

建筑物对盾构施工的稳定性影响研究

刘彦辉¹ 宋宏倬²

1. 南昌轨道交通集团有限公司, 江西 南昌 330013

2. 大连海事大学交通运输系, 辽宁 大连 116026

[摘要]在隧道盾构穿越上方建筑物时,为保证施工及建筑物的安全和稳定,需要对地表沉降,建筑物变形等进行严格的监控。文中以南昌地铁2号线穿越南昌市公共交通集团辛家庵宿舍3的工程为依托,采用了数值模拟的方法从建筑物距盾构距离、不同质量建筑物、不同掌子面推力和注浆压力以及加载系数等多个方面探究了建筑物对盾构掌子面的影响,确定了在盾构推进过程中建筑物对掌子面的影响规律以及施工的危险截面,有效地指导了施工过程的安全进行。

[关键词]隧道施工;盾构穿建筑物;数值模拟;掌子面

DOI: 10.33142/aem.v6i9.13875

中图分类号: U231

文献标识码: A

Research on the Stability Impact of Buildings on Shield Tunneling Construction

LIU Yanhui¹, SONG Hongzhuo²

1. Nanchang Rail Transit Group Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi, 330013, China

2. Department of Transportation Engineering, Dalian Maritime University, Dalian, Liaoning, 116026, China

Abstract: In order to ensure the safety and stability of construction and buildings, strict monitoring of surface settlement, building deformation, etc. is necessary when tunnel shield passes through buildings above. Based on the project of Nanchang Metro Line 2 passing through Xinjia'an Dormitory 3 of Nanchang Public Transport Group, this article uses numerical simulation methods to explore the influence of buildings on the shield tunnel face from multiple aspects, such as the distance between buildings and shield tunnels, buildings of different qualities, thrust and grouting pressure of different tunnel faces, and loading coefficients. The influence law of buildings on tunnel faces during shield tunneling and the dangerous sections of construction are determined, effectively guiding the safe progress of the construction process.

Keywords: tunnel construction; shield tunneling of buildings; numerical simulation; tunnel faces

引言

随着社会经济的不断发展,城市交通对地铁的需求越来越大,在城市地铁施工中盾构穿越建筑物的情况时常发生。在盾构穿越上方建筑物时,往往会出现地表沉降增大,建筑物下沉、开裂等问题,给地铁施工及建筑物的稳定性带来安全隐患^[1]。因此,本文针对南昌地铁2号线穿越南昌市公共交通集团辛家庵宿舍3的工程,对盾构穿越上方建筑物时,建筑物对盾构掌子面的影响进行了分析^[2],利用 abaqus 有限元软件进行建模,通过模拟不同的建筑物重量,注浆压力,掌子面推力以及加载系数^[3]等条件,对盾构掌子面受建筑物影响的破坏规律进行了细致的研究分析^[4],确定了盾构穿越建筑物时掌子面及建筑物稳定的影响因素以及在施工中应重点监测的危险截面,以指导施工。

1 工程概况

拟建区间为辛家庵站-楞上站出站后沿上海路向南行进,区间段主要为道路、沿街商铺、小区。区间设计起点里程为 YCK43+463.608,设计终点里程为 YCK44+094.426,线路长度为 630.818m。线间距为 12~38m,轨面埋深

2.1m~7m。盾构顶板埋深约 10.90~14.80m,标高为 6.97~11.84m,盾构底板埋深 16.90~20.80m。区间正线隧道为外洞径 6m,土压平衡盾构法施工的单线隧道,采用圆形装配式钢筋混凝土管片单层衬砌,其砼强度等级不小于 C50,抗渗等级满足地下建筑物防水等级要求。初期支护采用 250mm 厚 C25 网喷射混凝土,二次衬砌为厚度为 400mm 的 C35 模筑防水钢筋混凝土。

