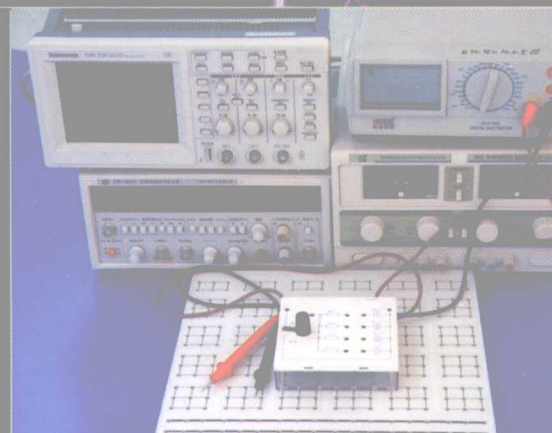


电工实战风暴

精品丛书

电工电子基础



阳鸿钧 等 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

电工实战风暴

精品丛书

电工电子基础

阳鸿钧 等 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是电工电子技术入门的基础知识读物,对模拟电路、数字电路、电工电路的基础知识进行了讲解。

为便于读者快、准、易掌握知识,本书尽量使理论知识图解化、实物化,知识要点条理清晰明了化。

本书适用于电工、电子或电工电子结合专业、业余人员使用。对于自学者、学校师生、技术人员、电工电子爱好者等也适用。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子基础/阳鸿钧等编著. —北京:中国电力出版社,2009
ISBN 978-7-5083-8447-4

I. 电… II. 阳… III. ①电工技术②电子技术 IV. TM TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第010360号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009年5月第一版 2009年5月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 15.5印张 424千字

印数0001—3000册 定价29.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

长路奉献给远方，河流奉献给海洋，我拿什么奉献给你——我的读者。

笔者（们）在职业教育或电工电子实业工作多年，一直有感于市场缺少内容平实简练而又通俗易懂的图书，无论是去书店也好，还是在学校或是工矿企业，都有读者反映缺少适合他们的图书，很多图书都是讲理论，缺乏实际操作，有些有实际操作吧，但是形式却比较单一，有时略显枯燥。在听过了许多读者的心声阐释，以及在我们仔细周全的调查研究下，我们精心为读者您组织编写了《电工技术实战风暴精品丛书》系列书，本套丛书注重基础，突出实践，以图文表为结合，尤其突出图和表在文中的作用。其中丛书中涉及的器件产品或是实际操作方法、实际环境，大部分是根据实际情况，现场拍摄的实物实景图或模拟逼真的描线图，方便了读者的想象和理解。希望能帮助您快速学习新知识，快速掌握新技能，学以致用，希望能为您的学业或者事业增光添彩，也希望本套丛书能成为你精彩人生的加油站、快速进步的推进器。

我们不想占用您过多的时间，讲究实效与高效是我们的追求和理念，本套丛书可以用两个字高度概括，那就是“实用”，一切本着实用的角度去提出问题、分析问题、解决问题。在此，不过多的介绍与评价丛书，只期待着读者能够通过阅读获取自己需要的信息，在学习中提高自己，在学习中得到快乐，更希望读者能够从中获得成功与辉煌。

现在，邀您进入《电工技术实战风暴精品丛书》的精彩世界里……

编者

为适用信息化、智能化的科技发展需要，电气工作人员必须打好基础，尽量对电工电子基础知识全面掌握，这样才能满足在实际工作中的全面性、灵活性、多能性的需要。

电工电子基础知识一般理论强，公式定理多，因此，学习时往往“枯燥无味”。为满足众多读者迫切要求“电工电子基础知识相关读物”的有创新、有改变，我们特意尽量使理论知识图解化、实物化，知识要点条理清晰明了化，尽量，以“实战”的风格来讲述相关基础知识。

本书分为3部分：第1部分是电工概述，第2部分是电子基础，第3部分是PLC与变频器基础。

第1部分主要介绍了电工基础、直流电路、磁导、正弦交流电、单相交流电路、三相交流电路、非正弦交流电、交流电动机、直流电动机、常用控制电器、电动机控制电路、电力供电、工厂供电、触电的方式与防护、低压配电系统、电气火灾与触电急救等知识。

