

普通高等教育智能建筑规划教材

电气安全

第2版

杨 岳 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育智能建筑规划教材

电 气 安 全

第 2 版

主 编 杨 岳
参 编 马占敖



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,重点在于工程技术措施。全书共分六章,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,第三~六章分别介绍电击防护、建筑物防雷、过电压及低压系统电涌保护和电气环境安全问题。附录中所收录的数据可供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的需要。

本书特别注意了理论体系与工程体系的协调,既可作为大学本科电气和安全工程专业的专业课教材或教学参考书,也可用作注册电气工程师(供配电专业)考试复习的参考资料,还可供建筑电气设计、安装和物业管理等工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电气安全/杨岳主编.—2版.—北京:机械工业出版社,2010.7
普通高等教育智能建筑规划教材
ISBN 978-7-111-30799-0

I. ①电… II. ①杨… III. ①电气设备—安全技术—高等学校—教材
IV. ①TM08

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第097787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

版式设计:霍永明 责任校对:张媛

封面设计:张静 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2010年7月第2版第1次印刷

184mm×260mm·16.25印张·398千字

标准书号:ISBN 978-7-111-30799-0

定价:29.00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

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

智能建筑规划教材编委会

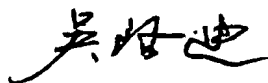
主任	吴启迪		
副主任	徐德淦	温伯银	陈瑞藻
委员	程大章	张公忠	王元恺
	龙惟定	王 忱	张振昭

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。智能化建筑也为其设备制造、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需求的急速增加。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,不论是主编者或是主审者,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

2002 年 9 月 28 日

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,除第六章可以作讲座式介绍以外,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作适当重复,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,第三章由马占敖编写,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,以及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

