

开敞式 TBM 过类泥石流不良地质洞段施工处理技术

苗双平¹, 李强¹, 高健冬²

(1. 北京振冲工程股份有限公司, 北京 100102; 2. 吉林省中部城市供水股份有限公司, 吉林 长春 130012)

摘要:开敞式 TBM 在掘进过程中, 往往会遇到断层破碎带, 目前业界已经有相应的处理方式, 但是在遇到类泥石流洞段时, 单独依靠目前 TBM 自身条件及已有的处理方式很难实现顺利通过, 需要采取特殊的施工处理措施相互配合才能通过。本文依托吉林引松供水项目三标段类泥石流不良地质洞段的处理, 形成了一套完整的开敞式 TBM 过类泥石流不良地质洞段施工处理技术, 即在碎块石夹杂断层泥段采用超前管棚支护, 在类泥石流不良地质洞段采用堵水灌浆加固技术并配以喷锚喷网+钢拱+模筑混凝土的联合支护技术。工程实践验证了该技术的可行性。

关键词:类泥石流洞段; 管棚; 灌浆; TBM 施工处理技术

中图分类号: TV554 文献标识码: B 文章编号: 1672-7428(2017)03-0081-04

Construction Technology for Open TBM Tunneling through in Debris-flows-like Adverse Geological Tunnel Section/MIAO Shuang-ping¹, LI Qiang¹, GAO Jian-dong² (1. Beijing Vibroflotation Engineering Co., Ltd., Beijing 100102, China; 2. Jilin Province Central-section City Water Supply Co., Ltd., Changchun Jilin 130012, China)

Abstract: Fault fracture zones are often encountered in open TBM tunneling process, and the solution has already been put forward by the industry. But in debris-flows-like adverse geological conditions, it is hard for TBM to get through only by its own capacity and the existing treatment methods, it is necessary to take special construction measures working together. Based on the treatment of debris-flows-like adverse geological tunnel section in the third bid section of Jilin water supply project by diverting Songhua River, a complete set of construction technology is formed for open TBM tunneling through debris-flows-like adverse geological tunnel section, that is advanced pipe roof support used in fragment stones and fault gouge section, and water plugging & grouting reinforcement technology combining with combined support technology of spray anchor net + steel arch + formworking concrete used in debris-flows-like adverse geological tunnel section. The engineering practice proves the feasibility of this technology.

Key words: debris-flows-like tunnel section; pipe roof; grouting; construction technique for TBM

0 引言

TBM(隧道掘进机)由于其高效、安全的优越性能,近年来在隧道工程中得到愈来愈多的应用。但其对断层破碎带等不良地质条件的适应性较差。这些不良地质条件对 TBM 掘进会产生较大影响,不仅可能导致 TBM 掘进作业时间利用率降低,甚至有可能出现 TBM 损坏和难以顺利通过的情况^[1]。国内目前施工完成的大伙房输水工程、引洮、锦屏水电站引水隧洞工程以及正在施工的辽西北供水工程,均存在断层破碎带等不良地质洞段,对工程建设安全、进度造成很多影响。苏华友,王树勋,田春成,周红,董泗龙等人^[2-6]在一般的断层破碎带处理方面积累了不少的经验和技术。但是对于类泥石流不良地质洞段的处理,目前业内还没有最佳的施工处理技术。吉林省中部城市引松供水工程总干线三标段 TBM 施工洞段,在掘进至 47+373 段时,揭露类泥石流不

