

电工基础讲义

(初 稿)

中国人民解放军 高射炮兵学校训练部

一九七六年三月

提高警惕
保衛祖國

丁巳年冬

為建設強大的人民
砲兵而奮鬥
元澤東

毛主席语录

路线是个纲，纲举目张。

教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。

我们的教育方针，应该使受教育者在德育、智育、体育几方面都得到发展，成为有社会主义觉悟的有文化的劳动者。

学校一切工作都是为了转变学生的思想。

改革旧的教育制度，改革旧的教学方针和方法，是这场无产阶级文化大革命的一个极其重要的任务。

军队要严格训练，严格要求，才能打仗。

改订学制，废除不急需与不必要的课程，改变管理制度，以教授战争所必需之课程及发扬学生的学习积极性为原则。

学制要缩短。课程设置要精简。教材要彻底改革，有的首先删繁就简。

要自学，靠自己学。

你们的教学就是灌，天天上课，有那么多可讲的？教员应该把讲稿印发给你们。怕什么？应该让学生自己去研究讲稿。

要把精力集中在培养分析问题和解决问题的能力上，不要只是跟在教员的后面跑，自己没有主动性。

要讲实际，科学是反映实际，是讲实际的道理。不知道实际，老讲书本上的道理怎么成？

马克思主义看重理论，正是，也仅仅是，因为它能够指导行动。

学习的敌人是自己的满足，要认真学习一点东西，必须从不自满开始。

“世上无难事，只怕有心人。”入门既不难，深造也是办得到的，只要有心，只要善于学习罢了。

目 录

第一章 直流电路

第一节	电路的基本概念	(1)
一	什么是电路	(1)
二	物质的电结构	(1)
三	电流和电流强度	(2)
四	电压	(3)
五	电源和电动势	(4)
六	电阻和电阻器	(5)
第二节	欧姆定律	(9)
一	欧姆定律	(9)
二	欧姆定律应用于全部电路	(11)
三	端电压与电动势的关系	(12)
第三节	电路内能量的转换	(13)
一	电功、电功率	(14)
二	电流热效应及电器元件额定值	(15)
三	电源输出最大功率的条件	(17)
第四节	简单直流电路	(19)
一	电阻串联电路	(19)
二	电阻并联电路	(22)
三	电阻混联电路	(23)
四	电路中电位的分析	(25)
第五节	复杂直流电路的分析	(31)
一	克希荷夫定律	(31)
二	重迭原理	(33)
三	等效电源法	(35)

第二章 电场和电容器

第一节	电场	(37)
一	电场的基本概念	(37)
二	电子在电场中的运动	(39)

三	静电场中的导体	(40)
第二节	电容器	(42)
一	电容器的充电和放电	(42)
二	电容器的电容量	(43)
三	电容器储能的大小	(45)
四	常用电容器介绍	(45)
五	电容器的联接	(50)

第三章 电 磁 现 象

第一节	磁的基本概念	(54)
一	磁的基本现象	(54)
二	磁场和磁力线	(55)
三	磁通和磁通密度	(57)
第二节	电流的磁效应	(58)
一	通电直导体产生的磁场	(58)
二	通电线圈产生的磁场	(59)
三	电磁铁	(60)
第三节	物质的磁性	(63)
一	导磁系数	(63)
二	磁场强度	(64)
三	铁磁性物质的磁化规律	(64)
四	铁磁性物质的分类	(66)
五	磁路的基本概念	(66)
第四节	电磁力	(68)
一	通电直导体在磁场中受的力	(68)
二	运动电子在磁场中受的力	(69)
第五节	电磁感应	(71)
一	导体割切磁力线产生感应电势	(72)
二	与线圈交连的磁通发生变化产生的感应电动势	(73)
第六节	自感现象	(77)
一	自感现象	(77)
二	自感电势的方向	(78)
三	自感电动势的大小	(79)
四	自感量(L)	(80)
五	常用电感器介绍	(80)
六	线圈中的储能	(81)
第七节	互感现象	(82)

一	互感现象	(82)
二	互感电势的方向	(83)
三	互感电势的大小	(84)
四	互感量	(84)
第八节	涡流	(86)
一	涡流的产生	(86)
二	涡流的危害及其减小方法	(87)

