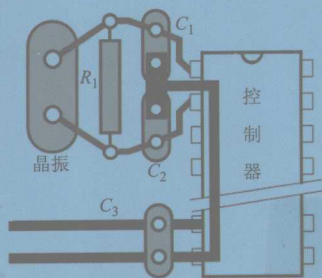


21世纪国家级工程训练中心创新实践规划教材

# 电路CAD简明实践教程

● 李劲松 宋立博 编



上海交通大学出版社  
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

# 电路 CAD 简明实践教程

李劲松 宋立博 编

上海交通大学出版社

## 内 容 提 要

本教程从电子线路的计算机辅助设计与分析的基本概念出发,简明扼要地介绍了 PCB 加工工艺以及当今较为流行的几种电路 CAD 软件 Protel、OrCAD、PowerPCB 的使用方法。在介绍过程中,紧密联系具体实例,分别使用各种电路 CAD 工具来开展设计工作。通过学习,读者不但能够更为深入地理解数字电路、模拟电路等相关理论知识的内容,而且能够迅速、正确地设计和开发 PCB 电路板,为更好地进入电子设计自动化领域打下坚实的基础。

本教程并不以单一的 CAD 软件作为介绍背景,也不过分追求软件的先进性,而是以实用为目的,以实例为载体,以让初学者有一个整体的概念,能够进行基本操作,完成设计任务为宗旨。由于 CAD 软件种类较多,鉴于篇幅,教程不作过多罗列,学习人员可以根据需要自行选择。该教程适合作为高等学校电子、通信、自动化、机电一体化及其他相近专业本、专科学生的教材,亦可作为电路 CAD 课程的实践培训教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

电路 CAD 简明实践教程/李劲松,宋立博编. —上海:  
上海交通大学出版社,2011  
ISBN 978-7-313-07331-0

I. 电... II. ①李... ②宋... III. 电路设计:  
计算机辅助设计—AutoCAD 软件—教材 IV. TN702  
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 090540 号

### 电路 CAD 简明实践教程

李劲松 宋立博 编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:韩建民

上海崇明南海印刷厂印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:10.25 字数:249 字

2011 年 7 月第 1 版 2011 年 7 月第 1 次印刷

印数:1~3 030

ISBN 978-7-313-07331-0/TN 定价:20.00 元

---

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有质量问题请与印刷厂质量科联系  
联系电话:021-33854186

# 前 言

随着我国电子产业的急速发展,电路 CAD/EDA 设计人才已成为该领域中最紧缺的人才。编写本教材的最终目的正是为了顺应电子设计自动化的发展潮流,培养更多的具备相当设计经验和动手能力的工程技术人员。本教材主要介绍一些常用的电路级 PCB 板的设计绘制方法,IC 级设计内容超出本教材范围,有关专业人员可参考其他书籍或资料。

本教程从电子线路的计算机辅助设计与分析的基本概念出发,简明扼要地介绍了电路 CAD/EDA 技术发展、流程,当今较为流行的电路 CAD/EDA 软件的使用方法,PCB 的 EMI-EMC 及信号完整性分析过程。在介绍过程中,紧密联系具体实例,分别使用各种电路 CAD 工具来开展设计工作。通过学习,读者不但能够更为深入地理解数字电路、模拟电路等相关理论知识的内容,而且能够迅速、正确地设计和开发 PCB 电路板,为更好地进入电子设计自动化领域打下坚实的基础。

本教程并不以单一的 CAD 软件作为背景,也不过分追求软件的先进性,而是以实用为目的,以让初学者有一个整体的概念,能够进行基本操作,完成设计任务为宗旨。由于 CAD 软件种类较多,鉴于篇幅,教程不作过多罗列,学习人员可以根据需要自行选择。该教程适合作为高等学校电子、通信、自动化、机电一体化及其他相关专业本、专科学生教材,亦可作为电路 CAD 课程的实践培训教材。

