

# 砂土层基坑开挖对周围环境的影响研究

谭小兵<sup>1</sup>, 朱占国<sup>1</sup>, 关永平<sup>1</sup>, 聂子云<sup>1</sup>, 韩子安<sup>2</sup>, 杨跃<sup>1</sup>

<sup>1</sup>中国铁路设计集团有限公司, 天津

<sup>2</sup>沈阳地铁集团有限公司, 辽宁 沈阳

Email: flanker\_tan@sina.com

收稿日期: 2020年9月2日; 录用日期: 2020年9月18日; 发布日期: 2020年9月25日

---

## 摘要

基坑施工过程中对周边环境的影响一直是个热点问题, 论文以沈阳某基坑工程背景, 采用有限差分软件建立基坑开挖对临近既有结构的三维计算模型, 研究基坑开挖时模型范围内位移场、既有运营隧道和地下商道结构变形的安全性评估。研究表明, 随着基坑开挖, 土体沉降量逐渐增加, 并且土体水平位移在大部分发生在基坑内支撑附近; 基坑开挖到中部时对其土体侧向位移影响最大, 而既有盾构隧道和既有地下商道结构的最大变形随着基坑开挖基本呈现线性增加。

## 关键词

砂土层, 基坑施工, 数值模拟, 稳定性评估

---

# Study on Influence of Excavation on Surrounding Environment in Sandy Soil

Xiaobing Tan<sup>1</sup>, Zhanguo Zhu<sup>1</sup>, Yongping Guan<sup>1</sup>, Ziyun Nie<sup>1</sup>, Zian Han<sup>2</sup>, Yue Yang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>China Railway Design Corporation, Tianjin

<sup>2</sup>Shenyang Metro Corporation, Shenyang Liaoning

Email: flanker\_tan@sina.com

Received: Sep. 2<sup>nd</sup>, 2020; accepted: Sep. 18<sup>th</sup>, 2020; published: Sep. 25<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

The influence of excavation construction on the surrounding environment has always been a hot issue. Based on the excavation project in Shenyang, the 3-D difference model has been established

文章引用: 谭小兵, 朱占国, 关永平, 聂子云, 韩子安, 杨跃. 砂土层基坑开挖对周围环境的影响研究[J]. 土木工程, 2020, 9(9): 975-984. DOI: 10.12677/hjce.2020.99102

to investigate the effect of excavation on displacement field and the safety evaluation of the existing tunnel and the structural deformation of the underground hall. The results show that the ground surface settlement increases gradually along with excavation, and the horizontal displacement of the soil occurs mostly near the support structure of excavation. When excavation reaches to the middle part, it has the greatest impact on the lateral displacement of the soil. The maximum deformation of the existing shield tunnel and underground structure basically increases linearly with excavation.

## Keywords

Sandy Soil, Construction of Excavation, Numerical Simulation, Stability Evaluation

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

近年来,随着基坑工程在各大中城市越来越多,基坑施工周边不可避免的会出现既有结构体系,如:地铁运营区间隧道[1]、地下管线[2]以及其他地下结构体系[3]。因此,基坑施工过程中对周边环境的影响一直是个热门的研究问题,国内外学者对此已进行了一些研究。

魏刚等[4]以杭州市某地下通道工程上跨已运营盾构隧道工程背景,通过现场监测数据,研究分析了不同施工阶段盾构隧道竖向位移、水平向位移及收敛变形的规律和特点。章红兵等[5]得出,基坑施工过程中,其周边土体移动、应力重分布以及时空效应等均对邻近地铁隧道的变形产生影响。陈仁朋等[6]针对邻近深基坑地铁隧道过大位移的问题,对比分析了几种保护措施的效果,并给出了其核心保护区域。丁智[7]某基坑工程的现场监测数据,研究了基坑施工过程中的深层土体侧向位移与邻近隧道变形之间的规律,并探讨了基坑开挖对周边的重点影响区域。赵文等[8]以哈大客专沈阳站房改造工程为背景,研究了基坑开挖对下卧既有盾构隧道管片和接头的影响规律,并通过FLAC 3D建立三维有限差分模型,对坑底堆载保护措施进行了数值模拟。

