

高等学校教学用书

矿井环境监测与仪表

王汝琳 编著



中国矿业大学出版社

责任编辑 周宪一
技术设计 周立钢
责任校对 周俊平

高等学校教学用书
矿井环境监测与仪表
王汝琳 编著

中国矿业大学出版社 出版
江苏省新华书店 发行 中国矿业大学印刷厂 印刷
开本787×1092毫米1/16 印张10 字数234千字
1988年5月第1版 1988年5月第1次印刷
印数1—3000册

ISBN 7-81021-036-X

TD·20(课) 定价: 1.70元



内 容 简 介

本书深入讲述矿井环境主要参数的检测原理和检测方法，介绍各种有代表性的检测仪器、仪表和监测系统。对瓦斯传感器，特别是催化型瓦斯传感器及瓦斯检测仪表的讲述尤为深入，其中很多内容是作者近几年来科研工作的新成果。本书还阐述了矿井风速测量、矿尘检测、以及一氧化碳、温度、湿度、氧气、硫化氢、二氧化碳等参数的检测方法和检测仪表；介绍了几种典型的矿井监测系统（包括用计算机处理和控制的监测系统），以及传感器的安置方法，检测点的选择和检测数据的处理。

本书可作为矿山通风安全专业和有关专业大学生和研究生的教材，也可供从事矿井环境监测与通风安全工作的科研人员、工程技术人员参考。

前 言

准确及时地监测矿井环境参数是实现安全生产和提高生产效率的保障。从事矿井环境监测和生产监测的工程技术人员需要经常使用各种各样的检测仪器、仪表。矿山通风安全专业的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检测仪器、仪表。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,不可能在一本书中收入全部内容。但如果能较好地掌握基本的、常用的检测原理、检测方法和检测仪表,则可以触类旁通,有利于了解和掌握新的检测方法。本书作为矿山通风安全专业的教材,从基本原理、方法入手,深入讲述了矿井环境主要参数的检测方法,介绍了各种有代表性的检测仪器、仪表和监测系统,力求既便于学生学习,也适用于工程技术人员参考。

本书共分九章,第一至三章讲述瓦斯检测传感器及各类矿井瓦斯检测仪表;第四至六章讲述风速、矿尘及其它矿井环境参数检测;第七章讲述几种有代表性的监测系统;第八章讲述传感器的安置方法和检测点的选择;第九章讲述检测数据的处理。标有星号(*)的章节可作为选学内容,其中有些内容是为了满足研究检测方法和检测仪表的专业人员需要而编入的。

本书系在原讲义的基础上修改补充而成。在编写过程中,得到中国矿业大学王省身教授的支持和帮助。书中第三章第二节选用了刘方鑫副教授编写的部分资料,第七章第三、四节选用了崔景岳教授编写的部分材料,张惠忱副教授审阅了全书,提出不少宝贵建议,在此一并表示感谢。由于作者水平有限,对本书的错误和不妥之处,希望读者提出宝贵意见。

王汝琳

1987年8月于中国矿业大学

目 录

第一章 矿井环境监测概论	(1)
第一节 瓦斯检测的基本方法	(1)
第二节 矿井瓦斯检测的发展	(5)
第三节 矿井监控系统	(6)
第二章 催化型瓦斯传感器	(8)
第一节 纯铂丝传感元件	(8)
第二节 载体催化元件*	(8)
第三节 载体催化元件的发展方向	(16)
第四节 载体催化元件的静态方程	(20)
第五节 载体催化元件的动态方程	(23)
第六节 反应速度	(25)
第七节 辐射压力对反应速度的影响	(28)
第三章 瓦斯检测仪表	(31)
第一节 携带型瓦斯测量仪	(31)
第二节 瓦斯遥测警报仪的工作原理	(33)
第三节 瓦斯遥测警报仪的性能指标	(49)
第四节 数字式瓦斯遥测警报仪	(50)
第四章 风速检测	(54)
第一节 超声波旋涡测风原理	(54)
第二节 FC-1型超声波旋涡风速传感器	(55)
第三节 MSF型电子翼轮式风速计	(56)
第五章 矿尘检测	(59)
第一节 矿井粉尘及其运动规律	(59)
第二节 矿井粉尘浓度标准	(63)
第三节 粉尘采样器	(65)
第四节 粉尘采样器实例	(66)
第五节 快速测尘仪	(70)
第六节 SIMSLIN 测尘仪	(71)
第六章 其它矿井环境参数的检测	(74)
第一节 一氧化碳检测	(74)
第二节 温度检测	(75)
第三节 湿度检测	(78)
第四节 氧气检测	(82)
第五节 硫化氢检测	(84)
第六节 二氧化碳检测	(85)

