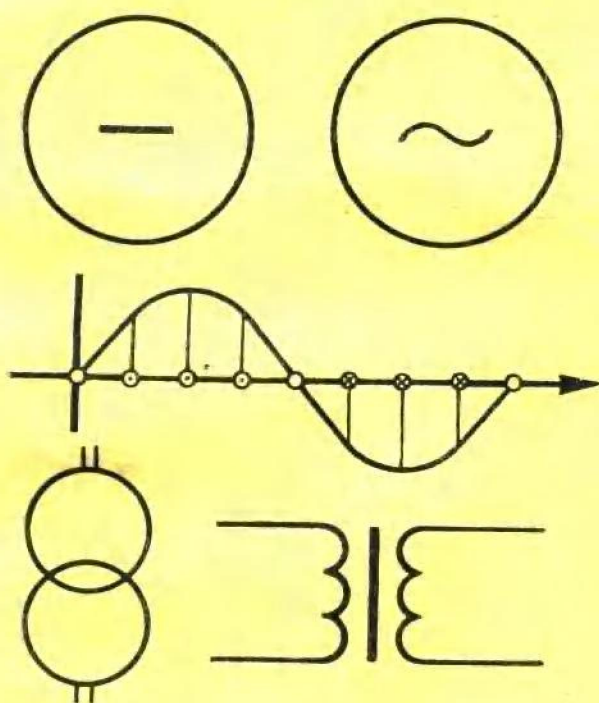


工人技术
教育读本

电 工

上海市第一机电工业局 技术 编委会编



机械工业出版社

本书是参照原第一机械工业部颁发的《工人技术等级标准》二至三级电工应知应会修订的。

内容包括交直流电路、电磁基本概念与计算、交直流电机、变压器和常用电工仪表的原理与使用、机床电器与机床控制线路以及电子技术的基础知识。

本书各章后附复习题，书末还附有一定数量的参考试题，以供学员复习和教学者出题之用。

本书可作为技术工人短期培训教材及青工自学用书，也可作为技工学校教学参考用书。

原参加本书编写的有：莫正康、李浩、朱家葆、高履安等同志。参加本书修订的有：莫正康、刘光源、胡国华同志；董锡江、华昭茂、王生弟同志参加审稿。

电 工

(修订本)

上海市第一机电工业局《读本》编审委员会 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证出字第 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 $15\frac{3}{8}$ · 字数 340 千字

1973年10月北京第一版

1985年11月北京第二版·1985年11月北京第六次印刷

印数 1,968,001—2,123,000 · 定价 2.40 元

*

统一书号：15033·4187

修 订 说 明

一九七二年，我局组织编写了一套《工人技术教育读本》（简称《读本》）。《读本》的出版，给具有初中文化程度、进厂三至五年的青年工人提供一套自学用书，以后又分别被选作技工学校、在职青工短训班和职工学校的教科书。据统计，这套《读本》已累计发行了一千四百余万册，为普及初级技术教育起了积极的推动作用。

党的十二大提出的开创社会主义建设新局面和发展国民经济宏伟目标，要求机械工业用先进的技术装备武装国民经济各部门。为了完成这一任务，必须培养和造就一支具有社会主义觉悟和较高文化水平的工人队伍，才能适应机械工业上质量，上品种，上水平，提高经济效益的要求。要提高工人队伍的素质，就必须在加强思想政治建设的同时，注重提高工人文化技术水平，才能掌握先进的技术，先进的工艺，生产出先进的产品。

在新的形势下，广大读者迫切要求再版和重印这套书。但考虑到这套《读本》出版已多年，随着科学技术的发展，新材料、新技术、新设备、新工艺的日新月异，因此原《读本》的某些技术内容已陈旧过时，有必要作一次全面的修订。为此，我们从一九八二年十月起开始组织修订工作。

为了保持和发扬这套《读本》文字精练，通俗易懂，结合实例，学以致用特点，做到承前启后。因此，除邀请原《读本》的部分原编者参加编写外，还增选从事职工教育的教师和工

程技术人员参加《读本》的修订和审稿工作,对原《读本》存在的不足之处,作了较大的修订和补充。经过修订后,除《机电数学》不再出版外,还增编了《焊工》和《机械制图习题集》。现在出版的技术基础读本有:《机械基础》、《机械制图》、《机械制图习题集》;专业读本有:《车工》、《钳工》、《刨工》、《铣工》、《磨工》、《电工》、《焊工》、《铸工》、《锻工》、《热处理工》共十三本。

