



21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

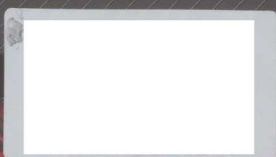
21 century institutions of higher learning materials of Electrical Engineering and Automation Planning

Safety Electric Engineering

# 电气安全工程

夏兴华 主编

侯静 丁君德 副主编



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS



21 世纪高等院校电气工程与自动化规

21 century institutions of higher learning materials of Electrical Engineering and Auto



**S**afety Electric Engineering

# 电气安全工程

夏兴华 主编

侯静 丁君德 副主编

人民邮电出版社

北京

## 图书在版编目 (C I P) 数据

电气安全工程 / 夏兴华主编. — 北京 : 人民邮电出版社, 2012. 10  
21世纪高等院校电气工程与自动化规划教材  
ISBN 978-7-115-28890-5

I. ①电… II. ①夏… 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(2012)第185083号

## 内 容 提 要

本书系统阐述了电气安全工程技术,包括影响电气安全的主要因素、人体触电防护、电击防护、供配电系统电气安全、电气设备用电安全、电气线路电气安全、雷电保护与过压保护、静电防护、电气环境安全以及建筑施工现场临时用电安全等内容。本书通过理论系统讲解理论并结合大量工程实例,使读者能有效地掌握电气安全技术、了解供配电系统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,并掌握实际工程设计的能力,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。

本书图文并茂、深入浅出,既可作为高等学校电气、电工、电气安全、智能建筑应用及相关专业的教材,也可以作为广大从事电气、电工行业的研发工程师、专业技术人员,以及正在学习电气安全专业人员的工具书或者培训教材。

21世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

### 电气安全工程

- 
- ◆ 主 编 夏兴华
  - 副 主 编 侯 静 丁君德
  - 责任编辑 李海涛
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号  
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
中国铁道出版社印刷厂印刷
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 18.25 2012年10月第1版  
字数: 454千字 2012年10月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-28890-5

定价: 38.00元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

随着人类步入电气化时代，电能作为重要的二次能源，现在已经广泛使用在国民经济的各个部门和人们的日常生活中。随着经济的发展，建筑内部的用电设备越来越多，供电电网容量不断扩大，电气行业的应用广泛性、技术性是其他行业所不能比拟的，但如果电气系统和设备的设计、安装、运行维护、检修及使用不当，都有可能发生人身触电伤亡、电气设备损坏等各种电气事故，甚至还可能造成电网的瘫痪，给人身安全和国民经济造成严重损失，因此，电气安全技术显得尤为重要。国家相关部门对此极为关注，并已经出台了相关的政策、法规、规范来确保电气系统的安全。

本书以最新的标准和规范为基础，系统阐述了电气安全工程技术，包括影响电气安全的主要因素、电击防护、雷电保护、过电压保护、电气火灾预防及控制、静电防护等。本书通过系统讲解理论并结合大量工程实例，使读者能有效地掌握电气安全技术，了解供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。

电气安全技术是以电路基础、电工技术、电子技术、供配电系统、防雷与接地技术、过电压保护技术、漏电防护技术以及静电防护技术等为基础的一门综合性安全工程技术。本书主要论述与供配电系统和建筑物相关的人身用电安全、电气设备用电安全以及电气环境安全，具体包括电气事故、人体触电防护、供配电系统电气安全、电气设备用电安全、电气线路电气安全、雷击防护与过电压防护、电气环境安全以及建筑施工现场临时用电安全等内容。

本书共分为7章，其中，第1、第5、第7章及附录B由夏兴华编写，第2、第4章及附录A由侯静编写，第3、第6章及附录C由丁君德编写，全书由沈阳建筑大学夏兴华担任主编，侯静、丁君德任副主编，沈阳建筑大学的马少华教授对全书的编写提出了宝贵的意见和建议，在此深表感谢。沈阳建筑大学马斌教授、李孟歆教授、李界家教授、白乐强教授、原宝龙高级工程师在本书的编写过程中也提出了宝贵意见，另外，参加本书编写工作的还有王长涛、张颖、张锐、片锦香、郑君刚、韩中华、杨大方、石光、张岩等。

本书从电气安全工程课程教学角度出发，结合具体实际工程案例，系统阐述电气安全

原理，并结合具体设计实例对重点和难点内容进行深入讲解。书中依照最新的相应法规和技术规范，给出电气安全技术的基本原理、技术指标及具体案例，使读者能够很快了解电气安全技术知识，并掌握实际工程设计的能力。在结构安排上以电气安全理论和工程实例为主，立足于教与学的深入结合。书中工程实例是作者及相关技术人员多年来从事电气安全工程的经验总结，结合典型的电气安全事故，教学性和应用性很强。

