



特种作业人员安全技术培训考核教材

# 电工作业

DIANGONG ZUOYE

赵艳芝 主编

赵剑峰 张瑞敏 参编

- ◆ 法律法规
- ◆ 安全培训
- ◆ 案例分析
- ◆ 考核复习题及答案



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

特种作业人员安全技术培训考核教材

# 电 工 作 业

主编 赵艳芝

参编 赵剑锋 张瑞敏

机械工业出版社

本书是根据国家安全生产监督管理总局颁布的《特种作业人员安全技术培训大纲及考核标准》编写的，是电工作业人员安全技术培训考核必备用书。

本书系统地介绍了电工作业人员应掌握的安全技术理论知识和操作技能，主要内容包括：安全生产法律法规知识与职业规范、电工基础知识、电工基本操作、电工安全知识、电工测量、电气事故案例及其原因分析、电工安全操作规程等内容。

书末有与之配套的电工作业安全技术考核复习题及答案，以便于自检自测。

本书主要用作电工作业人员的安全技术培训考核教材，也可作为各企事业单位安全管理和相关技术人员的参考用书，还可作为各级职业技术学院相关专业的师生参考用书。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

电工作业/赵艳芝主编. —北京: 机械工业出版社, 2014. 6  
ISBN 978 - 7 - 111 - 46956 - 8

I. ①电… II. ①赵… III. ①电工技术 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 120772 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 荆宏智 林运鑫 责任编辑: 林运鑫

版式设计: 赵颖喆 责任校对: 潘蕊

封面设计: 陈沛 责任印制: 李洋

三河市国英印务有限公司印刷

2014 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 10.25 印张 · 246 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 46956 - 8

定价: 25.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

# 特种作业人员安全技术培训考核教材

## 编 审 委 员 会

主 任：魏 崑

副 主 任：李春明 蒋建华 沈炳生

委 员：田力飞 战淑红 张勇忠 刘文芳

胡国良 夏晓峰 赵 宇 潘孝春

策 划：田力飞 战淑红 张勇忠

本书编者：赵艳芝 赵剑峰 张瑞敏

本书主审：田力飞

# 前 言

电工作业是一种特种作业。在特种作业操作中容易发生各类事故及伤害，对操作者本人、他人及周围设施、设备的安全造成重大危害。从统计资料分析，大量的事故都发生在这些作业中，而且大多数事故是由于直接从事这些作业的操作人员缺乏安全知识、安全操作技能或违章作业造成的。因此，加强对直接从事这些操作的作业人员即特种作业人员进行安全技术培训和考核并定期进行复审是非常重要的。

本书在编写过程中参考了国家安全生产监督管理总局颁布的《特种作业人员安全技术培训大纲及考核标准》以及《电工作业人员安全技术考核标准》中的有关规定和要求。主要包括：安全生产法律法规知识与职业规范、电工基础知识、电工基本操作、电工安全知识、电工测量、电气事故案例及其原因分析、电工安全操作规程、电工作业安全技术考核复习题及答案。

特种作业人员培训工作已经开展多年，具有广泛的社会影响和群众基础。从目前情况来看，一些已出版的培训和复审教材理论知识太多、偏深。本书从安全工作的角度出发，根据作者多年的教学实践，编写力求简明实用，深入浅出，图文并茂，内容通俗易懂，注重实际安全操作，实用性强，有利于提高电工的操作水平和事故处理的应变能力，本书可作为从事电工操作的人员进行安全技术培训和考核及定期进行复审培训的教材。

由于编者水平有限，书中错误在所难免，请各位读者批评、指正。

编 者

# 目 录

## 前言

课题一 安全生产法律法规知识与职业规范	1
课题二 电工基础知识	7
任务一 直流电路	7
任务二 交流电路	9
任务三 电磁感应	12
任务四 电子技术常识	15
课题三 电工基本操作	18
任务一 导线绝缘层的剥削	18
任务二 导线的连接	20
任务三 导线的封端	25
任务四 导线绝缘层的恢复	26
课题四 电工安全知识	28
任务一 电流对人体的伤害与触电急救	28
任务二 电气安全工作要求与措施	40
任务三 电气安全用具与安全标识	46
任务四 防触电技术	56
任务五 电气防火防爆安全技术	71
任务六 低压配电装置与异步电动机用电安全	77
任务七 电气线路用电安全	91
任务八 照明设备用电安全	100
任务九 手持式电动工具与移动式设备用电安全	108
任务十 临时设备用电安全	114
任务十一 高压电器用电安全	116
任务十二 变配电安全	118
课题五 电工测量	128
课题六 电气事故案例及其原因分析	140
附录	144
附录 A 电工安全操作规程	144
附录 B 电工作业安全技术考核复习题	153
电工作业安全技术考核复习题一 (153) 答案 (155)	
电工作业安全技术考核复习题二 (155) 答案 (156)	
参考文献	158

