

基于类矩形盾构技术的城市轨道交通线路 设计方案优化实践

林小稳

(上海市隧道工程轨道交通设计研究院, 200235, 上海//工程师)

摘 要 宁波市历经两轮城市轨道交通建设,在实践中积累了一批新技术成果,其中尤以类矩形盾构技术为代表。该技术为线路设计人员解决工程难题提供了新的思路。重点介绍了线路设计人员利用该技术在正线、出入线、停车线等线路设计方案中开展的优化实践工作。实践表明,采用该技术可以优化线路设计方案,降低政策处理和工程实施的难度,有效控制投资成本。

关键词 宁波市轨道交通;类矩形盾构;线路设计

中图分类号 U452.2:U231

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.08.033

Optimized Practice of Urban Rail Transit Line Design Scheme Based on Quasi-Rectangular Shield Technique

LIN Xiaowen

Abstract Ningbo has accumulated a series of new technical achievements during the last two rounds of urban rail transit construction, of which quasi-rectangular shield technique can be deemed as a representative, providing line designers with new perspectives to solve engineering problems. Optimized practice carried out by the designers with this technique in main line designing, access line designing and parking line designing is discussed with emphasis. Practice indicates that, by using the quasi-rectangular shield technique, design scheme can be optimized, and coordination and implementation difficulties can also be abated, well controlling project investment.

Key words Ningbo rail transit; quasi-rectangular shield; line design

Author's address Shanghai Tunnel Engineering Railway Traffic Design & Research Institute, 200235, Shanghai, China

随着城市的不断发展与建设,以及地下空间资源的不断开发,尤其是在城市核心区,地下室、市政管线、地下隧道、综合管廊等地下建(构)筑物越来越多,城市轨道交通工程实施条件越来越复杂,动拆迁、交通导改、管线搬迁等政策处理事项的困难

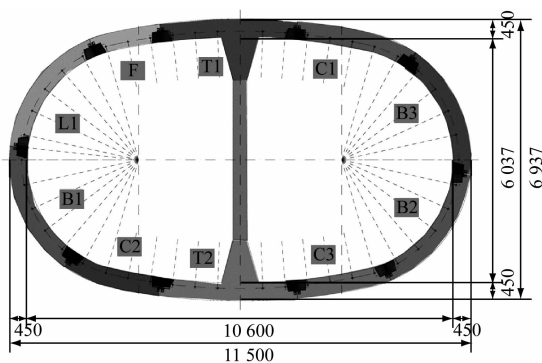
越来越大,财政资金负担也越来越重。正是在这样的背景下,宁波市轨道交通建设单位为了寻求能有效节约城市地下空间、降低对周围环境影响的方法,牵头组织科研、设计、施工、装备制造等企业,根据现场建设的需要,大胆创新,积累了一批新技术、新工艺,形成了多个首创技术和专利,如类矩形盾构、机械法联络通道、隧道内置式泵房、专用回流轨技术^[1]等,不仅促进了我国装备制造业的进步和施工工艺的提升,同时也对线路专业的设计工作产生了深远的影响。

这些技术当中,类矩形盾构技术属于典型代表。2014年,该技术设想提出;2015年1月,进行研发招标;2015年3月,科研项目开题评审;2015年6月底,类矩形隧道管片整环荷载试验完成;2015年9月底,国内首台类矩形盾构机——“阳明号”盾构机顺利研制完成;2015年11月底,“阳明号”盾构机顺利始发。本文以类矩形盾构技术为例,深入探讨该项技术在城市轨道交通线路设计中的应用前景,提出类矩形盾构技术在建(构)筑物密集区域的区间正线设计、出入线设计以及停车线车站设计方案优化中的应用方法。

1 类矩形盾构技术简介

类矩形隧道的结构外包尺寸为11 500 mm × 6 937 mm,衬砌环全环共分为11块,环间采用错缝拼装。环宽为1.2 m,环厚度为450 mm,管片混凝土强度C50,抗渗等级为P10^[2]。

类矩形盾构机采用“双X同面+偏心多轴”组合式全断面切削类矩形盾构刀盘系统,以及双环臂式六自由度类矩形盾构拼装系统和施工同步可更换、可调节压密量的铰接密封系统,系统性地强化了沉降控制能力^[3]。类矩形盾构隧道断面尺寸如图1所示。



