



南京信息工程大学教材建设基金资助项目

Dianzi
GongyiJichu

电子工艺基础

◎ 陈晓 编著



气象出版社
China Meteorological Press

014031996


TN05
52

南京信息工程大学教材建设基金资助项目

电子工艺基础

陈晓 编著



 **气象出版社**
China Meteorological Press



北航

C1720053

TN05

52

01031386

国家自然科学基金资助项目 航空科学基金

内容简介

本书以基本电子制造工艺知识为主,对电子产品的制造过程及典型工艺进行了全面介绍,其内容主要包括:用电常识、常用电子元器件、印刷电路板的设计与制作、电子焊接工艺技术、电子元器件的装配与连接、表面安装与微组装技术、电子产品调试与故障检修、电子技术文件、典型实习电子产品以及常用电子仪器仪表的使用。

本书可以作为工科院校学生电子工艺实习的教材,也可以作为相关工程人员进行电子设计创新等实践活动的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子工艺基础/陈晓编著. —北京:气象出版社,2013.12

ISBN 978-7-5029-5870-1

I. ①电… II. ①陈… III. ①电子技术-基本知识
IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 315493 号

出版发行:气象出版社

地址:北京市海淀区中关村南大街46号

总编室:010-68407112

网址:<http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑:简学东 黄海燕

封面设计:博雅思企划

责任校对:华鲁

印刷:北京京科印刷有限公司

开本:720 mm×960 mm 1/16

字数:385千字

版次:2013年12月第1版

定价:42.00元

邮政编码:100081

发行部:010-68409198

E-mail: qxcbs@cmp.cma.gov.cn

终审:汪勤模

责任技编:吴庭芳

印张:20

印数:1~2000

印次:2013年12月第1次印刷

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

前 言

电子工艺是电子产品的加工制造方法。它包括从元器件投入到产品安装全过程的材料选择、工艺路线、工艺流程、流程图、步骤、指标、操作要点、过程控制、质量保证等。不同的电子产品有不同的工艺技术,同一电子产品也可能有多种工艺技术,电子产品开发者和工艺设计者会根据可利用的资源、条件、产业政策等具体情况,选择最适合的产品方案和工艺技术。一定时期的电子工艺技术反映了该时期的生产力发展水平。

创新精神和实践能力是对未来高素质工程技术人才的基本要求。随着电子制造技术和信息技术的飞速发展,实践环节的重要性与日俱增,编写合适的教材是保证人才培养质量和教学稳定发展的基本建设。

本书是为学生参加电子工艺实习而编写的教材。在电子工艺实习过程中,学生能在电子元器件的识别与测试、印制电路板的设计与制作、常用电子仪器仪表的使用、电子产品的焊接、调试与组装等方面得到训练。通过实际操作提高学生的动手能力,激发他们的创新意识。本教材在编写过程中,加强了针对性和实用性,注重引入新的技术内容,力求章节层次清楚,内容简洁明了、通俗易懂,也有利于学生自学。

书中编入的内容均来自书后的参考文献或互联网并仅作为教材使用,在此向有关作者致以衷心的感谢。若有不当之处,请来信告知。

本书得到了南京信息工程大学教材建设基金的资助,在此表示衷心的感谢。

由于电子信息技术更新速度快、元器件种类繁多,加之编者水平有限和时间仓促,书中难免有错误和不足之处,敬请全国广大同行和读者批评指正。

陈晓

2013年12月于南京

目 录

前言	1
第 1 章 用电常识	(1)
1.1 电的危害	(3)
1.2 安全用电	(12)
1.3 急救与保护	(15)
第 2 章 电子元器件	(17)
2.1 电阻器	(17)
2.2 电位器	(25)
2.3 电容器	(27)
2.4 电感器	(31)
2.5 变压器	(35)
2.6 半导体分立器件	(44)
2.7 集成电路	(58)
2.8 表面安装元器件	(60)
第 3 章 印刷电路板的设计与制作	(70)
3.1 印刷电路板基础知识	(70)
3.2 印刷电路板的排版设计	(77)
3.3 印刷电路板制造工艺	(97)
3.4 印制电路的计算机辅助设计	(101)
第 4 章 电子焊接工艺技术	(120)
4.1 焊接工艺基础	(120)
4.2 焊接工具与材料	(125)
4.3 手工焊接技术	(134)
4.4 自动焊接技术	(138)
4.5 电子焊接新工艺	(144)
第 5 章 装配与连接	(148)
5.1 电子产品生产的基本知识	(148)

