

地铁工程暗埋工作井内钢筋混凝土密封舱室 盾构始发技术

王社江 张建鹏

(苏州市轨道交通集团有限公司, 215006, 苏州//第一作者, 高级工程师)

摘 要 在城市轨道交通工程建设中, 盾构始发端因端头井地层无法加固或加固效果不理想, 且始发空间有限, 使传统钢套筒密封始发技术的使用受到制约。结合钢筋混凝土结构施工特点, 为平衡盾构掘进掌子面的水土压力, 设计了具备钢套筒功能的新型盾构始发装置。该装置工程实践证明: 钢筋混凝土密封舱室技术适用性强, 盾构始发效果好。该装置的成功应用为处于富水粉砂地层内、端头井后土体加固不理想环境下的盾构机顺利始发施工提供了新思路。

关键词 地铁; 盾构始发; 钢筋混凝土密封舱室; 暗埋工作井; 富水粉砂

中图分类号 U455.43

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2020.08.040

Shield-driven Initiation Technology of Reinforced Concrete Sealed Cabin in the Concealed Working Well of Metro Engineering

WANG Shejiang, ZHANG Jianpeng

Abstract In urban rail transit engineering projects, the application of conventional steel sleeve sealing initiation technology is restricted because of the unsatisfactory reinforcement effect in the shield end well stratum and the limited initiating space at the shield-driven initiation part. According to the construction characteristics of reinforced concrete structure, to balance the water-soil pressure of shield tunneling face, a new type of shield-driven initiation device is designed with the functions of steel sleeve. Engineering practice proves that the reinforced concrete sealed cabin has strong technical applicability and the performance of shield-driven initiation is excellent. The successful application of this device provides a new idea for the smooth launching of the shield machine in water-rich silt stratum and in the condition of substandard soil reinforcement behind the shield end well.

Key words metro; shield-driven initiation; reinforced concrete sealed cabin; concealed working well; water-rich silt

Author's address Suzhou Rail Transit Group Co., Ltd., 215006, Suzhou, China

盾构始发端头加固方法主要包括注浆加固、旋喷桩加固、搅拌桩加固及冷冻法加固等。在实际地层中, 地层结构往往比较复杂, 地质勘察资料不能完全反映地下土层所有情况, 同时考虑到目前各种加固工艺和加固体检测手段具有一定局限性, 致使盾构始发端头加固效果不能得到有效保证, 盾构始发风险尚不能完全解决。因此, 盾构套筒密封始发方法应运而生。

盾构进洞前, 在井内洞门设置具有一定长度的套筒, 其内部尺寸与端墙预留洞口相匹配。目前, 国内外盾构始发套筒均为钢套筒。钢套筒一端与洞门地下连续墙紧密连接, 另一端通过千斤顶与反力架相连, 并在套筒内部拼装负环管片。在盾构组装测试完成后, 通过预留的注浆孔向钢套筒与盾构之间的空隙注入砂浆等填充物, 使盾构在进洞前就已经在钢套筒内形成稳定的掌子面压力。钢套筒已经在诸多盾构始发中得到应用^[1-5], 但由于施工现场施工环境复杂多变, 盾构作业空间时常受限, 经常造成传统钢套筒无法完全适用。因此, 需设计一种新型盾构始发套筒, 既解决问题并保证施工安全顺利开展, 同时又能达到传统钢套筒所具备的功能。本研究结合现场施工环境, 设计了一种新型的钢筋混凝土结构盾构始发密封装置, 并提出了针对该装置的系列施工工艺。该技术在苏州市轨道交通 3 号线施工中的首次应用, 就充分验证了其安全性、经济性、适用性。

1 工程概况

1.1 工程概述

苏州市轨道交通 3 号线土建施工 III-TS-14 标段东方之门站—现代大道站区间(见图 1)左线隧道, 自东方之门站北端头始, 直线向北前行, 其间下穿星港街过街天桥北桥, 之后左右线隧道均以曲线

(曲线半径为 1 500 m)向西北前行;在星港街隧道处,左右线隧道均以曲线(曲线半径为 450 m)向北前行下穿该隧道;最后以直线向北前行下穿烟雨桥,到达现代大道站。区间线路左右线隧道均有两段曲线,线路间距为 14.00~17.10 m。区间隧道纵坡为单向坡,右线坡度为 17.111‰,左线坡度为 16.978‰,与车站相连端的竖曲线半径为 3 000 m,隧道埋深为 10.10~17.10 m,始发端隧道埋深为 17.10 m。

