

基坑施工对邻近地铁结构影响的监测研究——以南京某高层住宅项目为例

严韵玲 袁正惠 张佳苗*
广东白云学院建筑工程学院, 广东 广州 510000

[摘要]为保障临近地铁保护区的基坑施工安全;以南京某项目基坑工程为背景;针对其与地铁6号线区间的近距离空间关系;构建了“基准网控制-多维度监测-动态巡查-风险管控”一体化监测体系。通过全周期数据采集;系统分析了基坑各施工阶段地铁隧道的变形响应规律。监测结果显示:支护结构施工阶段位移均匀微小;土方开挖阶段位移显著增大;主体施工阶段趋于稳定。监测周期内;隧道结构竖向位移最大-1.5mm、水平位移最大 1.7mm、水平收敛最大-1.5mm;均未超过规范控制值;初始病害未扩展;结构安全稳定。该监测方案可为同类工程提供参考。

[关键词]基坑工程;地铁保护区;变形监测;风险管控;信息化施工

DOI: 10.33142/sca.v9i3.19373

中图分类号: TU9

文献标识码: A

Monitoring Study on the Impact of Excavation Construction on Adjacent Subway Structures—A Case Study on a High-rise Residential Project in Nanjing

YAN Yunling, YUAN Zhenghui, ZHANG Jiamiao*

College of Architecture and Engineering, Guangdong Baiyun University, Guangzhou, Guangdong, 510000, China

Abstract: In order to ensure the safety of foundation pit construction near the subway protection zone, taking a foundation pit project in Nanjing as the background, an integrated monitoring system of "benchmark network control multi-dimensional monitoring dynamic inspection risk control" was constructed based on its close spatial relationship with the section of Metro Line 6. Through full cycle data collection, the system analyzed the deformation response laws of subway tunnels in various construction stages of foundation pits. The monitoring results show that the displacement during the construction phase of the support structure is uniform and small, while the displacement during the excavation phase significantly increases, and the main construction phase tends to stabilize. During the monitoring period, the maximum vertical displacement of the tunnel structure was -1.5mm, the maximum horizontal displacement was 1.7mm, and the maximum horizontal convergence was -1.5mm, all of which did not exceed the standard control values. The initial disease did not expand, and the structure was safe and stable. This monitoring plan can provide reference for similar projects.

Keywords: foundation pit engineering; subway protection zone; deformation monitoring; risk management and control; information-based construction

1 绪论

1.1 研究背景与意义

随着城市化进程加速,临近地铁保护区的基坑工程数量逐年攀升。基坑施工产生的土体应力重分布易引发周边地层沉降,进而导致邻近地铁隧道出现变形、裂缝等病害。因此,开展基坑施工对邻近地铁结构影响的专项监测研究,对保障工程安全及地铁结构稳定具有重要的意义。

南京某项目A分区地块基坑北侧紧邻在建地铁6号线兴智街站~十月广场站区间隧道,部分区域位于地铁保护区内。基坑开挖深度较大,施工与地铁轨道铺设时序叠

加,对地铁结构安全构成潜在风险。以该项目为研究对象,可为同类工程提供借鉴。

1.2 国内研究现状

国内相关研究近年来发展迅速,何发亮等(2019)^[1]提出了“普查-监测-预警-处置”的全周期管控思路;王晖等(2021)^[2]揭示了不同施工阶段地铁结构的变形响应特征;丁珂(2025)^[3]系统研究了各施工阶段对邻近地铁隧道变形的影响。李家平等(2025)^[4]在复杂环境下基坑施工对地铁隧道影响方面开展了进一步研究。然而,现有研究在个性化监测方案设计、监测数据与施工工况的深度联动分析等方面仍存在不足。

1.3 研究内容

本研究的核心内容包括：①梳理项目工程概况、空间位置关系及潜在风险；②设计并优化一体化监测体系；③开展全周期监测实施；④分析监测数据，揭示变形规律；⑤提出针对性的工程建议。

2 工程概况与监测背景

2.1 项目基本信息

项目位于南京市栖霞区，北侧紧邻在建地铁 6 号线区间隧道。基坑周长约 1090m，面积约 233874m²，开挖深度 2.45~11.40m。北侧临近地铁侧采用双排桩支护，其余区域根据情况采用悬臂桩、单排桩加砼支撑或斜撑等支护形式。

2.2 与地铁的空间位置关系

地铁 6 号线区间隧道沿恒竞路下方敷设，隧道顶覆土厚度 15.2~22.7m。基坑支护桩与隧道结构之间的土带宽度为 27.93~30.17m。基坑底距隧道底部垂直距离 17.5~22.6m。平面位置关系如图 1 所示。竖向位置关系如图 2 所示。



