

高等职业教育电子技术技能培养规划教材

Gaodeng Zhiye Jiaoyu Dianzi Jishu Jineng Peiyang Guihua Jiaocai

电子工艺 与电子CAD

刘素芳 主编 陈志红 任枫轩 副主编 张惠敏 主审



Electronic Technology
and Electronic CAD

整合传统知识，培养实用技能
介绍先进技术，贴近学科前沿
提供实训项目，提高操作效率

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

· 高等职业教育电子技术技能培养规划教材
Gaodeng Zhiye Jiaoyu Dianzi Jishu Jineng Peiyang Guihua Jiaocai

电子工艺 与电子CAD

刘素芳 主编 陈志红 任枫轩 副主编 张惠敏 主审



Electronic Technology
and Electronic CAD

人民邮电出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

电子工艺与电子CAD / 刘素芳主编. —北京: 人民邮电出版社, 2009.9
高等职业教育电子技术技能培养规划教材
ISBN 978-7-115-19983-6

I. 电… II. 刘… III. ①电子技术—高等学校: 技术学校—教材②印刷电路—计算机辅助设计—应用软件—高等学校: 技术学校—教材 IV. TN01 TN410.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第147391号

内 容 提 要

本书由电子工艺和电子CAD两门课程整合而成,以电子产品整机生产工艺为主线,介绍了电子工艺与电子CAD的基本操作要领与工艺基础知识。

全书共分8章,主要内容包括电子工艺概述,常用电子元器件,电子产品的常用材料与工具,表面组装技术,电子产品印制电路板设计工艺,电子产品生产中的焊接工艺,电子产品整机装配、调试与可靠性试验以及电子产品技术文件。每章设有学习目的及要求、实训项目、本章小结、思考题等四个部分。全书突出能力培养、强调实践教学,有利于教学和自学。

本书可作为高职高专院校通信工程、电子信息工程等专业的教材,也可作为电大、职大的教材和有关工程技术人员的参考书。

高等职业教育电子技术技能培养规划教材

电子工艺与电子CAD

-
- ◆ 主 编 刘素芳
 - 副 主 编 陈志红 任枫轩
 - 主 审 张惠敏
 - 责任编辑 赵慧君
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京华正印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 17.25
字数: 442千字
印数: 1—3000册
 - 2009年9月第1版
2009年9月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-19983-6

定价: 29.00元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

前 言

电子工艺与电子 CAD 是电子与信息技术专业一门重要的专业课程, 在传统教学中, 两门课程是分开进行的。电子工艺课程着重讲电子工艺知识, 略讲电原理图和印制电路板的设计制作; 电子 CAD 课程着重讲软件学习使用, 略讲或不讲工艺知识, 这样不便于学生建立电子产品整机工艺的完整概念。本书以电子整机产品的装配及调试工艺为主线, 将二者进行了整合, 期望能使读者“既见森林, 亦识树木”, 在掌握电子工艺基础知识、建立完整的整机工艺概念的同时, 学习电子 CAD 方法技能。

本书结合高职高专教育特点, 突出实用性与实践性, 在内容的编排上, 减少电子产品的设计篇幅, 尽量做到思路清晰、重点突出。本教材力求做到以下特点。

(1) 内容广。以电子产品整机生产工艺为主线, 涵盖了电路原理图的设计、元器件检测、印制电路板制作、焊接、整机装配、整机调试、电子产品技术文件编制等方面的主要工艺, 使学生能通过课程的学习, 胜任电子产品生产的各种岗位。

(2) 反映电子工艺的新技术。现代电子产品制造技术日新月异, 新知识、新技术、新工艺层出不穷, 书中适当介绍了新器件、新工艺、新技术。

(3) 突出实用性与实践性。电子工艺技术是在实践中发展起来的, 只有通过实践才能得到深入的理解。因此教材的学习必须高度重视实践环节, 各章末附有相应的实训项目, 书末还附有综合实训。

本书每章都附有一定数量的思考题, 可以帮助学生进一步巩固基础知识。本书配备了 PPT 课件、习题答案等丰富的教学资源, 任课教师可到人民邮电出版社教学服务与资源网 (www.ptpedu.com.cn) 免费下载使用。本书的参考学时为 80 学时, 其中实践环节为 26 学时, 各章的参考学时参见下面的学时分配表。

章 节	课 程 内 容	学 时 分 配	
		讲 授	实 训
第 1 章	电子工艺概述	2	2
第 2 章	常用电子元器件	4	
第 3 章	电子产品的常用材料与工具	4	4
第 4 章	表面组装技术	8	4
第 5 章	电子产品印制电路板设计工艺	22	10
第 6 章	电子产品生产中的焊接工艺	4	
第 7 章	电子产品整机装配、调试与可靠性试验	6	4
第 8 章	电子产品技术文件	4	2
课时总计		54	26

刘素芳老师任本书主编，负责全书的统稿，并编写了第1章、第3章第3节和第4节及第6章。第2章由赵新颖编写，第3章第1节及第2节由赵卫华编写，第4章由付涛编写，第5章第1节及第6节由任枫轩编写，第5章第2节至第4节由陈志红编写，第5章第5节由胡慧编写，第7章及第8章由黄根岭编写，全书实训项目及综合实训项目由任全会编写。

