

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2019.01.031

基坑施工对自身及既有地铁结构的影响分析

翟超, 陈涛

(天津市勘察院, 天津 300191)

摘要: 基坑施工会引起周围地层初始应力发生改变,造成基坑自身的变形,同时会导致紧邻的地铁结构受力和变形发生改变,严重时可能会对地铁运营的安全产生影响。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。以某一地铁线路周边基坑工程的施工为例,采用大型有限元软件 ABUQUS 建立三维模型,模拟分析基坑施工对周边地铁结构位移变化情况,分析计算地铁结构的位移变化,以此来研究基坑施工对邻近既有地铁结构变形的影响。研究结果表明,基坑土方开挖导致土体自重应力释放,坑内土体产生回填变形,受围护结构内外侧水土压力差异的影响,导致基坑周边应力重新分布,地铁结构受应力变化的影响向基坑侧移动,出现最大位移位置为距离基坑最近处的基坑中部位置。通过对变形机理的分析,提出相应的控制措施,为今后的类似工程提供参考。

关键词: 既有地铁结构; 基坑开挖; 变形; ABUQUS; 数值分析

中图分类号: TU473

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2019)01-0174-05

Influence of Foundation Pit Construction on Itself and Existing Subway

ZHAI Chao, CHEN Tao

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

Abstract: The foundation pit construction will cause the change of the initial stress in the surrounding strata, which causes the deformation of the foundation pit itself, and will also change the stress and deformation of the adjacent subway structure, which may affect the normal operation of the subway line seriously. Hence, it is important to assess the effect of the excavation of fundamental pit on the structure safety of adjacent tunnels. In this paper, by taking the existing subway lines in a nearby deep foundation pit in Tianjin as an example, the three-dimensional spatial entity model is established by the ABUQUS finite element numerical simulation analysis method. The construction process of the foundation pit adjacent to the subway structure is simulated and the deformation of the subway structure is analyzed and calculated to study the influence of the deformation of the adjacent existing subway structure. The results show that the soil mass in the pit is uplifted and the lateral soil of the enclosure moves to the foundation pit side, which leads to the displacement of the subway structure. The maximum displacement occurs in the position of the subway structure near the foundation pit and is located near the middle of the foundation pit. Through the analysis of deformation mechanism, the corresponding control measures are proposed to provide reference for similar projects in the future.

Keywords: existing metro structure; foundation pit excavation; deformation; ABUQUS; numerical analysis

随着我国地下空间的持续开发,在城市中心繁华地带涌现出越来越多的深基坑工程,因为岩土应力相互作用,既有地下构筑物必然会受到周边深基坑工程施工所带来的影响^[1-4]。其中地铁结构受到的影响更被关注。因此在基坑工程设计以及开挖过程中,如何有效预测地铁结构受施工影响的程度及

提出有效的预防措施成为急需解决的问题。

目前国内外很多学者针对这个问题进行了研究。张治国等^[5-6]、许杰等^[7]、戚长军等^[8]用两阶段法分析了基坑开挖对周边地铁区间隧道纵向变形的影响,第一阶段计算受基坑开挖影响而作用在地铁区间隧道上的附加荷载,第二阶段根据 Winkler 模型

建立地铁区间隧道纵向变形影响的基本微分方程,根据 Galerkin 方法将该方程转换为二维有限元方程进行计算。文献[9-11]运用数值模拟方法与实测数据研究了地铁区间隧道变形的一般规律。另有研究表明可以通过地基强化处理、分块施工、改变围护结构等方法减弱基坑施工对下卧地铁结构变形的影响^[12-13]。结合地铁结构在不同情况下的实测变形情况与有限元软件模拟结果进行印证,某种程度上对影响地铁结构变形的因素进行了验证^[14-15]。因此,对临近的基坑施工所造成的地铁结构产生的影响进行分析研究,并提出相应的预防和保护措施具有很重要的工程实际意义。

本文以天津软土地区某工程基坑开挖为例,运用有限元分析软件 ABAQUS 对基坑降水、开挖及支撑施做与拆除过程进行数值分析,得出了受施工影响,基坑自身及周边地铁结构的变形情况,并结合相关规范对施工结果进行预测并提出相关控制措施。

