



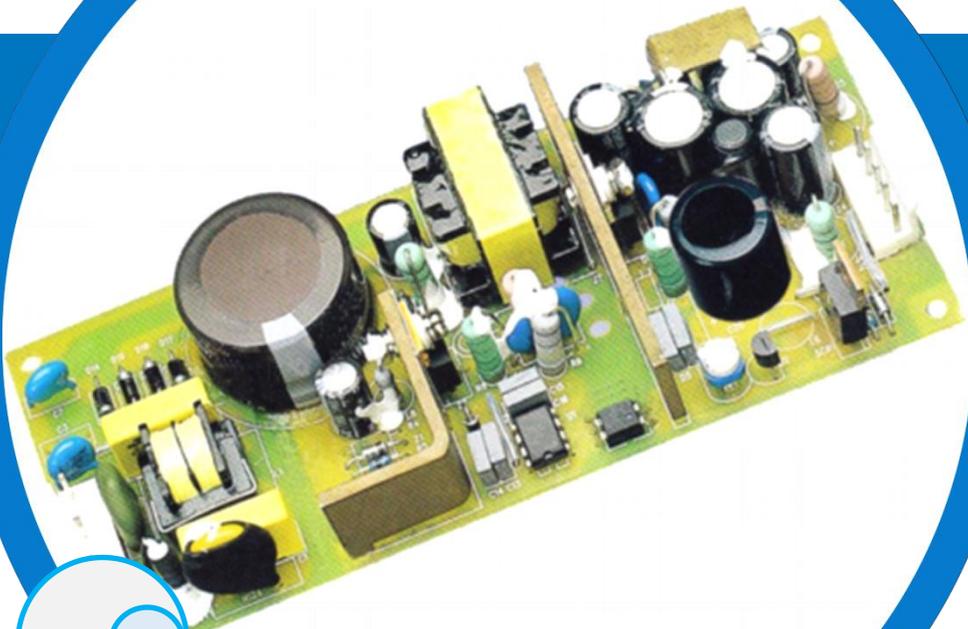
河南职业技术学院
HENAN POLYTECHNIC



PCB设计及应用

主讲教师：

PCB设计及应用



项目 1

01

任务1.1 Altium Designer的认知

02

任务1.2 PCB基础知识的认知



河南职业技术学院
HENAN POLYTECHNIC

1

任务1.2 PCB基础知识的认知



目

Contents

录

1 任务目标

2 能力目标

3 相关知识

4 任务实施

5 解惑启智

6 思考与练习



河南职业技术学院
HENAN POLYTECHNIC

PART
PART
1

任务目标



河南职业技术学院
HENAN POLYTECHNIC

PART 1

任务目标

01 能识别电路板元件、过孔、焊盘等

02 能识别常用元件类型及封装等



河南职业技术学院
HENAN POLYTECHNIC

PART
PART
2

能力目标



PART 2

能力目标

1. 知识能力：熟悉PCB的基本概念、基本组成、板层结构划分、设计流程和组成要素的特点，了解常用元器件的封装技术及Altium Designer软件中的封装形式。
2. 技能能力：掌握PCB的板层结构识别、工艺流程及组成要素的识别技巧和特征描述；掌握常见元器件的识别及分类。
3. 素质能力：训练学生工程意识和良好的劳动纪律观念，培养学生认真做事、用心做事的态度；使学生明白凡事有度，过犹不及的道理。



河南职业技术学院
HENAN POLYTECHNIC

PART
PART
3

相关知识

3 相关知识

1.2.1 PCB概述

1. PCB的基本概况

1) PCB本身的基板是由绝缘隔热且不易弯曲的材质制成的，在表面可以看到的细小线路材料是铜箔，原本铜箔是覆盖在整个板子上的，在制造过程中部分被蚀刻处理掉，留下来的部分就变成网状的细小线路。这些线路被称为导线或布线，用来提供PCB上零件的电气连接。

2) 为了将零件固定在PCB上面，通常将元器件直接焊在布线上。在最基本的PCB（单面板）上，零件都集中在其中一面，导线则集中在另一面。需要在板子上打孔，这样元器件引脚才能穿过板子到另一面，所以零件的接脚是焊在另一面上的。因此，PCB的正反面分别被称为零件面（component side）与焊接面（solder side）。

3) 如果要将两块PCB相互连接，一般会用到俗称“金手指”的边接头（edge connector）。“金手指”上有许多裸露的铜垫，这些铜垫也是PCB布线的一部分。通常连接时，将其中一片PCB上的“金手指”插进另一片PCB上合适的插槽（一般称为扩充槽）。在计算机中，显示卡、声卡或其他类似的界面卡都是借着“金手指”来与主机板连接的。

3 相关知识

1.2.1 PCB概述

1. PCB的基本概况

4) PCB上的绿色或棕色是阻焊漆 (solder resist) 的颜色, 这层是起绝缘、防护作用的阻焊层, 可以保护铜线, 也可以防止零件被焊到不正确的地方。在阻焊层上会印刷一层丝网印刷面 (silk screen), 在其上印上文字与符号 (大多是白色的), 以标示各零件在板子上的位置。丝网印刷面也被称为图标面 (legend)。

2. PCB的作用

- 1) 提供机械支撑。PCB为集成电路等各种电子元器件固定、装配提供了机械支撑。
- 2) 实现电气连接或电绝缘。PCB实现了集成电路等各种电子元器件之间的布线和电气连接。
- 3) 其他功能。PCB为自动装配提供阻焊图形, 同时也为元器件的插装、检查和维修提供识别字符和图形。

3 相关知识

1.2.1 PCB概述

3. PCB板层

1) 单面板。在最基本的PCB上，元器件集中在其中一面，导线集中在另一面。因为导线只出现在其中一面，所以称这种PCB为单面板。单面板在设计线路上有许多严格的限制（由于只有一面，布线间不能交叉，必须绕独自的路径），只有早期的电路使用这类板子。

