

普通高等教育智能建筑规划教材

电气安全

杨 岳 主编



普通高等教育智能建筑规划教材

电 气 安 全

主 编 杨 岳
参 编 马占敖
主 审 张小青



机 械 工 业 出 版 社

本书主要讨论与供电系统和建筑物有关的电气安全问题,重点针对除变电站、开闭所等以外的非电气专业场所。全书共分五章,第一章介绍与电气安全相关的基本知识,第二章介绍供电系统的电击防护,第三章介绍建筑物的雷电防护,第四章介绍供电系统的过电压防护,第五章介绍电气环境安全问题。

本书主要作为高等院校的专业教材或教学参考书,也可作为注册电气工程师考试复习的参考资料,还可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电气安全/杨岳主编. —北京:机械工业出版社,2003.6

普通高等教育智能建筑规划教材

ISBN 7-111-12237-2

I. 电... II. 杨... 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(2003)第 039527 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:周娟、贡克勤 闫晓宇 版式设计:冉晓华 责任校对:李秋荣

封面设计:张静 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 7 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·19 印张·470 千字

定价:26.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

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	王元凯
	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宽广的天地。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。

吴启迪

写于同济园

2002 年 9 月 28 日

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条件造成破坏。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种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,电气安全问题并不是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,它的工程目标之一就是要达到只要没有产生机械破坏,人们无论怎么不小心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进程,可能有相当一部分非电力类专业的学生使用本书,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。本书的起点要求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,作者不承担因引用书中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,全书由重庆大学杨岳担任主编,北方交通大学张小青教授担任主审。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程师陈家国、重庆市建筑设计研究院电气总工程师邓申军,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、重庆大学周齐国副教授、龙莉莉副教授、魏明副教授、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,一些旧的措施已经作废,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 GB/T3805.1—1993,但其他与特低电压相关的规范仍多与 GB/T3805—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。

