

工程兵专业技术教材

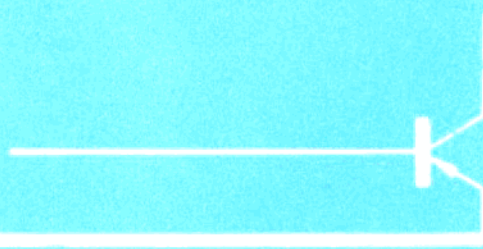


电工学

总参谋部兵种部



解放军出版社



工 程 兵 专 业 技 术 教 材

电 工 学

总 参 谋 部 兵 种 部

解 放 军 出 版 社

说 明

为普及电工技术训练，由北京机械士官学校电气教研室编写了适应培训机械修理专业士官需要的《电工学》教材，经审定，现印发试用。

该教材由蒋乐僧、朱留贵、董宝良、朱建华、洪金喜、李雄正编写；徐继昌、于守诚审修；责任编辑：于守诚。

望各单位不断总结训练经验，吸取新的科学技术成果，对教材提出修改意见。

总参谋部兵种部

一九九二年十月

目 录

第一章 直流电路	(1)
第一节 电路及其基本物理量	(1)
一、电路及其组成	(1)
二、电流和电流强度	(2)
三、电压和电动势	(3)
四、电位和电位差	(4)
五、电阻和电导	(5)
第二节 欧姆定律	(7)
一、局部电路欧姆定律	(7)
二、线性电阻和非线性电阻	(9)
三、全电路欧姆定律	(10)
四、电源的电动势和端电压的关系	(11)
第三节 简单直流电路的计算	(11)
一、电阻的串联	(12)
二、电阻的并联	(12)
三、电阻的混联电路	(13)
四、电池及其联接	(14)
第四节 复杂直流电路的计算	(16)
一、基尔霍夫第一定律	(16)
二、基尔霍夫第二定律	(16)
三、复杂直流电路的计算	(17)
四、电桥电路	(20)
第五节 电功、电功率及电流的热效应	(21)
一、电功和电功率	(21)
二、电源的功率和负载的功率	(21)
三、电源输出最大功率的条件和效率	(22)
四、电流的热效应及电气设备的额定值	(23)

第六节 电容器	(25)
一、电容器的结构	(25)
二、电容器的充电和放电	(25)
三、电容器中的电流	(26)
四、电容器中的电场能量	(27)
五、电容器的耐压	(27)
六、电容器的联接	(28)
七、电容器的种类	(30)
本章内容提要	(30)
习题一	(33)
实验 基尔霍夫定律的验证	(34)
第二章 磁与电磁	(36)
第一节 磁的基本知识	(36)
一、磁性和磁体	(36)
二、磁极及其特性	(36)
三、磁场和磁力线	(36)
四、磁通和磁通密度	(37)
第二节 电流与磁场	(37)
一、电流的磁效应	(37)
二、电流磁场的方向判定	(38)
第三节 铁磁材料和磁路	(39)
一、磁导率	(39)
二、铁磁材料的磁化现象	(40)
三、磁路和磁路欧姆定律	(41)
四、磁饱和现象、磁场强度和磁化曲线	(42)
五、磁滞回线以及磁性材料的分类	(44)
六、简单磁路计算	(46)
七、磁路和电路的比较	(48)
八、电磁铁	(49)
第四节 磁场对通电导体的作用力	(50)
一、磁场对通电直导线的作用	(50)
二、通电平行导线间的相互作用	(51)
三、磁场对通电线圈的作用	(51)

四、电磁力的应用	(52)
第五节 电磁感应	(52)
一、直导线中的感应电势	(52)
二、线圈中的电磁感应现象	(54)
三、线圈的自感	(56)
四、互感	(57)
五、同名端	(58)
六、涡流	(59)
七、磁场能量	(59)
本章内容提要	(60)
习题二	(61)
第三章 正弦交流电路	(63)
第一节 交流电的基本概念	(63)
一、什么是交流电	(63)
二、正弦电动势的产生	(63)
三、描述正弦交流电特征的物理量	(66)
四、正弦交流电的表示法	(70)
第二节 单相交流电路	(75)
一、纯电阻电路	(75)
二、纯电感电路	(77)
三、纯电容电路	(80)
四、电阻、电感和电容串联电路	(83)
五、电阻、电感和电容并联电路	(86)
六、复合交流电路的功率和功率因数	(90)
第三节 三相交流电路	(94)
一、三相电动势的产生	(94)
二、三相四线制	(94)
三、三相负载的联接	(96)
四、三相负载的电功率	(99)
本章内容提要	(100)
习题三	(103)
实验一 单相交流电路	(105)
实验二 三相对称负载的联接	(106)

