

陆荣华 编著

物业电工手册



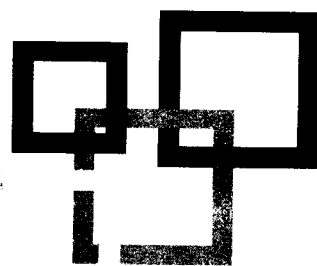
中国电力出版社

www.cepp.com.cn

物业电工手册

Wuyediangongshouce

陆荣华 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

本手册紧扣已颁布的《物业管理条例》，针对物业管理工作中电工（包括装修电工和值班电工）的工作，从物业电工的日常维护，到物业电气设备的安装、使用及维修，对工作中应注意的各个环节、物业管理的各种要求及规定作了详细叙述。书中内容不仅包括电工的基础知识，还包括安装、维修、值班和日常运行维护、管理以及电气工程施工、验收等方面的知识。

本书内容广泛，叙述通俗易懂，是物业管理行业中广大从事电气管理、电气运行维护、电气检修、电气值班人员日常工作实用的一本工具书，也是拓展自己专业知识、提高专业技术水平的一本实用专业书。对从事建筑电气安装工作的人员和工矿企事业单位从事电气维修、电气值班人员同样适用，亦可作为相关院校的培训参考书。

图书在版编目（CIP）数据

物业电工手册/陆荣华编著. —北京：中国电力出版社，
2004

ISBN 7-5083-2331-9

I. 物... II. 陆... III. 房屋建筑设备：电气设备
—维修—技术手册 IV. TU85-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 044861 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 12 月第一版 2004 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 28.75 印张 723 千字

印数 0001—4000 册 定价 50.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换)

前言

物业管理行业在我国正在不断完善和发展。本书针对物业管理工作中电工（包括装修电工、值班电工）的工作，从两个方面作了较详细的叙述：一是电工必须知道的电工基础知识；二是根据现行规程、规范，电工在工作中必须遵照的技术要求（包括安装、维修、值班和日常运行维护、管理以及电气工程施工、验收等方面知识）。全书内容广泛，涉及的专业领域较多，作者在内容叙述方面力求通俗全面，紧紧结合工作实际。

（01）本手册是物业管理行业中从事电气管理、电气运行维护、电气检修、电气值班同志日常工作实用的一本工具书，也是拓展自己专业知识、提高自己专业技术水平的一本通俗全面的专业书。对从事建筑电气安装工作的同志、广大工矿企事业单位从事电气维修、电气值班的同志同样适用。

（02）在编写过程中，中国电力出版社有关编辑给予了很多帮助，在此致以衷心感谢。对编写中参阅的有关书刊、文献作者致以崇高敬意和感谢。

（03）由于本手册涉及的学科及知识面很广，限于编者水平，书中不当之处敬请广大读者批评指正。

编者

2004年6月于南京

(00)	前言	章一
(01)	电工基础知识	章二
(02)	电工安全操作规程	章三
(03)	电工值班制度	章四
(04)	电工检修制度	章五
(05)	电工培训制度	章六
(06)	电工考核制度	章七
(07)	电工奖惩制度	章八
(08)	电工岗位职责	章九
(09)	电工操作规程	章十
(10)	电工安全规程	章十一
(11)	电工值班规程	章十二
(12)	电工检修规程	章十三
(13)	电工培训规程	章十四
(14)	电工考核规程	章十五
(15)	电工奖惩规程	章十六
(16)	电工岗位职责	章十七
(17)	电工操作规程	章十八
(18)	电工安全规程	章十九
(19)	电工值班规程	章二十
(20)	电工检修规程	章二十一
(21)	电工培训规程	章二十二
(22)	电工考核规程	章二十三
(23)	电工奖惩规程	章二十四
(24)	电工岗位职责	章二十五
(25)	电工操作规程	章二十六
(26)	电工安全规程	章二十七
(27)	电工值班规程	章二十八
(28)	电工检修规程	章二十九
(29)	电工培训规程	章三十
(30)	电工考核规程	章三十一
(31)	电工奖惩规程	章三十二
(32)	电工岗位职责	章三十三
(33)	电工操作规程	章三十四
(34)	电工安全规程	章三十五
(35)	电工值班规程	章三十六
(36)	电工检修规程	章三十七
(37)	电工培训规程	章三十八
(38)	电工考核规程	章三十九
(39)	电工奖惩规程	章四十
(40)	电工岗位职责	章四十一
(41)	电工操作规程	章四十二
(42)	电工安全规程	章四十三
(43)	电工值班规程	章四十四
(44)	电工检修规程	章四十五
(45)	电工培训规程	章四十六
(46)	电工考核规程	章四十七
(47)	电工奖惩规程	章四十八
(48)	电工岗位职责	章四十九
(49)	电工操作规程	章五十
(50)	电工安全规程	章五十一
(51)	电工值班规程	章五十二
(52)	电工检修规程	章五十三
(53)	电工培训规程	章五十四
(54)	电工考核规程	章五十五
(55)	电工奖惩规程	章五十六
(56)	电工岗位职责	章五十七
(57)	电工操作规程	章五十八
(58)	电工安全规程	章五十九
(59)	电工值班规程	章六十
(60)	电工检修规程	章六十一
(61)	电工培训规程	章六十二
(62)	电工考核规程	章六十三
(63)	电工奖惩规程	章六十四
(64)	电工岗位职责	章六十五
(65)	电工操作规程	章六十六
(66)	电工安全规程	章六十七
(67)	电工值班规程	章六十八
(68)	电工检修规程	章六十九
(69)	电工培训规程	章七十
(70)	电工考核规程	章七十一
(71)	电工奖惩规程	章七十二
(72)	电工岗位职责	章七十三
(73)	电工操作规程	章七十四
(74)	电工安全规程	章七十五
(75)	电工值班规程	章七十六
(76)	电工检修规程	章七十七
(77)	电工培训规程	章七十八
(78)	电工考核规程	章七十九
(79)	电工奖惩规程	章八十
(80)	电工岗位职责	章八十一
(81)	电工操作规程	章八十二
(82)	电工安全规程	章八十三
(83)	电工值班规程	章八十四
(84)	电工检修规程	章八十五
(85)	电工培训规程	章八十六
(86)	电工考核规程	章八十七
(87)	电工奖惩规程	章八十八
(88)	电工岗位职责	章八十九
(89)	电工操作规程	章九十
(90)	电工安全规程	章九十一
(91)	电工值班规程	章九十二
(92)	电工检修规程	章九十三
(93)	电工培训规程	章九十四
(94)	电工考核规程	章九十五
(95)	电工奖惩规程	章九十六
(96)	电工岗位职责	章九十七
(97)	电工操作规程	章九十八
(98)	电工安全规程	章九十九
(99)	电工值班规程	章一百

