

基于光谱吸收的光纤甲烷监测系统在瓦斯抽采中的应用

赵燕杰^{1,2}, 王 昌¹, 刘统玉¹, 王 哲¹, 魏玉宾^{1,2}, 李艳芳¹, 尚 盈¹, 王 黔¹

1. 山东省光纤传感技术重点实验室, 山东省科学院激光研究所, 山东 济南 250014

2. 山东大学信息科学与工程学院, 山东 济南 250100

摘 要 研究了一种基于光谱吸收的光纤甲烷远程实时在线监测系统, 分析了该系统在瓦斯抽采中的应用。该系统以 1665nm 波长半导体激光器作为光源, 以单片机 C8051F410 为核心处理器, 采用锯齿波信号实现了气体激光吸收光谱的波长调制, 结合 A/D 转换电路、通讯电路和显示电路, 可进行声光报警、LCD 液晶显示等。利用内置参考池对激光波长漂移进行自适应调整, 可以实现甲烷吸收线的锁定。该系统已在国内外建立多个示范工程, 试验表明, 该系统具有很好的稳定性, 在 0%~100% 量程实现了分布式多点甲烷气体浓度的实时在线监测和显示, 监测的灵敏度可达 ppm 量级, 在煤矿瓦斯抽采领域具有广泛的应用前景。

关键词 光谱吸收; 瓦斯抽采; 光纤传感器; 甲烷监测; 单片机

中图分类号: O433.1; TP212.9 文献标识码: A DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2010)10-2857-04

引 言

煤矿瓦斯防治是煤矿安全生产的重中之重。先抽后采, 是防范瓦斯事故、提高煤矿生产安全保障程度的治本之策。同时, 抽采的瓦斯气体进行发电, 可以将瓦斯变害为宝, 为社会带来巨大的经济效益^[1,2]。然而, 要做好瓦斯抽采的工作, 实时在线监测瓦斯浓度是重点工作之一, 对于瓦斯抽采具有非常重要的意义。目前应用于甲烷气体检测的方法主要有载体催化燃烧式、热导式、光干涉式、红外吸收式等, 但在这类检测手段均存在不同程度的弊端^[3,4], 比如电化学类瓦斯传感器易漂移, 每一到两周需要校正一次, 长期可靠性差, 精度低, 易中毒等; 红外吸收式传感器易存在不同气体的交叉吸收。随着光纤传感技术的发展, 基于激光光谱吸收的光纤传感器越来越受到人们的青睐^[5-7]。使用光导纤维作为传感器件或信号传输媒介, 具有不带电、本质安全、不受电磁干扰、耐高温、耐腐蚀、灵敏度高和长期稳定可靠等优点。在一根光纤上可以串联多个相同或不同类型的传感器, 实现分布式多点监测。因此, 光纤传感技术在瓦斯抽采中的应用, 不但能大大提高我国煤矿安全生产水平, 减少重大恶性事故的发生, 降低人身伤亡及财产损失, 而且具有非常可观的环保价值, 为资源的可持续性利用做出了重要贡献。

本文基于光纤传感技术^[8], 根据甲烷光谱吸收特性^[9], 设计了一种由单片机 C8051F410 控制的甲烷监测系统^[10],

结合 A/D 转换电路、通讯电路、显示电路等, 可进行声光报警、LCD 液晶显示等。该系统已在国内外建立多个示范工程, 试验表明, 该系统具有很好的稳定性, 在 0%~100% 量程实现了分布式多点甲烷浓度的实时在线监测和显示。

