

TM92
3044

工业与民用电气安全

章长东 编著

中国电力出版社

内 容 提 要

本书对工业与民用电气安全方面的基本理论和具体措施做了较详尽的阐述。首先说明了影响电气安全的主要因素,提出投资最省,用途最广和安全可靠的接地和等电位措施。然后从电击的基本原理说明人身安全及一般电气设备和线路在正常环境下的保护。本书还说明了公共建筑中的电气设备及视听、通信等设备的电气安全问题,易燃、易爆、强烈腐蚀和非常潮湿场所的电气安全问题及它们相应的电气安全措施以及防雷、防静电、防电磁辐射等问题。本书可供广大从事设计、施工及验收工作的电气工程技术人员、工业与民用电气工作人员、大专院校工业企业供电及建筑电气相关专业的师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

工业与民用电气安全/章长东编著.-北京:中国电力出版社,1996

ISBN 7-80125-123-7

I.工… II.章… III.电气设备-安全技术 N.TM08

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第02385号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 邮政编码100044)

北京市地矿局印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1996年6月第一版 1996年6月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 32开本 15.375印张 343千字

印数0001—3970册 定价16.10元

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

近年来,电能在工业企业和民用建筑中的应用日益广泛,几乎遍及各行各业,而且对电流、电压等参数的要求日益提高,频率的应用范围也有所扩展,如措施不当,由于电能造成的危险性也将相应地增加。因此,电气安全就成为不容忽视的问题。

我国在工业与民用供电方面已制定了设计、安装、验收等规范,在这些规范中,电气安全是主要课题。国际电工委员会(IEC)所编制的《建筑物电气装置》、《建筑物防雷》等标准也是从电气安全的角度出发的。

本书是以当前国内及国际最新的标准和规范为基础,吸收国内外成熟技术以及作者多年来从事设计及参与安装和验收的经验,对工业及民用电气安全方面的问题做了较详尽的阐述。首先说明了影响电气安全的主要因素,提出投资最省、用途最广和安全可靠的接地和等电位措施。然后从电击的基本原理出发,说明人身安全及一般电气设备和线路在正常环境下的保护措施。另外,公共建筑中的电气设备及视听、通信等设备往往为不熟悉电气的人员所接触,出现电气故障时安全难以保证;易燃、易爆、强烈腐蚀和非常潮湿场所最容易造成电击事故,甚至引起爆炸和燃烧;静电、雷电、电磁辐射也容易伤害人身、设备及线路,甚至造成建筑物破坏;由于电气事故造成火灾的事例也屡见不鲜。本书就以上各问题的特点,说明适合其要求的电气安全措施,并对电气安全的基本理论和具体措施做重点阐述,力求简洁、适用。但是,由

于电气安全所牵涉的面很广，难以概全，有些计算方法和设备选用，在常见的许多书籍和手册中已有详细的叙述，因此本书对这部分内容仅从电气安全出发，说明基本的方法和原则。

王厚余教授级高级工程师对本书进行了全面地、深入细致地审核，提出了很多宝贵意见，并提供了不少最新的资料，对本书水平和质量的提高起了关键性作用，特此致以深切的谢意。

电气安全是一门综合性科学，需要广泛的知识 and 较深的专业理论。限于本人水平，书中不妥和错误之处在所难免，敬希有关专家和读者指正。

作 者

1993年10月

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 工业与民用电气安全的特点及其重要性	1
第二节 影响电气安全的主要因素	4
第三节 电气安全类别	14
第四节 保障电气安全的措施和实施办法	20
第二章 接地和等电位措施	25
第一节 接地的基本要求	25
第二节 系统的接地方式	33
第三节 常用电气设备的接地	44
第四节 配变电所及自备发电站的接地	48
第五节 接地电阻的计算及接地装置的选择	56
第六节 等电位措施	69
第七节 接地电阻的测量	76
第八节 接地系统的敷设	82
第九节 高土壤电阻率地区的接地	92
第三章 人身安全保护措施	97
第一节 电击效应	97
第二节 直接电击保护	112
第三节 间接电击保护	118
第四节 兼有直接和间接电击的保护	146
第五节 剩余电流保护装置的应用	150
第四章 电气设备及供电系统的电气安全	161
第一节 电击以外的安全保护	161
第二节 供电系统的安全措施	170