第七章 矿井监控系统	(86)
第一节 CTT63/40矿井环境监测系统	(86)
第二节 AU ₁ 集中监测系统.....	(93)
第三节 MINOS矿井作业监控系统*	(118)
第四节 CP80矿井生产监控系统*	(120)
第五节 TF200和ZM400系统*	(124)
第八章 环境检测站和定点传感器的布置	(134)
第一节 布置的一般要求.....	(134)
第二节 布置的简化.....	(136)
第三节 不同布置方法的矿井试验.....	(138)
第四节 传感器的安装.....	(138)
第九章 监测数据的统计方法	(140)
第一节 数据统计的基本概念.....	(140)
第二节 检测数据的估计.....	(144)
第三节 检测数据的处理.....	(145)
附录1 三种原理的仪器对有关气体的换算关系	(148)
附录2 t分布表	(148)
参考文献	(149)

第一章 矿井环境监测概论

检(监)测是人类认识世界的重要手段。人们通过检测手段获得信息,了解环境,进而实现对环境参数的控制。在冶金、煤炭、化工等生产部门,为了确保安全生产,改善劳动条件,提高劳动生产率,极需提高生产自动化的水平。随着生产的发展,自动检测与自动控制技术也逐步发展并得到广泛应用。

矿井环境监测,主要是监测矿井大气中瓦斯浓度,一氧化碳浓度以及风速、矿尘和温度等环境参数。其中以瓦斯的监测最为重要,相应的监测技术也比较完善。

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百分之五十以上,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,在我国煤矿中,瓦斯的主要成分是甲烷 CH_4 (在今后的讨论中,都用甲烷 CH_4 代表瓦斯)。瓦斯爆炸是含有瓦斯与助燃成分的混合气在火源引燃下,瞬间完成燃烧反应,形成高温高压产物的过程。由于反应过程很快,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,对人员生命安全有很大威胁。因此,研究瓦斯爆炸的机理、提出措施、控制爆炸的发生是保证安全生产的重要课题。而安全措施的采取则需以检测技术为基础,各种各样的瓦斯检测仪器的性能又首先决定于瓦斯传感器的性能。因此研究瓦斯检测技术、检测仪表及主要的传感器就具有十分重要的意义。

为了实现煤矿安全生产,除了对矿井瓦斯浓度进行检测外还要对风速、矿尘、一氧化碳、温度、湿度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,构成完整的环境监测系统。

第一节 瓦斯检测的基本方法

测量瓦斯浓度的原理很多,归纳起来主要有以下几种。

一、热导率

由于混合气体的热导率是组成它的气体组分及各组分所占的百分比的函数。因此,一般情况下,测出它的热导率可以确定混合气体的组成。用热导原理做成的热导仪器结构比较简单,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做成,通常是用铂丝或钨丝制成相同的两个元件。把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同样的温度。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,二桥臂的电阻也不同。待测气样的热导率越大,测量元件的温度就越低,电阻也就越小,二桥臂的电阻差产生一个与待测气体浓度成比例的信号,用这种方法可以测出矿井瓦斯的浓度。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。瓦斯的相对热导系数是 1.318,空气的相对热导系数近于 1。一般情况下,用热导方法测低浓度瓦斯得到的信号很小。除此之外,热导仪器的零点漂移是一个较难克服的缺点,它受加工精度的影响很大。热导仪器早期单独用来测量 0~100% 的瓦斯。

近几年来,常常与载体催化型仪器结合,0~5%CH₄范围内用催化元件测量;5~100%CH₄范围内用热导元件测量。

二、光学

光学瓦斯检定器在我国使用比较广泛,国外以日本产品最多,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。当两束由同一光源发出的光,分别经过充有空气的参考气室与充有待测气样的测量气室再相遇时,两束光将产生干涉条纹。待测气样中瓦斯浓度不同,干涉条纹的位置也不同,根据干涉条纹的位置可以测定瓦斯的浓度。

当气样的成分(或成份的百分比)变化时,气样的折射率也要改变。缺氧对光学瓦斯检定器影响较大。在标准状况下,甲烷的相对折射率是1.000411,氧是1.000253,空气是1.000272,因而缺氧时,待测气样折射率增大,仪器测出值偏高。除了缺氧外,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。此外,把干涉信号进一步变成电信号目前还有一些困难,因此光学原理的测量仪很少用在瓦斯遥测方面。

三、红外激光光谱

每一种气体对红外区域的光波都有一个或若干个特征吸收谱线,甲烷CH₄的吸收谱线是3.39μm与7.6μm。用氦氖激光器可以获得稳定的3.39μm的红外激光。当这样的光束通过瓦斯气样时,将被瓦斯吸收,强度减弱,根据光强度的变化即可测定瓦斯的浓度。例如把含1%CH₄的气样封入长7.2cm与15.3cm的吸收管内,通过吸收管后,红外光强度分别成为原来的52%及24%。吸收是很强烈的。可见,激光瓦斯测量仪有极高的灵敏度与选择性。用不分散红外线吸收原理制成的瓦斯测量仪,在美国和联邦德国煤矿中得到一定的应用。联邦德国的乌罗尔(unor)红外瓦斯测量仪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很高,设备复杂,这给矿井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。

