



高等院校电气工程及其自动化专业系列教材

Electrical Engineering

电气安全工程

陈金刚 主编

邓佳 李新建 参编



附赠电子教案

[http:// www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高等院校电气工程及其自动化专业系列教材

电气安全工程

陈金刚 主编

邓 佳 李新建 参编



机械工业出版社

本书从安全的角度出发,分析了电气事故的起因、危害及防治技术,包括电气安全基础、触电防护、剩余电流动作保护装置、电气防火防爆、静电防护及雷电防护等内容。本书目的是使学生深入理解电气安全的基本理论,从而具备理论联系实际的能力,能够运用相关理论分析电气事故,查明原因,提出相应防护措施,培养学生分析问题与解决问题的能力,为进一步学习专业课及从事专业工作奠定坚实基础。

本书图文并茂,深入浅出,既可作为高等院校安全工程、电气工程及相关专业的教材,也可作为从事电气安全工程技术人员参考书或工具书。

本书配套授课电子课件,需要的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册,审核通过后下载,或联系编辑索取(QQ: 308596956, 电话: 010-88379753)。

图书在版编目(CIP)数据

电气安全工程/陈金刚主编. —北京:机械工业出版社, 2016. 8
21世纪高等院校电气工程及其自动化专业系列教材
ISBN 978-7-111-54977-2

I. ①电… II. ①陈… III. ①电气安全-安全工程-高等学校-教材
IV. ①TM08

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第235897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:汤枫 责任编辑:汤枫

责任校对:张艳霞 责任印制:李洋

三河市宏达印刷有限公司印刷

2016年10月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·12.25印张·293千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-54977-2

定价:35.00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

服务咨询热线:(010)88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:(010)88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前 言

电能作为重要能源，与其他能源相比，具有便于输送、容易控制、用途广泛、利用效率高特点，被广泛应用于人类生产生活的各个领域。然而，在造福人类的同时，电气危险因素和事故也占据相当比例，给安全生产和事故预防与控制带来诸多挑战。如何防范各种电气危险因素，消除电气事故隐患就成为重要而现实的问题，因此，研究电气事故的机理及其防范对策就显得尤为重要和紧迫。

电气安全工程包括电气安全理论技术和电气安全管理，本书以电气危险因素和电气安全防护为主线，介绍了防止电气事故发生的理论和工程技术方法。主要包括电气安全基础、触电防护、剩余电流动作保护装置、电气防火防爆、静电防护及雷电防护等内容。本书从企业安全生产的具体工程技术入手，有针对性地提出了解决安全问题的方法和措施，理论联系实际，既注重科学性、规范性，又突出实用性和可操作性。

本书所介绍的电气安全相关知识，是工程设计人员、企业安全技术或安全管理人员、职业安全健康管理体系认证人员及安全咨询师等必备的知识。因此，对于有志从事安全工程相关工作的本科生和研究生而言，掌握好本课程相关电气安全核心内容，具有重要意义。

由于时间仓促、水平有限，若有不妥之处，请读者原谅，并提出宝贵意见。

编 者

目 录

前言

第 1 章 电气安全基础	1
1.1 电路及其常用物理量	1
1.1.1 电路	1
1.1.2 电路中常用的物理量	2
1.2 电气安全知识	3
1.3 电气事故	6
案例分析	9
思考题	15
第 2 章 电流对人体的伤害	16
2.1 电流对人体的伤害概述	16
2.1.1 电击	16
2.1.2 电伤	17
2.1.3 电流伤害机理分析	18
2.1.4 电流对人体伤害程度的影响因素	19
2.2 触电急救	21
2.2.1 迅速脱离电源	22
2.2.2 现场救护	23
2.2.3 医务救护	26
案例分析	26
思考题	29
第 3 章 直接接触电击防护	31
3.1 绝缘	31
3.1.1 绝缘破坏	31
3.1.2 绝缘性能指标	34
3.2 屏护和间距	38
3.2.1 屏护	38
3.2.2 间距 (电气安全距离)	39
3.3 电工安全用具	47
3.3.1 绝缘安全用具	47
3.3.2 携带式电压和电流指示器	50

