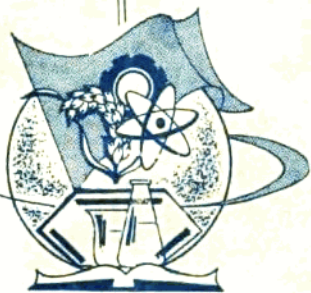


中等专业学校试用教材



自动成分分析仪表

(化工仪表及自动化专业适用)

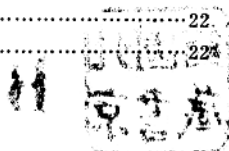
陕西省化工学校

郭 振 宇 编

化 学 工 业 出 版 社

目 录

绪论	1
一、工业分析仪表的分类	1
二、工业自动分析仪表的组成	2
三、主要技术性能	2
四、发展趋势	3
第一章 热导式成分分析器	4
第一节 热导式成分分析器的工作原理	4
一、混合气体的导热系数及其组成关系	4
二、测量原理	5
第二节 热导式气体分析器的测量桥路	8
一、单电桥测量线路	8
二、双电桥测量线路	9
第三节 热导式成分分析器发送器的结构	10
一、发送器的结构类型	10
二、热导池内电阻丝的支承方法	11
三、热导池池壁温度的影响	11
第四节 仪表测量桥路的调校与标定	12
一、单电桥线路测量系统	12
二、双电桥线路测量系统	14
第五节 取样及预处理系统	14
一、取样	14
二、预处理系统	16
第六节 RD 型热导式气体分析器	17
一、测量电桥	17
二、稳压电源	17
三、温度控制系统	19
四、发送器	19
五、安装	19
六、使用与维护	20
七、常见故障的处理	21
思考题	21
第二章 氧分析器	22
第一节 热磁式氧分析器的工作原理	22
一、气体的磁性质	22



二、热磁式氧分析器的工作原理	24
第二节 发送器的结构	25
一、环形水平通道发送器	25
二、环形垂直通道发送器	26
三、外对流式发送器	27
四、补偿式发送器	28
第三节 热磁式氧分析器的测量桥路	29
一、直流不平衡电桥测量电路	29
二、交流双电桥测量电路	29
第四节 热磁式氧分析器的误差分析与调校	30
一、热磁式氧分析器的基本误差	30
二、热磁式氧分析器的附加误差	31
三、发送器的调校	32
第五节 QZS型热磁式氧分析器	32
一、结构特点	32
二、配套使用	34
三、安装	34
四、仪器的启动与校正	34
五、敏感元件的更换	35
第六节 氧化锆氧分析器	36
一、氧化锆电解质的性质	36
二、氧浓差电池原理	36
三、氧化锆氧分析器的测量系统	37
四、氧化锆氧分析器输出特性的线性化	41
五、氧化锆氧分析器的调试简介	42
思考题	42
第三章 光学式分析仪器	43
第一节 红外线的基本知识	43
一、红外线的特征	43
二、朗伯-贝尔定律	43
第二节 红外线气体分析器的类型及工作原理	44
一、分类	44
二、直读式红外线分析器的工作原理	45
第三节 红外线气体分析器的结构	46
一、负式结构	47
二、正式结构	48
三、补偿式结构	48
第四节 红外线气体分析器的主要部件	49
一、红外线辐射光源	49

二、气室及滤波元件	50
三、检测器	51
第五节 红外线气体分析器的电子线路	56
一、前置放大器	56
二、主放大器	58
第六节 红外线气体分析器的调校	60
一、相位调整	60
二、光路平衡调整	61
三、零位调整	62
四、量程调节	62
第七节 QGS-04 型红外线气体分析器	63
一、仪器的结构特点	63
二、电气部分	64
三、调校与使用	66
第八节 FQ 型红外线气体分析器	67
一、仪器的结构特点	68
二、电气部分	69
三、调校与使用	72
第九节 工业光电比色计	73
一、基本原理	73
二、仪器的结构	74
三、基本部件	75
第十节 GB-4A 型光电比色式铜离子分析器	77
一、仪器的工作原理	77
二、仪器的结构特点	77
三、电气线路	78
四、调校与使用	78
思考题	79
第四章 工业气相色谱仪	81
第一节 色谱分析法的基本原理	82
一、分离原理	82
二、理论基础	83
三、塔板理论	85
四、速率理论	85
五、分布等温线	86
第二节 色谱柱	87
一、柱管及其材料	88
二、气液柱(分配柱)	88
三、液担比	89

四、气固柱(吸附柱).....	89
五、色谱柱的制备.....	89
第三节 操作条件对色谱分离效能的影响.....	92
一、载气性质的影响.....	92
二、载气流速的影响.....	92
三、温度的影响.....	92
四、载气压力的影响.....	93
五、进样时间与进样量的影响.....	93
第四节 检测器.....	93
一、对检测器的一般要求.....	93
二、热导检测器.....	94
三、氢火焰离子化检测器.....	95
四、微电流放大器.....	97
五、恒温槽.....	100
第五节 控制线路.....	101
一、稳压电源.....	101
二、检测器、色谱柱的温度控制线路.....	101
三、切换阀控制电路.....	102
四、记录纸推进控制电路.....	103
五、自动衰减电路.....	104
六、程序控制电路.....	104
七、多点取样电路.....	107
八、信号电路.....	107
第六节 预处理系统.....	111
第七节 取样阀及柱切技术.....	112
一、取样阀.....	112
二、柱切技术.....	114
三、热导池的连接.....	115
第八节 cx-2型工业气相色谱仪.....	116
一、结构特点.....	116
二、仪器的安装和使用.....	116
三、仪器的维护及常见故障的处理.....	118
思考题.....	120
第五章 工业 pH计	121
第一节 pH计的工作原理.....	121
一、pH的意义.....	121
二、电极电位与原电池.....	122
三、pH值与原电池电动势的关系.....	125
第二节 电极的结构.....	126

