

基坑近接分期施工对既有地铁车站的影响分析

张传强, 孔令坤, 乔 南, 马晓真, 王令凯

(济南轨道交通集团有限公司, 济南 250000)

摘要:为研究基坑开挖对临近既有地铁车站结构的影响,以济南某开发项目为例,开展影响程度判定,通过 MIDAS 有限元软件建立三维模型进行数值模拟分析。结果显示,基坑外部作业对既有车站结构的影响等级为特级,基坑开挖引起的既有车站结构最大水平位移为 7.11 mm、最大竖向位移为 14.53 mm。基坑施工过程中对既有车站产生的沉降和位移均满足规范要求,对类似工程具有借鉴意义。

关键词:基坑开挖;既有车站;数值模拟;影响分析

中图分类号:TU941 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)09-0156-06

近年来,随着城市地铁的快速发展,极大带动了沿线周边的地块开发,而城市建设用地、地下空间资源有限,基坑工程近接既有地铁车站结构施工的情况越来越多^[1-4]。基坑开挖会引起周边地层的扰动,不可避免地会对紧邻既有车站结构产生影响。深基坑的施工往往伴随着极强的环境效应,基坑开挖势必引起周围地层应力场的变化,导致周围土体产生变形,对邻近地铁站体结构,严重时将危及其结构安全与正常使用^[5]。数值模拟是研究基坑开挖对临近既有地铁车站结构的影响的常用手段之一。谢秀栋等^[6]采用 FLAC 程序进行模拟,分析在车站和基坑间距不同的情况下施工对车站的位移影响;吕高乐等^[7]运用 ABAQUS 计算软件对双侧深基坑施工地铁车站及盾构隧道变形影响进行研究;海明雷等^[8]利用 PLAXIS 软件分析了深大基坑开挖对车站水平、竖直及总变形的影响;刘远亮^[9]运用 Midas GTS 三维数值模拟软件分析了基坑开挖对邻近地铁隧道的影响;李辉等^[10]利用 Midas GTS 三维数值模拟软件对不同开挖方式对车站的影响进行研究。

老屯站一体化开发项目位于济南市槐荫区,基坑北侧紧邻已运营地铁 2 号线,基坑紧邻已建成 6 号线车站,沿车站四周布置,且项目分为多个基

坑,施工无疑会对因运营已建成车站造成影响。然而,目前对近接多基坑分期施工对既有车站影响研究较少。本文通过 MIDAS 有限元软件建立三维模型进行数值模拟,综合考虑基坑分期施工、地质条件、支护体系等,全面分析基坑开挖对临近既有地铁车站结构的影响。

1 工程概况与施工分期

1.1 工程概况

老屯站一体化开发项目地点为济南市槐荫区张庄路与匡山小区中路交叉口西南侧,工程用地面积约 13 986 m²,总建筑面积约 78 000 m²,开发项目由塔楼及商业裙房组成。拟建工程地下基坑工程分为三期进行开挖施工。一期基坑开挖深度 25 m,采用钻孔灌注桩+四道/五道内支撑支护,二期基坑开挖深度 17.9 m,采用钻孔灌注桩+三道内支撑支护,三期基坑开挖深度 17.9 m,采用钻孔灌注桩+三道内支撑支护。

1.2 与既有地铁位置关系

一体化开发项目地下为济南轨道交通 6 号线老屯站地铁站,工程北侧为已运营 2 号线老屯站,6 号线与 2 号线老屯站为相互换乘关系,基坑与地铁隧道相对位置关系如图 1 所示。6 号线老屯站为地下三层岛式站台车站,车站主体结构总长 130 m,标准

收稿日期:2022-05-31

基金项目:山东省自然科学基金(ZR2021MD102);山东省住房和城乡建设科技计划项目(2022-K3-7)。

作者简介:张传强(1989—),男,山东临沂人,济南轨道交通集团有限公司,工程师,研究方向为轨道交通工程建设、基坑施工;孔令坤(1983—),男,山东临沂人,济南轨道交通集团有限公司,高级工程师,硕士,研究方向为工程建设;乔南(1989—),男,山东泰安人,济南轨道交通集团有限公司,中级工程师,硕士,研究方向为轨道交通;马晓真(1994—),女,山东泰安人,济南轨道交通集团有限公司,助理工程师,研究方向为工程管理;王令凯(1998—),男,山东济南人,济南轨道交通集团有限公司,助理工程师,研究方向为工程管理。

