

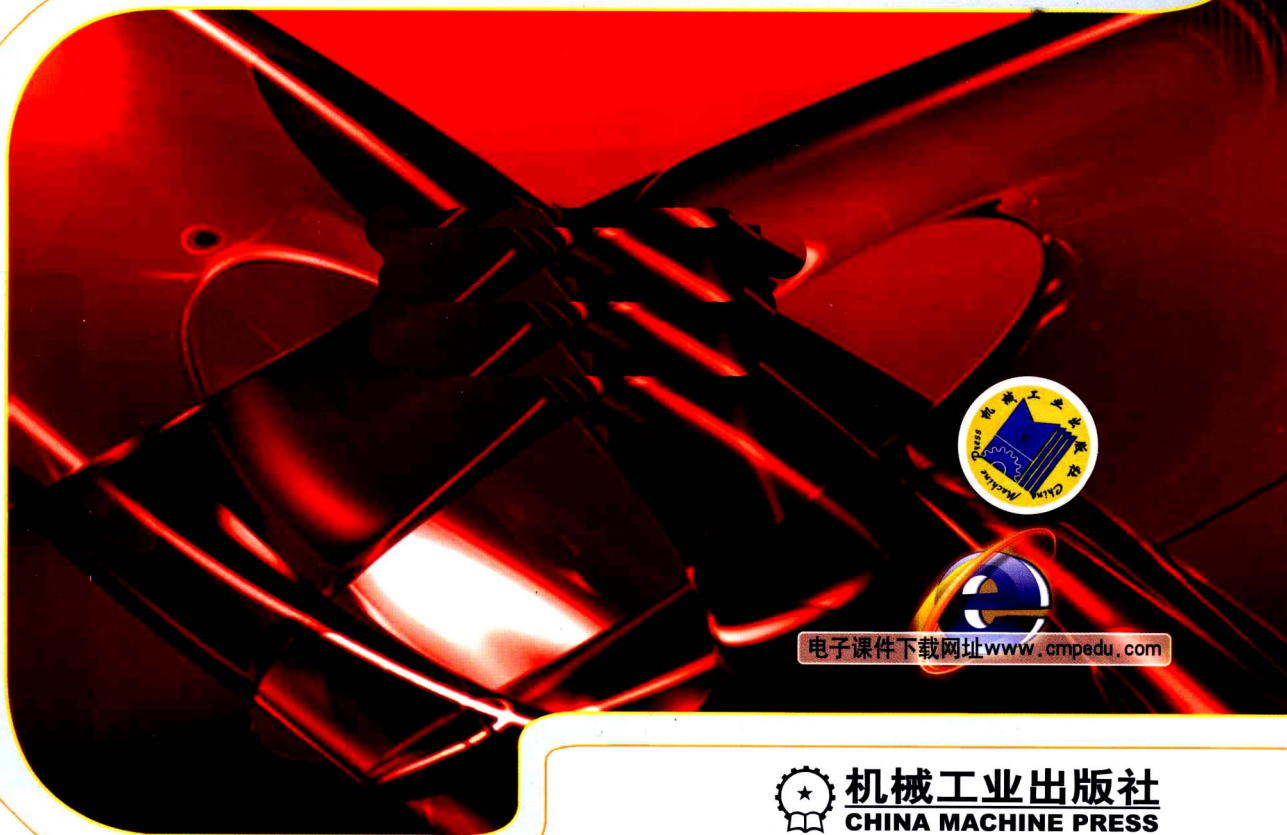


全国高等职业教育规划教材

SMT基础与工艺

主 编 何丽梅

副主编 杨彦飞 管湘芸



电子课件下载网址 www.cmpedu.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全国高等职业教育规划教材

SMT 基础与工艺

主 编	何丽梅	
副主编	杨彦飞	管湘芸
参 编	方 涛	刘 伟
主 审	黄永定	



机械工业出版社

本书主要包括表面组装元器件、表面组装基板材料与 SMB 设计、表面组装工艺材料、表面组装涂敷与贴装技术、表面组装焊接工艺、表面组装清洗工艺、表面组装检测工艺等内容。具有很高的实用参考价值,适用面较广,编写中强调了生产现场的技能性指导,特别是印刷、贴片、焊接、检测等 SMT 关键工艺与关键设备使用维护方面的内容尤为突出。为便于理解与掌握,书中配有大量的插图及照片。

本书可作为高等职业院校或中等职业学校 SMT 专业或电子制造工艺专业的教材;也可作为各类工科学校器件设计、电路设计等与 SMT 相关的其他专业的辅助教材。

本书配套授课电子教案,需要的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册、审核通过后下载,或联系编辑索取(QQ: 1239258369, 电话: 010 - 88379739)。

图书在版编目(CIP)数据

SMT 基础与工艺/何丽梅主编 —北京:机械工业出版社, 2011.7
全国高等职业教育规划教材
ISBN 978 - 7 - 111 - 35230 - 3

I. ①S… II. ①何… III. ①印刷电路—组装—高等
职业教育—教材 IV. ①TN410.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 130832 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:王 颖 版式设计:张世琴

责任校对:潘 蕊 责任印制:乔 宇

三河市国英印务有限公司印刷

2011 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 15.75 印张 · 387 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978 - 7 - 111 - 35230 - 3

定价:31.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务 网络服务

社服务中心:(010) 88361066 门户网:<http://www.cmpbook.com>

销 售 一 部:(010) 68326294 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销 售 二 部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

全国高等职业教育规划教材 电子类专业编委会成员名单

主 任 曹建林

副 主 任 张中洲 张福强 董维佳 俞 宁 杨元挺 任德齐
华永平 吴元凯 蒋蒙安 祖 炬 梁永生

委 员 (按姓氏笔画排序)

