

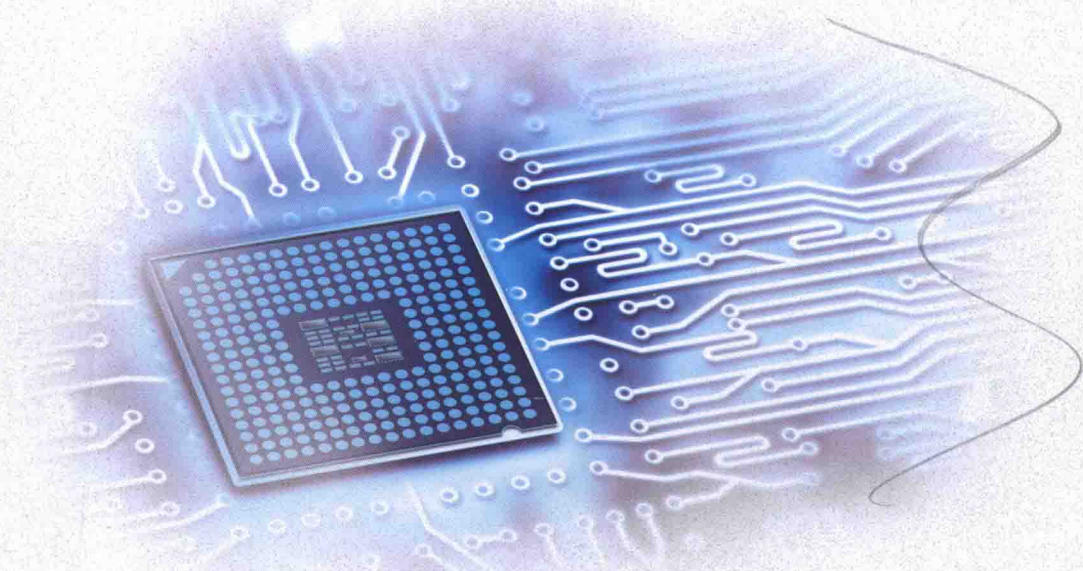


闽西职业技术学院 国家骨干高职院校项目建设成果
MINXI VOCATIONAL & TECHNICAL COLLEGE
——应用电子技术专业

胡新福 ◎ 主编

电子线路板 设计与制作

IANZI XIANLUBAN SHEJI YU ZHIZUO



厦门大学出版社
XIAMEN UNIVERSITY PRESS

国家一级出版社
全国百佳图书出版单位



闽西职业技术学院
MINXI VOCATIONAL & TECHNICAL COLLEGE

国家骨干高职院校项目建设成果
——应用电子技术专业

电子线路板 设计与制作

主 编 胡新福

副主编 郭耀泉

黄钟森

钟志威



厦门大学出版社
XIAMEN UNIVERSITY PRESS

国家一级出版社
全国百佳图书出版单位

图书在版编目(CIP)数据

电子线路板设计与制作/胡新福主编. —厦门:厦门大学出版社, 2016. 3
(闽西职业技术学院国家骨干高职院校项目建设成果. 应用电子技术专业)
ISBN 978-7-5615-5860-7

I. ①电… II. ①胡… 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(2016)第 008613 号

出 版 人 蒋东明

责任编辑 李峰伟

装帧设计 蒋卓群

责任印制 许克华

出版发行 厦门大学出版社

社 址 厦门市软件园二期望海路 39 号

邮政编码 361008

总 编 办 0592-2182177 0592-2181253(传真)