第四章 变压器与电动机(108)

第一节 变压器(108)

- 一、变压器及其用途(108)
- 二、变压器的基本结构(108)
- 三、变压器的工作原理(109)
- 四、实际变压器的效率与额定容量(111)
- 五、几种常见变压器(112)

第二节 三相鼠笼式异步电动机(114)

- 一、电动机的用途和分类(114)
- 二、三相鼠笼式异步电动机的基本结构(115)
- 三、三相鼠笼式异步电动机的工作原理(117)
- 四、三相鼠笼式异步电动机的工作特性(120)
- 五、三相鼠笼式异步电动机的起动、反转与制动(122)
- 六、三相鼠笼式异步电动机的铭牌(124)

第三节 单相异步电动机(127)

- 一、单相异步电动机其及分类(127)
- 二、单相电容式异步电动机(128)

第四节 直流电动机(129)

- 一、基本结构(129)
- 二、工作原理(131)
- 三、分类及机械特性(132)
- 四、直流电动机的控制(134)
- 五、直流电动机的铭牌和接线标记(136)
- 本章内容提要(137)
- 习题四(139)

第五章 低压电器及控制电路(141)

第一节 常用低压电器(141)

- 一、开关(141)
- 二、熔断器(144)
- 三、接触器(144)
- 四、按钮(147)
- 五、行程开关(149)

六、继电器、热继电器	(149)
七、自动空气断路器	(151)
第二节 电气控制线路原理图	(152)
一、控制线路的组成	(152)
二、原理图的绘制规则	(153)
第三节 三相鼠笼式异步电动机的直接起动控制线路	(154)
一、接触器自锁控制线路	(154)
二、具有过载保护的自锁控制线路	(154)
第四节 三相鼠笼式异步电动机的正反转控制线路	(155)
一、接触器联锁的正反转控制线路	(155)
二、双重联锁的正反转控制线路	(156)
第五节 工作台的限位和自动往返控制线路	(157)
第六节 两台电动机的联动控制线路	(158)
第七节 几种工作机械的电气控制线路	(160)
一、电气控制线路原理图的阅读	(160)
二、CW6163型普通车床的电气控制线路	(160)
三、电动葫芦的电气控制线路	(161)
四、M7120型平面磨床的电气控制线路	(162)
第八节 电气控制系统在运行中的监视和常见故障	(164)
一、监视	(164)
二、常见故障	(165)
本章内容提要	(166)
习题五	(167)
实验 基本电气控制线路的接线和操纵	(170)
第六章 常用电工仪表及使用	(172)
第一节 常用电工仪表的类型及标记符号	(172)
一、类型	(172)
二、标记符号	(172)
三、仪表的结构形式	(174)
第二节 常用电工测量仪表的结构和原理	(175)
一、电工测量仪表的一般原理和结构	(175)

二、磁电式仪表·····	(176)
三、电磁式仪表·····	(177)
四、电动式仪表·····	(178)
五、感应式仪表·····	(179)
第三节 电流和电压测量 ·····	(180)
一、电流的测量·····	(180)
二、电压的测量·····	(182)
第四节 功率和电能的测量 ·····	(182)
一、单相交流电路中功率的测量·····	(182)
二、三相交流电路中功率的测量·····	(183)
三、电度表的接线方法·····	(185)
第五节 兆欧表 ·····	(185)
一、兆欧表的基本结构和原理·····	(185)
二、兆欧表的使用方法·····	(186)
三、兆欧表使用注意事项·····	(187)
第六节 频率表 ·····	(187)
一、振动式频率表·····	(187)
二、指针式频率表·····	(188)
第七节 万用表 ·····	(188)
一、万用表的基本原理·····	(189)
二、几种常用万用表的使用·····	(189)
第八节 电子示波器 ·····	(193)
一、电子示波管·····	(194)
二、波形的显示·····	(194)
三、示波器的结构·····	(195)
四、CS—1022型双踪示波器的使用及注意 事项·····	(197)
本章内容提要·····	(200)
习题六·····	(201)
第七章 晶体二极管及整流电路 ·····	(203)
第一节 半导体及其特性 ·····	(203)
一、半导体的导电性质·····	(203)