我们希望经过修订后的这套《读本》,力求做到:篇幅适宜,内容实用,文理通顺,公式准确,图稿清晰。并通过典型零件的剖析和小改小革经验的启示,帮助读者掌握基本的操作技能和提高解决生产中实际问题的能力。为了帮助读者巩固和加深对课文内容理解,每章后附有复习题,全书后面还附有参考试题。

这套《读本》可作为技术工人短期培训教材及青工自学用书,也可作为技工学校教学参考用书。

在修订过程中,得到了各承担单位及原编者的大力支持,以及全体编审人员的共同努力,修订工作已告顺利完成,在此表示衷心感谢。但是,由于编写时间仓促,调查研究、搜集资料还做得不够,加上编审人员水平有限,在内容上可能还存在不够确切、完整、甚至错误的地方,热诚地欢迎广大读者提出批评意见。

上海市第一机电工业局
《工人技术教育读本》编审委员会
一九八四年五月

目 录

第一章 直流电路	1
第一节 电的基本概念	1
第二节 导体、电阻和绝缘体.....	6
第三节 欧姆定律	11
第四节 电路的串联与并联	14
第五节 基尔霍夫定律	21
第六节 电功与电功率	26
第七节 电流的热效应、导线截面选择和熔丝	27
第八节 电容及其充放电	36
复习题	42
第二章 电磁	45
第一节 磁的基本知识	45
第二节 铁磁材料及其磁化曲线	49
第三节 磁路欧姆定律	55
第四节 在磁场中的通电导线	59
第五节 导线切割磁力线产生感应电动势	65
复习题	69
第三章 交流电路	71
第一节 概述	71
第二节 正弦交变电动势的产生	73
第三节 交流电的相位、矢量表示与有效值	76
第四节 电阻电路	79
第五节 电感电路	81

第六节 电阻、电感串联电路	87
第七节 电容电路	90
第八节 电阻、电感与电容串联电路	93
第九节 并联电容与提高功率因数的意义	96
第十节 涡流及其利弊	99
第十一节 趋肤效应	103
第十二节 交流电磁铁	104
第十三节 交流电的测量	107
第十四节 三相交流电	110
第十五节 负载的星形联接	114
第十六节 负载的三角形联接	118
复习题	122
第四章 变压器与输配电	125
第一节 变压器的工作原理	125
第二节 三相变压器	131
第三节 变压器的构造	134
第四节 特殊变压器	141
第五节 小型变压器的计算	148
第六节 输电和配电	158
第七节 照明电路	166
第八节 安全用电	173
复习题	177
第五章 交流电动机	179
第一节 三相异步电动机的构造	179
第二节 异步电动机的工作原理	184
第三节 异步电动机的工作特性	191
第四节 异步电动机的起动	198
第五节 异步电动机的调速	204
第六节 三相异步电动机的铭牌	208

第七节 单相异步电动机	210
第八节 三相异步电动机的维修	216
复习题	222
第六章 直流电机	224
第一节 直流电机的工作原理	224
第二节 直流电动机的结构与励磁方式	229
第三节 直流电动机的机械特性	236
第四节 直流电动机的起动	239
第五节 直流电动机的调速、反转和制动	241
第六节 直流电动机的铭牌、使用与维护	245
复习题	250
第七章 电力拖动	251
第一节 三相异步电动机的正转控制	251
第二节 三相异步电动机的正反转控制	279
第三节 三相异步电动机的降压起动	286
第四节 生产机械的限位控制	298
第五节 两台电动机的联动控制	303
第六节 三相异步电动机的制动	304
第七节 线绕式电动机的起动与调速	317
第八节 机床电气控制线路	329
第九节 机床电气设备的日常维修	365
复习题	368
第八章 电子技术基础	373
第一节 半导体的基本知识	373
第二节 二极管的整流和稳压电路	384
第三节 晶体三极管	402
第四节 晶体三极管放大电路	413
第五节 晶体管多级放大电路	426

