

文章编号: 1005-2992(2018)03-0067-05

用 FLAC3D 分析地铁车站基坑开挖与支护

侯景鹏¹, 邢继光²

(1. 东北电力大学 建筑工程学院, 吉林 吉林 132012; 2. 中铁工程设计咨询集团有限公司太原设计院, 太原 山西 030000)

摘 要: 运用三维有限差分软件 FLAC3D 对深圳市地铁 9 号线某车站工程进行了基坑开挖与支护模拟。土体采用摩尔-库伦模型进行计算, 得到了基坑开挖过程中各工况的竖直位移和水平位移。计算结果显示位移较小, 基坑支护结构的设计安全可靠。基坑端部墙体在 18 m 范围内对基底隆起的影响较为明显, 其范围相当于开挖深度。基坑端部墙体在 20 m 范围内对基坑侧移的影响较为明显, 其范围相当于基坑宽度。地表沉降最大值点和水平位移最大值点都出现在距离基坑边缘 15 m ~ 25 m 的区域内, 大致相当于开挖深度。模拟结果可以作为今后设计施工的参考。

关 键 词: 地铁车站; 基坑开挖支护; 变形规律; FLAC3D 模拟

中图分类号: TU9

文献标识码: A

我国城市建设飞速发展, 人口快速向大城市集中, 城市道路交通拥堵问题日益严重。各大城市为缓解交通拥堵问题不约而同地选择开发地下空间, 我国迎来了一轮建设地铁工程的高潮。车站深基坑的平面尺寸及开挖深度都有增大的趋势, 容易导致基坑周围土体产生较大位移, 使深基坑设计施工的难度不断提高。建设地铁车站不仅要保证基坑支护体系和基坑本身的稳定, 还要保证附近建筑和地下管线不受破坏, 这就要求施工中严格控制周围土体的变形。本文使用 ITASCA 公司推出的有限差分软件 FLAC3D 对深圳市地铁 9 号线某车站深基坑的开挖支护进行了数值模拟, 根据模拟结果分析基坑内外土体竖直位移和水平位移的规律。

1 工程概况

1.1 地质条件

车站全长为 315.638 m、标准段宽为 21.6 m, 车站底板埋深约 17.5 m。车站主体和附属结构均采用明挖顺筑法施工。该工程属深圳市重点建设项目, 工程重要性等级为一级; 地形地貌较简单、不良地质作用一般发育。

原始地貌为台地及其间沟谷区, 地势平坦。根据野外地质钻探结果和广东地区地质资料, 上覆土层是第四系松散层, 下伏基岩主要由花岗岩组成。

岩土分层主要有: 素填土层, 平均 2.48 m; 填石层, 平均 1.02 m; 残积可塑状砾质粘性土层, 平均 2.32 m; 残积硬塑状砾质粘性土层, 平均 4.80 m; 全风化花岗岩层, 平均 3.78 m; 强风化花岗岩层, 平均 3.61 m; 中风化花岗岩层, 平均 2.21 m; 微风化花岗岩层, 平均 7.82 m。

根据车站工程基坑尺寸和地质情况, 基坑侧壁主要为残积砾质粘性土层及全、强、中、微风化花岗

收稿日期: 2018-03-05

第一作者: 侯景鹏(1973-), 男, 博士, 教授, 主要研究方向: 混凝土结构和材料力学性能

通讯作者: 邢继光(1989-), 男, 硕士, 主要研究方向: 混凝土结构和材料力学性能

电子邮箱: 20100392@neepu.edu.cn(侯景鹏); 584727280@qq.com(邢继光)

岩,基坑底板主要为强、中、微风化花岗岩。

1.2 支护方案

连续墙具有刚度大、整体性好、防渗性好、适应性强等优良性能,因此车站主体结构采用连续墙形式,附属结构可采用钻孔灌注桩,亦可采用螺杆桩^[1]。

设计采用 800 mm 厚地下连续墙,墙顶设冠梁,截面为 1.0 m×0.8 m,在墙顶冠梁位置设第一道钢筋混凝土支撑,支撑截面为 0.6 m×1.0 m,纵向支撑间距为 9.0 m,第二、三道支撑采用钢管撑,管径 600 mm。深基坑开挖过程一般选择分层开挖,支撑架设需要操作平台,应开挖到支撑以下一定深度后再架设支撑。

