



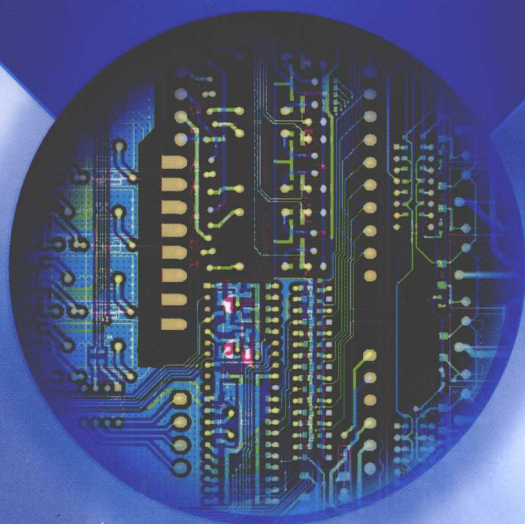
高职高专“十一五”规划教材

DIANZI XIANLUBAN SHEJI XIANGMUHUA JIAOCHENG JIYU PROTEL 99 SE

电子线路板设计 项目化教程

(基于Protel 99 SE)

毕秀梅 周南权 编著



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

电子线路板设计项目化教程 (基于 Protel 99 SE)

毕秀梅 周南权 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书按照任务驱动的项目化教学方式编写,每个项目设计成两个大的教学情境:原理图设计和印刷电路板设计,每个项目都有学习的重点,并且都是完整的电子线路板制作过程。学习者在完成不同项目的过程中,可以由浅入深,由易到难学习 Protel 99 SE 软件,同时也学习了电子线路板设计的思路。

本书介绍了印刷电路板的功能、组成、制作方法及 Protel 99 SE 软件的安装及启动方法,重点介绍了单面板的制作方法,新建原理图文件、PCB 文件的方法,元件库的加载方法及常用的元件库、库中的元件名称,放置元件、编辑元件的方法,元件的封装认识、元件的手工布局及手动布线的方法;元件自动编号及一次性修改元件属性选项、网络表的生成及单面板元件自动布局与线宽设置方法、自动布线的方法以及电路板的检查方法;管脚号不一致的处理、引出端的处理、预布线、补泪滴、包地、放置螺丝孔及填充的方法;元件库的制作方法、复合式元件及总线结构原理图的绘制及双面板自动布线的方法;层次电路图的画法及模拟地与数字地的处理方法。

本书可作为高职高专院校 EDA 技术、PCB 设计等相关课程的教材,也可供从事电路设计的工作人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子线路板设计项目化教程(基于 Protel 99 SE)/毕秀梅,周南权编著. —北京:化学工业出版社,2010.7
高职高专“十一五”规划教材
ISBN 978-7-122-08541-2

I. 电… II. ①毕… ②周… III. 印刷电路-计算机辅助设计-应用软件, Protel 99 SE-高等学校:技术学院-教材 IV. TN410.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 115382 号

责任编辑:王听讲

文字编辑:吴开亮

责任校对:顾淑云

装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 13¼ 字数 326 千字 2010 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 26.00 元

版权所有 违者必究

前 言

EDA (Electronic Design Automation) 技术, 即电子设计自动化技术, 是指以计算机为工作平台, 融合了应用电子技术、计算机技术等最新成果, 进行电子产品的自动设计。电子产品的设计归根结底就是电子线路板即 PCB (Printed-Circuit Board) 的设计。

PCB 设计软件种类很多, 如 Protel、OrCAD、Viewlogic、PowerPCB、TANGO、PCBWizard 等。目前我国用得最多的当属 Protel 软件, 它是 PCB 设计者的首选软件。其最新版本为 Protel DXP, 现在普遍使用的是 Protel 99 SE, 在很多大中专、高职院校的电子类专业还专门开设“电子 CAD”课程, 很多高职院校的电类专业还开设了“电子 CAD 实训”。CAD (Computer Aided Design) 即计算机辅助设计, 是利用 Protel 99 SE 软件进行原理图设计及电子线路板设计, 已经成为电类专业学生必须掌握的基本技能。这是本书选用 Protel 99 SE 软件的原因。

Protel 99 SE 主要包括: 电路原理图设计、印刷电路板设计及电路仿真等, 本书主要介绍原理图设计及印刷电路板设计。

本书按任务驱动的项目化方式编写, 每个项目设计成两个教学情境: 原理图设计、印刷电路板设计, 通过几个子项目来完成每个教学情境。为了完成每个子项目, 以任务为载体, 将相关的知识、技能融入到任务中, 通过完成任务来学习知识、技能。在开始的简单项目中, 详细地介绍各种菜单、命令的使用, 在后续项目中再用到某个菜单、命令时, 就能逐步达到熟练应用。每个教学情境结束后, 都有测验题与评估标准, 通过测验题的训练复习各个知识点, 通过评估标准检查知识点的掌握情况。每位设计者完成了几个项目后, 就可以了解电子产品的设计思想了, 也会熟悉每个任务需要的菜单、命令。