第四章 交流电路

第一节	交流电的基本概念	(90)
一	交流电的产生	(91)
二	交流电的参数	(93)
三	交流电的矢量表示法	(96)
四	交流电的相位关系	(97)
五	交流电的相加	(98)
第二节	只含单一元件的正弦交流电路	(102)
一	纯电阻电路	(102)
二	纯电感电路	(104)
三	纯电容电路	(107)
第三节	R 、 L 、 C 串联交流电路	(111)
一	阻容 ($R-C$) 串联电路	(112)
二	阻感 ($R-L$) 串联电路	(115)
三	阻感容 ($R-L-C$) 串联电路	(116)
四	串联谐振	(118)
第四节	R 、 L 、 C 并联交流电路	(123)
一	阻感容 ($R-L-C$) 并联电路	(123)
二	线圈与电容器并联 (调谐槽路)	(127)
第五节	非正弦交流电	(133)
一	非正弦交流电的组成	(133)
二	周期性非正弦信号的频谱	(138)
三	低频信号的频带和带宽	(140)

第五章 电机和变压器

第一节	直流电机	(141)
一	直流电机的工作原理	(141)
二	直流电机的结构	(143)
三	直流电机的电枢绕组	(144)

四	直流发电机	(146)
五	直流电动机	(147)
六	直流电机的电枢反应	(149)
七	直流电机的换向和火花	(151)
第二节	交流电机	(158)
一	三相交流发电机	(158)
二	三相感应电动机	(165)
三	三相交流发电机的谐波励磁	(169)
四	单相整流式电动机	(173)
第三节	变压器	(178)
一	变压器的基本原理	(178)
二	各类变压器的特点	(182)

第六章 电工测量仪表

第一节	永磁式电表	(186)
一	构造	(187)
二	工作原理	(187)
第二节	电流表	(188)
一	测量电流的原理	(188)
二	使用注意事项	(189)
第三节	电压表	(190)
一	测量电压的原理	(190)
二	使用注意事项	(191)
第四节	欧姆表	(192)
一	测量电阻的原理	(192)
二	使用注意事项	(193)
第五节	复用表	(194)
一	复用表的基本线路	(194)
二	MF5—1型复用表	(195)

第一章 直流电路

内 容 提 示

伟大导师恩格斯说：“研究运动的性质，当然应当从这种运动的最低级、最简单的形式开始，先理解了这些最低级的最简单的形式，然后才能对更高级的和更复杂的形式有所阐明。”我们学习电工无线电基础知识也应遵循这个规律，从学习最简单的直流电路开始。直流电路是雷达兵器中最常见最基本的电路，同时又是研究交流电路的基础。本章从分析电路基本概念着手，阐明电路中电流、电压、电动势等物理量的意义及它们之间的关系，即欧姆定律。然后，运用欧姆定律分析电阻串、并、混联电路的特点和电路中的电位。这是本章的重点。最后介绍复杂电路的分析方法。

直流电路讲的一些基本概念、定律和分析方法都是一些共性的东西，内容本身似乎很简单，但应用于实际就比较复杂，要用力气。我们要按照毛主席“精通的目的全在于应用”的教导，着眼于知识的灵活应用，而不能满足于死背硬记。

第一节 电路的基本概念

一 什么是电路

电路就是电流流过的路径。电路主要由电源、负载、导线等部分组成。此外为了控制和测量，有时还装有开关和仪表等。如图 1—1 所示。电源是供给能量的，常用的电源有电池、发电机等；负载是用电器件，如灯泡、电烙铁、电动机等；导线是用来传输电能的，最常用的导线有铜线和铝线。

在图 1—1 中，如果负载是灯泡，若将开关接通，电路中就有电流，灯泡就会发亮。为什么会有电流？电流的本质是什么？要回答这个问题，必须从物质内部的电结构说起。

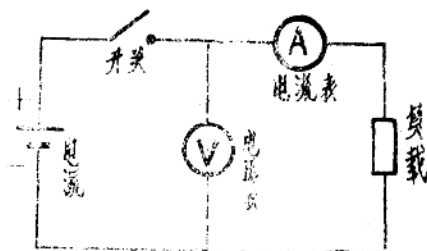


图 1—1

二 物质的电结构

一切物质都是由分子组成。分子由更小的微粒——原子组成。原子分为原子核和电子两

部分。原子核中包括带正电的质子和不带电的中子，因此整个原子核带正电荷；电子带负电荷。由于正负电荷是相互吸引的，所以电子受原子核的吸引，围绕原子核高速旋转。质子和电子带电性质虽不同，但每个质子与电子带电的数量是相等的。

