

在线式测斜系统在城际铁路深基坑监测中的应用研究

闫阳阳, 李志超, 王建业

机械工业勘察设计研究院有限公司, 陕西 西安

收稿日期: 2023年7月24日; 录用日期: 2023年9月18日; 发布日期: 2023年9月25日

摘要

传统的深基坑围护结构水平位移监测通常使用测斜仪人工采集数据, 存在监测频率低、数据反馈慢且易受外界因素影响等缺点。本文介绍了在线式测斜系统的工作原理和系统组成, 阐述了其在深圳某城际铁路车站主体基坑监测的应用情况。结果表明, 在线式测斜系统可以实现监测数据的自动采集、传输及处理, 实时提供监测成果并绘制变形曲线, 成果可真实反映基坑围护结构的位移情况, 监测精度能够满足施工监测的需求。人工监测点和在线式测斜监测点的深层水平累计位移曲线具有较好的相关性, 均能准确及时地反映不同工况条件下引起的基坑水平位移。

关键词

在线式测斜仪, 城际铁路, 深基坑, 监测

Application Research of Online Inclinometer System in Deep Foundation Pit Monitoring of Inter-City Rail

Yangyang Yan, Zhichao Li, Jianye Wang

China Jikan Research Institute of Engineering Investigations and Design Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

Received: Jul. 24th, 2023; accepted: Sep. 18th, 2023; published: Sep. 25th, 2023

Abstract

The traditional horizontal displacement monitoring of deep foundation pit retaining structures usually uses inclinometers to manually collect data, which has drawbacks such as low monitoring

frequency, slow data feedback, and susceptibility to external factors. This paper introduces the working principle and system composition of the online inclinometer system, and expounds on its application in the monitoring of the main foundation pit of an Inter-city rail station in Shenzhen. The results show that the online inclinometer system can achieve automatic collection, transmission, and processing of monitoring data, provide real-time monitoring results and draw deformation curves, and the results can truly reflect the displacement of the foundation pit retaining structure. The monitoring accuracy can meet the needs of construction monitoring. The deep horizontal cumulative displacement curves of manual monitoring points and online inclination monitoring points have good correlation, and can accurately and timely reflect the horizontal displacement of the foundation pit caused by different working conditions.

Keywords

Online Inclinometer, Inter-City Rail, Deep Foundation Pit, Monitoring

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

近年来,我国经济快速发展,城市人口不断增多,城市基础设施建设蓬勃发展,对各类建设工程支护结构的变形监测是保证各项基础设施施工安全的前提条件。建设工程支护结构的变形监测作为一项技术密集型工作,生产服务能力和效率很大程度上取决于测绘技术装备及基础设施发展的水平和程度[1][2][3][4]。根据国家及各部委的规定和要求,智能化、数字化、物联网、5G等先进的科技也带来变形监测领域的发展和革新,变形监测也逐渐向在线式、自动化方向发展,实现自动化监测是一个不可阻挡的趋势[5][6][7][8]。

深层水平位移监测是建设工程支护结构变形监测的重要指标之一,只有实时掌握建设工程支护结构的变形情况,准确发现异常变形,才能及时采取有效措施,确保建设工程支护结构的安全[9]。测斜仪是深层水平位移监测中主要使用的监测仪器,使用方法是人工提拉,工作量大、效率低、监测数据不连续,且存在很大的人员安全隐患。在线式测斜系统能自动完成深层水平位移的数据采集、自主数据上报、在线显示支护结构变形情况等,能够达到对建设工程支护结构变形状况的实时掌控,可以广泛应用于建筑基坑、公路路基、大坝、铁路路基、隧道、边坡等诸多领域支护结构的变形监测。

2. 在线式测斜系统基本原理

深基坑支护结构桩体水平位移监测的基准点一般设在测斜管的底部。当被测桩体产生变形时,测斜管轴线产生挠度,用测斜仪确定测斜管轴线各段的倾角变化,便可计算出桩体的水平位移,如图1所示。

当被测结构物发生倾斜变形时,固定式测斜仪将同步感受变形,其某一深度的变形量 d_i 与输出的角度 θ_i 具有如下关系: $d_i = L * \sin \theta_i$ 。式中: d_i 为某一深度的水平位移变化量; L 为某一深度的步距; θ_i 为某一深度的角度变化量。某深度深层水平位移量即 $S_i = \sum_1^i d_i = d_1 + d_2 + \dots + d_i$ 。