根据上述情况,制定方案如下:

在墙顶处设置第一道钢筋混凝土水平支撑;向下挖至 8.5 m 深度处,在 8 m 深度处设置第 2 道水平钢支撑,此时为工况一;向下挖至 13.5 m 深度处,在 13 m 深度处设置第 3 道水平支撑,此时为工况二;最后向下挖至底部 17.5 m 深度,此时为工况三。

2 基坑开挖支护数值模拟

2.1 FLAC3D 在基坑开挖中的应用

FLAC3D 是美国 ITASCA 咨询集团公司推出的基于有限差分法的软件。可以分析渐进破坏和失稳,在大变形模拟方面优于其他模拟软件。它包括弹性材料模型、塑性材料模型、莫尔-库仑弹性材料模型、应变软化/硬化塑性材料模型等多种本构模型。除了岩土材料外,梁、桩、壳以及支护、衬砌、锚索、土工织物、摩擦桩等结构也可以用 FLAC3D 进行模拟^[2]。

2.2 计算模型及参数

建模主要分为两部分:基坑土体和地下连续墙采用实体单元,实体单元的物理模型比衬砌单元清晰,参数较少。混凝土支撑和钢管支撑采用 beam 单元。

FLAC3D 中的“null”模型非常适用于模拟基坑的开挖^[3],模型单元被设定为“null”表示将该单元从模型中删除。地铁车站基坑长度较长,基坑中间很多部分处于同样的受力状态,会增加很多重复计算,降低计算效率,故选取基坑模型尺寸为长 36 m,宽 20 m,深 18 m。选取合适的计算边界有利于提高计算效率和结果的精度^[4]。取整体模型的尺寸为长 96 m,宽 160 m,高 38 m。

以端部基底中点为原点,基坑纵向为 x 方向,基坑宽度方向为 y 方向,深度方向为 z 方向。模型四周各侧面和底面均限制法向位移;模型顶面即地面,设为自由面。建模时合理地划分网格能够明显提高计算效率。距离基坑较近的区域是研究中重点,应该增加网格密度。距离较远区域受开挖的影响较小,网格可以疏一些。分析模型及支护示意图,如图 1 所示。

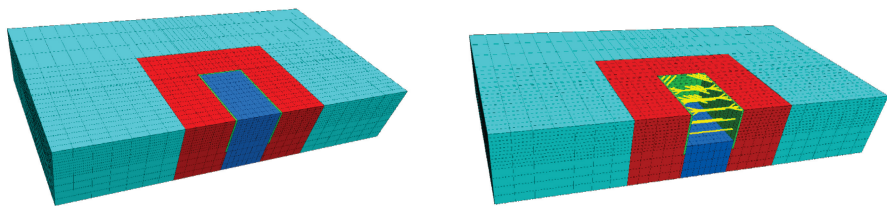


图 1 分析模型及支护示意图

3 数据分析

3.1 基底隆起变形

竖直位移云图,如图 2 所示。可以看出基底中点隆起比较明显。

在距离端部 36 m 的基坑底部取 6 个监测点,分别距离基坑中点 0 m、2 m、4 m、6 m、8 m 和 10 m。将测点各工况的基底隆起绘制成图,如图 3 所示。可以看出每次开挖后隆起明显增加,基底中点隆起变形最大,距离中点越远隆起变形越小,基底边缘受围护结构制约,隆起最小。整体隆起变形数值偏大,这是土的回弹模量一般大于压缩模量造成的。在莫尔-库仑模型的研究中,目前除了在回弹为主的区域增大弹性模量参数数值,还没有更好的解决方案被提出。