段宽度 23.3 m。车站为双柱三跨,顶板板厚 800 mm,中板板厚 400 mm 与 500 mm,底板板厚 1 200 mm。车站埋深 24.8~26.2 m。2 号线老电 站为地下二层岛式站台车站,车站主体总长为 486.8 m,车站宽度为 19.123.3 m,顶板板厚 900 mm,中板板厚 400 mm,底板板厚 1 000 mm。车站埋深 18.30~25.12 m,站台中心处顶板覆土约 3.45 m。

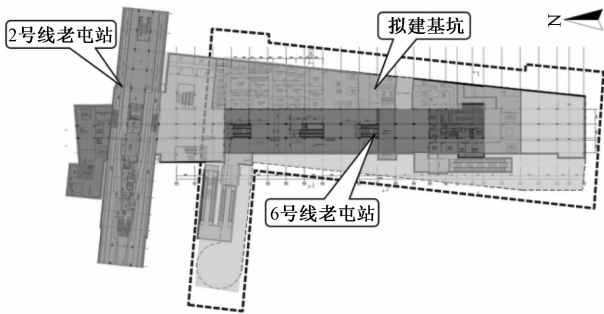


图 1 拟建基坑与既有车站结构位置关系

1.3 基坑施工分期

拟建基坑施工分期如图 2 所示。一期施工 6 号 线车站主体南北两个部位,分别为一期北侧为换乘 厅 A 基坑及一期南南侧基坑;二期施工换乘厅 B 基 坑;三期施工 6 号线车站主体东西两侧基坑。

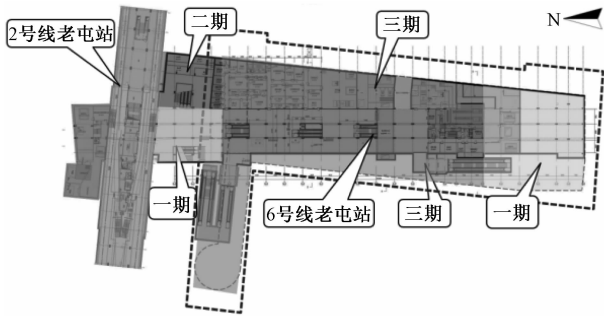


图 2 拟建基坑施工分期

2 风险判定

2.1 近接程度划分

一期基坑与 2、6 号线老电 站主体相对净距为 0 m,2、6 号线老电 站主体结构埋深 H 为 18.3~ 26.2 m,相对净距小于 $0.5H$,判定接近程度为非常 接近。

二期基坑与 2、6 号线老电 站主体相对净距为 0 m,相对净距均小于 $0.5H$,判定接近程度为非常 接近。

三期西基坑与 2、6 号线老电 站主体相对净距为 0 m,相对净距小于 $0.5H$,判定接近程度为非常

接近。

三期东基坑与 2、6 号线老电 站主体相对净距为 0 m,相对净距小于 $0.5H$,判定接近程度为非常 接近。

2.2 外部作业的工程影响分区

一期基坑开挖深度 h 约 25 m,基坑范围距离车 站主体结构外侧间距小于 $0.7h$,判定为强烈影响区 (A)。

二期基坑开挖深度 h 约为 17.9 m,基坑范围距 离车站主体结构外侧间距均小于 $0.7h$,判定为强烈 影响区(A)。

三期西基坑开挖深度 h 约为 17.9 m,基坑范围 距离车站主体结构外侧间距小于 $0.7h$,判定为强烈 影响区(A)。

三期东基坑开挖深度 h 约为 17.9 m,基坑范围 距离车站主体结构外侧间距小于 $0.7h$,判定为强烈 影响区(A)。

综合接近程度及外业作业影响分区,确定老电 站一体化开发项目对济南轨道交通 2、6 号线老电 站的影响等级为特级。

3 有限元模拟分析

3.1 模型建立及参数设置

地基土模型尺寸取为: $x=300\text{ m}$, $y=450\text{ m}$, z 向定义为竖向,尺寸设置为 80 m。围护桩内采用混 凝土内支撑,围护桩和内支撑相关信息参考前文基 坑支护概况。

