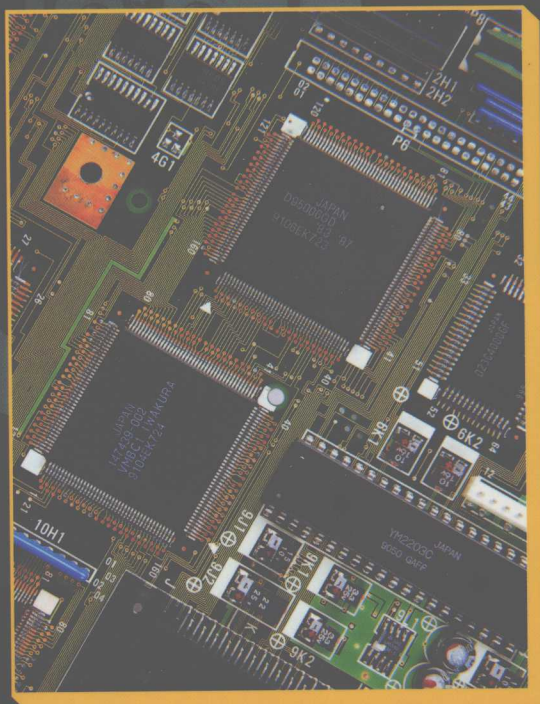


电路模块表面 组装技术

吴兆华 周德俭 编著

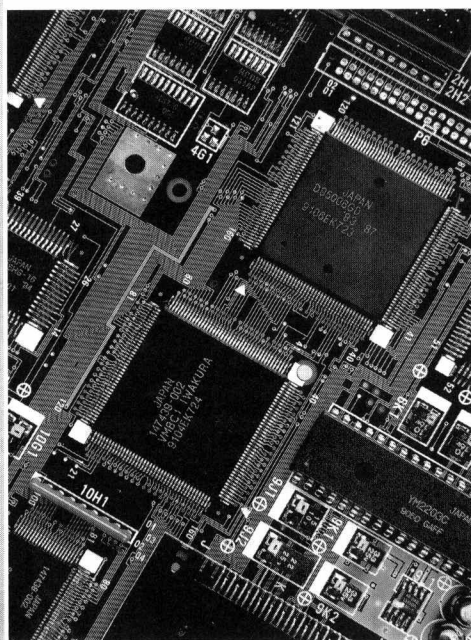


TURING

图灵电子与电气工程丛书

电路模块表面 组装技术

吴兆华 周德俭 编著



人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (CIP) 数据

电路模块表面组装技术/ 吴兆华, 周德俭编著. —北京:
人民邮电出版社, 2008.7
(图灵电子与电气工程丛书)

ISBN 978-7-115-18127-5

I. 电… II. ①吴… ②周… III. 印刷电路—组装 IV.
TN410.5

中国版本图书馆CIP数据核字 (2008) 第069518号

内 容 提 要

本书介绍电子电路表面组装技术 (SMT) 的基本知识, 全书共9章, 内容包括SMT的基本概念、SMT组装工艺技术及其发展、表面组装元器件、PCB材料与制造、表面组装材料、表面组装涂敷技术与设备、贴片工艺与设备、焊接工艺与设备、SMA清洗工艺技术、SMT检测与返修技术等。

本书内容全面、理论联系实际, 可作为SMT的专业技术培训教材, 也可供从事SMT的工程技术人员自学和参考。

图灵电子与电气工程丛书 电路模块表面组装技术

-
- ◆ 编著 吴兆华 周德俭
责任编辑 舒立
 - ◆ 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>
北京铭成印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 700×1000 1/16
印张: 14
字数: 290千字 2008年7月第1版
印数: 1-4 000册 2008年7月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-18127-5/TN

定价: 39.00元

读者服务热线: (010) 88593802 印装质量热线: (010) 67129223

反盗版热线: (010) 67171154

序

电子电路表面组装技术(SMT)在我国正处于高速发展和快速普及应用之中,相关专业技术人才的缺乏已对其发展产生了明显的制约作用。为加快人才培养步伐,满足SMT专业技术人才培养和相关知识普及的教学、培训和学习需求,我们编写了本书。

本书面向SMT相关理论与知识的初学者,内容参考和引用了周德俭和吴兆华主编的《表面组装技术基础》、《表面组装工艺技术》、《SMT组装系统》、《SMT组装质量检测与控制》等“SMT系列教材”和本书所列其他参考文献中的部分内容,同时也编入了近年发展的SMT相关知识和作者的部分研究成果。编写过程中还注意了其实用参考价值、适用面和知识的全面性等问题,在有限的篇幅中较系统地介绍了SMT的主要基础知识和技术,并具有理论联系实际、易于自学等特点。它可作为专业技术人员的SMT基础知识自学图书,也可作为相关专业本科教育和高等职业技术教育的SMT基础知识教学选修或辅助教材,或作为SMT专业技术基础知识培训教材。

本书分为9章,主要介绍SMT的元器件、基板、组装材料、组装工艺过程与设备、组装质量检测等SMT基本技术与基础知识。其中第1章~第4章和附录由桂林电子科技大学吴兆华教授编写,第5章~第9章由广西工学院周德俭教授编写,全书由中国电子科技集团第54研究所张为民研究员审阅。

