

DOI: 10.3785/j.issn.2096-7195.2022.02.010

【工程应用】

跨海隧道泥水盾构钢套筒始发 风险控制技术研究

吴文瑞¹, 王旭春¹, 杨公利², 曹云飞¹, 滕宏伟¹, 韩 旭¹

(1. 青岛理工大学, 山东 青岛 266033; 2. 青岛市地铁规划设计院有限公司, 山东 青岛 266315)

摘 要: 为了探究跨海隧道泥水平衡盾构钢套筒始发风险控制技术, 依托青岛地铁8号线大洋站至青岛北站区间海域段工程, 阐述了在高水压富水复合地层中始发端采用洞门素墙+套管咬合桩+“U”型素墙+后退式注浆加固方式的优越性以及采用钢套筒辅助工法的必要性。通过分析相关工程经验, 认为钢套筒在盾构始发期间的稳定性、密闭性及盾构始发参数合理性是保证盾构安全始发的要点, 其中关键风险在于反力架、钢套筒的变形与位移、钢套筒各部位渗漏水、铰接密封失效、穿越加固体过程中滞排堵仓等, 分析了钢套筒变形的原因与易发生渗漏水的位置。通过对类似工程的研究与本工程经验的总结, 阐述了上述风险的控制方法, 其中重点分析了反力架、钢套筒的变形与位移以及钢套筒各部位渗漏水的控制措施, 通过有限元分析确定了钢套筒的适用性。各项措施在青岛地铁8号线大洋站至青岛北站区间海域段泥水盾构始发过程中应用后取得了良好的成效, 为类似工程提供了工程经验。

关键词: 跨海隧道; 富水地层; 泥水平衡盾构; 钢套筒始发; 风险分析; 风险控制

中图分类号: U455

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2022)02-0161-09

Key techniques for risk control of steel sleeve launching of slurry shield cross-sea tunnel

WU Wen-rui¹, WANG Xu-chun¹, YANG Gong-li², CAO Yun-fei¹, TENG Hong-wei¹, HAN Xu¹

(1. Qingdao University of Technology, Qingdao 266033, Shandong, China;

2. Qingdao Metro Planning and Design Institute Co., Ltd., Qingdao 266315, Shandong, China)

Abstract: To explore the initiation risk control techniques of the slurry balance shields with steel sleeve in the cross-sea tunnel, based on the project of cross-sea tunnel between Dayang station and Qingdao North station of Qingdao Metro Line 8, the advantages of the portal element wall+casing biting pile+‘U’ type plain concrete diaphragm wall+backward grouting reinforcement method at the shield-launching end of the high-pressure water-rich composite stratum and the necessity of the steel sleeve auxiliary construction method are expounded. Through the analysis of relevant engineering experience, it is concluded that the stability and tightness of steel sleeve during shield launching and the rationality of shield launching parameters are important to the safety of shield launching. Among them, the key risks are the deformation and displacement of counterforce frame and steel sleeve, the leakage of water in various parts of steel sleeve, the failure of hinged seal, and the stagnant discharge and blockage in slurry tank in the process of crossing the reinforced soil. The causes of deformation of steel sleeve and the location of leakage are analyzed. Based on the research on similar projects and the summary of the experience of this project, the corresponding control methods for the above risks are presented. The control measures of deformation and displacement of the counterforce frame and steel sleeve as well as the water leakage in various parts of the steel sleeve are emphatically analyzed, the applicability of the steel sleeve is determined by finite element analysis. The application of various measures in the launching process of slurry shield in the

收稿日期: 2021-11-25

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC1505302)。

作者简介: 吴文瑞(1997—), 男, 山东泰安人, 硕士研究生, 主要从事盾构隧道工程的研究工作。E-mail: 1749896471@qq.com。

*通信作者: 王旭春(1963—), 男, 吉林洮南人, 博士, 教授, 主要从事岩土工程、矿业工程方面研究。E-mail: xcwang2008@qq.com。

cross-sea tunnel of Dayang station to Qingdao North station of Qingdao Metro Line 8 has achieved good results, which provides engineering experience for similar projects..

Key words: cross-ocean tunnel; water-rich stratum; slurry balance shields; steel sleeve launching; risk analysis; risk control

0 引言

随着我国隧道建设技术的发展,泥水平衡盾构在我国的跨海、跨江等隧道建设中得到了越来越多的应用。泥水平衡盾构采用泥浆为支护材料,通过对泥水舱加压在开挖面上形成不透水泥膜以平衡掌子面水土压力,通过切削泥膜实现隧道开挖功能,其地层适用范围大,从软弱砂质土层到复合地层均可适用^[1]。然而,现阶段泥水盾构法隧道的施工仍存在较大的风险,较多施工事故发生于盾构始发、接收阶段。

现有的盾构始发技术主要包括掘削面自稳法、拔桩法、直接掘削井壁法、平衡始发法等。其中钢套筒始发技术是平衡始发法的一种,钢套筒始发通过安装密闭始发装置与洞门连接,盾构机在其内部与其形成一密闭空间,可平衡洞门结构外水土压力,防止始发过程中掌子面坍塌以及漏水漏砂^[2],使得泥水盾构始发过程中建立可靠的泥水平衡,其安全性、可靠性、经济性较单一的端头加固工法均有较大的提高。但是受钢套筒组装质量、现场施工质量等现实条件制约,钢套筒始发技术仍存在较大的风险,因此针对跨海隧道泥水平衡盾构钢套筒始发风险控制技术的研究很有必要。

