

深基坑土钉墙支护结构的变形监测与稳定性分析

史春雨

泗阳县国有土地上房屋征收服务中心 江苏宿迁

【摘要】深基坑土钉墙支护结构在现代建筑工程中应用广泛，其变形监测与稳定性分析对保障施工安全和工程质量具有重要意义。本文围绕深基坑土钉墙的变形特性展开研究，结合工程实例，系统探讨了土钉墙在不同施工阶段的受力机制与变形规律。通过现场监测数据的采集与分析，评估了支护结构在开挖过程中的位移变化趋势，并采用数值模拟方法对土钉墙整体稳定性进行预测与验证。科学合理的变形监测方案能够有效掌握支护结构的动态响应，为及时调整施工参数提供依据，从而提升支护系统的安全性与可靠性。

【关键词】深基坑；土钉墙；变形监测；稳定性分析；支护结构

【收稿日期】2025 年 5 月 14 日

【出刊日期】2025 年 6 月 5 日

【DOI】10.12208/j.jer.20250275

Deformation monitoring and stability analysis of soil nailing wall support structure in deep foundation pit

Chunyu Shi

Siyang County State owned Land House Expropriation Service Center, Suqian, Jiangsu

【Abstract】The soil nailing wall support structure for deep foundation pits is widely used in modern construction engineering. Its deformation monitoring and stability analysis are of great significance for ensuring construction safety and project quality. This paper focuses on the deformation characteristics of the soil nailing wall in deep foundation pits. Combined with engineering cases, it systematically discusses the stress mechanism and deformation laws of the soil nailing wall at different construction stages. Through the collection and analysis of on-site monitoring data, the displacement change trend of the support structure during the excavation process is evaluated, and numerical simulation methods are used to predict and verify the overall stability of the soil nailing wall. A scientific and reasonable deformation monitoring scheme can effectively grasp the dynamic response of the support structure, provide a basis for timely adjustment of construction parameters, and thus improve the safety and reliability of the support system.

【Keywords】Deep foundation pit; Soil nailing wall; Deformation monitoring; Stability analysis; Support structure

引言

深基坑工程作为城市地下空间开发的重要组成部分，其施工环境复杂、风险高，支护结构的安全性直接关系到周边建筑物及施工人员的生命安全。土钉墙作为一种经济高效的支护形式，在软土地区得到了广泛应用。然而，在实际施工过程中，由于地质条件多变、施工荷载不确定等因素，土钉墙常出现不同程度的变形甚至失稳现象。如何准确掌握其变形特征并进行有效的稳定性评价，成为当前深基坑工程领域亟待解决的关键问题。本文以某典型深基坑工程为研究对象，结合现场监测与数值模拟手段，系统分析土钉墙在施工全过程中的变形行为及其稳定性能，旨在为类似工程提供理论支持和技术参考。

1 深基坑土钉墙支护结构的受力与变形特征

深基坑土钉墙支护结构在复杂地质条件和施工荷载作用下，其受力机制与变形特征呈现出显著的空间效应与时间效应。土钉墙通过土钉与土体之间的相互作用，形成具有一定自稳能力的复合土体结构，从而有效控制基坑侧壁的侧向位移。然而，在基坑分层开挖过程中，随着原状土体应力场的逐步释放，支护结构将经历复杂的受力调整过程^[1]。尤其是在软弱土层或地下水位较高的环境下，土钉所承受的拉拔力将随开挖深度增加而显著增大，进而引发墙体顶部及坡面不同部位的水平位移差异。实际工程中常采用有限元数值模拟结合现场实测手段，对土钉轴力、地表沉降及墙体侧移等关键参数进行跟踪分析，以揭示支护体系在动态施工条件下的响应规律。

从变形发展过程来看，土钉墙的位移主要集中在

基坑开挖中后期,特别是在临近设计标高的关键阶段,墙体最大水平位移往往出现在中部偏上区域。这种变形模式与土钉布置密度、注浆质量、面层刚度以及施工工序密切相关。若土钉长度不足或间距过大,将导致局部土体约束不足,加剧整体变形趋势;而过快的开挖速率则可能造成土体松弛效应提前发生,影响支护结构的整体稳定性。在设计阶段应充分考虑土体本构关系与施工扰动因素,合理确定土钉布置参数与施工控制标准,以实现对抗支护结构变形的有效调控。

