

浅谈隧道断层破碎带的处理技术

付小军¹ 宁伟伟²

1. 西安方舟工程咨询有限责任公司 陕西 西安 710075

2. 陕西交控科技发展集团股份有限公司 陕西 西安 710075

摘要: 为了有效解决隧道施工期间遇到的不良地质断层和破碎带问题, 确保隧道施工的顺利进行, 需要深度剖析隧道穿越的断层破碎带以及相关处理技术, 制定具体的处理方案, 全面推动隧道施工的顺利进行。本文旨在分析隧道断层破碎带相关内容, 提出具体的处理技术, 通过超前预测以及施工勘察等多种方法有效应对断层破碎带对隧道施工的影响, 确保隧道施工和使用不会受地质条件的限制, 为隧道施工穿越整个断层破碎带提供基本的技术保障, 确保隧道施工的安全。

关键词: 隧道; 断层破碎带; 处理技术; 实践分析

在隧道工程施工过程中, 一般需要穿过断层破碎带, 在此种地质环境下进行施工将会影响隧道工程的施工进度和整体质量。这就要求施工单位及相关工作人员深度分析并了解断层破碎带的具体情况, 结合地质勘查数据, 选择具有针对性的施工方案进行断层破碎带处理, 为隧道工程的顺利进行和施工质量提升提供保障。同时, 做好隧道断层破碎带的有效处理可以为整个工程施工进度控制和质量提升提供保障, 确保隧道工程的顺利进行和后期使用的安全性。因此, 全面分析隧道断层破碎带处理技术, 确定具体的施工技术要点, 有助于隧道项目的顺利实施。

1 隧道断层破碎带概况

据《新疆区域地质志》、1:25万建造构造图、1:20万地质图、结合现场调查、遥感分析, 区域内断裂分布集中, 随构造线东西方向变化, 西天山隧道从南到北公路线穿越马热勒达什、喀拉温古泉、那拉提、哈尔克山、库木格热木几大断裂带。项目区断裂构造主要集中在隧道进出口区域。①F4断裂: 影响出口的F4断裂, 此断裂位于哈里克他乌山主脊以南, 呈舒缓波状近东北向延, 长度约7公里, 该断层沿北东向延伸, 断裂面东南倾, 岩层倾向约150°-160°, 倾角约70°-80°。该断裂主要部分位于本路线ZK144+100左侧约500m, 虽未与本路线相交, 但距离较近, 对路线隧道洞口边坡和围岩分级有较大影响, 断层附近岩石破碎, 强风化, 节理裂隙发育, 容易发生崩塌、掉块, 发育少量裂隙水, 同时围岩稳定性差。②F5断裂: 位于乌库尔冰河以北, 长度约27公里, 为北西向扭性断裂, 该断裂多出现在不能通行的冰川地带, 实测资料甚少, 但卫星照片反映清楚。该断裂面实测资料断裂面倾向西南, 岩层倾向约200°-210°, 倾角约75°。本路线在ZK144+630左右位置与该断裂相交, 相交处隐伏于河床覆盖层内。该断裂在河谷两侧山体上出露, 出露处岩体结构较破碎, 容易发生崩塌、掉块。③F3断裂: 为卡普斯朗断裂, 此断裂位于哈里克他乌山主脊以南, 呈舒缓波状近东西向延伸, 东段为北东向并有分支, 西段近东西向, 长度约140公里近东西向, 扭性断裂, 逆断层, 断裂面北倾, 倾角70°。该断裂主要部分位于本路线ZK145+330西南方向3.5公里外, 对路线的影响不大。④涌水量预测: 西天山隧道隧址区位于高山区, 降水丰富, 分布有多条冰川, 地表水资源相对富集。隧址区内地下水的补给、径流和排泄特征及动态变化受区内地质构造、地层岩性和地形地貌等因素的控制。进口段位于那拉提断裂断层构造带内, 构造作用促使岩体较为破碎, 节理裂隙发育, 地下水富集。隧道出口段位于木扎尔特河与乌库尔沟交汇处, 出口端处于崩坡积堆积体上, 自然山坡坡角约为35°~50°, 上部为高陡山体, 高差约500m, 主要为流纹斑岩, 固坡能力较好, 洞口主要分布F1断裂, 岩体破碎, 发育裂隙水。洞身段主要以志留系大理岩、白云质大理岩、石英片岩为主, 隧道后半段出露华力西晚期流纹斑岩侵入志留大理岩、白云质大理岩中, 岩体侵入接触部位岩层挤压较强烈, 岩体破碎, 节理裂隙发育, 岩浆冷凝后接触带局部发育间隙, 为地下水提供良好的运移通道和储存空间, 形成地下水富集带。

