

超浅覆土工况下类矩形盾构法在宁波轨道交通 4 号线出入段线施工中的应用

姚燕明¹ 邱 凡² 周俊宏¹ 夏汉庸¹

(1. 宁波市轨道交通集团有限公司, 315101, 宁波; 2. 浙江数智交院科技股份有限公司, 310030, 杭州//第一作者, 正高级工程师)

摘 要 类矩形盾构法因其具有对周边环境影晌小、空间利用率高优势,已在宁波轨道交通中多次应用。该施工方法在出入段线的施工中效果尤为显著。依托宁波轨道交通 4 号线东钱湖车辆段出入段线施工项目,提出了超浅覆土工况下类矩形盾构隧道的设计及施工方案。对原设计方案及 2 个施工优化方案进行对比,方案二(417 m 类矩形盾构掘进+其余区段明挖)在技术性及经济性上均具有显著优势。为了确保方案二的盾构施工安全及隧道永久抗浮,采取了抗浮板技术。现场施工监测数据表明:抗浮板在超浅覆土工况下类矩形盾构隧道掘进过程中的抗浮控制效果显著。

关键词 城市轨道交通;出入段线;类矩形盾构施工;超浅覆土;抗浮板

中图分类号 U455.43

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.03.035

Application of Quasi-rectangular Shield Tunneling in Ningbo Rail Transit Line 4 Access Line Construction under Ultra-shallow Covering Soil Working Condition

YAO Yanming, QIU Fan, ZHOU Junhong, XIA Hanyong

Abstract Quasi-rectangular shield tunneling method features less environmental impact and higher space utilization rate, and has been applied in Ningbo Rail Transit for many times, having particularly obvious effect in the access line construction. Based on the access line project of Dongqianhu Vehicle Depot of Ningbo Rail Transit Line 4, the design and construction scheme of quasi-rectangular shield tunneling under ultra-shallow covering soil working condition is proposed. With a comparison of the original design scheme and 2 construction optimization schemes, it is evident that the scheme 2 (417 m quasi-rectangular shield tunneling + open excavation in other sections) has significant advantages in terms of technical economy, in which the anti-buoyancy board technology is adopted to ensure the safety of shield construction and permanent anti-

buoyancy of the tunnel. The on-site construction monitoring data shows that the anti-buoyancy control effect brought by anti-buoyancy board is significant during the excavation of the quasi-rectangular shield tunneling under ultra-shallow covering soil working condition.

Key words urban rail transit; access line; quasi-rectangular shield tunneling; ultra-shallow covering soil; anti-buoyancy board

First-author's address Ningbo Rail Transit Group Co., Ltd., 315101, Ningbo, China

城市轨道交通出入段线是连接正线与车辆段的线路区段,一般采用明挖法或盾构+明挖法施工^[1-2]。采用明挖法施工对周边环境影晌较大,施工临时占地面积多、工期长、风险高,且不可避免地带来交通导改、管线迁改等问题。相对于明挖法施工,盾构法施工对周边环境的影响较小,最常采用双线单圆盾构类型。近年来,类矩形盾构法多次得以成功应用。相对于传统的双线单圆盾构法施工,类矩形盾构法施工有明显的技术优势^[2-4]:能节约 35% 以上的地下空间;提高隧道在狭窄道路或高层建筑间的穿行能力,减少隧道对环境的影响范围(见图 1),一次掘进形成双线空间及节约工期,等等。

本文以宁波轨道交通 4 号线工程东钱湖车辆段出入段线为背景,研究了超浅覆土工况下类矩形盾构隧道的设计及施工方案,进一步为类矩形盾构法的应用推广积累经验。

1 工程背景

宁波轨道交通 4 号线工程东钱湖车辆段出入段线自该线的小洋江站引出,沿东钱湖大道(道路北侧为小洋江河道)下方敷设,经过东钱湖大道 7 号桥后向南转入现状农田及水塘,最终接入东钱湖车

