

电力生产基本知识丛书

电 力

西安电力学校编

电力工业出版社

电力生产基本知识丛书

电 力

西安电力学校编

电力工业出版社

内 容 提 要

全书共分九章。其内容在介绍电工基本知识的基础上，较全面地介绍了发电厂、变电所的主要电气设备如发电机、变压器、电动机、高低压电器；介绍了发电厂、变电所的主接线，配电装置，继电保护和二次回路，并对电力系统作了简单概述。本书供电力工业管理干部阅读，也可供发电厂、变电所新工人参考。

电力生产基本知识丛书

电 力

西安电力学校编

*

电力工业出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 12印张 316千字 1插页

1981年3月第一版 1981年3月北京第一次印刷

印数 00001—28700 册 定价 1.25 元

书号 15036·4159

出 版 说 明

为了加强干部培训工作，提高电力工业各级干部和管理人员的业务水平，电力工业部开办了局、厂长学习班，组织学习电力生产过程及生产技术管理知识；并委托有关单位和人员，在头几期学习班讲义的基础上，编写了这套《电力生产基本知识丛书》，交我社陆续出版，以满足广大干部学习的需要。

这套丛书共有《电力》、《热工学基础》、《锅炉》、《汽轮机》、《热力过程自动化》和《电厂化学》六个分册。

由于时间较紧，经验不足，书中不妥之处请读者批评指正。

电力工业出版社

一九七九年六月

目 录

出版说明

第一章 电工基础知识	1
1-1 静电场的基本概念	1
1-2 直流电路的基本概念	3
1-3 直流电路的基本定律	8
1-4 电功和电功率	11
1-5 电阻的串、并联	12
1-6 导体、绝缘体和半导体	15
1-7 电容器及其充放电过程	17
1-8 磁的基本知识	19
1-9 电磁	22
1-10 电磁感应.....	28
1-11 单相交流电.....	34
1-12 三相交流电.....	56
第二章 同步电机	65
2-1 同步发电机的构造	65
2-2 同步发电机的原理和工作特性	72
2-3 同步发电机的励磁	79
2-4 同步发电机的冷却	82
2-5 同步发电机的消防装置	87
2-6 同步发电机的铭牌参数	88
2-7 同步发电机的并联	90
2-8 有功负荷和无功负荷的调节	94
2-9 发电机运行中的监视、检查	96

2-10	同步电动机	101
2-11	我国同步电机的生产概况	105
第三章	变压器	107
3-1	变压器的用途和分类	107
3-2	变压器的构造	109
3-3	单相变压器	119
3-4	三相变压器	124
3-5	特殊变压器	128
3-6	变压器的铭牌参数	131
3-7	变压器的并联	133
3-8	我国变压器的生产概况	134
第四章	三相异步电动机	137
4-1	三相异步电动机的用途和特点	137
4-2	三相异步电动机的构造	138
4-3	三相旋转磁场的产生	142
4-4	三相异步电动机的工作原理	145
4-5	三相异步电动机的转差率	147
4-6	三相异步电动机的转矩特性	147
4-7	三相异步电动机的起动	149
4-8	三相异步电动机的铭牌参数	154
4-9	我国异步电动机的生产概况	155
第五章	高低压电器	158
5-1	开关设备中熄灭电弧的基本原理和方法	158
5-2	低压开关及熔断器	165
5-3	高压断路器	176
5-4	隔离开关	188
5-5	仪用互感器	197
5-6	组合电器	208
5-7	电抗器	211
5-8	防雷设备	215