3.3.3	临时接地线、遮栏和标示牌	51
3.3.4	安全用具的使用和试验	53
3.4	加强绝缘	54
3.4.1	电气设备的分类	54
3.4.2	加强绝缘的结构和基本条件	56
	案例分析	58
	思考题	60
第4章	间接接触电击防护	61
4.1	接地的基本概念	61
4.2	系统接地的形式	65
4.2.1	系统接地的型号	65
4.2.2	系统接地的几种形式	66
4.3	IT 系统	68
4.3.1	IT 系统的原理	68
4.3.2	IT 系统的应用范围	69
4.4	TT 系统	70
4.4.1	TT 系统的原理	70
4.4.2	TT 系统的应用范围	71
4.5	TN 系统	71
4.5.1	TN 系统的原理	72
4.5.2	TN 系统的应用范围	72
4.5.3	重复接地	72
4.5.4	TN 系统的要求	76
4.6	TT 系统和 TN 系统的比较	78
4.7	两种电网的安全分析	78
4.7.1	不接地电网的安全性分析	79
4.7.2	接地电网的安全性分析	82
4.7.3	接地电网和不接地电网的比较	85
4.8	间接接触电击防护技术	85
	案例分析	87
	思考题	90
第5章	剩余电流动作保护装置	91
5.1	剩余电流动作保护装置的原理	91
5.2	剩余电流动作保护装置的分类	93
5.3	剩余电流动作保护装置的主要技术参数	97
5.4	剩余电流动作保护装置的选用	98
5.5	剩余电流动作保护装置的安装和运行	99
	案例分析	107
	思考题	111

第6章 电气防火防爆	113
6.1 电气引燃源	113
6.1.1 危险温度	113
6.1.2 电火花和电弧	115
6.2 危险物质和危险环境	116
6.2.1 危险物质	117
6.2.2 危险环境	124
6.3 爆炸性环境的电力装置设计	131
6.3.1 防爆电气设备	131
6.3.2 爆炸性环境电气线路的设计	136
6.3.3 爆炸性环境电气设备的安装	137
6.3.4 爆炸性环境接地设计	138
6.4 电气防火措施	138
6.4.1 消防供电	138
6.4.2 火灾监控系统	139
6.4.3 电气灭火	140
案例分析	141
思考题	144
第7章 静电防护	145
7.1 静电的产生	145
7.1.1 静电产生的原理	145
7.1.2 静电放电引燃的条件	149
7.1.3 静电的存在状态	149
7.2 静电的特点和危害	151
7.2.1 静电的特点	151
7.2.2 静电的危害	153
7.3 静电防护措施	156
案例分析	162
思考题	164
第8章 雷电防护	165
8.1 雷电基础	165
8.1.1 雷电的产生	165
8.1.2 雷电的活动规律	165
8.1.3 雷电的危害	166
8.1.4 雷电的发生频次	167
8.1.5 雷电的种类	168
8.1.6 雷电的参数	170
8.1.7 易受雷击的建筑物和构筑物	171
8.1.8 建筑物防雷分类	172

8.2 防雷措施	173
8.2.1 防雷装置	173
8.2.2 预防雷电危害的防护措施	178
8.2.3 人体防雷措施	181
8.2.4 设备设施的防雷措施	182
案例分析	184
思考题	187
参考文献	188

第1章 电气安全基础

电能是国民经济的重要能源。随着现代化的发展，电能已被广泛应用于工农业生产、人民生活、国防军事及航空航天等各个领域，电能在国民经济和国家安全中发挥着越来越重要的作用。近年来，我国的用电量大幅度增加，但电气安全技术的研究和应用并不同步。据有关安全生产管理部门统计，在全国工矿企业因工事故死亡人数中，触电死亡人数约占10%。当前，在技术先进的国家中，每使用约30亿度电就死亡1人，而我国每使用约1亿度电就死亡1人。与发达国家相比，全民电气安全意识和电气安全水平亟待提高。

本章以电气事故为主要研究和管理的对象，从预防电气事故的理念出发，揭示电气事故的特点、原因和规律，探讨电气安全技术和措施，对做好电气安全工作具有重要的意义。

1.1 电路及其常用物理量

1.1.1 电路

1. 电路的组成及作用

电流所流经的路径称为电路（回路）。电路的作用是实现电能的传输和转换。一般电路由电源、负载、开关和连接导线四个部分组成。

电源是将其他形式的能转换为电能的装置，是向负载提供电能的设备。如干电池、蓄电池将化学能转变为电能；发电机将机械能转变为电能。电源电路中电能的来源，是维持电流流动的原动力。

