



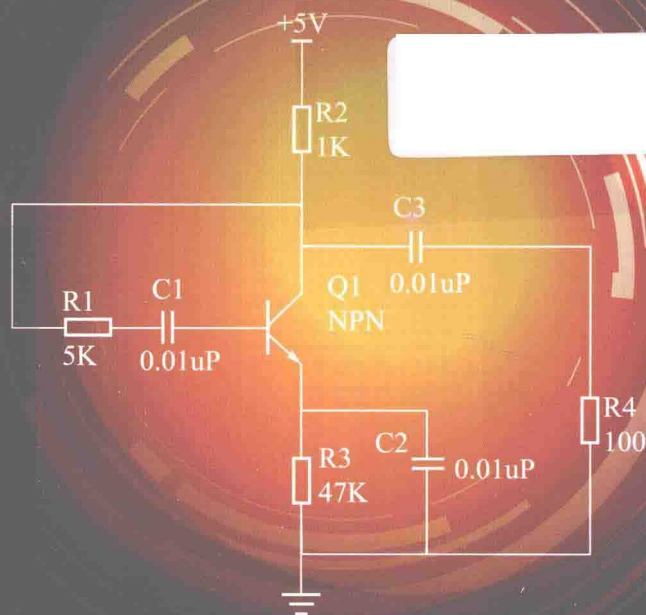
“十二五”职业教育国家规划教材  
经全国职业教育教材审定委员会审定

# 电子设计自动化 项目教程

## ——Protel 99 SE

第二版

张宏 陈巍 主编



化学工业出版社



“十二五”职业教育国家规划教材  
经全国职业教育教材审定委员会审定

# 电子设计自动化项目教程 ——Protel 99 SE

## 第二版

张 宏 陈 巍 主 编



化学工业出版社

· 北 京 ·

Protel 99 SE 是目前国内比较流行的 EDA 软件之一, 本书介绍了使用 Protel 99 SE 进行电路板设计应用的各种基础知识, 包括印刷电路板的发展历史及分类用途、原理图设计、PCB 板的设计, 并考虑到知识的难易程度, 由浅入深, 由简单到复杂, 以项目化的结构进行介绍知识点及技能训练, 并安排了九个项目, 通过这九个项目的学习达到培养学生正确的电路板设计思路, 提高学生解决实际问题的能力。

本书可作为高职院校电子类、电气类、通信类各专业学生的教材, 也可供电子爱好者及从事电子产品设计与开发的工程技术人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

电子设计自动化项目教程: Protel 99 SE/张宏, 陈巍主编.  
—2 版. —北京: 化学工业出版社, 2015.3

“十二五”职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-122-23050-8

I. ①电… II. ①张…②陈… III. ①印刷电路-计算机辅助设计-应用软件-高等职业教育-教材 IV. ①TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 034071 号

---

责任编辑: 张建茹 潘新文

装帧设计: 刘剑宁

责任校对: 宋 玮

---

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: 三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 15 字数 375 千字 2015 年 5 月北京第 2 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: 32.00 元

版权所有 违者必究

## 第二版前言

本书是在第一版的基础上对一些设计项目和图例进行了修改。对第一版中没有提到的有些理论知识再加以补充,使这本教材更加完善。学生通过项目化教学实现对理论的理解,并通过一个完整的设计项目实训使学生学会理论方法的实际运用,易教易学,力求通俗易懂。在重新修订的教材中,教学内容以“工学结合”为总体要求,以“任务驱动,项目教学”为教改方向、以项目设计繁简合理、数字化资源齐全为目标,修订后的第二版大多设计项目都是围绕单片机的应用来进行项目设置的,以充分反映当前课程改革的最新成果。

目前全国高职院校使用的电子设计自动化教材大都以知识介绍的形式编写,知识点介绍较多但对知识的应用技巧介绍不多。特别是对一个具体项目的完整设计应该用的知识点的介绍就更欠缺,为了填补这个知识空白,编者重新修订编写《电子设计自动化项目教程——Protel 99 SE》这本教材。

使用计算机设计电路原理图和电路板图是把电子技术从理论到实际应用的第一步,在学习了模拟电路和数字电路之后,首先应该学的就是画电路原理图和电路板图。只有会设计电路原理图和电路板图才能进行电子产品的研究与开发。作为国家首批 28 所示范性高职院校仪表自动化示范专业建设的一部分,本书的编写目的就是帮助学生从理论走向实际,掌握电子产品开发的基本技能。

Protel 99 SE 是 Protel 公司推出的第六代产品。其主要的功能模块包括电路原理图设计系统、印刷电路板设计系统、自动布线器、可编程逻辑器件设计系统和模/数混合信号仿真器等,它是业内人士首选的电路板设计工具。为更好地掌握电子设计自动化(EDA)技术,本书以项目化的知识结构进行编写,打破了按顺序进行知识介绍的惯例,而是以项目的需要来安排知识的介绍和技能的训练。项目的设置由易到难,由简单到综合,逐步深化学生对该软件在实际应用中的能力。在项目的内容安排上是按工程设计顺序来进行的,因此,在不同项目中虽然出现了相同的标题,但在具体内容上是有区别的,而且具备不同的知识点和设计技巧。

本书的特点是以学生熟悉的电子技术、数字电路及单片机原理及接口技术中接触到的电路作为训练项目,使学生容易理解电路工作原理。通过这些熟悉电路的设计,让学生尽快掌握软件中各种菜单和工具的使用方法及整体硬件设计思路,做到从入门到提高,最后达到熟练使用的教学目的。

