



普通高等教育“十三五”规划教材
普通高等教育智能建筑规划教材

电气安全

第3版

◎ 杨岳 编

INTELLIGENT
BUILDING



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十三五”规划教材

普通高等教育智能建筑规划教材

电 气 安 全

第 3 版

杨 岳 编



机 械 工 业 出 版 社

本书主要讨论电力用户范围内面向非电气专业人员的电气安全问题，重点是技术原理和工程措施。全书共分八章，第一章介绍与电气安全相关的基础知识，第二章介绍低压配电系统，第三~八章分别介绍电击防护、建筑物防雷、过电压及电涌保护和电气环境安全问题。附录中所收录的数据可用于学生了解实例和完成作业，也可部分满足课程设计与毕业设计需要。

本书强调技术原理和工程体系在电气安全问题中的作用，注重内容的应用针对性和知识更新。本书可用作大学本科电气工程及其自动化、建筑电气与智能化、安全工程、自动化等专业的专业课教材，也可用作以上方向专业硕士和工程技术人员的参考书，还可供注册电气工程师（供配电专业）考试复习与培训使用。

本书配有免费电子课件，欢迎选用本书作为教材的教师登录 www.cmpedu.com 注册下载。

图书在版编目（CIP）数据

电气安全/杨岳编. —3版. —北京：机械工业出版社，2017.9
普通高等教育“十三五”规划教材 普通高等教育智能建筑规划教材
ISBN 978-7-111-56422-5

I. ①电… II. ①杨… III. ①电气安全—高等学校—教材 IV. ①TM08

中国版本图书馆CIP数据核字（2017）第063537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：贡克勤 责任编辑：贡克勤 徐凡

责任校对：肖琳 封面设计：张静

责任印制：李飞

北京铭成印刷有限公司印刷

2017年9月第3版第1次印刷

184mm×260mm·21.25印张·509千字

0 001—3 000册

标准书号：ISBN 978-7-111-56422-5

定价：49.80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

服务咨询热线：010-88379833

读者购书热线：010-88379649

网络服务

机工官网：www.cmpbook.com

机工官博：weibo.com/cmp1952

教育服务网：www.cmpedu.com

金书网：www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

智能建筑规划教材编委会

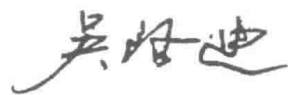
主任	吴启迪		
副主任	徐德淦	温伯银	陈瑞藻
委员	程大章	张公忠	王元恺
	龙惟定	王 忱	张振昭

序

20 世纪，电子技术、计算机网络技术、自动控制技术和系统工程技术获得了空前的高速发展，并渗透到各个领域，深刻地影响着人类的生产方式和生活方式，给人类带来了前所未有的方便和利益。建筑领域也未能例外，智能化建筑便是在这一背景下走进人们的生活。智能化建筑充分应用各种电子技术、计算机网络技术、自动控制技术、系统工程技术，并加以研发和整合成智能装备，为人们提供安全、便捷、舒适的工作条件和生活环境，并日益成为主导现代建筑的主流。近年来，人们不难发现，凡是按现代化、信息化运作的机构与行业，如政府、金融、商业、医疗、文教、体育、交通枢纽、法院、工厂等，他们所建造的新建筑物，都已具有不同程度的智能化。

智能化建筑市场的拓展为建筑电气工程的发展提供了广阔的天地。特别是建筑电气工程中的弱电系统，更是借助电子技术、计算机网络技术、自动控制技术和系统工程技术在智能建筑中的综合利用，使其获得了日新月异的发展。智能化建筑也为设备制造、工程设计、工程施工、物业管理等行业创造了巨大的市场，促进了社会对智能建筑技术专业人才的急速增加。令人高兴的是，众多院校顺应时代发展的要求，调整教学计划、更新课程内容，致力于培养建筑电气与智能建筑应用方向的人才，以适应国民经济高速发展的需要。这正是这套建筑电气与智能建筑系列教材的出版背景。