原子的种类很多，现在已经发现的有105种。不同物质的原子中电子、质子、中子的数目不同。最简单的氢原子只有一个质子和一个电子，如图1—2(a)所示。铜原子的原子核中共有29个质子，外面围绕着29个电子，排列成四层，第一层2个，第二层8个，第三层18个，第四层1个，如图1—2(b)所示。

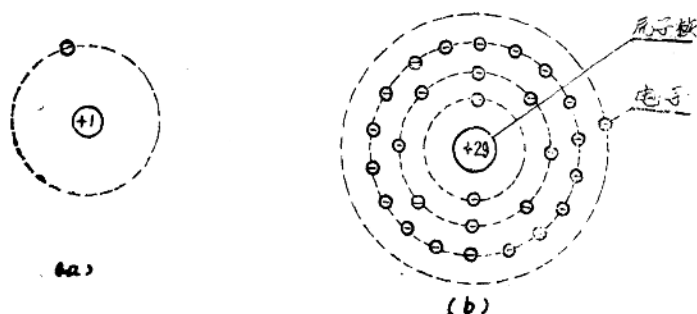


图1—2

在正常情况下，原子中电子的数目和质子的数目是相等的。因此，整个原子中正负电荷数量相等，它们的作用相互抵消，或者说相互中和了，整个原子显不出带电的性质。如果由于某种外界原因，使原子失去或获得一个或几个电子，那么，这些原子就会带电。失去了电子的原子带正电，获得了电子的原子带负电。物体所带电荷多少，用电量来表示，符号为Q，单位是库仑。1库仑 $\approx 6.25 \times 10^{18}$ 个电子所带的电量。

三 电流和电流强度

1 电流：

电荷有规则的运动就叫电流。在金属导体中，电流是由自由电子的定向运动形成的。因为金属原子外层的电子受原子核的吸引力较小，这些原子构成物体时，最外层电子又受到原子间相互作用，而脱离原子核的束缚，我们把这些电子叫自由电子。自由电子毫无规则的运动着，同一瞬间，有向左的，有向右的，有向上的，有向下的，故不能形成电流。如图1—3，把导线的一端，接到带正电的A球，另一端接到带负电的B球，导线内的自由电子受到A球上正电荷的吸引和B球上负电荷的排斥，就向A球移动，自由电子的这种有规则的定向运动，就形成了电流。

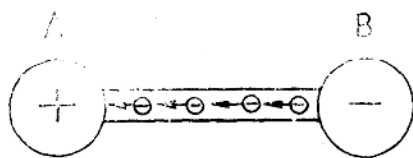


图1—3

电流的方向，习惯上规定为正电荷流动的方向。正好和电子运动的方向相反。人们对于

事物的认识是逐渐深化的，当人们尚未发现电子以前，误认为电流就是正电荷的移动，因而就把电流的方向规定为正电荷流动的方向。沿用这个规定对我们研究问题并无妨碍，负电荷朝一个方向流动，相当于正电荷朝相反方向流动，因此这个规定一直沿用下来，没有更改。

2 电流强度

电流的大小用电流强度来表示。导体横截面内每秒钟通过的电量叫电流强度，用符号 I 表示。如果在一段时间 t 内，通过导体横截面的电量为 Q ，那么这个导体内的电流强度用下式表示：

$$I = \frac{Q}{t}$$

电流强度又简称电流。所以电流这个词有双重含意，有时是指电荷的流动这种物质运动形式，有时是指电流强度这个物理量。

3 电流强度的单位

电流强度的单位是安培，用符号 A 表示。如果 1 秒钟内，通过导线横截面的电量为 1 库仑，这时的电流强度就是 1 安培。雷达兵器中，有的地方电流很大，例如大功率电子管的灯丝电流有的几十安培甚至上百安培；有的地方电流很小，例如晶体管电流可能只有千分之几安培甚至百万分之几安培。因此，雷达兵器除用“安培”这个基本单位外，还用到较小的单位：毫安 (mA) 和微安 (μA)。

1 毫安是 1 安培的千分之一。

$$\text{即 } 1 \text{ mA} = \frac{1}{1000} \text{ A} = 10^{-3} \text{ A}$$

1 微安是 1 安培的百万分之一。

$$\text{即 } 1 \mu A = \frac{1}{1000000} \text{ A} = 10^{-6} \text{ A}$$

4 电流的测量

电流的大小，用电流表测量。测量时，电流表必须串联于电路之中，如图 1—1 所示。如果测量直流电流，必须使电流从电流表的正端流入，负端流出。所以，测量前必须了解被测电路的电流方向。如用复用表“电流挡”测直流电流时，必须使电流从表笔的正端流入，负端流出。并估计被测电路的电流大小，以便选择电流表的测量范围。