# 课题一 安全生产法律法规知识与职业规范

## 技能点

- 能够运用法律知识保护自身及他人权益。

## 知识点

- 《安全生产法》相关知识。
- 《劳动法》相关知识。
- 《职业病防治法》相关知识。
- 《工伤保险条例》相关知识。
- 安全生产主要法律制度。

## 一、任务分析

对特种作业人员来说,除技术上有较高要求之外,还应该有较强的法制意识,学法懂法,严格按照要求规范操作,确保安全生产,保护自身及他人权益。法例与工作守则如图 1-1 所示。

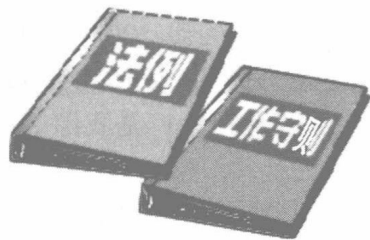


图 1-1 法例与工作守则

## 二、相关专业知识

### (一) 概述

我国正在建立的包括起重司索在内的特种设备法规标准体系由法律、行政法规、部门规章、规范性文件、相关标准及技术规定 5 个层次构成。

#### 1. 法律

法律是由全国人民代表大会或省级人民代表大会通过和批准的。我国现行的与特种设备有关的法律主要有《安全生产法》、《劳动法》、《产品质量法》、《商品检验法》、《职业病防治法》。

国家制定的《特种设备安全监察法》将以《特种设备安全监察条例》为基础立法,其内容将涵盖锅炉、压力容器、压力管道、电梯、起重机械、客运索道、大型游乐设施、场内机动车辆等各类特种设备的设计、制造、销售、安装、使用、检验、维修、改造等各项活动。

#### 2. 行政法规

行政法规包括国务院颁布的行政法规和国务院部委以令的形式颁布的与特种设备相关的部门行政章程。

《特种设备安全监察条例》是国务院以令的形式颁布的用以规范特种设备的生产、使用、检验、检测及其安全监察的专门法规。



《国务院关于特大安全事故行政责任追究的规定》是另一部重要的法规，该法规明确规定发生特大安全事故，将追究行政责任。压力容器和锅炉、压力管道等安全事故被作为七类特大安全事故之一。

### 3. 部门规章

行政规章是指国家质检总局局长以令形式发布的办法、规定、规则，如《特种设备事故处理规定》等。

### 4. 安全技术规范

安全技术规范是指以总局领导签署或授权签署，以总局名义公布的技术规范和管理规范。管理规范包括各种管理规则、核准规则、考核规则和程序等；技术规则包括各种安全技术监察规程、检验细则、评定细则、考核大纲等。

### 5. 技术标准

技术标准是指由行业或技术团体提出，经有关部门批准的技术文件，有国家标准、行业标准和企业标准。国家标准又分为强制性标准和推荐性标准。涉及安全卫生的领域必须实行国家强制性标准。企业标准应当高于行业标准，更应高于国家标准。行业标准是对没有国家标准而又需要在全国某个行业范围内统一技术要求而制定的标准。

## (二) 《安全生产法》

为了加强安全生产监督管理，防止和减少生产安全事故，保障人民群众生命和财产安全，促进经济发展，我国于2002年6月29日颁布了《中华人民共和国安全生产法》（简称《安全生产法》），于2002年11月1日起施行。

《安全生产法》是我国第一部关于安全生产的专门法律，适用于各个行业的生产经营活动。

### 1. 从业人员享有的五项权利

(1) 知情和建议权 《安全生产法》第四十五条规定：生产经营单位的从业人员有权了解其作业场所和工作岗位存在的危险因素、防范措施及事故应急措施，有权对本单位的安全生产工作提出建议。

