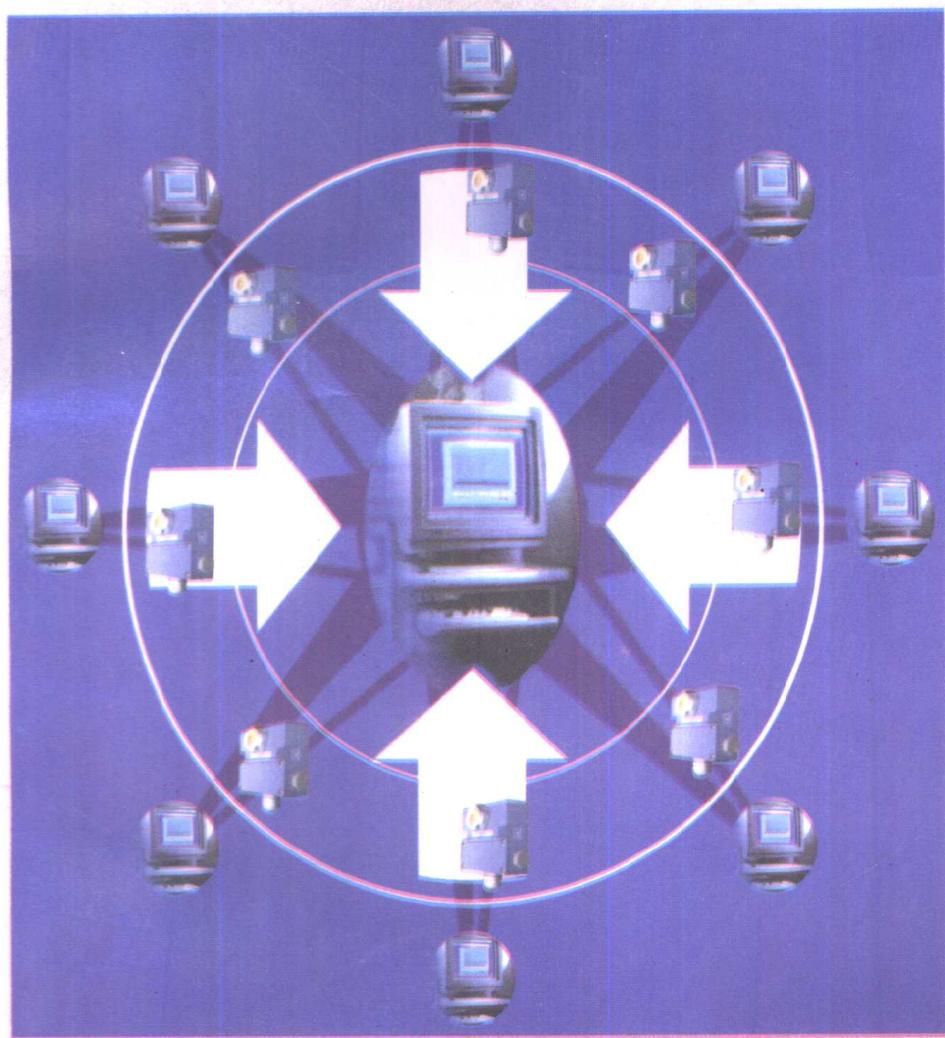


矿井环境传感技术

王汝琳 编著



中国矿业大学出版社

矿井环境传感技术

王汝琳 编著

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书深入浅出地讲述了矿井环境主要参数的传感原理和检测方法,介绍了各种有代表性的传感器、检测仪器、仪表和监测系统。本书对瓦斯传感器特别是催化型瓦斯传感器及瓦斯检测仪器做了深入探讨,其中很多内容是作者多年来在国内外从事科研工作的新成果。本书还讲述了矿井风速、矿尘、一氧化碳、温度、湿度、氧气、硫化氢、二氧化碳等参数的传感原理和检测方法。同时还介绍了几种典型的矿井环境检测站和定点传感器的布置方法及检测数据的处理。

