

地铁深基坑变形监测分析

李 良

中铁隧道勘察设计研究院有限公司 广东 广州 511458

摘 要：地铁深基坑变形监测对保障工程安全至关重要。变形监测方案设计涵盖多方面内容，项目与环境分析设计需考量工程概况、地质水文及周边环境；监测内容与指标设计明确了监测项目并设定控制、预警指标；监测点布置设计要在围护结构、支撑结构、周边土体及建筑管线上合理布点；监测周期与频率设计根据施工阶段和特殊情况灵活调整。在监测技术上，包括传统大地测量技术、传感器监测技术、自动化监测技术以及新兴监测技术，共同为精准监测基坑变形提供有力支撑。

关键词：地铁深基坑；变形监测方案设计；技术

引言：随着城市化进程的加速，地铁建设在各大城市蓬勃发展。地铁深基坑工程作为地铁建设的基础，其施工安全至关重要。然而，由于深基坑所处地层及周边环境复杂多变，开挖施工中常伴有经济损失和人员伤亡事故。深基坑变形可能导致基坑坍塌、周边建筑物倾斜或开裂、地下管线破坏等严重后果。因此，对地铁深基坑的变形进行监测分析，及时掌握变形情况并采取有效措施，对于确保地铁工程的安全施工和周边环境的稳定具有重要的现实意义。

1 地铁深基坑变形监测地重要性

在城市快速发展进程中，地铁建设成为解决交通拥堵的关键举措。而地铁深基坑施工，作为地铁建设的基础工程，其安全与稳定至关重要，变形监测在其中发挥着不可替代的作用。地铁深基坑施工环境复杂，涉及土方开挖、降水等多道工序，极易引发基坑变形。若变形超出可控范围，可能导致基坑坍塌、地面塌陷等严重事故，威胁施工人员生命安全。通过实时监测变形数据，能及时发现潜在风险，提前采取加固、调整施工参数等措施，将事故隐患扼杀在萌芽状态，为施工安全筑牢防线。地铁深基坑通常位于城市繁华区域，周边建筑林立、地下管线密布。基坑变形可能引发周边建筑物倾斜、开裂，地下管线破裂等问题，影响居民正常生活，造成巨大经济损失。变形监测能实时掌握基坑变形对周边环境的影响程度，一旦发现异常，可迅速采取保护措施，如对建筑物进行加固、对管线进行迁移等，最大程度减少对周边环境的破坏。在设计阶段，虽对地质条件、荷载等因素进行了充分考虑，但实际施工中仍可能出现与设计不符的情况^[1]。通过监测变形数据，将其与设计预期进行对比分析，能及时发现设计中存在的不足，为设计方案的优化提供依据，确保工程在安全、经济的前提下顺

利推进。每一次监测所获取的数据和成果，都是宝贵的经验财富。通过对大量监测数据的分析和总结，能深入了解基坑变形的规律和影响因素，为后续类似工程提供参考和借鉴，推动地铁建设技术的不断进步。

2 地铁深基坑变形监测方案设计

2.1 项目与环境分析设计

在进行地铁深基坑变形监测方案设计时，项目与环境分析设计是基础且关键的环节，需从多方面进行考量。（1）工程概况了解：详细掌握地铁深基坑的规模、形状、开挖深度等信息，明确施工工艺和流程，为后续监测提供基础数据。（2）地质条件勘察：对场地的地质构造、土层分布、岩土性质等进行全面勘察，分析地质条件对基坑变形的影响，确定可能存在的风险因素。（3）水文情况调查：了解地下水位、水流方向、水质等水文信息，评估地下水对基坑稳定性的影响，制定相应的监测和应对措施。（4）周边环境评估：调查基坑周边的建筑物、地下管线、道路等情况，分析基坑变形可能对周边环境造成的影响，确定监测的重点区域和保护对象。（5）风险等级划分：综合以上因素，对基坑施工过程中的风险进行评估和等级划分，为监测方案的制定提供依据，确保监测工作具有针对性和有效性。

2.2 监测内容与指标设计

科学合理的监测内容与指标设计是地铁深基坑变形监测方案的核心，能确保全面、准确掌握基坑状态。（1）确定关键监测项目：涵盖围护结构的水平与垂直位移、支撑轴力变化、土体分层沉降及水平位移、地下水位升降，还有周边建筑物的沉降、倾斜和裂缝情况等，全方位捕捉基坑及周边的变形信息。（2）制定合理控制指标：依据相关规范、工程经验和场地实际条件，为各监测项目设定控制指标。例如，规定围护结构最大水平位移、