与此相对应，责任方有完整、如实告知的义务，不得隐瞒和欺骗，同时对安全生产方面的合理建议有接受和改进的义务。

(2) 批评、检举和控告权 《安全生产法》第四十六条规定：从业人员有权对本单位安全生产工作中存在的问题提出批评、检举、控告……生产经营单位不得因从业人员对本单位安全生产工作提出批评、检举、控告……而降低其工资、福利等待遇或者解除与其订立的劳动合同。

(3) 合法拒绝权 《安全生产法》第四十六条规定：从业人员……有权拒绝违章指挥和强令冒险作业。……生产经营单位不得因从业人员……拒绝违章指挥、强令冒险作业而降低其工资、福利等待遇或者解除与其订立的劳动合同。

(4) 遇险停、撤权 《安全生产法》第四十七条规定：从业人员发现直接危及人身安全的紧急情况时，有权停止作业或者在采取可能的应急措施后撤离作业场所。生产经营单位不得因从业人员在前款紧急情况下停止作业或采取紧急撤离措施而降低其工资、福利等待遇或者解除与其订立的劳动合同。

(5) 保（险）外索赔权 《安全生产法》第四十八条规定：因生产安全事故受到损害





的从业人员，除依法享有工伤社会保险外，依照有关民事法律尚有获得赔偿的权利的，有权向本单位提出赔偿要求。

## 2. 从业人员的义务

法制的基本特征之一是权利和义务应该对等。

(1) 遵章作业的义务 《安全生产法》第四十九条规定：从业人员在作业过程中，应当严格遵守本单位的安全生产规章制度和操作规程，服从管理……

(2) 佩戴和使用劳动防护用品的义务 《安全生产法》第四十九条规定：从业人员在生产过程中，应当正确佩戴和使用劳动防护用品。

(3) 接受安全生产教育培训的义务 《安全生产法》第五十条规定：从业人员应当接受安全生产教育和培训，掌握本职工作所需的安全生产知识，提高安全生产技能，增强事故预防和应急处理能力。

(4) 安全隐患报告义务 《安全生产法》第五十条规定：从业人员发现事故隐患或者其他不安全因素，应当立即向现场安全生产管理人员或者本单位负责人报告；接到报告的人员应当及时予以处理。

## 3. 对特种作业人员的规定

《安全生产法》第二十三条规定：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，方可上岗作业。

结合《劳动法》的相关规定，特种作业人员必须取得两证才能上岗：一是特种作业资格证（技术等级证），二是特种作业操作资格证（即安全生产培训合格证）。两证缺一即可视为违法上岗或违法用工。

### （三）《劳动法》

1994年7月5日，第八届全国人民代表大会常务委员会第八次会议通过了《中华人民共和国劳动法》（简称《劳动法》），并于1995年1月1日起施行。《劳动法》的立法目的是：为了保护劳动者的合法权益，调整劳动关系，建立和维护适应社会主义市场经济的劳动制度，促进经济发展和社会进步。

《劳动法》中特种作业人员需要掌握的主要内容如下：

1) 第五十四条规定：用人单位必须为劳动者提供符合国家规定的劳动安全卫生条件和必要的劳动防护用品，对从事有职业危害作业的劳动者应当定期进行健康检查。

2) 第五十五条规定：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。

3) 第五十六条规定：劳动者在劳动过程中必须严格遵守安全操作规程。劳动者对用人单位管理人员违章指挥、强令冒险作业，有权拒绝执行；对危害生命安全和身体健康的行为，有权提出批评、检举和控告。

### （四）《职业病防治法》

《职业病防治法》的立法目的是：为了预防、控制和消除职业病危害，防治职业病，保护劳动者健康及其相关权益，促进经济发展。

《职业病防治法》中特种作业人员需要掌握的主要内容如下：

1) 第四条规定：用人单位应当为劳动者创造符合国家职业卫生标准和卫生要求的工作环境和条件，并采取措施保障劳动者获得职业卫生保护。



2) 第六条规定：用人单位必须依法参加工伤保险。

3) 第十三条规定：产生职业病危害的用人单位的设立除应当符合法律、行政法规规定的设立条件外，其工作场所还应当符合下列职业卫生要求：

- ① 职业病危害因素的强度或者浓度符合国家职业卫生标准。
- ② 有与职业病危害防护相适应的设施。
- ③ 生产布局合理，符合有害与无害作业分开的原则。
- ④ 有配套的更衣间、洗浴间、孕妇休息间等卫生设施。
- ⑤ 设备、工具、用具等设施符合保护劳动者生理、心理健康的要求。
- ⑥ 符合法律、行政法规和国务院卫生行政部门关于保护劳动者健康的其他要求。