图 1 基坑与地铁工程平面位置关系

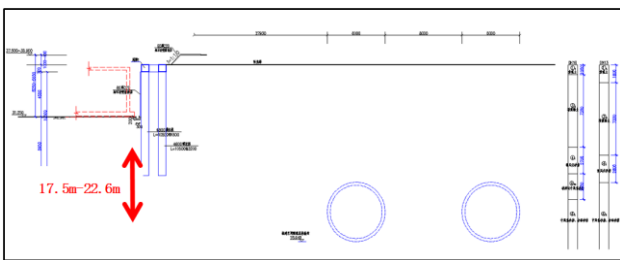


图 2 A 分区基坑与地铁工程竖向位置关系

2.3 地质与水文条件

场地属岗地及岗间坳沟边缘地貌。地层自上而下主要包括杂填土、素填土、粉质黏土及风化砂岩等。地下水主要为孔隙潜水，赋存于表层填土中。

2.4 地铁结构现状与施工时序

地铁 6 号线区间隧道采用盾构法施工。监测启动前隧道已贯通并处于轨道铺设阶段。施工进度为：2023 年 4~5 月围护结构施工；5 月上旬开挖；随后主体结构施工，

至 2024 年 1 月完成。零状态普查发现隧道局部存在轻微病害。

2.5 监测必要性

根据规范要求，项目对地铁结构的影响风险等级为一级，必须通过专项监测实时掌握变形响应，为信息化施工提供数据支撑。

3 监测方案设计与优化

3.1 监测依据

监测工作严格遵循《南京市轨道交通条例》^[5]、《江苏省城市轨道交通工程监测规程》^[6]、《城市轨道交通结构安全保护技术规范》^[7]等法规标准^[8,9]。

3.2 监测体系设计

监测范围涵盖区间隧道正投影段及外扩 40m 区域。监测内容包括：隧道结构竖向位移、水平位移、水平收敛、基坑围护结构深层水平位移，以及现场巡查。

基准网布设了垂直位移基准网与水平位移基准网，基准点布设于变形区外的稳定区域（如车站站内）。埋设示意图如图 3 所示，变形控制值如表 1。



图 3 垂直位移基准点埋设示意图

表 1 城市轨道交通线路结构变形控制值^[4]

安全监控项目	控制值	备注
结构竖向位移	±5mm	
结构水平位移	±5mm	
结构水平收敛	±10mm	
深层水平位移	30mm	

注：Ls—沿轴向两监测点间距，单位 m。

监测频率动态调整：围护结构施工期 1 次/2d；土方开挖期 1 次/1d；主体结构施工期 1 次/3d；跟踪期（不少于 6 个月）1 次/10d。

3.3 监测方法与技术要求

垂直位移采用 Leica LS15 电子水准仪按 II 级水准测量；水平位移采用 Leica TS60 高精度全站仪极坐标法测量；水平收敛采用 Leica D510 激光测距仪；深层水平位移采用 CX-3C 型测斜仪；裂缝与病害采用游标卡尺量测结合拍照记录。布点示意图如图 4。

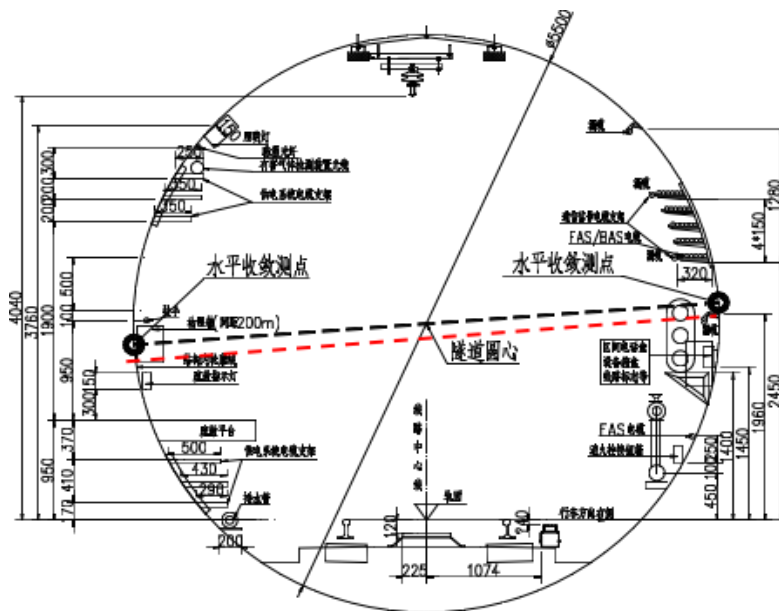


图 4 隧道水平收敛监测布点示意图

4 监测结果与数据分析

4.1 隧道结构变形监测结果

4.1.1 竖向位移

上下线隧道结构竖向位移整体呈轻微沉降趋势，累计变形量集中在-1.5~0.5mm之间。最大值-1.5mm出现在下行线测点 X6，围护结构施工阶段竖向位移变化量不足-0.3mm；土方开挖阶段位移量占最终累计值的75%以上，尤以第二层土方开挖至基坑底部时变形速率最为显著；底板浇筑后位移曲线趋于平缓。

4.1.2 水平位移

水平位移累计变化量在-0.9~1.7mm。最大值1.7mm出现在下行线测点 X24。土方开挖阶段水平位移略有波动但无明显向基坑侧偏移趋势。首道支撑设置后水平位移日均增长速率由0.008mm/d降至0.003mm/d，第二道支撑设置后进一步降至0.001mm/d以下。

