




电子CAD

主 编 陈 越
副主编 陈 果 张 超 陈增标



天津出版传媒集团

 天津科学技术出版社

电子 CAD

主 编 陈 越

副主编 陈 果 张 超 陈增标

天津出版传媒集团

 天津科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据


电子CAD / 陈越主编. —天津: 天津科学技术出版社, 2018. 8
ISBN 978-7-5576-5522-8

I. ①电… II. ①陈… III. ①印刷电路—计算机辅助设计—AutoCAD软件—高等职业教育—教材 IV. ①TN410.2

中国版本图书馆CIP数据核字 (2018) 第160764号

责任编辑: 李荔薇

责任印制: 王莹

天津出版传媒集团
天津科学技术出版社 出版

出版人: 蔡颢

天津市西康路35号 邮编 300051

电话 (022) 23332397

网址: www.tjkjcs.com.cn

新华书店经销

天津午阳印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 10.875 字数 260 000

2018年8月第1版第1次印刷

定价: 39.00元

前 言

本书是根据《高等职业学校专业教学标准》编写的，用于电子信息类专业《电子 CAD》课程的教学。

随着现代电子工业的迅速发展，尤其是大规模、超大规模集成电路的广泛应用，印制板电路日趋复杂，传统手工制板已经不能满足复杂印制板电路设计，因此，熟练应用 CAD 工具已成为电路设计人员的基本要求。本教材紧紧围绕职业教育的特点，注重“做中学、做中教”，重视理论实践一体化教学，采用项目驱动、任务引领、实践导向的职业教育课程构建模式。

本教材主要特点体现于实践功能、任务功能和计算机辅助设计绘图员考证功能。实践功能要求学生要通过实际操作来理解与掌握相关知识和技能；任务功能要求教师以“布置任务”、“分析任务”和“完成任务”的方式让学生主动掌握新知识，同时培养发现问题、分析问题和解决问题的能力；考证功能则要求在适当控制学习难度的同时，满足计算机辅助设计（电子类）绘图员考证要求。

本书由中山职业技术学院陈越、陈果、张超、陈增标老师合作编写。

本书可以作为高职高专、中专学校、技工学校、职业培训学校的电子类专业的电子 CAD 课程教材，也可作为电子设计爱好者的参考用书。

由于编者的水平有限，教材中的错误在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

2017 年 3 月

目 录

第 1 章 电子 CAD 设计基础	1
1.1 认识 PCB	1
1.2 PCB 的功能	1
1.3 PCB 的分类	2
1.4 PCB 的特点	3
1.5 PCB 的设计	3
1.6 多种不同工艺的 PCB 流程介绍	7
1.7 PCB 设计流程	8
1.8 PCB 的计算机辅助设计	10
1.9 本章小结	11
第 2 章 电子 CAD 设计基础	12
2.1 Protel 的发展	12
2.2 Protel DXP 的新特点	12
2.3 Protel DXP 的安装	13
2.4 转为汉化菜单	19
2.5 常规电路设计流程	21
2.6 本章小结	22
第 3 章 创建一个新项目	23
3.1 创建一个新的 PCB 项目	23
第 4 章 简易波形发生器电路原理图绘制	25
4.1 能力培养	25
4.2 任务分析	25
4.3 原理图设计基础	26
4.4 如何设置作业环境	29
4.5 如何放置元件	32
4.6 如何放置导线	38
4.7 如何改变视窗操作	39
4.8 如何编辑对象	41
4.9 绘制简易波形发生器电路原理图	44
4.10 本章小结	46
第 5 章 制作双运算放大器原理图元件——原理图元件库制作	48
5.1 能力培养	49
5.2 任务分析	49
5.3 Protel DXP 2004 SP4 的原理图库设计界面介绍	49

