



EDA工具应用丛书

印刷电路板(PCB) 设计与制作

曾 峰 侯亚宁 曾凡雨 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

EDA 工具应用丛书

印刷电路板（PCB）设计与制作

曾 峰 侯亚宁 曾凡雨 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

印刷电路板(PCB)是电子产品中电路元件的支撑件,它提供了电路元件之间的电气连接。本书详细介绍了PCB产品的性能指标,PCB的设计规范,PCB的电磁兼容性、信号完整性分析,PCB设计可制造性、可测试性分析,PCB的设计实践和项目管理等内容。阐述了PCB设计的基础理论,PCB的材料,元器件在PCB电路板的安装、表贴、埋藏及绑定方法。介绍了多层电路板、高频电路、混合信号电路的设计方法和技巧。本书的写作目标定位在PCB设计的更高层次上,介绍PCB设计的高级技术,旨在提高读者的PCB设计能力,适合有经验的电子产品设计师及电子类相关专业的学生阅读。

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

印刷电路板(PCB)设计与制作/曾峰,侯亚宁,曾凡雨编著. —北京:电子工业出版社,2002.11
(EDA工具应用丛书)

ISBN 7-5053-8065-6

I.印… II.①曾… ②侯… ③曾… III.印刷电路—计算机辅助设计 IV.TN410.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第079440号

责任编辑:王颖

印 刷:北京天宇星印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:17 字数:428千字

版 次:2002年11月第1版 2002年11月第1次印刷

印 数:5000册 定价:26.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077

序

PCB 设计是电子产品设计的重要环节之一。电子产品正向工作高速度、元件高密度、存储大容量方向发展。这对印刷电路板设计技术提出了新的挑战。高速度意味着电路在更高频率下工作,当在 1GHz 频率工作时,电路模型的提取就发生了变化,通常条件下的 EDA 工具对电路的时序分析、波形分析、信号完整性分析、电磁噪声分析就不准确,需要新的电路模型来更新现有的 EDA 工具。元件高密度意味着 PCB 设计更复杂、更困难。存储大容量意味着大量新型存储元件不断面世,元件新型封装也层出不穷,使 PCB 设计不断更新。

作为一名 PCB 设计工程师,除了熟练掌握 PCB 设计工具的使用之外,还应对 PCB 生产工艺有所了解。与 PCB 生产厂家密切合作,才能设计出可制造性好、抗干扰能力强、性能稳定的印刷电路板。为了写好本书,作者专门请到了 PCB 生产厂的工程师,向他们请教了 PCB 生产的工艺流程,只有设计工程师把设计与生产工艺相结合,懂得设计造型和人体工程学,才能得到最完美的设计。

PCB 设计工程师,不仅要有丰富的电路知识,还应该有工业美学的修养。所设计的电子产品,除了具备基本的电子功能外,还应美观精巧,像一件艺术品。

PCB 设计工程师设计的印制板,在大规模生产线上有许多约束条件。定位标识、封装类型、设计精度等问题,都会影响电子产品的质量。

本书深入探讨了 PCB 设计的可制造性、可测试性问题,信号完整性问题,电磁兼容性问题。阐述了多层板设计、高速板设计、混合信号板设计的基本要求。

PCB 设计是 EDA 工程的重要内容之一,它和 ASIC 设计正在互相渗透。ASIC 设计和 PCB 设计的沟通已经开始,它们之间的桥梁已经开始构建,这是 PCB 设计技术的发展新动向。

作者曾峰,从事 PCB 设计多年,他结合设计经验,搜集了大量的文献资料,在编辑整理过程中,夜以继日地工作,终于如期完成了书稿。三位作者之一——山东大学的侯亚宁工程师,有着丰富的 PCB 设计经验,书中许多内容都是他多年经验的结晶。济宁教委的曾凡雨工程师对 EDA 工程有深入的研究,他对文稿录入、编辑、制图作了大量的工作。

三位作者严谨的学风、丰富的设计经验,使得本书与众多的 PCB 设计工具的书籍风格迥异,内容新颖。他们以创新求实的作风,在 PCB 设计领域探索着、实践着。将他们的设计经验、研究成果奉献给广大读者共享。全书由山东大学曾繁泰统筹整理,文中不妥之处,请广大同行斧正。

