

# 小直径双护盾TBM通过破碎段掘进施工技术研究

徐正陶

中铁隧道股份有限公司 河南 郑州 450000

**摘要:** 双护盾TBM在通过破碎带时,若处置不当,时常会造成TBM掘进速度降低、施工效率受阻,在极其严重情况下如频繁卡机等亦会造成甚工程工期延误。国内外双护盾TBM施工中,穿越不良地质条件时带来惨痛的施工教训也不少。本文以引红济石工程双护盾TBM掘进为依托,主要研究小直径双护盾TBM快速、安全通过破碎段的问题,提出相应的处理措施与思考,为类似工程特别是小直径双护盾TBM通过破碎带施工提高参考。

**关键词:** 隧道工程;小直径双护盾TBM;破碎段;施工技术

## Study on construction technology of small diameter double shield TBM through crushing section

Xu Zhengtao

China Railway Tunnel Co., LTD., Zhengzhou, Henan 450000

**Abstract:** When the double shield TBM passes through the crushing belt, if the improper disposal, often causes the TBM driving speed is reduced, the construction efficiency is blocked, in extremely serious cases, such as frequent card machine, will also cause the project delay. In the construction of double shield TBM at home and abroad, there are many painful construction lessons brought about when crossing the bad geological conditions. Based on the double shield TBM tunneling of the project, this paper mainly studies the problem of fast and safe small diameter double shield TBM through the crushing section, and puts forward the corresponding treatment measures and thinking, to improve the reference for similar projects, especially small diameter double shield TBM through the construction of crushing belt.

**Key words:** tunnel engineering; Small diameter double shield TBM; Crushing section; Construction technology

### 前言

近年来隧洞掘进机TBM(Tunnel Boring Machine)以其高效、安全、环保的优点越来越多的被国内许多大型交通、水利隧洞工程项目所采用<sup>[1]</sup>。由于TBM法所修建的隧道施工距离长,直接穿越的地质条件更差,同时相对于钻爆法而言,TBM法对地质条件的适应性面极其有限,没有钻爆法灵活,因此TBM法在面对不良地质条件时,特别是没有探明的地质条件,时常会造成TBM掘进速度降低、施工效率受阻,在极其严重情况下如频繁卡机等亦会造成甚工程工期延误。国内外双护盾TBM施工中,穿越不良地质条件时带来惨痛的施工教训也不少。此外,对于双护盾TBM的施工的效果,在该工法的初期,业界基本上认为该工法对于软岩及硬岩都有很好的适应性,但是在经过大量的工程实践证明后,双护盾TBM工法的适应性也极其有限。因此,双护盾TBM如何快速、安全通过不良地质段的技术是施工技术发展的一个重要方向。国内已有不少专家、学者做过双护盾TBM掘进施工技术方面的研究,如:惠世前等<sup>[2]</sup>研究了C C S水电站大断面

长隧洞双护盾TBM掘进技术,提出只有整个TBM系统选型正确,配套设施匹配,配备优秀的技术人员和操作维护人员,做到超前技术准备,精心的施工管理及掌控工程重难点的技术措施,才能实现TBM掘进快速施工;任国青<sup>[3]</sup>研究了昆明市掌鸠河引水供水工程双护盾TBM不良施工问题及对策;高燕芳<sup>[4]</sup>研究了TBM掘进技术在软岩隧洞中的应用提出对不良地质洞段做出相应的应对措施确保TBM在隧洞施工中安全、高效的运行;隆威等<sup>[5]</sup>对TBM掘进技术的发展应用及相关工程地质问题进行了研究,通过分析大量国内外工程实例的基础上结合TBM施工中的经验及教训对TBM掘进过程中存在的诸如断层破碎带、挤压地层、地下水、岩溶等相关工程地质问题进行了探讨并提出了相应的处理措施。

本文以引红济石工程为载体,主要研究小直径双护盾TBM快速、安全通过破碎段的问题,围绕掘进施工中心目标确保掌子面稳定、防止TBM设备被卡,以HSP法超前地质预报为基础,为小直径双护盾TBM穿越不良地质制定针对性技术措施,确保安全顺利施工,同时针对本工程中出现的技

