

盖挖半逆作法地铁车站关键部位的受力及变形分析

王申侠^{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, 710043, 西安//高级工程师)

摘要 青岛地铁五四广场站采用盖挖半逆作法施工。通过 Plaxis 软件对吊脚桩进行建模, 分析其受力及变形情况, 采用 MIDAS GEN 软件分析了钢管混凝土立柱柱脚的复杂受力情况。仿真分析及验算结果表明, 吊脚桩和钢管混凝土立柱的受力及变形情况均满足要求。

关键词 地铁; 车站; 盖挖半逆作法; 钢管混凝土柱; 吊脚桩

中图分类号 U231.4

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2020.05.020

Stress and Deformation Analysis of Metro Station Key Areas Constructed with Semi-reverse Method of Cover and Excavation

WANG Shenxia

Abstract The semi-reverse method of cover and excavation is adopted for the construction of May Fourth Square Station in Qingdao metro. Software Plaxis is used to establish a sling pile model, then analyze its stress and deformation conditions. The MIDAS GEN software is used to analyze the complicated stress of concrete filled steel tubular column. The result of simulation analysis and checking shows that stress and deformation of the concrete filled steel tubular columns and the sling pile could meet all the requirements.

Key words metro; station; semi-reverse method of cover and excavation; concrete filled steel tubular column; sling pile

Author's address China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., 710043, Xi'an, China

0 引言

一般地铁站大多数采用明挖顺作法施工^[1-2]。在建筑物密集、管线众多的城市中心, 道路交通繁忙, 明挖顺作法不仅会严重影响周边交通, 而且管线迁改工程量大。为减少项目对周边交通及环境的影响, 可采用矿山法施工^[3]。但矿山法存在断面受限等难题。

青岛地铁五四广场站(以下简为“五四广场

站”)的钢管混凝土柱, 在盖挖半逆作法施工阶段, 是顶板及上覆土的竖向支撑立柱, 在使用阶段是车站主体结构的框架柱^[4]。实践证明, 盖挖半逆作法不仅具有封堵路面少、封堵时间短等优点, 对路面交通影响小, 而且能充分利用结构构件功能, 可提供较大的施工空间, 顺做大部分主体结构, 使主体结构整体性好。

五四广场站位于青岛市中心的香港中路和山东路交叉路口处, 是青岛地铁 2 号线和 3 号线的换乘站。由于青岛地铁 2 号线和 3 号线同期施工, 面对施工期间对地面交通的巨大影响及管线迁改问题, 盖挖半逆作法地下二层双岛四线方案因其地下空间开阔、换乘功能较好及对周边影响小等特点, 成为首选方案。

在五四广场站盖挖半逆作法施工中, 钢管混凝土立柱既作为盖挖施工顶板的中支座也兼做永久结构柱, 吊脚桩既作为基坑围护结构又兼作盖挖结构顶板的边支座。二者为施工的关键部位, 其受力及变形符合要求是盖挖半逆作法安全实施的基本保障。

1 吊脚桩的变形及受力

考虑到经济及施工因素, 当基坑深度远大于基岩埋深时, 基坑围护结构嵌入岩石的深度有限, 往往在桩体嵌岩面处预留一定宽度的岩肩来约束桩脚。由于围护桩未嵌固在基坑底部, 故称为“吊脚桩”。

根据文献[5-7]对围护结构受力体系的系统研究, 盖挖半逆作法顶(盖)板端支座支承在基坑围护结构吊脚桩处。可见, 吊脚桩既承担围护结构水平力, 又承担顶(盖)板传来竖向荷载。

1.1 吊脚桩方案

由于建筑空间限制, 岩肩宽度有限, 故一般在桩脚处增加一道锚索来弥补岩肩嵌固力的不足; 如吊脚桩较长, 则沿桩长设置多道预应力锚索来承受水平压力。文献[8]通过对锚索的受力进行三维分

析,发现预应力锚索能够显著减少基坑的水平位移和竖直位移。五四广场站基坑为土岩组合基坑,这种基坑下部的岩石强度较高,其稳定性和变形主要受岩体结构面控制。因此,采用岩石锚杆支护可以提高结构面的抗滑稳定性。五四广场站基坑围护结构即采用了“吊脚桩+预应力锚索+岩石锚杆”相结合的方案。

1.2 吊脚桩受力分析

五四广场站的车站在正常使用阶段,其顶(盖)板边跨需由吊脚桩承受竖向荷载。本文通过 Plaxis 软件,采用在桩顶施加一个集中荷载的方式,对吊脚桩的竖向荷载进行计算分析。经分析,将车流及钢筋混凝土顶盖板在桩顶的等效荷载设定为 60 kPa,按有无竖向荷载及开挖深度不同等工况,计算吊脚桩水平位移和桩身弯矩如图 1 和图 2 所示。