全书每章除配有大量实例来对知识点进行阐述外，每章章后配有本章小结，使读者对每一章都有系统完整的认识；另外，还配有书后习题，供读者熟悉巩固知识点。本书既可作为高等院校电气、电工、电气安全、智能建筑应用及相关专业教材，同时也可以作为广大从事电气、电工行业的研发工程师、专业技术人员以及正在学习电气安全专业人员的工具书或者培训教材。

由于水平所限，书中疏漏、谬误之处在所难免，谨此恳请读者予以批评指正。

编者

2012年6月

# 目 录

第1章 概论	1	2.4.1 IT系统	58
1.1 电气事故	1	2.4.2 TT系统	63
1.1.1 电气事故的类型	1	2.4.3 TN系统	65
1.1.2 电气事故的特征	3	2.5 保护导体	72
1.1.3 用电安全的基本要求	4	2.5.1 保护导体的组成	72
1.2 人体通过电流的效应	8	2.5.2 保护导体的截面积	72
1.2.1 电流通过人体时的效应	8	2.5.3 等电位联结	74
1.2.2 人体触电形式	13	2.5.4 保护导体的安装	76
1.2.3 触电急救措施	17	本章小结	76
1.3 电气设备安全	21	课堂互动内容	76
1.3.1 外壳与外壳防护	21	习题	76
1.3.2 电气设备电击防护方式分类	24	第3章 电气设备安全	78
1.3.3 安全电压	25	3.1 电气设备安全基础知识	78
1.4 环境条件与环境试验	28	3.1.1 电气设备的运行	78
1.4.1 环境技术与电气安全的关系	28	3.1.2 电气设备的重点技术检查	78
1.4.2 环境条件	28	3.1.3 电气设备的定级	79
1.4.3 环境试验	30	3.1.4 电气设备检修与管理	80
本章小结	31	3.2 配电变压器安全	82
课堂互动内容	31	3.2.1 变压器的基本知识	82
习题	31	3.2.2 变压器选择	84
第2章 供配电系统的电气安全	32	3.2.3 变压器的运行维护	86
2.1 电击事故的防护准则及措施	32	3.2.4 变压器的常见故障及处理	89
2.1.1 防止电击事故的基本准则	32	3.2.5 变压器的保护	93
2.1.2 防止电击事故的措施分类	34	3.2.6 变压器安装要求	95
2.2 电气绝缘	36	3.2.7 变压器的过负荷能力	97
2.2.1 绝缘材料的电气性能	37	3.2.8 变压器火灾爆炸原因及 预防措施	98
2.2.2 按保护功能区分的绝缘形式	39	3.3 互感器安全	100
2.2.3 绝缘的破坏	41	3.3.1 电流互感器安全	101
2.2.4 绝缘检测和绝缘试验	43	3.3.2 电压互感器安全	102
2.2.5 绝缘安全工具	47	3.4 电力电容器安全	105
2.3 屏护和间距	52	3.4.1 电力系统无功功率补偿 概念	105
2.3.1 屏护	52	3.4.2 电力电容器的分类	108
2.3.2 间距	53		
2.4 间接接触电击防护	57		

3.4.3 电力电容器的安装	108	5.2 建筑物防雷装置的组成	177
3.4.4 电力电容器的爆炸损坏原因	109	5.2.1 接闪器	177
3.4.5 电力电容器的安全操作规程	109	5.2.2 引下线	186
3.5 低压电气安全	110	5.2.3 接地装置	188
3.5.1 低压保护电气	110	5.3 雷击电磁脉冲的防护	190
3.5.2 开关电气	112	5.3.1 防雷区域	190
3.5.3 电动机	113	5.3.2 屏蔽	192
本章小结	119	5.3.3 电涌保护器	197
课堂互动内容	119	5.4 电气接地系统	202
习题	119	5.4.1 接地的基本概念	202
<b>第4章 电气线路</b>	<b>120</b>	5.4.2 低压配电系统的接地形式	205
4.1 电气线路种类及常见故障	120	5.4.3 电气设备接地的类型	207
4.1.1 架空线路	120	5.4.4 接地电阻的确定	210
4.1.2 电力电缆线路	126	5.4.5 防雷接地电阻构成	211
4.1.3 室内配线	130	5.4.6 降低接地电阻的施工法	212
4.2 电气线路安全	133	5.4.7 接地电阻的测量	214
4.2.1 导电能力	133	5.4.8 接地装置的检查和维护	215
4.2.2 线路绝缘	141	本章小结	215
4.2.3 机械强度	141	课堂互动内容	216
4.2.4 线间距离	143	习题	216
4.2.5 线路防护	146	<b>第6章 电气设备安全</b>	<b>217</b>
4.2.6 线路连接	147	6.1 电气火灾的预防	217
4.2.7 线路管理	149	6.1.1 电气火灾的起因	217
4.3 负荷计算	150	6.1.2 电气火灾的特点及危害	218
4.3.1 负荷分级及对供电电源的要求	150	6.1.3 电气火灾的预防措施	219
4.3.2 功率确定	151	6.1.4 电气火灾的扑救	220
4.3.3 负荷计算方法	153	6.2 静电防护	221
本章小结	157	6.2.1 静电的产生及危害	221
课堂互动内容	157	6.2.2 静电危害的防护	226
习题	158	6.3 电磁污染与电磁辐射	228
<b>第5章 防雷与接地系统</b>	<b>159</b>	6.3.1 电磁污染的分类与传播途径	228
5.1 雷电与防雷保护	159	6.3.2 电磁辐射的危害	230
5.1.1 雷电的形成及危害	159	6.3.3 电磁辐射的抑制与防护	230
5.1.2 雷电参数	163	本章小结	233
5.1.3 建筑防雷等级	165	课堂互动内容	233
5.1.4 建筑物的防雷措施	169	习题	234
		<b>第7章 施工现场临时用电安全</b>	<b>235</b>
		7.1 施工现场用电安全要求	235