尹立贤	王用伦	王树忠	王新新	邓 红	任艳君
刘 松	刘 勇	华天京	吉雪峰	孙学耕	孙津平
朱咏梅	朱晓红	齐 虹	张静之	李菊芳	杨打生
杨国华	汪赵强	陈子聪	陈必群	陈晓文	季顺宁
罗厚军	姚建永	钮文良	聂开俊	袁 勇	袁启昌
郭 勇	郭 兵	郭雄艺	高 健	崔金辉	曹 毅
章大钧	黄永定	曾晓宏	蔡建军	谭克清	

秘 书 长 胡毓坚

副秘书长 戴红霞

出版说明

根据《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国近60所高等职业院校的骨干教师对在2001年出版的“面向21世纪高职高专系列教材”进行了全面的修订和增补,并更名为“全国高等职业教育规划教材”。

本系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会分别会同各高职高专院校的一线骨干教师,针对相关专业的课程设置,融合教学中的实践经验,同时吸收高等职业教育改革的成果而编写完成的,具有“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价,并有多品种被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在修订和增补过程中,除了保持原有特色外,针对课程的不同性质采取了不同的优化措施。其中,核心基础课的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。同时,根据实际教学的需要对部分课程进行了整合。

归纳起来,本系列教材具有以下特点:

- 1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- 2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度,强调专业技术应用能力的训练,适当增加实训环节。
- 3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述容易理解、清晰简洁,多用图表来表达信息;增加相关技术在生产中的应用实例,引导学生主动学习。
- 4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新,及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念,并积极支持新专业的教材建设。
- 5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合,提高教学服务水平,为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快,加之我们的水平和经验有限,因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息,以利于我们今后不断提高教材的出版质量,为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

SMT（表面组装技术）是电子先进制造技术的重要组成部分，SMT 的迅速发展和普及，变革了传统电子电路组装的概念，为电子产品的微型化、轻量化创造了基础条件，对于推动当代信息产业的发展起到了重要作用，成为制造现代电子产品的必不可少的技术之一。目前，SMT 已广泛应用于各行各业的电子产品组件和器件的组装中。而且，随着半导体元器件技术、材料技术、电子与信息技术等相关技术的飞速进步，SMT 的应用面还在不断扩大，其技术也在不断完善和深化发展之中。近年来，为了与 SMT 的这种发展现状和趋势相适应，与信息产业和电子产品的飞速发展带来的对 SMT 的技术需求相适应，我国电子制造业急需大量掌握 SMT 知识的专业技术人才。

SMT 包含表面组装元器件、电路基板、组装材料、组装设计、组装工艺、组装设备、组装质量检验与测试、组装系统控制与管理等多项技术，是一门新兴的先进制造技术和综合型工程科学技术。要掌握这样一门综合型工程技术，必须经过系统的专业基础知识和专业技能的学习和培训。

为了更好地满足 SMT 专业技术人才培养的系统性教学、培训所需，我们编写了本书。在编写过程中，我们参考了部分院校师生的意见与建议，考察了 SMT 电子产品生产企业，并对相关电子行业的用工需求进行了调研。在编写中注意了教材的实用参考价值，强调了生产现场的设备使用与维护技术，尤其充实了 SMT 工艺中的印刷、贴片、焊接、检测等关键工序的应用指导。

本书可作为高等职业院校应用电子技术专业或与电子产品制造、维修等有关专业方向的教学用书；也可用做器件设计、电路设计等与 SMT 相关的其他专业的辅助教材。同时，还可供从事 SMT 产业的企业员工自学和参考。

本书由吉林信息工程学校何丽梅任主编，吉林教育学院杨彦飞、无锡商业职业技术学院管湘芸任副主编。参与编写的还有长春大学方涛和吉林化工学院刘伟。其中，方涛编写第 1 章~第 3 章，杨彦飞编写第 4 章~第 5 章，刘伟编写第 6 章~第 7 章，管湘芸编写第 8 章，何丽梅编写第 9 章及附录 A、附录 B 并统稿。

吉林信息工程学校黄永定担任本书主审。

本书在编写过程中参考了大量有关 SMT 技术方面的资料，同时也得到了吉林华微集团、吉林永大公司等企业工程技术人员的大力协助与指导，在此一并表示感谢。

由于编者水平、经验有限，错误与不当之处在所难免，恳请读者在阅读与使用中提出宝贵意见，以便及时改正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第1章 概论..... 1