由于SMT涉及知识面广,技术内容非常丰富,在本书中予以全面和深入的介绍是困难的。为此,对于希望更全面深入地了解SMT相关知识的人,应该在学习本书的基础上,进一步阅读上述“SMT系列教材”或其他同类书籍。

编者
2008.3

目 录

第1章 概论	1	3.2 PCB制造	48
1.1 SMT的基本概念	1	3.2.1 单面印制电路板	48
1.1.1 SMT、SMA及其组装的概念	1	3.2.2 双面印制电路板	49
1.1.2 SMT的技术组成与主要内容	2	3.2.3 多层PCB	52
1.2 SMA组装方式与组装工艺流程	4	第4章 表面组装材料	57
1.2.1 SMA组装方式	4	4.1 贴装胶	57
1.2.2 SMT组装工艺流程	6	4.1.1 贴装胶的化学组成	57
1.3 SMT及其组装系统的发展	11	4.1.2 贴装胶的分类	58
1.3.1 SMT的发展	11	4.1.3 表面组装对贴装胶的要求	59
1.3.2 SMT组装系统的发展	14	4.1.4 贴装胶的使用	59
1.3.3 其他相关技术的发展	17	4.2 焊膏	60
第2章 表面组装元器件	18	4.2.1 焊膏的化学组成	60
2.1 常见表面组装元件	18	4.2.2 焊膏的分类	61
2.1.1 电阻器	18	4.2.3 表面组装对焊膏的要求	62
2.1.2 电容器	20	4.2.4 焊膏的选用原则	63
2.1.3 电感器	22	4.3 助焊剂	63
2.1.4 其他表面组装组件	24	4.3.1 助焊剂的化学组成	64
2.2 表面组装半导体器件	28	4.3.2 助焊剂的分类	65
2.2.1 封装型半导体器件	28	4.3.3 助焊剂的特点	66
2.2.2 其他新型器件	29	4.3.4 助焊剂的选用	67
2.3 表面元器件的包装	30	4.4 清洗剂	67
2.3.1 编带包装	30	4.4.1 清洗剂的化学组成	68
2.3.2 其他包装形式	32	4.4.2 清洗剂的分类	69
2.3.3 包装形式的选择	33	4.4.3 清洗剂的特性	70
2.4 表面组装元件的编码原则	34	4.4.4 清洗方式	71
2.4.1 系统码说明	34	4.5 其他材料	72
2.4.2 特性码说明	34	4.5.1 阻焊剂	72
2.4.3 包装码说明	35	4.5.2 抗氧化剂	72
2.4.4 元件编码细则	35	4.5.3 插件胶	72
第3章 PCB材料与制造	42	4.5.4 无铅焊料	72
3.1 PCB的特点与材料	42	第5章 表面组装涂敷技术与设备	74
3.1.1 PCB的特点	42	5.1 表面组装涂敷技术	74
3.1.2 基板材料	43		

5.1.1 焊膏涂敷技术	74	7.4 焊接温度的设定	139
5.1.2 贴装胶的涂敷	79	7.4.1 测温板的制作	139
5.2 表面组装涂敷设备	80	7.4.2 再流温度曲线的设定	140
5.2.1 焊膏印刷机	80	7.5 焊接质量分析与对策	145
5.2.2 点胶机	84	7.5.1 再流焊接常见焊接不良分析 与对策	145
5.3 焊膏印刷过程的工艺控制	86	7.5.2 波峰焊接工艺中常见的问题 及分析	148
5.3.1 焊膏印刷过程	86		
5.3.2 焊膏印刷的不良现象和 原因	91		
5.3.3 印刷工艺参数及其设置	93		
第6章 贴片工艺与设备	99	第8章 SMA清洗工艺技术	150
6.1 贴片原理与设备	99	8.1 清洗技术的作用和主要影响 因素	150
6.1.1 贴装方法和原理	99	8.1.1 清洗技术的作用与分类	150
6.1.2 贴装机结构与类型	99	8.1.2 影响清洗的主要因素	151
6.1.3 元器件供料系统	104	8.2 污染物及其清洗原理	152
6.1.4 贴装机技术性能与选择	105	8.2.1 污染物类型与来源	152
6.2 贴片工艺特性与影响因素	108	8.2.2 清洗原理	155
6.2.1 贴装机的工艺特性	108	8.3 清洗工艺及其设备	160
6.2.2 影响贴装机性能的 主要因素	114	8.3.1 批量式溶剂清洗技术	160
6.3 贴片缺陷分析	115	8.3.2 连续式溶剂清洗技术	161
6.3.1 常见贴片缺陷	115	8.3.3 溶剂清洗采用的可调加热 制冷系统	163
6.3.2 贴片缺陷分析例	116	8.3.4 水清洗工艺技术	164
		8.3.5 超声波清洗	168
第7章 焊接工艺与设备	118	8.3.6 污染物的测试	169
7.1 SMT焊接的方法与特点	118	第9章 SMT检测技术	172
7.1.1 SMT焊接方法	118	9.1 SMT检测技术概述	172
7.1.2 SMT焊接特点	119	9.1.1 检测技术的基本内容	172
7.2 再流焊接技术	120	9.1.2 自动光学检测 (AOI) 技术	173
7.2.1 再流焊接技术概述	120	9.2 来料检测	176
7.2.2 再流焊接技术的类型与主要 特点	121	9.2.1 元器件来料检测	176
7.2.3 再流焊接温度曲线的建立与 测量	125	9.2.2 PCB来料检测	178
		9.2.3 组装工艺材料来料检测	180
7.3 波峰焊接工艺技术	127	9.3 组装质量检测技术	182
7.3.1 波峰焊接的基本原理与 分类	127	9.3.1 组件质量外观检测	182
7.3.2 波峰焊机的基本组成与 功能	132	9.3.2 焊点质量检测	182
7.3.3 波峰发生器	134	9.4 组装工艺过程检测与组件测试 技术	186
7.3.4 波峰焊接工艺特性	137	9.4.1 组装工艺过程检测	186
		9.4.2 组件在线测试技术	190

