

· 光电测量与检测 ·

DSP 主控型 CO 和 CH₄ 双路激光气体检测数据采集系统研制程林祥^{1,2}, 王彪¹, 张瑞^{1,2}, 俞泳波^{1,3}, 戴童欣^{1,3}, 连厚泉^{1,3}¹中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033;²中国科学院大学, 北京 100049;³中国科学技术大学, 合肥 230026

摘要: 通过精确检测 CO 和 CH₄ 两种气体浓度, 对于煤矿企业安全生产和工业过程控制具有重要意义, TDLAS 技术是一种实时高精度的气体检测方式, 可用于 CO 和 CH₄ 双路气体检测。针对 TDLAS 型 CO 和 CH₄ 双路气体检测系统, 本文设计了一种 DSP 型双路数据采集系统。激光信号被 CO 和 CH₄ 选频吸收后, 光电二极管 FD10D 将光信号转换为电流信号, 微弱电流信号经 OPA2387 搭建的前置放大电路转换为电压信号, 由 ADC 芯片 ADS8330 进行数据采集, 回传至 DSP 主控芯片 TMS320C6748, 处理完成的数据存储至 FLASH 芯片 M25P16, 最后将数据实时上传至上位机。经过测试, 该系统可以稳定、准确地进行数据采集, 并且适配于其他 TDLAS 型双路气体检测系统。

关键词: CO; CH₄; 光电探测器; TMS320C6748

中图分类号: TN271.5 **文献标识码:** A **doi:** 10.14016/j.cnki.jgzz.2021.12.048

Development of data acquisition system for CO and CH₄ dual laser gas detection controlled by DSP

CHENG Linxiang^{1,2}, WANG Biao¹, ZHANG Rui^{1,2},
YU Yongbo^{1,3}, DAI Tongxin^{1,3}, LIAN Houquan^{1,3}

¹Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

²University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

³University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China

Abstract: Accurate detection of CO and CH₄ gas concentrations is of great significance for safety production of coal mining enterprises and industrial process control. TDLAS technology is a real-time and high-precision gas detection method, which can be used for CO and CH₄ dual gas detection. For TDLAS CO and CH₄ dual gas detection system, a DSP dual data acquisition system is designed in this paper. After the laser signal is selected and absorbed by CO and CH₄, the FD10D transforms the optical signal into a current signal, and the faint current signal is converted and amplified into a voltage signal through the OPA2387 preamplifier circuit. The ADC chip collects the data, returns it to the DSP main control chip TMS320C6748. The processed data is stored to the flash chip M25P16, then uploaded to the upper computer. After testing, the system can collect data stably and accurately, and is suitable for other TDLAS dual gas detection systems.

Key words: CO; CH₄; Photodetector; TMS320C6748

收稿日期: 2021-09-21

基金项目: 国家重大科研仪器设备研制项目(No.61727822)、白求恩医学工程与仪器中心项目(No.BQEGCZX2021023)

作者简介: 程林祥(1998-), 男, 硕士研究生, 主要从事嵌入式系统软硬件方面研究。E-mail: 1712317910@qq.com

通信作者: 王彪(1981-), 男, 博士, 副研究员, 博士生导师, 主要从事嵌入式系统软硬件方面研究。E-mail: wb5996@163.com

1 引言

一氧化碳(CO)与甲烷(CH₄)都是无色、无味、可爆燃的气体。CO 气体是煤炭自燃过程中最敏感和最容易测量的气体, 此两种气体的数量随着煤温度的升

高而增加^[1]。在煤矿开采过程中,煤矿井下气体环境复杂多变,CO 和 CH₄ 是引发爆炸和中毒事故的主要气体,对人体生命以及财产安全造成威胁。此外,这两种气体也是许多工厂包括炼钢行业和大多数燃烧相关行业的重要过程控制对象^[2-3]。此两种气体浓度异常而引发的各类事故不容忽视,因此研制一种 CO 和 CH₄ 复合式气体检测系统对于工业生产安全具有十分重要的意义。