负载通常叫作用电器或用电设备。负载是将电能转变为其他形式的能的装置。如电灯将电能转变为光能；电炉将电能转变为热能；电动机将电能转变为机械能。负载是消耗电能的装置。

开关是控制电路通或断的装置。

连接导线可将电源和负载连成一个闭合回路，以实现电能的传输和分配。

2. 电路的三种状态

电路通常有三种状态：通路、断路和短路。

通路：电源与负载接成的闭合回路，电路接成通路时即为有负载的工作状态。电气设备与电源接通时，就要承受电压和流过电流，因而要消耗一定的功率，产生热量，温度升高，从而会加速设备上绝缘材料的老化、变质，甚至导致漏电、被烧坏。为使电气设备安全而又经济地运行，必须对工作电压、电流和功率给予限制，通常把这个限定的数值称为额定值。

断路：电源与负载未接成闭合回路的状态，又称为开路。

短路：电源未经过负载而直接经过导线接成回路。短路是电气设备运行中最常出现的事故，通常是由接线错误或电气设备绝缘损坏造成的。短路时电路中的电流很大，此电流称为

短路电流。短路电流会使电气设备和连接导线的温度剧增而发热，致使电气设备和导线烧毁，甚至引起火灾。因此，短路是一种严重事故，应尽量避免。为了保护电气设备不致在发生短路时被烧坏，必须在电路中加入保护装置。

额定电压：电气设备正常工作时所承受的最大电压称为额定电压。其值与电气设备所采用的绝缘材料的耐压强度有关。

额定电流：电气设备长期工作所允许通过的最大电流称为额定电流。其值与电气设备绝缘材料的最高允许温度有关。

额定功率：电气设备在额定电压和额定电流下工作时的最大输出功率称为额定功率。

一般工厂所生产的电气设备在铭牌或说明书上都标明了额定值。电气设备在工作中，如果其工作电流、电压超过了额定值，就会大大缩短使用寿命，甚至被烧毁，这是不允许的；相反，如果设备的工作电流、电压比额定值低很多，则将达不到正常合理的工作状态，不能充分发挥自身的能力，也是不行的。因此，电气设备在额定值下工作是最经济、合理和安全可靠的，并能保证使用寿命。

电气设备在额定电压下工作时，通过的电流如果等于额定电流，则称为满载；如果大于额定值，则称为过载或超载；如果小于额定值，则称为轻载。

电气设备运行是否正常，通常可根据其温度的高低来衡量。如果温度超过规定值，说明电气设备过载，应停电检查。

1.1.2 电路中常用的物理量

1. 电流

(1) 电流的形成

任何物质都是由分子组成的，分子由原子组成，而原子又是由带正电的原子核和带负电的电子组成，电子围绕原子核旋转。平时因原子核和电子所带电荷量相等，因而原子不显电性。当电子脱离了原子核的束缚后，就成为自由电子。在外电场作用下，自由电子定向运动（移向电场的正极）就形成了电流。

(2) 电流的方向

在电路中，早期的科学家规定，电流的正方向是正电荷流动的方向。后来科学家发现，电流本质上是电子的定向移动，而电子是带负电荷的，因此，电流的流动方向是与电子的运动方向相反的，即电流从电源的正极流向负极。

(3) 电流的类型

电流有两种类型：直流和交流。如果电流的大小和方向都不随时间而变化，这种电流就称为直流；如果电流的大小和方向都随时间而变化，则此电流称为交流。

(4) 电流的大小和单位

电流有大小或强弱之分。一盏灯通过的电流大，灯就亮；通过的电流小，灯就暗。通常，用电流强度表示电流的强弱。电流强度在数值上等于1s内流过导体横截面积的电荷量。电流强度简称为电流，用符号*I*表示。

