

振弦式传感器在矿山边坡应力监控系统的应用^①

任晓奎, 江海朋, 侯洪涛

(辽宁工程技术大学 电子与信息工程学院, 葫芦岛 125105)

摘要: 为了实现对边坡应力的监控, 确保露天煤矿生产的安全, 通过对振弦式传感器的理论研究和分析, 研制了一款以其为核心的边坡无线远程监控系统。首先叙述了振弦式传感器的工作原理, 然后对分节点应力采集与数据传输部分的硬件、测频的关键技术以及软件部分进行设计, 最后提出测周法计频实验。实际应用表明: 振弦式传感器在边坡无线远程监控系统应用中具有感应灵敏、硬件电路可靠、激振高效、价格低廉、连续快速检测等特点, 对矿用相关产品的研发具有重要价值, 拥有广阔的应用前景。

关键词: 振弦式传感器; 测频; 电路设计; 监控系统;

Application of String Vibration Sensor to Monitoring System of mine Slope Stress

REN Xiao-Kui, JIANG Hai-Peng, HOU Hong-Tao

(School of Electrics and Information Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China)

Abstract: To realize the monitoring of the slope stress, ensure the safety of strip mine production, based on the theory of vibration string sensor research and analysis, this paper developed a model for its the core of the slope wireless remote monitoring system. First, it describes the vibration string sensor principle, then to points node stress acquisition and data transmission part of the hardware, the key technology of frequency measurement and software design, and finally put forward part Measurement cycle method frequency experiment measured. The practical application showed that in the slope sensor vibration string application of wireless remote monitoring system with induction sensitive, hardware circuit reliable, excitation efficient, price cheap, fast detection feature, and the mining related product development is of important value, have broad application prospects.

Key words: string vibration sensor; frequency measurement; design of circuit; monitoring system;

1 引言

振弦式传感器具有结构简单、精度高、长期稳定性好等众多优点。振弦式传感器输出为频率信号,而频率信号是能获得很高测量精度的信号,并且长距离传输也不会降低其精度,便于与微机接口,有较强的抗干扰能力^[1]。因此,在大坝、桥梁、地铁、煤矿、基坑等工程安全监测中被广泛地用于应力应变、变形、渗流、液位、温度等自动化测量。边坡应力无线远程监控系统采用分布式节点轮询的控制结构,各分节点通过振弦式传感器采集数据,将数据通过 GSM 网络以短信的形式传输到中心监控软件。中心监控软件通过轮

流查询的方式定时或手动监测分节点数据和曲线变化,并预测报警。

2 矿山边坡应力监控系统设计

此系统的结构设计图如图 1 所示。以节点 1 为例,系统的工作流程:中心监控软件定时或手动查询分节点 1,分节点 1 采集振弦式传感器的数据,以短信的形式通过 GSM 网络传送到中心监控系统,中心监控系统监测数据和曲线,进行滑坡预警。

① 分节点(分节点应力采集与传输控制)设计:此部分包括下位机硬件的设计和软件的设计,主要完

① 收稿时间:2011-05-18;收到修改稿时间:2011-06-18

成振弦式荷载传感器频率值的采集,以及把频率值以短信的形式发送给中心监控软件,中心监控软件将频率值转换为应力值进行存储与显示。

② 通信协议设计与 AT 指令介绍:此部分主要是系统的通信协议以及 AT 指令的使用介绍。

③ 中心监控软件设计:此部分工作在 PC 机的应用层,应用 VC++ 6.0 开发上位机软件,主要完成如下功能:

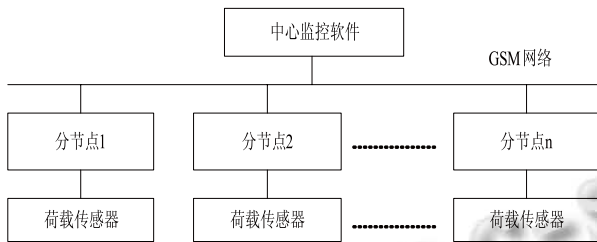


图 1 边坡应力监控系统结构设计图

a) MC35i 短信模块的控制:包括 VC 使 AT 指令控制 MC35i 收发短信,以及短信模块参数的设置。

b) 数据库的存储与读取:使用 ADO 对象连接 SQL SERVER2000 数据库,以及用 SELECT 语句选择性的读取数据库。

c) 图形图像的描绘与显示:采用内存画图,防止图片闪烁。

3 振弦式荷载传感器的基本工作原理

振弦式传感器由定位支座、线圈、振弦及封装组成。振弦式传感器可等效成一个两端固定绷紧的均匀弦,如图 2 所示^[2]。

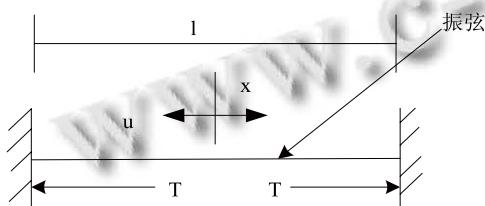


图 2 振弦式传感器物理模型

振弦的振动频率可由以下公式确定:

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

式(1)中, s 为振弦的横截面积, ρ 为弦的体密度, ρ_v 为弦的体密度, σ 为振弦所受应力, Δl 为振弦受张力后的长度增量, E 为振弦的弹性模量。

量, σ 为振弦所受应力。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^[3]。而弦长的增量 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。

4 基于振弦式荷载传感器的硬件电路设计

4.1 振弦式传感器激励电路

此部分设计电路主要完成直流信号的逆变变压、倍压,图 3 为变压、整流、前置选通电路的工作电路。变压、整流、前置选通电路的工作原理:整流,经过选通后激励振弦式传感器。本文采用的为控制芯片是 AT89S52,首先微控制芯片 AT89S52 产生一定频率的方波,经逆变变压器放大,倍压整流后为 300V 的直流信号,通过选通通道激励振弦式传感器,使其谐振后传出应力值的频率信号。

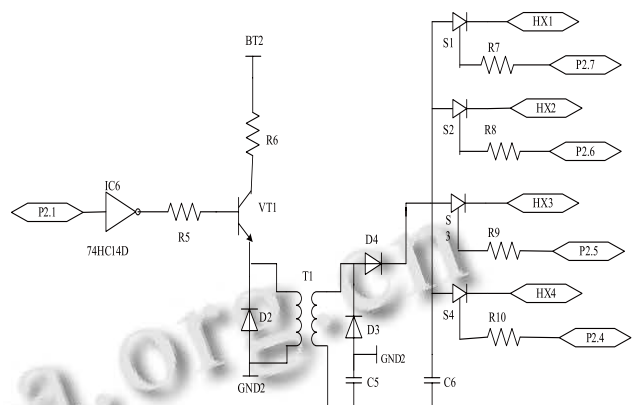


图 3 变压、整流、前置选通电路

通过实验可以确定频率值为 38KHz 的变压效果最好,变压后正弦交流信号的幅值为 150V。

本分节点电路设计选用 K08 可控硅芯片,其温度工作范围为 $-40^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$,符合设计电路的环境温度标准,由于系统选择的振弦式传感器是 3 弦的,所以要用单片机的引脚分时地对三根弦激励。

4.2 前置放大电路设计

前置放大电路主要完成振弦式传感器采集信号的放大,振弦式传感器激励后输出的信号为 1-2mV,前置放大电路放大 100 倍。根据系统工作环境以及功耗要求选择 LM2902 运算放大器,此系统工作需要满足

