

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2018.S.008

直控式泥水盾构 江底浅埋段施工技术

方东洋

(中铁隧道股份有限公司, 郑州 450003)

摘要: 南宁地铁3号线青市区间越江隧道工程, 盾构机在泥岩地层施工过程中存在刀盘结饼、渣土滞排等技术难题, 不仅降低盾构施工效率, 更因渣土滞排导致江底段施工时易出现隧顶覆土击穿、盾尾密封失效等施工风险。通过施工前对盾构机选型, 针对泥岩地层段施工技术难题, 对盾构机进行针对性设计、改造, 在施工中控制及优化掘进参数等, 已有效缓解泥水盾构泥岩地层施工中刀盘结饼、渣土滞排等技术难题, 提高泥水盾构泥岩地层的施工效率, 降低江底段泥水盾构的施工风险, 对类似工程特别是泥水盾构江底浅埋段泥岩地层施工具有一定的参考价值。

关键词: 直控式; 泥水盾构; 江底浅埋段施工; 刀盘结饼; 粉砂质泥岩; 南宁地铁

中图分类号: U231.3

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2018)S-0037-04

Analysis of Construction Technology of Direct-controlled Slurry Shield for Shallow Buried Section of River Bottom

FANG Dongyang

(China Railway Tunnel Co., Ltd., Zhengzhou 450003)

Abstract: This article analyzes both Nanning Metro Line 3 and the Crossing River Tunnel project in Qingdao in terms of technical problems such as knife intertwining cake and residue lag in the construction of mudstone stratum. These problems not only reduce the efficiency of shield construction, but also cause construction risks such as tunnel roof penetration and sealing failure of the shield tail. Through the selection of the shield machine and construction technology for the mudstone stratum to address the technical problems of the shield machine for the targeted design, measures such as transformation, control, and optimization of tunneling parameters effectively alleviate technical problems such as intertwining cake and residue lag in the construction of mud shield mudstone stratum. Moreover, they improve the construction efficiency of the mud shield mudstone stratum, and reduce the risk of mud shield construction in the river bottom section. This has some reference value for similar engineering applications, especially for the construction of mudstone stratum in shallow buried sections of slurry shields.

Keywords: direct control type; slurry shield structure; shallow buried section of river bottom construction; knife intertwining cake; silty mudstone; Nanning Metro

1 研究背景

随着我国经济的飞速发展, 铁路、公路、轨道交

通、水利等基础设施建设也随之加快, 盾构法作为地下工程领域最先进、最安全的施工方法而被广泛采用^[1]。在地铁隧道施工中, 常常遇到穿江过河的工程^[2], 同时盾构施工的地质条件也越来越复杂, 特别是泥水盾构在泥岩地层施工中极易产生刀盘结饼、堵仓等问题, 导致盾构施工效率降低, 施工成本增加。

收稿日期: 2018-04-25 修回日期: 2018-07-05

作者简介: 方东洋, 男, 大学本科, 助理工程师, 从事盾构技术管理工作, 719357379@qq.com

国内针对不同地质条件下刀盘结泥饼这一问题进行了相关研究,严辉、胡欣雨等对盾构刀盘结泥饼的成因进行了分析^[3-4];李志军等针对刀盘结泥饼现象,从盾构机改造、超前地层勘探、泥浆质量管理等方面进行了研究^[5];王助锋等针对刀盘结泥饼现象,从优化刀盘开口、刀具配置及刀具高差设定、冲刷系统改造等方面入手,制定了刀盘结泥饼防范措施^[6];陈玉亮、肖超等针对全风化、半风化泥岩及泥质粉砂岩地层土压盾构施工中刀盘结泥饼,从盾构机针对性设计及碴土改良、参数控制等方面制定防范措施^[7-8];高峻、郭卫社等分别针对庆春路过江隧道、台山核电站过海隧道的施工难度及风险,制定了盾构施工应对措施^[9-10]。

国内目前关于刀盘结泥饼的研究主要是针对土压盾构及间接式泥水盾构,暂无直控式泥水盾构施工的针对性研究。笔者结合南宁3号线青市区间江底浅埋段施工实例,通过施工前对盾构机的正确选型,针对泥岩地层段施工技术难题,对盾构机进行针对性的设计及改造,对施工过程的掘进参数进行控制等,有效缓解了泥岩地层施工中刀盘结泥饼、渣土滞排的问题,降低了江底段泥水盾构的施工风险,提高了泥水盾构泥岩地层的施工效率。