1.1 SMT的发展及其特点..... 1

1.1.1 SMT的发展过程..... 1

1.1.2 SMT的组装技术特点..... 5

1.2 SMT及SMT工艺技术的基本内容..... 6

1.2.1 SMT的主要内容..... 6

1.2.2 SMT工艺技术的基本内容..... 7

1.2.3 SMT工艺技术规范..... 8

1.2.4 SMT生产系统的组线方式..... 8

1.3 习题..... 9

第2章 表面组装元器件..... 10

2.1 表面组装元器件的特点和种类..... 10

2.1.1 表面组装元器件的特点..... 10

2.1.2 表面组装元器件的种类..... 10

2.2 无源表面组装元件 SMC..... 11

2.2.1 SMC的外形尺寸..... 11

2.2.2 表面组装电阻器..... 14

2.2.3 表面组装电容器..... 19

2.2.4 表面组装电感器..... 22

2.2.5 SMC的焊端结构..... 27

2.2.6 SMC元件的规格型号表示

方法..... 28

2.3 表面组装器件 SMD..... 29

2.3.1 SMD分立器件..... 29

2.3.2 SMD集成电路及其封装方式..... 31

2.3.3 集成电路封装形式的比较与

发展..... 38

2.4 SMT元器件的包装方式与使用

要求..... 41

2.4.1 SMT元器件的包装..... 41

2.4.2 对SMT元器件的基本要求与

选择..... 43

2.4.3 湿度敏感元器件的保管与使用... 44

2.5 习题..... 46

第3章 表面组装基板材料与SMB

设计..... 47

3.1 SMT印制电路板的特点与材料..... 47

3.1.1 SMB的特点..... 47

3.1.2 基板材料..... 49

3.1.3 SMB基材质量的相关参数..... 52

3.1.4 CCL常用的字符代号..... 56

3.1.5 CCL的铜箔种类与厚度..... 57

3.2 SMB设计的原则与方法..... 57

3.2.1 SMB设计的基本原则..... 57

3.2.2 常见的SMB设计错误及原因... 60

3.3 SMB设计的具体要求..... 61

3.3.1 PCB整体设计..... 61

3.3.2 SMC/SMD焊盘设计..... 64

3.3.3 元器件方向、间距、辅助焊盘的

设计..... 69

3.3.4 焊盘与导线连接的设计..... 71

3.3.5 PCB可焊性设计..... 72

3.3.6 PCB光绘资料与光绘操作

流程..... 74

3.4 习题..... 75

第4章 表面组装工艺材料..... 76

4.1 贴片胶..... 76

4.1.1 贴片胶的用途..... 76

4.1.2 贴片胶的化学组成..... 77

4.1.3 贴片胶的分类..... 77

4.1.4 表面组装对贴片胶的要求..... 78

4.2 焊锡膏..... 79

4.2.1 焊锡膏的化学组成..... 79

4.2.2 焊锡膏的分类..... 81

4.2.3 表面组装对焊锡膏的要求..... 81

4.2.4 焊锡膏的选用原则..... 82

4.2.5 焊锡膏使用的注意事项	83	5.4.3 全自动贴片机操作指导	128
4.2.6 无铅焊料	84	5.4.4 贴片质量分析	129
4.3 助焊剂	87	5.5 手工贴装 SMT 元器件	130
4.3.1 助焊剂的化学组成	87	5.6 习题	131
4.3.2 助焊剂的类型	88	第 6 章 表面组装焊接工艺	132
4.3.3 对助焊剂性能的要求及选用	89	6.1 焊接原理与表面组装焊接特点	132
4.4 清洗剂	90	6.1.1 电子产品焊接工艺	132
4.4.1 清洗剂的化学组成	90	6.1.2 SMT 焊接技术特点	134
4.4.2 清洗剂的分类与特点	90	6.2 表面组装的自动焊接技术	135
4.5 其他材料	91	6.2.1 浸焊	136
4.5.1 阻焊剂	91	6.2.2 波峰焊	136
4.5.2 抗氧化剂	91	6.2.3 再流焊	142
4.5.3 插件胶	91	6.2.4 再流焊炉的工作方式和结构	144
4.6 习题	92	6.2.5 再流焊设备的类型	146
第 5 章 表面组装涂敷与贴装技术	93	6.2.6 全自动热风再流焊炉作业 指导	150
5.1 表面组装涂敷技术	93	6.3 SMT 元器件的手工焊接	152
5.1.1 再流焊工艺焊料供给方法	93	6.3.1 手工焊接 SMT 元器件的要求与 条件	152
5.1.2 焊锡膏印刷机及其结构	93	6.3.2 SMT 元器件的手工焊接与 拆焊	155
5.1.3 焊锡膏的印刷方法	95	6.4 SMT 返修工艺	159
5.1.4 焊锡膏印刷工艺流程	97	6.4.1 返修的工艺要求与技巧	159
5.1.5 印刷机工艺参数的调节	99	6.4.2 Chip 元件的返修	159
5.1.6 刮刀形状与制作材料	100	6.4.3 SOP、QFP、PLCC 元器件的 返修	160
5.1.7 全自动焊锡膏印刷机开机作业 指导	101	6.4.4 SMT 印制电路板返修工作站	162
5.1.8 焊锡膏全自动印刷工艺指导	102	6.4.5 BGA、CSP 芯片的返修	162
5.1.9 焊锡膏印刷质量分析	103	6.5 SMT 焊接质量缺陷及解决方法	165
5.2 SMT 贴片胶涂敷工艺	104	6.5.1 再流焊质量缺陷及解决办法	165
5.2.1 贴片胶的涂敷	104	6.5.2 波峰焊质量缺陷及解决办法	168
5.2.2 贴片胶涂敷工序及技术要求	106	6.5.3 再流焊与波峰焊均会出现的 焊接缺陷	170
5.2.3 使用贴片胶的注意事项	107	6.6 习题	174
5.2.4 点胶工艺中常见的缺陷与解决 方法	107	第 7 章 表面组装清洗工艺	175
5.3 贴片设备	109	7.1 清洗技术的作用与分类	175
5.3.1 自动贴片机的类型	109	7.1.1 清洗的主要作用	175
5.3.2 自动贴片机的结构	112	7.1.2 清洗方法分类及溶剂的种类和 选择	176
5.3.3 贴片机的主要技术指标	121		
5.4 贴片工艺	123		
5.4.1 对贴片质量的要求	123		
5.4.2 贴片机编程	124		