目 录

前 言

第一章 电工基础 (1)

第一节	电的基本知识	(1)
第二节	简单直流电路	(8)
第三节	复杂直流电路	(10)
第四节	电容器	(19)
第五节	电与磁的转换	(24)
第六节	单相交流电路	(33)
第七节	三相交流电路	(43)
第八节	电子技术基础	(47)
第九节	常用电工仪表	(74)
第十节	常用电工材料	(83)

第二章 供配电系统 (96)

第一节	电力系统概述	(96)
第二节	供配电系统常用电气设备	(102)
第三节	供配电系统常用接线	(127)
第四节	用户变配电所	(128)

第三章 室内配线工程 (146)

第一节	室内配线的基本要求	(146)
第二节	室内配线施工图常用的图形及文字符号	(147)
第三节	塑料护套线配线	(159)
第四节	穿管配线	(162)
第五节	瓷夹板、鼓形绝缘子、绝缘子配线	(166)
第六节	接户线与进户线	(173)
第七节	电能表安装	(175)
第八节	室内配线工程竣工验收	(175)

第四章 电动机及其安装、运行维护和检修 (177)

第一节	交流电动机及其控制	(177)
第二节	电动机选择	(192)
第三节	电动机的运行维护	(194)

第四节	电动机的异常现象及处理	(195)
第五节	电动机检修	(197)
第六节	电动机的保护装置	(198)
第七节	电动机安装	(198)
第八节	电动机火灾预防	(204)

第五章 电力变压器的运行维护与检修 (206)

第一节	配电变压器选择	(206)
第二节	电力变压器安装工程竣工验收及试运行	(208)
第三节	电力变压器的运行维护	(209)
第四节	电力变压器检修与试验	(211)
第五节	电力变压器的保护装置	(213)
第六节	电力变压器常见故障及处理	(216)
第七节	电力变压器火灾及爆炸预防	(217)

第六章 室外架空配电线路施工 (219)

第一节	架空配电线路结构	(219)
第二节	导线截面选择	(223)
第三节	架空配电线路工程施工有关的安全技术问题	(225)
第四节	架空配电线路工程竣工验收	(228)

第七章 电缆线路施工 (229)

第一节	电力电缆结构及种类	(229)
第二节	电力电缆选择原则	(230)
第三节	电力电缆敷设	(231)
第四节	电缆线路工程竣工验收	(238)

第八章 自备电源装置 (240)

第一节	自备应急柴油发电机组	(240)
第二节	不间断电源装置	(242)

第九章 电气照明 (244)

第一节	照明电光源	(244)
第二节	照明灯具安装	(249)
第三节	照明配电箱安装	(251)
第四节	照明开关安装	(252)
第五节	插座安装	(253)
第六节	装饰灯具安装	(253)
第七节	公共建筑照明的照度标准	(262)

