



ANQUAN JISHU FUSHEN JIAOCAI

■ 特种作业人员安全技术复审教材

电工作业

(第二版)

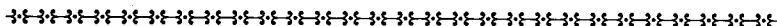
国家《特种作业人员安全技术培训大纲及考核标准》

起草小组专家修订



中国劳动社会保障出版社

特种作业人员安全技术复审教材



电 工 作 业

(第二版)

国家《特种作业人员安全技术培训
大纲及考核标准》起草小组专家修订

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工作业/杨有启主编. —2 版. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2006

特种作业人员安全技术复审教材

ISBN 7-5045-5435-9

I. 电… II. 杨… III. 电工-安全技术-技术培训-教材
IV. TM08

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 005532 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街1号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

*

北京市艺辉印刷有限公司印刷装订 新华书店经销

850 毫米×1168 毫米 32 开本 7 印张 180 千字

2006 年 4 月第 2 版 2006 年 4 月第 1 次印刷

定价: 15.00 元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64911344

编 委 会

主 任 闪淳昌

委 员 施卫祖 吕海燕 杨国顺 牛开健

徐洪军 崔国璋 时 文 邢 磊

王铭珍 王海军 马恩远 杨有启

王琛亮 洪 亮 曹希桐 杨泗霖

冯维君 甘晓东

编写人员 杨有启

内 容 提 要

本书根据国家安全生产监督管理局于2002年10月颁布的《特种作业人员安全技术培训大纲及考核标准》编写，是电工作业人员安全技术复审教材。

全书共分两部分。第一部分为电工作业人员安全技术复审培训内容，主要包括电工安全知识、电工安全技术、低压装置和变配电装置。第二部分为电工作业人员安全技术复审考核复习题及试卷实例。

本书适用于电工作业人员在复审前学习使用，也可供相关管理人员和技术人员参考。

前 言

我国《劳动法》规定：“从事特种作业的劳动者必须经过专门培训并取得特种作业资格。”我国《安全生产法》还规定：“生产经营单位的特种作业人员必须按照国家有关规定经专门的安全作业培训，取得特种作业操作资格证书，方可上岗操作。”

为了进一步落实《劳动法》《安全生产法》的上述规定，配合国家安全生产监督管理局依法做好特种作业人员的培训考核工作，中国劳动社会保障出版社根据国家安全生产监督管理局颁布的《安全培训管理办法》《关于特种作业人员安全技术培训考核工作的意见》《特种作业人员培训考核管理办法》，组织《特种作业人员安全技术培训大纲及考核标准：通用部分》起草小组的有关专家，对由原劳动部组织的我国第一套《特种作业人员培训考核统编教材》及《特种作业人员复审教材》，进行全面的修订。

修订后的《特种作业人员安全技术培训考核统编教材》（第二版）共计以下9种：（1）电工；（2）焊工；（3）起重机司机；（4）起重指挥司索工；（5）电梯维修与操作；（6）企业内机动车辆驾驶员；（7）登高架设工；（8）制冷空调设备维修与操作；（9）压力容器操作工。修订后的《特种作业人员安全技术复审教材》（第二版）共计以下9种：（1）电工作业；（2）金属焊割作业；（3）起重作业；（4）起重指挥司索作业；（5）电梯作业；（6）企业内机动车辆驾驶；（7）登高架设作业；（8）制冷与空调

作业；(9) 压力容器操作。第二版统编教材具有以下几方面特点：

一、突出科学性、规范性。本版统编教材是根据国家安全生产监督管理局统一制定的特种作业人员培训大纲和考核标准，由该培训大纲和考核标准起草小组的有关专家对全国第一套《特种作业人员培训考核统编教材》及《特种作业人员复审教材》进行全面修订的最新成果。因此，本版统编教材具有突出的科学性、规范性。

二、突出适用性、针对性。专家在修订编写过程中，根据国家安全生产监督管理局关于教材建设要在安全生产培训工作指导委员会的统一指导和协调下，本着“少而精”“实用、管用”的原则，对第一版统编教材进行全面修订。因此，本版统编教材具有突出的适用性、针对性。

