

印刷电路板设计与制造工艺实验指导书

一、 印制电路板简介

1.1 印制电路板的定义

印制电路板，又称 PCB（Printed Circuit Board），是电子产品最重要的基础部件，既是电子元器件的支撑体，又是电子元器件电气连接的载体，一般说的 PCB 指空的还没有焊接元器件的印制电路板。

由于它采用的是按照预先设计的电路，利用印刷法，在绝缘基板的表面或其内部形成的用于元器件之间连接的导电图形技术，故被称为印制电路板。电子设备采用印制板后，由于同类印制板的一致性，从而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、自动焊接、自动检测，保证了电子设备的质量，提高了劳动生产率、降低了成本。

1.2 印制电路板的原材料

用于制造印制电路板的原材料主要有：覆铜板、半固化片、铜箔、阻焊及字符油墨。如图 1 所示。

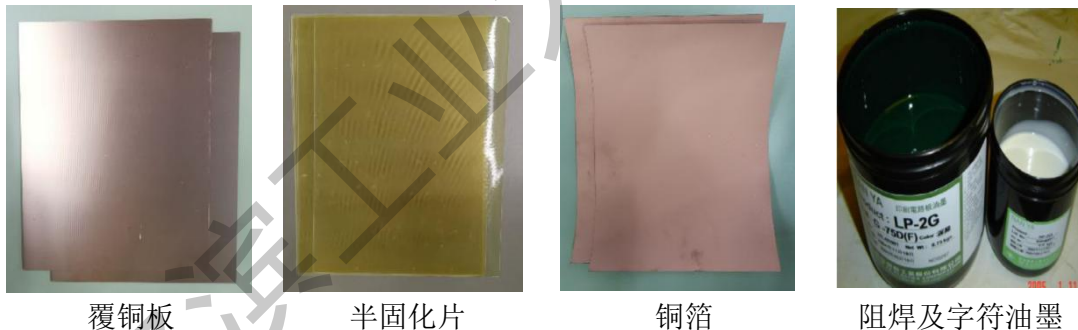


图 1. PCB 板原材料

1.3 印制电路板的分类

按照印制电路板的导电图形层数，可分为单面板、双面板和多层板。按基材的性质，PCB 可分为刚性印制板、柔性印制板和刚柔结合板。刚性印制板 PCB 具有一定的机械强度，用它装成的部件具有一定的抗弯能力，在使用时处于平展状态。一般情况下，电子设备中使用的都是刚性印制板 PCB。柔性印制板 PCB 是以软层状塑料或其他软质绝缘材料为基材而制成。它所制成的部件可以弯曲和伸缩，在使用时可根据安装要求将其弯曲。柔性印制板一般用于特殊场合，如：某些数字万用表的显示屏是可以旋转的，其内部往往采用柔性印制板。

以双面板为例，其表层结构示意图如图 2：

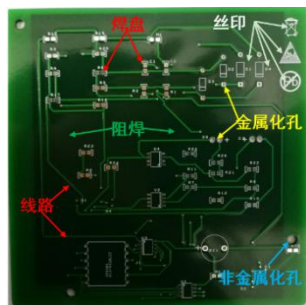


图 2. 双面板表层结构示意图

单面板、双面板、多层板的剖面结构示意图如图 3:

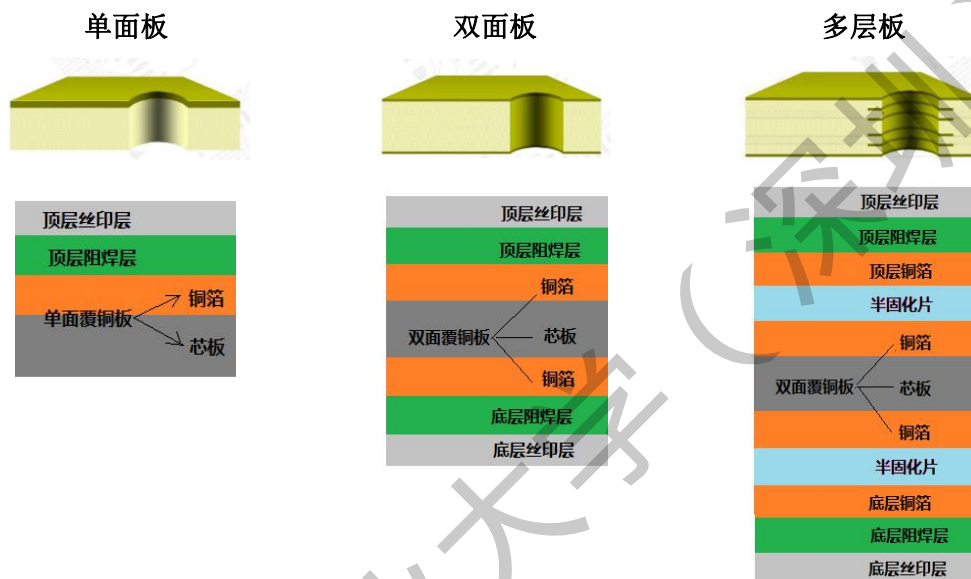
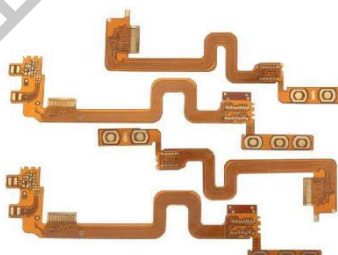


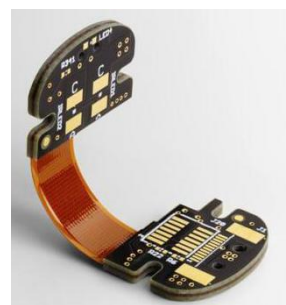
图 3. 剖面结构示意图



刚性板



柔性板



刚柔结合板

图 4. 印制电路板按基材性质分类

二、 印制电路板制造工艺

2.1 量产印制电路板制造工艺

不同类别的印制电路板，其制造工艺不尽相同，但基本原理与方法却大致一样，如电镀、蚀刻、阻焊制作等，在所有种类的印制电路板中，刚性双面 PCB 板及多层 PCB 板应用最为广泛，其制造工艺与流程具代表性，也是其他类别 PCB 板制造工艺的基础。PCB 板制造厂商采用的刚性双面 PCB 板常用生产流程大致可以分成开料、钻孔、沉铜、外层制作、阻焊制作、字符制作、沉镍金、成型、检测这些步骤，如图 5。刚性多层 PCB 板常用生产流程则相比双面 PCB 板多了内层和压合工序（如图 6）。