7.2 施工现场临时用电安全.....236

    7.2.1 施工现场配电变压器选择.....236

    7.2.2 施工现场临时用电电气  
        保护 .....239

    7.2.3 施工现场电气设备的设置.....241

    7.2.4 施工现场临时用电的防雷.....244

7.3 施工现场临时用电安全用电  
    组织措施 .....246

本章小结 .....247

课堂互动内容.....247

习题.....247

附录 A GB/T 4776—2008  
    电气安全术语.....248

附录 B 全国主要城镇雷暴  
    日数 (d/a) .....260

附录 C 《民用建筑电气设计规范》  
    ——民用建筑物防雷.....268

参考文献.....282



随着电能应用的不断拓展,以电能为介质的各种电气设备广泛进入企事业和家庭生活中,与此同时,使用电气所带来的不安全事故也不断发生。为了实现电气安全,对电网本身的安全进行保护的同时,更要重视用电的安全问题。因此,学习安全用电基本知识,掌握常规触电防护技术,这是保证用电安全的有效途径。

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,如触电、电气火灾、电压异常升高造成用电设备损坏等,其中尤以触电和电气火灾危害最为严重。触电可直接导致人员伤亡、死亡。另外,静电产生的危害也不能忽视,它是引发电气火灾的原因之一,对电子设备的危害也很大。

## 1.1 电气事故

### 1.1.1 电气事故的类型

根据能量转移论的观点,电气事故是由于电能非正常地作用于人体或系统所造成。根据电能的不同作用形式,可将电气事故分为触电事故、静电危害事故、雷电灾害事故、电磁场危害和电气系统故障危害事故等。

#### 1. 触电事故

触电事故是由电流的能量造成的,触电是电流对人体的伤害。电流对人体的伤害可分为电击和电伤。电击是电流通过人体内部,破坏人的心脏、神经系统、肺部的正常工作造成的伤害。人体触及带电的导线、漏电设备的外壳或其他带电体,以及雷击或电容器放电,都可能导致电击。触及正常带电体的电击称为直接电击,触及故障带电体的电击称为间接电击。电伤是电流的热效应、化学效应及物理效应对人体外部造成的局部伤害,包括电弧烧伤、烫伤、电烙印等。绝大部分触电事故是电击造成的,通常所说的触电事故基本上是对电击而言的。

#### 2. 静电危害事故

静电危害事故是由静电电荷或静电场能量引起的。在生产过程中以及操作人员的操作过程中,某些材料的相对运动、接触与分离等原因导致了相对静止的正电荷和负电荷的积累,即产生了静电。由此产生的静电能量不大,不会直接使人致命。但是,其电压可能高达数十

