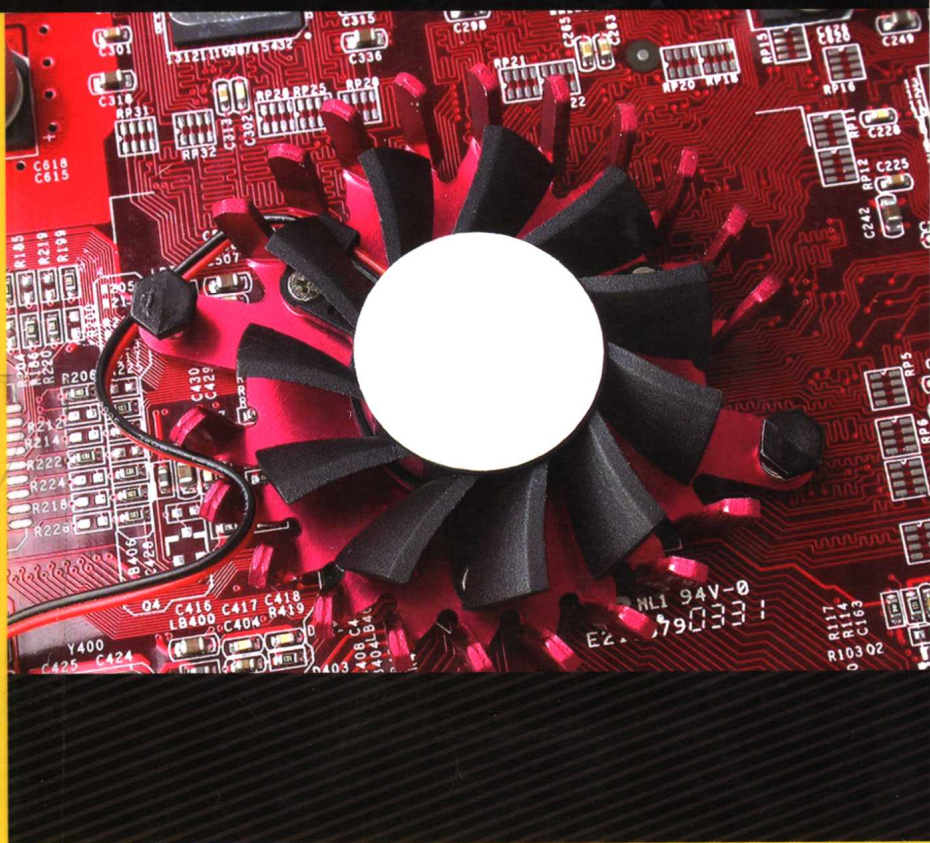


姜培安 编著

印制电路板的 可制造性设计



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

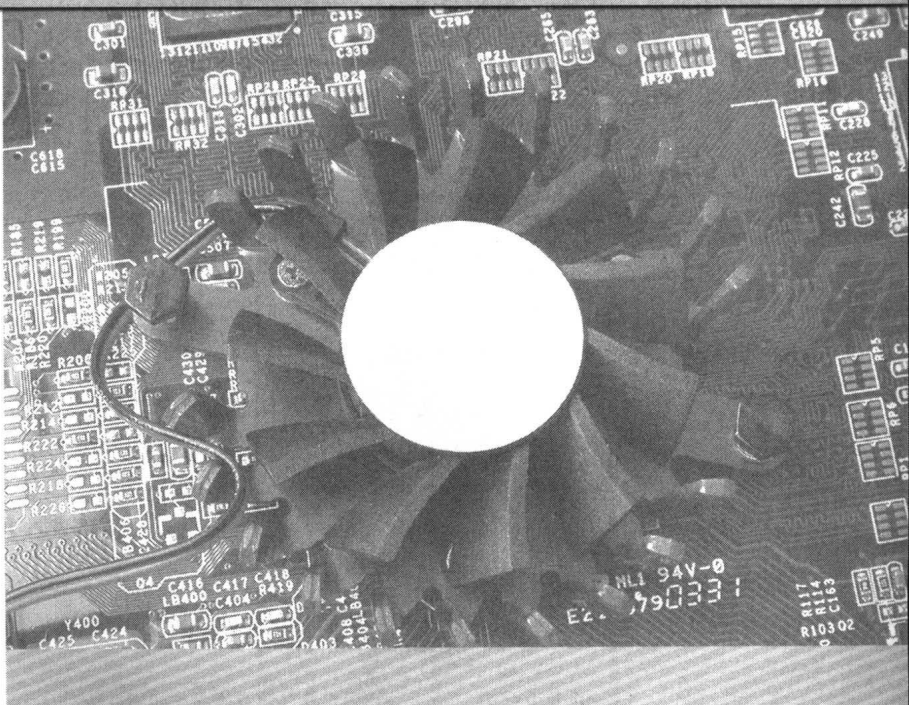
TN410.2/116

2007

2007

姜培安 编著

印制电路板的 可制造性设计



内 容 提 要

印制电路板(简称印制板)是电子产品的重要基础部件。由于微电子技术的飞速发展,表面安装技术在电子产品中的应用日益广泛,用于安装表面贴装元器件的印制板结构越来越复杂,安装的要求更加繁多,对于印制板设计需要考虑的因素大量增加,印制板的可制造性已成为广大印制板设计人员十分关注和必须考虑的问题。

本书共分为13章,重点介绍了印制板可制造性的概念,印制板制造与安装可制造性设计的工艺要求和各图形要素的设计。本文从实际应用出发,对印制板设计过程中印制板的制造、安装和测试等方面的可制造性做了系统的分析和介绍,并根据现行标准和众多设计经验的体会,提供了大量的印制板可制造性数据和图示,力求图文并茂,易于理解。为使广大读者能更准确地了解印制板的性能和验收要求,书中第十二章对印制板的相关标准还做了详细介绍,便于设计时查找和引用。

本书为印制电路板设计者在考虑可制造性设计或印制板制造和安装的工艺人员对设计文件进行工艺性审查时,提供了方便、实用的工具,也是初学印制板设计的工程技术人员很好的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

印制电路板的可制造性设计/姜培安编著. —北京:

中国电力出版社, 2007

ISBN 978-7-5083-5823-9

I. 印… II. 姜… III. 印刷电路-设计