9.4.3 组件功能测试技术	192	附录	200
9.5 SMT组件的返修技术	194	附录1	200
9.5.1 返修的基本方法	194	附录2	207
9.5.2 返修加热方法及其返修 工具	197	参考文献	213
9.5.3 装有BGA器件的SMA返修 工艺	198		

第1章 概 论

1.1 SMT的基本概念

1.1.1 SMT、SMA及其组装的概念

1. SMT

电子电路表面组装技术 (SMT, Surface Mount Technology) 亦称表面贴装或表面安装技术, 是一种将无引脚或短引脚表面组装元器件 (简称SMC/SMD, 常称片状元器件) 安放在印制电路板 (PCB, Printed Circuit Board) 的表面或其他基板的表面上, 通过再流焊接 (也称再流焊) 或浸焊等方法加以焊接组装的电路装联技术。SMT由表面组装元器件、电路基板、组装设计、组装材料、组装工艺、组装设备、组装质量测试、组装系统控制与管理等技术组成, 是一项涉及微电子、精密机械、自动控制、焊接、精细化工、材料和检测等多专业多学科的综合工程科学技术。

SMT主要应用于PCB级电路模块和多芯片、微系统级电路组件的元器件表面组装, 与传统的通孔插装技术 (THT) 不同, 它的元器件贴装面和焊接表面在基板或PCB的同一面上, PCB无须钻插装孔。

2. SMA

采用SMT组装的PCB级电子电路产品 (简称SMT产品) 也称为表面组装组件 (SMA, Surface Mount Assembly) 或印制电路板组件 (PCBA, Printed Circuit Board Assembly)。图1-1a所示为在PCB单面组装有SMC/SMD的SMA局部示意图, 图1-1b所示为单面组装SMA实物。

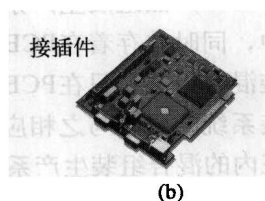
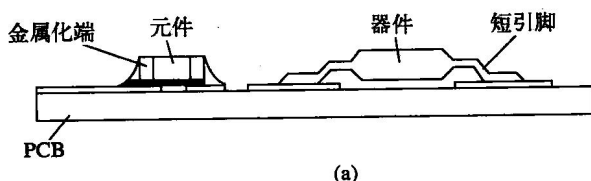


图1-1 单面组装SMC/SMD的SMA示意图

以前, 表面组装元器件的品种规格尚不齐全, 因此在表面组件中有时仍需要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的只是一小部分。插装件和贴装件兼有的组装称为混

合组装,全部采用SMC/SMD的组装称为全表面组装。

3. SMT组装工艺

SMT组装焊接一般采用浸焊或再流焊接。若采用浸焊,先在PCB上点涂或丝网印刷上环氧树脂粘合剂,将片状元器件定位黏结在上面,通过加热或紫外线照射固化,然后在焊料熔槽内浸焊。若采用再流焊接,则在PCB上点涂或丝网印刷上焊料膏,然后通过再流焊设备熔化焊料进行焊接。

SMT有单面组装和双面组装等表面组装方式,与之相应有不同的工艺流程。其主要工艺技术有焊膏涂敷(典型为印刷)、黏结剂涂敷(典型为点胶)、贴片(也称贴装)、焊接、清洗、测试和返修等,其主要组装设备有焊膏丝网印刷机、点胶机、贴片机、再流焊炉、波峰焊炉、清洗设备、测试设备以及返修设备等。

当被组装的SMC/SMD引线结构简单、同一PCB上SMC/SMD个数很少,或者仅对SMA上的个别SMC/SMD进行返修时,也可以采用借助焊接工具的手工方式和借助返修设备的半自动方式进行表面组装。

