

内 容 简 介

本书系统介绍了常用分析仪器的传感器和电子技术知识。全书共八章:绪论、传感器、信息处理电路、模数与数模转换电路、显示仪表、电源稳定技术、微机与接口电路和几种常用分析仪器的电子线路。

书中深入浅出地阐述了分析仪器传感器和电子技术的基本概念、基本原理和基本方法。简要介绍了微机基础知识与接口电路,讨论了常用分析仪器的电子线路。

本书是为高等工程专科学校工业分析专业编写的教材,也可供环境监测等相近专业师生以及国民经济各行业中从事仪器分析工作和分析仪器维修人员参考。

分析仪器电子技术

杨一德 等 编著

*

北京理工大学出版社出版发行

各地新华书店经售

北京地质印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 17.875印张 456千字

1995年8月第一版 1995年8月第一次印刷

ISBN 7-81045-003-4/TN·1

印数:1-4000册 定价:18.50元

目 录

第一章 绪 论	(1)
§ 1.1 分析仪器概论	(1)
1.1.1 分析仪器的概念	(1)
1.1.2 分析仪器的特点	(1)
1.1.3 分析仪器的分类	(2)
§ 1.2 分析仪器主要组成环节	(3)
1.2.1 取样装置	(3)
1.2.2 预处理系统	(4)
1.2.3 分离装置	(4)
1.2.4 传感器及传感系统	(4)
1.2.5 测量及信号处理系统	(5)
1.2.6 显示装置	(5)
1.2.7 补偿装置	(6)
1.2.8 辅助装置	(6)
§ 1.3 分析仪器的主要性能指标	(7)
1.3.1 精确度	(7)
1.3.2 稳定性	(8)
1.3.3 输入—输出特性	(8)
§ 1.4 分析仪器的的发展趋势	(12)
1.4.1 光学式分析仪器	(12)
1.4.2 电化学分析仪器	(13)
1.4.3 色谱分析仪器	(13)
1.4.4 核磁共振波谱仪	(13)
1.4.5 质谱仪	(14)

§ 1.5 课程性质和学习方法	(14)
第二章 分析仪器中常用传感器	(16)
§ 2.1 传感器概述	(16)
2.1.1 传感器的定义与组成	(16)
2.1.2 传感器的发展趋势	(19)
§ 2.2 电阻式传感器	(20)
2.2.1 热电阻式传感器工作原理	(20)
2.2.2 应用举例	(21)
§ 2.3 电容式传感器	(29)
2.3.1 基本原理	(29)
2.3.2 主要特性	(30)
2.3.3 应用举例	(34)
§ 2.4 电感式传感器	(37)
2.4.1 自感式传感器	(37)
2.4.2 互感式传感器	(43)
2.4.3 应用举例	(45)
§ 2.5 光电传感器	(46)
2.5.1 光电管和光电倍增管	(46)
2.5.2 光敏电阻	(55)
2.5.3 光电池、光敏二极管和光敏三极管	(57)
2.5.4 光电传感器的应用	(66)
§ 2.6 热电式传感器	(67)
2.6.1 热电偶传感器的物理基础	(67)
2.6.2 对热电偶的要求	(75)
2.6.3 热电偶冷端温度补偿	(75)
2.6.4 热电偶的种类	(80)
2.6.5 热电偶应用举例	(81)
§ 2.7 压电晶体传感器	(84)
2.7.1 压电效应	(84)
2.7.2 压电材料	(87)
2.7.3 压电吸附晶片特性	(90)

2.7.4 应用举例	(92)
§ 2.8 气敏传感器	(95)
2.8.1 结构	(96)
2.8.2 气敏元件	(97)
2.8.3 气敏机理概述	(99)
2.8.4 主要特性及其改善措施	(100)
2.8.5 应用	(101)
§ 2.9 湿敏传感器	(102)
2.9.1 湿敏元件的特性参数	(103)
2.9.2 湿敏元件的种类	(105)
2.9.3 典型器件介绍	(106)
§ 2.10 光导纤维化学传感器	(110)
2.10.1 光导纤维概述	(110)
2.10.2 特殊光纤	(112)
2.10.3 光导纤维的光学性质	(114)
2.10.4 光导纤维的化学传感器	(122)
2.10.5 化学发光传感器	(133)
2.10.6 光度传感器	(134)
2.10.7 不可逆传感器	(135)
2.10.8 光纤化学传感器仪器的主要结构	(136)
§ 2.11 生物传感器	(138)
2.11.1 生物传感器分类	(139)
2.11.2 生物传感器的基本结构与原理	(139)