四、超声波

用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守气态方程。设待测气样的压力为 P ,密度为 ρ ,定压比热为 C_p ,定容比热为 C_v ,比热比 $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ 。设声波在气样中的传播速度为 u ,由理想气体的公式有:

$$u = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$$

在相当精确的范围内 γ 可以视为常数,对单原子气体 $\gamma = 1.67$,对多原子气体 $\gamma = 1.4$ 。设该气体的分子量为 m ,体积为 V ,莫尔数为 n 。显然

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

代入上式,则

$$u = \sqrt{\frac{\gamma PV}{nm}}$$

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

当 T 为常数时,则

$$PV = nk$$

其中 k 为常数。于是可得：

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

令

$$\alpha = \sqrt{\gamma k}$$

α 则为一常数，所以有：

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

标准空气的分子量是29，甲烷的分子量是16，利用这个关系就可以测量矿井瓦斯的浓度。

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，由于传播速度不同，到达终端的声波之间有一个与待测气样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可以用仪表指示出来。

用声速测量瓦斯浓度时，对低浓度瓦斯的信号很微弱，这是它的主要缺点。为了加大信号必须把气室做得很长，这在矿井条件下是不方便的。对于高浓度瓦斯，这种方法是可行的。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

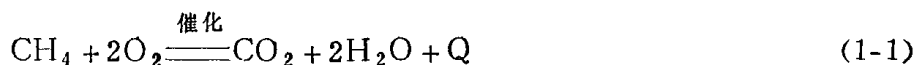
某些金属氧化物如氧化锡（ SnO_2 ），氧化锌（ ZnO ）等制成的气敏元件，在 600°C 左右的温度下，吸附不同的气体后电阻率将发生大幅度变化，利用这一原理可以测量瓦斯浓度。气敏元件制造简单，使用方便。但它需要两组电源，一组供给测量电路，另一组用来提供元件加热电流。另外气敏元件对很多气体都能吸附，因此选择性不好。定量测量用的气敏元件目前还处于试验研究阶段，离矿井实际运用尚有一定距离。

六、载体催化元件

利用以上五种原理制成的瓦斯测量仪器，由于各自都有缺点，没有得到广泛应用。在瓦斯和其他可燃性气体的检测中，最常用的是载体催化型的仪器，它使用的载体催化元件（以下简称元件）是一种热敏式瓦斯传感器。由于它具有体积小（典型尺寸为一个长 3mm，直径 1.2 mm 的圆柱体），重量轻（每个元件重 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，成为目前国内自动检测瓦斯的主要传感器。

元件的构造见图1-1。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类元件，正常工作电流是 349 mA，元件温度是 $500\sim 600^\circ\text{C}$ ）。载体的作用是使催化剂有良好的分散度，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，它具有每克几十平方米的比表面积。常用的催化剂是铂、钯、钼、等铂族元素。

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），反应的化学方程式为：



根据催化理论，反应过程是由于催化剂 Pt，Pd 的存在，降低了瓦斯 CH_4 和氧 O_2 发生

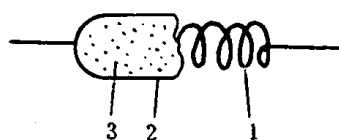


图1-1 载体催化元件

1—铂丝螺旋圈；2—载体；3—催化剂

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 500°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送到远处，就可以实现瓦斯浓度的遥测。把信号放大后变成适当形式，可以推动操作设备，从而实现对瓦斯

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不同。试验证明, 少量的气压变化对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, 对测量结果的影响可以忽略不计。

%O ₂	%CH ₄ (光干涉)	%CH ₄ (催化)	%CH ₄ (热导)
20	0.0	0.0	0.0
15	1.6	0.0	-0.8
10	3.2	0.0	-1.6
5	3.2	0.0	-2.4

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,因而对热导与光学仪器的测量精度都有影响,对催化型仪器无影响。氧气浓度对三种仪器的影响见图1-3。由图中可以看出,光干涉仪器指示偏高,热导仪器指示偏低,而对催化型仪器影响很小。一氧化碳对三种仪器的影响如图1-4。一氧化碳对三种仪器都有影响,催化型仪器的指示值随一氧化碳浓度增加而有规律的增加。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。因此可以正确反映矿井大气中可燃气体浓度的增加情况。二氧化碳浓度对光学与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，保证测量精度。二氧化碳浓度对催化型仪器无影响。