IV. TN410.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第096446号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2007年9月第一版 2007年9月北京第一次印刷

850毫米×1168毫米 32开本 8.5印张 222千字

印数0001—3000册 定价18.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

随着科学技术的发展,电子产品的应用日益广泛,电子工业已成为当今世界上最大的产业之一,印制电路板(简称印制板)作为电子产品中的重要基础零部件,其应用也日益扩大,从计算机到通信设备,从民用消费电子产品到军用电子设备,凡是用到电子元器件的产品都离不开印制电路板,印制板的设计、制造及安装技术是电子产品设计和制造的重要支柱。

印制板设计、制造、安装的质量及元器件的质量是影响电子整机产品质量和可靠性的关键。印制板的设计又是电子产品设计的重要环节,设计不仅能决定电子产品的基本性能和特点,而且还会影响印制板的制造、安装和测试的难易程度。一个优良的印制板产品设计既要保证产品具有良好的机械、电气性能,又要有良好的可制造性,才能做到性能可靠、容易制造、成本低廉。实践证明设计可制造性的优劣是影响产品质量、生产效率和制造成本的重要因素。据有关资料测算,电子产品在研制期间,设计成本要占整个研制成本的80%左右,所以如何降低研制成本、缩短研制周期和有利于批量生产是广大电子产品的设计和制造者共同关心的问题,这也是产品设计时必须考虑设计可制造性的原因。

产品设计的可制造性是指产品在设计阶段,将产品制造系统的各项工艺要求融合在一起进行优化设计,可以缩短研制周期、降低成本。产品越复杂,可制造性设计要求就越高,设计时如果对此考虑不够,将会影响制造的质量和效率,严重时可能制造不出来,这又需要修改设计,重新试制,既浪费了材料和工时,又延长了研制周期。

