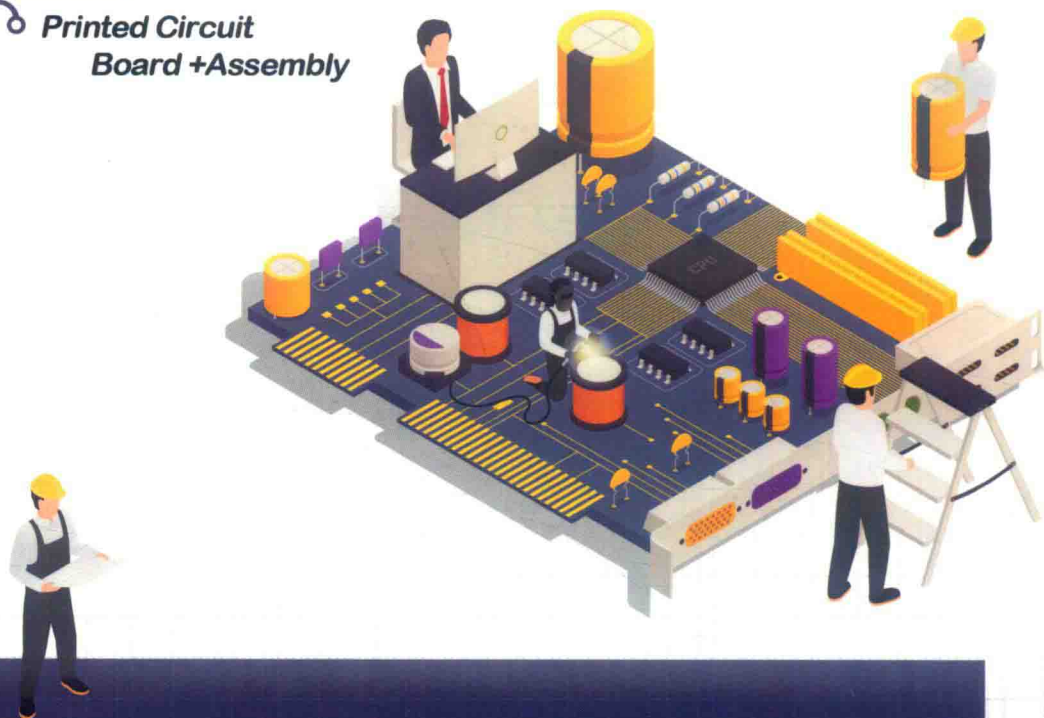




Printed Circuit
Board + Assembly



高可靠性电子装备 PCBA 设计缺陷

案例分析及可制造性设计

◎ 陈正浩 编著



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>

高可靠性电子装备 PCBA 设计缺陷案例分析及 可制造性设计

陈正浩 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以丰富详尽的设计缺陷案例分析为抓手,指出导致电子装备质量问题的主要因素是设计缺乏可制造性,在此基础上以较大篇幅介绍PCB/PCBA可制造性设计的设计理念、设计程序和设计方法,创新地将设计与工艺、工艺与工艺过程控制结合起来,以帮助电子企业的管理者、电路设计师和电子装联工艺师建立“设计是源头,工艺是关键,物料是保障,管理是根本,理念是核心”的高可靠电子装备电子装联核心理念,掌握可制造性设计程序和具体方法,并对业内极为关注的若干现代电子装联技术问题进行答疑与诠释。

本书既可作为电路设计师、电子装联工艺师、产品质量保障师、企业管理人员、电装技师及高级技师等人员的工作指导手册和培训教材,也可作为相关高等院校电路设计和工艺制造等专业师生的教学用书。

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

高可靠性电子装备PCBA设计缺陷案例分析及可制造性设计 / 陈正浩编著.

