

水工隧洞工程中的超前小导管注浆施工技术

谢超超

核工业井巷建设集团有限公司 313000

【摘要】水工隧洞工程中的超前小导管注浆是一种经典而有效的隧道防水和增强方法。本文阐述了超前小导管注浆的基本原理和操作流程，针对水工隧洞工程的具体案例进行了技术应用探索。研究发现，这种技术能显著提高隧洞的安全性和稳定性，有效防止水和泥沙的渗入，提高了隧洞的使用寿命。此外，超前小导管注浆还有助于提高施工速度，降低施工成本。但同时，本研究也提出了在实际操作中应注意的问题，如钻孔角度和深度选择、注浆压力和量控制、小导管与周围岩石的接触状态对注浆效果的影响等。最后，对未来研究方向进行了展望，包括采用新型水泥浆材方案、提高注浆设备精度和控制系统智能化等。以上结果可为水工隧洞工程中超前小导管注浆技术的设计和施工提供指导和参考。

【关键词】超前小导管注浆；水工隧洞；防水增强；施工技术

Construction technology of advanced small pipe grouting in hydraulic tunnel engineering

Xie Chao super

Nuclear Industry Well Lane Construction Group Co., Ltd. 313000

【Abstract】The advanced small pipe grouting in hydraulic tunnel engineering is a classic and effective method of the waterproof and strengthening tunnel. This paper expounds the basic principle and operation process of advanced small catheter grouting, and explores the technical application for the specific cases of hydraulic tunnel engineering. It is found that this technology can significantly improve the safety and stability of the tunnel, effectively prevent the infiltration of water and sediment, and improve the service life of the tunnel. In addition, the advanced small catheter grouting also helps to improve the construction speed and reduce the construction cost. However, at the same time, this study also raises the problems that should be paid attention to in practice, such as drilling angle and depth selection, grouting pressure and quantity control, and the influence of the contact state of small catheter and surrounding rock and soil on the grouting effect. Finally, the future research direction is discussed, including the new cement slurry scheme, improving the accuracy of grouting equipment and the control system intelligence. The above results can provide guidance and reference for the design and construction of advanced small pipe grouting technology in hydraulic tunnel engineering.

【Key words】advanced small pipe grouting; hydraulic tunnel; waterproof enhancement; construction technology

引言

水工隧洞作为我国关键基础设施，其施工技术对隧洞的使用寿命和质量具有决定性影响。近年来，超前小导管注浆技术在水工隧洞施工中得到广泛应用。该技术通过在隧洞开挖前进行预防性注浆，有效控制水流并防止泥沙渗入，从而显著提升隧洞的安全性和使用寿命。据国家数据显示，此技术的成功应用案例正在不断增加，并且它还能提高施工效率，降低工程成本。然而，该技术在实施过程中仍面临一些挑战，如钻孔角度和深度的选择、注浆压力和注浆量的精确控制，以及优化小导管与岩石的接触等问题，这些都是未来需要进一步研究和改进的关键点。

1、超前小导管注浆技术概述

1.1 超前小导管注浆的基本原理

超前小导管注浆技术通过在隧洞开挖前预埋小导管注浆，以提升围岩稳定性。高压浆液填充裂隙，形成坚固防水

屏障，有效阻止水沙渗入，增强围岩承载力，降低坍塌风险，保障隧道结构安全与耐久。此技术对于确保隧洞施工安全与质量至关重要。

1.1.1 注浆机理

超前小导管注浆技术利用压力将浆液注入小导管，通过渗透和扩散填充围岩裂隙，达到防水和加固效果。注浆后，浆液硬化形成密实固体，既防水又增强围岩强度和稳定性。常用浆液包括水泥浆和化学浆液，选择时需根据施工和地质条件。为确保注浆效果最大化，需根据工程特点优化设计小导管布置和注浆方案。