营销中心 0592-2184458 0592-2181365

网 址 <http://www.xmupress.com>

邮 箱 xmupress@126.com

印 刷 厦门市明亮彩印有限公司印刷

开本 787mm×1092mm 1/16

印张 11.75

插页 2

字数 286 千字

版次 2016 年 3 月第 1 版

印次 2016 年 3 月第 1 次印刷

定价 30.00 元

本书如有印装质量问题请直接寄承印厂调换



厦门大学出版社
微信二维码



厦门大学出版社
微博二维码

“闽西职业技术学院国家骨干高职院校项目建设成果”编委会

主 任：来永宝

副主任：吴新业 吕建林

成 员（按姓名拼音字母顺序排列）：

陈建才 董东明 郭 舜 李志文 林茂才

檀小舒 童晓滨 吴国章 谢 源 张源峰



总 序

国务院《关于加快发展现代职业教育的决定》指出,现代职业教育的显著特征是深化产教融合、校企合作、工学结合,推动专业设置与产业需求对接、课程内容与职业标准对接、教学过程与生产过程对接、毕业证书与职业资格证书对接、职业教育与终身学习对接,提高人才培养质量。因此,校企合作是职业教育办学的基本思想。

产教融合、校企合作的关键是课程改革。课程改革要突出专业课程的职业定向性,以职业岗位能力作为配置课程的基础,使学生获得的知识、技能满足职业岗位(群)的需求。至2014年6月,我院各专业完成了“基于工作过程系统化”课程体系的重构,并完成了54门优质核心课程的设计开发与教材编写。学院以校企合作理事会为平台,充分发挥专业建设指导委员会的作用,主动邀请行业、企业“能工巧匠”参与学院专业规划、专业教学、实践指导,并共同参与实训教材的编写。教材是实现产教融合、校企合作的纽带,是教和学的主要载体,是教师进行教学、搞好教书育人工作的具体依据,是学生获得系统知识、发展智力、提高思想品德、促进人生进步的重要工具。根据认知过程的普遍规律和教学过程中学生的认知特点,学生系统掌握知识一般是从对教材的感知开始的,感知越丰富,观念越清晰,形成概念和理解知识就越容易;而且教材使学生在过程中获得的知识更加系统化、规范化,有助于学生自身素质的提高。

专业建设离不开教材,一流的教材是专业建设的基础,它为课程教学提供与人才培养目标相一致的知识与实践能力的平台,为教师依据教学实践要求,灵活运用教材内容,提高教学效果,完成人才培养要求提供便利。由于有了好的教材,专业建设水平也不断提高,因此在福建省教育评估研究中心汇总公布的福建省高等职业院校专业建设质量评价结果中,我院有26个专业全省排名进入前十名,其中有15个专业进入前五名。麦可思公司2013年度《社会需求与培养质量年度报告》显示,我院2012届毕业生愿意推荐母校的比例为68%,比全国骨干院校2012届平均水平65%高了3个百分点;毕业生对母校的满意度为94%,比全国骨干院校2012届平均水平90%高了4个百分点,人才培养质量大大提升。



闽西职业技术学院院长、教授

2015年5月

内容简介

本教材根据实际岗位的需要,内容分解为电子线路板手工设计与制作、单面电子线路板的设计与制作、双面电子线路板的设计与制作和综合电子线路板的设计与制作4个学习情境,每一个学习情境又分两个子任务,每个子任务都是一个完整的工作过程,主要包括电子线路板工艺与规范,电子线路板辅助设计软件 Altium Designer 10 的应用以及电子线路板布局、布线的方法与技巧。本教材力求做到内容简明扼要,概念清楚,学以致用,最终达到使学生了解电子计算机辅助设计(computer aided design,CAD)软件的基本概念、工作流程,能熟练使用 Altium Designer 10 软件进行电路图和电路板设计,进而制作出符合行业要求的电路板,并能满足电子 CAD 绘图员职业标准的要求。

本教材可作为高职高专院校应用电子技术、电子信息工程技术、电气自动化技术和机电一体化技术专业及相关专业的“电子线路板设计与制作”“PCB 设计基础”“电路原理图与电路板设计”等课程的教材。

前 言

根据《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,本教材的内容安排如下:

(1)以电子产品开发技术员以及开发助理员岗位完成电子产品硬件开发工作任务所需的能力要求作为课程内容选取的主要依据。

根据电子行业经济发展的需要,聘请企业技术人员对电子技术专业领域的职业岗位进行工作任务分析;根据完成电子产品硬件开发典型工作任务所需的知识、能力和素质要求进行内容的选取。

