

地铁隧道与邻近建筑物施工相互影响的数值分析

龙彪

(南昌市政公用城轨咨询管理有限公司, 330038, 南昌//高级工程师)

摘要 在规划的城市轨道交通线路周边进行工程建设不可避免, 工程建设对后期城市轨道交通建设的影响需作提前考虑, 并应考虑后期城市轨道交通建设对该建设工程的影响, 避免后期城市轨道交通建设难以实施或对建设工程造成不良影响。以南昌县某办公楼改扩建工程与南昌地铁 3 号线延伸线施工为例进行了数值计算分析, 结果表明: 增加靠近区间隧道的建筑物桩长再施工地铁隧道能够获得更小的地层位移、隧道内力、基础梁位移、桩基位移, 可为类似工程提供参考。

关键词 地铁隧道; 建筑物; 施工; 数值分析

中图分类号 TU433

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2019.08.019

Numerical Analysis of the Interaction between Subway Tunneling and Adjacent Building Construction

LONG Biao

Abstract It is unavoidable to implement construction engineering along the planned urban rail transit, but It is necessary to consider in advance the impact of engineering project on the later rail transit construction, and vice versa to avoid the adverse effects on rail transit construction. In this paper, based on the reconstruction project of an office building in Nanchang County and the extension of Nanchang rail transit Line 3, a numerical analysis is carried out. The result shows that the displacement of stratum, tunnel internal force, foundation beam and pile foundation during subway construction could be reduced by increasing the pile length of buildings adjacent to subway tunnel. This research may provide a reference for similar projects.

Key words subway tunnel; building; construction; numerical analysis

Author's address Nanchang municipal public urban rail consulting management Co., Ltd., 330038, Nanchang, China

1 工程概况

南昌县某办公楼改扩建工程位于南昌县莲塘

大道和银良北路交口西南侧, 为地面 7 层、地下 1 层的框架结构, 采用桩基础; 该建筑物对差异沉降敏感, 相邻桩基的允许沉降差为建筑物长度的 2‰, 整体倾斜允许值为 3 mm。场区地面整平标高约为 24.50 m。

南昌地铁 3 号线延伸线区间隧道采用盾构法施工^[1], 其外径为 6 m、内径为 5.4 m; 隧道外侧距离南昌县该办公楼桩基础约 2 m。两者位置关系如图 1 所示。

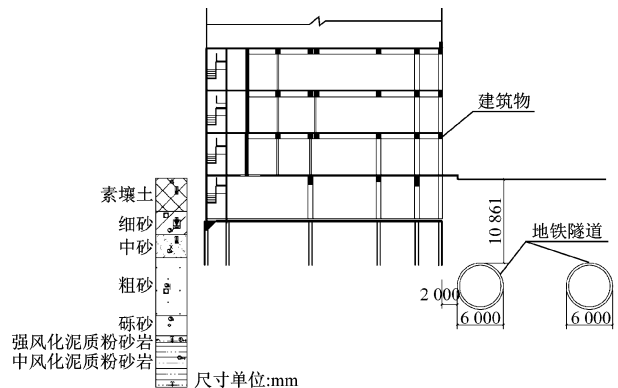


图 1 南昌地铁 3 号线延伸线与某办公楼改扩建工程横剖面示意图

根据两项目实施顺序, 待南昌县该办公楼改扩建工程完成后, 地铁 3 号线结合后续建设规划, 再进行延伸线施工。因此, 南昌县该办公楼设计方案, 必须考虑今后地铁 3 号线盾构隧道施工对其产生的影响。

2 工程及水文地质

2.1 工程地质

场地地层属第四系全新统人工堆积层 (Q_{4ml}) 和冲积层 (Q_{4al}), 下伏基岩为第三系新余群 (Exn) 地层。按地层时代、地质成因类型及工程地质性质分为 8 个工程地质层, 各地层岩土主要参数详见表 1。

2.2 水文地质

场地内地下水主要为第四系人工填土中的上层

表 1 岩土层主要参数

| 层序和 地层岩性 | 状态 | 重度/ (kN/m³) | 抗剪强度(直剪) | | 压缩模量/ MPa | 渗透系数/ (m/d) | 承载力特征 值/kPa |
|-------------|-----|----------------|----------|----------|--------------|----------------|----------------|
| | | | 黏聚力/kPa | 内摩擦角/(°) | | | |
| ②粉细砂 | 稍密 | 19.5 | 3.0 | 20.0 | 10.00 | 6.0 | 140 |
| ③中砂 | 中密 | 19.5 | 2.0 | 25.0 | 15.00 | 20.0 | 180 |
| ⑤粗砂 | 中密 | 19.8 | 0.0 | 30.0 | 20.00 | 22.0 | 240 |
| ⑥砾砂 | 中密 | 20.0 | 0.0 | 40.0 | 30.00 | 45.0 | 300 |
| ⑦泥质粉砂岩 | 强风化 | | | | | | 400 |
| ⑧泥质粉砂岩 | 中风化 | | | | | | 1 100 |