2) 双面板。这种电路板的两面都有布线。若要用上两面的导线，必须要在两面间有适当的电路连接。这种电路间的“桥梁”称为导孔（via）。导孔是在PCB上充满或涂上金属的孔洞，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，而且由于布线可以互相交错（可以绕到另一面），所以它更适合用在设计更复杂的电路中。双面板实例如图1-20所示。

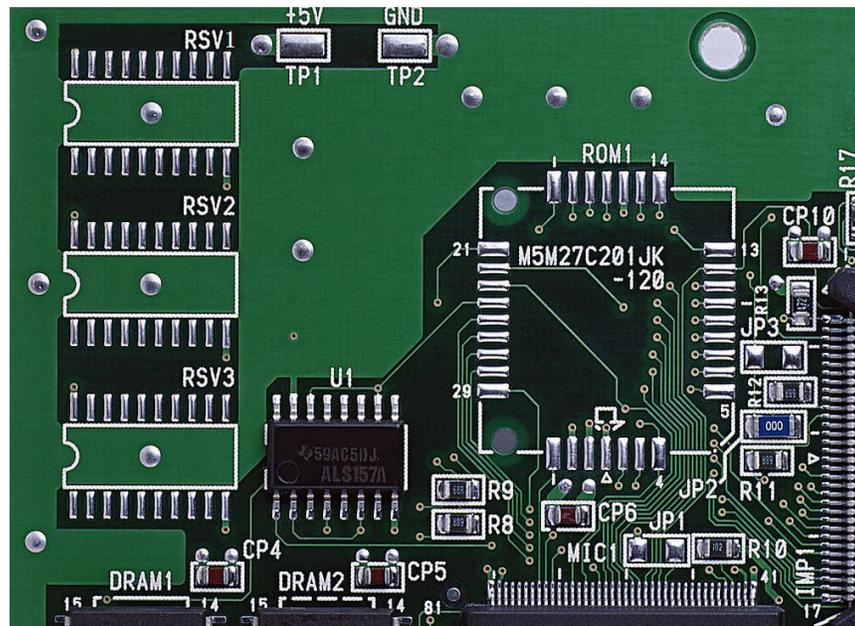


图1-20 双面板实例

3 相关知识

1.2.1 PCB概述

3. PCB板层

3) 多层板。为了增加可以布线的面积，多层板使用了更多单面或双面的布线板。多层板使用数片双面板，并在每层板间放进一层绝缘层后粘牢（压合）。板子的层数代表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。大部分的主机板是4~8层的结构，不过技术上可以做到近100层的PCB。大型的超级计算机大多使用多层的主机板，不过因为这类计算机已经可以用许多普通计算机的集群代替，超多层板已经渐渐不被使用了。



图1-21 多层板实物图

3 相关知识

1.2.1 PCB概述

3. PCB板层

导孔如果应用在双面板上，那么一定是打穿整个板子。在多层板中，如果只想连接其中一部分线路，那么导孔可能会浪费其他层的线路空间。埋孔（buried via）和盲孔（blind via）技术可以避免这个问题，因为它们只穿透其中几层。

盲孔是将几层内部PCB与表面PCB连接，不需要穿透整个板子。埋孔则只连接内部的PCB，所以从表面是看不出来的。

在多层板PCB中，整层都直接连接地线与电源。可将各层分类为信号层（signal layer）、电源层（power layer）和地线层（ground layer）。如果PCB上的零件需要不同的电源供应，通常这类PCB会有两层以上的电源层与地线层。

