

Analysis of Monitoring Data and Related Suggestions for Important Surrounding Buildings during Urban Rail Transit Engineering Construction

Tianxiang Liu¹ Mingjie Wang²

1. Shanghai Jing Hai Engineering Technology Co., Ltd., Shanghai, 200131, China

2. Shanghai and Nantong Rail Transit Group Co., Ltd., Nantong, Jiangsu, 226000, China

Abstract

During the construction process of urban rail transit engineering, it can cause certain degrees of deformation or deformation of buildings within the construction impact range, when the degree is severe, it can lead to adverse effects such as sinking, tilting, and cracking of the building. Therefore, through deformation observation, it is possible to grasp the deformation status of buildings during the construction and use of rail transit engineering, timely detect abnormal changes, make judgments on the stability and safety of buildings, and take necessary remedial measures in a timely manner to avoid accidents, which is particularly important. This paper collects, organizes, and summarizes monitoring data on important protective buildings in the surrounding area during the construction process of urban rail transit engineering over a long period of time, and analyzes the factors (causes of deformation) and changes in important buildings affected by construction, it compares the degree of impact on different buildings, gradually verifies the design scheme, and puts forward relevant suggestions for further optimizing the design.

Keywords

important buildings; influencing factors; degree of influence; relevant suggestions

基于城市轨道交通工程建设过程中周边重要建筑的监测数据分析与相关建议

刘天祥¹ 王铭杰²

1. 上海京海工程技术有限公司, 中国·上海 200131

2. 上海南通轨道交通集团有限公司, 中国·江苏 南通 226000

摘要

城市轨道交通工程建设过程中会造成施工影响范围内的建构筑物产生一定程度的形变或变形, 程度严重时则会导致该建筑产生诸如下沉、倾斜、开裂等不利影响。因此, 通过变形观测可掌握建筑物在轨道交通工程施工和使用过程中的形变状况, 及时发现异常变化, 对建筑物的稳定、安全性作出判断, 以便及时采用必要的补救措施, 避免事故发生便显得尤为重要。论文通过长期对城市轨道交通工程建设过程中周边重要保护性建筑的监测数据进行采集、整理汇总相关图表, 分析重要建筑受施工影响因素(变形产生原因)与变化规律, 比对不同建筑所受影响程度, 逐步验证设计方案, 并为进一步优化设计提出相关建议。

关键词

重要建筑; 受影响因素; 影响程度; 相关建议

1 轨道交通工程周边重要建筑情况概述

A 塔是 NT 市城市的标志性建筑物。地处 NT 市城市轨道交通 1 号线一期工程 1 号线、2 号线换乘站 HX 站东南象限。A 塔风险等级为 II 级, 环境安全等级为 I 级, 监测等级为 I 级。

A 塔于 1989 年 10 月建成, 塔高 193.5m (含避雷针),

由箱基、塔脚、塔筒、塔头和天线五部分组成, 塔筒最大直径 14m, 塔楼最大直径 24m, 含单层地下室, 采用群桩筏板基础, 基桩为 450 预制方桩, 桩长 11.65m, 持力层为 3-2 层粉砂层(中密, 中等偏低压缩性, 标贯 19.4), 外形为飞碟式。

如图 1 所示, A 塔与车站主体穹顶结构基坑最近距离约 41.3m, 与车站主体 2 号基坑最近距离约 45.8m, 与附属结构 7 号出入口基坑最近距离约 29m, 与河道驳岸最近距离约 14.7m, 与 HT 区间左线隧道最近水平距离约 17.7m。

【作者简介】刘天祥(1976-), 男, 中国黑龙江齐齐哈尔人, 本科, 工程师, 从事测绘工程研究。



图1 A塔实景图与轨道交通工程相对位置关系图

D饭店C楼也是NT市城市的标志性建筑物。地处NT市城市轨道交通1号线一期工程1、2号线换乘站QNL站西北象限。D饭店风险等级为Ⅱ级，环境安全等级为一级，监测等级为一级。

