

SMT HEXIN
GONGYI JIEXI YU ANLI FENXI

SMT



核心工艺解析 与案例分析

(第3版)

贾忠中 著

汇集作者**20**多年SMT行业经验

精心筛选**70**个核心工艺议题

突出**124**个典型应用案例

图文并茂介绍了**缺陷的特征、常见原因**以及**改进措施**



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

SMT HEXIN
GONGYI JIEXI YU ANLI FENXI

SMT

核心工艺解析 与案例分析

(第3版)

贾忠中 著

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京 • BEIJING

内容简介

本书是作者多年从事电子工艺工作的经验总结。全书分上下两篇,上篇(第1~6章)汇集了表面组装技术的70项核心工艺,从工程应用角度,全面、系统地对其应用原理进行了解析和说明,对深刻理解SMT的工艺原理、指导实际生产、处理生产现场问题有很大的帮助;下篇(第7~14章)精选了124个典型的组装失效现象或案例,较全面地展示了实际生产中遇到的各种工艺问题,包括由工艺、设计、元器件、PCB、操作、环境等因素引起的工艺问题,对处理现场生产问题、提高组装的可靠性具有非常现实的指导作用。

本书编写形式新颖,直接切入主题,重点突出,是一本非常有价值的工具书,适合有一年以上实际工作经验的电子装联工程师使用,也可作为大学本科、高职院校电子装联专业师生的参考书。

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

SMT 核心工艺解析与案例分析 / 贾忠中著. —3 版. —北京:电子工业出版社, 2016.3

ISBN 978-7-121-27916-4

I. ①S… II. ①贾… III. ①印刷电路—组装 IV. ①TN410.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第308187号

许可证号:京海工商广字第0258号

策划编辑:李洁

责任编辑:苏颖杰

印刷:中国电影出版社印刷厂

装订:中国电影出版社印刷厂

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:29.5 字数:755千字

版次:2010年11月第1版

2016年3月第3版

印次:2016年3月第1次印刷

印数:3500册 定价:98.00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。

本书第1版出版于2010年11月，写作的目的很简单，不想写一本SMT的基础教程书，因为类似的书已经很多，希望能够写一点对读者有帮助的参考书，哪怕有一个案例或一句话能够对读者所从事的工作有所启发就知足了。在此思想指导下，我把自己多年从事SMT的一些心得、案例进行了简单的整理，奉献给读者。

本次再版新增50多节内容，并重点对上篇内容进行了较多的补充与完善，特别是“特定封装组装工艺”和“焊点的金相组织”部分；对下篇的案例进行了部分替换，希望给读者提供更多典型的经验。因为很多企业生产的PCBA种类不多，可能碰到的问题也不会很多。这些“经验”将有助于读者系统地考虑问题，完善设计与工艺方法，提高制造质量与效率。

表面组装技术（SMT）是一门比较复杂且不断发展中的技术，从有铅工艺到无铅工艺、从大焊盘焊接到微焊盘焊接，挑战不断，但是其基本的原理没有变，工艺工作的使命没有变（工艺实现和工艺稳定的问题）。重点掌握SMT的工艺要领、工程知识、常见焊接不良现象的产生机理与处置对策，对建立有效的工艺控制体系、快速解决生产工艺问题，具有十分重要的现实意义。

工艺要领

工艺要领，顾名思义，就是指工艺技术或工艺方法与要求的关键点。掌握了这些关键点，就等于抓住了工艺技术的“魂”，在遇到千变万化的不良现象时就可沿着正确的方向去分析和解决。举例来讲，如果不了解BGA焊接时本身要经历“两次塌落”和“变形”这两个微观的物理过程，就很难理解BGA焊接峰值温度与焊接时间的意义。再比如，如果不了解有铅焊膏焊接无铅BGA将改变焊点的熔点以及组分的特性，就很难理解混装工艺的复杂性。因此，在学习工艺知识时，掌握要领非常重要，它是分析、解决疑难工艺问题的基础。

工程知识

作为一名SMT工程师，如果仅仅停留在了解书本知识的层次，那么绝对称不上合格。生产现场需要的是掌握基本工程知识的人。对装联工艺而言，工程知识包括工艺窗口、基准工艺参数与基本工艺方法，如钢网开窗，对某一特定的封装，采用多厚的钢网、开什么形状以及多大尺寸的窗口。这些具体的、可用的应用知识，一般都是基于试验或经验获得的。