二、P型半导体和N型半导体	(204)
三、PN结及其单向导电性	(204)
第二节 晶体二极管	(206)
一、晶体二极管的结构和分类	(206)
二、晶体二极管的伏安特性	(206)
三、晶体二极管的主要参数	(207)
四、晶体二极管的型号和简易判别	(207)
第三节 晶体二极管整流电路	(208)
一、单相半波整流电路	(209)
二、单相全波(桥式)整流电路	(210)
三、三相桥式整流电路	(212)
第四节 滤波电路	(214)
一、电容滤波电路	(214)
二、电感滤波电路	(215)
三、复式滤波电路	(215)
*四、电路元件的选择	(216)
第五节 硅稳压二极管及其应用	(217)
一、硅稳压二极管及其特性	(217)
二、硅稳压管稳压电路	(218)
*三、稳压电路元件的选择	(219)
本章内容提要	(220)
习题七	(220)
第八章 晶体三极管及其基本电路	(223)
第一节 晶体三极管	(223)
一、晶体三极管的基本结构	(223)
二、晶体三极管的电流放大作用	(223)
三、晶体三极管的特性曲线和工作状态	(225)
四、晶体三极管的主要参数	(228)
五、晶体三极管的简易判别	(229)
第二节 晶体三极管低频电压放大电路	(230)
一、对电压放大器的要求	(230)
二、固定偏置的电压放大电路	(230)

三、静态工作点的稳定电路	(236)
第三节 晶体三极管直流耦合电路	(237)
一、简单直接耦合放大电路	(237)
二、电阻分压式直接耦合放大电路	(238)
三、互补式直接耦合放大电路	(238)
四、双管负反馈直接耦合放大电路	(238)
五、差动式直接耦合放大电路	(239)
六、直接耦合放大电路的放大和开关状态	(239)
第四节 晶体三极管开关电路	(240)
一、双稳态触发器	(240)
二、单稳态触发器	(242)
第五节 晶体三极管正弦振荡电路	(243)
一、振荡现象	(243)
二、从放大器到振荡器	(244)
三、LC振荡电路的工作原理	(245)
第六节 晶体三极管串联型稳压电路	(246)
一、串联稳压原理	(246)
二、简单串联型稳压电路	(247)
三、典型串联型稳压电路	(247)
本章内容提要	(248)
习题八	(249)
实验一、单管低频小信号电压放大器的安装和调试	(251)
实验二、串联型稳压电源的安装	(252)
第九章 可控硅及其控制电路	(254)
第一节 可控硅的结构和特性	(254)
一、可控硅的特性	(254)
二、可控硅的工作原理	(254)
三、可控硅的型号	(255)
四、可控硅的伏安特性	(256)
五、可控硅的参数和简易测试	(256)
第二节 可控整流的主回路	(257)
一、单相半波可控整流电路	(257)

二、单相桥式全波半控整流电路.....	(257)
三、三相桥式半控整流电路.....	(258)
四、可控硅的失控和防止.....	(259)
五、可控硅的保护.....	(260)
第三节 可控硅的触发电路	(261)
一、单结晶体管触发电路.....	(261)
二、阻容移相桥触发电路.....	(263)
三、晶体管脉冲触发电路.....	(264)
第四节 双向可控硅及交流调压电路	(266)
第五节 可控硅的应用	(267)
一、可控硅充电机.....	(267)
二、可控硅直流稳压电源.....	(269)
本章内容提要.....	(270)
习题九.....	(271)
附 录	(272)
一、电工系统常用电器符号.....	(272)
二、常用字母.....	(274)
三、常用物理量.....	(275)
四、Y系列交流电动机的技术数据	(277)
五、半导体器件型号、命名方法.....	(278)
六、部分二极管参数.....	(279)
七、常用三极管参数.....	(282)

第一章 直流电路

第一节 电路及其基本物理量

一、电路及其组成

(一) 电路

电流所流过的路径称为电路。如图1—1所示，是解放牌汽车前大灯的电路。

由图1—1可见，将总灯开关合上，电流便从蓄电池正极流出，经车体钢铁部分进入前大灯，通过灯丝、变光开关、总灯开关、熔断器及电流表回到蓄电池负极，构成完整的回路，电灯发亮。