度量电流大小的单位为安培（简称“安”），用符号A表示。在计算时比安培大的单位为千安，比安培小的单位为毫安和微安，换算关系为

$$1 \text{ 千安(kA)} = 1000 \text{ 安(A)} = 10^3 \text{ (A)}$$

$$1 \text{ 安(A)} = 1000 \text{ 毫安(mA)} = 10^3 \text{ 毫安(mA)} = 10^6 \text{ 微安}(\mu\text{A})$$

2. 电位

水有水位的高低。电荷如同水一样，在电场中也有电位的高低，电荷在电场中某点所具有的位能，称为该点的电位。

为确定电路中各点电位的高低，需要选择一个点作为比较的标准，此点称为参考点。设参考点的电位为零，以此标准来比较电路中其他各点电位的高低，比参考点电位高的电位为正，比参考点电位低的电位为负。因为地球可以近似地视为一个巨大的导体，所以在工程上通常取大地为参考点，其电位为零。对于电气设备和电子仪器，通常规定金属外壳或公共接点为零电位。因此，在电气设备安装中，为了保证安全，要求将电气设备的金属外壳接地，如电动机的外壳必须接地。

3. 电压

电压又称为电位差。在电路中，任意两点都具有不同的位能，从而出现电位差。如同水一样，水从水位高的地方向水位低的地方运动形成水流。所以，可以把电压理解为推动电子运动的“压力”，推动电子运动的力称为电场力。电压是衡量电场力做功本领大小的物理量。在电路中，电场力将单位电荷从一点移动到另一点所做的功，称为该两点间的电压，用符号 U 表示。计量电压的单位是伏特（简称“伏”），用符号 V 表示。计量高电压时用千伏，计量很低电压时用毫伏或微伏，换算关系为

$$1 \text{ 千伏(kV)} = 1000 \text{ 伏(V)} = 10^3 \text{ 伏(V)} = 10^6 \text{ 毫伏(mV)} = 10^9 \text{ 微伏}(\mu\text{V})$$

1.2 电气安全知识

1. 电器与电气

电器是所有电工设备的简称。凡是根据外界特定的信号和要求，自动或手动接通和断开电路，断续或连续地改变电路参数，实现对电路或非电现象的切换、控制、保护、检测和调节的电气设备均称为电器。

电气是以电能、电气设备和电气技术为手段来创造、维持与改善限定空间和环境的一门学科。

电器侧重于个体、元件和设备；电气侧重于系统。

2. 直流电与交流电

直流电是指电流方向不随时间做周期性变化的电流。

交流电的电流方向、大小都随时间做周期性的变化，并且在一周期内的平均值为零。

交流电可分为三相电、两相电和单相电。

三相电是指三相线供电，三根相线的任何两根相线间的电压都是 380V（线电压为 380V），任一相线和任一零线或对地之间的电压都是 220V，三相交流电主要用于工业或商业，负载常用三相交流电动机、三相交流电焊机等。

两相电是两根相线，线与线之间电压是 380V，两相交流电常用于交流电焊机。

单相电是一零一相，由一根相线和一根零线组成，电压为 220V，单相交流电常用于民用电器如照明灯、电视机、电饭锅等。

3. 高压电、低压电与特低电压

根据 GB 26860-2011《电业安全工作规程》，在我国电力系统中，把电压等级在 1 kV 及以上的电气设备称为高压电气设备，把电压等级在 1 kV 以下的电气设备称为低压电气设备。

电力系统中通常采用高压供电，来减少输电过程中的能量散失。因为根据 $P = IU$ 公式可知，为减小电能在传输过程中的损耗，必须减小电流，同时又要确保总功率不变，则要适当提高电压大小，再经过降压变电所，最后到达用户终端。相对于普通电源来说，高压电有其特殊危害性。高压触电有两种特殊情形：高压电弧触电和跨步电压触电。由于电压较高，高压触电很容易导致触电死亡。

一般又将高压分为中压（1 ~ 10 kV 或 35 kV）、高压（35 ~ 110 kV 或 220 kV）、超高压（220 kV 或 330 ~ 800 kV）和特高压（800 kV 或 1000 kV 及以上）。

科学、经济的输电方法，应该根据输电功率的大小和输电距离远近，通过技术和经济分析，选择不同的输电电压。我国主要能源基地远离用电负荷中心，非常适合采用超高压或特高压输电。