印制板设计是一种特殊的电子产品设计,它是涉及到多门类技术的综合性设计,从产品的电子、机械性能设计,元器件的选

用到印制板制造、安装和测试、维修等，产品形成的全过程工艺和技术要求，都应体现在印制板的工程图设计中，同一种设计的产品受两种不同工艺的制约，既要考虑印制板光板的可制造性，又要考虑印制板组装件的可制造性。对于印制电路板的设计者，不但要有丰富的电路知识，还需要熟悉元器件和印制板的特点及性能，了解相关的印制板制造及电子装联的工艺要求，这样才能设计出既满足电路需要，又有利于制造和安装，性能良好且非常适用的印制板。

本书根据作者多年从事印制电路技术及其标准研究、实践的体会，从印制板的特性和工艺要求入手，根据电路设计通用要求及印制板的机械、电气性能的考虑，并结合国内外现行有效的印制板设计相关标准，对印制板的设计及其可制造性考虑作系统介绍，力求文字简练、结构完整、内容更加实用。为了使读者易于理解和准确掌握可制造性设计的内容与具体参数，文中采用了大量的图文说明，尤其是在有关标准部分，以 IPC-A-600G 标准为基础，对印制板的性能和技术要求做了详细的叙述，为读者提供能够使用的标准性能参数。因为本书重点是考虑设计的实用性，而在设计的理论上没做深入的讨论。对于印制板 CAD 设计的具体程序和方法，由于所采用的设计软件不同各有很大差别，而设计软件发展又很快，不断有设计功能更为强大的新型设计软件推出，并且有关印制板的 EDA 工具书籍也很多，所以本书也不在这方面作详细叙述。

本书在编写过程中得到刘正川、王厚邦等专家的指导和帮助并审阅了部分内容，在此表示衷心的感谢。另外，在编写过程中参考了许多文献和标准，在此也对这些文献和标准的作者和发布者表示衷心的感谢。

由于作者的水平所限，书中难免存在一些疏漏和不足之处，恳请广大读者和有关专家批评指正。

编 者

前言

■ 第一章	概述	1
第一节	印制电路板	1
第二节	印制板组装件	7
■ 第二章	印制板制造和安装工艺	9
第一节	印制板的制造工艺	9
第二节	印制板组装件的制造工艺简介	20
■ 第三章	印制板设计对基材的选择	25
第一节	印制板用基材的性能和分类	25
第二节	常用基材的特性	31
第三节	基材的选择	35
■ 第四章	设计可制造性和可测试性的概念	40
第一节	设计的可制造性概念	40
第二节	设计的可测试性概念	45
第三节	印制板组装件的可维修性	48
■ 第五章	印制板的基本要素设计	50
第一节	印制板设计的通用要求	50
第二节	印制板的结构设计	54
第三节	印制板的外形、尺寸	56
第四节	印制板的厚度	59
第五节	坐标网格和参考基准	60
第六节	导线宽度、长度和间距	63
第七节	孔与连接盘(焊盘)的形状和尺寸	68
第八节	接插区和印制插头	81
第九节	PCB 的表面涂(镀)层选择	83
第十节	电气性能设计	89

第六章	印制板的电磁兼容设计	105
第一节	印制板电磁兼容性的重要性	105
第二节	印制板内引起电磁兼容问题的主要原因	106
第三节	抑制电磁干扰措施	112
第七章	PCB 的热设计	114
第一节	热设计的必要性	114
第二节	热设计的基本要求	116
第八章	印制板图设计	124
第一节	印制板图的设计内容	124
第二节	印制板图的设计程序	125
第三节	导电图形设计 (布局、布线)	130
第四节	附连板测试图形	144
第五节	非导电图形设计	149
第六节	机械加工图	151
第九章	印制板设计的可制造性检查	152
第一节	印制板设计的可制造性检查的内容	152
第二节	印制板可制造性的具体参数	156
第三节	印制板的可测试性要求和检查	157
第四节	挠性和刚一挠性印制板设计的特殊要求	159
第十章	应对绿色环保要求的 PCB 设计	162
第一节	概述	162
第二节	欧洲两项指令和无铅焊接对印制板的要求	162
第三节	面对绿色法规印制板设计的考虑	165
第四节	面对绿色法规的 PCB 制造要求	168
第十一章	印制板设计的可靠性评价	175
第一节	产品可靠性的概念	175
第二节	印制板的可靠性分析	177
第十二章	PCB 设计的相关标准	187
第一节	PCB 标准概况	187
第二节	国内印制板相关标准	189