—北京:电子工业出版社,2019.1

ISBN 978-7-121-35587-5

I. ①高… II. ①陈… III. ①电子装备—可靠性设计 IV. ①TN97

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第265057号

策划编辑:宋梅

责任编辑:底波

印刷:北京捷迅佳彩印刷有限公司

装订:北京捷迅佳彩印刷有限公司

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:43.25 字数:1000千字

版次:2019年1月第1版

印次:2019年1月第1次印刷

定 价:238.00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)88254888,88258888。

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

本书咨询联系方式:mariams@phei.com.cn。

前言

在产品全生命周期中，设计对产品的性能、质量和成本控制起着关键的作用。一般情况下，设计费用约占产品总成本的 8%，却决定了产品总成本的大约 80%，而约 80% 的设计差错要到制造使用过程中才能发现。

业内人士公认的“十倍定律”表明，如果在概念设计阶段发现并改正一个错误所需费用为 1，那么改正同一个错误，在详细设计阶段所需费用为 10，而在生产制造阶段所需费用为 100，并直接导致制造周期的延长。

随着科学技术的飞速发展，现代电子产品的构造和功能越来越复杂，在保证产品性能、质量要求的前提下，如何降低制造成本和缩短产品的生产周期，是市场竞争的关键。

产品生产中的质量问题大部分是由设计所造成的；实行可制造性设计，把问题尽可能消灭在设计阶段是提高产品设计质量的根本措施。

美国 HP 公司统计表明：产品总成本 60% 取决于产品的最初设计，75% 的制造成本取决于设计说明和设计规范，70%~80% 的生产缺陷是由于设计原因造成的。

我国航天部门统计表明：一个航天型号产品的质量问题的 80% 出在电装焊接上，而造成电装焊接质量问题的主要原因是电路设计缺乏可制造性。

中国电子科技集团(中国电科)统计表明：电子产品的质量问题的 75% 出在电装焊接上，而造成电装焊接质量问题的主要原因是电路设计缺乏可制造性。

如果一个企业没有可制造性理念，不建立可制造性设计文化，也就根本谈不上成果转化，谈不上产业化、规模化！

我们的很多产品，尤其是军工电子产品，往往以数量代替质量，以反复延长研制生产周期的方法来取得质量，这种状况与企业做大做强，做国内卓越、国际一流的目标是背道而驰的。

可制造性设计 (Design For Manufacture, DFM) 与可靠性设计 (Design For Reliability, DFR)、可组装性设计 (Design For Assembly, DFA) 同属卓越设计 (Design For X, DFX) 的核心内容，它与集成产品开发 (Integrated Product Development, IPD) 里的共享基础模块 (Common Building Block, CBB) 都属于并行工程理念；DFM 主要研究产品本身的物理设计与制造系统各部分之间的关系，并把它用于产品设计中，以便将整个制造系统融合在一起进行总体优化。

通过这种方法可以降低成本、缩短产品投入市场的时间、提高产品质量、提高产品的可制造性、缩短生产时间、提高工作效率。

DFM 不仅是使用一套规则 (包括设计规则和工艺规则) 对设计进行可制造性审查，还是通过产品研究开发、生产制造和售后服务的全系统工艺控制流程，向设计提供共享基础模块 (CBB)，以及把设计和工艺结合起来、把工艺和工艺过程控制结合起来的系统工程。

这里的设计包括产品设计、开发过程设计和系统设计。在产品的设计时，不但要考虑功能和性能要求，而且要同时考虑与产品整个生命周期各阶段相关的因素，包括可制造性、高效性和经济性等。

笔者在中国电科第 10 研究所和中国电科从事军用电子装备电子装联技术 /SMT 研究半个多世纪，20 世纪 60 年代初开始参与航空、航天、通信、侦察、识别等军事领域电子系统工程及设备全方位、全过程电子装联工艺工作，1979 年开始任航天外测安全系统某产品整机负责人，1986 年该整机获“国家科技进步特等奖”，2001 年创新性地提出“电路可制造性设计技术”，2003 年该技术成为企业标准，“十五”期间任总装先进制造技术项目负责人，多次荣获所级科研成果一等奖。

本书的基础是《电路可制造性设计》，该资料于 2005 年由四川省电子学会 SMT 专委会首次作为电子装联技术培训教材使用，之后历经多次修改和补充，作为电科内部和航天、航空、兵器等军工集团，以及国防科工局和相关协会、学术团体与培训机构的培训教材，深受好评，并作为“航天电子产品设计工艺性”的主要参考书之一。

