

隧洞 TBM 施工穿越断层破碎带拱架变形处置及施工方案设计

韩强

(新疆额尔齐斯河流域开发工程建设管理局, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要: TBM 具有快速掘进的特点, 但在穿越断层破碎带时, 由于设备对地层条件的敏感性和支护能力的限制, 经常会面临塌方等问题, 导致拱架大变形甚至卡机的风险。本文以新疆某引水工程为背景, 对 TBM 拱架大变形的原因进行了分析, 采用超前地质预报技术确定了掌子面前方断层破碎带的范围, 并提出了拱架大变形的处置方案和穿越断层破碎带的施工措施。工程应用结果表明, 施工措施处置方案实际可行, 为 TBM 脱困取得了较好的成效, 其经验可为 TBM 穿越复杂地层段的施工提供借鉴。

关键词: TBM; 断层破碎带; 拱架变形; 围岩; 加固

中图分类号: TV554 **文献标识码:** A

文章编号: 1006—7973 (2022) 07—00145—04

1 工程概况

新疆某输水工程由 5 条输水隧洞组成, 隧洞全长 140.771km。隧洞施工以 5 台 TBM 设备开挖施工为主, 开挖洞径 7.8m, 纵坡为 1/2310 ~ 1/3000。其中 1# 隧洞段长 72.89km, 该段总体走向由西北向东南, 地貌为低山丘陵。隧址区地势西、南低, 东、北高, 海拔 730m~1400m 不等, 隧洞最大埋深为 668m。地形起伏大, 隧洞沿线冲沟较发育。目前有 TBM1、TBM2、TBM3 三台设备开挖掘进施工。TBM 施工洞段围岩岩性为奥陶系斜长黑云母石英片岩, 层面起伏粗糙, 节理裂隙发育, 岩石中石英含量一般 50 ~ 60%, 岩石中硬, 完整性较差。该区域发育不同规模的断裂构造, 对洞室稳定有一定影响, 洞内地下水以基岩裂隙水为主。

TBM3-1 设备掘进至 49+680 附近, 揭露 F17 断层, 进入断层影响带, 隧洞埋深约 397m。TBM3-1 施工至 49+769 处, 掌子面遇到拱顶塌方, 拱顶 150° 范围节理裂隙发育, 岩体破碎严重, 完整性差, 围岩无自稳能力, TBM 护盾后方和 49+730 ~ 49+758 段两处拱架发生变形, 施工停滞, 拱架大变形照片如图 1 所示。



图 1 隧洞拱顶塌方破碎围岩

隧洞现场在桩号 49+730 ~ 49+758 段拱架变形段设置 3 组变形观测点, 采用全站仪进行观测收集沉降数据, 每 2 个小时观测一次, 并记录沉降数据, 观测结果表明桩号 49+732.9 处最大沉降值为 51.9mm, 现场监测情况如图 2 所示。

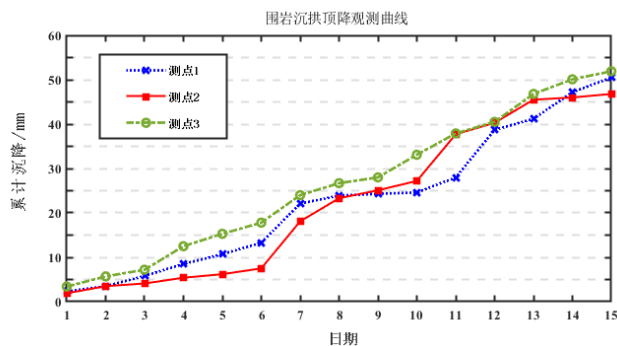


图 2 拱架变形监测曲线

2 拱架变形原因分析及超前地质预报

2.1 拱架变形原因分析

发生拱架大变形洞段隧洞围岩岩性为华力西期变质花岗岩断层蚀变岩, 颜色呈浅黄色, 碎块状~次块状结构, 局部岩块及裂隙面呈糜棱岩化和高岭土化, 岩石局部酥软, 强度低。该段 (49+730 ~ 49+758) 岩石节理裂隙发育, 主要发育三组节理, 产状: ① 5° SE ∠ 15° ~ 25° ② 325° ~ 330° NE ∠ 55° ~ 60° ③ 52° ~ 55° NW ∠ 60°。受三组节理裂隙相互切割的影响, 拱顶 150° 范围岩体破碎严重, 完整性差, 围岩无自稳能力, 局部形成塌腔体。根据施做锚杆时初步探明破碎层层厚

