

PADS 电路原理图和 PCB 设计

江思敏 姚鹏翼 编著

机械工业出版社

PADS 软件是 Mentor Graphics 公司的电路原理图和 PCB 设计工具软件。目前该软件是国内从事电路设计的工程师和技术人员主要使用的电路设计软件之一，是 PCB 设计高端用户最常用的工具软件。本书从实用角度出发，详细介绍了 PADS 软件最主要的 3 个模块，即 PADS Logic、PADS Layout 和 PADS Router。全书详细讲解了使用 PADS 软件模块设计电路原理图和 PCB 的方法。全书以讲解实例为主，将 PADS 的各项功能结合起来，以便读者能尽快掌握使用 PADS 软件进行电路设计和 PCB 布局布线的方法。

本书内容详实、条理清晰、实例丰富，可以作为广大电路设计工作者以及大中专院校师生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

PADS 电路原理图和 PCB 设计/江思敏, 姚鹏翼编著. —北京: 机械工业出版社, 2007. 9

ISBN 978-7-111-22178-4

I. P… II. ①江…②姚… III. ①电子电路-电路设计: 计算机辅助设计-软件包, PADS②印刷电路-计算机辅助设计 IV. TN702 TN410.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 127886 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 吉玲 责任编辑: 刘星宁 版式设计: 冉晓华

封面设计: 鞠杨 责任印制: 杨曦 责任校对: 张晓蓉

北京富生印刷厂印刷

2007 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 21.25 印张 · 524 千字

0001—4000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-22178-4

定价: 37.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 68327259

封面无防伪标均为盗版

前 言

PADS 软件是 Mentor Graphics 公司的电路原理图和 PCB 设计工具软件。该软件凭借其强大的功能大大提高了电路的设计效率，已经成为广大电路设计工作者首选的计算机辅助电路设计软件。它具有原理图设计、PCB 设计、电路仿真等功能，是电子工程师进行电子设计的最有用的软件之一。

随着电工电子技术的飞速发展，PCB 设计技术已经显得越来越重要。高质量的 PCB 设计关系到整个电子系统设计的性能。特别是对高密度和高频电路的设计要求，使 PCB 设计具有更加重要的地位。该软件是业界最优秀的软件之一，它可以大大提高设计效率，优化性能及制造。PADS 是由 PowerPCB 发展而来的，目前该软件是国内从事电路设计的工程师和技术人员主要使用的电路设计软件之一，是 PCB 设计高端用户最常用的工具软件。

PADS 软件目前的最新版本为 PADS 2007。PADS 软件是复杂的、高速的 PCB 最终选择的设计环境。它是一个强有力的基于形状化、规则驱动的布局布线设计解决方案，采用自动和交互式的布线方法、先进的目标连接与嵌入 (OLE) 自动化功能，有机地集成了前后端的设计工具，包括最终的测试、准备和生产制造过程。本书主要讲述用 PADS 软件设计电路原理图和 PCB，包括如何使用 PADS Logic、PADS Layout 和 PADS Router 等电路原理图设计和 PCB 布线的主要模块。本书基于 PADS 2007 版本进行编写，PADS 2005 和 PADS 2007 版本基本没有太多差别，因此本书对于使用这两个版本的用户都具有参考作用。

本书从实用角度出发，详细介绍了 PADS 软件最主要的 3 个模块，即原理图设计模块 PADS Logic、PCB 布线模块 PADS Layout 和 PADS Router。全书共 10 章，第 1 章主要讲述了 PCB 设计的基础知识，是电路设计工程师需要掌握的一些基本知识；第 2~5 章讲述了 PADS Logic 原理图设计基本操作；第 6~9 章主要讲述了如何使用 PADS Layout 进行 PCB 布局和布线；第 10 章主要介绍了如何使用 PADS Router 进行 PCB 布局和布线。每章均结合了典型设计实例进行讲解，以使读者可以轻松掌握 PADS 各功能模块的使用方法。

本书内容丰富、新颖、实用性强，适合那些从事硬件系统设计、电路设计、PCB 设计的工程技术人员、科技人员和高校师生阅读。同时本书又具有一定的深入性，也可以作为有一定经验的 PADS 使用人员的参考手册。

本书由江思敏和姚鹏翼编写。由于作者水平有限，加之时间仓促，书中难免会有疏漏和不足，敬请广大读者批评指正。

作 者
于美国明尼苏达

目 录

前言

第1章 PCB 基础	1
1.1 PCB 概述	1
1.1.1 PCB 结构	1
1.1.2 元件封装	1
1.1.3 铜膜导线	3
1.1.4 助焊膜和阻焊膜	3
1.1.5 层	3
1.1.6 焊盘和过孔	3
1.1.7 丝印层	4
1.1.8 覆铜	4
1.2 PCB 设计流程	4
1.3 PCB 设计的基本原则	7
1.3.1 布局	7
1.3.2 布线	8
1.3.3 焊盘尺寸	9
1.3.4 PCB 电路的抗干扰措施	9
1.3.5 去耦电容配置	10
1.3.6 各元件之间的接线	10
1.4 PCB 制造材料	11
1.5 PCB 基本结构	13
1.6 PCB 的叠层设计	16
1.6.1 多层板	16
1.6.2 6层板	18
1.6.3 4层板	18
1.6.4 叠层设计布局快速参考	19
1.7 PCB 的布线配置	19
1.7.1 微带线	20
1.7.2 带状线	20
1.8 PCB 设计和电磁兼容	21
1.9 PCB 设计常用术语	23
第2章 PADS Logic 基础	25
2.1 PADS Logic 概述	25
2.2 PADS Logic 的设计环境	26