编 者

目 录

序

前言

第一章 概论..... 1

第一节 电气危害的种类 2

一、供电系统产生的电气危害 3

二、雷电和静电产生的电气危害 3

三、电气危害的特点及规律 3

第二节 低压系统接地形式分类 5

一、名词解释 5

二、IT 系统 6

三、TT 系统 6

四、TN 系统 6

第三节 电气设备按电击防护方式分类 ... 9

一、0 类设备 10

二、I 类设备 10

三、II 类设备 10

四、III 类设备 10

第四节 电气设备外壳的防护等级 11

一、外壳与外壳防护的概念 11

二、外壳防护等级的代号及划分 11

第五节 环境条件与环境试验 13

一、环境技术与电气安全的关系 13

二、环境条件 13

三、环境试验 16

思考题 17

第二章 供电系统的电击防护 18

第一节 电流的人体效应 18

一、直接电击与间接电击 18

二、电流的人体效应与相关标准 18

三、人体阻抗与安全电压 24

第二节 设备及装置的电击防护措施 26

一、绝缘材料的电气性能与

耐热分级 26

二、按保护功能区分的绝缘形式 30

三、绝缘检测与绝缘试验 32

四、电气装置的屏护与间距 37

第三节 基于接地的系统的电击防护

措施 39

一、IT 系统的间接电击防护原理 39

二、TT 系统的间接电击防护原理 47

三、TN 系统的间接电击防护原理 52

四、重复接地、分别接地与共同

接地 60

第四节 其他基于系统的电击防护措

施 63

一、剩余电流保护 63

二、电气隔离 74

三、安全电压 78

第五节 建筑物的电击防护措施 83

一、非导电场所 83

二、等电位联结 84

三、总等电位联结、辅助等电位联结

和局部等电位联结 90

第六节 电击防护措施的综合应用

示例 97

一、住宅的电击防护措施 98

二、浴室的电击防护措施 104

三、游泳池的电击防护措施 108

四、医院的电击防护措施 115

思考与练习题 119

第三章 建筑物的防雷接地 120

第一节 雷电基本知识 120

一、雷电的形成及危害 120

二、雷电参数 122

第二节 建筑物的防雷击电磁脉冲措

施 124

一、问题的提出 124

二、防雷区 125

三、屏蔽 126

四、等电位联结 128

第三节 建筑物的接地.....	131	一、电涌保护器的原理及特性	229
一、接地装置	131	二、IT、TT、TN 系统的电涌防护	231
二、接地电阻的计算、工频与冲击 接地电阻间的换算	136	第五节 过电压防护措施的综合应用 示例.....	237
三、接地电阻的测量	147	一、变配电所的过电压防护	237
第四节 建筑物防雷.....	150	二、高压电动机的过电压防护	240
一、接闪器及其保护范围	150	三、高层建筑低压配电系统的电涌 保护	240
二、引下线与防雷接地装置	160	四、建筑物内信息系统的雷击 电磁脉冲防护	242
三、防雷装置在建筑物上的应用	162	思考题.....	245
四、反击	162	第五章 电气环境安全	246
五、感应过电压	165	第一节 电气火灾的预防.....	246
思考与练习题.....	166	一、电气火灾的火源	246
第四章 供配电系统过电压防护	167	二、电气火灾的起因、特点及危害.....	247
第一节 过电压类型及设备耐压.....	167	三、电气火灾的预防措施	252
一、大气过电压	167	第二节 静电防护.....	259
二、内部过电压	188	一、静电的产生及危害	259
三、电气设备的耐压	190	二、静电参数 ^①	264
第二节 雷电过电压的防护.....	191	三、静电危害的防护	271
一、避雷针、线与直击雷防护.....	191	第三节 电磁污染与电磁兼容.....	277
二、避雷器	193	一、概述	277
三、雷电过电压的防护方法	203	二、常见骚扰源特性及限值	280
第三节 内部过电压防护简介.....	212	三、电子设备、人体对电磁骚扰 的抗扰度限值	285
一、切除空载变压器引起的过电压 及其防护	212	四、电磁兼容的工程措施	287
二、间歇电弧接地过电压及其防护	215	五、电磁兼容的测量与试验	291
三、系统中性点位移及其防护	221	参考文献	295
四、其他内部过电压简介	225		
第四节 供配电系统的防雷击电磁脉冲 措施.....	229		

① 本段内容不作基本要求,仅供选学。

第一章 概 论

人类在认识和改造自然的过程中创造了辉煌的文明，但文明的代价也是巨大的，这就是一直与这一过程相伴随的对人类自身的危害及对人类生存环境的破坏。随着近代科学技术的迅猛发展，这种负面效应更是急剧上升，其涉及面之广几乎渗透到每一个技术领域，程度之严重已威胁到人类自身的存在，这已有悖于人类认识和改造自然的初衷。作为现代社会一个极为重要的技术领域，电气工程领域的情况也不例外。由于电气工程对现代社会的作用是广泛而深刻的，是现代社会得以成立的技术基础之一，以致电气工程领域所产生的负面效应也是广泛而深刻的，电气安全问题就是这种负面效应的一个重要组成部分。这是构成电气安全问题的现实背景之一。

除了人为地利用电磁现象以外，自然界本身也存在着各种电磁过程，如雷击、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。社会经济状况越是发达，这些自然界的电磁现象可能造成的危害就越大。如何减轻这些自然电磁过程给人类带来的危害，也是必须加以研究的课题。这构成了电气安全问题的另一个现实背景。

作为一般规律，一个学科在其发展初期，总是以研究事物的规律并利用这些规律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，如何利用这些规律来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、矿业等行业无一不得到验证。电气工程作为一个高度发展且有较高成熟度的技术领域，也应符合这一规律。这是电气安全问题在技术发展规律方面的背景。

作为一种物理现象，“电”被人们利用的途径主要有两条：一是被用作能源，二是被用作信息的载体。因此，电气安全问题是电力、通信、计算机、自动控制等诸多领域所共同面临的问题，这使得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，这使得它具有随机性和统计规律的特征。综合以上特征可知，从问题本身的基础性，到研究问题所涉及学科的广泛性及理论深度，电气安全问题具有丰富的学术内涵和广阔的应用范围，这是电气安全问题的学科背景。

