

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2017.06.031

深圳地铁在建明挖隧道区间基坑 工程施工过程数值模拟

于雅琳¹, 武科¹, 王亚君²

(1. 山东大学 土建与水利学院, 山东 济南 250061;

2. 山东大学 岩土与结构工程研究中心, 山东 济南 250061)

摘要: 在深圳地铁基坑工程的基础上, 用 ABAQUS 数值计算分析方法, 对地铁区间复杂的基坑周边环境进行分析, 研究淤泥质黏土地层对基坑建设的影响。研究表明: 基坑开挖后基坑底部会有比较明显的隆起现象, 基坑塑性破坏区域主要集中于基坑底部与桩基相接触的位置, 随着基坑的开挖施工, 其周边岩土体介质均不存在较明显失稳破坏区域, 对周边建筑物的正常运营影响较小。

关键词: 基坑; 淤泥质黏土; 破坏; 数值模拟

中图分类号: TU43

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2017)06—0158—05

Numerical Simulation of Deep Open Cut Foundation Pit Construction in Large Subway Station of Shenzhen Subway

YU Yalin¹, WU Ke¹, WANG Yajun²

(1. School of Civil Engineering, Shandong University, Jinan, Shandong 250061, China;

2. Geo&Stru Engineering Research Center, Shandong University, Jinan, Shandong 250061, China)

Abstract: In this paper, the influence of silty clay stratum on the construction of foundation pit is studied by analyzing the complicated environment surrounding the foundation pit of the tunnel under the foundation of the foundation pit of the Shenzhen Metro. The results show that there are obvious uplift phenomena at the bottom of the foundation pit after excavation, and the plastic damage area of the foundation pit is mainly concentrated in the position of the bottom of the foundation pit and the pile foundation. With the excavation of the foundation pit, soil medium does not exist obvious damage to the destruction of the area, and there is little impacts to the surrounding building as well.

Keywords: deep foundation pit; silty clay; destruction; numerical simulation

地铁车站的设计和施工是整个地铁线路施工和设计的重点, 而车站明挖深基坑中围护结构的设计占有重要的比例, 而围护结构的工程造价大约能占到整个工程的三分之一。地铁车站深基坑工程的围护结构的设计不仅关系到基坑的安全稳定, 而且能影响到工程的总造价^[1]。基坑的变形受到地下水、岩土特性、外荷载等诸多因素的影响, 开展城市地铁车站深基坑施工力学机理研究对地铁工程的安全建设具有重要价值。

地铁车站施工方法有暗挖法、明挖法、盾构法

等。在地铁设计过程中由于要将项目的安全性和经济性放在首要位置考虑, 所以经常采用明挖的施工方法。由于地铁大多要贯穿于市中心, 所以地铁站周围的建筑物密集且繁华, 从而使地上道路和地下设施交错纵横, 有时也需要从既有建筑物的地下基础附近穿过, 因此大大增加了明挖法的复杂性。为了解决这个问题, 国内外的学者提出许多解决方案, 通过计算机对地铁隧道基坑及其周围的结构进行了仿真模拟, 在结合相应的参数数据和计算理论条件下, 分析施工时的稳定性能, 是预测和分析基坑稳定

性的有效研究方法^[2-6]。

目前,有限元数值模拟方法是研究基坑变形规律^[7]的一种常用手段。常用线性弹性模型或非线性弹性模型来简化土体的本构关系。在实际模拟过程中,模拟结果与实际检测数据偏差较大,这是因为基坑土体力学性能多具有弹塑性等特性^[8]。

为此,以数值计算分析方法为基础,以深圳地铁在建明挖地铁车站深基坑工程为依托,分析了在建地铁车站区间基坑周边复杂的环境,其中将淤泥质黏土地层对深基坑失稳破坏的影响作为重点研究对象,揭示深基坑失稳破坏机理。

1 工程概况

益田停车场为全地下双层停车场,主体基坑长 555.7 m,宽 50.75 m,基坑开挖深度 21.7 m,南北侧分别为福荣路和广深高速公路。基坑采用明挖顺筑法施工,主体围护结构主要选用 800 mm 地下连续墙。场地范围内淤泥层厚度为 10 m 左右,结合主体结构型式,基坑竖向设置 3 道水平支撑,第 1 道支撑采用了钢筋混凝土支撑,支撑水平间距 4 m,第二道支撑和第三道支撑均采用 $\phi 609@2000$ 的钢管支撑。

