

换乘站明挖施工对既有车站的影响分析

赵东振

上海市隧道工程轨道交通设计研究院, 安徽 合肥 230001

[摘要] 以上海轨道交通某换乘站施工为背景, 采用 MIDAS GTS NX 软件模拟了换乘节点两侧基坑开挖及内部结构回筑的全过程。通过数值模拟分析新建车站明挖施工时的地层沉降、围护变形及既有车站结构变形, 为新建车站施工提供理论指导, 并为基坑及既有车站的监测控制提供参考。

[关键词] 车站; 明挖; 影响分析; 沉降

DOI: 10.33142/ec.v3i1.1342

中图分类号: U231.3

文献标识码: A

Analysis on the Influence of Open Excavation Construction in Transfer Station on Existing Station

ZHAO Dongzhen

Shanghai Tunnel Engineering & Rail Transit Design and Research Institute, Hefei, Anhui, 230001, China

Abstract: Based on the construction of a transfer station in Shanghai rail transit, MIDAS GTS NX software is used to simulate the whole process of excavation of foundation pit on both sides of the transfer node and internal structure reconstruction. Through numerical simulation, this paper analyzes the stratum settlement, enclosure deformation and existing station structure deformation during the open excavation construction of new station, and provides theoretical guidance for the construction of new station, as well as a reference for the monitoring and control of foundation pit and existing station.

Keywords: station; open excavation; impact analysis; settlement

引言

由于城市建设和轨道交通的飞速发展, 轨道交通线网的交叉越来越多, 换乘站施工也越来越普遍, 新建车站基坑开挖必然会引起既有车站结构的变形, 因此研究换乘站施工对既有车站结构的影响具有十分重要的意义, 并引起了国内外学者越来越多的重视。在理论公式方面, 以 Peck 公式应用最多、范围最广^[1], Attewell 等(1982)提出了地表纵向沉降经验公式^[2], 刘建航等(1981)提出了地表横向沉降经验公式^[3]。在数值模拟方面, 董发俊等以深圳市新建轨道交通 7 号线福民站工程为例, 研究采用盖挖逆作法进行新建车站施工对既有 4 号线福民站结构变形的影响规律^[4]。杨庆刚以临近既有 2 号线莫愁湖站的南京地铁 7 号线新建莫愁湖站基坑施工为实例, 运用有限元软件对施工过程进行了建模分析, 提出了相应处置措施^[5]。韦永美等结合某数字研发大厦基坑设计及开挖方案, 采用大型有限元通用软件 A B A Q U S 进行数值模拟计算, 分析基坑开挖设计方案的可行性以及对既有车站的影响^[6]。徐腾飞以红谷滩中央金融大街基坑工程项目毗邻南昌地铁 1、2 号线换乘站—地铁大厦站为研究基础, 采用有限元方法进行数值模拟分析, 对各近接工程控制因素所带来的风险进行评估^[7]。

本文以上海轨道交通某换乘站明挖施工为例, 通过建立三维有限元模型对换乘站明挖施工引起的既有车站结构变形进行数值模拟分析, 并对地表沉降、围护变形及既有车站结构变形进行了预测, 从而为现场施工和监测提供理论指导和参考。

1 工程概述

1.1 工程概况

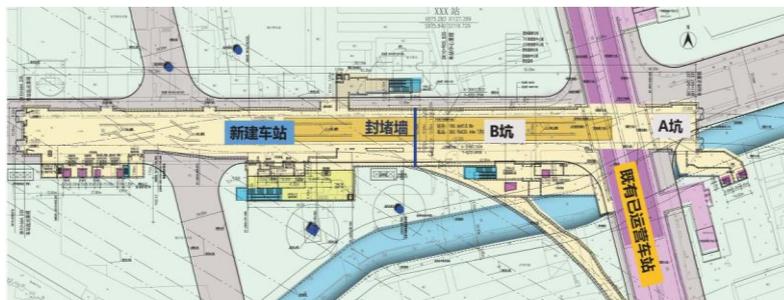


图 1 车站总平面布置图

该换乘站位于上海市某核心区域，既有车站呈南北向布置，全长 430.08m，站台中心处理深约 15.5m，主体为地下二层，采用双层双柱三跨钢筋混凝土箱形结构，地下墙与内衬墙采用叠合式构造一起作为使用阶段的侧墙。新建车站呈东西向布置，与既有车站“T”字换乘，换乘节点已实施。新建车站主体规模 383.1m×20.44m，标准段基坑深约 23.52m，地下三层，采用双柱三跨箱型结构。

