

水工隧洞超前小导管注浆支护技术应用

邓卓然 唐 尧

中水珠江规划勘测设计有限公司 广东 广州 510610

摘 要：超前小导管注浆支护技术在水工隧洞施工中具有重要意义。该技术通过预先在隧洞拱部设置注浆钢管，并注入浆液加固围岩，形成有效的超前支护系统。此技术适用于地质条件复杂、自稳能力差的区域，能显著提升隧洞施工的安全性和稳定性。通过严格控制注浆压力、浆液配合比等关键参数，确保注浆效果，有效预防隧洞坍塌事故，保障施工质量和进度。

关键词：水工隧洞；超前小导管注浆支护技术；应用

引言：水工隧洞作为水利工程中的重要组成部分，其施工安全和稳定性至关重要。面对复杂多变的地质条件，超前小导管注浆支护技术以其独特的加固机理和显著的支护效果，成为水工隧洞施工中不可或缺的一部分。该技术通过小导管注浆填充岩层裂隙，提高围岩稳定性，为隧洞开挖提供安全保障。本文深入探讨了超前小导管注浆支护技术在水工隧洞中的应用，以期为相关工程提供科学指导和借鉴。

1 水工隧洞超前小导管注浆支护技术概述

1.1 超前小导管注浆支护技术原理

(1) 小导管的设计与制作：超前小导管的设计需考虑隧洞的地质条件、支护需求和施工便利性。小导管一般采用无缝钢管或热轧无缝钢管制作，管径在 $\Phi 25$ 至 $\Phi 50$ 之间，管长通常为3至6米。管壁需钻设注浆孔，孔径6至8毫米，呈梅花形布置，以确保注浆浆液能够均匀渗透。同时，小导管的前端需加工成锥形，便于插入岩层。尾部则预留一定长度作为不钻注浆孔的止浆段，以增强支护效果。(2) 注浆材料的选择与配比：注浆材料的选择直接关系到支护效果。常用的注浆材料包括水泥浆、水玻璃浆等。水泥浆具有良好的固结性和稳定性，适用于各种岩层；水玻璃浆则具有流动性好、凝固时间可调等优点。配比时，需根据工程需求、岩层特性和注浆工艺确定各组分的比例，以确保注浆浆液的性能满足要求。(3) 注浆工艺与操作流程：注浆工艺包括钻孔、清孔、安装小导管、注浆等步骤。钻孔前需确定注浆孔的位置和深度，然后使用电钻或凿岩机进行钻孔。钻孔完成后，需进行清孔处理，确保孔内无杂物。接着，将小导管安装到孔内，并使用棉纱或水泥浆等材料封堵孔口，防止浆液外溢。最后，通过注浆泵将注浆浆液注入小导管内，使其渗透到岩层裂隙中，达到加固效果。

1.2 超前小导管注浆支护的作用

(1) 加固松散岩层，提高围岩稳定性。注浆浆液能够填充岩层裂隙，增强岩层的整体性和强度，从而提高围岩的稳定性。(2) 填充岩层空隙，增强承载能力。注浆浆液在岩层中形成固结体，有效填充岩层空隙，提高隧洞的承载能力。(3) 改变围岩渗透性，减少水流侵蚀。注浆浆液能够封堵岩层裂隙，降低围岩的渗透性，从而减少水流对隧洞的侵蚀作用，保护隧洞的安全和稳定。

2 水工隧洞超前小导管注浆支护技术的应用

2.1 应用场景分析

2.1.1 软弱破碎岩层

在软弱破碎岩层中，超前小导管注浆支护技术可以显著加固岩层，提高围岩的稳定性。通过注浆浆液填充岩层裂隙，形成固结体，有效增强岩层的整体性和承载能力。这种支护方式特别适用于隧道拱部软弱围岩的加固，以及松散、无粘结土层、自稳能力差的砂层、砂砾(卵)石层和破碎岩层的稳定。

2.1.2 含水破碎围岩

在含水破碎围岩中，超前小导管注浆支护技术可以改变围岩的渗透性，减少水流的侵蚀作用。注浆浆液能够封堵岩层裂隙，降低围岩的透水性，从而保护隧洞不受水流侵蚀。这种支护方式在隧洞施工中尤为重要，特别是在地下水位较高、岩层裂隙发育的地区^[1]。

2.1.3 浅埋段与洞口偏压段

在浅埋段与洞口偏压段，超前小导管注浆支护技术能够提供额外的支护力量，确保隧洞的稳定性和安全性。这些区域由于地质条件复杂、自稳能力差，因此需要采取更为可靠的支护措施。超前小导管注浆支护技术通过注浆浆液填充和固结岩层，提高围岩的稳定性，为隧洞的顺利开挖和初期支护提供有力保障。