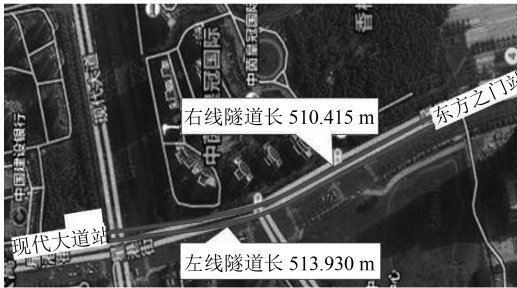


图1 东方之门站—现代大道站区间线路走向图

东方之门站—现代大道站区间隧道主要穿越④₁粉质黏土层、④₂粉土夹粉砂、⑤₁粉质黏土层,土层地质特性见表1。区间潜水水位埋深为1.10~2.80 m,高程为1.12~2.01 m;场地微承压水含水层主要为④₂粉土夹粉砂层,该含水层分布较稳定,其主要补给来源为大气降水、地表水及上部潜水垂直入渗,以民间水井取水及地下径流为其主要的排泄方式。

表1 东方之门站—现代大道站区间地质特性表

土层号	土层名称	土层特性
④ ₁	粉质黏土层	灰色,软塑为主,局部流塑,具水平层理,夹薄层状或透镜体状粉土,含云母、有机质,部分地层揭露腐殖质。本层土稍有光泽,干强度中等,韧性中等,无摇振反应。含水量为31.4%
④ ₂	粉土夹粉砂	灰色,中密状态为主,局部稍密,很湿,主要矿物成分为石英、长石,局部粉黏交互。本层土无光泽,干强度低,韧性低,摇振反应迅速。含水量30.6%
⑤ ₁	粉质黏土层	灰色,软塑—可塑,层理明显,局部夹薄层状、透镜体状粉土。本层土稍有光泽,干强度中等,韧性中等偏低,无摇振反应。含水量30.5%

1.2 端头井地层加固情况

东方之门站北端头井设计加固方案为地面三轴搅拌桩+旋喷桩加固+洞内水平冷冻。地面加固范围为隧道外侧3 m,沿隧道纵向加固长度为10 m,加固区与车站围护间采用一排单重管旋喷桩填充空隙。洞内水平冷冻杯底长度为3 m,杯壁长度为10 m。

端头井土体加固及洞内水平冷冻完成后,按照工序安排进行盾构始发前的洞门破除,破除过程中洞门有轻微渗水,现场采用注聚氨酯的方法堵漏,但该方法止漏效果甚微,不能确保盾构顺利安全始发的要求。洞门破除后的现场情况如图2所示。



图2 东方之门站—现代大道站区间左线盾构始发洞门破除后情况

1.3 始发井地面施工环境

盾构机(右线隧道贯通后暗调头)始发井上方所在位置为城市主干道星港街,星港街地面道路正常通车,且车流量大。星港街道路西侧为苏州中心、东方之门,道路东侧为苏州城市广场、金鸡湖(道路到湖边净距约为170 m)。盾构始发井上方是繁华的商业区和景区。由图3可见,施工环境不具备再行地面加固及设置施工降水井的条件。



图3 东方之门站—现代大道站区间左线隧道始发井上方地面环境

2 钢筋混凝土密封舱室设计

2.1 设计概述

根据盾体外露长度情况,在洞门外采用原有结构和新建构件相结合的方法建造密封舱室。原有结构包含洞门处已施做的车站底板、左侧墙、洞门端墙;新建构件包含在盾尾负环处新筑与洞门端墙平行的墙体(包裹负环),在洞门右侧新筑与车站左侧墙平行的墙体,在中板外露的盾体上部新筑与车站底板平行的盖板。密封舱室设计示意图如图4

所示。

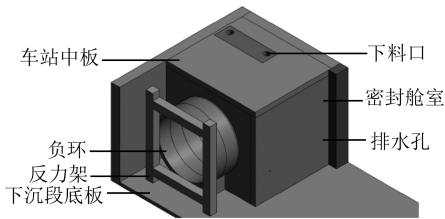


图 4 洞门外密封始发舱室设计示意图

密封舱室构建完成后,通过顶板预留下料口向密封腔内填充聚氨酯,以起到保障密封的效果。依据覆土深度及掘进环境等因素,盾构机始发时切口水土压约为 0.23 MPa,则密封结构设计耐压为 0.30 MPa 即可满足施工要求。

