

电工进网作业考核培训教材

(电工安全技术部分)

华东六省一市电机工程(电力)学会联合编委会 编
江苏省南通市电机工程学会

中国电力出版社

华北水利水电学院图书馆



208571491

TM08-43

H665

电工进网作业考核培训教材

(电工安全技术部分)

华东六省一市电机工程(电力)学会联合编委会 编
江苏省南通市电机工程学会



中国电力出版社

... 857149

《电工进网作业考核教材》是根据国家经贸委令第13号《特种作业人员安全技术培训考核管理办法》、国家标准《特种作业人员安全技术培训考核管理规则》以及部颁《进网作业电工管理办法》和《进网作业电工考核大纲》的要求,结合《电力法》及其配套法规和新颁电力标准、规程、规定和《国家职业技能鉴定规范》及实践经验,从进网作业电工、用户电工应掌握的电工理论、电力系统运行和安全知识出发,重点介绍35kV及以下的电业安全技术、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等进网作业考核培训、岗前考证培训、持证电工年审培训、工作票与操作票等特种培训而编写的教材。

本书为《电工进网作业考核培训教材》之一,介绍10kV及以下电工安全的必备知识和操作技能。全书共十章,主要内容包括电工基础与电子技术基础知识,变压器、互感器与旋转电机的原理构造、特性参数和运行使用,高、低压电器与接地装置的原理构造、技术特性和运行使用,电力系统与低压电力网的构成特点、对供电要求、保护形式、接地型式和接线方式,电工仪表、电能表与电能计量,变配电装置的计算选择和安装运行,变配电站接线、选址与设备选择,自发电技术与安全运行,继电保护动作原理、配置与整定计算,二次回路的原理、展开和安装等接线图及二次系统运行维护,架空配电线路与电力电缆的要求与截面选择、结构与杆型、施工规范和运行维护,接(进)户线、室内外配线和临时用电线路,用电装置(动力装置、照明装置)选择安装、启动调速与制动保护、运行维护、工程施工与识图知识,电工作业安全技术(电气防火与防爆、触电预防与急救、防静电、防电磁场与防雷电、电气安全工作方法、工作票与操作票)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、维护和管理工作的,具有初中及以上文化程度,35kV及以下工业企业电工、农村低压电工、建筑电工、建筑安装电工、企业变电值班员、企业供用电人员、社会维修电工、乡镇供电营业所电工、乡镇电工和村电工等进网作业考核培训、岗前考证培训、持证电工年审培训、工作票与操作票等特种培训而编写的培训教材,也作为供用电管理干部、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. 电工安全技术部分/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. —北京:中国电力出版社,2002.8

ISBN 7-5083-1202-3

I. 电… II. ①华…②江… III. 电工-安全技术-技术培训-教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 058432 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>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2003年1月第一版 2003年1月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 26印张 652千字

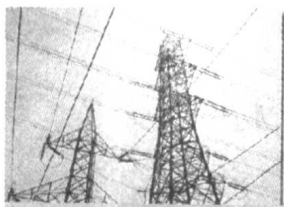
印数 0001—5000册 定价 40.00元

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 (电工安全技术部分)》

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	
审 稿	刘时中	
编 写	季运兴	



前 言

随着改革的深入进行,安全问题比以往更为突出。“安全第一,预防为主”,效益是中心,安全是基础,已逐渐成为人们的共识。特种作业人员持证上岗,按时年审,不断提高安全作业水平,是确保人身、设备及生产场所安全的重要环节。为适应社会各行业高、低压电力用户电工上岗前考证培训,持证电工年审培训,工作票与操作票等特种培训之需,在国家经贸委令第13号《特种作业人员安全技术培训考核管理办法》、国家标准《特种作业人员安全技术考核管理规则》及部颁《进网作业电工管理办法》指导下,根据《进网作业电工培训考核大纲》及部颁《工厂安全卫生规程》、《建筑安装工程技术规程》、《工人职员伤亡事故报告规程》的要求,结合《电力法》及其配套法规、新颁电力标准、规程、规定和《国家职业技能鉴定规范》及实践经验,编写了本教材。

