

DOI: 10.7672/sgjs2025030028

下穿黄河强透水砂卵石地层盾构隧道施工技术*

潘屹¹, 马安震¹, 孙海东¹, 王万平¹, 刘永强²

(1. 中交第一公路勘察设计研究院有限公司, 陕西 西安 710075; 2. 中交隧道局工程有限公司, 北京 100102)

[摘要] 为解决盾构下穿黄河强透水砂卵石地层掘进时出现的始发井及接收井洞门墙渗漏水、刀盘前泥水仓下部卵石滞排、刀盘结泥饼、盾尾水泥浆液渗漏等工程问题, 依托中宁县热电联产集中供热管网建设工程中的盾构隧道工程, 结合现场实践对盾构掘进参数、管片拼装选型等进行分析, 并研究洞内盾尾密封刷更换、带压进仓清理滞排卵石、带压进仓换刀等施工技术。工程实践表明, 洞门端头临时封堵及洞门墙渗漏水处治措施可保证盾构顺利始发, 封堵保压措施可清理盾构刀盘堆积卵石并顺利恢复掘进, 注浆加固及更换盾尾密封刷可解决盾尾泥浆渗漏问题。

[关键词] 隧道; 盾构; 掘进; 渗漏; 处治; 施工技术

[中图分类号] U45

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)03-0028-08

Construction Technology of Shield Tunnel Crossing the Yellow River Under Strong Permeable Sandy Pebble Strata

PAN Yi¹, MA Anzhen¹, SUN Haidong¹, WANG Wanping¹, LIU Yongqiang²

(1. CCCC First Highway Consultants Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710075, China;

2. CCCC Tunnel Engineering Co., Ltd., Beijing 100102, China)

Abstract: In order to solve the engineering problem of water leakage in the tunnel door wall of the starting well and the receiving well, the stagnation of pebble in the lower part of the mud water silo in front of the cutter head, the mud cake on the cutter head, and the leakage of cement slurry at the shield tail during shield tunneling crossing the Yellow River under strong permeable sandy pebble strata, relying on the shield tunnel of Zhongning Cogeneration Central Heating Pipe Network construction engineering, combined with the field practice, this paper analyzes the parameters of shield tunneling and the selection of segment assembly, and studies the construction technology of shield tail seal brush replacement in the hole, cleaning the stuck pebble with pressure inlet warehouse, and changing the knife with pressure inlet warehouse. The engineering practice shows that the temporary sealing at the end of the tunnel door and the treatment measures for the leakage of the tunnel door wall can ensure the smooth start of the shield, the sealing and pressure maintaining measures can clean up the accumulated pebbles of the cutter head of the shield and resume the excavation smoothly, and the grouting reinforcement and the replacement of the shield tail sealing brush can solve the problem of the mud leakage at the shield tail.

Keywords: tunnels; shields; tunneling; leakage; treatment; construction

0 引言

富水砂卵石地层具有孔隙率大、渗透性强、土体间黏结力小、地层反应灵敏度高特点, 盾构在该地层中掘进时易出现姿态控制困难、盾尾击穿破

坏等问题, 严重时会引起隧道渗漏水、地表沉降过大等。为解决盾构隧道开挖掘进出现的问题, 已有学者进行了研究, 如刘吉东等^[1]为解决盾构在低标贯值极软流塑淤泥层掘进中出现的姿态控制困难、管片碎裂、渗漏水、水平收敛超限等问题, 依托杭州地铁2号线庆菱路站—建国路站区间隧道, 结合现场实践对盾构施工难点及解决措施进行分析; 程国良等^[2]依托武汉地铁某大直径越江隧道, 通过对穿

*陕西省秦创原“科学家+工程师”队伍建设资助项目 (22YF11GA299)

