



教育部
高等职业教育示范专业规划教材
(电气工程及自动化类专业)

Protel 99 SE EDA 技术及应用

主编 徐琤颖
主审 孙海维



教育部高等职业教育示范专业规划教材
(电气工程及自动化类专业)

Protel 99 SE EDA 技术及应用

主 编 徐琤颖
副主编 朱旭平
参 编 李文辉 唐红莲
主 审



机械工业出版社

Protel 99 SE 是 Protel Technology 公司开发的、功能强大的电路 EDA 软件。本书共包括 8 章、2 个附录, 全面介绍了 Protel 99 SE 的工作界面、基本组成、各种常用编辑器和常用工具等基础知识, 并按照电路设计的一般流程详细地向读者介绍了电路原理图的设计、网络表的生成及印制电路板的设计方法、设计工艺及操作步骤等内容。

本书的特点是全面、实用、条理清晰、通俗易懂, 可作为高职高专院校相关专业的教材, 也特别适合初学者自学或作为电路设计与制版人员的培训教材使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

Protel 99 SE EDA 技术及应用/徐琤颖主编. —北京: 机械工业出版社, 2005.1

教育部高等职业教育示范专业规划教材. 电气工程及自动化类专业
ISBN 7-111-15625-0

I. P... II. 徐... III. 印刷电路 - 计算机辅助设计 - 应用软件,
Protel 99 SE EDA - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. TN410.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 118775 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 于 宁 版式设计: 张世琴 责任校对: 李秋荣

封面设计: 鞠 杨 责任印制: 杨 曦

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 7 月第 1 版第 2 次印刷

787mm × 1092mm¹/₁₆ · 12 印张 · 292 千字

定价: 19.00 元

凡购本书, 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

封面无防伪标均为盗版

前言

本书是教育部高等职业教育示范专业规划教材之一,力图体现以应用为目的的高等职业教育特点,既着眼于 Protel 软件的基本知识和基本使用技能的培养,又努力反映新技术和实用性特色。无论在内容上还是形式上都有独到之处,它凝聚了编著者所在学校教学改革的成果和经验。

本书适应电子技术的发展,特别是 EDA 技术在电子工程设计领域的应用。各类电路 CAD 软件也非常丰富,使产品设计人员能够高效率地进行该领域的产品分析、设计等工作。这些软件极大地提高了电子行业的产品设计的质量与效率,非常适合于印制电路板日趋精密和复杂的发展需求,Protel 是目前电子 CAD 领域应用最为广泛的辅助设计软件之一。

Protel 是 Protel Technology 公司的产品,本书介绍的 Protel 99 SE 是这个系列软件的最新版本。Protel 99 SE 主要应用于电子电路原理图的设计、电路板的设计和绘制以及电子电路逻辑分析和仿真等。Protel 99 是一个基于 Windows 平台的 32 位 EDA 设计系统,它具有丰富多样的编辑功能、强大便捷的自动化设计能力、完善有效的检测工具、灵活有序的设计管理手段,它为用户提供了极其丰富的原理图元器件库、PCB 元器件库以及出色的在线库编辑和库管理,良好的开放性还使它可以兼容多种格式的设计文件。使用户可以轻松地控制电子线路设计的全过程。

本书的特点是“易懂、实用”,主要介绍了 Protel 99 SE 的各种基本功能和一些应用技巧。书中的设计实例很典型,对读者有一定的参考价值。每章后的习题可方便读者及时巩固所学的知识。

全书共分为 8 章,详细介绍了印制电路板的设计与制作,Protel 99 SE 原理图设计系统,Protel 99 SE 印制电路板设计系统,电路仿真等功能,并详细讲解了实例的设计过程。

全书内容编排合理,逻辑性强,通俗易懂,图文并茂,本书的核心是突出针对性和实用性。可作为相关学校电子电器类专业教材,也可从事电子电路设计的技术人员和教师提供参考。

限于所用软件,一些图形和符号用美式和欧式符号混合绘制,这些图形符号和文字符号与我国国家标准不一致。考虑到所用软件的实际情况,本书仍保持原貌,未予改动,请各位读者注意。

本书由天津中德职业技术学院副院长徐琤颖副教授编著并统稿,他提出了全书的总体构思及编者的指导思想。天津中德职业技术学院、南京工业职业技术学院及漯河职业技术学院从事该领域工作多年的教师编写,其中第 2、3 章由李文辉执笔,第 1、5 章由朱旭平执笔,第 4、6 章由唐红莲执笔,第 7、8 章由徐琤颖执笔。全书由天津中德职业技术学院孙海维副教授担任主审,同时得到了天津中德职业技术学院同行专家领导的大力支持,在此一并表示感谢!