5.2	装配工艺	(149)
5.3	其他连接方法	(162)
第 6 章	表面安装与微组装技术	(168)
6.1	电子产品组装技术	(168)
6.2	表面安装技术	(170)
6.3	微组装技术	(175)
第 7 章	电子产品调试与故障检修	(180)
7.1	调试与检修基础	(180)
7.2	调试与检修安全	(181)
7.3	调试技术	(182)
7.4	故障检修方法	(189)
第 8 章	电子技术文件	(196)
8.1	电子技术文件概述	(196)
8.2	产品技术文件	(199)
8.3	图形符号及说明	(202)
8.4	原理图简介	(205)
8.5	工艺图简介	(210)
8.6	电子技术文件计算机处理系统简介	(218)
第 9 章	实习电子产品	(221)
9.1	无线电收音机原理	(221)
9.2	晶体管超外差收音机	(222)
9.3	调频电路收音机	(240)
9.4	收音机的检修	(255)
第 10 章	常用电子仪器仪表的使用	(260)
10.1	万用表	(260)
10.2	交流毫伏表	(266)
10.3	示波器	(270)
10.4	信号发生器	(286)
附录 A	常用电气图形符号及说明	(294)
附录 B	电气图形符号国家标准汇总	(296)
附录 C	国内外部分电气图形符号对照表	(305)
	参考文献	(307)

第1章 用电常识

电子产品在国民经济各个领域中的应用愈来愈广泛。电子产品在通电的情况下才会正常工作,所以让我们先来认识一下电。

电是一种物理现象,是一种能量。它是自然界中四种基本相互作用之一,也是物理学研究中五类基本现象之一。电是个一般术语,包括了许多种由于电荷的存在或移动而产生的现象。这其中有许多很容易观察到的现象,像闪电、静电等;还有一些比较生疏的概念,像电磁场、电磁感应等。

人们对电现象的初步认识很早就有记载。在中国,古人认为电的现象是阴气与阳气相激而生成的。《说文解字》有“电,阴阳激耀也,从雨从申”。《字汇》有“雷从回,电从申。阴阳以回薄而成雷,以申泄而为电”。我国东汉时期的王充在《论衡》一书中提到“顿牟掇芥”等问题。顿牟就是琥珀,芥即籽菜,当琥珀或玳瑁壳经摩擦后,便能吸引轻小物体。书中还记述了以丝绸摩擦起电的现象。晋朝还有关于摩擦起电引起放电现象的记载,即“今人梳头,解著衣,有随梳解结,有光者,亦有声”。但古代,中国对于电并没有太多了解。在西方,早在公元前585年,古希腊哲学家 Thales 就已经发现了摩擦过的琥珀能吸引碎草等轻小物体。

在对电现象的早期研究中,最早进行系统研究的首推英国医生威廉·吉尔伯特。他通过大量的实验驳斥了许多关于电的迷信说法,并且发现不仅摩擦过的琥珀有吸引轻小物体的性质,其他物质比如金刚石、水晶、硫黄、硬树脂、明矾等也有这种性质,他把这种性质称为电性。1660年,马德堡的盖利克发明了第一台摩擦起电机,他用硫黄制成形如地球仪的可转动物体,用干燥的手掌擦着干燥的球体使之停止可获得电,盖利克的摩擦起电机经过不断改进,在静电实验中起着非常重要的作用。

18世纪中叶,电学实验逐渐普及,在法国和荷兰有不少人把公开表演实验作为娱乐。1731年,英国牧师格雷从实验中发现,由摩擦产生的电在玻璃和丝绸这类物体上可以保持下来而不流动;而有的物体如金属,它们不能由摩擦而产生电,但却可以用金属丝把房里摩擦产生的电引出来绕花园一周,在末端仍具有对轻小物体的吸引作用。他第一次分清了导体和绝缘体,并认为电是一种流体。电既是一种流体,而流体(比如水)是可以容器来蓄存的。1745年,德国牧师克莱斯脱,试用一根钉子把电引到瓶子里去,当他一手握瓶,一手摸钉子时,受到了明显的电击。1746年,荷

