

# PADS 9.5

## 电路设计与仿真

# 从入门到精通

耿立明 闫聪聪 编著

多媒体  
教学视频

包含 33 段与  
本书全程同步的  
基础知识及重点案例  
视频教学录像，  
总时长达 2.2 个小时  
对应 12 个案例源文件

DVD

写给初学者的技术宝典

涵盖 30 个案例，实战性强，操作步骤翔实！  
一线工程师全面解读设计方法，  
分享经验积累！

 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

# PADS 9.5

## 电路设计与仿真 从入门到精通

耿立明 闫聪聪 编著



人民邮电出版社  
北京

## 图书在版编目(CIP)数据

PADS 9.5 电路设计与仿真从入门到精通 / 耿立明, 闫聪聪编著. — 北京: 人民邮电出版社, 2015.5  
ISBN 978-7-115-38617-5

I. ①P… II. ①耿… ②闫… III. ①印刷电路—计算机辅助设计—应用软件 IV. ①TN410.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第046643号

## 内 容 提 要

全书以 PADS 9.5 为平台, 全面讲解了电路设计的方法和技巧。全书共 18 章, 第 1 章为绪论; 第 2 章讲解了 PADS9.5 的安装; 第 3 章讲解了 PADS 9.5 的图形用户界面 PADS Logic 9.5; 第 4 章讲解了 PADS Logic 9.5 原理图设计; 第 5 章讲解了原理图高级编辑; 第 6 章讲解了 PADS Logic 9.5 图形绘制; 第 7 章讲解了 PADS 9.5 的印制电路板界面; 第 8 章讲解了 PADS Layout 9.5 的基本操作及常用命令; 第 9 章讲解了 PADS Layout 9.5 初步设计; 第 10 章讲解了系统参数和设计规则设置; 第 11 章讲解了元件库的使用及 PCB 封装的制作; 第 12 章讲解了 PADS 9.5 布局布线设计; 第 13 章讲解了工程设计更改和覆铜设计; 第 14 章讲解了自动尺寸标注; 第 15 章讲解了设计验证; 第 16 章讲解了 CAM 输出; 第 17 章讲解了调试器设计实例; 第 18 章讲解了多种印刷电路板设计。

本书可以作为大中专院校电子相关专业课堂教学教材, 也可以作为各种培训机构培训教材, 同时适合作为电子设计爱好者的自学辅导书。

本书随书配送多媒体教学光盘, 包含全书实例操作过程录屏 AVI 文件和实例源文件, 读者可以通过多媒体光盘方便直观的学习本书内容。

- 
- ◆ 编 著 耿立明 闫聪聪  
责任编辑 俞 彬  
责任印制 张佳莹 焦志炜
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号  
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
北京中新伟业印刷有限公司印刷
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 27  
字数: 713 千字 2015 年 5 月第 1 版  
印数: 1-3 000 册 2015 年 5 月北京第 1 次印刷

定价: 59.00 元 (附光盘)

读者服务热线: (010) 81055410 印装质量热线: (010) 81055316

反盗版热线: (010) 81055315

# 前 言

EDA ( 电子设计自动化, Electronic Design Automation ) 技术是现代电子工程领域的一门新技术, 它提供了基于计算机和信息技术的电路系统设计方法。EDA 技术的发展和推广极大地推动了电子工业的发展。EDA 在教学和产业界的技术推广是当今业界的一个技术热点, EDA 技术是现代电子工业中不可缺少的一项技术。掌握这种技术是通信电子类高校学生就业的一个基本条件。

电路及 PCB 设计是 EDA 技术中的一个重要内容, PADS 是其中比较杰出的一个软件。在国内流行最早、应用面最宽。随着计算机技术的发展, 从 20 世纪 80 年代中期起计算机开始大量进入各个领域, 在这种背景下, 由美国 Mentor Graphics 公司推出 PADS 软件, 该软件的最新版本 PADS 9.5, 是基于 PC 平台开发的, 完全符合 Windows 操作习惯, 具有高效率的布局、布线功能, 是解决电路中复杂的高速、高密度互连问题的理想平台。PADS 9.5 较以前版本 PADS 功能更加强大, 它是桌面环境下以设计管理和协作技术 ( PDM ) 为核心的一个优秀的印刷电路板设计系统。

由于 PADS 9.5 主要分三个部分: PADS Logic、PADS Layout、PADS Router。三个界面, 三个模块, 相互独立又互有联系, 独立操作时互不干扰, 相互传导时又一脉传承。本书的编写按模块分别编写, 首先介绍 PADS 9.5 的特点与新功能及安装, 然后讲解原理图部分包括图形用户界面 GUI、原理图设计、原理图高级编辑和图形绘制, 其次介绍 PCB 设计部分包括印制电路板界面、基本操作及常用命令、初步设计、系统参数和规则设置、元件库的使用及 PCB 封装的制作、布局布线设计、工程设计更改和铺铜设计、自动标注尺寸、设计验证和 CAM 输出。其中, 布线操作在 PADS Layout 或 PADS Router 中均可, 书中详细介绍了两种不同方法。最后两章详细讲解电路板设计实例包括调试器设计实例和多种印制电路板设计实例。

书中各部分在介绍的过程中, 由浅入深, 从易到难, 各章节既相对独立又前后关联。作者根据自己多年的经验及学习的通常心理, 及时给出总结和相关提示, 帮助读者及时快捷地掌握所学知识。全书解说翔实, 图文并茂, 语言简洁, 思路清晰。本书可以作为初学者的入门教材, 也可作为相关行业工程技术人员以及各院校相关专业师生学习参考用书。