一、参比电极	126
二、指示电极	127
三、发送器的结构	129
第三节 高内阻毫伏信号的测量及测量线路	130
一、测量线路的输入阻抗	130
二、测量线路	130
第四节 pHG-21B型工业酸度计	136
一、结构特点	136
二、仪器的安装	136
三、调整和运行	136
四、维护与检修	138
思考题	138
第六章 工业电导仪	139
第一节 工业电导仪的测量原理	139
一、电导率与溶液浓度的关系	139
二、溶液电导(电阻)的测量方法	140
三、刻度方法及电极常数的确定	142
第二节 电导池的结构和影响电导测量的因素	142
一、电导池的结构	142
二、影响电导测量的因素	143
第三节 DDD-32型工业电导仪	145
一、电导发送器	145
二、转换器的组成及工作原理	146
三、仪器的调校	149
思考题	151
第七章 微量氧分析器	152
第一节 原电池法微量氧分析器的工作原理	152
第二节 仪器的流程、结构和性能	153
一、流程	153
二、原电池的结构和性能	154
第三节 仪器的刻度和校正	158
一、仪器的刻度校正原理及计算方法	158
二、电解池的设计要求	160
第四节 DH-01型微量氧分析器	161
一、仪器的组成和作用	161
二、电气部分	163
三、调校与使用	164
思考题	166

绪 论

工业自动成分分析仪表是近年来发展较快的一类自动化仪表，各种新技术、新工艺、新材料、新元件在这方面都得到较快的应用和发展。它广泛地用于化工、炼油、冶金等工业部门生产的流程及自动化系统中；还在半导体材料生产中用于微量杂质的分析；在环境监测等方面也得到较多的应用。

我国的工业成分分析仪表工业是一个新兴的行业，解放后，有了较大的发展。建立了一些专业性工厂和科学研究机构，研究、制造了各种系列、类型、品种的工业分析仪表，但无论在品种、数量及质量上都远远满足不了科研、生产的需要。在实现四个现代化的宏伟目标的新的长征中，工业分析仪表也必将得到更大的发展和取得更大的成就。

下面将工业分析仪表的分类、组成及技术性能和发展方向作一简单的介绍。

一、工业分析仪表的分类

由于分析仪器中应用的物理、化学原理广泛而复杂，其分类方法也各不相同。按照仪器的工作原理可分为光学式分析仪器、热学式分析仪器、色谱仪等等；按分析的对象又可分为气体分析器、液体分析器、湿度计等等。仪器分类是一个复杂的问题，无论是按仪器的工作原理分类，还是按分析对象分类，都有一定的局限性。我国分析行业对这个问题进行了多次的讨论，以仪器的工作原理为主，结合仪器发展的现状（包括理化试验室分析仪器）和我国仪器行业及使用部门的习惯，暂定将仪器分为如下九类：

1. 电化学式分析仪器。其中又分为：

电导式分析仪器；

电量式分析仪器；

电位式分析仪器。

2. 热化学分析仪器。其中又分为：

热导式分析仪器；

热化式分析仪器；

热谱分析仪器。

3. 磁式分析仪器。其中又分为：

磁性氧分析器；

磁共振波谱仪。

4. 光学式分析仪器。其中又分为：

吸收式光学分析仪器；

发射式光学分析仪器；

其它光学分析仪器。

5. 射线式分析仪器。其中又分为：

X射线分析仪器；

放射性同位素分析仪器。

6. 色谱仪。其中又分为:

气相色谱仪;

液相色谱仪。

7. 电子光学和离子光学式分析仪器。其中包括: 电子探针;

质谱计和离子探针等。

8. 物性测定仪器。其中包括:

温度计;

水分计;

粘度计;

密度计等等。

9. 其它类。

二、工业自动分析仪表的组成

工业自动分析仪器的的工作原理互不相同, 其结构和组成也各有差异, 但它们都是由一些共同的部分或基本的环节所组成。如发送器、放大器、二次仪表、取样和预处理装置、辅助装置等。

1. 发送器部分

发送器(也称传送器、传感器)是仪器的核心部分。其主要任务是将被测组分浓度的变化或物质性质的变化转变为某种电量的变化, 这种变化通过一定的测量电路转变为相应的电压或电流输出。在自动分析仪器中, 发送器常常是检测部分和测量电路的总称。

2. 放大器部分

发送器输出的电信号往往比较微弱, 不足以推动二次仪表工作, 需要配置放大器。它的作用是将发送器输出的微弱信号进行放大后送给二次仪表显示或记录, 也可送给调节器或微处理机进行自动调节或数据处理。但有的发送器输出的信号可以直接推动二次仪表, 所以就不需要专门设置放大器。