2 工程状况

2.1 项目概况

南宁市轨道交通3号线02标11工区青秀山站—市博物馆站(原博艺路站)区间位于南宁市良庆区,采用2台直控式泥水盾构施工。区间盾构自市博物馆站北端头始发,沿彩凤路向北敷设,依次穿越云龙街、平江路、龙提路,至邕江南岸江滩,穿过邕江至北岸江滩,下穿青环路,沿青山路北行,到达青秀山站接收,如图1所示。



图1 青—市区间施工平面

Fig. 1 Schematic diagram of the construction plane between green and urban areas

隧道穿越邕江段施工时位于右线半径600m的曲线段上,隧道纵坡28.5%下坡,邕江段隧道埋深8.8~39.8m,最浅覆土8.8m,水深17~24.6m(常水位绝对高程62m)。

2.2 工程地质

根据区间平纵断面设计文件及地质详堪、补堪资料,区间隧道邕江段施工主要穿越地层以⑦₁₋₃粉砂质泥岩、⑦₂₋₃泥质粉砂岩,隧道顶部覆土主要为②₁₋₁杂填土、⑤₁₋₁砾石、④₄₋₁粉砂、⑦₁₋₃粉砂质泥岩等,最浅覆土8.8m,其中洞顶泥岩最浅4.2m,如图2所示。

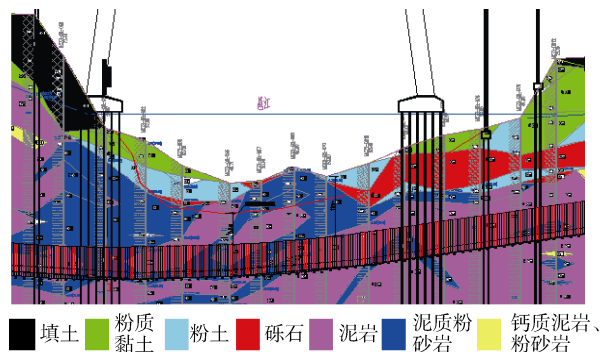


图2 邕江段施工地质剖面

Fig. 2 Geological profile of the construction of Yongjiang section

区间隧道邕江段施工期间,穿越地层的地质情况如下:

1) 泥岩、粉砂质泥岩⑦₁₋₃(见图3)。青灰色,泥质结构,局部粉砂质结构,成岩程度较深,呈半岩半土状,风干开裂,遇水易软化;天然状态下单轴抗压强度为1.03~7.39MPa,标准值为2.61MPa,自由膨胀率26.4%~43.4%,平均值33.7%,属A2类膨胀土。



图3 粉砂质泥岩芯样

Fig. 3 Core sample of silty mudstone

2) 泥质粉砂岩⑦₂₋₃(见图 4)。青灰色, 粉砂质结构, 成岩程度较深, 呈半岩半土状, 局部含泥质; 天然状态下单轴抗压强度为 0.92~3.56 MPa, 标准值为 1.54 MPa。



图 4 泥质粉砂岩芯样

Fig. 4 Core sample of argillaceous powder sandstone

2.3 水文情况

根据勘探揭示的地层结构, 该区间邕江段施工中地下水和邕江具有一定的水力联系, 属承压水; 邕江南宁市河段河床宽约 485 m, 深约 21 m, 平均水面宽 307 m, 枯水水深 8~9 m。江底分布一定厚度的淤泥, 下伏半成岩的粉砂质泥岩、泥质粉砂岩, 隧道结构从该半成岩的岩层中通过。

3 技术难题

南宁地铁 2 号线南朝区间的间接式泥水盾构, 在泥岩地层施工中主要存在掘进参数异常、刀盘结饼严重、渣土结泥团等技术难题。

3.1 掘进参数异常

在泥岩地层施工中, 掘进速度仅为 2~6 mm/min, 总推力为 2 600~3 000 t, 最大 3 200 t, 扭矩 2 800~3 400 kN·m, 掘进一环需 3~4 h; 在带压开仓清理及冲洗刀盘后, 掘进速度 15 mm/min, 掘进 1 环用时 2 h。但在掘进 4~6 环后, 掘进参数又恢复至清洗前状态, 且泥水仓顶部压力由 0.22 MPa 波动至 0.3 MPa, 最大 0.4 MPa, 主要原因是泥水仓渣土滞排, 导致压力波动较大。