由于编写时间仓促,教材涉及面广,疏误之处必然存在,望读者提出宝贵意见。

编者

目 录

前言

第1章 印制电路板的设计与制作 1

1.1 印制电路板的基础知识 1

1.1.1 印制电路板概述 1

1.1.2 印制电路板的功能 1

1.1.3 印制电路板的分类 1

1.1.4 印制电路板的发展 2

1.2 PCB板面的基本组成 3

1.2.1 导线及导线尺寸 3

1.2.2 助焊膜和阻焊膜 4

1.2.3 层 4

1.2.4 焊盘和过孔 4

1.2.5 丝印层 5

1.2.6 金属镀(涂)覆层 6

1.3 印制电路板的尺寸设计 6

1.3.1 印制板的外形尺寸 6

1.3.2 印制板的厚度 6

1.3.3 挠性印制板的弯曲 7

1.4 印制电路板的制作工艺 8

1.4.1 加成法工艺 8

1.4.2 减成法工艺 9

习题 10

第2章 Protel 99 SE 软件概述 11

2.1 EDA的发展 11

2.2 Protel for Windows EDA 简介 12

2.3 认识 Protel 99 SE 13

2.3.1 Protel 99 SE 的组成 13

2.3.2 Protel 99 SE 的特性 14

2.3.3 Protel 99 SE 的运行环境 14

2.4 文档文件的管理 14

2.5 电路设计的基本步骤 15

2.6 进入 Protel 99 SE 15

2.6.1 Protel 99 SE 的菜单栏 15

2.6.2 设计管理器 16

2.7 创建项目 17

2.8 设计编辑器的管理 19

习题 20

第3章 设计电路原理图 21

3.1 原理图设计的基本步骤 21

3.2 原理图设计系统 21

3.3 原理图设计画面的管理 23

3.3.1 工具栏的打开与关闭 23

3.3.2 面板显示状态的缩、放方法 24

3.4 设计图纸参数 25

3.4.1 设置图幅 25

3.4.2 设置文件信息对话框 27

3.5 在工作平面上放置元器件 27

3.5.1 利用元器件库管理浏览器放置 元器件 28

3.5.2 利用菜单命令放置元器件 30

3.5.3 元器件位置的调整 31

3.5.4 元器件的剪贴 33

3.5.5 元器件的删除 33

3.5.6 元器件的排列和对齐 33

3.5.7 阵列式粘贴 35

3.5.8 元器件属性的编辑 35

3.6 绘制电路原理图 36

3.6.1 绘制原理图的工具和方法 37

3.6.2 画导线 37

3.6.3 画总线 38

3.6.4 画总线分支 39

3.6.5 放置线路节点 39

3.6.6 电源与接地符号 41

3.6.7 设置网络标号 41

3.6.8 制作电路的 I/O 端口 42

3.6.9 使用画图工具绘图 43

3.7 层次原理图设计 43

3.7.1 自上而下的层次图设计方法 44

3.7.2 自下而上的层次图设计方法 47

3.7.3 重复性层次图的设计方法 47

3.7.4 层次原理图间的切换 47

3.7.5 建立层次原理图的网络表文件 47

3.8 电气法则 48

3.8.1 电气法则测试	48	5.3 参数设置	85
3.8.2 使用 No ERC 符号	49	5.3.1 特殊功能的设置	85
3.9 报表的生成	50	5.3.2 显示状态的设置	87
3.9.1 网络表	50	5.3.3 工作层面的颜色设置	88
3.9.2 元器件列表	51	5.3.4 图形组件显示/隐藏设置	88
3.9.3 元器件交叉参考表	53	5.3.5 图形组件参数默认值的设置	88
3.9.4 元器件引脚列表	53	5.3.6 信号完整性设置	88
3.9.5 比较两个网络表	53	5.4 设置电路板的工作层面	90
3.10 原理图编辑器的其他功能	54	5.4.1 工作层面的类型	90
3.10.1 建立原理图项目元器件库	54	5.4.2 系统设置	91
3.10.2 利用原理图浏览器管理图件	54	5.4.3 工作层面的设置	92
3.10.3 整体变换	55	5.4.4 栅格属性的设置	92
3.10.4 放置及使用位置标志	56	5.5 绘图工具	92
3.10.5 放置印制电路板布线符号	57	5.5.1 主工具栏	92
3.11 原理图的输出	58	5.5.2 放置工具栏	93
习题	58	5.5.3 放置元器件工具栏	94
第4章 原理图元器件库编辑器	59	5.5.4 查找选择工具栏	94
4.1 启动原理图元器件库编辑器	59	5.6 单面板与双面板的制作	94
4.1.1 开启原理图元器件库编辑器的 方法	59	5.6.1 单面板 PCB 绘制实例	94
4.1.2 原理图元器件库编辑器操作界 面	60	5.6.2 双面板设计实例	97
4.2 元器件库管理器	61	5.7 PCB 电路板图的输出	110
4.3 创建新的元器件	64	习题	110
4.3.1 元器件的定义	64	第6章 PCB 封装库编辑器	111
4.3.2 制作 7 段数码管	65	6.1 启动 PCB 封装库编辑器	111
4.3.3 制作 NPN 三极管	68	6.1.1 元器件封装	111
4.3.4 制作多部件元器件 RELAY- SPSDS	71	6.1.1.1 什么是元器件封装	111
4.4 常用画图工具	73	6.1.1.2 元器件封装种类	112
4.4.1 画图工具条和相应的菜单命令	74	6.1.1.3 元器件封装的选用	113
4.4.2 IEEE 符号工具条和【Place】/ 【IEEE Symbols】菜单命令	74	6.1.1.4 元器件封装库	114
习题	77	6.1.2 PCB 封装库编辑器的启动	114
第5章 印制电路板设计	78	6.1.3 PCB 封装库编辑器简介	116
5.1 印制电路板设计的基础	78	6.1.3.1 菜单栏	116
5.1.1 PCB 板的设计流程	78	6.1.3.2 工具栏	117
5.1.2 印制电路板设计的基本原则和 要求	79	6.1.3.3 设计管理器	118
5.2 PCB 设计画面管理	81	6.1.3.4 状态栏	118
5.2.1 进入 Protel 99 SE-PCB 编辑器	81	6.1.3.5 工作区	118
5.2.2 PCB 编辑器的画面管理	82	6.2 元器件封装库管理器	118
		6.2.1 【Components】区	118
		6.2.2 【Current Layer】区	120
		6.3 创建新的元器件封装	120
		6.3.1 手工建立一个元器件封装	120
		6.3.2 利用向导建立一个元器件封装	121
		习题	124