1.1.2 主要作用及效果

超前小导管注浆不仅能防止水、泥沙渗入，还可提高隧洞结构的安全性和稳定性，显著延长隧洞使用寿命。

1.2 超前小导管的设计与制作

1.2.1 材料选择

超前小导管的材料选择直接影响注浆效果与施工质量。通常选用高强度、耐腐蚀的钢管管道，以确保其在地下复杂环境中的长期稳定性。钢管内径通常为25-50毫米，外径在30-60毫米之间，壁厚为4-5毫米，需具备良好的机械性能和

抗压能力。

1.2.2 制作规范

制作超前小导管时,需要严格遵守相关规范。导管表面应进行防锈处理,头部需设计成尖锥形以便于插入岩土。管身均匀布置注浆孔,孔径为6-10毫米,孔距为200-300毫米,以保证注浆均匀性。

1.3 超前小导管注浆施工流程

1.3.1 小导管的安装

小导管的安装是超前小导管注浆施工的关键步骤。根据设计图纸确定钻孔位置、角度和深度,钻孔应平整、笔直。安装过程中需确保小导管与围岩紧密接触,避免松动。通常采用高压空气或水射流进行钻孔清理,确保孔壁清洁^[9]。

1.3.2 注浆操作及封孔

注浆材料应根据工程需要选择合适的水泥浆材,搅拌均匀。注浆设备应定期校准,确保注浆压力与量的精确控制。注浆完成后进行封孔处理,避免浆液回流,确保注浆效果稳定持久。

2、水工隧洞中的应用实例与技术分析

2.1 水工隧洞工程中的应用背景

水工隧洞工程面临着复杂地质和施工条件的挑战,其中防水和稳定性是核心问题。施工过程中,渗水、塌方等现象频发,导致难度和成本上升。特别是隧洞穿越地质软弱带和含水层时,注浆技术的应用显得尤为重要。多变的地质条件和高水压加剧了施工风险,因此必须采取有效的防护措施来提升隧洞的安全性和延长其使用寿命。超前小导管注浆技术便是针对这些难题的一种有效解决方案。

2.1.1 工程概况

某水利隧道工程地处地质状况复杂且地下水较多的地方,施建时常因岩石稳固性较差以及水渗入严重而面对困难。正常情况下,这类项目包括大型水库、引水隧道乃至地下水排放系统,这都要求它们具备较大的建筑规模和高端的技术水准。施工过程中,需采纳各种防止渗水和强化的实施方案,为确保施建项目的安全和长期耐用。对于这类项目,科学并且合理的防止渗水和加固的技术方案是决定性的关键。

2.1.2 施工环境特点

水工隧洞施工环境复杂,常涉及高地下水位、高地应力等特点,岩层多变,稳定性差。遇水软化、溶蚀的问题突出,施工中需面对较高风险,技术要求严苛。

2.2 超前小导管注浆在水工隧洞中的应用案例

在该水工隧洞工程中,超前小导管注浆技术成效显著。通过隧洞前方预布小导管注浆,成功解决地质破碎带和地下水丰富区的渗透难题。注浆强化隧洞壁,填充裂隙,减少水泥流失。施工后,隧洞稳定性、安全性大增,防水防渗效果优异,有效延长隧洞寿命。

2.2.1 案例分析工程

在该水工隧洞,地质为泥岩夹层,水压高,采用超前小导管注浆。

2.2.2 效果评估

效果评估的内容如下:

超前小导管注浆在水工隧洞工程中的应用取得了显著成效。通过具体案例数据显示,该技术在提高隧洞结构稳定性和防水性能方面表现优异。应用超前小导管注浆后,隧洞的抗渗透能力和抗沉降能力均有大幅提升,且施工过程中的地层变动显著减小。长时间监测结果表明,注浆后隧洞的维护费用和运营风险亦有所下降。整体来看,超前小导管注浆技术有效延长了水工隧洞的使用寿命,经济效益和安全效益显著提升。

2.3 注浆施工中应注意的问题

在注浆施工中,钻孔角度与深度对施工效果至关重要,必须根据隧洞地质条件精确设计。注浆压力和注浆量的控制亦是关键,过高的压力可能导致裂隙扩展,而过低的压力则无法达到预期的加固效果。小导管与周围岩土的接触状态对注浆效果有显著影响,需确保小导管安装稳固且密封良好,以避免注浆浆液流失,确保结构稳定性和防水效果。