基坑范围地层自上而下依次为素填土、淤泥、淤泥质黏性土、卵石、砂土、全风化花岗岩、强风化花岗岩、中风化花岗岩。设计的支护模型为连续墙与内支撑相结合。此外,采用双排搅拌桩预加固处理技术对地下连续墙槽壁进行加工,通过增设水泥搅拌桩隔墙和在临近广深高速公路侧增设双排高压旋喷桩,从而达到预防淤泥层纵向滑移的目的^[9-11]。淤泥类土对工程的地质条件有着特殊影响,主要是因为淤泥的孔隙比大且天然含水率很高,极易发生破坏,淤泥的渗水性低,呈中压缩性、高灵敏度、抗剪强度低、承载力低等特点,且在吸水饱和的状态下具有触变性、流变性等特性。此外,淤泥的承载能力十分低,且其强度的增长非常缓慢,对淤泥进行施加荷载

后,易导致淤泥发生大变形形变,且变形大多呈不均匀分布的现象^[12-15]。变形速率大且稳定时间长,并且具有渗透性小、触变性及流变性大等特点^[16],淤泥土地基会对本工程的地层沉降规律造成特殊影响。

2 数值计算方法

本文基于大型有限元程序 ABAQUS,针对淤泥质地层大型地铁车站深基坑工程的稳定性,建立了益田停车场深基坑三维有限元模型,南北侧分别为福荣路和广深高速公路,如图 1 所示。其中,模型长 698 m,宽 287 m,高 80 m,单元共计 95 480。

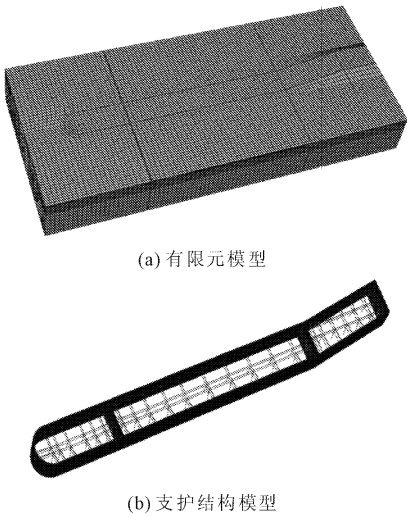


图 1 数值计算模型

模拟中土体采用 Mohr - coulomb 屈服准则,支撑部分采用弹性屈服准则^[17]。模拟中弹性模量 E 的取值目前根据经验公式一般取 $2 E_s \sim 5 E_s$ 。用目前进行的 12 组试算结果,对比监测结果,大致确定 $E = 4 E_s$ 。其他土层参数按照勘测报告取值,勘测报告没有给出的,采用深圳地区其他工程取值暂时代替,岩土介质力学参数如表 1 所示。

数值模拟中采用的模拟步骤与实际工程中的施工步骤相同,具体如表 2 所示。

表 1 模拟中的材料参数表

材料类别	弹性模量/MPa	泊松比	天然重度/(kN·m ⁻³)	黏聚力/kPa	摩擦角/(°)	厚度/(m)
素填土	2.68	0.35	18.7	10	12	5.86
淤泥	3.63	0.32	17.5	7	20	3.63
淤泥质黏性土	5.72	0.30	17.8	10	20	9.42
含淤泥质砂	8.91	0.30	19.0	5	26	0.42
卵石土	12.00	0.29	18.6	8	25	0.82
全风化花岗岩	14.00	0.20	18.7	24	27	2.30

表 2 数值模拟步骤

步骤	模拟施工内容
1	初始地应力平衡
2	施工地连墙
3	开挖第一部分并施工支撑
4	开挖第二部分并施工支撑
5	开挖第三部分并施工支撑
6	开挖第四部分并施工支撑
7	开挖第五部分并施工支撑
8	开挖第六部分并施工支撑
9	开挖第七部分并施工支撑
10	开挖第八部分并施工支撑
11	开挖第九部分并施工支撑
12	开挖第十部分
13	开挖第十一部分
14	开挖第十二部分

3 结果分析

3.1 应力分析

图 2~图 4 分别给出了地铁车站深基坑建设初期、中期和完成后深基坑周边地层和地下连续墙的最大主应力和最小主应力云图。由图 2~图 4 可知:(1) 基坑的开挖,导致基坑周围土体变形,这对周边既有公路的影响比较大,运营公路一侧的深基坑支护结构将承受一定的应力作用;(2) 基坑开挖后,由于开挖部分土体的侧向土压力的作用,桩基会产生反弯点,而在基坑底部作为反弯点的支点的土体,就会产生明显的应力集中现象,其最大主应力值可以达到 1 MPa 左右,明显比起附近的土体的应力值要大许多;(3) 地连墙应力分布不均,受支撑影响,支撑与地连墙连接部位应力达到 3.6×10^5 MPa,而无支撑连接部分应力在 $3.6 \text{ MPa} \sim 6.6 \times 10^5 \text{ MPa}$ 之间,明显大于周围土体应力。

