

工业常用仪器分析

张宝铭 编著



科学出版社

工业常用仪器分析

张宝铭 编著

科学出版社

1996

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书较为系统地介绍了工业常用仪器分析方法。

全书分四章。第一章电学基础,介绍电路、电子元件等的基本知识,为学习分析仪器的构造、原理奠定基础。第二章电化学分析法,论述电化学分析理论,介绍电导、电位、库仑等分析方法及应用实例。第三章光度分析法,主要介绍可见光和紫外分光光度法。第四章气相色谱法,论述气相色谱分析的理论,详细介绍检测器,气相色谱仪,色谱柱及固定相,色谱条件选择,定性、定量方法,微机应用等,还列举出分析谱图及色谱条件等应用实例 30 余例。

本书可供化工、轻工、农林、环保、医药、食品卫生等工业部门从事分析、检验的科技人员和工人使用,也可作为培训教材。

工业常用仪器分析

张宝铭 编著

责任编辑 张英娥

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

新蕾印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1996 年 5 月第 一 版

开本: 787×1092 1/16

1996 年 5 月第一次印刷

印张: 15

印数: 1—3 600

字数: 341 000

ISBN 7-03-004762-1/TQ·20

定价: 22.00 元

前 言

随着科学技术的突飞猛进和我国四化建设的深入发展,化验分析在工业生产中的作用日益重要,而仪器分析在工业生产分析中的地位越来越高,尤其是计算机技术在分析领域中的应用,使仪器分析开始进入智能化、自动化的新阶段。

近几年来,生产企业的公验人员通过技术培训、岗位练兵,技术素质有明显提高。但是,所培训的内容主要是化学分析的基础理论知识。绝大多数化验人员比较缺乏仪器分析的理论和技术知识,这种状况,远不能满足工业生产分析的需要。为给广大分析人员尤其是化验工人提供通俗易懂的教材,编写了这本《工业常用仪器分析》。

编写中,参考了多种版本有关仪器分析的教材和专著。选材上结合工业分析的特点和大多数工厂常见的仪器分析内容,充分考虑分析人员的文化程度和理论基础,尽量避免深奥的理论和繁琐的公式推导,侧重分析技术的原理、方法和仪器;语言力求深入浅出,通俗易懂。

本书采用法定计量单位,对以前仪器分析的理论和技术中应用非法定计量单位的内容,尽量用法定计量单位重新论述。

本书共分四章。第一章电学基础,介绍电路、电子元件等基本电路知识,为学习分析仪器的构造、原理奠定基础。第二章电化学分析法,系统论述电化学分析的理论,详细介绍电导、电位、库仑等分析技术、方法与仪器。第三章分光光度分析法:主要介绍可见光(及紫外光)分光光度法的理论,分析技术和应用实例,并简单介绍原子吸收分光光度法和火焰光度法。第四章气相色谱法,系统论述气相色谱分析的理论与技术,详细介绍检测器、色谱柱及固定相、色谱条件选择、定性、定量方法、微机应用等,最后一节列举了30余例分析谱图及色谱条件等应用实例。书末有附录。

编写中,关于法拉第电解定律的表达方式,曾得到山东师范大学教授王明德先生和山东大学教授金文睿先生的帮助,顺表感谢。

由于作者水平有限,缺点、错误在所难免,衷心欢迎读者批评指正。

1995年6月

目 录

前 言

第一章 电学基础	(1)
第一节 电	(1)
第二节 电路	(5)
第三节 欧姆定律	(6)
第四节 电功和电功率	(9)
第五节 量电仪表	(11)
第六节 电容器及其充放电过程	(16)
第七节 变压器	(20)
第八节 安全用电常识	(21)
第二章 电化学分析法	(23)
第一节 基本理论	(23)
第二节 电导分析法基础	(31)
第三节 电导分析法技术	(38)
第四节 电位分析法	(43)
第五节 电位分析法的仪器	(53)
第六节 直接电位法分析技术	(59)
第七节 电位滴定法	(66)
第八节 库仑分析法	(75)
第三章 分光光度分析法	(85)
第一节 概述	(85)
第二节 吸收分光光度法的理论基础	(87)
第三节 可见及紫外分光光度计	(89)
第四节 分光光度法的定量方法	(96)
第五节 显色反应及其影响因素	(98)
第六节 光度测量误差和测量条件的选择	(105)
第七节 吸光光度法的应用	(106)
第八节 原子吸收分光光度法	(109)
第九节 火焰分光光度法	(112)
第四章 气相色谱法	(116)
第一节 概述	(116)
第二节 气相色谱系统	(118)
第三节 检测器的分类与性能	(123)
第四节 常用的几种检测器	(127)
第五节 气相色谱基本理论	(136)
第六节 色谱分离条件的选择	(142)