4) 第二十八条规定：任何单位和个人不得将产生职业病危害的作业转移给不具备职业病防护条件的单位和个人。不具备职业病防护条件的单位和个人不得接受产生职业病危害的作业。

5) 第三十条规定：用人单位与劳动者订立劳动合同（含聘用合同，下同）时，应当将工作过程中可能产生的职业病危害及其后果、职业病防护措施和待遇等如实告知劳动者，并在劳动合同中写明，不得隐瞒或者欺骗。

劳动者在已订立劳动合同期间因工作岗位或者工作内容变更，从事与所订立劳动合同中未告知的存在职业病危害的作业时，用人单位应当依照前款规定，向劳动者履行如实告知的义务，并协商变更原劳动合同相关条款。

用人单位违反前两款规定的，劳动者有权拒绝从事存在职业病危害的作业，用人单位不得因此解除或者终止与劳动者所订立的劳动合同。

6) 第三十二条规定：对从事接触职业病危害的作业的劳动者，用人单位应当按照国务院卫生行政部门的规定组织上岗前、在岗期间和离岗时的职业健康检查，并将检查结果如实告知劳动者。职业健康检查费用由用人单位承担。

7) 第三十六条规定：劳动者享有下列职业卫生保护权利：

- ① 获得职业卫生教育、培训。
- ② 获得职业健康检查、职业病诊疗、康复等职业病防治服务。
- ③ 了解工作场所产生或者可能产生的职业病危害因素、危害后果和应当采取的职业病防护措施。

④ 要求用人单位提供符合防治职业病要求的职业病防护设施和个人使用的职业病防护用品，改善工作条件。

⑤ 对违反职业病防治法律、法规以及危及生命健康的行为提出批评、检举和控告。

⑥ 拒绝违章指挥和强令进行没有职业病防护措施的作业。

⑦ 参与用人单位职业卫生工作的民主管理，对职业病防治工作提出意见和建议。

用人单位应当保障劳动者行使前款所列权利。因劳动者依法行使正当权利而降低其工资、福利待遇或者解除、终止与其订立的劳动合同的，其行为无效。

#### （五）《工伤保险条例》

1) 第二条规定：中华人民共和国境内的各类企业、有雇工的个体工商户（以下简称用人单位）应当依照本条例规定参加工伤保险，为本单位全部职工或者雇工（以下简称职工）缴纳工伤保险费。中华人民共和国境内的各类企业的职工和个体工商户的雇工均有依照本条



例的规定享受工伤保险待遇的权利。

2) 第四条规定：用人单位应当将参加工伤保险的有关情况在本单位内公示。职工发生工伤时，用人单位应当采取措施使工伤职工得到及时救治。

## (六) 安全生产主要法律制度

### 1. 安全生产监督管理制度

安全生产的监督管理具体有以下几个方面的内容：一是县级以上地方各级人民政府的监督管理；二是负有安全生产监督管理职责的部门的监督管理，包括严格依照法定条件和程序对生产经营单位涉及安全生产的事项进行审查批准和验收，并及时进行监督检查等；三是监察机关的监督；四是对安全生产社会中介机构的监督。

### 2. 生产安全事故报告制度

《安全生产法》以及《国务院关于特大安全事故行政责任追究的规定》等法律法规都对生产安全事故的报告作了明确规定，从而构成我国安全生产法律的事故报告制度。

(1) 事故隐患报告 《安全生产法》第六十四条、六十五条明确规定：任何单位或个人对事故隐患或者安全生产违法行为，均有权报告或者举报。第六十六条特别规定：国家对报告重大事故隐患或者举报安全生产违法人员的有功人员，给予奖励。

(2) 生产安全事故报告 《安全生产法》第七十条第一款规定：生产经营单位发生生产安全事故后，事故现场有关人员应当立即报告本单位负责人。

《安全生产法》第七十条第二款规定：(生产经营)单位负责人接到事故报告后，……按照有关规定立即如实报告当地负有安全生产监督管理职责的部门，不得隐瞒不报、谎报或者拖延不报……生产经营单位发生伤亡事故后，应当立即报告当地县(市、区、旗)人民政府安全生产综合监督管理部门和有关部门。

