

微电子技术系列丛书

表面组装技术(SMT) 基础与可制造性设计(DFM)

顾霭云 编著

刘利吉 董恩辉 刘 海 审校



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

内 容 简 介

本书比较全面地介绍了当前国际上先进的表面组装技术（SMT）生产线及主要设备、建线工程、设备选型、基板、元器件、工艺材料等基础知识和表面组装印制电路板可制造性设计（DFM）等内容。本书内容对正确建立 SMT 生产线、设备选型，提高 SMT 工程技术人员工艺能力，提高设计人员可制造性设计水平等方面都具有很实用的指导作用，同时也可作为提高 SMT 产品组装质量和降低制造成本的重要参考资料。

本书每章后都配有思考题，既可作为中高等院校先进电子制造 SMT 专业教材，也可作为工程师继续教育、技术培训教材与参考资料。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

表面组装技术（SMT）基础与可制造性设计（DFM）/ 顾霭云编著. —北京：电子工业出版社，2008.10
（微电子技术系列丛书）

ISBN 978-7-121-07267-3

I. 表… II. 顾… III. ①印刷电路—组装②印刷电路—设计 IV. TN41

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 125752 号

策划编辑：刘海艳

责任编辑：徐 萍

印 刷：北京市海淀区四季青印刷厂

装 订：涿州市桃园装订有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编：100036

开 本：787×1092 1/16 印张：27.75 字数：745.9 千字

印 次：2008 年 10 月第 1 次印刷

印 数：4000 册 定价：59.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

序

《表面组装技术（SMT）基础与可制造性设计（DFM）》一书作者顾霭云老师为公安部第一研究所副研究员、中国国内资深 SMT 专家。顾老师在国内 SMT 学术会议、刊物、杂志上发表过几十篇论文、文章。她写的《表面组装通用工艺》一书，自 2003 年问世以来深受广大读者的欢迎，被一些大学、高职和中专院校采用，作为重要辅助教材。顾老师在 SMT 培训方面做了大量工作。她受中国电子学会和各省 SMT 社团、大学及 SMT 企业邀请进行培训和讲课数十次，深受 SMT 工作者的好评，为中国 SMT 实业和技术的发展做出了贡献。

《表面组装技术（SMT）基础与可制造性设计（DFM）》一书是顾老师从事 SMT 工作近 20 年的经验总结，凝聚了她多年的心血和劳动成果。本书是在中国 SMT 事业一片大好的形势下出版的。自 20 世纪 80 年代初中国工业化引进 SMT 技术和生产线以来，中国已成为世界电子制造大国。2007 年中国引进 SMT 主设备贴片机 10 189 台，约占全球当年贴片机产量的 1/2。中国贴片机的保有量约 6 万台，居全球第一，是 SMT 应用大国。但中国国内企业 SMT 的技术水平和应用与发达国家和地区的世界级大企业相比，还有一定的差距。这就需要国内广大的 SMT 工作者奋力追赶、努力学习、赶超先进，为中国由世界电子制造大国向强国转变做出自己的贡献。本书的重点是 SMT 基础和可制造性设计，是一本具有很强实用性和可操作性的参考书，同时也是一本优秀的培训用书。

由于出书过程紧迫、参考资料不够充分等原因，本书可能会有一些不足和待改进之处，希望全国广大 SMT 专家和工作者的给予批评与指正，以便于顾霭云老师和北京电子学会 SMT 委员会能在今后与电子工业出版社同仁一道写出和出版更多、更好的 SMT 参考书。

让我们大家共同努力，为中国电子制造和 SMT 技术的提高做出应有的贡献！

北京电子学会表面安装技术（SMT）委员会主任

刘利吉

2008 年 9 月 16 日

前 言

表面组装技术（Surface Mount Technology, SMT）是先进的电子制造技术，是无须对印制电路板钻插装孔、直接将表面贴装微型元器件贴焊到印制电路板（PCB）或其他基板表面规定位置的先进电子装联技术。与传统的通孔插装技术比较，SMT 具有以下优点：结构紧凑、组装密度高、体积小、质量小；高频特性好；抗振动冲击性能好，有利于提高可靠性；工序简单，焊接缺陷极少；适合自动化生产，生产效率高、劳动强度低；降低生产成本。因此，近年来得到了迅速发展。

下面简单回顾一下电子组装技术的发展概况（参见表 0-1）。随着电子元器件小型化、高集成度的发展，电子组装技术也经历了手工、半自动插装浸焊、全自动插装波峰焊和 SMT 四个阶段，目前 SMT 正向窄间距和超窄间距的微组装方向发展。

表 0-1 电子组装技术的发展

	无 源 元 件	IC 器 件	器件的封装形式	组 装 技 术
第一代 （20 世纪 50 年代前）	有引线大尺寸元件	电子管	电子管座	扎线、配线、分立元件、分立走线、金属底板、手工烙铁焊接
第二代 （20 世纪 60 年代）	有引线小型化元件	晶体管	有引线、金属壳封装	分立元件、单面印制板、平面布线、半自动插装、浸焊
第三代 （20 世纪 70 年代）	整形引线小型化元件，后期开始出现 SMC	集成电路，厚、薄膜混合电路	双列直插式金属、陶瓷、塑料封装，后期开始出现 SMD	双面印制板、初级多层板、自动插装、波峰焊
第四代 （20 世纪 80、90 年代）	SMC —— 表面贴装元件大发展，并向微型化发展	大规模、超大规模集成电路	SMD —— 表面贴装器件大发展，向微型化发展，有了 BGA、CSP、Flip Chip、MCM	SMT —— 自动贴装、再流焊、波峰焊 向窄间距、超窄间距 SMT 发展
第五代 21 世纪	集成无源元件（IPD）	无源与有源的集成混合元件，三维立体组件	晶圆级封装（WLP）和系统级封装（SiP）	微组装 —— SMT 与 IC、HIC 结合，多晶圆键合

