引文格式：王波,吕成敏,廖云,等. 工程基坑自动在线监测系统应用研究[J]. 地理空间信息, 2025, 23(4):91-94. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2025.04.020

工程基坑自动在线监测系统应用研究

王　波[1]，吕成敏[2]，廖　云[3]，黄　俊[3*]
（1. 湖北省测绘工程院，湖北 武汉 430074；2. 中交第二航务工程局有限公司，湖北 武汉 430040；
3. 武汉晟宇时空信息技术有限公司，湖北 武汉 430061）

摘　要：随着城市化进程的加速，大型基坑工程的安全监控变得尤为重要，而新技术的引用在基坑监测任务中起到很大的作用。其中，基坑自动在线监测系统的应用，能有效提高监测的实时性和准确性，降低人为因素对监测结果的影响。基于此，对一种基坑自动在线监测系统的结构组成进行了分析，并通过实际基坑工程的应用研究，验证了该监测系统的可行性和有效性。

关键词：传感器；自动化；基坑监测；数据平台
中图分类号：P258　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）04-0091-04

Application of the Foundation Pits Automatic Online Monitoring System

WANG Bo[1], LYU Chengmin[2], LIAO Yun[3], HUANG Jun[3]
(1. Engineering Institute of Surveying and Mapping in Hubei Province, Wuhan 430074, China;
2. CCCC Second Shipping Engineering Bureau Co., Ltd., Wuhan 430040, China;
3. Space-time Information Technology Co., Ltd., Wuhan 430061, China)

Abstract: With the acceleration of urbanization, the safety monitoring of large-scale foundation pit projects becomes particularly important, and the reference of new technologies plays a great role in foundation pit monitoring tasks. Among them, the application of foundation pit automatic online monitoring system can effectively improve the instantaneity and accuracy of monitoring and reduce the influence of human factors on the monitoring results. We analyzed the structural composition of foundation pit automatic online monitoring system, and verified the feasibility and effectiveness of this system through the application research of actual foundation pit projects.

Key words: sensor, automation, foundation monitoring, data platform

随着都市区的快速发展和复杂地下空间的大规模开发，基坑工程的安全监控成为城市建设中不可或缺的一部分[1]。基坑工程因其开挖深度大、周围环境复杂、受地质条件限制较多等特点，存在许多潜在的安全风险[2]。作为被破坏前的预兆，基坑通常表现为横向边缘或变形率超过警告值[3]。因此，提高基坑监测的精度和实时性对于确保建筑工程安全至关重要。

对于传统的基坑监测，主要方式是用传统仪器在现场进行定期测量，其工作量大，且易受环境和现场条件的影响，存在某些系统错误和人为错误，这限制了对潜在危险的快速响应能力[4]。随着信息技术的发展，尤其是物联网和大数据技术的进步，自动化监测系统已成为提高工程监测效率和准确性的重要手段[5]。自动化监测系统的现场数据采集层由多种测点组成，包括机器视觉测量仪、固定式测斜仪、投入式水位计、轴力计、静力水准仪等[6]。自动化监测通过安装在构筑物上的传感设备实时不间断的采集并且展现数据，让技术人员对结构的实时受力状态及结构破坏趋势做出判断[7]。通过建立自动在线监测系统，对关键监测点进行实时自动监测，实现自动采集、远程传输、实时分析和预警预报[8]。基坑自动化监测系统可根据工程需要设置监测频率，具有较高的时效性[9]。

本文介绍一种基于先进传感技术的自动化在线监测系统应用方法。监测系统通过使用各种传感器来获悉基坑的实时变形情况，并根据监测数据的变化进行报告和预测，及时反映地表变形区的安全情况，为后续安全施工作业提供可靠依据[10]。该系统在基坑的主体受力支撑结构上安装传感器，通过数据交接箱采集传感器电信号[11]。这些信号被传输至网关，并通过网关上传至云平台。在云平台上，数据经过整理和分析，形成实时的监测数据，并对外进行数据展示。云平台可开放多个账号，供使用者进行数据查看和数据分析等工作[12]。

