

大型建筑基坑施工对临近地铁车站的影响分析

张爱民¹ 王 宁^{2,3}

(1. 鹰潭市交通建设投资集团有限公司, 335001, 鹰潭; 2. 江西省岩土工程基础设施安全与控制重点实验室, 330013, 南昌;

3. 江西省地下空间技术开发工程中心, 330013, 南昌//第一作者, 高级工程师)

摘 要 以南昌市临近某建筑基坑工程的地铁车站为研究背景, 建立了有限元计算模型, 对基坑开挖过程中引起地铁车站及周围地层的变形进行分析。研究结果表明: 基坑开挖过程中, 周边地层出现向基坑内部移动的水平位移; 竖向位移主要出现在基坑底部, 表现为坑底隆起, 且位移值随着基坑开挖而逐渐增大。受开挖卸载作用, 车站结构在水平方向出现向基坑方向移动的水平位移, 竖直方向出现上浮变形, 其中最大水平位移为 0.43 mm, 最大上浮位移为 1.25 mm。对基坑四周施加围护结构有效地抑制了基坑内部土体卸载引起基坑外部的土体应力的变化, 且从四周向中间开挖较由中间往四周开挖临近地铁车站最大水平位移减小了 38.80%, 最大竖向位移减小了 20.23%。

关键词 地铁车站; 超大基坑; 地层变形

中图分类号 TU433:U231.4

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.10.014

Influence Analysis of Large Building Foundation Pit Construction on Adjacent Metro Station

ZHANG Aimin, WANG Ning

Abstract Taking a metro station next to the building foundation pit construction in Nanchang City as the research background, a finite element model is established to analyze the deformation of the stratum around metro station during the foundation pit excavation. The research results show that during the excavation of the foundation pit, the horizontal displacement in the surrounding stratum is moving to the internal area of the foundation pit, while the vertical displacement mainly occurs at the bottom of the foundation pit, appearing as a bulge at the pit bottom, and the displacement value gradually increases with the excavation of the foundation pit. Under the effect of excavation and unloading, the station structure in the horizontal direction moves horizontally toward the foundation pit, and the floating deformation occurs in vertical direction. The maximum horizontal displacement value is 0.43 mm, and the maximum floating displacement value is 1.25 mm. Enclosing the pit surrounding with envelope structure effectively inhibits the soil

stress change outside the pit caused by the pit internal soil unloading, and the maximum horizontal displacement of excavation from the periphery to the center is reduced by 38.80% compared to that of the excavation from the center to the periphery, the maximum vertical displacement value is reduced by 20.23%.

Key words metro station; large foundation pit; ground deformation

First-author's address Yingtan Transportation Construction Investment Group Co., Ltd., 335001, Yingtan, China

近年来,我国地下空间占有率越来越高,城市轨道交通作为一种运量大、绿色环保的交通方式已经成为城市地下空间开发和利用的重要组成部分^[1-2]。伴随着城市化进程的不断加快,基坑紧邻地铁车站施工的情况时有发生^[3-4],而基坑开挖卸载会对临近车站产生一定影响。研究基坑开挖施工对既有临近地铁车站的影响已经成为热点。

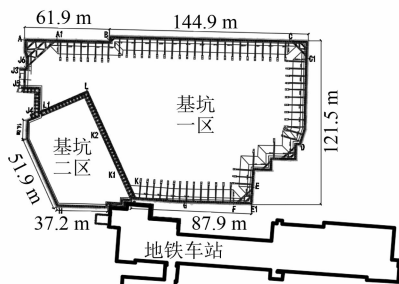
目前,国内外对于基坑开挖对临近地铁车站影响的研究已经取得了一系列的成果。文献[5]采用 ANSYS 软件,模拟基坑开挖对临近地铁车站影响的全过程,得到车站间距等因素对既有车站变形情况的影响规律。文献[6]针对基坑开挖对临近地铁车站的影响,提出了一种弹性地基上的板壳有限元计算模型,给出了该有限元计算模型中土压力的作用形式。文献[7]以苏州某深基坑为背景,采用 FLAC3D 软件对其开挖过程进行数值仿真分析,发现地铁车站对深基坑开挖引起的土体位移传递具有一定的阻碍作用。文献[8]采用 MIDAS-GTS 软件对深圳市紧邻已运营地铁 2 号线的曦湾名苑基坑进行了分析,研究了基坑围护结构采用咬合桩、钻孔灌注桩加止水帷幕形式时基坑围护结构和地铁车站变形的关系。文献[9]以上海某地铁车站基坑开挖过程为依托,分析了基坑施工对临近建筑物的影响。受区域性影