本书在项目编排上, 从易到难, 从浅到深, 循序渐进, 读者可以根据项目边学边练边做, 从而形成一个完整的电子产品设计思想, 真正做到“教、学、做”一体化。

我们将为使用本书的教师免费提供电子教案, 需要者可以到化学工业出版社教学资源网站 <http://www.cipedu.com.cn> 免费下载使用。

本书项目一、项目二、项目三及附录由辽宁机电职业技术学院毕秀梅编写, 基础部分、项目四、项目五由重庆航天职业技术学院周南权编写, 毕秀梅负责统稿。

由于编者水平有限、时间仓促, 书中难免会有不当之处, 恳请读者批评指正。

编 者
2010 年 5 月

目 录

0 基础部分	1
学习情境 0.1 PCB 的功能与组成认知	1
0.1.1 印刷电路板的功能	1
0.1.2 印刷电路板的组成	1
学习情境 0.2 PCB 制作工艺流程认知	4
0.2.1 印刷电路板的制作工艺流程	4
0.2.2 热转印法制单面板基本流程	5
0.2.3 雕刻法制板	9
学习情境 0.3 Protel 99 SE 软件的安装与初识	10
0.3.1 Protel 99 SE 软件的运行环境及安装	10
0.3.2 Protel 99 SE 软件的启动及初识	13
项目 1 秒脉冲发生器的制作	18
学习情境 1.1 秒脉冲发生器原理图设计	18
1.1.1 项目描述	18
1.1.2 学习目标	19
1.1.3 技能训练	19
子项目 1 原理图选项设置	19
子项目 2 常用元件库介绍、加载原理图元件库及移出元件库	23
子项目 3 元件放置与编辑	26
子项目 4 绘制电路原理图	28
子项目 5 元件清单的产生和原理图的导出、打印	30
1.1.4 测验及评估	34
测验题目	34
评估标准	35
学习情境 1.2 秒脉冲发生器的单面 PCB 制作	35
1.2.1 项目描述	35
1.2.2 学习目标	35
1.2.3 技能训练	35
子项目 1 常用元件封装库介绍及加载元件封装库	35
子项目 2 认识元件封装 (Footprint)	38
子项目 3 了解 PCB 各层	42
子项目 4 了解元件布局	45
子项目 5 单面电路板手工布线	52

子项目 6 PCB 图的导出、打印	54
子项目 7 电路板的加工焊接与调试	56
1.2.4 测验及评估	56
测验题目	56
评估标准	57

项目 2 两级放大器的制作

学习情境 2.1 两级放大器原理图设计	59
2.1.1 项目描述	59
2.1.2 学习目标	59
2.1.3 技能训练	60
子项目 1 绘制电路原理图	60
子项目 2 原理图的电气规则检查	66
子项目 3 网络表的生成与导出	68
2.1.4 测验及评估	70
测验题目	70
评估标准	71
学习情境 2.2 两级放大电路 PCB 的单面 PCB 制作	71
2.2.1 项目描述	71
2.2.2 学习目标	72
2.2.3 技能训练	72
子项目 1 元件封装库的加载	72
子项目 2 网络表的加载	73
子项目 3 元件自动布局	76
子项目 4 设置自动布线规则	80
子项目 5 单面电路板自动布线	82
子项目 6 检查印刷电路板	83
子项目 7 电路板的加工焊接与调试	87
2.2.4 测验及评估	87
测验题目	87
评估标准	89

项目 3 直流稳压电源的制作

学习情境 3.1 直流稳压电源的电路原理图设计	90
3.1.1 项目描述	90
3.1.2 学习目标	91
3.1.3 技能训练	91
子项目 1 绘制电路原理图	91
子项目 2 网络表的生成与导出	94
子项目 3 产生元件清单和导出元件清单	94

3.1.4 测验及评估	95
测验题目	95
评估标准	96
学习情境 3.2 直流稳压电源的单面 PCB 制作	96
3.2.1 项目描述	96
3.2.2 学习目标	96
3.2.3 技能训练	96
子项目 1 二极管整流桥等元件管脚的处理	96
子项目 2 网络表的加载	99
子项目 3 元件布局	99
子项目 4 单面电路板自动布线（预布线、线宽设置）	99
子项目 5 印刷电路板引出端的处理	103
子项目 6 补泪滴、包地	105
子项目 7 放置螺丝孔、放置填充（铺铜）	108
子项目 8 电路板的加工焊接与调试	112
3.2.4 测验及评估	112
测验题目	112
评估标准	113
项目 4 数字频率计的制作	115
学习情境 4.1 数字频率计的原理图设计	115
4.1.1 项目描述	115
4.1.2 学习目标	115
4.1.3 技能训练	115
子项目 1 原理图元件符号的自定义绘制	115
子项目 2 复合式元件和总线结构的原理图绘制	131
4.1.4 测验与评估	137
测验题目	137
评估标准	137
学习情境 4.2 数字频率计的双面 PCB 制作	139
4.2.1 项目描述	139
4.2.2 学习目标	139
4.2.3 技能训练	139
子项目 1 PCB 元件封装的创建	139
子项目 2 原理图到 PCB 图的过渡	148
子项目 3 双面 PCB 的自动布局与手工布线	151
子项目 4 PCB 的电源板层、螺丝孔及敷铜的设置	158
子项目 5 电路板的加工焊接与调试	161
4.2.4 测验及评估	161
测验题目	161