5.4 Protel DXP 2004 SP2 的原理图库设计工具介绍	50
5.5 原理图元件库设计步骤	52
5.6 原理图元件库制作实例	52
5.7 库元件管理	57
5.8 本章小结	58
第 6 章 数码管显示电路原理图制作——原理图设计进阶	60
6.1 能力培养	60
6.2 任务分析	61
6.3 如何放置网络标号	61
6.4 如何放置总线与分支线	63
6.5 如何放置输入/输出端口	66
6.6 如何使用绘图工具	68
6.7 如何查找错误	81
6.8 绘制模数转换电路原理图	84
6.9 本章小结	88
第 7 章 层次原理图设计——绘制调制放大器电路原理图	89
7.1 能力培养	89
7.2 任务分析	90
7.3 层次原理图简介	90
7.4 自上而下绘制调制放大器电路层次原理图	90
7.5 自下而上绘制层次原理图	97
7.6 本章小结	99
第 8 章 制作直流固态继电器 PCB 板——PCB 设计基础	103
8.1 能力培养	103
8.2 任务分析	104
8.3 PCB 板设计基础	104
8.4 如何设置 PCB 板图纸	120
8.5 如何装载元件库和导入网络表	121
8.6 PCB 板如何布局	124
8.7 如何编辑元件	126
8.8 如何自动布线	126
8.9 制作直流稳压电源 PCB 板	131
8.10 本章小结	135
第 9 章 绘制四通道驱动电路 PCB 板——PCB 设计进阶	137
9.1 能力培养	137
9.2 任务分析	137
9.3 制作四通道驱动电路 PCB 板	138
9.4 如何手动布线	142
9.5 添加安装孔	147

9.6 敷铜和补泪滴.....	149
9.7 本章小结.....	152
第 10 章 信号继电器封装的制作——PCB 封装库的制作.....	154
10.1 能力培养.....	154
10.2 任务分析.....	154
10.3 如何创建 PCB 元件库.....	155
10.4 如何使用 PCB 元件库编辑器.....	157
10.5 制作信号继电器的元件封装.....	159
10.6 本章小结.....	163
参考文献.....	166

第1章 电子CAD设计基础

教学目的

了解：①PCB 印制板的名称由来、特点、功能及其分类；②PCB 制作的几种工艺，大致掌握 PCB 的设计流程；③目前流行的 PCB 制作计算机辅助设计软件。

掌握：PCB 的排版设计步骤，着重掌握排版布局的原则与技巧。

1.1 认识 PCB

PCB (printed circuit board) 即印制线路板，又称印刷线路板，是重要的电子部件，是电子元器件的支撑体，是电子元器件电气连接的载体。由于它是采用电子印刷术制作的，故被称为“印刷”电路板。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，只要有集成电路等电子元件，为了使各个元件之间的电气互连，都要使用印制板。印制线路板由绝缘底板、连接导线和装配焊接电子元件的焊盘组成，具有导电路径和绝缘底板的双重作用。它可以代替复杂的布线，实现电路中各元件之间的电气连接，不仅简化了电子产品的装配、焊接工作，减少传统方式下的接线工作量，大大减轻工人的劳动强度；而且缩小了整机体积，降低产品成本，提高电子设备的质量和可靠性。印制线路板具有良好的产品一致性，它可以采用标准化设计，有利于在生产过程中实现机械化和自动化。同时，整块经过装配调试的印制线路板可以作为一个独立的备件，便于整机产品的互换与维修。目前，印制线路板已经极其广泛地应用在电子产品的生产制造中。

印制线路板最早使用的是纸基覆铜印制板。自半导体晶体管于 20 世纪 50 年代出现以来，对印制板的需求量急剧上升。特别是集成电路的迅速发展及广泛应用，使电子设备的体积越来越小，电路布线密度和难度越来越大，这就要求印制板要不断更新。目前印制板的品种已从单面板发展到双面板、多层板和挠性板；结构和质量也已发展到超高密度、微型化和高可靠性程度；新的设计方法、设计用品和制板材料、制板工艺不断涌现。近年来，各种计算机辅助设计 (CAD) 印制线路板的应用软件已经在行业内普及与推广，在专门化的印制板生产厂家中，机械化、自动化生产已经完全取代了手工操作。

1.2 PCB 的功能

- 提供集成电路等各种电子元件固定、装配的机械支撑。
- 实现集成电路等各种电子元件之间的布线和电气连接或电绝缘。
- 提供电路所要求的电气特性，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。

1.3 PCB 的分类

PCB 即制板可以按照用途、基材类型、结构等来分类，一般采用 PCB 结构来划分，大体上可以分为：

- 单面板（非金属化孔）。
- 双面板（金属化孔，银、碳浆贯孔）。
- 常规多层板（四层板、六层板、多层板）。
- 刚性印制板（埋/盲孔多层板、积层多层板）。
- 平面板。
- 单面板。
- 挠性印制板（双面板、多层板）。
- 刚一挠性印制板（用于高频、微波）。
- 特种印制板（金属芯印制板、特厚铜层印制板、陶瓷印制板）。
- 集成元件印制板（埋入无源元件、埋入有源元件、埋入复合元件）。

