



目录



项目 1 电子产品制图与制板课程概述 /1

任务 1.1 课程学习概述	2	子任务 1.2.5 度量单位及关系	7
任务 1.2 PCB 基础知识介绍	2	子任务 1.2.6 PCB 中的板层及作用	7
子任务 1.2.1 印制电路板上的焊盘	3	任务 1.3 PCB 设计软件介绍	8
子任务 1.2.2 印制电路板上的导线	4	子任务 1.3.1 软件的种类	8
子任务 1.2.3 电路板的生产价格	5	子任务 1.3.2 Altium Designer 软件的发展	9
子任务 1.2.4 几个常用的基本概念	6	子任务 1.3.3 软件的安装、授权及简单基本操作	9



项目 2 三极管放大电路原理图设计 / 17

任务 2.1 认识工程 (项目) 及工作空间	18	任务 2.4 绘制原理图	22
任务 2.2 创建一个新工程	18	子任务 2.4.1 在原理图中放置元件	23
任务 2.3 创建一个新的原理图文件	19	子任务 2.4.2 连接电路	27
子任务 2.3.1 创建一个新的原理图图纸	19	子任务 2.4.3 网络与网络标记	28
子任务 2.3.2 将原理图文件添加到工程	20	子任务 2.4.4 设置工程 (项目) 属性	29
子任务 2.3.3 设置原理图图纸属性选项	21	任务 2.5 编译工程 (项目)	32
子任务 2.3.4 设置原理图图纸的通用参数	21		



项目 3 三极管放大电路单面板 PCB 设计 / 35

任务 3.1 PCB 设计流程	36	子任务 3.5.4 手动布线	50
任务 3.2 创建一个新的 PCB 文件	40	子任务 3.5.5 自动布线	52
任务 3.3 用封装管理器检查所有元件的封装	42	任务 3.6 验证设计	52
任务 3.4 导入设计	42	子任务 3.6.1 查找违反设计规则的原因	53
任务 3.5 印制电路板 (PCB) 设计	44	子任务 3.6.2 解决第一个错误	54
子任务 3.5.1 设置新的设计规则	44	子任务 3.6.3 解决第二个和第三个错误	57
子任务 3.5.2 在 PCB 中放置元件	49	任务 3.7 在 3D 模式下查看电路板设计	58
子任务 3.5.3 修改封装	50		



项目 4 原理图库元件设计 / 61

任务 4.1 原理图库、模型库和集成库的关系	62	子任务 4.6.2 从其他库中复制元件	76
任务 4.2 创建新的库文件包和原理图库	63	子任务 4.6.3 修改元件	77
子任务 4.2.1 新建一个集成库文件包和空白原理图库	63	任务 4.7 创建多部件原理图元件	79
子任务 4.2.1 认识原理图库元器件编辑器 (SCH Library) 面板	65	子任务 4.7.1 建立元件轮廓	80
任务 4.3 创建新的原理图元件	65	子任务 4.7.2 添加信号引脚	81
任务 4.4 设置原理图元件属性	69	子任务 4.7.3 建立元件其余部件	81
任务 4.5 为原理图元件添加模型	70	子任务 4.7.4 添加电源引脚	82
子任务 4.5.1 设置模型文件搜索路径	70	子任务 4.7.5 设置元件属性	82
子任务 4.5.2 添加原理图元件封装模型	71	任务 4.8 检查元件并生成报表	82
子任务 4.5.3 添加模型管理器为元件封装模型	73	子任务 4.8.1 元件规则检查器	83
任务 4.6 从其他库复制元件	75	子任务 4.8.2 元件报表	83
子任务 4.6.1 在原理图中查找元件	75	子任务 4.8.3 生成库报表	84



项目 5 元器件封装库创建 / 85

任务 5.1 认识元器件封装	86	子任务 5.3.2 为 PCB 封装添加三维模型	92
任务 5.2 建立 PCB 元器件封装	86	子任务 5.3.3 手工放置三维模型	93
子任务 5.2.1 建立一个新的 PCB 库	86	子任务 5.2.4 从其他来源添加封装	95
子任务 5.2.2 使用向导 (PCB Component Wizard) 创建封装	88	子任务 5.2.5 交互式创建三维模型	96
子任务 5.2.3 使用 IPC Footprint Wizard 创建封装	89	子任务 5.2.6 检查元器件封装并生成报表	98
子任务 5.2.4 手工创建封装	90	任务 5.3 创建集成库	100
任务 5.3 添加元器件的三维模型信息	92	任务 5.4 集成库的维护	102
子任务 5.3.1 为 PCB 封装添加高度属性	92	子任务 5.4.1 将集成库文件拆包	102
		子任务 5.4.2 集成库维护的注意事项	102