3.5m ~ 4m, 为抑制拱架变形施工方采用了化灌处理, 仍无法抑制拱架后期变形。综合分析, 造成拱架变形原因主要为围岩破碎, 产生塌方, 且塌方量巨大, 超过了拱架的极限承载力, 造成拱架变形。

2.2 超前地质预报

为进一步查明该段落地质情况, 开展了超前地质预报工作, 采用地震波法进行超前探构造, 采用电法进行超前探水。三维地震探测主要利用介质波阻抗的差异来探测前方的不良地质^[1]。地震波反射成像图如图3所示, 预报结果如下: 49+769~49+829 段落: 地震波成像图上正负反射明显, 预测该段落隧洞围岩破碎, 节理裂隙发育, 塌腔出现概率高;

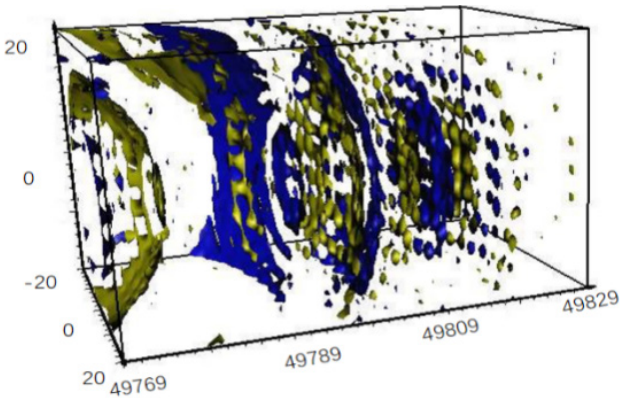


图3 隧洞地震波成像图

电法勘探的原理是隧洞围岩与含水地质构造的电性参数差异明显^[2]。现场激发极化法探测结果如图4所示, 预报结论如下: 49+769 ~ 49+799 段落: 激发极化三维电阻率成像反映围岩电阻率值较低, 预测现场出现

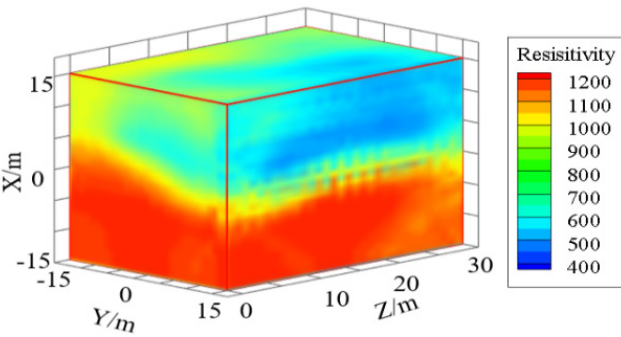


图4 激发极化法三维成像图

根据超前地质预报结果, 掌子面前方 60 米范围内为断层破碎带及其影响带的范围, 且发育地下水。

3 拱架变形及围岩处置加固方案

引水隧洞掌子面 49+769 处位于 F17 断层影响带, 隧洞岩体较破碎~破碎, 围岩自稳能力差, 设计确认后

变更为 V 类围岩。根据超前地质预报的结果, 及确保 TBM 后续的安全掘进, 经业主、设计、咨询及施工单位共同讨论研究后, 采用先对拱架变形区进行加固, 再加固护盾上方围岩, 最后采用合理调整开挖及支护参数的方法通过该断层破碎带^[3-4]。施工工序流程如图5所示。