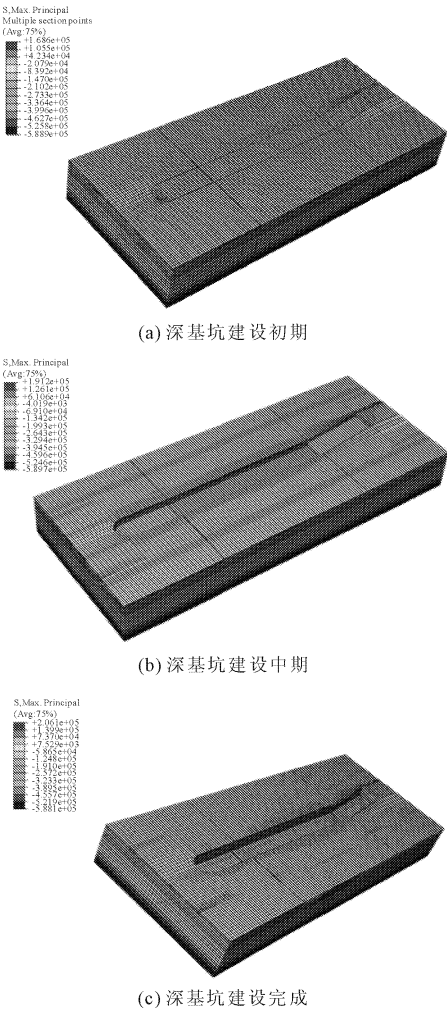


图 2 深基坑周边地层最大主应力

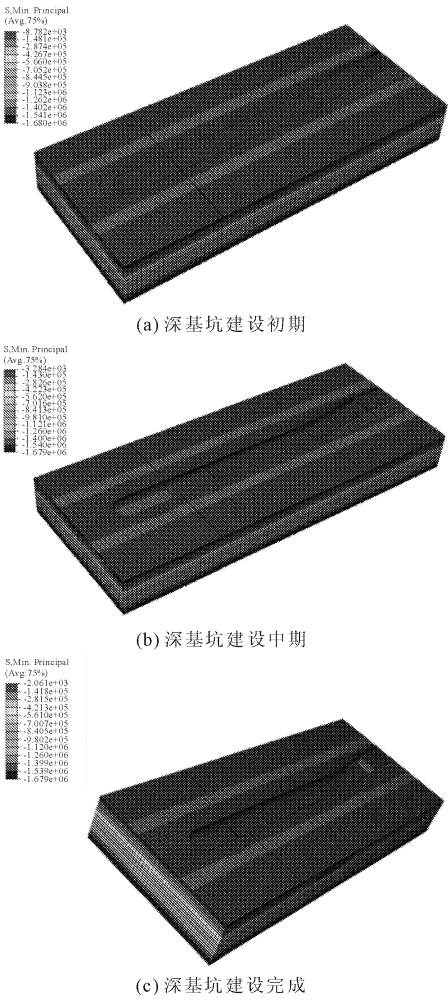


图 3 深基坑周边地层最小主应力

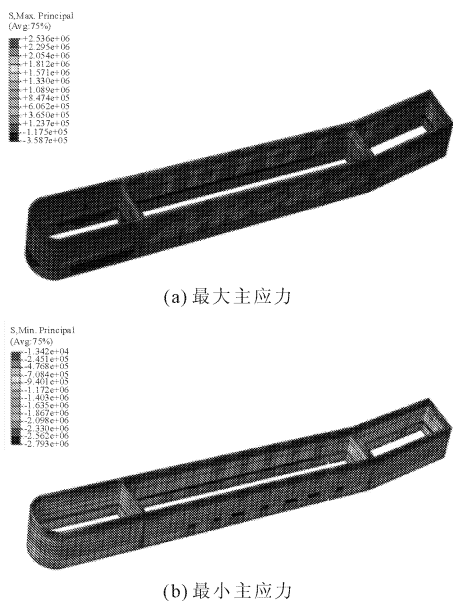


图 4 地下连续墙主应力

3.2 应变分析

图 5 给出了大型地铁车站深基坑开挖完成之后竖向变形云图。图 6 为地下连续墙竖向变形曲线图。由图 5、图 6 可知:(1) 基坑开挖后基坑底部会有比较明显的隆起现象,这在基坑施工中影响还是比较大的,因此在施工中要特别注意采取相应措施;(2) 基坑两侧部位有比较明显的沉降产生,其沉降量可达 28 mm,沉降范围也是比较小的,周边既有结构的沉降位移也是非常小的,可以忽略不计;(3) 第三层开挖完成后地表沉降影响范围与开挖深度成正相关,并且每层开挖后的沉降趋势为先增大后减小。