项目内容的安排是先知识、后技能的顺序,在每个项目之后又安排了一定的习题,供学生课后思考和训练,以及方便老师进行相关知识点和技能的考核。部分单片机类的项目还给出了参考程序,以便学生制作完成 PCB 板后进行调试。在书后的附录中还提供了 Protel 99 SE 操作中遇到的一些英文提示符和与电路板设计有关的英文缩写的中文含义,供学生在使用中查阅。

本教材的主编和参编人员都具有多年的电子技术、单片机原理理论、实践教学经验和文

字编辑能力。

本书由张宏、陈巍任主编；其中项目 1、项目 3 由张军编写；项目 2、项目 6 由汪霞编写；项目 4 由闫姝编写；项目 5、项目 8、项目 9 由张宏编写；项目 7 由陈巍编写。全书由张宏统稿，张军校对。

在本书的编写过程中兰州石化职业技术学院的陈宏希和贾达两位老师给予大力帮助和技术指导，在此表示感谢。

限于编者的水平，在书中难免有疏漏之处，恳请广大读者批评指正，以便进行修改，更好的服务读者。

编 者

2015 年 1 月

# 目 录

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 项目 1 电路设计自动化基础知识认知 .....              | 1   |
| 任务 1.1 了解印制电路板的发展历史 .....             | 1   |
| 任务 1.2 了解印制电路板的基本构成元素 .....           | 2   |
| 任务 1.3 了解印制电路板分类 .....                | 6   |
| 任务 1.4 了解印制电路板设计流程 .....              | 8   |
| 项目 2 Protel 99 SE 软件初识 .....          | 18  |
| 任务 2.1 Protel 99 SE 认知 .....          | 18  |
| 任务 2.2 Protel 99 SE 的窗口界面认识 .....     | 19  |
| 任务 2.3 设计数据库的创建与管理 .....              | 23  |
| 任务 2.4 文档的创建与管理 .....                 | 24  |
| 项目 3 软启动可调稳压电源电路原理图设计 .....           | 29  |
| 任务 3.1 认识电路原理图设计流程 .....              | 29  |
| 任务 3.2 原理图设计环境的设置 .....               | 30  |
| 任务 3.3 绘制软启动可调稳压电源电路原理图 .....         | 48  |
| 任务 3.4 原理图电气规则检查 .....                | 62  |
| 项目 4 单片机控制的直流电机 PWM 调速电路层次原理图设计 ..... | 65  |
| 任务 4.1 建立层次式原理图的基本概念 .....            | 65  |
| 任务 4.2 绘制方块电路及端口 .....                | 68  |
| 任务 4.3 不同层电路间的切换 .....                | 78  |
| 项目 5 声光控电路原理图设计 .....                 | 80  |
| 任务 5.1 声光控电路原理图设计及元件标号分配 .....        | 80  |
| 任务 5.2 设计电气规则检查及错误报表 .....            | 83  |
| 任务 5.3 根据原理图生成元件统计报表 .....            | 85  |
| 任务 5.4 网络表的生成 .....                   | 89  |
| 项目 6 器件原理图符号及其库的制作 .....              | 93  |
| 任务 6.1 元器件原理图符号库编辑器简介 .....           | 93  |
| 任务 6.2 元器件原理图符号绘制实例 .....             | 96  |
| 任务 6.3 元器件符号与原理图的同步更新 .....           | 104 |
| 项目 7 单片机控制八路抢答器电路板设计 .....            | 107 |
| 任务 7.1 印制电路板设计准备 .....                | 107 |
| 任务 7.2 进入 PCB 编辑器工作环境及参数设置 .....      | 111 |
| 任务 7.3 创建 PCB 元件 .....                | 115 |
| 任务 7.4 印制电路板设计的基本操作 .....             | 121 |
| 任务 7.5 抢答器应用电路的印制电路板设计 .....          | 128 |

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 项目 8 两位数码管显示的秒表电路板设计 .....          | 140 |
| 任务 8.1 数显秒表电路原理图设计 .....            | 140 |
| 任务 8.2 印制电路板设计的前期准备 .....           | 143 |
| 任务 8.3 电路板规划和网络表载入 .....            | 153 |
| 任务 8.4 元件布局与自动布线 .....              | 157 |
| 任务 8.5 印制电路板的输出打印 .....             | 171 |
| 项目 9 AT89S52 单片机控制系统板的设计 .....      | 178 |
| 任务 9.1 设计任务介绍和控制板设计原则 .....         | 178 |
| 任务 9.2 创建工程数据库绘制原理图 .....           | 181 |
| 任务 9.3 绘制单片机 PCB 印刷电路板 .....        | 185 |
| 任务 9.4 电路板布线的后期处理 .....             | 201 |
| 任务 9.5 PCB 设计规则检查和打印输出 .....        | 211 |
| 附录 .....                            | 221 |
| 附录 1 常用菜单英文-中文对照表 .....             | 221 |
| 附录 2 印制电路板常用英文词汇中文意义 .....          | 223 |
| 附录 3 Protel 99 SE 常用元件库中英文对照表 ..... | 227 |
| 参考文献 .....                          | 229 |

# 项目 1 电路设计自动化基础知识认知

## 项目综述

印制电路板（覆铜板）作为电子工业的基础材料，是进行电路设计的实物载体，承载着电子工业互连封装的历史使命。电子工业日新月异的技术进步，要求覆铜板也要随着技术的进步不断发展。覆铜板的物理形态虽似没有什么改变，但其化学形态、技术性能已发生了巨大的变化。面对电子工业全球化的浪潮，只有持续的技术进步，才能满足世界电子工业先进技术的需求；只有加快技术进步速度，紧紧跟上世界电子工业技术的发展，才能在竞争中不被淘汰。