兰莱顿城莱顿大学的教授彼得·冯·慕欣布罗克无意中发现了同样的现象。就这样,慕欣布罗克公布了自己意外的发现:把带电的物体放进玻璃瓶里,就可以把电保存起来。这使电学史上第一个保存电荷的容器诞生了。它是一个玻璃瓶,瓶里瓶外分别贴有锡箔,瓶里的锡箔通过金属链跟金属棒连接,棒的上端是一个金属球,由于它是在莱顿城发明的,所以叫作莱顿瓶,这就是最初的电容器莱顿瓶。这很快在欧洲引起了强烈的反响,电学家们不仅利用它做了大量的实验,而且做了大量的示范表演,有人用它来点燃酒精和火药。其中最壮观的是法国人诺莱特在巴黎一座大教堂前所做的表演,他邀请了路易十五的皇室成员临场观看莱顿瓶的表演,他让七百名修道士手拉手排成一行,队伍全长达 900 英尺(约 275 m)。然后,诺莱特让排头的修道士用手握住莱顿瓶,让排尾的握瓶的引线,一瞬间,七百名修道士因受电击几乎同时跳起来,在场的人无不为之目瞪口呆,诺莱特以令人信服的证据向人们展示了电的巨大威力。莱顿瓶的发明使物理学第一次有办法得到很多电荷,并对其性质进行研究。1746 年,英国伦敦一名叫柯林森的物理学家,通过邮寄向美国费城的本杰明·富兰克林赠送了一只莱顿瓶,并在信中向他介绍了使用方法,这直接导致了 1752 年富兰克林著名的费城实验。他用风筝将“天电”引了下来,把天电收集到莱顿瓶中,从而明白了“天电”和“地电”原来是一回事。18 世纪后期,贝内特发明验电器,这种仪器一直沿用到现在,它可以近似地测量一个物体所带的电量。1785 年,库仑发明扭秤,用它来测量静电力,推导出库仑定律,并将这一定律推广到磁力测量上。科学家使用了验电器和扭秤后,静电现象的研究工作从定性走上了定量的道路。

富兰克林又做了多次实验,进一步揭示了电的性质,并提出了电流这一术语。电流现象的研究,对于人们深入研究电学和电磁现象有着重要的意义。最早开始电流研究的是意大利的解剖学教授伽伐尼。伽伐尼的发现源自于 1780 年的一次极为普通的闪电现象。闪电使伽伐尼解剖室内桌子上与连接在一起的钳子和镊子相接触的一只青蛙腿发生痉挛现象。严谨的科学态度,使他没有放弃对这个“偶然”的奇怪现象的研究。他花费了整整 12 年的时间,研究像青蛙腿这种肌肉运动中的电气作用。最后,他发现,如果使神经和肌肉同两种不同的金属接触,青蛙腿就会发生痉挛。这种现象是在一种电流回路中产生的。但是,伽伐尼对这种电流现象的产生原因仍然未能回答,他认为蛙腿的痉挛现象是“动物电”的表现,由金属丝构成的回路只是一个放电回路。

19 世纪末期,由于电机工程学的进步,电走进了工业和家庭里面。在这个电气研究的黄金时代,电气技术日新月异、连续不断的快速发展带给了工业和社会难以形容、无法想象的巨大改变。作为能源的一种供给方式,电所具有的多重优点,意味着电的用途几乎是无可限量的。例如,大众交通、取暖、照明、电讯、计算等,都必须以电为主要能源。进入 21 世纪,现代工业社会的骨干仍旧依赖着电能源。在可预见的未

来,电仍然是绿色科技的主角之一。

电的发现和应用极大地节省了人类的体力劳动和脑力劳动,加速了科学技术的发展,改变了生产和生活的面貌,使人类的信息触角不断延伸。电对人类生活的影响有两方面:能量的获取、转化和传输,电子信息技术的基础。但是它也很危险。了解用电安全的现状和发展趋势,分析新形势下触电事故的规律,研究传统的防触电技术措施在新形势下的应用,研究和推广用电安全新技术,对于提高用电安全水平是十分必要的。

1.1 电的危害

当发生用电事故时,不仅能引起直接人身伤害,还会引起火灾、爆炸,还可能损害设备。比如摩擦起电会引起电荷的积累,随着电荷不断积累到一定程度,会发生放电现象。在不同的场合会有不同的负面影响。如果在油气罐内摩擦起电,可能发生爆炸;电子设备中如有摩擦放电,则会产生干扰,甚至损坏电子元件;衣服上的静电积累,对人体也有危害。

1.1.1 人身伤害

生命的存在,让这个世界充满了生机和活力;当生命不存在时,就失去了世间一切存在的基础。人的生命是无价的,也是脆弱的。当使用电器设备时,保护人的生命是首要的。

1.1.1.1 触电伤害

人体的体电阻是能够导电的,只要有足够的电流流经人体就会对人造成伤害,这就是我们通常所说的触电。触电伤害的主要形式可分为电伤和电击两大类。

电伤是指电对人体外部造成局部伤害,即由电流的热效应、化学效应、机械效应对人体外部组织或器官的伤害,如电灼伤、金属溅伤、电烙印。

电伤的主要种类有以下几种。

(1)电烧伤。一般有接触灼伤和电弧灼伤两种。接触灼伤多发生在高压触电事故时通过人体皮肤的进出口处,灼伤处呈黄色或褐黑色并累及皮下组织、肌腱、肌肉、神经和血管,甚至使骨骼显碳化状态,一般治疗期较长,电弧灼伤多是由带负荷拉(合)刀闸,带地线合闸时产生的强烈电弧引起的,其情况与火焰烧伤相似,会使皮肤发红、起泡,组织烧焦并坏死。