地下水的渗流作用也是影响土钉墙变形行为的重要因素之一。在渗透压力和孔隙水压变化的影响下,土体抗剪强度降低,可能导致支护结构产生非线性变形甚至局部失稳。在实际工程中应结合降水措施与排水系统设计,减少水土耦合作用带来的不利影响。借助自动化监测技术对深层水平位移、土钉内力及周边地表沉降进行实时采集,有助于掌握支护结构的动态演化过程,为后续稳定性分析与风险预警提供数据支撑。

2 土钉墙变形监测技术与实施方法

土钉墙支护结构在深基坑施工过程中,受地质条件、开挖顺序和环境因素等多重影响,其变形行为具有一定的复杂性和不确定性,因此建立科学合理的变形监测体系对于确保支护安全至关重要。变形监测主要包括对墙体水平位移、地表沉降、土钉内力及地下水位变化等关键参数的实时跟踪与分析。目前,工程中普遍采用全站仪、测斜管、钢筋计、孔隙水压计等仪器设备,结合自动化数据采集系统,实现对支护结构整体变形状态的动态掌控。特别是在城市密集区或临近既有建筑物的基坑工程中,高精度、高频次的监测手段能够有效识别潜在风险点,为施工过程中的动态调整提供技术依据。

在具体实施过程中,监测方案应根据基坑几何形状、周边环境敏感程度以及土钉墙设计参数进行有针对性的布设。在基坑四周边坡顶部设置地表沉降观测点,沿土钉布置方向安装钢筋计以获取各层土钉的受力变化情况,并在关键剖面埋设测斜管用于测量深层土体的侧向位移趋势^[2-6]。考虑到地下水对土体强度和支护性能的影响,还需同步布设水位观测井,记录施工全过程的水文变化情况。这些监测数据不仅反映了土钉墙在不同施工阶段的实际响应,也为后续稳定性评估提供了基础支撑。

随着现代信息技术的不断进步,基于物联网和云计算的智能监测系统已在深基坑工程中广泛应用。该系统通过布设高精度传感器,实现对土钉墙位移、应力、

地下水位等关键参数的全天候实时监测,并借助无线通信技术将数据自动传输至云端平台,进行集中处理与动态分析。相比传统人工监测方式,该技术不仅显著提升了数据采集的连续性与准确性,还能通过大数据分析构建结构变形趋势预测模型,为支护体系的安全评估提供科学依据。同时,可视化管理界面使施工管理人员能够直观掌握现场变化,及时调整施工方案,从而全面提升深基坑工程的安全管理水平。

3 基于监测数据的支护结构稳定性评估

土钉墙支护结构在深基坑施工过程中,受地质条件、开挖顺序和环境因素等多重影响,其变形行为具有一定的复杂性和不确定性,因此建立科学合理的变形监测体系对于确保支护安全至关重要。变形监测主要包括对墙体水平位移、地表沉降、土钉内力及地下水位变化等关键参数的实时跟踪与分析。目前,工程中普遍采用全站仪、测斜管、钢筋计、孔隙水压计等仪器设备,结合自动化数据采集系统,实现对支护结构整体变形状态的动态掌控。特别是在城市密集区或临近既有建筑物的基坑工程中,高精度、高频次的监测手段能够有效识别潜在风险点,为施工过程中的动态调整提供技术依据。

在具体实施过程中,监测方案应根据基坑几何形状、周边环境敏感程度以及土钉墙设计参数进行有针对性的布设。在基坑四周边坡顶部设置地表沉降观测点,沿土钉布置方向安装钢筋计以获取各层土钉的受力变化情况,并在关键剖面埋设测斜管用于测量深层土体的侧向位移趋势^[7]。考虑到地下水对土体强度和支护性能的影响,还需同步布设水位观测井,记录施工全过程的水文变化情况。这些监测数据不仅反映了土钉墙在不同施工阶段的实际响应,也为后续稳定性评估提供了基础支撑。