本项目将对 PCB 的基础知识进行介绍，希望读者能够对 PCB 的发展历史、基本构成元素、设计流程和加工工艺等有一个清晰的认识。

## 任务 1.1 了解印制电路板的发展历史

### 任务能力目标

- ① 印制电路板简介。
- ② 印制电路板的历史。

### 知识技能

#### 1.1.1 印制电路板简介

印制电路板，英文简称 PCB（Printed Circuit Board），中文名称为印制电路板，又称印刷电路板，是在敷铜板上用腐蚀等方法除去多余的铜箔而得到的焊接电子元件的电路板。由于它是采用电子印刷术制作的，故被称为“印刷”电路板。

印制电路板是电子产品的重要部件之一。用印制电路板制造的电子产品具有可靠性高、一致性好、机械强度高、重量轻、体积小以及易于标准化等优点。几乎每种电子设备，小到电子手表、计算器，大到计算机、通信设备、电子雷达系统，只要存在电子元器件，它们之间的电气互连就要使用印制电路板。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印制电路板的设计和制造。

#### 1.1.2 印制电路板的历史

印制电路板的发明者是奥地利人保罗·爱斯勒（Paul Eisler），他于 1936 年在一个收音机装置内采用了印制电路板。1941 年，美国在滑石上涂上铜膏作配线，以制作近接管。1943 年，美国人将该技术大量使用于军用收音机内。1947 年，环氧树脂开始用作制造基板。同时 NBS 开始研究以印刷电路技术形成线圈、电容器、电阻器等制造技术。1948 年，美国正式认可这个发明用于商业用途。自 20 世纪 50 年代起，发热量较低的晶体管大量取代了真空管的地位，印刷电路板技术才开始被广泛采用。而当时以蚀刻箔膜技术为主流。1950 年，日本使用玻璃基板上以银漆作配线和以酚醛树脂制的纸质酚醛基板（CCL）上以铜箔作配线。1951 年，聚酰亚胺的出现，使树脂的耐热性再进一步，也制造了聚亚酰胺基板。1953

年, Motorola 开发出电镀贯穿孔法的双面板。这方法也应用到后期的多层电路板上。印刷电路板广泛被使用是在 20 世纪 60 年代后期, 其技术日益成熟。而自从 Motorola 的双面板面世, 多层印刷电路板开始出现, 使配线与基板面积之比大为提高。1996 年, 东芝开发了 B2it<sup>①</sup> 的增层印刷电路板。就在众多的增层印刷电路板方案被提出的 20 世纪 90 年代末期, 增层印刷电路板也正式大量地被实用化, 直至今日。

在印制电路板出现之前, 电子元器件之间的互连都是依靠电线直接连接实现的。而现在, 连线电路板只是作为有效的实验工具而存在; 印刷电路板在电子工业中已经占据了绝对统治的地位。

中国的印制电路板研制工作始于 1956 年。1963~1978 年, 逐步扩大形成印制电路板产业, 到 1978 年全国覆铜板产量首次突破 1000t。改革开放后, 由于引进国外先进技术和设备, 单面板、双面板和多层板均获得快速发展, 国内印制电路板产业由小到大逐步发展起来。到 2000 年, 中国覆铜板产值约 55 亿元, 产量约 6400m<sup>2</sup>, 成为产量名列世界前几位的大国。

## 任务 1.2 了解印制电路板的基本构成元素

### 任务能力目标

- ① 印制电路板的工作层面。
- ② 元器件封装。
- ③ 印制电路板上的导线。
- ④ 印制电路板上的焊盘。
- ⑤ 印制电路板的过孔。

### 知识技能

PCB 的基本构成元素包括工作层面、元器件封装、导线、焊盘和过孔等, 它们组成了一个非常复杂的设计实体, 从而完成一个复杂的功能。

#### 1.2.1 工作层面

根据电路板导电层数的不同, PCB 可以为单层板、双层板和多层板。在多层 PCB 的设计过程中, 往往会遇到工作层面的选择问题, 因此根据不同的设计要求, 应该选择什么样的工作层面成为一个非常重要的设计问题。可见, 掌握 PCB 的各个工作层面的含义和具体功能是十分重要的。

PCB 的工作层面主要包括信号层 (Signal Layer)、电源/接地层 (Internal Plane)、机械层 (Mechanical Layer)、防护层 (Mask Layer)、丝印层 (Silkscreen Layer) 和其他工作层面 (Other Layer)。下面对它们进行简单介绍。

##### (1) 信号层

信号层主要用来放置与信号有关的对象, 它分为顶层、底层和中间层。通常, 顶层和底层用来放置元器件和布线; 中间层主要用来进行布线操作。

##### (2) 电源/接地层

<sup>①</sup> B2it (Buried Bump Interconnection Technology) 是东芝开发的增层技术。先制作一块双面板或多层板, 在铜箔上印刷圆锥银膏, 放黏合片在银膏上, 并使银膏贯穿黏合片, 把上一步的黏合片粘在第一步的板上, 以蚀刻的方法把黏合片的铜箔制成线路图案, 不停重复步骤, 直至完成。

电源/接地层主要用来放置电源和接地线,为电路提供电源和接地点,使得元器件接电源和接地的端子不需要经过任何铜膜导线而直接连接到电源和接地线上,这样可以避免一些设计问题的出现,例如地环路干扰等。