7.2 溶剂清洗设备	176	9.2 SMT 生产线的设计	203
7.2.1 批量式溶剂清洗设备	177	9.2.1 生产线的总体设计	203
7.2.2 连续式溶剂清洗设备	178	9.2.2 生产线自动化程度设计	204
7.3 水清洗工艺及设备	179	9.2.3 设备选型	205
7.4 超声波清洗	182	9.3 SMT 产品组装中的静电防护技术 ...	206
7.5 习题	183	9.3.1 静电及其危害	206
第 8 章 表面组装检测工艺	184	9.3.2 静电防护原理与方法	207
8.1 来料检测	184	9.3.3 常用静电防护器材	209
8.2 工艺过程检测	185	9.3.4 电子产品作业过程中的静电 防护	210
8.2.1 目视检验	186	9.4 SMT 产品质量控制与管理	212
8.2.2 自动光学检测 (AOI)	188	9.4.1 依据 ISO—9000 系列标准做好 SMT 生产中的质量管理	212
8.2.3 自动 X 射线检测(X-Ray)	191	9.4.2 生产质量管理体系的建立	213
8.3 ICT 在线测试	193	9.4.3 生产管理	214
8.3.1 针床式在线测试仪	193	9.4.4 质量检验	218
8.3.2 飞针式在线测试仪	195	9.5 习题	219
8.4 功能测试 (FCT)	197	附录	220
8.5 习题	197	附录 A 表面组装技术术语	220
第 9 章 SMT 生产线与产品质量 管理	198	附录 B 实训——SMT 电调谐调频收音机 组装	235
9.1 SMT 组装方式与组装工艺流程	198	参考文献	242
9.1.1 组装方式	198		
9.1.2 组装工艺流程	199		

第 1 章 概 论

本章要点

- SMT 的基本概念
- SMT 的现状与发展
- SMT 与 SMT 生产系统的基本组成

SMT (Surface Mounting Technology) 是表面组装技术的英文缩写, 国内也常叫做表面装配技术或表面安装技术。它是一种直接将表面组装元器件贴装、焊接到印制电路板表面规定位置的电路装联技术, 是目前电子组装行业里最流行的一种技术和工艺。

SMT 在计算机、通信设备、投资类电子产品、军事装备领域、家用电器等几乎所有的电子产品生产中都得到了广泛应用。SMT 是电子装联技术的主要发展方向, 已成为世界电子整机组装的主流技术。

SMT 是一门包括元器件、材料、设备、工艺以及表面组装电路基板设计与制造的系统性综合技术; 是突破了传统的印制电路板通孔基板插装元器件方式而发展起来的第 4 代组装方法; 也是电子产品能有效地实现“短、小、轻、薄”, 多功能、高可靠、优质量、低成本的主要手段之一。

1.1 SMT 的发展及其特点

1.1.1 SMT 的发展过程

1. 表面组装技术的产生背景

目前, 电子应用技术的迅速发展表现出 3 个显著的特征。

- 1) 智能化: 使信号从模拟量转换为数字量, 并用计算机进行处理。
- 2) 多媒体化: 从文字信息交流向声音、图像信息交流的转化发展, 使电子设备更加人性化、更加深入人们的生活与工作。
- 3) 网络化: 用网络技术把独立系统连接起来, 高速、高频的信息传输使整个单位、地区、国家以至全世界实现资源共享。

这种发展趋势和市场需求对电路组装技术的要求可归纳为以下几点:

- 高密度化: 单位体积电子产品处理信息量的提高。
- 高速化: 单位时间内处理信息量的提高。
- 标准化: 用户对电子产品多元化的需求, 使少量品种的大批量生产转化为多品种、小批量的生产体制, 必然对元器件及装配手段提出更高的标准化要求。

这些要求迫使对在通孔基板 PCB 上插装电子元器件的工艺方式进行革命, 电子产品的装配技术必然全方位地转向 SMT。

2. 表面组装技术的发展简史

表面组装技术是由组件电路的制造技术发展起来的。从 20 世纪 70 年代到现在, SMT 的发展经历了 3 个阶段。

第 1 阶段 (1970 ~ 1975 年): 主要技术目标是把小型化的片式元件应用在混合电路 (我国称为厚膜电路) 的生产制造之中, 从这个角度来说, SMT 对集成电路的制造工艺和技术发展做出了重大的贡献; 同时, SMT 开始大量使用在民用的石英电子表和电子计算器等产品中。

第 2 阶段 (1976 ~ 1985 年): 促使电子产品迅速小型化、多功能化, 开始广泛用于摄像机、耳机式收音机和电子照相机等产品中; 同时, 用于表面组装的自动化设备大量研制开发出来, 片式元器件的组装工艺和支撑材料也已经成熟, 为 SMT 的高速发展打下了基础。

第 3 阶段 (1986 年至今): 主要目标是降低成本, 进一步改善电子产品的性能价格比。

随着 SMT 技术的成熟, 工艺可靠性提高, 应用在军事和投资类 (汽车、计算机、工业设备) 领域的电子产品迅速发展, 同时大量涌现的自动化表面装配设备及工艺手段, 使片式元器件在 PCB 上的使用量高速增长, 加速了电子产品总成本的下降。

表面组装技术的重要基础之一是表面组装元器件, 其发展需求和发展程度也主要受表面组装元器件 SMC/SMD 发展水平的制约。为此, SMT 的发展史与 SMC/SMD 的发展史基本是同步的。

20 世纪 60 年代, 飞利浦公司研制出可表面组装的纽扣状微型元器件供手表工业使用, 这种元器件已发展成现在表面组装用的小外形集成电路 (SOIC)。它的引线分布在元器件两侧, 呈鸥翼形, 引线的中心距为 1.27mm, 引线数可多达 28 针以上。20 世纪 70 年代初期, 日本开始使用方形扁平封装的集成电路 (QFP) 来制造计算器。QFP 的引线分布在元器件的四边, 呈鸥翼形, 引线的中心距最小仅为 0.65mm 或更小, 而引线数可达几百针。

美国所研制的塑封有引线芯片载体 (PLCC) 元器件, 引线分布在元器件的四边, 引线中心距一般为 1.27mm, 引线呈 “J” 形。PLCC 占用组装面积小, 引线不易变形。