2.2.1 PADS Logic 的设计图形界面	27
2.2.2 PADS Logic 的菜单命令	28
2.2.3 PADS Logic 的常用工具栏命令	32
2.2.4 右键快捷菜单	33
2.2.5 无模命令	34
2.2.6 状态窗口和状态条	34
2.3 设置 PADS Logic 的环境参数	35
2.3.1 设置全局参数	35
2.3.2 设置原理图设计参数	37
2.3.3 设置字体和文本	39
2.3.4 设置线宽	40
2.4 PADS Logic 的视图操作	40
2.4.1 使用视图菜单命令	41
2.4.2 使用鼠标	42
2.4.3 使用快捷键	43
2.4.4 使用状态窗口	43
2.5 设置原理图的颜色	45
2.6 PADS Logic 的文件管理	46
第3章 PADS Logic 原理图设计	49
3.1 原理图的设计步骤	49
3.1.1 电路设计的一般步骤	49
3.1.2 原理图设计的一般步骤	49
3.2 建立原理图和设置图纸	50
3.2.1 建立新的原理图文件	50
3.2.2 设置图纸	50
3.2.3 原理图的多张图纸设计	51
3.3 添加和删除元件	52
3.3.1 添加元件	52
3.3.2 调整元件的方向	54
3.3.3 删除元件	54
3.4 元件库管理	55
3.4.1 元件库管理器	55
3.4.2 加载元件库	56
3.4.3 导入元件库的数据	57

3.4.4 导出元件库的数据	58	4.2.1 默认规则	93
3.4.5 创建新的元件库文件	58	4.2.2 类规则	99
3.4.6 向元件库中添加新的图元	59	4.2.3 网络规则	100
3.4.7 从元件库中删除图元	60	4.2.4 条件规则	101
3.4.8 编辑元件库中的某个图元	60	4.2.5 差分对规则	103
3.4.9 复制元件库中的某个图元	60	4.2.6 设置规则报告	104
3.4.10 打印元件库中的图元	61	4.3 生成网络表	105
3.5 编辑元件	61	4.3.1 生成 PCB 网络表	105
3.5.1 编辑元件的流水号和类型	62	4.3.2 生成 SPICE 网络表	106
3.5.2 设置元件的 PCB 封装	63	4.4 生成材料清单和其他报表	108
3.5.3 设置文本的可见性	63	4.4.1 生成材料清单	108
3.5.4 设置元件的属性	64	4.4.2 生成其他报告内容	111
3.5.5 设置未使用的引脚	65	第 5 章 制作元件与建立元件库	113
3.6 设置电阻、电容和电感值	65	5.1 元件编辑器	113
3.7 调整元件位置	67	5.1.1 CAE 图形编辑器	114
3.7.1 选取元件	67	5.1.2 CAE 元件编辑器	115
3.7.2 移动元件	69	5.1.3 元件类型编辑器	116
3.7.3 旋转元件	69	5.2 创建元件的 CAE 图形	116
3.7.4 复制粘贴元件	69	5.2.1 手绘绘制 CAE 图形	117
3.8 连接线路	70	5.2.2 添加元件引脚	118
3.8.1 新的连线	70	5.2.3 保存 74LS14 元件的 CAE 图形	120
3.8.2 在不同页面间连线	71	5.2.4 使用向导创建 CAE 图形	120
3.8.3 浮动连线	72	5.3 创建并设置元件	121
3.9 放置电源与接地元件	73	5.3.1 创建 CAE 图形	121
3.10 添加总线并连接总线	74	5.3.2 设置引脚号	122
3.10.1 添加总线	75	5.3.3 设置引脚名	123
3.10.2 连接总线	76	5.3.4 设置引脚类型	125
3.10.3 快速连接总线	77	5.3.5 设置引脚门交换值	125
3.11 添加网络	79	5.3.6 设置引脚顺序	126
3.12 添加文本	80	5.3.7 添加或设置标签	126
3.12.1 添加普通文本	81	5.3.8 保存元件	127
3.12.2 添加变量文本	81	5.4 设置元件的电气属性	127
3.13 原理图设计实例——24V 功率 驱动模块	82	5.4.1 设置元件的逻辑类型	128
第 4 章 层、设计规则和报表	89	5.4.2 设置元件的普通信息	128
4.1 设置电路板层	89	5.4.3 设置元件的逻辑门数	129
4.1.1 显示层信息	89	5.4.4 设置元件的信号引脚	130
4.1.2 设置层类型	90	5.4.5 设置元件的 PCB 封装	131
4.1.3 设置电气层数	90	5.4.6 设置元件的属性	131
4.1.4 设置层的厚度	92	第 6 章 PADS Layout 基础	134
4.1.5 设置非电气层数	93	6.1 PADS Layout 界面	134
4.2 设计规则定义	93	6.2 PADS Layout 的菜单和 工具栏	136