耐低温、低功耗以及较高的精度等条件的要求。LM2902 完全满足此设计系统的要求，故选择 LM2902

为本硬件设计的运放芯片。前置放大电路如图 4 所示：

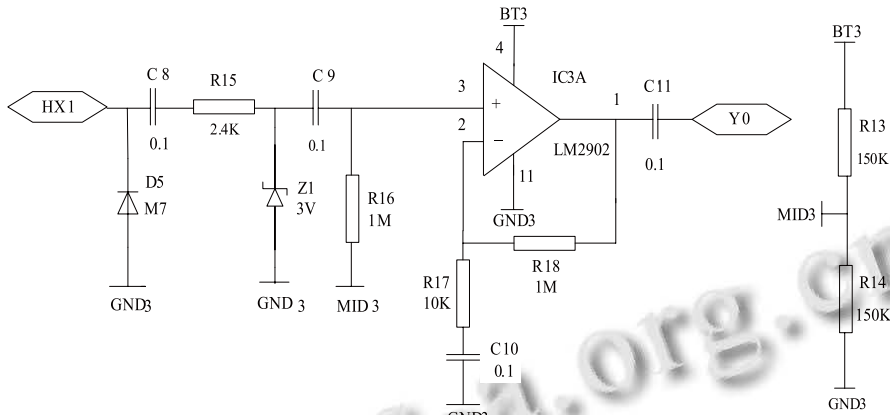


图 4 放大电路

4.3 后置选通电路

此部分设计电路主要完成激励信号前置放大后的选通，因为本设计系统选用 JXL-3 型振弦式传感器(三弦)。在上面介绍的前置选通电路中分时选通三根弦，这里后置选通电路也要分时选通，所以选通后的信号才可以有效的送入单片机 AT89S52 计量频率，因此本设计系统选用 HCF4052。HCF4052 是双 4 通道的模拟选择器/分配器，即可作为从 4 路的输入信号中选择一路作为输出的选择器，也可作为将一路输入信号分配到 4 路输出通道中的一路输出的分配器，通道之间是双向的。

4.3.1 HCF4052 选通电路的工作原理

以第一根弦为例，当 K08 选通激励第一根弦后，控制脚由 P2.3 和 P2.4 设置为 00，Y0 通道选通，第一根弦的信号会经过后续电路处理，最终 AT89S52 会读出第一根弦的频率值；第二根弦选通，控制引脚设置为 01；第三根弦选通，控制引脚设置为 10。

4.4 滤波、二级放大电路设计

滤波、二级放大电路主要完成干扰信号的滤除，然后将信号送 T2 计数器，振弦式传感器采集脉冲信号的提取以及放大采集信号为微控制芯片 AT89S52 的可计频的方波信号。滤波、二级放大电路如图 5 所示。

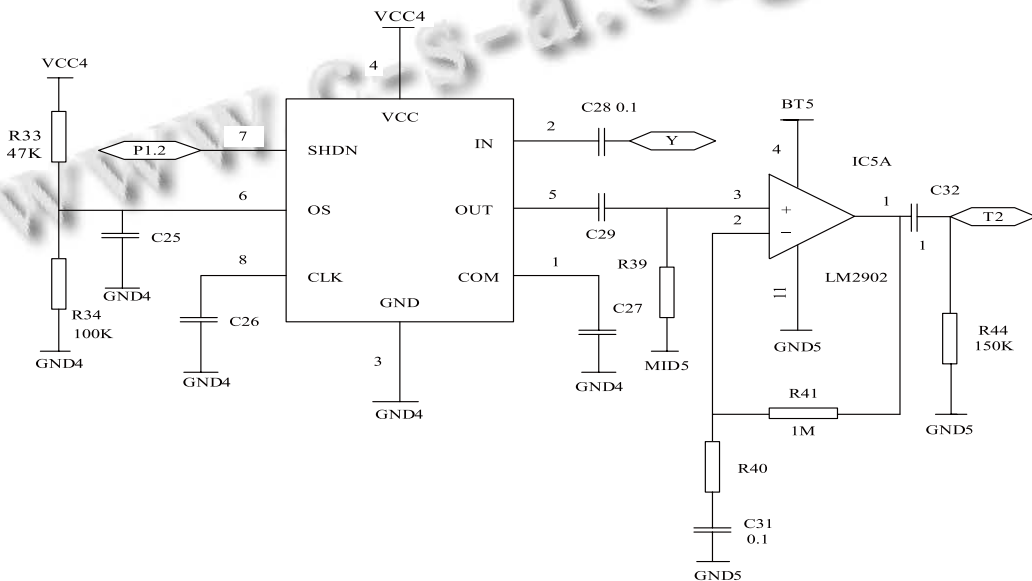


图 5 滤波放大电路

由于系统工作时会有热噪声干扰和杂波干扰^[4], 这里为了消除干扰, 选用开关滤波 MAX7400 低通滤波器。

5 计频程序的设计

首先初始化计数寄存器 (T2) 与定时寄存器初值 (T0)。定时 0.5s, 然后单片机对采集信号判断, 是否检测到 3 个采集信号周期, 如果检测到 3 个采集信号, 采用测周法计频, 这里测量 50 个周期, 测定出 50 个周期的时间, 再减去干扰的指令周期时间, 由公式(2)计算出频率值^[5]。

$$f = \frac{(50/12) \times (TH0 \times 256 + TL0 - 13)}{11.0592 \times 10^6} \quad (2)$$