综上所述，本文将基于黄石交通路地下人行通道

第一作者简介：王波（1975—），本科，高级工程师，主要从事测绘生产管理与卫星导航应用工作，E-mail：chywb027@163.com。
通信作者：黄俊（2001—），本科，从事地理信息及测绘方向的应用工作，E-mail：3023108150@qq.com。

工程变形监测案例，详细介绍该自动化在线监测系统的整体结构，以及在实际工程中的应用效果，并通过对监测结果的分析，来验证其在基坑监测中的有效性和实用性。

1 自动在线监测系统的整体结构

自动在线监测系统主要由传感器、采集网关、数据平台几个部分组成，通过数据采集、数据传输和数据整理完成基坑监测数据的处理和反馈，反映基坑施工过程的安全性。系统组成如图1所示。

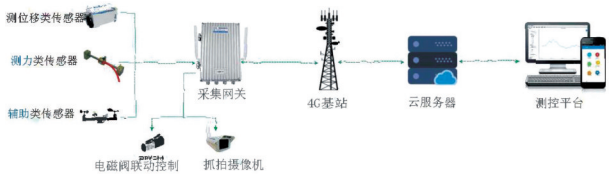


图1 系统平台结构组成

1.1 传感器应用及工作原理

传感器是自动化在线监测系统最直观的监测仪器。通过安装到基坑表面或嵌入基坑内部，可感受到基坑的形变并反映为电信号，而电信号的变化经过处理便转化为基坑形体的变化数据。传感器分为测位移类、测力类和辅助类传感器等。

黄石交通路基坑主体为方形地下深基坑，该项目中主要用到的传感器为应变计和测斜仪。

应变计是一种用来测量材料表面应变的仪器，常用于监测建筑结构、桥梁、隧道等工程的应力状态和变形情况，属于测力类传感器。通过测量应变，可以了解结构在受力时的性能，预测可能的结构问题，从而在工程安全中发挥关键作用[13]。应变计主要依赖于电阻应变原理来工作。当被测物体受到外力作用而发生形变时，粘贴于其表面的应变计也会随之伸缩。应变计内部包含电阻丝或金属箔，其长度和截面积的变化会引起电阻的变化[14]。这种电阻的变化与物体表面的应变成正比，通过测量这种电阻变化，可以精确计算出材料表面的应变值。常见的应变计有电阻应变计和光纤应变计等。

测斜仪主要用于监测结构或地面的倾斜程度，通过传感器倾角变化计算得到水平和垂直方向的位移变化，属于测位移类传感器。它广泛应用于地质学、土木工程、基坑支护结构以及坡面稳定性分析中。其基本原理是使用一种或多种形式的倾角传感器，如电子水平仪、气泡管或力矩摆。在现代测斜仪中，常用的是电子倾角传感器，这种传感器可以测量其安装面相对于重力方向的倾斜角度。传感器内部通常包含一个或多个加速度计，用以测量由于重力引起的加速度分量，从而推算出倾斜角度。通过持续跟踪这些角度的变化，可以评估结构的倾斜趋势及其动态变化情况，从而实时掌握结构的健康状况和安全风险。

2种仪器的组合使用能够提供关于结构物应力和位移的综合信息，对于监测和评估结构安全具有重要意义。

1.2 采集网关

采集网关的作用是将传感器采集到的数据通过网络传输到云端，由平台解析转化为正常监测作业中的数据格式。该项目中使用数据交接箱通过电缆连接到传感器，每个数据交接箱中有数条通道，可连接多个传感器。交接箱另一边与网络箱相连接，通过网络箱连接到4G网络，由此将数据输出到云服务器存储。