张惠敏担任本书的审稿工作，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在错误和疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

编者

2009年7月

目 录

第1章 电子工艺概述	1	2.1.4 二极管	30
1.1 电子工艺简介	1	2.1.5 三极管	32
1.1.1 现代制造工艺及电子工艺的形成发展	1	2.1.6 集成电路	35
1.1.2 我国电子工艺的发展状况	2	2.1.7 开关件、接插件及熔断器	38
1.1.3 电子工艺研究的范围	2	2.1.8 电声器件	43
1.1.4 电子工艺与电子CAD的课程目标	3	2.2 表面组装元器件	45
1.1.5 电子工艺技术人员的工作职责	3	2.2.1 电阻	45
1.2 电子产品制造工艺流程	4	2.2.2 电容	50
1.2.1 电子整机装配工艺流程	4	2.2.3 电感	52
1.2.2 PCBA生产的基本工艺流程	4	2.2.4 二极管	52
1.2.3 电子设备生产工艺流程的工位	5	2.2.5 三极管	53
1.3 电子工艺操作安全用电知识	7	2.2.6 集成电路	53
1.3.1 触电的种类、方式及对人体的危害	7	小结	54
1.3.2 触电现场的救护	8	习题	55
1.3.3 用电安全注意事项	9	第3章 电子产品的常用材料与工具	56
1.3.4 文明生产	9	3.1 常用导线与绝缘材料	56
1.4 电子工艺中的静电防护	10	3.1.1 导线	56
1.4.1 静电放电及危害	10	3.1.2 绝缘材料	60
1.4.2 静电防护方法	11	3.2 覆铜板	62
1.4.3 常用静电防护器材	11	3.2.1 覆铜板的材料	62
1.4.4 生产中的防静电操作措施	14	3.2.2 覆铜板的生产工艺流程	63
实训一 电子整机产品教学短片	16	3.2.3 印制电路板的形成	63
小结	17	3.2.4 SMT新型基板	63
习题	17	3.3 焊接材料	64
第2章 常用电子元器件	19	3.3.1 焊料	64
2.1 通孔组装元器件	19	3.3.2 助焊剂	66
2.1.1 电阻	20	3.3.3 膏状焊料	66
2.1.2 电容	25	3.3.4 SMT所用的黏合剂	69
2.1.3 电感	27	3.4 焊接工具	70
		3.4.1 电烙铁分类及结构	70
		3.4.2 烙铁头的形状与修整	73
		实训二 常用电子材料及工具使用	75
		实训三 手工制作印刷电路板	81
		小结	84

习题	84	5.2.5 原理图报表生成、打印 输出	149
第4章 表面组装技术	86	5.3 Protel 制作元器件、建立 元器件库	152
4.1 概述	86	5.3.1 元器件库编辑器简介	153
4.1.1 SMT 基本概念	86	5.3.2 元器件库编辑管理器	153
4.1.2 SMT 的主要内容	86	5.3.3 两个工具栏	154
4.1.3 SMT 工艺技术的主要特点	87	5.3.4 制作一个元器件	155
4.1.4 SMT 和 THT 的比较	87	5.3.5 制作稳压二极管	158
4.1.5 SMT 工艺技术要求	88	5.4 Protel 印制电路板的设计	159
4.1.6 SMT 工艺技术发展趋势	88	5.4.1 印制电路板设计基础	159
4.2 表面组装工艺方案	89	5.4.2 印制电路板可靠性设计	162
4.2.1 表面组装方式	89	5.4.3 PCB 操作界面	165
4.2.2 组装工艺流程	90	5.4.4 单管放大器印制电路板设计 实例	169
4.2.3 SMT 生产线的设备组合	94	5.5 制作元器件封装	179
4.3 表面组装工艺及设备	94	5.5.1 元器件封装设计工具简介	180
4.3.1 SMT 涂敷工艺及设备	94	5.5.2 制作元器件封装	182
4.3.2 SMT 贴装工艺及设备	100	5.6 Protel 印制电路板打印输出	188
4.3.3 SMT 焊接工艺及设备	106	5.6.1 页面设置	188
4.3.4 SMA 清洗工艺及设备	108	5.6.2 打印机设置	188
4.4 SMT 检测与返修技术	110	实训六 Protel 原理图设计	189
4.4.1 SMT 检测技术的基本内容	110	实训七 Protel 原理图元器件制作及 元器件库的建立	191
4.4.2 自动光学检测 (AOI) 技术	111	实训八 Protel 单面印制电路板设计	193
4.4.3 在线测试技术	113	实训九 创建新的元器件封装库	194
4.4.4 SMT 组件的返修技术	117	实训十 Protel 双面印制电路板设计 实验	196
实训四 表面组装设备操作	120	小结	198
实训五 表面组装设备的手工组装及 返修	122	习题	198
小结	124	第6章 电子产品生产中的焊接工艺	202
习题	124	6.1 焊接分类与锡焊的机理	202
第5章 电子产品印制电路板设计工艺	125	6.1.1 焊接的分类	202
5.1 Protel 基础	125	6.1.2 锡焊的机理	202
5.1.1 Protel DXP 简介	125	6.1.3 锡焊必须具备的条件	203
5.1.2 Protel DXP 设计环境	125	6.2 焊接前的准备	204
5.1.3 Protel DXP 文件管理	126	6.2.1 搪锡工艺	204
5.2 Protel 原理图设计	131	6.2.2 导线加工工艺	205
5.2.1 原理图设计流程	131	6.2.3 元器件焊前加工准备	206
5.2.2 原理图设计工具简介	134		
5.2.3 Protel 原理图元器件库及 元器件操作	137		
5.2.4 绘制原理图	144		

