

# Discussion on tunnel grouting technology in water conservancy and hydropower engineering

Guilin Deng

Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 611130, China

## Abstract

In water conservancy and hydropower engineering construction, tunnel engineering represents a critical phase where construction quality directly impacts operational safety and performance. Grouting technology, as a vital method to enhance foundation and surrounding rock structural integrity, effectively fills rock fractures, reduces permeability coefficients, and increases overall strength, thereby improving tunnel seepage prevention and reinforcement effectiveness. Therefore, the application of tunnel grouting technology is crucial as a key technical safeguard for enhancing the stability and reliability of water conservancy projects. This article provides an in-depth analysis and discussion on the application of tunnel grouting technology through a case study of a specific hydropower project, offering valuable references and insights for industry peers.

## Keywords

water conservancy and hydropower engineering; tunnel construction; grouting technology; key control points

## 水利水电工程中隧洞灌浆技术的探讨

邓贵林

中国水利水电第七工程局有限公司, 中国 · 四川 成都 611130

## 摘要

在水利水电工程施工过程中, 隧洞工程施工是较为重要的环节, 其施工质量直接影响工程运行的质量与安全。灌浆技术作为改善地基与围岩结构性能的重要手段, 能够有效填充岩体裂隙、降低渗透系数、提高整体强度, 从而提升隧洞的防渗与加固效果。因此, 隧洞灌浆技术的应用十分关键, 是提高水利水电工程稳定性与可靠性的关键技术保障。文章以某水利水电工程的隧洞施工为例, 对隧洞灌浆技术的应用进行了深入分析与探讨, 以供广大同行参考与交流。

## 关键词

水利水电工程; 隧洞施工; 灌浆技术; 要点控制

## 1 引言

在我国水利水电工程建设持续推进的背景下, 隧洞作为输水、引水及泄洪等关键结构, 其施工与运营安全日益受到关注。由于隧洞多处于高地应力和复杂水文地质条件下, 围岩常伴有节理裂隙发育、渗透性强及结构松散等特征, 易引发渗漏、坍塌和变形等工程风险。灌浆技术凭借其加固岩体、阻隔渗流、改善地质条件的综合作用, 成为保障隧洞稳定性与耐久性的核心工艺之一。

## 2 工程概述

在某水利水电工程施工过程中涉及对原有输水涵管的封堵施工, 在进行副坝改建的同时在东边山体中进行输水隧洞的重新开挖。隧洞设计总长为 120m, 底坡坡度设计为

1/200, 根据工程需要进水口采用斜卧管的形式。在具体的设计布局中, 隧洞进口与山体垂直并向内延伸 20m, 接着是半径为 27m 的转弯段, 转弯段长度设计为 30m, 然后进入 70m 的直线段, 与明渠、消力池、灌溉渠顺序连接。隧洞进口位置的斜卧管式进口位置的岩石属于强风化变质砂岩, 承载力约为 320kPa。隧洞采用的是无压式隧洞, 以圆拱直墙的断面设计为支撑, 其中底宽与直墙高度均为 1.2m, 圆拱中心角设计为 180°。隧洞的进口与出口各 20m 范围均采用围岩进行固结灌浆。

## 3 水利水电工程隧洞灌浆施工前期准备

水利水电隧洞灌浆施工的顺利进行需要做好施工前的细致分析与充分的准备工作。首先, 做好细致的技术交底, 做好对隧洞灌浆施工流程的详细分解与理解, 准确掌握隧洞灌浆施工技术应用的特殊性, 以及影响施工质量与施工进度的各项因素, 做好充分的防控措施。尤其是灌浆材料中的水泥浆、外加剂等的选择与处理会对灌浆施工技术的应用质量

【作者简介】邓贵林 (1983-), 男, 中国四川成都人, 本科, 工程师, 从事水利水电工程施工技术及管理研究。

产生直接影响,应选择性能优良,符合工程标准的硅酸盐水泥,尤其是用于固结灌浆施工的水泥需确保强度在 425 号以上,并做好防潮保存<sup>[1]</sup>。防水剂、减水剂、稳定剂等选用也必须严格按照国家标准做好把控,奠定浆液制备与灌浆施工的基础,确保灌浆施工连续和较好施工质量。其次,灌浆施工设备的选择也至关重要。水利水电工程隧洞灌浆施工设备的性能决定了对浆液浓度控制的精确度,需要确保设备泵送性能充分满足施工要求,以及能够实现对排浆量的细致调节,实现连续、稳定的灌浆施工。在搅拌机的选用方面,其转速与效率需要和灌浆泵的性能高度匹配,确保浆液供应的连续、稳定。此外,出于施工安全考虑,还需做好灌浆孔与灌注泵之间压力表的安装、调试、检验、维护工作,为施工压力监控提供保障。同时在压力表与管道之间需要合理加装隔浆装置,用于防止浆液回流。以及需要借助超声波检测仪、X 射线检测设备先进检测工具,对钻孔、钢材、地质条件等情况进行细致检查,及时发现存在的安全隐患,进而能够及时采取有效的预防措施,确保水利水电工程隧洞灌浆施工的安全、高效。