曾繁泰

2002. 8. 1

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 印刷电路板概述	(1)
1.1.1 印刷电路板发展过程	(1)
1.1.2 印刷电路板的分类	(2)
1.1.3 印刷电路板的制作工艺流程	(2)
1.1.4 印刷电路板的功能	(2)
1.1.5 印刷电路板的发展趋势	(3)
1.2 印刷电路板基础	(3)
1.2.1 印制板用基材	(4)
1.2.2 过孔	(6)
1.2.3 导线尺寸	(6)
1.2.4 焊盘尺寸 (外层)	(7)
1.2.5 金属镀 (涂) 覆层	(7)
1.2.6 印制接触片	(8)
1.2.7 非金属涂覆层	(8)
1.2.8 永久性保护涂覆层	(9)
1.2.9 敷形涂层	(10)
1.2.10 印刷电路板的尺寸	(11)
1.2.11 阻燃性	(13)
1.2.12 印刷电路板基板的选择	(15)
1.3 印刷电路板电气性能	(16)
1.3.1 电阻	(16)
1.3.2 载流量	(17)
1.3.3 绝缘电阻	(20)
1.3.4 耐压	(20)
1.3.5 其他电气性能	(21)
1.4 生产实践与设计	(21)
1.5 PCB 设计相关标准	(25)
1.5.1 IPC-2510 系列标准简介	(25)
1.5.2 开发机构及组织	(26)
第 2 章 PCB 设计的一般方法	(28)
2.1 设计流程	(28)
2.2 PCB 布局	(31)
2.3 元件的选择和考虑	(33)

2.4	热处理设计	(34)
2.5	焊盘设计	(36)
2.6	基准设计和元件布局	(38)
2.7	设计文件档案	(41)
2.8	布线	(41)
2.9	布线的检查	(44)
2.10	PCB 生产工艺对设计的要求	(45)
第 3 章	电磁兼容设计	(49)
3.1	电磁兼容的一般知识	(49)
3.1.1	电磁兼容及相关概念	(49)
3.1.2	电磁兼容的一般控制技术介绍	(50)
3.1.3	印刷电路板 (PCB) 中的电磁兼容 (EMC) 问题	(53)
3.2	PCB 中电磁兼容设计方法	(55)
3.2.1	PCB 材料、层、过孔的选择与电磁兼容性	(55)
3.2.2	集成电路芯片与电磁兼容设计	(56)
3.2.3	PCB 板内元器件的布局、互连与电磁兼容设计	(62)
3.3	电磁兼容设计中的电源问题	(64)
3.3.1	电源噪声	(64)
3.3.2	电源线设计	(64)
3.4	PCB 电磁兼容设计中的地线设计	(65)
3.4.1	地线的阻抗	(65)
3.4.2	地线干扰机理	(66)
3.4.3	地线干扰对策	(67)
3.4.4	地线设计的原则	(68)
3.5	电磁兼容设计中的退耦电容	(69)
3.6	PCB 电磁兼容设计工具简介	(69)
3.6.1	系统级 EMC/EMI 分析软件 EMC-Workbench	(71)
3.6.2	三维电磁场全波仿真工具	(76)
3.6.3	有线及无线高频领域的电磁兼容设计工具	(83)
第 4 章	信号完整性分析	(85)
4.1	信号完整性概述	(85)
4.1.1	基本概念	(85)
4.1.2	信号完整性问题	(86)
4.2	信号完整性解决方法	(90)
4.2.1	PCB 互联中的传输线的阻抗及反射	(90)
4.2.2	信号反射的形成	(95)
4.2.3	阻抗匹配与端接方案	(96)
4.2.4	端接技术的仿真分析	(99)
4.2.5	串扰分析	(100)

4.3	PCB 的信号完整性与设计	(107)
4.3.1	信号完整性设计的一般准则	(107)
4.3.2	PCB 信号完整性设计工具 APSIM-SPI	(112)
4.3.3	建立企业内部的 SI 部门	(113)
第 5 章	PCB 设计的可制造性	(115)
5.1	PCB 设计的可制造性	(115)
5.1.1	PCB 设计的检查	(115)
5.1.2	PCB 设计与 IC 芯片封装	(122)
5.2	生产工艺和设计的关系	(125)
5.2.1	锡膏丝印工艺	(126)
5.2.2	点锡膏工艺	(126)
5.2.3	印胶工艺	(127)
5.2.4	贴片工艺	(127)
5.2.5	波峰焊接工艺	(128)
5.2.6	回流焊接工艺	(128)
5.2.7	了解制造能力	(129)
5.3	PCB 基板的选择	(130)
5.4	PCB 的可制造性设计	(132)
5.4.1	通孔插装元件的可制造性设计规范	(132)
5.4.2	表面贴元件的 PCB 可制造性设计规范	(134)
第 6 章	PCB 的可测试性设计	(137)
6.1	概述	(137)
6.1.1	PCB 可测试性的基本概念	(137)
6.1.2	PCB 可测试性的焦点问题	(137)
6.1.3	PCB 可测试性的电气条件	(138)
6.1.4	PCB 可测试性的机械条件	(138)
6.2	PCB 测试的策略	(139)
6.3	PCB 测试方法与缺陷覆盖	(142)
6.4	PCB 生产的测试	(143)
第 7 章	PCB 的仿真设计	(144)
7.1	仿真的概念	(144)
7.2	电路仿真	(144)
7.2.1	SIM98 涉及的基本概念	(146)
7.2.2	SIM98 的仿真分析功能	(151)
7.2.3	波形窗口的操作	(156)
7.3	电路仿真举例	(158)
7.3.1	模拟电路仿真——有源滤波器的仿真	(158)
7.3.2	数字电路仿真举例	(162)