6.3 手工焊接工艺·····207	7.3 整机产品的可靠性试验·····237
6.3.1 手工焊接的基本技能·····207	7.3.1 可靠性试验的概念和目的·····237
6.3.2 几种特殊元器件的焊接 工艺·····210	7.3.2 可靠性试验的分类·····237
6.3.3 导线的焊接·····211	7.3.3 电子产品的可靠性指标·····238
6.4 工业自动化焊接工艺·····213	7.4 电子设备的可靠性防护措施·····239
6.4.1 浸焊工艺·····213	小结·····240
6.4.2 波峰焊工艺·····214	习题·····241
6.4.3 再流焊工艺·····216	第8章 电子产品技术文件 ·····242
6.5 焊点质量及检查·····217	8.1 设计文件·····242
6.5.1 焊点质量检查·····217	8.1.1 设计文件的定义·····242
6.5.2 常见焊点缺陷及其分析·····218	8.1.2 设计文件的分类和作用·····242
6.5.3 SMT 印制板上的焊点·····221	8.1.3 设计文件的格式·····245
6.6 自动检测技术·····221	8.2 工艺文件·····248
6.6.1 AXI·····221	8.2.1 工艺文件的定义·····248
6.6.2 ICT、AOI 及 AXI 技术的比较 及常用检测策略·····222	8.2.2 工艺文件的作用·····248
小结·····223	8.2.3 工艺文件的种类·····249
习题·····223	8.2.4 工艺文件的编制原则、 方法·····249
第7章 电子产品整机装配、调试与 可靠性试验 ·····225	8.2.5 工艺文件的编号和简号·····250
7.1 电子产品整机装配工艺过程·····225	8.2.6 工艺文件的成册要求·····251
7.1.1 整机装配工艺过程·····225	8.2.7 工艺文件的计算机处理及 管理·····257
7.1.2 电子产品整机装配的工艺 要求·····225	实训十一 简单电子产品的技术文件 编制·····258
7.1.3 整机装配的特点及方法·····228	小结·····259
7.2 整机功能、性能检测与调试 工艺·····229	习题·····259
7.2.1 整机功能、性能检测·····229	综合实训一 防盗报警器的装配调试 ·····260
7.2.2 整机调试工艺·····232	综合实训二 双音门铃的制作和装配调试 ·····264
	参考文献 ·····268

第 1 章

电子工艺概述

【学习目的及要求】

通过本章介绍,读者应了解现代制造工艺及电子工艺的形成及发展概况;熟悉电子工艺的研究范围,了解我国电子工艺的发展情况;了解电子工艺与电子 CAD 课程的培养目标,了解电子工艺技术人员的工作职责;学习电子产品制造工艺流程,掌握电子工艺操作安全用电知识与静电防护要领。

1.1 电子工艺简介

1.1.1 现代制造工艺及电子工艺的形成发展

工艺是企业科学生产的法律和法规,工艺工作的出发点是为了提高企业劳动生产率,生产优质产品以及增加生产利润。

工艺源于手工业时代的个人操作经验和手工技能。进入现代化工业时代,个人操作经验和手工技能不再成为产品竞争力的关键,而科学的经营管理、优质的器件材料、先进的仪器设备、高效的工艺手段、严格的质量检验和低廉的生产成本成为产品胜出的决定性因素,生产操作者只需按照规定的生产程序,进行规范化的熟练操作。工艺到这时已蜕变为现代制造工艺,它涵盖了从设计到销售整个生产过程的每一个制造环节。

现代制造工艺以不断提高企业生产竞争能力为目的,研究时间、速度、能源、方法、程序、生产手段、质量监控、工作环境、组织机构、劳动管理等生产因素。现代制造工艺学的理论及应用,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(包括销售活动中的技术服务及用户信息反馈),为企业组织生产提供科学的依据。

电子工艺是现代制造工艺学科之一。从电子产品制造角度,电子工艺包括有机加工工艺、表面加工工艺、连接工艺、化学工艺、塑料工艺、总装工艺等。它综合性强,技术信息分散,涉及的学科主要有应用物理学、化学工程技术、光刻工艺学、电气电子工程学、机械工程学、金属学、焊接学、工程热力学、材料科学、微电子学、计算机科学、工业设计学、人机工程学等。