3. 二次仪表

指示仪表、记录仪等统称为二次仪表。工业自动分析仪器大多采用电流表或自动平衡式记录仪来作为二次仪表。目前采用小型数据处理装置的数字指示型二次仪表也日渐增多。

4. 取样和预处理装置

自动分析仪器取样装置主要包括减压、稳流, 预处理和流路切换等。它的任务是将被测样品自动, 连续地输入发送器。

预处理装置主要包括过滤器、分离器、干燥器、冷却器、转化器等。由于工艺流程和被测样品的多样性, 它主要根据具体分析对象进行选择。总之, 取样和预处理系统应为发送器提供有代表性的、干净的、符合发送器技术要求的样品。

5. 辅助装置

自动分析仪器除以上基本部件外, 根据其工作原理和使用场合不同, 还需要一定的辅助装置, 如恒温控制器、电源稳定装置以及防震、防爆装置等。

自动分析仪器一般由上述基本部分组成, 但每一台分析仪器不一定都具备这些部件。

三、主要技术性能

目前我国自动分析仪器的研究和生产还处在初级阶段,对其各项技术性能的定义和指标,有些还没有统一的规定。这里仅就它最基本和主要的技术性能做简要的说明。

1. 精度和误差

精度(即准确度)和误差是同一问题的不同表示方法。分析器的误差是指仪器指示值与实际值之间的差异程度,而精度则是说明指示值与实际值相吻合的程度,误差愈小、精度愈高。目前习惯上把分析仪器的精度由高至低分为十级,即1.0、1.5、2.0、2.5、4.0、5.0、6.0、10.0、15.0、20.0。

根据误差的性质,在自动分析仪器中将其分为基本误差和附加误差两种。基本误差是指在所规定的使用条件下仪器的测量误差。在仪器精度等级上加“ $\pm$ ”和“ $\%$ ”号即构成仪器的基本误差。如精度等级为1.0、1.5、5.0的仪器,其基本误差相应为 $\pm 1.0\%$, $\pm 1.5\%$, $\pm 5.0\%$ 。附加误差则是在使用条件超出规定范围时,所增加的测量误差。

2. 灵敏度

灵敏度是指仪器信号变化与被测组分浓度变化之比,它是分析仪器质量的重要指标之一。这一数值愈大,表明仪器愈灵敏。即被测组分浓度信号有微小变化时,仪器就能产生足够的响应信号。

3. 响应时间

响应时间是表示当被测组分的浓度发生变化时,仪器输出信号跟随变化的快慢。一般以样品含量变化时开始,仪器响应到达指示值90%时所需的时间即为响应时间。另一种表示方法是仪器响应指示值到达指示值的63%时所需的时间,它称为时间常数。

自动分析仪器的响应时间愈短愈好,尤其是在以分析器的输出作为自动控制系统的信号源时,这一特性更加重要。

四、发展趋势

为了满足科研和生产的需要,目前,工业自动成分分析仪表发展的趋势着重在以下几个方面:

1. 广泛采用科学技术发展的新成就,新技术,创造新型的工业分析仪表,以适应各个领域的需要。

2. 进一步克服某一种仪器仪表应用上的局限性,而将有关仪器、仪表采用联用的方式,扩大分析范围和功能。并对现有的仪器仪表进一步改进结构,广泛采用补偿原理,以进一步改善测量的静态及动态特性。

3. 积极研究和发展能分析微量和超微量的仪表。

4. 把工业分析仪表与计算装置,如计算机与微处理机配合使用,对分析数据进行处理,使分析过程自动化及生产过程自动化向更高级发展。为了与计算机配合,在发送器方面向数字发送器发展。

5. 建立鉴定工业分析仪表的质量标准,并确定其精度等级。

第一章 热导式成分分析器

热导式成份分析仪器，可分析混合气体中某一组分（称待测组分）的含量，是一种基于气体的百分比含量（体积）变化引起导热系数随之变化这一物理特性而制造的一种气体分析器。它是目前气体分析仪器中最基本的一种。由于这种分析仪器结构原理简单，制造比较容易，所以还在工业色谱中得到了广泛的应用。

第一节 热导式成分分析器的工作原理

一、混合气体的导热系数及其组成关系

在热传导过程中，不同的物质，由于其导热系数不同，因而传热的能力也不同。导热系数大者，传热就快，反之传热则慢。气体、液体和固体，都有热传导现象，但气体的导热系数最小，不同的气体有各自的导热系数。以空气的导热系数为基准，各种气体的导热系数与空气的导热系数之比，称为各种气体的相对导热系数。 λ_0 ， λ_{A0} 分别表示在 0°C 时，某气体的和空气的导热系数。表1-1列出了常见气体 0°C 时的导热系数 λ_0 ，和相对导热系数 $\frac{\lambda_0}{\lambda_{A0}}$ ，及导热系数的温度系数（ β ）。

