

电子组件 表面组装技术

赵英 编著

SMT

611

6

机械工业出版社

电 子 组 件

表 面 组 装 技 术

赵 英 编著



机械工业出版社

内 容 简 介

表面组装技术(SMT)是电子组件的一种新型的组装技术。本书全面系统地介绍了国内外 SMT 的发展与最新技术动态。全书共十三章,分别介绍了表面组装无源元件(SMC)、有源元件(SMD)、机电元件、表面组装用材料(基板、焊膏、粘合剂)的种类、结构与设计;详细讨论了 SMT 系统设计、焊盘图形设计、制造、测试、维修设计和可靠性以及贴装技术、焊接技术、清洁技术和检测技术等。图文并茂,实用性强。

本书可作为高等院校有关专业高年级学生和研究生选修课教材。也可供从事表面组装技术、表面组装元器件和电子组件的研究、设计、制造和应用的工程技术人员作为实用的参考书。

001/1

电子组件表面组装技术

赵 英 编著

*

责任编辑:贾 馨

版式设计:刘 戈

封面设计:牛 勇

责任校对:廉玉洁

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

半导体杂志社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16·印张 13.5·字数 332 千字

1991 年 10 月北京第一版·1991 年 11 月天津第一次印刷

印数 0,001—2,000 ·定价:12.00 元

*

ISBN7-111-03145-8/TN·57(x)

前 言

表面组装技术(SMT),又称表面安装技术或表面贴装技术,是电子组件的一种新型的组装技术。自 80 年代以来,在世界范围内获得了极为迅速的发展。SMT 作为第四代组装技术的出现,被誉为电子工业的一场新的组装技术革命。它对改变传统的电子元器件和插装技术,对整机产品薄型化、小型化、轻量化和多功能化,对军事电子装备的现代化和国民经济的发展正在起着巨大的推动作用。

本书主要取材于编者广泛收集的国内外有关 SMT 的大量最新文献资料和 Prasad 所著《Surface Mount Technology: Principles and Practice》一书,并结合本人在电子组件的研究开发过程中的实践体会编写而成。全书共分十三章。第一章介绍了国内外 SMT 的发展与最新技术动态以及我国 SMT 的发展现状与未来展望。第二和第三章介绍了表面组装无源元件(SMC)、有源元件(SMD)和机电元件以及表面组装用基板的种类、结构与设计。为叙述方便起见,本书将上述三类元件统称为表面组装元件(SMC)。第四至第六章,分别讨论了 SMT 系统设计,焊盘图形设计,制造、测试和维修设计以及可靠性。第七至第九章讨论了表面组装用粘合剂、焊膏及其应用以及表面组装元器件的可焊性。第十至十三章分别介绍了贴装技术、焊接技术、清洁技术和检测技术等。

鉴于目前表面组装元器件采用的国际标准(例如 EIA)是以英制为单位的,并考虑到表面组装元器件国产化率目前很低的实际情况,为了方便读者,书中部分单位仍采用英制。

在本书编写过程中,得到了《电气时代》杂志编辑部朱历,天津理工学院刘戈、张辉、廉玉洁,天津市计算中心李家聪高级工程师等同志的热情鼓励和支持。此外,王淑英、韩力、赵顺芝、尹煜、商建敏、徐文敏、曹敬和毛洁等同志对本书的出版提供了具体的帮助。编者愿借此机会,向他们表示最衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有许多错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