4. SMT组装系统

一般由丝网印刷机、贴片机和再流焊炉等主要设备组成SMT生产线(如图1-2所示),进而与其他辅助设备一起组成SMT产品(SMA)组装生产系统(如图1-3所示)。

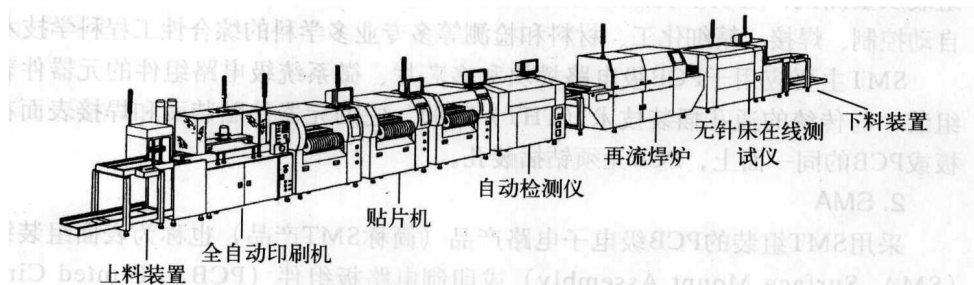


图1-2 SMT生产线基本组成

SMT产品组装生产系统简称为SMT组装系统。由于在SMT及其产品的发展过程中,同时并存着在PCB上完全组装SMC/SMD(称为全表面组装)、表面组装与插装混合组装、只在PCB的单面组装或在双面都组装等多种产品组装形式,SMT组装系统的概念与之相应也具有广义性。实际生产中,往往将包含插装工艺与设备在内的混合组装生产系统也称为SMT组装系统。图1-4为应用于混合组装的SMT组装系统基本组成示意图。