滞水及第四系砂土层中孔隙潜水。

上层滞水:主要赋存于浅部人工填土层中,水量较贫乏,主要受大气降水补给,蒸发为主要排泄方式。

孔隙潜水:主要赋存于全新统冲积(Q_{4al})砂土层中,勘察期间测得场区稳定水位埋深为 2.80 ~ 6.35 m,稳定水位高程为 20.16 ~ 20.64 m。场地内地下水主要受赣江水体控制,地下水主要接受赣江地表水体的补给,受人为开采影响小。平水季节及枯水季节,地下水向赣江排泄;汛期赣江水位上涨,江水返补给地下水。常水位年变幅为 1.0 ~ 3.0 m。

3 数值模拟分析

3.1 计算荷载

采用 Plaxis 软件进行数值分析^[2],模拟中由于 Plaxis 软件较难真实模拟该办公楼,因此采用回填覆土压重的方式模拟该楼的楼面荷载(包括恒载与活载)。荷载计算方法如下:框架结构为 11 ~ 14 kN/m²,框架-剪力墙结构为 12 ~ 15 kN/m²,剪力墙结构为 14 ~ 17 kN/m²;框架-核心筒结构为 13 ~ 15 kN/m²。当建筑物较高时(大于 20 层)可取上限,较低时可取下限,地下室每层可按 20 kN/m² 估算。按最不利情形,建筑物的荷载 W = 125 kN/m²(7 层楼和 1 层地下室),回填覆土为 114.075 kN/m²,因此需在桩基础上增加 11 kN/m² 的分布荷载。

3.2 计算工况

为分析不同桩长时地铁盾构推进对该办公楼建筑的影响,采用三维有限元分析两种不同的工况。
工况一:该办公楼桩底按正常设计,桩底位于粗砂层,且桩底标高位于隧道顶,如图 1 所示。
工况二:将办公楼靠近地铁侧桩底深入中风化泥质粉砂层,且桩底标高低于隧道底,如图 2 所示。

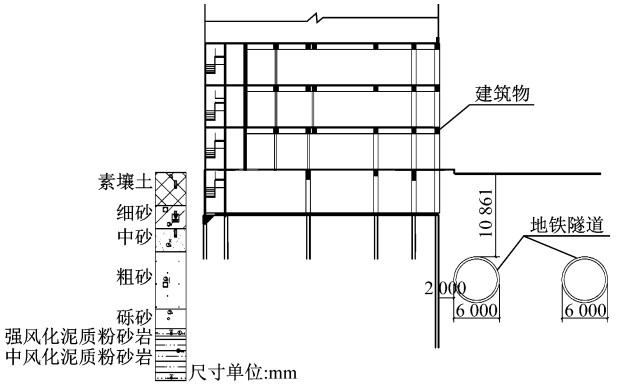


图 2 工况二下区间隧道与建筑物桩基横剖面示意图

3.3 计算结果

3.3.1 工况一计算结果

当隧道开挖完成后,土体附加水平位移为 13 mm 左右,出现在隧道左斜上方位置,桩基与隧道之间的附加水平位移约 6 mm,如图 3 所示。

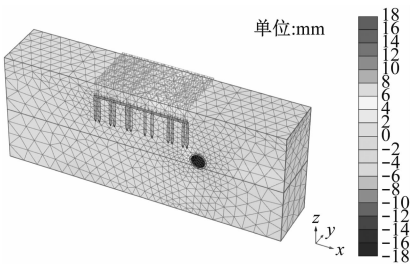


图 3 工况一下区间隧道施工完后土体水平位移

当隧道开挖完成后,土体附加竖向沉降位移增量为 18 mm,出现在隧道上方位置,桩基与隧道之间的附加竖向位移约 10 mm,如图 4 所示。

从图 5 中可以看到,基础梁在地铁隧道开挖完成后,最大竖向位移为 9.6 mm。最大变形的桩基在地铁隧道开挖完成后,最大竖向位移为 9.5 mm。考虑已建办公楼荷载影响,地铁 3 号线盾构隧道完成后,工况一状况下隧道结构内力如图 6 ~ 8 所示。

