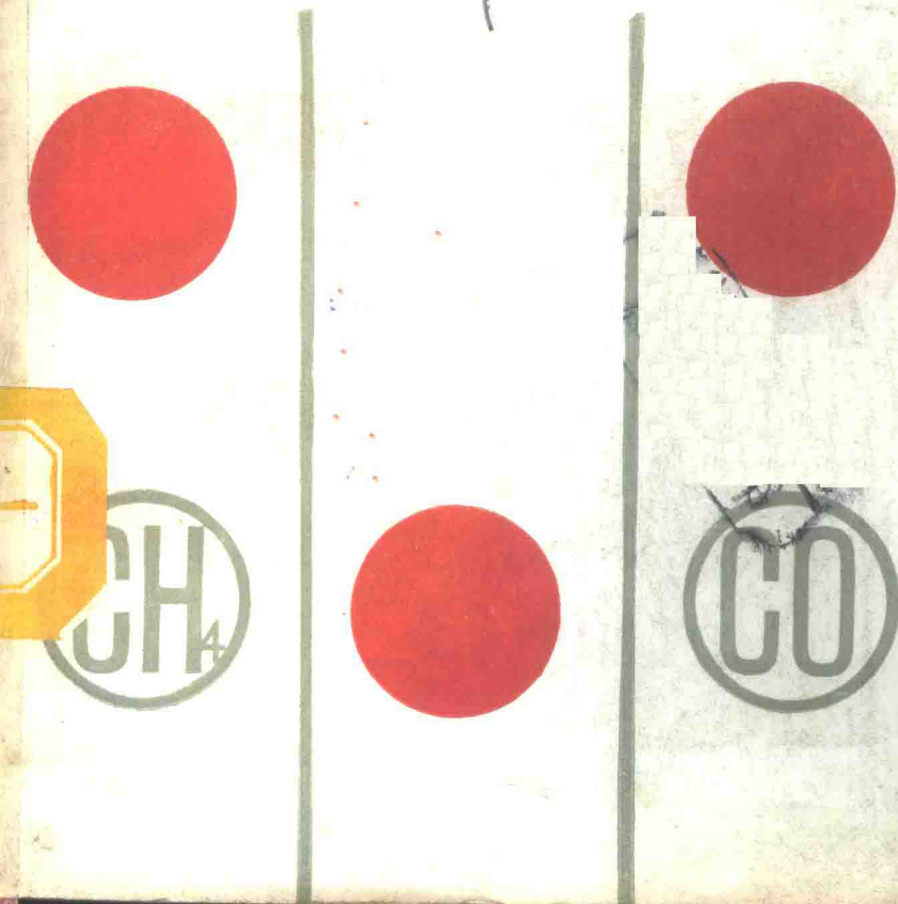


热导式氢分析器

在线分析仪表丛书

季善义 主编

化学工业出版社



在线分析仪表丛书

热导式氢分析器

季善义 主编

化学工业出版社

内 容 提 要

本书是《在线分析仪表丛书》的一个分册，全书共分五章，重点介绍了热导式气体分析器的工作原理和国内外几种典型的热导式气体分析器，紧密地结合热导式气体分析器，系统地对各种检测桥路、典型的电子线路进行了分析，同时结合实例介绍了一些使用中的实际问题。

本书可供从事分析仪器操作、维护与管理的人员使用，也可供与此有关的工程技术人员及高等院校化工自动化、仪器制造专业的学生参考。

本书由季善义（第二章、第三章的第三、四、五节），程贺（第一章、第三章第一、二、六节），程光仪（第四、五章）等同志编著。由姜齐荫副教授审定。

在线分析仪表丛书

热导式气分析器

季善义 主编

责任编辑：刘 哲
陈逢阳

封面设计：季玉芳

化学工业出版社出版发行

（北京和平里七区十六号楼）

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张9 字数206千字 印数1—2,000

1988年2月北京第1版1988年2月北京第1次印刷

ISBN 7-5025-0074-X/TQ·38 定价1.90元

前 言

为了消化引进技术，总结在线成分分析仪表现场运行维护的经验，管好用好在线分析仪表，普及在线分析仪表的理论和应用知识，提高分析仪表使用、维修及管理人员的技术水平，化学工业部化肥司组织有关高等院校的教师、研究院所和工厂的工程技术人员，在总结引进的大化肥厂在线分析仪表运行经验的基础上，编写了这套《在线分析仪表丛书》。