本教程共分 9 章,由李劲松和宋立博 2 位老师共同编写。其中第 1 章~第 6 章由李劲松老师编写,第 7 章~第 9 章由宋立博老师编写。

部分参考资料来源于各公司网站、互联网和已公开出版的教材和专著等,但可能因疏忽等原因未在参考文献中予以列出,在此一并表示歉意并致以诚挚的谢意。

本教程在编写过程中得到上海交通大学工程训练中心和上海交通大学教务处的支持,同时也得到上海交通大学出版社潘新编辑的大力支持与帮助,在此一并表示诚挚的谢意。

限于作者水平和经验,不足之处,欢迎读者批评指正。

编 者

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 电路 CAD/EDA 技术概述 .....	1
1.2 电路 CAD/EDA 技术发展 .....	1
1.3 电路基本概念 .....	2
1.4 电路基本定律 .....	4
<b>第 2 章 印刷电路板(PCB)的基本知识</b> .....	6
2.1 印刷电路板的作用和分类 .....	6
2.2 印刷电路板设计基础 .....	8
2.3 印刷电路板制作工艺 .....	10
<b>第 3 章 电路 CAD 软件 Protel</b> .....	13
3.1 Protel 软件的发展与功能特点 .....	13
3.2 Protel 软件的体系结构与设计流程 .....	14
3.3 Protel 中层的说明 .....	15
3.4 常用电子元件封装 .....	17
<b>第 4 章 Protel 原理图设计系统</b> .....	20
4.1 走进 Protel DXP .....	20
4.2 原理图环境设置 .....	23
4.3 原理图的编辑 .....	28
4.4 原理图元器件库的操作 .....	41
4.5 原理图报表文件 .....	49
<b>第 5 章 Protel PCB 设计系统</b> .....	56
5.1 PCB 文档的操作 .....	56
5.2 电路板参数的设置 .....	57
5.3 PCB 设计规则设置 .....	58
5.4 PCB 的布局与布线 .....	64
5.5 PCB 验证和检查 .....	72
5.6 PCB 的其他编辑 .....	73
5.7 PCB 库文件的操作 .....	77

<b>第 6 章 印刷电路板设计基础</b> .....	84
6.1 单面板设计基础 .....	84
6.2 双面板设计基础 .....	88
<b>第 7 章 PCB 的 EMI/EMC 设计</b> .....	93
7.1 PCB 噪声与量测 .....	93
7.2 干扰耦合形式与分类 .....	94
7.3 PCB 的 EMI/EMC .....	98
7.4 电源系统与 PCB 处理 .....	100
7.5 器件选择与 PCB 处理 .....	104
7.6 器件布局 .....	108
7.7 布线技术与规则 .....	109
<b>第 8 章 信号完整性分析</b> .....	113
8.1 信号完整性 .....	113
8.2 三种模型 .....	114
8.3 Protel 的信号完整性模型 .....	116
8.4 在原理图中进行信号完整性分析 .....	122
8.5 在 PCB 中进行信号完整性分析 .....	135
8.6 反射与串扰分析 .....	141
8.7 DXP 信号完整性分析注意事项 .....	144
<b>第 9 章 设计实例</b> .....	146
9.1 项目需求分析 .....	146
9.2 主要元器件选型 .....	146
9.3 电气原理图设计 .....	147
9.4 PCB 与 EMI/EMC 设计 .....	151
<b>参考文献</b> .....	158

# 第1章 绪论

## 1.1 电路 CAD/EDA 技术概述

电子线路的计算机辅助设计简称为电路 CAD,它与电子设计自动化(EDA, Electronic Design Automation)一起成为目前电子行业发展的热门技术和趋势。所谓的 EDA 技术是以计算机为工作平台,融合了应用电子技术、计算机技术、智能化技术等最新成果研制成的电子 CAD 通用软件包,主要用来辅助进行 IC 设计、电子电路设计以及电路板设计,同时具有仿真、电路图设计、自动布局布线、版图设计及验证等功能。

电子设计的任务包括专用集成电路 ASIC 设计、CPLD/FPGA 等可编程器件设计和电路板设计等。电子电路产业目前已演化为设计、制造、封装、测试等 4 个产业环节,其中的设计工作已成为产业的龙头。随着 IC 设计流程日趋复杂,新产品上市时间不断缩短,寻求完善的电路 CAD/EDA 解决方案来满足复杂的设计需求势在必行。

IC 设计又称为物理级设计,一般由 IC 厂家完成;大型复杂的电子产品设计称为系统级设计,主要由产品厂商完成;一般民用及教学科研所涉及的设计称为电路级设计,由具有一定电路设计经验的工程技术人员完成。日常使用的电路 CAD/EDA 软件多属于电路级设计,主要实现 3 项任务:电路原理图的设计、电路仿真及调试以及 PCB 版图设计。

