

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2018.05.013

# 基坑施工对紧邻地铁结构安全性的影响分析

张 祁, 张 敏

(天津市勘察院, 天津 300191)

**摘 要:** 既有地铁结构会因邻侧的基坑开挖卸荷而产生变形, 影响地铁结构的正常使用和安全性能。因此, 评估基坑工程对邻近地铁结构安全性的影响尤为重要。基于该基坑的施工过程, 使用有限元软件 PLAXIS 3D 进行数值模拟, 评估该项目基坑工程对地铁结构安全性的影响。结果表明, 基坑周围地铁结构的位移随着土体开挖过程进行而增大。此外, 地铁结构的竖向位移受基坑降水影响较小, 其轴力和弯矩在施工过程中保持稳定。研究成果可以为该项目工程影响评估提供有效的参考依据。

**关键词:** 基坑开挖; 地铁结构; 数值模拟; 变形; 影响评估

中图分类号: TU433

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2018)05-0072-06

## The Influence of Pit Construction on Safety of Adjacent Subway Structure

ZHANG Qi, ZHANG Min

(Tianjin Institute of Geotechnical Investigation and Surveying, Tianjin 300191, China)

**Abstract:** The loading effect of excavation can lead to the deformation of adjacent existing tunnel, which may affect the operation and safety of the tunnel. Therefore it is important to assess the effect of the excavation of fundamental pit on the structure safety of adjacent tunnels. Based on the procedure of engineering, the finite element method software PLAXIS 3D was adopted for numerical simulation, aiming at conducting assessment on the effect of excavation of dip on the structure safety of tunnel. The results indicates that the displacement of tunnel around the dip increase as the excavation proceeding. Besides, the vertical displacement of tunnel is not dominated by excavation perviousness. Furthermore, as the axial force and bending moment of the segments change little during the whole process.

**Keywords:** foundation pit; tunnel; numerical simulation; deformation; influence assessment

随着国家城市建设的快速发展, 已有运营地铁结构周边的建筑工程施工不断增加<sup>[1-2]</sup>。其中, 建筑工程基坑开挖对既有地铁结构的影响越来越受到各方的重视。建筑工程基坑开挖能够导致既有地铁结构产生变形甚至造成既有地铁结构发生严重损坏<sup>[3-4]</sup>。故, 为了保证既有地铁结构的安全, 在基坑工程施工前, 对其进行安全性评估显得尤为关键。

迄今为止, 某些国内外学者已经对地铁结构受周边基坑开挖影响这一课题开始了研究分析。研究分析了不同开挖方式、开挖深度等情况对既有地铁结构的变形影响<sup>[5-6]</sup>。并利用数值模拟的方法对上述不同情况下地铁变形结果进行了有效的论证, 一定程度上分析了引起地铁结构变形的影响要素<sup>[7-8]</sup>。利用有限差分软件分析了基坑施工对地铁

结构的影响范围及影响程度<sup>[9-10]</sup>。利用 MIDAS 有限元软件分析了运营地铁正上方基坑施工对地铁结构的影响程度<sup>[11-12]</sup>。由此可见, 应用有限元分析地铁结构受周边基坑施工影响的安全性评价是十分有效的方法<sup>[13-15]</sup>。

本文以某工程基坑开挖为例, 运用大型通用有限元分析软件 PLAXIS 3D 进行数值分析, 分析了基坑降水、开挖及楼板施做过程中, 地铁结构的位移情况。利用数值模拟结构及相关规范, 提供安全性评估建议。

## 1 工程概况

该项目位于南开区迎水道和苑中路交口, 某地铁站旁。该项目包括 1 栋 21 层办公楼, 拟采用框架

核心筒结构;1 栋 25 层住宅楼,拟采用剪力墙结构;1 栋 4 层商业,拟采用框架结构及整体两层地下室。本基坑工程总周长约 410 m,基坑总面积约为 9 800 m<sup>2</sup>。纯机械停车库区域,基坑深度 13.15 m;普通车库及住宅楼区域,基坑深度 11.75 m;办公楼区域,基坑深度 12.75 m。基坑平面见图 1。