第 8 章 PCB 设计工具	(167)
8.1 Protel 设计工具	(167)
8.2 PADS 设计工具	(170)
8.3 OrCAD 设计工具	(176)
8.4 Mentor 设计工具	(177)
第 9 章 PCB 设计实践	(187)
9.1 基本设计方法和原则要求	(187)
9.1.1 整体结构	(187)
9.1.2 印刷电路板图设计的基本原则和要求	(187)
9.2 多层电路板设计	(189)
9.2.1 4 层印刷电路板设计步骤	(189)
9.2.2 8 层印刷电路板的设计	(192)
9.3 高速电路板设计	(192)
9.3.1 高频电路布线技巧	(192)
9.3.2 高速 PCB 设计策略	(195)
9.3.3 高速 PCB 设计方法	(195)
9.3.4 高速 PCB 设计技术	(196)
9.3.5 设计高速电路板的注意事项	(198)
9.4 混合信号电路板的设计	(201)
9.4.1 混合信号电路布线基础	(201)
9.4.2 混合信号 PCB 的分区设计	(204)
9.5 PCB 板的静电释放 (ESD) 设计	(206)
9.6 单片机系统印刷电路板设计	(213)
9.6.1 单片机系统印刷电路板设计要求	(213)
9.6.2 单片机系统印刷电路板设计技巧	(213)
第 10 章 PCB 设计项目管理	(215)
10.1 设计管理	(215)
10.1.1 设计管理的重要性	(215)
10.1.2 产品的寿命设计	(216)
10.1.3 设计管理规范化	(217)
10.2 产品研制中的 EMC 管理	(217)
10.2.1 概述	(217)
10.2.2 产品研制程序	(218)
10.2.3 EMC 设计程序	(219)
10.3 高速 PCB 一体化设计流程	(224)
10.4 电磁兼容设计中的可靠性	(228)
10.5 利用虚拟系统原型加速 PCB 设计	(230)
10.6 CAD/CAM 数据转换的新趋势	(232)
10.6.1 电子 CAD/CAM 数据交换 (ECCE)	(233)

10.6.2 EDIF 4.0.0 扩展应用 (233)

10.6.3 ICP-2510 系列标准 (235)

10.6.4 其他类型数据格式的发展 (236)

10.7 PCB 生产过程控制 (Process Control) (238)

10.8 提高设计自动化程度的方法 (242)

10.9 现代集成制造系统 (CIMS) (245)

10.10 PCB 装配工业的发展 (249)

10.11 PCB 布局布线技术的发展 (249)

附录 A 名词缩略词 (252)

附录 B 我国现行的电磁兼容标准 (256)

附录 C 相关网站 (257)

参考文献 (259)

第 1 章 概 述

1.1 印刷电路板概述

1.1.1 印刷电路板发展过程

PCB (Printed Circuit Board) 中文名称为印刷电路板, 又称印制板, 是电子产品的重要部件之一。几乎每种电子设备, 小到电子手表、计算器, 大到计算机、通信电子设备、军用武器系统, 只要存在电子元器件, 它们之间的电气互连就要使用印制板。在大型电子产品的研制过程中, 影响电子产品成功的最基本因素之一是该产品的印制板的设计和制造。印制板的设计和制造质量直接影响到整个电子产品的质量和成本, 甚至影响电子产品在市场竞争中的竞争力。