第三节	主要电气设备选择	190
第四节	导体的选择	202
第五节	配、变电所的安全	222
第六节	布线的安全	234
第七节	常用电气设备的安全	259
第五章	公共建筑和视听、通信系统的电气安全	273
第一节	一般公共建筑的电气安全	273
第二节	医疗建筑的电气安全	280
第三节	地下人防工程的电气安全	285
第四节	高层建筑的电气安全	287
第五节	通信系统的电气安全	290
第六节	电视系统的电气安全	305
第七节	数据处理系统的电气安全	309
第六章	危险电击环境的电气安全和电气消防	317
第一节	狭窄导电场所的电气安全	317
第二节	潮湿场所的电气安全	318
第三节	农业、园艺和家畜饲养场所的电气安全	326
第四节	腐蚀场所的电气安全	327
第五节	电气火灾及消防	335
第七章	爆炸火灾危险环境的电气安全	358
第一节	爆炸火灾危险环境的分区	358
第二节	爆炸火灾危险环境中的电气装置	374
第三节	爆炸火灾危险环境中的配、变电所	383
第四节	电气线路	384
第五节	接地	399
第八章	防雷、防静电、防电磁辐射	401
第一节	防雷	401
第二节	防止静电危害	466
第三节	防止电磁辐射	475
参考文献	486

第一章 绪 论

工业企业和民用建筑的供电范围是从供电点起通过变配电设备、配电线路和控制保护元件等一直延伸到每个用电点。供电点是供电部门给工业企业或民用建筑提供电源的供电线路的终点,一般是用户区域中离供电线路最近的电缆头或终端杆;对于小容量用户,则为内有电能表、熔断器等的用户进线箱。用电点是各种用电设备或插座。工业与民用电气安全的任务就是在这个供电范围内,消除电气事故危害人畜、损坏设备以及影响产品质量和环境卫生等一切不利因素,确保人畜和设备安全以及生产和人类活动正常进行。本章先就工业与民用电气安全的特点说明其重要性,然后讨论影响电气安全的主要因素和按电气安全的要求对场所、状况和设备划分等级,同时提出保障电气安全的措施和实施方法的基本原则。

第一节 工业与民用电气安全的特点及其重要性

一、工业与民用供电安全的特点

随着科学技术的发展,电是动力、照明、加热、控制、信号和通信的主要能源,电气设备遍布工业企业和民用建筑的每一个角落。工业企业和民用建筑供电的下述特点都与电气安全有密切的关系。

1. 配电参数复杂,彼此交叉影响

由于用电设备品种复杂,要求各异,使得电气参数在很

大范围内变化。供电电压以往一般不超过 35kV，现在有些大型工业企业、高层建筑和大的建筑群已达 110kV，甚至还有 220kV 的。用电设备电压一般为 220/380V，在特殊环境如特别潮湿场所的用电设备也有采用电压为 6V 甚至 2.5V 的；静电除尘装置和高压试验设备电压则高达 200kV，而控制电压还可能在毫伏级以下。大型设备的额定电流可达万安级，而控制电流则可到微安级。我国工业频率规定为 50Hz，但许多现代化设备已采用较高频率，如电动工具和电焊机有些用到 450Hz，电疗设备多采用 4000~5000Hz，中频和超高频加热设备可用到 80kHz 和 50kHz，通信设备中还有采用微波的。

由电子功率元件组成的设备、电弧炉、静止型不中断电源、荧光灯、彩色电视机和调光设备等都产生不同程度的高次谐波，造成电磁污染。而一些有精度要求的或对某些电气参数有敏感的用电设备，则要求电压、频率在一定容差范围内，有些还要求限制电源电压的不平衡度和谐波分量。由于不同电压、电流、频率的相互影响，特别是要求用高电压、大电流供电和产生大量高次谐波的用电设备的使用，如果措施不当，轻则影响用电设备正常工作，重则影响人身安全。