SMT 是从厚、薄膜混合电路演变发展而来的。

美国是世界上 SMD 与 SMT 起源最早的国家，并一直重视在投资类电子产品和军事装备领域发挥 SMT 在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，应用于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 20 世纪 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，仅用了 4 年时间就使 SMT 在计算机和通信设备中的应用数量增长了近 30%，在传真机中增长 40%，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，但它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 的使用率仅次于日本和美国。20 世纪 80 年代以来，新加坡、韩国、中国的香港特区和台湾省亚洲四小龙不惜投入巨资，纷纷引进先进技术，使 SMT 获得较快的发展。

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 SMT 生产线，用于彩电调谐器生产。之后应用于录像机、摄像机及袖珍式高档多波段收音机、随身听等生产中，

近几年在计算机、通信设备、汽车电子、医疗设备、航空航天电子等产品中也得到广泛应用。随着改革开放的深入及 WTO 的实现,一些美、日、新加坡厂商将 SMT 加工厂搬到了中国;SMT 的设备制造商与中国合作,还把一些 SMT 的设备制造业也搬到中国来。例如,英国 DEK 公司和日本日立公司分别在东莞和南京生产印刷机,美国 HELLER 公司和 BTU 公司在上海生产再流焊炉,日本松下公司和美国环球公司分别在苏州和深圳蛇口生产贴装机,等等。目前我国的 SMT 正处于快速发展阶段,近 3 年以来,每年进口贴装机 5 000 台以上,我国已经成为 SMT 世界加工基地之一,SMT 的发展前景非常广阔。目前,我国的 SMT 设备已经与国际接轨,但设计、制造、工艺、管理技术等方面与国际还有差距。为了与国际接轨,我们要加强基础理论学习,开展深入的工艺研究,提高工艺水平和管理能力,努力使我国真正成为 SMT 制造大国、制造强国。

SMT 在投资类电子产品、军事装备领域、安防领域、电力、汽车电子、计算机、通信设备、彩电、录像机、摄像机及袖珍式高档多波段收音机、随身听、传呼机、手机等几乎所有的电子产品生产中都得到广泛应用。正是 SMT 的普及应用,使电子产品的功能越来越强、体积越来越小、造价越来越低、更新换代的速度也越来越快。可以说 SMT 为信息化时代的高速发展做出了不可磨灭的贡献。据飞利浦公司预测,到 2010 年全球范围插装元器件的使用率将下降到 10%,SMC/SMD 将上升到 90%左右。SMT 是电子装联技术的发展方向,已成为世界电子整机组装技术的主流。

表面组装技术的组成如下。

- | | | |
|------------------------|---|--|
| 表面
组
装
技
术 | { | — 表面组装元器件:封装技术、制造技术、包装技术; |
| | | — 基板技术:单、多层印制板(PCB)、陶瓷基板、金属基板等; |
| | | — 组装材料:粘结剂、焊膏、焊丝、焊球、焊片、焊棒、阻焊剂、助焊剂、清洗剂; |
| | | — 组装设计:电、结构、散热、高频、布线和元器件布局、焊盘图形和工艺性设计; |
| | | — 组装设备:印刷设备、贴装设备、焊接设备、清洗设备、检测设备、修板设备; |
| | | — 组装工艺:印刷、点胶、贴装、焊接、清洗、检测、返修、三防等技术; |
| | | — 管理技术:设备管理、工艺管理、质量管理、防静电技术等。 |

随着电子元器件小型化、高集成度的发展,元件越来越小,而且不断涌现新型封装,使组装密度越来越高,组装难度也越来越大。SMT 是一项复杂的、综合的系统工程技术,其组装质量不仅与组装工艺有关,还与设备、基板、元器件、工艺材料、可制造性设计、管理等有关。在一定意义上可以认为这些是影响 SMT 组装质量的重要因素,也是 SMT 工程技术人员掌握 SMT 工艺技术的基础条件。

本书共 5 章,第 1 章 SMT 生产线及主要设备、仪器、工具,介绍当前国际上先进的 SMT 生产线及主要设备、建线工程和设备选型;第 2 章 表面组装印制电路板(SMB),主要介绍常用印制电路基板的分类、材料,评估 SMB 基材质量的相关参数,SMT 对印制电路板的要求、印制电路板制造工艺流程,过孔、微孔、PCB 的表面涂(镀)层,印制电路板的发展趋势等;第 3 章 表面组装元器件(SMC/SMD),介绍常用 SMC/SMD 的封装结构、尺寸、包装方式,潮湿敏感元器件(MSD)的管理、存储、使用要求等;第 4 章 表面组装工艺材料,介绍电子焊接材料、锡铅焊料合金和无铅焊料、助焊剂、焊膏、焊锡丝、粘结剂(贴片胶)、清洗剂等内容;第 5 章 SMT 印制电路板的可制造性设计(DFM)及审核,主要介绍 SMT 工艺和设备对设计的要求、PCB 可加工性设计,以及可制造性设计审核等内容。附录 A 列出了 SMT 常用缩略语、术语等内容。了解并掌握本书内容,对于正确建立 SMT 生产线、设备选型,提高 SMT 工程技术人员的工艺能力,提高 SMT 产品的可制造性设计水平等方面都具有很实用的指导作用。