如果不了解每类元器件容易发生的焊接问题、产生原因，那么就不能有效地预防。道理很简单，没有想到的绝对做不到。掌握常见焊接不良现象的产生机理与处置对策，最根本的途径是在实践中运用所学的理论知识、分析问题、解决问题，把理论知识转化为处理问题的能力。工艺是一门实践性很强的学问，靠经验的积累，正如医生看病，看的病人多了，经验就丰富了。实践中，我们经常会碰到这样的情况，比如什么是芯吸现象？相信大多数工程师都能够回答出来，但在碰到由芯吸引起的问题时往往不会想到芯吸，这是因为没有把理论知识转化为处理问题的能力。日本电子产品以质量著称于世，一条重要的经验就是“学习故障，消除预期故障”。从实践中汲取经验，把经验再用于指导实践，这是非常重要的方法。

装联工艺是系统工程问题

装联工艺质量涉及“人、机、料、环、法”五大方面。如果这些“入口”的质量波动很大，那么建立高质量、可重复的工艺就是一句空话。许多企业为了降低采购成本、规避风险，使用多品牌的物料，这对工艺而言是一大隐患。不同品牌的物料，特别是标准化程度比较低的那些物料，常常重量不同、引脚宽度不同，这些往往是导致工艺不稳定的因素。因此，要打造一流的工艺，必须从物料选型、工艺设计、工艺试制、工艺优化、质量监控等方面系统思考、系统控制。

鉴于以上认知，我从应用角度筛选了 70 个核心工艺议题，对其进行了总结与解析，指出要领，作为本书的上篇；同时，精心选编了 124 个典型案例，图文并茂地介绍了缺陷的特征、常见原因以及改进措施，作为本书的下篇。

对于案例的选编，主要是以能够帮助读者深入理解工艺因素的影响为主要考量（限于篇幅，案例都略去了问题的分析、解决过程，待以后有机会与读者深入交流）。对于案例提供的解决措施，限于“现象、现场、现物”的差异，仅供参考，不可盲目照搬。希望读者参考时注意：第一，这些案例中提供的解决方法不是一个关于某问题的系统解决方案；第二，要认识到，“一个工艺问题可能有多种产生原因，同样的原因可能导致不同的缺陷”，在采取措施之前，必须对问题进行准确定位，对措施进行验证，不可盲目照搬；第三，要认识到，许多工艺措施具有“两面性”，比如，为减少密脚器件的桥连而使用薄的钢网，但会加大引脚共面性差的元器件的开焊（Open Soldering）概率，因此，在采取措施前必须进行权衡与评估。

需要说明的是，有个别案例同时出现在不同的章节，这不是简单的笔误，而是作者有意重复使用。有些工艺问题产生的原因，有时很难界定为设计问题、物料问题或操作问题，它们之间有时会转换，往往从不同的方面都可以解决。对于此类问题的产生原因，可以说是 A 原因，也可以说是 B 原因。比如，BGA 周围装螺钉容易引起 BGA 焊点拉断的问题，可以说是设计问题，也可以说是操作问题。本书下篇之所以按问题产生原因进行分类，主要是希望强化读者对这些

工艺影响因素的认识，在分析问题时想到它。

为了不给读者增加阅读负担，本书采用图表格式编排，凡是图能够说明的问题就没有再用文字加以说明，也就是许多有价值的信息包含在图中。另外，为了强调一些观点，本书采用了加粗字体或颜色标示的手段，目的是希望读者抓住要领。

本书插图及文字中所用的数值单位一般采用公制英文字符缩写。对于一些在行业内习惯使用英制单位的应用场合，如钢网厚度，本书在公制单位后也加注了英制单位的数值，以方便读者使用。

本书适合有一定 SMT 经验的从业人士，最好是掌握 SMT 基础知识并有一年以上实际工作经验的专业人士使用。

本书各节内容独立成篇，可以根据需要选择性阅读或查阅。

本书内容多是我的经验总结或思考，限于接触的产品类别、案例，有些观点或讲法可能不完全正确，敬请读者批评指正。如有建议或疑问，请反馈到我的电子邮箱：1079585920@qq.com

贾忠中

GKG ®

因为有你，我们一路**领跑**



**优点：高精度、高效率、
高稳定性、高性价比**

凱格精密機械有限公司
GKG PRECISION MACHINE CO., LTD.