本书内容以少而精为原则,扼要地阐述了目前我国中、低压供用电系统技术与安全管理状况;阐明了持证电工应具备的基本知识,基本技能与基本安全作业水准。

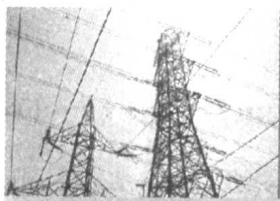
本书知识层次结构,尽量适应初学者认知规律。但因多工种的需要,内容涉及面仍较广。故建议施教教育按培训班具体情况选择有关内容学习,同时建议培训单位按有关章节提示,准备教学器具及实习条件。

本书基本内容讲授和操作示范,约需200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“*”者为必做操作题。

本书由季运兴同志编写,由刘时中同志审定。由于编写者水平有限,不妥与错误处在所难免,恳请读者指正。

季运兴

2002年9月



目 录

前言

第一章 电工基础知识

第一节 电与电路基本概念	1
一、电路构成及电路三种状态(1) 二、电荷、电场、电位、电压与电动势(1) 三、电流、电流强度与电流密度(2) 四、电阻与电导(3) 五、欧姆定律(4) 六、电路电功和电功率(5) 七、电流热效应(6)	
第二节 直流电路	7
一、电阻串联电路(7) 二、电阻并联电路(8) 三、电阻混联电路(8) 四、电路中各点电位的计算(9) 五、电桥的平衡条件(10) 六、负荷获得最大功率的条件(11) 七、基尔霍夫定律(12) 八、叠加原理与戴维南定理(13)	
第三节 电阻器与电容器	15
一、常用电阻器(15) 二、电容器(17)	
第四节 电磁与电磁感应	23
一、电流磁场(23) 二、磁场物理量(25) 三、铁磁物质磁化(26) 四、电磁铁与磁路(27) 五、磁场对电流的作用(29) 六、电磁感应(30) 七、自感、互感与涡流(32)	
第五节 单相交流电路	36
一、交流电产生(36) 二、交流电基本物理量(37) 三、交流电表示(39) 四、纯电阻、纯电感和纯电容电路(42) 五、电阻、电感、电容的串联和并联电路(45)	
第六节 三相交流电路	51
一、三相交流电(51) 二、三相电源接法(52) 三、三相负荷接法(53) 四、三相电路功率(56)	
第七节 电子技术基础知识	56
一、半导体及半导体器件(56) 二、半导体整流和滤波电路(65) 三、三极管单管放大电路(70)	
复习思考题	74

第二章 变压器、互感器与旋转电机

第一节 变压器	79
一、变压器工作原理(79) 二、变压器结构(80) 三、变压器技术参数(83) 四、变压器油(87)	
第二节 互感器	88
一、互感器型号及构造(88) 二、互感器主要技术数据(93) 三、互感器接线(95) 四、互感器使用方法(98)	
第三节 特种变压器	99

一、自耦变压器(99) 二、干式变压器(101) 三、矿用变压器(102) 四、整流变压器(103) 五、隔离变压器(103) 六、电炉变压器(105) 七、电焊变压器(107)	
第四节 发电机	108
一、三相同步发电机(108) 二、汽车、拖拉机用发电机(110)	
第五节 电动机	116
一、三相异步电动机(116) 二、三相同步电动机(124) 三、单相异步电动机(124) 四、直流电动机(128) 五、交直流两用电动机(131)	
复习思考题	131

第三章 高低压电器与接地装置

第一节 高压开关概述	133
一、开关分类(133) 二、高压开关基本构件(134) 三、电气灭弧措施(134)	
第二节 高压断路器	134
一、高压断路器型号及主要技术参数(134) 二、高压少油断路器(135) 三、高压真空断路器(137) 四、高压SF ₆ 断路器(139) 五、高压断路器操动机构(141)	
第三节 高压隔离开关与负荷开关	145
一、高压隔离开关(145) 二、高压负荷开关(147)	
第四节 电抗器、电力电容器和熔断器	152
一、电抗器(152) 二、电力电容器(155) 三、熔断器(157)	
第五节 低压电器	161
一、配电电器(161) 二、控制电器(165)	
第六节 避雷器与接地装置	171
一、避雷器(172) 二、接地装置(174)	
复习思考题	177