评估标准.....	162
项目 5 开关电源的制作.....	163
学习情境 5.1 开关电源的电路原理图设计.....	163
5.1.1 项目描述.....	163
5.1.2 学习目标.....	163
5.1.3 技能训练.....	163
子项目 1 原理图元件和元件库的自建与使用.....	163
子项目 2 层次原理图设计.....	164
子项目 3 模拟地与数字地的处理.....	172
5.1.4 测验及评估.....	173
测验题目.....	173
评估标准.....	174
学习情境 5.2 开关电源的双面 PCB 制作.....	174
5.2.1 项目描述.....	174
5.2.2 学习目标.....	174
5.2.3 技能训练.....	174
子项目 1 元器件 PCB 封装库的自制.....	174
子项目 2 网络表的加载与 PCB 的双面布局、布线.....	178
子项目 3 PCB 图中引出端的处理.....	185
子项目 4 PCB 中模拟地与数字地的处理.....	189
子项目 5 电路板的加工焊接与调试.....	190
5.2.4 测验及评估.....	190
测验题目.....	190
评估标准.....	192
附录.....	193
附录 1 原理图常用元件名与所在的元件库.....	193
附录 2 常用元件封装名与所在的元件封装库.....	201
参考文献.....	204

0 基础部分

学习情境 0.1 PCB 的功能与组成认知

0.1.1 印刷电路板的功能

PCB 是 Printed Circuit Board 的英文缩写,中文名称为印刷电路板,又称电子线路板。通常把在绝缘基材上,按预定设计,制成印制线路、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,称为印制线路。这样就把印制电路或印制线路的成品板称为印制线路板,亦称为印制板或印刷电路板。印刷电路板在电子设备中有如下功能。

① 提供各种电子元器件(如集成电路、电阻、电容等)固定、装配的机械支持,如图 0-1 所示。

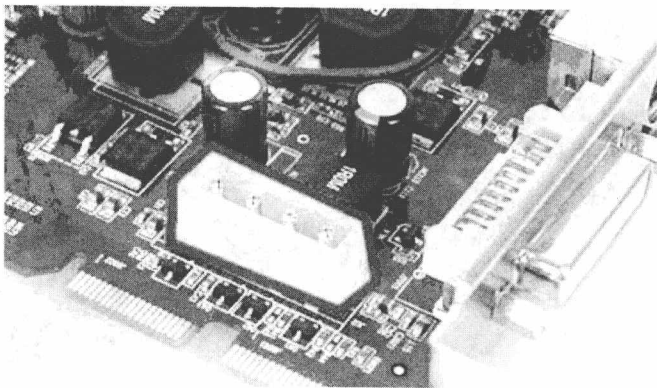


图 0-1 PCB 固定、装配电子元器件图

② PCB 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、高频微波的信号传输等,如图 0-2 所示。

③ PCB 为自动焊锡提供附焊图形,为元件插装、检查、维修提供识别字符和图形,如图 0-3 所示。

电子设备采用印制板后,由于同类印制板的一致性,避免了人工接线的差错,并可实现电子元器件自动插装或贴装、自动焊锡、自动检测,保证了电子产品的质量,提高了劳动生产率,降低了成本,且便于维修。

0.1.2 印刷电路板的组成

PCB 主要由基板和金属膜构成,基板是由绝缘隔热并不弯曲的材质制作而成,材料多种

多样,可以根据需要进行选择,常用的是玻璃纤维材料环氧布板,还可以用纸板、聚四氟乙烯、陶瓷、高分子聚合物等材料,金属膜一般用铜制作。如果是高频板,最好用成本较高的覆铜箔聚四氟乙烯玻璃布层压板。从 PCB 设计的角度来看,它包含板层、PCB 元器件、焊盘、过线盘和铜膜走线等重要部分。PCB 元件、焊盘、过孔以及铜膜走线在板层上的表现形式如图 0-4 和图 0-5 所示。