我欣喜地发现，参加这套建筑电气与智能建筑系列教材编撰工作的有近 20 个姐妹学校，不论是主编者还是主审者，均是这个领域有突出成就的专家。因此，我深信这套系列教材将会反映各姐妹学校在为国民经济服务方面的最新研究成果。系列教材的出版还说明了一个问题，时代需要协作精神，时代需要集体智慧。我借此机会感谢所有作者，是你们的辛劳为读者提供了一套好的教材。



写于同济园

第3版前言

本书是在总结第1、2版使用情况的基础上，为适应教育部卓越工程师教育培养计划要求而修订的。修订的总体思路是遵循按行业标准培养的原则，以工程主流技术和最新规范、标准为依据，充实和更新内容，并调整部分内容的安排，以更好地适应教学需要。

修订的主要内容有：将原书第三章“电击防护”调整为两章，分别介绍电击防护技术和电击防护工程应用，更新了电击防护技术的内容，增加了工程应用的分量和深度；将原书第五章“过电压及低压系统电涌保护”调整为两章，分别介绍供配电系统过电压保护和低压配电系统电涌保护，增加了低压系统工频故障过电压的内容，更新充实了电涌保护的内容；将原书第四章“建筑物防雷”按GB/T 21714—2015《雷电防护》体系做了较大幅度调整和更新，并将工程接地装置部分调整到第一章。全书由原来的六章扩充为八章。

本次修订在内容组织上沿用第2版的做法，从基础理论和工程体系两个维度形成电气安全问题的知识结构，使教材内容能兼顾知识迁移性和应用针对性，并避免内容的散乱。本次修订在知识范围、理论深度、工程背景和应用针对性上都有所加强，部分内容难度加大，还提供了少量带“*”的难度较大的习题，教师可以根据教学需要进行合理取舍。

由于采用了较多新版本的标准，书中部分术语、数据、参量定义和图用符号等可能与工程现状主流应用有所不同，如图用文字符号的字母代码、雷电防护等级的概念、电气分隔的定义、反击防护措施的表述等，在此特别提请读者（尤其是使用本教材的教师）注意。对一些标准不统一或有冲突的问题，书中一般通过脚注给予注释，以避免产生歧义。

本次修订由杨岳完成，在此谨向参与过本书以前版本编写工作的马占敖老师表示感谢。由于作者水平有限，虽经修订，书中不足和错误之处仍在所难免，恳请读者和专家指正。

编者

2017年2月

第2版前言

本书于2003年出版，满足了当时电气工程专业（尤其是建筑电气专业方向）对电气安全教材的迫切需求，也被一些院校的安全工程专业选用。近年来，通过收集分析使用本书的教师的意见，结合作者在本校电气和安全专业的使用体会以及电气安全技术的最新进展，并对照工程界对注册电气工程师（供配电专业）的专业知识要求，作者对原书进行修订。修订总体思路如下：

- (1) 降低起点。原书以修完“供配电系统”或类似课程为起点，现改为以修完“电工学”为起点。
- (2) 明确难度层次。以“节”“段”为单位区分难度层次，便于教师取舍。
- (3) 强干弱枝。大量删除枝节性和罗列性内容，强化知识结构主干，突出重点。
- (4) 推陈出新。主要在低压系统电涌保护部分更新陈旧的内容，另外在特低电压、建筑物防雷、环境技术及接地等内容中贯彻最新的IEC技术体系精神。
- (5) 方便使用。注重知识的前后顺序、层级衔接和逻辑清晰，以便于阅读；提供一些常用的工程数据，以方便完成作业和课程设计。
- (6) 加强习题。大幅度增加习题的数量和类型，注重习题与知识点的对应。

修订从内容和结构两方面入手，具体调整如下：

内容方面，增加了“低压配电系统”一章，以降低起点；在电气环境安全一章增加了“爆炸和火灾危险性场所的电气安全简介”一节，以适应安全工程专业的需要；增加了接地技术原理性内容的介绍；删除了输电线路防雷和中、高压系统内部过电压防护的内容；对原书中的罗列性内容，以说明技术原理为限进行了大幅度删减；新增了附录部分，列出了二十多个附表，提供常用数据。