1 进行。

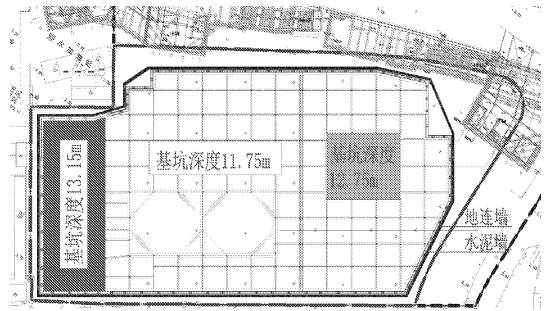


图 1 基坑平面图

## 2 评估标准

参照相关规范及国内各地区地铁保护区相关标准,并结合类似工程经验,地铁结构控制指标按照表

表 1 区间隧道变形控制指标

特征值	区间隧道沉降 /mm	区间隧道上浮 /mm	区间隧道水平位移 /mm	差异沉降 /%L	车站结构沉降 /mm	车站结构水平位移 /mm	轨道横向高差 /mm	纵向轨道高差(矢度值) /mm	变形缝相对沉降 /mm	车站附属结构沉降 /mm	车站附属结构水平位移 /mm	车站附属结构差异沉降 /mm
累积值	10	5.0	6	0.02	10.0	10.0	4.0	4.0	5.0	10.0	10.0	4.0
报警值	5	2.5	3	—	5.0	5.0	2.0	2.0	2.5	5.0	5.0	2.0
变化速率 /mm·d <sup>-1</sup>	0.5	0.5	0.5	—	0.5	0.5	—	—	—	0.5	0.5	0.5

## 3 基坑施工数值模拟

### 3.1 模型结构尺寸

采用岩土有限元分析软件建立整体三维有限元模型进行计算分析, X 轴为基坑长边方向, Y 轴为基坑短边方向, Z 轴为竖向方向。考虑基坑自身尺寸及开挖深度,且为消除模型边界效应, X 轴、Y 轴、Z 轴方向分别取 300 m、230 m、50 m。模型计算采用 10 节点四面体单元,共划分 94 764 个土体单元,131 772 个节点。计算模型基本尺寸及相应的位置关系见图 2。总体模型划分为三个部分:(1) 邻近地铁结构的基坑;(2) 车站自身;(3) 车站邻近的隧道。

设置约束,为自由面;在模型底面各个方向均固定;模型四个侧面均只设置法向约束,数值方向不设置约束。

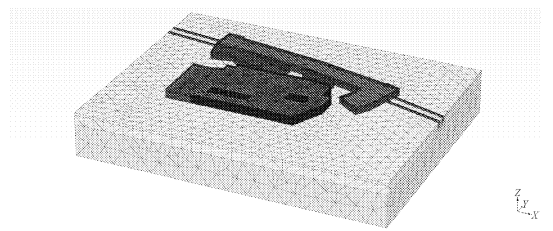


图 2 计算模型示意图

### 3.2 模型边界条件

本计算模型采用如下的边界条件:模型顶面不

### 3.3 计算参数

土层物理力学参数均取自该工程的勘察报告,采用弹塑性模型进行计算,详见表 2。

表 2 土层物理力学参数

土层编号	地层编号	土性	$\gamma$ / (kN·m <sup>-3</sup> )	$e$	$c'$ / kPa	$\phi'$	$E_{50}^{ref}$ / MPa	$E_{oed}^{ref}$ / MPa	$E_{ur}^{ref}$ / MPa	$G_0^{ref}$ / MPa	$\gamma_{0.7}$
1	1-1、1-2	填土	18.5	0.93	18.83	10.52	3.8	3.8	19.0	57.0	0.0002
2	4-1	粉质黏土	19.0	0.86	22.81	15.31	5.0	5.0	25.0	75.0	0.0002
3	6-1	粉质黏土	19.1	0.85	14.20	19.67	5.4	5.4	27.0	81.0	0.0002
4	6-2	淤泥质黏土	17.6	1.25	12.38	8.20	2.9	2.9	14.5	43.5	0.0002
5	6-4	粉质黏土	19.1	0.75	16.26	18.13	5.1	5.1	25.5	76.5	0.0002
6	7	粉质黏土	20.2	0.63	16.17	19.05	5.4	5.4	27.0	81.0	0.0002
7	8-1	粉质黏土	20.1	0.66	19.90	17.37	6.0	6.0	30.0	90.0	0.0002
8	8-2	粉砂	20.1	0.73	6.26	35.12	14.2	14.2	50.5	151.5	0.0002
9	9、10、11	粉质黏土	20.0	0.78	22.00	13.00	6.0	6.0	30.0	90.0	0.0002