三、突出实用性、可操作性。根据国家安全生产监督管理局关于“努力做好培训机构、培训大纲、考核标准、考试题库建设，构建安全培训的标准化体系”的要求，以及“统一规划，归口管理，分级实施，教考分离”的原则，有关专家在修订中，为以上 9 种培训教材和 9 种复审教材分别配套编写了复习题库和答案，并提供了相应的考核试卷样式。因此，本版统编教材又具有突出的实用性、可操作性。

总之，本版统编教材反映了国家安全生产监督管理局关于全国特种作业人员培训考核的最新要求，是全国各有关行业、各类企业准备从事特种作业的劳动者，为提高有关特种作业的知识与技能，提高自身安全素质，取得特种作业人员 IC 卡操作证的最佳培训考核与复审教材。

目 录

第一部分 电工作业人员安全技术复审培训内容·····	(1)
第一章 电工安全知识·····	(1)
第一节 基本物理量和基本定律·····	(1)
第二节 简单交流电路计算·····	(7)
第三节 电气事故概要·····	(11)
第四节 人身电气安全要素·····	(12)
第五节 触电事故案例及分析·····	(18)
第二章 电工安全技术·····	(27)
第一节 绝缘及绝缘试验·····	(27)
第二节 接地和接零·····	(33)
第三节 双重绝缘、安全电压和漏电保护·····	(48)
第四节 电工安全作业·····	(53)
第三章 低压装置·····	(66)
第一节 外壳防护·····	(66)
第二节 电动机·····	(69)
第三节 通用电气设备·····	(81)
第四节 电气照明·····	(88)
第五节 低压电器·····	(96)

第六节 电工仪表和测量·····	(105)
第四章 变配电装置·····	(111)
第一节 企业供配电·····	(111)
第二节 变配电站·····	(115)
第三节 变压器·····	(119)
第四节 互感器·····	(130)
第五节 高压电器·····	(135)
第六节 继电保护·····	(148)
第七节 移相电容器·····	(150)
第八节 电力线路·····	(154)
第二部分 电工作业人员安全技术复审考核复习题及 试卷实例·····	(167)
复习题·····	(167)
复习题答案·····	(198)
低压运行维修电工复审知识试卷·····	(205)
高压运行值班电工复审知识试卷·····	(210)

第一部分

电工作业人员安全技术复审培训内容

第一章 电工安全知识

现代生产和生活中一刻都离不开电，人们不可避免地要接触多种多样、日新月异的电气设备。如果在使用中没有遵循电的规律，就可能在瞬息之间造成不可挽回的灾难和损失。为了自身、他人和周围设施的安全，电工必须充分认识电的危险性并掌握其基本规律。

第一节 基本物理量和基本定律

一、基本物理量

本书物理量统一采用国际单位制 (SI)，并对少数工程单位制中常用的单位，给出换算关系。

1. 电流

电流是带电微粒有规律的运动。通常以正电荷移动的方向作为电流的正方向。大小和方向不随时间变化的电流称为直流电流；大小和方向随时间作周期性变化的电流称为交流电流。电流的符号是 I 、 i ，单位是 A。

2. 电阻和电阻率

电阻是表征物质阻碍电流通过能力的一个物理量。电阻的符号是 R 、 r ，单位是 Ω 。电阻率是单位长度、单位截面积材料的

电阻，是表明材料导电性能的参数。电阻率的符号是 ρ ，单位是 $\Omega \cdot \text{m}$ 、 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$ 等。例如， 20°C 时导电用铜的电阻率约为 $17.48 \sim 17.9 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$ ， 20°C 时导电用铝的电阻率约为 $28.3 \sim 29 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$ ， 20°C 时导电用铁的电阻率约为 $97.8 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$ 。由于导线实际温度往往高于 20°C ，实际截面可能小于标称截面，展开长度又可能略大于导线长度以及交流电流的趋肤效应，按上述电阻率计算得到的电阻值都小于实际值。为了得到比较准确的电阻值，应将计算值乘以 $1.04 \sim 1.15$ 的修正系数。

