电工进网作业考核培训教材

（农村低压电工部分）

华东六省一市电机工程（电力）学会联合编委会
江苏省南通市电机工程学会 编

中国电力出版社

.1
5

TM727.1
H665

＊本书被评为2001年全国优秀畅销书＊

电工进网作业考核培训教材

（农村低压电工部分）

华东六省一市电机工程（电力）学会联合编委会
江苏省南通市电机工程学会 编

中国电力出版社

内 容 提 要

《电工进网作业考核培训教材》是根据部颁《进网作业电工管理办法》和《进网作业电工培训考核大纲》的要求，以《电力法》等法规和新颁国家和电力行业标准为标准，从进网作业电工应掌握的电工理论及电力系统运行知识出发，重点介绍35kV及以下的电业安全、作业技能和电工作业规定，内容深入浅出，理论联系实际，文字通俗易懂，是专为工业企业电工、农村低压电工、建筑电工和电工安全技术编写的进网作业考核培训教材。

本书为《电工进网作业考核培训教材》之一，介绍10kV及以下农村低压电工进网作业应具有的必备知识和操作技能。全书共九章，主要内容包括电工、电子技术基础知识，电机与电器，电力系统基本知识，低压电力网的安全保护装置及接线方式，电工仪表与电能计量，10/0.4kV变配电装置，电力线路，用电装置，小水电、自发电知识，以及安全用电、计划用电、节约用电和营业管理等。各章后均附有复习思考题。

本书可作为从事电气安装、运行、检修、维护和管理工作，具有初中及以上文化程度，10kV及以下农村低压电工、农村供电营业所电工、乡镇电工和村电工等进网作业的考核培训教材，也可作为农电管理干部、技术人员和电力类中专、技校、职业学校的电工教材。

图书在版编目（CIP）数据

电工进网作业考核培训教材：农村低压电工部分/华东六省一市电机工程（电力）学会，江苏省南通市电机工程学会编．-北京：中国电力出版社，1998.10

ISBN 7-80125-752-9

Ⅰ.电… Ⅱ.①华… ②江… Ⅲ.农村配电-低压-电力系统结构-技术培训-教材 Ⅳ.TM727.1

中国版本图书馆CIP数据核字（98）第21318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）

水利电力出版社印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1999年1月第一版 2002年3月北京第五次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 13.75印张 330千字

印数33001—38000册 定价20.00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）

《电工进网作业考核培训教材（农村低压电工部分）》

组编单位：华东六省一市电机工程(电力)学会联合编委会

主任委员：刘时中　江苏省电机工程学会

副主任委员：林淦秋　上海市电机工程学会

苏伯林　江苏省电机工程学会

委　　员：林康民　山东省电机工程学会

王海秋　安徽省电机工程学会

熊彭年　江西省电机工程学会

陆桂婉　浙江省电力学会

郭忠尧　福建省电机工程学会

编写单位：南通市电机工程学会

主　　审：王榆青　伍捷增

主　　编：季运兴

参　　编：许品元　葛振华

前　言

随着我国农村电气化事业的日益发展，对农村新电工上岗前培训和在职电工考核培训工作，更显量大面广，迫切需要一些更具针对性的培训教材。近几年来，农网领域中总结了一批新设备、新技术和新工艺，加上国家与电力部门颁发了《电力法》等一系列新法规、新标准。为了适应这一形势，我们在华东六省一市电机工程（电力）学会联合编辑委员会的指导下，根据自身多年的科研、教学和实践经验，以新法规、新标准为准则，针对农电工作实际情况，编写了本书，以作为农村、县城、城市效区的低压电工、乡镇电工、企事业单位电工、建筑业电工进网作业上岗前和在职电工的考核培训教材。

本书知识层次结构，按初学者认知规律编排。施教者应按各有关章节的提示准备教学器具及实习条件。

本书基本内容，包括示范必作的（技能训练）操作题，讲授160学时左右，书中复习思考题可供学员课外复习消化或另外安排时间进行，带“*”者为必作题。

《电工进网作业考核培训教材（农村低压电工部分）》一书由季运兴同志主编，其中第一章由许品元同志编写；第二至八章及附录由季运兴同志编写；第九章由葛振华同志编写。全书由王榆青同志主审，刘时中、伍捷增同志组织并参加了审稿工作。

本书在编写过程中得到启东、海门、通州市电机工程学会以及沈岳翔等同志的大力支持，在此一并表示感谢。由于编者水平有限，不妥与错误之处恳请读者指正。

编　者

1998年6月

试读结束，需要全本PDF请购买 www.ertongbook.com

目　录

前　言

第一章　电工基础知识 …… 1

第一节　直流电路 …… 1

一、物体的带电和电场（1）　二、电流、电位、电压与电动势（1）　三、电阻、导体和绝缘体（3）　四、电路基本定律（4）　五、电路连接（7）　六、电功、电功率及电流热效应（9）