总公司

地址：广东省东莞市东城科技工业园沙朗路2号
电话：+86-769-38823222
传真：+86-769-38820799
网址：www.gkg.cn
E-mail：gkg@gkg.cn

GKG ASIA

Add: 52 Ubi Avenue3, #02-38
Frontier Singapore 408867
TEL: +65 65478065
FAX: +65 65475451



• 华南：+86-512-86057551 • 环渤海：+86-22-26992940 • 北京：+86-10-82944344 • 武汉：+86-027-59007676 • 西南：+86-28-86501635 • 厦门：+86-592-5183135



新加坡成立的GKG ASIA公司
专门负责国际市场的拓展和服务，
GKG在中国东莞(总部)、苏州、
北京、天津、成都、郑州、青岛、
武汉、合肥、厦门、杭州等地构
建了全面快速的销售和服务网络。

 全国统一服务热线：**4000-668-468**



提供SMT、COB、DIP一站式品控方案



回流炉后检测



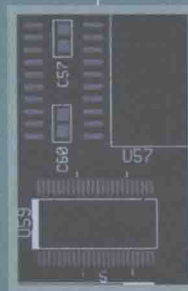
邦定后检测



插件后检测



PIN检测



印刷后检测



波峰焊后检测

上 篇

第1章 表面组装基础知识

- 1.1 SMT 概述 /3
- 1.2 表面组装基本工艺流程 /5
- 1.3 PCBA 组装流程设计 /6
- 1.4 表面组装元器件的封装形式 /9
- 1.5 印制电路板制造工艺 /15
- 1.6 表面组装工艺控制关键点 /23
- 1.7 表面润湿与可焊性 /24
- 1.8 焊点的形成过程与金相组织 /25
- 1.9 黑盘 /36
- 1.10 工艺窗口与工艺能力 /37
- 1.11 焊点质量判别 /38
- 1.12 片式元器件焊点剪切力范围 /41
- 1.13 P-BGA 封装体翘曲与吸潮量、温度的关系 /42
- 1.14 PCB 的烘干 /45
- 1.15 焊点可靠性与失效分析的基本概念 /47
- 1.16 贾凡尼效应、电迁移、爬行腐蚀与硫化的概念 /48
- 1.17 再流焊接次数对 BGA 与 PCB 的影响 /52
- 1.18 焊点可靠性试验与寿命预估 (IPC-9701) /54

第2章 工艺辅料

- 2.1 焊膏 /60
- 2.2 失活性焊膏 /68
- 2.3 无铅焊料合金及相图 /70

第3章 核心工艺

- 3.1 钢网设计 /73
- 3.2 焊膏印刷 /79
- 3.3 贴片 /89
- 3.4 再流焊接 /90
- 3.5 波峰焊接 /103
- 3.6 选择性波峰焊接 /120
- 3.7 通孔再流焊接 /126
- 3.8 柔性板组装工艺 /128

- 3.9 烙铁焊接 /130
- 3.10 BGA 的角部点胶加固工艺 /132
- 3.11 散热片的粘贴工艺 /133
- 3.12 潮湿敏感器件的组装风险 /134
- 3.13 Underfill 加固器件的返修 /135
- 3.14 不当的操作行为 /136

第4章 特定封装组装工艺

- 4.1 03015 封装的组装工艺 /138
- 4.2 01005 组装工艺 /140
- 4.3 0201 组装工艺 /145
- 4.4 0.4mm CSP 组装工艺 /148
- 4.5 BGA 组装工艺 /155
- 4.6 PoP 组装工艺 /159
- 4.7 QFN 组装工艺 /166
- 4.8 LGA 组装工艺 /179
- 4.9 陶瓷柱状栅阵列元器件 (CCGA) 组装工艺要点 /180
- 4.10 晶振组装工艺要点 /181
- 4.11 片式电容组装工艺要点 /182
- 4.12 铝电解电容器膨胀变形对性能的影响评估 /185
- 4.13 子板 / 模块铜柱引出端组装工艺要点 /186
- 4.14 表贴同轴连接器焊接的可靠性 /187
- 4.15 LED 的波峰焊接 /189

