

南京禄口国际机场 T1 航站楼改扩建工程基坑监测分析

文 / 孙 进 江苏省地质局第一地质大队

祁 高 江苏省地质局第一地质大队

王 磊 江苏省地质局第一地质大队

李思汉 防灾科技学院地质工程学院

摘 要: 深基坑工程监测对于实时了解基坑工程安全状态、验证支护方案设计合理性、开展信息化施工、提高工程安全性和可靠性等方面具有重大作用。以南京禄口国际机场T1航站楼改扩建工程基坑监测为研究对象,分析深基坑支护设计方案合理性、明确监测方案可行性、探究监测数据(结构水平、垂直位移、土体深层水平位移、立柱沉降、支撑轴力、地下水位、周边建筑物沉降)的变化规律。对施工过程中数据变化值与允许限值对比分析,加强对安全隐患的预警。实测数据成果可为类似工程提供案例参考。

关键词: 深基坑工程; 基坑监测; 数据分析

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.02.096

引言

随着城市建设使用需求的增快,深基坑工程也越来越普及。在深基坑工程开挖施工过程中,对周围建筑、道路及管线等都会产生影响,特别是用地紧张导致基坑紧邻周围建筑物时,频频出现相关事故。按照相关规范确立支护方案进行设计施工后,其基坑变形情况的预测结果与实际结果存在不同,即实际工程中的岩土体参数存在不确定性。为了确保深基坑工程施工过程中支护体系安全、周边环境安全,现场施工监测十分关键。

本文对南京禄口国际机场T1航站楼改扩建工程中基坑为研究对象,对其支护方案进行介绍,对其施工过程中的支护结构、周围建筑、地下水位进行监测,了解其分布规律,以便更好的进行理论分析。同时,数据成果可对相似地质条件、施工环境的深基坑工程提供案例参考。

一、工程概况

(一) 工程简介

本项目位于南京禄口机场内,距市中心直线距离为35.8公里,T1航站楼建筑面积约13.2万平方米,在2019年~2020年间处于停用待改造状态。T1航站楼含主楼、北指廊和南指廊,本次支护设计的为主楼扩建区域以及主楼东侧人防区域深基坑支护设计,该项目竖向设置1层地下室,基坑挖深约8.8~10.3/10.6m。

(二) 地质条件

根据勘探资料,场地的地基岩土层主要由第四系全新统、上更新统冲积成因的粉质黏土,侏罗系上侏罗统龙山王组安山岩等组成,表层一般分布人工堆积成因的素填土。按照地基岩土的组成、埋藏条件及其物理力学性状,在勘探深度范围内可将地基岩土划分为6个岩土体单元,自上而下分别为:层①2素填土、层②1粉质黏土、层③1粉质黏土、层⑤1全风化安山岩、层⑤2强风化安山岩、层⑤3b中风化安山岩(破碎)(3J)。

场地地下水为孔隙潜水及基岩裂隙水。孔隙潜水主要赋存于①2素填土中。基岩裂隙水按含水岩组岩性主要为风化裂隙水。安山岩风化不均匀,其自生构造裂隙

与风化裂隙均十分发育,该基岩层中以裂隙水为主,但其深部裂隙减少,连通性不强。潜水稳定水位埋深为0.50~4.10m(高程为11.65~14.37m),起伏较大。裂隙水不发育,安山岩裂隙水一般为局部富水,富水量不大。根据调查访问,场地地下水常年稳定水位埋深一般为0.50~1.50m,水位年变化幅度约为1.00m。场地地下水水位随季节性变化,场地地下水最高水位一般在7~8月份,最低水位多出现在旱季12月份至翌年3月份。近3~5年最高水位埋深约为0.50m。