第二节　电磁和电磁感应 …… 10

一、磁铁和磁场（10）　二、电磁力（12）　三、电磁感应（13）　四、自感、互感与涡流（15）

第三节　单相交流电路 …… 16

一、交流电产生（16）　二、交流电基本物理量（17）　三、交流电表示（18）　四、纯电阻、纯电感和纯电容电路（19）　五、电阻、电感、电容的串联和并联电路（24）

第四节　三相交流电路 …… 27

一、三相交流电产生及其特点（27）　二、三相电源连接（28）　三、三相负荷连接（29）　四、三相电路功率（32）

第五节　电子技术基础及其应用 …… 33

一、半导体器件基本知识（33）　二、半导体整流和滤波电路（39）　三、三极管单管放大电路（44）

复习思考题 …… 48

第二章　电机与电器 …… 52

第一节　变压器、互感器 …… 52

一、变压器工作原理（52）　二、配电变压器结构（53）　三、配电变压器技术参数（54）　四、互感器（55）

第二节　旋转电机 …… 58

一、三相同步发电机（58）　二、三相异步电动机（60）　三、单相异步电动机（63）　四、直流发电机（65）　五、直流电动机（67）

第三节　高低压电器与防雷、接地装置 …… 68

一、高、低压熔断器（68）　二、防雷装置结构与工作原理（70）　三、接地装置（72）　四、隔离开关、负荷开关、断路器（73）　五、漏电开关（76）　六、接触器、主令电器（78）　七、控制继电器（81）　八、起动器（82）　九、低压电力电容器构造及技术数据（82）

复习思考题 …… 83

第三章　电力系统与低压电力网 …… 85

第一节　电力系统 …… 85

一、电力系统组成与电力生产特点（85）　二、对电力系统的基本要求（86）

第二节　低压电力网 …… 86

一、电源中性点工作接地与中性线重复接地（87）　二、低压电力网三种基本安全保护装置（87）　三、低压电力网接地形式与接线方式（90）　四、低压电力网相色标志（93）

复习思考题 …… 93

第四章　电工仪表与电能表 …… 94

第一节　电工仪表一般知识 …… 94

一、仪表测量机构（94）　二、仪表误差（96）　三、仪表标志符号（97）

第二节　指示型仪表 …… 98

一、电流表、电压表（98） 二、功率表、功率因数表（100）
第三节 万用表与电阻测量仪器 …… 101
一、万用表（101） 二、兆欧表（103） 三、接地电阻测试仪（104） 四、直流电桥（104）
第四节 电能表 …… 106
一、感应系电能表结构与工作原理（106） 二、电能表技术特性与接线图（107）
复习思考题 …… 108
第五章 变配电装置 …… 109
第一节 10/0.4kV 变配电站接线 …… 109
一、配电变压器所需容量确定（109） 二、变压器并列运行（111） 三、供电方式与电能计量方式（111）
四、10/0.4kV 变配电站电气接线图及设备选择（111）
第二节 变配电装置安装与运行维护 …… 114
一、变配电站站址选择与配电变压器安装(114) 二、高压电气设备安装（115） 三、防雷与接地装置安装（115） 四、电能计量装置安装（116） 五、低压配电装置安装（117） 六、漏电保护装置选配、安装与运行维护（119） 七、无功补偿容量选配与电力电容器安装、维护(120) 八、配电变压器运行维护（122）
复习思考题 …… 123
第六章 电力线路 …… 124
第一节 电力线路基本知识 …… 124
一、电力线路分类（124） 二、导线和电缆截面选择（124）
第二节 架空配电线路 …… 126
一、架空配电线路结构（126） 二、低压架空线路杆型（127） 三、低压架空线路选择、施工与技术规范（128）
第三节 电力电缆线路 …… 132
一、电力电缆构造（132） 二、低压电力电缆线路施工（133）
第四节 低压地埋电力线路 …… 133
一、地埋电力线路规划与设计（134） 二、地埋电力线路施工（134）
第五节 接户线与进户线 …… 135
一、接户线配电接线方式与进户点选择（135） 二、接户线与进户线技术规范（135）
第六节 室内外配线 …… 136
一、常用布线类型及选用（136） 二、室内外配线方式选择（137） 三、导线明敷设（139）
四、槽板配线（139） 五、管内配线（140）
第七节 电力线路运行维护 …… 141
一、技术管理（141） 二、巡视检查（141） 三、维护检修（141）
复习思考题 …… 142
第七章 用电装置 …… 144
第一节 动力装置 …… 144
一、一般电动机选择与安装（144） 二、水泵与泵用电动机（145） 三、电动机起动装置（148）
四、电动机控制与保护装置（149） 五、电动机控制线路图（152） 六、移动式电动器具安装（154）
七、电动机运行维护（154）
第二节 照明装置 …… 155
一、常用电光源及其使用特点（155） 二、灯具选择与照明装置分类（158） 三、照明装置安装与维护（158） 四、开关、插头、插座（159）

