

地铁车站基坑开挖施工对临近建筑物影响的数值分析

叶帅¹ 姜硕²

1. 南昌轨道交通集团有限公司地铁项目管理分公司, 江西 南昌 330013

2. 大连海事大学交通运输系, 辽宁 大连 116026

[摘要] 本项目拟以地铁车站基坑开挖施工为研究对象, 根据数值模型计算结果对临近建筑物受到基坑开挖的影响进行分析, 总结规律, 为后续相关工程提供指导。从临近建筑物沉降量和临近建筑物倾斜度两方面分析了基坑开挖过程对临近建筑物的影响。通过对不同支撑情况和开挖方案对建筑物的沉降及倾斜规律进行分析, 提出了较为合理的支护方式及开挖方式。

[关键词] 地铁车站; 基坑; 临近建筑物; 数值分析

DOI: 10.33142/aem.v6i10.14404 中图分类号: U231.4 文献标识码: A

Numerical Analysis of the Impact of Excavation Construction of Subway Station Foundation Pit on Adjacent Buildings

YE Shuai¹, JIANG Shuo²

1. Subway Project Management Branch of Nanchang Rail Transit Group Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi, 330013, China

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

Abstract: This project intends to take the excavation construction of subway station foundation pits as the research object, analyze the impact of excavation on adjacent buildings based on numerical model calculation results, summarize the rules, and provide guidance for subsequent related projects. The impact of excavation process on adjacent buildings was analyzed from two aspects: settlement and inclination of adjacent buildings. By analyzing the settlement and inclination laws of buildings under different support conditions and excavation schemes, reasonable support and excavation methods were proposed.

Keywords: subway station; foundation pit; adjacent buildings; numerical analysis

引言

随着城市化进程的加速和城市人口的持续增长,城市轨道交通系统作为缓解城市交通压力、提升市民出行效率的重要设施,其建设需求日益迫切。地铁作为城市轨道交通的骨干,其车站基坑开挖施工是地铁建设的关键环节之一。然而,地铁基坑施工常位于城市中心区域,周边环境复杂,建筑物密集。开挖过程中,地基与地下结构的变动可能引发邻近建筑沉降与倾斜,成为工程安全的关键考量^[1]。

本文以某地铁车站基坑开挖施工为研究对象,通过数值模型分析,探讨基坑开挖对临近建筑物的影响规律,评估不同支撑情况和开挖方案对建筑物沉降和倾斜的影响。研究成果旨在为类似工程提供实践参考,以实现地铁基坑施工与周边环境保护的协调发展。

1 模型建立

该车站全长 169.95m, 车站全部为现浇施工, 基坑开挖深度约 24.7~27.1m, 基坑大部分采用明挖顺做法施工, 基地持力层主要为中风化泥岩层、中风化砂岩层。

在基坑开挖的过程中不可避免地会对临近建筑物造成影响, 距该车站基坑开挖工程 25m 处建筑物是一栋高 15m 的居民建筑物, 基础为深 2m 的箱型基础, 为浅基础建筑物, 极易受到开挖的影响, 需要对其进行分析研究。

位置关系图如图 1 所示, 其数值模型规模为 50m×38m×15m, 如图 2 所示。

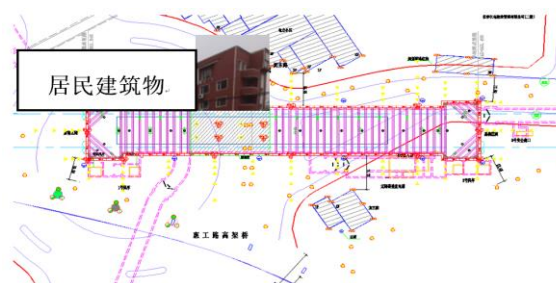


图 1 建筑物位置图

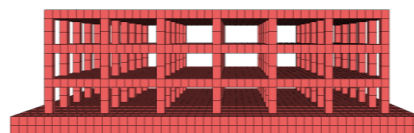


图 2 建筑物模型图

2 基坑开挖对临近建筑物沉降的影响

2.1 不同钢支撑水平间距对应的建筑物沉降量

在基坑开挖过程中, 采用的钢支撑结构形式对基坑的地下连续墙及周边土层的稳定性具有显著影响, 具体表现

为影响它们的沉降和侧向位移,这些变化进而可能对邻近建筑物造成安全影响^[2]。因此,基坑周边关键建筑物的沉降状况,可作为评估基坑钢支撑设计方案优化程度的一个重要指标^[3]。

