

# 轨道交通地下车站深基坑变形监测与处理分析

吴 强

中铁第六勘察设计院集团有限公司 天津 300131

**摘 要：**轨道交通地下车站深基坑施工环境复杂，易受地质、施工及周边环境的影响产生变形，威胁施工及周边设施安全。本文结合工程实践，阐述深基坑变形监测的理论、核心指标及技术方法，分析监测方案实施与数据处理流程，探究变形异常诱因，提出针对性处理技术与效果评估方法。研究表明，科学布设监测点、精准处理数据、及时采取加固措施，可有效控制基坑变形，为轨道交通深基坑施工安全提供可靠技术支撑与实践参考。

**关键词：**轨道交通；地下车站；深基坑变形监测；处理

**引言：**随着城市轨道交通快速发展，地下车站深基坑工程日益增多，其施工多位于城市核心区域，周边建筑物、管线密集，地质条件复杂，基坑变形引发的安全隐患频发。深基坑变形监测是防控风险的关键手段，合理处理措施是遏制变形扩大的核心。当前部分工程存在监测方案不合理、变形处理不及时等问题，系统研究相关技术，对提升施工安全性、保护周边环境具有重要现实意义与工程价值。

## 1 轨道交通地下车站深基坑变形监测相关理论与技术基础

### 1.1 深基坑变形基本理论

(1) 深基坑变形的类型：主要分为三类，支护结构变形包括支护桩、地下连续墙的水平位移、竖向沉降及挠曲变形，直接关系支护体系稳定性；土体变形涵盖坑底隆起、坑壁坍塌及周边土体沉降、侧向位移，易引发基坑失稳；周边环境变形指基坑周边建筑物、地下管线、道路的沉降、倾斜及开裂，是轨道交通车站监测的重点，避免影响既有设施安全。(2) 深基坑变形的影响因素：地质条件是核心，软土、砂层等不良地质易加剧变形；支护形式的选型与施工质量直接影响变形控制效果；施工工艺中，土方开挖的顺序、速度及降水措施不当会诱发变形；周边荷载如车辆荷载、施工堆载等，会增加基坑受力，加剧变形风险。

### 1.2 变形监测核心指标与技术要求

(1) 核心监测指标：水平位移监测支护结构及土体侧向变形；竖向沉降监测基坑周边建筑物、管线及地表沉降；深层水平位移监测土体深层变形，预判基坑失稳趋势；地下水位监测防止降水不当引发土体固结变形；支护结构内力监测保障支护体系受力安全，及时发现异常。(2) 技术要求：监测精度需满足轨道交通相关规范，确保数据真实可靠；监测频率根据施工阶段

调整，开挖期加密监测，稳定期合理放缓；数据需实时传输、规范存储，建立完善的数据库，便于后续分析复盘，所有监测工作需严格符合行业相关规范标准<sup>[1]</sup>。

### 1.3 常用变形监测技术与设备

(1) 传统监测技术：水准测量用于竖向沉降监测，精度高、操作成熟；经纬仪测量可实现水平位移的人工监测，适用于小型基坑或局部监测；测斜仪监测深层水平位移，通过预埋测斜管，实时获取土体深层变形数据，应用广泛。(2) 智能化监测技术：自动化监测系统可实现数据实时采集、传输与预警，减少人工干预；三维激光扫描能快速获取基坑整体变形数据，直观呈现变形分布；GNSS定位技术可实现大范围、高精度的水平位移监测，适配大型轨道交通基坑监测需求。

### 1.4 监测方案设计原则与流程

(1) 设计原则：针对性原则需结合基坑规模、地质条件及周边环境制定方案；可靠性原则确保监测设备、方法达标，数据真实有效；经济性原则兼顾监测效果与成本控制；可操作性原则保证监测流程简便、易于实施，同时兼顾周边环境保护，减少监测施工对周边的影响。(2) 设计流程：先进行现场勘察，摸清地质条件、周边构筑物及管线分布；再结合基坑风险等级确定监测指标；合理布设监测点，确保覆盖关键区域；根据监测需求选型适配的监测设备；最后完成方案编制与审核，审核通过后启动监测工作。

## 2 轨道交通地下车站深基坑变形监测方案实施与数据处理

### 2.1 工程概况

(1) 工程基本信息：本轨道交通地下车站位于城市核心商圈，沿主干道地下敷设，车站全长280m，标准段宽度22m，基坑开挖深度18-22m，属于深基坑工程。支护形式采用地下连续墙+内支撑体系，地下连续墙厚