第四章 电力系统与低压电力网

第一节 电力系统概况	179
一、电力系统构成(179) 二、电力系统中性点运行方式(180) 三、电力生产特点(182)	
第二节 电力系统与供用电	182
一、对供电系统基本要求(182) 二、电能质量(183) 三、负荷分类(184) 四、电力系统对用电要求(186)	
第三节 低压电网概述	188
第四节 低压电网接地保护	189
一、保护接地(189) 二、保护接零(190) 三、接地、接零配置(191) 四、接地、接零装置运行维护(192)	
第五节 低压电网漏电保护	192
一、电流动作型RCD作用原理(192) 二、漏电保护方式(194) 三、额定漏电动作电流(194) 四、漏电保护设备选用与安装(195) 五、漏电保护装置运行维护(195)	
第六节 过电流保护	196
一、额定电流与过电流(196) 二、过电流保护(196) 三、过电流保护动作值(197) 四、熔断器安装	

和使用注意事项(198)

第七节 低压电网接地型式与接线方式	199
一、低压电网接地型式(199) 二、低压电网接线方式(199) 三、低压电网相色标志(201)	
复习思考题	201

第五章 电工仪表、电能表与电能计量

第一节 电工仪表一般知识	203
一、仪表测量机构(203) 二、仪表误差(205) 三、仪表标志符号(206)	
第二节 指示型仪表	207
一、电流表和电压表(207) 二、功率表和功率因数表(209)	
第三节 万用表与电阻测量仪器	210
一、万用表(210) 二、兆欧表(212) 三、接地电阻测试仪(213) 四、直流电桥(214)	
第四节 电能表	215
一、感应系电能表结构与工作原理(215) 二、电能表技术参数与接线图(217)	
第五节 电能计量	219
一、供电方式与电能计量方式(219) 二、电能计量装置一般规定(219) 三、高压计量箱使用(220)	
复习思考题	221

第六章 变配电装置

第一节 负荷计算与变压器选择	222
一、用电负荷计算(222) 二、用户降压变压器容量确定(224) 三、变压器选择与变压器并列运行(226)	
第二节 变配电站主接线图与设备选择	227
一、配电系统常用接线方式(228) 二、常用母线形式(229) 三、6~10kV 变配电站主接线与设备选择实例(229)	
第三节 变配电装置安装与运行维护	232
一、变配电站站址选择(232) 二、变压器安装(233) 三、高低压电器安装(236) 四、变配电装置运行维护(241)	
第四节 无功补偿	244
一、功率因数标准(244) 二、提高功率因数方法(245) 三、补偿容量选配(245) 四、电容器组保护装置与放电装置(246) 五、电容器安装与运行操作注意事项(247)	
第五节 自发电	248
一、柴油发电机组(248) 二、柴油发电机组运行(249) 三、自发电与双电源用户安全措施(250)	
复习思考题	250

第七章 继电保护与二次回路

第一节 继电保护基本知识	252
一、继电保护用途及基本要求(252) 二、继电保护基本原理(252) 三、继电器(253)	

第二节 常用继电保护装置	256
一、过电流保护(256) 二、变压器差动保护(259) 三、变压器瓦斯保护(260) 四、变压器低压侧零序电流保护及变压器温度保护(261) 五、电缆线路单相接地保护(262)	
第三节 二次回路	262
一、原理接线图(263) 二、展开接线图(263) 三、安装接线图(265)	
第四节 二次系统运行维护	268
一、二次系统运行维护工作主要内容(268) 二、有关安全工作规定(268)	
复习思考题	269

第八章 电力线路

第一节 电力线路基本知识	270
一、电力线路分类(270) 二、电力线路基本要求(270) 三、电力线路导线和电缆截面选择(270)	
第二节 架空配电线路	272
一、架空配电线路结构(272) 二、低压架空线路杆型(273) 三、低压架空线路选择、施工与技术规范(275)	
第三节 电力电缆线路	278
一、电力电缆构造(278) 二、低压电力电缆线路施工(279)	
第四节 接户线与进户线	280
一、接户线配电接线方式与进户点选择(280) 二、接户线与进户线技术规范(280)	
第五节 室内外配线	281
一、常用布线类型及选用(281) 二、室内外配线方式选择(282) 三、导线明敷(283) 四、槽板配线(284) 五、管内配线(284)	
第六节 临时用电线路	286
一、临时用电(286) 二、用户生产现场临时用电(286)	
第七节 电力线路运行维护	286
一、技术管理(286) 二、巡视检查(287) 三、维护检修(287)	
复习思考题	288