诸多学者对钢套筒始发风险控制技术进行了深入研究,陈珊东^[3]分析了应用钢套筒的优势,如水土影响小、可免除端头加固等,同时存在密封性能难以保证的缺点。伍伟林等^[4]总结了钢套筒应用过程中的主要技术问题,如刚度、密闭性、保压性等,并针对性的优化了钢套筒的结构。李希宏等^[5]结合实际工程指出了钢套筒始发的主要技术难点为钢套筒的防渗、填料的密实性、盾体的扭转、管路磨损等,在始发过程中取得了良好的效果。何源等^[6]通过数值模拟得出了盾构始发过程中钢套筒变形大、容易失稳的位置,并提出了针对性的防控措施。吴忠仕等^[7]结合孟加拉卡纳普里河水下隧道实际工程通过有限元仿真技术验证了钢套筒始发过程中的抗扭能力,并提出了采用导向棒、改善填料等措施以提高盾构机的抗扭能力。崔明等^[8]、曹云飞等^[9]论述

了复杂地层盾构始发及掘进参数的选择原则,在富水砂层中始发时应适当提高泥浆的重度和黏度。总之,现阶段关于跨海泥水盾构隧道钢套筒始发的研究缺少系统的关键风险控制根据来指导现场施工。

青岛地铁8号线大洋站至青岛北站区间海域段盾构隧道工程始发端距海近、始发地层复杂且透水性高、地下水压力较大,对于跨海隧道盾构始发具有很高的代表性。通过总结本工程泥水盾构钢套筒始发过程中的风险控制技术并分析钢套筒始发期间的力学行为,为跨海隧道盾构始发施工的风险控制提供了一定的参考依据。

1 工程概况

青岛市地铁8号线大洋站至青岛北站区间东侧过海段包含明挖区间、盾构区间,左线泥水盾构自2号风井始发,掘进区间长度2 886 m,最大埋深55.2 m,在胶州湾海底与矿山法隧道对接,弃壳接收。本工程盾构区间情况如图1所示。

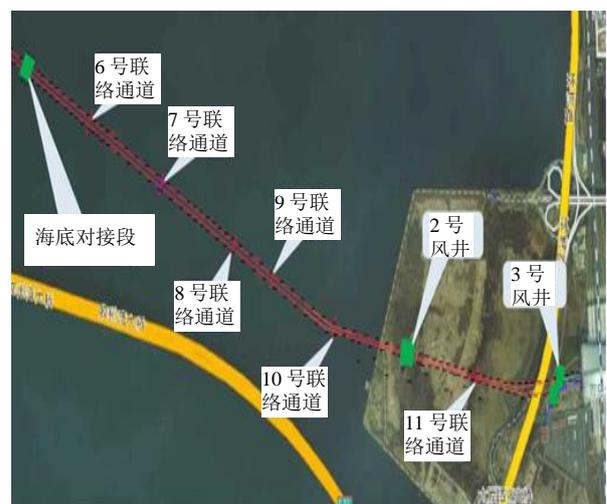


图1 区间过海段总平面图

Fig. 1 General plan of tunnel cross the sea

区间海域段穿越地层复杂多变,主要穿越砂层、黏土层、上软下硬地层等复杂地层,部分穿越全断面微风化岩层。胶州湾海域地层富含地下水,水头压力极高,盾构施工易引起涌水和流砂,易导致海底冒浆或盾尾漏浆,工程难度

极大。

本工程始发端为新近填海造地段，始发端距离海岸约147 m，第四系厚度较大，地层复杂，从上至下依次包含：①₃₋₁冲积砂土、⑥₁淤泥质粉质黏土、⑨中粗砂、⑪₁含黏性土中砂-粗砂、⑪粉质黏土、⑫粗砾砂、⑯₁₋₃强风化泥质砂岩。盾构始发洞门拱顶埋深约27 m，洞身主要处于⑪粉质黏土、⑫粗砾砂、⑯₁₋₃强风化泥质砂岩。上部冲积砂土较富集地下水，地下水位随潮汐变化但有一定的滞后现象，无稳定水位，地下水位埋深约0.8~4.5 m，始发端地层情况如图2所示。

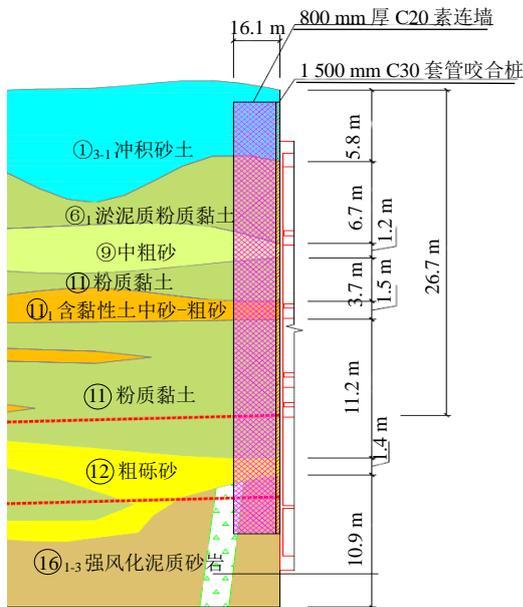


图2 始发端地层剖面图

Fig. 2 Stratigraphic section of start section

本工程泥水盾构始发端距海近、埋深大，穿越富水粗砾砂地层，地下水压力高，存在较大的涌水、涌砂风险^[10]。在富水地层中钢套筒始发技术常与端头加固技术联合使用以降低始发风险^[11]，前期右线盾构始发期间始发端头采用洞门素连墙+旋喷桩加固方式，由于端头加固的止水效果不佳，加以钢套筒密封性能差，始发掘进过程中，洞门处存在较大的涌水现象，盾构泥水压力无法建立，导致掌子面刀盘上方因掌子面不稳定出现地表塌陷情况。厦门翔安海底隧道的建设经验表明，潮间带富水砂层采用地连墙隔离海水补给效果最佳^[12]，因而为规避始发期间涌水涌砂风险，采用始发端加固结合钢套筒自平衡始发，始发端头采用洞门素墙+套管咬合桩+“U”型素墙+后退式注浆的加固方式，其中以后退式注浆阻隔底部地下水进入加固区，加固平面图如图3所示。

