



职业教育示范性规划教材

电子装配工艺实训

——项目教程

主 编 张 越 刘海燕
副主编 唐国忠 张 超 岳 毅 吴荣祥



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

本书配有
电子教案



<http://www.phei.com.cn>

职业教育示范性规划教材

电子装配工艺实训

——项目教程

主 编 张 越 刘海燕

副主编 唐国忠 张 超 岳 毅 吴荣祥

主 审 陈 晖

電子工業出版社·

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以《电子设备装接工国家职业标准》(中级)为依据,以电子基本技能工作过程为基础,从电子产品生产企业的工作实际出发进行编写,全书分为八个项目:安全生产与岗位规范、电子元器件的识别与检测、焊接工艺、印制电路板制作工艺、整机装配与调试工艺,以及直流可调稳压电源、超外差收音机和数字万用表的组装与调试。本书既能使读者掌握生产操作中所涉及的基本知识与技能,又能让读者站在工艺工程师和工艺管理人员的角度认识电子产品生产的全过程。

全书采用项目式编排,突出教、学、做三位一体。为便于教学,本书配有电子教学参考资料包。

本书可作为职业学校相关专业的通用教材,也可作为相关企业人员和工程技术人员的培训教材及技术参考书,还可作为电子爱好者的自学读物。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电子装配工艺实训项目教程 / 张越, 刘海燕主编. —北京: 电子工业出版社, 2013.1
职业教育示范性规划教材
ISBN 978-7-121-19361-3

I. ①电… II. ①张… ②刘… III. ①电子设备—装配(机械)—高等职业教育—教材 IV. ①TN805

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 311862 号

策划编辑: 靳 平

责任编辑: 张 京

印 刷: 北京市李史山胶印厂

装 订: 北京市李史山胶印厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 14.75 字数: 377.6 千字

印 次: 2013 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 28.60 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

职业教育示范性规划教材

编 审 委 员 会

主 任：程 周

副主任：过幼南 李乃夫

委 员：（按姓氏笔画排序）

王国玉 王秋菊 王晨炳

王增茂 刘海燕 纪青松

张 艳 张京林 李山兵

李中民 沈柏民 杨 俊

陈杰菁 陈恩平 周 烨

赵俊生 唐 莹 黄宗放

出版说明

为进一步贯彻教育部《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020）》的重要精神，确保职业教育教学改革顺利进行，全面提高教育教学质量，保证精品教材走进课堂，我们遵循职业教育的发展规律，本着“着力推进教育与产业、学校与企业、专业设置与职业岗位、课程教材与职业标准、教学过程与生产过程的深度对接”的出版理念，经过课程改革专家、行业企业专家、教研部门专家和教学一线骨干教师共同努力，开发了这套职业教育示范性规划教材。

本套教材采用项目教学和任务驱动教学法的编写模式，遵循真正项目教学的内涵，将基本知识和技能实训融合为一体，且具有如下鲜明特色。

（1）面向职业岗位，兼顾技能鉴定

本系列教材以就业为导向，根据行业专家对专业所涵盖职业岗位群的工作任务和职业能力进行分析，以本专业共同具备的岗位职业能力为依据，遵循学生的认知规律，紧密结合职业资格证书中的技能要求，确定课程的项目模块和教材内容。

（2）注重基础，贴近实际

在项目的选取和编制上充分考虑了技能要求和知识体系，从生活、生产实际引入相关知识，编排学习内容。项目模块下分解设计成若干任务，任务主要以工作岗位群中的典型实例提炼后进行设置，注重在技能训练过程中加深对专业知识、技能的理解和应用，培养学生的综合职业能力。

（3）形式生动，易于接受

充分利用实物照片、示意图、表格等代替枯燥的文字叙述，力求内容表达生动活泼、浅显易懂。丰富的栏目设计可加强理论知识与实际生活生产的联系，提高了学生学习的兴趣。

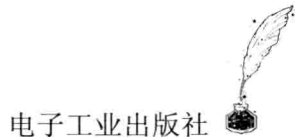
（4）强大的编写队伍

行业专家、职业教育专家、一线骨干教师，特别是“双师型”教师加入编写队伍，为教材的研发、编写奠定了坚实的基础，使本系列教材符合职业教育的培养目标和特点，具有很高的权威性。

