

电气安全工程

DIANQI
ANQUAN
GONGCHENG

全国高校安全工程专业本科规划教材

教育部高等学校安全工程学科教学指导委员会组织编写

全国高校安全工程专业本科规划教材

电气安全工程

教育部高等学校安全工程学科教学指导委员会组织编写

主编 钮英建

主审 杨有启

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

电气安全工程/钮英建主编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2009
全国高校安全工程专业本科规划教材
ISBN 978-7-5045-7887-7

I. 电… II. 钮… III. 电气设备-安全技术-高等学校-教材 IV. TM08
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 090382 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

*

世界知识印刷厂印刷装订 新华书店经销
787毫米×960毫米 16开本 26印张 454千字
2009年6月第1版 2009年6月第1次印刷

定价: 51.00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: 010-64954652

高等学校安全工程学科教学指导委员会

主任委员	孙华山				
副主任委员	黄玉治	范维澄	周世宁	宋振琪	谢和平
	沈忠厚	冯长根	王继仁	宋守信	
委 员	张平远	王 生	钮英建	张来斌	林柏泉
	刘泽功	蔡嗣经	傅 贵	吴 超	吴 穹
	杨庚宇	许开立	程卫民	张殿业	景国勋
	蒋军成	赵云胜	姜德义	黄卫星	刘玉存
	李树刚	吴宗之	伊 烈	崔慕晶	李永红
	李生盛	杨书宏			
秘 书	杨书宏	(兼)			

内 容 简 介

本书共分十章，主要内容有电气安全基础、直接接触电击防护、间接接触电击防护、兼防直接接触电击和间接接触电击的防护措施、电气线路安全、电气设备安全、电气防火防爆、雷电防护、静电防护、电气安全管理。

本书是全国高等院校安全工程专业的本科规划教材，也可作为有关工程技术人员和技术管理人员的培训教材。

序 言

党的十六届五中全会确立了“安全发展”的指导原则，极大地促进了我国安全科学事业的发展，同时为安全工程学科提供了良好的发展机遇。据初步统计，到目前为止，全国开设安全工程专业的高校已达百余所，安全工程专业已成为我国高等教育中重要的新兴专业之一。

加强教材建设，是促进我国安全工程专业健康发展的重要基础工作。本届（2004—2008年）高等学校安全工程学科教学指导委员会在充分吸收现有教材成果和借鉴上届教指委安全工程专业教材成功编写经验的基础上，于2006年启动了“全国高校安全工程专业本科规划教材”的组织编写和出版工作。第一批安全工程专业本科规划教材包括《安全学原理》《安全管理学》《安全人机工程学》《安全系统工程》《职业卫生概论》《工业通风与除尘》《化工安全》《工业防毒技术》《机械安全工程》《电气安全工程》《防火防爆技术》《锅炉压力容器安全》《安全经济学》《安全心理学》《风险管理与保险》等15种。

本套规划教材的编写力求满足安全工程专业课程体系和课程教学的新发展，立足现实，反映前沿，力求创新，既包括已经成熟并被公认的理论学术思想，又反映安全工程学科领域具有前瞻性与代表性的最新理论、技术和方法，并借鉴吸收世界上发达国家的先进理论、理念与方法。

在本套教材开发过程中，全国30余所高等学校、科研院所的近百名专家

和学者积极参与了教材的编写和审订工作，教指委秘书处、教材开发分委会和中国劳动社会保障出版社做了大量的组织工作，在此向他们表示衷心的感谢！

本套教材的编写和出版，是我国安全工程学科在教材建设方面又迈出的重要一步。虽然我们尽了最大努力，但仍有不足，恳请安全工程领域的专家学者和广大师生提出宝贵意见。

高等学校安全工程学科教学指导委员会

2007年7月

前 言

在人类的生产活动和日常生活中，由于电能有着便于大规模生产、输送、分配，以及转换方便、价格低廉、容易实现自动控制和信息处理等特殊的优越性，使得它得到了日益广泛的应用。从人类文明发展的角度来说，火的利用，标志着人类摆脱了愚昧时代；铁器的普遍使用，使人类从奴隶社会跨入封建社会；蒸汽机的发明，引发了产业革命的到来；而电能的广泛使用，则开辟了人类向现代物质文明社会发展的新时代；尤其是作为电能电子技术的信息处理方面应用的典范——电子计算机的发明，则把人类带入了信息时代。