千伏乃至数百千伏，发生放电，产生放电火花，往往造成二次伤害，如使人从高处坠落或被其他物体伤害，因此同样具有相当的危险性。

静电危害事故主要有以下几个方面。

(1) 在有爆炸和火灾危险的场所，静电放电火花会成为可燃性物质的点火源，造成爆炸和火灾事故。

(2) 人体因受到静电电击的刺激，可能引发二次事故，如坠落、跌伤等。此外，对静电电击的恐惧心理还会对工作效率产生不利影响。

(3) 某些生产过程中，静电的物理现象会对生产产生妨碍，导致产品质量不良，电子设备损坏，造成生产故障，乃至停工。

### 3. 雷电灾害事故

雷电是大气中的一种放电现象。雷电放电具有电流大、电压高的特点。其能量释放出来可能形成极大的破坏力。其破坏作用主要有以下几个方面。

(1) 直击雷放电、二次放电、雷电流的热量会引起火灾和爆炸。

(2) 雷电的直接击中、金属导体的二次放电、跨步电压的作用及火灾与爆炸的间接作用，均会造成人员伤亡。

(3) 强大的雷电流、高电压可导致电气设备击穿或烧毁。发电机、变压器、电力线路等遭受雷击，可导致大规模停电事故。雷击可直接毁坏建筑物、构筑物。

### 4. 射频电磁场危害

射频指无线电波的频率或者相应的电磁振荡频率，泛指 100kHz 以上的频率。射频伤害是由电磁场的能量造成的。射频电磁场的危害主要有 2 种。

(1) 在射频电磁场作用下，人体因吸收辐射能量会受到不同程度的伤害。过量的辐射可引起中枢神经系统的机能障碍，出现神经衰弱症候群等临床症状；可造成植物神经紊乱，出现心率或血压异常，如心动过缓、血压下降或心动过速、高血压等；可引起眼睛损伤，造成晶体浑浊，严重时导致白内障；可使睾丸发生功能失常，造成暂时或永久的不育症，并可能使后代产生疾患；可造成皮肤表层灼伤或深度灼伤等。

(2) 在高强度的射频电磁场作用下，可能产生感应放电，会造成电引爆器件发生意外引爆。感应放电对具有爆炸、火灾危险的场所来说是一个不容忽视的危险因素。此外，当受电磁场作用感应出的感应电压较高时，会给人以明显的电击。

### 5. 电气系统故障危害

电气系统故障危害是由于电能输送、分配、转换过程中失去控制而产生的。断线、短路、异常接地、漏电、误合闸、误掉闸、电气设备或电气元件损坏、电子设备受电磁干扰而发生误动作等都属于电路故障。系统中电气线路或电气设备的故障也会导致人员伤亡及重大财产损失。电气系统故障危害主要体现在以下几方面。

(1) 引起火灾和爆炸。线路、开关、熔断器、插座、照明器具、电热器具、电动机等均可能引起火灾和爆炸；电力变压器、多油断路器等电气设备不仅有较大的火灾危险，还有爆炸的危险。在火灾和爆炸事故中，电气火灾和爆炸事故占有很大的比例。就引起火灾的原因而言，电气原因仅次于一般明火而位居第二。

(2) 异常带电。电气系统中，原本不带电的部分因电路故障而异常带电，可导致触电事

故发生。例如：电气设备因绝缘不良产生漏电，使其金属外壳带电；高压电路故障接地时，在接地处附近呈现出较高的跨步电压，形成触电的危险条件。

(3) 异常停电。在某些特定场合，异常停电会造成设备损坏和人身伤亡。如正在浇注钢水的吊车，因骤然停电而失控，导致钢水洒出，引起人身伤亡事故；医院手术室可能因异常停电而被迫停止手术，无法正常施救而危及病人生命；排放有毒气体的风机因异常停电而停转，致使有毒气体超过允许浓度而危及人身安全等；公共场所发生异常停电，会引起妨碍公共安全事故；异常停电还可能引起电子计算机系统的故障，造成难以挽回的损失。

### 1.1.2 电气事故的特征

众所周知，电能的开发和应用给人类的生产和生活带来了巨大的变革，大大促进了社会的进步和文明。在现代社会中，电能已被广泛应用于工农业生产和人民生活等各个领域。然而，在用电的同时，如果对电能可能产生的危害认识不足，控制和管理不当，防护措施不利，在电能的传递和转换的过程中，将会发生异常情况，造成电气事故。电气事故具有以下特点。

#### 1. 电气事故危害大

电气事故的发生伴随着危害和损失，严重的电气事故不仅带来重大的经济损失，甚至还会造成人员伤亡。发生事故时，电能直接作用于人体，会造成电击；电能转换为热能作用于人体，会造成烧伤或烫伤；电能脱离正常的通道，会形成漏电、接地或短路，成为火灾、爆炸的起因。

电气事故在工伤事故中占有不小的比例，据有关部门统计，我国触电死亡人数占全部事故死亡人数的5%左右。

#### 2. 电气事故危险直观识别难

由于电既看不见、听不见、嗅不着，其本身不具备为人们直观识别的特征。由电所引发的危险不易为人们所察觉、识别和理解。因此，电气事故往往猝不及防，给电气事故的防护以及人员的教育和培训带来难度。

#### 3. 电气事故涉及领域广

主要表现在两个方面。首先，电气事故并不仅仅局限在用电领域的触电、设备和线路故障等，在一些非用电场所，因电能的释放也会造成灾害或伤害。例如，雷电、静电和电磁场危害等，都属于电气事故的范畴；另一方面，电能的使用极为广泛，不论是生产还是生活，不论是工业还是农业，不论是科研还是教育文化部门，不论是政府机关还是娱乐休闲场所，都广泛使用电。哪里使用电，哪里就有可能发生电气事故，哪里就必须考虑电气事故的防护问题。