6.2.1 菜单命令	136	7.4.4 设置组规则	182
6.2.2 常用工具栏命令	140	7.4.5 设置引脚对规则	184
6.3 PADS Layout 的工作空间和 视图	142	7.4.6 设置封装规则	185
6.3.1 工作空间	142	7.4.7 设置元件规则	186
6.3.2 状态窗口	142	7.4.8 设置条件规则	187
6.3.3 视图操作	143	7.4.9 设置差分对规则	187
6.4 设置 PADS Layout 的环境 参数	143	7.4.10 设置规则报告	188
6.4.1 设置全局参数	143	7.4.11 设置规则优先级	189
6.4.2 设置栅格参数	145	7.5 元件布局	189
6.4.3 设置绘图参数	147	7.5.1 元件的自动布局	190
6.4.4 设置设计参数	148	7.5.2 手动调整元件布局	195
6.4.5 设置布线参数	150	7.6 工程更改	198
6.4.6 设置分割/混合平面参数	152	7.6.1 设置工程更改选项参数	198
6.4.7 设置热焊盘参数	154	7.6.2 添加元件	199
6.4.8 设置尺寸标注参数	155	7.6.3 添加网络连接	200
6.4.9 设置泪滴参数	158	7.6.4 元件重新编号	201
6.4.10 设置晶粒元件参数	159	7.6.5 更换元件封装	202
6.5 设置 PCB 层	160	7.6.6 添加布线	203
6.5.1 设置电气层	160	7.6.7 交换引脚和门	205
6.5.2 设置非电气层	161	7.6.8 更新 PADS Logic 原理图	206
6.6 设置 PADS Layout 的显示 颜色	163	7.7 设置焊盘或过孔属性	206
6.7 选择对象和选择过滤器	164	7.8 设置网络的可见性	208
6.7.1 简单选择对象	164	7.9 交互布线	209
6.7.2 使用选择过滤器选择对象	165	7.9.1 启动在线设计规则检查	209
第 7 章 PCB 设计	168	7.9.2 设置布线栅格	210
7.1 建立 PCB 图	168	7.9.3 交互布线	211
7.1.1 建立 PCB 的轮廓	168	7.9.4 交互动态布线	213
7.1.2 裁剪 PCB 的轮廓	170	7.9.5 插入过孔	214
7.1.3 修改 PCB 的轮廓	170	7.9.6 交互自动布线	215
7.1.4 建立 PCB 的禁止区	170	7.9.7 在平面层上布线	216
7.2 加载元件和网络数据	172	7.9.8 总线方式布线	216
7.2.1 从文本文件导入网络表	172	7.10 布线编辑	218
7.2.2 从 PADS Logic 传送网络表	172	7.10.1 布线过程中的编辑	218
7.3 设置 PCB 的图层	174	7.10.2 布线后的编辑	220
7.4 定义设计规则	175	7.11 添加测试点和跳线	227
7.4.1 设置默认规则	176	7.11.1 手动添加测试点	227
7.4.2 设置类规则	181	7.11.2 自动添加测试点	228
7.4.3 设置网络规则	182	7.11.3 添加跳线	229
		7.12 定义分割平面	230
		7.12.1 定义网络颜色	230
		7.12.2 分割平面	231
		7.13 覆铜	234

7.13.1 绘制覆铜区域	234	9.5.7 创建 CAM 输出文档	282
7.13.2 设置灌注或填充选项	236	9.5.8 CAM350 计算机辅助制造软件的 接口	287
7.13.3 灌注或填充覆铜区域	236	第 10 章 PADS Router 自动布线	
7.14 设计验证	237	工具	288
7.15 添加文本和尺寸标注	240	10.1 PADS Router 基础	288
7.15.1 添加文本	241	10.1.1 PADS Router 的设计环境	288
7.15.2 尺寸标注	241	10.1.2 PADS Router 的常用工具栏	289
7.16 自动布线器 PADS Router 和 SPECCTRA 的接口	242	10.1.3 PADS Router 的快捷菜单	290
7.16.1 PADS Router 的接口	243	10.1.4 视图操作	290
7.16.2 SPECCTRA 的接口	244	10.2 设置设计规则	291
7.17 设计实例	245	10.2.1 设置默认安全间距规则	292
7.17.1 建立 PCB 文件	245	10.2.2 设置扇出规则	293
7.17.2 设置层和显示颜色	246	10.2.3 设置焊盘引入线规则	295
7.17.3 建立 PCB 的轮廓	246	10.2.4 设置布线拓扑规则	296
7.17.4 加载网络表和元件	246	10.2.5 设置布线方向和层成本	297
7.17.5 PCB 的布局	247	10.2.6 设置层和过孔偏移	297
7.17.6 设置设计规则	249	10.2.7 设置网络规则	298
7.17.7 布线操作	251	10.2.8 设置网络类规则	299
7.17.8 对 PCB 覆铜	253	10.2.9 设置条件规则	300
第 8 章 制作元件封装	255	10.2.10 设置其他规则	301
8.1 元件封装编辑器	255	10.3 设置 PADS Router 设计环境	302
8.1.1 启动元件封装编辑器	255	10.3.1 设置设计和显示栅格	302
8.1.2 元件封装编辑器介绍	256	10.3.2 设置显示颜色	302
8.2 创建新的元件封装	257	10.3.3 设置布线参数	304
8.2.1 建立新的元件库	257	10.3.4 设置图形显示	307
8.2.2 通过直接绘图创建新的元件 封装	257	10.3.5 设置自动布线策略	308
8.2.3 使用向导创建新的元件封装	262	10.3.6 设置其他参数	309
第 9 章 PCB 报表	269	10.4 交互布线	309
9.1 生成 PCB 元件列表	269	10.4.1 布线准备	310
9.2 生成 PCB 统计信息	269	10.4.2 手动交互布线	311
9.3 生成 PCB 网络表	271	10.4.3 动态布线	317
9.4 使用脚本程序生成报表	271	10.4.4 推挤布线	318
9.5 生成计算机辅助制造文件	273	10.5 高级布线技巧	319
9.5.1 建立 CAM 输出文件目录	273	10.5.1 控制走线长度	319
9.5.2 添加新的 CAM 输出文件	273	10.5.2 蛇形布线	320
9.5.3 编辑 CAM 输出文件设置	274	10.5.3 差分对布线	322
9.5.4 定制输出文档	275	10.5.4 等长布线	325
9.5.5 设置输出设备	277	10.6 自动布线	326
9.5.6 光绘文件及其设置	279	10.6.1 设置设计规则和布线参数	327
		10.6.2 自动布线	327
		10.6.3 设计验证	328

第 1 章 PCB 基础

在学习使用 PADS 进行电路设计和印制电路板 (PCB) 制作之前, 先讲述一下 PCB 的基础知识。因为原理图的设计目标主要是进行后续的 PCB 设计, 所以在学习具体的原理图设计和 PCB 制作之前, 了解基本的 PCB 知识是很重要的。

