

# 深基坑施工中自动化监测防坍塌的分析研究

袭祝男

上海市金滨海城市发展集团有限公司 上海金山 201508

**摘要:** 土建施工过程中, 预防深基坑坍塌是施工过程中的重要工作, 采用自动化监测的方法是有效预防深基坑坍塌的重要手段之一。本文聚焦深基坑施工防坍塌的自动化监测技术, 详细分析实时监测的关键内容、技术手段及数据处理方法。通过实际案例探讨监测数据的分析与应用, 提出基于自动化监测的坍塌预警及应急处理策略, 旨在为深基坑施工安全管理提供科学依据与技术支持, 降低坍塌事故发生率, 保障施工安全。

**关键词:** 深基坑施工; 防坍塌; 自动化监测; 预警分析

## 引言

随着我国城市化进程的快速推进, 高层建筑、地下综合管廊、地铁隧道等大型基础设施建设项目蓬勃发展, 深基坑工程的规模不断扩大, 开挖深度日益增加。深基坑工程具有显著的复杂性、隐蔽性和高风险性特征, 其施工过程涉及土体应力重分布、地下水渗流、支护结构受力变化等多重因素的动态耦合作用。一旦发生坍塌事故, 不仅会造成施工人员重大伤亡、机械设备严重损毁等直接经济损失, 还可能引发周边建筑物倾斜开裂、地下管线断裂、道路塌陷等次生灾害, 甚至导致恶劣的社会影响和生态环境破坏。传统的人工监测方法存在数据采集频率低、测量误差大、信息反馈滞后等局限性, 难以及时捕捉基坑变形的细微征兆。相比之下, 自动化监测系统通过布设高精度传感器网络, 能够实现关键参数的24小时连续采集, 结合大数据分析和智能算法, 可对基坑稳定性进行实时评估和智能预警。这种模式不仅大幅提升了监测数据的时效性和准确性, 还能为工程管理人员提供可视化决策支持, 有效预防坍塌事故的发生, 确保深基坑施工安全可控。

## 一、深基坑施工自动化监测的内容与技术

### 1.1 自动化监测概述

#### 1.1.1 深基坑自动化监测概述

深基坑自动化监测系统是指综合采用计算机系统、传感器和通讯等信息技术, 使用仪器量测等手段和方法对深基坑及周边环境的安全状况、变化特征及其发展趋势实施的定期或连续检查、量测、监视以及数据采集、分析、反馈等进行的深基坑工程监测。与传统人工监测

相比, 自动化监测具有监测频率高、人力投入少、数据反馈快、可实现远程预警等诸多优势。自动化监测系统通过在深基坑现场布设各类传感器, 并与数据采集器、无线传输模块等硬件设备相连, 构建起一套完整的数据采集与传输网络。监测数据经无线网络传输至云端服务器进行存储与分析, 再通过可视化界面实现实时显示、超限预警、趋势分析等功能, 为深基坑施工安全控制提供有力支撑。

#### 1.2.2 深基坑自动化监测系统组成

深基坑自动化监测系统主要由传感器部分、数据采集系统、边缘计算网关、数据传输系统、监测管理系统和监测大屏等部分组成。其中:

(1) 传感器部分: 系统的“感知层”, 由高精度、高灵敏度的传感器组成, 能够实时采集深基坑工程的各项物理参数, 为监测提供原始数据。

(2) 数据采集系统: 数据采集单元负责从传感器收集数据, 通常包括数据记录器和处理模块, 能够将传感器的输出转换成电子信号并进行初步处理。

(3) 边缘计算网关: 边缘计算网关集成数据处理能力, 可以在数据上传之前进行预处理、筛选和分析, 减少数据传输量和响应时间。

(4) 数据传输系统: 数据传输单元通过有线或无线方式(如GPRS、Wi-Fi、蓝牙、光纤等)将数据从现场发送到远程监测中心或云平台, 确保数据的实时性和可达性。

