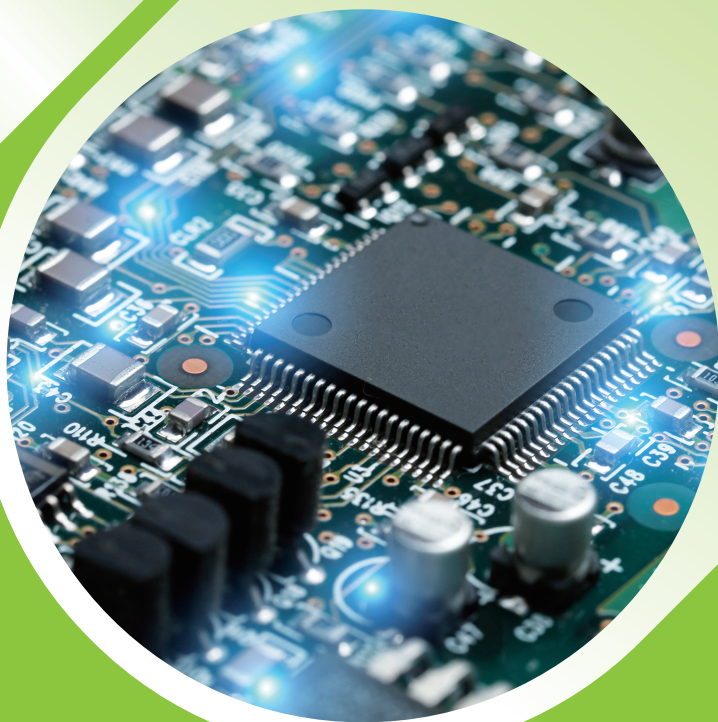


电子产品制造系列教材
“互联网+”新形态一体化教材

电子产品 生产工艺

主编 李宗宝



航空工业出版社

内 容 提 要

本书紧紧围绕高素质技术技能人才培养目标，对接专业教学标准和“1+X”证书职业能力评价标准来选择项目案例。编者结合生产实际中需要解决的一些工艺技术应用与创新的基础性问题，以项目为纽带、任务为载体、工作过程为导向，科学组织本书内容，对其进行模块化处理，注重课程之间的相互融通及理论与实践的有机衔接，开发了工作页式的工单，完善了多元多维、全时全程的评价体系，并基于互联网，融合现代信息技术，编写了本活页式教材，同时配套开发了丰富的数字化资源。本书可作为高职高专院校、技术应用型本科院校电子信息类相关专业的教学用书，也可作为企业技术人员的参考资料。