车站顶底板、采用 2D 单元,钻孔灌注桩、基坑 格构柱、基坑内支撑和地下室柱等采用 1D 梁单元, 建立桩界面与桩端模拟钻孔灌注桩与土体之间的 相互作用。本次建模过程中,土体采用实体单元建 模,其物理参数见表 1,并采用摩尔库仑本构模型。

表 1 土层力学参数

土体	重度 $\gamma/$ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	黏聚力 $c/$ kPa	内摩擦角 $\varphi/(^\circ)$	压缩模量 E_{s1-2}/MPa
① ₂ 杂填土	18.0	5	15	
⑦ ₁ 粉质黏土	19.3	33	17	5.6
⑩ ₁ 粉质黏土	19.0	33	18	5.9
⑭ ₁ 粉质黏土	19.2	30	17	6.5
⑲ ₁ 全风化闪长岩	18.2	40	17	5.5
⑲ ₃ 中风化闪长岩	25	—	—	可视为不 可压缩层

3.2 基坑施工步序

对基坑开挖、基坑回填施工阶段进行划分,相 应分析步共设置 6 步,见表 2。

表 2 基坑施工步骤

序号	简述
1	添加既有建构筑物,建立 2、6 号线车站主体结构,添加边界条件及重力
2	消除因车站结构施工造成的地层位移影响
3	施作一、二、三期围护桩
4	一期基坑施工
4.1	一期基坑开挖第一层土体,施作第一层支撑及冠梁
4.2	一期基坑开挖第二层土体,施作第二层支撑及腰梁
4.3	一期基坑开挖第三层土体,施作第三层支撑及腰梁
4.4	一期基坑开挖第四层土体,施作第四层支撑及腰梁
4.5	一期基坑开挖到基坑底部
4.6	一期结构回筑
5	二期基坑施工
5.1	二期基坑开挖第一层土体,施作第一层支撑及冠梁
5.2	二期基坑开挖第二层土体,施作第二层支撑、附加撑及腰梁
5.3	二期基坑开挖第三层土体,施作第三层支撑及腰梁
5.4	二期基坑开挖到基坑底部
5.5	二期结构回筑
6	三期基坑施工
6.1	三期西侧基坑开挖第一层土体,施作第一层支撑及冠梁
6.2	三期西侧基坑开挖第二层土体,施作第二层支撑、附加撑及腰梁
6.3	三期西侧基坑开挖第三层土体,施作第三层支撑及腰梁
6.4	三期西侧基坑开挖到基坑底部
6.5	三期西侧结构回筑
6.6	三期东侧基坑开挖第一层土体,施作第一层支撑及冠梁
6.7	三期东侧基坑开挖第二层土体,施作第二层支撑、附加撑及腰梁
6.8	三期东侧基坑开挖第三层土体,施作第三层支撑及腰梁
6.9	三期东侧基坑开挖到基坑底部
6.10	三期东侧结构回筑

4 结果分析

4.1 计算结果

基坑开挖会对紧邻既有车站结构产生影响。由图 3、图 4 可知,一期基坑施工引起的既有车站结构的水平最大位移为 -2.28 mm,最大隆起为 2.44 mm。2 期基坑施工过程中,车站主体结构的最大水平位移-1.43 mm,位于 2 号线主体底板东侧,最大隆起为 2.51 mm,位于 2 号线主体底板临近开挖侧。

为研究施工工序对既有结构的影响,三期基坑施工设计了第二种开挖方案,先施工东侧基坑再施工西侧基坑。由图 5~图 8 可知:在第一种开挖方案工况下,车站主体结构的最大水平位移-4.97 mm,发生在中二板临近开挖侧,最大隆起为 14.8 mm,位于 6 号线主体临近开挖侧;在第二种开挖工况下,车站主体结构的最大水平位移为 7.11 mm,发生在 6 号线主体临近开挖侧。车站结构的最大隆起为 14.53 mm,位于 6 号线主体临近开挖侧。

