

特种作业人员安全技术培训教材

TZZYPXJC

电工作业

黑龙江省安全生产监督管理局安全科学技术研究中心编写

主编：王永平



哈尔滨地图出版社

特种作业人员安全技术培训教材

电工作业

黑龙江省安全生产监督管理局安全科学技术研究中心编写

主编：王永平

哈尔滨地图出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电工作业/王永平主编. —哈尔滨: 哈尔滨地图出版社, 2006. 8

ISBN 7-80717-453-6

I. 电... II. 王... III. 电工技术 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 106677 号

哈尔滨地图出版社出版发行

(地址: 哈尔滨市南岗区测绘路 2 号 邮政编码: 150086)

哈尔滨海天印刷设计有限公司印刷

开本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 21.75 字数: 476 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

印数: 1~3 000 定价: 26.00 元

编审委员会

主 任：姜国钧

主 审：周欣荣 鞠 雷 王志敏

主 编：王永平

编写人员：李柏芳 王光彬 马洪艳

前 言

安全生产的培训教育工作是落实“安全第一，预防为主，综合治理”的安全生产方针的具体体现。《安全生产法》对生产经营单位从业人员的培训考核工作做了具体规定，特别是对特种作业人员，《安全生产法》第23条规定：“生产经营单位的特种作业人员必须按照国家有关规定经专门的安全作业培训，取得特种作业操作资格证书，方可上岗作业。”国家安全生产监督管理局《关于特种作业人员安全技术培训考核工作的意见》（安监管人字【2002】124号）规定：“特种作业操作证每2年由原考核发证部门复审一次”“复审不合格或未按期复审的，特种作业操作证失效。”

特种作业是指容易发生人员伤亡事故，对操作者本人、他人及周围设施的安全可能造成重大伤害的作业。多年来的事故统计资料表明，大量的事故是由于操作者缺乏安全知识、操作技能水平低和违章作业造成的。所以，我国历来对特种作业人员的培训教育工作极为重视，对特种作业的范围、作业人员的基本条件及培训考核大纲都做了明确的规定。

为了配合特种作业人员培训考核工作，按照特种作业人员安全技术培训大纲及考核标准的要求，编写了《电工作业》《金属焊接与切割作业》《高处作业》《危险化学品安全》等初培及复审教材。

本套教材全面覆盖了培训大纲及考核标准所涉及的知识点，希望这套教材能对特种作业人员的培训考核工作发挥应有的作用。

《电工作业》（初培）教材遵照特种作业人员安全技术培训大纲及考核标准的要求，除全面覆盖其规定的知识要点外，注重了以下几个方面：

1. 本教材包含了电工作业不同操作项目的知识要点，在培训过程中可根据学员对象的不同需求选择适当的内容。

2. 本教材在编写过程中，注重引用了有关电气安全的法规标准，以增加教材的权威性和适用性。

3. 关于电气防火防爆,我们将其分为两部分:一是一般场所电气设施的火灾和多油电器的爆炸,这是带有普遍性的问题,将其归到电气事故里面作为通用知识进行阐述;二是火灾、爆炸危险环境的防火、防爆,这是特定的专业操作项目,国家对这方面有严格的特殊规定,将其单列一章,供专业培训选用。

4. 矿山井下的配电、电器、接地等问题,很多与 IT 接地系统和爆炸、火灾危险环境的要求是一致的,为了避免重复,将其内容融入了各有关章节。

5. 对于有关的特殊行业,如金属、非金属露天(地下)矿山的电气安全、烟花爆竹工厂电气安全、加油(气)站的电气安全以及建设工程施工现场临时用电安全,国家标准有特殊规定。本教材作为特例进行了专门的阐述,作为培训大纲之外的选修内容供相关企业的电气工作人员选用。

不妥之处敬请斧正!