响,不同地区基坑开挖对临近地铁车站的影响不尽相同,且相关研究还不够深入。

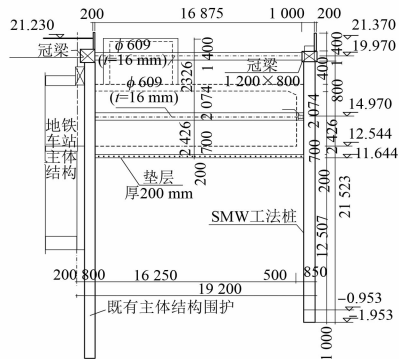
本文以南昌市临近某建筑基坑工程的地铁车站为背景,对基坑开挖引起临近地铁车站的变形以及周边地层变形进行计算分析;通过模拟不同开挖步序工况下地铁车站的变形性状,提出更为合理的大型基坑开挖步序。

1 工程概况

拟建基坑工程为南昌市某中学扩建工程,场地东西长约 220 m,南北长约 190 m。地下室基坑分为两块区域,一区建设完成再建设二区。基坑支护采用 $\phi 900 \text{ mm}@1\,300 \text{ mm}$ 钻孔灌注桩与 $\phi 609 \text{ mm}$ 钢管斜撑相结合,局部设置钢筋混凝土角撑。一区和二区分界处采用双排桩悬臂支护,基坑外采用 $\phi 850 \text{ mm}@600 \text{ mm}$ 三轴搅拌桩施做止水帷幕。钻孔灌注桩面采用 C20 硅酸盐水泥,桩柱纵横向间距均为 200 mm。基坑开挖深度为 6.4~6.9 m。一区基坑面积为 $19\,145 \text{ m}^2$,周长为 680 m;二区基坑面积为 $4\,237 \text{ m}^2$,周长为 268 m。场地南侧基坑紧邻南昌轨道交通 2 号线车站 3 号出口,两者位置关系及车站主体结构如图 1 所示。



a) 平面图



单位: 标高为 m, 尺寸为 mm

b) 剖面图

图 1 基坑与地铁车站相对位置关系图

拟建基坑南侧为地铁 2 号线车站,车站为地下

两层岛式车站,中心里程处标高值为 7.875 m,线间距为 16 m,站台宽 13 m,有效站台长度为 118 m,车站全长为 196.4 m,标准段净宽为 20.3 m。车站中心里程处底板埋深约为 16.265 m,站中心覆土为 2.995 m。其中,3 号出入口与基坑边紧邻,出入口为地下一层结构,采用现浇钢筋混凝土箱型结构,埋深 9.51~11.05 m,覆土厚约 3.46 m,与拟建基坑围护结构最近距离仅为 3.1 m。

据现场地质测绘和钻孔取芯鉴定资料,结合场地原位测试和室内土工试验成果综合分析,工程区内覆盖层主要由杂填土、粉质黏土、细砂、中砂、砾砂及泥质粉砂岩组成。基坑剖面地质分布及斜撑情况如图 2 所示。

