

顶管法在城市中心轨道交通施工中的应用

许源

(上海隧道工程有限公司,上海市 200030)

摘要:随着城市轨道交通网络的逐渐完善,城市核心区轨道交通地下车站建设与周围环境之间的矛盾异常突出,亟需探索新的保安全、少搬迁、轻影响的施工方法,为极复杂环境下地下车站施工提供技术储备。以福州市城市轨道交通4号线一期工程凤凰池站4号出入口过街通道、金牛山站2号、3号出入口过街通道、省立医院站—东门站(原塔头站)区间工程为实例,探索顶管法在城市中心轨道交通施工中的应用。详细介绍了三个过街通道和一个渡线段工程的周边环境、工法比选、施工重难点、周边环境保护措施,经工程实践,该工程达到了减小占用场地、降低施工对城市环境影响,并控制地面和管线变形的施工要求,实现了绿色、环保、安全的目标。

关键词:轨道交通;地下车站;顶管法;过街通道;管线改迁;地表沉降

中图分类号: U231+.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)06-0204-04

0 引言

近年来,福州市城市轨道交通得到大力发展,线路愈发密集。随着城市轨道交通网络的逐渐完善,城市核心区轨道交通地下车站建设与周围环境之间的矛盾异常突出,存在道路导改、管线搬迁、环境保护等难题,急需探索新的保安全、少搬迁和轻影响的施工方法,为极复杂环境下地下车站施工提供技术储备。暗挖工法具有施工期间不影响地面交通及管线、占用场地小、对城市扰动轻等优点^[1]。

顶管法的工作机理为利用始发井中顶进油缸的顶推力,将顶管机从始发井顶入土层,顶管机顶进过程中切削前方正面土体。与此同时,预制管节依次与顶管机或前一节管节连接,并利用顶推力从始发井顶入土层,直至顶管机到达接收井,吊出顶管机,预制管节在始发井与接收井之间形成一段连续的暗挖结构^[2]。该工法无须开挖施工区域上部土体,即可穿越道路、建筑物、管线等,因此在城市中心轨道交通车站暗挖施工领域具有极大的优势^[3]。

以福州市轨道交通4号线一期工程凤凰池站4号出入口过街通道、金牛山站2号、3号出入口过街通道、省立医院站—东门站区间渡线段工程为例,根据案例中工程与地面交通、管线、建筑物的空间关系,采用顶管法施工,在减少管线搬迁、道路导改的

条件下,顺利完成过街通道及区间的建设。

1 工程概况

凤凰池站4号出入口过街通道位于杨桥西路、工业路交叉口以西,下穿杨桥西路,通道长度25.58 m。金牛山站2号、3号出入口过街通道顶管工程位于鼓楼区杨桥西路与江滨大道交叉口,江滨大道东西两侧。2号、3号出入口过街通道长度分别为49.442 m、57.822 m。杨桥西路为城市主干道,车流量大,路面下存在军缆、给水、雨水、污水、电力、电信等管线(见表1、表2),其中JS DN1800为城区主要生活供水管道。过街通道与杨桥西路交通及管线位置关系如图1、图2所示。

表1 凤凰池站4号出入口过街通道管线信息表

编号	管线	管材	管径/mm	埋深/m	管线至顶管距离/m
1	军缆	25孔埋块	780×780	0.80	3.512
2	给水	钢	300	1.05	3.575
3	雨水	混凝土	600	1.67	2.661
4	电力	缆	150×550	0.50	3.940
5	给水	铸铁	1 800	1.80	1.346

福州市轨道交通4号线一期工程省立医院站—东门站渡线段位于东大路,沿线经过省安全生产执法总队、省冶金工业设计院及沿街商铺等中低层建筑,商铺与隧道最小水平距离约8.5 m,渡线段长度190.423 m。东大路为城市主干道,车流量大,路面下存在雨水、污水等管线(见表3)。渡线段与东大路交通及管线位置关系如图3所示。