本书在策划和写作过程中, 北京 SMT 专委会主任刘利吉给予很大的支持和鼓励; 日本松下电器 (北京)、德国西门子 (北京)、香港科电与兴华科仪 (北京)、美国环球仪器 (北京)、北京安吉信达 (日本日立)、英国 DEK、瑞典 MYDATA 公司上海代表处、日本欧姆龙、日本 Saki、深圳市振华 (AOI)、北京星河 (ICT)、美国 OK (北京)、德国 ERSa、美国 KIC、北京埃森恒信等公司提供了相关资料; 电子工业出版社编辑刘海燕、徐萍为本书付出了辛勤的劳动。在本书即将出版之际, 一并表示衷心感谢!

本书的编写过程中参考并引用了许多国内外媒体出版发行的文献和业内技术讲座资料中的一些图表等数据资料, 其中大多数已列入参考文献, 仍有一些找不到原作者与出处, 在此向所有本书引用资料的原作者表示感谢!

由于编著者水平有限, 书中难免存在差错和不足之处, 真诚希望广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 SMT 生产线及主要设备、仪器、工具	(1)
1.1 SMT 生产线	(1)
1.2 印刷机	(2)
1.2.1 印刷机的基本结构	(3)
1.2.2 印刷机的主要技术指标	(6)
1.2.3 印刷机的工作原理	(6)
1.2.4 印刷方式	(6)
1.2.5 印刷机的发展方向	(7)
1.3 点胶机	(9)
1.4 贴装机	(10)
1.4.1 贴装机的分类	(10)
1.4.2 贴装机的基本结构	(13)
1.4.3 贴装头	(16)
1.4.4 X 、 Y 与 Z/θ 轴的传动定位 (伺服) 系统	(21)
1.4.5 贴装机对中定位系统	(24)
1.4.6 传感器	(28)
1.4.7 送料器	(30)
1.4.8 贴装工具 (吸嘴)	(33)
1.4.9 贴装机的主要易损件	(34)
1.4.10 贴装机的主要技术指标	(35)
1.4.11 贴装机的的发展方向	(37)
1.5 再流焊炉	(39)
1.5.1 焊接传热的 3 种基本方式	(39)
1.5.2 再流焊炉的分类	(40)
1.5.3 全热风再流焊炉的基本结构与性能	(44)
1.5.4 再流焊炉的主要技术指标	(47)
1.5.5 再流焊炉的发展方向及无铅焊接对再流焊设备的要求	(47)
1.6 波峰焊机 (包括选择性波峰焊机)	(48)
1.6.1 波峰焊机的种类	(48)
1.6.2 双波峰焊机的基本结构	(51)
1.6.3 波峰焊机的主要技术参数	(53)
1.6.4 波峰焊机的发展方向及无铅焊接对波峰焊设备的要求	(54)
1.7 检测设备	(54)
1.7.1 自动光学检测设备 (AOI)	(55)
1.7.2 自动 X 射线检测设备 (AXI)	(81)

1.7.3 在线测试设备	(88)
1.7.4 功能测试设备	(91)
1.8 手工焊接与返修设备	(91)
1.8.1 电烙铁	(91)
1.8.2 焊接机器人	(100)
1.8.3 SMD 返修系统	(101)
1.8.4 返修设备及修板专用工具发展方向	(103)
1.9 手工贴片工具	(104)
1.10 清洗设备	(104)
1.10.1 超声清洗设备	(104)
1.10.2 汽相清洗设备	(105)
1.10.3 水清洗设备	(105)
1.11 选择性涂敷设备	(107)
1.12 其他辅助设备	(107)
1.13 表面组装建线工程和设备选型	(108)
1.13.1 SMT 生产线设备选型的依据	(109)
1.13.2 SMT 生产线设备选型的步骤	(109)
1.13.3 SMT 生产线设备选型的注意事项	(116)
1.14 SMT 设备的合同、安装与验收	(116)
1.14.1 设备的合同	(117)
1.14.2 设备的安装	(117)
1.14.3 合同设备的试运行	(117)
1.14.4 合同设备的验收	(117)
思考题	(128)
第2章 表面组装印制电路板 (SMB)	(130)
2.1 印制电路板的定义和作用	(130)
2.2 印制电路基板的分类	(131)
2.3 常用印制电路板的基板材料	(133)
2.4 评估 SMB 基材质量的相关参数	(136)
2.5 SMT 对印制电路板的要求	(140)
2.6 印制电路板的制造工艺流程	(142)
2.7 过孔、微孔技术	(145)
2.7.1 导通孔 (Via)	(145)
2.7.2 微孔 (Micro Via)	(146)
2.8 PCB 焊盘表面涂 (镀) 层及其选择	(147)
2.8.1 表面处理的基本工艺	(147)
2.8.2 PCB 表面涂 (镀) 层	(147)
2.8.3 PCB 可焊性表面涂 (镀) 层的选择	(152)
2.9 PCB 可焊性与可焊性测试	(155)
2.9.1 影响 PCB 焊盘可焊性的因素	(155)

