

54.64

125

2

分 析 仪 器 丛 书

分 析 仪 器 电 子 技 术

本书共分六章：第一章为绪论，概述了分析仪器电气系统的组成及特点；第二章系统地介绍了分析仪器中所采用的各种放大器；第三章介绍了分析仪器中应用的温度控制器和程序控制器；第四章介绍了分析仪器数据处理方法、装置和系统；第五章介绍了电源的稳定技术——稳压、稳流等；第六章介绍了微型计算机的原理和应用。

本书可供工人、技术人员以及有关大专院校师生参考。

分析仪器电子技术

王德云 编

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $14 \frac{1}{2}$ · 字数 319 千字
1984 年 3 月北京第一版 · 1984 年 3 月北京第一次印刷

印数 00,001—13,800 · 定价 1.50 元

*

统一书号：15033·5310

前 言

分析仪器是检测物质的化学成分、结构和某些物理特性的仪器。它广泛应用于农业、工业、科研、环境污染监测、医疗卫生以及资源勘探等各个部门之中，对国民经济的发展起着十分重要的作用。

近几年，我国的分析仪器工业取得了高速的发展，从事分析仪器设计、制造、使用和管理工作的人员也在迅速增多。为了适应这一形势的需要，帮助有关人员了解和掌握分析仪器的基本知识，我们组织编写了这套《分析仪器丛书》。

本丛书预定分十三分册，其中有：《分析仪器》、《电化学式分析仪器》、《光学式分析仪器（一）》、《光学式分析仪器（二）》、《热学式分析仪器》、《核磁共振波谱仪》、《射线式分析仪器》、《电子光学及离子光学式分析仪器》、《色谱仪》、《物性分析仪器》、《流程分析仪器取样系统》、《分析仪器电子技术》、《环境污染监测用分析仪器》，将陆续出版。

本丛书在文字上力求精炼通顺、明了易懂，并采用文字和图表相结合的阐述方式。内容上着重介绍分析仪器及其关键部件的作用原理、结构、主要特征和用途，并扼要介绍仪器的使用技术和方法、维修要点、发展历史和趋势等。

由于我们水平有限，书中一定有不少缺点甚至错误，欢迎读者批评指正。

这套丛书是在有关工厂、高等院校、科研单位的大力支持下组织编写的。许多同志为收集素材、编写和审校做了很多工作和提出了不少宝贵意见，在此一并表示感谢。

《分析仪器丛书》编写组

目 录

第一章 概论	1
一、引言	1
二、物质成分及物性的电气变换	2
三、物质成分及物性的电测方法	4
(一) 测量方法的种类	4
(二) 直接和比较测量法的主要特性	6
(三) 测量转换电路——惠斯登电桥	7
(四) 信号的调制与解调	9
(五) 信号的放大	10
四、分析仪器电气系统示例	11
(一) 示波极谱仪	11
(二) 自动电位滴定仪	13
(三) 微库伦计	14
(四) 化学发光式分析器	15
(五) 原子吸收分光光度计	16
第二章 电子放大技术	18
一、概述	18
二、集成运算放大器	20
(一) 运算放大器的基本概念	21
(二) 集成运算放大器的应用技术	24
(三) 集成运算放大器在分析仪器中的应用	38
三、直流电压信号放大器	45
(一) 概述	45
(二) 调制式直流放大器	47
(三) 双通道调制式直流放大器	56
(四) 伺服放大器	61

(五) 桥路放大器	69
(六) 由集成运算放大器组成的电压信号放大器	72
四、选频放大器	75
五、对数放大器	83
六、微电流放大器	92
(一) 电流-电压变换式微电流放大器	93
(二) 简单的电流-电压(I-V)变换式微电流放大器	102
(三) 调制式微电流放大器	103
(四) 电流-频率(I-F)变换式微电流放大器	112
第三章 自动控制装置	115
一、温度控制器	115
(一) 开关式温度控制器	115
(二) 比例式温度控制器	116
(三) PID 控制式温度控制器	128
(四) 程序升温控制器	130
二、程序控制器	140
(一) 机电式程序控制器	141
(二) 光电式程序控制器	142
(三) 电子式定时器	143
(四) 电子式时间程序控制器	154
(五) 存储程序式程序控制器	163
三、自动控制装置的可靠性	167
(一) 可靠性的基本概念	167
(二) 影响可靠性的因素	169
(三) 提高可靠性的措施	170
第四章 数据处理技术	179
一、概述	179
二、信号转换方法	180
(一) 连续比较式模-数(A-D)转换器	182