良地质洞段,导致隧洞形成坍塌,处理时间达到 5 个多月,通过对本次类泥石流不良地质洞段的处理,研究了适合的施工处理技术。

1 工程概况

吉林省中部城市引松供水工程总干线三标段位于吉林省吉林市岔路河至温德河之间,总长度 24.3 km。TBM 独头掘进 10 km,开挖洞径 7.9 m,逆坡掘进,坡度为 1/4300,埋深 50~500 m。刀盘掘进至桩号 47+373(护盾揭露 47+378)时发生大规模断层破碎带塌方,该洞段埋深 110 m,地表为山梁、沟谷交错,沟谷宽 10~30 m,山势较陡,植被发育。岩性为燕山早期石英闪长岩,半自形粒状结构,块状构造。岩石普遍遭受蚀变,主要矿物成份为斜长石、角闪石、黑云母和少量石英(石英占 10%~22%)。受构造影响,岩体破碎,渗透性弱—中等。TBM 施工

中,已掘进通过 80 m 均为完整的石英闪长岩,围岩类别为 II 类,在掘进至桩号 47+380(护盾揭露 47+385)时,围岩发生突变,揭露为断层破碎带,围岩极其破碎,并伴有少量的渗水。随后现场严格按照设计支护参数进行施工,在掘进至桩号 47+373(护盾揭露 47+378)时,发现顶护盾压力接近极限值,证明刀盘上部围岩压力持续增加,随后发现塌方体体积庞大,并且持续塌落,持续对刀盘施加压力,导致刀盘无法转动。现场对刀盘逐步进行后退,退至安全洞段后进行处理。

经后期处理过程发现桩号 47+378~47+372 段为碎块石夹杂断层泥;桩号 47+372~47+364 段为类泥石流不良地质洞段,刀盘前方及顶部均为级配较好的类泥石流状流态土、砂及水的结合体。刀

盘被死死包裹,1号皮带渣量太大,导致 TBM 无法掘进,为此进行了分阶段、分层次的处理措施,历经 5 个多月顺利通过该洞段。

2 施工处理技术

2.1 47+378~47+372 碎块石夹杂断层泥段

TBM 后退过程中,掌子面前方渣体一直跟随 TBM 向刀盘前方延伸,直至累计 TBM 后退 13 m 处才稳定。后退后,多次尝试向前掘进,均因刀盘压力过大,未能成功。

经过对现场断层带情况、TBM 设备情况进行详细的分析后,根据断层带情况、空间布局及隧洞施工经验,制定了施工方案进行处理。采用管棚进行破碎岩体加固,管棚布置见图 1、图 2。