	第十章 标志设备	(268)
	第一节 疏散照明标志灯的设备 and 安装	(268)
	第二节 航空障碍标志灯	(273)
	第十一章 高层建筑及公共民用建筑电气安装	(275)
	第一节 高层建筑的电气安装	(275)
	第二节 公共民用建筑的电气安装	(278)
	第十二章 电梯和扶梯设备	(294)
	第一节 概述	(294)
	第二节 电梯及自动扶梯的结构和安全装置	(297)
	第三节 电梯控制	(301)
	第四节 电梯、自动扶梯和自动人行道的安全要求	(303)
	第五节 电梯使用管理	(305)
	第十三章 空调设备及其维修	(309)
	第一节 分散式空调器概述	(309)
	第二节 空调器的基本电路	(310)
	第三节 柜式空调器	(310)
	第四节 空调器常见故障及处理	(313)
	第十四章 给排水系统电气控制	(319)
	第一节 概述	(319)
	第二节 生活水泵的控制	(323)
	第三节 消防水泵的控制	(327)
	第十五章 广播音响系统	(330)
	第一节 广播音响设备	(330)
	第二节 广播音响系统设置和安装	(331)
	第十六章 保安防盗系统	(335)
	第一节 概述	(335)
	第二节 入侵探测器	(336)
	第三节 报警控制器	(338)
	第四节 电视监控系统	(339)
	第五节 其他保安设施	(342)
	第十七章 民用建筑火灾报警及消防联动控制	(344)
	第一节 民用建筑物防火等级分类	(344)

第二节	火灾探测器及其选择、设置	(346)
第三节	消防联动控制	(351)
	第十八章 防雷、接地技术	(357)
第一节	防止雷害事故	(357)
第二节	接地技术	(367)
	第十九章 安全用电	(373)
第一节	人身触电预防	(373)
第二节	电气工作的安全措施	(383)
第三节	电气安全用具	(390)
第四节	电气火灾预防	(392)
第五节	触电急救	(396)
	第二十章 电气施工图识读	(400)
第一节	电气二次接线图识读	(400)
第二节	建筑电气图纸识读	(403)
	第二十一章 物业电工管理	(410)
第一节	对物业管理电工的基本要求	(410)
第二节	供电设施运行维护管理范围划分	(411)
第三节	电力用户的用电申请	(411)
第四节	对违约用电和窃电的处理	(413)
第五节	建筑电气安装工程概预算知识	(414)
附录		(417)
附录 1	物业管理条例	(417)
附录 2	中华人民共和国电力法	(423)
附录 3	中华人民共和国电力供应与使用条例	(430)
附录 4	塑料绝缘线安全载流量	(435)
附录 5	橡皮绝缘线安全载流量	(436)
附录 6	低压油浸纸绝缘电缆直接埋地安全载流量	(437)
附录 7	低压聚氯乙烯 (PVC) 绝缘四芯电缆安全载流量	(437)
附录 8	低压橡皮四芯电缆安全载流量	(438)
附录 9	架空用裸导线安全载流量	(439)
附录 10	导线穿钢管的标称直径选择表	(439)
附录 11	导线穿电线管的标称直径选择表	(440)
附录 12	铅熔丝的额定电流	(440)
附录 13	每千瓦有功功率所需补偿电容器的无功容量	(441)
附录 14	基本系列异步电动机的主要技术数据	(442)
附录 15	Y 系列电动机启动、保护设备及导线选择	(442)

附录 16	三相异步电动机的常见故障及处理	(443)
附录 17	低压电器的常见故障及处理	(445)
附录 18	按环境选择导线、电缆及其敷设方式	(447)
附录 19	常用电气设备及线路的绝缘电阻标准	(448)
附录 20	导体或线芯的允许长期工作温度	(448)
附录 21	电缆之间、电缆与管道、道路、建筑物之间平行和交叉时的 最小允许净距	(449)
附录 22	低压配电室内各种通道最小宽度	(449)
附录 23	户内线路与管道、设备的安全间距	(450)
附录 24	常用电缆的允许弯曲半径倍数	(450)
附录 25	油浸纸绝缘电缆最大允许高差	(450)
附录 26	接闪器及其引下线的最小规格	(451)
附录 27	标示牌式样	(451)

第一章

电 工 基 础

第一节 电 的 基 本 知 识

一、电荷与库仑定律

无论是工农业生产、国防、科学研究，还是人们日常生活，都离不开电。电究竟是什么？它是怎样生产出来的？围绕这些问题，科学家们辛苦探索，收集了自然界中许许多多有关电的现象，进行研究，终于揭示了电的本质及产生电的基本原理。

我们周围的一切物质都是由分子组成的，分子则是由更小的微粒——原子组成。各种各样的原子都是由原子核和一定数量的电子组成。原子核内有质子和中子，它处在原子的中央，电子在原子核外围，沿一定的轨道不停地旋转。例如，一个最简单的氢原子，就是由原子核和一个绕原子核旋转的电子组成，如图 1-1 所示。