2. 用电容量日益增大，配电系统日趋复杂

由于工业企业的规模不断扩大，民用建筑向建筑群和高层发展，用电容量也日趋增加，随之供电电压等级提高和短路容量扩大，从而要求提高电源可靠性和运行灵活性，因此造成配电系统日益复杂，控制保护方式种类繁多。如系统和设备选用不当、控制保护不合要求，或运行维护人员操作失误及巡视维护不及时，必将造成电气事故。

3. 电气设备所在环境的严酷性加剧

随着工业的发展，电气设备必须适用于不同环境，如爆炸火灾危险场所、高温和高度潮湿场所、多尘场所、严重腐蚀场所、强烈电磁辐射和日光辐射场所、大风大雪或高寒场所、高原地带及有虫兽害的地区、冻土带和多雷区。在这些场所中，电气设备和线路的选用和安装都要符合所在环境的严酷性要求，并采取必要的安全措施。

4. 电气设备的接近性增加

电气设备是供人使用的，必须由使用者操作。在工业企业和民用建筑中，操作者不全是电气熟练人员，有些甚至不具备基本的电气常识，而且还经常使用手握式和移动式设备，如不采取安全措施，容易导致事故；一旦发生事故，使用者容易惊慌失措，则更增加危险性。

二、工业与民用电气安全的重要性

如上所述，在工业和民用建筑中容易发生电气事故，这些事故包括人畜遭受电击、设备烧毁、建筑物起火、系统崩溃以及由于电弧、静电、雷电等引起的火灾爆炸和二次事故。此外，过强的电磁辐射也造成敏感设备运行不正常和对人体造成伤害。因此，重视电气安全，对于保障生命财产和正常的生产生活都有极其重要的意义。

安全用电水平高的国家，每 100 万工农业用电人口中触电死亡 0.5~1 人；我国 70 年代的统计数字为每 100 万人中触电死亡 20 人，目前已降至 10 人以上，但安全用电水平还比较低，这也说明在我国推行电气安全的重要性。根据近年来我国的统计数字，高、低压电力系统中的触电死亡人数，低压占 80% 以上，而工业企业及民用建筑又以低压系统和低压设备所占比重最大，因此工业与民用电气安全更有其重要性。

第二节 影响电气安全的主要因素

影响电气安全的因素除设备、线路等内部因素外，环境、使用状况及建筑物结构等外部因素也不能忽视，此外，由于使用不当造成事故也不少。现将这些因素分述如下：

一、内部因素

选择和安装电气设备和线路时，必须根据使用要求、电源情况等确定其电压、电流、频率、安全间距等主要参数和适当的安装方法，并考虑电气设备的可维修性以及不同电气设备之间的共存性关系，具体措施见以下各章。

二、外部因素

IEC（国际电工委员会，下同）对外部影响因素按代号分类，代号一般为两个英文字母，第一字母表示大类，如A表示环境、B表示使用情况、C表示建筑物结构；第二字母表示小类，如A表示温度、B表示湿度，如程度不同，再后缀一阿拉伯数字。我国电工电子产品环境条件则按严酷条件分级，现综合说明如下：

1. 环境温度，AA

即电气设备安装场所的温度，包括安装在同一场所其它设备所产生的影响，但不考虑设备运行时的热影响。根据温度范围的不同分级为：AA1（ $-60\sim+5^{\circ}\text{C}$ ）；AA2（ $-40\sim+5^{\circ}\text{C}$ ）；AA3（ $-25\sim+5^{\circ}\text{C}$ ）；AA4（ $-5\sim+40^{\circ}\text{C}$ ）；AA5（ $+5\sim+40^{\circ}\text{C}$ ）；AA6（ $+5\sim+60^{\circ}\text{C}$ ）。一昼夜平均温度不得超过上限 5°C ，有时可能需要结合两个范围来规定一个环境温度。例如环境温度为AA3及AA4，即温度范围为 $-25\sim40^{\circ}\text{C}$ 。在这些范围内，AA5为正常环境，不需采取特殊措施；

AA4 也属正常环境,但在某些情况下可能需要特殊的预防措施;AA1、AA2、AA3、AA6 则需要特殊设计的设备或适当布置,有时也可能需要某些辅助预防措施,如特殊润滑等。