为了深入研究这一关系,我们构建了多组基于不同钢支撑水平间距的数值模拟模型,并进行了详尽的分析。图3为不同钢支撑水平间距对应的建筑物沉降量曲线图。

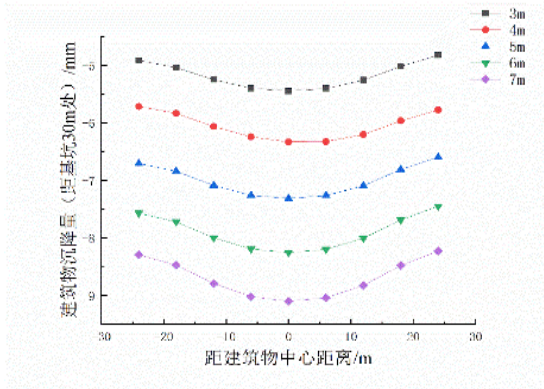


图3 不同钢支撑水平间距建筑物沉降量

分析上述的图表数据,可以注意到与钢支撑水平间距对地下连续墙侧移值的影响不同,钢支撑间距与建筑物沉降量之间的关系呈现出一种近似的线性增长趋势。具体而言,当钢支撑间距从3m增加到4m时,建筑物的沉降量增加了0.92mm;随后,每增加1m间距(如从4~5m,再从5~6m),建筑物的沉降量大致都增加了约0.93mm,但有一处(从4~5m)的增量稍有不同,为0.84mm。这表明,通过缩短钢支撑的水平间距,可以有效地限制建筑物的沉降量,但这种效果伴随着成本的增加和可能对建筑物内部舒适度产生的微妙影响。因此,在平衡经济效率与建筑物保护的需求后,推荐将钢支撑的水平间距设定在3~5m的范围内,以达到既经济又相对安全的施工效果。

2.2 不同钢支撑道数对应的建筑物沉降量

同理对于钢支撑的道数同样进行关于建筑物沉降量的分析,图4是不同钢支撑道数对应的建筑物沉降量曲线图。

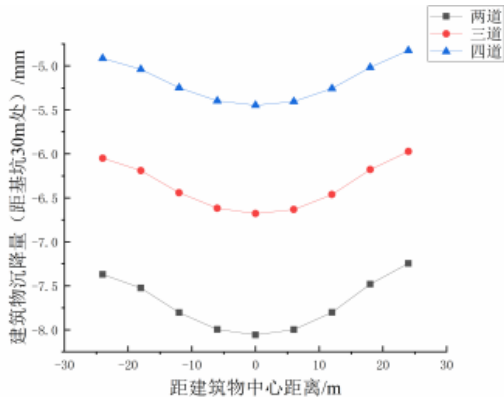


图4 不同钢支撑道数对应的建筑物沉降量曲线图

由图4可以看出,从增设第二道支撑至第三道支撑的过程中,基坑墙体的侧移以及周边地表的沉降均发生了显著变化。特别是建筑物的最大沉降量,从原先的8.06mm减少至6.68mm,降幅达1.38mm,显示出明显的改善效果。然而,当继续增加至四道支撑时,建筑物最大沉降量的减少量缩减至1.23mm,这表明随着支撑道数的增加,其对建筑物沉降的控制效果逐渐趋于饱和。

这一发现意味着,虽然增加支撑道数能在一定程度上控制邻近建筑物的沉降,但超过一定数量后,其效果将不再显著,反而可能带来施工复杂性和经济成本的增加。因此,在支撑道数的选择上需要找到一个平衡点。对于深度不超过20m的基坑而言,3~4道钢支撑被证明是既经济又有效的配置。而针对地铁车站这类深度达到30m的基坑,综合考虑基坑的稳定性要求及对周边建筑物居住舒适性的保护,设计并安装4道钢支撑被认为是最为合理的方案。