原子核和电子都带有一定量的电荷。这些电荷在某些情况下，能够表现出我们所看到或察觉到的“电”现象。原子核和电子所带的电荷彼此不同，习惯上，把原子核所带的电荷叫做正电荷，用“+”表示。把电子所带的电荷叫做负电荷，用“-”来表示。

由于一切物质都是由分子组成，分子又由原子组成，原子又是由原子核和电子组成，所以，一切物质都带有很多的正电荷和负电荷。在一般情况下，物质的正电荷和负电荷相等，两种电荷彼此抵消，不呈现带电的性质，叫做“中性”物质。但是，如果在某种情况下，一种物质的负电荷多于正电荷，则它就呈现“负电”性质，叫做“带负电”的物质；反之，如果一种物质的正电荷多于负电荷，则它就呈现“正电”性质，叫做“带正电”的物质。

通常用“库仑”作为衡量物体带电量多少的单位，简称“库（C）”。一个电子或一个原子核所带的电荷量是很小的。一库仑电荷约等于 6.25×10^{18} 个电子所带的总电量。

实验证明，凡是同性质的电荷（即正电荷和正电荷，或负电荷和负电荷）互相排斥，凡是异性质的电荷（即正电荷和负电荷）互相吸引。当两个点电荷的尺寸远小于两者之间的距离时，这个作用力的大小可通过下面的公式来计算

$$F = K \frac{q_1 q_2}{\epsilon R^2} \quad (1-1)$$

式中 q_1 、 q_2 ——两个点电荷的带电量；
 R ——两点电荷中心的距离（如图 1-2 所示）；
 ϵ ——周围介质的介电常数；
 K ——常数，其值与各量的单位有关，在国际单位制中， $K = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ （牛·米²/库²）；



图 1-1 氢原子的结构

F ——两点电荷之间的作用力。

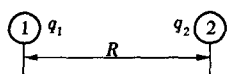


图 1-2 两个点电荷

从式 (1-1) 可知：在均匀介质中，两点电荷间的作用力，与两点电荷所带电量的乘积成正比，与距离的平方成反比，这一关系就叫做库仑定律，它是电学中最基本的定律之一。

之间的作用力

一切物质内部的正电荷和负电荷就是依靠这种力互相吸引而约束在一起的。如果要从一物质取出电子，使它带上正电，就必须克服原子核与电子之间的吸引力。例如，将两种不同性质的物体互相摩擦，就能或多或少地把电子从一物体转移到另一物体，使得两个物体都产生带电现象。用丝绸摩擦玻璃棒，就会使丝绸带负电而玻璃棒带正电。

当一物体带上电荷时，它能吸引细小物体。例如用胶木钢笔在毛制衣服上摩擦几次，然后把笔杆靠近小片纸屑，就可以把纸屑吸起；用梳子梳头，头发有时被吸起，这些都是因为物体带电而造成的。

二、电场、电位及电压

如上所述，当两个带电物体互相靠近时，就会产生作用力。即同性带电物体互相排斥，异性带电物体会相互吸引。尽管两个带电物体没有直接接触，但相互之间却存在着作用力，这说明在带电物体周围空间存在一种特殊物质，相互作用力就是靠这种特殊物质来传递，我们把这种特殊物质叫做电场。电荷及其空间存在的电场是一个统一整体，凡有电荷存在，其周围必然有电场存在。如果电荷的多少和位置都不变化，则其电场也不变化，这种电场称为静电场。

电场的强弱是由它作用于带电物体上的机械力的大小来衡量。根据库仑定律，在给定的介质中，电荷间的相互作用力，决定于电荷的量值和彼此间的距离。所以对于某一带电物体在某一空间位置上产生的电场强弱，可以用单位正电荷在该点所受到的电场力的大小来衡量，这个数值叫做电场强度，简称场强，用字母 E 表示，即

$$E = \frac{F}{q} \quad (1-2)$$

式中 F ——试验电荷所受到的电场力，单位为 N (牛顿)；

q ——试验电荷的电量，单位为 C (库仑)；

E ——电场强度，单位为 V/m (伏/米)。

根据式 (1-1) 可以看出：如果两个点电荷之一等于 1 个单位电荷，则在距另一电荷距离为 R 处的一点的电场强度 E 为

$$E = K \frac{q}{\epsilon R^2}$$

上式表明，带电物体在某一均匀介质中某点产生的电场强度，与其电荷量成正比，与带电物体中心到该点距离的平方成反比。

地球上的物体，在自由运动时，总是从高处移向低处，我们说它在高位具有位能。同样，当一物体带有电荷时，这物体就具有一定的电位能，我们把这电位能叫做电位，并常常以大地作为电位的标准，把大地的电位作为零电位。带正电荷的物体具有比大地高的电位，带正电荷越多，电位越高；反之，带负电荷的物体具有比大地低电位，带负电荷越多，则电位越低。