2008 年，在以中国工程院院士童志鹏为总编，程辉明为主编，中国电科相关研究所总工程师、副总工程师为副主编的《先进电子制造技术（第二版）——信息化武器装备的能工巧匠》一书中，把“电路可制造性设计”列为先进电子制造技术。

本书的主要内容已列入中国电科承担的国防科工局“印制电路板焊接工艺质量控制”研究课题主要成果“印制电路板焊接工艺质量控制”，并作为中国电科内部文件下发所属各研究所实施。

当前电子制造业界还没有一本系统介绍电子装备电子装联可制造性设计的书籍；本书和计划中的《高可靠电子整机可制造性设计（DFM）及装联工艺技术》这两本书的出版，将着力从设计源头解决电子产品可靠性和质量问题，与众多电子装联技术书籍形成良好的互补。

本书在编撰过程中学习、参考和引用了一些专业技术书籍、内部文件及标准里的资料和图片，在此表示衷心的感谢。

陈正浩

2018 年 12 月于成都

作者心语

本书是笔者在职 44 年、退休后 11 年，历时半个多世纪，在军事电子装备电子装联领域内愿意坚守、愿意担当、理想不灭、信念无悔，全方位、全过程从事军事电子装备电子装联技术理论研究和实践探索的呕心沥血之作。

笔者在半个多世纪参与军事电子装备电子装联技术的研究和实践中深切体会到，先天的设计缺乏可制造性所导致的缺陷和物料质量问题，是很难通过改进工艺措施进行补偿的；产品的质量和可靠性是设计出来的，电路设计是电子产品实现其电路功能的主要途径，起着举足轻重的作用。然而，电路设计人员设计的产品不符合国标、国军标或电子行业的相关标准，脱离本单位的生产实践，缺乏可制造性，产品就失去了实现其质量和可靠性的基本前提。实践证明，导致电装焊接质量问题的主要原因是电路设计缺乏可制造性。

2001 年，笔者在中国电科第 10 研究所创新性地提出“电路可制造性设计技术”理念；2003 年，其成为该所企业标准，获该所 2003 年科技成果一等奖；2011 年年底，以“电路可制造性设计技术”为核心的国防科工局“电子装联焊接工艺质量控制研究”以“国内领先，国际先进”的评语通过国家级鉴定和评审；到 2013 年，可制造性设计与 IPD 一起正式进入该所科研生产程序，可谓“十年磨一剑”，得之不易！

退休十多年来，笔者应邀在中国电科，航天、航空、兵器等军工集团，国防科工局及相关协会，学术团体和培训机构为电子产品电路设计师、电装工艺师、质量师、高技能操作人员和管理人员进行“电路可制造性设计和电子装联技术”系列培训数十场次，并两次受中国电科领导的委托对中国电科负责工艺与制造的所领导、工艺副总、工艺主任、制造部主任和质量处长等中层以上领导干部进行高层次培训。

中国电科第 10 研究所是总装“电气互连先进制造技术”的核心单位之一，在“电路可制造性设计技术”研究中，笔者得到总装先进制造技术专家组成员、中国电科第 10 研究所副所长李成刚和副总工程师张桐城、王勇、周宇戈的指导。

笔者是中国电科承担的国防科工局“印制电路板焊接工艺质量控制”课题研究的技术负责人，在课题研究中得到中国电科质量安全与社会保障部主任仲里，质量处处长黄先奎，北京电科院 EDM 中心经理张文杰及课题资深顾问——中兴通讯公司的樊融融教授，公安部一所顾霭云研究员和课题评审组组长中国航天五院质量部副主任、副总工艺师范燕平的鼎力帮助。