项目 6 原理图绘制的环境参数及设置方法 / 105

任务 6.1 原理图编辑的操作界面设置	106	字体设置	111
任务 6.2 图纸设置	107	子任务 6.4.2 图纸设计信息	111
子任务 6.2.1 图纸尺寸	107	任务 6.5 原理图图纸模板设计	113
子任务 6.2.2 图纸方向	109	子任务 6.5.1 创建原理图图纸模板	113
子任务 6.2.3 图纸颜色	110	子任务 6.5.2 原理图图纸模板文件的调用	116
任务 6.3 栅格 (Grids) 设置	110	任务 6.6 原理图工作环境设置	117
任务 6.4 其他设置	111	子任务 6.6.1 “General” 选项页设置	118
子任务 6.4.1 Document Options 中的系统		子任务 6.6.2 “Graphical Editing” 选项页设置	122

子任务 6.6.3 “Mouse Wheel Configuration” 选项页设置·····	124	子任务 6.6.6 “Break Wire” 选项页设置·····	127
子任务 6.6.4 “Compiler” 选项页设置·····	125	子任务 6.6.7 “Default Units” 选项页设置·····	128
子任务 6.6.5 “Grids” 选项页设置·····	126	子任务 6.6.8 “Default Primitives” 选项页 设置·····	128



项目 7 S51 单片机控制数码管显示电路原理图绘制 / 131

任务 7.1 数码管原理图的绘制·····	133	子任务 7.2.2 移动和拖动原理图对象·····	144
子任务 7.1.1 绘制原理图首先要做的工作·····	133	子任务 7.2.3 使用复制和粘贴·····	146
子任务 7.1.2 加载库文件·····	133	子任务 7.2.4 标注和重标注·····	147
子任务 7.1.3 放置元件·····	136	任务 7.3 原理图编辑的高级应用·····	147
子任务 7.1.4 放置导线·····	137	子任务 7.3.1 通过属性对话框编辑顶点·····	148
子任务 7.1.5 放置总线 and 总线分支·····	139	子任务 7.3.2 在“SCH Inspector”面板中 编辑对象·····	148
子任务 7.1.6 放置网络标号·····	140	子任务 7.3.3 在“SCH List”面板中编辑 对象·····	150
子任务 7.1.7 检查原理图·····	142	子任务 7.3.4 使用过滤器批量选择目标·····	150
任务 7.2 原理图对象的编辑·····	143		
子任务 7.2.1 对已有导线的编辑·····	143		



项目 8 PCB 板的编辑环境及参数设置 / 153

任务 8.1 Altium Designer 中的 PCB 设计 环境简介·····	154	子任务 8.2.8 “Mouse Wheel Configuration” 选项页·····	167
任务 8.2 PCB 编辑环境设置·····	156	子任务 8.2.9 “PCB Legacy 3D” 选项页·····	167
子任务 8.2.1 “General” 选项页·····	157	子任务 8.2.10 “Default” 选项页·····	168
子任务 8.2.2 “Display” 选项页·····	158	子任务 8.2.11 “Reports” 选项页·····	168
子任务 8.2.3 “Board Insight Display” 选项页·····	160	子任务 8.2.12 “Layer Colors” 选项页·····	169
子任务 8.2.4 “Board Insight Modes” 选项页·····	161	任务 8.3 PCB 板设置·····	169
子任务 8.2.5 “Board Insight Lens” 选项页·····	163	子任务 8.3.1 PCB 板层介绍·····	169
子任务 8.2.6 “Interactive Routing” 选项页·····	165	子任务 8.3.2 PCB 板层设置·····	170
子任务 8.2.7 “True Type Fonts” 选项页·····	167	子任务 8.3.3 PCB 板层及颜色设置·····	171