1.1 PCB 概述

在学习使用 PADS 进行 PCB 设计前, 先了解一下 PCB 的结构, 理解一些基本概念, 尤其是涉及到布线规则时, 这些概念就显得很重要了。

1.1.1 PCB 结构

一般来说, PCB 的结构有单面板、双面板和多层板 3 种。

(1) 单面板: 单面板是一种一面有覆铜, 另一面没有覆铜的电路板, 用户只可在覆铜的一面布线并放置元件 (本书以下所述元件均包括电子元件和器件)。单面板由于其成本低, 不用打过孔而被广泛应用。由于单面板走线只能在一面上进行, 因此它的设计往往比双面板或多层板困难得多。

(2) 双面板: 双面板包括顶层 (Top Layer) 和底层 (Bottom Layer) 两层, 顶层一般为元件面; 底层一般为焊锡层面。双面板的双面都可以覆铜, 都可以布线。双面板的电路一般比单面板的电路复杂, 但布线比较容易, 是制作电路板比较理想的选择。

(3) 多层板: 多层板就是包含了多个工作层或电源层的电路板。除了上面讲到的顶层、底层以外, 还包括中间层、内部电源或接地层等。随着电子技术的高速发展, 电子产品越来越精密, 电路板也就越来越复杂, 多层电路板的应用也越来越广泛。多层电路板一般指三层以上的电路板。

1.1.2 元件封装

通常设计完 PCB 后, 将 PCB 设计图样拿到专门制作电路板的生产单位, 制作电路板。取回制好的电路板后, 要将元件焊接上去。那么如何保证取用元件的引脚和 PCB 上的焊盘一致呢? 那就得靠元件封装了。

元件封装是指元件焊接到电路板上时的外观和焊盘位置。既然元件封装只是元件的外观和焊盘位置, 那么纯粹的元件封装仅仅是空间的概念, 因此不同的元件可以共用同一个元件封装; 另一方面, 同种元件也可以有不同的封装, 比如电阻元件, 它的封装形式可以是针脚式或表面贴装式封装, 所以在取用焊接元件时, 不仅要知道元件名称, 还要知道元件封装。元件的封装可以在设计原理图时指定, 也可以在引进网络表时指定。

注意: 通常在放置元件时, 应该参考该元件生产单位提供的数据手册, 选择正确的封装形式, 如果 PADS 没有提供这种封装, 则可以自己按照数据手册绘制。

1. 元件封装的分类

元件的封装形式可以分成两大类，即针脚式元件封装和 SMT（表面贴装技术）元件封装。针脚式元件封装焊接时，先要将元件针脚插入焊盘导通孔，然后再焊锡。由于针脚式元件封装的焊盘和过孔贯穿整个电路板，所以其焊盘的属性对话框中，PCB 的 Layer（层）属性必须为 Multi Layer（多层）。SMT 元件封装的焊盘只限于表面层，在其焊盘的属性对话框中，层属性必须为单一表面，如 Top layer 或者 Bottom layer。

下面讲述最常见的两种封装：

(1) DIP：双列直插封装（Dual In-line Package, DIP），属于针脚式元件封装，如图1-1所示。DIP 结构具有以下特点：适合 PCB 的穿孔安装，易于对 PCB 进行布线，操作方便。

DIP 结构形式有多层陶瓷式 DIP，单层陶瓷式 DIP，引线框架式 DIP（含玻璃陶瓷封接式、塑料包封结构式和陶瓷低熔玻璃封装式）。

(2) 芯片载体封装：属于 SMT 元件封装。芯片载体封装有陶瓷无引线芯片载体（Leadless Ceramic Chip Carrier, LCCC）封装（图 1-2）、塑料有引线芯片载体（Plastic Leaded Chip Carrier, PLCC）封装（图 1-3，与 LCCC 相似）、小尺寸封装（Small Outline Package, SOP）（图 1-4）、塑料四边引出扁平封装（Plastic Quad Flat Package, PQFP）（图 1-5）和球栅阵列（Ball Grid Array, BGA）封装（图 1-6）。与 PLCC 封装或 PQFP 封装相比，BGA 封装更加节省电路板的面积。

说明：SOP 和 PQFP 一般采用 SMT。

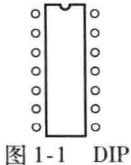


图 1-1 DIP



图 1-2 LCCC 封装

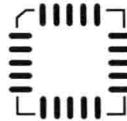


图 1-3 PLCC 封装

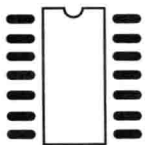


图 1-4 SOP

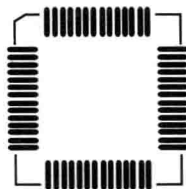


图 1-5 PQFP

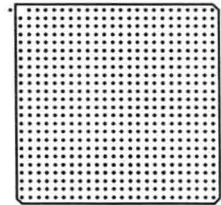


图 1-6 BGA 封装

2. 元件封装的编号

元件封装的编号一般为元件类型 + 焊盘距离（焊盘数）+ 元件外形尺寸。可以根据元件封装的编号，来判别元件封装的规格。如 RES1206 表示此元件为 SMT 元件，两焊盘的几何尺寸为 1206；DIP16 表示双排引脚的元件封装，两排共 16 个引脚。

说明：PADS 可以使用两种单位，即英制和公制。英制单位为 in（英寸），在 PADS 中一般使用 mil，即密耳，1mil = 1/1000 in。公制单位一般为 mm（毫米），1in = 25.4mm，而 1mil = 0.0254mm。本书中可能会出现 mil 和 mm 两种单位，请注意换算。