第三节　动力、照明工程施工图 …… 161
一、识图基本知识（161）　二、动力、照明工程施工图（165）
复习思考题 …… 171
第八章　小水电、小热电与自发电 …… 173
第一节　小水电基本知识 …… 173
一、小水电特点（173）　二、我国小水电资源及其开发（173）　三、小水电建站形式及站址选择（174）
四、小水电站主要机电设备及管理（175）
第二节　小热电基本知识 …… 177
一、热电厂优越性（177）　二、小型热电厂选址与建设（177）　三、小型热电厂主要设备（177）
第三节　自发电知识 …… 178
一、柴油发电机组（178）　二、柴油发电机组运行（179）　三、双电源与自发电用户安全措施（180）
复习思考题 …… 181
第九章　用电管理 …… 182
第一节　安全用电 …… 182
一、电工培训与电工队伍建设（182）　二、低压电气安全作业制度（184）　三、触电预防和触电
急救（186）　四、电力设施保护（188）
第二节　计划用电 …… 190
一、计划用电意义（190）　二、计划用电基本措施（190）
第三节　节约用电 …… 191
一、节约用电措施（191）　二、严防漏电、漏计和窃电（192）
第四节　营业管理 …… 193
一、业务扩充（193）　二、电价与电费（194）　三、用电计量（195）
复习思考题 …… 196
附录Ⅰ　按防触电方式的电器分类 …… 197
附录Ⅱ　常用导线规格及其允许载流量 …… 198
附录Ⅲ　低压电网电压损失表 …… 203
附录Ⅳ　导线穿管的管径选择表 …… 204
附录Ⅴ　各类导线管规格表 …… 205
附录Ⅵ　铅熔丝额定电流表 …… 206
附录Ⅶ　用电设备电流计算公式表 …… 207
附录Ⅷ　低压工作票、低压安全措施票、低压操作票 …… 208

第一章 电工基础知识

第一节 直 流 电 路

一、物体的带电和电场

1. 物质的结构

自然界的物质由分子组成，分子由原子组成，原子是由原子核和电子组成。原子核带有正电荷，电子带有负电荷并围绕原子核不停地高速运动着。由于正、负电荷之间存在吸引力，因此运动中的电子受到原子核的束缚力，而不会从原子中飞逸出去。

不同物质的原子具有不同的结构，主要表现为原子核内的正电荷及核外电子的数目不相同。图 1-1 所示为氢原子和铝原子的电结构。各种物质只有正电荷和负电荷两种电荷，同性电荷相互排斥，异性电荷相互吸引，这是电荷的基本特性。

2. 物体的带电

在通常情况下，原子核所带正电荷的总数，总是等于核外电子所带负电荷的总数，所以整个物体不呈现电的特性，物体处于中性状态。当由于某种原因使物体电子增多或减少时，物体内正负电荷的总数就不相等，这时物体就显示出电的特性，叫做物体带电。

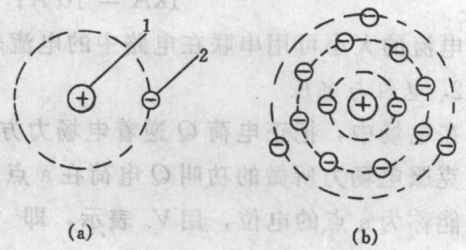

图 1-1 原子的电结构图

(a) 氢原子；(b) 铝原子

1—原子核；2—电子

正负电荷都是自然界物质的组成部分，它们不会凭空产生或消失，只能从一个物体转移到另一个物体上。这种规律称为电荷守恒定律。

物体所带电荷的多少叫电荷量，用 Q 表示，单位是 C。一个电子带有最少量的负电荷，其电荷量等于 1.60×10^{-19}C，1C 为 6.25×10^{18}个电子所具有的电荷量。

3. 电场

两个带电体之间存在互相排斥或互相吸引的作用，这表明两个带电体之间有作用力。带电体周围存在着一种叫做电场的特殊物质，带电体之间的作用就是通过电场进行的。电场对处于电场中的电荷产生作用力，称为电场力，用 F 表示，单位是 N，它的大小可表示为

$$F = EQ \quad 或 \quad E = \frac{F}{Q} \tag{1-1}$$

式中 E——电场强度，N/C 或 V/m；

Q——电荷量，C。

电场强度 E 的方向跟正电荷在该点所受电场力的方向相同，跟负电荷在该点所受电场力的方向相反。

二、电流、电位、电压与电动势

1. 电流

在金属导体中，金属原子的内层电子被原子核紧紧束缚着，不能脱离其运动轨道而自由运动；而原子的外层电子受原子核的束缚力较弱，在一定条件下可以脱离原子核的束缚而自由运动，这种电子又称自由电子。金属中的自由电子是很多的。如果给导体两端加一个电压，导体内的自由电子就会在电场力的作用下产生定向的运动，这种现象称为电流。

电流具有一定的方向。习惯上规定正电荷运动的方向为电流的实际方向（在电解液中电流的方向与正离子运动的方向相同）。这与电子反方向运动的效果是相同的。在电路计算时，可任意选择一个方向作为电流的假定方向，简称正方向或参考方向。计算结果电流为“+”，说明实际方向与假定方向一致；反之，实际方向为假定方向的反方向。