在电子技术发展早期, 元件都是用导线连接的, 而元件的固定是在空间中立体进行的。电路由电源、导线、开关和元器件构成, 就像实验室里电工实验电路那样。

随着电子技术的发展, 电子产品的功能、结构变得很复杂, 元件布局、互连布线都不能像以往那样随便, 否则检查起来就会眼花缭乱。因此, 人们对元件和线路进行了规划。用一块板子为基础, 在板上分配元件的布局, 确定元件的接点, 使用铆钉、接线柱做接点, 用导线把接点依电路要求, 在板的一面布线, 另一面装元件。这就是最原始的电路板。这种类型的电路板在真空电子管时代非常盛行。线路的接法有直线连接(接点到接点的连线拉直)和曲线连接。后来, 大多数人采用曲线连接, 尽量减少使用直线连接。线路都在同一个平面分布, 没有太多的遮盖点, 检查起来容易。这时电路板已初步形成了“层”的概念。

单面敷铜板的发明, 成为电路板设计与制作新时代的标志。布线设计和制作技术都已发展成熟。先在敷铜板上用模板印刷防腐蚀膜图, 然后再腐蚀刻线, 这种技术就像在纸上印刷那么简便, “印刷电路板”因此得名, 英文为 Print Circuit Board, 简称 PCB。印刷电路板的应用大幅度降低了生产成本, 从晶体管时代到现在, 这种单面印刷电路板一直得到广泛的应用。随着技术进步, 人们又发明了双面板, 即在板子两面都敷铜, 两面都可腐蚀刻线。

由于电路的复杂性, 有时也用到“飞线”。但电路的布线不是把元件按电路原理简单连接起来就可, 电路工作时电磁感应、电阻效应、电容效应等都会影响电路的性能, 甚至会引起严重的质量问题, 如自激、信号不完整传输、电磁干扰等问题。飞线的方法只能解决少量的信号交错问题, 数量太多是不可取的。而且, 硬要把所有线路都排在有限的两个面上, 又要降低电磁感应、电阻效应、电容效应, 使得布线设计的任务十分艰巨。线太细太密, 不但加工困难、干扰大, 而且容易烧断和发生断路故障。若保证了线宽和线间距, 电路板的面积就可能太大, 不利于精密设备的小型化。这些问题的出现促使了印刷电路板设计和制作工艺的发展。

随着电子产品生产技术的发展,人们开始在双面电路板的基础上发展夹层,其实就是在双面板的基础上叠加上一块单面板,这就是多层电路板。起初,夹层多用做大面积的地线、电源线的布线,表层都用于信号布线。后来,要求夹层用于信号布线的情况越来越多,这使电路板的层数也要增加。但夹层不能无限增加,主要原因是成本和厚度问题。一般的生产厂都希望以尽可能低的成本获取尽可能高的性能,这与实验室里做的原形机设计不同。因此,电子产品设计者要考虑到性价比这个矛盾的综合体,而最实际的设计方法仍然是以表层做信号布线层为首选。高频电路的元件也不能排得太密,否则元件本身的辐射会直接对其他元件产生干扰。层与层之间的布线应错开成十字走向,以减少布线电容和电感。

1.1.2 印刷电路板的分类

印刷电路板根据制作材料可分为刚性印制板和挠性印制板。酚醛纸质层压板、环氧纸质层压板、聚酯玻璃毡层压板、环氧玻璃布层压板这些都属于刚性印制板;聚酯薄膜、聚酰亚胺薄膜、氟化乙丙烯(FEP)薄膜属于挠性印制板。

挠性印制板又称软性印刷电路板即 FPC,软性电路板是以聚酰亚胺或聚脂薄膜为基材制成的一种具有高可靠性和较高曲挠性的印刷电路板。此种电路板散热性好,既可弯曲、折叠、卷绕,又可在三维空间随意移动和伸缩。可利用 FPC 缩小体积,实现轻量化、小型化、薄型化,从而实现元件装置和导线连接一体化。FPC 广泛应用于电脑、通信、航天及家电等行业。

1.1.3 印刷电路板的制作工艺流程

要想设计出合乎要求的印制板图,电子产品设计人员需要深入了解现代印刷电路板的一般工艺流程。

① 单面印板的工艺流程:下料—丝网漏印—腐蚀—去除印料—孔加工—印标记—涂助焊剂—成品。

② 多层印板的工艺流程:内层材料处理—定位孔加工—表面清洁处理—制内层走线及图形—腐蚀—层压前处理—外内层材料层压—孔加工—孔金属化—制外层图形—镀耐腐蚀可焊金属—去除感光胶—腐蚀—插头镀金—外形加工—热熔—涂助焊剂—成品。