第六章 发电厂和变电所的电气主接线、自用电及配	
电装置	224
6-1 发电厂和变电所的电气主接线	224
6-2 发电厂和变电所的自用电	238
6-3 配电装置	248
第七章 继电保护装置	267
7-1 继电保护的一般概念	267
7-2 常用继电器	273
7-3 线路过电流保护装置	278
7-4 线路方向过电流保护装置	286
7-5 变压器保护	294
7-6 发电机保护	308
7-7 继电保护装置的运行维护及发展动向	317
第八章 二次回路	319
8-1 二次回路的基本概念	319
8-2 二次回路接线图	319
8-3 断路器的控制、信号回路	321
8-4 中央信号装置	330
8-5 弱电二次接线	335
第九章 电力网及电力系统	353
9-1 概述	353
9-2 电能质量	361
9-3 供电可靠性	367
9-4 经济运行	371
9-5 电力系统的调度	373

第一章 电 工 基 础 知 识

1-1 静电场的基本概念

大家都知道，自然界的一切物质都是由分子构成的，分子又是由原子构成的，而原子内部包含着一个原子核和围绕原子核高速运转的一定数量的电子。电子带有负电荷，原子核带有正电荷。在通常情况下，原子核所带的正电荷与周围电子所带的负电荷数量相等，因此，平时物体不呈带电现象。

物质的元素不同，原子核的重量和所带的电荷的多少就随着不同，围绕着原子核运转的电子数目也不同。氢是最轻的元素，它的原子结构最简单，原子核所带的正电荷也最少，核周围只有一个电子绕着运转。其他元素的原子结构都比它复杂，原子核比它重，原子核所带的正电荷比它多，而核周围可有几个以致几十个电子绕着运转。例如铝有13个电子，铜有29个电子，银有47个电子等。

在电子较多的原子里，各个电子绕行的轨道距离原子核并不一样，有的近些，有的远些。距离远的电子所受原子核的吸引力比较小，因此当它们受到外界的某些力的影响时，就可能离开它们原来的原子而跑到另一个物体上去。物体失去部分电子后，原来的平衡状态受到破坏，就显示出正电，得到电子的物体，就显示出负电。例如，用毛皮摩擦硬橡胶，毛皮上的电子便跑到硬橡胶上来，因而硬橡胶带有负电，毛皮带有正电。通常我们把带电的物体称为带电体。

试验证明，一切物体带有相同符号的电荷时互相排斥，带有不同符号的电荷时互相吸引，即所谓同性相斥，异性相吸。正负不同的两种带电体互相接触时，如果所带的电荷相等，则由于正负电荷中和不再显示电性。倘若某一带电体上的电荷比另一带电

体的电荷多时，则两种电荷中和之后，多余的电荷将部分地传至另一带电体，使两带电体带有同性质的电荷，而产生互相排斥的现象。

一、静电场

图1-1表示了一个固定在绝缘柄上的带电金属球对悬挂在附近的带电小球有作用力的现象：对带有与金属球同性电荷的小球排斥，对带有与金属球异性电荷的小球吸引。这个实际现象表明，物体带电之后，使其周围空间的性质发生了变化，这种状态是物体带电之前所没有的，而且当带电体移走或者把所带的电荷

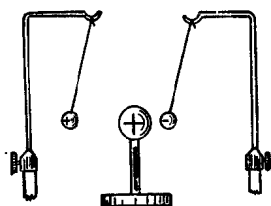


图 1-1 电场对带电小球的作

用。因此，我们就把带电体周围具有电力作用的整个空间称为电场，而且把相对静止的电荷所产生的电场称为静电场。人们通过长期实践认识到，电场是物质的一种特殊形态。当其它带电体在电场力的作用下发生移动时，表明电场对带电体

作了功。这说明电场中具有能量，通常把这种能量称为电场能量。

电场的基本表现是使处在电场中的电荷受到电场力的作用。用这种方法不仅能够检验电场的存在，而且还可以描述电场中各点的特性。用一个电量为 $+q_0$ 的试验电荷，依次放在电场内各点，可以观察到试验电荷 $+q_0$ 所受到的电场力的大小和方向均不相同，这就表明，电场不仅有方向性，而且各点的强弱也不相同。人们规定：一个单位正电荷在电场中某点所受到的电场力的大小，称为该点的电场强度，以此来表示该点电场的强弱；同时，以单位正电荷所受力的方向表示该点电场强度的方向。通常都用电场强度这个物理量来表示电场内某一点的特性。