由于输电线路的输电能力与输电电压的平方成正比，输送相同功率时，电压越高、电流越小，线路的损耗就小。同时，输电电压越高，从电源侧发电机端看去电路的阻抗就越小，在输电系统中，输电线路和发电机之间同步运行的稳定性就越高。因此特高压输电有输送能力强、损耗小和稳定性好三大优点。

我国工频低压最常用的是 380 V 和 220 V 电压；在井下及其他场合，则常采用 127 V 和 660 V 电压；在安全要求高的场合，采用 50 V 以下的特低电压。

特低电压又称安全特低电压，旧称安全电压，是为防止触电事故而采用的由特定电源供电的电压系列。它是以人体允许电流与人体电阻的乘积为依据而确定的，即当触电时通过人体的是安全电流。根据欧姆定律，电压越高，电流也就越大。因此，可以把可能加在人身上的电压限制在某一范围之内，使得在这种电压下，通过人体的电流不超过允许的范围，这一电压就叫作特低电压，也叫作安全特低电压或安全超低电压。具有特低电压的设备属于Ⅲ类设备。

（1）特低电压的确定及应用

特低电压值取决于人体允许电流和人体电阻的大小。人体允许电流是指在人体遭受电击后可能延续的时间内不致危及生命的电流。一般情况下，人体允许电流可按摆脱电流考虑；在装有防止触电的速断保护装置的场合，人体允许电流可按 30 mA 考虑；在容易发生严重二次事故的场合，应按不致引起强烈反应的 5 mA 考虑。

人体电阻主要由体内电阻和皮肤电阻组成，受接触电压、皮肤潮湿程度等多种因素的影响。体内电阻不受外界因素的影响，约为 500 Ω 。皮肤电阻随着条件的不同可在很大范围内变化，使得人体电阻也在很大范围内变化。一般情况下，人体电阻可按 1000 ~ 2000 Ω 考虑。

我国标准规定了特低电压的系列，将特低电压额定值（工频有效值）的等级规定为 42 V、36 V、24 V、12 V 和 6 V 五个等级。特低电压的具体选用需要根据使用环境、人员和使用方式等因素来确定。凡手提照明灯、危险环境和特别危险环境下使用的携带式电动工具，如无特殊安全结构或安全措施，应采用 42 V 或 36 V 特低电压；金属容器内、隧道内和矿井内等工作地点狭窄、行动不便，以及周围有大面积接地导体的环境，应采用 24 V 或

12 V特低电压。特低电压额定值的选用见表 1-1。

表 1-1 特低电压额定值的选用

特低电压 (工频有效值)/V		选用举例	
额定值	空载 上限值		
42	50	在一般和较干燥环境中使用；在有触电危险的场所使用的手持电动工具；有电击危险环境中使用的手持照明灯和局部照明灯	
36	43	在一般和较干燥环境中使用。凡有电击危险环境中使用的手持照明灯和特别危险环境（矿井、多导电粉尘场所）使用的局部照明灯、高度不足 2.5 m 的一般照明灯、危险环境和特别危险环境中使用的携带式电动工具，如果没有特殊安全结构或安全措施，应采取 36V 特低电压	
24	29	当电气设备采用 24 V 以上特低电压时，必须采取防直接接触电击的措施。医用电气设备应采用 24 V 及以下的电压，插入人体的医用电气设备应更低	可供某些具有人体可能偶然触及的带电设备选用。在较恶劣环境中允许使用，如金属容器内、管道内、铁平台上、隧道内、矿井内和潮湿环境中
12	15	凡工作地点狭窄、行动不便，以及周围有大面积接地导体的环境（如金属容器内、隧道内），使用手提照明灯，应采用 12 V 电压	
6	8	水下作业等特殊场所应采用 6V 特低电压	

注：特低电压标准不适用于带电部分能伸入人体的医疗设备。

(2) 电源及回路配置

1) 安全电源。采用安全电压的用电设备必须由特定的电源供电。特定电源包括安全隔离变压器和独立电源。安全隔离变压器通常是装在同一铁心上的两个相对独立的线圈，其接线如图 1-1 所示。安全隔离变压器一、二次侧之间有良好的绝缘。其间还可以用接地的屏蔽将其隔离开来，因此即使发生高压击穿事故，也是一次线圈与铁心形成短路，在一次线圈与二次线圈之间没有任何电的联系。