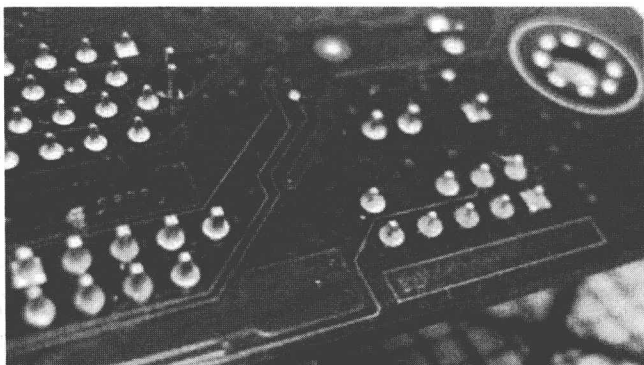


图 0-2 PCB 实现元器件的布线、电气连接、电绝缘

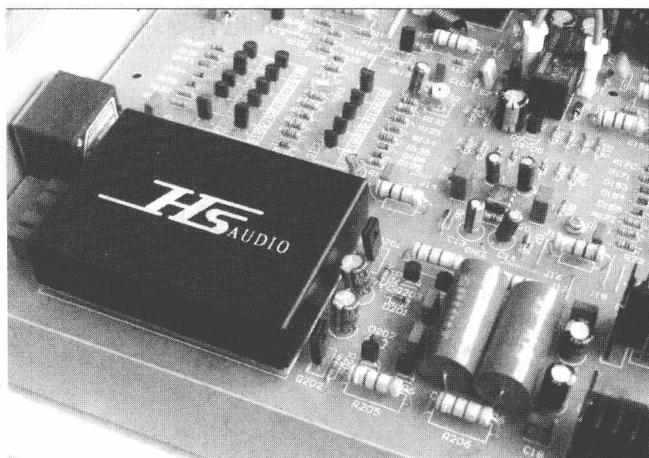


图 0-3 PCB 提供识别字符和图形

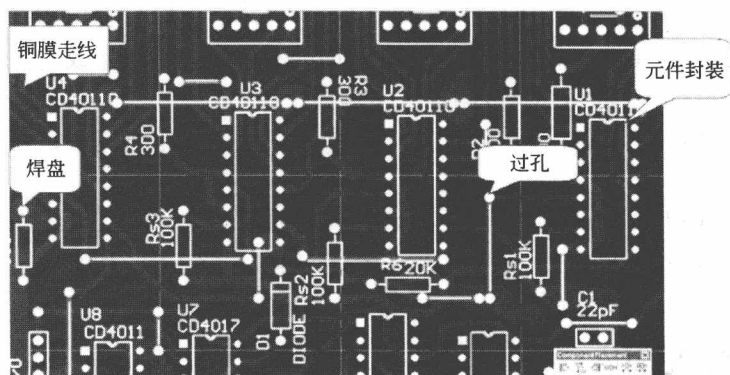


图 0-4 PCB 在板层上的表现形式

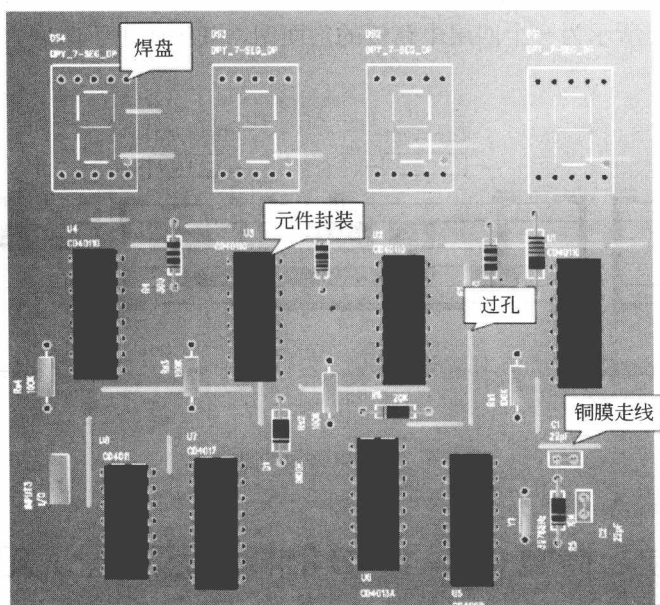


图 0-5 PCB 3D 图

依据电路元器件的实际封装外形与尺寸，用规定好的图形符号和属性加以表达，这就是电路元器件的封装形式（Footprint），也就是所谓的 PCB 元器件。在电路板上用来焊接电路元器件的焊接点称为焊盘（Pad）。在 PCB 表面可以看到的细小线路材料本来是覆盖在整个板子上的铜箔，由于在制造过程中部分被蚀刻处理掉，剩下的部分用于连接各个焊盘，这些线路就是铜膜布线或铜膜导线。通过表面涂有导电层的孔洞，可以将不同层次上的铜膜导线连接起来，这就是过线盘（又称导孔或过孔 Via）。PCB 上的绿色，有少数采用黄色、黑色、蓝色等是阻焊层（solder mask）的颜色，所以在 PCB 行业常把阻焊油叫成绿油。其作用是，防止波焊时产生桥接现象，提高焊接质量和节约焊料等作用。它也是印制板的永久性保护层，能起到防潮、防腐蚀、防霉和防机械擦伤等作用。在阻焊层上有元件符号轮廓或字符（大多是白色）等标示信息，这在 Protel 99 SE 的 PCB 编辑器中称为“Silkscreen”（丝印面），就是在阻焊层上印刷上一层丝网印刷面来标示每个电子元件在 PCB 上的位置，它虽不具有导电特性，但便于元器件插装、检查、维修。