本书随书配送多媒体教学光盘, 包含全书实例操作过程录屏 AVI 文件和实例源文件, 读者可以通过多媒体光盘方便直观的学习本书内容。

本书由三维书屋工作室总策划, 沈阳城市学院机电工程学院的耿立明老师和石家庄三维书屋文化传播有限公司的闫聪聪老师主编。其中耿立明执笔编写了第 1 章~第 12 章, 闫聪聪执笔编写了第 13 章~第 18 章。胡仁喜、刘昌丽、康士廷、王培合、赵黎黎、王艳池、王玉秋、王义发、卢园、孟培、杨雪静、李亚莉、张日晶、王玮、王敏、甘勤涛、李兵等参加了部分章节的编写工作。

由于时间仓促, 加上编者水平有限, 书中不足之处在所难免, 望广大读者登录网站 [www.sjzswsw.com](http://www.sjzswsw.com) 或发送邮件到 [win760520@126.com](mailto:win760520@126.com) 批评指正, 编者将不胜感激。

编者

2015.3

# 目 录

第一章 绪论	1	3.5.5 “工具”菜单	42
1.1 PCB 的基本概念及设计工具	2	3.5.6 “帮助”菜单	44
1.1.1 PCB 技术的概念	2	3.6 工具栏	44
1.1.2 PCB 设计的常用工具	5	3.6.1 标准工具栏	44
1.1.3 PCB 技术的发展趋势	6	3.6.2 原理图编辑工具栏	45
1.2 PCB 设计的基础	8	3.6.3 选择筛选条件工具栏	45
1.2.1 PCB 设计的一般原则	8	3.7 PADS Logic 参数设置	46
1.2.2 PCB 设计的基本步骤	9	3.7.1 图页设置	47
1.2.3 PCB 设计的基本要求	10	3.7.2 颜色设置	48
1.2.4 PCB 设计的标准规范	15	3.7.3 优先参数设置	48
1.3 PADS 9.5 简介	16	3.8 视图操作	54
1.3.1 PADS 的发展	16	3.8.1 PADS Logic 的交互操作过程	54
1.3.2 PADS 9.5 的特性	18	3.8.2 使用弹出菜单执行命令	54
1.4 思考练习	21	3.8.3 直接命令和快捷键	55
1.5 上机操作	21	3.8.4 键盘与鼠标使用技巧	56
第二章 PADS 9.5 的安装	22	3.8.5 缩放命令	57
2.1 PADS 9.5 的运行条件	23	3.8.6 状态窗口	57
2.1.1 PADS 9.5 运行的硬件配置	23	3.9 思考练习	58
2.1.2 PADS 9.5 运行的软件环境	23	3.10 上机操作	58
2.2 PADS 9.5 的安装步骤详解	24	第四章 PADS Logic 9.5 原理图	
2.2.1 PADS 9.5 的安装	24	设计	59
2.2.2 PADS 9.5 的安装总结	30	4.1 电路原理图的设计步骤	60
2.3 思考练习	30	4.2 原理图的编辑环境	61
2.4 上机操作	30	4.2.1 创建、保存和打开原理图文件	61
第三章 PADS 9.5 的图形用户		4.2.2 原理图图纸设置	64
界面	31	4.3 加载元件库	65
3.1 PADS Logic 9.5 的启动	32	4.3.1 元件库管理器	65
3.2 PADS Logic 9.5 整体图形界面	32	4.3.2 元器件的查找	68
3.3 PADS Logic 9.5 界面简介	33	4.3.3 加载和卸载元件库	68
3.4 项目浏览器	34	4.3.4 创建元件库文件	69
3.5 菜单栏	35	4.3.5 生成元件库元件报告文件	69
3.5.1 “文件”菜单	36	4.4 元器件的放置	71
3.5.2 “编辑”菜单	38	4.4.1 在原理图中放置元器件	71
3.5.3 “查看”菜单	41	4.4.2 元器件的删除	73
3.5.4 “设置”菜单	41	4.5 编辑元器件属性	73
		4.5.1 编辑元件流水号	74
		4.5.2 设置元件类型	74

4.5.3 设置元件管脚	75
4.5.4 设置元件参数值	76
4.5.5 交换参考编号	76
4.5.6 交换管脚	78
4.5.7 元器件属性查询与修改	79
4.6 元器件位置的调整	84
4.6.1 元器件的选取和取消选取	84
4.6.2 元器件的移动	86
4.6.3 元器件的旋转	87
4.6.4 元器件的复制与粘贴	88
实例 1——单片机原理图	90
4.7 元件的电气连接	96
4.7.1 添加和编辑连线	96
4.7.2 添加和修改总线	101
4.7.3 放置页间连线	105
4.7.4 放置电源和接地符号	107
4.7.5 放置网络符号	110
4.7.6 放置普通文本符号	113
4.7.7 添加字段	114
4.8 操作实例	115
4.9 思考练习	120
4.10 上机操作	120
<b>第五章 原理图高级编辑</b>	<b>121</b>
5.1 层次化电路设计	122
5.1.1 层次化电路简介	122
5.1.2 绘制层次化符号	122
5.1.3 绘制层次化电路	125
5.2 PADS Logic 报告输出	127
5.2.1 未使用情况报表	129
5.2.2 元件统计报表	130
5.2.3 网络统计报表	130
5.2.4 限度报表	131
5.2.5 页间连接符报表	131
5.2.6 材料清单报表	132
5.3 打印输出	133
5.4 生成网络表	135
5.4.1 生成 SPICE 网表	135
5.4.2 生成 PCB 网表	137
5.4.3 网络表导入 PADS Layout	139
5.5 思考练习	139
5.6 上机操作	139
<b>第六章 PADS Logic 9.5 图形 绘制</b>	<b>140</b>
6.1 PADS Logic 元件库设计	141
6.1.1 元件封装简述	141
6.1.2 元件编辑器	141
6.1.3 CAM 封装信息	145
实例 2——新建逻辑封装 74LS244	146
6.2 进入图形绘制模式	149
6.3 绘制与编辑各种图形	150
6.3.1 绘制与编辑多边形	151
实例 3——绘制多边形	153
实例 4——编辑多边形	153
6.3.2 绘制与编辑矩形	154
6.3.3 绘制与编辑圆	155
6.3.4 绘制与编辑路径	156
6.4 图形与文字	157
6.4.1 合并/取消合并	157
6.4.2 保存图形	158
6.4.3 增加图形	158
6.4.4 图形的查询与修改	159
6.5 操作实例	159
6.5.1 复位芯片设计	159
6.5.2 晶振元件设计	163
6.6 思考练习	165
6.7 上机操作	165
<b>第七章 PADS 9.5 的印制电路板 界面</b>	<b>166</b>
7.1 PADS Layout 9.5 的启动	167
7.2 PADS Layout 9.5 的用户界面简介	167
7.2.1 PADS Layout 9.5 的整体工作 界面	168
7.2.2 PADS Layout 9.5 的项目 浏览器	170
7.2.3 PADS Layout 9.5 的状态窗口	170
7.3 PADS Layout 9.5 的菜单系统	171
7.3.1 “文件”菜单	171
7.3.2 “编辑”菜单	172
7.3.3 “查看”菜单	173
7.3.4 “设置”菜单	174
7.3.5 “工具”菜单	175