近年来,TDLAS 技术在气体检测领域得到了广泛应用,相较于传统气体浓度检测方法具有分辨率高、选择性强、响应速度快、寿命长等优势^[4-8]。

针对 CO 和 CH₄ 复合式激光气体检测技术,本文提出了一种 DSP 主控型双路数据采集系统的设计方案。所设计的数据采集系统采用 TMS320C6748 作为主控芯片,实现了双路电压信号的处理、存储和传输。

2 系统总体方案设计

该系统主要由五部分组成:主控单元、光电探测单元、A/D 采样单元、存储单元和上位机部分,系统整体框图如图 1 所示。

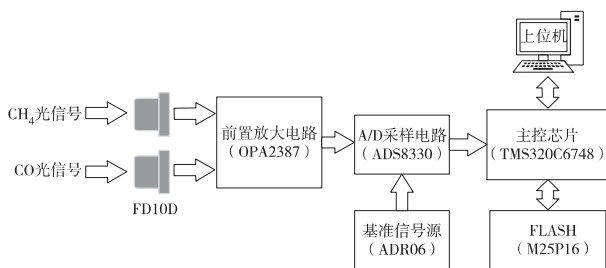


图 1 系统整体框图

前端采用 Thorlabs 公司的 InGaAs 光电二极管 FD10D 检测光信号,选用 OPA2387 芯片将微弱电流信号转换放大为电压信号,ADS8330 芯片将模拟电压信号转换为数字信号,经 SPI 总线传输至主控芯片 TMS320C6748 进行数据处理,处理完成的数据保存至 FLASH 芯片 M25P16,并发送至上位机。

3 电路设计

3.1 主控器简介

CO 和 CH₄ 都是危险气体,检测系统需要对气体数据进行实时处理以实现实时监测的功能,所以主控器应具备快处理数据的能力。为了提高数据采集及处理的实时性,主控芯片选用 TI 公司的 TMS320C6748 处理器。该处理器可以快速完成数据处理运算,在一个指令周期内完成大部分数据运算。该芯片资源丰富,可以满足设计要求。TMS320C6748

功能框图如图 2 所示。

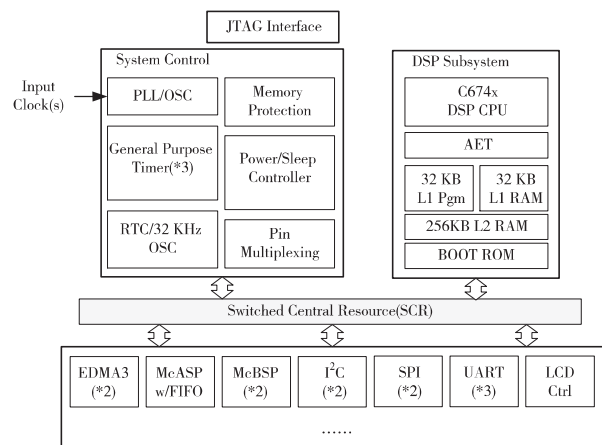


图 2 TMS320C6748 功能框图

在本电路系统中,主控器 TMS320C6748 通过 SPI 驱动 A/D 转换芯片 ADS8330 分时对双路电压信号进行模数转换和数据处理,将数据处理结果经 SPI 传输至存储芯片 M25P16,完成数据存储。同时,主控器将数据传输至上位机,进行显示和存储。

3.2 光电探测电路

3.2.1 光电二极管

光电二极管受光照射可产生电流,其工作原理为光电效应^[9]。根据 TDLAS 技术原理,本系统选用 1568nm 和 1654nm 分别作为 CO 和 CH₄ 检测中心波长,相应地,选用 Thorlabs 公司的 InGaAs 光电二极管 FD10D。该光电二极管的频率响应如图 3 所示。