1 工程概况

1.1 工程介绍

拟建物为 1 栋 4F 商业楼,建筑面积 6 000 m²,高约 22.1 m,下设两层地下车库。拟建物基础形式为承台 + 桩基础,基坑开挖深度 6.9 m,基坑面积 3 588.9 m²。基坑各侧紧贴用地红线,周边环境复杂,东侧邻近天津地铁 3 号线隧道区间,区间距基坑最近 7.4 m,东北角邻近地铁 3 号线营口道站风道结构,风道距基坑最近 27.9 m。根据基坑及周边环境特点,本工程基坑采用型钢水泥土搅拌连续墙 + 一道钢筋混凝土支撑的支护形式。基坑东侧考虑地铁隧道对变形控制的要求,型钢间距 600 mm,有效桩长 18.0 m;基坑西侧临近西开教堂,型钢间距 800 mm,有效桩长 15.0 m;基坑其余两侧周边环境相对简单,型钢间距 900 mm,有效桩长 14.0 m。图 1 为基坑与既有地铁剖面位置图。

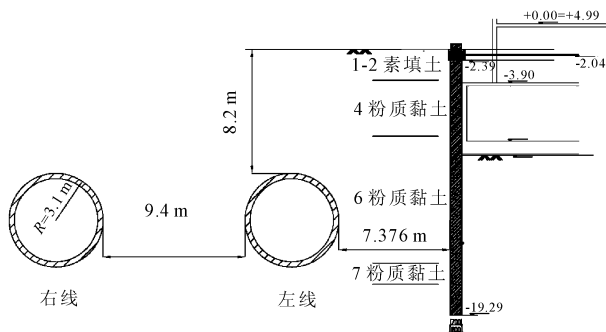


图 1 基坑与既有地铁剖面位置图

1.2 工程及水文地质简述

拟建场地位于华北平原北部,属滨海冲积平原,地貌单一。现场地西北角和东北角为堆土,局部有尚未拆除彩钢棚,场地地形略有起伏。本次完成勘探孔口高程在 3.23 m ~ 3.77 m 之间(大沽高程,下同)。与专项设计有关的各层土的土质特征及分布规律描述如下:第一层为人工填土层(Qml);第二层为全新统上组河床—河漫滩相沉积层(Q43al);第三层为全新统中组浅海相沉积层(Q4²m);第四层为 4、全新统下组沼泽相沉积层(Q41h);第五层为全新统下组河床—河漫滩相沉积层(Q41al);第六层为上更新统五组河床—河漫滩相沉积层(Q3eal);第七层为上更新统四组滨海—潮汐带相沉积层(Q3dmc);第八层为上更新统三组河床—河漫滩相沉积层(Q3cal)。

浅层地下水以大气降水补给为主,排泄以蒸发形式为主,属于孔隙潜水类型,水位随季节有微小变化。据区域水文地质资料,地下水位年变化幅度在 0.50 m ~ 1.00 m 左右。埋深约 22.0 m ~ 25.0 m 段为厚层粉土,属微承压水含水层,承压水头约为埋深 5.0 m ~ 6.0 m 处,经验算基坑抗突涌稳定性满足规范要求。

2 基坑施工数值模拟

本工程周边施工环境复杂,且处于既有地铁 3 号线安全运营控制范围内,确保地铁的安全正常运营是本工程基坑设计的重点。为预估基坑开挖对邻近地铁 3 号线隧道区间及风道结构的影响,本章采用通用有限元软件 ABAQUS,建立三维有限元模型,评估本工程支护设计的有效性 with 合理性。

2.1 计算假定

- (1) 各土层均为匀质水平层状分布且各向同性,不考虑与地下水的耦合作用。
- (2) 结构体的变形、受力均在弹性范围内。
- (3) 采用施工步的方式模拟基坑的开挖过程,不考虑时间效应。
- (4) 隧道结构在计算域内沿直线水平延伸。