图书在版编目（CIP）数据

电子产品生产工艺 / 李宗宝主编. — 北京：航空工业出版社，2024.3

ISBN 978-7-5165-3698-8

I . ①电… II . ①李… III . ①电子产品—生产工艺
IV . ①TN05

中国国家版本馆 CIP 数据核字（2024）第 056526 号

电子产品生产工艺 Dianzi Chanpin Shengchan Gongyi

航空工业出版社出版发行

（北京市朝阳区京顺路 5 号曙光大厦 C 座四层 100028）

发行部电话：010-85672666 010-85672683

北京荣玉印刷有限公司印刷

2024 年 3 月第 1 版

开本：787 毫米 × 1092 毫米 1/16

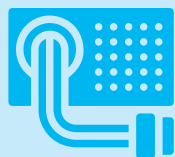
印张：20.5

全国各地新华书店经售

2024 年 3 月第 1 次印刷

字数：458 千字

定价：65.00 元



目录

模块

1

电子产品制造工艺认识

1

任务1.1 电子产品制造工艺技术发展认知

2

任务1.2 电子产品制造基本工艺流程认知

11

模块

2

通孔插装元器件手工装配焊接工艺

22

任务2.1 通孔插装常用电子元器件识别与检测

23

子任务2.1.1 电阻、电容、电感识别与检测

23

子任务2.1.2 二极管、三极管识别与检测

48

子任务2.1.3 电声器件识别与检测

61

子任务2.1.4 开关、接插件识别与检测

71

任务2.2 通孔插装元器件电子产品手工装配焊接

82

子任务2.2.1 常用焊接材料与工具认识

82

子任务2.2.2 元器件引线成型与导线加工处理

92

子任务2.2.3 通孔插装电子元器件手工装配焊接

99

模块

3

通孔插装元器件自动焊接工艺

115

任务3.1 自动焊接工艺认知

116

子任务3.1.1 浸焊工艺认知

116

子任务3.1.2 波峰焊技术认知

124

任务3.2 自动焊接设备工艺分析

134

子任务3.2.1 波峰焊机认知

134

子任务3.2.2 波峰焊实施

143

子任务3.2.3 波峰焊机焊接缺陷分析

153

模块

4

印制电路板制作工艺

161

任务4.1 印制电路板设计

162

子任务4.1.1 印制电路板认识

162

子任务4.1.2 印制电路板手工设计

170

任务4.2 印制电路板制作

180

子任务4.2.1 印制电路板制作工艺认识

180

子任务4.2.2 印制电路板手工制作

190

模块

5

表面贴装元器件电子产品贴装工艺

197

任务5.1 表面贴装元器件电子产品手工装接

198

子任务5.1.1 表面贴装元器件及工艺材料认识

198

子任务5.1.2 表面贴装元器件手工装接

214

任务5.2 表面贴装电子元器件自动贴焊

222

子任务5.2.1 表面贴装元器件自动贴焊工艺认知

222

子任务5.2.2 表面贴装设备工艺分析

232

子任务5.2.3 再流焊及缺陷分析

247

模块

6

电子产品整机成套组装工艺

262

任务6.1 电子产品整机的组装

263

子任务6.1.1 电子产品整机组装工艺认知

263

子任务6.1.2 电子产品整机组装过程

275

子任务6.1.3 电子产品整机调试与检验

284

任务6.2 电子产品工艺文件成套与质量管理

294

子任务6.2.1 电子产品工艺文件识读与编制

294

子任务6.2.2 电子产品质量管理与认证

308

参考文献

318





电子产品制造 工艺认识

模块

1

任务1.1

电子产品制造工艺技术发展认知



任务描述

现代生活中电子产品无处不在，家用电子产品也很多。常用的家用电子产品有电视机、冰箱、洗衣机、热水器、空调、电饭煲、电磁炉、扫地机等。这些家用电子产品是怎么制造出来的？制造的流程和工艺有哪些？下面通过学习电子产品制造工艺的基本知识完成认知电子产品制造工艺技术发展阶段的任务。



学习目标

知识目标

- (1) 掌握电子产品制造工艺的概念和相关的工艺技术。
- (2) 了解电子产品制造工艺技术的发展概况和发展方向。

能力目标

- (1) 能够叙述电子产品制造工艺的发展阶段。
- (2) 能够说出电子产品制造工艺技术的发展方向。

素养目标

- (1) 提高分析问题、查询资料和解决问题的能力。
- (2) 提升团队协作的能力。



重点与难点

重点：电子产品制造工艺的发展阶段。

难点：电子产品制造工艺的发展阶段。



知识准备

电子产品制造工艺技术的发展如下。

1. 电子产品制造工艺概述

工艺（technology/craft）是指生产者利用各类生产设备和生产工具，对各种原材料、半成品进行加工或处理，使之最终成为符合技术要求的产品的艺术。它是人们在生产产品过程中不断积累的并经过实践总结的操作经验和技术能力。工艺包括生产中采用的技术、方法和流程。

对于现代化的工业产品来说,工艺不仅仅是针对原材料的加工或生产的操作,而且是从设计到销售的全过程,包括产品制造的每一个环节。

对于工业企业及其所制造的产品来说,工艺工作是为了提高劳动生产率、生产优质产品及增加生产利润,是企业组织生产和指导生产的一种重要手段。它建立在对时间、速度、能源、方法、流程、生产手段、工作环境、组织机构、劳动管理和质量控制等诸多因素的科学研究之上,指导企业从原材料采购开始,覆盖加工、制造、检验等每一个环节,直到成品包装、入库、运输和销售,为企业组织有节奏的均衡生产提供科学的依据。

电子产品制造工艺是针对电子产品生产而言的,电子产品生产过程涵盖从原材料进厂到成品出厂的每一个环节。这些环节主要包括原材料和元器件检验、单元电路或配件制造、单元电路和配件组装成电子产品整机系统等过程,每个过程的工艺各不相同。

制造一个电子产品整机会涉及很多方面的技术,且企业生产规模、设备、技术力量和生产产品的种类不同,工艺技术类型也会有所不同。与电子产品制造有关的工艺技术主要包括以下几种。

1) 机械加工和成形工艺

电子产品的结构件是通过机械加工而成的,机械加工工艺包括车、钳、刨、铣、锥、磨、铸、锻、冲等。机械加工和成形工艺的主要功能是改变材料的几何形状,使之满足产品的装配连接要求。机械加工后,一般还要进行表面处理,以提高表面装饰性,使产品具有新颖感,同时起到防腐抗蚀的作用。表面处理包括刷丝、抛光、印刷、油漆、电镀、氧化、铭牌制作等工艺。如果结构件为塑料件,一般采用塑料成形工艺,主要可分为压塑工艺、注塑工艺及部分吹塑工艺等。

2) 装配工艺

电子产品生产制造中装配的目的是实现电气连接,装配工艺包括元器件引脚成形、插装、焊接、连接、清洗、调试等工艺。其中焊接工艺又可分为手工烙铁焊接工艺、浸焊工艺、波峰焊工艺和再流焊工艺等;连接工艺又可分为导线连接工艺、胶合工艺和紧固件连接工艺等。