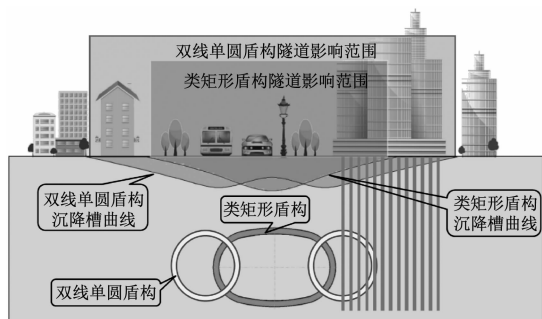


图1 类矩形盾构施工与双线单圆盾构施工对隧道环境的影响对比

Fig. 1 Comparison of environmental impact caused by quasi-rectangular shield and double-lining single-circle shield tunneling construction

辆段地面线。该出入段线沿线地下管线较多,沿东钱湖大道方向的地下管线有通信管线、DN 300 污水

管、DN 300 给水管、10 kV 电力管及 DN 250 燃气管等。该出入段线两侧为双线单圆正线盾构隧道,出入段线所处的地层为宁波地区典型的深厚软弱淤泥质土。

原设计方案中,该出入段线全部采用明挖法施工,线路出小洋江站后,平面上依次采用 1 000 m、320 m 的曲线半径,纵断面上先采用 2‰ 的坡度下坡,后依次采用 24‰、35‰ 和 18‰ 的坡度上坡,最终接入东钱湖车辆段。原设计方案的总平面图及纵断面图如图 2 所示。出入段线全长 699.4 m (含暗埋段 424.4 m 及 U 型槽段 275.0 m)。其中,暗埋段为地下一层框架结构,最大基坑开挖深度为 16.4 m,基坑宽度为 10 ~ 15 m。由图 2 b) 可知,原河道位置出入段线隧道顶板冒出河底,不利于隧道抗浮及结构安全,需将河道向西改移约 90 m。

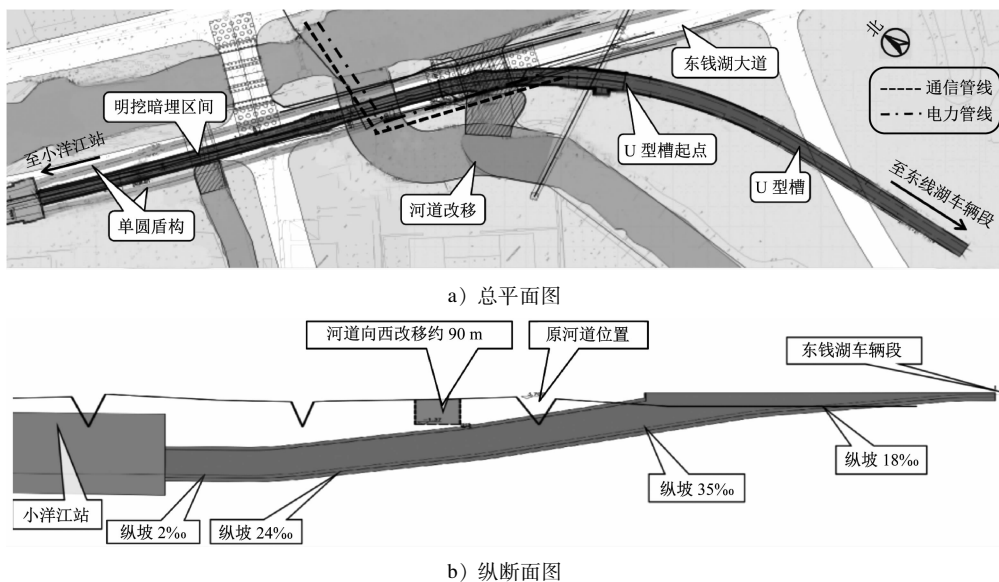


图2 东钱湖车辆段出入段线原设计方案

Fig. 2 Original design scheme of the access line of Dongqianhu Vehicle Depot

该工程出入段线全部采用明挖法施工,约有 16 个月需占用东钱湖大道和周边地块,且施工前需进行交通导改和管线迁改,临时改造的工作量和难度大,需要与各权属单位协商其实施方案。特别是一些重要通信管线的迁改方案,如协商效果不理想,必将导致工期延长。