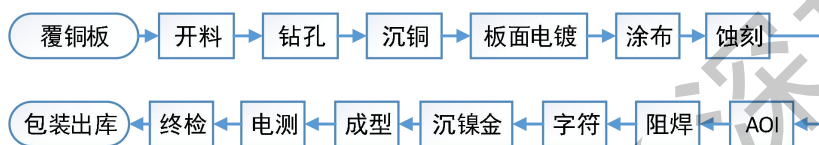


图 5. 刚性双面 PCB 板批量生产流程示意图

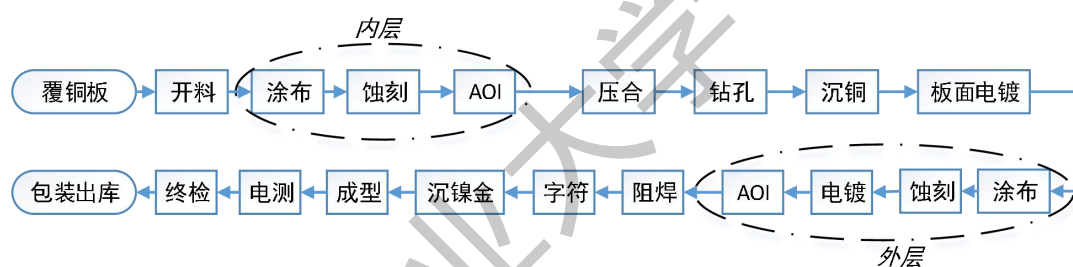


图 6. 刚性多层 PCB 板批量生产流程示意图

2.2 双面 PCB 板实验室制板工艺流程

实验室制作双面 PCB 板，主要采取激光刻板的方式获得线路，简化后的实验室双面板制板流程如图 7：

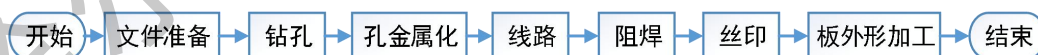


图 7. 双面 PCB 板实验室制板流程

三、 印制电路板设计基础

3.1 设计流程

PCB 设计主要是指版图设计，也称为 PCB layout。目的是以电路原理图为依据，实现电路设计者所需要的功能。它是从电路原理图变成一个具体产品必经的

一道设计工序，其设计的合理性与产品生产及产品质量紧密相关。是产品设计流程中的重要一环，通常需要跟硬件原理图设计部门、结构设计部门、工艺部门、物料管理部门以及客户进行持续沟通和协作，才能够完成，一般的其设计流程图如图 8。

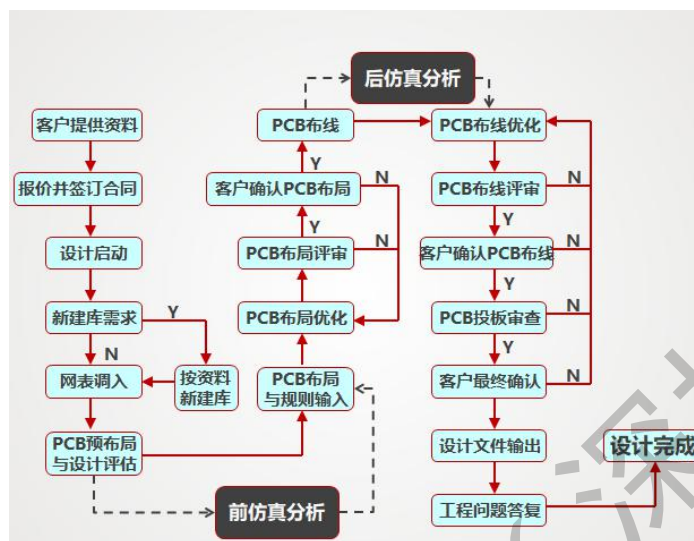


图 8. PCB 设计流程示意图

3.2 设计原则和要求

(一) 布局布线

元器件的布局主要有两方面需要考虑，一是 PCB 生产制造方式，二是电气特性的考虑。通常这二者是相得益彰的，但有时也会相互冲突。当冲突发生时，电气特性的考虑通常优先于生产制造的考虑。

在电路中我们常常要求把相关的部件放在一起以使布线尽可能短、尽可能为直线。但事实上由于数字电路中包含非常多的平行部件、分支以及高位的数据地址总线，想要实现这个目的基本是不可能的。这时最有可能实现的就是使功能相近的部件放在一起，如使具有高速时钟或较快上升时间的部件放在一起以减少相关信号线的长度。

(二) PCB 层叠设置

在设计多层 PCB 时，我们要考虑非常多的因素，例如 PCB 制造商的生产能力、板子的电路密度、信号的最大频率与上升下降时间，最后还有成本计算。在设计中我们很少用到奇数层数的 PCB，那是因为增加一层与增加一对叠层的成本几乎无差异，同时多出的一层可做为电源或地平面层，而且偶数层可以保证对称性防止 PCB 板弯曲。在设置叠层时，信号层应当尽可能的临近平面层，最好是地平面层以减少回路电感、电磁辐射和串扰。电源层也应当尽可能临近地平面层，这样可以帮助减少电源噪声和电磁辐射。在电源平面和信号平面中信号平面优先临近地平面，因为电源和地平面间增加旁路电容也可以减少干扰。

(三) 线宽和线距

当电流通过导线时，由焦耳定律（ $Q = I^2 R$ ）可知导线会被加热，而导线越宽意味着更小的电阻，及更小的发热量。所以，为控制发热量，我们需要计算最

大电流所需的最小线宽。计算公式如下：

$$w = \left(\frac{1}{1.4 \times h} \right) \times \left(\frac{I}{k \times \Delta T^{0.421}} \right)^{1.379}$$

其中，w 为最小线宽，单位为 mil；h 为铜箔厚度，单位为 oz/ft²；I 为负载电流，单位为 A。当计算内层线宽时 k=0.024，计算外层线宽时 k=0.048。

四、 实习目的和要求

4.1 实习目的

- (一)、 掌握印制电路板设计及制造相关概念；
- (二)、 熟悉印制电路板设计及制造流程及方法；
- (三)、 了解 PCB 设计的基本规则和布局、布线的规则；
- (四)、 掌握 Allegro 软件的部分操作方法。

4.2 实习要求

本次实习，基本要求是：以音箱主板原理图为例，进行 PCB 设计。

五、 实习步骤

5.1 实验一、导出网表

(一) DRC 检查

DRC 检查的目的是确认电路原理图设计是否满足了相应的设计规则，以确保所使用的电路原理图设计正确。所用的软件是原理图设计软件 Design Entry CIS 软件下的 OrCAD Capture CIS 产品。操作方法如下：