1 工作原理及系统框图

1.1 工作原理

根据比尔-朗伯(Beer-Lambert)吸收定律, 激光器发出强度为 I_0 , 频率为 ν 的激光, 通过长度为 L 的吸收介质后, 在接收端测得的光强为

$$I(\nu) = I_0(\nu) \exp[-\alpha(\nu)cL] \quad (1)$$

其中 L 为样品吸收池的光路长度, $\alpha(\nu)$ 是气体在一定频率 ν 处的吸收系数, c 为吸收气体的分子数浓度。

当光源的中心波长精确对准瓦斯气体的吸收峰时, 光通过瓦斯时就会被吸收, 其吸收强度与该气体浓度有关, 通过对输出光强分析就可以检测到气体的浓度。

1.2 系统框图

光纤甲烷监测系统包括两大部分: 光纤甲烷监测仪和吸收式光纤甲烷传感器。光纤甲烷监测仪主要由以下几部分组成: 波长为 1665nm 的分布反馈式半导体激光器(DFB 激光器)、参考池、光源驱动电路、温度控制电路、C8051F410 单片机、光电探测电路、放大和滤波电路、输出显示、键盘输入和数据输出接口等。光纤甲烷传感器主要包括自聚焦透

收稿日期: 2009-11-26, 修订日期: 2010-03-02

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2009BAK54B01), 山东省科技发展计划项目(2007GG20006007)和山东省重大专项(2006ZZ13)资助

作者简介: 赵燕杰, 女, 1981年生, 山东省科学院激光研究所助理研究员 e-mail: yjzhao1001@163.com

镜、反射镜和传输光纤等。其系统框图如图 1 所示。温度控制电路实时监控激光器的温度,以稳定激光器的输出功率和波长。参考池可以对激光波长漂移进行自适应调整,实现甲烷吸收线的锁定。单片机产生的锯齿波信号叠加在激光器的驱动电流上,对激光器的输出波长进行扫描。驱动激发 DFB 激光器,通过光纤将光耦合到充有甲烷的参考池和光纤甲烷传感器中,被参考池和传感器中的气体吸收后的光信号分别传输至光电探测器 PIN,将光信号转换成电信号,此电信号经过前置放大电路,进行滤波、放大等处理后可以得到与光强有关的模拟信号,该信号再被送到 A/D 转换电路,将模拟信号转换为数字信号,然后送入 C8051F410 微处理器。单片机进一步对信号进行数值计算处理后即可得到被测气体的浓度信息。该信息将分别被送入报警电路、显示电路和通讯电路,显示屏上显示出待测气体的浓度值,若被测气体中甲烷浓度超过报警电路预定的数值时,报警电路即发出声、光报警信号,声光报警点可以根据需要任意设置。当计算机系统需要查询甲烷浓度时,只要发出指令,即可将测量结果经串口及通信电路发送给上位机。

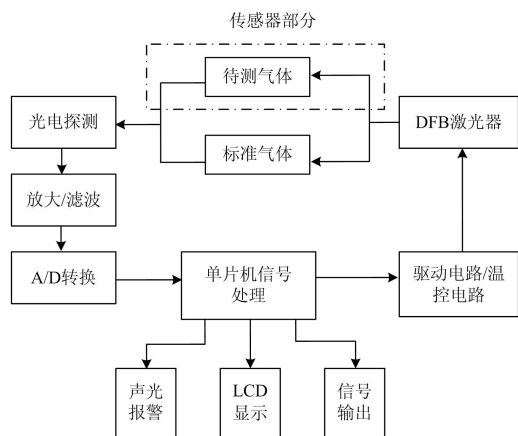


Fig 1 System construction

2 软件系统设计

光纤甲烷监测系统控制程序包括 DFB 光源的驱动控制、A/D 采样、数据的采集和处理、结果的显示和输出、与上位机通讯及按键的输入功能、声光报警等模块。软件流程框图见图 2。

3 试验结果

实验中,首先对传感器用几种不同浓度的标准甲烷气体进行标定,并把标定参数写入仪器中,然后对其通入不同浓度的甲烷气体进行测试,测试结果如图 3 所示。由图可见,测量显示值与标准气体浓度值吻合得很好,本系统具有非常好的线性特性,因此保证了现场测试数据的准确性。

图 4 是对甲烷气体浓度的精确监测和稳定性测试,每隔 3 min 记录一次数据,试验时间长达 7 d。浓度为 82.2% 的甲烷气体测量基本误差约 ±0.25%,远低于最新的中华人民共和国安全生产行业标准:测量范围为 1%~100% 时,基本误