如果甲物体带有 10C 电量的正电荷，其电位比大地高；乙物体带有 5C 正电荷，其电位比大地高，但比甲物体电位低，我们把甲乙两物体之间的电位差别叫做它们之间的电位差，单位用“伏 (V)”表示。

电位差是产生电流的原因，如果没有电位差，就不会有电荷的流动。

电荷移动的过程就是电场力做功的过程，如图 1-3 所示，实验电荷 q 放在均匀电场中受力 F ，电荷在力的作用下自左向右从 a 移动到 b ，如果移动的距离是 l_{ab} ，那么电场力对电荷做了如下的功 A

$$A = Fl_{ab}$$

如果均匀电场的电场强度是 E ，则电荷 q 在电场中所受到的力 $F = Eq$ ，代入上式可得

$$A_{ab} = Fl_{ab} = Eq l_{ab}$$

同一个电荷 q ，放在不同电场中，电场力做的功不同，说明电场具有的能量不同。“电压”表示电场做功本领的大小。实验电荷在电场中从一点移动到另一点，电场力所做的功与实验电荷电量的比值，称为电场中该两点间的电压，用字母 U 表示。

根据前述，均匀电场中电场力移动实验电荷 q ，从 a 到 b 作的功 $A_{ab} = Fl_{ab} = Eq l_{ab}$ ，则 a 、 b 两点间的电压为

$$U_{ab} = \frac{A_{ab}}{q} = \frac{Eq l_{ab}}{q} = El_{ab} \quad (1-3)$$

如果电场力移动单位正电荷从 a 点到 b 点做的功是 1J，单位正电荷带的电量为 1C，则 ab 间的电压 U_{ab} 为 1V。

在一个电路中移动电荷量不同，电场力做功也不同，但某两点间的电压是一个定值。由于电场力有方向，所以电压有正负值。一般规定电压的正方向是从高电位指向低电位。

三、电流与电流密度

1. 电流

所谓电流，就是电荷有规律的流动。有些物体电子很容易移动，这类物体叫做良导体，简称导体。如铜、铝、石墨都是良导体。有些物体内的电子很不容易移动，这类物体叫做绝缘体。例如，橡胶、玻璃等都是绝缘体。如果用金属导线把两个电位不同的带电物体连接起来，如图 1-4 所示。这时因为导线两端电位差或电压作用，电场力将导线中的自由电子从低电位一端推向高电位一端，导线中就发生电荷移动，即产生了电流。直到导线两端电位差等于零时，电流停止。

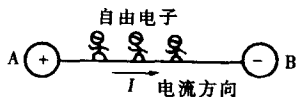


图 1-4 电荷的转移

通常在导体中的电流是由自由电子移动造成的，电子带负电荷，它总是从低电位移向高电位，而在实际应用中，规定电流的方向是指正电荷移动的方向，即规定电流的方向从正极到负极。

电流的大小取决于在一定时间内通过导体横截面的电荷量多少。通常规定：1s 内通过导体横截面的电量称为电流强度，以字母 I 表示。若在 t 时间内通过导体横截面的电量是 Q ，则电流强度 I 就可以用下式表示

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-4)$$

图 1-3 电场力做功

电流强度的单位是 A (安培)。若在 1s 内通过导体横截面的电量为 1C, 则电流强度为 1A。

安培简称安, 以字母 A 表示。除安培外, 常用电流强度单位还有 kA (千安)、mA (毫安)、 μA (微安), 它们之间的换算关系是:

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

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

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

电流分交流电和直流电两大类。凡方向不随时间变化的电流都称为直流电流; 大小方向都随时间变化的电流叫做交流电流或交变电流。

电路中电流大小可以用电流表进行测量。测量时是将电流表串联在电路中。在测量直流电流时要注意, 应使电流从表的正端流入, 负端流出。电流表的量程应大于被测电路中实际电流的数值, 否则可能烧坏电流表。

2. 电流密度

所谓电流密度是指电流在导体的横截面上均匀分布时, 该电流与导体横截面积的比值, 用字母 J 表示, 即

$$J = \frac{I}{S} \quad (1-5)$$

式 (1-5) 中, 当电流强度 I 用安作单位、导体横截面积 S 用 mm^2 作单位时, 电流密度的单位是 A/mm^2 。

导线允许通过的电流强度随导体的截面不同而不同。例如, 1mm^2 的铜导线允许通过 6A 的电流 ($J=6$), 2.5mm^2 的铜导线在 $J=6$ 时允许通过 15A 的电流等。通过的电流超过允许电流值时, 导线的发热会超过允许温度, 使导线老化加速或发生事故。

