

文章编号: 1671- 251X(2010) 11- 0095- 03

矿用电化学 CO 传感器设计

刘丽静

(煤炭科学研究院常州自动化研究院, 江苏 常州 213015)

摘要: 分析阐述了电化学 CO 传感元件的结构、反应机理及工作原理, 提出了一种矿用电化学 CO 传感器的设计方案, 重点介绍了该传感器主要电路的设计。该传感器传感元件采用三极性设计, 具有灵敏度高、线性度好等优点, 特别是在 CO 气体体积分数较低时, 该传感器也能保持很高的测量精度, 完全满足煤矿井下现场特殊环境使用的要求。

关键词: 煤矿; CO 传感器; 电化学; 三电极

中图分类号: TD712. 3 **文献标识码:**B

Design of Mine used Electrochemistry CO Sensor

LIU LI-jing

(Changzhou Automation Research Institute of CCRI., Changzhou 213015, China)

Abstract: The paper analyzed structure, reaction mechanism and working principle of electrochemistry CO sensing element, put forward a design scheme of mine used electrochemistry CO sensor, and introduced design of main circuits of the sensor. The sensing element of the sensor is designed with three-electrode mode, so the sensor has advantages of high sensitivity and good linearity. And the sensor can retain high measurement accuracy when CO's volume fraction is low, which satisfies requirement of coal mine usage.

Key words: coal mine, CO sensor, electrochemistry, three electrode

0 引言

CO 气体是煤矿井下易燃易爆气体^[1], 而且有毒, 危险极大, 是引起煤矿瓦斯爆炸的主要气体之一^[2], 它的存在随时危害着井下人员的生命安全。CO 气体的在线监测, 为监控系统和矿方管理人员提供了必不可少的参考依据, 为井下作业人员的人身安全提供了保障。

电化学 CO 传感元件主要是基于化学反应机理来实现气体体积分数的检测、信号输出的。笔者采用新型的电化学三极型 CO 传感元件作为前端检测元件, 利用现代先进的电子技术设计了一种新型的矿用 CO 传感器。该传感器性能指标达到和满足了

煤矿井下使用的特殊环境要求。

1 电化学 CO 传感元件

1. 1 CO 传感元件的结构组成

三极性电化学 CO 传感元件由工作电极(WE)、计数电极(CE)和参考电极(RE)3个部分组成^[3], 如图 1 所示。工作电极电位相对于参考电极保持一个固定值。在参考电极中无电流流过, 因此, 这 2 个电极均维持在一个恒定的电位。计数电极则仍然可以进行极化, 但对传感元件而言已不产生任何限制作用^[4], 因此, 三极性电化学 CO 传感元件所能检测的气体体积分数范围很大。

本文采用恒电位设计控制工作电极的方法, 不仅能提高传感元件的选择性, 而且还能改进其响应性能。采用恒电位设计的传感元件一般可以设计成体积很小的低功耗结构。

1. 2 CO 传感元件的反应机理和工作原理

电化学 CO 传感元件主要是通过化学反应产生

收稿日期: 2010- 08- 03

基金项目: 天地科技科技发展基金项目(TZ- JJ- 09- CZ- 3)

作者简介: 刘丽静(1977-), 女, 河北徐水人, 工程师, 工程硕士, 2008 年毕业于南京理工大学, 现主要从事投标成本核算工作。

E-mail: liulijing77@163.com

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

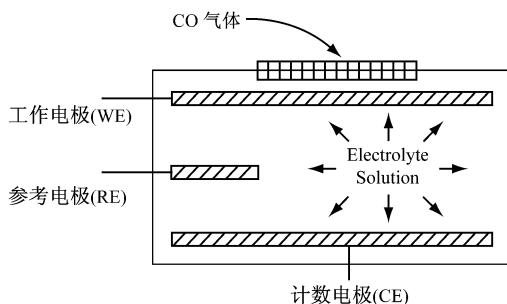
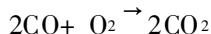


图 1 三极性电化学 CO 传感元件结构

电子流^[4],而这一电子流又和气体体积分数成比例关系。三极性电化学传感元件的 3 个电极彼此并联堆叠,由一个电解质薄层分隔,电解质在电极之间提供了离子的电接触。

CO 气体扩散进入传感元件后在工作电极上发生氧化反应,CO 气体在工作电极上的氧化反应方程式为^[5] $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$,在计数电极上发生的反应则正好与工作电极上的反应平衡。CO 传感元件的计数电极上会发生和工作电极上相反的反应,与 O_2 发生还原反应并生成水。计数电极上还原反应的方程式表示为 $\frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \leftrightarrow \text{H}_2\text{O}$ 。