电场强度是向量，为了了解和研究电场，采用了假想的电力线来形象地描绘出电场强度的方向、大小及分布情况。绘制电力线应遵守的原则：

(1) 电力线是按照电场中各点电场强度的方向绘制而成, 它从正电荷出发, 终止于负电荷。电力线任一点的切线方向, 应与该点的电场强度方向一致。因此, 电力线不能中断, 也不能互相交叉。

(2) 电力线密度大的地方电场强度大, 电力线密度小的地方电场强度小。

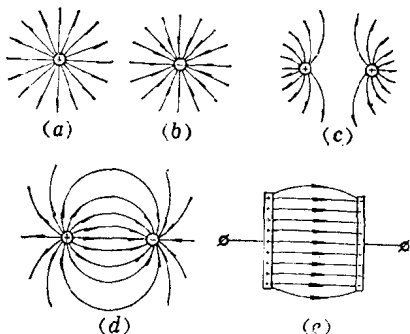


图 1-2 几种电场的电力线

(a) 带正电球体的电力线; (b) 带负电球体的电力线; (c) 两个带正电球体的电力线; (d) 带正电和带负电球体的电力线; (e) 两块平行板间的电力线

图 1-2 画出了几种电场的电力线。在图 1-2(e) 所示的电场中, 各点的电场强度大小相等, 方向相同, 称为均匀电场。

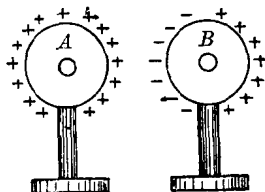


图 1-3 静电感应现象

二、静电感应现象

如图 1-3 所示, 把一个不带电的金属球 B 放到一个带正电金属球 A 的附近, 金属球 B 由于受到带电金属球 A 所产生的电场的作用, 它内部的电子就要发生移动, 使靠近 A 的一侧出现多余的电子而带负电, 距离 A 较远的一侧带正电, 这种现象称为静电感应。

1-2 直流电路的基本概念

一、直流电路和电流

电路是一个整体概念。把直流电源和用电设备用导线连接成一个闭合回路, 就构成了简单的直流电路, 如图 1-4 所示。电源

是电路中供给电能的设备。直流电源一般有干电池、蓄电池和直流发电机。用电设备包括电灯、电热器、电动机等，统称为负载或负荷。

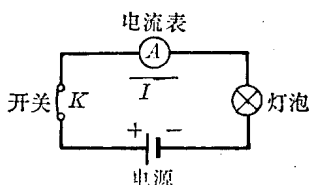


图 1-4 简单的直流电路

合上电路中的开关 K ，在电源的作用下，导体内的电子连续不断地向一个方向运动，在回路中即形成了电流。此时，灯泡发亮，电流表 A 有指示数。

电流的大小用电流强度（简称电流）来表示。它的定义是：在单位时间内通过导体某一横截面的电量。如果在时间 t 内通过导体某一横截面的电量为 q ，则电流为：

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

在实用单位制中，电流的单位为安培，简称安，用字母 A 表示。电流有时用千安（ kA ）、毫安（ mA ）或微安（ μA ）为单位，它们之间的关系是：

$$1 \text{ 千安} = 1000 \text{ 安}$$

$$1 \text{ 安} = 1000 \text{ 毫安} = 10^3 \text{ 毫安}$$

$$1 \text{ 安} = 1000000 \text{ 微安} = 10^6 \text{ 微安}$$

电路中的电流是由于导体中的自由电子（负电荷）的流动而形成的。自由电子流动的方向是从电源的负极出发，经过外电路回到电源的正极，在电源的内部则由正极到负极，这样形成一个闭合的路径。但是按照习惯规定，电流的方向是正电荷流动的方向，它从正极出发经外电路回到电源的负极，在电源内部则由负极到正极（见图1-4）。显然，这样规定的电流方向恰恰与电子流动的方向相反。由于过去已经形成了习惯，而且并不影响人们对电路的研究，因之今后所指的电流方向仍沿用原来的规定。