在线式测斜仪是融合传感技术、物联网技术及移动计算等多种新技术,实现自动测量、移动存储等诸多特性的机电一体化测斜设备。在线式测斜仪固定安装在测斜管口,自动完成工程项目的深层水平位

移长期监测，监测成果通过内置信息传输模块上传到云平台。在线式测斜仪可采用内置锂电池或直接供电，测斜仪和无线探棒具备室外防水防尘功能，具有整体尺寸小、重量轻和便于安装等优点[10]。

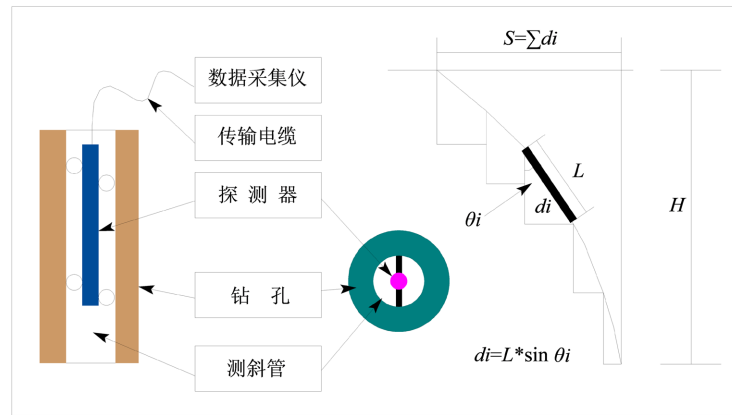


Figure 1. Measurement principle of online inclinometer
图 1. 在线式测斜仪测量原理

在线式测斜系统主要包括数据采集、传输和处理三个模块，如图 2 所示。数据采集模块由终端采集系统和传输控制系统组成，采集终端将监测数据通过传输模块发送到数据处理模块。数据处理模块具备数据存储、分析和管理等功能，可以自动生成数据报表和曲线图，监测人员可通过监管平台查看监测数据，监管平台具备项目管理、参数设置、数据管理和报表生成等功能。在线式测斜系统无须人员值守，可全天候进行监测，提高了监测效率。

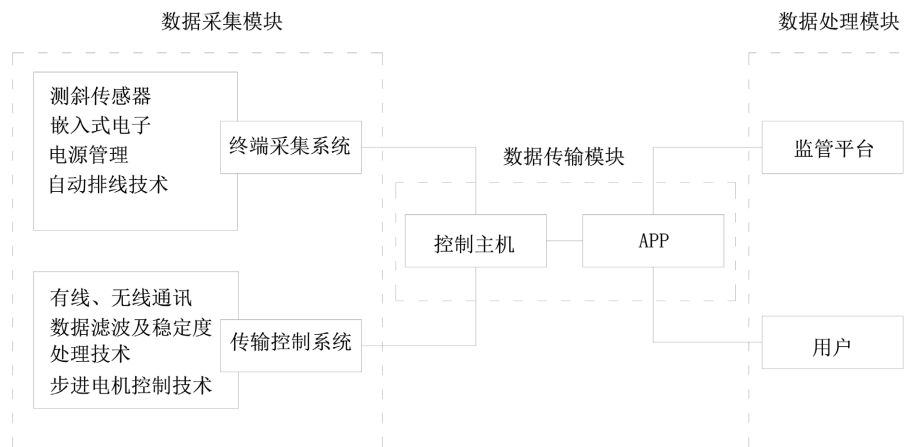


Figure 2. Composition and architecture of online inclinometer system
图 2. 在线式测斜系统组成及架构

3. 工程应用

3.1. 工程概况

深圳某城际铁路车站全长 316.9 m，为地下一层、地面一层(局部二层)车站，标准段宽 22.1 m，车站基坑深 9.36~10.54 m。由于车站所在场地现状主要为废弃的鱼塘，地势较低，工程地质条件差。场地不良地质主要有砂土液化，特殊性岩土为人工填土、残积土及全、强风化岩和花岗岩球状风化体。工点场地内地表水主要为鱼塘积水，场地及周边鱼塘分布密集。且离海岸线距离较近，车站站址整体海拔低，

