

文章编号: 1674—8247(2021)04—0103—08
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2021.04.020

TBM 穿越富水构造风化破碎带脱困处理方案研究

朱廷宇 王唤龙

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘 要: TBM 因其具备施工快速、作业安全、机械化程度高等优良特点,近年来在我国火成岩地区长大隧道施工中得到了广泛应用,而受制于有限的超前地质预报手段以及无法进行有效的超前预加固,亦致使其在软弱破碎地层中卡机频发。TBM 卡机原因众多,如穿越断层破碎带、岩性接触带、软弱围岩溜塌等;由于围岩工程地质条件的差异,TBM 脱困处理方案也有所不同。本文以大瑞铁路高黎贡山隧道出口平导 TBM 穿越富水构造风化破碎带出现卡机为依托,从富水构造风化破碎带工程地质特征以及 TBM 工法特点入手,重点研究了 TBM 自行脱困、高位处理脱困以及反向处理脱困 3 种方案,为 TBM 穿越富水构造风化破碎带提供思路以供决策,并为 TBM 穿越类似地层提供借鉴。

关键词: TBM; 卡机; 脱困处理; 构造风化破碎带; 方案研究

中图分类号: U455.4 **文献标志码:** A

Countermeasures of Jammed TBM in Shattered Weathered Zone of Water-rich Structure

ZHU Tingyu WANG Huanlong

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: Tunnel boring machine (TBM) has been widely used for long tunnel excavation in igneous rock areas in China in recent years for its excellent characteristics in speed, safety, and degree of mechanization. It is subject to, however, frequent jamming in weak and fractured formations due to the limit of geological prediction and ineffective advanced pre-reinforcement. There are many reasons for TBM jamming, such as crossing fault fracture zone, lithologic contact zone, weak surrounding rock slipping, and so on, thus, the countermeasures of jammed TBM vary with the different geological conditions of the rocks. Based on the case study of the jammed TBM in the shattered weathered zone of water-rich structure at the exit of Gaoligongshan Tunnel of Dali-Ruili Railway, this paper introduces at first the geological features of the shattered weathered zone of water-rich structure and the characteristics of TBM method, and then focuses on three ways, namely TBM self-release, high treatment, and reverse treatment, to provide the ideas for TBM crossing the shattered weathered zone of water-rich structure, and reference for future TBM crossing the similar formation.

Key words: TBM; jamming; release countermeasures; structural shattered weathered zone; study of plan

TBM 具有施工速度快、施工质量优、机械化程度高、技术含量高、劳动强度低、施工环境好、造就人才快等特点,广泛应用于铁路、公路、矿山、水利、水电、市

政、地铁、穿越江河等领域的隧道和地下工程建设当中^[1]。众所周知,TBM 一般用于地质条件好的地层,但目前在地质复杂区域以及长大隧道无辅助坑道条件

收稿日期:2020-10-05

作者简介:朱廷宇(1990-),男,工程师。

引文格式:朱廷宇,王唤龙. TBM 穿越富水构造风化破碎带脱困处理方案研究[J]. 高速铁路技术,2021,12(4):103-110.

ZHU Tingyu, WANG Huanlong. Countermeasures of Jammed TBM in Shattered Weathered Zone of Water-rich Structure[J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(4):103-110.

下,也采用了大量的 TBM。

由于 TBM 设备庞大,对地质条件适应性没有钻爆法那样灵活,在没有预警的情况下遇到不良地质条件时,TBM 掘进受到的影响远大于钻爆法开挖^[2]。在以往地质条件复杂地区的 TBM 施工实践中,出现了大量卡机受困的情况,造成 TBM 停工处理,严重削弱了其施工进度快的优势,甚至有的工点平均进度低于类似地层的钻爆法施工。

为实现安全、快速的脱困处理并充分发挥 TBM 施工的优势,学者们开展了大量的研究,并且进行了成功的实践。温森^[3]等对深埋隧道 TBM 卡机机理及控制措施进行了研究,提出了护盾区域围岩变形计算模型以及停机和连续掘进两种工况下的临界预留变形量及临界超前支护强度的计算模型。陈馈^[4]等从地质水文条件、TBM 装备及 TBM 施工队伍全面分析总结引发 TBM 施工风险的因素,并制定了针对性应对措施。刘建平^[5]等提出在护盾顶部人工开挖小导洞,并利用小导洞对刀盘上方、前盾顶部的积渣进行清理,减少刀盘转动阻力,同时利用小导洞对前方不良地质围岩进行超前加固完成 TBM 脱困。吕炎浩^[6]、董泗龙^[7]提出采用管棚支护结合化学灌浆加固松软岩体的方法,减轻松软岩体对刀盘和护盾的压力和扭阻力,实现了 TBM 自身脱困。徐虎城^[8]针对大断层破碎带卡机,采用超前地质预报和化学灌浆相结合的方法使 TBM 顺利脱困。杨晓迎^[9]等在断层构造岩卡机中采取开挖上导洞和侧导洞的方式彻底解除 TBM 护盾上的压力,同时挖除刀盘前方松散岩体,使 TBM 成功脱困。尚彦军^[10]等认为在褶皱、断层和软弱围岩同时存在的复杂地质条件下,围岩的持续挤压作用和大变形会导致 TBM 卡机;此外,在高地应力区和软弱围岩段,侧向和顶部同步扩挖可避免护盾不均匀的塑性变形。赵毅^[11]通过在刀盘内超前钻孔、在孔口混合和高压灌浆实施双组分化学浆液,快速完成了加固坍塌体、软弱破碎岩层及有效脱困。针对高黎贡山隧道敞开式 TBM,软弱破碎围岩地段施工易卡机是隧道施工的重难点,洪开荣、宋法亮^[12-13]等提出了 TBM 超前地质预报、钢筋排及钢拱架与喷射混凝土联合及时支护、导洞开挖及合理调整掘进参数等一系列确保 TBM 连续施工的方案与措施,张兵^[14]等提出掌子面前方化学灌浆加固、小导洞开挖及超前管棚等方法联合帮助 TBM 脱困。

