

公路隧道软弱围岩段超前小导管注浆加固施工技术应用

殷利斌

浙江省建投交通基础建设集团有限公司 浙江 杭州 310012

【摘要】：公路隧道软弱围岩段的施工过程中，围岩稳定性差，给隧道施工带来较大风险。针对这一问题，提出了超前小导管注浆加固技术，结合实际应用进行探索。该技术能在围岩较为松软、变形较大的情况下，为隧道施工提供有效支撑，减少因软弱围岩引发的施工质量问题的。通过对多项施工案例的分析，验证了该技术在实际应用中具有显著的加固效果，并能有效降低施工期间的地质灾害风险。本文对该技术的应用流程、施工质量控制及其工程效果进行了深入分析，为类似工程的施工提供了可参考的技术方案。

【关键词】：公路隧道；软弱围岩；超前小导管；注浆加固；施工技术

DOI:10.12417/2705-0998.25.16.074

引言

公路隧道在软弱围岩段的建设中常常面临极大的工程挑战。软弱围岩的存在使得隧道施工不仅进展缓慢，还可能增加施工的风险。如何有效提升软弱围岩段的稳定性，已成为当前隧道施工中的重要问题。注浆加固技术逐渐成为一种有效的解决方案，特别是超前小导管注浆加固技术。该技术通过提前对围岩进行加固，能有效增强隧道的支撑能力，减少围岩坍塌、爆破振动等问题的发生。在实际应用中，如何根据具体的地质情况选择合适的施工技术，如何控制施工质量以及如何确保加固效果，仍然是值得深入探讨的问题。深入研究超前小导管注浆加固施工技术在软弱围岩段中的应用，具有重要的现实意义。

1 软弱围岩段公路隧道施工面临的主要问题与挑战

1.1 软弱围岩的地质特征与施工影响

软弱围岩通常具有较低的抗压强度和较高的变形性，这些特点使得隧道施工面临诸多困难。软弱围岩一般由粘土、粉土或砂土等松散沉积物组成，这些岩土材料的颗粒之间结合松散，导致其在受到外力作用时容易发生塑性变形或塌方。施工过程中，这些围岩的支护难度大，施工工艺要求高。由于围岩的性质不稳定，施工过程中容易受到地质变动、地下水渗透等多种因素的影响，容易导致围岩的坍塌、滑坡等风险。隧道的施工需要采取有效的加固措施，确保施工安全。

1.2 围岩稳定性不足带来的风险

围岩的不稳定性不仅影响隧道的施工进度，还会增加施工的安全隐患。软弱围岩在隧道开挖过程中容易发生松动，造成地面沉降、围岩裂缝、局部坍塌等问题。尤其是在较长的隧道区段，围岩不稳定的风险更为显著，可能导致隧道内的支护系统失效，从而危及施工人员的安全和隧道结构的稳定性。为了确保隧道的安全性，在软弱围岩段施工时，必须采用科学的加固技术，如超前小导管注浆加固技术，以提高围岩的抗压强度和稳定性，减少施工期间的意外风险。

1.3 传统加固方法的局限性

传统的围岩加固方法，如喷射混凝土、锚杆支护等，在某些情况下难以有效应对软弱围岩段的复杂地质条件。喷射混凝土虽然可以增加围岩的表面强度，但对于深层次的软弱围岩没有显著的加固效果。锚杆支护虽然能够提供支撑力，但在软弱围岩中可能无法提供足够的稳定性，容易发生锚固失效的情况。传统加固方法的施工周期较长，且施工质量难以保证，无法满足高风险施工环境中的紧迫需求。急需一种更加高效、可靠的加固技术来解决这些问题。

2 超前小导管注浆加固技术的基本原理与特点

2.1 超前小导管注浆技术的工作原理

超前小导管注浆加固技术主要通过在隧道掘进前提前打入小导管，并通过导管将浆液注入围岩中，从而加固围岩结构。浆液通过导管进入围岩后，与围岩中的土壤颗粒发生反应，形成一个更加坚固的固体结构，增强围岩的整体稳定性。这种方法具有较强的针对性，能够根据围岩的不同情况选择合适的注浆材料，做到有针对性的加固。注浆液的粘结性和强度，可以在开挖过程中为围岩提供前期支撑，避免出现坍塌等意外情况。

2.2 注浆加固材料的选择与应用

注浆加固材料的选择对加固效果起着决定性作用，特别是在软弱围岩段的施工中，选择合适的注浆材料能显著提升加固效果。常见的注浆材料包括水泥浆、化学浆和树脂浆等，它们各有特点，适用于不同的施工环境。水泥浆因其较强的粘结力、成本低廉，广泛应用于隧道加固工程中，尤其适用于硬度较高的围岩。化学浆具有优异的渗透性，可以深入到松散的岩层中，有效填补空隙，增强岩体的稳定性。树脂浆则具有较强的耐水性，在水分较多的环境中表现出较好的稳定性和强度，适用于地下水丰富或湿度较大的区域。根据围岩的实际情况、施工环境以及注浆液的特性，合理选择并配制合适的注浆材料，不仅能够提高加固效果，还能有效避免因环境变化或材料不适应导