(二) 逐位比较反馈编码式模-数(A-D)转换器	184
(三) 双斜率积分式模-数(A-D)转换器	185
(四) 高速并行模数转换器	188
(五) 电压-频率变换器	189
(六) 线性化电路——线性提升器	203
(七) 对数输出模-数转换器	208
(八) 数字-模拟转换器	212
三、谱峰信号的峰面积测量	220
(一) 模拟积分法	220
(二) 电压-频率(V-F)变换脉冲累加法	222
(三) 模-数(A-D)转换多次采样累加法	223
四、谱峰信号的峰高测量	224
(一) 模拟式峰高测量法	225
(二) 数字式峰高测量法	228
五、信号比率的测量	229
(一) 自动补偿法	229
(二) 电压-频率(V-F)变换法	230
(三) 数-模变换式除法器	234
六、信号基线校正方法	235
(一) 基线校正的自动平衡法	235
(二) 补偿电压电容保持法	236
(三) 数字式基线校正法	238
七、数据的显示和记录	240
(一) 指示仪表	241
(二) 记录仪表	246
(三) 数据显示器	249
(四) 数字打印机	256
八、自动测试系统	265
(一) 概述	265

VI

(二) 自动测试系统中的测试仪器	268
(三) HP-IB 标准接口母线系统	270
(四) CAMAC组件式仪器和接口系统	277
第五章 电源稳定技术	284
一、概述	284
(一) 稳定电源的作用	284
(二) 稳定电源的技术性能	284
(三) 直流稳定电源的种类及稳定方式	287
二、直流稳压器	290
(一) 串联调整式稳压器	290
(二) 直流变换式稳压器	299
(三) 开关式稳压器	316
三、直流稳流器	322
四、发射电流稳定器	328
五、可编程大电流稳压器	331
六、脉冲稳流源	336
第六章 微型计算机及其应用	339
一、概述	339
(一) 什么是微型计算机	339
(二) 微型计算机的特点	342
(三) 微型计算机的种类	343
二、微型计算机的基本原理	345
(一) 微处理器(MPU)	345
(二) 存储器	349
(三) 怎样执行程序	351
(四) 寻址方式	362
三、微处理器	378
(一) M6800微处理器的体系结构	378
(二) M6800微处理器的指令系统	381

(三) 堆栈	382
四、存储器	388
(一) 只读存储器	390
(二) 读/写存储器(RAM)	396
五、输入/输出与接口	401
(一) 输出操作	401
(二) 输入操作	402
(三) 中断	403
(四) 直接存储器存取(DMA)	409
(五) MC6820外围接口适配器(PIA)	410
(六) 可编程序通用异步收发器(UART)	415
六、微型计算机的程序设计	421
(一) 概述	421
(二) 分支程序	423
(三) 循环程序	434
(四) 子程序	437
七、微型计算机系统	443
八、微型计算机的应用	445
(一) 应用对象的选择	445
(二) 微处理器的选择	446
(三) 应用系统的设计	448
(四) 应用程序设计	450
(五) 微型计算机的开发系统	452

第一章 概 论

一、引 言

大多数分析仪器是采用电子技术来测定非电量（物质成分、结构以及物理特性）。其本质是将待测的物质分量或物理量通过一变换器转换成电量或电参数，最后以记录或显示形式给出测定结果。

分析仪器一般由测量系统、供电系统、控制系统、信息处理系统以及机械系统等组成。

测量系统由变换器、测量电路及指示器（或记录器）等三部分组成（图I-1）。变换器是仪器的核心，决定于仪器的工作原理。在这里被测的成分量或物理量被转换成电量或电参数。测量电路将电信号或电参数进行变换和放大。一般常用的测量电路为电桥和各种信号放大器，指示器用来显示和记录测量结果。

供电系统为变换器和测量电路等供电，它提供稳定的直流电压、交流电压源和高压电源等。

控制系统为仪器保证正常工作提供良好条件，如保持温



图1-1 测量系统的组成

度、流量及压力的稳定。另一方面也对仪器的运行进行程序控制，使仪器工作自动化。

信息处理系统对仪器的输出信息进行信号处理和数学处理，给出最终的分析结果。

机械系统包括仪器的机械机构和结构，以及各种机械装置（采样及样品处理装置等）。

在上述五个系统中，除机械系统外，均以电子技术为基础。分析仪器的性能是与电子技术的水平密切相关的。随着电子技术的迅速发展，分析仪器也在不断地更新换代。尤其是大规模集成电路和微型计算机的出现和广泛应用，就使分析仪器本身发生了巨大的变化，进入了一个崭新的阶段。