第七节 气固色谱固定相	(148)
第八节 气液色谱固定相	(155)
第九节 填充柱的制备	(164)
第十节 定性分析	(167)
第十一节 定量分析	(176)
第十二节 微处理机在气相色谱分析中的应用	(185)
第十三节 气相色谱法的应用实例	(194)
参考文献	(211)
附录一	(212)
附表 1 标准电极电位表	(212)
附表 2 各种化合物在热导检测器上的相对响应值和相对校正因子	(219)
附表 3 各种化合物的相对重量响应值和相对重量校正因子	(222)
附表 4 推荐的优选固定液名单	(224)
附录二 部分产品介绍	(227)

第一章 电学基础

第一节 电

一、电的产生

一切物质都是由分子构成的,分子是由原子构成的,而原子是由带正电的原子核和带负电的电子构成的。在正常状态下,原子中原子核所带的正电荷量与核外电子所带负电荷的总量相等。所以,原子不显电性,故物体不带电。但若使物体中某些原子的外层电子失去几个,这时正负电荷量就不再相等。正电荷多于负电荷,物体就带正电。相反,如果设法使物体中某些原子增加几个电子,这时电子负电荷多于正电荷,物体就带负电。由此可见,物体带电,实际上是构成物体的原子中正负电荷量不相等所引起的。

一个物体所带电荷的多少,即电量的多少,可以用电子数目来计量。不过实用上这个单位太小,所以常用“库仑”做电量的单位。一库仑电量等于 6.25×10^{18} 个电子的电量。

电是由正负电荷的分离、转移所产生的。摩擦生电是很早以前被人们发觉的现象。例如,用胶木笔杆与头发相摩擦后,胶木笔杆就能吸引很小的纸屑。这是因为头发上的某些电子转移到胶木笔杆上,从而使胶木笔杆带了电,产生了吸力。除摩擦起电外,还可利用其他方法使物体带电。我们常用的干电池,是利用电池内的化学作用,使锌原子的正负电荷分离。结果使锌皮(负极)上带负电荷,炭棒(正极)上带正电荷。发电机则是动用电磁力来使导体中的正负电荷分离而产生电的。

二、电流

电荷有规律的运动形成电流。形成电流的最简单例子如图 1-1 所示。把一节干电池(电源)用电线(导线)和一个小电珠(负载)连接起来,电子便在导线中定向运动形成电流,当电流流过小电珠时,电珠发出亮光。

图 1-1 中,电子由电池负极沿导线流向正极的。但是,习惯上电流的方向规定为由电源正极经负载流到电源的负极。就是说,电流规定的方向和电子实际流动的方向恰好相反。

电流的大小通常用电流强度“ I ”来表示。其定义是单位时间内通过导体横截面的电量。其表示式为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-1)$$

式中: Q ——电荷(C); t ——时间(s); I ——电流强度(A)。

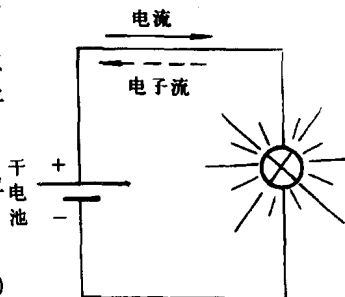


图 1-1 电流和电流方向

若在 1 秒钟内流过导体横截面的电量是 1 库仑,则导体内电流强度就是 1 安培。

安培用字母“A”表示,简称“安”。根据不同的需要,电流强度的单位可以用千安(kA)、毫安(mA)或微安(μ A),它们之间是千进位关系。

三、电位、电压与电动势

1. 电位

带电物体具有一种势能,这种电势能亦称电位,带正电荷的导体具有高电位,带负电的导体具有低电位。在一个电路中每一点都有一定的电位,就好像水在每一个位置都有一定的水位一样。为了衡量电位大小,通常以大地作参考点,规定大地的电位为零。在电子电路中,一般以金属底板、仪器机壳或某一公共点作为参考点(电位为零)。电位的单位是伏特(简称伏)。