### 3. 事故应急救援与调查处理制度

一是生产安全事故应急救援预案的制定；二是在生产安全事故发生后，事故应急救援体系能保证事故应急救援组织及时出动，并有针对性地采取救援措施；三是建立专业化的应急救援组织。

### 4. 事故责任追究制度

《安全生产法》明确规定：国家实行生产安全事故责任追究制度，以法律的形式宣布实行生产安全事故责任追究制度。任何生产安全事故的责任人都必须受到相应的责任追究。在实施责任追究制度时，必须贯彻“责任面前人人平等”的精神，坚决克服因人施罚的思想。无论什么人，只要违反了安全生产管理制度，造成了生产安全事故，就必须坚决予以追究。

生产安全事故责任人员，既包括生产经营单位中对造成事故负有直接责任的人员，也包括生产经营单位中对安全生产负有领导责任的单位负责人，还包括有关人民政府及其有关部门对生产安全事故的发生负有领导责任或者有失职、渎职情形的有关人员。

正确贯彻这一制度应当注意以下三个问题：

- 1) 客观上必须有生产安全事故的发生。
- 2) 承担责任的主体必须是事故责任人。
- 3) 必须依法追究责任人。



### 5. 特种作业人员持证上岗制度

针对特种作业的特殊性，安全生产法律法规对特种作业人员的上岗条件作了详细而明确的规定，特种作业人员必须持证上岗，如图 1-2 所示。

(1) 基本条件 基本条件主要有三个：年龄满 18 周岁；身体健康，无妨碍本职工作的疾病和生理缺陷（如近视、色盲、听觉障碍、癫痫病、高血压、心脏病、眩晕症、精神病和案发性昏厥等）；初中以上文化程度。

(2) 技术要求 作业人员应进行以下理论及实际操作考核：

- 1) 了解电工岗位职责和应该遵守的有关电气安全法规、标准。
- 2) 了解电工原理的基本内容。
- 3) 掌握常用的电气图形符号的绘制要求。
- 4) 熟练掌握常用电工仪器、仪表（即电压表、电流表、万用表、电能表、绝缘电阻表、接地电阻测试仪、惠斯顿电桥等）的使用要求。
- 5) 掌握绝缘、屏护、间距等防止直接电击的措施以及保护接地、保护接零、加强绝缘等防止间接电击的措施。
- 6) 熟练掌握漏电保护装置的类型、原理和特性参数。
- 7) 熟练掌握电气安全用具的种类、性能及用途，熟练掌握安全技术措施和组织措施的具体内容。
- 8) 了解低压带电作业的理论知识、操作技术，熟练掌握其安全要求。
- 9) 熟练掌握各种安全标志的使用规定。
- 10) 了解电气事故的种类、危险性和电气安全的特点。
- 11) 掌握电伤害的原因和触电事故发生的规律，掌握人身触电的急救方法。
- 12) 熟练掌握电气火灾发生的原因、预防措施、灭火原理及扑救方法。
- 13) 掌握杆上作业的安全要求。
- 14) 熟练掌握现场触电急救方法和保证安全的技术措施、组织措施。
- 15) 熟练正确使用常用电工仪器、仪表。
- 16) 掌握安全用具的检查内容并正确使用。
- 17) 会正确选择和使用灭火器材。

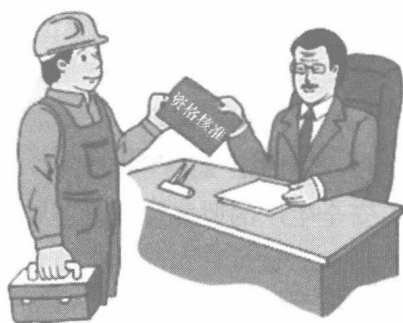


图 1-2 持证上岗制度

# 课题二 电工基础知识

## 任务一 直流电路

### 技能点

- 能够完成生产实际中电压、电流、电阻和电能等物理量的计算。

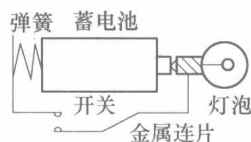
### 知识点

- 电路的基本知识及基本定律的运用。

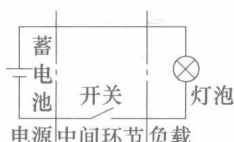
## 一、电路的组成及工作状态

### 1. 电路的概念

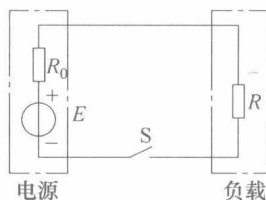
由电源、负载、开关经导线连接而形成的闭合回路，是电流所经之路，称为电路，如图 2-1 所示。