1991 年 6 月

书中常用英文缩写词汉语译名对照表^①

缩写词	汉语译名	缩写词	汉语译名
SMT	表面组装技术	PLA	可编程逻辑阵列
LCCC	无引线陶瓷芯片载体	SMOBC	裸铜上焊接掩模工艺
CTE	热膨胀系数	ASIC	专用集成电路
SO	小外型	CAD	计算机辅助设计
SOIC	小外型集成电路	DFM	可制造性设计
SMC ^②	表面组装元件	PGA	针网阵列
PLCC	塑料有引线芯片载体	ATE	自动化设备测试(在线测试)
PCB	印制电路板	UV	紫外光
DIP	双列直插式封装	SIR	表面绝缘电阻
COB	板上芯片	CFC	氯化氟代碳
TAB	自动带焊	VPS	汽相再流焊
BTAB	凸带自动键合	C/I	对流/红外
SMD	表面组装器件	IR	红外再流焊
MELF	金属电极无引线面(圆筒式)器件	RMA	轻度活化松香
SOT	小外型晶体管	RA	简单活化松香
SOJ	带J引线的小外型器件	OA	有机焊剂
QFP	象限扁平封装	SRA	超活化松香
PQFP	塑料象限扁平封装	SA	合成活化松香
PWA	印制引线组件	TLV	临界极限值
PWB	印制引线(电路)板	TWA	时间—重量平均值
THMA	通孔插装组件	SQC	统计质量控制
SMA	表面组装组件	SPC	统计过程控制

① 以书中出现的先后为序

② 为叙述方便,书中有时将 SMC 和 SMD 统称为 SMC

目 录

前言	(III)
书中常用英文缩写词汉语译名对照表	(IV)
第一章 绪论	
1.0 引言	(1)
1.1 表面组装类型	(3)
1.2 表面组装的优越性	(5)
1.3 SMT 发展展望	(7)
1.3.1 芯片与引线 (COB) 技术	(8)
1.3.2 自动带焊(TAB)	(9)
1.3.3 倒装片	(11)
1.4 我国 SMT 现状与未来	(12)
1.4.1 SMT 与 SMC 现状	(12)
1.4.2 存在问题	(12)
1.4.3 SMT 与 SMC 发展趋势	(12)
第二章 表面组装元器件	
2.0 引言	(15)
2.1 表面组装元器件的特性	(15)
2.2 表面组装无源元件	(15)
2.2.1 分立的表面组装电阻器	(16)
2.2.2 表面组装电阻网络	(17)
2.2.3 陶瓷电容器	(18)
2.2.4 钽电容器	(18)
2.2.5 筒式无源元件	(22)
2.3 陶瓷封装有源元件	(23)
2.3.1 无引线陶瓷芯片载体	(23)
2.3.2 有引线陶瓷芯片载体	(24)
2.4 塑料封装有源元件	(26)
2.4.1 小外型晶体管	(27)
2.4.2 小外型集成电路	(29)
2.4.3 塑料有引线芯片载体	(29)
2.4.4 小外型 J 封装	(31)
2.4.5 密间距封装	(31)
2.5 表面组装机电元件	(32)
2.5.1 表面组装用拨动式小型开关	(32)
2.5.2 高密度组装用连接器	(34)

2.5.2.1 表面组装连接器的要求	(35)
2.5.2.2 表面组装连接器种类	(35)
第三章 表面组装用基板	
3.0 引言	(37)
3.1 基板材料的选择	(39)
3.1.1 热膨胀系数相容性	(41)
3.1.2 工艺考虑	(41)
3.2 陶瓷基板	(42)
3.3 约束芯基板	(42)
3.3.1 铜-因伐-铜约束芯基板	(43)
3.3.2 石墨环氧树脂约束芯基板	(44)
3.4 可塑层基板	(44)
3.5 玻璃环氧树脂基板	(45)
第四章 表面组装设计	
4.0 引言	(49)
4.1 系统设计	(49)
4.2 外型、装配和功能	(50)
4.3 占地	(50)
4.4 制作	(51)
4.5 价格	(52)
4.6 散热	(52)
4.7 封装可靠性	(55)
4.7.1 封装产生裂缝的机理	(55)
4.7.2 解决封装裂缝的方法	(57)
4.7.3 封装裂缝的可靠性试验	(59)
4.8 焊点可靠性	(60)
4.8.1 焊点可靠性试验	(61)
4.9 内部互连	(63)
4.10 CAD 布局	(63)
第五章 表面组装焊盘图形设计	
5.0 引言	(66)
5.1 焊盘图形设计的一般考虑	(66)
5.2 无源元件焊盘图形	(66)
5.2.1 矩形无源元件焊盘图形设计	(67)
5.2.2 钽电容器焊盘图形设计	(69)
5.3 圆筒形无源器件 (MELF) 焊盘图形	(70)

