

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学号: 200429001

UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

瓦斯气体浓度光电检测系统的研究

Research on Optoelectronics Detecting System of  
Methane Concentration

李冬梅

指导教师姓名: 黄元庆 教授

专业名称: 测试计量技术及仪器

论文提交日期: 2007 年 5 月

论文答辩时间: 2007 年 5 月

学位授予日期: 2007 年 7 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2007 年 5 月

# 厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

# 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1、保密（ ），在            年解密后适用本授权书。

2、不保密（  ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名：\_\_\_\_\_

日期：     年   月   日

导师签名：\_\_\_\_\_

日期：     年   月   日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 摘要

瓦斯爆炸成为中国矿难的主要原因，其产生原因很多，诸如：使用不合指标的检测产品、检测设备不够、检测仪的灵敏度过低、检测仪器过期或未及时校准等。瓦斯爆炸三个必要条件为：1) 瓦斯浓度 5%-16%；2) 高温热源 ( $>650^{\circ}\text{C}$ ) 存于瓦斯引火感应期；3) 氧气浓度 $>12\%$ 。矿井中的氧气浓度通常大于 12%，这是矿工在井下生存及作业的必要条件。因此，防止瓦斯爆炸主要在于实时监控瓦斯浓度并杜绝火源。在井下作业时，因设备、照明等难免会产生火花，因此主动地对瓦斯浓度进行实时、分布式的监控和检测而具有更重要的意义。

针对上述原因，本文设计了基于四光路双干涉分布式瓦斯检测系统。该系统是基于光干涉理论和比尔-朗伯吸收定律，通过 CCD 采集光干涉条纹的强度变化来反测瓦斯气体的浓度变化来工作的。此外，本文还专门为井下作业的矿工设计了便携式的瓦斯检测仪可实时实地的对瓦斯浓度进行检测并及时地进行报警。本文所研制的分布式及便携式的的光学瓦斯检测系统具有以下主要的特点：

1) 通过检测干涉条纹的强度变化，而不是通过计数干涉条纹的移动来测得瓦斯气体浓度的变化。避免了常规的光干涉瓦斯检测仪在到新环境检测瓦斯浓度时需要调零，同时避免人眼读干涉条纹移动量产生误差；

2) 提出了双干涉仪，测量干涉仪中一路光经过标准气室，另一路光暴露在瓦斯中；参考干涉仪两路光均暴露在瓦斯气体中。通过参考干涉仪可补偿由光源波动和外界环境变化引起的测量误差，从而提高了检测气体的精确度。

3) 气室设计结构简单，无鼓风机等振动器件，系统运行稳定可靠；

4) 采用 CCD 图像技术，并结合 LabVIEW 实验平台开发了瓦斯浓度分布式检测系统。该系统可多点实时采集、分析、显示瓦斯浓度曲线并具有数据的远程通信、保存及回放之功能，为系统及科学地研究矿井瓦斯气体浓度变化提供依据；

5) 便携式瓦斯检测系统采用 CPLD 芯片 (EPM7064)，该芯片可精确的产生面阵 CCD 所需的时序信号并可避免使用大量的电子元器件。同时，本文选用 ARM7TDMI-S 微处理器处理 CCD 输出的视频信号。由于 ARM7 处理速度快、外围接口丰富可满足处理 CCD 输出视频信号的数据量大、频率快的需求；且该系统具有 LCD 实时显示浓度值、声光报警和网口数据下载和通讯等功能；

6) 该检测系统具有稳定性高、防爆性好、响应速度快和使用寿命长的特点,并符合国家《煤矿安全规程》规定中对矿井瓦斯检测仪器的要求。

**关键词:** 双干涉仪; 虚拟仪器; 瓦斯检测

厦门大学博硕士论文摘要库

## ABSTRACT

Gas explosion has become one of the topmost causes of Chinese coal mines' disasters, the important factors are various, such as using unqualified, not adequate, low sensitivity, overdue devices or equipments. As far as the gas explosion itself is concerned, the three necessary conditions should be met: 1). the concentration of the methane inside the coal is between 5% and 16%; 2). the high temperature source( $>650^{\circ}\text{C}$ ) exists in the gas explosion sensitive period; 3). the oxygenous concentration is more than 12%. About the third condition, it is always satisfied because this is a prerequisite requirement for people to work and stay in the coal mine. Therefore, how to avoid the gas gathering to reach the critical concentration and stop ignition source is the most important methods to prevent the explosion. The fire resources is rather difficult to eradicate due to the machines, electric appliances using in the mine, thus the key important method to prevent the explosion falls on how to detect the gas concentration timely and precisely.