(2)皮肤金属化。由于高温电弧使周围金属熔化、蒸发并飞溅渗透到皮肤表层所形成。皮肤金属化后,表面粗糙、坚硬。熔化的金属不同,皮肤会呈现特殊颜色:一般铅呈现灰黄色,紫铜呈现绿色,黄铜呈现蓝绿色。金属化后的皮肤经过一段时间能自

行脱离,不会有不良后果。此外,发生触电事故时,常常伴随高空摔跌,或由于其他原因造成纯机械性创伤。这虽与触电有关,但不属于电流对人体的直接伤害。

(3)电烙印。它发生在人体与带电体有良好接触,但人体不被电击的情况下,在皮肤表面留下和接触带电体形状相似的肿块瘢痕,一般不发炎或化脓。瘢痕处皮肤失去原有弹性、色泽,表皮坏死,失去知觉。

(4)机械性损伤。电流作用于人体时,由于中枢神经反射和肌肉强烈收缩等作用导致的机体组织断裂、骨折等伤害。

(5)电光眼。发生弧光放电时,由红外线、可见光、紫外线对眼睛的伤害。

电击是指电流通过人体内部器官,会破坏人的心脏、肺部、神经系统等,使人出现痉挛、呼吸窒息、心室纤维性颤动、心搏骤停甚至死亡。按照电气设备的状态,电击可分为直接接触电击和间接接触电击。前者是人体触及正常状态下带电的物体时发生的电击;后者是人体触及正常状态下不带电而故障状态下意外带电的物体时发生的电击。因此,前者又称为正常状态下的电击,后者又称为故障状态下的电击。

1.1.1.2 影响触电危害程度的因素

由于触电伤害事先根本无法预测,因此,一旦发生触电伤害,后果必然十分严重。影响触电伤害的主要因素有以下几个方面。

(1)电流大小

电流流经人体的大小直接关系到生命的安全,当电流小于 3 mA 时不会对人体造成伤害。通过人体的电流越大,人体的生理反应越明显,感觉越强烈,从而引起心室颤动所需的时间越短,致命的危险就越大。电流大小对人体的作用见表 1-1。

表 1-1 电流大小对人体的作用

电流(mA)	对人体的作用
< 0.7	无感觉
1	有轻微感觉
1~3	有刺激感,一般电疗仪器取此电流
3~10	有痛苦感,可自行摆脱
10~30	引起肌肉痉挛,短时间无危险,长时间有危险
30~50	强烈痉挛,时间超过 60 s 即有生命危险
50~250	产生心脏室性纤颤,丧失知觉,严重危害生命
> 250	短时间内(1 s 以上)造成心搏骤停、体内电灼伤

(2)人体电阻

人体触电时,流过人体的电流(当接触电压一定时)由人体的电阻值决定。人体

电阻越小,流过人体的电流越大,人体也就越危险。人体电阻主要包括人体内部电阻和皮肤电阻,而人体内部电阻是固定不变的,并与接触电压和外界条件无关,约为 $500\ \Omega$ 。皮肤电阻一般指手和脚的表面电阻,它随皮肤表面干湿程度及接触电压而变化。皮肤干燥时电阻可呈 $100\ \text{k}\Omega$ 以上,而一旦潮湿,电阻可降到 $1\ \text{k}\Omega$ 以下。人体电阻还是一个非线性电阻,它随人体间的电压变化而变化。从表 1-2 中可以看出,人体电阻阻值随电压的升高而减小。

表 1-2 电压对人体电阻的影响

电压(V)	12	31	62	125	220	380	1 000
电阻(k Ω)	16.5	11	6.24	3.5	2.2	1.47	0.64
电流(mA)	0.8	2.8	10	35	100	268	1 560

(3) 电流种类和频率

电流种类不同对人体造成的损伤也不同。交流会造成电伤和电击同时发生,而直流电一般只引起电伤。电流的高频集肤效应使得高频情况下电流大部分流经人体表皮,避免了内脏的伤害,所以生命危险小些。但是集肤效应会导致表皮严重烧伤。频率在 $40\sim 100\ \text{Hz}$ 的交流电对人体最危险。当交流电频率为 $20\ 000\ \text{Hz}$ 时对人体危害很小。

(4) 电流作用时间

电流对人体的伤害程度同其作用时间的长短密切相关。随着电流通过人体时间的延长,对人体组织的破坏更加厉害,后果更为严重。我们知道电流与时间的乘积也称为电击强度,用来表示电流对人体的危害。触电保护器的一个重要技术参数就是额定断开时间与漏电电流的乘积应小于 $30\ \text{mA}\cdot\text{s}$ 。