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 13

一、电气“地”与电气“接地” 13

二、接地的分类 13

三、接地装置原理构成及接地电阻 14

四、地电位与地面（地中）电位分布 15

第五节 环境技术基础 16

一、环境技术与电气安全的关系 16

二、环境条件 16

三、环境试验 19

第六节 电气产品的安全认证 19

一、电气产品安全认证的基本概念 19

二、常见认证简介 20

思考与练习题 21

第二章 低压配电系统 23

第一节 城市电网与低压配电系统 23

一、城市电网简介 23

二、供配电系统概念 25

三、低压配电系统 25

第二节 低压系统按接地形式和带电导体

形式分类 26

一、术语解释 26

二、低压系统按接地形式分类 27

三、低压系统按带电导体形式分类 30

第三节 常用低压配电电器 30

一、低压开关、隔离器 30

二、熔断器 30

三、低压断路器 33

第四节 低压系统短路电流计算 36

一、低压系统短路电流计算的特点 36

二、三相与两相短路电流计算 37

三、单相短路电流计算 37

四、计算示例 40

第五节 低压配电线路的过电流保护 41

一、过电流及保护原则 41

二、低压配电线路的短路保护 42

三、低压配电线路的过负荷保护 45

第六节 低压配电线路带电导体截面积

选择 46

一、相线导体截面积选择 46

二、中性线导体截面积选择 47

思考与练习题 48

第三章 电击防护 50

第一节 电流通过人体产生的效应 50

一、电击形式 50

二、人体通过电流时的生理反应 50

三、工程标准 52

四、人体阻抗与安全电压 53

第二节 电气设备及装置的电击防护措施 55

一、用电设备电击防护方式分类 56

二、电气设备外壳防护等级 57

三、屏护 59

四、间距 59

第三节 低压系统自身的电击防护性能分析 60

一、低压系统接地故障 60

二、TT 系统间接电击防护性能分析 61

三、TN 系统间接电击防护性能分析 63

四、IT 系统间接电击防护性能分析 68

第四节 低压系统上专门的电击防护措施 73

一、剩余电流保护	73	一、人工接地体	137
二、电气隔离	79	二、自然接地体	138
三、特低电压	82	三、跨步电压	139
第五节 作业场所的电击防护措施	86	四、接地电阻测试	139
一、非导电场所	86	思考与练习题	141
二、等电位联结	87	第五章 过电压及低压系统电涌保护	144
第六节 电击防护措施的综合应用示例	96	第一节 过电压与设备耐压	144
一、住宅的电击防护	97	一、过电压	144
二、浴室的电击防护	101	二、电气设备的耐压	145
三、医院心脏手术室的电击防护	104	第二节 变配电所过电压保护	147
第七节 间接电击防护工程设计计算	105	一、避雷器	147
一、TN系统的安全条件	106	二、变配电所的外部过电压防护	151
二、TT系统的安全条件	108	三、10/0.38kV变配电所过电压防护	
三、IT系统的安全条件	109	示例	155
思考与练习题	110	第三节 低压系统常见异常电压的危害	
第四章 雷电、建筑物防雷及工程接地		与防护	158
装置	113	一、中性点位移	158
第一节 雷电与雷电参数	113	二、直接传导性过电压	161
一、雷电的形成与危害	113	三、通过接地体传导的过电压	162
二、雷电参数	114	第四节 电涌	164
第二节 雷电能量在导体上的传输	118	一、电涌及来源	164
一、传输线	118	二、电涌强度计算	166
二、传输线上的行波	120	第五节 电涌保护器	169
三、导体上雷电能量传输与传输线的		一、电涌保护器的原理与类别	169
关系	123	二、电涌保护器的冲击分类试验	169
第三节 工程防雷体系及建筑物防雷		三、电涌保护器的主要参数	171
类别	123	第六节 低压系统电涌保护配置	172
一、工程防雷体系	123	一、电涌保护对象分级	172
二、建筑物防雷类别	124	二、电涌保护的目及在综合防雷体	
第四节 建筑物外部防雷系统	125	系中的地位	172
一、建筑物外部防雷系统的构成	125	三、电涌保护主要对象的耐受水平	172
二、接闪器的保护范围	126	四、电涌保护的布局	173
三、典型接闪器保护范围计算	127	五、电压保护模式	174
四、外部防雷系统导致的次生雷害	130	六、电涌保护器主要参数及类型选择	175
第五节 建筑物内部防雷系统及雷击电磁		第七节 电涌保护的级间配合	178
脉冲防护	132	一、电涌保护级间配合的原则	178
一、传统建筑物内部防雷与雷击电磁脉		二、安装间距的配合	179
冲防护的关系	132	三、通流容量及电压保护水平的配合	180
二、传统建筑物内部防雷措施	132	第八节 电涌保护与其他保护及系统接	
三、雷击电磁脉冲防护的防雷区及划分	132	地形式的配合	180
四、实施在建筑物上的雷击电磁脉冲防		一、电涌保护与其他保护的配合	180
护措施	133	二、电涌保护在各接地形式系统中	
第六节 工程接地装置	137	的应用	182

思考与练习题	184	一、危险性物质	200
第六章 电气环境安全	187	二、危险性环境	201
第一节 电气火灾概述	187	三、爆炸危险性场所电气设备选择	202
一、电气火灾的火源	187	四、火灾危险性场所电气设备选择	204
二、电气火灾的起因、特点及危害	189	第四节 静电防护	205
第二节 电气火灾预防及电热效应		一、静电的产生与危害	205
防护	193	二、静电危害的防护	209
一、在设备和线缆型式选择上采取的		第五节 电磁污染与电磁兼容	215
火灾预防措施	193	一、概述	215
二、在配电系统构造上采取的 火灾		二、常见骚扰源特性及限值	218
预防措施	194	三、电子设备、人体对电磁骚扰的	
三、 施工安装环节应注意的火灾预		抗扰度限值	222
防事项	198	四、 电磁兼容的工程措施	226
四、 避免使用不当造成的电气火灾	199	五、 电磁兼容的测量与试验	230
五、 电热效应的防护	199	思考与练习题	232
第三节 爆炸和火灾危险性场所电气		附录	234
安全简介	200	参考文献	246