2. 电压

我们知道,通常水总是从高水位处向低水位处流,即必须有水位差水才流动。同样道理,在电路中,必须有电位差电荷才流动,才能有电流产生。电路中两点间的电位差叫做电压,用“U”表示。

电压的基本单位是伏特,用“V”表示,简称“伏”。根据不同需要,电压单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μ V)等,它们之间的进位关系也是千进位。

3. 电动势

电位差是电路中产生电流的原因,如果要电路中不断有电流流过,电路两端就一定要维持一定的电位差。这个电位差一般可以由电源来维持。电源是将其他形式的能(如化学能、机械能、热能等)转化成电能的装置,它能使正负两极间维持一定的电位差。这种电源内部由其他形式的能量转变为电能所引起的电位差叫做电动势。显然,电动势的单位和电压单位是相同的。

四、电 阻

金属中的自由电子在金属体中作有规则的定向流动时,既要受到原子核的吸引,又会碰撞其他电子和原子。因此,电子在导体中流动会受到一定的阻力,物体对电子流动所产生的阻力就叫做电阻。严格地说,电流不一定是电子的流动,也可能是正电荷的流动。因此电阻的定义是阻碍电流通过的阻力。电阻用字母“R”表示,其基本单位是欧姆(Ω)。此外还有千欧(k Ω)、兆欧(M Ω)等单位。

1 兆欧(M Ω) = 1000 千欧(k Ω);

1 千欧(k Ω) = 1000 欧姆(Ω)。

电阻是衡量导体导电能力强弱的量。电阻越大的物体导电能力越弱。导体电阻的大小,取决于以下四个因素:

- (1)导体的材料 不同材料(长度和粗细相同),其电阻不同。
- (2)导体的长度 材料相同,粗细相同的导体,长度长的电阻大。
- (3)导体的粗细 材料相同,长度相同的导体,越粗电阻越小。
- (4)导体的温度 同一导体在不同温度下产生的电阻不同,一般导体随温度升高电阻

增大。

电阻大小与上述前三个因素的关系,可以用公式表达出来:

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-2)$$

式中: R ——导体电阻(Ω); L ——导体长度(m); S ——导体横截面积(mm^2); ρ ——导体电阻率(mm^2/m)。

导体电阻率 ρ 是指长度为 1m, 截面积为 1mm^2 的均匀导体在 20°C 时所具有的电阻值。电阻率 ρ 是衡量材料导电能力强弱的量。如银的电阻率为 0.016、铜为 0.0175、铁为 0.13, 说明银的导电性能最好, 铜次之, 铁最差。

各种导体电阻随温度变化的大小, 可以用电阻的温度系数“ α ”来衡量。所谓温度系数是指温度每升高 1°C 电阻所产生的变动值与原来电阻的比值, 它的单位是 $1/^\circ\text{C}$ 。

如果在温度 t_1 时, 导体的电阻为 R_1 , 在温度 t_2 时, 导体的电阻为 R_2 , 那么电阻的温度系数:

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(t_2 - t_1)} \quad (1-3)$$

由此可以导出:

$$R_2 = R_1 + \alpha R_1(t_2 - t_1) \quad (1-4)$$

由式(1-4)可以根据导体常温下的电阻值计算温度升高到任一温度时的电阻值。几种导体材料的电阻率和温度系数如表 1-1 所示。

我们利用电阻的特性, 根据不同的用途, 制造不同型式的电阻器。常用的电阻器一般可分为固定电阻器和可变电阻器两大类。

表 1-1 几种导电材料的电阻率和平均温度系数

材 料	电阻率($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	平均温度系数($1/^\circ\text{C}$)
银	0.016	0.004
铜	0.0175	0.004
铝	0.029	0.004
钨	0.056	0.0046
钢	0.13—0.25	0.006
铁	0.13—0.3	0.006
黄 铜	0.07—0.08	0.002
青 铜	0.021—0.4	0.004
锰 铜	0.42	0.000006
康 铜	0.4—0.51	0.000005
镍 铬	1.1	0.00015
铁铬铝	1.4	0.00005

目前, 随着我国工业和科学技术不断发展, 已经出现许多特种电阻器。它们的电阻在电场、温度、光通、机械力、磁场等外界作用下, 对某一作用显得很敏感。例如压敏电阻、负电阻、热敏电阻、光敏电阻、磁敏电阻、力敏电阻。这些电阻的主要材料是各种半导体材料, 所以也有人称它们为“半导体电阻器”。不过半导体材料也可作成一般的电阻器。

