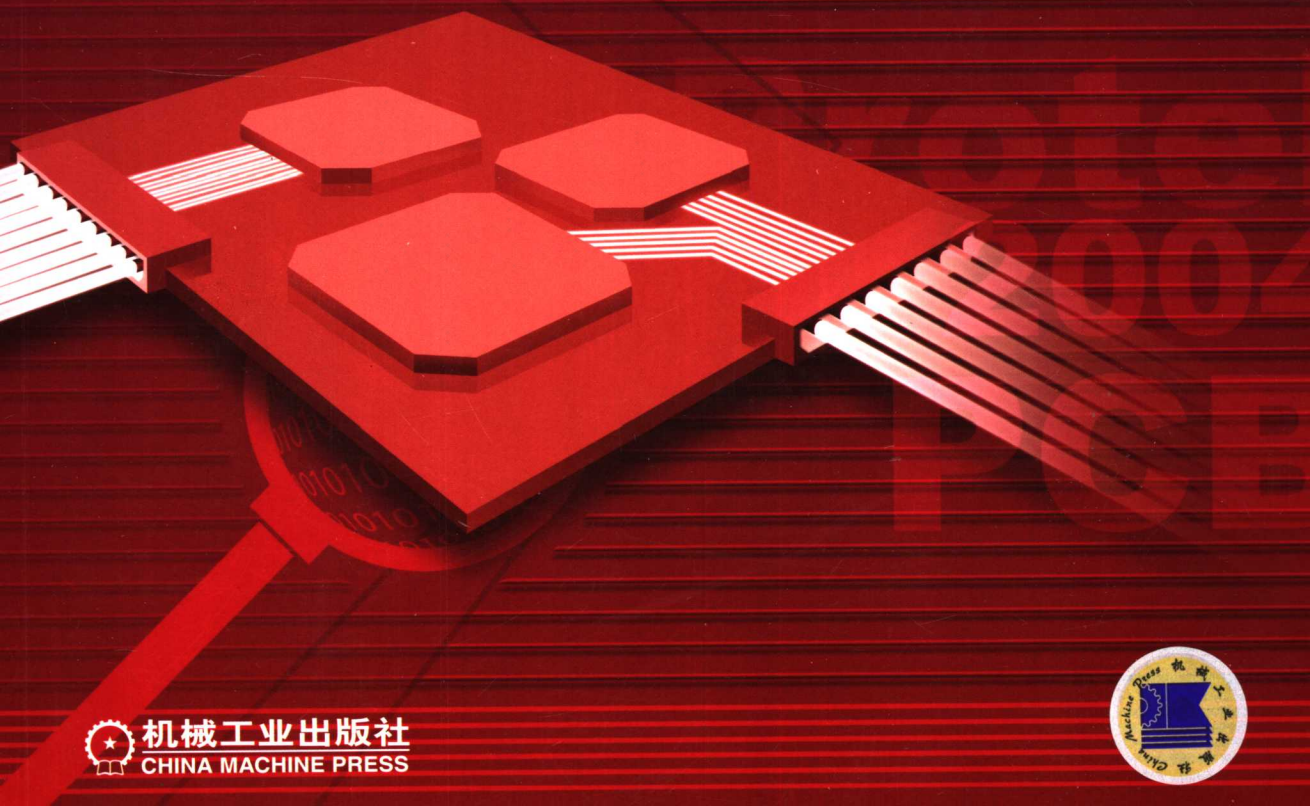


电气信息工程丛书

# Protel 2004

## 电路原理图及 PCB设计

江思敏 姚鹏翼 胡 焯 编著



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



Protel 2004 是 Altium 公司的优秀产品。与以前的 Protel 版本相比较, Protel 2004 的功能得到进一步增强。特别是, Protel 2004 的改进型 Situs 自动布线器大大提高了布线的成功率和准确率。另外, Protel 2004 全面支持 FPGA 设计技术。