度800mm，深度35m，内支撑采用型钢支撑，分三道布设，兼顾基坑稳定性与施工便利性，适配地下车站主体结构施工需求。（2）工程地质与水文条件：场地土层分布自上而下依次为杂填土、粉质黏土、粉砂、圆砾土及中风化岩层，其中粉质黏土和粉砂层为主要开挖土层，土体承载力较低、渗透性较强，力学参数较差，抗变形能力弱。地下水主要为潜水和承压水，潜水水位埋深2.5-3.5m，承压水水位埋深8-10m，水位受季节影响略有波动，需采取降水措施控制水位，防止基坑突涌、管涌等隐患。（3）周边环境条件：基坑周边50m范围内分布有3栋多层居民楼、1栋写字楼，建筑物基础多为条形基础，距离基坑边缘最近处仅8m，需重点监测沉降与倾斜。地下管线密集，包括给水、排水、燃气、电力及通信管线，管线埋深1.2-4.5m，与基坑轴线交叉分布，保护要求高，需避免变形导致管线破损。基坑东侧紧邻城市主干道，交通流量大，需监测道路沉降，保障通行安全。

## 2.2 具体监测方案实施

（1）监测点布设：支护结构监测点沿地下连续墙每隔15m布设1个水平位移和竖向沉降监测点，共布设19个；基坑周边土体监测点在坑壁顶部及外侧5m、10m处布设，采用网格状布置，共32个；周边建筑物监测点在建筑四角及外墙中部布设，每栋建筑布设4-6个，重点监测沉降与倾斜；地下管线监测点沿管线走向每隔20m布设1个，在管线与基坑交叉处加密布设，确保全面覆盖监测对象。（2）监测设备安装与调试：水平位移监测采用经纬仪和GNSS定位设备，安装时确保仪器固定牢固，视线无遮挡；竖向沉降监测采用水准测量仪器，水准仪安装需调平，水准尺放置平稳。测斜仪需预埋在测斜管内，测斜管垂直埋入土体，底部固定牢固，安装后进行多次调试，确保数据传输顺畅。所有监测仪器安装完成后，进行不少于3次的调试校准，误差控制在规范允许范围内，确保监测精度<sup>[2]</sup>。（3）监测过程控制：监测频率根据施工阶段动态调整，基坑开挖期每天监测2次，开挖完成后每3天监测1次，主体结构施工阶段每7天监测1次，若出现变形异常，立即加密至每天3-4次。现场数据采集需由专业人员操作，严格按照规范流程进行，做好详细记录，包括监测时间、监测数据、天气情况及施工工况。监测记录需规范填写，签字确认，确保数据可追溯，严禁涂改、伪造数据。

## 2.3 监测数据处理与分析

（1）数据预处理：对采集的监测数据进行分类整理，采用统计学方法识别异常数据，重点剔除因仪器故障、人为操作失误及环境干扰导致的异常值。对存在轻

微偏差的数据，结合同期监测数据及施工工况进行修正，补充缺失数据，确保监测数据的真实性、完整性和准确性，为后续分析提供可靠依据。（2）数据整理与分析：将预处理后的监测数据按监测指标分类，利用专业数据处理软件绘制水平位移、竖向沉降等变形时态曲线，直观呈现变形随时间的变化规律。结合工程地质、施工工况等因素，分析变形发展趋势，判断变形是否处于稳定状态，识别变形突变节点，分析突变原因，提出针对性控制建议<sup>[3]</sup>。（3）变形预警判断：结合轨道交通深基坑监测相关规范及本工程实际要求，确定各监测指标的预警值，分为三级预警。一级预警为变形接近预警值，需加强监测频率；二级预警为变形达到预警值，需暂停相关施工，排查隐患；三级预警为变形超过预警值，需立即启动应急处置方案。根据监测数据与预警值的对比，判断变形风险等级，及时发布预警信息，确保基坑施工安全。

## 3 轨道交通地下车站深基坑变形原因分析与处理措施

### 3.1 深基坑变形异常原因分析

（1）地质因素：轨道交通地下车站多位于城市腹地，常穿越软土地层，软土具有孔隙比大、压缩性高、抗剪强度低的特点，易发生蠕变变形，长期作用下会导致基坑持续沉降和侧向位移；地下水渗流会带走基坑周边土体颗粒，引发管涌、流砂等现象，破坏土体稳定性，加剧变形；土层分布不均匀，不同土层的力学性质差异较大，易产生不均匀沉降，导致支护结构受力失衡，引发局部变形异常。（2）施工因素：土方开挖顺序不合理，如无序开挖、超挖、分段开挖长度过大，会破坏土体原有应力平衡，导致基坑周边土体应力释放过快，引发变形；支护施工质量存在缺陷，如地下连续墙接头不密实、钢支撑安装不牢固、喷射混凝土强度不足，会降低支护体系的承载能力，无法有效约束土体变形；施工过程中，基坑周边堆载过多、重型机械频繁通行，会增加基坑侧向压力，扰动周边土体，诱发变形异常<sup>[4]</sup>。（3）其他因素：基坑周边存在其他施工工程，如邻近道路改扩建、地下管线施工，会扰动周边土体，影响基坑稳定性，引发变形；暴雨、台风等恶劣天气会增加土体含水量，降低土体抗剪强度，同时雨水冲刷基坑边坡，易导致边坡坍塌，加剧变形；监测系统故障，如仪器损坏、数据传输中断，会导致异常数据无法及时捕捉，错过最佳处理时机，使变形进一步发展。

