

公路隧道穿越富水断层破碎带的施工技术研究

王恒强

中铁三局集团第六工程有限公司 山西 晋中 030600

摘要: 公路隧道建设在交通基础设施中占据重要地位, 在施工过程中, 富水地质和断层破碎带是常见的工程难点, 对施工安全、进度和质量影响重大。针对富水及断层破碎带地质特点及对隧道施工的影响, 本文从地质勘探、排水技术、围岩加固、施工工艺等方面进行了系统研究, 总结了超前注浆、冻结法、管棚支护、双侧壁导坑法等关键技术, 并结合工程案例分析了其应用效果。研究表明, 科学的地质调查、综合施工技术的合理应用是保障隧道施工安全和进度的关键。本文的研究为类似复杂地质条件下的隧道施工提供了技术参考。

关键词: 公路隧道; 富水; 断层破碎带; 施工技术研究

引言

随着交通运输需求的不断增加, 尤其是在山区及地形复杂的地区, 公路隧道成为了实现道路畅通和提高交通效率的重要工程措施。隧道施工中的富水与断层破碎带问题, 不仅要求施工方具备高水平的技术能力, 还需依赖于准确的地质勘探、精确的施工方案设计以及有效的施工方法。针对这一系列问题, 施工技术的不断创新与发展变得尤为重要。如何科学识别富水和断层破碎带的地质特征、如何制定高效的排水方案、如何在不稳定的围岩中确保施工安全, 这些都成为了公路隧道工程中亟待解决的技术难题^[1]。

1 富水地质对隧道施工的影响

富水地质条件对隧道施工的影响主要体现在涌水或在富水砂层施工, 泥沙随地下水冲入施工区域, 导致延误工期, 并可能引发围岩失稳、设备受损等; 长期水浸会削弱围岩强度, 导致坍塌、变形或滑移, 威胁隧道稳定性; 高水压对支护结构形成持续冲击, 可能导致渗漏或结构破坏; 大规模排水可能导致地下水位下降, 引发地表沉降或生态破坏, 排水中的污染物还可能危及地下水质量; 富水地层支护和防水设计复杂, 且施工困难, 容易导致渗漏问题; 富水地层需长期抽水以维持施工环境, 但高能耗和设备维护成本加重施工负担。

2 断层破碎带对隧道施工的影响

断层破碎带对隧道施工的影响主要体现在岩体稳定性差、渗水问题严重和施工难度增加。由于断层活动导致岩体破裂、错动和变形, 岩体强度降低, 稳定性差, 施工过程中可能面临坍塌、滑坡等风险^[2]。此外, 断层破碎带的渗透性较强, 地下水容易通过裂隙流动, 可能引发涌水现象, 尤其是在岩溶或富水层区域, 水流不均匀影响施工进度和安全。

同时, 断层破碎带的地下水活动强烈, 水流控制和排水管理成为施工中的关键问题。由于岩体破碎和不稳定, 隧道的支护结构设计必须特别考虑到局部区域的变形和额外压力, 增加了施工的复杂性。

3 富水与断层破碎带下的施工技术

3.1 前期地质勘探与风险评估

前期地质勘探与风险评估是隧道工程中至关重要的环节, 能够有效识别潜在的地质风险, 保障隧道施工的安全性和顺利进行。以下是几种关键的勘探手段:

地质雷达探测: 地质雷达是一种非破坏性的地质探测技术, 广泛应用于隧道工程的前期地质勘察。通过发射高频电磁波并分析其在介质中反射的信号, 能够有效识别岩层的破裂、断层、溶洞、空隙等异常结构。特别是对于断层破碎带, 地质雷达可以准确定位破碎带的范围及深度。

钻探结合抽水试验: 钻探是地质勘探的传统且重要手段, 通常与抽水试验结合使用。钻探通过垂直钻孔获取岩土样品, 以了解不同深度的地层特征、岩性、断层、破碎带等信息。而抽水试验通过在钻孔中注入水并测定水位变化, 能够有效准确测定地下水流速、渗透系数以及潜在的水源通道, 为施工中的水文地质问题提供详尽数据支持, 尤其是对于富水层和地下水涌水等问题的预测和防控至关重要^[3]。

三维地质建模: 三维地质建模是现代地质勘探中的先进技术, 通过综合分析钻孔数据、地震波数据、地质雷达数据等信息, 构建地下的三维地质模型。这种模型不仅能够直观呈现地下岩层、断层、溶洞等地质结构, 还能够反映地下水的分布情况, 使设计人员能够更加准确地识别潜在风险区域, 优化施工方案和支护设计。特别是在断层破碎带、岩溶带等复杂区域, 三维模型为决