1.3 测控平台

监测云平台在现代工程管理和设施维护中扮演了重要角色，特别是在对大型结构或广泛分布的基础设施进行监控时。平台将所有监测数据分项目进行管理，利用先进的信息技术、物联网设备以及大数据分析，提供实时、连续的监控和数据分析服务。传感器的电信号通过采集网关上传到云平台，云平台即可实时存储、分析基坑各点位的监测数据。如图2所示，平台根据传感器的不同可进行水平位移、垂直位移、应力、水压力、轴力等方面的数据交接和处理，实时呈现各设备记录的监测数据。同时平台可以根据实际情况设置警戒值，通过分析收集到的数据，预测潜在的风险和故障，提前发出警报，减少事故的发生。基坑的变化情况除反映在监测平台上外，也可通过程序设置进行数据投屏。通过在施工现场放置投影大屏，可实时查看基坑的变化量和变化趋势。自动化监测系统工作流程如图3所示。



图2 测控平台

2 实施流程

2.1 设备安装调试

黄石市交通路地下人行主通道呈南北走向，北侧

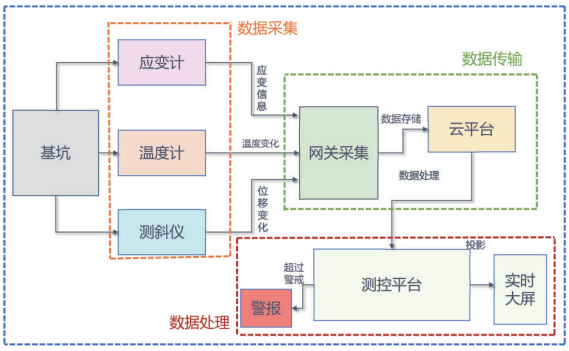


图3　自动化监测系统工作流程图

梯坡道敞口段朝向东北方向，南侧梯坡道朝向东南方向，施工图见图4。通道位于武汉路与交通路交汇处，现状周边为商业、酒店、住宅区等。主通道下穿武汉路，东侧连接人行道，西侧接入武南预留口，经武商下沉广场再出地面，通道平面布置呈“L”字型。主通道内结构净宽6.0 m，长度约31.7 m内部结构净高4.0 m，共设置2个出入口。出入口梯坡道结构净宽为6.0~12.0 m，北侧梯坡道总长约28 m，南侧梯坡道总长约为34 m。根据场地周边现状地面标高，基坑开挖后将形成高13 m的基坑。为保证工程施工安全，要求监测基坑围护结构及周边建筑物的稳定性，内容包括桩体水平竖直位移、支撑轴力、地下管线节点、转角点沉降和位移等。

传统监测方式一般是在基坑的支撑结构处布置监测点，通过全站仪或电子水准仪进行基坑形变量测量。但由于基坑施工过程环境的复杂性，全站仪可架设的范围相当局限，监测点又只能布置在全站仪视野范围内，对于视角盲区及基坑底部等无光线部位无法顾及。此外，传统方式无法监测结构内部的应力变化，如支撑轴力、土压力、围护墙内力等。与此不同的是，使用传感器进行监测的方式仅需电缆线进行连接，大部分传感器体积小，适用于各种围护结构表面及内部，且传感器监测频率高，可实时反馈监测结果，通过平台即可实时查看基坑动态。

本次监测黄石市交通路地下基坑一共安装测斜仪6台，应变计10台。安装应变计和测斜仪等传感器是监测结构健康状态的重要步骤，这些设备能够提供关于结构变形、压力分布和倾斜状态的关键数据。应变计的安装应选择在结构的代表性部位，如预计会承受最大应力的区域或已知应力集中的位置。测斜仪应安装在结构的基础或关键支撑点附近，以便准确测量结构的倾斜和位移。该项目中左右基坑各有5根横梁，应变计便安装在支撑梁上。测斜仪则安装在基台的水泥地上，左右两边各3个。安装前必须确保传感器接触面干净、平整、无油污和杂质。采集网关通过电缆线与传感器连接，每个采集网关有4条通道，最多与4个传感器交接。网关通过4G基站实时将采集数据传输到云平台中。在安装后需进行校准，校准过程包括设置零点、验证测量范围和调整敏感度等，进行数据采集和初步分析，验证传感器的响应是否符合预期，确保数据的准确性。