第7章 高级电路仿真	125	7.3.10 压控振荡器 (VCO) 仿真源	137
7.1 仿真技术	125	7.4 初始状态的设置	137
7.1.1 概述	125	7.5 仿真器的设置	138
7.1.2 电路仿真的步骤	127	7.6 仿真波形分析器	140
7.2 SIM 99 仿真库中的元器件	127	7.6.1 运行电路仿真	140
7.2.1 电阻	127	7.6.2 仿真波形分析器的使用	140
7.2.2 电容	128	习题	143
7.2.3 电感	128	第8章 电路制作综合实例	144
7.2.4 二极管	128	8.1 电路设计实例1	144
7.2.5 三极管	128	8.1.1 总体方案分析	144
7.2.6 JFET 结型场效应晶体管	129	8.1.2 总体设计	144
7.2.7 MOS 场效应晶体管	129	8.1.2.1 原理图的设计	144
7.2.8 MES 场效应晶体管	130	8.1.2.2 报表的生成及原理图打印	146
7.2.9 电压/电流控制开关	130	8.1.3 印制电路板的设计	149
7.2.10 熔丝	131	8.1.3.1 印制电路板的设计准备	149
7.2.11 晶体振荡器	131	8.1.3.2 自动布局	149
7.2.12 继电器	131	8.1.3.3 手工调整元器件布局	152
7.2.13 互感器	131	8.1.3.4 自动布线	152
7.2.14 传输线	132	8.1.3.5 手工布线	156
7.2.15 TTL 和 CMOS 数字电路器件	132	8.1.4 电路检查及打印	158
7.2.16 集成块	133	8.1.4.1 设计规则检测	158
7.3 SIM 99 中的激励源描述	133	8.1.4.2 报表的生成	158
7.3.1 直流源	133	8.1.4.3 保存输出并打印结果	160
7.3.2 正弦仿真源	133	8.2 电路设计实例2	160
7.3.3 周期脉冲源	134	8.2.1 总体方案分析	160
7.3.4 分段线性源	135	8.2.2 总体设计	162
7.3.5 指数激励源	135	附录	163
7.3.6 单频调频源	135	附录 A 常用原理图元器件库元器件	163
7.3.7 线性受控源	136	附录 B 常用 PCB 封装库元器件	180
7.3.8 非线性受控源	136	参考文献	183
7.3.9 频率/电压转换器	136		

第 1 章 印制电路板的设计与制作

1.1 印制电路板的基础知识

1.1.1 印制电路板概述

印制电路板 (Printed Circuit Board, PCB) 是通过一定的制作工艺, 在绝缘度非常高的基材上覆盖上一层导电性能良好的铜薄膜构成覆铜板, 然后根据具体的 PCB 图的要求, 在覆铜板上蚀刻出 PCB 图上的导线, 并钻出印制板安装定位孔以及焊盘和过孔。在双面板和多层板中, 还需要对焊盘和过孔做金属化处理, 即在焊盘和过孔的内孔周围作沉铜处理, 以实现焊盘和过孔在不同层之间的电气连接。

PCB 是电子产品的重要部件之一, 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、自动化控制系统, 只要存在电子元器件, 它们之间的电气互连就要使用 PCB。在电子产品的研制过程中, 影响电子产品成功的最基本因素之一是该产品的 PCB 的设计和制造, PCB 的设计和制造质量直接影响到整个电子产品的质量和成本, 甚至影响电子产品在市场竞争中的竞争力。

1.1.2 印制电路板的功能

印制电路板在电子设备中具有如下功能: 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, 为自动焊锡提供阻焊图形, 为元器件插装、检查、维修提供识别字符和图形。