综上所述,TBM 脱困处理方法包括掌子面周边化学注浆加固、超前管棚棚护、导洞法等,上述研究对于

断层破碎带等软弱地层 TBM 卡机处理提出了针对性的应对方法,但此类超前加固或者导洞等方法受限于不同工点特有的工程地质条件而不具有普适性,导致高黎贡山隧道出口平导 TBM 在采用上述方法后并未收到较好的效果。本文针对高黎贡山隧道出口平导 TBM 穿越富水构造风化破碎带遭遇卡机的问题,基于富水构造风化破碎带地质特征、卡机机理以及 TBM 工法特点,重点研究了 TBM 原位脱困、高位处理脱困以及反向处理脱困三种处理方案,使 TBM 得以成功穿越富水构造风化破碎带。

1 工程概况

亚洲第一铁路长隧—大瑞铁路高黎贡山隧道全长 34.538 km,为设计速度 140 km/h 的单线电气化铁路隧道。隧道最大埋深为 1 155 m,地质条件极为复杂,具有“三高”(高地热、高地应力、高地震烈度)、“四活跃”(活跃的新构造运动、活跃的地热水环境、活跃的外动力地质条件、活跃的岸坡浅表改造过程)的地质特征,洞身分布有 19 条断层和 2 个向斜。

为解决工期,兼顾通风、排水等要求,结合地形、地质条件,高黎贡山隧道采用“1 平+1 斜+2 竖”的辅助坑道设置,其中贯通平导长 34.586 km。隧道出口端以燕山期花岗岩为主,采用 TBM 掘进施工,正洞采用 1 台直径 9.0 m 敞开式 TBM 施工,TBM 掘进长度为 12.5 km,平导施工采用 1 台直径 6.36 m 敞开式 TBM 施工,TBM 掘进长度 10.6 km。高黎贡山隧道平面示意如图 1 所示。

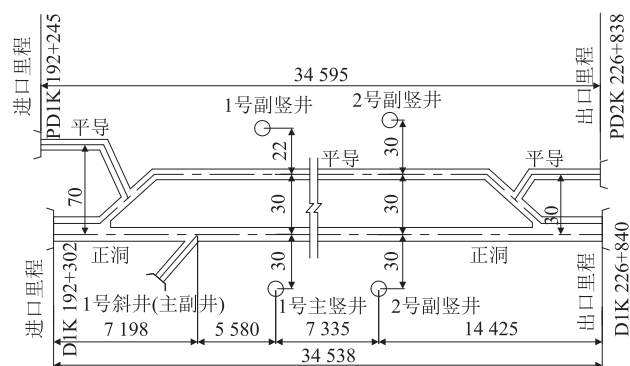


图1 高黎贡山隧道平面示意图(m)

2 前期 TBM 卡机处理

高黎贡山隧道 TBM 施工段地层为花岗岩,受深大断裂及多期岩浆侵入蚀变等影响,隧道洞身节理密集带或蚀变破碎带发育,其分布不规则,不连续,围岩变

化频繁。节理密集带岩体呈强风化碎块状、角砾状或全风化砂砾状,部分风化蚀变成黏土,围岩稳定性差,遇水易掉块或垮塌,呈松散碎块状堆积体或砾砂质浑浊泥石流状。节理密集破碎带及蚀变带主要存在高压涌水突泥,坍塌、掉块,涌水等工程地质问题。高黎贡山隧道平导 TBM 于 11 月 25 日始发掘进,正洞 TBM 于 2018 年 2 月 1 日始发掘进,截止 2020 年 5 月 26 日,高黎贡山隧道出口平导 TBM 施工 4 475 m,正洞 TBM

