

双线盾构隧道施工对临近建筑物影响分析

姜涛¹ 王忠帅²

1. 南昌轨道交通集团有限公司, 江西 南昌 330000

2. 大连海事大学, 辽宁 大连 116000

[摘要]文中以南昌地铁二号线为施工背景,通过三维有限元软件 ABAQUS 对盾构隧道的掘进过程进行模拟,分析了盾构施工过程中对临近建筑物沉降和应力变化的影响。数值模拟结果表明:盾构隧道施工时,建筑物的沉降和应力分布明显受施工进度和建筑物位置的影响,土体最大沉降发生在靠近建筑物的隧道一侧,且有建筑物时的沉降值显著高于无建筑物情况。建筑物的纵向和横向沉降随着盾构的推进而变化,特别是靠近隧道的一侧沉降更为明显。同时,建筑物的最大应力主要集中在底层梁板柱交接处,开挖过程中应力呈现先增后减的趋势。

[关键词]盾构施工; 建筑沉降; 应力分析; 数值模拟

DOI: 10.33142/aem.v6i11.14609

中图分类号: TU433

文献标识码: A

Analysis of the Impact of Double Line Shield Tunnel Construction on Adjacent Buildings

JIANG Tao¹, WANG Zhongshuai²

1. Nanchang Rail Transit Group Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi, 330000, China

2. Dalian Maritime University, Dalian, Liaoning, 116000, China

Abstract: Taking Nanchang Metro Line 2 as the construction background, this article simulates the excavation process of shield tunnels using the three-dimensional finite element software ABAQUS, and analyzes the impact of shield construction on the settlement and stress changes of adjacent buildings. The numerical simulation results show that during shield tunnel construction, the settlement and stress distribution of buildings are significantly affected by construction progress and building location. The maximum settlement of soil occurs on the side of the tunnel near the building, and the settlement value with buildings is significantly higher than that without buildings. The longitudinal and transverse settlement of buildings varies with the advancement of the shield tunnel, especially on the side closer to the tunnel where the settlement is more pronounced. At the same time, the maximum stress of the building is mainly concentrated at the junction of the bottom beams, slabs, and columns, and the stress shows a trend of increasing first and then decreasing during excavation.

Keywords: shield tunneling construction; building subsidence; stress analysis; numerical simulation

引言

随着社会经济的迅速发展,以及城镇化的快速推进,城市面临的交通压力越来越大,地下交通建设已经成为现代城市发展中不可或缺的一部分,越来越多的城市开始修建地铁。然而,地铁的修建相对于其他地上交通设施面临着更为复杂的难题与考验,施工对临近建筑物带来的影响也不断涌现,严重甚至会导致建筑物破坏^[1]。

目前,对盾构施工对既有建筑物沉降的影响,国内外学者在此方面做了许多研究。例如,戴轩^[2]研究了盾构隧道平行侧穿建筑物时,建筑的纵向沉降问题,发现盾构隧道平行侧穿会导致建筑物出现“下凹式”挠曲变形,且纵墙中部沉降最大可达角点沉降的2倍。梁超强^[3]研究了太原地区汾河漫滩地层中,盾构施工对浅基础建筑沉降的影响,通过对比分析,探讨了建筑物存在与否及建筑物刚度对沉降规律的影响。魏正明^[4]探讨了地铁隧道盾构法施工对邻近桩基建筑物的影响,利用有限元三维建模分析了盾构隧道侧穿建筑物桩基过程对桩基的变形和应力的影响。

徐泽民^[5]研究了地铁隧道盾构下穿施工对历史风貌建筑物的影响,包括基坑开挖、降水、注浆、冻结、盾构掘进等施工方案对建筑物的影响,并提出了相应的保护措施。赵振华^[6]利用 BP 神经网络和成都轨道交通的实际监测数据,对盾构隧道施工引发的地表沉降进行预测的方法。本文基于南昌地铁二号线施工背景,研究了盾构施工过程中对临近建筑物造成的沉降和应力变化,通过三维有限元数值模拟,分析了在江西南昌地铁辛家庵隧道区域的施工情况。