PCB 空板焊接上元器件、组装上外壳，就成为一个电子产品实物。而 PCB 结构，对于简单的电路设计，可以采用单层板结构，即只有一面有铜膜，因而也只能在铜膜面上制作导电图形，主要包括固定、连接元件引脚的焊盘和实现元件引脚互连的印制导线，即称“焊锡面”，在 Protel 99 SE 的 PCB 编辑器中称为“Bottom Layer”（底层）。而另一面上没有铜膜，可用来安装电路元器件，因此该面即“元件面”，在 Protel 99 SE 的 PCB 编辑器中称为“Top Layer”（顶层）。单层板结构简单，没有过孔，生产成本低，但布线设计难度最大，布通率较低，可利用的电磁屏蔽手段也有限，电磁兼容性指标不易达到要求。对于非平面网孔电路，当在单层板上无法通过印制导线连接个别导电图形时，可以用跳线连接，但跳线数量必须严格控制一定的范围内，否则电路性能指标会下降。

稍复杂些的电路板可采用双层板，即两个板面为铜膜。复杂的电路板设计则采用多层板。所谓多层板是指将电路板中除了可安装元器件的顶层或底层以外，板内还含有多个用来敷设

铜膜的夹层。图 0-6 所示为一个四层电路板的剖面图, 其中画出了印刷电路板的各个组成部分及其相互关系。

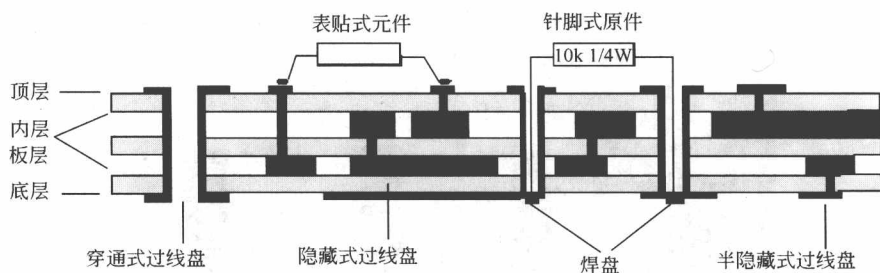


图 0-6 四层电路板的剖面图

学习情境 0.2 PCB 制作工艺流程认知

0.2.1 印刷电路板的制作工艺流程

要想设计出合乎要求的印制板图, 电子产品设计人员需要深入了解现代印刷电路板的一般工艺流程。

(1) 单面印制板工艺流程 单面基板剪裁(图 0-7)→钻孔→图形转移→蚀刻→半成品检验→网印阻焊油墨→喷锡→外形加工→成品检验→包装运输。

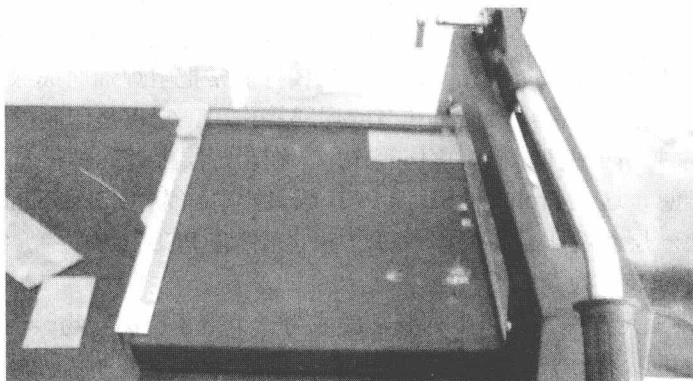


图 0-7 单面基板剪裁

单面刚性印制板工艺流程 单面覆铜板→下料→(刷洗、干燥)→钻孔或冲孔→网印线路抗蚀刻图形或使用干膜→固化检查修板→蚀刻铜→去抗蚀印料、干燥→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→预涂助焊抗氧化剂(干燥)或喷锡热风整平→检验包装→成品出厂。

(2) 双面印制电路板工艺流程 单面基板剪裁→钻孔→沉铜→全板电镀→图形转移→蚀刻→半成品检验→丝印阻焊油墨→喷锡→外形加工→成品检验→包装运输。

双面刚性印制板工艺流程 双面覆铜板→下料→叠板→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→线路图形电镀→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→喷锡或有机保焊膜→外形加工→清洗、干燥→电气通断检测→检验包装→成品出厂。

（3）多层印板的工艺流程 内层材料处理→定位孔加工→表面清洁处理→制内层走线及图形→腐蚀→层压前处理→外内层材料层压→孔加工→孔金属化→制外层图形→镀耐腐蚀可焊金属→去除感光胶→腐蚀→插头镀金→外形加工→热熔→涂助焊剂→成品。