本书可作为从事煤矿安全及煤矿开采等专业大学生和研究生的教学参考书,也可供从事矿井环境检测与通风安全工作的工程技术人员参考。

矿井环境传感技术

王汝琳 编著

出版人 解京选

责任编辑 姜 华

中国矿业大学出版社
(江苏徐州 邮政编码 221006)

新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 8.5 字数 210 千字

1998 年 9 月第 1 版 1998 年 9 月第 1 次印刷

印数 1~3000 册

ISBN 7 - 81040 - 866 - 6

TD·94

定价:15.80 元

前 言

准确、及时地检测矿井环境参数,是实现矿井安全生产和提高生产效率的保障。从事矿井环境检测和生产监测的工程技术人员,需要经常使用各种各样的传感器和检测仪器、仪表,而矿山通风安全工程技术人员和科研人员,在通风管理、防火灭火工程和矿井安全技术措施的实施中也必须使用各种各样的检测仪器、仪表。各种传感器的性能对于检测仪器的精度有决定性的影响,因此研究各类传感器、努力提高传感器的性能意义极大。随着科学技术的发展,各种各样的检测仪器、仪表和新的传感技术日新月异,不可能在一本著作中收入全部内容,而如果能较好地掌握基本的、常用的传感原理、检测方法和检测仪器、仪表,则可以使人们触类旁通、有利于了解和掌握新的检测方法。本书从基本原理入手,深入阐述了矿井环境主要参数的传感原理和检测方法,介绍了各种有代表性的检测仪器、仪表和监测系统,力求使本书既便于煤矿安全及煤矿开采专业的学生学习阅读,也适于广大工程技术人员参考。

本书内容共分十章。第一至第四章讲述瓦斯传感器和各类矿井瓦斯检测仪器;第五至第七章讲述风速、矿尘和其他矿井环境参数的传感技术;第八章讲述红外辐射检测原理和几种有代表性的检测仪器;第九章讲述环境检测站和定点传感器的布置方法及检测点的选择;第十章讲述检测数据的处理技术。

本书是在作者原著《矿井环境监测与仪表》一书的基础上、增加和补充了近年来有关的科技进步成果和作者的科研成果编著而

成的。书中第四章第二节选用了刘方鑫教授的部分资料,第七章第六节选用了刘永平同志的部分资料;在本书编写和出版过程中,得到中国矿业大学出版社孙树朴先生和姜华同志的大力支持和帮助,在此一并表示感谢。由于作者水平所限,书中的错误和不妥之处希望读者提出宝贵意见。

王汝琳

1998年1月

目 录

前言	1
第一章 矿井环境传感技术概论	1
第一节 矿井瓦斯检测的基本原理	2
第二节 矿井瓦斯检测技术的发展	9
第三节 矿井监控系统	11
第二章 催化型瓦斯传感器	14
第一节 纯铂丝传感元件	14
第二节 载体催化元件	15
第三节 载体催化元件的中毒与激活	25
第四节 载体催化元件的发展方向	30
第三章 载体催化元件的工作特性	38
第一节 载体催化元件的静态方程	38
第二节 载体催化元件的动态方程	43
第三节 载体催化元件的反应速度	46
第四节 辐射压力对反应速度的影响	51
第五节 载体催化元件的稳定性	55
第四章 瓦斯检测仪表	59
第一节 携带型瓦斯测量仪	59

第二节	瓦斯遥测警报仪的工作原理	65
第三节	瓦斯遥测警报仪的性能指标	91
第四节	数字式瓦斯遥测警报仪	93
第五章	风速检测	100
第一节	超声波旋涡测风原理	100
第二节	FC—1 型超声波旋涡风速传感器	103
第三节	MSF 型电子翼轮式风速计	105
第六章	矿尘检测	108
第一节	矿井粉尘及其运动规律	108
第二节	矿井粉尘浓度标准	114
第三节	粉尘采样器	118
第四节	粉尘采样器实例	121
第五节	快速测尘仪	128
第六节	SIMSLIN 测尘仪	130
第七章	其他矿井环境参数的检测	134
第一节	一氧化碳检测	134
第二节	温度检测	139
第三节	湿度检测	145
第四节	氧气检测	150
第五节	硫化氢检测	154
第六节	二氧化碳检测	155
第八章	红外辐射检测	175
第一节	大气的组成	175
第二节	红外辐射在空气中的传播	178