热导式气体分析器是成分分析仪器中的一个品种，它可以在生产流程中或实验室里准确、及时地分析混合气体中待测组分的百分含量。它广泛用于化工、冶金和制药等部门。本书是《在线分析仪表丛书》之一，旨在阐明成分分析实践中所遇到的主要对象——氢的百分含量的测量原理、方法、应用以及测量中的一些实际问题。尽管本书是为从事成分分析人员编写的普及读物，但对从事这一领域实际工作的工程技术人员也有参考价值。

本书的内容分三大部分，第一部分（第一、二章）系统地介绍了氢百分含量测量的基本原理、方法和与它有关的电子学知识，在保证内容科学性和严密性的前提下，把重点放在对基本原理的物理解释和具体应用上，内容力求线条清楚，简明扼要。第二部分（第三至第五章）主要介绍各国典型的热导式分析器，重点放在各类仪器的工作原理、组成框图、工作特性及其含义上，对仪器电路则在概括和综合的基础上，重点介绍那些与测量原理、正确使用密切相关的部分，而不沉于对仪器完

整电路的一般讨论上。

本书承大连工学院姜齐萌副教授认真审阅，并提出了宝贵的改进意见。在编写过程中，全国各大氮肥厂、大庆30万吨乙烯工程、上海石化总公司、四川脱硫总厂给予了大力协助，并得到了魏正森、程光仪、樊县圃、顾世超、李德厚的关心和支持。在此，谨向他们表示衷心的感谢。

由于水平所限，书中一定存在错误或不足之处，欢迎读者批评指正。

作者

一九八五年六月于沈阳

目 录

绪论	1
一、热导式气体分析器的现状及发展	1
二、热导式气体分析器的基本组成	3
第一章 分析原理及测量机构	5
第一节 分析原理	5
一、热量传递的基本方式	5
二、气体热导率	8
三、用热导特性分析气体成分的条件	10
第二节 热导池	13
一、气体热导率与电阻的转换	13
二、热导池结构参数的选择	21
三、热导池的结构型式	23
四、热敏元件的结构及支承方法	27
第三节 检测桥路	29
一、电桥的结构及工作原理	29
二、实用测量桥路	30
三、热导式气体分析器的刻度特性	45
第四节 影响测量精度的因素	51
一、静态误差	51
二、动态误差	54
第二章 电路分析	60
第一节 稳压电源	60
一、铁磁饱和稳压器	60
二、晶体管稳压电路	68

第二节 温度控制线路	81
一、触点式温度控制装置	81
二、无触点可控硅温度控制装置	82
第三节 放大器	89
一、Caldos-4T型热导式气体分析器的放大器	89
二、643M·23型热导式气体分析器的放大器	112
第四节 线性化器	116
一、Caldos-4T型热导式气体分析器的线性化器	117
二、函数发生器	123
第三章 典型仪表	137
第一节 RD-004型氢分析器	137
一、整机的组成及特点	137
二、发送器结构及检测电桥	139
三、电源控制器	141
四、气路系统	143
五、显示仪表	145
第二节 QRD 系列氢分析器	148
一、仪器的组成及特点	148
二、发送器的结构及工作原理	151
三、二次仪表	154
四、比值变送器与配比值变送器的系统	155
五、仪器的调整	163
第三节 Caldos-4T型热导式气体分析器	165
一、概述	165
二、测量电路	167
三、信号放大与线性化电路	169
四、稳压电源	192
五、温度控制系统	195
第四节 643M·23 型热导式气体分析器	196
一、整机组成及结构特点	198

二、气体流路	199
三、测量系统	201
四、信号放大与显示	205
五、稳压电源	207
六、恒温控制装置	208
第五节 Beckman-7C 型热导式气体分析器	210
一、整机结构	211
二、桥路的特点	211
三、显示仪表	213
四、恒温控制器	213
第六节 TC3 型热导式氢分析器	214
一、检测电路	215
二、TC3 型氢分析器的其它部分	219
三、TC3 型氢分析器的取样系统	222
四、TC3 型氢分析器的调校	222
第四章 热导式气体分析器的应用、预处理系统及标准气的配制	224
第一节 热导式氢分析器在石油化工生产中的应用	225
一、氨厂合成气中 H_2 的测量与控制	225
二、惰性气体中残氢的测量	228
三、加氢装置中 H_2 纯度的测量	231
第二节 热导式气体分析器在其它方面的应用	231
一、热导式二氧化碳分析器在锅炉燃烧系统中的 应用	231
二、硫酸生产中 SO_2 的测量	234
三、空气分离装置中 Ar 的测量	235
第三节 典型取样及预处理系统	236
一、取样装置	237
二、预处理系统	241
第四节 标准气的配制	245

