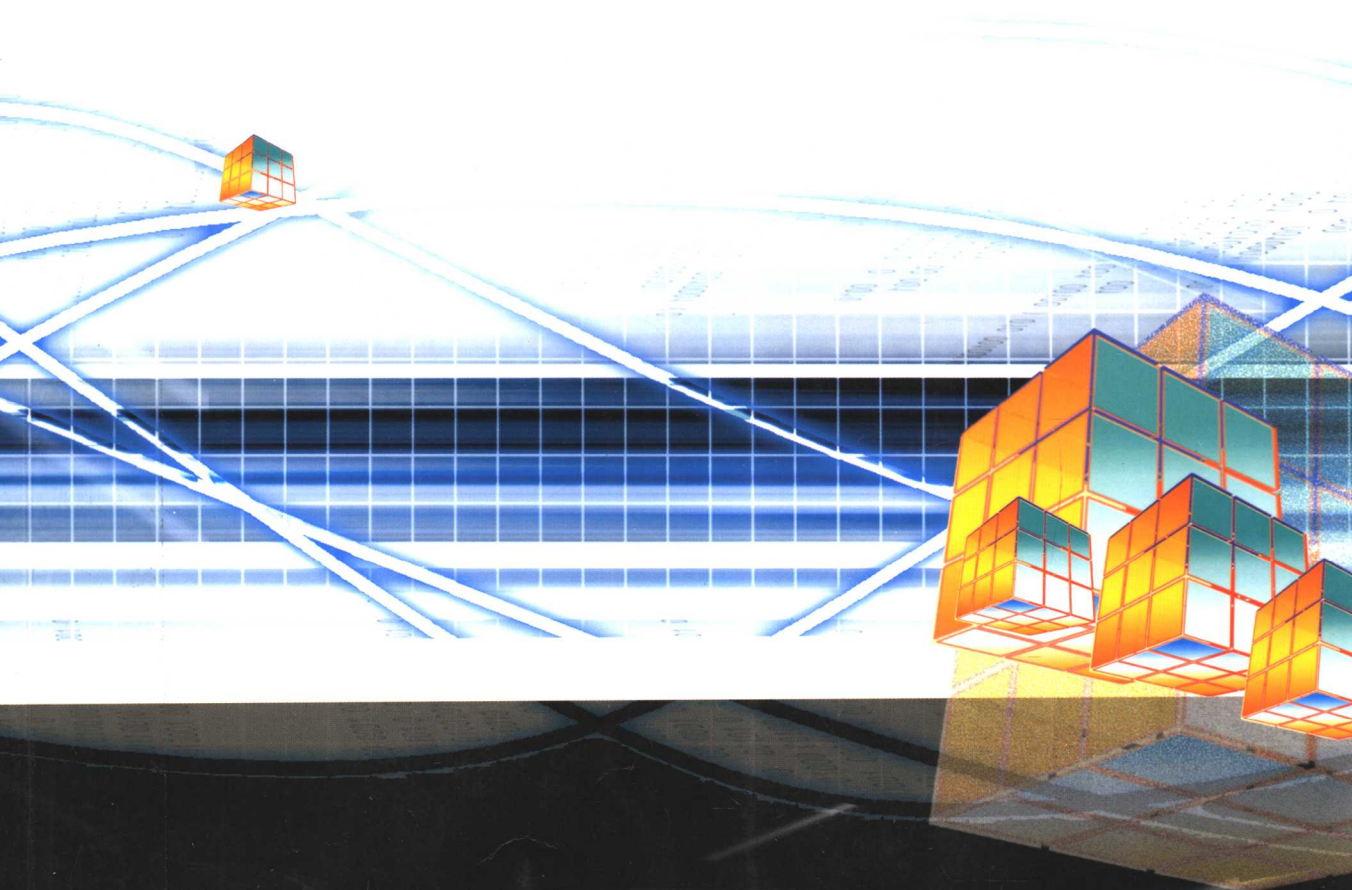


表面组装技术 (SMT) 及其应用

郎为民 稽英华 编著



TN41/13

2007

表面组装技术 (SMT) 及其应用

郎为民 稽英华 编著

机械工业出版社

表面组装技术(SMT)是电子元器件的一种新型组装技术。本书依据表面组装技术的最新标准,突出无铅化的发展趋势和应用特点,比较全面系统地介绍了国内外表面组装技术的发展与最新技术动态,主要包括电子元器件组装技术的演变、表面组装技术应用现状与发展趋势、表面组装元器件、表面组装印制电路板、焊膏涂敷技术、元器件贴装技术、表面组装焊接材料、波峰焊与再流焊技术、表面组装清洗技术、表面组装测试技术、静电防护与返修技术等。本书内容新颖丰富、翔实全面、覆盖面广,行文通俗易懂,兼备知识性、系统性、可读性、实用性和指导性,技术理论与应用实践相结合的主导思想始终贯穿于全书。

本书可作为从事电子产品和电子系统设计、制造的广大工程技术人员、实验人员和维修人员的技术参考书,也可作为高等院校SMT专业或专业方向的本科教材和高等职业技术教育教材。

图书在版编目(CIP)数据

表面组装技术(SMT)及其应用/郎为民 稽英华 编著. —北京:机械工业出版社, 2007.7

ISBN 978-7-111-21655-1

I. 表… II. ①郎…②稽… III. 印刷电路—组装 IV. TN41

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第086424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:张俊红 版式设计:霍永明 责任校对:李 婷

封面设计:王奕文 责任印制:李 妍

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2007年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·23.75印张·585千字

0 001—4 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-21655-1

定价:45.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379768

封面无防伪标均为盗版

前 言

表面组装技术 (SMT), 又称表面安装技术或表面贴装技术, 它是电子元器件的一种新型的组装技术。自 20 世纪 80 年代诞生以来, SMT 就充分显示出强大的生命力, 在世界范围内获得了极为迅速的发展。作为电子先进制造技术的重要组成部分, SMT 成为制造现代电子产品必不可少的技术之一, 为电子信息产业的迅速壮大和突飞猛进奠定了坚实的技术基础。作为第 4 代组装技术, SMT 被誉为电子工业的一场新的组装技术革命, 它的发展大大促进了电子产品的薄型化、小型化、轻量化、多功能化和高可靠性, 使电子产品质量水平跃上一个新台阶, 对军事电子设备的现代化和国民经济的发展正在起着巨大的推动作用。