根据场地特点及工程筹划，在主体基坑中部增设一道临时封堵墙，一期施工 A 坑和封堵墙西侧主体基坑，二期施工 B 坑，本文主要是分析 A 坑及 B 坑开挖对既有车站的影响。该车站总平面布置如图 1 所示。

1.2 地质条件

车站施工场地范围内，土层自上而下依次为①1-1 层杂填土；②1 层褐黄~灰黄色粉质粘土；③层粉质粘土夹粉性土；④层灰色淤泥质粘土；⑤层灰色粘土；⑥层暗绿~草黄色粉质粘土；⑦1-2 层草黄~灰黄色砂质粉土；⑦2 层灰黄~灰色粉砂；⑧1 层灰色粘土。

本场地下水可分为地表水、潜水及承压水三类。地表水体主要为现状河道；潜水水位埋深一般离地表面约 0.3~1.5m，受降雨、地表水的影响有所变化；第⑦1-2 层草黄~灰黄色砂质粉土及第⑦2 层灰黄~灰色粉砂，为承压水含水层，承压水水头埋深在地表下 3~11m。

2 基坑开挖对既有车站的影响分析

2.1 基坑支护及开挖工况

基坑围护结构采用 1000mm 厚地下连续墙，沿深度方向设六道支撑。其中第一、四道为钢筋混凝土支撑，其余均为 $\Phi 609$ ($t=16\text{mm}$) 钢管支撑。为控制基坑变形，减小对基坑周边环境的影响，第四道砼支撑及坑底以下 3m 采用裙边+抽条旋喷加固，换乘节点两侧各 1.5m 自第四道砼支撑底至地连墙底深度范围采用 MJS 工法加固。

主要开挖及回筑步骤如下：1) 开挖基坑至顶圈梁底，浇筑顶圈梁及第一道钢筋砼支撑；2) 依次开挖并架设各道支撑直至坑底；3) 浇筑底板，待其达到设计强度后，拆除第六道支撑；4) 回筑下三层侧墙和下二层板，待下二层板达到强度后，凿除第四道砼支撑；5) 向上浇筑内衬至第三道支撑下，拆除第三道支撑后浇筑下一层板混凝土，待其达到设计强度后，拆除第二道支撑；6) 继续向上浇筑内衬至顶板底，待顶板混凝土达到设计强度后，拆除第五道钢支撑及第一道砼支撑。

2.2 计算模型的建立

该项目采用 MIDAS GTS NX 进行建模。为了较准确的反映基坑开挖卸载对既有车站产生的附加变形影响，计算分析采用了弹性有限元分析方法，以便模拟基坑围护体系与土体间的相互作用、土体自身的弹性特点以及实际开挖工况等非线性因素。

用连续介质有限元法计算时，为简化计，岩土介质可根据不同情况和不同要求选择不同的本构模型。目前广泛用于实际岩土工程计算的本构模型主要有线弹性、非线性弹性、弹塑性和粘弹塑性等几种。在本文的计算中，环境要求地基的沉降很小，由土体塑性而引起的塑性应变也很小，故本文计算采用的模型为线弹性土体模型。建模范围含换乘节点东侧端头井基坑 (A 坑)、换乘节点西侧至封堵墙范围标准段基坑 (B 坑)、换乘节点南北两侧各 50 米范围内的既有车站结构及周围土体，模型平面尺寸约 165×125m，深度取 60 米，根据以往工作经验和实测数据以及本工程的规模，此范围已基本满足模拟土体的半无限体特性。

计算采用的各土层物力学性质参数见表 1，所建立的有限元模型见图 2、图 3。

表 1 地层力学性质参数表

材料类型	重度 kN/m ³	压缩模量 Es/MPa	静止侧压力系数 Ko	粘聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/^\circ$
②1 层褐黄~灰黄色粉质粘土	18.5	5.1	0.47	17	20.5
③层粉质粘土夹粉性土	17.8	4.5	0.44	--	--
④层灰色淤泥质粘土	16.8	2.16	0.62	13	11
⑤层灰色粘土	17.7	3.26	0.51	16	13
⑥层暗绿~草黄色粉质粘土	19.7	6.98	0.36	27	21.5
⑦1-2 层草黄~灰黄色砂质粉土	18.8	11.46	0.28	--	--
⑦2 层灰黄~灰色粉砂	18.9	13.53	0.22	--	--
⑧1 层灰色粘土	18.4	4.96	0.46	24	22.9

