

# 长沙机场改扩建工程磁浮 T3 站基坑监测技术

文 / 钟 扬 湖南机场建设指挥部

**摘要:**长沙磁浮东延线接入T3航站楼工程磁浮T3站为全国最大规模的明挖施工全地下磁悬浮车站。项目将信息化智能技术运用于施工现场监测,显著提升了监测效率和精度,结果可实时反馈给相关部门,及时处理现场预警,有力保障了现场施工的安全和进度。

**关键词:**全地下磁浮车站; 信息化施工; 智能监测; 预警措施

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.02.041

## 前言

随着航空出行以其高速便捷的优点及我国科技与经济的飞速发展而日益普及,各大机场陆续改扩建。机场改扩建工程普遍在有限范围内将高度集约众多种类和数量的单位工程,建筑功能全面,结构型式复杂,施工交接频繁。随着施工技术由粗放式逐渐向绿色化、集约化、信息化、产业化发展,施工监测技术也随之向信息化、智能化方向提高。周福海<sup>[1]</sup>针对下沉式深基坑,合理使用控制网对围护、基坑各个点位进行有效监测发现:围护各项监测结果虽然均处于警报值以外,但整体围护结构仍具有较强的平稳性,足够保证基坑工程有序进行。秦振伟<sup>[2]</sup>以上海某商务区超大超深邻地铁基坑工程基坑监测为例,优化布设监测方案,针对性地分析总结了地下工程的监测数据变化规律和成因。张文静<sup>[3]</sup>通过在隧道工程中应用测量机器人进行自动化监测,与人工测量的数据进行全面的对比后,证明了测量机器人自动化监测具有精度高、实时处理、可视化显示、可靠性强等优点。目前,随着我国工程规模日益增大和集约化程度不断提高,施工监测技术在引入信息化、智能化等理念方面仍需进一步摸索、实践和总结。

## 一、工程概况

长沙机场改扩建工程位于湖南省长沙市,紧邻现有黄花机场的东侧,作为湖南省一号工程和交通部“十四五”规划重点工程,设计为绿色建筑最高标准的三星级,是湖南省首批9个绿色建造试点项目之一<sup>[4]</sup>。工程的总投资达429.6732亿元,占地面积105.16万m<sup>2</sup>,其中的长沙磁浮东延线接入T3航站楼工程磁浮T3站为全国最大规模的明挖施工全地下磁悬浮车站。车站站台长100m,站台宽度16m,总长385m,标准段总宽25.1m,建设与地下的负一层为车站站厅层,地下负二层为设备层,地下三层为站台层,配线段采用明挖法施工,端头为接收井。车站与拟建地铁6号线、机场规划的南北贯穿隧道西线正交,基坑内单位工程交叉压覆复杂,场地动态布置且移交频繁,现场组织协调难度高。基坑开挖长度739米,深度28.54米,“坑中坑”“坑外坑”“交叉坑”众多,采用围护桩1.0米@1.4米+三道内支撑的结构形式。基坑安全等级为一级,根据设计图纸要求结合现场实际情况基坑开挖期间需进行施工监测。

## 二、监测内容及组织管理

磁浮T3站的监测内容主要围绕基坑围护结构的变形和基底沉降进行,具体如下表1:

表1 监测范围、对象及项目

| 序号 | 监测项目           | 位置和监测对象     | 监测仪器    | 测点布置                      | 监控频率  |
|----|----------------|-------------|---------|---------------------------|---|
| 1  | 围护结构(放坡)顶部水平位移 | 围护结构(坡顶)上端部 | 经纬仪     | 沿车站纵向10~20m一个             | 检测工作贯穿于现场施工的全过程,在基坑的开挖阶段为≥(1-2)次/天,在内衬施工的阶段为≥2次/天,若变形超过相关标准或者场地条件变化较大时则加大监测的频率。 |
| 2  | 围护结构变形         | 围护结构内部      | 测斜管与测斜仪 | 沿车站纵向10~20m一个,同一孔示向间距0.5m |   |
| 3  | 钢支撑轴力(含变形)     | 钢管支撑端部      | 轴力计     | 钢管支撑端部                    |   |
| 4  | 砼支撑轴力(含变形)     | 支撑长度1/3部位   | 应力计     | 支撑长度1/3部位                 |   |
| 5  | 地下水位           | 基坑周围        | 水位管、水位仪 | 代表性点位                     |   |
| 6  | 地面沉降           | 围护结构周围土体    | 水准仪     | 代表性点位                     |   |
| 7  | 支撑立柱沉降         | 立柱顶端        | 水准仪     | 立柱总数25%                   |   |