2.9.2 PCB 可焊性测试	(157)
2.10 印制电路板的发展趋势	(164)
思考题	(166)
第 3 章 表面组装元器件 (SMC/SMD)	(167)
3.1 SMC/SMD 的历史和发展	(167)
3.2 SMC/SMD 的基本要求	(174)
3.3 SMC 的封装命名及标称	(177)
3.4 SMD 的封装命名	(179)
3.5 SMC/SMD 的焊端结构	(180)
3.6 SMC/SMD 的包装类型	(182)
3.7 表面组装元件 (SMC)	(184)
3.7.1 表面贴装电阻器	(184)
3.7.2 片式微调电位器	(187)
3.7.3 片式电容器	(188)
3.7.4 片式电感器	(191)
3.7.5 片式变压器	(193)
3.7.6 表面贴装机电元件	(195)
3.8 表面组装器件 (SMD)	(197)
3.8.1 片式二极管	(200)
3.8.2 SOT 系列片式晶体管	(201)
3.8.3 SOP (Small Outline Packages) 翼形小外形塑料封装	(204)
3.8.4 PQFP (Plastic Quad Flat Pack) 翼形四边扁平封装器件	(206)
3.8.5 SOJ (Small Outline Integrated Circuits) J 形引脚小外形集成电路	(208)
3.8.6 PLCC (Plastic Leaded Chip Carriers) 塑封有引脚芯片载体	(209)
3.8.7 LCCC 陶瓷芯片载体	(209)
3.8.8 BGA/CSP (Ball Grid Array/Chip Scale Package) 球形栅格阵列封装	(210)
3.8.9 PQFN (Plastic Quad Flat No-lead) 方形扁平无引脚塑料封装	(214)
3.9 SMC/SMD 的运输和存储	(216)
3.10 湿度敏感器件 (MSD) 的管理、存储、使用要求	(217)
3.10.1 湿度敏感器件 (MSD) 的潮湿敏感等级	(217)
3.10.2 湿度敏感器件 (MSD) 的管理与控制	(217)
3.10.3 湿度敏感器件 (MSD) 控制中的注意事项	(218)
思考题	(218)
第 4 章 表面组装工艺材料	(220)
4.1 电子焊接材料	(220)
4.2 锡铅焊料合金	(221)
4.2.1 锡的基本物理/化学特性	(223)
4.2.2 铅的基本物理/化学特性	(227)
4.2.3 锡铅合金的基本物理/化学特性	(227)
4.2.4 铅在焊料中的作用	(229)

4.2.5	锡铅合金中的杂质及其影响	(230)
4.2.6	无铅焊料合金	(232)
4.2.7	焊料合金的润湿性 (可焊性) 测试与评估	(238)
4.3	助焊剂	(239)
4.3.1	对助焊剂物理/化学特性的要求	(239)
4.3.2	助焊剂的分类和组成	(239)
4.3.3	助焊剂的作用	(244)
4.3.4	四类常用助焊剂	(245)
4.3.5	助焊剂的测试与评估	(248)
4.3.6	助焊剂的选择	(252)
4.3.7	无铅助焊剂的特点、问题与对策	(253)
4.4	焊膏	(254)
4.4.1	焊膏的技术要求	(254)
4.4.2	焊膏的分类	(255)
4.4.3	焊膏的组成	(255)
4.4.4	影响焊膏特性的主要参数	(257)
4.4.5	焊膏的选择	(261)
4.4.6	焊膏的正确使用与保管	(262)
4.4.7	焊膏的检测与评估	(262)
4.4.8	焊膏的发展动态	(276)
4.5	焊料棒和丝状焊料 (焊锡丝)	(276)
4.6	粘结剂 (贴片胶)	(281)
4.6.1	贴片胶的分类	(281)
4.6.2	贴片胶的组成	(282)
4.6.3	贴片胶的性能指标及其评估	(282)
4.6.4	表面组装工艺对贴片胶的要求	(286)
4.6.5	常用贴片胶	(286)
4.6.6	贴片胶的选择方法	(287)
4.6.7	贴片胶的存储、使用工艺要求	(287)
4.7	清洗剂	(288)
4.7.1	有机溶剂清洗剂的种类	(289)
4.7.2	有机溶剂清洗剂的性能要求	(290)
4.7.3	常用有机溶剂清洗剂的性能	(290)
4.7.4	清洗效果的评价方法与标准	(293)
思考题		(294)
第 5 章	SMT 印制电路板的可制造性设计 (DFM) 及审核	(297)
5.1	不良设计在 SMT 生产中的危害	(298)
5.2	国内 SMT 印制电路板设计中普遍存在的问题及解决措施	(299)
5.2.1	SMT 印制电路板设计中的常见问题举例	(299)
5.2.2	造成不良设计的原因	(303)