1.1.2 SMT的技术组成与主要内容

1. SMT的技术组成

SMT是一项复杂的系统工程,如图1-5所示,它主要包含表面组装元器件、电

路基板、材料、工艺技术、组装设计、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。

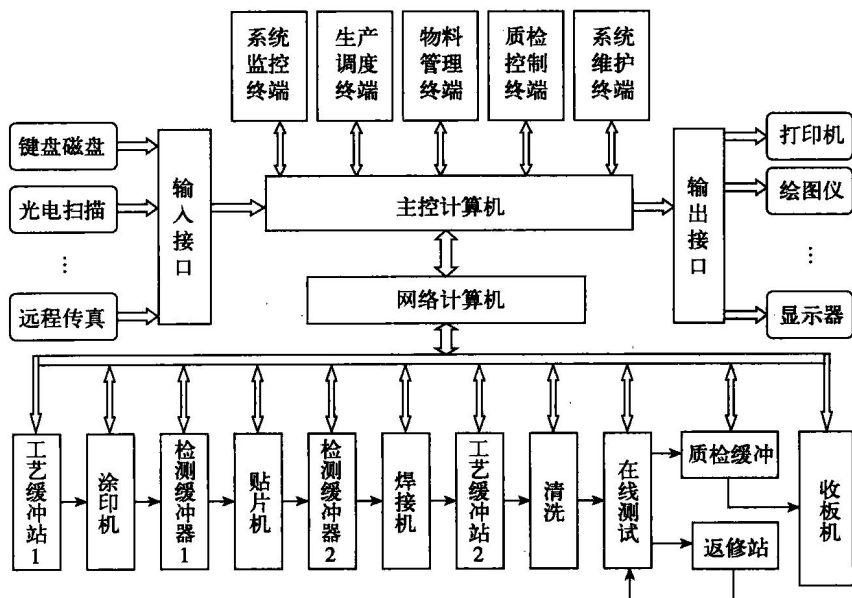


图1-3 SMT 组装系统控制信息流向图

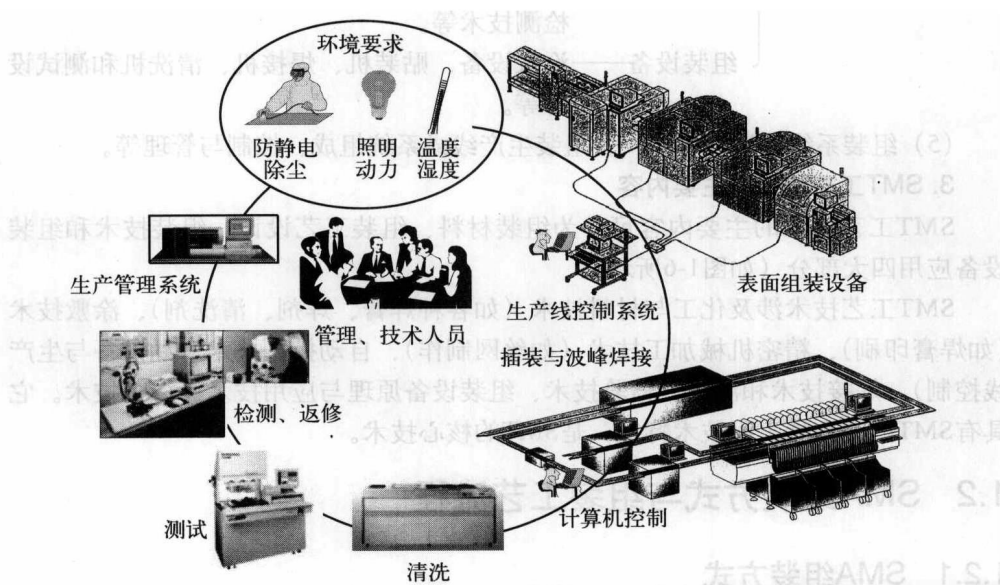


图1-4 SMT 组装系统基本组成

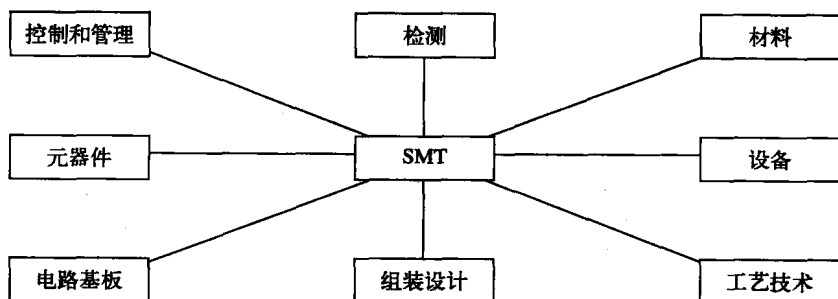


图1-5 SMT 基本组成

2. SMT的主要内容

下面列出的是SMT的主要内容：

- (1) 表面组装元器件
 - 设计——结构尺寸、端子形式和耐焊接热等。
 - 制造——各种元器件的制造技术。
 - 包装——编带式、棒式、托盘和散装等。
- (2) 电路基板——单（多）层PCB、陶瓷、瓷釉金属板和夹层板等。
- (3) 组装设计——电设计、热设计、元器件布局和基板图形布线设计等。
- (4) 工艺技术
 - 组装材料——黏结剂、焊料、焊剂和清洗剂等。
 - 组装工艺设计——组装方式、组装工艺流程和工艺优化设计等。
 - 组装技术——涂敷技术、贴装技术、焊接技术、清洗技术和检测技术等。
 - 组装设备——涂敷设备、贴装机、焊接机、清洗机 and 测试设备等。
- (5) 组装系统控制与管理——组装生产线或系统组成、控制与管理等。

3. SMT工艺技术的主要内容

SMT工艺技术的主要内容可分为组装材料、组装工艺设计、组装技术和组装设备应用四大部分（如图1-6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（如焊膏印刷）、精密机械加工技术（如丝网制作）、自动控制技术（如设备与生产线控制）、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。

1.2 SMA组装方式与组装工艺流程

1.2.1 SMA组装方式

SMA的组装方式及其工艺流程主要取决于表面组装组件（SMA）的类型、使用的

元器件种类和组装设备条件。大体上可将SMA的组装方式分成单面混合组装、双面混合组装和全表面组装三种类型共六种组装方式，如表1-1所列。对于不同类型的SMA，其组装方式有所不同，而对于同一种类型的SMA，其组装方式也可以有所不同。

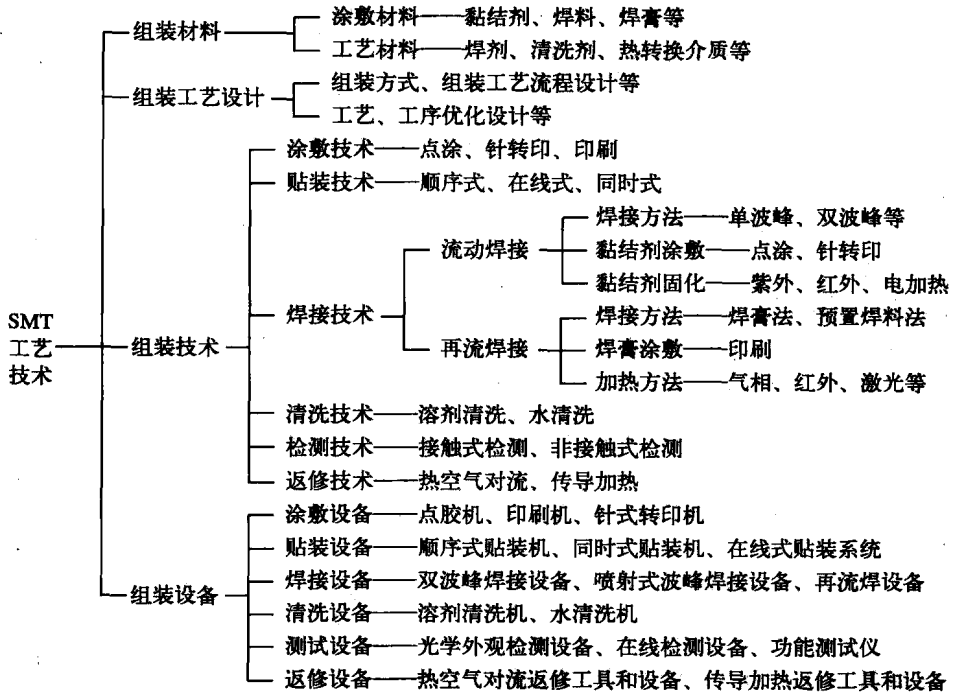


图1-6 SMT工艺技术主要内容

表1-1 SMA的组装方式

序号	组装方式		组件结构	电路基板	元 器 件	特 征
1	单面混合组装	先贴法		单面PCB	表面组装元器件及通孔插装元器件	先贴后插，工艺简单，组装密度低
2		后贴法		单面PCB	同上	先插后贴，工艺较复杂，组装密度高
3	双面混合组装	SMD和THC都在A面		双面PCB	同上	先贴后插，工艺较复杂，组装密度高
4		THC在A面，A、B两面都有SMD		双面PCB	同上	THC和SMD/SMD组装在PCB的同一面
5	全表面组装	单面全表面组装		PCB单面 陶瓷基板	表面组装元器件	工艺简单，适用于小型、薄型化的电路组装
6	全表面组装	双面全表面组装		PCB双面 陶瓷基板	同上	高密度组装，薄型化

根据组装产品的具体要求和组装设备的条件选择合适的组装方式,是高效和低成本组装生产的基础,也是SMT工艺设计的主要内容。

1. 单面混合组装

第一类是单面混合组装,即SMC/SMD与通孔插装元件(THC)分布在PCB不同的一面上混装,但其焊接面仅为单面。这一类组装方式均采用单面PCB和波峰焊接(现在一般采用双波峰焊接)工艺,具体有两种组装方式。