视频演示二维码



3 相关知识

1.2.1 PCB概述

4. 计算机辅助设计软件Altium Designer的PCB设计流程

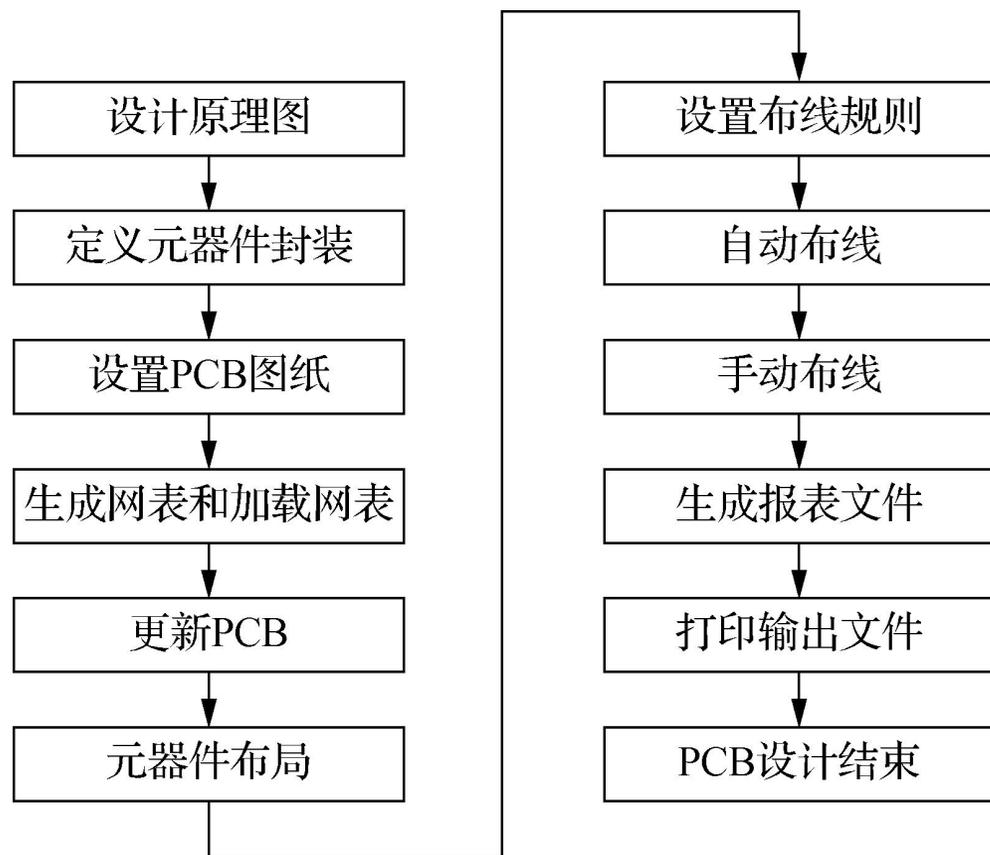


图1-22 PCB的设计流程

3 相关知识

1.2.2 PCB的组成要素

1. 过孔

过孔是多层PCB的重要组成部分之一，钻孔的费用通常占PCB制板费用的30%~40%。PCB上的每一个孔都可以称为过孔。从作用上看，过孔可以分成两类：一是用于各层间的电气连接；二是用于元器件的固定或定位。从工艺流程上来说，过孔一般分为3类，即盲孔、埋孔和通孔。盲孔位于PCB的顶层和底层表面，具有一定的深度，用于表层电路和内层电路的连接，孔的深度通常不超过一定的孔径。埋孔是指位于PCB内层的连接孔，它不会延伸到PCB的表面。上述两类孔都位于PCB的内层，层压前利用通孔成型工艺完成，在过孔形成过程中可能还会重叠做几个内层。通孔穿过整个PCB，用于实现内部互连或作为元器件的安装定位孔。由于通孔在工艺上更易于实现，成本较低，所以绝大部分PCB使用它，而不用另外两种过孔。以上所说的过孔，如果没有特殊说明，均作为通孔考虑。过孔的尺寸及盲孔、通孔的示意图如图 1-23所示。

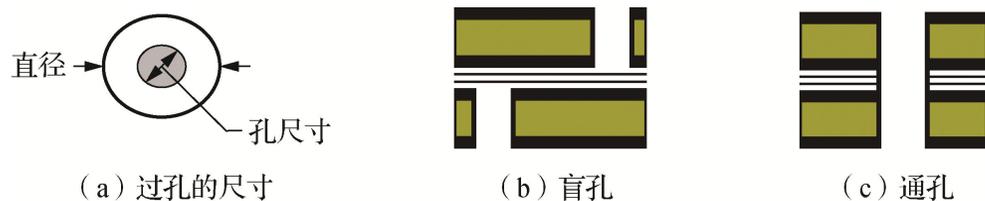


图1-23 过孔的尺寸及盲孔、通孔的示意图

3 相关知识

1.2.2 PCB的组成要素

1. 过孔

从设计的角度来看，一个过孔主要由两部分组成，一是中间的钻孔（drill hole），二是钻孔周围的焊盘区，这两部分的尺寸决定了过孔的大小。显然，在设计高速、高密度的PCB时，设计者总是希望过孔越小越好，这样板上可以留有更多的布线空间。此外，过孔越小，其自身的寄生电容也越小，更适合用于高速电路。但孔尺寸的减小也带来了成本的增加，过孔的尺寸不可能无限地减小，它受到钻孔和电鍍（plating）等工艺技术的限制，孔越小，钻孔加工工艺越难，需花费的时间就越多，也越容易偏离中心位置；当孔的深度超过钻孔直径的6倍时，就无法保证孔壁能均匀镀铜。例如，通常一块6层PCB板的厚度（过孔深度）为50mil（1mil \approx 0.0254mm）左右，一般PCB厂家能提供的钻孔最小直径只能达到8mil。

3 相关知识

1.2.2 PCB的组成要素

2. 铜膜导线

PCB上焊盘与焊盘之间起电气连接作用的是铜膜导线，简称导线。它也可以通过过孔把一个导电层和另一个导电层连接起来。PCB设计的核心工作就是围绕焊盘布置导线。

3. 安全间距

进行PCB设计时，为了避免导线、过孔、焊盘及元器件间的距离过近而造成相互干扰，必须在它们之间留出一定的间距，这个间距就称为安全间距（clearance）。图1-24所示为安全间距示意图。

4. 焊盘

焊盘（pad）的作用是放置焊锡、连接导线和焊接元器件的引脚。Altium Designer在封装库中给出了一系列不同形状和大小的焊盘，如圆形焊盘、方形焊盘、八角形焊盘、圆角方形焊盘等。根据元器件封装的类型，焊盘也分为针脚式和表面粘贴式两种，其中针脚式焊盘必须钻孔，而表面粘贴式焊盘无须钻孔。在选择元器件的焊盘类型时，要综合考虑元器件的形状、引脚粗细、放置形式、受热情况、受力方向和振动大小等因素。例如，对电流、受力较大和发热较快的焊盘，可设计成泪滴状。图1-25所示为常见焊盘的形状与尺寸。

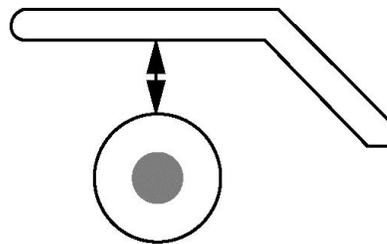


图1-24 安全间距示意图

3 相关知识

1.2.2 PCB的组成要素

4. 焊盘

为了便于维修，首先应确保焊盘与基板间的连接牢固，导孔周围的焊盘应该尽可能大一些，当然并不是越大越好，而要符合焊接的实际要求。在双面板设计中，每个导线端子的过孔应具有双面焊盘。为了有利于整体焊接操作，双面板应该遵循以下对最小尺寸的要求。

- 1) 非过孔最小的焊盘尺寸为 $D-d = 1.0$ (mm)， D 为焊盘直径， d 为通孔直径。
- 2) 过孔最小焊盘尺寸为 $D-d = 0.5$ (mm)， D 为焊盘直径， d 为通孔直径。