结构方面，将原书第一章调整为电气安全基础技术，将绝缘、接地、环境三项技术作为电气安全的支撑性基础技术在本章介绍，强化了接地部分的内容；将原书第一章“电气设备电击防护方式分类”“外壳与外壳防护”调整到第三章，结合电击防护进行介绍；第三章增加“电击防护工程设计计算”一节，将原分布于各节之中的难点内容集中到一节中统一介绍，既结构清晰，又方便不同教学层次的取舍；将原书建筑物防雷部分明确按外部防雷和内部防雷分别介绍。

第2版保留并强化了原书在知识体系构成上的两条主线：一条是各种电气安全问题与基础理论之间的关系；另一条是各种电气安全问题在工程体系中的位置关系。二者从纵、横两个方向构建了电气安全工程的知识结构，使具有案例式教学特征的本门课程不再只是一个个零散案例的堆积，而是一个有机的整体。因此建议在使用本书时，除第六章可以做讲座式介绍以外，其他各章虽然可以在内容上有所取舍，但基本原理和工程体系这两条主线不能被截断，否则很难让学生建立起完整的知识体系，在关联性很强的电气安全工作中，只晓方法和局部、不明道理和全局所形成的防护体系通常会顾此失彼。至于这样做所涉及的难度问题，其实所需理论并不深奥，都是最基本的电路或电磁场理论，难点在于将这些理论运用到分析解决电气安全问题

上,而这实际上是大多数专业课程所共同面对的难点之一。克服这一难点,既可提高本门课程的教学质量,又能培养学生应用所学知识解决实际问题的能力,可谓一举两得。

本次修订由杨岳负责总体构思和安排,第四章第一、四、六节的修订工作由马占敖和杨岳共同完成,其余部分由杨岳完成。由于作者水平有限,虽经修订,书中不足和错误之处仍在所难免,恳请读者和专家指正。

作 者

2010年5月

第1版前言

在我们周围存在着各种各样的能量，这些能量大部分以其自然的形态存在，小部分被我们有控制地使用。能量是我们赖以生存的不可或缺的一种物质形式，但能量也能对我们的生存环境造成破坏。电能是能量的一种存在形式，它既存在于雷电、静电等自然现象中，也存在于我们人为制造的电力系统或电子信息系统中。电气危害总是缘于电能的非期望分配，电气安全则正是要研究这些非期望分配产生的原因、途径、量值大小及特性参数等问题，并提出有效的防护方法。

因此，电气安全问题并不像人们通常所认为的那样，是一个只要小心谨慎就能避免的问题，恰恰相反，电气安全是一个基础性和综合性极强的技术领域。电气安全的工程目标是，只要没有产生机械破坏，都不会有电气安全事故的发生。当然，从现实的角度看这一目标是不可能完全达到的，但以更高的概率接近这一目标应成为我们努力的方向。

针对我国电气化水平迅猛提高和电气安全水平（尤其是非电气专业场所的电气安全水平）相对落后的现状，本书主要论述与供配电系统和建筑物相关的人身安全、设备（主要指用电设备）安全和环境安全等三部分内容。具体来说，包括电击防护、雷电防护、过电压防护、电气火灾预防、静电防护和电磁兼容等内容。本书不包括火灾及爆炸危险性场所的电气安全问题，也不包括电力生产及劳动保护方面的安全措施。本书的目的是希望学生通过学习，能了解供配电系统及建筑物内电气危害产生的途径与种类，掌握分析电气危害的基本理论，掌握电击防护、过电压防护和雷电防护的工程方法，建立电气环境安全的概念，为今后的学习和工作打下良好的基础。

本书是电气工程与自动化类专业建筑电气技术系列教材之一，由智能建筑规划教材编委会组织编写。本书主要供电气工程专业的本科学生使用，也可供相关专业的学生和工程技术人员参考。考虑到高校教学改革的进程，有相当一部分非电力类专业的学生也使用本书，因此作者在叙述上力求通俗易懂，尤其是对问题的引入花费了不少笔墨，并在前后内容的衔接处做适当重复，目的是便于不同专业的学生阅读和自学。本书的起点是学生已修完电类专业基础课，一般还应修完“供配电系统”（又称“工业与民用供电”）或类似的课程。