本书从实用角度出发, 全面介绍了使用 Protel 2004 进行电路设计和 PCB 制作的基本方法, 详细讲解了电路原理图、印制电路板的设计方法、电路仿真和 PCB 信号完整性分析。通过对实例的讲解, 使读者能快速掌握 Protel 2004 的各项功能和电路设计的方法。

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

## 图书在版编目 (CIP) 数据

Protel 2004 电路原理图及 PCB 设计 / 江思敏等编著. —北京: 机械工业出版社, 2006.8

(电气信息工程丛书)

ISBN 7-111-19741-0

I. P... II. 江... III. 印刷电路—计算机辅助设计—应用软件, Protel 2004  
IV. TN410.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 093636 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: 胡毓坚

责任编辑: 罗子超

责任印制: 洪汉军

三河市宏达印刷有限公司印刷

2006 年 9 月第 1 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 20.25 印张 · 499 千字

0001—5000 册

定价: 30.00 元

凡购本图书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

编辑热线电话 (010) 88379739

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

Altium 公司的 Protel 2004 是 DXP 2004 的一个重要模块。Protel 2004 构建于一整套板级设计及实现特性上,其中包括原理图设计、印制电路板设计、混合信号电路仿真、布局前/后信号完整性分析、规则驱动 PCB 布局与编辑、改进型拓扑自动布线及计算机辅助制造(CAM)输出能力等。Protel 2004 的 PCB 电路图设计系统完全利用了 Windows XP 和 Windows 2000 平台的优势,提高了稳定性、增强了图形功能和超强的用户界面。

Protel 2004 是将设计从概念到完成所需全部功能(包括合并到 FPGA 器件中的功能)合并到一个应用中的产品。基于 Protel 2004,可以完成从原理图设计到 PCB 板级设计的整个过程,并且可以实现 VHDL 和 FPGA 设计。Protel 2004 还提供了良好的与 FPGA 芯片制造商无缝连接的 FPGA 设计库。另外,完整的 PCB 信号完整性分析为电路设计工程师提供了设计正确的保证。目前,Protel 是电子工程师进行电子设计的最有用的软件之一。Protel 2004 凭借其强大的功能大大提高了电子线路的设计效率,已成为广大电子线路设计工作者首选的计算机辅助电子线路设计软件。

本书是以 Protel 2004 的 Service Pack4 为蓝本编写的。本书详细介绍了 Protel 2004 最主要的两个部分,即原理图设计和印制电路板设计,并相应讲述了电路仿真和信号完整性分析方面的设计技巧。在讲解过程中,以实例贯穿全书,在每个知识点的讲解中,均结合相应的实例,而且在每讲完一个章节后,还提供一个典型的实例供读者分析。

本书共 12 章,第 1 章主要讲述了 PCB 设计的基础知识;第 2 章讲述了 Protel 2004 软件的基本操作;第 3~6 章为 Protel 2004 的电路原理图设计部分;第 7~10 章是 PCB 电路板设计知识与实例讲解;第 11、12 章讲述了电路仿真和 PCB 信号完整性分析。每章均结合了典型设计实例进行讲解,使读者能轻松掌握 Protel 2004 各功能模块的使用。