电子工艺作为一门学科起步较晚,20世纪70年代,第一本系统论述电子工艺技术的书面世。由于电子科学技术发展飞速,新材料、新技术不断出现,电子工艺学随之不断发展。新的电子工艺技术往往还未普及就已被更先进的手段所取代,电子工艺的不断改进又促使电子产品的性能价格比不断提升。由于关键工艺技术的竞争往往能决定公司乃至国家的市场经济竞争力,公司常通

过专利的手段对关键技术的知识产权进行保护，行业、企业间技术保密和技术封锁相当普遍，收集获取电子工艺的关键技术信息则变得异常困难，这又构成了电子工艺学发展的瓶颈。

1.1.2 我国电子工艺的发展状况

我国电子工业从建国之初到今天，从无到有逐步形成了自己门类齐全的电子工业体系。80年代改革开放以来，我国电子工业发展迅猛，电子工业逐步成为我国国民经济的重要支柱产业，中国成为世界电子工业的加工厂已成不争事实。然而我国整体上在电子产品制造工艺领域处于比较落后的水平，还缺少稳定的、高素质的工艺技术队伍。一方面，近年来电子产品制造业的热点从内地转移到东南沿海地区，世界各工业发达国家和港台地区的电子厂商纷纷把工厂迁往珠江三角洲和长江三角洲；另一方面，某些原来电子工业基础较好的城市和地区，电子产品制造企业设备陈旧，技术进步缓慢，缺乏能够大批量生产的产品和稳定的技术队伍，企业的发展和生存举步维艰。因此，从整体来说，我国电子产品制造业还未能形成系统的、现代化的电子产品制造工艺体系。

1.1.3 电子工艺研究的范围

电子产品种类繁多，各类电子产品制造工艺因其工作方式及使用环境的不同而有所差异。复杂的电子产品，可以称为电子产品系统，由整机构成；而整机是由组件（即 PCBA, Printed-Circuit Board Assembly, 印制电路板组件）构成；组件则是由零件、元器件、电子材料等组成。电子产品组成结构如图 1-1 所示。有的小型电子产品结构简单，没有系统这一级。由整机组成系统主要是连接和调试工作，生产任务不多，不是我们讨论的重点。本书讲的电子产品生产工艺专是指整机产品制造工艺，即电子整机产品在设计、试验、装配、焊接、调整、检验、维修、服务方面的工艺过程，对于各种电子材料及电子元器件，则是从 PCB 板制作及整机装配使用的角度讨论它们的外形、封装及其选择和检验。

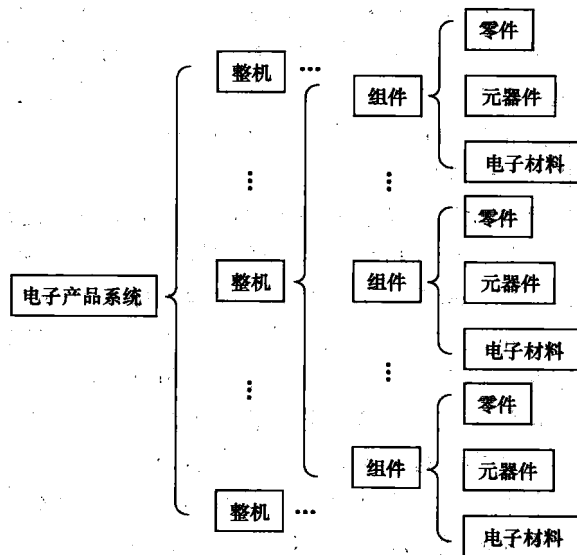


图 1-1 电子产品组成结构

电子整机产品制造工艺包括两方面，一是指制造工艺的技术手段和操作技能，二是指产品在

生产过程中的质量控制和工艺管理。前者是电子工艺工作的中心——“硬件”，后者是前者的有机保障——“软件”，二者不能偏废。限于篇幅，本书侧重于前者。

1.1.4 电子工艺与电子 CAD 的课程目标

电子工艺技术和工艺管理水平的差异是造成各厂家同类电子产品质量水平不同的主要原因。工艺技术力量较强，实行了现代化工艺管理的企业中，电子产品的质量就比较稳定，市场竞争力就比较强。因此本课程要为学生日后成长为掌握相应工艺技能和工艺技术管理知识的业务骨干奠定扎实的基础。

学习本课程之前，学生应具备扎实的文化基础，广博的知识面，较强的实践能力。通过电子工艺与电子 CAD 课程的学习，学生应了解当前电子产品生产过程的细节，理解生产工人的操作环节，充分理解工艺工作在产品制造过程中的重要地位，理论与实践并重，掌握电子产品生产操作的基本技能；从产品的工艺技术角度，掌握用 Protel 绘制电子产品原理图、设计印制电路板的基本技能，在设计方案时就充分考虑加工的可能性和工艺的合理性；掌握印制电路板的制作、装配、整机的装配工艺、调试和老化检验技能。由于实际工艺技术发展往往超前于教学安排与教材，学生必须主动了解目前我国电子产品生产中最先进的技术和设备，能够从更高的层面了解现代化电子产品生产的全过程，从而能成为掌握相应工艺技能和工艺技术管理知识，能指导电子产品现场生产，能解决实际技术问题的专业技术骨干。