7.4	PADS Layout 9.5 的工具栏	176
7.4.1	标准工具栏	176
7.4.2	绘图工具栏	177
7.4.3	尺寸标注工具栏	177
7.4.4	设计工具栏	177
7.4.5	ECO 工具栏	178
7.4.6	BGA 工具栏	178
7.5	思考练习	179
7.6	上机操作	179

## 第八章 PADS Layout 9.5 的基本操作及常用命令

8.1	PADS Layout 9.5 的基本操作	181
8.1.1	鼠标和键盘操作	181
8.1.2	文件操作	181
实例 5	——创建一个启动文件	182
8.1.3	过滤器的操作	183
实例 6	——选中对象	185
8.2	PADS Layout 9.5 的常用命令	186
8.2.1	无模式命令	186
实例 7	——查找对象	186
8.2.2	快捷键命令	187
8.3	思考练习	188
8.4	上机操作	188

## 第九章 PADS Layout 9.5 初步设计

9.1	PADS Layout 9.5 的设计规范	190
9.1.1	概述	190
9.1.2	设计流程介绍	190
9.1.3	设计规范的概要内容	192
9.2	PADS Layout 9.5 设计快速入门	195
9.2.1	网络表的导入	195
9.2.2	设计规则的设置	196
9.2.3	元件布局的设计	196
9.2.4	布线操作的准备	197
9.2.5	设计检查的验证	199
9.2.6	CAM 文件输出	200
9.3	PADS Layout 与其他软件的链接	201
9.4	思考练习	201
9.5	上机操作	201

## 第十章 系统参数和设计规则设置

10.1	系统参数设置	203
10.1.1	全局参数设置	203
10.1.2	“设计”参数设置	207
10.1.3	“栅格和捕获”参数设置	209
10.1.4	“显示”参数设置	212
10.1.5	“布线”参数设置	212
10.1.6	“热焊盘”参数设置	218
10.1.7	“分割/混合平面”参数设置	219
10.1.8	“绘图”参数设置	221
10.1.9	“尺寸标注”参数设置	223
10.1.10	“过孔样式”参数设置	226
10.1.11	“模具元器件”参数设置	227
10.2	板层的参数设置	228
实例 8	——增加板层	230
10.3	板层颜色的参数设置	230
实例 9	——多层电路板设计	232
10.4	焊盘的参数设置	235
10.5	钻孔对的参数设置	238
10.6	跳线的参数设置	238
10.7	工作区原点的设置	239
10.8	ECO 参数设置	240
10.9	设计规则设置	240
10.9.1	“默认”规则设置	241
10.9.2	“类”规则设置	245
10.9.3	“网络”规则设置	246
10.9.4	“组”规则设置	247
10.9.5	“管脚对”规则设置	248
10.9.6	“封装”和“元器件”规则设置	249
10.9.7	“条件规则”设置	250
10.9.8	“差分对”规则设置	251
10.9.9	“报告”规则设置	252
10.10	思考练习	252
10.11	上机操作	252