3. 电压

电压是两点之间的电位差，亦即在两点之间产生电流的能力。电压的符号是 U 、 u ，单位是 V 。我国现行标准规定：额定电压 $1\,000\text{ V}$ 以上的属高压装置， $1\,000\text{ V}$ 及 $1\,000\text{ V}$ 以下的属低压装置。就对地电压而言，规定 250 V 以上者为高压、 250 V 及 250 V 以下者为低压。

4. 电动势

电动势是电源两端的电位差，其数值等于单位正电荷在外力作用下，由电源负极移至电源正极所做的功。电动势的符号是 E 、 e ，单位是 V 。

5. 电场强度

电场强度是表征电场强弱和方向的一个物理量，一般可理解为单位距离上的电压。电场强度的符号是 E ，单位是 V/m 。当空气中电场强度超过 $25 \sim 30\text{ kV}/\text{cm}$ 时，即可能发生击穿放电。

6. 电功率和电能

电功率是表明电气设备做功能力的物理量，是单位时间内所做的功。平均功率的符号是 P ，单位是 W 。电能是电功率的积累。电能的常用符号是 W ，单位是 J ， $1\text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6\text{ J}$ 。

7. 频率和角频率

频率是交流电每秒钟交变的周期数。频率的符号是 f ，单位是 Hz 。通用交流电的频率均为 50 Hz 。角频率是交流电每秒钟

交变的弧度数。角频率的符号是 ω ，单位是 rad/s。角频率与频率的关系是 $\omega = 2\pi f$ 。

8. 电感和感抗

电感分为自感和互感。自感是载流线圈或导体自身电流所产生磁链与该电流的比值。两个线圈的互感是一个线圈中的电流在另一个线圈中产生的磁链与前一个线圈中电流的比值。自感的符号是 L ，互感的符号是 M ，两者的单位均是 H。交流电流流过自感和互感时均在其上产生电压降。自感和互感对交流电流的阻挡作用称为感抗。感抗是电抗的一种。电抗的符号是 X ，单位是 Ω 。自感和互感感抗的表达式分别为 $X_L = \omega L$ 和 $X_M = \omega M$ 。

9. 电容和容抗

两个相互绝缘的导体之间即存在电容，其大小等于导体上电量与导体间电压的比值。电容的符号是 C ，单位是 F。交流电流流过电容时在其上产生电压降。电容对交流电流的阻挡作用称为容抗。容抗是电抗的一种。容抗的表达式为 $X_C = \frac{1}{\omega C}$ 。

10. 阻抗

阻抗是电阻与电抗的组合。其表达式为 $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ 。

11. 磁感应强度

磁感应强度也称磁通密度，是表明磁场强弱及其方向的物理量。其大小为单位长度的单位直线电流在均匀磁场中所受到的作用力，其方向为载流导体在磁场中受力的方向。磁感应强度的符号是 B ，单位是 T， $1 \text{ T} = 1 \times 10^4 \text{ Gs}$ 。

12. 磁通

磁通是表征磁介质或真空中磁场分布情况的物理量，磁通在磁路中相当于电路中的电流，可看作是某一面积上磁力线的总合。磁通的符号是 Φ ，单位是 Wb， $1 \text{ Wb} = 1 \times 10^8 \text{ Mx}$ 。如某一面积 S 与磁感应强度 B 垂直，则 $\Phi = BS$ 。

13. 磁阻

磁阻是磁路中磁通遇到的特殊阻力。磁阻的符号是 R_m ，单位是 H^{-1} 。

14. 磁场强度

磁场强度也能表明磁场强弱及其方向，但磁场强度与介质性质无关。磁场强度的符号是 H ，单位是 A/m 。在各向均匀的线性介质中，磁场强度与磁感应强度的关系为 $B = \mu H$ 。式中， μ 为介质磁导率。真空磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} H/m$ 。