(二) 电路的组成

一般电路都由电源、负载、开关和连接导线4个基本部分组成。电源是把非电能转换成电能，向负载提供电能的装置。常见的电源有干电池、蓄电池和发电机等。负载通常也称为用电器，是将电能转变成其他形式能的元器件或设备。如电灯可将电能转变成光能，电炉可将电能转变成热能，扬声器可将电能转变成声能，而电动机则可以把电能转变成机械能等。开关是控制电路接通或断开的器件。连接导线担负传输或分配电能的任务。

用国家统一规定的符号来表示电路连接情况的图叫电路图。图1—2为一个简单的电路图。电路图中常用的符号见附录一

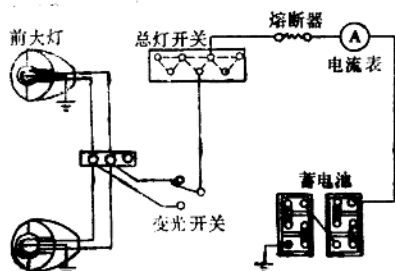


图1—1 解放牌汽车前大灯电路

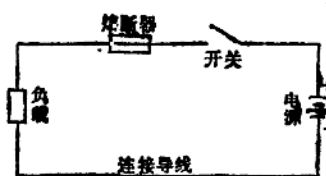


图1—2 最简单的电路

电路可分为内、外电路两段。从电源的一端起，经过和它连接的全部负载、控制保护电器及导线再回到电源的另一端为止叫做外电路；电源内部的电路叫做内电路。

(三) 电路的分类

1. 电路按结构分为无分支电路和分支电路。图1—2是无分支电路；图1—3是由1个电源和3个负载连接构成的分支电路。

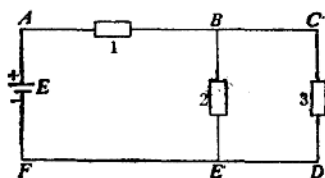


图1-3 分支电路

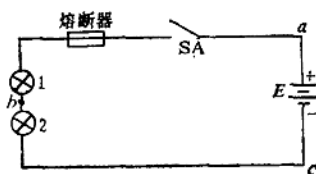


图1-4 电路的状态

在分支电路中，每一个分支都是电路的一部分，称为支路。如图1-3中的BE、BCDE及BAFE等，共有3条支路。

电路中3条或3条以上支路的汇聚点称为节点。如图1-3中的B和E都是节点。此电路共有两个节点。

电路中的任一闭合路线称为回路。如图1-3中的ABEFA、BCDEB及ABCDEF A等都是回路。此电路共有3个回路。任何回路都是由2条或2条以上的支路组成。

不能再分割的最简单的回路称为网孔。如图1-3中的ABEFA和BCDEB都是网孔。此电路有两个网孔。

2. 电路按工作状态分为闭路、开路和短路（图1-4）。

(1) 闭路（通路）：开关接通，构成闭合回路，电路中有电流流过，电路正常工作。

(2) 开路（断路）：开关或电路某一处断开，电路中无电流。

(3) 短路（捷路）：电路中两根导线直接碰在一起（或因用电设备出了故障，两根导线跨接起来），电流超过正常情况的很多倍，称为短路。如图1-4中若将a、b两点用导线直接连通叫做灯泡1被短路；若将a、c两点直接用导线连通叫做电源被短路。

二、电流和电流强度

（一）电流

电荷有规则地运动称为电流。在金属导体中，自由电子在电场作用下有规则地运动便形成电流。在某些液体或气体中，电流则是正负离子在电场作用下有规则运动形成的。

衡量物体带电荷多少的量叫电量，用符号Q或q表示。电量的单位是库仑，用C表示。1个电子所带的电量为 1.6×10^{-19} 库仑(C)。1库仑等于 6.25×10^{18} 个电子所带的电量。

（二）电流强度

在相同的时间里，通过导体横截面的电荷越多，导体中电流越强；通过的电荷越少，电流越弱。单位时间内通过导体横截面的电量，称为电流强度，用符号I或i表示。

若在极短的时间 Δt 内，通过导体横截面的电量为 Δq ，则电流强度的表达式为：

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

通常把电流强度简称为电流。这样，电流一词不仅代表一种物理现象，而且也代表一个物理量。

既然电流是电荷有规则地运动，那么，电流就有一定的方向。习惯上人们把正电荷流动

的方向作为电流的方向。实际上在导线中，电流是带负电的电子流动形成的，但其效果与等量正电荷反方向流动完全相同，因此其电流方向是与电子流动的方向相反，如图1—5所示。