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，对电气安全问题更多地侧重于电网本身的安全和生产过程的劳动保护，对一般民用场所的电气安全问题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事故的发生率长期居高不下，单位用电量的电击伤亡事故更是比发达国家高出数十倍。比如，日本的人均用电量是我国的 8 倍左右，日本的电气火灾占火灾总数的 2%~3%，而我国电气火灾占火灾总数的比例已达近 30%，而且还有进一步上升的趋势。最近 20 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，差距仍然很大。由于我国经济持续快速的发展，我国城市居民家庭的电气化水平迅速提

高,住宅和其他民用建筑的建设蓬勃发展,使得电气安全问题显得十分现实和迫切。农村电网改造完成之后,农村用电预计也会出现一个快速增长的阶段,如何在经济文化发展相对滞后的农村实现较高的安全用电水平,也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,消除长期以来对电气安全问题的模糊认识,以科学的态度去认识它,用工程的手段去应对它,是一项十分有意义的重要工作。

正是基于以上认识,本书将对电击防护、雷电防护、过电压防护以及电气环境安全问题进行论述。由于电气安全问题本来就是在工程实践中出现的问题,因此本书本着既重理论分析,又重工程实践的原则,从理论与实践两方面对电气安全问题进行阐述。

第一节 电气危害的种类

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的危害和人为因素产生的危害两大类。自然因素产生的危害如雷击、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、电气火灾等灾害。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;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 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 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 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 1. 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 2. 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 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,大多数电气危害是在故障时发生的,它具有不确定性;而在非故障时发生的电气危害,多数是属于违反操作规程或电气知识不够造成的。因此在变电站等专业场所,应加强管理措施,而在非专业场所,应采取技术措施来防止非故障型的电气危害。对于电磁污染类的电气危害,有关电磁兼容(EMC)的措施对电磁骚扰有一定的防护作用,但电气职业病的问题,除一部分已经比较明确外(如微波伤害等),还有很多尚在研究中。

一、供配电系统产生的电气危害

供配电系统产生的电气危害有两个方面:一方面是对系统自身的危害,如短路、过电压、绝缘老化等;另一方面是对用电设备、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。

电击伤害是最严重的电气危害之一,它可直接导致人员死亡、伤残,或引发坠落等二次事故致人伤亡。因此,对电击伤害的研究是电气安全问题极为重要的组成部分。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专业场所,随着社会的发展,民用用电水平在不断提高,虽然还远不及发达国家水平,但其危害已经较为严重。据 90 年代末统计,我国民用用电量在总用电量中所占比例仅为发达国家的约 1/3,且我国人均用电量只及日本的约 1/8、美国的 1/11、北欧的 1/22,但我国一般民用场所发生的电击事故已远远超过发达国家水平。可以预计,随着我国经济的进一步发展,我国人均用电水平和民用用电量占总用电量的比例均会有向发达国家接近的趋势,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,针对非专业场所和人员的电击防护技术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,不应应用在非专业场所。

电气火灾是近 20 年来在我国迅速蔓延的一种电气灾害,我国电气火灾在火灾总数中所占的比例已达 30%左右,数倍乃至十倍于发达国家水平。绝大多数的电气火灾也是发生在非专业场所,所造成的损失也极为巨大。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。正确地预测负荷、合理地设置保护、提高产品质量、规范施工安装、加强运行管理和维护等是预防电气火灾的必要措施。

二、雷电和静电产生的电气危害

雷电是一种大气放电现象,雷电产生的电气危害是广泛且巨大的。雷电可使人、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。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具有的巨大能量。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。

另外,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场强和高电压,它是电气火灾的原因之一,对电子设备的危害也很大。对静电的防护一是要消除静电产生的条件,二是要削减静电的效应。