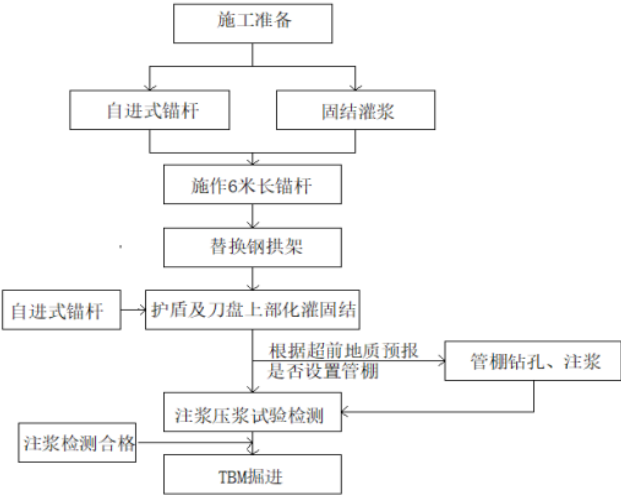


图5 施工工序流程图

3.1 拱架变形段施工方案

拱架变形区域采用先喷射混凝土形成止浆墙, 然后再采取加密自进式锚杆并固结灌浆等措施加固拱架, 待围岩稳定后实施换拱^[5-8]。具体步骤如下:

(1) 喷射混凝土形成止浆墙。喷射 15cm 厚 C30 混凝土, 采用分段、分片、分层工序依次进行, 先将超挖区域喷填平整, 然后按照从下到上的顺序分层、往复喷射。

(2) 自进式锚杆加固。布设自进式锚杆, 长度 6m, 直径 25mm, 相邻锚杆间距 1m, 呈梅花型。自进式锚杆采用手风钻或小型地质钻机钻孔, 利用钻机安装连接套与自进式锚杆连接, 锚杆钻孔完成后与钻机脱离, 砂浆采用砂浆搅拌机拌和, 灌浆泵注浆。施工过程中可根据围岩松散层厚度适当增加锚杆长度。现场锚杆布设如图6所示。

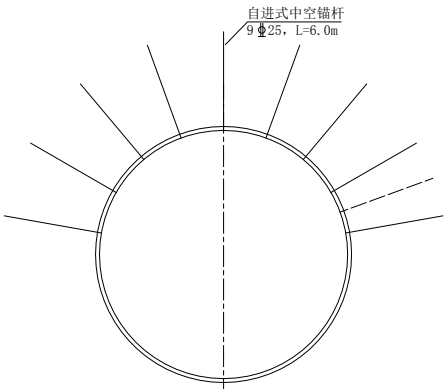


图6 锚杆布置图

(3) 固结灌浆。利用自进式锚杆进行固结灌浆,浆液采用化学灌浆。化学灌浆材料采用 A 料、B 料及加固料组成。现场通过浆液试验、灌浆试验,确定最优的灌浆参数,包括布孔形式、孔深、孔序、间排距、灌浆压力、灌浆段长、注浆率等。施工时采用灌浆机进行灌浆,灌浆压力取 1~3MPa,在设计压力下,当注入率不大于 0.4L/min,继续灌注 20min,或不大于 1.0L/min,继续灌注 30min。灌浆完成后首先关闭孔口闸阀,然后关闭注浆泵,等浆液终凝完毕,最后拆除孔口闸阀。

(4) 拱架替换。固结灌浆施做完成,待围岩变形观测稳定后,加装竖向支撑,更换侵入开挖轮廓线的部分钢拱架。替换拱架原则为:1)影响 TBM 正常通过的拱架,将影响部位拆除替换;2)拱架扭曲变形量较大,无法起到应有的支撑作用,拆除替换;3)侵占二次衬砌空间的拱架,在衬砌施工前进行替换。考虑施工安全,为防止拆除拱架时上方围岩发生坍塌,拱架替换时先在拱架变形部位两侧施做 $\phi 25$ 锁定锚杆,长度 3.5m,每侧 2 根,锚杆与拱架焊接牢固,然后割除变形拱架段,替换为合格拱架,替换拱架两段施做 3.5m 长 $\phi 25$ 锁定锚杆锁定,拱架替换过程如图 7 所示。