(5) 电压

当人体电阻一定时,作用于人体的电压越高,通过的电流越大,对人体危害更为严重。 $36\ \text{V}$ 加在人身上会产生 $0.1\ \text{A}$ 左右的电流,这样人体肌肉就不能受人体控制,永远处于收缩状态,心脏和呼吸肌不受控制,人就会死亡。允许接触电压和人体阻抗有关。关于人体阻抗的条件分类,国际电工委员会(IEC)所属建筑电气设备专门委员会将其分为3类。第1类是指住宅、工厂、办公室等一般场所,人体皮肤是干燥状态或因出汗呈潮湿状态,在接触电压作用下发生危险的可能性较高,这时取人体阻抗为 $1\ 000\ \Omega$,设定通过人体电流为 $50\ \text{mA}$,则 $50\ \text{mA}$ 与 $1\ 000\ \Omega$ 的乘积为 $50\ \text{V}$,即此接触状态时的允许接触电压。中国、西欧及其他多数国家的安全电压采用此值。第2类是指人在隧道、涵洞和矿井下等高度潮湿的场所,人体出汗或因工作环境影响使皮肤受潮,经常还会发生双手与双脚接触凝露的电气设备金属外壳或构架等情况。这时,皮肤潮湿而使皮肤阻抗低到可以认为接近于零(即可忽略其皮肤阻抗),人体电

阻仅剩 $500\ \Omega$ 体内阻抗。假设通过人体内部电流为 $50\ \text{mA}$ ，则 $50\ \text{mA}$ 和 $500\ \Omega$ 的乘积为 $25\ \text{V}$ 。现国际上对于允许接触电压按人体阻抗的条件进行分类时，将 $25\ \text{V}$ 作为其中的一个等级，该值接近于国家标准 GB 3805—83《安全电压》等级分类中的 $24\ \text{V}$ 。第 3 类是指人在游泳池、水槽或水池中，人体大部分浸入水里，皮肤完全浸透，这时体内阻抗基本上为 $500\ \Omega$ ，同时考虑有导致溺死的二次事故的危险，所以允许通过人体的电流应为摆脱阈，这样，允许的接触电压为 $0.01 \times 500 = 5\ \text{V}$ ，这与 GB 3805—83 中规定的安全电压 $6\ \text{V}$ 相近。如果不考虑导致二次事故的场所，则可采用 $12\ \text{V}$ 的允许接触电压。

(6) 电流通过的途径

电流通过人体的头部会使人立即昏迷，甚至死亡；电流通过脊髓，会使人半截肢体瘫痪；电流通过中枢神经或有关部位，会引起中枢神经系统强烈失调而导致死亡；电流通过心脏会引起心室颤动，致使心脏停止跳动，造成死亡。因此，电流通过心脏呼吸系统和中枢神经时，危险性最大。

(7) 人体健康状况

试验和分析表明，电击危害与人体状况有关。女性对电流较男性敏感，女性的感知电流和摆脱电流均约为男性的 $2/3$ ；儿童对于电流较成人敏感；体重小的人对于电流较体重重大的人敏感；患有心脏病等疾病遭受电击的危险性较大，而健壮的人遭受电击的危险性较小。

1.1.1.3 触电的形式

按照人体触及带电体的方式和电流流过人体的途径，电击可分为低压触电和高压触电。其中低压触电可分为单线触电和双线触电，高压触电可分为高压电弧触电和跨步电压触电。

(1) 单线触电

当人体直接碰触带电设备其中的一线时，电流通过人体流入大地，这种触电现象称为单线触电。对于高压带电体，人体虽未直接接触，但由于超过了安全距离，高电压对人体放电，造成单相接地而引起的触电，也属于单线触电。低压电网通常采用变压器低压侧中性点直接接地和中性点不直接接地（通过保护间隙接地）的接线方式。

(2) 双线触电

人体同时接触带电设备或线路中的两相导体，或在高压系统中，人体同时接近不同相的两相带电导体，而发生电弧放电，电流从一相导体通过人体流入另一相导体，构成一个闭合电路，这种触电方式称为双线触电。发生双线触电时，作用于人体上的电压等于线电压，这种触电是最危险的。

(3) 高压电弧触电

高压电弧触电是指人靠近高压线（高压带电体），造成弧光放电而触电。电压越

高,人身的危险性越大。干电池的电压只有 1.5 V,对人不会造成伤害;家庭照明电路的电压是 220 V,就已经很危险了;高压输电线路的电压高达几万伏甚至几十万伏,即使不直接接触,也能使人致命。弧光放电是指,由于电压过高,即使不接触高压输电线路,在接近过程中人会看到一瞬的闪光(即弧光),并被高压击倒触电受伤或死亡。

(4) 跨步电压触电

当电气设备发生接地故障,接地电流通过接地体向大地流散,在地面上形成电位分布时,若人在接地短路点周围行走,其两脚之间的电位差就是跨步电压。由跨步电压引起的人体触电,称为跨步电压触电。跨步电压的大小受接地电流大小、鞋和地面特征、两脚之间的跨距、两脚的方位,以及离接地点的远近等很多因素的影响。人的跨距一般按 0.8 m 考虑。由于跨步电压受很多因素的影响以及地面电位分布的复杂性,几个人在同一地带(如同一棵大树下或同一故障接地点附近)遭到跨步电压电击时,完全可能出现截然不同的后果。