倾角约75°。本路线在ZK144+630左右位置与该断裂相交, 相交处隐伏于河床覆盖层内。该断裂在河谷两侧山体上出露, 出露处岩体结构较破碎, 容易发生崩塌、掉块。③F3断裂: 为卡普斯朗断裂, 此断裂位于哈里克他乌山主脊以南, 呈舒缓波状近东西向延伸, 东段为北东向并有分支, 西段近东西向, 长度约140公里近东西向, 扭性断裂, 逆断层, 断裂面北倾, 倾角70°。该断裂主要部分位于本路线ZK145+330西南方向3.5公里外, 对路线的影响不大。④涌水量预测: 西天山隧道隧址区位于高山区, 降水丰富, 分布有多条冰川, 地表水资源相对富集。隧址区内地下水的补给、径流和排泄特征及动态变化受区内地质构造、地层岩性和地形地貌等因素的控制。进口段位于那拉提断裂断层构造带内, 构造作用促使岩体较为破碎, 节理裂隙发育, 地下水富集。隧道出口段位于木扎尔特河与乌库尔沟交汇处, 出口端处于崩坡积堆积体上, 自然山坡坡角约为35°~50°, 上部为高陡山体, 高差约500m, 主要为流纹斑岩, 固坡能力较好, 洞口主要分布F1断裂, 岩体破碎, 发育裂隙水。洞身段主要以志留系大理岩、白云质大理岩、石英片岩为主, 隧道后半段出露华力西晚期流纹斑岩侵入志留大理岩、白云质大理岩中, 岩体侵入接触部位岩层挤压较强烈, 岩体破碎, 节理裂隙发育, 岩浆冷凝后接触带局部发育间隙, 为地下水提供良好的运移通道和储存空间, 形成地下水富集带。

2 断层破碎带的地质特征及危害

断层破碎带一般是由断层及其影响带共同组成, 岩体结构较为破碎, 地下水比较丰富。这些特征使得断层破碎在隧道开挖过程中容易出现坍塌以及涌水等地质灾害。其主要特征包括岩体破碎、地下水富集以及地应力

高。岩体破碎主要是指断层破碎带中的岩体由于受到强烈挤压或者剪切作用,形成大量裂缝和碎块,导致岩体整体强度降低;地下水富集主要是指断层破碎带的节理裂隙发育为地下水提供了良好的运移通道和存储空间,使得该区域的地下水丰富,增加了隧道施工的难度;地应力高主要是指隧道穿越断层破碎带时,地应力会集中释放,特别是在高地应力的位置处,容易导致围岩大变形甚至坍塌。此外,断层破碎带会对整个隧道施工产生一定的危害。由于岩体破碎,隧道开挖期间会出现局部或者大面积的坍塌,这种坍塌不但会影响施工进度,还会威胁人员安全,特别是在雨季或者冰雪融化季节,富集地下水区域会增加勘察风险;断层破碎带中的地下水通过节理裂隙会迅速地涌入隧道当中,从而形成突水突泥现象,这样不但会增加排水难度,还会导致施工设备被浸泡,严重影响施工,甚至会中断隧道作业;在高地应力条件下,断层破碎带围岩容易出现大变形,这种大变形会导致隧道断面形状出现变化,还会对隧道的稳定性和使用寿命产生影响;断层破碎带附近的岩体在高低应力的作用下容易出现岩爆,将会对隧道结构造成破坏,甚至会危及项目施工以及施工人员的安全。

