

Design and Application of Monitoring System for Steel Construction Safety Based on Vibrating-Wire Transducers

JIANG Yin-ping*, GU Ying-ying, YIN Jun-jie, WEI Jun-jie

(School of Electrical Engineering & Automation, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: The application in project as well as principle and characteristic of vibrating-wire micro-displacement transducers are introduced, based on the transducers, the monitoring node module is composed, and the design schemes of the distributed monitoring and early warning system of steel construction safety as well as the design scheme of the monitoring software are shown here. The monitoring and early warning system is composed of three level of networks which are centre station, sub-regional station and monitoring node module. The method of communication is RS-485 serial communication. Monitoring software is developed by the language of C# in Windows operating system, the key technique in the function modules of the software are explained in detail. The system can monitor and evaluate the safety of large-scale steel construction, it has a broad application prospects in the field of bridges, culverts, irrigation, hydropower and mining etc.

Key words: vibrating-wire transducers, monitoring and early warning system, steel construction safety, monitoring node

EEACC: 7230; 7210B

基于振弦式传感器的钢构建筑 监测预警系统的设计与应用

姜印平*, 顾营迎, 尹俊杰, 魏军介

(天津大学电气工程与自动化学院, 天津 300072)

摘要: 介绍振弦式传感器的基本工作原理、特点和工程中的应用情况, 并以其为主要传感器构建监测节点模块, 给出一种钢构建筑集散式监测预警系统设计方案和监测软件的设计方法。监测预警系统由中心站、区域子站和监测节点模块三个层次的网络构成, 通讯采用 RS485 串行方式。监测软件在 Windows 环境下用 C# 语言开发, 给出了软件各个功能模块设计的关键技术。该系统可以对大型钢构建筑的安全状况进行监测评估, 在桥梁、涵洞、水利、水电、矿山等领域具有广阔的应用前景。

关键词: 振弦式传感器, 监测预警系统, 钢构建筑安全, 监测节点

中图分类号: TP212.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2008)12-2101-05

随着我国经济建设事业的迅速发展, 各种形式的桥梁、涵洞、大坝等大型钢构建筑越来越多, 对国家经济发展的作用也越来越重要。因此保障大型钢构建筑的安全运营, 对钢构建筑安全状况进行预警和评估, 消除安全隐患具有重要的社会和经济意义。本文给出一种大型钢构建筑安全监测预警系统的设计方案, 能够对其进行长期的安全监测和预警, 便于及时发现安全隐患避免事故的发生。

传感器采用振弦式传感器, 这种传感器具有结构简单、坚固耐用、抗干扰能力强、对电缆要求低、便于远程传输、输出为频率信号便于与微机接口等特点, 广泛应用于桥梁、涵洞、水利、水电、铁道、矿山、土木建筑等领域^[1]。

监测系统由中心站、各区域子站和现场监测节点模块三个层次组成。中心站统一对各区域子站进行控制, 分布在各区域的子站, 再对其所在区域的若

干个现场监测节点模块进行控制,从而形成一个配置灵活、稳定可靠、监测范围广的集散式远程监测系统。

1 振弦式传感器的基本工作原理

1.1 理论依据

图1所示为振弦式传感器的基本工作原理示意图,传感器可等效成一个两端固定绷紧的均匀弦。图中 x 表示横向振动的平衡位置, u 表示弦作横向振动时偏离平衡位置的位移, T 表示弦受到的张力, l 表示振弦的长度^[2]。由物理学原理得横向振动方程如式(1)所示:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} &= 0 \\ u|_{x=0} &= 0 \\ u|_{x=l} &= 0 \\ u|_{t=0} &= \Phi(x) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\left. \frac{\partial u}{\partial t} \right|_{t=0} = \varphi(x)$$

式中: $a^2 = T/\rho$, ρ 为弦的线密度(即单位长度所具有的质量), t 表示时间, $\Phi(x)$ 表示弦的初位移, $\varphi(x)$ 表示弦的初速度。

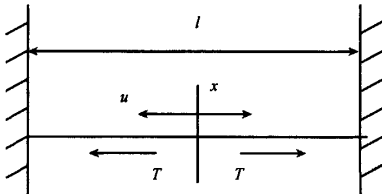


图1 振弦式传感器的等效物理模型
由分离变量法求解得可能的驻波解为

$$U_n(x,t) = (A_n \cos \frac{n\pi a t}{l} + B_n \sin \frac{n\pi a t}{l}) \sin \frac{n\pi x}{l} \quad (2)$$