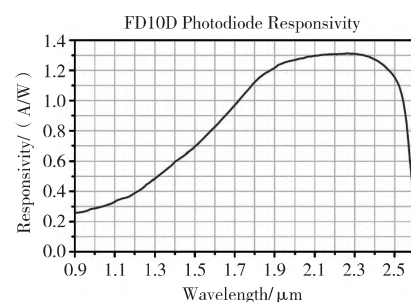


图 3 FD10D 频率响应

该二极管探测波长范围为 900 nm~2 600 nm,暗电流为 3 μA,峰值波长感光度最高为 1.3 A/W。经测试,该探测器对 1 568 nm 和 1 654 nm 波长激光信号的响应度都可以达到 0.8 A/W 左右。因此,采用一种探测器通过分时复用的方式即可检测 CO 和 CH₄ 两种气体,可以满足检测系统性能指标。

3.2.2 前置放大电路

光电二极管可将被气体选频吸收后的光信号转换为电流信号,由于光强信号比较微弱,一般是 mW 级别,对应产生的电流为 mA 级别,并会引入噪声。

根据系统后级电路的要求,需要对光电探测器的信号放大千倍,达到伏特级别的电压信号,在实际应用中,使用单级放大器电路对于弱电流信号进行千倍放大通常会导致明显的失调,这会在放大器端引入更多的噪声和失真^[10-11]。

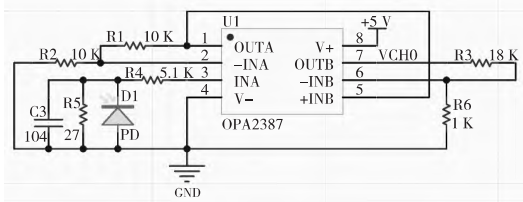


图4 前置放大电路

本系统采用两级放大方案设计前置放大电路,如图4所示,PD为光电探测器,VCH0为通道1(CO)转换电压的输出。第一级放大倍数为50左右,第二级放大倍数为20左右,其中R4是匹配电阻,可抑制运放偏置电流的影响。采用超高精度、零漂移、低输入偏置电流的运算放大器 OPA2387 搭建前置放大电路。该芯片的偏置电压仅为±2 μV,温度漂移为±0.003 μV/℃,偏置电流仅为135 pA,具有5.7 MHz的增益带宽和较高的共模抑制比。通道2(CH₄)的前置放大电路与图4所示电路相同。经实验验证,该放大电路可稳定有效的进行电信号转换。

3.3 A/D 采样电路

为实现后续数据处理,需要将前级电路得到的双路模拟电压信号转换为数字信号,A/D采样电路实现了信号的模数转换。本系统选用TI公司的高速、低功耗 ADC 芯片 ADS8330 搭建 A/D 采样电路。该芯片需要提供外部参考电压源,本系统使用 ADI 公司的高精度、低温漂的参考电压芯片 ADR06,搭建了高精度和高稳定性的基准信号源电路。电路如图5所示。

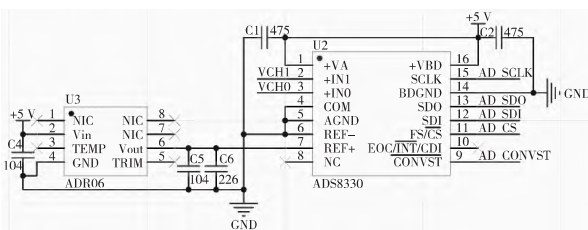


图5 A/D 采样电路

ADS8330 是一款双通道 16 位 ADC,采样率为 1 MSPS,功耗为 15 mW,芯片设计包含 SPI 接口,与 DSP 通信占用资源少。该芯片集成了两个 ADC,DSP 主控器通过 SPI 总线控制该芯片进行模数转换。ADR06 的温度漂移系数为 3 ppm/℃,初始精度为±0.1%,可提供 3V 的稳定参考电压。经测试,该模块