第六节 开关电路	430
第七节 晶闸管(可控硅)	438
第八节 晶体管应用电路实例	458
复习题	467
参考试题	471

第一章 直流电路

第一节 电的基本概念

在日常生活与生产中，几乎到处都要用到电。如电灯通电会放光，电炉通电会发热，电动机通电会旋转。电究竟是怎么回事，在电线里有什么东西通到电灯、电炉和电动机中去的，下面就来说明这个问题。

一、电

自然界的一切物质都是由分子组成的，而分子又是由原子组成的。每一个原子，都是由一个带正电荷的原子核和一定数量带负电荷的电子所组成。这些电子，分层围绕原子核作高速旋转。不同的物质其原子结构是不同的、它们所具有的电子数目也是不一样的，例如铜原子有 29 个电子，铝原子有 13 个电子。图 1-1 是铝原子结构图。

在通常情况下，原子核所带的正电荷和核外各电子所带负电荷的总和在数量上相等，所以物体就不显示带电现象。

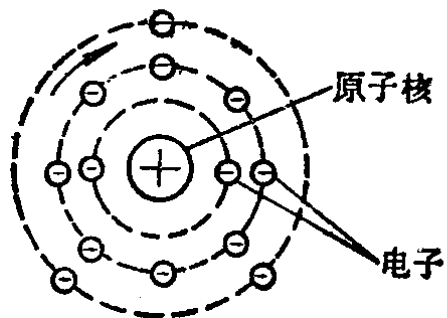


图 1-1 铝原子结构图

电荷具有同性电互相排斥、异性的电互相吸引的特性。如果由于某种外力的作用，使离原子核较远的外层电子摆脱原子核的束缚，从一个物体跑到另一个物体，这样就使物体带电，失去电子的物体带正电，获得电子的物体带负电。摩擦起电，如用毛皮摩擦塑料尺使塑料尺带电就是这个原理。电荷的数量称电量，用符号 Q 表示，

单位为库伦,简称库,用 C 表示。当电荷积聚不动时,这种电荷称为静电;如果电荷处于移动状态称为动电。

二、电流

现在我们来分析电荷是怎样沿着导线流动的。按图 1-2 所示,把电珠经过开关用导线和电池的两极连接起来,当开关闭合时,电珠就会发光,这就组成了最简单的电路。

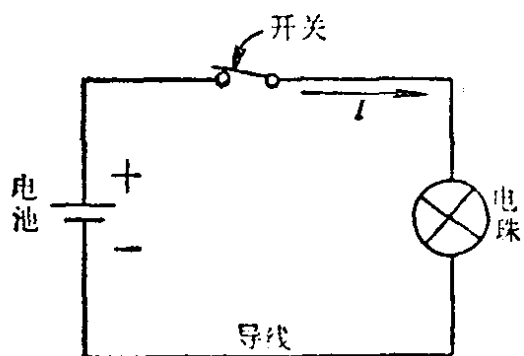


图 1-2 简单电路

闭合时,电珠就会发光,这就组成了最简单的电路。

要产生电一定要有电源,这里的电源就是干电池。电池是利用化学的方法,用外力强迫原子中的部分电子与原子分离,使电子积聚在

电池的一端,由于电子带负电荷,所以这一端称为电源的负极,用符号“-”表示,干电池的负极就是锌皮外壳。失去部分电子的原子积聚在另一端,该端带正电荷称为电源的正极,用符号“+”表示,电池的正极就是中间的碳棒。已经积聚在电源两极的正负电荷,由于同性相斥的特性,将阻碍电荷作进一步的积聚。但是在电池正负极用导线与电珠接成闭合电路后,电源负极上积聚的电子就会通过金属导线和电珠的钨丝与电池正极板上失去部分电子的原子相结合,成为不带电的原子,这种现象称为中和。当电源正负两极板上积聚的电荷一减少,阻碍电荷向两极板继续积聚的阻力因而也减少,电池通过化学力的作用又不断地使部分电子与原子分离,补充两极板上电荷的减少。这样,当电路接成闭合回路时,导线与电珠中就不断有电子移动。我们把电荷沿着电路作定向的流动称为电流,电珠发光,就是因为电珠钨丝中有电流流过、使钨丝产生高热的缘故。

