

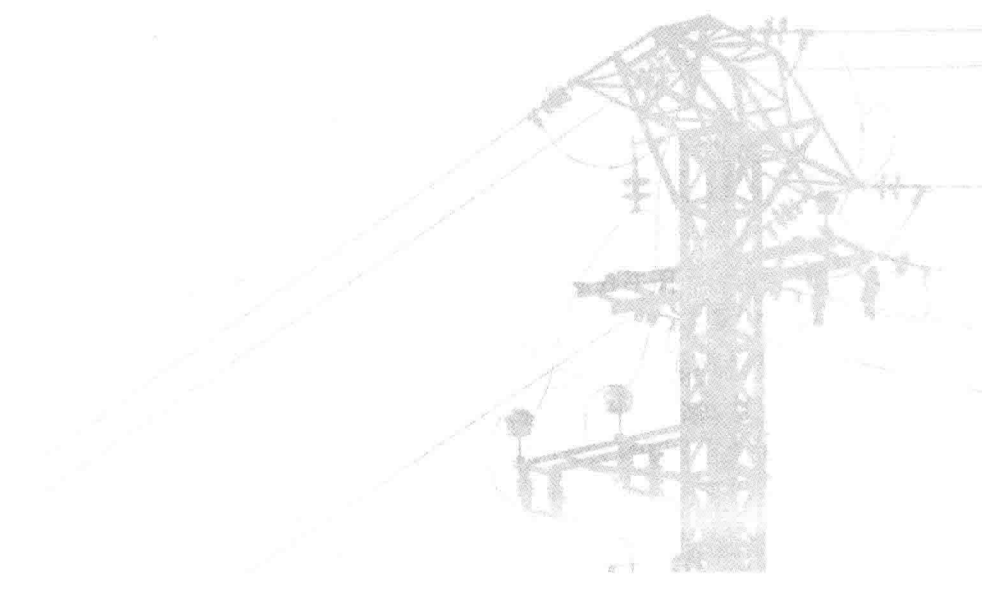
(2012年版)

# 电工进网作业许可 考试参考教材 高压类理论部分

国家能源局电力业务资质管理中心 编

 浙江人民出版社  
ZHEJIANG PEOPLE'S PUBLISHING HOUSE

国家能源局主管  
 中国电力传媒集团  
CHINA ELECTRIC POWER MEDIA GROUP



(2012年版)

# 电工进网作业许可 考试参考教材

## 高压类理论部分

国家能源局电力业务资质管理中心 编

 浙江人民出版社  
ZHEJIANG PEOPLE'S PUBLISHING HOUSE

国家能源局主管  
 中国电力传媒集团  
CHINA ELECTRIC POWER MEDIA GROUP

## 图书在版编目 (CIP) 数据

电工进网作业许可考试参考教材. 高压类理论部分:  
2012年版/国家能源局电力业务资质管理中心编. — 杭州:  
浙江人民出版社, 2016.6

ISBN 978-7-213-07460-8

I. ①电… II. ①国… III. ①高电压—电工技术—  
技术培训—教材 IV. ①TM


中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 132012 号

## 电工进网作业许可考试参考教材 高压类理论部分 (2012 年版)

---

作 者: 国家能源局电力业务资质管理中心

出版发行: 浙江人民出版社 中国电力传媒集团

经 销:  中电联合(北京)图书销售有限公司  
销售部电话: (010) 52238170 52238190

印 刷: 三河市百盛印装有限公司

责任编辑: 于子浩 宗 合

责任印制: 郭福宾

网 址: <http://www.cpnn.com.cn/tsyxzx/>

版 次: 2016年6月第1版·2016年6月第1次印刷

规 格: 787mm×1092mm 16开本·16印张·360千字

书 号: ISBN 978-7-213-07460-8

定 价: 38.20 元

敬告读者

如有印装质量问题, 销售部门负责退换

版权所有 翻版必究

---

## 再版前言

根据《中央编办关于国家能源局所属事业单位机构编制调整的批复》(中央编办复字〔2013〕66号)、《国家能源局关于印发所属事业单位主要职责内设机构和人员编制规定的通知》(国能人事〔2013〕458号)的有关规定,原国家电监会电力业务资质管理中心更名为国家能源局电力业务资质管理中心,继续履行电工进网作业许可证管理职责,负责组织全国电工进网作业许可考试,指导、监督全国电工进网作业许可证的颁发和管理。