差为真值的 ±7%^[11],而且不会随时间或者温度的改变产生漂移,具有长期稳定性。

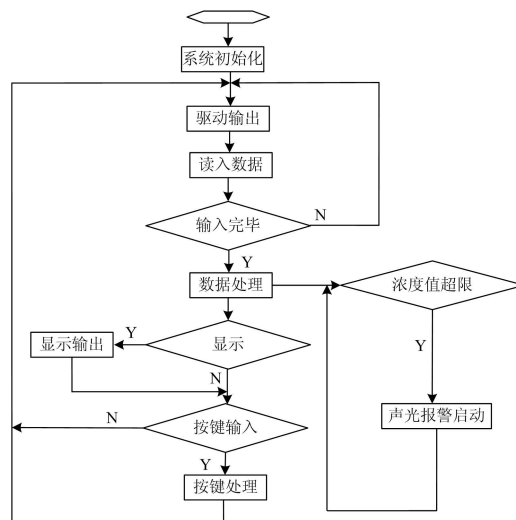


Fig 2 System software flow chart

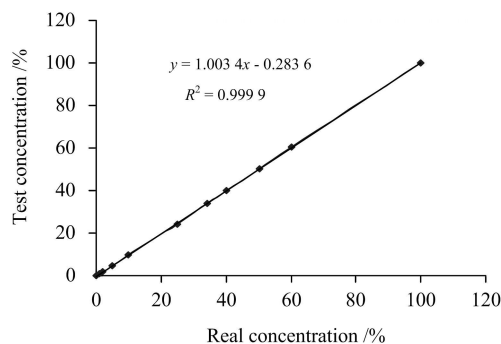


Fig 3 Linearity between true concentration and test concentration

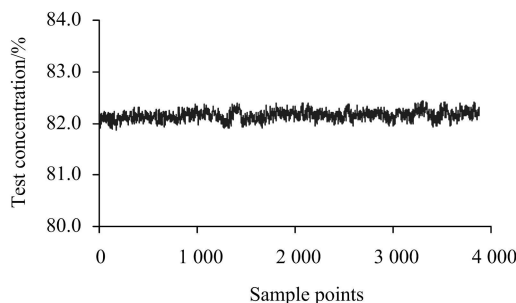


Fig 4 Concentration variation of test methane

4 现场示范

一个光纤甲烷监测仪可以根据现场需要连接多个光纤传感器,轻松实现分布式多点甲烷在线监测。本系统已在国内外建立若干个示范工程,光纤甲烷监测系统在瓦斯抽采中应用时,传感器的进气口与瓦斯抽采管道上引出的出气管道连接,传感器与监控室内的监测仪之间由光缆相连,最大传输距离可达 10 km 以上。监测仪可以通过 RS485/RS232 接口与上位机进行通讯,工作人员不必去现场即可轻松实现对多

点甲烷浓度的远程实时在线监测和监控。图 5 给出了本系统在现场测试的数据, 为便于比较, 在同一个测试点另外安装了两个便携式甲烷监测仪, 其中 Test1 是本系统的测试结果

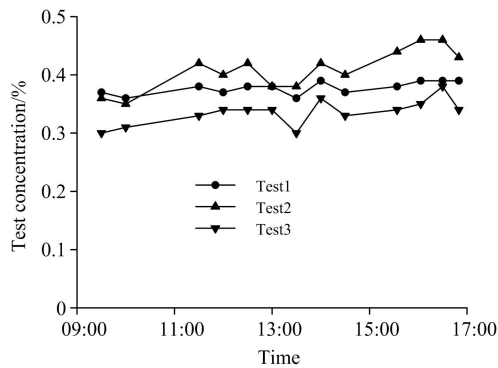


Fig 5 Comparison with the portable monitor

果, Test2 和 Test3 均是便携式甲烷监测仪得到的结果。从图 5 可以看出, 本系统测试数据与现有甲烷传感器测试数据基本一致, 且精度明显高于便携式监测仪。