3.2 刀盘结饼严重

在盾构掘进过程中, 经常出现堵仓、堵管、出渣困难等现象, 经加大刀盘中心冲刷后未有明显改善, 还因出浆管路前设置的格栅影响出渣效果; 施工中需频繁开启碎石机扰动, 导致碎石机管路经常爆管、漏

油; 同时为处理碎石机漏油问题, 又需带压开仓检修。

经开仓作业检查, 气垫仓内渣土堆积现象严重, 甚至堆积至气垫仓中部以上, 且气垫仓内仅有直径约 500 mm 的泥浆通道, 采石箱油管因渣土堵塞折断或密封损坏; 刀盘面板及牛腿结饼严重, 卸渣槽全部堵塞, 泥水仓底部存在大量泥团。

3.3 渣土结泥团

盾构进入泥岩地层后, 泥浆比重上升快, 施工中泥浆比重均在 1.2 g/cm³ 以上, 单环掘进比重量上涨 0.03~0.05 g/cm³, 泥浆黏度 25~28 s。泥浆比重过大造成掘进渣土不易外排, 加剧了刀盘结饼、渣土滞排, 施工中虽采用 2 台压滤机、1 台离心机和废浆外运等方式对废浆进行处理, 但仍因比重太高而导致盾构机停机。

分离出的渣土多为直径 5~15 cm 的泥团, 泥团较硬, 内部夹杂圆砾或砾石。

4 改进措施

4.1 盾构机针对性设计和改造

根据区间平纵断面设计文件及地质详勘、补勘报告, 区间隧道泥岩地层占比高达 70%, 邕江段施工全部为泥岩地层。根据国内施工经验及施工中出现的难题, 对盾构机进行了针对性设计和改造。

1) 盾构机环流系统采用直控式。盾构机不设置气垫仓及碎石机, 出浆管路直接连接至泥水仓仓门, 确保掘进完成后渣土直接通过出浆管路外排, 大块的石块通过出浆泵前设置的采石箱集中收集、清理, 减少渣土在泥水仓中的滞留, 以减少刀盘结饼、渣土滞排现象。

2) 增大刀盘开口率。在不影响刀盘整体强度、刚度的前提下, 对部分面板进行割除, 将刀盘的开口率由原设计的 30% 增加到 35%, 并确保中心开口率不小于 40%。

3) 改良环流系统。增设中心循环冲刷泵, 增大对刀盘冲刷, 以减少结饼, 又增加了泥水仓环流流量, 加速渣土的及时外排。

4) 刀盘刀具耐磨处理。针对性地对刀盘、刀具进行耐磨处理, 以减少过程中的换刀次数。

5) 增大刀盘冲刷系统。刀盘设置 5 个轴向注水口和 6 个径向注水口, 以防止刀盘中心区域结泥饼, 增加土体在刀盘内的流动性; 进浆管路由原设计的斜向冲刷改为 90°弯头, 加大对牛腿的冲刷, 以减少牛腿

结饼情况。

4.2 江底施工采取保证措施

1) 盾构机机况检查及刀具更换。在盾构机进入邕江段施工前 50 环时,开仓更换刀具,在刀具更换作业期间完成盾构机机况检查,确保盾构机一次性完成邕江段施工。

2) 仓压控制。施工前根据隧道埋深、邕江水位高度等合理确定泥水仓压力,施工中仓压波动不大于 ± 15 kPa,安排测量人员及时跟踪邕江水位变化情况,及时调整泥水仓压力,确保邕江段施工安全。

3) 泥浆管理。根据区间盾构邕江段施工地层,结合盾构机配置情况,合理制定邕江段施工泥浆性能指标,施工中根据仓压波动情况、出渣情况等及时优化,安排实验人员跟踪泥浆性能指标,及时进行废浆处理。

4) 盾构掘进参数控制。施工中主要以控制刀盘扭矩为主,刀盘扭矩不得大于 $3\,200\text{ kN}\cdot\text{m}$,推力不大于 $2\,800\text{ t}$ 。扭矩出现波动时停止掘进,通过加大刀盘转速、加大循环流量冲洗将扭矩降下,再恢复掘进;若持续出现扭矩增大、推力增大、掘进速度慢等情况,分析讨论,必要时停机。

