

Application of high pressure jet grouting in sand and gravel stratum

Ziquan Gao

Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610213, China

Abstract

In hydraulic and hydroelectric engineering construction, gravelly strata are characterized by high permeability and poor stability, which can easily lead to leakage issues and compromise project safety. High-pressure rotary jet grouting (HRJG) technology, known for its excellent applicability, ease of operation, and remarkable anti-seepage performance, plays a crucial role in such geological conditions. This paper provides an overview of HRJG's technical principles, elucidates its significance in gravelly strata, and analyzes the construction process, key implementation points, and optimization measures to offer practical guidance.

Keywords

High-pressure rotary jet grouting; Gravelly stratum; Seepage control technology; Construction process; Optimization measures

高压旋喷灌浆防渗技术在砂砾石地层中的应用

高自全

中国水利水电第七工程局有限公司, 中国·四川成都 610213

摘 要

水利水电工程施工中的砂砾石地层具备渗透性强、稳定性差的特点, 极易引发渗漏问题, 进而影响工程安全。高压旋喷灌浆防渗施工技术具备施工适用性好、操作便利以及防渗效果显著的特点, 在砂砾石地层防渗施工中有着十分重要的应用。基于此, 文章对高压旋喷灌浆防渗技术原理进行了相关概述, 阐述了其在砂砾石地层中的应用意义, 进而对施工流程、施工要点及相关的优化措施进行了分析、探讨, 以供参考。

关键词

高压旋喷灌浆; 砂砾石地层; 防渗技术; 施工工艺; 优化措施

1 引言

高压旋喷灌浆防渗技术的应用, 主要采用高压喷射浆液的方式对地层结构进行破坏, 同时使得浆液和地层颗粒发生胶结反应, 得到结构连续的防渗帷幕达到砂砾石地层防渗处理的目的。加强高压旋喷灌浆防渗技术的应用在推动砂砾石地层结构防渗施工效果提升方面有着十分重要的现实意义。

2 高压旋喷灌浆防渗技术相关概述

高压喷射注浆是高压旋喷灌浆防渗技术的核心原理, 在高压注浆泵的作用下将浆液从钻杆底部喷出使得浆液能够以高速旋转的方式喷射进地层中, 形成连续的胶结结构。在浆液较大的冲击作业下地层颗粒结构遭到破坏、切割, 松散的砂砾石、土体与浆液充分混合后逐渐硬化得到连续的、密实度与强度较好的防渗帷幕, 切断地下水的渗透路径, 实

现有效的工程结构防渗。在实际应用中, 若砂砾石地层的渗透性较弱则可采用单管法进行水泥浆液喷射, 以较为便捷的施工方式与较低的施工成本实现较好的防渗处理效果。采用双管法对浆液与压缩空气进行同步喷射, 能够达到提高胶结固化范围, 进一步提高防渗施工的效果。而对于颗粒较粗、渗透性较强的砂砾地层, 则应采用三管法进行水、浆液、压缩空气的同步喷射, 提高对地层的切割效果, 以达到更好的防渗施工成效^[1]。高压旋喷灌浆防渗技术的应用在不同颗粒级配、不同埋深、不同坡度的砂砾石地层防渗处理中都有着较好的适用效果, 同时不需要进行大规模的开挖施工, 也不会对周边结构产生较大扰动, 施工较为便捷高效, 加上得到的防渗帷幕渗透系数较低, 整体性效果显著, 并且能够结合工程施工需求进行厚度与强度上的灵活调整, 获得传统防渗施工技术无可比拟的防渗效果与经济效益, 在现代水利水电工程防渗处理中应用较为广泛。

【作者简介】高自全(1983—), 男, 中国四川简阳人, 本科, 工程师, 从事水利水电施工及管理研究。

3 高压旋喷灌浆防渗技术在砂砾石地层中应用的意义

3.1 保障工程安全

在水利水电工程施工中砂砾石地层渗漏会抬高坝体的浸润线,使得坝体的稳定性遭到削弱,增加滑坡、溃坝等安全风险;在基坑开挖施工中,砂砾石地层渗漏会使得流沙、管涌等风险系数大幅上升,进而引发基坑坍塌等危害施工安全与施工进度事故;水利水电工程施工遭遇砂砾石地层渗漏,也会引发基础沉降、开裂等问题,危害工程安全。高压旋喷灌浆防渗技术思维应用,能够在这些松软结构中构筑连续、密实的防渗帷幕,切断地下水的渗透路径,提高地层的防渗性能,保证地层较好的承载能力与稳定性,保障工程安全^[1]。

3.2 节约经济成本

黏土覆盖、混凝土防渗墙等传统的防渗施工往往需要进行大规模的开挖施工,高消耗、高难度的施工会拉高工程的整体施工成本,延长施工周期,降低工程建设经济效益。而高压旋喷灌浆防渗技术的应用避免了大规模的开挖施工,在人工、材料、设备等投入大幅降低,且施工工艺灵活简单可控,较高的施工效率有助于缩短施工周期。且形成的防渗帷幕具备较好的耐久性,后期的运行维护也不需要投入较大成本,工程建设经济效益显著提升。