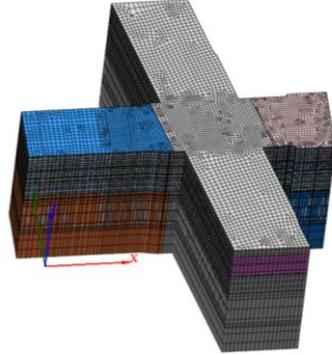


图2 整体有限元模型图(一)

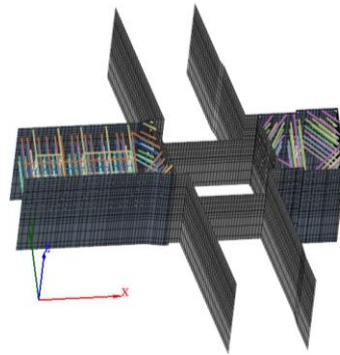


图3 整体有限元模型图(二)

2.3 计算结果分析

2.3.1 基坑开挖引起的围护和既有结构变形

1) A坑开挖并回筑完成

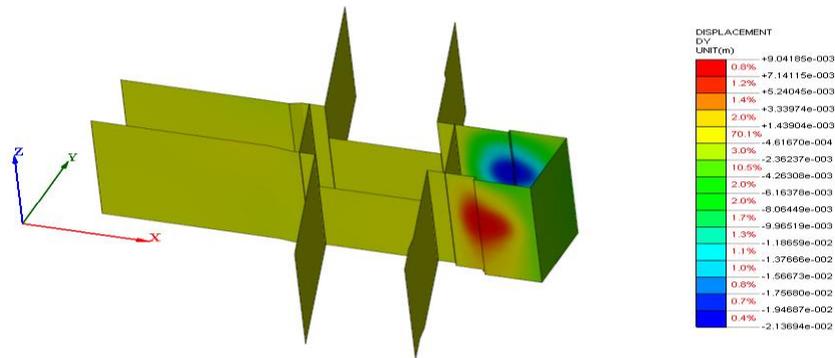


图4 A坑开挖及回筑工况地下墙Y向变形云图

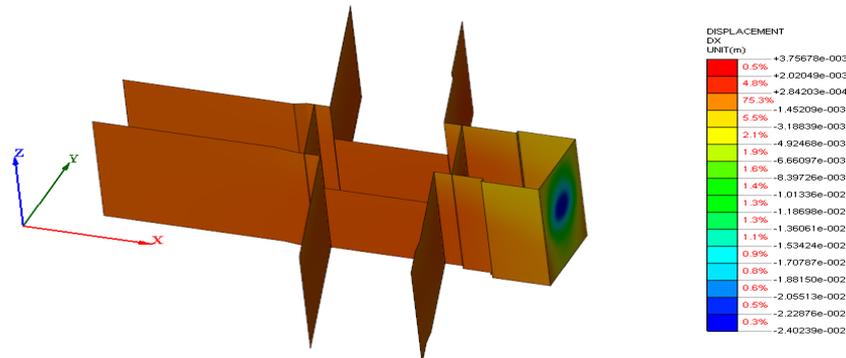


图5 A坑开挖及回筑工况地下墙X向变形云图

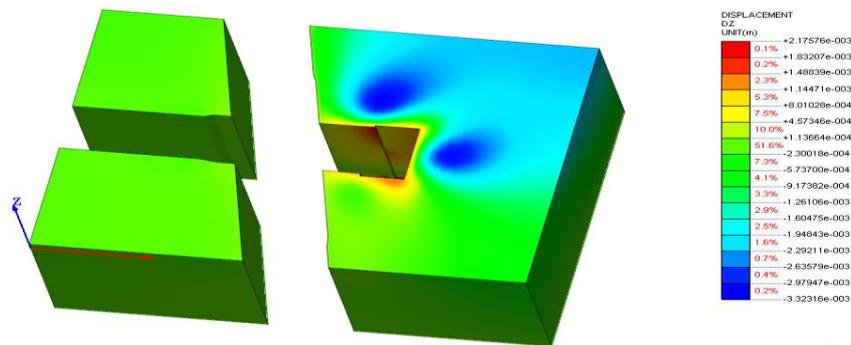


