝体高压旋喷灌浆施工

根据大马鞍水库工程的特点，选择高压旋喷施工采用三重管法施工。首先根据施工图纸进行放样定位，喷嘴直径为 1.8~2mm，每孔先从坝顶喷灌平台上钻孔，钻到设计深度后，穿过坝体进入基岩喷管下入孔底，按先送气，次送水，后送浆、喷管原位旋转的步骤，自下而上进行旋喷作业，直至设计桩顶高程。每项孔旋喷结束后，及时向孔内回灌，保证桩顶密实。

2.3.1 高压旋喷灌浆施工程序

为了保证工程质量，在施工中采用如下操作程序。

（1）现场高压喷射试验

（2）旋喷前检查高压旋喷设备和管路系统，其压力和流量必须满足设计要求。喷嘴内及注浆管不得有任何杂质，注浆管接头的密封圈必须良好。

（3）钻机喷射机组就位后，应保证立轴式转盘中心对正，成孔的倾斜度不大于 1.0%。施工时根据图纸规定的桩位进行放样立位，其中心允许误差不得大于 5cm。钻机造孔成孔后，再插入喷管到预定深度，经验收合格后，方可进行高压喷射注浆。

（4）在下喷管和旋喷过程中，要注意防止喷嘴被堵，在拆卸或安装注浆管时动作要快，水、气、浆的压力和流量必须符合设计值，否则要拔管清洗再进行下管和旋喷。

（5）旋喷时做好压力、流量和浆液的量测工作，并要求逐项记录，喷管的旋转和提升必须连续不中断。

（6）在深层旋喷时，应先喷浆后旋转和提升，以防灌浆管扭断。

（7）搅拌水浆时，水灰比要按设计规定，不得随意更改，在旋喷过程中应防止水泥浆沉淀，使浓度降低，禁止使用受潮或过期的水泥。

（8）旋喷过程中，注意检查调配水泥浆稠度，以保证设计水灰比，保证成桩质量。施工完毕，立即拔出灌浆管彻底清洗灌浆管和灌浆泵。

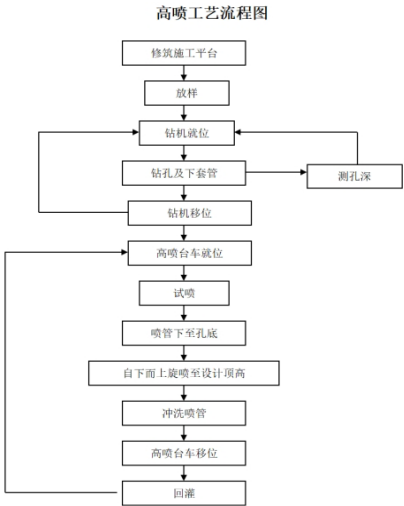
（9）高压喷射注浆应自下而上进行，注浆过程中应达到：高压注浆设备的额定压力和注浆量应符合施工图纸要求，并确保管路系统的畅通和密封。风、水、浆均应边续输送，水泥浆液的高压喷射作业不得停喷或中断。

（10）三重管机具试运转时的高压水泵泵压保持 20 ± 2 MPa，空压机风压保持 0.6MPa，泥浆泵泵压保持 0.1~1MPa。施工时，应先空载起动空压机，待运转正常后，再空载起动高压泵，然后同时向孔内送风和水，使风量和泵压逐渐升高至规定值。风、水畅通后，即可旋转注浆管，并开动注浆泵，先向孔内送清水，待泵量泵压正常后，即可将注浆泵的吸浆管移至储浆桶，开始注浆。待估算水泥浆的前峰已流出喷头后，才可开始提升注浆管，自下而上喷射注浆。

（11）水泥浆液应进行严格的过滤，防止喷嘴在喷射作业时堵塞。

（12）定期测试水泥浆液密度，浆液水灰比 1:1 和 1:1.5 时，其相应浆液密度分别为 1.5g/cm³ 和 1.37g/cm³，当施工中浆液密度超出上述指标时，应立即停止喷注，并调整至上正常范围后，方可继续喷射。

（13）因故停喷后重新恢复施工前，应前喷头下放 30cm，采取重叠搭接喷射处理后，方可继续向上提升及喷射注浆，并应记录中断深度和时间。停机超过



3h时,应对泵体输浆管路进行清洗后方可继续施工。

(14)施工过程中,应经常检查泥浆(水)泵的压力、浆液流量、空压机的风压和风量、钻机转速、提升速度及耗浆量。当量浆量超过注浆量20%或完全不冒浆时,应按YSJ210-92、YBJ43-92第3.4.15条的规定及时进行处理。