但目前的研究多集中在基坑开挖对临近单一既有隧道或管线的影响,而同时对既有运营隧道和地下商道结构的影响较少。基于此,本文采用数值模拟的方法建立有限差分模型,研究基坑开挖时模型范围内位移场、既有运营隧道和地下商道结构变形的安全性评估。

## 2. 工程背景

沈阳新世界商业中心二期基坑支护工程位于沈阳市和平区南京南街2号附近,中华路的南侧,南京南街的西侧,南宁南街的东侧。地上部分建筑面积70,440平方米,地下部分建筑面积25,698平方米,建筑地上最高共31层,地下共四层。地上1至5层裙房为百货部分;塔楼6层至30层为办公楼,19层为避难层及设备用房;地下1层为百货;地下2层至4层为汽车库及设备用房。基坑深19.65 m,支护结构周长约342米。剖面支护形式采用双排桩+锚索支护,支护桩采用双排钢筋混凝土灌注桩,桩径1.0米,桩长34.65米,水平间距1.3米,设置五层预应力锚索,长度为14~26米,张拉力为200~300 KN,钢梁规格为25b,坡面采用挂网喷射C20混凝土保护,厚度40~60 mm,内置钢板网,见图1。

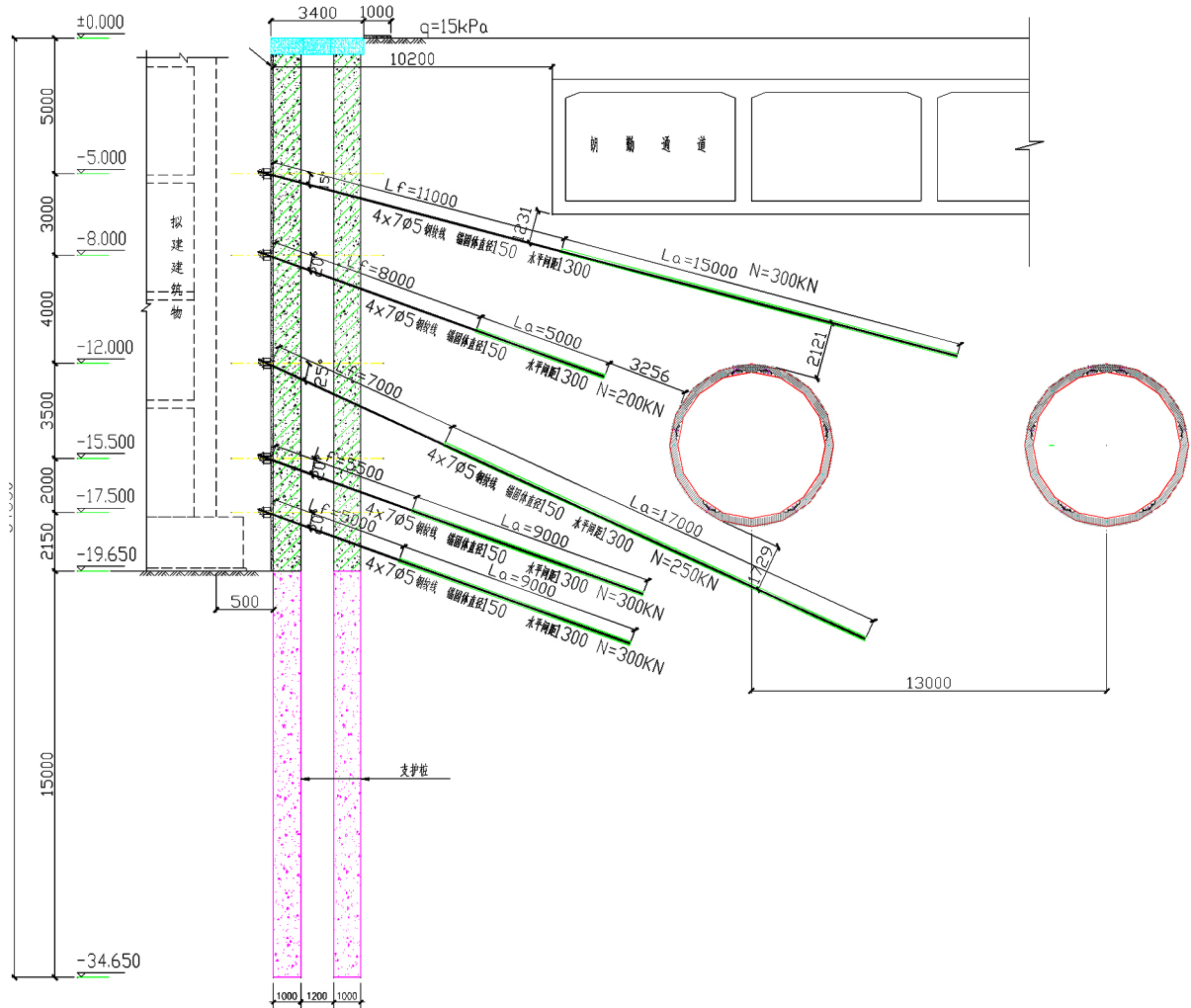


Figure 1. Geological profile  
图 1. 地质剖面图

### 3. 计算模型的建立

#### 3.1. 基本假定

模型中采用的基本假定和基本说明:

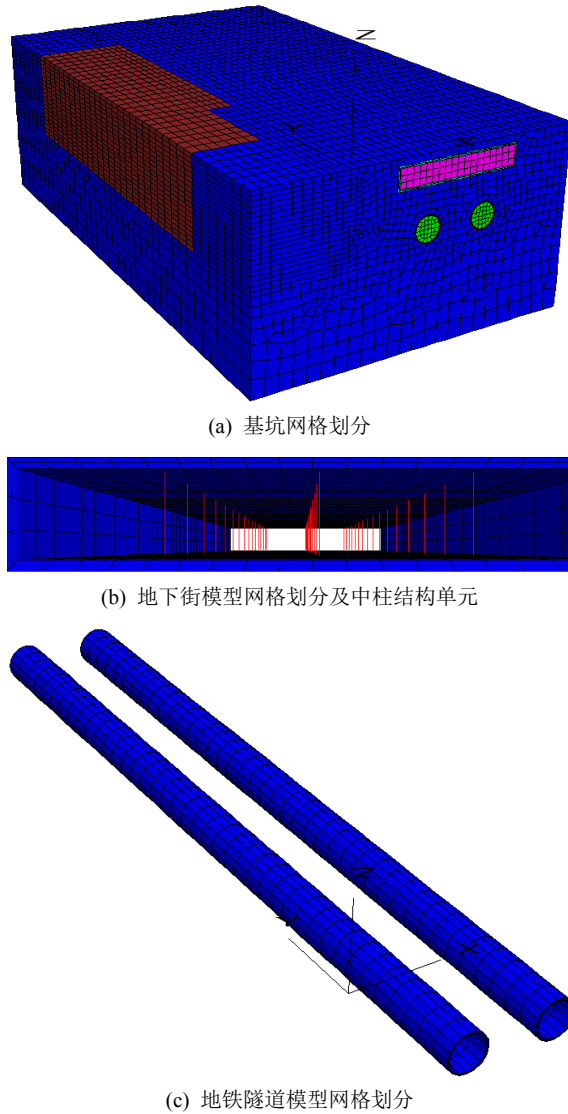
- 1) 地铁结构、地下商道结构内力依据原设计标准进行计算分析，基坑开挖施工期间既有结构仅考虑正常使用步骤，不考虑地震、人防步骤；
- 2) 假定岩土体为弹塑性模型，土体各向同性，土体力学行为服从摩尔 - 库伦本构模型；
- 3) 假定既有地铁结构、地下商道主体结构基坑围护结构为线弹性材料且地铁结构、地下商道结构及土体之间符合变形协调原则；
- 4) 通过刚度等效的方法，将地铁及地下商道结构等效为一种同刚度材料。

#### 3.2. 有限元模型

本文建立三维数值计算模型，分析了基坑施工过程对临近地铁运营区间的影响及相互作用。

综合考虑既有地铁 1 号线北沿中华路与基坑的相对位置关系以及基坑开挖影响范围的经验值来建立三

维数值分析模型。本节建立的有限差分模型中，模型的边界条件情况主要为顶面选取自由边界，侧面选取法向约束，底面选取三个坐标轴方向的位移约束。由于基坑面积较大，本模型分析过程主要针对与既有地铁的基坑北侧开挖土体与支护结构。模型总体在 X 轴方向上长 70 m，Y 轴方向上长 120 m，Z 轴(深度方向) 40 m，模型共划分为 43,200 个单元，46,535 个节点。为了模拟路面的荷载，在地面上加载 10 kPa，见图 2。