一、体积法	246
二、分压法	247
三、流量法	248
第五章 典型热导式氢分析器的调校与故障处理	250
第一节 准备与维护	250
一、开箱检验	250
二、安装检查	250
三、使用与维护	251
四、调校方法	252
第二节 RD-004型热导式氢分析器的调校与故障处理	254
一、零位与量程调校	254
二、用流程气标定分析器	255
三、典型故障分析及处理	258
第三节 Beckman-7C 型热导式氢分析器的调校与故障处理	258
一、零位和量程的调校	260
二、补偿桥路的调整	263
三、典型故障分析及处理	266
第四节 643M-23型热导式氢分析器的调校与故障处理	267
一、零点与量程调校	269
二、线性化器的校验	270
三、典型故障分析及处理	276
附录 几种常见的热导式气体分析器的性能	278
参考书目	280

绪 论

一、热导式气体分析器的现状及发展

热导式气体分析器是一种物理式气体分析器，用来分析气体混合物中某个组分的百分含量。热导式气体分析器是最早应用于生产的一种分析仪器，第一台热导式分析器在一九〇四年出现于德国，但真正作为一个比较完整的仪器使用，是从一九二一年谢开斯波尔 (Shakaspear) 用热导池测定混合气体的导热系数开始的，当时称之为长它计 (Catharameter)。二十年代后期按其它原理工作的分析器才相继问世。在实践中由于科学工作者不断地改进，分析器的结构日趋完善。最早的热导式分析器采用的热导池是直通式结构，以后逐步发展到现在普遍应用的对流型和扩散对流型的结构。同时，检测电路也在不断地改进。测量桥路都设置了参比热导池作为参比桥臂，用比较法测量来提高测量的灵敏度和精度。一些厂家还生产双桥路的测量系统，用于补偿电源波动和环境温度变化带来的误差，同时也使仪器的使用和调整更加灵活。在五十年代又出现了带平衡放大器的测量桥路，由于这种电桥在工作中处于近乎平衡状态，大大地削弱了热导池平衡温度变化所产生的测量误差。目前，各种结构不同、性能各异和具有不同特色的热导式分析器被广泛地应用在化工、石油、轻工、冶金、电站和大气监测等部门，分析混合气体中 H_2 、 CO_2 、 SO_2 、 NH_3 、Ar 等气体的含量或上述气体中杂质的含量。由于这种仪器有灵敏度高的特点，有些场合还用它来探漏。热导式分析器不仅作为重要的检

测器应用于实验室分析，同时，它配以预处理装置和气路切换装置，还可以在线分析多个流路的样气。随着自动化的发展，已经出现了以热导式分析器作为变送器组成的自动调节系统，实现对生产过程的自动调节，对于提高产品质量、安全生产和节能等起了一定的作用。

随着科学技术飞速地发展，新的性能良好的复杂仪器相继出现，而热导式分析器由于其独到之处常被用来做为新型仪器的重要附件或元件，如实验室色谱仪及工业色谱仪采用热导池作为最基本的鉴定器就是一例。

热导式气体分析器也有不足之处，同其它分析器一样，影响测量精度的因素较多，一般来说精度最高也只达到 2.0 级。它只能分析有限的几种成分，不能进行微量分析；而且分析的结果受背景气性质的影响。这些缺点都是仪器工作原理所决定的，使实际应用受到限制，在某些场合出现被其它分析器所取代的情况，如分析气体中 CO_2 的含量采用红外分析器更为适宜。尽管如此，由于热导式分析器具有独特的优点，它仍然是一种重要的分析仪器。而且在长期的实践中很多人在潜心地研究、改进它，选择性能良好的热敏元件；力求缩小热导池体积；改进气体流路状态和电子线路；同时还从改进预处理装置并采取线性化措施等方面进行探索，使当今的热导式分析器灵敏度高、线性范围广、稳定性好，响应速度快的特点更加突出。

我国从五十年代开始制造热导式气体分析器，目前已能生产几个型号多种规格的热导式分析器。北京分析仪器厂生产的 QRD 系列热导式分析器，采用双桥补偿式测量电路，省去了稳压源和温度控制系统，根据需要可附带比值变送器输出统一信号。南京分析仪器厂和四川分析仪器厂，则生产 RD 系列热导式分析器，这种仪器体积小、轻便，但需要稳压源和温度控

制系统。这些产品基本上满足了国内的需要。

二、热导式气体分析器的基本组成

各种热导式气体分析器尽管结构不同，但它们大体上都是由样气预处理装置、发送器、稳压源和温度控制电路、线性化器及显示仪表等部分组成，各部分相互间的关系如图 0-1 所示。