(三) 周边环境

项目基坑西侧为已建建筑,据基坑地下结构外墙约2.05m,支护结构空间较为紧张,基坑其他三侧为规划空地,施工空间充足。

(四) 支护设计

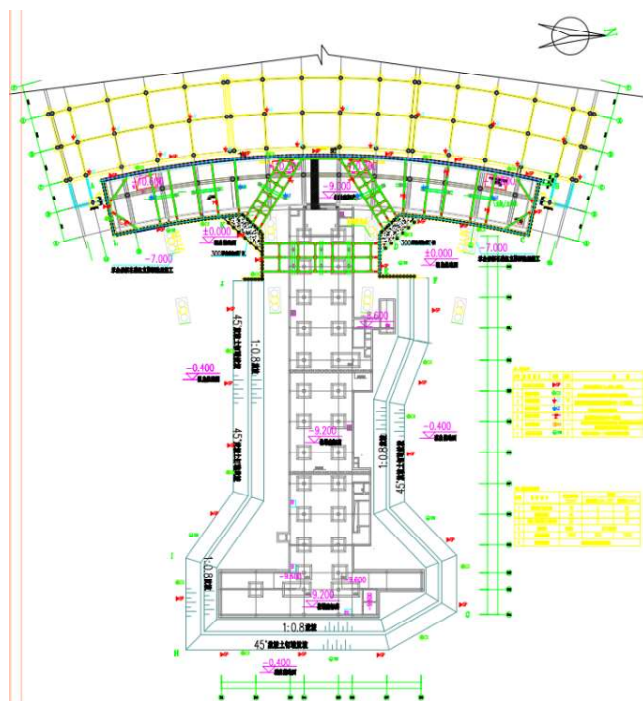
支护设计方案如图1(a)所示。根据基坑的开挖深度、周边环境要求综合确定基坑西侧安全等级为一级,采用:φ900@1200套管咬合桩+一层H型钢组合钢支撑支护,其他侧采用φ800@1000钻孔桩+一层H型钢组合钢支撑支护;中部矩形基坑与主楼区域连接处,采用φ800@1000钻孔桩+一层H型钢组合钢支撑支护。其他基坑侧壁安全等级设定为二级,采用放坡支护。

基坑西侧根据不同位置,采用的支护类型亦不同(如图1(b)所示):AB段采用旋挖型套管咬合桩,A桩为φ900@1200钢筋混凝土桩,共108根,B桩为φ800@1200的素混凝土桩,共107根;BCD/KLA段为φ800@1000钻孔灌注桩,共122根;DE/JKI段采用φ800@1000钻孔灌注桩,共55根。

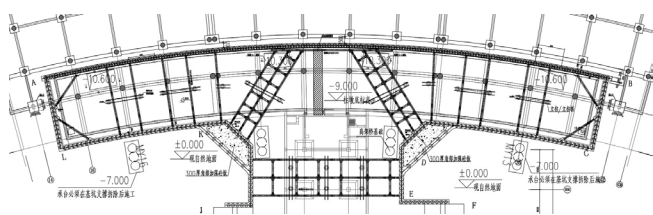
基坑开挖深度范围内含有孔隙潜水及基岩裂隙水,故坑内采用明沟排水,顶部设置截水沟。

二、监测方案

为对可能发生的安全隐患或事故进行及时、准确预报,方便有关方面做出决策、采取有效措施,避免重大事故发生;为客观真实了解工程安全状态和质量程度,掌握工程各主体部分的关键性安全和质量指标;为丰富设计人员和专家对类似工程的经验,解决类似工程难



(a) 总体支护及监测设计



(b) 基坑西侧支护

图1 基坑支护设计及监测平面布置图

题。基于以上目的，对本工程的结构水平、垂直位移、土体深层水平位移、立柱沉降、支撑轴力、地下水位、周边建筑物沉降进行了监测。

(一) 监测点位布置

根据项目监测方案 and 实际现场情况需要，项目实施仪器监测和人工巡视相结合的方法进行。仪器监测实际监测项目如表1所示。

表1 监测内容及项目

序号	监测内容	布点原则	测点总数
1	支护结构水平、垂直位移	沿圈梁或坡顶面每20m布设1个观测点	28点
2	土体深层水平位移	埋设于坡顶土体中，埋设深度同支护桩	17点
3	立柱沉降	布置在立柱上方的支撑面上	6点
4	支撑轴力	沿支撑截面布置4个监测点	7组
5	地下水位	在基坑每侧布置1个水位观测井	5点
6	周边建筑物沉降	沿基坑周边每栋建筑物各角点设置不少于4-6个变形观测点	16点