**Figure 2.** Three-dimensional numerical model  
**图 2.** 三维数值模型

土体和围护桩设为实体单元，锚索设定为线单元。模型土体选取摩尔库伦本构模型，围护桩与盾构管片采用线弹性结构，土体和其他计算参数，见表 1 和表 2。

**Table 1.** Soil calculation parameters

**表 1.** 土体计算参数

弹性模量 E/kPa	泊松比 $\mu$	土体密度 $\rho/\text{kg}/\text{m}^3$	粘聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/^\circ$
5700	0.3	1800	8.3	32

**Table 2.** Related material parameters  
**表 2.** 相关材料参数

材料号	容重(kN/m <sup>3</sup> )	弹性模量(GPa)	泊松比
盾构管片	25.0	24.2	0.20
钢材	78.5	210	0.30

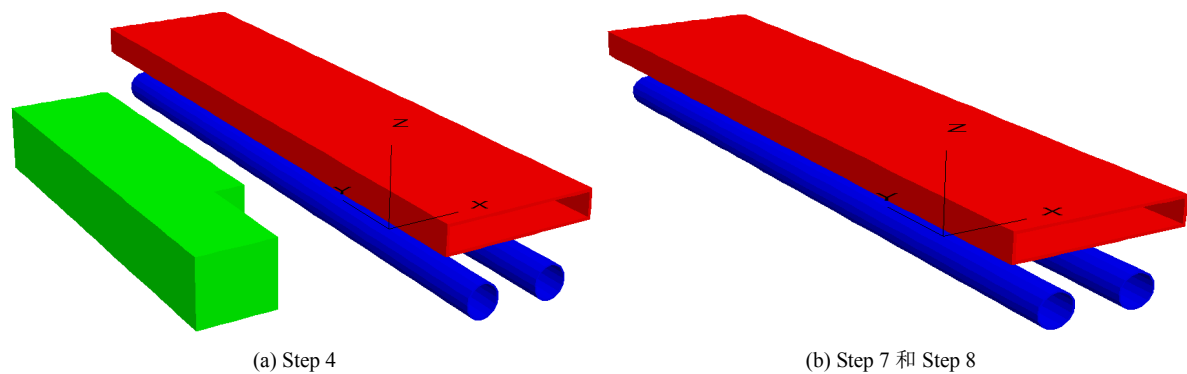
### 3.3. 模拟施工工序

模拟过程严格遵从施工工序，对施工步序进行少量的简化。根据施工方案，模型开挖分为以下几个阶段进行，包括初始地应力平衡、隧道结构建立、土体开挖、预应力锚索的施做及建筑荷载的施加。由于基坑深度较大，采用逐层开挖的办法，重力方向分为 5 层，每层约 4 m 厚。具体阶段，见表 3。

**Table 3.** Construction process  
**表 3.** 施工工序

步骤	模拟阶段描述
step 1	地应力平衡
step 2	基坑围护桩、冠梁施工
step 3	基坑开挖至 5.0 m
step 4	施做支撑，基坑开挖至 9.0 m
step 5	施做支撑，基坑开挖至 13.0 m
step 6	施做支撑，基坑开挖至 17.0 m
step 7	施做支撑，基坑开挖至 19.65 m
step 8	施加建筑荷载

为了更直观的描述表 3 的相关模拟过程，对基坑外部土体单元进行了消隐，只保留基坑土体、隧道于地下通道的相关单元，通过基坑土体的变化查看整体的施工进度，具体的见图 3。



**Figure 3.** Simulated construction process  
**图 3.** 模拟施工工序

## 4. 结果分析

### 4.1. 基坑开挖时模型范围内位移场分析

取基坑开挖截面与隧道截面，分析基坑开挖引起的周边土层位移场分布规律。由图 4 看出，基坑开挖第一层，即开挖深度为 5.0 m 时，开挖初期，基坑开挖对周边产生的水平位移和竖向位移仅发生在基