本书主要面向广大电路设计工作者以及大专院校师生,也可作为有一定经验的 Protel 使用人员的参考手册。

由于作者水平有限,书中缺点和不足在所难免,请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 印制电路板基础知识</b> .....	1
1.1 印制电路板概述 .....	1
1.1.1 印制电路板结构 .....	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 .....	4
1.1.7 丝印层 .....	4
1.1.8 敷铜 .....	5
1.2 印制电路板布线流程 .....	5
1.3 印制电路板设计的基本原则 .....	6
1.3.1 布局 .....	6
1.3.2 布线 .....	7
1.3.3 焊盘大小 .....	8
1.3.4 印制电路板电路的抗干扰措施 .....	9
1.3.5 去耦电容配置 .....	9
1.3.6 各元件之间的接线 .....	9
1.4 印制电路板的叠层设计 .....	10
1.4.1 多层板 .....	10
1.4.2 六层板 .....	12
1.4.3 四层板 .....	13
1.4.4 单面和双面板 .....	13
1.4.5 叠层设计布局快速参考 .....	17
1.5 PCB 的布线配置 .....	17
1.5.1 微带线 .....	17
1.5.2 带状线 .....	18
1.6 共模和差模电流 .....	19
1.6.1 差模电流 .....	19
1.6.2 共模电流 .....	19
<b>第 2 章 Protel 2004 基础知识</b> .....	21
2.1 Protel 2004 的功能介绍 .....	21
2.1.1 原理图设计功能 .....	21
2.1.2 设计同步 .....	22

2.1.3	PCB 设计	22
2.1.4	Situs 自动布线器	22
2.1.5	PCB 板层	23
2.1.6	FPGA 设计	23
2.2	Protel 2004 设计环境	23
2.2.1	DXP 主界面	23
2.2.2	新建文件菜单介绍	26
2.2.3	文件工作区面板介绍	29
2.3	设置 Protel 2004 系统参数	29
2.4	Protel 2004 的原理图编辑模块	33
2.5	Protel 2004 的 PCB 模块	35
2.6	Protel 2004 文件管理	36
2.7	设置和编译项目	39
2.7.1	检查原理图的电气参数	39
2.7.2	设置类	40
2.7.3	设置比较器	42
2.7.4	ECO 设置	42
2.7.5	输出路径和网络表设置	43
2.7.6	多通道设置	44
2.7.7	搜索路径设置	44
2.7.8	设置项目打印输出	45
2.7.9	编译项目	46
<b>第 3 章</b>	<b>Protel 原理图设计基础</b>	<b>47</b>
3.1	原理图的设计步骤	47
3.1.1	电路设计的一般步骤	47
3.1.2	原理图设计的一般步骤	47
3.2	建立新原理图文件	48
3.3	Protel 2004 原理图设计工具	50
3.3.1	原理图设计工具栏	50
3.3.2	图纸的放大与缩小	52
3.4	设置图纸	53
3.4.1	设置图纸大小	53
3.4.2	设置图纸方向	54
3.4.3	设置图纸颜色	55
3.4.4	设置系统字体	55
3.5	网格和光标设置	56
3.5.1	设置网格的可见性	56
3.5.2	电气节点	56
3.5.3	设置光标	56

3.5.4	设置网格的形状 .....	57
3.6	文档参数设置 .....	59
3.7	设置原理图的环境参数 .....	60
3.7.1	设置原理图环境 .....	60
3.7.2	设置图形编辑环境 .....	63
3.7.3	设置默认的基本单元 .....	64
3.7.4	Orcad 选项 .....	65
<b>第 4 章</b>	<b>原理图设计</b> .....	<b>66</b>
4.1	Protel 元件库管理 .....	66
4.1.1	浏览元件库 .....	66
4.1.2	装载元件库 .....	67
4.2	放置元件 .....	69
4.2.1	放置元件的方法 .....	69
4.2.2	使用工具栏放置元件 .....	72
4.3	编辑元件 .....	73
4.3.1	编辑元件属性 .....	73
4.3.2	设置元件的封装 .....	75
4.3.3	设置仿真属性 .....	77
4.3.4	编辑元件参数的属性 .....	77
4.4	元件位置的调整 .....	78
4.4.1	对象的选取 .....	78
4.4.2	元件的移动 .....	80
4.4.3	单个元件的移动 .....	81
4.4.4	多个元件的移动 .....	82
4.4.5	元件的旋转 .....	83
4.4.6	取消元件的选择 .....	83
4.4.7	复制、粘贴元件 .....	84
4.4.8	阵列式粘贴元件 .....	84
4.4.9	元件的删除 .....	85
4.5	元件的排列和对齐 .....	85
4.6	放置电源与接地元件 .....	88
4.7	手动放置节点 .....	89
4.8	连接线路 .....	89
4.9	更新元件流水号 .....	90
4.10	绘制原理图的基本图元 .....	93
4.10.1	画导线 .....	93
4.10.2	画总线 .....	95
4.10.3	画总线出入端口 .....	96
4.10.4	设置网络名称 .....	97