5.4 晶体管焊盘图形	(71)
5.5 塑料有引线芯片载体和无引线陶瓷芯片载体焊盘图形	(71)
5.6 小外型集成电路和 R 封装焊盘图形	(73)
5.7 SOJ (存储器) 封装焊盘图形	(75)
5.8 DIP (平贴) 封装焊盘图形	(75)
5.9 密间距海鸥翼形封装焊盘图形	(76)
5.10 焊膏和焊接掩模的焊盘图形	(76)

第六章 可制造性测试和维修设计

6.0 引言	(78)
6.1 标准外型	(78)
6.2 可制造性元件选择	(79)
6.3 焊接	(80)
6.4 元件排向	(83)
6.5 内封装间隙要求	(85)
6.6 通路孔	(88)
6.7 焊接掩模	(90)
6.8 可修理性	(91)
6.9 清洁	(91)
6.10 可测试性	(92)

第七章 粘合剂

7.0 引言	(94)
7.1 表面组装用理想粘合剂	(94)
7.1.1 预固化性质	(94)
7.1.2 固化性质	(95)
7.1.3 后固化性质	(95)
7.2 粘合剂分类	(96)
7.3 表面组装用粘合剂	(96)
7.3.1 环氧树脂粘合剂	(96)
7.3.2 丙烯酸粘合剂	(97)
7.4 表面组装用导电粘合剂	(97)
7.5 粘合剂用法	(98)
7.5.1 丝网	(99)
7.5.2 针印	(99)
7.5.3 注射	(99)
7.6 粘合剂的固化	(101)
7.6.1 热固化	(101)
7.6.1.1 热固化曲线和粘合强度	(101)

7.6.1.2 粘合剂固化曲线和焊剂俘获	(103)
7.6.2 UV / 热固化	(104)

第八章 焊膏

8.0 引言	(105)
8.1 焊膏性质	(105)
8.1.1 金属组份	(105)
8.1.2 金属含量	(106)
8.1.3 颗粒尺寸与形状	(106)
8.1.4 焊剂激活剂和可湿作用	(107)
8.1.5 溶剂和空洞形成	(107)
8.1.6 流变性质	(108)
8.1.6.1 粘度	(108)
8.1.6.2 陷落性	(109)
8.1.6.3 工作寿命和粘性	(109)
8.1.7 焊球	(110)
8.1.8 可印性	(110)
8.2 焊膏印制设备	(111)
8.3 焊膏印制过程	(113)
8.3.1 丝网印制	(115)
8.3.2 模板印制	(116)
8.3.3 丝网印制和模板印制的比较	(116)
8.3.4 涂布	(117)
8.4 焊膏印制缺陷	(118)
8.5 焊膏印制变量	(119)
8.5.1 焊膏粘度	(119)
8.5.2 印制厚度	(119)
8.5.3 滚子磨损、压力和硬度	(120)
8.5.4 印制速度	(120)
8.5.5 网眼张力	(120)
8.5.6 电路板翘曲	(120)

第九章 焊接冶金学与可焊性

9.0 引言	(122)
9.1 相图	(122)
9.2 表面组装无源元件的金属化浸析	(123)
9.3 焊料合金及其性质	(125)
9.4 可焊性	(128)
9.4.1 浸润性	(128)

9.4.2 不浸润性	(129)
9.4.3 反浸润性	(130)
9.5 保证可焊性的各种方法	(130)
9.6 可焊性检验方法与要求	(131)
9.7 基板表面粗糙度对可焊性的影响	(132)
9.8 元件引线或端点的粗糙度对可焊性的影响	(133)

第十章 贴装技术

10.0 引言	(135)
10.1 手工贴装	(135)
10.2 自动贴装	(136)
10.3 贴装机选择依据	(137)
10.3.1 最大基板尺寸处理能力	(137)
10.3.2 最大送料器输送能力	(137)
10.3.3 贴装速度和灵活性	(138)
10.3.4 贴装精度和重复性	(138)
10.3.5 监视能力	(139)
10.3.6 粘合剂涂布能力	(139)
10.3.7 其它重要的选择依据	(140)
10.4 贴装机送料器的选择	(141)
10.4.1 带式 and 卷盘送料器	(141)
10.4.2 散装送料器	(143)
10.4.3 管式或杆式送料器	(143)
10.4.4 华夫饼式包装	(145)
10.5 贴装机简介	(145)