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体系，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。在危害面前，社会自然会产生防范的要求，这就形成了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。社会的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这些原理为人类谋取利益为主攻方向，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。作为一个高度发展且规模庞大的技术领域，电气工程也不应例外。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：一条是被用作为能源；另一条是被用作为信息的载体。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，电气安全又涉及到材料选用、设备制造、设计施工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过程的劳动保护，对一般民用场所的电气安全和电气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比发达国家高出数倍乃至数十倍。最近二十多年来，我国在学习国际先进技术、等效采用国际先进标准等方面作了大量工作，在电气安全的工程实践上有了很大的进展，但与发达国家相比，差距仍然较大，这主要体现在以下几个方面：

1) 认识不足。社会（甚至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) 技术标准落后，体系不清晰，标准间的配合不严密，有些甚至相互矛盾。即使部分等效甚至等同采用了 IEC 标准，也还存在消化不良、现有工程体系支撑欠缺以及工程实践严重滞后等问题。

3) 从业人员相关知识不够系统、完善，一些错误的概念、术语、方法等还在被广泛地使用，如火线、零线、接零保护等。

4) 工程项目中，错、漏安全技术措施的现象非常普遍。如住宅卫生间的局部等电位联结极少实施，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善是根本原因，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方向进行研究，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，均是将电气系统作为加害者而非受害者来讨论的。也就是说，重点不在于电气系统本身的安全，而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。

电气安全是电气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，应该从两个方面入手：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，既需要我们积极应用在电路、电磁场、电机学等专业基础课程中所学知识来解决

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。诚若此，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。从产生电气危害的源头来分类，可将电气危害分为自然因素产生和人为因素产生两大类，自然因素产生的危害有如雷击、静电等，人为因素产生的危害主要是各种电气系统和设备产生的诸如电击、电弧、电气火灾等。从电气危害发生的特征来分类，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。

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，造成非导电部分带电 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，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，基

本上都是在正常工作情况下产生的。

二、电气危害的主要加害源简介

1. 供配电系统

供配电系统产生的电气危害有两个方面：一方面是系统对自身的危害，如短路、过电压、绝缘老化等；另一方面是系统对用电设备、环境和人员的危害，如电击、电气火灾、电压异常升高造成用电设备损坏等，其中尤以电击和电气火灾危害最为严重。

电击是最严重的电气危害之一，它可直接导致人员死亡、伤残，或因电击产生的坠落等二次事故致人员伤亡，因此，对电击伤害的研究是电气安全问题最为重要的组成部分之一。过去我国由于民用电气化水平不高，对电击问题的研究多集中在工业或电气专业场所，但随着经济的发展，民用用电量在迅速上升，虽然还不及发达国家水平，但我国一般民用场所的电击事故率已远远超过发达国家水平。可以预计，随着经济的进一步发展，我国人均用电量和民用用电量占总用电量的比例均会向发达国家趋近，若单位用电量的电击伤亡率不大幅下降，则电击伤亡事故会成倍乃至数十倍地增加，这对于全社会来说都是一个灾难性的预期。因此，针对非电气专业场所和人员的电击防护技术性措施应被放到突出的位置，过去那种主要通过管理措施来进行电击防护的观念，不适合应用在在非专业场所。

电气火灾是我国最近二十多年来迅速发展的一种电气灾害，我国电气火灾在火灾总数中所占的比例在 30% 左右波动，数倍乃至十倍于发达国家水平，绝大多数电气火灾发生在非专业场所，所造成的损失极为巨大。电气火灾的发生多与供配电系统的过载运行或电气设备质量不合格、施工安装不规范等有关。

2. 雷电与静电

雷电是一种大气放电现象，可使人、畜遭受电击，使建（构）筑物受到损坏，使电力系统、通信系统、电子设备等遭到破坏，还可能引发火灾与爆炸。我国曾有因雷击引发大型油库特大火灾的案例，也有雷击引发的火灾烧毁文物保护单位古建筑的记录，近年来因建筑物中 IT 设备大量增加，雷击损坏 IT 设备和系统的事件时有发生。雷击产生危害的根本原因在于雷电所蕴涵的巨大能量，因此控制雷电能量的泄放，是预防雷电危害的关键。由于人类的重要活动场所几乎都集中在建（构）筑物中，建（构）筑物的防雷也就成了雷电防护的重点。