## 第十一章 元件库的使用及 PCB 封装的制作

11.1	PADS 元件库的使用	254
11.1.1	元件库的操作	254

11.1.2 元件库属性管理	255
11.1.3 理解元件类型、PCB 封装和逻辑封装间的关系	256
11.2 使用向导制作 PCB 封装	257
11.2.1 制作 DIP20 的封装	257
11.2.2 制作 QUAD 型 PCB 封装	260
11.2.3 制作极坐标型 PCB 封装	261
11.2.4 制作 BGA/PGA 型 PCB 封装	263
实例 10——新建 BGA 封装元件	263
11.3 手工建立 PCB 封装	265
11.3.1 启动元件编辑器	265
11.3.2 增加元件管脚焊盘	266
11.3.3 放置和定型元件管脚焊盘	267
11.3.4 快速交换元件管脚焊盘序号	269
11.3.5 增加 PCB 封装的丝印外框	270
11.3.6 保存建立的 PCB 封装	270
11.4 建立元件类型	271
实例 11——新建元件类型	271
11.5 建立 PCB 封装和元件类型的问题与技巧	272
11.6 思考练习	273
11.7 上机操作	273
<b>第十二章 PADS 9.5 布局布线设计</b>	<b>274</b>
12.1 PCB 的布局设计	275
12.1.1 PCB 布局规划	275
12.1.2 PCB 自动布局	277
12.1.3 PCB 手动布局	279
12.2 PCB 布线设计	284
12.2.1 PCB 布线的基本知识	284
12.2.2 PCB 布线的各种方式	286
实例 12——添加布线	290
实例 13——草图布线	291
12.2.3 PADS Router 9.5	292
12.3 PCB 的排版技巧	293
12.3.1 PADS Layout 的布局技巧	293
12.3.2 PADS Router 的布线注意	293
12.4 思考练习	294
12.5 上机操作	294
<b>第十三章 工程设计更改和覆铜设计</b>	<b>295</b>
13.1 工程设计更改 (ECO)	296
13.1.1 ECO 参数设置	296
13.1.2 原理图驱动工程更改	297
13.1.3 工程盒进行设计更改	297
实例 14——增加连接	303
实例 15——增加元件	303
实例 16——更改元件	304
实例 17——更改网络名	304
13.2 覆铜设计	305
13.2.1 铜箔	305
实例 18——修改铜箔属性	307
13.2.2 覆铜	309
13.2.3 覆铜管理器	311
实例 19——删除灌铜的死铜	312
13.3 思考练习	314
13.4 上机操作	314
<b>第十四章 自动尺寸标注</b>	<b>315</b>
14.1 基本操作知识	316
14.1.1 抓取点的选择	316
14.1.2 两端点的边界模式	317
14.1.3 标注的基准线	318
14.2 尺寸标注	319
14.2.1 水平和垂直尺寸标注	319
实例 20——水平尺寸标注	319
14.2.2 自动尺寸标注	320
14.2.3 对齐尺寸标注	320
14.2.4 旋转尺寸标注	321
14.2.5 角度尺寸标注	322
14.2.6 圆弧尺寸标注	322
14.2.7 引线尺寸标注	323
实例 21——引线标注	323
实例 22——利用基准标注	324
实例 23——继续标注	325
14.3 思考练习	326
14.4 上机操作	326
<b>第十五章 设计验证</b>	<b>327</b>
15.1 设计验证界面	328



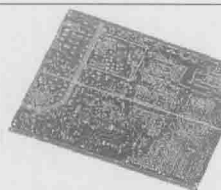
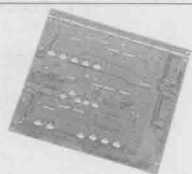
15.2	安全间距验证	329	17.3.3	PADS Layout 9.5 的环境设置	364	
15.3	连接性验证	330	17.3.4	PADS Layout 9.5 的布局设计	366	
15.4	高速设计验证	330	17.3.5	PADS Layout 9.5 的自动布局	368	
实例 24	——高速验证实例	332	17.3.6	PADS Layout 9.5 的电路板显示	370	
15.5	平面层设计验证	334	17.3.7	PADS Router 9.5 的布线设计	371	
15.6	测试点及其他设计验证	335	17.3.8	PADS Layout 9.5 的覆铜设置	373	
15.7	思考练习	335	17.3.9	PADS Layout 9.5 的设计验证	376	
15.8	上机操作	336	17.4	文件输出	376	
<b>第十六章 CAM 输出</b>			337	17.5	思考练习	379
16.1	CAM 输出概述	338	17.6	上机操作	379	
16.2	光绘 (Gerber) 文件输出	341	<b>第十八章 多种印制电路板设计</b>			380
16.2.1	CAM 平面层 Gerber 文件输出	341	18.1	高速信号印制电路板设计	381	
实例 25	——输出预览平面层负片 Gerber 文件	341	18.1.1	高速 PCB 设计简介	381	
16.2.2	布线/分割平面层 Gerber 文件输出	344	18.1.2	高速 PCB 设计经验	382	
实例 26	——预览布线/分割平面输出 Gerber 文件	344	18.1.3	高速 PCB 板的关键电路设计	384	
16.2.3	丝印层 Gerber 文件输出	346	18.1.4	高速 PCB 板的布线设计	385	
16.2.4	助焊层 Gerber 文件输出	346	18.1.5	去耦电容设计	386	
实例 27	——预览双层 Gerber 文件	347	18.2	多层印制电路板设计	386	
16.2.5	阻焊层 Gerber 文件输出	348	18.3	多层印制电路板设计实例	388	
实例 28	——预览中层 Gerber 文件	348	18.3.1	U 盘电路网表的导入	388	
16.3	打印输出	349	18.3.2	PCB 元件的布局设计和自动尺寸标注	389	
16.4	绘图输出	350	18.3.3	布线前的相关参数设置	399	
实例 29	——输出平面层的 Gerber 层	350	18.3.4	PADS Router 的布线和验证	402	
实例 30	——输出走线层 Gerber 文件	351	18.3.5	PCB 的 Gerber 光绘文件输出	406	
16.5	思考练习	352	18.4	混合信号印制电路板设计	421	
16.6	上机操作	352	18.5	思考练习	424	
<b>第十七章 调试器设计实例</b>			353			
17.1	设计分析	354				
17.2	原理图设计	354				
17.3	PCB 设计	361				
17.3.1	新建 PADS Layout 文件	361				
17.3.2	PADS 9.5 的 OLE 链接	361				

# 第一章 绪论

本章主要介绍 PADS 的基本概念及特点,包括 PCB 设计的一般原则、基本步骤、标准规范等。着重介绍了美国 Mentor Graphics 公司的 PCB 设计软件:PADS 9.5,包括了 PADS 9.5 的发展过程以及它的新特点。PADS 9.5 是一款非常优秀的 PCB 设计软件,它具有完整强大的 PCB 绘制工具,界面和操作十分简洁,希望用户好好学习本书,以便更加方便地使用 PADS 9.5 软件。