（5）配套丰富的数字化资源

为方便教学过程，根据每门课程的内容特点，对教材配备相应的电子教学课件、习题答案与指导、教学素材资源、教学网站支持等立体化教学资源。

职业教育肩负着服务社会经济和促进学生全面发展的重任。职业教育改革与发展的过程，也是课程不断改革与发展的历程。每一次课程改革都推动着职业教育的进一步发展，从而使职业教育培养的人才规格更适应和贴近社会需求。相信本系列教材的出版对于职业教育教学改革与发展会起到积极的推动作用，也欢迎各位职教专家和老师对我们的教材提出宝贵的建议，联系邮箱：jinping@phei.com.cn。



前 言

“电子产品装配与调试技术”是电子产品制造与维修领域从业人员必备的一项基本技能，职业学校的电子信息类、机电类等相关专业均开设了以“电子装接工艺实训”为主要内容的课程。该课程作为一门实践性很强的通用技能课程，对培养学生的操作技能和综合职业能力具有举足轻重的作用。

为便于教学，我们依据《电子设备装接工国家职业标准》（中级），结合电子产品生产企业工作实际和多年来的教学实践，按照项目教学法的理念编写了《电子装配工艺实训——项目教程》一书。

本书围绕电子及相关专业的学生操作技能和综合职业能力的培养，按照“项目引领、任务驱动，技能先行、知识跟进”的思路展开编写工作，突出“做中学，做中教”的职业教育特色，力求实现教、学、做三位一体。对每个项目的选取和设计，都力求激发读者的学习兴趣，增强学习信心，使读者在完成项目的过程中不断感受到成功的快乐。每个项目的基本架构包括项目说明、项目要求、项目计划、项目实施和项目小结五部分。在“项目实施”中，根据项目的具体情况设计了若干任务，每个任务包括“操作”、“相关知识”、“任务评价”三个板块。

本书所选取的内容基本符合《电子设备装接工国家职业标准》（中级）的要求。主要内容包括安全生产与岗位规范、电子元器件的识别与检测、焊接工艺、印制电路板制作工艺、整机装配与调试工艺，以及组装直流可调稳压电源、超外差收音机和数字万用表等。读者通过学习和实际操作，既能掌握生产操作中所涉及的基本知识与技能，又能站在工艺工程师和工艺管理人员的角度认识电子产品生产的全过程。

本书由石家庄第二职业中专张越和江苏泰兴中等专业学校刘海燕老师担任主编，唐国忠、张超、岳毅、吴荣祥担任副主编。参加编写的还有石家庄第二职业中专李传波、李宇鹏、赵全红老师，以及江苏泰兴中等专业学校殷美老师。中国电子科技集团公司第五十四研究所副总工程师陈晖研究员担任主审。

在本书编写过程中，参考和借鉴了许多公开出版和发表的文献，还参考了电子制作套件生产企业的技术资料和网络文章，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中错误与不足在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

项目一 安全生产与岗位规范	1
【项目说明】	1
【项目要求】	1
【项目计划】	1
【项目实施】	1
任务1 安全生产培训	1
任务2 静电防护培训	6
任务3 5S 管理培训	11
【项目小结】	15
项目二 电子元器件的识别与检测	16
【项目说明】	16
【项目要求】	16
【项目计划】	16
【项目实施】	16
任务1 正确使用万用表	16
任务2 电阻器的识别与检测	20
任务3 电容器的识别与检测	39
任务4 电感器的识别与检测	48
任务5 二极管的识别与检测	57
任务6 三极管的识别与检测	66
任务7 场效应管的识别与检测	74
任务8 晶闸管的识别与检测	78
任务9 单结晶体管的识别与检测	81
任务10 集成电路的识别与检测	83
任务11 机电元件的识别与检测	89
任务12 其他元器件的识别与检测	97
【项目小结】	110
项目三 焊接工艺	112
【项目说明】	112
【项目要求】	112
【项目计划】	112
【项目实施】	112
任务1 焊接材料和工具的选用	112