20 世纪 70 年代研制出无引线陶瓷芯片载体 (LCCC) 全密封元器件, 它以分布在元器件四边的金属化焊盘代替引线。该阶段初期 SMT 的水平以组装引线中心距为 1.27mm 的 SMC/SMD 为标志, 80 年代逐渐进步为可组装 0.65mm 和 0.3mm 细引线间距 SMC/SMD 阶段。进入 90 年代后, 0.3mm 细引线间距 SMC/SMD 的组装技术和组装设备趋向成熟。

20 世纪 90 年代初期芯片尺寸封装 (CSP) 以其芯片面积与封装面积接近相等、可进行与常规封装集成电路 (IC) 相同的处理和试验、可进行老化筛选、制造成本低等特点脱颖而出。1994 年, 日本各制造公司已有各种各样的 CSP 方案提出, 1996 年开始, 已有小批量产品出现。

为适应 IC 集成度的增大使得同一 SMD 的输入/输出数, 也即引线数大增的需求, 将引线有规则分布在 SMD 整个贴装表面而成栅格阵列型的 SMD 也从 20 世纪 90 年代开始发展并很快得以普及应用, 其典型产品为球形栅格阵列 (BGA) 元器件。

现阶段 SMT 与 SMC/SMD 的发展相适应, 在发展和完善引线间距 0.3mm 及其以下的超细间距组装技术的同时, 正在发展和完善 BGA、CSP 等新型元器件的组装技术。

由此可见, 表面组装元器件的不断缩小和变化, 促进了组装技术的不断发展, 而组装技术在提高组装密度的同时又向元器件提出了新的技术要求和齐套性要求。可以说二者是相互

依存，相互促进而发展的。

MCM 是 20 世纪 90 年代以来发展较快的一种先进的混合集成电路，它是把几块 IC 芯片组装在一块电路板上，构成功能电路块，称之为多芯片模块（Multi Chip Module, MCM）。由于 MCM 技术是将多个裸芯片不加封装，直接装于同一基板并封装于同一壳体内，它与一般 SMT 相比，面积减小为 $1/6 \sim 1/3$ ，重量减轻为 $1/3$ 。

可以说 MCM 技术是 SMT 的延伸，一组 MCM 的功能相当于一个分系统的功能。通常 MCM 基板的布线多于 4 层，且有 100 个以上的 I/O 引出端，并将 CSP、FC、ASIC 器件与之相连。它代表了 20 世纪 90 年代电子组装技术的精华，是半导体集成电路技术、厚膜/薄膜混合微电子技术、印制电路板电路技术的结晶。MCM 技术主要用于超高速计算机、外层空间电子技术中。

为了适应更高密度、多层互连和立体组装的要求，目前 SMT 已处于国际上称之为微组装技术（Microelectronic Packaging Technology, MPT）的新阶段。

以 MCM、3D 为核心的 MPT 是在高密度、多层互连的 PCB 上，用微型焊接和封装工艺将微型元器件（主要是高集成度 IC）通过高密度组装、立体组装等组装方法进行组装，形成高密度、高速度和高可靠性的主体结构微电子产品（组件、部件、子系统或系统）。这种技术是当今微电子技术的重要组成部分，特别是在尖端高科技领域更具有十分重要的意义。在航天、航空、雷达、导航、电子干扰系统、抗干扰系统等方面都具有非常重要的应用前景。

作为第 4 代电子装联技术的 SMT，已经在现代电子产品，特别是在尖端科技电子设备、军用电子设备的微型化、轻量化、高性能、高可靠性发展中发挥了极其重要的作用。

3. 表面组装技术的发展动态

SMT 技术自 20 世纪 60 年代问世以来，经 50 多年的发展，已进入完全成熟的阶段，不仅成为当代电路组装技术的主流，而且正继续向纵深发展。

表面组装技术总的发展趋势是：元器件越来越小，组装密度越来越高，组装难度也越来越大。当前，SMT 在以下 4 个方面正取得新的技术进展：

1) 元器件体积进一步小型化。在大批量生产的微型电子整机产品中，0201 系列元器件（外形尺寸 $0.6\text{mm} \times 0.3\text{mm}$ ）、窄引脚间距达到 0.3mm 的 QFP 或 BGA、CSP 和 FC 等新型封装的大规模集成电路已经大量采用。由于元器件体积的进一步小型化，对 SMT 表面组装工艺水平、SMT 设备的定位系统等提出了更高的精度与稳定性要求。

2) 进一步提高 SMT 产品的可靠性。面对微小型 SMT 元器件被大量采用和无铅焊接技术的应用，在极限工作温度和恶劣环境条件下，消除因为元器件材料的线膨胀系数不匹配而产生的应力，避免这种应力导致印制电路板开裂或内部断线、元器件焊接被破坏成为不得不考虑的问题。

3) 新型生产设备的研制。在 SMT 电子产品的大批量生产过程中，焊锡膏印刷机、贴片机和再流焊设备是不可缺少的。近年来，各种生产设备正朝着高密度、高速度、高精度和多功能方向发展，高分辨率的激光定位、光学视觉识别系统、智能化质量控制等先进技术得到推广应用。

4) 柔性 PCB 的表面组装技术。随着电子产品组装中柔性 PCB 的广泛应用，在柔性 PCB 上组装 SMC 元器件已被业界攻克，其难点在于柔性 PCB 如何实现刚性固定的准确定位