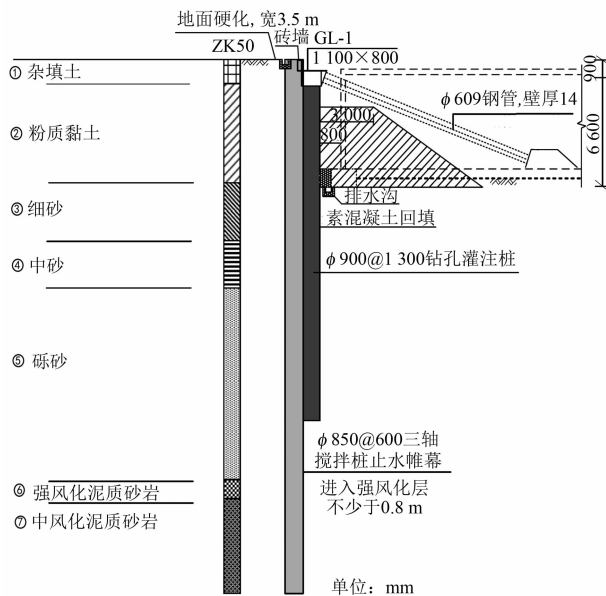


图 2 基坑地质分布及斜撑图

2 计算模型及模拟开挖工序

2.1 模型建立

本文采用 MIDAS/GTS 有限元软件进行三维实体建模,如图 3 所示。经综合考虑基坑开挖边界效应及模型计算能力,模型尺寸采用 $400 \text{ m} \times 300 \text{ m} \times 50 \text{ m}$,总单元数为 635 437 个,模型四周约束其水平位移,底面约束其竖向位移,顶面设置为自由面。

模型内土体采用实体单元模拟,本构采用修正摩尔库伦本构。修正摩尔库伦本构较好地解决了地层采用摩尔-库伦本构下地面隆起变形和坑道底部土体隆起偏大的情况^[10]。土体参数如表 1 所示。

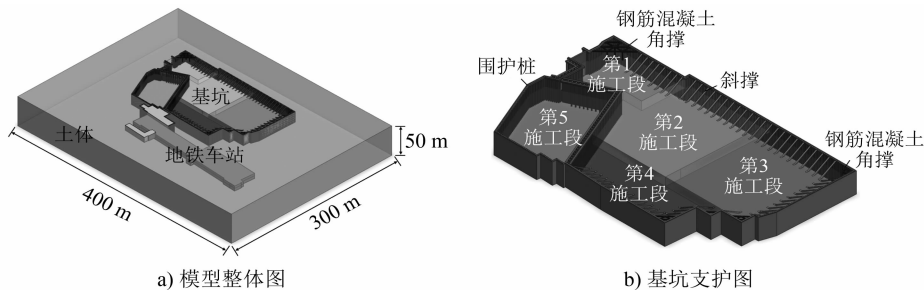


图 3 有限元计算模型图

表 1 土层参数

土层名称	土层厚度/m	泊松比	重度/(kN/m ³)	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)	$E_{50,ref}$ /MPa	$E_{oed,ref}$ /MPa	$E_{ur,ref}$ /MPa
杂填土	3	0.33	18.0	10	10	5	5	15
粉质黏土	4	0.33	19.7	20	15	12	12	36
砾砂	9	0.30	21.0	0	30	18	18	54
强风化泥质粉砂岩	12	0.25	22.0	100	28	80	80	240
中风化泥质粉砂岩	22	0.23	25.0	150	65	200	200	600

注： $E_{50,ref}$ 为三轴试验割线刚度； $E_{oed,ref}$ 为主压密加载试验切线刚度； $E_{ur,ref}$ 为卸载弹性模量

钻孔灌注桩及车站结构采用弹性单元模拟，混凝土角撑及斜撑采用 1D 梁单元模拟，本构采用线弹性本构。结构材料参数如表 2 所示。

表 2 结构材料参数

材料	弹性模量/GPa	泊松比	重度/(kN/m ³)
钢材	200	0.30	78.5
混凝土	30	0.17	25.0

2.2 模拟开挖工序

基坑采用分部开挖，其中基坑一区分为 4 个施工段，基坑二区为第 5 施工段。为此在进行数值模拟时的开挖顺序为：①建立土体和地铁车站，添加荷载和位移边界条件；②初始地应力平衡，模型整体位移清零；③施工基坑围护桩；④开挖第 1 施工段土体，施做角撑及斜撑并浇筑底板；⑤开挖第 2 施工段土体，施做斜撑并浇筑底板；⑥开挖第 3 施工段土体，施做角撑及斜撑并浇筑底板；⑦开挖第 4 施工段土体，施做角撑及斜撑并浇筑底板；⑧开挖第 5 施工段土体，浇筑底板。