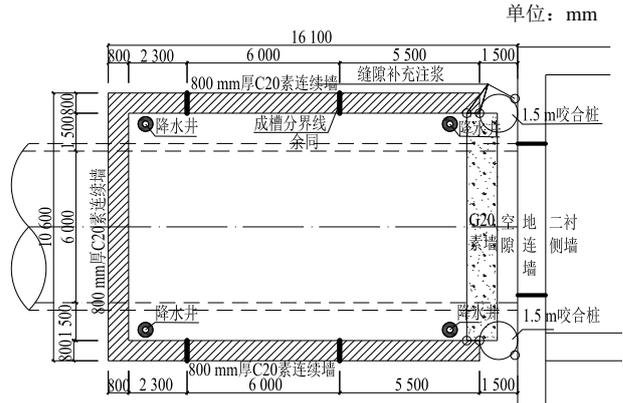


图3 始发端地层加固平面图

Fig. 3 Plan of reinforcement of the start section

2 钢套筒始发技术分析

现有的盾构始发技术主要包括掘削面自稳法、拔桩法、直接掘削井壁法、平衡始发法等^[8]，各类方法的根本目的在于保证开挖面的稳定。封闭式钢套筒平衡始发技术属于平衡始发法的一种，主要原理是通过将钢套筒前部连接至洞门钢环，后部顶至始发反力架，钢套筒内部的盾构主机拼装负环管片并顶至始发环梁，在盾壳、刀盘外部与套筒内部形成一密闭空间，通过向此密闭空间中填充砂土等材料以建立一定的泥水压力模拟始发端地层的水土压力，达到平衡始发掌子面内外压力，稳定始发端开挖面，防止地层塌陷的目的。

工程始发端处于新近填海造地段，且临近海岸，始发地下水丰富，始发风井在洞门处的地层主要为粉质黏土和粗砾砂。粗砾砂层的分选磨圆较差，土质结构较好，孔隙含有一定的填充物，渗透系数达15~25 m/d，属于强透水地层。

前期始发端已经采用洞门素墙+套管咬合桩+“U”型素墙+后退式注浆的方式进行加固。始发端隧道拱顶埋深约27 m，埋深较大，由图2可见F2破碎带侵入加固体，并连接加固体两侧的粗砾砂层，地下水可通过破碎带补给至加固体内部。加之现有的加固体检测手段仍存在一定的局限性，难以准确判断加固体的局部缺陷^[13]，因而单一的端头加固仍然难以完全消除因始发端地下水压力较高导致始发期间涌水、涌砂等风险。钢套筒始发技术可在洞门外平衡始发端地层的水土压力，弥补始发端加固工法的不足，大大降低了始发期间的施工风险。

本工程采用全长约13 m, 内径7 320 mm的始发钢套筒, 如图4所示。筒体下部为3节, 每节3.8 m, 筒体上部为3块, 呈64°平分。连接筒体长约1.0 m, 两侧各有1个预留出口, 满足洞门凿除的需求, 同时整环布置10个预留注浆孔。整个钢套筒连接薄弱区共有16个预留注浆孔。

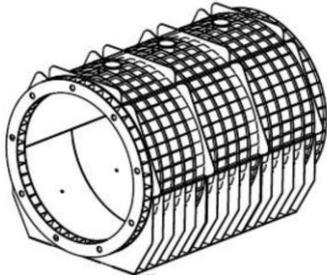


图4 钢套筒示意图

Fig. 4 Schematic diagram of steel sleeve

3 钢套筒始发关键风险分析

本区间盾构始发安全风险高、操作难度大, 采用钢套筒始发技术, 始发期间钢套筒的稳定性、密闭性及始发参数合理性是保证安全始发的关键。

通过总结孟加拉卡纳普里河底隧道项目^[4]、福州地铁穿越闽江段^[14]以及其他下穿水域或穿越富水地层的泥水盾构始发的工程经验, 始发期间的关键风险主要包括: 反力架、钢套筒的变形及位移、钢套筒各部位渗漏水、铰接密封失效、穿越加固体过程中滞排堵仓^[15]等。

3.1 反力架、钢套筒的变形及位移

(1) 始发反力架施作过程中因柱脚钢筋生根未达到设计要求等安装质量问题、推力控制不当等操作问题可导致盾构始发期间反力架发生较大变形, 变形过大的甚至会导致反力架带动钢套筒整体发生较大位移, 如图5所示。



图5 反力架斜撑变形位移图

Fig. 5 Deformation of diagonal brace of reaction frame

(2) 钢套筒因其结构、材料等无法承受始发期间的荷载导致变形超限, 反力架变形及位移过大、始发参数及姿态控制不当、钢套筒安装质量差等易导致钢套筒变形。过大的变形会影响钢套筒分块接缝处及两端的密封性, 导致接缝处渗漏水甚至泥水仓建压失败。