(5) 监测管理平台: 平台集成数据展示、分析和预警等功能。通过对采集到的数据进行综合分析, 监测管理系统能够实时展示深基坑状态, 提供预警信息, 并为

工程决策提供科学依据。

(6) 监测大屏：作为系统的可视化展示界面，能够直观展示深基坑的各项监测数据和状态信息，并支持多类数据图表和三维模型展示，为监测人员提供清晰、直观的视觉效果。



## 1.2 深基坑自动化智能监测系统的设计与实施

### 1.2.1 深基坑自动化智能监测内容

自动化监测方法的选择应根据深基坑工程自动化监测等级、监测内容、精度要求和现场作业条件等因素综合确定，监测方法的选择需全面反映深基坑支护结构及邻近环境的安全状态，监测方法及设备选择一般可根据下表确定。

#### 1.2.2 测点布置设计

在布设深基坑自动化监测点位时，监测点应分布均匀，覆盖面积大，特别是在深基坑周边、内部受力变形大的代表性部位及周边重点监护部位，监测点应适当加密。在布设过程中，还需考虑深基坑周边环境的复杂性，如道路、高层建筑、地下管线等，以避免对周边环境造

监测项目	监测设备	布点要求
深层水平位移	滑动式智能测斜仪、固定式智能测斜仪	1. 以底部作为起算点 2. 采用固定测斜仪监测时，监测探头应合理布置 3. 由于监测点的更换、检查等导致传感器位置变化的，应重新校正
水平位移	智能全站仪、智能激光位移计	1. 位移基准点应设置在不受施工影响的区域 2. 选点时应考虑施工对工作基点的扰动和对视线的阻挡 3. 定期检查仪器的整平状态，并及时校正
竖向位移	智能全站仪、智能静力水准仪	1. 采用全站仪进行监测时，宜与水平位移同步进行
内力	智能应变计	1. 传感器元件应具有测温功能 2. 传感器安装埋设应结合现场环境及监测对象特征，确定安装工艺，保证测量结果的可靠性
地下水位	水位计、智能渗压计	1. 传感器埋设时应采用专用水位管 2. 设备的最大量程应满足地下水位的变压需要 3. 应结合测量设备类型及地下水位特征，确定安装位置，保证测量结果的可靠性
倾斜角度	智能倾角仪、智能全站仪、智能静力水准仪	1. 可选用单轴正交活双轴的倾角计进行倾斜监测 2. 使用倾角计时应明确安装方向，并详细记录相关属性信息数据
裂缝宽度	智能裂缝计、智能位移计	1. 设备的最大量程应满足监测对象的变化需要 2. 设备安装时应综合考虑裂缝收缩与扩张两种情况

成不必要的影响。同时，监测点的数量应以满足监控要求为准，避免过多或过少，以确保监测数据的全面性和准确性。

#### (1) 关键区域覆盖

重点监测深基坑支护结构、坑底隆起区、周边敏感建筑及地下水位变化显著区域。在受力复杂部位（如支撑节点、转角处）加密布设测点，间距通常不超过15米。

#### (2) 分层分区布控

沿深基坑深度方向分层设置监测点，反映不同深度的变形梯度。按施工阶段动态调整布点密度，开挖初期

重点监测地表沉降，后期聚焦深层土体位移。

#### (3) 数据关联性设计

同步布设位移、应力、水位等参数测点，形成多参数关联监测网络，便于分析变形诱因。在相邻测点间设置冗余传感器，提高数据可靠性并实现交叉验证。

#### (4) 环境影响适配

针对软土、高水位等特殊地质条件，在潜在滑动面或渗流路径增设监测点。周边存在振动源（如地铁、施工机械）时，布设加速度传感器监测振动传导影响。

### 1.2.3 数据传输方案

数据传输方案在传感器部署中起到桥梁的作用，确保监测数据能及时、准确地传输到监控中心，传输方式分为有线与无线。

(1) 有线传输方式

例如，在一些规模较小、周边环境干扰较少的深基坑工程中，采用光纤进行数据传输。光纤具有传输速度快、抗干扰能力强的特点，其传输速率可达到1Gbps以上，能够满足大量传感器数据的传输需求。传感器与光纤连接，将数据传输到施工现场附近的监控中心。