分析图 1-2 中 a、b 两人的触电危险性可以看出：正常情况下，由于 N 线（或 PEN 线）直接接地，使流经 a 的电流沿系统的工作接地和重复接地构成回路，a 的接触电压接近相电压，危险性很大；而流经 b 的电流只能沿绝缘电阻和分布电容构成回路，假设相电压为 220 V，人体电阻为 2000 Ω，线路的绝缘电阻为 0.5 MΩ，则 b 的接触电压仅为 0.88 V，由此可见，电击的危险性可以得到抑制。

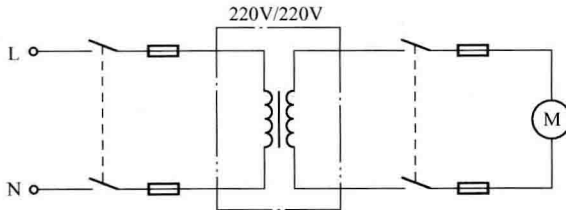


图 1-1 安全隔离变压器接线

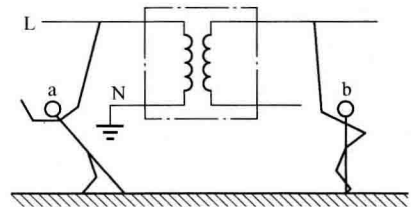


图 1-2 触电危险性

独立电源是指与安全隔离变压器具有同等隔离能力的发电机、蓄电池和电子装置等。

2) 回路配置。安全电压回路的带电部分必须与较高电压的回路保持电气隔离，不得与大地、中性线或保护零线、水管、暖气管道等相连接，但安全隔离变压器的外壳及其一、二次侧之间的屏蔽隔离层应按规定接地或接零。安全电压的配线最好与其他电压等

级的配线分开敷设，否则，其绝缘水平应与共同敷设的其他较高电压等级配线的绝缘水平一致。

3) 插销座。安全电压的设备的插销座不应带有接零、接地插头或插孔。为了保证不与其他电压的插销座有插错的可能，安全电压应采用不同结构的插销座，或者在其插座上有明显的标志。

4) 短路保护。为了进行短路保护，安全电压电源的一、二次侧均应装设熔断器。

1.3 电气事故

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发展。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。

电气事故是电能非正常地作用于人体或系统而造成的安全事故。电气事故是电气安全工程主要研究和管理的对象。

(1) 电气事故的特点

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，甚至还可能造成人员的伤亡。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，构成火灾、爆炸的起因。

2) 电气事故危险直观识别难。由于电既看不见、听不见，又嗅不着，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，电气事故往往来得猝不及防。也正因为此，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。其次，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。只要使用电，就有可能发生电气事故，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。一方面，电气事故的机理除了电学外，还涉及其他许多学科，因此，电气事故的研究，不仅要研究电学，还要同力学、化学、生物学和医学等许多其他学科的知识综合起来进行研究。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，研究新出现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措施，仍然会发生电气事故。因此，必须重视防止电气事故发生的综合措施。

(2) 电气事故的类型

电气事故就是与电能相关联的事故，是由于不同形式的电能失去控制而造成的事故。可分为以下6种类型：

1) 触电事故。触电是指电流流过人体时对人体产生的生理和病理伤害的事故。当电流流过人体，人体直接接受外界电能时所受的伤害叫电击。当电流转换成其他形式的能量（热能量）作用于人体时，人体将受到不同形式的伤害，这类伤害统称电伤。触电事故的预防技术是电工安全培训和考核的重点内容。

2) 电路故障事故。电路故障事故是由于电能传递、分配和转换过程中失去控制或电气元件损坏造成的事故。电路发生的断线、短路、接地、漏电、误合闸、误跳闸和电气设备损坏等都属于电路故障。电路短路造成的电气火灾和爆炸在火灾和爆炸事故中占有很大的比例。由于电路故障造成大规模的异常停电，除造成重大经济损失外，还可能造成重大人身伤亡。