3.2 钢套筒渗漏水

盾构刀盘顶至掌子面后, 泥水仓建压, 计算得洞门上部、下部的朗肯土压力 $P_1=226.52$ kPa, 洞门下部的朗肯土压力 $P_2=282.81$ kPa, 始发期间上部泥水压力最低应控制在2.26 bar以上, 下部泥水压力在2.82 bar以上。在泥水仓建压期间钢套筒内水土压力较大, 钢套筒及结构墙缝存在渗漏水导致涌砂涌水的风险, 渗漏水较大时泥水压力难以建立, 严重时会导致掌子面坍塌, 地面土体产生较大沉降或坍塌, 在始发期间应防止出现较大的渗漏水情况。结合其他过江隧道工程以及福州某地铁区间的施工经验, 钢套筒始发期间易发生渗漏水的薄弱点主要包括钢套筒各分块连接处、连接筒体与洞门钢环间的焊缝、始发环梁与负环管片的结合处^[5]、始发洞门的结构墙缝处^[16]。

(1) 各分块连接处的渗漏水主要受到钢套筒的安装质量以及钢套筒分块原有变形的影响。

(2) 始发期间钢套筒与洞门钢环连接处易受拉力作用, 存在变形过大导致洞门钢环与钢套筒焊接处密封失效的风险。

(3) 始发期间盾尾间隙控制不当、盾构尾刷损坏、盾尾油脂注入量或油脂压力不足、注浆压力过高等在盾尾形成流砂渗漏通道均可导致盾尾发生涌砂漏浆情况。

(4) 前期洞门钢环及结构墙缝存在因施作不当产生泥水通路的可能性, 建压过程中存在洞门钢环外侧密封结构被高压泥水击穿风险。

3.3 铰接密封失效

盾构施工技术涵盖盾构机的姿态与线型控制、管片配置与选用、管片姿态控制、铰接装置与盾构千斤顶的组合选用、注浆控制技术、刀具超挖量的控制技术、掘进参数的选用与控制等一系列技术措施的有效组合。盾构铰接密封出现漏水漏沙, 很大程度上与上述技术措施的选用和组合有关。

3.4 破除连续墙过程中滞排堵仓

刀盘在切削洞门素连墙及旋喷桩期间易形成形状不规则、大小不一的混凝土块体堆积在气垫仓内, 堵塞出渣管路导致出现泥水滞排情况和泥

水压力不稳。当泥水压力短时间反复大幅变化时会产生水锤效应击穿掌子面, 导致掌子面失稳^[15]。

4 钢套筒始发关键风险控制措施

4.1 反力架、钢套筒的变形及位移控制措施

(1) 控制反力架的变形与位移的主要手段为保证反力架的安装质量与始发期间盾构机推力的控制。现场应用的反力架应经过严格的受力计算, 可采用前期预埋钢板的方式来保证反力架柱脚、撑脚的承载力, 确保安装质量达到设计要求。始发前采用无损探伤等方式检查反力架焊缝焊接质量, 并在始发期间加强反力架的变形、位移监测。参照青岛地区施工经验以及天津地铁6号线某区间类似地层始发期间盾构机推力控制经验, 盾构始发推力应控制在8 000~10 000 kN, 以防止反力架与始发环梁出现较大变形^[17]。

(2) 应对钢套筒变形及位移, 钢套筒本身的强度、刚度以及安装质量的控制是根本, 始发反力架的变形与位移以及盾构机始发姿态的控制是重点。应用的钢套筒应经过严格的受力分析, 确保其能够应对始发过程中的复杂工况。

由于本工程始发端地层软弱, 盾构始发后姿态控制难度大, 易发生栽头情况, 导致盾尾姿态难以控制, 刮擦钢套筒内壁。为应对此问题, 始发前应保证钢套筒的定位精度, 尤其要注意钢套筒内部导轨的安装精度, 使得盾构机姿态偏差控制在±50 mm以内^[18], 并将靠近洞门端的钢轨垫高20~30 mm, 以确保盾构机呈抬头姿态始发^[19], 为盾构进入土层后的姿态变化留出空间。为保证始发过程中泥水建压后的钢套筒密封性, 始发前应严格进行钢套筒保压实验, 确保钢套筒在建压情况下的密封性能^[13]。

(3) 钢套筒受力分析

为保证钢套筒自身的强度、刚度满足始发要求, 在钢套筒安装前可采用有限元分析方法验证钢套筒在盾构始发期间的受力与变形情况, 以确定此钢套筒可否用于本工程的始发施工。始发期间钢套筒变形风险最大的阶段为刀盘开始磨墙阶段, 因而在钢套筒安装前应重点模拟此阶段的钢套筒受力与变形情况^[4]。通过Creo3D软件建立钢套筒仿真模型, 并导入Abaqus有限元分析软件, 分析刀盘接触掌子面阶段钢套筒的力学行为。忽略钢套筒的各种开口。三维计算模型如图6所示。