该场地范围内雨量充沛，地表覆盖填土层、砂层、卵(碎)石层等透水性较好，地表水较发育。勘察期间地下水稳定水位变化较大，施工中应加强地下水位监测工作。

3.2. 在线式测斜系统布置

本基坑工程的监测项目包括围护结构顶部竖向及水平位移、深层水平位移、支撑轴力、基坑周边地下水位、地表竖向位移等人工监测项目。为了验证在线式测斜系统的稳定性、适用性，选择在基坑重点监测部位的人工监测孔旁布设在线式测斜系统。

1) 测斜管和固定式测斜仪安装。在基坑重点监测部位布设 2 个在线式测斜自动化监测点，点号为 ZOT_{ZD1} 、 ZOT_{ZD2} ，人工监测点的点号为 ZOT_1 、 ZOT_2 ，人工监测点和自动化监测点的距离 1 m 左右。

2) 测斜管绑扎在基坑围护结构的钢筋笼内，围护结构浇筑完成后使用测斜仪对测斜管进行检查，确保管内平顺、通畅，保证能人工测量和安装在线式测斜仪。对测斜管的管口进行保护并标注监测点号。

3) 在冠梁施工完成后，根据现场施工进度，在基坑开挖前及时完成在线式测斜仪的安装和测试，确保测斜传感器能稳定读数，传输模块能正常传输数据，数据处理模块能正常接收数据。

3.3. 数据采集及处理

1) 数据采集

在线式测斜系统安装完成后，监测技术人员进行初始值采集工作。按照规范要求，连续采集 3 次数据并对成果取均值作为初始值。初始值采集完成后，设置好监测频率和其它监测参数，本项目将数据采集间隔设置为 2 h 一次，系统可通过数据传输模块将现场采集到的监测数据保存至数据中心的服务器中。

2) 数据处理

在线式测斜系统能够自主完成外业测量，测量时无需人工计数或读数。数据处理模块对采集终端发送的监测数据进行自动处理，采用数据滤波和稳定度处理技术，保证了测量成果的可靠性。测量过程数据、变形动态可视化，测量结果以图形、曲线、报表等方式呈现，可根据监测需求自动生成所需要的报表。可在线查看图形曲线、数据报表以及历史数据，现场判断数据给出结论。数据可在线远传、即时分享，监测技术人员采集原始数据在任何时刻都可将数据分享给其他技术人员。系统可设置报警阈值，当遇到监测点异常时，系统就会自动报警。

3.4. 数据分析

1) 在线式测斜系统监测成果

在线式测斜系统采样间隔为 1 m，深层水平位移量从上到下呈从大到小的渐变曲线，曲线呈向上张开的喇叭口状。对于此类变形曲线，在监测过程中应重点关注顶部水平位移发展情况，应采取的施工措施为尽快施加支撑。监测点 ZOT_{ZD1} 在垂直基坑方向不同深度的位移变化趋势如图 3(a)所示，监测点 ZOT_{ZD2} 在垂直基坑方向不同深度的位移变化趋势如图 3(b)所示。

2) 在线式测斜成果与人工监测成果相关性分析

为了验证在线式测斜系统成果的精度和可靠性，对在线式测斜数据和人工监测数据进行分析，首先计算两者在不同深度测得的水平位移的差值。经统计，差值在 1 mm 以内的占 65%，差值在 2 mm 以内的占比 27%，差值在 2 mm 以上的占 8%。在线式测斜仪深层水平位移与人工监测对比曲线图如图 4 所示，人工监测及自动化测斜最终累计位移变化曲线均呈“喇叭口状”，深层水平位移量从上到下呈从大到小的渐变的特点，这与实际工况相匹配。如图 4 所示。