为了切实做好进网作业电工许可考试工作,国家能源局电力业务资质管理中心对《高压类理论部分电工进网作业许可考试参考教材(2012年版)》进行了勘误后再版,以满足广大考生学习备考的需求。

国家能源局电力业务资质管理中心

2014年2月

# 前 言

按照 2006 年版《电工进网作业许可考试大纲》(以下简称“考试大纲”)内容要求,2006 年,我们出版了高压类理论部分电工进网作业许可考试参考教材。近期,国家电力监管委员会修订并重新发布了 2012 年版高压类理论部分考试大纲,为满足考生考前学习与辅导需求,我们对 2006 年版教材进行了修订。

本版教材按照 2012 年版考试大纲要求,综合吸收了 2006 年版教材实施以来的经验以及各有关方面反馈的意见和建议,在该版教材体系基础上,主要从以下方面进行了修订:

一是新增了“电工基础知识”一章内容,介绍了电工基本概念、原理和公式,使教材反映的知识结构更为系统、完整。二是在教材各章中,进一步补充了从事高压进网作业活动必备基本知识和基本技能的内容,适当调整了电力系统过电压等部分章中理论性偏强、超出实际要求的内容,教材内容更切合电工进网作业岗位的实际需求。三是在高压电器及成套配电装置、继电保护自动装置与二次回路等章中,更新了内容过时的知识,增加了大量目前已广泛应用的新技术、新设备等内容,使教学内容紧扣电工新技术的发展。四是更加注重电气安全知识和技能,对“电气安全技术”一章内容作了更具体、详细的介绍。此外,还调整了 2006 年版教材部分章节的名称,并更正了其中出现的错误。

修订后,本版教材更符合高压进网作业电工的工作实际,更好地反映了对进网作业电工所需知识、技术和能力的要求,体现了教学内容的实用性、科学性、时效性和系统性,能够有效地满足广大考生应考需求。

李效和、陆荣华同志分别担任本教材修订工作的主编和副主编,陶安余、周丽芳、李月兴、史逸群、汪洪明、陈坚同志参加了编写工作。在本教材编写过程中参考了有关书籍和资料,在此谨向作者及编者表示衷心的感谢。

本版教材是在 2006 年版教材基础上修订的。马国泉、王洪焘、孙方汉、许刚、李国国、陈淑芳、汪祥兵、武风、林旭宜、张德奎、张磊、张荣、赵启明、高志安、鲁爱斌、廖自强同志参加了 2006 年版教材编写工作,杨传箭、于和平同志参与了该版教材的具体业务组织,陈淑芳同志作为具体业务负责人进行了该版教材的全书统稿工作,赵积善、乔新国、全玉生、黄伟、宗士杰、张忠德、杨宗煌、王英彬等同志参与审查,提出了宝贵的修改意见,乔新国同志进行了修改统稿,在此一并表示衷心的感谢。

由于时间紧迫,存在的不妥之处,请批评指正。

电监会电力业务资质管理中心

2012 年 11 月

# 目 录

» 第一章 电工基础知识 .....	1
第一节 直流电路 .....	1
第二节 电与磁 .....	8
第三节 交流电路 .....	13
思考题 .....	27
» 第二章 电力系统基本知识 .....	29
第一节 电力系统概述 .....	29
第二节 用电负荷 .....	33
第三节 变、配电所 .....	35
第四节 电能质量 .....	39
第五节 电力系统短路概述 .....	43
第六节 电力系统接地概述 .....	46
思考题 .....	49
» 第三章 电力变压器 .....	50
第一节 电力变压器的结构与工作原理 .....	50
第二节 电力变压器运行 .....	61
第三节 其他变压器 .....	65
第四节 互感器 .....	68
思考题 .....	73
» 第四章 高压电器及成套配电装置 .....	75
第一节 开关电器中的电弧 .....	75
第二节 高压断路器 .....	76
第三节 隔离开关 .....	90
第四节 高压负荷开关 .....	94
第五节 交流高压真空接触器 .....	101
第六节 高压熔断器 .....	103
第七节 高压电容器 .....	107
第八节 高压成套配电装置 .....	111
第九节 箱式变电站 .....	124
思考题 .....	127