施工 5 143 m,共计 9 618 m。TBM 已施工段出现掘进受困(卡机)共计 11 次,其中平导掘进受困 6 次,正洞掘进受困 5 次。

2.1 卡机段不良地质类型简述

高黎贡山隧道 TBM 前期卡机遭遇的不良地质类型主要有岩性接触带、断层破碎带、粉细砂侵入、掌子面溜坍及涌水,其地质特征以及引发卡机的原因如表 1 所示。

表 1 高黎贡山隧道 TBM 卡机段不良地质类型表

不良地质类型	地质条件简述	卡机原因分析
岩性接触带(以平导 PDZK 225 + 287 卡机为例)	该位置为白云岩、砂岩与花岗岩接触带,岩性接触带受扰动后沿接触面结合位置滑塌,大块状岩块堆积于刀盘	岩块与刀盘咬合交错形成极大的阻力,造成刀盘扭矩过大不能转动,致使卡机
断层破碎带(以平导 PDZK 221 + 781 卡机为例)	围岩为花岗岩,全~强风化,完整性差,整体破碎,呈角砾状夹杂细渣,刀孔均为泥沙状松散渣体,刀孔均被堵塞,地下水发育,掌子面股状出水,水量约 100 m ³ /h,围岩遇水软化,有流塑状渣体从刀孔内涌出	大量软弱破碎围岩受扰动后呈泥沙状包裹在刀盘面板上,即常见的刀盘结泥饼、糊刀盘,致使刀盘旋转阻力增大,无法转动
粉细砂侵入(正洞 DIK 224 + 212 卡机)	掘进过程出现超量出渣现象,掌子面整体呈泥沙状,左侧拱腰位置有线状出水,其余部位遍布滴状或线状出水,掘进过程中掌子面不能自稳,泥沙状渣体不断涌入刀盘	超量出渣导致皮带机压力过大,且掘进扭矩持续增大至极限,致使 TBM 卡机
掌子面溜坍(平导 PDZK 222 + 272 卡机)	皮带机上出现大块渣体及大量出水,掌子面围岩整体破碎,拱部持续垮塌掉块,整体风化程度高,掌子面及拱部整体出水,水量约 150 m ³ /h,且携带渣体不断流出	破碎渣体在刀盘旋转过程中持续涌入刀盘。一方面造成刀盘扭矩增大,电机超负荷运行后极易自我保护跳停,致使无法加大推力,造成无法推进;另一方面皮带机压力增大,无法正常出渣,进而导致不能正常推进
涌水(正洞 DIK 226 + 014 卡机)	掌子面突发涌水,地下水裹挟岩渣进入刀仓后分别自防尘盾底部、主大梁刀盘出入口、1 号皮带机处涌出,水质泛黄浑浊,涌水量约 500 m ³ /h	涌水致使拱部形成大型空腔,TBM 掘进受阻

2.2 卡机处理方案

由表 1 可以看出,前期 TBM 卡机多为刀盘被卡无法转动、扭矩及推力达到极限无法推进、超量出渣导致皮带机压力过大、护盾被卡抱死等。TBM 脱困的原理是采取一系列措施尽可能减小刀盘阻力和护盾阻力,使其满足 TBM 掘进施工的脱困扭矩及推力,过程中需采取加强支护手段,保证初支强度,必要时采用钻爆法辅助通过。一般在 TBM 卡机脱困实践中,较常用的方

法有注浆加固(包括超前化学灌浆)、超前循环管棚、护盾上方施作小导洞、迂回导坑法等,可根据不同的卡机位置、成因予以单一或组合选用。

本次结合高黎贡山隧道出口 2 台 TBM 前期遭遇 11 次卡机的处理情况,从 TBM 遭遇不良地质类型划分、TBM 卡机原因分析入手,对卡机处理方法进行系统总结,如表 2 所示。

表 2 高黎贡山隧道 TBM 前期卡机处理方案表

脱困处理方案	适用条件	方案简述	处理流程	施工周期
超前化灌	针对围岩弱~中风化,局部强度低,局部坍塌或小范围剥离整体具有一定自稳能力的小规模坍塌段,主要采取超前化灌方案通过不良地质段	通过护盾尾部拱部斜向前方打设小导管及掌子面打设玻璃纤维管进行化学注浆加固后,进行刀盘清渣恢复掘进施工。刀盘内钻孔注浆采用玻璃纤维管,采用此方法超前加固注浆均需使用化学浆液。根据不良地质范围,可循环使用此方案通过不良地质段	<div><div>遭遇不良地质</div><div>↓</div><div>盾尾打设泄水孔</div><div>↓</div><div>盾尾浅孔化灌加固</div><div>↓</div><div>刀盘内化灌加固</div><div>↓</div><div>刀盘内及周边清渣</div><div>↓</div><div>掘进</div><div>↓</div><div>揭露围岩加固</div><div>↓</div><div>通过不良地质段</div><div>下一循环</div></div>	单循环加固周期约 3~7 d

(续表 2)

