

盾构始发与接收对工作井围护结构的影响研究

郭亮^{1,2} 胡瑞青^{1,2} 相旭^{1,2}

(1. 中铁第一勘察设计院集团有限公司, 710043, 西安; 2. 陕西省铁道及地下交通工程重点实验室(中铁一院), 710043, 西安)

摘要 [目的] 一般情况下, 盾构机均在盾构工作井主体结构施工完成后才进行始发或接收, 由于诸多因素的限制, 往往需要考虑盾构工作井主体结构尚未施工时进行盾构始发或接收的情况, 因此需研究盾构始发与接收对盾构工作井围护结构的影响。[方法] 以成都地铁某标准地下三层岛式车站为例, 研究盾构工作井在未施作主体内衬结构状态下实现盾构始发与接收时的围护结构受力及变形情况, 并分析了盾构始发与接收对围护结构稳定性的影响。[结果及结论] 研究表明: 无内衬状态工作井盾构始发与接收时, 围护结构桩体水平位移最大值及弯矩最大值均发生在盾构工作井端墙中跨第4道钢支撑处, 围护结构剪力最大值发生在盾构工作井端墙中跨底板处; 当盾构工作井未施作主体内衬结构时, 围护结构桩体变形及受力均有所增大, 但其位移及力学指标均满足规范要求; 围护结构在剪力及弯矩作用下能够满足承载能力及强度要求; 无内衬状态下的工作井盾构始发与接收可提高施工效率, 有效节省工期, 节约工程成本。

关键词 地铁; 盾构始发与接收; 工作井围护结构

中图分类号 U455.43; U231.3

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.02.026

Influence of Shield Launching and Receiving on Working Shaft Retaining Structure

GUO Liang^{1,2}, HU Ruiqing^{1,2}, XIANG Xu^{1,2}

(1. China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., 710043, Xi'an, China; 2. Shaanxi Railway and Underground Traffic Engineering Key Laboratory (FSDI), 710043, Xi'an, China)

Abstract [Objective] Generally, shield machines are launched or received after completing the construction of shield working shaft main structure. However, due to various constraints, considering SLR (shield launching and receiving) beforehand is often necessary. Therefore, it is important to study the impact of SLR on shield working shaft retaining structure. [Method] Taking a standard three-storey island-type underground station of Chengdu Metro as example, the force and deformation of shield shaft retaining structure during SLR are studied when the main lining structure is not yet constructed. The impact of SLR on retaining structure stability is also analyzed. [Result & Conclusion] The research results indicate

that: during SLR in an unlined working shaft, the maximum horizontal displacement and maximum bending moment of the retaining structure piles both occur at the fourth steel support of the shield working shaft end wall. The maximum shear force of the retaining structure occurs at the bottom plate of shaft end wall midspan. When main lining structure is not constructed for the shaft, the deformation and force of the retaining structure piles increase, but the displacement and mechanical indicators still meet the requirements of the specifications. The retaining structure can withstand the load and strength requirements under the action of shear force and bending moment. Therefore, SLR in an unlined shaft can improve construction efficiency, effectively saving construction time and reducing engineering costs.

Key words metro; shield launching and receiving; working shaft retaining structure

在地铁车站位置, 由于车站两端兼做区间盾构始发、接收工作井, 常采用明挖法进行施工。盾构始发与接收通常在盾构工作井主体结构浇筑至顶板标高且结构达到设计强度后进行, 且盾构工作井施工前需进行大量的交通疏解、管线迁改等工作, 这些前期工程往往会造成车站主体结构工期滞后, 进而影响盾构始发、接收时间, 对整体工程筹划不利。

在盾构工作井主体结构浇筑前完成盾构始发与接收可以节省施工时间, 从而使整体工程筹划更为灵活。文献[1]结合北京地铁某区间盾构接收工程实例, 从现场施工的角度分析了盾构接收至解体、吊装、转场等整个接收期间各阶段的注意事项, 以及所采取的相应对策。为解决常规盾构工作井在内衬结构完成后才能进行盾构接收的问题, 文献[2]通过采取一系列施工措施, 实现了不施作竖井内衬结构, 盾构直接切削桩体进入竖井。文献[3]对某电力隧道盾构吊装过程中的连续墙位移、支撑杆轴向力和变形现场监测数据进行分析, 结合数值模拟计算结果, 验证了在吊装过程中的隧道开挖支

