

大体积混凝土结构长期应变监测系统

陈得民¹ 李鹏²

(1 北京必创科技有限公司 北京 100085 2 哈尔滨工业大学计算机科学与技术学院 哈尔滨 150001)

摘要:桥梁健康监测系统是近年应用于桥梁管理与维护的一项新技术,具有重要的工程价值。无线振弦传感器具有抗干扰强,精度高,传输距离远等特点,广泛应用于大体积混凝土结构中振动、应力等动态物理量监测。本文主要论述了桥梁无线应变监测系统结构、无线振弦传感器工作原理,设计了振弦传感器内部的激振电路及测频电路,以及无线通讯模块,同时给出了内部软件的设计,分析了无线振弦传感器的特性。无线的设计极大的方便了振弦传感器的使用,通过工程实际应用显示,本文设计的基于正弦传感器的桥梁无线应变监测系统稳定、质量可靠、测量数据迅速准确。

关键词:无线振弦传感器 激振电路 测频电路 应变监测系统

前言

桥梁作为一类复杂的土木结构建筑物,承受车辆、人群等荷载长期作用。研究发现桥梁混凝土结构中应与应力相关的应变会导致结构物的破坏,因此对桥梁混凝土结构应变进行监测与分析是非常必要的。

工程监测中常用电阻应变片型传感器监测动态物理量,但该类传感器抗干扰性差,温度及零漂大等特点,其技术指标难满足现场恶劣的环境中工程要求。

本文设计的无线振弦传感器是基于振弦的振动频率随钢丝张力变化而工作的,振弦传感器的主要优点是经过热处理后的钢弦其蠕变极小,零点稳定,适合于长期监测使用,在许多工程领域得到了广泛应用。

由于无线振弦传感器集成了无线数据发送模块,使得使用更加方便。无线振弦传感器主要用于大体积混凝土结构中,诸如桩、桥梁、大坝、密闭壳、隧道衬砌等的长期应变测量,利用这些传感器可对尾矿坝、土工坝体、路基、桩载荷速率、测试桩承载力、摩擦力以及坝体浸润线安全监测提供可靠的原始测试数据,如图1所示。

1 系统总体方案设计

本系统是一个典型的无线传感器网络[1],系统由三级结构组成(如图2):感知区布置的无线振弦传感器节点、数据转发网关和终端监控主机。根据工程实际环境,确定测点,将传感器节点布置在被监测区域内,构成传感网第一级;每个传感网装备一个带GPRS功能的BS909网关,通过Internet网络将数据转发到远程监控主机,此即

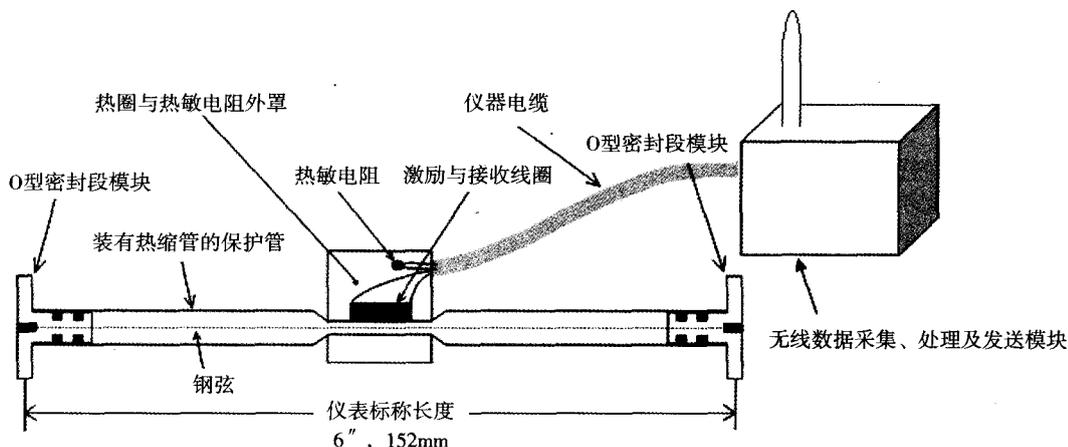


图1 无线振弦传感器

为传感网第二级；监控主机安装BeeData软件，对数据采集、显示、存储和分析，同时控制感知区的传感器节点。

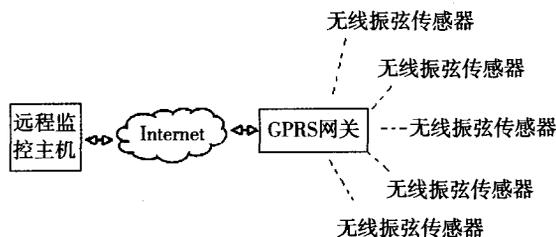


图2 系统总体结构

2 无线振弦传感器设计

2.1 无线振弦传感器工作原理[2、3]