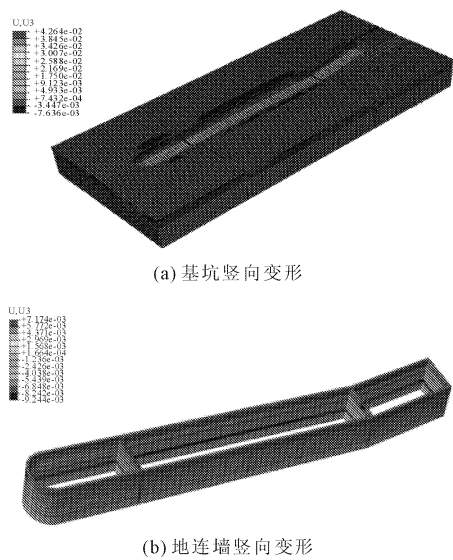


图 5 竖向变形图

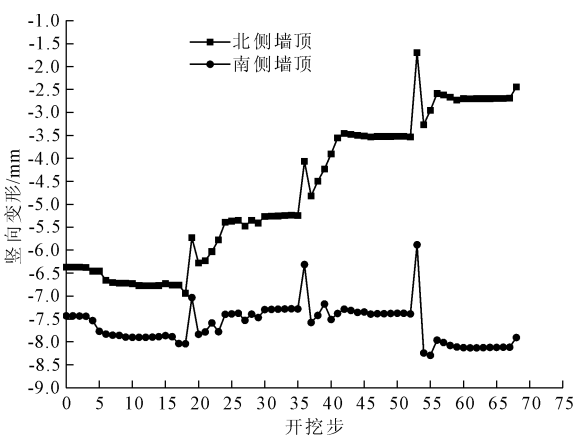


图 6 地下连续墙墙顶竖向位移变形曲线

图 7 为大型地铁车站深基坑开挖完成之后水平方向变形云图,图 8 为地下连续墙横向变形曲线图。由图 7、图 8 可知:(1) 水平方向变形量最大的地方位于基坑顶部两侧位置,其最大值可以达到 24 mm,这是在主动土压力的影响下,基坑顶部两侧土体有比较明显的向基坑内部方向变化的趋势,这与现有研究以及工程经验相符合一致;(2) 由于桩基的存在,基坑底部土体作为桩基的一个支撑点,其受力也是比较大的,相应地表现在位移方面,基坑底部两侧也有向中间变形的趋势,其变形量最大可以达到 23 mm。

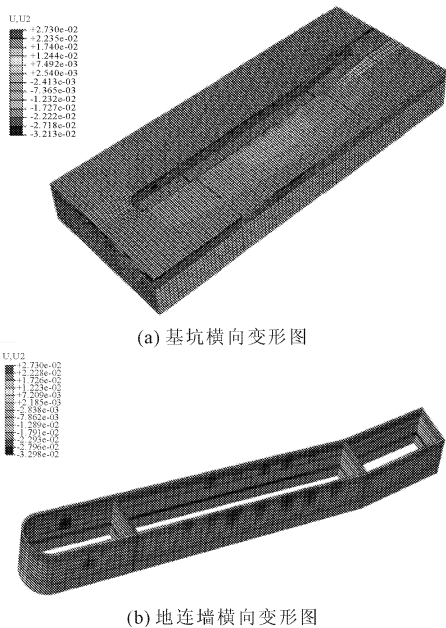


图 7 横向变形图

3.3 塑性破坏区

图 9 给出了深基坑塑性破坏区云图。由图 9 可知:(1) 塑性区域主要出现在基坑底部以下靠近桩基的位置,该位置作为桩基的支点;(2) 在该位置以上部分桩基受力主要是水平指向基坑内部,在该

位置以下桩基受力主要是水平指向基坑的外部;
(3) 在既有隧道支护结构的两侧的两个角点位置的上部,由于其距离所要开挖的基坑比较近,所受基坑开挖的影响比较大,应力水平比较高,故也相应地出现了塑性区域。