## 学习重点

- PCB 设计的标准和规范
- PADS 9.5 的新特点



## 1.1 PCB 的基本概念及设计工具

几乎能见到的电子设备都离不开 PCB，小到电子手表、计算器、通用电脑，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器件，它们之间电气互连就要用到 PCB。

### 1.1.1 PCB 技术的概念

#### 1. PCB 概念及应用

PCB 是印制电路板 (Printed Circuit Board) 的英文缩写。通常把在绝缘基材上，按预定设计，制成印制电路、印制元件或两者组合而成的导电图形称为印制电路。而在绝缘基材上提供元器件之间电气连接的导电图形，称为印制电路。这样就把印制电路或印制电路的成品板称为印制电路板，亦称为印制板或印制电路板。

PCB 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。同时为自动锡焊提供阻焊图形；为元器件插装、检查、维修提供识别字符和图形。

#### 2. PCB 发展及演变

印制电路基本概念在本世纪初已有人在专利中提出过，早在 1903 年 Mr. Albert Hanson 便首先将“电路”(Circuit)概念应用于电话交换机系统。它是用金属箔予以切割成电路导体，将之粘贴于石蜡纸上，上面同样贴上一层石蜡纸，就成了现今 PCB 的机构雏形，见图 1-1。

至 1936 年，Dr Paul Eisner 真正发明了 PCB 的制作技术，也发表多项专利。而今天的 print-tech (photoimage transfer) 的技术，就是沿袭其发明而来的。

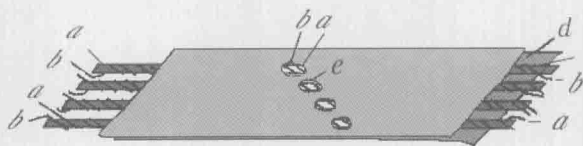


图 1-1 PCB 雏形图

#### 3. PCB 分类及制造

根据 PCB 材质、结构、用途的不同，可以对 PCB 进行多种分类，下面仅就 PCB 层数的不同，对 PCB 分类进行简单的介绍。

##### (1) 单面板 (Single-Sided Boards)

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)。因为单面板在设计电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独自的路径)，所以只有早期的电路才使用这类的电路板，见图 1-2。

### (2) 双面板 (Double-Sided Boards)

这种电路板的两面都有布线。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)。导孔是在 PCB 上, 充满或涂上金属的小洞, 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, 而且布线可以互相交错 (可以绕到另一面), 所以它更适合用在比单面板更复杂的电路上。见图 1-3。

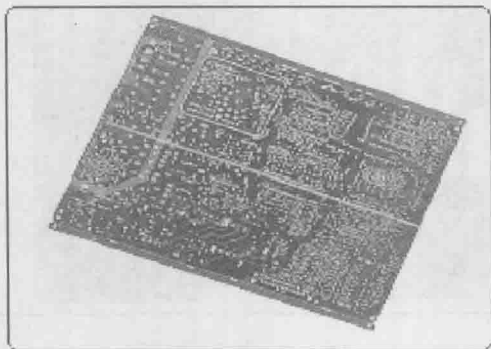


图 1-2 单面板

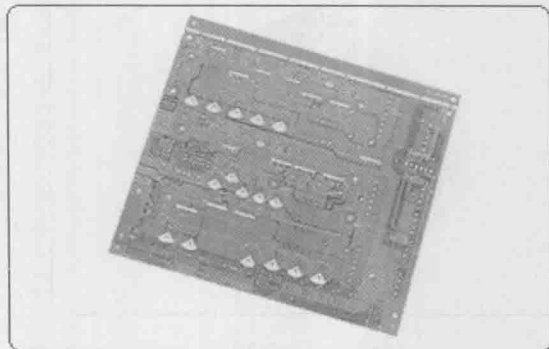


图 1-3 双面板

### (3) 多层板 (Multi-Layer Boards)

为了增加可以布线的面积, 多层板用上了更多单或双面的布线板。多层板使用数片双面板, 并在每层板间放进一层绝缘层后黏牢 (压合)。电路板的层数就代表了有几层独立的布线层, 通常层数都是偶数, 并且包含最外侧的两层。大部分的主机板都是 4 到 8 层的结构, 不过技术上可以做到近 100 层的 PCB 板。大型的超级计算机大多使用相当多层的主机板, 不过因为这类计算机已经可以用许多普通计算机的集群代替, 所以超多层板已经渐渐不被使用了。因为 PCB 中的各层都紧密的结合, 一般不太容易看出实际数目, 不过如果仔细观察主机板, 也许可以看出来。

刚刚提到的过孔 (via), 如果应用在双面板上, 那么一定都是打穿整个电路板。不过在多层板当中, 如果只想连接其中一些电路, 那么导孔可能会浪费一些其它层的电路空间。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。盲孔是将几层内部 PCB 与表面 PCB 连接, 不需穿透整个电路板。埋孔则只连接内部的 PCB, 所以仅从表面是看不出来的。

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 (Signal) 层, 电源 (Power) 层或是地线 (Ground) 层。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, 见图 1-4。

PCB 是如何制造出来的呢? 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), 印上有银白色 (银浆) 的导电图形与键位图形。因为通用丝网漏印方法得到这种图形, 所以称这种印制电路板为挠性银浆印制电路板。

而各种电脑主机板、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, 如图 1-5 所示。它所用的基材是纸基 (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覆铜箔再层压固化而成。这种电路板覆铜箔板材, 就称它为刚