式(2)中, n 为任意正整数, A_n, B_n 为定常系数。由式(2),很容易求得驻波频率 f 为:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{n\pi a}{2\pi l} = \frac{na}{2l} \quad (3)$$

由此可知,波长最长的驻波频率对应于 $n=1$,即:

$$f = \frac{a}{2l} \quad (4)$$

将 $a^2 = T/\rho$ 代入式(4)中得:

$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{\rho}} \quad (5)$$

引入 $T = \sigma s$ 和 $\sigma = E \frac{\Delta l}{l}$,则式(5)改写为:

$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{\rho}} = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{\sigma s}{\rho}} = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_v}} = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{E \Delta l}{\rho_v}} \quad (6)$$

式(6)中, s 为振弦的横截面积, ρ_v 为弦的体密度($\rho_v = \rho/s$), Δl 为振弦受张力后的长度增量, E 为振弦的弹性模量, σ 为振弦所受的应力。

当振弦式传感器确定后,振弦的质量 m ,振弦的长度 l ,弦的横截面积 s ,体密度 ρ_v 及弹性模量 E 也随之确定,所以,由于待测物理量的作用使得弦长有所变化,而弦长的变化可改变弦的固有振动频率,由于弦长的增量 Δl 与振弦的最长驻波波长的固有频率存在确定的关系,因此只要能测得弦的振动频率就可以测得待测物理量。

1.2 工作原理

振弦式传感器的频率产生机理为:当被测量变化时,通过转换元件引起振动系统等效刚度变化,从而改变振弦的固有频率,形成谐振频率随被测量变化而变化的频率特性,通过测量频率的变化,即可得知被测物理量的变化。

振弦式测量系统的设计目的是实现振弦最小驻波频率的测量。为实现这一测量功能,需要完成如下两个过程^[3,4]:①将振弦激发在振动状态;②利用振弦切割磁力线产生的感生电势来实现频率信号的传输、放大和测量。过程①称作激振过程,过程②称作拾振过程。一般振弦传感器是通过对线圈加载适当电流的方式来实现激振过程的;在激振完成之后,切断对线圈的供电,同时将线圈接入测量电路中,通过拾取线圈中的感生电动势来获得振弦的固有频率值,从而完成一次测量。

2 振弦式传感器的应用

2.1 工程应用的优势

工程应用中的环境条件一般比较恶劣,对传感器的可靠性和长期稳定性要求很高,因此一般的传感器很难达到要求。而振弦式传感器其本身的机械结构特点决定了它有很好的长期稳定性,一般频率标准的零点稳定性在每年0.025%左右。振弦式传感器的输出为频率信号,在电缆上可以传输的更稳定,这一特点使其优于其他电子传感器。另外振弦式传感器的电气部分简单与mV或4~20mA输出的传感器相比在很大程度上可免受雷电的干扰,这一点对长期在野外环境下工作的传感器很重要。

2.2 裂缝监测

由振弦式传感器制成的测裂缝计专门用于监测现有裂缝及接缝的大小。传感器移动范围由传感器内拉伸弹簧控制,拉伸弹簧与振弦串联,这样不但增加了振弦的张力而且使得大部分位移得以缓冲。长

基座的振弦位移传感器可以长达 3 m, 广泛用于监测大坝等大型混凝土浇筑施工期间的温度裂缝。可以将这些传感器安装于裂缝的起始处、施工缝等处, 以监测随机开裂的位置及程度。

2.3 锚索应力监测

根据振弦式传感器原理制成的锚索应力计主要用于对预应力桥梁、钢缆斜拉桥、水电站大坝、边坡加固等处的锚索应力监测, 其工程应用特点是量程大、准确度要求高, 并且要求性能稳定使用寿命长。一般的量程都要在几百 kN 到几千 kN, 精度要求控制在 0.5%FS 左右。

振弦式锚索应力计内部一般集成了多个振弦传感器, 使其不但可以监测锚索总的荷载量而且可以通过读取每只传感器的示数测算出不均匀或偏心荷载量。

2.4 岩性变形监测

对钢构建筑物倾斜和切变的监测可以使用振弦式内置测斜仪或测斜传感器。这些传感器的弦线用铰链接拉杆连接, 并安装在装有测斜仪套管的钻孔中, 可对钢构物基底剪切型倾斜以及混凝土结构任何的倾斜进行测量, 一般在 50 m 内可以测出 5 mm 的倾斜。

2.5 传感仪器选型的依据

振弦式传感器的技术目前日趋完善, 仪器产品的种类几乎可以满足大多数工程的需要。但是并非每一个仪器制造商都掌握了生产高品质振弦式传感器的技术, 因此我们在工程应用中应当尽量选择国内外知名厂商的产品。除此以外还应根据以下几方面的依据综合地对传感仪器进行选型。