图6 A坑开挖及回筑工况端头井周边地表沉降云图

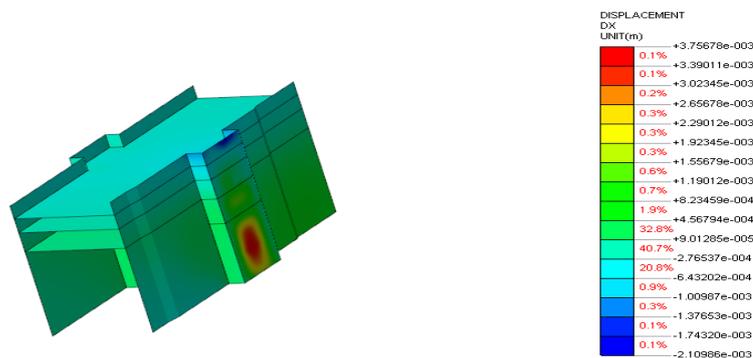


图7 A坑开挖及回筑工况11号线结构X向变形云图

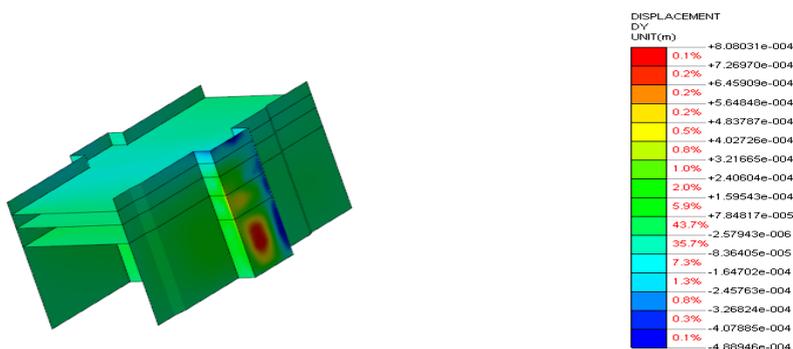


图8 A坑开挖及回筑工况11号线结构Y向变形云图

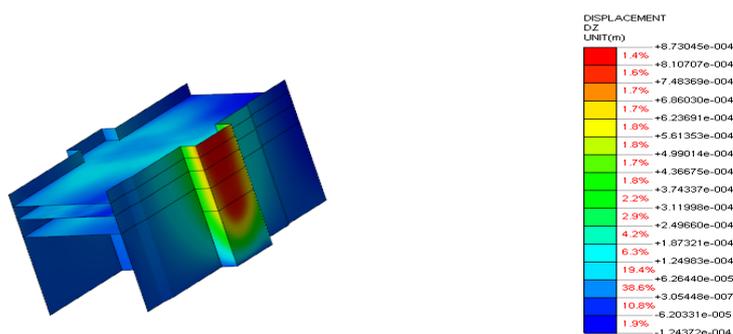


图9 A坑开挖及回筑工况11号线结构Z向变形云图

A坑开挖并回筑内部结构后，围护结构的最大X向水平位移为24.0mm，最大Y向水平位移为21.4mm，既有车站结构的最大水平向变形为3.8mm，最大的竖向变形为0.9mm，地表的最大沉降变形为3.3mm。