护结构是安全稳定的。文献[4]以深圳地铁车站盾构工作井为例,结合现场监测、二维及三维有限元数值分析,对盾构工作井结构未完成状态下,盾构提前吊装下井时的基坑安全稳定性进行了研究,提出了一种合理的二维验算方法,可应用于盾构工作井结构仅部分完成的特殊工况下的基坑安全验算。以上文献采用了现场监测、数值模拟、理论分析等方法对无内衬状态下的盾构工作井始发与接收工程进行了研究,但其均未对未施作盾构工作井内衬结构状态下的盾构工作井始发与接收工程进行分析。

鉴于此,本文以成都地铁砂卵石地层中某标准地下三层岛式车站为例,采用高精度有限元数值模拟方法,分析盾构工作井在未施作内衬结构状态下,实现盾构始发与接收时的工作井围护结构受力及变形情况,总结盾构始发与接收对工作井围护结构稳定性的影响规律。本文研究可为地铁工程建设提供参考与借鉴。

1 工程及地质概况

1.1 工程概况

以成都地铁某标准地下三层岛式车站为例,车站标准段外包宽度为 23.7 m,基坑开挖深度为 27 m,盾构工作井段外包宽度为 30.2 m,基坑开挖深度为 28 m,车站采用明挖顺作法施工。围护结构采用钻孔灌注桩及内支撑,围护桩桩径为 1.2 m,桩间距为 2.0 m,嵌固深度为 5.5 m,主筋为 28 根直径为 25 mm 的螺纹钢。基坑竖向设 4 道内支撑,第 1 道、

第 2 道、第 4 道支撑是直径为 609 mm、壁厚为 16 mm 的钢支撑,第 3 道支撑是直径为 800 mm、壁厚为 16 mm 的钢支撑。第 1~4 道钢支撑的标高依次为 -2.5 m、-9.5 m、-16.5 m、-22.0 m,钢支撑之间的水平间距均为 3.5 m。盾构区间管片外径为 8.3 m,内径为 7.5 m,厚度为 0.4 m。车站围护结构横断面示意图如图 1 所示。

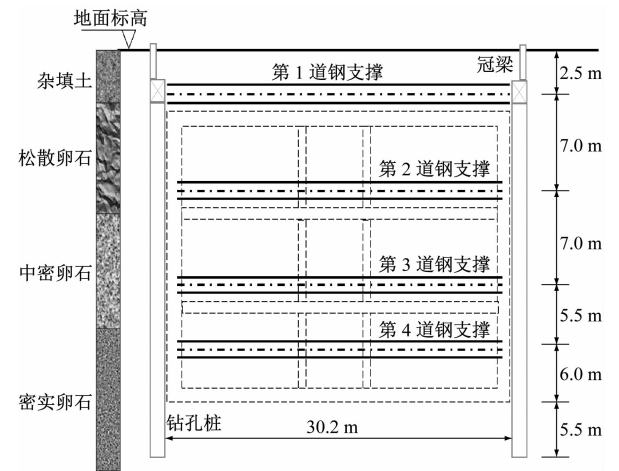


图 1 车站围护结构横断面示意图

Fig. 1 Diagram of station retaining structure cross-section

1.2 地质概况

场地范围地势平缓,地貌单元为岷江水系一级阶地。地层自上而下依次为第四系全新统人工填土、第四系全新统冲洪积层卵石土,基坑底部为密实卵石土。地下水主要为第四系卵石层中的孔隙潜水,水位埋深约为 5 m。车站所处地层物理力学参数如表 1 所示。

表 1 地层物理力学参数

Tab. 1 Physical and mechanical parameters of ground formation

| 名称 | 重度/(kN/m ³) | 黏聚力/kPa | 内摩擦角/(°) | 压缩模量/MPa | 静止侧压力系数 | 厚度/m |
|-------|-------------------------|---------|----------|----------|---------|------|
| 杂填土 | 18.0 | 0 | 10 | 5 | 0.55 | 3.5 |
| 松散卵石土 | 20.0 | 0 | 35 | 30 | 0.30 | 9.5 |
| 中密卵石土 | 21.0 | 0 | 40 | 40 | 0.25 | 12.0 |
| 密实卵石土 | 22.0 | 0 | 45 | 45 | 0.20 | 35.0 |