钢套筒材料参数如表1所示。

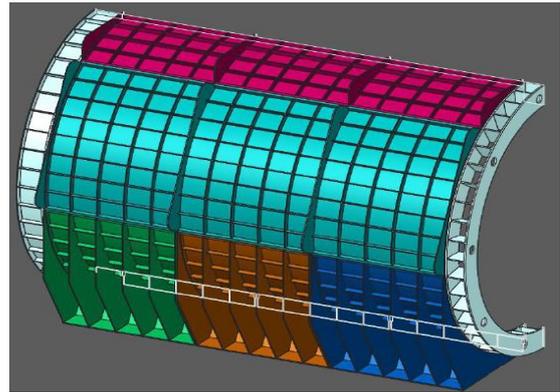


图6 钢套筒三维模型

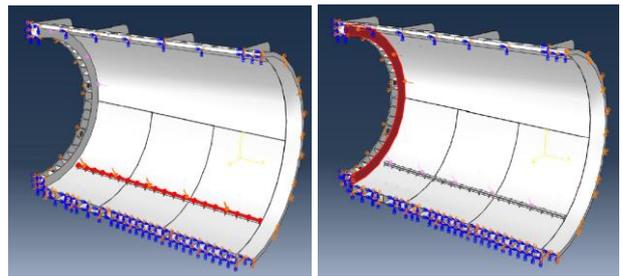
Fig. 6 Three-dimensional model of steel sleeve

表1 钢套筒材料参数

Table 1 Material parameters of steel sleeve

钢套筒材料	重度/(kN/m ³)	杨氏模量/MPa	泊松比
Q235B	78.5	2×10 ⁵	0.3

选择分析阶段为盾构始发推进刀盘未接触端墙阶段, 盾构机的重力5 500 kN作用于内部导轨, 如图7 (a) 所示, 正常情况下盾构始发推力一般控制在8 000~10 000 kN左右, 受力分析期间为增加安全系数, 参考武汉地铁等类似工程的盾构施工经验取始发推力为20 000 kN作用于始发环梁内侧^[20], 如图7 (b) 所示。划分单元选择C3D10 (10节点四面体), 分割面理想化为对称约束, 约束底部的法向位移以及环梁的水平位移。



(a) 正常情况下盾构始发推力 (b) 始发推力为20 000 kN

图7 钢套筒受力模型

Fig. 7 Force model of steel sleeve

经分析, 钢套筒分块处受力均匀, 套筒环梁位置总体应力最大, 为47.07 MPa, 钢套筒最大变形位于环梁下部, 变形量为0.139 mm。对于由Q235B钢材焊接的直径为7 320 mm的钢套筒, 最大位移仅为直径的0.019%, 最大应力仅为设计强度的12%, 钢套筒整体的刚度和强度满足要求, 钢套筒力学分析云图如图8所示, 钢套筒可用于本工程的盾构始发施工。

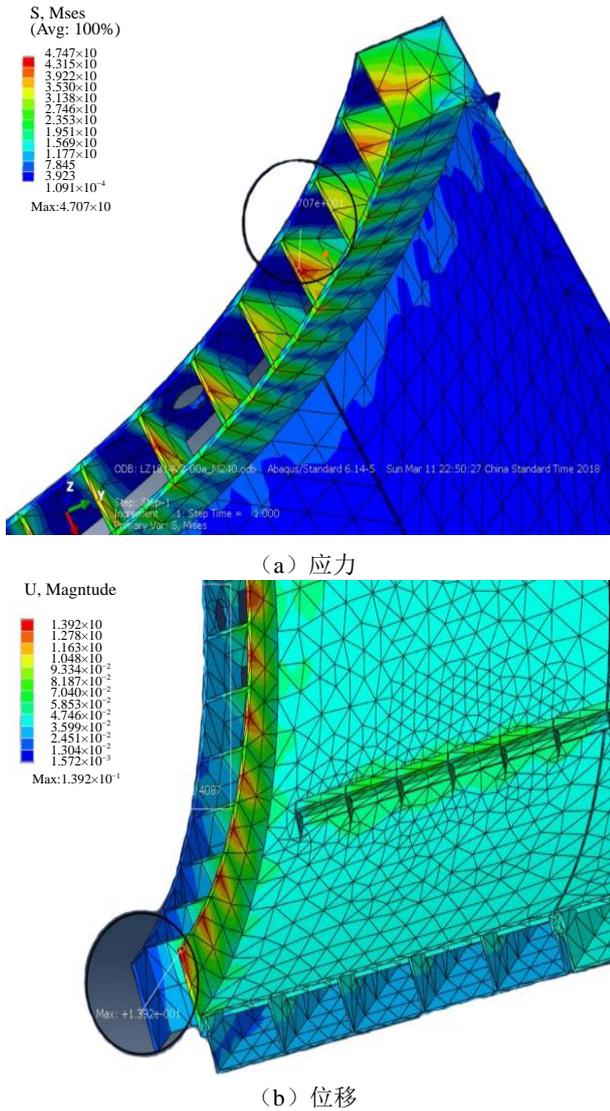


图8 钢套筒力学分析云图

Fig. 8 Mechanical analysis nephogram of steel sleeve

4.2 钢套筒渗漏水控制措施

(1) 针对钢套筒筒体分块接缝处的渗漏水，钢套筒安装前应检查各分块的圆度、连接面的平整度等指标，保证钢套筒安装期间各个分块结合牢固。钢套筒安装时，分块之间安装橡胶垫密封，接缝内外涂抹堵漏灵或水玻璃等防水材料^[21]，安装完成后采用千斤顶对套筒施加预推力，使用钢丝绳拉结固定并采用M24高强螺栓连接紧固，保证分块连接后的密闭性^[13]，如图9所示。

