

软土地层中大断面矩形盾构关键施工技术研究

吴 韬

(上海申虹投资发展有限公司, 上海市 200000)

摘 要:与圆形断面的盾构隧道相比,矩形盾构隧道在空间使用效率、潜覆土环境穿越方面存在明显优势,但断面形状和机械配置的差异使盾构掘进施工技术也有所变化。以国内首台土压平衡式矩形盾构机在上海虹桥商务区的工程实践为背景,依据现场环境监测、盾构姿态测量和管片形状监控,对矩形盾构隧道轴线控制、管片横竖内径控制和环境变形控制等关键施工技术研究,经验和结论可用于指导类似工程实施。

关键词:矩形盾构;掘进施工;轴线控制;管径变形;地面沉降

中图分类号: U455.43

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)01-0163-04

0 引 言

21世纪是隧道及地下空间大力发展的时代^[1]。随着经济发展和城市建设的加速,传统圆形盾构法隧道在国内大中城市交通发展中有着广泛的工程应用,积累了丰富的设计和施工经验。

现代化都市的核心区域通常已建成高密度的建筑楼宇和各类地下设施,人车交通流量趋于饱和。近年来,伴随着城市更新和功能提升的步伐,这些区域对大断面地下车行和人行通道的连接产生了更广泛的需求,复杂的周边环境也给隧道建设提出了更严苛的要求。

传统盾构隧道多采用圆形断面,相比之下,矩形断面的盾构隧道在提高空间使用效率、潜覆土环境施工、优化土体切削量和缩短建设工期等方面具有显著优势^[2]。矩形盾构隧道的工程实践始于日本,在日本千叶县排水隧道、日本京都高铁东西线等工程中应用^[3-4]。

2015年,国内自主研发的首台大断面土压平衡矩形盾构机在上海虹桥临空经济区11-3地块地下连通道项目中完成了首次工程应用,成功建造了28 m长的矩形隧道^[5]。该台矩形盾构机随后转运至上海虹桥商务区开展了第二次工程实践。本文依托虹桥商务区至国展中心地下人行通道工程,聚焦研究矩形盾构穿越道路和高架桥墩施工过程中的关键施工技术,形成的经验和结论以期对实施类似工程

提供帮助。

1 工程概况

如图1所示,虹桥商务区至国家会展中心地下人行通道工程,向东连接上海虹桥商务区地下中央轴线通道,向西接入国家会展中心下沉式广场。通道全长524 m,其中矩形盾构段长83.95 m,位于华翔路及嘉闵高架路下方,坡度为5‰。



图1 地下人行通道总平面图

隧道管片外包尺寸为9.75 m(宽)×4.95 m(高),内净尺寸为8.65 m(宽)×3.85 m(高),隧道上方覆土厚度约7.5 m。开挖土层主要有②₃号灰色粉砂层、③号粉质黏土层和④号淤泥质黏土层。

下穿的华翔路上管线众多,包含各类市政管线,分布情况如图2所示。将φ300和φ500的煤气管整体抬高,原管采取废弃处理;将11孔非开挖的信息管搬迁;雨水管井底部距矩形盾构外壳最近距离为2.18 m。

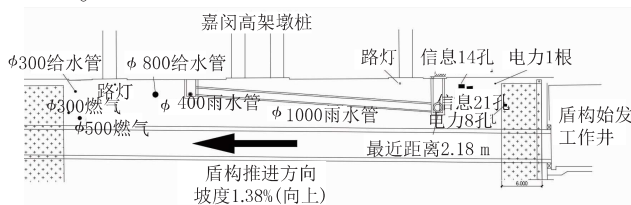


图2 矩形盾构穿越华翔路市政管线

收稿日期: 2021-03-24

作者简介: 吴韬(1982—),男,硕士,高级工程师,长期从事大型市政工程施工管理工作。

嘉闵高架路桥梁位于华翔路上方,相邻墩柱间跨径为 25 m。桥梁承台采用群桩基础,矩形盾构从跨中穿越,距离南侧承台 5.086 m,距离北侧承台 3.962 m。位置关系如图 3 所示。