3) 化学工艺

为了提高产品的防腐抗蚀能力,使外形装饰更美观,一般要进行化学处理。化学工艺包括电镀、浸渍、灌注、三防、油漆、胶木化、助焊剂和防氧化等工艺。

4) 其他工艺

其他工艺包括保证质量的检验工艺、老化筛选工艺和热处理工艺等。

2.电子产品制造工艺技术的发展概况

自从发明无线电的那天起,电子产品制造工艺技术就相伴而生了。但在电子管时代,

人们仅用手工烙铁焊接电子产品，电子管收音机是当时的主要产品。20 世纪 40 年代，随着晶体管的诞生、高分子聚合物的出现，以及印制电路板研制的成功，人们开始尝试将晶体管及通孔元件直接焊接在印制电路板上，电子产品结构由此变得紧凑，体积开始缩小。20 世纪 50 年代，英国人研制出世界上第一台波峰焊接机。人们将晶体管等通孔元器件插装在印制电路板上后，采用波峰焊接技术实现通孔组件的装联。半导体收音机、黑白电视机迅速在世界各地普及流行。波峰焊接技术的出现开辟了电子产品大规模工业化生产的新纪元，它对世界电子工业生产技术发展的贡献是无法估量的。

20 世纪 60 年代，在电子表行业及军用通信中，为了实现电子表和军用通信产品的微型化，人们研发出无引线电子元器件，即贴片件。它被直接焊接到印制电路板的表面，从而达到了电子表微型化的目的，是表面安装技术（surface mounting technology, SMT）的雏形。

美国是世界上贴片件和表面贴装技术起源最早的国家，并一直重视在投资类电子产品和军事装备领域发挥 SMT 在高组装密度和高可靠性能方面的优势，其 SMT 具有很高的水平。

日本在 20 世纪 70 年代从美国引进 SMT，应用于消费类电子产品领域，并投入巨资大力加强基础材料、基础技术和推广应用方面的开发研究工作。从 20 世纪 80 年代中后期起，日本加速了 SMT 在电子产业设备领域中的推广应用，仅用了 4 年时间就使 SMT 在计算机和通信设备中的应用数量增长了近 30%，在传真机中增长 40%，并且很快超过美国，在 SMT 方面处于世界领先地位。

欧洲各国 SMT 的起步较晚，但他们重视发展并有较好的工业基础，其 SMT 发展速度也很快，SMT 的发展水平和整机中贴片件的使用率仅次于日本和美国。20 世纪 80 年代以来，新加坡、韩国不惜投入巨资，纷纷引进先进技术，使其 SMT 获得较快的发展。

我国 SMT 的应用起步于 20 世纪 80 年代初期，最初从美国、日本成套引进 SMT 生产线，用于彩电调谐器生产，之后应用于录像机、摄像机、袖珍式高档多波段收音机、随身听等生产中。后来 SMT 在计算机、通信设备、汽车电子、医疗设备和航空航天电子等产品中也得到广泛应用。随着改革开放的深入及中国加入 WTO，美国、日本和新加坡的一些厂商将 SMT 加工厂搬到了中国。SMT 的设备制造商与中国合作，还把一些 SMT 设备制造企业也搬到了中国。例如，英国 DEK 公司和日本日立公司分别在东莞和南京生产印刷机，美国 HELLER 公司和 BTU 公司在上海生产回流焊炉，日本松下公司和美国环球公司分别在苏州和深圳蛇口生产贴片机等。如今我国已经成为世界最大的电子加工工厂，SMT 的发展前景非常广阔。我国的 SMT 设备已经与国际接轨，但设计、制造、工艺、管理技术等方面与国际还有差距。我们应该加强基础理论学习，深入开展工艺研究，提高工艺水平和管理能力，努力使我国真正成为电子制造大国、电子制造强国。

3. 电子产品制造工艺技术的发展阶段

电子产品的装联工艺是建立在器件封装形式变化的基础上的，即一种新型器件的出

现，必然会创新出一种新的装联技术和工艺，从而促进装联工艺技术的进步。

随着电子元器件小型化、高集成度的发展，电子组装技术也经历了手工、半自动插装浸焊、全自动插装波峰焊和 SMT 四个阶段，实际应用中 SMT 正向窄间距和超窄间距的微组装方向发展，如表 1-1 所示。