可以高速、稳定、准确的将模拟电压信号转换为数字电压信号,完成数据采集。

3.4 存储电路

为增加实验数据的存储量,便于进行数据分析和气体浓度反演,本系统增加了存储芯片^[12]。本系统选择 M25P16 来存储实验数据。该芯片具有 2 MB 的存储空间,具有 50 MHz 的 SPI 总线接口,与主控器通信占用资源少。芯片的外围电路如图6所示。

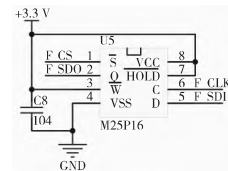


图6 存储电路

存储的数据主要包括基础信息和数据信息两部分,基础信息为时间和测试次数,数据信息为两路探测器的转换电压值。此存储器的前 1 KB 空间 (0x000000~0x0003FF) 用来存储基础信息,其它空间 (0x000400~0x1FFFFFF) 用来存储数据信息。该系统的气体检测范围为 10~500 ppm,每条数据信息存储需要 4 个字节,前 2 个字节存储通道 1 的数据,后 2 个字节存储通道 2 的数据。

3.5 上位机界面

CO 和 CH₄ 对人体具有伤害性,为有效避免工作人员与危险气体的直接接触,本系统设计了远程数据监控软件。该软件可以与下位机实时通信,实时显示气体数据,并对数据进行 PC 端存储,上位机和下位机同时存储可提升数据存储的安全性。本系统上位机采用 LabWindows/CVI 进行设计,此软件是 NI 公司推出的交互式 C 语言开发平台^[13-14]。

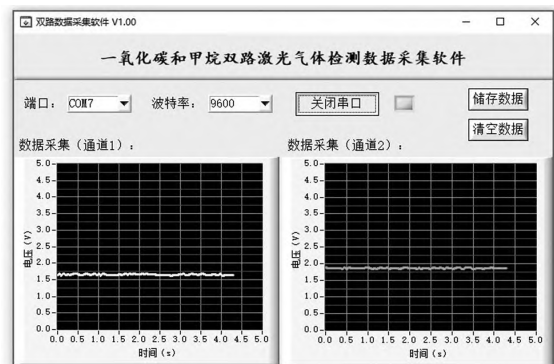


图7 双路数据采集软件 V1.00

上位机界面如图7所示。数据经串口由主控器传输至上位机,并在 LabWindows/CVI 编写的界面进行显示。该上位机系统可根据实际需求选择合适的

通讯端口和波特率,可以在界面实时显示双路气体数据,具有将数据保存至 PC 端的功能。该软件采用多线程的工作机制,在主线程中创建了新的次线程,数据采集和显示便在次线程中进行,有效保证了数据采集的实时性和完整性。

4 实验结果

对该系统的采样精度和稳定性进行了测试,使用中心波长为 1 568 nm 和 1 654 nm 的 VCSEL 型激光器照射两个通道的光电探测器,在不同强度激光下,本系统测试结果如表 1 和表 2 所示。

表 1 通道 1 实验数据

输入光强	第 1 组	第 2 组	第 3 组
1 mW	0.840 V	0.837 V	0.830 V
2 mW	1.680 V	1.671 V	1.665 V
3 mW	2.513 V	2.523 V	2.507 V

表 2 通道 2 实验数据

输入光强	第 1 组	第 2 组	第 3 组
1 mW	0.943 V	0.950 V	0.939 V
2 mW	1.869 V	1.876 V	1.872 V
3 mW	2.819 V	2.827 V	2.831 V

由以上测量结果可知,该系统双路电压采集精度为 1 mV,并且工作稳定高效。采样过程中,DSP 主控芯片可以实时完成数据处理,通过串口上传至上位机进行实时显示。工作过程中,该系统各模块实现了预期功能,响应快、传输稳定,可满足 CO 和 CH₄ 双路激光气体检测系统的数据采集要求。