致的质量问题，确保施工安全和长期稳定。

2.3 技术应用的核心优势

超前小导管注浆加固技术相较于传统支护技术，具有多个核心优势。技术实施较为灵活，可以根据围岩的具体特性调整注浆方案，提高加固效果。该技术能够在开挖前就对围岩进行加固，避免了传统支护方法依赖开挖后的支撑结构，减少了风险。注浆加固的施工周期较短，能有效减少工期，同时施工过程中对周围环境的影响较小，不会对交通和地面设施造成过大干扰。最重要的是，超前小导管注浆加固能够在多变的地质条件下稳定围岩，提升隧道的长期稳定性，延长其使用寿命。

3 超前小导管注浆加固技术的施工流程与实施方法

3.1 技术实施前的围岩勘察与评估

在实施超前小导管注浆加固技术之前，围岩的勘察与评估是确保加固效果的首要环节。通过对隧道所在区域进行详细的地质勘察，能够准确了解围岩的各项物理和力学性质，如岩石的强度、湿度、孔隙度、层理结构以及潜在的地下水情况。了解这些因素对于后续的注浆设计至关重要，因为它们直接影响注浆液的渗透性和加固效果。常见的勘察方法包括钻探、地质雷达探测、地下水位测定等，通过这些手段获取围岩的详细数据，帮助工程师做出科学合理的加固方案。勘察结果还可以帮助判断是否需要采用特殊注浆材料或调整施工方案，从而提高施工的精准度，确保注浆加固效果达到预期目标，保障施工的顺利进行与隧道的长期稳定性。

3.2 注浆设计与施工步骤

注浆设计是超前小导管注浆加固技术中至关重要的一步，其设计的精确性直接决定了加固效果的优劣。在设计阶段，首先需要根据围岩的地质特征，如岩石的强度、湿度、孔隙度等，科学计算并合理确定导管的位置、长度和数量。注浆液的选择至关重要，常见的注浆液有水泥浆、化学浆和树脂浆等，依据不同地质条件选择合适的浆液类型，以确保其具备足够的渗透性和强度。注入压力的控制也是设计中的关键因素，合理的注浆压力能够确保浆液均匀渗透至围岩深层，形成有效的加固效果。施工过程中，需实时监测围岩的反馈情况，动态调整注浆压力和液量，避免注浆不均或过度注浆造成围岩的变形甚至破裂，确保加固效果达到预期，施工安全得到保障。如图 1：



图 1 隧道支护结构与加固施工示意图

3.3 施工过程中的质量控制措施

施工质量控制是确保超前小导管注浆加固技术有效性的基础，必须严格遵循设计方案和技术规范。在施工过程中，对导管布置的精确性及注浆量的控制尤为重要，任何偏差都可能影响加固效果。实时监控注浆过程中的关键指标，如压差、浆液流量、浆液强度等，能够帮助施工人员及时发现问题并进行调整，确保注浆液能够均匀渗透到围岩内部，形成均匀的加固层。施工完成后，必须进行有效的检查和评估，通过地质雷达、钻孔取样等手段对加固效果进行验证，确保施工质量达到预定标准。施工环境的保护也同样重要，必须避免外界环境变化如气候、地下水等对施工进度和质量造成不利影响。精确的施工控制和环境保护，能够确保加固效果的持久性和隧道的长期安全。

4 超前小导管注浆加固技术在公路隧道中的应用案例分析

4.1 案例选择与分析背景

某公路隧道项目位于复杂的地质区域，地下水丰富且围岩松软，施工过程中经常出现局部塌方现象，严重影响了施工进度与安全。该区域的土壤特性使传统的支护技术无法提供足够的稳定性，导致围岩的不稳定性更加突出，施工风险逐渐加大。面对这些挑战，施工单位决定采用超前小导管注浆加固技术进行围岩的稳定处理。该技术能够提前加固软弱围岩，减少隧道施工时的塌方风险。在项目初期，施工单位通过对隧道所在地地质条件进行详细勘察，确认了软弱围岩和地下水渗透是影响施工安全的主要因素。项目决定通过实施超前小导管注浆加固技术来增强围岩的强度，确保施工能够顺利进行，并最终为项目的成功实施提供技术保障。

4.2 加固效果评估与施工难点

实施超前小导管注浆加固技术后，项目团队对施工效果进行了多维度评估。使用隧道监测系统及地质雷达等设备对围岩的稳定性进行了检测，结果显示加固后的围岩强度显著提高，围岩的稳定性明显增强。特别是在地下水丰富的区域，注浆技