计算结果汇总见表 3。

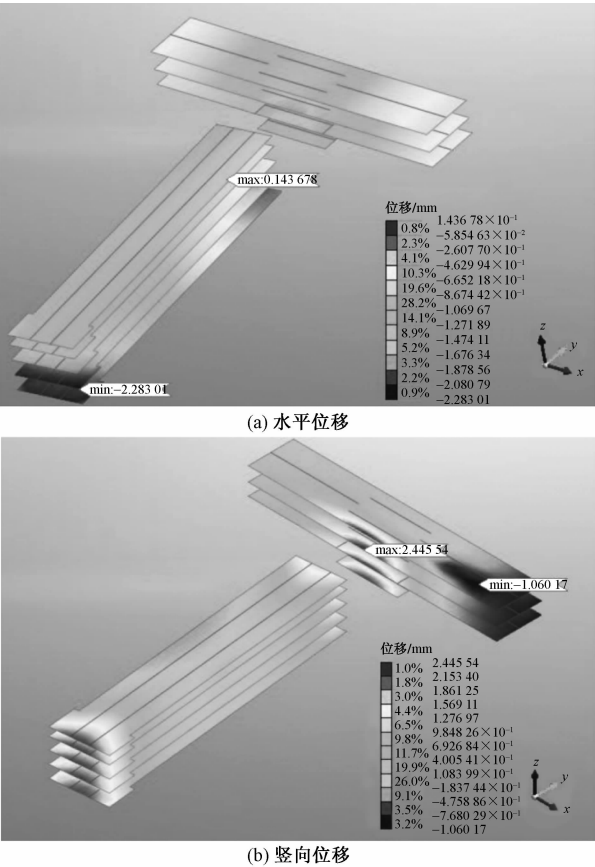


图 3 一期基坑施工时既有车站结构最大位移

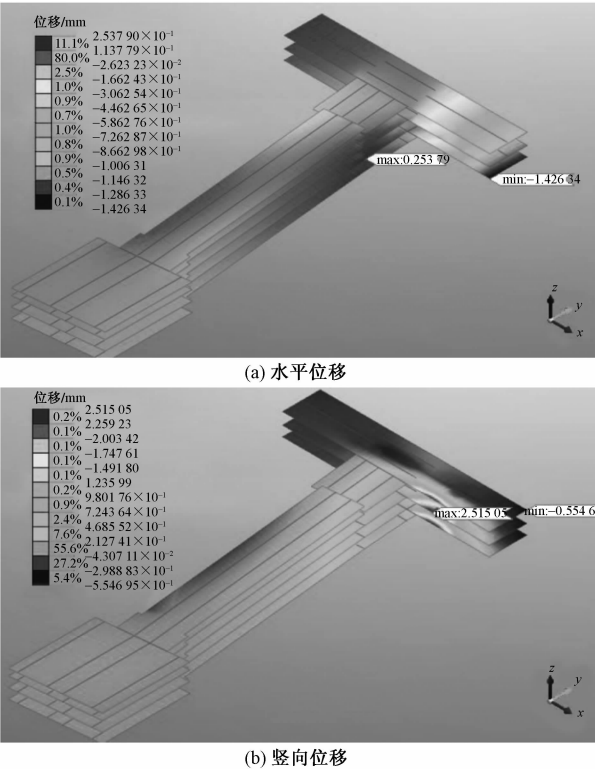
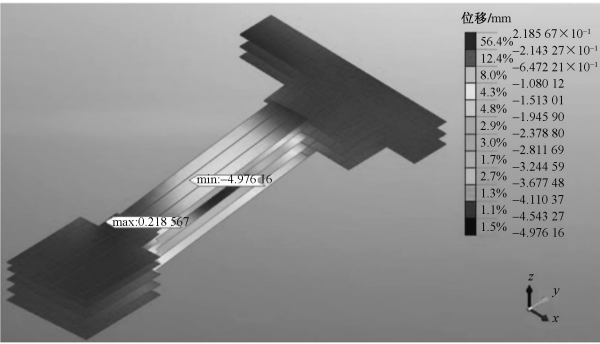
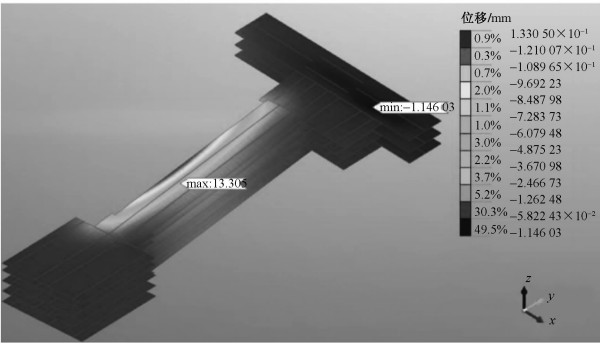