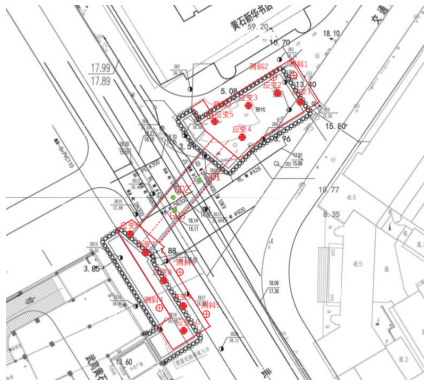


图4　工程施工图

2.2　设置预警

用户可通过云平台设置预警，对各节制井分别设置预警值，当监测到的数据超过预设的阈值时，平台将自动发送警报到相关人员的手机或电子邮件。预警系统提供的数据和警报帮助项目管理者和工程师做出快速决策，比如是否需要暂停工作、进行现场检查或调整施工方法。此外，系统还可以提供历史数据分析，帮助团队评估长期的安全措施和改进方案。依照设计要求，本次项目基坑设计安全等级为一级，且基坑为土质基坑，围护墙结构为灌注桩。故预警值设置参照《建筑基坑工程监测技术标准》（GB50497–2019）土质基坑及支护结构监测预警值规范中一级安全等级的精度要求，见表1。

表1　监测预警设置

序号	监测项目	位置或监测对象	累计值		变化速率/（mm/d）
			绝对值/mm	相对基坑设计深度 H 控制值	
1	桩体水平位移	围护结构内	20~30	0.2%~0.3%	2~3
2	支撑轴力	钢支撑、砼支撑	最大值：（70%~80%）构件承载能力设计值　最小值：（80%~100%）钢支撑、锚杆预应力设计值		
3	桩体竖向位移	围护结构内	10~20	0.1%~0.2%	2~3