脱困处理方案	适用条件	方案简述	处理流程	施工周期
“短注长支”法	针对围岩强~全风化,局部具有强度,整体自稳能力差,拱顶及洞壁垮塌、剥落严重,破碎带宽度较小,地下水较发育的破碎带	首先进行掌子面及盾尾化灌加固(即短注),后施作深孔管棚(即长支)。超前加固完成后对刀盘内及周边渣体清理恢复掘进。后续掘进中采用上述措施循环加固直至掘进通过不良地质,管棚搭接长度不小于 5 m。围岩揭露后破碎段满铺钢筋排并应急喷混凝土封闭,撑靴部位破碎严重时模筑混凝土,破碎段封闭后径向注浆加固		单循环加固周期约 10 ~ 15 d
导洞法	针对围岩强~全风化,整体强度低自稳能力差,拱顶及洞壁大面积垮塌,地下水发育的破碎带	通过护盾尾部及刀盘内径向对周边围岩进行加固,加固完成后在护盾上方开挖小导洞并进行环向扩挖形成管棚工作室,在管棚工作室内打设超前管棚并超前注浆加固,超前加固完成后对刀盘上方、前盾顶部的积渣进行清理,减小刀盘转动阻力,完成后 TBM 掘进通过		约为 20 ~ 30 d
盾体扩挖 + 超前管棚法	针对在富水段且风化程度极高的地层,不良地质遇水泥化,整个围岩原结构受力重新分布,地质情况进一步复杂化的突水涌泥地层	突水涌泥段 TBM 卡机脱困主要是对小导洞法脱困的进一步优化,针对护盾受不良地质围岩挤压被“抱死”等问题,结合导洞法主要进行两方面工作:一是针对掌子面不良地质进行超前加固,二是在掌子面不良地质加固的基础上,进行护盾上方扩挖,减小护盾压力,实现盾体脱困		约为 30 ~ 60 d
迂回导坑法	针对围岩风化程度极高、整体自稳能力极差且易变形、收敛,地下水极发育,其宽度一般大于 30 m 的大规模破碎带。	针对断层破碎带宽度极大已无法采用上述方案进行 TBM 脱困时,可采用迂回导坑法进行 TBM 脱困。首先,综合施工难度,作业空间要求、工期、成本、设备等各方面因素,确定迂回导坑最佳开口位置。然后,利用风镐配合人工开挖及控制爆破方式开挖迂回导坑绕行至 TBM 前方,对断层破碎带进行矿山法处理。最后,TBM 步进通过该断层后,恢复正常掘进施工		根据不良地质范围与施工组织难度而定

3 PDZK 221 + 481 卡机灾害情况

3.1 PDZK 221 + 481 卡机情况概述

高黎贡山隧道出口平导 TBM 掘进至 PDZK 221 + 481 时出现极限推力无法推进的现象,随后掌子面出

现溜坍,大量泥沙状渣体随水流不断自刀盘入口处涌出,造成隧底大量积渣。同时 TBM 护盾及盾尾主梁区域拱部围岩出现沉降,拱部岩体间形成错台,顶护盾被围岩挤压下沉(原有限位块受挤压弯曲变形),盾尾钢架局部扭曲变形,致使 TBM 卡机受困,如图 2 所示。

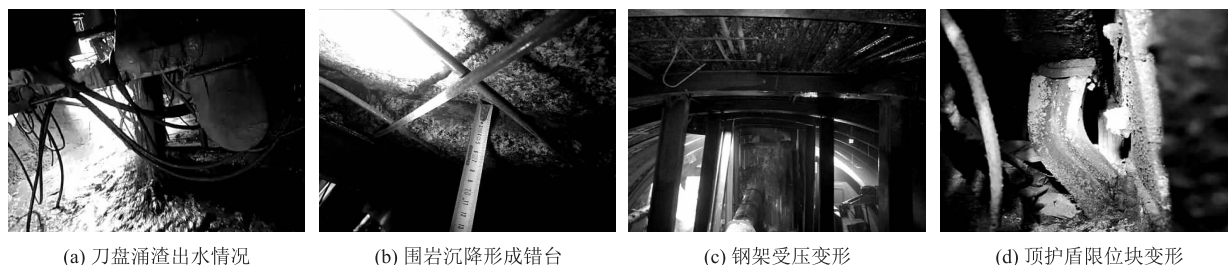


图 2 PDZK 221 + 481 卡机情况图

3.2 PDZK 221 + 481 工程地质特征分析

3.2.1 地质探测情况

为探明卡机段不良地质的规模、范围,本次进行了以钻探为主的地质探测,并结合卡机处理钻孔情况,施做了泄水孔、超前探孔及超前管棚共计 156 孔,其中出现卡钻、埋钻、顶钻、裹钻现象共 73 孔,出现钻孔涌泥现象共 5 孔,突涌高压水探孔共 10 孔。

通过地质探测反馈,平导 PDZK 221 + 481 卡机段岩体破碎—极破碎,且高压富水,在地下水软化作用下,围岩泥化现象明显,呈泥土状,稳定性极差;对应正洞段岩体以强—弱风化花岗岩为主,围岩稳定性稍好,地下水以滴状及线状为主。

3.2.2 区域地质情况

隧区位于印度板块与欧亚板块相碰撞的板块结合带,为青、藏、滇、缅巨型“歹”字型构造西支中段弧形构造带与经向构造带之“蜂腰部”南段,段内怒江断裂带和泸水—瑞丽断裂带紧密挤压成平行索状,两断裂带间三角地带为侵入的花岗岩体。卡机段 400 m 外发育一断层,断裂附近岩体破碎,糜棱岩、碎裂岩发育,沿断层有花岗岩侵入。