坑边缘，竖向位移沿基坑垂向产生沉降槽，横向位移在第一道内支撑处最小，沿深度方向中间部位水平位移最大，隧道周边位移场为零。图 5 为基坑开挖第三层时基坑周边位移场，基坑周边水平和竖向位移影响范围扩大，水平位移逐渐往坑底转移，竖向位移影响范围逐渐扩展至基坑边缘以外更远，此时基坑开挖深度为 13.5 m，由于隧道洞顶埋深约 13.65 m，因此基坑开挖还未到达隧道埋深，因此隧道周边位移场依然为零。图 6 为基坑开挖最后一层时基坑周边位移场，此时基坑开挖结束，基坑内支撑支护结构完成，基坑周边土体沉降已经影响至隧道周边，且距基坑越近，土体竖向沉降量越大，土体水平位移在大部分发生在基坑内支撑附近。因此在施工过程中应加强既有隧道位移监测，进而控制隧道的变形。

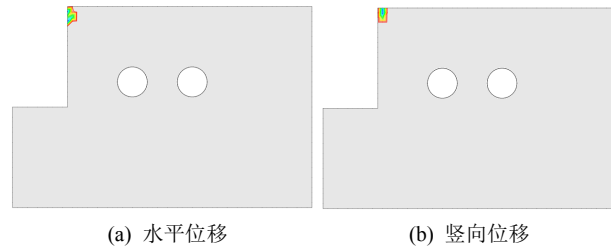


Figure 4. Excavation of the first layer

图 4. 第 1 层开挖

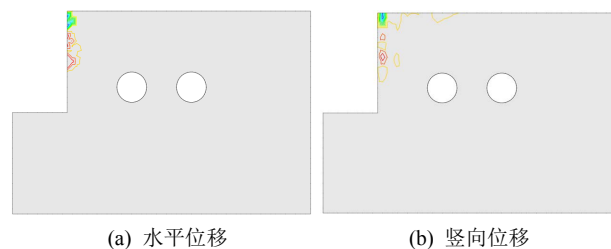


Figure 5. Excavation of Layer 3

图 5. 第 3 层开挖

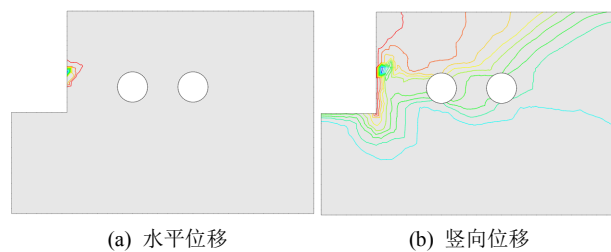


Figure 6. Excavation of layer 5

图 6. 第 5 层开挖

## 4.2. 既有地铁隧道结构安全性评估

基坑开挖施工会引起隧道结构及周边土体产生一定程度的变形，为了评价基坑开挖过程既有地铁隧道的影响，本节将对隧道结构变形进行预测分析。因为隧道的位置恰好处于基坑中间水平方向，受到土体变形影响的可能性较大，在隧道结构分析开始前先对基坑侧壁的变形进行初步分析。基坑开挖过程其侧壁的最大水平位移，见图 7 和图 8。由图可知，基坑完工后侧壁最大水平位移为 8.2 mm，从第一步开始到第五步，基坑侧向位移增长较为平稳，平均值为 0.75 mm，开挖步从第五步到第六步基坑侧壁最大水平位移变化量最大，对应位置是基坑开挖深度从 13 m 到 17 m，为 2.9 mm。从第五步到第七步是基坑位移变化的主要范围，实际施工中支护的施做需要提高精度。