图 4 二期基坑施工时既有车站结构最大位移

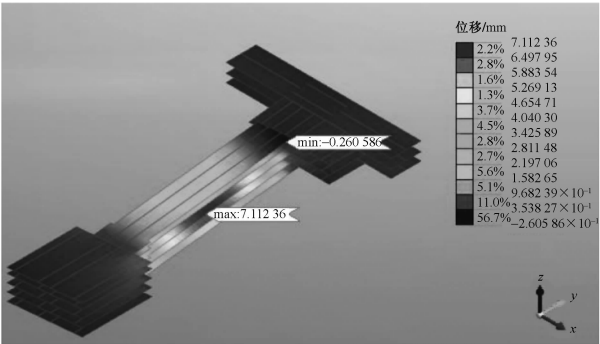


(a) 水平位移

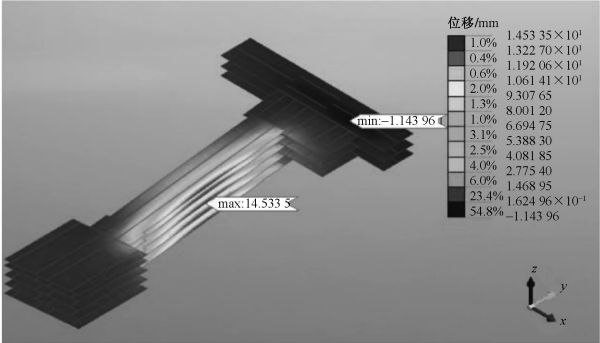


(b) 竖向位移

图 5 三期西侧基坑施工时(方案 1)既有车站结构最大位移

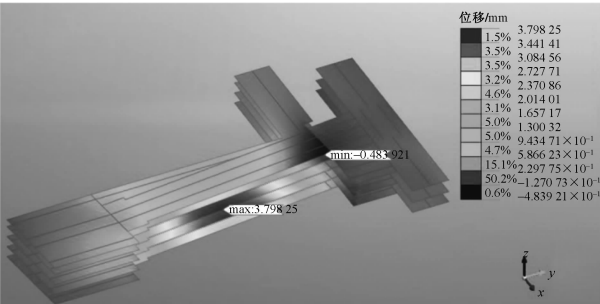


(a) 水平位移

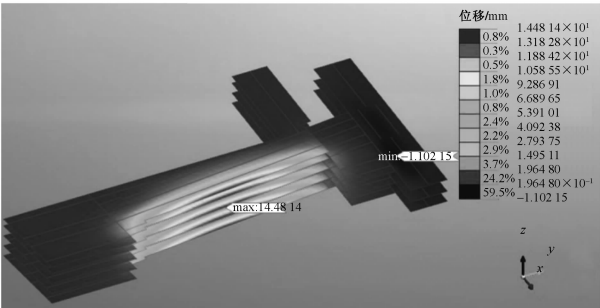


(b) 竖向位移

图 7 三期东侧基坑施工时(方案 2)既有车站结构最大位移

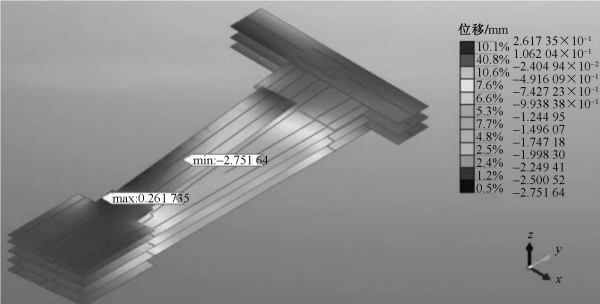


(a) 水平位移

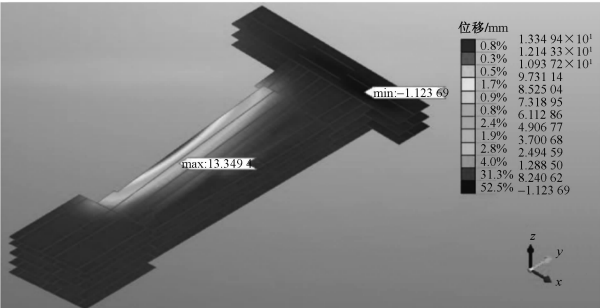


(b) 竖向位移

图 6 三期东侧基坑施工时(方案 1)既有车站结构最大位移



(a) 水平位移



(b) 竖向位移

图 8 三期西侧基坑施工时(方案 2)既有车站结构最大位移

表 3 计算结果汇总

工序	最大位移/mm		位置
	水平 x 轴方向	0.68	6 号线主体顶板南侧
一期施工	水平 y 轴方向	-2.28	6 号线主体中三板南侧
	竖直 z 轴方向	2.44	2 号线主体临近开挖侧
二期施工	水平 x 轴方向	-1.0	2 号线主体临近开挖侧
	水平 y 轴方向	-1.43	2 号线主体临近开挖侧
	竖直 z 轴方向	2.51	2 号线主体临近开挖侧

续表 3