(2)结合国家职业标准确定了课程标准。

根据行业对职业能力的要求,结合“计算机辅助设计绘图员”(电子)(简称“电子 CAD 绘图员”)国家职业标准组织内容。

(3)基于工作过程导向原则进行教学模式设计。

采用工作过程系统化的课程改革方法,用 4 个学习情境贯穿教学组织,每一个学习情境又分两个子任务,每个子任务都是一个完整的工作过程。

(4)从软件操作技能的训练过渡到电子线路板设计能力的培养。

把电子线路板工艺与规范,电子线路板辅助设计软件 Altium Designer 10 的应用以及电子线路板布局、布线的方法与技巧作为重要内容,力求做到内容简明扼要,概念清楚,学以致用,最终达到使学生能满足电子 CAD 绘图员职业标准的要求。

本书学习情境 1 由黄钟森编写,学习情境 2 和学习情境 4 由胡新福编写,学习情境 3 由郭耀泉编写,由胡新福担任主编并负责全书的统稿。在本书编写过程中,感谢深圳市赛亿科技发展有限公司钟志威工程师的技术支持及案例提供。



由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快,加之我们的水平和经验有限,因此在教材的编写过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时反馈质量信息,以利于我们今后不断提高教材的质量,为广大师生提供更多、更适用的教材。

编 者

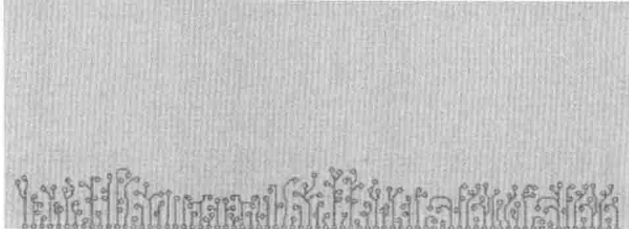
2015 年 12 月

目 录

学习情境 1 电子线路板手工设计与制作	1
任务 1-1 电子线路板生产工艺认知	1
1.1 PCB 板生产工艺流程	1
1.2 元件与封装	2
1.3 认识 PCB 制板	6
任务 1-2 直流稳压电源手工设计与制作	31
1.4 手动设计 PCB 板	31
1.5 PCB 板的现场制作	68
 学习情境 2 单面电子线路板的设计与制作	 80
任务 2-1 英语听力耳机原理图设计	80
2.1 原理图设计环境	80
2.2 原理图编辑工具	83
2.3 创建原理图库元器件	92
任务 2-2 英语听力耳机 PCB 设计与制作	99
2.4 PCB 设计环境	99
2.5 PCB 编辑工具	103
2.6 创建元器件的封装	105
2.7 自动布局与自动布线	111
 学习情境 3 双面电子线路板的设计与制作	 123
任务 3-1 八位数字频率计原理图设计	123
3.1 模块化原理电路和层次化原理电路设计	123
3.2 原理图电气规则检查	126
任务 3-2 八位数字频率计 PCB 设计与制作	132
3.3 将设计更新到 PCB 以及设计同步	132
3.4 PCB 的布局	133
3.5 PCB 的布线	143



3.6 输出报表	149
学习情境 4 综合电子线路板的设计与制作	158
任务 4-1 现场可编程门阵列(field-programmable gate array, FPGA)开发板 原理图的设计	158
4.1 抗干扰技术	158
4.2 绘制 FPGA 开发板原理图	159
任务 4-2 FPGA 开发板 PCB 的设计与制作	167
4.3 PCB 的可靠性设计	167
4.4 电磁兼容性设计	168
4.5 设计与制作 FPGA 开发板 PCB 图	169
参考文献	177