1.3.1 单面板

在最基本的 PCB 上，零件集中在其中一面，导线则集中在另一面上，因为导线只出现在其中一面，所以我们就称这种 PCB 叫作单面板（single-sided boards）。由于单面板在设计线路上有许多严格的限制（因为只有一面，布线间不能交叉而必须绕行独自的路径），所以只有早期的电路才使用这类板子。

1.3.2 双面板

双面电路板（double-sided boards）的两面都有布线。不过要用上两面的导线，必须要在两面间有适当的电路连接才行。这种电路间的“桥梁”叫作导孔（via），它可以与两面的导线相连接。因为双面板的面积比单面板大了一倍，而且因为布线可以互相交错（能绕到另一面），它更适合在比单面板更复杂的电路上应用。

1.3.3 多层板

为了增加可以布线的面积，多层板（multi-layer boards）采用了更多的单或双面的布线结构。一些多层板使用了数片双面板，并在每层板间放进一层绝缘层后粘牢压合。板子的层数就代表了有几层独立的布线层；通常的层数都是偶数，并且包含最外侧的两层。大部分的电脑主机板都是 4~8 层的结构，不过现在技术上已经可以做出近 100 层的 PCB。大型的超级计算机大多使用相当多层的主机板，不过由于这类计算机已经可以用许多普通计算机的集群代替，因此超多层板已经渐渐不被使用了。PCB 中的各层结合紧密，一般不太容易看出层的实际数目，但如果你仔细观察主机板，也可以看出来的：

导孔（via）如果应用在双面板上，那么一定都是要打穿整个板子的。但在多层板当中，如果你只想连接其中一些线路，那么导孔可能会浪费其他一些层的线路空间。埋孔（buried vias）和盲孔（blind vias）技术可以避免这个问题，因为它们只穿透其中几层。埋孔是只连接内部的 PCB，所以光是从表面是看不出来的。二盲孔则是将几层内部 PCB 与表面 PCB 连接，不需穿透整个板子。

在多层板 PCB 中，整层都直接连接上地线与电源：所以我们将各层分类为信号层（signal）、电源层（power）或是地线层（ground）。如果 PCB 上的零件需要不同的电源

供应，通常这类 PCB 会有两层以上的电源与电线层。

1.4 PCB 的特点

PCB 之所以能受到越来越广泛的应用，是因为它有很多独特的优点，大致如下：

1.4.1 可高密度化

多年来，印制板的高密度一直能够随着集成电路集成度的提高和安装技术的进步而相应发展。

1.4.2 高可靠性

通过一系列检查、测试和老化试验等技术手段，可以保证 PCB 长期（使用期一般为 20 年）而可靠地工作。

1.4.3 可设计性

对 PCB 的各种性能（电气、物理、化学、机械等）的要求，可以通过设计标准化、规范化等来实现。这样设计时间短、效率高。

1.4.4 可生产性

PCB 采用现代化管理，可实现标准化、规模（量）化、自动化生产，从而保证产品质量的一致性。

1.4.5 可测试性

建立了比较完整的测试方法、测试标准，可以通过各种测试设备与仪器等来检测并鉴定 PCB 产品的合格性和使用寿命。

1.4.6 可组装性

PCB 产品既便于各种元件进行标准化组装，又可以进行自动化、规模化的批量生产。另外，将 PCB 与其他各种元件进行整体组装，还可形成更大的部件、系统，直至整机。

1.4.7 可维护性

由于 PCB 产品与各种元件整体组装的部件是以标准化设计与规模化生产的，因而，这些部件也是标准化的。所以，一旦系统发生故障，可以快速、方便、灵活地进行更换，迅速恢复系统的工作。