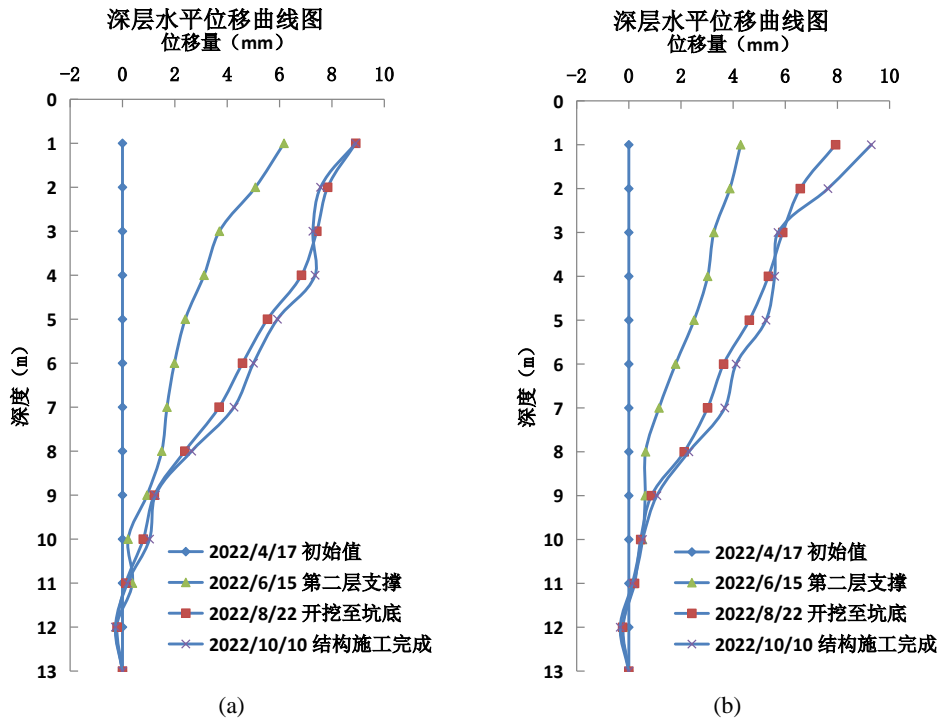


Figure 3. Deep horizontal displacement curve of online inclinometer. (a) Achievement curve of monitoring point ZOT_{ZD1} ; (b) Achievement curve of monitoring point ZOT_{ZD2}
 图 3. 在线式测斜仪深层水平位移曲线图。(a) 监测点 ZOT_{ZD1} 成果曲线图; (b) 监测点 ZOT_{ZD2} 成果曲线图

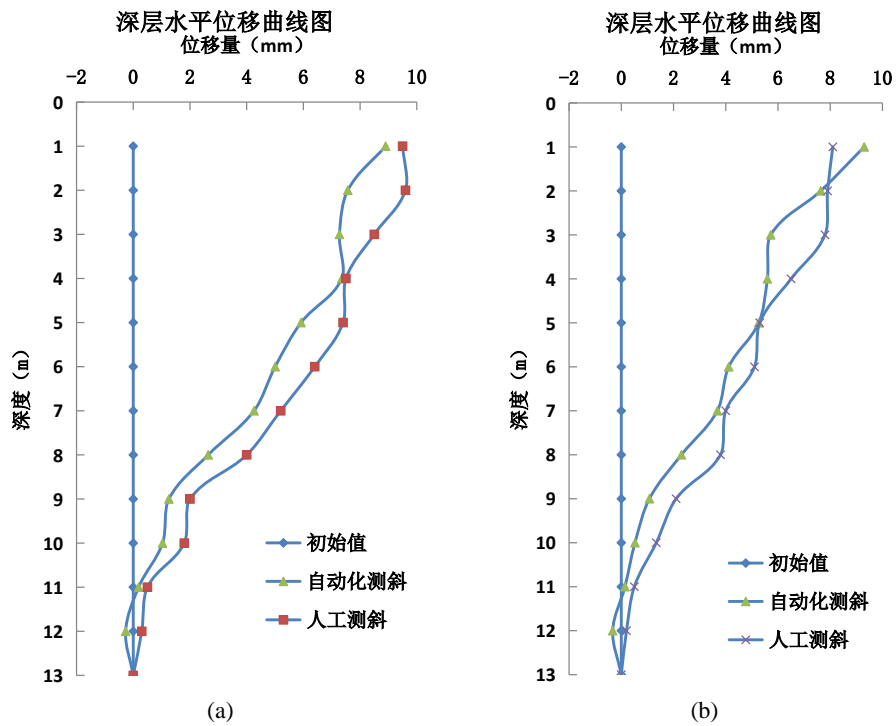


Figure 4. Comparison curve of deep horizontal displacement between online inclinometer and manual monitoring. (a) Comparison curve of ZOT_{ZD1} and ZOT_1 monitoring points; (b) Comparison curve of ZOT_{ZD2} and ZOT_2 monitoring points
 图 4. 在线式测斜仪深层水平位移与人工监测对比曲线图。(a) 监测点 ZOT_{ZD1} 和 ZOT_1 成果对比曲线图; (b) 监测点 ZOT_{ZD2} 和 ZOT_2 成果对比曲线图

