

# 基坑支护结构应力实时监测系统设计

## Design of the Real Time Stress Monitoring System for the Supporting Structure of Foundation Pit

童志伟 邓茹凤

(中国地质大学(武汉)机电学院,湖北 武汉 430074)

**摘要:** 针对目前基坑支护结构应力监测系统存在的不足,设计了一种分布式采集系统。基于振弦式传感器,在硬件方面重点设计了该系统的激振电路、拾振电路、测频电路、温度调理电路及远程传输电路。充分利用微处理器技术、现代通信技术、计算机技术,在硬件的基础上对各电路进行了相应的软件设计。试验表明,该系统实现了对监测信号的多点采集、数据可靠传输、综合处理等功能,进而对基坑支护结构的状态做出正确及时的安全监测。

**关键词:** 基坑 支护结构 应力 实时监测 信号采集

**中图分类号:** TP27 **文献标志码:** A

**Abstract:** Aiming at the deficiency in existing stress monitoring systems for supporting structure of foundation pit, the distributed system has been designed. Based on the vibrating wire transducer, in hardware, the excitation circuit, vibration picking circuit, the frequency measurement circuit, temperature conditioning circuit and remote transmission circuit are designed emphatically. The microprocessor technology, modern communication technology, and computer technology are fully adopted. In addition, on the basis of hardware, relevant software is designed for various circuits. Through experimental verification, the functions of monitoring multiple points collected, reliable data transmission and comprehensive processing, etc., are implemented, thus the status of the supporting structure of foundation pit can be properly and promptly safely monitored.

**Keywords:** Foundation pit Supporting structure Stress Real-time monitoring Signal acquisition

## 0 引言

几十年来,高层建筑地下室、地铁工程、市政道路立交桥、市政污水排放工程、地下商业街、人防工程等越来越多,深基坑的面积和深度向大而深方向发展<sup>[1]</sup>。当前,基坑监测是深基坑工程质量保证的三大基本要素之一。传统的监测支护结构应力的方法较少,数据采集周期一般为3~5 d或者一个星期,有时甚至一个月。人们对支护结构的应力关注不够,忽略了其重要性,而且精度不高、灵活性实时性不强、无法远距离传输、劳动强度大。因此,基坑存在着很大的安全隐患。

针对目前基坑支护结构应力监测系统存在的不足,设计了一种分布式采集系统。该系统利用单线圈型振弦式传感器<sup>[2]</sup>为基本组件,通过MAX485通信实现远程无线传输<sup>[3]</sup>,同时硬件与软件相结合实现实时监测。这样大大缩减了现场测量时间,减轻了劳动强度。同时,提高了测量精度,便于保存分析,最终为基

坑的正常运行和安全措施提供重要保障。

## 1 总体方案设计

经过查找资料,设计了以下三种方案:①微型计算机数据采集系统;②基于现成数据采集卡的集散型数据采集系统;③基于自主开发数据采集卡的集散型数据采集系统。从开发成本、数据处理能力、系统功能、维护难易、技术更新周期以及开放性等性能考虑,认为第三种方案较为可靠。从实际出发,整个系统测点多、分布范围广,采用分布采集方式为宜,即先将分散的传感器信号通过现场采集子系统转换成数字信号;经过处理后再通过远程传输系统无线发送到监控中心的上位机。这样减少了因传输线路太长而产生的信号衰减和噪声干扰,从而确保了所采集信号的准确性。该结构是一种开放型分布式网络结构,将现场采集子系统即具有微处理器的远程数据采集站布设现场,完成所辖测点传感器的激振、拾振、测量等一系列功能。这样减少了数据的传输距离,简单准确。总体来看,分布式系统具有网络容量大、信号传输距离远、可靠性高、通用性强、扩展维护容易等优点。系统总体结构框图如图1所示。

修改稿收到日期:2013-11-19。

第一作者童志伟(1964-),女,1986年毕业于中国地质大学(武汉)机械专业,获博士学位,副教授;主要从事机械设计的研究。

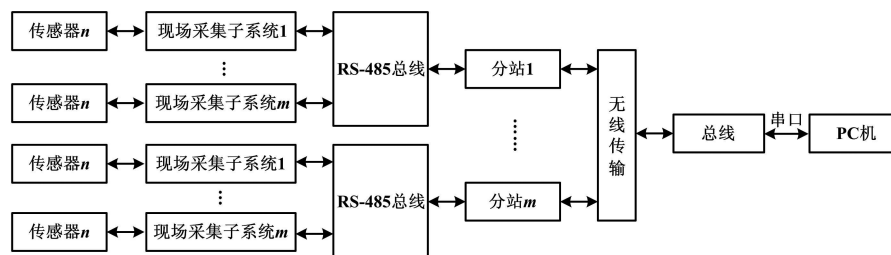


图1 系统总体结构框图

Fig.1 Block diagram of the overall system structure

振弦式传感器是目前国内外普遍重视和广泛应用的一种非电量电测的传感器,具有抗干扰能力强、受温度影响小、性能稳定可靠、耐震动等一般谐振式传感器的优点<sup>[4]</sup>。通过现场采集子系统,将采集到的张力信号再经过RS-485总线和无线传输相结合的方式与PC机进行传输通信。单个系统设计框图如图2所示。