3.2.3 PDZK 221 + 481 工程地质特征

因 PDZK 221 + 481 受困段处于断层附近,节理裂隙发育,岩体破碎,加之山体雄厚,基岩裂隙水发育,同时该段处于不同期次花岗岩接触带,发育有不同期次花岗岩,蚀变岩带发育,蚀变严重,且具有绿泥石化、泥化现象,属富水构造风化破碎带(如图 3 所示),本次平导 TBM 卡机段位于构造风化破碎带核部,对应正洞位于构造风化破碎带边缘。

4 初期措施及效果

结合 PDZK 221 + 481 卡机情况、工程地质特征以

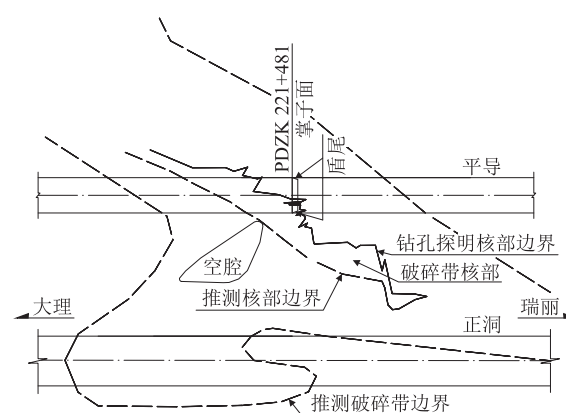


图 3 富水构造风化破碎带发育示意图

及前期高黎贡山隧道 TBM 脱困处理的经验,本次脱困处理首先采用了分步骤、分阶段的处理方案。

4.1 “短注长支法”处理阶段

针对掌子面涌渣、TBM 护盾下沉及盾尾主梁区域拱部出现变形沉降等情况,现场首先采取了盾尾变形区域增设临时支护、喷混凝土封闭围岩、超前地质钻探等措施进行应急处理,后制定了盾尾超前长管棚注浆配合掌子面刀盘周边注浆加固的措施,通过改良围岩后减小护盾围压,实现 TBM 脱困。

现场按照上述方案进行超前预加固过程中,左侧钻孔频繁出现卡钻、泥浆裹钻、顶钻等情况,同时防尘盾观察孔、刀盘入口处流塑状泥沙间歇性涌出,对皮带、刀仓积渣清理后刀盘内再次涌泥压死皮带、积满刀仓后涌至隧底。

4.2 “导洞法”处理阶段

鉴于“短注长支法”处理存在钻孔困难、注浆加固效果难以保证的问题,不适用于本次脱困处理,现场随即采用导洞法进行处理,在护盾上方开挖小导洞并进

行环向扩挖形成管棚工作室,同时对不良地质体提前减压泄水,并进一步探测 TBM 前方地质情况,于平导右侧增设了迂回导坑及泄水、探测洞室,如图 4 所示。

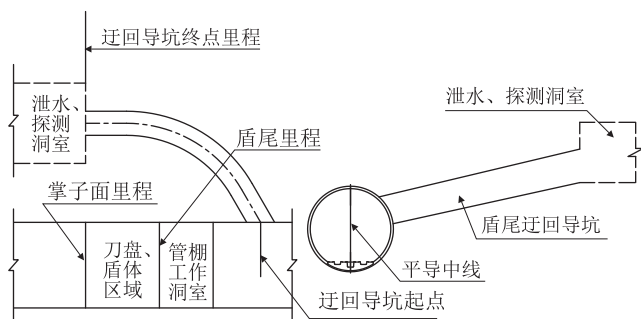


图4 盾尾迂回导坑及泄水、探测洞室示意图

盾尾迂回导坑及管棚工作室施作完成并开展了一系列探测措施,即将进行超前管棚注浆时,管棚工作室拱部喷混凝土出现局部开裂,同时管棚工作室开口处钢架左侧竖撑弯曲变形,随之钢架变形处突发涌水,期间涌水量 $300 \sim 700 \text{ m}^3/\text{h}$,水质浑浊,且携带细渣及泥沙,致使 TBM 盾尾后方 70 m 产生泥沙淤积,其中盾尾区域淤积深度达 5 m 。

4.3 初期措施失败原因分析

首先,PDZK 221+481 卡机为高黎贡山隧道 TBM 首次遭遇富水构造风化破碎带,从地质特征上来看,与前期遭遇的接触带、断层破碎带、粉细砂等有较大不同,围岩蚀变严重、泥化现象明显,且高压富水,反映到工程特征,则是钻孔困难,无法通过常规管棚棚护及加

固手段进行处理。

其次,初期措施借鉴以往处理经验,围绕掌子面周边进行处理,设置了小导洞、盾尾迂回导坑、探测洞室等辅助洞室,并在掌子面周边打设了上百个钻孔,使掌子面附近区域形似“蜂窝”。辅助洞室与密布钻孔扰动了掌子面处高压富水破碎带,使附近区域围岩应力状态与地下水环境重新分布,更易诱使高压地下水涌入掌子面附近,并于薄弱处形成溃口,导致发生大规模突涌水灾害。