1 工程概况

辛家庵站-楞上站区间线路出辛家庵站后,沿上海路向南行进、在解放西路与利民路口东设楞上站。盾构隧道主要穿越中砾砂、圆砾,地下水位较丰富。本文研究隧道穿越沿线 053 号建筑物(南昌公交公司辛家庵宿舍 B 栋)下方土层,建筑物基础参数为:桩基础采用 C50 混凝土,梁板柱采用 C20 混凝土,桩基础为圆柱形半径 0.5m,深 6m,穿越填土层和粉质粘土层;柱截面积 0.5*0.5,高度 9m;主梁和次梁截面积都是 0.5*0.5。

2 三维有限元方法及 ABAQUS 软件

2.1 ABAQUS 软件

ABAQUS 是一款基于有限元方法的仿真软件，由达索系统公司开发。它主要用于分析和解决结构工程、机械工程、土木工程、生物医学工程等领域中的复杂问题。ABAQUS 提供了一个完整的仿真平台，可以进行前后处理、模拟分析、结果解释和可视化等功能。ABAQUS 集成了广泛的材料模型和元素类型，支持多种非线性分析包括接触、摩擦、损伤、疲劳、塑性变形、蠕变等。此外，ABAQUS 还具有灵活的用户自定义功能和优化算法，使用户能够解决各种不同的工程问题。

2.3 Mohr-Coulomb 本构模型

本文选用摩尔库仑本构模型进行数值模拟。摩尔库仑模型的基本理论如下：

Mohr-Coulomb 模型屈服面函数为：

$$F = R_{mc} q - p \tan \phi - c = 0 \quad (1)$$

式中： ϕ 是 $q-p$ 应力面上 Mohr-Coulomb 屈服面的倾斜角，称为材料的摩擦角， $0^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ ； c 是材料的粘聚力； $R_{mc}(\theta, \phi)$ 按下式计算，其控制了屈服面在平面的形状。

$$R_{mc} = \frac{1}{\sqrt{3} \cos \phi} \sin\left(\theta + \frac{\pi}{3}\right) + \frac{1}{3} \cos\left(\theta + \frac{\pi}{3}\right) \tan \phi \quad (2)$$

式中： θ 是极偏角，定义为 $\cos(3\theta) = \frac{r^3}{q^3}$ ， r 是第三偏应力不变量 J_3 。

3 双线盾构隧道施工对临近建筑物影响

3.1 盾构侧穿建筑物模型及计算参数

地铁辛-楞盾构隧道分左、右线 2 孔，模型双线均开挖 40m。第一台盾构先开挖左线，左线开挖 6m 之后右线开始开挖。隧道所处地层为中砂层。隧道需要穿越沿线 053 号建筑物(南昌公交公司辛家庵宿舍 B 栋)下方土层，建筑物基础参数为：桩基础采用 C50 混凝土，梁板柱采用 C20 混凝土，桩基础为圆柱形半径 0.5m，深 6m，穿越填土层和粉质粘土层；柱截面积 0.5*0.5，高度 9m；主梁和次梁截面积都是 0.5*0.5。简化后的建筑物模型如图 1 所示，建筑物计算参数如表 1 所示。

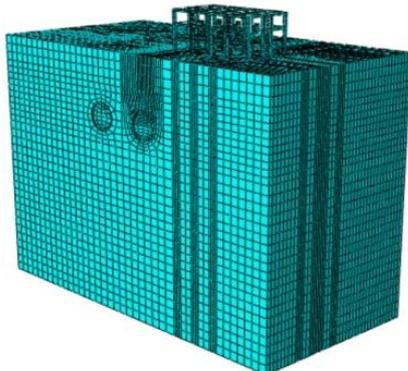


图 1 上层建筑物模型图

表 1 上层建筑物计算参数

材料类型	弹性模量 (GPa)	泊松比	密度 (kg/m ³)
桩基础	34.5	0.2	2500
上层梁板柱	22.5	0.27	2000

3.2 数值结果模拟分析

3.2.1 土体沉降分析

选择 10m、20m、30m、40m，数字表示开挖面相对初始位置距离，图 2 和图 3 分别为存在建筑物情况下和天然地表情况下的横向地表沉降曲线。在无建筑物的情况下，横向地表最大沉降值为 13.02mm，而加上建筑物之后，地表的横向最大沉降值为 14.64mm，后者比前者的最大沉降大了约 1.62mm，发生最大沉降的位置并不是两隧道中心，而是距离建筑物较近。将两种状况下的沉降曲线图对比后发现，有建筑物时，双线盾构隧道同时向前掘进，地表的沉降向建筑物方向移动，并且最大沉降也发生在靠近建筑物的位置。在上方没有建筑物的条件下，左线隧道先开挖贯通再开挖右线隧道，此时的最大沉降同样不在两隧道中心，而是靠近先行开挖的一侧，并且整个沉降曲线也整体向左移动。在上方有建筑物的条件下，先开挖左线隧道，发现出现最大沉降的位置偏移得更远，这是因为左边是靠近建筑物的一侧，所以左线的地表最大沉降值较右线的最大沉降值较大。

