

## 矿用本安型振动传感器的研制

杨健健<sup>1</sup> 薛光辉<sup>1</sup> 赵国瑞<sup>1</sup> 吴思遥<sup>2</sup> 吴 淼<sup>1</sup>

(1. 中国矿业大学(北京)机电与信息工程学院, 北京 100083; 2. 哈尔滨工业大学 航天学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘 要:** 针对目前煤矿井下设备振动加速度信号获取困难的问题,研究了矿用本安型振动传感器的研制方法,选用内装集成电路放大器 IC 的振动加速度传感器,通过矿用阻燃电缆连接信号调理模块,由 21 V 本安电源为信号调理模块供电,设计信号调理板的本安供电调理模块,为振动加速度传感器供电,并实现振动信号的调理功能。该仪器在本安试验中测得的本安参数分别为:本安电压 DC21 V,本安电流 65 mA,本安电容和本安电感均为 0。通过对标准振动信号(频率 159.2 Hz)进行采集测试,结果表明,该矿用本安型振动传感器研制方案可行。

**关键词:** 煤矿井下; 本安型设备; 测振; 振动传感器; 调理电路

**中图分类号:** TH825 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2013)02-0071-04

### Research and Development on Mine Intrinsic Safe Mode Vibration Sensor

YANG Jian-jian<sup>1</sup>, XUE Guang-hui<sup>1</sup>, ZHAO Guo-rui<sup>1</sup>, WU Si-yao<sup>2</sup>, WU Miao<sup>1</sup>

(1. School of Electromechanical and Information Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China;

2. School of Astronautics, Harbin Institute of Technology (Harbin), 150001, China)

**Abstract:** According to the difficulty problem to get the vibration acceleration singles in present underground mine, the research and development method of the mine intrinsic safe mode vibration sensor was studied. The vibration acceleration sensor with the built-in integrated circuit amplifier IC was applied. With the mine fire resistance electric cable connected with the signal control module, a 21 V intrinsic safe electric power was applied to supply the power to the signal control module. The intrinsic safe power supply control module for the design of the signal control board was applied to supply the power for the vibration acceleration sensor and could have the control function of the vibration single. The intrinsic safe parameters measured by the instrument were the intrinsic voltage of DC21 V, the intrinsic current of 65 mA, the intrinsic capacitance and the intrinsic inductance is zero individually. The collection and measurement were conducted on the standard vibration signals (frequency 159.2 Hz). The results showed that the research and development program of the mine intrinsic safe mode vibration sensor was feasible.

**Key words:** underground mine; intrinsic safe mode equipment; vibration measurement; vibration sensor; circuit maintenance

## 0 引 言

振动监测是设备性能监测手段之一,但由于缺少可以直接在煤矿井下使用的振动加速度传感器,振动监测很难在井下开展,煤矿井下设备的状态监测和故障诊断多停留在电气类和液压类故障的简单监测和阈值报警阶段,基于振动监测的很多重要研究,如采煤机的煤岩界面识别、载荷谱识别等都无法开展<sup>[1]</sup>,因此,笔者对矿用本安型振动传感器的研制方法展开研究。煤矿井下多为潮湿、含瓦斯、多粉

尘的环境,其环境特点要求所有用于煤矿井下的设备必须符合现行国家标准、行业标准和矿山安全有关规定,满足安全生产要求<sup>[2]</sup>。

## 1 矿用本安型振动传感器设计要求

1) 矿用本安型振动传感器电子电路设计必须保证在规定条件(包括正常工作和规定的故障条件)下产生的任何电火花或任何热效应均不能点燃规定的爆炸性气体。为达到上述目标,在 GB 3836—2000 中,对使用的电子元器件、电路的电压

收稿日期: 2012-07-07; 责任编辑: 赵 瑞

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)重点资助项目(2008AA062201)

作者简介: 杨健健(1988—),男,山东济宁人,博士研究生。Tel: 13426073846; E-mail: yangjiannedved@163.com

引用格式: 杨健健,薛光辉,赵国瑞,等. 矿用本安型振动传感器的研制[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(2): 71-74.