For this, in this dissertation, two systems were designed: the distributed methane detecting system and the portable methane detecting system. The distributed methane detecting system is designed based on light interference theory and Beer-Lambert law and using CCD to collect the intensity variations of the interference fringes to obtain back the concentration of the Methane. On the other hand, the portable detecting system for the operators can be used to detect the gas concentration on the real place and real time and send out the alarming signal, both the vocal and the light, immediately. The two designed systems are featured as the followings:

1) The methane concentration is obtained by detecting the intensities of the interference fringes, not calculating the movement of the interference fringes. This detecting method avoids withereding the detectors in a new envoriment, also reduces the errors brought about people's reading the movements of the interference fringes.

2) The two interferometers were designed in these detecting systems, one is acted as the measurement interferometer which is composed of two lights, one light is

through the standard gas cell ,the other light is through the methane; and the other interferometer is used as reference interferometer, and the two lights both are exposed in the methane. The reference interferometer can be used to compensate the measurement tolerances caused due to the optical resources and the outer environments' fluctuations, thus the detecting precision can be further improved.

3) The simple structure of the gas cell and without using the blast pump , the whole system can operate stably.

4) The distributed gas concentration detecting system is developed based on CCD image technology and the LabVIEW platform, and there are functions of the real-time data collecting, analyzing, displaying and also the long-distance data communication, save and playback. And it also provides that data used to analyze the gas concentration variation status systematically and scientifically.

5) Chip CPLD (EPM7064 for detail) is adopt in the portable detecting system to generate the precise time sequence signal for CCD, thus the system avoids to use large quantities of electric components. At the same time, the ARM7TDMI-S(LPC2220) featured fast processing speed, rich connectors was used to process the video signal output from CCD. And also the system is with functions of displaying the methane concentration on the LCD, giving sound and light alarms and downloading the data from the networks etc..

6) The detecting systems are characterized as high stability, good explosion preventing capability, long life time etc., and meet the requirements of the <Mine Safety Regulations> issued by the nation.

**Key words:** double interferometers;virtual instrument;methane detection



<b>目 录</b>	
<b>摘 要</b> .....	I
<b>ABSTRACT</b> .....	III
<b>第一章 绪 论</b> .....	1
<b>1.1 研究背景意义</b> .....	1
<b>1.2 甲烷的常用检测方法</b> .....	2
1.2.1 催化元件（黑白元件）.....	2
1.2.2 气敏半导体传感器.....	3
1.2.3 光纤吸收式瓦斯传感器.....	3
1.2.4 渐逝场泄漏型光纤瓦斯传感器.....	4
1.2.5 染料光谱吸收型光纤传感器.....	4
1.2.6 光干涉法瓦斯传感器.....	5
<b>1.3 目前矿用瓦斯报警仪器</b> .....	5
<b>1.4 课题的提出</b> .....	6
1.4.1 测量方法的比较.....	6
1.4.2 本课题的主要研究内容和工作.....	7
<b>第二章 气体传感器干涉的基本理论</b> .....	8
<b>2.1 两单色光干涉原理</b> .....	8
<b>2.2 光波干涉条件</b> .....	10
2.2.1 时间和空间相干性.....	10
2.2.2 菲涅尔-阿喇果法则.....	12
<b>2.3 相关光的获取</b> .....	13
<b>2.4 迈克耳逊干涉仪</b> .....	14
2.4.1 迈克耳逊干涉仪的结构.....	14
2.4.2 干涉条纹的特点.....	14
2.4.3 光源的非单色性对干涉图样衬比度的影响.....	15
<b>2.5 常见干涉仪的种类及应用</b> .....	16
<b>2.6 本章小结</b> .....	19
<b>第三章 虚拟仪器下的开发平台 LabVIEW</b> .....	20
<b>3.1 虚拟仪器的概念</b> .....	20
<b>3.2 虚拟仪器的构成</b> .....	20