2.2 模型概况

计算模型包括地铁 3 号线站体结构(含抗浮桩)、风道结构、隧道区间、本工程基坑支护结构、西开教堂基础及周围土体。有限元模型如图 2、图 3 所示。

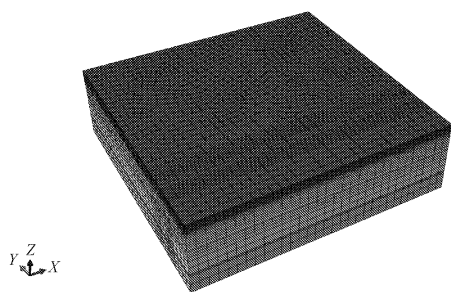


图 2 土体有限元计算模型示意图

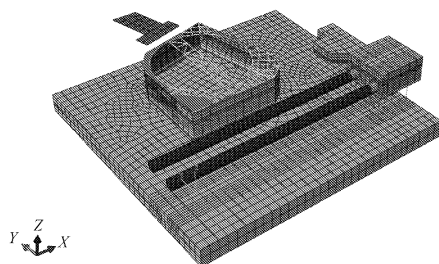


图 3 结构有限元计算模型示意图

基坑南侧与西侧坑外土体由基坑围护结构向外延伸 30 m, 约为基坑的 4 倍开挖深度; 基坑东侧与北侧由于邻近地铁 3 号线隧道区间及风道结构, 坑外土体由基坑围护结构向外延伸至少 50 m; 对于竖向边界, 考虑站体抗浮桩的因素与模型规模, 坑下取 38 m, 最终计算模型尺寸为 160 m × 150 m × 45 m。

2.3 模型边界条件

顶面为自由边界, 四周约束其法向位移, 底部为固定边界。

2.4 计算荷载

- (1) 基坑施工期间考虑土层及结构的自重。
- (2) 基坑周边堆载取 20 kPa。
- (3) 西开教堂荷载。

2.5 计算参数

土体采用实体单元, 修正剑桥模型模拟, 相关参数来自工程地质勘察报告和工程经验取值, 计算中对土性及土体参数接近的土层进行了归并, 土体计算参数见表 1。

表 1 物理力学及强度指标统计表

地层编号	土性	γ /($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	w /%	e	E /MPa	N /次	C_q/kPa	$\varphi_q/(\circ)$	C_c/kPa	$\varphi_c/(\circ)$
④	粉质黏土	19.5	24.9	0.732	7.01	4.0	13.6	16.5	14.6	16.5
⑥	粉质黏土	18.8	30.2	0.876	5.56	4.3	14.3	16.5	16.1	17.1
⑦	粉质黏土	19.9	22.6	0.651	5.83	6.0	11.7	15.9	9.8	17.8
⑧	粉质黏土	19.8	23.9	0.691	6.50	8.8	13.6	17.6	13.7	18.7
⑨ ₁	粉砂	20.2	19.3	0.581	18.59	29.4	7.2	29.9	5.8	31.0
⑨ ₂	粉质黏土	19.6	24.9	0.721	7.08	13.1	12.4	19.0	13.4	20.8
⑩	粉质黏土	19.9	22.5	0.656	6.94	14.0	12.3	18.7	12.2	19.8
⑪ ₁	粉砂	20.5	17.6	0.525	15.86	39.4	—	—	6.0	30.5
⑪ ₁	粉质黏土	19.7	23.0	0.684	7.18	17.5	—	—	18.8	12.2

基坑围护结构、换撑、水平支撑现浇板、地铁站体及风道结构、隧道结构与西开教堂基础采用壳单元模拟, 基坑水平支撑、抗浮桩采用梁单元模拟。结构体均采用线弹性本构模拟, 结构尺寸取自相关图纸, 结构计算参数见表 2。

2.6 分析步设置

- (1) 初始地应力平衡。
- (2) 生成 3 号线隧道区间、风道、站体结构。
- (3) 生成西开教堂基础结构。
- (4) 生成围护结构。
- (5) 施工水平支撑。
- (6) 开挖至坑底(土体的开挖一次全部卸除, 不考虑土体分块分层等时空效应的影响)。
- (7) 施工换撑结构。
- (8) 拆除水平支撑。

表 2 结构计算参数

结构类型	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	E/MPa
基坑型钢水泥土连续墙(型钢间距 600mm)	23.0	16500(抗弯等效)
基坑型钢水泥土连续墙(型钢间距 800mm)	22.0	12400(抗弯等效)
基坑型钢水泥土连续墙(型钢间距 900mm)	21.6	11000(抗弯等效)
水平支撑	25.0	30000
基坑换撑	25.0	30000
西开教堂基础	25.0	30000
抗浮桩	25.0	30000
站体结构	25.0	30000
隧道	25.0	25000 (考虑螺栓连接折减 25%)