### (3) 机械层

机械层的功能是用来描述电路板的机械结构和放置标注说明等,没有具体的电气连接特性。例如,机械层可以用来定义电路板的物理边界,以避免元器件等放置到物理边界之外。一般来说,大多数的 PCB 设计软件都可以提供很多层的机械层,可以满足设计的需要。

### (4) 防护层

防护层可以分为两大类:阻焊(Solder Mask)层和助焊(Paste Mask)层。其中:阻焊层用来保护铜线和防止元器件被焊到不正确的地方,一般称之为绿油。为了使 PCB 适应波峰焊等焊接形式,一般情况下 PCB 上焊盘以外的地方都有阻焊,以阻止这些部位上锡。

助焊层用来提高焊盘的可焊性能。在 PCB 上,经常看到的比焊盘略大的各浅色圆斑就是通常所说的助焊。在进行波峰焊等焊接之前,常在焊盘上涂上助焊剂,这样可以提高 PCB 的焊接性能。

### (5) 丝印层

丝印层用来标识各元器件在 PCB 上的具体位置,例如元器件封装的外观轮廓和字符串等,目的是方便电路的安装和维修。通常,PCB 上的白色文字和符号就是设计人员常说的丝印。在 PCB 中,丝印内容包括元器件标号、标称值、元器件外廓形状和厂家标志、生产日期等。如图 1-1 所示。

### (6) 其他工作层面

PCB 中还具有一些特殊的工作层面,设置这些工作层面的目的是为了满足不同设计需要。例如,PCB 中具有的其他工作层面还有 4 种:Keep-Out Layer(禁止布线层)、Drill Guide(钻孔导引层)、Drill Drawing(钻孔图层)和 Multi-Layer(复合层)。

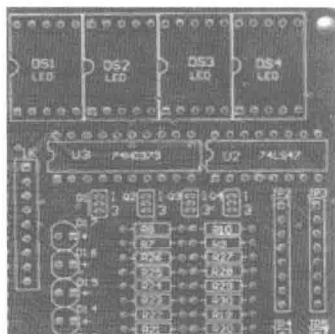


图 1-1 印制线路板的丝印层

## 1.2.2 元器件封装

元器件封装是指实际的电子元器件或者集成电路的外观尺寸,例如元器件端子的分布、直径以及端子之间的距离等,它是使元器件端子和 PCB 上的焊盘保持一致的重要保证。如图 1-2 所示。

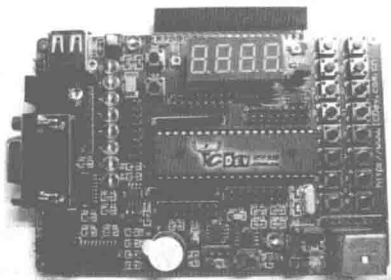


图 1-2 PCB 板上的元件与焊盘

由于元器件封装只是元器件的外观和端子的位置分布,因此纯粹的元器件封装仅仅是一个空间的概念。也就是说,不同的电子元器件可以使用同一个封装,而同种元器件也可以有不同的封装形式,例如“RES”通常代表电阻,它可以有 AXIAL-0.3、AXIAL-0.4 和 AXIAL-0.6 等几种封装形式。可见,在取用需要焊接的元器件时,设计人员不仅要知道电子元器件的名称,而且还要知道电子元器件的封装形式,否则在设计过程中将会出现问题。

一般来说,元器件封装可以分为端子式封装和表贴封装两大类。

### (1) 端子式封装

一般是针对端子类元器件而言的。具有端子式封装的元器件在进行焊接时,首先要将元

器件的端子插入到焊盘的元器件孔上, 然后才能进行相应的焊接操作。

## (2) 表贴封装

一般是针对表贴元器件而言的。具有表贴封装的元器件在进行焊接时, 要求它的焊盘只能分布在电路板的顶层或者底层。

在 PCB 的设计过程中, 元器件封装的编号原则为: 元器件类型+端子距离 (或者端子数)+元器件外形尺寸。例如, 元器件封装的编号为 AXIAL-0.3, 表示元器件封装为轴向的、两端子间的距离为 300mil; 元器件封装的编号为 DIP-16, 表示元器件封装为双列直插式、端子数目为 16 个; 元器件封装的编号为 RB7.6-15, 表示元器件封装为极性电容类、两端子间的距离为 7.6mm、元器件的直径为 15mm。

对于元器件来说, 常见的分立元器件封装主要包括二极管类、电容类、电阻类和晶体管类等; 常见的集成电路类主要包括单列直插式和双列直插式等。

### (1) 二极管类

二极管类封装的编号一般为 DIODE- $xx$ , 其中数字  $xx$  表示二极管类端子间的距离。例如, 封装编号为 DIODE-0.5 表示端子间的距离为 500mil。

### (2) 电容类

电容类封装可以分为非极性电容类和极性电容类。其中, 非极性电容类封装的编号为 RAD $xx$ , 数字  $xx$  表示封装端子间的距离。极性电容类封装的编号为 RB $xx$ - $yy$ , 数字  $xx$  表示端子间的距离, 数字  $yy$  表示元器件的直径。

### (3) 电阻类

电阻类封装可以分为两类: 普通电阻类和可变电阻类。其中, 普通电阻类封装的编号为 AXIAL- $xx$ , 数字  $xx$  表示端子间的距离。可变电阻类封装的编号为 VR $x$ , 数字  $x$  表示元器件的类别。