1.1.5 电子工艺技术人员的工作职责

电子工艺技术工作是电子企业中的重要技术工作，其根本是保证产品质量，提高生产效率，降低生产成本，最终达到提高企业经济效益的目的。

电子产品的形成须经历新产品的研制、试制试产、测试验证产品定型和大批量生产四个阶段，才能进入市场和到达用户手中。工艺技术人员参与电子产品形成的每个阶段，确定其中的工艺方案、生产工艺流程和方法，完成产品从研制阶段向生产制造阶段的技术转换，并负责大批量生产过程的技术管理工作。工艺技术人员的工作职责如下。

① 在新产品研制阶段，参与研发项目组分析新产品的技术特点和工艺要求，确定新产品研制和生产所需的设备、手段，负责工艺审查，制定必要的工艺文件，提出并确定新产品生产的工艺方案，主要对新产品元器件的选用、PCB 板设计和新产品生产的工艺性进行评定。

② 在试制试产阶段，参加新产品样机的工艺性评审，对新产品的元器件选用、电路设计的合理性、结构的合理性、产品批量生产的可行性、性能功能的可靠性和生产手段的适用性提出评审意见和改进要求，对新产品的试制试产负责技术上的准备和协调，现场组织解决有关技术和工艺问题，提出改进意见。

③ 在产品定型阶段，工艺技术人员要做好批量投产前各项工艺技术的准备工作，确定批量生产的工艺方案。根据产品设计文件要求编制产品批量生产工艺流程、工时定额和工位作业指导书，计算产品劳动量及成本，设计制造必要的检测工艺装置，编制调试 ICT 等测试设备和波峰机、SMT 等生产设备的操作方法和规程，对元器件、原材料进行确认，培训操作员工。

④ 大批量生产阶段要进行生产现场工艺规范和工艺纪律管理，指导现场生产人员完成工艺工作和产品质量控制工作，解决生产现场出现的技术问题，注意搜集各种信息，控制和改进生产过程中的产品质量，协同研发、检验、采购等相关部门进行生产过程质量分析，研讨、分析和引进

新工艺、新设备，参与重大工艺问题和质量问题的处理，不断提高企业的工艺技术水平、生产效率和产品质量。

工艺技术工作技术性和实践性均很强，涉及的学科多，知识面广。它与生产实际紧密结合，工作复杂而又细致。

1.2 电子产品制造工艺流程

1.2.1 电子整机装配工艺流程

一台台电子整机产品都是由繁多的电子元器件、组件、电子材料如导线以及机箱连接装配而成的。在大批量生产阶段，整机装配总体上可分为生产准备、安装、调试及检验工作几个阶段，如图 1-2 所示。

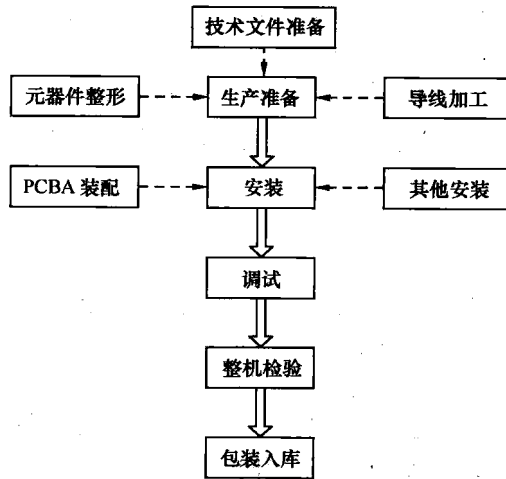


图 1-2 电子整机装配工艺流程

① 生产准备阶段是将要投入生产的原材料、元器件进行整形，如元器件剪脚、弯曲成需要的形状，导线剪裁、剥头、搪锡、装上插接端子等，这些工作是必须在流水线开工以前就完成的，同时还要准备好相应的技术文件。

② 安装阶段的工作是电子设备组装的主要任务，安装阶段主要是元器件在印制电路板上的装配焊接（即 PCBA 的装配）、组合件连装、紧固件安装、连接线焊接及面板机壳等其他安装。

③ 调试阶段主要工作有单元组合件调试和整机调试，调试的方法主要有分调、粗调、细调和统调等。

④ 检验工作贯穿整机生产的全过程，有元器件、材料、零部件等入库前检验；上生产线前各单元组合件及自制件检验；生产过程中各工序安装单元的检验；整机检验和出厂检验等。

1.2.2 PCBA 生产的基本工艺流程

电子整机产品从设计、原材料购入、装配到检验是一个复杂的系统工程，电子设备的装配是整个系统工程中非常重要的子系统，为确保该子系统顺利进行，首先必须设计出装配工艺流程图，

明确产品装配顺序及各工序间的先后关系，便于搞好装配的组织管理工作。

电子产品装配过程的核心工作是将元器件组装成具有一定功能的电路板部件又称为组件(PCBA)。电路板装配可分为自动装配和人工装配两类。自动装配主要指自动贴片装配(SMT)、自动插件装配(AI)和自动焊接；人工装配指手工插件、手工补焊、修理和检验等。电路板生产的基本工艺流程如图 1-3 所示。