双击桌面上的 Design Entry CIS 图标，在弹窗中选择 OrCAD Capture CIS 产品后点击 OK 按钮。如图 9：

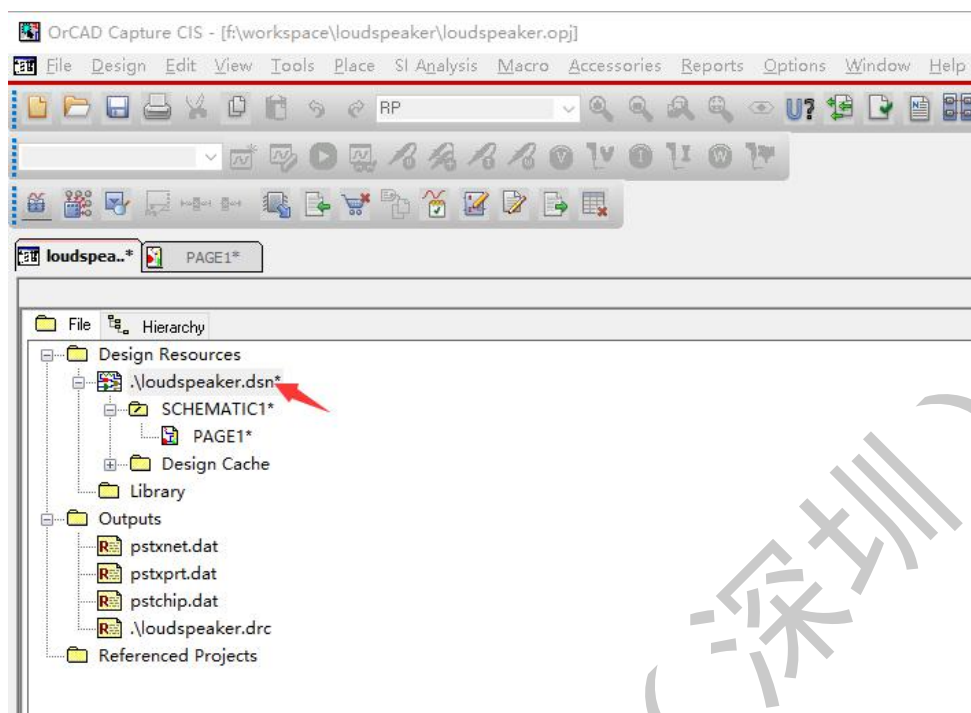


图 12. 选中 loudspeaker.dsn 文件
选择 Tools→Design Rules Check，进行 DRC 检查。

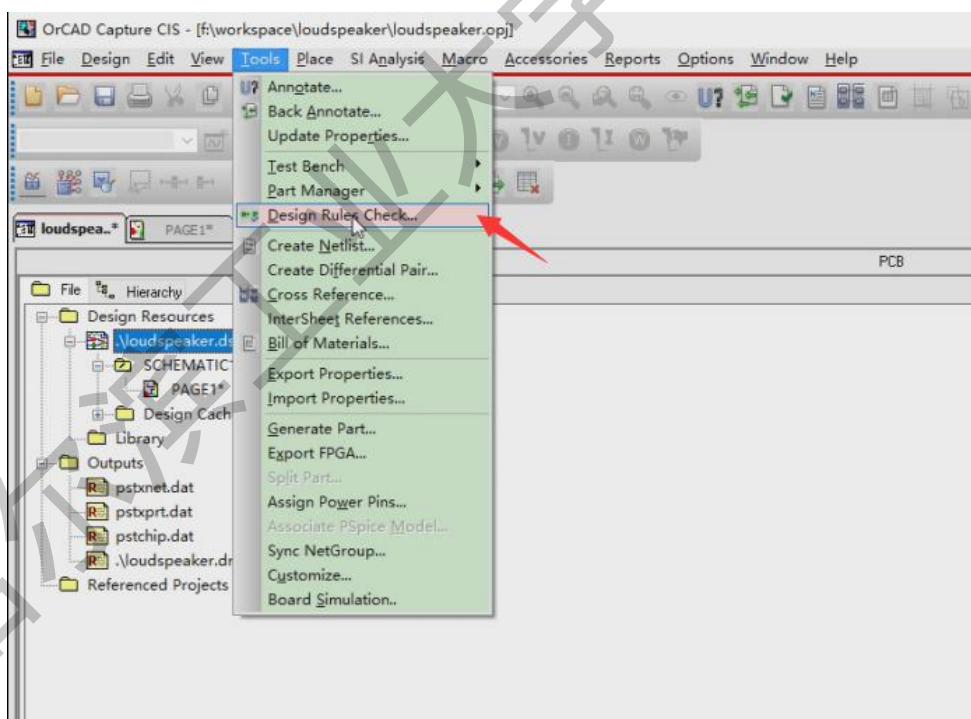


图 13. DRC 检查
在弹窗中点击“确定”。

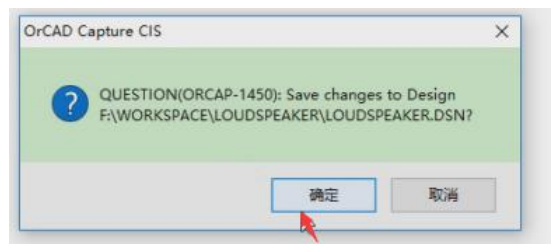


图 14. DRC 检查弹窗

确认 Design Rules Check 弹窗中设置如下后点击“确定”。进行 DRC 检查。

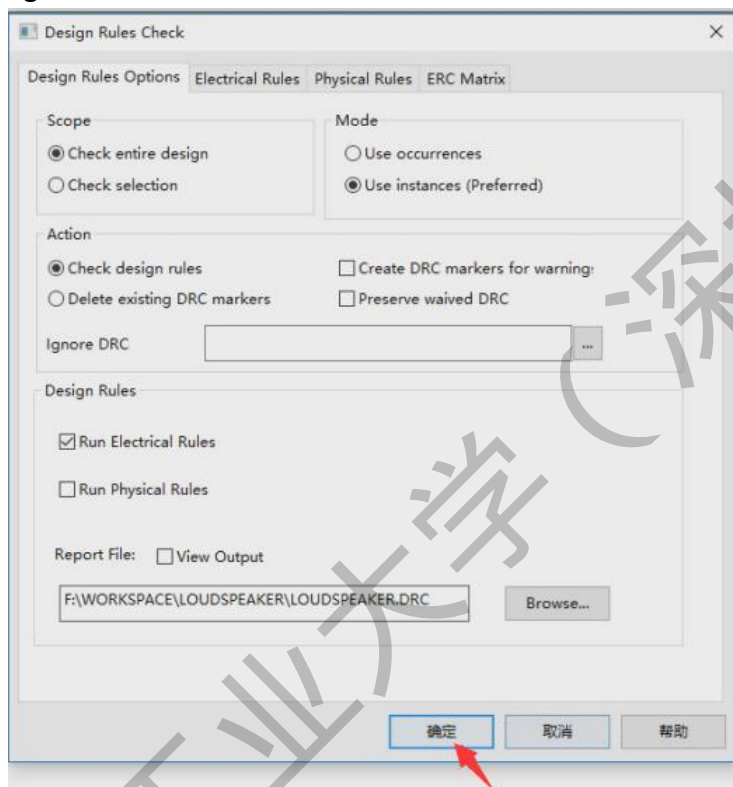


图 15. Design Rules Check 弹窗设置

检查后在 Session Log 对话框无报错,即原理图设计正确,否则需要将 Session Log 对话框中提示的错误修改正确后再进行 DRC 检查。

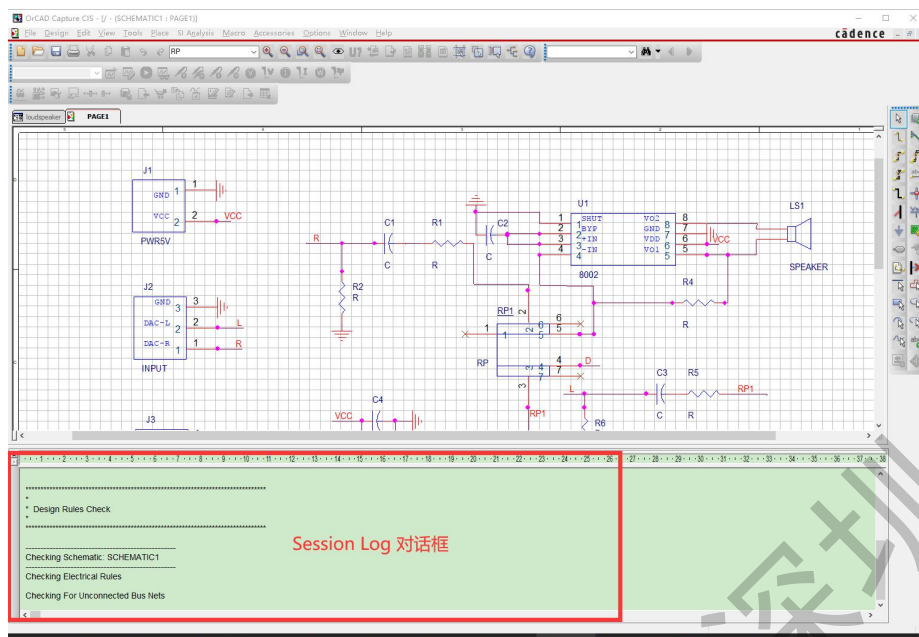


图 16. Session Log 对话框

(二) 导出网表

选中 DSN 文件，选择 **Tools→Create Netlist**，在弹出的生成网络表窗口中单击“确定”按钮，如图 17 所示。

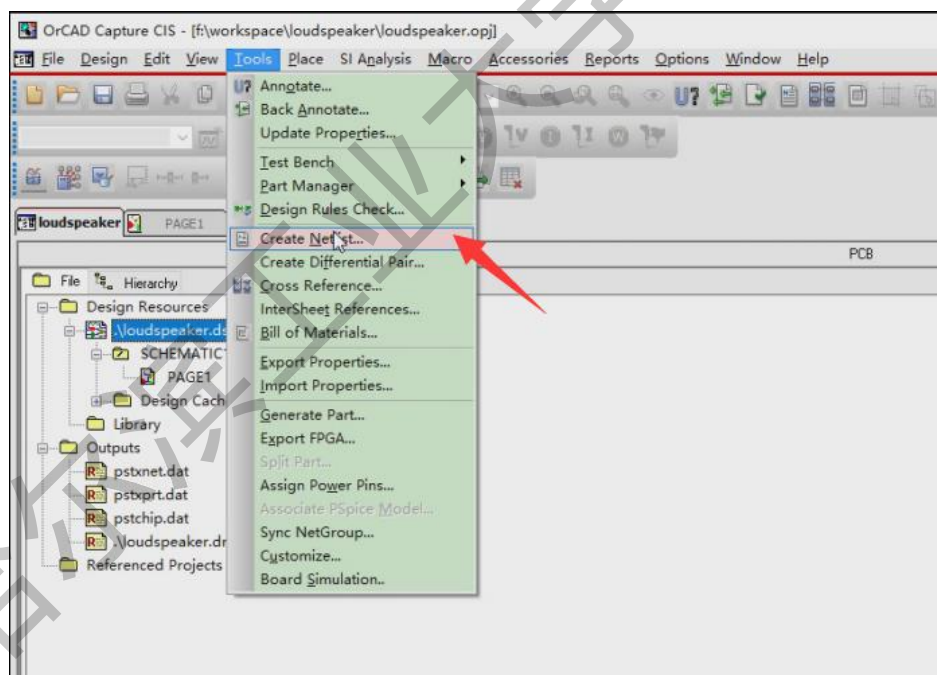