第5章 无铅工艺

- 5.1 RoHS/190
- 5.2 无铅工艺 /191
- 5.3 BGA 混装工艺 /192
- 5.4 混装工艺条件下 BGA 的收缩断裂问题 /200
- 5.5 混装工艺条件下 BGA 的应力断裂问题 /205
- 5.6 PCB 表面处理工艺引起的质量问题 /209
 - 5.6.1 OSP 工艺 /211
 - 5.6.2 ENIG 工艺 /213
 - 5.6.3 Im-Ag 工艺 /217
 - 5.6.4 Im-Sn 工艺 /221
 - 5.6.5 OSP 选择性处理 /224
- 5.7 无铅工艺条件下微焊盘组装的要领 /225
- 5.8 无铅烙铁的选用 /226
- 5.9 无卤组装工艺面临的挑战 /227

第6章 可制造性设计

- 6.1 焊盘设计 /230
- 6.2 元器件间隔设计 /235

- 6.3 阻焊层的设计 /236
- 6.4 PCBA 的热设计 /237
- 6.5 面向直通率的工艺设计 /240
- 6.6 组装可靠性的设计 /246
- 6.7 再流焊接底面元器件的布局设计 /248
- 6.8 厚膜电路的可靠性设计 /249
- 6.9 散热器的安装方式引发元器件或焊点损坏 /251
- 6.10 插装元器件的工艺设计 /253

下 篇

第7章 由工艺因素引起的问题

- 7.1 密脚器件的桥连 /257
- 7.2 密脚器件虚焊 /259
- 7.3 空洞 /260
- 7.4 元器件侧立、翻转 /275
- 7.5 BGA 虚焊的类别 /276
- 7.6 BGA 球窝现象 /277
- 7.7 镜面对贴 BGA 缩锡断裂现象 /280
- 7.8 BGA 焊点机械应力断裂 /283
- 7.9 BGA 热重熔断裂 /301
- 7.10 BGA 结构型断裂 /303
- 7.11 BGA 冷焊 /305
- 7.12 BGA 焊盘不润湿 /306
- 7.13 BGA 焊盘不润湿——特定条件：焊盘无焊膏 /307
- 7.14 BGA 黑盘断裂 /308
- 7.15 BGA 返修工艺中出现的桥连 /309
- 7.16 BGA 焊点间桥连 /311
- 7.17 BGA 焊点与临近导通孔锡环间桥连 /312
- 7.18 无铅焊点表面微裂纹现象 /313
- 7.19 ENIG 盘面焊锡污染 /314
- 7.20 ENIG 盘 / 面焊剂污染 /315
- 7.21 锡球——特定条件：再流焊工艺 /316
- 7.22 锡球——特定条件：波峰焊工艺 /317
- 7.23 立碑 /319
- 7.24 锡珠 /321
- 7.25 0603 波峰焊时两焊端桥连 /322
- 7.26 插件元器件桥连 /323
- 7.27 插件桥连——特定条件：
安装形态（引线、焊盘、间距组成的环境）引起的 /324
- 7.28 插件桥连——特定条件：托盘开窗引起的 /325
- 7.29 波峰焊掉片 /326

- 7.30 波峰焊托盘设计不合理导致冷焊问题 /327
- 7.31 PCB 变色但焊膏没有熔化 /328
- 7.32 元器件移位 /329
- 7.33 元器件移位——特定条件: 设计 / 工艺不当 /330
- 7.34 元器件移位——特定条件: 较大尺寸热沉焊盘上有盲孔 /331
- 7.35 元器件移位——特定条件: 焊盘比引脚宽 /332
- 7.36 元器件移位——特定条件: 元器件下导通孔塞孔不良 /333
- 7.37 元器件移位——特定条件: 元器件焊端不对称 /334
- 7.38 通孔再流焊插针太短导致气孔 /335
- 7.39 测试针床设计不当, 造成焊盘烧焦并脱落 /336
- 7.40 QFN 开焊与少锡 (与散热焊盘有关的问题) /337
- 7.41 热沉元器件焊剂残留物聚集现象 /338
- 7.42 热沉焊盘导热孔底面冒锡 /339
- 7.43 热沉焊盘虚焊 /341
- 7.44 片式电容因工艺引起的开裂失效 /342
- 7.45 变压器、共模电感开焊 /345
- 7.46 密脚连接器桥连 /346