D饭店于2012年建成，位于QNL站场地西北侧，分为A楼、B楼、C楼及C2楼。A楼高3~15层，一层地下室，混凝土方桩；B楼、C楼高30~53层，2层地下室，C2楼4层，无地下室，基础形式为桩筏基础。结构形式为A楼为框架结构，B楼为框架-核心筒结构，C楼为剪力墙结构，C2楼为框架结构，C楼地下室局部回填黄沙。

如图2、图3所示，D饭店与车站主体基坑最近距离约55m，与附属结构5号出入口基坑最近距离约38.5m，与1号线、2号线联络线区间隧道最近距离约31m，与联络线接收井基坑最近约为76m。

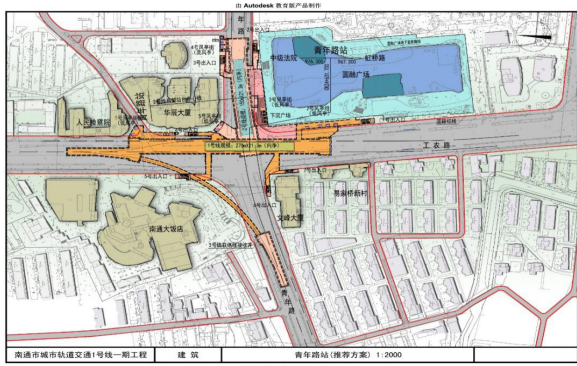


图2 D饭店位置示意图



图3 D饭店实景图与轨道交通工程相对位置关系图

A塔在轨道交通工程建设前略微向西北方向倾斜，倾斜率为0.8‰；D饭店所属的C楼在轨道交通工程建设前已存在较大沉降，并向东侧倾斜1.4‰。轨道交通工程施工前和施工过程中分别对上述建筑采取了相应的加固或处置措

施具体详见表1。

表1 轨道交通工程项目

建筑名称	轨道交通工程项目				加固措施
	项目名称	结构型式	施工工艺	开挖/顶覆土深度	
A塔	穹顶基坑	地下三层	明挖顺做	20~24.8m	600mm厚35m长地下连续墙作为隔离墙、隔离桩、常压回灌
	2号基坑	地下二层	明挖顺做	19.5~21m	
	附属7号口	地下一层	明挖顺做	10.9m	专项加固与纠偏、带压回灌
	区间隧道	地下隧道	盾构法	16.6~24.9m	带压回灌
D饭店	1号线主体基坑	地下二层	局部顶板逆做、半盖挖	18m	常压回灌
	附属5号口	地下一层	明挖顺做	10.8m	
	联络线区间	地下三层	盾构法	11.6~17.6m	
	联络线区间接收井	地下二层	半盖挖	26m	常压回灌、基坑槽壁加固、部分支撑采用伺服系统

2 监测措施与监测方法

如图4所示，A塔与D饭店在轨道交通工程项目施工前分别编制了专项监测方案并通过专家评审，且A塔在轨道交通工程土建施工结束后还专门编制了工后阶段专项监测方案。A塔共布设沉降监测点8个，倾斜监测点4个，监测点编号分别为Jc14-1~Jc14-8、Jq14-1~Jq14-4；D饭店共布设沉降监测点18个，倾斜监测点8个，其所属B楼、C楼这两楼对应监测点编号分别为Jc96~Jc107、Jq30~Jq34。

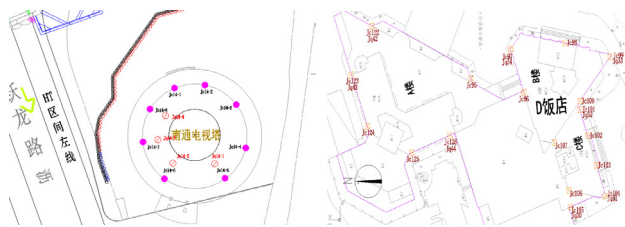


图4 A塔与D饭店监测点布设示意图

建筑沉降监测采用每公里往返测高程精度为0.3mm的Leica数字水准仪进行测量，测量过程严格执行国家二等水准测量要求。某沉降监测点本次高程减前次高程的差值为本次沉降值，本次高程减初始高程的差值为累计沉降值。由于A塔与D饭店均属于超高层建筑，建筑物自身外观不规则，加之施工现场条件不佳，因此采用水准测量的方法，通过差异沉降计算建筑物倾斜。