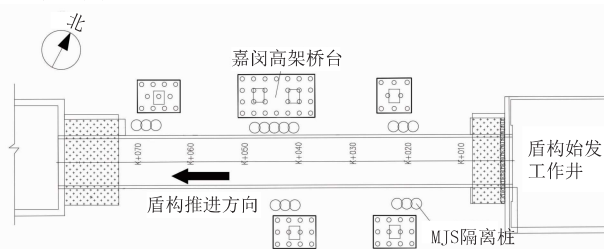


图 3 矩形盾构与嘉闵高架桥台桩基平面位置关系

2 矩形盾构装备与衬砌结构

隧道掘进设备是国内第一台大型土压平衡式矩形盾构机,盾构本体机总长 9.05 m,宽 10.10 m,高 5.30 m,如图 4 所示。矩形盾构机本体由切口环、支撑环和盾尾三部分组成,通过 M30 螺栓连接成整体。盾构机后部配置 8 组设备车架,机头总重量约 300 t。此外,为了实现矩形管片的拼装,国内自主研发了双立柱式拼装机。双立柱式拼装机由立柱、滑套、回转支撑、横臂和拼装头等部件组成^[6]。

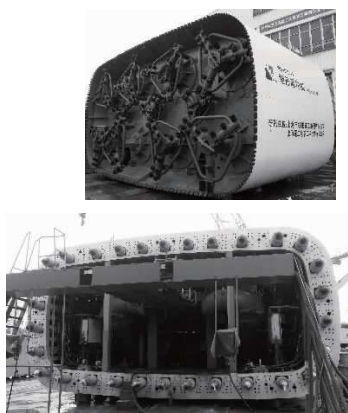


图 4 矩形盾构在工厂内拼装

本次矩形隧道衬砌采用钢混复合结构管片,在箱型钢结构内部填充 C50 混凝土。每环管片分为六分块,包括拱底块、两侧下块、两侧上块、封顶块,纵向采用通缝拼装形式,如图 5 所示。



图 5 矩形盾构管片拼装

3 矩形盾构轴线控制技术

隧道轴线控制是盾构隧道施工的核心技术之一,

轴线偏差也是隧道施工质量验收的关键指标。矩形盾构由于机身形状大而平坦,更易造成平面上的偏差。本次工程中,矩形盾构机在盾尾离开加固区域后,出现机身上浮的不利情况。相较于设计轴线,盾构机切口的最大偏差为向上 99 mm,盾构机尾部的最大偏差为向上 159 mm。对此,本工程尝试研究相关控制措施并付诸实践。

3.1 调节千斤顶推力分配

矩形盾构掘进过程中,通过动态测量和调整土压力来控制盾构切口面的稳定。除此之外,隧道轴线控制的关键在于调整编组千斤顶的行程差和顶力,产生纠偏力矩,同时控制好管片的成环拼装质量。

如图 2 所示,盾构沿推进方向存在 1.38% 的向上坡度,盾构机所受的推进反力倾斜向上,与浮力的叠加效应致使盾构机切口及盾尾高程易产生向上变化的趋势。施工中先后采取如下措施进行控制。

(1) 等比例调整各区千斤顶编组的推力,保证推进方向向下,总推力加大至 1900 t,同时放慢推进速度,维持住盾构姿态不再向上变化。

(2) 将上、下、左、右各区千斤顶编组的推力减小至 500 t、18 t、40 t 和 20 t。随后再逐渐增大各区推力,分别调整至 1300 t、60 t、130 t 和 120 t。

由于下区千斤顶推力减至极小值,在确保盾构机稳定的前提下,盾尾下方形成支点,上区的千斤顶推力迫使盾构机绕支点转动,成功实现了切口姿态向下调整的目的。

3.2 泥垫纠偏

区别于圆形盾构,矩形盾构横断面不是中心对称图形,在各种因素的作用下,极易产生侧向偏转,给矩形盾构的进洞和后续使用功能造成很大影响。为此,本台盾构机在四周设有压泥口,通过向指定位置土层注入高压泥流,形成具有一定压力的泥垫,可以为矩形盾构机提供有效纠偏力。