无线振弦传感器输出的信号为频率信号，而频率信号是能获得很高测量精度的信号，适合于远距离传输，且不会降低它的精度。从结构来看，无线振弦传感器没有活动元件，所以它的工作可靠性及稳定性都非常高。传感器的敏感元件是一根张紧的金属丝，称为振弦。振弦在振动时，它的结构内部具有一定的阻尼，所以需要消耗能量，因而需要外部施加激振力。振子的阻尼越小，振动时所消耗的能量就越少，频率的选择性越好，传感器的精度越高。

在电压激励下，振弦按其固有频率振动。改变振弦的张力 F ，可以得到不同的振动频率 f ，即张力与谐振频率的平方成线性关系。

振弦传感器由定位支座、线圈、振弦及封装组成。振弦传感器可等效成一个两端固定绷紧的均匀弦。

振弦的振动频率可由以下公式确定：

$$f = \frac{l}{2l} \sqrt{\frac{T}{\rho}} = \frac{l}{2l} \sqrt{\frac{\sigma \times S}{\rho}} = \frac{l}{2l} \sqrt{\frac{E \times \Delta l}{\rho_v \times l}}$$

其中 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。

当无线振弦传感器确定以后，其振弦的质量 m ，工作段（即两固定点之间）的长度 L ，弦的横截面积 S ，体密度 ρ_v 及弹性模量 E 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 $E \times \Delta l$ 正比于应力，因此只要能测得弦的振动频率就可以测得待测物理量。

2.2 测频系统的设计

2.2.1 基本原理

无线振弦传感器工作时由激振电路驱动电磁线圈，当信号的频率和振弦的固有频率相接近时，振弦迅速达到共振状态，振动产生的感应电动势通过检测电路滤波、放大、整形送给单片机，单片机根据接收的信号，通过软件方式反馈给激振电路驱动电磁线圈。通过反馈，弦能在电磁线圈产生的变化磁场驱动下在本振频率点振动。当激振信号撤去后，弦由于惯性作用仍然振动。单片机通过测量感应电动势脉冲周期，即可测得弦的振动频率，最后将所测数据显示出来。测频原理框图如图3所示。

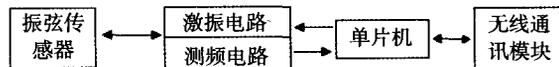


图3 测频原理框图

测量振弦振动频率前必须先给弦以足够的激励力以激发振弦起振。振弦传感器激振方式有“连续激振”、“拨弦式激振”、“扫频激振”，本文采用“扫频激振”方式。扫频激振技术[4]就是用一串连续的频率信号扫描输出，激励振弦传感器的激振线圈，当信号的频率和弦的固有频率接近时，振弦能快速达到共振状态，实现可靠起振。振弦起振后，它在线圈中产生的感应电势的频率即为振弦的固有频率。由于激振信号的频率容易用软件方便控制，所以只要知道振弦固有频率的大致范围即可，用这个频率附近的激励信号去激振，就能使振弦起振。

2.2.2 激振模块电路设计

单片机I/O口按照一定的频率（这个频率可以是传感器固有频率的初始值，也可以是上一次的测量值）产生激振信号，产生高压脉冲激励振弦，使振弦振动，激励电流流过激振线圈，激励电流产生的交变磁场激励振弦振动。激振电路如图4所示，脉冲信号经过该激振电路后产生高压脉冲激励振弦使之振动。