5 脱困处理方案研究

鉴于 TBM 掌子面处于富水构造风化破碎带核部,考虑到该破碎带核部高压富水的特征,后续处理应以超前泄水降压、超前预加固为本,并进一步探明破碎带边界。同时,破碎带核部已形成突涌水溃口,在掌子面附近区域进行处理施工风险极大,为确保施工安全,本文重点研究了边缘绕行处理的方案。

5.1 TBM 自行脱困方案

避开 TBM 设备及后配套区域,于平导线路左侧采用钻爆法开设平位绕行导坑至掌子面前方,利用绕行导坑对掌子面前方破碎带核部进行钻孔泄水降压,改良掌子面区域地下水环境,配合盾尾超前管棚注浆加固及掌子面注浆加固措施,进行 TBM 掘进自行脱困,绕行坑道采用有轨单车道断面,其长度根据实际泄水及探测情况而定,泄水孔布设对高压富水区域进行加密。TBM 自行脱困方案布置如图 5 所示。

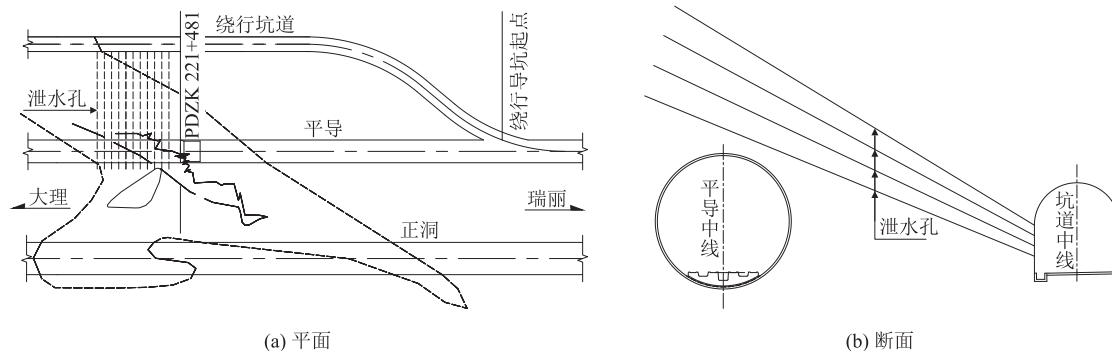


图5 TBM 自行脱困方案示意图

5.2 高位处理脱困方案

由于高压地下水位于掌子面左上方,为实现上部截流地下水,达到泄水降压效果,于平导线路左侧采用钻爆法开设高位支洞,绕行至掌子面前方后设置高位作业洞室用以泄水、注浆加固构造风化破碎带,护盾上方破碎带围岩得到注浆改良后,以期原富水塑性岩体向弹塑性或弹性体转变,相应减小其对护盾的围岩压

力,此时可进行 TBM 掘进脱困。高位处理脱困方案布置如图 6 所示。

5.3 反向处理脱困方案

地质探测情况表明,TBM 向前掘进将穿越富水构造风化破碎带核部地区,且穿行长度尚未可知,考虑到 TBM 自身超前加固手段有限,且注浆效果在此类地层中难以保证,若强行掘进极易再次引发卡机。本方案