2 模型建立及参数选取

土体参数设置为横向宽度 80m,高度为 60m,纵向长度为 40m(纵向开挖 20 步,每步 2m)。由上至下根据土体构成不同划分为五层土体。土体具体参数见表 1,结构材料计算参数见表 2,土体分布情况如图 1。隧道开挖半径 3.2m;注浆层外径 3.2m,内径 3m;衬砌层外径 3m,内径 2.7m。洞口埋深 2D,双洞轴间距 13m;根据工程实际,左线开挖 3 环(6m)后,右线开挖。

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,桩基础为长方体长 2m、宽 2m、深 8m,穿越填土层和粉质黏土层;柱体积 $1 \times 1 \times 24$;主梁体积 $1 \times 1 \times 4$,次梁体积 $1 \times 1 \times 3$,顶层板体积 $56 \times 9 \times 0.2$ 。建

筑物整体高 24.2m（八层），长 56m，宽 9m。建筑物模型图如图 2 所示，建筑物模型参数如表 3 所示。

表 1 土体材料计算参数

土体	密度 (kg/m ³)	弹性模量 (GPa)	泊松比	摩擦角 (°)	粘聚力 (kPa)
素填土	1970	0.02	0.31	16.1	24.76
中砂	1960	0.3	0.30	28	—
圆砾	2000	0.35	0.25	36	—
强风化泥质粉砂岩	2000	3.7	0.25	25	40
中风化泥质粉砂岩	2350	4.0	0.33	40	400

表 2 结构材料计算参数

部件	材料密度 (kg/m ³)	弹性模量 (GPa)	泊松比
注浆层	2000	25.5	0.27
衬砌	2500	35	0.2
盾壳	7500	210	0.3

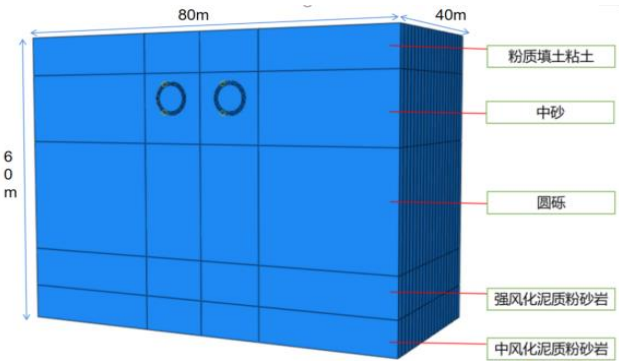


图 1 整体模型图

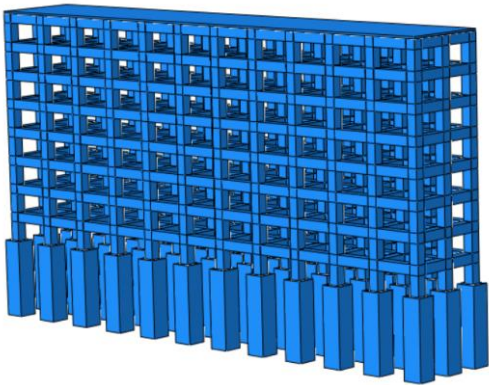


图 2 建筑物模型

表 3 建筑物模型参数

材料类型	弹性模量 (GPa)	泊松比	密度 (kg/m ³)
桩基础	30	0.15	2500
上层梁板柱	28	0.2	2400

3 模拟结果分析

3.1 建筑物的沉降和变形

随着施工的进行，盾构上方建筑物也会产生一定的变

形，隧道开挖完成后，建筑物的竖向位移如图 3 所示。

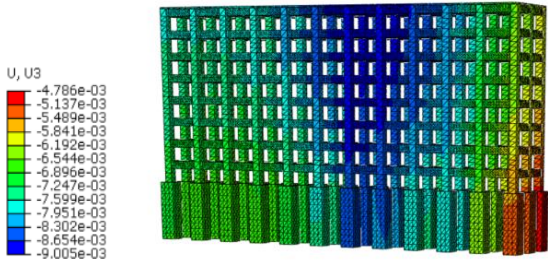


图 3 建筑物总体竖向位移云图

由于建筑的竖向位移远大于横向位移，所以在下文只对建筑的竖向位移进行进一步研究，分别取竖向与横向的观测点如图 4、图 6。分别对隧道开挖 4m、12m、20m、30m 和开挖完成五个不同开挖阶段进行建筑物沉降的分析，分析结果如下。