项目 9 S51 单片机控制数码管显示电路的 PCB 设计 / 175

任务 9.1 创建 PCB 板·····	176	子任务 9.3.3 SMD 规则类·····	185
子任务 9.1.1 新建 PCB 文档·····	176	子任务 9.3.4 Mask 规则类·····	186
子任务 9.1.2 设置 PCB 板·····	176	子任务 9.3.5 Plane 规则类·····	186
任务 9.2 PCB 板布局·····	177	子任务 9.3.6 Manufacturing 规则类·····	188
子任务 9.2.1 导入元件·····	177	任务 9.4 PCB 板布线·····	188
子任务 9.2.2 元件布局·····	179	子任务 9.4.1 自动布线·····	188
任务 9.3 设计规则介绍·····	181	子任务 9.4.2 调整布线·····	191
子任务 9.3.1 Electrical 规则类·····	181	子任务 9.4.3 验证 PCB 设计·····	193
子任务 9.3.2 Routing 规则类·····	182		



项目 10 交互式布线及 PCB 板设计技巧 / 199

任务 10.1 交互式布线·····	200	任务 10.5 PCB 板的设计技巧·····	211
子任务 10.1.1 放置走线·····	200	子任务 10.5.1 放置泪滴·····	211
子任务 10.1.2 连接飞线自动完成布线·····	201	子任务 10.5.2 放置过孔作为安装孔·····	213
子任务 10.1.3 处理布线冲突·····	202	子任务 10.5.3 布置多边形覆铜区域·····	214
子任务 10.1.4 布线中添加过孔和切换板层·····	204	子任务 10.5.4 放置尺寸标注·····	217
子任务 10.1.5 交互式布线中的线路长度调整·····	205	子任务 10.5.5 设置坐标原点·····	220
子任务 10.1.6 交互式布线中更改线路宽度·····	206	子任务 10.5.6 对象快速定位·····	220
任务 10.2 修改已布线的线路·····	209	任务 10.6 PCB 板的 3D 显示·····	221
任务 10.3 在多线轨布线中使用智能拖拽工具·····	210	任务 10.7 原理图信息与 PCB 板信息的一致性·····	224
任务 10.4 放置和会聚多线轨线路·····	210		



项目 11 智能输出文件 / 227

任务 11.1 输出 PDF 文件·····	228	子任务 11.2.2 输出 Gerber 文件·····	233
任务 11.2 生成 Gerber 文件·····	231	任务 11.3 创建 BOM·····	238
子任务 11.2.1 Gerber 文件简单介绍·····	231	任务 11.4 其他辅助输出文件·····	240



项目 12 PCB 生产及工艺 / 241

任务 12.1 PCB 各层可制造性的应用及介绍·····	242	子任务 12.1.2 导电路路的设计 (线路层)·····	246
子任务 12.1.1 过孔 (via) / 焊盘 (pad) 的设计 (钻孔层)·····	242	子任务 12.1.3 阻焊层的设计·····	247
		子任务 12.1.4 字符层的设计·····	248

子任务 12.1.5 外形层的设计	249	子任务 12.2.2 制板流程详解	253
任务 12.2 PCB 板生产工艺流程	252	任务 12.3 某企业多层板阻抗层压结构	262
子任务 12.2.1 PCB 生产制板全流程 概览	252	子任务 12.3.1 四层板阻抗层压结构	262
		子任务 12.3.2 六层板阻抗层压结构	264



项目 13 Altium 国际认证 / 267

任务 13.1 Altium Designer 国际认证机 考试题样题	268	子任务 13.3.1 原理图设计方面的试题节选	289
任务 13.2 国际认证机考试题解答过程	271	子任务 13.3.2 电路板设计方面的试题节选	289
任务 13.3 Altium Designer 国际认证题型客观试题	288	子任务 13.3.3 设计概念相关的试题节选	290
附录 1 Altium Designer 16 软件英汉对照翻译	292		
附录 2 Altium Designer 16 快捷键	292		
参考文献	293		



项目 1

电子产品制图与制板课程概述

知识目标 >

- 1 了解电子产品制图与制板研究的课程对象、内容及目标。
- 2 了解 PCB 行业中的基本概念。
- 3 了解制板行业中有关的软件及特点。
- 4 了解 Altium Designer 16 软件界面中的基本操作。