第2部分主要介绍了半导体基础知识、元器件、模拟电路、数字电路的相关知识，包括放大电路、反馈电路、差分放大电路、功率放大电路、与运算、或运算、非运算、门电路、逻辑代数、编码器、译码器、数据选择器、时序逻辑电路等。

第3部分主要介绍了PLC与变频器基础。

每部分的章节内容尽量以图、文、表的形式来表述，并且，对于实际中的一些重要的知识、容易混淆的概念等给予突出提出。

本书在编写中，参考了一些资料与文章，以及得到了一些同仁的支持与帮助，在此，深表谢意。

由于编者水平有限、时间仓促，书中有不足之处，请读者批评指正。

编者

2009.3

目 录

电工电子基础

丛书前言
前言

第 I 部分 电 工 概 述

第 1 章 电工基础	1
1.1 电荷	1
1.2 电场	2
1.3 电流	3
1.4 电阻	5
1.5 电压	6
1.6 电动势	8
1.7 电阻并联、串联与混联电路	9
1.8 欧姆定律	11
1.9 电功	12
1.10 电功率	12
1.11 电热	13
1.12 磁场	14
1.13 磁感应强度	15
1.14 磁通量	16
1.15 电流的磁效应	17
1.16 电磁感应	17
1.17 交流电	18
第 2 章 直流电路	20
2.1 简单直流电路	20
2.2 复杂直流电——基尔霍夫定律应用	21
第 3 章 磁路	24
3.1 磁路基本概述	24
3.2 磁路应用——变压器	30
第 4 章 交流电路	36
4.1 正弦交流电	36
4.2 非正弦交流电	43

第 5 章 电动机与电气控制	47
5.1 电动机	47
5.2 常用控制电器	49
5.3 电动机控制电路	58
第 6 章 供电与用电	61
6.1 电力供电	61
6.2 工厂供电	66
第 7 章 安全用电	69
7.1 概述	69
7.2 触电的方式与防护	71
7.3 低压配电系统	73
7.4 电气火灾与触电急救	75

第 2 部分 电 子 基 础

第 8 章 半导体基础知识	79
8.1 概述	79
8.2 PN 结	79
第 9 章 元器件概述	84
9.1 电阻器	84
9.2 电容器	89
9.3 电感器	93
9.4 二极管	95
9.5 晶体管	97
9.6 场效应晶体管	98
9.7 晶闸管	100
9.8 IGBT	102
9.9 ESBT	103
9.10 集成电路	104
第 10 章 基本电路	106
10.1 放大电路	106
10.2 反馈电路	116
10.3 差分放大电路	122
10.4 功率放大电路	124
10.5 振荡电路	131
10.6 电源电路	134

第 11 章	数字电路基础	146
11.1	基本概念	146
11.2	晶体管的开关作用	147
11.3	基本逻辑	148
11.4	门电路	151
11.5	逻辑代数	154
第 12 章	组合电路	168
12.1	概述	168
12.2	编码器	169
12.3	译码器	170
12.4	数据选择器	171
12.5	加法器	172
12.6	减法器	174
12.7	数值比较器	175
第 13 章	时序逻辑电路	177
13.1	概述	177
13.2	触发器	178
13.3	寄存器	182
13.4	计数器	184
第 14 章	电路简易图与元器件	186
14.1	电阻应用电路	186
14.2	电容应用电路	187
14.3	电感应用电路	189
14.4	二极管应用电路	190
14.5	数字集成电路	190

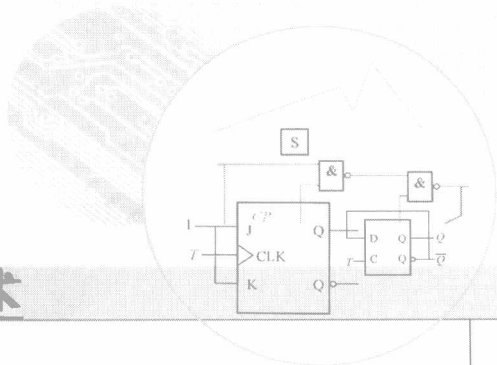
第 3 部分 PLC 与变频器基础

第 15 章	PLC 基础	223
15.1	概述	223
15.2	PLC 中的继电器	226
第 16 章	变频器基础	232
16.1	概述	232
16.2	电动机的调速	233
16.3	变频器的结构与原理	233
16.4	接线	238

