Optimization of settlement observation method and construction of safety early warning system for deep foundation pit engineering

Huakui Cen

Western Building Seismic Investigation and Design Research Institute Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710054, China

Abstract

Deep foundation pit engineering, a critical component of urban construction, is widely used in underground facility construction and transportation systems. Due to their significant depth and complex surrounding environments, settlement issues have always been a key focus in the safety control of deep foundation pit projects. Settlement observation, a crucial part of deep foundation pit construction, is vital for ensuring project safety. While traditional settlement observation methods can monitor settlement to some extent, they face limitations as engineering scales expand and geological conditions become more complex, such as high measurement errors and poor real-time performance. Therefore, this paper explores optimization strategies for settlement observation in deep foundation pit engineering and proposes a security early warning system based on modern information technology.

Keywords

deep foundation pit; settlement observation; observation method optimization; safety warning; multi-sensor fusion

深基坑工程沉降观测方法优化与安全预警体系构建

岑花葵

西部建筑抗震勘察设计研究院有限公司，中国 · 陕西 西安 710054

摘　要

深基坑工程作为城市建设中的关键部分，广泛应用于地下设施建设、交通系统等领域。由于其深度大、周围环境复杂，沉降问题一直是深基坑工程安全控制的重点。沉降观测作为深基坑施工中的重要环节，对确保工程安全具有重要意义。传统的沉降观测方法虽然在一定程度上能够实现对沉降的监控，但随着工程规模的扩大与地质条件的复杂化，传统方法存在一定的局限性，如测量误差大、实时性差等问题。因此，本文探讨了深基坑工程沉降观测方法的优化策略，并提出了基于现代信息技术的安全预警体系构建方案。

关键词

深基坑；沉降观测；观测方法优化；安全预警；多传感器融合

1 引言

深基坑工程由于其深度大、周边环境复杂，施工过程中可能导致沉降、位移等地基变化，这些变化不仅会影响基坑自身的安全性，还可能对周围建筑物、道路等设施造成严重影响。沉降观测作为深基坑工程监测的重要手段，是评估基坑稳定性和施工安全的基础。随着城市建设中深基坑工程的规模逐渐增大，沉降观测的精度和实时性成为保障基坑施工安全的关键因素。然而，传统的沉降观测方法往往面临着测量精度不足、数据处理滞后、系统响应迟缓等问题，影响了沉降监控系统的可靠性。因此，优化沉降观测方法，提高监测精度和实时性，尤其是在施工过程中建立高效的安全预警体系，已成为当前深基坑工程施工中的迫切需求。本文将通过分析传统沉降观测方法的不足，提出优化策略，并结合现代信息技术探讨如何构建一个完善的深基坑沉降安全预警体系，从而提高深基坑施工的安全性和稳定性。

【作者简介】岑花葵（1995–），女，壮族，中国广西百色人，本科，工程师，从事测绘工程研究。

2 深基坑沉降观测方法的现状与挑战

2.1 传统沉降观测方法

传统的沉降观测方法在过去的基坑沉降监测中广泛应用，包括水准测量法、沉降井法、地质钻孔法等。这些方法虽然能够实现对基坑沉降的初步监测，但在实际应用中，普遍存在操作繁琐、时间间隔较长、观测误差较大等问题，限制了它们在实际工程中的应用效果。

水准测量法是传统的沉降观测方法之一，通过设置水准点并测量点位的高差来判断沉降量。该方法的优点是操作相对简单，适用于较小范围的沉降监测。然而，水准测量法的缺点也很明显：首先，测量精度受限，受天气、地形等因素影响较大，可能导致误差的产生；其次，这种方法通常需

要大量的人力物力支持，且测量间隔较长，无法提供实时数据 [1]。这使得水准测量法在处理基坑沉降的动态变化时，表现出一定的局限性。

沉降井法通过设置沉降井并观察井壁的变化来监测沉降。在基坑周围设置沉降井，通常用于测量土体的下沉量。沉降井法具有一定的操作简便性，但这种方法只能提供单一的沉降数据，且无法全面反映基坑沉降的整体情况。尤其在大规模施工场地中，单个井点的数据往往不能覆盖整个基坑区域，容易导致信息的不完整。

地质钻孔法是通过钻孔采样的方式进行沉降监测。该方法相较于前两种方法，能够获取更加准确的土层信息，但其过程较为繁琐，钻孔过程耗时较长，同时也会对施工现场产生一定的影响。特别是在基坑施工阶段，钻孔可能会对现场的其他工作造成干扰，降低施工效率。因此，尽管这些传统方法在一定程度上能实现沉降监测，但它们的局限性使得它们不再适应现代复杂建筑项目对沉降监测精度和实时性的需求。