学习情境 1

电子线路板手工设计与制作

【学习目标】

1. 掌握 PCB 板生产工艺流程；
2. 掌握热转印制板、雕刻制板和小型工业制板方法和过程；
3. 能根据图纸手工绘制并制作 PCB。

任务 1-1 电子线路板生产工艺认知

【任务描述】

了解 PCB 的生成工艺流程,认识常用的元器件的封装类型,认识常用的 PCB 制版方法。

【知识准备】

1.1 PCB 板生产工艺流程

PCB(printed circuit board),也就是平时说的印制电路板或者电路板。PCB 的出现使电子产品的质量和可靠性都得到了很大的提升,同时也提高了劳动生产率,降低了生产成本。

电子产品设计人员要想设计出符合要求的 PCB 板图,就需要深入了解现代 PCB 的生产工艺流程。

1.1.1 单面 PCB 板的工艺流程

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→固化检查板→蚀刻铜→去抗蚀印料、干燥→刷洗、干燥→网印阻焊图形(常用的阻焊颜色有绿油、红油、蓝油、白油、黑油、黄油)、紫外线(ultraviolet, UV)固化→网印字符标记图形、UV 固化→预热、冲孔及外形整理→飞针测试→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。

1.1.2 双面 PCB 板的工艺流程

双面覆铜板→下料→数控钻导通孔→检验、去毛刺刷洗→化学电镀(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、红油、蓝油、白油、黑油、黄油)→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(常用的检测仪器采用飞针测试)→检验包装→成品出厂。

1.1.3 多层 PCB 板的工艺流程

内层材料处理→开料→定位孔加工→表面清洁处理→转换内层走线及图形→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转换→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→贴光耐电镀干膜或涂覆光致耐电镀剂→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→数控洗外形→清洗、干燥→电气通断检测(飞针测试)→检验包装→成品出厂。

1.2 元件与封装

元件符号是组成原理图的基本元素之一。原理图的绘制是从库文件中取出元件符号(也可称为原理图符号),布局后将有电气连接关系的点用导线等对象连接起来形成原理图的过程。

元件封装是组成印制电路板的基本元素之一。在原理图中,按照元件实物设置元件封装,在完成印制电路板的导入之后,对元件封装依据设计规则和工艺要求进行布局和布线,形成印制电路板。

在 Protel(Altium 前身为 Protel 国际有限公司)早期版本中,原理图符号来自原理图符号库文件,元件封装来自封装库文件,从 Protel 2004 开始,将原理图符号、元件封装、元件的 3D 模型及仿真模型集合起来形成了整合库文件(*.IntLib)。这样,在从整合库文件中取出原理图符号时,元件的封装也就加载进来了。但一个元器件的原理图符号通常对应多个不同的封装模型,这就要求对元件封装有一定的了解。

安装目录下 Documents and Settings\All Users\Documents\Altium\AD 10\Library 中存放的为 Altium Designer 10 软件自带的元件库,其中元件数量庞大,分类明确,以元件厂家进行一级分类,在一级分类下面又以元件的类别进行二级分类。其中 Miscellaneous Devices.IntLib 为杂项元器件整合库文件,几乎包含了除集成电路之外的所有元件;Miscellaneous Connectors.IntLib 为杂项连接器整合文件,包含了各类连接器件。当从整合文件中取出原理图符号时,自带的元件封装如果不满足要求,可以到 Altium 官网去下载最新的元件封装。

对于从库文件中无法找到的原理图符号或封装模型,可以使用 Altium Designer 10 的原理图库编辑器或 PCB 元件库编辑器进行绘制所需的原理图符号或封装模块。

1.2.1 Altium Designer 10 的元件符号

杂项元器件整合库文件 Miscellaneous Devices.IntLib 及杂项连接器整合库文件 Miscellaneous Connectors.IntLib 几乎包含了除集成电路外的原理图符号,下面对这两个库文