表 3 为隧道衬砌、车站结构、地连墙、支撑、楼板和柱等结构的力学参数。上述结构均采用弹性模型。数值模拟计算过程中,均假定这些结构处于弹性阶段。模型中,楼板和地连墙用板单元模拟;混凝土结构重度均为  $25 \text{ kN/m}^3$ ,表中不再赘述。

表 3 结构力学参数

结构名称	单元类型	弹性模量 /GPa	泊松比
地连墙	Plate	30	0.2
隧道	Plate	30	0.2
楼板	Plate	30	0.2
主体结构柱	Beam	30	0.2
水平支撑	Anchor	30	0.2
站顶、中、底板	Plate	30	0.2
车站结构柱	Anchor	30	0.2

### 3.4 分析步设置

- (1) 平衡地应力;
- (2) 生成隧道和地铁车站;
- (3) 清零位移,生成地连墙;
- (4) 生成基坑内工程桩以及主体结构柱;
- (5) 第 1 层降水,降至埋深  $-1.75 \text{ m}$ (顶层楼板底面);
- (6) 第 1 层土开挖,开挖至  $-1.75 \text{ m}$ (顶层楼板底面);
- (7) 第 1 层楼板和支撑施作;
- (8) 第 2 层降水,降至埋深  $-6.65 \text{ m}$ (2 层楼板底面);
- (9) 第 2 层土开挖,开挖至  $-6.65 \text{ m}$ (2 层楼板底面);
- (10) 第 2 层楼板和支撑施作;
- (11) 第 3 层降水,降至  $-12.15 \text{ m}$ (3 层楼板底面);
- (12) 第 3 层土开挖,挖至  $-12.15 \text{ m}$ (3 层楼板底面);
- (13) 第 3 层楼板施作。

## 4 数值模拟结果分析

### 4.1 车站结构位移分析

#### 4.1.1 车站主体结构位移分析

主体结构底板完成时,土体的卸荷效应最大,车站产生最大位移。车站的水平、竖向位移图见图 3

~图 5。

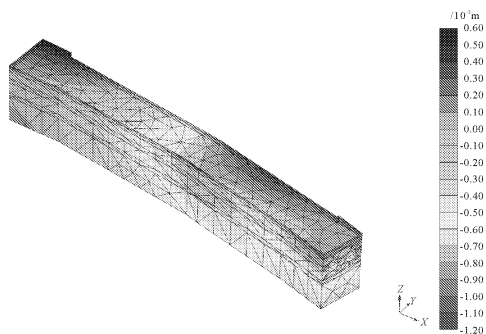


图 3 车站结构底板完成时车站最大 X 向水平位移云图

主体结构底板完成时,车站主体最大 X 向水平位移为  $1.13 \text{ mm}$ 。

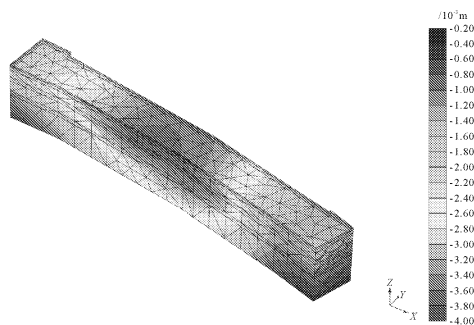


图 4 主体结构底板完成时车站最大 Y 向水平位移云图

主体结构底板完成时,车站主体最大 Y 向水平位移为  $3.94 \text{ mm}$ ,变形方向为指向基坑方向。

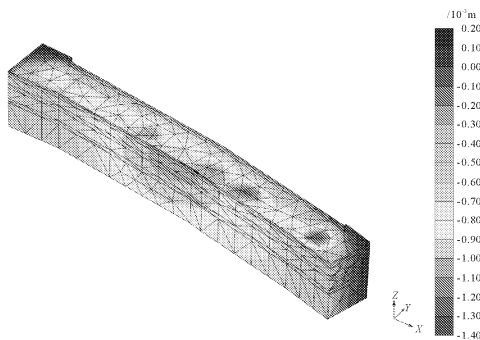


图 5 主体结构底板完成时车站最大竖向位移云图

主体结构底板完成时,车站主体结构产生最大沉降位移为  $1.31 \text{ mm}$ ,最大隆起位移为  $0.17 \text{ mm}$ 。

#### 4.1.2 车站附属结构位移分析

(1) 1 号风道及 3 号出入口变形分析。基坑主体结构底板完成时,土体的卸荷效应最大,车站产生最大位移。车站附属结构中 1 号风道及 3 号出入口的水平、竖向位移图见图 6~图 8。