4.10.5	放置输入输出端口 .....	100
4.10.6	放置电路方块图 .....	101
4.10.7	放置电路方块图的端口 .....	104
4.11	绘制图形 .....	105
4.11.1	绘图工具栏 .....	105
4.11.2	绘制直线 .....	106
4.11.3	绘制多边形 .....	106
4.11.4	绘制圆弧与椭圆弧 .....	107
4.11.5	放置注释文字 .....	108
4.11.6	放置文本框 .....	109
4.11.7	绘制矩形 .....	110
4.11.8	绘制圆与椭圆 .....	111
4.11.9	绘制饼图 .....	112
4.11.10	绘制 Bezier 曲线 .....	113
4.12	FPGA 应用板原理图设计实例 .....	114
4.12.1	FPGA 应用板的介绍 .....	114
4.12.2	原理图的设计基本步骤 .....	114
4.12.3	FPGA 应用板原理图的绘制过程 .....	115
4.12.4	建立层次原理图 .....	121
4.13	译码电路的设计 .....	122
4.14	检查原理图的电气连接 .....	124
4.14.1	设置电气连接检查规则 .....	125
4.14.2	检查结果报告 .....	126
4.15	生成原理图的报表 .....	127
4.15.1	网络表 .....	127
4.15.2	产生元件列表 .....	129
4.15.3	元件交叉参考表 .....	131
4.15.4	项目层次表 .....	131
4.15.5	原理图的打印输出 .....	132
<b>第 5 章</b>	<b>层次原理图设计 .....</b>	<b>135</b>
5.1	层次原理图的设计方法 .....	135
5.2	建立层次原理图 .....	136
5.3	由方块电路符号产生新原理图的 I/O 端口符号 .....	141
5.4	由原理图文件产生方块电路符号 .....	143
5.5	生成层次表 .....	143
5.6	建立多通道原理图 .....	144
<b>第 6 章</b>	<b>制作元件与建立元件库 .....</b>	<b>149</b>
6.1	元件库编辑器 .....	149
6.2	元件库的管理 .....	150

6.2.1	元件库编辑管理器 .....	150
6.2.2	利用 Tools 菜单管理元件 .....	152
6.3	元件绘图工具 .....	155
6.3.1	一般绘图工具栏 .....	155
6.3.2	绘制引脚 .....	156
6.3.3	IEEE 符号 .....	157
6.4	创建一个新元件 .....	159
6.5	生成项目的元件库 .....	165
6.6	产生元件报表 .....	165
6.6.1	元件报表 .....	165
6.6.2	元件库报表 .....	166
6.6.3	元件规则检查表 .....	167
<b>第 7 章</b>	<b>Protel PCB 设计基础 .....</b>	<b>168</b>
7.1	在项目中建立 PCB 文件 .....	168
7.2	印制电路板设计编辑器 .....	172
7.2.1	印制电路板编辑器界面缩放 .....	173
7.2.2	工具栏的使用 .....	173
7.3	设置电路板工作层 .....	174
7.3.1	层的管理 .....	174
7.3.2	设置内部电源层的属性 .....	175
7.3.3	定义层和设置层的颜色 .....	176
7.3.4	印制电路板选项设置 .....	178
7.4	印制电路板电路参数设置 .....	179
<b>第 8 章</b>	<b>制作印制电路板 .....</b>	<b>186</b>
8.1	印制电路板布线工具 .....	186
8.1.1	交互布线 .....	186
8.1.2	放置焊盘 .....	188
8.1.3	放置过孔 .....	190
8.1.4	补泪滴设置 .....	191
8.1.5	放置填充 .....	192
8.1.6	放置多边形敷铜平面 .....	193
8.1.7	分割多边形 .....	195
8.1.8	放置字符串 .....	195
8.1.9	放置坐标 .....	197
8.1.10	绘制圆弧或圆 .....	197
8.1.11	放置尺寸标注 .....	199
8.1.12	设置初始原点 .....	200
8.1.13	放置元件封装 .....	201
8.2	单面板与多层板制作简介 .....	203