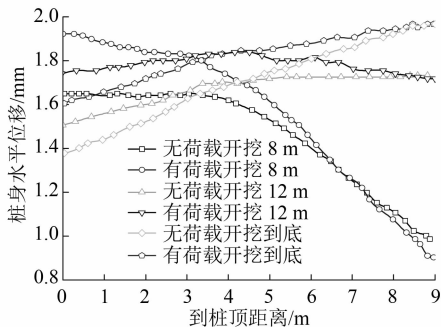


图1 桩身水平位移在有/无荷载下的对比图

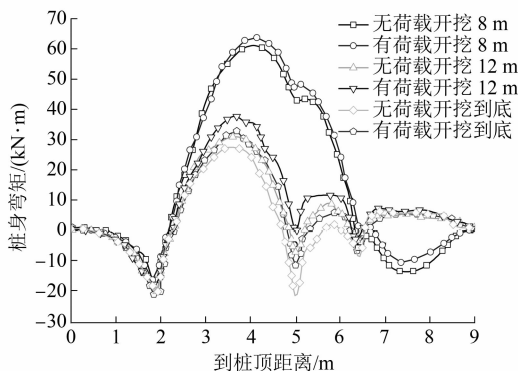


图2 桩身弯矩在有/无荷载下的对比图

由图1和图2可知:由于桩脚嵌入中风化花岗岩,嵌岩面以下的部分无论有无竖向荷载变化都不大;无论有无竖向荷载,桩身位移变化趋势都相同,都随开挖深度的增加而加大;相较于无竖向荷载工况,有竖向荷载工况的桩身水平位移数值增大趋势较明显;相较于无竖向荷载工况,有竖向荷载工况的桩身弯矩稍有增大,但变化值极小。

经计算,桩顶沉降随开挖深度的变化见图3。

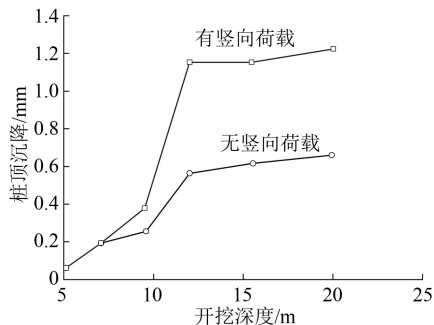


图3 桩顶沉降随开挖深度变化图

从图3中可以看出:随开挖深度的加大,桩顶沉降不断增加;开挖基岩面之前(开挖深度为0~9 m),桩顶沉降较小;在开挖深度为9~12 m阶段,桩顶沉降变化幅度最大;在开挖至基坑底(开挖深度为12~20 m),桩顶沉降的增加不明显。整体而言,相较于无竖向荷载工况,有竖向荷载情况下的桩顶位移增加显著,且主要表现在开挖基岩面之后,但最大沉降量仅为1.4 mm。这与该地层土层很薄、基岩面较浅不无关系。

根据以上研究,五四广场站一级基坑采用直径为0.8 m、间距为1.5 m的吊脚桩,二级基坑围护结构采用直径为1.0 m、间距为1.8 m的吊脚桩。吊脚桩在风化岩层中的嵌固深度为2.0 m,在微风化岩层中的嵌固深度为1.5 m。岩肩宽度为1.0 m,且在岩肩处设置锁脚锚索。在微风化岩层中采用全长粘结型岩石锚杆。

2 钢管混凝土柱结构受力分析

采用盖挖半逆作法施工,在地层开挖前,先施作钢管混凝土柱,作为车站顶(盖)板中部支柱。

2.1 钢管混凝土柱截面验算

根据五四广场站的结构形式及覆土厚度,本文采用 MIDAS GEN 软件,对钢管混凝土柱的受力情况进行建模分析。模型根据覆土不同分为5段,各段覆土厚度分别为5.44 m、5.44 m、5.54 m、5.59 m、4.54 m,其中标准段覆土深度为5.59 m,受力计算模型如图4所示。

五四广场站站为地下二层五柱六跨箱型框架结构。根据结构跨度、层高等,钢管混凝土柱有6种断面尺寸:中柱采用直径为800 mm的钢管混凝土柱(壁厚20 mm),配线区跨度较大处采用直径为1 000 mm钢管混凝土柱(壁厚20 mm),限界影响