(1) 精确性

在仪器选择时应了解仪器的测量精度是否与测量要求相适应。如果仪器的精度达不到要求, 其测量结果就会被较大的测量误差所掩盖, 达不到监测的目的。

(2) 长期稳定性

由于大型钢构建筑物一般使用设计年限很长, 因此监测仪器应当有良好的长期稳定性以满足监测要求。

(3) 环境适应性

大型钢构建筑物所处的环境一般比较复杂, 所选仪器是否具有较强的环境适应能力, 在恶劣多变的环境中能否保证既定的测量精度和长期稳定性也是我们选型的依据之一。

(4) 经济实用性

除了技术指标外, 经济指标和实用性也是很重

要的因素, 在满足技术指标的前提下可以选择较便宜的同时技术支持较好的仪器。这样既可以达到安全监测的目的又可以降低投资、减少维护费用。

3 监测预警系统架构

该监测预警系统是一个集散式分布系统, 由监测节点模块、监测子站和中心站三部分组成, 如图 2 所示。监测系统工作时中心站对各个子站和监测节点模块统一进行调度, 逐一向各个子站发送采集数据命令, 各子站接到命令后按照主站要求对其站下的节点模块进行数据采集, 并将采集到的数据临时保存在子站中, 当中心站向子站发送上传数据命令时, 子站将处理好的数据上传给中心站, 从而完成一次监测过程。

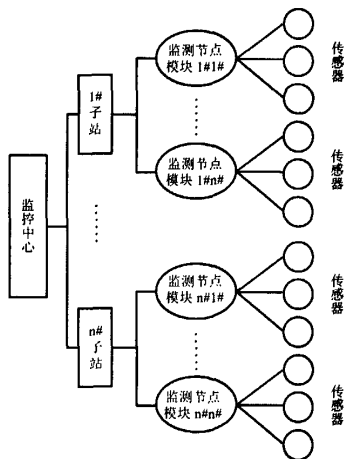


图 2 监测预警系统结构图

监测节点模块是监测系统中最小的控制单元, 由简单的外围电路配合微处理器搭建而成, 能够采集处理传感器信号并与子站进行通讯^[5]。其主要功能是按照上位机的控制命令对其所接有的传感器信号进行采集处理, 并按照指令要求回传给上位机。一个监测节点模块可以挂载多个传感器, 从而实现一个位置点监测多种物理量, 如位移、温度、湿度、风速等。

4 监测节点模块

监测节点的硬件电路由电源模块、通讯模块、单片机微处理器以及一些辅助电路组成, 如图 3 所示。考虑到监测节点模块一般都被安置在监测现场, 工作条件比较恶劣, 故其与外部电路接口处都设有防雷击电路以保障模块安全运行。模块的各个功能电路在 PIC16F877 单片机的统一调度管理下完成滤波、信号采集处理、通讯和电源管理等功能。

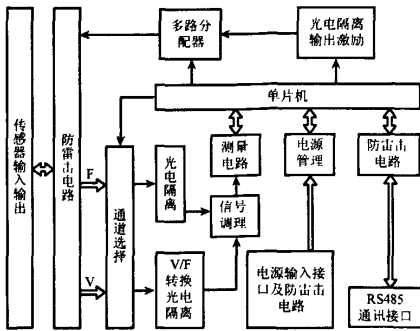


图3 监测节点模块硬件框图

在设计激振电路时,为了避免振弦被连续激振导致对振弦的寿命和精度的影响,采用了间歇激振技术,同时做了一些改进:低压激振和自适应激振。低压激振技术具有功耗小、起振可靠、对线包的电气冲击小等优点。自适应激振技术可以使张弛振荡器的频率能自动搜索并锁定被测频率,有效地保证可靠起振,并极大地抑制高次谐波的产生,确保系统能够获得高精度的测量结果。

模块中预留四路 V-F 转换通路,以便把其他类型传感器的电压信号转换成频率信号统一由测频电路完成测量。频率测量方法上引入了等精度测频技术^[6],该技术使用两组计数器,一组计数器用以记录标准频率信号(f_r)计数值(记作 N_r),一组计数器用以记录被测频率信号(f_x)的计数值(记作 N_x),通过硬件保障测量时间为被测频率信号的整周期倍,并且 N_r 的值落在 [196 608, 262 145] 区间,由测频公式(7)可得测频精度等级是确定的。等精度测量能根据被测频率值自动调整测量时间并保证全量程范围的相同测量精度。

$$f_x = \frac{N_r}{N_x} \times f_r \quad (7)$$

5 监控软件

监控软件在 Windows 平台下用 C# 语言开发,采用面向对象技术和功能模块化架构,使软件具有很强的兼容性、可扩展性和安全性^[7]。在设计上软件具有界面美观、操作简单、监控自动化、和全面的数据分析等功能。监控软件可分为操作控制模块、数据库模块、通讯模块、预警模块、数据分析等五大模块^[8-9]。其主要监控界面如图 4 所示。