第8章 由PCB引起的问题

- 8.1 无铅 HDI 板分层 /349
- 8.2 再流焊接时导通孔“长”出黑色物质 /350
- 8.3 波峰焊点吹孔 /351
- 8.4 BGA 拖尾孔 /352
- 8.5 ENIG 板波峰焊后插件孔盘边缘不润湿现象 /353
- 8.6 ENIG 表面过炉后变色 /355
- 8.7 ENIG 面区域性麻点状腐蚀现象 /356
- 8.8 OSP 板波峰焊接时金属化孔透锡不良 /357
- 8.9 OSP 板个别焊盘不润湿 /358
- 8.10 OSP 板全部焊盘不润湿 /359
- 8.11 喷纯锡对焊接的影响 /360
- 8.12 阻焊剂起泡 /361
- 8.13 ENIG 镀孔压接问题 /362
- 8.14 PCB 光板过炉 (无焊膏) 焊盘变深黄色 /363
- 8.15 微盲孔内残留物引起 BGA 焊点空洞大尺寸化 /364
- 8.16 超储存期板焊接分层 /365
- 8.17 PCB 局部凹陷引起焊膏桥连 /366
- 8.18 BGA 下导通孔阻焊偏位 /367
- 8.19 导通孔藏锡珠现象及危害 /368
- 8.20 单面塞孔质量问题 /369
- 8.21 CAF 引起的 PCBA 失效 /370
- 8.22 PCB 基材波峰焊接后起白斑现象 /372

第9章 由元器件电极结构、封装引起的问题

- 9.1 银电极浸析 /375
- 9.2 单侧引脚连接器开焊 /376
- 9.3 宽平引脚开焊 /377
- 9.4 片式排阻开焊 /378
- 9.5 QFN 虚焊 /379
- 9.6 元器件热变形引起的开焊 /380
- 9.7 SLUG-BGA 的虚焊 /381
- 9.8 BGA 焊盘下 PCB 次表层树脂开裂 /382
- 9.9 陶瓷板塑封模块焊接时内焊点桥连 /384
- 9.10 全矩阵 BGA 的返修——角部焊点桥连或心部焊点桥连 /385
- 9.11 铜柱引线的焊接——焊点断裂 /386
- 9.12 堆叠封装焊接造成内部桥连 /387
- 9.13 片式排阻虚焊 /388
- 9.14 手机 EMI 器件的虚焊 /389
- 9.15 FCBGA 翘曲 /390
- 9.16 复合器件内部开裂——晶振内部 /391
- 9.17 连接器压接后偏斜 /392
- 9.18 引脚伸出太长, 导致通孔再流焊“球头现象” /393
- 9.19 钽电容旁元器件被吹走 /394
- 9.20 灌封器件吹气 /395
- 9.21 手机侧键内进松香 /396
- 9.22 MLP (Molded Laser PoP) 的虚焊与桥连 /398
- 9.23 表贴连接器焊接变形 /401
- 9.24 片容应力失效 /403

第10章 由设备引起的问题

- 10.1 再流焊后 PCB 表面出现异物 /405
- 10.2 PCB 静电引起 Dek 印刷机频繁死机 /406
- 10.3 再流焊接炉链条颤动引起元器件移位 /407
- 10.4 再流焊接炉导轨故障使单板烧焦 /408
- 10.5 贴片机 PCB 夹持工作台上下冲击引起重元器件移位 /409
- 10.6 钢网变形导致 BGA 桥连 /410
- 10.7 擦网纸与擦网工艺引起的问题 /411