电流的方向, 习惯上规定是由电源的正极经用电设备流回负极为正方向, 也就是和电子运动的方向相反。这种运动方向不变的电流称为直流电。

电流的大小用电流强度来表示。电流强度在数值上等于一秒钟内通过导线横截面的电量。通常所说电流的大小, 就是指电流强度。电流用 I 表示, 单位为安培, 简称安, 用 A 表示, 时间用 t 表示, 单位为秒(s)

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

1 安培电流, 表示每秒种通过导线任一截面的电量是 1 库伦。在有些电路中流过的电流很小, 常用毫安(mA)、微安(μ A)来计量。

$$1 \text{ 毫安} = 10^{-3} \text{ 安}$$

$$1 \text{ 微安} = 10^{-6} \text{ 安}$$

电路中电流的大小可用电流表来测量。测量时, 断开电路, 把直流电流表串接在被测电路里, 如图 1-3 所示, 电流表指示的读数, 即为电路电流的大小。测量直流电流时, 必须注意仪表正负极性, 电流必须从接线柱正端流入, 还要注意仪表的测量范围。500 毫安以下的直流小电流, 一般可用万用表的直流电流档测量。

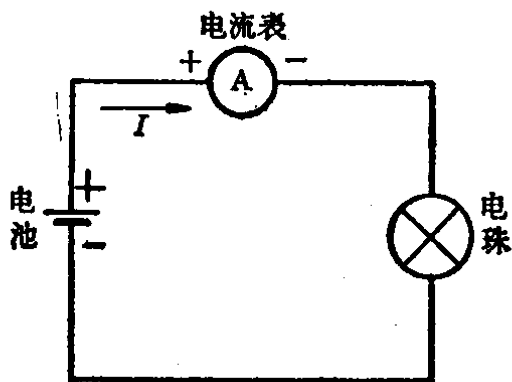


图 1-3 直流电流的测量

三、电压、电位与电动势

电路中要有电流就必须有电位差, 电流才能从电路中的高电位点流向低电位点。电源的正极电位高, 负极电位低, 所以电路接通后, 电流从电源正极流出, 经过用电器流回电源负

极。在电路中,任意两点之间的电位差称为这两点的电压。

电位与电压(电位差)是密切联系又有区别的。电路中各点的电位与参考点的选择有关,是一个相对的概念,而电路中任意两点间的电压是两点的电位之差,是个绝对量,与参考点的选择无关。好象两座山的高度以地平面起算,还是从海平面起算,其数值是不同的,但这两座山高度之差,不管以哪个平面起算总是一定的。

在电气工程中,常选大地为电位的参考点,凡与大地相连接的点(称接地点)的电位都定为零,电路中其它点的电位就是该点与接地点之间的电压值(电位差值),接地符号用“ $\perp$ ”表示。在电子线路中,电路中不一定有真正的接地点,但往往有很多元件一起接在某一条公共线上,通常就把它定为电位参考点,这条公共线称为地线,其接地符号则用“ $\perp$ ”表示,要

特别注意的。

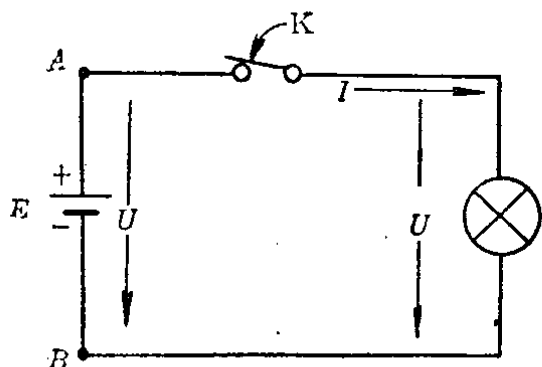


图 1-4 干电池供电电路

电源是将其它形式的能量转换为电能的设备。如电池是将化学能转换成电能,发电机是将机械能转换为电能,在电路中电源是产生(或供给)电能的源泉。图 1-4

是由干电池供电给电珠的电路。当开关闭合时,电源在电路中的作用是:把从电源的正极经负载(电珠)移动到电源负极的正电荷,由外力(化学力)克服电荷同性相斥的阻力,从电源的负极经电源内部移动到电源正极,以保持电流不断地流动,电源两端始终保持有一定的电压(电位差)。