鉴于安全问题的严肃性、严谨性及可能由此产生的法律后果，本书作者特别声明：本书可作为工程技术人员的参考资料，但不能作为工程设计、安装施工及工程验收等的技术依据，作者不承担因引用本书观点或数据而产生的任何后果的责任。

本书共分五章，第一、二、四、五章由杨岳编写，第三章由马占教编写，全书由杨岳主编，北方交通大学张小青教授主审。张小青教授对本书的内容提出了宝贵的意见，在此深表感谢。

本书在编写过程中还得到了重庆大学电气工程学院领导和同事们的大力支持，重庆大学谢永茂教授，原重庆建筑大学建筑设计研究院电气总工陈家国，重庆市建筑设计研究院电气总工邓申军，解放军后勤工程学院赵宏伟副教授，重庆工商大学杨琳副教授，重庆大学周齐国、龙莉莉、魏明、冯黄碧副教授等也对本书提出了宝贵意见，另外，杨本强讲师也为本书做了不

少具体工作，在此一并表示感谢。

由于近年来我国电工标准正处在与国际标准接轨的过程中，不论是在看待电气安全问题的基本观点上，还是在对电气危害采取的工程防护措施上，都发生了重大的变化，一些旧的措施已作废，新的方法正陆续出台，一些通用安全措施（如电气隔离等）还没有完整的标准或规范，而有些规范尚不配套（如特低电压标准已有 GB3805.1—1993，但其他方面与特低电压相关的规范仍多与 GB3805—1983 配套），与国际标准接轨的力度也正从“等效采用”转为“等同采用”等，使电气安全问题中与标准或规范有关的很多技术问题处在频繁的变化之中，作者因时间、信息渠道等诸多因素的限制，收集的资料难免挂一漏万，加之水平有限，书中疏漏甚至错误之处在所难免，恳请读者和专家批评指正。

作者

2002年10月

目 录

序	
第3版前言	
第2版前言	
第1版前言	
第一章 电气安全基础	1
第一节 电气安全问题立论	1
一、电气安全问题的背景	1
二、电气安全问题的工程现状	1
三、本课程研究的范围和重点	2
第二节 电气危害	3
一、电气危害的分类	3
二、电气危害的主要加害源简介	4
三、电气危害的特点	4
四、电气危害的规律	5
第三节 绝缘技术基础	5
一、绝缘材料	6
二、绝缘结构	8
三、绝缘检测	9
第四节 接地技术基础	14
一、电气“地”与电气“接地”	14
二、接地的分类	14
三、接地装置原理构成及接地电阻	15
四、参考地、局部地概念及接地电阻的形成	15
第五节 工程接地装置	17
一、人工接地极	18
二、自然接地极	20
三、跨步电压与转移电压	20
四、接地电阻测量	21
第六节 外界影响及环境技术基础	23
一、外界影响	23
二、电工电子产品环境条件与环境试验	26
第七节 安全认证及电气安全相关的标准化组织	27
一、电气产品安全认证的基本概念	27
二、常见认证简介	28
三、与电气安全相关的标准化组织简介	29
思考与练习题	29
第二章 低压配电系统	31
第一节 城市电网与供配电系统	31
一、城市电网简介	31
二、供配电系统概念	34
第二节 低压配电系统结构	36
一、低压配电系统配电设施与装置	36
二、低压配电系统网络接线	37
第三节 低压系统接地形式和导体配置	41
一、术语解释	41
二、低压系统单线与多线接线图表示法	43
三、低压系统接地形式	43
四、低压系统导体配置	46
第四节 常用低压配电电器	47
一、低压开关、隔离器	47
二、低压熔断器	47
三、低压断路器	50
第五节 低压系统短路电流计算	56
一、低压系统短路电流计算的特点	56
二、三相与两相短路及短路电流计算	56
三、单相短路及短路电流计算	57
四、计算示例	60
第六节 低压配电线路的过电流保护	62
一、过电流及保护原则	62
二、低压配电线路的短路保护	62
三、低压配电线路的过负荷保护	66
第七节 低压配电线路带电导体截面积选择	67
一、相线导体截面积选择	67
二、中性线导体截面积选择	68
思考与练习题	69
第三章 电击防护技术原理与措施	72
第一节 电流通过人体产生的效应	72
一、电击形式及对应的防护形式	72
二、人体通过电流时产生的生理反应	72
三、人体阻抗	74
四、工程标准及典型量值	75