以上给出的是参考尺寸，在具体设计中可以做适当的修正，但建议尽量满足以上要求。

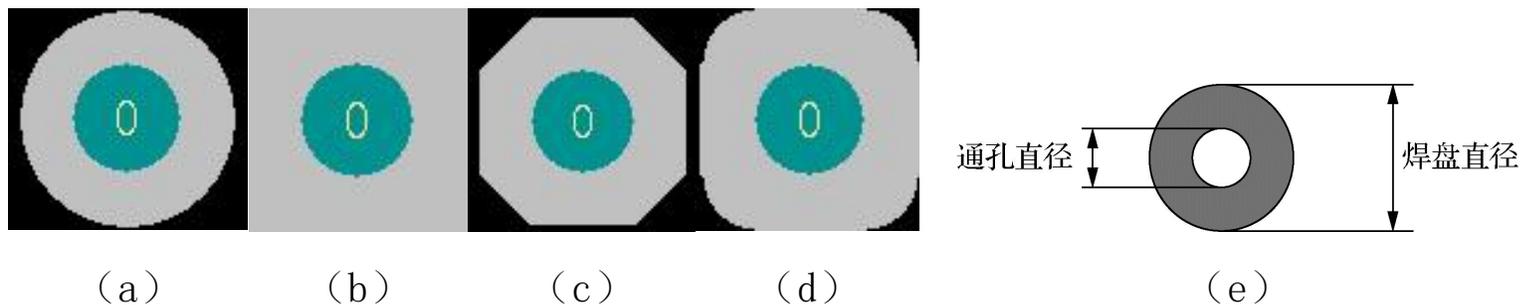


图1-25 常见焊盘的形状与尺寸

3 相关知识

1.2.2 PCB的组成要素

5. 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（如在过孔的加工过程中）。金属镀（涂）覆层还可以作为连接器与PCB的接触面，或表面安装元器件与PCB的接合层。

应根据PCB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PCB的性能，如寿命、可焊性、接触性等。

6. 非金属涂覆层

非金属涂覆层用来保护PCB，阻焊剂用来防止非焊接区导体的焊料润湿。当涂覆过的组装件暴露在高湿度条件下时，不正确的清洗可能导致附着力下降。由于附着力的降低，涂覆层与基体的界面下会出现分离点或碎屑，并且剥落（侵蚀）。在使用任何涂覆之前，最重要的是正确清洗PCB。如果PCB带有有机或无机污染物，则其绝缘电阻不能通过涂覆层得到提高。

3 相关知识

1.2.3 元器件封装技术

1. 元器件封装的具体形式

1) SOP/SOIC封装。SOP是英文small outline package的缩写,即小外形封装。SOP封装技术由飞利浦公司开发成功,以后逐渐派生出SOJ (small out-line j-leaded package, J型引脚小外形封装)、TSOP (thin small outline package, 薄小外形封装)、VSOP (very small outline package, 甚小外形封装)、SSOP (shrink small outline package, 缩小型SOP)、TSSOP (thin shrink small outline package, 薄的缩小型SOP)、SOT (small out-line transistor, 小外形晶体管)及SOIC (small outline integrated circuit, 小外形集成电路)等。SOJ-14封装如图1-26所示。

2) DIP封装。DIP是英文double in-line package的缩写,即双列直插式封装。它属于插装式封装,引脚从封装两侧引出,封装材料有塑料和陶瓷两种。DIP是最普及的插装型封装,应用范围包括标准逻辑集成元器件 (integrated component, IC)、存储器大规模集成电路 (large scale integration, LSI) 及微机电路。DIP-14封装如图1-27所示。



图1-26 SOJ-14封装

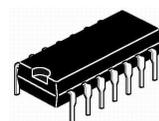


图1-27 DIP-14封装

3 相关知识

1.2.3 元器件封装技术

1. 元器件封装的具体形式

3) PLCC封装。PLCC是英文plastic leaded chip carrier的缩写，即塑封引线封装。PLCC封装外形呈正方形，四周都有引脚，外形尺寸比DIP封装小得多。PLCC封装适合用SMT技术在PCB上安装布线，具有外形尺寸小、可靠性高的优点。PLCC-28封装如图1-28所示。

4) TQFP封装。TQFP是英文thin quad flat package的缩写，即薄塑封四角扁平封装。TQFP封装工艺能有效利用空间，降低PCB对空间大小的要求。由于缩小了高度和体积，这种封装工艺非常适合于对空间要求较高的应用，如网络元器件。

5) PQFP封装。PQFP是英文plastic quad flat package的缩写，即塑封四角扁平封装。PQFP封装的芯片引脚之间距离很小，引脚很细，一般大规模或超大规模集成电路采用这种封装形式。PQFP封装如图1-29所示。



图1-28 PLCC-28封装



图1-29 PQFP封装

3 相关知识

1.2.3 元器件封装技术

1. 元器件封装的具体形式

6) TSOP封装。TSOP是英文thin small outline package的缩写，即薄型小尺寸封装。TSOP封装技术的一个典型特征就是在封装芯片的周围做出引脚。TSOP适合用SMT技术在PCB上安装布线，适合高频应用场合，操作比较方便，可靠性也比较高。TSOP封装如图1-30所示。

7) BGA封装。BGA是英文ball grid array package的缩写，即球栅阵列封装。BGA封装的输入/输出（input/output, I/O）端子以圆形或柱状焊点按阵列形式分布在封装下面。BGA技术的优点：I/O引脚数虽然增加了，但引脚间距并没有减小反而增加了，从而提高了组装成品率；虽然它的功耗增加了，但BGA能用可控塌陷芯片法焊接，从而改善它的电热性能；其厚度和质量都较以前的封装技术有所减少；寄生参数减小，信号传输延迟小，使用频率大大提高；组装可用共面焊接，可靠性高。BGA封装如图1-31所示。