尺寸单位:mm

图1 类矩形盾构隧道断面尺寸

类矩形盾构隧道可以较好地适应隧道区间在老旧城区狭窄道路下方或者城市核心区高层建筑之间穿越的需求,其开挖边界为缓和弧线,地层扰动相对较小,这有效地降低了隧道掘进对周边环境的影响。与传统的单洞双线圆形隧道相比,类矩形盾构隧道横向占用空间有所减小,竖向占用空间大大降低,可节约35%左右的地下空间^[4],提高了经济效益;竖向空间的节约化设计,降低了隧道的覆土厚度的要求,不会导致车站埋深的增加;采用类矩形盾构技术,还可以优化隧道最小转弯半径,这进一步提高了该技术在环境复杂地段的适用性。类矩形盾构技术在车站配线设计中也能起到优化设计方案、降低工程实施难度的作用^[5]。

2 线路设计方案优化实践

2.1 建(构)筑物密集区域的正线设计方案优化

随着城市轨道交通线网的不断发展,穿越中心城区、老城区的线路越来越多。这些路段,要么现状道路很窄,老建筑密集,通道受限;要么高楼林立,地下障碍物较多,通行困难(尤其是在线路转弯地段)。

传统的单洞单线圆形盾构穿越上述区域时,为确保结构安全,其自身的两股单圆盾构隧道之间的结构净距一般按照1倍 D (D 为隧道外径)控制。若平行布置,盾构区间在地下的整体占用宽度将达到19 m左右(以宁波地区6.2 m外径盾构为例),对两边建(构)筑物影响较大;若平面重叠或部分重叠布置,对线路设计方案将形成很大的制约,需要结合平纵数据,反复测算盾构的实际空间净距并进行方案调整与优化,尤其是重叠段较长时,还需考虑联络通道、废水泵房的选址问题,对施工也是很

大的考验。

如果采用单洞双线圆形盾构,可以减小地下空间占用宽度至12 m左右,大大减小了地下占用宽度,但区间覆土的要求将导致两端车站需加深约3.5 m,增加了工程投资。

而利用类矩形盾构穿越这些工程条件较为苛刻的地段时,可以节约利用地下有限的通道资源,地下空间占用宽度进一步降至11.5 m,降低了对两侧建(构)筑物的影响,减少了拆迁面积,降低了工程投资;盾构隧道顶部采用圆弧形设计,优化了盾构隧道内部空间,同时可以确保车站埋深不受区间影响;双线共洞实施,节约了区间施工工期。

宁波轨道交通4号线海曙老城区两段正线区间(共1 563 m)在前期研究过程中就遇到了现状道路狭窄、动拆迁量巨大、线型受限等问题,改用类矩形盾构实施区间后,工程实施难度及投资规模均得到了良好的控制,类矩形盾构技术研发的初衷也正源于此。

下文结合具体工程案例加以说明。宁波轨道交通4号线在海曙老城区走行于翠柏路下方,现状道路狭窄,仅双向两车道,宽度不足20 m。翠柏路沿线建(构)筑物密集,且多为年代久远的浅基础老旧多层住宅。如采用传统的单洞单线盾构,上下行区间隧道为保证一定的安全间距,基本占满了道路下方的空间,与房屋最近处仅1.5 m,施工对周边环境影响较大,不能保证房屋安全,需进行大规模的动拆迁,社会影响及投资规模较大。采用单圆盾构工法的宁波轨道交通4号线翠柏路段线路设计方案如图2所示。

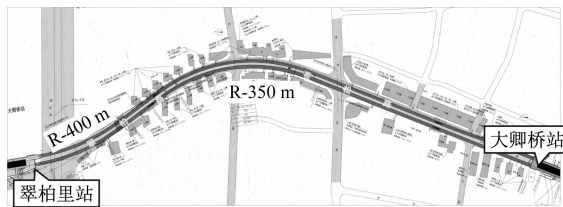


图2 采用单圆盾构法的宁波轨道交通4号线翠柏路段线路设计方案

采用类矩形盾构工法后,有效减少了区间隧道的占地宽度。且类矩形盾构隧道结构刚度较圆形盾构隧道大,施工对周边环境有所降低,与房屋净距最小也达到3.9 m,直接减少沿线保护性拆迁约21 573 m²,节约了大量的建设资金。采用类矩形盾构工法的宁波轨道交通4号线翠柏路段线路设