2.2 密封舱室结构

密封舱室为钢筋混凝土结构。后浇钢筋混凝土结构的后墙、右侧墙、盖板厚度均为 80 cm。钢筋混凝土墙(板)内主筋为 $\phi 20$ mm 的螺纹钢,水平筋为 $\phi 18$ mm 的螺纹钢,内外侧各设一排,中间设 $\phi 8$ mm 构造筋,混凝土保护层厚度不小于 40 mm。墙(板)采用 C45 混凝土,与既有车站主体结构接缝处凿毛并植筋,植筋为 $\phi 20$ mm 的螺纹钢,植入深度不小于 30 cm(15 倍的钢筋直径),植筋间距为与墙(板)纵横向筋对应。

2.3 密封舱室的作用

密封舱室在各施工阶段所起的作用有所不同,具体描述如下:

- 1) 在填仓期,主要起到阻挡填充料扩散的作用,使填充物将封闭空间全部填满;
- 2) 在始发推进过程中,主要作用是使洞门外盾体被包封,使盾构土仓建压平衡,防止洞门处渗水、流沙;
- 3) 在正 10 环以前,主要作用是使洞门密封,使已拼装管片壁后可形成环箍,防止洞门处渗水、流沙;
- 4) 在正 10 环以后,若正 10 环探测孔内无渗流,密封舱室不再起作用,只是作为洞门封堵的备用措施。

3 钢筋混凝土密封舱室应用实践

3.1 施工工艺

新型钢筋混凝土结构盾构始发密封装置根据其可行性论证,提出了符合工程实际的施工工艺。具体施工流程如图 5 所示。

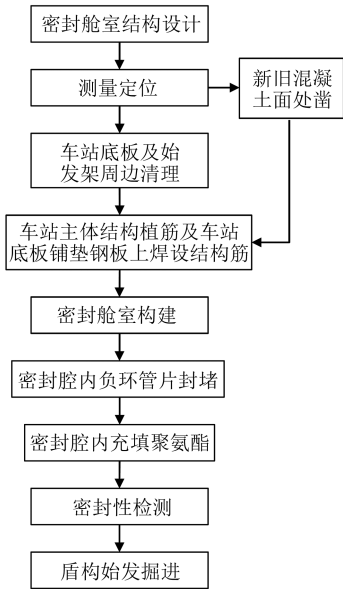


图 5 钢筋混凝土密封始发舱室施工流程图

3.2 施工要点及注意事项

- 1) 既有车站主体接触面处凿毛及植筋。密封舱室结构利用部分已建车站主体结构和后浇墙板构成,在后浇墙板与既有车站交接面处,采用风镐将既有车站外露面凿毛,凿至粗骨料外露为止。在凿毛的区域内钻孔,钻孔直径为 35 mm,深度为 30 cm;用高压气管将孔内松散残渣及粉末冲干净,并用乙炔割枪烘烤孔内,确保孔内干燥;在孔内灌注 AB 双组分高强环氧树脂结构胶,并在孔内插入待植钢筋。
- 2) 底板铺垫钢板接茬筋。密封舱室结构新筑侧墙需锚固在车站底板上,而底板范围内满铺钢板,无法采用钻孔植筋的方式实现侧墙生根。因此,在侧墙平面投影范围内的铺垫钢板上焊设 L 型接茬筋,接茬筋与密封舱室结构钢筋连接。
- 3) 钢筋制安。结构钢筋在井上加工成型后,通过相邻站吊装井吊放在台车上运至始发井处,与已植入的钢筋绑扎、焊接为一体。
- 4) 模板安装。所有墙板模板均采用竹胶板,脱模剂采用水性脱模剂。加固支撑体系采用 $\phi 4.8$ mm \times 3.5 mm 碗扣钢管支架,竹胶板背面设置 100 mm \times 100 mm 方木背楞。

- 5) 混凝土浇筑及养生。结构混凝土采用商品混凝土,由搅拌车运至始发井附近风井处,采用提前架设的泵管泵送至模板内,插入式振捣器振捣。因新筑侧墙高 7.95 m,现场分两次浇筑,分次浇筑期间为减小混凝土浇筑时的自由落差小于 2 m,采

用开侧窗浇筑的方式。混凝土初凝或拆模后,洒水保持湿润养护。

6) 前 10 管片选型。隧道始发端正 1 环—正 10 环选用增加过注浆孔的多孔管片,每环管片注浆孔由 6 个增加至 16 个,以保证洞门封堵快速、高质。所选管片如图 6 所示。