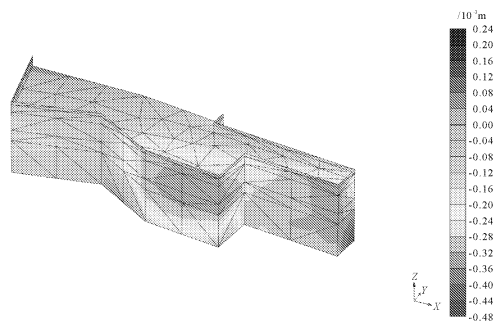


图 6 主体结构底板完成时 1 号风道及 3 号出入口  
最大 X 向水平位移云图

主体结构底板完成时,车站 1 号风道及 3 号出入口最大 X 向水平位移为 0.45 mm。

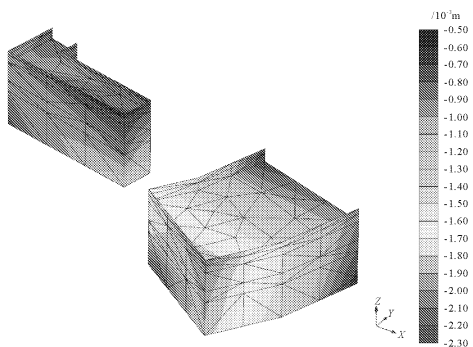


图 9 主体结构底板完成时 4 号出入口及 2 号风道  
最大 X 向水平位移云图

主体结构底板完成时,车站 4 号出入口及 2 号风道最大 X 向水平位移为 2.25 mm。

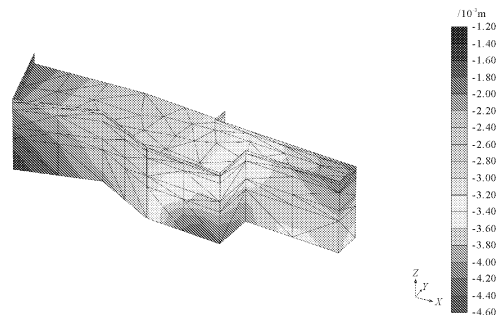


图 7 主体结构底板完成时 1 号风道及 3 号出入口  
最大 Y 向水平位移云图

主体结构底板完成时,车站 1 号风道及 3 号出入口最大 Y 向水平位移为 4.44 mm。

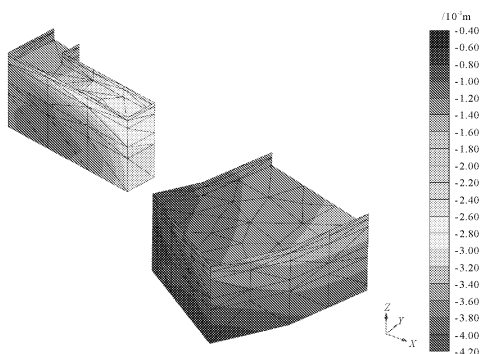


图 10 主体结构底板完成时 4 号出入口及 2 号风道  
最大 Y 向水平位移云图

主体结构底板完成时,车站 4 号出入口及 2 号风道最大 Y 向水平位移为 4.01 mm。

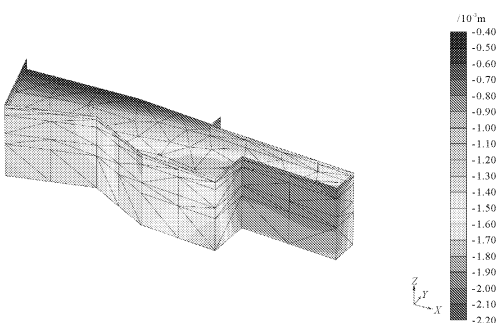


图 8 主体结构底板完成时 1 号风道及 3 号出入口  
最大竖向位移云图

主体结构底板完成时,车站 1 号风道及 3 号出入口最大竖向位移为 2.12 mm。

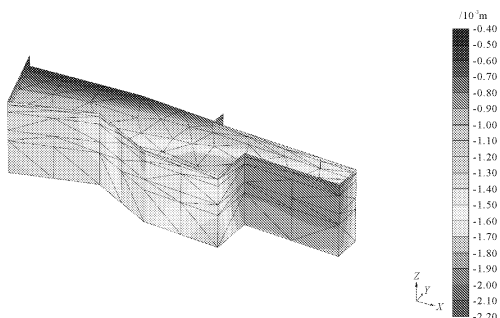


图 11 主体结构底板完成时 4 号出入口及 2 号风道  
最大竖向位移云图

主体结构底板完成时,车站 4 号出入口及 2 号风道最大竖向位移为 1.47 mm。

(2) 4 号出入口及 2 号风道变形分析。基坑主体结构底板完成时,土体的卸荷效应最大,3 号线王顶堤站产生最大位移。车站附属结构中 4 号出入口及 2 号风道的水平、竖向位移情况见图 9~图 11、表 4。