性板。再制成印制电路板，就称它为刚性印制电路板。单面有印制电路图形称单面印制电路板，双面有印制电路图形，再通过孔的金属化进行双面互连形成的印制电路板，就称其为双面板。如果用一块双面作内层、两块单面作外层或两块双面作内层、两块单面作外层的印制电路板，通过定位系统及绝缘粘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电路板就成为四层、六层印制电路板了，也称为多层印制电路板。

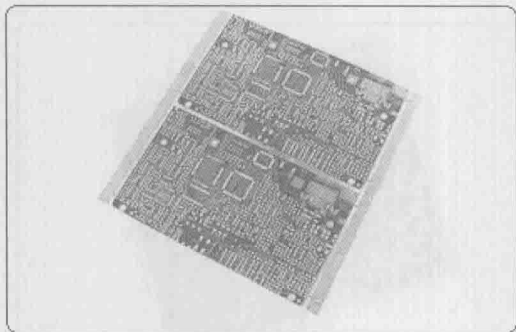


图 1-4 多层板

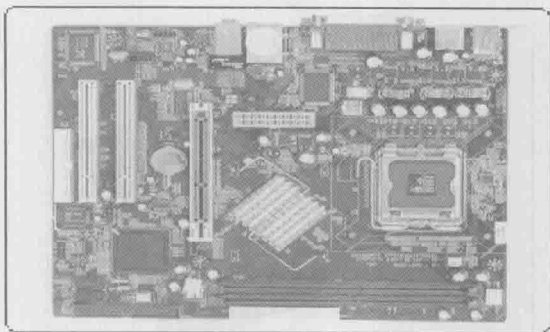


图 1-5 集成电路板

为进一步认识 PCB，有必要了解一下单面、双面印制电路板及普通多层板的制作工艺，于加深对它的了解。

单面刚性印制板：单面覆铜板→下料→刷洗、干燥→网印电路抗蚀刻图形→固化检查修板→蚀刻铜→去抗蚀印料、干燥→钻网印及冲压定位孔→刷洗、干燥→网印阻焊图形（常用绿油）、UV 固化→网印字符标记图形、UV 固化→预热、冲孔及外形→电气开、短路测试→刷洗、干燥→预涂助焊防氧化剂（干燥）→检验包装→成品出厂。

双面刚性印制板：双面覆铜板→下料→钻基准孔→数控钻导通孔→检验、去毛刺刷洗→化学镀（导通孔金属化）→（全板电镀薄铜）→检验刷洗→网印负性电路图形、固化（干膜或湿膜、曝光、显影）→检验、修板→电路图形电镀→电镀锡（抗蚀镍/金）→去印料（感光膜）→蚀刻铜→（退锡）→清洁刷洗→网印阻焊图形常用热固化绿油（贴感光干膜或湿膜、曝光、显影、热固化，常用感光热固化绿油）→清洗、干燥→网印标记字符图形、固化→外形加工→清洗、干燥→电气通断检测→（喷锡或有机保焊膜）→检验包装→成品出厂。

贯通孔金属化法制造多层板工艺流程：内层覆铜板双面开料→刷洗→钻定位孔→贴光致抗蚀干膜或涂覆光致抗蚀剂→曝光→显影→蚀刻与去膜→内层粗化、去氧化→内层检查→（外层单面覆铜板电路制作、B—阶粘结片、板材粘结片检查、钻定位孔）→层压→数控制钻孔→孔检查→孔前处理与化学镀铜→全板镀薄铜→镀层检查→贴光致耐电镀干膜或涂覆光致耐电镀剂→面层底板曝光→显影、修板→电路图形电镀→电镀锡铅合金或镍/金镀→去膜与蚀刻→检查→网印阻焊图形或光致阻焊图形→印制字符图形→（热风整平或有机保焊膜）→数控洗外形→成品检查→包装出厂。

从工艺流程可以看出多层板工艺是从双面孔金属化工艺基础上发展起来的。它除了继承双面工艺外，还有几个独特内容：金属化孔内层互连、钻孔与去环氧钻污、定位系统、层压和专用材料。

## 1.1.2 PCB 设计的常用工具

PCB 设计软件种类很多,如 PADS、Cadence PSD、PSPICE、PCB Studio、TANGO、Altium (Protel)、OrCAD、Viewlogic 等等。目前,国内流行的主要有 PADS、Pspice、Altium 和 OrCAD,下面就对它们进行简单介绍。

### 1. PADS

Innoveda 公司曾是美国著名的电子设计自动化软件(EDA)及系统供应厂家,它由 ViewLogic、Summit 和 PADS 三家公司合并而成。Innoveda 公司主要致力于电子设计自动化领域的研究和开发,特别是在高速设计领域,其产品具有很高的知名度,被众多用户采用。

Innoveda 的软件产品范围广泛,包括从设计输入、数字和模拟电路仿真、可编程逻辑器件设计、印制电路板设计、信号完整性分析、电磁兼容性分析和串扰分析、汽车电子和机电系统布线软件等。

Innoveda 公司现在被美国 Mentor Graphics 公司收购,Mentor Graphics 公司是世界最著名的从事电子设计自动化系统设计、制造、销售和服务的厂家之一。Mentor 软件及系统覆盖面广,产品包括从设计图输入、数字电路分析、模拟电路分析、数模混合电路分析、故障模拟测试分析、印制电路板自动设计与制造、全定制及半定制 IC 设计软件与 IC 校验软件等一体化产品。

Mentor Graphics 公司的 PADS Layout/Router 环境作为业界主流的 PCB 设计平台,以其强大的交互式布局布线功能和易学易用等特点,在通信、半导体、消费电子和医疗电子等当前最活跃的工业领域得到了广泛的应用。PADS Layout/Router 支持完整的 PCB 设计流程,涵盖了从原理图网表导入,规则驱动下的交互式布局布线,DRC/DFT/DFM 校验与分析,直到最后的生产文件(Gerber)、装配文件及物料清单(BOM)输出等全方位的功能需求,确保 PCB 工程师高效率地完成设计任务。