#### 4. 电气事故的防护研究综合性强

电气事故的机理除了电学之外，还涉及许多学科，因此，电气事故的研究，不仅要研究电学，还要同力学、化学、生物学、医学等许多其他学科的知识综合起来研究。另一方面，在电气事故的预防上，既有技术上的措施，又有管理上的措施，这两方面是相辅相成、缺一不可的。在技术方面，预防电气事故主要是进一步完善传统的电气安全技术，研究电气事故的机理及其对策，开发电气安全领域的新技术等。在管理方面，主要是健全和完善各种电气安全组织管理措施。一般来说，电气事故的共同原因是安全组织管理措施不健全和安全技术

措施不完善。实践表明,即使有完善的技术措施,如果没有相适应的组织管理措施,仍然会发生电气事故。因此,必须重视防止电气事故的综合措施。

大量的统计资料表明,触电事故的分布是有规律性的,其规律是可以被人们认识和掌握的。在电气事故中,大量的事故都具有重复性和频发性。无法预料、不可抗拒的事故毕竟是极少数。人们在长期的生产和生活实践中,已经积累了同电气事故作斗争的丰富经验,各种技术措施、各种安全工作规程及有关电气安全规章制度,都是这些经验和成果的体现,只要依照客观规律办事,不断完善电气安全技术措施和管理措施,电气事故是可以避免的。

根据国内的触电事故统计资料分析,触电事故的分布具有如下规律。

(1) 触电事故季节性明显。一年之中,二、三季度是事故多发期,尤其在6月份到9月份最为集中。其原因主要是这段时间正值炎热季节,人体穿着单薄且皮肤多汗,相应增大了触电的危险性。另外,这段时间潮湿多雨,电气设备的绝缘性能有所降低。再有,这段时间许多地区处于农忙季节,用电量增加,农村触电事故也随之增加。

(2) 低压设备触电事故多。低压触电事故远多于高压触电事故,其原因主要是低压设备远多于高压设备,而且,缺乏电气安全知识的人员多是与低压系统设备接触。因此,应当将低压系统方面作为防止触电事故的重点。

(3) 携带式设备和移动式设备触电事故多。这主要是因为这些设备经常移动,工作条件较差,容易发生故障。另外,在使用时需用手紧握进行操作。

(4) 电气连接部位触电事故多。在电气连接部位机械牢固性较差,电气可靠性也较低,是电气系统的薄弱环节,较易出现故障。

(5) 农村触电事故多。主要是因为农村用电条件较差,设备简陋,技术水平低,管理不严,电气安全知识缺乏等。

(6) 冶金、矿业、建筑、机械行业触电事故多。这些行业存在工作现场环境复杂,潮湿、高温、移动式设备和携带式设备多,现场金属设备多等不利因素,使触电事故相对较多。

(7) 青年、中年人以及非电工人员触电事故多。这主要是因为这些人员是设备操作人员的主体,他们直接接触电气设备,部分人还缺乏电气安全的知识。

(8) 误操作事故多。主要是由于防止误操作的技术措施和管理措施不完备造成的。

触电事故的分布规律并不是一成不变的,在一定的条件下,也会发生变化。例如,对电气操作人员来说,高压触电事故反而比低压触电事故多。而且,通过在低压系统推广漏电保护装置,使低压触电事故大大降低,可使低压触电事故与高压触电事故的比例发生变化。上述规律对于电气安全检查、电气安全工作计划、实施电气安全措施以及电气设备的设计、安装和管理等工作提供了重要的依据。

### 1.1.3 用电安全的基本要求

为了保障电气工作中人身安全,《电业安全工作规程》规定,在高压电气设备或线路上工作,必须拥有保证工作人员安全的组织措施和技术措施;在停电的低压配电装置和低压导线上工作也要采取安全措施后才能进行。

#### 1. 保证安全工作的组织措施

(1) 工作许可制度。电气工作开始前,必须完成工作许可手续,工作许可人应负责审查安全措施是否完善,是否符合现场条件,并负责落实施工现场的电气安全措施。工作过程中,工作负责人和工作许可人任何一方不得擅自变更安全措施,值班人员不得变更有关检修设备

的运行接线方式。工作中如有特殊情况需要变更时，应事先征得对方同意。

线路停电检修，运行值班员必须在变配电所将线路可能受电的各个方面均拉闸停电，并挂好接地线，将工作班组数目、工作负责人姓名、工作地点和工作任务记入记录簿内，然后才能发出工作许可的命令。