3.3 提高施工实用性

传统防渗施工在砂砾石地层防渗中的应用适用性较弱,防渗效果往往差强人意,而高压旋喷灌浆防渗技术的应用能够结合砂砾石地层颗粒粒径、渗透系数等进行喷射压力、浆液浓度等参数的灵活调整,有效适配不同地质情况,满足工程施工要求。且高压旋喷灌浆防渗施工不会对周边环境造成较大扰动,不需要进行大规模的地表开挖,降低施工弃土废渣的产生以及避免周边植被、土体破坏,生态环保效益显著。

4 高压旋喷灌浆防渗技术在砂砾石地层中的应用

4.1 工艺流程

4.1.1 前期准备

高压旋喷灌浆防渗的前期准备工作主要包括全面的地质勘察,细致的设备调试,规范严格的浆液制备的工作。实际施工需要明确砂砾石地层的颗粒粒径、渗透系数、地下水信息、地层信息等,进而进行施工参数的合理设定。施工前需要全面做好注浆泵、钻杆、喷嘴、搅拌机等设备的检查、调试工作,避免出现注浆压力不足、堵塞、旋转角度不足等问题。地质参数与施工设计是浆液制备的重要依据,需严格按照要求对水泥标号、外加剂、水等进行合理配比,结合地层渗透特性进行浆液浓度控制,并在完成搅拌之后做好过滤去杂质操作,以免堵塞喷嘴。

4.1.2 钻孔

严格按照施工设计中的孔位、孔深、孔距要求,采用专业钻机进行钻孔,且钻速均匀缓慢以免发生塌孔问题。钻孔过程中采用套管护壁、泥浆护壁的方式来应对砂砾石地层渗透性高特点,得到孔径、垂直度达标的灌浆孔^[1]。钻孔深度达标后还需做好孔内杂物、沉渣等的全面清理,避免灌浆浆液受到污染而影响施工效果。

4.1.3 试喷

基于钻孔清孔,将高压喷射装置放入孔底后严格按照设定的施工参数开展试喷操作,通过对浆液扩散范围、喷射压力变化、冒浆情况等仔细观察对喷射压力,浆液浓度,旋转、提升速度等进行合理调整,直至与当前的砂砾石地层条件匹配,确保正式施工的较好效果。

4.1.4 高压旋喷注浆

基于试喷调试对注浆泵压力等参数进行合理设定,通过钻杆喷嘴将制备好的浆液旋转喷射至孔内结构中,同时缓慢提升钻杆,尽可能保持参数稳定。对于粒径较大的地层要合理提高喷射压力,提高喷射时长,以确保浆液能够充分填充至地层孔隙。

4.1.5 冒浆处理

灌浆过程需同步处理好冒浆问题,将孔口冒浆量控制在注浆量的20%以内。对于冒浆量过大的情况应减小钻杆提升速度,提高浆液浓度,避免浆液浪费。对于冒浆量过小,或者不冒浆的情况,则应及时检查钻孔堵塞情况。若是由于地层渗透系数过大原因导致冒浆量不足,则应及时疏通钻孔,调整浆液参数等,避免注浆渗透不足。当灌浆高度达到设计标高之后则需停止喷射,进而缓慢拔出钻杆,采用水泥砂浆密实封堵孔口,避免地下水渗入孔内而削弱帷幕的整体防渗效果。

4.1.6 质量检验

完成灌浆时需对照相关标准与设计的要求,做好钻孔取芯、注水试验等质量检验工作,对防渗帷幕厚度、密度、渗透系数等进行全面的对标检验,对不合格的施工及时做好补喷处理,确保质量检验的全面达标。

4.2 施工要点

4.2.1 施工参数控制

施工参数需结合砂砾石地层颗粒粒径、渗透系数等井下喷射压力、浆液浓度、旋转速度及提升速度的合理设定。颗粒较粗,喷射压力控制在20-30MPa,颗粒较细则喷射压力控制在15-25MPa为宜,既要避免压力过高大幅扰动地层,又要避免压力不足而导致地层切割不理想。渗透系数越大浆液浓度也要相应增大,降低浆液流失,反之则要确保浆液较好的流动性。为确保浆液能够与地层颗粒充分混合,通常需要将旋转速度控制在10-20r/min,提升速度控制在5~15cm/min,得到均匀密实的防渗帷幕。

4.2.2 钻孔质量控制

钻孔前要准确放线定位,将孔位偏差控制在5cm以内,严格控制钻孔垂直度,避免孔位偏差引发缝隙问题。钻孔过程需采用套管护壁方式将套管深度超过不稳定地层深度直到设计深度。采用清水冲洗孔内沉渣,确保孔内干净,避免对浆液胶结效果造成不良影响。钻孔完成后要及时灌浆以降低坍塌风险。

4.2.3 浆液质量控制

浆液的制备应选用强度等级在42.5级以上的硅酸盐水泥,速凝剂、减水剂等也应严格按照标准要求选用,确保浆液较好的胶结速度和强度。混合材料的使用要避免杂质污染,严格按照设计配合比进行均匀搅拌,浆液制备完成后需要在2h内使用完毕,以免浆液发生凝结失效。值得注意的是,浆液使用前要做好过滤措施,避免大颗粒杂质堵塞喷嘴。