要求。

4. 世界各国表面组装技术的发展概况

美国是世界上 SMD 和 SMT 最早起源的国家，并一直重视在投资类电子产品和军事装备领域发挥 SMT 高组装密度和高可靠性能方面的优势，具有很高的水平。

日本在 20 世纪 70 年代从美国引进 SMD 和 SMT 应用在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 80 年代中后期起加速了 SMT 在产业电子设备领域中的全面推广应用，仅用 4 年时间使 SMT 在计算机和通信设备中的应用数量增长了近 30%，使日本很快超过了美国，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，发展速度也很快，其发展水平和整机中 SMC/SMD 的使用效率仅次于日本和美国。20 世纪 80 年代以来，新加坡、韩国等国家不惜投入巨资，纷纷引进先进技术，使 SMT 获得较快的发展。

据飞利浦公司预测，到 2010 年全球范围插装（THT）元器件的使用率将由目前的 40% 下降到 10%，反之，SMC/SMD 将从 60% 上升到 90% 左右。

我国 SMT 的应用起步于 20 世纪 80 年代初期，最初从美、日等国成套引进了 SMT 生产线用于彩电调谐器生产。随后应用于录像机、摄像机及袖珍式高档多波段收音机、随身听等生产中。

进入 21 世纪以来，我国电子信息产品制造业每年都以 20% 以上的速度高速增长，规模从 2004 年起已连续 3 年居世界第 2 位。

以通信设备为例，移动通信产品（手机等）是一种使用量大而又品种多的产品；又是一种体积小、重量轻、功耗低的产品，它要求用先进的自动化加工技术，实现低成本、高速度、高质量来增强市场竞争力。SMT 技术生产的产品不仅体积小、重量轻、成本低，而且信号处理速度快、可靠性高，非常适合移动通信产品高速、高频的特点。这些优点使当前几乎 100% 的新一代移动通信产品都采用了 SMT 技术。

在我国电子信息产业快速发展的推动下，表面贴装技术（SMT）和生产线也得到了迅猛的发展，表面贴装生产线的关键设备——自动贴片机的保有量已位居世界前列。

2006 年底，我国约有近两万条 SMT 生产线，拥有自动贴片机约 5 万台，其中 90% 是 2001 年以后购买的。至今，我国自主开发的自动贴片机还处于试用期，市场上用的自动贴片机几乎全部是从国外进口的。从 2001 年至 2006 年的 6 年中，我国自动贴片机市场以年平均 27.2% 的速度增长。到 2006 年共进口自动贴片机 10351 台，进口金额达到 17 亿美元，我国的自动贴片机市场已占全球市场份额的 40% 左右。2009 年，我国进口自动贴片机 5636 台，价值达 8.5 亿美元。

一个产业的发展和一个企业的发展有类似的过程。一个成功的企业发展过程，一般要经历早期的开始探索，原始的积累，起步的上升，中期快速的发展，调整充实，积蓄力量后实现后期的跨越发展。我国的 SMT 产业，已经经历了 20 世纪 80 年代开始的初期学习吸收和技术探索；90 年代开始正常发展，产业逐步扩大规模，技术积累日益提高；1999 年开始进入中期的快速发展，产业规模急剧扩张，从业人员大量增加，技术趋于成熟，产能迅速扩大；2005 年开始步入调整充实阶段。经过这个阶段的积蓄能量，迎来了后期的跨越式发展新阶段。再经过 5 年左右的高速发展，到 2015 年前后，完全有可能实现把我国建成 SMT 强国的目标。

1.1.2 SMT 的组装技术特点

SMT 工艺技术的特点可以通过其与传统通孔插装技术 (THT) 的差别比较体现。从组装工艺技术的角度分析, SMT 和 THT 的根本区别是“贴”和“插”。二者的差别还体现在基板、元器件、组件形态、焊点形态和组装工艺方法各个方面。

THT 采用有引线元器件, 在印制电路板上设计好电路连接导线和安装孔, 通过把元器件引线插入 PCB 上预先钻好的通孔中, 暂时固定后在基板的另一面采用波峰焊接等软钎焊技术进行焊接, 形成可靠的焊点, 建立长期的机械和电气连接, 元器件主体和焊点分别分布在基板两侧。采用这种方法, 由于元器件有引线, 当电路密集到一定程度以后, 就无法解决缩小体积的问题了。同时, 引线间相互接近导致的故障、引线长度引起的干扰也难以排除。

所谓表面组装技术, 是指把片状结构的元器件或适合于表面组装的小型化元器件, 按照电路的要求放置在印制电路板的表面上, 用再流焊或波峰焊等焊接工艺装配起来, 构成具有一定功能的电子部件的组装技术。SMT 和 THT 元器件安装焊接方式的区别如图 1-1 所示。在传统的 THT 印制电路板上, 元器件安装在印制电路板的一面 (元件面), 引脚插到通孔里, 在印制电路板的另一面 (焊接面) 进行焊接, 元器件和焊点分别位于板的两面; 而在 SMT 印制电路板上, 焊点与元器件都处在板的同一面上。因此, 在 SMT 印制电路板上, 通孔只用来连接电路板两面的导线, 孔的数量要少得多, 孔的直径也小很多。这样, 就能使印制电路板的装配密度极大提高。

之所以出现“插”和“贴”这两种截然不同的电路模块组装技术, 是由于采用了外形结构和引脚形式完全不同的两种类型的电子元器件。为此, 可以说电路模块组装技术的发展主要受元器件类型所支配。PCB 级电路模块或陶瓷基板组件的功能主要来源于电子元器件和互连导体组成的电路, 而组装方式的变革使得 PCB 级电路模块或陶瓷基板组件的功能和性能得以大幅度提高、体积和重量也大幅度减小。