计方案如图 3 所示。

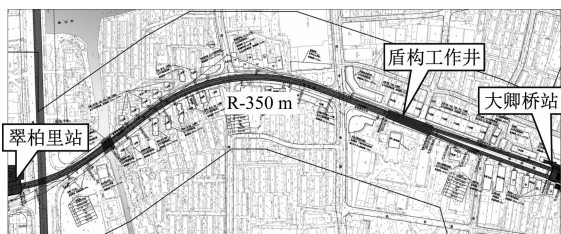


图 3 采用类矩形盾构工法的宁波轨道交通 4 号线
翠柏路段线路设计方案

此后,在宁波轨道交通 2 号线二期工程的建设过程中,在镇海老城区也遇到了类似的建设条件,并再次采用了类矩形盾构技术。

2.2 出入线设计方案优化

在类矩形盾构出现之前,地下车站的出入线设计方案通常只有两种——“全明挖至场区内和‘车站+单圆盾构+暗埋段+敞开段’”。对于软土地区而言,车站明挖法施工的工程投资及施工风险总体较区间盾构法施工更大,对道路交通、地下管线等的影响也更甚。因此,前一种设计方案仅应用于车场距离接轨站较近的情况,而后者则多应用于车场距离接轨站稍远的情况,案例多于前者。

一般而言,采用“车站+单圆盾构+暗埋段+敞开段”设计方案的车场接轨站,为了能够尽早转换为盾构法实施出入线区间,线路设计时需尽早拉开上行线、入场线、出场线和下行线之间的线间距,通常采用缩短正线岔后圆曲线的缓和曲线长度进行限速,并辅以出入线侧向出岔的设计方案。即便如此,车场接轨站的长度仍需达到 300 m 以上,而宁波地区采用的标准站长度仅需 200 m 左右,导致车站内部空间大量浪费。适当降低车站明挖工程量有利于降低工程投资。通过对类矩形盾构技术的创新使用,出入线设计可以做到正线不限速、出入线直接出岔的同时,减小车站长度和明挖工程量。

下文结合宁波地区工程实际情况,通过简单验算,对采用类矩形盾构技术进行出入线方案设计的投资规模与采用单圆盾构技术的进行对比。验算前提:以宁波地区 6B 编组列车方案为例,单圆盾构外径 6.2 m,类矩形盾构外径 11.5 m,均按照盾构外边间距 3m 处由明挖车站转换为盾构区间计算。

如采用单圆盾构实施出入线(设计方案见图 4),车场接轨站内上、下行线之间需要拉开线间距至 27.6 m,才能由明挖法转换为单圆盾构法实施。

而采用类矩形盾构实施出入线(设计方案见图 5),上、下行线之间只需要拉开线间距至 23.7 m。如上、下行线均按照 5° 偏角计算,后者可减小明挖长度约 22.4 m;按地下二层车站计算,后者可减小明挖工程量约 1 150 m²。车站明挖段综合单价按 1.6 万元/m² 计算,单圆盾构按双线 11 万/延米计算,后者可节省土建工程投资约 1 600 万元。

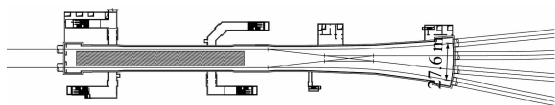


图 4 采用单圆盾构法的出入线设计方案

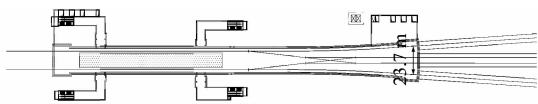


图 5 采用类矩形盾构法的出入线设计方案

类矩形盾构技术对出入线设计方案的优化成果是显而易见的。目前,宁波市第二轮轨道交通建设项目中已经普遍基于类矩形盾构进行出入线设计,如 3 号线一期姜山车辆段出入线(390 m)、4 号线东钱湖车辆段出入线(417 m)、5 号线一期的经堂庵跟车辆段出入线(283 m)等,并将在后续项目中进一步推广使用。

2.3 条件受限区域停车线设计方案优化

常规的有停车线的车站,一般设置两股贯通式停车线,与上、下行线分别连通,中间采用交叉渡线相互连通,以兼顾故障列车停放和列车临时折返功能。车站多采用明挖法施工,车站长度达到 460 ~ 480 m,在中心城区可能需跨越 2 ~ 3 个街区。在中心城区进行如此大规模的土建施工,交通导改、河道改移、桥梁拆复、管线改迁、房屋拆迁等方面的矛盾十分突出,往往对工期构成非常大的影响。采用单圆盾构的车站停车线设计方案如图 6 所示。