单位时间流过导体截面的电荷量叫做电流强度，简称电流，用 I 表示，其表达式为

$$I = \frac{Q}{t} \tag{1-2}$$

式中 Q——通过导体截面的电荷量，C；

t——通过电荷量 Q 所用的时间，s。

电流的单位为安培，简称安，用 A 表示。电流的实用单位除安外，还有 kA、mA 和 μA。其换算关系如下：

$$1\text{kA} = 10^3\text{A};\ 1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$$

电流的大小可用串联在电路中的电流表来测量。

2. 电位与电压

在电场中，把正电荷 Q 逆着电场力方向从无限远处沿任一路径移动到电场中 a 点处时，外力克服电场力所做的功叫 Q 电荷在 a 点的电位能 W_a。在电场中 a 点处单位正电荷所具有的电位能称为 a 点的电位，用 V_a 表示，即

$$V_a = \frac{W_a}{Q} \tag{1-3}$$

式中 Q——电荷的电荷量，C；

W_a——在 a 点电荷 Q 所具有的电位能，J。

电位的单位是伏特，简称伏，用 V 表示。

为了确定电路中各点电位的高低，可在电路中任选一个参考点，令其电位为零（工程中常选大地为参考点），这时电路中其他各点电位的高低，都以这一点为标准进行比较，高于参考点的电位为正电位，低于参考点的电位为负电位。两点间的电位差称为两点间的电压，用 U 表示。

电压的方向是由高电位指向低电位的。如果电路中两点的电位相等，则电位差等于零，叫做等电位点。无源支路等电位点间没有电流流过。这是高压带电作业的理论依据。

跟电流计算一样，在无法确定电压方向时，可先假定一个参考方向进行电压计算，最后根据结果的正负来确定其实际方向。

电压的单位也是 V，其实用单位还有 kV、mV 和 μV。其换算关系为

$$1\text{kV}=10^3\text{V};\ 1\text{V}=10^3\text{mV}=10^6\mu\text{V}$$

电压的大小可用并联在电路中的电压表来测量。

3. 电源和电动势

所谓电源，就是能将其他形式的能量转化为电能的设备，如发电机、蓄电池，分别可将

机械能、化学能转化为电能。

各种电源都具有正负两个极性，而且都能在电源内不断将正电荷从低电位端（“－”极性）移动到高电位端（“＋”极性），于是两极间就形成电场，保持着一定的电位差。电源内部这种移动电荷的作用力称为电源力。

电源力既然能使正电荷移动，就说明它能做功。电源力将单位正电荷从电源低电位端移动到高电位端所做的功 W，叫电源的电动势，用 E 表示，即

$$E = \frac{W}{Q} \tag{1-4}$$

和电压一样，电动势的单位也是 V。

电动势的方向是指在电源内部电源力移动正电荷的方向，是从低电位端指向高电位端，即电位升的方向。而电压方向指的是从高电位端指向低电位端，即电压降的方向。这两个物理量的含义不同（电位升与电位降），但实际上说明同一客观事实，即“＋”极性端电位比“－”极性端电位高。

方向不随时间而改变的电流、电压、电动势都叫做直流电。方向和大小都不随时间而改变的电流、电压、电动势叫做稳恒直流，通常简称直流。本节所讲的直流都是指这种稳恒直流。

三、电阻、导体和绝缘体

1. 导体和导体的电阻

容易通过电流的物体叫导体。导体中的自由电子在电场力的作用下做定向运动时，由于不断地与导体内的许多原子发生碰撞，并受到邻近原子中正、负电荷的吸力和斥力，因此会受到一定的阻力。导电物体对电流的这种阻力称为电阻，用 R 表示，导体电阻的大小由下式决定

$$R = \rho \frac{L}{S} \tag{1-5}$$

式中 ρ——电阻率，其大小与导体材料性质有关，$\Omega \cdot mm^2/m$；

L——导体长度，m；

S——导体横截面积，mm^2。

导体的电阻还与导体的温度有关。一般金属材料的电阻随温度的升高而增加，电解液导体的电阻随温度的升高而降低。考虑温度影响时金属导体的电阻，应为

$$R_2 = R_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)] \tag{1-6}$$

式中 α——导体材料的电阻温度系数，1/℃；

R_1——温度为 t_1 时的电阻值，Ω；

R_2——温度为 t_2 时的电阻值，Ω。

常用金属材料的电阻率和电阻温度系数，见表 1-1。

电阻的常用单位是欧姆，简称欧，用 Ω 表示，实用单位还有 kΩ 和 MΩ。其换算关系为

$$1M\Omega = 10^3 k\Omega = 10^6 \Omega$$

导体的电阻可用欧姆表和电桥来测量。

各种导体都有一定的导电能力。这种能力称为电导，以 G 表示，它与电阻都是说明导体的导电能力大小。电导与电阻的关系为

试读结束，需要全本PDF请购买 www.ertongbook.com

表 1-1　常用金属材料的电阻率和电阻温度系数

金属材料名称	电　阻　率 (20℃，Ω·mm²/m)	电阻温度系数 (10^{-3} 1/℃)
银	0.0162	3.80
铜	0.0172	3.93
铝	0.0282	3.90
铁	0.100	5.00
镍铬合金	1.09	0.07

$$G = \frac{1}{R} \tag{1-7}$$

电导的单位是西门子，简称西，用S表示。

2. 绝缘体、绝缘材料的等级及耐热度

绝缘体的电阻很大，电流几乎不能通过，其电阻率一般为 10^{12}~$10^{22}\Omega \cdot mm^2/m$。测量绝缘体的绝缘电阻可用兆欧表，俗称绝缘摇表。