第三节	红外辐射测量	181
第四节	红外辐射源	187
第五节	红外检测元器件	190
第六节	红外吸收气体检测仪	194
第九章	环境检测站和定点传感器的布置	199
第一节	布置的一般要求	199
第二节	布置的简化	203
第三节	传感器的安装	206
第十章	检测数据的统计方法	208
第一节	数据统计的基本概念	208
第二节	检测数据的误差估计	215
第三节	检测数据的处理	217
第四节	回归分析与相关分析	221
第五节	方差分析	223
附录 1	三种原理的仪器对有关气体检测的换算关系	232
附录 2	t 分布表	233
附录 3	F 分布表	234
附录 4	煤矿用低浓度载体催化式甲烷传感器技术条件 (行业标准)	236
附录 5	煤矿用电化学式一氧化碳传感器技术条件 (行业标准)	248
主要参考文献		261

第一章 矿井环境传感技术概论

随着生产的发展,自动检测和自动控制技术得到了逐步发展和广泛应用。检测是人类认识世界的重要手段。人们通过检测手段可获得信息、了解环境,进而实现对生产和环境参数的控制。在煤炭、冶金、化工等生产部门,为了确保安全生产、改善劳动条件、提高生产自动化的水平,环境参数的检测显得尤为重要。

矿井环境检测,主要是检测矿井大气中的瓦斯浓度、一氧化碳浓度以及风速、矿尘和温度等环境参数。其中,以瓦斯的检测最为重要,相应的检测技术也比较完善。

随着煤炭工业的发展,安全问题日益成为迫切需要解决的首要问题。在我国煤矿安全事故中,瓦斯爆炸事故造成的伤亡占有重大事故伤亡人数的 50% 以上,成为实现安全生产的最大障碍。矿井瓦斯是多种可燃、可爆气体的总称,其主要成分是甲烷 CH_4 , 本书在以后讨论中均用甲烷 CH_4 代表矿井瓦斯。瓦斯爆炸,是指含有瓦斯和助燃成分的混合气在火源引燃下瞬间完成燃烧反应并形成高温、高压产物的过程。由于反应过程快、产生能量很大,与时间成反比的功率就很大,所形成的瞬间压力对矿山、工厂有很大破坏力,对现场人员生命安全有很大威胁。因此,研究瓦斯爆炸的机理、提出安全技术措施并控制爆炸的发生,是保证安全生产的重要课题。而安全技术措施需要以检测技术为基础,各种各样的瓦斯检测仪器的性能首先取决于瓦斯传感器的性能。所以,研究瓦斯检测技术、检测仪器、仪表及主要传感器具有十分重要的意义。

为了实现煤矿安全生产,除对瓦斯浓度进行检测以外,还要对风速、矿尘、一氧化碳、温度、湿度、二氧化碳等矿井环境参数进行检测,并进一步实现检测数据的自动化处理和传输,从而构成完整的环境检测系统。