随着信息技术的发展,基于物联网和云计算的智能监测平台已在多个大型深基坑工程中得到应用,实现了监测数据的远程传输、自动处理与可视化展示。这种技术手段提高了监测效率与准确性,同时也有助于构建长期的数据积累与分析机制,为土钉墙支护结构的安全评价与预警机制提供坚实的数据基础。通过将现场实测数据与设计预期值进行对比分析,可及时发现异常变形趋势并采取相应加固措施,从而有效提升深基坑工程的整体安全性与可控性。

4 施工过程中土钉墙变形控制对策研究

在深基坑土钉墙支护结构的施工过程中,稳定性评估是确保工程安全的核心环节,而基于现场监测数

据的分析则为支护结构的稳定性判断提供了科学依据。通过前期布置的测斜仪、钢筋计、沉降观测点等设备所采集的数据,可以实时掌握墙体位移、土钉受力及周边地层变形的变化趋势。这些数据不仅反映了支护体系在不同施工阶段的实际受力状态,也为后续的稳定性分析提供了基础输入参数。当墙体最大水平位移超过设计预警值时,结合土钉轴力变化情况,可初步判断支护结构是否存在局部失稳风险,从而为采取加固措施赢得时间。

在实际工程中,稳定性评估通常采用数值模拟与实测数据相结合的方法,以提高分析结果的可靠性。利用有限元软件对基坑开挖全过程进行建模,输入地质勘察资料、土钉布置参数及实测位移数据,模拟土钉墙在各施工工序下的应力-应变响应,并将模拟结果与现场监测数据进行对比验证。若两者偏差在合理范围内,则说明当前支护体系处于可控状态;若出现较大偏离,则可能预示着土体强度弱化或支护构件承载力不足,需进一步开展稳定性验算。常用的评估方法包括极限平衡法、弹塑性有限元分析及安全系数判别法等,其中安全系数作为衡量支护结构稳定性的关键指标,其计算通常考虑土钉抗拔力、土体抗剪强度以及墙体整体滑动面等因素。

在动态施工条件下,深基坑土钉墙支护结构的稳定性呈现出明显的时变特征,受开挖深度增加、地下水位波动、周边荷载变化以及施工扰动等多因素影响,其受力状态和变形行为不断调整。若仅依赖设计阶段的理论计算而忽视施工过程中的实际响应,极易导致支护效果偏离预期,甚至引发安全事故^[8]。必须将稳定性评估贯穿于整个施工全过程,结合实时监测数据建立动态分析与预警机制,实现对支护结构状态的持续掌控。在墙体某段连续出现水平位移速率加快、土钉轴力异常升高或地表沉降突增等情况时,系统应能自动识别风险趋势,并及时发出分级预警,启动加固注浆、加设支撑或暂停开挖等应急处置措施。通过这种由静态评估向动态控制的转变,不仅提升了支护体系应对复杂工况的能力,也为深基坑工程的安全施工提供了有力保障。

5 结语

深基坑土钉墙支护结构的变形监测与稳定性分析是保障施工安全的关键环节。通过对支护结构受力特征、变形规律及监测数据的系统研究,能够有效掌握其动态响应机制,并为稳定性评估提供科学依据。结合工程实际,合理布设监测点、运用数值模拟与预警机制,可实现对支护体系的全过程控制。研究表明,只有将理论分析与现场实测紧密结合,才能全面提升深基坑工程的安全性及可靠性,为类似工程提供切实可行的技术支持。

参考文献

- [1] 贺庭伟.深基坑支护结构变形实时监测与调控技术[J].四川建材,2025,51(05):119-121.
- [2] 张伟寒.复合土钉墙支护结构中土钉与预应力锚杆作用分析[D].长安大学,2024.
- [3] 徐振斯,庞复海,邓宇,等.某建筑深基坑支护结构设计及智能化监测[J].岩土工程技术,2023,37(06):731-736.
- [4] 陈云斐.基于复合土钉墙支护的建筑深基坑施工技术研究[J].居舍,2023,(33):62-65.
- [5] 张传虎.西宁某深基坑土钉墙支护数值模拟与现场监测[D].安徽建筑大学,2021.
- [6] 侯童非.阶式土钉墙支护结构稳定性数值模拟与变形监测分析[D].河北大学,2020.
- [7] 谢朋.复合土钉墙支护结构变形监测与数值模拟分析[D].吉林建筑大学,2019.
- [8] 李飞.复合土钉墙在二级放坡基坑中的应用分析[D].河南大学,2018.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