表1-1 电子产品制造工艺技术的发展阶段

阶段	元件	IC器件	器件的封装形式	典型产品	产品特点	组装技术
第一代 (20 世纪 50 年代)	长引线、大型高电压	电子管	电子管座	电子管收音机、仪器	笨重厚大、速度慢、功耗少、功耗大、不稳定	扎线、配线分立元件、分立走线、金属底板、手工烙铁焊接
第二代 (20 世纪 60 年代)	轴向引线小型化元件	晶体管	有引线、金属壳封装	通用仪器、黑白电视机	重量较轻、功耗降低、多功能	分立元件、单面印刷板、平面布线、半自动插装、浸焊
第三代 (20 世纪 70 年代)	单、双列直插集成电路和径向引线元件或可编带的轴向引线元件	集成电路	双列直插式金属、陶瓷、塑料封装,后期开始出现 SMD	便携式薄型仪器、彩色电视机	便携式、薄型、低功耗	双面印刷板、初级多层板、自动插装、浸焊、波峰焊
第四代 (20 世纪 80,90 年代)	表面安装、异性结构	大规模、超大规模集成电路	SMD: 表面贴装器件,向微型化发展,有了 BGA、CSP、Fli Chip、MCM	小型高密度仪器、录像机	袖珍式、轻便、多功能、微功耗、稳定、可靠	SMT:自动贴装、回流焊、波峰焊,向窄间距、超窄间距 SMT 发展
第五代 (21 世纪)	复合表面装配,三维结构	无源与有源的集成混合元件,三维立体组件	晶圆级封装(WLP)和系统级封装(SIP)	超小型高密度仪器、手机	超小型、超薄型、智能化、高可靠	微组装: SMT与 IC、HIC 结合,多晶圆键合

从表 1-1 可以看出，电子产品制造工艺技术的发展阶段为电子管时代—晶体管时代—集成电路时代—表面安装时代—微组装时代。期间经历的三次革命为：通孔插装—表面安装—微组装。

4.电子产品制造工艺技术的发展方向

按照电子产品制造工艺技术的发展可大体分为电子通孔插装技术（THT）、表面安装技术（SMT）和微电子组装技术，如表 1-2 所示。

表1-2 电子产品制造工艺技术

电子产品制造工艺技术	电子通孔插装技术（THT）	
	表面安装技术（SMT）	
	微电子组装技术	厚/薄膜集成电路（HIC）技术
		多芯片组件（MCM）技术
		芯片直接贴装（DCA）技术

微电子组装技术（microelectronics packaging technology 或 microelectronics assembling technology, MPT 或 MAT）是目前迅速发展的新一代电子产品制造技术，包括多种新的组装技术及工艺。

表面安装技术大大缩小了印制电路板的面积，提高了电路的可靠性，但集成电路功能的增加，必然使它的 I/O 引脚增加。如果 I/O 引脚的间距不变，I/O 引脚数量增加 1 倍，则球栅阵列封装（BGA）的封装面积也会增加 1 倍，而四面扁平封装（QFP）的封装面积将增加 3 倍。为了获取更小的封装面积、更高的电路板利用率，组装技术已向元器件级和芯片级深入。MPT 是芯片级的组装，把裸片组装到高性能电路基片上，使其成为具有独立功能的电气模块甚至完整的电子产品。



微电子组装技术主要有 3 个研究方向：其一是基片技术，即研究微电子线路的承载和连接方式，它直接影响了厚 / 薄膜集成电路的发展，导致大圆片规模集成电路的提出，并为芯片直接贴装（DCA）技术和多芯片组件（MCM）技术打下基础；其二是芯片直接贴装技术，包括多种把芯片直接贴装到基片上后再进行连接的方法，如板载芯片（COB）技术、带自动键合（TAB）技术和倒装芯片（FC）技术等；其三是多芯片组件技术，包括二维组装和三维组装等多种组件方式。这三个研究方向是共同促进、相辅相成的。

（1）在进行电子产品制造工艺技术的发展阶段的学习时，对老师提出的问题能够上网查询资料，提高分析问题和解决问题的能力。

（2）在进行问题查询时要有团队协作精神，以小组为单位进行汇报，培养团队协作的能力。



任务实现

1.任务分组

任务工作单

组号：_____ 姓名：_____ 学号：_____ 检索号：_____ 1111-1

班级		组号		指导教师	
组长		学号			
组员	序号	姓名		学号	
	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
任务分工					