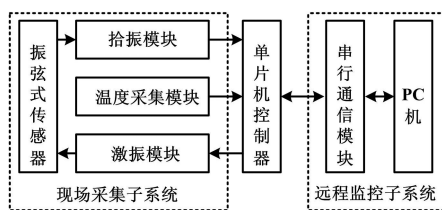


图2 单个系统设计框图

Fig.2 Block diagram of single system design

PC机通过串行通信模块发送信号控制单片机开始工作,单片机再通过激振模块使振弦式传感器起振,产生的毫幅级电信号通过拾振模块进行滤波放大和整形。同时利用振弦式传感器所在的环境温度进行温度补偿修正。最后由单片机将采集到的数据信号通过串行通信模块传输到单片机显示并分析。

## 2 硬件电路设计

根据基坑支护结构应力的原理和特性,本系统选用单线圈型振弦式传感器,采用软件扫频技术<sup>[5]</sup>使传感器起振。

### 2.1 单片机控制器

由于本系统要求运行速度快,且所在工作环境较差,所以需要抗干扰能力强、运行速度快、串口功能多的单片机。结合上述特点,选择功耗少、体积小、易拆卸和不伤焊盘的贴片STC12C5A60S2单片机,其封装为LQFP-44。

### 2.2 串行通信模块

由于基坑支护结构应力监测系统中采集的是基坑支护结构的各种应力数据,并且这些应力数据关系到基坑运行的安全和整个基坑整体结构受力状态的合理

与否,所以对数据传输的稳定性和正确性有很高的要求。PC机串口为标准的RS-232口,根据标准规定,RS-232采用负逻辑,并且传输距离短,一般用于20m以内的通信。而对于大多数分布式控制系统,通信距离为几十米到几千米不等,因此,采用RS-485通信。MAX485接口芯片采用差分信号进行传输;最大传输距离可以达到1.2km;最大可连接32个驱动器和收发器;功耗小,驱动器摆率不受限制,传输速率高;完成TTL电平转换等功能,满足设计要求。

### 2.3 激振模块

一般单线圈振弦式传感器的固有频率范围是400~4500Hz,其输出频率随振弦传感器所受压力的变化而变化。本系统采用软件扫频激振技术<sup>[6]</sup>。具体方法是:由参数输入电路输入扫频信号频率的上限值 $f_{max}$ 和下限值 $f_{min}$ ,并设置相邻两个扫频信号频率的差值 $\Delta f$ ,将这些参数存储在单片机的片内EEPROM中。这样,输出的激振频率可控性好、速度快。

### 2.4 拾振模块

由于感应电势的频率就是振弦的固有频率,所以对振弦频率的拾取就是对线圈中感应电势的频率拾取。拾振线圈中感应电势的频率检测电路由滤波放大电路、整形变换电路两部分组成。

对整形后的信号进行等精度测频计数。等精度测频技术<sup>[7]</sup>就是使用两组计数器,其中一组计数标准频率 $F$ (由有源晶振产生)的信号计数值 $N$ ,另一组(利用处理器内部一个16位计数器)记录被测频率 $f$ 的信号计数值 $n$ 。通过软件控制两组计数器同时开始、同时结束。利用等精度测频公式 $f = nF/N$ 可准确地得到被测频率 $f$ 。

### 2.5 温度调理模块

由于传感器零件材料热膨胀系数的不同,导致了温度误差,因此须选用适当的温度补偿方法,以减少测量误差。目前,温度补偿法分为硬件补偿和软件补偿。但是硬件补偿存在一定的问题,无法实现高精度的要求,而软件补偿则很好地解决了这一问题。本系统采

用数字温度传感器 DS18B20。它具有传感器、变送器与 A/D 转换器三大功能,可直接将温度信号转换为数值信号输出。DS18B20 将得到的温度信号和其他相关信号一起输送到单片机或上位机中,通过运行补偿算法达到温度补偿的目的。