编 者

2006 年 8 月

目 录

第一章 电工基础知识.....	1
第一节 直流电路.....	1
第二节 电磁感应.....	10
第三节 单相交流电.....	12
第四节 三相交流电路.....	14
第五节 电子技术常识.....	20
第二章 电气事故.....	24
第一节 触电事故的种类及电流对人体的危害.....	24
第二节 电气事故伤员的紧急救护.....	31
第三节 电气火灾爆炸事故.....	38
第三章 保证安全的措施、安全用具及安全标识.....	43
第一节 保证安全的组织措施.....	43
第二节 保证安全的技术措施.....	47
第三节 电工安全用具.....	49
第四节 安全标识.....	57
第四章 防触电的安全措施.....	59
第一节 绝缘.....	59
第二节 屏护和间距.....	61
第三节 接地和接零.....	71
第四节 系统接地型式及应用范围.....	75
第五节 接地、接零装置.....	78
第六节 井下保护接地系统.....	84

第七节 安全电压和电气隔离.....	87
第五章 漏电保护装置.....	91
第一节 用于中性点直接接地供电系统的漏电保护器.....	91
第二节 用于电源中性点不接地供电系统的漏电保护装置.....	100
第六章 变压器.....	110
第一节 概述.....	110
第二节 变压器安装和运行.....	115
第三节 变压器故障与事故处理.....	121
第四节 互感器.....	126
第七章 高压配电装置.....	129
第一节 高压熔断器.....	129
第二节 高压开关.....	130
第三节 高压开关柜.....	133
第四节 矿用高压配电装置.....	134
第五节 电力补偿电容器.....	136
第八章 变配电安全.....	140
第一节 供配电系统.....	140
第二节 变配电站.....	143
第三节 变配电站安全管理.....	146
第四节 倒闸操作.....	149
第五节 巡视检查.....	153
第六节 矿井供电系统.....	155
第九章 低压配电装置.....	167
第一节 用电设备的环境条件及防护等级.....	167

第二节	低压电器.....	170
第三节	低压配电屏.....	178
第十章	电气线路.....	182
第一节	架空线路.....	182
第二节	电缆电路.....	191
第三节	低压配电线路.....	198
第十一章	异步电动机.....	212
第一节	异步电动机的构造与技术参数.....	212
第二节	异步电动机的运行与维修.....	217
第十二章	单相电气设备及移动电气设备.....	226
第一节	单相电气设备.....	226
第二节	移动电气设备.....	237
第十三章	电工测量.....	242
第一节	电工测量的基本常识.....	242
第二节	电流和电压的测量.....	244
第三节	电功率的测量.....	246
第四节	电能的测量.....	248
第五节	万用电表.....	250
第六节	绝缘电阻表.....	252
第七节	钳形电流表.....	255
第八节	直流电桥.....	256
第十四章	火灾、爆炸危险场所的电气安全.....	260
第一节	燃烧、爆炸的基本常识.....	260
第二节	爆炸性物质和爆炸危险场所的等级划分.....	264

第三节	火灾、爆炸危险环境的电气装置.....	267
第四节	防爆电气设备的安装.....	280
第五节	防爆电气的运行维修.....	288
第十五章	防雷和防静电.....	293
第一节	防雷.....	293
第二节	防静电.....	301
第十六章	几类高危企业的电气安全规定.....	305
第一节	金属、非金属矿山的电气安全.....	305
第二节	烟花爆竹工厂电气安全.....	311
第三节	加油（气）站的电气安全.....	317
第十七章	建设工程施工现场临时用电安全.....	321
第一节	施工现场供电与安全防护.....	321
第二节	施工现场配电系统安全技术.....	326
第三节	施工现场用电设备的安全技术.....	334
本书引用法规标准.....		339
参考文献.....		340

第一章 电工基础知识

第一节 直流电路

一、几个基本概念

(一) 电路

在日常生活中,大家知道,一合上电闸,电动机就转动起来或电灯就亮起来。这是因为在电动机和电灯中有电流通过,致使电能转换成电动机中的机械能和灯光中的光能和热能。

电流流通的路径叫做电路,图 1-1 表示一个最简单的实物电路。通常,一个电路至少应包括下列组成部分:

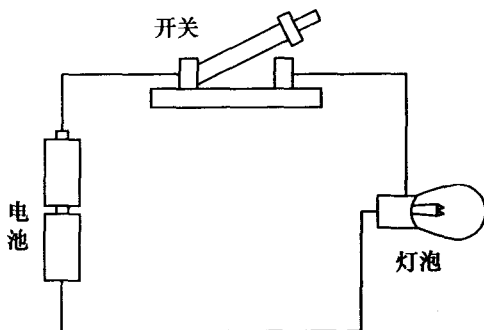


图 1-1 最简单的实物电路

1. 电源: 它的作用是把别种形式的能量转换成电能以供给用电器(如电动机或灯泡)。它是形成电流的能源。常用的电源有干电池、蓄电池、整流电源、发电机等。
2. 负载: 即各种用电器的总称。它是把电能转换成别种能量的装置。负载包括各种用电设备,如电灯、电动机、电炉、电风扇,等等。
3. 导线: 它把电源和负载连接起来以构成电流的通路。其本质起到传输电能的作用。
4. 控制、保护装置: 如各种开关、保险丝等。