3 监测数据分析与对比

如图 5 所示,自 2019 年 8 月 15 日穹顶基坑开挖至今(施工结束且完全终止回灌 449 天),共对 A 塔开展监测 1302 次,沉降监测数据具体表现为受轨道交通施工以及 A 塔二次加固影响变化较大:自穹顶基坑开挖至 HX 车站 2 号基坑底板封闭阶段(含 A 塔西北侧隔离桩加固)监测数据变化较大;自 2 号基坑结构施工阶段至 7 号口围护施工完成,监测数据下沉趋势有所收敛;附属 7 号出入口底板加固施工过程,受 A 塔二次加固及纠偏等因素影响,部分监测数据下沉变化较为明显;附属 7 号口开挖至结构施工完成阶段,监测数据呈缓慢下沉变化趋势;全部终止回灌中、后期, A 塔下沉变化趋势略微增大;全部施工完成且完全终止回灌后, A 塔沉降监测数据呈逐渐收敛变化趋势。

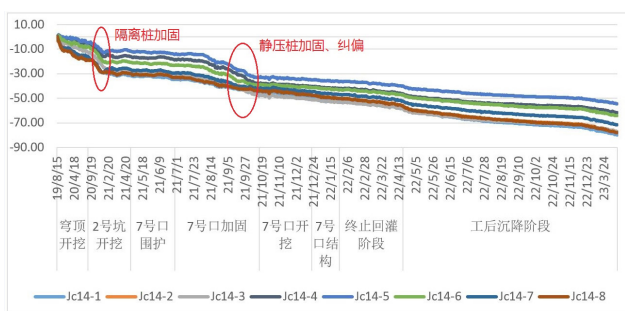


图 5 A 塔沉降监测数据历时变化曲线图

如图 6 所示, A 塔倾斜监测数据自穹顶基坑施工过程中呈现缓慢变化趋势,其中穹顶基坑施工期间 A 塔向北侧、西侧倾斜变化趋势相对明显;附属 7 号口围护结构施工期间倾斜监测数据变化平缓,至 A 塔二次加固期间,经加固单位纠偏处置南通 A 塔向倾斜变化趋势明显收敛,尤其是北向倾斜(Jq14-1)和南向倾斜均得到一定程度的纠正;附属 7 号口开挖至今 A 塔向西、北方位倾斜监测数据呈现缓慢持续变化趋势,其中 A 塔周边带压回灌井终止回灌过程中倾斜监测数据变化略有增大。

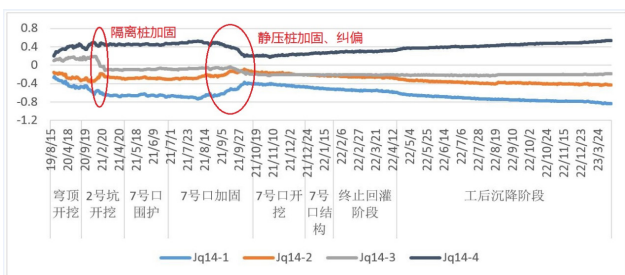


图 6 A 塔倾斜监测数据历时变化曲线图

截至目前 A 塔沉降监测点最大累计值约为 -80mm; A 塔最大差异沉降值约为 -25mm (Jc14-1~Jc14-5 方位); A 塔倾斜率总累计值为 -1.44‰,受施工影响最大倾斜率为 -0.84‰(北偏),小于地铁施工期间绝对倾斜率 3.0‰(内