有关印制板的一些基本术语如下: 在绝缘基材上, 按预定设计, 制成印制线路、印制元器件或由两者结合而成的导电图形, 称为印制电路。在绝缘基材上, 提供元器件之间电气连接的导电图形, 称为印制线路, 它不包括印制元器件。印制电路或者印制线路的成品板称为印制电路板或者印制线路板, 亦称印制板。有关印制电路板的名称术语和定义, 详见国家标准 GB/T 2036—1994 “印制电路术语”。

1.1.3 印制电路板的分类

1. 根据其结构的不同, PCB 可以将电路图分为单面板、双面板和多层板印制电路板

(1) 单面板。在绝缘基板上只有底面 (也就是 PCB 图中所说的 Bottom Layer 层) 敷上铜箔, 顶面则是空白的。导线和焊盘都蚀刻在敷铜的底面上, 元器件的引脚只能焊在这一面上, 因此这一面也叫“焊接面”。元器件安装在顶面 (也就是 PCB 图中的 Top Layer 层) 上, 引脚穿过焊盘后在焊接面焊接, 因而这一面也叫做“元器件面”。

单面板结构比较简单, 制作成本较低, 因此通常批量生产的电子产品会采用单面板, 例如电视机、显示器的电路板。但是对于复杂的电路, 由于只能在一个面上走线并且不允许交叉, 单面板布线难度很大, 布通率往往较低, 当然如果剩下的未布通的导线不多, 可以通过

焊接飞线来连接。不过如果飞线太多,不但焊接印制电路板的工作量加大,而且焊接飞线本来就是一种隐患,时间久了,飞线容易脱落。因此,通常只有电路比较简单时才采用单面板的布线方案。

(2) 双面板。在绝缘基板上两面都敷上铜箔,因此 PCB 图中两面都可以布线,并且可以通过过孔在不同工作层中切换走线,相对于多层板而言,双面板制作成本不高。对于一般的应用电路,在给定一定面积的时候通常都能 100% 布通率。因此,目前一般的印制电路板都是采用双面板。双面板其实无所谓元器件面和焊接面,因为两个面都可以焊接或者安装元器件,但是为了区分,它的工作面也沿用单面板的习惯分别叫做焊接面(对应于底层 Bottom layer)和元器件面(对应于顶层 Top Layer)。

目前,表面贴装(不钻孔,直接焊接在 PCB 表面上)的使用越来越广泛,在使用表面贴装时,可以根据需要将元器件焊接在任意一面上,这时候元器件面和焊接面的区别就不是很明显了,但是作为一种标识,PCB 仍然会区分元器件面和焊接面。

(3) 多层板。在绝缘基板上制成三层以上的印制电路板。它是由几层较薄的单面板或双面板粘合而成。通常在 Top Layer 层和 Bottom Layer 层中间加上了电源层和地线层,通过这样处理,可以极大程度地解决电磁干扰问题,提高系统的可靠性,同时也可以提高布通率,缩小 PCB 板的面积。

2. 根据制作材料的不同,PCB 可以分为刚性印制板和挠性印制板

刚性印制板包括酚醛纸质层压板、环氧纸质层压板、聚酯玻璃毡层压板、环氧玻璃布层压板等;挠性印制板包括聚酯薄膜、聚酰亚胺薄膜、氟化乙丙烯(FEP)薄膜等。

挠性印制板又称软性印制电路板,即 FPC,软性电路板是以聚酰亚胺或聚酯薄膜为基材制成的一种具有高可靠性和较高曲挠性的印制板。挠性印制板散热性能好,具有可弯曲、折叠、卷绕等优点,也可在三维空间随意移动和伸缩。可利用 FPC 缩小体积,实现轻量化、小型化、薄型化,从而实现元器件装置和导线连接一体化。FPC 广泛应用于计算机、通信、航天及家电等行业。

1.1.4 印制电路板的发展

印制板从单层板发展到双面板、多层板和挠性板,并不断地向高精度、高密度和高可靠性方向发展。不断缩小体积、减少成本、提高性能,使得印制板在未来电子产品的发展过程中,仍然保持强大的生命力。

对于双面板和多层板而言,印制板技术水平的标志是把大批量生产的印制板在 2.50mm 或 2.54mm 标准网格交点上的两个焊盘之间,能布设导线的根数作为标志。在两个焊盘之间布设一根导线,为低密度印制板,其导线宽度大于 0.3mm。在两焊盘之间布设两根导线,为中密度印制板,其导线宽度约为 0.2mm。在两个焊盘之间布设 3 根导线,为高密度印制板,其导线宽度为 0.1~0.15mm。在两个焊盘之间布设四根导线,为超高密度印制板,其宽度为 0.05~0.08mm。

未来印制板生产制造技术将在性能上向高密度、高精度、细孔径、细导线、小间距、高可靠、多层化、高速传输、轻量、薄型方向发展。在生产工艺上将向提高生产率、降低成本、减少污染、适应多品种、小批量生产方向发展。印制电路的技术发展水平,一般以印制板上的线宽、孔径、板厚/孔径比值为代表,过去几年其发展历程和水平如表 1-1 所示。