2 类矩形盾构施工方案

小洋江站接出入段线的端头井内净宽约 30 m。在进行类矩形盾构施工方案研究时,该处主体围护结构已施工完毕,因车站的土建轮廓已确定,不具

备将施工方案调整为正线双线单圆盾构 + 出入段线双线单圆盾构的条件。

类矩形盾构法已在宁波轨道交通 3 号线首南车辆段出入段线中得以成功试用^[2,4]。在此基础上,本文研究将东钱湖车辆段出入段线由明挖法调整为类矩形盾构法施工的可行性,提出两个类矩形盾构施工方案,并进行综合分析。

2.1 方案一(230 m 类矩形盾构掘进 + 其余区段明挖)

一般情况下,盾构接收端的覆土厚度按 1 倍洞径(约 6.0 m)考虑,东钱湖车辆段出入段线盾构接

收井处的覆土厚度约为6.9 m,满足隧道抗浮要求。方案一的施工方案为:将出小洋江站后约230 m长的明挖出入段线隧道调整为类矩形盾构隧道,剩余的出入段线区段仍采用明挖法施工。方案一的纵断面调整为先采用2‰的坡度下坡,后依次采用

20‰、35‰和24‰的坡度上坡,最终接入东钱湖车辆段。方案一的区间总平面图和纵断面图如图3所示。由图3可看出,若采用方案一,施工时仍需对东钱湖大道的交通、管线进行改迁。与原设计方案相比,方案一仍未解决施工对周边环境的影响大的问题。

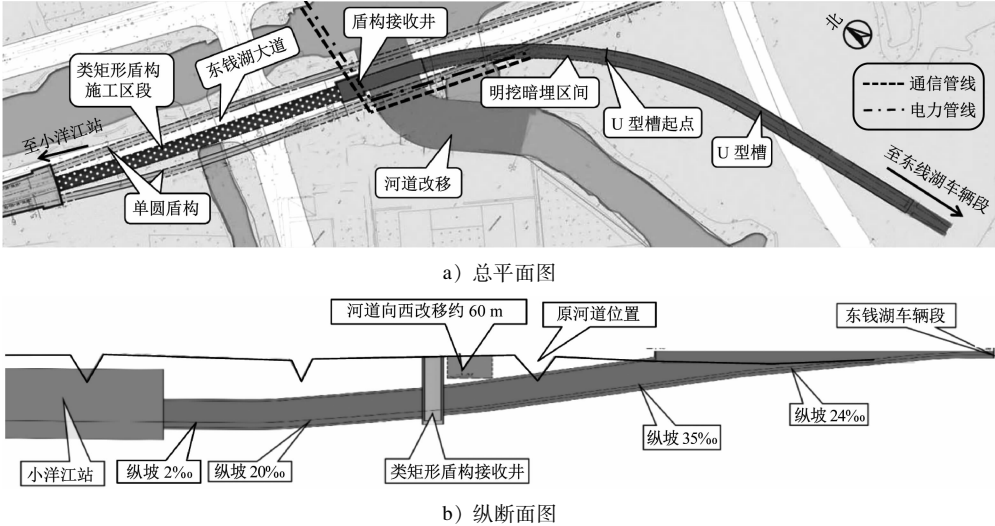


图3 东钱湖车辆段出入段线方案一
Fig. 3 Scheme 1 of the access line of Dongqianhu Vehicle Depot

2.2 方案二(417 m 类矩形盾构掘进 + 其余区段明挖)

2.2.1 方案二的施工方案

为尽可能地加长类矩形盾构段的长度,最大限度地发挥类矩形盾构法的施工优势,本文通过进一步研究形成浅覆土接收方案。在进一步优化原设计方案出入段线平纵断面的基础上,利用抗浮板确保盾构在浅覆土区段掘进过程中的施工安全及隧