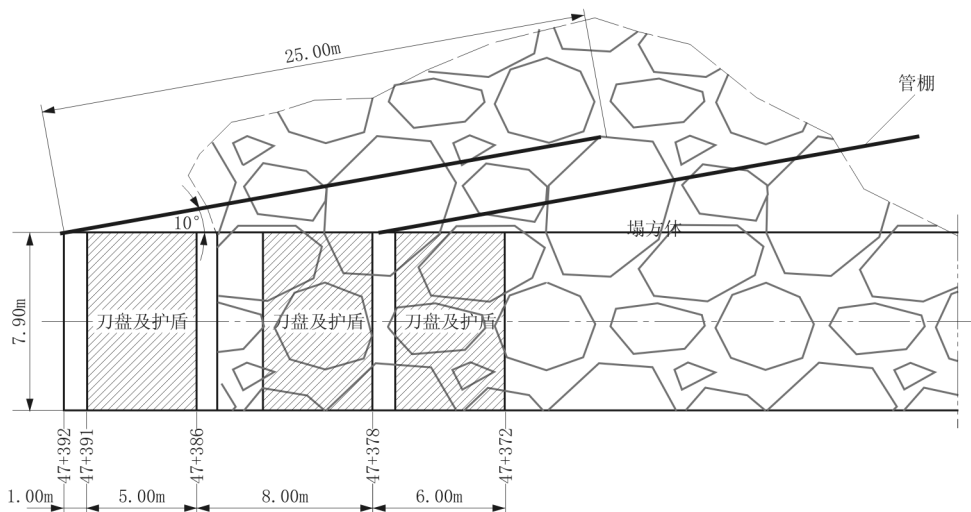


图 1 管棚布置及塌方洞段示意图

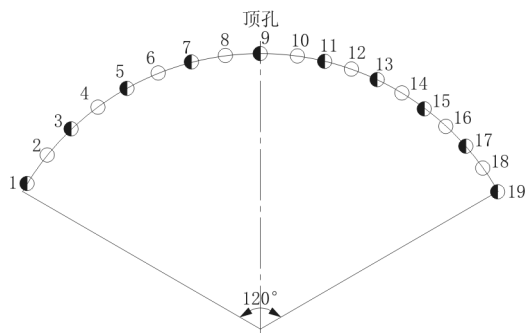


图 2 管棚布置断面图

经过与地质资料的对比结合物探数据显示,前方不良地质洞段约 30~50 m,为此制定了循环加固掘进的实施方案。

(1)探孔施工:结合管棚施工在顶拱左中右布置 3 个 $\text{Ø}127$ mm 跟管探孔,孔深 30 m,外插角 10° ,

以探明前方地质情况。

(2)管棚施工:在护盾顶拱后侧 120° 范围,设置 $\text{Ø}127$ mm 跟管钻进管棚,间距为 40~50 cm,外插脚为 10° ,长 25~30 m,管棚管提前加工为花管,以便注浆。

(3)管棚施工完成后,在管棚中安装 3 根 $\text{Ø}32$ mm 钢筋束,增强管棚承载力,并进行灌浆固结,灌浆采用 P. O42.5 普通硅酸盐水泥,水灰比为 0.5:1,灌浆压力 0.3~1.0 MPa。

(4)松渣体固结:管棚钻孔施工中,若遇松渣体、塌腔体,则灌注水泥砂浆或混凝土。完成塌腔体回填后再重新开孔进行管棚孔施工。

(5)支护加固完每一循环管棚及灌浆作业后,待凝 72 h,开始 TBM 掘进;根据管棚施工的长度,每

掘进6~8 m开始进行下一循环的管棚及灌浆加固。

(6)掘进过程中,按照V类围岩钢拱架加密间距到45 cm,配合钢筋排等进行支护。

经过以上方案处理,施工3个循环管棚灌浆后,TBM掘进至桩号47+369,但由于该洞段地质条件极其复杂,渗水流量大(100 L/s),刀盘顶部及前方围岩成泥石流状,一经刀盘旋转扰动,变成类泥石流状,造成刀盘阻力大,皮带无法出渣,致使无法正常掘进,需要进行堵水及岩体固结加固。

2.2 47+372~47+364段为类泥石流不良地质洞段

2.2.1 处理原则

(1)掌子面破碎岩体坍塌后挤压在刀盘前,因此需要对刀盘进行减压。

(2)对于TBM设备施工经过断层时,首先探明水文地质条件及围岩稳定条件,早预防、早准备,封闭地下水、固结围岩,再掘进^[7]。地下水渗透量大,导致岩体成类泥石流状,因此需先进行堵水固结处理。