绝缘体在电力工业中也得到了广泛应用。但绝缘材料在长期的设备运行中会因热的、电的、环境的和机械的各种应力的作用辐逐渐失去原有的绝缘性能，这种变化叫做绝缘的老化。温度对绝缘老化的影响最甚，温度愈高，绝缘老化速度愈快，绝缘材料的绝缘性能也就愈差，很容易被高电压击穿，造成故障。严重过热会使绝缘变脆而破裂，导致导电体失去绝缘层而发生短路或接地故障。因此，电气设备在正常运行时，不允许超过绝缘材料所容许的温度。

不同种类的绝缘材料，所允许的最高工作温度也不同，例如制造电机和变压器所用的绝缘材料，按耐热能力的不同可分成Y、A、E、B等七级，如表1-2所示。

表 1-2　　绝缘材料的等级及耐热温度

绝缘等级	Y	A	E	B	F	H	C
耐热温度（℃）	90	105	120	130	155	180	180以上
材料举例	未处理过的有机材料	浸渍处理过的有机材料如纸、棉纱、木材等	聚乙烯类绝缘	云母带、云母纸、甘油树脂、虫胶	聚脂绝缘漆	硅有机绝缘	天然云母、玻璃、瓷料

导电能力介于导体和绝缘体之间的物质叫做半导体。这一类材料有硅、锗、硒等。

导体、绝缘体和半导体的本质差别在于这些物体原子结构中最外层的电子与原子核结合的松紧程度不同，单位体积内所具有的自由电子数目不同，从而影响到它们的导电能力不同。

四、电路基本定律

1. 电路图（电路模型）

电路就是电流所流过的路径，它分实际电路和电路模型两种。实际电路由实际器件组成。图1-2(a)是用两节干电池经刀开关向灯泡供电的实际电路。组成实际电路的实际器件通常可分为四类：

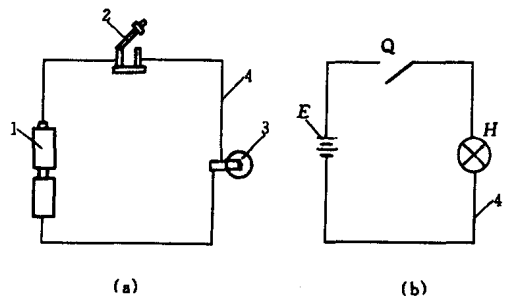

图 1-2　简单电路

(a) 实际电路图；(b) 电气回路图（电路模型）

1、E—电池；2、Q—刀开关；3、H—灯泡；4—导线

(1) 电源。是供给电能的设备。它的作用是将其他形式的能量（如化学能、机械能等）转换成电能。

(2) 负荷，即用电设备。它的作用是耗用电能，将电能转换成非电能。

(3) 控制电器。在电路中起控制和保护作用的开关电器。

(4) 导线。作用是将电源、负荷和控制电器连接起来。

将电路中的实际器件用理想元件表示后，就得到与实际电路相对应的电路模型，称为电气回路图，简称电路图，如图 1-2(b)所示。在电路图中的灯泡应视为理想电阻元件，干电池视为理想电压源。它们都是电路元件，在表达方式上与实际器件是有区别的，但确实是等效的。在电路分析时，通常都是采用这种电路图（电路模型）来进行的。

2. 欧姆定律

欧姆定律是表示电压（或电动势）、电流和电阻三者关系的基本定律。

图 1-3(a)所示为部分电路。实验证明，流过电阻的电流，与电阻两端的电压成正比，与电阻值成反比，称为部分电路欧姆定律，用公式表示为

$$I = \frac{U}{R} \tag{1-8}$$

欧姆定律也适用于如图 1-3(b)所示的全电路。在这样的闭合电路中，电路中的电流与电源的电动势成正比，与电路中负载电阻及电源内阻之和成反比，称为全电路欧姆定律，即

$$I = \frac{E}{R + R_0} \tag{1-9}$$

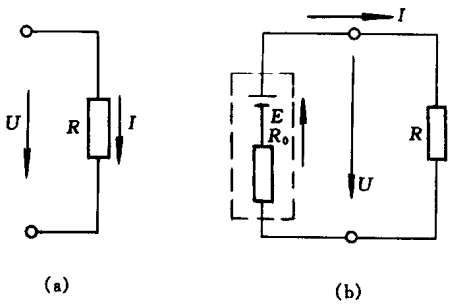

图 1-3 欧姆定律的图例
(a) 部分电路；(b) 全电路

式中 E——电源电动势，V；

R、R_0——分别为负荷电阻和电源内阻，Ω；

I——电路中流过的电流，A。

式（1-9）又可变换成

$$E = I(R + R_0) = IR + IR_0 = IR_0 + U$$

$$U = E - IR_0 \tag{1-10}$$

式中，U 为外电路电阻 R 两端的电压，即电源端电压。

【例 1-1】 在图 1-3（b）中，若 $E=12$V，$R_0=0.1\Omega$，$R=3.9\Omega$，求电路中的电流 I、电源内阻 R_0 上的电压降 U_0 及电源端电压 U。