表 1-1 各种气体 0°C 时的导热系数 λ_0 、相对导热系数 λ_0/λ_{A0} ，及导热系数的温度系数 β

气体的名称	$\lambda_0 \times 10^6 \text{ cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$	$\frac{\lambda_0}{\lambda_{A0}}$	$\beta^\circ\text{C}^{-1}$ ($0 \sim 100^\circ\text{C}$)	气体的名称	$\lambda_0 \times 10^6 \text{ cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$	$\frac{\lambda_0}{\lambda_{A0}}$	$\beta^\circ\text{C}^{-1}$ ($0 \sim 100^\circ\text{C}$)
空气	5.83	1	0.0028	CO_2	3.52	0.603	0.0048
N_2	5.81	0.996	0.0028	NH_3	5.22	0.895	0.0048
O_2	5.89	1.013	0.0028	SO_2	2.04	0.350	—
H_2	41.6	7.15	0.0027	He	34.80	5.91	—
CO	5.63	0.96	0.0028	CH_4	7.21	1.25	—

对于彼此之间无相互作用的多组分混合气体，它的导热系数可近似地认为是各组分导热系数的算术平均值。

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i C_i \quad (1-1)$$

式中 λ ——混合气体的导热系数；

λ_i ——混合气体中第 i 组分的导热系数；

C_i ——混合气体中第 i 组分的体积百分含量。

设待测组分为 $i=1$ ，它的导热系数为 λ_1 ，其余组分（常称被测气体的背景组分） $i=2, 3, 4, \dots$ 为背景组分，它们的导热系数为 $\lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \dots$ 。

并当 $\lambda_2 \approx \lambda_3 \approx \lambda_4 \approx \dots$ (1-2)

由于 $C_1 + C_2 + C_3 + \dots = 1$ 式 (1-1) 可简化为：

$$\lambda \approx \lambda_1 C_1 + \lambda_2 (C_2 + C_3 + C_4 + \dots) \approx \lambda_1 C_1 + \lambda_2 (1 - C_1)$$

$$\approx \lambda_2 + (\lambda_1 - \lambda_2)C_1 \quad (1-3)$$

上式(1-3)也可写成

$$C_1 = \frac{\lambda - \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \quad (1-4)$$

式(1-4)说明了在测得混合气体导热系数后,就可以求得待测组分的体积百分含量。所以借助气体的导热系数随待测组分体积百分含量的变化这一物理特性来分析该组分的体积百分含量时,必须满足下面两个条件:

① 混合气体除待测组分外,其余各组分的导热系数必须近似相等或十分接近。即 $\lambda_2 \approx \lambda_3 \approx \lambda_4 \approx \dots$ 。

② 待测组分的导热系数对其余组分的导热系数,要有显著的差别。差别越大,测量越灵敏。也即 $\lambda_1 \gg \lambda_2$ 。

由于气体导热系数与温度有关,工程上常把它们的关系表示如下:

$$\lambda_t = \lambda_0 \cdot (1 + \beta t) \quad (1-5)$$

式中 λ_t —— t °C时的导热系数;

λ_0 ——0 °C时的导热系数;

β ——导热系数的温度系数。

如 CO_2 与空气的混合气体,在 0 °C 时 $\frac{\lambda_{\text{CO}_2}}{\lambda_{\text{A0}}} = 0.603$; 100 °C 时为 0.7, 但到 325 °C 时为 1, 此时无法测出 CO_2 的含量。所以, CO_2 分析器适用的温度一般不超过 100~120 °C。对测量条件的要求,主要是保证温度应在一定范围内。

例如,在合成氨的生产中要测量合成塔入口处的氮氢混合气(新鲜气)中的氢含量时,新鲜气中除氮、氢之外只含少量的其它气体,(可忽略)。这样,因为 $\lambda_{\text{H}_2} \gg \lambda_{\text{N}_2}$, 所以新鲜混合气的导热系数主要是随氢的体积的百分含量的变化而变化,于是就很容易地测量出氢的体积百分含量来。再例如,在合成氨生产中,还要测量循环气中氢的含量,由于循环气中除了氢、氮外还有一定量的甲烷、氨、氩气等。它的导热系数可由下式决定:

$$\lambda = \lambda_{\text{H}_2} \cdot C_{\text{H}_2} + \lambda_{\text{N}_2} \cdot C_{\text{N}_2} + \lambda_{\text{CH}_4} \cdot C_{\text{CH}_4} + \lambda_{\text{Ar}} \cdot C_{\text{Ar}} + \lambda_{\text{NH}_3} \cdot C_{\text{NH}_3}$$

显然,即使氢含量不变,循环气的导热系数也要随甲烷、氮、氩等气体百分含量的波动而变化。使测量的结果误差很大,在实际应用中要进行适当的校正,以减少测量误差。

为了使测量具备上述必要条件,必须对混合气体进行预处理(称净化处理),使其条件得到满足。上述的例子中,循环气中的甲烷、氮气、氩气等的存在对测量影响较大,要使测量准确,首先要对循环气进行净化处理,除掉影响大的甲烷、氮气、氩气等,然后再分析循环气中氢的含量就准确了。再如燃烧后的烟道气,其中有 CO_2 、 N_2 、 CO 、 SO_2 、 H_2 以及水蒸汽等,如要测量 CO_2 的含量就必须先除掉水蒸汽、 SO_2 和 H_2 , 使只剩下 CO_2 和导热系数相近的 N_2 、 O_2 和 CO , 这样 CO_2 作为待测组分就能符合上述必要条件,进行测量。