2.2 实际工程案例

2.2.1 案例选取与背景介绍

以某水工隧洞工程为例,该隧洞位于软弱破碎岩层地区,地下水位较高,且存在浅埋段和洞口偏压段。为确保隧洞的稳定性和安全性,决定采用超前小导管注浆支护技术。

2.2.2 超前小导管注浆支护方案设计与实施

设计方案中,超前小导管采用无缝钢管制作,管径为 $\Phi 42$ 毫米,管长为4米,管壁钻设注浆孔,孔径为6毫米,呈梅花形布置。注浆材料选用水泥浆,配比根据工程需求和岩层特性确定。实施过程中,首先进行钻孔作业,然后安装小导管并进行注浆。注浆过程中严格控制注浆压力和浆液充盈度,确保浆液能够充分填充岩层裂隙并形成固结体。

2.2.3 支护效果评估与监测

通过对隧洞开挖过程中的围岩变形、支护结构受力等进行监测和评估,结果表明超前小导管注浆支护技术有效提高了围岩的稳定性。支护后,隧洞开挖过程中的围岩变形量显著减小,支护结构受力均匀且处于安全范围内。这充分证明了超前小导管注浆支护技术在复杂地质条件下的支护效果。

2.3 技术优势与挑战

2.3.1 提高施工效率与安全性

超前小导管注浆支护技术具有施工简便、效率高、安全性好的优点。通过预先设置小导管并进行注浆,可以为隧洞开挖提供超前支护,有效减少围岩变形和塌方风险。同时,注浆浆液能够固结岩层,提高隧洞开挖过程中的自稳能力,为施工人员的安全提供保障。

2.3.2 降低支护成本与维护费用

相较于其他支护方式,超前小导管注浆支护技术具有成本较低、维护费用少的优点。由于注浆浆液能够充分填充岩层裂隙并形成固结体,因此减少了支护材料的用量和支护结构的复杂程度。此外,注浆浆液还能够提高岩层的整体性和承载能力,从而延长隧洞的使用寿命和减少维护费用。

2.3.3 地质条件复杂性的挑战与应对措施

尽管超前小导管注浆支护技术在复杂地质条件下具有显著的支护效果,但仍面临一些挑战。例如,在极软岩或极破碎岩层中,注浆浆液可能难以充分渗透和固结岩层。针对这些挑战,可以采取以下应对措施:一是优化注浆浆液配比,提高浆液的流动性和渗透性;二是增加小导管的数量和密度,以提高支护效果;三是采用其他辅助支护措施,如钢架支撑、锚杆支护等,以增强隧洞的整体稳定性。同时,在施工过程中应严格遵循工艺流程和操作规程,确保施工质量和安全^[2]。

3 超前小导管注浆支护施工中的关键技术与质量控制

3.1 关键施工技术

(1) 小导管制作与安装技术。小导管的制作需确保其材质、壁厚、长度及钻孔精度符合设计要求。钢管表面应光滑无锈蚀,钻孔需均匀分布,孔径适中,以保证注浆浆液的有效渗透。在安装时,需严格控制小导管的插入深度和倾斜角度,确保其与岩层紧密贴合,同时要避免对原有岩层造成不必要的破坏。(2) 注浆设备与材料准备。注浆设备的选择应基于工程规模、岩层特性及注浆要求。注浆泵需具备足够的压力输出能力和稳定的工作性能,以确保注浆浆液能够均匀、连续地注入岩层。注浆材料应具备良好的流动性、固化时间和强度特性,以满足不同岩层的注浆需求。(3) 注浆压力与浆液充盈度控制。注浆压力是确保浆液能够充分渗透岩层的关键因素。需根据岩层特性和注浆材料特性合理设定注浆压力,避免过高导致岩层破坏或过低影响注浆效果。浆液充盈度则需通过调整注浆速度和注浆时间进行控制,确保浆液能够完全填充岩层裂隙。

3.2 质量控制措施

(1) 钢管质量检验与规格要求。所有小导管在投入使用前,需进行严格的质量检验。检验内容包括钢管的壁厚、直径、长度以及钻孔的孔径、数量和分布等。同时,需确保钢管表面无锈蚀、油污等杂质,以保证注浆浆液能够顺利注入。(2) 连接与搭接长度控制。小导管之间的连接需牢固可靠,避免注浆过程中发生泄漏。连接时,可采用焊接、螺纹连接等方式。搭接长度需根据注浆浆液的性能和岩层特性确定,确保浆液能够连续、有效地渗透到岩层内部。(3) 布设与间距要求。小导管的布设位置和间距需根据工程需求和岩层特性进行精确计算。布设时,需避免对原有岩层造成破坏。同时,需根据岩层倾角调整小导管的外插角,确保注浆浆液能够充分渗透到岩层内部。间距的设定需考虑注浆浆液的性能和岩层特性,确保支护效果^[3]。(4) 外插角取值与调整。外插角的取值需根据岩层倾角和裂隙分布情况进行调整。在布设小导管时,需测量岩层的倾角,并根据倾角计算外插角的取值。在施工过程中,需根据实际情况对外插角进行适时调整,以确保注浆浆液能够充分渗透到岩层内部。