在此对上述各位领导和老师表示由衷的感谢！

在本书的出版过程中得到中航物装专家组组长、博士后洪鸣的全力相助，在此深表谢意！

陈正浩

2018 年 12 月于成都

目 录

第 1 章 总则.....	1
1.1 概述.....	1
1.2 我国电子制造业面临的困境.....	2
1.2.1 困境之一：高端芯片的缺失.....	2
1.2.2 困境之二：DFM 的严重缺失.....	4
1.2.3 困境之三：不适应先进生产力发展的旧工艺管理体制.....	6
1.2.4 困境之四：被严重低估了的工艺和制造价值.....	7
1.2.5 被扭曲了的电子装联标准.....	8
1.3 实现高可靠质量目标的因素.....	9
1.4 中国制造需要“大国工艺”.....	10
1.4.1 精湛的工匠技艺源自先进的工艺技术.....	10
1.4.2 电子装联技术的重要性.....	11
1.5 先进制造技术.....	12
1.5.1 什么是先进制造技术.....	12
1.5.2 电气互连先进制造技术.....	12
1.5.3 新型元器件与高密度组装技术.....	12
1.5.4 微组装先进制造技术.....	13
1.5.5 可制造性设计是实现先进制造技术的前提和技术支撑.....	13
1.6 可制造性设计理念的拓展.....	14
1.7 结束语.....	15

第 2 章 PCB/PCBA 设计缺陷案例分析	16
2.1 焊盘尺寸设计缺陷	16
2.1.1 片式元器件焊盘设计缺陷.....	17
2.1.2 片式元器件错误的“常见病、多发病”.....	20
2.1.3 焊盘两端不对称,走线不规范.....	21
2.1.4 焊盘宽度及相互间距离不均匀.....	23
2.1.5 IC 焊盘宽度间距过大.....	23
2.1.6 QFN 焊盘设计缺陷.....	24
2.1.7 安装孔金属化,焊盘设计不合理.....	25
2.1.8 公用焊盘问题导致的缺陷.....	26
2.1.9 热焊盘设计不合理.....	26
2.1.10 片式电容器焊盘长度设计不合理.....	28
2.1.11 其他焊盘设计缺陷.....	28
2.2 丝网和阻焊膜设计不良	30
2.2.1 丝网设计不良.....	30
2.2.2 阻焊膜设计不良.....	33
2.3 元器件布局不合理	35
2.3.1 布局设计不良.....	35
2.3.2 应用波峰焊工艺时,元器件布局没有采取克服“阴影效应”措施.....	37
2.3.3 元器件的排布不符合工艺要求.....	37
2.3.4 安放在 PCB 焊接面的 QFP 和 SOIP 没有设计成“菱形”和设计导流盘.....	37
2.3.5 双面组装 PCBA 焊接面元器件焊盘或本体边缘与插件零件边缘距离过小.....	38
2.3.6 元器件布放不符合自动化生产要求.....	38
2.3.7 元器件布放位置距紧固件太近的设计缺陷.....	39
2.3.8 波峰焊应用中的布局设计缺陷.....	40
2.3.9 回流焊应用中的布局设计缺陷.....	42
2.3.10 PCB 布局混乱,严重影响焊接可靠性.....	42
2.4 拼板设计不正确	44
2.5 PCB 材料与尺寸不合适	46

2.5.1	翘曲与扭曲.....	46
2.5.2	PCB 材质选用不当, 制作质量低劣.....	48
2.6	BGA 的常见设计问题.....	49
2.7	通孔插装中元器件引线直径与金属化孔孔径和焊盘的不匹配.....	51
2.8	“飞线”问题.....	54
2.9	PCB 缺少工艺边或工艺边设计不合理.....	54
2.10	插装元器件安装设计不良.....	59
2.11	导通孔设计不良.....	61
2.11.1	导通孔设计在焊盘上.....	61
2.11.2	导通孔与焊盘或元器件距离过小.....	63
2.11.3	导通孔在屏蔽罩位置.....	67
2.11.4	导通孔尺寸过大.....	67
2.11.5	导通孔在元器件底部.....	68
2.12	电连接器接触偶与金属化孔间隙比.....	69
2.13	PCB 缺少定位孔, 定位孔位置不正确.....	70
2.14	焊盘与导线的连接.....	71
2.15	PCB 基准识别点缺失、设计不规范.....	72
2.16	元器件装配设计不良.....	74
2.17	设计缺陷所造成的焊接缺陷.....	95
2.17.1	插装设计缺陷所造成的焊接缺陷.....	95
2.17.2	贴装.....	97
2.18	大面积接地和面积 PCB 应用设计缺陷.....	99
2.19	工艺设计错误.....	100

