

富水砂层条件下盾构安全接收防渗漏技术

曾红兵

(南通市建设安全生产监督站, 江苏 南通 226000)

摘要: 南通市邻江靠海, 特有的富水砂层地质给安全接收盾构带来难题。富水砂层条件下, 加固体细小的渗漏通道也能在短时间内发展为大的涌水涌砂险情, 是盾构接收的重大安全挑战。基于南通市某盾构接收工程案例, 分析总结了轨道交通1号线盾构安全接收情况, 针对洞门密封、端头加固、应急处置、注浆封堵等方面提炼了具体优化措施, 明确了质量安全管控重点。

关键词: 富水砂层; 盾构接收; 加固; 防渗漏

中图分类号: TU7; U455.7

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)08-0374-04

Anti-leakage Technology for Safe Reception of Shield Machines under Water-rich Sand Layer Conditions

ZENG Hongbing

(Nantong City Construction Safety Production Supervision Station, Nantong 226000, China)

Abstract: Nantong area is near the river and the sea, and its unique geology of water-rich sand layer brings the difficulties to the safe reception of shield machine. Under the condition of water-rich sand layer, the solid tiny leakage channels can also develop into major water and sand gushing hazards in a short period of time, which is a major safety challenge for shield reception. Based on a case of shield receiving project in Nantong, the safety reception situation of the shield machine in Metro Line 1 is analyzed and summarized. The specific optimization measures are taken for tunnel door sealing, portal reinforcement, emergency treatment, grouting sealing and other aspects. And the key points of quality safety control are clarified.

Keywords: water-rich sand layer; shield reception; reinforcement; anti-leakage

0 引言

盾构机接收是轨道工程施工现场重大风险之一, 受端头井加固质量、降水条件、盾构姿态控制、洞门密封措施等影响, 接收过程中容易造成洞门涌水涌砂险情, 安全风险较高。选择适当的施工工艺和质量安全控制措施可以有效控制成本, 提高施工作业的便利性与安全性, 同时也是盾构安全接收的关键。

上海市的张朝彪等^[1]对不同地质条件下盾构进出洞施工技术进行了研究, 范根先^[2]详细阐述了复杂环境下高承压水粉细砂层盾构进出洞土体加固关键技术; 北京市的王凯^[3]开展了地铁盾构机进出洞洞门土体注浆加固技术研究。各位专家学者开展的类似研究为工程建设提供了有益参考, 但富水砂层

条件下盾构安全接收防渗漏技术的系统研究相对较少, 现有处置措施在富水砂层条件下的实践应用与优化研究相对较少, 针对南通市这类初次进行地铁建设的实践总结经验较少。本文简要介绍了南通市某盾构接收工程案例, 以此为基础, 围绕盾构接收质量安全管控措施进行了初步探索总结。

1 工程概况

南通市轨道交通1号线全长约39 km, 连接崇川区、港闸区与开发区^[4]。某区间线路出江海大道站后向西南敷设, 然后折向北铺设至城港路站, 隧道区间采用盾构法施工, 埋深7.21~16.21 m, 主要穿越③₁砂质粉土夹粉砂层、③₂粉砂层、③₃砂质粉土夹粉砂层。

该工程位于第四纪地层发育区, 主要由填土、砂质粉土、粉砂等地层组成。区间场地表层以杂填土为主, 厚度为0.7~3.5 m。②层砂质粉土层是良好的浅基础持力层, ③₁、③₃层砂质粉土是区间含水层, 总

收稿日期: 2024-06-29

作者简介: 曾红兵(1987—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事轨道交通工程安全监督工作。