3) 火灾爆炸事故。电气火灾爆炸事故是电气引燃源引发的火灾和爆炸事故。各种电气设备在使用过程中出现短路、散热不良或灭弧失效等问题时，可能产生高温、电火花或电弧放电等引燃源，引燃易燃、易爆物品，造成火灾爆炸事故。电力变压器、多油断路器等电气设备本身就有较大的火灾和爆炸危险。开关、熔断器、插座、照明器具、电热器具和电动机等也可能引起火灾和爆炸。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。

4) 雷电事故。雷击是由自然界雷电的正、负电荷形式的能量造成的事故，是一种自然灾害。雷击除了能毁坏建筑设施和设备外，还可能伤及人、畜并引起火灾和爆炸。因此，电力设施和很多建筑物，特别是有火灾和爆炸危险的建筑物，均应有完善的防雷措施。

5) 静电事故。静电事故是由在客观范围内相对静止的正、负电荷形式的能量造成的事故。静电放电会产生静电火花，能引起现场爆炸物和混合物发生爆炸。静电还能对人产生一定程度的电击。因此，防静电事故是许多生产行业中必须采取的安全措施。

6) 电磁辐射事故。电磁辐射事故是以电磁波形式的能量造成的事故。射频电磁波泛指频率100kHz以上的电磁波。人体在高强度的电磁波长期照射下，将受到不同形式的伤害，如神经衰弱症状和心血管系统血压不正常、心悸等。电磁波在爆炸危险环境中，还会因感应放电火花而引发重大事故。高频电磁波还可能干扰无线电通信，影响电子装置的正常工作。

(3) 电气事故的原因

电气事故往往发生得很突然，且常常是在瞬间就可能造成严重后果，因此找出触电事故的原因和规律，恰当地实施相关的安全措施、防止触电事故的发生、安排正常的生产生活，具有重要的意义。电气事故的原因主要有：

1) 缺乏电气安全知识。高压线附近放风筝；爬上杆塔掏鸟窝；架空线断落后误碰；用手触摸破损的胶盖刀闸、导线；儿童触摸灯头、插座或拉线等。

2) 违反操作规程。高压方面，带电拉隔离开关；工作时不验电、不挂接地线、不戴绝缘手套；巡视设备时不穿绝缘鞋；修剪树木时碰触带电导线等。低压方面，带电接临时线；带电修理电动工具、搬动用电设备；相线与中性线接反；湿手去接触带电设备等。

3) 设备不合格。高压导线与建筑物之间的距离不符合规程要求；高压线和附近树木距离太近；电力线与广播线、通信线等同杆架设且距离不够；低压用电设备进出线未包扎或未包好而裸露在外；台灯、洗衣机、电饭煲等家用电器外壳没有接地，漏电后碰壳；低压接户

线、进户线高度不够等。

4) 维修管理不及时。大风刮断导线或洪水冲倒电杆后未及时处理；刀闸胶盖破损长期未更换；瓷瓶破裂后漏电接地；相线与拉线相碰；电动机绝缘或接线破损使外壳带电；低压接户线、进户线破损漏电等。

5) 偶然因素。大风刮断电力线路触到人体等。

为了避免触电事故，应当加强电气安全知识的教育和学习，贯彻执行安全操作规程和其他电气规程，采用合格的电气设备，保持电气设备安全运行。

(4) 电气事故的规律

触电事故往往发生得很突然，且经常在极短的时间内造成严重的后果，死亡率较高。触电事故有一些规律，掌握这些规律对于安全检查和实施安全技术措施以及安排其他的电气安全工作有很大意义。触电事故的发生，情况是复杂的，不是一成不变的，应当在实践中不断分析和总结触电事故的规律，为做好电气安全工作提供可靠的依据。

电气事故是具有规律性的，且可以被人们认识和掌握。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做斗争的丰富经验，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。

1) 触电事故有明显季节性。据统计资料，一年之中第二、三季度事故较多，六至九月最集中。主要原因是，夏秋季天气潮湿、多雨，降低了电气设备的绝缘性能；人体多汗，人体电阻降低，易导电；天气炎热，工作人员多不穿工作服和戴绝缘护具，触电危险性增大；正值农忙季节，农村用电量增加，触电事故增多。