### (4) 晶体管类

晶体管类封装的形式多种多样, 编号原则也略有不同。

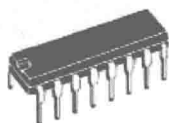


图 1-3 DIP-16 封装形式

### (5) 集成电路类

常用集成电路类封装主要包括两类, 它们分别是单列直插式和双列直插式。其中, 单列直插式封装的编号为 SIL- $xx$ , 数字  $xx$  表示单列直插式集成电路的端子数。双列直插式封装的编号为 DIP- $xx$ , 数字  $xx$  表示双列直插式集成电路的端子数。集成电路的封装形式较多, 如图 1-3 所示的封装形式为 DIP-16。

## 1.2.3 导线

导线是覆铜板经过电子工艺加工后在 PCB 上形成的铜膜走线, 通常也称为铜膜导线。导线的主要功能是用来连接 PCB 上的各个焊点, 它是 PCB 中最为重要的部分。

导线的主要指标包括两个: 导线宽度和导线间距, 这两个方面的尺寸是否合理将直接影响到元器件之间能否实现电路的正确连接关系。

导线宽度主要取决于 PCB 的生产因素, 例如生产底板精度、生产工艺、导线厚度的均匀性和导线所能承受的电流负荷的大小。一般来说, 规定的导线宽度既包括设计宽度和允许的误差外, 也包括规定的最小线宽。导线宽度的选择原则是在不违反实际电气连接特性的前提下, 尽量设计宽度较大的导线。

导线间距是指相邻导线之间的间距, 通常希望相邻导线之间的间距必须足够宽, 目的是用来满足电气连接的具体需要, 同时也便于操作和进行生产加工。除此之外, 导线间距的大小还应该考虑导线之间的电压大小, 这个电压包括正常的工作电压、附加的波动电压、过电压以及一些重复或者偶尔产生的峰值电压。

另外,除了导线宽度和导线间距之外,还有一个安全间距的概念。在PCB设计中,为了避免或者减小导线、过孔、焊盘以及元器件之间的相互干扰现象,需要在这些对象之间留出一定的间距,这个距离一般称为安全间距。

在PCB的绘制过程中,还有一个预拉线的概念。预拉线是在系统装入网络报表后自动生成的,它只是用来指引PCB布线的一种连线,有时候也称为飞线。需要注意的是,预拉线与导线有着本质的区别。

① 预拉线只是在形式上表示PCB中各个焊盘之间的连接关系,实际上并没有任何电气连接意义。

② 导线则是根据预拉线指示的焊盘连接关系,在PCB上布置的具有实际电气连接意义的连线。

#### 1.2.4 焊盘

PCB上所有元器件的电气连接都是通过焊盘来完成的,它是PCB设计中最常接触、最为重要的基本构成元素。根据焊接工艺的不同,PCB中的焊盘可以分为两种类型:一种是非过孔焊盘,用于单层板中表贴元器件的焊接;一种是元器件孔焊盘,用于双层板和多层板中端子式元器件的焊接。

对于非过孔焊盘来说,它的参数主要包括孔径尺寸和焊盘尺寸。通常,孔径尺寸跟PCB的制造精度和需要焊接的元器件或者组装件的端子尺寸直接相关。具体的设计原则是:非过孔焊盘的孔径尺寸稍大于元器件或者组装件的端子尺寸即可;焊盘尺寸应该在保证焊接质量和电气性能的基础上尽可能小。

在PCB设计中,用来安装元器件或者组装件端子的焊盘通常是采用圆形焊盘。对于过孔焊盘来说,圆形焊盘的主要尺寸是孔径尺寸和焊盘尺寸,焊盘尺寸一般是孔径尺寸的两倍;对于非过孔焊盘来说,圆形焊盘的主要尺寸是焊盘尺寸,用来作为测试焊盘、定位焊盘和基准焊盘等。

一般来说,设计人员需要根据元器件的形状、大小、布局情况、受热情况和受力方向等因素来综合进行考虑选择焊盘的具体形状,而不应该千篇一律地只使用圆形焊盘。目前,PCB的设计软件通常能够提供圆形、矩形、八角形和圆方形等焊盘,但在实际设计中这些焊盘有时并不能够满足要求,这时设计人员需要自己编辑焊盘。

设计人员自己编辑焊盘时,除了考虑元器件的形状、大小、布局情况、受热情况和受力方向等因素外,还需要考虑以下原则。

① 在焊盘形状长短不一致时,要考虑连线宽度与焊盘特定边长的大小差异不能过大。

② 在元器件端子比较密的情况下,为了保证阻焊绿油,可以根据实际元器件情况对焊盘宽度适当调整。

③ 各元器件焊盘孔的大小要按照元器件端子粗细分别编辑确定,原则是孔的尺寸比端子直径大 $0.2\sim 0.4\text{mm}$ 。

④ 在信号换层的过孔附近放置一些接地的过孔,以便为信号提供最近的回路。甚至可以在PCB上大量放置一些多余的接地过孔。

由于过孔在PCB中的重要性,因此过孔对电路设计的影响是很明显的,不好的过孔设计是产生电路故障的主要原因之一。过孔设计经常遇到的问题是由于过孔镀层的断裂而导致电路的印制导线开路,后果是导致电路不能正常工作。

#### 1.2.5 过孔

为了实现双层板和多层板中相邻两层之间的电气连接,这时需要在连通导线的交汇处钻上一个公共孔,这个公共孔通常称为过孔(Via)。从制造工艺上来讲,过孔的孔壁圆柱面上

通常采用化学沉积的方法镀上一层金属，目的是连通中间各层需要连通的铜箔，而过孔的上下两面一般做成普通的焊盘形状，用来直接与上下两面的电路相通，当然也可以不进行连接。可见，过孔是多层 PCB 的重要组成部分之一，它的作用可以分为两类：一是用作各层间的电气连接；二是用作器件的固定或定位。