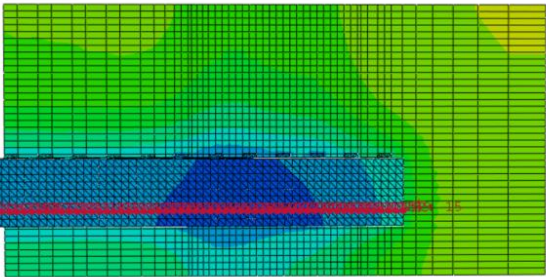


图 4 建筑物横向观测点图

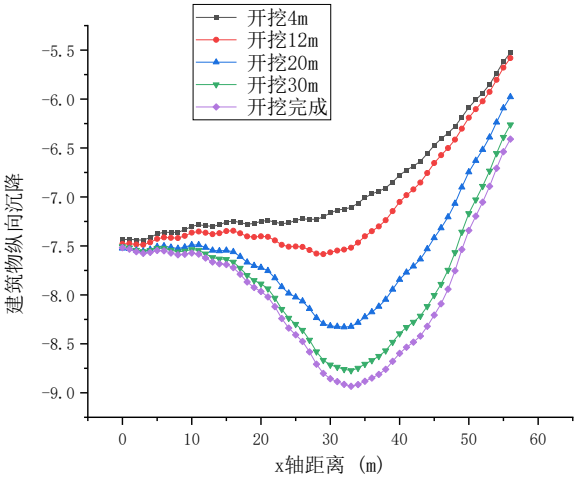


图 5 建筑物横向沉降曲线

由图 5 建筑物横向沉降曲线可以得出，建筑横向的沉降曲线呈先减小后增加的趋势，在左线隧道上方达到沉降最大值，随后逐渐减小。并且随着盾构开挖，建筑的沉降值不断增加，盾构开挖穿过建筑物的过程中，建筑物沉降增加尤为明显，当盾构开挖通过建筑物之后，沉降依然增加，但是沉降的趋势逐渐趋于平稳。由沉降曲线可知，在建筑物远离隧道开挖的一侧，建筑物沉降值变化很小，而

与隧道开挖距离较近的建筑物沉降则变化明显。由此可见隧道开挖对建筑物的影响存在一定范围,当建筑物超出范围时,建筑物沉降不受盾构开挖的影响。因为建筑物的倾斜率即为建筑物横向沉降曲线的斜率,所以同样也可以得出建筑物倾斜率的变化为先增大,最后随着沉降趋势的逐渐减小而趋于平缓,最后再向反方向迅速增大并在很快趋于稳定。