第 一 部 分



电 工 概 述



第 1 章 电 工 基 础

目前是电气时代，电工种类较多，社会对掌握电工技术人员的需求量大。电工的分类见表 1-1。

表 1-1 电 工 的 分 类

大类别	具体类别	具 体 工 作 内 容
安装电工	外线电工	户外线与户外变配电装置，包括架空线、电力线等，进行安装、维护、保养以及检查
	内线电工	户内线与室内变配电装置，包括照明线、低压电线等，进行安装、维护、保养以及检查
	调整、调试电工	电气系统的调整调试
维修电工	电机修理工	电气设备、元器件的维修
	运行值班电工	变配电装置、线路、设备的监视、控制、记录、分析
	维修电工	变配电装置、线路、设备、元器件的维护、保养、检查、维修以及一般性的安装
弱电电工	仪表电工（又称为自动化仪表工）	各种自动化仪表的安装、调试、维护、校验等工作
	无线电电工	以无线电领域内的与以 mA/mV（毫安每毫伏）为单位的模拟信号、数字信号有关的电子、电气设备的安装、维护、检修
	电工仪表工	各种仪表的安装、调试、维护、校验等工作
专业电工	特殊电工	特殊领域（国防等）、特殊设备从事安装、维护、检修等工作
	专业电工	专业产品中对电子、电气设备、线路、元器件的安装、维护、检查等工作

1.1 电 荷

手电筒（见图 1-1）内使用的干电池，有正端与负端，如果放反了，则手电筒不亮。

跟干电池一样，自然界存在正、负两种电荷，即正电荷与负电荷，如图 1-2 所示。电荷是物质的一种基本属性。

电荷遵循一个很重要的规律，即电荷守恒规律：电荷即不能创造，也不能消失，但是可以转移（不同物体之间，物体不同部位之间转移）。另外，电荷间有相互作用的力，同性相斥，异性相吸的特点。



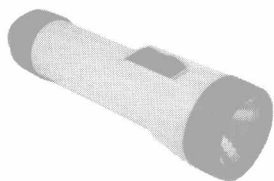


图 1-1 手电筒外形



图 1-2 正电荷与负电荷

在一个孤立的带电系统中，无论发生什么变化，系统所具有的正、负电荷量的代数和保持不变。宏观物体带电量： $q = +ne$ ($n = 1, 2, \dots$)，其中 $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ 。

电量指电荷的多少，即可以这样理解“电量即电荷的数量”，常用 q 表示。如图 1-3 所示。

电荷的单位是库仑。库仑有多大呢？625 亿亿个电子所带电量的总和就是一库仑。库仑（其像见图 1-4）是一位著名的科学家，对此作出过贡献，以他的名字命名。

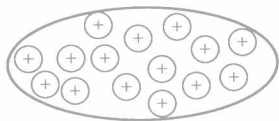


图 1-3 电量



图 1-4 库仑

实战·概念：电荷

自然界一切物质是由原子与分子组成。其中原子又分为原子核与核外电子。原子核所带的电为正电荷，电子为负电荷。电荷就是正、负电荷的总称。正常状况下，正、负电荷数量相等，整个原子不呈电性，不带电，即中性原子。由中性原子组成的诸多物质也不带电。另外，失去电子的物质带正电，得到电子的物质带负电。

电的来因就是物质本身电子的得失而带电。

实战·概念：点电荷

当线度远远小于距离时，带电体可视为带电的“点”，即为点电荷。

1.2 电 场

电场是指电荷周围空间存在的一种物质，只要有电荷存在，电荷周围就有电场。它的一个特性是：对放入其中的点电荷有电场力的作用。如图 1-5 所示。

实战·概念：电场

电场是一种特殊的、看不见的、确实存在的、具有相吸或者相斥（即电场力）的物质。因为如此，很多人难以理解。如果视为跟空气一样存在的物质，就不难理解了。

实战·概念：静电场

静电场就是相对于观察者为静止的带电体周围所存在的电场。

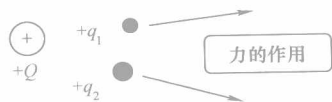


图 1-5 电场

实战·概念：电场线

电场线是电场中假想的曲线，其线的疏密表征场强的大小。静电场的电场线性质：① 不形成闭合回线，也不中断，起自正电荷，止于负电荷。② 场强大的地方，电场线密；场强小的地方，电场线疏。③ 任何两条电场线在无电荷处不相交。几种电场的电场线如图 1-6 所示。