四、电源与电动势

前面已经介绍了电流的概念, 知道电流是电荷在电场作用下有规律地移动。随着电荷的不断转移, 两个物体上的带电量将逐渐减小, 最后, 当两个物体电位相等时, 即电位差等于零时, 电子不再转移, 电流等于零。因此, 要想使导体中的电流维持不变, 就必须使导体内部维持不变的电场, 也就是要求导体两端的电位差维持不变。这就需要在产生电流的同时, 利用外部力量把电荷经过另一条途径送回它的发源地。这个产生外部力量的装置称为电源, 如电池、发电机等。

电源是将其他能量转换为电能的装置。电动势是衡量电源将其他能量转换为电能本领大小的物理量。电动势简称电势, 单位是 V (伏)。电动势和电压都是产生电流的原因, 但两者的意义与产生电流的方式是不同的。电压是利用电场的作用, 使电荷在导体内移动形成电流。其运动规律是正电荷由高电位向低电位移动; 而电动势则是指电源内部由非电力产生的对电荷的作用力。电荷在电动势作用下的移动规律是正电荷由低电位移向高电位。

电源两端具有不同的电位, 我们把电源两端的电位差称为电源的端电压。当电路开路时电源端电压在数值上等于电源的电动势, 但两者方向相反。

五、电阻与电导

1. 电阻

当电流通过金属导体时, 作定向运动的自由电子与金属中的带电粒子发生碰撞, 导体对电荷的定向运动有阻碍作用。导体对电流阻力小, 表明它的导电能力强, 导体对电流的阻力大, 表示它的导电能力差。电阻就是反映导体对电流阻碍作用大小的物理量。

电阻用字母 R 表示, 单位是欧姆, 简称欧, 用字母 Ω 表示。

导体电阻的大小与导体的长度 l 成正比, 与导体的截面积 S 成反比, 同时跟导体材料的性质有关。不同材料在同样长度和截面积情况下, 其电阻值不同, 常用电阻系数 (电阻率) ρ 这个物理量来反映。电阻率 ρ 是指在 20°C 时, 长 1m , 截面积 1mm^2 的某种材料的电阻值。当导体长度 l 的单位是 m (米), 截面积的单位是 m^2 (平方米), 电阻的单位是 Ω (欧) 时, 电阻率 ρ 的单位是 $\Omega\cdot\text{m}$ 。表 1-1 列出了几种材料的电阻率。

对于长度为 l , 截面积为 S 的导体, 其电阻可用下式表示

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

当导体两端的电压是 1V , 导体内通过的电流是 1A 时, 这段导体的电阻就是 1Ω 。除欧姆外, 常用的电阻单位有 $\text{k}\Omega$ (千欧) 和 $\text{M}\Omega$ (兆欧), 它们之间的换算关系是:

$$1\text{k}\Omega = 10^3\Omega$$

$$1\text{M}\Omega = 10^3\text{k}\Omega = 10^6\Omega$$

导体的电阻是客观存在的, 它不随导体两端电压大小而变化。即使没有电压, 导体仍有电阻。

2. 电阻与温度的关系

导体的电阻大小除与自身因素 (长度、截面、材料) 有关外, 还与其他外界因素有关系, 而且相互影响, 温度就是其中之一。实验发现, 导体温度变化, 它的电阻也随着变化。而且, 一般的金属材料, 温度升高后, 其电阻值会随之增加。这是因为温度的升高, 使得导体中的带电粒子的热运动加剧, 自由电子在导体中碰撞的机会增多, 因而电阻也就增大。

温度升高 1°C 时, 电阻所产生的变动值与原电阻的比值, 称为电阻温度系数, 用字母 α 表示, 单位是 $1/^{\circ}\text{C}$ 。几种材料的温度系数见表 1-1 所示。

表 1-1 几种材料的电阻率

材料名称	电阻率 ρ ($\Omega\cdot\text{m}$)	电阻温度系数 α	材料名称	电阻率 ρ ($\Omega\cdot\text{m}$)	电阻温度系数 α
铜	1.7×10^{-8}	0.004	碳	35×10^{-8}	-0.0005
铝	2.9×10^{-8}	0.004	锰 铜	44×10^{-8}	0.000005
铁	10×10^{-8}	0.006	康 铜	50×10^{-8}	0.000005
钨	5.3×10^{-8}	0.0028	银	1.6×10^{-8}	0.0036

从表 1-1 可看到 α 数值是很小的, 但当导体工作温度很高时, 电阻的变化就很显著, 不能忽视。

从表 1-1 还可看到, 有些材料当温度升高时, 其电阻值反而减小, 例如碳。

3. 常用电阻器

在实际应用中常用到各种各样的电阻, 例如有些电路需要用阻值大的电阻, 有些电路需要功率大的电阻等等。这就需要专门制造一些电阻元件。这些元件分别都有一定的阻值和额定功率, 我们称它为电阻器。