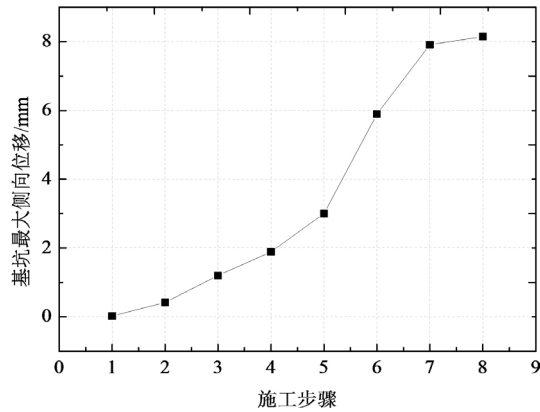


Figure 7. Maximum lateral displacement of foundation  
图 7. 基坑最大侧向位移

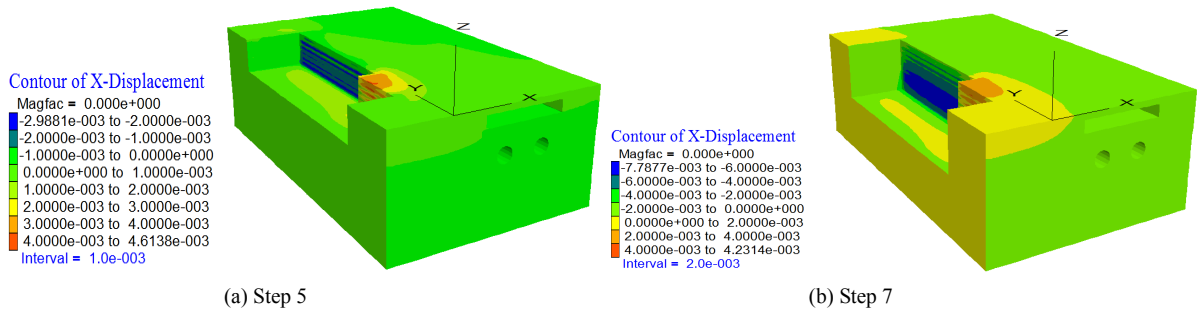


Figure 8. Cloud map of transverse (X) deformation of sidewall of foundation  
图 8. 基坑侧壁横向(X)变形云图

隧道的水平及竖向变形情况，见图 9，在水平方向上，两条隧道的变形均表现为朝向基坑方向，左侧隧道位移量比右侧高出约 25.6%，在竖直方向上，左侧隧道表现为隆起，右侧则主要表现为整体性下沉，两端下沉量高于中间处。结合图 9~11 可知，基坑的开挖对两条地铁隧道，尤其是距离较近的隧道结构造成一定的位移扰动。基坑开挖至 13 m 后(step 5)，既有隧道结构横向变形最大值为 2.25 mm，方向为朝向基坑；竖向变形最大值为 1.63 mm，方向为上浮。基坑施工完毕后(step 7)，既有隧道结构横向变形最大值为 3.20 mm，方向为朝向基坑；竖向变形最大值为 2.41 mm，方向为上浮。建筑物施工完毕后(step 8)，既有隧道结构横向变形最大值为 2.57 mm，方向为朝向基坑；竖向变形最大值为 1.40 mm，方向为上浮。