(2) 工作监护制度。完成工作许可手续后，工作负责人应向工作班组人员交待现场安全措施、带电部位和其他注意事项，工作负责人必须始终在工作现场，对工作人员的安全认真监护，及时纠正违反安全作业的动作；工作班组人员必须服从工作负责人的指挥；工作负责人因故需离开现场时，必须指定临时人员代替，并交待清楚，使监护工作不间断；所有人员不许单独留在高压室内或室外变配电所高压设备区内，以免发生意外触电或电弧灼伤事故。

## 2. 保证工作安全的技术措施

常用的防护方法如下。

(1) 直接接触防护可采用以下方法。

- ① 防止电流经由身体的任何部位通过。
- ② 限制可能流经人体的电流，使之小于电击电流。

(2) 间接接触防护可采用以下方法。

- ① 防止故障电流经由身体的任何部位通过。
- ② 限制可能流经人体的故障电流，使之小于电击电流。
- ③ 在故障情况下触及外露可导电部分时，可能引起流经人体的电流等于或大于电击电流时，能在规定的时间内自动断开电流。
- ④ 使工作人员不致同时触及两个不同电位点的保护。
- ⑤ 使用双重绝缘或加强绝缘保护。
- ⑥ 用不接地的局部等电位连接的保护。

(3) 正常工作时的热效应防护。应使所在场所不会发生因地热或电弧引起可燃物燃烧或使人遭受灼伤的危险。

(4) 采用护栏或阻拦物进行保护。阻拦物必须防止如下两种情况之一发生：在正常工作中设备运行期间无意识地触及带电部位；身体无意识地接近带电部位。

在有裸露的高压带电体旁应设置护栏或标志，以防止人畜走近而受到跨步电压的伤害。标志的形式有红色灯泡、挂牌（一般牌上写“高压危险，请勿靠近！”）或者画有“⚡”。设置护栏的距离可以参考表 1-1。

表 1-1 护栏的距离

外线电压 (kV)		1~3	6	10	35
线路至护栏 安全距离 (m)	室内	0.825	0.85	0.875	1.05
	室外	0.95	0.75	0.95	1.15

(5) 使设备置于伸直手臂范围以外的保护。

① 凡是能同时触及不同电位的两部位间的距离严禁在伸臂范围内。在计算伸臂范围时，应按手持较大尺寸的导电物体考虑。

② 施工操作应保持安全距离，如表 1-2 所示。

表 1-2 施工操作安全距离

电压 (kV)	<1	1~10	35~110
最小操作距离 (m)	4	6	8

③ 架空线路应保持最小的垂直安全距离, 如表 1-3 所示。

表 1-3 架空线路应保持最小的垂直距离

外线电压 (kV)	<1	1~10	35
最小垂直距离 (m)	4	7	7

(6) 电气设备绝缘要求。

绝缘电阻有气态、液态和固态类。要求介质损耗小, 泄漏电流越小越好。

① 电阻率在  $10^7 \Omega \cdot \text{m}$  以上的材料才称为绝缘材料。

② 常用绝缘电阻值的规定: 500V 以下的一般低压电器设备绝缘电阻不小于  $0.5\text{M}\Omega$ ; 1kV 以下的低压电缆绝缘电阻不小于  $10\text{M}\Omega$ ; 3kV 及以下电力电缆绝缘电阻不小于  $200\text{M}\Omega$ ; 6~10kV 电力电缆的绝缘电阻不小于  $400\text{M}\Omega$ ; 20~35kV 电力电缆的绝缘电阻不小于  $600\text{M}\Omega$ ; 220kV 电力电缆绝缘电阻不小于  $4500\text{M}\Omega/\text{km}$ 。在实际检验电气产品时还要考虑实测环境温度。

③ 绝缘材料的极限温度, 如表 1-4 所示。

表 1-4 绝缘材料的极限温度

绝缘级别	Y	A	E	B	F	H	C
极限温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	90	105	120	130	155	180	>180

### 3. 用电安全的基本要求

(1) 用电单位除遵守相关标准的规定外, 还应根据具体情况制定相应的用电安全规程及岗位责任制。

(2) 用电单位应对使用者进行用电安全教育和培训, 使其掌握用电安全的基本知识和触电急救知识。

(3) 电气装置在使用前, 应确认其已经经过国家指定的检验机构检验合格或认可。

(4) 电气装置在使用前, 应确认其符合相应环境要求和使用等级要求。

(5) 电气装置在使用前, 应认真阅读产品使用说明书, 了解使用过程中可能出现的危险以及相应的预防措施, 并按产品使用说明书的要求正确使用。

(6) 用电单位或个人应掌握所使用的电气装置的额定容量、保护方式和要求、保护装置的整定值和保护元件的规格。不得擅自更改电气装置或延长电气线路, 不得擅自增大电气装置的额定容量, 不得任意改动保护装置的整定值和保护元件的规格。