2.自主探学

任务工作单 1

组号：_____ 姓名：_____ 学号：_____ 检索号：_____ 1112-1

引导问题：

(1) 你对电子产品制造工艺这个概念的理解是什么？

(2) 与电子产品制造有关的工艺技术主要包括哪几种？

(3) 电子产品制造工艺技术的发展目前应用最广的是什么技术？

任务工作单 2

组号：_____ 姓名：_____ 学号：_____ 检索号：_____ 1112-2

引导问题：

(1) 电子组装技术经历了哪四个阶段？

(2) 电子产品制造工艺技术的发展分为哪几个阶段？

(3) 按照电子产品制造工艺技术的发展可大体分为哪三种技术？

(4) 编制电子产品制造工艺技术的发展各阶段要素方案。

序号	阶段要素	阶段要领

3.合作研学

任务工作单

组号：_____ 姓名：_____ 学号：_____ 检索号：_____ 1113-1

引导问题：

(1) 小组交流讨论，教师参与，形成正确的电子产品制造工艺技术的发展各阶段要素方案。

序号	阶段要素	阶段要领

(2) 记录自己存在的不足。

4.展示赏学

任务工作单

组号：_____ 姓名：_____ 学号：_____ 检索号：_____ 1114-1

引导问题：

(1) 每小组推荐一位小组长，汇报电子产品制造工艺技术的发展各阶段要素方案，借鉴每组经验，进一步优化方案。

序号	阶段要素	阶段要领

(2) 记录自己存在的不足。

5.任务实施

任务工作单

组号： 姓名： 学号： 检索号： 1115-1



案例详解
电子产品制造工艺技术的发展阶段

引导问题：
(1) 按照电子产品制造工艺技术的发展各阶段要素，对电子产品制造工艺技术的发展各阶段要素编制方案，并记录编制过程。

阶段要素	阶段要领	备注

(2) 对比分析电子产品制造工艺技术的发展各阶段要素编制方案，并记录分析过程。

阶段要领	实际阶段要素	是否有问题	原因分析

6.任务评价

- (1) 个人自评。
- (2) 小组内互评。
- (3) 小组间互评。
- (4) 教师评价。



评价反馈
任务 1.1 评价表

任务1.2 电子产品制造基本工艺流程认知



任务描述

电子产品是怎样生产出来的？制造的基本工艺流程都有哪些？生产过程中需要哪些防护措施？通过上网查找资料，完成搜集可靠性试验方法的任务。



学习目标

知识目标

- (1) 掌握电子产品制造的基本工艺流程。
- (2) 掌握电子产品制造的主要生产防护方式。
- (3) 了解电子产品制造的可靠性试验方法。

能力目标

- (1) 能够说出电子产品制造的基本工艺流程。
- (2) 能够识别静电防护标识。

素养目标

- (1) 能够独立查找资料，提高分析问题、解决问题的能力。
- (2) 增强中国从制造大国到制造强国的民族自豪感和使命感。



重点与难点

重点：电子产品制造的基本工艺流程。

难点：电子产品的静电防护措施。



知识准备

1. 电子产品制造的基本工艺流程

1) 电子产品的分级

按 IPC-J-STD-001 中“电子电气组装件焊接要求”标准的规定，电子产品可分为三级。

一级为通用电子产品，指组装完整，满足主要使用功能要求的电子产品。二级为专用服务类电子产品，指具有持续的性能和持久的寿命，需要不间断的服务的电子产品。

三级为高性能电子产品，指具有持续的高性能或能严格按指令运行的电子设备和电子产品，其使用环境非常苛刻，不允许停歇，必须一直有效，如生命救治设备和其他关键的电子设备。

2) 电子产品制造的分级

在电子产品制造过程中，根据装配单位的大小、复杂程度和特点的不同，可将电子产品制造分成不同的等级。

(1) 元件级。元件级是指通用电路元器件、分立元器件、集成电路等的装配，是装配级别中的最低级别。

(2) 插件级。插件级是指组装和互连装有元器件的印制电路板或插件板等。

(3) 系统级。系统级是将插件级组装件，通过连接器、电线电缆等组装成具有一定功能的完整的电子产品整机系统。系统级又可根据电子产品的设备规模分为插板级和箱柜级。



3) 电子产品制造装联工艺

随着电子技术的不断发展和新型元器件的不断出现，电子产品制造的装联技术也在不断变化和发展。电子产品制造的装联工艺如表 1-3 所示。

表1-3 电子产品制造装联工艺

序号	装联阶段	主要工艺
1	装联前准备阶段	元器件、电路板的可焊性测试
2		元器件引线的预处理（引线的搪锡、成型）
3		导线的端头处理
4		电路板的复验和预处理
5	电路板组装阶段	组装形式：通孔插装、表面安装、混合安装
6		电气互联：手工焊接、波峰焊接、回流焊接、压接、绕接、胶接
7		清洗：手工清洗、超声波清洗、水清洗、半水清洗、清洁度检测
8		防护与加固
9		电路的修复与改装
10	整机装配阶段	机械安装：螺纹连接与止动
11		电气互联：焊接、压接、绕接、胶接
12		电缆组装件制作
13		防护与加固

4) 电子产品制造的工艺流程

一般电子产品的生产业务流程是从采购元件到给客户提供产品的整个过程。电子产品的装配过程是先将零件、元器件组装成部件，再将部件组装成整机。对电子产品的加工制造过程一般经过电路板的装配测试和整机的装配测试。其中电路板的装配测试包括贴片生产、插装生产和测试等过程；整机的装配测试包括整机组装、整机老化、整机复