从上述情况可以看出，用催化型仪器来测量瓦斯浓度比用其他两种原理的仪器更合理，更方便。用三种原理的仪器测量，对有关气体指示值的换算表见附录 1。

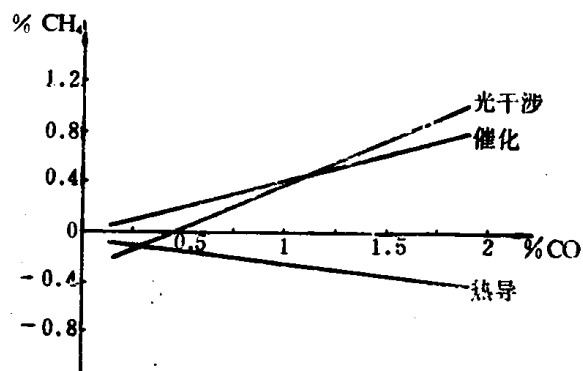


图1-4 一氧化碳增加对三种仪器的影响曲线

第二节 矿井瓦斯检测的发展

1675年在英国北威尔士欣煤矿发生的一次瓦斯爆炸是见于学会报告的最早一次爆炸事故。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年的法国美利叶煤矿，死亡1099人。由此可见在测量措施和安全措施没有完备以前，由于破坏力巨大，煤矿爆炸已成为当年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。它利用火焰的高度来测量瓦斯浓度。由于安全灯构造简单，性能可靠，使用寿命长，一百多年来一直被沿用下来，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30年代以来，连续使用了三、四十年，至今仍在某些矿井瓦斯检测中发挥着重要作用。

当前世界上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，它使用钝铂丝催化元件。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。再以后，据联邦德国安全仪器专家 Berqratt 在1977年来华技术座谈会上介绍，1958年法国 Cherchar 研究所研制成功利用氧化铝 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。从此催化型瓦斯传感器进入了它发展过程中的全盛时期。

1961年以后，英、美、法、德、日、苏等工业发达国家，都把发展催化型仪器作为瓦斯检测的主要方向。日本主要的防爆仪器公司理研计器公司，从1965年12月生产出第一种载体型瓦斯警报器以后，公司的发展重点就从传统的光学仪器转变为催化检测仪器。英国主要的防爆仪器专业厂 Sieqer 公司，1979年来华技术座谈时重点介绍了十几种产品，其中只有两种不是利用催化原理的。日本 Cosmos 公司1976年来华技术座谈时重点介绍了八种产品，其中有六种是利用催化原理的。1982~1983年煤炭部赴波兰、日本、英国的安全仪器考察团，在回国报告中介绍，这三个国家使用的矿井瓦斯检测仪器中，有80%以上是利用催化原理制成的。这些事实说明，近十几年来催化原理的仪器逐步成熟，已经占据了

瓦斯检测领域的首要地位。

在爆炸下限 (LEL) 范围内检测瓦斯浓度, 催化仪器有两个最突出的优点。一方面它能适应多种可燃性气体的检测要求, 能给出数十毫伏数量级的电信号, 可以直接推动指示仪表, 也便于对检测信号放大处理, 是良好的遥测系统传感器。另一方面, 它受测量环境条件 (温度、湿度、被测气体中 CO_2 含量等) 的影响很小, 可以省去各种吸收剂。

在超过 LEL 的高浓度检测方面, 热导型仪器得到了很大的发展。联邦德国 M-502 型瓦斯测量仪的高量程电桥和我国奉化电子仪表厂生产的 KDD-1 型瓦斯指示器都属于这种类型, 在瓦斯抽放中。还利用超声波在空气和 CH_4 中传播速度不同的原理测量高浓度瓦斯。我国北票矿务局曾试制成功这种原理的仪器——高浓度瓦斯自动检测仪。在微量检测和检漏型仪器中, 发展了气敏半导体和气敏场效应管型的仪器。它们的灵敏度比催化型仪器高, 而且构造简单, 在管道检漏和家庭煤气检漏方面运用很广。国产的 BJ-3 型家庭煤气报警器和 DL-1 型电缆检漏仪就属于这种类型。此外, 红外激光气体分析仪和气相色谱分析仪都具有较高的精度。但它们结构复杂不适于矿井非固定式的瓦斯检测, 主要用于实验室分析。

我国催化型瓦斯传感器的研究工作可以分为三个阶段。国内第一台催化原理的瓦斯报警器是 1958 年在山西出现的。它采用纯铂丝元件为传感器。1961 年由劳动部劳动保护研究所与抚顺煤矿安全仪器厂协作开展了研究工作。经过三年多努力, 研制出我国第一个达到实用水平的载体催化元件, 接着制成了以这种元件为传感器的 AQR-1 型瓦斯测量仪。在此以后, 湖南、四川、上海、西安等地相继开展了这类传感器的研究工作。