图1-30 TSOP封装

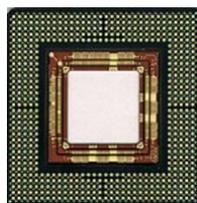


图1-31 BGA封装

3 相关知识

1.2.3 元器件封装技术

2. Altium Designer中的元器件及封装

(1) 电阻

电阻是电路中最常用的元件，实物如图1-32所示。Altium Designer中的电阻的标识为Res1、Res2、Res3等，电阻符号如图1-33所示。

Altium Designer中提供的电阻的封装属性为AXIAL系列。AXIAL系列电阻封装如图1-34所示。图中列出的电阻封装为AXIAL 0.3、AXIAL 0.4及AXIAL 0.5。其中，0.3是指该电阻在PCB上焊盘间的间距为300mil，0.4是指该电阻在PCB上焊盘间的间距为400mil，以此类推。



图1-32 电阻实物

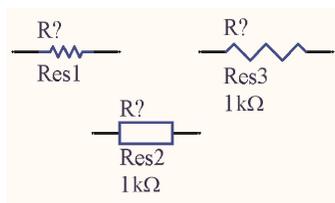


图1-33 Altium Designer
中的电阻符号

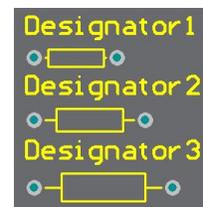


图1-34 AXIAL系列电阻封装

3 相关知识

1.2.3 元器件封装技术

2. Altium Designer中的元器件及封装

(2) 电位器

电位器实物如图1-35所示。Altium Designer中电位器的标识为RPot，电位器符号如图1-36所示。Altium Designer中提供的电位器封装属性为VR系列，其电位器封装如图1-37所示。

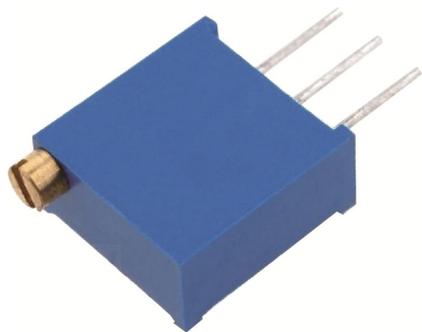


图1-35 电位器实物

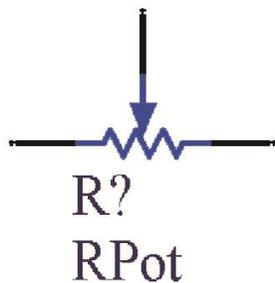


图1-36 Altium Designer
中的电位器符号

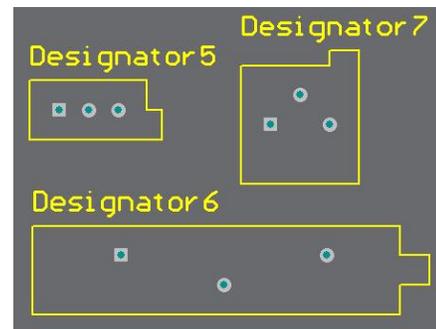


图1-37 VR系列电位器封装

3 相关知识

1.2.3 元器件封装技术

2. Altium Designer中的元器件及封装

(3) 电容

- 1) 无极性电容。
- 2) 极性电容。

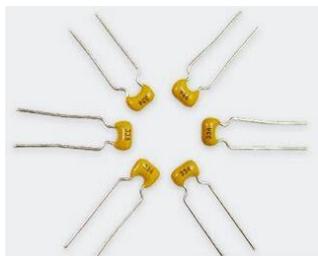


图1-38 无极性电容实物

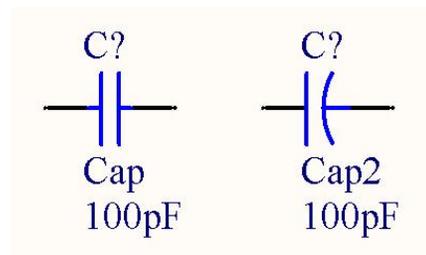


图1-39 Altium Designer中的无极性电容符号

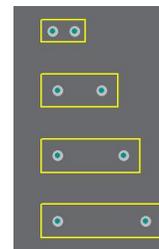


图1-40 RAD系列无极性电容封装



图1-41 电解电容实物

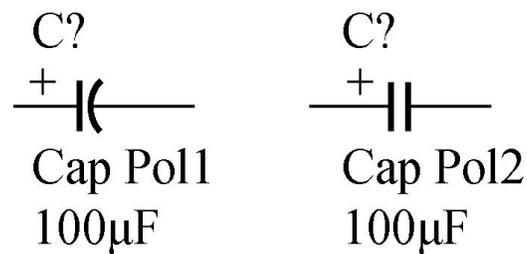


图1-42 Altium Designer中的电解电容符号

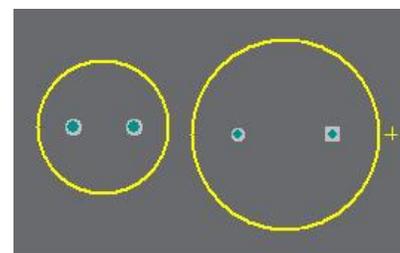


图1-43 RB系列电解电容封装

3 相关知识

1.2.3 元器件封装技术

2. Altium Designer中的元器件及封装

(4) 二极管

二极管的种类比较多，其中常用的有整流二极管1N4001和开关二极管1N4148，如图1-44所示。

Altium Designer中二极管的标识为Diode（普通二极管）、D Schottky（肖特基二极管）、D Tunnel（隧道二极管）、D Varactor（变容二极管）及Diode Zener（稳压二极管），其封装属性为DIODE系列。Altium Designer中的二极管符号如图1-45所示。