2 计算模型及优化工况

2.1 计算模型

基于 MIDAS GTS 有限元数值分析软件建立地层-结构三维模型,模拟无内衬状态下的盾构始发与接收施工过程。基坑周边土体视为弹塑性介质,采用修正的摩尔-库伦本构模型模拟。地铁结构均视

为弹性介质,其中:基坑围护桩等效为连续墙体(墙厚为 0.848 m)^[5],采用壳单元模拟;钢支撑、冠梁及钢围檩采用梁单元模拟;车站底板等主体结构采用实体单元模拟;盾构管片采用壳单元模拟。根据圣维南原理,考虑基坑开挖及盾构掘进对周围土体的影响,选取边界尺寸为 170 m(长)×190 m(宽)×60 m(高)建立三维模型,车站部分长为 90 m,盾构

区间部分长为 80 m。数值分析模型如图 2 所示,其结构材料物理力学参数、截面尺寸及型号如表 2 所示。

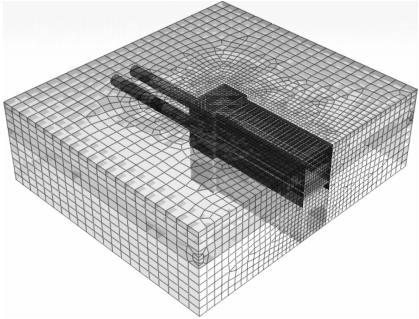


图 2 数值分析模型
Fig.2 Numerical analysis model

表 2 结构材料物理力学参数、截面尺寸及型号

Tab.2 Physical and mechanical parameters, section dimensions and model of structural materials

| 名称 | 重度/(kN/m ³) | 泊松比 | 弹性模量/kPa | 尺寸或型号 |
|------|-------------------------|-----|--------------------|---------------------|
| 围护桩 | 25.0 | 0.2 | 3.15×10^7 | 848.4 mm×1 000.0 mm |
| 钢支撑 | 78.5 | 0.2 | 2.10×10^8 | φ 609 mm 或 φ 800 mm |
| 冠梁 | 25.0 | 0.2 | 3.00×10^7 | 1 200 mm×1 000 mm |
| 钢腰梁 | 78.5 | 0.2 | 2.10×10^8 | 双拼 I 45 |
| 盾构管片 | 25.0 | 0.2 | 3.45×10^7 | 400 mm |
| 车站底板 | 25.0 | 0.2 | 3.15×10^7 | 1 100 mm×1 000 mm |

注:钢支撑壁厚为 16 mm。

施工阶段的模拟应尽可能接近实际施工情况,基坑开挖前采用坑外降水的方式降低地下水位,故数值模拟中不考虑地下水的影响。工况 1 的主要施工步骤为:①围护结构施工;②第 1 层土体开挖,施作冠梁并架设第 1 道支撑;③第 2 层土体开挖及支撑架设;④第 3 层土体开挖及支撑架设;⑤第 4 层土体开挖及支撑架设;⑥第 5 层土体开挖及底板浇筑;⑦拆除第 4 道支撑。

根据既有工程经验,采用明挖法施工的地铁车站,其围护结构在拆除第 4 道支撑且未浇筑地下二层中板时为受力最不利时刻^[6],故对于拆除第 4 道支撑后的施工步骤不再进行分析。

工况 2 的前 7 个施工步骤与工况 1 相同,所增加的施工步骤为:盾构吊装、盾构始发(盾构接收)和盾构掘进。其中,盾构吊装时需在盾构工作井端头考虑 85 kPa 的地面超载^[7]。盾构始发、盾构接收及盾构掘进步骤中,需考虑盾构机端头顶推力的影响,结合盾构始发、盾构接收、盾构掘进过程中不同

2.2 优化工况

研究盾构工作井在未施作内衬状态下实现盾构始发与接收时的工作井围护结构受力及变形情况,并与正常施工完工作井主体内衬结构后盾构始发与接收的情况进行对比。

本文主要分为 3 种工况进行分析:工况 1——正常施工完工作井主体内衬结构后盾构始发与接收;工况 2——无内衬状态下工作井盾构始发;工况 3——无内衬状态下工作井盾构接收。考虑到施作内衬后,工作井围护结构在基坑开挖阶段及盾构始发与接收阶段的变形及受力情况基本一致,故工况 1 包含盾构始发与接收两种情况。