任务2 手工焊接与拆焊训练	119
任务3 自动焊接技术	134
【项目小结】	140
项目四 印制电路板制作工艺	142
【项目说明】	142
【项目要求】	142
【项目计划】	142
【项目实施】	142
任务1 认识印制电路板	142
任务2 印制电路板的设计	146
任务3 印制电路板的制作	152
【项目小结】	156
项目五 整机装配与调试工艺	157
【项目说明】	157
【项目要求】	157
【项目计划】	157
【项目实施】	157
任务1 实地考察电子装配生产线	157
任务2 印制电路板的组装	160
任务3 整机总装	170
任务4 整机调试、老化试验与质量检查	177
【项目小结】	180
项目六 组装直流可调开关稳压电源	182
【项目分析】	182
【项目要求】	182
【项目计划】	182
【项目实施】	182
任务1 识读工艺文件	182
任务2 安装与调试	186
【项目小结】	194
项目七 组装超外差收音机	195
【项目分析】	195
【项目要求】	195
【项目计划】	195
【项目实施】	195
任务1 识读工艺文件	195
任务2 安装与调试	201
【项目小结】	211
项目八 组装数字万用表	212
【项目分析】	212

【项目要求】	212
【项目计划】	212
【项目实施】	212
任务 1 识读工艺文件	212
任务 2 安装与调试	221
【项目小结】	223

项目一

安全生产与岗位规范

【项目说明】

每个企业都希望拥有一支高素质的员工队伍，每个人都想通过自身努力得到别人的认可、实现自己的梦想。作为一名新入职的员工，接受岗前培训是必不可少的一个重要环节，是新员工职业生涯的起点，岗前培训意味着新员工必须放弃某些理念、价值观念和行为习惯，适应新组织的要求和目标，学习新的工作准则和工作行为。通过岗前培训，使新员工了解企业的基本情况、业务范围、规章制度、企业文化，熟悉工作环境、操作规程、工艺流程和工艺标准，掌握必要的知识和技能。

本项目根据电子产品生产企业对从业人员的岗位要求，安排了安全生产、静电防护、5S 管理等方面的培训内容，关于知识与技能的培训将在后续项目中陆续展开。

【项目要求】

1. 了解引起触电伤害的主要因素。
2. 掌握安全用电操作方法和要求，以及触电急救措施。
3. 了解并掌握电子生产企业静电防护的基本要求和措施。
4. 能按照 5S 管理的要求规范日常工作。

【项目计划】

时间：8 课时。

地点：教室、实训室。

方法：在认真阅读本项目提供的相关素材的基础上，借助网络等方式搜集、查询资料，并分小组讨论、整理成 PPT 文件，以小组为单位展示成果，进行组间交流。教师点评、讲解、示范、归纳。之后安排学生到实训室或车间模拟训练。

【项目实施】



任务 1 安全生产培训

操作：按照表 1-1-1 所列的实施步骤和要求，完成安全用电及应急救援的相关任务。



表 1-1-1 安全生产培训的步骤和要求

任务实施步骤	任务实施要求
1. 了解电子产品生产企业安全用电的有关规定和操作规程	以小组为单位采取多种方法熟悉安全用电的相关要求
2. 实地了解实训室和实习场地安全用电的防护措施	熟悉实训场地的用电防护措施, 找出还有哪些不够完善的地方, 提出改进办法
3. 掌握简单的触电急救方法	模拟演练触电急救的基本要领

相关知识

安全是人们从事各种工作、学习及生活的基本保障。《中华人民共和国安全生产法》中明确规定, 我国的生产安全管理工作必须坚持“安全第一, 预防为主, 综合治理”的方针, 所有生产经营单位在组织生产过程中, 必须把保护人的生命的安全放在第一位。同时规定, 从业人员必须严格遵守安全生产规章制度和操作规程。安全生产的内容包括许多方面, 就电子产品生产企业而言, 安全用电是一项重要内容。加强安全用电教育, 使员工掌握安全用电常识, 是防止安全事故发生的有效措施。

电是生产、生活中不可缺少的二次能源。电也是无情的, 一旦受其伤害, 生存的概率非常小。因此, 正确用电是企业安全生产工作中的重要环节。

一、触电伤害

人体是导体, 当人体接触到具有不同电位的两点时, 由于电位差的作用, 就会在人体内形成电流。当有足够(大于 3mA)的电流流经人体时, 就会对人造成伤害, 这种现象就是触电。