在有些场所，静电产生的危害也不能忽视。静电可以是人为产生的，但造成危害的静电多是自然产生的。静电危害主要在于静电产生的强电场强度和高电压，它是电气火灾的原因之一，对电子设备的危害也很大。

三、电气危害的特点

1. 非直观

由于电既看不见、听不到，又嗅不着，其本身不具备为人们感观所直观识别的特征，因此其潜在危险不易被查觉，这就给事故的发生创造了有利条件。

2. 途径广

比如电击伤害，大的方面可分为直接电击与间接电击，再细分下去，有设备漏电产生的电击，也有带电体接触到电气装置以外的导体（如水管等）而发生的电击，还有可能因接地体传导高电位而发生电击等。再比如雷电危害，可能因电闪产生的机械能破坏建筑物，也可能因电闪的热能引发火灾，还可能因雷电流下泄产生的电磁感应过电压损坏设备或产生火花引爆，或者接地体散流场产生跨步电压造成电击伤害等。由于供配电系统所处环境复杂，

电气危害产生和传递的途径也极为多样,使得对电气危害的防护十分困难和复杂,需要周密、细致和全面的考虑。

3. 能量范围广且谱密度分布多样

能量大者如雷电,雷电流值可达数百千安培,且高频和直流成分大;小的如电击电流,以工频电流为主,电流仅为毫安级。对于大能量的危害,合理控制能量的泄放是主要防护手段,因此泄放能量的能力大小是保护设施的重要指标;而对小能量的危害,能否灵敏地感知是防护的关键,因此保护设施的灵敏性又成了重要的技术指标。

4. 作用时间长短不一

短者如雷电过程,持续时间仅为微秒级;长者如导线间的间歇性电弧短路,通常要持续数分钟至数小时才会引发火灾;而电气设备的轻度过载,持续时间可达若干年,使绝缘结构的寿命缩短,最终才因绝缘损坏而产生漏电、短路或火灾。对不同持续时间的电气危害,其保护设施的响应速度和方式也应有所不同。

5. 关联性

不同危害之间、危害与防护措施之间、不同防护措施相互之间常常互有牵扯,不能完全割离,这就是关联性。如绝缘损坏导致短路,而短路又可能引发绝缘介质燃烧,导致电气火灾;又如建筑物外部防雷装置可极大地减小雷击产生的破坏,但雷电流在防雷装置中通过时又可能产生反击、感应过电压、跨步电压电击等新的危害;再如剩余电流保护与电涌保护之间配合不当时,可能产生相互消减对方防护效果的现象。因此,电气危害的防护需要统筹兼顾。

四、电气危害的规律

不同类型的电气危害,各具自身的规律性。比如电击事故的规律为:①季节性,夏季居多;②低压触电居多;③移动式 and 手握式设备居多;④农村触电事故居多;⑤特殊场所如施工现场、矿山巷道、狭窄场所等居多等。但总体来说,各类电气危害都具有以下共同的规律。

第一,电气危害总是伴随着能量的非期望分配。不管是供配电系统的电气危害,还是自然界产生的电气危害,危害发生时,总是有非期望的电磁能量出现在非期望的场所或部位。如电击发生时,本应传送给用电负荷的能量有一小部分传递至了人体;绝缘介质的高温,通常是导体中的损耗超过了预期值,等等。这一规律提示我们,在研究防护措施时,应时刻关注能量的分配问题。

第二,电气危害的发生总是伴随有物理参量或特性的变化,这些参量可以是运行参量,也可以是本构参量。如雷击发生时接闪器处的电场强度剧升,电击发生时可能会有剩余电流产生,等等。找出电气危害发生时特定参量与正常运行时的明显差异,是发现电气危害发生的主要途径。

第三节 绝缘技术基础

绝缘指用电介质对带电导体进行封闭和隔离、使电能设定的通道中传输的技术措施,它既是电击防护的基本措施(如相导体对外壳的绝缘),又是保证电气设备正常工作的基本条件(如相导体间通过绝缘体防止短路等)。本节从绝缘材料和绝缘结构两个层面简介与电