解：

$$I = \frac{E}{R + R_0} = \frac{12}{3.9 + 0.1} = 3 \quad \text{(A)}$$

$$U_0 = IR_0 = 3 \times 0.1 = 0.3 \quad \text{(V)}$$

$$U = E - U_0 = 12 - 0.3 = 11.7 \quad \text{(V)}$$

在应用欧姆定律时，应注意电压与电流的方向应一致。

当电阻中有电流通过时，两端必有电压。导线都是有电阻的，当用导线输电时，线路电阻将产生电压降，因此输电线路末端的电压总是比始端的电压低（只计电阻的影响时），其降低的数值叫做电压损失。在线路较长、线路电流较大时，线路的电压损失也较大。特别在电源电压等级较低时，供电电压会明显下降，必须采取措施予以改进。

3. 基尔霍夫定律

欧姆定律只反映电阻元件的电压与电流的关系。对复杂电路（如多电源电路）的分析，必须采用电路的另一个基本定律——基尔霍夫定律。基尔霍夫定律包括两个方面的内容：节点

上各支路电流之间的关系和回路中各电压之间的关系。

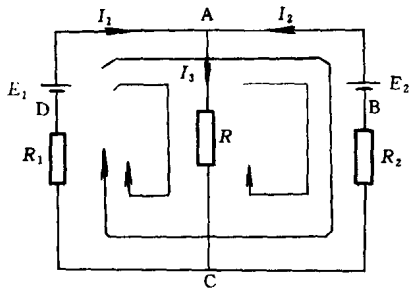

图 1-4　基尔霍夫定律例图

(1) 基尔霍夫第一定律 (KCL 节点电流定律)。电路中三个或三个以上的支路相汇集的点称为节点，如图 1-4 中的 A、C 两点。基尔霍夫第一定律指出：对于电路中的任一节点，流入节点的电流之和必等于流出该节点的电流之和。即

$$\Sigma I_i = \Sigma I_o \tag{1-11}$$

若流入节点的电流为正，则流出节点的电流应为负，式 (1-11) 可写成

$$\Sigma I = 0 \tag{1-12}$$

式 (1-12) 表明流入节点电流的代数和为零。在图 1-4 中，对于节点 A 来说，有

$$I_1 + I_2 = I_3$$

或者

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

基尔霍夫节点电流定律的依据是电流的连续性原理，体现了在电路中电荷守恒的规律。

应用该定律分析计算电路时，应先在电路图中标出电流的正方向 (通常称为参考方向)。如果计算结果出现负值，则说明假定的方向与实际方向相反。

(2) 基尔霍夫第二定律 (KVL 回路电压定律)。基尔霍夫第二定律指出：对于任一回路，沿任一方向绕行一周，各电源电动势的代数和等于各电阻电压降的代数和，即

$$\Sigma E = \Sigma IR \tag{1-13}$$

在图 1-4 中，对于回路 ABCDA，若按图示选定顺时针方向绕行一周，可列写出回路电压方程式为

$$E_1 - E_2 = I_1R_1 - I_2R_2$$

这一定律体现了能量守恒的基本规律，即单位正电荷在电场作用下沿着回路流动一周时，各电动势的电源力对电荷做功使其获得的能量的代数和 (即电位升的代数和)，与电场力对电荷做功使其失去的能量的代数和 (即电位降的代数和) 相等。应用上式时应注意：

1) 绕行方向可任意选定 (顺时针或逆时针)。

2) 绕行方向选定后，顺绕行方向从“−”极到“+”极的电源电动势取正号，反之为负；当电阻元件中电流正方向与绕行方向一致，电阻上的电压取正号，反之取负号。

【例 1-2】 在图 1-4 所示电路中，已知 $R_1=1\Omega$，$E_1=130\text{V}$，$E_2=117\text{V}$，$R_2=0.6\Omega$，$R_3=24\Omega$，求 I_1、I_2 和 I_3。

解：先标出各电流的正方向和回路的绕行方向，如图 1-4 所示。

本题的节点数 n 有两个，可列出独立节点电流方程式 $n-1=2-1=1$ (个)；回路数 m 为 3，可列出独立回路电压方程式为 $[m-(n-1)]=3-(2-1)=2$(个)，故可得方程组

$$\left.\begin{aligned} I_3 &= I_1 + I_2 \\ E_1 - E_2 &= I_1R_1 - I_2R_2 \\ E_1 &= I_1R_1 + I_3R_3 \end{aligned}\right\}$$