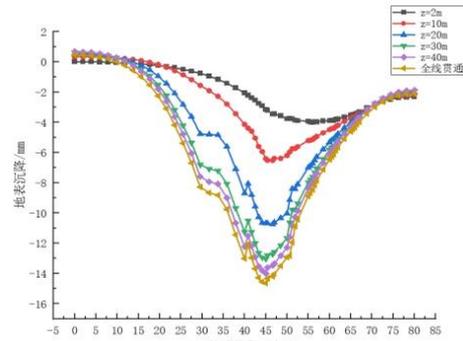


图 2 有建筑物时地表沉降曲线图

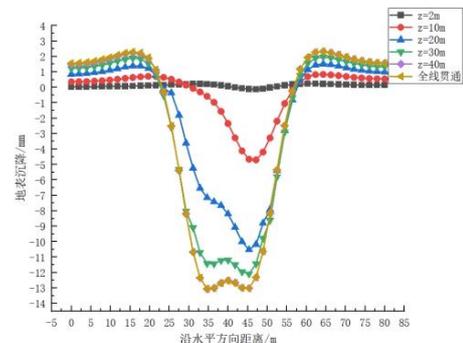


图 3 无建筑物时地表沉降曲线图

3.2.2 建筑物沉降分析

图 4 与图 5 为建筑物纵向和横向沉降观测点示意图，本次以左右线分别开挖施工时建筑物为研究对象，研究建筑物横向、纵向沉降随着盾构开挖的变化规律。

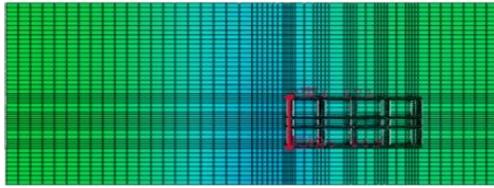


图4 建筑物纵向沉降观测点图

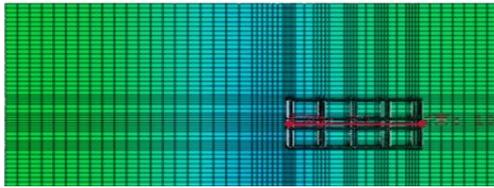


图5 建筑物横向沉降观测点图

由图6得出,随着开挖面不断向前推进,建筑物纵向沉降值在逐渐增大,并且距离开挖面较近的一侧先发生沉降。随着盾构开挖的进行,当开挖面到上层建筑的中间位置时,建筑物的纵向沉降规律也不相同,先受影响的建筑物一侧沉降增长变缓,而后受影响的建筑物一侧沉降增长变快。由图7得出,当开挖面不断向前推进时,建筑物距离隧道较近的一侧沉降值逐步增大,在向建筑物中间掘进的进程中,建筑物沉降增加较为明显,过了中间位置后,继续向前掘进,沉降继续增大,但是沉降的增大逐渐变得平稳缓慢;相距隧道较远的建筑物一侧,沉降受到的影响不太明显,由此得出,远离的一侧受到开挖的影响较小。