1.1.3 铜膜导线

铜膜导线也称铜膜走线，简称导线，用于连接各个焊盘，是 PCB 最重要的部分。PCB 设计都是围绕如何布置导线来进行的。

与导线有关的另外一种线，常称之为飞线，即预拉线。飞线是在引入网络表后，系统根据规则生成的，用来指引布线的一种连线。

飞线与导线有本质的区别，飞线只是一种形式上的连线，它只是在形式上表示出各个焊盘间的连接关系，没有电气连接意义；而导线是根据飞线指示的焊盘间的连接关系而布置的，具有电气连接意义。

1.1.4 助焊膜和阻焊膜

各类膜 (Mask) 不仅是 PCB 制作工艺过程中必不可少的，而且更是元件焊装的必要条件。按膜所处的位置及其作用，膜可分为元件面 (或焊接面) 助焊膜 (TOP or Bottom Solder) 和元件面 (或焊接面) 阻焊膜 (TOP or Bottom Paste Mask) 两类。助焊膜是涂于焊盘上的，用于提高可焊性能的一层膜，也就是在绿色电路板上比焊盘略大的浅色圆。阻焊膜的情况正好相反，为了使制成的电路板适应波峰焊等焊接形式，要求电路板上非焊盘处的铜箔不能沾锡，因此在焊盘以外的各部位都要涂覆一层涂料，用于阻止这些部位上锡。可见，这两种膜是一种互补关系。

1.1.5 层

PADS 的层不是虚拟的，而是 PCB 材料本身实实在在的铜箔层。现今，由于电路的元件密集安装、抗干扰和布线等特殊要求，一些较新的电子产品中所用的 PCB 不仅上下两面可供走线，在 PCB 的中间还设有能被特殊加工的夹层铜箔，例如，现在的计算机主板所用的 PCB 材料大多在 4 层以上。这些层因加工相对较难而大多用于设置走线较为简单的电源布线 (Ground Dever 和 Power Dever) 层，并常用大面积填充的办法来布线。上下位置的表面层与中间各层需要连通的地方用过孔 (Via) 来沟通。要提醒的是，一旦选定了所用 PCB 的层数，务必关闭那些未被使用的层，以免布线出现差错。

1.1.6 焊盘和过孔

(1) 焊盘 (Pad)：焊盘的作用是放置焊锡、连接导线和元件引脚。焊盘是 PCB 设计中最常接触也是最重要的概念，但初学者却容易忽视它的选择和修正，在设计中千篇一律地使用圆形焊盘。选择元件的焊盘类型，要综合考虑该元件的形状、大小、布置形式、振动和受热情况、受力方向等因素。PADS 在封装库中给出了一系列不同大小和形状的焊盘，如圆、方、八角、圆方和定位用焊盘等，但有时这还不够用，需要自己编辑。例如，对发热且受力较大、电流较大的焊盘，可自行设计成“泪滴状”。一般而言，自行编辑焊盘时除了以上所讲的外，还要考虑以下原则：

- 形状上长短不一致时，要考虑连线宽度与焊盘特定边长的大小差异不能过大。
- 需要在元件引脚之间走线时，选用长短不对称的焊盘往往事半功倍。
- 各元件焊盘孔的大小要按元件引脚粗细分别编辑确定，原则是孔的尺寸比引脚直径

大 0.2 ~ 0.4mm。

(2) 过孔 (Via)：为连通各层之间的线路，在各层需要连通导线的交汇处钻上一个公共孔，这就是过孔。过孔有 3 种，即从顶层贯通到底层的穿透式过孔、从顶层通到内层或从内层通到底层的盲过孔以及内层间的隐藏过孔。

过孔从上面看上去，有两个尺寸，即通孔直径和过孔直径，如图 1-7 所示。通孔和过孔之间的孔壁，用于连接不同层的导线。

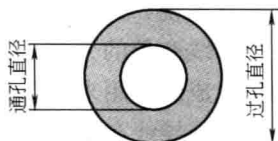


图 1-7 过孔尺寸

一般而言，设计线路时对过孔处理有以下原则：

- 尽量少用过孔，一旦选用了过孔，务必处理好它与周边各实体的间隙，特别是容易被忽视的中间各层与过孔不相连的线与过孔的间隙。
- 需要的载流量越大，所需的过孔尺寸越大，如电源层和地层与其他层连接所用的过孔就要大一些。

1.1.7 丝印层

为方便电路的安装和维修，在 PCB 的上下两表面印上所需要的标志图案和文字代号等，例如元件标号和标称值、元件外廓形状和厂家标志、生产日期等，这就称为丝印层 (Silk-screen Top/Bottom Overlay)。不少初学者设计丝印层的有关内容时，只注意文字符号放置得整齐美观，而忽略了实际制出的 PCB 效果。在他们设计的 PCB 上，字符不是被元件挡住就是侵入了助焊区而被抹除，还有的把元件标号打在相邻元件上，如此种种的设计都将会给装配和维修带来很大不便。

1.1.8 覆铜

对于抗干扰要求比较高的 PCB，常常需要在 PCB 上覆铜。覆铜可以有效地实现 PCB 的信号屏蔽作用，提高 PCB 信号的抗电磁干扰的能力。通常覆铜有两种方式：一种是实心填充方式；另一种是网格状填充方式，如图 1-8 所示。

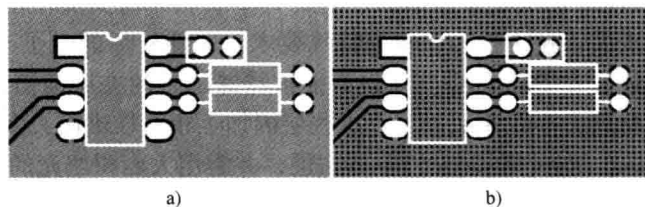


图 1-8 覆铜的填充方式

a) 实心填充方式 b) 网格状填充方式

在实际应用中，实心填充比网格状更好，建议使用实心填充方式。

注意：建议对抗干扰要求比较高的 PCB 进行覆铜处理。

1.2 PCB 设计流程

PCB 的设计就是将设计的电路在一块板上实现。一块 PCB 上不但要包含所有必需的电路，而且还应该选择合适的元件、元件的信号速度、材料、温度范围、电源的电压范围以及制造公差等信息，一块设计出来的 PCB 必须能够制造出来，所以 PCB 的设计除了要满足功能要求外，还要求满足制造工艺要求以及装配要求。为了有效地实现这些设计目标，我们需