处采用 600 mm×1 200 mm 的矩形钢管混凝土柱(壁厚 20 mm),变形缝处设中心距为 1 000 mm 且直径为 600 mm 的双钢管混凝土柱(壁厚 16 mm)。

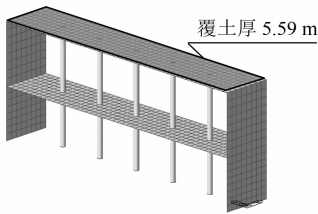


图 4 五四广场站钢管混凝土柱受力计算模型

2.2 柱脚节点设计

直径为 800 mm 的钢管混凝土柱同地铁站底板及上反梁连接。其连接节点是盖挖半逆作法施工的关键节点。柱脚节点细部构造如图 5 所示。

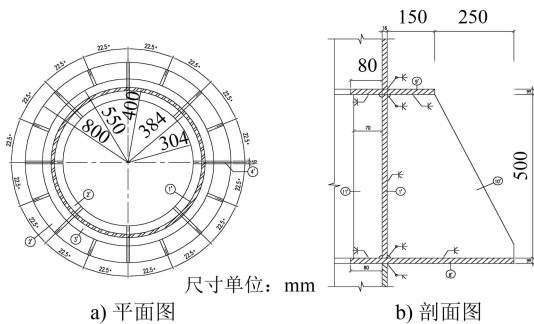


图 5 钢管混凝土柱脚节点细部构造

2.3 钢管混凝土柱脚节点分析

为了验证节点的可靠性及加劲肋的受力性能,取柱距一半建立有限元模型如图 6 所示。

钢筋混凝土柱的计算荷载取值见表 1。
模型边界条件设定中:柱两端分别为固结设置,板周围平面内根据对称性设置为铰接。由于平面内无荷载,因此板周及梁端不设置边界条件。计算结果如图 7 所示。钢管混凝土柱应力在地基梁范围内较小,为 2 052 N/mm²;在钢管混凝土柱与桩基础连接处应力较大,为 13 942 N/mm²。此外,计算可得,钢管混凝土柱竖向位移为 2.3 mm,而允许位移为 26.0 mm,因而满足变形的要求。

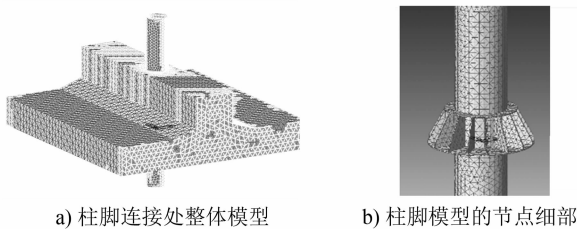


图 6 钢管混凝土柱脚节点分析模型

表 1 钢管混凝土柱的计算荷载

参数	各段参数取值				
	段 1	段 2	段 3	段 4	段 5
覆土厚度/m	5.440	5.440	5.542	5.590	4.535
顶板覆土荷载/(kN/m ²)	109	109	111	112	91
顶板超载/(kN/m ²)	20	20	20	20	20
中板恒载/(kN/m ²)	8	8	8	8	8
中板活载/(kN/m ²)	4	4	4	4	4
水浮力/(kN/m ²)	170.4	170.4	170.4	170.4	170.4

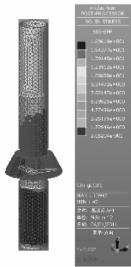


图 7 钢管混凝土柱脚节点应力云图

根据计算结果:钢管混凝土柱与主体结构的顶纵梁连接采用柱内部设置钢筋笼连接、柱外部焊接端板及竖向加劲肋形式;钢管混凝土柱与中纵梁双梁采用节点板连接;钢管混凝土柱与底纵梁采用钢管柱节点板焊接竖向加劲肋的节点连接形式。经验算,钢管柱与混凝土粘结良好,满足设计要求。

3 结论

- 1) 盖挖半逆作法顶(盖)板端支座支承于基坑围护结构吊脚桩处,吊脚桩既承受围护结构水平力,又承受顶(盖)板传来竖向荷载。吊脚桩受力及变形满足顶(盖)板受力要求。
- 2) 先期施做钢管混凝土中立柱作为顶(盖)板中支座,钢管混凝土柱内力及变形、柱节点受力满足设计要求。

参考文献

[1] 张坤.复杂条件下地铁施工技术 & 控制要点[J].石家庄铁路职业技术学院学报,2018,17(4): 39.
[2] 李兆平.复杂外部条件下地铁车站结构方案探讨[J].北京交通大学学报,2018,42(4): 1.
[3] 喻敏,兰志光.复杂环境下非典型地铁车站建筑设计分析[J].隧道建设(中英文),2018,38(7): 1204.
[4] 刘兵.盖挖半逆作法地铁车站信息化施工及监测技术研究[D].北京:北京交通大学,2014.
[5] 古海东,杨敏.考虑土拱效应的疏排桩支护基坑内力和变形分析[J].岩土力学,2014,35(12): 3531.