第二节 电气设备及装置的电击防护措施·····	79	工程设计计算·····	140
一、绝缘措施·····	79	一、自动切断电源的故障防护对切断时间的要求·····	141
二、机械阻隔类防护措施·····	79	二、TN 系统自动切断电源故障防护有效性判断·····	142
三、空间间距阻隔类防护措施·····	80	三、TT 系统自动切断电源故障防护有效性判断·····	146
四、外壳防护等级·····	81	四、IT 系统自动切断电源故障防护有效性判断·····	147
五、用电设备电击防护形式分类·····	83	第四节 保护导体及其选择·····	150
第三节 低压系统间接电击防护性能分析·····	84	第五节 故障防护的检验·····	152
一、TT 系统间接电击防护性能分析·····	85	一、故障回路阻抗测量·····	152
二、TN 系统间接电击防护性能分析·····	87	二、RCD 动作电流检验·····	155
三、IT 系统间接电击防护性能分析·····	91	三、保护联结导体连续性测试·····	155
第四节 剩余电流保护·····	96	第六节 电击防护措施的综合应用示例·····	156
一、剩余电流概念及其与电击防护的关系·····	96	一、住宅的电击防护·····	156
二、剩余电流保护装置·····	98	二、装有浴盆或淋浴盆场所的电击防护·····	161
三、剩余电流保护设置·····	102	三、医院胸腔手术室的电击防护·····	163
四、剩余电流保护的相关问题·····	104	思考与练习题·····	165
第五节 电气分隔防护·····	107	第五章 雷电及建筑物雷电防护 ·····	168
一、电气分隔的概念性问题·····	107	第一节 雷电与雷电参数·····	168
二、采用隔离变压器的电气分隔及其电击防护效果分析·····	109	一、雷电的形成与危害·····	168
三、电气分隔防护的性质及安全条件·····	111	二、对地雷闪的雷击形式与组合形式·····	170
第六节 特低电压防护·····	113	三、雷电参数·····	171
一、特低电压及其量值·····	113	第二节 雷电能量在导体上的传输·····	173
二、低压电气装置特低电压防护类别·····	115	一、传输线·····	173
三、特低电压防护的性质及安全条件·····	115	二、传输线上的行波·····	176
四、FELV 系统的防护·····	118	三、导体上雷电能量传输与传输线的关系·····	179
第七节 非导电环境与等电位联结·····	119	第三节 综合防雷体系·····	179
一、非导电环境·····	119	一、与建筑物防雷相关的主要技术领域·····	179
二、等电位联结·····	120	二、综合防雷体系结构·····	181
思考与练习题·····	129	三、工程防雷系统的形成·····	182
第四章 电击防护工程应用 ·····	133	第四节 雷电防护等级与建筑物防雷类别划分·····	184
第一节 低压系统电击防护工程体系·····	133	一、雷电防护等级与建筑物防雷类别的概念·····	184
一、低压电气装置的安全防护与电击防护·····	133	二、现状防雷工程对建筑物防雷类别的划分·····	186
二、电击防护措施的分类及组合·····	134	第五节 建筑物外部防雷系统·····	187
三、外界影响与电击防护·····	136	一、建筑物外部防雷系统的构成·····	188
第二节 低压系统接地形式和用电设备电击防护类别选择·····	137		
一、低压系统接地形式选择及其与电击防护的关系·····	137		
二、用电设备电击防护类别选择及其与电击防护的关系·····	139		
第三节 自动切断电源的故障防护的			