第十一章 焊接技术

11.0 引言	(148)
11.1 波峰焊	(148)
11.1.1 波峰焊中设计与工艺变量	(148)
11.1.2 波峰焊中工艺与设备变量	(151)
11.2 表面组装用波峰焊类型	(153)
11.2.1 双波峰焊	(153)
11.2.2 振动波峰焊	(154)
11.2.3 改良型波峰焊接	(154)
11.3 混合组件的一步焊接法	(156)
11.4 双面 SMT 组件的一步焊接法	(156)
11.5 汽相焊	(157)
11.6 红外再流焊	(159)

11.6.1 红外焊中热传输机理	(159)
11.6.2 对流 / 红外与近红外再流焊的比较	(160)
11.7 汽相再流焊与红外再流焊的比较	(161)
11.7.1 成本与灵活性	(161)
11.7.2 焊接曲线的研究	(162)
11.7.3 焊接缺陷	(163)
11.7.4 开焊 (灯芯效应)	(163)
11.7.5 元件翘起与移位	(164)
11.7.6 元件的热冲击	(164)
11.7.7 焊接掩模褪色	(164)
11.8 激光再流焊	(165)
11.9 其它再流焊方法	(167)
11.10 适当焊接方法的选择	(167)

第十二章 清洁技术

12.0 引言	(170)
12.1 对表面组装组件的清洁处理的关注	(170)
12.2 焊剂的作用	(171)
12.3 焊剂选择	(172)
12.4 焊剂的分类	(172)
12.4.1 无机焊剂	(173)
12.4.2 有机焊剂	(173)
12.4.3 超活化焊剂	(174)
12.4.4 松香焊剂	(174)
12.5 污染物及其影响	(175)
12.5.1 特殊污染物	(175)
12.5.2 非极性污染物	(176)
12.5.3 极性污染物	(176)
12.6 选择溶剂时所要考虑的主要因素	(177)
12.7 溶剂清洁设备	(179)
12.7.1 分批溶剂清洁器	(179)
12.7.2 在线溶剂清洁器	(179)
12.7.3 超声清洁设备	(180)
12.8 水清洗	(180)
12.9 清洁度测试方法和要求	(183)
12.9.1 目测	(183)
12.9.2 溶剂萃取	(183)
12.9.3 表面绝缘电阻	(183)
12.9.3.1 SIR 测试条件	(184)

12.9.3.2 SIR 测试的应用.....	(186)
12.10 清洁处理的设计.....	(186)
 第十三章 检测与维修技术	
13.0 引言	(189)
13.1 统计质量控制	(189)
13.2 与材料和工艺有关的缺陷	(190)
13.2.1 与基板有关的缺陷	(190)
13.2.2 与元件有关的缺陷	(190)
13.2.3 与粘合剂有关的缺陷	(191)
13.2.4 与焊膏有关的缺陷	(191)
13.2.5 与工艺有关的缺陷	(192)
13.3 焊点质量要求	(192)
13.4 焊点检测	(198)
13.5 维修仪器和工艺	(198)
13.5.1 维修要求	(199)
13.5.2 表面组装维修用工具	(199)
13.5.3 返工曲线	(201)
13.6 组件测试	(201)

第一章 绪 论

1.0 引 言

表面组装技术(SMT), 又称表面安装技术或表面贴装技术。应用该技术,可使电子组件的可靠性大为提高,重量更轻,体积更小,成本更低。SMT 通常用来将电子元器件贴装在印制电路板或基板的表面,而传统组装技术则是将元器件插装在印制电路板的孔中。这往往会被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:设计、材料、工艺和封装。

表面组装并不是新概念。它具有相当古老的技术基础,诸如扁平封装和混合集成。但是,一般来说,先前所使用的设计与制作技术并不能应用于目前的表面组装技术。当前 SMT 技术要求完全重新考虑设计与制作方法以及开发与支持该项技术的一种新的 SMT 基础。