第九章 用电装置

第一节 动力装置	289
一、传动电动机选择与安装(289) 二、潜水电泵(290) 三、电动机起动装置(292) 四、异步电动机调速(294) 五、异步电动机制动(295) 六、电动机控制与保护装置(295) 七、电动机控制线路图(297) 八、移动式电动器具安装(299) 九、电动机运行维护(300)	
第二节 照明装置	301
一、电光源主要性能参数(301) 二、常用电光源及其使用特点(301) 三、照明分类与灯具选择(304) 四、照明装置安装与维护(305) 五、开关、插头和插座(305)	
第三节 动力和照明工程施工图	307
一、识图基本知识(307) 二、动力和照明工程施工图(315)	
复习思考题	319

第十章 电工作业安全技术

第一节 电工培训、考核与安全职责	321
一、电工基本条件(322) 二、电工培训与考核(322) 三、电工安全职责(322)	
第二节 电气防火与防爆	323
一、易燃易爆物质特性(323) 二、电气火灾和爆炸基本原因(325) 三、预防电气火灾及爆炸措施(326) 四、电气灭火常识(332)	
第三节 触电预防与急救	334
一、电流对人体的生理作用与安全电流(334) 二、人体阻抗与安全电压(337) 三、预防触电措施(338) 四、触电急救(341)	
第四节 防静电、防电磁场及防雷电	345
一、静电危害及其防护(345) 二、电磁场对人体的危害及其防护(347) 三、雷电危害及其防护(351)	
第五节 电气安全工作方法	357
一、电工安全用具(357) 二、运行值班(364) 三、倒闸操作(366) 四、电气检修(369) 五、配电变压器台上工作(372) 六、室内低压线路和电动机(372) 七、低压间接带电作业(373) 八、移动式电器(373)	
第六节 工作票与操作票	374
一、概述(374) 二、工作票和操作票制度常用术语(374) 三、填写工作票方法与注意事项(377) 四、填写操作票方法与注意事项(382) 五、手车式高压开关柜的工作票与操作票填写特点(384) 六、农村低压电网工作票与操作票制度(385)	
复习思考题	390
附录 I 按防触电方式的电器分类	393
附录 II 常用导线规格及其允许载流量	393
附录 III 三相 380V 导线电压损失表	396
附录 IV 导线穿管的管径选择表	396
附录 V 各类导线管规格表	397
附录 VI 铅熔丝额定电流表	398
附录 VII 用电设备电流计算公式表	399
附录 VIII 高、低压工作票、操作票、操作任务票及低压安全措施票	400
附录 IX 电器外壳防护等级	406

第一章

电工基础知识

第一节 电与电路基本概念

一、电路构成及电路三种状态

1. 电路构成

电流经过的路径称为电路。电路是由电源、导线、控制保护电路及负荷等构成。图 1-1 所示为常见的交流 220V 照明灯电路图。其中电源是提供电能的装置；导线、开关 Q、熔断器 FU、构成线路，是输送电能的装置；所谓负荷，是指用电装置，图 1-1 中的负荷为照明灯 H。

2. 电路状态

电路有通路、开路和短路三种状态。

通路即开关合闸，电路被接通，电路中有电流，如图 1-1 中灯泡发光。

开路即开关分闸，电路电流被切断，如图 1-1 中灯泡熄灭。

短路即负荷被金属线短接，开关合闸后电路电流绕过负荷，从短接的金属线中通过。图 1-1 所示电路若短路，则灯不亮，电路电流剧增，成为故障状态。保护元件熔断器中熔丝立即熔化，将电路切断。否则，电路将被烧毁。因此，对大多数电路来说，短路是故障状态，是不允许出现的。但也有少数电路，例如电流互感器二次侧，需要短路。需要短路的电路，在设计制造时就已作了准备，在短路时是不会烧毁的。所以将短路状态列为电路的三种正常状态之一。