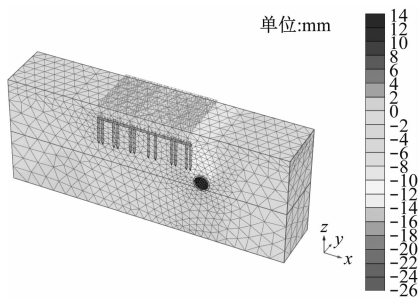


图4 工况一下区间隧道施工完后土体竖向位移

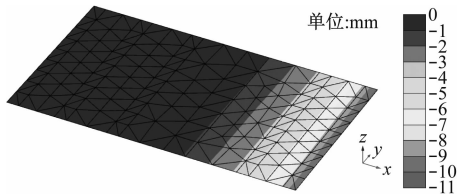


图5 工况一下区间隧道施工完成后基础梁竖向位移

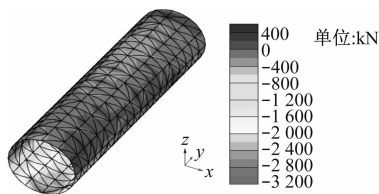


图6 工况一下隧道轴力

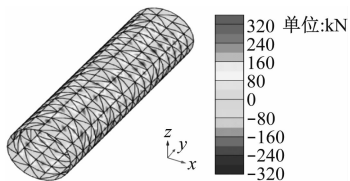


图7 工况一下隧道剪力

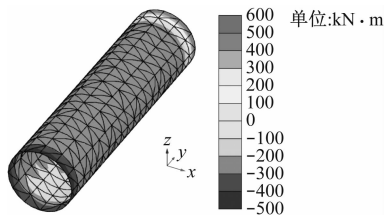


图8 工况一下隧道弯矩

3.3.2 工况二计算结果

当隧道开挖完成后,土体附加水平位移为 11 mm 左右,出现在隧道右斜上方位置,桩基与隧道之间的附加水平位移约 4 mm,如图 9 所示。

当隧道开挖完成后,土体附加竖向沉降位移增量在 14 mm,出现在隧道上方位置,桩基与隧道之间的附加竖向位移约 6 mm,如图 10 所示。

从图 11 中可以看到,基础梁在地铁开挖完成后,最大竖向位移为 1.8 mm。

从图 12 中可以看到,桩基在地铁隧道开挖完成后,最大竖向位移为 1.7 mm。

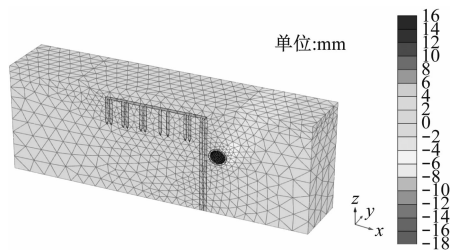


图9 工况二下区间隧道施工完后土体水平位移

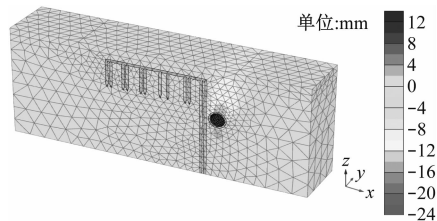


图10 工况二下区间隧道施工完后土体竖向位移

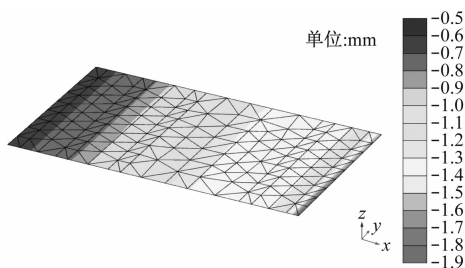


图11 工况二下基础梁竖向位移

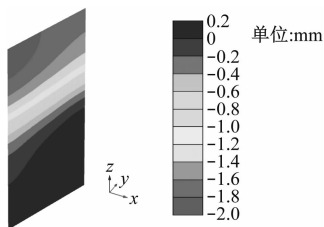


图12 工况二下桩基最大竖向位移

考虑已建办公楼荷载影响,地铁 3 号线盾构隧道完成后,工况二状况下隧道结构内力如图 13 ~ 15 所示。

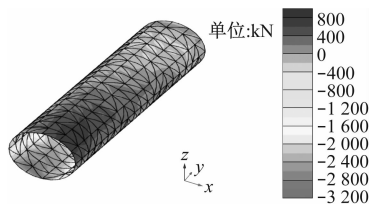


图13 工况二下隧道轴力

从图 14 中可以看到,隧道在开挖完成后,承受最大轴力 -3 050 kN,最大剪力 315.6 kN,最大弯矩 37.5 kN·m。

(下转第 93 页)