三、电气危害的特点及规律

电气危害的第一个特点是非直观性。由于电既看不见、听不到,又嗅不着,其本身不具

备为人们直观所识别的特征，因此其潜在危险就不易为人们所察觉。比如，若水容器出现破裂，水就会漏出，直观上就可知道容器出现了破损，但若电气设备的绝缘发生了破坏，有电压加在设备外壳上，这时凭人的感观是无法知道设备发生了漏电的，这就给电击事故的发生创造了条件。

电气危害的第二个特征是途径广。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 PEN 线断线造成设备外壳带电而发生电击。再比如雷电危害，可能因电闪产生的机械能损坏建筑物，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击穿，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，这就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。

电气危害的第三个特征是能量范围广，能量谱密度分布也多种多样。大的如雷电能量，雷电流可达数百千安，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的防护手段，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，能否灵敏地感知这种危害是防护的关键，因此保护设施的灵敏性又成了重要的技术指标。

电气危害的第四个特征是作用时间长短不一。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，使绝缘的寿命缩短，最终才导致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。

电气危害的第五个特征是不同危害之间的关联性。如绝缘损坏导致短路，而短路又可能引发绝缘燃烧；又如建筑物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、低压配电系统中性点电位升高等新的危害。因此，电气危害的防护应该是全面的，不能只顾一点而不及其余。

以上分析的是电气危害的特征。就电气危害的规律而言，不同类型的电气危害，应具有各自的规律性。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，等等。但总体来说，它们应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送至了人体；绝缘的高温，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电气参数或特性的变化。这些参数可以是运行参数，也可以是本构参数。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电气参数与正常运行时电气参数之间的明显差异，是进行电气危害防护的重要途径。

第二节 低压系统接地形式分类

在我国, 380/220V 配电系统占了低压配电系统的绝大多数, 只有在一些工业场所如矿井等处, 有 660V 低压配电系统。低压配电系统的接地形式, 主要从供电连续性和电击防护等方面考虑, 尤以电击防护为考虑的重点。因为低压配电系统是电力系统的末端, 分布广泛, 几乎遍及建筑的每一角落, 而低压配电系统所面对的人绝大多数是非电气专业人员, 因此电击事故的发生率高于高压系统。在向国际标准靠拢的过程中, 我国电气工程界对低压配电系统从表述到认识都发生了很大的变化, 但长期以来形成的一些认识和不规范的表述往往使概念不能被准确地掌握, 从而影响对系统型式和分析计算的正确理解, 因此, 本节的介绍就从名词解释开始。

一、名词解释

(1) 系统中性点 发电机、变压器、电动机和电器的绕组, 以及串联电路中有一点, 它与外部各接线端之间的电压绝对值相等, 这一点就称为中性点。

在正常情况下, 系统中性点一般在电路接线的中间点处, 比如星形接线的中心点, 但在故障时, 系统中性点有时会从电路接线的中间点处移走, 这种情况称为中性点位移, 在后面会详细介绍。

(2) 中性线 (N 线) 与电源的中性点连接, 并能起传输电能作用的导线。

(3) 保护线 (PE 线) 为防止触电危害而用来与下列任一部位作电气连接的导线:

- 1) 外露可导电部分;
- 2) 装置外可导电部分;
- 3) 总接地线或总等电位联结端子;
- 4) 接地极;
- 5) 电源接地点或人工中性点。

在正常情况下, PE 线上是没有电流的, 它不承担传输电能的任务, 但在故障情况下, 它可能有电流通过, 因此其截面选择也不是随意的。

(4) 保护中性线 (PEN 线) 兼具有 PE 线和 N 线功能的导线。

(5) 外露可导电部分 平时不带电压, 但故障情况下可能带电压的电气装置的容易触及的金属外壳, 有时简称设备外壳。

并不是所有的电气设备都有外露可导电部分, 如塑壳电视机等家用电器就没有外露可导电部分。

(6) 装置外可导电部分 给定场所中不属于电气装置组成部分的导体。如场所中的金属管道等就属于装置外可导电部分。

(7) 等电位联结 使各外露可导电部分之间或与装置外可导电部分之间电位基本相等的电气连接。

(8) 手握式设备 正常使用时要用手握住的移动式设备。

(9) 移动式设备 工作时移动的设备, 或在接有电源时能容易地从一处移至另一处的设备。

(10) 固定式设备 牢固安装在支座 (支架) 上的设备, 或用其他方式固定在一定位置上

的设备。

(11) ①②接地系统 ①位置可以是 T 或 I，表示系统电源侧中性点接地状态。T 表示一点直接接地；I 表示所有带电部分与地绝缘，或一点经阻抗接地。②位置可以是 T 或 N，表示系统负荷侧接地状态。T 表示用电设备的外露可导电部分对地直接电气连接，与电力系统的任何接地点无关。N 表示用电设备的外露可导电部分与电力系统的接地点直接电气连接。

二、IT 系统

IT 系统就是电源中性点不接地、用电设备外露可导电部分直接接地的系统，如图 1-1 所示。IT 系统可以有中性线，但 IEC 强烈建议不设置中性线，理由在下一章中阐述。IT 系统中，连接设备外露可导电部分和接地体的导线，就是 PE 线。

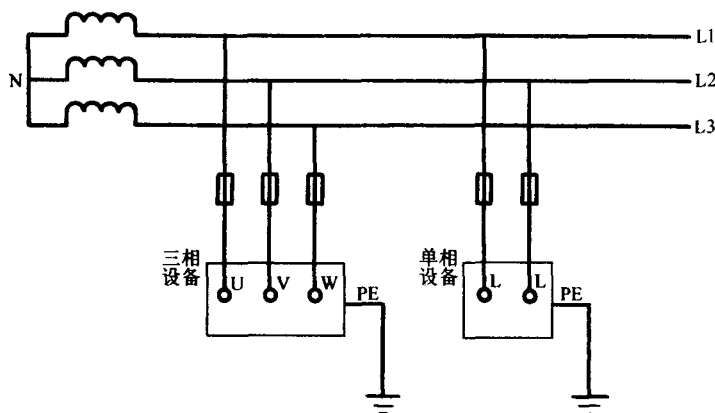


图 1-1 IT 系统接线

IT 系统常用于对供电连续性要求较高的配电系统，或用于对电击防护要求较高的场所，前者如矿山的巷道供电，后者如医院手术室的配电等。

三、TT 系统

TT 系统就是电源中性点直接接地、用电设备外露可导电部分也直接接地的系统，如图 1-2 所示。通常将电源中性点的接地叫做工作接地，而设备外露可导电部分的接地叫做保护接地。TT 系统中，这两个接地必须是相互独立的。设备接地可以是每一设备都有各自独立的接地装置，也可以若干设备共用一个接地装置，图 1-2 中单相设备和单相插座就是共用接地装置的。

在有些国家中 TT 系统的应用十分广泛，工业与民用的配电系统都大量采用 TT 系统。在我国 TT 系统主要用于城市公共配电网和农网，现在也有一些大城市如上海等在住宅配电系统中采用 TT 系统。在实施剩余电流保护的基础上，TT 系统有很多的优点，是一种值得推广的接地形式。在农网改造中，TT 系统的使用已比较普遍。

四、TN 系统

TN 系统即电源中性点直接接地、设备外露可导电部分与电源中性点直接电气连接的系统，它有三种形式，分述如下。

1. TN-S 系统

TN-S 系统如图 1-3 所示，图中相线 L1~L3、中性线 N 与 TT 系统相同，与 TT 系统不同的是，用电设备外露可导电部分通过 PE 线连接到电源中性点，与系统中性点共用接地体，