道永久抗浮。方案二的施工方案为:将类矩形盾构隧道的长度由方案一的230 m加长至417 m,剩余的出入段线区段仍采用明挖法施工,明挖暗埋段隧道长度缩短至61 m。方案二的总平面图如图4所示,其纵断面与方案一基本一致。由图4可看出,采用方案二时,明挖段完全位于东钱湖车辆段地块中,明挖段不需要进行交通导改、管线迁改,因此,方案二具有明显的施工优势。

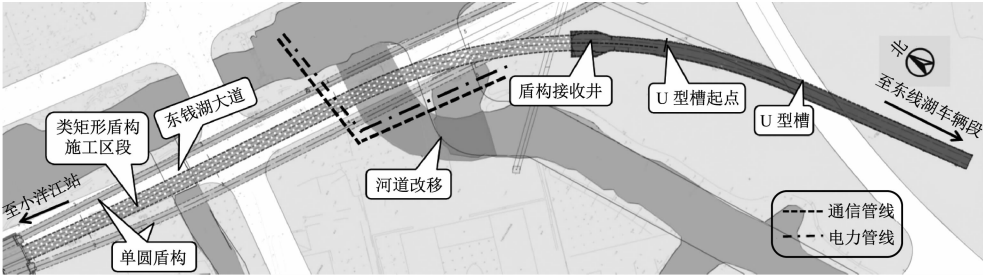


图4 东钱湖车辆段出入段线方案二
Fig. 4 Scheme 2 of the access line of Dongqianhu Vehicle Depot

2.2.2 浅覆土盾构施工区段的抗浮措施

方案二中,类矩形盾构隧道在接收井处的覆土厚度最小,仅为1.6 m,如不采取控制措施,施工过程中将会出现盾构机上浮等问题^[5-6]。为了避免因覆土厚度不足导致盾构上方土体隆起变形过大,拟

采用抗浮板技术控制盾构上浮^[7-8]。经设计方和施工方的多轮计算和论证,在确保施工安全和永久抗浮的前提下,将临界覆土厚度确定为4.0 m,即:覆土厚度大于等于4.0 m时不需采取抗浮板等控制措施。经核算,在临界覆土厚度(4.0 m)工况下,类矩

形盾构隧道在施工阶段和使用阶段的抗浮安全系数分别为 1.1 和 1.2,满足规范要求。

对于覆土厚度不足 4.0 m 的类矩形盾构隧道,采用抗浮板作为永久抗浮措施,结构的横剖面如图 5 所示。抗浮板厚度为 0.6 m,板下设置抗拔桩,以形成门式框架结构。抗拔桩直径为 0.8 m,桩长为 14.7 m,沿隧道纵向桩间距为 5.0 m。在抗浮板施工前,为了提高上覆土体的重度和抗剪强度,对抗浮板与隧道腰部之间的土体采用三轴搅拌桩进行加固。加固区水泥的掺量比例为 20% ,28 d 无侧限抗压强度为 1.0 MPa。

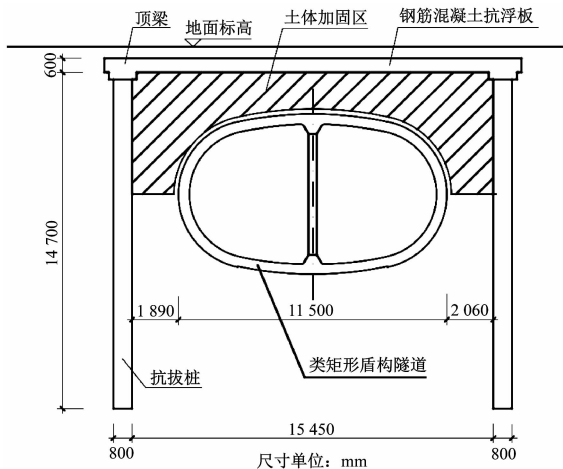


图 5 类矩形盾构抗浮板结构横剖面示意图
Fig. 5 Structure cross-section diagram of anti-buoyancy board for quasi-rectangular shield tunneling