第11章 由设计因素引起的工艺问题

- 11.1 HDI 板焊盘上的微盲孔引起的少锡 / 开焊 /413
- 11.2 焊盘上开金属化孔引起的虚焊、冒锡球 /414
- 11.3 焊盘与元器件引脚尺寸不匹配引起开焊 /416
- 11.4 焊盘大小不同导致表贴电解电容器再流焊接移位 /417
- 11.5 测试盘接通率低 /417
- 11.6 BGA 附近设计有紧固件, 无工装装配时容易引起 BGA 焊点断裂 /418
- 11.7 散热器弹性螺钉布局不合理引起周边 BGA 的焊点拉断 /419

- 11.8 局部波峰焊工艺下元器件布局不合理导致被撞掉 /420
- 11.9 模块黏合工艺引起片容开裂 /421
- 11.10 不同焊接温度需求的元器件布局在同一面 /422
- 11.11 设计不当引起片容失效 /423
- 11.12 设计不当导致模块电源焊点断裂 /424
- 11.13 拼板 V 槽残留厚度小导致 PCB 严重变形 /426
- 11.14 0.4mm 间距 CSP 焊盘区域凹陷 /428
- 11.15 薄板拼板连接桥宽度不足引起变形 /430
- 11.16 灌封 PCBA 插件焊点断裂 /431

第 12 章 由手工焊接、三防工艺引起的问题

- 12.1 焊剂残留物引起的绝缘电阻下降 /432
- 12.2 焊点表面残留焊剂白化 /435
- 12.3 强活性焊剂引起焊点间短路 /436
- 12.4 焊点附近三防漆变白 /437
- 12.5 导通孔焊盘及元器件焊端发黑 /438

第 13 章 操作不当引起的焊点断裂与元器件问题

- 13.1 不当的拆连接器操作使 SOP 引脚拉断 /439
- 13.2 机械冲击引起 BGA 脆断 /440
- 13.3 多次弯曲造成 BGA 焊盘拉断 /441
- 13.4 无工装安装螺钉导致 BGA 焊点拉断 /442
- 13.5 元器件被周转车导槽撞掉 /443
- 13.6 无工装操作使元器件撞掉 /444

第 14 章 腐蚀失效

- 14.1 常见的腐蚀现象 /445
- 14.2 厚膜电阻 / 排阻硫化失效 /447
- 14.3 电容硫化现象 /449
- 14.4 爬行腐蚀现象 /451
- 14.5 银有关的典型失效 /453

附录 A 术语·缩写·简称

参考文献

上篇

表面组装核心工艺解析

第 1 章 表面组装基础知识

1.1 SMT 概述 (1)

表面组装技术, 英文名称为 Surface Mount Technology, 缩写为 SMT, 是一种将表面组装元器件 (SMD) 安装到印制电路板 (PCB) 上的板级组装技术, 它是现代电子组装技术的核心, 如图 1-1 所示为一条实际配制的表面组装生产线。



图 1-1 表面组装生产线

SMT
概述

表面组装技术, 在电子工程业界, 也称表面安装技术、表面贴装技术。它最早起源于 20 世纪 60 年代的厚膜电路外贴元器件技术, 在 20 世纪 80 年代随着彩色电视机电子调谐器的大规模生产而得到迅速发展, 到了 20 世纪 90 年代中期基本成熟, 成为现代主流的电子组装技术。

1. SMT 的优势

相对于 THT (插装技术), SMT 带给电子产品四大优势:

- (1) 高密度。由于表面组装元器件采用了无引线或短引线、I/O 端面阵布局等封装技术, 元器件的尺寸大大减小, I/O 引出端大大增加, 从而使 PCB 的组装密度得到大幅度的提高。
- (2) 高性能。表面组装元器件的无引线或短引线特点, 降低了引线的寄生电感和电容, 提高了电路的高频高速性能以及器件的散热效率。
- (3) 低成本。由于表面组装元器件封装的标准化和无孔安装特点, 特别适合自动化组装, 大幅度降低了制造成本。
- (4) 高可靠性。自动化的生产技术, 保证了每个焊点的可靠连接, 从而提高了电子产品的可靠性。

正是由于 SMT 的这四大优势, 促进了其广泛应用, 反过来也推动了 SMT 本身的不断发展。

2. SMT 的技术组成

SMT 是一项系统工程技术, 包括工艺技术、工艺设备、工艺材料与检测技术, 如图 1-2 所示。