PCB 还有其他的一些优点，如使系统小型化、轻量化，信号传输高速化等。

1.5 PCB 的设计

PCB 是实现电子整机产品功能的主要部件之一，其设计是整机工艺设计中重要的一环。所谓 PCB 设计，就是根据设计人员的意图，将电路原理图转换成印制板图，并选择材料和确定加工技术要求的过程。它包括选择印制板的材质、确定整机结构；考虑电气连接、机械、元件的安装方式、位置和尺寸；决定印制导线的宽度、间距和焊盘的直径、孔径；设计印制插头或连接接口的结构；根据电路要求设计布线文件；准备印制板生产所需要的全部资料和数据。

印制线路板的设计通常有两种方式：一种是人工设计，一种是计算机辅助设计。无论采取哪种方式，都必须符合原理图的电气连接和产品电气性能、机械性能的要求，要考虑印制板加工工艺和电子产品装配工艺的基本要求。印制线路板的设计标准，应该参照国家技术监督局颁发的 GB/T 4677-2002《印制板测试方法》、GB/T 16261-2017《印制

板总规范》、GB/T 5489-1985《印制板制图》等国家标准执行。

PCB 的设计质量，不仅关系到电路在装配、焊接、调试过程中的操作是否便捷，而且直接影响整机的技术指标、使用与维修的方便性。成功的 PCB 设计，不仅应该做到保证各元件之间的连接准确无误，工作中无自身干扰，而且还要尽量做到使元件布局合理、安装便捷、焊接可靠、整齐美观、维修方便。

一般来说，印制线路板的布局排版没有统一的固定模式，不像电路原理设计那样需要严谨的理论和精确的计算。对于同一张原理图，每个设计者都可以按照自己风格和修改进行工作。由于思路不同、习惯不一、技巧各异，所以有多少人去设计排版，就可能会出现多少种方案，结果具有很大的灵活性和离散性。但是，这并不是说印制线路板的设计可以随心所欲、草率从事。经过比较可以发现，尽管有众多的方案可以达到同样的电气指标，然而总能够从中选出更美观、更可靠、更容易装配的最佳设计。例如，对印制线路板的设计质量进行评价，通常会考虑到以下几个因素：

- 线路的设计是否给整机带来干扰。
- 电路的装配与维修是否方便。
- 性能价格比是否最佳。
- 电路板的对外引线是否可靠。
- 排列是否均匀、整齐。
- 板面布局是否合理、美观。

显然，不同的设计方案可能给整机带来不同的技术效果。这说明，即使没有固定的方案模式，也存在着一般的规范和原则。通过下文的介绍，电子工程技术设计员可以了解并掌握这些基本规范和设计原则。

1.5.1 设计 PCB 前的准备工作

在开始设计印制电路板之前，有很多准备工作要做。主要做好以下几项准备工作：

- 进行电路方案试验，这是研制电子产品时设计 PCB 的前提之一。
- 对电路试验的结果进行分析。
- 确定整机的机械结构。
- 确定整机的使用性能。

1.5.2 确定 PCB 的目标

印制电路板通常要委托专业厂家进行生产加工，所以制版时间对产品的研制周期会产生很大的影响。不同的制版要求，决定了加工的复杂程度和费用，也影响到整机的成本。要根据产品的性质，即产品处于预研性试制、设计性试制、生产性试制或批量性生产中的哪个阶段，并对产品未来的市场前景进行预测，由此来决定印制电路板的设计目标。

对于印制电路板的设计目标，通常要从准确性、可靠性、工艺性和经济性这 4 个方面进行考虑。

1.准确性

元件和印制导线的连接关系必须符合印制板的电气原理。

2.可靠性

印制电路板的可靠性是影响电子整机产品可靠性的一个重要因素。影响印制板可靠

性的因素很多，其中有基板材料方面的，也有制板加工方面和装配连接工艺方面的。

3. 工艺性

分析整机结构及机内的体积空间，确定印制电路板的面积、形状相尺寸。印制板外形尺寸的确定，应该符合标准化的尺寸系列，形状力求简单，少用异形孔、槽，减少生产模具成本，简化加工程序。在此基础上，兼顾考虑装配、调试、维修性能，从而决定印制板的结构。

4. 经济性

印制板的经济性与前几方面的内容密切相关。复杂的工艺必然增加制造费用。所以，在设计印制板时，应该考虑与通用的制造工艺、方法相适应。根据成本分析，从生产制造的角度，选择覆铜板的板材、质量、规格和印制电路板的工艺技术要求。对于相同的制板面积来说，双面板的制造成本是一般单面板的1.5~3倍以上，即使是层数较少的多层板，也至少要贵4~20倍以上。

