

隧道施工中穿越富水断层破碎带的注浆加固技术应用

李海

湖北省武汉市，湖北交投建设集团有限公司，430073；

摘要：隧道施工技术在基础设施建设中占据重要地位，尤其是在复杂地质条件下的应用更为广泛。在我国，随着经济的快速发展和城市化进程的加快，隧道工程的需求日益增加。然而，在隧道施工过程中，富水断层破碎带的存在常常导致施工风险加大。富水断层破碎带通常表现为岩层的强烈破碎和水文地质条件的复杂性，给施工带来了严重的挑战。这一现象不仅影响了施工的安全性和效率，还可能导致大量的经济损失。研究富水断层破碎带的施工技术具有重要的实际意义。通过深入分析该区域的地质特征和水文条件，能够为施工方案的制定提供科学依据。

关键词：隧道施工；穿越富水断层破碎带；注浆加固技术应用

DOI:10.69979/3029-2727.24.09.020

1 富水断层破碎带的地质特征

富水断层破碎带主要是指由于地壳运动、岩石风化以及水文地质条件等因素作用下，形成的一系列破碎、松散的地质体。这类区域通常具有较高的水文渗透性和复杂的地质构造特征，给隧道施工带来显著挑战。

富水断层破碎带的地质特征首先表现在其岩体的物理和力学性质上。这些区域的岩石通常经历了不同程度的风化和破碎，导致其强度降低，变得更加脆弱。

富水断层破碎带的水文特征尤为显著。该区域通常伴随有丰富的地下水资源，尤其是在降水丰富的季节，地下水位上升，甚至可能形成涌水现象。研究表明，富水断层破碎带的渗透系数较高，水流动性强，施工过程中很容易出现涌水、涌砂等情况，增加了施工难度。

从地质构造来看，富水断层破碎带的形成与周围地质体的构造变动密切相关。这些断层往往呈现出多条交错的特征，形成复杂的构造体系。

2 注浆加固技术的基本原理

注浆加固技术是一种通过将流动性材料注入土体或岩体中，以提高其强度和稳定性的方法。注浆技术依赖于流体力学原理。注浆材料在高压下被注入到破碎带或不稳定区域，利用其流动性渗透到土壤或岩石的孔隙中。渗透过程中，注浆材料填充了空隙，减少了土体或岩体的空隙比，提高了整体密实度，从而增强了其承载能力。常用的注浆材料包括水泥浆、树脂浆和化学浆等。水泥浆具有良好的流动性和粘结性，适用于大多数土体和岩石的加固。而树脂浆则具有较高的强度和耐久性，适合在水环境中使用。不同类型的注浆材料可以根据施

工条件和目标效果进行选择，从而实现最佳的加固效果。某些注浆材料会在注入后与水或土体中的成分发生化学反应，形成固化物质。这种反应不仅提高了加固效果，还能够一定程度上改善土体的物理化学性质，增加其抗渗透能力，进而降低水对施工环境的影响。此外，注浆压力、注入速率、注浆时间等参数的合理选择直接关系到加固效果。施工过程中，实时监测和调整这些参数，可以有效避免因施工不当造成的加固失效现象。

3 隧道施工中穿越富水断层破碎带的注浆加固技术应用

3.1 注浆材料的选择与配比

注浆材料的选择与配比直接影响到加固效果和施工质量。在隧道施工中穿越富水断层破碎带时，合理的注浆材料不仅能够提高土体的承载力，还能有效降低渗透性，防止涌水和土体流失。选用适宜的注浆材料需考虑几个关键因素，包括土体特性、断层破碎带的水文地质条件、施工环境及经济性等。

水泥浆是常用的注浆材料之一，具有良好的强度和耐久性。根据破碎带的具体情况，可以采用不同类型的水泥，如普通硅酸盐水泥、矿渣水泥或特种水泥。配比方面，水泥与水的比例一般控制在1:0.4到1:0.6之间，具体比例需根据现场水文条件和材料性能进行调整。添加适量的外加剂，如减水剂和膨胀剂，可以改善浆体的流动性和抗渗性，增强加固效果。

聚合物浆也是一种有效的注浆材料，具有较好的粘结性和柔韧性。聚合物浆可以在一些特殊情况下替代传统水泥浆，特别是在高渗透性地层中。其配比通常为聚

合物与水泥的质量比控制在 1:2 到 1:4 之间,具体选择依赖于工程要求和材料性能。

在选择注浆材料时,需充分考虑断层破碎带内的水流情况。如果水流较大,可以采用膨胀性强的注浆材料,以确保浆体能够充填到破碎带的每个空隙中,避免因水流带走浆体而导致的加固失效。此外,针对含有高含水率的土壤,选择快速固化材料也可以提高施工效率,缩短施工周期。