第二阶段的工作, 以 1973 年重庆煤矿安全仪器厂等五单位协作研究为代表。在前阶段工作的基础上改进配方与工艺, 提高元件的稳定性, 于 1975 年制成了长期连续检测瓦斯的 AYJ-1 型瓦斯遥测报警仪。随后 1976 年上海煤炭研究所与上海江南无线电厂协作, 研制成功 ABD-1 型瓦斯断电报警仪。1978 年抚顺煤矿安全仪器厂研制成功 AQD-1 型采煤机瓦斯断电控制仪。同一时期, 我国四川中梁山煤矿、南桐矿务局、河南鹤壁矿务局等单位都研制出自产自用的瓦斯报警仪。于是, 我国催化型矿井瓦斯检测仪器的品种逐渐丰富起来。在此期间, 1974 年 3 月到 1975 年 1 月, 煤炭部曾组织了载体催化元件的技术攻关。通过攻关, 交流各单位的研究成果, 开展新的研究, 推动了元件研究与生产的发展。最近几年, 在大力推进元件生产机械化工工艺的同时, 我国又开展了提高载体催化元件性能的研究工作。通过研究元件的工作特性, 元件催化剂和载体在工作过程中的变化规律等问题, 力图为载体催化元件的进一步发展开辟道路。这就开始了第三个阶段的历程。

第三节 矿井监控系统

随着煤矿工业的发展, 综合机械化采煤工艺不断完善, 工作面单产不断提高, 对环境参数的监测和对开采、运输各生产环节的协调要求越来越高。对环境和生产参数要求长期连续地进行可靠的监测, 按一定程序进行控制。这就逐步形成了采用多参数多测点传感器, 以电子计算机为中心的矿井监控系统。

矿井监控系统是一种自动化采集数据, 处理数据并进行控制的系统。由各式各样传感器采集的全矿井环境参数和各种生产机械工作状态参数的数据, 通过传输系统送到地面中央控制室, 由计算机进行加工处理、显示、打印和存贮。也可以于传输前在井下分站进行一次

处理。根据处理结果,对超过规定值的参数给予报警显示,对故障进行自动调整处理。同时也可以进行人工干预,由调度员通过指令实现遥控。通过这样一套系统保证全矿井安全、均衡的生产。由于可以从连续监测数据、屏幕显示图形和经过数据处理得到的各种图表,及时掌握全矿井的环境参数和生产机械的状态,就保证了生产的连续与均衡,减少停顿和阻塞,防止重大事故发生。另外,由于及时掌握生产机械的工作状态,可以分析设备的配置状态与利用率,发现生产薄弱环节,改进管理、提高生产效率和经济效益。

按不同方式可以把矿井监控系统分为不同类型。例如按信号传送制式可分为频分制、时分式、混合式;按供电方式可分为地面直接供电式,井下分区供电式等等。

全矿井环境监测和生产监控系统,国外是七十年代研究开发的。随着计算机成本降低,功能提高,采用计算机控制的大中型监控系统逐步发展起来。从目前的水平来看,其代表有英国的 MINOS 系统,联邦德国的 TF-200、ZM-400 系统。较早的还有法国 CTT63/40 系统。

我国煤矿在 70 年代一般采用多路载波传输系统和模拟显示进行环境参数和机械状态的监测,用电话指挥生产。1980 年以后引进了波兰 CMM 安全监测系统,英国 MINOS 系统,美国的 DAN 系统和联邦德国 TF-200 系统。随着引进消化并进一步实现“国产化”,创造一系列适合我国煤矿条件的监控系统,必将对我国煤炭工业的发展产生重要作用。

第二章 催化型瓦斯传感器

第一节 纯铂丝传感元件

最早的催化型传感器是美国 ucc 瓦斯测量仪使用的纯铂丝元件。自此开始一直到1961年以前,催化型瓦斯检测仪器主要是使用铂丝催化元件。

铂丝催化元件仅有一个纯铂丝螺旋圈、结构简单、制造容易。它的最大优点是抗毒能力强,在含1000ppm的硫化氢与1%CH₄的气体中连续工作4h,或者每次工作30s,断续工作400次,元件输出活性不下降。与此对比,载体催化元件在100ppm的硫化氢与1%CH₄的气体中连续工作4h,其输出活性下降20%以上。但是,由于铂丝元件的工作温度为900~1000°C,工作时铂丝升华比较严重,工作元件的线径显著缩小,从而使仪器零点严重漂移,连续工作的寿命不长。

在我国,有部分矿井含有较严重的硫化氢(例如四川南桐矿务局南桐矿),这些矿井使用载体催化元件效果不好。在石油化工部门测量多种可燃混合气体时,由于常常遇到有毒成分,也不能使用载体催化元件,而应使用铂丝元件。北京市劳动保护研究所等单位研制成功的RCY-1型和HRB-1S型多种可燃气体测试仪,采用铂丝元件作为传感器。因此,铂丝元件在我国矿井瓦斯检测和其它可燃易爆气体检测中仍很重要,应当继续研究开发。