1.5.3 确定 PCB 的板材、形状、尺寸和厚度

1. 确定板材

这是指对于印制电路板的基板材料的选择。不同板材的机械性能与电气性能有很大差别。目前，国内常见覆铜板的种类有：

- 覆铜酚醛纸质层压板。
- 覆铜环氧纸质层压板。
- 覆铜环氧玻璃布层压板。

2. 印制电路板的形状

印制电路板的形状由整机结构和内部空间位置的大小决定。外形应该力求简单，一般为矩形，尽量避免采用异形板。

3. 印制板尺寸

印制板的尺寸应该接近标准系列值，要根据机器的内部结构和板上元件的数量、尺寸及安装、排列方式来决定。元件之间要留有一定的间隔，特别是在高压电路中，更应该留有足够的间距；在考虑元件所占的面积时，要注意发热元件安装散热片的尺寸；在确定了板的净面积以后，还应当向外扩展出5~10mm，便于印制板在整机中的安装固定；如果印制板的面积较大、元件较重或在震动环境下工作，则应该采用边框、加强筋或多点支撑等形式加固；当整机内有多块印制板，特别当这些印制板是通过导轨和插座固定时，应该使每块板的尺寸整齐一致，有利于它们的固定和加工。

4. 印制板的厚度

在确定板的厚度时，主要考虑对元件的承重和震动冲击等因素。如果板的尺寸过大或板上的元件过重，都应该适当增加板的厚度或对电路板采取加固措施，否则电路板容易产生翘曲。按照电子行业颁布的标准，覆铜板材的标准厚度有0.2mm、0.5mm、0.7mm、0.8mm、1.5mm、1.6mm、2.4mm、3.2mm、6.4mm等。另外，当线路板对外通过插座连线时，必注意插座槽的间隙一般为1.5mm。若板材过厚则插不进去，过薄则容易造成接触不良。

1.5.4 确定外部接口

通常，印制板只是整机的一个组成部分，必然存在对外连接的问题。印制板之间、

印制板与板外元件、印制板与设备面板之间，通常都需要电气连接。当然，这些连接引线的总数要尽量少，并根据整机结构选择连接方式。总的原则应该是连接可靠，安装、调试、维修方便，成本低廉。对外连接方式可以有很多种，要根据不同的特点灵活选择。

1. 导线焊接方式

这是一种最简单、廉价而可靠的连接方式，不需要任何接插件，只要用导线将印制板上的对外连接点与板外的元件或其他部件直接焊牢即可。

优点：成本低，可靠性高，可以避免因接触不良而造成故障。

缺点：维修不够方便。

采用导线焊接方式应该注意以下几点：

- 线路板的对外焊点应尽可能引到整板的边缘，并按照统一尺寸排列，以利于焊接与维修。
- 为提高导线连接的机械强度，避免因导线受到拉扯将焊盘或印制线条拽掉，应该在印制板上焊点的附近钻孔，让导线从线路板的元件面穿绕通孔，再在焊接面用手工将导线焊到对应的焊盘上。
- 将导线排列或捆扎整齐，通过线卡或其他固定件将线与板相对固定，避免导线因移动而折断。

2. 接插件连接

接插件连接是指通过插座将印制电路板上的对外连接点与板外元件进行连接。

优点：连接、更换方便。

缺点：因接触点多，可靠性较差。

1.5.5 PCB 的排版布局

1. 按照信号流向的布局原则

对整机电路的布局原则是：把整个电路按照功能划分成若干个电路单元，按照电信号的流向，依次逐个安排各电路单元在板上的位置，布局应便于信号流通，并使信号流尽可能保持一致的方向。在多数情况下，将信号的流向安排成从左到右（左输入、右输出）或从上到下（上输入、下输出）的方式。与输入、输出端直接相连的元件应当放在靠近输入、输出接插件或连接器的地方，以每个功能电路的核心元件为中心，围绕它来进行布局。例如：电源电路的布线，一般是按照电流的走向来布局。

2. 优先确定特殊元件的位置

电子整机产品的干扰问题比较复杂，它可能由电、磁、热、机械等多种因素引起。所以在着手设计印制板的板面、决定整机电路布局的时候，应该分析电路原理。首先要确定特殊元件的位置，然后再安排其他元件，尽量避免可能产生干扰的因素，并采取措施，使印制板上可能产生的干扰得到最大限度的抑制。