五、直流电和交流电

电流分直流、交流和脉冲三种,在此我们先简单介绍直流电和交流电。

电流的大小和方向不随时间变化的电流叫做直流电。它的波形如图 1-2(a)所示。通常使用的干电池作电源的电流就是直流电。在分析仪器中,也经常用直流电。

大小和方向随时间作周期性变化的电流叫交流电。电网上供的就是交流电。图 1-2(b)所示是普通交流电的波形,它是正弦交流电流。从 0 到 t_1 这段时间,电流从 0 逐渐增到最大值 I_m ,而后又逐渐减小至 0,从 t_1 到 t_2 这段时间内,电流从 0 逐渐达到负的最大值 $-I_m$,以后逐渐增至 0,表现出正弦波形。以后,电流又重复波形。电流大小随时间作周期性改变,而电流的方向作往复改变。交流电每秒钟往复改变的次数叫“频率”。电网供电频率通常为 50Hz/s,也叫 50 赫兹(Hz),意思是每秒中电流往返 50 次。由于速度变化如此之快,交流电经过灯泡时,人眼不能觉察出灯光有闪动现象。

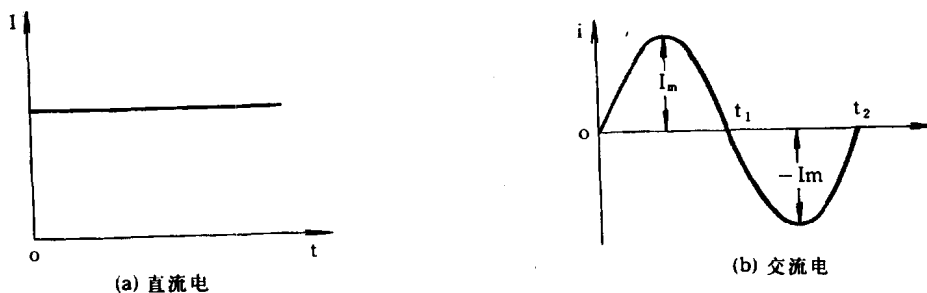


图 1-2 直流与交流电的波形

既然交流电的大小随时间而变,那么我们平时所说的交流电压多少伏和交流电流多少安培又是指什么呢? 这些数值是指交流电的有效值。交流电的有效值就是指和它的热效应相等的直流电的电流值。即在相同的时间内,让交流电和直流电分别通过同一电阻,如果它们产生的热量相等,就认为这交流电和直流电具有相等的电流值。

正弦交流电的有效值等于最大值的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ (0.707) 倍,反之,最大值则等于有效值的 $\sqrt{2}$ (1.414) 倍。例如通常用的 220V 交流电,是指有效值是 220V。其最大值为 311.08V。各种交流电器的铭牌上所标出的电压、电流的数值,都是指有效值。

交流电应用比直流电更为广泛,因为它有许多优点。如:交流电可利用变压器很方便的变压。这就解决了高压输电和低压用电之间的矛盾。高压输电,电路上电流小,线路上电能损耗小。远距离输电常用 110kV、220kV 高压。而这么高压用电是不安全的,因此用电常采用 220V、380V 低电压。另外,交流电机比直流电机结构简单,运行可靠,维护方便,成本低。

但是,有些场合必须用直流电,如电镀、电解等,分析仪器中有些也必须用直流电,如气相色谱仪热导检测器、滴定仪的滴定池等都 必须供给直流电,这就必须将交流电通过整流、稳压转换成直流电。实际上,分析仪器的电器部件大部分有整流稳压装置。

第二节 电 路

一、电路的组成

电流经过的线路叫做电路。电路通常由以下三部分组成：

电源。是产生电能的装置，它是电路中电能的来源。如干电池是直流电源，交流发电机是交流电源，化验室中的配电盘以及分配到各试验台上的插座等是通过输电线路与发电机相连，是化验室中交流电的来源，也常称电源。

负载。是用电设备，它是电路中消耗电能的装置。其作用是将电能转换成机械能、热能、光能、化学能等。例如灯泡把电能转变成光能，电炉把电能转变成热能，搅拌器把电能转换成机械能，电解池则把电能转换成化学能等等。