2.20	镀金引线 / 焊端直接进行锡焊的缺陷案例分析	101
2.21	多种设计缺陷	101
2.22	因设计缺陷、物流控制失控和焊接温度不符合规定要求引起的 焊接故障	102
2.22.1	虚焊与冷焊	102
2.22.2	金属化孔透锡率不符合要求	104
2.23	设计缺陷对元器件返工返修的影响	105
2.24	设计缺陷对检验检测的影响	106
2.25	设计缺陷对清洗的影响	106
2.26	印制电路板组件的反变形安装	106
2.27	潮湿敏感元器件 (MSD) 损坏	110
2.28	静电敏感元器件使用上的错误	111
2.29	返工返修 (电装整修, 二次焊接)	112
2.30	电子产品电路设计及制造缺陷实例	113
第3章 现代电子装联核心理念及发展趋势		117
3.1	现代电子装联核心理念	117
3.1.1	电子装联技术与产品质量的关系	117
3.1.2	应用 DFX 实施军品可靠性设计	117
3.1.3	基本概念	119
3.1.4	现代电子装联核心理念	122
3.2	电路设计现状	126

3.2.1	引言.....	126
3.2.2	概述.....	126
3.2.3	电路设计功能的逐渐弱化.....	127
3.3	电子装联技术的迅速发展.....	129
3.3.1	电子装联工程的基本概念.....	129
3.3.2	电子装联元器件的高速发展.....	132
3.3.3	可制造性分析软件的应用.....	134
3.3.4	国内电子研制生产企业可制造性分析软件应用严重滞后原因分析.....	149
3.3.5	构建 DFM 平台.....	152
3.3.6	可制造性分析与可制造性设计.....	153
3.4	板级电路组装技术的发展趋势.....	154
3.4.1	元器件级.....	154
3.4.2	板级电路模块.....	154
3.4.3	post-SMT.....	155
3.4.4	堆叠装配技术.....	157
3.4.5	高密度组装中的“微焊接”工艺设计.....	159
3.4.6	电子产品高密度小型化设计.....	159
3.5	微波组件基本概念及应用技术标准现状.....	161
3.5.1	微波组件基本概念.....	161
3.5.2	微波电路应用标准现状.....	162
3.6	微组装技术基本概念及标准应用现状.....	164
3.6.1	微组装技术的特征.....	165
3.6.2	微组装技术的定义及关键点.....	165
3.6.3	微组装技术应用标准现状.....	166
3.6.4	微组装结构.....	168
3.6.5	微波组件微组装技术的应用.....	172
3.7	整机级先进制造技术.....	175
3.7.1	3D 线扎设计.....	175
3.7.2	立体建模的条件.....	176
3.7.3	存在的问题.....	176

3.7.4	3D 布线的核心.....	177
3.7.5	整机 / 系统级“无线缆”连接技术	177
3.7.6	刚 - 挠基板连接技术.....	178
3.7.7	背板连接技术.....	179
3.7.8	机架安装.....	179
3.7.9	整机 3D CAPP 集成设计技术.....	180
3.7.10	电子产品虚拟装配技术.....	182
 第 4 章 电路可制造性设计基础.....		184
 4.1 概述.....		184
4.1.1	电子产品电装生产质量问题的主要成因.....	184
4.1.2	电路设计错误或缺乏可制造性给制造带来了什么.....	185
4.1.3	不使用 DFM 可能面临高成本与高风险的巨大挑战.....	186
4.1.4	可制造性设计的严重缺失是导致国内外电子产品质量差别的核心要素之一	186
4.1.5	实施 DFM 提高核心竞争力.....	187
4.1.6	在设计初期进行 DFM.....	187
4.1.7	DFM 是面向产品生命周期各环节设计的关键.....	187
4.1.8	DFM 不是单纯的一项技术, 它是一种思想, 一个先进的理念.....	188
4.1.9	引入 DFM 来提高利润和产量.....	189
4.1.10	执行 IPC、MIL 或 GJB、GB 及行业标准的前提	189
4.1.11	缺乏 DFM 到处存在.....	189
4.1.12	对设计缺陷的错误认识.....	191
4.1.13	产品的质量和可靠性是设计出来的.....	192
 4.2 电路可制造性设计是崭新的概念.....		192
4.2.1	电路可制造性设计的概念.....	192
4.2.2	可制造性设计应用的广泛性.....	192
 4.3 电路可制造性设计基本内容.....		193
4.3.1	可制造性设计主要解决的问题.....	193
4.3.2	电路、结构和工艺三者之间的关系.....	194