拟采用钻爆法于平导线路左侧开设迂回导坑,并通过反向处理通道绕行至平导线位,后采取帷幕注浆加固配合超前大管棚棚护,逐段钻爆施工 TBM 预备洞、出

发洞,完成后 TBM 步进通过富水构造风化破碎带。反向处理脱困方案布置如图 7 所示。

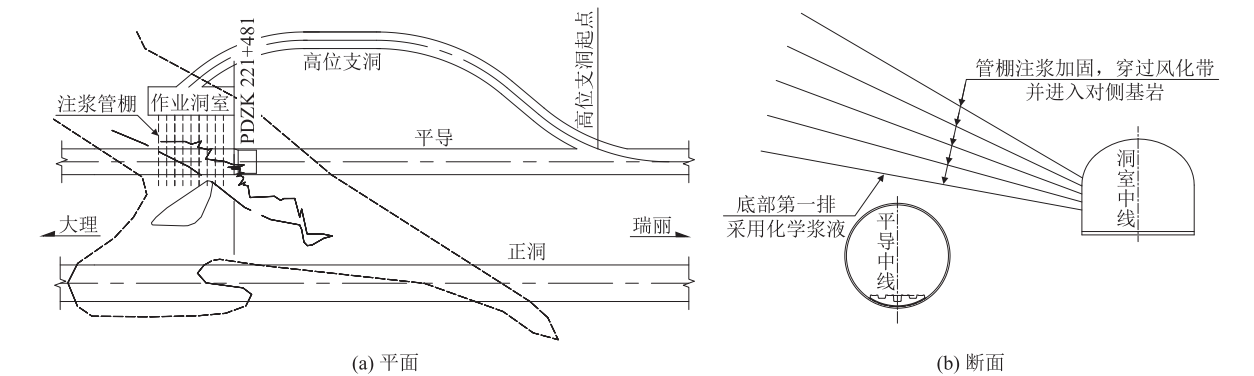


图 6 高位处理脱困方案示意图

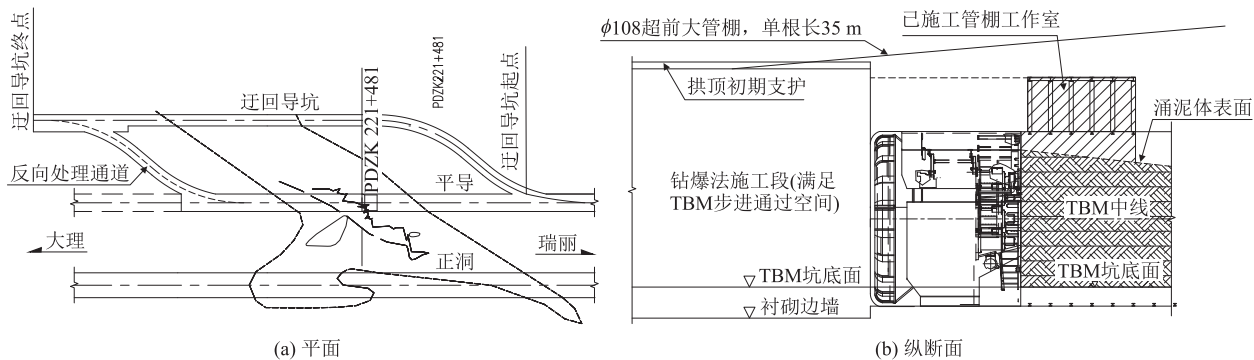


图 7 反向处理脱困方案示意图

5.4 优缺点分析

综上所述,以上方案均采取钻爆法增设了处理导坑,从不同的角度提供了 TBM 脱困的处理方法,但在工期、投资、施工安全等方面各有优劣,如表 3 所示。

表 3 TBM 脱困处理方案优缺点分析表

处理方案	优点	缺点
TBM 自行脱困方案	处理时间最短,处理工程规模最小,投资最低	既定超前加固措施在该类地层下效果难以保证,易引发二次卡机
高位处理脱困方案	泄水效果最好,超前加固效果可控,处理工程规模较小	开挖大断面处理洞室施工风险较大,对高压富水区扰动较大,易张开裂隙引发突涌水灾害
反向处理脱困方案	反向处理后小 TBM 步进通过,安全性最高	处理时间最长,处理工程规模及投资最高

由表 3 可知,从工期及投资角度,TBM 自行脱困方案最优,高位处理脱困方案次之;从施工安全性的角度,反向处理脱困方案最优,高位处理脱困方案次之。但 TBM 脱困处理受地下水、超前探测地质情况等因素影响较大,需根据现场实际情况进行动态调整,具体方

案或为单一方案,也或为各方案融合而成。

5.5 方案实施效果

鉴于高黎贡山隧道工期压力巨大,本次卡机处理最终采用了 TBM 自行脱困方案,即于平导线路左侧采用钻爆法开设绕行导坑进行泄水降压。

由于本次脱困处理时间较长,加之正洞 TBM 穿越破碎带边缘,正洞 TBM 在采取“短注长支法”并配合泄水洞超前泄水后,提前于平导成功穿越了该风化破碎带。在绕行导坑与正洞的双重泄水降压作用下,平导内水量明显衰减,由突涌时 300 ~ 700 m³/h 减小至约 80 m³/h,随后在采取洞内清淤、管棚工作室修复、掌子面周边注浆加固、超前管棚注浆加固、TBM 设备检修及性能提升等一系列措施后,平导 TBM 得以成功穿越该富水构造风化破碎带。

6 结论

本文以大瑞铁路高黎贡山隧道出口平导 TBM 穿越富水构造风化破碎带出现卡机现象为依托,通过研

究得出以下主要结论:

(1) 从高黎贡山隧道平导 PDZK 221 + 481 卡机发生以来前期的脱困处理情况以及地质探测情况来看,对于富水构造风化破碎带地层,应尽量避免在掌子面及护盾周边范围进行处理,以防止打开高压裂隙水通路,进而形成突涌水溃口,引发突涌灾害。

(2) 针对富水构造风化破碎带下 TBM 脱困处理,应以超前泄水、超前加固、超前探测为原则,建议以绕行的方式进行处理,尽量避免对 TBM 护盾周边不良地质体的扰动。

(3) 近年来我国 TBM 在软弱破碎围岩地段卡机频发,亟需研究形成一套卡机的预判标准,以及针对不同类别卡机的脱困处理机制,为 TBM 的施工保驾护航,确保施工安全并充分发挥 TBM 的优势。

参考文献:

- [1] 王梦恕. 开敞式 TBM 在铁路长隧道特硬岩、软岩地层的施工技术[J]. 土木工程学报, 2005, 38(5): 54-58.
WANG Mengshu. Construction Technique of Open Tbm for Long Railway Tunnels in very Hard or Soft Rock Strata[J]. China Civil Engineering Journal, 2005, 38(5): 54-58.
- [2] 尹俊涛, 尚彦军, 傅冰骏, 等. TBM 掘进技术发展及有关工程地质问题分析和对策[J]. 工程地质学报, 2005, 13(3): 389-397.
YIN Juntao, SHANG Yanjun, FU Bingjun, et al. Development of TBM-Excavation Technology and Analyses & Countermeasures of Related Engineering Geological Problems[J]. Journal of Engineering Geology, 2005, 13(3): 389-397.
- [3] 温森, 杨圣奇, 董正方, 等. 深埋隧道 TBM 卡机机理及控制措施研究[J]. 岩土工程学报, 2015, 37(7): 1271-1277.
WEN Sen, YANG Shengqi, DONG Zhengfang, et al. TBM Jamming Mechanism and Control Measures in Deep Buried Tunnels[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2015, 37(7): 1271-1277.
- [4] 陈馈, 冯欢欢. TBM 施工风险与应对措施[J]. 隧道建设, 2013, 33(2): 91-97.
CHEN Kui, FENG Huanhuan. Risks in Tunneling by TBM and Their Countermeasures[J]. Tunnel Construction, 2013, 33(2): 91-97.
- [5] 刘建平, 赵海雷. 小导洞施工技术用于高黎贡山隧道平导 TBM 脱困[J]. 建筑机械化, 2018, 39(12): 56-58.
LIU Jianping, ZHAO Hailei. Application of Small Pilot Tunnel Construction Technology to Relief of TBM in Gaoligongshan Tunnel[J]. Construction Mechanization, 2018, 39(12): 56-58.
- [6] 吕炎浩. 浅谈 TBM 卡机高效脱困技术[J]. 中国水能及电气化, 2018(8): 58-62.
LV Yanhao. Brief Discussion on Efficient Breakout Technology of TBM Clamping[J]. China Water Power & Electrification, 2018(8): 58-62.
- [7] 董泗龙. 敞开式 TBM 断层破碎带脱困技术[J]. 隧道建设, 2016, 36(3): 326-330.
DONG Silong. Jam Releasing Technologies for Open-Type TBM Bored in Fault and Fracture Zones[J]. Tunnel Construction, 2016, 36(3): 326-330.
- [8] 徐虎城. 断层破碎带敞开式 TBM 卡机处理与脱困技术探析[J]. 隧道建设(中英文), 2018, 38(S1): 156-160.
XU Hucheng. Analysis of Jam Treatment and Releasing Technologies for Open TBM in Fault Fracture Zone[J]. Tunnel Construction, 2018, 38(S1): 156-160.
- [9] 杨晓迎, 翟建华, 谷世发, 等. TBM 在深埋超长隧洞断层破碎带卡机后脱困施工技术[J]. 水利水电技术, 2010, 41(9): 68-71.
YANG Xiaoying, ZHAI Jianhua, GU Shifa, et al. Technology for Unblocking TBM Blocked in Fault Zone of Super-Long and Deep-Buried Tunnel[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2010, 41(9): 68-71.
- [10] 尚彦军, 史永跃, 曾庆利, 等. 昆明上公山隧道复杂地质条件下 TBM 卡机及护盾变形问题分析和对策[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(21): 3858-3863.
SHANG Yanjun, SHI Yongyue, ZENG Qingli, et al. Tbm Jamming and Deformation in Complicated Geological Conditions and Engineering Measures[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(21): 3858-3863.
- [11] 赵毅. 小直径双护盾 TBM 超前化学灌浆脱困施工技术[J]. 隧道建设, 2013, 33(1): 73-77.
ZHAO Yi. Technology for Releasing Jammed Small-Diameter Telescopic TBM by Means of Advance Chemical Grouting[J]. Tunnel Construction, 2013, 33(1): 73-77.
- [12] 洪开荣, 冯欢欢. 高黎贡山隧道 TBM 法施工重难点及关键技术分析[J]. 现代隧道技术, 2018, 55(4): 1-8.
HONG Kairong, FENG Huanhuan. Construction Difficulties and Key Techniques for the Gaoligong Mountain TBM Tunnel[J]. Modern Tunnelling Technology, 2018, 55(4): 1-8.
- [13] 宋法亮, 赵海雷. 高黎贡山隧道复杂地质条件下敞开式 TBM 施工关键技术研究[J]. 隧道建设, 2017, 37(S1): 128-133.
SONG Faliang, ZHAO Hailei. Study of Key Construction Technologies of Open TBM in Complex Geological Conditions: Case Study of Gaoligongshan Tunnel[J]. Tunnel Construction, 2017, 37(S1): 128-133.
- [14] 张兵, 杨延栋, 孙振川, 等. 高黎贡山隧道破碎地层 TBM 施工技术与应对方法研究[J]. 隧道建设(中英文), 2019, 39(5): 851-857.
ZHANG Bing, YANG Yandong, SUN Zhenchuan, et al. Construction Technology and Countermeasures for TBM Boring in Broken Ground of Gaoligongshan Tunnel[J]. Tunnel Construction, 2019, 39(5): 851-857.