电流、内部电容、外部电感、电气间隙、电子电路外部防护等方面做了严格的规定,并有专业机构负责上述指标的技术审查并出具审查报告。

2) 信号检测和传输电路的设计应在使用性能、电磁兼容性、可靠性、外观和结构上符合 MT 209—1990《煤矿通信、检测、控制用电子电子产品通用技术条件》和 MT 210—1990《煤矿通信、检测、控制用电子电子产品基本试验方法》的要求<sup>[3]</sup>。

3) 电路板须加防护外壳,其防护外壳设计要根据煤矿井下环境选用相应防护等级的材料,并通过 GB 4208—2008 中规定的试验验证防护外壳的可靠性。仪器整体设计过程中还要考虑电子电子产品环境试验相关标准 GB/T 2423.1—2008 ~ GB/T 2423.4—2008 的要求,最终使其能够正常、安全地工作在煤矿井下环境中。

整体设计完成后要送安标国家矿用产品安全标志中心进行检测,检测合格并取得相应的安全标志证书后方能在井下使用。

## 2 本质安全型振动传感器总体设计

矿用本质安全型振动传感器是以现有振动加速度传感器为基础,按照本质安全设计的要求对传感器转换信号的传输、调理和传感器的防护、供电以及接口等重新设计,使其达到现行国家标准、行业标准和矿山安全有关规定的要求<sup>[3]</sup>。

### 2.1 振动加速度传感器选型

振动加速度传感器选择 HK9141 电压输出型压电加速度传感器,其内装集成电路放大器 IC,将传统的压电加速度传感器与电荷放大器集于一体,能直接与记录和显示仪器连接,有效简化测试系统,提高测量精度和可靠性,其突出特点如下:低阻抗输出,抗干扰,噪声小;性价比高,安装方便,尤其适于多点测量;稳定可靠,抗潮湿,抗粉尘,抗有害气体。振动加速度传感器安装方式有磁座安装或螺纹安装 2 种, HK9141 电压输出型压电加速度传感器关键参数如下:

线性 / %	≤1
灵敏度 / (mV · ms <sup>-2</sup> )	5
测量范围 / kHz	1 ~ 10
横向灵敏度 / %	≤3
输出偏压 / V	8 ~ 12
恒定电流 / mA	2 ~ 20 典型值为 4
激励电压 / V	18 ~ 30

温度范围 / °C

-40 ~ 120

### 2.2 信号传输设计

振动加速度传感器信号传输电缆选用 MHYVRP 型矿用阻燃电缆,此电缆可保证在 -30 ~ 60 °C 的环境条件下,通信电缆的机械和电气性能均保持不变。同时由于采用全色谱绝缘,铝塑综合护套(即电缆的纵包屏蔽铝带与护套黏结成一体,形成密封护层),保证了井下信号传输的可靠性和使用安全,符合 MT 209—1990《煤矿通信、检测、控制用电子电子产品通用技术条件》要求<sup>[4]</sup>。

如图 1 所示 2 路铜导体中一路为信号传输线,另一路为传感器供电,2 路均由绝缘层包裹,既保证了信号不受干扰,也保证了供电的稳定性。

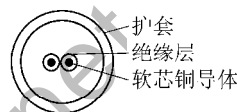


图 1 信号传输电缆结构示意图

### 2.3 振动信号调理板设计

1) 传感器激励电路原理设计。由传感器的关键参数可知,其正常工作时需要外加 18 ~ 30 V 的直流激励电压和 2 ~ 20 mA 的恒定激励电流,因此在调理板中设计了传感器激励电路,如图 2 所示。