二、接闪器的保护范围	191	二、变配电所高压接地故障引起的低压系统 暂时过电压	234
三、典型接闪器保护范围计算示例	192	三、高压系统技术条件与低压系统关系的 一些讨论	240
四、接触电压和跨步电压电击 危险性防护	195	思考与练习题	241
第六节 建筑物内部防雷系统	196	第七章 低压配电系统电涌保护	244
一、沿金属管线侵入雷电电涌引起的电火花 危险的防护	196	第一节 电涌	244
二、电磁感应现象及其引起的电火花 危险的防护	198	一、电涌及来源	244
三、反击及其防护	198	二、电涌强度计算	247
第七节 建筑物上的雷击电磁脉冲 防护措施	202	第二节 电涌保护器	252
一、传统建筑物防雷与雷击电磁脉冲 防护的关系	202	一、电涌保护器的原理与类别	252
二、雷击电磁脉冲防护的 防雷区及划分	202	二、电涌保护器的冲击分类试验	254
三、实施在建筑物上的雷击电磁脉冲 防护措施	204	三、电涌保护器的主要参数	256
思考与练习题	209	第三节 低压系统电涌保护配置	259
第六章 供配电系统过电压保护	211	一、电涌保护对象分级	259
第一节 过电压与设备耐压	211	二、电涌保护的目及在综合防雷 体系中的地位	259
一、过电压	211	三、电涌保护对象的耐受水平	259
二、电气设备耐受电压	212	四、电涌保护的布局	260
第二节 避雷器	214	五、电压保护模式	261
一、避雷器的工作原理	214	第四节 电涌保护器选择	263
二、避雷器的类别与特性	215	一、主要参数选择	263
三、阀式避雷器的主要参数	216	二、类型选择	268
第三节 变配电所外部过电压保护	219	第五节 电涌保护的级间配合	268
一、阀式避雷器的保护原理	219	一、级间配合的原理、原则和类型	268
二、变配电所电气设备的过电压保护	222	二、级间配合的方法	271
三、变配电所的进线段保护	222	第六节 电涌保护与低压系统其他保护及接 地形式的配合	272
四、10/0.38kV 变配电所过电压 保护示例	223	一、电涌保护与其他保护的配合	272
第四节 低压系统故障引起的工频过 电压及防护	226	二、电涌保护在各接地形式系统中的 应用	276
一、中性导体中断或阻抗过大引起的 中性点位移过电压	226	思考与练习题	280
二、接地故障过电压	230	第八章 电气环境安全	281
三、相中单相短路故障过电压	232	第一节 电气火灾概述	281
第五节 高压系统故障引起的低压系统暂时 过电压及防护	233	一、电气火灾的火源	281
一、高低压系统纵向绝缘破坏导致的直接 传导性过电压	233	二、电气火灾的起因、特点与危害	282
		第二节 电气火灾预防及电热效应防护	285
		一、在设备和线缆形式选择上采取的火灾 预防措施	285
		二、在配电系统构造上采取的火灾 预防措施	286
		三、施工安装环节应注意的火灾 预防事项	290

四、电热效应防护	290	二、静电危害的防护	300
第三节 爆炸和火灾危险性场所电气		第五节 电磁污染与电磁兼容	305
安全简介	291	一、电磁干扰基本形式	306
一、危险性物质	291	二、电磁兼容性及其原则评价	307
二、危险性环境	292	思考与练习题	310
三、爆炸危险性场所电气设备选择	292	附录	311
四、火灾危险性场所电气设备选择	295	参考文献	325
第四节 静电防护	296		
一、静电的产生与危害	296		

第一章 电气安全基础

第一节 电气安全问题立论

一、电气安全问题的背景

1. 社会背景

从古至今，人类一直在努力地认识和改造自然，并取得了辉煌的成就。但辉煌的光芒掩盖不了另一个事实，那就是与文明发展如影随形的人类对其自身及周围环境的危害。以近代工业革命为发端，伴随着科学技术的迅速发展，各种危害较之以往显著加剧，其涉及面之广已几乎涵盖每一个技术领域，程度之严重已足以威胁人类自身的生存，这已有悖于人类认识和改造自然的初衷。作为一个庞大的工程领域，电气工程的情况不可能例外。电气工程是现代社会的支撑性技术体系之一，它几乎无处不在、无所不需，因此其产生的危害涉及面广、程度严重且影响深刻。面对危害，防范的要求自然产生，由此形成电气安全问题的第一个现实背景。