建筑物最大沉降量等,作为判断基坑安全的重要依据。(3)设置多级预警指标:划分不同等级的预警值,如黄色、橙色和红色预警。当监测数据接近或达到预警值时,及时发出警报,以便采取相应措施,防止事故发生。(4)考虑特殊情况指标:针对可能出现的暴雨、地震等特殊工况,制定相应的特殊监测指标和应对策略,增强监测方案的适应性和可靠性。(5)动态调整指标体系:在基坑施工过程中,根据实际监测情况和工程进展,适时调整监测内容和指标,确保监测工作始终贴合工程实际需求。

2.3 监测点布置设计

监测点布置设计是地铁深基坑变形监测方案的重中之重,科学合理的布局是精准捕捉基坑变形信息的关键。在围护结构上,基坑的阳角和阴角是应力集中区域,变形情况复杂多变,在此设置监测点,能敏锐察觉潜在风险,为基坑安全保驾护航。同时,沿围护结构按一定间隔均匀布置监测点,可全面掌握其水平与垂直位移状况,及时发现异常变形。支撑结构的关键部位,如支撑与围护结构的连接处,其稳定性直接关系到整个基坑的安全。在这些部位布置监测点,能实时掌握支撑轴力变化,一旦轴力出现异常,可迅速采取措施,保障支撑结构安全。基坑周边的土体也不容忽视,在距离基坑一定范围内呈网格状布置监测点,可监测土体的水平位移和沉降,清晰了解基坑开挖对周边土体的影响范围和程度,为后续施工提供参考。对于周边的建筑物和地下管线,在其基础和主体结构上设置监测点,能实时监测建筑物的沉降、倾斜和裂缝,以及地下管线的变形情况。这样可以提前发现问题,避免因基坑施工对周边环境造成破坏,确保周边居民的正常生活和城市基础设施的正常运行。

2.4 监测周期与频率设计

监测周期与频率设计在地铁深基坑变形监测方案中起着至关重要的作用,合理规划能及时捕捉变形信息,为基坑安全提供坚实保障。基坑开挖前期,土体应力变化剧烈,基坑稳定性差。此时每日进行一次监测,能紧密追踪初始变形情况,为后续施工提供准确的基础数据,以便提前预判可能出现的问题。土方开挖阶段是变形快速发展的关键时期,土体卸载导致应力重新分布,变形可能急剧增大。将监测频率提高至每天两次甚至更多,能确保及时察觉异常变形,第一时间采取应对措施,避免变形进一步扩大引发安全事故。支撑结构施工完成后,若变形逐渐趋于稳定,可适度降低监测频率,每两天或三天监测一次。但仍需保持高度关注,因为即使变形看似稳定,仍可能存在潜在风险,持续监测能及时发现微小变化,防患于未然。主体结构施工阶段,监测频率需

根据施工进度和变形状况灵活调整^[2]。当施工对基坑影响小且变形稳定时,可每周监测一次;若影响较大,则增加监测次数,确保能实时掌握基坑状态。当遭遇暴雨、地震等特殊情况或监测数据临近预警值时,必须加密监测频率,实时掌握变形动态。整个监测周期应全程覆盖基坑施工,直至基坑回填完成且变形稳定方可结束。

3 地铁深基坑变形监测技术

3.1 传统大地测量技术

传统大地测量技术在地铁深基坑变形监测中应用广泛,凭借其成熟的原理和方法,为基坑安全提供了重要保障。(1)水准测量:利用水准仪测定监测点的高程变化,能精确反映基坑的沉降情况。其操作相对简便,测量精度较高,是监测垂直位移的常用手段。(2)全站仪测量:可同时测量角度和距离,通过测量监测点的三维坐标变化,获取基坑的水平位移和垂直位移信息。全站仪测量速度快、精度高,适用于各种复杂地形和环境。(3)钢尺量距:使用钢尺直接测量两点之间的距离变化,常用于监测基坑围护结构的收敛变形。该方法简单直观,但测量精度受钢尺长度、拉力等因素影响。(4)三角高程测量:通过测量两点间的水平距离和竖直角,计算两点间的高差,可用于监测基坑的垂直位移。三角高程测量不受地形条件限制,但测量精度相对较低。