(7) 任何电气装置都不应超负荷运行或带故障使用。

(8) 用电设备和电气线路的周围应留有足够的安全通道和工作空间。电气装置附近不应堆放易燃、易爆和腐蚀性物品。禁止在架空线上放置或悬挂物品。

(9) 使用的电气线路必须具有足够的绝缘强度、机械强度和导电能力并应定期检查。禁止使用绝缘老化或失去绝缘性能的电气线路。

- (10) 软电缆或软线中的绿、黄双色线在任何情况下只能用作保护线。
- (11) 移动使用的配电箱(板)应采用完整的、带保护线的多股铜芯橡皮护套软电缆或护套软线作电源线,同时应装设漏电保护器。
- (12) 插头与插座应按规定正确接线,插座的保护接地极在任何情况下都必须单独与保护线可靠连接。严禁在插头(座)内将保护接地极与工作中性线连接在一起。
- (13) 在儿童活动的场所,不应使用低位置插座,否则采取防护措施。
- (14) 在插拔插头时人体不得接触导电极,不对电源线施加拉力。
- (15) 浴室、蒸汽房、游泳池等潮湿场所内不应使用可移动的插座。
- (16) 在使用移动式的I类设备时,应先确认其金属外壳或构架已可靠接地,使用带保护接地极的插座,同时宜装设漏电保护器,禁止使用无保护线的插头插座。
- (17) 正常使用时会产生飞溅火花、灼热飞屑或外壳表面温度较高的用电设备,应远离易燃物质或采取相应的密闭、隔离措施。
- (18) 手提式和局部照明灯具应选用安全电压或双重绝缘结构。在使用螺口灯头时,灯头螺纹端应接至电源的工作中性线。
- (19) 电炉、电熨斗等电热器具应选用专用的连接器,应放置在隔热底座上。
- (20) 临时用电应经有关主管部门审查批准,并有专人负责管理,限期拆除。
- (21) 用电设备在暂停或停止使用、发生故障或遇突然停电时均应及时切断电源,必要时应采取相应的技术措施。
- (22) 当保护装置动作或熔断器的熔体熔断后,应先查明原因、排除故障,并确认电气装置已恢复正常后才能重新接通电源,继续使用。更换熔体时不应随意改变熔断器的熔体规格或用其他导线代替。
- (23) 当电气装置的绝缘或外壳损坏,可能导致人体触及带电部分时,应立即停止使用,并及时修复或更换。
- (24) 禁止擅自设置电网、电围栏或用电具捕鱼。
- (25) 露天使用的用电设备、配电装置应采取防雨、防雪、防雾和防尘的措施。
- (26) 禁止利用大地作工作中性线。
- (27) 禁止将暖气管、煤气管、自来水管作为保护线使用。
- (28) 用电单位的自备发电装置应采取与供电电网隔离的措施,不得擅自并入电网。
- (29) 当发生人体触电事故时,应立即断开电源,使触电人员与带电部分脱离,并立即进行急救。在切断电源之前禁止其他人员直接接触触电人员。
- (30) 当发生电气火灾时,应立即断开电源,并采用专用的消防器材进行灭火。

#### 4. 电气装置的检查和维护安全要求

- (1) 电工作业人员应经医生鉴定没有妨碍电作业的疾病,并应具备用电安全、触电急救和专业技术知识及实践经验。
- (2) 电工作业人员应经安全技术培训,考核合格,取得相应的资格证书后,才能从事电工作业,禁止非电工作业人员从事任何电工作业。
- (3) 电工作业人员在进行电作业时按规定使用经定期检查或试验合格的电工用个人防护用品。
- (4) 当进行现场电气工作时,应由熟悉该工作和对现场有足够了解的电工作业人员来执

行，并采取安全技术措施。

(5) 当非电工作业人员有必要参加接近电气装置的辅助性工作时，应由电工作业人员先介绍现场情况和电气安全知识、要求，并有专人负责监护，监护人不能兼做其他工作。

(6) 电气装置应有专人负责管理、定期进行安全检验或试验，禁止安全性能不合格的电气装置投入使用。

(7) 电气装置在使用中的维护必须由具有相应资格的电工作业人员按规定进行。

(8) 电气装置如果不能修复或修复后达不到规定的安全技术性能时应予以报废。

(9) 长期放置不用的或新使用的用电设备应经过安全检查或试验后才能投入使用。

(10) 当电气装置拆除时，应对其电源连接部位作妥善处理，不应留有任何可能带电的部分外露。

(11) 修缮建筑物时，对原有电气装置应采取适当的保护措施，必要时应将其拆除，在修缮完毕后再重新安装使用。

(12) 电气装置的检查、维护及修理应根据实际需要采取全部停电、部分停电和不停电三种方式，并应采取相应的安全技术和组织措施。

(13) 不停电工作时应在电气装置及工作区域挂设警告标志或标示牌。

(14) 全部停电和部分停电工作应严格执行停送电制度，将各个可能送电的电源全部断开(应具有明显的断开点)，对可能有残留电荷的部位进行放电，验明确实无电后方可工作。必要时应在电源断开处挂设标示牌并在工作侧各相上挂接保护接地线。严禁约时停送电。

