

基于抗干扰技术的催化式甲烷传感器设计

张雪梅¹, 梁光清²

(1. 国能乌海能源信息技术有限公司, 内蒙古 乌海 016000;

2. 煤矿灾害防控国家重点实验室, 重庆 400037)

摘要: 矿用甲烷传感器是煤矿安全监控系统中最重要设备之一, 其中载体催化式甲烷传感器因其技术成熟、性价比高因素, 在低瓦斯矿井中被广泛使用; 由于矿井巷道电磁环境愈来愈复杂, 催化式甲烷传感器检测数据抗干扰能力面临挑战。该文研究了煤矿用载体催化甲烷传感器的抗干扰技术, 提出一种采用抗干扰技术的催化式甲烷传感器的设计方法, 以提高传感器的准确性和可靠性, 为煤矿安全监控系统提供可靠的感知数据。采用抗干扰硬件设计、抗干扰软件处理方法, 设计了基于抗干扰技术的矿用催化式甲烷传感器, 增强了传感器的工作的可靠性, 提升了传感器的智能化应用水平, 对于保障煤矿生产安全和提高生产效率具有重要意义。

关键词: 催化式甲烷传感器; 抗干扰技术; 干扰抑制; 干扰识别; 智能化

中图分类号: TD76

文章编号: 1000-0682(2024)04-0047-05

文献标识码: A

DOI: 10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2024.04.010

Design of catalytic methane sensor based on anti-interference technology

ZHANG Xuemei¹, LIANG Guangqing²

(1. China Energy Group Wuhai Energy Information Technology Co., Ltd., Inner Mongolia Wuhai 016000, China;

2. State Key Laboratory of Coal Mine Disaster Prevention and Control, Chongqing 400037, China)

Abstract: Mine methane sensors are one of the most important equipment in coal mine safety monitoring systems, among which carrier catalytic methane sensors are widely used in low gas mines due to their mature technology and high cost-effectiveness. Due to the increasingly complex electromagnetic environment in mine tunnels, the anti-interference ability of catalytic methane sensors in detecting data is facing challenges. This article will focus on the anti-interference technology of carrier catalytic methane sensors used in coal mines, and propose a design method for catalytic methane sensors using anti-interference technology to improve the accuracy and reliability of sensors and provide reliable perception data for coal mine safety monitoring systems. This method adopts anti-interference hardware design and anti-interference software processing methods, and designs a catalytic methane sensor for mining based on anti-interference technology, enhancing the reliability of the sensor's operation and improving the intelligent application level of the sensor. It is of great significance for ensuring coal mine production safety and improving production efficiency.

Keywords: catalytic methane sensor; anti-interference technology; interference suppression; interference identification; intelligence

收稿日期: 2024-03-04

基金项目: 中煤科工集团天地科技创新重点项目(2023-TD-ZD001-005); 乌海能源公司科技项目“国乌-信息公司[2022]68号”

第一作者: 张雪梅(1971—), 女, 河北石家庄人, 大学本科, 高级工程师, 主要从煤矿信息化、智能化管理。

通信作者: 梁光清(1982—), 男, 山东新泰人, 副研究员, 主要从事煤矿安全智能传感器的研究工作。

E-mail: guangqing_liang@163.com

0 引言

我国煤炭开采以井工开采为主, 各煤炭企业已全面实现机械化和电气化开采。随着煤矿掘进开采的深度和规模的不断扩大, 煤矿巷道中的大型电气设备越来越多, 如大型掘进机、变频器等, 导致井下巷道环境中的空间电磁场分布异常复杂, 叠加湿度大、粉尘大的环境特点, 给巷道中的各类电气设备的