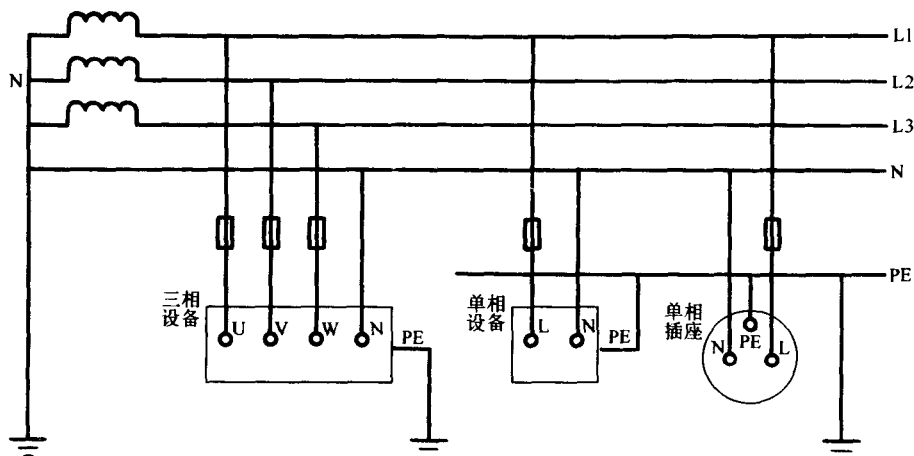


图 1-2 TT 系统接线

而不是连接到自己专用的接地体。在这种系统中，中性线（N 线）和保护线（PE 线）是分开的，这就是 TN-S 中“-S”的含义。TN-S 系统的最大特征是 N 线与 PE 线在系统中性点分开后，不能再有任何电气连接，这一条件一旦破坏，TN-S 系统便不再成立。

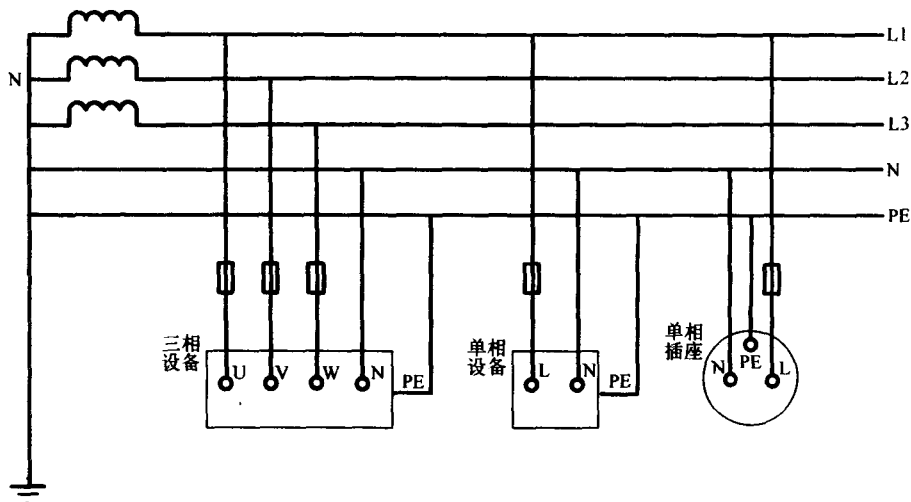


图 1-3 TN-S 系统接线

TN-S 系统是我国现在应用最为广泛的一种系统，在自带变配电所的建筑中几乎无一例外地采用了 TN-S 系统，在建筑小区中，也有一些采用了 TN-S 系统。由于传统习惯的影响，现在还经常将 TN-S 系统称为三相五线制系统，严格地讲这一称呼是不正确的。比如共用接地体的 TT 系统也可能是三相五线，因此说三相五线制系统一定就是 TN-S 系统是不确切的。实际上，按 IEC 标准，所谓“×相×线”系统的提法，是另外一种含义，它是指低压配电系统按导体分类的形式，所谓的“×相”是指电源的相数，而“×线”是指正常工作时通过电流的导体根数，包括相线和中性线，但不包括 PE 线，图 1-4 是带电导体系统形式的示例。按照这一定义，我们所说的 TN-S 系统，实际上是“三相四线制”系统或“单相二线制”系统。因此，按系统带电导体形式分类，与按系统接地形式分类，是两种不同性质的分类方法，不能