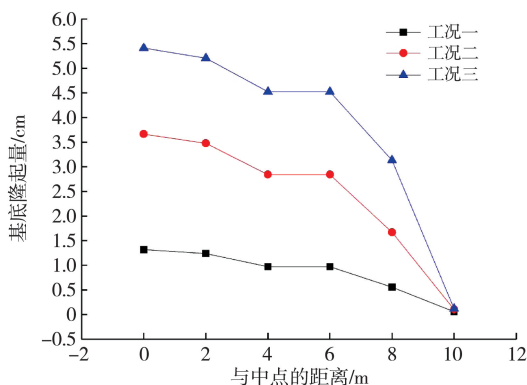


图3 y方向排列各测点的基底隆起

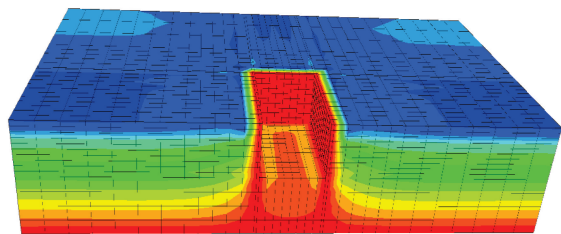


图2 竖直位移云图

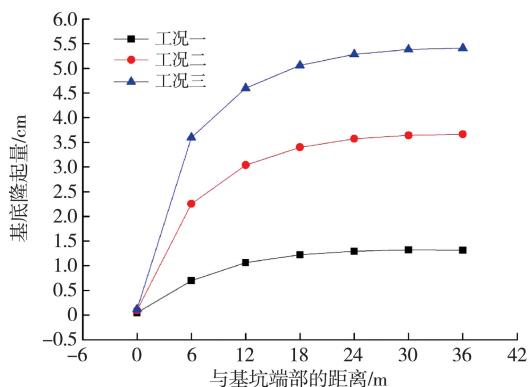


图4 x方向排列各测点的基底隆起

在基底中心线上取 7 个监测点,分别距离端部 36 m、30 m、24 m、18 m、12 m、6 m 和 0 m。将测点各工况的基底隆起绘制成图,如图 4 所示。可以看出靠近基坑端部的范围,端部墙体对基底隆起有明显的约束作用,而远离基坑端部的部分,基底隆起虽然也随着端部距离的增大而增加,但增长并不明显。三个工况的开挖深度分别为 8.5 m、13.5 m 和 18 m,而三个工况分别在距离端部 8.5 m、13.5 m 和 18 m 左右的位置开始,隆起增长的趋势明显放缓。由此可知基坑端部墙体对基底隆起有显著影响的范围基本相当于开挖深度。