工序		最大位移/mm		位置
三期施工(方案 1)	西侧基坑开挖	水平 x 轴方向	-4.97	6 号线中二板临近开挖侧
		水平 y 轴方向	-2.67	6 号线顶板南侧靠近开挖侧
		竖直 z 轴方向	13.31	6 号线主体临近开挖侧
	东侧基坑开挖	水平 x 轴方向	3.8	6 号线主体中二板临近开挖侧
		水平 y 轴方向	-2.32	6 号线顶板南侧靠近开挖侧
		竖直 z 轴方向	14.48	6 号线主体临近开挖侧
三期施工(方案 2)	东侧基坑开挖	水平 x 轴方向	7.11	6 号线主体中二板临近开挖侧
		水平 y 轴方向	2.54	6 号线顶板北侧靠近开挖侧
		竖直 z 轴方向	14.53	6 号线主体临近开挖侧
	西侧基坑开挖	水平 x 轴方向	-2.75	6 号线主体中二板临近开挖侧
		水平 y 轴方向	-2.09	6 号线顶板南侧靠近开挖侧
		竖直 z 轴方向	13.35	6 号线主体临近开挖侧

4.2 基坑开挖对既有车站影响分析

根据计算结果分析,在相同工况下,基坑开挖深度越深,基坑开挖宽度越大,对既有结构水平方向位移影响越大,水平方向最大变形量出现在基坑开挖面偏上位置。基坑开挖尺寸越大,对既有结构隆起位移越大。

对比三期基坑两种开挖方案的施工工况下的位移数据分析,东西两侧基坑的先后开挖对既有结构的影响规律基本一致。东侧基坑开挖水平 x 轴方向位移数据有所差异,产生这种差异的原因是二期基坑与三期东侧基坑位于车站结构的同一侧,先后顺序开挖对车站结构的影响叠加,二期基坑施工完后进行三期西侧基坑施工可以抵消部分二期基坑施工产生的位移影响。