第一节 矿井瓦斯检测的基本原理

一、热导率原理

混合气体的热导率,是组成它的气体组分的热导率及各组分所占百分比的函数。一般情况下,由测出的混合气体的热导率就可以确定被测混合气体的组成。用热导率原理做成的热导仪器的结构比较简单,主要部分是一个电桥。电桥的两个桥臂用电阻温度系数很大的金属丝制成,通常是用铂丝或钨丝制成的两个相同的元件。补偿元件放在充满空气的密封气室中作为补偿桥臂,测量元件与补偿元件都被加热到相同温度。由于测量气室中与补偿气室中气体的热导率不同,稳定后测量元件与补偿元件的温度不同,两个桥臂的电阻也不同。待测气体的热导率越大,测量元件的温度就越低,电阻也就越小,两个桥臂的电阻差可产生一个与待测气体浓度成比例的信号,待测气体的热导率与空气的热导率相差越大,得到的信号越强,用这种方法就可以测出矿井瓦斯的浓度。瓦斯的相对导热系数是1.318,空气的相对导热系数近于1。一般情况下,用热导方法得到的信号很小。除此以外,热导仪器的零点漂移也是一个较难克服的缺点,它受加工精度的影响很大。早期热导仪器单独用来测量 $0\% \sim 100\% \text{CH}_4$ 的瓦斯,近几年来,热导仪器常常与载体催化型仪器结合, $0\% \sim 5\% \text{CH}_4$ 范围内用催化元件测量, $5\% \sim 100\% \text{CH}_4$ 范围内用热导元件测量。

二、光学原理

光学瓦斯检定器在我国使用比较广泛,国外产品以日本的最

多,生产的历史也比较悠久。这类仪器是根据瓦斯的折射率与空气的折射率不同而制成的。当由同一光源发出的两束光分别经过充有空气的参考气室和充有待测气样的测量气室后,再相遇时两束光将产生干涉条纹。待测气样中瓦斯浓度不同,干涉条纹的位置就不同,根据干涉条纹的位置即可以测定瓦斯的浓度。

当气样的成分(或成分百分比)变化时,气样的折射率也要改变。但缺氧对于光学瓦斯检定器的影响较大。在标准状况下,甲烷的折射率是 1.000411,氧的折射率是 1.000253,空气的折射率是 1.000272,因而缺氧时待测气样折射率增大,仪器测出值偏高。除缺氧以外,待测气样其他成分的百分比变化时,光学瓦斯检定器也会产生测量误差。目前,把干涉信号进一步变成电信号还有一些困难,因此光学测量仪很少用于瓦斯遥测方面。

三、红外激光光谱原理

每一种气体对于红外区域中的光波都有一个或若干个特征吸收谱线,甲烷的吸收谱线是 $3.39\text{ }\mu\text{m}$ 和 $7.6\text{ }\mu\text{m}$ 。用氦氖激光器可以获得稳定的 $3.39\text{ }\mu\text{m}$ 的红外激光,当这种光束通过瓦斯气样时,将被瓦斯吸收,强度减弱。因此,根据光强度的变化即可测定瓦斯的浓度。例如,把含 1% CH_4 的气样封入长 7.2 cm 和 15.3 cm 的吸收管内,红外光通过吸收管后,强度分别成为原来的 52% 和 24%,可见其吸收是很强烈的。激光瓦斯测量仪有极高的灵敏度和选择性,用不分散红外线吸收原理制成的瓦斯测量仪,在美国和德国煤矿中有一定应用,如德国的乌罗尔红外瓦斯测量仪就是一种重要的瓦斯测量仪器。激光瓦斯测量仪的主要缺点是激光管电压较高、设备复杂,给在矿井中使用带来了许多困难。因此,目前这一原理的仪器主要用于实验室,用于矿井的仪器还处于研制阶段。

四、超声波原理

根据超声波在不同气体中传播速度不同的原理,可以测量矿井瓦斯浓度。

在常温常压下,空气可以作为理想气体处理,含有瓦斯的气体也近似地遵循气态方程。设待测气样的压力为 p , 密度为 ρ , 比定压热容为 c_p , 比定容热容为 c_v , 比热容比 $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ 。设声波在气样中的传播速度为 u , 由理想气体的公式有:

$$u = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}} \quad (1-1)$$

在相当精确的范围内, γ 可视为常数。对单原子气体 $\gamma = 1.67$, 对多原子气体 $\gamma = 1.4$ 。

设该气体的相对分子质量为 m , 体积为 V , 物质的量为 n , 显然有:

$$\rho = \frac{nm}{V}$$

代入式(1-1), 则有:

$$u = \sqrt{\frac{\gamma p V}{nm}}$$

理想气体的气态方程为 $pV = nRT$ 。其中, R 为常数, $R = 8.315 \text{ J/C} \cdot \text{mol}$; T 为气体的温度($^{\circ}\text{C}$)。