### 3.2 变形处理的基本原则与要求

（1）处理原则：及时性原则，发现变形异常后立即停止相关施工，快速分析原因并采取处理措施，防止

变形持续扩大；针对性原则，结合变形原因、变形类型及工程实际，制定个性化处理方案，避免盲目处理；安全性原则，处理过程中优先保障施工人员、周边建筑物及管线安全，杜绝安全事故；经济性原则，在保证处理效果的前提下，优化处理方案，控制工程成本，同时兼顾施工进度与周边环境，减少处理施工对周边的影响。

(2) 处理要求：变形处理方案需严格符合轨道交通深基坑施工及监测相关规范标准，确保处理工艺、材料质量达标；处理过程中加强现场监测，实时跟踪变形变化，根据监测数据调整处理措施，确保处理效果；处理完成后，需采取防护措施，避免后续施工或环境因素引发二次变形，保障基坑长期稳定。

### 3.3 常用变形处理技术与应用

(1) 支护加固处理：锚杆加固适用于土体稳定性不足的情况，通过向土体植入锚杆，施加预应力，增强土体抗剪能力，约束基坑侧向变形；钢支撑增设针对支护结构受力不足的问题，在原有支撑体系基础上，增设型钢支撑或混凝土支撑，提高支护体系的承载能力，控制变形发展；喷射混凝土加固用于基坑边坡或支护结构表面，通过喷射高强度混凝土，形成防护层，防止土体风化、坍塌，减少变形。(2) 土体改良处理：注浆加固适用于软土地层或土体孔隙较大的区域，通过注入水泥浆、水泥砂浆等材料，填充土体孔隙，提高土体密实度和力学强度，减少蠕变变形；降水排水用于地下水水位过高的情况，通过布设降水井、排水沟，降低地下水位，减少地下水对土体的渗透破坏，控制基坑隆起和沉降；换填处理针对局部不良土层，将软弱土层挖除，换填强度高、稳定性好的填料，改善土体受力性能。(3) 周边环境保护处理：对周边建筑物，采用加固桩、锚杆等方式进行加固，减少建筑物沉降和倾斜；对地下管线，采用悬吊保护、包裹防护等措施，避免管线因基坑变形被拉断、破损，必要时进行管线改移；对周边道路或地表，采用沉降补偿技术，通过注浆填充土体沉降空隙，控制地表沉降，保障道路通行安全<sup>[5]</sup>。

### 3.4 处理效果验证与评估

(1) 验证方法：监测数据对比，将处理前后的监测数据进行对比，分析变形速率、累计变形量的变化，判断变形是否得到有效控制；现场勘察，组织专业人员对基坑支护结构、周边土体及建筑物、管线进行现场检查，查看是否存在新的变形、开裂等异常情况；数值模拟验证，利用专业数值模拟软件，模拟处理后的基坑受力及变形情况，与现场监测数据对比，验证处理方案的合理性和有效性。(2) 评估指标：以变形速率为核心指标，要求处理后变形速率控制在规范允许范围内，且持续趋于稳定；累计变形量需不超过预警值，确保基坑及周边环境安全；支护结构稳定性，通过检查支护结构的受力情况、完整性，评估其承载能力是否满足要求；同时结合周边建筑物、管线的变形情况，综合评估处理效果，确保基坑施工安全有序推进。

### 结束语

轨道交通地下车站深基坑变形监测与处理是系统性工程，需贯穿施工全过程。本文从理论、方案、实践三个层面，梳理监测技术与处理措施，结合工程实际验证其可行性。实践表明，遵循针对性、及时性原则，结合传统与智能化监测技术，配套科学处理与评估方案，可有效规避变形风险。未来需优化监测方案，为复杂地质深基坑工程提供安全保障，推动轨道交通工程高质量发展。

### 参考文献

- [1] 李芳,倪晓阳,张冬冬,代长顺,王腾.紧邻地铁区间隧道箱涵施工影响分析[J].轨道交通装备与技术,2025,33(04):20-25.
- [2] 杨周俊.深基坑工程施工中的时间成本管理及质量监测研究[J].城市建筑,2025,22(13):221-223.
- [3] 韩宇峰,徐前卫.钢板桩围护基坑开挖对下卧地铁隧道影响的数值模拟研究[J].城市轨道交通研究,2025,28(07):37-43.
- [4] 王祥,王春凯.城区大跨度地铁车站新型暗挖工法探索与实践[J].城市轨道交通研究,2025,28(07):66-71.
- [5] 夏俊伟.基于盖挖顺作法的地铁工程施工测量优化研究[J].建筑机械,2025,(07):225-230.