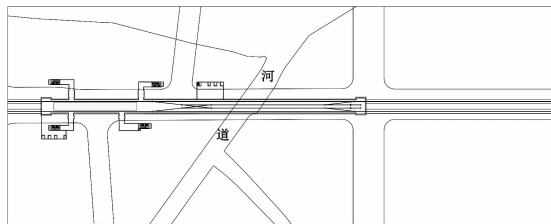


图 6 采用单圆盾构法的车站停车线设计方案

类矩形盾构技术的出现,为停车线的设计带来了新的思路。可以将停车线设置为单股纵向双列位,与其中一条区间正线共同布置于类矩形盾构隧

道中,保持固定的线间距;仅需在停车线末端设置一个小的工作井,利用道岔将停车线与区间正线再次贯通,保障停车线的使用功能。利用类矩形盾构实施停车线可以大大缩短车站长度,减小河道、交通、管线等周边环境对车站实施的影响。

该方案对于运营部门而言,停车线的使用功能有得有失。优点在于,停车线长度没有限制,可以采用双列位甚至多列位方案,故障列车救援时可将救援列车一并停于其中,退出运营,降低救援过程对正线运营的影响。缺点在于,停车线末端仅与一股正线连通,满足3个方向的停车需求,另1个方向的停车需求需折返1次才能实现。如想满足4个方向的停车需求,末端工作井体量将大大增加,与常规方案相比,开挖长度及总规模上并没有很大的优势,有违采用类矩形盾构实施停车线的初衷,不推荐使用。采用类矩形盾构的车站停车线设计方案如图7所示。

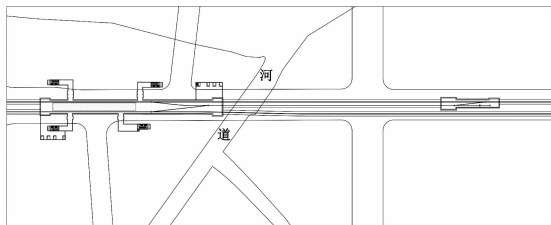


图7 采用类矩形盾构法的车站停车线设计方案

下文结合宁波轨道交通4号线白鹤站停车线(313 m)设计方案的优化过程进行详细分析。4号线白鹤站周边环境条件非常复杂,原设计方案采用传统的大开挖方案,但前期工作受到临时借地、河道改移、DN1000 污水总管改迁等多重因素制约,车站迟迟无法开工,严重影响了工期计划。宁波轨道交通4号线白鹤站停车线原设计方案与周边环境关系如图8所示。



图8 宁波轨道交通4号线白鹤站停车线原设计方案与周边环境关系

引入类矩形盾构工法后,对停车线功能进行拆分,变双存车线为单存车线,将原设计方案拆分成“白鹤站+右线类矩形盾构区间+左线单圆盾构区间+类矩形盾构工作井”。通过方案调整,大大缩小了白鹤站明挖规模,避开了DN1000 污水总管;华东饭店处基坑收窄,解决了施工场问题;过河段均为盾构区间,无需进行河道改移,缩短了前期施工场地准备的时间;并且临时道路无需向华东饭店借地绕行,有效解决了原设计方案与周边环境的不可调和的矛盾,既节约了工期,又节省了前期费用。采用类矩形盾构工法的宁波轨道交通4号线白鹤站停车线设计方案与周边环境关系如图9所示。



图9 采用类矩形盾构法的宁波轨道交通4号线白鹤站停车线设计方案与周边环境关系

3 结语

城市轨道交通的建设是一项系统工程,是一次巨大的社会投资,设计人员应当本着建设轨道交通就是建设城市的理念,积极关注工程实践中的新技术、新工艺,并结合工程实际进行创新使用,以优化设计方案,降低施工难度,控制投资成本。在设计工作中也应解放思想,谋求更优的解决方案,倒逼装备技术、施工技术的进步。

参考文献

- [1] 朱瑶宏. 宁波市轨道交通建设创新成果与展望[J]. 城市轨道交通研究, 2018(5): 51.
- [2] 杨志豪, 沈张勇, 朱雁飞, 等. 类矩形盾构隧道设计方案研究[J]. 现代隧道技术, 2016(增刊1): 83.
- [3] 朱瑶宏, 朱雁飞, 黄德中, 等. 类矩形盾构法隧道关键技术研究与应用[J]. 隧道建设, 2017(9): 1055.
- [4] 龙建兵, 杨志豪, 沈张勇. 类矩形盾构工法在宁波轨道交通工程中的应用探讨[J]. 地下工程与隧道, 2016(3): 1.
- [5] 叶如, 王建勋. 类矩形盾构工法在轨道交通带配线车站中的应用探讨[J]. 工程建设与设计, 2021(1): 77.

(收稿日期: 2021-04-19)