将已知数据代入上述方程组，解得：$I_1=10\text{A}$，$I_2=-5\text{A}$ (说明 I_2 的实际方向与所标正方向相反)，$I_3=5\text{A}$。

在电路计算中，除上述两个基本定律外，电流源、电压源的概念及其等效变换、迭加原理、戴维南定理等在解决实际问题中也很有用处，读者可以参阅有关书籍。

五、电路连接

1. 电阻串联

几个电阻头尾依次相接，没有分支地连成一串，叫做电阻的串联，如图 1-5(a)所示。

串联电路有以下特点：

(1) 电路各电阻上流过的是同一个电流。

(2) 根据 KVL，各个电阻上电压降之和等于总电压，即 $U=IR_1+IR_2+IR_3=U_1+U_2+U_3$。由此可以看出，串联电阻可以起分压作用，各电阻分压的大小与其电阻值成正比。

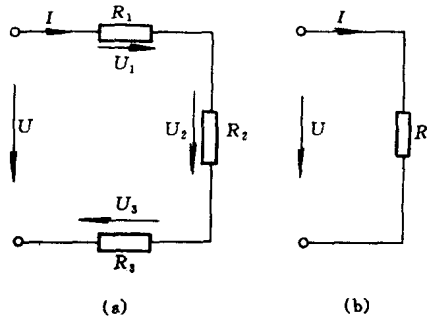

图 1-5 电阻的串联

(a) 原电路；(b) 等效电路

(3) 串联电路的总电阻等于各电阻之和，即总电阻为

$$R_\Sigma = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots \tag{1-14}$$

串联电路的总电阻通常也叫等效电阻。图 1-5(b)是图 1-5(a)的等效电路图。

【例 1-3】 在图 1-5 中，若 $U=140\text{V}$，$I=4\text{A}$，$R_1=10\Omega$，$R_2=15\Omega$，求 R_3 和 U_3。

解：

$$R_\Sigma = \frac{U}{I} = \frac{140}{4} = 35 \quad (\Omega)$$

$$R_3 = R_\Sigma - R_1 - R_2 = 35 - 10 - 15 = 10 \quad (\Omega)$$

$$U_3 = IR_3 = 4 \times 10 = 40 \quad (\text{V})$$

或

$$U_3 = U - U_1 - U_2 = 140 - 4 \times 10 - 4 \times 15 = 40 \quad (\text{V})$$

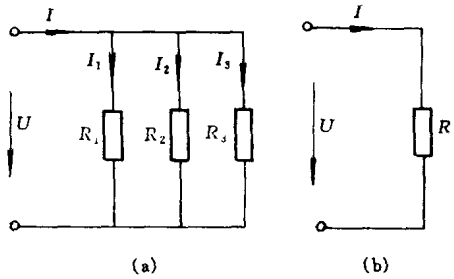

图 1-6 电阻的并联

(a) 原电路；(b) 等效电路

2. 电阻并联

将几个电阻的头与头接在一起，尾与尾接在一起的连接方式叫做电阻的并联，如图 1-6(a)所示。

并联电路有以下特点：

(1) 各并联电阻两端间的电压相等。

(2) 根据 KCL，并联电路中的总电流等于各电阻支路电流之和，即

$$I_\Sigma = I_1 + I_2 + I_3$$

从上式可看出，电压一定时，并联电阻可以使总电流增大；在总电流一定时，并联电阻可以起分流作用，分流的数值按各支路电阻值的大小成反比分配。

(3) 并联电路等效电阻的倒数等于各支路电阻的倒数之和，即

$$\frac{1}{R_\Sigma} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots \tag{1-15}$$

也可用电导表示为

$$G_\Sigma = G_1 + G_2 + G_3 + \cdots \tag{1-16}$$

并联适用于恒定电压的供电方式，供电系统都是采用恒定电压供电的。负荷并联时，其中一个支路负荷接通或切断一般不会影响其他支路负荷的正常工作，因而负荷的并联形式得到了普遍的应用。

【例 1-4】 在图 1-6 中，若 $R_1=20\Omega$，$R_2=30\Omega$，$R_3=60\Omega$，求电路的总电阻 $R_{总}$。若 $U=110\text{V}$，求 I_1、I_2、I_3 及 I。

解： $$\frac{1}{R_\Sigma}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}=\frac{1}{20}+\frac{1}{30}+\frac{1}{60}=\frac{1}{10}$$