3.2 传感器监测技术

传感器监测技术在地铁深基坑变形监测中发挥着关键作用,能实时、精准地获取各类数据。位移传感器是常用的监测工具之一,它可安装在围护结构、支撑结构等部位,精确测量结构的位移变化。无论是微小的水平位移还是垂直位移,位移传感器都能敏锐捕捉,为判断基坑稳定性提供重要依据。压力传感器主要用于监测支撑轴力和土压力,支撑轴力的变化直接反映了支撑结构的受力状态,土压力的大小则关系到基坑周边土体的稳定性。压力传感器能实时将这些数据反馈出来,便于及时发现潜在风险。应变传感器能测量结构构件的应变情况,通过对应变的监测,可以了解结构内部的应力分布,判断结构是否处于安全的受力状态,防止结构因应力过大而损坏。倾斜传感器可监测基坑围护结构、建筑物等的倾斜程度。一旦倾斜角度超过设定阈值,能及时发出警报,提醒相关人员采取措施,避免发生严重事故。还有温度传感器等,可监测基坑内的温度变化,因为温度变化可能会对结构材料的性能产生影响,传感器监测技术以其高精度、实时性强等优势,成为地铁深基坑变形监测不可或缺的手段。

3.3 自动化监测技术

自动化监测技术凭借高效、精准与实时性强的特点,在地铁深基坑变形监测中发挥着日益重要的作用。(1) 自动化数据采集:借助各类先进传感器,能自动、连续地采集基坑变形相关数据,如位移、压力、应变等,无需人工频繁干预,大大提高了数据采集的效率和准确性。(2) 无线传输技术:利用无线网络将采集到的数据快速、稳定地传输至监控中心,实现数据的实时共享。即使在复杂的施工现场环境中,也能保证数据传输的畅通无阻。(3) 实时数据分析:监控中心的软件可对传输回来的数据进行实时分析,快速判断基坑的变形状态和发展趋势。一旦发现数据异常,能及时发出预警信号。(4) 远程监控功能:管理人员通过互联网可随时随地远程访问监控系统,查看基坑的实时监测数据和变形情况,及时做出决策,不受时间和空间的限制。(5) 智能预警机制:系统可根据预设的预警值,当监测数据超过阈值时,自动触发声光报警、短信通知等多种预警方式,确保相关人员能够第一时间获取危险信息,采取应对措施。

3.4 新兴监测技术

在地铁深基坑变形监测领域,新兴监测技术正发挥着日益重要的作用,为保障工程安全和周边环境稳定提供了有力支持。三维激光扫描技术是其中的典型代表,它能快速、全面地获取基坑的三维空间信息,生成高精度的点云模型。通过对比不同时间的扫描数据,可以直观地发现基坑表面的变形情况,精确识别变形区域和程度,为施工决策提供清晰的可视化依据。光纤传感技术具有独特优势,它基于光纤对外界物理量的敏感特性,能够实现对基坑内部应变、温度等参数的分布式监测。这种技术抗电磁干扰能力强、灵敏度高,可实时感知基坑内部的微小变化,及时发现潜在的安全隐患。无人机

监测技术凭借其灵活性和高效性崭露头角,无人机可以搭载多种传感器,从空中对基坑及周边环境进行快速监测^[1]。它能够快速获取大范围的地形地貌信息,及时发现地面裂缝、沉降等问题,尤其适用于复杂地形和危险区域的监测。卫星遥感技术则从宏观角度提供了长期、连续的监测数据,通过卫星影像,可以实时掌握基坑所在区域的地表变形情况,分析变形的趋势和规律。结合地理信息系统(GIS),还可以对监测数据进行深入分析和处理,为基坑变形监测提供全面的决策支持。

结语:

未来,地铁深基坑工程建设面临着更为复杂的地质条件和周边环境挑战,变形监测分析工作的重要性愈发凸显。需持续优化监测方法与技术,引入更多新兴科技,如高精度传感器、智能监测设备等,提升监测的准确性与实时性。同时,大力提高数据分析能力,运用大数据、人工智能等手段深度挖掘数据价值,更精准地预测变形趋势。此外,加强多部门协作与信息共享,构建高效联动机制,完善应急响应体系。如此,在面对突发情况时,方能迅速做出科学有效的决策,保障地铁深基坑工程安全、高效推进。

参考文献:

- [1]裴巧玲,庄辛宇,关金鑫,陈日朗.地铁深基坑变形监测分析[J].路基工程,2020(5):79-82.
- [2]赵毅.地铁车站深基坑围护结构变形监测及计算分析[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2025(2):166-170.
- [3]马杰.地铁车站深基坑开挖变形监测方案研究[J].广东建材,2025,41(1):48-51.