的施工荷载,盾构掘进过程中在隧道掌子面施加 160 kPa 的顶推力,盾构始发与盾构接收过程的顶推力在盾构掘进过程的基础上进行折减,设置其初始值为 120 kPa。

3 模拟结果分析

本文主要对工况 1~3 中盾构工作井端墙中跨处(测点 a)、端墙隧道中线处(测点 b)、侧墙中跨处(测点 c)的桩体水平位移、围护结构弯矩及剪力、钢支撑轴力进行对比分析。盾构工作井 3 处测点位置示意图如图 3 所示。

3.1 桩体水平位移

工况 1~2 中,测点 a 处桩体水平位移随基坑开挖进程的变化情况如图 4 所示。随着土体开挖及支撑架设,桩体水平位移不断增大且最大值不断下移,直至第 4 道支撑拆除时,桩体水平位移增大至工况 1 时的最大值,约为 14.76 mm。该数值模拟结果与成都砂卵石地层相同支护参数的地下三层地铁

车站基坑开挖现场监测数据较为接近^[8],表明数值模型及参数取值基本合理,计算结果较为可靠。

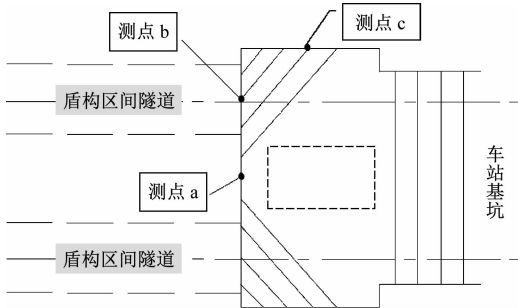
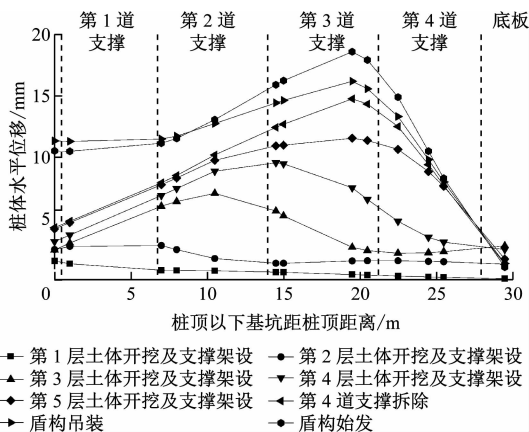


图3 盾构工作井3处测点位置示意图

Fig. 3 Diagram of 3 measuring point positions in shield work-shaft



注:工况1的测点a处桩体水平位移随基坑开挖进程的变化情况即为图中土体开挖、支撑架设及第4道支撑拆除的步骤。

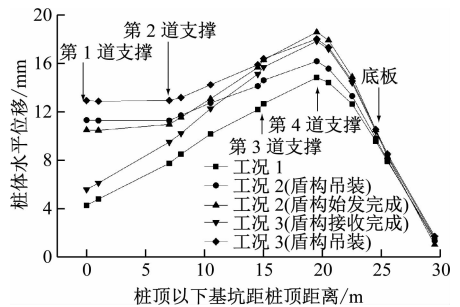
图4 测点a处桩体水平位移随基坑开挖进程的变化情况(工况1~2)

Fig. 4 Changes in situation of pile horizontal displacement through foundation pit excavation process at measuring point a (working conditions 1 to 2)

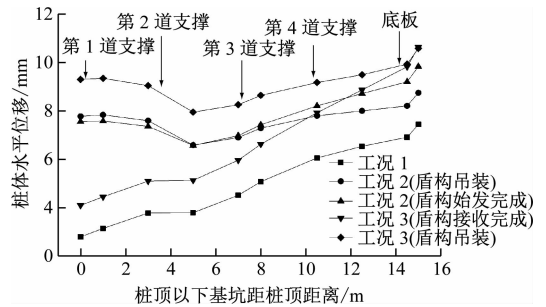
工况1~3中,测点a、b、c处的桩体水平位移最大值对比如图5所示。由图5可知:

1) 工况2及工况3的桩体水平位移相对于工况1而言有所增大。以测点a为例,桩顶第1道横撑位置的水平位移增大最为明显,随着桩顶以下基坑距桩顶距离的增大,桩体水平位移先增大后逐渐减小并到达底板位置。3种工况的桩底位移基本相同,说明无内衬结构情况下,随着桩顶以下基坑距桩顶距离的增大,桩体水平位移先增大后逐渐减小,局部区域的底部几乎不受影响。

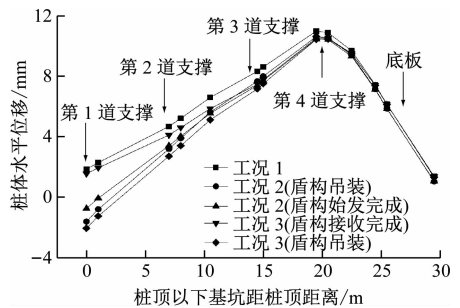
2) 就测点a和测点c而言,3种工况的桩体水平位移最大值均出现在第4道支撑处,说明此处为



a) 测点a



b) 测点b



c) 测点c

注:桩体水平位移为正表示向基坑内变形,为负表示向基坑外变形。
图5 测点a、b、c处的桩体水平位移最大值对比(工况1~3)
Fig. 5 Comparison of pile maximum horizontal displacement at measuring points a, b, c (working conditions 1 to 3)

最不利位置。对于测点a,工况2的桩体水平位移最大值为18.59 mm,比工况1增大了26%,工况3的桩体水平位移为18.02 mm,比工况1增大了22%。对于测点b,桩体水平位移最大值出现在桩顶以下基坑距桩顶距离15 m处,即区间隧道拱顶处,工况2桩体水平位移最大值为9.83 mm,比工况1增大了32%,工况3的桩体水平位移最大值为10.58 mm,比工况1增大了42%。根据GB 50911—2013《城市轨道交通工程监测技术规范》,一级基坑的桩体水平位移控制值为30.00 mm,工况2及工况3的桩体水平位移虽然大于工况1,但其仍满足规范要求。

3) 工况2和工况3中,测点c处桩体水平位移最大值与工况1基本相同,且在施工过程中,桩顶位

置发生了向基坑外侧的位移现象。这是由于盾构吊装超载引起侧向力增大,其通过冠梁及支撑传递至盾构工作井侧墙处,导致桩顶位移有所减小,甚至向基坑外侧产生位移。

3.2 围护结构内力

工况1~3中,盾构工作井测点a、b、c处的围护结构弯矩最大值对比如图6所示。由图6可知:3种工况下,测点a和测点b处围护结构弯矩最大值均有所增加。以测点a为例,工况2的围护结构弯矩最大值较工况1增加约18%,最大弯矩值约为-565 kNm,换算至每根桩上的弯矩为-1 130 kNm。工况3的围护结构弯矩最大值较工况1增加

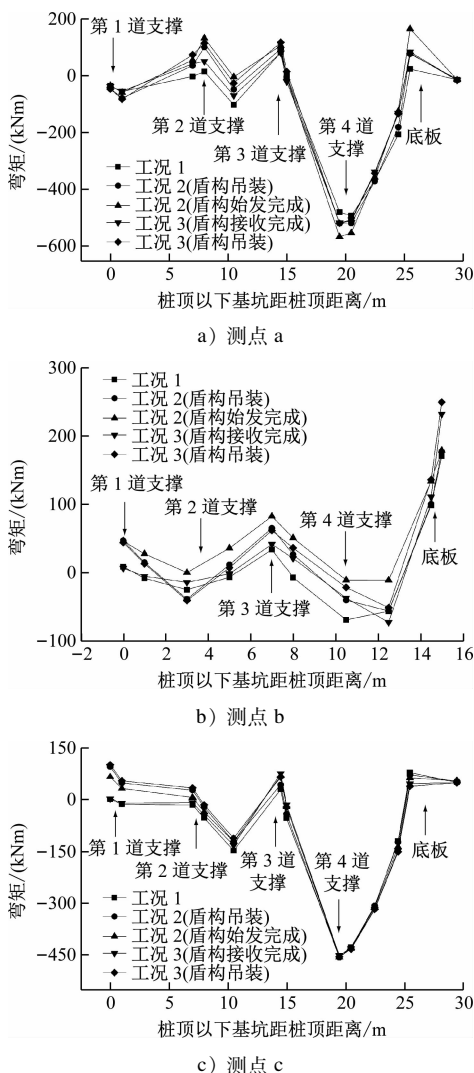
约8%,最大弯矩值约为-517 kNm,换算至每根桩上的弯矩为-1 034 kNm。工况1~3中,测点a处围护结构弯矩最大值发生的位置均为第4道支撑处。参照GB 50010—2010《混凝土设计规范》,经验算,28根 $\phi 25$ mm的主筋配置能够满足工况2及工况3中单桩最大弯矩值情况下的抗弯承载力要求。工况1~3中,测点c处的围护结构弯矩最大值基本无变化,说明无内衬结构对测点c处的结构弯矩影响最小,可忽略不计。

