

化工生产常用 自动分析仪器

刘绍周 夏谷生 编

科学出版社

化工生产常用自动分析仪器

刘绍周 夏谷生 编

科学出版社

内 容 简 介

本书是为适应化工生产中自动分析的实际需要而编写的。共分八章。分别介绍了红外线气体分析器，工业光电比色计，热导式气体分析器，磁性氧气分析器，电导式成分分析器，工业 pH 计，原电池式氧气分析器，工业色谱仪等八类在化工生产中常用、工作原理不同而又具有代表性的自动分析仪器。详细讨论了这八类分析仪器的工作原理、结构特征、技术性能、调校、使用方法及维护要点；为便于使用单位选择，每一类仪器均介绍了几种典型产品，并且就其结构特征、技术性能进行了比较。

本书具有一定的实用价值，可供化工、炼油、冶金、环保等部门从事自动分析工作的技术人员阅读，也可供工业自动分析仪器的设计、制造部门的技术人员及大专院校有关专业的师生参考。

化工生产常用自动分析仪器

刘绍周 夏谷生 编

责任编辑 操时杰

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

石家庄地区印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1983年3月 第 一 版 开本：787×1092 1/32

1983年8月第一次印刷 印张：10 插页：1

印数：0001—8,400 字数：221,000

统一书号：13031·2333

本社书号：3194·13~4

定价：1.60 元

前 言

在连续化的工业生产过程中，对各种物质的成分及其性质（如气体的成分、溶液的 pH 值等）需要进行精确的测量和严格的控制。随着现代工业的发展，在一些先进的工业企业中，原来由人工担任的繁琐而费时的分析任务，几乎全部被工业自动分析仪器所取代。自动分析仪器的广泛采用，不仅大大提高了劳动生产率，而且提高了分析速度，能及时准确地反映出中间或最终产品的质量情况，同时还能把分析结果作为自动控制的信号进行操作，使生产控制在最佳参数上。

我国自五十年代后期制成第一台工业自动分析仪器以来，这种仪器在制造和应用上都有了飞速的发展。目前，工业自动分析仪器已成为仪器仪表工业的一个重要组成部分。为了满足工业自动分析仪器的使用、制造和设计部门的需要，我们结合生产实际并综合有关文献资料，选取红外线气体分析器，工业光电比色计，热导式气体分析器，磁性氧气分析器，电导式成分分析器，工业 pH 计，原电池式氧气分析器，工业色谱仪等八类在化工生产中常用而又具有代表性的自动分析仪器编写成本书。

全书共分八章，详细讨论了这八类自动分析仪器的工作原理、结构特征、技术性能、调校、使用方法及维护要点。为了实用，在叙述上力求深入浅出，简明易懂，并避免了不必要的理论推导。由于我们水平有限，书中缺点、错误在所

难免，衷心希望广大读者批评指正。

本书在编写过程中得到四川分析仪器研究所，北京分析仪器研究所，兰州自动化研究所，太原化肥厂，天津大学化工系等单位的支持、协助。它们还对本书的内容提出很多宝贵意见。南京分析仪器厂工程师徐岱润同志，武汉大学化学系赵藻藩、李宁先同志，中国科学技术大学现代化学系张懋森同志审阅本书稿件后，又提出许多具体的修改意见，谨在此一并表示深切的谢意。

编 者

一九八〇年五月

自动分析仪器概述

分析仪器是用以测量物质（包括混合物和化合物）成分和含量及某些物理特性的一类仪器的总称。用于实验室的称为实验室分析仪器，用于工业生产流程的称为工业自动分析仪器，亦称为流程分析仪器。

工业自动分析仪器除广泛用于化工、炼油、冶金等部门的生产流程外，还用于半导体材料生产中微量杂质的分析、内燃机效率的测定、环境监测以及国防和空间技术等方面。

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。按照仪器工作原理的不同可分为光学式分析仪器、热学式分析仪器、电化学式分析仪器、色谱仪、……等等；按分析对象的不同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，但是只要科学上是正确的，并有利于生产和使用就不必强求统一。随着科学技术的不断发展，各种分类方法都将进一步完善。

一、自动分析仪器的组成

自动分析仪器的工作原理互不相同，其结构和组成也各有差异，但是它们都由一些共同的部件和基本的环节所组成。

1. 发送器部分

发送器（也称传送器）是仪器的“心脏”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成某种电参数的变化，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。放大器的作用是把发送器输出的信号放大后供给二次仪表。有些发送器输出的信号可以直接推动二次仪表，不需要设置专门的放大器。

3. 二次仪表

指示仪表、记录器等显示装置统称为二次仪表，自动分析仪器大多采用电流表或电子电位差计作为二次仪表。目前采用小型数据处理装置的数字指示型二次仪表已日渐增多。

4. 取样和预处理装置

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

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，预处理装置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的不同，还需要设置一些辅助装置，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。