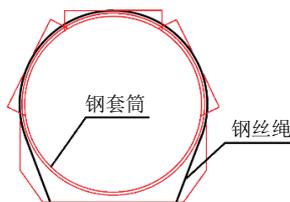


图9 钢套筒外侧钢丝绳拉结固定示意图

Fig. 9 Tension and fixation of the wire rope outside the steel sleeve

(2) 钢套筒与洞门钢环处的焊接连接是整套密闭始发系统中的重要薄弱点。在钢套筒安装前期可通过在此处加焊小块钢板并进行探伤检测以保证其密闭性。参考南宁地铁1号线火朝区间施工经验，在盾构始发前及始发过程中可通过调节环梁预加压力螺栓对钢套筒预加反力进行调整，以保证钢套筒在盾构推进及建压期间洞门钢环处连接焊缝及钢套筒横向连接螺栓不受力，如图10所示。在钢套筒试压过程中应重点关注此结构墙缝的渗漏情况并在始发过程中严格监测此处的变形情况。始发过程中出现变形过大或出现渗漏水时立即停机，使用堵漏灵和钢板进行封堵，并注入聚氨酯填充墙缝空隙^[22]。

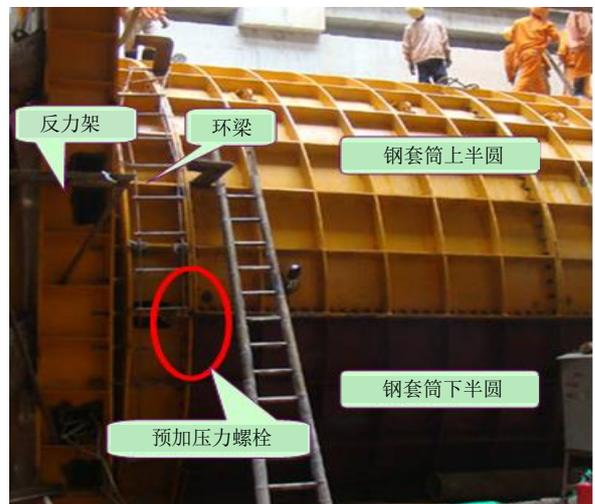


图10 环梁预加压力螺栓图

Fig. 10 Ring beam pre-pressure bolt

(3) 针对盾尾漏沙漏浆，在始发期间应防止盾构姿态变化过大，保证盾尾间隙均匀，严格控制始发导轨的安装精度，保证盾构机抬头始发，防止在钢套筒内部及进入土层后姿态发生过大突变导致盾尾间隙难以控制。

盾尾刷及盾尾油脂可防止在始发过程中钢套筒内地下水、泥水等从盾尾渗漏至盾构机内部，以保证钢套筒在始发期间的密闭性与保压性，如图11所示。在安装期间应严格检查盾尾刷的安装质量及盾尾油脂的涂抹质量，在始发过程中保证盾尾油脂注入量，严格监控油脂仓压力变动，保证油脂注入压力大于泥水压力，参考广州地铁18号线、广州地铁22号线等部分区间经验，一般情况下油脂泵压力控制在9~13 MPa左右^[23-24]。拼装管片前做好盾尾异物的清理，控制同步注浆压力不大于3.0 bar，防止因盾尾刷被破坏或者被壁后浆液击穿。

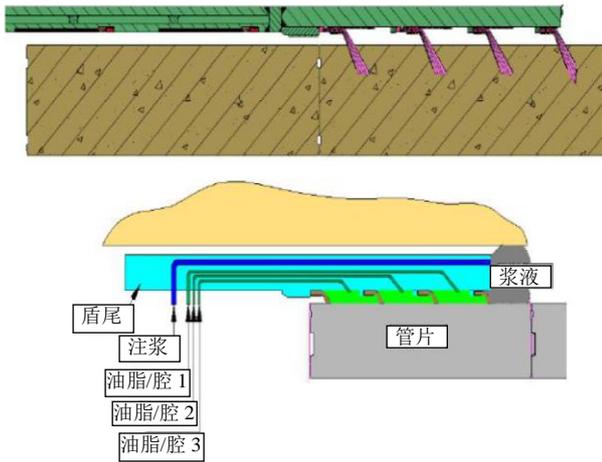


图11 盾构机盾尾刷示意图

Fig. 11 Schematic diagram of shield tail brush

(4) 针对始发环梁与负环管片的结合处渗漏水, 应确保始发环梁的内面平整, 与负环管片正常贴合, 保证负环管片与钢套筒之间的密封效果。在钢套筒填充完毕后, 在后续的掘进过程中进行同步注浆, 材料为膨润土, 在管片后面形成一道密封防渗环。

4.3 铰接密封失效

始发期间防止盾体铰接密封失效的重点为盾构姿态的控制, 即防止在盾构始发期间有过大的姿态调整。端头加固、抬头始发是防止铰接密封失效的有效方式。在盾体大部分进入土层后的调向过程中应严格控制铰接油缸行程, 防止其伸缩过大, 导致周围水土流入盾构机。铰接部位出现渗漏水后应紧急停机并采用前期设计的应急注脂孔紧急注入油脂, 以起到封堵渗漏水的目的。

4.4 破除连续墙过程中滞排堵仓

控制好掘进参数是应对混凝土块体滞排堵仓的根本, 在始发掘进过程中应严格控制刀盘推力、贯入度及转速, 保证滚刀慢破岩、浅破岩, 低速多次切削素混凝土结构, 以发挥刀盘的破碎性能, 减轻鄂式破碎机负担, 减小刀盘破岩形成的混凝土渣块的体积, 降低滞排堵仓堵管的几率^[15]。

采用相关风险控制措施后, 泥水盾构始发掘进过程中反力架与钢套筒未出现过大的变形, 地面沉降未超出控制值, 但是始发套筒与二衬之间以及始发套筒尾部存在轻微渗漏水, 钢套筒的密闭性能仍需继续加强。