» 第五章 高压电力线路	128
第一节 架空电力线路	128
第二节 电力电缆线路	150
思考题	158
» 第六章 电力系统过电压	160
第一节 电力系统过电压概述	160
第二节 常用防雷设备	161
第三节 防雷保护	166
思考题	170
» 第七章 继电保护自动装置与二次回路	171
第一节 继电保护任务及基本要求	171
第二节 变压器保护	175
第三节 电力线路保护	180
第四节 变电所微机保护监控装置简介	183
第五节 电力系统自动装置	188
第六节 二次回路基本知识	191
第七节 变电所操作电源	198
思考题	200
» 第八章 电气安全技术	201
第一节 人身触电预防	201
第二节 电气安全用具	211
第三节 电气安全工作制度	217
第四节 电气装置防火	224
思考题	226
附录	228
附录 1 电工进网作业许可证管理办法	228
附录 2 常用电力及照明平面图图形符号及文字符号	233

# 第一章 电工基础知识

本章简要介绍电工理论基本知识，这些知识是学习专业课程所必需的基础。主要内容包括：直流电路及基本物理量、磁场及电磁感应、正弦交流电路和三相交流电路。

## 第一节 直流电路

### 一、电场、电位及电压

#### 1. 电场

当两个带电物体互相靠近时，它们之间就有作用力，即同性带电物体互相排斥，异性带电物体相互吸引。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的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的，我们把这种特殊物质称为电场。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。

#### 2. 电位

当一物体带有电荷时，这物体就具有一定的电位能，我们把这电位能叫作电位。电场中某点  $A$  的电位等于单位正电荷在该点所具有的电位能。用符号  $V_A$  表示。一般规定参考点的电位为零，所以计算电路中某点的电位就是求该点与参考点之间的电位差，在实际电路中常以大地作为公共参考点。电路中各点电位的大小和正负与参考点的选择有关。选择不同的参考点，电路中各点电位的大小和正负也就不同。电位的单位是伏特。

#### 3. 电压（电位差）

电压（电位差）：电路中任意两点间电位的差值。 $A$ 、 $B$  两点的电压以  $U_{AB}$  表示， $U_{AB}=V_A-V_B$ 。

电位差是产生电流的原因，如果没有电位差，在直流电路中就不会有电荷的流动，就不会有电流。电压的单位也是伏特，简称伏，用字母  $V$  表示。常用电压单位还有千伏（ $kV$ ）、毫伏（ $mV$ ），它们之间的换算关系为： $1kV=10^3V$ ， $1=10^3mV$ 。

### 二、电流与电流密度

#### 1. 电流

电流就是电荷有规律的定向移动。在实际应用中，电流的方向规定为正电荷移动的



方向。

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。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:

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

电流强度 $I$ 的单位是A(安培)。若在1s内通过导体横截面的电量为1库仑,则电流强度为1安培。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)、 $\mu\text{A}$ (微安),它们之间的换算关系是:1kA=10<sup>3</sup>A,1mA=10<sup>-3</sup>A,1 $\mu\text{A}$ =1 $\times$ 10<sup>-6</sup>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称为直流电流,简称直流;方向不变,大小随时间有脉动变化的电流称为脉动直流电;大小方向都随时间变化的电流称为交流电流。

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

电流密度是指电流 $I$ 在导体的横截面 $S$ 上均匀分布时,该电流 $I$ 与导体横截面积 $S$ 的比值,用字母 $J$ 表示,即

$$J = \frac{I}{S} \quad (1-2)$$

式(1-2)中,当电流强度 $I$ 用A作单位、导体横截面积 $S$ 用平方毫米作单位时,电流密度的单位是A/mm<sup>2</sup>。

在直流电路中,均匀导线横截面上的电流密度是均匀的。

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<sup>2</sup>的铜导线允许通过6A的电流( $J=6$ ),则2.5mm<sup>2</sup>的铜导线在 $J=6$ 时允许通过15A的电流。通过导线的电流如果超过允许电流值,则导线的发热会超过允许温度,使导线老化加速或发生事故。