收稿日期: 2023-07-17

作者简介: 许源(1995—),男,学士,助理工程师,从事轨道交通施工管理工作。

表2 金牛山站2号、3号出入口过街通道管线信息表

编号	管线	管材	管径/mm	埋深/m	管线至顶管距离/m
1	电力	埋块	900×900	1.05	3.348
2	给水	铸铁	300	1.52	4.308
3	给水	铸铁	400	1.80	3.900
4	污水	混凝土	1 000	2.30	2.670
5	雨水	混凝土	800	2.70	2.419
6	给水	铸铁	1 800	2.59	1.508
7	电信	埋块	970×550	1.68	3.165
8	雨水	混凝土	600	3.15	1.741
9	给水	铸铁	1 800	2.11	1.513

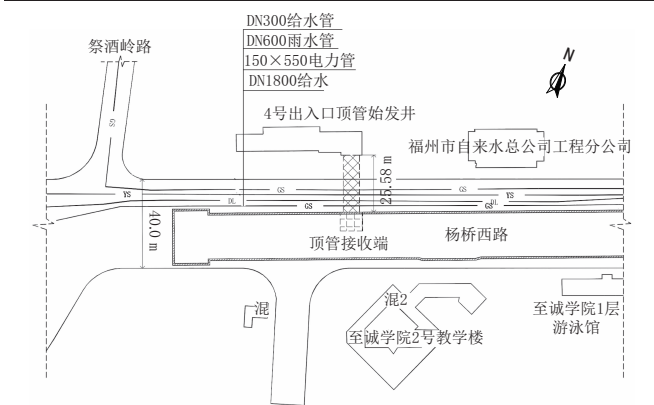


图1 凤凰池站交通及管线平面图

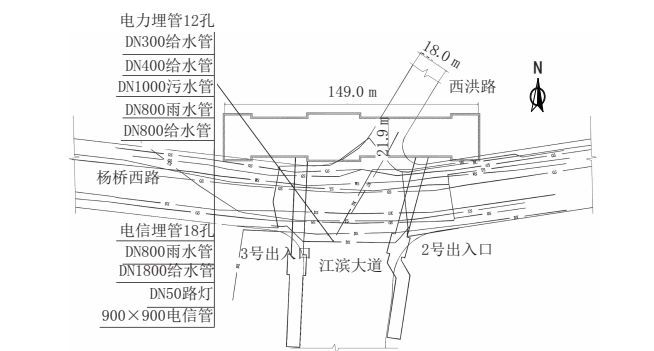


图2 金牛山站交通及管线平面图

表3 省立医院站—东门站渡线段管线信息表

编号	管线	管材	管径/mm	埋深/m	与渡线段位置关系
1	污水	混凝土	800	3.5	平行下穿
2	雨水	混凝土	600	2.5	平行下穿
3	通讯	拖拉管	500×300	6.3	斜下穿
4	污水	PVC	400	2.3	垂直下穿
5	给水	铸铁	1 000	3.3	垂直下穿
6	雨水	混凝土	800	2.3	垂直下穿
7	燃气	钢	300	2.6	垂直下穿

2 工法比选

凤凰池站4号出入口过街通道下穿杨桥西路,过街通道南端距杨桥西路北侧边线14.86 m,南北向布置。如采用明挖顺作法,则需要杨桥西路向南侧导改14.86 m,与至诚学院教学楼冲突。

金牛山站2号、3号出入口过街通道下穿杨桥西

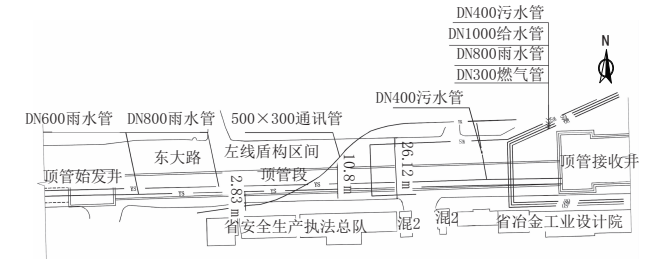


图3 省立医院站—东门站渡线段交通管线平面图

路与洪山大桥上匝道段,位于杨桥西路与江滨大道交叉口。如采用明挖顺做法分坑施工,将导致洪山大桥上匝道段交通中断,同时由于通道位于十字路口,交通导改工程量大,对社会交通影响大。