## 4 水利水电工程中隧洞灌浆技术应用要点

### 4.1 回填灌浆施工

在水利水电工程的隧洞回填灌浆施工过程中,需要对施工内容予以深入理解、掌握,制定针对性的施工策略,包括对钻孔施工的精确控制、混凝土衬砌施工的合理把控等。在案例工程施工过程中,预埋管的钻孔施工,需要结合预埋管的配置要求将钻孔直径控制在 38mm 以上,且需要确保孔深大于 12cm,完全穿透岩石层。做好对混凝土孔腔尺寸、厚度等的细致测量与准确记录,严格按照施工规划要求进行各项参数的一一对比、调整。对于隧洞顶拱的回填灌浆施工,需要采用分段操作的施工方法,并且需要将每一分段的灌浆施工长度控制在 45cm 以内,且严格做好各个分段施工端部的严密封堵,避免出现漏浆现象。灌浆施工需要按照从低到高的顺序进行,以确保浆液能够在整个空腔中实现均匀分布,获得稳定的、密封的顶拱结构整体<sup>[2]</sup>。

水利水电工程隧洞回填灌浆施工过程中需做好对灌浆压力的精确控制,是获得稳定结构与较高施工质量的重要保障,尤其是需要注意区分初序孔和次序孔的灌浆压力。在案例工程隧洞回填灌浆施工中,初序孔的水泥灌浆水灰比需要控制为 0.5:1,次序孔的水泥灌浆水灰比则需控制为 1:1。对于孔隙较大的施工区域,需要在水泥砂浆中掺入适量的细砂来获得较好的修复施工效果,但是需要将细砂的掺入量控制在水泥质量的 180% 以内。灌浆压力的控制需要以混凝土厚度与配筋情况的分析为基础。案例工程中,对于未加钢筋的混凝土衬砌回填灌浆的压力需要控制在 0.2 ~ 0.4MPa 以内,对于钢筋混凝土衬砌的灌浆施工压力则需控制在 0.5 ~ 0.6MPa 以内。在灌浆压力控制合理的情况下,能够

省去吸浆处理的环节进行持续灌浆施工。值得注意的是,在持续灌浆施工过程中需要严格监控串浆现象,做好原因分析,及时采取应对措施。对于灌浆施工中串浆问题的控制可采用孔并联管灌孔施工技术,通过合理选用 3 个孔位进行灌浆速度、压力合理调节,避免速度过快、压力过高而导致混凝土表面过度抬升,提高隧洞灌浆施工整体质量。

在完成回填灌浆施工的一周时间内,必须做好严格质量检查,尤其是需要对灌浆孔布置较为密集等关键施工区域是否存在脱空、灌浆不均匀等问题的重点检查。检查孔的抽样样品数占比需要确保在 5% 以上,以确保灌浆孔检验的较好代表性与全面性。对于回填灌浆施工质量,可采用钻孔注浆的方法进行检查与评估,此过程需要做好对水灰比的精确控制。在案例工程中,以 2:1 的水灰比浆液注入到检查孔当中,对灌注压力值的稳定性进行监控。注入 10 分钟内的初期阶段,浆液注入量需控制在 12L 以内,控制好灌浆质量,以及便于对注入速率的适当调整<sup>[3]</sup>。当灌浆质量检验达标之后立即做好检查孔的封堵、压实、抹平处理。通过严格的质量检验能够很好地保障隧洞灌浆施工较好的整体质量与安全性。但整个检查流程必须做到安排合理与执行细致,才能及时发现质量问题,进而落实严格的质量控制措施,确保各个细节施工与工程标准高度相符,实现较高的水利水电工程隧洞灌浆施工的整体质量。

### 4.2 固结灌浆施工

在进行水利水电工程隧洞固结灌浆钻孔施工之前,需要做好充分的地质条件分析、孔径测量确定等工作,以确保固结灌浆施工的各项参数充分满足技术规范要求。对于钻孔的布置需要采用方格形排列的方式进行布置,达到优化覆盖面积的效果。完成钻孔之后需要做好全面的清孔工作,确保孔内无碎屑、粉末等杂质,充分符合施工标准要求。在进行灌浆施工之前,需要采用压力水冲洗裂缝,直至排出的水清澈无杂质为止,这确保固结灌浆施工较好质量的关键步骤。压力冲洗的关键在于对压力的合理控制。一般来说,灌浆压力控制在 75% ~ 80% 以内,则需将冲洗压力控制在 1.0MPa 以下。固结灌浆施工需要遵循“环内加密、环间分序”的施工原则,基于对施工区域地质条件的详细分析,实施合理、有效的加密施工。同样,固结灌浆施工的压力控制也十分关键,需要结合工程施工的具体实际进行严格把控。