(2) 无线传输方式

在一些复杂的深基坑工程中，由于施工现场的布局和周边环境的限制，无线传输方式更为合适。例如，采用ZigBee无线通信技术，它具有低功耗、短距离、自组网的特点。在一个大型深基坑工程中，施工现场存在大量的机械设备和障碍物，ZigBee技术可以在传感器节点之间自动组网，将数据传输到汇聚节点，再通过GPRS或者4G网络将数据传输到远程监控中心。ZigBee的传输距离在室内可达30-50米，在室外可达100-150米，虽然传输距离有限，但通过合理布置节点，可以满足深基坑的监测需求。

1.2.4 智能监测平台

监测平台的开发与数据管理是实现深基坑自动化智能监测的关键环节。针对海量异构数据的特点，监测平台通常采用分布式架构设计，融合云计算和大数据分析技术，提供数据存储、处理、可视化和预警等功能。前端采用响应式Web设计，支持多终端访问；后端搭建在高可用的云服务器集群上，保证系统的稳定性和扩展性。数据库方面，结构化数据存储的关系型数据库中，非结构化数据则采用NoSQL数据库。为方便数据交换，平台支持多种标准数据接口和协议。

二、案例分析

2.1 案例概况

以某市立医疗中心扩建项目为例，该工程地处城市核心商务区，基坑面积0.8万m<sup>2</sup>，开挖深度8.5~11m，周长350m，采用咬合桩+钢支撑支护，基坑安全等级一级。项目面临三重挑战：

(1) 环境敏感：紧邻运营地铁（最小净距30m）、主干道及既有医疗建筑（最近处0.5m）；

(2) 地质复杂：多层软弱土层（淤泥质黏土占比>40%），土体灵敏度高、自稳能力差，易引发支护结构变形及周边沉降；

(3) 管线密集：地下分布燃气、电力、污水等七类市政管线；

针对上述复杂工况，项目团队构建了全流程自动化监测系统，通过实时数据驱动施工管控，有效保障了工程安全与周边设施稳定。

2.2 监测方案设计

2.2.1 监测项目与测点布设

结合项目工况及周边环境条件，本项目围绕深基坑安全控制与环境保护要求制定了针对性的监测指标体系。在支护结构安全监测维度，聚焦于桩顶水平位移、竖向沉降、支撑轴力及立柱位移等关键参数；针对周边环境影响，同步追踪地下水位情况。

监测对象	监测参数	布点策略	设备选型
支护结构	桩顶水平/竖向位移	间距20m（关键区域加密至10m）	自动化全站仪（Leica TS60）
支撑体系	轴力变化	每跨1/3处	GR-ZLXX智能轴力计
地下水	水位波动	基坑外1m环向每20m布点	跟踪式无线水位计（HY.SWJ-1）
周边建筑	沉降倾斜	既有建筑柱基/外墙	静力水准仪+倾角传感器

2.2.2 监测频率

监测频率的设定因应工程进度和风险程度而变化。深基坑开挖及桩基施工期间，自动化监测频率为每天1次；底板浇筑完成7天后调整为每3日1次，结合变形速率动态评估是否延长至每7日1次；

当监测数据达到预警阈值的80%时，自动切换至实时监测模式（每10分钟采集1次），并联动现场声光报警。这种灵活的频率安排既保证了关键时期的监测密度，又避免了资源浪费。

2.3 风险处理

2.3.1 预警触发

2023年10月15日14:30，深基坑开挖至深度5m时，自动化监测平台实时显示基坑东北侧第3道钢支撑轴力在2小时内从3500kN骤升至4650kN，超过报警值（4500kN），且相邻立柱沉降速率达4mm/h（正常<1mm/h）。