5 结论

本文依托青岛地区某区间泥水平衡盾构隧道

钢套筒始发工程, 分析了本工程泥水盾构始发采用钢套筒辅助工法的必要性, 总结了钢套筒始发期间的风险控制要点及相关控制措施。主要结论如下:

(1) 对于跨海泥水盾构隧道富水砂黏复合地层盾构始发, 单一的始发端加固不足以保证盾构安全始发, 钢套筒始发技术可在洞门外平衡始发端地层的水土压力, 大大降低始发期间的施工风险。

(2) 泥水盾构始发期间的关键风险为钢套筒的稳定性、密闭性及始发参数的控制, 具体应严格控制反力架及钢套筒变形及位移、钢套筒各部位渗漏水、铰接密封失效、穿越加固体过程中滞排堵仓等, 同时应注意始发端混凝土结构的密闭性。

(3) 采用上述关键风险控制措施后泥水盾构始发情况正常, 但是仍存在轻微渗漏水情况, 钢套筒的密闭性能、始发端混凝土结构的密闭性仍需继续加强。

参考文献

- [1] 洪开荣, 陈馈, 孙振川, 等. 盾构与掘进关键技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2018.
HONG Kai-rong, CHEN Kui, SUN Zhen-chuan, et al. Key Technology of Shield Tunneling[M]. Beijing: China Communications Publishing, 2018.
- [2] 江玉生, 王春河, 江华, 等. 盾构始发与到达——端头加固理论研究及工程实践[M]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
JIANG Yu-sheng, WANG Chun-he, JIANG Hua, et al. Theoretical Research & Engineering Practice of Ground Improvement at TBM Launching & Break-through Areas[M]. Beijing: China Communications Publishing, 2011.
- [3] 陈珊东. 盾构到达接收辅助装置的使用分析[J]. 隧道建设, 2010, 30(4): 492-494.
CHEN Shan-dong. Analysis on application of steel sleeves in shield arrivals[J]. Tunnel Construction, 2010, 30(4): 492-494.
- [4] 伍伟林, 朱宏海, 邹育, 等. 盾构钢套筒始发和接收关键技术研究[J]. 隧道建设, 2017, 37(7): 872-877.
WU Wei-lin, ZHU Hong-hai, ZOU Yu, et al. Study of key technologies of steel sleeve launching and receiving of shield[J]. Tunnel Construction, 2017, 37(7): 872-877.
- [5] 李希宏, 万陶, 贺创波. 淤泥加砂地层泥水盾构钢套筒分体始发关键技术研究[J]. 工程技术研究, 2021, 6(7): 48-50.

- LI Xi-hong, WAN Tao, HE Chuang-bo. Key technology research on split launching by steel sleeve of slurry shield in silt and sand stratum[J]. Engineering Technology Research, 2021, 6(7): 48-50.
- [6] 何源, 钟涵, 许超. 大直径泥水盾构始发钢套筒设计及变形可控研究[J]. 施工技术, 2019, 48(增刊1): 715-718.
HE Yuan, ZHONG Han, XU Chao. Study on steel sleeve design and deformation control during large diameter slurry shield initiating[J]. Construction Technology, 2019, 48(S1): 715-718.
- [7] 吴忠仕, 贺祖浩, 刘文, 等. 大直径泥水盾构始发钢套筒的防扭施工技术——以孟加拉卡纳普里河水下隧道为例[J]. 隧道建设, 2020, 40(增刊1): 321-326.
WU Zhong-shi, HE Zu-hao, LIU Wen, et al. Torsion-resistant construction technology for steel sleeve used in launching of large-diameter slurry shield: a case study of canapuri river tunnel in bangladesh[J]. Tunnel Construction, 2020, 40(S1): 321-326.
- [8] 崔明, 崔士征, 蔡清池. 小曲线半径富水砂层泥水盾构始发[J]. 施工技术, 2017, 46(增刊1): 712-716.
CUI Ming, CUI Shi-zheng, CAI Qing-chi. The research for shield launching with small curve radius crossing water-rich sand stratum[J]. Construction Technology, 2017, 46(S1): 712-716.
- [9] 曹云飞, 王旭春, 韩旭, 等. 富水砂黏地层盾构掘进参数与地层相关性研究[J]. 地基处理, 2021, 3(5): 433-439.
CAO Yun-fei, WANG Xu-chun, HAN Xu, et al. Research on correlation between shield tunneling parameters and stratum in water-rich sandy-clay stratum[J]. Journal of Ground Improvement, 2021, 3(5): 433-439.
- [10] 罗佳. 冻结法加短钢套筒始发技术应用研究[J]. 中华建设, 2021(3): 106-107.
LUO Jia. Application research on shield launching technology of shortening steel sleeve by freezing method[J]. China Construction, 2021(3): 106-107.
- [11] 侯靖宇. 富水圆砾层盖挖车站中钢套筒始发的应用[J]. 科技与创新, 2021(15): 164-165.
HOU Jing-yu. Application of initiation of steel sleeve in water-rich gravel cover excavation station[J]. Science and Technology & Innovation, 2021(15): 164-165.
- [12] 程正明. 潮间带富水砂层海底隧道及竖井施工技术探讨[J]. 兰州交通大学学报, 2012, 31(6): 33-38.
CHENG Zheng-ming. Discussion on construction technology of subsea tunnel and shaft in water-rich sand layer in intertidal zone[J]. Journal of Lanzhou Jiaotong University, 2012, 31(6): 33-38.
- [13] 胡爽子. 浅析盾构始发与接收钢套筒施工工艺[J]. 四川建材, 2016, 42(6): 128-129, 132.
HU Shuang-zi. Analysis of shield launching and receiving steel sleeve construction technology[J]. Sichuan Building Materials, 2016, 42(6): 128-129, 132.
- [14] 王金力. 富水砂层泥水盾构始发关键施工技术探讨[J]. 北方建筑, 2019, 4(2): 65-69.
WANG Jin-li. Discussion on key construction technology for the initiation of mud-water shield in water-rich sand[J]. Northern Architecture, 2019, 4(2): 65-69.
- [15] 竺维彬, 钟长平, 黄威然, 等. 盾构施工“滞排”成因分析和对策研究[J]. 现代隧道技术, 2014, 51(5): 23-32.
ZHU Wei-bin, ZHONG Chang-ping, HUANG Wei-ran, et al. Cause analysis and countermeasure research of shield construction stagnation[J]. Modern Tunneling Technology, 2014, 51(5): 23-32.
- [16] 李光耀. 泥水盾构洞门密封失效处理实例[J]. 现代隧道技术, 2010, 47(3): 72-75.
LI Guang-yao. Examples of sealing failure treatment of slurry shield tunnel portal[J]. Modern Tunnel Technology, 2010, 47(3): 72-75.
- [17] 敖岩. 富水软弱地层盾构机始发关键技术[J]. 山西建筑, 2021, 47(9): 124-126.
AO Yan. Key technology for shield machine launching in water-rich soft ground[J]. Shanxi Architecture, 2021, 47(9): 124-126.
- [18] 中华人民共和国行业标准编写组. 盾构法隧道施工与验收规范: GB 50446—2017[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
China industry standards compilation group. Specification for Construction and Acceptance of Shield Tunnel: GB 50446—2017[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014.
- [19] 吴木怀, 周文军. 盾构法隧道始发施工关键技术[J]. 中国港湾建设, 2016, 36(9): 53-57.
WU Mu-huai, ZHOU Wen-jun. Key technology for launching of shield tunnel construction[J]. China Harbor Engineering, 2016, 36(9): 53-57.
- [20] 李建平, 叶丽君. 承压水砂性地层中盾构钢套筒始发技术应用[J]. 轨道交通与地下工程, 2017, 35(5): 89-92.
LI Jian-ping, YE Li-jun. Application of shield steel sleeve originating technology in confined water sandy