5.2.3 消除不良设计、实现 DFM 的措施	(303)
5.3 编制本企业可制造性设计规范文件	(304)
5.4 PCB 设计包含的内容及可制造性设计实施程序	(305)
5.5 SMT 工艺对设计的要求	(311)
5.5.1 SMC/SMD (贴装元器件) 焊盘设计	(312)
5.5.2 THC (Through Hole Component) 通孔插装元器件焊盘设计	(363)
5.5.3 布线设计	(367)
5.5.4 焊盘与印制导线连接的设置	(371)
5.5.5 导通孔的设置	(372)
5.5.6 测试孔和测试盘设计——可测试性设计 DFT (Design for Testability)	(373)
5.5.7 阻焊、丝网的设置	(376)
5.5.8 元器件整体布局设置	(376)
5.5.9 再流焊与波峰焊贴片元件的排列方向设计	(379)
5.5.10 元器件最小间距设计	(381)
5.5.11 模板设计	(383)
5.6 SMT 设备对设计的要求	(389)
5.6.1 PCB 外形、尺寸设计	(390)
5.6.2 PCB 定位孔和夹持边的设置	(391)
5.6.3 基准标志 (Mark) 设计	(392)
5.6.4 拼板设计	(393)
5.6.5 选择元器件封装及包装形式	(395)
5.6.6 PCB 设计的输出文件	(395)
5.7 印制电路板可靠性设计	(397)
5.7.1 散热设计简介	(398)
5.7.2 电磁兼容性 (高频及抗电磁干扰) 设计简介	(399)
5.8 无铅产品 PCB 设计	(403)
5.9 PCB 可加工性设计	(404)
5.10 SMT 产品设计评审和印制电路板可制造性设计审核	(407)
5.10.1 SMT 产品设计评审	(407)
5.10.2 SMT 印制电路板可制造性设计审核	(408)
5.11 IPC-7351《表面贴装设计和焊盘图形标准通用要求》简介	(414)
5.12 有关印制电路板设计的部分标准	(418)
思考题	(419)
附录 A SMT 常用缩略语、术语、金属元素中英文名称及物理性能表	(424)
参考文献	(431)

第1章 SMT 生产线及主要设备、仪器、工具

SMT 生产设备具有全自动、高精度、高速度、高效益等特点。SMT 生产线主要生产设备包括印刷机、点胶机、贴装机、再流焊炉和波峰焊机，辅助设备有检测设备、返修设备、清洗设备、干燥设备和物料存储设备等。

1.1 SMT 生产线

SMT 生产线按照自动化程度可分为全自动生产线和半自动生产线，按照生产线的规模大小可分为大型、中型和小型生产线。全自动生产线是指整条生产线的设备都是全自动设备，通过自动上板机、缓冲连接线和卸板机将所有生产设备连成一条自动线；半自动生产线是指主要生产设备没有连接起来或没有完全连接起来，印刷机是半自动的，需要人工印刷或人工装卸印制板。大型生产线是指具有较大的生产能力，一条大型单面贴装生产线上的贴装机由一台多功能机和多台高速机组成；中、小型 SMT 生产线主要适合研究所和中、小型企业，满足多品种，中、小批量或单一品种、中、小批量的生产任务，可以是全自动线或半自动线。贴装机一般选用中、小型机，如果产量比较小，可采用一台速度较高的多功能机；如果有一定的生产量，可采用一台多功能机和一至两台高速机。一条大型双面贴装生产线靠一台翻板机可将两条单面贴装生产线连接在一起。中、大型生产线，如手机、计算机主板生产线，一般可采用以下 3 种配置方式。

方式 1：传统配置（1 台多功能机+2~3 台高速机）。

方式 2：复合式系统，如 Siemens 的 HS 系列。

方式 3：平行（模块化）系统，如飞利浦公司的 FCM 系列、Fuji NXT 模组型系统。

图 1-1 为中、小型 SMT 自动流水生产线设备配置示意图，图 1-2 为复合式手机、计算机主板生产线，图 1-3 为高密度时在印刷后、炉前、炉后增加自动光学检测设备（AOI），图 1-4 为平行和模块（组）式系统生产线。