8.3	规划电路板和电气定义 .....	204
8.3.1	手动规划电路板 .....	204
8.3.2	使用向导生成电路板 .....	205
8.4	准备原理图和印制电路板 .....	207
8.5	元件封装库的操作 .....	208
8.5.1	装入元件库 .....	208
8.5.2	浏览元件库 .....	209
8.5.3	搜索元件库 .....	210
8.6	网络与元件的装入 .....	210
8.7	元件的自动布局 .....	212
8.8	手工编辑调整元件的布局 .....	214
8.8.1	选取元件 .....	214
8.8.2	旋转元件 .....	214
8.8.3	移动元件 .....	215
8.8.4	排列元件 .....	216
8.8.5	调整元件标注 .....	217
8.8.6	复制、粘贴元件 .....	218
8.8.7	元件的删除 .....	218
8.9	添加网络连接 .....	219
8.10	设计规则的设置 .....	221
8.10.1	布线基本知识 .....	221
8.10.2	布线设计规则的设置 .....	222
8.11	交互手动和自动布线 .....	230
8.11.1	交互手动布线 .....	230
8.11.2	自动布线 .....	232
8.12	手工调整印制电路板 .....	236
8.12.1	调整布线 .....	236
8.12.2	对印制电路板敷铜 .....	237
8.12.3	电源/接地线的加宽 .....	238
8.12.4	文字标注的调整 .....	239
8.12.5	印制电路板补泪滴处理 .....	242
8.13	设计规则检查 .....	243
8.14	完成 FPGA 应用板的印制电路板 .....	245
8.14.1	印制电路板布线设计 .....	245
8.14.2	印制电路板的 3D 显示 .....	248
<b>第 9 章</b>	<b>制作元件封装 .....</b>	<b>250</b>
9.1	元件封装编辑器 .....	250
9.1.1	启动元件封装编辑器 .....	250
9.1.2	元件封装编辑器介绍 .....	251

9.2	创建新的元件封装 .....	251
9.2.1	元件封装参数设置 .....	252
9.2.2	层的管理 .....	253
9.2.3	放置元件 .....	253
9.2.4	设置元件封装的参考点 .....	256
9.3	使用向导创建元件封装 .....	257
9.4	元件封装管理 .....	260
9.4.1	浏览元件封装 .....	260
9.4.2	添加元件封装 .....	261
9.4.3	元件封装重命名 .....	261
9.4.4	删除元件封装 .....	261
9.4.5	放置元件封装 .....	261
9.4.6	编辑元件封装引脚焊盘 .....	262
9.5	创建项目元件封装库 .....	262
<b>第 10 章</b>	<b>印制电路板报表 .....</b>	<b>263</b>
10.1	生成电路板信息报表 .....	263
10.2	生成网络状态报表 .....	265
10.3	生成元件报表 .....	265
10.3.1	生成元件报表的一般方法 .....	265
10.3.2	生成元件报表的简单方法 .....	267
10.4	生成 NC 钻孔报表 .....	268
<b>第 11 章</b>	<b>电路仿真分析 .....</b>	<b>271</b>
11.1	Protel 的仿真元件库描述 .....	271
11.1.1	仿真信号源的元件库 .....	271
11.1.2	仿真专用函数元件库 .....	273
11.1.3	仿真数学函数元件库 .....	273
11.1.4	信号仿真传输线元件库 .....	274
11.1.5	常用元件库 .....	274
11.1.6	元件仿真属性编辑 .....	274
11.1.7	仿真源工具栏 .....	276
11.2	初始状态的设置 .....	276
11.2.1	节点电压 (NS) 设置 .....	276
11.2.2	初始条件 (IC) 设置 .....	276
11.3	仿真器的设置 .....	277
11.3.1	分析 (Analysis) 主菜单 .....	277
11.3.2	一般设置 .....	277
11.3.3	瞬态特性分析 .....	278
11.3.4	傅里叶分析 .....	279
11.3.5	交流小信号分析 .....	279