测和产品包装等过程。电子产品的生产工艺流程如图 1-1 所示。

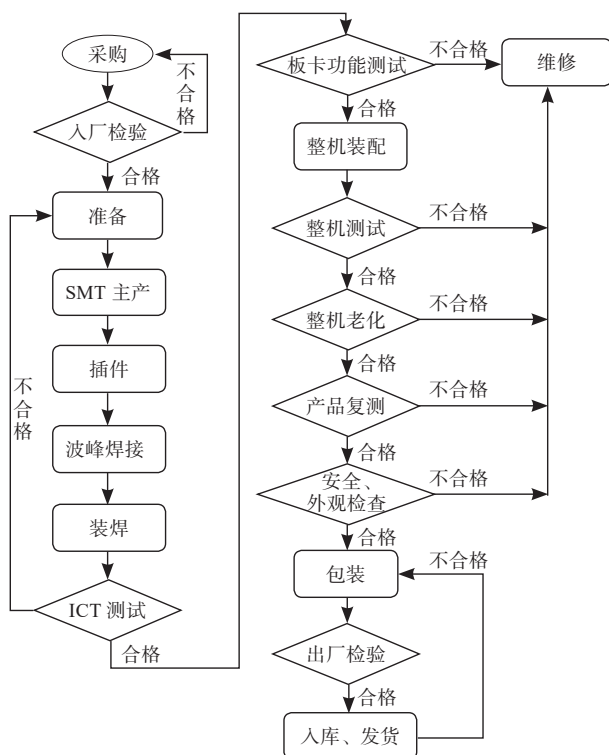


图1-1 电子产品生产的工艺流程

- (1) 采购：采购物料。
- (2) 入厂检验：抽检入厂产品，保证入厂产品的质量。
- (3) 准备：使元件插装方便、排列整齐，提高产品质量及后道工序工作效率。
- (4) SMT 生产：贴片生产，检查 SMT 贴片质量并进行修补。
- (5) 插件：将元件按具体工艺要求插装到规定位置。
- (6) 波峰焊接：对插装件进行波峰焊接。
- (7) 装焊：波峰焊接后剪脚，检查修复波峰焊接不良焊点及对无法进行波峰焊焊接的元件进行手工补焊。
- (8) ICT 测试：针床测试，产品的各引脚电压、焊接状况的测试。
- (9) 板卡功能测试：对电路板的各项功能进行模拟测试。
- (10) 整机装配：进行整机装配。
- (11) 整机测试：对整机的各项功能进行检测。
- (12) 整机老化：高温老化测试，保证机器在恶劣环境下的工作质量。
- (13) 产品复测：老化后再次对产品进行功能操作的检测。
- (14) 安全、外观检查：对机器安全方面的各项指标进行检测。
- (15) 包装：对产品的附件进行检查并包装。
- (16) 出厂检验：对包装完成的整机进行抽检，以判断批量生产是否合格。

(17) 入库、发货：检查确认产品合格后发货。

2.电子产品制造的生产防护

电子产品制造过程中，会受到各种环境因素的影响，为了保证电子产品的质量，在生产过程中要进行防静电、防电磁和防潮湿等生产防护。电子产品制造的主要生产防护是静电防护。

1) 静电的产生

静电，顾名思义，就是静止的电荷。任何两种不同材质的物体接触后再分离即可产生静电（表面电阻率为 $10^{11}\sim 10^{13}\ \Omega\cdot\text{cm}$ 的物质极易产生静电），如高分子化合物、人工合成材料（打蜡地板、人造地毯）。

静电是一种客观自然现象，产生的方式有多种，如接触和摩擦等。人体自身动作或与其他物体的摩擦，就可以产生几千伏甚至上万伏的静电。产生可以听见“嘀嗒”一声的放电需要累积大约 2 000 V 的电荷，而 3 000 V 静电就可以感觉到小的电击，5 000 V 静电可以看见火花。

在生产环境中，操作机器、包装塑料袋和人体来回走动等，都很容易产生静电。

空气的相对湿度对静电产生影响较大。例如，在相对湿度为 10%~20% 的环境中走过地毯，将产生 35 000 V 静电，而在相对湿度为 65%~90% 的环境中走过地毯，只产生 1 500 V 静电。

一般电子工厂工作人员经常工作的场所产生的静电强度如表 1-4 所示。

表1-4 工作场所产生的静电强度

活动情形	静电强度（V）	
	10%~20%相对湿度	65%~95%相对湿度
走过地毯	35 000	1 500
走过塑料地板	12 000	250
拿起塑料活页夹、袋	7 000	600
拿起塑料袋	20 000	1 000
在椅子上工作	6 000	100
工作椅垫摩擦	18 000	1 500

2) 静电的特性

(1) 电气特性。高电压、低电量、小电流和作用时间短（一般情况下）。

(2) 分布特性。由于同种电荷相互排斥，导体上的静电荷总是分布在表面，一般情况下分布是不均匀的，导体尖端的电荷分布特别密集。

(3) 放电特性。静电放电以极高的强度很迅速地发生，通常将产生足够的热量熔化半导体芯片内部电路。

3) 静电在电子工业中的危害

(1) 静电对电子产品的损害。

静电可分为静电起电 (ESA) 和静电放电 (ESD) 两个过程。静电产生后在一般情况下不易被看见, 所以很容易被忽略。但是有些电子元件对静电是很敏感的, 如带有足够高电荷的螺丝起子靠近有相反电势的集成电路 (IC) 时, 电荷“跨接”, 会引起静电放电。静电放电以极高的强度很迅速地发生, 通常将产生足够的热量熔化半导体芯片的内部电路, 在电子显微镜下可看到向外吹出的小“子弹”孔, 引起即时的和不可逆转的损坏。尤其是 MOS 元件, 它使用了很薄的金属氧化层, 在静电为 170 V 时就会被击坏。互补金属氧化物半导体 (complementary metal oxide semiconductor, CMOS) 或电气可编程只读内存 (electrical programmable read only memory, EPROM) 等常见元件, 可分别被只有 250 V 和 100 V 的静电放电电势所破坏。