3.3 出泥纠偏

本次施工中,盾构上浮趋势明显。为了进一步控制盾构姿态,施工中尝试对盾壳进行改造,如图 6 所示。具体做法如下:

(1) 拆除原有的压泥口锥形盖板并加装新盖板。新盖板均开设 3 个直径 4 in 的出泥孔并配备球阀。盾构前部下方的土体在推进过程中会被挤出,切口姿态得到有效控制。

(2) 为了进一步控制盾尾姿态,在支撑环下半部均匀开设 3 个直径 4 in 的出泥孔并配备球阀,向土体

中注入清水,搅松后排出泥浆,有效降低了盾尾高程。

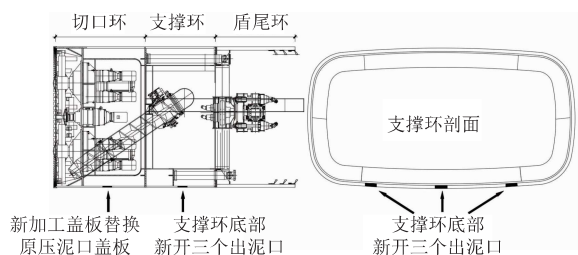


图 6 出泥纠偏具体做法示意图

3.4 轴线控制效果

本工程中,矩形盾构切口及盾尾的水平姿态均控制在允许范围内,如图 7 和图 8 所示,保证了矩形盾构机顺利进洞,隧道施工轴线满足设计要求。

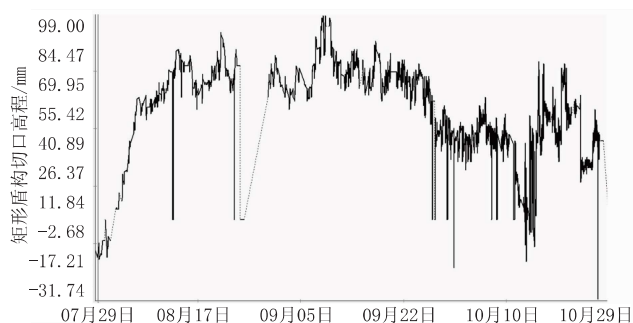


图 7 切口高程变化量统计

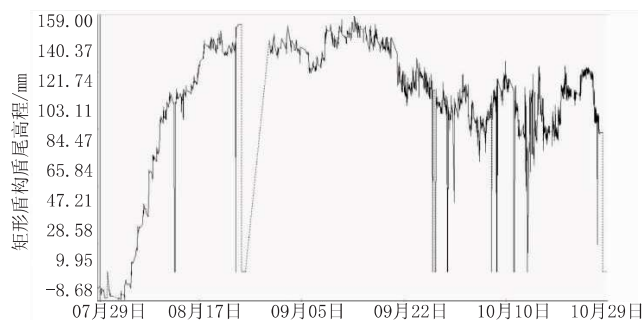


图 8 盾尾高程变化量统计

4 矩形管片横竖内径控制技术

研究表明,矩形管片在施工期存在多种受力工况。其中,脱出盾尾阶段和同步注浆阶段是管片施工中最不利的 2 个受力阶段^[7]。螺栓预紧力对控制矩形衬砌结构变形提供帮助,但并不是越高越好^[8]。因此,矩形管片的横竖内径控制应该采取多次测量、多次调整的原则开展精细化作业。主要措施如下:

4.1 单块管片拼装要点

(1)拼装左下块与右下块邻接块时,应尽量向内拉紧管片,进行第 1 次测量并复核横径,满足设计要求后方可进行左上块及右上块邻接块的拼装。

(2)左上块及右上块邻接块拼装完成后,进行第 2 次测量并复核横径,满足设计要求后进行封顶块拼装。

(3)封顶块到位后,进行第 3 次测量并复核竖径,满足设计要求后方可人工拧紧螺栓。

(4)每块管片拼装时,应满足管片与盾尾间隙为 5.5 cm。每块管片调整就位后,使用千斤顶顶紧。

4.2 新成环管片形状控制

新一环管片拼装完成后,应立即复核新成环的横径和竖径,符合设计要求后,方可使用液压扳手紧固螺栓。如不符合要求,应将形状保持器前进至图 9 所示位置,同时对成环管片施加顶力,直至复核测量满足要求后,才能开展下一步操作。

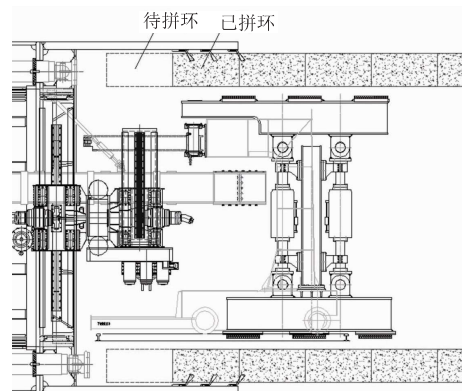


图 9 矩形管片形状保持器使用示意图

紧固螺栓时,应严格按照设计要求控制拧紧扭矩。本工程控制值为 3 300 N·m。螺栓拧紧施工完成后,再次复核管片横竖内径偏差在允许范围内,方能进行下一环掘进。

4.3 实时监测与复紧螺栓

新成环管片在荷载和变形稳定之前,需要经历如下工况荷载:

(1)盾构推进阶段,千斤顶推力直接作用在管片侧面。

(2)脱出盾构阶段,外部水土荷载直接作用在管片上。

(3)同步注浆阶段,浆液扩散前所产生的附加荷载。荷载的变化将直接导致管片纵横径产生变化。

为此,施工中对成环管片的纵横径开展实时监测和数据研判,并及时复紧螺栓。

如图 10 所示,通过动态的监测与调整,管片过程中以及最终的横径偏差控制在 +20 mm 以内,竖径偏差控制在 -30 mm 以内,符合设计要求。

5 施工环境影响控制

5.1 高架桩基变形

为确保高架市政设施在施工期间的安全,提前在盾构与桥桩间实施了高强度 MJS 桩予以隔离,并

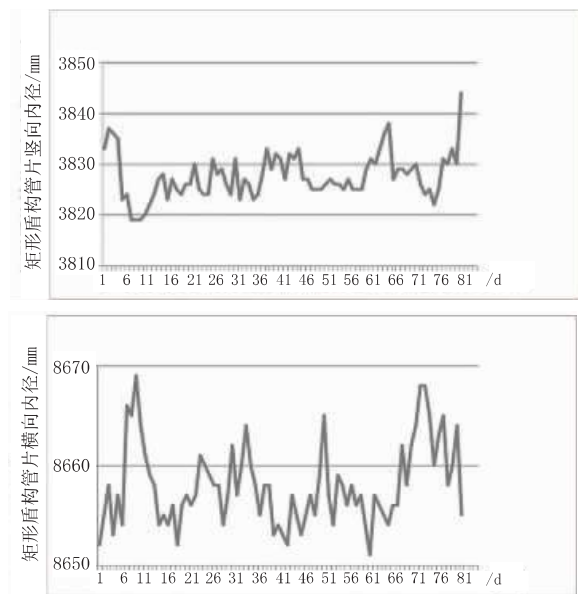


图10 矩形盾构管片横径与竖径监测

设置了土体深层沉降监测点、土体测斜监测点和水位观测点。监测数据表明,矩形盾构穿越之后,桥桩横向和竖向位移数值极小。同时,深层土体最大沉降为 3.3 mm,土体测斜水平位移最大为 4.48 mm。