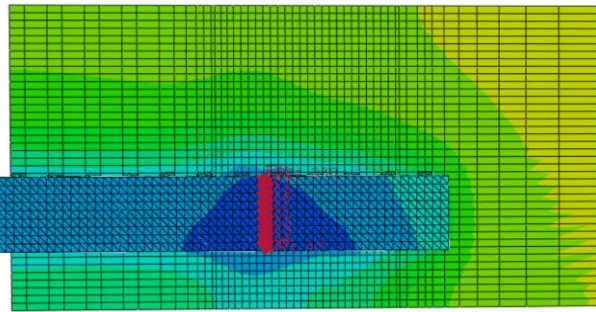


图6 建筑物纵向观测点图

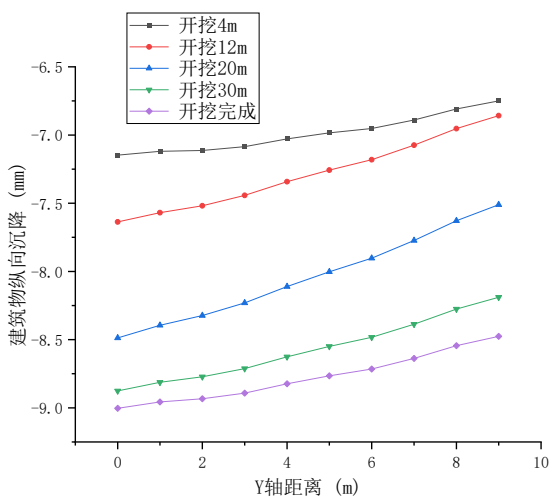


图7 建筑物纵向沉降曲线

由图7给出了建筑物的纵向沉降曲线,随着盾构开挖的进行,建筑物纵向沉降值在逐渐增大,并且在盾构开挖穿过建筑物时,沉降增加尤为明显,而隧道穿过建筑之后沉降依然增加,但增加值有明显减小。并且盾构机最先接近的建筑物一侧(即先受盾构开挖影响一侧)沉降值要大于另外一侧沉降值。建筑物先受盾构开挖影响一侧的沉降值最大,随后受到土体回弹的影响沉降值逐渐减小。

通过上述分析可以得到结论:盾构越接近建筑物,地表沉降值也越大。伴随着地表沉降值的变化,隧道上部的建筑物的变形量也在改变;隧道距离建筑物最近时,对建筑物的影响最大;盾构机对建筑物的沉降影响有一定的滞后效应;当建筑物正好穿过建筑物所在土层时,建筑物会产生较大的不均匀沉降;当建筑物逐渐远离建筑物所在土层时,建筑物沉降逐渐趋于稳定。

3.2 与建筑物不同距离的掌子面的施工分析

由于实际的施工是开挖隧道逐渐接近建筑物,穿过建筑物再远离建筑物的过程,所以与建筑物不同距离的掌子面在施工过程中的变形和安全程度也有一定的差别。选取建筑物正面下方的掌子面中心点为零点, y 轴为正方向,对与建筑物不同距离的掌子面开挖情况进行分析,探索与建筑物的距离与掌子面开挖稳定性之间的规律及最危险截面,以指导现场施工。建筑物简化为 432.8kPa 的荷载施加于土体上方,模拟土层只有 40m,开挖最后一步将土层挖穿,导致掌子面位移明显,与实际不符,故将最后两步数值舍去。具体分析如下:

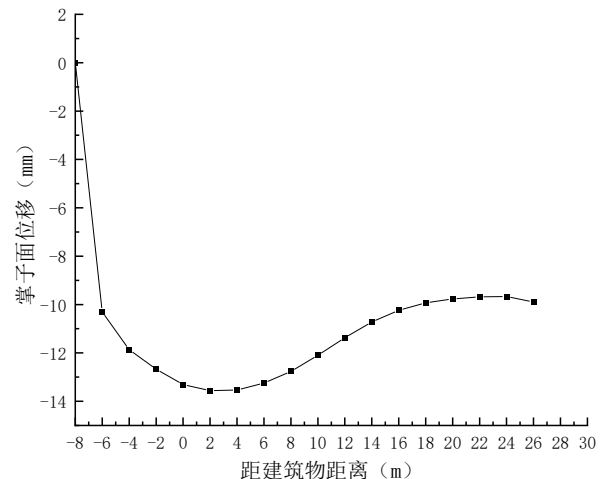


图8 左线隧道不同距离的掌子面位移

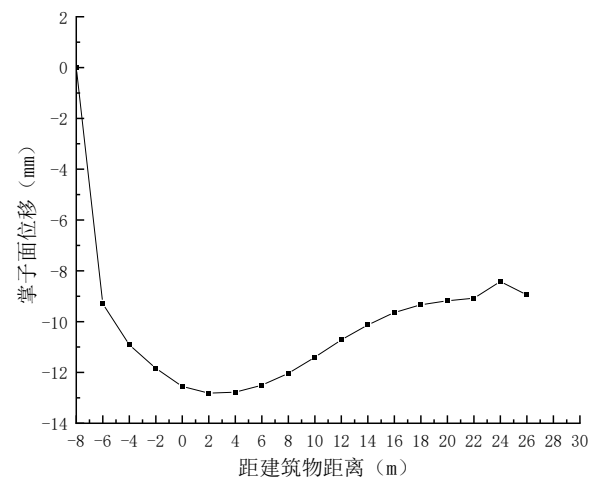


图9 右线隧道不同距离的掌子面位移

由图8、图9可知,掌子面位移随着距建筑距离的减小逐渐增大,在距离建筑物 2m 处达到最大值,之后随着施工面逐渐远离建筑物而逐渐减小,在距离建筑物 18m 后趋于平缓,曲线整体呈勾型。左线隧道掌子面位移最大值为 13.56mm,右线隧道掌子面最大位移为 12.81mm。可见距离建筑物 2m 处为掌子面开挖时的最危险截面,在实

际施工中应对该截面进行重点监控。

3.3 不同质量建筑物对开挖掌子面的影响

为探究不同重量的建筑物对掌子面开挖的影响,本文分别取八层、七层、六层、五层和三层的建筑物,根据建筑材料参数将其等效成相应的荷载,分别为 432.8kPa(八层)、393.3kPa(七层)、341.3kPa(六层)、289.3kPa(五层)、185.3kPa(三层)。取上文分析得到的最危险截面即距建筑物 2m 的左线隧道掌子面中心点位移进行对比,结果如图 10 所示。

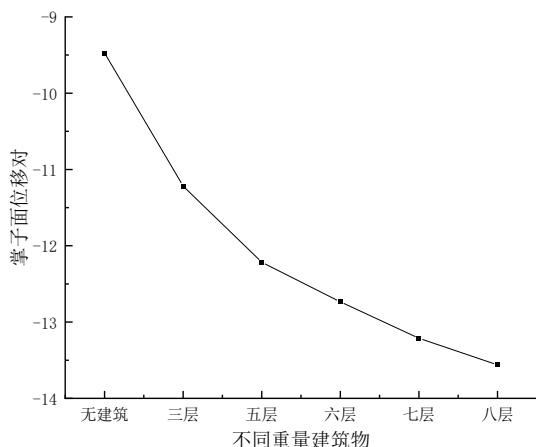


图 10 不同重量建筑物掌子面危险截面位移对比

由图 10 所示,不同质量建筑物在危险截面处的掌子面位移有明显的变化,随着建筑物质量的增加,最危险截面处掌子面位移有明显增加,说明不同质量的建筑物对掌子面的开挖稳定性存在影响。下面对不同质量建筑物开挖过程左线隧道完整数据进行对比分析。

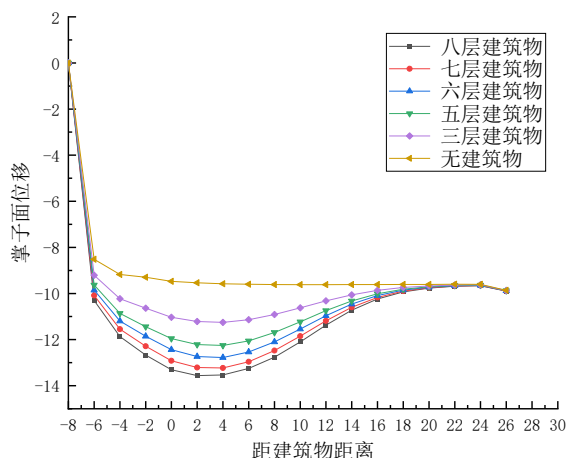


图 11 不同重量建筑物掌子面位移对比

如图 11 所示,不同质量的建筑物对施工过程中掌子面的位移存在着影响,在距建筑物-6m 与 18m 之间,随着建筑物质量的增大,掌子面位移也越来越大,而距建筑物 18m 之后,掌子面位移趋于稳定且几乎不受建筑物的影响。由于模型长度有限实际建筑物对掌子面施工的影响范