3 基坑开挖对临近建筑物倾斜的影响

在工程项目的推进过程中,邻近建筑物的倾斜状况被视为评估工程能否安全继续的关键指标之一。通过对建筑物中部设置的监测点数据进行深入分析,我们可以清晰地观察到,随着基坑开挖的进行,靠近基坑的建筑物沉降模式呈现出一种独特的“中间低、两侧高”的峡谷状形态,而远离基坑的建筑物则相反,展现出“中间高、两侧低”的谷地状特征。这一现象明确指出了建筑物的最大沉降差异主要集中在其中部区域,这一发现对于后续工程措施的制定和调整具有重要指导意义^[4]。

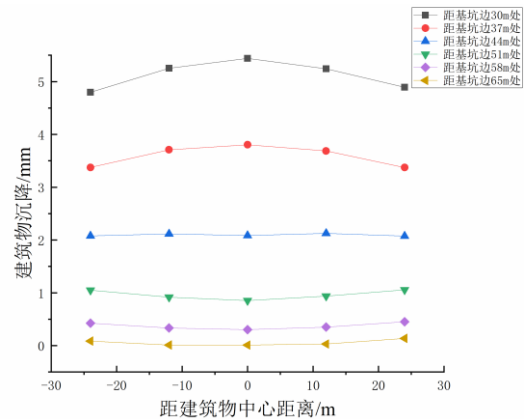


图5 建筑物沉降量图

从图5中不难发现建筑物在不同位置出现不同程度的沉降,建筑物产生基坑内方向的倾斜。引入基础的倾斜度衡量建筑物的倾斜程度,公式如下:

$$i = \Delta H / L \quad (1)$$

式中:

i 为建筑物基础的倾斜度;

ΔH 为基础两端点的沉降量差值, m;

L 为基础两端点间的距离, m。

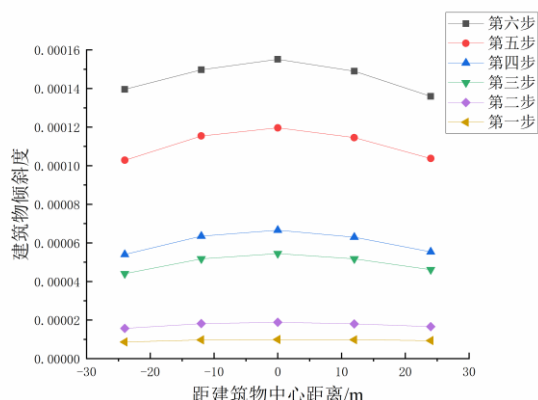


图6 各开挖步骤建筑物倾斜度图

从图6的数据趋势中可以直观看出,随着基坑开挖步骤的逐步推进,邻近建筑物的倾斜程度在持续加剧,显示出基坑开挖活动对周边建筑物产生了逐渐增强的影响。尤为值得注意的是,在开挖的第三步、第五步和第六步阶段,建筑物的倾斜增加尤为显著,这三个阶段的倾斜度分别显著上升了 35×10^{-6} 、 53×10^{-6} 和 35×10^{-6} 。基于这一发现,建议在实际工程开挖过程中,特别是在这些倾斜变化明显的关键步骤(第三步、第五步和第六步)时,采取有针对性的措施,如适当缩短钢支撑的水平间距并增强围护结构的强度。通过这些措施,可以有效地控制并降低邻近建筑物的倾斜程度,确保工程的安全进行及邻近建筑的结构安全。

3.1 各钢支撑间距对应的建筑物倾斜度

图7展示了不同钢支撑间距下建筑物倾斜度的分析结果,与沉降情况类似,倾斜度与钢支撑间距也呈现出近似的等比例增长关系。具体而言,当钢支撑间距从3m增至4m、4m增至5m、5m增至6m,以及6m增至7m时,建筑物的最大倾斜度分别增加了 25×10^{-6} 、 28×10^{-6} 、 27×10^{-6} 和 24×10^{-6} 。这明确表明,钢支撑间距对建筑物的倾斜度有显著影响。因此,在经济条件许可的前提下,适当缩短钢支撑的水平间距是有效降低建筑物倾斜度的有效策略。