图 17. 导出网表

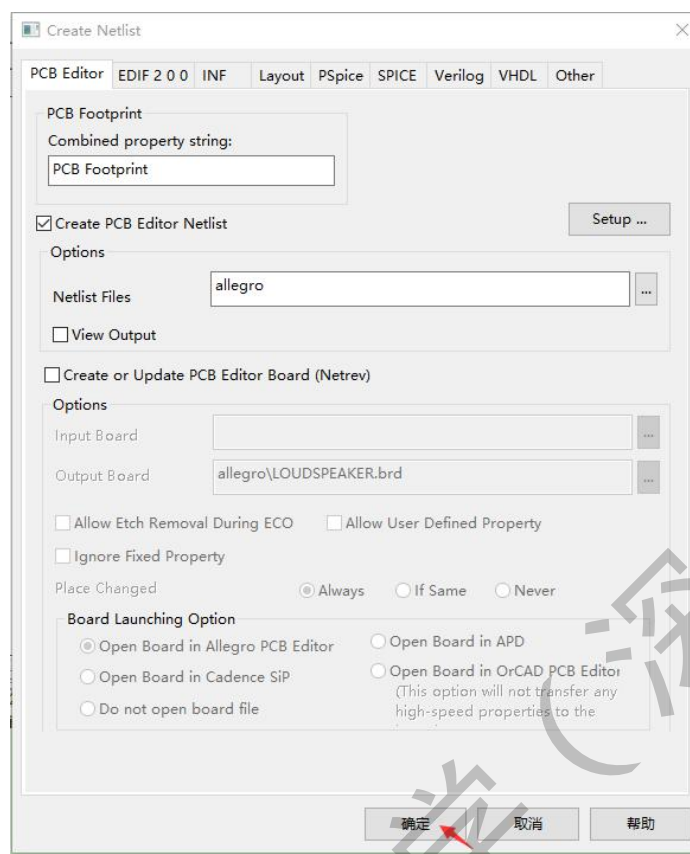


图 18. 导出网表对话框

继续在新弹窗中选择“确定”或“是”。



图 19. 导出网表弹窗

若能正确生成网络表，则网络表文件默认在*.dsn 文件所在路径的 allegro 文件夹内，文件夹内共 3 个文件，如图 20 所示。



图 20. 网表文件夹内容

若不能正常生成网络表，则在过程中会出现下图所示的对话框：

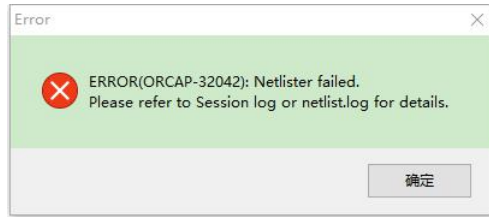


图 21. 导出网表报错

只有解决了错误，才能避免弹出此报错对话框，并正确生成网络表。常见的几种报错包括封装属性（PCB Footprint）没有填写、器件管脚名称重复、器件属性中包含不规范字符、器件位号重复等。

导出网表时，封装属性（PCB Footprint）没有填写这类错误的表现及解决方法如下：

若原理图中有某个器件没有填写封装属性，则会导致生成网络表失败，出现此类错误的解决方法为：选择菜单 **Window**→**Session Log**，提示窗口信息如下：

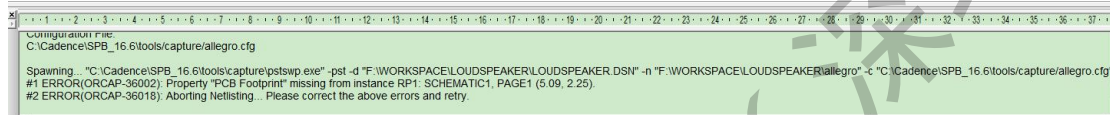


图 22. Session Log 中报错信息显示封装属性（PCB Footprint）没有填写

根据信息内容，确认提示第 1 页的器件 **RP1** 缺少封装属性，按照这个提示，能很方便的在第 1 页原理图中搜索到这个器件，双击器件后在 **PCB Footprint** 一栏中补充上正确的封装名即可。