3 隧道断层破碎带的处理技术分析

3.1 加强超前地质预报工作

在隧道施工期间,超前地质预报是施工的重要环节。结合勘察资料 and 不同勘测方法的特点采取针对性的超前地质预报是保障施工安全和施工质量的关键。地质分析法是一项基础的超前地质预报方法,这种方法通过对已有勘察资料以及相关资料进行分析,推测开挖过程中可能面临的地质情况。在使用此种方法时,需要每开挖30~60米进行一次素描,在复杂地段需要进行频繁的素描。超前钻探法主要包括冲击钻和回转取芯钻两种方式,一般被用在断层破碎带以及异常区域的地质当中,每次预报长度一般控制在1公里以内,前后两次搭接长度不小于10米。超前导洞法是一种直观的预测方法,这种方法通过在隧道掌子面前方开辟辅助导洞,直接地观察前方地质情况,一般此种方法被用在断层破碎带等复杂地质段当中,辅助导洞的长度和位置需要结合具体的地质条件进行调整。

3.2 做好装备配置工作

在隧道施工通过断层破碎带时,其本身所具备的超强处理能力和前进保障能力尤为重要。为保障施工的顺利进行,需要做好装备配置工作。其中,TBM设备应当搭载三维地震波探测系统,通过地震波反射原理探测掌子面前方50~100米范围内的地质情况。这种方法可以

对断层以及破碎带等不良地质的位置和规模进行有效识别,从而为后续施工提供准确的地质信息。同时需要配置大功率的管棚钻机,通过护盾预留孔或者护盾外侧向前钻孔套管跟进,回收钻杆并注浆加固,以实现管棚支护。这种装备配置可以在断层破碎带中建立稳定的支护结构,确保隧道施工的稳定和安全。配置带模注浆设备能够在保障围岩破碎不满足撑靴前进需求的条件下创造前进条件,通过注浆的方式进行围岩加固可以增加其稳定性,以确保TBM设备的顺利进行^[1]。配备相应的推进系统和推力转换系统可以在撑靴无法提供反力时,通过钢管片提供反力。这种系统可以在复杂地质条件下对TBM的进行调整,从而确保隧道施工的连续性和有效性。

3.3 超前注浆加固处理

在对隧道断层破碎带进行处理时,需要对掌子面进行超前注浆加固处理,以确保其稳定性和安全性。在预注浆前需要认真分析勘测资料,通过超前地质预报以及超前物探等多种方法探明地下水以及岩溶裂隙水的发育情况,严格坚持有疑必探和先探后掘的原则进行施工风险管控,以确保隧道施工的安全性。首先,需要明确具体的施工流程,做好超前注浆施工的准备。注浆孔长度一般为4米,每循环注浆长度为4米,注浆后开挖3米,预留1米不开挖进行下一循环搭接,在施工过程中,可以结合超前地质预报对注浆段落进行调整。其次,注浆孔应当从掌子面沿开挖方向自隧道中心线呈伞状布置,并在盾壳上预留的注浆孔位进行灌浆^[2]。注浆顺序应当按照全段式注浆辅助分段式前进注浆进行。最后,在完成注浆之后,施工人员需要对掌子面表面是否存在浆液溢出现象以及注浆压力大幅度升高情况进行监测,以此来确定是否达到闭浆条件。

3.4 超前管棚施工

在隧道断层破碎带施工过程中需要进行超前管棚施工,以此来达到加固的作用。首先,施工人员需要结合施工设计方案确定管棚设计的具体参数,明确超前管棚断面布置参数以及其他材料的参数,从而更好地满足后续施工需求。其次,在钻孔和安装过程中,需要从TBM尾盾外侧向掘进方向钻孔,为保障钻孔的质量,需要使用测斜仪量测钢管钻进的偏斜度,如果偏斜度较大,需要及时纠正并做好每个钻孔的施工记录。随后则需要根据施工要求进行注浆施工,并做好相关设施的安装工作。另外,在具体的施工过程中,还可以辅助帷幕注浆以及周边注浆的方法进行支护处理。在涌水规模较大的地段,并且探测孔在放水过程中,其水压和水量呈现递减趋势,通过预测分析开挖之后,可能会造成一定程度

的围岩坍塌。在高压引水风险较高时,应当停止TBM掘进并采取注浆的方式进行加固堵水处理,以确保围岩结构的稳定性和施工的安全性。针对隧道周边地层裂隙较大,开挖之后隧道周边存在大面积淋水或者严重渗漏水,但是围岩结构稳定性较好,不会对掘进产生影响的地段,一般会在开挖之后采取周边注浆的方法进行处理^[3]。在具体的注浆施工过程中,需要合理设定施工方案,做好施工准备工作,并结合设计方案进行测量放线,开展注浆试验,推动隧道施工的顺利进行。在完成所有准备工作之后,需报验,才能施工。