2.2 现代沉降观测方法的兴起

随着科技的不断进步，现代沉降观测方法应运而生，借助现代仪器设备，能够实时、精确地获取沉降数据。这些先进技术在沉降监测中起到了至关重要的作用，尤其是在复杂、动态的施工环境中，能够有效提高监测的精度和效率。常见的现代沉降观测方法包括激光扫描法、全站仪测量、GPS 监测等。

激光扫描法是通过激光扫描设备对基坑进行扫描，生成基坑的三维模型，从而实现对基坑沉降的全面监测。这种方法具有较高的精度和自动化水平，能够在短时间内提供大范围、高精度的沉降数据。通过激光扫描，监测人员可以实时查看基坑沉降的分布情况，尤其对于大规模的基坑工程，能够提供准确的空间坐标数据，为施工提供可靠的数据支持。

全站仪测量则可以通过实时测量和数据传输提供精确的基坑沉降数据。这种技术的优势在于其精确度较高，并且能够在较长的测量距离内进行高效监控。全站仪集成了测量、计算和传输功能，能够实时传输数据到监控平台，实现数据的即时处理与分析，为施工过程中提供有效的决策支持。相比传统的水准测量法，全站仪能够提供更高的测量精度，并减少人为误差。

GPS 监测系统则通过卫星定位和实时数据传输，提供大范围区域内的沉降监测数据，尤其适用于大范围基坑或特殊地理环境下的沉降监测。GPS 系统能够覆盖大范围区域，并通过实时传输数据到监控平台，确保数据的及时更新。尤其在山地或高原等复杂地形中，GPS 监测能够避免传统测量方式受到地形限制的影响，提高整体测量效率和准确度 [2]。

然而，尽管现代沉降观测方法能够提高监测精度和实时性，但仍然存在着一些挑战。例如，这些方法往往需要较高的设备成本和技术投入，且在一些极端环境下，仪器的稳定性和适应性可能受到一定的限制。此外，数据的处理和存储也需要更强的技术支持，如何在多设备、多数据源的情况下实现系统的集成和协调，仍然是一个需要进一步解决的问题。

2.3 沉降观测中的数据处理与误差控制

在深基坑工程中，沉降观测不仅仅是对测量数据的简单采集，更重要的是如何对采集的数据进行有效地处理与分析。由于沉降观测数据通常涉及大量的点位和时间序列数据，数据处理的效率和精度直接影响到沉降监测系统的可靠性。在传统方法中，数据的处理往往依赖人工分析和手工记录，这样容易出现数据遗漏、误差累积等问题，导致监测结果的精度降低。

现代技术虽能够提供高精度的数据采集和传输，但数据的实时处理、分析和反馈仍然是一个难题。尤其是在沉降监测系统中，大量的传感器需要实时传输数据，这些数据在进入处理系统后需要进行降噪、滤波、平滑等处理，以去除环境噪音和无效数据，确保数据的准确性。如何利用计算机技术、物联网技术等手段，提高数据处理的效率与精度，是当前亟待解决的挑战。现代计算机算法，尤其是机器学习和人工智能技术，已经能够帮助分析和预测沉降趋势，通过模式识别和数据挖掘对沉降数据进行更为智能的处理。

此外，系统的误差控制也是一项至关重要的工作。即使采用了高精度的仪器，外部环境因素、设备误差和测量误差也不可避免地存在。为了控制误差，系统需要定期进行校准，确保设备的精度不受时间和环境变化的影响。同时，通过多点、重复测量等方式，可以有效降低单次测量误差的影响，提高整个沉降监测系统的可靠性。

总之，随着技术的发展，沉降观测方法和数据处理技术不断进步。现代沉降观测方法通过高精度的仪器和先进的数据处理技术，为深基坑工程提供了更加准确、实时的监测手段。然而，要实现精确的沉降监测，仍需要不断优化数据采集、传输和处理技术，解决设备成本、系统集成性和数据处理复杂性等问题，进一步提高工程监测的精度和可靠性。

3 优化沉降观测方法的策略

3.1 多传感器融合技术的应用

为了克服传统沉降观测方法的局限性，多传感器融合技术成为一种有效的解决方案。该方法通过结合多种传感器，如水准仪、GPS、全站仪和激光扫描仪等，对基坑进行全方位、多角度的沉降监测。每种传感器具有不同的优势和适应范围，单一传感器可能在精度、监测范围和适应性方面存在一定局限性。而通过数据融合技术，可以将各类传感器的数据实时整合，从而提供更加精准和可靠的沉降监测结果 [3]。多传感器融合不仅弥补了单一传感器在不同环境下的不足，还能够在复杂地形和极端气候条件下保持稳定的监测性能。