技能目标 >

- 1 学会 PCB 设计软件常用快捷键的使用。
- 2 学会 PCB 设计软件的安装与授权。

项目导读 >

本项目主要介绍电子产品制图与制板课程的应用对象，课程学习的主要方法、主要内容、主要目标、学完课程后的自我评估方法等相关的思路概述，以及与本课程相关的基本概念、设计软件的基本安装、软件授权、软件界面设置及环境参数设置的基本操作。读者在学习之前，如果对课程有个整体思路的了解，会对学习本门课程可以起到事半功倍的效果。本项目的内容结构如下：



任务 1.1 课程学习概述

电子产品制图与制板是一门实践性很强的应用技术课程。虽然国际上有很多种不同的课程名称，但是实际内容大同小异。主要目标是设计并制作出高性能、高可靠性的印制电路板（PCB）。

鉴于读者的时间是短暂且宝贵的，即使有足够的时间也不可能将每一种相似的软件都学一遍。

首先没有必要，每个软件需要大量的时间才能熟练掌握。最好选择一个最具有代表性的软件，集中时间和精力将这个软件贯通，达到熟练精通的程度。这样在使用其他的相似软件时，发现整个设计思路是相同的，只是一些名称或者菜单操作有些不同，这样很容易将原来熟悉的软件知识移植过来，并能快速掌握。

其次是在我们学习这些应用技术时，学习这些技术的整体设计思路比具体的内容更加重要，学习的知识只是为贯通整个设计技术的思路打通提供一个载体，这些知识是可以变的，也可能是过时的，但是设计开发思路是不会改变的。我们学习之前要先了解这门技术的设计对象是什么，要对它做什么，达到什么目标，为了达到这个目标要补充什么知识内容，以及如何评估自己的水平等。

最后我们选择一个载体（最具代表性的软件——Altium Designer 16），在学会对这个软件的基本操作之后，通过几个简单的应用案例来贯通整个设计思路。

电子产品制图与制板这门应用技术的核心设计思路用一句话概括就是：使用一个设计软件 Altium Designer 在一块覆铜板上设计规划出我们预定的元器件并组成具有特定功能的电子电路板。为了达成这个目标，需要绘制预定元器件的逻辑连接关系图，使其具有特定的功能，即原理图设计。同时，也需要将预定的元器件的大小、形状等带入到板上，以及对其在电子电路板上的摆放位置进行规划，这样才能将预定的元器件直接装在电路板上，即 PCB 设计。使用软件主要就是为了达成这两个任务。我们设计对象是覆铜板如图 1-1 所示，软件的学习内容及其关系如图 1-2 所示。



图 1-1 覆铜板

课程目标：使用 Altium Designer 16 一次性将任意的原理图绘制出来，并生产出达到预定要求的无错误的 PCB 板（即安装元器件后，通电调试直接成功的 PCB 板）。

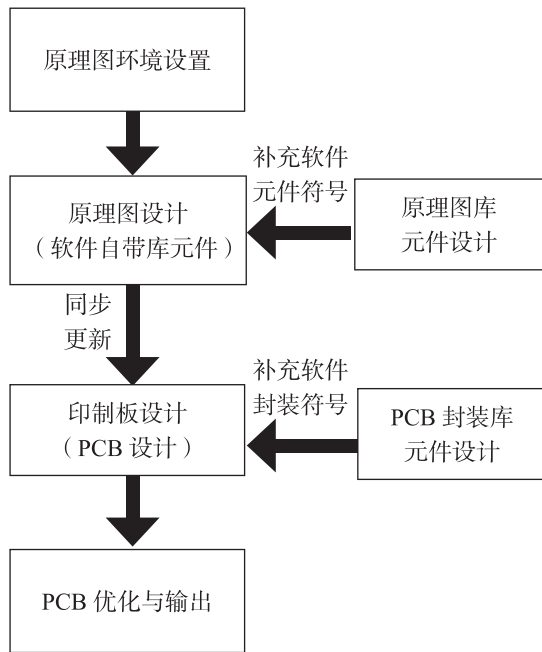


图 1-2 软件的学习内容及其关系

任务 1.2 PCB 基础知识介绍

印制电路板（Printed Circuit Board, PCB）也称印刷电路板，可简称印制板。印制电路板由绝缘基板、连接电路的铜箔导线和装配焊接电子元器件的焊盘组成，具有双重作用。它是整个电子产品的支