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→外层单面覆铜板线路制作、阶阶黏结片、板材黏结片检查、钻定位孔→层压→数控钻孔→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→线路图形电镀→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→清洗、干燥→电气通断检测→成品检查→包装出厂。

从工艺流程图可以看出，多层板工艺是从双面板金属化工艺基础上发展起来的。它除了继承双面工艺的优点外，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、专用材料。

0.2.2 热转印法制单面板基本流程

- ① 用 Protel 画出所需要的印刷电路板图（PCB 图），如图 0-8 所示。

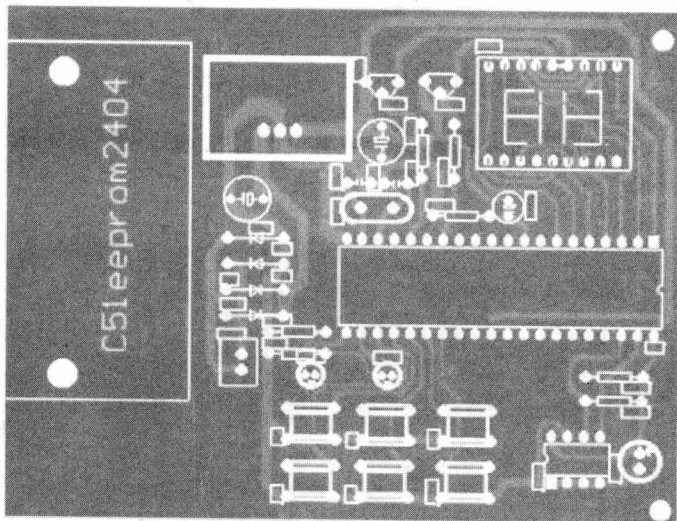


图 0-8 Protel 画出的 PCB 图

- ② 将图 0-8 用激光打印机（图 0-9）打印到热转印纸（注意不要打印顶层丝印图），如图 0-10 所示。

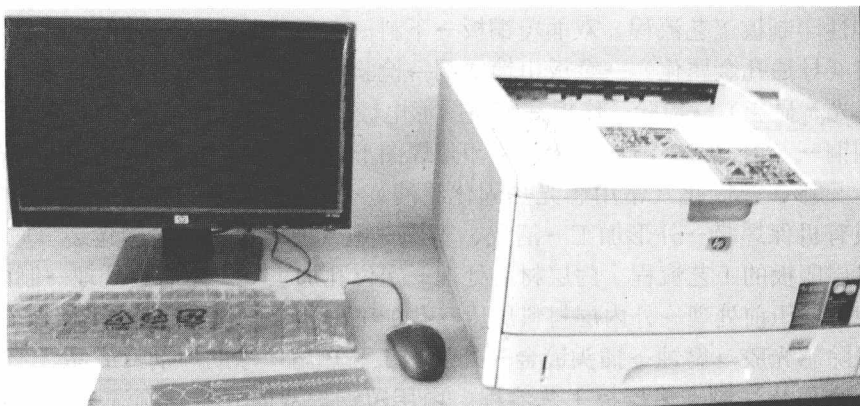


图 0-9 激光打印机

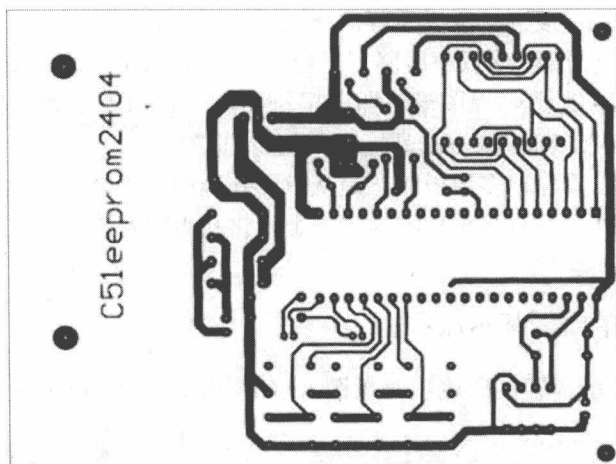