件做一个简单介绍。

1. 杂项元器件整合库文件

杂项元器件整合库文件 Miscellaneous Devices.IntLib 中的常用原理图符号见表 1.2.1。

表 1.2.1 Miscellaneous Devices.IntLib 中的常用原理图符号

原理图符号名称	类 别	原理图符号名称	类 别
Res *	电阻系列	Res Pack *	排电阻
Rpot *	电位器系列	Speaker	扬声器
Inductor *	电感系列	Cap *	电容系列
Diode *, D *	二极管系列	NPN *, PNP *, MOSFET *, MESFET *, JFET *, IGBT *	晶体管系列
Relay *	继电器系列	Dpy *	数码显示管系列
Bridge *	整流桥系列	Opto *, Optoisolator	光电耦合器系列
Photo *	光电二极管、三级管系列	ADC-8, DAC-8	模数转换、数模转换器
Xtal	晶振	Battery	电池
Volt Reg	三端稳压电源	Mic *	麦克风系列
Lamp *	小灯泡系列	Bell	蜂鸣器
Antenna	天线	Fuse *	保险丝系列
SW *	开关系列	Trans *	变压器系列
Jumper *	挑线	Op AMP	运算放大器
Motor *	电动机系列	LED *	发光二极管

注：“*”为通配符，代表不同的后缀。

2. 杂项连接器整合库文件

杂项连接器整合库文件 Miscellaneous Connectors.IntLib 中常见的原理图符号见表 1.2.2。

表 1.2.2 Miscellaneous Connectors.IntLib 中常见的原理图符号

原理图符号名称	类 别	原理图符号名称	类 别
Connector *	牛角连接器	D Connector *	D 型连接器
Header *	排线连接器	MHDR *	连接器
Phonejack *	麦克风连接器	PWR2. 5	直流电源连接器
RCA	RCA 连接器	COAX *	射频同轴电缆连接器
Socket	单针插座	BNC	同轴电缆连接器

注：“*”为通配符，代表不同的后缀。



1.2.2 Altium Designer 10 的元件封装

元件封装是指实际元件焊接到电路板时所指示的外观和焊点位置,不同元件可共用同一元件封装,同种元件也可能有不同的元件封装。例如,电阻有传统的直插式(dual inline-pin package,DIP),这种元件体积较大,电路板必须钻孔才能安置元件,完成钻孔后,插入元件,再过锡或喷锡(也可手焊),成本较高;较新的设计都是采用体积小的表面贴片式元件(surface mount device,SMD),这种元件不必钻孔,用钢膜将半熔状锡膏倒入电路板,再将SMD元件放上,即可焊接在电路板上了。

在 Altium Designer 10\Library 目录下的 PCB 文件夹中,包含了种类齐全的元件封装库文件(*.PcbLib),主要封装文件的类别见表 1.2.3。

表 1.2.3 主要封装库文件的类别

封装名称	说 明
Axial Lead Diode.PcbLib	轴向二极管封装库文件
BGA *.PcbLib	BGA 系列封装库文件
Bridge Rectifier.PcbLib	三端集成稳压封装库文件
Capacitor-Axial.PcbLib	轴向电容封装库文件
Capacitor-Electrolytic.PcbLib	电解电容封装库文件
Capacitor-Tantalum Radial.PcbLib	钽电容封装文件
Capacitor Axial Non-polarised.PcbLib	轴向无极性电容封装文件
Chip Capacitor-2 Contacts.PcbLib	贴片电容封装文件
Chip Diode-2 Contacts.PcbLib	贴片二极管封装库文件
Chip Inductor-2 Contacts.PcbLib	贴片电感封装库文件
Chip Resistor-2 Contacts.PcbLib	贴片电阻封装库文件
Con x x x.PcbLib	连接器系列封装
Crystal Oscillator.PcbLib	石英晶体振荡器封装库文件
DIP-LED Display.PcbLib	双列插针 LED 数码管封装库文件
Dual-In-Line Package.PcbLib	双列直插集成电路封装库文件
FQFP *.PcbLib	FQFP 封装系列库文件
Leaded Chip Carrier *.PcbLib	LCC 封装库文件
Miscellaneous Connector PCB.PcbLib	杂项连接器封装库文件
Miscellaneous Devices PCB.PcbLib	杂项设备封装库文件
QFP *.PcbLib	QFP 系列封装库文件
Small Outline *.PcbLib	Small Outline 小外形系列封装库文件
SOT *.PcbLib	SOT 小外形晶体管封装库文件
TSOP *.PcbLib	TSOP 薄小外形封装库文件
Resistor-Axial.PcbLib	轴向电阻封装库文件