## 三、电源与电动势

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的本领大小的物理量,用字母 $E$ 表示。

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。

## 四、电阻与电导

### 1. 电阻

电阻是反映导体对电流阻碍作用大小的物理量。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。

电阻用字母  $R$  表示，单位是欧姆，简称欧，用字母  $\Omega$  表示。

导体电阻的大小与导体的长度成正比，与导体的截面积成反比，同时跟导体材料的性质、环境温度等很多因素有关。电阻的表达式为：

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-3)$$

式中： $\rho$ ——电阻率，单位是欧姆·米 ( $\Omega \cdot \text{m}$ )；

$L$ ——导体的长度，单位是米 ( $\text{m}$ )；

$S$ ——导体的截面积，单位是平方毫米 ( $\text{mm}^2$ )。

常用的电阻单位有  $\Omega$  (欧)、 $\text{k}\Omega$  (千欧) 和  $\text{M}\Omega$  (兆欧)，它们之间的换算关系是：

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

### 2. 电导

电阻的倒数称为电导，电导用符号  $G$  表示，即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-4)$$

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 ( $1/\Omega$ )，称为西门子，简称西，用字母  $s$  表示。

## 五、欧姆定律

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，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 1-1 是不含电源的部分电路。图 1-1 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，流过电阻的电流  $I$  也随着变化，而且成正比例变化，即电压和电流的比值是一个常数，这个常数就是电路中的电阻  $R$ ，写成公式为：

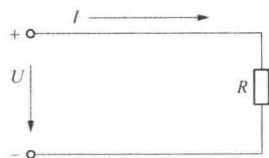


图 1-1 不含电源的部分电路

$$I = \frac{U}{R} \text{ 或 } U = IR \text{ 或 } R = \frac{U}{I} \quad (1-5)$$

式中： $U$ ——电压 ( $\text{V}$ )；

$R$ ——电阻 ( $\Omega$ )；

$I$ ——电流（A）。

式（1-5）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年）在1827年发现的。

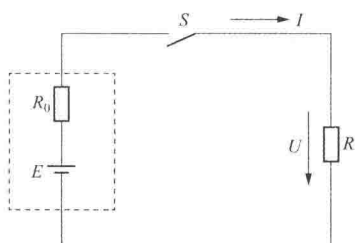


图 1-2 全电路

## 2. 全电路欧姆定律

全电路是指含有电源的闭合电路，如图 1-2 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 1-2 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  $U$ ，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电压降，所以