我国对环境温度的分级为 -80C 、 -65C 、 -55C 、 -40C 、 -25C 、 -5C 、 $+15\text{C}$ 、 $+20\text{C}$ 、 $+25\text{C}$ 、 $+30\text{C}$ 、 $+40\text{C}$ 、 $+55\text{C}$ 、 $+60\text{C}$ 、 $+70\text{C}$ 、 $+85\text{C}$ 、 $+100\text{C}$ 、 $+125\text{C}$ 、 $+155\text{C}$ 、 $+200\text{C}$,并考虑温度变化率,其分级为 0.1 、 0.5 、 1 、 $3.5\text{C}/\text{min}$ 及 $1.5\text{C}/\text{s}$ 。

2. 空气湿度, AB

IEC 标准中,对于 AB 的分级和要求待定。我国按相对湿度分级为 10% 、 50% 、 75% 、 95% 。

3. 海拔高度, AC

其中 AC1 为正常环境,海拔高度不超过 2000m ;AC2 为高原环境,海拔高度超过 2000m ,可能需要特殊的措施,如采用降低系数或采取特殊布置。

4. 水, AD

AD1:可以忽略的。器壁一般不出现水迹,即使短时出现水迹,例如出现水汽,但只要通风良好,很快就会干燥。防护等级要求为 $\text{IP}\times 0$ 。

AD2:水滴。不时有水汽凝结成水滴或不时有蒸汽出现。水滴可能垂直滴落。防护等级为 $\text{IP}\times 1$ 。

AD3:水花。由于水花飘扬,在器壁或地面上形成一层薄薄水膜。水花飘落的角度与垂线间可能达 60C 。防护等级为 $\text{IP}\times 3$ 。

AD4:溅水。电气设备可能从各个方向遭受水溅,例如户外照明设备和建筑工地设备等。我国按水速分级为 $1,3,10\text{m}/\text{s}$ 三种。防护等级为 $\text{IP}\times 4$ 。

AD5: 喷水。电气设备可能从各个方向遭受水喷, 例如广场、车辆冲洗间等经常用水冲洗的场所。我国按水速分级为 1, 3, 10, 30m/s 四种。防护等级为 IP×5。

AD6: 水浪。电气设备可能遭受水浪冲击, 例如码头、海滩、堤岸等处。防护等级为 IP×6。

AD7: 浸水。电气设备可能间歇地、部分地或整个地浸在水中, 例如遭到水淹的场所以及设备上的水面高度至少 150mm 且其最低部分在水面以下不超过 1m 的场所。防护等级为 IP×7。

AD8: 潜水。电气设备长期浸泡在水中且所承受的压力超过 10kPa, 例如在游泳池等场所中。防护等级为 IP×8。

5. 外来固体物, AE

AE1: 可忽略的。尘埃或外来固体物的性质和数量都可以忽略的。防护等级为 IP0×。

AE2: 小物体, 外形尺寸不小于 2.5mm, 例如工具等小物体。防护等级为 IP3×。

AE3: 很小的物体, 外形尺寸不小于 1mm, 例如电线。防护等级为 IP4×。

AE4: 尘埃。这里所说的尘埃是在单位时间内沉积在单位面积上达到一定数量的尘埃。如尘埃进入设备不防碍设备的功能, 其防护等级为 IP5×; 如尘埃不应进入设备, 则防护等级为 IP6×。我国按尘埃沉积率分级分为 1, 3, 10, 30mg/(m²·h) 四级。在有些场合下, 有机尘埃(如纺织纤维)沉积在设备散热表面时可能起燃, 应采取措施。

6. 腐蚀性或污染性物质, AF

AF1: 可忽略的。腐蚀性或污染性物质的性质或数量可以忽略。

AF2:空气的。一是指空气中存在值得注意的腐蚀性或污染性物质,如位于海边或靠近化工厂、水泥厂等严重污染的工业区。二是产生导电粉末特别严重的场所,应根据腐蚀物、污染物或导电粉末的性质采取适当措施。