4.4	电路可制造性设计基本文件.....	194
4.4.1	电子装联用基本电路设计文件.....	194
4.4.2	电子装联常用标准.....	195
4.4.3	企业技术标准（典型工艺规范）.....	204
4.4.4	电子装联常用产品工艺文件.....	205
4.5	可制造性设计的基本理念.....	206
4.5.1	可制造性设计与设计工艺性或可生产性是一致的.....	206
4.5.2	DFM 的诞生.....	207
4.5.3	DFM 的定义.....	208
4.5.4	DFM 基本工作目标.....	208
4.5.5	DFM 的职责.....	209
4.5.6	DFM 的相关活动.....	210
4.5.7	DFM 主要活动与原理.....	210
4.5.8	DFM 团队与主要职责.....	210
4.5.9	支持 DFM 工作的工具技能.....	210
4.5.10	DFM 系统的主要元素.....	211
4.5.11	DFM 的涵盖面及定义.....	211
4.5.12	SMT 领域的 DFM.....	211
4.5.13	电路可制造性设计的基本理念及意义.....	212
4.5.14	应用先进电子装联技术的电路可制造性设计.....	213
4.6	关键在于理念的更新.....	215
第 5 章 PCB/PCBA 可制造性设计.....		216
5.1	概述.....	216
5.2	PCBA 设计缺陷的影响.....	217
5.3	印制电路板组件 DFM 的核心理念.....	218
5.4	可制造性设计的组织保证措施.....	219

5.5	可制造性设计实施方案	219
5.6	电路设计文件可制造性审核（工艺性审核）	220
5.6.1	电路设计文件工艺性审核的形式	220
5.6.2	电路设计文件工艺性审核（以PCBA为例）	221
5.6.3	电装工艺设计原则与依据	227
5.6.4	工艺性审核存在的问题	228
5.7	印制电路板组件可制造性设计基本概念	228
5.7.1	印制电路板可制造性设计	228
5.7.2	印制电路板可制造性设计目的	228
5.7.3	印制电路板可制造性设计范围	229
5.7.4	印制电路板可制造性设计重点	229
5.7.5	印制电路板可制造性设计内容	229
5.7.6	可制造性设计程序解析	229
5.7.7	PCBA 组装方式决定焊接工艺流程	231
5.7.8	印制电路板电路设计	239
5.8	确保PCBA可制造性设计实施的物料要素	243
5.8.1	总则	243
5.8.2	高可靠印制电路板的可接受条件	244
5.8.3	高可靠电子装备电子元器件选用要求	248

第6章 PCB 元器件布局设计及焊盘设计 254

6.1	表面组装技术元器件布局设计及片式元器件焊盘设计	254
6.1.1	表面贴装元器件的焊接可靠性	254
6.1.2	SMT 印制电路板电路设计一般要求	255
6.1.3	SMT 工艺对元器件布局设计的要求	257
6.1.4	采用回流焊工艺的元器件焊盘设计	261
6.1.5	回流焊工艺导通孔设计	373
6.2	波峰焊工艺元器件布局设计及焊盘图形设计	374