导线。是电源和负载的连线。它的作用是将电能从电源安全可靠地输送和分配到负载上去，常用的导线是铝或铜做成的。

在一般的电路中，还有开关、控制设备、指示器（电压表、电流表等）、保护元件、测量元件等附属设备。

电源、负载和导线必须接成循环通路，在合上开关时，负载中才有电流通过进行工作。

电路分外电路和内电路。对电源来讲，负载和联接导线以及开关等附属设备叫做外电路。电源内部的通路叫做内电路，例如干电池由一极经电池内部的电解质到另一极的通路就是内电路。

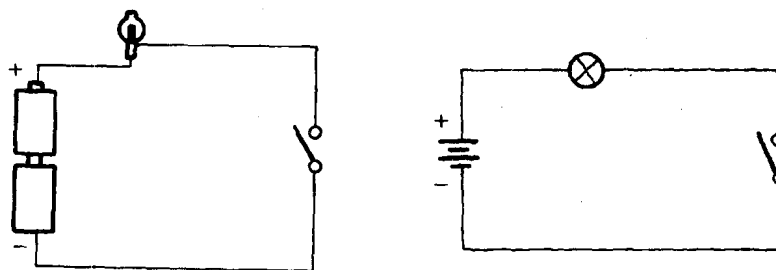


图 1-3 手电筒电路图

二、电 路 图

电路的连接可以用电路图表示，如手电筒的电路可用图 1-3 的电路图表示。

在电路图中，电源、负载（各种用电器）及附属设备都是用符号表示。

三、电路的联接方式

电路的联接方式主要有三种：串联、并联和混联。

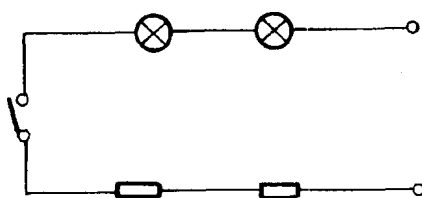


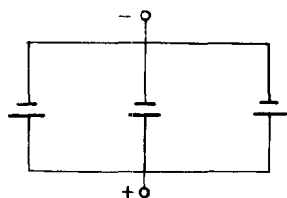
图 1-4 串联电路示意图

串联电路。把电源和负载一个串一个地连接在一起构成的电路即为串联电路。

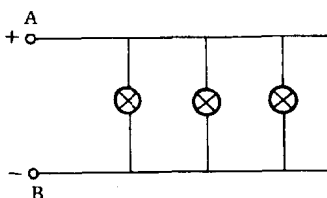
图 1-4 是电灯泡和电阻器串联的电路图。

在串联电路中,总电阻等于各分电阻之和,总电压等于各分压之和,电流处处相等。

并联电路。将几个电源或几个负载的一端连在一起,另一端也连在一起就构成并联电路。如三节干电池并联,将每节电池的正极连在一起,每节电池的负极另连在一起(图 1-5(a))。三个灯泡并联,每盏灯的一头接电源的一端,每盏灯的另一头接电源的另一端(图 1-5(b))



(a) 电源并联



(b) 灯泡并联

图 1-5 并联电路示意图

在并联电路中,总电压与各分电压都相等:

$$U = U_1 = U_2 = U_3 \quad (1-5)$$

总电流等于各分路电流之和:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (1-6)$$

并联电路中导体的总电阻的倒数等于各个导体的电阻倒数之和:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (1-7)$$

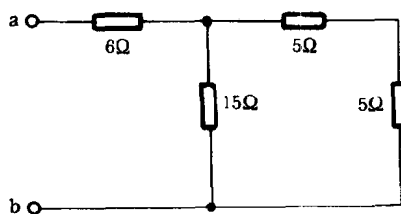


图 1-6 混联电路示意图

混联电路。在一个电路中,既有串联又有并联就构成混联电路(图 1-6)。

混联电路中,电压、电流、电阻的关系较复杂,概括起来说,属于串联的部分,符合串联电路的规律,属于并联的部分,符合并联电路的规律。

第三节 欧姆定律

在电路中,电压、电流、电阻是相互关联的三个量。一般说,电压愈大,电流愈大,而电阻愈大,电流就愈小,欧姆定律准确地描述了三者之间的关系。

一、一段电路欧姆定律

实验证明:在一段不含电动势只有电阻的电路中,流过电阻的电流大小和加在电阻两端的电压成正比,而与电路中电阻成反比。这一结论叫做一段电路的欧姆定律,也称部分电路的欧姆定律,其表达式为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-8)$$