	第三节 国外印制板及相关标准.....	190
	第四节 PCB 的性能规范和验收的标准	191
	第五节 印制板的修复和修改.....	249
	第六节 质量保证规定.....	250
第	第十三章 印制电路板的发展趋势	254
三	附录 A 国际和美国印制板主要标准	257
章	附录 B 缩略词	259
	参考文献	262

第一节 印制电路板

印制电路板简称印制板 (PCB), 它是实现电子产品小型化、轻量化、装配机械化和自动化的重要基础部件, 在电子工业中有广泛应用。凡是装有电子元器件的产品, 无论是电视机、收录机、数码照相机等民用电子产品, 还是计算机、工业电子设备、通信设备、航空航天电子设备和军用电子产品等都离不开印制板, 印制板是电子产品中不可缺少的重要组成部分, 也是电子行业的支柱产品之一。

微电子技术的飞速发展, 使 SMT 技术在电子产品中得到广泛应用, 电子元器件的小型化和封装技术的进步, 使 IC 器件 I/O 端子数剧增, 引出端子的节距越来越小, 在印制板上的组装密度越来越高, 要求印制板的导线宽度与间距减小, 过孔的孔径变小, 各导电层之间的垂直互连路径缩短, 互连的结构更为复杂, 可靠性要求在不断提高, 促使印制板向高密度、高可靠、高层次的方向发展, 印制板的品种已由一般的刚性板发展到多层板、挠性板、刚—挠结合板和高密度互连的 HDI 板, 以及其他高速或微波电路用的特殊印制板等高端产品。印制板工业已成为世界电子工业的重要基础。

印制板的质量和可靠性对电子产品的性能和可靠性有重要影响, 同时也影响电子产品的成本。印制电路板的设计决定印制板的固有性能, 而生产制造、测试和检验是设计思想实现的保证。因此从事印制电路板设计的人员, 首先要开拓设计思路、提高设计水平, 确保印制板设计质量不仅具有良好的电气和机械性能, 而且还有良好的工艺性即可制造性和可测试性及维修性, 才能降低成本, 保证电子整机产品的质量和可靠性。

随着电子计算机的发展, 不但增加了对印制板的需求量, 而

且促进了印制板的设计、制造、检测和安装技术的进步，计算机辅助设计（CAD）、辅助制造（CAM）和计算机辅助测试（CAT）技术都进入了电子工业领域。由于微电子器件的小型化和电子组装技术向 SMT 和微组装发展，印制板也正向高密度、细导线、小孔径、多层次、薄型化、高可靠和多功能的方向发展。印制板的设计、制造、安装和测试之间的联系更加紧密，它们之间又互相制约，互为促进，对印制板的设计和制造提出了更高的要求，需要有先进的技术、设备，先进的设计思路、制造工艺和先进的检测方法，才能适应这一发展的需要。

随着人类对环境保护意识的提高，对电子工业的清洁生产和绿色产品的日益关注，特别是欧盟和我国先后发布的关于废弃电子产品的回收和电子产品中限制使用含铅等有害元素的两项指令后，对印制板的设计和制造提出了新的要求。采用环保型的材料和清洁的制造工艺是印制板今后发展的方向。

印制板的设计是一种特殊的电子产品设计，同一种设计的产品受两种不同工艺的制约，既要考虑印制板光板的可制造性，又要考虑印制板组装件的可制造性。特别是上述的两项环保要求的指令实施后，使 PCB 设计受制造和安装的工艺制约也越来越多，PCB 的可制造性设计成为设计过程中必须认真考虑的问题。

一、印制板设计的术语和定义

印制电路板是应用广泛的重要基础电子产品，其标准化程度很高，为了印制板设计、制造和电子装联等相关行业的沟通和技术交流，国际上对印制板的相关术语和定义都有统一的规定（国际电工委员会标准 IEC—196《印制电路的术语定义》）；我国也制订了相关标准（GB 2036《印制电路术语和定义》）。为了叙述时简单，便于读者理解，对一些文章中经常出现的印制板专业性很强的术语，在此择其部分按规范的名称和定义集中介绍，文中不再解释，对于其他术语可查阅有关标准。