6.2.1	采用传统波峰焊工艺的元器件布局设计.....	374
6.2.2	采用传统波峰焊工艺的元器件焊盘设计.....	380
第7章	通用设计技术	385
7.1	通用设计	385
7.1.1	焊盘形状设计.....	385
7.1.2	焊盘与印制电路板的距离.....	386
7.1.3	焊盘的开口.....	386
7.1.4	相邻焊盘设计.....	386
7.1.5	大型元器件焊盘设计.....	386
7.1.6	大导电面积设计.....	386
7.1.7	采用传统波峰焊工艺时孔的设计规则.....	386
7.1.8	焊盘设计.....	388
7.1.9	焊盘与孔的关系.....	389
7.1.10	导通孔与焊盘的连接设计.....	390
7.1.11	元器件孔距设计.....	395
7.1.12	环宽要求.....	395
7.1.13	导体层的隔热设计.....	396
7.1.14	THT 图形设计.....	397
7.1.15	焊盘和印制导线的连接.....	398
7.1.16	双列直插式 (DIP) 集成电路焊盘设计.....	401
7.1.17	元器件的安装间距.....	403
7.1.18	布线设计.....	415
7.1.19	模板设计.....	428
7.2	设备对设计的要求	441
7.2.1	印制电路板外形、尺寸设计.....	442
7.2.2	印制电路板定位孔的设计要求.....	444
7.2.3	印制电路板夹持边设计.....	446
7.2.4	光学定位基准标志 (Mark) 设计.....	446
7.2.5	局部基准标志.....	449
7.2.6	拼板设计.....	450

7.2.7	选择元器件封装及包装形式.....	454
7.3	阻焊、丝网的设计.....	454
7.3.1	阻焊膜设计.....	454
7.3.2	丝网图形设计.....	457
7.4	印制电路板组件导热和散热设计.....	458
7.4.1	概述.....	458
7.4.2	印制电路板导热和散热设计工艺性要求.....	459
7.4.3	元器件导热和散热设计要求.....	459
7.4.4	元器件导热和散热设计的主要填充材料和使用.....	460
7.4.5	印制电路板散热设计的内容和要求.....	464
7.5	印制电路板制图的基本要素.....	470
7.5.1	印制电路板的表面镀涂.....	470
7.5.2	印制电路板的标记.....	471
7.5.3	印制电路板图样的绘制.....	472
第 8 章	通孔插装元器件焊接工艺选择.....	483
8.1	选择性波峰焊是 PCBA 焊接工艺流程的必然选择.....	483
8.2	选择性波峰焊对比手工焊.....	484
8.3	选择性波峰焊对比通孔回流焊.....	487
8.3.1	通孔回流焊工艺的优点.....	488
8.3.2	通孔回流焊工艺的缺点.....	488
8.3.3	通孔回流焊工艺的适用条件.....	491
8.3.4	结束语.....	492
8.4	选择性波峰焊对比传统波峰焊.....	493
8.4.1	双面混装焊工艺比较.....	493
8.4.2	避免了传统波峰焊元器件布局的局限性.....	496
8.4.3	使用带有治具的传统波峰焊工艺.....	500

8.4.4	选用选择性波峰焊的优越性.....	503
8.4.5	结束语.....	506
8.5	焊接质量要求.....	507
8.5.1	焊接润湿角.....	507
8.5.2	良好的焊点要素.....	511
8.5.3	通孔插装元器件手工焊与选择性波峰焊质量比较.....	515
8.6	选择性波峰焊导流盘的设置.....	518
8.6.1	传统双波峰焊原理.....	518
8.6.2	传统双波峰焊 DIP 元器件的焊盘排列走向、桥连产生的原因及 导流盘的设置.....	518
8.6.3	桥连现象及其产生的原因.....	520
8.7	高密度高可靠 PCBA 焊接工艺流程选择.....	521
8.8	选择性波峰焊对 PCB/PCBA 设计的要求.....	522
8.8.1	PCB 设计一般要求.....	522
8.8.2	选择性波峰焊 PCB 设计特殊要求.....	525
8.8.3	防止桥连工艺.....	528
8.9	选择性波峰焊的局限性.....	530
8.10	与波峰焊相关的禁限用工艺.....	531
第 9 章	PCBA 元器件可组装性设计.....	532
9.1	通孔插装元器件穿孔安装.....	532
9.1.1	一般要求.....	532
9.1.2	通孔插装元器件安装详细要求.....	535
9.2	表面安装.....	563
9.2.1	有引线的表面安装.....	563
9.2.2	无引线的表面安装.....	564