3 计算结果分析

3.1 周边地层变形分析

基坑开挖是一个应力释放的过程，在进行基坑开挖的过程中必然会引起周边地层发生变形，同时周边地层位移的大小也是衡量基坑开挖对周边环境影响程度的重要指标。

图 4 为不同开挖阶段下地层整体水平位移云图。由图 4 可知：随着基坑开挖，基坑周边土体变形范围不断增大，且水平位移值也不断增大；对比开

挖第 2 施工段及第 3 施工段可以看出，在进行坑内支护后，模型中东侧土体的水平位移范围增大，而西侧变化不大，说明在进行第 3 施工段土体开挖时，第 5 施工段土体受到影响较小，并且在进行第 5 施工段土体开挖时，东侧土体受到影响同样较小，由此可见双排混凝土灌注桩对土体变形有较好的隔离作用；基坑开挖时，土体最大水平位移出现在基坑坑壁处，其数值大小与距坑壁的距离成反比；水平位移的分布并不是均匀分布，会因土体上部结构等出现一定的突变。

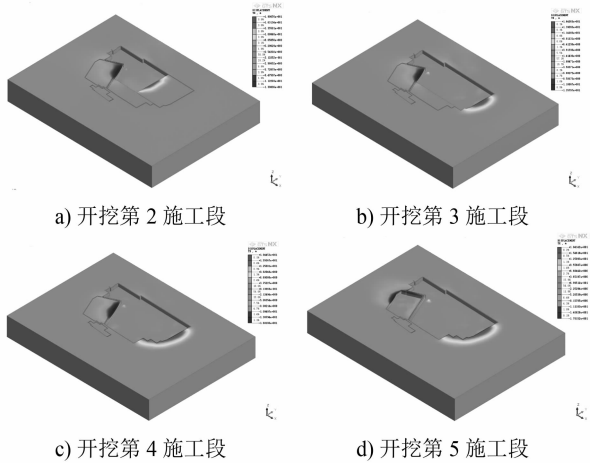


图 4 地层水平位移云图

图 5 为不同开挖阶段下地层竖向位移云图。由图 5 可知：基坑周边土体变形随基坑开挖范围增大而增大，坑内主要位移为坑底隆起，最大值随开挖进行而逐渐增大，且最大值点多出现在基坑中心位置处；地表土体受基坑开挖变形与距离开挖土体位

置有关,距离开挖位置越远,变形逐渐减小,当达到一定距离后,地表沉降为零,不受基坑开挖的影响;对比图 5 a)和 5 b)可以看出,围护桩对于基坑开挖对土体的影响具有较好的隔离作用,作用大小与围护桩的直径、埋深有关。