分析仪器之所以广泛采用电子技术，是因为它具有下面一些优点：

1. 电子部件的灵活性和通用性强；
2. 测量范围宽，量程改变容易；
3. 灵敏度高，测量精度高；速度快；
4. 便于进行遥测遥控；便于集中控制；
5. 便于接入自动控制及调节系统中。

二、物质成分及物性的电气变换

应用电子学方法测定物质成分和物理性质，关键的问题在于将被测的非电量转换成电量。常用的变换方法如表 1-1 所示。由表中可看出，分析仪器的工作原理虽然多种多样，但变换后的电量却是有限的几种——电动势、电流、电阻、电容、电感、电导率和频率等。

表1-1 物质成分和性质的电气变换

仪 器 别	被 测 定 量	工 作 原 理	变 换 后 的 电	应 用 举 例
电 化 学 式	离子浓度 离子活度 输 率 电离系数	原电池电势	电 动 势	电位差滴定, pH计
		能差极化	电 动 势 及 电 流	极谱仪, 电流滴定
		离子迁移	电 导 率	电导滴定, 高频滴定, 浓度计
	反应速度	反应热	电 动 势	温度滴定
	含 水 率	导电率	电 容	水分计
	气体成分	电导理论	电 导 率	CO ₂ 、CO、SO ₂ 微量分析
	金属的定量	控制电位电解	电 量	库伦法分析器
热 学 式	气 体 成 分	燃烧热	电 动 势	H ₂ 表, CO表
		燃烧热	电 阻	乙醚及酒精表
		热导率	电 阻	H ₂ 、CO ₂ 、CO、SO ₂ 表
	温 度	热效应	电 动 势	差热分析仪
	重 量	热重效应	电 动 势	热天平
磁 式	气体成分	导磁率	电 阻	O ₂ 、N ₂ O ₂ 、NO ₂ 表
	金属的定量	导磁率	电 感	磁性分析法
	电磁辐射能的吸收	核磁共振	高频电压	核磁共振波谱仪
光 学 式	光 强 度	光的吸收性	电 流	分光光度计, 浊度计
	气体成分	红外线吸收	电 容	红外线气体分析器
	光 强 度	光能辐射	电 流	摄谱仪, 光谱仪
电 子 光 学 式	离子的 m/e	离子流的弯曲	电 流	质谱计

(续)

仪 器 类 别	被 测 定 量	工 作 原 理	变 换 后 的 电 量	应 用 举 例
色谱仪	物质成分	吸附性	电阻、电流	色谱仪
物 性 分 析 仪 器	湿 度	干湿温度计的理论	电 阻	干湿球湿度计
		露点湿度计的理论	电 阻	露点湿度计
	粘 度	粘性摩擦	电 功 率	回转式粘度计
		粘性摩擦	电 感	面积式粘度计
		音的衰减系数	频 率	音响式粘度计
	密度比重	压力	电 感	气泡式密度计
		机械位移	频 率	浮子式密度计
其它	气体成分	介电常数	电 容	H ₂ 表
		音速	频 率	CO ₂ 、H ₂ 、N ₂ 表 (音响式)

三、物质成分及物性的电测方法

(一) 测量方法的种类

物质成分及物性的电测方法可分为两类：

1. 直读法；
2. 比较法。

在直读法中，被测的物理量经过一系列的变换后，最后以指示器的偏转角（或位移）或数码来表示测量结果，如图1-2所示。被测量 x 经变换器转换成电量 D 。在测量电路中，电量 D 经多次变换，被转换成另一电气量 D_i 。 D_i 驱动指示器的指针偏转。一般情况下，指示器按被测量 x 进行刻度。