要遵循一定的设计过程和规范。

图 1-9 为一个完整 PCB 项目设计的基本流程, 包含了从对设计功能要求开始直到产品的制造以及文档的形成的整个过程。这个过程充分利用计算机辅助工具, 从而可以确保设计的顺利进行。

(1) 产生设计要求和规范。通常, 一个新的设计要从新的系统规范和功能要求开始。产生了设计的系统规范和功能要求等说明后, 就可以进行功能分析, 并且产生成本目标、开发计划、开发成本、需要应用的相关技术以及各种必需的要求。例如, 一个电动机控制系统的开发项目, 它的设计要求和规范可能包括控制电动机的类型 [永磁同步电动机 (PMSM)]、电动机的功率 (100W)、电压和电流的要求 (24V, 5A)、控制精度要求、平均无故障时间 (MTBF)、通信接口的要求、应用环境等。这些设计规范将是整个设计的起点, 后续的设计过程将要严格满足这些规范的要求。

(2) 生成系统的组成结构框图。一旦获得了系统的设计规范, 那么我们就可以生成为实现该系统所要求的主要功能的结构框图。这个系统组成的结构框图描述了所设计的系统是如何进行功能分解, 各个功能模块之间的关系如何。

(3) 功能分解。主要功能确定后, 就可以按照可应用的技术, 将实现的电路分解到 PCB 模块中, 在一个 PCB 中的功能必须可以有效地实现。各个 PCB 之间可以通过数据总线或其他通信模式进行连接。很多情况下, 是通过背板上的总线将各个子 PCB 连接起来, 比如 Lab-View 的背板和数据采集子卡之间的连接。再如计算机的主板和内存条、显示驱动、硬盘控制器以及个人计算机存储卡接口适配器 (Personal Computer Memory Card Interface Adapter, PCMCIA) 的接口。

(4) 绘制 PCB 的原理图。然后就可以根据各个 PCB 的功能模块, 绘制 PCB 实现的原理图, 从而在原理上实现其功能。在这个过程中, 需要选择 PCB 实现所需要的合适元件以及元件之间的连接方式。

(5) 创建 PCB 设计所需的元件库。在设计 PCB 时, 必须具有一定电气特性的元件, 用来实现线路的连接。通常我们需要根据自己的设计要求, 创建 PCB 设计所需要的元件库。这些元件库需要包含以下的属性:

- 封装类型, 比如 DIP、SOP、QEP 等;
- 元件尺寸、引脚大小、引脚间距以及引脚序号;
- 定义引脚功能, 如输入、输出或电源引脚等;
- 每个引脚的电气属性, 如容性、输出阻抗等。

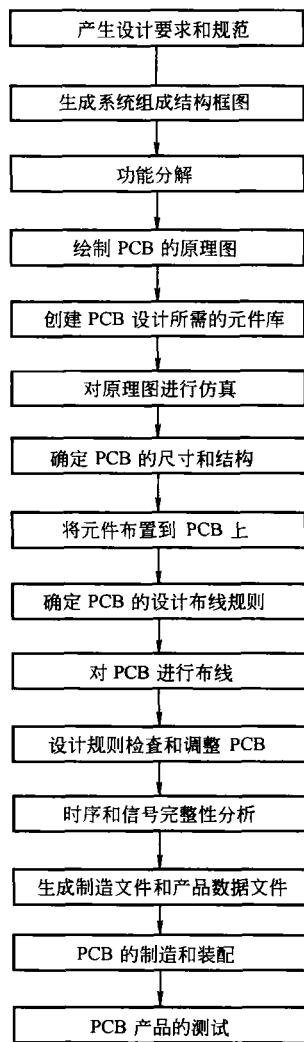


图 1-9 PCB 项目的设计流程

(6) 对原理图进行仿真。目前电子设计自动化 (EDA) 工具软件一般都具有仿真的功能, 最常用的仿真模型是基于 SPICE 软件实现的。对于设计的原理图进行仿真是 PCB 设计的重要一步, 它有助于发现设计中存在的问题, 以便及时修正, 从而提高设计效率和产品的开发速度, 也可以降低设计成本。只有当仿真结果符合设计要求时, 才可以进入 PCB 的设计和布线环节。

(7) 确定 PCB 的尺寸和结构。确定了原理图的仿真符合要求后, 就可以规划 PCB。可以根据电路的复杂度和成本要求, 确定 PCB 的尺寸。PCB 的尺寸和层数也有关系。增加板层可以更容易实现复杂电路的布线, 从而可以减小 PCB 的尺寸。但是板层的增加会增加板的成本。因此, 设计人员要折中考虑, 如果板的信号要求比较高, 而且线路复杂, 可以考虑采用多层板。如果线路不复杂, 则可以使用双面板。具体设计时, 应该参考多层板和双面板的成本, 以及板的尺寸等对制造成本的影响。

(8) 将元件布置到 PCB 上。在确定了 PCB 的尺寸和结构后, 就可以将元件布置到 PCB 上, 并且加载相关的电气连接信息, 即网络表。将元件布置到 PCB 上是一个非常重要的过程, 它关系到后续的 PCB 布线的成功。在放置元件时, 应该尽可能将具有相互关系的元件靠近; 数字电路和模拟电路应该分放在不同的区域; 对发热的元件应该进行散热处理; 对敏感信号应该避免产生干扰或被干扰, 比如时钟信号, 应该引线尽可能短, 所以要靠近其连接的芯片。可以先使用软件工具完成自动放置功能, 然后进行手动调整。