撑载体。绝大多数元器件都组装在上面，形成一个整体部件；它又是导电路径的一部分。印制板上的印制导线实现电路中各个元器件的电气连接，从而代替复杂的布线。印制板不仅减少了传统方式下的接线工作量，简化了电子产品的装配、焊接、调试工作，还缩小了整机体积，降低了产品成本，提高了电子设备的质量和可靠性。印制电路板采用标准化设计，有利于在生产过程中实现机械化和自动化，具有良好的产品一致性。它可以使整块经过装配调试的电路板作为一个备件，便于整机产品的互换与维修。由于以上优点，印制电路板已经极其广泛地应用在电子产品的生产制造中。

印制板设计是根据设计人员的意图将电路原理图转换成印制板图、选择材料和确定加工技术要求的过程。它包括选择印制板材质、确定整机结构；考虑电气、机械、元器件的安装方式、位置和尺寸；决定印制导线的宽度、间距和焊盘的直径、孔径；设计印制插头或连接器的结构；根据电路要求设计布线文件；准备印制板生产所必需的全部资料和数据。

在印制电路板设计的历程上，早年是人工设计，现在几乎完全采用计算机辅助设计。无论如何，印制电路板的设计都必须符合原理图的电气连接和产品电气性能、机械性能的要求。并要考虑印制板加工和电子产品装配工艺的基本要求。印制电路板的设计，应该符合国家标准和行业标准。

我国在印制板方面制定了很多标准，有国家标准、国家军用产品标准、电子行业标准、航天行业标准、航空行业和邮电行业标准等。由国家技术监督局颁发的 GB 4588.1~2《印制板技术条件》、GB 4677.1~11、GB 4825.1~2《印制板测试方法》和 GB 5489《印制板制图》等国家标准，现在已经多次升级改版。部分与国际标准接轨，主要是参照、采用 IEC 标准，部分参照、采用 IPC 标准或 NEMA 标准。

元器件在印制板上的固定，是通过将电极引脚焊接在焊盘上实现的。元器件彼此之间的电气连接依靠印制导线。下面介绍焊盘和导线。

子任务 1.2.1 印制电路板上的焊盘

元器件引脚通过焊盘上的插孔，用焊锡固定在印制板上。印制导线把焊盘连接起来，实现元器件在电路中的电气连接。

1. 插孔的直径

对于插装元器件，元器件引脚的插孔钻在焊盘中心。孔径应该比元器件引脚的直径略大一些，才能方便地插装元器件。但孔径也不能太大，否则在焊接时不仅用锡量多，还容易因为元器件的活动而造成虚焊，使焊接的机械强度变差。

假设插孔的直径为 D_0 ，元器件引脚的直径为 d_1 。 D_0 应比 d_1 大 0.2 mm 左右，即 $D_0 \approx d_1 + 0.2$ mm。统计数据与经验表明，两者直径差距 0.2 mm 左右是恰当的，如果差距减小（例如减小到 0.1 mm），将会使批量生产时插装元器件的速度降低；反之，如果差距加大（例如加大到 0.3 mm），将会使焊点强度降低，“虚焊”增多。

在同一块电路板上，孔径的尺寸规格应当少一些。优先采用 0.6 mm、0.8 mm、1.0 mm 和 1.2 mm 等尺寸。要尽可能避免异形插孔，以便降低加工成本。

为了保证双面板或多层板上金属化孔的生产质量，孔的直径一般要大于板厚的三分之一。否则，将会造成孔金属化工艺的困难，进而提高成本。

2. 焊盘的外径

(1) 在单面板上，焊盘的外径一般应当比引脚插孔的直径大 1.3 mm 以上。即如果焊盘的外径为

D, 引脚插孔的孔径为 d , 应有 $D \geq d+1.3 \text{ mm}$ 。在高密度的单面电路板上, 焊盘的最小直径可以是 $D_{\min} \geq d+1 \text{ mm}$ 。如果外径太小, 焊盘就容易在焊接时断裂或剥落; 但也不能太大, 否则焊接时需要延长焊接时间, 用锡量太多。并且影响印制板的布线密度。

(2) 在双面电路板上, 由于焊锡在金属化孔内也形成浸润, 提高了焊接的可靠性。所以焊盘直径可以比单面板的略小一些, 应有 $D_{\min} \geq 2d$ 。