3.3 施工监测与效果检查

(1) 监测方法与技术手段。施工监测是确保注浆支护效果的重要手段。可采用地表沉降观测、围岩内部变形监测、注浆浆液压力监测等多种技术手段进行实时监测。监测数据需及时整理和分析,以便及时发现异常情况

况并采取相应措施。(2) 监测数据分析与评估。对监测数据进行定期整理和分析, 评估注浆支护效果。根据监测数据的变化趋势和异常情况, 可及时调整注浆工艺和支护方案, 确保工程安全。(3) 注浆效果检查与改进建议。注浆完成后, 需对注浆效果进行全面检查。可采用钻孔取芯、声波测试等方法对注浆浆液的渗透范围和固结情况进行检查。对于注浆不充分的区域, 需进行补充注浆。同时, 根据检查结果提出改进建议, 为今后的施工提供参考。

4 水工隧洞超前小导管注浆支护技术的优化与创新

4.1 技术优化方向

(1) 注浆材料与工艺的创新。注浆材料是超前小导管注浆支护技术的核心。传统的注浆材料如水泥浆、水泥砂浆虽具有一定的加固效果, 但在某些特殊地质条件下, 其性能可能无法满足工程需求。因此, 研发新型注浆材料, 如高性能混凝土、化学注浆材料等, 成为技术优化的重要方向。同时, 改进注浆工艺, 如采用双液注浆、压力注浆等先进技术, 可以提高注浆效率和加固效果。(2) 小导管设计与安装技术的改进。小导管的设计直接影响注浆效果和支护结构的稳定性。优化小导管的结构设计, 如调整管壁厚度、注浆孔数量和分布等, 可以提高注浆压力和浆液扩散范围。此外, 改进小导管的安装技术, 如采用机械化、自动化安装设备, 可以提高施工效率和安全性。(3) 支护结构的优化与调整。支护结构的稳定性是隧洞工程安全施工的关键。根据隧洞地质条件、施工方法和工程需求, 优化支护结构设计, 如调整支护材料的种类、规格和布置方式等, 可以提高支护结构的承载力和稳定性^[4]。

4.2 创新实践案例

(1) 新材料与新技术的应用实例。在某水工隧洞工程中, 采用了新型高强度注浆材料和高压力注浆工艺, 有效提高了注浆效果和隧洞围岩的稳定性。同时, 还引入了自动化小导管安装设备, 显著提高了安装效率和准确性。这些新材料与新技术的应用, 为隧洞的施工质量和安全性提供了有力保障。(2) 创新支护方案的设计与效果评估。针对某复杂地质条件下的水工隧洞工程, 设计了一套创新

的超前小导管注浆支护方案。该方案采用了双层小导管支护结构, 同时结合了锚杆支护和钢架支护等措施。通过现场试验和监测数据分析, 该支护方案在提高隧洞围岩稳定性和抗渗能力方面取得了显著效果。

4.3 未来发展趋势与展望

(1) 技术发展趋势预测。随着科技的进步和工程实践的不断深入, 超前小导管注浆支护技术将朝着更加智能化、自动化和高效化的方向发展。未来, 注浆材料的研发将更加注重环保、节能和可持续性; 注浆工艺将更加精细化和个性化; 支护结构的设计将更加智能化和自适应化。(2) 超前小导管注浆支护技术在其他领域的拓展应用。除了水工隧洞外, 超前小导管注浆支护技术还可以广泛应用于其他地下工程领域, 如地铁隧道、矿山巷道、城市地下综合管廊等。在这些领域中, 超前小导管注浆支护技术可以发挥类似的作用, 提高地下工程的稳定性和安全性。随着技术的不断发展和完善, 超前小导管注浆支护技术有望在更多领域得到应用和推广。

结束语

水工隧洞超前小导管注浆支护技术作为一项高效、经济且适应性强的工程手段, 在复杂地质条件下的隧洞施工中展现出显著优势。通过优化注浆材料、改进小导管设计与安装技术, 并结合现代监测与评估方法, 该技术有效提升了隧洞围岩的稳定性和安全性。展望未来, 随着技术持续创新和拓展应用, 超前小导管注浆支护技术将在地下工程领域发挥更加广泛和重要的作用, 为工程建设提供坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 桂德华. 浅谈超前小导管在砂砾石隧洞中的应用[J]. 工程地质学, 2020, (04): 44-45.
- [2] 姚敬国, 茶丽美. 超前注浆导管在处理水利工程隧洞露顶中的应用[J]. 工程地质学, 2023, (06): 57-58.
- [3] 智凯毅. 超前小导管注浆在挖孔桩施工中的应用[J]. 工程地质学, 2024, (05): 61-62.
- [4] 潘家辉. 超前小导管在隧道超前支护施工中的运用研究[J]. 文化科学, 2022, (07): 77-78.