3.2.1 虚拟仪器的硬件系统 .....	21
3.2.2 虚拟仪器的软件 .....	22
<b>3.3 虚拟仪器开发平台软件 LabVIEW .....</b>	<b>22</b>
3.3.1 LabVIEW 的发展 .....	23
3.3.2 LabVIEW 的结构 .....	23
3.3.3 LabVIEW 的特点和优点: .....	24
<b>3.4 LabVIEW 的外部接口与扩展 .....</b>	<b>26</b>
3.4.1 DDE 动态调用 .....	26
3.4.2 动态链接库与应用编程接口 .....	26
3.4.3 C 代码接口 .....	27
3.4.4 Matlab 调用 .....	27
<b>3.5 LabVIEW 网络通信 .....</b>	<b>27</b>
3.5.1 TCP 与 UDP 通信 .....	27
3.5.2 DataSocket .....	30
3.5.3 Remote Panels .....	31
<b>3.6 本章小结 .....</b>	<b>31</b>
<b>第四章 分布式瓦斯检测系统设计 .....</b>	<b>32</b>
<b>引言 .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1 分布式系统设计 .....</b>	<b>32</b>
4.1.1 光学系统设计 .....	33
4.1.2 气体浓度检测原理 .....	33
<b>4.2 元器件选取 .....</b>	<b>35</b>
4.2.1 光源的选择 .....	35
4.2.2 气室的设计 .....	37
4.2.3 CCD 摄像机的主要参数 .....	37
4.2.4 数据采集卡 .....	41
<b>4.3 系统软件设计 .....</b>	<b>43</b>
4.3.1 主界面设计 .....	43
4.3.2 具体工作流程 .....	44
4.3.3 各功能模块的介绍 .....	45
<b>4.4 本章小结 .....</b>	<b>52</b>

<b>第五章 分布式瓦斯检测系统实验和结论分析</b> .....	53
<b>5.1 光路的搭建</b> .....	53
<b>5.2 实验数据处理</b> .....	54
5.2.1 图像采集和保存 .....	54
5.2.2 图像的读取 .....	54
5.2.3 图像的灰度处理 .....	57
5.2.4 实验结果 .....	58
<b>5.3 误差分析</b> .....	59
5.3.1 光路影响 .....	59
5.3.2 CCD 引入的系统误差.....	60
5.3.3 标定误差 .....	60
5.3.4 高频噪声误差 .....	60
5.3.5 其它误差 .....	61
<b>5.4 本章小结</b> .....	61
<b>第六章 便携式瓦斯检测仪的设计</b> .....	62
<b>6.1 LD 光源的驱动电路</b> .....	62
<b>6.2 CCD 芯片驱动</b> .....	63
<b>6.3 CCD 信号的检测和处理</b> .....	66
6.3.1 差动放大增益电路 .....	66
6.3.2 低通滤波电路 .....	68
6.3.3 信号处理系统设计 .....	70
<b>6.4 本章小结</b> .....	79
<b>第七章 结论和展望</b> .....	80
<b>参考文献</b> .....	82
<b>致 谢</b> .....	86
<b>附 录</b> .....	86

## Table of Contents

<b>Abstract</b> .....	I
<b>Abstract(en)</b> .....	III
<b>Chapter 1 Introduction</b> .....	1
<b>1.1 Research background significance</b> .....	1
<b>1.2 Methods of methane detection</b> .....	2
1.2.1 Catalytic combustion .....	2
1.2.2 Semicoductive gas sensor .....	3
1.2.3 Infrared absorption fibre methane sensor .....	3
1.2.4 Fibre-optic evanescent-field gas sensors .....	4
1.2.5 Dye spectrum absorption fibre methane sensors .....	4
1.2.6 Optical interferential methane sensor .....	5
<b>1.3 Coal mine methane alarming instruments</b> .....	5
<b>1.4 Topic put forward</b> .....	6
1.4.1 The contrast of the detection methods .....	6
1.4.2 The main task of thesis .....	7
<b>Chapter 2 Basic interference theory of gas sensors</b> .....	8
<b>2.1 The theory of two monochromatic light interference</b> .....	8
<b>2.2 The interference conditions for the light wave</b> .....	10
2.2.1 Temporal and spatial coherence .....	10
2.2.2 Fresnel Arago laws .....	12
<b>2.3 To get the cohenrence light</b> .....	13
<b>2.4 The michelson interferometer</b> .....	14
2.4.1 Structure of michelson interferometer .....	14
2.4.2 Features of interference fringes .....	14
2.4.3 The light' s nonmonochromatic influence on interference fringes contrast .....	15
<b>2.5 Interferometer types and applications</b> .....	16
<b>2.6 Chapter summary</b> .....	19
<b>Chapter 3 Platform LabVIEW of Virtual Instruments</b> .....	20
<b>3.1 The conception of virtual instrument</b> .....	20