4.1.3 水平收敛

上下行线水平收敛累计变化量处于-1.5~0.3mm之间。最大值-1.5mm。收敛变形无明显收缩或扩张趋势，管片完整性良好。

4.1.4 深层水平位移

基坑围护结构深层水平位移最大值28.3mm，小于控制值30mm。支撑体系对围护结构变形控制效果良好。

4.2 现场巡查与病害发展

施工期间历次巡查显示，隧道内未新增渗漏、破损、崩角及裂缝病害，初始病害未发生拓展，隧道结构整体性保持良好。具体病害统计如表4所示。

表 4 地铁结构病害统计表

病害	零状态普查		监测结束		新增	
	上行线	下行线	上行线	下行线	上行线	下行线
错台、修补	2	0	2	0	0	0
渗水、湿渍	5	2	5	2	0	0
破损、崩角	10	8	10	8	0	0

5 变形机理与施工阶段影响分析

结合监测数据，基坑施工对邻近地铁隧道的影响具有明显的阶段性特征：

(1) 支护结构施作阶段：位移较小且分布均匀，变形量仅占最终变形的5%~10%，为后续开挖提供初步稳定条件。

(2) 基坑开挖阶段：随着开挖深度增加，坑底土体卸荷回弹、围护结构侧向位移增大，引起墙后土体应力释放，该阶段位移量占最终变形的70%~85%，反映了土体卸荷效应的主导作用。

(3) 地下室施作阶段：底板浇筑后基坑整体刚度显著提升，隧道位移速率明显减缓。

4.长期稳定性：跟踪期监测数据表明隧道结构在施工结束后变形趋于收敛，百日变形速率小于 $\pm 0.04\text{mm/d}$ 的稳定判定标准，已进入长期稳定阶段。

6 结论与工程建议

6.1 主要结论

(1) 基坑施工对邻近地铁隧道的影响处于严格可控范围。所有监测项监测比值G均小于0.6，结构处于安全状态。

(2) 优化后的监测方案成效显著。基准网布设于车站站内有效规避了扰动;针对薄弱部位的测点加密实现了精准监控;严格的质量控制确保了监测精度。

(3) 隧道结构变形主要集中在土方开挖阶段,该阶段位移量占最终变形的70%~85%,底板浇筑完成后变形趋于稳定。跟踪期结束时,垂直位移百日变形速率最大值为-0.023mm/d,小于稳定标准,判定隧道结构已进入稳定阶段。

(4) 零状态普查为病害对比提供了基准,施工期间隧道未发现任何新增病害,表明施工扰动控制在隧道结构可承受范围内。

(5) “数据采集-处理分析-分级预警-应急响应”的闭环管理体系运行顺畅,实现了监测信息的实时反馈与工程风险的动态可控。

6.2 工程建议

(1) 临近地铁保护区的基坑工程应优先开展全面的零状态普查,记录隧道病害。

(2) 基准网布设需选择稳定区域设置,并定期进行稳定性检验。

(3) 监测点布设应结合地质条件、结构薄弱部位及施工工况加密,土方开挖阶段加密检测。

(4) 建立“监测数据-巡查信息-施工工况”联动分析机制,及时响应异常,实现动态调整。

(5) 跟踪期监测应不少于6个月,确保结构变形稳定后方可结束监测。

(6) 推广“数值模拟预测+现场监测验证”的双重控制策略,提供变形预测的准确性。

(7) 施工过程中应严格控制附加荷载,选用振动小的设备,遵循分区、分层、分段、对称、限时的开挖原则,将施工扰动降至最低。

基金项目:广东白云院校级科研项目——基于MOOC数据与AI的应用型专业混合式学习预警系统开发。

[参考文献]

[1]何发亮,卢松,丁建芳.地质复杂隧道施工预报研究与工程实践[M].成都:西南交通大学出版社,2019.

[2]王晖,李磊.邻近地铁基坑施工监测与变形控制技术[J].地下空间与工程学报,2021,17(2):765-771.

[3]丁珂.基坑施工对临近地铁区间隧道的影响分析[J].技术与市场,2025,32(10):99-104.

[4]李家平,雷丹,杨石飞,等.复杂环境下基坑施工对地铁隧道结构影响分析[J].土工基础,2025,39(5):692-698.

[5]南京市轨道交通条例[S]. 2014.

[6]江苏省城市轨道交通工程监测规程:DGJ32/J195-2015[S]. 2015.

[7]城市轨道交通结构安全保护技术规范:CJJ/T202-2013[S]. 2013.

[8]南京城市轨道交通设施保护区安全监控标准:NDYJ405023-2020[S]. 2020.

[9]城市轨道交通工程监测技术规范:GB 50911-2013[S]. 2013.

作者简介:严韵玲(2004—),女,本科生;*通讯作者:张佳苗(1995—),女,助教,硕士。研究方向:水泥基材料;袁正惠(1992—),女,硕士,工程师,研究方向为土木工程建造与管理、工程造价管理及教学改革研究。