3.2 基坑坑壁侧移

水平位移云图,如图 5 所示。可以看出支护结构约束作用明显,基坑侧移最大值没有出现在基坑顶部。

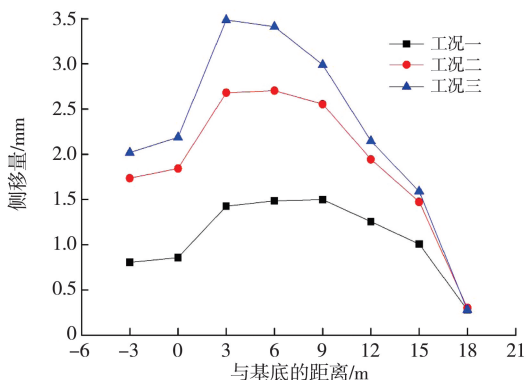


图6 竖直排列各测点的侧移量

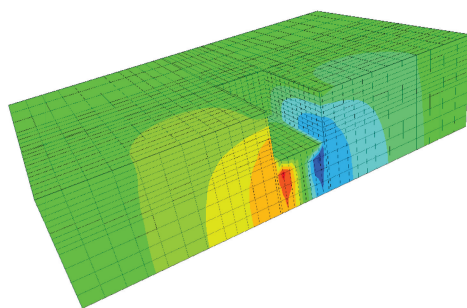


图5 y方向水平位移云图

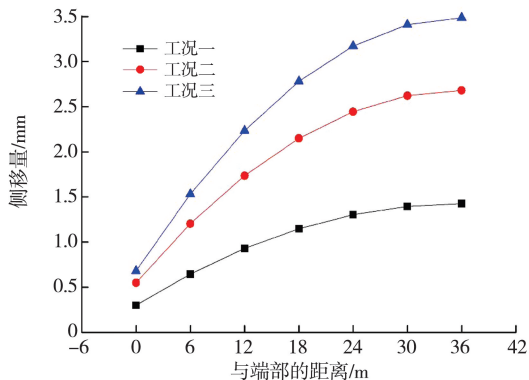


图7 水平排列各测点的侧移量

在距基坑端部 36 m 的基坑一侧设置 8 个监测点,分别距离基底-3 m、0 m、3 m、6 m、9 m、12 m、15 m 和 18 m. 将测点各工况的侧移绘制成图,如图 6 所示. 可以看出第一道混凝土支撑有效限制了基坑顶部的侧移,基坑侧移最大值出现在距基底 3 m 处,最大值为 3.49 mm,最大值点高度以下受内部土体约束而逐渐减小^[5~6]. 工况一中,侧移最大值出现在开挖深度以下,这是因为第一道钢筋混凝土支撑刚度较大,更好地限制了顶部的侧移. 所以应纵向分段开挖,每开挖一段立即设置支撑,钢管撑可施加预应力,以此减小基坑的水平变形.

在基坑一侧基底以上 3 m 处设置 7 个监测点,分别距离基坑端部 36 m、30 m、24 m、18 m、12 m、6 m 和 0 m. 将测点各工况的侧移量绘制成图,如图 7 所示. 可以看出每次开挖后基坑侧移都明显增加,端部墙体限制附近范围的基坑侧移,距离端部越远,侧移量越大. 端部墙体在 20 m 范围内对基坑侧移影响比较显著,相当于基坑宽度.

3.3 地表位移

在距端部 36 m 的地表设置 15 个监测点,距离基坑中线的距离分别为 10 m、12.5 m、15 m、17.5 m、20 m、22.5 m、25 m、27.5 m、30 m、35 m、40 m、50 m、60 m、70 m 和 80 m. 将测点各工况沉降绘制成图,如图 8 所示. 可以看出连续墙有上浮的趋势,沉降最大值出现在距基坑边缘一定距离的地方,随着距离增加,基坑开挖对地表沉降的影响也越来越小^[7~11]. 而沉降最大值出现的位置距基坑边缘 15 m~25 m,数值上与开挖深度相近. 在地表位移最大值可能出现的范围加强位移监测可以有效监控地下工程对临近建筑的影响^[12].

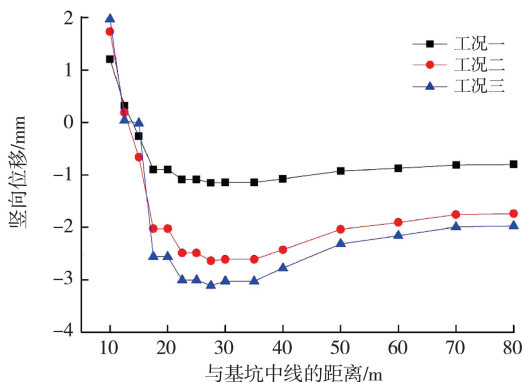


图 8 地表竖向位移

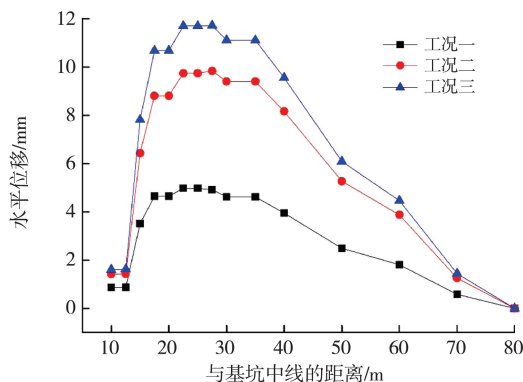


图 9 地表水平位移

将各测点各工况 y 方向水平位移绘制成图,如图 9 所示. 可以看出水平位移的变化趋势与竖直沉降类似,最大值也出现在距基坑边缘一定距离的区域. 随着与基坑中线的距离越来越大,水平位移也逐渐减小. 水平位移最大值与沉降最大值出现的位置在同一范围内.