5.1 操作控制模块

操作控制模块负责接收用户命令并按照用户操作对各子站和监测节点模块进行控制,设计了两种控制方式,一种是自动方式,一种是手动方式。在自动

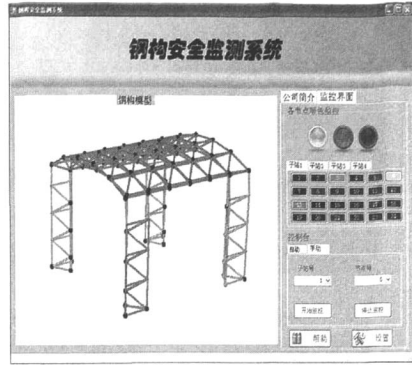


图4 监控系统软件主界面

方式下,用户不必进行任何干预,软件会自动定时对各个监测节点模块的数据进行轮询采集,并把采集上来的数据进行评估和存储。在手动方式下,用户可以有针对性地选择某个子站下的某个监测节点模块进行数据监测,这是一种单点的有针对性的监测方式。

5.2 数据库模块

数据库模块采用 Microsoft Office Access 数据库结合 ADO. Net 技术对整个系统的数据进行管理和操作。在数据库中把节点号、子站号、日期时间、位移量、温度值等属性共同作为一条记录以表的形式存储。这样一条记录就可以记录某一时刻某一监测节点的全部属性信息,便于数据的查找和分析。

5.3 预警模块

预警模块提供对钢构建筑物各个监测点的宏观监测,在监测方式上设计成颜色预警与声音警报相结合的方式。根据钢构建筑监测点位移量变化的安全技术指标将位移量的大小划分为 12 等级,安全等级由高到低分别对应 12 种预警颜色。这 12 种预警颜色安全级别由高到低分别为:深蓝、中蓝、浅蓝、淡蓝、淡黄、浅黄、中黄、深黄、淡红、浅红、中红、深红。所有的子站和监测节点都以选项卡和按钮的方式显示在颜色监控区域,如图 5 所示。

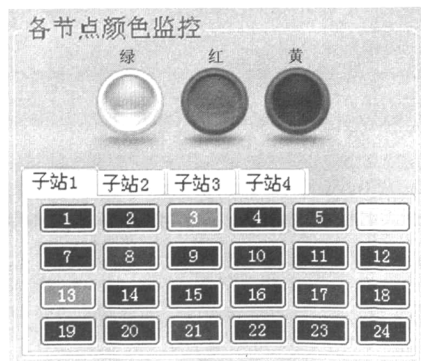


图5 节点颜色监控功能区

当中心站收到上站传来的数据后会将位移量与12级安全等级相对以确定预警颜色并控制相应的节点按钮变色,从而达到安全预警的目的。监测人员可以根据各个节点颜色的变化宏观地对整个钢构建筑安全情况进行评估,当点击相应的节点按钮时,系统会启动数据分析模块,将该节点的历史详细数据以曲线图和表格的方式显示出来。在颜色监控区域还设置了绿、黄、红三个预警灯,他们分别对应12级预警颜色的蓝区、黄区和红区。当绿灯变成黄灯或黄灯变成红灯时,会有报警提示音,表明有节点的位移量正在不断加大,存在安全隐患,要及时做出处理。通过绿、黄、红灯和12级颜色预警监控人员可以方便的对整个钢构建筑安全情况进行监测和评估。

5.4 数据分析模块

该模块可以对指定的监测节点数据进行具体分析,有曲线显示和表格显示两种分析形式,并具有打印功能。工程技术人员可以根据需要调出某段时间的节点数据,通过观察数据曲线的变化和表格中具体数据值,分析节点位移的历史变化和走势,评估钢构建筑的危险程度。

5.5 通讯模块

通讯模块是利用 VS. Net2005 提供的 SerialPort 控件配合通讯协议开发的。在该模块中依照通讯协议的规定封装了上位机与下位机的通讯命令和相关的接收转化数据的方法。当下位机发来一帧数据后,该模块会对这一帧数据进行识别,如果符合通讯协议的规定并被判定为有效数据,则模块会把帧数据分解转化为正确的数据类型,并存储到数据库。