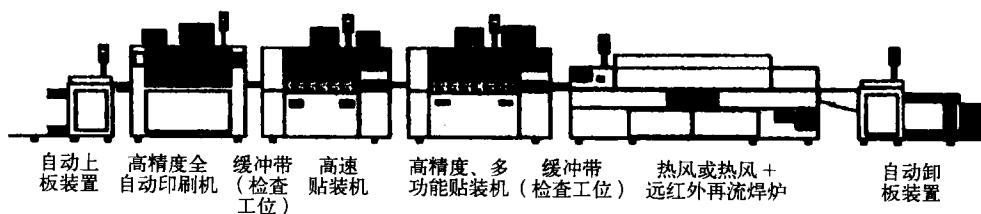


图 1-1 中、小型 SMT 自动流水生产线设备配置示意图

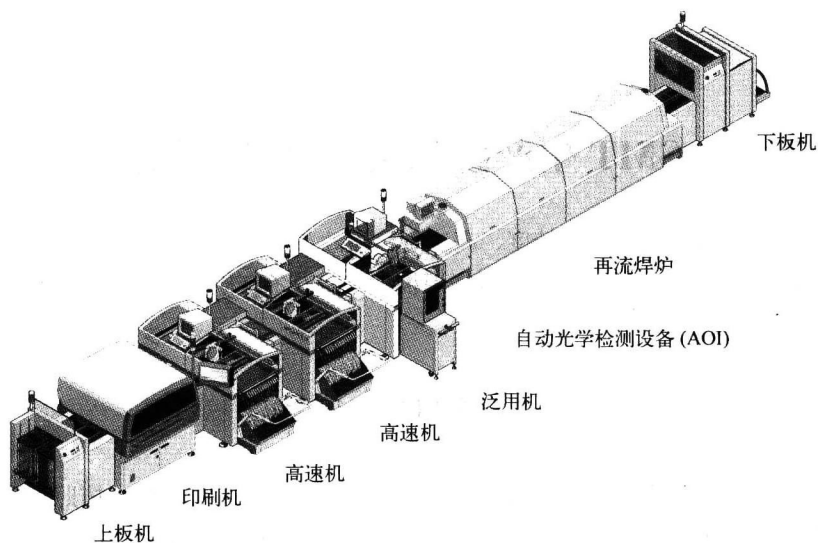


图 1-2 复合式手机、计算机主板生产线

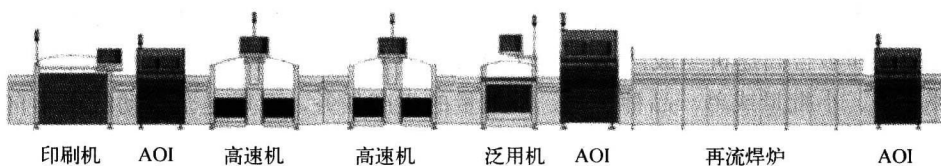
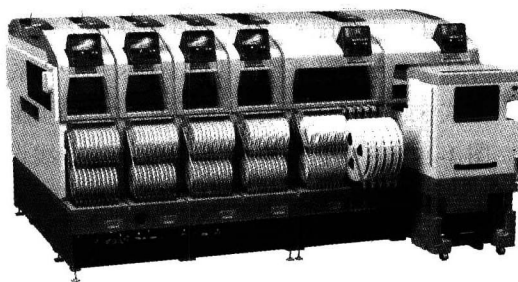


图 1-3 高密度时在印刷后、炉前、炉后增加自动光学检测设备 (AOI)



(a) 平行系统生产线



(b) 模块 (组) 式系统生产线

图 1-4 平行和模块 (组) 式系统生产线

1.2 印刷机

印刷机是用来印刷焊膏或贴片胶的。它将焊膏或贴片胶正确地漏印到印制板相应的焊盘或位置上。

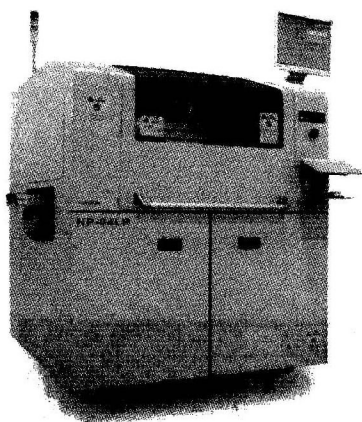
用于 SMT 的印刷机大致分为 3 种档次：手动、半自动和全自动印刷机。

手动印刷机是指手工装卸 PCB、手工图形对准、手工印刷的设备，所有印刷动作全部由手工完成。印刷时，PCB 是固定在工作台上不动的，网板分离靠手工将漏印模板的框架抬起和放下。

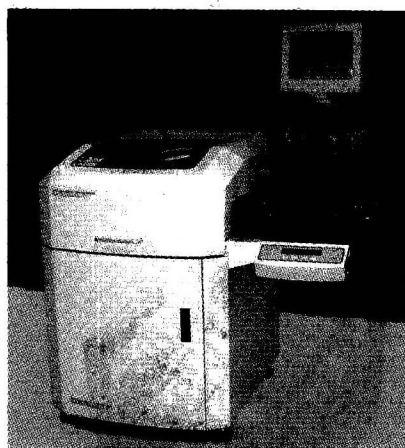
手动印刷机的印刷精度和一致性比较差,劳动强度大。

半自动印刷机是指手工装卸 PCB,印刷、网板分离的动作由印刷机自动完成。半自动印刷机装卸 PCB 是往返式的,完成印刷后装载 PCB 的工作台会自动退出来。目前的半自动印刷机大多可以配置视觉定位系统、自动擦板等功能。半自动印刷机适合多品种,中、小批量生产。

全自动印刷机是指装卸 PCB、视觉定位、印刷、网板分离等所有动作全部自动按照事先编制的印刷程序完成的印刷机,完成印刷后,PCB 通过导轨自动传送到贴片机的入口处。全自动印刷机可以根据具体情况配置各种功能,以提高印刷精度。例如:视觉识别系统,干、湿和真空吸擦板功能,调整离板速度功能,工作台或刮刀 45° 角旋转功能(用于窄间距 QFP 器件),二维、三维测量系统等。图 1-5 (a) 所示为日本日立公司 NP-04LP 全自动印刷机,图 1-5 (b) 所示为美国 MPM Microflex 半自动丝印机。



(a) 日本日立公司 NP-04LP 全自动印刷机



(b) MPM Microflex 半自动丝印机

图 1-5 印刷机

从印刷机的结构上看,印刷机比贴片机简单一些,投资比贴片机小,但从工艺角度考虑,印刷焊膏是 SMT 的关键工序,如果用于高密度组装,应选择高精度、高稳定性的印刷机。

1.2.1 印刷机的基本结构

无论哪一种印刷机,都由以下几部分组成:机架、夹持基板(PCB)的 X 、 Y 、 θ 工作台、印刷头系统、丝网或模板的固定机构、视觉对中系统、擦板系统、二维、三维测量系统等,如图 1-6 所示。

下面以日本日立公司 NP-04LP 全自动印刷机为例,介绍全自动印刷机的基本结构。

(1) 机架(机座)