此外，电路的故障状态还有断路及接地。

断路状态，即电路的某一部位接头脱开或导线断裂等，使电路在开关合闸位置时不可能通路的。

接地状态，即电路原与大地绝缘的部分因绝缘损坏等原因而与大地通路，使电路不能正常运行。

下面介绍电路中一些电气物理量的概念。

二、电荷、电场、电位、电压与电动势

1. 电荷

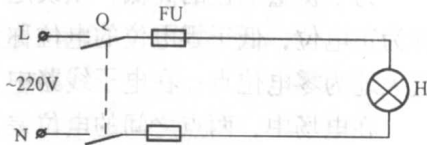


图 1-1 电路图

L—相线（俗称火线）；

N—工作零线（俗称地线）

自然界的物质由分子构成，分子由原子构成，而原子又是由带正电荷的原子核及带负电荷的电子所构成。在通常状况下，原子中正、负电荷数平衡，整个物体不显现出电的特性，即处于中性状态。通过外力作用，将电子从一个物体迁移到另一个物体时，则得电子的物体呈负电性，失电子的物体呈正电性。

电荷是自然界物质的组成部分，它们不会凭空产生或消失，只能在外力作用下从一个物体移到另一个物体，这一规律称为电荷守恒定律。

电荷用 Q 表示，电荷的计量单位为 C（库仑）。一个电子若装有最少量的电荷，其电量等于 $1.60 \times 10^{-19} \text{C}$ ，即 1C 为 6.25×10^{18} 个电子所具有的电荷量。

2. 电场

电荷周围有一种特殊物质，名称为电场。正、负电荷在电场中出现同性相斥、异性相吸的现象，电场对电荷的这种作用力，称为电场力。电场力的方向，为处于电场中的正电荷所受力的方向。

电场强弱用电场强度表示。所谓电场强度，即单位正电荷所受电场力的大小。电场强度单位为 N/C （牛顿/库仑）或 V/m （伏/米）。电场中某点电场强度的大小，与形成电场的带电体所带电荷多少成正比，而与某点距带电体之距离的平方成反比。

3. 电位与电压

当外力将正电荷从电场外的 A 点逆着电场力的方向强制移到电场中的 B 点时，外力为克服电场力对正电荷的吸引所作的功，称为该正电荷在电场中 B 点的电位能，单位为 J（焦耳）。单位正电荷所携带的电位能，称为电位。电位的单位为 J/C（焦耳/库仑）。

为了衡量电位的高低，须设定一个零电位点。其他各点与之相比较，高于零电位的电位称为正电位，低于零电位的电位称为负电位。零电位点又称参考点、基准点。在强电领域，选大地为零电位点；在电子线路中，则常选机壳或印刷电路的某点作为零电位点。

在电场中，两点之间的电位差，称为电压。电压的字母符号为 U ，单位为 J/C，以意大利电学家伏特命名，即 $\text{J/C} = \text{V}$ 。电压的方向从高电位端指向低电位端。

4. 电源力与电动势

由上述可知，电是客观存在的一种能量。用人为的方法，使物体发生电子得失现象，并使电荷携带外力所作的功，在正、负极间形成电压，这就是发电装置或电源装置所起的作用。输入电源装置的外力有机械能、化学能等。大型电厂常用的一次能源为水力、煤、油及核等能源。电源装置输出的电能，称为二次能源。

各种电源都具有正、负两个电极，在电源内部，不断地将正电荷从低电位端即负极移向高电位端即正极，使正、负两极间保持一定的电压。电源内部这种移动电荷的作用力，称为电源力。电源力将单位正电荷从电源负极移向电源正极所作的功，称为电动势。电动势用 E 表示，单位为 V。电动势的方向从低电位端指向高电位端。

电源正、负极位置固定不变的电源装置称为直流电源装置。电源正、负极位置随时间不断变化的电源装置，称为交流电源装置。

三、电流、电流强度与电流密度

1. 电流、电流强度

用导线串接负荷后，与电源正、负极相连接，正电荷就从正极向负极移动。但这只是理论上的假设，实际是电子从负极向正极移动。电荷在电场中的定向运动，称为电流。电流的方向，规定在电源内部为从负极指向正极，在电源外部为从正极指向负极。

在电路中，每秒钟通过导体横截面的电荷数量，称为电流强度。电流强度简称电流。

电流用 I 表示，单位为 C/s （库伦/秒），以法国科学家安培命名，即 $C/s = A$ 。

电子在导体中按碰撞方式前进。即一个电子，受电场力作用，碰撞掉导体另一原子中的一个电子后自己补充进去就不再前进，被碰撞出的电子又继续受电场力作用去碰撞相邻原子中的电子。