1. 印制电路（printed circuit）

在绝缘基材上，按预定的设计，用印制的方法得到的导电

图形，它包括印制线路和印制元器件或两者结合而成的电路。完成了印制电路和印制线路工艺加工的板子通称印制板。也有人把只有导电图形的印制板称为印制线路板（PWB）。印制电路板的英文名称为 Printed Circuit Board，缩写为 PCB，简称为印制板。

2. 刚性印制板（guide printed circuit board）

利用刚性基材制作的印制板。根据一层、两层和多层导电图形层分为单面板、双面板和多层板。

3. 挠性印制板（flexible printed circuit board）

利用挠性基材（软性基材）制作的印制板，可以有或无挠性覆盖层。根据导电层数分为单面、双面、多层挠性板以及刚性与挠性相结合的刚一挠印制板。

4. 导电图形（conductive pattern）

印制板上由导电材料构成的图案结构。它包括印制导线、接地面（层）、电源面（层）、连接盘（焊盘）、镀覆孔和印制的元件（电阻、电容）等。

5. 非导电图形（non-conductive pattern）

由印制板上的非导电材料形成的图形。它包括阻焊剂、标志字符构成的图形，也包括印制板生产过程中曝光用的掩膜所构成的图形。设计时主要是指阻焊图形和标志字符图形。

6. 层（Layer）

印制板中由处于同一水平面上的导电材料或非导电材料所构成的平面，由导电材料（铜箔和镀层）构成的为导电层；由非导电的绝缘材料构成的为绝缘层。在印制板 CAD 中的层是指：元件面、焊接面、信号导线层、电源层、接地层、阻焊层、标志字符层等。

7. 阻焊层（solder resist layer）

用于保护印制板表面上非焊接区的一种耐热绝缘材料层，用以限定焊料焊接在规定的范围内。在 CAD 中分为元器件面阻焊层（top paste）和焊接面阻焊层（bottom paste）。

8. (丝印) 字符标志层 (over layer)

在印制板的上、下两面印制上需要的标志图案和文字代号的专用层, 以便于电子元器件在印制板上的安装和维修。

9. 连接盘 (land)

印制板上用于电气连接、元器件焊接固定或两者兼备的那部分导电图形, 在表面层上用于焊接的连接盘又称为焊盘。

10. 盘趾 (anchoring spur)

挠性印制板上为了增强连接盘与基材的附着力, 将连接盘边缘局部延伸至覆盖层下面的那部分导电图形 (见图 1-1)。



图 1-1 挠性板连接盘盘趾

11. 镀覆孔 (plated through hole)

孔壁镀覆了金属的孔, 用于 PCB 的内层或外层导电图形之间, 或内、外层导电图形之间的电气连接, 又称为金属化孔。

12. 环宽 (annular ring)

孔的边缘到连接盘外边沿的金属宽度。多层板的内层环宽是指钻孔的孔壁到内层连接盘的外沿宽度, 外层的环宽是指从镀覆孔的内边沿到焊盘的外沿宽度。最小环宽是指环宽最窄部分的金属宽度。

13. 节距 (pitch)

等宽度和等间距的两相邻导线中心距离或同一组元器件焊盘中心到中心的标称距离 (见图 1-2 中 w)。

14. 在制板 (Panel)

只加工了部分工序或正在加工的半成品印制板。如果有多个图形在一块板上, 待所有工序加工完成后再分割成单块的成品

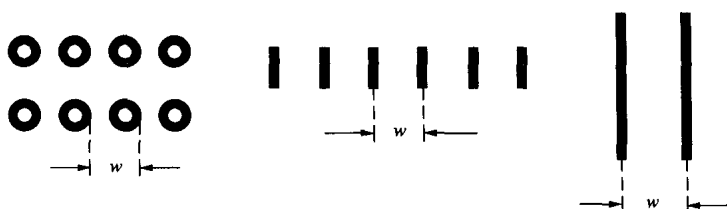


图 1-2 节距

板，则称为拼板（multiple printed panel），但是在尚未分割时也可以称作在制板。

15. 附连测试板（test coupon）

质量一致性检验电路的一部分图形，附在需要的印制板旁边，与该板同时加工出来，用于规定的验收检验或一组相关的试验，以代表它所附连的印制板质量，一般是作为破坏性试验用的一种板。所用的图形可采用标准规定的图形，也可以根据电路测试需要另行设计。