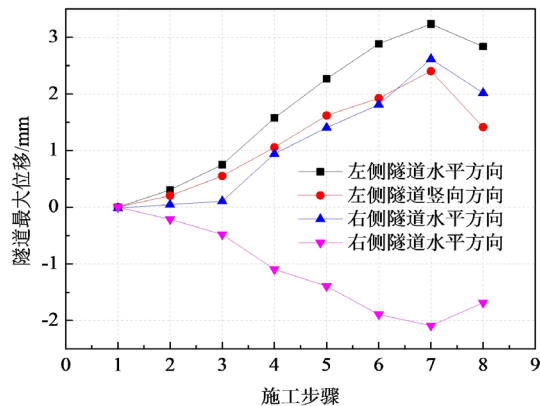


Figure 9. Maximum displacement of tunnel  
图 9. 隧道最大位移

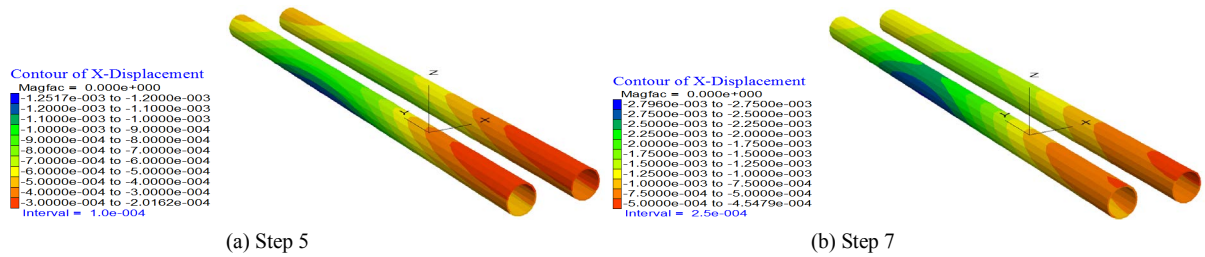


Figure 10. Transverse (X) deformation cloud map of tunnel  
图 10. 隧道横向(X)变形云图

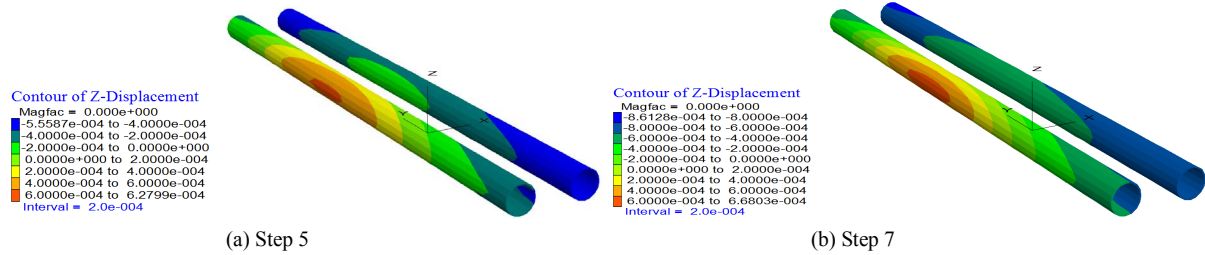


Figure 11. Vertical (Z) deformation cloud map of the tunnel  
图 11. 隧道纵向(Z)变形云图

### 4.3. 既有地下商道结构安全性评估

通过对基坑侧壁及隧道的变形分析可以知道隧道在开挖深度达到 13 m 后,其变形有一个明显的增大,这同样会引起地下商道结构及附近地层产生一定程度的变形扰动,为了评价工程施工对既有地下商道的影响,本节将对地下商道变形进行预测分析。结合之前的分析可以知道,基坑开挖至 13 m (step 5)、基坑完毕(step 7)及建筑物修建完毕(step 8)时对研究对象产生的变形幅度最大,所以本节选取该情况下的地下商道结构进行分析,地下通道的位移情况,见图 12。

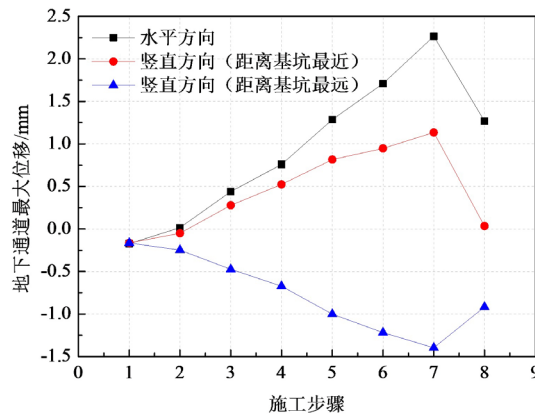


Figure 12. Deformation of underground passage  
图 12. 地下通道变形

基坑开挖至 13 m 后(step 5),既有地下商道结构横向变形最大值为 1.37 mm,方向为朝向基坑,见图 13;竖向变形近端最大值为 0.93 mm,方向为上浮,远端 0.78 mm,方向下沉,结构最大倾斜率 0.06‰。基坑施工完毕后(step 7),既有地下商道结构横向变形最大值为 2.25 mm,方向为朝向基坑;竖向变形近端最大值为 1.22 mm,方向为上浮,远端 1.15 mm,方向下沉,结构最大倾斜率 0.09‰。建筑物施工完毕



后(step 8), 既有地下商道结构横向变形最大值为 1.34 mm, 方向为朝向基坑; 竖向变形近端最大值为 0.18 mm, 方向为上浮, 远端 0.70 mm, 方向下沉, 结构最大倾斜率 0.03‰, 见图 14。