当 T 为常数时, $pV = nk$ 。其中, k 为常数。于是可得:

$$u = \sqrt{\frac{\gamma k}{m}}$$

令 $\alpha = \sqrt{\gamma k}$, 则 α 为一常数, 于是有:

$$u = \alpha \sqrt{\frac{1}{m}}$$

标准空气的相对分子质量是29, 甲烷的相对分子质量为16, 利

用这一关系就可以测出矿井瓦斯的浓度。

用声速测量瓦斯浓度的装置也很简单,用两个对称的气室,一个密封入空气,一个与待测气样相通。当由同一声源发出的两束声波通过两个气室后,由于其传播速度不同,到达终端的声波之间有一个与待测气样中甲烷浓度成比例的相位差。用拾音器可以把声信号变成电信号,经过相敏检波后,与甲烷浓度成比例的信号即可用仪表指示出来。

用声速测量瓦斯浓度时,对低浓度瓦斯的信号很微弱,这是其主要缺点。为了加大信号必须把气室做得很长,这在矿井条件下是很不方便的。对于高浓度瓦斯,这种方法则是可行的。因此,这类仪器常用在瓦斯抽放、地面瓦斯管道抽样等场合。

五、气敏半导体原理

用某些金属氧化物如氧化锡(SnO_2)、氧化锌(ZnO)等制成的气敏元件,在一定的温度(600℃左右)下吸附不同气体后,电阻率将发生大幅度变化,利用这一原理可以测量瓦斯浓度。气敏元件制造简单、使用方便。气敏元件分为旁热式和直热式两类,旁热式元件需要两组电源,一组供给测量电路,另一组用以提供元件加热电流,直热式元件仅需要一组电源,但电流较大。近几年来,利用超细 SnO_2 粉和其他成分制成的常温气敏元件具有一系列优点,开始应用于可燃气体测量。但是,气敏半导体测量可燃性气体浓度的精确度较差,目前还不能用于矿井瓦斯浓度的定量测量。定量测量用的气敏元件目前还处于实验研究阶段,距矿井实际运用尚有一段距离。另外,气敏元件对于很多气体都能吸附,因此选择性不好。具有较高选择性也是矿井瓦斯浓度定量测量中的一个重要要求。

六、载体催化元件原理

利用以上五种原理都可制成瓦斯测量仪器,由于各自都有某些缺点,在矿井瓦斯浓度定量测量中均未得到广泛应用。在矿井瓦斯和其他可燃性气体的检测中,最常用的是载体催化型仪器。它使

用的载体催化元件(以下简称元件)是一种热效式瓦斯传感器。由于它具有体积小(标准体形为一个长0.8 mm、直径0.5 mm 的圆柱体)、重量轻(每个元件的质量为0.7 mg)、构造简单、使用方便、消耗功率小、性能稳定等一系列优点,成为目前国内外自动检测矿井瓦斯的主要传感器。

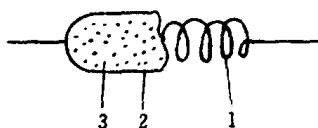


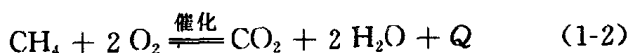
图1-1 载体催化元件

1——铂丝螺旋圈; 2——载体;
3——催化剂

元件的构造如图1-1所示。铂丝螺旋圈是元件的骨架,又是一个热敏电阻。通过一定电流后铂丝被加热,元件温度升高(在研究中选用的某一元件,正常工作电流是80 mA,温度是400℃~450℃)。载体的作用是使催化剂有良好的分散度,并提供足够的反应面积。通常使用的是K型氧化铝