稳定的机座是印刷机保持长期稳定性和长久印刷精度的基本保证。目前流行高刚性一体化结构的机座,如图 1-7 (a) 所示。

(2) 夹持基板(PCB)的 X 、 Y 、 θ 工作台

此工作台包括工作台面、真空或边夹持机构、工作台传输控制机构。

由于全自动印刷机的对准定位是由 X 、 Y 、 θ 工作台完成的,因此工作台 X 、 Y 、 θ 定位精度稳定可靠,就保证了印刷机精度和速度的长期稳定性与安全性。

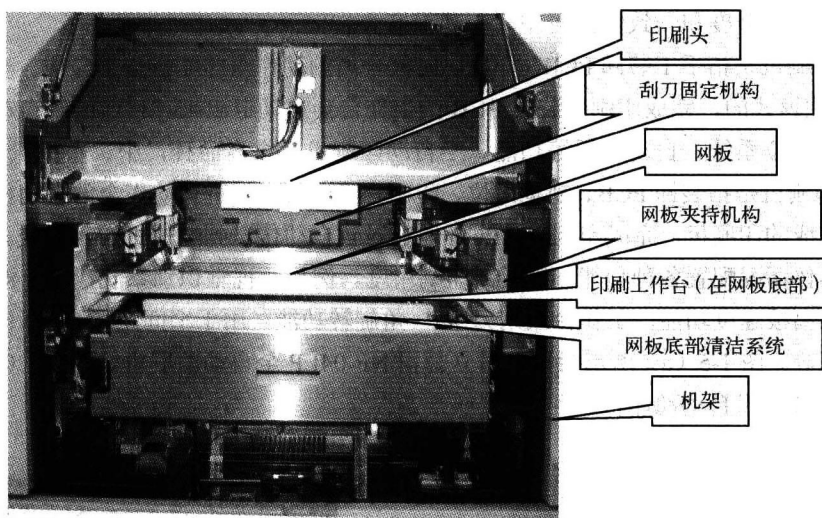
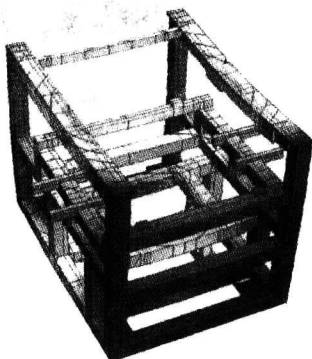


图 1-6 印刷机结构

图 1-7 (b) 所示是夹持基板 (PCB) 的 X 、 Y 、 θ 工作台。



(a) 高刚性一体化结构的机架

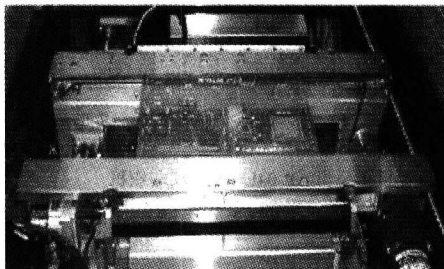
(b) 夹持基板 (PCB) 的 X 、 Y 、 θ 工作台

图 1-7 印刷机机座和工作台

(3) 印刷头系统

印刷头系统包括印刷头的传输控制系统、刮刀固定机构，如图 1-8 (a) 所示。

(4) PCB 视觉定位系统

PCB 视觉定位系统是修整 PCB 加工误差用的。为了保证印刷质量的一致性，使每一块 PCB 的焊盘图像都与漏印模板相对应的开口对准，每一块 PCB 印刷前首先要使用视觉系统定位。

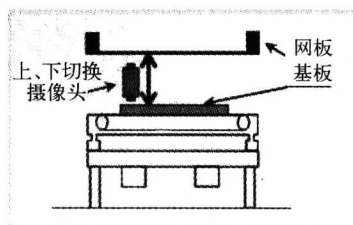
图 1-8 (b) 是摄像头视觉定位系统示意图。摄像头识别机构通过上对、下对（上、下切换方式）对网板和基板的基准标记进行识别对位，通过底部工作台在 X 、 Y 、 θ 方向的自动微调，实现高精度定位。

(5) 丝网或模板的固定机构、网板分离机构

偏心凸轮网板分离机构[见图 1-9 (a)]是日立公司独特的设计，它采用偏心凸轮方式实现脱膜时产生新加速度的特性。网板分离时产生振动，振动力使焊膏脱膜时在模板（网板）开口内壁产生剪切速度，剪切速度使焊膏的黏度下降，从而顺利地模板（网板）开口中完整地释放出来，确保焊膏形状的完美。图 1-9 (b) 是偏心凸轮离网原理。

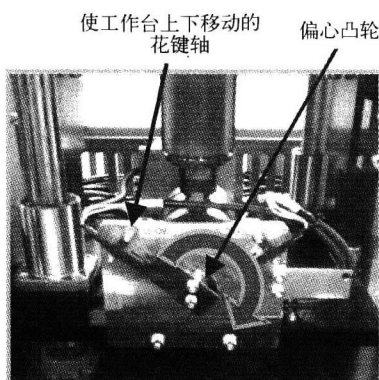


(a) 印刷头系统

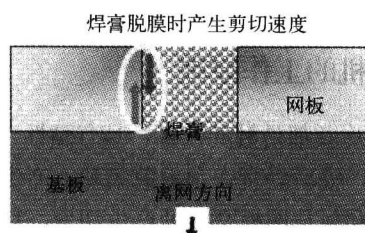


(b) PCB 视觉定位系统

图 1-8 印刷头和 PCB 视觉定位系统



(a) 偏心凸轮网板分离机构



(b) 偏心凸轮离网原理

图 1-9 偏心凸轮网板分离机构

另外，还有为保证印刷精度而配置的选件，包括刮刀、擦板系统、二维、三维测量系统等。刮刀材料有橡胶（聚胺酯）、金属两大类，橡胶刮刀[见图 1-10 (a)]的形状有菱形和拖尾形两种。金属刮刀[见图 1-10 (b)]是将金属刀片固定在带有橡胶夹板的金属刀架上，刀片两端配有导流