手电筒实际接线图



手电筒电路原理图



手电筒电路模型

图 2-1 简单电路

### 2. 电路的组成

任何一个完整的实际电路，通常是由电源、负载、开关和连接导线等基本部分组成的，如图 2-2 所示。

### 3. 电路图

用图形符号表示电路连接情况的图，叫做电路图，如图 2-3 所示。

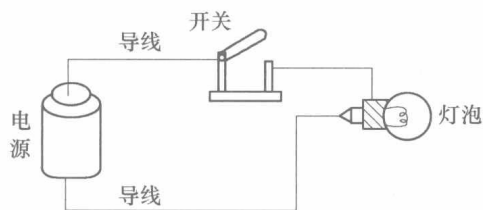


图 2-2 电路的组成

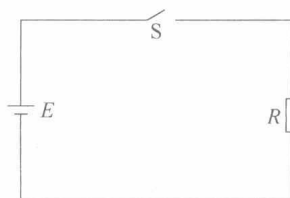


图 2-3 电路图



## 4. 电路的工作状态

(1) 通路 通路是指电源与负载接成闭合回路，这时电路中有电流通过。

(2) 断路 断路是指电源与负载未接成闭合电路，这时电路中没有电流通过，如图 2-4 所示。

(3) 短路 短路就是电源未经负载而直接由导线构成通路。实际生产生活中要严防电路发生短路，如图 2-5 所示。

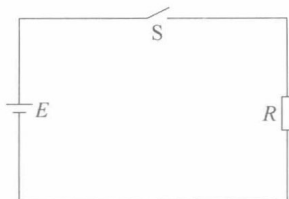


图 2-4 断路

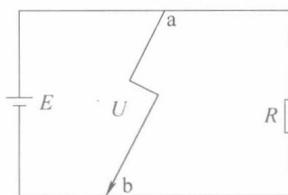


图 2-5 短路

## 二、欧姆定律

### 1. 部分电路欧姆定律

部分电路欧姆定律是指：当在电阻两端加上电压时，电阻中就有电流流过。流过电阻的电流  $I$  与电阻两端的电压  $U$  成正比，与电阻  $R$  成反比，如图 2-6 所示。其可由下面的公式表示，即

$$I = U/R$$

### 2. 全电路欧姆定律

全电路欧姆定律是指：在一个闭合电路中，电流  $I$  与电源的电动势  $E$  成正比，与电路中内电阻  $r$  和外电阻  $R$  之和成反比，如图 2-7 所示。其可由下面的公式表示，即