表 1-1 印制电路的技术发展水平

项 目 \ 年 度	1970	1975	1980	1985	1990	1998
孔径/mm	1.0	0.8	0.6	0.4	0.3	0.15
线宽/mm	0.25	0.17	0.13	0.10	0.08	0.05
板厚/孔径比	1.5	2.5	5	10	20	40
孔密度/(孔数/cm ²)	4	7.5	15	25	40	55

1.2 PCB 板面的基本组成

1.2.1 导线及导线尺寸

1. 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。

2. 导线宽度

通常导线宽度应尽可能选择宽一些，至少要宽到能满足电流负荷要求。印制板上可得到的导线宽度的精度取决于生产因素，如生产底板的精度、生产工艺（印制法、加成或减成工艺的使用、镀覆法、蚀刻质量）和导线厚度的均匀性等。规定的导线宽度，既包括设计宽度和允许的偏差，也包括所规定的最小线宽。缺口、针孔或边缘缺陷所造成的偏差，虽然不包括在这些偏差里，但也会出现。当这些缺陷引起的导线宽度减小不超过有关规定值时，通常可以接受，这个值一般为 20% 或 35%。如果所要求的载流量很高，这些缺陷就必须考虑进去。

导线的宽度可以按照如下方法计算。一般来讲每平方毫米导线流过 20A 电流是比较安全的。普通覆铜板的铜箔厚度一般为 0.55mm，那么可以计算得出 1mm (40mil) 宽的导线大概可以流过 1A 的电流。因此应该首先对各部分电路的电流进行估算，然后决定各导线的宽度。通常情况下数字信号导线宽度设为“10mil”^{0.25mm}左右，模拟电路导线宽度“20mil”^{0.5mm}左右，电源和地线设为“50mil”^{1.25mm}左右。在 DIP 封装的 IC 脚间走线，可应用 10—10 与 12—12 原则，即当两脚间通过两根线时，焊盘直径可设为 50mil，线宽与线距离都为 10mil，当两脚间只通过一根线时，焊盘直径可设为 64mil，线宽和线距都为 12mil。当然这些数据只是些经验数据，如果实际电路中某部分电路的电流值很大，则一定要根据前面介绍的方法计算并单独调整。

3. 导线间距

相邻导线之间的间距必须足够宽,以满足电气安全的要求,而且为了便于操作和生产,间距应尽量宽些。选择的最小间距应适合所施加的电压。这个电压包括正常工作电压、附加的波动电压、过电压和在正常操作或发生故障时重复或偶尔产生的过电压或峰值电压。所以导线间距应符合所要采用的或规定的安全要求。

如果有关规范允许导线之间存在金属颗粒,则可能会减少有效的导线间距。在考虑电压问题时,任何由于导线之间存在金属颗粒而导致间距的减少都应予以考虑。

如果导线间距超过某一值时,如 0.5mm (0.2in),将有利操作和生产。这个值不是一个限制,通常不能给出一个实际限制值,因为这个值的确定在很大程度上取决于所使用的工艺和生产设备。

在某些情况下,只规定最低限制就容易满足实际要求。如果规定了导线宽度的最低限制,还要规定导线间距的最低限制。

如导线间的金属颗粒缺陷存在,应增大规定的最小导线间距。所设计的内层导线或焊盘应距离板子边缘 2mm 以上。

1.2.2 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,而且更是元器件焊装的必要条件。按“膜”所处的位置及其作用,“膜”可分为元器件面 (或焊接面) 助焊膜 (Top or Bottom solder) 和元器件面 (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,也就是在绿色板子上比焊盘略大的浅色圆。阻焊膜的情况正好相反,为了使制成的板子适应波峰焊等焊接形式,要求板子上非焊盘处的铜箔不能焊锡,因此在焊盘以外的各部分都要涂覆一层涂料,用于阻止这些部位上锡。可见,这两种膜是一种互补关系。

1.2.3 层

Protel 的“层”不是虚拟的,而是印制电路板材料本身实实在在的铜箔层。现今,由于电子线路的元器件密集安装、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电路板材料大多在 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。要提醒的是,一旦选定了所用印制电路板的层数,务必关闭那些未被使用的层,以免布线出现差错。

1.2.4 焊盘和过孔

1. 焊盘 (Pad)

焊盘的作用是放置焊锡、连接导线和元器件引脚。选择元器件的焊盘类型要综合考虑该元器件的形状、大小、布置形式、振动和受热情况、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。

(1) 形状上长短不一致时,要考虑连线宽度与焊盘边长的大小差异不能过大。

(2) 需要在元器件引脚之间走线时,选用长短不对称的焊盘往往事半功倍。

(3) 各元器件焊盘内孔的大小要按元器件引脚粗细分别编辑确定,原则上内孔的尺寸比引脚直径大 $0.2 \sim 0.4\text{mm}$ 。焊盘直径取决于内孔直径,如表 1-2 所示。