二、常用计算公式和定律

电阻计算式
$$R = \frac{\rho l}{S}$$

式中， l 和 S 分别为导体的长度和截面积， ρ 为材料电阻率。

电阻串联计算式
$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

式中， R 为总等效电阻， R_1 、 R_2 、 R_3 、 \dots 、 R_n 为各串联电阻。

电阻并联计算式
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

式中， R 为总等效电阻， R_1 、 R_2 、 R_3 、 \dots 、 R_n 为各并联电阻。

直流功率计算式
$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

电能计算式
$$W = Pt$$

磁阻计算式
$$R_m = \frac{l}{\mu S}$$

式中， l 和 S 分别为导磁体的长度和截面积， μ 为材料磁导率。

切割电动势计算式
$$e = Blv$$

电磁力计算式
$$F = BI l$$

有功功率计算式
$$P = UI \cos \varphi = I^2 R$$
，单位 W

无功功率计算式
$$Q = UI \sin \varphi = I^2 X$$
，单位 var

视在功率计算式
$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2}$$
，单位 $V \cdot A$

功率因数计算式
$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{U_R}{U} = \frac{R}{Z}$$

欧姆定律 分部分电路的欧姆定律和全电路的欧姆定律。其表达式分别为

$$U=IR \quad \text{和} \quad E=I(R_0+R_i)$$

式中, R_0 和 R_i 分别为全电路的外电阻和内电阻。

交流电路的欧姆定律 $\dot{U}=\dot{I}Z$

基尔霍夫第一(电流)定律 $\sum I=0$

基尔霍夫第二(电压)定律 $\sum E=\sum U=\sum IR$

磁路欧姆定律 $NI=\Phi R_m$

式中, N 为线圈匝数, I 为线圈电流, NI 称为磁动势。

电磁感应定律 $e=-N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

式中, 负号表示感生电流的磁场力图阻止原磁场发生变化。

楞次定律 是感应电动势所产生感生电流的磁场力图阻止原磁场发生变化的规律。

右手螺旋定则(安培定则) 是确定电流所产生的磁场的方向的定则。该定则是将右手握拳, 拇指伸开, 如拇指表示直线电流的方向, 则卷曲的四指表示直线周围磁场的方向; 如卷曲的四指表示线圈电流的方向, 则拇指表示线圈内磁场的方向。

右手定则 是确定切割电动势方向的定则。该定则是平伸右手, 拇指与并拢的其他四指成 90° , 磁场穿过手心, 拇指指向切割方向, 则并拢的四指表示感应电动势的方向。

左手定则 是确定载流导体受到的电磁作用力方向的定则。该定则是平伸左手, 拇指与并拢的其他四指成 90° , 磁场穿过手心, 并拢的四指指向导体内电流的方向, 则拇指表示导体受力的方向。

例 1—1 图 1—1 中, 已知 $U=10 \text{ V}$, $R_1=R_4=R_5=R_8=20 \ \Omega$, $R_2=R_3=R_6=R_7=R_9=10 \ \Omega$, 试求电流 I 。

解: 从电路末端开始简化, R_6 与 R_9 串联得

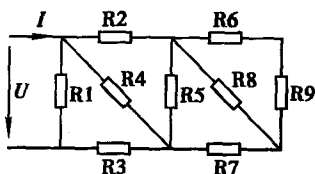


图 1-1 例 1-1 电路图

$$R_{10} = R_6 + R_9 = 10 + 10 = 20 \Omega$$

R_{10} 与 R_8 并联得

$$R_{11} = \frac{R_{10}R_8}{R_{10} + R_8} = \frac{20 \times 20}{20 + 20} = 10 \Omega$$

R_{11} 与 R_7 串联得 $R_{12} = R_{11} + R_7 = 10 + 10 = 20 \Omega \cdots \cdots$ 逐次进行下去，最后求得总电阻 $R = 10 \Omega$ ，总电流为 1 A 。

例 1-2 一只额定功率 100 W 、额定电压 220 V 的白炽灯泡的电阻为多少？接到 220 V 的电源上时，流过灯泡的电流为多少？多长时间消耗 $1 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 电能？