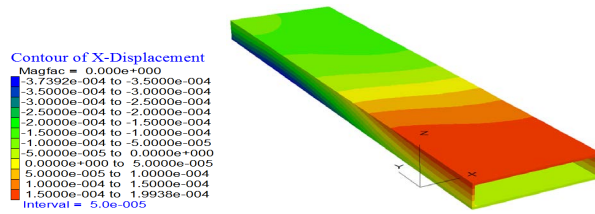


Figure 13. Transverse (X) deformation cloud map of underground commercial road

图 13. 地下商道横向(X)变形云图

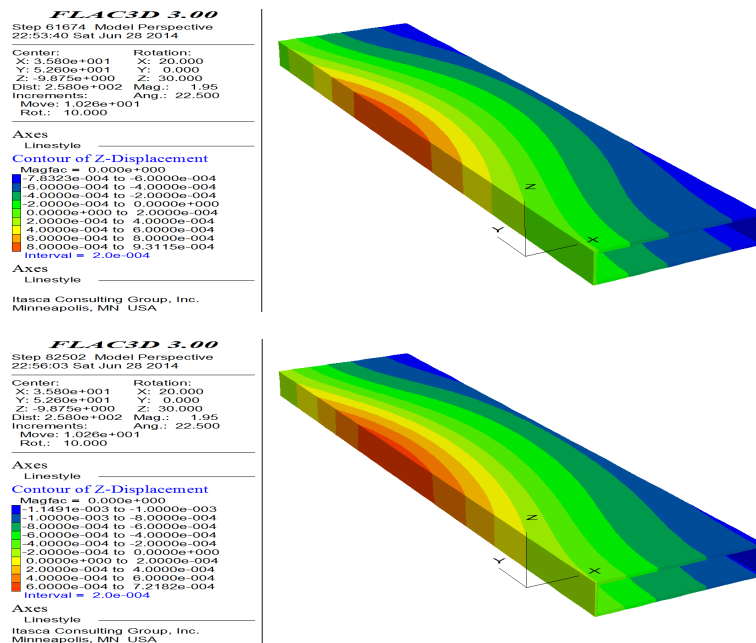


Figure 14. Vertical (Z) deformation cloud map of underground commercial road

图 14. 地下商道纵向(Z)变形云图

## 5. 结论

1) 随着基坑开, 土体位移逐渐增加, 并且距基坑越近, 土体竖向沉降量越大, 土体水平位移在大部分发生在基坑内支撑附近。

2) 基坑开挖到中部时对其土体侧向位移影响最大, 而既有盾构隧道和既有地下商道结构的最大变形随着基坑开挖基本呈现线性增加。

3) 考虑基坑开挖的“时空效应”, 开挖时要严格控制每步开挖土方的空间尺寸, 并尽量减少每步开挖中一部分基坑未支撑前的暴露时间, 基坑开挖做到分层、分块、对称、随开挖随架设支撑, 并严格按照信息化数据指导施工。

## 参考文献

- [1] Han, J.Y., Zhao, W., Jia, P.J., et al. (2018) Risk Analysis of the Opening of Shield-Tunnel Circumferential Joints Induced by Adjacent Deep Excavation. *Journal of Performance of Constructed Facilities (ASCE)*, 32, 1-12.

- [2] 施有志, 葛修润, 李秀芳, 等. 地铁深基坑施工对周边管线影响数值分析[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2017, 56(6): 83-93.
- [3] 张祁, 张敏. 基坑施工对紧邻地铁结构安全性的影响分析[J]. 水利与建筑工程学报, 2018, 16(5): 72-77.
- [4] 魏纲, 李钢, 苏勤卫. STS 基坑工程对运营地铁隧道影响的实测分析[J]. 现代隧道技术, 2014, 51(1): 179-186.
- [5] 姚爱军, 张剑涛, 郭海峰, 等. 地铁盾构隧道上方基坑开挖卸荷 - 加载影响研究[J]. 岩土力学, 2018, 39(7): 2318-2326.
- [6] 陈仁朋, 孟凡衍, 李忠超, 等. 邻近深基坑地铁隧道过大位移及保护措施[J]. 浙江大学学报(工学版), 2016, 50(5): 856-863.
- [7] 丁智, 张霄, 金杰克, 等. 基坑全过程开挖及邻近地铁隧道变形实测分析[J]. 岩土力学, 2019, 40(s1): 415-423.
- [8] 赵文, 关永平, 李慎刚, 等. 大跨度卸载对下卧盾构隧道影响的数值分析[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2013, 34(5): 704-707.