下面介绍几种常用固定电阻器的构造和主要特征。

(1) 绕线式电阻器: 由镍铬、康铜等电阻丝在瓷管上制成, 外涂保护层。阻值的大小由电阻丝的长度、粗细和电阻率决定。绕线式电阻器的功率较大, 稳定性高, 但阻值较小。

(2) 薄膜电阻器: 瓷棒上涂一层碳膜或金属膜并刻以槽纹而制成。阻值由薄膜的材料、

厚度、槽纹长度决定。薄膜电阻器的稳定性较好，误差小，阻值较大，但功率较小。

(3) 实芯电阻器：由碳墨、石墨、黏土、石棉按比例混合压制而成。阻值由材料的比例、电阻器的几何尺寸等因素决定。实芯电阻器的阻值较大，但功率很小，稳定性差。

每一个成品电阻器均标有额定功率、标称电阻值及允许误差。额定功率表示电阻器所允许承受的最大功率；标称电阻值是根据国家的统一阻值标准而生产的电阻器阻值；允许误差表示电阻器的精度。

额定功率、标称电阻及允许误差等性能指标，一般用文字和符号直接标在电阻器的表面，或用不同的颜色表示不同的含义，用色环标志在电阻器表面。

电阻器要根据电路或设备的实际要求来选用。在一般情况下主要根据电阻值和额定功率来选择合适的电阻器。其电阻值应符合电路的要求，额定功率要大于电阻器在电路中实际消耗的功率，以免电阻器在工作中过热而烧坏。

国产电阻器的型号有统一的规定。例如，RX 表示线绕式电阻器，RT 表示碳墨电阻器，RJ 表示金属膜电阻器，RS 表示实芯电阻器等。

4. 电导

电阻的倒数叫做电导，电导用符号 G 表示，即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-7)$$

导体的电阻越小，电导就越大，表示该导体的导电性能越好。

电导的单位是 1/欧姆 ($1/\Omega$)，称西门子，简称西，用字母 S 表示。

六、电功与电功率

1. 电功

电动势或电压是推动电流的动力，把电能转换成其他形式的能量时（例如热能、光能），电流都要作功。电流所做的功叫做电功。如果有 1V 电动势的电池，把 1C 电量的电荷，由电池的正极推出经过负荷回到负极，则所做的功称为 1J。即

$$\text{电功 (J)} = \text{电压 (V)} \times \text{电量 (C)}$$

电流通过电阻时，电流所做的功（电功） A 被电阻吸收并全部转换为热能，并以热量的形式表现出来。所以电阻产生的热量 Q 为

$$Q = A = I^2 R t$$

或

$$Q = I U t \quad Q = \frac{U^2}{R} t \quad (1-8)$$

Q 的单位是焦耳 (J)。

公式 (1-8) 是由英国物理学家焦耳和俄国科学家楞次各自独立地用实验方法得出的，因此称为焦耳—楞次定律。用文字叙述如下：电流流过导体产生的热量，与电流强度的平方、导体的电阻及通电时间成正比。

电流通过导体时使导体发热的现象，称为电流的热效应。

2. 电功率

电功不能表示电流所作功的快慢，因为不知道这些功是在多少时间内完成的。因此，引入电功率这个物理量。单位时间内电流所做的功，称为电功率。它表示电流作功的快慢，用字母 P 表示，即

$$P = \frac{A}{t} \quad (1-9)$$

式 (1-9) 中，若电功 A 的单位为焦耳 (J)，时间 t 的单位为秒 (s) 则电功率 P 的单

位是 J/s, 称为瓦特, 简称瓦, 用字母 W 表示。

在实际工作中, 电功率的常用单位还有 kW (千瓦)、mW (毫瓦) 以及马力等。

$$1\text{ kW} = 10^3\text{ W}$$

$$1\text{ mW} = 10^{-3}\text{ W}$$

$$1\text{ 马力} = 0.735\text{ kW}$$

根据式 (1-8), 可得常见的电功率的计算公式

$$P = UI \quad (1-10)$$

或

$$P = I^2 R \quad P = \frac{U^2}{R}$$

从式 (1-10) 可看到: 当加在用电器两端的电压一定时, 电功率与用电器的电阻值成反比。例如我们家庭中照明电灯, 电压都是 220V, 接上 40W 的灯泡要比 25W 灯泡亮, 而 40W 灯泡的电阻是 1210Ω, 25W 灯泡的电阻却是 1936Ω。

电功率为 1kW, 用电 1h 消耗的电能为 1kWh, 俗称 1 度电。

3. 效率

电能 在转变和输送的过程中, 有着种种的损失, 因而输出的能量或功率总是比输入的能量或功率小, 即

$$\text{输出} + \text{损失} = \text{输入}$$

输出功率与输入功率之比的百分数称为效率, 即

$$\text{效率} = \frac{\text{输出}}{\text{输入}} \times 100\% = \frac{\text{输出}}{(\text{输出} + \text{损失})} \times 100\%$$