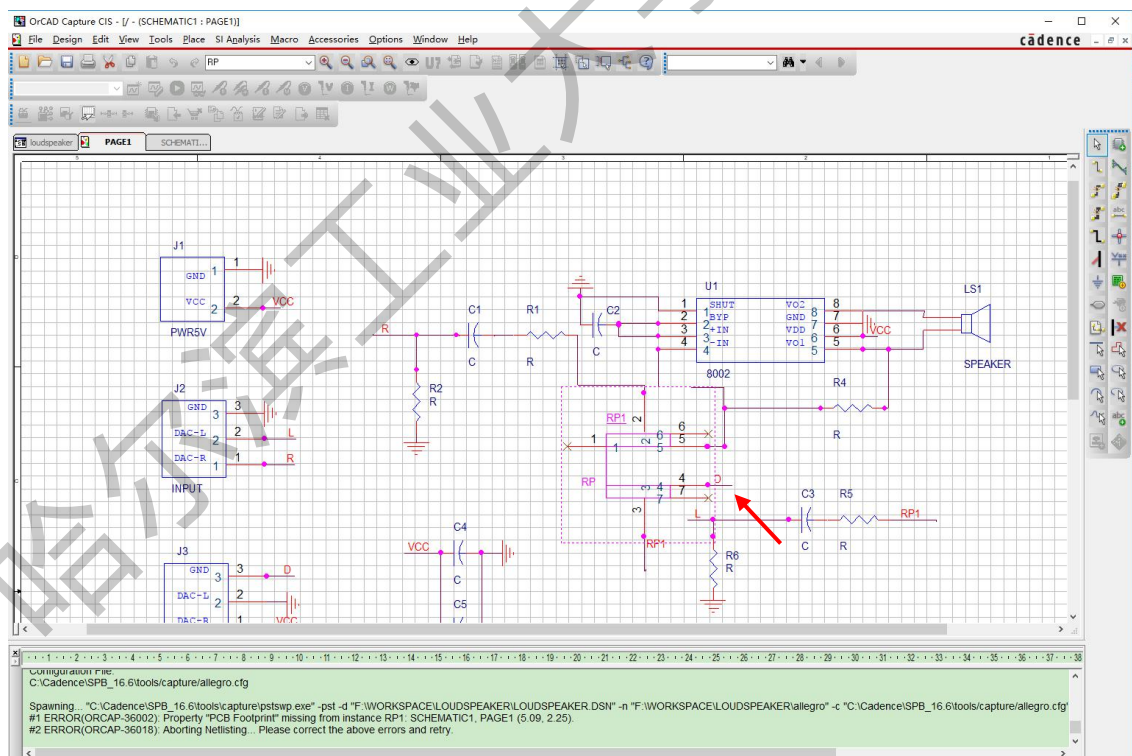


图 23. 双击报错部件

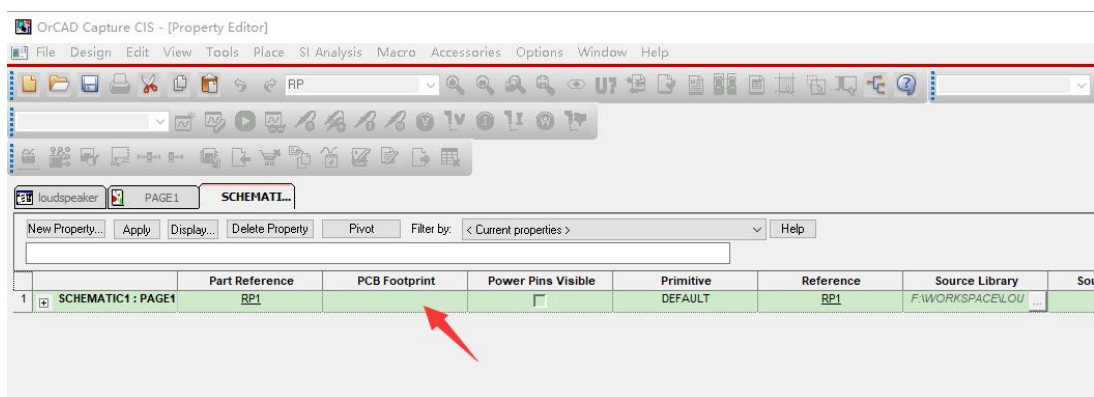


图 24. 在 PCB Footprint 栏补充封装信息

5.2 实验二、创建封装



双击 PCB Editor 图标，按下图依次单击打开 Allegro 软件。

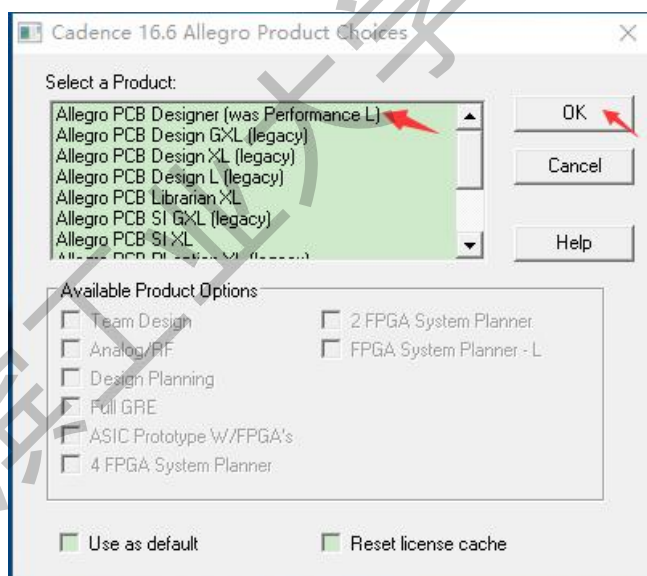


图 25. Allegro 软件的正确打开方式

选择 File----New，在弹出的对话框中，选择 Package Symbol(wizard)，如图 26，在自己的文件夹下（全英文路径），保存文件。

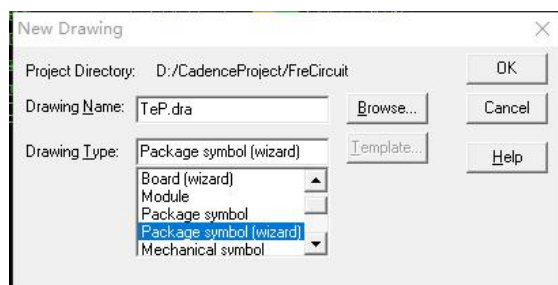
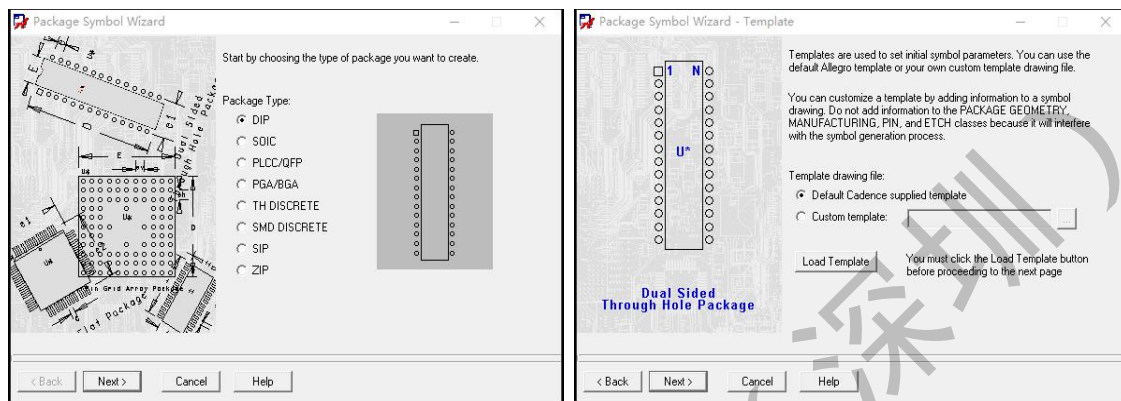
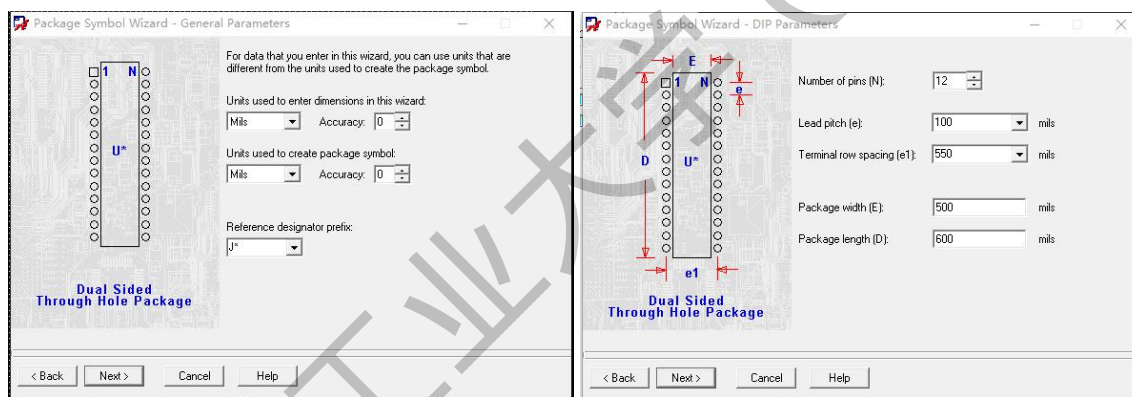


图 26. 选择 Package Symbol(wizard)