工况1~3中,测点a、b、c处围护结构剪力最大值对比如图7所示。由图7可知:与工况1相比,工况2和工况3测点a处的围护结构剪力最大值均有所增加,工况2的围护结构剪力最大值较工况1增加了约30%,工况3的围护结构剪力最大值较工况1增加了约18%;与工况1相比,工况2和工况3测点b处的围护结构剪力最大值均有所增加,工况2的围护结构剪力最大值较工况1增加了约10%,工况3的围护结构剪力最大值较工况1增加了约43%。经验算,所设计的桩径及桩间距能够满足工况2及工况3中单桩最大剪力情况下的抗剪承载力要求。工况1~3在测点c处的围护结构剪力最大值基本无变化,说明无内衬结构对测点c处的剪力影响最小,可忽略不计。

3.3 钢支撑轴力

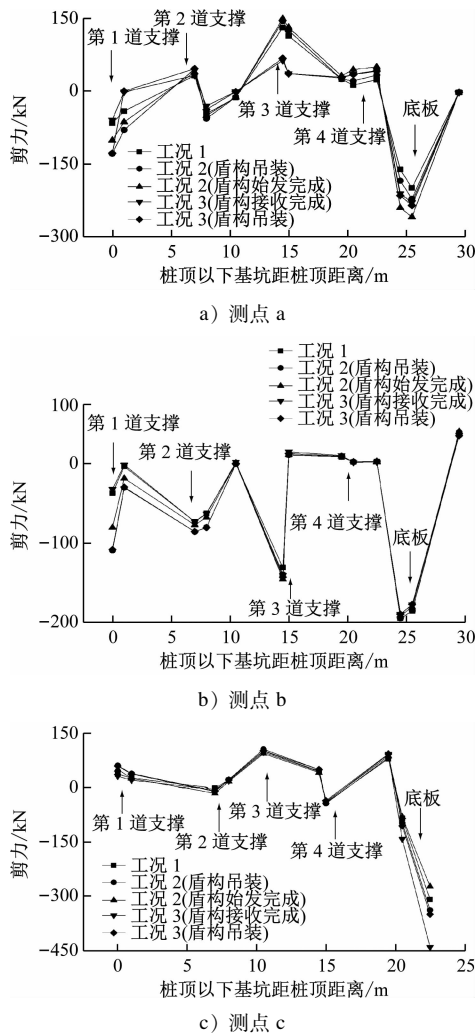
根据计算结果,工况1的第1道—第3道钢支撑轴力最大值均出现在拆除第4道支撑时,工况2的第1道—第3道支撑轴力最大值均出现在盾构完成始发时,工况3的第1道—第3道支撑轴力最大值均出现在盾构吊装时。工况1~3的第4道钢支撑轴力最大值均出现在车站底板浇筑时。提取工况1~3中第1道—第3道钢支撑轴力最大值,如表3所示。

由表3可知:①这3道支撑在工况3的轴力最大,因此选取工况3条件下的最大轴力进行验算分析,根据工程经验,第1道和第2道钢支撑采用 $\phi 609$ mm、壁厚为16 mm的钢管,轴力最大的钢支撑长度为14 m;参照GB 50017—2017《钢结构设计标准》,经验算,钢支撑在最大轴力为1 832 kN的情况下,能够满足强度及稳定性要求。②第3道钢支撑采用 $\phi 800$ mm、壁厚为16 mm的钢管,轴力最大的钢支撑长度为19 m;参照GB 50017—2017《钢结构设计标准》,经验算,钢支撑在最大轴力为2 730 kN的情况下,能够满足强度及稳定性要求。