电子在导体中移动时，并不均匀分布在导体横截面上，而是集中在导体表面。如以圆截面导线为例，则越接近横截面圆心，电子数越少，离圆心越远，电子数却越多。这种现象称为电流的“集肤效应”。

直流电源装置输出的电流，其方向保持不变，称为直流电流。交流电源装置输出的电流，其方向和大小随时间不断变化，称为交流电流。

2. 电流密度

在电气工程中，选择导线截面时，用到电流密度这一概念。所谓电流密度，是指允许通过导体的电流大小与该导体横截面之比值，单位为 A/mm^2 。导线允许通过的电流，并不与导线截面呈正比关系。因此，导线允许的电流密度，随导线截面不同而不同。导线中通过的电流，不能超过导线允许载流量，否则会因导线过热而可能酿成事故。

四、电阻与电导

电流在导线及负荷中受到的阻力称为电阻。电阻以 R 表示，单位为 V/A ，以德国科学家欧姆的名字命名，以字符 Ω 表示。即当电路电压为 $1V$ ，电路电流为 $1A$ 时，该电路电阻为 1Ω 。

电流较易通过的材料称为导体；电流很难通过的材料称为绝缘体。常用导体 $20^\circ C$ 时电阻率和平均温度系数如表 1-1 所示，绝缘材料的等级及耐热温度如表 1-2 所示。

表 1-1 常用导体 $20^\circ C$ 时电阻率和平均温度系数

材料名称	电阻率 ($\Omega \cdot mm^2/m$)	平均温度系数 ($1/^\circ C$)	材料名称	电阻率 ($\Omega \cdot mm^2/m$)	平均温度系数 ($1/^\circ C$)
银	0.016	0.004	黄 铜	0.07 ~ 0.08	0.002
铜	0.0175	0.004	青 铜	0.021 ~ 0.4	0.004
铝	0.029	0.004	锰 铜	0.42	0.000006
钨	0.056	0.0046	康 铜	0.4 ~ 0.51	0.000005
钢	0.13 ~ 0.25	0.006	镍 铬	1.1	0.00015
铁	0.13 ~ 0.3	0.006			

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 ($^\circ C$)	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

金属导体的导电特点是自由电子导电。所谓自由电子，是原子外层的电子受原子核的束

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。液体、气体的导电特点是离子导电。所谓离子，是液体、气体在电场作用下，其分子电解为带正电荷的正离子和带负电荷的负离子。半导体的导电特点，除自由电子导电外，还有空穴导电。

金属导体中的自由电子，在电场力作用下，是以碰撞方式前进，并受到邻近原子中电荷的吸力或斥力作用，因此会受到一定的阻力。金属导体电阻大小，可按下式计算

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

式中 ρ ——电阻率， $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ；

L ——导体长度， m ；

S ——导体横截面， mm^2 。

上述所谓某金属材料的电阻率，是取其长为 1m ，截面为 1mm^2 的样品，在环境 20°C 条件下用精密仪器实测到的电阻值。

导体的电阻还与导体温度有关。一般金属材料的电阻随温度升高而增加；液体导电材料的电阻随温度升高而降低。由于在 $0 \sim 100^\circ\text{C}$ 范围内，金属导体的电阻值变化与温度变化成正比，因此金属导体的电阻，考虑温度影响时，可按下式计算

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)] \quad (1-2)$$

式中 α ——导体材料的电阻温度系数， $1/^\circ\text{C}$ ；

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 。

上述所谓电阻温度系数，是指原为 1Ω 阻值的导体，当温度变化 1°C 时阻值的变量。

反映导体导电能力大小的另一物理量，为电导。电导是电阻的倒数。电导以 G 表示，单位为 S （西门子）。

【例 1-1】 已知一配电线路长 100m ，所用铜芯线截面为 16mm^2 。求该配电线路 20°C 及 0°C 时的电阻值。

解： $\because R = \rho \frac{L}{S}$

查表得铜 20°C 时的电阻率 $\rho = 0.0175$

$$\therefore R_1 = 0.0175 \times \frac{100}{16} = 0.11 (\Omega)$$

在 0°C 时的电阻 R_2 为

$$\because R_2 = R_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)]$$

查表得铜的电阻温度系数 $\alpha = 0.004$

$$\therefore R_2 = 0.11 \times [1 + 0.004 (0 - 20)] = 0.10 (\Omega)$$

五、欧姆定律

欧姆定律是表示电路中电压 U 、电流 I 及电阻 R 三个物理量之间关系的定律。就电源之外的电路而言，不完全电路欧姆定律的表达式为

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

即电路中电流的大小，与电源电压大小成正比，与电路中电阻大小成反比。根据欧姆定律，只要已知电路中三个物理量 I 、 U 、 R 中任两个物理量，就可求出另一个未知物理量，即 $U = IR$ ， $R = U/I$ ， $I = U/R$ 。