注:“*”为通配符,代表不同的后缀。

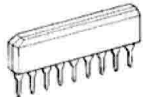
印制电路板设计过程中经常使用的杂项元器件封装的整理结果见表 1.2.4。

表 1.2.4 常见杂项元器件封装

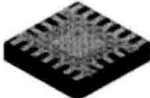
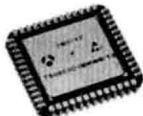
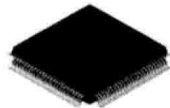
类 别	封装名称	说 明
插针电阻	AXIAL0.3~AXIAL0.7	后缀数组 0.3~0.7 表示封装模型中两个焊盘的间距,单位为“英寸”(in)(1 in=1000 mil),常用的 1/4 W电阻封装是 AXIAL0.4,焊盘间距是 0.4 in,即 25.4 mm×0.4=10.16 mm
贴片电阻	CR0603-0201,CR1005-0402,CR1608-0603,CR2012-0805,CR3216-1206,CR3225-1210,CR4532-1812,CR5025-2010	CR1608-0603 表示贴片电阻的长宽尺寸为 1.6 mm×0.8 mm 或 60 mil×30 mil
电解电容	CAPPR A-B×C	A 表示焊盘的孔径,B 表示电容的外径,C 表示电容的高度,如 CAPPR2.5-6.3×6.8
瓷片电容	RAD0.1~RAD0.4	0.1 表示焊盘的间距为 0.1 in
贴片电容	CC1005-0402,CC1608-0603,CC2012-0805,CC3216-1206,CC3225-1210,CC4532-1812,CC5025-2010	具体含义同贴片电阻
二极管	DIODE-0.4,DIODE-0.7	0.4 表示焊盘间距为 0.4 in
贴片二极管	CD1005-0402,CD1608-0603,CD2012-0805,CD3216-1206,CD3225-1210,CD4532-1812	具体含义同贴片电阻
标准插针及插孔	HDR1×A,HDR2×AMHDR1×A,MHDR2×A	HDR1×A 表示间距为 100 mil 的插针及插孔,1 表示单排,A 表示针或孔的数目。MHDR1×A 表示间距为 50 mil 的插针及插孔,1 表示单排,A 表示针或孔的数目

印制电路板设计过程中常见的集成电路封装的整理结果见表 1.2.5。

表 1.2.5 常见的集成电路封装

封装名称	图 片	封装名称	图 片	封装名称	图 片
DIP		DIP-TAB		FDIP	
PDIP		SDIP		SIP	

续表

封装名称	图 片	封装名称	图 片	封装名称	图 片
SOP		SSOP		TSOP	
TCSP		LCC		LDCC	
PLCC		QFP		PQFP	
TQFP		BQFP		SOJ	
BGA		FBGA		LGA	

1.3 认识 PCB 制板

PCB 电路板的制作有很多方法,如雕刻法、油漆画线法、感光胶丝网漏印法、热转印法等。但要想设计出符合要求的 PCB 版图,电子产品设计人员需要认识 PCB 制板流程。

1.3.1 热转印法制作

热转印法制作电路板操作简单,制作成本较低,印制电路的质量接近专业制作水平,比较适合条件简单单面 PCB 板的打样制作。

1. 热转印法的工艺原理

热转印法是采用热转移原理,先将设计好的印刷电路板图用激光打印机打印在热转印纸上,由于激光打印机用的墨粉是一种黑色耐热树脂微粒,受热($130\sim 180\text{ }^{\circ}\text{C}$)时熔化,打印时被硒鼓上感光后的静电图形吸附,消除静电后经高温熔化并通过打印将图形转移到热转印纸上,成为热转印版。热转印纸由于经过了高分子技术的特殊处理,表面覆盖了数层特殊材料的涂层,因此具有耐高温不粘连的特性。将该热转印纸覆盖在覆铜板上,施加一定的温度和压力,再次融化的墨粉便完全附着在覆铜板上,冷却后形成牢固的耐腐蚀图形。覆铜板