AF3:间歇或偶然的。一是指试验室或使用碳氢化合物的场所,如燃油锅炉房、汽车库等;二是指化学药品被控制在小范围内例如在药品柜内或只偶尔与电气设备接触。应按这些化合物或药品的技术说明书进行防腐措施。

AF4:长期的。例如化工厂长期遭受大量化学物质的腐蚀或污染。

我国则按不同化学物质进行严酷性分级,目前只有二氧化硫、硫化氢、氧化氮和臭氧四种,其他尚在考虑中。化学物质的影响也取决于其他环境参数,例如温度和湿度。以上四种化学物质的分级(在 $+20^{\circ}\text{C}$, 101.3kPa 条件下),如下:

二氧化硫,按浓度 mg/m^3 计,分为 0.03, 0.1, 0.3, 1, 3, 10, 30, 100, 300 级。

硫化氢,按浓度 mg/m^3 计,分为 0.003, 0.01, 0.03, 0.1, 0.3, 1, 3, 10, 30, 100 级。

氧化氮,以二氧化氮的当量表示,按浓度 mg/m^3 计,分为 0.01, 0.03, 0.1, 0.3, 1, 3, 10, 30, 100 级。

臭氧,按浓度 mg/m^3 计,分为 0.01, 0.03, 0.1, 0.3, 1, 3, 10, 30 级。

7. 冲击, AG

AG1:轻微。如家庭或类似环境。

AG2:中等。如一般工业环境,可采用标准设备或加强保护。

AG3:强烈。如剧烈振动的工业环境,设备必须加强保护。

我国则根据典型频谱对冲击进行分类：第Ⅰ类，具有长持续时间和相对低峰值加速度冲击；第Ⅱ类，具有中等持续时间和中等峰值加速度冲击；第Ⅲ类，具有短持续时间和高峰值加速度冲击。各类冲击的分级如下：第Ⅰ类型谱为 50, 100, 150, 300, 500, 1000m/s² 六级；第Ⅱ类型谱为 300, 1000m/s² 两级；第Ⅲ类型谱为 1500, 3000, 5000, 10000m/s² 四级。

8. 振动, AH

AH1: 轻微。如家庭及类似环境, 振动可以忽略的。

AH2: 中等。如一般工业环境, 可采用标准设备。

AH3: 强烈。如剧烈振动的工业环境, 必须采用特殊设计的设备或特殊布置。

我国仅考虑稳态振动, 其中周期性振动按典型频谱分级。第Ⅰ类典型频谱的中心频率 $f_c \approx 9\text{Hz}$, 第Ⅱ类典型频谱的中心频率 $f_c \approx 60\text{Hz}$, 其分级如表 1-1 所示。非周期性振动按以频率为函数的加速度频谱密度(ASD)来分级, 如表 1-2 所示。ASD 定义为

$$S(f) = \lim_{\Delta f \rightarrow 0} \frac{a_{r.m.s. \cdot \Delta f}^2}{\Delta f} \quad (1-1)$$

式中 $a_{r.m.s. \cdot \Delta f}$ —— Δf 范围内的加速度平方根值；

Δf —— 振动的范围, Hz。

表 1-1 周期性振动分级

频谱类型	I	I	I	I	I	I	II	II	II	II
当 $f < f_c$ 时, 峰值位移 (mm)			1.5	2.5	7.5	10.0	0.15	0.35	0.75	1.0
当 $f > f_c$ 时, 峰值加速度 (m/s ²)	1	2	5	10	20	30	20	50	100	150

表 1-2

非周期性振动分级

频 谱 类 型		I (10~2000Hz)				II (20~2000Hz)				
ASD (m^2/s^3)	$f < 200\text{Hz}$	1	3	10	30	0.3	1	3	10	30
	$f > 200\text{Hz}$	0.3	1	3	10	0.3	1	3	10	30

9. 其他机械应力, AJ

IEC 的有关要求和分类待定。我国按以下几项进行分级。

自由跌落: 跌落高度分为 0.025, 0.050, 0.1, 0.25, 0.50, 1.0, 2.5, 5.0, 10m 等 9 种。

滚动和倾斜: 按滚动时间 6s 计, 偏离垂线的滚动角度为 $\pm 5^\circ$, $\pm 10^\circ$, $\pm 25^\circ$, $\pm 45^\circ$ 等 4 级。