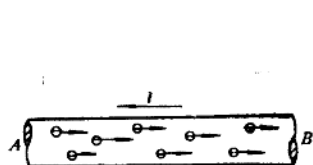


图1—5 电流的方向

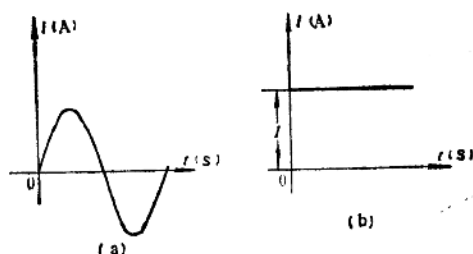


图1—6 正弦交流电和直流电的电流波形图

如果电流的大小和方向随时间按一定规律反复交替地变化，称为交流电流，用*i*表示，如图1—6a所示。我们平时用的，由电力网供出的交流电就是这样的电流。

如果电流的大小和方向都不随时间变化，即在单位时间内通过导体横截面的电量均相同，其方向也始终不改变，称为恒定电流或直流电流，如图1—6b所示。在这种情况下，电流强度用*I*表示，其表达式为：

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

式中：*Q*——在时间*t*内通过导体横截面的电量；

t——通电时间。

电流强度的单位是库仑(c)/秒(s)，也叫安培，简称安，用符号*A*表示。1安培的电流等于在1秒钟内有1库仑的电量通过导线横截面。常用的电流强度单位还有千安(*KA*)、毫安(*mA*)、微安(*μA*)。其转换关系式为：

$$1 \text{ 千安 (KA)} = 10^3 \text{ 安 (A)}$$

$$1 \text{ 安 (A)} = 10^3 \text{ 毫安 (mA)}$$

$$1 \text{ 毫安 (mA)} = 10^3 \text{ 微安 (μA)}$$

三、电压和电动势

(一) 电压

电压是电场力移动单位正电荷所做的功，用*U*表示，单位是伏特(*V*)。在电路中若电场力将电荷*Q*从*a*点移到*b*点所做的功为*W_{ab}*，则功*W_{ab}*与电量*Q*的比值就称为这两点间的电压*U_{ab}*。其表达式为：

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (1-3)$$

若电场力将1库仑的电荷从*a*点移到*b*点，所做的功是1焦耳，则*ab*间的电压值就是1伏特，简称1伏，伏用字母*V*表示。除伏特外，常用的电压单位还有千伏(*KV*)，毫伏(*mV*)，微伏(*μV*)。其转换关系为：

$$1 \text{ 千伏 (KV)} = 10^3 \text{ 伏 (V)}$$

$$1 \text{ 伏 (V)} = 10^3 \text{ 毫伏 (mV)}$$

$$1\text{毫伏}(\text{mV})=10^3\text{微伏}(\mu\text{V})$$

电压和电流一样,不但有大小,而且有方向,即有正负。对于负载来说,规定电流流进端为电压的正端,流出端为电压的负端。电压的方向由正指向负。也就是负载中电压的实际方向与电流方向一致,如图1—7中的 U_{ab} 为正, U_{ba} 为负,即 $U_{ba}=-U_{ab}$ 。在电路图中,常以带箭头的细实线表示电压的方向。

显然,对于负载来说,没有电流就没有电压,有电压就一定有电流。电阻两端的电压常叫电压降。

(二) 电动势

电动势是电源将单位正电荷从电源的负极经电源内部移到正极所做的功;是衡量电源将非电能转换成电能本领的物理量,用字母 E 表示。电动势的单位和电压相同,也是伏特。若外力将电荷 Q 从负极移到正极所做的功是 W_E ,则电动势的表达式为:

$$E = \frac{W_E}{Q} \quad (1-4)$$

电动势的方向规定为在电源内部由负极指向正极。在电路中,也用带箭头的细实线表示电动势的正方向。

对于一个电源来说,既有电动势又有电压,但电动势只存在于电源内部。电源两端的开路电压(即电源两端不接负载时的电压)等于电源电动势,但二者方向相反。电源两端的电压方向规定为:在电源外部正极指向负极。如图1—8所示。