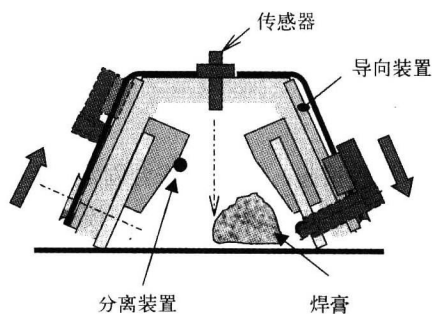


(a) 橡胶刮刀

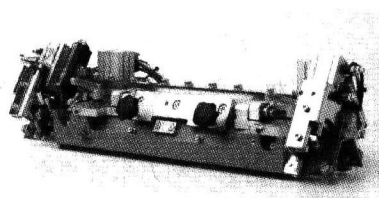
(b) 金属刮刀

(c) 橡胶 + 金属刮刀

(d) 各种常用的刮刀



(e) 密闭刮刀内焊膏分离状态



(f) HG 双向密闭刮刀外形

图 1-10 各种刮刀和日立公司开发的 HG 双向密闭刮刀

片,防止焊膏向两端漫流。金属刮刀分为不锈钢刮刀和高质量合金钢并在刀刃上涂有 TA (TEFLON 润滑膜) 涂层的刮刀。带 TA 涂层的合金钢刮刀润滑、耐磨、使用寿命更长。各种常用的刮刀如图 1-10 (d) 所示。日立公司开发了一种橡胶+金属刮刀[见图 1-10 (c)], 这种刮刀是日立的专利, 能够提高高密度印刷质量。图 1-10 (e)、(f) 是日立公司开发的 HG 双向密闭刮刀, 能够防止焊膏氧化、变质, 提高焊膏的使用率, 有利于提高印刷质量, 适合高密度、高速度印刷。

1.2.2 印刷机的主要技术指标

印刷机的主要技术指标有最大印刷面积、印刷精度、重复精度、印刷速度等。

- 最大印刷面积: 根据最大的 PCB 尺寸确定。
- 印刷精度: 根据印制板组装密度和引脚间距或球距尺寸最小的器件确定, 一般要求达到 $\pm 0.025\text{mm}$ 。
- 重复精度: 一般要求达到 $\pm 0.01\text{mm}$ 。
- 印刷速度: 根据产量要求确定。

1.2.3 印刷机的工作原理

焊膏和贴片胶都是触变流体, 具有黏性。当刮刀以一定的速度和角度向前移动时, 对焊膏产生一定的压力, 推动焊膏在刮板前滚动, 产生将焊膏注入网孔或漏孔所需的压力; 焊膏的黏性摩擦使焊膏在刮板与网板交接处产生切变, 切变力使焊膏的黏性下降, 有利于焊膏顺利地注入网孔或漏孔。刮刀速度、刮刀压力、刮刀与网板的角度, 以及焊膏的黏度之间都存在一定的制约关系, 因此只有正确控制这些参数, 才能保证焊膏的印刷质量。

1.2.4 印刷方式

根据印刷机的结构、应用场合不同, 印刷机的印刷方式有单向印刷、双向印刷, 接触印刷、非接触印刷等。

(1) 按照网板与 PCB 表面是否接触分为非接触印刷和接触印刷

- 非接触印刷: 印刷时网板与 PCB 表面不接触, 通常采用丝网印刷。
- 接触印刷: 印刷时网板与 PCB 表面接触, 通常采用金属模板印刷。由于模板厚度是固定的, 采用接触印刷方式时模板厚度就是焊膏图形的厚度, 因此焊膏漏印量的一致性比较容易控制。

(2) 按照印刷方向分为单向印刷、双向印刷

- 单向印刷: 单向印刷时有一块刮刀是印刷用的, 另一块刮刀是作为回料用的。
- 双向印刷: 双向印刷时两块刮板进行交替往返印刷。

(3) 按照网板分离方式分为两种方式

- 方式 1: 网板分离时, 印刷头、刮刀系统和模板抬起, PCB 工作台固定。
- 方式 2: 印刷头、刮刀系统和模板固定不动, PCB 工作台向下移动, 模板与 PCB 垂直分离, PCB 平进平出。这种进出板方式的定位精度比较高, 焊膏形状好。

(4) 按照印刷头的构造分为开放式印刷和密闭式印刷

- 开放式印刷: 传统印刷头的印刷方式都是开放式印刷, 焊膏暴露在空气中, 在刮刀的推动下在模板表面来回滚动。采用这种传统印刷头, 如果需要密闭焊膏, 只能将整个印刷空间密闭起来进行恒温、衡湿处理, 此方法结构复杂、成本比较高。