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, 且随着半导体元器件技术、材料技术、电子与信息等相关技术的飞速进步, SMT 的应用范围还在不断扩大, 其技术也在不断完善和深化发展之中。同时, 我国 SMT 起步较晚, 从 20 世纪 80 年代初起步至今仅 20 余年时间, 但在引进、消化吸收国外先进技术的过程中, 我国已走过了理论探索、批量试验的初级阶段, 迈进深化研究和大批量生产应用的新阶段。

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。在我国, 与 SMT 相对应的学科、专业建设和教学培训体系建设工作刚刚起步, 也缺乏与之相适应的系统性教学、培训教材和学习资料。为了进一步适应 SMT 发展的需要, 缩短和世界先进水平的差距, 在国家自然科学基金和国家 863 高技术项目基金的资助下, 笔者结合自己多年来在 SMT 研究中的心得, 特编拙著, 以期抛砖引玉, 为我国 SMT 的发展尽一份微薄之力。

本书依据表面组装技术的最新标准, 突出无铅化的发展趋势和应用特点, 比较全面和系统地介绍了国内外表面组装技术的发展与最新技术动态。本书首先对 SMT 的发展历程、技术优势、应用现状和发展趋势进行了介绍; 然后介绍了表面组装元器件、表面组装印制电路板和表面组装焊接材料; 最后分析了 SMT 相关技术原理与应用, 包括焊膏涂敷技术、元器件贴装技术、波峰焊与再流焊技术、表面组装清洗技术、表面组装测试技术、静电防护与返修技术等。

本书共分为 10 章。第 1 章介绍了电子组装技术的 5 个发展阶段, 分析了表面组装技术的产生背景、主要内容、基本分类和优缺点, 指出了 SMT 国内外发展现状及相应对策, 阐明了表面组装工艺和组装设备的发展趋势。第 2 章介绍了表面组装元器件的相关知识, 分析了表面组装元器件的主要特点、基本分类、包装形式、保管方式、选择标准、发展趋势, 然后按照片式组件、有源器件和机电组件的分类方法对各种元器件的特点、结构、类型、原理和应用领域进行了研究。第 3 章介绍了 SMT 的印制电路板, 分析了印制电路板的发展历史、主要特点、基本类型及表面组装对印制电路板的要求, 阐述了基板材料的质量参数和选

择原则,给出了印制电路板的设计条件、设计原则、设计步骤、尺寸结构、布线布局和可焊性设计,最后研究了表面组装焊盘图形的设计原则和各类元器件的焊盘图形设计问题。第4章介绍了焊膏涂敷技术,给出了焊膏的主要特性、基本要求、分类标识、选用原则、组成结构、评估方法和发展趋势,研究了模板的结构功能、设计要求、制造方法和设计工艺,最后分析了焊膏涂敷原理、涂敷过程、丝网印制技术、模板印制技术、注射器涂敷技术、印制参数设置和印制缺陷分析。第5章介绍了元器件贴装技术,给出了贴片胶的功能原理、主要特性、基本类型、使用方法和评估体系,分析了贴片胶中不同涂敷方法的优缺点、影响胶点质量的因素和点胶工艺中常见的缺陷,阐明了贴装机的组成结构、主要特性、基本类型、选型原则和发展趋势。第6章介绍了表面组装焊接材料,分析了焊料和焊剂的主要特性、基本类型、功能要求、评价方法、使用原则和发展趋势。第7章介绍了表面组装焊接技术,分析了波峰焊和再流焊的工作原理、工艺流程、基本分类、焊接缺陷与对策、发展趋势。第8章介绍了表面组装清洗技术,给出了溶剂的基本类型、选择标准、主要特性和评价指标,分析了污染物的类型与来源,阐述了清洗的作用、原理、评价标准与评价方法,最后研究了各种常见清洗工艺的工作原理和清洗流程。第9章介绍了表面组装测试技术,给出了SMT故障类型与来料检测,分析了连接性检测、在线检测和功能检测的原理与流程,最后指明了未来SMT检测技术的发展趋势。第10章介绍了静电防护与返修技术,主要分析了两种技术的功能作用、工作原理和实施方法。

本书主要由华中科技大学郎为民、江西师范大学稽英华编著,并得到华中师范大学副校长杨宗凯教授的大力支持。武汉职业技术学院的王建秋和通信指挥学院的吕惠芳、沈宇、崔洪峰、靳焰、王逢东、丁锐、任殿龙参与了本书部分章节的撰写,刘建国、杨扬、钟京立、毕进南、刘建中、李建军、胡东华、马同兵、熊华、邹祥福和汤竞鹏等领导和老师参与了本书提纲的讨论与修改,王旬、黄剑梅、朱元诚、徐小涛、张昆和陈波参与本书部分图表的绘制。华中科技大学电信系的桂良启、刘干、刘克中、陶少国、许昌春、熊志强、高俊伟和谢海涛对本书的初稿进行了审校,并更正了不少错误,在此一并向他们表示衷心的感谢。