表 1-2 焊盘内孔直径与焊盘直径对照

内孔直径 d/mm	焊盘直径 D/mm	内孔直径 d/mm	焊盘直径 D/mm
0.4	1.5	1.0	3.0
0.5	1.5	1.2	3.5
0.6	2.0	1.6	4.0
0.8	2.5	2.0	5.0

对于超出上表范围的焊盘直径可用下列公式选取:

直径小于 0.4mm 的孔: $D/d = 0.5 \sim 3$

直径大于 2mm 的孔: $D/d = 1.5 \sim 2$

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 (Hole Size) 和过孔直径 (Diameter),如图 1-1 所示。通孔和过孔之间的孔壁,由与导线相同的材料构成,用于连接不同层的导线。

当过孔作为元器件孔时,过孔的最小孔径要适应元器件或组装件的引脚尺寸。设计者要采用给出的标称孔径和最小孔径作为过孔的推荐值。过孔的

最大孔径取决于镀层厚度和孔径的公差。规定孔的最小镀层厚度一般允许偏差 (孔到孔) 10%。推荐孔壁镀铜层的平均厚度不小于 $25\mu\text{m}$ (0.001in),其最小厚度为 $15\mu\text{m}$ (0.0006in)。

一般而言,设计线路时对过孔的处理有以下原则:

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。

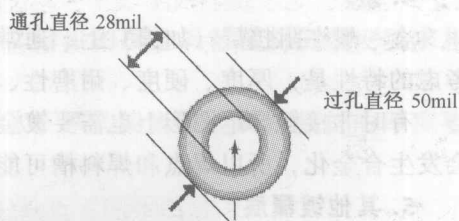


图 1-1 过孔尺寸

1.2.5 丝印层

为方便电路的安装和维修,在印制板的上下两表面印上所需要的标志图案和文字代号等,例如元器件标号和参数、元器件轮廓形状和厂家标志、生产日期等等,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,而忽略了实际制出的 PCB 效果。在他们设计的印制电路板上,字符不是被元器件挡住就是侵入了助焊区而被抹除,还有的把元器件标号打在相邻元器件上,如此种种的设计都将会给装配和维修带来很大不便。

1.2.6 金属镀(涂)覆层

金属镀(涂)覆层用以保护金属(铜)表面,保证其可焊性,还可以在一些加工过程中作为蚀刻液的抗蚀层。金属镀(涂)覆层还可以作为连接器与印制板的接触面,或表面安装器件与印制板的接合层。

应根据印制板的用途选择一种适合导电图形使用的镀覆层。表面镀覆层的类型直接影响生产工艺、生产成本和印制板的性能,例如寿命、可焊性、接触性。

以下所列出的是广泛采用的表面镀覆层的材料:

1. 铜(无附加镀层)

所有无镀覆层的印制板都使用铜。铜通常用做暂时性的保护涂层。

2. 锡

用于保护可焊性。厚度通常为 $5 \sim 15\mu\text{m}$ 。

3. 锡铅(电镀层或焊料)

用于保护可焊性。其厚度取决于所使用的工艺。当用电镀工艺时,锡铅的厚度通常在 $5 \sim 25\mu\text{m}$ 。经过热熔的电镀锡铅和由焊料槽或热滚涂覆的锡铅的局部地方厚度可能会小于 $1\mu\text{m}$ 。这些区域主要位于焊盘和孔壁之间的过渡区。过渡区的可焊性会低于其他区。

4. 金

金一般在阻挡层(如镍)上,通常用于开关和印制插头接触。作为接触表面的金所必须考虑的特性是:厚度、硬度、耐磨性、接触性能等,这些取决于许多因素。

有时非接触导电图形上也需要镀金。当这些图形用于焊接时要特别注意,因为金和锡铅会发生合金化,所以焊点和焊料槽可能会产生严重问题。

5. 其他镀覆层

例如镍上镀钯、镀铬和锡镍上镀金也用做印制接触片。

1.3 印制电路板的尺寸设计

1.3.1 印制板的外形尺寸

原则上,印制板的外形可以为任意形状,但简单的形状更利于生产。

除非加工的数量证明一些专用生产方法是合算的,通常印制板的尺寸受生产设备和稳定性要求的限制。

印制板可达到的外形尺寸的公差通常与层压材料可达到的尺寸公差相同,因为所用基材公差相似。

1.3.2 印制板的厚度

基材的厚度、印制板厚度或印制板总厚度的定义见 IEC 194。任何厚度要求应限于印制

板规定的厚度控制区域。介质厚度定义为相邻导电层之间的测量最小距离。

1. 单面和双面刚性印制板

表 1-3 给出了标称板厚的优选值。

表 1-3 标称板厚的优选值

0.2mm	0.5mm	0.8mm	1.0mm	1.2mm	1.5mm	2.0mm	2.4mm	3.2mm	6.4mm
0.008in	0.002in	0.031in	0.039in	0.047in	0.07in	0.08in	0.094in	0.125in	0.25in