稳态加速度分为 20, 50, 100, 200, 500, 1000 m/s^2 等 6 级。

静负荷按负荷压力分为 0.1, 0.3, 1.0, 3, 10, 30, 100kPa 等 7 级。

10. 植物或霉菌, AK

AK1: 无害的。生长植物或霉菌为无害的。

AK2: 有害的。生长植物或霉菌为有害的, 应区别危害植物生长的环境或助长霉菌生长的环境, 采取不同措施, 例如提高防护等级, 用特殊材料或有保护涂层的外护物, 从场所的布置上排除植物的生长等等。

11. 动物, AL

AL1: 无害的。动物不会造成危害者。

AL2: 有害的。昆虫、鸟及小动物等会造成危害者。应根据这些小动物的种类和数量以及是否构成危害而定。应采取使用有适当防护等级或有足够机械阻力的外护物, 经常清扫

或采用杀虫剂以消除这些小动物的生存条件，并使用特殊设备或有保护涂层的外护物等措施。

12. 电磁、静电或电离影响，AM

AM1：可忽略的。杂散电流、电磁辐射、电离辐射、静电场及感应电流的影响都是无害的。

AM2：杂散电流。存在危险的杂散电流。采取适当的绝缘、特殊的保护涂层、阴极保护或辅助等电位联结等措施。

AM3：电磁辐射。存在有害的电磁辐射。采取保持与辐射源的间距、中间加屏蔽或用特殊材料作外护物等措施。

AM4：电离辐射。存在危险的电离辐射。所采取措施与电磁辐射相同。

AM5：静电。存在危险的静电场。采取接地、屏蔽和中和等措施。

AM6：感应。存在危险的感应电流。采取保持与感应电流源的间距或中间加屏蔽等措施。

13. 日光辐射，AN

AN1：可忽略的，属于正常条件。

AN2：应予重视的，具有强烈的或持久的日光辐射。采取使用可阻挡紫外线辐射的材料，用特殊颜色的涂层或中间加遮挡等措施。

我国按日光辐射的强度分级，有 300，500，700，1000，1120W/m² 等 5 级。

14. 地震影响，AP

AP1：可忽略的。重力加速度 $\leq 30\text{cm/s}^2$ 。

AP2：轻微。重力加速度大于 30cm/s^2 ，但不超过 300cm/s^2 。

AP3：中等。重力加速度大于 300cm/s^2 ，但不超过 600cm/s^2 。

AP4: 强烈。重力加速度大于 600cm/s^2 。

上述等级没有考虑频率。如地震波与建筑物发生共振,则必须考虑频率。通常地震加速度的频率在 $0\sim 10\text{Hz}$ 之间。

15. 雷击, AQ

AQ1: 可忽略的。属于正常环境。

AQ2: 间接雷击。危害来自架空线路。

AQ3: 直接雷击。安装在室外的设备遭受雷击。

雷击的防护措施详见第八章。

16. 风, AR

IEC 对于风的分类待定。我国标准中有“环境介质运动”一项,包括空气和水,按速率分级,有 $0.5, 1, 3, 5, 10, 30, 50\text{m/s}$ 等 7 级。

17. 雨

我国标准按单位时间内滴落到水平面上的水量来分级,有 $0.3, 1, 2, 3, 6, 15\text{mm/min}$ 等 6 级。

18. 砂

我国标准按单位体积空气中含砂量分级,有 $0.01, 0.03, 0.1, 0.3, 1, 3, 10\text{g/cm}^3$ 等 7 级。

19. 人的能力, BA

BA1: 正常人,即未受过训练的人。

BA2: 儿童。例如幼儿园中的儿童,电气设备应置于难以接近之处,设备中温度大于 80°C (幼儿园内为 60°C) 的表面应不易被触及,或采用防护等级大于 $\text{IP}2\times$ 的设备。

BA3: 有缺陷的人,指体弱或弱智的人。如老年人和病人,应按缺陷性质采取措施。

BA4: 经过训练的人。如电气操作场所的操作人员及维修人员,因经过训练,能避免电气危险,可以在电气操作场所