### 2. PSpice

新推出的版本为 Pspice10.5,是功能强大的模拟电路和数字电路混合仿真 EDA 软件,它可以进行各种电路仿真、激励建立、温度与噪声分析、模拟控制、波形输出和数据输出,并在同一个窗口内同时显示模拟与数字的仿真结果。

### 3. Altium

Protel 的升级版本。早期的 Protel 主要作为印制板自动布线工具使用,只有电原理图绘制和印制板设计功能,后发展到 Prote 199se,最近在并购后改名为 Altium 公司,推出的最新版本 Altium Designer 6.0 是个庞大的 EDA 软件,包含电原理图绘制、模拟电路与数字电路混合信号仿真、多层印制电路板设计(包含印制电路板自动布线)、可编程逻辑器件设计、图表和电子表格生成、支持宏操作等功能,是个完整的板级全方位电子设计系统。

### 4. OrCAD

由 OrCAD 公司于 20 世纪 80 年代末推出的电子设计自动化(EDA)软件,OrCAD 界面友好直观,集成了电原理图绘制、印制电路板设计、模拟与数字电路混合仿真、可编程逻辑器件设计

等功能，其元器件库是所有 EDA 软件中最丰富的，达 8500 个，收入了几乎所有通用电子元器件模块。

### 1.1.3 PCB 技术的发展趋势

#### 1. 中国已是 PCB 生产大国

印制电路板是信息产业的基础，从计算机、电视机到电子玩具等，几乎所有的电子电器产品中都有电路板存在。中国电子电路产业和中国电子信息产业一样，在近年来一直保持着高速增长。这一增长趋势还将持续更长一段时间。尤其是近年来我国消费类电子和汽车电子的飞速发展更是为电子电路业提供了广阔空间。

随着世界各国在中国投资的 IT 产业、电子整机制造的迅猛发展，世界各国 PCB 企业也相继在中国进行大规模的投资，世界知名 PCB 生产企业，绝大部分在中国已经建立了生产基地并在积极扩张。可以预计未来几年，中国仍然是世界 PCB 生产企业投资与转移的重要目的地。

中国印制电路行业协会（CPCA）秘书长王龙基介绍：被誉为电子电路行业的“奥林匹克”的“世界电子电路大会”在上海举行，前十届电子电路大会都是在日本、美国等世界 PCB 产业发达国家举办，第 11 届大会移师中国，充分表明了我国高速发展的 PCB 产业的吸引力。目前，整个行业正在积极准备，届时，将向世人展示中国印制电路板业的风采。

#### 2. PCB 业应关注新技术

PCB 行业是集电子、机械、计算机、光学、材料和化工等多学科的一个行业。PCB 技术是跟着 IC 技术发展的，在电子互连技术里占有重要位置，因此，PCB 技术和制造业的发展将对一个国家的电子工业产生很大的推动作用。

目前的电子设计大多是集成系统级设计，整个项目中既包含硬件整机设计又包含软件开发。这种技术特点向电子工程师提出了新的挑战。首先，如何在设计早期将系统软硬件功能划分得比较合理，形成有效的功能结构框架，以避免冗余循环过程；其次，如何在短时间内设计出高性能高可靠的 PCB 板。因为软件的开发很大程度上依赖硬件的实现，只有保证整机设计一次通过，才会更有效的缩短设计周期。本文论述在新的技术背景下，系统板级设计的新特点及新策略。

众所周知，电子技术的发展日新月异，而这种变化的根源，一个主要因素是芯片技术的进步。半导体工艺日趋物理极限，现已达到深亚微米水平，超大规模电路成为芯片发展主流。而这种工艺和规模的变化又带来了许多新的电子设计瓶颈，遍及整个电子业。板级设计也受到了很大的冲击，最明显的一个变化是芯片封装的种类极大丰富，如 BGA、TQFP、PLCC 等封装类型的涌现；其次，高密度引脚封装及小型化封装成为一种时尚，以期实现整机产品小型化，如 MCM 技术的广泛应用。另外，芯片工作频率的提高，使系统工作频率的提高成为可能。

而这些变化必然给板级设计带来许多问题和挑战。首先，由于高密度引脚及引脚尺寸日趋物理极限，导致低的布通率；其次，由于系统时钟频率的提高，引起的时序及信号完整性问题；最后，工程师希望能在 PC 平台上用更好的工具完成复杂的高性能的设计。由此，我们不难看出，PCB 板设计有以下三种趋势。

(1) 高速数字电路(即高时钟频率及快速边沿)的设计成为主流。

(2) 产品小型化及高性能必须面对在同一块板上由于混合信号设计技术(即数字、模拟及射频混合设计)所带来的分布效应问题。

(3) 设计难度的提高,导致传统的设计流程及设计方法,以及 PC 上的 CAD 工具很难胜任当前的技术挑战,因此,EDA 软件工具平台从 UNIX 转移到 NT 平台成为业界公认的一种趋势。

2003 年以来世界电子电路行业技术迅速发展,集中表现在无源(即埋入式或嵌入式)元件 PCB、喷墨 PCB 工艺、光技术 PCB、纳米材料在 PCB 板上的应用等方面。王龙基表示:“观目前国际电子电路的发展现状和趋势,关于中国电子电路—印制电路板的产业技术及政策,我认为重心应当放在 IC 封装 CSP、光电板(Opticbackpanel)、刚挠结合板、高多层板和 G 板等高附加值的产品上来。”