电能的生产、传输或使用,主要的是通过电路来进行的。由于实用中电路的多样化和复杂性,在理论研究上为了方便起见,都用电路图来代替实物电路。电路图是用规定的图形、符号来代表组成电路的实物。例如图 1-2 就是图 1-1 的电路图;图中两条平行线段代表干电池(或蓄电池),长线段代表正极,短线段代表负极。灯泡用 $\otimes$, 开关用 $\text{---}\diagup\text{---}$ 表示。电路图中还用到许多别的图形、符号,这些符号在国家标准中都有统一规定。图 1-2 是一个无分支电路。结构上比较复杂些的电路多具有分支,叫做分支电路。如图 1-3 所示的电路,就是由一个电源和四个负载电阻组成的分支电路。在电路中经常会用到下列术语:

支路: 就是电路图中的一个分岔电路。如在图 1-3 中,共有三条支路,即 BF , $BCDF$, $BAGF$ 。

结点: 三个或三个以上支路的会聚点叫做结点(或节点)。在图 1-3 中只有 B 或 F 两个结点。 A , G 等都不是结点。支路就是连接在两个结点之间的电路。

回路: 电路中任何一个闭合的路线,都叫做回路。在图 1-3 中 $ABFGA$, $BCDFB$ 及 $ABCDFGA$ 等都是回路。此电路中计有三个回路。任何一个回路,都是由两个或两个以上以上的支路组成的。

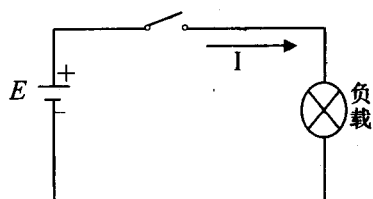


图 1-2 电路图

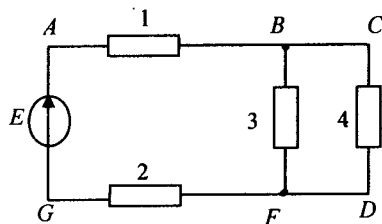


图 1-3 分支电路

(二) 电流

由物理学知道：导体中存在着大量的自由电荷，它可以在导体中自由运动。平时由于自由电荷的热运动，其运动规律是紊乱的、无规则的，因而不能形成电流。当把导体接到电源上形成闭合电路后，在电源的作用下，自由电荷便朝着一定方向移动。自由电荷在导体中的定向运动构成了电流。因此，电流就是电荷的定向运动。

在习惯上规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。

电流的大小用电流强度表示。电流强度 (I) 是以单位时间内通过导体横截面的电荷量来计算的，即

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

式中： I —— 电流强度，单位为安培 (A)；

Q —— 电荷量，单位为库仑 (C)；

t —— 时间，单位为秒 (s)。

由于经常用到电流强度这一概念，为了简便简称为电流。

电流的单位，除实用制 (安培) 以外，尚用下列一些单位

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

$$1 \text{ 微安 (}\mu\text{A)} = \frac{1}{10^6} \text{ A} = 10^{-6} \text{ A}$$

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

如果电路中电流的实际方向和大小始终不变，则叫做直流，仅方向不变但大小却有变化的电流，叫做脉动电流。对于大小和方向都随时间而改变的电流，则叫做交变电流，简称为交流电。