2) B坑开挖并回筑完成

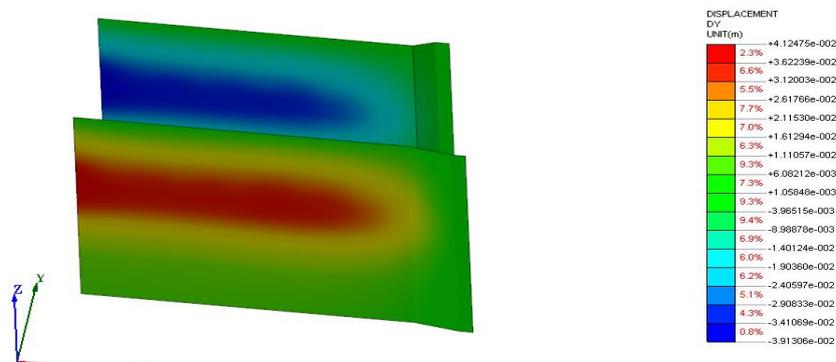


图10 B坑开挖及回筑工况地下墙Y向变形云图

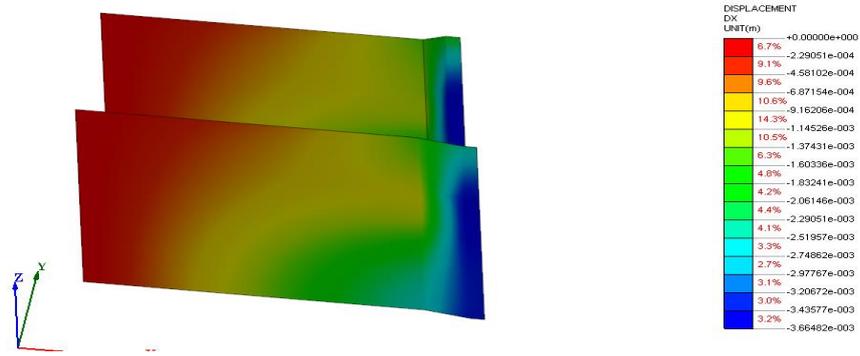


图 11 B 坑开挖及回筑工况地下墙 Y 向变形云

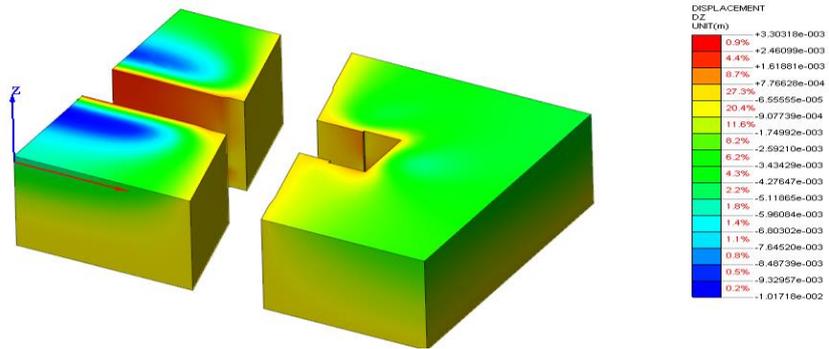


图 12 B 坑开挖及回筑工况端头井周边地表沉降云图

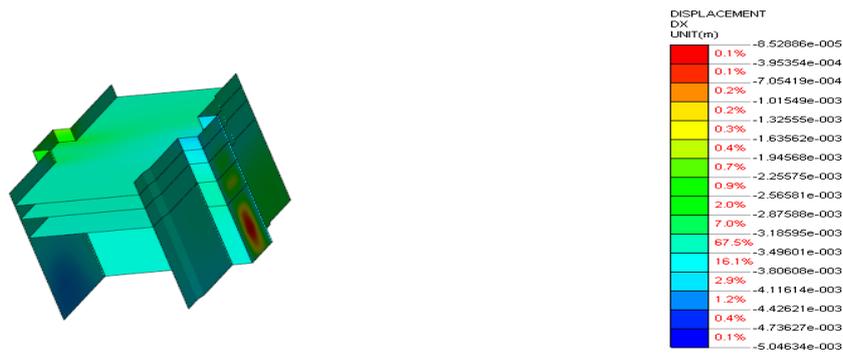


图 13 B 坑开挖及回筑工况 11 号线结构 X 向变形云图

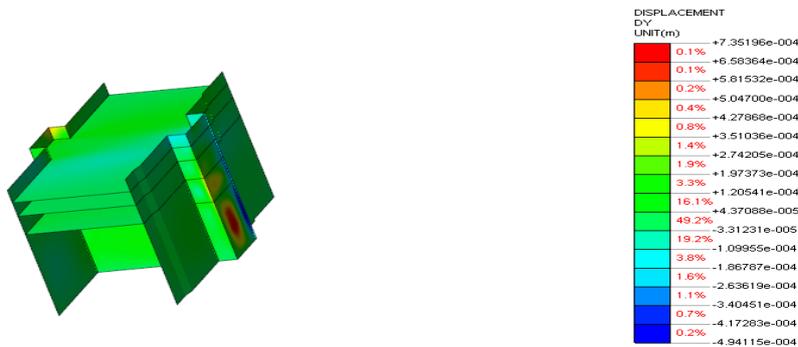


图 14 B 坑开挖及回筑工况 11 号线结构 Y 向变形云图

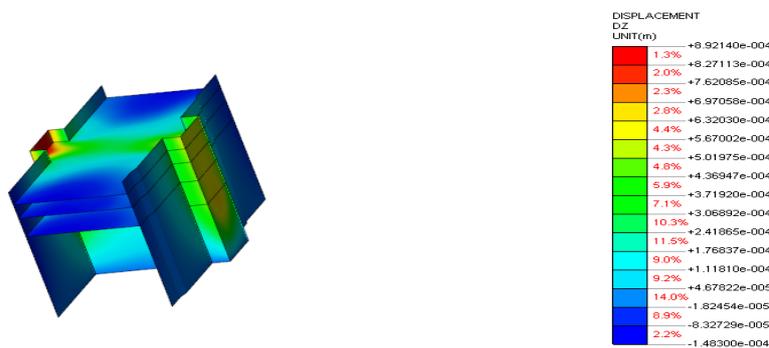


图 15 B 坑开挖及回筑工况 11 号线结构 Z 向变形云图

B 坑开挖并回筑内部结构后, 围护结构的最大 X 向水平位移为 3.7mm, 最大 Y 向水平位移为 27.6mm, 既有车站结构的最大水平向变形为 5.1mm, 最大的竖向变形为 0.9mm, 地表的最大沉降变形为 10.2mm。

2.3.2 变形控制标准及计算结果分析

根据周边环境条件, 新建车站基坑的环境保护等级为一级, 即基坑开挖期间, 地面最大沉降量 $\leq 0.1\%H$, 围护结构最大水平位移 $\leq 0.14\%H$, H 为基坑开挖深度。根据《上海轨道交通管理条例》、《上海市地铁沿线建筑施工保护地铁技术管理暂行规定》及《上海申通地铁有限公司轨道交通运营安全保护区作业方案技术审查意见》(沪轨 172016(37)), 地铁保护等级为一级, 地铁结构的沉降(或隆起)变化累计量和水平位移变化累计量 $< 10\text{mm}$ 。

由以上计算可知, 基坑围护结构墙身最大水平位移为 $27.6\text{mm} < 0.14\%H = 33.2\text{mm}$, 地表的最大沉降变形为 $10.2\text{mm} < 0.10\%H = 23.7\text{mm}$, 满足一级基坑的变形控制要求。既有车站结构最大水平和竖向位移分别为 5.1 和 0.9mm, 发生在 B 坑开挖并回筑完成后, 也可满足相关要求。

3 监测结果对比分析