根据过孔的制作工艺，它可以分为盲孔（Blind Via）、埋孔（Buried Via）和通孔（Through Via）三种类型。

① 盲孔位于 PCB 的顶层和底层表面，具有一定深度，用于表层电路和下面的内层电路的连接，孔的深度通常不超过一定的比率（孔径）。

② 埋孔是指位于 PCB 内层的连接孔，它不会延伸到电路板的表面。

③ 通孔是穿过整个电路板，可用于实现内部互连或作为元器件的安装定位孔。

这里，盲孔和埋孔都位于电路板的内层，层压前利用通孔成形工艺完成，在过孔形成过程中可能还会重叠做好几个内层；通孔在工艺实现上更容易、成本较低，因此绝大部分 PCB 都采用它，而不用另外两种过孔。如果不加特殊说明，本书所说的过孔均作为通孔考虑。

过孔的主要参数包括过孔孔径和过孔外径。其中：过孔孔径是指过孔的内径，它一般与 PCB 的板厚和密度相关。过孔孔径不宜太大，孔径过大将使生产加工变得困难，同时会增加成本；过孔外径是指过孔的最小镀层宽度。通常，过孔外径的大小主要也是和生产厂家的制作水平密切相关的，同时过孔的内外径大小一般应该满足不大于它的最大比例，即内径/外径=60%。

过孔对于 PCB 的设计来说是十分重要的。一般来说，设计人员对于过孔的使用应该遵循以下几个原则。

① 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和过孔的间隙。

② 过孔尺寸不宜太大，否则会增加成本，也会带来生产加工的困难。

③ 过孔需要的载流量越大，所需的过孔尺寸越大，例如电源层和地层与其他层连接所用的过孔应当大一些。

④ 电源和地的端子要就近打过孔，过孔和端子之间的引线越短越好，因为它们会导致电感的增加。同时电源和地的引线要尽可能粗，以减少阻抗。

⑤ 在信号换层的过孔附近放置一些接地的过孔，以便为信号提供最近的回路。甚至可以在 PCB 上大量放置一些多余的接地过孔。

由于过孔在 PCB 中的重要性，因此过孔对电路设计的影响是很明显的，不好的过孔设计是产生电路故障的主要原因之一。过孔设计经常遇到的问题是由于过孔镀层的断裂而导致电路的印制导线开路，后果是导致电路不能正常工作。

孔内壁中间断裂的原因是基板制造时镀金的工艺不够好，而在转弯处的断裂主要是由于热循环造成的。因此，生产厂家保证 PCB 的镀金工艺是解决过孔好坏的重要途径。另外，用来解决过孔的断裂问题还可以采用两种其他的方法：一种方法是正确设计过孔的孔径尺寸和外径尺寸；另一种方法是在生产过程中，可以采用焊锡或者阻焊剂将过孔完全填充起来。

### 任务 1.3 印制电路板分类

PCB 的主要材料是覆铜板，而覆铜板是由基板、铜箔和胶黏剂构成的。基板是由高分子合成树脂和增强材料组成的绝缘层板；在基板的表面覆盖着一层电导率较高、焊接性良好

的纯铜箔,常用覆铜板的厚度有1.0mm、1.5mm和2.0mm三种。

## 任务能力目标

- ① 按绝缘材料和胶黏剂不同分类。
- ② 根据电路层数分类。

## 知识技能

### 1.3.1 按绝缘材料和胶黏剂不同分类

按绝缘材料不同可分为纸基板、玻璃布基板和合成纤维板;按胶黏剂树脂不同又分为酚醛、环氧、聚酯和聚四氟乙烯等。

#### (1) 覆铜箔酚醛纸层压板

酚醛纸基板,是以酚醛树脂为胶黏剂,以木浆纤维纸为增强材料的绝缘层压材料。酚醛纸基覆铜板,一般可进行冲孔加工,具有成本低、价格便宜、相对密度小的优点。但它的工作温度较低、耐湿性和耐热性与环氧玻璃纤维布基板相比略低。

纸基板以单面覆铜板为主。但近年来,也出现了用于银浆贯通孔的双面覆铜板产品。它在耐银离子迁移方面,比一般酚醛纸基覆铜板有所提高。

酚醛纸基覆铜板最常用的产品型号为FR-1(阻燃型)和XPC(非阻燃型)两种。

#### (2) 覆铜箔酚醛玻璃布层压板

是用无碱玻璃布浸以环氧酚醛树脂经热压而成的层压制品,其一面或双面敷以铜箔,具有质轻、电气和机械性能良好、加工方便等优点。其板面呈淡黄色,若用二氰二胺作固化剂,则板面呈淡绿色,具有良好的透明度。

环氧玻纤布基板的机械性能、尺寸稳定性、抗冲击性、耐湿性能比纸基板高。它的电气性能优良,工作温度较高,本身性能受环境影响小。在加工工艺上,要比其他树脂的玻纤布基板具有很大的优越性。主要在工作温度和工作频率较高的无线电设备中用作印制电路板。这类产品主要用于双面PCB,用量很大。

#### (3) 复合基板

复合基板,它主要是指CEM-1和CEM-3复合基覆铜板。以木浆纤维纸或棉浆纤维纸作芯材增强材料,以玻璃纤维布作表层增强材料,两者都浸以阻燃环氧树脂制成的覆铜板,称为CEM-1。以玻璃纤维纸作为芯材增强材料,以玻璃纤维布作表层增强材料,都浸以阻燃环氧树脂,制成的覆铜板,称为CEM-3。这两类覆铜板是目前最常见的复合基覆铜板。