在 20 世纪 50 年代,称作扁平组件的表面组装器件曾用于高可靠军用产品。它们被认为是组装在印制电路板上的第一代表面组件。

混合集成技术对当今 SMT 的发展做出了重大贡献。使混合集成工业开发的布局和焊接技术成为当今 SMT 的一部分。

美国在军事应用领域所作的广泛的开发工作也为当今 SMT 奠定了基础。例如,为了缩小大数目引线封装尺寸,军事上需要将器件密封且所有四个边上都有引线,这就导致在 70 年代开发出无引线陶瓷芯片载体(LCCC)。

然而, LCCC 本身也存在着问题:它们要求热膨胀系数(CTE)匹配的、价格昂贵的基板,以防止由于陶瓷部分和玻璃环氧基板间 CTE 的不匹配而造成焊点断裂。在军事应用方面,美国曾花费了大量的人力、财力来开发 LCCC 可接收的基板,然而,结果并不十分满意。

正当美国的电子工业致力于开发只有非常有限军工市场的 LCCC 用基板时,日本和欧洲却瞄准了非常广阔的消费市场。60 年代,飞利浦公司发明了可表面组装的为钟表工业应用的封装形式,它们就是目前称之为小外型(SO)或小外型集成电路(SOIC)封装。封装形式对制造工艺,诸如操作、焊接、清洗以及检测,都有巨大的影响。

日本人在民用消费产品,如收录机、电视机和录象机方面完善了 SMT。这些产品所用绝大部分的模拟电路都需要表面组装无源元件并且用波峰焊接。无源元件具有若干端点而不是引线,从而它们显著变小。图 1.1 将通用的表面组装无源元件(SMC)与相应的带引线的传统无源元件加以比较。

尽管日本在 70 年代就在消费产品中大量使用无源元件,然而,近十年在远程通讯和计算机等方面则以大量应用有源器件为特征。在美国,则是以用于远程通讯、计算机和军事领域的数字电路来推动电子工业的发展。这些领域的电子组件 LCCC 主要用于军工产品,而 SOIC 和塑料有引线芯片载体(PLCC)主要用于工业市场。

PLCC 的四个边上均有引线,且每条引线向下弯曲就象个“J”字,所以, PLCC 也称作 J 引线封装。J 引线在操作时不易损坏。图 1.2 所示为 PLCC 和其传统的带引线产品的对比。通过提供 J 引线来缓解使用这些元器件时造成的应力,同时也使 PLCC 的封装与

衬底间的 CTE 不匹配问题得以解决。

随着表面组装元器件(又称片式元器件,以下统称 SMC) 研制技术的提高和 SMT 的迅速发展,表面组装元器件在品种日益增多的基础上,又不断开拓出新的应用领域。1979 年大量表面组装元器件采用 SMT 技术用于电子调谐器生产,这是加快 SMC 和 SMT 发展的一个转折点。如今表面组装技术和表面组装元器件在美国、日本等国已应用于录象机、摄象机、收音机、录音机、音响设备、电视机和计算机等整个电子行业,并且在不断向汽车、钟表、照相机等行业渗透。所以,SMC 与 SMT 作为一种新颖的电子元件与技术,可以说是世界电子行业生产的一个突变。