控指标为 2.0‰);自 2022 年 11 月 26 日以来南通 A 塔监测数据稳定。

如图 7 所示,自轨道交通工程建设施工时起至周边施工结束,共对 D 饭店开展监测 700 次,沉降监测数据具体表现为:自 QNL 站 1 号线主体基坑开挖影响沉降监测数据略有隆沉,但变化较为平缓;联络线接收井施工阶段,受取土施工影响尤其是基坑收底施工阶段监测数据下沉变化趋势相对较为明显,联络线接收封底阶段至结构施工阶段监测数据变化平缓且稳定;附属 5 号口施工以及联络线区间盾构掘进阶段沉降监测数据下沉变化相对较为明显;D 饭店沉降监测数据虽受各项轨道交通工程施工影响而呈现缓慢下沉变化趋势,但下沉程度较小,整体变化平缓且趋于稳定。

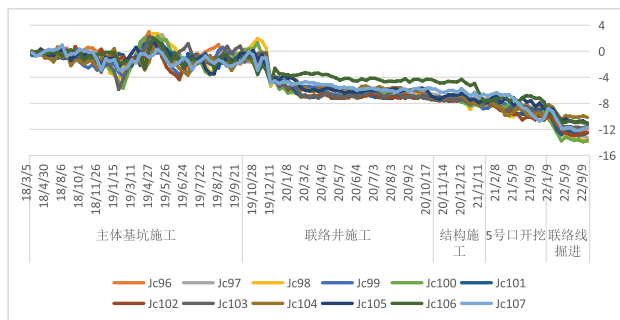


图 7 D 饭店沉降监测数据历时变化曲线图

如图 8 所示, D 饭店倾斜监测数据在穹顶基坑施工过程中呈现缓慢变化趋势,其中主体基坑施工期间以及联络线接收井基坑开挖阶段 D 饭店向右侧倾斜变化趋势相对明显;联络线接收封底后、附属 5 号口施工以及联络线区间盾构掘进期间倾斜监测数据变化平缓且稳定;D 饭店倾斜监测数据受各项轨道交通工程施工影响较小,监测数据整体变化平缓且稳定。

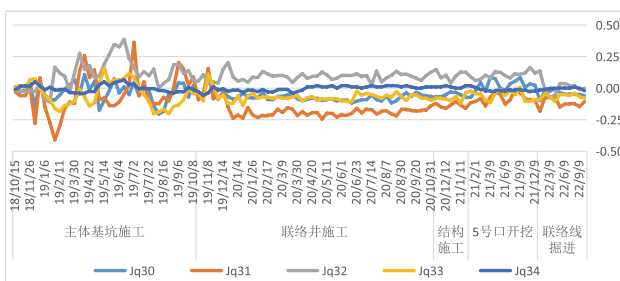


图 8 D 饭店倾斜监测数据历时变化曲线图

截至目前 D 饭店沉降监测点最大累计值为 -13.85mm;最大差异沉降值为 -3.57mm (Jc103~Jc104 方位); D 饭店倾斜率总累计值为 -1.54‰,受施工影响最大倾斜率为 -0.11‰(东偏)。