[作者简介] 潘屹, 高级工程师, E-mail: 729641103@qq.com

[收稿日期] 2024-10-18

越地层和水文条件特征的分析,识别了本区间显著存在的开挖面失稳、刀盘磨损及密封失效等适应性风险,在此基础上针对刀盘系统、推进驱动系统和密封系统进行了选型结果分析;郑剑锋^[3]总结了盾构在复杂工况下软流塑地层中施工易出现的盾构上浮、管片开裂等问题,并提出了解决办法;张晓勇等^[4]开展了不同泥浆支护压力比对开挖面稳定性的影响研究,得到泥浆支护压力比范围,并将最佳泥浆支护压力比应用于隧道下穿黄河大堤施工模拟中,研究了泥水平衡盾构穿越黄河大堤时的堤面位移规律,并与现场实际监测值进行对比分析,验证了所得泥浆支护压力比范围的可靠性;孙子正等^[5]开展了软流塑地层注浆加固现场试验,围绕地层宏观力学性能研究了注浆加固结石体弹性模量、黏聚力、内摩擦角及渗透系数等参数变化规律;苏秀婷等^[6]以武汉地铁8号线黄浦路站—徐家棚站越江隧道工程为依托,研究了覆土厚度、开挖面支护压力、盾壳段土体损失、盾尾注浆压力对地表沉降规律的敏感程度;姚志刚等^[7]以兰州地铁1号线工程为例,介绍了强透水砂卵石地层盾构施工过程中掌子面塌方处理措施及后续掘进过程中防止进一步塌方的预防措施,并取得了良好的效果;刘继强等^[8]依托连续穿越全断面软弱地层、上软下硬地层及全断面微风化岩层的妈湾海底大直径泥水盾构隧道,分别建立了不同地层条件下掌子面稳定性分析三维数值模型,得到了掌子面位移分布规律及极限支护应力比;毛韬^[9]对盾构隧道在迎坡和复合地层条件下的开挖面稳定性进行了分析,给出了开挖面极限支护力;汪辉武等^[10]结合兰州市轨道交通1号线I期迎门滩—马滩区间工程,对强透水砂卵石地层条件下的泥水平衡盾构带压与常压进仓技术进行了研究;徐汪豪等^[11]依托北京地区目前最大直径泥水平衡盾构工程清华园隧道,对盾构由粉质黏土层掘进至卵石土、砂、粉质黏土互层地层时参数变化规律进行了研究;赵博剑等^[12]以深圳地铁11号线车公庙站—红树湾站和南山站—前海湾站区间 $\phi 7\text{m}$ 复合式土压平衡盾构施工为背景,针对区间典型地段的的不同地层,分析了5个关键盾构掘进参数与6种主要地层的相关性;张志奇等^[13]以复杂地层地质分段为基础,统计了不同地质分段的盾构掘进参数,开展了针对盾构掘进速率与刀盘扭矩的多元回归分析,得到了适用于复杂地层的掘进参数回归模型,并分析回归模型系数与全断面等效岩体基本质量指标间的相关性;封炎等^[14]以下穿黄河某盾构区间隧道为依托,结合现场实际施工情况,揭

示了强透水砂卵石地层力学特性及失稳机理,同时根据现场监控测量数据,深入分析了强透水砂卵石地层受盾构施工荷载扰动后的沉降规律,并提出了相应的安全控制措施;潘格林等^[15]以兰州市轨道交通1号线穿河段泥水平衡盾构隧道为工程背景,针对砂卵石强透水地层盾构隧道开挖面稳定性问题,应用FLAC 3D软件建模分析渗流作用下隧道开挖面极限支护压力及地表沉降规律;肖颖等^[16]以西安轨道交通地铁10号线东风路站—学府路站区间下穿大西、郑西客专高速铁路土压平衡盾构施工为背景,基于盾构试验段数据研究了土压平衡盾构在富水砂层中下穿掘进参数及控制措施;马哲^[17]考虑黄河主槽移位产生的一般冲刷影响,对比分析了不同冲刷条件下管片结构力学响应,给出了穿江越河隧道管片设计中百年设计水位、冲刷深度及隧道覆土厚度确定方法和原则;李勇成等^[18]阐述了盾构盾尾密封刷磨损机理,并总结了川气东送武汉盾构工程在强透水地层下更换盾尾密封刷的经验,对于预防密封刷失效及隧道施工过程中更换密封刷有一定借鉴意义;廖文江等^[19]依托珠海隧道工程,针对盾构始发一侧隧道埋深浅、周边地层软弱的特点,制定并采取了地层预加固处理、盾构机针对性设计、同步双液注浆系统改造及注浆方法优化、改进管片防水体系等系统性措施。

本文依托中宁县热电联产集中供热管网建设项目,对强透水砂卵石地层盾构施工技术进行研究,提出强透水砂卵石地层盾构隧道施工控制措施。

1 工程概况

中宁县热电联产集中供热管网建设项目路线全长2 017.76m,设2个工作井和1条隧道,采用盾构法穿越黄河,如图1所示。

始发井起点里程桩号为K0+016.000,盾构隧道起点里程桩号为K0+000.000,始发井长16m。盾构隧道起点至黄河大堤堤脚(里程桩号K0+235.000)段长度为235m,隧道在始发段采用-4.65%的坡度,平面形式为直线。盾构隧道始发及接收端头地层主要为②₄卵石土层,隧道顶部上方地层主要为②₄

卵石土层及③₁粉土层,正常盾构区间穿越地层主要为③₄细砂层及③₄细砂层与③₁粉土层互层,局部含有③₂粉质黏土层。盾构始发段线路纵坡属于大纵坡,且卵石土层为强透水层,中部及下部为粉土、粉砂地层,盾构推进易出现“栽头”及透水现象,对盾构始发技术要求较高,盾构始发难度较大。

2 盾构隧道始发井洞门墙渗漏水及处治技术

2.1 现场施工问题及产生的原因

盾构隧道在始发段掘进过程中,盾构机壳与洞门墙间发生渗漏水,原因主要为:①始发井位于②₄卵石土层,始发井深度 28.75m,属于超深工作井,端头加固效果存在一定不确定性;②始发时正处于夏季黄河丰水期,地下水位高,补给充足;③由于隧道纵坡坡度较大,止水帘布翻转不均,临时封堵效果较差。

2.2 处治措施

盾构进出洞采取临时封堵洞门端头的措施,在洞门端墙预埋钢环,环板嵌入端墙结构内,通过洞门预埋钢板上预留的螺栓孔安装铰链板、帘布橡胶板等出洞防水装置,以避免盾构进出洞时水土流失,如图 2 所示。