仪器布置位置如图1(a)所示，监测点布置的情

况如下：(1) 支护结构顶部水平、垂直位移(同点)监测点：在支护结构圈梁顶部每隔约20m布设一个监测点，共布设28个水平及垂直位移(同点观测)监测点，编号分别为SP1~SP28。(2) 深层水平位移监测点：基坑外围布设深层水平位移观测孔，埋设于土体中，埋设深度同支护桩。基坑外侧土体测斜管埋设拟采用地质钻机成孔，将底端密封好的测斜管下到孔底，在测斜管与孔壁间用干净细砂填实，测斜管深度不小于支护桩底标高。共布设17个监测点位，编号分别为CX1~CX17。

(3) 立柱沉降监测点：立柱沉降监测点布置在立柱上方的支撑面上，共布设6点。监测点埋设方法同支护结构竖向位移监测标志埋设方法。(4) 建筑物沉降监测点：沿基坑周边每栋建筑各角点布置不少于4-6个变形观测点，共布设16点。对于混凝土结构墙体上的观测点，采用在结构上钻孔后埋设“L”型点位标志的方法；测点采用Φ20不锈钢，先用冲击钻在墙柱上成孔，在孔中装入Φ20不锈钢测点，然后在孔内灌注混凝土或锚固剂进行固定(测点固定部位做成螺纹)。(5) 支撑轴力监测点：沿支撑截面布置4个监测点，共布设7组。(6) 地下水位监测点：在基坑每侧布置1-2个水位观测井兼回灌井，共计5个水位观测孔。

(二) 监测方法

支护结构水平位移监测主要使用全站仪：索佳SET2X及配套棱镜组等进行观测，采用小角度法和极坐标法结合进行监测。支护结构沉降监测采用Trimble Dini03水准仪，按《工程测量规范》(GB50026-2007)二等水准测量的技术要求施测。深层水平位移监测采用CX-901E型，编号为9133的测斜仪施测。钢筋测力计宜在基坑开挖前一周埋设，取开挖前连续2天获得的稳定测试数据的平均值作为初始值。基坑开挖后，采用频率仪测得钢筋测力计的频率，从而换算出混凝土支撑轴力。地下水位监测采用钢尺水位计。

(三) 质量标准

监测频率为土方开挖期间一天一次，具体可根据监测反馈信息适当调整，出现异常时加密监测频率。在基坑施工前，对其所有的监测项目进行连续三次独立的观测，取其平均值作为监测项目的初始值。从基坑土方开挖到地下室侧壁回填整个过程中均进行监测。按照基坑支护结构设计要求^[1-7]，监测与测试的控制标准如表2所示。

表2 基坑监测报警值

监测项目	总位移允许值 (mm)	报警值	
		变化速率 (mm/d)	累计变化值 (mm)
深层水平位移	40	3	35
圈梁水平、沉降位移	35	2	30
支撑轴力(KN)	设计值	80%设计值	
道路/周边建筑/ 立柱沉降	20	2	15
坑外水位	1500	500	1000

三、监测数据分析

(一) 支护结构位移监测

支护结构顶部水平与竖直位移反映的是支护结构顶部的变形情况，随着施工方法和施工进度各有不同，支护结构顶部的变形和施工工况相应。由图2~图5可以直观的看出支护结构顶部变形随时间的变化情况：

①支护结构顶部水平位移和沉降变化都呈同步变化趋势

土方开挖开始（2019年3月25日）到基坑土方开挖完毕，基坑开挖期间，支护结构顶部水平位移和垂直位移随着开挖深度的增加，位移相对增大，之后基坑水平位移与垂直位移均达到持续稳定状态。