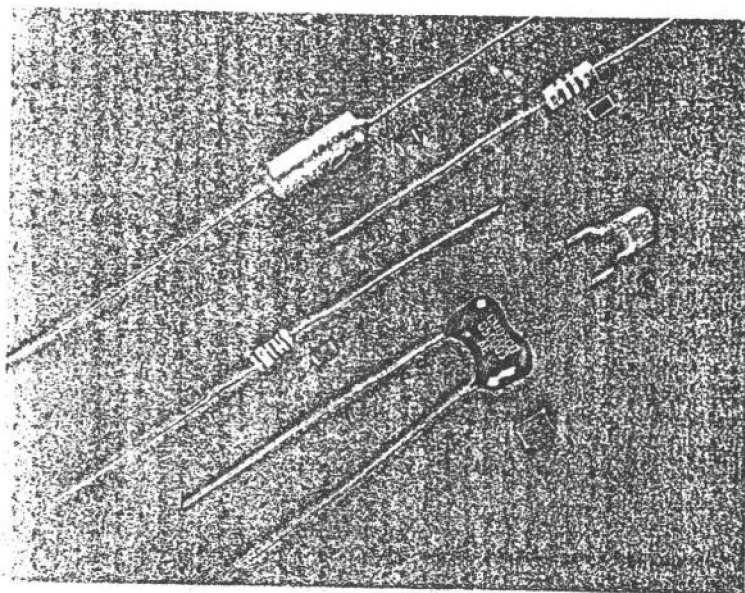


图 1.1 表面组装无源元件与相应的传统无源元件的对比

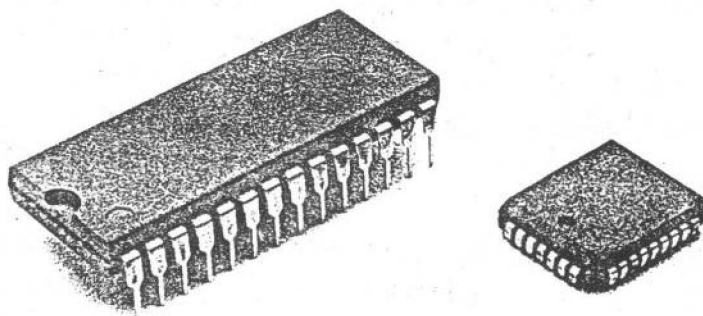


图 1.2 表面组装有源元件(PLCC)及其相应的传统有源元件

1.1 表面组装类型

由于许多适于表面组装的元器件尚未开发,所以 SMT 尚必须采用若干通孔插装元器件。基于这种理由,“表面组件”的说法是不贴切的。如图 1.3 所示,当把表面组装有源和无源元件贴装在基板上时,就会形成三种主要类型的 SMT 组件——I、II 和 III 型。每种类型的工艺流程不同,并且需要不同的设备。

III 型 SMT 组件只包含粘贴在底面的分立的表面组装元器件(电阻、电容和晶体管)。I 型 SMT 组件只含有表面组装元器件,它们可以是单面组装,也可以是双面组装。II 型组件则是 III 型与 I 型相结合的结果。一般来说,在基板底面不包含任何表面组装有源元件,但在底面可贴有分立的表面组装无源元件。将 SMT 分成 I、II、III 型并不是普遍适用的,但它却在工业界应用得最普遍。为了简化和一致起见,本书将通篇采用这种分类法。