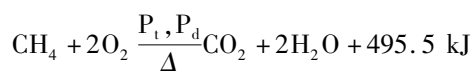
工作稳定性带来极大考验,经常会造成仪器检测数据不准确、仪器死机、数据传输不可靠、传感元件使用寿命短,甚至仪器损坏等问题^[1-3]。目前,煤矿甲烷传感器是煤矿安全监测的重要设备之一,而载体催化式甲烷传感器作为一种常用的煤矿瓦斯传感器,具有反应灵敏、响应速度快、成本低等优点,被广泛应用于煤矿安全监测中。但是,在实际应用中,载体催化式甲烷传感器也存在一些问题,主要表现为抗干扰能力不足,容易受到温度、湿度、电磁场等外界因素的影响,影响甲烷传感器的准确性和可靠性^[4-5]。因此,该文针对煤矿用载体催化甲烷传感器的抗干扰技术进行研究,提出一种采用抗干扰技术的催化式甲烷传感器的设计方法,以提高传感器的准确性和可靠性,为煤矿安全监控系统提供可靠的感知数据。

1 载体催化式甲烷传感器的应用现状

1.1 载体催化式甲烷传感器技术原理

载体催化甲烷传感器是一种基于催化剂反应原理的气体传感器,其主要原理是利用催化剂使甲烷与氧气在一定温度下发生氧化反应,产生热量和二氧化碳,从而实现对甲烷浓度的检测^[6]。

在载体催化甲烷传感器中,催化剂通常采用铂、钯等贵金属,通过将催化剂涂覆在陶瓷、铂金丝等载体上,形成催化层。当甲烷与氧气进入催化层时,催化剂可以将甲烷氧化成二氧化碳和水,同时放出热量,其反应式如下:



载体电阻因温度变化导致阻值发生改变,且电阻值变化量与不同浓度的甲烷燃烧热量成线性关系,通过这种量化关系就可以确定甲烷的浓度。由于催化元件存在“双值特性”,即检测 10% 以上浓度的甲烷气体,元件电信号幅值下降,与检测低浓度甲烷的信号幅值相似,因此载体催化甲烷元件一般应用于测量 4.00% 以下的甲烷气体^[7]。

1.2 载体催化式甲烷传感器的应用现状

目前,载体催化式甲烷传感器因检测精度高、性价比高以及技术成熟度高等优势,在低瓦斯矿井中仍然被广泛应用。但是随着智慧矿山建设加速推进,催化式甲烷工作可靠性面临诸多技术瓶颈需要攻克:(1)矿井巷道电磁环境复杂,催化式甲烷传感器抗干扰能力亟需提高^[7];(2)由于管道刷漆维护等操作,油漆气等挥发性有机可燃气体对催化式甲

烷传感器带来极大干扰;(3)数据处理简单粗糙,亟需提高传感器的信息处理能力,提升传感器智能化水平。

2 矿用传感器抗干扰技术

2.1 传感器抗干扰技术的概念

一般情况下大多数传感器的外界干扰因素是不可避免的,但可以采用科学的设计和技术手段,改进传感器的抗干扰能力,减少干扰因素对传感器的影响,提高传感器的可靠性和准确性,以满足不同应用场景的需求^[8-9]。

2.2 矿用传感器抗干扰技术的分类

目前大多数矿用传感器采用电子信息技术原理,一般由硬件(结构和电路等)、软件(嵌入式软件)组成,因此从技术原理组成角度可以将抗干扰技术分为硬件抗干扰和软件抗干扰^[10-12]。

硬件抗干扰技术主要采用屏蔽技术、接地技术、滤波技术等。矿用传感器一般采用带有金属网的屏蔽线缆实现信号传输,同时将屏蔽网接地,减小地线电感,降低共模干扰,隔离外界电磁干扰,实现抗干扰效果。在传感器硬件电路设计时,采用硬件滤波器设计,如 RC 滤波器、LC 滤波器等,对信号频谱进行过滤,消除干扰频率,减小外界电磁波的干扰影响。

软件抗干扰技术主要采用数字滤波技术、冗余技术、鲁棒控制技术等。矿用传感器利用微处理器技术,对被测信号进行多次离散采样,通过软件算法(如中值滤波、平均滤波、低通滤波等)对采样值进行筛选和处理,以消除随机误差和异常值的影响。另外采用冗余设计技术(如指令冗余、校验码冗余等),对关键代码进行重复执行或对数据进行校验,以提高系统的可靠性和稳定性。也可采用鲁棒控制技术(如 H_∞ 控制、滑模控制),通过设计控制算法,在系统受到干扰影响时仍能保持稳定和良好的性能表现^[13-16]。