②支护结构顶部水平位移和沉降变化幅度都在安全稳定范围内

基坑开挖和地下室等施工过程中，水平位移变化速率最大值是2019年9月7日SP28点的0.99mm/d；沉降的变化速率最大值是2019年4月30日SP16点的1.68mm/d。变化速率均小于设计报警值2.0mm/d。

基坑开挖期间和地下室等施工过程中，支护结构顶部累计水平位移最大值是2019年10月2日SP2点的11.08mm；累计沉降最大值为2019年10月24日SP16点的11.58mm，均小于设计报警值30mm。

基坑开挖和地下室施工期间，基坑支护结构顶部变化处于安全稳定状态。

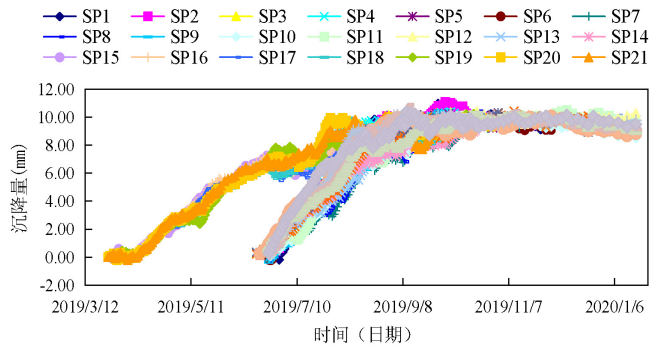


图 2 支护结构顶部水平位移 - 时间曲线图

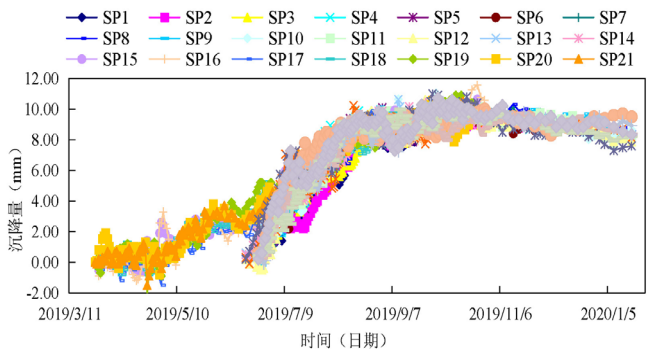


图 3 支护结构顶部沉降 - 时间曲线图

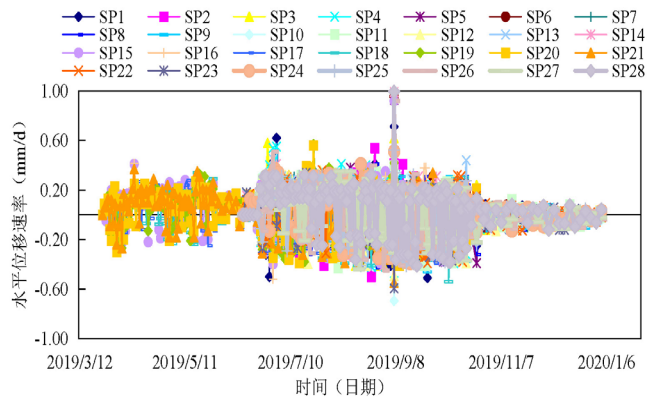


图 4 支护结构顶部水平位移速率 - 时间曲线图

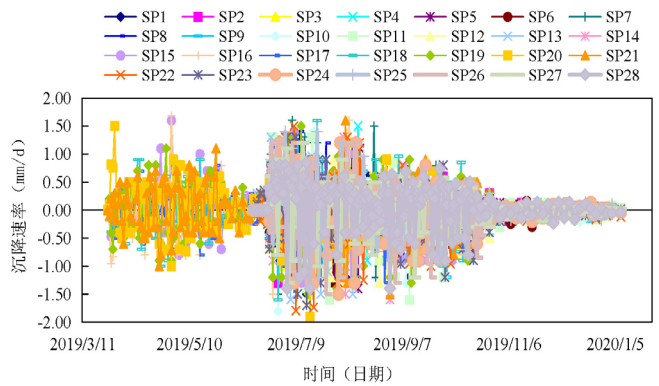


图 5 支护结构顶部沉降速率 - 时间曲线图

(二) 周边环境监测

周边建筑物的沉降随基坑施工的进度而变化，如图6所示。周边建筑物监测点累计沉降量最大值为2019年10月12日JZ12点的10.57mm，小于设计报警值15mm，整个基坑开挖过程和地下室施工期间，建筑物始终处于安全稳定状态。