由于SMT还在不断完善和深化发展之中,新的标准和应用不断涌现,加之作者水平有限,编写时间仓促,因而本书难免存在错漏之处,恳请各位专家和读者不吝指出。

作者

2007年8月

目 录

前言

第 1 章 概述	1	2.3.2 集成电路	58
1.1 电子组装技术的演变	1	2.4 机电元件	70
1.1.1 电子管-底座框架式时代	2	2.4.1 接插件	71
1.1.2 晶体管-通孔插装时代	2	2.4.2 IC 插座	72
1.1.3 集成电路-通孔插装时代	3	2.4.3 开关、继电器	73
1.1.4 大规模集成电路-表面组装时代	3	2.4.4 连接器	74
1.1.5 超大规模集成电路-微电子组装时代	4	第 3 章 表面组装 PCB	76
1.2 SMT 基础知识	5	3.1 概述	76
1.2.1 SMT 的产生背景	5	3.1.1 PCB 的发展历史	76
1.2.2 SMT 的主要内容	6	3.1.2 表面组装 PCB 的特点	77
1.2.3 SMT 的分类	8	3.1.3 表面组装 PCB 的分类	79
1.2.4 与通孔插装技术的比较	12	3.1.4 表面组装对 PCB 的要求	80
1.2.5 SMT 的优缺点	13	3.2 基板材料的选择	81
1.3 SMT 发展现状	15	3.2.1 基材质量参数	81
1.3.1 国外 SMT 发展现状	15	3.2.2 基材选择原则	84
1.3.2 我国 SMT 设备的发展现状	18	3.2.3 有机类基材	86
1.3.3 我国 SMT 设备的发展对策	19	3.2.4 无机类基材	92
1.4 SMT 的发展趋势	20	3.3 PCB 的设计	93
1.4.1 表面组装工艺的发展趋势	21	3.3.1 设计条件和原则	93
1.4.2 表面组装设备的发展趋势	23	3.3.2 一般设计步骤	94
第 2 章 表面组装元器件	25	3.3.3 电路板的尺寸和结构	96
2.1 概述	25	3.3.4 定位孔	97
2.1.1 表面组装元器件的特点与分类	25	3.3.5 基准符号	97
2.1.2 表面组装元器件的包装形式	27	3.3.6 导电带布线	98
2.1.3 通用集成电路的设计考虑	29	3.3.7 导通孔、盲孔与埋孔	98
2.1.4 塑料封装表面组装器件的保管	32	3.3.8 测试点	100
2.1.5 SMC/SMD 的选择	34	3.3.9 布线和布局	100
2.1.6 表面组装元器件的发展趋势	34	3.3.10 可焊性设计	103
2.2 片式无源元件	35	3.4 表面组装焊盘图形的设计	105
2.2.1 电阻器	36	3.4.1 焊盘图形设计的一般考虑	105
2.2.2 电容器	41	3.4.2 无源元件的焊盘图形	107
2.2.3 电感器	48	3.4.3 圆柱形无源元件的焊盘图形	108
2.2.4 复合组件	51	3.4.4 小外形晶体管的焊盘图形	109
2.3 有源器件	55	3.4.5 有引脚塑料芯片载体的焊盘图形	109
2.3.1 分立组件	55	3.4.6 无引脚陶瓷芯片载体的焊盘图形	111

3.4.7 小外形集成电路和 R 封装的焊盘图形	112	5.2.5 点胶工艺中常见的缺陷	178
3.4.8 小外形 J 形引脚器件的焊盘图形	112	5.3 贴装技术	180
3.4.9 对接引脚封装的焊盘图形	113	5.3.1 贴装机的组成与结构	181
3.4.10 小间距、鸥翼形封装的焊盘图形	113	5.3.2 贴装机的特性与分类	191
3.4.11 QFP 焊盘设计	114	5.3.3 贴装的影响因素与检验	195
3.4.12 焊膏和焊模网的焊盘图形	115	5.3.4 贴装机的选型与验收	198
第 4 章 焊膏涂敷技术	116	5.3.5 贴装机的发展趋势	201
4.1 焊膏	116	第 6 章 表面组装焊接材料	202
4.1.1 焊膏的特性与要求	116	6.1 焊料	202
4.1.2 焊膏的组成与选用原则	119	6.1.1 焊料的特性	202
4.1.3 焊膏的分类与标识	121	6.1.2 焊料的可焊性	203
4.1.4 焊膏的评估体系	123	6.1.3 焊料的制造过程	204
4.1.5 无铅焊膏的成分比较	126	6.1.4 锡铅焊料	205
4.1.6 几种常见的焊膏	127	6.1.5 无铅焊料	212
4.1.7 国外焊膏的发展动向	128	6.1.6 常用焊料的物理性能与力学性能	217
4.2 模板制作	129	6.1.7 焊料使用注意事项	218
4.2.1 模板的结构与功能	129	6.2 焊剂	219
4.2.2 模板的材料与设计要 求	130	6.2.1 焊剂的特性与分类	219
4.2.3 模板制造方法	131	6.2.2 焊剂的功能与要求	223
4.2.4 模板设计工艺	134	6.2.3 常见焊剂及其组成	226
4.3 焊膏涂敷工艺	135	6.2.4 焊剂的评价指标	230
4.3.1 焊膏涂敷的原理与过程	135	6.2.5 焊剂的使用原则及发展方向	231
4.3.2 丝网印制技术	137	第 7 章 表面组装焊接技术	233
4.3.3 模板印制技术	143	7.1 波峰焊	233
4.3.4 注射器涂敷	147	7.1.1 波峰焊的原理与分类	233
4.3.5 焊膏印制过程	148	7.1.2 波峰焊的工艺流程	236
4.3.6 印制参数及其设置	149	7.1.3 波峰焊的影响因素	239
4.3.7 印制缺陷分析	152	7.1.4 波峰焊机的改进与发展	243
第 5 章 元器件贴装技术	154	7.1.5 波峰焊机的组成与评估	246
5.1 贴片胶	154	7.1.6 波峰焊的缺陷及其对策	250
5.1.1 贴片胶的功能与原理	154	7.2 再流焊	251
5.1.2 贴片胶的组成与要求	157	7.2.1 通孔再流焊	252
5.1.3 贴片胶的特性与分类	158	7.2.2 红外再流焊	256
5.1.4 贴片胶的使用与评估	159	7.2.3 气相再流焊	263
5.1.5 常用的贴片胶	162	7.2.4 激光再流焊	268
5.2 贴片胶的应用	166	7.2.5 工具再流焊	270
5.2.1 贴片胶涂敷方法	166	7.2.6 再流焊的缺陷及其对策	272
5.2.2 不同涂敷方法的比较	170	7.2.7 焊接技术的比较	276
5.2.3 影响胶点质量的因素	171	7.2.8 再流焊的发展趋势	278
5.2.4 贴片胶的固化	174	第 8 章 表面组装清洗技术	282
		8.1 溶剂	282

8.1.1 常用的溶剂类型·····	282	9.2.4 自动 X 射线检测·····	318
8.1.2 溶剂的选择原则·····	283	9.3 在线检测·····	320
8.1.3 溶剂的基本特性·····	285	9.3.1 针床式检测·····	320
8.1.4 溶剂的评价指标·····	287	9.3.2 边界扫描·····	322
8.2 清洗机理·····	287	9.3.3 飞针式检测·····	324
8.2.1 污染物的类型与来源·····	288	9.3.4 非向量测试技术·····	326
8.2.2 清洗技术的作用与原理·····	291	9.4 功能检测·····	328
8.2.3 清洗工艺的影响因素及选择·····	293	9.4.1 模拟测试·····	328
8.2.4 清洗的标准与评价方法·····	297	9.4.2 特征分析检测·····	329
8.3 常见的清洗工艺·····	300	9.4.3 复合测试·····	329
8.3.1 气相清洗技术·····	301	9.5 未来检测技术展望·····	330
8.3.2 连续式溶剂清洗技术·····	302	第 10 章 静电防护与返修技术 ·····	331
8.3.3 半水清洗工艺技术·····	304	10.1 静电防护技术·····	331
8.3.4 水清洗工艺技术·····	305	10.1.1 静电放电的产生与危害·····	331
8.3.5 超声波清洗·····	306	10.1.2 静电防护的目的与原则·····	338
8.3.6 各种清洗工艺的评估·····	308	10.1.3 静电防护的途径与材料·····	340
第 9 章 表面组装测试技术 ·····	309	10.1.4 静电防护的具体措施·····	344
9.1 故障类型与来料检测·····	309	10.2 返修技术·····	351
9.1.1 故障类型·····	309	10.2.1 可返修性设计·····	351
9.1.2 来料检测·····	311	10.2.2 返修设备·····	352
9.2 连接性检测·····	313	10.2.3 返修过程·····	356
9.2.1 目视检测·····	313	10.2.4 现场返修·····	362
9.2.2 自动光学检测·····	314	附录 英文缩略语 ·····	364
9.2.3 激光/红外检测·····	317	参考文献 ·····	369