2.3.1 钻孔角度与深度

钻孔角度和深度直接影响注浆效果。选择合理的钻孔角度可均匀覆盖预定注浆区域,避免死角。钻孔深度需根据地质条件和防水要求灵活调整,确保压力传递有效。

2.3.2 注浆压力与量的控制

注浆压力与量的控制对于确保超前小导管注浆效果至关重要。在施工过程中,合理的注浆压力能确保浆液均匀渗透至周围岩土,提高加固效果,防止隧洞结构受损。过高的注浆压力可能导致岩土层裂隙扩大,甚至引发贯通裂缝,影响隧洞安全。而注浆量的精确控制则确保浆液填满裂隙和空隙,避免材料浪费和二次施工的需要。施工过程中应根据地质条件和施工要求,实时监测和调整注浆压力和量,确保施工质量和工程稳定性。

3、未来发展方向与改进建议

3.1 新型水泥浆材的应用前景

新型水泥浆材的应用对于超前小导管注浆技术揭示了巨大潜力,这主要得益于其高强度、快硬性和良好渗透性等显著优点,使岩土空隙能被更有效填充以及隧道的稳定性与防水性能得以提升。短时期内便能形成高强度抗压层的高强度水泥浆材,带来了隧道抗变形能力的提升和结构安全性的增强。而快硬性水泥浆材的施工周期缩短,带动了施工效率的提高和工程成本的降低。新型水泥浆材的良好渗透性意味着更充分的密实注浆区域,少有漏浆和渗水的风险,注浆效果和持久性获得提升,这一切带来复杂地质条件下的隧洞工程的新的解决方案。

3.2 提高注浆设备精度

提高注浆设备的精度是确保超前小导管注浆效果的重要途径之一。高精度设备能够更准确控制注浆量和压力,减少人工误差,确保小导管与周围岩土的紧密接触,从而提高注浆质量和效果。设备的改进主要包括更精确的压力感应装置、流量控制阀和自动化控制系统的运用。这些技术进步不仅能够提高注浆操作的稳定性和一致性,还可以显著降低施

工过程中出现的设备故障风险，提高整体施工效率。

3.2.1 设备改进方向

设备的精度提升对超前小导管注浆施工技术具有重要意义，从设备结构和功能优化两个方面展开改进方向的探讨。设备结构改进是提升精度的核心，注浆泵、管道及控制阀门的设计需更加精密化和标准化。采用高精度传感器和先进测控技术，实现实时监测与自动调节，确保注浆压力和流量的稳定性。通过优化注浆口设计，提高注浆导管与周围岩石的契合度，减少浆液泄漏的可能性。

功能优化是另一个重要方向，提高设备的自动化和智能化水平，通过集成多功能控制系统，实现远程控制与数据实时传输。应用先进的算法和大数据分析技术，优化注浆参数设置，形成动态调整机制，确保施工过程中对各项参数的精准控制。改进设备的耐磨性和抗腐蚀性，提高其在复杂地质条件下的使用寿命和稳定性，也是需要重点关注的方向。

3.2.2 精度提升对施工效果的影响

提升注浆设备精度对施工效果具有显著影响。精度提升可以确保注浆材料在预定位置的准确性，极大地减小了因偏差导致的泄漏和注浆不足情况。准确定位不但能提高材料的利用效率，还可减少不必要的材料浪费，降低施工成本。

更高的设备精度可以实现更加均匀的注浆分布，从而使隧洞结构的整体强度和稳定性显著提高。均匀的注浆能够有效填充岩石间的缝隙，减少水和泥沙的渗入风险，进一步增强防水效果，延长隧洞的使用寿命。

高精度设备还能优化注浆压力和流量的控制，使注浆过程更加可控和稳定。通过精确的压力和流量调节，避免出现过高或过低的注浆压力，防止可能引起的岩土变形或塌陷，有助于保障施工安全。