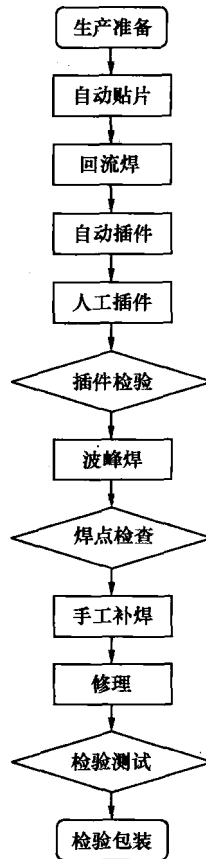


图 1-3 PCBA 生产基本工艺流程

自动贴片是将贴片封装的元器件用 SMT 技术贴装到印制电路板上，经回流焊工艺固定焊接在印制电路板(PCB)上。装有表面封装元器件的电路板送到自动插件机上，机械手将可机插的元器件插到电路板相应位置，经机器弯角初步固定后转交手工插接线。人工将那些不适合机插、机贴的元器件插好，经检验后送入波峰焊机中焊接，焊接后的电路板经检验个别不合格部分由人工进行补焊、修理，然后进行 ICT 静态测试、功能性能的检测和调试、外观检测等检测工序，完成以上工序的电路板即可进入整机装配了。

1.2.3 电子设备生产工艺流程的工位

装配工艺流程图编制好后，就要着手确定生产工艺流程的工序、工位和生产节拍。电子设备装配工序、工位的安排必须遵循如下原则：先准备后上线，先轻后重，先小后大，先铆后装，先

装后焊，先里后外，先下后上，先平后高，易碎易损坏后装，上道工序不影响下道工序等。

凡不适合直接在流水线上组装的元器件可安排在准备工序里去做，在组装流水线上把一台整机装配调试工作划分为若干简单操作，每个装配工人完成指定的简单作业，我们把每一个工人所完成的作业内容称为工位。为提高生产效率，确保流水线连续均衡移动，每个工位所用的装配时间（即节拍）应该相等。