洞门墙渗漏水采用注浆堵水及坑外降水措施。采取注浆堵水措施时,首先压注双组分油性聚氨酯进行止水,然后对洞口管片进行二次注浆加固补强,利用管片预留二次注浆孔,按照自下而上、自前而后的方式每环对称注入双液浆,形成封堵盾尾的止水环和具有一定强度的加固体,以达到封堵的目的。采取坑外降水措施时,在始发井内、外布设降水井,采用深井井点降水方式,降水井直径 700mm,内设 $\phi 400$ 水泥砾石滤水管,降水井深入基坑底板以下 6m。

3 盾构始发段掘进施工分析

盾构隧道在始发段 0~113 环掘进过程中,掘进至 25 环时刀盘扭矩逐渐增大,推进速度逐渐减小,环流系统排渣受阻,盾构刀盘前泥水仓下部堆积卵石增多,刀盘转动困难,且刀盘结泥饼逐渐增多,黏土堵塞排渣口格栅,盾构掘进速度缓慢。

3.1 始发段工程地质条件

始发段工程地质条件如表 1 所示。盾构始发推进施工时,根据现场压滤筛分排渣情况(见图 3),卵石粒径偏大,部分卵石破碎后粒径仍达 30cm,导致刀盘推进时扭矩逐渐增大,环流系统排渣受阻,盾构刀盘前泥水仓下部堆积卵石过多,排浆管排浆困难,使泥水仓中下部堆积较厚的卵石,刀盘转动困难,无法继续推进。

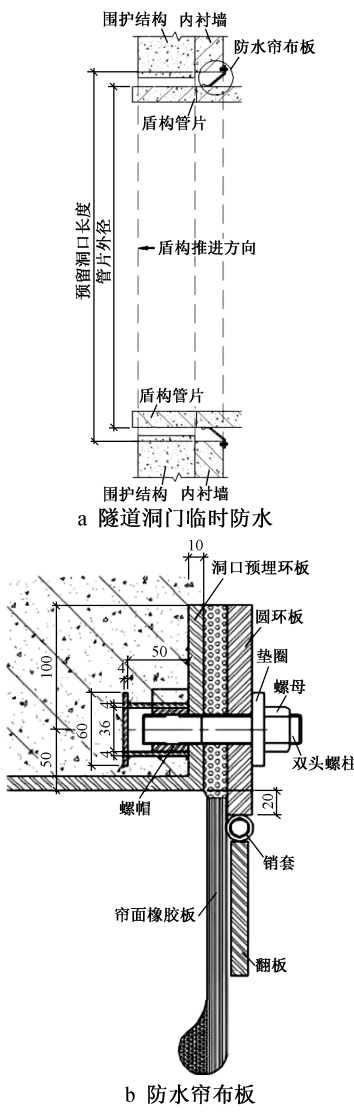


图 2 盾构隧道洞门临时封堵设计

Fig. 2 Temporary sealing design of the shield tunnel door

表 1 始发段工程地质条件

Table 1 Engineering geological conditions of the starting section

环号	纵坡 坡度/‰	平面 形式	盾构隧道 穿越地层	地面周边 环境
1~10	46.5	直线	卵石土层、细砂层	端头加固区
11~50			卵石土层、细砂层	基本农田
51~78			细砂层	基本农田
79~92			细砂层、粉砂层	基本农田
93~100			粉土层、细砂层、粉砂层	基本农田
101~113			粉土层、细砂层、粉砂层	基本农田

3.2 盾构施工参数分析

1) 切口泥水压

采用经验法确定盾构施工切口泥水压理论值为刀盘中心土压力+刀盘中心水压力+预留压力(20kPa),同时需要根据地下水位变化实时调整分析。切口泥水压上限值为静止土压力+地下水压力+

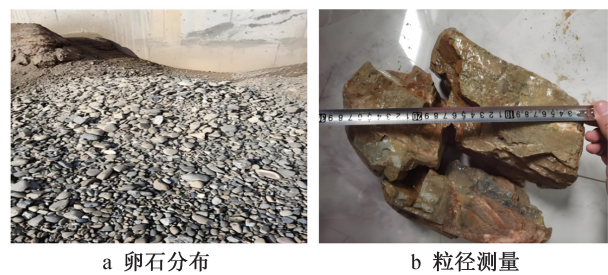


图3 始发段压滤筛分卵石

Fig. 3 Starting section pressure filtration and screening of pebbles

预留压力(20kPa),切口泥水压下限值为主动土压力+地下水压力+预留压力(20kPa)。0~113环切口泥水压理论值与实际值对比如图4所示,由图4可知,0~113环切口泥水压实际值基本处于下限值附近;地层变化对切口泥水压的影响较小,不会因小幅度的地层变化引起切口泥水压急剧变化。

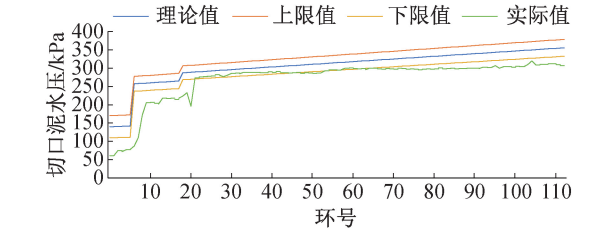


图4 始发段切口泥水压理论值与实际值对比

Fig. 4 Comparison between theoretical and actual values of mud water pressure at the starting section incision