6 结束语

本文以振弦式传感器为基础结合现代钢构建筑

安全监测的需求设计开发一套集可视化、自动化、模块化的监测预警系统并给出软件设计的关键技术。实际应用中该系统具有良好的可靠性、安全性,并能够对钢构建筑安全状况进行有效的监测评估和预警。由于该软件采用模块化设计,且最小控制单元为监测节点模块使系统具有很强的可扩展性,可以根据实际需要在监测节点模块上配置多种传感器,对多种物理量进行监测。

参考文献:

- [1] 邓铁六,王清标,胡建明,栾兆群,白泰礼,何羚. 振弦传感技术的新进展及新型锚索测力计[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(10):1769-1771.
- [2] 毛良明,王为胜,沈省三. 振弦式传感器及自动化网络测量系统在桥梁安全监测系统中的应用[J]. 传感技术学报, 2002, 1: 3-76.
- [3] 白泽生. 基于振弦式传感器测频系统的设计[J]. 现代电子技术, 2007, 13: 135-137.
- [4] Feng Yu, Naren Gupta. An Efficient Model for Improving Performance of Vibrating-Wire Instruments[J]. Measurement, 2005, 37: 278-283.
- [5] 吴卿,侯建军. 基于 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的振弦式传感器测频系统的设计与应用[J]. 北京交通大学学报, 2006, 30(5): 92-95.
- [6] 崔玉亮,邓铁六,于凤. 谐振式传感器理论及测试技术[M]. 北京:煤炭工业出版社, 1997.
- [7] 金旭亮. 编程的奥秘—NET 软件技术学习与实践[M]. 北京:电子工业出版社, 2006.
- [8] 马洪连,包旭军. 基于无线通讯的多通道振弦传感器监测系统[J]. 仪器仪表学报, 2004, 25(4): 38-240.
- [9] 贺礼红,薛梓. 高精度位移传感器动态溯源系统的软件设计[J]. 工业控制计算机, 2007, 20(11): 52-55.



姜印平(1954-),男,汉族,1980年毕业于天津大学,现为天津大学电气工程与自动化学院教授,硕士生导师,主要研究方向为自动化仪表及自动化装置,jiangyinping@tju.edu.cn



顾营迎(1984-),男,汉族,2007年于重庆大学获得工学学士学位,现为天津大学硕士研究生,主要研究方向为智能仪表及自动化检测装置, frank@tju.edu.cn

基于振弦式传感器的钢构建筑监测预警系统的设计与应用

作者: [姜印平](#), [顾营迎](#), [尹俊杰](#), [魏军介](#), [JIANG Yin-ping](#), [GU Ying-ying](#), [YIN Jun-jie](#),
[WEI Jun-jie](#)
作者单位: [天津大学电气工程与自动化学院, 天津, 300072](#)
刊名: [传感技术学报](#) 
英文刊名: [CHINESE JOURNAL OF SENSORS AND ACTUATORS](#)
年, 卷(期): 2008, 21(12)
引用次数: 0次

参考文献(9条)

1. [邓铁六](#), [王清标](#), [胡建明](#), [栾兆群](#), [白泰礼](#), [何羚](#) [振弦传感技术的新进展及新型锚索测力计](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2001(z1)
2. [毛良明](#), [王为胜](#), [沈省三](#) [振弦式传感器及自动化网络测量系统在桥梁安全监测系统中的应用](#)[期刊论文]-[传感技术学报](#) 2002(1)
3. [白泽生](#) [基于振弦式传感器测频系统的设计](#)[期刊论文]-[现代电子技术](#) 2007(13)
4. [Feng Yu](#), [Naren Gupta](#) [An Efficient Model for Improving Performanee of Vibrating-Wire Instruments](#) 2005
5. [吴卿](#), [侯建军](#) [基于 \$\mu\$ C/OS II的振弦式传感器测频系统的设计与应用](#) 2006(5)
6. [崔玉亮](#), [邓铁六](#), [于凤](#) [谐振式传感器理论及测试技术](#) 1997
7. [金旭亮](#) [编程的奥秘-- .NET软件技术学习与实践](#) 2006
8. [马洪连](#), [包旭军](#) [基于无线通讯的多通道振弦传感器监测系统](#)[期刊论文]-[仪器仪表学报](#) 2004(z3)
9. [贺礼红](#), [薛梓](#) [高精度位移传感器动态溯源系统的软件设计](#)[期刊论文]-[工业控制计算机](#) 2007(11)

相似文献(0条)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_cgjsxb200812030.aspx

下载时间: 2010年4月15日