11.3.6	直流分析 .....	280
11.3.7	蒙特卡罗分析 .....	280
11.3.8	参数扫描分析 .....	281
11.3.9	温度扫描分析 .....	282
11.3.10	传递函数分析 .....	282
11.3.11	噪声分析 .....	282
11.3.12	极点-零点分析 .....	283
11.4	设计仿真原理图 .....	284
11.5	电路仿真实例 .....	285
11.5.1	模拟电路仿真实例 .....	285
11.5.2	数字电路仿真实例 .....	293
第 12 章	信号完整性分析 .....	296
12.1	PCB 信号完整性分析概述 .....	296
12.2	设置信号完整性分析规则 .....	297
12.3	PCB 信号完整性分析器 .....	301
12.3.1	启动信号分析器 .....	301
12.3.2	信号完整性分析器设置 .....	302
12.4	PCB 信号波形分析 .....	308

# 第 1 章 印制电路板基础知识

在学习使用 Protel 进行电路设计和印制电路板 (PCB) 制作之前, 我们先讲述一下 PCB 的基础知识。因为原理图的设计目标主要是为了 PCB 设计, 所以在学习具体的原理图设计和 PCB 制作之前, 掌握基本的 PCB 知识很重要。

## 1.1 印制电路板概述

在用 PCB 系统进行设计前, 先了解一下印制电路板的结构, 理解一些基本概念, 尤其是涉及到布线规则时, 这些概念很重要。

### 1.1.1 印制电路板结构

一般来说, 印制电路板的结构分为单面板、双面板和多层板 3 种。

(1) 单面板: 单面板是一种一面有敷铜, 另一面没有敷铜的电路板, 用户只可在敷铜的一面布线并放置元件。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敷铜, 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 3 层以上的电路板。

### 1.1.2 元件封装

通常设计完印制电路板后, 将它拿到专门制作电路板的单位, 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印制电路板上的焊盘一致呢? 这就得靠元件封装了。

元件封装是指元件焊接到电路板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一个空间的概念, 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, 如 RES 代表电阻, 它的封装形式可以是 AXIAL-0.4、C1608-0603 或 CR2012-0805 等, 所以在取用焊接元件时, 不仅要知道元件名称, 还要知道元件的封装形式。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书册, 选择正确的封装

形式。如果 Protel 没有提供这种封装的话，可以自己按照数据手册进行绘制。

### 1. 元件封装的分类

元件的封装形式可以分为两大类，即针脚式元件封装和 SMT（表面贴装技术）元件封装。针脚式封装元件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，所以在其焊盘的属性对话框中，PCB 的层属性必须设为 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，Layer 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，它们分别属于针脚式元件封装和 SMT（表面贴装式）元件封装。

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

DIP 封装结构形式有：多层陶瓷双列直插式 DIP、单层陶瓷双列直插式 DIP 和引线框架式 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（表面安装技术）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）（如图 1-2 所示）、塑料有引线芯片载体（Plastic Leaded Chip Carrier, PLCC）（如图 1-3 所示，与 LCCC 相似）、小尺寸封装（Small Outline Package, SOP）（如图 1-4 所示）、塑料四边引出扁平封装（Plastic Quad Flat Package, PQFP）（如图 1-5 所示）和球栅阵列（Ball Grid Array, BGA）封装（如图 1-6 所示）。与 PLCC 或 PQFP 封装相比，BGA 封装更加节省电路板的面积。