七、电路与电路的三种状态

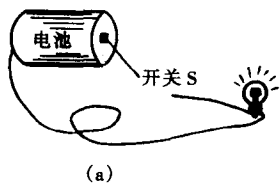
电流经过的路径称为电路, 又称回路。最简单的电路由电源、负荷、开关和连接导线组成。图 1-5 (a) 所示为一个简单电路的实物接线图。图中电源是一节干电池。负荷也称用电器, 是将电能转换为其他形式能量的器件或设备。图 1-5 (a) 中的电灯就是负荷, 它把电能转换为光能。连接导线是输送和分配电能的导体。常用的导线是铜线。在电路中还装有控制开关、指示灯等附属设备, 用来控制和监视电路。

电路分为外电路和内电路。从电源一端经过负载再回到电源另一端的电路称为外电路。电源内部的通路称为内电路。电路可以用电路图来表示, 如图 1-5 (b) 所示。

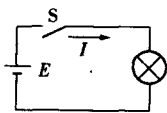
电路通常有三种状态: 通路、断路、短路。下面以图 1-6 所示的电路来说明。

(1) 通路: 开关 S 闭合, 电路构成闭合回路、电路中有电流流过。

(2) 开路: 开关 S 断开或电路中某处断开, 电路被切断, 这时电路中没有电流流过。开路又称断路。



(a)



(b)

图 1-5 电路图

(a) 负载; (b) 电路图

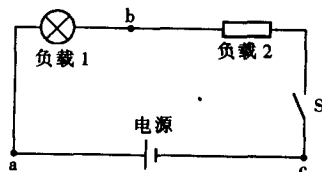


图 1-6 电路的状态

(3) 短路: 在图 1-6 中, 若 a、b 两点用导线直接接通, 则称为负载 1 被短路。若 a、c 两点用导线直接接通, 则称为负载全部被短路, 或称为电源被短路。电路发生短路时, 电源

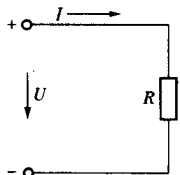
提供的电流，即电路中的电流将比通路时大很多倍，会损坏电源，烧毁导线，甚至造成火灾等等，因此在实际工作中要特别注意防止短路事故，以确保安全。



第二节 简单直流电路

一、欧姆定律

由直流电源供电的电路称为直流电路。欧姆定律就是反映电路中电压、电流、电阻三者之间关系的定律，它是电路的基本定律之一，应用非常广泛。



1. 部分电路欧姆定律

图 1-7 是不含电源的部分电路。图 1-7 中，当在电阻 R 两端加上电压 U 时，电阻 R 中就有电流流过。通过实验可以知道：如果加在电阻 R 两端的电压 U 发生变化时，流过电阻 R 的电流也随着变化，而且这种变化是成正比例的，即电压和电流的比值是一个常数，这个常数就是电

图 1-7 部分电路

路中的电阻，写成公式为

$$I = \frac{U}{R} \text{ 或 } U = IR \text{ 或 } R = \frac{U}{I} \quad (1-11)$$

式中 U ——电压 (V)；

R ——电阻 (Ω)；

I ——电流 (A)。

式(1-11)说明：流过导体的电流强度与这段导体两端的电压成正比，与这段导体的电阻成反比。这一规律，称为欧姆定律，是德国物理学家欧姆(1787~1854)在 1827 年发现的。

根据部分电路欧姆定律的公式(1-11)可知：在电压、电流、电阻三个量中，只要知道其中两个量，就可以算出第三个量。所以欧姆定律是反映电路中电压、电流、电阻三者之间关系的定律。

从图 1-7 还可以看到，电阻两端的电压方向是由高电位指向低电位，而且电位是逐点降落的。所以我们把电阻两端的电压称为“电压降”或“压降”。

如果电阻的数值不随其两端电压和通过的电流而改变，这种电阻称为线性电阻。由线性电阻及其他线性元件组成的电路称为线性电路。

2. 全电路欧姆定律

全电路是指含有电源的闭合电路，如图 1-8 所示。图中的虚线框内代表一个电源。 R_0 是电源内部的电阻值，称为内电阻。

在图 1-8 中，当开关 S 闭合时，负载 R 上就有电流流过，这是因为负载两端有了电压 U 的缘故，电压 U 是电动势 E 产生的，它既是负载电阻两端的电压，又是电源的端电压。由于电流在闭合回路中流过时，在电源内电阻上会产生压降，所以这时全电路中电流可用下式计算

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \text{ 或 } U = E - IR_0 \quad (1-12)$$

式中 E ——电源的电动势 (V)；

R ——外电路的电阻 (Ω)；

R_0 ——电源内电阻 (Ω)；

I ——电路中电流 (A)。