(9) 确定 PCB 的设计布线规则。在 PCB 布线前, 应该确定布线的规则, 比如信号线之间的距离、走线宽度、信号线的拐角、走线的最长长度等规则的设置。PCB 的布线规则最终会影响布线的成功以及走线的电气特性, 是一个非常重要的步骤。

(10) 对 PCB 进行布线。确定布线规则后, 就可以对 PCB 进行布线。通常的做法是先手动对重要的信号进行布线, 并对电源和地进行走线。然后将预布的线锁定, 再使用软件工具的自动布线功能对剩下的 PCB 连接进行自动布线。最后对没有布通的少数走线可以手动处理。

(11) 设计规则检查和调整 PCB。在完成了布线后, 还需要对布线后的 PCB 进行设计规则检查, 看布线是否符合所定义的设计规则的电气要求。根据检查的结果, 可以手动调整 PCB 的走线。

(12) 时序和信号完整性分析。一个优秀的 PCB 设计, 其时序应该满足设计要求。为了检查信号的时序和完整性, 需要对布线后的 PCB 进行时序和信号完整性分析。对于时序和信号完整性分析, 通常须对一个关键信号的时序和信号完整性进行分析, 比如总线、时钟等信号。

(13) 生成制造文件和产品数据文件。然后可以根据制造的要求, 生成制造文件和产品数据文件, 比如数控 (NC) 钻孔文件、Gerber 光绘文件以及元件报表等。

(14) PCB 的制造和装配。完成上述步骤后, PCB 就进入制造过程, 从而使设计完整表现在一块实际的 PCB 上, 包括所有的信号连线、封装及层等等。然后就可以将芯片焊接装配到 PCB 上。这样就完成了 PCB 的设计和制造。

(15) PCB 产品的测试。最后根据设计规范, 对 PCB 进行现场测试, 以便评估设计是否达到设计规范的要求。

以上是 PCB 设计的一般流程, 在通常的设计中, 都可以遵循这个设计流程。但是随着

EDA 软件的快速发展, 虚拟的设计环境将来可能在软件平台中实现, 这就会更加有效地实现设计的仿真以及信号的虚拟分析, 有助设计的成功实现及产品的快速开发。

1.3 PCB 设计的基本原则

PCB 设计的好坏, 对电路板抗干扰能力的影响很大。因此, 在进行 PCB 设计时, 必须遵守 PCB 设计的一般原则, 并应符合抗干扰设计的要求。要使电子电路获得最佳性能, 元件的布局及导线的布设是很重要的。为了设计出质量好、造价低的 PCB, 应遵循下面讲述的一般原则。

1.3.1 布局

首先, 要考虑 PCB 尺寸的大小。当 PCB 尺寸过大时, 印制电路长, 阻抗增加, 抗噪声能力下降, 成本也增加; PCB 尺寸过小时, 则散热不好, 且邻近电路易受干扰。在确定 PCB 尺寸后, 再确定特殊元件的位置。最后, 根据电路的功能单元, 对电路的全部元件进行布局。

(1) 在确定特殊元件的位置时, 要遵守以下原则:

- 尽可能缩短高频元件之间的连线, 设法减少它们的分布参数和相互间的电磁干扰。易受干扰的元件不能相互挨得太近, 输入和输出元件应尽量远离。

- 某些元件或导线之间可能有较高的电位差, 应加大它们之间的距离, 以免放电引出意外短路。带强电的元件应尽量布置在调试时手不易触及的地方。

- 对于重量超过 15g 的元件, 应当用支架加以固定, 然后焊接。那些又大又重、发热量多的元件, 不宜装在 PCB 上, 而应装在整机的机箱底板上, 且应考虑散热问题。热敏元件应远离发热元件。

- 对于电位器、可调电感线圈、可变电容器、微动开关等可调元件的布局, 应考虑整机的结构要求。若是机内调节, 应放在 PCB 上方便调节的地方; 若是机外调节, 其位置要与调节旋钮在机箱面板上的位置相适应。

- 应留出 PCB 的定位孔和固定支架所占用的位置。

(2) 根据电路的功能单元, 对电路的全部元件进行布局时, 要符合以下原则:

- 按照电路的流程安排各个功能电路单元的位置, 使布局便于信号流通, 并使信号尽可能保持一致的方向。

- 以每个功能电路的核心元件为中心, 围绕它来进行布局。元件应均匀、整齐、紧凑地排列在 PCB 上, 尽量减少和缩短各元件之间的引线和连接。

- 在高频下工作的电路, 要考虑元件之间的分布参数。一般 PCB 上应尽可能使元件平行排列。这样, 不但美观, 而且容易焊接, 易于批量生产。

- 位于 PCB 边缘的元件, 离电路板边缘一般不小于 2mm。PCB 的最佳形状为矩形, 长宽比为 3:2 或 4:3。PCB 尺寸大于 200mm × 150mm 时, 应考虑 PCB 所受的机械强度。

另外, PCB 厚度也可以按照推荐指定。对于 FR4 材料来说, 一般标准的 PCB 厚度为 0.062in (1.575mm)。其他典型的 PCB 厚度有 0.010in (0.254mm)、0.020in (0.508mm)、0.031in (0.787mm) 和 0.092in (2.337mm)。