策提供了重要的参考,减少了施工中的不确定性。

3.2 施工排水技术

3.2.1 超前排水法

(1) 管棚注浆法:在隧道开挖前,利用钻机将钢管按设计角度插入地层内,并通过钢管注入水泥浆或其他高强度、低渗透性的浆体,以封闭破碎带或富水地层中的水流通道。适用于破碎带、溶洞、断裂岩层以及地下水量丰富的地质条件。具有良好的水封效果,可显著降低施工风险,同时为后续隧道支护提供加固作用。

(2) 预注浆帷幕:预注浆帷幕是一种形成不透水屏障的超前排水方法。在隧道开挖前,通过在隧道周边钻孔注浆,构筑一道连续的注浆帷幕,阻断地下水流动。适用于高水压、高渗透性地层,特别是砂砾层、岩溶裂隙发育区等复杂地质环境。可大幅降低隧道开挖面及周边的水压力,增强隧道围岩的整体稳定性^[4]。

3.2.2 施工中排水技术

(1) 明排法:通过隧道底部排水沟将地下水引至施工区域外。适用于地下水压力较低的隧道施工环境。施工简单,排水路径直观。但当水量大或水压高时可能失效,且可能增加施工区域湿度,影响施工效率。

(2) 暗排法:通过铺设暗管或排水系统,将地下水收集并引流至安全位置排放。适用于水量大且需长时间排水的工程,在防止施工面长时间积水方面更为有效。但管道系统设计复杂,施工成本较高,需定期维护。

3.3 加固技术

3.3.1 断层破碎带处理技术

(1) 注浆加固法:通过在断层破碎带范围内钻孔注入高强度浆液,固结破碎岩体,提高围岩的整体性和稳定性。适用于破碎程度较大的断层、富水断裂带以及松散岩层。既能加固围岩,又能封闭水流通道,降低地下水危害。

(2) 钢拱架与锚杆结合支护:钢拱架与锚杆支护技术是针对断层破碎带提供高承载能力和长期稳定性的支护手段。适用于断层破碎带及软弱围岩区,特别是高应力及可能发生大变形的区域^[5]。

3.3.2 富水地质处理技术

(1) 冻结法:通过人工冻结技术降低地下水活动,形成稳定的冻结壁以支撑隧道开挖。适用于高渗透性地层、软弱地层等。可在短时间内形成防水、加固一体的支撑体,为施工提供稳定工作面;但施工成本较高,适用范围受冻结深度和岩层条件限制。

(2) 高压喷射注浆法:通过高速喷射浆液封闭岩层间裂隙,改善围岩的整体性,达到防水和加固双重目

的。适用于富水地层、渗透性较高的砂砾岩层等。施工灵活,能有效降低渗透性、封闭水流通道,改善围岩稳定性。但施工精度要求较高,需专业设备支持,注浆参数设计需结合地质勘察结果。

3.3.3 结合处理技术

在实际施工中,断层破碎带与富水地质常常叠加存在。因此,综合应用上述技术,结合排水、注浆及支护措施,可以实现对复杂地质环境的有效处理。例如,在高渗透性破碎带中,先采用注浆技术封闭水流通道,再利用钢拱架与锚杆支护加强围岩稳定性,同时结合冻结法控制水流,为施工提供多重保障。

3.4 开挖与支护施工工艺

3.4.1 开挖施工工艺

(1) 台阶法:台阶法将隧道开挖面分为若干台阶,通过分段开挖,减小施工面压力,逐步控制围岩的松动与变形。适用于软弱围岩、破碎带、富水地质等复杂地质条件下的隧道施工。能够有效减小开挖面的失稳风险,保证施工的安全性。但施工进度相对较慢,需要精确的地质勘察和开挖计划。

(2) 双侧壁导坑法:该方法先在隧道两侧分别开挖导坑,形成支撑结构,然后再进行中间区域的开挖。适用于断层破碎带、松散岩层等地质条件复杂的隧道施工。能有效控制开挖过程中的稳定性,从而保障施工的安全性。但工序较为繁琐,施工周期较长,且需要较高的施工技术。

3.4.2 支护施工工艺

(1) 初期支护:初支旨在确保施工安全并提供初步的结构支撑。主要通过钢架和混凝土喷层的组合,快速提供足够的支撑力,避免围岩的破坏或塌陷。适用于各种地质条件,特别是在高应力、高水位地区。但对于软弱围岩或不稳定区域,初支可能不足以应对较大的变形,需要及时地进行二次衬砌加固。