Altium Designer中提供的DIODE系列二极管封装如图1-46所示。图1-46中从上到下依次为DIODE-0.4和DIODE-0.7。其中，DIODE-0.4中的0.4是指焊盘间距为400mil；而DIODE-0.7中的0.7是指焊盘间距为700mil。后缀数字越大，表示二极管的功率越大。

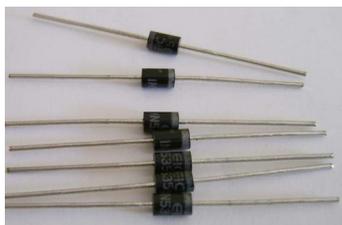


图1-44 二极管

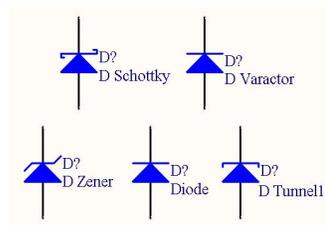


图1-45 Altium Designer
中的二极管符号

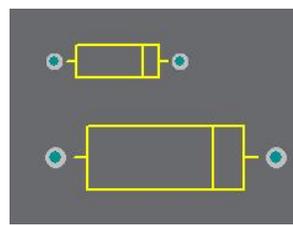


图1-46 DIODE系
列二极管封装

3 相关知识

1.2.3 元器件封装技术

2. Altium Designer中的元器件及封装

(4) 二极管

发光二极管实物如图1-47所示，Altium Designer中的标识符为LED，元器件符号如图1-48所示。通常发光二极管使用Altium Designer中提供的LED-0和LED-1封装，如图1-49所示。图1-49中从左到右依次为LED-1和LED-0的封装形式。



图1-47 发光二极管实物

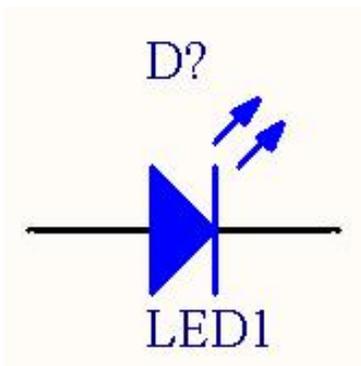


图1-48 Altium Designer中的发光二极管符号

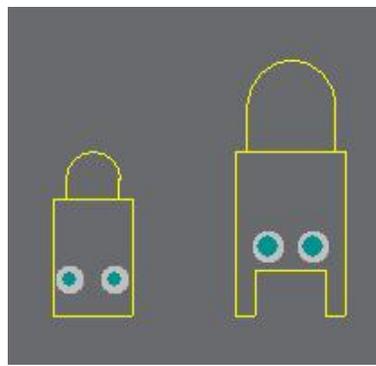


图1-49 发光二极管封装

3 相关知识

1.2.3 元器件封装技术

2. Altium Designer中的元器件及封装

(5) 晶体管

晶体管分为PNP型和NPN型，晶体管的3个引脚分别为E极、B极和C极，如图1-50所示。

Altium Designer中晶体管的标识为NPN、PNP，其封装属性为T0系列。Altium Designer中的晶体管符号如图1-51所示。图1-52所示为Altium Designer中提供的T092A晶体管封装。

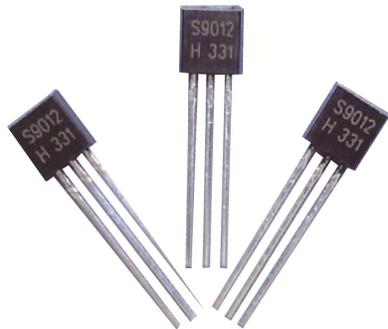


图1-50 晶体管实物

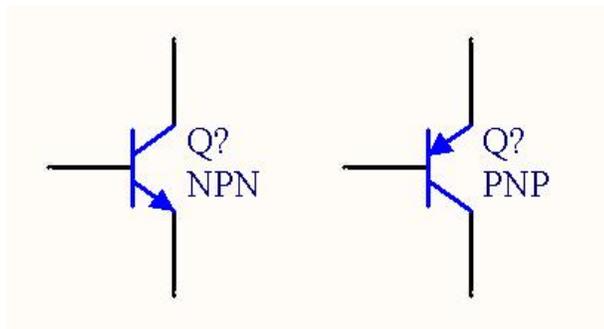


图1-51 Altium Designer中的晶体管符号

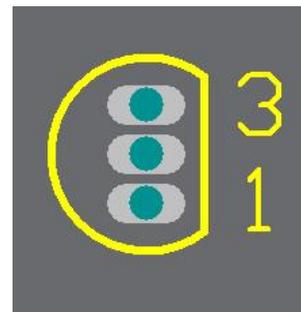


图1-52 T092A晶体管封装

3 相关知识

1.2.4 PCB设计规范

1. 根据安装环境设置PCB的形状及尺寸

用户需要根据实际安装环境设置PCB的形状及尺寸。当PCB尺寸过大时，会造成印制电路长，导致阻抗增加，电路的抗噪声能力下降，成本也相应增加；当PCB尺寸过小时，会导致PCB的散热不好，且印制电路密集，使临近电路易受干扰。因此，PCB的尺寸定义应引起设计者的重视。通常PCB的外形及尺寸应根据设计的PCB在产品中的位置、空间大小、形状，以及与其他部件的配合来确定。在设计前要确定PCB所选用的板材，如FR-4、铝基板、陶瓷基板、纸芯板等，若选用高TG值（耐热性）的板材，应在工艺文件中注明厚度公差；确定PCB铜箔的表面处理镀层，如镀锡、镀镍金等，并在工艺文件中注明。