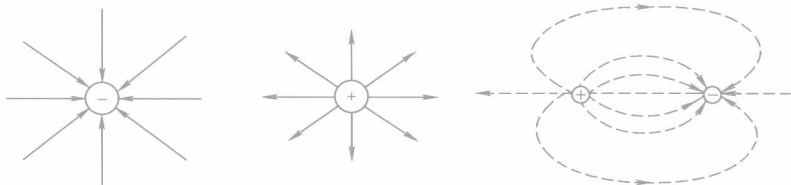


图 1-6 几种电场的电场线

1.3 电 流

电流是指电荷的定向移动，带电粒子（电子、离子等）的定向运动。即可以这样理解“电流即电荷的流动，如同山里水流一样”，如图 1-7 所示。形成电流的两个条件是：① 有能够自由运动的电荷；② 能够驱使电荷沿一定方向运动的电场。即可以这样理解“电流的形成，如同山里水流一样，需具备的两个条件：一要有水，二要有水能够流动的场地（地理）”。形成电流的带电粒子统称为载流子。

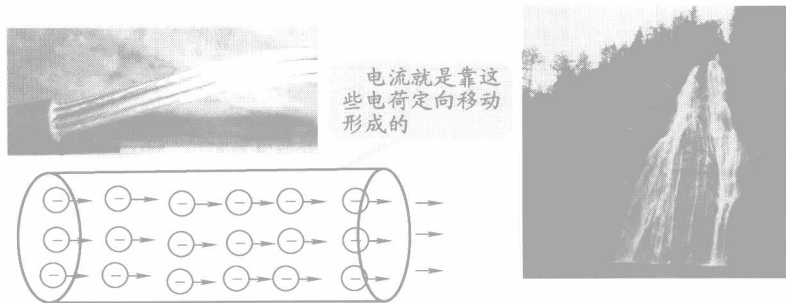


图 1-7 电流的形成

电流的大小是指导体横截面的电量与通过这些电量所需要的时间的比值，即 $I = q/t$ 。有的定义为检验电荷 q ，与它所受到电场力 F 之间的比值，即 $E = F/q$ 。电流用 I 表示。国际单位为安培，符号为 A。另外，还有其他单位，kA（千安）、mA（毫安）、 μA （微安）等。它们之间的换算为

$$1\text{kA} = 1000\text{A}$$

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

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

电流的大小可以比喻成单位时间内水的流量。电路就是电流流过的路径。电流分为直流电流与交流电流。直流电流是大小与方向均不随时间变化的电流，而交流电流是大小与方向均随时间变化的电流。直流电流简称 DC，交流电流简称 AC。

电流的方向：正电荷受力的方向即移动的方向，为电流的方向。因此，平时用的金属导体中的电流方向与其自由电子定向移动的方向相反。如图 1-8 所示。

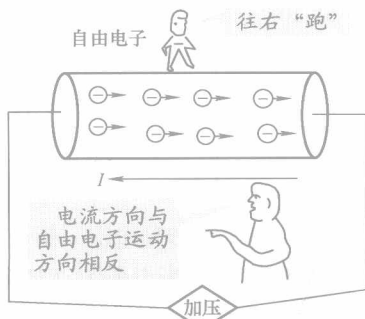


图 1-8 金属导体中的电流方向

触电就是电流流过人体，对人体产生的伤害。因此，一定要注意：不要使电流流过人体。同时，电流的大小不同、流过人体时间不同、流过人体部位不同、人性别不同、年龄不同、人精神状态不同等情况，产生的危害结果不同，如图 1-9 所示。