第三章 信息处理电路

§ 3.1 电桥电路	(142)
3.1.1 直流电桥	(143)
3.1.2 交流电桥	(147)
3.1.3 平衡电桥与不平衡电桥	(151)
§ 3.2 放大电路	(152)
3.2.1 差分放大电路	(152)
3.2.2 调制式直流放大电路	(163)

3.2.3	集成运算放大电路	(181)
3.2.4	电桥放大器	(202)
3.2.5	微电流放大器	(204)
3.2.6	选频放大器	(212)
§ 3.3	运算电路	(216)
3.3.1	加法电路	(216)
3.3.2	减法电路	(218)
3.3.3	积分电路	(220)
3.3.4	微分电路	(223)
3.3.5	对数电路	(224)
3.3.6	反对数电路	(229)
3.3.7	乘法器	(230)
3.3.8	除法器	(232)
3.3.9	对数式乘方及开方运算器	(232)
3.3.10	复杂运算电路	(234)
§ 3.4	信息处理电路	(243)
3.4.1	信号分离电路	(243)
3.4.2	比较器	(250)
3.4.3	电压源和恒定电流源	(251)
3.4.4	峰值测量电路	(254)
3.4.5	峰面积测量电路	(259)
3.4.6	线性化电路	(263)
3.4.7	自动调零与定标电路	(277)
3.4.8	量程自动转换	(281)
第四章	数模与模数转换电路	(288)
§ 4.1	D/A 转换电路	(288)
4.1.1	权电阻 D/A 转换电路	(289)
4.1.2	T 型电阻 D/A 转换电路	(291)
4.1.3	D/A 转换电路的主要参数	(293)
4.1.4	D/A 集成芯片与其输出的典型电路	(293)
4.1.5	串行 D/A 转换器简介	(297)

§ 4.2 A/D 转换电路	(298)
4.2.1 转换原理	(298)
4.2.2 A/D 转换电路的主要参数	(303)
4.2.3 A/D 集成芯片	(305)
§ 4.3 A/D 转换器的外围电路	(309)
4.3.1 采样保持电路	(309)
4.3.2 多路模拟开关	(314)
4.3.3 A/D 转换器和微机的连接	(317)

第五章 显示仪表

§ 5.1 磁电式电表	(320)
§ 5.2 检流计	(323)
5.2.1 磁电式检流计工作原理	(324)
5.2.2 光学指示装置	(325)
5.2.3 活动部分的运动特性与阻尼关系	(327)
5.2.4 临界电阻的连接形式	(329)
§ 5.3 电子电位差计	(330)
5.3.1 工作原理	(330)
5.3.2 测量桥路	(331)
5.3.3 放大器	(334)
5.3.4 XWC 系列仪表的其它部分	(340)
5.3.5 电子电位差计的使用知识	(342)
§ 5.4 数字式显示仪表	(343)
5.4.1 数字式显示仪表的构成	(343)
5.4.2 前置放大器	(344)
5.4.3 标度变换	(345)
5.4.4 数字显示器件	(347)

第六章 直流电源稳定技术

§ 6.1 概述	(361)
§ 6.2 直流稳压电源	(362)
6.2.1 串联型稳压电源工作原理及组成	(362)