注:弯矩以基坑外侧桩体受拉为正,基坑内侧桩体受拉为负。

图6 测点a、b、c处的围护结构弯矩最大值对比(工况1~3)
Fig. 6 Comparison of enclosure structure maximum bending moment at measuring point a, b, c (working conditions 1 to 3)



注:剪力以顺时针方向为正,以逆时针方向为负。

图7 测点a、b、c处的围护结构剪力最大值对比(工况1~3)
Fig. 7 Comparison of retaining structure maximum shear force at measuring point a, b, c (working conditions 1 to 3)

表3 工况1~3中的钢支撑轴力最大值

Tab. 3 Steel support maximum axial force in working conditions 1 to 3

| 工况 | 钢支撑轴力最大值/kN | | |
|----|-------------|--------|--------|
| | 第1道支撑 | 第2道支撑 | 第3道支撑 |
| 1 | -435 | -1 410 | -2 375 |
| 2 | -943 | -1 562 | -2 730 |
| 3 | -1 260 | -1 832 | -2 718 |

注:轴力以拉力为正,压力为负。

3.4 经济效益分析

常规状态下,盾构始发与盾构接收必须待工作井内衬结构完成后才能进行,由此导致了竖井施工工期长、建设成本高、施工工序多等问题。无内衬状态下完成盾构始发与盾构接收,工作井围护结构

的内力与变形均满足规范要求。文献[2]通过分析南宁轨道交通2号线石子塘站—建设路站区间的施工工筹计划及施工进度发现,无内衬状态下完成盾构始发及接收能够有效节省施工工期约85 d,节约工程成本约165万元。根据现场实际调研和文献[9]的研究成果可知,仅考虑人工费、机械折旧费等因素时,无内衬状态下盾构完成始发与接收每天可节约成本约1.94万元。因此,可以认为无内衬状态施工方案对于盾构施工具有较高的经济效益。

4 结语

针对砂卵石地层中标准地下三层岛式车站,通过对无内衬状态盾构工作井基坑施工及盾构区间始发与接收施工全过程进行数值模拟,研究盾构工作井在未施作内衬的围护结构状态下实现盾构始发与接收时,工作井围护结构的力学响应。主要获得以下几个结论:

- 1) 无内衬状态工作井盾构始发与接收时,围护结构桩体水平位移最大值及弯矩最大值均发生在盾构工作井端墙中跨第4道钢支撑处,围护结构剪力最大值发生在盾构工作井端墙中跨底板处。
- 2) 相较于常规状态,无内衬状态下完成盾构始发与接收时,围护结构桩体变形及受力均有所增大,但其位移及力学指标均满足规范要求,围护结构在剪力及弯矩作用下能够满足承载力及强度要求。

- 3) 无内衬状态下的工作井盾构始发与接收方案技术可行,可在基本不增加或增加较少工程投资的基础上提高施工效率,缩短工期,具有一定的经济效益。

参考文献

- [1] 黄合理,王立波. 初支状态下大粒径卵石层中盾构接收施工控制技术[J]. 铁道建筑, 2013, 53(7): 44.
HUANG Heli, WANG Libo. Construction control technology of shield receiving in large-size pebble layer under initial support condition[J]. Railway Engineering, 2013, 53(7): 44.
- [2] 吕波,段高翔. 无内衬结构竖井盾构快速接收工艺研究[J]. 隧道建设(中英文), 2019, 39(10): 1690.
LYU Bo, DUAN Gaoxiang. Rapid receiving technology for shield in shaft without lining structure[J]. Tunnel Construction, 2019, 39(10): 1690.
- [3] 孔庆梅,温森,赵丽敏. 隧道施工中盾构机吊装对基坑支护结构稳定的影响[J]. 长江科学院院报, 2017, 34(8): 125.