在进行电路级设计工作时,设计人员首先要确定设计方案并选择合适的元器件,然后根据具体的元器件设计电路原理图,接着通过第一次仿真以进行电路的逻辑模拟、故障分析、瞬态分析等,此次仿真主要是检验设计方案在功能方面的正确性。仿真通过后,根据电路原理图产生的电气连接信号网络表进行 PCB 板的手动或自动布局布线,生成 PCB 产品的版图文件,以供 PCB 生产厂家生产使用。有条件的还可进行 PCB 后分析,包括热分析、噪声及干扰分析、电磁兼容分析、可靠性分析等,并将分析结果参数反馈回电路原理图。

由此可见,电路 CAD/EDA 软件是一种专门为电子/IC 设计企业提供设计和生产方案的专业辅助软件,是电子/IC 产业不可或缺的重要工具。没有电路 CAD/EDA 技术的支持,设计工作将会变得非常困难。

## 1.2 电路 CAD/EDA 技术发展

现代电子工业的高速发展以及 IC 的不断开发使用,使电路板的走线越来越精细和复杂,利用手工来设计和制作 PCB 已不能适应当前的形势。电路 CAD/EDA 技术的发展是历史的必然,它的历程大致可分为 3 个阶段。

(1) 初级阶段。这一阶段从 20 世纪 70 年代开始,人们开始用计算机进行 IC 版图编辑、PCB 布局布线。

(2) 发展阶段。从 20 世纪 80 年代起,人们将 CAD 技术与 CAE(计算机辅助工程)技术结

合,除进行纯粹的图形绘制外,还增加了电路功能分析和结构设计,并且通过电气连接信号网络表将两者结合在一起,实现了工程设计。

(3) 深入阶段。从 20 世纪 90 年代起,电子系统设计自动化逐渐流行,同时计算机辅助工艺(CAPP)、计算机辅助制造(CAM)等技术也发展起来了。

## 1.3 电路基本概念

### 1.3.1 电路组成及其模型

#### 1) 电路及其组成

(1) 电路:电流的通路称为电路,连续电流的通路必须是闭合的。

(2) 电路组成:电路由电源、负载及中间环节 3 部分组成。

(3) 电路的作用:实现电能的传输和转换(或信号的传递及转换)。

#### 2) 电路的模型(由理想元件组成的电路)

(1) 电源元件:电压源、电流源、受控电源。

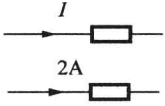
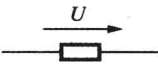
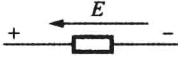
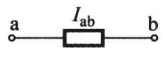
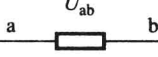
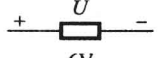
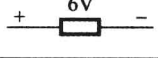
(2) 负载元件:电阻元件  $R$ ,电感元件  $L$ ,电容元件  $C$ 。

(3) 中间环节:导线、开关等;电压表,电流表等。

### 1.3.2 电流、电压、电动势的参考方向及表示方法

电流、电压、电动势的参考方向及表示方法见表 1-1。

表 1-1 电流、电压、电动势的参考方向及表示方法

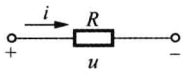
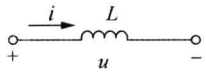
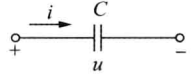
	电 流		电 压		电动势
实际方向	正电荷流动的方向		由高电位(正极)指向低电位(负极)		由低电位(负极)指向高电位(正极)
参考方向	任意选定		任意选定		任意选定
标记符号	箭头		箭头		
	双下标		下标		
			极性	 	
实际方向与参考方向的关系	$I > 0$ : 实际方向与参考方向相同 $I < 0$ : 实际方向与参考方向相反		$U > 0$ : 实际方向与参考方向相同 $U < 0$ : 实际方向与参考方向相反		$E > 0$ : 实际方向与参考方向相同 $E < 0$ : 实际方向与参考方向相反



### 1.3.3 线性元件 $R, L, C$ 的特点及类型

线性元件  $R, L, C$  的共同特点是:二端元件,无源元件。它们的符号、关联与分类见表 1-2。

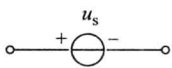
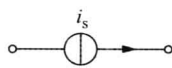
表 1-2 线性元件  $R, L, C$  的符号、关联与分类

		电 阻	电 感	电 容	
电路符号					
VCR	$u, i$ 关联方向	$u = iR, i = Gu$	$\Psi = Li$	$q = Cu$	$i = C \frac{du}{dt}$
	$u, i$ 非关联方向	$u = -iR, i = -Gu$			$u = -L \frac{di}{dt}$
分类		耗能元件	储能元件	储能元件	
储存能量		0	磁场能量 $W = \frac{1}{2} Li^2$	电场能量 $W = \frac{1}{2} Cu^2$	