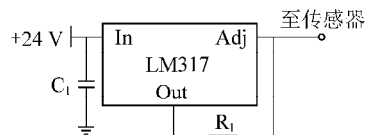


图 2 传感器激励电路原理

激励电路选用输出电压可变的 LM317 型集成三端稳压块组成传感器激励电路。LM317 输出电压为 1.25 ~ 37.00 V,输出电流可超过 1.5 A,最小负载电流为 3.5 mA,具有 0.1% 的输入和负载调节率,同时具有限流、热断开等保护功能。该稳压块有 3 个引脚,分别是调整端、输出端和输入端。输出端和调整端之间电压是非常稳定的电压,其值为 1.25 V。传感器激励电路利用电源模块输出的 DC21/24 V 作为 LM317 的输入电压,图 2 中电容  $C_1 = 0.1 \mu\text{F}$  为集成稳压块电源端的去耦电容,其作用是为了消除各电路因使用同一个电源相互之间产生的干扰和影响。数字电路中典型的去耦电容为  $0.1 \mu\text{F}$ 。因为  $0.1 \mu\text{F}$  的去耦电容有  $5 \mu\text{H}$  的分布电感,其并行共振频率约为 7 MHz,因此对于 10 MHz 以下的噪声有很好的去耦效果。

根据最小负载电流 (3.5 mA) 可以计算出图 2 中泄放电阻  $R_1$  的最大值为  $357 \Omega$ , 实际取值一般略小于最大值。此传感器激励电路中取  $R_1 = 330 \Omega$ , 利用输出端与调整端 1.25 V 的恒定压差, 产生 3.79 mA 的恒定输出电流为传感器提供激励。

2) 振动信号调理电路原理设计。传感器输出的信号, 一部分是振动加速度信号经传感器转换而成的电信号, 另一部分则是供电系统调制中的直流分量。因此, 首先要滤掉信号中的直流成分, 消除其对有用信号的影响。在调理电路中可利用一个隔直电容实现上述功能。同时, 由于加速度传感器输出阻抗较小, 为了与后级滤波电路实现阻抗匹配需要外加阻抗变换电路, 因此设计完成了隔直与阻抗变换电路, 如图 3 所示。

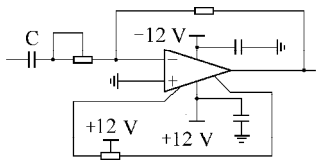


图3 信号调理板电路原理

信号调理板电路原理具备信号放大和隔直滤波的双重功能, 其中滤波器为典型的高通滤波器, 通过主路电容  $C$  ( $10 \mu\text{F}$ ) 和 OP07C 集成运放实现振动加速度信号的滤波放大功能。最终设计完成的单路振动信号供电及调理电路如图 4 所示。

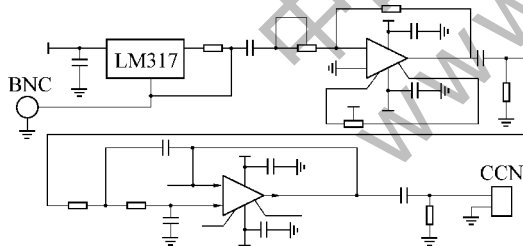


图4 单路振动信号调理电路

3) 振动信号调理板供电设计。由传感器激励电路可知, 调理板需要为其提供 21 V 的电压, 又考虑到煤矿井下的环境要求, 选用 KDW0.1/660 输出本质安全型电源为其供电, 其额定输出电压为 21 V, 额定输出电流为 0.4 A, 满足设计需求。该电源已取得防爆合格证, 可经电源线或电缆向工作在具有爆炸性气体环境场所的用电设备提供本质安全型输出电源。信号调理板中的集成运放元件 OP07C 在放大和滤波电路中均起到主要作用, 其所需的标准电压为  $\pm 5 \text{ V}$ , 若通过普通的 DC-DC 元件, 其内部的等效电容较大, 超过  $40 \mu\text{F}$ , 供电电压为 21 V,