(下转第152页)

于成都市新津区工业园区内,由中铁二院工程集团有限责任公司牵头完成该项目的工程设计。项目分两期实施,其中线路全长为 3.6 km 的一期工程已建设完成,最高设计速度为 160 km/h,并预留设计速度为 200 km/h 的工程条件,二期工程将延伸至线路全长为 4.6 km。该试验线正线为单线,全线采用高架敷设,最大横坡角和纵坡分别为 8° 和 100‰。

6 结语

最小曲线半径是内嵌式中低速磁浮交通系统线路设计的主要技术标准之一,其值应结合速度目标值、行车安全性、旅客舒适度和轨道梁安装制造要求等因素综合确定。本文主要基于旅客舒适度控制指标,采用静力学理论分析手段,提出了最高设计速度为 200 km/h 的内嵌式中低速磁浮线路平面最小曲线半径取值。为确保线路技术参数取值的可靠性,后期还应结合内嵌式磁浮车线匹配联合仿真及实际线路动力学试验,对理论计算结果进行进一步的验证及优化研究。

参考文献

[1] 马卫华,罗世辉,张敏,等. 中低速磁浮车辆研究综述[J].

(上接第 146 页)

- KONG Qingmei, WEN Sen, ZHAO Limin. Influence of shield lifting on supporting structure of pit during tunnel construction[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2017, 34(8): 125.
- [4] 宋林,李昌宁,范恒秀,等. 特殊环境下盾构吊装下井的基坑安全稳定性分析及检算方法研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2015, 12(1): 91.
- SONG Lin, LI Changning, FAN Hengxiu, et al. Safety analysis of deep foundation pit and check-up method for shield lifting scheme under the special environment[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2015, 12(1): 91.
- [5] 范国刚. 大直径盾构隧道盾构井顺作法与逆作法受力分析对比[J]. 现代隧道技术, 2015, 52(5): 158.
- FAN Guogang. Comparison of forces applied on the working shafts of large-diameter shield tunnels by the bottom-up and top-down methods[J]. Modern Tunnelling Technology, 2015, 52(5): 158.
- [6] 汪鹏程,文杰,邵长征,等. 基于数值分析的深基坑围护结构优化设计[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2016, 39(9): 1248.
- WANG Pengcheng, WEN Jie, SHAO Changzheng, et al. Optimization design of retaining structure of deep excavation based on nu-

merical analysis[J]. Journal of Hefei University of Technology (Natural Science), 2016, 39(9): 1248.

- MA Weihua, LUO Shihui, ZHANG Min, et al. Research review on medium and low speed maglev vehicle[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2021, 21(1): 199.
- [2] 张志洲,龙志强. 日本东部丘陵线磁悬浮系统技术综述[J]. 国外铁道车辆, 2005, 42(6): 7.
- ZHANG Zhizhou, LONG Zhiqiang. Technological survey of the maglev system of the east hillside line in Japan[J]. Foreign Rolling Stock, 2005, 42(6): 7.
- [3] 王靖. 中低速磁浮交通圆曲线参数动力学仿真研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2015.
- WANG Jing. Dynamic simulation study of curve parameters of low & middle speed maglev train[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2015.
- 收稿日期:2021-11-29 修回日期:2022-01-25 出版日期:2024-02-10
Received:2021-11-29 Revised:2022-01-25 Published:2024-02-10
- 第一作者:姜梅,高级工程师,jiangmei@vip.126.com
通信作者:寇峻瑜,工程师,koujunyu312@163.com
- ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

- [7] 高涛,赵芮. 地铁车站盾构井处临时环梁计算优化分析[J]. 隧道建设, 2016, 36(5): 544.
- GAO Tao, ZHAO Rui. Optimization analysis of calculation of temporary ring beam for shield hoisting shaft of metro station[J]. Tunnel Construction, 2016, 36(5): 544.
- [8] 于鑫. 成都地铁深基坑围护结构设计优化研究[J]. 现代城市轨道交通, 2019(6): 98.
- YU Xin. Study on design optimization of deep foundation pit of Chengdu Metro[J]. Modern Urban Transit, 2019(6): 98.
- [9] 禹化才. 隧道盾构法施工成本价格分析[J]. 铁路工程造价管理, 2003, 18(4): 8.
- YU Huacai. Cost price analysis of shield tunneling[J]. Railway Engineering Cost Management, 2003, 18(4): 8.
- 收稿日期:2021-07-09 修回日期:2021-08-24 出版日期:2024-02-10
Received:2021-07-09 Revised:2021-08-24 Published:2024-02-10
- 通信作者:郭亮,高级工程师,414122311@qq.com
- ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license