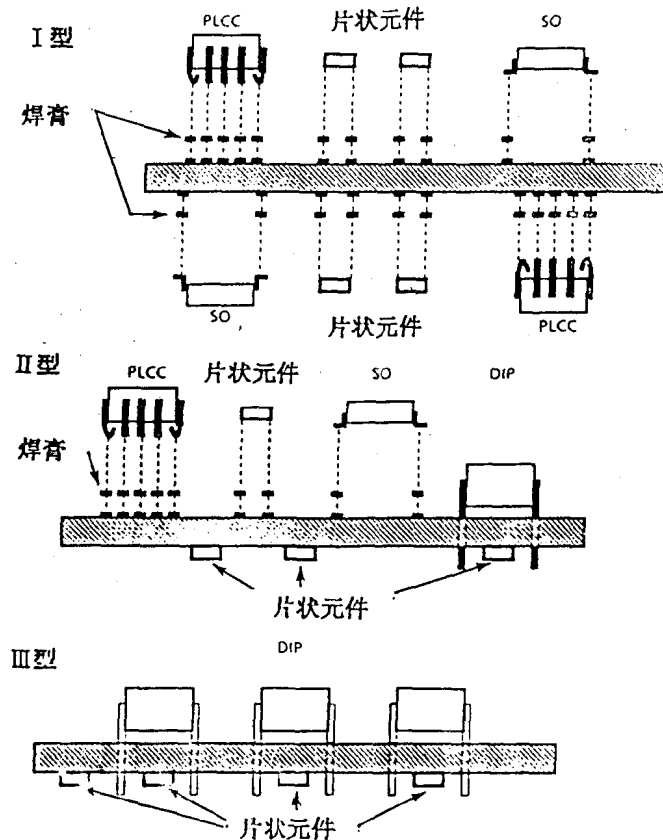


图 1.3 三种主要类型的 SMT 组件

图 1.4 示出了 III 型 SMT 的工艺流程。首先,利用已有的通孔插装设备将通孔插装元件自动插入并打弯。然后,把组件翻转,涂上粘合剂。由于自动插入的元件的引线已被打弯,所以它们不会从电路板(PCB)上脱落。其次,用贴装机放置表面组装元件,在再流炉或红外炉中将粘合剂固化。然后再将组件翻过来,在一次操作中用波峰焊将带引线元件和表面组装元件加以焊接。在波峰焊过程中,电路板底面上的分立元件用粘合剂定位。如果

不使用自动插装机，引线也未打弯，那么工艺流程就得反过来：首先涂布粘合剂，放置分立的表面组装元件，粘合剂固化，然后将组件翻转，用手工方式把全部通孔插装元件插入，最后将组件波峰焊接、清洗和测试。

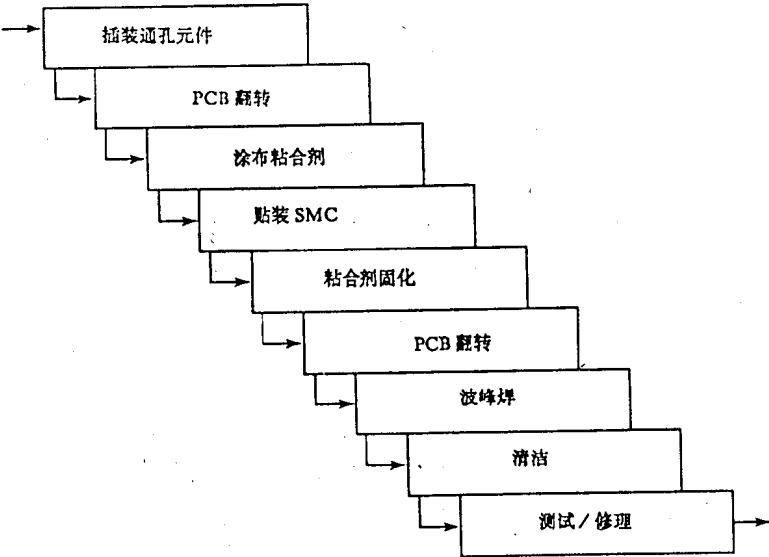


图 1.4 Ⅲ型 SMT 的典型工艺流程

图 1.5 示出了 I 型 SMT 的工艺流程。I 型 SMT 不使用通孔插装元件。首先，丝网印刷焊膏，安置元件，然后在再流炉或红外炉中焙烧组件以除去焊膏中的挥发物(也有不需要焙烧的焊膏)。最后，将组件再流焊(汽相或红外)，清除残留的焊剂。对于双面组装组件，只需将电路板翻转，再重复上述工艺过程即可。电路板顶面的焊接点再一次被再流焊一次。第二次再流焊时，元件由先前再流过的焊膏的表面张力来定位。要注意，必须首先将电路板顶部的元件加以再流焊以使焊膏产生表面张力，从而防止组件翻转后，在第二次再流焊时元件脱落。