测周法在测量上精度很高, 计频程序流程图如图 6 所示:

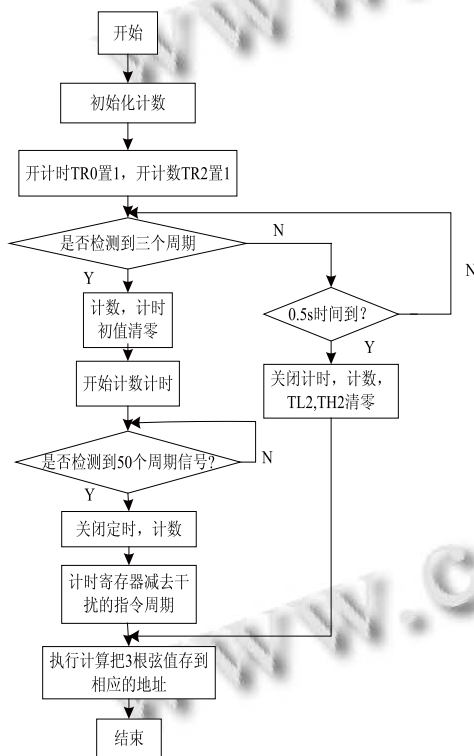


图 6 计频程序流程图

6 测周法计频实验

此实验在内蒙平庄西露天煤矿边坡工作帮进行。此实验的目的是验证此系统测周法计频的准确程度。实验用具: 分节点数据采集传输电路板, SS-2 型振弦式频率接收仪, 丹东虬龙有限公司的 JXL-3 振弦式荷载传感器, 手机一部, SIM 卡两张^[6]。

1) 首先将 SS-2 型振弦式频率接收仪接到工作帮的 JXL-3 荷载传感器上, 分别测量三根振弦的频率, 取三根弦的频率平均值。

2) 将 SIM 卡插到分节点数据采集传输电路板上的 SIM 卡槽, 然后将 JXL-3 荷载传感器接到电路板上的接口, 手机向目标号码发送协议短息, 电路板接收到协议内容时就会分别测量三根振弦的频率, 然后将三个振弦的频率值以短信的形式发送给测量的手机上, 取三根弦的频率平均值。

针对不同应力情况, 共测量 30 组数据, 将本系统的测量数据和 SS-2 型振弦式频率接收仪接收的数据进行对比。由于篇幅原因, 这里只取 6 组频率平均值数据进行对比, 如表 1 所示。

表 1 频率平均值对比

测试次数	振弦式频率接收仪 (Hz)	本测试系统 (Hz)
1	2200	2200
2	1650	1650
3	1865	1866
4	1724	1724
5	1612	1613
6	1845	1845

实验结果表明: SS-2 型振弦式频率接收仪与本测试系统 (采用测周法测量) 的分辨率都为 1Hz, 差值在 1Hz 之内, 差值率很小^[7]。可见本测试系统的测量的分辨率和准确度是比较高的。

7 结语

本文以振弦式荷载传感器为基础, 开拓了其在边坡应力无线远程监控系统实际中的应用, 验证了该系统具有良好的可靠性、安全性, 能对边坡应力变化做出准确预警, 从而减少了边坡滑坡的危害。并取得了良好的经济效益, 由于振弦式传感器适合现场恶劣的环境, 故其拥有更广阔的发展前景^[8]。

参考文献

1 潘研,王茜.基于振弦式传感器的测频系统设计.仪表技术与传感器,2008,(11):99-100.