第 1 章 概 述

进入 21 世纪后，随着 IT（Information Technology，信息技术）产业的不断发展和网络技术的日益进步，在电子组装领域与微电子组装领域，新技术不断涌现，与电子整机对应的半导体封装、基板实装、焊接组装和芯片处理工艺等也在日趋完善。电子设备在相同功能的范围内向更加小型化、高性能和低成本方向发展。随着电子工业的快速发展，电子装配技术正发生着巨大的变化，从传统的通孔插装技术（Trough Hole Technology，THT）向表面组装技术（Surface Mount Technology，SMT）发展。这种高新技术被公认为第 4 代电子装连技术。

表面组装技术是一种新型电子装连技术，有时也称表面安装技术或表面贴装技术。应用 SMT，可使电子元器件的可靠性大为提高，且重量更轻，体积更小，成本更低，从而支配着电子设备的发展。SMT 取代 THT 被称为电子装配技术的革命性跨越。SMT 以提高产品可靠性和降低成本为目标，因而广泛应用于消费类电子产品和军事尖端电子产品的制造和装连中。

1.1 电子组装技术的演变

电子组装技术是伴随着电子元器件封装技术的发展而不断前进的，有什么样的元器件封装，就产生了什么样的组装技术，即电子元器件的封装形式决定了生产的组装工艺。电子产品组装技术是现代发展最快的制造技术。从组装工艺的特点来看，电子组装技术的发展大致经历了 5 个阶段：电子管-底座框架式时代、晶体管-通孔插装时代、集成电路-通孔插装时代、大规模集成电路-表面组装时代和超大规模集成电路-微电子组装时代，如表 1-1 所示。

表 1-1 电子组装技术的发展阶段

发展阶段	年 代	组装技术	代表元器件	安装基板	安装方法	焊接技术
第 1 代	20 世纪 50 ~ 60 年代	底座框架式	电子管，带引脚的大型组件	接线板铆接端子	手工安装	手工烙铁焊
第 2 代	20 世纪 60 ~ 70 年代	通孔插装	晶体管，轴向引脚小型化组件	单、双面印制电路板	手工/半自动插装	手工焊，浸焊
第 3 代	20 世纪 70 ~ 80 年代	通孔插装	集成电路，整形引脚的小型化组件	单面及多面印制电路板	自动插装	波峰焊，浸焊，手工焊
第 4 代	20 世纪 80 ~ 90 年代	表面组装	大规模集成电路，SMC/SMD	高质量 SMB	自动贴装机	波峰焊，再流焊
第 5 代	20 世纪 90 年代至今	微电子组装	超大规模集成电路	陶瓷硅片	自动安装	倒装焊，特种焊

注：SMB，表面组装电路板；SMC，表面组装元件；SMD，表面组装器件。

伴随着器件封装技术的不断发展,电子组装技术的更新速度相当快,这种不断变革的发展不仅提高了电子产品的性能和功能,实现了产品的薄小轻便,而且通过减少应用中焊接的元器件数量,大大提高了电子产品的可靠性,降低了生产中的组装成本。当然,新的技术需要一系列新材料、新工艺和新设备,如新的组装工艺和相应的生产设备、检测工艺与设备、返修工艺与设备、布线 CAD (Computer Aided Design, 计算机辅助设计)/模拟程序等。

1.1.1 电子管-底座框架式时代

从无线电技术发明的那天起,电子装连技术就随之诞生了。电子管的问世,宣告了一个新兴行业的诞生,它引领人类进入了全新的发展阶段,电子技术的快速发展由此展开,世界从此进入了电子时代。

起初,电子管在应用中安装在电子管座上,而电子管座安装在金属底板上,组装时采用分立引脚进行器件和电子管座的连接,通过对各连接线的扎线和配线,保证整体走线整齐。其中,由于电子管的高电压工作要求,使得人们对强电和信号的走线以及生产中的人身安全问题等给予了更多的关注和考虑。但在电子管时代,人们仅用手工烙铁焊接电子线路,电子管收音机是当时的主要产品。

1.1.2 晶体管-通孔插装时代

1947年,美国贝尔实验室发明了半导体点接触式晶体管,从而开创了人类的硅文明时代,半导体器件的出现和低电压工作的晶体管应用,不仅给人们带来了生活方式的改变,也使人类进入了高科技发展的快行道。随着晶体管的诞生和高分子聚合物的出现,人们开始使用一些分立组件来组装电路,但很少与电路板相连接,早期的一些电路板中很少采用16条以上的引脚,而且插装技术(组件引脚插入并焊接到电路板的通孔内)很容易满足当时的要求。

印制电路板(Printed Circuit Board, PCB)技术虽然在第2次世界大战期间就发展起来了,但直到20世纪70年代才被人们广泛接受。PCB可提供集成电路等各种电子元器件固定、装配的机械支撑;能够实现集成电路等各种电子元器件之间的布线和电气连接(信号传输)或电绝缘,并提供所要求的电气特性,如特性阻抗等;可为自动装配提供阻焊图形,并为元器件插装、检查、维修提供识别字符和图形。

PCB出现后,人们开始尝试将晶体管和通孔组件直接焊接在PCB上,使电子产品结构变得紧凑,体积开始缩小。同时,有引脚、金属壳封装的晶体管和有引脚小型化的无源元件,为人们将若干有关联的电路集成到一块板子上创造了基础,单面PCB和平面布线技术应运而生,组装工艺强调单块PCB的手工焊接,从而大大缩小了电子产品的体积,随着技术的不断发展,在这一时代的后期,出现了半自动插装技术和浸焊装配工艺,与前期相比,生产效率提高了许多。