此外, 还有线性集成块、数字化双极性集成块和激光器等对静电也很敏感。如果在成型、插装焊接、安装和更换这些元件时, 不注意静电防护, 那么就会损伤这些元件或者影响其功能, 从而降低产品质量, 造成不必要的损失。静电引起的元件立即损坏约占 10%, 其他 90% 被损伤的元件虽还可以用, 但可靠性会大大降低。据统计, 在电子产品生产企业中, 半导体的损坏 59% 都是由静电所致的。大部分器件的静电破坏电压都在几百至几千伏, 而在干燥的环境中人活动所产生的静电可达几千伏到几万伏, 如走路或拆装泡沫材料都可产生几千或几万伏静电。

(2) 静电对电子产品损害的特性。

①隐蔽性。在不发生静电放电的情况下人体无法直接感知静电, 即使发生静电放电人体也不一定能感觉到电击的感觉, 这是因为人体感知的静电放电电压为 2 000 V~3 000 V, 所以静电具有隐蔽性。

②潜在性。有些电子元器件受到静电损伤后的性能没有明显地下降, 但多次累加放电会给器件造成内伤而形成隐患, 因此静电对器件的损伤具有潜在性。

③随机性。可以这么说, 从一个元件产生以后, 一直到它损坏以前, 所有的过程都有可能受到静电的威胁, 而这些静电的产生也具有随机性。

④复杂性。静电放电损伤的失效分析工作, 因电子产品的精、细、微小的结构特点而费时、费事、费钱。例如, 要求较高的分析技术往往需要使用扫描电镜等高精密仪器。即使如此, 有些静电损伤现象也难以与其他原因造成的损伤加以区别, 使人误把静电损伤失效当作其他失效。这在对静电放电损害未充分认识之前, 常常归因于早期失效或情况不明的失效, 从而不自觉地掩盖了失效的真正原因, 所以静电对电子器件的损害具有复杂性。

4) 电子产品生产的静电防护

(1) 常见防静电符号标识。

① ESD 敏感符号。三角形内有一斜杠跨越的手, 用于表示容易受到 ESD 损害的电

子元件或组件，如图 1-2 (a) 所示。

② ESD 防护符号。它与 ESD 敏感符号的不同在于有一圆弧包围着三角形，而没有斜杠跨越的手，如图 1-2 (b) 所示，它用于表示被设计为对 ESD 敏感元件或设备提供 ESD 防护的器具。

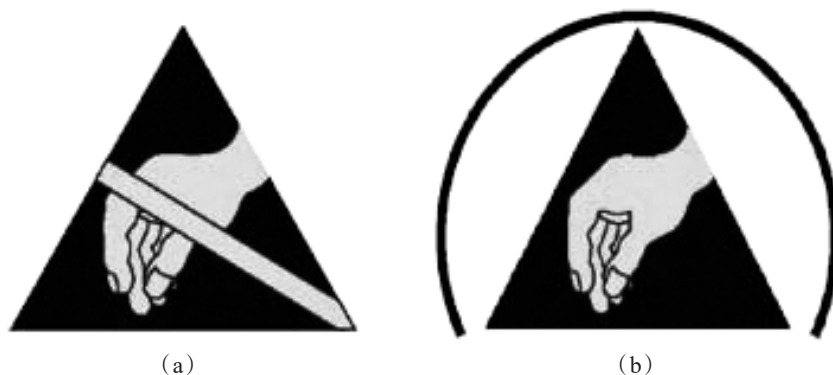


图1-2 防静电标识

(a) ESD 敏感符号；(b) ESD 防护符号

防静电材料一般情况下为黑色，但并不是所有防静电材料都是黑色的。没有 ESD 敏感符号未必意味着该组件不是 ESD 敏感的，当质疑一组件的静电敏感性而无定论时，必须将其作为静电敏感组件处理。

(2) 电子产品生产中防静电的作用。

①降低因静电破坏所带来的生产成本增加。由于静电对部分元件造成破坏，致使该元件完全失去功能，器件不能工作，在功能检查时，表现出这样或那样的故障现象。故障机转至维修部进行维修，势必造成人力、物力增加，此现象约占受静电损坏元件总数的 10%。

②提高生产效率及产品质量。因静电损坏元件，生产直通率下降，相当一部分时间用于故障确认、原因分析，导致生产效率降低。在生产维修时将元件进行拆、焊过程中对 PCB (printed circuit board, 印制电路板) 走线、焊盘牢固度都会有不同程度的影响。将已固定到机器外壳上的故障板，拆下后再重新固定，对产品的牢固性会有很大影响。