然而，在人类社会发展和科技进步的历程中，各种危险因素和事故也无时无刻不与人类的生产活动和日常生活如影随形，威胁着人类生命和健康。以电能形式存在的电气危险因素和事故就是其中之一。电气既看不见、又听不到，还嗅不着，不具备直观识别特征，电气危险隐患潜移默化、不易识别；电以接近光速传播，事故的发生一触即发、猝不及防；电气事故的概念抽象性强，致因机理和对策措施分析涉及电气工程理论，深奥难明。正因为此，电气事故的机理及其防范对策研究凸显其重要性和紧迫性。特别是在当今这个科学技术飞速发展、日新月异的时代，电气设备以其无与伦比的方便快捷迅速渗透到生产和生活的方方面面，这就要求人们不但要有效防范各种以往的电气危险，还要学会应对伴随新技术而来的新的电气危险隐患。如何防范各种电气危险因素，消除电气事故隐患的问题已经成为一个具有极为广泛和普遍意义的重要任务和长久课题。由此，造就和发展了安全工程领域这条主干上的一个重要分支——电气安全工程。

电气安全工程作为一门课程，其内容既包括了电气安全科学技术知识，还包括电气安全管理工程知识。本教材侧重技术方面，以电气安全方法和电气危险因素为纵横两条主线，介绍防止电气事故的各种理论和工程技术方法。主要包括各类电气系统的电击危险分析及技术对策、爆炸火灾危险环境的电气引燃源控制、电气设备及线路的危险因素分析及

对策、雷电危险及防护对策、静电危害及防护技术以及电气安全管理等内容。

本书所介绍的电气安全相关主要知识，是工程设计人员、企业安全技术或安全管理人
员、注册安全工程师、安全评价师、职业安全健康管理体系认证人员、安全咨询师等做好
本职工作的必备知识。从这个角度讲，对于未来有志从事安全工程相关工作的在校安全工
程相关专业本科生乃至研究生，掌握好本课程相关电气安全核心知识和能力，其重要性是
不言而喻的。

本书由首都经济贸易大学钮英建教授担任主编，负责全书内容的选择、结构设计。全
书共十章，第一、二、四、七、八、九章由钮英建编写，第三、五章由沈阳航空工业学院
王旭编写，第六、十章由中国劳动关系学院赵秋生编写。钮英建对第三、五、六、十章做
了部分修改。

本书由杨有启教授担任主审，在此表示衷心的感谢。

本书主要用做大学本科安全工程专业的专业课教材，也可用做相关专业的研究生辅助
教材，还可供各类从事与电气安全工程相关工作的工程技术人员和技术管理人员学习和查
阅之用。

编者水平有限，书中不妥乃至错误之处在所难免，诚请读者批评指正。

编 者

2009年5月

目 录

第一章 电气安全基础	(1)
第一节 工业企业供配电	(1)
一、电力系统	(2)
二、工业企业供电	(5)
三、工业企业配电	(8)
第二节 电气事故	(11)
一、电气事故概要	(11)
二、电气事故的类型	(13)
三、触电事故的分布规律	(16)
第三节 电流对人体的作用	(17)
一、人体阻抗	(18)
二、电流对人体的作用	(19)
第二章 直接接触电击防护	(34)
第一节 电击事故的防护准则及措施要求	(34)
一、防止电击事故的基本准则	(34)
二、防止电击事故的措施要求	(35)
三、防止电击事故的措施分类	(36)
第二节 绝缘	(37)
一、绝缘材料的电气性能	(37)
二、绝缘的破坏	(41)
三、绝缘检测和绝缘试验	(44)
第三节 屏护和间距	(49)
一、屏护	(49)

二、间距	(51)
第三章 间接接触电击防护	(58)
第一节 IT 系统	(58)
一、接地的基本概念	(59)
二、IT 系统的安全原理	(62)
三、保护接地的应用范围	(64)
四、接地电阻的确定	(64)
五、绝缘监视	(66)
第二节 TT 系统	(69)
一、TT 系统的安全原理	(70)
二、工作接地	(71)
三、TT 系统的应用	(73)
第三节 TN 系统	(75)
一、TN 系统的安全原理及类别	(75)
二、保护接零应满足的要求	(75)
三、TN 系统速断和限压的要求	(81)
四、保护接零的应用范围	(83)
五、速断保护元件	(83)
第四节 保护导体	(85)
一、保护导体的组成	(85)
二、保护导体的截面积	(86)
三、等电位联结	(87)
四、保护导体的安装	(89)
五、相—零线回路检测	(89)
第五节 接地装置	(92)
一、自然接地体和人工接地体	(92)
二、接地线	(93)
三、接地装置的施工与安装	(94)
四、接地体流散电阻的计算	(99)
五、接地测量	(107)
六、接地装置的检查和维护	(109)