所以根据 GB 3836—2000 中对矿用电子电路设计的要求, 不符合本安设计要求, 选用 MAX1681 实现调理电路所需的标准  $\pm 5 \text{ V}$  电压供给。设计电路如图 5 所示。

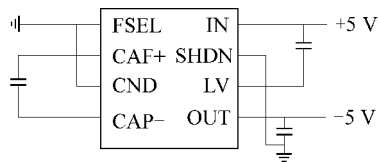


图5 电源调理原理

4) 多路振动信号调理板设计。为方便多路振动信号的采集和调理, 每个信号调理板上集成了 4 路调理电路, 如需更多的振动传感器, 相应增加调理板数量即可。

#### 2.4 信号调理板防护外壳及接口设计

根据本安设计的要求, 信号调理板必须做特殊防护处理, 电路板表面需进行胶封, 同时所有的输入输出接口都必须防水且不暴露在煤矿井下环境中。为此, 特采用 ABS 工程塑料设计了一个防水外壳, 将胶封后的调理板放入此外壳中。

外壳分上下壳体 2 部分, 上壳体设计有凹槽, 凹槽中加装密封圈, 可充分保证整体的防水性。壳体上共设计 6 个输入输出接口, 如图 6 所示。其中, 并列的 4 个接口为振动传感器信号输入接口, 另外 2 个为信号输出接口和电源接口, 所有接口均采用专用防水接头。设计完成的矿用本安型振动加速度传感器整体结构如图 7 所示。

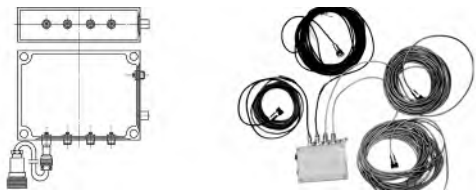


图6 防护外壳接口 图7 矿用本安型振动加速度传感器

### 3 试验验证

为验证此传感器的正确性, 采用振动校正器和数字示波器搭建了一套测试平台, 测试平台结构由本安电源、振动校正器、本安型振动加速度传感器、数字示波器等组成。振动校正器采用 4294 Calibration Exciter, 其关键参数为: 激振频率 ( $159.15 \pm 0.02\%$ ) Hz, 加速度 ( $10 \pm 3\%$ )  $\text{m/s}^2$ , 速度 ( $10 \pm 3\%$ )  $\text{mm/s}$ 。

振动校正器激发标准振动信号, 通过振动加速度传感器拾取振动信号, 经传输线至本安信号调理

板, 调理后的振动信号通过数字示波器显示。根据数字示波器拾取的4路振动信号得到的振动信号特征参数通过数字示波器显示并测量, 4路振动信号的频率分别为158.3、158.7、158.7和158.7 Hz, 电压峰峰值分别为300、300、303、300 mV。

4294型振动校正器产生频率为159.2 Hz的振动信号, 通过本安型振动传感器后, 用数字示波器测量出的振动信号振动频率为158.7 Hz, 误差为0.3%, 在允许误差范围内。根据对比激振信号, 得到该矿用本安型振动传感器的性能参数如下: 灵敏度 $5 \text{ mV/ms}^2$ , 放大比例1:3(可调), 测量频率1~10 kHz, 测量加速度0~50(可调)  $\text{m/s}^2$ , 输出电压 $-5 \sim +5 \text{ V}$ , 激励电压18~30 V。

## 4 结 语

基于井下设备故障诊断的迫切需求和井下生产环境的特殊要求, 研制了一种矿用本安型振动传感器, 并设计了测试平台, 验证了其正确性。此传感器已经通过煤矿安全认证, 获得了国家安全生产抚顺

矿用设备检测检验中心颁发的防爆合格证, 证书编号为1114640 G, 可直接应用于井下设备的振动测试, 解决了基于振动信号的设备故障诊断研究数据获取问题, 同时也为基于振动的其他相关研究提供了参考。