平台立即发出红色预警，弹出风险位置三维模型高亮提示，同步触发现场声光报警器（基坑周边50米范围）；并同步向项目负责人、监理工程师、设计单位发送短信及邮件，附带实时数据曲线及风险位置定位。

2.3.2 应急响应

项目总监接到报警信息后，立即下达停工指令，暂

停该区域土方开挖及支撑安装作业，撤离坑底施工人员（14:35完成）；技术组现场复核，确认Z-07支撑轴力实测4620kN，与自动化数据一致，排除设备故障可能。

通过平台调取历史数据，发现该支撑轴力近3日呈持续上升趋势（日均增加200kN），结合当日降水数据（累计降雨量35mm），初步判断因雨水渗入导致土体侧压力骤增。

同步查看地铁隧道监测数据，发现对应区段隧道水平收敛达8mm（预警值10mm），存在连锁风险。

### 2.3.3 技术处理

（1）调用备用钢支撑在Z-07支撑旁3米处增设临时支撑，采用液压千斤顶预加轴力3000kN，分担荷载；并对支撑节点进行探伤检测，确认焊缝及螺栓连接无开裂，排除结构缺陷。

（2）在风险区域增设2口降水井（深度15米），启动大功率水泵将地下水位降至基底以下1.5米，降低水压力对支撑的附加荷载。

（3）将钢支撑及周边50米范围测点监测频率提升至每10分钟1次，通过平台实时监控轴力变化曲线，发现加固后轴力逐步回落至4200kN并趋于稳定。

### 2.3.4 长效处理

（1）项目在进行紧急处理同时组织设计、勘察、监测单位召开线上会议，基于平台历史数据及现场检测报告，判定需调整支护方案：在该区域增加一道预应力锚索（设计拉力1500kN），分担钢支撑荷载。

（2）施工单位编制专项加固方案，经专家论证后，于次日8:00开始锚索施工，12:00完成张拉锁定，同步复测支撑轴力降至3800kN（设计值76%），风险解除。

（3）风险处理后连续72小时监测显示，支撑轴力稳定在3500-3800kN，立柱沉降速率 $<0.5\text{mm/d}$ ，地铁隧道

收敛值控制在5mm以内，达到安全阈值要求。

（4）平台自动生成《风险处理报告》，包含事件时间线、处置措施及数据对比曲线，作为工程档案永久存储。

## 2.4 监测效果评价

本项目深基坑自动化智能监测系统的应用取得了显著成效。通过各类传感器和智能无线数据采集终端的部署，实现了对桩顶位移、立柱竖向位移、支撑轴力和地下水位等关键参数的实时监测。系统数据采集准确度高，传输稳定性强，为项目管理团队提供了及时、可靠的决策依据。在深基坑开挖关键阶段，系统成功预警了多次异常情况，使得施工团队能够迅速采取有效措施，避免了潜在的安全隐患。

## 结语

深基坑自动化智能监测技术已发展为现代深基坑工程安全管控的核心保障机制。该技术通过融合高精度传感网络、低延时传输协议及智能诊断算法，构建了毫秒级响应的四维动态监控体系。面向未来发展，工程建设需全面普及自动化智能监测系统，构建云边端协同的数据中枢平台，深度挖掘监测数据的预测预警价值，为深基坑施工风险防控提供智能决策支持，实现安全风险主动规避，保障工程全生命周期安全可控。

## 参考文献

- [1] 谢晓沐. 深基坑自动化智能监测技术与实践[J]. 智能科技, 2024, 581(28): 16-18.
- [2] 张傲. 自动化监测技术在深基坑工程中的应用[J]. 广州建筑, 2024, 52(03): 19-22.
- [3] 张江华. 深基坑自动化智能监测技术与实践[J]. 低碳世界, 2024, 14(5): 67-69.