所谓特殊元件，是指那些可能从电、磁、热、机械强度等几方面对整机性能产生影响，或者根据操作要求而位置固定的元件。会出现干扰，使设计失败。当然，这就要求设计者具备较丰富的经验，在实际工作中加以分析，并作相应处理。

3. 增加机械强度的考虑

- （1）要注意整个电路板的重心平衡与稳定。
- （2）对与那些又大又重、发热量较多的元件，一般不要直接安装固定在印制电路

板上。应当把它们固定在机箱底板上，使整机的重心靠下，容易稳当。否则，这些大型元件不仅要占据印制板上的大量的有效面积和空间，而且在固定它们时，往往可能使印制板弯曲变形，导致其他元件受到机械损伤，还会引起与对外连接的接插件接触不良。重量在 15 克以上的大型元件，如果必须安装在电路板上，不能只靠焊盘焊接固定，应当采用支架或卡子等辅助固定措施。

(3) 当印制电路板的版面尺寸较大时，考虑到电路板所承受重力和震动产生的机械应力，应该采用机械边框对它加固，以免变形，并在板上留出固定支架、定位螺钉和连接插座所需占用的位置。

4 操作性能对元件位置的要求

(1) 设计提供对外的接口时，要充分考虑整机结构的安排。

(2) 对电位器、可变电容器或可调电感线圈等调节元件的布局，也要考虑整机结构的安排。如果是机外调节，其位置要与调节旋钮在机箱面板上的位置相适应；如果是机内调节，则应当放置在印制板上便于调节的地方。

(3) 为了保证调试、维修的安全，特别要注意带高压的元件，尽量布置在操作时人手不易触及的地方。

5. 一般元件的布局

在 PCB 的排版设计中，元件布局是十分重要的，它决定了板面的整齐美观程度和印制导线的长短与数量，对整机的可靠性也有一定的影响。元件布局应该遵循的几条原则是：

- 元件在整块板面上分布均匀、疏密一致。
- 元件不要占满板面，注意板边四周要留有一定的空间。一般应留出 5~10mm 空间。
- 一般情况下，元件应该全部放置在印制板的同一面，对单层板来说即元件面，并且每个元件的引出脚要单独占用一个焊盘。
- 元件的布局不能上下交叉。相邻的两个元件之间要保持一定间距。
- 元件的安装位置要尽量降低，一般元件本体离开板面不要高于 5mm，过高则抗震动和冲击的稳定性变差，容易倒伏或与相邻元件碰接。
- 根据 PCB 在整机中的安装位置及状态，确定元件的轴线方向。
- 元件两端焊盘的跨距应该稍大于元件本体的纵向尺寸。

1.6 多种不同工艺的 PCB 流程介绍

PCB 是如何制造出来的呢？我们打开通用电脑的键盘就能看到一张软性薄膜（挠性的绝缘基材），上面印有银白色（银浆）的导电图形与键位图形。

这种图形是用丝网漏印方法得到的，所以称这种印制线路板为挠性银浆印制线路板。而我们在电脑城看到的各种电脑主机板、显卡、网卡、调制解调器、声卡及家用电器上的印制电路板就不同了。它们所用的基材是由纸基（常用于单面）或玻璃布基（常用于双面及多层），预浸酚醛或环氧树脂，表层一面或两面粘上铜箔再层压固化而成。这种覆盖了铜箔的板材，我们就称它为刚性板。刚性板再制成印制线路板，就称为刚性印制线路板。其中仅单面有印制线路图形的，称单面印制线路板；双面均有印制线路图

形，再通过孔的金属化进行双面互连形成的印制线路板，称为双面印制线路板。如果用 1 块双面作内层、2 块单面作外层或 2 块双面作内层、2 块单面作外层的印制线路板，通过定位系统及绝缘黏结材料交替在一起且导电图形按设计要求进行互连的印制线路板就成为 4 层、6 层印制电路板了，也称为多层印制线路板。目前已有超过 100 层的实用印制线路板。