比较法的特点是具有两支独立的尽可能相同的变换环

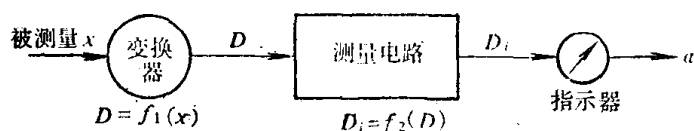


图1-2 直读法测量

节，如图 1-3 所示。其中一个环节包含工作变换器 B_X ，另一个环节中包含非工作（通常是标准的）变换器 B_N 。

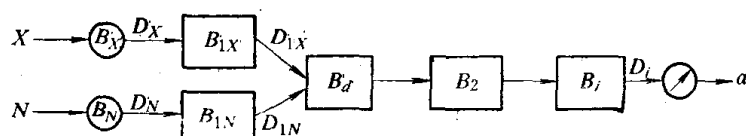


图1-3 比较法测量

两个变换器输出的电信号 D 经变换器 B_i 再转换成另一形式的电参数或电量 D_{1X} 和 D_{1N} ，在比较环节 B_d 相减。差值再经几次电气转换 ($B_2 \cdots B_i$)，最后由指示器显示出测量结果。例如，当采用光电变换器测定溶液浓度时（图1-4），光线由光源 1 经棱镜 2 及光学装置 3 分成两路。一路经充以被测溶液的工作变换器 4；另一路经充以已知浓度的非工作变换器 6。两束光线通过可调截面的光阑 5 落到光电管 7 和 8。两束光线通过可调截面的光阑 5 落到光电管 7 和

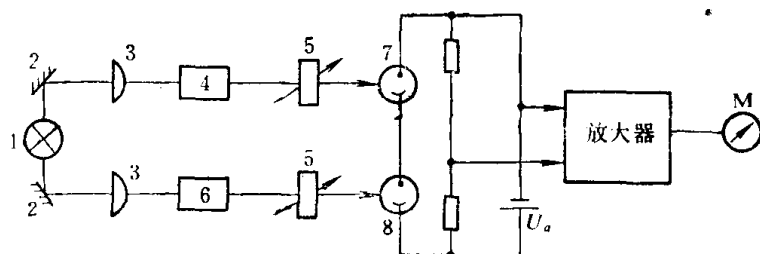


图 1-4

8 上。光电管作为电桥的两臂。当被测溶液的浓度为初始值（零值）时，射到光电管 7 和 8 上的光线强度相等，所以电桥平衡，指示器显示零值。如果被测溶液的浓度改变了，由于变换器 4 吸收光线的能力改变，所以落在光电管 7 上的光强也随着改变，电桥失去平衡。不平衡信号经放大器放大后，由指示器显示出来。这种方法是比较法的一种，叫做不平衡法。比较法中还一种方法叫做平衡法。当被测溶液的浓度改变时，我们可以采用光学的方法（改变光阑 5 的截面使落在光电管上的光通量改变）或电气的方法（改变桥路电阻 R ）使电桥重新平衡，即指示器指零。那么根据光阑或电阻 R 的大小来确定溶液浓度的大小。

（二）直接和比较测量法的主要特性

1. 灵敏度 S 输出量 α 的变化 $\Delta\alpha$ 与相应的输入量 x 的变化 Δx 之比，即

$$S = \frac{\Delta\alpha}{\Delta x} \quad (1-1)$$

对于直接测量法（如图 1-2 的线路结构）的灵敏度可写成：

$$S = \frac{\Delta\alpha}{\Delta x} = \frac{\Delta D}{\Delta x} \cdot \frac{\Delta D_i}{\Delta D} \cdot \frac{\Delta\alpha}{\Delta D_i} \quad (1-2)$$

即仪器的灵敏度 S 等于组成仪器的各环节的灵敏度之积。

2. 灵敏限 ΔS 在平衡法测量中，使平衡装置动作的被测参数最小值 $\Delta x_{\min}$ 或测量变换器输出的电参数的最小值 $\Delta D_{\min}$ 叫做灵敏限。灵敏限将引起测量误差。为了减小误差的数值，常用的办法是提高放大器的放大系数。但放大系数是受系统的稳定性和电磁干扰的限制。

3. 线性 这指的是仪器的指示值 α 与被测量 x 之间的关系为线性关系, 即

$$\alpha = f(x) = Kx \quad (1-3)$$

式中 K ——常数。

为了获得线性关系, 或者是使组成仪器的各环节均为线性的, 或者加入非线性环节进行校正。

4. 反应速度 这取决于在测量过程中各组成环节所表现出来的惯性, 这一特性对测定快速变化的物理量是很重要的。

(三) 测量转换电路——惠斯登电桥

惠斯登电桥是分析仪器中最常用的测量转换电路。当物质成分量的变换器为参数式变换器时, 即变换器的输出量为电阻、电感、电容、电导率时, 采用电桥将这些参数进一步转换成电压或电流信号。桥式测量转换电路如图 1-5 所示。这里 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 为桥臂电阻; R_z 为接在对角线 ab 端 (输出端) 的指示器的内阻; 供电电压 U 接在对角线 cd 端 (供电端)。通常桥路的供电电压 U 是已知的。