衡量电源中外力做功大小的物理量称为电源的电动势,电源的电动势是外力将单位正电荷从电源负极经电源内部移

动到电源正极所做的功,用 E 表示,所以电动势的方向规定为沿电源内部从低电位点(负极)指向高电位点(正极),即表示电位升高的方向。在电源外部电路称为外电路,正电荷克服负载的阻力从高电位点移动到低电位,把电能转变为其它形式的能量,如通过白炽灯转换为光能,电炉转换为热能,电动机转换为机械能。负载(用电器)两端的电压 U ,方向是从高电位点指向低电位,即表示电位降低的方向。

电位有正负之分,该点电位高于参考点电位时为正;低于参考点电位时为负。在图 1-4 中,电流从 A 点流到 B 点, A 、 B 两端的电压为 10 伏。如选定 B 点电位为零,则 A 点的电位为 $U_A=10$ 伏;如选定 A 点电位为零,则 B 点的电位为 $U_B=-10$ 伏。但不管 A 点还是 B 点作电位参考点, A 、 B 两点的电压即电位差总是 $U=10$ 伏。电位的概念在分析电子线路时经常要用到。

电压、电位和电动势的单位都是伏特,简称伏,用 V 表示,常用的单位还有千伏(kV)与毫伏(mV),它们之间的关系为:

$$1 \text{ 千伏} = 1000 \text{ 伏} = 10^3 \text{ 伏}$$

$$1 \text{ 毫伏} = 10^{-3} \text{ 伏}$$

电压和电动势的大小可用电压表来测量,测量的方式与用电流表测量电流不同,是把电压表跨接到电路中的两点上去,如图 1-5 所示,电表的读数就是 A 、 B 两点之间的电压值。测量直流电压时,要

注意正负极性(正端接被测点的高电位点,负端接低电位点)

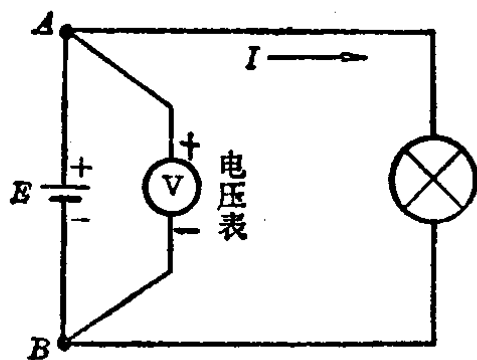


图 1-5 电压的测量

与测量范围。通常可用万用电表直流电压档来测量直流电压。

第二节 导体、电阻和绝缘体

一、导体

容易传导电流的物体叫做导体。常见的导体是金属,如铜、铝、银、铁等。金属之所以能很好传导电流,是因为在金属原子中,最外层的电子与原子核的结合比较松弱,因此这部分电子很容易脱离自己的原子,在组成金属的各原子中间运动,这样的电子,称为自由电子。在平常情况下,金属中虽有大量的自由电子,但他们只作无规则的运动,不会产生电流。当接上电源并且电路成通路时,金属导体中的自由电子在电源电动势的作用下,作定向运动,形成电流。所有金属(包括水银)及其合金都是导体。除此以外,大地、人体、石墨以及酸、碱、盐溶液也都是导体。

二、电阻

由于自由电子在金属导体中作定向运动时,会对金属中其它电子与原子核发生碰撞,所以电流在导体中流动要受到一定的阻力。有的导体对电流的阻力小,我们说导电能力好;有的导体对电流的阻力大,我们说导电能力差。这种对于通电所表现的阻力,称为导体的电阻。电阻用“ R ”表示,单位是欧姆,简称欧,用 Ω 表示,常用的单位还有千欧($k\Omega$)或兆欧($M\Omega$)为单位。

$$1 \text{ 千欧} = 1000 \text{ 欧} = 10^3 \text{ 欧}$$

$$1 \text{ 兆欧} = 1000000 \text{ 欧} = 10^6 \text{ 欧}$$

实验表明,导体的长度 L 愈长,导体的电阻愈大;导体的截面愈大,导体的电阻愈小。因此,在一定温度下,导体的电阻与导体截面成反比,与导体长度成正比,还与导体的材料有