通过综合不同传感器的优势，系统能够提供多维度的数据支持，帮助工程师全面了解基坑沉降的分布情况，及时发现潜在的沉降问题，为工程施工和后期维护提供科学依据。这种技术提高了沉降监测的可靠性、精度和时效性，是现代建筑工程中不可或缺的工具。

3.2 无人机与遥感技术的结合

无人机与遥感技术的结合在深基坑沉降观测中具有重要的应用前景。无人机能够快速、精准地对基坑进行扫描，并通过搭载的高精度摄像头、激光雷达等设备，实时获取基坑的三维数据。通过遥感技术，无人机能够提供基坑区域的高分辨率图像和地形数据，为沉降监测提供详细的地理信息。无人机与遥感技术的结合能够有效提高基坑沉降监测的精度，尤其是在复杂地形或较大规模的基坑中，能够提供更加全面和细致的沉降数据。

3.3 数据实时传输与云计算平台的应用

随着物联网和云计算技术的发展，基坑沉降观测系统逐渐向数据实时传输和远程监控方向发展。通过将沉降数据实时传输到云计算平台，工程师可以随时随地对基坑的沉降情况进行监控和分析。云计算平台能够对大量的沉降数据进行实时存储和处理，快速生成分析报告，并通过数据分析发现潜在的安全隐患。此外，基于大数据技术，云计算平台还能够实现沉降数据的智能分析，识别沉降变化的规律，为施工过程中的安全预警提供依据。

4 安全预警体系的构建与应用

4.1 预警体系的基本框架

安全预警体系的构建是确保深基坑工程施工安全的关键步骤。预警体系需要依托沉降观测数据，对基坑的沉降趋势进行实时监控，及时发现潜在的危险并发出预警信号。基于沉降观测数据，可以设定多个预警阈值，按照沉降量、沉降速度等因素进行分级预警 [4]。当沉降超出预设的安全范围时，系统可以自动发出报警，提醒施工人员及时采取相应的应急措施。预警体系的核心是对沉降数据进行实时监测与分析，确保预警信息的准确性和时效性。

4.2 智能化预警系统的实现

为了提高预警体系的智能化水平，可以引入人工智能算法对沉降数据进行分析。通过机器学习和深度学习技术，系统能够自主学习沉降数据的变化规律，预测基坑沉降的发展趋势。当基坑沉降趋势变化较快或超过安全阈值时，系统可以自动发出预警并指导应急处置。智能化预警系统还能够通过多维数据融合和模式识别技术，综合考虑气候、地质、施工过程等因素，提供更加准确和全面的预警信息。

4.3 预警体系的实践应用与挑战

在实际应用中，预警体系能够有效提高施工安全性，减少事故发生。例如，在某大型基坑工程中，基于沉降观测数据和安全预警系统，工程师能够提前发现基坑沉降趋势的变化，及时采取加固措施，避免了潜在的安全隐患。然而，预警体系的实施仍然面临一些挑战，如传感器的安装与维护、数据处理的复杂性、系统集成度等问题 [5]。为了克服这些挑战，必须加强技术研发，提升预警系统的智能化水平，确保其在实际施工中的稳定运行。

5 结语

深基坑工程的沉降观测和安全预警体系是确保施工安全的重要手段。通过优化沉降观测方法，采用多传感器融合、无人机遥感、云计算等先进技术，能够大幅提高沉降监测的精度和实时性。同时，构建智能化的安全预警体系，能够及时发现潜在的危险并采取应急措施，确保基坑施工的安全性。未来，随着技术的不断进步，深基坑工程的沉降监测与安全预警体系将更加智能化、精确化，为施工安全提供更加有力的保障。

参考文献

[1] 李阳旭,李梦川,熊安燚,等.探讨封闭式深基坑智慧化监测施工技术运用与结果分析[J].四川建筑,2024,44(06):170-174.

[2] 任聚阳.基于PSO-BP的地铁车站深基坑变形预测及安全风险评价研究[D].内蒙古科技大学,2024.

[3] 程振华,银俊宏,赵庆华,等.高水位地区深基坑作业安全监测系统研究与应用[J].山西建筑,2024,50(17):53-57.

[4] 娄安胜.智能化监测技术在某地铁深基坑施工的应用方案设计[J].绿色建造与智能建筑,2024,(08):65-67.

[5] 信玉祺.Q市富山路地铁深基坑施工安全风险因素分析与支护方案比选[D].辽宁工程技术大学,2024.