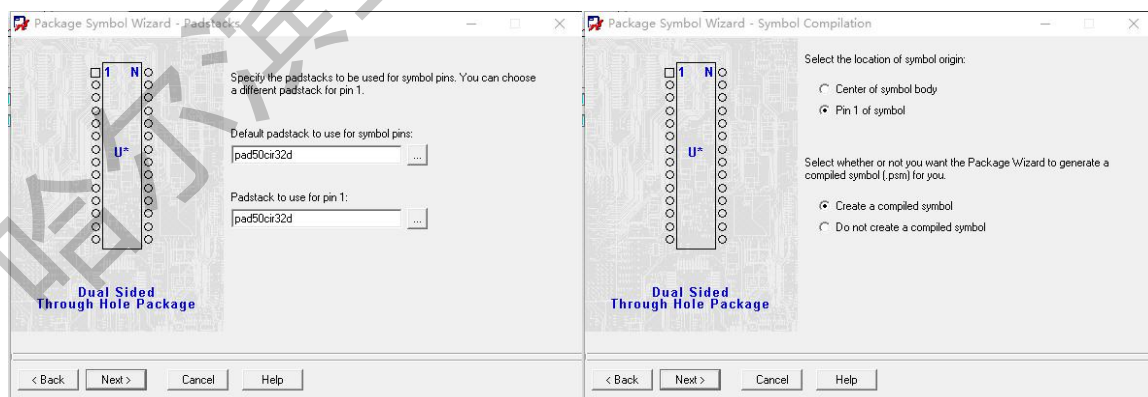
根据向导，一步一步，创建一个双列直插式（DIP）的，pin 脚间距为 100mil 的接插件模块，每一步的设置如图 27。其中，在第二步时，要 Load Template 才能进行下一步；单位设置可以选择通用单位“mil”；元器件标号为“J”；Pin 脚数量为自己的两位学号数（示例以 12 为例），间距 e 为 100mil，其他参数可在合理范围内修改；焊盘（Pad）选择通用的“Pad60cir36D”，其数字表达的是钻孔和焊盘的直径；最后生成的封装如图 28。



(a)



(b)



(c)

图 27. 建封装向导

在封装上添加一个丝印，选择 Add-----3pt ARC，在 options 选项卡中，选择丝印层，然后在目标位置画上曲线，如图 28。如果出现，曲线无法移动到目标位置时，可以在 Setup-----Design Parameters.....Setup Grids 对话框中，将

Spacing 改小（比如 10mil）。保存后，将生成的.dra，.psm 文件。

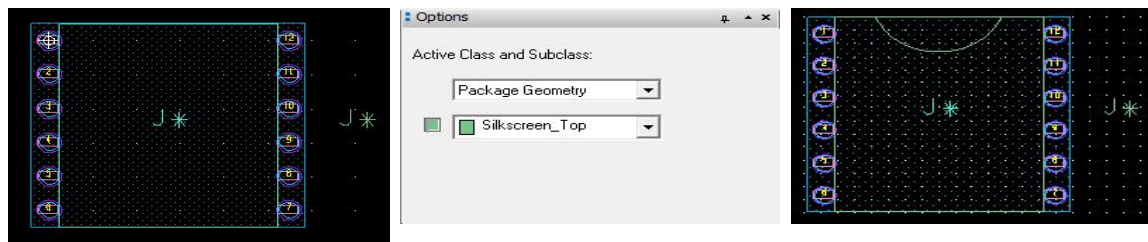


图 28. 封装上添加丝印

5.3 实验三、布局布线

这一步是 PCB 设计中较为复杂的操作，本节内容仅介绍 Allegro 软件中的几个基本操作及布局布线原则，请同学通过交互设计、移动、旋转、布线、打孔、推线、删除等命令，自行完成名为 loudspeaker.brd 的音响主板 PCB 的布局布线。以上操作，除了交互设计是在原理图软件（Design Entry CIS）中进行设置，其余命令均在 Allegro 软件中进行。

(一) Allegro 软件基本操作方法

- ① 使用 Allegro 软件打开 loudspeaker.brd 文件



双击 PCB Editor 图标，按下图依次单击打开 Allegro 软件。此时软件默认打开上次的编辑界面。

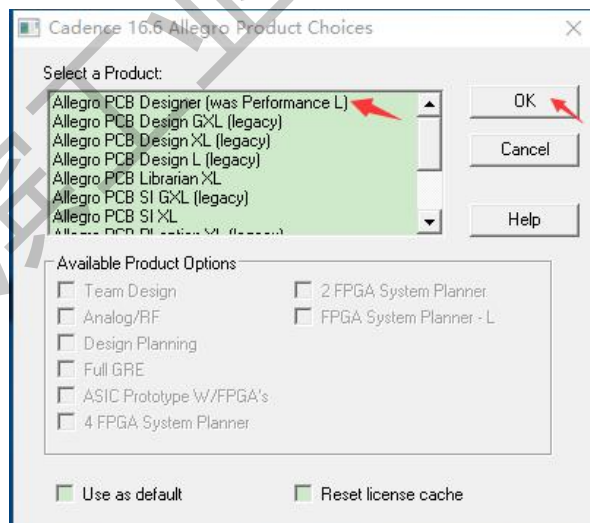


图 29. 打开 Allegro 软件

选择 File→Open，在弹窗中最下部分选择文件类型为 Board(*.brd)，找到 loudspeaker.brd 文件（即音响主板 PCB 设计文件）并将其打开。

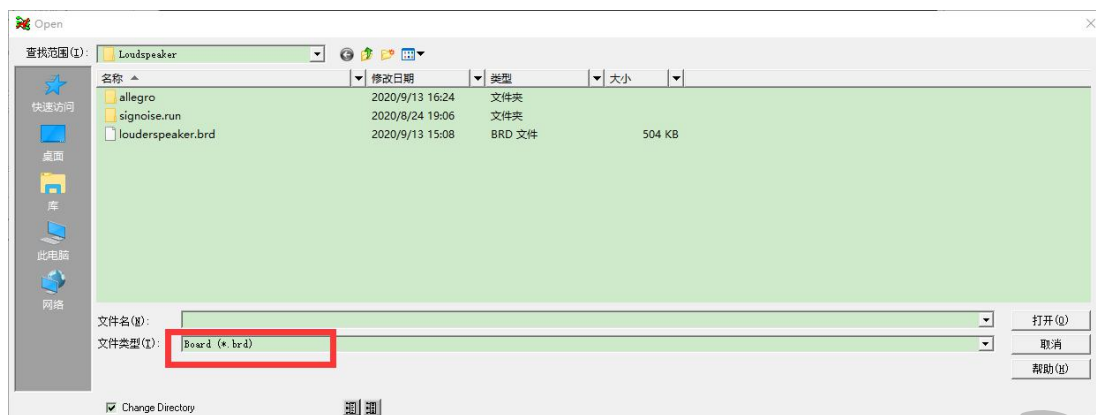


图 30. PCB 设计文件打开方式

② 设置原理图和 PCB 交互设计

交互设计是指原理图文件（数据源名称文件）和 PCB 设计文件（*.brd）实时同步设计信息。

在使用原理图设计软件打开名为 LOUDSPEAKER 的数据源名称文件的情况下，在原理图软件中选择菜单 Options→Preferences，单击 Miscellaneous 选项卡，勾选标记处“Enable Intertool Communication”（交互设计）选项，如下图所示。导入网络表的 PCB 设计文件即可和该原理图进行交互设计。比如在原理图中选择了某个元器件，在 PCB 设计软件内该器件则同时被选中。