预处理装置是热导式分析器的重要辅助装置，样气的情况不同，它的结构型式也有所不同，一般由样气冷却器、气液分离器、干燥器、过滤器及稳压稳流器等组成。它的主要作用是除去样气中液滴、灰尘和干扰组分，并稳定样气的压力和流量。预处理装置对于保证仪表的分析准确性和延长仪表使用寿命有重要作用。因此，对预处理装置应给予足够的重视。

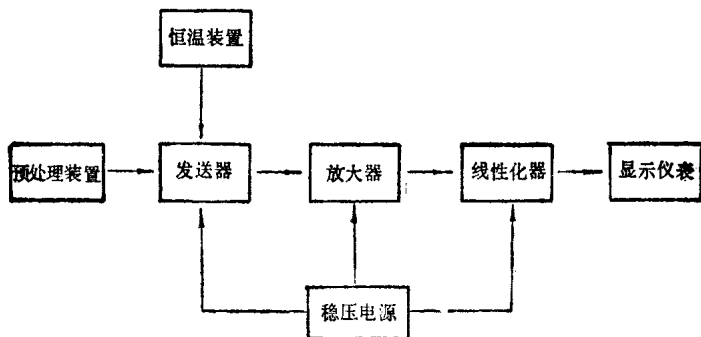


图 0-1 热导式气体分析器整机组成框图

发送器是分析器的核心部件，它的作用是把待测组分的浓度转换为相应的电阻信号，再通过检测电路转换为电压信号输出。它的灵敏度和转换精度对仪器整机特性影响甚大，对此，各厂家都做了周密的考虑，不同类型的热导式分析器的特色也多体现在发送器的结构上。仪器使用者必须保证仪器设计条件

的再现，才能发挥仪器的性能。

放大器被用来放大发送器输出的电压信号，从而使仪器具有更高的灵敏度，易于实现仪器的量程调整或一机多用。

温度控制系统是仪器的辅助部分，它的任务是保证发送器始终工作在稳定的温度场中，以减少环境温度变化对分析的影响。它由电加热器和控制部分组成，加热器一般是电阻丝。控制部分有连续控制和两位控制两种结构型式，前者温度场稳定性好于后者，而后者结构简单，便于维修。

线性化器是针对热导式分析器有非线性输出特性而设置的，采用线性化器后，使仪器的输出信号与组分浓度呈比例关系，这样不仅使仪表显示方便，而且更利于自动调节系统的实施。

显示仪表一般为电子电位差计或毫伏计。

应当指出，热导式气体分析器的组成视具体情况而定，不同类型的分析器，由于采用不同结构的发送器，或使用场所的不同，其具体的组成环节也有相应的变化。

第一章 分析原理及测量机构

第一节 分 析 原 理

一、热量传递的基本方式

能够产生热量的物体或温度高于周围介质的物体，被称为热源。热源所涉及的空间称为温度场。在温度场内，如果某两点间存在着温度差，热量总是要从温度较高的地方向温度较低的地方传递，最终温度趋于平衡。热量的基本传递方式有三种，即热对流，热辐射和热传导。对于液体、气体等流体，三种热量传递方式同时存在，但条件不同，三种方式传递热量的能力并不相同；而固体之间不存在对流传热问题。

(一) 热对流

对流传热发生在流体中，是依靠流体分子的位置移动，将热量从高温处传到温度较低的部位。它与其它传热方式的不同点在于对流传热是物质质点运动所致。流体内各部分之间如果存在着温度差，则各部分流体的密度也就不同，流体内温度高（密度小）的部分将向上升，而温度低（密度大）的部分将下降，于是在流体的各部分间便产生流体质点的位置交换，即称为对流。靠温差形成的对流称为自然对流。若用机械的方法，如用搅拌或风扇进行强制循环使流体混合，则叫强制对流。通过对流运动能达到热量传递的目的。

对流传热是一个复杂的问题，它与流体流动状态、温差的大小、流路情况及流体性质有关。

(二) 热辐射

物质之间的热量交换，不需要借助任何介质。能量以电磁波辐射方式向外发射，在遇到另外物体时被部分或全部吸收转换为热能，使物体温度升高。如用红外线炉加热，太阳向地球传热等都是靠辐射传热。各种物质吸收辐射能的能力并不相同，能全部吸收辐射能的物体称为绝对黑体。而有些物体则全部反射辐射能，称为绝对白体。多数物体介于黑体与白体之间，叫作灰体。绝对温度0K以上的物体都能发射辐射能，温度越高，发射能量的能力也越强。辐射能力与物体表面绝对温度的四次方成正比。

$$E_0 = c_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 \text{ J/m}^2 \cdot \text{h} \quad (1-1)$$