图 0-10 打印到热转印纸上的图形

③ 采用图 0-11 所示的热转印机将热转印纸上的炭粉通过热转印机转印到敷铜板上，如图 0-12 所示。

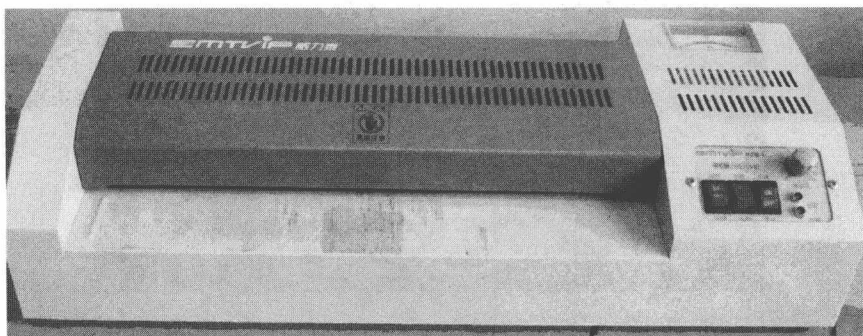


图 0-11 热转印机

④ 将敷铜板放入如图 0-13 所示喷雾蚀刻机中进行蚀刻，蚀刻后如图 0-14 所示。

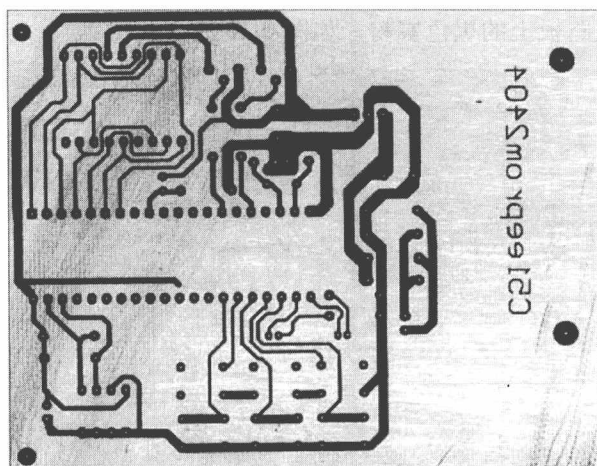


图 0-12 热转印机转印到敷铜板的图形

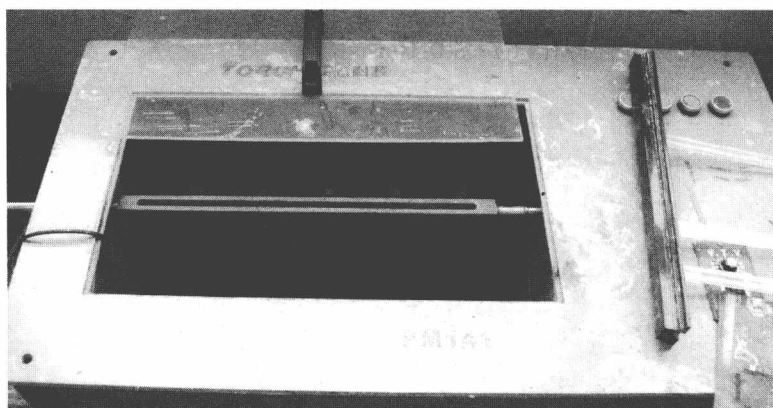


图 0-13 喷雾蚀刻机

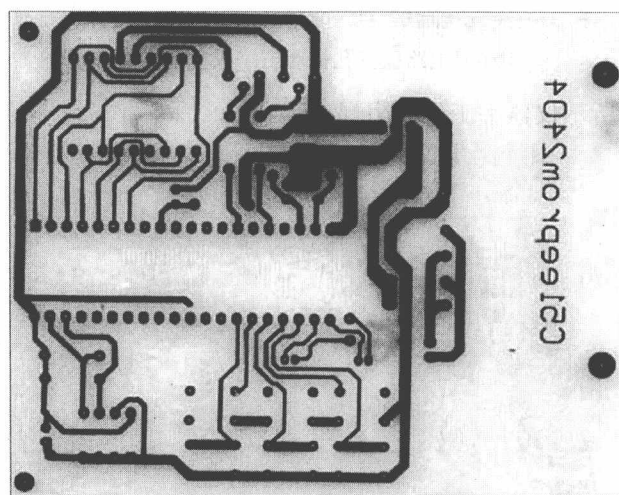


图 0-14 敷铜板被腐蚀后的图形

- ⑤ 用汽油清洗电路板上的黑色炭粉，如图 0-15 所示。

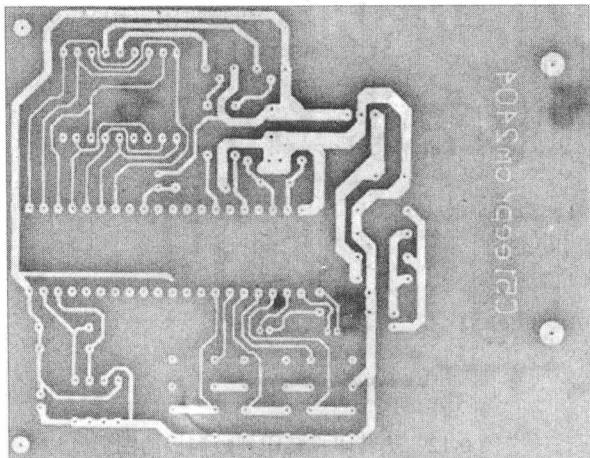


图 0-15 电路板被用汽油清洗后的图形

- ⑥ 用电路板打孔机进行打孔，如图 0-16 所示。

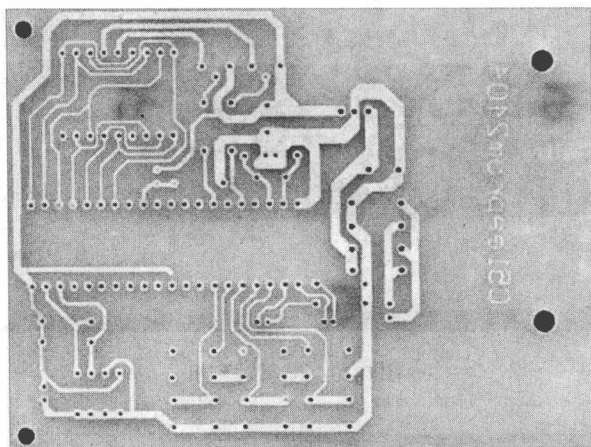


图 0-16 电路板打孔机对电路板打孔后的图形

- ⑦ 用如图 0-17 所示仪器手工丝印阻焊油墨。

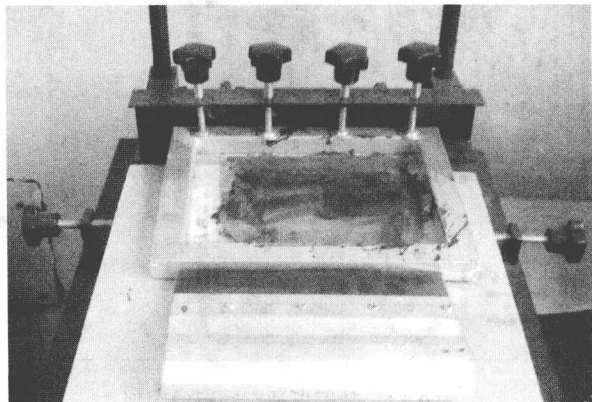


图 0-17 丝印阻焊层仪器