下列情况和部位可能发生跨步电压电击:带电导体,特别是高压导体故障接地处,流散电流在地面各点产生的电位差造成跨步电压电击;接地装置流过故障电流时,流散电流在附近地面各点产生的电位差造成跨步电压电击;正常时有较大工作电流流过的接地装置附近,流散电流在地面各点产生的电位差造成跨步电压电击;防雷装置接受雷击时,极大的流散电流在其接地装置附近地面各点产生的电位差造成跨步电压电击;高大设施或高大树木遭受雷击时,极大的流散电流在附近地面各点产生的电位差造成跨步电压电击。

1.1.2 电气火灾

电气火灾一般是指由于电气线路、用电设备、器具和供配电设备出现故障性释放的热能(如高温、电弧、电火花)以及非故障性释放的能量(如电热器具的炽热表面),在具备燃烧条件下引燃本体或其他可燃物而造成的火灾,也包括由雷电和静电引起的火灾。

1.1.2.1 电气火灾的分类

电气火灾主要包括以下四个方面。

(1) 漏电火灾

所谓漏电,就是线路的某一个地方因为某种原因(自然原因或人为原因,如风吹雨打、潮湿、高温、碰压、划破、摩擦、腐蚀等)使电线或支架材料的绝缘能力下降,导致电线与电线之间、导线与大地之间(电线通过水泥墙壁的钢筋、马口铁皮等)有一部分电流通过,这种现象就是漏电。当漏电发生时,漏泄的电流在流入大地途中,如遇电阻较大的部位,会产生局部高温,致使附近的可燃物着火,从而引起火灾。此外,在漏

电点产生的漏电火花,同样也会引起火灾。

(2) 短路火灾

电气线路中的裸导线或绝缘导线的绝缘体破损后,火线与邻线,或火线与地线(包括接地从属于大地)在某一点碰在一起,引起电流突然大量增加的现象就叫短路,俗称碰线、混线或连电。由于短路时电阻突然减小,电流突然增大,其瞬间的发热量也很大,大大超过了线路正常工作时的发热量,并在短路点易产生强烈的火花和电弧,不仅能使绝缘层迅速燃烧,而且能使金属熔化,引起附近的易燃/可燃物燃烧,造成火灾。

(3) 过负荷火灾

所谓过负荷是指当导线中通过电流超过了安全载流量时,导线的温度不断升高,这种现象就叫导线过负荷。当导线过负荷时,会加快导线绝缘层老化变质。当严重过负荷时,导线的温度会不断升高,甚至会引引起导线的绝缘层发生燃烧,并能引燃导线附近的可燃物,从而造成火灾。

(4) 接触电阻过大火灾

凡是导线与导线及导线与开关、熔断器、仪表、电气设备等连接的地方都有接头,在接头的接触面上形成的电阻称为接触电阻。当有电流通过接头时会发热,这是正常现象。如果接头处理良好,接触电阻不大,则接头点的发热就很少,可以保持正常温度。如果接头中有杂质,连接不牢靠或其他原因使接头接触不良,造成接触部位的局部电阻过大,当电流通过接头时,就会在此处产生大量的热,形成高温,这种现象就是接触电阻过大。在有较大电流通过的电气线路上,如果在某处出现接触电阻过大这种现象,就会在接触电阻过大的局部范围内产生极大的热量,使金属变色甚至熔化,引起导线的绝缘层发生燃烧,并引燃附近的可燃物或导线上积落的粉尘、纤维等,从而造成火灾。

1.1.2.2 电气火灾的特点

(1) 季节性特点

电气火灾多发生在夏、冬季。一是因夏季风雨多,当风雨侵袭,架空线路发生断线、短路、倒杆等事故,引起火灾;露天安装的电气设备(如电动机、闸刀开关、电灯等)淋雨进水,使绝缘受损,在运行中发生短路起火;夏季气温较高,对电气设备发热有很大影响,一些电气设备,如变压器、电动机、电容器、导线及接头等在运行中发热温度升高就会引起火灾。二是因冬季天气寒冷,如架空线路受风力影响,发生导线相碰放电起火;大雪、大风造成倒杆、断线等事故;使用电炉或大灯泡取暖,使用不当,烤燃可燃物引起火灾;冬季空气干燥,易产生静电而引起火灾。

(2) 时间性特点

许多火灾往往发生在节假日或夜间。由于有的电气操作人员思想不集中,疏忽

大意,在节假日或下班之前,对电气设备及电源不进行妥善处理,便仓促离去;也有因临时停电不切断电源,待供电正常后引起失火。失火后,往往由于节假日或夜间现场无人值班,难以及时发现,火势蔓延扩大成灾。