通孔插装技术是将电子组件的引脚插入预置的通孔中,再进行焊接,组成具有特定功能的电子电路,如图1-1所示。多年来,我国的电子产品一直沿用这种传统的电子组装技术。

在晶体管-通孔插装阶段,选择的安装基板为单面或双面PCB。在单面PCB上,零件集中在其中一面,导线则集中在另一面上,因为单面PCB在设计线路上有许多严格的限制(因为只有一面,布线间不能交叉而必须绕各自的路径),因而只有早期的电路才使用这类的

板子。双面 PCB 的两面都有布线,不过要使用两面的导线,必须要在两面间有适当的电路连接才行,这种电路间的“桥梁”叫做导孔。导孔是在 PCB 上,充满或涂上金属的小洞,它可以与两面的导线相连接。因为双面板的面积比单面板大了一倍,而且因为布线可以互相交错(可以绕到另一面),它更适合用在比单面板更复杂的电路上。



图 1-1 通孔插装技术

1.1.3 集成电路-通孔插装时代

20 世纪 50 年代,英国人研制出世界上第 1 台波峰焊接机,人们将晶体管类通孔组件插在 PCB 上,采用波峰焊接技术实现了通孔组件的装连后,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,它对全世界电子工业生产技术发展的贡献是无法估量的。

20 世纪 70 年代,随着晶体管的小型塑封化,集成电路、厚薄膜混合电路的应用,电子器件出现了双列直插式(金属、陶瓷、塑料)封装(Dual In-line Package, DIP)、SOIC (Small Outline Integrated Circuit, 小外形集成电路)塑料封装,使得无源组件的体积进一步小型化,并形成了双面 PCB 和多层 PCB,组装技术也发展到采用全自动插装和波峰焊技术,电路的引脚连接则更趋于简单化。

在集成电路-通孔插装阶段中,金属化孔的作用主要是提供电气互连(信号传输)和支撑元器件。PCB 高密度化,主要受到组件引脚尺寸(刚性和自动插装等可靠性要求)的限制,通孔直径的尺寸大多在 0.8mm 以上,因而实现 PCB 高密度化主要是通过缩小线宽/间距(可达 0.1mm 或更小)和增加层数(可达 60 层以上)来解决。

集成电路-通孔插装阶段使用的安装基板为单面和多面 PCB。为了增加布线面积,多面 PCB 采用了更多单面或双面的布线板。多层 PCB 使用数片双面板,并在每层板间放进一层绝缘层后粘牢(压合)。板子的层数就代表了独立的布线层数,通常层数都是偶数,并且包含最外侧的两层。大部分的主机板都是 4~8 层的结构,不过技术上可以做到近 100 层的 PCB。大型的超级计算机大多使用层数较多的主机板,不过因为这类计算机已经可以用许多普通计算机的集群代替,超多层板已经渐渐不再使用。因为 PCB 中各层结合得比较紧密,一般不太容易看出实际数目。

1.1.4 大规模集成电路-表面组装时代

20 世纪 80 年代,随着微处理机的出现和计算机技术的发展,电路的复杂性已提高到组件插装技术不再适应的程度。例如,有些类型的数字集成电路必须做到与电路板有 100 个以上的接点。引脚中心间距为 0.100in (1in = 2.54cm) 的插装型封装对于这么多的引脚数就变得无能为力了,表面组装技术的开发在某种程度上是为了克服插装技术的局限性。与插装组

件不同,表面组装元件直接焊到电路板的表面上。虽然乍看起来这里没有明显差别,但这种变化具有许多优点,如尺寸小、重量轻、电性能好、成本低等,如图 1-2 所示。

由于微处理器和存储器的大规模 IC (Integrated Circuit, 集成电路) 器件的问世,满足高速和高密度要求的周边引脚、短引脚的塑料表面封装占据了主导地位。无源元件发展到表面组装元件 (Surface Mount Component, SMC), 并继续向微型化发展, IC 器件中出现了表面组装器件 (Surface Mount Device, SMD)。在这一时期, SMD 有了很大的发展,产生了球栅阵列 (Ball Grid Array, BGA) 封装、芯片级封装 (Chip Scale Package, CSP)、高密度高性能低成本倒装片 (Flip Chip, FC)、多芯片模块 (Multichip Module, MCM) 封装等形式,此阶段的关键技术包括表面组装技术、再流焊技术和波峰焊技术,并继续向窄间距和超窄间距 SMT 发展。所有这些都促使封装技术更先进,芯片面积与封装面积之比越来越趋近于 1,适用频率更高,耐温性能更好,引脚数增多,引脚间距减小,可靠性提高,使用更加方便。目前正处于该技术的普及和应用时期。

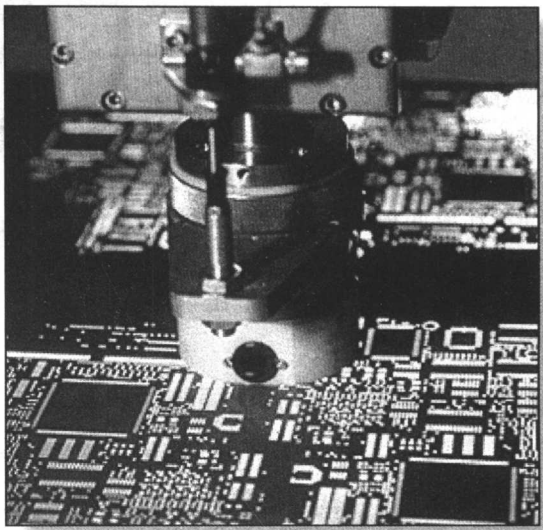


图 1-2 表面组装技术

表面组装技术于 20 世纪 60 年代末首先在美国兴起,主要用于军事及航天领域。70 年代日本将 SMT 大量地应用于家用电子产品中,随后世界各工业发达国家也竞相发展。我国从 80 年代开始引进和应用 SMT,当时主要用于彩色电视机的电子调谐器上。进入 90 年代后,我国已在通信产品和家用电器等领域应用 SMT。

表面组装技术于 20 世纪 60 年代末首先在美国兴起,主要用于军事及航天领域。70 年代日本将 SMT 大量地应用于家用电子产品中,随后世界各工业发达国家也竞相发展。我国从 80 年代开始引进和应用 SMT,当时主要用于彩色电视机的电子调谐器上。进入 90 年代后,我国已在通信产品和家用电器等领域应用 SMT。