(1) 先贴法,即在PCB的B面(焊接面)先贴装SMC/SMD,而后在A面插装THC。

(2) 后贴法,即先在PCB的A面插装THC,后在B面贴装SMC/SMD。

2. 双面混合组装

第二类是双面混合组装,SMC/SMD和THC可混合分布在PCB的同一面,同时,SMC/SMD也可分布在PCB的双面。双面混合组装采用双面PCB、双波峰焊接或再流焊接。在这一类组装方式中也有先贴和后贴SMC/SMD的区别,一般根据SMC/SMD的类型和PCB的大小合理选择,通常采用先贴法较多。该类组装常用两种组装方式。

(1) SMC/SMD和THC同面方式。表1-1中的第3种,SMC/SMD和THC在PCB的同一面。

(2) SMC/SMD和THC不同面方式。表1-1中第4种,把表面组装集成芯片(SMIC)和THC放在PCB的A面,而把SMC和小外形晶体管(SOT)放在B面。

这类组装方式由于在PCB的单面或双面贴装SMC/SMD,而且把难以表面组装化的有引线元件插入组装,因此组装密度相当高。

3. 全表面组装

第三类是全表面组装,在PCB上只有SMC/SMD而无THC。由于目前元器件还未完全实现全表面组装化,实际应用中这种组装形式不多。这一类组装方式一般是在细线图形的PCB或陶瓷基板上,采用细间距器件和再流焊接工艺进行组装。它也有两种组装方式。

(1) 单面全表面组装方式。表1-1中的第5种,采用单面PCB在单面组装SMC/SMD。

(2) 双面全表面组装方式。表1-1中的第6种,采用双面PCB在两面组装SMC/SMD,组装密度更高。

1.2.2 SMT组装工艺流程

合理的工艺流程是组装质量和效率的保障,组装方式确定之后,就可以根据需要和具体设备条件确定工艺流程。不同的组装方式有不同的工艺流程,同一组装方式也可以有不同的工艺流程,这主要取决于所用元器件的类型、SMA的组装

质量要求、组装设备和组装生产线的条件，以及组装生产的实际条件等。

1. 单面混合组装工艺流程

单面混合组装方式有两种类型的工艺流程，一种采用SMC/SMD先贴法（如图1-7a所示），另一种采用SMC/SMD后贴法（如图1-7b所示）。这两种工艺流程中都采用了波峰焊接工艺。

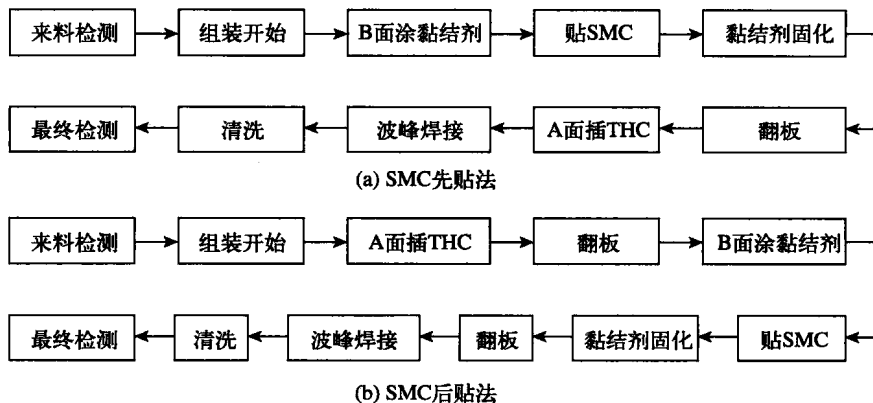


图1-7 单面混合组装工艺流程

SMC/SMD先贴法是指在插装THC前先贴装SMC/SMD，并利用黏结剂将SMC/SMD暂时固定在PCB的贴装面上，待插装THC后，采用波峰焊进行焊接。而SMC/SMD后贴法则是先插装THC，再贴装SMC/SMD。

SMC/SMD先贴法的工艺特点是容易涂敷黏结剂、操作简单，但需留下插装THC时弯曲引线的操作空间，因此组装密度较低。而且插装THC时容易碰到已贴装好的SMD，而引起SMD损坏或受机械振动脱落。为了避免这种现象，黏结剂应具有较高的黏结强度，以耐机械冲击。

SMC/SMD后贴法克服了SMC/SMD先贴法方式的缺点，提高了组装密度，但涂敷黏结剂较困难。这种组装方式广泛用于TV和VTR等PCB组件的组装中。

2. 双面混合组装工艺流程

双面PCB混合组装有两种组装方式：一种是SMC/SMD和THC同在电路板的A面（表1-1中的第3种方式）；另一种是PCB的A面和B面都有SMC/SMD，而THC只在A面（表1-1中的第4种方式）。双面PCB混合组装一般都采用SMC/SMD先贴法。

第3种组装方式有两种典型工艺流程，图1-8表示出其中一种典型工艺流程。这种工艺流程在再流焊接SMC/SMD之后、插装THC之前可分成两种流程。当再流焊接之后需要较长时间放置或完成插装THC时采用流程A。因为在再流焊接期间留在组件上的焊剂剩余物，如果停置时间较长，在最后清洗时很难有效地清除，因此，流程A比流程B增加了一项溶剂清洗工序。另外，有些THC对溶剂敏感，所以