1.1.3 雷电的危害

雷电是伴有闪电和雷鸣的一种雄伟壮观而又令人生畏的放电现象。产生雷电的条件是雷雨云中有电荷积累并形成极性。受害者有 2/3 以上是在户外受到袭击。他们每三个人中有两人幸存。在闪电击死的人中,85% 是女性,年龄大都在 10 岁至 35 岁之间。死者以在树下避雷雨的最多。

中国是一个多自然灾害的国家,这跟地理位置有着不可分割的关系。雷电灾害在中国也有不少,最为严重的是广东省南部地区,因为这些地方大气层位置比较低。在东莞地区,每年都会发生多起雷电伤人事件,是中国乃至全世界雷电受灾重区之一。

雷电分为接触电荷和感应电荷。

(1)接触电荷:在强大的积雨云层中,由于电荷不断积累,形成了强大的静电高压电场。在电场力作用下,地面上的高大物体形成尖端放电,以卸载电荷。在这种情况下,云层携带的是正电荷,大地携带的是负电荷。当正负电荷相互碰撞时,就会形成瞬间的中和反应,这也叫直击雷。

(2)感应电荷:在云层放电的瞬间,形成强大的电磁转换,这种强大的电磁场就会在地球表面的金属导体上形成感应电荷。这种感应电荷会在瞬间积累,构成高压电场放电,从而导致通信网络和电气设备瞬间被击毁。

雷电会给人类生活造成巨大的破坏,每年的雷雨季节给人类造成的直接经济损失就高达数亿美元,每年被雷电击中死亡的人和其他动物数量高得惊人,而且这个数量还在不断攀升。雷电对人体的伤害主要包括两个类型。

(1)直击雷:当人遭到雷击的一瞬间,强大的电流会迅速通过人体,严重者可导致心跳停止、肺功能衰竭、脑组织缺氧而死亡。另外,雷击产生的高温弧光也会形成人体不同程度的皮肤灼伤和碳化。人体遭雷电击伤,会形成树枝状的雷击纹理,致使皮肤剥脱和出血,也可造成耳鼓和内脏破裂等。另外,据不完全统计,在每年的雷雨季节中,世界上所发生的雷击高达 1 700 次左右,全世界每年大概有数千人遭受雷击。在比较平坦的地形上,30 m 左右高的建筑物平均每年就会被击中 1 次;每座数十米及以上的高层建筑物,如广播或电视塔,每年会被击中 20 次左右,每次雷击所产生的高电压达 6 亿 V 左右。如果没有避雷设备,这些建筑物早就被毁掉了。从云层到地面的闪电雷击,包含了在 50 ms 左右间隔内的发生次数,也就是 4 次左右的独立雷击次数。第一次的雷击峰值电流大约在 2 万 A,而后续雷击的电流峰值则会减半,最后

一次雷击很可能产生大约 140 A 的持续电流,其持续的时间可长达数十毫秒。

(2)雷电感应:是在雷电感应过程中产生的强大瞬间电磁场,这种强大的感应磁场,可在地面金属网络中产生感应电荷。包括有线、无线通信网络,电力输电网络和其他金属材料制成的线路系统。高强度的感应电荷会在这些金属网络中形成强大的瞬间高压电场,从而形成对用电设备的高压弧光放电,最终会导致电气设备烧毁。尤其对电子等弱电设备的破坏最为严重,如电视机、电脑、通信设备、办公设备等。每年,被感应雷电击毁的用电设备事故达千万件以上。这种高压感应电也会对人身造成伤害。

在 20 世纪 80 年代的中国,由于电视刚刚普及,电视天线的高度大都在 10 m 左右,有的还不到 10 m。这样的天线高度在平原区是常见的,而四周的高大物体也是非常多的,主要包括树木、高层建筑、水塔、市电网络等。鉴于民用电视天线的高度,其遭受直击雷的概率是很低的。一次偶然的强雷电,让人们了解到了由强雷电而引起的瞬间强磁电转换过程。这次事故现场电视天线的高度为 6 m 左右,不超过四周的近距离建筑物高度和树木的高度。树木的高度为 10 m,建筑物高度为 8 m,积雨云层距地面电视天线的高度为 300 m 以上,距强雷电发生的距离为 1 000 m。入室的电视天线和电视电源插头已拔掉,天线接头距离电视接线端子为 20 cm 左右,电视天线的馈线长度不超过 20 m,天线接收器为一般简易的民用振子天线。一道闪光过后,巨大的雷从 1 000 m 的高空炸起,此时只听电视机后面“啪”的一声,一道弧光闪过。近前一看,电视天线与电视机的各接线端头都被高压电弧烧毁了。当时屋里所有的人都被这突然的放电声吓了一跳,庆幸距离电视机较远,不然后果不堪设想。1 万 V 高压静电能击穿 1 cm 的干燥空气介质,按天线接头距离电视接线端子 20 cm 的距离来计算,需要 200 kV 高电压才能击穿。由于当时是雷雨天气,屋里的空气湿度较大,击穿 1 cm 空气介质的电压应在 5 kV 左右,即使这样击穿 20 cm 空气介质的电压也要在 100 kV 左右。上述的数据只是粗略的计算,在 20 m 长的金属导体上究竟能产生多高的磁感应电荷,还要进行进一步的研究工作。