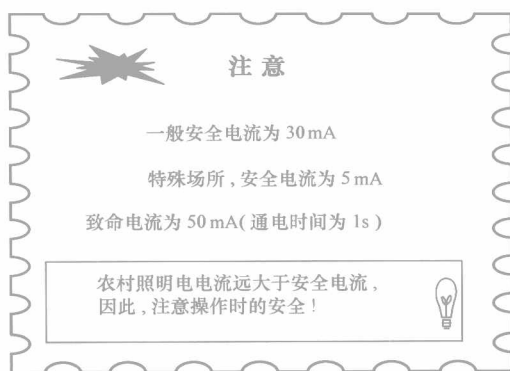


图 1-9 电流的大小不同危害结果不同

⚙️ 实战·应用：电流对人体的影响

电流对人体的影响见表 1-2。

表 1-2 电流对人体的影响

电流大小 (mA)	直流电时人体反应	交流电	
		通电时间	人体反应
0~0.5	没有感觉	连续	没有感觉
0.5~5	没有感觉	连续	有疼痛感、无痉挛现象
5~10	具有针刺、压迫感，并且具有灼热感	数分钟内	剧痛、痉挛，但是能够摆脱电源
10~30	针痛、强灼热感、具有抽搐现象	数分钟内	迅速麻痹、并且呼吸困难，不能够自由
30~50	剧痛、痉挛	数秒钟到数分钟内	强烈痉挛、昏迷，并且心跳不规则
50~100	剧痛、呼吸困难、强烈痉挛	超过 3s 左右	呼吸麻痹，心脏停止跳动

📖 实战·概念：传导电流、运流电流

传导电流就是带电微粒（如金属中的自由电子、电解质溶液中的正负离子、气体中的离子和电子）在电场作用下，在导体内部做定向运动而形成的电流。运流电流就是电子群、离子群或带电体的移动形成的电流。

实战·应用：直流电的检测

直流电的检测可以通过直流表来实现。注意直流表要连接正确。如图 1-10 所示为错误的连接。

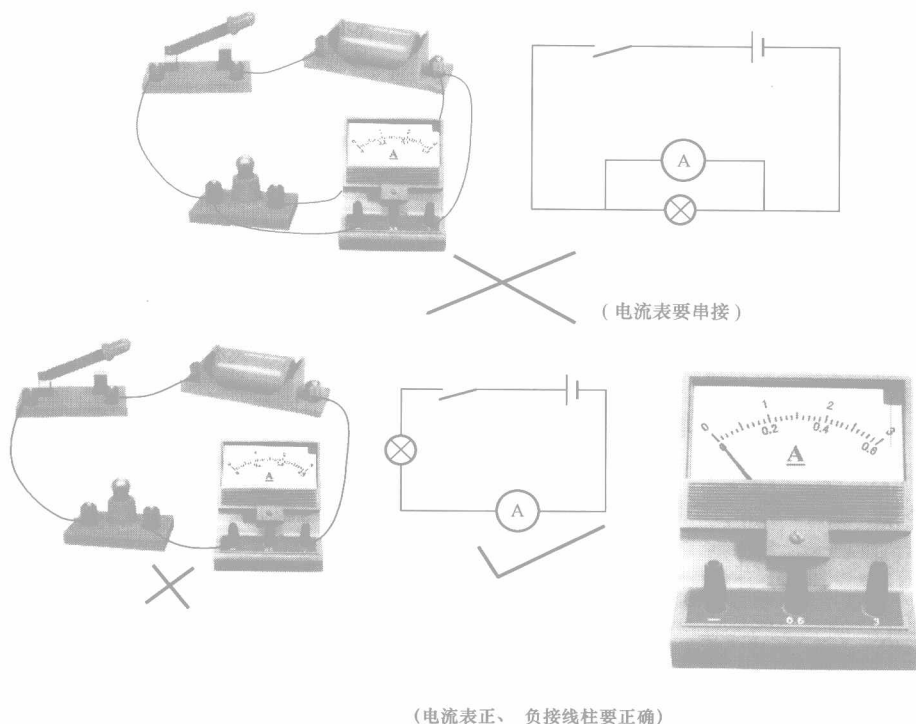


图 1-10 直流表错误的连接

1.4 电 阻

电阻是指导体中自由电荷做定向移动时，会频繁与导体中粒子碰撞，这种碰撞会阻碍电荷的定向移动，即有阻碍作用。也可以这样理解“电阻是电荷间的相互碰撞”。因此，我们把这种阻碍的作用定义为电阻。常用的单位为 Ω （欧姆）、 $k\Omega$ （千欧）、 $M\Omega$ （兆欧）。人体电阻一般为 $1000 \sim 2000\Omega$ 。人体电阻分为体内电阻与皮肤电阻，其中体内电阻大约为 500Ω 。