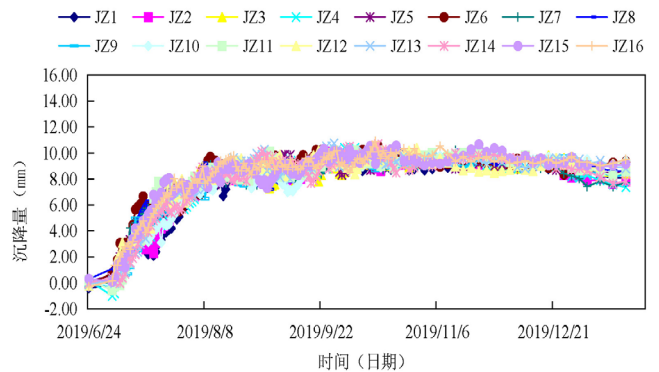


图 6 周边建筑物沉降 - 时间曲线图

立柱沉降在基坑施工期间基本趋于稳定，由图7可以看出。监测期间，累计最大值是2019年11月4日LZ6点的10.7mm，小于设计报警值15mm。

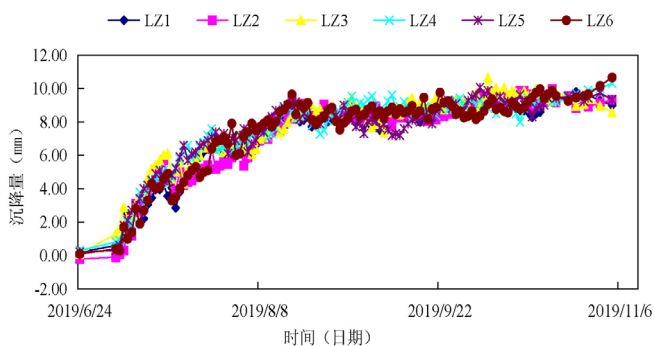


图 7 立柱沉降—时间曲线图

(三) 深层土体位移监测

由于数据量过多，仅展示CX15孔中深层水平位移随时间的变化趋势，如图8所示。数据可知，在整个基坑开挖过程中，随着基坑开挖深度的不断加深，各测斜孔不同深度的深层水平位移发生相应的变化，基坑开挖结束，各测点的位移变化达到峰值后逐渐趋于稳定，但是整个过程都没有出现较大的变化情况。其中累计位移最大值出现在2019年7月11日2.5m深度的14.47mm。参照设计报警值：累计位移 $\geq 35\text{mm}$ ，各测点深层水平位移未超过设计报警值。