★※温馨提示※★

如果用热转印法制双面板要复杂得多：下料、钻导通孔、检验、去毛刺刷洗，还要化学镀铜（孔化）。镀铜过程中先涂导电胶，微饰、水洗、放入如图 0-18 所示的电镀槽内电镀，再水洗、烘干。

如果用感光法制单面电路板，要用激光打印机打印出如图 0-19 所示的底片，用图 0-20 所示曝光机进行曝光、显影，最后蚀刻。

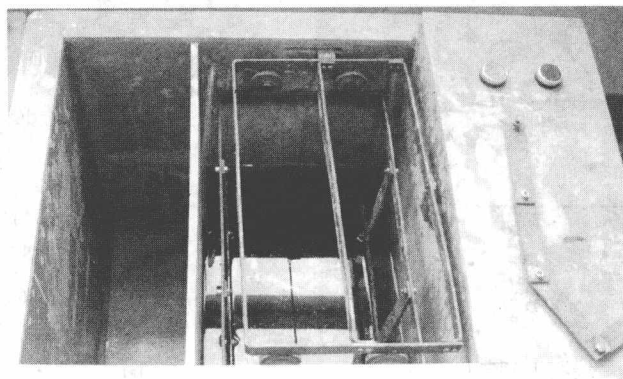


图 0-18 电镀槽

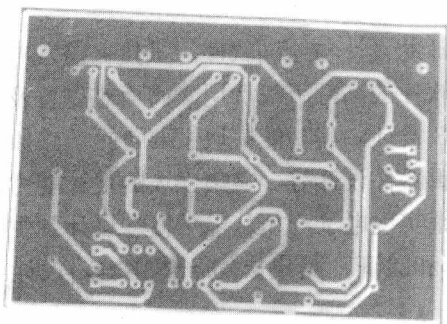


图 0-19 激光打印底片

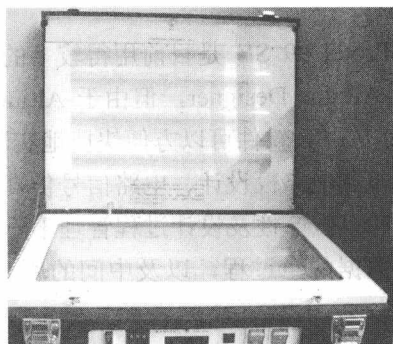


图 0-20 曝光机

0.2.3 雕刻法制板

用如图 0-21 所示的线路板刻制机制板，是一种物理雕刻过程。线路板刻制机单面雕刻步骤如下。

(1) 雕刻前准备 检查线路板刻制机与电脑数据线是否相连，同时检查线路板刻制机电源是否连接好。打开电脑及线路板刻制机电源，将线路板刻制机控制面板上电源拨到“开”的位置。导出线路板刻制机的 PCB 文件，然后运行线路板刻制机，选择相应参数。升高刻制机的刀架，固定覆铜板，装好雕刻刀。打开雕刻文件进行试雕。

(2) 雕刻 按照 PCB 的精度要求调好雕刻速度，按“雕刻”按钮开始雕刻，图 0-22 所示是线路板刻制机雕刻过程中的线路板。雕刻过程无需人工干预，但也要注意在雕刻过程中不得强制停止。