1. 触电伤害的分类

触电事故分为两类, 即电击和电伤。

① 电击: 是指电流通过人体时所造成的内部伤害, 是最危险的一种伤害, 绝大多数(大约 85%以上)的触电死亡事故都是由电击造成的。它会破坏人的心脏、呼吸及神经系统的正常工作, 甚至危及生命。在低压系统通电电流不大且时间不长的情况下, 电流引起人的心室颤动, 是电击致死的主要原因; 在通过电流较小但通电时间较长的情况下, 电流会造成人体窒息而导致死亡。日常所说的触电事故多指电击。

按照发生电击时电气设备的状态不同, 电击可分为直接接触电击和间接接触电击。

- 直接接触电击: 直接接触电击是触及设备和线路正常运行时的带电体发生的电击, 也称为正常状态下的电击。直接接触电击多数发生在误触相线、刀闸或其他设备带电部分等情况下。
- 间接接触电击: 间接接触电击是触及正常状态下不带电, 而当设备或线路故障时意外带电的导体而发生的电击, 也称为故障状态下的电击。间接接触电击大都发生在大风刮断架空线或接户线后, 搭落在金属物或广播线上, 相线和电杆拉线搭连, 电动机等用电设备的线圈绝缘损坏而引起外壳带电等情况下。

② 电伤是电流的热效应、化学效应或机械效应对人体造成的局部伤害, 包括电弧烧伤、烫伤、电烙印、皮肤金属化、电气机械性伤害、电光眼等不同形式的伤害。

由于事先根本无法预测触电伤害, 因此, 一旦发生触电伤害, 后果将十分严重。从许多触电事故来看, 电击和电伤这两种形式的伤害会同时存在。



2. 影响触电伤害的主要因素

(1) 电流大小

流经人体的电流大小直接关系到生命的安全,当电流小于 3mA 时不会对人体造成伤害,人类利用安全电流的刺激作用制造医疗仪器就是最好的证明。电流对人体的作用见表 1-1-2。

表 1-1-2 电流对人体的作用

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 60s 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 (1s 以上) 造成心脏骤停、体内电灼伤

(2) 人体电阻

人体电阻是一个不确定的电阻,它随皮肤的干燥程度不同而不同,皮肤干燥时电阻可呈 100kΩ 以上,而一旦潮湿,电阻可降到 1kΩ 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 1-1-3 中可以看出,人体电阻阻值随电压的升高而减小。

表 1-1-3 人体电阻与电压、电流的关系

电压 (V)	12	31	62	125	220	380	1000
电阻 (kΩ)	16.5	11	6.24	3.5	2.2	1.47	0.64
电流 (mA)	0.8	2.8	10	35	100	268	1560

(3) 电流种类

电流的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。频率在 40~100Hz 的交流电对人体最危险,日常使用的市电频率为 50Hz,就在这个危险频率范围内,因此特别要注意用电安全。当交流电频率为 20000Hz 时对人体危害很小,一般的理疗仪器采用的就是接近 20000Hz 而偏离 100Hz 较远的频率。

(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。电流强度与时间的乘积称为电击强度,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流的乘积应小于 30mA·s,实际使用的产品可以达到小于 3mA·s,因此能有效防止触电事故的发生。