2) 盾构掘进参数

盾构掘进总推力、刀盘扭矩与速度之间的相互关系如图5~7所示。由图5~7可知,盾构掘进刀盘扭矩与总推力变化趋势较相似;盾构掘进初期总推力、刀盘扭矩与速度变化幅度较大,基本在掘进20~30环时达到最大值;盾构掘进后期总推力、刀盘扭矩与速度变化幅度较小,基本趋于稳定。在盾构掘进初期,区间内砂卵石及细砂地层中含有黏土,刀盘切削黏土时被糊住,刀盘扭矩增加,且黏土堵塞排渣口格栅,造成一定渣土滞排,影响掘进速度。

3) 进排浆速度

始发段盾构进排浆速度如图8所示,由图8可知,盾构进排浆速度随着掘进环数的增加呈上下波动变化,基本以12m³/min为基准。进排浆速度呈上下波动变化的原因是大粒径砂卵石及黏土堵塞排渣口格栅。

4) 盾构刀盘损伤

本工程盾构掘进缓慢,刀盘易结泥饼,环路排渣不畅,这是由于盾构在卵石地层中掘进时刀盘已

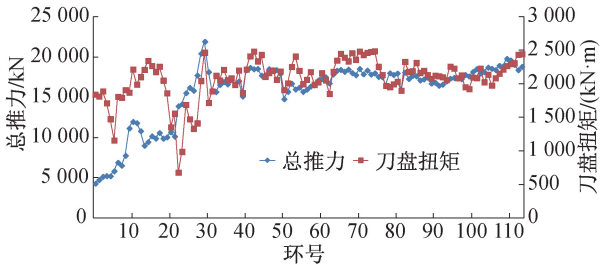


图5 始发段盾构掘进总推力与刀盘扭矩关系曲线

Fig. 5 Relationship curves between total thrust and cutter head torque of shield tunneling at the starting section

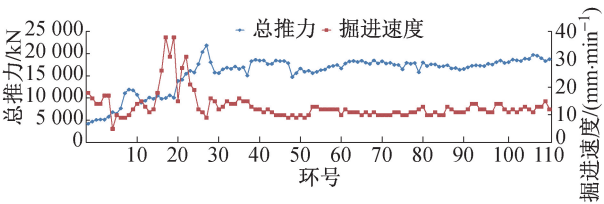


图6 始发段盾构掘进总推力与掘进速度关系曲线

Fig. 6 Relationship curves between total thrust and excavation speed of shield tunneling at the starting section

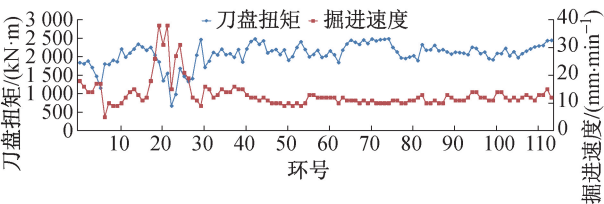


图7 始发段盾构掘进刀盘扭矩与掘进速度关系曲线

Fig. 7 Relationship curves between cutter head torque and excavation speed of shield tunneling at the starting section

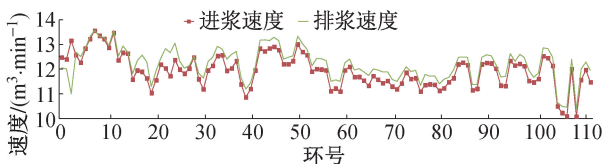


图8 始发段盾构进浆速度和排浆速度关系曲线

Fig. 8 Relationship curves between slurry inlet speed and discharge speed of shield tunneling at the starting section

损伤(见图9)。本工程采用的盾构属于二次利用,对刀盘的改造并未充分考虑卵石地层的影响,且工程所在区域粉砂层胶结密实,呈现出半成岩的性质,标贯击数>50,而刀盘未安装中心滚刀与边缘滚刀,以正面先行刀、切削刀、边缘刮刀为主,刀盘开口率27.8%,开口幅宽370~750mm。刀盘设计对本工程地层的适应性不佳,盾构在较硬地层掘进时刀

具损伤严重,进入砂层和粉土层后刀盘切削效率较低,易结泥饼,影响施工进度。



图 9 始发段盾构刀盘损伤

Fig. 9 Damage to the shield cutter head at the starting section

3.3 盾构掘进控制措施

通过注入大流量的循环泥浆直接冲刷刀盘,改变刀盘进浆口位置和转向,推进 60cm 时暂停,冲洗刀盘 10min。以相对密度 1.05、稠度 15s 为基准,盾构在黏土层中掘进时泥浆指标不能高于该值,盾构在砂土层中掘进时泥浆指标略高于该值。合理管理泥浆,排出旧泥浆,增加泥浆沉淀池,补充新的泥浆。通过加入分散剂,防止形成泥饼。检查刀具情况,必要时及时进行更换。

4 带压进仓段施工关键技术

施工隧道第 924 环管片时,盾构突然被动停机。切口压力波动异常,环流系统排渣受阻,盾构刀盘前泥水仓下部堆积卵石过多,泥水仓及气垫仓被填实,排浆管排浆困难,导致刀盘停转,盾构无法继续推进,作业人员需进行带压进仓作业,清理刀盘堆积卵石,并对刀具进行检查。