难题进行总结与思考,为类似工程提供参考。

### 1 工程概况

引红济石调水工程位于陕西省宝鸡市太白县内,引长江水系褒河支流红岩河水通过横穿秦岭的隧洞自流调入黄河水系渭河南岸支流石头河,经石头水库调节后向西安、咸阳、杨凌等城市提供生活饮用水,是陕西省的“南水北调”工程,也是陕西省重点水利工程。引红济石调水工程引水隧洞全长19795m,采用钻爆法+TBM法施工的联合施工方案,TBM施工段长9885m,由隧洞出口向上游方向独头掘进,TBM设备主要技术指标见表1。引水洞全隧设计纵坡1/890,明渠无压流方式调水,最大引水流量为13.5m<sup>3</sup>/s,年调入石头河水量9210万立方米。

表1 TBM设备主要技术指标

项目名称	指标参数
开挖直径/m	3.755
刀盘推力/kN	10838
刀盘驱动	变频调速(5*200kW)
刀盘转速	恒扭矩:0~5.7rpm
	恒功率:5.7~8.0rpm
刀盘扭矩/kN.M	1702
刀盘脱困扭矩/kN.M	3500

引红济石调水工程不仅是一项惠及三秦父老的重要民生工程,并且打破常规,第一次在陕西水利工程中采用TBM施工,同时该工程采用的双护盾TBM的开挖直径为同类工程中最小。此外,该工程还具有穿越长距离巨厚冰碛层、穿越软岩大变形段、围岩收敛变形快、地质条件复杂变化快、控制测量施工困难等工程难点。在双护盾TBM施工工程区段,断层分支和次生断层多,共有大小断层300多条,此外,地下水丰富、围岩收敛变形大,造成施工中遭遇坍塌、突泥涌水灾害多达26次。

### 2 工程地质和水位地质

引红济石调水工程引水隧洞地处秦岭山脉腹地,在长期的区域南北向压应力作用下,形成了东西向褶皱和逆冲断裂相间分布的总体构造格局,引水洞线走向NE77°,位于东西向的太白~桃川河向斜南翼,区域南北向应力场产生的右旋运动,形成了一系列NE~NEE向、NW~NWW向的平移~逆冲断层以及SN向张性正断层,相互交接、切割,地质构造非常复杂,经多次的地质构造影响、沿片理面的碎裂破坏造成的应力重分布致使地应力大,根据水压致裂法地应力测试成果报告,隧洞埋深450m最大水平主应力量值为43.05MPa,最小水平主应力为25.13MPa,最大主应力方向平均为NW11.09°。洞室埋深100~300m,最大埋深420m,洞室均位于基岩中,以大理岩段和片岩、片麻岩段为主,硬质岩中夹软质岩,岩性复杂,相变大,变化频率快,软硬不均岩层相间距离短,围岩弱~微风化,岩体完整性差,以IV类围岩为主,次为III类和V类围岩。根据设计院补堪成果,

TBM尚需通过的、设计已探明的断层还有7条断层影响宽度40m~100m。主要工程地质问题是次生性小断层涌水和坍塌掉块、区域性大断层破碎带洞段的变形坍塌和不同等级围岩互层问题。

### 3 双护盾 TBM 通过破碎段易出现的施工难题

当双护盾TBM掘进遇到破碎带时,由于裂隙发育,岩体完整性遭到破坏,渣块易从裂隙面开裂脱落,岩渣规格呈现明显不均匀、大小悬殊的现象,基本不含岩片,在该位置,掌子面不能自稳,坍塌时有发生,并出现超量出渣,前护盾左右窗口均有向洞内掉块、流石现象,带来的主要施工难题有:

(1)卡刀盘。由于掌子面围岩破碎,时常在地下水的作下不能够自稳并形成坍塌,大量破碎的石块、石渣夹泥水涌入刀盘,皮带机出渣量剧增,这种情况下可能造成皮带被压死被被动停机。停机处理期间,随着坍塌的增加,刀盘在启动后无法正常运转,造成刀盘被卡。即使在皮带运转正常的情况下,随着坍塌临空面的增加及渣体数量的增加,刀盘转不动的几率同样在增加,极易出现被卡现象。

(2)卡盾体。在软岩大变形情况下,由于围岩的收敛变形速度往往大于双护盾TBM的通过速度,收敛变形快,破碎或挤压变形的围岩紧紧作用在盾体上,其产生的摩擦力大于主推进油缸的最大推力(系统压力上升至最大推进压力345bar),TBM掘进机将无法实现正常推进,造成盾体被卡。