较高,如图7~8所示。这是因为这些点距离永磁转子最近,渗入进来的磁通线较多的缘故。尽管A点和E点距离超导块材的两条边都是最近的,但是A点同时离气隙 g_b 很近,其磁场幅值是最大的。从数值上看,A点 B_r 和 B_z 的幅值分别为 0.1076 T 和 0.0998 T 。图7亦清楚的表明,对于B、C、E、F点,其磁场幅值随永磁转子的移动而减少。另一方面,由于磁通钉扎效应和磁场的连续性,在永磁转子移动的过程中,每个点处磁场的变化曲线为光滑的波浪线,变化较为缓慢。

从图9~11可看出:G点的感应电流密度的变化量是最小的,其范围为 $-8.1186 \times 10^6 \sim 7.2454 \times 10^6\text{ A/m}^2$,这是因为有较少的磁通线渗入到G点,磁场变化较小。注意到由于较多的磁通线渗入到A点和E点,使得它们的磁场幅值较大,但它们的感应电流密度并不是较大的。也就是说,较高幅值的磁场并不能产生较大的感应电流,即感应电流随磁场变化的增大而增加。最大的电流密度出现在C点,其值为 $3.789 \times 10^7\text{ A/m}^2$ 。图5中C点处的较深颜色也能定性地反映这个结论。

通过以上分析表明,本文提出的有限元数学模型能够用于分析包含多层超导环和多层永磁环的径向型超导轴承的电磁行为,计算其悬浮力。

(上接第88页)

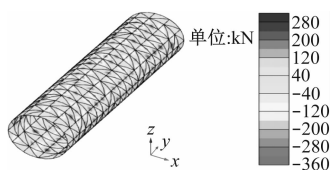


图14 工况二下隧道剪力

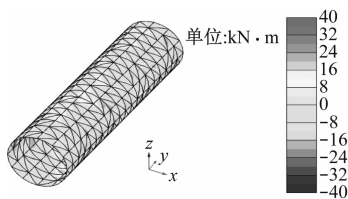


图15 工况二下隧道弯矩

4 结语

通过增加靠近区间隧道的建筑物桩长,在隧道开挖完后,土体的最大附加竖向位移明显减小,同时建筑物基础位移受隧道开挖影响也减少。先行建设的建筑物基础梁最大竖向位移由 9.5 mm 变为 1.8 mm ,桩基最大竖向位移由 9.5 mm 变为 1.8

3 结语

本文提出的有限元数学模型能够用于分析径向型超导轴承的电磁行为,计算其悬浮力。该模型的优点在于它的应用性强,不仅可以分析包含多层超导环和多层永磁环的径向型超导轴承,而且还能用于分析内转子型和外转子型两种结构。应用超导轴承的飞轮储能系统已经应用到地铁站的电力调峰^[3],必将对其产生深远影响。

参考文献

- [1] WERFEL F N, FLOEGEL-DELOR U, ROTHFELD R, et al. Superconductor bearings, flywheels and transportation[J]. Superconductor Science and Technology, 2012, 25(1): 014007.
- [2] 余志强,张国民,邱清泉,等. 高温超导飞轮储能系统的发展现状[J]. 电工技术学报, 2013, 28(12): 109.
- [3] HAN Y H, PARK K J, PARK B J, et al. Results and Analysis of an Accident in 35-kWh SFES[J]. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 2013, 23(6): 65.
- [4] 余志强,张国民,邱清泉,等. 高温超导磁悬浮轴承的研究进展[J]. 电工电能新技术, 2014, 33(7): 55.
- [5] KIM Y B, HEMPSTEAD C F, STRNAD A R. Resistive states of hard superconductors[J]. Reviews of Modern Physics, 1964, 36(1): 43.

(收稿日期:2019-04-28)

mm。这是由于增加靠近区间隧道侧的桩长,使建筑物上部荷载直接通过桩基传递至中风化岩石,建筑物不会有超载作用于区间隧道上,故区间隧道的受力大幅度减少。

通过比较计算分析可知,加长靠近地铁线路建筑物桩基后再施工地铁线路这一方案能够获得更小的地层位移、隧道内力、基础梁位移和桩基位移。

考虑后期地铁建设,对先期建设的建筑物基础深度进行适当优化,是十分必要的。

参考文献

- [1] 张凤祥,傅德明,杨国祥,等. 盾构隧道施工手册[M]. 北京:人民交通出版社, 2005. 6.
- [2] 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.
- [3] 艾鸿涛. 邻近地铁隧道的深基坑开挖分析[D]. 上海:同济大学, 2015.
- [4] 刘栋. 超深大基坑开挖对邻近既有地铁隧道的影响分析[D]. 成都:西南交通大学, 2014.

(收稿日期:2017-12-06)