CO 传感元件 2 个电极的反应方程式可以结合起来并简化为一个总反应,即



CO 传感元件的这一总方程式说明供应给传感元件的 CO 气体是反应的燃料,反应逸出的气体则是反应的产物(CO_2)。

化学反应形成的电子流由电极引出后,经后端放大电路进行信号放大、调理,再送处理器进行采集处理。参考电极电位需要设计得很稳定,只有保证工作电极电位的稳定,才能提高传感器输出信号的稳定性、线性度和反应的灵敏度等性能。

2 矿用电化学 CO 传感器的设计

电化学 CO 传感器主要通过电化学传感头进行前端模拟信号的采集,通过后级信号调理电路处理,再通过 AD 转换芯片进行模数转换,最后进入到单片机微处理器进行数字处理,进行显示和信号输出等。

2.1 CO 传感器的硬件构成

CO 传感器硬件部分主要由电源电路模块、信号调理与 AD 采集电路模块、显示与输出电路模块和单片机微处理器模块 4 个部分组成,如图 2 所示。

(1) 电源电路模块

传感器的工作电压范围为 9~24 V DC,由于设

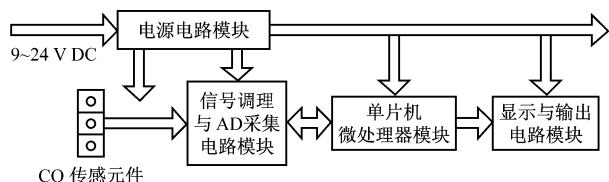


图 2 电化学 CO 传感器硬件构成

计的传感器内部处理电路芯片供电为 5 V、3.3 V 等低电压,输入电源电压需要进行降压设计,因此,采用 EXAR 半导体推出的 SP7656 高性能 PowerBlox 电源 DC- DC 转换芯片进行降压处理。该 DC- DC 电压转换芯片具有高效率、宽输入电压范围特性,内部采用 600 kHz 的恒定工作频率,集成了软启动、可调节的过流保护,输入控制电路可以有效抑制瞬态干扰,使输出更加稳定、可靠。3.3 V 供电电压由 SPX1117 电源芯片将 5 V 电压转换而成。DC- DC 电压转换电路如图 3 所示。

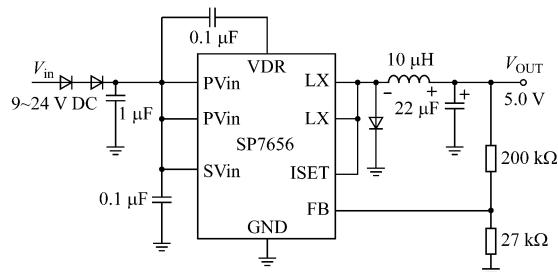


图 3 DC- DC 电压转换电路

设计时电源的输入部分串联接 2 个二极管,不仅可减少传感器对外部其它设备的电气影响和阻隔能量外泄,确保传感器的本质安全性能,也可预防电源反接短路等问题。

(2) 信号调理与 AD 采集电路模块

由于 CO 传感器在 CO 体积分数较低时输出信号较小,因此,要对信号进行放大。信号调理与 AD 采集电路采用高精度、低偏置电流的放大器 LM P7721 对信号进行调理,可以减少漂移和误差,特别是气体体积分数较低时也能保持很高的测量精度。经放大、调理后输出的信号 AINO 经过后级模数转换后,进入到单片机微处理器模块处理。前端信号采集电路如图 4 所示。

电路中 Q1 为 P 型场效应晶体管,起开关作用,以防止电路在未供电时传感元件被极化,被极化的传感元件需要很长时间才能达到稳定平衡状态。当前级电源关断时, Q1 导通,此时工作电极(WE)和参考电极(RE)短路处于同等电势,从而有效地防止了极化现象的产生,小信号的采集采用 RC 电路进行滤波,抗干扰能力强。

前端小信号经过放大后进行低通滤波处理,然

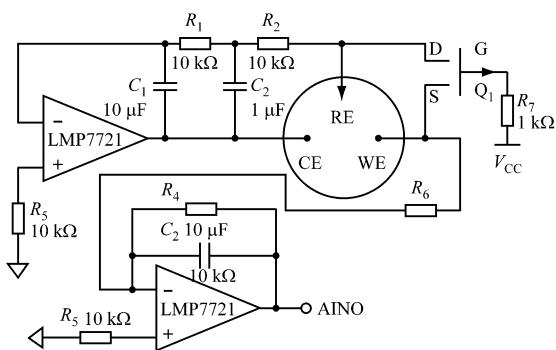


图 4 CO 传感器前端信号采集电路

后进入 AD 转换器进行模数转换, AD 转换器采用典型的 16 位高精度双积分转换器 AD7705 芯片。AD7705 和微处理器采用 SPI 总线通信, 抗干扰能力强, 性能稳定可靠。微处理器采集到模拟 AD 数据后进行数字滤波, 包括采用中值滤波、平均值滤波等算法进行计算和相应的处理。