3 数值模拟结果分析

选取基坑开挖至坑底与拆除水平支撑两个阶段分析基坑施工对自身及既有 3 号线区间和风道的影响。

3.1 土体沉降

3.1.1 基坑开挖至坑底

基坑开挖至坑底时,土体的卸荷效应最大,坑外及坑内土体产生竖向位移。坑外及坑内土体竖向位移图如图 4 所示。

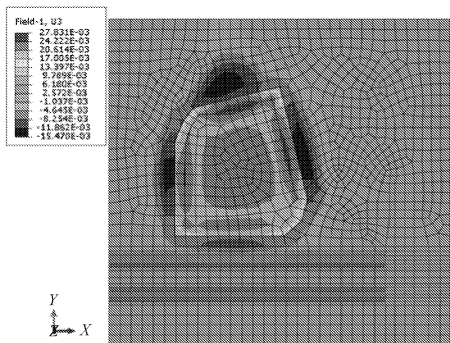


图 4 土体竖向位移场

3.1.2 拆除水平支撑

基坑开挖对周围土体产生扰动,导致围护结构向基坑方向发生位移,导致基坑内外土体应力重分布,表现为基坑外侧区域土体产生一定程度的沉降,基坑底部土体产生一定的隆起。基坑开挖至坑底时,坑外主体最大沉降量为 15.4 mm,坑内土体最大隆起量为 27.8 mm;拆除水平支撑后,坑外主体最大沉降量为 6.7 mm,坑内土体最大隆起量为 27.9 mm (见图 5)。

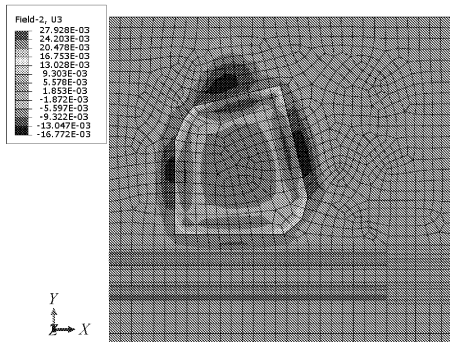


图 5 土体竖向位移场

3.2 基坑围护结构变形

开挖引起围护结构上的土压力发生了改变,围护结构发生变形。由于对撑及边桁架的存在,围护结构 Y 向的水平位移要小于 X 向的水平位移。

基坑施工完成,围护结构的最大水平位移出现在基坑开挖至坑底,发生在围护结构中部。X 方向

最大水平位移为 15.2 mm(见图 6),Y 方向最大水平位移为 13.7 mm(见图 7),靠近隧道一侧的围护结构最大水平位移为 8.3 mm,靠近风道一侧的围护结构最大水平位移为 15.2 mm。

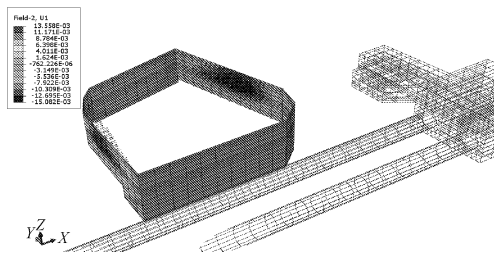


图 6 围护结构 X 向位移(最大值:15.2 mm)

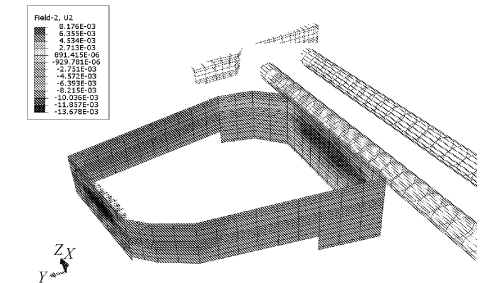


图 7 围护结构 Y 向位移(最大值:13.7 mm)

3.3 既有三号线隧道区间结构变形

地铁 3 号线隧道区间距本工程围护结构约 7.4 m,大致为 1 倍开挖深度。

通过基坑开挖及拆除水平支撑两个施工过程的位移云图可知,基坑开挖至坑底时,隧道产生的竖向位移最大为 1.5 mm,出现在隧道底部偏向基坑侧,随着地下结构的施工,基坑底部的上覆荷载增加,隧道结构产生的竖向位移有所减小(见图 8);隧道水平位移随着基坑开挖过程持续增大,在地下结构施工期间,隧道水平位移增大速率降低,基坑施工完成时,隧道水平位移最大,最大值为 1.6 mm(见图 9),靠近该侧围护结构的中部。

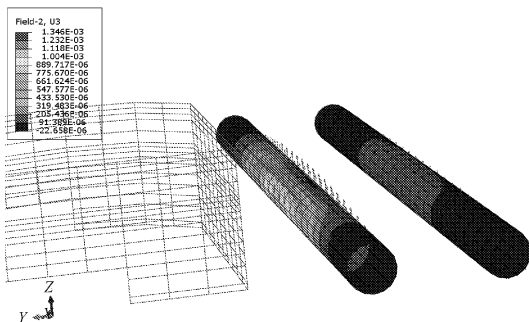


图 8 隧道竖向位移(最大值:1.5 mm,上浮)