(3)对TBM设备进行观察,防止浆液对设备造成损害。

(4)灌浆过程中需要严格控制洞室变形。

(5)考虑灌浆过程中浆液的可控性,选择新型灌浆材料。

(6)以已经施工的管棚作为骨架,进行围岩加固处理。

2.2.2 具体实施方案

基于现场实际情况,结合处理原则,具体实施方案如下。

(1)在刀盘两侧开挖小导洞,高1.8 m,宽1.5 m,采用风镐短进尺开挖,边开挖边支护,以开挖到刀盘后背(刀脖子)为目标。布置图见图3。

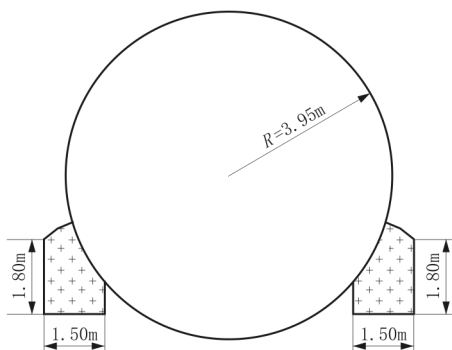


图3 导洞布置断面图

(2)采用“循环置换法”进行刀盘前方石渣清理。通过拆除下半部刀盘内刀具,进行刀盘前方石

渣的清理,同时为了防止连续垮塌,在刀盘顶部进渣口填充高密度苯板进行置换空腔,以便减少刀盘阻力,同时为后期清理提供准备。

(3)在已施工3个循环管棚区域分上中下3层5排进行堵水固结灌浆;经过测算及工程经验,选取加固范围为9点钟位置至2点钟位置1倍洞径范围,沿洞轴线15 m区间进行加固,布置图见图4。

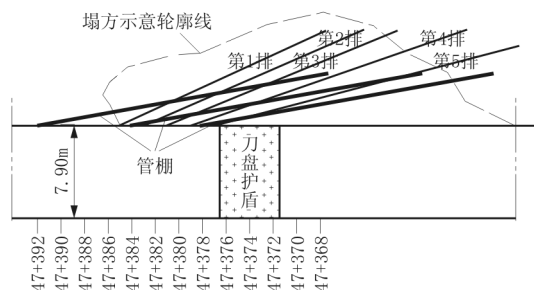


图4 管棚及灌浆孔布置示意图

(4)施工过程中,采用先进行上层孔位(第1排)的施工,再进行下一段钻孔施工。随后进行下层孔位(第3排)施工,中间孔位(第2排)的施工,最后进行第4、5排孔位施工,采用前进式分段注浆工艺,每5 m为一段。

(5)灌浆过程中采用由山东大学研发的水泥基新型可控速凝膏状体注浆材料(GT-1)。该材料具有初终凝时间可调、扩散控制好、动水抗分散、早期强度高、环保无毒等优点,同时结合水玻璃进行施工。水泥、GT-1两种浆液配比即 $V_c: V_{gt}$ 控制在1:1~5:1。初凝时间控制在30~200 s,压力控制在1.0~3.5 MPa。采用36~40波美度水玻璃,P.042.5普通硅酸盐水泥。

(6)单个灌浆孔施工完成后,重新扫孔,在孔内安装钢筋束,再次灌浆封孔,增加整齐强度。

(7)灌浆过程中,在护盾后方安装收敛变形监测断面及多点位移计,实时监测围岩收敛情况,一旦超过限定,马上停止灌浆。

(8)灌浆结束后,进行钻孔取心,验证灌浆加固效果,同时配合TRT三维地震地质预报系统进行相互对比,确认灌浆效果后进行下一步施工。

(9)为了防止隧洞周围的水压力再次对加固区造成破坏,灌浆结束后,根据钻孔揭露地质情况,在隧洞左侧、右侧、顶部及特殊部位设置排水孔,排水孔终孔位置穿透加固区,保证排水通畅。

(10)注浆加固后的断层围岩形成一个弹塑性

承载环,该承载环抑制断层围岩的变形和屈服区的扩展,只要承载环内有一定厚度的完整的弹性环存在,则计算是收敛的,断层围岩是稳定的^[8]。灌浆加固结束,达到设定要求后,进行刀盘前方及四周渣体的清理,清理分为两部分进行,其一为在刀盘内部通过刀孔进行清理;其二为将护盾两侧导洞继续开挖,延伸至刀盘前方1~1.5 m处,进行刀盘掌子面及刀盘周围的围岩固结体的清理。同时对护盾周围的岩体及固结体进行清理,释放压力。

经过以上处理方案的实施,刀盘前方掌子面及周围岩体得到了有效的加固,开挖过程中揭露,围岩空腔、裂隙中均被水泥浆填充,同时在灌浆过程中,原类泥石流状渣体受到挤压,水分被排出,经过水泥固结,形成强度较高的固结体,保证了TBM在掘进过程中安全通过。