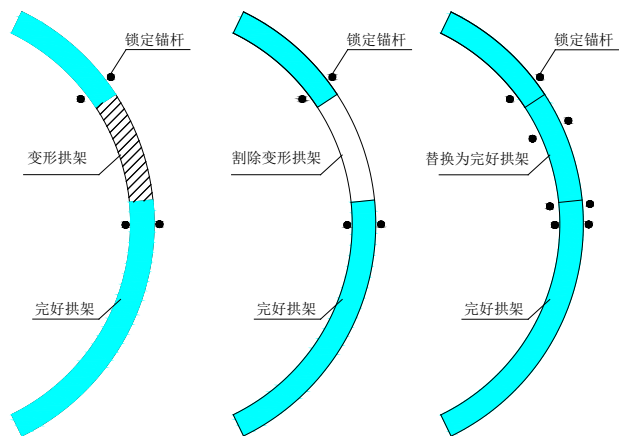


图 7 拱架替换流程图

拱架替换完成后,进行局部浇筑混凝土封闭岩面。底板采用封模浇筑混凝土的方法,拱架内侧焊接 3mm 钢板,将 TBM 泵送管延伸至预留注浆口位置,浇筑 C30 细石混凝土。

3.2 护盾上方围岩加固方案

护盾与刀盘上部围岩受断层破碎带影响,自稳能力差,已产生部分塌方,加固方案为^[9-10]:先采用 $\Phi 25$ 自进式中空注浆锚杆,锚杆长度 6m,锚杆布设范围为拱部 240°,锚杆外倾角 9°~15°,锚杆杆身按照 25cm 间距布设溢浆孔,孔径 6mm~8mm。锚杆施工完

成后采用化学灌浆材料进行灌浆,注浆压力 0.5~3MPa,具体压力根据现场试验确定。采用 YT-28 手持风枪钻进锚杆,钻进过程中持续喷水,并将钻孔内岩渣及时清理干净,防止卡钻。护盾上方超前灌浆示意图如图 8 所示。

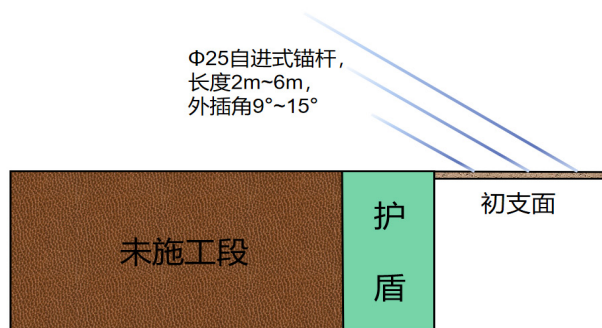


图 8 超前灌浆剖面图

3.3 TBM 掘进方案

待变形区与护盾上方围岩固结完成后开始 TBM 掘进^[11-12]。受断层破碎带影响初期支护按 V 类围岩进行支护,拱架采用 HW150 型钢拱架,拱架间距为 45cm,拱顶 180° 范围内铺设 $\phi 20$ 钢筋排,锚杆采用自进式锚杆,长度 6m。采用应急喷混设备,超前喷射 C30 混凝土,厚 20cm,及时封闭围岩。每掘进 50cm 立即按上述处理方案及时支护,开挖支护完成后及时超前注浆,固结围岩。

4 结论

本文以新疆某引水工程为研究背景,分析了 TBM 穿越断层破碎带时,拱架发生大变形的原因,并提出了拱架大变形的处置方案和 TBM 穿越断层破碎带的施工措施,得到如下结论:

(1) TBM 穿越断层破碎带,因不良地质导致的塌方、卡机灾害,可先采用超前地质预报方法确定掌子面前方不良地质的规模,再制定相应的 TBM 脱困和施工处置方案。

(2) 隧洞拱架变形的处置方案可采用先喷射混凝土形成止浆墙,再采取加密自进式锚杆并固结灌浆等措施加固拱架,最后待围岩稳定后再实施换拱,该施工方案可为类似工程提供借鉴意义。

参考文献:

- [1] 杜立杰. 中国 TBM 施工技术进展、挑战及对策 [J]. 隧

轨道交通工程勘察钻孔封孔水泥浆离析与下沉试验研究

陈春明

(江苏苏州地质工程勘察院, 江苏 苏州 215129)