4.1 带压进仓段工程地质条件

带压进仓段位于黄河河心滩处,距黄河北岸约 540m,隧道覆土埋深约 32.76m。带压进仓段所处地层为卵石夹细砂层,粒径>20mm 的颗粒含量约占总质量的 60%,粒径 2~20mm 的颗粒含量占总质量的 20%~30%,最大粒径约 200mm,填充物以细砂为主,局部有少量黏性土填充,现场筛分渣土如图 10 所示。

4.2 带压进仓工作压力确定

进仓作业泥膜切口泥水压计算时取上限值,按



a 渣土分布 b 渣土筛分

图 10 带压进仓段筛分渣土

Fig. 10 Screening of waste soil with pressure inlet warehouse

照静止水土侧向压力计算,计算值为 420kPa。综合考虑掌子面稳定性、作业效率及作业人员健康等因素后,确定带压进仓工作压力为 300~350kPa。

4.3 掌子面泥膜建立

利用盾构泥水循环系统进行正送、逆洗大流量卸渣冲洗泥水仓,确定高黏度泥浆配合比、用量,高黏度泥浆配制完成后,通过注浆泵注入至开挖仓,同步对开挖仓内的泥浆进行置换。高黏度泥浆或膨润土置换完成后,静置泥浆并适当提高开挖仓压力使浆液均匀渗透掌子面,建立泥膜。达到保压时间后,根据要求降低开挖仓内渣土或泥浆高度,开挖仓泥浆置换及保压要求如表 2 所示。

渗透泥膜总时间 $\geq 48\text{h}$,如果进排浆速度偏差为 $0.1\sim 0.2\text{m}^3/\text{min}$,且静停时气泡仓液位基本稳定,可认为地层在当前设定的压力下已趋于饱和,地层空隙已充分得到泥浆颗粒物填充,形成了泥膜渗透带。

4.4 盾尾密封

1) 同步注浆

提高盾尾后 1~5 环管片同步注浆量,填充密实土层与盾壳之间的间隙,阻断管片与盾壳之间的水流通。

2) 管片壁后二次注浆封水

二次注浆重点控制注浆量及注浆压力,注浆量按 $0.78\text{m}^3/\text{环}$ 考虑,注浆压力以中压 0.6MPa 控制(靠近管片侧),注浆过程中及时观察管片错台情

表 2 开挖仓泥浆置换及保压要求

Table 2 Excavation warehouse mud replacement and pressure maintenance requirements

步骤	泥浆相对密度	泥浆黏度(开挖仓上部 泥浆检测指标)/s	泥浆循环 流量/ m^3	泥浆循环 时间/h	渗透 时间/h	切口压力 要求/kPa
1	1.10~1.15	40~50	3~4		12	390
2	1.15~1.20	60~90	3~4	间隔 1 循环 0.5	24	390
3	1.15~1.20	90~130	3~4		24	390

况并记录,开仓前在盾构后 10 环范围内(915~924 环)每环进行二次注浆,在盾构后部形成止水环箍,阻断外来水进入盾构前部。开仓前打开管片吊装孔进行确认,必要时使用水玻璃溶液或聚氨酯进行加强隔水。

- 3) 盾构径向注入高黏度膨润土
- 采用高黏度膨润土填充盾构盾壳,保护盾体。

4.5 保压试验

- 1) 通过循环将气垫仓液位缓慢升至 0.5m,同步向下调整气垫仓压力,保证切口压力 320kPa 不变,当液位为 0.5m 时,气垫仓压力调至 350kPa。
- 2) 启动旁通准备降液位,缓慢打开开挖仓与气垫仓连通阀,气垫仓液位缓慢上升,通过控制旁通流量使气垫仓液位保持在 0.5m 左右,直至连通阀完全打开,且旁通停止液位稳定时,确定气垫仓与开挖仓连通完毕,最终液位控制在 0.5m,压力为 350kPa 左右。

- 3) 当气垫仓液位稳定且供气量小于供气能力的 10%时,观察开挖仓气压在 2h 内无变化或不发生大的波动,可知仓内密闭性良好,证明保压合格。

4.6 进仓条件判定

待泥膜形成压力稳定后,打开气垫仓和开挖仓之间的平衡阀,观察气垫仓液位是否上升,上升表明开挖仓和气垫仓压力平衡。气垫仓液位和压力稳定后,方可进行进仓作业。

5 盾尾泥浆渗漏处治关键技术

5.1 泥浆渗漏问题及产生原因

盾构掘进至 929 环时,地质条件发生突变,刀盘所处地层为卵石土,而管片所处地层为细砂。盾构掘进参数未及时调整,切口压力快速升高,导致泥浆贯穿盾壳与地层间的空隙至盾尾,并与壁后注浆浆液共同作用在第 4 道盾尾密封刷(见图 11)。泥浆作用力破坏了盾尾密封刷所受油脂密封压力与壁后注浆压力间的平衡,使盾尾密封刷产生偏向开挖面方向的变形,但由于管片所处地层并未发生突变,且千斤顶推力始终保持加压状态,管片在水土径向压力和千斤顶轴向推力的共同作用下始终与密封刷紧密贴合。拼装 928 环管片收缩 13 号油缸时,管片与盾壳间有大量带压泥浆流出,下方盾尾间隙最大为 40mm。由此可见,油缸卸压是泥浆渗漏现象发生的关键因素。当管片所受轴力减小,径向水土压力基本保持不变时,自油缸作用处一定范围内的管片受力不平衡产生偏转,导致局部密封刷与管片无法紧密贴合,泥浆自该处发生渗漏的风险增加。