二、测量原理

热导式气体分析器是通过对混合气体导热系数的测量来分析待测组分的体积百分含量的。由于气体的导热系数很小,直接测量比较困难,工业上多是把测量导热系数的变化,转化为测量随其变化的热敏元件的电阻的变化。即将由于混合气体中待分析组分的变化所引起总的导热系数的改变转化为电阻的变化。而测量电阻的变化是很容易的。

为了达到这一目的,一般是在一个小气室内悬一个电阻丝 R_n 作为热敏元件(图1-1为热导式气体分析器示意图),此电阻值在 0°C 时的电阻值为 R_0 ,通过一恒定的电流后,电阻丝就产生热量并向其四周散热。待分析的混合气体以很小的流量由小气室下面进入,从上面排出。因为气体的流量很小,混合气体流过气室时,所带走的热量可以忽略,电阻丝所产生的热量主要通过气体传向气室的器壁。设器壁温度 t_e 恒定不变(一般都设置有恒温装置),电阻丝达到热平衡时的温度为 t_n ,此时电阻丝的电阻值为 R_n 。如果混合气体的导热系数愈大,则散热条件越好,热平衡时电阻丝的温度 t_n 也越低。反之, λ 小则 t_n 高,热平衡时的电阻值 R_n 就愈高。把混合气体导热系数的变化转换成电阻值的变化。从而实现了通过测量电阻值的变化测量出混合气体导热系数的变化。

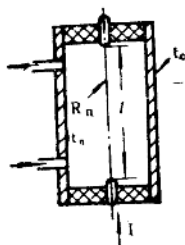


图 1-1 热导式气体分析器发送器示意图

电阻丝向四周散发热量的方式有以下几种:①气体的热传导;②气体的对流散热;③电阻丝的热辐射;④电阻丝的轴向热传导。

在热导式气体分析仪器中,主要是用气体热传导这一传热过程来实现混合气体导热系数的变化,从而引起电阻丝阻值的变化。因此,在设计发送器的结构、选择确定电阻丝的材料,质量,气体的流量时,均应保证散热,主要是通过气体热传导方式进行。

为了减少气体的对流散热,使发送器(传感器)的气室尺寸尽可能的小些。一般气室的直径约为 $3\sim 7\text{mm}$ 左右,器壁与电阻丝很贴近,并保证气体流过时的流量很小而稳定。这样就使对流散热部分得以消除。另外由于对流散热随压力增大而增大,所以热导式气体分析器气样的压力不超过一定的压力范围,以免在压力较高的情况下,由于压力不稳定,使对流散热不稳定而引起测量上的误差。

至于减少热辐射散热,只要当电阻丝的温度与气室的内壁温度差不超过 200°C 时,辐射散失的热量就很小,可以忽略不计。例如根据某些测试数据得到,当电阻丝的温度和气室内壁的温度差小于 100°C 时,因辐射散失的热量常常不超过总散热量的 1% 。

由于电阻丝及其金属引线的导热系数较气体的导热系数大得多,所以电阻中有一部分热量会沿着电阻丝的轴向,通过导线导热散失一部分。为了把电阻丝轴向通过引线导热而散失的部分热量减少到最小。因此,设计时采用加长电阻丝长度和减小电阻丝直径的方法来克服电阻丝轴向热传导。对工业热导式气体分析器来说,所用电阻丝的长度 L 和直径 d

的比值 $\frac{L}{d}$ 应在 $2000\sim 3000$ 以上。此时电阻丝的轴向热传导可以忽略不计。

发送器内电阻丝的散热主要是以气体的热传导方式进行,所散失的热量为:

$$Q_1 = \frac{\lambda \cdot 2\pi L (t_n - t_e)}{\ln \frac{r_e}{r_n}} \quad (1-6)$$

气室内的电阻丝由于通过电流 I ,所产生的热量为:

$$Q_2 = 0.24 I^2 R_n \quad (1-7)$$

当电阻丝所产生的热量与通过气体传导所散失的热量相等时,即达到热量平衡,

$$Q_1 = Q_2$$

$$\frac{\lambda 2\pi L (t_n - t_e)}{\ln \frac{r_e}{r_n}} = 0.24 I^2 R_n \quad (1-8)$$

$$t_n = t_e + \frac{0.24 \ln \frac{r_e}{r_n} I^2 R_n}{\lambda \cdot 2\pi L} \quad (1-9)$$

式中 Q ——单位时间内产生或散失的热量；

λ ——混合气体在平均温度 $\left[\approx \frac{1}{2} (t_n - t_e) \right]$ 下的导热系数；

L ——电阻丝的长度；

t_n ——热平衡时电阻丝的温度；

t_e ——气室内壁的温度；

r_e ——气室半径；

r_n ——电阻丝半径。

由于所用电阻为金属丝，其电阻值与温度的关系可用下式表示：

$$R_n = R_0 + (1 + \alpha t_n) \quad (1-10)$$

式中 R_0 ——电阻丝在 0°C 时的电阻值；

R_n ——电阻丝在 $t_n^\circ\text{C}$ 时的电阻值；

α ——电阻材料的电阻温度系数。

把式 (1-9) 代入 (1-10) 中得：

$$R_n = R_0 \left[1 + \alpha \left(t_e + \frac{0.24 \ln \frac{r_e}{r_n}}{\lambda 2\pi L} I^2 R_n \right) \right]$$