- stratum[J]. Track Traffic & Underground Engineering, 2017, 35(5): 89-92.
- [21] 王宝佳, 马腾, 郭红斌, 等. 盾构钢套筒密闭始发技术[J]. 施工技术, 2020, 49(7): 84-87.
WANG Bao-jia, MA Teng, GUO Hong-bin, et al. Sealed starting technology of shield steel sleeve[J]. Construction Technology, 2020, 49(7): 84-87.
- [22] 杨宇. 土压平衡盾构始发密闭钢套筒辅助施工技术[J]. 工程施工技术, 2017(16): 133-134, 136.
YANG Yu. Auxiliary construction technology for tight-shielded steel sleeve with earth pressure balance shield launching[J]. Construction Technology, 2017(16): 133-134, 136.
- [23] 王德乾, 郑筱彦, 斯芳芳, 等. 盾尾密封油脂与盾构机及施工地层的适应性研究[J]. 铁道建筑技术, 2021(7): 8-12, 69.
WANG De-qian, ZHENG Xiao-yan, SI Fang-fang, et al. Study on adaptability of shield tail sealing past, shield machine and shield construction strata[J]. Railway Construction Technology, 2021(7): 8-12, 69.
- [24] 刘建东, 廖剑平, 王德乾, 等. 盾尾密封油脂的现场应用研究[J]. 国防交通工程与技术, 2021, 19(3): 68-71.
LIU Jian-dong, LIAO Jian-ping, WANG De-qian, et al. A study of the site application of the sealing grease to the end of a shield[J]. Traffic Engineering & Technology for National Defence, 2021, 19(3): 68-71.

【简 讯】

第五届全国岛礁岩土工程学术研讨会（二号通知）

会议介绍：

全国岛礁岩土工程学术研讨会由中科院武汉岩土力学研究所发起，前四届会议于2017—2021年分别在武汉、大连、长春和三亚举办，得到了学术界、工业界同仁的广泛关注和大力支持。为进一步推进岛礁岩土工程的科学研究和工程实践，第五届全国岛礁岩土工程学术研讨会将于2022年4月22—24日在浙江省舟山市浙江大学舟山校区召开。

本次会议以促进岛礁岩土工程理论发展和技术创新为宗旨，主要针对岛礁工程建设、海洋能源开发、岩土工程、海岸工程、环境生态等进行学术交流与讨论。热烈欢迎从事相关领域研究、设计和施工的专家、学者莅临本次研讨会！

组织机构：

主办单位：

中国土木工程学会土力学及岩土工程分会

承办单位：

浙江大学海洋学院

浙江省海洋岩土工程与材料重点实验室
科技部海洋土木工程国际联合研究中心
岛礁岩土工程专业委员会

协办单位：

海洋岩土工程勘察技术与装备浙江省工程研究中心

浙江华东建设工程有限公司

会议议题（包括但不限于）：

岛礁岩土工程与生态建设
岛礁海岸水动力学与防护
海洋能源开发岩土工程问题
先进原位探测与监测技术

会务组联系人：

报告咨询：

浙江大学 国老师：13735479107

参会、住宿咨询：

浙江大学 徐老师：13484030898

DT新材料 胡老师：18106696283

cherry@polydt.com