5) 姿态管理。因区间盾构邕江段位于曲线段,在盾构机到达曲线段前预偏 20 mm ,以利于后续姿态调整。施工中根据姿态变化及左右油缸行程差、成型隧道复测情况综合评定掘进中的姿态,纠偏时严格控制单环纠偏量,水平纠偏单环不大于 6 mm ,垂直纠偏单环不大于 4 mm 。

6) 同步注浆及二次补注浆。邕江段施工时严格控制同步注浆压力及注浆量,注浆压力不大于地层压力的 $1.2\sim 1.5$ 倍,注浆量不小于理论注浆量的 1.5 倍,并将同步注浆浆液凝结时间调整为 $4\sim 6\text{ h}$,以确保及时固结成型管片;若管片上浮量超过 50 mm ,须对成型隧道管片进行二次补注浆作业,二次补注浆位置距离盾尾 $5\sim 7$ 环,腰部以上孔位,浆液采用水泥-水玻璃双液浆,凝结时间不大于 60 s ,注浆压力不大于 0.45 MPa ,注浆量控制在单环 1 m^3 。

7) 盾尾密封控制。在盾构施工中,严格控制同步注浆压力/注浆量、盾尾油脂注入方式/压力/注入量及二次补注浆位置/注浆压力等,避免因盾尾被击穿而造成盾尾漏浆;管片拼装前须将拼装区域清理干净,避免因杂物拖入盾尾造成盾尾漏浆;拼装时若上环管片存在漏水情况,则手动注入盾尾油脂堵漏,并在掘进施工中加大对该区域的同步注浆及二次补注浆。

5 实施效果

通过对盾构机针对性的设计及改造、在施工过程中严格控制掘进参数、加强对刀盘及牛腿的冲刷等措施,在南宁地铁 3 号线青市区间邕江段施工中,提升了泥岩地层泥水盾构的施工效率,泥岩地层施工日进度提升到 $6\sim 8$ 环,降低了施工成本,取得了良好的经济效益和社会效益,对此得出以下结论:

1) 刀盘开口率选择。在满足结构强度及刚度的条件下,刀盘开口率尽可能增大,从区间 2 台盾构江底浅埋段泥岩地层的施工经验看,刀盘中心开口率不宜小于 40% 。

2) 中心冲刷改造及使用。泥岩地层施工前需设置刀盘中心冲刷及牛腿冲刷系统,确保对刀盘及牛腿及时冲刷,以控制刀盘及牛腿的结饼。

3) 泥浆管理。在泥岩地层施工中,需密切关注泥浆性能指标,泥岩地层的泥浆指标不宜大于 1.15 g/cm^3 。如泥浆指标超过范围,及时进行废浆处理,确保盾构的连续作业及渣土的顺利外排。

4) 掘进参数管理。施工中需密切关注掘进参数的变化情况,在控制盾构机扭矩大于 $3\,200\text{ kN}\cdot\text{m}$ 、推力不大于 $2\,800\text{ t}$ 的情况下,如果发现参数异常,立即停机分析原因,制定措施,以减少刀盘结饼。

参考文献

- [1] 程晓. 盾构施工技术[M]. 上海: 上海科学文献出版社, 1990: 1-2.
- [2] 陈珊东. 过江地铁隧道盾构机选型[J]. 隧道建设, 2009, 29(S1): 69-72.
CHEN Shandong. Model selection of shield machine for river-crossing metro tunnel[J]. Tunnel construction, 2009, 29(S1): 69-72.
- [3] 严辉. 盾构隧道施工中刀盘泥饼的形成机理和防治措施[J]. 现代隧道技术, 2007, 44(4): 24-27.
YAN Hui. Mechanism of the formation and the prevention of clay cakes in shield tunneling[J]. Modern tunneling Technology, 2007, 44(4): 24-27.
- [4] 胡欣雨, 张子新. 砂卵石地层土压盾构开挖面动态平衡机理研究[J]. 地下空间与工程学报, 2009, 5(6): 1115-1121.
HU Xinyu, ZHANG Zixin. Research on dynamic balance mechanism of the excavation face with earth pressure shield in sandy cobble ground[J]. Chinese Journal of underground space and engineering, 2009, 5(6): 1115-1121.

(下转第 60 页)