(3)方向控制难题。由于双护盾在调向上的劣势,加之本工程管片安装后,后配套与管片间的理论间隙仅为5cm,方向稍微失控,将引发TBM换步困难、后配套通过困难、TBM导向系统通视困难等一系列施工困难。

### 4 破碎段地质超前预报

#### 4.1 HSP预报原理

针对双护盾TBM施工特点,引红济石TBM工程采用HSP声波反射法来勘察掌子面前方地质情况,通过在TBM刀盘法兰位置安装一个信号发射器及一个信号接收器,收集其反射波段,通过终端仪器研究,分析来确定掌子面前方可能存在的岩性分界、断层、岩体破碎带、软弱夹层、以及岩溶等不良地质体的规模、性质及延伸情况等,每个监测循环长度为50m。

#### 4.2 地质超前预报结果分析

采用HSP声波反射法进行测试,图4.1为测试典型波形图

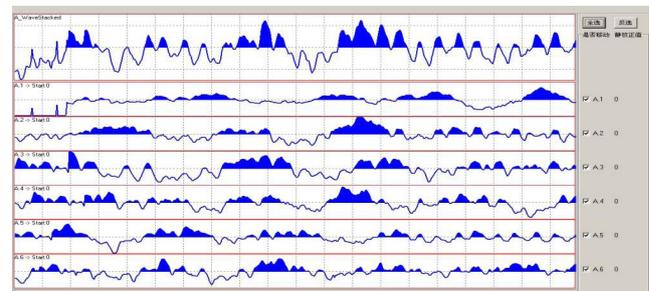


图4.1 出口K15+152工作面测试典型波形图

测试岩体平均声速为1980s。对现场采集原始波形曲线进行时域和频域分析,图4.2为时域和频域分析成果图。

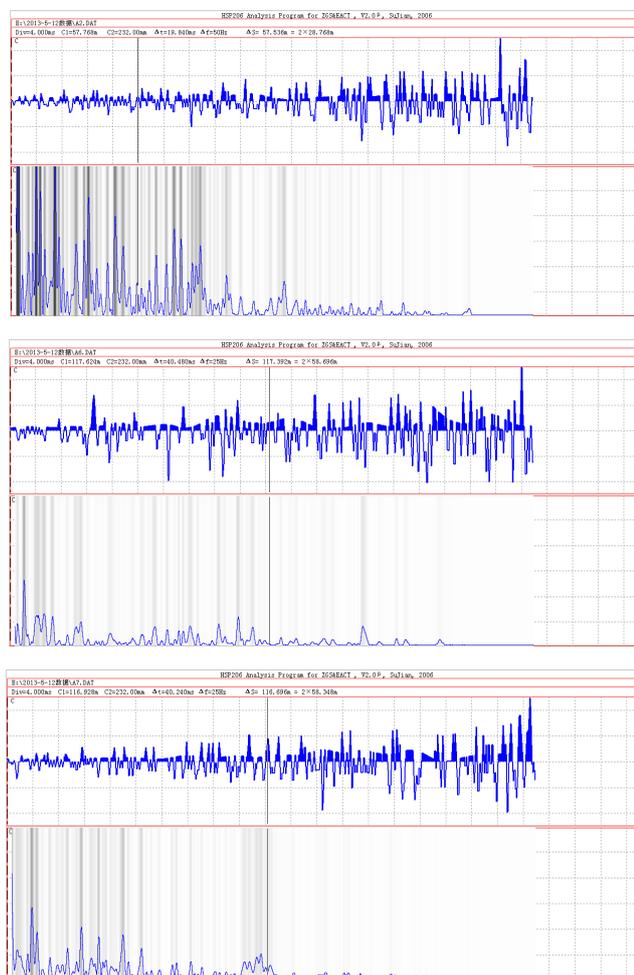


图4.2 出口K15+152里程探测时域和频域分析成果图

经过解析,得出以下结论:

(1) K15+152~K15+124段围岩较破碎,以碎裂状结构为主,岩体微风化,片理、节理裂隙发育,地下水以点线状为主。总体上,围岩完整性和自稳性较差,建议围岩类别Ⅳ类。