4 结 论

(1) 利用三维有限差分软件 FLAC3D 对基坑进行分步开挖支护模拟,计算得到基底隆起,基坑侧移,地表竖直和水平位移.

(2) 基底隆起最大值发生在基底中心处,基坑端部墙体在 18 m 范围内对基底隆起的影响较为明显,其范围相当于开挖深度.

(3) 基坑侧移最大值出现在距基底 3 m 处,最大值为 3.49 mm. 基坑端部墙体在 20 m 范围内对基坑侧移的影响较为明显,其范围相当于基坑宽度.

(4) 地表沉降最大值出现的位置距基坑边缘 15 m~25 m,数值上与开挖深度相近.

(5) 支护结构的设计是安全可靠的,计算结果可以为工程设计提供参考.

参 考 文 献

- [1] 龚靖,刘宇,徐佩洪. 新型螺杆桩技术及其工程应用[J]. 东北电力大学学报,2016,36(3):91-95.
- [2] 马露,李琰庆,蔡怀恩. FLAC3D 在深基坑支护优化设计中的应用[J]. 河北工程大学学报:自然科学版,2007,24(4):35-38.
- [3] 刘勇,冯志,黄国超,等. 北京地铁工程深基坑围护结构变形研究[J]. 地下空间与工程学报,2009,5(2):329-335.
- [4] 朱彦鹏,吴意谦. 某地铁车站深基坑变形规律数值模拟及优化[J]. 兰州理工大学学报,2014,40(1):108-113.
- [5] 刘均红. 地铁车站深基坑变形规律的三维数值模拟分析[J]. 北方交通,2011(7):55-58.
- [6] 任建喜,冯晓光,刘慧,等. 地铁车站深基坑围护结构变形规律监测研究[J]. 铁道工程学报,2009(3):89-92.
- [7] 刘继国,曾亚武. FLAC3D 在深基坑开挖与支护数值模拟中的应用[J]. 岩土力学,2006,27(3):505-508.
- [8] 麻凤海,张维来,吕培印. 地铁车站深基坑开挖对土体影响的数值模拟[J]. 辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2012,31(3):295-299.
- [9] 房师军,付拥军,姚爱军. 某地铁工程深基坑排桩围护结构变形规律分析[J]. 岩土工程学报,2011,33(S1):216-219.
- [10] 周爱其,龚晓南,刘恒新等. 内撑式排桩支护结构的设计优化研究[J]. 岩土力学,2010,31(S1):245-255.
- [11] 吴意谦,朱彦鹏. 兰州市湿陷性黄土地区地铁车站深基坑变形规律监测与数值模拟研究[J]. 岩土工程学报,2014,36(S2):404-410.
- [12] 高飞,李长庆,倪博,等. 平行隧道施工对路面基础沉降的影响[J]. 东北电力大学学报,2016,36(3):96-101.

Analysis of Foundation Pit Excavation and Support of Subway Station by FLAC3D

Hou Jingpeng, Xing Jiguang

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Northeast Electric Power University, Jilin Jilin 132012; 2. Taiyuan Design Institute, China Railway Engineering Design and Consulting Group Co. Ltd., Taiyuan Shanxi 030000)

Abstract: Three dimensional finite difference software FLAC3D was used to simulate the excavation and support of a metro station in Shenzhen Metro Line 9. The vertical displacement and horizontal displacement of the foundation pit in the excavation process are calculated by using the Mohr-Kulun model. The results show that the displacement is small, and the design of the support structure is safe and reliable. The influence of the end wall of the foundation pit on the uplift of the basement is more obvious in the range of 18m, which is equal to the depth of excavation. The influence of the end wall of foundation pit on the lateral displacement is more obvious in the range of 20m, which is equal to the Pit width. The maximum value of surface settlement and the maximum horizontal displacement of ground surface appear in the area between 15m and 25m, which is approximately equal to the depth of excavation. The simulation results can be used as reference for future design and construction.

Key words: Metro station; Foundation pit excavation support; Deformation law; FLAC3D simulation