6.2.2	串联型稳压电源的改进电路	(366)
6.2.3	运算放大器型稳压电源	(371)
6.2.4	集成稳压器	(373)
§ 6.3	直流稳流器	(375)
6.3.1	直流稳流器	(375)
6.3.2	脉冲稳流源	(380)
§ 6.4	直流变换式稳压器	(382)
6.4.1	直流变换式稳压器工作原理	(383)
6.4.2	提高直流变换器稳定度的措施	(388)
第七章	微型计算机与分析仪器的接口电路	(396)
§ 7.1	微型计算机的基础知识	(396)
7.1.1	微型计算机的结构、原理简介	(396)
7.1.2	Z-80 微型计算机	(398)
§ 7.2	计算机与分析仪器的接口	(406)
7.2.1	Z-80 并行输入/输出控制器 PIO	(408)
7.2.2	Z-80 计数器/定时器 CTC	(413)
§ 7.3	微型计算机在分析仪器中的应用	(418)
第八章	几种常用分析仪器电子线路	(422)
§ 8.1	紫外与可见分光光度计	(422)
8.1.1	721 型分光光度计	(422)
8.1.2	722 型分光光度计	(426)
8.1.3	751G 分光光度计	(430)
8.1.4	微机在紫外-可见分光光度计中的应用	(441)
§ 8.2	酸度计	(442)
8.2.1	pHS-25C 型酸度计	(442)
8.2.2	pHS-2 型酸度计	(445)
8.2.3	pHS-3C 型酸度计	(451)
§ 8.3	PXD-2 型通用离子计	(457)
8.3.1	阻抗变换	(458)
8.3.2	比例放大和斜率校正	(458)

8.3.3	温度补偿和校正	(458)
8.3.4	量程扩大和显示	(460)
§ 8.4	YS—3A 微库仑仪	(461)
8.4.1	主要技术指标	(461)
8.4.2	仪器原理	(461)
8.4.3	电路原理	(462)
§ 8.5	极谱仪	(468)
8.5.1	883 型笔录式极谱仪	(468)
8.5.2	F—78 型脉冲极谱仪	(472)
§ 8.6	微机化的电化学分析仪器	(477)
8.6.1	仪器工作原理	(478)
8.6.2	MEC—12A 多功能微机电化学分析仪简介	(479)
§ 8.7	原子吸收分光光度计	(480)
8.7.1	单光束原子吸收分光光度计	(480)
8.7.2	双光束原子吸收分光光度计	(497)
8.7.3	石墨炉电源	(502)
8.7.4	微机在原子吸收光度计中的应用	(511)
§ 8.8	气相色谱仪	(513)
8.8.1	检测器电气线路	(513)
8.8.2	温度控制系统	(525)
8.8.3	数据处理装置	(539)
附录图		(549)
参考文献		(556)

第一章 绪 论

§ 1.1 分析仪器概论

1.1.1 分析仪器的概念

分析仪器是指测量物质的化学组成、结构及某些物理特性的一类仪器。

物质的化学组成和结构是指一种物质由哪些分子、原子或原子团组成的,这些分子、原子或原子团的含量各有多少,它们在物质中是怎样排列或相互之间是怎样结合起来的。

某些物理特性是指与物质组成有密切关系的一些特性,如固体和液体的含水量;气体的湿度;物质的密度、粘度、沸点、凝固点、闪点等等,而不是所有的物理特性。

目前自然界已经发现亿万种物质,在利用或改变它们特性的过程中,需要对它们的存在、组成、结构及特性进行了解,这就是分析仪器的任务。

1.1.2 分析仪器的特点

分析仪器的特点可简要归结为以下几点:(1) 工作原理多种多样,涉及的范围广;(2) 品种繁多;(3) 对于元件材料的要求较高,工艺比较复杂。

分析仪器工作原理几乎涉及到了物理学中的各个学科,化学领域中的许多部分,特别是电化学用得十分广泛。从下述分析仪器

的分类中可清楚地看到这一特点。

另外分析仪器是利用物质特性的差异,通过不同的途径,将非电量转换为电量测量时所获得的信号往往是很微弱的,如在转变为电流时,可低达 10^{-10}A 或者更低,在转变为电阻值时,可低达 $10^{-5}\Omega$,对于这样一些微小的变化量,要求测量的结果稳定、可靠,就要对构成仪器的元件材料及装配工艺提出比较严格的要求,这就是分析仪器制造难度大的一个重要原因。可以说,分析仪器的制造水平反映了一个国家工业水平。

1.1.3 分析仪器的分类

由于分析仪器品种繁多,工作原理非常广泛,所以关于分析仪器的分类也就成为一个很复杂的问题。我国分析仪器行业对这个问题进行了多次讨论,以仪器的工作原理为主,结合分析仪器发展的现状,我国分析仪器行业及使用部门的习惯,分析仪器可分为以下九类:

1. 电化学式分析仪器 它又可分为:电导式分析仪器;电量式分析仪器;电位式分析仪器。

2. 热学式分析仪器 它又可分为:热导式分析仪器;热化学式分析仪器;热谱分析仪器。

3. 磁学式分析仪器 它又可分为:磁性氧分析仪器;核磁共振波谱仪。

4. 光学式分析仪器 它又可分为:吸收式光学分析仪器;发射式光学分析仪器;其它光学式分析仪器。

5. 射线式分析仪器 它又分为:X射线分析仪器;放射性同位素分析仪器。

6. 色谱仪 它又可分为: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 它又分为:电子探针;质谱仪和离子探针等。

8. 物性测定仪 它又分为:水分测定仪;粘度计等等。

9. 其它

由于分析仪器工作原理牵涉到物理及化学原理极为广泛,因此这种分类争论还较多,这里不仅是分类的科学性及合理性,而且对于所包括的内容也有不同的看法。应该注意到,任何一种分类法都会有它的局限性。因此只要做到科学上是正确的,并且有利于生产及管理就是可行的。同时还应该看到事物总是在发展的,任何一种分类法都将随着科学技术的发展不断地完善。

按仪器使用的场合来分,可分为:(1) 实验室分析仪器;(2) 过程分析仪器。此类仪器是指在工业流程中对物质的成分及性质完全自动分析与测定的仪器仪表。

§ 1.2 分析仪器主要组成环节

分析仪器虽然种类很多,且各类仪器的工作原理互不相同,结构的复杂程度也大有差别,但它们都由一些共同环节所组成,并且对这些共同环节的技术要求也是一致的。

1.2.1 取样装置

它的任务是把待分析的样品引入仪器。对于实验室仪器,取样装置往往就是进样器。它有手动和自动之分,如在气相色谱仪中进样器就是针筒,不过容积较小。

对于过程分析仪器,取样装置就要复杂得多。生产流程中的样品主要呈气体或液体状态。对气体,还需考虑系统正压还是负压,如果是负压则必须有抽吸装置,把样品抽吸到仪器中来。例如测量烟道气时就有这个问题。因此,对这类测量,取样装置还包括一个抽吸器。

一般取样装置的结构并不复杂,大多数都有多孔陶瓷之类的物质,以便对待分析的样品进行一次过滤,减少进入系统的机械杂质,以免堵塞和沾污管道及传感器等。

对于取样系统的要求,首先要能经受生产过程中的恶劣条件,如高温、高压、腐蚀等,同时要保证不与样品中的任何成分发生化学反应,防止样品失真。因此必须根据样品的性质及条件选择材料。

其次,从使用的角度,必须注意取样装置取得的样品要有代表性,即取样装置安装的位置必须慎重考虑。

1.2.2 预处理系统

本环节主要是针对过程分析仪器而言。预处理系统的任务是从生产过程中取出的样品加以处理,以满足传感器对样品的状态——温度、压力等的要求,有时往往尚需进一步除去机械杂质及水蒸汽。如果样品中存在对待分析组分有干扰的组分时,还必须预先采取化学或物理的办法把干扰组分去掉,以保证仪器测量的准确度。预处理系统一般包括冷却器或恒温器、过滤器或净化器以及保持仪器选择性的某种化学方法或物理方法的处理装置,如气化、裂解等。总之,预处理系统的任务是要求进入传感器的是一份有代表性、干净、符合传感器要求、没有干扰组分的样品。

1.2.3 分离装置

在各种能同时分析多种组分的分析仪器里都有“分离”装置。这里所说的分离是广义的,既包括样品本身各组分的分离,也包括能量的分离。总之,用仪器将样品各个组分加以机械分离或物理分离的装置都归结为分离系统。如色谱仪中的色谱柱,光学式分析仪器中的分光系统。

对于分离系统的要求,主要是分辨率,多组分分析仪器分辨率的高低主要取决于分离系统。

1.2.4 传感器及传感系统

传感器是仪器的核心部分,它将试样中待分析组分变换成相

应的信号,这种信号多数是以电参数输出。

一台仪器的技术性能,特别是单组分分析仪器的技术性能在很大程度上取决于传感器。因此对于传感器的设计、使用和维护必须给以充分注意。

1.2.5 测量及信号处理系统

从传感器送出来的信号是多样的,常见的是电阻、电容、电感、电流、电压、频率的变化等。特别是前面几种电参数的变化,尤为普遍,只有测量出这些参数的变化,才能间接地确定组分含量的变化。我们就把测量这些变化的线路或装置统称为测量系统。