表 1 东钱湖车辆段出入段线施工方案综合对比

| Tab. 1 Comprehensive comparison of access line construction schemes for Dongqianhu Vehicle Depot | | | | | | | | |
|--|------|------------|--|------------|-----------|---|-------|----------------------|
| 方案 | 线路条件 | 临时占地 面积 | 交通导改范围 | 河道改移 | 管线迁 改量 | 施工难度及风险 | 施工工期 | 经济性 |
| 原设计 方案 | 较好 | 较多 | 大部分明挖段位于东钱湖大道上,需交通导改 | 需向西改移 90 m | 较多 | 基坑最大开挖深度 16.3 m,基坑较深区段大部分临近小洋江河道,施工难度及风险均较高 | 16 个月 | 较差 |
| 方案一 | 较好 | 较少 | 少部分明挖段位于东钱湖大道上,需交通导改 | 需向西改移 60 m | 较少 | 基坑最大开挖深度 15.0 m,施工难度及风险均较高 | 13 个月 | 较全明挖方案投资减少约 770 万元 |
| 方案二 | 较好 | 最少 | 明挖段全部位于东钱湖车辆段地块范围内,仅施工河道改移及河底抗浮板时需在短期内进行交通导改 | 需向西改移 60 m | 最少 | 基坑最大开挖深度减小至 10.0 m,施工难度及风险较小 | 10 个月 | 较全明挖方案投资减少约 1 300 万元 |

过河后,覆土厚度在 4.0 ~6.9 m 范围且未设置抗浮板的工况下,隧道上浮量的最大值为 48 mm。靠近盾构接收井处的覆土厚度小于 4 m,故采取了

3 施工方案对比分析

将上文所述 3 种施工方案的优缺点进行综合对比,如表 1 所示。由表 1 可知,从临时占地面积、交通导改范围、河道改移、管线迁改量、施工难度及风险、施工工期和经济性等多方面分析,方案二在技术性及经济性上均具有显著的优势。因此,东钱湖车辆段出入段线选用方案二进行施工。

4 现场施工效果分析

为了更好地控制盾构姿态,在设置抗浮板的同时,盾构掘进过程中还应加强同步注浆管理,控制同步注浆量及注浆比例,类矩形盾构管片上部与下部的注浆比例应控制在 7:3 ~9:1 之间。此外,施工时在盾构机机头及 0#车架处设置了压铁,以进一步控制盾构机的上浮量^[9]。盾构接收井位于转弯半径为 350 m 的圆弧上,属圆曲线接收区段,施工时采用了割线进洞和盾构二次接收工艺,以降低接收风险。

从现场施工监测数据看,在类矩形盾构隧道掘进过程中,在常规覆土厚度大于等于 6 m 的工况下,隧道上浮量的最大值为 43 mm。在新建东钱湖大道 7 号桥河道下,由于受河道深度的影响,隧道上部覆土厚度约为 1.5 ~2.7 m,通过在河道底部设置抗浮板,过河段隧道上浮量最大值为 42 mm。

抗浮板控制措施,该处隧道上浮量的最大值为 28 mm。
综上所述,类矩形盾构隧道全长范围内均满足

竖向轴线偏差不大于 50 mm 的规范要求。在超浅覆土工况下类矩形盾构隧道掘进过程中,抗浮板的抗浮控制效果显著,即使在最小覆土厚度 1.6 m 的浅覆土接收段,隧道上浮量的控制效果也非常好,确保了施工区域周边环境的安全。

5 结语

本文采用类矩形盾构施工技术,对宁波轨道交通 4 号线工程东钱湖车辆段出入段线的施工方案进行了优化,研究并提出了超浅覆土工况下类矩形盾构隧道的设计及施工方案。通过设置抗浮板,隧道覆土厚度可减小至 1.6 m,最大限度地发挥了类矩形盾构法施工的优势。该施工方案降低了工程投资,缩短了工期,节约了施工过程中的土地占用面积,减少了对周围环境的影响,取得了良好的社会效益。