(三) 电压

在电场作用下，正电荷 Q 将受力 F 而移动。设在电场力 F 作用下有电荷 Q 由 A 移到 B ，移动的距离为 l_{AB} ，则电场力将做功

$$A = F \cdot l_{AB}$$

从物理学知道：电场力移动单位正电荷由 A 点到 B 点所做的功，定义为 A, B 两点间的电压 (电位差)，即

$$U_{AB} = \frac{A}{Q}$$

式中: A 的单位为焦耳 (J), Q 的单位为库仑 (C) 时, 则电压的单位为伏特, 简称为伏 (V)。

电压总是指电路中两点之间的电压。即是两点, 就有一个先后次序问题; 如果正电荷从 A 到 B , 是电场力做了正功, 电压为正; 那么, 反过来从 B 到 A , 则电场力将做负功, 电压就应为负。可见两点间次序颠倒了, 电压就会差一个负号:

$$U_{AB} = -U_{BA}$$

所以, 在说到电压时, 必须明确从哪点到哪点, 可用文字下标来表示次序 (如 U_{AB} 或 U_{BA})。

(四) 电位

为了方便起见, 可在电路中选择一点作为参考点 (电位为零), 而把电路中各点对于参考点的电压定义为各点的电位。例如在图 1-4 中, 如选取 C 点为参考点 ($\varphi_C = 0$) 时, 则 A 点的电位为:

$$\varphi_A = \varphi_A - \varphi_C = U_{AC}$$

即 A 点对 C 点 (参考点) 的电压, 就是 A 点的电位。同理, B 点对 C 点的电压, 就等于 B 点的电位:

$$\varphi_B = U_{BC}$$

显然, D 点的电位就是 D 点对 C 点的电压

$$\varphi_D = U_{DC}$$

总之, 在电路中, 欲求各点的电位, 只要求出各点对参考点的电压即可。

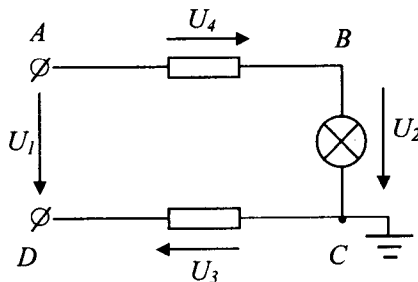


图 1-4 0 电位参考点

反之, 若知道了两点的电位, 那么, 两点间的电压就容易求得。例如图 1-4 中 B, D 两点间的电压

$$U_{BD} = U_{BC} + U_{CD} = U_{BC} - U_{DC} = \varphi_B - \varphi_D$$

就等于 B, D 两点间的电位之差。所以, 电压也叫做电位差。从上式可知: 由高电位点到低电位点的电压为正, 反之则为负。所以电压的方向, 就是从高电位到低电位的方向。因此, 电压又叫电位降落。

工程上常取大地为参考点, 即通常认为大地的电位为零。把电路某一点接地, 则该点就

是参考点。参考点常以接地符号 ($\frac{1}{\text{—}}$) 表示。在电子线路中, 常选某一公共线作参考点, 这条线又叫“地线”, 地线与电子仪器的金属外壳连在一起。

可知: 改变参考点的结果, 仅会影响到各点电位的数值, 而不会改变各点间的电压。

(五) 电动势

在电路中, 电位差的产生和维持都要靠电源的作用。电源依靠外部能量的作用, 在它的正负极之间经常保持着一定的电位差。因此, 电源实质上是一个能量转换装置。例如, 发电机是把机械能转换成电能, 电池则是把化学能转换成电能。实际上, 在电源内部存在着一种电源力 (或非静电力), 它驱使正、负电荷各朝相反的方向移动, 于是在电源的两极上, 积聚不同极性的电荷, 形成了正负极。电源力将单位正电荷从负极移到正极所做的功, 定义为电源的电动势, 或简称为电势, 如用 E 代表, 则有

$$E = \frac{A}{Q} (V)$$

式中: A ——电源力把正电荷 Q , 从负极移向正极所做的功, 单位为焦耳;

Q ——电源力移动的电荷量, 单位为库仑。

电动势的定义与电压的定义基本相同, 单位也相同, 都是伏。所不同的是: 电压是衡量电场力做功的本领, 它表示把单位正电荷从高电位移向低电位电场力所做的功; 而电动势是衡量电源力做功的本领, 表示把单位正电荷从低电位 (负极) 移向高电位 (正极) 电源力所做的功。所以, 电势代表了单位正电荷电位升高的数值, 而电压则代表了单位正电荷电位降低的数值。由此可知: 在电源内部, 电势的正方向是从负极指向正极, 而电压的正方向却是从正极指向负极, 它们的正方向是相反的。显然在外电路断开的条件下

$$U = E$$

因此, 想要测出电源电动势 E , 只要在开路条件下, 用电压表测量电源端电压即可。

由于电源的正负极积累有一定的正负电荷, 形成一定的电压, 所以, 接通负载后, 在外电路, 电流就从正极经过负载流向负极, 结果两极上电荷将减少, 破坏了电源内部的平衡, 这时电源力就要继续分离电荷, 以维持一定的电位差, 使整个电路源源不断地有电流流通。