3 相关知识

1.2.4 PCB设计规范

2. 元器件的选用和布局

- (1) 元器件的选用
- (2) 元器件的布局

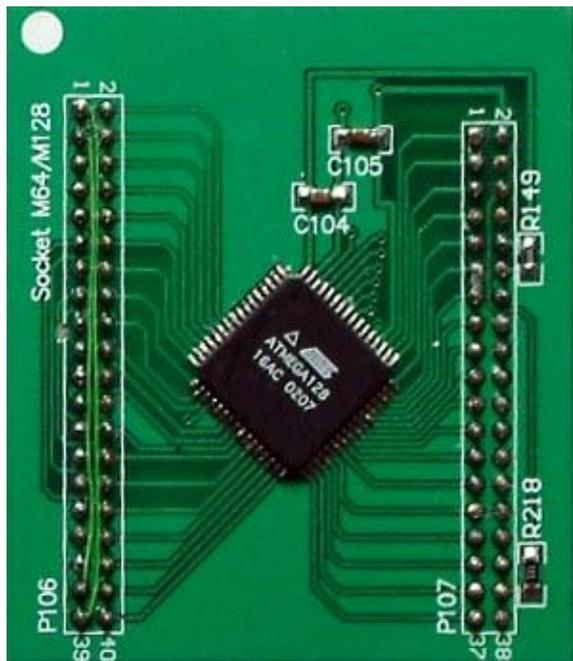


图1-53 围绕核心元器件布局

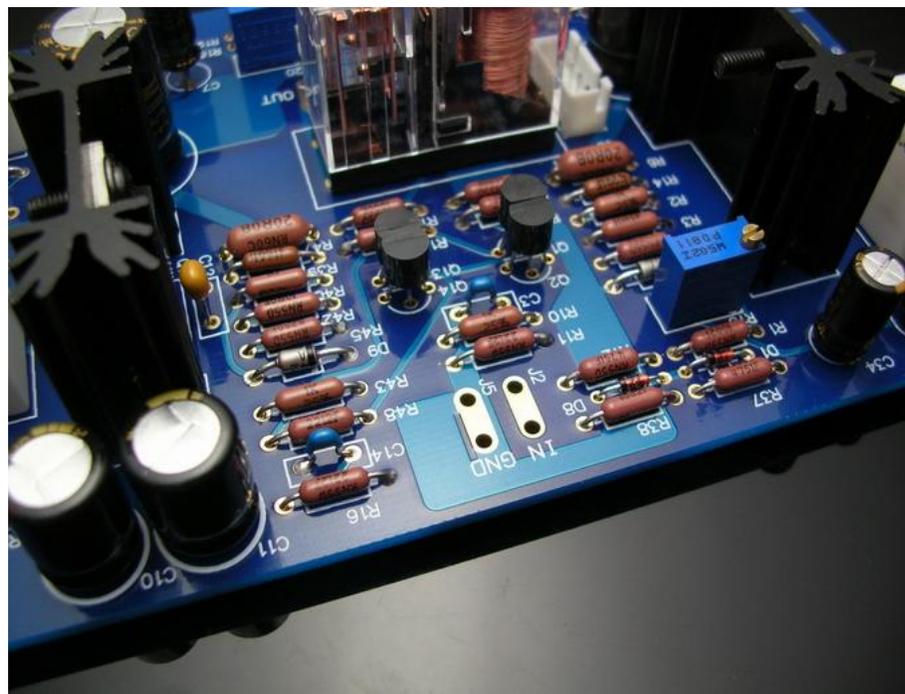


图1-54 安装有散热装置的电路板

3 相关知识

1.2.4 PCB设计规范

3. PCB导线

PCB导线的宽度与电路电线承载值有关，一般导线越宽，承载电流的能力越强，因此在布线时，应尽量加宽电源、地线宽度，最好是地线比电源线宽。它们的关系是地线宽>电源线宽>信号线宽。通常信号线宽为0.2~0.3mm（8~12mil）。

在实际的PCB制作过程中，导线宽度应以能满足电气性能要求而又便于生产为宜，它的最小值以承受的电流大小而定，线宽和间距可取0.3mm（12mil）。线宽在大电流的情况下还要考虑其温升问题。

在很多数据表中，PCB的覆铜厚度以盎司为单位，它与英寸和毫米的换算关系如下：

$$1\text{盎司}=0.0014\text{in}=0.0356\text{mm}$$

盎司是质量单位，之所以可以换算为毫米，是因为PCB的覆铜厚度单位是盎司/in²。

3 相关知识

1.2.4 PCB设计规范

4. PCB布线

- (1) 布线板型和密度的选择
- (2) 布线线宽和间距的选择
- (3) 布线形式的选择
- (4) 电源线和地线的处理
- (5) 信号线、多余端及引线的处理
- (6) 布线的美观

5. 带处理器系统的PCB设计中的抗电磁干扰措施

6. 网格状填充区和填充区

7. 条码位置



图1-55 导线串扰处理



河南职业技术学院
HENAN POLYTECHNIC

PART
PART
4

任务实施

4 任务实施

1. 区分板层

查看所给PCB实物，如图1-19所示，识别两块PCB实物是单面板还是双面板或多层板。如果是单面板，指出零件面和焊接面；如果是双面板或多层板，查看有无“金手指”，并说明判断依据。

2. 查看板材

根据本任务所学内容，结合所提供的信息，判断PCB本身基材的材质。

3. 选择工艺流程

根据所提供的实物，选择该PCB制作工艺流程。

4. 查看过孔

- 1) 从辨别出的双面板或多层板上查看过孔。
- 2) 根据本任务所学内容，分别查找用作各层间的电气连接或元器件固定或定位的过孔。
- 3) 从工艺流程上看，分别找出盲孔、埋孔和通孔，并标明其位置或电气编号。

5. 查看导线

- 1) 查看PCB上的导线，对于单面板，查看其整板导线的走向；对于双面板，查看顶层和底层的导线走向有何特点。
- 2) 查看PCB上的导线，根据字符标识，查找本板的电源线和地线，如有大面积铜箔，查看该大面积铜箔如何与电路连接，试说明大面积铜箔的作用，使用游标卡尺测量电源线的宽度，并与一般导线宽度做对比。