从外国铂丝元件的生产情况来看,法国和波兰长期以来一直以铂丝元件为主,美、英、日等国主张发展载体催化元件,联邦德国则对两种元件都进行了研究和生产。这里特别应当提出以法国CTT63/40为代表的一类铂丝元件仪器。它们利用脉码时分制,使元件断续通电,从而实现了对于矿井瓦斯的长期连续监测。波兰生产的CMM-20和CMC-1两种仪器都是CTT63/40仪器的改进型。这三种仪器在矿井使用中都获得了成功,证明用间断供电的方法延长铂丝元件寿命是成功的。

铂丝元件的工作温度高是由于铂丝对甲烷CH₄氧化的催化活性比钯Pd低。1982年抚顺煤炭研究所提出了在载体上浸渍铂Pt制成单一铂催化的载体催化元件,由于浸渍的铂有较高的分散度,可使催化活性得到一定提高。他们的研究报告指出,这种元件还可能克服载体催化元件的瓦斯激活问题。虽然目前还缺乏试验验证,但开展这项研究是有意义的,应当继续进行下去,以取得肯定的成果。

第二节 载体催化元件*

从日本研制的北辰瓦斯指示仪开始,载体催化元件的使用已经有40年历史。最近20年来,载体催化元件逐步成为占首要地位的瓦斯传感器。从结构来看,载体催化元件(以下简称元件)可以分为两类,一种是我国与英美等大多数国家使用的元件结构,如图1-1所示。第二种结构的元件是苏联等少数国家采用的,如图2-1所示。

图2-1所示的元件结构通常称为多层结构。由于专门使用了一个热敏电阻来获得与催化燃烧热成正比的信号,元件的输出信号比较大。另外一种多层结构的元件是英国1969年生产的。它在一根玻璃管内装入热电偶,在玻璃管外绕发热丝,发热丝分成两段,构成一对元

件。元件工作的发热丝上涂有一层催化剂。在运行时，热电偶的输出决定于氧化反应所产生的热量。多层元件的主要缺点是结构复杂，消耗功率大。单个元件的消耗功率为 0.8W，比图 1-1 的元件大 0.5 倍左右。

随着催化型仪器品种的增加，需要各种不同工作电流和工作电压的元件。元件的工作电流，工作电压和加热功率不仅受载体和催化剂的影响，更主要的是决定于铂丝螺旋圈的参数。这些参数有：铂丝线径，芯线直径，排线密度和每个元件的圈数，可以根据不同的使用条件和电源情况来选择这些参数，选择恰当时可以降低加热功率。国内常用的铂丝参数见表2-1。

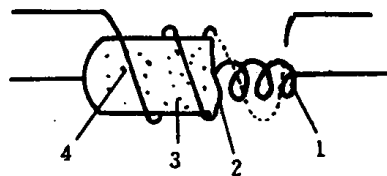


图2-1 多层结构元件

1—铂丝螺旋圈；2—载体；
3—催化剂；4—热敏电阻

表2-1 铂丝螺旋圈参数

铂丝直径 mm	芯线直径 mm	排线密度 圈/cm	元件圈数	工作电压 V	工作电流 mA	铂丝直径 mm	芯线直径 mm	排线密度 圈/cm	元件圈数	工作电压 V	工作电流 mA
0.07	0.5	100	32	3.2	360	0.05	0.15	164	6	1.1	500
0.06	0.5	100	29	3.5		0.03	0.102	200		3	
0.05	0.25	164	25	2.1		0.025	0.2	210	14	2.2	340
0.05	0.15	164	40	2.1							

在一般情况下，从消耗功率的角度考虑，携带型仪器使用的元件铂丝直径为 0.02、0.03、0.05 mm，元件体积比较小，常为圆球形或椭球形。固定式长期连续使用的仪器，元件铂丝常为 0.06、0.07 mm。元件体积较大，一般为圆柱形，电流常为 350 mA。

铂丝螺旋圈不但是元件的加热丝，而且是元件的骨架和热敏电阻。因此要经过良好的热处理，使其具有一定的强度与适当的弹性。为了获得较高的输出活性，具有较高的电阻温度系数，要求铂丝纯度尽可能高些。如果铂丝不纯，在工作过程中，杂质将逐步挥发出来，改变催化剂的组分，从而影响元件的性能。

我国铂丝的纯度标号是用电阻比 R_{100}/R_0 标定。 R_{100} 是铂丝在 100℃ 的电阻值， R_0 是在 0℃ 时的电阻值。比较理想的铂丝是 $R_{100}/R_0 \geq 1.3925$ ，相当于铂含量为 99.999%。