第四章 兼防直接接触电击和间接接触电击的防护措施	(112)
第一节 特低电压	(112)
一、特低电压的区段、限值和特低电压额定值.....	(112)
二、特低电压防护的类型及安全条件.....	(114)
三、SELV 和 PELV 的安全电源、回路配置	(115)
四、SELV 及 PELV 特殊要求	(116)
五、FELV 的辅助要求	(117)
六、插头及插座.....	(117)
第二节 剩余电流动作保护	(117)
一、剩余电流动作保护装置的原理.....	(118)
二、剩余电流动作保护装置的分类.....	(120)
三、剩余电流动作保护装置的主要技术参数.....	(122)
四、剩余电流动作保护装置的应用.....	(124)
第三节 双重绝缘和加强绝缘	(134)
一、双重绝缘和加强绝缘的结构.....	(134)
二、双重绝缘和加强绝缘的安全条件.....	(135)
三、不导电环境.....	(137)
第四节 电气隔离	(137)
一、电气隔离安全原理.....	(137)
二、电气隔离的安全条件.....	(138)
第五章 电气线路安全	(141)
第一节 电气线路的种类和特点	(141)
一、架空线路.....	(141)
二、电缆线路.....	(146)
三、室内配电线路.....	(148)
第二节 电气线路常见故障	(150)
一、架空线路故障.....	(151)
二、电缆线路故障.....	(152)
第三节 电气线路安全条件	(154)
一、导电能力.....	(154)

二、机械强度	(164)
三、线路防护	(165)
四、导线连接	(166)
五、线路管理	(167)
第四节 负荷计算	(167)
一、设备功率的确定	(167)
二、负荷计算	(169)
三、单相用电设备计算负荷的折算	(171)
第六章 电气设备安全	(174)
第一节 电气设备安全基础知识	(174)
一、外壳防护等级 (IP 代码)	(175)
二、电工电子设备防触电保护分类	(177)
三、用电环境危险性	(179)
第二节 常用用电设备安全	(180)
一、电动机	(180)
二、手持式电动工具安全	(187)
三、照明设备安全	(189)
四、电焊机	(196)
第三节 低压保护电器	(199)
一、低压保护电器概述	(199)
二、低压断路器	(201)
三、低压熔断器	(207)
四、保护继电器	(211)
五、隔离器与隔离开关	(215)
第四节 变配电设备安全	(218)
一、变配电所设备构成及其作用	(218)
二、电力变压器	(219)
三、互感器	(227)
四、高压电器	(230)
五、电力电容器	(238)

第七章 电气防火、防爆	(243)
第一节 电气引燃源	(243)
一、危险温度	(244)
二、电火花和电弧	(247)
三、电气装置及电气线路引燃源	(248)
第二节 危险物质	(251)
一、危险物质的分类及其性能参数	(251)
二、危险物质的分级分组	(260)
第三节 危险环境	(263)
一、爆炸性气体环境	(263)
二、爆炸性粉尘环境	(270)
三、火灾危险环境	(271)
第四节 防爆电气设备和防爆电气线路	(272)
一、防爆电气设备	(272)
二、防爆电气线路	(285)
第五节 电气防火、防爆措施	(291)
一、电气火灾爆炸危险的防范措施	(291)
二、消防供电	(293)
三、电气灭火	(294)
第八章 雷电防护	(298)
第一节 雷电种类及危害	(298)
一、雷电的种类	(298)
二、雷电参数	(302)
三、雷电的危害	(307)
第二节 雷电防护措施	(308)
一、防雷分类	(308)
二、防雷装置	(311)
三、防雷技术措施	(326)

第九章 静电防护	(343)
第一节 静电的产生及危害	(343)
一、静电的产生.....	(344)
二、静电的消散.....	(350)
三、静电的影响因素.....	(353)
四、静电的危害.....	(356)
第二节 静电防护措施	(358)
一、静电危险的安全界限.....	(359)
二、静电防护措施.....	(361)
第十章 电气安全管理	(370)
第一节 电气安全组织管理	(371)
一、管理机构和人员.....	(371)
二、规章制度.....	(372)
三、安全检查.....	(373)
四、安全教育.....	(374)
五、安全资料.....	(374)
第二节 电工安全用具	(375)
一、绝缘安全用具及其使用要点.....	(375)
二、电压电流指示器(验电器)及其使用要点.....	(377)
三、登高安全用具及其使用要点.....	(378)
四、临时接地线、遮栏和标示牌.....	(379)
五、安全用具保存与安全试验.....	(381)
第三节 检修安全措施	(382)
一、检修安全管理制度.....	(383)
二、检修技术管理措施.....	(389)
第四节 电气安全分析和评价	(392)
一、事故树分析.....	(392)
二、安全评价.....	(395)