通过对 A 塔、D 饭店的沉降、倾斜监测数据分析、整理,并结合周边轨道施工状况,可得到上述建筑变形所受主要影响因素、受影响程度等信息,具体情况详见表 2。

表 2 建筑变形所受主要影响因素、受影响程度

建筑名称	轨道工程项目	施工时间	相对位置关系	主要影响因素	受影响程度	最大变形速率
A 塔	穹顶基坑施工	2019.8—2020.8	41.3m	基坑开挖	下沉 5~19mm	下沉 0.05mm/d
					北偏 0.19‰	倾斜 0.001‰
	2 号基坑施工	2020.8—2021.5	45.8m	基坑开挖与加固总影响	下沉 6~16mm	下沉 0.06mm/d
					北偏 0.21‰	倾斜 0.001‰
		20.10—20.12		隔离桩加固单独影响	下沉 5~8mm	下沉 0.13mm/d
					北偏 0.06‰	倾斜 0.001‰
	7 号口基坑施工	2021.5—2022.1	29m	基坑开挖与加固总影响	下沉 20~26mm	下沉 0.10mm/d
		南偏 0.14‰			倾斜 0.001‰	
	2021.8—2021.10	加固、纠偏单独影响		下沉 8~18mm	下沉 0.25mm/d	
				南偏 0.33‰	倾斜 0.005‰	
终止回灌	2022.1—2022.4		地下水水位变化	下沉 3~6mm	下沉 0.07mm/d	
				北偏 0.07‰	倾斜 0.001‰	
工后阶段	2022.4—2023.7		自然沉降、地铁运营	下沉 15~20mm	下沉 0.04mm/d	
				北偏 0.25‰	倾斜 0.001‰	
D 饭店	主体基坑施工	2018.3—2019.9	55m	基坑开挖	下沉 0~2mm	下沉 0.003mm/d
					西偏 0.12‰	倾斜 0.000‰
	联络线接收井施工	2019.9—2020.10	76m	基坑开挖	下沉 3~8mm	下沉 0.02mm/d
					东偏 0.23‰	倾斜 0.001‰
	其他结构施工	2020.10—2021.1		施工扰动、自然沉降	下沉 0~3mm	下沉 0.04mm/d
					北偏 0.06‰	倾斜 0.001‰
	5 号口施工	2021.1—2021.11	38.5m	基坑开挖	下沉 0~4mm	下沉 0.01mm/d
					南偏 0.09‰	倾斜 0.000‰
联络线掘进	2021.11—2022.6	31m	隧道掘进扰动	下沉 1~5mm	下沉 0.02mm/d	
				南偏 0.07‰	倾斜 0.000‰	

4 结论

通过对 A 塔与 D 饭店沉降、倾斜监测数据分析、比对，可得到以下几点结论：

第一，重要建筑受轨道交通工程建设的影响与其至工程本体的距离呈反比，即距离轨道交通工程项目越远，受施工影响越小；距离轨道交通工程项目越近，受施工影响越大。

第二，对重要建筑所采取的加固措施有效：带压回灌期间可有效控制重要建筑下沉变化趋势；对 A 塔所采取的主动加固、纠偏措施效果明显，可在一定程度上控制或纠正重要建筑的倾斜。

第三，对重要建筑进行加固期间，易导致重要建筑产生较为明显的下沉、倾斜变化；带压回灌并关停阶段，也会对重要建筑沉降与倾斜变化产生影响；上述影响程度在加固施工或回灌并关停阶段最为明显，并随时间变化而逐渐减弱。

5 相关建议

依据对轨道交通工程建设过程中周边重要建筑 A 塔与 D 饭店不间断的长期监测，并结合建筑自身结构特点与针对性保护、加固措施，通过对监测数据的分析与比对结果，现提出以下建议供相关轨道交通工程建设阶段作为参考，并为优化类似工程设计提供数据依据。

第一，建议针对周边存在重要建筑的轨道交通等类似工程建设，在设计选址过程中使诸如基坑、隧道等工程本体尽可能远离重要建筑，可有效减少重要建筑所受轨道交通等工程施工影响。

第二，对轨道交通工程建设施工前，针对无法避让且与工程本体距离较近的重要建筑，应采取诸如设置回灌井、隔离墙、加固桩等的加固或保护措施，可避免加固与施工扰动影响对重要建筑的叠加影响。

第三，轨道交通工程建设过程中，针对已产生较大沉降或倾斜的重要建筑，可采用带压回灌的方式控制建筑沉降，采用纠偏的方式控制建筑倾斜；但要优化工艺控制回灌并终止回灌后对重要建筑所产生的不利影响。

参考文献

- [1] 闫磊,赵宝,郑彬,等.临近地铁站体和历史风貌保护建筑的超大深基坑综合监测技术[J].天津建设科技,2015,25(6).
- [2] 陈岗.软土基坑变形影响因素探讨[J].城市建设,2012(11).
- [3] 潘勇飞,周燕国.软土基坑变形影响因素及控制措施[J].科技致富导向,2011(22).
- [4] 熊海贝,刘强,康加华,等.基坑围护结构施工对邻近历史保护性建筑物的影响[J].结构工程师,2010,26(3).
- [5] 于向军.一栋保护性建筑被动抢修的启示[J].住宅科技,2017,37(10).