3.2 注浆工艺参数的优化与控制

注浆工艺参数的优化与控制是确保注浆加固效果的关键。在隧道施工中穿越富水断层破碎带时,注浆压力、注浆速率、注浆时间等参数的合理设置和调整,直接关系到注浆材料的扩散范围、加固效果和施工安全性。

注浆压力的选择需根据断层破碎带的特性、注浆材料的性能和施工条件综合考虑。过高的注浆压力可能导致浆液流失,无法有效填充空隙,甚至可能引发地层失稳;而过低的注浆压力则可能使浆液无法渗透到预定的加固区域。因此,在实际施工中,应通过现场试验和监测,逐步调整注浆压力,以达到最佳的注浆效果。

注浆速率同样需要精心控制。过快的注浆速率可能导致浆液分布不均,加固效果不理想;而过慢的注浆速率则会延长施工周期,增加成本。因此,在确定注浆速率时,应综合考虑注浆材料的性能、注浆管道的直径和长度、断层破碎带的特性等因素,确保浆液能够均匀、稳定地注入到加固区域。

注浆时间的控制也至关重要。注浆时间的长短直接影响到浆液的固化效果和施工效率。在注浆过程中,应根据注浆材料的性能、施工条件和加固要求,合理确定注浆时间,确保浆液能够充分固化,达到预期的加固效果。

此外,注浆工艺的优化还需考虑施工环境和安全性。在富水断层破碎带中注浆时,应特别注意防止浆液流失和地层失稳等安全问题。为此,可以采取分段注浆、跳跃注浆等灵活多样的注浆方式,以减少施工对地层的影响,提高施工安全性。同时,加强施工现场的监测和预警,及时发现和处理潜在的安全隐患,确保施工顺利进行。

3.3 注浆过程中的监测与质量控制

注浆过程中的监测与质量控制是保证注浆加固效果的重要措施。在隧道施工中穿越富水断层破碎带时,由于地质条件复杂,施工难度大,因此必须加强对注浆过程的监测和控制,以确保注浆加固的质量和安全性。

注浆压力的监测是注浆过程中的重要环节。通过实时监测注浆压力的变化,可以判断浆液在断层破碎带中的扩散情况,及时调整注浆压力和速率,避免浆液流失和地层失稳等问题。同时,注浆压力的监测还可以为后续的注浆效果评估提供依据。

注浆材料的注入量也是控制注浆加固效果的关键因素。在实际施工中,应根据断层破碎带的特性和注浆材料的性能,合理确定注浆材料的注入量。通过监测注浆材料的注入量,可以判断浆液是否充分填充了破碎带的空隙,从而评估加固效果。如果注浆量不足,可能导致加固效果不佳;而注浆量过多,则可能浪费材料,增加成本。

此外,注浆过程中的质量控制还包括对注浆材料的性能、注浆管道的布置和密封性、注浆设备的运行状态等方面的检查和监控。通过加强对这些方面的质量控制,可以确保注浆加固过程的安全性和可靠性,提高加固效果,降低施工风险。

3.4 注浆加固效果的评估与后续处理

注浆加固效果的评估是确保施工质量的重要环节。在注浆完成后,应对加固区域进行检测和评估,以验证注浆加固是否达到预期效果。常用的评估方法包括钻孔取芯、声波测试、渗透试验等,这些方法可以直观地了解加固区域的土体强度、密实度和渗透性等指标,为后续的工程决策提供依据。

如果评估结果显示注浆加固效果不理想,应及时采取补救措施。可能的补救措施包括增加注浆量、调整注浆参数、更换注浆材料等,具体方案需根据评估结果和实际情况综合考虑。同时,对于加固效果不佳的区域,应加强监测和预警,防止发生安全事故。

注浆加固完成后,还需对加固区域进行后续处理。这包括清理注浆管道、封闭注浆孔、恢复地层原状等工作。这些后续处理措施不仅有助于保持加固效果,还能减少对施工环境的影响,确保工程的顺利进行。

3.5 注浆加固工程的成本控制与效益分析

在进行富水断层破碎带的注浆加固工程时,成本控制与效益分析同样不可忽视。注浆加固工程的成本涉及多个方面,包括注浆材料的采购、注浆设备的租赁和维护、施工人员的工资等。为了有效控制成本,应在保证加固效果的前提下,合理选择注浆材料、优化注浆工艺、提高施工效率。