(3) 显示与输出电路模块

CO 传感器采用四位数码管进行显示, 简单可靠, 视觉距离远, 其中最高一位是功能选择位, 后三位显示当前检测 CO 体积分数值, 数码管的显示驱动采用 2 片串转并行数字芯片 74HC595 或 CD4094 来进行驱动, 芯片和微处理器间采用 SPI 总线进行通信控制, 设计简单可靠。

CO 传感器输出频率信号为 200~1 000 Hz, 对应 CO 体积分数为 0~ 1000×10^{-6} , 对应关系近似的线性。由于一般的安全监控系统采集显示频率的精度为 1 Hz, 所以, 最小显示 CO 体积分数的最小精度, 即最小误差为 1.25×10^{-6} 。CO 传感器频率信号输出电路包括蜂鸣器驱动、灯光报警电路都采用普通三极管控制电路设计, 简单可靠。设计输出的频率信号的驱动能力在输出 2 mA 电流时, 输出高电平电压大于 3 V, 以满足设计远距离传输的要求。

(4) 单片机微处理器模块

CO 传感器单片机微处理器采用美国 Cygnal 公司生产的 C8051F310, 该器件是完全集成的混合信号片上系统型 MCU 芯片, 采用 32 脚 LQFP 封装, 体积较小, 而且供电电压为 2.7~3.6 V, 满足设计要求。同时, C8051F310 还带有 1 280 B 的内部数据 RAM(1 KB+256 B)和 16 KB 的闪速存储器, 可以在系统编程, 其扇区大小为 512 B。该微处理器芯片的数字外设包括 29 个 I/O 端口, 所有口线的耐压均为 5 V, 并具有 4 个通用 16 位计数器/定时器。

该单片机微处理器支持在线 JTAG/C2 编程调

试, 也支持脱机下载程序, 而且简单易操作, 满足传感器的大批量生产要求。

2.2 CO 传感器的软件设计

CO 传感器软件部分主要由单片机系统的基本参数配置、AD 转换后信号的采集、信号的数字滤波处理、计算与判断、显示和输出、报警控制等组成。

CO 传感器上电后, 单片机微处理器进行复位自检, 初始化配置各种系统参数, 如晶振、输入输出管脚状态、各种中断源的设置, 包括定时器中断、外部中断等。CO 传感器对 AD7705 通过 SPI 总线读取数据, 将得到的数据进行软件滤波处理, 采用中值滤波和平均值滤波算法, 最后通过运行转换得到的数据值如果大于设定报警值等, 控制报警输出, 并且将运行处理的数据进行数码管显示和频率信号的输出。软件设计流程如图 5 所示。

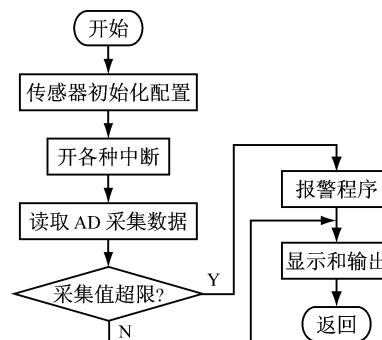


图 5 CO 传感器软件设计流程

3 结语

通过对电化学 CO 传感元件的结构、反应机理和工作原理等的分析, 开发设计了一种适合井下使用的矿用电化学 CO 传感器。该 CO 传感器具有自校验、滤波、显示、输出功能, 具有灵敏度高、线性度好等优点, 已在靖远煤业、大同煤矿等多个矿井使用, 使用效果达到了设计要求。

参考文献:

- [1] 黄双根, 吴燕, 黄大星. 基于 STC89C52 新型一氧化碳报警器设计[J]. 机械与电子, 2009(10): 67~69.
- [2] 米晓坤. 煤矿井下一氧化碳气体检测[J]. 煤炭技术, 2009(7): 111~112.
- [3] 姜思明, 胡艳. 电化学一氧化碳传感器技术进展——传感器结构与电解质[J]. 中国高新技术新产品, 2009(2): 1.
- [4] 孙宇峰, 黄行九, 刘伟, 等. 电化学 CO 电气传感器及其敏感特性[J]. 传感器技术, 2004(7): 14~17.
- [5] 李俊红, 崔艳, 李长青. 矿用一氧化碳传感器的设计[J]. 工矿自动化, 2007(1): 65~67.