二、触电事故的种类和规律

1. 触电事故的种类

按照人体触及带电体的方式和电流通过人体的途径,触电可分为以下三种情况。



① 单相触电是指人体在地面或其他接地导体上,人的某一部位触及一相带电体的触电事故。是触电事故中发生最多的一种。

② 两相触电是指人体同时触及两相带电体的触电事故。其危险性一般比较大。

③ 跨步电压触电是指人在接地点附近,由两脚之间的跨步电压引起的触电事故。高压故障接地处,或者大电流流过的接地装置附近,都可能发生跨步电压触电。

2. 发生触电事故的规律

触电事故发生十分突然,而且在极短时间内造成不可挽回的后果。从其发生率来看,触电事故有以下规律。

① 6~9 月触电事故多。主要是天气炎热、多雨、潮湿、电气设备绝缘性能降低、人体衣单而多汗,触电危险性较大。

② 低压设备触电事故多。主要是低压设备多于高压设备,与之接触的人比较缺乏电气安全知识的缘故。

③ 中、青年触电事故多。主要是这些人往往是主要操作者,电气安全知识又不足的缘故。

④ 携带式设备和移动设备触电事故多。主要是这些设备经常移动,工作条件差,而且人经常在紧张状态下工作,容易发生事故。

⑤ 电气连接部位触电事故多。主要是插销、开关、接头等连接部位牢固性差,可靠性差,容易出现故障的缘故。

⑥ 受害者及他人错误操作引起的触电事故多。主要是教育不够、规章制度执行不好、违章蛮干及安全措施不完备的缘故。

三、预防触电

在电的安全使用中任何一种措施或保护器都不是万无一失的,要想预防触电,最保险的方法莫过于提高安全意识和警惕性。

1. 安全制度

在各种用电场所都制定有各种各样的安全使用电器的制度,这些制度是在工作实践中不断积累、总结出来的,从业人员必须严格遵守。

2. 安全措施

① 在所有使用市电的场所装设漏电保护器。

② 所有带金属外壳的电器及配电装置都应该装设保护接地或保护接零。

③ 对正常情况下的带电部分,一定要加绝缘保护,并置于人不容易碰到的地方,如输电线、电源板等。

④ 随时检查所用电器插头、电线有无破损老化并及时更换。

⑤ 手持电动工具应尽量使用安全电压工作,常用安全电压为 36V 或 24V,特别危险的场所应使用 12V 电压。

3. 安全操作

① 在任何情况下检修电路和电器都要确保断开电源,并将电源插头拔下。

② 遇到不明情况的电线,应先认为它是带电的。

③ 不要用湿手开关或插拔电器。

④ 尽量养成单手操作电工作业的习惯。

- ⑤ 遇到大容量的电容器要先行放电，方可进行检修。
- ⑥ 不在带病、疲倦等状态下从事电工作业。

四、电子装配安全操作

在电子产品的装配过程中“弱电”较多，但是也有不少器件带有“强电”，操作时切不可麻痹大意。

1. 安全用电基本措施

- ① 工作室内的电源应符合国家电气安全标准，总电源应装有漏电保护开关。
- ② 工作室或工作台上应有便于操作的电源开关。
- ③ 从事电力电子技术工作时，应设置隔离变压器。
- ④ 调试、检测较大功率电子装置时，工作人员不应少于两人。
- ⑤ 测试、装接电子线路应采用单手操作。

2. 预防烫伤

烫伤在电子装配操作中发生较为频繁，这种烫伤一般不会造成严重后果，但会给操作者带来痛苦和伤害，所以要注意以下几点操作规范。

- ① 工作中应将电烙铁放置在烙铁架上，并将烙铁架置于工作台右前方。
- ② 观察电烙铁的温度，应用电烙铁头去熔化松香，千万不要用手触摸电烙铁头。
- ③ 在焊接工作中要注意避免加热熔化的松香及焊锡溅落到皮肤上。
- ④ 通电调试、维修电子产品时，要注意电路中发热电子元器件（散热片、功率器件、功耗电阻）可能造成的烫伤。

3. 预防机械损伤

机械损伤在电子装配操作中较为少见，但违反安全操作规定仍会造成严重的伤害事故。例如，在钻床上给印制电路板钻孔，留长发或戴手套操作是严重违反钻床操作规程的；使用螺丝刀紧固螺钉时，可能打滑伤及手；剪断印制电路板上元器件引线时，可能被剪断的线段飞射溅伤眼睛；等等。这些事故只要严格遵守安全操作规定，是完全可以避免的。

五、电气消防与触电急救

1. 电气消防

- ① 发现电子装置、电缆等冒烟起火，要尽快切断电源。
- ② 灭火时不可将身体或灭火工具触及电子装置和电缆。
- ③ 发生电器火灾时，应使用沙土、二氧化碳或四氯化碳等不导电的灭火介质。绝对不能使用泡沫或水进行灭火。

2. 触电急救

① 发生触电事故时，千万不要惊慌失措，必须以最快的速度使触电者脱离电源。这时最有效的措施是切断电源。在一时无法或来不及找寻电源的情况下，可用绝缘物（竹竿、木棒或塑料制品等）移开带电体。