双面板的工艺复杂情况介于两者之间,此处不赘述。

1.1.4 印刷电路板的功能

印制电路在电子设备中具有如下功能:提供集成电路等各种电子元器件固定、装配的机械支撑;实现集成电路等各种电子元器件之间的布线和电气连接或电绝缘;提供所要求的电气特性,如特性阻抗等。为自动焊锡提供阻焊图形,为元件插装、检查、维修提供识别字符和图形。

有关印制板的一些基本术语如下:在绝缘基材上,按预定设计,制成印刷线路、印制

元件或由两者结合而成的导电图形，称为印刷电路。在绝缘基材上，提供元器件之间电气连接的导电图形，称为印制线路，它不包括印制元件。印制电路或者印制线路的成品板称为印制电路板或者印制线路板，亦称印制板。有关印制电路板的名词术语和定义，详见国家标准 GB/T2036—94 “印制电路术语”。

电子设备采用印制板后，由于同类印制板的一致性，避免了人工接线的差错，并可实现电子元器件自动插装或贴装、自动焊锡、自动检测，保证了电子产品质量，提高了劳动生产率、降低了成本，且便于维修。

1.1.5 印刷电路板的发展趋势

印制板从单层板发展到双面板、多层板和挠性板，并不断地向高精度、高密度和高可靠性方向发展。不断缩小体积、减少成本、提高性能，使得印制板在未来电子产品的发展过程中，仍然保持强大的生命力。

对于双面板和多层板而言，印制板技术水平的标志是把大批量生产的印制板在 2.50mm 或 2.54 mm 标准网格交点上的两个焊盘之间，能布设导线的根数作为标志。在两个焊盘之间布设一根导线，为低密度印制板，其导线宽度大于 0.3 mm。在两个焊盘之间布设两根导线，为中密度印制板，其导线宽度约为 0.2 mm。在两个焊盘之间布设三根导线，为高密度印制板，其导线宽度为 0.1~0.15 mm。在两个焊盘之间布设四根导线，可算超高密度印制板，线宽为 0.05~0.08mm。国外曾有杂志介绍了在两个焊盘之间可布设五根导线的印制板。对于多层板来说，还应以孔径大小、层数多少作为综合衡量标志。

国内外专家对未来印制板生产制造技术发展趋势的论述基本是一致的，在性能上向高密度、高精度、细孔径、细导线、小间距、高可靠、多层化、高速传输、轻量、薄型方向发展。在生产工艺上向提高生产率、降低成本、减少污染、适应多品种、小批量生产方向发展。印制电路的技术发展水平，一般以印制板上的线宽、孔径、板厚/孔径比值为代表，过去几年其发展历程和水平如表 1.1 所示。

表 1.1 印制电路的技术发展水平

项 目 \ 年 度	1970	1975	1980	1985	1990	1998
孔径/mm	1.0	0.8	0.6	0.4	0.3	0.15
线宽/mm	0.25	0.17	0.13	0.10	0.08	0.05
板厚/孔径	1.5	2.5	5	10	20	40
孔密度（每平方厘米的孔数）	4	7.5	15	25	40	55

1.2 印刷电路板基础

电子设计人员的电路设计思想最终要落实到实体，即做成 PCB 板。PCB 板的基材及选用，组成电路各要素的物理特性，如过孔、槽、导线尺寸、焊盘、表面涂层等，是设计人员设计时要考虑的要素，这是设计出高质量的 PCB 板的基础。

1.2.1 印制板用基材

一、刚性印制板用覆铜箔基材

1. 酚醛纸质层压板

酚醛纸质层压板可以分为不同等级。大多数等级能够在高达 $70^{\circ}\text{C}\sim 105^{\circ}\text{C}$ 温度下使用，长期在高于这种范围温度下工作可能会导致一些性能的降低（但这仍取决于材料的等级和厚度），而且过热会引起炭化，在受影响的区域内，绝缘电阻可能会降至很低值。这样的热源是发热元件，在正常温度范围内，基材可能会发生严重的变黑现象（阳光也能使基材变黑，但不会引起材料性能的改变）。在高湿度环境下放置会使基材的绝缘电阻大幅度减小，而当湿度降低时，绝缘电阻又会增加。

2. 环氧纸质层压板

与酚醛纸质层压板相比，环氧纸质层压板在电气性能和非电气性能方面都有较大的提高，包括较好的机械加工性能和机械性能。根据材料的厚度，它的使用温度可达 $90^{\circ}\text{C}\sim 110^{\circ}\text{C}$ 。