令 $\frac{0.24 \ln \frac{r_e}{r_n}}{2\pi L} = K$, K 称为仪器常数，上式可以写成

$$\begin{aligned} R_n &= R_0 \left[1 + \alpha \left(t_e + \frac{I^2 R_n K}{\lambda} \right) \right] \\ &= R_0 (1 + \alpha t_e) + \frac{R_0 \cdot \alpha \cdot I^2 \cdot R_n \cdot K}{\lambda} \\ &= R_0 (1 + \alpha t_e) + \frac{K}{\lambda} R_0 \alpha I^2 \cdot R_0 (1 + \alpha t_n) \\ &= R_0 (1 + \alpha t_e) + \frac{K}{\lambda} (R_0^2 \cdot \alpha I^2 + R_0^2 \alpha^2 I^2 t_n) \end{aligned} \quad (1-11)$$

由于 α 值很小，所以 α^2 值更小，故式 (1-11) 中 $R^2 \alpha^2 I^2 t_n$ 项可以忽略。因此，式 (1-11) 可近似地写成：

$$R_n = R_0 (1 + \alpha t_e) + \frac{K}{\lambda} R_0^2 \alpha I^2 \quad (1-12)$$

上式说明了，电阻丝热平衡时的阻值与混合气体的导热系数 λ 存在着对应关系。当

R_0 、 α 、 t_e 、 I 为常数时， R_m 与 λ 为单值函数关系。为了提高仪表的灵敏度，从上式中可以看出似乎尽量增大 K 、 α 、 R_0 、 I 等即可达到要求。而实际上必须全面权衡，以选择适宜的数据。例如增大仪器常数 K 的数值可以提高仪表的灵敏度，而增大 K 值也就是要增大 r_e 及减小 r_m 及 L 。实际上，由于结构的限制不可能无限提高，如电阻丝的直径 r_m ，由于制造工艺和强度限制，不能过小；而发送器的气室半径 r_e 的增大又与减小热对流传热有矛盾；电阻丝长度 L 的减小，又会引起轴向传热量的增加。

电阻温度系数 α 的大小由电阻丝的材料决定，一般 α 值越大越好，由于铂的电阻值稳定， α 值大，寿命长，抗腐蚀的能力较强，故一般热导式气体分析器大都选用铂丝作电阻丝。也有用钨丝作电阻丝的。

R_0 数值的增加并非能无限提高仪表的灵敏度。固当铂丝的结构形式确定后，在铂丝直径一定的情况下，增加 R_0 必然使长度 L 增加，这样就使 K 值下降，结果使热平衡时 R_m 的数值增加并不大，对提高仪表的灵敏度并不显著。

电流 I 也不能选用太大， I 值太大会使仪表指示不稳定。因为电流 I 的增大，会使电阻丝表面的温度过高，而对某些待分析的气体起催化作用，使原来的成分受到破坏。给测量带来误差。所以通过电阻的电流 I ，必须根据电阻元件的结构及被分析的气体进行适当的选择。

工业上通过实验得出， L 为50~60毫米， r_m 为0.01~0.03毫米， r_e 为2~3.5毫米，阻值在15欧左右， K 在2000以上， I 在100毫安左右， t_e 为50~60℃。

第二节 热导式气体分析器的测量桥路

根据上述测量原理可知，在热导式气体分析仪器中，由于待测组分体积百分含量的变化通过一定的装置后可引起电阻值的变化，这样就可以通过电桥来进行测量。

一、单电桥测量线路

把前节所谈到的在小气室内设置的电阻丝 R_m 作为电桥的一臂，叫测量臂或工作臂。其余各桥臂用固定电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 组成，测量电桥如图1-2所示。当测量臂的气室中通入待测组分的含量为下限时的混合气体时，桥路处于平衡状态，即 $R_1 \cdot R_2 = R_m \cdot R_3$ 。此时电桥输出端AB无信号输出。当气室中待测组分气体百分含量变化时， R_m 的值也相应地随着变化，电桥就失去平衡，于是就有不平衡的信号输出，它的大小与 R_m 成比例。这样，就把待测组分体积百分含量的变化，转换成电阻 R_m 的变化， R_m 的变化使桥路有不平衡信号输出。因此，根据桥路输出信号的大小就可得知待测组分百分含量的多少。

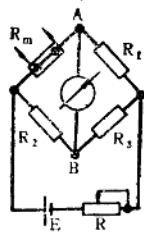


图 1-2 不平衡电桥的测量线路原理图

上述的测量线路，在桥路电流有所波动时或外界条件发生变化时，例如温度的变化，使 t_e 变化，从而影响测量结果。为了减少外界干扰的影响，通常采用差式测量桥路，如图1-3，测量室作为电桥的一个臂，而与测量室相邻的另一个桥臂，不是用固定电阻，而是采用与测量室在尺寸、结构上完全相同的带电阻的小气室，室中密封或通入某种参比气体，即参比室其所在的桥臂称作参比臂。由于测量臂和参比臂处于同样的操作条件下工作，使 ΔI 、 Δt_e 、 $\Delta \alpha$ 所能引起的