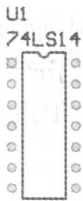


图 1-1 双列直插封装



图 1-2 LCCC 封装



图 1-3 PLCC 封装



图 1-4 SOP 封装

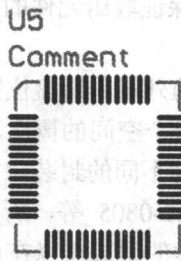


图 1-5 PQFP 封装

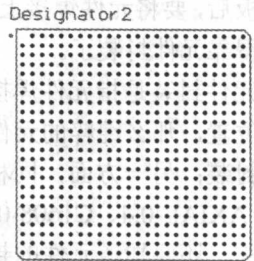


图 1-6 BGA 封装

说明：SOP 和 PQFP 一般采用 SMT 表面封装技术。

## 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。可以根据元件封装编号来判别元件封装的规格。如 AXIAL-0.4 表示此元件封装为轴状的、两焊盘间的距离为 400mil（约等于 10mm）；DIP16 表示双排引脚的元件封装、两排共 16 个引脚；RB.2/4 表示极性电容类元件封装，引脚间距离为 200mil，元件直径为 400mil。这里.2 和 0.2 都表示 200mil。

说明：Protel 可以使用两种单位，即英制和公制。英制单位为 in（英寸），在 Protel 中一般使用的 mil，即密耳，1/1000 in。公制单位一般为 mm（毫米），1 in = 25.4mm、1 mil = 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，是印制电路板最重要的部分。印制电路板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，没有电气的连接意义。导线则是根据飞线指示的焊盘间的连接关系而布置的，是具有电气连接意义的连接线路。

### 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，而且是元件焊装的必要条件。按“膜”所处的位置及其作用来划分，“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，提高可焊性能的一层膜，也就是在印制板上比焊盘略大的浅色圆。阻焊膜的情况正好相反，为了使制成的印制板适应波峰焊等焊接形式，要求印制板上非焊盘处的铜箔不能粘锡，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

Protel 的“层”不是虚拟的，而是印制板材料本身实实在在的铜箔层。如今，由于电子线路的元件密集安装、抗干扰和布线等特殊要求，一些较新的电子产品中所用的印制板不仅上下两面可供走线，在板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印制板材料大多在 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层（Ground Dever 和 Power Dever），并常用大面积填充的办法来布线（如 Fill）。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。需要提醒的是，一旦选定了所用印制板的层数，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、受热情况和受力方向等因素。Protel 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, 但有时这些还不够用, 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, 原则是孔的直径比引脚直径大 0.2~0.4mm。

(2) 过孔 (Via): 为连通各层之间的线路, 在各层需要连通的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。

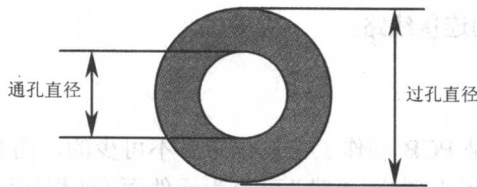


图 1-7 过孔尺寸

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, 在印制板的上下两个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 (Silkscreen 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, 而忽略了实际制作出的 PCB 效果。在他们设计的印制板上, 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给装配和维修带来很大不便。正确的丝印层字符布置原则是: “不出歧义, 见缝插针, 美观大方”。

### 1.1.8 敷铜

对于抗干扰要求比较高的电路板，常常需要在 PCB 上敷铜。敷铜可以有效地实现电路板的信号屏蔽作用，提高电路板信号的抗电磁干扰的能力。通常敷铜有两种方式，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。在实际应用中，实心式的填充比网格状的更好，建议使用实心填充方式。