(2) K15+124~K15+094段围岩位于断层破碎带,岩体破碎至较破碎,片理、节理裂隙较发育,层间结合差,建议围岩类别Ⅴ类。

## 5 破碎段掘进施工技术

### 5.1 技术保证措施

为确保双护盾TBM顺利通过破碎围岩段,应按“三低”、“一连续”、“宁慢勿停,宁高勿低”的原则进行技术操作。

三低:低推力、低转速、低贯入度。根据实践经验,在围岩破碎带中刀盘转速取低速2~3r/min,贯入度取7~8mm/r,在掘进过程中尽可能采取“勤换步”、“先稍退再纠偏”等方法,逐步通过。

一连续:尽可能坚持连续掘进,不轻易停机,随着岩

层风化、结构扰动、坍塌新增临空面等,都会加剧岩层的软化,时间越长约强烈,导致无法继续掘进,因此,尽可能减少停机,宁慢勿停。为确保连续掘进施工,在进入破碎带前需要对TBM设备进行全面保养,确保其机况良好,进入到破碎带后,需要及时调整保养模式,采取“穿插式”保养,减少长时间的停机保养。

宁高勿低:在该类围岩掘进中,由于刀盘自重原因容易造成刀盘下沉,纠偏困难,要根据TBM导向系统,及时调整刀盘姿态,保持盾体向上的趋势。

### 5.2 应急处置措施

掌子面超前加固:针对探测出的断层带或易发生突泥涌水地段,可采用TBM设备自带的超前地质钻机,进行超前注浆加固或者进行超前管棚施工,对掌子面前方一定距离的围岩进行加固,减少坍塌或者突泥涌水的风险。

掘进推力增大:利用在外伸缩盾拱部的钻注孔,向盾壳和围岩之间注入廉价黄油或者膨润土,减小其间的摩擦力,力争降低掘进推力至合理范围。

盾体被卡:利用双护盾TBM配备的最高压力可达700bar的超高压泵站进行超高压换步脱困,这种措施一般适用于在支撑盾和尾盾轻微被卡的情况。此外,还可采取增大开挖直径的方法,即将刀盘周边刀具依次用垫块垫高实现开挖直径加大,缓解盾体被卡的现象。被卡后,可采用小导洞脱困技术、全断面环形开挖脱困技术及辅助导坑脱困技术等。

刀盘被卡:在不良地质施工前,加强设备保养,例如连续皮带机、出渣车辆等,尽量减少被动的停机时间。在TBM刀盘出现被卡之后需要根据探测的地质情况及开挖出露实际地质、水文情况,综合判断选择适宜的脱困方式,即根据坍塌或者断层规模,选择在刀盘内短距离的加固还是在盾尾进行长距离的加固。常用的脱困技术主要有超前化学灌浆脱困技术和盾顶超前大管棚脱困技术等。

## 6 实施效果

引红济石双护盾TBM破碎地段掘进中,通过加强超前地质预报,强化穿越不良地质段的施工组织,针对性合理选择掘进参数,同时采取了增加开挖直径、超高压换步、增加皮带机脱困模式及加强设备姿态控制等针对性措施,正确处理了超量出渣、盾体被卡等问题,TBM安全顺利掘进通过了5条断层、累计通过断层宽度达300余米,未发生一起安全责任事故。

## 7 结论与建议

(1) 为确保双护盾TBM顺利通过破碎带,应加强超前地质预报、合理选用并严格控制掘进参数、采用相应的技术方案,并制定相应的应急处置措施,否则处置不当则极易带来严重的后果。

(2) 双护盾TBM是先进的全机械化施工设备,要求有其相适应的严格的科学管理。

(3) 对于双护盾TBM的适应性,应在设备选择制造阶段提高其掘进机性能,提高在不良地质段中的通过能力,如增加掘进机的推力和扭矩、增加刀盘扩径能力、提高设备调向纠偏能力等。

#### 参考文献

[1]钱七虎李朝甫.全断面掘进机在中国地下工程中的应用现状及前景展望[J].建筑机械2002(05):28-37.

[2]惠世前等,CCS水电站大断面长隧洞双护盾TBM掘进

技术[J].云南水力发电,2014(05):78-81.

[3]任国青,双护盾TBM不良施工问题及对策[J].隧道建设,2007(06):108-111.

[4]高燕芳,TBM掘进技术在软岩隧洞中的应用[J].水利与建筑工程学报,2011(06):126-128.

[5]隆威等,TBM掘进技术的发展应用及相关工程地质问题探讨[J].探矿工程,2005(02):55-59.