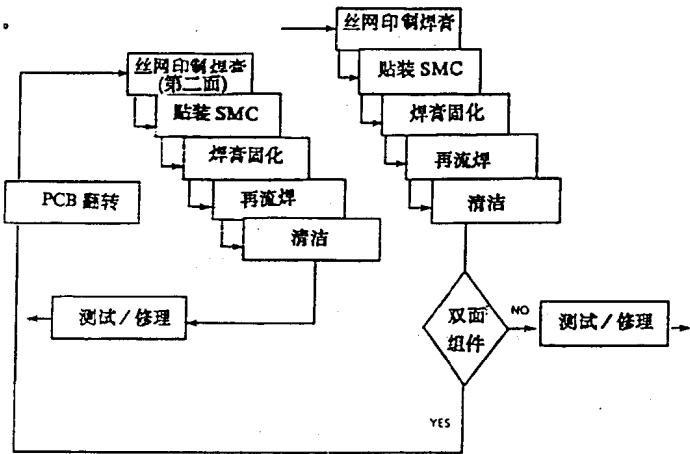


图 1.5 I 型 SMT 的典型工艺流程

Ⅱ型 SMT 的工艺流程如图 1.6 所示。由于Ⅱ型组件是 I 型和Ⅲ型的结合，所以它应

用了两者所需的全部工艺。这是最难制作的组件，因为它的工艺步骤最多。Ⅱ型组件经历了Ⅰ型的工艺过程后，接着又经历了Ⅲ型的工艺过程。所有这三种类型 SMT 工艺将分别在以后各章中加以详细介绍。

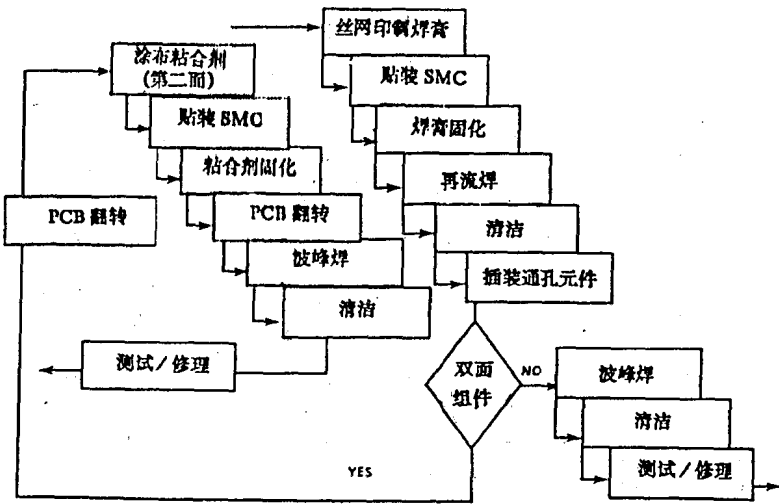


图 1.6 Ⅱ型 SMT 的典型工艺流程

1.2 表面组装的优越性

由于表面组装元件小，而且可以贴装在电路板的两面，所以得到了广泛的应用。

SMT 的优越性表现在设计与制造两个方面。与设计有关的最重要的优点在于显著减轻重量和降低噪声。如图 1.7 所示，表面组装元件的重量只有其相应的传统元件的十分之一⁽¹⁾。这就大大减轻了表面组件的重量，尤其是在航空航天技术中减轻重量是特别重要的。图 1.7 给出了 SMT 的不同引线数目的芯片载体重量与相应的 DIP 重量的对比⁽¹⁾。由于 SMC 尺寸小，在电路板上只占传统元件的 1/2 到 1/3 的空间。图 1.8 比较了各种引线数的 DIP、PLCC 和 SOIC 封装所占的面积。

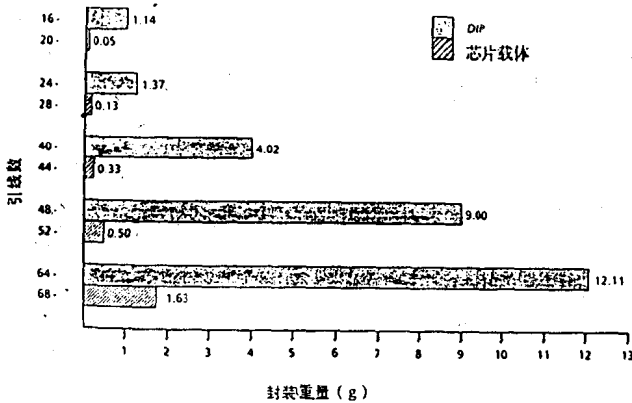


图 1.7 SMT 的不同引线数目的芯片载体重量与相应的 DIP 重量的对比⁽¹⁾