(2) 二次衬砌:二次衬砌是在初支施工后的进一步加固措施。在初支的基础上,进行混凝土浇筑,形成稳固的隧道内衬结构,主要目的是提高隧道的耐久性、承载能力和抗渗性。适用于各种类型的隧道,尤其是在长时间使用和高强度负荷的隧道中,二次衬砌是提高隧道结构稳定性和使用寿命的关键环节。

4 工程案例析

4.1 案例一:某高速公路隧道富水地段处理

该高速公路隧道位于喀斯特岩溶区,施工过程中隧道穿越富水地质带,地下水渗透性强,流动性大,尤其是在岩溶区,地下水通过裂隙、溶洞等通道大量渗透到

施工面,导致了频繁的涌水现象。

为解决涌水问题,并保证隧道开挖的安全性和进度,施工方采用了超前注浆法和明排法结合的综合处理方案,具体措施如下:

(1)超前注浆法:在开挖前的2-3个工作面,根据详细的地质勘探数据选择注浆孔位和深度,通过钻孔注入水泥浆体或高强度注浆液,确保注浆液能够有效覆盖到破碎带和裂隙分布区域,封堵岩层中的裂隙和溶洞,减少水流渗透。通过这一措施,不仅有效封闭了地下水通道,降低了涌水风险,还提高了岩体的稳定性,为后续的施工提供了相对稳定的工作环境。

(2)明排法:为进一步控制地下水流动,施工方在隧道底部设置了排水系统,采用了明排法。排水系统包括沿隧道底部设置的排水沟、排水管道及水泵装置,能够在施工过程中持续对涌水进行排放,防止水位过高对施工造成影响。通过明排法,有效地将地下水引流至安全区域,避免了水流在隧道内聚集,减轻了水压对围岩的影响,确保了隧道开挖面的稳定。

通过超前注浆和明排法的结合,水流量大幅减少,水压得到有效控制,施工进度恢复正常,避免了因涌水引发的施工停滞。注浆加固提高了围岩的整体稳定性,减少了因水流侵蚀导致的围岩软化和变形,降低了坍塌和滑坡的风险。

4.2 案例二:某公路隧道断层破碎带施工

该公路隧道位于天水市一个断层破碎带区域,施工中面临着破碎带较长且富水量大的挑战。由于断层破碎带内岩体破碎,渗透性强,地下水流动性大,涌水现象频繁,给隧道施工带来了极大的困难。为了有效控制地下水流动并加固围岩,施工方采用了冻结法和管棚支护技术的组合方案。

通过人工冻结技术在破碎带区域形成不透水的冻结帷幕,切断地下水流动通道。这一措施有效降低了水流的涌入,减少了水压对施工面的影响,为隧道的开挖创造了相对稳定的环境。同时,通过在隧道前方预先安装支护管棚,通过注浆封闭破碎带中的裂隙并加固围岩,

防止了岩体的大范围坍塌和变形。

通过冻结法和管棚支护技术的结合,施工方成功解决了涌水问题和围岩不稳定的问题,确保了隧道施工的顺利进行。该项目的成功经验为类似的断层破碎带区域提供了行之有效的施工技术看案。

5 结论与建议

富水地质和断层破碎带是公路隧道施工中的主要技术挑战,这些地质条件不仅影响开挖进度,还可能带来安全隐患。为了应对这些问题,科学的地质勘察和风险评估至关重要。通过采用先进的地质探测技术,如地质雷达探测、钻探结合抽水试验等,可以精确评估地下水流动和围岩情况,从而为施工提供重要数据支持。同时,结合先进的施工方法,如超前注浆、冻结法和管棚支护技术,可以有效解决涌水问题和围岩不稳定,提高施工的安全性和效率。

为了确保隧道施工的顺利进行,建议进一步加强地质风险评估,采用多种先进的探测技术,提升对复杂地质条件的预判能力。同时,推广注浆加固、冻结法等已验证的施工方法在不同地质环境下灵活应用。施工过程中应加强实时监控,确保及时发现并解决问题,避免施工停滞和事故的发生,保障项目按时、安全、高效完成。这些措施将为隧道施工提供有力保障,并为未来类似项目积累宝贵经验。

参考文献

- [1]李宪国.公路隧道工程穿越断层破碎带技术实践分析[J].黑龙江交通科技,2021,44(5):121+123.
- [2]穆天书.高速公路隧道穿越断层破碎带施工技术探讨[J].工程技术研究,2020,5(3):65-66.
- [3]翟玉华.隧道工程中穿越断层破碎带开挖施工技术的应用探究[J].中国公路,2020(21):234-235.
- [4]李伟.层次可拓模型在隧道施工风险评估中的应用研究[D].中南林业科技大学,2015.
- [5]王华贵.浅埋隧道管棚预加固理论及多种预加固后的上限研究[D].中南大学,2013.