省立医院站—东门站区间渡线段沿东大路东西向布置,传统明挖顺作法需要在基坑边外放10 m宽施工便道,由于沿线紧邻省安全生产执法总队、建闵大厦及沿街商铺等建筑,无法对东大路进行导改,只能采取隔断道路后封闭施工。东大路作为交通主干道,车流量大,隔断道路对社会交通影响大。

上述工程均存在下穿雨水、污水、给水、电力、通信等管线的情况,其中DN1800给水管为城区主要生活供水管道,管线改迁工程量大、工期长、成本高。

从施工工期、成本及施工风险等方面考虑,综合比较明挖顺作法、盖挖逆作法、顶管法后,决定采用顶管法施工。工法比选见表4。

表4 工法比选表

编号	工法	优点	缺点	结论
1	明挖顺作法	工期短,施工难度低	对周边环境影响大,管线搬迁工程量较大	无实施条件
2	明挖法分坑施工	对周边环境影响较小,施工难度低	工期长,交通导改、管线搬迁工程量大	不予考虑
3	暗挖逆作法	对周边环境影响较小	工期长,成本高,风险高	予以考虑
4	顶管法	工期短,对周边环境影响较小	下穿道路和管线,周边环境保护要求高	最优选

通过比选,采用顶管法施工,可在减少占用场地、保障社会交通、减少管线改迁的情况下,完成过街通道和渡线段施工。

3 顶管施工占地范围

凤凰池站4号出入口过街通道顶管施工场地长度约为42 m,宽度为20.0~22.0 m,总面积约为900 m²,南北向布置,不占用社会交通用地(见图4)。

金牛山站2号出入口过街通道顶管施工场地长度约为45.8 m,宽度为19.5~24.0 m,总面积约为893 m²,东西向布置,占用江滨大道路口面积375 m²(见图5)。金牛山站3号出入口过街通道顶管施工

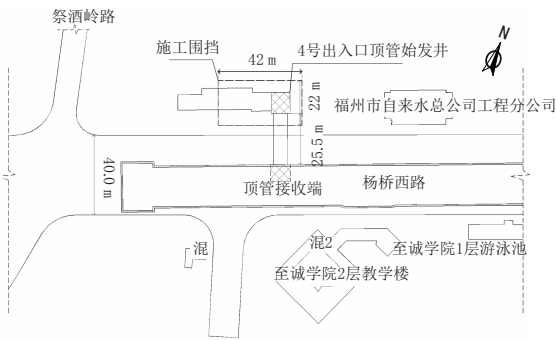


图4 凤凰池站4号出入口过街通道顶管施工占地平面图
场地长度约为50.0 m,宽度为24.0 m,面积约为1 200 m²,东西向布置,占用江滨大道1条机动车道(见图5)。

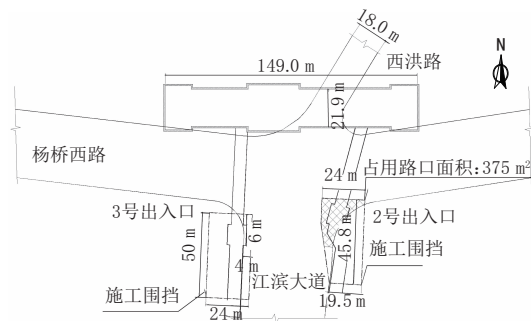


图5 金牛山站2号、3号出入口过街通道顶管施工占地平面图

省立医院站—东门站区间渡线段顶管施工场地长度约为151 m,宽度为6.5~20.0 m,总面积约为2 500 m²,南北向布置,占用东大路17 m路宽(见图6)。