<b>3.2 Structure and development of virtual instrument</b> .....	20
3.2.1 Hardware system of virtual instrument .....	21
3.2.2 Software of virtual instrument .....	22
<b>3.3 Virtual instrument expolder platform LabVIEW</b> .....	22
3.3.1 The development of LabVIEW .....	23
3.3.2 Structure of LabVIEW .....	23
3.3.3 Characteristic and merit of LabVIEW .....	24
<b>3.4 Peripheral interface and expansion of LabVIEW</b> .....	26
3.4.1 DDE dynamic call .....	26
3.4.2 DLL and API .....	26
3.4.3 Code C interface .....	27
3.4.4 Matlab dynamic call .....	27
<b>3.5 Network service of LabVIEW</b> .....	27
3.5.1 TCP and UDP .....	27
3.5.2 DataSocket .....	30
3.5.3 Remote Panels .....	31
<b>3.6 Chapter summary</b> .....	31
<b>Chapter 4 The distributed methane detecting System design</b> ...	32
<b>Forword</b> .....	32
<b>4.1 System design</b> .....	32
4.1.1 Optical system .....	33
4.1.2 Gas concertration detection theory .....	33
<b>4.2 Selection of apparatus</b> .....	35
4.2.1 Selection of lamphouse .....	35
4.2.2 Design of gas cell .....	37
4.2.3 Key parameters of CCD camera .....	37
4.2.4 Data acqusiation card .....	41
<b>4.3 System software design</b> .....	43
4.3.1 Design of the main interface .....	43
4.3.2 Work detail fluent .....	44
4.3.3 Description of all function module .....	45

4.4 Chapter summary .....	52
<b>Chapter 5 Experiment of the distributed methane detection system and result analyses.....</b>	<b>53</b>
5.1 Build of optical system.....	53
5.2 Experimental data processing.....	54
5.2.1 Image acquisition and stored .....	54
5.2.2 Read BMP image .....	54
5.2.3 Image gray processing .....	57
5.2.4 Experimental Results .....	58
5.3 Error analysis.....	59
5.3.1 Effect of the beam path.....	59
5.3.2 The error caused by CCD .....	60
5.3.3 Calibration error .....	60
5.3.4 High-frequency noise .....	60
5.3.5 Other errors .....	61
5.4 Chapter summary .....	61
<b>Chapter 6 Design of portable methane sensor .....</b>	<b>62</b>
6.1 Driver circuit of the Laser Diode .....	62
6.2 Driver of the CCD chipchop .....	63
6.3 CCD singal detection and processing.....	66
6.3.1 Differential amplication circuit .....	66
6.3.2 High pass filter .....	68
6.3.3 Disposal system design .....	70
6.4 Chapter summary .....	79
<b>Chapter 7 Conclusion and prospect.....</b>	<b>80</b>
<b>References.....</b>	<b>82</b>
<b>Acknowledgement.....</b>	<b>86</b>
<b>Appendix.....</b>	<b>87</b>