16. 印制板组装件（printed board assembly）

安装了电子电气、机械元器件或者连接有其他印制板的印制板，其印制板的所有制造、安装、焊接、涂敷等工艺均已完成。连接有其他印制板的印制板又称为印制底板或母板。

二、印制板的分类和用途

（一）印制板的分类

由于电子设备的不同需要，印制板也有许多不同种类，在国内外采用较多的是按 PCB 的结构和基材分类。按基材分类是按印制板所用的基材名称分类，能反映出 PCB 基材的主要性能，但是体现不了印制板的特点；按结构分类是指按印制板的刚性程度分为刚性和挠性以及刚一挠结合型 3 大类，按印制板基材的特点、导电层数和孔的加工特点又可分为若干子类。按结构分类能反映出 PCB 的特点和功能，印制板的分类如图 1-3 所示。

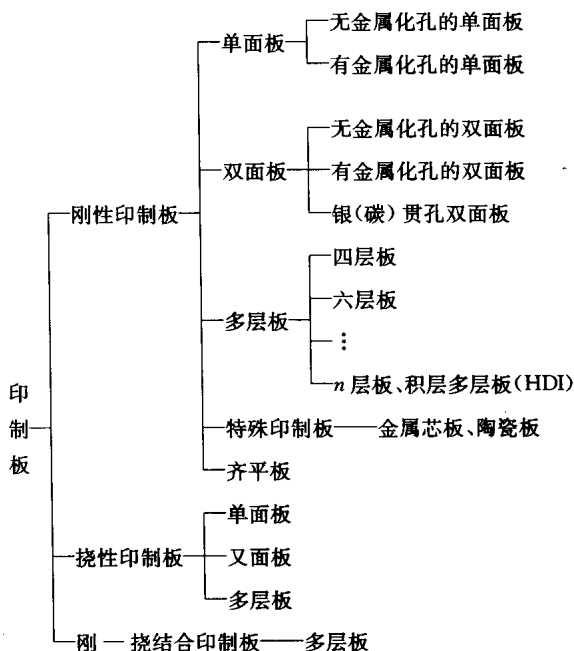


图 1-3 印制板的分类

(二) 印制板的用途

印制板广泛用于各种电子设备和仪器，根据产品的需要和特性，印制板的功能各不相同，尽管其种类繁多、形状各异，但是就其基本功能和用途可归纳为以下几个方面。

1) 印制板主要用于为电子元器件的组装提供安装、固定和支撑的基板，实现各种电子元器件的电气连接或绝缘。

2) 具有印制元器件的或在板内直接封装 IC 芯片的印制板，具有一定的电路功能。

3) 印有阻焊膜和标志字符的板，能在印制板组装件焊接时保护非焊接部分不被焊料润湿和防止桥连，并能提供安装、检验和维修的识别标志和字符。

4) 在一些特殊电路中的印制板还可以提供某些电气特性如：特性阻抗、电磁屏蔽等性能。印制导线在低频电路中呈现电阻特

性，对各种电子元器件之间起电气连接作用；而在高频段则呈现电感特性，不再是纯电阻的作用，这时印制导线可以为电路提供一定的特性阻抗，直接影响电路的性能。

5) 多层印制板可以设置电源层和接地层，能减少供电和接地回路的路径，帮助减小电源分配系统的电感，降低电源分配系统的特性阻抗，从而减小板上的电压降，减小信号回路面积，从而大大提高了印制板的电磁兼容性能。通过多层板中的微带线和带状线设计，控制印制导线的阻抗，能为高速电路提供较好的信号质量。