这时全电路中电流可用下式计算：

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1-6)$$

式中： $E$ ——电源的电动势（V）；

$R$ ——外电路的电阻（ $\Omega$ ）；

$R_0$ ——电源内电阻（ $\Omega$ ）；

$I$ ——电路中电流（A）。

从上面的分析可知：在一个闭合电路中，电流强度与电源的电动势成正比，与电路中内电阻和外电阻之和成反比。这个定律称为全电路欧姆定律。

**【例 1-1】** 假如手电筒电珠发光时的电阻是  $10\Omega$ ，电池电压为 3V。请计算：这时通过电珠的电流多大（忽略连接线的电阻）。

解：根据欧姆定律， $I = \frac{U}{R}$

所以通过电珠的电流  $I = \frac{U}{R} = \frac{3}{10} = 0.3(\text{A})$

**【例 1-2】** 有一电源的电动势为 3V，内阻  $R_0$  为  $0.5\Omega$ ，外接负载电阻  $R$  为  $9.5\Omega$ 。请计算电路中电流以及外接负载电阻上的电压降。

解：根据全电路欧姆定律， $I = \frac{E}{R_0 + R}$

电路中电流  $I = \frac{E}{R_0 + R} = \frac{3}{0.5 + 9.5} = 0.3(\text{A})$

外接负载电阻  $R$  上的电压降  $U = I \cdot R = 0.3 \times 9.5 = 2.85(\text{V})$

## 六、电路连接（串联、并联、混联）

### 1. 电阻串联电路

两个或两个以上的电阻按头尾相接的顺序一个接一个地连接起来，使电流只有一条通

路，电阻的这种连接方式称为电阻的串联，如图 1-3 所示。

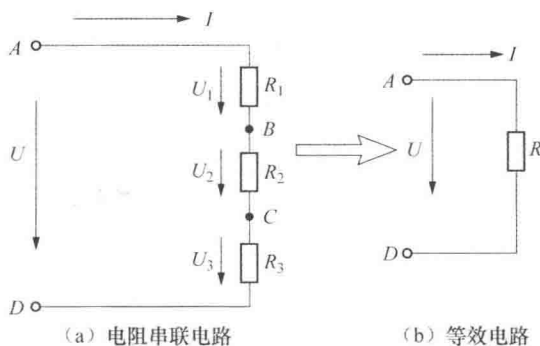


图 1-3 三个电阻串联

电阻串联电路具有以下一些特点：

(1) 串联电路中流过每个电阻的电流相等，是同一个电流，即

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \cdots = I_n \quad (1-7)$$

式中的下角标 1、2、3、 $\cdots$ 、 $n$  分别代表第 1、第 2、第 3、第  $n$  个电阻。

(2) 电路两端的总电压等于各电阻两端电压之和，即

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \cdots + U_n = IR_1 + IR_2 + IR_3 + \cdots + IR_n \quad (1-8)$$

从上式可看出：总电压分布在各个电阻上。电阻值大的分到的电压数值大。

(3) 串联电路的等效电阻（即总电阻）等于各串联电阻之和，即

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n \quad (1-9)$$

## 2. 电阻并联电路

两个或两个以上的电阻一端连在一起，另一端也连在一起（即各电阻的头连在一起，尾连在一起），使每个电阻两端都承受同一电压的作用，电阻的这种连接方式称为电阻的并联。如图 1-4 所示。

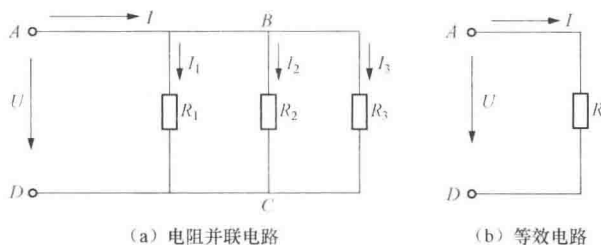


图 1-4 三个电阻并联

电阻并联电路具有下面的一些特点：

(1) 并联电路中各电阻两端的电压相等，且等于电路两端的电压，即

$$U = U_1 = U_2 = \cdots = U_n \quad (1-10)$$

(2) 并联电路中的总电流等于各电阻中电流之和, 即

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \cdots + I_n = U/R_1 + U/R_2 + U/R_3 + \cdots + U/R_n \quad (1-11)$$

从上式可看到, 支路电阻大的分支电流小, 支路电阻小的分支电流大。

(3) 并联电路的等效电阻(即总电阻)的倒数, 等于各并联电阻倒数之和, 即

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \cdots + 1/R_n \quad (1-12)$$

两个电阻  $R_1$ 、 $R_2$  并联, 其等效电阻  $R$  可直接按下式计算:

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (1-13)$$

在并联电路中, 所有支路负载都相互独立, 互不影响。

### 3. 电阻混联电路

在一个电路中既有电阻的串联, 又有电阻的并联, 这种连接方式称为混合连接, 简称混联。

计算混联电路时要根据电路的情况, 运用串联和并联电路知识, 逐步化简, 最后求出总的等效电阻, 计算出总电流。

**【例 1-3】** 在图 1-5 中,  $U=6V$ ;  $R_1=R_2=R_3=4\Omega$ ;  $R_4=2\Omega$ 。请计算电路总的等效电阻  $R$  和电路中的总电流  $I$ 。

解: 从图 1-5 中可以看出  $R_1$  与  $R_2$  并联, 然后与电阻  $R_4$  串联, 再与电阻  $R_3$  并联, 这样就可求得电路总的等效电阻  $R$ 。

设  $R_5$  为  $R_1$  与  $R_2$  并联后的电阻,

$$\text{则 } R_5 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{4 \times 4}{4 + 4} = 2(\Omega)$$