注：表中综合了 IEC 249-2 所有规范中给出的值，IEC 249-2 专用规范可能限制了所允许的值数量。

IEC 249-2 给出了镀覆金属箔基材的厚度公差。当附加镀覆层或其他涂覆层时，总板厚与板厚（和与之相关的公差）之间会存在偏差。在印制插头区或其他印制接触区的总板厚公差很重要，见 IEC 321。

2. 多层刚性印制板

多层刚性印制板的板厚取决于层数、每层的厚度和使用的黏结片。

应注意避免总板厚和内层厚度的过严公差，特别是与黏结片有关的各层。

黏结片（预浸材料）不应单张使用，至少使用两张黏结片，以避免由于单张黏结片上的针孔或缺陷而造成电击穿。虽然每个黏结需用两张以上的黏结片，但在任何黏结中两张黏结片的厚度应相同，而且在所有黏结中最好只使用一种厚度的黏结片。

如果多层刚性印制板要和板边插座连接器一起使用，建议使用 IEC 321 提供的印制插头区的总板厚和与之相关的公差。关于板边缘插座连接器的一般资料见 IEC 171。使用两件式连接器可避免由于总板厚公差而引起的问题。

3. 挠性单面和双面印制板

挠性单面和双面印制板的厚度要求应与 IEC 249-2 给出的覆金属箔基材的厚度要求相同。

当附加镀层、涂覆层、覆盖层或使用黏合剂时，总板厚会偏离覆金属箔基材的厚度要求。所有尺寸公差应尽可能宽松。

4. 挠性多层印制板

挠性多层印制板的厚度要求取决于层数、每层的厚度和所使用的黏结片的类型。应考虑电源层和地层的位置，因为它们可能会对可挠性和厚度产生影响。所有尺寸公差应尽可能宽松。

5. 刚挠双面印制板

刚挠双面印制板的厚度要求取决于挠性覆金属箔基材、刚性部分的刚度要求和所使用的黏结片类型。所有尺寸公差应尽可能宽松。

6. 刚挠多层印制板

刚挠多层印制板的厚度要求取决于层数、每层的厚度、刚性部分的刚度要求和所使用的黏结片的类型，所有尺寸公差应尽可能宽松。

1.3.3 挠性印制板的弯曲

应使弯曲的区域尽量少。过孔和安装元器件的区域不应设置在弯曲区。导线材料是轧制的且不能改变弯折线的方向，弯曲区的导线应垂直或斜向穿过弯折线。

弯曲半径应尽量大。允许的弯曲半径取决于导线厚度。基材厚度和挠性印制板成品的厚

度。

导线应尽可能使一挠性印制板结构的中心轴为对称线。

关于印制板的翘曲度,对于组装件印制板,即安装有元器件并完成了焊接的印制板,其平整度是重要的。对于翘曲度,应控制在 1% 以内;有 SMI 焊盘的板翘曲度应控制在 0.7% 以内,否则会因翘曲度的偏差而造成下列困难:

- 缩小与另一块平行安装的印制板或屏蔽零件之间的距离;
- 插入狭窄的导轨产生困难;
- 元器件和焊点之间的机械负荷加重(经过一段时间后,焊点有失效的危险)。

必要时,尤其是对面积较大的印制板,应采取避免翘曲度的措施,例如用合适的加强或加固措施。因为焊接影响翘曲度,建议在安装和焊接元器件前进行加固。

印制板的翘曲度与所用的材料、生产工艺、孔图、导电图形部分的均匀程度、印制板的尺寸和类型等有关。必要时,印制板的翘曲度可按 IEC 326-2 的试验 12a 测试。

以前的电子产品,“插件加手焊”是 PCB 板的基本工艺过程,因而对 PCB 板的设计要求也十分单纯,随着表面安装技术的引入,制造工艺逐步融于设计技术之中,对 PCB 板的设计要求就越来越苛刻,越来越需要统一化、规范化。印制电路板尺寸选择方法如下(不同生产设备美中参数可能略有差别)。

- 最大面积: $X \times Y = 330\text{mm} \times 250\text{mm}$ (对应于小工作台贴片设备);
 $X \times Y = 460\text{mm} \times 460\text{mm}$ (对应于大工作台贴片设备);
- 最小面积: $X \times Y = 80\text{mm} \times 50\text{mm}$;
- PCB 四周倒角 $R \leq 1.5\text{mm}$;
- PCB 厚度: $0.8 \sim 2.5\text{mm}$;
- 若 PCB 板太小,需设计拼板。倘若拼板,建议采用邮票版或双面对刻 V 形槽的分离技术。

1.4 印制电路板的制作工艺

现代印制电路制造工艺主要分为加成法和减成法。

1.4.1 加成法工艺

在绝缘基材表面上,有选择性地沉淀导电金属而形成导电图形的方法,称为加成法。

1. 加成法的优点

印制板采用加成法工艺制造,其优点如下:

(1) 由于加成法避免大量蚀刻铜,以及由此带来的大量蚀刻溶液处理费用,大大降低了印制板生产成本。

(2) 加成法工艺比减成法工艺的工序减少了约 1/3,简化了生产工序,提高了生产效率。尤其避免了产品档次越高,工序越复杂的恶性循环。

(3) 加成法工艺能达到齐平导线和齐平表面,从而能制造 SMT 等高精度印制板。

(4) 在加成法工艺中,由于孔壁和导线同时化学镀铜,孔壁和板面上导电图形的镀铜层厚度均匀一致,提高了金属化孔的可靠性,也能满足高厚径比印制板,小孔内镀铜的要求。

2. 加成法的分类

印制板的加成法制造工艺可以分为如下3类。

(1) 全加成法 (Full Additive Process)。是仅用化学沉铜方法形成导电图形的加成法工艺。以其中的 CC-4 法为例: 钻孔→成像→增黏处理 (负相)→化学镀铜→去除抗蚀剂。该工艺采用催化性层压板作基材。

(2) 半加成法 (Semi-Additive Process)。在绝缘基材表面上, 用化学沉淀金属, 结合电镀蚀刻或者三者并用形成导电图形的加成法工艺。其工艺流程是: 钻孔→催化处理和增黏处理→化学镀铜→成像 (电镀抗蚀剂)→图形电镀图 (负相)→去除抗蚀剂→差分蚀刻。制造所用基材是普通层压板。

(3) 部分加成法 (Partial Additive Process)。是在催化性覆铜层压板上, 采用加成法制造印制板。工艺流程: 成像 (抗蚀剂)→蚀刻铜 (正相)→去除抗蚀层→全板涂覆电镀抗蚀剂→钻孔→孔内化学镀铜→去除电镀抗蚀剂。

1.4.2 减成法工艺

减成法工艺是在覆铜箔层压板表面上, 有选择性地除去部分铜箔来获得导电图形的方法。减成法是当今印制电路制造的主要方法。它的最大优点是工艺成熟、稳定和可靠。

减成法工艺制造的印制电路可分为如下两类。

1. 非孔化印制板 (Non-planting-through-hole Board)

此类印制板采用丝网印刷, 然后蚀刻出印制板的方法生产, 也可采用光化学法生产。非穿孔镀印制板主要是单面板, 也有少量双面板, 主要用于电视机、收音机。下面是单面板生产工艺流程:

单面覆铜箔板→下料→光化学法/丝网印刷图像转移→去除抗蚀印料→清洗、干燥→孔加工→外形加工→清洗干燥→印制阻焊涂料→固化→印制标记符号→固化→清洗干燥→预涂覆助焊剂→干燥→成品。

2. 孔化印制板 (Planting-through-hole Board)

在已经钻孔的覆铜箔层压板上, 采用化学镀和电镀等方法, 使两层或两层以上导电图形之间的孔由电绝缘成为电气连接, 此类印制板称为穿孔镀印制板。穿孔镀印制板主要用于计算机、程控交换机、手机等。根据电镀方法的不同, 分为图形电镀和全板电镀。

(1) 图形电镀 (Pattern, PTN)。在双面覆铜箔层压板上, 用丝网印刷或光化学方法形成导电图形, 在导电图形上镀上铅—锡, 锡—铈, 锡—镍或金等抗蚀金属, 再除去电路图形以外的抗蚀剂, 经蚀刻而成。图形电镀法又分为图形电镀蚀刻工艺 (Pattern Plating and Etching Process) 和裸铜覆阻焊膜工艺, 制作双面印制板工艺流程如下:

双面覆铜箔板→下料→冲定位孔→数控钻孔→检验→去毛刺→化学镀薄铜→电镀薄铜→检验→刷板→贴膜 (或网印)→曝光显影 (或固化)→检验修版→图形电镀铜→图形电镀锡铅合金→去膜 (或去除印料)→检验修版→蚀刻→退铅锡→通断路测试→清洗→阻焊图形→插头镀镍/金→插头贴胶带→热风整平→清洗→网印标记符号→外形加工→清洗干燥→检验→包装→成品。

(2) 全板电镀 (Panel, PNL)。在双面覆铜箔层压板上, 电镀铜至规定厚度, 然后用丝网印制火光化学方法进行图像转移, 得到抗腐蚀的正相电路图像, 经过腐蚀再去除抗蚀剂制

成印制板。

全板电镀法又可细分为堵孔法和掩蔽法。用掩蔽法 (Tenting) 制作双面印制板工艺流程如下。

双面覆铜箔板→下料→钻孔→孔金属化→全板电镀加厚→表面处理→贴光→光致掩蔽型干膜→制正相导线图形→蚀刻→去膜→插头电镀→外形加工→检验→印制阻焊涂料→焊料涂覆热风整平→印制标记符号→成品。

上述方法的优点是工艺简单, 镀层厚度均匀性好。缺点是浪费能源, 制造无连接盘通孔印制板困难。

习 题

1. 印制电路板的种类有哪些? 各有什么特点?
2. 简述 PCB 板面的基本组成? 对各组成部分有什么要求?
3. 印制电路板的制作工艺有哪些? 各有什么特点?