3 抗干扰技术在催化式甲烷传感器中的应用

3.1 载体催化式甲烷传感器抗干扰方案总体设计

针对矿井巷道电磁环境分布特点,以及矿用载体催化甲烷传感器的工作方式,传感器按照组成部分分为载体催化甲烷元件、元件电信号处理电路、声光报警电路模块、嵌入式软件控制电路模块、数模转换处理电路、数字信号输出电路模块、人机交互及显示电路模块、本安电源转换电路模块、本安电源抗干

扰处理电路,以及数字信号抗干扰电路等功能电路组成。

3.2 本安电源抗干扰硬件设计

由于矿井巷道狭长,本安电源一般经过 2 km 左右电缆至传感器,巷道中其他高功率设备将浪涌、群脉冲等高压、高频干扰叠加到本安电源线缆上,因此

传感器的本安输入端需要增加相对应的干扰抑制电路,如图 2 所示。该电路中 R_1, R_2, R_3, D_1 和 D_2 组成输入浪涌抑制电路, L_1, D_3 和 L_2 组成高频群脉冲抑制电路,使得后级电路可以获得稳定的本安电源输入。

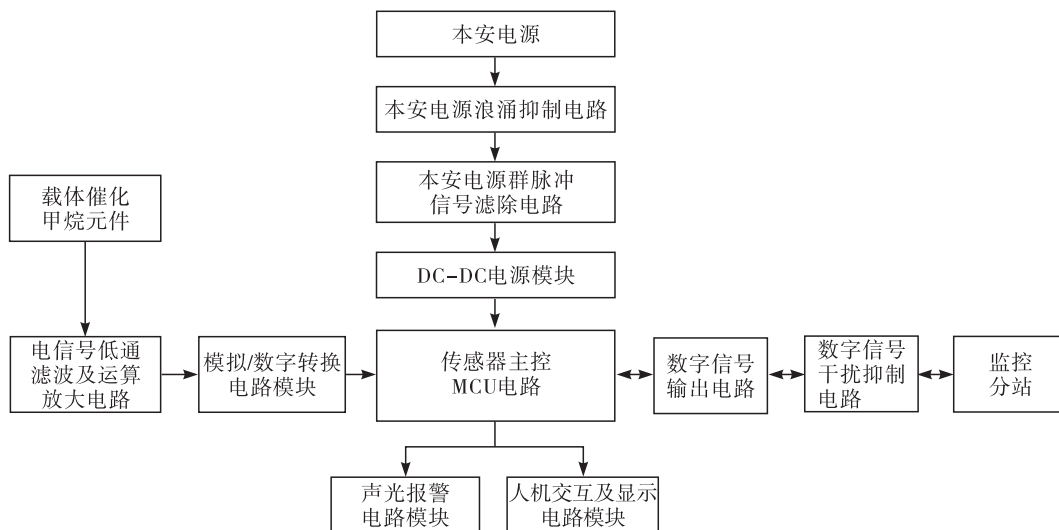


图1 基于抗干扰技术的矿用甲烷传感器原理框图