厚度较大,含水量丰富,在水动力作用下,极易产生流砂等现象。第 I 承压水一般赋存于④₂层以下的砂土、粉土层中,根据区域水文地质资料,水头埋深 2 ~ 5 m。

2 原盾构接收施工方案

2.1 端头井水泥系加固与洞门密封装置

为了确保盾构接收时的施工安全,防止端头井地层发生坍塌或涌水涌砂等险情,减少对周边民居、高架桥的影响,根据工程地质、水文地质、地面建(构)筑物等综合分析情况,决定对隧道洞门端头地层进行水泥系加固,并在接收洞门处安装帘布橡胶+折页板密封止水装置(见图 1)。接收端头井采用 850 mm@600 mm 三轴搅拌桩(排间错开布置)加固,加固体与围护结构间为单排 800 mm@500 mm 三重管高压旋喷桩。横向隧道轮廓线两侧加固范围分别为 6.35、6.35 m 即 12.7 m,纵向为 10 m,竖向为洞门钢环轮廓上下 3 m。钢环轮廓上下 3 m 的区域加固体强度不小于原状土,钢环轮廓上 3 m 至地面的区域加固体无侧限抗压强度不低于 0.8 MPa,渗透系数不大于 10^{-7} cm/s,止水帷幕强度要求不低于 0.8 MPa^[5],加固完成后按要求进行加固体钻芯检测。

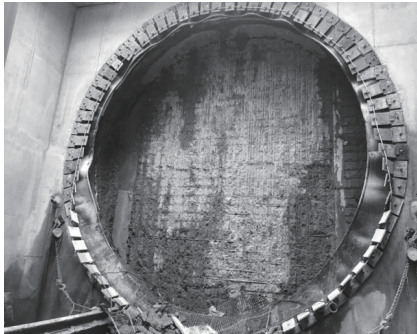


图 1 原方案洞门帘布橡胶+折页板密封止水装置

2.2 封堵注浆与降水

本区间下行线单线管片总量为 744 环,为防止隧道后方水砂过多地涌入洞门,接收前在隧道 714 环、724 环、732 ~ 734 环等位置打设多道双液浆环箍,并在接收洞门处备好一定棉絮、沙袋及二次注浆设备,视涌水情况及时堵漏。741 环拼装后,停止同步注浆,当盾尾脱出橡胶止水帷幕后,开始在 742 环、743 环处注双液浆,后在 739 环处注双液浆,从 734 环~744 环间反复注入单液浆,最终完成洞门封堵注浆。

盾构接收前,在加固区两侧与中间位置各打设 2 口降水井,共计 6 口降水井,加固区两侧各增设 1 口观测井,共计 2 口观测井^[6]。洞门混凝土破除前需确保地下水位已稳定下降到隧道底板以下。盾

构接收施工时需连续降水,并加强附近建筑物、构筑物等变形监测^[7]。

2.3 水平探孔

为验证端头井加固效果,在洞门位置打设“米”字形钻孔 9 个,直径为 60 mm,孔深 1.5 ~ 2 m,探孔穿透地下连续墙及旋喷桩冷缝,重点检查探孔流水情况以检验加固体质量。检查中发现个别探孔有较大水流流出,端头加固效果经综合判断不满足盾构接收要求。

3 补充加固与原因分析

为确保盾构机安全接收,决定在洞门圈范围内使用钻机掏挖水平注浆孔进行加固注浆。水平注浆孔深 2.5 ~ 3.0 m,利用镀锌管注入双浆液,初始压力控制为 0.4 MPa,根据现场情况调整注浆压力与流量,也可以在加固体区域地面钻垂直注浆孔,进一步封堵加固体。经补充加固后探孔无明显流水,后期盾构接收时无涌水涌砂现象发生。

轨道交通 1 号线建设过程中,类似端头加固效果不明显、盾构接收时涌水涌砂现象较明显,特别是三层车站的盾构接收发生概率更高,个别情况下造成地表局部塌陷、隧道管片局部破损等案例(见图 2)。



图 2 洞门帘布橡胶处涌水涌砂图

经综合分析,初始时盾构接收条件不满足要求主要原因如下:

(1)富水砂层地质条件下,受施工机械、高地下水位、混凝土供应、管线迁改等因素影响,地下连续墙施工时槽壁容易失稳、发生较大变形,进而导致地下连续墙墙面鼓包、漏筋,影响桩机钻杆定位,造成部分加固体质量难以控制^[8,9]。

(2)富水砂层条件下部分深层搅拌桩成桩效果不理想,实践证明地下 3 层及以下车站的接收端三轴搅拌桩、高压旋喷桩施工受地下水及工艺、设备等因素影响较大,地下水丰富地区的此类加固体多有渗漏情况发生。