再流焊接后需要马上进行清洗。流程B是这两种工艺流程中路线短、费用少的一种，广泛用于高度自动化的表面组装工艺中。一般在清洗后还应进行洗净度检测，以确保电路组件能达到可接受的洗净度等级。

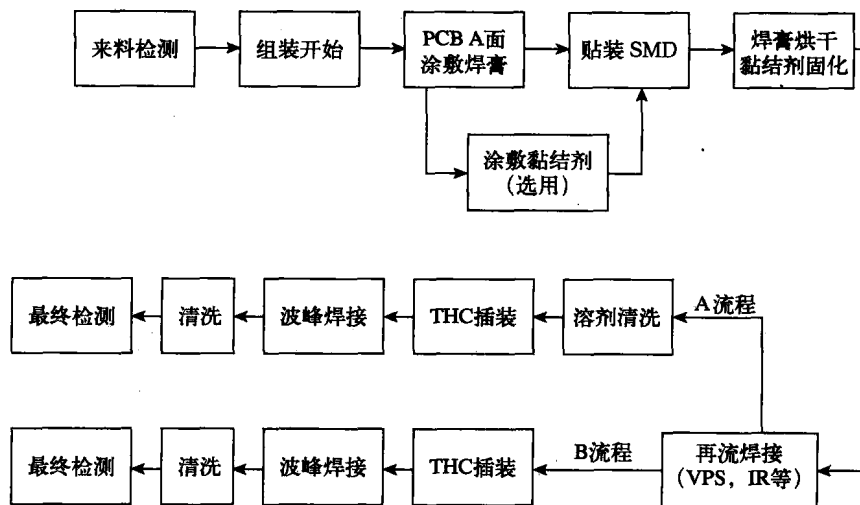


图1-8 双面混合组装工艺流程（SMD和THC在同一面）

第3种组装方式的另一种工艺流程如图1-9所示。这种组装工艺流程用来把鸥翼形引线的SMD和THC混合组装在同一块电路板上。它可以不采用焊膏，而是在电路板上电镀焊料，用热棒或激光再流焊接工艺焊接SMD。在这种工艺中，常采用既能贴装SMD又能进行焊接的装焊一体化设备进行组装。

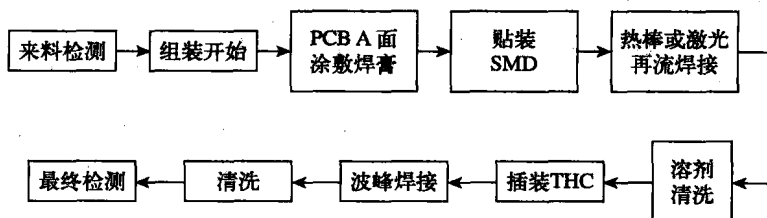


图1-9 采用热棒或激光再流焊接的双面混合组装工艺流程

第4种组装方式的典型工艺流程如图1-10所示，SMC和THC组装在A面，SMC/SMD组装在B面。在A面SMC再流焊接之后，紧接着在A面插装THC，再在B面涂敷黏结剂和贴装SMC/SMD。这就防止了由于THC引线打弯而损坏B面的SMC/SMD，和插装THC时的机械冲击引起B面黏结的SMC/SMD脱落。如果需要先在B面贴装SMC/SMD后在A面插装THC，在引线打弯时应特别小心。而且贴装SMC/SMD的黏结剂应具有较高的黏结强度，以便能够承受插装THC时的机械冲击。

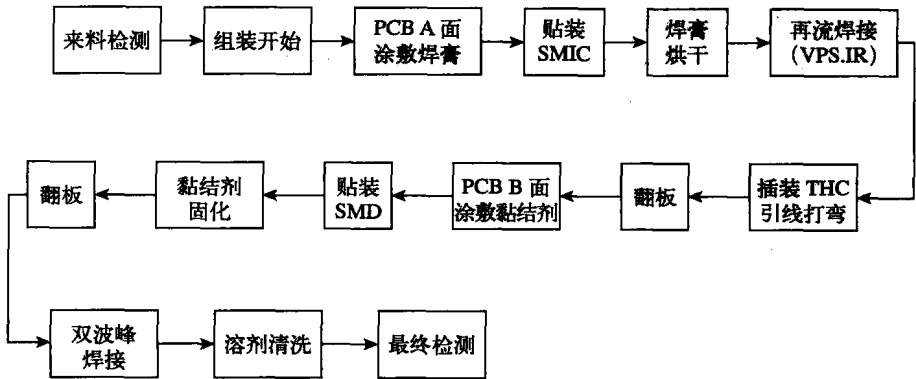


图1-10 双面混合组装工艺流程 (SMIC和SMD分别在A面与B面)

图1-11表示出第4种组装方式的又一种典型工艺流程。该流程的特点是先贴装SMIC和SMC，再插装THC。流程A是在B面贴装SMC/SMD和在A面贴装SMIC后，A面再流焊接，然后才在B面插装THC，并进行波峰焊接的工艺流程。流程B是B面的SMC/SMD和A面的SMIC依次分别进行再流焊接后，再插装THC并进行波峰焊接的工艺流程。该工艺流程也可用手工焊接THC。另外，对热敏感的SMIC（如QFP等），也可采用激光等局部加热法进行焊接。