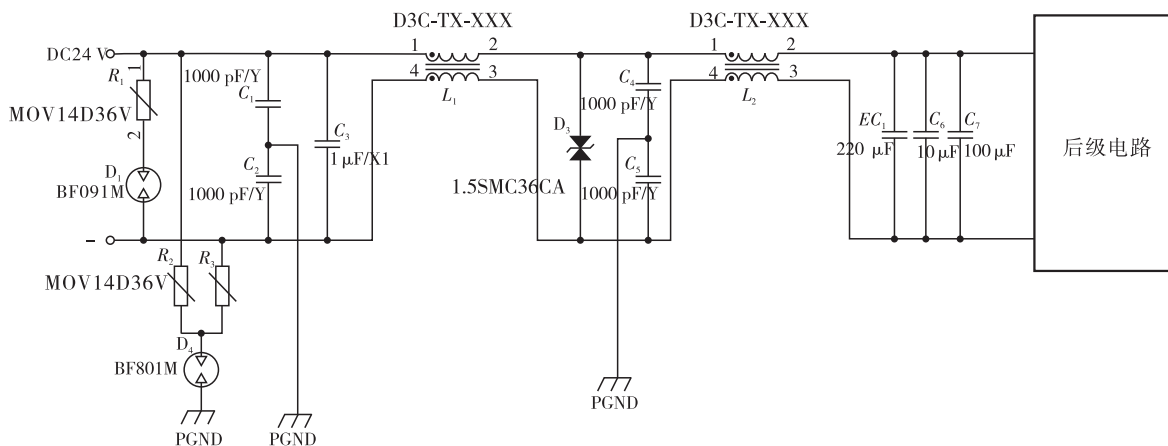


图2 传感器本安电源输入干扰抑制电路图

3.3 数字信号抗干扰硬件设计

目前煤矿安全监控系统绝大多数采用 RS485 数字总线信号制式,也有少部分厂家采用 CAN 信号制式。尽管数字信号相对于频率制式信号稳定可靠,但是在经过 2 km 左右电缆至传感器后,浪涌、群脉冲等高压、高频信号仍然会影响数字信号的完整性,也是数字信号出现“闪断”现象的原因。因此传感器的数字信号端口需要增加相对应的干扰抑制电路,如图 3、图 4 所示。该电路中 D_1, D_2 和 D_3

组成输入浪涌抑制电路, L_1 电感可以抑制高频群脉冲干扰。

3.4 传感器抗干扰软件设计

载体催化式甲烷电信号属于低频电压信号,软件数据处理采用数字低通滤波、中值滤波、平均滤波等算法实现干扰数据滤除。软件功能主要包括载体催化甲烷数据采集子程序、数据干扰甄别子程序、人机交互及显示子程序、声光分级报警控制子程序、RS485 信号通信子程序等。软件流程如图 5 所示。