4.2 基坑开挖对既有 3 号线隧道的变形影响分析  
主体结构底板完成时,土体的卸荷效应最大,隧道产生最大位移。隧道的水平、竖向位移情况见图 12~图 17、表 5。

表 4 主要施工阶段的变形情况

施工阶段	水平位移/mm		竖向位移/mm	
	附属结构	主体结构	附属结构	主体结构
第 1 层楼板完成	0.78	0.54	1.27	0.35
第 2 层楼板完成	3.03	2.11	1.46	0.76
第 3 层楼板完成	4.44	3.94	2.25	1.31

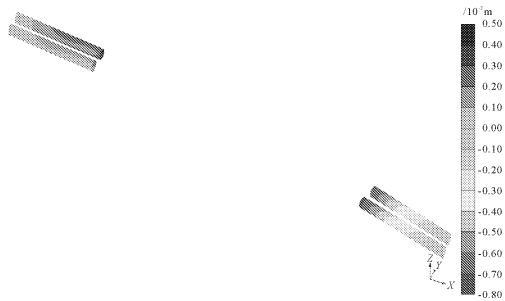


图 12 主体结构底板完成时隧道最大 X 向水平位移云图

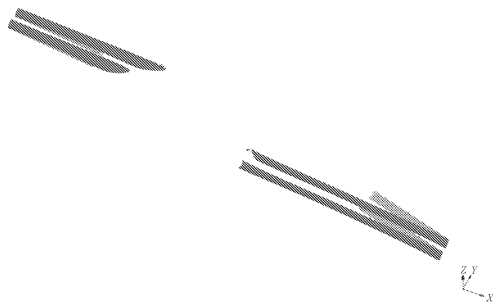


图 13 主体结构底板完成时隧道最大 X 向水平位移变形图(放大 100000 倍)

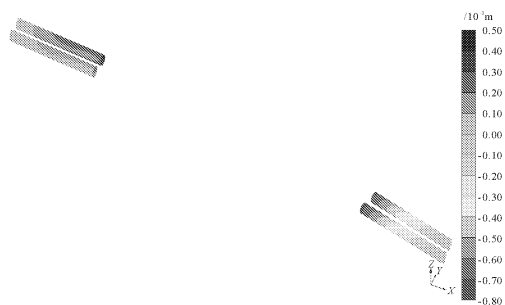


图 14 主体结构底板完成时隧道最大 Y 向水平位移云图

基坑开挖至底部时,3 号线隧道产生最大的水平位移和竖向位移, X 方向最大水平位移为 0.78 mm, Y 方向最大水平位移为 1.68 mm, 最大竖向位移为 0.33 mm(沉降)。

表 5 3 号线隧道主要施工阶段的变形情况

施工阶段	水平位移/mm	竖向位移/mm	变形控制值/mm	
			水平	竖向
土体开挖完成	1.68	0.33	6	10



图 15 主体结构底板完成时隧道最大 Y 向水平位移变形图(10000 倍)

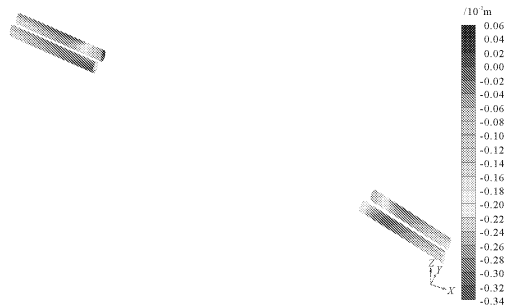


图 16 主体结构底板完成时隧道最大竖向位移云图

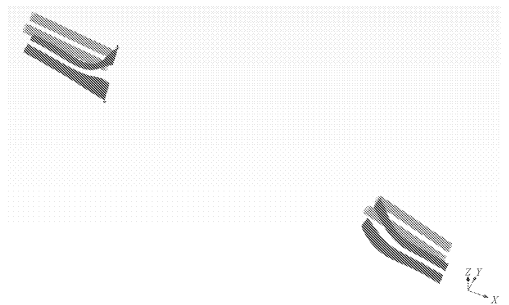


图 17 主体结构底板完成时隧道最大竖向位移变形图(100000 倍)