在分析仪器中,由于成分及含量变化引起上述物理量的变化往往是很小的。如电阻变化可以低到 $10^{-5}\Omega$, 电流的变化可低到 10^{-10}A , 乃至更低。因此往往要经过放大器加以放大后才能显示出来。

此外输出的信号往往是非线性的,即输出信号的变化值与待测组分浓度的变化不成比例关系,有时还有必要加以线性化。

从测量系统输出的信号大多是模拟信号,为了提高显示精度、便于观察以及和数字计算机联用,现在愈来愈多地采用数字显示。这样系统中还必须有模—数转换装置。

所有这些都是信号处理装置。应该说上述几种包括得还不全,还可能根据不同情况需要其他信号处理装置。

总之,信号处理系统是信号从传感器发出到显示装置的一系列中间环节。对它们的主要要求是不失真地将信号送给显示装置。

1.2.6 显示装置

即能把分析结果显示出来的装置。电子式显示仪表又分为模拟式、数字式和图像显示三大类:

所谓模拟式显示仪表是以指针或记录笔的偏转角或位移来显示被测参数的连续变化的仪表。模拟显示的缺点是显示精度低,读

数误差较大。优点是能直观显示出被测参数随时间或其他物理量(如波长)的变化情况。

数字式显示仪表是直接以数字形式显示被测参数,其测量速度快,抗干扰性能好,精度高,读数直观,工作可靠,且有自动报警,自动打印和自动检测等功能,更适用于生产集中监视和控制,近年来发展较快。

图像显示则是直接把工艺参数用文字、符号、数字和图像配合的形式在萤光屏上直接显示出来,并配以打字记录装置,按操作者的需要,任意以其中一种或多种方式同时显示,是一种具有模拟式与数字式显示仪表二种功能的显示器。

对于显示装置的要求,主要是精确显示出传感器发出的信号,对于某些实验室用分析仪器和大多数过程分析仪器来说,还有一个响应时间问题,即要求响应快,及时显示出测量数据。

1.2.7 补偿装置

补偿装置的作用是消除或降低客观条件和样品的状态对测量的影响。其中主要是样品的温度、压力对测量的影响。这类装置大多数是在测量或信号处理系统中直接引入负反馈补偿装置,否则仪器的精度和可靠程度降低。许多仪器由于无法直接引入补偿装置,为了保证测量精度而不得不使仪器的结构复杂化。例如,在测量粘度时,温度对精度的影响是很严重的,某些方法由于温度补偿引不进去,所以必须使传感器恒温。很多仪器往往由于补偿不好而成为仪器精度不高的主要因素。

1.2.8 辅助装置

工作条件概括起来主要有样品的温度、压力、流量、湿度、均匀性;环境的温度、压力、电磁场干扰、电源的电压及频率等。对这些物理量,如不能按上述方法加以补偿时,为了保证仪器的测量精度,则必须采取相应的措施,附加某些辅助装置,如流体稳压阀、恒

温器、稳压电源、电磁隔绝装置等。当然这些因素不一定都存在,要根据具体条件确定取舍。

构成分析仪器的环节主要有上述八个部分,但对一台具体仪器,并不是这八个环节一定都有,而且有的仪器根据特殊条件也许还不止这八个部分。

§ 1.3 分析仪器的主要性能指标

评价分析仪器的性能指标是多方面的,但作为测量仪器类中的分析仪器,基本性能主要是衡量其测量能力的那些指标。

1.3.1 精确度

精确度简称为精度,说明精度的指标有三个:

1.3.1.1 精密度 δ 精密度是说明仪器指示值的分散性,即对某一稳定的被测量,由同一测量人员用同一台仪器在相当短的时间内连续重复测定多次,其测量结果的分散程度。如某一台测温仪表的精密度的 0.5°C ,意即多次测量结果的分散程度不大于 0.5°C 。

1.3.1.2 准确度 ϵ 准确度是说明仪器指示值偏差真实值大小的程度,即指示值有规则偏离真实值的程度。如果某流量计的 $\epsilon=0.3\text{M}^3/\text{S}$,该仪器的指示值与真实值偏离 $0.3\text{M}^3/\text{S}$ 。