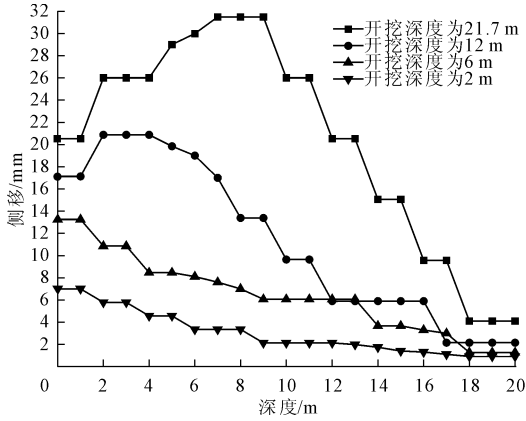


图 8 地下连续墙横向位移变形曲线

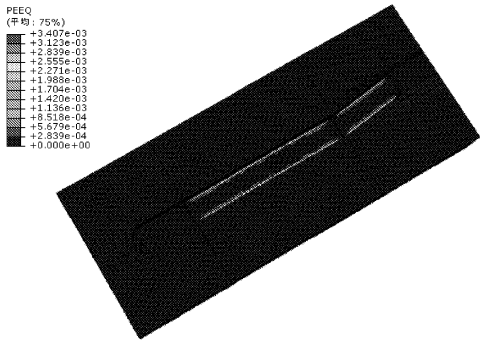


图 9 塑性区图

4 结 论

在数值计算的基础上,结合深圳地铁在建地铁车站深基坑的工程,分析了在建地铁车站区间基坑周边复杂的环境,其中将淤泥质黏土地层对深基坑失稳破坏的影响作为重点的研究对象。揭示深基坑失稳破坏机理。得到以下研究结果:

- (1) 按照设计要求进行深基坑工程建设,虽然深基坑的开挖对周边隧道的影响比较大,且运营公路一侧的支护结构将承受一定的应力作用,但整体不会对既有公路产生破坏和影响。
- (2) 基坑塑性破坏区域主要集中于基坑底部与桩基相接触的位置。
- (3) 支护结构受力最大的位置位于纵向支撑与桩基之间的节点位置以及横向第三道支撑的中部位

置。因此,在施工建设过程中应加强监测,及时调整支护参数。

参考文献:

- [1] 台启民,张顶立,房倩,等.暗挖重叠地铁隧道地表变形特性分析[J].岩石力学与工程学报,2014,33(12): 2472-2480.
- [2] 汲广坤.地铁车站深基坑近距离建筑物保护施工技术措施[J].隧道建设,2011,31(S2):120-125.
- [3] 吴梦军,李科,刘元雪.隧道基坑穿越建筑桩基保护方案探讨[J].地下空间与工程学报,2016,12(S1):312-317.
- [4] 丁勇春,程泽坤,王建华,等.深基坑施工对历史建筑的变形影响及控制研究[J].岩土工程学报,2012,34(S1): 644-648.
- [5] 梁志荣,陈颖,黄开勇.紧邻历史保护建筑深基坑设计实践及监测分析[J].岩土工程学报,2014,36(S2): 483-488.
- [6] 刘律智,杨涛,马鹏真.广州软土的压缩特性与修正剑桥模型参数 λ 和 κ [J].水利与建筑工程学报,2016, 14(1):45-48.
- [7] 朱彦鹏,杨校辉,周勇,等.兰州地铁车站深基坑支护选型分析与数值模拟研究[J].水利与建筑工程学报, 2016,14(1):55-59.
- [8] 孙豫.地铁车站基坑稳定性及变形特性研究[D].抚州:东华理工大学,2016.
- [9] 佟国锋.地铁车站深基坑开挖变形控制的研究[D].合肥:合肥工业大学,2016.
- [10] 许斌.杭州软土地区地铁车站深基坑开挖引起的变形效应分析研究[D].杭州:浙江工业大学,2016.
- [11] 王军琪,张坚.西安地铁区间隧道穿越地裂缝防水设计及其效果研究[J].水利与建筑工程学报,2016,14 (1):197-201.
- [12] 马海贤.地铁深基坑开挖施工技术[J].安徽建筑, 2013,20(6):104-105.
- [13] 谭维佳,王新刚,胡斌,等.不同建筑物对地铁基坑相互效应影响分析[J].地下空间与工程学报,2014,10 (4):868-872.
- [14] 王伟.紧邻新建地铁深基坑的既有地铁结构安全性评估与监控[J].铁道建筑技术,2012(2):34-38.
- [15] 王继刚,刘琴文,徐刚.地铁深基坑降水施工技术[J].中国水运月刊,2012,12(4):215-216.
- [16] 张彬,李洋,于相连,等.地铁深基坑安全优化有限元模拟[J].辽宁工程技术大学学报,2015,34(1): 21-25.
- [17] 王淑艳.地铁深基坑开挖对周围路面沉降数值模拟分析[J].中国工程咨询,2016(2):39-40.