式中: I ——电流(A); U ——电压(V); R ——电阻(Ω)。

从欧姆定律可以看出,电流、电压、电阻三个量中,只要知道其中任意两个量,就可以计算第三个量。欧姆定律在实际工作中应用极为广泛。

二、全电路的欧姆定律

在实际工作中,往往遇到既有负载,又有电源的电路,如用直流发电机或蓄电池作用电源供给负载的电路。图 1-7 就是由一台直流发电机供给负载构成的一个简单电路。

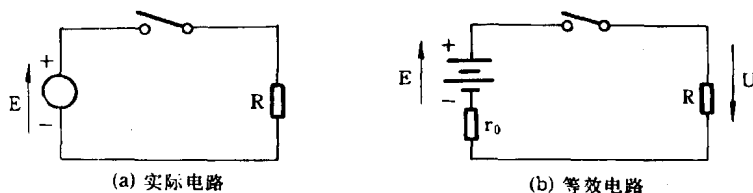


图 1-7 一台直流发电机供负载的电路

这种电路有内电路(即电源内部的电路)和外电路(负载电阻),内电路和外电路组成全电路。电源内部具有电阻,称为内阻(如图 1-8(b)的 r_0 所示)。

实际工作中,有时我们需要求直流发电机的电动势,有时需要求蓄电池的电动势和内阻,有时需要求负载电阻中的电流和端电压等。为了解决这些实际问题,通过实验提出了全电路的欧姆定律:在只有一个电源的无分支闭合电路中,电流 I 与电源电动势 E 成正比,与外电路电阻和内电路电阻之和($R + r_0$)成反比,其表达式为:

$$I = \frac{E}{R + r_0} \quad (1-9)$$

$$\text{或 } E = IR + Ir_0 \quad (1-10)$$

在外电路中,根据部分电路欧姆定律知: $U = IR$, 所以式(1-10)可写成:

$$E = U + Ir_0 \text{ 或 } U = E - Ir_0 \quad (1-11)$$

式(1-14)中, U 是负载两端的端电压,若不计导线电阻,就是电源两端的端电压。 Ir_0 称为电源内部的电压降。所以,电路闭合时电源的端电压等于电源电动势减去电源电压降。

在通常情况下,可以认为电源电动势和内电阻是常数。而 R 比 r_0 大得多,外电路的端电压非常接近于电源电动势。因此,有时也将电源内部电压降 Ir_0 略去不计。

下面讨论一下外电路开路(即断路, $R = \infty$)和短路($R = 0$)两种情况下电路的状态。

当外电路开路,电流不通(即 $I = 0$),此时式 $U = E - Ir_0$ 变为 $U = E$,即开路时,电路端电压在数值上等于电源电动势,这一道理常被用于简单地测量电源电动势。

当外电路电阻 R 逐渐减小时,从 $I = \frac{E}{R + r_0}$ 可以看出,电路中电流 I 将不断增加,当 $R = 0$ 时,电路处于短路状态,此时电流达最大值。此电流称为短路电流。即

$$I_{\text{短}} = \frac{E}{r_0} \quad (1-12)$$

由于 r_0 的数值通常很小, $I_{\text{短}}$ 一般很大,因此短路电流不仅会损坏电气设备,而且还会产生强烈的电弧,引起火灾和爆炸等严重事故。因此,在电路中必须装设保护装置,一旦发生短路故障时,能迅速切除故障部分的电路,以保护电器设备,防止事故的扩大。

三、欧姆定律在串、并联电路中的应用

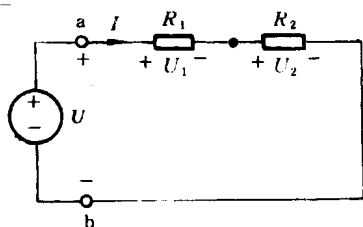


图 1-8 串联电路

1. 串联电路

前面已经讲过,在串联电路中,电流处处相等,总电阻等于各分电阻之和,总电压等于各分压之和。现在,我们进一步研究欧姆定律在串联电路中的应用。

图 1-8 中,每一个负载,可以看成一段电路,根据一段电路的欧姆定律:

$$I = \frac{U_1}{R_1} \quad I = \frac{U_2}{R_2}$$

两个负载串在一起,仍可以看作一段电路,一段电路的欧姆定律仍然适用。所以得:

$$I = \frac{U}{R} \quad R = R_1 + R_2 \quad I = \frac{U}{R_1 + R_2} = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2}$$

则

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \quad U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \quad (1-13)$$