$$I = E/(R + r)$$

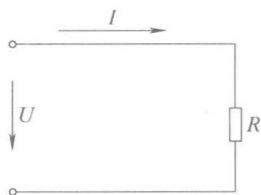


图 2-6 部分电路欧姆定律

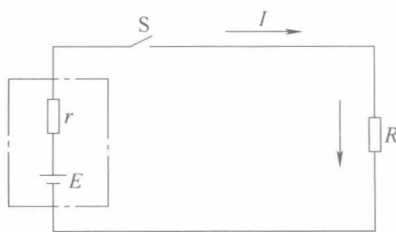


图 2-7 全电路欧姆定律

## 三、电阻的连接

### 1. 电阻的串联

几个电阻依次相连，中间没有分支，只有一个电流通路的连接方式，如图 2-8 所示。

### 2. 电阻的并联

将两个或两个以上电阻相应的两端连接在一起，使每个电阻承受同一个电压，如图 2-9 所示。

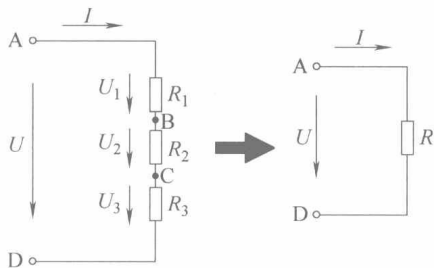


图 2-8 电阻的串联及等效电路

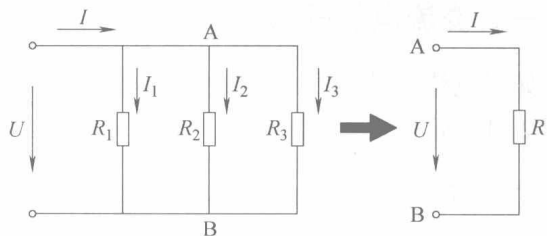


图 2-9 电阻的并联及等效电路

### 3. 电阻的混联

在一个电路中，既有电阻的串联，又有电阻的并联，这类电路称为混联电路，如图 2-10 所示。

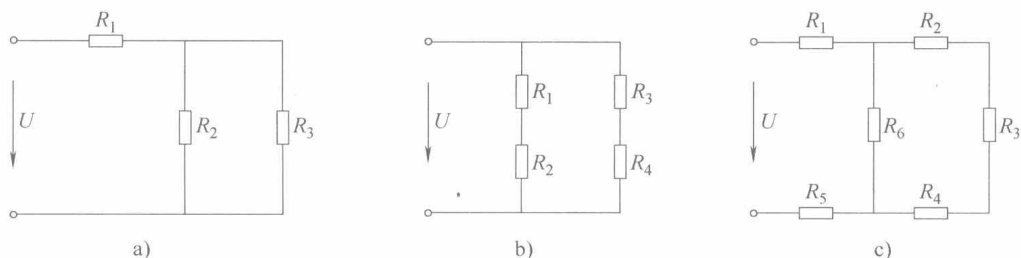


图 2-10 电阻的混联

## 四、电功率和电能

### 1. 电流的热效应

当电流通过导体时，由于要克服导体中的电阻而做功，将其所消耗的电能转换为热能，从而使导体温度升高的现象，称为电流的热效应，即

$$Q = I^2 R t$$

### 2. 电功率

单位时间内电场力所做的功称为电功率，简称功率。用来表示电场力做功的快慢，即

$$P = W/t = IU = I^2 R = U^2/R$$

### 3. 电能

在一段时间内，电流通过负载时，电源所做的功，称为电能，即

$$W = Pt = UIt = I^2 R t$$

## 任务二 交流电路

### 技能点

- 了解交流电路及相关内容，掌握交流电路的连接及功率的计算。

### 知识点

- 交流电路的基本物理量、三相电路的连接及功率的计算。



## 一、交流电的概念

如果电流（或电压、电动势）的大小和方向都随时间作周期性变化，就叫做交流电，如图 2-11 所示。

## 二、正弦交流电的基本物理量

正弦交流电的变化规律可用数学公式表示为

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i)$$

$$e = E_m \sin(\omega t + \varphi_e)$$

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi_u)$$

### 1. 瞬时值和最大值

把每一时刻的值叫做交流电的瞬时值。正弦电流、电压及电动势的瞬时值分别用  $i$ 、 $u$  和  $e$  表示。瞬时值中的最大值叫做交流电的最大值（或峰值、振幅），用  $I_m$ 、 $U_m$  及  $E_m$  表示，如图 2-12 所示。

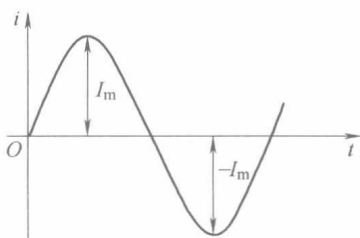


图 2-11 正弦交流电电流的波形

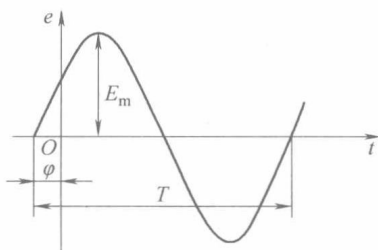


图 2-12 正弦电动势的波形

### 2. 频率、角频率和周期

- 1) 频率是指在 1s 内交流电变化的次数，用  $f$  表示。
- 2) 正弦交流电表达式中的  $\omega$  表示正弦交流电变化的快慢，称为角频率，即  $\omega = 2\pi f$ 。
- 3) 周期是指交流电变化一次所需要的时间，用  $T$  表示，即  $T = 1/f$ 。

### 3. 相位和相位差

1) 在正弦交流电的数学表达式中， $(\omega t + \varphi)$  称为相位或相位角。 $t = 0$  时的相位角称为初相位角或初相位，它确定了正弦量的初始值。