关。用公式表示如下

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

式中 L ——导体长度(米);

S ——导体截面积(毫米²);

ρ ——电阻系数, 决定于材料性质(欧·毫米²/米)。

导体材料在摄氏 20°C、截面为 1 平方毫米、1 米长的电阻数值即为该导体的电阻系数值。

表 1-1 所列是常用金属材料在温度 20°C 时的电阻系数。银、铜、铝的电阻系数较小, 所以常用铜、铝作为导电材料。近几年来, 广泛采用铝线、铝排, 虽然铝的导电能力及机械强度不及铜, 但比铜轻, 并且资源丰富, 价格便宜, 在电气工业中已被广泛应用。

表 1-1 常用金属的电阻系数(20°C)

材 料	电阻系数(欧·毫米 ² /米)
银	0.016
铜	0.017
铝	0.029
铸铁	0.5
黄铜(铜锌合金)	0.065
康铜(铜镍合金)	0.5
镍铬合金	1.1

[例] 一条铝电线, 长 100 米, 截面积为 10 平方毫米, 求电线电阻。

[解]

$$R_x = \rho \frac{L}{S} = 0.029 \times \frac{100}{10} = 0.29 \text{ 欧}$$

如电线长度增为 1000 米, 则电阻值增为 2.9 欧; 如导线

截面缩为 1 平方毫米,则电阻值也增为 2.9 欧。

导体的电阻与温度有关,一般的金属导体,温度升高时其电阻值也增大,这是由于温度升高,金属内部的原子核与电子运动加剧,自由电子流动时阻力增大。普通的铜导线当环境温度每增加 10°C 时,电阻值约增加 4%,所以在准确测量或计算电阻值时,必须考虑温度的影响。用康铜、锰铜等材料做成的电阻受温度变化的影响很小,可用在要求电阻数值变化不大的地方。

镍铬合金耐温可达 1100°C ,通常做电炉的电热丝。

常用电阻介绍:

1. 铸铁电阻

ZX₁、ZX₂ 系列铸铁电阻(图 1-6 a)由铸铁浇铸成曲折蜿蜒的栅形元件串联叠成。适用于交流 50 赫芝、电压 500 伏及直流 400 伏的电路中,主要作为电动机的起动、制动及调速用。这种电阻一般阻值小,允许通过电流最大达 215 安。

2. 板形电阻

JZBY 型(ZB2)板型电阻片(图 1-6 b)主要作为异步电动机的起动电阻及用在鼠笼异步电机的反接制动线路中以限制电流,亦可供小容量电动机调速用。板形电阻片允许通过的电流一般比铸铁电阻小。

3. 小功率电阻(图 1-6 c)

小功率电阻用于晶体管、电子管电路中。合成炭质电阻(色环电阻,图 c1)稳定性差,已逐渐淘汰;金属膜电阻(图 c2)比炭膜电阻(图 c3、4)稳定,用于要求较高的线路中。绕线电阻或珐琅电阻(图 c5)适用于功率较大的场合。

4. 滑线变阻器与电位器(图 1-7)