PCB 的生产过程较为复杂，涉及的工艺范围较广，从简单的机械加工到复杂的机械加工，有普通的化学反应还有光化学、电化学、热化学等工艺，以及 CAD（计算机辅助设计）等多方面的知识。PCB 在生产过程中工艺问题很多，并会时时遇见新的问题，甚至部分问题还没有查清原因就消失了。由于其生产过程是一种非连续的流水线形式，任何一个环节出问题都会造成全线停产或大量报废的后果（印刷线路板如果报废是无法回收再利用的），因此 PCB 的生产过程必须慎之又慎。

为进一步认识 PCB，我们有必要了解一下普通单面、双面印制线路板及普通多层板的制作工艺，以加深对它的了解。

➤ 单面板工艺流程

下料磨边斗→钻孔→外层图形→（全板镀金）→蚀刻→检验→丝印阻焊→（热风整平）→丝印字符→外形加工→测试→检验

➤ 双面板喷锡板工艺流程

下料磨边→钻孔→沉铜加厚→外层图形→镀锡、蚀刻退锡→二次钻孔→检验→丝印阻焊→镀金插头→热风整平→丝印字符→外形加工→测试→检验

➤ 双面板镀镍金工艺流程

下料磨边→钻孔→沉铜加厚→外层图形→镀镍、金去膜蚀刻→二次钻孔→检验→丝印阻焊→丝印字符→外形加工→测试→检验

➤ 多层板喷锡板工艺流程

下料磨边→钻定位孔→内层图形→内层蚀刻→检验→黑化→层压→钻孔→沉铜加厚→外层图形→镀锡、蚀刻退锡→二次钻孔→检验→丝印阻焊→镀金插头→热风整平→丝印字符→外形加工→测试斗检验

➤ 多层板镀镍金工艺流程

下料磨边→钻定位孔→内层图形→内层蚀刻→检验→黑化→层压→钻孔→沉铜加厚→外层图形→镀金、去膜蚀刻→二次钻孔→检验→丝印阻焊→丝印字符→外形加工→测试→检验

➤ 多层板沉镍金板工艺流程

下料磨边→钻定位孔→内层图形→内层蚀刻→检验→黑化→层压→钻孔→沉铜加厚→外层图形→镀锡、蚀刻退锡→二次钻孔→检验→丝印阻焊→化学沉镍金→丝印字符→外形加工→测试→检验

1.7 PCB 设计流程

1.7.1 系统规划

首先要先规划出该电子设备的各项参数，包含系统功能、成本限制、大小、运作情形等等。

1.7.2 系统功能模块图

接下来必须制作出系统的功能模块图。模块间的关系也必须标示出来。

1.7.3 将系统分割成数个 PCB

将系统分割成数个 PCB，不仅在尺寸上可以缩小，也可以让系统具有升级与交换零件的能力。系统功能模块图为我们提供了分割的依据。例如计算机就可以分成主机板、显示卡、声卡、软盘驱动器和电源等等。

1.7.4 决定使用封装方法和各 PCB 的大小

当各 PCB 使用的技术和电路数量都已决定之后，就要决定板子的大小。如果板子设计得过大，那么封装技术就要改变，或是重新作分割的动作。在选择技术时，也要将线路图的品质与速度都考虑进去。

1.7.5 绘出所有 PCB 的电路概图

1.PCB 电路概图的特点

概图中要表示出各零件间的相互连接细节。所有系统中的 PCB 都必须描绘出来，现今大多采用 CAD（computer aided design，计算机辅助设计）的方式。

2.PCB 的电路概图的绘制步骤

（1）初步设计的仿真运作

为了确保设计出来的电路图可以正常运作，还必须先用计算机软件来仿真一次。这类软件可以读取设计图，并且可以用许多方式显示电路运作的情况。这比起实际做出一块样本 PCB，然后用手动测量的效率要高得多。

（2）将零件放置到 PCB 上

零件放置的方式，是根据它们之间的相连情况来决定的。它们必须以最有效率的方式与路径相连接。所谓有效率的布线，就是连线越短并且通过层数越少（这也同时减少了导孔的数目）越好。在真正布线时，我们会再详细讨论这个问题。图 1-1 是总线在 PCB 上布线的样子。为了让各零件都能够拥有完美的配线，放置的位置是很重要的。

（3）测试布线的可能性以及高速下能否正确运作

现今的部分计算机软件，可以检查各零件摆设的位置是否可以正确连接，或是检查在高速下是否可以正确运作，这项步骤称为零件安排。如果电路设计有问题，在实际导出线路前，还可以重新安排零件的位置。