2) 相位差是指两个相同频率的正弦交流电的相位或初相位之差。它表示两个正弦量各自达到其最大值（或零值）时的时间差。

## 三、三相交流电路

三相交流电是指电路中的电源同时有三个交变电动势，这三个电动势的最大值相等、频率相同、相位互差  $120^\circ$ 。它们也称为对称三相电动势。三相电源的三个绕组及三相负载，其常用的连接方式有两种，即星形（Y）联结和三角形（ $\Delta$ ）联结。

### 1. 三相电源的连接方式

作为三相电源的发电机或三相变压器都有三个绕组，在向负载供电时，三相绕组通常是接成星形或三角形联结，如图 2-13 所示。





(1) 电源的星形联结 将电源的三相绕组的末端 (U<sub>2</sub>、V<sub>2</sub>、W<sub>2</sub>) 连成一节点，而始端 (U<sub>1</sub>、V<sub>1</sub>、W<sub>1</sub>) 分别用导线引出接负载，这种连接方式叫做星形联结，或称 Y 联结，如图 2-14 所示。

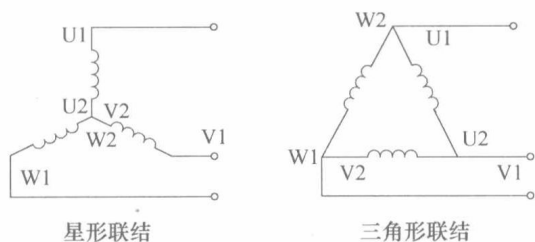


图 2-13 三相电源的连接方式

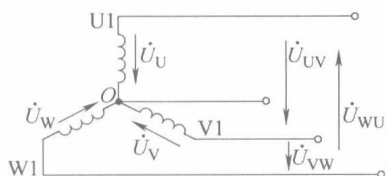


图 2-14 电源的星形联结

由三根相线和一根零线所组成的供电方式叫做三相四线制，常用于低压配电系统；星形联结的电源，也可不引出中性线，而只由三根相线供电，称为三相三线制，多用于高压输电。

在星形联结的电源中可以获得两种电压，即相电压和线电压。对称三相电源星形联结时，线电压是相电压的  $\sqrt{3}$  倍，且线电压相位超前与之对应的相电压  $30^\circ$ 。

(2) 电源的三角形联结 将三相电源的绕组，依次首尾相连构成闭合回路，再自首端 (U<sub>1</sub>、V<sub>1</sub>、W<sub>1</sub>) 分别引出导线连接负载，这种连接方式叫做三角形联结，或称为  $\Delta$  联结，如图 2-15 所示。

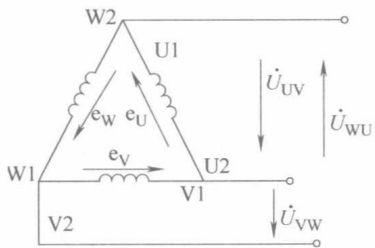


图 2-15 电源的三角形联结

电源为三角形联结时，线电压等于相电压，即  $U_{\text{线}} = U_{\text{相}}$ 。

当发电机绕组接成三角形联结时，在三个绕组构成的回路中总电动势为零。因此，在该电路中不会产生环流。

## 2. 三相负载的联结

(1) 三相负载的星形联结 将三相负载的末端连接成节点，也叫做中性点，用 “O” 或 “O'” 表示；负载的首端分别接到三相电源上。如将电源的中性点与负载的中性点用导线连接起来，就是三相四线制电路，如图 2-16 所示。一般照明用电灯的连接方式实际上就是属于星形联结，如图 2-17 所示。

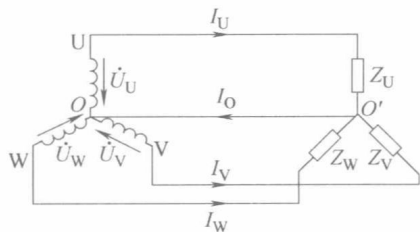


图 2-16 三相四线制电路

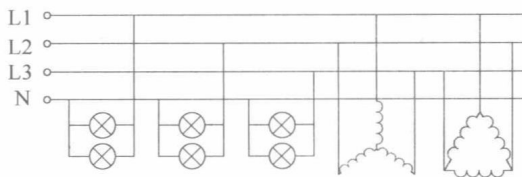


图 2-17 三相负载的星形联结

在三相四线制电路中，由基尔霍夫定律可知，中性线电流等于三相电流之和。在三相对称情况下，三相电流的相量和等于零，即中性线电流为零。因为中性线上没有电流通过，所