二、自动分析仪器的主要技术性能

目前，自动分析仪器还是一门年轻的工业，我国对其各项技术性能的定义和指标还没有统一的规定。这里仅就自动分析仪器最基本和主要的技术性能作一粗浅的说明。

1. 精度和误差

精度*（即准确度）和误差（一般指相对误差）是同一问题的不同表示方法，一台仪器精度低或高，实际上也就是误差大或小。

分析仪器的误差是指仪器指示值与实际值之间的差异程度，而所谓精度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：1.0，1.5，2.0，2.5，4.0，5.0，6.0，10.0，15.0，20.0等十级。

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，在仪器精度等级前加上“±号”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±1.0%，±1.5%，±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

灵敏度是指仪器输出信号变化与被测组分浓度变化之

* 精度应与精密度相区别，精密度是指经多次测量，其结果相互符合的程度。

比，它是分析仪器质量的重要指标之一。这一数值愈大，表明仪器愈敏感，即被测组分浓度有微小的变化时，仪器就能产生足够的响应信号。

3. 响应时间

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

自动分析仪器的响应时间愈短愈好，尤其是在以自动分析仪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。

目 录

第一章 红外线气体分析器	1
第一节 红外线	1
一、什么是红外线	1
二、红外线的特征	2
第二节 红外线气体分析器的工作原理	4
第三节 红外线气体分析器的类型	10
第四节 红外线气体分析器的基本组成部分	14
一、光源和调制部分	14
二、气室和滤光部分	16
三、检测器部分	19
四、电气部分	22
第五节 QGS-04 型红外线气体分析器	22
一、概述	22
二、仪器的结构特征	23
三、电气部分	24
四、调校与使用	26
第六节 FQ 型红外线气体分析器	34
一、概述	34
二、仪器的结构特征	35
三、电气部分	38
四、调校与使用	43
第二章 工业光电比色计	51
第一节 仪器的工作原理	51
第二节 光电效应和光电元件	54

一、光电池	55
二、光电管	57
第三节 工业光电比色计的类型和结构	58
一、单光束系统	58
二、双光束系统	60
第四节 GB-4A 光电比色式铜离子分析器	66
一、概述	66
二、仪器的工作原理	66
三、仪器的结构特征	68
四、电气线路	69
五、调校与使用	71
第五节 紫外线成分分析器	73
一、仪器的结构特征	73
二、紫外线成分分析器的应用	74
第三章 热导式气体分析器	76
第一节 仪器的工作原理	76
一、热传导的基本概念	76
二、混合气体的导热率	77
三、测量方法	79
四、热导池有关参数的选择	80
第二节 测量系统	82
一、单臂串联型测量线路	82
二、单臂并联型测量线路	84
三、双臂串联型测量线路	84
四、双臂串、并联型测量线路	84
第三节 发送器的结构	86
一、发送器的结构类型	86
二、发送器内电阻丝的支承方法	88
三、热导池室壁温度的影响及消除	89
第四节 RD-04型氢气分析器	91

一、概述·····	91
二、仪器的结构特征·····	92
三、仪器的调校·····	96
第五节 QRD-1102 型氢气分析器·····	98
一、概述·····	98
二、仪器的测量系统·····	99
三、仪器的结构·····	101
四、仪器的调校·····	102
第四章 磁性氧气分析器 ·····	104
第一节 磁性氧气分析器的理论基础·····	104
第二节 热磁式氧气分析器的工作原理·····	107
第三节 热磁式氧气分析器的发送器系统·····	111
一、外对流式发送器·····	111
二、内对流式发送器·····	116
第四节 热磁式氧气分析器的附加误差·····	119
第五节 QZS-5101 型热磁式氧气分析器·····	122
一、概述·····	122
二、仪器的结构特征·····	122
三、仪器的电气线路·····	124
四、调校与使用·····	128
第六节 QZS-5108 型热磁式氧气分析器·····	130
一、概述·····	130
二、仪器的组成和结构特征·····	130
三、电气线路·····	132
四、调校与使用·····	137
第七节 磁力机械式氧气分析器·····	139
一、仪器的工作原理·····	139
二、仪器的精度分析·····	142
第五章 电导式成分分析器 ·····	144

第一节 溶液的导电性	144
一、电阻率和电导率的概念	145
二、当量电导	146
第二节 电导式成分分析器的工作原理	147
一、溶液浓度与电导之间的关系	147
二、测量线路	149
三、仪器的刻度	153
第三节 电导池的结构和温度补偿	154
一、电导池的结构	154
二、电导式成分分析器的温度补偿	158
第四节 电导式微量 CO, CO ₂ 气体分析器	161
一、概述	161
二、仪器的工作原理	161
三、仪器的组成及作用	162
四、调校与使用	163
第五节 DD-5型硫酸浓度计	170
一、概述	170
二、仪器的工作原理与结构	170
三、发送器与二次仪表之间的连接	173
四、调校与使用	174
第六节 电磁浓度计	175
一、仪器的工作原理	176
二、发送器	178
三、仪器的精度分析	180
第六章 工业 pH 计	183
第一节 溶液的酸碱度	183
第二节 pH 计的工作原理	185
第三节 电极	187
一、氢电极	188