上式中 $\frac{R_1}{R_1 + R_2}$ 和 $\frac{R_2}{R_1 + R_2}$ 称为分压系数。我们常利用串联电阻来达到限流、分压及降压的目的。

2. 并联电路

(1) 总电阻(等效电阻)与各支路电阻的关系

在并联电路中,各支路电压与总电压相等,总电流等于各支路电流之和。下面,根据欧姆定律,研究一下总电阻(即等效电阻)与各支路电阻的关系。

图 1-9 电路中,一段电路的欧姆定律适用于各支路。即

$$I_1 = \frac{U}{R_1} \quad I_2 = \frac{U}{R_2}$$

设总电阻即 R_1 和 R_2 的等效电阻为 R_0 则 $I = \frac{U}{R}$

因

$$I = I_1 + I_2$$

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$$

所以 $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ 或 $R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ (1-14)

若有多个电阻并联,则有:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (1-15)$$

如果并联的各电阻都相等,则有

$$R = \frac{1}{n} R_1$$

由此可见,并联的电阻越多,则总电阻越小,并联电路的总电阻小于任一支路的电阻。

(2) 并联电路对总电流的分流作用

在图 1-10 中, $U = IR = I \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

所以

$$I_1 = \frac{I \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}{R_1} = I \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_2 = \frac{I \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}{R_2} = I \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (1-17)$$

式中: $\frac{R_2}{R_1 + R_2}$ 和 $\frac{R_1}{R_1 + R_2}$ 称为分流系数。

第四节 电功和电功率

一、电 功

前面我们讲过,电源是将其他形式的能(如机械能、化学能、热能等)转变成电能的装置。就是说电能是由其他形式能转变而来的。那么电能同样也可以转变为其他形式的能,例如电流通过电动机会带动机器转动,电能转变成了机械能;电流通过灯泡发光,电能转变成光能;电流通过电炉丝发热,电能转变成热能等等。上述这些能量的转换都说明电流做了功,电流所做的功就叫做电功。

大量实践证明,电流通过负载 R 时所做的功 W 与加在负载两端的电压 U ,通过负载的电流 I 及通电时间成正比,即:

$$W = IUt$$

根据欧姆定律: $U = IR$ 或 $I = \frac{U}{R}$ 代入上式得:

$$W = IUt = I^2 Rt = \frac{U^2}{R} t \quad (1-18)$$

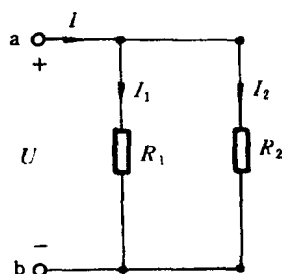


图 1-9 并联电路

式中: W ——电功(J); t ——时间(s)。

若电压是 1V, 电流是 1A, 经过 1s 电流所做的功就规定为 1J。

工程上常以千瓦小时(kw·h)作为计算电功的实用单位, 我们平常说的一度电就等于 1 千瓦小时。

二、电功率

单位时间内电流所做的功叫做电功率, 用字母 P 表示。

即:

$$P = \frac{W}{t}$$

将式(1-17)代入上式得:

$$P = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-19)$$

电功率的单位是瓦, 用字母 W 表示。

式(1-18)在实际工作中很有用处。可以根据仪器标明的功率, 计算所需电流的大小以正确选用电线及插头、插座, 又可以根据功率来计算纯电阻电器的电阻值等。

三、负载获得最大功率的条件

假定负载接在恒定的理想电源上, 这时 $U = E$ 。则根据公式 $P = \frac{U^2}{R}$ 可以看出, 负载电阻 R 越小, 负载功率就越大。

但实际中的电源是不可能没有内阻的。如图(1-11)所示, 其内阻为 r_0 , 这时负载电阻 R 太大或太小都不能使负载得到大的功率。当负载电阻很大时, 电路接近于开路状态, 而当负载很小时, 电路接近于短路状态。显然, 负载在开路及短路两种状态下都不会获得功率。故负载电阻 R 从很小到极大的变化过程中, 必有某一电阻值, 能从电源获得最大的功率。

下面, 我们通过变换功率和电动势、电阻的关系式, 找出获得最大功率的条件。

$$\begin{aligned} P = I^2 R &= \frac{E^2}{(R + r_0)^2} R = \frac{E^2}{\frac{R^2 + 2R \cdot r_0 + r_0^2}{R}} \\ &= \frac{E^2}{\frac{R^2 + 2R \cdot r_0 + r_0^2 + 2Rr_0 - 2Rr_0}{R}} \\ &= \frac{E^2}{4r_0 + \frac{(r_0 - R)^2}{R}} \end{aligned} \quad (1-20)$$