电工材料电阻率见表 1-3。

表 1-3

电工材料电阻率

电 工 用 材 料	电阻率 ($\Omega \cdot m$)	应 用 举 例
铜	1.7×10^{-8}	照明线
铝	2.9×10^{-8}	照明线
钨	5.3×10^{-8}	白炽灯
橡胶	$10^{13} \sim 10^{16}$	导线护套

其中，电阻率是 $1m$ 横截面为 $1mm^2$ 的电工用材料在温度为 $20^\circ C$ 的电阻大小。

实战·概念：国际单位

基本电工知识中有关物理量的单位一般采用国际单位。其有关导出单位遵守国际单位的一些规律。国际单位制，简称 SI，它是 1960 年以来，国际计量会议以米、千克、秒制为基础制定的。目

前大约有 80 多个国家或者地区采用国际单位制。我国于 1981 年始要求在全国各地试行。目前, 国际单位制包括几部分: SI 单位与 SI 单位的倍数单位组成。SI 单位由 SI 基本单位与 SI 导出单位组成。SI 导出单位又包括 SI 辅助单位在内的具有专门名称的 SI 导出单位与组合形式的 SI 导出单位。

国际单位的主要特点在于其统一规范性; 其次, 在于它每个物理量只用一个单位来表示。再次, 它能够分清质量、力和重量的关系。

SI 单位的倍数单位主要特点为: ① SI 单位的倍数单位根据使用方便的原则选取。通过适当的选择, 可使数值处于实用范围内。② 倍数单位的选取, 一般应使量的数值处于 0.1 ~ 1000。③ 组合单位的倍数单位一般只用一个词头, 并尽量用于组合单位中的第一个单位。通过相乘构成的组合单位的词头通常加在第一个单位之前。通过相除构成的组合单位, 或通过相乘或者除构成的组合单位, 其词头一般都应加在分子的第一个单位之前, 分母中一般不用词头 (质量单位 kg 在分母中时例外)。当组合单位分母是长度、面积和体积单位时, 分母中可以选用某些词头构成倍数单位。一般不在组合单位的分子、分母中同时采用词头, 具体见表 1-4。

表 1-4 SI 单位的词头以及因数

符号	因数	词头名称 英文	词头名称 中文	符号	因数	词头名称 英文	词头名称 中文
M	10^6	mega	兆	m	10^{-3}	milli	毫
k	10^3	kilo	千	μ	10^{-6}	micro	微
h	10^2	hecto	百	n	10^{-9}	nano	纳
da	10^1	deca	十	p	10^{-12}	pico	皮
d	10^{-1}	deci	分	f	10^{-15}	femto	飞
c	10^{-2}	centi	厘				

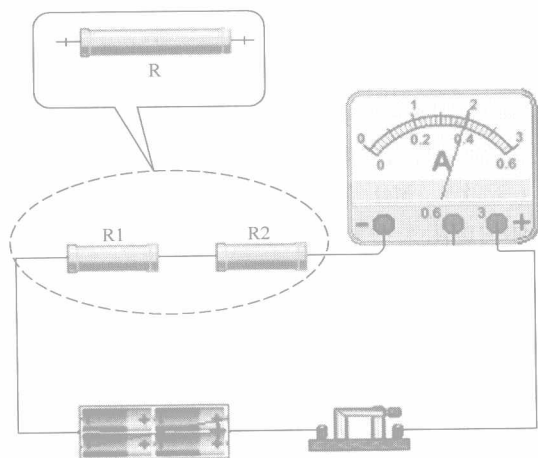


图 1-11 小电阻代换大电阻

电阻定律: 在温度不变的情况下, 导体的电阻跟它的长度成正比, 跟它的横截面积成反比。表达式为 $R = \rho \frac{L}{S}$, 式中 ρ 为材料的电阻率, 由导体的导电性决定。电阻率与温度有关, 纯金属的电阻率随温度的升高而增大。

另外, 平时讲的电导就是电阻的倒数, 即 $G = \frac{1}{R}$ 。

👤 实战·技巧: 电阻与电阻器

电阻器简称为电阻, 遵从欧姆定律 (下文介绍), 是一种最常用的线性电阻元件。

👤 实战·技巧: 小电阻代换大电阻

这里的小电阻、大电阻可以理解是电阻器。利用几个小电阻串联可以替代一个大电阻的问题, 注意相关的参数要一致, 图示如图 1-11 所示。

1.5 电 压

电势是指电场中某位置的检验电荷在电场中相对位置决定具有的能量与它的电量的比值。可以这样理解, 具有一定高度的落差流水的“冲力”, 如图 1-12、图 1-13 所示。