### 1.3.4 电压源与电流源

电压源  $u_s$ 、电流源  $i_s$  都是有源元件,为了与受控源区别又称为独立电源,它们的符号及特点见表 1-3。

表 1-3 电压源、电流源特性

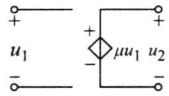
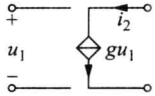
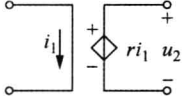
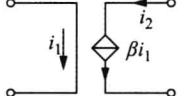
	电压源	电流源
电路符号		
特点	电压源的端电压不随外电路变化 电压源中的电流随外电路变化 当 $u_s$ 为常数时,称其为直流电压源	电流源中的电流不随外电路变化(电路断开除外) 电流源的端电压随外电路变化 当 $i_s$ 为常数时,称其为直流电流源

### 1.3.5 受控源

受控源是一种电路模型,实际存在的一种器件,如晶体管、运算放大器、变压器等,它们的电特性可用含受控源的电路模型来模拟。受控源的符号及特性与独立电源有相似之处,即受控电压源具有电压源的特性,受控电流源具有电流源的特性;但又有根本区别,受控源的电流或电压由控制支路的电流或电压控制,一旦控制量为零,受控量也为零,而且受控源自身不能

起激励作用,即当电路中无独立电源时就不可能有响应,因此受控源是无源元件。受控源的分类比较见表 1-4。

表 1-4 受控源的分类比较

	电压控制电压源 VCVS	电压控制电流源 VCCS	电流控制电压源 CCVS	电流控制电流源 CCCS
符号				
控制量	$u_1$	$u_1$	$i_1$	$i_1$
被控量	$u_2 = \mu u_1$	$i_2 = g u_1$	$u_2 = r i_1$	$i_2 = \beta i_1$

### 1.3.6 功率

元件或一段电路的功率是吸收还是发出,取决于电路中  $u, i$  的参考方向及  $p = ui$  的正负,具体判断见表 1-5。

表 1-5 判断功率吸收与发出

$u, i$ 的参考方向	元件的功率		实际吸收还是发出功率
关联参考方向	$p = ui$	$p > 0$	吸收
		$p < 0$	发出
非关联参考方向	$p = -ui$	$p > 0$	吸收
		$p < 0$	发出
功率平衡	对于一个完整的闭合电路来说,在任一时刻,所有元件收发功率的总和恒为零		

## 1.4 电路基本定律

### 1.4.1 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是集总参数假设下的电路基本定律,只与电路的拓扑结构有关而与支路特性无关,即不管是电阻、电容、电感还是电源,也不管是线性电路还是非线性电路都适用。表 1-6 为基尔霍夫定律的具体说明。

表 1-6 基尔霍夫定律

	基尔霍夫电流定律(KCL)	基尔霍夫电压定律(KVL)
定律内容	在集总电路中,任何时刻,对任何结点(或闭合面),所有支路电流的代数和恒等于零	在集总电路中,任何时刻,沿任一回路,所有支路电压的代数和恒等于零
定律公式	$\sum i = 0, \sum I_{\lambda} = \sum I_{\text{出}}$	$\sum u = 0, \sum U_{\text{升}} = \sum U_{\text{降}}$
定律说明	根据电流的参考方向,当流出结点的电流取正时,则流入结点的电流取负	当支路电压的参考方向与回路绕向一致时,该电压取正号,反之取负号
定律推广	流出任一封闭面的全部支路电流的代数和等于零	任一闭合的节点序列,即在任一时刻,沿任一闭合节点序列的各段电压(不一定是支路电压)的代数和等于零

## 1.4.2 电位的计算

电路中某一点的电位等于该点与参考点之间的电压。参考点选择不同,电路中各点的电位值随之改变,但是任意两点间的电压值是不变的。因此,各点电位的高低是相对的,两点间的电压值是绝对的。电路中的电位取值有正有负,比参考点高的电位取正,比参考点低电位取负,分别称为正、负电位。计算电路中各点的电位的方法和步骤如下:

(1) 确定电路中的参考点(零电位)。虽然选择参考点是任意的,但是一个电路只能有一个参考点。

(2) 计算某点的电位,即为计算此点与参考点之间的电压。只要选择从此点绕行到参考点的一条捷径(元件数最少为佳),那么此点电压即为捷径上各部分电压的代数和。

(3) 列写方程,确定该点的电位值,注意正负。

### 本章习题

1. 简述电路 CAD/EDA 技术概念。
2. 简述电路 CAD/EDA 技术发展历史。

## 第 2 章 印刷电路板(PCB)的基本知识

印刷电路板(Printed Circuit Board, PCB)是以绝缘基材为母板,并按预定设计形式的印制元件或印制电路以及两者结合的具有电气、机械性能要求的布线板,简称为印制板或 PCB。PCB 对于电子产品,犹如住宅对人类社会一样重要。随着电子产品的迅速发展和广泛使用,印制板与我们的关系也越来越密切。由于每件电子产品无一不是由形形色色的电子元器件组成,而这些元器件的载体和相互连接所依靠的正是印刷电路板。印刷电路板的设计与制作是电子产品设计和生产工艺中的重要环节,印刷电路板本身也是电子产品的重要组成部分。因而熟悉印刷电路板基本知识,掌握 PCB 基本设计方法和制作工艺,了解生产过程是学习电子工艺技术的基本要求。

### 2.1 印刷电路板的作用和分类

#### 2.1.1 印刷电路板的作用

印刷电路板在电子设备中的主要功能是:

- (1) 支撑、固定电子元器件。
- (2) 完成各电子元器件之间的电气连接。

#### 2.1.2 印刷电路板的分类

##### 1) 印刷电路板的构成

一块完整的印刷电路板主要由以下几部分组成:

- (1) 铜箔面:由纯度 $\geq 99.8\%$ ,厚度 $18\sim 105\mu\text{m}$ 的纯铜箔组成,是电路板的主体,它由焊盘和被绿油覆盖的铜箔电路组成。
- (2) 绝缘基材:由粘接树脂和增强材料构成。
- (3) 阻焊层(绿油面):保护铜箔电路用,由耐高温的阻焊剂制成。
- (4) 字符层(白油面):主要用于标注元器件的编号和符号,便于印制板加工和调试时的电路识别,常用白色油漆制成。
- (5) 孔:包括元器件、安装孔、工艺孔、机械安装孔及金属孔等,用于基板加工、元件安装、产品装配以及不同层面的铜箔电路之间的连接。

##### 2) 印刷电路板的分类

敷铜板,又名覆铜板,全称为覆铜箔层压板。它是经过粘接、热挤压工艺,使一定厚度的铜箔牢固地附着在绝缘基板上而制成的,是制造印刷电路板的基本材料。覆铜板的品种按基板的机械性能即刚、柔程度可分为刚性覆铜板和挠性覆铜板两大类。由于一般使用的是刚性覆铜板,下面仅以此类说明印刷电路板的几种主要分类方法:

- (1) 按导电图形层数:即按照印刷电路板铜箔面层数的多少可将印制板分为单面板、双面

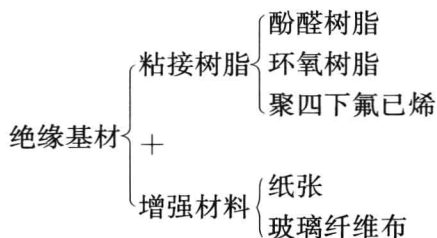
板和多层板。

**单面印刷电路板:**由单面敷铜板制作,仅在绝缘基板的一面具有导电图形。分立元器件的电路常用单面板,因为分立元器件的引线少,单面板在排列位置上便于灵活变换。但单面板布设不交叉的印制导线十分困难,对于比较复杂的电路几乎无法实现,这时应考虑应用双面印刷电路板。

**双面印刷电路板:**由双面敷铜板制作,在绝缘基板的两面都具有导电图形。一般需要“金属孔化”(过孔)使两面建立电气连接。IC元件常采用双面印刷电路板,由于其制造工艺比较简单,而且又能完成一定集成度的走线,故目前使用最为广泛。

**多层印刷电路板:**在绝缘基板上印制有三层以上印制电路和印制板称为多层印刷电路板,它由几层较薄的单面或双面印制板(每层厚度0.4mm以下)叠合而成,其总厚度一般为1.2~2.5mm。多层印制板报费率较高,价格贵,但屏蔽性能好,其上安装元件的孔也需要金属化处理,使之与夹在绝缘基板中的印制导线连接。