对比一期基坑与三期东西基坑施工对车站结构影响的计算结果分析,与地铁结构接触面越大的基坑施工对既有结构的影响越大。

5 结论

1)通过对老屯站一体化开发项目与济南地铁 2、6 号线老屯站主体结构相对关系分析,对其影响程度进行评价,一期、二期、三期基坑开挖作业对地铁 2、6 号线老屯站主体结构影响等级为特级。

2)根据有限元模拟分析结果,老屯站一体化开发项目基坑及主体施工对济南地铁 2 号线老屯站主体结构影响的最大水平位移为 1.43 mm,最大竖向位移为 2.51 mm,最大位移发生在二期基坑开挖时,发生位置为 2 号线老屯站临近开挖侧;对济南地铁 6 号线老屯站主体结构影响的最大水平位移为 7.11 mm,最大竖向位移为 14.53 mm,最大位移发生在三期东基坑开挖时,发生位置为 6 号线老屯站临近开挖侧。

3)基坑开挖引起地铁车站结构的变形、隆起等

指标均小于《城市轨道交通结构安全保护技术规范》中相应规定的限制值,满足要求。

4)三期东西基坑与车站结构接触面较长,建议增设分隔墙,采取分基坑跳仓施工,分散减少对车站结构的影响。为了进一步减小对主体的偏压影响,建议在满足现场既有施工条件的情况下,6 号线三期两侧基坑对称开挖。

参考文献

[1] 马乾瑛,毛念华,赵均海,等. 基坑开挖对已建地铁站结构的安全性影响研究[J]. 铁道工程学报, 2014, 31(4): 107-112.

[2] 尚国文,翟超,邢卫民,等. 基坑开挖与邻近地铁结构变形相关性的实测分析[J]. 防灾减灾工程学报, 2020, 40(1): 107-115.

[3] 陈忠暖,冯越,江锦. 地铁站点周边的商业集聚及其影响因素[J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2013, 45(6): 189-195.

[4] 蒋志珍. 多基坑同时施工对相邻地铁线路的叠加效应影响及控制措施[J]. 城市轨道交通研究, 2017, 20(10): 102-105.

[5] 刘庆晨,宋昭煌,刘金涛. 基坑开挖对坑内新建地铁车站变形的影响机理及控制措施研究[J]. 施工技术, 2017, 46(S2): 12-17.

[6] 谢秀栋,刘国彬,李志高,等. 邻近运营地铁车站基坑开挖土层位移特性分析[J]. 地下空间与工程学报, 2007(4): 742-744.

[7] 吕高乐,易领兵,杜明芳,等. 软土地区双侧深基坑施工对邻近地铁车站及盾构隧道变形影响的分析[J]. 地质力学学报, 2018, 24(5): 682-691.

[8] 海明雷,孙玉永,王炳龙. 深大基坑开挖对邻近地铁车站影响研究[J]. 华东交通大学学报, 2009, 26(1): 7-11.

[9] 刘远亮. 基坑开挖对邻近地铁隧道影响的 Midas GTS 三维数值模拟分析[J]. 探矿工程: 岩土钻掘工程, 2013, 40(1): 70-72.

[10] 李辉,杨罗沙,李征,等. 基于 MIDAS/GTS 对地铁站超深基坑空间效应的研究[J]. 铁道建筑, 2011(4): 83-85.

Analysis on the Influence of Adjacent Phased Construction of Foundation Pit on Existing Subway Station

ZHANG Chuanqiang, KONG Linkun, QIAO Nan, MA Xiaozhen, WANG Lingkai

(Jinan Rail Transit Group Co., LTD., Jinan 250000, China)

Abstract: In order to study the influence of foundation pit excavation on the structure of adjacent existing subway stations, taking a development project in Jinan as an example, the influence degree is determined, and a three-dimensional model is established by MIDAS finite element software for numerical simulation analysis. The results show that the influence level of external operation of foundation pit on the existing station structure is special, and the maximum horizontal displacement and maximum vertical displacement of the existing station structure caused by foundation pit excavation are 7.11 mm and 14.53 mm respectively. The settlement and displacement of the existing station in the process of foundation pit construction meet the specification requirements, which can be used as a reference for similar projects.

Keywords: foundation pit excavation; existing stations; numerical simulation; impact analysis