若电路中包含电源在内，并设电源内电阻为 r_0 ，电源电动势为 E ，则完全电路欧姆定律表达式为

$$I = \frac{E}{R + r_0} \quad (1-4)$$

上式又可变换成

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

$$U = E - Ir_0$$

式中， U 为外电路电阻 R 两端的电压，即电源端电压。或者说，电源输出端电压为电源电动势减去电源内部电压降。

【例 1-2】在图 1-2 (b) 中，若 $E = 12\text{V}$ ， $r_0 = 0.1\Omega$ ， $R = 3.9\Omega$ ，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：

$$I = \frac{E}{R + r_0} = \frac{12}{3.9 + 0.1} = 3(\text{A})$$

$$U_0 = Ir_0 = 3 \times 0.1 = 0.3(\text{V})$$

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

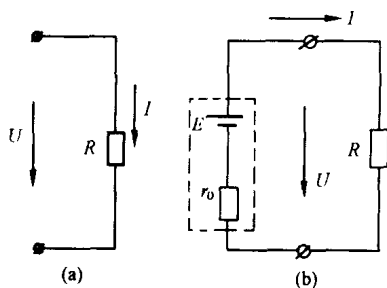


图 1-2 欧姆定律的图例
(a) 部分电路（外电路）；(b) 全电路

六、电路电功和电功率

1. 电功

电流通过负荷 R 所作的电功 W ，同加在负荷两端的电压 U 、通过负荷的电流 I 以及通电时间 t 成正比，用公式表示为

$$W = UIt = I^2 Rt = \frac{U^2}{R} t \quad (1-5)$$

式中 W ——电功，单位为 J 或 $\text{W} \cdot \text{s}$ ；

U ——电压，V；

I ——电流，A；

t ——时间，s。

按国际惯例，电功的实用单位为 kWh，1kWh 俗称 1 度电，表示功率为 1kW 的电气设备使用 1h 所消耗的电能量。电功实称电能量，由电能表等组成的电能计量装置计量。

2. 电功率

单位时间内电流所作的功称为电功率。电功率用 P 表示，其表达式为

$$P = \frac{W}{t} = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-6)$$

式中 I ——电路电流，A；

U ——负荷两端电压，V；

R ——负荷电阻， Ω 。

电功率的单位为 W（瓦特）。上述所谓单位时间，指 s。

式 (1-5)、式 (1-6) 适用于直流电路及单相交流纯电阻负荷电路之中。对单相交流非纯电阻负荷电路及三相交流电路电功与电功率计算待以后有关章节中予以介绍。

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

【例 1-3】 已知一白炽灯电功率为 500W，点燃 6h，问共消耗多少电能？

解： $\because W = P \cdot t$ ，已知 $P = 500\text{W}$ ， $t = 6\text{h}$

$$\therefore W = (500 \times 6) \div 1000 = 3 \text{ (kWh)}。$$

七、电流热效应

1. 电流热效应

当电流通过导体时，导体就发热，这种现象称为电流的热效应。这是因为导体中的电阻将电能转变为热能的缘故。

电流通过导体时产生的热量，与电流的平方、导体电阻以及通电时间成正比。用 Q 表示热效应产生的热量，则其表达式为

$$Q = I^2 R t = I U t = \frac{U^2}{R} t \quad (1-17)$$

式中， I 、 U 、 R 、 t 意义及单位同前述；热量的单位为 J。

根据实验得出，每 J 热量，可产生 0.24K 热量（1K 等于 1g 水升高 1℃ 所需的热量），因此式 (1-17) 又可表达为

$$Q = 0.24 I^2 R t = 0.24 I U t = 0.24 \frac{U^2}{R} t$$

单位为 K（卡）。

公式 (1-17) 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，常称为焦耳定律。

2. 负荷的额定值和工作状态

电流热效应有可利用的一面。例如电热设备电炉、电熨斗、电吹风等，就是利用电流热效应工作的。但电流热效应给电力系统造成的发热损耗及对电气设备绝缘、接头等的危害也是十分巨大的。