采用 SMT 的电子产品具有体积小、性能好、功能全、价位低的优势,故 SMT 作为新一代电子装连技术,被广泛地应用于航空、航天、通信、计算机、医疗电子、汽车、办公自动化、家用电器等各个领域的电子产品中。

1.1.5 超大规模集成电路-微电子组装时代

20 世纪 90 年代,随着微电子技术的不断发展以及 LSIC (Large Scale Integrated Circuit, 大规模集成电路)、VLSIC (Very Large Scale Integrated Circuit, 超大规模集成电路) 的出现,使得集成电路的集成度越来越高,器件的速度和延迟时间等性能对器件之间的互连提出了更高的要求。由于互连信号延迟、串扰噪声、电感电容耦合以及电磁辐射等影响越来越大,由高密度封装的 IC 和其他电路组件构成的功能电路已不能满足高性能的要求,因而电路设计采用了计算机辅助分析的设计技术。由于超大规模和芯片系统 IC 的发展,推动了周边引脚向面阵列引脚和球栅阵列密集封装发展,并促使其成为主流。

为了适应更高密度、多层互连和立体组装的要求,微电子组装技术 (Microelectronic Packaging Technology, MPT) 应运而生。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、通信、巨型计算机、敌我识别电子装备等方面,都具有非常重要的应用前景。

在该阶段,电子元器件组装相关产业更是发生了惊人的变化,片式阻容组件自20世纪70年代工业化生产以来,尺寸已从最初的 $3.2\text{mm} \times 1.6\text{mm} \times 1.2\text{mm}$ 发展到 $0.6\text{mm} \times 0.3\text{mm} \times 0.3\text{mm}$,体积从最初的 6.14mm^3 发展到 0.054mm^3 ,其体积缩小到原来的0.88%。片式元器件的发展还可以从IC外形封装尺寸的演变过程来看,IC引脚中心距已从最初的1.27mm快速过渡到0.65mm、0.5mm和0.4mm。目前,电子元器件日益向片式化、微小化、复合化、模块化和基板的内置化方向发展,IC的封装由单一芯片的QFP(Quad Flat Package,方形扁平封装)、BGA、CSP向晶圆级封装(Wafer Level Packaging, WLP)和系统级封装(System In Package, SIP)发展,无源元件由表面单个元件的组装发展到由相同的若干个无源组件集成产品开发(Integrated Product Development, IPD),实现封装由二维的平面设计到三维的立体空间设计的飞跃,从而使得器件封装体积更加小型化,产品PCB设计更简单化,实现更高速度、更高密度和更低成本的要求。与组件相匹配的PCB,也从早期的双面板发展为多层板,最多可达50多层,板面上线宽已从 $0.2 \sim 0.3\text{mm}$,缩小到0.15mm,甚至到0.05mm。

综上所述,第2代与第3代组装技术,代表元器件特征明显,而组装技术并没有根本改变,都是以长引脚元器件穿过PCB上通孔的安装方式。第4代技术则发生了根本性变革,从元器件到组装方式,从PCB设计到连接方法都以全新面貌出现,它使电子产品体积缩小、重量变轻、功能增强、可靠性提高,推动了信息产业的高速发展。SMT已经在很多领域取代了THT,并且这种趋势还在发展,预计未来90%以上产品将采用SMT。第5代组装技术,从技术工艺讲,仍属于“组装”范畴,但与人们通常所说的组装相差甚远,使用一般工具、设备和工艺是无法完成的,目前还处于技术发展和局部领域应用的阶段,但它代表了当前电子系统组装技术发展的方向。

1.2 SMT 基础知识

电子线路的装配,最初采用点对点的布线方法,而且根本没有基板。第1个半导体器件的封装采用放射形的引脚,将其插入已用于电阻和电容器封装的单片电路板的通孔中。20世纪50年代,平装的表面组装元器件应用于高可靠要求的军方;60年代,混合技术被广泛地应用;70年代,受日本消费类电子产品的影响,无源组件被广泛使用,近十年有源组件被广泛使用。

SMT作为目前电子组装行业里最流行的一种技术和工艺,不是一个新的概念,它源于较早的工艺,如平装和混合组装。虽然SMT仅有50余年的历史,但却充分显示出其强大的生命力,它以非凡的速度,走完从诞生、完善直至成熟的路程,从而迈入大范围工业应用的旺盛期。

1.2.1 SMT 的产生背景

SMT通常用来将电子元器件贴装在PCB或基板的表面,而传统组装技术则是将元器件

插装在 PCB 的孔中。这往往会被人误解为仅仅是微小的差别，其实不然，它从实质上改变了电子学的各个方面，包括设计、材料、工艺和封装等。

20 世纪 60 年代，在电子表行业中，为了实现电子表的微型化，人们开发出了无引脚电子组件，并将其直接焊接到印制板的表面，实现了电子表微型化的目标，这就是今天称之为“表面组装技术”的雏形。

随着集成电路的出现与发展，电子产品追求小型化，以前的插孔组件已无法缩小其体积及尺寸；电子产品功能更完善，所采用的集成电路（IC）已无插孔组件，特别是大规模、高集成 IC，因而不得不采用表面组装元件；产品批量化，生产自动化，厂方要以低成本高产量来生产优质商品，以迎合顾客需求及增强市场竞争力；电子组件的发展，集成电路（IC）的开发及半导体材料的应用向多元化发展；电子科技革命势在必行，需要顺应国际潮流。在这种历史背景下，表面组装技术应运而生。

由于表面组装技术能减小几何尺寸，改善电路性能，因而多年来一直是陶瓷混合电路生产的一种主要组装方法。该项技术也已普遍用于高频电路，在这种情况下，较低的寄生电抗使表面组装技术比通孔插装技术具有明显的优势。

虽然 SMT 是在这样的历史背景下发展起来的，但它并不单纯地是“旧技术的新应用”。在电子工业界，“表面组装技术”已成为众所周知的一个术语，它是指把电子组件以自动化的形式安装在 PCB 或陶瓷基板上的一种低成本的组装技术。它的特点是利用焊料在电子组件和电路板之间形成电气和机械连接，因而它区别于芯片内引脚键合或用导电环氧树脂粘接芯片的组装。

目前，SMT 生产技术日趋完善，用于表面组装技术的元器件大量生产，价格大幅度下降，各种技术性能好、价格低的设备纷纷面世。人们所见到的电子产品，无论是外形尺寸还是重量都大幅度减小。用于 SMT 大批量生产的主要设备——贴装机也从早期的低速（1s/片）、机械对中，发展为高速（0.06s/片）、光学对中，并向多功能、柔性连接模块化发展；再流焊炉也由最初的热板式加热发展为氮气热风红外式加热，能适应通孔组件再流焊且带局部强制冷却的再流焊炉也已经实用化，再流焊的不良焊点率已下降到十万分之一以下，几乎接近无缺陷焊接。