# 第一章 绪论

## 1.1 研究背景意义

我国每年安全事故发生频繁,包括矿业事故、交通事故、爆炸事故、火灾、毒物泄露和中毒及其它事故,其中矿业事故最多,而瓦斯爆炸已占到中国煤矿事故的80%以上。国民经济的快速发展和基础设施建设步伐的加快,能源需求增长加速,煤炭产量也迅速增长,全国煤炭产量从1998年的12.33亿吨上升到2004年的19.56亿吨。但2005年以来煤矿安全生产形势仍然相当严峻,主要表现在:一是全国煤矿事故死亡人数居高不下,百万吨死亡率大大高于世界主要产煤国家平均水平,严重影响了煤炭工业的可持续发展和社会的稳定;二是重、特大事故没有得到有效控制;三是中国煤矿数量过多,我国国有重点煤矿约有3千家,而生产型矿井2.8万家,仅山西省就有3420家生产型矿井<sup>[1]</sup>,我国矿井数是世界除了中国以外的其他各国煤矿数量之和的数倍。小煤矿办矿标准低,事故多发,死亡人数占全国煤矿的70%以上;大中型煤矿厂设备超能力生产现象时有发生<sup>[2-5]</sup>。给国家和人民的财产带来了极大的损失。煤矿瓦斯事故仍然是当前煤矿安全的主要灾害,瓦斯的治理和防范仍然是当前煤矿安全的重中之重。

大量的瓦斯爆炸事故表明,发生瓦斯爆炸基本条件为:1. 瓦斯浓度5%-16%; 2. 高温热源( $>650^{\circ}\text{C}$ )存在瓦斯引火感应期; 3. 氧气浓度 $>12\%$ 。矿井中的氧气浓度通常大于12%,这是矿工在井下生存及作业的必要条件。因此,瓦斯爆炸由三个方面的因素促成,即瓦斯积聚、引火源和某些人员的违章失职<sup>[4]</sup>。从瓦斯的爆炸条件知道,可通过检测气体的浓度到达提醒工人撤离现场。实际应用中大多数瓦斯检测仪以电子传感器为主要设计原理的瓦斯检测系统,而电子传感器存在着误差大、稳定性不强、读取数字容易漂移、超浓度状态下传感器易受冲击及每周需要校验等缺陷;光干涉瓦斯传感器读数不直观。针对以上情况,本文设计了两套检测系统,检测原理是基于光干涉形成条纹,气体浓度不同干涉条纹强度被吸收不同来测得气体浓度。一套分布式系统可实现远程通信,多点检测,报警,数据回放,浓度曲线直观显示,系统可方便的实现功能的升级、拓展和系统的移植;还设计了一套便携式的瓦斯检测仪适用于井下作业的矿工,它具有体积小,重

量轻，可语音报警和灯光报警，并可实现数据下载，网络通讯，液晶显示等。

## 1.2 甲烷的常用检测方法

### 1.2.1 催化元件（黑白元件）

这种元件内部以铂丝为核心，外部以氧化铝为载体，载体上涂有催化剂，当铂丝通过一定的电流且元件处于含有甲烷的气体中时，表面会产生无焰燃烧，铂丝阻值因温度增加而增加，从而实现对甲烷的检测。检测电路如图 1-1 所示。

优点：输出的电信号与瓦斯浓度成正比，灵敏度高，受温度和潮湿影响小，价格低。

其缺点是：只能测量低浓度瓦斯，易受到高浓度瓦斯和硫化物的侵蚀，使用一段时间后，零点产生漂移，灵敏度下降，因此每隔一段时间就要用标准气体进行零点和灵敏度校正。

瓦斯浓度计算公式：

$$U_{AB} = \frac{r_2 + \Delta r_2}{r_1 + (r_2 + \Delta r_2)} E - \frac{E}{2}$$

$$\text{设 } r_2 = r_1 = r \quad \Delta r_2$$

$$\text{此时 } U_{AB} = \frac{\Delta r_2}{4r} E \approx K_1 \Delta r_2$$

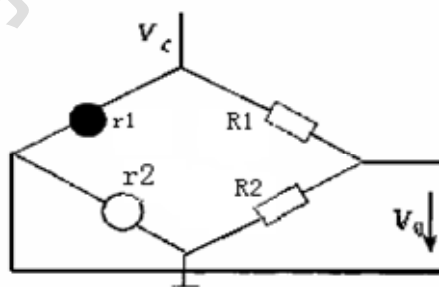


图 1-1 热催化式甲烷检测器

其中， $V_c$ 是电源电压， $r_1$ 是热催化元件， $r_2$ 是补偿元件， $R_1$ 、 $R_2$ 是桥臂电阻， $V_0$ 是输出电压。

此方法是目前市场上应用最广的，而在研究中的多是由于在二氧化物中的掺杂，来提高分辨率和响应速度上<sup>[7][8]</sup>。



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库