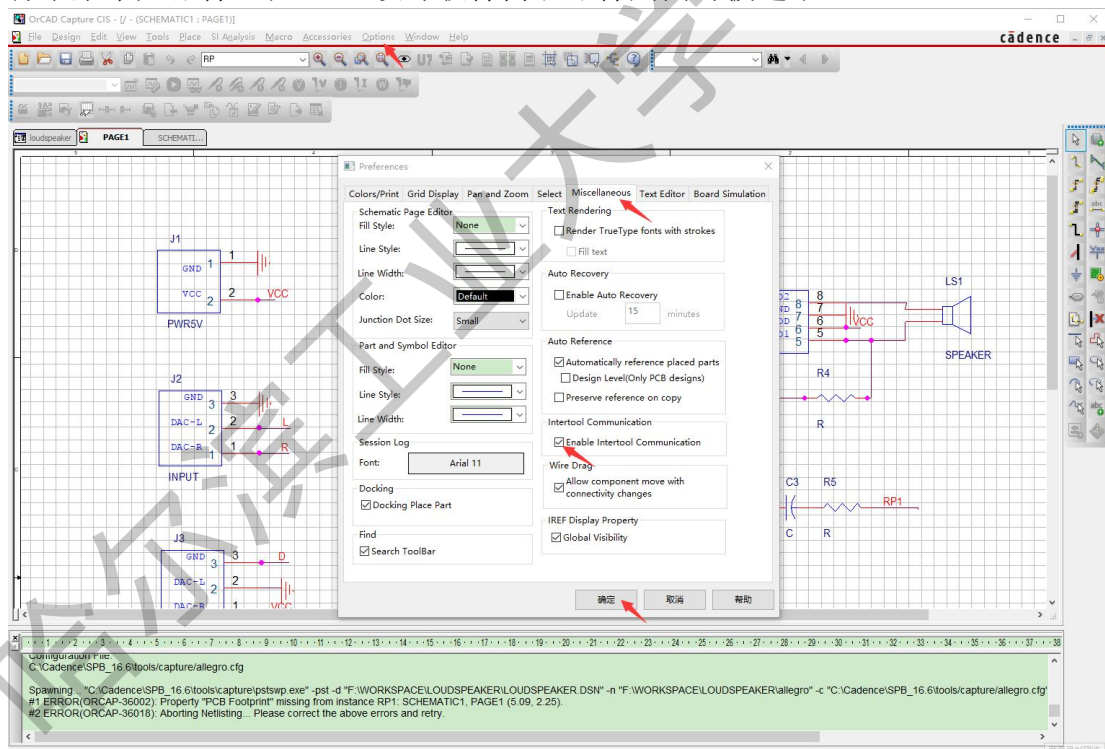



图 31. 设置原理图和 PCB 交互设计

③ 查找目标元器件



选择 Assign Color 按钮 ，在 Option 选项卡中选择 一个显眼的颜色，比如：红色，如图 32，在 Find 选项卡中勾选全部 (All On)，如图，然后在 Find 选项卡的输入框中输入目标元器件的位号，如：R2, C3, J1,

最后点击回车键。则，在 PCB 图中，目标元器件的颜色将变成指定的颜色。元器件的位号可以在原理图中查询。

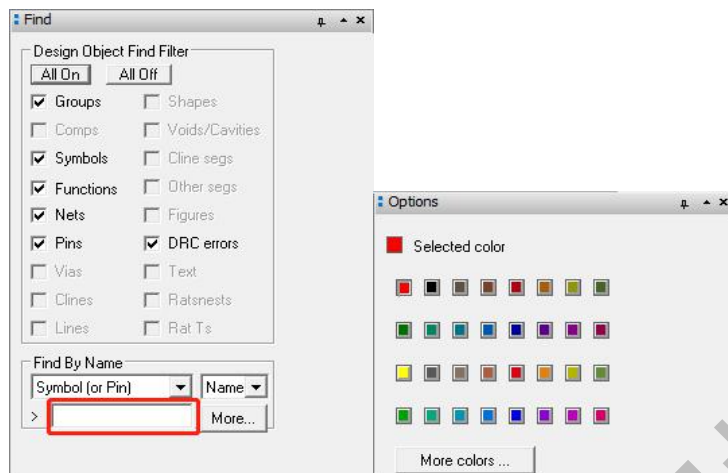


图 32. 查找元器件

这种方式，一次只能查找一个元器件，效率比较低，还有另外一种方式一次可以查找很多元器件：在 Find 选项卡中，选择 Find By List，然后打开 .lst 文件，那么 list 文件中列出的所有元器件名都会自动标注成指定颜色，如图 33。



图 33. 按 List 查找元器件

利用这种方式需要在任意目录下，新建一个记事本文件，并将其后缀名更改为 .lst，然后打开原理图文件，在原理图中框选或多选出目标元器件，查看这些元器件的 Properties，并在 Part 项中，找到 Part Reference 一列，如图 34，将其复制粘贴到 .lst 文件中。

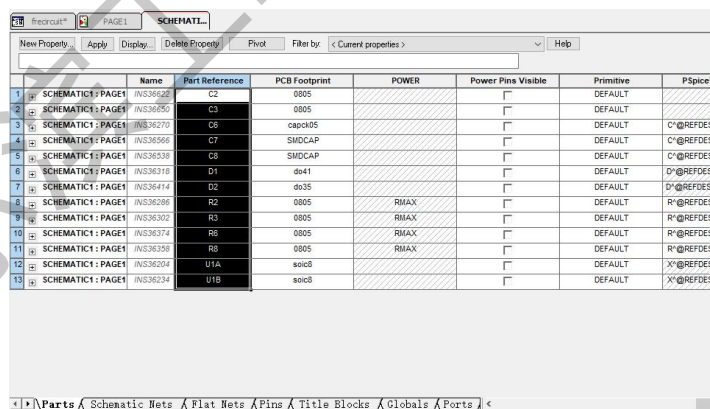



图 34. 查找原理图位号

查找元器件完成后，右键点击图中黑色空白区域，选择 Done，完成操作。

②移动目标元器件


选择 Move  按钮，点击目标元器件，将其移动到目标位置后右键点击图中黑色空白区域，选择 Done，完成操作。

如果要移动多个元器件，可以在点击 Move 按钮后，用鼠标进行框选，或者


在 Find 选项卡中设置要移动的对象，其方法同查找元器件，将其移动到目标位置，右键结束或者取消操作。

还可以**旋转**目标对象，具体操作是：选择 Move 按钮后，点击对象，右键选择 Rotate，然后移动鼠标，将其转动至目标方向，单击，右键完成或取消。其中，右键 Oops 代表取消上一步操作，cancel 代表取消该指令下全部操作。

③取消颜色标记

点击 Delight  按钮，然后用鼠标框选对象，可以取消对象的颜色标记。

④ 选择显示层

选择 Color  按钮，先把所有显示关掉：点击右上角的 Off，然后在左侧选择打开 Board Geometry、Package Geometry 的所有层（All），打开 Component 中的 Ref Des 层，如图 35，点击 OK 结束。这种条件下，图中只显示了版框、封装和位号的信息，其他的信息暂时不显示，以便进行布局和布线。当需要查看或编辑其他对象时，可以在 Color 命令下，将其打开。