车站东端头 A 坑 2018 年 4 月 3 日开挖, 2018 年 8 月 21 日结构封顶, 主体标准段 B 坑 2018 年 12 月 11 日开挖, 2019 年 7 月 5 日结构封顶。在基坑开挖过程中, 对既有车站结构采取了自动化监测, 监测数据显示: 1) 除了基坑边测点竖向变形较大(但均在 3mm 以内), 其余测点竖向变形很小, 基本在 1~1.5mm 左右, 与计算结果基本相符。2) A-2 和 B 坑开挖及回筑期间既有车站结构会产生向基坑方向的横向变形, 最大为 6.7mm, 发生在下三层侧墙中部, 符合数值计算的预期趋势。

4 结论和建议

本文利用 MIDAS GTS NX 建立数值模型, 对换乘站明挖施工引起的既有车站变形进行计算分析, 形成以下结论和建议:

- 1) 通过数值模拟计算和分析表明, 新建车站基坑开挖对既有已运营车站结构的影响能控制在正常变形的范围内, 满足控制标准要求。
- 2) 数值模拟结果与现场监测结果对比分析表明二者变化趋势相吻合, 说明数值模型的建立及模拟方法是合理的, 可为类似工程提供参考。
- 3) 施工过程中建议加强对支护结构和既有车站的监测, 采用信息化施工, 确保基坑和既有车站的安全。

[参考文献]

[1] Peck RB. Deep Excavations and Tunneling in Soft Ground [C]. Mexico City: State of the Art Report, 1969.
[2] Attewell PB, Woodman JE. Predicting the dynamic of ground settlement and its derivatives caused by tunnelling in soil [J]. Ground Engineering, 1982, 15(8): 13-20.
[3] 刘建航, 侯学渊. 盾构法隧道 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1991.
[4] 董发俊, 胡安奎, 张社荣, 宋冉, 尚超. 新建车站盖挖逆作法施工对既有车站的变形影响分析 [J]. 城市轨道交通研究, 2017(06).
[5] 杨庆刚. 临近既有城市轨道交通工程的基坑施工影响分析 [J]. 工程建设与设计, 2017(24).
[6] 韦永美, 王睿, 胡文婷. 基坑开挖对既有地铁车站的影响分析 [J]. 工程建设与设计, 2018(04).
[7] 徐腾飞. 基坑开挖对近接地铁车站影响的数值分析 [J]. 土工基础, 2019(04).

作者简介: 赵东振 (1986.5-), 男, 中南大学, 土木工程, 上海市隧道工程轨道交通设计研究院, 结构设计, 工程师。