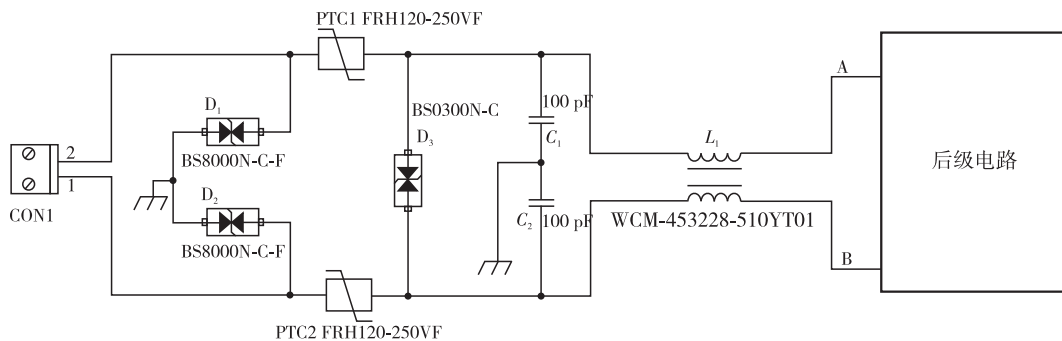


图 3 传感器 RS485 数字信号干扰抑制电路图

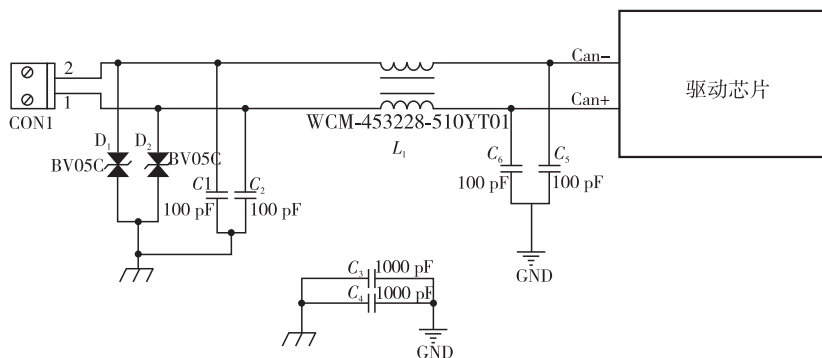


图 4 传感器 CAN 数字信号干扰抑制电路图

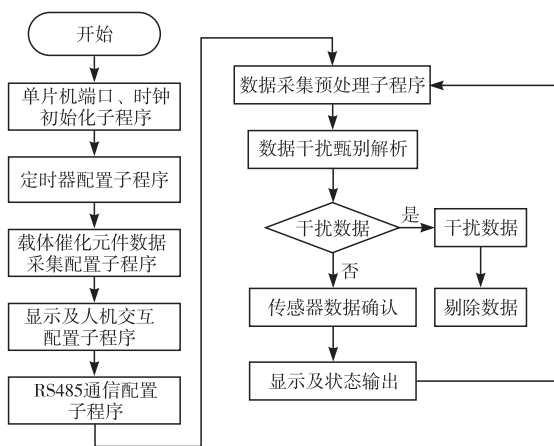


图 5 基于抗干扰技术的催化式甲烷传感器软件流程图

4 应用实践

中煤科工重庆研究院开发的 KG9701B 型低浓度甲烷传感器采用了上述抗干扰关键技术,具备本安电源浪涌释放、群脉冲抑制、RS485 信号干扰抑制、干扰数据软件甄别等功能,有效剔除干扰数据,提高催化式甲烷传感器的数据可信度。该产品在乌海能源集团下属煤矿进行了试点应用,选取工作面、上隅角、回风巷道等典型应用地点,安装 20 套该类型甲烷传感器。通过 1 个月的连续应用监测,传感器检测数据及状态数据正常上传至监控平台,均未

出现误报警现象。结果表明该文采用的矿用传感器抗干扰技术能提高矿用甲烷传感器检测数据的可靠性,也提升了甲烷传感器的智能化应用水平。

5 结语

煤矿用载体催化甲烷传感器是煤矿安全监测的重要设备之一,其准确性和可靠性对煤矿安全具有重要意义。该文针对载体催化甲烷传感器的抗干扰技术进行了研究,从硬件设计和软件设计方面采用了针对性的抗干扰技术措施,以提高传感器的抗干扰能力。这些技术措施可以有效提高载体催化甲烷传感器的准确性和可靠性,为煤矿安全监测提供更加科学、准确的数据支持。在今后的研究工作中,还需要优化硬件和软件方面的抗干扰手段,完善抗干扰方案,不断探索新的抗干扰技术和方法,以应对未来更加复杂和严苛的监测环境,提高催化式甲烷传感器的测量稳定性。

参考文献:

- [1] 王龙. 煤矿安全监控系统升级改造及关键性技术[J]. 矿业装备, 2021, 116(02): 234 - 235.
- [2] 黄淮彩. 煤矿安全监控系统融合升级的设计及智能化建设展望[J]. 能源与环境, 2020(4): 117 - 118.
- [3] 辛中华, 张晓冬, 刘涛, 等. 智能化煤矿电磁环境及电磁兼容标准架构[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(7): 1.
- [4] 冯德旺, 任锦彪, 崔婷婷, 等. 煤矿井下电磁环境测试