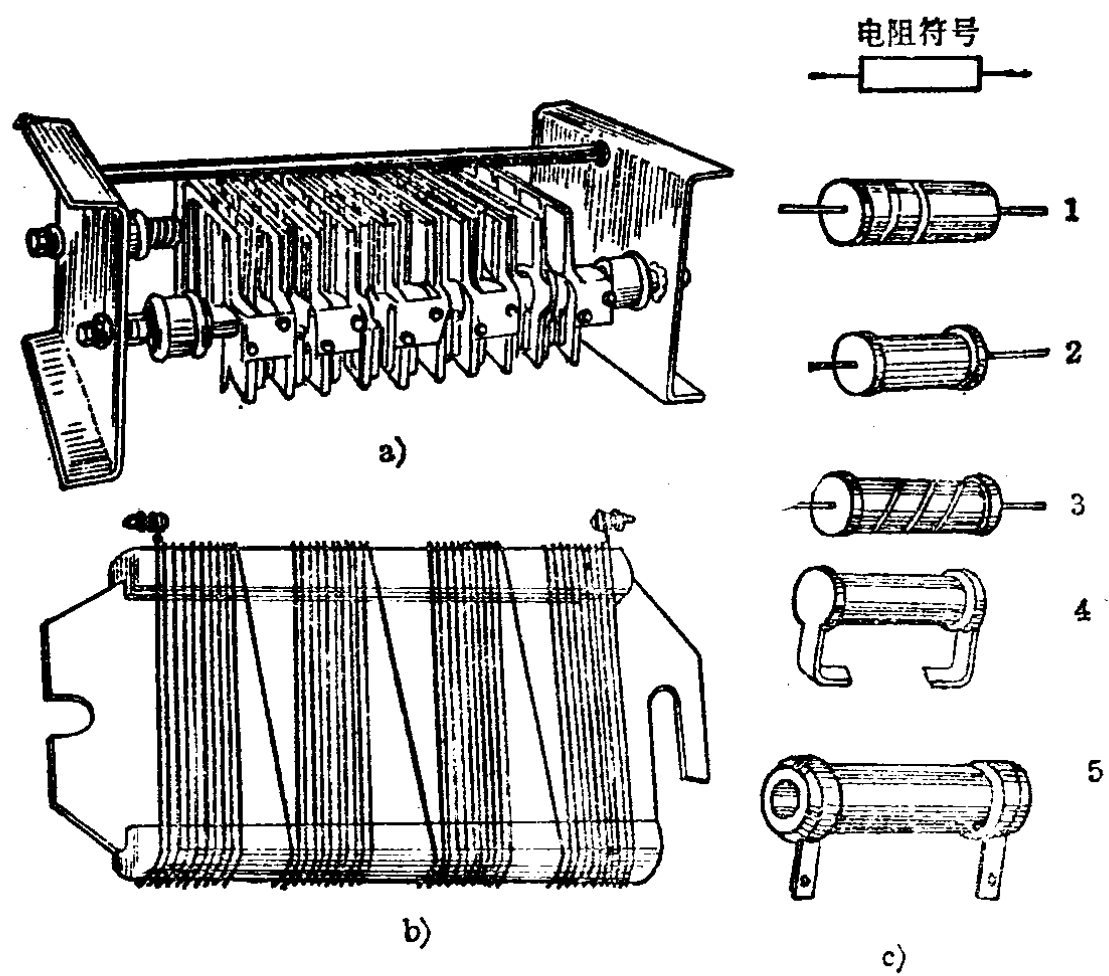


图 1-6 各种固定电阻

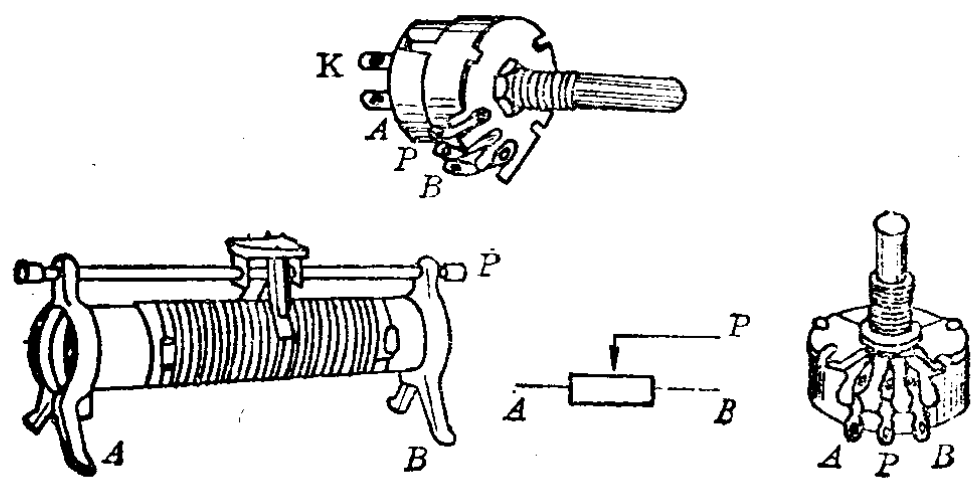


图 1-7 滑线变阻器与电位器