（4）导出 PCB 上的线路

在概图中的连接，现在会实地做成布线的样子。这项步骤通常都是全自动的，不过一般来说还是需要手动更改某些部分。图 1-2 是 2 层板的导线模板。红色和蓝色的线条，分别代表 PCB 的零件层与焊接层。白色的文字与四方形代表的是网版印刷面的各项标示。白色的点和圆圈代表钻洞与导孔。最右方我们可以看到 PCB 上的焊接面有金手指。这个 PCB 的最终构图通常称为工作底片（artwork）。

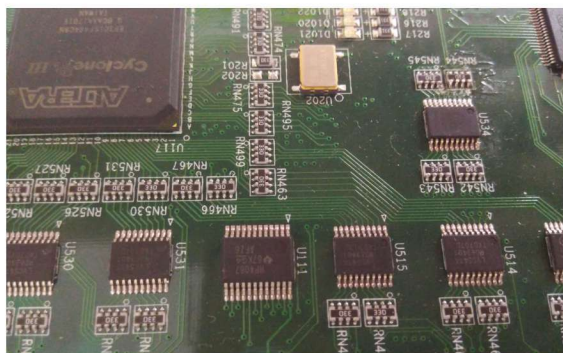


图 1-1 总线在 PCB 上布线

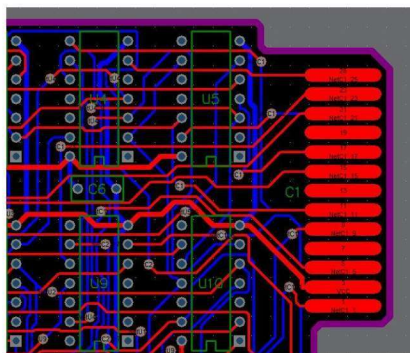


图 1-2 2 层板的导线模板

每一次的设计，都必须符合有关规定，比如线路间的最小保留空隙，最小线路宽度，和其他类似的实际限制等。这些规定依照电路的速度，传送信号的强弱，电路对耗电与噪声的敏感度，以及材质品质及制造设备等因素而有所不同。如果电流强度上升，导线的粗细也必须相应增加。为了降低 PCB 的成本，在减少层数的同时，还必须注意这些规定是否仍旧符合。如果需要超过 2 层的构造的话，那么通常会使用电源层以及地线层，来避免信号层上的传送信号受到影响，并且可以利用它们当作信号层的屏蔽罩。

(5) 布线后的电路测试

为了确定线路在布线后能够正常运作，还必须通过最后检测。这项检测也可以检查出是否有不正确的连接，然后给出提示。

(6) 建立制作档案

因为目前有许多设计 PCB 的 CAD 工具，制造厂商必须有符合标准的档案，才能制造板子。标准规格有好几种，不过最常用的是 Gerber files 规格。一组 Gerber files，包括各信号、电源以及地线层的平面图，阻焊层与网板印刷面的平面图，以及钻孔与取放等档案。

1.8 PCB 的计算机辅助设计

印制电路板的设计与制作，是电子行业技术人员和业余爱好者都应该掌握的一项基本能力。手工设计印制板的传统方法，只能适用于一些比较简单的电路。曾经用手工设计印制板底图的人都可能有这样的体会：一张稍微复杂的设计图纸接近完工的时候，常常会觉得剩余的部分电路难以连通，或者会发现已经画好的局部电路不够合理，只好前功尽弃而重新另画一张图纸。所以用手工设计图纸的时候，总要小心谨慎、瞻前顾后。

计算机的普及和计算机辅助设计 (CAD) 软件的发展，为印制电路板的设计与生产开辟了新的途径。操作键盘调动光标，在计算机屏幕上绘图，与在纸上用笔绘图或用胶条贴图比较，最显著的优点之一就是便于修改保存。使用计算机绘图软件，可以随心所欲地按照自己的初步设想去直接布局、连线，有了初稿以后，再统观全局，酌情修改。只需要按几个键即可删除一条线段或一个焊盘，远比用橡皮擦除图纸上的笔迹快捷干净。这样，可以很方便地将电路原理图转换成印制电路的布线图，并可通过绘图机直接绘制成制板使用的板图胶片。根据需要，还可以通过计算机编制数控钻床的打孔程序。