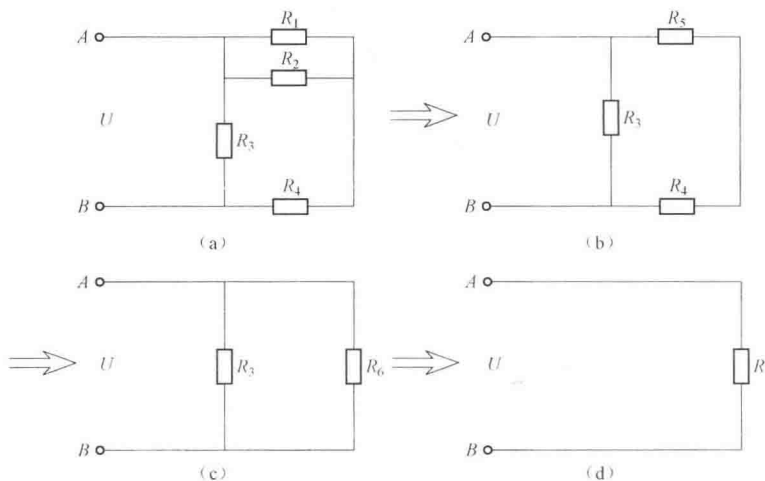


图 1-5 例 1-3 附图

设  $R_6$  为  $R_5$  与  $R_4$  串联后的电阻

则  $R_6=R_5+R_4=2+2=4(\Omega)$

$R_3$  与  $R_6$  并联便可得到电路总的等效电阻  $R$ ,

$$R = \frac{R_3 R_6}{R_3 + R_6} = \frac{4 \times 4}{4 + 4} = 2(\Omega)$$

电路中总电流  $I = \frac{U}{R} = \frac{6}{2} = 3(\text{A})$

## 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, 如图 1-6 所示。

电路通常有三种状态: 通路、断路、短路。下面以图 1-6 所示电路为例来说明。

(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。

(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, 甚至造成火灾等严重事故。

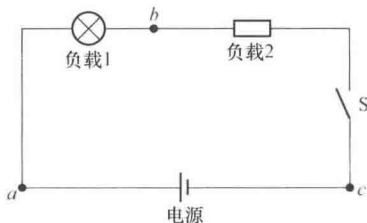


图 1-6 电路的状态

## 八、电能与电功率

### 1. 电能

在直流电路中, 当两点间的电压为  $U$ , 电路中形成的电流为  $I$ , 在  $t$  时间内电流  $I$  所做的功被电阻  $R$  吸收并全部转换为热能, 此时电阻元件消耗 (或吸收) 的电能为  $W$ , 即

$$W = I^2 R t \quad (1-14)$$

根据欧姆定律, 也可以表示为:

$$W = U I t \quad (1-15)$$

电能  $W$  的单位是焦耳 (J), 1 焦耳表示 1 安培电流通过 1 欧姆电阻在 1 秒钟之内产生全部热量时所消耗的电能。在工作中, 电能的常用单位是千瓦时 ( $\text{kW} \cdot \text{h}$ )。

电气设备或元件通过吸收的电能转换成其他形式的能量, 如热能、光能。

### 2. 电功率

单位时间内消耗的电能, 称为电功率, 简称功率, 用字母  $P$  表示, 即

$$P = \frac{W}{t} \quad (1-16)$$

式 (1-16) 中, 电能  $W$  的单位为焦耳, 时间  $t$  的单位为秒, 则电功率的单位为瓦特, 简称瓦, 用字母  $W$  表示。电功率常用的单位还有  $\text{kW}$  (千瓦)、 $\text{mW}$  (毫瓦) 等。它们之间

的换算关系为： $1\text{kW}=1\times 10^3\text{W}$ ； $1\text{W}=1\times 10^3\text{mW}$ 。

电功率为  $1\text{kW}$  的设备，用电  $1\text{h}$  消耗的电能为  $1\text{kW}\cdot\text{h}$ ，俗称 1 度电。

## 第二节 电 与 磁

### 一、磁现象

#### (一) 磁体与磁极

人们把具有吸引铁、镍、钴等物质的性质称为磁性，具有磁性的物体叫磁体。把原来不带磁性的物体具有磁性称为磁化。自然界中存在的磁体叫天然磁铁。天然磁铁数量少，在实际应用中常采用人工方法制成的磁铁。