(15)施工过程中应根据监理人指示采集冒浆试样,每种主要地层应取冒浆试件不少于6组。

(16)喷射作业完成后,应连续将冒浆回灌至孔内,直到浆液面稳定为止。在粘土层或淤泥层内进行喷射时,不得将冒浆进行回灌。

2.3.2 旋喷灌浆施工参数

①旋喷设备的选定:根据本工程的设计要求,高压旋喷压力为28~32Mpa,为保证设计压力,本工程拟采用的主要机械设备有高压水泵:GPBW型高压水泵,设计压力为38Mpa,排量156L/min,功率90kW,此水泵结构紧凑,体积小,重量轻,效率高,动力端曲轴采用流针式接触,长时间运转升温低,是连续作业高压射流设备的优秀力源,也是地基基础处理的优秀设备。

XPB-90D型高压旋喷注(灌)浆泵是高压旋喷灌浆中的关键设备之一,这种注浆泵具有重量轻,多用高压,定量(或变量),即可泵送清水,又能泵送高密度浆的特点,综合技术性能具有领先水平,最高压力65Mpa,柱塞直径 $\Phi 45$,往复次数180/min,柱塞数量少,柱塞行程120mm。

VY-9/7-a型空气压缩机,容积9m³/min,排气为0.9Mpa,功率75kW。高喷灌浆台车GP1500-6型液压高喷台车,底架为液压步履式。

制浆机(搅浆机)200L卧式自动配料制浆机。

②压力的选定:施工用水压力选定为35~38MPa,水流量为75L/min,浆液压力为0.5~MPa,流量为70L/min,风压力为0.6MPa,气量0.8m³/min。

③提升速度:施工中提升速度控制在12cm/min,以避免提升速度过快,造成固结体直径减少,影响喷射水流对土体的破碎程序,造成土中一部分粘性土成块地与浆液搅拌混合,降低固结体地强度。

④旋转速度:为保证工程质量,旋转速度10~15/min,依地层情况适当调整。

⑤喷咀:喷咀是旋喷灌浆的关键部分。高速喷射水流时,在喷咀带出的动能大小,除与泵压有关外,与喷咀的几何形状也有着密切的关系。在施工中,每喷灌一个孔应对喷咀进行试验检查,以避免喷咀堵塞,保证喷射质量。

3 质量检查和验收

3.1 高压喷射注浆作业前,应进行以下项目的质量检查和验收

桩位的现场放样成果,材料试验成果,浆液配合

比试验成果,钻孔偏斜率。

3.2 高压喷射注浆作业过程中应进行以下项目的质量检查和验收。

喷射插管插入深度;现场高压喷射注浆试验成果;高压喷射作业的工艺检验;冒浆试件的试验成果。

3.3 高压喷射注浆施工结束后,进行以下项目的质量检查和验收:

高压喷射注浆桩(孔)的平面位置;高压喷射注浆防渗墙的墙体垂直度、连续性、均匀性和搭接程度;高压喷射注浆固结体的强度、透水性以及溶蚀和献久性能,高压喷射注浆固结体的质量检验应按施工图纸的要求选用开挖检查、钻孔取芯、动测桩法、标准贯入试验、荷载试验和压水试验等方法,并符合YSJ210-92、YBJ43-92第4.0.1条至第4.0.3条的规定。

4 结束语:

大马鞍水库除险加固工程根据其具体工程地质情况选择利用高压旋喷灌浆技术三重管法施工,获得满足施工合同条件的质量效果,顺利通过竣工验收合格。经过实例成功经验总结分析,高压旋喷灌浆技术具有良好的应用前景。

参考文献:

- [1]. 三管法高压喷射灌浆技术在水利水电工程施工中的应用分析. 蔡家华. 四川水泥. 2024(02)
- [2]. 高压喷射灌浆技术在病险坝防渗加固中的应用[J]. 程雄辉. 科技创新与应用, 2022(33)
- [3]. 土坝高压喷射灌浆技术的施工特点和质量控制[J]. 李保红. 黑龙江水利科技, 2021(05)
- [4]. 新三管高压旋喷灌浆在唐家渡围堰中的应用[J]. 吴仍芳;李筱波;倪华. 电力勘测设计, 2022(06)
- [5]. 关门岩水库围堰三管法高压旋喷灌浆施工质量控制[J]. 汤林伟. 技术与市场, 2018(09)

作者简介:白景旺(1967-),男,汉族,广西,硕士研究生,高级工程师,研究方向:工程施工及其管理,高职教育。