(2) 按基板制作材料:即根据采用不同的粘接树脂和增强材料组合制造。



绝缘基材通常采用:①酚醛树脂纸张板;②酚醛树脂玻璃纤维板;③环氧树脂纸张板;④环氧树脂玻璃纤维板。它们的电性能与价格由低到高的顺序排列为①→④。

挠性覆铜板的基材是聚酯薄膜、聚烯亚胺等柔性材料,也分单面板、双面板和多层板。表2-1列出了常用敷铜板的特性和主要用途。

表 2-1 常用敷铜板的特性和主要用途

名称	标准厚度/mm	铜箔厚度/ $\mu\text{m}$	特点	应用
酚醛纸质敷铜板	1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.2, 6.4	50~70	价格低、机械强度低、阻燃性能差、易吸水、不耐高温	中、低档民用品
环氧纸质敷铜板	1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.2, 6.4	35~70	价格略高,机械强度、防潮性能、耐高温性能较好	仪器、仪表及中档以上民用品
环氧玻璃布敷铜板	0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 5.0, 6.4	35~50	价格较高、性能优于环氧及酚醛纸板、基板透明	工业、军用及计算机等高档电器
聚四氟乙烯敷铜板	0.25, 0.3, 0.5, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0	35~50	价格高、介电常数低、介质损耗低、耐高温、耐腐蚀	微波、高频电器、航天航空、导弹、雷达等
聚烯亚胺柔性敷铜板	0.2, 0.5, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0	35	可挠性、质量低	仪器、仪表柔性连接

对于设计者来说,选用板材时必须考虑性能价格比,确定板材要依据系统整体的性能要求、使用条件以及销售价格进行综合考虑。以普通小型充电器为例,由于机内电路板本身尺寸小,印制线条宽度大,使用环境良好,整机售价低廉,所以在选材时应主要考虑价格因素,选用酚醛树脂纸质基板即可,没有必要选用高性能的环氧树脂玻璃布基板。否则,没有明显提高整机的性能,却大幅度提高了生产成本,对产品的销售十分不利。又如,在笔记本电脑等高档电子设备中,由于元器件的装配密度高,印制线条窄,版面尺寸大,电路板的制造费用只在整机的成本中占有很小的比例,所以在设计选材时,应该以敷铜板的各项技术性能作为考虑的主要因素,不能片面地要求成本低廉。否则,必然造成整机质量下降,而成本并无明显的降低。

可见,在印制板的选材中,不仅要了解敷铜板的性能指标,还要熟悉产品的特点及市场定位,才可能在确定板材时获得良好的性能价格比。

## 2.2 印刷电路板设计基础

### 2.2.1 印刷电路板的设计要求

为了使设计出来的印制板满足工程实际需要,必须掌握印刷电路板的设计要点。设计时,通常综合考虑以下4点要求:准确性、可靠性、工艺性和经济性。

#### 1) 准确性

这是印制板设计最基本、最重要的要求。准确实现电路原理图的连接关系,避免出现“短路”和“断路”两个致命错误,使元器件和印制导线的连接关系符合电气原理图要求。

#### 2) 可靠性

这是印制板设计中进一步的要求。连接正确的电路板不一定可靠性好,而影响印制板可靠性的主要因素有基板材料、制版加工和装配连接工艺等几方面。此外,印制板的层数越多,则可靠性越低。从可靠性角度考虑,在能满足电路的要求下,布线越简洁,结构越简单,板层数越少,可靠性越高。

#### 3) 工艺性

从工艺性考虑以下几方面:

(1) 分析整机结构及机内的体积空间,确定印刷电路板的面积、形状和尺寸。

印制板外形尺寸应该尽量采用标准化的尺寸系列,形状力求简单,以简化加工程序,降低成本,目前印制板外形大多采用矩形。

(2) 考虑装配、调试、维修的方便,以决定印制板的结构。

这里主要指整机中印制板的布置,选择单板或多板、多板如何分板、相互怎样连接等。如当电路较简单或整机电路功能唯一确定的情况下,应该采用单板(整板),即将元器件都安装在一块板上。这样可以减少并有效地利用印制板的面积,提高整机电路的可靠性。若为了方便扩展或维修,则可采用多板(积本式)结构,并根据情况分别选择各板之间的电气连接方式。

(3) 根据电路的复杂程度,元器件的数量和机内空间大小。

考虑元器件在印制板上的安装、排列方式及焊盘、走线形式。根据不同特点,通常有如下对应关系:

元件卧式安装、规则排列、圆式焊盘;

元件立式安装、不规则排列、岛形焊盘。

#### 4) 经济性

印制板的经济性与前几方面的内容密切相关。根据成本分析,从生产制造的角度,选择敷铜板的板材、质量、规格和印刷电路板的工艺技术要求。对于相同的制版面积来说,双面板的制造成本是一般单面板的3~4倍以上,而多层板就至少要高到20倍以上。但是,当布线密度增高到一定程度时,与其把它设计成制造困难、成品率很低的复杂双面板,倒不如选择简单的多层板,这样也能降低成本。通常希望印制板的制造成本在整机成本中仅占有很小的比例。