绕制铂丝的芯线有钼丝和铁丝两种，钼丝的化学稳定性很好，放置时间长的铂丝应用钼丝作芯线，但用钼丝作芯线时，“去芯”处理要用硝酸煮沸，操作麻烦。在生产中，一般都用铁丝作芯线，用 15% 的盐酸加热就可以“去芯”。

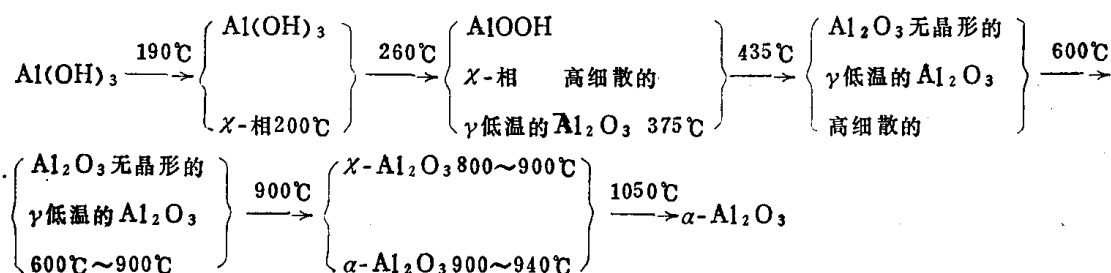
在考虑铂丝参数时，要注意排线密度对元件工作电流和工作电压的影响。作者 1974 年对不同排线密度的元件作过试验。用三种仅是排线密度不同而其他参数相同的铂丝，按同一工艺过程制成载体催化元件。它们的铂丝线径为 0.05 mm，芯线直径为 0.2 mm，圈数 8 圈。第一种元件排线密度为 100 圈/cm，表示为 $0.05 \times 0.2 \times 100 \times 8$ 。第二种排线密度为 145 圈/cm，表示为 $0.05 \times 0.2 \times 145 \times 8$ 。第三种排线密度为 164 圈/cm，表示为 $0.05 \times 0.2 \times 164 \times 8$ 。三种元件各十对，主要性能的平均值见表 2-2。

试验结果表明，排线密度对元件的加热功率有影响，选择合适的排线密度，可以获得最小的加热功率。其他参数对工作电流和工作电压的影响比较直观，也可以通过试验找到最佳值。

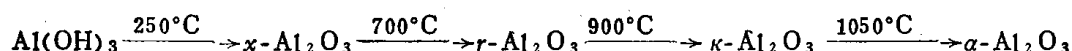
表2-2 铂丝参数对工作电流的影响

铂丝参数	工作电流 mA	工作电压 V	灵敏度 mV/1% CH ₄	稳定性 (对1% CH ₄ 、8h 输出下降量) mV
0.05 × 0.2 × 100 × 8	470	1.2	22.0	<0.4
0.05 × 0.2 × 145 × 8	430	1.2	22.5	<0.4
0.05 × 0.2 × 164 × 8	462	1.2	22.7	<0.4

载体的主要作用是提供较大的接触与反应表面。对载体的研究是载体催化元件研究中的一项重要内容。早期的国外元件曾用硅胶作为载体。我国山西省研制第一批元件时,是用粘土作为载体材料。日本专利1184184及Bp专利No.892530曾介绍过,用软化点为920℃的玻璃作载体的元件,其组成:54.3%SiO₂, 21.0%Al₂O₃, 8.0%B₂O₃, 13.5%CaO, 3.1%BaO。这种元件的主要问题是载体比表面积小,活性较低。60年代以来,各国研制的元件基本上都使用氧化铝Al₂O₃作为载体材料。在涂浆法工艺中,经高温焙烧的Al₂O₃是坚硬的多孔状结晶,具有较高的比表面积。Al₂O₃是由三水铝石Al(OH)₃制得,它在真空中的热转化过程取如下形式:

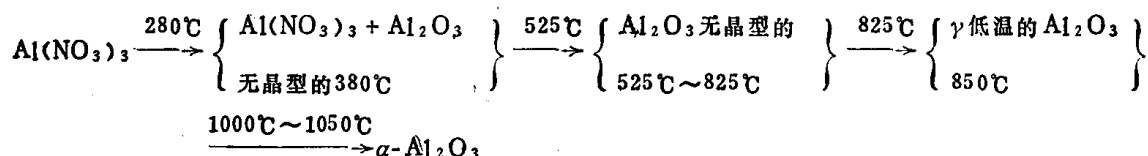


在空气中的热转化过程为:



从结构上讲, $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 属于六角晶系,在这种氧化铝中,氧原子成六角堆积,八面体空隙中央为铝原子。一个铝原子与六个氧原子配位,一个氧原子与四个铝原子配位。 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的机械强度最好,又称为刚玉。 $\kappa\text{-Al}_2\text{O}_3$ 也属于六角晶系,氧密置层与 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的解理面相似。因此 $\kappa\text{-Al}_2\text{O}_3$ 也有相当好的机械强度。 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 属于四角晶系,晶格类似于尖晶石MgAl₂O₃ 的结构。 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 及 $\eta\text{-Al}_2\text{O}_3$ 在X射线图上存在明显的弥散线条,这表示晶格是完全无序的。对于 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$,这种无序性主要由铝原子的无序性来决定。

制作元件中使用硝酸铝作为粘结剂,硝酸铝的热分解过程是:



$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 是终态,十分稳定,具有很高的机械强度。1965年在劳动保护研究所和抚顺煤矿安全仪器厂协作的研究成果中,使用的焙烧温度是700℃主要是 γ 型Al₂O₃,载体的比表面积达60m²/g以上,但机械强度较低。1974年以后国内元件生产中大都改用900℃的焙烧温度,形成 $\kappa\text{-Al}_2\text{O}_3$,兼得较高的比表面积和较好的机械强度。

用涂浆法制作载体元件,使用的Al₂O₃是条状活性氧化铝或者粉状中性氧化铝。首先

要把原料研磨、过筛、再用硝酸铝作粘结剂调成涂浆。载体的机械强度和是否有裂纹除与焙烧温度有关外,还与氧化铝粉的粒度和硝酸铝的用量有关。作者1969年至1974年用优选法对多参数进行了试验,确定较好的参数是:焙烧温度900℃,氧化铝粒度300目过筛,硝酸铝溶液比重1.3,氧化铝重量(g)与硝酸铝溶液体积(mL)比例为3:2。按这种配方制作的载体元件,比表面积为30m²/g,可以有较高的机械强度。涂浆法是我国目前生产中采用的主要方法。重庆煤矿安全仪器厂,抚顺煤矿安全仪器厂等单位均采用涂浆法。

除了涂浆法外制作载体元件的方法还有饱和硝酸铝电热分解法和电泳法。分解法是在铂丝螺旋圈上浸滴饱和硝酸铝溶液Al(NO₃)₃,然后通电加热使Al(NO₃)₃分解为Al₂O₃。重复这一步骤二十多次,可以得到满意的载体元件。分解法制作的元件形状均匀,表面致密,机械强度好,适合于机械化生产。日本理研计器公司,英国EEV公司都采用这种工艺。最近我国引进英国Sieger公司的SG11型载体催化元件生产线,就是采用分解法工艺。我国西安煤矿仪表厂早在1974年以前就采用分解法制作元件。这种元件用于该厂生产的瓦斯遥测警报仪。

电泳法是制造载体元件的新方法。它以铂丝螺旋圈为一极,铝板为另一极,在含有Al₂O₃粉的电泳液中电泳,使Al₂O₃粉沉积在铂丝上,形如圆柱状。电泳好的元件焙烧后就成为载体元件。电泳法的最大优点是元件的形状和尺寸易于控制,制成的元件一致性比较好,也适合大批生产。1974年至1975年,在煤炭部组织的载体催化元件技术攻关中,作者曾参加了电泳法的研究工作。当时研究出的电泳元件性能基本达到了载体催化元件的要求(见表2-3)。存在的问题是焙烧温度不合适。采用1300℃烧氢时,由于氢对铂丝的作用强烈,使铂丝本身的强度变坏。用1100℃烧氢时,虽然铂丝不被破坏,但载体机械强度又不佳。尚需进一步试验。此外,电泳元件的起燃温度比涂浆法元件的起燃温度高20℃左右。

表2-3 三种元件性能比较

元件种类 铂丝参数		携带型瓦斯测量仪元件 0.05×0.2×145×8			
主要性能		工作电流 mA	工作电压 V	灵敏度 mV	稳定性 %CH ₄
	涂浆法	450	1.1	13	<0.1
	分解法	470	1.15	13	<0.1
	电泳法	480	1.15	14	<0.1

用三种不同工艺方法制出载体元件,再浸渍同一种催化剂配方制得载体催化元件,主要性能的测试结果如表2-3。表中的稳定性是对4%CH₄10min输出值下降量,初步研究已经证明:电泳法是一种有实用价值的工艺方法。1974年试验中效果较好的电泳液配方见表2-4。

表2-4 电泳液配方

氧化铝粉(北京774厂制仿KB电泳用粉)	450g
硝棉溶液(自制)	120ml
甲醇(I级分析)	600ml
硝酸铈(I级分析纯)	3ml
溶液导电度	55×10 ⁻⁵ ~1×10 ⁻⁴ Ω ⁻¹ cm ⁻¹
溶液酸度	pH=4.3~6

不论上述三种工艺中的那一种,由于受到铂丝形状和载体工艺的限制,元件的形状大,小和热学,电学参数很难做到严格一致。这就使得载体催化元件在使用中一般不能互换,