为保证电气设备能长期安全工作，因此在设计制造时都规定了电气设备的最高允许温升或最高允许工作温度等。温度取决于热量，热量取决于电流、电压及电功率。因此，电气设备铭牌上都标注出其额定电压、额定电流及额定电功率等技术参数。

电气设备在额定功率下运行，称为满负荷运行，能在保证安全的前提下取得预计的经济效果。

电气设备在低于额定功率下运行，称为欠负荷运行，效率会降低。发电机、变压器轻负荷运行俗称“大马拉小车”，可能导致运行成本高于经济收益。

从式 (1-6) 可知，用电设备实际消耗功率与加上设备上的电压平方成正比。因此，如额定电压为 220V、额定功率为 100W 的白炽灯，当接于 190V 时，实际消耗功率仅为 75W。

电气设备在高于额定功率下运行，称为超负荷或过负荷运行，则由于发热过高而导致设备损坏。

【例 1-4】 敞开式电热器在 0.5h 内把 3kg 水从 30℃ 煮沸，已知电源电压 220V，电热器效率 $\eta = 0.5$ ，求电热器功率、电流及电热丝电阻。

解：求总热量 Q 为

$$Q = 3000 \times (100 - 30) = 210000 (\text{K})$$

求功率

$$P = \frac{Q}{0.24 t \eta} = \frac{210000}{0.24 \times 30 \times 60 \times 0.5} = 972 \text{ (W)}$$

选用 1000W 电热丝

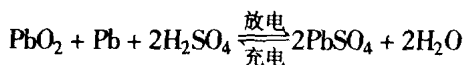
$$\text{求电流 } I = \frac{P}{U} = \frac{1000}{220} = 4.16(\text{A})$$

$$\text{求电热丝电阻 } R = \frac{U}{I} = \frac{220}{4.16} = 48(\Omega)$$

第二节 直 流 电 路

由直流电源供电的电路，称为直流电路。常用直流电源有蓄电池、干电池、直流发电机及整流电源装置等。

常用的铅酸蓄电池，以 PbO_2 为正极， Pb 为负极，电解液为硫酸蒸馏水溶液。铅酸蓄电池化学反应式



放电时，电解液中硫酸逐渐减少，水逐渐增多，电解液密度下降至 1.15 左右；充电时相反，电解液密度逐渐增加至 1.285（15℃时）左右。

常用的一次性干电池，以碳条为正极，以锌皮为负极，电解液有两种类型，一种是中性的氯化铵和氯化锌溶液，另一种为碱性氢氧化钾溶液。为便于使用，电解液加上淀粉调成糊状后置于电池中。

直流发电机由单相交流发电机及其配置整流装置构成，本书将于第二章第四节中介绍。硅整流装置内容将于本章第七节中介绍。

下面介绍直流电路一些实用计算和分析。

一、电阻串联电路

两个及以上电阻依次首尾相连接，使电路电流只有一条通路的连接方法，称为电阻串联，如图 1-3 所示。

电阻串联电路有以下一些特点：

- (1) 串联电路中流过每个电阻的电流都相等。
- (2) 各串联电阻两端电压之和等于电路总电压。
- (3) 串联电路总电阻等于各串联电阻之和。
- (4) 串联电路中，各电阻上分配的电压与各电阻值成正比。
- (5) 串联电路中，各电阻消耗功率与各电阻值成正比。

根据电阻串联电路的特点，可采用串联电阻的方法进行分压和可用串联电阻的方法调节电路电流。

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

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

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

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

或

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

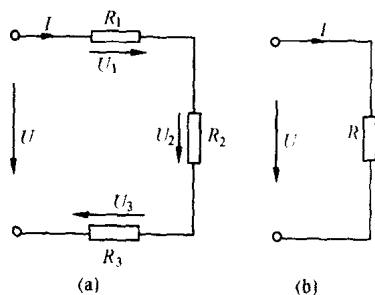


图 1-3 电阻的串联
(a) 原电路；(b) 等效电路