③延长产品使用寿命。静电损坏元件约 90% 为间歇性(或部分)失去功能，器件虽可工作但不稳定，维修次数增加。在产品正常使用的情况下，每增加一次维修，产品质量就会不同程度地下降，产品寿命随之缩短。

(3) 静电的防护措施。

①静电防护的原则。

a. 在静电安全工作区域(EPA)使用或作业静电敏感元件(如防静电工作台)。安全的工作区域是指所有导电性与绝缘性物体不得存在足够破坏组件的电荷，所以整个工作区域必须备有完整的导电材料及接地系统和适当的离子化空气产生器。

b. 用静电屏蔽容器（如带有特殊标志的包装袋或盒子）周转及存放静电敏感元件或电路板（如 SMT 周转架），检查静电屏蔽容器内部，如有能够引起静电放电的物品要将其取出（如一个塑料袋、一片塑料泡沫等），不能反复使用包装容器，除非使用前检查过。

c. 定期检查所采取的静电防护措施（物品、方法）是否正常（如接地良好与否、防静电手环是否合格）。保持工作场所的整洁，把不需要的物品从工作场所挪走（如梳子、食品、软饮料盒、自粘胶带、影印件、塑料袋和聚苯乙烯泡沫材料等）。

②常见的防静电措施。

a. 最大限度地防止静电产生。

- 增加空气湿度（30%~70%）。
- 采用抗静电材料。采用防静电包装袋、周转箱、包装箱和工作台。
- 导电性物体接地。
- 绝缘性物体离子中和。

b. 静电泄放。

带电物体失去电荷的现象称为放电。常见的放电现象有以下 3 种。

• 接地放电。如防静电手腕带、防静电台垫（地垫）、电源采用三相四线制（接地放电），生产线体、工作桌面、设备充分接地（接地放电），工作服（接地放电）电动工具充分接地（接地放电）。

• 尖端放电。如无线手环、避雷针。

• 静电中和。

c. 静电屏蔽。

一个接地的金属网罩，可以隔离内外电场的相互影响，这就是静电屏蔽。如高压设备外围设置金属网罩，电子仪器外面安装金属外壳。避免静电敏感元件或电路板与塑料制品或工具放在一起。

静电防护工作是一项系统工程，任何环节的失误或疏漏，都会导致静电防护工作的失败。更不能存在侥幸心理，要时刻保持警惕，检查各项防护措施是否有疏漏。



拓展知识
电子产品制造的
可靠性试验

素养养成

- （1）能够独立进行资料查找，提高分析问题、解决问题的能力。
- （2）通过学习中国制造的案例，增强中国从制造大国到制造强国的民族自豪感和使命感。



任务实现

1.任务分组

任务工作单

组号： 姓名： 学号： 检索号： 1211-1

班级		组号		指导教师	
组长		学号			
组员	序号	姓名		学号	
	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
任务分工					

2.自主探学

任务工作单 1

组号： 姓名： 学号： 检索号： 1212-1

引导问题：

- (1) 根据电子产品最终使用条件，电子产品可分为哪三级？

- (2) 电子产品制造分为哪三个不同的等级？

- (3) 电子产品整机的装配测试包括哪几个过程？

- (4) 为了保证质量，在生产过程中要进行哪些生产防护？最重要的是什么防护？

- (5) 常见防静电符号标识有哪两种？

任务工作单 2

组号：_____ 姓名：_____ 学号：_____ 检索号：_____ 1212-2

引导问题：

(1) 电子产品的生产工艺流程一般是怎样的？

(2) 静电对电子产品的损害有哪些？

(3) 电子产品生产中防静电有何作用？

(4) 常见的防静电措施有哪些？

(5) 编制电视机生产的工艺流程方案。

序号	阶段要素	阶段要领

3.合作研学

任务工作单

组号：_____ 姓名：_____ 学号：_____ 检索号：_____ 1213-1

引导问题：

(1) 小组交流讨论，教师参与，形成正确的电视机生产的工艺流程方案。

序号	工艺要素	工艺要领

(2) 记录自己存在的不足。

4.展示赏学

任务工作单

组号：_____ 姓名：_____ 学号：_____ 检索号：_____ 1214-1

引导问题：

(1) 每小组推荐一位小组长，汇报电视机生产的工艺流程方案，借鉴每组经验，进一步优化方案。

序号	工艺要素	工艺要领

(2) 记录自己存在的不足。

5.任务实施

任务工作单

组号： 姓名： 学号： 检索号： 1215-1

引导问题：

(1) 按照电视机生产的工艺流程方案，画出电视机生产的工艺流程图，并记录实施过程。



案例详解
电视机生产的工艺流程

工艺要素	工艺要领	备注

(2) 对比分析电视机生产的工艺流程，并记录分析过程。

工艺要领	实际要领	是否有问题	原因分析

6.任务评价

- (1) 个人自评。
- (2) 小组内互评。
- (3) 小组间互评。
- (4) 教师评价。



评价反馈
任务 1.2 评价表