式中 c_0 ——物体的辐射系数；

T ——物体的绝对温度；

E_0 ——辐射能。

两个物体之间进行热辐射时，高温的物体总要损失一定热量，表现为温度下降；低温物体会获得部分热量而温度升高，体现了热量从高温物体传递到低温物体的能量传递。两物体之间辐射传递的热量，可由下式来求得

$$Q = c_{1-2} F \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot \phi \quad \text{J/h} \quad (1-2)$$

式中 c_{1-2} ——两个物体的总辐射系数；

F ——辐射面积；

ϕ ——角系数（一个物体包围另一个物体时 $\phi=1$ ）；

T_1, T_2 ——高温物体和低温物体的绝对温度；

Q ——高温物体以辐射方式向低温物体传递的热量。

由式（1-2）看出，两物体间辐射传递的热量与物体绝对温度四次方之差成比例，与辐射面积成比例，还与两物体互相包围

的角系数及两物体总辐射系数成比例。

(三) 热传导

同一物体各部分之间，或者互相接触的两物体之间，如果存在着温度差，则热量就会由高温部位传递到低温部位，或者从高温物体传向低温物体，最终使温度趋于平衡。物体内部各部分之间或物体之间的这种能量交换现象叫热传导，简称热导。热导是依靠分子振动而进行能量传递的，物体的分子在传热过程中相对位置并不改变。例如，将一根金属棒的一端加热，而棒的另一端温度也会随着升高，这就是热传导作用所致。

固体、液体和气体都有导热能力，但由于物质内部分子密度不同，各种物质导热能力亦不同。一般来说金属导热能力比非金属强，固体导热能力强于液体和气体，气体导热能力最弱。物质的导热能力以导热系数 λ 来表示，物体传热的关系可用富立叶定律来描述。在某种物质内部存在温度差，设温度沿 OX 方向逐渐降低，在 OX 方向取两点 a 和 b，其间距为 Δx ， T_a 、 T_b 分别为 a、b 两点的绝对温度，见图 1-1。我们把沿 OX 方向温

度的变化率 $\frac{T_a - T_b}{\Delta x} = -\frac{\Delta T}{\Delta x}$ 叫做在 a 点沿 OX 方向的温度梯度。在 a、b 之间与 OX 垂直方向取一个小面积 Δs ，通过实验可知，在 Δt 时间内，从高温处 a 通过小面积 Δs 传向低温处 b 的热量 ΔQ ，与这个小面积 Δs 成正比，与时间 Δt 和温度梯度 $\frac{\Delta T}{\Delta x}$ 成正比，还与物质的性质有关系。用方程式表示为

$$\Delta Q = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} \Delta s \cdot \Delta t \quad (1-3)$$

式 (1-3) 表示传热量与有关参数的关系，这个关系称为富立

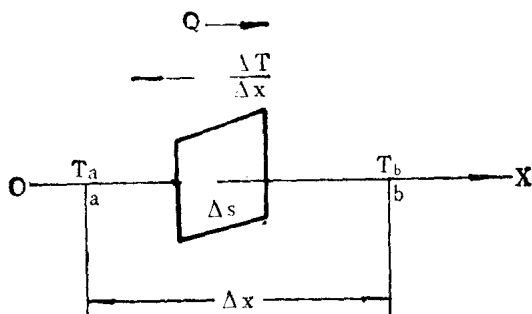


图 1-1 温度场内介质的热传导

叶定律，式中负号表示热量向着温度降低的方向传递。比例系数 λ 叫做传热介质的导热系数或称热导率，其数值可用实验方法测定。如果 $\Delta s = 1\text{m}^2$ ， $\Delta t = 1\text{s}$ ， $\frac{\Delta T}{\Delta x} = -1\text{K/m}$ ，则 $\Delta Q = \lambda$ 。

可见物质的热导率在数值上等于当温度梯度为 -1 时，单位时间内通过垂直于梯度方向的单位面积的热量。 λ 的单位一般用 $\text{W/m}\cdot\text{K}$ 。

热导率是物质的重要物理性质之一，它表征物质传导热量的能力，不同的物质，其热导率也不相同，且随其组成、压强、密度、温度和湿度的变化而改变。各种物质的热导率列于有关手册中。

二、气体热导率

各种气体在相同的条件下有不同的热导率。气体的热导率随着温度变化而变化，其关系为

$$\lambda_t = \lambda_0(1 + \alpha t) \quad (1-4)$$

式中 t ——气体的温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

λ_0 —— 0°C 时气体的热导率；