以案例工程中的单孔固结灌浆施工为例,由于施工区域的注浆量较小,采用多孔并联灌浆施工,孔位需确保较好的对称性。灌浆施工压力需要做到精细控制,将压力保持在 0.5 ~ 1.3MPa 之间。一旦压力大于 2.5MPa,应结合实际施工情况采用分段灌注施工。基于对现场灌浆的试验施工,明确各个灌浆分段及相应的施工压力参数,确保灌浆施工的连续、顺畅,以免施工中影响整体施工质量。在灌浆液的使用方面,需按照由稀到浓的原则,一旦注浆量达到 280ml,并且连续灌注施工时间在 25 分钟以上,则需逐

渐降低注浆液的浓度。当注浆的吸收量小于 0.3L/min 时, 则需配合对机械压浆法的应用, 做好封孔施工。整个固结灌浆施工需要施工人员做好严密的施工监控, 一旦回流浆液变浓, 则需更换水灰比一致的新浆料进行持续灌注, 确保灌浆环节的连续性, 取得较好的施工质量。

在水利水电工程隧洞灌浆施工过程中, 做好孔压水测试也是十分重要, 一般是在完成灌浆施工的五天后进行测试。孔压水测试需要严格核查孔的数量, 以及检验孔的数量占比需要在 5% 以上。若是透水性测试在 30% 以下, 检测孔段的合格率在 85% 以上, 且呈现分散达标的模式, 则表明灌浆施工的较好效果。完成检验之后需要及时做好对孔内积水、杂物的清理工作, 并对孔洞进行压力灌浆封孔, 平整孔口, 达到施工标准要求。若是在检测过程中发现质量不达标的情况, 则需结合现场实际进行返工施工调整方案的重新制定, 直至通过检验验收为止。通过严格的施工检验, 以及实施灵活的施工调整, 确保固结灌浆施工的较好可靠性<sup>[4]</sup>。

#### 4.3 异常问题的处理

水利水电工程隧洞灌浆施工过程中出现的各种异常情况, 都需要采用灵活的调整措施, 才能确保达到施工质量标准要求。在实际施工过程中漏浆、冒浆等问题较为常见, 需要结合施工现场具体实际, 合理地采用灌浆量限制、降低灌浆压力、浓度调节、灌浆频次控制、间歇性灌浆等方式进行有效控制。对于串浆问题的处理, 可采用并联多孔灌浆的方式进行处理, 并同步做好对孔距与压力的控制, 避免出现岩石表面抬升的现象。隧洞灌浆施工需要确保连续作业, 而在受到特殊情况影响施工中断的情况下, 必须按照程序要求快速采取应急处理措施, 并及时做好钻孔的清洗工作, 在尽可能短的短时间内恢复灌浆施工。对存在较大清洗难度, 或者钻孔清洗效果达不到标准要求的情况, 则需要采取扫孔的方式恢复灌浆, 在恢复灌浆施工之前, 还需做好对水密浆材料配

比的合理调整, 以获得与预期相符的灌注量。对于在检查验收返工时出现的灌浆速率下降的情况, 则需结合实际情况对浆液浓度进行逐步调整, 直到灌注状况恢复到正常情况。除此之外, 对于在灌浆施工过程中出现的浆料回流变浓, 或者是吸浆速率快速下降且在短时间内停止等灌浆效果不佳的情况, 则需立即停止灌浆, 更换和原浆料材料配比相同的浆液进行继续灌注。如果问题得不到改善, 则持续灌注 30 分钟后停止, 对灌注效果进行评估。针对孔口出现涌水问题的情况, 需要准确判定涌水的压力与流量, 采用从上到下的方式进行分段灌浆, 或者是使用浓度较高的浆液, 提高灌浆压力, 或者是采用闭浆等方法进行孔口封堵, 确保灌浆施工质量充分满足水利水电隧洞工程施工要求。

## 5 结语

综述可知, 对于水利水电工程隧洞施工而言, 存在施工复杂、施工难度大等特点, 灌浆技术在水利水电工程隧洞施工的关键技术, 其应用效果会对水利水电工程的整体施工质量、施工安全等产生直接影响。对此, 施工单位、施工人员需要结合对隧洞灌浆施工技术详细分析, 准确把握技术应用的标准流程, 严格把控各个施工技术应用要点, 方可确保灌浆技术应用的较好质效, 为水利水电隧洞工程的高质量施工提供保障, 促进我国水利水电工程建设水平的有效提升。

### 参考文献

- [1] 张新. 水工隧洞灌浆施工技术研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(002):000.
- [2] 刘宁平. 水利工程隧洞回填的灌浆施工技术探究[J]. 水上安全, 2024(4):181-183.
- [3] 彭前. 引水隧洞工程灌浆技术措施分析[J]. 河南水利与南水北调, 2024, 53(6):49-50.
- [4] 文静. 水利工程中隧洞固结灌浆施工技术分析[J]. 设备管理与维修, 2020(8):3. DOI:CNKI:SUN:SBGX.0.2020-08-070.