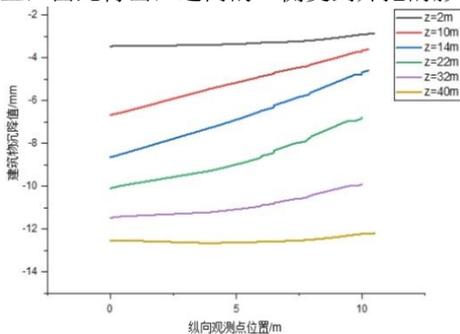


图6 建筑物纵向沉降图

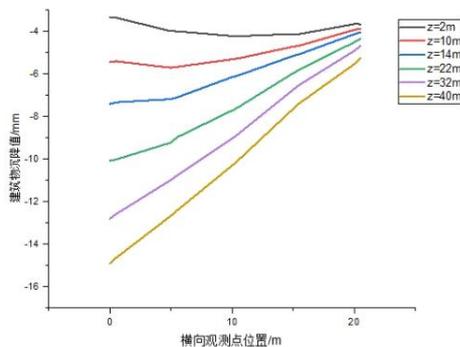


图7 建筑物横向沉降图

3.2.3 建筑物内力分析

从图8对建筑物的最大主应力进行分析,最大应力值

区域为图中的红色区域,最大应力值主要集中在底层梁板柱交接处,对最下层的梁板柱节点位置进行分析。由图9得出,随着盾构机向前掘进,节点位置处的最大应力值先逐渐增加,在开挖进行到第七步时,最大应力达到最大值,此处的最大应力值为1638kPa,随后最大应力值下降。其中,在后几步中应力值有较小的增大,虽然变化较小,但是仍然可以推出此处的沉降和内力受到了一定的影响。

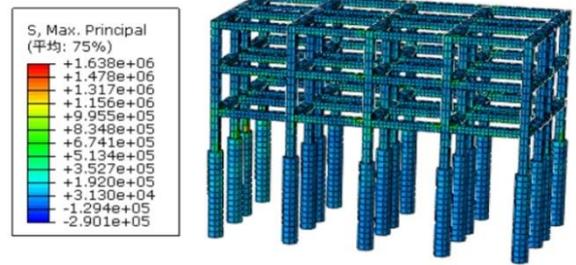


图8 建筑物内力图

(1) 建筑物中梁内力分析。对建筑物最下层的一主梁进行分析,从图10和图11得出,随着盾构开挖的向前推进,梁跨中弯矩在逐渐增大,在第七步到达建筑物的中间位置时,弯矩值达到最大,随后弯矩逐渐变小,最后弯矩值趋于稳定。弯矩变化量在第二分析步达到最大,之后图中曲线上升,最后弯矩变化量趋于稳定,变化量数值趋近于零。

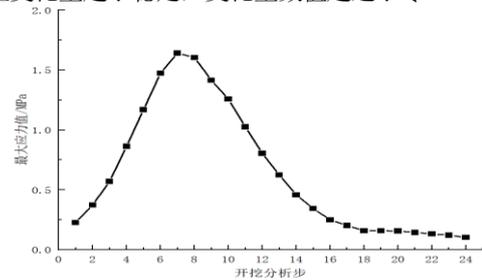


图9 不同开挖分析步最大应力图

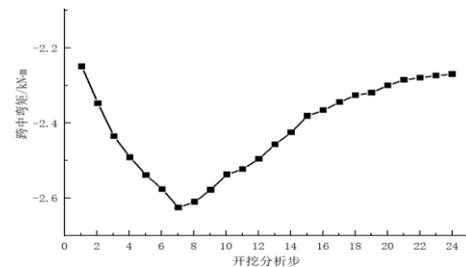


图10 不同开挖分析步梁跨中弯矩图

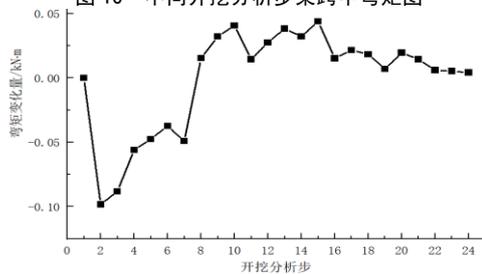


图11 不同开挖分析步梁跨中弯矩变化量图

从图12与图13得出,剪力变化也是先增大后减小,并且在开挖面到达建筑物中部时剪力值达到最大;而剪力变化量在第四和第十二个分析步达到峰值点,其趋势也是先增大后减小,最终剪力变化量趋于零。