5 结论

针对 CO 和 CH₄ 复合式激光气体检测,研制了一种实时高精度双路数据采集系统,用于将双路激光光强信号转换为数字信号。采用光电二极管和 OPA2387 搭建光电探测电路,将光强信号转为模拟电压信号,采用 ADC 芯片 ADS8330 进行模拟电压信号采集并转换为数字电压信号,为保证数据转换精度,搭建了基准信号源,采集完成的数字电压信号发送至主控芯片 TMS320C6748 进行数据处理,处理完成的结果通过 SPI 接口存储至 FLASH 芯片,通过串口发送至上位机。经实验验证,该系统可以准确、稳定和高效的完成双路激光光强信号的采集及处理,并且可以适用于其它复合式激光气体检测系统。

参考文献

- [1] Qiu Xuanbing, Wei Yongbo, Li Jie, et al. Early detection system for coal spontaneous combustion by laser dual-species sensor of CO and CH₄ [J]. Optics and Laser Technology, 2020, 121: 105832.
- [2] 王彪,鹿洪飞,李奥奇,等.采用 VCSEL 激光光源的 TD-LAS 甲烷检测系统的研制[J]. 红外与激光工程, 2020, 49(04): 131-137.
- [3] 姜维. CO/H₂/CH₄/CO₂ 混合气体在线检测技术研究[D]. 大连:大连交通大学, 2020.
- [4] 崔海滨. CO/CO₂/NO 的可调谐激光吸收光谱遥测方法研究及其在汽车尾气道边检测的应用[D]. 杭州:浙江大学, 2021.
- [5] Ritobrata Sur, Kai Sun, Jay B. Jeffries, John G. Socha, Ronald K. Hanson. Scanned wavelength modulation spectroscopy sensor for CO, CO₂, CH₄ and H₂O in a high-pressure engineering-scale transport-reactor coal gasifier [J]. Fuel, 2015, 150: 102-111.
- [6] 黄硕,王彪,戴童欣,连厚泉,程林祥,俞泳波.用于 CO 激光 TDLAS 型气体检测系统的光电检测电路研制[J]. 激光杂志, 2021, 42(02): 62-65.
- [7] 顾利帅,裴彦军,王立娜,郭海雷. TDLAS 一氧化碳检测系统[J]. 舰船科学技术, 2019, 41(09): 134-137.
- [8] 陈祥,阚瑞峰,杨晨光,许振宇,张光乐,陈福多,刘建国.基于 TDLAS 技术的空气气压精确测量[J]. 光电子·激光, 2015, 26(04): 719-723.
- [9] 李明星,陈兵,阮俊,李想,刘英,许振宇,何亚柏,阚瑞峰.近海大尺度区域二氧化碳的激光在线探测技术[J]. 光学精密工程, 2020, 28(07): 1424-1432.
- [10] 李春光,董磊,王一丁,林君.基于 TDLAS 和 ICL 的紧凑中红外痕量气体探测系统[J]. 光学精密工程, 2018, 26(08): 1855-1861.
- [11] 王彪,李奥奇,程林祥,俞泳波,戴童欣,黄硕,连厚泉.用于多组分激光气体检测的网络化数据处理系统研制[J]. 激光杂志, 2020, 41(12): 10-12.
- [12] 陈亮,蔡声镇.一种新型 SPI NAND 控制器设计[J]. 电子器件, 2021, 44(03): 530-534.
- [13] 邹碧霄,丁露,罗浩.基于 LabWindow 串口通讯设计[J]. 信息与电脑(理论版), 2019(11): 201-202.
- [14] 周颖馨.基于 LabWindows/CVI5.0 平台的串口通信[C]//中国自动化学会、中国仪器仪表学会.中国自动化学会、中国仪器仪表学会 2004 年西南三省一市自动化与仪器仪表学术年会论文集.中国自动化学会、中国仪器仪表学会:中国仪器仪表学会, 2004: 368-372.