围应是-18m 到 18m 之间,在实际施工过程中应对此区间进行监控,保证施工过程的稳定与安全。

3.4 结合加载系数对盾构开挖的稳定性分析

为了保证施工的安全,结合加载系数对施工过程中整体结构的稳定性进一步研究,结果如下文。

设加载系数 k 从 1 开始逐渐增加,每一步增加 0.1,直至计算不收敛,计算得到隧道拱顶沉降与折减系数的变化情况如下图 12 所示。

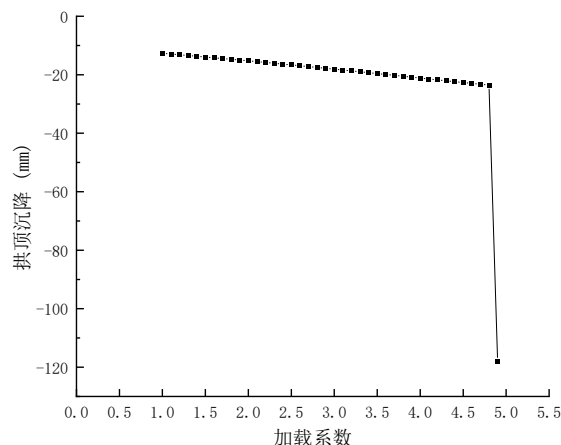


图 12 不同加载系数下拱顶沉降的变化曲线

由图 12 可见,拱顶沉降对加载系数的变化较为敏感,随着加载系数的不断增加,拱顶沉降值也不断增大,当加载系数增加到 4.9 时,沉降发生突变,结构破坏。可知结构的极限加载系数为 4.8,此时,隧道的拱顶沉降为 23.53mm,如果在施工中拱顶沉降接近此值,则隧道可能已接近失稳状态,应立即采取安全措施。

4 结论

在本文中,首先对工程进行了全面的概述和背景介绍,明确了研究的背景和动机。随后,利用 Abaqus 软件进行了详尽的建模,并深入分析了土体和衬砌的模拟结果,特别关注建筑物的沉降和变形情况。研究表明,在隧道施工过程中左线隧道的拱顶沉降要略大于右线隧道且最大值达到 10.69mm,而土体的水平位移相对竖向位移并不明显。地表沉降的较大值主要集中在建筑物的下方,随着远离建筑物而逐渐减小。在施工过程中应着重对左线隧道拱顶位移以及建筑物下方的地表沉降进行监测和控制以保证安全。而建筑物的沉降与变形主要体现在左线隧道的上方,在进行盾构开挖时,也应对其上方建筑物进行监控保证安全。

此外,本文还对不同距离下的掌子面施工情况进行了详细分析,并研究了不同质量建筑物对开挖掌子面的影响,得出了施工过程中的最危险截面即距建筑物-2m 处,探究了建筑物重量对掌子面施工的影响,得出了掌子面的稳定性随着建筑物重量的增加而逐渐减小的结论。最后结合加载系数对盾构开挖的稳定性进行了深入分析,在加载

系数为 4.9 时结构失稳,为施工提出了一个拱顶位移的临界值。

总的来说,本文为南昌地铁 2 号线穿过南昌市公共交通集团辛家庵宿舍 3 的施工进行了详细的分析与研究,以期对施工过程中的安全与稳定提供一定的帮助。

[参考文献]

- [1] 吴广磊,温良涛.盾构施工下穿既有建筑物沉降变形分析与控制[J].散装水泥,2023(5):101-103.
[2] 王立新,胡瑞青,任超,等.砂卵石地层盾构隧道掌子面

稳定性理论分析[J].同济大学学报(自然科学版),2023,51(9):1362-1371.

[3] 王凯,王记平,夏勇,等.基于强度折减理论的浅埋偏压隧道稳定性分析[J].交通世界,2020(28):89.

[4] 彭小庆.盾构隧道开挖面失稳破坏影响因素数值分析[J].福建交通科技,2022(6):85-88.

作者简介:刘彦辉(1990—),男,河北石家庄人,交通运输工程专业,石家庄铁道大学毕业,南昌轨道交通集团有限公司项目管理分公司。