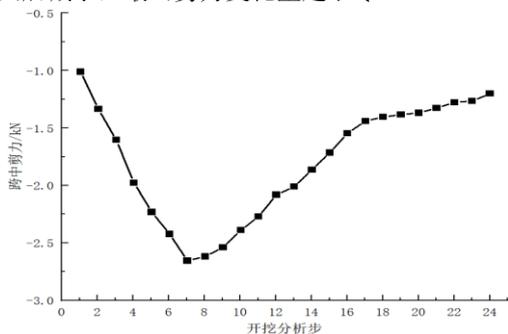


图12 不同开挖分析步梁跨中剪力图

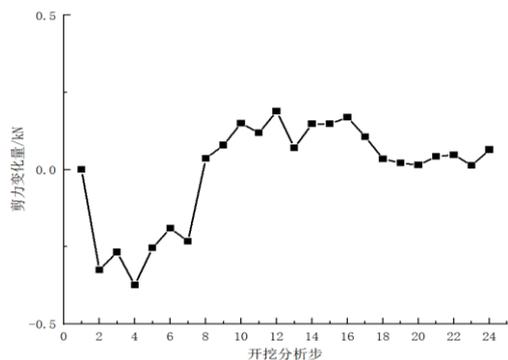


图13 不同开挖分析步梁跨中剪力变化量图

(2)建筑物中柱内力分析。对建筑物的框架柱研究,其位于内廊中间,研究一层至三层柱轴力随开挖面向前推进的过程中的变化。从图14得出,随着盾构机向前掘进,不同框架柱的轴力变化也不相同,一层框架柱受到的影响最大,而高层柱的轴力受到的影响逐渐变小,柱轴力变化最大的时机也是掘进至建筑物中部时,并且轴力是呈减小的趋势。

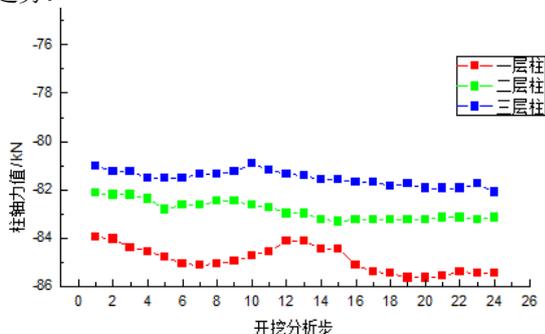


图14 不同开挖分析步柱轴力图

4 结论

在土体上方存在建筑物时,对土体的横向沉降、建筑物的沉降和建筑物的内力进行分析,探求其在盾构隧道施工的过程中的变化规律,得出以下结论:

(1)在上方存在建筑物的条件下,在盾构隧道施工的过程中,土体的最大沉降值不在两隧道的中心,而是发生在靠近建筑物的一侧隧道,其沉降曲线与无建筑物时有较大的不同。且有建筑物时的最大沉降比无建筑物时的最大沉降要大。

(2)在隧道掘进过程中,建筑物纵向沉降为先受开挖影响的一侧先发生沉降,且这一侧在开挖至建筑物中间位置之前沉降增长较快,另一侧的沉降也逐渐增大,开挖完成之后,沉降趋于稳定。横向沉降中,靠近隧道的一侧沉降较为明显,而远离隧道的一侧受到的影响较小。

(3)建筑物的最大应力值出现在下层梁板柱交接的位置。随着盾构开挖的向前推进,最大应力值也随之发生变化,在开挖面在建筑物的中间之前,最大应力值逐渐增大,开挖面到达建筑物中间位置时,最大应力值达到峰值;之后,开挖面继续向前,最大应力值也随之逐渐变小。梁跨中弯矩和梁跨中剪力的变化与最大应力值的变化趋势较为接近,也是开挖面在建筑物之前时,其数值逐渐增大,开挖面到达建筑物中间位置时,其最大值达到峰值;之后,随着开挖继续,梁跨中弯矩和剪力也随之减小。

【参考文献】

- [1]王福文,梁帅文,冯爱军.2023年我国城市轨道交通数据统计与发展分析[J].隧道建设(中英文),2024,44(2):393-400.
 - [2]戴轩,郭旺,程雪松,等.盾构隧道平行侧穿诱发的建筑纵向沉降实测与模拟分析[J].岩土力学,2021,42(1):233-244.
 - [3]梁超强,葛忻声,赵娟,等.盾构下穿浅基础建筑的沉降规律分析[J].太原理工大学学报,2021,52(2):256-262.
 - [4]魏正明.地铁隧道施工对邻近桩基建筑物的影响研究[J].技术与市场,2021,28(2):4-7.
 - [5]徐泽民.地铁隧道下穿历史风貌建筑影响研究[D].天津:天津大学,2013.
 - [6]赵振华,胡锡鹏,孙鹤明,等.城市盾构隧道施工地表沉降BP神经网络预测应用研究[J].路基工程,2020(4):170-175.
- 作者简介:姜涛(1978—),男,江西南昌人,硕士,研究方向:隧道工程。