3.3 注浆控制系统的智能化发展

超前小导管注浆技术在水工隧洞工程中占据核心地位，在智能化的崛起下，其使用空间大增。智能化系统的运用，不只是提升了注浆施工的准确性以及效益，更是将施工的品质和安全性提升到一个新水平。

现在超前小导管注浆施工中的人工操作有可能会引发施工当中的失误，影响到注浆的质量以及工程的进展。智能化控制系统的运用，能够实现对注浆施工的实时监督和自动化管理，下降人为操作所带来的不稳定性。智能化系统有集结多个传感器的能力，可以实现对钻洞深度、钻洞角度、注浆压力及注浆多少等关键数据的实时监测和调整。

智能化注浆控制系统首重采集和整理各类施工数据。注浆设备里的传感器能实时监测多项施工数据，并把这些数据传送到中心控制系统。通过数据分析，能够快速识别和预测

潜在问题，提高响应速度。这些数据还可以用于施工后期的质量评估和性能反馈，进一步优化施工方案。

智能化系统还可以实现注浆施工的精准自动化控制。基于预设的施工参数和实时监测数据，可以自动调节注浆设备的工作状态。高效的控制算法和先进的控制技术，将显著提高注浆过程的稳定性和一致性，确保每一阶段的施工达到预期效果。

智能控制系统的引入，有助于减少施工过程中可能发生的人为错误。例如，钻孔角度和深度的选择通常依赖于施工人员的经验，而智能控制系统可以基于实际地质条件和预设参数，自动优化钻孔路径和深度，提高施工精度。施工人员也可以通过控制系统的界面，实时了解施工进度和注浆效果，及时调整工作策略。

智能化注浆系统的另一个重要应用是提高施工安全性。在注浆施工过程中，注浆压力和注浆量的变化需要时刻关注，以避免岩体受力不均导致的失稳和破坏。通过智能化系统，对异常情况进行早期预警和自动调整，可大大降低安全风险。

自动化注浆控制系统还支持远程监控和管理。施工现场的数据可以通过无线网络传输到远程监控中心，方便项目管理人员对施工进度和质量进行远程监督和指导。即使在施工环境复杂的情况下，也能实现高效管理和协同作业。

未来，超前小导管注浆技术中的智能化控制系统还将进一步发展和完善。随着人工智能、大数据分析和物联网技术的发展，智能注浆系统会变得更加智能和高效。例如，基于人工智能的施工参数智能优化系统，可以通过学习大量历史施工数据，自动生成最优施工参数配置，不仅提高施工效率，还能在复杂地质条件下保证注浆效果。

结束语

本文深入研究了水工隧洞工程中的超前小导管注浆技术，详细阐述了该技术的基本原理和操作步骤，以及在实际隧洞工程中的应用情况，揭示了其在增强隧洞稳定性，防止水和泥沙渗透，提高施工效率等方面的显著效果。在此基础上，研究也指出了在注浆技术的实际操作中需要注意的关键问题，如钻孔角度和深度、注浆压力和量的控制、以及小导管与周围岩石接触状态的影响等，并给出了相应建议。同时，我们也展望了未来研究的方向，包括新型水泥浆材料的研发、注浆设备的提高精度以及控制系统的智能化等。这不仅有助于进一步提高水工隧洞工程中超前小导管注浆技术的效果，也对推动相关领域的技术进步具备重要意义。

参考文献

- [1]薛小攀,冯秋丰,韩福,李伯平.小断面引水隧洞超前小导管预注浆施工技术研究与[J].陕西水利,2022,(06):1-3.
- [2]杨建波.超前小导管注浆技术在水工隧洞中的应用[J].甘肃水利水电技术,2019,55(04):37-40.
- [3]张康.浅析隧道超前小导管注浆施工技术[J].建筑与装饰,2020,0(06):166-166.
- [4]任俊.水工隧洞工程中的超前小导管注浆施工技术[J].中国高新科技,2020,(18):74-75.
- [5]温小峰.超前小导管预注浆技术在水工隧洞施工中的应用[J].江西建材,2023,(02):289-290.