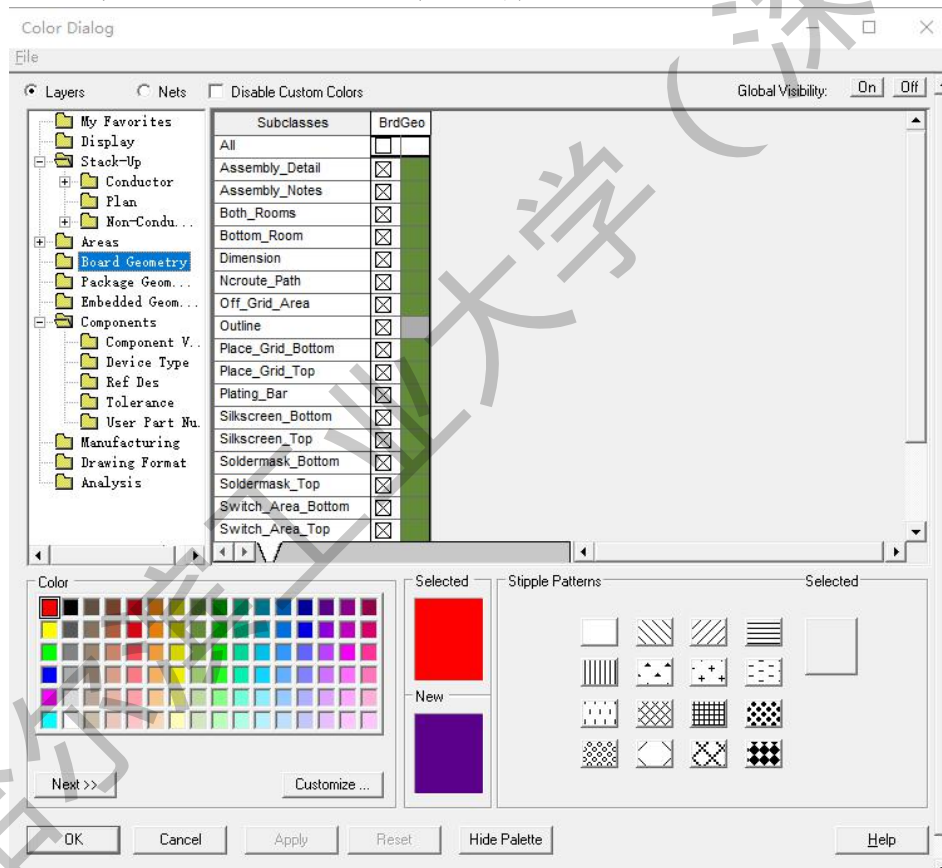


图 35. 选择显示的层和对象

(二)布局

将元器件按照一定方式，在指定区域内将其移动到合理的位置，并调整元器件的位置和角度，使飞线尽量不缠绕。

在确定特殊元器件的位置时，要遵守以下原则：

(1) 尽可能缩短高频元器件之间的连线，设法减少它们的分布参数和相互间的电磁干扰。易受干扰的元器件不能相互挨得太近，输入元器件与输出元器件应尽量远离。

(2) 某些元器件或导线之间可能有较高的电位差，应加大它们之间的距离，以免放电导致意外短路。带强电的元器件应尽量布置在调试时人体不易接触到的地方。

(3) 质量超过 15g 的元器件应当用支架加以固定，然后焊接。那些又大又重、发热量多的元器件不宜直接装在 PCB 上，而应装在整机的机箱底板上且应考虑散热问题，热敏元器件应远离发热元器件。

(4) 对于电位器、可调电感线圈、可变电容器、微动开关等可调元器件的布局应考虑整体的结构要求。

(5) 应留出 PCB 的定位孔和固定支架所占的位置。

根据电路的功能单元对电路的全部元器件进行布局，并要求符合以下原则：

(1) 按照电路中各个功能单元的位置，使布局便于信号流通，并使信号尽可能保持一致的方向。

(2) 以每个功能单元的核心元器件为中心，围绕它们来进行布局。元器件应均匀、整齐、紧凑的排列在 PCB 上，尽量减少和缩短各个元器件之间的引线 and 连接。

(3) 对于高频电路，要考虑元器件之间的分布参数，一般电路应尽可能使元器件平行排列。这样不仅美观，而且焊接容易，易于批量生产。

(4) 位于 PCB 边缘的元器件，离 PCB 边缘一般不小于 2mm。

布局完成后，要进行一下严格的检查：

(1) PCB 尺寸是否与加工图纸尺寸相符？能否符合 PCB 制造加工工艺要求？有无定为标志？

(2) 元器件在二维、三维空间上是否有冲突？

(3) 元器件布局是否疏密有序？排列整齐？是否全部布完？

(4) 需经常更换的元器件能否方便的更换？插件板插入设备是否方便？

(5) 调整元器件是否方便？


(6) 在需要散热的地方，是否安装了散热器？空气流动是否通畅？

(7) 插头、插座等元件，与机械设计是否矛盾？

(8) 线路的干扰问题是否有所考虑？

(三) 布线

1. 布线

点击  按钮，在 Option 选项卡中选择布线的层以及打孔连接的层，如图，并设置线宽、推线方式 (Bubble)，然后点击走线的起点、拐点和终点，右键结束。布线前，有电气连接的元器件管脚是飞线示意连接的，布线后，管脚间是通过有线宽的铜线连接的，如图 36。

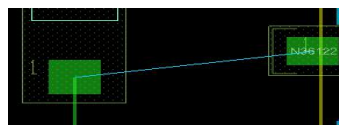
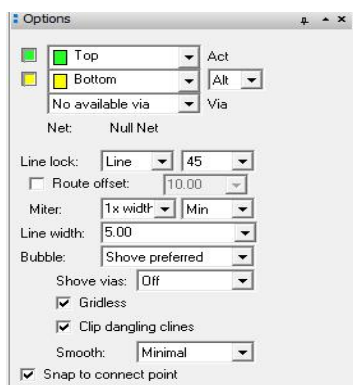


图 36. 布线

如果布线的时候，碰到缠绕或者需要从某个元器件焊盘中间通过的情况，应首先尽量从旁边绕过去，或者在 bottom 层进行布线，如果两种方式均无法实现，也可以通过打孔的方式。打孔的操作方法是，在 Options 中选择需要打孔接通的两个层，然后再需要打孔的位置双击即可。布线时，要主义简洁、美观。

2. 推线

布线完成后，通过推线，使走线更加合理、美观。点击布线按钮旁边的推线



按钮，然后选择要美化的线，移动线至目标位置，右键完成，如图 37。



图 37. 推线

5.4 实验四、检查、添加标识符

(一) 检查

选择 Display----Status..., 进行检查，如图 38。图中如出现黄色，则表示 PCB 中有错误，双击黄色的正方形，会弹出错误报告，报告错误和位置。必须将所有错误一一改正，直至 Status 对话框中的提示颜色全部变成绿色。

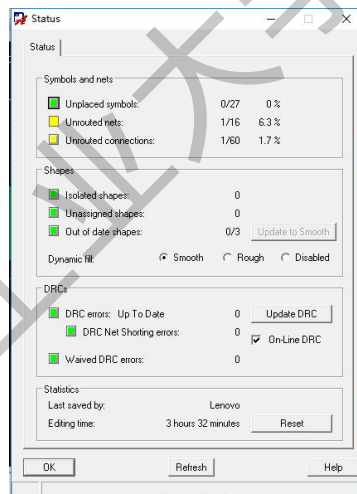


图 38. 检查 Status

(二) 添加装配标识

选择 Place---Manually..., 在 Advanced Setting 中勾选 Library, 在 Placement List 中, 分别在机械封装库 (Mechanical Symbols) 和格式封装库 (Format Symbols) 中, 依次添加三个定位点 (MTG125)、防静电、无铅、不可随意丢弃的标识符, 如图 39。

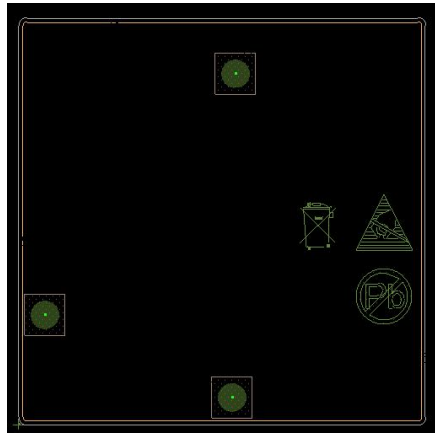


图 39. 装配标识