3. 聚酯玻璃毡层压板

聚酯玻璃毡层压板的机械性能低于玻璃布基材料，但高于纸基材料。然而它具有很好的抗冲击性，并有好的电气性能，能够在很宽的频率范围内应用，即使在高湿度环境下，也能保持好的绝缘性能。它的使用温度可达到 $100^{\circ}\text{C}\sim 105^{\circ}\text{C}$ 。

4. 环氧玻璃布层压板

环氧玻璃布层压板的机械性能高于纸基材料，特别是弯曲强度，耐冲击性，X,Y,Z 轴的尺寸稳定性，翘曲度和耐焊接热冲击都比纸基材料好。这种材料的电气性能也很好，使用温度可达 130°C ，而且受恶劣环境（湿度）影响小。

二、挠性印制板用覆铜箔基材

1. 聚酯薄膜

聚酯薄膜最常用的特性是可挠性，它的特点是加热时能够形成可收缩式线圈。假如使用合适的黏合剂，这种材料可以在 $80^{\circ}\text{C}\sim 130^{\circ}\text{C}$ 范围内使用。焊接时应特别注意，这种材料在焊接温度下容易产生软化和变形。它具有优良的电气性能，当被暴露在高湿度环境下时，依然能保持其良好的电气性能。其主要特性如下：

- 抗剥强度： $1\times 10^2\text{kg/m}$ ；
- 耐绕曲性和耐化学性符合 IPC 标准；
- 表面电阻不小于 $1.0\times 10^{11}\Omega$ ；
- 薄膜厚度： $0.025\sim 0.125\text{mm}$ ；
- 铜箔厚度：电解铜、压延铜可为 0.018mm 、 0.035mm 、 0.070mm 、 0.10mm 。

2. 聚酰亚胺薄膜

聚酰亚胺薄膜具有良好的可挠性，而且能够通过预热处理去除所吸收的潮气，保证安全焊接。一般黏结型聚酰亚胺薄膜能够在高达 150°C 温度下连续工作，用氟化乙丙烯（FEP）作为中间胶膜的特殊熔接型聚酰亚胺薄膜并在 250°C 下使用，作为特殊用途的没有黏合

剂的聚酰亚胺薄膜能够在更高的温度下使用。聚酰亚胺薄具有优良的电气性能，但可能会吸收潮气而影响性能。其主要特性如下：

- 280℃耐焊接时间大于 10 s；
- 抗剥强度大于 $1.2 \times 10^2 \text{ kg/m}$ ；
- 表面电阻不小于 $1.0 \times 10^{11} \Omega$ ；
- 耐挠曲性和耐化学性符合 IPC 标准。
- 薄膜厚度：0.025~0.1 mm；
- 铜箔厚度：电解铜、压延铜可为 0.018 mm、0.035 mm、0.070 mm、0.10 mm。

3. 氟化乙丙烯（FEP）薄膜

FEP 薄膜通常和聚酰亚胺或玻璃布结合在一起制成层压板，在不超过 250℃的焊接温度下，具有良好的可挠性和稳定性。它也可以作为非支撑材料使用。氟化乙丙烯薄膜是热塑性材料，其熔化温度为 290℃左右。它具有优良的耐潮性、耐酸性、耐碱性和耐有机溶剂性。它主要的缺点是层压时在层压温度下导电图形易发生移动。

多层印制板是由两层以上的导电图形和绝缘材料交错组成的，且它是由单块薄的印制板（单面板或双面板）与绝缘黏结片黏结在一起。这些黏结片是由片材组成的，如浸渍半固化树脂的玻璃布，经多层印制板层压后固化，直到最终成型。

覆铜箔环氧玻璃布，作为单块薄印制板用的覆铜箔基材，与单面和双面印制板用的基材基本相同，通常比单面和双面印制板使用的材料薄，而且它的厚度是标准化的，而不是固定的。它还具有与上述材料相同的基本性能。

浸渍环氧树脂的玻璃布黏结片，在多层印制板生产层工艺中，层压固化是在最终阶段。所以只有在层压后，才表现出它的最终性能。然而值得注意的是，生产工艺和多层印制板的设计可能会对材料的性能产生相当大的影响。

除了上面已经提到的材料，市场上还有一些特殊材料和新材料，它们还没有被标准化。如硅树脂玻璃布，它的使用温度高达 180℃。

表 1.2 列出了常用印制板用基材及其性能。

表 1.2 常用印制板用基材

性 能	刚性印制板				挠性印制板		
	酚醛纸质 层压板	环氧纸质 层压板	聚酯玻璃毡 层压板	环氧玻璃布 层压板	聚酯 薄膜	聚酰亚胺 薄膜	氟化乙丙烯 (FEP) 薄膜
机械性能	0	0/+	+	++	NA	NA	NA
电性能	0/+	0	+++	++	++	++	?
耐高温性能	+	0/+	+	++	+++	+++	?
耐潮湿性能	0	0	+	+	+	+	++
耐焊接性能	+	+	+	++	0/+	0/+	0
注：“？”表示目前尚无填写此栏的充分数据； “+”表示在某种条件下可能会引起问题； “0”表示中等，在大多数应用中通常不会发生问题； “NA”表示不实用。							