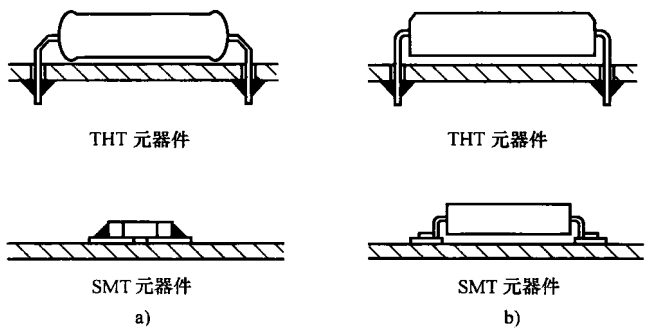


图 1-1 SMT 和 THT 元器件安装焊接方式的区别

a) 安装方式 b) 焊接方式

表面组装技术和通孔插装元器件的方式相比, 具有以下优越性:

1) 实现微型化。SMT 的电子部件, 其几何尺寸和占用空间的体积比通孔插装元器件小得多, 一般可减小 60% ~ 70%, 甚至可减小 90%; 重量减轻 60% ~ 90%。图 1-2 是采用 SMT 技术组装的具有 24 个元器件的电路板与一角硬币的比较。

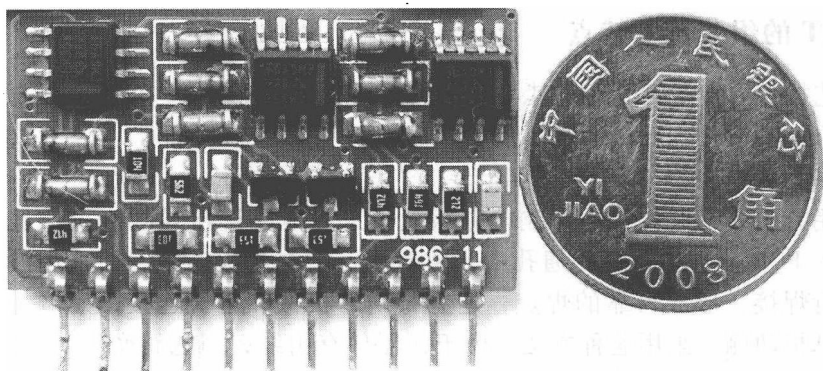


图 1-2 采用 SMT 技术组装的电路板与一角硬币的比较

2) 信号传输速度快。结构紧凑、组装密度高，在印制电路板上双面贴装时，组装密度可以达到 $5.5 \sim 20$ 个/ cm^2 焊点，由于连线短、延迟小，可实现高速度的信号传输。同时，更加耐振动、抗冲击。这对于电子设备超高速运行具有重大的意义。

3) 高频特性好。由于元器件无引线或短引线，自然减小了电路的分布参数，降低了射频干扰。

4) 有利于自动化生产，提高成品率和生产效率。由于片状元器件外形尺寸标准化、系列化及焊接条件的一致性，使 SMT 的自动化程度很高。由于焊接过程造成的元器件失效大大减少，提高了产品可靠性。

5) 材料成本低。现在，除了少量片状化困难或封装精度特别高的品种，由于生产设备的效率提高以及封装材料的消耗减少，绝大多数 SMT 元器件的封装成本已经低于同样类型、同样功能的 THT 元器件，使得 SMT 元器件的销售价格比 THT 元器件更低。

6) SMT 技术简化了电子整机产品的生产工序，降低了生产成本。在印制电路板上组装时，元器件的引线不用整形、打弯、剪短，因而使整个生产过程缩短，生产效率得到提高。同样功能电路的加工成本低于通孔插装方式，一般可使生产总成本降低 $30\% \sim 50\%$ 。

1.2 SMT 及 SMT 工艺技术的基本内容

1.2.1 SMT 的主要内容

SMT 是一项复杂的系统工程，其基本组成如图 1-3 所示。它主要包含表面元器件、基板、材料、工艺、设计、检测技术、组装和检测设备、控制和管理等技术。其技术范畴涉及诸多学科，是一项综合性工程科学技术。

1) 表面组装元器件。

① 设计。结构尺寸、端子形式、耐

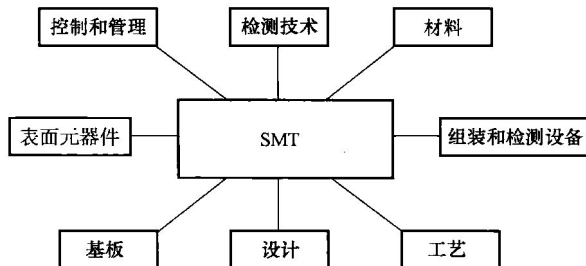


图 1-3 SMT 基本组成

焊接热等。

- ② 制造。各种元器件的制造技术。
- ③ 包装。编带式、管式、托盘、散装等。
- 2) 电路板。单（多）层 PCB、陶瓷、瓷釉金属板等。
- 3) 组装设计。电设计、热设计、元器件布局、基板图形布线设计等。
- 4) 组装工艺。
 - ① 组装材料。粘结剂、焊料、焊剂、清洗剂。
 - ② 组装技术。涂敷技术、贴装技术、焊接技术、清洗技术、检测技术。
 - ③ 组装设备。涂敷设备、贴装机、焊接机、清洗机、测试设备等。
- 5) 组装系统控制和管理。组装生产线或系统组成、控制与管理等。