放入腐蚀液中腐蚀,将没有墨粉图形覆盖的铜箔腐蚀掉。清洗、干燥后钻孔,即成为做工精美的印刷电路板。

2. 热转印法的工艺步骤

热转印法的工艺步骤为出图→裁板→图形转移→线路腐蚀→钻孔。

(1)出图。出图过程如图 1.3.1 所示,通过专业设计软件将 PCB 图形使用激光打印机打印在热转印纸的光滑面上。

以直流稳压电源 PCB 为例,印制电路板图按 1:1 比例输出,打印 PCB 板层包括 Bottom Layer(底部信号层)、Keep-Out Layer(禁止布线层)及 Multi-Layer(焊盘多层)。将各层的颜色设置为单色(黑色),使墨粉层厚重,只有这样质量才能得到保证(具体输出步骤参考本情境 1.5 小节)。

如果一次制作两件以上的或不同的印制电路板图,且尺寸不大,可以进行排版,将几种印制电路板图复制排列在一起,各图之间稍留一定的尺寸。

(2)裁板。在 PCB 制板前,应根据设计好的 PCB 图大小来确定所需 PCB 板基的尺寸规格,通常所裁 PCB 板基的各边应比实际尺寸大 1~2 cm,然后根据具体尺寸进行裁板。图 1.3.2 所示为裁板所用的裁板机。

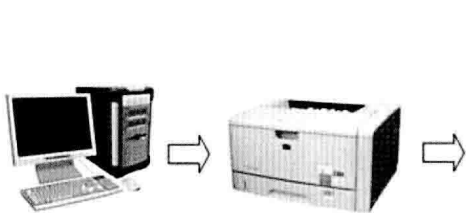


图 1.3.1 热转印法出图过程

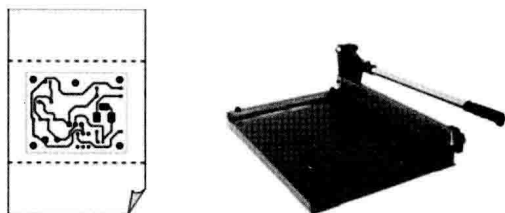


图 1.3.2 裁板机

(3)图形转移。图形转移流程如图 1.3.3 所示,具体操作如下:

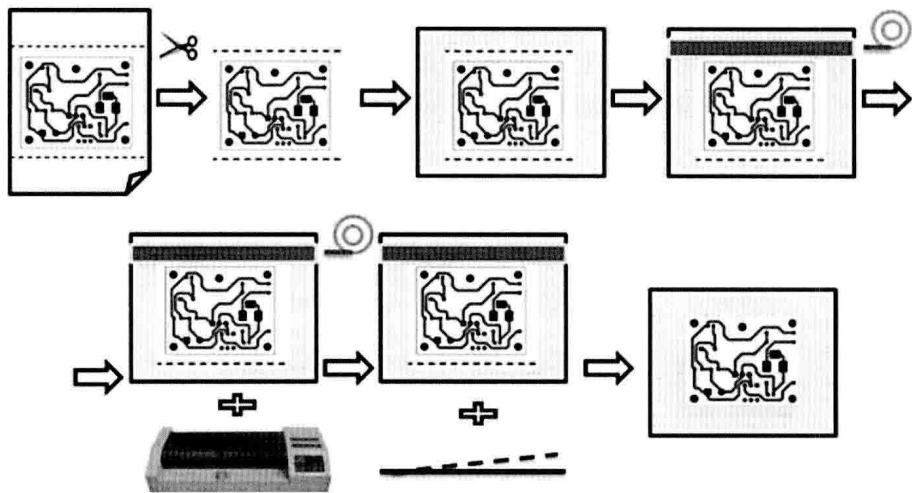


图 1.3.3 图形转移流程