2. 自然背景

除了人为地利用电磁能量以外，自然界本身也存在着各种电磁过程，如雷电、静电、宇宙电磁辐射等，这些自然现象也时刻影响着正常的人类活动。社会科学技术发展水平越高，这些自然界电磁过程可能造成的危害越大，如何应对这些危害，也是必须研究的课题，这构成了电气安全问题的另一个现实背景。

3. 技术发展规律性背景

按照一般规律，一个学科在其发展初期，总是以研究事物的原理并利用所获得的成果来谋取利益为主要方向，而当与这个学科领域相关的工程技术高度发展并建立起庞大的工程体系之后，由于负面效应的显现，如何抑制其危害又会成为研究的重点之一。这一规律在汽车、石化、冶炼、矿产、电子信息等行业无一不得到验证，电气工程也不例外。因此，研究电气安全问题符合技术发展的客观规律。

4. 学科背景

作为一种物理现象，“电”被人们利用的途径主要有两条，一条是用作为能源，另一条是用作为消息的载体。因此，电气安全问题是包括电力、通信、计算机、自动控制等在内的诸多技术领域所共同面临的问题，这使它具有了广泛性和基础性的特征；同时，电气安全又涉及材料选用、设备制造、设计施工、安装调试及运行维护等诸多环节，这又使它具有了系统性和综合性的特征；再者，电气安全问题通常发生在我们预期以外的电磁过程中，这表明它具有突发性和随机性的特征。综合以上特征可知，从问题本身的基础性，到研究问题所涉及的学科跨度及理论深度，电气安全问题具有丰富的学术内涵和广阔的应用范围，这表明电气安全问题具有坚实的学科背景。

二、电气安全问题的工程现状

在发达国家，社会对电气安全问题极为重视，尤其是对涉及用户人身安全和公共环境安

全的问题,更是予以了严格的规范。在我国,过去由于观念和体制上的原因,电气安全问题多侧重于电网本身的安全和电力生产场所的劳动保护,对一般民用场所的人身、财产安全和环境安全问题较为忽视,以致电击伤害和电气火灾等恶性事故的发生率长期居高不下,单位用电量的各种事故率通常比发达国家高出若干倍以上。最近三十多年来,我国在学习国际先进技术、等效或等同采用国际先进标准等方面做了大量工作,在电气安全的工程实践上有了长足进步,但与发达国家相比,仍然有一定差距,这主要体现在以下几个方面。

1) 认识不足。社会(其中包括很大一部分电气工程专业人员)普遍对电气安全问题的技术性特征认识不足,很多人认为这只是一个管理和科普教育的问题,甚至认为是一个只要小心谨慎就能避免的问题。

2) 技术标准滞后,体系欠清晰,标准间的配合不够严密,有的甚至相互矛盾。即使部分等效或等同采用了 IEC 标准,也还存在消化不良、既有工程体系支持不足以及工程实践滞后等问题。

3) 从业人员相关知识不够系统、完整,一些不恰当甚至错误的概念、术语、方法等还在被广泛地使用。如 36V 安全电压、火线、零线、接零保护等。

4) 工程项目中,错、漏安全技术措施的现象较为普遍。如住宅卫生间的局部等电位联结常未实施,剩余电流保护因误动作而被大量取消等。

以上问题中,认识不足和知识体系不完整是根本原因。要解决这些问题,必须从专业人员的专业教育入手,只有专业人员具备正确的认识和知识,才可能在全社会提高电气安全水平。

由于经济的持续快速发展,我国城、乡居民家庭和公共场所的电气化程度迅速提高,如何在这种情况下实现较高的安全用电水平,是一个十分紧迫的问题。因此,将电气安全问题作为电气工程一个重要的专业领域进行研究,修正长期以来在电气安全问题上的认识偏差,以科学的态度去探索,用工程的手段去应对,是一项十分有意义的重要的工作。