2) 低压多于高压。国内外统计资料表明，低压触电事故所占触电事故比例要大于高压触电事故。主要原因是低压设备多，低压电网广，与人接触机会多；设备简陋，管理不严，思想麻痹；群众缺乏电气安全知识。但是，这与专业电工的触电事故比例相反，即专业电工的高压触电事故比低压触电事故多。

3) 农村多于城市。据统计，触电事故农村多于城市，主要原因是农村用电设备简陋，技术水平低，管理不严，电气安全知识缺乏。

4) 青、中年人多。中青年工人、非专业电工和临时工等触电事故多。主要原因是，一方面这些人多是主要操作者，接触电气设备的机会多；另一方面多数操作者不谨慎，责任心还不强，经验不足，电气安全知识比较欠缺等。

5) 单相触电事故多。单相触电事故占全部触电事故的70%以上。因此，防止触电事故的技术措施应将单相触电作为重点。

6) 多发生在电气连接部位。统计资料表明，电气事故点多数发生在接线端、压接头、焊接头、电线接头、电缆头、灯头、插头、插座、控制器、接触器和熔断器等分支线、接户线处。主要原因是，这些连接部位机械牢固性较差、接触电阻较大、绝缘强度较低以及可能发生化学反应。

7) 因行业不同而不同。冶金、矿山、建筑和机械等行业由于存在潮湿、高温、现场混乱、移动式设备和携带式设备多或现场金属设备多等不利因素，因此，触电事故较多。

8) 携带式、移动式设备多于固定式设备。携带式、移动式设备需要经常移动，工作条

件差，在设备和电源处容易发生故障或损坏，而且经常在人的紧握之下工作，一旦触电就难以摆脱电源。

案例分析

案例 1-1 移动电气设备绝缘处磨损，导致触电死亡事故

【事故经过】

小区十号楼地下室有一电气设备，该设备一次电源线使用二芯绕线，绕线长度为 10.5 m；接头处没有用橡皮包布包扎，绝缘处磨损，电源线裸露；安装在该设备上的漏电开关内的拉杆脱落，漏电开关失灵。工程公司在该地下室施工中，3 名抹灰工将该电气设备移至新操作点，移动过程中，其中 1 人触电死亡。

【事故原因】

(1) 直接原因

电气设备漏电，一次电源线使用了二芯绕线，接头处没有用橡皮包布包扎，绝缘处磨损，电源线裸露，安装在该设备上的漏电开关失灵，均能导致工人触电。

(2) 间接原因

- 1) 违章操作，移动电气设备未切断电源。
- 2) 操作人员不是专业电工，私自移动电气设备。
- 3) 施工队安全监管不严，工人安全意识不强。
- 4) 小区的管理人员未能定期检查电气设备，以至于不能及时发现安全隐患。

【预防措施】

(1) 个人方面

- 1) 提高安全意识，接触用电设备，要事先准备一些必要的防护。
- 2) 严格要求自己，杜绝违章操作。

(2) 小区管理方面

- 1) 定期检查小区内的电气设备，保证其各方面都正常工作。
- 2) 在电气设备上贴出安全标语，警示有电危险。
- 3) 对施工队的人员提出要求，不能随便搬移用电设备。

(3) 施工队方面

- 1) 对施工人员严格要求操作规程，不能违章操作，提高人员综合素质。
- 2) 定期开展安全施工宣传，选取惨痛的事故案例，敲响警钟，不能抱侥幸心理。
- 3) 施工负责人对死者有一定责任，属监管不严。

案例 1-2 误登带电设备触电死亡

【事故经过】

3 月 14 日交接班后，9 时 30 分，站长安排一名值班员在值班室值班，安排另两人与自己一道进行室内外卫生清扫维护工作。12 时 55 分，在 1[#]主变底部做清扫工作的值班员听到 111 开关方向有很大的放电声，便向 111 开关方向跑去。在跑出十几米后发现 111 开关下方起火，随即折回叫值班室的主值出来灭火。主值手提一干式灭火器，跑到 111 开关间隔后，发现站长趴在地上，身上衣服着火，迅速用灭火器灭火。灭火后，值班员们迅速将站长就近送至繁峙县第二人民医院，经抢救无效死亡。