二、电位、电压和电势

1. 电位

电位和电场强度一样，也是表示电场中各点特性的物理量。在前面一节中已经讲过：电场具有能量。当把试验电荷 $+q_0$ 放入电场中时，它要受到电场力的作用，沿着电场的方向移动。这种情况和地球上的物体受到重力的作用而作自由落体运动很相似。我们知道物体在地球表面上的不同高度便具有不同的位能（势能），同样，电荷 $+q_0$ 在电场中的不同点也具有不同的电位能。为了表示电场各点的这种性质，人们规定：试验电荷 $+q_0$ 在电场中任一点所具有的电位能与其电荷量的比值（也即单位正电荷在电场中任一点所具有的电位能），称为该点的电位。如果在电场力的作用下，电荷 $+q_0$ 由电场中的 A 点移动到 B 点，这就说明 $+q_0$ 在 A 点所具有的电位能要比在 B 点的大，即 A 点的电位高， B 点的电位低。试验电荷 $+q_0$ 在电场中移动时，总是由高电位移向低电位。

在电路中，电流的方向也是从高电位流向低电位。因为电源具有正负两极，它们具有不同的电位，正极的电位高，负极的电位低。一般在分析电路问题时，我们常把大地当作零电位（或把电路中的一点当作零电位），高于零电位的称为正电位，低于零电位的称为负电位。

2. 电压

电压是指电路中任意两点之间的电位差，用字母 U 表示。在这里要认识到：（1）电路中只有存在着电位差，才能有电流；（2）当电流流过负载时，必然在负载两端形成电位差，这个电位差有时也称为电位降或电压降。如果电路中某两点的电位相同，即电压等于零，这时既便用导线把两点连接起来，在导线中也不会有电流。

今后在分析电路时，常需标出电路电压的方向，通常规定电压的方向和电流的方向一致，即从高电位指向低电位的方向，也就是电位降低的方向，如图1-5所示。

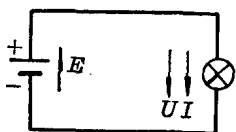


图 1-5 电势、电压、
电流的方向

3. 电势

大家都知道水在水管中流动的情况，高处的水能自然地流向低处，但低处的水却不能自动地流向高处。为使水管中的水连续流动，必须用水泵把水从低处打到高处，即将水泵的机械能转换为水的位能。在这里水泵就是维持水位差的能源。同理，在电路中欲使电流连续不断，就必须有一种能源使负载两端维持一定的电位差，这个任务是由电源来完成的。

在电源内部，在其它形式的能量（如机械能、化学能等）的作用下，把正负电荷分别推向电源的两极，使电源两端产生一定数值的电位差，这个电位差称为电源的电动势，简称为电势，用字母 E 来表示。电势的方向是由电源的负极指向电源的正极，即由低电位指向高电位，表示电位升高的方向，如图1-5所示。

电源的电势和它的端电压是有区别的。电源的电势是由于电源内部其它形式能量的作用而产生的，故一般说来电势的数值是不变的。但由于电源内部都具有一定的电阻（这种电阻称为内阻），当电源送出电流时，在电源内阻上产生电压降，这时电源的端电压就比电势小些。当电源开路时，由于电流等于零，即电源内部的电压降为零，这时，电源端电压的数值就等于电势。因为电源的内阻一般很小，电源的端电压与电势相差不大，所以有时就把电源的电势与端电压看作近似相等，但从物理概念上来说，二者是不能混淆的。