② 抢救中要记住：触电者未脱离电源前，其本身是带电体，抢救时会造成抢救者触电伤亡，所以要在保证自己不会触电的前提下做到尽可能地快。

- ③ 触电者脱离电源后，还有心跳、呼吸的应尽快送医院进行抢救。



④ 如果心跳已停止，应立即采用人工心脏按压方法，使患者维持血液循环。如果呼吸已停止，应立即进行人工呼吸。

⑤ 心跳、呼吸全停止时，应该同时采用上述两种方法，并且边急救边送医院做进一步的抢救。

任务评价

表 1-1-4 安全生产培训评价表

项 目	考 核 内 容	配 分	评 价 标 准	评分记录
触电伤害	了解触电伤害的种类和因素	10	每少一项或错误扣 1 分	
触电事故的种类和规律	知道发生触电事故的种类和规律	10	每少一项或错误扣 1 分	
预防触电	掌握预防触电的安全措施和操作要求	10	每少一项或错误扣 1 分	
电子装配安全操作	掌握电子装配过程中安全用电的基本措施和预防烫伤、机械损伤的操作规范	10	每少一项或错误扣 1 分	
电气消防与触电急救	掌握电气消防与触电急救的基本措施	10	每少一项或错误扣 1 分	



任务 2 静电防护培训

操作：按照表 1-2-1 所列的实施步骤和要求，做好静电防护工作。

表 1-2-1 静电防护培训步骤与要求

任务实施步骤	任务实施要求
1. 学习静电的概念，明确静电的危害； 2. 学会静电防护的方法； 3. 在实训室模拟演练静电防护操作	1. 以小组为单位进行讨论； 2. 将静电防护的方法等内容制成幻灯片在小组间进行展示交流； 3. 现场模拟布置电子产品维修工作台的防静电环境； 4. 各小组互相观摩评价并提出具体的改进措施

相关知识

在电子产品制造中，静电放电往往会损伤器件，甚至使器件失效，造成严重损失，因此生产中的静电防护非常重要。那么，静电到底是什么，它的产生机理及它有哪些危害，如何预防和消除这些危害，是必须考虑和解决的问题。

一、静电和静电的危害

1. 静电的含义

静电是一种电能，它存留于物体表面，是正、负电荷在局部范围内失去平衡的结果，是通过电子或离子的转换而形成的。静电现象是电荷在产生和消失过程中产生的电现象的总称。如摩擦起电、人体起电等现象。当带电体上电荷产生的电场的电场强度达到一定值时，带电体周围的介质就会发生电离（击穿），引起静电电荷转移，这种现象叫做静电放电（Electro Static Discharge, ESD）。

随着科技的发展，静电现象已在静电喷涂、静电纺织、静电分选、静电成像等领域得到广泛的应用。但静电的产生在许多领域会带来重大危害和损失。例如，在第一个阿波罗载人宇宙飞船中，由于静电放电导致爆炸，使三名字航员丧生；在火药制造过程中，由于静电放电（ESD），造成爆炸伤亡的事故时有发生。



2. 静电敏感器件

对静电反应敏感的器件称为静电敏感元器件（SSD）。静电敏感器件主要指超大规模集成电路，特别是金属化膜半导体（MOS 电路）。可根据 SSD 分级表，针对不同的 SSD 器件，采取不同的静电防护措施。

3. 电子行业中的静电危害

电子行业中静电危害可分为两类：一是由静电引力引起的浮游尘埃的吸附；二是由静电放电引起的介质击穿。

（1）静电吸附

在半导体元器件的生产制造过程中，由于大量使用了石英及高分子物质制成的器具和材料，其绝缘度很高，在使用过程中一些不可避免的摩擦可造成其表面电荷不断积聚，且电位越来越高。由于静电的力学效应，很容易使工作场所的浮游尘埃吸附于芯片表面，而很小的尘埃吸附都有可能影响半导体器件的性能。所以电子产品的生产必须在清洁环境中操作，操作人员、器具及环境必须采取一系列的防静电措施，以防止和降低静电危害的形成。

（2）静电击穿

在强电场中，随着电场强度的增强，电荷不断积累，当达到一定程度时，电介质会失去极化特征而成为导体，最后产生介质的热损坏现象，这种现象称为电介质的击穿。由静电击穿引起的元器件击穿损坏是电子工业中（特别是电子产品制造中）最普遍、最严重的危害。

在电子工业中，集成度越来越高，集成电路的内绝缘层越来越薄，互连导线宽度与间距越来越小。例如，CMOS 器件绝缘层的典型厚度约为 $0.1\mu\text{m}$ ，其相应耐击穿电压在 $80\sim 100\text{V}$ ；VMOS 器件的绝缘层更薄，击穿电压为 30V 。而在电子产品制造及运输、存储等过程中，所产生的静电电压远远超过 MOS 器件的击穿电压，往往会使器件产生硬击穿或软击穿（器件局部损伤）现象，使其失效或严重影响产品的可靠性。