一方面,可以通过对比不同注浆材料的性能和价格,选择性价比高的注浆材料,降低材料成本。另一方面,

通过优化注浆工艺,减少不必要的浪费,提高注浆材料的利用率,也能有效控制成本。同时,加强施工人员的培训和管理,提高施工效率,也能在一定程度上降低成本。

注浆加固工程的效益主要体现在提高隧道施工的安全性、缩短施工周期、降低后期维护成本等方面。通过注浆加固,可以增强断层破碎带的稳定性,减少施工过程中的安全事故,保障施工人员的生命安全。同时,注浆加固还能提高隧道的承载能力,延长隧道的使用寿命,降低后期的维护成本。因此,在进行注浆加固工程时,应综合考虑成本控制与效益分析,确保工程的经济性和可行性。

3.6 注浆加固工程的环境影响与可持续发展

注浆加固工程在隧道施工中穿越富水断层破碎带时,不仅需要考虑加固效果、成本控制与效益分析,还应关注其对环境的影响以及如何实现可持续发展。

注浆加固工程所使用的注浆材料,在固化后可能会对环境产生一定的影响。因此,在选择注浆材料时,除了考虑其性能和价格外,还应关注其环保性能,选择对环境影响小的注浆材料。同时,在施工过程中,应严格控制注浆材料的用量和注浆范围,避免对周围环境造成不必要的污染。

此外,注浆加固工程还应注重资源的合理利用和节约。例如,在注浆过程中,可以通过回收和利用注浆管道中的残余浆液,减少材料的浪费。同时,对于施工产生的废弃物,应进行分类处理和回收利用,降低对环境的影响。

为了实现注浆加固工程的可持续发展,还需加强技术创新和研发。通过研发新的注浆材料和注浆工艺,提高注浆加固的效果和环保性能,降低施工成本和对环境的影响。同时,加强与其他领域的合作与交流,借鉴先进的技术和经验,推动注浆加固工程的技术进步和发展。

4 施工过程中遇到的问题及解决方案

在隧道施工过程中,穿越富水断层破碎带时,常常会面临多种问题。首先,地质条件的复杂性导致了施工的不确定性,尤其是在注浆加固阶段,可能出现浆液无法达到预期渗透深度的问题。这种情况通常是由于破碎带的水流动性和岩土的高渗透性,浆液在注入后迅速被带走,造成加固效果不理想。为解决这一问题,可以采用改进的注浆工艺。在注浆前进行详细的地质勘探,明确水流动路径和破碎带的实际情况,选择适合的注浆材料和适当的注浆压力。同时,采用多点注浆的方法,

增加浆液的分布均匀性,以提高加固效果。

施工过程中可能会遇到浆液凝固时间过快或过慢的问题。在一些情况下,由于温度或其他环境因素,浆液的凝固时间与设计不符,影响了施工的连续性和安全性。为此,可以通过调整注浆材料的配比,使用添加剂来调节凝固时间,使用延缓剂来增加浆液的流动性,保证其在复杂地质条件下的有效渗透。

另外,施工团队的技术水平和经验也是影响施工效果的关键因素。在一些工程中,由于操作不当,可能导致注浆过程中出现堵塞现象,这不仅影响施工进度,还可能造成安全隐患。为了解决这一问题,施工单位应加强人员培训,提高技术水平,并在施工前进行模拟演练,以确保操作的规范性和准确性。

最后,环境因素的变化,如降雨或地震等,自然灾害可能会对施工造成额外的影响。遇到此类情况,项目组需根据实际情况及时调整施工方案,采取有效的应急措施,可以设置排水系统,确保现场的干燥和稳定,从而降低外界因素对施工的干扰。

5 结语

隧道施工中穿越富水断层破碎带是一项极具挑战性的工程任务,富水断层破碎带复杂的地质和水文条件给施工带来了诸多难题。注浆加固技术作为解决此类问题的有效手段,在提高土体强度和稳定性、降低渗透性等方面发挥了重要作用。通过对注浆材料的合理选择与配比、工艺参数的优化控制、过程的严格监测与质量把控、效果的科学评估以及成本效益和环境影响的综合考量,能够有效提升注浆加固的效果,保障隧道施工的安全与顺利进行。未来,为了更好地应对隧道穿越富水断层破碎带的施工挑战,还需进一步加强技术创新和研发。此外,积极开展跨领域的合作与交流,借鉴其他行业的先进经验和先进技术,推动隧道施工技术在富水断层破碎带等复杂地质条件下的不断进步,为我国基础设施建设的高质量发展提供有力支撑。

参考文献

- [1] 谭艳臣, 李德, 唐亮等. 强富水区山岭隧道穿越断层破碎带施工技术研究[J]. 科技创新与应用, 2024 (12): 173-176.
- [2] 高月娇. 帷幕注浆技术在隧道穿越富水断层破碎带施工中的应用[J]. 工程技术研究, 2024 (6): 70-72.
- [3] 杨建辉, 沈恺, 周杰等. 穿越富水断层破碎带隧道塌方机理分析与预防[J]. 工程地质学报, 2023 (1): 248-257.