6) 金属芯印制板可以提供很好的散热功能，有利于印制板的热设计，适用于功率比较大或需要更好散热性能的电子设备用的印制板。

7) 刚—挠结合印制板为实现电子整机产品的三维安装，使产品小型化、轻量化提供了良好的安装部件。

8) 高密度互连印制板 (HDI) 布线密度高，各层间距小，过孔垂直连接的路径短，使信号传输速度快，为高速的数字化电子产品提供一种满足轻、薄、短、小的有效互连载体，适合于市场寿命周期短、变化快的现代电子产品。

第二节 印制板组装件

印制板组装件 (Printed Circuit Assembly, PCA) 是印制板设计的最终实物产品，它是安装了电子元器件并具有一定或独立电气功能的印制板，是电子产品的基本部件。PCA 的质量和可靠性将直接影响电子整机产品的质量。PCA 的形式是随电子元器件的封装形式发展、印制板技术进步和安装技术发展而变化的。电子安装技术经过通孔安装 (THT)、表面安装 (SMT) 和微组装 (MCT) 3 次技术变革，已发展到现在以表面安装为主流的安装技术，微组装形式也正在迅速发展。不同的安装形式，对印制板的要求不同，其设计要求和可制造性要求也不同，

设计人员必须了解所用的元器件封装和安装形式的要求。元器件的封装形式与印制板的安装及焊接方法见表 1-1。

表 1-1 元器件的封装形式与印制板的安装及焊接方法

项 目 \ 元器件封装形式	晶体管、径向元器件等分立元件	IC、高混合 IC 和径向性元器件	QFP、SOP、PLCCSOJ 等扁平封装器件和片式元器件	BGA、ICP、CSP 和裸芯片、薄膜元器件等
安装形式	通孔安装	通孔安装	表面安装	表面安装
安装方法	手工或自动插装	自动或半自动插装、手工安装	机械自动安装	复合(裸芯片)安装
印制板	单面板 双面板	有金属化孔双面板、低层次多层板	多层板和高密度、多层次多层板	高密度多层板、高密度互连印制板、功能性板
焊接方法	手工焊、浸焊	手工焊、波峰焊接	双波峰焊接、再流焊接	再流焊接、微电子焊接、压焊(bonding)

印制板组装完成后应根据产品的要求进行检测和清洗，对有高可靠要求或使用环境恶劣的印制板组装件，在测试、清洗合格后，还需要进行敷形涂覆（俗称三防涂覆）、以提高印制板组装件在储存和工作期间抵抗恶劣环境影响的能力。

印制板的制造工艺是按照印制板的设计文件,通过一系列的特殊加工制成符合设计要求和相关标准的、可供安装使用的印制板产品的方法。制造工艺的优劣直接影响 PCB 产品的质量和生产效率。随着科学技术的进步,印制板的制造工艺也在不断地进步,新的工艺方法、设备和配方也在不断地改进和发展,以满足电子产品小型化、轻量化和高可靠的需要,适应电子元器件和电子装联技术发展的要求。

印制板的设计能促进生产工艺的发展,为了达到设计的要求,需要不断改进工艺,提高生产质量,满足设计要求;但是超越现有生产工艺水平的过高设计要求,会提高生产成本,影响产品的可靠性或导致设计的产品无法生产。所以优秀的印制板设计师,应对印制板的制造、安装加工工艺和当前的生产加工水平有初步的了解,以便更好地考虑印制板的可制造性和可测试性设计。由于制造、安装和测试的技术也在不断地发展和进步,可制造性和可测试性也会变化,因此设计人员也应不断跟踪、了解印制板设计、制造、测试和安装的最新技术、最新工艺,以便采用新技术设计出更先进的印制板。

第一节 印制板的制造工艺

不同类型 PCB 的制造工艺有所不同,同一种类型的印制板也有不同的加工工艺。尽管制造工艺繁多,但可以归类为以下 3 种基本方法。

(1) 加成法。通过网印或曝光形成图形、钻孔、沉铜、转移层压等加工,直接将导电图形制作在绝缘基材上。

(2) 减成法。在覆铜箔基材上通过钻孔、孔金属化、图形转移、电镀、蚀刻或雕刻等工艺加工选择性地去除部分铜箔,形成