四 电 压

1 什么是电压

电压也叫电位差，用符号 U 表示。电压是产生电流的条件。电压怎样产生电流的呢？这个问题，可以用水流做比喻来说明。在图 1—4 中，A 桶水位比 B 桶水位高，打开笼头后，水就顺着水管由高水位流向低水位形成水流。当两桶水位差消失时，水流就停止了。所以，水位差是产生水流的必要条件。电流的情况与此相似。在图 1—3 中，A 球带正电，B 球带负电，A 球电位比 B

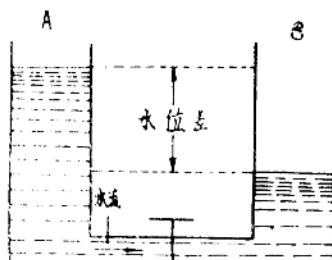


图 1—4

球电位高。用导线联通后，导线内的自由电子受到A球的吸引B球的排斥，就由B球向A球运动，也就是正电荷由高电位的A球向低电位的B球流动而产生电流。当两球电位差消失时，导线内电流就停止了。所以，电位差是产生电流的必要条件，若使导线内有电流，就必须维持导线两端的电压。

电压能产生电流，说明电压具有能量，可以产生电流做功。这和水压（即水位差）产生水流推动水轮机做功是一样的道理。

2 电压的大小及单位

既然电压具有能量，它就有做功的本领，如电压产生的电流能使灯泡发光，使导线发热，把电能变为光能、热能。因此，电压的大小，可以用放出能量的多少来衡量。

电压的单位是伏特，用符号V表示。如果导线内流过一库仑的电量，放出能量为1焦耳，则导线两端的电压就规定为一伏特。在雷达中还用千伏（KV）、毫伏（mV）、微伏（ μV ），它们与伏特的关系是：

$$1 \text{ KV} = 1000 \text{ V} = 10^3 \text{ V}$$

$$1 \text{ mV} = \frac{1}{1000} \text{ V} = 10^{-3} \text{ V}$$

$$1 \mu \text{V} = \frac{1}{1000000} \text{ V} = 10^{-6} \text{ V}$$

3 电压的测量

电压的大小，用电压表来测量。测量时，电压表必须跨接于被测电压的两端。如图1—1所示，要测量负载两端的电压，必须把电压表接于负载两端。如测量直流电压，必须使电压表的正端与被测电压的正端相接；电压表的负端与被测电压的负端相接。如用复用表“电压档”测直流电压时，必须使表笔的正端与被测电压的正端相接；表笔的负端与被测电压的负端相接。并估计被测电路的电压大小，以便选择电压表的测量范围。

五 电源和电动势

1 电源的作用

前面已讲过，导线内的电流，是由导线两端的电压产生的。那么，导线两端的电压，又是怎样产生的呢？这就是电源的作用。电源就是产生和维持电压的装置。常见的电源有电池和发电机等。下面我们以最简单的电池为例，来说明电源的作用。

下面先作一个实验。如图1—5所示，在盛有稀硫酸的玻璃容器中，放一块铜板，一块锌板。在外电路接上灯泡，可见灯泡发亮。这是什么原因呢？这是由于化学作用，使铜板带正电，成为正极；使锌板带负电，成为负极。正极电位比负极电位高，两极间产生电位差，即产生电压。在电源外部，用导线把两个极板接通后，导线内的自由电子就由负极向正极运动，也就是说有电流从电源正极经过导线流向负极。在电源内部，由于化学作用，能不断地从正极（铜板）

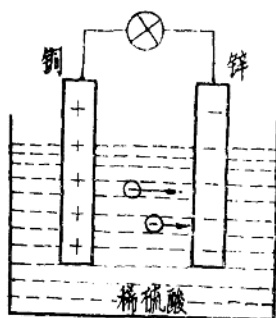


图 1—5

上取下电子，补充给负极（锌板），以保证电源正极（铜板）不断带正电，电源负极（锌板）不断带负电。经常维持两极间电压，产生持续的电流。

电源外部和电源内部构成一个闭合的回路，其电流的大小是相等的。电流的方向：在电源外部是正极流向负极，在电源内部是负极流向正极。

在电路中，常用图 1—6 所示的符号表示电源，其中长线表示正极（“+”），短粗线表示负极（“-”）。

2 电动势

根据上述简单电池分析可知，电源产生并维持电压的根本原因，是由于化学作用。化学作用不断从正极取下电子补充负极时，要克服电荷间的吸引和排斥力，因此要消耗化学能，电池就是一种将化学能转换成电能的电源装置。发电机是由于电磁力作用，把机械能转换成电能的电源装置。同样可以产生并维持电源两极的电压（此问题第三章要讲）。