图 1-4 所示为一种电磁炉功率板的装配流程图。

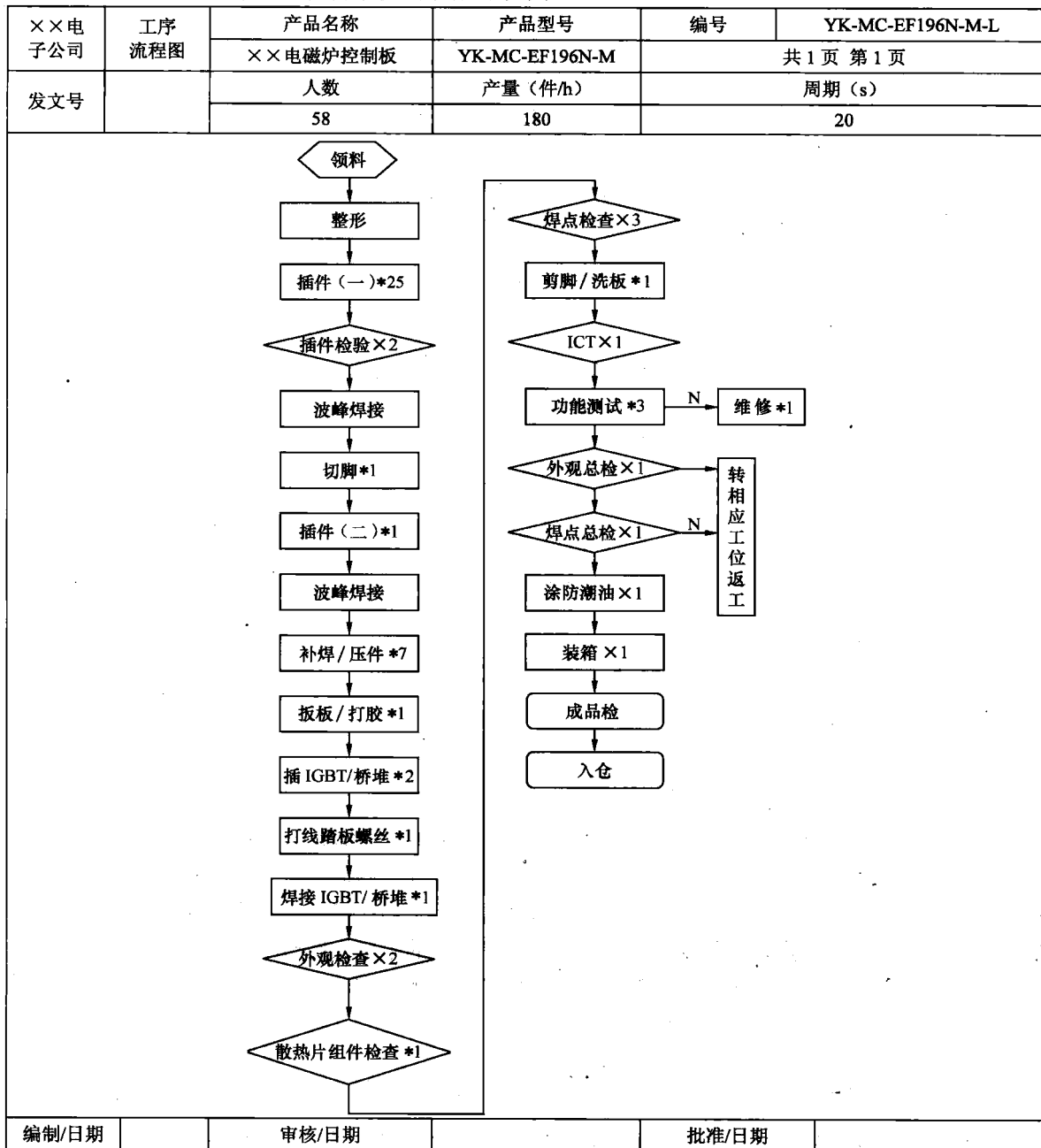


图 1-4 某电磁炉功率板的装配流程图

1.3 电子工艺操作安全用电知识

在生产过程中确保产品、设备和人身的安全是至关重要的。对于电子产品的生产工人来说，经常接触的是用电安全问题，他们必须掌握必要的安全用电知识。

1.3.1 触电的种类、方式及对人体的危害

由于触电的种类、方式及条件不同，受伤害的后果也不一样。

1. 电流伤害人体的因素

据统计，触电造成事故严重程度与人体电阻、触电电流、触电电压、持续时间、频率值及触电电流的途径等因素有关。皮肤干燥时人体电阻大，约 $10^4 \sim 10^5 \text{ k}\Omega$ ，潮湿时人体电阻小，最小约为 $1 \text{ k}\Omega$ 。人体通过 50 mA 以下的电流不会造成电击，干燥环境下 36 V 称为安全电压，若在潮湿场所及金属构架上工作，安全电压降至 24 V 或 12 V 。持续时间长，皮肤角质层损坏，人体电阻变得很低，通过电流大，危险性变大。电流通过心脏最危险，而从右手到脚的途径比其他途径如脚到脚、手到手、左手到脚等，电流流过心脏的百分数更大，更严重。如果头部触电，电流流经脊髓，使人昏迷，还可能致人肢体瘫痪，具体如表 1-1 所示。

表 1-1 电流伤害人体的因素

电流大小	通电时间	对人体的伤害
0~0.5 mA	连续通电	身体无感觉
0.5~5 mA	连续通电	身体开始有痛的感觉，无痉挛，可以摆脱电源
5~30 mA	数分钟	身体痉挛，不能摆脱电源，呼吸困难，血压升高，是可忍受的极限
30~50 mA	数秒到数分钟	心脏跳动不规则，昏迷，血压升高，强烈痉挛，时间过长引起心室颤动。
50~250 mA		强烈冲击，但未发生心室颤动
>250 mA	短时间内（1 s 以上）	心脏停止跳动，电灼伤

2. 人体触电的种类

人体是导电的，一旦有电流流过时，将受到不同程度的伤害。根据伤害性质不同，可分为电击和电伤。

(1) 电击

电击是指电流流过人体内部组织时所造成的伤害，如不及时摆脱带电体，就有生命危险，通常说的触电就是电击。触电死亡中绝大部分是电击造成的。电击可使肌肉抽搐、内部组织损伤，造成发热、发麻、神经麻痹等，严重的会引起昏迷、窒息，甚至心脏停止跳动、血液循环终止等而导致死亡。

(2) 电伤

电伤是指对人体外部的伤害，如灼伤、烙伤和皮肤金属化等现象，是在电流的热效应、化学效应、机械效应及电流本身作用下造成的。灼伤由电流的热效应引起，主要是电弧灼伤，造成皮肤红肿、烧焦或皮下组织损伤；烙伤是皮肤被电气发热部分烫伤或由人体与带电体紧密接触而留下肿块、硬块，使皮肤变色等；皮肤金属化是由于电流热效应和化学效应导致熔化金属微粒渗入

皮肤表层，使受伤部位带金属色且留下硬块。

3. 人体触电的三种方式

(1) 单相触电

单相触电是指人体接触带电的电气设备中任何一相引起的触电。通常是人体的一部分接触带电体的同时，另一部分与大地或零线（中性线）相接，电流经人体到达大地或零线形成回路，如图 1-5 所示。设人体电阻为 R_1 ，相电压为 U ，则流经人体的电流为 $I=U/R_1$ ，在接触电气线路或设备时，若不采用防护措施，一旦电气线路或设备绝缘损坏漏电，将引起间接的单相触电。若站在地上误触带电体的裸露金属部分，将造成直接的单相触电。

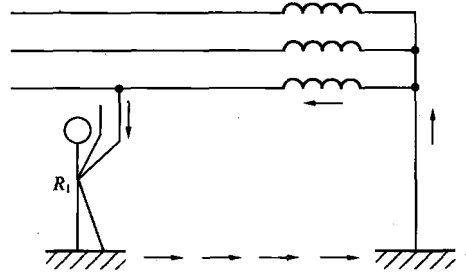


图 1-5 单相触电示意图

(2) 两相触电

两相触电是指人体不同部位同时接触电气设备任

两相而引起的触电，如图 1-6 所示。设人体电阻为 R_1 ，相电压为 U ，则流经人体的电流为 $I = \frac{U}{R_1}$ ，显然无论电网中性点是否接地，人体所承受的相电压比单相触电时高，危险性更大。