磁铁两端磁性最强的区域称为磁极。用小磁针做实验，会发现小磁针转动静止时停留在南北方向上，我们把指北的一端叫 N 极（指北极）；指南的一端叫 S 极（指南极）。

磁铁具有一个重要性能，就是同性磁极相排斥，异性磁极相吸引，即两个磁铁，如果是两个 S 极或两个 N 极靠近时，就会相互排斥；如果是 S 极和 N 极靠近时，就会相互吸引。

#### (二) 磁场与磁力线

磁体周围存在磁力作用的空间称为磁场，即磁体的磁力所能达到的范围叫磁场。磁场的磁力用磁力线来表示。如果把一些小磁针放在一根条形磁铁附近，就会发现在磁力作用下，这些小磁针排列成图 1-7 (a) 的形状，如果连接小磁针在各点上 N 极的指向，就构成一条由 N 极到 S 极的光滑曲线，如图 1-7 (b) 所示，此曲线称为磁力线。

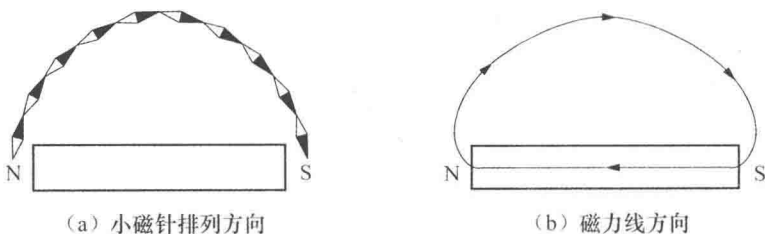


图 1-7 磁力方向

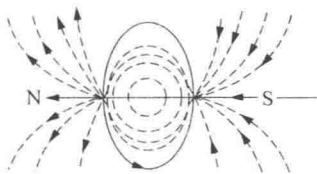


图 1-8 磁力线

规定在磁体外部，从 N 极出发进入 S 极为磁力线的方向。在磁体内部，磁力线的方向是由 S 极到达 N 极。这样磁体内外形成一条闭合曲线，如图 1-7 (b) 所示。

磁力线上任何一点的切线方向就是该点的磁场方向。

磁力线是人们假想出来的线，可以用实验方法显示出来。在条形磁铁上放一块玻璃或纸板，在玻璃或纸板上撒上铁屑并轻敲，铁屑便会有规则地排列成图 1-8 所示的线条。

从图 1-8 可以看出，磁极附近磁力线最密，表示这里磁场最强；在磁体中间，磁

力线较稀,表示这里磁场较弱。因此我们可以用磁力线的多少和疏密程度来描绘磁场的强弱。

### (三) 通电导体产生的磁场

一根导体通过电流,它周围就要产生磁场,通的电流越强,周围产生的磁场亦越强,反之越弱。电流方向改变,则周围磁场方向也改变。磁场的方向可用右手定则来判别。

#### 1. 直线电流的磁场

如上所述,直导线中通过电流后,在其周围将产生磁场,流过导体的电流越大,周围产生的磁场越强,反之越弱。磁场的方向可用右手螺旋定则确定。如图 1-9 所示,用右手握直导体,大拇指的方向表示电流方向,弯曲四指的指向即为磁场方向。

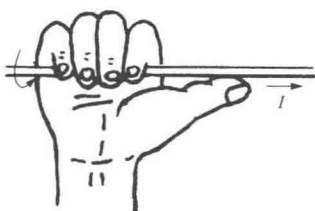


图 1-9 直线电流磁场判别

#### 2. 环形电流的磁场

一个线圈中通有电流,该线圈就在周围产生磁场,线圈产生的磁场与磁铁相似,即产生磁场的强弱与线圈通电电流的大小有关,通过电流越大,产生的磁场越强,反之越弱。另外与线圈的圈数也有关,圈数越多磁场就越强。磁场的方向也可用右手螺旋定则判别。如图 1-10 所示,用右手握螺旋管,弯曲四指表示电流方向,则拇指方向便是 N 极方向(磁场方向)。