3.5 支护处置技术

针对隧道断层破碎带,在围岩露出护盾之后,施工人员应当及时采取连续钢筋排和拱架以及高性能喷射混凝土的方式进行支护处理,跟随着掘进施工进行有效的支护处理,科学规避破碎体坠入到隧道内部。同时用钢管片进行初期支护,并做好钢管片的回填工作。在钢筋排施工过程中,需要使用 $\phi 20$ 的螺纹钢根据施工设计要求进行加工处理,将加工好的钢筋运输到需要安装的位置处。在掘进施工过程中,施工人员需要提前做好钢筋排的处理,并将其放置到存储舱内。随着掘进施工的进行,施工人员需要逐步地安装钢拱架和钢筋排,使钢筋排铺设在整个隧道的岩面之上。在TBM的施工过程中,特别是在其撑脚位置的围岩加固阶段,TBM主要通过支撑靴对洞壁进行支撑,利用反作用力推动设备前进。当边墙岩壁的强度足以承受支撑靴的压力时,TBM能够正常推进^[4]。对于较小的边墙坍塌区域,可以通过调整支撑靴的支撑力来减轻对围岩的压力,从而降低TBM的推力和速度,确保设备能够在不停机的情况下通过坍塌区域。如果边墙较为软弱,可以在支撑靴处增加垫木增大接触面积,随后继续掘进。当边墙发生较大坍塌或边墙围岩强度不足以支撑楔压力时,可以采用喷锚网、钢拱和模筑混凝土的组合支护方式进行处理,并在局部区域换填混凝土后进行支撑通过。

3.6 排水处理

TBM配备的排水系统主要用于排除隧道内的渗水、施工机械用水以及一般涌水。当涌水量较小时,可以采用潜水泵进行排水,将其放置在刀盘后方,通过软管将废水抽至指定位置,由隧道洞内的排水系统将其排出到

洞外的污水处理池当中。如果隧道内的涌水量较大,则需要结合涌水量启动污水潜水泵,由多个设备共同排除洞内的污水。如果隧道内出现集中涌水险情,需要立即启动应急预案,组织施工人员进行设备以及材料等多个方面的抢险工作。首先,需要合理调配项目人员以及施工设备和材料,并将这些资源全部投入到隧道洞内的排水工作当中。等到洞内水位下降到不影响TBM进施工的位置时,可以一边抽水一边进行掘进施工并做好隧道初期支护处理。其次,TBM掘进通过漏水区域之后,施工人员应当按照基岩裂隙的漏水缝方向打注浆孔,进行双液浆止水。在止水过程中需要及时观察地下水的情况,及时做好施工反馈,科学指导TBM掘进施工和注浆止水施工的进行^[5]。最后,需要做好涌水段的安全监测工作,采取多种方式进行监测,以确保隧道施工安全。此外,在隧道断层破碎段处理过程中需要做好资源配置工作,合理安排抢险人员,划分抢险人员工作职责和工作时间,以确保整个隧道施工的安全性和有效性。

结束语

综上所述,隧道断层破碎带的处理技术主要包括超前地质预报以及注浆加固等多种方法。通过深度分析并合理选择相应的施工技术方法,可以有效提高隧道施工的安全性和稳定性,进而帮助施工单位合理规划施工进度,确保施工质量的有效性。在未来,施工单位需结合先进的勘测方法和施工技术,深度剖析并优化断层破碎带处理技术,为整个西天山隧道工程的顺利建设和工程的安全使用提供更加可靠的技术支持和安全保障。

参考文献

- [1]付艳斌,王福道,陆岸典,等.断层破碎带海底盾构隧道管片纵向沉降解析解及应用[J].岩土工程学报,2023,45(7):1393-1401.
- [2]胡愚.青岛地铁隧道穿越断层破碎带突涌水灾害稳定性分析及防控[D].山东:青岛理工大学,2023.
- [3]王松.深埋隧道穿越富水断层破碎带围岩失稳力学判据及稳定性研究[D].辽宁:辽宁工程技术大学,2023.
- [4]张德文,苏定武.基于生态保护的断层破碎带隧道注浆堵水研究[J].现代隧道技术,2022,59(3):46-52.
- [5]王振文.隧道穿越断层破碎带围岩变形控制技术研究[D].陕西:西安工业大学,2023.