图 1—6

所以我们说，电源有一种产生并维持电压的能力，这种能力叫电动势。用 E 表示。电动势的方向，如图 1—6 箭头所示。电动势的单位也是伏特。

电池电动势的大小，取决于构成电池的材料，常用于电池是用锌板和炭棒作电极，氯化铵作溶液，其电动势是 1.5 伏。汽车和油机上用铅板蓄电池，其电动势为 2 伏左右。

六 电阻和电阻器

1 导体和绝缘体

根据物体导电的难易程度，可分为导体、绝缘体和半导体三类。

容易导电的物体叫导体。一般金属都是导体。因为金属原子外层的电子受原子核吸引力较小，容易形成自由电子，所以金属容易导电。除金属外，各种酸、硷、盐的水溶液也是导体。

不容易导电的物体叫绝缘体。如玻璃、云母、棉纱、橡胶、塑料、陶瓷、油类、干燥的空气等都是绝缘体。绝缘体中，电子和原子核的联系很牢固，电子很难从原子核束缚下解脱出来成为自由电子，所以不容易导电。

导电性能介于导体与绝缘体之间的物体叫半导体，常见的有锗、硅、硒等。

2 电阻的概念

导体对电流的阻力叫电阻，用 R 表示。导体为什么会对电流有阻力呢？辩证法认为：

“无论何时何地，都没有也不可能有没有运动的物质。”在金属导体内部，除了自由电子的运动外，原子也在不断地运动；不过原子的运动，不象自由电子的运动那样“自由”，可以到处乱跑，而是围绕一个平衡位置来回运动（这种运动叫振动）。原子的这种运动与导体的温度有关，温度越高，原子的振动就越激烈。所以，这种运动又叫热运动。当自由电子作定向运动时（形成电流时），会与不断振动的原子相碰撞，这就妨碍了自由电子的定向运动，因此导体对电流有阻力。

电阻的单位是欧姆，用 Ω 表示。

雷达兵器中，还用到比欧姆大的单位：千欧（ $K\Omega$ ）、兆欧（ $M\Omega$ ），它们与欧姆的关系是：

$$1K\Omega = 1000\Omega = 10^3\Omega$$

$$1\text{M}\Omega = 1000000\Omega = 10^6\Omega$$

3 导体电阻的大小与那些因素有关

(1) 导线越长, 电阻越大, 即导线的电阻与它的长度成正比。

(2) 导线截面积越大, 电阻越小, 即导线的电阻与它的截面积成反比。

(3) 材料不同, 电阻大小也不同。例如同样长短粗细的铁线电阻比铜线要大得多。

不同材料的导电性能用电阻系数来表示。长1米, 截面积1平方毫米的导线所具有的电阻, 称为该材料的电阻系数, 用 ρ (读“洛”) 来表示。电阻系数大的材料电阻大。常见的金属导电材料的电阻系数, 如表1—1所示。

材料名称	在20℃时的电阻系数 ($\frac{\text{欧姆} \cdot \text{毫米}^2}{\text{米}}$)	材料名称	在20℃时的电阻系数 ($\frac{\text{欧姆} \cdot \text{毫米}^2}{\text{米}}$)
银	0.016	钢	0.13—0.25
铜	0.0175	铁	0.13—0.3
铝	0.029	铅	0.211
钨	0.056	康铜	0.4—0.51
锌	0.062	锰铜	0.43
黄铜	0.07—0.08	镍铬	0.94—1.1
锡	0.114	水银	0.948

表1—1

(4) 导体电阻还与温度有关。温度升高金属导体的电阻增大, 如电子管的灯丝, 在未通电或刚通电时, 电阻较小, 通电正常工作后, 电阻较大。这是因为金属导体中, 自由电子的数目基本上是不变的, 温度升高时, 原子的热振动加剧, 与自由电子碰撞机会增多, 所以电阻增大。