三、本课程研究的范围和重点

首先明确,本书讨论的是电气安全的工程技术性问题,而非管理措施。

其次,本书所针对的对象不包括电力生产专业场所,重点讨论面向非电气专业场所和非电气专业人员的电气安全问题。

第三,在本书所讨论的问题中,除雷电防护以外,主要是将电气系统作为加害者而非受害者来讨论的。也就是说,重点不仅在于电气系统本身的安全,而且更在于电气系统对周围环境造成的危害。

基于以上认识,本书将对电击防护、雷电防护、过电压与电涌保护以及电气环境安全等问题进行论述。由于这些问题大多与低压配电系统有关,因此书中专列一章对低压配电系统进行介绍,供不熟悉低压配电系统的读者参考。

电气安全是电类本科专业课程中综合性和实践性较强的课程之一,具有案例式教学的特征。作为课程,一个又一个的电气安全问题应该被综合成一个有机的整体,而非一大堆毫无关联的问题的堆砌。要做到这一点,需要从两个方面入手:一是从技术原理上深刻认识,找到众多电气安全问题的共同理论基础,形成纵向的知识结构;二是明晰有关各种电气安全问题的工程体系,找到每一具体的电气安全问题在工程体系中的位置,形成横向的知识结构。为此,既需要我们积极运用电路、电磁场、电机学等专业基础课程知识来解决实际问题,又

需要我们勤于查阅工程标准、设计规范等技术资料以了解工程体系。若此，则不仅能学好这门课程，还可以巩固基础知识，更将锻炼我们分析解决问题的能力，为今后独立工作打下良好基础。

第二节 电气危害

一、电气危害的分类

电气危害是电气安全首先要研究的问题。按产生电气危害的源头分类，可将电气危害分为自然因素产生和人为因素产生两大类。自然因素有如雷电、静电等，人为因素主要是各种电气系统和设备，产生诸如电击、电弧灼伤、电气火灾等危害。按电气危害发生的特征分类，可将电气危害划分为电气事故和电磁污染两大类。电气事故具有偶然性与突发性的特征，而电磁污染具有必然性和持续性的特征。表 1-1 列出了电气危害的主要种类及原因。

表 1-1 电气危害的种类及原因

类型		原因及举例说明	
电气事故	故障型	电击	<ol style="list-style-type: none"> 1. 绝缘损坏，造成非带电部分带电 2. 爬电距离或电气间隙被导电物短接，造成非带电部分带电 3. 机械性原因，如线路断落，带电部件滑出等 4. 雷击 5. 各种因素造成的系统中性点电位升高，使 PE 或 PEN 线带高电位
		电气火灾和电气引爆	<ol style="list-style-type: none"> 1. 过电流产生高温引燃 2. 非正常电火花、电弧引燃、引爆 3. 雷电引燃、引爆
		设备损坏	<ol style="list-style-type: none"> 1. 过载或缺相运行 2. 电解和电蚀作用 3. 静电或雷击 4. 过电压或电涌
	非故障型	电击	直接事故：误入带电区、人为超越安全屏障、携带过长金属工具等；间接事故：因触碰感应电或低压电等非致命带电体引起的惊吓、坠落或摔倒等
		电气火灾	高温：溶液、溶渣的滴落、流淌、积聚使附近的物体燃烧、爆炸
		设备损坏和质量事故	<ol style="list-style-type: none"> 1. 长期电蚀作用使设备、线路受损 2. 工业静电引起的吸附作用、影响产品质量
电磁污染	电磁骚扰	工作产生的电磁场对别的设备或系统产生的干扰等	
	职业病	强电磁场对人体器官的损伤（如微波），或使人体某一部分功能失调等	

从表 1-1 中可知，大多数电气事故是在故障时发生的，它具有不确定性；而在非故障时发生的电气事故，多是由于违反操作规程或电气知识不够造成的。电磁污染类的电气危害，