三、刚挠结合印制板

如果同一块印制板中既包括挠性部分又包括刚性部分，即刚性印制板使用的材料，挠性印制板使用的材料和多层印制板使用的材料可以结合在同一个结构中，那么其某些性能可能会因为所使用的黏合剂的不同而发生显著改变。

刚挠结合印制板一般有以下 5 种类型：

- 1 型板：有增强层的挠性单面板；
- 2 型板：增强层的挠性双面板，有过孔；
- 3 型板：有增强层的挠性双面板，有过孔；
- 4 型板：刚挠结合多层板，有过孔；
- 5 型板：组合刚挠印制板，刚性印制板与挠性印制黏层数多于 1 层。

1.2.2 过孔

板厚和孔径比最好应不大于 3:1，大的比值会使生产困难，成本增加。当过孔只用做贯穿连接或内层连接时，孔径公差，特别是最小孔径公差一般是不重要的，所以不用规定。由于导通孔内不插元件，所以它的孔径可以比元件孔的孔径小。

当过孔作为元件孔时，过孔的最小孔径要适应元件或组装件的引脚尺寸。设计者要采用给出的标称孔径和最小孔径作为过孔的推荐值。过孔的最大孔径取决于镀层厚度和孔径的公差。规定孔的最小镀层厚度一般允许偏差（孔到孔）10 %。推荐孔壁镀铜层的平均厚度不小于 25 μm (0.001 in)，其最小厚度为 15 μm (0.0006 in)。

1.2.3 导线尺寸

1. 导线宽度

对于专门的设计或导电图形的布局，通常导线宽度应尽可能选择宽一些，至少要宽到足以承受所期望的电流负荷。

印制板上可得到的导线宽度的精度取决于生产因素，例如生产底板的精度、生产工艺（印制法、加成或减成工艺的使用、镀覆法、蚀刻质量）和导线厚度的均匀性等。规定的导线宽度，既包括设计宽度和允许的偏差，也包括所规定的最小线宽。缺口、针孔或边缘缺陷所造成的偏差，虽然不包括在这些偏差里，但也会出现。当这些缺陷引起的导线宽度减小不超过有关规范的一定值时，通常可以接受，这个值一般为 20% 或 35%。如果所要求的载流量很高，这些缺陷就必须考虑进去。

2. 导线间距

相邻导线之间的间距必须足够宽，以满足电气安全的要求，而且为了便于操作和生产，间距应尽量宽些。选择的最小间距应适合所施加的电压。这个电压包括正常工作电压、附加的波动电压、过电压和在正常操作或发生故障时重复或偶尔产生的过电电压或峰值电压。所以导线间距应符合所要采用的或规定的安全要求。

如果有关规范允许导线之间存在金属颗粒，则可能会减少有效的导线间距。在考虑电

压问题时，任何由于导线之间存在金属颗粒而导致间距的减少都应予以考虑。

如果导线间距超过某一值时，如 0.5 mm ($0.2\text{ in}^{①}$)，将有利操作和生产。例如偏差和缺陷的影响较小，就会减小焊接桥接的危险。注意：这个值不是一个限制，通常不能给出一个实际限制值，因为这个值的确定在很大程度上取决于所使用的工艺和生产设备。

在某些情况下，只规定最低限制就很容易满足实际要求。如果规定了导线宽度的最低限制，还要规定导线间距的最低限制。

如导线间的金属颗粒缺陷存在，应增大规定的最小导线间距。所设计的内层导线或焊盘应距离板子边缘 2 mm 以上。

1.2.4 焊盘尺寸（外层）

所有元件孔通过焊盘实现电气连接。为了便于维修，应确保与基板之间的牢固黏结，孔周围的焊盘应该尽可能大，并符合焊接要求。通常非过孔比过孔所要求的焊盘大。在有过孔的双面印制板上，每个导线端子的过孔应具有双面焊盘。当导通孔位于导线上时，在整体焊接过程中导通孔被焊料填充，因此不需要焊盘。设计工程师有责任既要确保孔周围的导线符合设计电流的要求，又要保证符合与生产有关的位置公差的要求。当过孔位于导线上而无焊盘时，应向印制板生产方提供识别孔中心的方法。