4 任务实施

5. 查看导线

- 3) 查看PCB上的跳线，分析其有何连接特点，思考为何在此处使用跳线。
- 4) 查看所给PCB为了避免导线、过孔、焊盘及元器件间的距离过近而造成相互干扰的安全间距。使用游标卡尺或其他测量工具测量导线与元器件、导线与导线、导线与过孔、导线与焊盘、元器件与元器件等对象之间的安全间距，并做适当记录。

6. 查看焊盘

- 1) 查看板上的焊盘，区别针脚式焊盘和表面粘贴式焊盘。
- 2) 测量不同贴片元器件的表面粘贴式焊盘的尺寸和形状，记录其不同之处。查看不同针脚式焊盘的形状、引脚粗细、放置形式、受热情况、受力方向和振动大小等。查看若干个对电流、受力较大和发热较快的焊盘有无设计成“泪滴状”。
- 3) 利用游标卡尺或其他工具分别测量焊盘尺寸，看其是否接近参数值。

7. 查看金属镀（涂）覆层和非金属涂覆层

查看所提供PCB实物板上的金属镀（涂）覆层和非金属涂覆层，试说明其区别。

8. 识别并分类元器件

根据本任务所学内容，识别老师指定的元器件实物，并对其进行分类。



河南职业技术学院
HENAN POLYTECHNIC

PART
PART
5

解惑启智



河南职业技术学院
HENAN POLYTECHNIC

PART 5

解惑启智

01 认识柔性电路板 (FPC)

02 电路设计的3W原则

03 实用的线宽选择参考

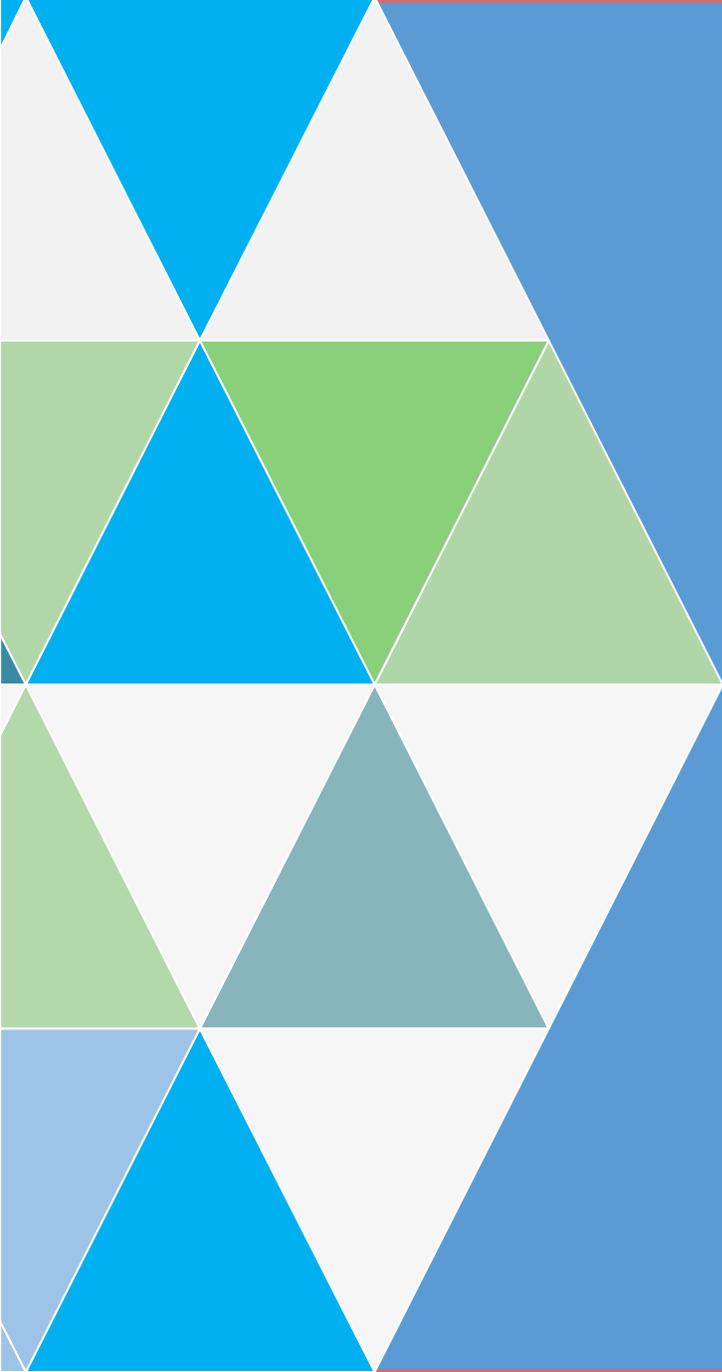


河南职业技术学院
HENAN POLYTECHNIC

PART
PART
6

思考与练习

1. 判断PCB实物的板层结构。
2. 判断PCB实物的基板材质。
3. 辨别PCB实物的过孔，记录盲孔、埋孔和通孔的位置或电气编号。
4. 区分一般导线、电源线和地线，测量并记录其宽度；查看整板导线的走向。
5. 对于板上的跳线，思考为何在此处使用跳线。
6. 查看板上的焊盘，区别针脚式焊盘和表面粘贴式焊盘，思考何时使用“泪滴状”。
7. 用万用表测量法区别电阻、电容、电感、二极管、晶体管、集成电路块、各种接口、继电器、电位器等元器件实物。
8. 对上述元器件实物进行分类，并做相应的记录。
9. 根据本任务老师指定的PCB实物图，按照任务实施的操作步骤1~7，完成对相关元器件的识别。



THANK YOU