$$R_\Sigma=10 \quad (\Omega)$$

$$I=\frac{U}{R_{总}}=\frac{110}{10}=11 \quad (\text{A})$$

$$I_1=\frac{U}{R_1}=\frac{110}{20}=5.5 \quad (\text{A})$$

$$I_2=\frac{U}{R_2}=\frac{110}{30}=3.67 \quad (\text{A})$$

$$I_3=\frac{U}{R_3}=\frac{110}{60}=1.83 \quad (\text{A})$$

3. 电阻混联

既有电阻串联，又有电阻并联的电路称为电阻的混联电路，如图 1-7(a)所示。

分析计算混联电路的方法如下：

(1) 应用电阻的串联、并联逐步简化电路，求出电路的等效电阻。

(2) 由电路的等效电阻和总电压，根据欧姆定律求电路的总电流。

(3) 根据基尔霍夫定律、欧姆定律，以及分压、分流规律由总电流求各支路的电流和电压。

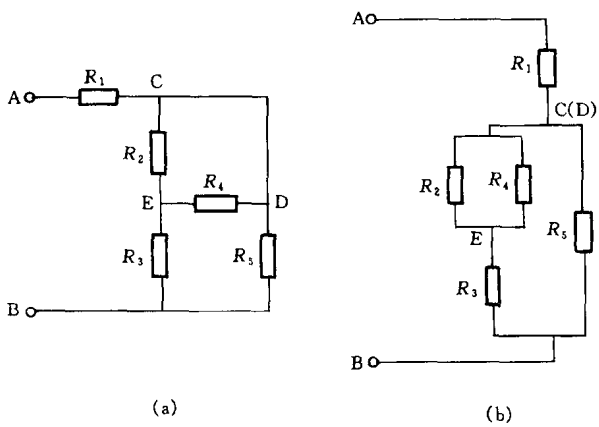

图 1-7 电阻的混联电路

(a) 混联电路；(b) 改画图

在分析和计算混联电路时，首先应将电路中的串、并联关系搞清楚。当电路图中这些关系不易辨认时，可以将电路图改画，使其直观、清楚。图 1-7(b)就是图 1-7(a)的改画图。

【例 1-5】 在图 1-8 中，若 $E=120\text{V}$，$R_0=1\Omega$，$R_1=19\Omega$，$R_2=30\Omega$，$R_3=60\Omega$，求内阻 R_0 上的电压降 U_{R0}和流过 R_2 的电流 I_{R2}。

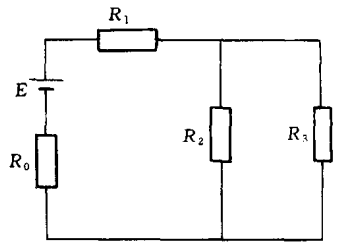

图 1-8 [例 1-5] 电路图

解： $$R_{2,3}=\frac{1}{\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}}=\frac{1}{\frac{1}{30}+\frac{1}{60}}=20 \quad (\Omega)$$

$$R_{总}=R_0+R_1+R_{2,3}=1+19+20$$

$$=40 \quad (\Omega)$$

$$I=\frac{E}{R_{总}}=\frac{120}{40}=3 \quad (\text{A})$$

$$U_{R0} = IR_0 = 3 \times 1 = 3 \quad (V)$$

$$I_{R2} = \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot I = \frac{60}{30 + 60} \times 3 = 2 \quad (A)$$

与电阻的串、并联相似，电源也可以经串联、并联后使用。电源串联时，等效电动势为各电源电动势的代数和，其等效内阻为各电源内阻之和，而在各电源上流过的电流相同。电源串联的效果是提高电路的总电动势，使用时应注意：

(1) 电源正负极必须是首尾相连，防止接反而使电动势互相抵消。

(2) 各电源内阻应尽量接近，以免工作时内阻高的电源上压降过大而引起过热。

电动势和内阻值相同的电源并联时，其等效总电动势仍为单个电动势值，等效总内阻按各电源内阻并联关系算得，而总电流为流过各电源的电流之和。显然，电源并联的效果是提高电路的总电流，使用时应注意：

(1) 应将电源的所有正极和所有负极分别联在一起，不能接反。

(2) 各电源电动势和内阻应尽量相等，以免造成各电动势之间的环流及电流分配不均。

六、电功、电功率及电流热效应

1. 电功

电源力或电场力在电路中移动正电荷所做的功叫做电功，又叫电能，用 W 表示。其表达式为

$$W = IUt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t \tag{1-17}$$

式中 I——电路中的电流，A；

U——电路两端的电压，V；

R——电路的电阻，Ω；

t——通电时间，s。

电功及电能的单位是焦耳，简称焦，用 J 表示。它的实用单位是千瓦·时，用 kWh 表示。1kWh 俗称一度电。

$$1\text{kWh} = 3.6 \times 10^6\text{J} = 3.6\text{MJ} \tag{1-18}$$

2. 电功率

电功率简称功率，即单位时间内电源力（或电场力）所做的功，是衡量电源力（或电场力）做功的能力，以 P 表示，其表达式为

$$P = \frac{W}{t} = IU = I^2R = \frac{U^2}{R} \tag{1-19}$$

式中 I——电路中的电流，A；

U——电阻端电压，V；

R——电阻，Ω。

电功率的单位是瓦特，简称瓦，用 W 表示，常用单位还有 kW、MW、mW，其换算关系是

$$1\text{kW} = 10^{-3}\text{MW} = 10^3\text{W} = 10^6\text{mW}$$

某单位或地区所有已安装电器的铭牌功率之和称为装机容量，而某时刻实际在使用电器的功率之和称为负荷。

试读结束，需要全本PDF请购买 www.ertongbook.com