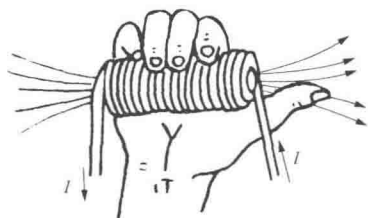


图 1-10 环形电流磁场判别

## 二、磁场的基本物理量

### (一) 磁通

通过与磁场方向垂直的某一面积上的磁力线总数,称为通过该面积的磁通。用字母 $\Phi$ 表示。磁通的单位是 Wb(韦伯),简称韦,工程上常用比韦小的单位,叫 Mx(麦克斯),简称麦。

$$1\text{Wb(韦)}=10^8\text{Mx(麦)}$$

磁通是描述磁场在一定面积上分布情况的物理量。面积一定时,如果通过该面积的磁通越多,则表示磁场越强。

### (二) 磁感应强度

磁感应强度是表示磁场中某点磁场强弱和方向的物理量,用符号 $B$ 表示。磁场中某点磁感应强度 $B$ 的方向就是该点磁力线的切线方向。

如果磁场中各处的磁感应强度 $B$ 相同,则这样的磁场称为均匀磁场。在均匀磁场中,磁感应强度可用下式表示:

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad (1-17)$$

在均匀磁场中,磁感应强度 $B$ 等于单位面积的磁通量。如果通过单位面积的磁通越多,



则磁场越强。所以磁感应强度有时又称磁通密度。

磁感应强度的单位是“特斯拉”，简称“特”，用字母“T”表示。在工程上，常用较小的磁感应强度单位“高斯(Gs)”。 $1\text{T}=10^4\text{Gs}$ 。

### (三) 导磁率

不同材料的导磁性能不同。通常用导磁率(导磁系数) $\mu$ 来表示该材料的导磁性能。导磁率 $\mu$ 的单位是H/m(亨/米)。

由实验测定，真空的导磁率 $\mu_0=4\pi\times 10^{-7}\text{H/m}$ 。因为 $\mu_0$ 是一个常数，所以，用其他材料的导磁率和它相比较，其比值称为相对导磁率，用字母 $\mu_r$ 表示。根据各种物质的相对导磁率 $\mu_r$ 的大小，可以把物质分为三类：第一类叫反磁物质，它们的相对导磁率小于1，如铜、银、碳和铋等。第二类物质叫顺磁性物质，它们的相对导磁率略大于1，如铂、锡和铝等。第三类叫铁磁性物质，它们的相对导磁率远大于1，甚至大到几千倍、几万倍，如铁、镍、钴和这些金属的合金等。铁磁性材料在生产中应用很广泛，如变压器、电动机、发电机等的铁芯以及电磁铁等都采用铁磁性物质。

### (四) 磁场强度

磁场强度是一个矢量，常用字母 $H$ 表示，其大小等于磁场中某点的磁感应强度 $B$ 与磁介质导磁率 $\mu$ 的比值，即

$$H = \frac{B}{\mu} \quad (1-18)$$

磁场强度的单位是A/m(安/米)，较大的单位是奥斯特，简称奥，换算关系为：1奥斯特=80安/米。

在均匀介质中，磁场强度 $H$ 的方向和所在点的磁感应强度 $B$ 的方向相同。

## 三、电磁感应

当导体相对于磁场运动而切割磁力线或者线圈中磁通发生变化时，在导体或线圈中都会产生感应电动势，若导体或线圈构成闭合回路，则导体或线圈中就有电流产生，这种现象称为电磁感应。由电磁感应产生的电动势称为感应电动势。由感应电动势引起的电流称为感应电流。

对于在磁场中切割磁力线的直导体来说，感应电动势可用下列公式计算：

$$e=BvL\sin\alpha \quad (1-19)$$

- 式中： $B$ ——磁感应强度(T)；  
 $v$ ——导体切割磁力线速度(m/s)；  
 $L$ ——导体在磁场中的有效长度(m)；  
 $\alpha$ ——导体运动方向与磁力线的夹角。

当 $\alpha=0^\circ$ 时，表示导线运动方向与磁力线平行，这时 $e=0$ ；当 $\alpha=90^\circ$ 时，表示导体垂直于磁力线运动，这时切割磁力线最大，感应电动势 $e$ 也最大， $e=BvL$ 。

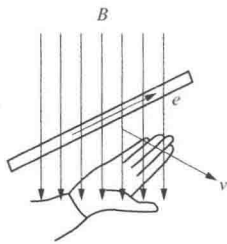


图 1-11 右手定则