## 2.2.2 印刷电路板的设计方法

印刷电路板的设计是将电路原理图转换为印制板图,并确定加工技术要求的过程。印刷电路板设计的核心内容是排版设计。它是PCB设计的关键,所有元器件布局的合理性对印制板布线的布通率影响很大。而通常排版设计并无统一固定的模式,每个设计者对于同一张电路原理图,由于思路不同,习惯不一,技巧各异,布板时也许会产生各种不同的方案,具有很大的灵活性和离散性。尽管有众多的方案可达到同样的电气指标,然而总能从中选出更可靠、更美观、更容易装配的最佳设计。排版设计并非单纯将元器件通过印制导线依照原理图连接起来,而是要遵循一定的设计原则,并采取相应的抗干扰措施。为了使整机能稳定可靠地工作,必须对印制板上的元器件进行合理的排版设计。一般应从以下几方面考虑整体电路的设计问题。

#### 1) 分区放置

在电路系统中,数字电路、模拟电路以及大电流电路必须分区放置,即将整个电路依照功能划分为若干电路单元,并按照信号流向逐个确定各功能电路的相应位置。通常信号流向为从左到右或从上至下方向,避免输入、输出电路交叉。与输入、输出端直接相连的元器件应放在靠近输入、输出插接件或连接器件的地方,而各功能电路应以核心元器件为中心进行布局。如一般以三极管或集成电路等半导体作为核心元器件,根据它们各极、各脚的位置,排布其他元器件。此外,要注意考虑各元器件的形状、尺寸、极性和引脚数目,以缩短导线长度为目的,调整它们的位置和方向。

#### 2) 优先确定特殊元器件的位置

特殊元器件即指那些从电、磁、热、机械强度等方面对整机性能产生较大影响(产生干扰)或根据操作要求需特殊固定位置的元器件。在确定特殊元器件的位置时要遵循以下原则:

(1) 对某些电位差较高的元器件或导线,应加大它们之间的距离,以避免放电、击穿引起意外短路。带高压的元器件应放置在调试时手不易触及处;金属外壳的元器件要避免相碰。

(2) 相互可能产生耦合影响或干扰的元器件,应尽量分开或采取屏蔽措施。设法缩短高频元器件之间的连线,减小其分布参数与相互间的电磁干扰。

(3) 多发热元器件应考虑散热方法,尽量避免几个发热元器件集中放置。对温度敏感的元素(如晶体管集成电路,大容量电解电容等)应远离发热元件。

(4) 要注意整个电路板的重心平衡、稳定。重量较大的元器件应固定在机箱底板上,若必须安装在电路板上,安装时应加支架固定。

(5) 对可调元器件的布局应考虑整机的结构要求,其位置的布放要便于调整。

## 2.3 印刷电路板制作工艺

伴随电子工业的发展,特别是微电子技术与集成电路的飞速发展,对印制板制造工艺和精度也不断提出新要求。印制板种类从单面板、双面板发展到多层板和挠性板,印制板的线条越来越细,现可做到 0.2 mm 以下宽度的高密度印制板,但应用最广泛的还是单面印制板和双面印制板。印刷电路板的制造工艺技术发展很快,不同类型、不同要求的印刷电路板往往采取不同工艺进行加工,一般分为加成法和减成法两种。

**加成法:**即在无覆铜箔的绝缘基板上,用化学沉铜等方法,得到电路图形的制作方法。

**减成法:**在敷铜板上,用蚀刻工艺去除多余铜箔,留下印制电路的制作方法。它包括化学减成与机械减成两种方式。减成法中铜箔蚀刻法使用最广泛,是目前生产印刷电路板所采用的常见方法,其基本步骤如下:

- (1) 将设计好的 PCB 板图形转移到敷铜板上,使图形部分被保护起来。
- (2) 去掉敷铜板上未被保护的铜箔部分。

根据图形转移的不同方法,减成法又分为丝网漏印法、照相感光法、胶印法、图形电镀蚀刻法等几种,下面主要介绍减成法。

### 2.3.1 减成法制作 PCB 工艺流程

减成法制作印刷电路板的主要工艺流程如下。

#### 1) 绘制照相底图

照相底图是用以照相制版的黑白图,照相底图质量的好坏直接影响到印制板的质量。照相底图的制作方法有手工绘制、贴图和 CAD 制图 3 种。

手工绘制是早期制作照相底图的方法,它是根据印制板草图在铜板纸上用墨汁绘制的。这种方法工作量大,耗时多,精度不高,且不易修改,现在已很少采用。

贴图方法是在透明聚酯基片上,使用红色、蓝色或黑色压敏塑料胶带贴制照相底图。贴图的优点是比手工绘制速度快,精度高,质量好且又易于修改,因此曾一度为制作照相底图的主要方法,一直沿用到现在。