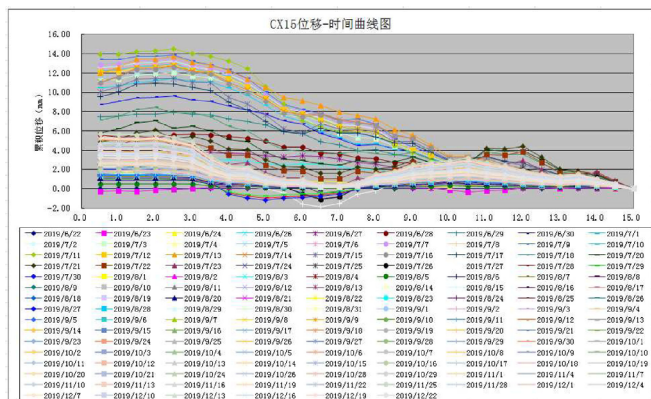


图 8 CX15 位移—时间曲线图

(四) 支撑轴力监测

支撑轴力在基坑施工期间在正常范围内，见图9所示。监测期间，支撑轴力最大值为2019年8月3日ZL5点的1319.58kN，未超过设计值。

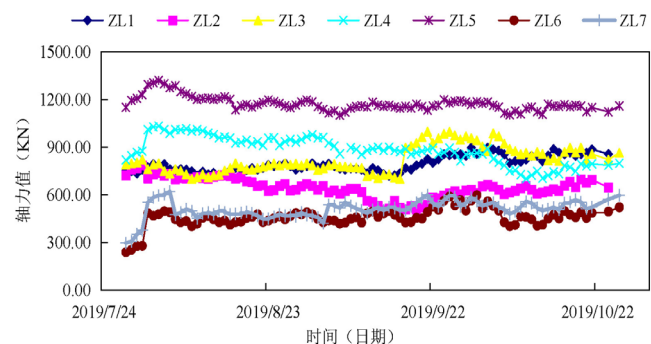


图 9 支撑轴力监测值—时间曲线图

(五) 地下水位监测

由图10可知，地下水位在基坑施工期间在正常范围内。监测期间，累计最大值是2019年8月21日SW2点的-960mm，小于设计报警值1000mm。

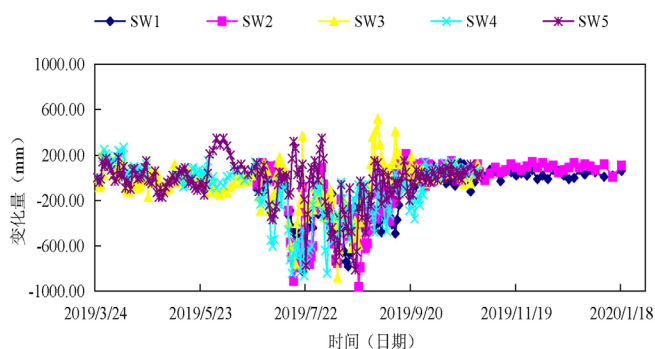


图 10 地下水位变化量—时间曲线图

结束语

在机场航站楼改扩建工程的深基坑支护工程中，因工程地质条件复杂、基坑西侧建筑物距离过近，施工过程中的监测分析尤为重要。本文详细阐述了深基坑工程的监测方案及数据分析，通过监测数据统计分析，总结如下：

- 1、基坑变形和施工工况是密切相关的，在基坑开挖阶段不论是支护结构顶部还是深层水平位移的变化都出现了不同程度的增大趋势，其最大值小于监测报警值，证明基坑支护方案的合理性。
- 2、周边建筑物最大沉降量为10.57mm，立柱沉降量最大值为10.7mm，两个沉降量最大值发生时刻不同，可见整个施工过程中全程监测是必要的。整个施工过程中周边环境处于安全稳定状态。
- 3、内支撑设计方案合理，最大支撑轴力为1319.58kN，出现在施工阶段前期。基坑支护处于安全稳定状态。
- 4、整个监测工作按照要求圆满结束，实现了信息化施工，有力保障了基坑及周边环境的安全，说明本工程的支护方案和监测方案是合理可行的。

参考文献

[1] 建筑基坑工程监测技术规范：GB50497-2009[S]. 北京：中国计划出版社，2009.
 [2] 工程测量规范：GB50026-2007[S]. 北京：中国计划出版社，2008.
 [3] 国家一、二等水准测量规范：GB12897-2006[S]. 北京：中国标准出版社，2006.
 [4] 建筑变形测量规程：JGJ/T8-2007[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2007.
 [5] 建筑基坑支护技术规程：JGJ120-2012[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2012.
 [6] 建筑物沉降、垂直度检测技术规程：DGJ32/J18-2012[S]. 南京：江苏科学技术出版社，2012.
 [7] 建筑地基基础设计规范：GB50007-2011[S]. 北京：中国计划出版社，2012.