硬击穿是一次性造成器件的永久性失效，如器件的输出与输入开路或短路。软击穿则可使器件的性能劣化，并使其指标参数降低而造成故障隐患。由于软击穿可使电路时好时坏（指标参数降低所致），且不易被发现，给整机运行和查找故障造成很大麻烦。软击穿时设备仍能带“病”工作，性能未发生根本变化，很可能通过出厂检验，但随时可能造成再次失效。多次软击穿就能造成硬击穿，使设备运行不正常，既给用户造成损失，也影响厂家声誉和产品的销售。

为了控制和消除 ESD，美国、西欧和日本等发达国家均制定了国家、军用和企业标准或规定。从静电敏感元器件的设计、制造、购买、入库、检验、仓储、装配、调试到半成品与成品的包装、运输等均有相应的规定，对静电防护器材的制造使用和管理也有较严格的规章制度要求。我国也参照国际标准制定了军用标准和企业标准。

二、电子产品制造中的静电源

① 人体的活动，人与衣服、鞋、袜等物体之间的摩擦、接触和分离等产生的静电是电子产品制造中主要的静电源之一。人体静电是导致器件产生硬（软）击穿的主要原因。人体活动产生的静电电压为 $0.5\sim 2\text{kV}$ 。另外，空气湿度对静电电压影响很大，在干燥环境中还要上升 1 个数量级。



② 化纤或棉制工作服与工作台面、座椅摩擦时，可在服装表面产生 6000V 以上的静电电压，并使人体带电，此时与器件接触时，会导致放电，容易损坏器件。

③ 橡胶或塑料鞋底的绝缘电阻高达 $10^{13}\Omega$ ，与地面摩擦时产生静电，并使人体带电。

④ 树脂、漆膜、塑料膜封装的器件放入包装中运输时，器件表面与包装材料摩擦能产生几百伏的静电电压，对敏感器件放电。

⑤ 用 PP（聚丙烯）、PE（聚乙烯）、PS（聚苯乙烯）、PVR（聚胺酯）、PVC 和聚酯、树脂等高分子材料制作的各种包装、料盒、周转箱、PCB 架等都可能因摩擦、冲击产生 1~3.5kV 的静电电压，对敏感器件放电。

⑥ 普通工作台面，受到摩擦产生静电。

⑦ 混凝土、打蜡抛光地板、橡胶板等绝缘地面的绝缘电阻高，人体上的静电荷不易泄漏。

⑧ 电子生产设备和工具方面，如电烙铁、波峰焊机、再流焊炉、贴装机、调试和检测等设备内的高压变压器、交/直流电路都会在设备上感应出静电。如果设备静电泄放措施不好，就会引起敏感器件在制造过程中失效。烘箱内热空气循环流动与箱体摩擦、CO₂ 低温箱冷却箱内的 CO₂ 蒸汽均可产生大量的静电荷。

一些常见动作的静电电压如表 1-2-2 所示。

表 1-2-2 一些常见动作的静电电压

动 作	人体静电位 (kV)	
	相对湿度 20%左右	相对湿度 80%左右
在聚乙烯地面行走	12	0.25
在合成纤维地毯上行走	3.5	1.5
坐在椅子上工作的人	6	0.1
坐在有泡沫垫的椅子上	18	1.5
拿起聚乙烯塑料袋	20	0.6
在普通工作台上滑动塑料盒	18	1.5
去除聚乙烯封套	7	0.6

三、静电防护

在人们生活、工作的任何时间、任何地点都有可能产生静电。要完全消除静电几乎不可能，但可以采取一些措施控制静电，使其不产生危害。

1. 静电防护基本原则

① 防：有效抑制或减少静电荷的产生，严格控制静电源。

② 泄：迅速、安全、有效地消除已经产生的静电荷，避免静电荷的积聚。

③ 控：对所有防静电措施的有效性进行实时监控，定期检测、维护和检验。

2. 绝缘体除电方法

常用的非导体（绝缘体）带静电荷消除方法有如下几种。

① 使用离子风机中和。

② 控制环境温度与湿度：增加湿度可减少静电荷的产生和聚积机会。

③ 用防静电导体制品取代非导体制品。