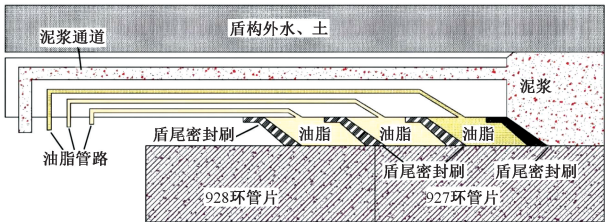


图 11 泥浆渗漏时盾尾结构位置关系
Fig.11 Position relationship of shield tail structure during mud leakage

5.2 处治措施

5.2.1 注浆加固

- 1) 为防止双液浆在注浆加固过程中对盾尾造成影响,对 925,926 环管片压注双组分油溶性聚氨酯进行止水,其作用为对盾尾进行封堵,起到封堵盾尾渗漏的同时阻断后续双液浆向盾构刀盘方向扩散的目的。
- 2) 聚氨酯压注完成后,对盾尾后 914~924 环管片进行二次注浆加固补强,利用管片预留二次注浆孔,按照自下而上、自前而后的方式每环对称注入双液浆,形成封堵盾尾的止水环和具有一定强度的加固体,以确保盾尾密封刷更换安全。注浆材料采用水玻璃-水泥双液浆,水泥浆水灰质量比为 1.3 : 1,水泥浆与水玻璃体积比为 1 : 0.11,初凝时间 30s,3d 强度 12.5MPa,最大注浆控制压力为 2.5MPa,二次注浆主要是填充同步注浆不密实的空隙,因此二次注浆以控制注浆压力为主,当注浆压力达到最大控制压力时可结束注浆。

- 3) 中盾径向注入孔注入双组分油溶性聚氨酯,其作用是防止前方泥水仓水压将盾尾击穿,导致透水事故。

- 4) 进行泥水仓浆液置换,其作用是保证掌子面稳定。

5.2.2 更换盾尾密封刷

- 1) 目前盾构推进油缸行程为 543.2mm,不满足更换 2 道盾尾密封刷的条件,经推算,盾构再向前推进 316mm 可满足更换 2 道盾尾密封刷的施工条件。拆除 928,929 环已拼装完成的管片,清理油脂腔内油脂,为更换盾尾密封刷提供空间。
- 2) 焊接盾尾密封刷,涂抹盾尾油脂,保证盾尾密封刷起到盾尾密封的作用。
- 3) 及时对盾尾密封刷腔体尤其是新更换的 2 道盾尾密封刷腔体进行油脂压注,油脂仓油压达到 1 000kPa 时满足密封要求,达到保护盾尾密封刷的作用,为恢复掘进提供保证条件。管片拆装及盾尾密封刷更换顺序如图 12 所示。

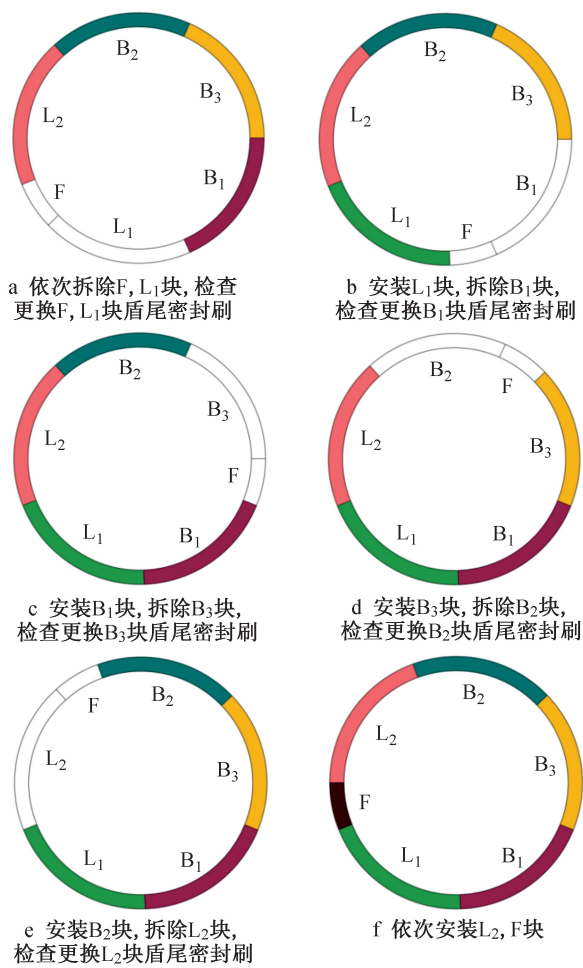


图 12 管片拆装及盾尾密封刷更换顺序

Fig. 12 The sequence of pipe segments disassembly and shield tail sealing brush replacement