电位、电压和电势的单位都是伏特（简称伏），以字母 V 表示，在实用中还以千伏（ kV ）或毫伏（ mV ）作单位。

$$1 \text{ 千伏} = 1000 \text{ 伏}$$

$$1 \text{ 伏} = 1000 \text{ 毫伏}$$

三、电阻和电导

1. 电阻

电流在导体内通过时要受到阻力，这种阻力就称做电阻，用

字母 R 表示。导体电阻的大小与下面几个因素有关系：

(1) 导体的材料：不同材料由于它们的原子结构不同，导电性能也不一样。通常用电阻率（又称电阻系数） ρ 来表示某种材料导电性能的好坏。几种常用导电材料在 20°C 时的电阻率如下表所示。

常用导电材料的电阻率

材 料 名 称	电 阻 率 ρ (欧·毫米 ² /米)(20°C)	材 料 名 称	电 阻 率 ρ (欧·毫米 ² /米)(20°C)
银	0.0162	铁	0.0978
铜	0.0172	铅	0.2220
铝	0.0283	康 铜	0.4900

(2) 导体的长度和截面：同样材料的导体，长度越长的电阻值越大，截面越大的电阻值越小。根据实验，对于等截面的导体，当温度不变时，其电阻按下列公式计算：

$$R = \rho \frac{l}{s} \quad (1-2)$$

式中 R —— 导体的电阻，欧；

l —— 导体的长度，米；

s —— 导体的横截面，毫米²；

ρ —— 导体的电阻率，欧·毫米²/米。

(3) 导体的温度：同一导体在不同温度下它的电阻值不同，即导体的电阻率随温度的升降而变化。一般金属材料的电阻率随温度的升高略有增大，而石墨、碳等材料的电阻率随温度的升高而减小。在一般情况下，只要温度变化范围不大，我们便可认为金属导体的电阻值不变。

【例 1-1】 计算长为 1 公里、截面为 16 平方毫米的铜线和铝线在 20°C 时的电阻各为多少？

解：已知 $l = 1000$ 米， $s = 16$ 平方毫米，查表得铜的电阻率 $\rho = 0.0172$ ，铝的电阻率 $\rho = 0.0283$ 代入公式 (1-2) 得：

$$\text{铜线电阻 } R_1 = 0.0172 \times \frac{1000}{16} = 1.08 \text{ 欧}$$

$$\text{铝线电阻 } R_2 = 0.0283 \times \frac{1000}{16} = 1.77 \text{ 欧}$$

2. 电导

各种导体都具有一定的导电能力，这种能力称为电导。

电阻和电导是从不同的两个方面来说明导体的性质。导体具有的电阻愈大，它的电导就愈小，也就是通过电流的能力愈小，反之，导体的电阻愈小，它的电导就愈大，也就是电流愈容易通过。所以，电阻和电导之间存在着互为倒数的关系，用字母 G 来表示导体的电导，则有

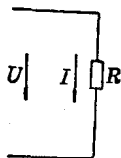
$$G = \frac{1}{R} \quad (1-3)$$

电阻的单位为欧姆 (Ω)，电导的单位则为 $1/\text{欧}$ ($1/\Omega$)。

1-3 直流电路的基本定律

一、欧姆定律

在图1-6所示的部分电路中， R 是电路中的电阻， U 是加在电阻两端的电压， I 表示流过电阻中的电流。由实验知道：在电阻 R 不变的情况下，通过电阻的电流 I 与电阻两端所加的电压 U 成正比关系， U 增大时 I 随之增大， U 减小时 I 也随之减小。这种关系，称为欧姆定律。用数学式表达出来，即为：



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

图 1-6 部分电路 或者写成 $U = IR$

由 (1-4) 式可以看出，只要知道三者中的任意两个量，就可以确定第三个量。例如电阻为 15 欧 的灯泡，外接电压为 3 伏 ，那么灯泡中通过的电流用上式计算出是 0.2 安 。

欧姆定律不仅适用于部分电路，同时也适用于全电路（整个

闭合电路)。图 1-7 是一个全电路，电源的电势为 E ，电源的内阻为 r_0 ，外部电路的电阻为 R （包括连接导线的电阻），则全电路中的电流 I 应等于电源的电势 E 除以电路的总电阻（ r_0 与 R 之和），即