3　监测结果

黄石交通路基坑监测共持续近3个月，支撑轴力和位移监测以每天为单位进行数据解算，以应变四、应变五和测斜仪六为例，其监测数据变化分别如图5、

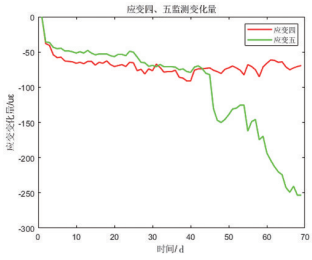


图5 应变四、五监测变化量

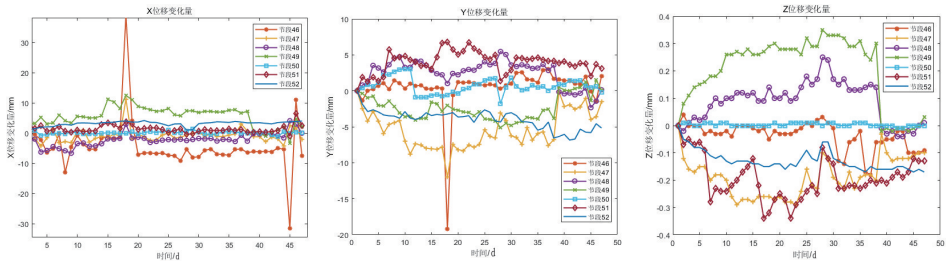


图6 位移变化量

表2和图6、表3所示。

表2 应变四、应变五累积变化量/uε

应变量	绝对变化量	累积变化量
应变四	599.619	−69.248
应变五	753.264	−253.211

表3 测斜六累计位移报表/mm

设备名称	属性名称	绝对变化量	累积变化量
节段46	X位移变化量	56.24	−7.53
	Y位移变化量	−70.59	2.07
	Z位移变化量	−0.3	−0.09
节段47	X位移变化量	−2.83	−2.08
	Y位移变化量	4.97	−1.53
	Z位移变化量	0.08	−0.1
节段48	X位移变化量	2.27	−0.01
	Y位移变化量	−3.11	0.15
	Z位移变化量	−0.12	0.01
节段49	X位移变化量	−4.79	2.13
	Y位移变化量	4.46	0.08
	Z位移变化量	−0.29	0.03
节段50	X位移变化量	−0.19	−0.01
	Y位移变化量	−1.1	−0.21
	Z位移变化量	−0.01	0
节段51	X位移变化量	61.41	2.56
	Y位移变化量	−46.35	3.08
	Z位移变化量	0.05	−0.13
节段52	X位移变化量	0.81	4.01
	Y位移变化量	−0.14	−5.17
	Z位移变化量	−0.07	0.17

由表2、3可知，在截取的本次监测项目数据表中，支撑结构局部相对变形最大值为253.211 uε，测斜仪所测水平位移最大值为7.53 mm，垂直位移最大值仅为0.1 mm，均远低于标准限差。且自动在线监测系统的监测频率比起传统方式极大提高，测量时变化曲线趋向于平稳，整体波动较小。同时，相对于传统测量方式，自动化监测方案可实时、动态地观察基坑的变化情况，具有传统方式不具有的监测效率。

4 结 语

本文介绍了一种基坑自动在线监测系统的应用方案，并通过项目实践验证其可行性，在黄石交通路监测项目中截取的数据中体现了自动在线监测系统的时效性和准确性。研究结果表明，自动在线监测系统的监测频率比起传统方式极大提高，相对于传统测量方式，自动化监测方案可实时、动态地观察基坑的变化情况，具有传统方式不具备的监测效率。同时，系统能够及时发现潜在的安全隐患和质量问题，为工程施工提供重要支持和指导，最终提升了基坑工程的施工安全性和施工质量。

参考文献

[1] 赖国梁,张松波,陈国,等. 基坑自动化监测数据分析及预警系统应用研究[J]. 施工技术,2021,50(1):49-52

[2] 包时超. 自动化监测技术在基坑监测中的应用分析[J]. 智能建筑与智慧城市,2023(4):138-140

[3] 李力,李海斌,赵庆攀. 深基坑工程自动化监测技术与实践[J]. 广东建材,2023,39(4):53-55

[4] 朱波,孙曼曼. 深基坑自动化监测系统设计研究[J]. 测绘与空间地理信息,2023,46(8):184-186

[5] 张志强,纪文武,薛琼瑶,等. 自动化结构安全监测系统在基坑监测中的应用[J]. 交通科技与管理,2023,20(4):81-85

[6] 池玮波,胡岳岚,袁国梁,等. 谈自动化监测在深基坑项目中的应用[J]. 山西建筑,2021,47(5):83-84

[7] 廖海山,李盈洲. 自动变形监测系统在运营地铁隧道监测中的应用[J]. 测绘与空间地理信息,2021,44(2):193-195

[8] 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):114-116

[9] 欧阳波,田力. 研究自动化监测系统在基坑开挖中的应用[J]. 工程建设与设计,2023(22):104-106

[10] 王晓初,刘湘邦,王义,等. 一种基坑水平位移自动化监测系统的设计[J]. 工业控制计算机,2023,36(10):26-28

[11] 高开强. 自动化监测系统在深基坑工程中的应用及可靠性分析[J]. 经纬天地,2021(1):75-78

[12] 林喜鉴. 工具式应变传感器动静态特性测量装置的研究[J]. 市场监管与质量技术研究,2023(4):48-51

[13] 雷一鸣. 电阻应变计应变传递研究及误差分析[J]. 科学技术与工程,2011,11(32):8 096-8 100

[14] 王启飞,苑宝玉,王军涛,等. 一种全自动测斜仪的设计与应用[J]. 工业仪表与自动化装置,2021(2):116-120