混为一谈。为了表述的严谨准确，也为了与国际标准取得一致，我们今后一律不采用“×相×线”来表述系统的接地形式。

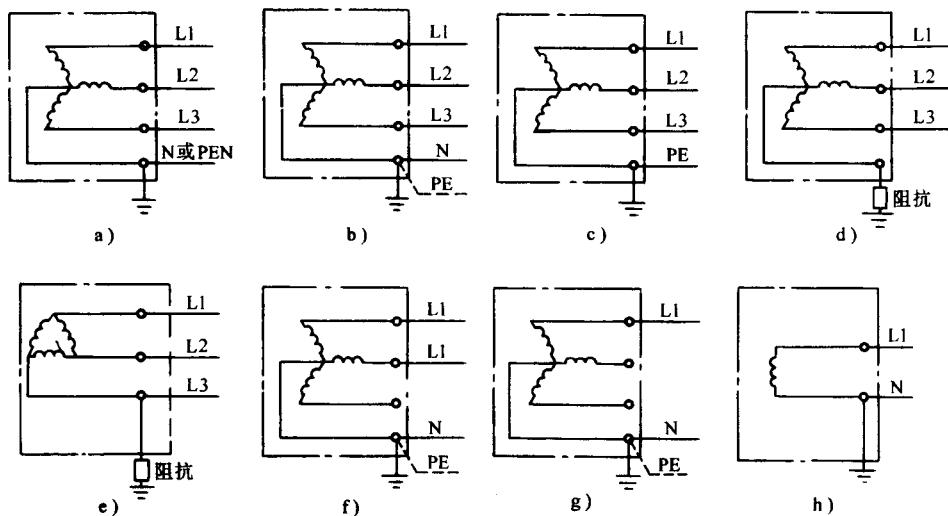


图 1-4 带电导体系统的形式

a)、b) 三相四线制 c)、d)、e) 三相三线制 f) 两相三线制 g)、h) 单相二线制

2. TN-C 系统

TN-C 系统如图 1-5 所示，它将 PE 线和 N 线的功能综合起来，由一根称为 PEN 线（保护中性线）的导体来同时承担两者的功能。在用电设备处，PEN 线既连接到负荷中性点上，又连接到设备外露的可导电部分。

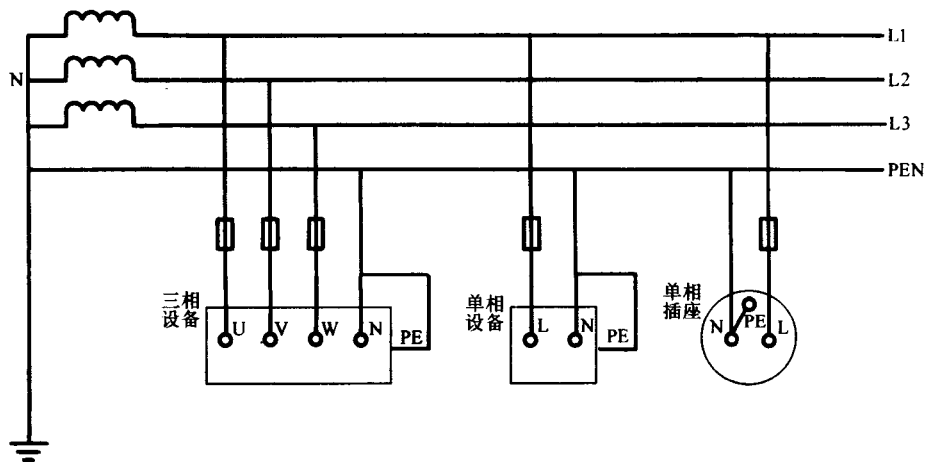


图 1-5 TN-C 系统接线

TN-C 系统曾在我国广泛应用，但由于它所固有的技术上的种种弊端，现在已很少采用，尤其是在民用配电中已基本上不允许采用 TN-C 系统。

3. TN-C-S 系统

TN-C-S 系统是 TN-C 系统和 TN-S 系统的结合形式，如图 1-6 所示。TN-C-S 系统中，从电源出来的那一段采用 TN-C 系统，因为在这一段中无用电设备，只起电能的传输作用，到