### 参考文献:

- [1] 吴 森. 现代工程信号处理及应用[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1997.
- [2] 吕俊芳, 钱 政, 袁 梅. 传感器调理电路设计理论及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010.
- [3] 张晓鹏. 矿用重型采掘装备振动传感器优化配置方法[J]. 煤矿机械, 2011, 32(3): 173-175.
- [4] 吴子燕, 简晓红, 闫云聚. 振动测试中多目标传感器优化配置研究[J]. 机械强度, 2008(6): 888-892.
- [5] 赵国瑞, 薛光辉, 苏明辉, 等. 香蕉型振动筛故障诊断实验平台的搭建[J]. 矿山机械, 2008, 36(5): 98-100.
- [6] 薛光辉, 吴 森. 矿用便携式数据记录仪的研究[J]. 煤炭科学技术, 2004, 32(5): 16-19.
- [7] 诸邦田. 电子线路抗干扰技术手册[K]. 北京: 北京科学技术出版社, 1988.

(上接第27页)

由图7可知, 高应力区出现于工作面上端头, 并非整个实体煤岩柱下, 随着工作面推进长度的增加, 高应力区范围和应力峰值发生改变, 当工作面推至80 m时, 应力峰值将不再增加而保持30 MPa不变。随着工作面向前推进, 高应力区向前发展, 受高应力作用的煤岩体逐渐进入塑性状态, 产生塑性变形的煤岩体由于采掘时应力解除而破坏, 出现片帮漏顶现象。从数值模拟结果来看, 能够很好地与现场实际情况相吻合。

## 4 结 论

1) 实测表明, 工作面片帮漏顶现象和支架高阻力区集中于工作面中上部42—91号支架区域。

2) 7<sub>1</sub>31工作面中上部区域顶板存有大面积实体煤岩柱, 在实体煤岩柱下采掘会出现应力集中现象, 应力增高区仅现于工作面上端, 并非整个实体煤岩柱下。随着7<sub>1</sub>31工作面逐步向前推进, 应力增高区范围减少, 应力峰值增加, 应力分布逐渐向回风巷发展。当工作面推进至80 m处, 应力峰值不再增加而保持30 MPa不变。

3) 高应力区煤岩体产生塑性变形, 当周围应力

解除时煤岩体发生破坏, 出现片帮漏顶现象。

### 参考文献:

- [1] 康立军, 赵国栋, 史元伟, 等. 63<sub>1</sub>10孤岛综放面的矿压观测研究[J]. 煤矿开采, 1996, 2(1): 16-22.
- [2] 王同旭, 刘传孝, 王小平. 孤岛煤柱侧向支承压力分布的数值模拟与雷达探测研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(S1): 2484-2487.
- [3] 刘传孝, 王同旭, 杨勇杰. 高应力区巷道围岩破碎范围的数值模拟及现场测定的方法研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 24(7): 2413-2416.
- [4] 秦忠诚, 王同旭. 深井孤岛综放面支承压力分布及其在底板中的传递规律[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 24(7): 1127-1131.
- [5] 王进义, 王 睿. 综放工作面窄煤柱护巷矿压观测与分析[J]. 矿山压力与顶板管理, 2003, 20(2): 64-68.
- [6] 刘长友, 刘 奎, 郭永峰, 等. 超长“孤岛”综放面大煤柱护巷的数值模拟[J]. 中国矿业大学学报, 2006, 35(4): 473-477.
- [7] 黄炳香, 刘长友, 郑百生, 等. 超长孤岛综放工作面煤柱支承压力分布特征研究[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(6): 932-937.
- [8] 钱鸣高, 石平五, 许家林. 矿山压力与岩层控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2010.
- [9] 钱鸣高, 缪协兴, 许家林, 等. 岩层控制的关键层理论[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- [10] 廖红健, 王铁行. 岩土工程数值模拟分析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.