1.3.2 布线

布线的方法以及布线的结果对 PCB 的性能影响也很大，一般布线要遵循以下原则：

(1) 输入和输出端的导线应避免相邻平行，最好添加线间地线，以免发生反馈耦合。

(2) PCB 导线的最小宽度主要由导线与绝缘基板间的黏附强度和流过它们的电流值决定。导线宽度应以能满足电气性能要求而又便于生产为宜，它的最小值由承受的电流大小而定，但最小宽度不宜小于 0.2mm (8mil)。在高密度、高精度的印制电路中，导线宽度和间距一般可取 0.3mm。在大电流情况下，选择导线宽度时还要考虑导线温升，单面板实验表明，当铜箔厚度为 50 μm 、导线宽度为 1~1.5mm、通过电流为 2A 时，温升很低，因此一般选用 1~1.5mm 宽度导线就可以满足设计要求而不致引起温升。印制导线的公共地线应尽可能地粗，可以使用大于 2~3mm 的导线，这点在带有微处理器的电路中尤为重要，因为当地线过细时，由于流过导线的电流的变化，地电位变动，微处理器定时信号的电平不稳，会使噪声容限劣化。在 DIP 的 IC 引脚间走线，可应用 10—10 与 12—12 原则，即当两脚间通过 2 根线时，焊盘直径可设为 50mil (1mil = 0.0254mm)，线宽与线距都为 10mil；当两脚间只通过 1 根线时，焊盘直径可设为 64mil，线宽与线距都为 12mil。

表 1-1 列出了流过电流大小和线宽之间的关系，可以供读者在后面章节学习 PCB 布线时参考。

表 1-1 流过电流大小和线宽之间的关系

电流/A	1oz ^① 铜的线宽/mil	2oz ^① 铜的线宽/mil	电阻率/(m Ω ·in)
1	10	5	52
2	30	15	17.2
3	50	25	10.3
4	80	40	6.4
5	110	55	4.7
6	150	75	3.4
7	180	90	2.9
8	220	110	2.3
9	260	130	2.0
10	300	150	1.7

① 1oz = 28.3495g。

(3) 对于 PCB 导线拐弯，一般取圆弧形或 45° 拐角，而直角或夹角在高频电路中会影响电气性能。此外，应尽量避免使用大面积铜箔，否则长时间受热，易发生铜箔膨胀和脱落现象。必须用大面积铜箔时，最好用栅格状，这样有利于排除铜箔与基板间黏合剂受热产生的挥发性气体。

(4) PCB 导线的间距。相邻导线间距必须能满足电气安全的要求，而且为了便于操作和生产，间距也应尽量宽些，只要工艺上允许，可使间距小于 0.5~0.8mm。最小间距至少要能适合承受的电压，这个电压一般包括工作电压、附加波动电压以及其他原因引起的峰值电压。如果有关技术条件允许，导线之间存在某种程度的金属残粒，则其间距就会减小，因

此设计者在考虑电压时应把这种因素考虑进去。在布线密度较低时，信号线的间距可适当地加大，对高、低电平悬殊的信号线，应尽可能短且加大间距。

表 1-2 列出了推荐的导线宽度以及导体之间的间距，根据电压和导线所在位置的不同，其间距也不同。

表 1-2 推荐的导线宽度以及导体之间的间距 (单位: mm)

电压(DC 或 AC 峰值)/V	PCB 内部	PCB 外部 (<3050m)	PCB 外部 (>3050m)
0 ~ 15	0.05	0.1	0.1
16 ~ 30	0.05	0.1	0.1
31 ~ 50	0.1	0.6	0.6
51 ~ 100	0.1	0.6	1.5
101 ~ 150	0.2	0.6	3.2
151 ~ 170	0.2	1.25	3.2
171 ~ 250	0.2	1.25	6.4
251 ~ 300	0.2	1.25	12.5
301 ~ 500	0.25	2.5	12.5

1.3.3 焊盘尺寸

焊盘的直径和内孔尺寸：对焊盘的内孔尺寸，必须从元件引线直径和公差尺寸以及焊锡层厚度、孔径公差、孔金属电镀层厚度等方面考虑，焊盘的内孔一般不小于 0.6mm，因为小于 0.6mm 的孔开模冲孔时不易加工，通常情况下以金属引脚直径值加上 0.2mm 作为焊盘内孔直径，如电阻的金属引脚直径为 0.5mm 时，其焊盘内孔直径对应为 0.7mm，焊盘直径取决于内孔直径。

(1) 当焊盘直径为 1.5mm 时，为了增加焊盘抗剥强度，可采用长不小于 1.5mm、宽为 1.5mm 的长圆形（中间为长方形，两端为半圆形）焊盘，此种焊盘在集成电路引脚焊盘中最常见。对于超出上述范围的焊盘直径可用下列公式选取：

- 对于直径小于 0.4mm 的孔： $D/d=0.5 \sim 3$ (D 为焊盘直径， d 为内孔直径)；
- 对于直径大于 2mm 的孔： $D/d=1.5 \sim 2$ 。

(2) 有关焊盘的其他注意事项：

- 焊盘内孔边缘到 PCB 边的距离要大于 1mm，这样可以避免加工时导致焊盘的缺损。
- 焊盘的开口：有些器件是在经过波峰焊后补焊的，但由于经过波峰焊后焊盘内孔会被锡封住，使器件无法插下去，解决的办法是在 PCB 加工时对该焊盘开一小口，这样波峰焊时内孔就不会被封住，而且也不会影响正常的焊接。
- 焊盘补泪滴：当与焊盘连接的走线较细时，要将焊盘与走线之间的连接设计成水滴状，这样的好处是焊盘不容易起皮，而且走线与焊盘不易断开。
- 相邻的焊盘要避免形成锐角或大面积铜箔，成锐角会造成波峰焊困难，而且有桥接的危险；大面积铜箔因散热过快会导致不易焊接。

1.3.4 PCB 电路的抗干扰措施

PCB 的抗干扰设计与具体电路有着密切的关系，这里仅就 PCB 抗干扰设计中常用的几