3.4 三号线风道结构变形

基坑东北角距地铁三号线营口道站风道最近

27.9 m。大约距基坑 4 倍开挖深度。

基坑施工完成后,由于风道距离基坑较远,风道产生的位移较小。最大水平位移出现在拆除水平支撑后,发生在风道端部,为 0.067 mm(见图 10);最大上浮发生在风道外墙折角处,为 0.028 mm(见图 11)。

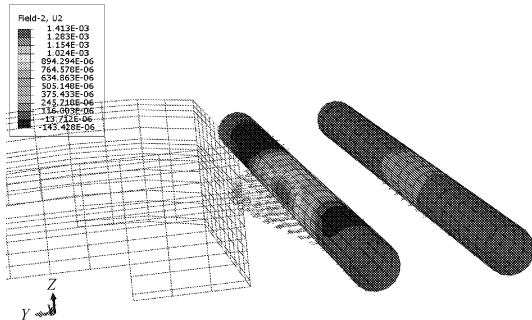


图 9 隧道水平位移(最大值:1.6 mm,向坑内)

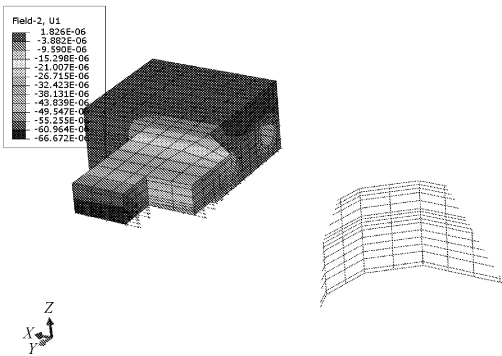


图 10 风道水平位移(最大值:0.067mm,向坑内)

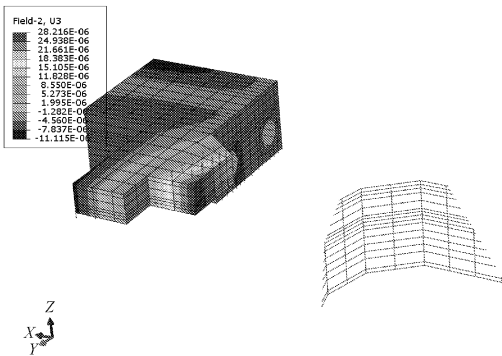


图 11 风道竖向位移(最大值:0.028 mm,上浮)

5 结论

本文以该基坑工程为背景,利用有限元软件 ABUQUS 分析了基坑施工对基坑自身及周边既有地铁结构的变形情况,得到以下结论:

(1) 有限元软件 ABUQUS 能够对受基坑开挖影响的基坑自身及周边地铁结构的变形进行有效的模拟计算,为工程施工提供一定的依据。

(2) 受基坑开挖卸载影响,坑内土体发生隆起

变形,带动地铁结构发生刚体位移,总体上变向为竖向上升。隧道最大上升量为 1.5 mm。

(3) 受围护结构内外侧水土压力差异的影响,导致基坑周边应力重新分布,地铁结构受应力变化的影响向基坑侧移动,出现最大位移位置为距离基坑最近处的基坑中部位置,水平位移最大值为 1.6 mm。

参考文献:

- [1] 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, 36(S2):431-439.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 裴行凯,倪小东. 深基坑开挖对邻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.
- [5] 张治国,张孟喜,王卫东. 基坑开挖对邻近地铁隧道影响的两阶段分析方法[J]. 岩土力学, 2011, 32(7):2085-2092.
- [6] 张治国,黄茂松,王卫东. 邻近开挖对既有软土隧道的影响[J]. 岩土力学, 2009, 30(5):1373-1380.
- [7] 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): 284-290.
- [8] 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.
- [9] 刘方梅. 深基坑开挖对邻近地铁隧道的影响[D]. 杭州:浙江大学, 2015.
- [10] 郑刚,王琦,邓旭,等. 不同围护结构变形模式对抗外既有隧道变形影响的对比分析[J]. 岩土工程学报, 2015, 37(7):1181-1194.
- [11] 邹伟彪,张冬梅,蔡雄威. 基坑开挖对邻近地铁变形的实时监测与数值分析[J]. 地下空间与工程学报, 2012, 8(S2):1728-1731,1736.
- [12] 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, 2014.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.