为了便于进行整体焊接操作，应避免大面积的铜箔存在。双面印制板的焊盘尺寸应遵循下面最小尺寸原则：

- 非过孔最小焊盘尺寸： $D-d = 1.0\text{ mm}$ ；
- 过孔最小焊盘尺寸： $D-d = 0.5\text{ mm}$ 。

焊盘元件面和焊接面的比值 D/d 应优先选择以下数值：

- 酚醛纸质印制板非过孔： $D/d = 2.5 \sim 3.0\text{ mm}$ ；
- 环氧玻璃布印制板非过孔： $D/d = 2.5 \sim 3.0\text{ mm}$ ；
- 过孔： $D/d = 1.5 \sim 2.0\text{ mm}$ 。

其中， D 为焊盘直径， d 为孔直径。

元件面和焊接面焊盘最好对称式放置（相对于孔），但非对称式焊盘（或一面焊盘大于另一面）也可接受。

1.2.5 金属镀（涂）覆层

金属镀（涂）覆层用以保护金属（铜）表面，保证其可焊性，还可以在一些加工过程中作为蚀刻液的抗蚀层（如在过孔的加工过程中）。金属镀（涂）覆层还可以作为连接器与印制板的接触面，或表面安装器件与印制板的接合层。

应根据印制板的用途选择一种适合导电图形使用的镀覆层。表面镀覆层的类型直接影响生产工艺、生产成本和印制板的性能，例如寿命、可焊性、接触性。

以下所列出的是广泛采用的表面镀覆层的材料：

① $1\text{ in}=2.54\text{ cm}$

① 铜（无附加镀层）：所有无镀覆层的印制板都使用铜。铜通常用做暂时性的保护涂层。

② 锡：用于保护可焊性。厚度通常为 $5\sim 15\ \mu\text{m}$ 。

③ 锡铅（电镀层或焊料）：用于保护可焊性。其厚度取决于所使用的工艺。当用电镀工艺时，锡铅的厚度通常在 $5\sim 25\ \mu\text{m}$ 。经过热熔的电镀锡铅和由焊料槽或热滚涂覆的锡铅的局部地方厚度可能会小于 $1\ \mu\text{m}$ 。这些区域主要位于焊盘和孔壁之间的过渡区。过渡区的可焊性会低于其他区。

锡铅焊料中含锡 63%，剩下部分为锡铅共熔混合物，具有最低的熔点。实际上可接受的锡含量为 55%~75%，剩下部分为铅。锡铅的可焊性随着储存时间的延长而降低。

多余的电镀锡铅和焊料可以通过喷射风或热油去除。

然而值得注意的是，印制板的尺寸特性（如翘曲度）可能会由于板子被置于热源（如熔融焊料）中受到影响。

④ 金：金一般在阻挡层（如镍）上，通常用于开关和印制插头接触。作为接触表面的金所必须考虑的特性是：厚度、硬度、耐磨性、接触性能等，这些取决于许多因素。

有时非接触导电图形上也需要镀金。当这些图形用于焊接时要特别注意，因为金和锡铅会发生合金化，所以焊点和焊料槽可能会产生严重问题。

⑤ 其他镀覆层：例如镍上镀钯、镀铑和锡镍上镀金也用做印制接触片。

1.2.6 印制接触片

在使用印制接触片时，应注意选用一种镀层，使其与匹配的对触点上的镀层相适应。由于合适的镀层的选择与下面一些因素有关，但没有一般规律可循。印制金属片的接触表面应平滑，而且没有能够引起电气性能和机械性能等下降的缺陷。设计接触片应考虑以下因素：

- 与之相对应的镀层类型；
- 与之相对应的触点设计（形状，接触压力等）；
- 耐久性，所期望的使用次数；
- 电气性能要求（如接触电阻）；
- 机械加工性能要求（如插/拔力）；
- 使用的环境条件。

1.2.7 非金属涂覆层

1. 非金属涂覆层

非金属涂覆材料用来保护印制板。另外阻焊剂用来防止非焊接区导体的焊料润湿。

当涂覆过的组装件暴露在高湿度条件下时，不正确的清洗可能导致附着力降低。由于附着力的降低，涂覆层与基体的界面下开始出现分离点或碎屑，并且剥落（“侵蚀”）。

在使用任何涂覆层之前，最重要的是正确清洗印制板。如果印制板带有有机或无机污染，其绝缘电阻不能通过涂覆层得到提高。