二、甘汞电极	189
三、银-氯化银电极	190
四、氢醌电极	191
五、铈电极	192
六、玻璃电极	193
七、其他测量电极	197
第四节 测量仪表	197
第五节 pHG-21B 型工业酸度计	199
一、概述	199
二、仪器的结构和工作原理	200
三、电气部分	202
四、调校与使用	207
第七章 原电池式氧分析器	213
第一节 什么是原电池	213
第二节 仪器的工作原理	214
第三节 仪器的结构和性能	217
一、流程概述	217
二、原电池的构造和性能	221
第四节 仪器的刻度和校正	231
一、仪器刻度与校正原理及计算方法	232
二、电解池的设计要求	236
第五节 DH-01 型氧气分析器	238
一、概述	238
二、仪器的工作原理	239
三、仪器的组成和作用	239
四、电气部分	241
五、调校与使用	244
第八章 工业色谱仪	249
第一节 工业色谱仪的工作原理及组成	249
一、色谱分析的基本原理	250
二、工业色谱仪的组成	251
第二节 基本理论	252
一、色谱流出曲线	252

二、保留值	253
三、分布等温线	256
四、分离度	256
五、理论塔板	257
六、速率理论	258
第三节 色谱柱及分离操作条件的选择	259
一、色谱柱	259
二、分离操作条件的选择	265
第四节 检测器	269
一、检测器的要求	270
二、热导检测器	271
三、氢火焰离子化检测器	274
第五节 程序控制器	277
第六节 工业色谱仪的气路系统	278
一、取样阀	279
二、单柱色谱气路系统	281
三、预切反冲气路系统	282
四、带前分离柱气路系统	283
五、双柱气路系统	284
六、带预切柱的双柱气路系统	284
七、带预切柱的前分离气路系统	285
八、液体样品分析系统	286
第七节 辅助设备	287
一、气体预处理装置	287
二、恒温箱	289
三、电子部件	290
第八节 定量分析及数据处理	291
一、定量分析	291
二、数据处理	294
第九节 工业色谱仪的应用	299
编后记	302

第一章 红外线气体分析器

红外线分析器是根据气体对红外线的吸收原理制成的一种物理式分析仪器，能连续测量、指示和记录被测气体中某一组分的含量。其优点是：（1）精度高，一般在2.5级左右，目前较好的产品精度可达1级，能满足化工生产工艺流程中生产控制的要求；（2）灵敏度高，不仅可以分析气体上限浓度为100%的样品，还可进行微量分析（ppm级）和痕量分析（ppb级）；（3）有良好的选择性，对背景气成分要求不严；因而近年来在工业生产中得到广泛的应用。

第一节 红 外 线

一、什么是红外线

雨后天晴，天空中常常出现美丽的彩虹，其颜色按红、橙、黄、绿、青、蓝、紫的顺序依次排列。这种现象是由于太阳光被雨后大气中密集的水珠折射而形成的，其分解为七种颜色的光是由它们各自的波长所决定的。在红色光区以外还存在一种肉眼看不见的辐射线，这就是红外线。红外线是指可见光中的红光沿长波方向伸延出去的一定波长范围的一段电磁波。把各种电磁波按照辐射频率或光子能量的大小排列，就成为电磁波谱。如X射线、紫外线、可见光、红外线、无线电波等。通常把0.75-1000微米的电磁波称作红外线。红外线在整个电磁波谱上占据着一条较宽的波带，但它的界

线尚无严格确定的准则。由于工业红外线气体分析器主要分析对象的吸收峰值大多在2—10微米之间,因此用作工业上测量的波段范围也只是2—10微米。任何物体,只要在绝对零度以上,都能辐射出红外线,如火炉、电灯、人体等都是红外线源。

二、红外线的特征

红外线也具有其他电磁波的通性,如折射、反射和吸收等。红外线与X射线、紫外线、可见光相比,虽然光子能量较小,但我们还是可以用足够灵敏的测温元件对其热辐射进行测量。

吸收光谱有原子吸收光谱和分子吸收光谱。原子吸收光谱是由于原子外层电子选择性地吸收某些波长的电磁波而引起的。分子吸收光谱比较复杂,这是由于分子结构的复杂性所引起的。在同一电子能级中有若干个振动能级,而在同一振动中又有若干个转动能级。由于电子能级跃迁而产生的吸收光谱位于紫外及可见光部分。在电子能级变化时,亦伴随着分子振动和转动能级的变化。如果用近红外线(波长约1—25微米)激发分子,则不足以引起电子能级的跃迁,只能引起分子振动能级和转动能级的跃迁。这样得到的吸收光谱称为红外吸收光谱。各种物质的分子对红外线的吸收都具有选择性。红外线分析器就是根据上述特征设计制造的。

实践证明,除具有对称结构又无极性的双原子气体,如氧(O_2)、氢(H_2)、氯(Cl_2)及惰性气体氩(Ar)、氖(Ne)、氦(He)、氪(Kr)、氙(Xe)等不吸收波长为1—25微米的红外线外,大部分气体,如一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO_2)、甲烷(CH_4)、乙炔(C_2H_2)、氧化氮(NO_x)、硫化