CAD 制图是使用计算机设计,驱动绘图机在铜版纸上绘制出一定比例的照相底图。CAD 制图大大提高了照相底图的质量和工作效率,是目前广泛采用的制图方法。

#### 2) 照相制版及光绘

照相制版就是对照相底图进行拍照,得到底片。底片上印制板的尺寸可以通过调整相机焦距以达到实际的大小。

由于印制板设计向多层、细导线、小孔径、高密度方向迅速发展,现有的照相制版工艺已经不能满足印制板的制作要求,而随着计算机的发展,印制板 CAD 技术得到极大的进步,于是出现了光绘技术。使用光绘机(向量式光绘机、激光光绘机)可以直接将 CAD 设计的印刷电路板图形数据送入光绘机的计算机系统,控制光绘机,利用光线直接在底片上绘制图形,再经显影、定影得到底片。使用光绘技术制作印制板底片,速度快、精度高、质量好,使印制板的设计和制作上了一个新的台阶。



### 3) 图形转移,制作耐酸保护层

在经过清洁处理的铜箔板上,把底片上的印刷电路图形转移上去,制成耐酸性、抗腐蚀的电路图形保护层。通常采用的方法是感光法和丝网漏印法。

(1) 感光法:在铜箔板上均匀地涂上一层感光胶,干燥后覆上底片,进行曝光,然后经显影、固膜处理和修版,就制成了耐腐蚀的电路图形保护层。

(2) 丝网漏印法:这种方法类似蜡纸的油印,根据底片上印刷电路图制作具有镂空图形的丝网板,印料经过丝网板漏印在铜箔板上,形成耐腐蚀的保护层。

### 4) 腐蚀

用化学方法把敷铜箔板上没有耐保护膜部分的铜箔腐蚀掉,而留下原设计所需要的电路图形。

### 5) 机械加工

印制板机械加工包括冲孔、钻孔和剪边等。

### 6) 孔金属化和表面处理

在双面印制板上,需要连接板两面的印制导线或焊盘时,可以通过焊盘孔壁的金属化(常称孔金属化)来实现。由于孔壁绝缘板上不能直接电镀上铜,通常先用化学方法在孔壁沉积极薄的一层铜,然后再用电镀方法加厚,使孔金属化。

为了提高印制板的可焊性,保护印制导线或后续工序的需要,对印制板的表面常常需要进行金属涂覆、助焊剂涂覆、阻焊剂涂覆等表面处理。金属涂覆的材料有银、锡、铅锡合金等,它可以提高印制板的可焊性。助焊剂涂覆最常采用的是酒精松香水,它既保护了印刷电路不被氧化,又提高了可焊性。对于采用浸焊、波峰焊焊装的印制板,需要表面阻焊剂涂覆,把印制板上不需要焊接的部分,用阻焊剂保护起来。

单面印制板加工流程如图 2-1 所示。

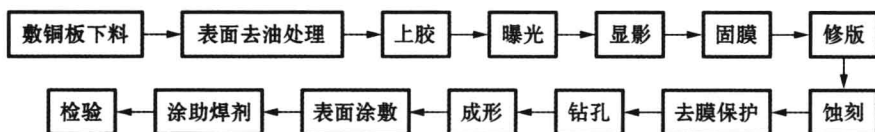


图 2-1 单面印制板加工流程

加工双面板与单面板的主要区别在于增加了孔金属化工艺,即实现两面印制电路的电气连接。由于孔金属化的工艺方法较多,相应双面板的制作工艺也有多种方法。其中,较为先进的方法是采用先腐蚀后电镀的图形电镀法。图形电镀法可以制作线宽和间距在 0.3 mm 以下的高精度印制板,因此,在生产高精度和高密度的双面板中特别能显示出其优越性。目前大量使用的集成电路印制板大都采用这种生产工艺。图形电镀法加工双面板的工艺流程如图 2-2 所示。



图 2-2 双面印制板加工流程