测量误差,同时出现在两个桥臂中,使输出不受 ΔI 、 Δt_s 、 $\Delta \alpha$ 的影响或把它们的影响减到最小,因而可以提高测量精度。

为了提高测量仪器的灵敏度,可以把图1-3中的固定电阻 R_1 、 R_2 也改换成参比气室和测量气室,如图1-4。这种测量电桥称作双臂测量电桥,在测量灵敏度上可以提高一倍。

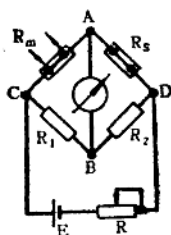


图 1-3 设有参比气室的测量电桥

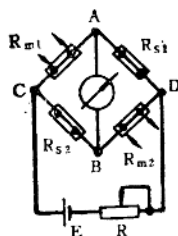


图 1-4 双臂测量电桥

二、双电桥测量线路

上面讲的两两种测量线路从原理上可以看出当电源电压发生变化时,会给测量结果带来一定的误差,所以必须用稳压电源供电。另外,当恒温不够理想,而环境温度变化时,这样外界干扰难于在电桥的桥臂中对称出现,因此也就会引起桥路输出变化,影响测量的精度。为了克服上述缺点,可以采用双电桥测量系统。如图1-5。它的特点是,当电源电压波动和环境温度变化时不致于影响测量结果。其工作原理是:用两个电桥,反向连接,组成双电桥测量线路,由 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 组成测量电桥。 R_1 和 R_3 气室是测量气室,通以待分析的混合气体。 R_2 和 R_4 气室充以下限的测量气体。由 R_5 、 R_6 、 R_7 、 R_8 组成参比电桥。其中 R_6 、 R_8 气室中充以测量的下限气体, R_5 和 R_7 气室中充以测量的上限气体。由于参比电桥中 R_6 、 R_8 和 R_5 、 R_7 气室中所充待测气体的含量相差很大,使参比电桥的输出端就有固定的讯号电压输出。以滑线电阻 R_x 作负载。

在测量电桥中,由于 R_2 、 R_4 气室中充以下限的测量气体,当待测组分为下限时通入 R_1 和 R_3 ,这时四个桥臂的工作状态完全相同,电桥处于平衡状态,测量电桥的输出为零。此时,电阻 R_x 处于开始位置(图中滑线电阻的上端),当 R_1 和 R_3 通入待测组分的上限值时,测量电桥与参比电桥的工作状态一样。因此它产生一个与滑线电阻终端电压相等的电压信号(待测组分的上限

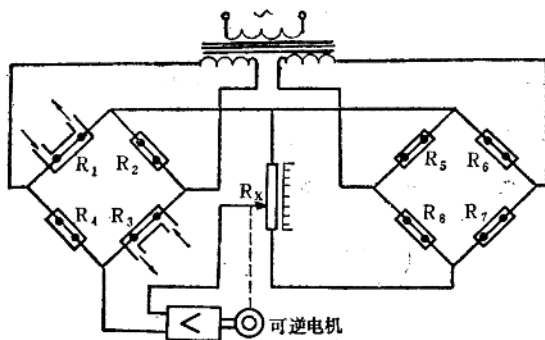


图 1-5 双电桥测量线路原理图

值讯号),经放大器放大,推动可逆电机,带动滑线电阻的滑动点到终端位置(图中滑线电阻的下端),指示出分析组分的上限值。

显然, 当工作电桥的输出信号随待测组分体积百分含量变化时, 它与参比电桥输出的已知信号相比较, 有差值存在时, 就有信号送入电子放大器放大, 推动可逆电动机, 带动滑线电阻的滑动触点滑动, 直至差值信号为零。可逆电动机停止转动。滑线电阻滑动触点的位置, 就代表待测组分的百分含量。指示或记录仪表的刻度为待测组分的百分含量刻度。

第三节 热导式成分分析器发送器的结构

一、发送器的结构类型

上面讲的测量气室和参比气室, 一般称为测量热导池和参比热导池。根据测量原理可知, 热导池中的换热形式, 应严格地依靠气体的热传导作用。因此, 发送器的结构形式是一个重要问题, 它的结构必须满足分析原理的要求, 下面就常见的几种发送器的结构类型加以说明, 并参见图1-6。

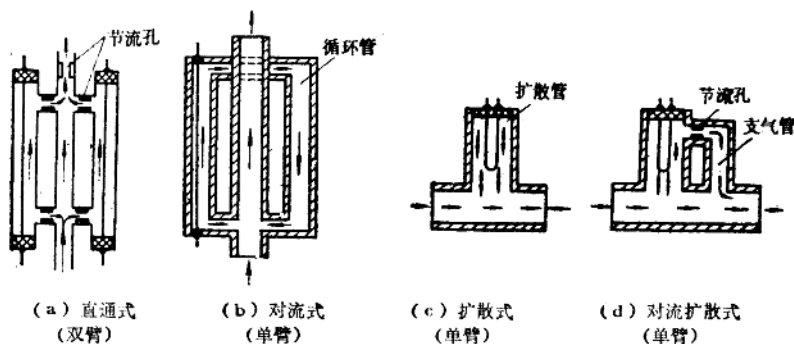


图 1-6 发送器的结构形式

1. 直通式 测量气室与主气路并列, 形成气体分流流过气室, 主气路与分流气路都设有恒节流孔, 节流孔的作用是保证进入测量气室的气体流量很小, 待测混合气体从下面进入, 其中大部分气体从主气路排出, 一小部分混合气体经恒节流孔进入测量气室, 最后经主气路的节流孔排出。这种结构具有反应速度快, 滞后小的优点。缺点是气体流量变化对测量有一定的影响。