1.2.2 SMT 工艺技术的基本内容

SMT 工艺技术的主要内容可分为组装材料选择、组装工艺设计、组装技术和组装设备应用 4 大部分，如图 1-4 所示。

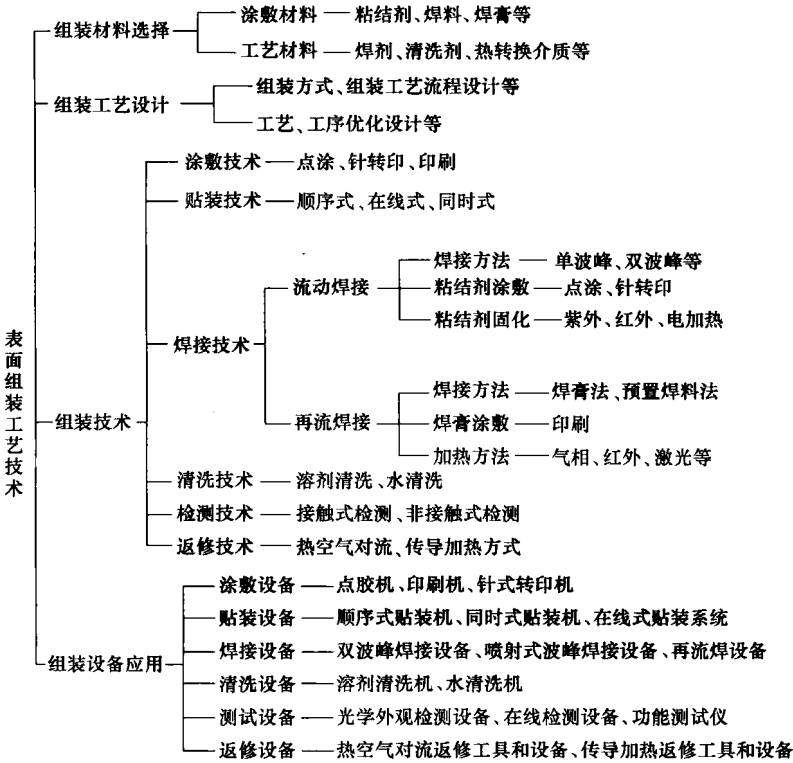


图 1-4 SMT 工艺技术主要内容

SMT 工艺技术涉及化工与材料技术（如各种焊锡膏、焊剂、清洗剂）、涂敷技术（如焊锡膏印刷）、精密机械加工技术（如漏印网板制作）、自动控制技术（如设备及生产线控制）、焊接技术和测试、检验技术、组装设备应用技术等诸多技术。它具有 SMT 的综合性工程技术特征，是 SMT 的核心技术。

1.2.3 SMT 工艺技术规范

随着 SMT 的快速发展和普及，其工艺技术日趋成熟，并开始规范化。美、日等国均针对 SMT 工艺技术制定了相应标准。我国也制定有：《表面组装工艺通用技术要求》、《印制板组装件装联技术要求》、《电子元器件表面安装要求》等电子行业标准，其中《表面组装工艺通用技术要求》中对 SMT 生产线和组装工艺流程分类、对元器件和基板及工艺材料的基本要求、对各生产工序的基本要求、对储存和生产环境及静电防护的基本要求等内容进行了规范。

SMT 工艺设计和管理中可以上述标准为指导来规范一些技术要求。由于 SMT 发展速度很快，其工艺技术将不断更新，所以，在实际应用中要注意上述标准引用的适用性问题。

1.2.4 SMT 生产系统的组线方式

由表面涂敷设备、贴装机、焊接机、清洗机、测试设备等表面组装设备形成的 SMT 生产系统习惯上称为 SMT 生产线。

目前，表面组装元器件的品种规格尚不齐全，因此在表面组装组件（SMA）中有时仍需要采用部分通孔插装元器件。所以，一般所说的表面组装组件中往往是插装件和贴装件兼有的，全部采用 SMC/SMD 的只是一部分。插装件和贴装件兼有的组装称之为混合组装，全部采用 SMC/SMD 的组装称之为全表面组装。

根据组装对象、组装工艺和组装方式不同，SMT 的生产线有多种组线方式。

图 1-5 所示为采用再流焊技术 SMT 生产线的最基本组成，一般用于 PCB 单面组装 SMC/SMD 的表面组装场合，也称之为单线形式。如果在 PCB 双面组装 SMC/SMD，则需要双线组线形式的生产线。当插装件和贴装件兼有时，还需在图 1-5 所示生产线基础上附加插装件组装线和相应设备。当采用的是非免清洗组装工艺时，还需附加焊后清洗设备。目前，一些大型企业设置了配有送料小车、以计算机进行控制和管理的 SMT 产品集成组装系统，它是 SMT 产品自动组装生产的高级组织形式。

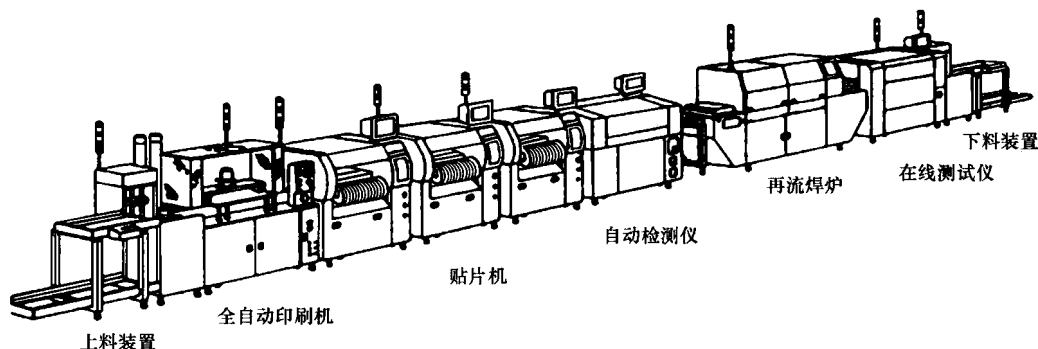


图 1-5 SMT 生产线基本组成示例

下面是 SMT 生产线的一般工艺过程，其中的焊锡膏涂敷方式、焊接方式以及点胶工序的有无，都是根据组线方式的不同而有所不同。

1) 印刷。其作用是将焊锡膏或贴片胶漏印到 PCB 的焊盘上，为元器件的焊接做准备。