目前，SMT 已广泛应用于航空、航天、通信、计算机、医疗电子、汽车、办公自动化、家用电器等行业，真可谓哪里有电子产品，哪里就有 SMT。到了 20 世纪 90 年代，SMT 相关产业更是发生了惊人的变化，片式阻容组件自 70 年代工业化生产以来，尺寸从最初的 $3.2\text{mm} \times 1.6\text{mm} \times 1.2\text{mm}$ 已发展到现在的 $0.6\text{mm} \times 0.3\text{mm} \times 0.3\text{mm}$ ，体积从最初的 6.14mm^3 发展到现在的 0.054mm^3 ，其体积缩小到原来的 0.88%，如表 1-2 所示。

表 1-2 片式阻容元件的发展情况

时 间	1975 年	1979 年	1985 年	1991 年	1995 年
产品型号	3216	2012	1608	1005	0603
尺寸/mm	$3.2 \times 1.6 \times 1.2$	$2.0 \times 1.2 \times 1.2$	$1.6 \times 0.8 \times 0.8$	$1.0 \times 0.5 \times 0.5$	$0.6 \times 0.3 \times 0.3$
体积/ mm^3	6.14	2.88	1.02	0.25	0.054
代表商品	录像机	早期手机	微型摄像机	改进后的手机	DVD 手机

1.2.2 SMT 的主要内容

表面组装技术是现代电子产品先进制造技术的重要组成部分。其技术内容包含表面组装

元器件、组装基板、组装材料、组装工艺、组装设计、组装测试与检测技术、组装测试与检测设备、组装系统控制和管理等,技术范畴涉及到材料、制造、电子技术、检测与控制、系统工程等诸多学科,是一项综合性工程科学技术。表面组装技术的主要内容如图 1-3 所示。

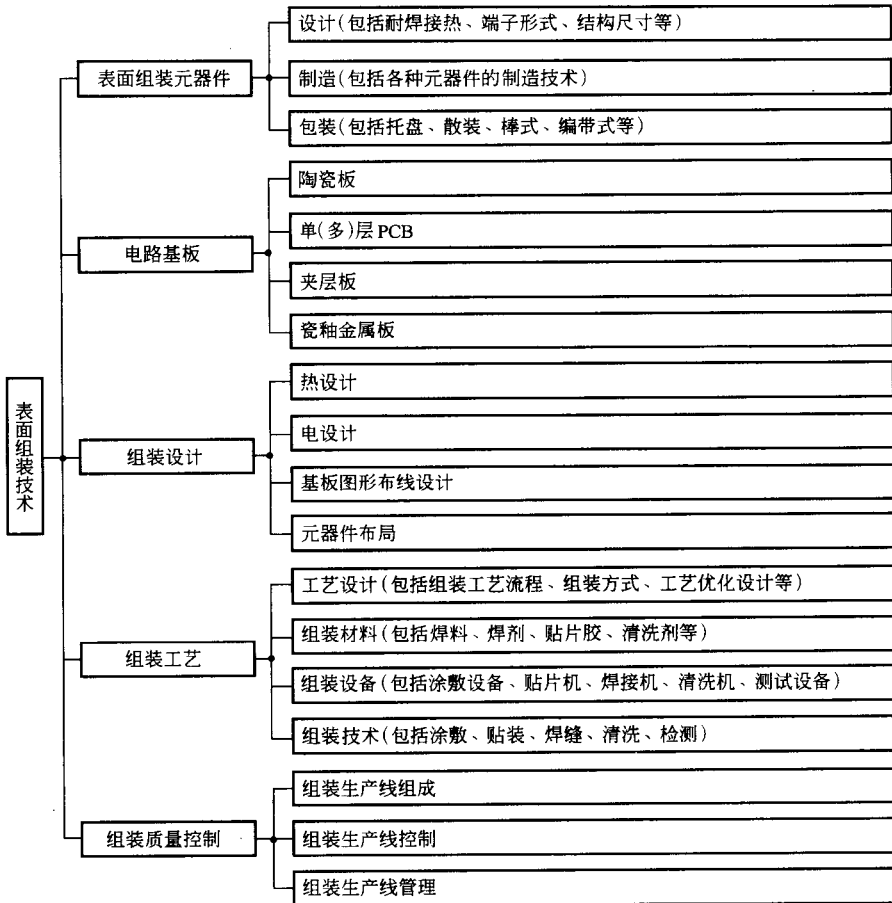


图 1-3 表面组装技术的主要内容

表面组装技术是一组技术密集、知识密集的技术群,涉及到元器件封装、电路基板技术、印制技术、自动控制技术、焊接技术、物理、化工、新型材料等多种专业和学科。在设备方面(如贴装机),多为从国外引进,近年来又引进柔性好、适应面宽的设备,这些设备都采用计算机控制,由计算机、图像识别系统、传感器、伺服系统组成控制系统,涉及计算机控制理论、图像识别等多种学科知识。一般贴装机采用焊接结构为基础机架,采用大量精密灵敏组件(如滚动丝杠、滑动直线导轨、磁性流体阻尼器件等),巧妙地安装气动系统、真空系统和电气控制系统,并与机械式凸轮分配轴系统相结合,广泛采用同步带传动方式,相关技术涉及到机械学的各个领域。中、高速贴装机运行速度快,振动频率高,一旦紧固松动、传感器移位、结构件错位、任何一个电接触浮动,都会导致设备不能正常运行。事故原因需从机、电、光几个方面寻找,因而要求 SMT 人员机电并通,具有丰富的机电一体化学科知识。在新型材料方面,焊膏和胶水都是触变性质流体,它们引起的缺陷占 SMT 总缺陷的 60%,熟练掌握这些材料和知识才能保证 SMT 质量。SMT 还涉及多种装连工艺,如印