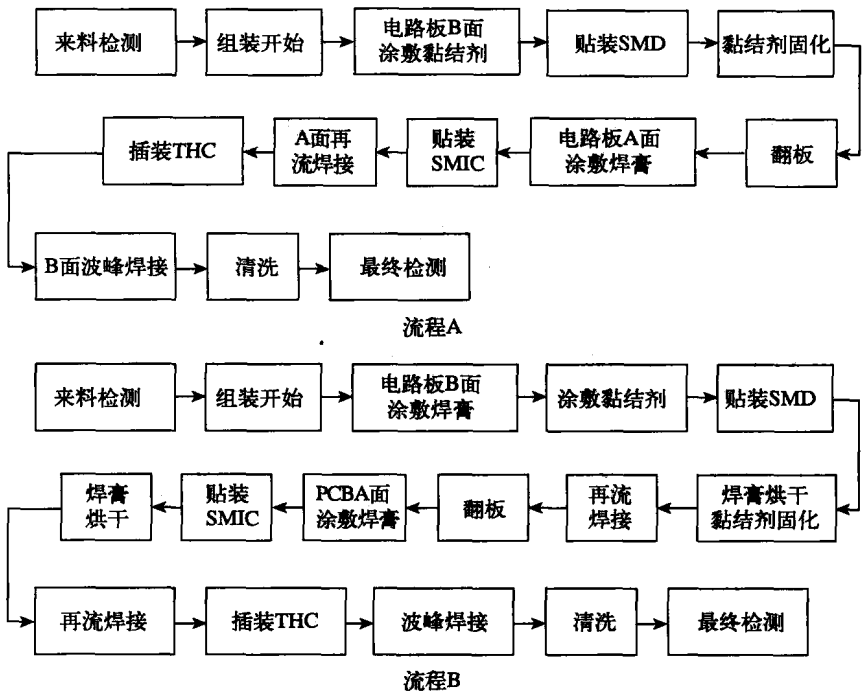


图1-11 双面板混合组装工艺流程

3. 全表面组装工艺流程

全表面组装工艺流程对应表1-1中的第5种和第6种组装方式。

单面全表面组装方式的典型工艺流程如图1-12所示。这种组装方式是在单面PCB上只组装表面组装元件和无通孔插装元件，采用再流焊接工艺，这是最简单的全表面组装工艺流程。

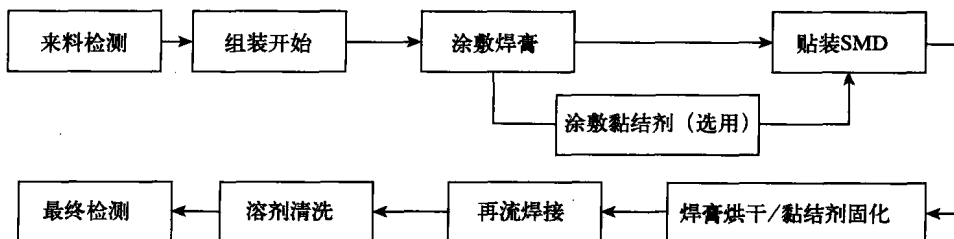
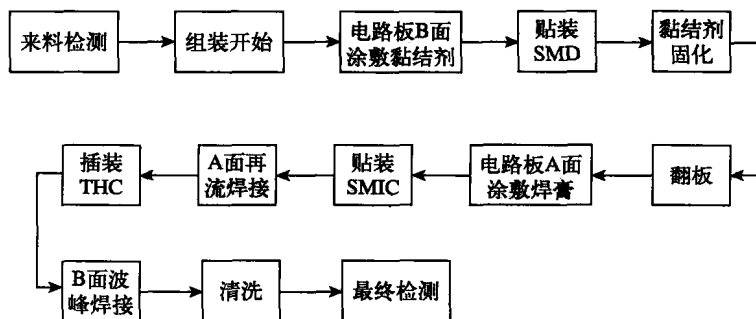
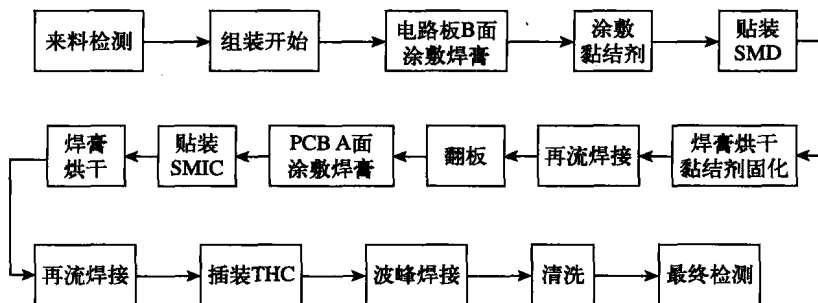


图1-12 单面组装工艺流程

双面全表面组装的典型工艺流程如图1-13所示。在电路板两面组装塑封有引线芯片载体 (PLCC) 时，采用流程A。由于J型引线和鸥翼形引线的SMIC采用双波峰焊接容易出现桥接，所以组件两面都采用再流焊接工艺。但A面组装的SMIC



(a) 流程A



(b) 流程B

图1-13 双面全表面组装工艺流程