(六) 电阻与电导

1. 定义

任何导体对于电流都具有阻碍作用, 因此都有电阻。所以, 当有电流流通时, 都要产生电位降落, 电场力都要做功, 都要消耗一定的能量。

从物理学的观点, 导体呈现电阻的原因是由于: 自由电荷在运动中要和作热运动的其他带电质点 (电子, 正、负离子) 发生碰撞, 因而阻碍了自由电荷的运动。实验证明金属导体的电阻不但与其几何尺寸有关, 而且和导体的材料有关, 可用下式表示

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

式中: R ——电阻 (Ω);

l ——导体的长度 (m);

S ——导体的截面积 (mm^2);

ρ ——导体的电阻系数, 取决于导体的材料, 其单位是 ($\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$)。

由公式可知: 金属导体的电阻系数在数值上等于截面积为 1 (mm^2), 长度为 1 m 的均匀导线的电阻值。

电阻的倒数, 叫做电导, 用 G 表示

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{\rho \frac{l}{S}} = \frac{1}{\rho} \frac{S}{l} = \gamma \frac{S}{l}$$

式中: γ ——电导系数, 它和电阻系数互为倒数, 它在数值上等于长度为 1m、截面积为 1 mm^2 的导体的电导系数。

电导的单位是 $1/\Omega$, 简称姆欧或姆用符号 $\square$ 表示。(旧称), 国际单位称为西门子 (S)。

2. 电阻与温度的关系

实际上导体的电阻是和温度有关的。通常, 金属导体的电阻是随温度的上升而增加, 而另外一些导体如碳、电解液等的电阻, 则随温度的升高而减小。通过实验发现: 金属导体的阻值随温度上升而增加的相对数值, 是与温度上升的数值成正比的。设在 $\theta_1^\circ\text{C}$ 时, 电阻为 R_1 , 当温度 $\theta_2^\circ\text{C}$ 时的电阻为 R_2 , 则有关系式

$$\frac{R_2 - R_1}{R_1} = \alpha_1 (\theta_2 - \theta_1)$$

整理后, 可得

$$R_2 = R_1 + [1 + \alpha_1 (\theta_2 - \theta_1)]$$

式中: α_1 ——叫做以温度 θ_1 为基准时的导体电阻的温度系数, 它表示当温度每增加 1°C 时, 每一欧姆电阻所增加的电阻值, 其单位为 $1/^\circ\text{C}$ 。每种金属材料在一定温度下有一定的温度系数。

二、几个基本定律

(一) 电路的欧姆定律

电流、电压和电阻是电路中的三个基本物理量, 分析计算电路, 就是研究以上各量之间的关系, 确定它们的大小。欧姆定律就是反映电阻元件两端的电压与通过该元件的电流同电阻三者关系的定律, 电路见图 1-5, 其表达式为

$$I = \frac{U}{R}$$

式中: I ——电流 (A);

U ——电压 (V);

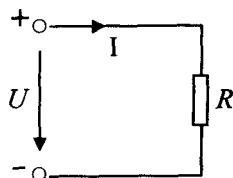


图 1-5 欧姆定律电路

R ——电阻 (Ω)。

由上式可知, 通过电阻元件的电流与电阻两端的电压成正比, 而与电阻成反比。

上式也可写成

$$R = \frac{U}{I}$$

由上式可知无论多么复杂的电路, 其总电阻是电压与电流的比值, 只要我们测得了该电路两端的电压和流入该电路的总电流, 即可知该电路的总电阻。

对于任一支路的电阻电路, 只要知道电路中的电压、电流和电阻这三个量中的任意两个量, 就可由欧姆定律得第三个量。

由欧姆定律可知, 电阻有电流通过时, 两端必有电压, 这个电压习惯上叫做电压降。因此输电线路末端的电位总是比始端的电位低。输电线路电压降低的数值叫做电压损失。如果线路较长, 线路电流较大, 其电压损失就较大, 供给负载的电压将会明显下降, 影响设备的正常工作。