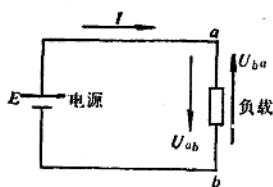


图1—7 电压的方向

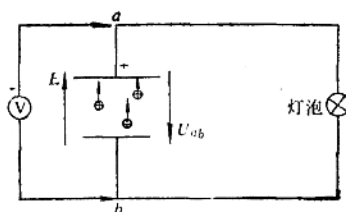


图1—8 电源电动势和端电压的方向

四、电位和电位差

在分析电路时,有时需要比较某两点的电性能,因此,必须引入电位的概念。电路中的某点与参考点间的电压就称为该点的电位。通常把参考点的电位规定为零电位。电位的符号常用带脚标的字母V(或 ϕ)表示,如 V_A 表示A点的电位。电位的单位为伏特。

通常选大地为电位参考点,即把大地的电位规定为零电位;而在电子仪器和设备中又常把金属机壳或电路的公共接点的电位规定为零电位。零电位的符号是 $\perp$ (表示接大地)、 $\perp$ 或 $\perp$ (表示电路的公共接点或设备的金属外壳接地)。

电路中任意两点间的电位之差,称为该两点的电位差,常用带双脚标的字母U表示,如 U_{AB} 表示A、B两点之间的电位差。其表达式为:

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (1-5)$$

电位差就是电压,单位同样是伏特(V)。

电位和电位差的异同点是:电位是某点对参考点的电压,电位差是某两点间的电压,因

此电位相同的各点间的电位差为零, 电流也为零; 电位是相对值, 随参考点的改变而改变, 而电位差的值不随参考点的改变而改变。因为 $U_{AB} = V_A - V_B = -(V_B - V_A) = -U_{BA}$, 所以当 $U_{AB} > 0$ 时, A 点电位高于 B 点电位, 反之, 当 $U_{AB} < 0$ 时, A 点电位低于 B 点电位。

例 1—1, 如图 1—9 所示, 已知 $V_A = 20V$ 、 $V_B = 40V$ 、 $V_C = 10V$, 求 U_{AB} 和 U_{BC} 各为多少?

解: 根据电位差的定义可直接求得

$$U_{AB} = V_A - V_B = (20 - 40) = -20V$$

$$U_{BC} = V_B - V_C = 40 - 10 = 30V$$

五、电阻和电导

(一) 导体的电阻和电阻率

电流通过导体时, 要受到一种阻力, 这种阻力称为导体的电阻, 用符号 R 或 r 表示。电阻的单位是欧姆, 简称为欧, 用符号 Ω 表示。当导体两端加上 1 伏特的电压, 导体中流过的电流为 1 安培时, 导体的电阻就是 1 欧姆, 即:

$$1 \text{ 欧姆} = \frac{1 \text{ 伏特}}{1 \text{ 安培}}$$

除欧姆外, 常用的电阻单位还有: 千欧 ($K\Omega$)、兆欧 ($M\Omega$)。其变换关系式为:

$$1 \text{ 千欧} (K\Omega) = 10^3 \text{ 欧} (\Omega)$$

$$1 \text{ 兆欧} (M\Omega) = 10^6 \text{ 千欧} (K\Omega)$$

导体一般都有电阻。导体电阻的大小主要与以下因素有关:

1. 导体的电阻与导体的长度成正比。
2. 导体的电阻与导体的横截面积成反比。
3. 导体的电阻与导体的材料有关。
4. 导体的电阻与导体的温度有关。

对于一根材料均匀、截面积也均匀的长导体来说, 在一定温度下 (一般是 $20^\circ C$), 其电阻值可用下式计算:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-6)$$

式中: R ——导体电阻 (Ω);

l ——导体长度 (m);

S ——导体截面积 (m^2);

ρ ——导体的电阻系数 (又叫电阻率), 它是表示导体材料阻碍电流传导能力的物理量。 ρ 的单位为欧米 (Ωm)。表 1—1 列出了几种常用材料在 $20^\circ C$ 时的电阻率。

例 1—2, 用康铜丝来绕制 10Ω 的电阻, 问需要直径为 $1mm$ 的康铜丝多少米?

解: 由公式 (1—6) 得

$$l = \frac{RS}{\rho}, \text{ 而 } S = \frac{\pi d^2}{4}, \text{ 康铜的电阻系数 } \rho = 5 \times 10^{-7} \Omega m$$

$$\text{则 } l = \frac{R \pi d^2}{4 \rho} = \frac{10 \times 3.14 (1 \times 10^{-3})^2}{4 \times 5 \times 10^{-7}} = 15.7 m$$

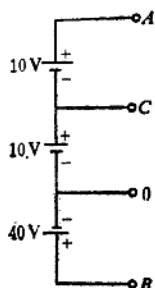


图 1—9 例 1—1 图