5.2 地表变形监控

本次沿矩形盾构推进轴线共布设了 14 个地表沉降监测点,离始发井侧最近的监测点为 ZD1,离接收井侧最近的监测点为 ZD14。

图 11 选取了两个典型监测点的沉降曲线,反映了矩形盾构掘进期间地面高程的变化规律。

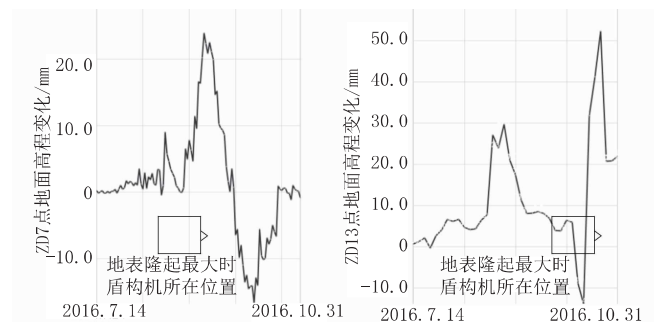


图11 地面高程变化曲线

(1)在盾构出洞阶段推进时,地表点开始出现少许下沉。这是盾构初始掘进阶段,对土层扰动所致。

(2)进入正常推进阶段后,为了控制盾构上浮,加大了盾构推进时总推力,所以推进时盾构前方地表点先开始隆起。

(3)在盾构推进穿越时,因为土体损失,地表点首先出现下沉。穿越后应及时进行二次注浆,但因隧道内部台车限制操作空间,二次注浆不能及时跟进,

导致地表沉降持续时间较长。

(4)二次注浆后,地表沉降得到有效控制。

从矩形盾构推进整个过程来看,地表沉降的规律类似于传统圆形盾构推进,但相比圆形盾构,矩形盾构的不良姿态对土层位移的影响更大。通过及时采取控制措施,可以将地面高程控制在允许值以内。

6 结 语

本文依托工程实践,对矩形盾构施工中的关键技术开展探索和研究,主要结论如下:

(1)关于隧道轴线控制,动态调整编组千斤顶的行程差和顶力可以产生纠偏力偶,可以稳定盾构的姿态并进一步实现纠偏,实现隧道轴线控制。

(2)关于盾构机纠偏,在矩形盾构机指定部位注入和排出泥浆,可以有效调整局部外荷载,在矩形盾构高程控制和侧向旋转纠偏方面,取得了满意的效果。

(3)关于管片拼装,矩形隧道管片的纵横径变化在工况荷载变化时更加敏感,应该采取多次测量、多次调整、多次复拧螺栓的原则开展精细化作业。

(4)关于环境影响控制,矩形盾构推进对侧向邻近桩基及土层的影响较小,地表沉降规律类似于传统圆形盾构推进,但相比圆形盾构,矩形盾构的不良姿态对土层位移的影响更大。

参考文献:

- [1] 王梦恕.21世纪是隧道及地下空间大发展的年代[J].西部探矿工程,2000,62(1):7-8.
- [2] 张志勇,李淑海.城市矩形隧道的应用与施工工艺的发展[J].施工技术,2009,38(增刊1):54-56.
- [3] Mori K, Abe Y. Large rectangular cross-section tunneling by the multi-micro shield tunneling (MMST) method [J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2005, 20(2):129-141.
- [4] Nakamura H, Kubota T, Furukawa M, et al. Unified construction of running track tunnel and crossover tunnel for subway by rectangular shape double track cross-section shield machine [J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2003, 18(2):253-262.
- [5] 姚伟峰.大断面矩形盾构机的工程应用[J].建筑施工, 2016, 38(6): 796-799.
- [6] 过浩侃.大断面矩形盾构机的研制及应用[J].建筑施工, 2018, 40(7): 1191-1194.
- [7] 梁霄,官林星,温竹茵,等.矩形盾构隧道管片衬砌施工期结构性能的现场试验研究:结合上海临空 11-3 地块地下连接通道工程 [J]. 隧道建设, 2016, 36(12):1456-1464.
- [8] 王康任,柳献,官林星.螺栓预紧力对矩形盾构隧道结构受力性能影响的精细化分析[J].现代隧道技术, 2016, 53(S2):341-349.