5 结 论

本文基于激光光谱吸收技术, 根据甲烷光谱吸收特性, 以单片机 C8051F410 为核心处理器, 设计了一个多点甲烷远程实时在线监测系统, 具有声光报警、LCD 液晶显示、通讯等功能。利用内置参考池对激光波长漂移进行自适应调整, 实现了甲烷吸收线的锁定。该系统已在国内外建立多个示范工程, 试验表明, 该系统具有很好的稳定性, 在 0% ~ 100% 量程实现了分布式多点甲烷气体浓度的实时在线监测和显示, 基本误差远低于中华人民共和国安全生产行业标准, 在煤矿瓦斯抽采领域具有广泛的应用前景。

参 考 文 献

- [1] WANG Yan(王 岩). China Coalbed Methane(中国煤层气), 2005, 2(4): 36.
- [2] ZHANG Zhi gang, JIA Guang-sheng, YANG Li ping, et al(张志刚, 贾光胜, 杨利平, 等). Coal mining Technology(煤矿开采), 2009, 14(1): 87.
- [3] LIU Zhi cun(刘志存). Journal of Transducer Technology(传感器技术), 2003, 22(11): 24.
- [4] Rella R, Siciliano P, Vasanelli L. J. Appl. Phys., 1998, 83(4): 2369.
- [5] Schafer S, Mashni M, Snerder J, et al. Appl. Phys. B, 1998, 66: 511.
- [6] Werle P. Spectrochimica Acta, 1998, A54: 197.
- [7] Kosterev A A, Tittel K F. IEEE Journal of Quantum Electronics, 2002, 38(6): 582.
- [8] Ni J, Chang J, Liu T, et al. Proc. SPIE, 2007, 6595: 65952Z.
- [9] LIAO Yan biao(廖延彪). Fiber Optics(光纤光学). Beijing: Tsinghua University Press(北京: 清华大学出版社), 2000.
- [10] Silicon Labs. C8051F41XX. Rev. 0. 8[EB/OL]., 2006. <http://www.xh1.com/Cn/xh1/download>.
- [11] YU Qing, HUANG Qiang, FAN Rong, et al(于 庆, 黄 强, 樊 荣, 等). Coal Mine Non-Dispersive Infrared Methane Transducer (AQ 621-2008 煤矿用非色散红外甲烷传感器). Beijing: State Administration of Coal Mine Safety(北京: 国家安全生产监督管理总局), 2008.

Application in Methane Extraction of Fiber Methane Monitoring System Based on Spectral Absorption

ZHAO Yarr jie^{1,2}, WANG Chang¹, LIU Tong yu¹, WANG Zhe¹, WEI Yur bin^{1,2}, LI Yarr fang¹, SHANG Ying¹,
WANG Qian¹

1. The Key Laboratory of Optical Fiber Sensing Technology of Shandong Province, Laser Institute of Shandong Academy of Science, and School of Information Science and Engineering, Shandong University, Ji'nan 250100, China
2. School of Information Science and Engineering, Shandong University, Ji'nan 250100, China

Abstract An optical fiber distributed multi point methane real time monitoring system based on the methane spectral absorption characteristic is researched, and it's application in methane extraction is presented. An 1665nm distributed feedback (DFB) laser is used as the light source by taking the triangular signal to modulate the light frequency of the DFB laser. Using the combination of single-chip computer C8051F410, A/D transform circuit, communication circuit, display circuit, etc, the concentration of methane can be monitored and displayed on the screen. And the function of sounding the alarm bell and communication are achieved. The laser wavelength shift is carried out with adaptive adjustment by the built in gas calibration pond so as to realize the locking of a methane absorption line. Several field tests have been founded at home and abroad. The results show that the system has good performance in stability and sensitivity. The distributed multi point methane concentration monitoring is realized in the range of 0%-100%. A sensitivity of ppm order of magnitude has been achieved. It possesses of wide application in methane extraction.

Keywords Spectral absorption; Methane extraction; Fiber sensor; Methane monitor; Single chip computer

(Received Nov. 26, 2009; accepted Mar. 2, 2010)