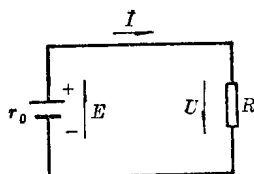


图 1-7 全电路

$$I = \frac{E}{r_0 + R} \quad (1-5)$$

上式又可写成下列形式：

$$E = I(r_0 + R) = Ir_0 + IR = Ir_0 + U$$

移项后得 $U = E - Ir_0$ (1-6)

式中 Ir_0 —— 电源内阻上的电压降；

U —— 外电阻 R 两端的电压，也是电源的端电压。

由 (1-6) 式看出，电源的端电压等于电源的电势减去电源内阻的电压降。联系到上节所叙述的电势、电压概念，就可以进一步体会到电势与端电压的区别。

【例 1-2】已知闭合电路中的电源电势 $E = 12$ 伏，内电阻 $r_0 = 0.1$ 欧，外接负载电阻 $R = 3.9$ 欧，求电路中的电流 I ，电源内部压降 Ir_0 ，电源端电压 U 。

解：根据公式 (1-5) 及 (1-6)

$$I = \frac{E}{r_0 + R} = \frac{12}{0.1 + 3.9} = \frac{12}{4} = 3 \text{ 安}$$

$$Ir_0 = 3 \times 0.1 = 0.3 \text{ 伏}$$

$$U = E - Ir_0 = 12 - 0.3 = 11.7 \text{ 伏}$$

二、基尔霍夫第一定律

我们知道一个电源同时供给几个负载用电时，是把这些负载跨接在两条导线上。在图 1-8 中，三个负载电阻的一端都接到 A 点，另一端都接到 B 点。我们把 A 点和 B 点称为“结点”，每个电阻电路称为一个支路。根据实验证明：电源供给的总电流一定等于各电阻支路电流之和，即

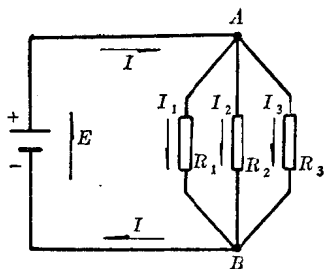


图 1-8 分支电路

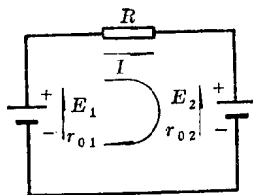


图 1-9 具有两个电源的无分支电路

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

在这个电路中，对结点 A 来说，电流 I 是流进结点的，电流 I_1 、 I_2 、 I_3 是从结点流出的，对结点 B 来说，电流 I 则是流出的，电流 I_1 、 I_2 、 I_3 则是流进的。可以把上述关系概括成为一个普遍的规律，就是流进一个结点的电流之和必定等于流出该结点的电流之和。这个规律称为基尔霍夫第一定律。

三、基尔霍夫第二定律

在实际工作中，我们会遇到图 1-9 所示的具有两个电源的电路，例如用直流发电机给蓄电池充电就属于这种情况。在电路中，若 $E_1 > E_2$ ，则电流由电源 E_1 送出，经过负载电阻 R 、电源 E_2 构成闭合路径。这时， E_1 起着电源的作用，而 E_2 则起着负载的作用，通常把 E_1 称为正电势， E_2 称为反电势。根据实验电路中的电流

$$I = \frac{E_1 - E_2}{r_{01} + r_{02} + R} \quad (1-8)$$

移项后则得

$$E_1 - E_2 = I(r_{01} + r_{02} + R) = Ir_{01} + Ir_{02} + IR \quad (1-9)$$

公式 (1-9) 具有重要的物理概念，它说明了闭合电路中电势与电阻电压降的关系，将此加以普遍概括，则得到这样一个规律：在任一闭合电路中，各电源电势的代数和等于各电阻上电压降的代数和。这个规律称之为基尔霍夫第二定律。在应用此定律