术有效地封堵了水源渗透通道,避免了地下水对围岩的进一步冲刷与影响。然而,施工过程中也遇到了一些技术难题,尤其是注浆液的均匀渗透性问题。由于围岩层的结构较为复杂,浆液的渗透速度不一,部分区域出现了浆液未能完全渗透的情况。为解决这一问题,施工队采取了分段注浆和多次注浆相结合的方案,在不同区域采取不同的注浆技术,确保了浆液能够均匀分布并有效加固围岩。注浆压力和注入时间的精确控制也成为施工难点之一,过高的注浆压力容易导致围岩变形,而过低的注浆压力则会影响加固效果,因此需要进行严格的施工管理和实时监控。

4.3 实际应用中的经验与总结

该项目的实施过程中积累了宝贵的经验,尤其在施工准备和质量控制方面。在围岩勘察和评估阶段,施工团队采用了多种勘察手段,如钻孔取样、地质雷达探测等,对围岩的各项特性进行了详细评估。这一过程确保了注浆设计的合理性和针对性,提高了施工效果的可控性。选择合适的注浆材料和注浆压力是确保加固效果的关键。施工过程中,通过合理配置注浆液的配比,确保了不同类型的围岩能够得到最佳的加固效果。在施工管理上,施工单位要求每个环节必须严格把关,注浆过程中的压力、流量等参数都需要实时监控和调整,确保施工质量达到设计要求。项目完成后,通过对围岩稳定性和施工环境的后期监测,证实了该技术在软弱围岩段施工中的有效性,并为类似项目提供了宝贵的实践经验。

5 超前小导管注浆加固技术的未来发展与创新方向

5.1 技术的优化与改进空间

尽管超前小导管注浆加固技术已取得显著的应用效果,但在实施过程中依然存在提升空间。未来的技术发展将更加注重施工的精细化和智能化。注浆液的配比和流变性可以根据不同围岩特性进一步优化,以提高加固效果的均匀性和稳定性。施工过程中的注浆压力和注入时间的控制也有待进一步改进,以避免出现应力集中和不均匀加固的问题。施工中的智能化监控系统将成为未来技术优化的重要方向,实时监控施工数据,通过大数据分析实现自动化控制和反馈。这将进一步提高施工的精确性和安全性,减少人为操作失误,提高施工效率,降低施

工成本。

5.2 新型加固材料的探索与应用

新型加固材料的应用将在超前小导管注浆加固技术中发挥越来越重要的作用。复合型注浆材料的出现,提供了一种更为高效的解决方案,其优异的渗透性和粘结力使其能够更好地适应不同地质条件下的施工需求。相比传统材料,复合型注浆材料能够迅速渗透到围岩深处,与土壤颗粒形成更加紧密的结构,显著提高围岩的强度与稳定性。智能注浆材料的研发使得注浆工艺更加智能化,这些材料能够根据环境变化、温度或湿度的变化,自动调节物理性质,从而增强注浆效果,适应更复杂的地质条件。新型加固材料的应用不仅能提高施工效果,还能够减少施工时间和成本,并有效降低对环境的负面影响,符合可持续发展的理念,推动建筑行业的绿色发展。

5.3 多学科协同发展与技术融合趋势

工程建设领域的技术不断进步,推动了多学科协同合作的必要性。在超前小导管注浆加固技术中,地质学、材料学、施工技术与信息技术的融合,推动了技术的不断创新与完善。通过跨学科合作,能够更加精准地分析和解决施工中遇到的复杂问题,尤其在软弱围岩段的施工中,能够提高加固技术的针对性与效果。未来,人工智能和大数据的结合使得施工过程更加智能化,能够实时分析围岩的状态与变化,优化施工方案并提供决策支持。物联网技术的应用,使得施工设备和材料的状态可以实时监控,确保施工过程中的每个环节得到精准控制。这些技术的协同发展不仅提升了施工效率,还降低了工程风险,保证了施工质量,为加固技术的进一步发展奠定了坚实基础。

6 结语

本文通过对超前小导管注浆加固技术的分析,探讨了其在公路隧道软弱围岩段施工中的应用及相关技术要点。该技术能够有效增强围岩稳定性,减少因软弱围岩带来的施工风险。通过精确的注浆设计、科学的施工质量控制及完善的勘察评估,可以确保加固效果达到预期,并保障施工过程的顺利进行。未来,随着技术的不断发展和新型材料的应用,超前小导管注浆加固技术将进一步提高其施工效率和效果,推动隧道建设领域向着更加智能化、安全化的方向发展。

参考文献:

- [1] 张鹏,李洋.软弱围岩隧道施工中的加固技术探讨[J].岩土工程技术,2023,45(2):112-118.
- [2] 王莉,陈军.公路隧道施工中超前小导管注浆加固技术的应用研究[J].公路交通科技,2022,39(6):95-100.
- [3] 刘涛,黄建.超前小导管注浆加固技术的应用与实践[J].建筑技术,2024,55(7):75-81.
- [4] 李浩,张东.超前小导管注浆加固在隧道工程中的效果评估[J].隧道与地下工程,2023,50(3):123-128.
- [5] 赵敏,魏成.地质勘察在隧道加固施工中的作用与技术发展[J].地质与工程,2023,41(4):142-148.