复合基覆铜板在机械性能和制造成本上介于环氧玻璃纤维布基和纸基覆铜板之间。它可以冲孔加工,也适于机械钻孔。国外有些厂家制造出的CEM-3板在耐漏电痕迹性、板厚尺寸精度、尺寸稳定性等方面已高于一般FR-4的性能水平。用CEM-1、CEM-3去代替FR-4基板,制作双面PCB,目前已在世界上得到十分广泛的采用。

#### (4) 特殊性树脂玻璃纤维布基板

特殊性树脂玻璃纤维布基板,在以追求高电性能、高耐热性为主目的之下,产生出众多特殊性树脂玻璃纤维布基板。常见的有聚酰亚胺树脂(PI);聚四氟乙烯树脂(PTFE),是以聚四氟乙烯板为基板,敷以铜箔经热压而成的一种敷铜板,主要用于高频和超高频线路中作印制板用;氰酸酯树脂(CE);双马来酰亚胺三嗪树脂(BT);热固性聚苯醚类树脂(PPE或PPO)等。它们多在性能上表现出高耐热性(高 $T_g$ )、低吸水性、低介电常数和介质损耗角正切值。但一般都存在着制造成本高、刚性略大、PCB加工工艺性比FR-4基材差的问题。

### 1.3.2 根据电路层数分类

根据电路层数分类分为单面板、双面板和多层板。常见的多层板一般为 4 层板或 6 层板,复杂的多层板可达十几层。

#### (1) 单面板 (Single-Sided Boards)

覆铜只在基板的一面,零件集中在其一面,导线集中在另一面上。因为导线只出现在其中一面,所以这种 PCB 叫作单面板 (Single-sided)。单面板在设计线路上有许多严格的限制,所以只有早期的电路才使用这类的板子。

#### (2) 双面板 (Double-Sided Boards)

这种电路板的两面都有覆铜,为了让两面的电路有联系,必须要在两面间有适当的电路连接才行。这种电路间的“桥梁”叫作过孔 (Via)。过孔是在 PCB 上充满或涂上金属的小洞,它可以与两面的导线相连接。因为双面板的面积比单面板大了一倍,而且因为布线可以互相交错 (可以绕到另一面),它更适合用在比单面板更复杂的电路上。

#### (3) 多层板 (Multi-Layer Boards)

为了增加可以布线的面积,多层板用上了更多单层或双层的布线板。用一块双面板作内层、两块单面板作外层或两块双面板作内层、两块单面板作外层的印刷线路板,通过定位系统及绝缘黏结材料叠加在一起,且导电图形按设计要求进行互连的印刷线路板就成为 4 层、6 层印刷电路板了,也称为多层印刷线路板。板子的层数就代表了有几层独立的布线层,通常层数都是偶数,并且包含最外侧的两层。大部分的主机板都是 4~8 层的结构,不过技术上理论可以做到近 100 层的 PCB 板。

PCB 的层数就代表了有几层独立的布线层,通常层数都是偶数,并且包含最外侧的两层。由于可以充分利用多层板来解决电磁兼容问题,可以大幅度地提高电路的可靠性和稳定性,所以多层电路板的应用越来越广泛。由于多层板布线层数多、走线方便、布通率高、连线短以及面积小等优点,目前大多数较为复杂的电路系统均采用多层 PCB 的结构。

## 任务 1.4 了解印制电路板设计流程

印制电路板的设计是以电路原理图为根据,实现电路设计者所需要的功能。简单的版图设计可以用手工实现,复杂的版图设计需要借助计算机辅助设计 (CAD) 实现。

### 任务能力目标

- ① 印制电路板设计的技术要求。
- ② PCB 设计的原则。
- ③ PCB 的总体设计流程。
- ④ 原理图的绘制流程。
- ⑤ PCB 的绘制流程。
- ⑥ PCB 设计的基板选择。
- ⑦ PCB 的工厂加工流程。

### 知识技能

#### 1.4.1 印制电路板设计的技术要求

在进行 PCB 设计之前,设计人员应该对电路的设计要求有一个总体的了解,只有这样,设计人员才能够在 PCB 的设计中始终做到有的放矢,目标明确。

PCB 的总体设计要求体现在以下四个方面。

#### (1) 正确

正确是 PCB 设计最基本和最重要的要求,如果不能保证正确性,那么设计也就失去其意义了。正确是要保证准确实现原理图的连接关系,同时避免出现设计电路板不能按要求工作的问题出现。

#### (2) 可靠

可靠是 PCB 设计中较高层次的一种要求。通常,连接正确的 PCB 不代表其可靠性高,例如板材选择不合理、板厚及安装固定不正确、元器件布局布线不当等都可能导致 PCB 不能可靠地工作。可见,设计人员在保证设计正确的基础上,要尽可能地保证其可靠性或者说尽量提高其可靠性,这样设计出来的 PCB 才有其应用价值。

#### (3) 合理

与正确和可靠相比,合理是更高层次的一种要求。对于 PCB 的设计来说,从 PCB 的制造、检验、装配、调试到整机装配、调试,直到使用维修,无不与 PCB 的合理与否息息相关,例如 PCB 形状选得不好导致加工困难、引线孔太小导致装配困难、没留测试点导致测试困难、板外连接选择不当导致维修困难等。因此,设计人员应该尽可能合理地进行设计,它需要具有很高的专业知识和很强的责任心,同时要在设计过程中不断地总结经验。