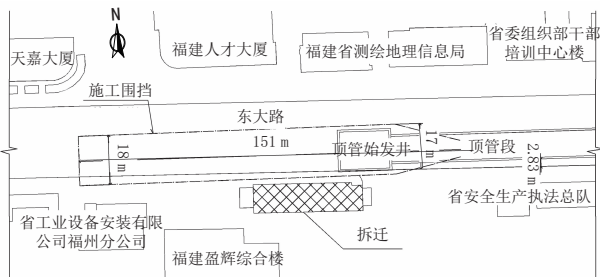


图6 省立医院站—东门站区间渡线段顶管施工占地平面图

4 顶管施工周边环境保护措施及实施效果

4.1 管线保护措施

凤凰池站4号出入口过街通道和金牛山站2号、3号过街通道截面为矩形结构,管节外轮廓尺寸6.9 m×4.9 m,壁厚450 mm,标准管节长度1.5 m,采用6.9 m×4.9 m多刀盘土压平衡式矩形顶管机。

渡线段长度190.423 m。管节截面为类矩形结构,顶板、底板呈微拱,管节外轮廓尺寸10.8 m×7.5 m,壁厚700 mm,标准管节长度1.5 m,采用超大断面矩形顶管机,断面尺寸为10 820 mm×7 520 mm×6 230 mm。

(1)省立医院站—东门站区间渡线段位于<2-4-1>淤泥层中,该土层持力性能差,易变形。因此,顶管机采用大刀盘增加切削率,采用6个φ4 000~4 700 mm的多刀盘组合,以减少顶管机角部盲区面积。刀盘组断面切削率达到93%。

顶进过程中平均顶力为3 400 t,总顶力控制于3 000~4 000 t之间,在满足掘进速率的同时有效减少地层损失,降低地表沉降变化量。

(2)金牛山站2号口顶管穿越坡积粉质黏土层、残积砂质黏性土层,金牛山站3号口顶管穿越残积砂质黏性土层、全风化花岗岩。

在上述土层中顶进时,向刀盘面和土仓内压入高分子水和膨润土浆改良土体,并根据刀盘扭矩和出土情况调整压入量。土仓开挖面穿越污水管线时及时通过土体改良来填充补偿土仓,减小土体扰动,对所穿过的管线区域影响较小。

4.2 路面、建筑保护技术

凤凰池站4号出入口过街通道顶管和金牛山站2号、3号顶管下穿杨桥西路,渡线段顶管下穿东大路,侧穿省安全生产执法总队、省冶金工业设计院,顶进过程中须加强对路面和沿线建筑的沉降控制。洪山大桥上匝道下部承台与金牛山站2号通道的最小净距约为6.86 m,与3号口通道的最小净距约为6.53 m,顶进过程中,须对桥墩重点保护。

(1)由于顶管推进时泥浆压注的浆液在填补建筑空隙时可能会存在一定间隙,且浆液的收缩变形也会产生地面沉降的隐患,因此在隧道顶进的同时,根据地面监测情况,必要时进行二次注浆,从而使地层变形量减至最小。

当地面沉降数据超过-1 cm时,在隧道内对应位置压注厚浆,补充损失土体,将该点的地表沉降控制在10~15 mm。

(2)金牛山站2号、3号口顶管均下穿杨桥西路,顶进中须加强沉降控制,具体措施如下。

a. 顶管机开挖面的稳定通过PLC系统实现自动平衡。当土压力计测出的正面土压力大于设定值,变频螺旋机会加快出土速度;反之,减小出土速度。

b. 顶管施工过程中采用稀浆和厚浆相结合的注入方式。稀浆起润滑减阻作用,较易形成完整的泥浆套,避免产生背土现象,可有效减小地面沉降;厚浆起到支撑作用,压注厚浆可减小顶管施工中的地面沉降。

c. 顶至桥桩位置时,顶进速度放慢;严格控制穿

越过程中的土压力、减摩泥浆注浆压力等施工参数,降低穿越过程中的纠偏幅度,确保顶管缓慢连续完成穿越施工。

顶进过程中,加强对桥桩监测,穿越阶段增加测量频率,并及时反馈数据,穿越后继续监测直到沉降趋于稳定。

d. 顶进结束后,及时向通道外压注固化浆液,减小后期沉降。

4.3 实施效果

(1)凤凰池站4号出入口过街通道顶管施工过程中:管线最大变形速率0.12 mm/d,约为报警值的4%,最大累计沉降3.51 mm,约为报警值的11.7%;地表沉降最大速率0.13 mm/d,约为报警值的4%,最大累计沉降3.68 mm,约为报警值的12.2%。