雷电是一种强大的电脉冲波,也会形成强脉冲磁场。强雷电是一把双刃剑,可以给人类带来灾难,也可以带来福音。人体是电的导体,强磁场会在人体中产生瞬间的感应电流而流通人体的所有经络;人体也是一个电磁源,外界各种不同强度、频率和波长的电磁场都会对人体产生影响。适合的强电磁脉冲辐射会促进人体病灶激发转换,也会使人体产生特殊功能,这就是现代哲学思想。较强的静态磁场会促进人体脑电波的强化,从而构成大脑潜意识的不同联想思维,改变原有的机体功能。由磁场影响而产生的幻觉可改变人的潜意识思维状态,改变大脑日常较强的暗示指令意识,使人产生错误的行为,甚至走上犯罪道路。

1.1.4 静电的危害

静电是一种处于静止状态的电荷。在干燥和多风的秋天,在日常生活中,人们常常会碰到这种现象:晚上脱衣服睡觉时,黑暗中常听到“噼啪”的声响,而且伴有蓝光;见面握手时,手指刚一接触到对方,会突然感到指尖针刺般刺痛,令人大惊失色;早上起来梳头时,头发会经常“飘”起来,越理越乱;拉门把手、开水龙头时都会“触电”,时常发出“啪、啪”的声响,这就是发生在人体的静电。

1.1.4.1 对工业的危害

静电的产生在工业生产中是不可避免的,其造成的危害主要可归结为以下两种。

(1)第一种危害来源于带电体的相互作用。在飞机机体与空气、水汽、灰尘等微粒摩擦时会使飞机带电,如果不采取措施,将会严重干扰飞机无线电设备的正常工作,使飞机变成聋子和瞎子;在印刷厂里,纸页之间的静电会使纸页黏合在一起,难以分开,给印刷带来麻烦;在制药厂里,由于静电吸引尘埃,会使药品达不到标准的纯度;在播放电视时,荧屏表面的静电容易吸附灰尘和油污,形成一层尘埃的薄膜,使图像的清晰程度和亮度降低;混纺衣服上常见而又不易拍掉的灰尘,也是静电捣的鬼。

(2)静电的第二大危害,是有可能因静电火花点燃某些易燃物体而发生爆炸。漆黑的夜晚,人们脱尼龙、毛料衣服时,会产生火花并发出“噼啪”的响声,这对人体基本无害。但在手术台上,电火花会引起麻醉剂的爆炸,伤害医生和病人;在煤矿,则会引起瓦斯爆炸,会导致工人死伤、矿井报废。总之,静电危害起因于静电力和静电火花,静电危害中最严重的静电放电会引起可燃物的起火和爆炸。人们常说防患于未然,防止产生静电的措施一般有:降低流速和流量、改造起电强烈的工艺环节、采用起电较少的设备材料等。最简单又最可靠的办法是用导线把设备接地,这样可以把电荷引入大地,避免静电积累。细心的乘客大概会发现,在飞机的两侧翼尖及飞机的尾部都装有放电刷,飞机着陆时,为了防止乘客下飞机时被电击,飞机起落架上大都使用特制的接地轮胎或接地线,以泄放掉飞机在空中所产生的静电荷。我们还经常看到油罐车的尾部拖一条铁链,这就是车的接地线。适当增加工作环境的湿度,让电荷随时放出,也可以有效地消除静电。潮湿的天气里不容易做好静电试验,就是这个道理。科研人员研究的抗静电剂,能很好地消除绝缘体内部的静电。然而,任何事物都有两面性。对于静电这一隐蔽的捣蛋鬼,只要摸透了它的脾气,扬长避短,也能让它为人类服务。比如,静电印花、静电喷涂、静电植绒、静电除尘和静电分选技术等,已在工业生产和生活中得到广泛应用。静电也开始在淡化海水、喷洒农药、人工降雨、低温冷冻等许多方面大显身手,甚至在宇宙飞船上也安装有静电加料器等静电装置。

静电的危害有目共睹,现在越来越多的厂家已经开始实施各种程度的防静电措施和工程。但是要认识到,完善有效的防静电工程要依照不同企业和不同作业对象