#### (4) 经济

经济是任何设计人员都需要追求的目标,降低成本是任何设计所不能忽略的问题。例如,在保证性能、可靠性的基础上可选择低价的板材、PCB 尺寸尽量小、连接用直焊导线、选用便宜的表面涂覆、选择价格最低的加工厂等,这些都可以降低 PCB 的成本。

### 1.4.2 PCB 设计的原则

在 PCB 的设计过程中需要遵循一些设计原则,这些原则主要包括布局、布线以及文档输出等内容。掌握这些设计原则,相信会对 PCB 的设计有很大的帮助。

#### (1) PCB 布局

① PCB 的布局要确定 PCB 的尺寸大小。确定 PCB 的尺寸大小主要考虑两个方面:PCB 的尺寸因受机箱外壳大小限制,应以能恰好安放入外壳内为宜;同时应该考虑 PCB 与外接元器件或部件(主要是电位器、插口或其他 PCB)的连接方式。

② 确定 PCB 的尺寸大小后,布局要遵循先难后易、先大后小的原则。根据要求先将有定位要求的元器件固定并锁定;然后再参考原理图以核心电路为中心,根据信号流向规律放置其他元器件或部件。

③ 对于安装在 PCB 上的较大的组件,需要加金属附件固定,目的是提高耐振、耐冲击性能;需要对所选用组件以及各种插座的规格、尺寸、面积等要有清晰的认识;需要对各个部件的位置安排做合理的考虑,主要考虑的因素包括电磁兼容性、抗干扰性、电源和地之间的退耦等方面。

④ PCB 的布局要保证布线的布通率,保证总的连线尽可能短,关键信号线最短。另外,强信号、弱信号、高电压信号和弱电电压信号要完全分开;模拟信号和数字信号也需要分开;高频元器件之间要进行充分隔离。

⑤ 布局的优化要按照均匀分布、重心平衡、板面美观的标准来进行。相同结构电路部分尽可能采取对称布局,目的是便于生产和调试。

⑥ 元器件的放置要便于调试和维修,大元器件边上不能放置小元器件,需要调试的元器件周围应有足够的空间。

⑦ 发热元器件应有足够的空间以利于散热;热敏元器件应远离发热元器件;使用同一

种电源的元器件应考虑尽量放在一起,以便于将来的电源分割。

③ 元器件放置应距离板外边有 5mm,至少保留 5mm 的工艺边;双列直插元器件相互的距离要大于 2mm;阻容等贴片小元器件相互距离大于 0.7mm;表面贴装元器件焊盘外侧与相邻插装元器件焊盘外侧要大于 2mm;压接元器件周围 5mm 不可以放置插装元器件;焊接面周围 5mm 内不可以放置表面贴装元器件。

## (2) PCB 布线

① PCB 的布线要精简,尽可能短,尽可能少拐弯。

② PCB 的导线间距、覆铜间距、电源和地线的宽度等要符合标准要求,对于电源层不包含的电源,引出连线根据实际情况加宽。

③ 对于端子相邻的连接,用导线直接跨过两个或多个焊盘的连接方式不要采用,否则在焊接时会造成短路的发生。

④ 特殊的时钟信号(大于 50MHz)。要求在时钟信号的两侧加地线屏蔽,地线线宽不小于 10mil,并且要求尽可能少的过孔,过孔应小于 3 个。

⑤ 具有同步关系的时钟信号要保持相同的长度。

⑥ 规范要求的信号要特殊处理,例如有一些差分信号,需要 PCB 相同的走线,同时这些差分信号通过的区域不能有其他信号走线。

⑦ 布线、电源和地覆铜时,应与 PCB 外边有大于 1mm 的空白。

## (3) PCB 的输出文件

PCB 设计的最终目的是生产符合技术要求和功能需求的 PCB,通常设计人员需要提供给生产厂商 Gerber 文件,需要的 Gerber 文件包括如下内容。

① 顶层和底层 Routing Gerber 文件。

② 中间层 Routing Gerber 文件。

③ Plane 层 Gerber 文件(如果电源或地层设置为 Plane 层)。

④ 顶层和底层丝印 Gerber 文件。

⑤ 顶层和底层 Paste Mask Gerber 文件。

⑥ 顶层和底层 Solder Mask Gerber 文件。

⑦ Drill Drawing Gerber 文件。

⑧ NC Drill Gerber 文件。

另外,还需要附有制板说明文档一份,文档必须说明 PCB 的板材、厚度、焊盘是否镀金、过孔是否上绿油以及生产数量等参数。

### 1.4.3 PCB 的总体设计流程

采用 EDA 工具来绘制 PCB,主要包括两个过程:一个是原理图的绘制过程,另一个是 PCB 的绘制过程。

一般来说,PCB 的总体设计流程主要包括以下步骤。

#### (1) 项目的提出

一个实际项目的提出总是对应于某种社会需求或者功能需求。为了满足这种社会需求或者功能需求,设计人员需要对其各个方面加以深入研究,形成项目所需要的各种指标,例如性能要求、平均寿命、环境温度和能耗等。

#### (2) 设计规划

在前期调研的基础上,需要进行项目的整体设计规划。有的项目可能需要一块单板即可完成,但大多数产品都是由不同的单板组成的复杂系统。因此需要在前期调研形成的指标上,仔细考虑各个单板之间的联系,细化到各个单板的指标,只有明确细致的分工和合作才能设计出好的产品。