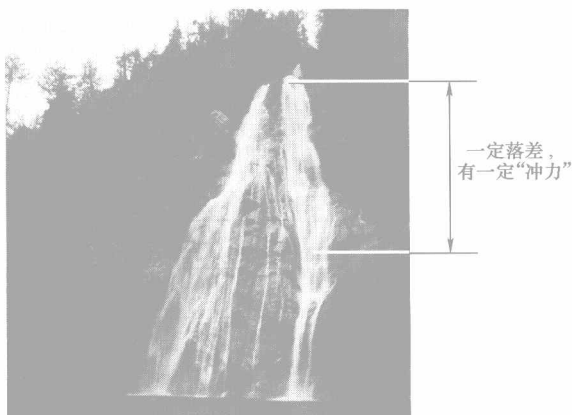


图 1-12 电势类似水势

电势差又称为电压, 即电场中任意两点电势的差值。常用 U 表示, 单位为 V (伏)。另外, 还有 kV (千伏)、 mV (毫伏)、 μV (微伏)。电压是推动电流的产生, 而电源是提供电压的装置或者设备。

$$1kV = 1000V = 10^3V$$

$$1mV = 10^{-3}V$$

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

$$1V = 1000mV = 10^3mV$$

$$1mV = 1000\mu V = 10^3\mu V$$

电压越高对人体危害越大, 因此需要引起注意, 见图 1-14。

另外, 一些常见物体的电压如下:

一节普通干电池电压: $1.5V$ 。

闪电云层间电压: 10^9V 。

大型发电机电压: $(0.63 \sim 1.8) \times 10^4V$ 。

⚙️ **实战·应用:** 世界部分地区或国家电源电压

世界部分地区或国家电源电压见表 1-5。

表 1-5 世界部分地区或国家电源电压

地区或国家	交流电源电压 (V)	地区或国家	交流电源电压 (V)
埃及	220	德国	220
澳大利亚	240	古巴	110
巴基斯坦	230	韩国	100
巴西	220	荷兰	220
波兰	220	加拿大	120
朝鲜	220	罗马尼亚	220

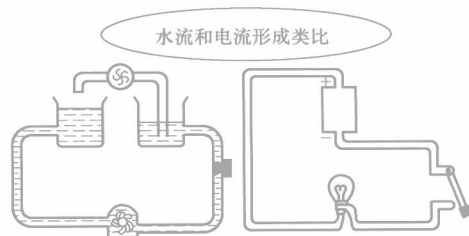


图 1-13 水流与电流的类比



图 1-14 电压越高对人体危害越大

续表

地区或国家	交流电源电压 (V)	地区或国家	交流电源电压 (V)
美国	120	希腊	220
蒙古	220	新加坡	240
南非	220	以色列	230
日本	110	印度	230
瑞士	220	英国	240
沙特阿拉伯	127	越南	120
泰国	220	中国	220
土耳其	220		

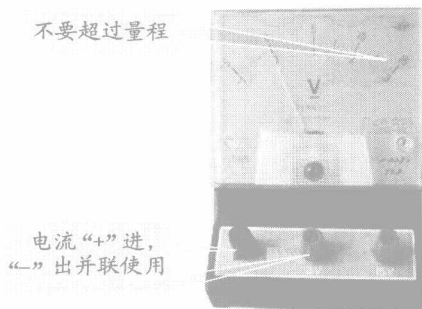


图 1-15 电压表

实战·概念：如果在电路中任选一点，该点称为参考点，则某点的电位就是由该点到参考点的电压。参考点不同，各点的电位也可能不同，但是两点间的电压与参考点的选择无关。

实战·应用：电压表

电压的测量可以通过电压表来实现。但是，要注意电压的种类：直流电流、交流电流；大电流、小电流。一般小电流的直流电流可以选择直流电压表，但是要注意极性，如图 1-15 所示。