(15) 当有必要进行带电工作时，应使用电工用个体防护用品，并有专人负责监护。

## 1.2 人体通过电流的效应

### 1.2.1 电流通过人体时的效应

#### 1. 电流对人体的作用

电流对人体的作用指的是电流通过人体内部对于人体的有害作用，如电流通过人体时会引起针刺感、压迫感、打击感、痉挛、疼痛乃至血压升高、昏迷、心律不齐、心室颤动等症状。电流通过人体内部对人体伤害的严重程度，与通过人体电流的大小、持续时间、途径、种类及人体的状况等多种因素有关，特别是和电流大小与通电时间有着十分密切的关系。

人体工频电流试验的典型资料见表 1-5 和表 1-6。

表 1-5 左手-右手电流途径的试验资料 (mA)

感觉情况	初试者百分数		
	5%	50%	95%
手表面有感觉	0.7	1.2	1.7
手表面有麻痹似的连续针刺感	1.0	2.0	3.0
手关节有连续针刺感	1.5	2.5	3.5
手有轻微颤动，关节有受压迫感	2.0	3.2	4.4
上肢有强力压迫的轻度痉挛	2.5	4.0	5.5



续表

感觉情况	初试者百分数		
	5%	50%	95%
上肢有轻度在痉挛	3.2	5.2	7.2
手硬直有痉挛, 但能伸开, 已感到有轻度疼痛	4.2	6.2	8.2
上肢有剧烈痉挛, 失去知觉, 手的前表面有连续针刺感	4.3	6.6	8.9
手的肌肉直到肩部全面痉挛, 还可以摆脱带电体	7.0	11.0	15.0

表 1-6 单手-双脚电流途径的试验资料 (mA)

感觉情况	初试者百分数		
	5%	50%	95%
手表面有感觉	0.9	2.2	3.5
手表面有麻痹似的针刺感	1.8	3.4	5.0
手关节有轻度压迫感, 有强烈的连续针刺感	2.9	4.8	6.7
前肢有压迫感	4.0	6.0	8.0
前肢有压迫感, 足掌开始有连续针刺感	5.3	7.6	10.0
手关节有轻度痉挛, 手动作困难	5.5	8.5	11.5
上肢有连续针刺感, 腕部、特别是手关节有强烈痉挛	6.5	9.5	12.5
肩部以下有强烈连续针刺感, 肘部以下僵直, 还可以摆脱带电体	7.5	11.0	14.5
手指关节、踝骨、足眼有压迫感, 手的大拇指(全部)痉挛	8.8	12.3	15.8
只有尽最大努力才可能摆脱带电体	10.0	14	18.0

## 2. 电击伤害程度与电流的关系

电流对人体伤害的程度与通过人体电流的大小、电流通过人体的持续时间、电流通过人体的途径、电流的种类等多种因素有关。而且, 上述各个影响因素相互之间, 尤其是电流大小与通电时间之间也有着密切的联系。

通过人体的电流愈大, 人体的生理反应愈明显, 伤害愈严重。对于工频交流电, 按照通过人体的电流强度的不同以及人体呈现的反应不同, 将作用于人体的电流划分为三级。

### (1) 感知电流和感知阈值。

感知电流是指电流流过人体时可引起感觉的最小电流。感知电流的最小值称为感知阈值。感知电流及感知阈值随着个体的差异是不同的。成年男性平均感知电流约为 1.1mA (有效值, 下同), 成年女性约为 0.7mA。对于正常人体, 感知阈值平均为 0.5mA。感知电流与感知阈值和电流持续时间长短无关, 但与其频率有关, 频率越高, 感知电流值越大, 即人体对低频电流更为敏感。

### (2) 摆脱电流和摆脱阈值。

摆脱电流是指人在触电后能够自行摆脱带电体的最大电流。摆脱电流的最小值称为摆脱阈值。随着通过人体的电流值增大, 人对自身肌肉的自主控制能力越来越弱, 当电流达到某一值时, 人就不能自主地摆脱带电体, 所以, 当通过人体的电流大于摆脱阈值时, 受电击者自救的可能性便不复存在。摆脱电流和摆脱阈值也随着个体差异而存在着不同, 成