城市轨道交通出入段线超浅覆土接收技术的成功运用,进一步健全了类矩形盾构在软土地层施工的成套技术体系,提升了利用类矩形盾构技术解决工程建设难题的能力。

参考文献

- [1] 张颖,李铭军,何肖健.小半径曲线盾构隧道设计及施工新技术[J].都市快轨交通,2010,23(5):75.
ZHANG Ying, LI Mingjun, HE Xiaojian. New technology for the design and construction of shield tunnels on sharp curves[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2010, 23(5): 75.
- [2] 朱瑶宏,朱雁飞,黄德中,等.类矩形盾构法隧道技术的开发与应用[J].现代隧道技术,2016,53(增刊1):1.
ZHU Yaohong, ZHU Yanfei, HUANG Dezhong, et al. Development and application of the technical system for quasi-rectangular shield tunneling[J]. Modern Tunnelling Technology, 2016, 53(S1): 1.

- [3] 朱瑶宏,黄德中,朱雁飞,等.类矩形盾构法隧道施工关键技术探索[J].现代隧道技术,2016,53(增刊1):170.
ZHU Yaohong, HUANG Dezhong, ZHU Yanfei, et al. Key techniques for the quasi-rectangular shield tunnelling[J]. Modern Tunnelling Technology, 2016, 53(S1): 170.
- [4] 李培楠,黄德中,朱雁飞,等.类矩形盾构法隧道在宁波轨道交通建设中应用[J].中国市政工程,2016(增刊1):34.
LI Peinan, HUANG Dezhong, ZHU Yanfei, et al. Application of rectangular-shaped shield method tunnel in construction of Ningbo Rail Transit[J]. China Municipal Engineering, 2016(S1): 34.
- [5] 曹文宏,杨志豪,李冬梅.盾构隧道上浮的力学机理研究[J].地下工程与隧道,2011(4):1.
CAO Wenhong, YANG Zhihao, LI Dongmei. Mechanical mechanism study of shield tunnel floating up[J]. Underground Engineering and Tunnels, 2011(4): 1.
- [6] 刘畅,周顺华,季昌,等.类矩形盾构隧道施工期上浮影响因素分析[J].华东交通大学学报,2016,33(1):94.
LIU Chang, ZHOU Shunhua, JI Chang, et al. Influence factor analysis for upward floating of quasi rectangle shield tunnel in construction period[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2016, 33(1): 94.
- [7] 彭荣华.地铁盾构隧道浅覆土下穿河道方案设计[J].低温建筑技术,2019,41(1):109.
PENG Ronghua. Scheme design of shallow covering subway shield tunnel passing under river[J]. Low Temperature Architecture Technology, 2019, 41(1): 109.
- [8] LEI Y, HE X. Floating control technology of lower collinear metro shield section during cut-and-cover tunnel construction; a case study of rapid rehabilitation project on Guimiao Road in Shenzhen[J]. Tunnel Construction, 2019, 39(11): 1888.
- [9] 叶飞,朱合华,丁文其,等.施工期盾构隧道上浮机理与控制对策分析[J].同济大学学报(自然科学版),2008,36(6):738.
YE Fei, ZHU Hehua, DING Wenqi, et al. Analysis and control of upward moving of shield tunnel under construction[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2008, 36(6): 738.

(收稿日期:2020-10-29)

敬请关注《城市轨道交通研究》微信视频号

《城市轨道交通研究》微信视频号聚焦轨道交通行业内的热点问题、焦点问题,以及新技术、新成果,邀请相关专业领域内的专家学者及高级管理人员以视频方式解读和评述,是您及时获知行业资讯、深度了解轨道交通各专业领域的最佳平台。您还可以通过该平台查阅往期论文、查询稿件进度、开具论文录用通知书。敬请关注。