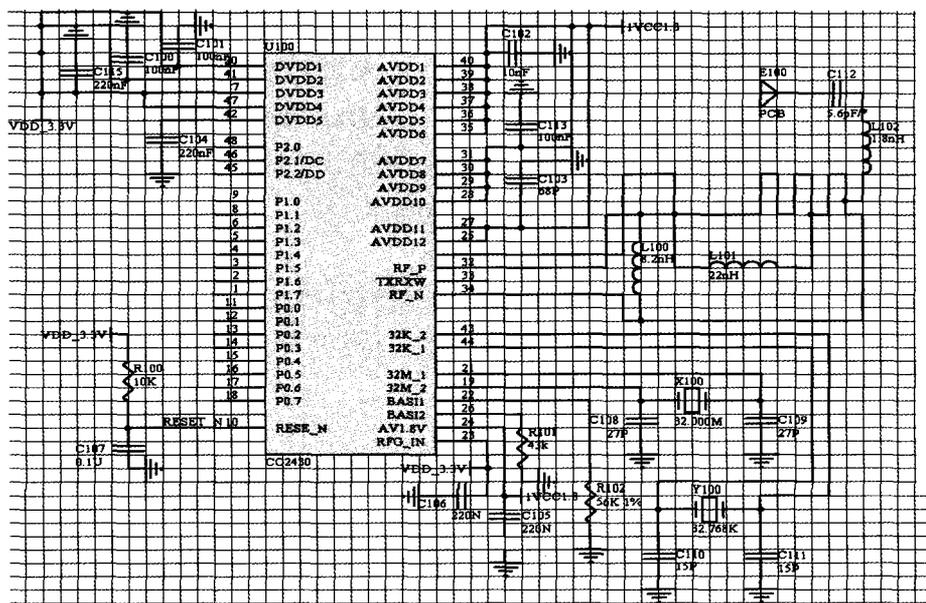


图7 无线通信模块

3 数据转发网关

数据转发网关前端集成了CC2430的无线通信模块,后端集成了GPRS功能模块和以太网接口模块。本网关将感知区的无线传感器节点数据汇聚并通过GPRS功能和以太网接口转发到Internet网,远程监控主机通过Internet对网关转发的数据进行处理并控制感知区传感器节点。

4 监测控制软件

监测控制软件对各个传感器节点采集到的数据实现实时显示、分析和存储(如图8)。传感器校准参数、通道数据、位置等信息也可以通过软件写入传感器节点内部。同时可以对网络通信质量和设备是否发生故障实施实时监控,并具有开机自检和电源监控功能。针对网络中的异常情况实时报警,利于网络的维护和管理。升级软件独创的软件空中无线升级功能,可方便地为远端的传感器节点进行内部程序升级。

5 总结

振弦式传感器可以进行测力、测压、测应变等,可对尾矿坝、土工坝体、路基、桩载荷速率、测试桩承载力、摩擦力以及坝体浸润线安全监测提供可靠的原始测试数据。

本文详细的论述了桥梁无线应变监测系统结构,阐述了振弦传感器的原理,设计了内部激振

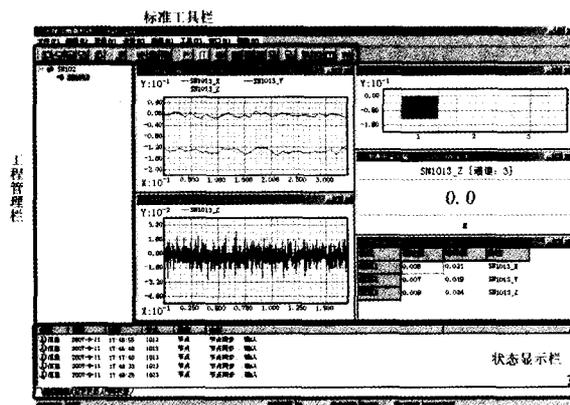


图8 监控软件显示界面

电路、测频电路及无线通讯模块,同时开发的内部软件。通过工程实际应用,本文设计的基于正弦传感器的桥梁无线应变监测系统稳定、质量可靠、测量数据迅速准确。

参考文献

- [1] 孙利民, 李建中. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [2] 张心斌, 宝己强, 张莉. 振弦式应变传感器特性研究[J]. 传感器世界, 2003, 9(8):19-21.
- [3] 张莉. 振弦式应变传感器特性研究[J]. 煤, 2004, 13(5):3-5.
- [4] 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.
- [5] 江修, 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.
- [6] 陈得民. CC2430与DS18B20的粮库温度传感器网络设计 2009 12 (21): 125-128.