(Al_2O_3),经过良好处理的K型氧化铝(Al_2O_3)是坚硬的多孔状材料,具有每克几十平方米的比表面积。常用的催化剂是铂(Pt)、钯(Pd)、钍(Th)等元素。

在催化剂的作用下,瓦斯与氧气在较低温度下发生强烈氧化(无焰燃烧)。其反应的化学方程式为:



根据催化原理,由于催化剂Pt、Pd的存在,这一反应过程降低了瓦斯 CH_4 和氧气 O_2 发生链反应的活化能,在催化剂表面的活化中心附近,被吸附的 CH_4 分子内部结构离开了稳定状态而活化裂解,从而加速链反应的进行。 CH_4 与 O_2 在Pt、Pd催化下的反应是一种多相反应。在这种反应中,气体在催化剂表面上的吸附与否、活化的程度与催化反应密切相关。金属催化剂的吸附能力取决于金属和气体分子结构以及吸附条件。另外,催化剂的分散度对化学反应也有重要影响。

利用载体催化元件测量瓦斯浓度的原理如图1-2所示。这是一个简单的测量电桥，催化元件 T_1 (黑元件) 作为工作元件，没有浸渍催化剂的元件 T_2 (白元件) 为补偿元件。无瓦斯时，通过 W_2 的调整，可使电桥处于平衡状态，此时在工作电流加热下，元件温度为 $420\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。当有瓦斯时，瓦斯与氧气在工作元件表面反应，放出反应热 Q 。反应热被元件吸收引起温度升高。由于铂丝是电阻温度系数很高的热敏材料，元件的温度增量 ΔT 将引起电阻增量 ΔR ，从而使电桥不平衡，产生一个与瓦斯浓度成

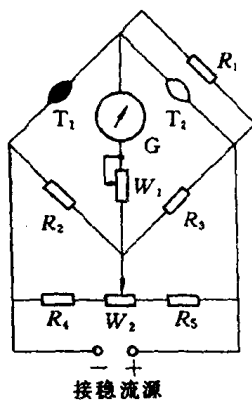


图1-2 测量电桥

正比的输出信号。利用这个原理可以检测瓦斯浓度。如果把获得的信号放大传输到远处，就可以实现瓦斯浓度的遥测；把信号放大后变换成适当形式，可以推动操作设备，从而实现对瓦斯浓度的自动控制。

在我国矿井瓦斯测量中，普遍使用载体催化型仪器和光学瓦斯检定器，此外还有少量的热导仪器。三种仪器在使用中受气压、温度、湿度、矿井大气成分等因素的影响是不同的。实验证明，少量的气压变化对于三种仪器的测量结果影响不大，在气压变化缓慢和变化幅度不大的条件下，其对测量结果的影响可以忽略不计。

由于水蒸气的折射率和热导率与空气不同，因而湿度对于光学和热导两种仪器有较大影响，必须加吸收管使进入仪器的气样保持干燥，并要保持吸收剂有良好的吸湿功能，否则必将引起测量误差。湿度对催化型仪器没有影响，因为催化元件工作在 $400\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温，载体催化元件表面的化学反应本身也产生水蒸气。

环境温度变化时，由于白元件的补偿作用，对催化型仪器无影响。但环境温度急剧变化对于热导仪器有影响，一般规律是：温度

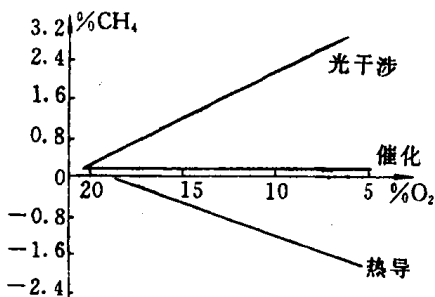


图1-3 氧气浓度对于三种仪器的影响

上升时,仪器零位趋向正值;反之,仪器零位趋向负值;当温度稳定以后,仪器零位漂移可以消失;当温度突变 10°C 以上时,由于零位漂移,仪器的指示精度将受到较大的影响。温度变化对于光学仪器影响则很小。