根据计算结果,施工过程地铁隧道顶部最大沉降量为 0.253 mm,最大隆起量为 0.173 mm,满足隧道变形控制要求。

4 结语

以某项目隧道重叠交叉段联络通道冻结法施工为工程背景,采用 Midas/GTS 建立三维有限元模型分析联络通道冻结开挖施工对上部盾构隧道的影 响。分析结果表明:

1) 下部隧道联络通道施工完成之后,上部隧道最大沉降量为 -0.322 mm,最大隆起量为 0.211 mm,最大水平位移为 -0.053 mm,均在控制允许值范围内。隧道结构所受应力均满足混凝土强度设计标准值,也均在安全可控范围内。

2) 本研究以规范理想的施工为前提,而实际施工中存在诸多不确定因素,因此施工中应重点对上

部隧道及轨道结构的位移、净空收敛、管片结构错台与张开、轨距等项目进行密集监测,同时要确保联络通道融沉阶段的注浆密实性。

参考文献

- [1] 王晖,李大勇,李健,等.地铁联络通道冻结法施工三维数值模拟分析[J].地下空间与工程学报,2011(增刊2): 1589.
- [2] 张志强,何川.用冻结法修建地铁联络通道施工力学研究[J].岩石力学与工程学报,2005(18): 3211.
- [3] 乔卫国,李大勇.地铁联络通道冻结监测分析[J].岩土力学,2003(4): 666.
- [4] 周志勇,胡向东.隧道联络通道冻结法施工数值模拟与实测分析[J].现代隧道技术,2008(增刊1): 275.
- [5] 岳丰田,张水宾,仇培云,等.地铁联络通道冻结加固融沉注浆研究[J].岩土力学,2008(8): 2283.
- [6] 武亚军,杨敏,李大勇.大连路隧道联络通道冻土帷幕数值分析[J].岩土力学,2006(3): 487.

(收稿日期:2019-11-28)

(上接第 88 页)

- [6] 董诚,郑颖人,陈新颖,等.深基坑土钉和预应力锚杆复合支护方式的探讨[J].岩土力学,2009,30(12): 3793.
- [7] MICHAEL L. Database for retaining wall and ground movements due to deep excavations[J].Journal of Geotechnical Engineering,2001(3): 203.

- [8] 卢萌盟,沈俊,曾宪桃.预应力锚索加固基坑的三维数值分析[J].岩土工程学报,2005(10): 1198.
- [9] 刘霁,贺晨.基于 PLAXIS 基坑围护桩水平位移特性的分析[J].中南林业科技大学学报,2011,31(8): 142.

(收稿日期:2019-06-12)

(上接第 91 页)

以下很多因素:制冷剂、冷冻水及冷却水等 3 种介质的循环热交换;空调箱机组、冷水机组蒸发器、冷水机组机组冷凝器以及冷却塔装置四个热交换过程。此外,由于城市轨道交通车站负荷和环境因素的不确定,水系统运行情况判断需要多参量以及参量间的耦合,具有显著的复杂性特征。

目前,在城市轨道交通中应用的空调水变频技术具有一定的节能效果。国内地铁车站采用先进节能技术的不多,基本仅对风系统或水系统中的某一个引入节能控制技术。通风空调系统的水系统和风系统是一对耦合系统,它们间的良好匹配是实现系统节能的重要保障,对地铁车站的节能意义重大。

参考文献

- [1] 李丽.轨道交通车站冷冻水系统变频节能技术探讨.上海隧道

- 工程[J].2007(4): 49.
- [2] 高养田.空调变流量水系统设计技术发展[J].暖通空调,1996,26(3): 20.
- [3] 王凡,徐玉党.中央空调水系统变流量分析及其改进[J].建筑热能通风空调.2006,25(1): 49.
- [4] 张谋雄.冷水机组变流量的性能[J].暖通空调,2000,30(6): 56.
- [5] 蔡增基,龙天渝.流体力学泵与风机[M].4 版.北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部.采暖通风与空气调节工程检测技术规程:JGJ/T 260—2011[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部.公共建筑节能检测标准:JGJ/T 177—2009[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.

(收稿日期:2019-06-12)