将人工监测的数据和自动化监测数据绘制成曲线图，自动化监测的水平位移变形趋势一致，对在线式测斜监测点和人工监测点成果按照表 1 指标进行相关性分析。

Table 1. Data correlation indicators

表 1. 数据相关性指标

r 值	$ r > 0.95$	$0.8 \leq r \leq 0.95$	$0.5 \leq r < 0.8$	$0.3 \leq r < 0.5$	$ r < 0.3$
相关性	显著性相关	高度相关	中度相关	低度相关	弱相关

经计算, ZOT_{ZD1} 和 ZOT_1 监测成果的相关系数 $r = 0.98$, ZOT_{ZD2} 和 ZOT_2 监测成果的相关系数 $r = 0.96$, 根据表 1 中的相关性指标表明, 在线式测斜监测点和人工监测点成果显著性相关。在线式测斜监测和人工监测均能很好地反映了基坑围护结构水平位移变化趋势, 说明了对在线式测斜监测能代替人工监测进行基坑围护结构水平位移监测。

4. 结束语

工程应用证明, 在线式测斜仪可以在城际铁路深基坑监测中取得良好的应用效果, 对比人工监测, 在线式测斜系统无须现场值守, 可以实现自动、连续地监测, 借助云端数据处理平台能实时分析和输出监测成果, 极大地提高了监测效率, 保障施工安全。在线式测斜系统在建设工程支护结构的监测中具有广泛应用前景。

通过本次应用, 总结如下:

- 1) 人工监测和自动化监测深层水平累计位移曲线具有较好的相关性, 均能反映施工过程中基坑开挖引起的基坑水平位移, 进而验证了在线式测斜系统在基坑深层水平位移监测中的可行性。
- 2) 在线式测斜系统对现场布置条件的要求较高, 对比于人工监测, 自动化测斜系统只能单向采集, 没有冗余观测成果; 在线式测斜系统布设时应保证测斜管底不发生变形, 测斜管布设深度要满足规范要求, 支护桩体水平位移测斜管长度不应小于桩体深度, 土体深层水平位移测斜管应大于基坑设计深度的 1.5 倍。
- 3) 在线式测斜系统前期投入的成本较高, 在降低仪器成本的前提下保证测量精度是在线式测斜系统广泛应用的关键。随着技术的改进, 系统的价格会不断下降, 自动化测斜系统一定具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 孔政. 临江超大深基坑监测技术的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉科技大学, 2017.
- [2] 刘全海, 谢友鹏, 赵尘衍. 地铁基坑墙体深层水平位移自动化监测应用[J]. 测绘地理信息, 2019, 44(6): 114-117.
- [3] 汪安. 基坑水平位移自动监测系统的设计研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 安徽农业大学, 2017.
- [4] 林立祥. 柔性测斜仪在软土地基深基坑监测中的应用研究[J]. 工程勘察, 2023, 51(3): 21-26.
- [5] 陈寿辙. 自动化测斜系统在深层土体水平位移监测中的应用——以围海造地工程海堤监测为例[J]. 测绘与空间地理信息, 2022, 45(5): 173-175.
- [6] 郦亮, 谢长岭, 冯立力, 等. 自动化测斜仪在地铁基坑水平位移监测中的应用研究[J]. 能源与环境, 2022, 44(1): 33-39.
- [7] 李俊明, 孟宪超. 自动化测斜仪在基坑监测中的应用[J]. 科学技术创新, 2021(20): 125-126.
- [8] 谢长岭, 汤继新, 方宝民. 自动化测斜技术在基坑监测中的应用[J]. 城市住宅, 2021, 28(3): 251-252.
- [9] 方强, 高帅, 符新新, 等. 深基坑工程自动化监测技术应用[J]. 价值工程, 2020, 39(27): 189-190.
- [10] 孙泽信, 段举举. 某深基坑工程全自动化监测技术的应用[J]. 勘察科学技术, 2022(3): 52-56.