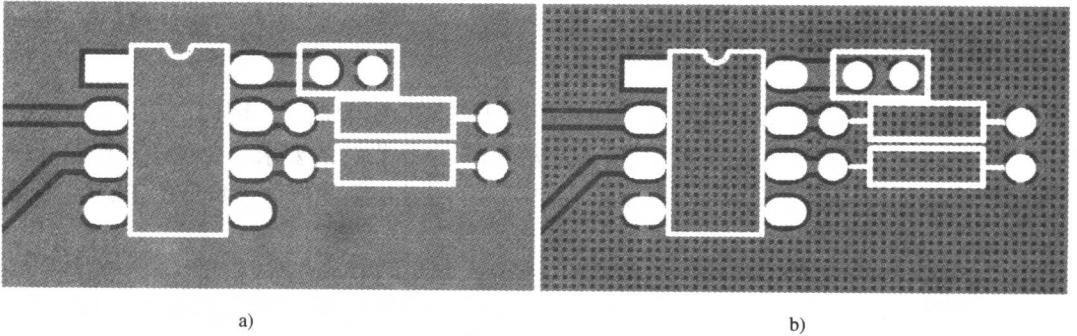


图 1-8 敷铜的填充方式

a) 实心填充方式 b) 网格状填充方式

注意：建议对抗干扰要求比较高的 PCB 进行敷铜处理。

## 1.2 印制电路板布线流程

印制电路板设计的一般步骤如下。

(1) 绘制原理图：这是电路板设计的先期工作，主要是完成原理图的绘制，包括生成网络表。当然，有时也可以不进行原理图的绘制，而直接进入 PCB 设计系统。

(2) 规划电路板：在绘制印制电路板之前，用户要对电路板有一个初步的规划，比如说，电路板采用多大的物理尺寸、采用几层电路板（单面板还是双面板）、各元件采用何种封装形式及其安装位置等。这是一项极其重要的工作，是确定电路板设计的框架。

(3) 设置参数：参数的设置是电路板设计中非常重要的步骤。设置参数主要包括设置元件的布置参数、层参数和布线参数等。一般说来，有些参数用其默认值即可，有些参数设置后，就无法修改。

(4) 装入网络表及元件封装：网络表是电路板自动布线的灵魂，也是原理图设计系统与印制电路板设计系统的接口。因此，这一步也是非常重要的环节。只有将网络表装入之后，才可能完成对电路板的自动布线。元件的封装就是元件的外形，对于每个装入的元件必须有相应的外形封装，才能保证电路板布线的顺利进行。

(5) 元件的布局：元件的布局可以让 Protel 自动布局。规划好电路板并装入网络表后，用户可以让程序自动装入元件，并自动将元件布置在电路板边框内。Protel 也可以让用户手工布局。元件布局合理，才能进行下一步的布线工作。

(6) 手动预布线：对比较重要的网络连接和电源网络的连接应该手动预布线。



(7) 锁定手动预布的线，再进行自动布线：Protel 采用世界上最先进的无网格、基于形状的对角线自动布线技术。只要将有关的参数设置得当，元件的布局合理，自动布线的成功率几乎是 100%。

(8) 手工调整：自动布线结束后，往往存在令人不满意的地方，需要手工调整。

(9) 文件保存及输出：完成电路板的布线后，保存完成的电路线路图文件。然后利用各种图形输出设备，如打印机或绘图仪输出电路板的布线图。

## 1.3 印制电路板设计的基本原则

印制电路板 (PCB) 设计的好坏对电路板抗干扰能力影响很大。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 尺寸大小。PCB 尺寸过大时，印制线路长、阻抗增加、抗噪声能力下降、成本也增加；过小，则散热不好，且邻近线条易受干扰。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离得太近，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，以免放电引起意外短路。带强电的元件应尽量布置在调试时手不易触及的地方。
- 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，不宜装在印制板上，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、可变电容器和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，应放在印制板上方便于调节的地方；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。
- 应留出印制板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。一般电路应尽可能使元件平行排列。这样不但美观，而且焊接容易，易于批量生产。
- 位于电路板边缘的元件，离电路板边缘一般不小于 2mm。电路板的最佳形状为矩形，长宽比为 3 : 2 或 4 : 3。电路板尺寸大于 200mm×150mm 时，应考虑电路板的