6 结语

1)盾构始发段掘进穿越卵石等强透水地层时,洞门墙易发生渗漏水,通过洞门预埋安装铰链板、帘布橡胶板等出洞防水装置临时封堵洞门端头,洞门墙渗漏水采用注浆堵水及坑外降水措施,保证盾构顺利始发。

2)通过现场实际情况及盾构掘进参数分析可知,0~113环盾构掘进缓慢是由于大粒径卵石及黏土堵塞排渣口格栅,通过优化泥浆浆液配合比及刀盘开口率有效解决了该问题。

3)掘进 924 环时盾构被动停机的原因是刀盘前泥水仓下部堆积卵石过多导致停转,通过采用完整的封堵保压措施,在保证掌子面稳定及作业人员带压进仓作业安全的情况下清理了刀盘堆积卵石并顺利恢复掘进。

4)由于地质条件发生突变,切口压力急剧升高,导致泥浆贯穿盾壳与地层间的空隙至盾尾作用于盾尾密封刷,盾尾密封刷产生变形导致盾尾泥浆

渗漏,通过注浆加固及更换盾尾密封刷有效解决了盾尾泥浆渗漏问题。

参考文献:

[1] 刘吉东,鲍镇杭.极软流塑地层盾构隧道施工技术研究[J].隧道建设(中英文),2021,41(S2):527-532.

LIU J D,BAO Z H. Construction technology of shield tunnel in extremely-soft fluid plastic stratum [J]. Tunnel construction, 2021,41(S2):527-532.

[2] 程国良,李彦锦,杨俊,等.复合地层越江大直径地铁隧道盾构地层适应性风险及选型分析[J].施工技术(中英文),2023,52(1):48-54.

CHENG G L,LI Y J,YANG J,et al. Analysis stratigraphic adaptability risk and large diameter shield type selection for river-crossing subway tunnel with composite stratum [J]. Construction technology,2023,52(1):48-54.

[3] 郑剑锋.极软流塑地层盾构施工技术研究[J].建筑机械化,2021,42(6):19-21,25.

ZHENG J F. Research on shield construction technology in extremely soft plastic flow stratum [J]. Construction mechanization,2021,42(6):19-21,25.

[4] 张晓勇,刘永强,马安震,等.泥水平衡盾构下穿黄河大堤稳定性分析[J].施工技术(中英文),2023,52(3):140-145.

ZHANG X Y,LIU Y Q,MA A Z,et al. Stability analysis of slurry balance shield crossing the Yellow River embankment[J]. Construction technology,2023,52(3):140-145.

[5] 孙子正,李术才,刘人太,等.软流塑地层注浆加固作用量化研究[J].岩石力学与工程学报,2016,35(S1):3385-3393.

SUN Z Z,LI S C,LIU R T,et al. Quantitative research on grouting reinforcement of soft fluid-plastic stratum [J]. Chinese journal of rock mechanic sand engineering, 2016, 35 (S1): 3385-3393.

[6] 苏秀婷,陈健,李明宇,等.大直径泥水盾构隧道穿越复杂环境地层变形敏感性研究[J].工程地质学报,2021,29(5):1587-1598.

SU X T,CHEN J,LI M Y,et al. Sensitivity analysis of deformation of large diameter mud-water shield through complex environment [J]. Journal of engineering geology, 2021,29(5):1587-1598.

[7] 姚志刚,郭建宁,方勇,等.强透水砂卵石地层泥水盾构掌子面塌方处理措施研究[J].施工技术,2017,46(8):64-67.

YAO Z G,GUO J N,FANG Y,et al. Study on treatment measures for face collapse of slurry shield in strong permeable sandy pebble stratum [J]. Construction technology,2017,46(8):64-67.

[8] 刘继强,陈晓庆,张晓东,等.复杂地层妈湾海底大直径泥水盾构隧道掌子面稳定性数值分析研究[J].隧道建设(中英文),2021,41(S1):19-27.

LIU J Q,CHEN X Q,ZHANG X D,et al. Numerical analysis of face stability of large-diameter slurry shield used in Mawan subsea tunnel in complex strata [J]. Tunnel construction,2021,41(S1):19-27.

[9] 毛韬.复合地层中考虑线路坡度的盾构隧道开挖面稳定性研究[D].长沙:湖南大学,2015.

MAO T. Study on the stability of shield tunnel excavation face

considering line slope in composite strata [D]. Changsha: Hunan University, 2015.

[10] 汪辉武,郭建宁,戴兵,等. 强透水砂卵石地层泥水盾构带压与常压进仓技术 [J]. 施工技术, 2017, 46 (1): 61-65, 84.

WANG H W, GUO J N, DAI B, et al. Chamber-entering technology of slurry shield in high permeability sandy pebble stratum under the working pressure or normal pressure [J]. Construction technology, 2017, 46 (1): 61-65, 84.

[11] 徐汪豪,倪婉昱,赵海涛,等. 清华园盾构隧道复杂互层地层下的掘进参数研究 [J]. 隧道建设 (中英文), 2018, 38 (S2): 373-378.

XU W H, NI W Y, ZHAO H T, et al. Research on driving parameters of large diameter slurry shield tunnel under complex interbedded strata [J]. Tunnel construction, 2018, 38 (S2): 373-378.