解：灯泡的电阻为

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{100} = 484 \Omega$$

流过灯泡的电流为

$$I = \frac{P}{U} = \frac{100}{220} = 0.455 \text{ A}$$

消耗 $1 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 电能所用的时间为

$$t = \frac{W}{P} = \frac{1000}{100} = 10 \text{ h}$$

例 1-3 某电阻 R 、电感 L 、电容 C 的串联电路，已知 $R = 80 \Omega$ 、 $L = 300 \text{ mH}$ 、 $C = 80 \mu\text{F}$ 、电源频率 $f = 50 \text{ Hz}$ ，求总阻抗值。

解：感抗和容抗分别为

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi \times 50 \times 300 \times 10^{-3} = 94.25 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 80 \times 10^{-6}} = 39.79 \Omega$$

总阻抗的大小为

$$\begin{aligned} Z &= \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \\ &= \sqrt{80^2 + (94.25 - 39.79)^2} = 96.78 \Omega \end{aligned}$$

第二节 简单交流电路计算

一、正弦交流电的矢量表示法

正弦交流电除了可以用波形图表示、用三角函数表示外，还可以用旋转矢量表示和相量表示。本节介绍旋转矢量表示法。对于下列三角函数式表示的正弦交流电，其旋转矢量如图 1—2 所示。该矢量的长度（模值）为最大值或有效值，该矢量与参考线的夹角（模角）为初相位角，该矢量以角频率的转速逆时针旋转。



图 1—2 旋转矢量

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi) = \sqrt{2} I \sin(\omega t + \varphi)$$

最大值、角频率和初相位是确定正弦交流电的三要素。三角函数式包含了三要素，旋转矢量也包含了三要素。因此，也可用旋转矢量表示正弦交流电。

二、矢量运算

1. 加法运算

矢量相加可用平行四边形法则计算。如图 1—3 所示， \vec{I}_1 与 \vec{I}_2 之和即以 \vec{I}_1 和 \vec{I}_2 为边所作的平行四边形的对角线。合成电流的大小和功率因数角 φ 按几何关系确定。

例 1—4 某电路有两条支路，1 支路 $I_1 = 20 \text{ A}$ 、 $\varphi_1 = 30^\circ$ ；2 支路 $I_2 = 15 \text{ A}$ 、 $\varphi_2 = 60^\circ$ 。试计算电路的总电流和总功率因数。

解：按给定条件作图 1—4 所示矢量图，并作辅助线。按几何关系求得总电流为

$$\begin{aligned}
 I &= \sqrt{(ab+bc)^2 + (ce+ef)^2} \\
 &= \sqrt{(20\cos 30^\circ + 15\cos 60^\circ)^2 + (20\sin 30^\circ + 15\sin 60^\circ)^2} \\
 &= 33.83 \text{ A}
 \end{aligned}$$

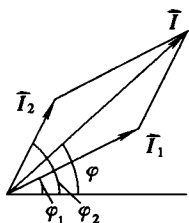


图 1-3 矢量相加

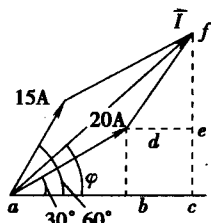
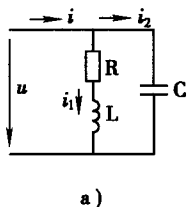


图 1-4 例 1-4 计算图

总功率因数为

$$\cos \varphi = \frac{ac}{af} = 0.73$$

例 1-5 图 1-5a 所示电路中，已知电源电压有效值 $U = 220 \text{ V}$ 和 $R = X_L = X_C = 400 \Omega$ ，试求支路电流 I_1 、 I_2 ，总电流 I 和电阻、电感上的电压。



a)

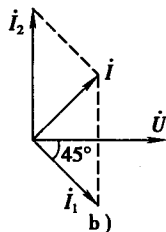


图 1-5 例 1-5 示意图

a) 电路图 b) 矢量图

解：电阻、电感支路中的电流为

$$I_1 = \frac{U}{Z_1} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{220}{\sqrt{400^2 + 400^2}} = 0.389 \text{ A}$$

该支路的阻抗角为

$$\varphi_1 = \tan^{-1} \frac{X_L}{R} = \tan^{-1} \frac{400}{400} = 45^\circ$$