子任务 1.2.2 印制电路板上的导线

1. 印制导线的宽度与载流能力的关系

大部分 PCB 的铜箔厚度为 $35 \mu\text{m}$, 乘上导线的宽度就是导线的截面积 (把单位换算成平方毫米)。铜导线的电流密度经验值为 $15\sim 25 \text{ A/mm}^2$, 但不能简单地把它乘上印制导线的截面积就得到承载电流的容量。

印制板上导线的载流能力取决于导线宽度、导线厚度 (铜箔厚度)、容许温升等因素。显然, PCB 走线越宽, 载流能力越大。同时还要考虑导线长度所产生的线电阻所引起的压降。

印制板上导线载流能力的计算一直缺乏权威的技术方法和公式, 经验丰富 CAD 工程师依靠经验能做出比较准确的判断, 一般 10 mil (0.254 mm) 线宽可以载流 1 A 。初学者可以参考该数据, 线宽 200 mil (5 mm), 载流为 7.0 A 。

2. 其他因素对印制导线宽度的影响

印制导线的宽度不仅由流过导线的电流来决定。铜箔与绝缘基板之间的黏附强度也是决定因素。并且, 线宽应该与整个板面及焊盘的大小相符合, 宽窄适度。有时候, 尽管电流很小, 导线也不要太细。因为还要考虑制板厂的加工质量和产品的工作可靠性。现在国内专业制板厂家的技术水平, 已经有能力保证线宽和间距在 8 mil (0.2 mm) 以下的高密度印制板的质量。

因此, 就一般电子产品而言, 导线的宽度选在 $20\sim 60 \text{ mil}$ ($0.5\sim 1.5 \text{ mm}$) 之间, 完全可以满足电路的要求。对于集成电路的信号线, 导线宽度可以设置在 20 mil 以下甚至 10 mil (0.25 mm)。只要板上的面积及线条密度允许。应该尽可能采用较宽的导线。特别是电源线、地线及大电流的信号线, 更要适当加大宽度, 达到 200 mil (5 mm) 甚至更宽也是可以的。

国内工程师的经验是, 当铜箔厚度为 $35 \mu\text{m}$ 时, 1 mm 宽的印制导线允许通过 1 A 电流。这可以作为初学者的依据: 导线宽度的毫米数即等于载荷电流的安培数。

3. 印制导线的间距

导线之间距离的确定, 应当考虑在最坏的工作条件下, 导线之间的要求。印制导线越短, 间距越大。则绝缘电阻按比例增加。实验证明。导线之间的距离在 60 mil (1.5 mm) 时, 绝缘电阻超过 $10 \text{ M}\Omega$, 允许的工作电压可达到 300 V 以上; 间距为 40 mil (1 mm) 时, 允许电压为 200 V 。现在, 电子产品的印制板普遍涂敷了阻焊层, 导线间实际绝缘电阻和击穿电压都更高了。

另外。如果两条导线间距很小, 信号传输时的串扰就会增加。所以, 为了保证产品的可靠性, 导线之间的距离以及导线与焊盘的间距通常采用 $40\sim 60 \text{ mil}$ ($1\sim 1.5 \text{ mm}$), 尽量争取不要小于 40 mil 。如果板面线条较密而布线困难, 只要绝缘电阻及工作电压允许, 导线间距也可以进一步减小, 甚至达到 10 mil (0.25 mm)。但这在业余条件下自制电路板就很难做到了。

4. 用“跳线”避免导线的交叉

印制板上同一层面的导线不允许交叉, 这是基本常识。但这对于双面电路板来说比较容易实现,

对于单面板就要困难很多。由于单面板的成本最低，所以简单电路应该尽量选择单面印制板的方案。在设计单面板时，有时会遇到导线绕不过去而不得不交叉的情况，可以用金属导线制成“跳线”跨越交叉点。不过，这种跨接线应该尽可能少。

注意

“跳线”也是一个独立的元件，在批量生产时，对“跳线”也要安排备料、整形、插装的工序和工时；在设计电路板时，必须为“跳线”安排板面上的位置、标注和焊盘，一般“跳线”的长度不得超过 25 mm。