2. 对流式 测量室与主气路下端并联接通, 待测气体由主气路引入, 其中大部分气体从主气路排出, 一小部分进入测量气室 (循环管), 待测气体在循环管内受电阻丝加热后造成热对流, 由于热对流的推力作用, 使得待测气体沿着图示箭头方向, 经过循环管由下部回到主气路, 经主气路排出。这种结构发送器优点是待测气体流量变化时对测量影响不大, 不需要流量控制器。但待测气体进入测量室是靠热对流力推动的, 因此反应速度慢, 滞后大, 所以这种结构的发送器应用较少。

3. 扩散式 在主气路上部设置测量气室, 待测气体通过扩散作用进入测量室, 由于测量室中待测气体与主气路中的气体进行热交换, 再经主气路排出。这种结构适应于质量较小的气体的测量。因为质量较小的气体扩散系数大, 用这种类型结构的发送器来测量质量较小的气体的成分含量时, 滞后时间较小, 受气体流量波动的影响也较小。而对于扩散系数较小的气体, 如 CO_2 , 则滞后的时间要增大。但如果减小测量室的体积, 反应速度可

以提高。

4. 对流扩散式 在扩散式的基础上加一支气管, 形成分流, 以减小滞后。在这类发送器中, 待测气体由主气路先扩散到测量室中, 然后由支气管排出, 这样避免了进入测量室的气体发生倒流, 又保证了待测气体有一定的流速, 防止待测气体在测量室内的囤积现象。因此这种结构形式, 提高了反应速度, 减小了滞后, 并且气体流量的波动也较小。所以目前生产的热导式气体分析仪器的发送器, 采用这种结构形式的最多。

二、热导池内电阻丝的支承方法

目前, 在热导式气体分析仪器中, 普遍采用铂丝作为电阻元件。其铂丝电阻元件在热导池中, 表面完全可以裸露, 以提高反应速度。但是, 铂丝对于有些气体, 往往起催化作用, 因此在铂丝的表面上采用镀金或用玻璃覆盖的办法来防止铂丝对有些气体的催化作用。

裸体铂丝的支承办法有三种, 即V形、直线形和弓形(见图1-7)。

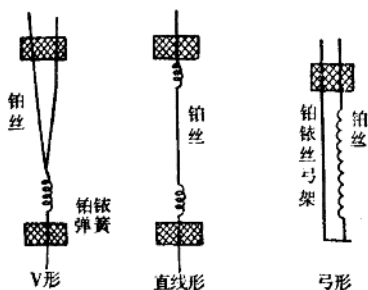


图 1-7 裸体铂丝元件的支承方法

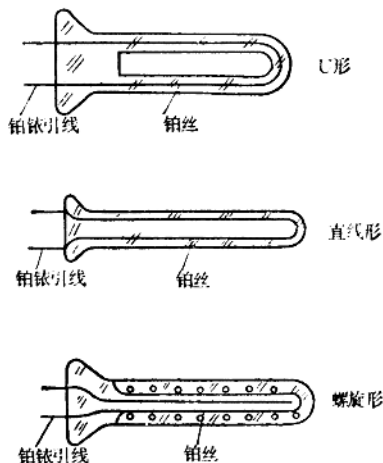


图 1-8 覆盖玻璃的铂丝元件

表面覆盖玻璃的铂丝元件, 也有三种支承办法。即U形、直线形和螺旋形(见图1-8)。

铂丝的两端, 一般都用铂铑合金丝制成小弹簧把铂电阻丝拉紧, 使其在热导池中的位置和形状, 不会因热胀冷缩而变化。

三、热导池池壁温度的影响

由式1-9可知, t_c 的变化, 会引起电阻元件热平衡时温度 t_s 的变化, 要使 t_s 的改变唯一决定于待测气体浓度的变化, 必须要求 t_c 保持不变, 否则会引起测量误差。同时, 从测量桥臂可知, 工作臂和参比臂的池壁温度不等时, 也会给测量造成一定的误差。为了克服此种误差, 在制造发送器时把测量热导池和参比热导池用一块导热性能良好的金属材料制成一个整体(如图1-9)。这样使测量热导池和参比热导池的池壁温度受 t_c 波动的影响

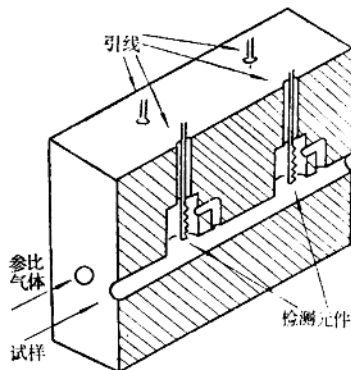


图 1-9 热导池结构示意图