(3)富水砂层条件下传统洞门密封止水装置效

果不佳,帘布橡胶+折页板密封止水装置在富水砂层条件下,很难做到完全密封,这也导致加固体渗漏后外部最后的防线缺失,加固体质量控制变得尤为重要。

(4)接收端头井临近河流、地下水力联系紧密,周边建筑物保护要求高、无法大范围降水,接收部位地下水压力大、隧道洞口段环箍注浆效果不佳等也是重要原因。

(5)重视程度不够、经验不足。部分从地下水水位低地区、黄土区域等转移到富水砂层地区作业的施工人员,对富水砂层的重视程度不够,没有及时优化处置措施也是很重要的原因。

4 后续接收方案优化

针对上述情况,各参建单位认真分析原因,总结经验教训,采取了很多优化处置措施,取得了较好效果,各项优化措施如下。

4.1 洞门密封

原方案采用洞门帘布橡胶+折页板密封止水装置。优化后,三层车站及重点区域采取钢套筒接收或钢套筒+冷冻方式接收(见图3);二层车站及其他区域采取短套筒+止水钢板/气囊/盾尾刷、盾尾割除等方式(见图4)。实践证明钢套筒+冷冻方式接收,安全性较高,但造价高,注意事项多。二层车站及其他区域采取短套筒配套辅助设施的接收方式也能起到较好止水密封效果,造价较低,但总体安全性不如钢套筒+冷冻方式。

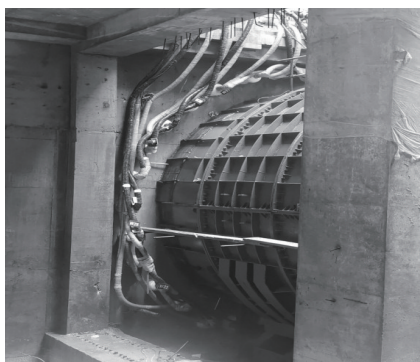


图3 采用钢套筒+水平冷冻接收

4.2 端头加固

原方案采用三轴搅拌桩+高压旋喷加固。优化后,采取优化泥浆配比、降水、严格控制提斗速度、加强管线迁改施工质量控制等措施强化地下连续墙施工质量控制,防止鼓包漏筋等缺陷影响端头加固质量。选择性能优良的加固设备,旋喷采用高架子设备,三轴配备垂直度检测装置,以利于垂直度控制,

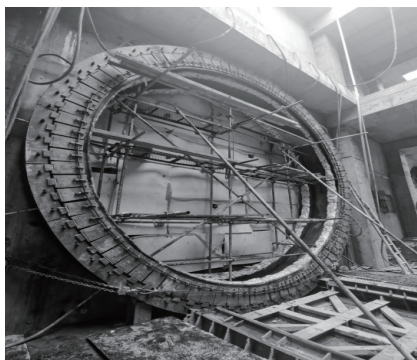


图4 短套筒+盾尾刷接收

部分区域采用MJS。转角处、接缝等薄弱部位高压旋喷补充加固,止水帷幕到水泥加固体的距离可优化到2~3 m。增加水泥用量,严格控制水泥系施工质量,部分重点区域采用垂直/水平冷冻方式加固效果较好(见图5)。

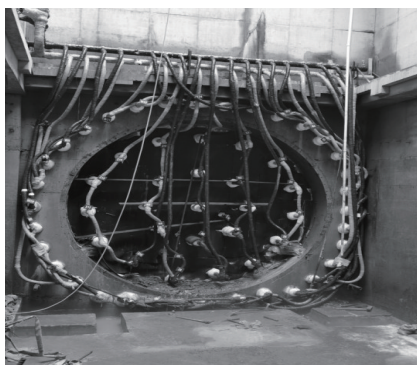


图5 采用水平冷冻加固

4.3 应急处置

原方案对涌水涌砂时视情况现场实施。优化后,重要点位盾构接收前提前实施应急处置措施,在夹心旋喷位置盾构机二侧外缘事先预埋应急注浆管,洞门位置周边特别是底部位置也预埋注浆管或球阀(见图6、图7)。明确聚氨酯等抢险物资种类、发泡时间并提前开展应急演练,重要部位接收前,阿特拉斯等应急抢险物资设备现场待命。重要点位提前实施应急处置措施可以在渗漏发生的第一时间进行注浆封堵,止水效果较好。富水砂层条件下,发泡时间较长、发泡效果较差的聚氨酯实际功效较差,需要高度重视。