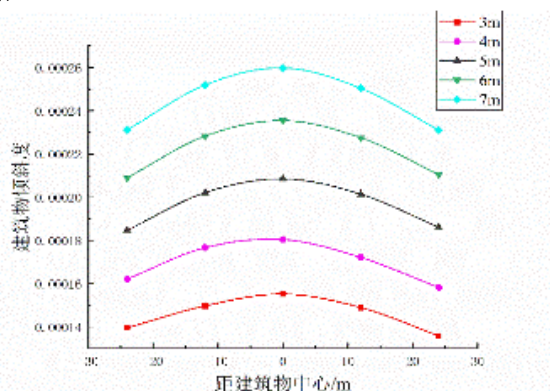


图7 各钢支撑间距建筑物倾斜度图

3.2 各钢支撑道数对应的建筑物倾斜度

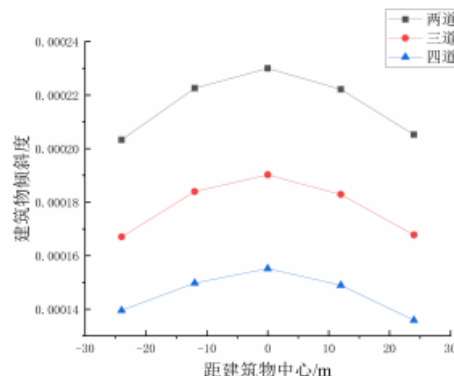


图8 不同钢支撑道数对应建筑物倾斜度

分析钢支撑道数对建筑物倾斜度的影响显示,每增加一道支撑(从两道增至三道,再从三道增至四道),建筑物最大倾斜度均显著减小约 40×10^{-6} 。尽管样本量有限,但足以表明增加钢支撑道数对减少建筑物倾斜具有积极作用。因此,为减轻基坑开挖对邻近建筑物的影响,建议增加钢支撑道数以增强支撑效果。

4 不同开挖方案对临近建筑物的影响

不同的基坑开挖方案势必会对临近建筑物造成大小不一的影响,在各种方案中选取影响较小,最适合工程情况一种十分必要^[5]。本文选择三种开挖顺序,拉槽法开挖、顺序开挖和由外至内开挖,对临近建筑物的沉降量和临近建筑物的倾斜度进行分析,从而得到临近建筑物受到不同开挖方案的影响。开挖顺序对建筑物沉降的影响如图9所示。

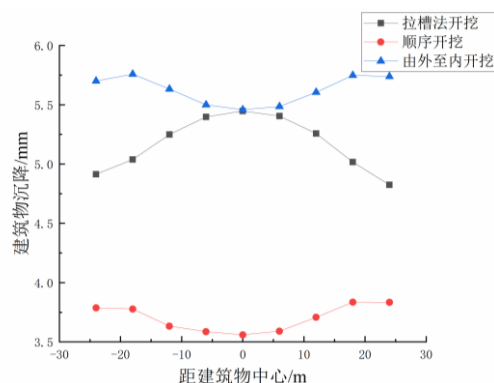
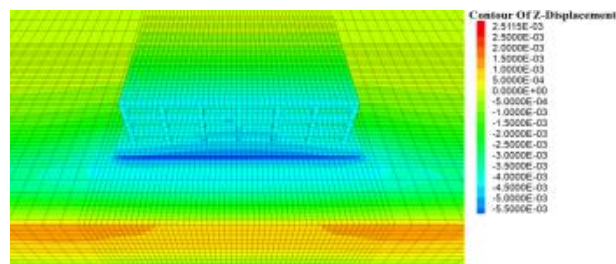
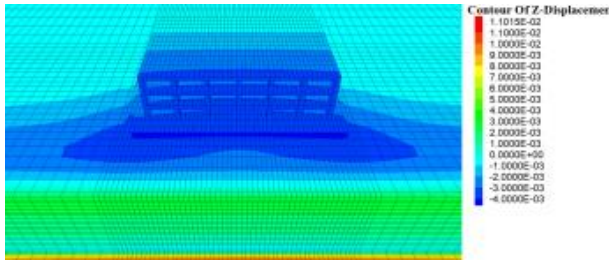