(3) 悬浮电路上的触电

220 V 电压通过变压器隔离后，从二次绕组输出的电压零线不接地，变压器绕组间不漏电时，即相对于大地处于悬浮状态。如果一只手接触二次绕组的一根导线，同时另一只手接触该绕组的另一导线，则会造成触电，如图 1-7 所示。如在接触或检修彩色电视机类电路时，若一只手接触电路的高电位点，另一只手接触低电位点，则人体将电路连通造成触电，这就是悬浮电路触电。

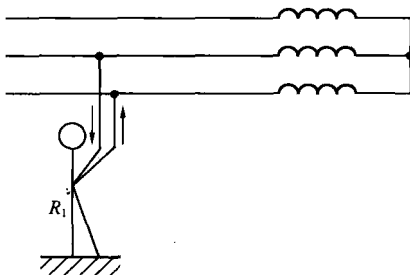


图 1-6 双相触电示意图

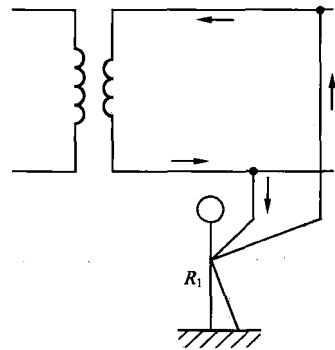


图 1-7 悬浮电路触电示意图

1.3.2 触电现场的救护

触电发生后千万不能惊惶，必须在保证自身不触电的前提下尽快抢救。

① 要尽快使触电者脱离电源，最有效的办法是切断电源，如果一时来不及找到电源时，就用绝缘物体（如干燥的竹竿、木棒或塑料制品等）移开带电体。

② 脱离电源后的触电者若还有心跳和呼吸，应尽快送医院进行抢救。

③ 脱离电源后的触电者如果心跳已停止，应立即采用人工心脏挤压法施救，使患者维持血液循环；如果呼吸已停止，应立即采用人工呼吸法施救，同时拨打急救电话。

④ 脱离电源后的触电者如果心跳、呼吸全停止时，应该同时采用人工心脏挤压法和人工呼吸方法施救，边急救边送医院做进一步的抢救。

1.3.3 用电安全注意事项

① 操作带电设备时，严禁触及非安全电压，严禁用手直接接触及带电体以判断是否有电。

② 在非安全电压下作业时，要尽可能单手操作，脚要站在绝缘的物体上。

③ 据统计，大多数的触电事故是在接触正常工作时不带电部分，而该部分由于绝缘已损坏导致漏电引发的，如电动机绕组绝缘损坏而波及机壳或设备带电的触电伤亡，又如家用电器因绝缘破损引起外壳碰线带电的触电伤亡，为此电气设备或电动工具必须保护接地，即三相用电设备的机壳用接地线或接地电阻焊接。

④ 进行高压试验时，试验场地周围应设有护栏，非试验人员禁止入内，护栏上挂有“高压危险”的警告牌。操作者应穿绝缘鞋、戴绝缘手套。

⑤ 生产场地布线要合理，场地的电源符合国家电气安全标准，总电源装有漏电保护开关。不乱拉临时线，熔丝要符合标准，插头、插座要连接良好。带电导体及线头不能裸露在外，必须有良好的绝缘措施。

⑥ 发现电气设备不正常时，应立即断开电源开关，进行检修。

⑦ 注意防火，易燃易爆的物品必须远离高温，生产场地内须有良好的消防设施。

1.3.4 文明生产

文明生产是实现全面质量管理的重要条件。文明生产就是创造一种正规、清洁明亮、安全、井然有序、有稳定人心作用、符合最佳布局的良好环境，养成按标准秩序和良好工艺技术精心操作的习惯。

电子产品的生产对场地环境的要求比较高。一般应做到室内照明灯光充足而不耀眼；墙壁、地面、仪器设备等的颜色要适合，对人眼不刺激；场地应有排气通风设备，使室内空气中有有害气体不能超标；室内的噪声不能超过 85 dB；严禁在场地上吸烟、喧哗打闹。

起源于日本的 5S 现场管理体系已被许多企业采用，5S 包括整理、整顿、清扫、清洁、修养。现场管理的目的是对生产现场中的人员、机器、材料、方法、环境进行充分而有效的科学管理，其宗旨是“物有其位，物在其位”。

1. 整理

整理就是将必需品与非必需品区分开，必需品摆在指定的位置上，不要的物品坚决清除。这些被处理掉的物品可能包括原辅材料、半成品和成品、仪器设备、工装夹具、管理文件、表册单据、无关的书报、个人物品等。

2. 整顿

整顿就是要将工作场所的必需品分区放置，明确定位标示，方便使用。其原则是“定位、定