4.2.4 喷射过程控制

严格试喷操作,确保设备、参数等满足施工要求,才能进行正式灌浆。喷射过程应保持高压注浆泵压力稳定,钻杆的旋转、提升保持高度同步、均匀,避免中途停顿。如必须停顿则需将钻杆下入孔底以下1m处,以待重新启动喷射,确保防渗帷幕的连续性。密切观察冒浆情况,若是冒浆量大则应降低提升速度,增加浆液浓度;若是冒浆量过小,则应检查钻孔堵塞情况,及时做好疏通措施;若是出现不冒浆现象,则可能由于地层渗透系数过大而发生浆液流失严重现象导致,对此需采用间歇灌浆方式,或加入惰性材料的方式,来减少浆液流失^[9]。完成灌浆之后需及时进行孔口封堵,且封堵深度不小于50cm,防止地下水渗入,做好养护管理。

4.3 优化措施

4.3.1 优化施工参数

完善施工参数与地层条件的适配机制,有效避免参数设定不合理导致施工质量问题。基于多元化、多角度的地质勘察,精准、全面获取地质参数,结合工程设计要求进行试喷试验,进而不断优化施工参数。结合地层颗粒粗细、渗透性强弱等进行喷射压力的合理优化,适当提高浆液浓度,合理使用惰性材料,增加浆液黏度,减少浆液流失。通过控制提升速度,延长喷射时间等方式,确保浆液能够充分填充地层孔隙,得到紧密的胶结结构。此外,建立动态调整机制,对灌浆施工效果进行实时监测,结合冒浆量、浆液扩散情况对喷射压力、浆液浓度等参数进行合理调整,确保施工参数始终与地层情况高度适配。

4.3.2 优化钻孔工艺

针对易坍塌地层,采用“套管跟进+泥浆护壁”复合护壁方式,利用高强度钢管与钻孔同步推进,保持套管始终位于不稳定地层以上,再利用膨润土泥浆增强护壁效果,有效防止钻孔坍塌问题。采用低速钻孔的方式降低扰动,钻

孔至设计深度后,采用高压清水冲和空气吸泥相结合的方式确保孔内沉渣得到有效清理,尽可能采用梅花形钻孔顺序来降低相邻钻孔施工时相互扰动,以免影响钻孔质量和灌浆效果。

4.3.3 优化浆液性能

选用高强度、高活性的普通硅酸盐水泥,掺和适量矿渣粉、粉煤灰,降低水泥用量,达到降低成本和提升浆液胶结强度与耐久性的双重效益。结合施工需求,优化速凝剂、减水剂等外加剂配比,达到缩短浆液凝结时间,改善浆液流动性等效果。此外,结合施工进度采用分段制备浆液方式避免浆液凝结失效问题,同时加强浆液质量检测,每批次浆液均检测浓度、流动性等指标,确保浆液质量合格。

4.3.4 优化喷射过程

采用“间歇灌浆+分段灌浆”相结合的方式避免发生浆液严重流失,以及采用双喷嘴或多喷嘴设计方式合理优化喷嘴结构,并根据喷射压力要求进行喷嘴直径的合理调整,实现浆液的均匀喷射,扩大浆液扩散范围。值得注意的是,要做好喷嘴的定期清理,避免喷嘴堵塞而影响喷射效果。施工过程中,采用全程监测技术,利用压力传感器、流量传感器等设备,实时监测喷射压力、浆液流量等参数,若出现参数异常,及时停机检查,排除故障后再继续施工,确保喷射过程稳定。

4.3.5 优化质量检测

加强超声波、雷达检测等无损检测技术与传统检测方法的联合应用,对防渗帷幕厚度、密实度、连续性等指标进行全面检测。严格控制检测点间距,做好缝隙、孔洞等缺陷的及时补喷处理。补喷过程中注意做好施工参数调整,以确保缺陷彻底修复,顺利通过质量检测。

5 结语

综述可知,高压旋喷灌浆防渗技术在砂砾石地层防渗施工中有着适应性强、施工便捷、防渗效果稳定、经济高效等应用优势,能够有效地层稳定性。在实际应用过程中,施工单位需严格把控施工参数、钻孔质量、浆液质量等核心要点,做好施工工艺应用的合理优化,以最优的防渗效果为水利水电工程的安全、稳定提供保障。

参考文献

- [1] 何文菊,金风清.高压旋喷灌浆防渗技术在砂砾石地层中的应用[J].科技资讯,2009(30):60-61.
- [2] 王兴俊,WANG,Xing-junGezhouba,等.高压旋喷灌浆防渗技术在砂砾石地层中的应用[J].企业技术开发,2011(6):2.
- [3] 王兴俊.高压旋喷灌浆防渗技术在砂砾石地层中的应用[J].企业技术开发:上旬刊,2011.
- [4] 何文菊,金风清.高压旋喷灌浆防渗技术在砂砾石地层中的应用[J].湖北水力发电,2009(06):64-65+91.