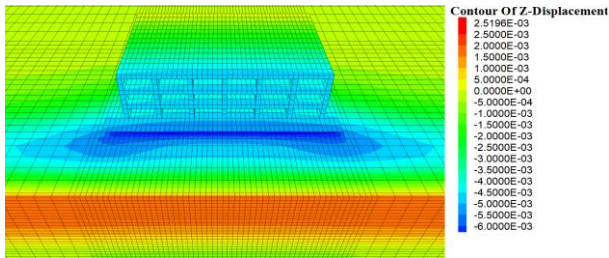
图9 不同开挖顺序对建筑物沉降的影响



(a) 拉槽法开挖



(b) 顺序开挖



(c) 由外至内开挖

图 10 不同开挖顺序对应的建筑物沉降量云图

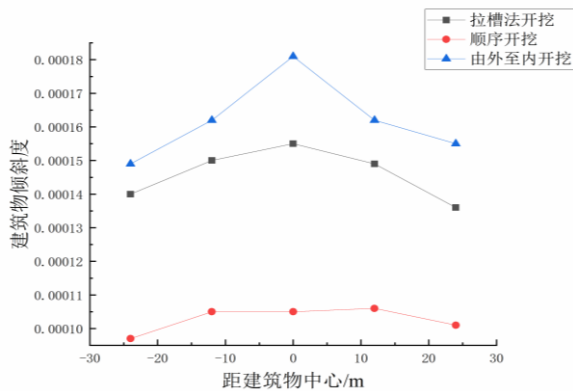


图 11 不同开挖顺序对应的建筑物倾斜度

由图 10、图 11 可以看出, 顺序开挖和由外至内开挖建筑物沉降量趋势不同于拉槽法开挖, 其中顺序开挖造成建筑物沉降量最小, 由外至内开挖最大; 可以发现三种开挖顺序的建筑物倾斜度趋势大体相同, 都呈现出中间凸起的状态, 最大倾斜度都大约发生在建筑物中心的位置。顺序开挖的最大倾斜度为 1.06×10^{-4} , 拉槽法开挖的最大倾斜度为 1.55×10^{-4} , 而由外至内开挖的最大倾斜度为 1.81×10^{-4} , 可以认为顺序开挖对建筑物倾斜影响最小, 其次是拉槽法开挖, 最后是由外至内开挖。

通过以上分析发现, 无论是从建筑物沉降方面还是从建筑物倾斜方面来讲, 顺序开挖对临近建筑物的影响最小, 最大是由外至内开挖。但是拉槽法和顺序开挖对于临近建筑物的影响相差不大, 考虑到拉槽法的便利性和缩短工期的优点, 拉槽法是最适合本工程的。

5 结论

根据前文提出的基坑稳定性影响因素, 分别从临近建筑物沉降量和临近建筑物倾斜度两方面分析了基坑开挖过程对临近建筑物的影响, 从而得出了以下结论:

(1) 钢支撑水平间距和建筑物沉降量的关系为等比例增加, 减小钢支撑水平间距可以一定程度上减小建筑物的沉降量, 考虑到经济性和对建筑物舒适性的影响, 本文所处工程钢支撑水平间距最好在 3~5m 之间。

(2) 在建筑物一侧与基坑长边接近平行时, 建筑物最大倾斜往往发生在建筑物中心处。减小支撑间距和增大支撑层数均可有效减小建筑物倾斜程度。

(3) 在拉槽法开挖、顺序开挖 (由远离基坑一侧到临近建筑物一侧) 和由外至内开挖中, 顺序开挖对建筑物影响最小, 但是三者差距不大, 均可满足实际工程要求, 考虑拉槽法的优点, 拉槽法更适合本工程。

【参考文献】

- [1] 欧士嘉. 轨道交通地铁车站基坑开挖对临近建筑物的影响分析[J]. 西部交通科技, 2020(7): 170-173.
- [2] 韩健勇, 赵文, 李天亮, 等. 深基坑与邻近建筑物相互影响的实测及数值分析[J]. 工程科学与技术, 2020, 52(4): 149-156.
- [3] 韩健勇, 赵文, 关永平, 等. 近接浅基础建筑物深基坑变形特性及关键参数[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2018, 39(10): 1463-1468.
- [4] 王琳, 罗志华, 张晗. 地铁车站深基坑开挖对临近建筑物影响的三维有限元分析[J]. 建筑结构, 2021, 51(1): 1928-1934.
- [5] 郭剑锋, 王立峰, 庞晋, 等. 基坑开挖顺序对围护结构及既有高铁站的影响分析[J]. 工程勘察, 2024, 52(4): 13-19.

作者简介: 叶帅 (1988.11—), 职称: 工程师, 学历: 大学本科, 研究方向: 城市轨道交通工程。