从式(1-20)中可以看出, 负载功率 P 仅由分母中两项决定, 其中第一项 $4r_0$ 与负载电阻无关, 是由电源本身所决定的。第二项, 分子是括弧内的数的平方值, 因此总是正的。如果负载电阻恰好等于电源内阻 r_0 , 则 $r_0 - R = 0$, 于是第二项最小, 负载的功率 P 就达到最大值。

$\frac{(r_0 - R)^2}{R} = 0$, 这时分母 $4r_0 + \frac{(r_0 - R)^2}{R}$ 最小, 负载的功率 P 就达到最大值。

由此得出结论：

负载获得最大功率的条件是负载电阻等于电源内阻。这称为负载与电源间的匹配。

第五节 量电仪表

量电仪表按其所测数值性质的不同,可分为安培表、伏特表、兆欧表、万用表等等。对化验人员只要求了解这些仪表的简单构造、工作原理和使用方法。

一、安培表和伏特表

安培表是用来测量电流的伏特表是用来测量电压的。

1. 简单构造

在构造上,这两种仪表并无区别,我们这里介绍常用的两种类型——磁电式和电磁式电表。

(1)磁电式电表 这种表是根据带电线圈和永久磁铁相作用的原理而制成的。图 1-15 所示,即为这种表的结构。它有一个固定的马蹄形磁铁,磁场中有细导线绕成的线圈 a,线圈中心有一个固定的软钢圆柱 b。线圈和轴连接,可以转动轴上连着仪表

的指针,当线圈中通过电流时,即在磁场中转动,其中通过的电流愈大线圈的偏转也愈大。

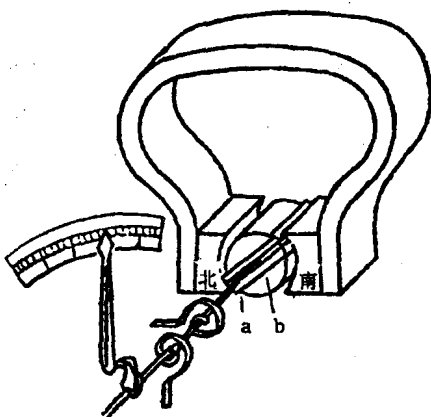


图 1-10 磁电式电表

从电表指针的偏转角度,可以读出所测电流的大小。这种电表的特点是准确度高,但只适用于直流电,因线圈中通有交流电时,线圈中所受的转矩也在交变。因惯性关系,线圈来不及随着电流的交变次数而转动,所以指针就停着不动了,因此,这种电表不能直接用于交流。

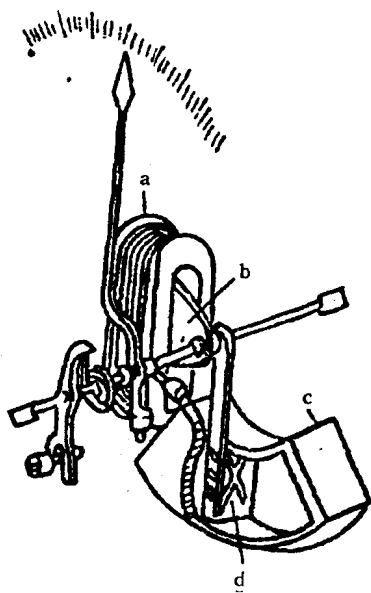


图 1-11 电磁式电表

(2)电磁式电表这种表是根据螺管线圈通电后吸引钢质铁心的原理而制成的。图 1-11 所示,即为这种表的结构。这有一固定线圈 a,当通过电流时,线圈将装在转轴上的钢片 b 吸入,线圈通过的电流愈大,钢片吸入其内也愈多,转轴转动角度也愈大。轴上有指针,指针可在刻度标尺上指出读数。为了减缓指针的摆动,采用可在

管 c 内活动的平衡锤 d 作为阻尼器。在电磁式安培表中,线圈 a 由风匝粗线绕成。而在伏特表中则由匝数很多的细线绕成。

电磁式电表既可用于测量直流电,又可用于测量交流电。它的结构简单,结实耐用,能测较大电流,可是准确度不高。