- 方法研究[J]. 中国安全科学学报, 2010, 20(7): 71.
- [5] 马龙. 抗电磁干扰技术在煤矿监控系统中的应用[J]. 煤矿安全, 2019, 50(11): 113 - 115.
- [6] 吴玉峰, 田彦文, 韩元山. 气体传感器研究进展和发展方向[J]. 计算机测量和控制, 2003, 11(10): 731 - 734.
- [7] 魏继涛. 煤气传感器材料的研究进展[J]. 传感器与微系统, 2015, 34(03): 4 - 7.
- [8] 石发强. 矿用产品金属外壳的电磁屏蔽效能分析[J]. 工矿自动化, 2014, 40(12): 18 - 21.
- [9] 朱前伟. 煤矿安全监控系统及组成设备抗干扰设计[J]. 工矿自动化, 2017, 43(6): 18 - 21.
- [10] 孙继平, 张宏伟, 张龙. 矩形弯曲隧道中电磁波的传输特性分析[J]. 工矿自动化, 2007(4): 4 - 6.
- [11] 石发强. 矿用分站外壳的电磁屏蔽效能分析[J]. 煤炭与化工, 2014, 37(2): 92 - 94.
- [12] 莫军. 滤波连接器在电磁兼容设计中的应用[J]. 国外电子测量技术, 2010, 29(6): 66 - 67.
- [13] 陈玉明, 吴克寿, 李向军. 一种基于信息熵的异常数据挖掘算法[J]. 控制与决策, 2013, 28(6): 867 - 872.
- [14] 龙英, 何怡刚, 张镇, 等. 基于信息熵和 Haar 小波变换的开关电流电路故障诊断新方法[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(3): 701 - 711.
- [15] 邹哲强, 庄捷, 屈世甲. 煤矿井下中低频段电磁干扰测量与分析[J]. 工矿自动化, 2013, 39(5): 1 - 5.
- [16] 赵北涛. 含分布式电源的配电变压器稳态电磁干扰抑制方法[J]. 电子设计工程, 2023, 31(21): 137 - 140.

(上接第 35 页)

参考文献:

- [1] 周萍, 沈昊, 郑凯鹏. 基于 MFCC 与 GFCC 混合特征参数的说话人识别[J]. 应用科学学报, 2019, 37(1): 24 - 32.
- [2] Kasiprasad M, Panyam N S, Maloji S. MFCC - GMM based accent recognition system for Telugu speech signals[J]. International Journal of Speech Technology, 2016(19): 87 - 93.
- [3] Ankur M, Divya K, R. K. Agarwal. Speaker recognition for hindi speech signal using MFCC - GMM approach[C]. 6th International Conference on Smart Computing and Communications (ICSCC), 2017: 880 - 887.
- [4] GREFF K, SRIVASTAVA R K, KOUTNIK J, et al. LSTM: A search space odyssey[J]. IEEE Transactions on Neural Networks & Learning Systems, 2017, 29(10): 2222 - 2232.
- [5] Himadri M, Sk Md Obaidullah, K. C. Santosh, et al. A lazy learning - based language identification from speech using MFCC - 2 features[J]. International Journal of Machine Learning and Cybernetics, 2020(11): 1 - 14.
- [6] Sakshi G, Ravi S S, Rajesh K. S, et al. Deep learning bidirectional LSTM based detection of prolongation and repetition in stuttered speech using weighted MFCC[J]. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 2020, 11(9): 345 - 456.
- [7] Samia A El - Moneim, M. A. Nassar, Moawad I. O, et al. Text - independent speaker recognition using LSTM - RNN and speech enhancement[J]. Multimedia Tools and Applications, 2020(79): 24013 - 24028.
- [8] 王鑫, 吴际, 刘超, 等. 基于 LSTM 循环神经网络的故障时间序列预测[J]. 北京航空航天大学学报, 2018, 44(4): 772 - 784.
- [9] 龚安, 马光明, 郭文婷, 等. 基于 LSTM 循环神经网络的核电设备状态预测[J]. 计算机技术与发展, 2019, 29(10): 41 - 45.
- [10] 李俊卿, 陈雅婷. 基于 LSTM 网络的同步电机励磁绕组匝间短路故障预警[J]. 电力科学与工程, 2020, 36(6): 37 - 42.
- [11] 牟俊杰, 姚刚, 孙涛. 基于 CNN - LSTM 神经网络的声纹识别系统设计[J]. 电子技术应用, 2021, 47(3): 75 - 78.
- [12] 王志成, 张玉一, 巴天星, 等. 面向 CIM 和动态交通分析的多源异构数据融合技术研究[J]. 电子设计工程, 2024, 32(8): 68 - 72.

欢迎投稿！ 欢迎订阅！ 欢迎刊登广告！

国内邮发代号: 52 - 49 国际发行代号: BM529 定价: 18.00 元/期 108.00 元/年
地址: 西安市高新区沣惠南路 8 号 邮编: 710075 电话: 029 - 81871277
网址: <http://yb-zdh.shaangu-group.com> 电子邮箱: gyybbjb@126.com