摘要: 分析了钻孔封孔的必要性, 总结了常用的钻孔封孔方法。以无锡至江阴城际轨道交通工程勘察 02 标为研究背景, 通过对区域地质背景和研究区岩土层的分析发现, 该地区上覆土以第四系粘性土为主, 下伏基岩, 具有较明显的地区特征。同时, 参考了无锡地铁 1~4 号线封孔经验、因封孔质量引发的工程事故, 发现目前采用的封孔工艺随意性较大, 无法定量执行并有效监督, 从而保障封孔质量。通过理论分析、现场试验和室内对比实验, 有针对性地开展钻孔封孔水泥浆离析与下沉试验, 对水泥浆参数进行了深入研究与优化, 并制定量化的封孔流程。结果表明当水灰比为 0.499 时, 收缩比为 1.01%, 注浆效果较好, 满足钻孔封孔质量要求; 制度量化封孔流程可执行性强, 便于监督。研究结果可为该区域开展工程勘察钻孔封孔提供方法借鉴。

关键词: 轨道交通; 工程勘察; 钻孔封孔; 水泥浆; 下沉试验

中图分类号: U21

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2022) 07—0148—04

近年来, 我国城市轨道交通建设进入高速发展时期。国务院《中国交通运输发展》白皮书中指出, “十三五”期间我国要建设现代高效的城际城市交通, 新增城市轨道交通运营里程逾 3000 公里。到 2020 年, 通车里程还将保持年均 13.9% 左右的增长率。工程勘察作为工程基本建设程序中的先导性工作, 把好勘察安全关、质量关, 对于推进轨道交通高质量发展至关重要^[1]。

钻探是工程勘察中获取地质资料最直观、最重要的

方法之一。通过钻探分回次钻进取芯, 进行标准贯入试验, 采取不扰动土样及扰动土样, 获得岩土体物理力学参数。钻孔封孔作为钻探施工的最后一个环节, 是钻孔质量的重要组成部分, 封孔效果好坏直接影响到后续土建施工的安危^[2]。

目前, 对钻孔封孔材料、材料用量的研究较少。本文分析了钻孔封孔的必要性, 总结了常用的钻孔封孔方法。以无锡至江阴城际轨道交通工程勘察 02 标为研究

道建设, 2017, 37(09): 1063—1075.

[2] 刘泉声, 黄兴, 时凯, 朱元广. 深部挤压性地层 TBM 掘进卡机孕育致灾机理 [J]. 煤炭学报, 2014, 39(S1): 75—82.

[3] 陈卫忠, 肖正龙, 田洪铭. 深埋高地应力 TBM 隧道挤压大变形及其控制技术研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2017, 34(11): 2215—2226.

[4] 张伟峰, 王海平, 赵鑫 [J]. 调水总干渠引水隧洞复杂地质条件下 TBM 卡机分析及脱困技术研究. 水利与建筑工程学报, 2018, 16(06): 160—164.

[5] 袁艳斌, 陈维. 降低大直径双护盾 TBM 在不良地质洞段卡机风险的对策研究 [J]. 四川水力发电, 2019, 38(02): 51—53.

[6] 苏珊, 曹海. 新疆某隧洞开挖 TBM 卡机原因及脱困处理措施 [J]. 水利水电技术, 2018, 49(02): 77—85.

[7] 温森, 杨圣奇, 董正方, 赵丽敏. 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(07): 1271—1277.

[8] 袁艳斌, 陈维. 大直径双护盾 TBM 在不良地质洞段卡机风险的对策研究 [J]. 四川水力发电, 2019, 38(02): 51—53.

[9] 赵海雷, 陈馈, 周建军, 等. 引松供水 4 标 TBM 连续穿越灰岩的施工技术研究 [J]. 隧道建设, 2017, 37(03): 354—362.

[10] 张国. 厄瓜多尔 CCS 项目双护盾 TBM 通过断层破碎带施工技术研究及实施 [J]. 水利建设与管理, 2018, 38(06): 1—6.

[11] 董泗龙. 敞开式 TBM 断层破碎带脱困技术 [J]. 隧道建设, 2016, 36(03): 326—330.

[12] 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(09): 68—71.