(下转第 186 页)

where ID = 参数 2”

我们可以先把那些重复部分进行词法语法分析并预编译生产一个中间虚拟机代码，并以缓存的形式在内存中保存，当执行某个具体操作时，接收变量绕过词法分析语法分析过程生成完整的虚拟机代码。修改后的 UPDATE 如图 5 所示。从图中可以看出，我们把 UPDATE 操作直接编写成为一个接口函数，在执行时，它首先从缓冲区中调用生成好的中间虚拟机代码，结合用户传递来的参数，生成完整的虚拟机代码并执行 SQL 操作。

SQL 语句重复部分预编译生成好的中间虚拟机代码以文件的形式在磁盘中保存，当 SQLite 读取到有类似操作时，从磁盘中加载中间虚拟机代码文件，并组织成一定的数据结构保存在内存缓存区的树状结构中，并结合变量形成完整的虚拟机代码以便执行。当再次需要同类中间虚拟机代码时，不必反复加载，在缓冲区中查找即可命中，就可以从缓冲区内直接调用，以提升总体性能。

4 测试结果

通过对多表多字段查询(案例 A); 查询并使用 avg (案例 B)、count 等计算函数(案例 C); 两表连接查询(案例 D); 嵌套查询(案例 E); 查询并排序(案例 F) 这 6 种不同类型的查询多次操作取均值进行对比，结果如图 6 所示，不难发现使用 SQL 缓冲的系统明显比旧系统的性能提高了 10% 以上，说明通过 SQL 语句高速缓冲的实现 SQLite 的性能有显著效果。

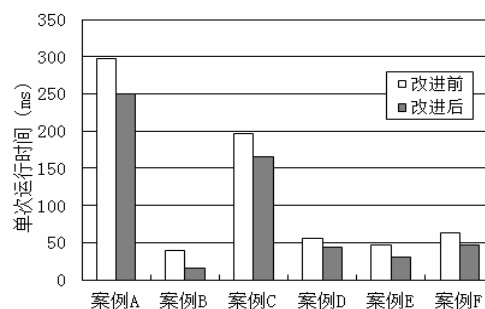


图 6 改进前后性能对比

5 总结与展望

本文通过对 SQLite 添加高速缓冲处理，减少 SQL 语句执行时的 CPU 消耗来提升 SQLite 的性能，取得了明显效果。为了进一步的提升 SQLite 的性能，在未来的研究中可以把 SQLite 高速缓冲技术与 SQLite 的事务处理过程结合，同时减少 CPU 消耗和 I/O 读写消耗，从而达到性能上更大的提升，完善整个系统，使之简单、易用、高效，能在工业领域有所应用。

参考文献

- 1 黄德才. 数据库原理及其应用. 第 3 版. 北京: 科学出版社, 2010.
- 2 SQLite 官方网站. Database Speed Comparison. <http://www.sqlite.org/speed.html>.
- 3 刘婷婷, 黄林春. 一种降低 SQLite 擦写 Flash 频率的方法. 计算机工程, 2010, 36(15).
- 4 Owens M. The Definitive Guide to SQLite. Apress, 2006.

(上接第 197 页)

- 2 邓铁六, 白泰礼, 马俊亭, 等. 单线圈电流型振弦式传感器. 传感器技术, 2000, 19(4): 22-25.
- 3 黄贤武, 郑筱霞. 传感器原理与应用. 成都: 电子科技大学出版社, 1999. 233-236.
- 4 高友. 振弦式传感器测量过程中干扰问题的解决. 仪器仪表与传感器, 2007, (2): 55.
- 5 白泽生. 一种基于振弦式传感器测频方法实现. 传感器与微

系统, 2007, 26(8): 81-83.

- 6 江修, 经亚枝, 詹焕春. 基于扫频激励技术的振弦式传感器. 传感器技术, 2001, 20(5): 22-24.
- 7 白泰礼, 邓铁六, 谢军, 等. 振弦式传感器的精确数学模型及其在岩石力学与工程学报, 2005, 24(2): 693-697.
- 8 白泰礼, 何羚, 王彩云, 等. 基于振弦式传感器的多功能智能检测仪. 传感器技术, 2004, 23(3): 60-62.