第一章 电气安全基础

本章学习目标

1. 了解工业企业供配电系统的组成和系统各部分的功能，熟悉电力负荷的分级及各级的供电要求等基础知识。
2. 熟悉电气事故概要、触电事故的类型及其分布规律，掌握电流对人体作用的相关知识。

本章内容主要是电气安全工程相关的基础知识。首先介绍工业企业供配电的一些基本知识，然后讲述电气事故概要、触电事故的类型及分布规律，最后重点论述电流对人体的作用。

第一节 工业企业供配电

工业企业供配电是指工业企业所需电能的供应和分配。由于电能易于由其他形式的能量转换而来，又易于转换为其他形式的能量而被利用，并且，电能传输和分配上简单经济，便于实现自动控制，因此，电能成为现代工业生产和人们日常生活中的重要能源和动力。电能使用的技术及管理已成为反映一个国家或地区的国民经济发达程度和文明程度的重要标志之一。

生产电能的发电厂被建造在有动力资源的地方，如在有水利资源的地方建造电站，而在有燃料资源的地方建造火电厂，这样能够充分利用动力资源，减少燃料运输费用，从而降低发电成本。而电能用户的用电中心往往离发电厂较远，这就需要通过高压输电线路将发电厂和用电中心联系起来，将电能进行远距离输送。实际上，电能的生产、输送、分配和使用是几乎同时完成的，实现这个全过程的各个环

节构成了一个有机联系的整体，这个整体就称为电力系统。

一、电力系统

1. 电力系统的组成

电力系统由发电厂、送电线路、变电所、配电网和电力负荷组成，图 1—1 是典型的电力系统主接线单线图。图中未画出用户内部的配电网。

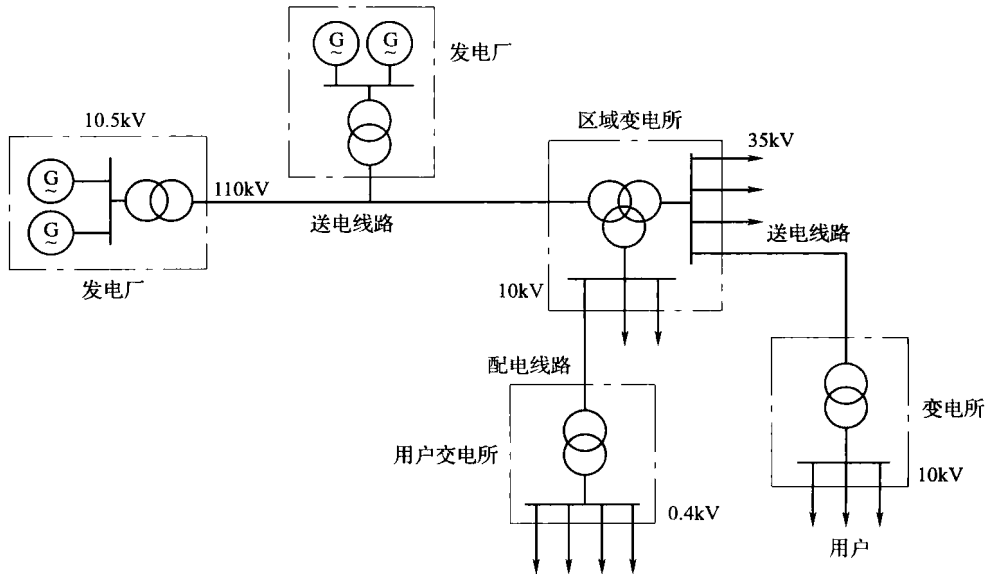


图 1—1 电力系统图

发电厂是将自然界蕴藏的各种一次能源转换为电能（二次能源）的工厂，根据一次能源的不同，分为火力发电厂、水力发电厂、核能发电厂以及风力发电厂、地热发电厂、太阳能发电厂等。在现代的电力系统中，最常见的是火力发电厂、水力发电厂和核能发电厂。

送电线路是指电压为 35 kV 及其以上的电力线路，分为架空线路和电缆线路。其作用是将电能输送到各个地区的区域变电所和大型企业的用户变电所。

变电所是构成电力系统的中间环节，分为区域变电所（中心变电所）和用户变电所。其作用是汇集电源、升降电压和分配电力。

配电网由电压为 10 kV 及其以下的配电线路和相应电压等级的变电所组成，也有架空线路和电缆线路之分。其作用是将电能分配到各类用户。电力负荷是指国民