基坑施工的过程当中，地质条件、作业环境和周边环境的环境均对其有一定影响，很难单纯从理论上预测工程中遇到的问题。因次确有必要将理论分析与现场的工程测试相结合。针对施工过程中存在的变形控制风险，施工监测采用信息化施工远程监控就具有显著的优势，系统内部各部分之间与外部各方之间可以保持高度协调统一，并可准确可靠并且实时地获取数据，经过系统分析处理后，就可以即时向有关各方传送结构本体及工程环境的变形状况，使其全面掌握工程每个部分及节点的关键性能指标及当时的状态，从而确保基坑结构和周边环境安全，同时可使用反馈的信息进一步优化设计，以达到优质安全、经济合理、施工快捷的目的，并可进而对比理论预测值与现场实际监测结果，采用反向分析的思路及方法寻求更贴合实际的理论公式用于指导今后的工程项目。基坑监测需实施由项目负责人为第一负责人的组织结构和管理体系，有利于监测工作进行，同时具有预见性地发现问题、处理问题，把技术问题及质量隐患于萌芽阶段即消灭。

### 三、监测方法及结果处理

#### (一) 基准点、工作基点、监测点的布设

变形监测的控制网为监测工作的基础，其质量将直接影响变形监测成果的整体质量。磁浮T3站的变形监测控制网包括基准点、工作基点和变形监测点等网点。项目在选择位置时，充分考虑稳固和利于保护两方面因素，在位于施工的影响范围之外的区域布设了6个基准点，并在观测墩内安装了强制归心装置。同时，项目根据施工现场以及周边的情况，在距基坑开挖深度3倍范围以外（90米以外）的稳定位置埋设水平位移基准点。基准点、工作基点使用直径Φ16的圆头不锈钢螺钉，顶部锯十字小槽而成、埋深不小于60cm。工作基点布置于基坑的拐角位置。根据现场实测，基坑拐角处的变形最小，大多为最大变形的 1/10 左右。

地表沉降监测点监控基坑开挖施工对周围土体的影响范围，在基坑四周布设，布点时根据设计的间距要求垂直基坑围护结构布设。根据设计确定后的支护（边坡）顶部的水平位移点位置、数量，变形监测点布设于基坑支护结构的冠顶梁上（喷射混凝土的坡顶上），点位布设于围护结构中部、阳角处和其他具有代表性的部位，点位间隔距离约20m。布设时采用冲击钻成孔，埋设反射片固定支架，并用水泥砂浆固定，水平位移监测点兼做竖向位移监测点。立柱沉观测点布设在基坑中多

根支撑交汇的立柱上的支撑梁的顶部中心位置，此为立柱受力及变形较大，容易产生沉降差异的部位，包括基坑的中部、数根支撑的交汇部位、地质条件较为复杂的地方，等等。钢支撑轴力监测仪器由钢支撑端头轴力计、一副十字型安装支架和一支轴力计组成。钢支撑架设时，将安装架垂直焊接于活络头之上，将反力计平稳安放于安装架内，使用螺栓固定周边，再制作一块250mm×250mm钢板焊接在围檩侧边，使得围檩面均匀受力，以避免钢支撑受力后轴力计陷入钢板导致结果失真。焊接温度冷却后才能将轴力计缓慢推入安装架，并用螺栓固定牢固。安装过程中，需将轴力计与钢支撑轴线定位于同一直线，并使各个接触面平整，以确保钢支撑的受力通过轴力计正常传递给支护结构。砼支撑的轴力监测点安装于支撑内力较大或在支撑系统中起关键控制作用的杆件上；各层支撑的监测点位置在竖向上保持一致，各层支撑的内力监测点大于等于3处；钢支撑的监测截面选择在两支点间的1/3部位或支撑的端头；混凝土支撑的监测截面选择在两支点间1/3部位，并避开了节点位置。在安装钢弦式钢筋应力传感器（以下简称钢筋应力计）的时候，若与钢筋连接，则使用焊接法或螺纹连接，而钢筋应力计则是在每个监测点设置一组（4根），在支撑内的钢筋笼的四个角点各预先埋置一组钢筋计，与支撑主筋相连，测量钢筋的应力，然后通过钢筋与混凝土共同工作、变形协调条件反算支撑的轴力。地下水位监测点沿基坑周边距冠梁或坡顶外侧2.5米，50米布置一道，水位监测管的填置深度（管底标高）应在基坑底底标高下5米，钻孔深度约35米。测斜管则埋设于变形较大或危险性较大的位置，一般选择于基坑边中部的的位置，采用绑扎型式埋设。

#### (二) 监测仪器设备

主要仪器设备如下表2:

表2 仪器配备表

| 设备            | 数量  | 精度          |
|---------------|-----|-------------|
| 全站仪 GM-101    | 1 台 | 1.0"        |
| 水准仪 天宝 DINI03 | 1 台 | 0.3mm       |
| 综合读数仪 DSY03   | 1 台 | 0.2%        |
| HC-902F 测斜仪   | 1 台 | 0.1mm/500mm |
| 电脑            | 3 台 | /           |
| 打印机           | 1 台 | /           |
| 汽车            | 1 台 |             |

### （三）监测时间节点

根据设计和规范要求及本项目实际情况，基坑的监测结合定时和跟踪两种方式：施工监测贯穿于磁浮T3站主体施工的全过程，日常保持基坑的开挖阶段为（1-2）次/天，内衬的施工阶段为（2-3）次/天。若发现数据临近报警线或以下8种异常情况时，则提高监测频率直至连续监测：

- 1) 监测数据达到报警值；
- 2) 监测数据变化增大或者速率明显提高；
- 3) 违反设计工况时的施工，例如：未及时增加支撑等情况；
- 4) 连续降雨所导致基坑周边大量积水；
- 5) 支护结构产生裂缝；
- 6) 基坑周边突发性地地面大幅沉降或出现明显裂缝；
- 7) 临近建筑突发性较大幅度地沉降、不均匀沉降以及结构严重开裂。

### （四）数据分析处理

监测数据后需及时整理校对，绘制时态曲线，注明施工工序、开挖方法、开挖面与监测断面的距离，等等，并编写日报、月报、年报汇总报表。项目将实测的原始数据按大小排序，用频率分布的方式显示，计算数字特征值，取舍离群数据，然后采用函数近似方法求取符合测量规律但未实测到的数据，接着采用统计分析法来回归分析监测结果，拟合出一个可较好反映监测数据变化规律及趋势的函数关系式，紧接着预测下阶段的监测物理量，以消除隐患于未然，包括计算结构最终位移值，评估结构物安全性等，进而据此制定或改进技术方案和施工措施。日常监测工作需按照“分区、分级、分阶段”的原则，根据每一监测点的结果，比对管理基准和位移变化速率（mm/d），评估建筑结构安全状态，及时反馈给现场，适时调整施工参数，确保现场施工的安全高效。

### 四、报警、异常及危险情况下的监测措施

项目制定应急预案，按黄、橙、红色建立三级预警机制，适时反馈，及时把控。一旦检测预警，监测组应立即报告给施工主管、监理、建设及其他相关单位，获

得确认后立即提交预警报告。项目在加大自动设备监测频率的基础上，将组织轮班的巡查人员在基坑施工现场保持全天候监测，必要时还将增加数套监测仪器。如闲情规模较大，项目部将加派技术、施工、质检、安全等现场人员补充进入应急检测小组，全方位全过程汇总分析各项数据，建立及时畅通的信息传递体系。

### 总结

开工至今，施工监测正常进行，按时反馈结果给施工、质安等相关部门，有力保障现场作业的正常运行，预警工作及时有效，将安全隐患消灭在了萌芽状态。现场质量一次验收通过率100%，项目作为绿色建造施工、质量管理和安全生产标准化的示范工地，已多次组织国家和省市级的观摩活动，深受社会各界好评。由此说明，将信息化技术运用于施工现场监测，可显著提升监测效率和精度，有力保障现场施工的安全和进度。

### 参考文献

- [1]周福海.下沉式深基坑工程信息化施工监测分析[J].建筑技术开发,2024,51(03):59-61.
  - [2]秦振伟.上海某超大超深邻地铁基坑工程施工监测分析[J].建筑技术开发,2024,51(03):153-156.
  - [3]张文静.测量机器人自动化监测在隧道工程中的应用[J].天津建设科技,2024,34(01):22-24.
  - [4]湖南省住房和城乡建设厅.关于公布第一批绿色建造试点项目和试点城市的通知[EB/OL].(2021-06-28) [http://zjt.hunan.gov.cn/xxgk/xinxigongkaimulu/tzgg/tzgg2jzjnykj/202106/t20210628\\_19803884.html](http://zjt.hunan.gov.cn/xxgk/xinxigongkaimulu/tzgg/tzgg2jzjnykj/202106/t20210628_19803884.html).
  - [5]招光明.锁口钢管桩围堰技术在河边岩溶地区应用研究[D].广东工业大学,2018.
  - [6]中华人民共和国住房和城乡建设部;中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.GB 50497-2009建筑基坑工程监测技术规范[S]2009-03-31.
  - [7]吕焕明.鄞奉路滨江绿化及地下停车场工程深基坑围护施工技术研究[D].同济大学,2018.
- 作者简介：钟扬（1992.6-）男，湖南长沙人，汉族，硕士研究生，高级工程师，目前从事机场建设项目管理工作。