1.3.1.3 精确度 τ 它是精密度与准确度的综合反映,精确度高,表示精密度和准确度都比较高。在最简单的情况下,可取两者的代数和,即 $\tau=\delta+\epsilon$ 。精确度常以测量误差的相对值表示。目前习惯上把仪器仪表的精度由高到低分为 1.0、1.5、2.0、2.5、4.0、5.0、6.0、10.0、15.0、20.0 等十级。在仪器精度等级前加上“ $\pm$ ”和“ $\%$ ”号即构成仪器的基本误差。如精度等级为 1.0 的仪器,其基本误差相应为 $\pm 1.0\%$ 。

1.3.2 稳定性

仪器的稳定性有两个指标。一是仪器指示值在一段时间中的变化,以稳定度表示;二是仪器外部环境和工作条件变化引起指示值的不稳定,用影响量表示。

1.3.2.1 稳定度 指在规定时间内,测量条件不变的情况下,由仪器中随机性变动,周期性变动,漂移等引起指示值的变化。一般以仪器精密度数值和时间长短一起表示。例如,某仪表电压指示值每小时变化 1.3mV ,则稳定度可表示为 1.3mV/h 。

1.3.2.2 影响量 测量仪器由外界环境变化引起指示值变化的量,称为影响量。它是由温度、湿度、气压、振动、电源电压及电源频率等一些外界环境变化所引起的。说明影响量时,必须将影响因素与指示值偏差同时表示。例如,某仪表由于电源电压变化 10% 而引起其指示值变化 0.02mA ,则应写成 $0.02\text{mA/V} \pm 10\%$ 。

1.3.3 输入—输出特性

仪器的输入—输出特性有静态特性和动态特性两大类。

1.3.3.1 静态特性 静态特性是指输入的被测参数不随时间而变化,或随时间变化很缓慢时,测量仪器的输出量与输入量的关系。它的主要性能是线性度、灵敏度和滞环等。

1. 线性度 仪器的输入—输出关系总是希望具有线性特性。这样既可以使指示仪表刻度均匀,又可以在整个测量范围内具有相同的灵敏度,并且不需要采用线性化环节,从而简化了测量电路。但实际上许多测量仪表,尤其是传感器的输入—输出特性总是具有不同程度的非线性。

线性度(又称非线性误差)说明输出量与输入量的实际关系曲线偏离其拟合直线的程度。用下式表示:

$$\epsilon_l = \frac{|\Delta_{\max}|}{y_{\max}} \times 100\%$$

式中 ϵ_L ——线性度；

$\Delta_{\max}$ ——输出量与输入量实际关系曲线与拟合直线之间的最大偏差；

$y_{\max}$ ——仪表的输出满刻度。

拟合直线的选取方法很多，最简单的是端基线性度的拟合直线。只需校正仪表的零点和对应于最大输入量 $x_{\max}$ 的最大指示值 $y_{\max}$ 点，连接这两点便得，此法简单方便，但精度不高。根据误差理论，采用最小二乘法来确定拟合直线，其拟合精度最高。

2. 灵敏度 S 测量仪表的灵敏度是表示仪器在稳定状态条件下输出量增量 Δy 与输入量增量 Δx 之间的函数关系。更确切地说，灵敏度等于测量仪表的指示值增量与被测量增量之比，它是仪表在稳态下输出与输入特性曲线上各点的斜率，可用下式表示：

$$S = \frac{dy}{dx} = \frac{df(x)}{dx} = f'(x)$$

显然，灵敏度值越高，仪表就越灵敏。

3. 检测极限 测量仪表的检测极限也称检测灵敏限。检测极限是指仪器能确切检测的最小物质的含量。

一台仪器的检测极限，与仪器自身的噪声水平关系很大，用公式表示可写成：

$$D = \frac{nN}{S}$$

式中 D ——检测极限；

N ——噪声水平；

n ——安全系数；

S ——仪表的灵敏度。

噪声水平 N 一般是由实测得到，为了保险起见，将实际测得的噪声水平放大若干倍。 n 一般取 1~5 之间。如在气相色谱仪中取 $n=2$ 。

对于一般测量仪表的要求是，灵敏度应该大而检测极限应该