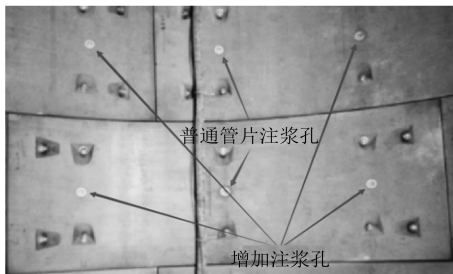


图 6 多孔管片实物图

7) 密封舱室填聚氨酯。填仓前,应进行现场试验,以确定适宜的施工工艺及参数。实际工程中,采用在密封舱室内底板上浇筑 70 cm 厚 M5 水泥砂浆的措施,来保证底板与新筑侧墙之间的密封性;另外,需要对密封结构强度、密封性进行检验,合格后向密封结构内进行填聚氨酯。在填充的过程中适当加水,以保证聚氨酯充满空间。

8) 盾构始发掘进。始发掘进时,推进速度控制在 5~8 mm/min,推力控制在小于 8 000 kN,转动刀盘时注意刀盘扭矩、土仓压力的变化。

9) 盾构机尾部未进入洞门之前的注意事项。盾构掘进参数不应有明显变化;密封舱室内压力不能减小。盾尾过正 10 环后即可封堵洞门。注浆时压力不应过大,可根据计算的注浆量分几次注浆(一般分 3 次),待下部浆液初凝后,进行中部注浆,

中部浆液初凝后,进行上部注浆。注浆过程中要准备好钢板型钢等物料,对漏浆的地方进行封堵。

3.3 实践效果

盾构始发过程中,密封舱室工作正常,盾尾无漏浆现象,洞门未见喷砂涌水,地表沉降变形监测数据未见异常,隧道上方地表的周边环境完好,盾构机掘进姿态正常。

4 结语

钢筋混凝土密封舱室盾构始发技术在苏州轨道交通建设中首次成功应用,有效解决了暗埋车站始发井内钢套筒无法安装的问题,有效避免了洞门渗漏的风险。施工安全经济、方便适用,且拆除后不影响主体结构质量。这一新技术充分利用了钢筋混凝土结构的优势,具有广泛的应用基础与广阔的延伸价值。本技术的实践研究,不仅对今后类似工程的施工具有指导作用,在其它工程中也将创造巨大的社会效益和经济效益。

参考文献

- [1] 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(6): 128.
- [2] 夏晨欢. 盾构进洞钢套筒施工技术的研究[J]. 建筑施工, 2013(1): 69.
- [3] 陈树茂, 方一航, 袁梦, 等. 地铁盾构隧道无端墙密封钢套筒接收技术研究[J]. 广州土木与建筑, 2018(7): 39.
- [4] 郑石, 鞠世健. 泥水平衡盾构到达套筒辅助接收施工技术[J]. 现代隧道技术, 2010(6): 51.
- [5] 邱品茗, 李艾. 关于盾构始发即近距离下穿既有隧道的施工技术探讨[J]. 四川建筑科学研究, 2012(1): 141.

(收稿日期:2020-04-03)

(上接第 164 页)

2) 该线路车轮的镟修占比高达 50% 以上,说明镟修经济性有较大的提升空间。

3) 考虑薄轮缘镟修模板对镟修经济性的影响明显,本文提出地铁车辆用任意轮缘厚度 LM 型踏面的生成算法,构建连续轮缘厚度薄轮缘模板库。

4) 本文以车轮磨耗廓形曲线和单节车车轮参数匹配性要求为基础,智能选取车轮精细化镟修最优方案。验证结果表明,新的车轮镟修踏面方案具有较明显的经济性。

参考文献

- [1] 杨晓璇. A 型地铁车辆车轮多边形形成机理初步研究[D]. 成都:西南交通大学, 2018.
- [2] 李鑫. LM 磨耗形踏面轮对全廓形等级镟修的实现方法[J]. 城市轨道交通研究, 2017(5): 163.
- [3] 黄增俊. 地铁车辆轮对磨耗预测及其镟修策略优化[D]. 广州:广东工业大学, 2018.
- [4] 李佳妮. 地铁转向架轮对的磨耗及其镟修[J]. 科技与企业, 2015(15): 197.
- [5] 赵文杰. 地铁车辆轮对磨耗故障预报和镟修策略优化[D]. 杭州:中国计量学院, 2014.

(收稿日期:2019-08-07)