有些物质, 如炭和半导体等, 温度升高电阻减小。因为温度升高时, 这些物质中的自由电子增加很多, 超过了由于碰撞次数增多的影响, 所以电阻减小。

有些物质, 如锰铜、康铜等, 温度升高, 电阻几乎不变, 常用作仪表中的电阻。

4 常用电阻器

(1) 常用电阻器的种类、结构和特点

在雷达兵器中, 常需要一种器件, 来增减或调节电路中的电阻, 以达到增减或调节电流及电压的目的。这种器件称为电阻器。

根据电阻值能否改变, 电阻器可分为固定电阻器和可变电阻器两种。它们在电路图中的符号, 如图1—7所示。图中(a)为固定电阻器, (b)为可变电阻器, (c)为电位器。

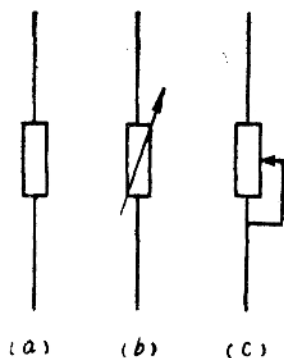


图1—7

常用电阻器的结构和特点如表 1—2 所示。

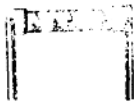
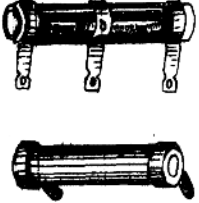
名称及实物图	结 构 和 特 点
(1) 碳膜电阻 	它是把碳氢化合物在高温真空下分解,使其在瓷管或瓷棒上形成一层结晶碳膜,再刻槽以控制阻值。这种电阻稳定性较高,噪声低。
(2) 金属膜电阻 	它是在陶瓷骨架上被复一层薄膜而成的。生成金属膜的方法,一般为真空蒸发法(镍铬合金)和烧渗法(金铂合金)这种电阻噪声低,耐高温,稳定性和精密度也很高。
(3) 金属氧化膜电阻 〔实物形状同(2)〕	是由氯化物水解而成的。制造简单,成本低,其性能与金属膜电阻器相同,但耐热性更高化学稳定性也较好,而精密度不如金属膜电阻,通常可代替金属膜电阻使用。
(4) 线绕电阻 	是用电阻丝烧在瓷管上而成的。常用的电阻丝为镍铬合金及康铜。这种电阻器分为固定和可变两种。其特点是耐热性较高,适用于大功率场合。
(5) 电位器 	(1) 线绕电位器:是把电阻丝绕在环状骨架上而成的。它的特点是阻值变化范围较小。 (2) 碳膜电位器:电阻体是在纸胶板的马蹄形基体上涂上一层碳而成,它的稳定性高,噪音小。

表 1—2

(2) 常用电阻器的阻值、误差

电阻器的阻值，通常标明在电阻器上。电阻器所标的这个阻值，是工厂制造时所设计的数值，通常称为标称阻值。按下列规格标注：兆欧用M，千欧用K，阻值为欧姆时不标注单位。例如2M，22K，27等即表示2兆欧，22千欧和27欧。

电阻器的实际阻值与标称阻值总有一定误差，误差的大小用百分数表示。例如“2K、5”，表示标称阻值是2K Ω ，误差是5%。也有用级别来表示误差的。各级别表示的误差数如表1—3所示。

级 别	01 (或00)	02 (或0)	I	II	III
误 差	$\pm 1.0\%$	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$

表1—3

(3) 常用电阻器的型号及规格表示法

在电阻器和电位器上，一般都印有许多字母和数码，以表示它们的型号和规格。

型号用字母表示。第一个字母表示类别，是电阻器或电位器。第二个字母表示它们用什么材料做的。第三个字母表示它们的特征。如表1—4所示。电阻器通常只有两个字母表示其

第一个字母：类别		第二个字母：电阻材料		第三个字母：特征	
名 称	符 号	材 料	符号	特 征	符 号
电阻器	R	碳膜	T	微调	W
电位器	W	合成碳膜	H		
		金属膜	J		
		氧化膜	Y		
		线 绕	X	微调	W
		实心(包括有机和无机)	S	温度补偿用 正温度系数	B Z
		热敏	R		
		导电塑料	D		

表1—4

型号。例如RT，表示炭膜电阻；RX，表示线绕电阻。

电阻器最主要的规格是阻值、功率，其次是型号和误差。电阻器的规格常按下列次序标注：型号——瓦数（功率）——阻值——误差，例如一只电阻标记为第一行RT0.5，第二行51KⅡ，即表示碳膜电阻功率0.5瓦，阻值51K Ω ，误差为 $\pm 20\%$ 。

5 电阻器的测量

根据电阻器的阻值，将复用表的种类和选择开关放在“电阻挡”的对应位置上。首先调