制工艺、点胶工艺、贴片工艺、固化工艺，只要其中任一环节工艺参数漂移，就会导致不良品产生。SMT 工艺人员必须具有丰富的工艺知识，随时监视工艺状况，预测发展动向。

而作为 SMT 重要组成部分的表面组装工艺，又可分为工艺设计、组装材料、组装设备和组装技术四大部分，如图 1-4 所示。

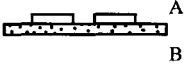
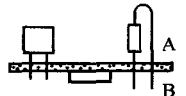
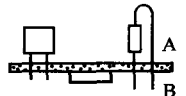
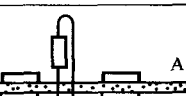
SMT 工艺技术涉及化工与材料技术（如各种焊膏、焊剂、清洗剂）、涂敷技术（如焊膏印制）、精密机械加工技术（如丝网制作）、自动控制技术（如设备及生产线控制）、焊接技术和测试、检验技术、组装设备原理与应用技术等诸多技术。它具有 SMT 的综合性工程技术特征，是 SMT 的核心技术。

采用表面组装技术生产的电子产品一般均具有元器件种类繁多、元器件在 PCB 上高密度分布、引脚间距小、焊点微型化等特征。同时，其组装焊接点既有力学性能要求，又有电气、物理性能要求。因此，与之对应的表面组装工艺技术，除了具有涉及技术领域范围宽、学科综合性强的特征外，还具有下列特点：组装对象（元器件、多芯片组件、接插件等）种类多；组装精度和组装质量要求高，组装过程复杂及控制要求严格；组装过程自动化程度高，大多需借助或依靠专用组装设备才能完成；组装工艺所涉及技术内容丰富且有较大技术难度；SMT 及其元器件发展迅速，引起组装技术更新速度快等。

1.2.3 SMT 的分类

按组装形式来分类单面表面组装、单面混合组装、双面表面组装和双面混合组装 4 种，各种组装形式的特点如表 1-3 所示。

表 1-3 各种组装形式的特点

组装形式	结构特点	组装结构	元 器 件	电路板	特 征	组装密度/ (只/mm ²)
单面表面组装	表面组装元器件位于同一面		表面组装元器件	单面 PCB 和陶瓷基板	工艺简单，适用于小型、薄型化的电路组装	3~6
单面混合组装	先贴法		表面组装元器件和通孔插装元器件	单面 PCB	先贴后插，工艺简单，组装密度低	4~8
	后贴法		表面组装元器件和通孔插装元器件	单面 PCB	先插后贴，工艺较复杂，组装密度低	4~8
双面表面组装	两面都有表面组装元器件		表面组装元器件	双面 PCB 和陶瓷基板	高密度组装，薄型化	6~12
双面混合组装	表面组装和通孔插装元器件都在同一面		表面组装元器件和通孔插装元器件	双面 PCB	先插后贴，工艺较复杂，组装密度高	5~9
	通孔插装元器件在一面，两面都有表面组装元器件		表面组装元器件和通孔插装元器件	双面 PCB	插装元器件和表面组装元器件安装在 PCB 同一侧	5~9

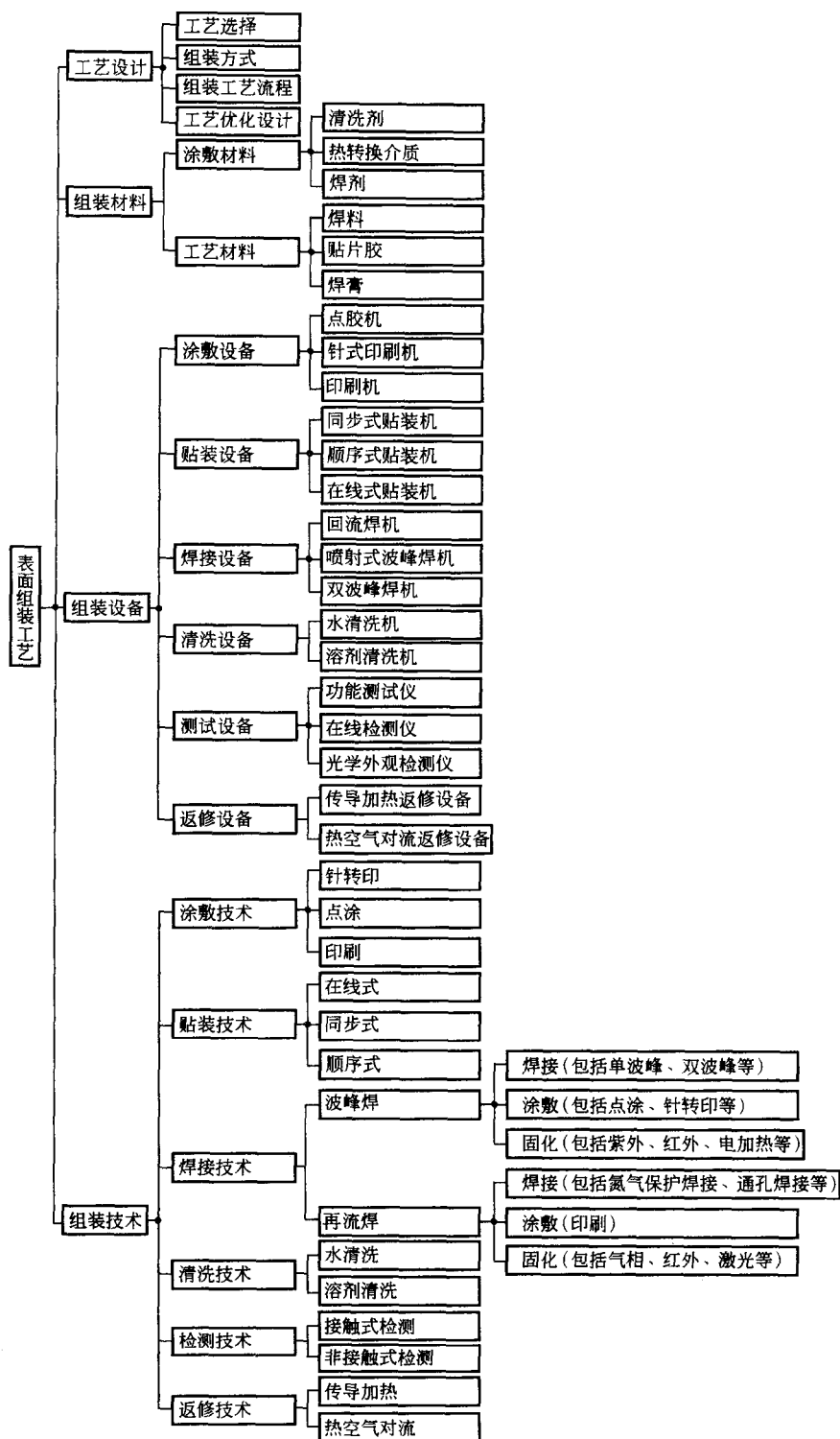


图 1-4 表面组装工艺的组成结构