实战·应用：用电器不得超压运行

在使用用电器时，其两端的实际电压不得超过其规定的额定电压，否则，会把用电器烧坏。低电压直流用电器可以采取和它串联一个电阻分去多余的电压的方法接入。

实战·概念：额定电压

额定电压就是用电器正常工作时的电压。

1.6 电动势

电源有两个极，一个正极，一个负极。正极电势高，负极电势低。两极间存在一定的电压。当导体的两端分别与电源的正负极连接，导体中就有电流。不同电源，两极间电压不同。同时，当电源不接任何电器等器件时，其两端电压的大小由其本身决定。为表征这种特性，引用了电动势概念。干电池为 1.5V，就是干电池的电动势的数值。电源电动势等于电源没有接入电路时两极间的电压。用符号 E 表示电动势，其单位为 V（伏特）。电动势表征了电源把其他形式的能转换成电能的本领。

电动势形象地说，如同水泵抽水时水泵抽水的高度，如图 1-16 所示。

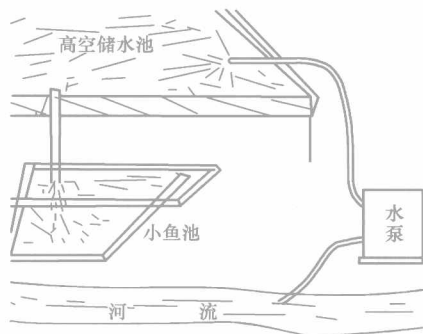


图 1-16 电动势如同水泵抽水的高度

实战·概念：电压与电动势的区别

电压是衡量电场做功本领大小的物理量，电动势是衡量电源转换本领大小的物理量。

电动势描述了电源把其他形式的能转化为电能的本领。例如：一节干电池的电动势 $E = 1.5\text{V}$ 是指电路闭合后，电流通过电源，每通过 1C 的电荷，干电池就把 1.5J 的化学能转化为电能。电动势等于电源没有接入电路的两极间电压。

实战·概念：电路

电路是电流的流通过径，它是由一些电气设备与元器件按一定方式连接而成的。复杂的电路呈网状，又称为电路、网络。电路与网络这两个术语是通用的。电路的一种作用是实现电能的传输、转换；另一种作用是实现信号的处理。最简单的电路是由电源、负载、中间环节构成。

1.7 电阻并联、串联与混联电路

1.7.1 电阻并联

电阻并联是指多个电阻首端与首端相连、尾端与尾端相连的连接方式，简称并联。如图 1-17 所示。

并联的几个定律见表 1-6。

实战·延伸：并联电路的特点

并联电路的特点图示如图 1-18 所示。

连接特点：各用电器各自接在电路两点间。

工作特点：某一条支路断开时，其他支路上的用电器依然可以正常工作。

开关的控制特点：支路上的开关只能控制所在支路上的用电器，而电路上的总开关可以控制所有用电器。

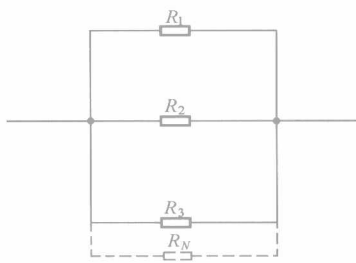


图 1-17 并联

表 1-6 并联的几个定律

定 律	公 式
并联电路上总电流等于各支路电流之和	$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_N$
并联电路上各支路电压相等	$U = U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_N$
并联电路上总电阻（并联部分的等效电阻）的倒数为各支路电阻的倒数之和	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N}$
并联电路上各支路的电流分配与阻值成反比	$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} = \dots$
并联电路上各支路的消耗功率与阻值成反比	$\frac{P_1}{P_2} = \frac{R_2}{R_1} = \dots$

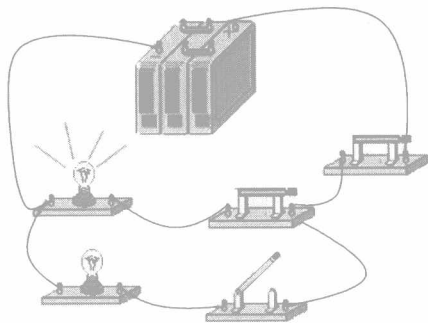


图 1-18 并联电路的特点

1.7.2 电阻串联

电阻串联是指多个电阻首尾相连的连接方式，简称串联。如图 1-19 所示。