矿井氧气浓度不正常

时,由于氧气与正常空气的热导率、折射率不同,因而对于热导和光学仪器的测量精度都有影响,在一定范围内对于催化型仪器则无影响。氧气浓度对于三种仪器的影响如图1-3所示,可以看出,氧气浓度可使光干涉仪器指示偏高、热导仪器

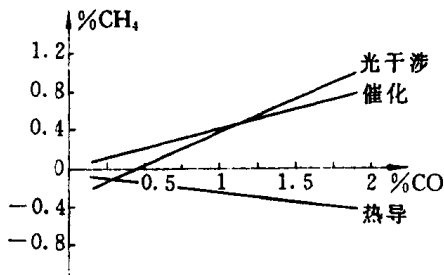


图1-4 一氧化碳对于三种仪器的影响

指示偏低,而对于催化型仪器影响则很小。一氧化碳对三种仪器的影响如图1-4所示,可以看出,一氧化碳浓度对于三种仪器都有影响,催化型仪器的指示值随一氧化碳浓度增加而有规律地增加。由于一氧化碳也是一种可燃性气体,它与 CH_4 的指示值对比当量为0.316,因此催化型仪器可以正确反映矿井大气中可燃性气体浓度的情况。二氧化碳浓度对于光学和热导两种仪器都有影响,使用中一般是加钠石灰吸收剂来吸收二氧化碳,从而保证测量精度。在一定范围内二氧化碳浓度对于催化型仪器无影响。

从上述情况可以看出,用催化型仪器测量矿井瓦斯浓度比其他两种仪器更合理、更方便。用三种原理的仪器来测量,对于有

关气体指示值的换算表见本书附录1所示。

第二节 矿井瓦斯检测技术的发展

1675年,在英国北威尔士欣煤矿发生的一次瓦斯爆炸是最早见于学会报告的一次爆炸事故。第一次伤亡超过百人的瓦斯爆炸事故发生于1825年的英国奈尔生多煤矿,死亡102人。第一个伤亡超过千人的瓦斯爆炸事故发生于1906年的法国傅立叶煤矿,死亡1099人。由此可见,在测量措施和安全措施没有完备以前,煤矿瓦斯爆炸就已成为当时社会瞩目的安全问题。

瓦斯检测仪器是随着煤炭工业发展而发展的。由于采矿工业一开始就伴随着与瓦斯事故的斗争,因此很早就出现了检测瓦斯浓度的仪器。1815年,当时工业最发达的英国发明了第一项安全仪器——安全灯。它是利用火焰的高度测量瓦斯的浓度。由于安全灯构造简单、性能稳定、使用寿命长,一百多年来一直被延用下来,至今仍在许多国家使用。

光干涉瓦斯检定器在我国和日本使用比较广泛。自20世纪30年代以来,已经连续使用了数十年,至今仍在某些矿井的瓦斯检测中使用。

目前,在瓦斯检测仪器中占主要地位的是催化型瓦斯检测仪器。据可查到的文献记载,1943年以前美国已制造成功 VCC 瓦斯测量仪,它使用纯铂丝催化元件,这是最早的催化型瓦斯传感器。随后,日本在铂丝元件上加上涂有催化剂的载体小珠,制成最早的载体催化元件,并利用这种元件制成了北辰型瓦斯指示器。据有关资料介绍,1958年法国 Cherchar 研究所已研制成功利用 Al_2O_3 为载体,钯 Pd、钍 Th 为催化剂的载体催化元件,获得了较好的测量性能。1961年英国矿山安全研究所采用新的生产工艺,改进了载体催化元件的性能。从此,催化型瓦斯传感器进入了其发展过程中的