## 5 结 论

本文以该基坑工程为背景,分析了地铁结构受周边基坑施工的影响,利用 PLAXIS 3D 有限元软件对该工程进行数值模拟计算,通过对各个工况条件下地铁结构的变形分析得到以下结论:

(1) 受基坑开挖卸载影响,坑内土体发生隆起变形,围护结构外侧土体向基坑侧移动,导致地铁结构发生向基坑方向的水平位移,最大水平位移发生在地铁结构靠近基坑侧的位置,且发生在靠近基坑中部的位。

(2) 随着基坑的逐次开挖,地铁结构的位移量明显增大。整个施工过程中,地铁结构的位移量都在允许范围之内。

(3) 受时间效应的影响,基坑工程开挖至基坑

底面应快速施工底板,缩短晾槽时间,减少基坑开挖对既有地铁结构的影响。

(4) 基坑工程施工过程中,严格控制基坑围护结构与既有地铁及车站隧道上方的施工荷载不超过 20 kPa。

(5) 基坑工程施工过程中,应对受影响的地铁结构进行不同程度的实时监测,监测内容包括结构裂缝、结构变形及轨道几何形态尺寸的变化等,尤其对基坑临近边中部的地铁结构等变形较大的部位应加强监测并保持高度关注。主要影响区内监测断面间距不宜大于 10 m,基坑中部对应的车站部分应适当加密。结构监测应贯穿于基坑工程作业的全过程,直至外部作业完成且监测数据趋于稳定后方可结束。

#### 参考文献:

[1] 郑刚,王琦,邓旭,等.不同围护结构变形模式对坑外既有隧道变形影响的对比分析[J].岩土工程学报,2015,37(7):1181-94.

[2] 李东海,王梦恕,杨广武,等.多排桩防护既有地铁隧道数值模拟与监测分析[C]//2014中国隧道与地下工程大会(CTUC)暨中国土木工程学会隧道及地下工程分会第十八届年会.中国浙江杭州,2014.

[3] 林杭,陈靖宇,郭春,等.基坑开挖对邻近既有隧道变形影响范围的数值分析[J].中南大学学报(自然科学版),2015,46(11):4240-4247.

[4] 童伟.深基坑开挖对邻近既有隧道力学效应影响规律研究[D].成都:西南交通大学,2013.

[5] 刘栋.超深大基坑开挖对紧邻既有地铁隧道的影响分析[D].北京:北京交通大学,2014.

[6] 卜佳.基坑开挖对既有地铁隧道的变形影响研究[D].北京:中国地质大学,2015.

[7] 胡海英,张玉成,杨光华,等.基坑开挖对既有地铁隧道影响的实测及数值分析[J].岩土工程学报,2014(S2):431-9.

[8] 张迪.杭州铁路东站西广场大基坑开挖对其下地铁盾构隧道的影响与控制[J].隧道建设,2013,33(11):897-902.

[9] 王霆.南京长江漫滩区基坑开挖与降水对既有地铁隧道影响的数值分析[J].都市快轨交通,2016,29(3):81-86.

[10] 左殿军,史林,李铭铭,等.深基坑开挖对邻近地铁隧道影响数值计算分析[J].岩土工程学报,2014(S2):391-395.

[11] 郑刚,杜一鸣,刁钰,等.基坑开挖引起邻近既有隧道变形的影响区研究[J].岩土工程学报,2016,38(4):599-612.

[12] 许杰,顾国荣,杨石飞.邻近地铁基坑开挖影响有限元参数化分析[J].地下空间与工程学报,2013,9(2):284-90.

[13] 戚长军,刘争宏,余武术,等.基坑开挖对既有盾构隧道与地层的影响分析[J].水利与建筑工程学报,2014,12(5):142-146.

[14] 刘方梅.深基坑开挖对临近地铁隧道的影响[D].杭州:浙江大学,2015.

[15] 裴行凯,倪小东.深基坑开挖对临近既有地铁隧道的影响分析与对策[J].水利与建筑工程学报,2013,11(3):45-48.