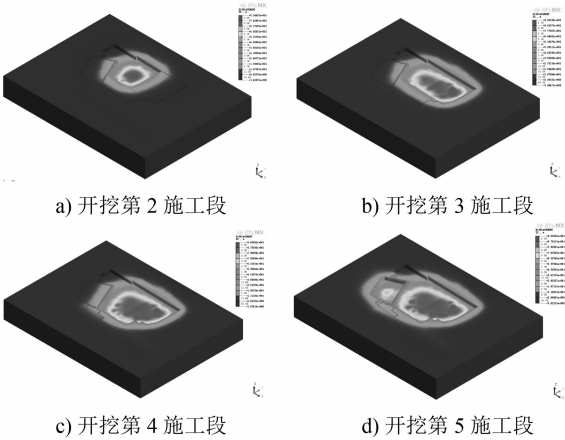


图 5 地层竖向位移云图

综上所述,基坑开挖过程中,竖向位移主要出现在基坑底部,表现为坑底隆起,且位移最大值都随着基坑开挖的逐渐进行而增大。

3.2 车站结构变形分析

不同施工段结束后,地铁车站结构变形云图如图 6 所示。

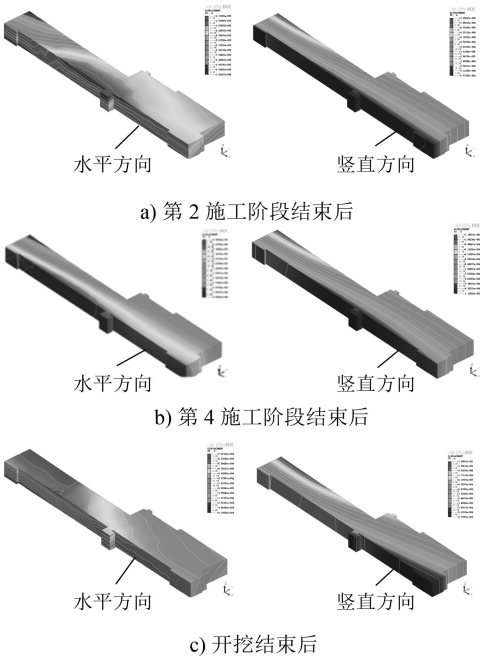


图 6 不同施工段结束后车站结构变形云图

由车站水平方向变形云图可以看出,在基坑开挖过程中,受开挖卸载作用,车站结构出现向基坑

方向移动的水平位移,并且随着基坑开挖位移逐渐增大,开挖完成后最大水平位移达 0.43 mm。由车站竖直方向变形云图可知,基坑开挖中,车站两侧出现差异性竖向变形,靠近基坑侧第三出口处车站结构出现上浮变形,远离基坑侧出现相应沉降变形。竖向变形值均随着基坑开挖而逐渐增大,其中最大上浮值约为 1.25 mm,最大沉降值约为 1.12 mm,开挖完成后两侧变形差异值达 2.37 mm。各施工段结束后车站结构最大位移值见表 3。

表 3 各施工段结束后车站结构最大位移值 mm

开挖区域	最大水平位移	最大竖向位移
第 1 施工段	0.01	0.34
第 2 施工段	0.01	0.75
第 3 施工段	0.34	0.91
第 4 施工段	0.37	1.19
第 5 施工段	0.43	1.25

3.3 不同基坑开挖工序对临近车站影响分析

选取两种不同开挖工况进行分析:工况 1 为基坑从中间往四周进行开挖,具体开挖步序为第 2 施工阶段→第 1、3 施工阶段→第 4 施工阶段→第 5 施工阶段;工况 2 为基坑从四周往中间开挖,具体开挖步序为第 1、3 施工阶段→第 2 施工阶段→第 4 施工阶段→第 5 施工阶段。表 4 和表 5 分别为工况 1 和工况 2 下地铁车站各施工阶段最大位移值。

表 4 工况 1 下不同施工段开挖时车站最大位移值 mm

开挖区域	最大水平位移	最大竖向位移
第 2 施工段	0.01	0.45
第 1、3 施工段	0.24	0.92
第 4 施工段	0.43	1.36
第 5 施工段	0.67	1.68

表 5 工况 2 下不同施工段开挖时车站最大位移值 mm

开挖区域	最大水平位移	最大竖向位移
第 1、3 施工段	0.01	0.64
第 2 施工段	0.16	0.76
第 4 施工段	0.32	0.91
第 5 施工段	0.41	1.34

由表 4 和表 5 可知:随着基坑开挖的逐渐进行,两工况下车站最大位移值均逐渐增大并在开挖完成后达到最大值;工况 1 开挖时地铁车站最大水平位移为 0.67 mm,最大竖向位移为 1.68 mm;工况 2 开挖时地铁车站最大水平位移为 0.41 mm,最大竖向位移为 1.34 mm;工况 2 下最大水平位移较工况 1 下的减小了 38.80%,工况 2 下最大竖向位移较工况 1 下的减小了 20.23%。由此可知基坑从四周往中

间开挖时,在对基坑四周施加围护结构后,基坑整体刚度增大,有效地抑制了基坑内部土体施工向基坑外部的应力传递。

综上所述,为减小基坑开挖对周边环境及建筑物影响,基坑应尽量从四周往中间进行分步施工。

4 模型正确性验证

基坑在支护开挖期间的监测项目为桩体水平位移、桩顶水平和竖向位移、坑后地表沉降及桩体应力等。桩顶位移监测点及桩体水平位移布置点如图7所示。实际工程采用的开挖方式为工况1。

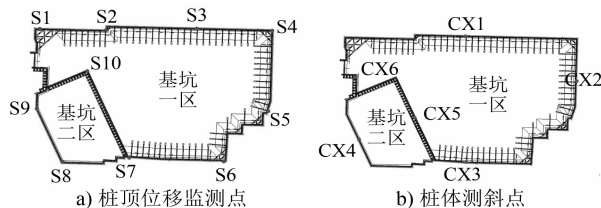


图7 桩体位移监测点布置图

选取桩体水平位移及坑后沉降监测数据与模拟值进行对比,以验证模型的正确性。如图8所示,CX1和CX5处桩体最大水平位移监测值和模拟值均出现在桩顶位置处,分别是9.08 mm和7.21 mm,差值为1.87 mm。在桩身3~18 m处,模拟值与监测值较为接近,拟合度较好,可见桩身位移模拟值较为准确。