(二) 基尔霍夫定律

直流电路中关于电压、电流间关系的基本规律, 除欧姆定律外, 尚有基尔霍夫定律。它是直流电路中更普遍、更全面地说明电压、电流间关系的基本定律。在分析和计算直流电路时, 根本离不开基尔霍夫定律。

基尔霍夫定律包括两个内容: 第一定律和第二定律。分述如下:

1. 第一定律

基尔霍夫第一定律是电流连续性原理的体现。它是说明在分支电路的结点处, 各分支电流间相互关系的。图 1-6 表示某分支电路的一个结点 A , 设各支路中的电流如图所示, 那么, 各支路电流之间有什么规律呢?

按照基尔霍夫第一定律就是: 流入结点的电流等于从结点流出的电流, 即

$$I_1 + I_3 + I_5 = I_2 + I_4$$

移项可得

$$I_1 - I_2 + I_3 - I_4 + I_5 = 0$$

写成一般表示式, 就是

$$\sum I = 0$$

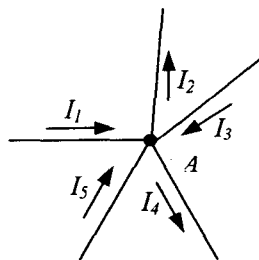


图 1-6 基尔霍夫第一定律

也就是说: 流入结点的电流的代数和恒为零。在这里是把流入结点的电流规定为正, 则流出结点的电流为负。

2. 第二定律

基尔霍夫第二定律也叫基尔霍夫电压定律。它确定在任何一个闭合回路中各部分电压间的关系。

基尔霍夫电压定律指出: 对任一回路, 沿任一方向绕行一周, 各电源电势的代数和等于

各电阻电压降的代数和。

即

$$\sum E = \sum IR$$

或

$$\sum E = \sum U$$

如图 1-7 所示, 如沿顺时针方向绕行, 由基尔霍夫电压定律可列出该回路的电压方程:

$$E_1 - E_2 = IR_1 + IR_2$$

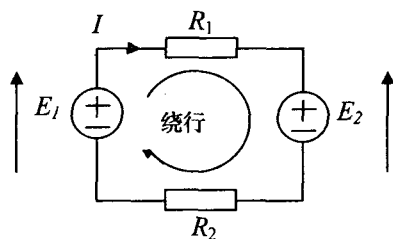


图 1-7 具有一个回路的电路

在应用基尔霍夫电压定律时应注意, 先选定绕行方向, 回路中凡是与绕行方向相同的电势或电流取正号, 反之取负号, 电势方向从负到正。

三、电路中电阻的联接

(一) 电阻的串联

把数个电阻依次地头、尾相接而构成一个无分支的电路, 称为电阻的串联电路, 如图 1-8 (a) 所示。

电阻串联电路具有下列诸特点:

- (1) 各个电阻中通过同一电流。
- (2) 总电压等于各电阻上的电压降的总和; 即

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

- (3) 总电阻等于各个电阻之和:

$$R = r_1 + r_2 + r_3$$

总电阻 R 也叫做串联电阻的等值 (效) 电阻, 如同在 A 、 B 两端用 R 代替三个串联电阻, 如图 1-8 (b) 所示, 不会改变支路中的电流和 A 、 B 两端的电压数值。因此, 对于电阻串联的电路, 用等值电阻代替多个串联电阻时, 可使电路计算简化。

- (4) 各电阻上的电压与各电阻的数值成正比。

即

$$U_1 : U_2 : U_3 = r_1 : r_2 : r_3$$

也就是说: 电阻数值越大, 则降落的电压以及功率损耗就越大。

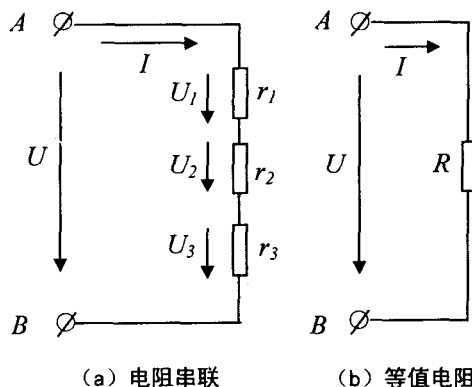


图 1-8 电阻的串联