(2)金牛山站2号出入口过街通道顶管施工过程中:管线最大变形速率0.74 mm/d,约为报警值的24.6%,最大累计沉降7.03 mm,约为报警值的35.1%;地表沉降最大速率0.84 mm/d,约为报警值的28%,最大累计沉降9.10 mm,约为报警值的30.3%;洪山大桥上匝道下部承台沉降最大累计量5.01 mm,约为报警值的25%。

金牛山站3号出入口过街通道顶管施工过程中:管线最大变形速率0.12 mm/d,约为报警值的4%,最大累计沉降3.68 mm,约为报警值的12.2%;地表沉降最大速率0.28 mm/d,约为报警值的10%,最大累计沉降1.98 mm,约为报警值的6%。

(3)省立医院站一东门站区间渡线段顶管施工过程中:管线最大变形速率1.76 mm/d,约为报警值的58.6%,最大累计沉降17.3 mm,约为报警值的86.5%;地表沉降最大速率1.9 mm/d,约为报警值的

63.3%,最大累计沉降16.79 mm,约为报警值的55.9%;建筑物最大沉降速率1.26 mm/d,约为报警值的42.6%,最大累计沉降5.35 mm,约为报警值的17.8%。

综上,顶管工程施工中,过街通道顶管工程周边环境各项监测指标基本小于30%报警值,渡线段顶管工程周边环境各项监测指标均未达到报警值,达到了降低施工对城市环境影响,控制地面和管线变形的要求。

5 结 语

随着城市轨道交通线路越发密集,新开站点的建设往往与社会交通、市政管线相互制约,面临交通导改复杂,管线改迁工程量大、成本高,临近建筑保护要求高等难题。

本文通过三个工程案例阐述了在福州市城市轨道交通4号线一期工程建设中,采用顶管法解决城市中心轨道交通建设对社会交通、市政管线影响大的问题。通过工法比选阐明在这种复杂环境的施工条件下顶管法的优劣。

随着顶管法工艺的日渐成熟,其应用范围不再仅限于小断面的过街通道,而是扩展到大断面的渡线段乃至车站主体。

参考文献:

- [1] 朱雁飞,毕湘利,郭彦,等.富水饱和软土地层轨道交通地下车站暗挖工法研究综述[J].隧道与轨道交通,2021(增刊1):1-7.
- [2] QI Z R, LIU J Y, GONG K. The impact of pipe jacking method entrance and exit construction on the surrounding environment [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 634(1): 012103-012107.
- [3] 潘伟强,朱雁飞,刘孟波,等.软土大断面组合顶管法暗挖地铁车站施工技术探讨[J].上海建设科技,2019(3):11-14.

(上接第191页)

型场景开展应用示范。通过完善数据监测、标准化数据入库、数据治理、模型构建及优化调度场景建设等方面措施的实施,推动厂站网一体化调度的进一步实际应用与发展。

参考文献:

- [1] Alan, A. Smith. Integrating simulation and design for stormwater management [J]. Water Science and Technology, 1999, 39(9): 261-268.
- [2] Brown T, Berg J, Underwood K. Regenerative stormwater conveyance: an innovative approach to meet a range of stormwater management and ecological goals [C]//World Environmental and Water Resources

Congress 2010: Challenges of Change. 2010: 3399-3413.

- [3] Green R, Macdonald B C T, Melville M D, et al. Hydrochemistry of episodic drainage waters discharged from an acid sulfate soil affected catchment [J]. Journal of Hydrology, 2006, 325(1-4): 356-375.
- [4] 李明. 城镇排水自动监测系统项目风险的生态化管理模式研究 [D]. 长沙:中南大学, 2012.
- [5] 张宁. 基于海绵城市理念的北京东风迎宾公园景观设计研究 [D]. 张家口:河北建筑工程学院, 2023.
- [6] 王勇, 邱象玉, 王明光. 北京农村给排水工程设计要点分析 [J]. 水利规划与设计, 2014(9): 83-85.
- [7] 李华. 海绵城市对城市内涝防治作用的研究 [J]. 绿色环保建材, 2019(4): 35-37.