2.3 后续处理措施

掘进过程中钢拱架间距调整为45 cm,系统锚杆加钢筋网配合McNally系统进行支护。当隧洞边墙发生较大的塌方或边墙围岩强度不足以承受支撑靴压力,采用喷锚喷网+钢拱+模筑混凝土的联合支护方式进行处理,局部区域换填混凝土后支撑通过^[9]。

由于断层破碎带,整体洞段均为破碎构造,因此在TBM通过后,为防止长时间被积水浸泡,造成仰拱部位出现较大的变形,仰拱浇筑20 cm厚C20混凝土。同时安装收敛变形监测,持续监测洞室收敛变形情况。

3 施工过程中的注意事项

开敞式TBM过类泥石流不良地质洞段施工过程中采取了管棚、灌浆等处理技术,必须保证管棚、灌浆质量,保证一次性通过。施工中应注意以下几个方面:

- (1)按规定选择合适的管棚材料及管棚施工工艺;
- (2)确保使用的原材料均达到设计强度标号强度;
- (3)注浆过程中密切观察TBM设备;
- (4)采用GT-1材料使浆液在岩体中成膏状,不被水流稀释带走;
- (5)灌浆结束后,需增设排水孔,保证加固圈外

部水压力能得到有效释放。

加固处理完成后,在掘进过程中,保证快速通过,避免围岩收敛,造成主机被卡,同时按照V类围岩支护参数加强处理。

4 结语

通过吉林引松供水项目三标段工程,形成了一套类泥石流状不良地质洞段的施工处理技术,工程实践检验了该技术的可行性,为开敞式TBM在通过类泥石流不良地质洞段时提供了可参考技术。该技术主要内容如下:

- (1)在开敞式TBM顶拱范围进行大直径的管棚施工可以有效处理断层破碎带问题;
- (2)在TBM掌子面及周围岩体发生塌方时,采用在护盾后侧进行灌浆是可行有效的,但必须对TBM设备进行观察和防护;
- (3)在TBM掘进遇到类泥石流状不良地质洞段时,采用管棚、灌浆的处理技术是可行的,但是灌浆过程中,必须采用初终凝时间可调、扩散控制好、动水抗分散、早期强度高、环保无毒,同时能结合水玻璃进行施工的新型灌浆材料;
- (4)施工过程中严格控制质量,保证实施的处理措施到达既定目标。

参考文献:

- [1] 王梦恕,王占山. TBM通过断层破碎带的施工技术[J]. 隧洞建设, 2001, 21(3): 1-4.
- [2] 苏华友,张继春,史丽华. TBM通过不良地质地段的施工技术[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(9): 1635-1638.
- [3] 王树勋. 磨沟岭隧道TBM在不良地质中掘进的探讨[J]. 隧道建设, 2002, (1): 18-19.
- [4] 田春成,王群. 浅谈开敞式TBM在不良地质段塌方处理[J]. 中国科技纵横, 2015, (24): 73-73.
- [5] 周红,黄柏洪,吴庆山. TBM在不良地质条件下施工技术[J]. 水利建设与管理, 2009, 29(5): 61-65.
- [6] 董泗龙. 开敞式TBM断层破碎带脱困技术[J]. 隧道建设, 2016, 36(3): 326-330.
- [7] 刘绍宝. 锦屏二级水电站施工排水洞不良地质洞段TBM施工技术[C]//2009年地基基础工程与锚固注浆技术研讨会论文集. 2009: 472-477.
- [8] 余成学,卢薇,黄祥志. 大断层区隧洞TBM施工超前注浆加固计算[J]. 武汉大学学报:工学版, 2005, 38(3): 36-40.
- [9] 徐曼玲,何钟. TBM通过F1断层破碎带的施工技术[J]. 四川水利, 2014, (S1): 78-80.