流过指示器的电流 I_z 可用下式表示:

$$I_z = \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{R_z (R_1 + R_2) (R_3 + R_4) + R_1 R_2 (R_3 + R_4) + R_3 R_4 (R_1 + R_2)} \quad (1-4)$$

电桥平衡时 $I_z = 0$, 即 $R_1 R_4 - R_2 R_3 = 0$, 所以电桥平衡的条件是:

$$R_1 R_2 = R_3 R_4 \quad (1-5)$$

如果参数式变换器做为电桥的一臂 (例如 R_3), 那么利用电桥可以实现直接法测量。如果采用两个相同的参数式变换器, 其中一个为工作变换器, 另一个为非工作 (参比) 变

换器，把它们作为电桥的相邻两臂（例如 R_3 及 R_4 ），那么利用电桥可以实现比较法测量。

当电感或电容变换器接入电桥中时，桥路供电必须使用交流电源，这时的输出信号也是交流。

在分析仪器中桥式转换电路得到了广泛的应用，主要的工作方式有两种：一种是电桥的输出端直接联一指针式电表（如图1-5），指针的偏转角度表示被测量的大小。这种工作方式要求电桥有大的输出功率。通过理论分析可以知道，若使电桥获得最大的输出功率，必须满足以下条件：

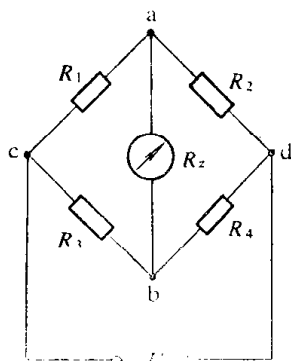


图1-5 桥式测量电路

1. $R_1 = R_2$ 和 $R_3 = R_4$ ，即满足对称电桥的条件；
2. 桥臂电阻 R_3 和 R_4 很小；
3. 指示仪表的内阻和接指示仪表两端间的电桥内阻相等，即

$$R_z = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} \quad (1-6)$$

第二种工作方式是电桥的输出端连接一具有很高输入阻抗的测量装置（如放大器和记录仪等），这时要求电桥对电压的灵敏度要高。理论分析证明，当 $R_1 = R_2$ 和 $R_3 = R_4$ 时，电桥具有最高灵敏度，电桥输出电压 U_z 由下式表示：

$$U_z = U \frac{\Delta R_1}{4R_1} \quad (1-7)$$

式中 U ——电桥的供电电压；

R_1 ——作为变换器的桥臂电阻；

ΔR_1 —— R_1 的变化量。

公式 (1-7) 表明, 当测量装置的输入阻抗相对于桥路电阻为足够大时, 电桥的电压灵敏度与桥路电阻及变换器电阻的大小无关。

(四) 信号的调制与解调

一个信号的幅度、频率或相位, 在另一个信号的作用下所起的变化叫信号的调制。发生幅度、频率或相位变化的信号叫做被调制信号, 通常也叫做载频信号。引起载频信号发生变化的信号叫做调制信号, 通常被测量本身就是调制信号。

信号调制的目的在于:

- 1) 便于进一步进行放大和转换;
- 2) 便于信号的传输和测量。

信号调制的方式有下述三种:

1. 调幅 (振幅调制)

载频信号的幅度随被测信号 (调幅信号) 的大小而变,

如图 1-6 所示。如交流供电的桥式电路就属于调幅的情况。

2. 调频 (频率调制) 载频信号的频率随被测信号 (调频信号) 的大小而变, 如图 1-7 所示。如 V-F 变换器就属于调频的典型例子, 它的输出信号的频率与输入电压成比例。

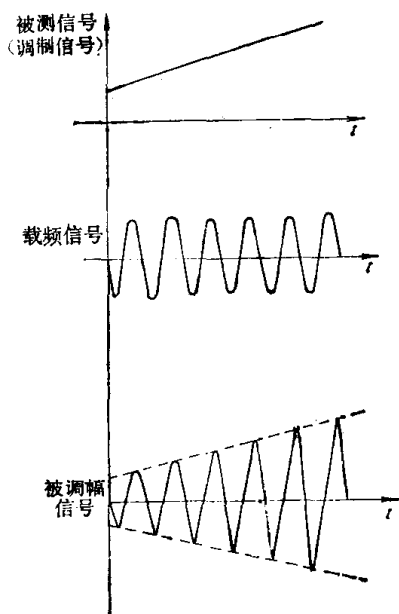


图1-6 调幅