## 2.6 电源模块

由于单片机所需的供电电压为 3.5 ~ 5.5 V,本系统采用 12 V 转 5 V 的形式为整个系统提供稳定电压。该方法既简单又省电。

## 3 上位机部分

本系统是将下位机采集到的信号传输给上位机,上位机接收信号并处理分析显示,遇到情况及时报警<sup>[8]</sup>。系统采用 LabVIEW 编程语言<sup>[9]</sup>。该语言最主要的两个特点是图形化编程和数据流驱动<sup>[10]</sup>。

上位机系统主要包括以下几个方面。

### ① 用户登录界面

当登录本系统时,操作人员需要持有正确的用户名及密码,否则无法对本系统的参数做任何的修改且不能保存数据。

### ② 串口配置设置界面

该界面功能是控制程序的运行、数据的读写及通信协议等相关内容。

### ③ 监测及报警界面

该界面主要是通过监测实现报警的功能。在上位机接到数据以后,将数据与设置的基坑支护结构应力的平均值、累计值、速率等进行比较。当数据超过警戒线时,对应观测点的指示灯会闪烁并发出警报声,同时弹出对话框,显示出现风险的原因。

### ④ 数据图表显示界面

该界面功能是线性显示各监测点的数据。操作人员根据需要,可使用图表工具对图表进行放大、平移等操作,并将同一个图表中不同监测点的数据再线性地显示出来,以便操作人员同时观察不同观测点的数据变化情况,对其进行研究与分析。

### ⑤ 参数设置界面

该界面主要功能是根据选择传感器的不同设置实现数据处理的相关内容。不同基坑设置相应监测点的警戒值,对于需要平均变化速率的测点,可对其设置计算周期。当设计值有所变化时,可以更改相应的系统参数。

### ⑥ 数据回放界面

该界面功能是根据用户需要对之前保存的数据进行回放,可在数据回放历史时间内输入需要回放的数据长度。通过调节数据回放速度旋钮,可实现数据回

放速度的调节。点选回放数据点下拉列表可选择回放的数据点。在时间项中写入相应时间可实现数据的定时定点查询。点击数据回放按钮,在弹出的对话框中选择要回放的表格文件。

### ⑦ 数据查看界面

该界面主要用于系统的调试,在使用过程中观察数据缓冲区的使用情况。点击显示按钮可选择显示缓冲区。

### ⑧ 报表

该界面主要是实现对报表的选择以及相关数据的输入,点击打印按钮可打印用户所需报表。

### ⑨ 用户退出界面。

该界面能够实现用户安全退出系统,系统弹出会对话框询问用户是否确定退出程序。

## 4 结束语

本文主要研究对象是基坑支护结构应力在线实时监测。本设计克服了传统的监测方法,实现了数据的远距离传输和实时监测,并且精度高、操作方便、效率高、劳动强度小、实时性强。采集者可以通过本系统随时掌握土体和支护结构的内力变化情况,了解临近建筑物、构筑物的变形情况,由上位机对比分析和及时报警<sup>[11]</sup>。这样就能全面掌握基坑健康状况,达到信息化施工的目的,提高工程质量。

### 参考文献

- [1] 唐孟雄,陈如桂,陈伟. 深基坑工程变形控制[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [2] 邓铁六,白泰礼,马俊亭,等. 单线圈电流型振弦式传感器[J]. 传感器技术,2000,19(4):22-25.
- [3] 韩涛,廖传书. 一种基于振弦式传感器的桥梁应力监测系统的实现[P/OL]. [2009-03-18]. <http://www.paper.edu.cn/index.php/default/releasepaper/content/200903-654>.
- [4] Maki M, Nieh R, Dickie M. Field testing of out door intrusion detection sensors[C] // 36th Annual 2002 International Carnahan Conference, 2002, 10(6):171-178.
- [5] 吕国芳,李东明,刘希涛. 振弦式传感器扫频技术[J]. 自动化与仪表,2006,3(3):79-81.
- [6] 江修. 基于扫频激振技术的单线圈振弦式传感器[J]. 传感器技术,2001,20(5):22-24.
- [7] 江修,经亚枝,张焕春. 用等精度测频方法实现振弦式传感器频率测量[J]. 传感器技术,2001,20(6):53-55.
- [8] 柏林,王见,秦树人. 虚拟仪器及其在机械测试中的应用[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [9] 徐晓东,郑对元,肖武,等. LabVIEW 8.5 常用功能与编程实例精讲[M]. 北京:电子工业出版社,2009.
- [10] 汪敏生. LabVIEW 基础教程[M]. 北京:电子工业出版社,2002.
- [11] 孙凯,许正刚,刘庭金,等. 深基坑的施工监测及其数值模拟分析[J]. 岩土力学与工程学报,2004,23(2):293-298.