[12] 赵博剑,周建军,谭忠盛,等. 复合地层盾构掘进参数及其与地层相关性分析 [J]. 土木工程学报, 2017, 50 (S1): 140-144.

ZHAO B J, ZHOU J J, TAN Z S, et al. Variation of shield boring parameter sand correlation analysis in mixed ground [J]. China civil engineering journal, 2017, 50 (S1): 140-144.

[13] 张志奇,李彤,韩爱民,等. 复杂地层盾构掘进速率和刀盘扭矩预测模型及其地层适应性研究 [J]. 隧道建设, 2016, 36 (12): 1449-1455.

ZHANG Z Q, LI T, HAN A M, et al. Prediction models of advancing speed and cutter head torque of shield tunneling in complex strata and its adaptability to strata [J]. Tunnel construction, 2016, 36 (12): 1449-1455.

[14] 封炎,李洋溢,秦鲜卓. 盾构隧道施工对强透水砂卵石地层扰动规律研究 [J]. 西部交通科技, 2021 (3): 151-154, 204.

FENG Y, LI Y Y, QIN X Z. Study on the disturbance pattern of shield tunnel construction in highly permeable sandy gravel strata [J]. Western China communications science & technology, 2021 (3): 151-154, 204.

[15] 潘格林,王建国,王国富,等. 砂卵石强透水地层泥水平衡盾构隧道开挖面极限支护压力研究 [J]. 铁道建筑, 2018, 58 (9): 55-57.

PAN G L, WANG J G, WANG G F, et al. Limit support pressure for excavation face of slurry balanced shield tunnel in sand gravel strong permeable stratum [J]. Railway engineering, 2018, 58 (9): 55-57.

[16] 肖颖,张玄,朱凯强,等. 富水砂层盾构下穿高速铁路控制技术研究 [J]. 施工技术 (中英文), 2024, 53 (4): 88-92.

XIAO Y, ZHANG X, ZHU K Q, et al. Research on control technology of shield tunneling through high-speed railway in water-rich sand layer [J]. Construction technology, 2024, 53 (4): 88-92.

[17] 马哲. 兰州地铁一号线下穿黄河砂卵石地层盾构管片分型及优化设计 [J]. 铁道建筑, 2014, 54 (6): 78-81.

MA Z. Segment type selection and optimization design of shield tunnel for Lanzhou metro line 1 passing through sandy gravel stratum of the Yellow River [J]. Railway engineering, 2014, 54 (6): 78-81.

[18] 李勇成,张志鹏. 强透水地层下更换盾尾密封刷技术 [J]. 探矿工程 (岩土钻掘工程), 2008, 35 (4): 80-81.

LI Y C, ZHANG Z P. Technology for replacing the shield tail sealing brush in highly permeable strata [J]. Exploration engineering: rock & soil drilling and tunneling, 2008, 35 (4): 80-81.

[19] 廖文江,陈玉林. 珠海隧道超大直径盾构浅埋极软地层施工关键技术 [J]. 施工技术 (中英文), 2024, 53 (7): 110-115.

LIAO W J, CHEN Y L. Key construction technology for super large diameter shield tunneling in extremely soft shallow buried soil layer in Zhuhai tunnel [J]. Construction technology, 2024, 53 (7): 110-115.

(上接第 21 页)

[8] 孙双麓. 市域铁路机械法联络通道技术应用研究 [J]. 现代城市轨道交通, 2024 (10): 81-85.

SUN S C. Research on the application of mechanized drilling technology for connecting passage in urban region railway [J]. Modern urban transit, 2024 (10): 81-85.

[9] 杨佳栋,郑荣跃,郑诗怡,等. 机械法联络通道 T 接部位接收端切削模型试验研究 [J]. 施工技术 (中英文), 2022, 51 (3): 12-17.

YANG J D, ZHENG R Y, ZHENG S Y, et al. Experimental study on cutting model of receiving end of T-joint part of mechanical connection channels [J]. Construction technology, 2022, 51 (3): 12-17.

[10] 梅清俊. 机械法联络通道施工扰动影响及注浆措施效果研究 [D]. 宁波: 宁波大学, 2021.

MEI Q J. Study on the effect of construction disturbance and treatment measures of mechanical connection channel [D]. Ningbo: Ningbo University, 2021.

[11] 谢恒. TRD 工法在联络通道施工中的应用 [J]. 中国建筑装饰装修, 2021 (3): 174-176.

XIE H. Application of TRD method in construction of connecting passage [J]. Interior architecture of China, 2021 (3): 174-176.

[12] 黄尊,丁修恒. BIM 在机械法联络通道修建中的应用 [J]. 土木建筑工程信息技术, 2018, 10 (6): 32-38.

HUANG Z, DING X H. Application of BIM in construction of mechanical connection channel [J]. Journal of information technology in civil engineering and architecture, 2018, 10 (6): 32-38.

[13] 胡威,黄强,李海波,等. 机械法联络通道施工对 T 接部位沉降影响的实测与数值分析 [J]. 施工技术 (中英文), 2022, 51 (13): 68-74, 80.

HU W, HUANG Q, LI H B, et al. Actual measurement and numerical analysis of influence of mechanical connection channel construction on settlement of T-junction [J]. Construction technology, 2022, 51 (13): 68-74, 80.