4.4 管片与注浆封堵

原方案采用常规管片,最后设30环多道双液浆环箍。优化后,将洞门位置管片改为注浆环管片,增加注浆环箍数量,强化封堵注浆质量(见图8)。盾构区间增设1.0 m管片调节环,接收端凸出洞门不大于20 cm,从源头避免洞门环管片凿除或拔出带来的洞门渗漏风险。



图6 地面预埋应急注浆管



图7 短套筒+洞门周边预埋注浆管



图8 洞门位置采用封闭注浆环管片

4.5 降水

原方案在加固区两侧与中间位置打设降水井。优化后,增设降水井,严格将地下水位降至隧道底板或控制线以下。

5 重点质量安全控制措施

(1)降水控制。富水砂层条件下盾构接收关键措施是降水。施工作业中需强化降水监测,既要确保洞门处水位降到控制水位以下,也要加强监测确保降水不会对周边敏感建筑物造成较大影响。补充加固容易造成降水井堵塞,需高度重视,及时补打降水井。

(2)水泥系加固质量控制。实践证明,富水砂层条件下,三层及以下地下车站的盾构接收端头井深层水泥系加固质量容易出现缺陷,作业前需根据试桩结果强化水泥用量、桩位等因素控制,部分区域可

以采取添加早强剂、增加水泥用量、冷冻等形式强化加固质量。隧道内管片注浆环及注浆环箍需严格按照要求实施,注浆量、注浆压力与凝固时间符合要求,严禁凝固时间不足提前割除钢套筒连接板。

(3)关键节点施工前条件核查与洞门密封止水。盾构接收前须严格进行施工前条件核查,结合端头钻芯取样、降水井水位、探孔流水情况作出综合判断。实践证明,富水砂层条件下三层及以下的盾构接收安全风险较高,传统的帘布橡胶+折页板的洞门密封止水方式往往效果不佳,需进一步优化洞门密封止水装置。三层及以下车站的盾构接收可以采取钢套筒或钢套筒+垂直/水平冷冻的方式,但钢套筒拆除时需严格进行拆除条件验收,避免拆除时洞门处发生涌水涌砂现象。

(4)应急管理。应急处置过程中,聚氨酯等应急处置物资对堵漏效果影响较大,盾构接收前应按方案对聚氨酯等物资进行现场试验明确时效与功用,重要节点、重要部位接收前建议明确聚氨酯种类及发泡时效等关键指标。

6 结 语

富水砂层条件下盾构安全接收需强化降水、端头井水泥系加固、洞门密封、同步注浆与二次注浆等关键工序质量控制。实践中,应根据实际工况深入研究降水对周边建筑物沉降影响,重点考虑水泥系加固质量缺陷与针对性的补强加固控制措施,强化洞门密封止水与应急管理,确保工程顺利推进。

参考文献:

[1] 张朝彪,金福强,胡俊,等.不同地质条件下盾构进出洞施工技术[J].江苏建筑,2010(4):62-65.
[2] 范根先.复杂环境下高承压水粉细砂层盾构进出洞土体加固关键技术[J].价值工程,2018(8):124-126.
[3] 王凯.地铁盾构机进出洞洞门土体注浆加固技术[J].施工技术,2016(45):460-463.
[4] 曾红兵.深基坑地下连续墙钢筋笼吊装施工设备选型分析[J].建筑安全,2022,9(37):23-25.
[5] 陶云超.富水淤泥质土层盾构井始发端头合理加固范围分析[J].工程技术研究,2023,8(3):44-46.
[6] 薛宏平.土压盾构钢套筒接收在富水砂层地质条件下的应用[J].建筑科技,2022,6(3):104-106.
[7] 邓耀华,石立民,吴金.轨道交通工程盾构到达施工关键技术研究[J].建筑,2015(21):71-73.
[8] 龙彪.富水砂层中地下连续墙施工槽壁稳定性及变形研究分析[J].隧道与轨道交通,2017(4):14-16.
[9] 曾红兵,陆宏鑫.富水砂层地下连续墙施工质量控制措施实践与探讨[J].现代城市轨道交通,2020(5):73-75.