中国印制电路行业协会顾问林金堵认为,在技术方面,印制电路板向高密度化和高性能化方向发展。高密度化可以从孔、线、层、面四方面概括。目前世界上可做到最小孔径  $50\mu\text{m}$ ,甚至更小。线宽线距基本发展到  $50\mu\text{m}$  甚至  $30\mu\text{m}$ 。层可以做得很薄,最薄可以做到  $30\mu\text{m}$  左右,甚至更低。表面涂布镀锡、镀银、OSP 甚至发展到电镀、镀钯、镀金等万能型表面涂布。

这些印制板主要代表是 HDI/BUM 板、IC 基板、集成元件印制板、刚挠性印制板和光路印制板。特别是光路印制板,现在印制板的信号传输或处理都是用“电”来处理,“电”的信号已经基本上快接近极限了,“电”最大的缺点就是电磁干扰,必然要用光来代替“电”进行信号传输和处理。印制板里既有光路层传输信号,又有电路层传输信号,这两种组合起来就叫光电印制板或光电基板、光电印制电路板。林金堵介绍说,现在日本、美国以及中国已经有几家在研究,而且我们已经做出样品进行测试了。“高性能化表现在无铅焊接,温度要求更高,再加上长时间焊接,所以耐热性很重要,性能要好,可靠。”

HDI 高密度互连 PCB 技术会带动 IC、LSI 技术的发展。因此 PCB 技术的发展应得到更多的关注和相关行业及相应政策的支持,包括进口设备、进口关键材料、技术引进、海关税收以及资金来源的支持。

针对广泛看好的 IC 封装基板,我国存在的问题在于:一是 IC 核心技术专利都在国外厂商手里,原来就没有进入到这一产业链环节中去;二是由于技术水平不过关,因而在这方面还尚待突破。

而对于 HDI 板的加工制造,如何从材料、加工工艺和新技术研发学习入手掌握 HDI 电路板的技术,是国内 PCB 业面临的一个新的挑战。

### 3. 环保成为不变的主题

PCB 在生产过程中会有废料、废气和废水产生。如果因为有污染而去阻止或扼杀这个行业发展不是好办法。其出路应当是走清洁生产和可持续发展的道路。在 CPCA 的号召下,PCB 企业十分注意推行建立 ISO-14000 国际环境管理体系。目前,增产不增污的思想在 PCB 行业已深入人心。

如何有效地进行废弃电路板的资源化回收处理,已经成为当前关系到我国经济、社会和环境可持续发展及我国再生资源回收利用的一个新课题,引起了我国政府的高度重视。“印制电路板回收利用与无害化处理技术”已被列入国家发改委组织实施的资源综合利用国家重大产业技术开发专项。



## 1.2 PCB 设计的基础

### 1.2.1 PCB 设计的一般原则

#### 1. 印制电路板的设计

设计印制电路板首先从确定板的尺寸大小开始,印制电路板的尺寸因受机箱外壳大小限制,以能恰好放入外壳内为宜,其次,应考虑印制电路板与外接元器件(主要是电位器、插口或另外印制电路板)的连接方式。印制电路板与外接元件一般是通过塑料导线或金属隔离线进行连接。但有时也设计成插座形式。即:在设备内安装一个插入式印制电路板要留出充当插口的接触位置。对于安装在印制电路板上的较大的元件,要加金属附件固定,以提高耐振、耐冲击性能。

#### 2. 布线图设计的基本方法

设计布线图时首先需要对所选用元器件及各种插座的规格、尺寸、面积等有完全的了解;对各部件的位置安排作合理的、仔细的考虑,主要是从电磁场兼容性、抗干扰的角度、走线短、交叉少、电源、地的路径及去耦等方面考虑。各部件位置定出后,就是各部件的连线,按照电路图连接有关引脚,完成的方法有多种,印制电路图的设计有计算机辅助设计与手工设计方法两种。

最原始的是手工排列布图。过程较麻烦,往往要反复几次,才能最后完成,这在没有其他绘图设备时可以选择,这种手工排列布图方法对刚学习印制板图设计者来说是很有帮助的。计算机辅助制图,现在有多种绘图软件,功能各异,但总的说来,绘制、修改较方便,并且可以存盘储存和打印。

接着,确定印制电路板所需的尺寸,并按原理图,将各个元器件位置初步确定下来,然后经过不断调整使布局更加合理,印制电路板中各元件之间的接线安排方式如下:

(1) 印刷电路中不允许有交叉电路,对于可能交叉的线条,可以用“钻”、“绕”两种办法解决。即让某引线从别的电阻、电容、三极管脚下的空隙处“钻”过去,或从可能交叉的某条引线的一端“绕”过去,在特殊情况下如果电路很复杂,为简化设计也允许用导线跨接,解决交叉电路问题。

(2) 电阻、二极管、管状电容器等元件有“立式”和“卧式”两种安装方式。立式指的是元件体垂直于电路板安装、焊接,其优点是节省空间;卧式指的是元件体平行并紧贴于电路板安装、焊接,其优点是元件安装的机械强度较好。这两种不同的安装元件,印制电路板上的元件孔距是不一样的。

(3) 同一级电路的接地点应尽量靠近,并且本级电路的电源滤波电容也应接在该级接地点上。特别是本级晶体管基极、发射极的接地点不能离得太远,否则因两个接地点间的铜箔太长会引起干扰与自激,采用这样“一点接地法”的电路,工作较稳定,不易自激。

(4) 总地线必须严格按高频-中频-低频一级级地按弱电到强电的顺序排列原则,切不可随便翻来覆去乱接,级与级间宁可接线长点,也要遵守这一规定。特别是变频头、再生头、调频头