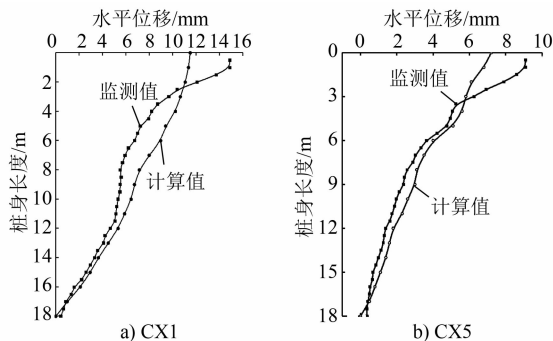


图8 CX1和CX5处桩体水平位移对比图

图9为桩顶位移测点S5处坑后地表位移沉降监测值与模拟值曲线。对比模拟值与监测值可以看出,两者曲线趋势一致,差值较小,说明通过有限元计算得到的地表沉降位移与实际监测值吻合,因此可以得知该模型准确性较好。

5 结论

以某大型建筑基坑工程临近的地铁车站为依托,利用有限元及现场监测手段研究基坑施工对

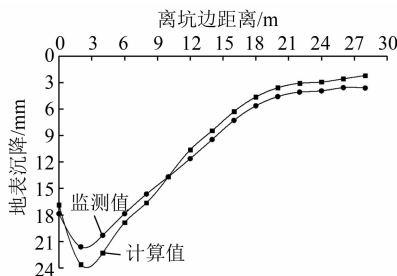


图9 桩顶监测点S5处坑后沉降对比图

临近车站的影响,得到以下结论:

1) 基坑开挖过程中,周边地层出现向基坑内部移动的水平位移,竖向位移主要出现在基坑底部,表现为坑底隆起,且位移最大值都随基坑开挖逐渐增大。

2) 受基坑开挖卸载作用,车站结构在水平方向出现向基坑方向的水平位移,竖直方向出现上浮趋势,且随着开挖的进行位移值也逐渐增大。最大水平位移为0.43 mm,最大上浮位移为1.25 mm。

3) 基坑不同开挖步序下临近地铁车站的变形趋势较为一致,均随着基坑开挖位移值逐渐增大。对基坑四周施加围护结构后,有效地抑制了基坑内部土体施工向基坑外部的应力传递。工况2较工况1开挖步序下临近地铁车站的最大水平位移减小了38.80%,最大竖向位移减小了20.23%。

参考文献

- [1] 朱合华,骆晓,彭芳乐,等.我国城市地下空间规划发展战略研究[J].中国工程科学,2017(6):12.
- [2] 李晓军,刘雨凡,汪宇.城市地下空间数据标准化现状与发展趋势[J].地下空间与工程学报,2017(2):287.
- [3] 宋磊鹏.基坑开挖对既有地铁结构影响的数值分析[J].土工基础,2015(3):141.
- [4] FINNO R J, BLACKBURN J T, ROBOSKI J F. Three-Dimensional Effects for Supported Excavations in Clay[J]. Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, 2007, 133(1): 30.
- [5] 曾远,李志高,王毅斌.基坑开挖对邻近地铁车站影响因素研究[J].地下空间与工程学报,2005(4):642.
- [6] 姚燕明,周顺华,陈力.深基坑开挖对既有地铁车站影响的计算模式分析[J].建筑结构,2003(10):57.
- [7] 沈辉,罗先启,李野,等.深基坑施工对地铁车站影响的数值仿真分析[J].地下空间与工程学报,2011(5):1018.
- [8] 胡云龙.基坑开挖对既有地铁结构变形影响的研究[J].铁道建筑,2013(6):85.
- [9] 吴朝阳.地铁车站基坑施工对邻近建筑物影响的研究[D].长沙:湖南大学,2015.
- [10] 张瑞金,胡奇凡.摩尔库伦和修正摩尔库伦本构有限元模拟结果对比分析[J].中国房地产业,2015(8):256.

(收稿日期:2020-05-29)