5. 印制导线的走向与形状

(1) 印制导线的走向不能有急剧的拐弯和尖角，拐角不得小于 90° 。这是因为很小的内角在制板时难于腐蚀，而在过尖的外角处，铜箔容易剥离或翘起。最佳的拐弯形式是平缓的过渡。即拐角的内角和外角最好都是圆弧。

(2) 导线通过两个焊盘之间而不与它们连通的时候，应该与它们保持最大而相等的间距；同样，导线与导线之间的距离也应当均匀相等并且保持最大。

(3) 导线与焊盘连接处的过渡也要圆滑，避免出现小尖角。

(4) 焊盘之间导线的连接。当焊盘之间的中心距小于一个焊盘的外径 D 时，导线的宽度可以和焊盘的直径相同；如果焊盘之间的中心距比 D 大时。则应减小导线的宽度；如果一条导线上有三个以上焊盘，它们之间的距离应该大于 $2D$ 。

子任务 1.2.3 电路板的生产价格

由于电路板的设计不同，价格会根据电路板材料、电路板的层数、电路板的尺寸、每次生产的数量、生产的工艺、最小的线宽线距、最小的孔径以及孔的数量、特殊工艺等要求来决定。行业内主要有以下两种方式来计算价格。

1. 按尺寸计算价格（适用于小批量生产）

生产商会根据电路板的不同层数、不同的工艺给出每平方厘米的单价。客户只需要把电路板的尺寸换成厘米然后乘以每平方厘米单价就能得出所要生产的电路板的单价。这种计算方式对于普通工艺的电路板来说是很适用的，既方便生产商也方便采购商。以下是举例说明：

例如，某生产厂定价单面板，FR-4 材料，10~20 平方米的订单，单价为 0.04 元 / 平方厘米，这时如果采购商的电路板尺寸是 10×10 cm，生产的数量是 1 000~2 000 块，就刚好符合这个标准，单价就等于 $10 \times 10 \times 0.04 = 4$ 元。

2. 按成本精细化计算价格（适用于大批量生产）

因为电路板的原材料是覆铜板，生产覆铜板的工厂定了一些固定的尺寸在市场上销售。常见的 6 种覆铜板规格分别是： $915 \text{ mm} \times 1220 \text{ mm}$ ($36'' \times 48''$)、 $940 \text{ mm} \times 1245 \text{ mm}$ ($37'' \times 49''$)、 $1020 \text{ mm} \times 1220 \text{ mm}$ ($40'' \times 48''$)、 $1042 \text{ mm} \times 1245 \text{ mm}$ ($41'' \times 49''$)、 $1067 \text{ mm} \times 1220 \text{ mm}$ ($42'' \times 48''$) 和 $1093 \text{ mm} \times 1245 \text{ mm}$ ($43'' \times 49''$)。生产商会根据所要生产的电路板材料、层数、工艺、数量等参数计算出此批电路板的覆铜板利用率，从而算出材料成本。以生产一块 $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 的电路板为例，工厂为了提高生产效率，可能会拼成的大块板来生产。这其中还需要加一些间距和板边用于方便生产，一般锣

板的间距留 2 mm，板边留 8~20 mm，然后将形成的大块板按原材料的尺寸来切割，这里如果刚好切割，没有什么多余的板，就是利用率最大化。算出利用率只是其中的一步，还要算钻孔费，看看有多少个孔，以及最小的孔多大。一张大板有多少个孔，还要根据板子里的走线来算出电镀铜的成本等每个小工艺的成本，最后加上每个公司平均的人工费、损耗率、利润率、营销费用，最后把总的费用除以一大块原材料里能生产的小板数得出小板的单价。这个过程非常复杂，需要有专人来做，一般报价都要几个小时以上。

子任务 1.2.4 几个常用的基本概念

1. 集成库

集成库 (.IntLib 文件) 是将原理图库文件 (.SchLib)、PCB 库文件 (.PcbLib)、SPICE 模型库文件 (.ckt 和 .mdl 文件)、信号完整性模型文件以及 PCB 3D 模型文件全部组合在一起，从而形成的一种集成式库文件。

2. 电子元件符号

电子元件符号就是将实际的电子元器件抽象出来，使用特定的符号来表征独特功能的记号。元器件实物如图 1-3 所示。

3. 电路原理图

电路原理图是说明电路中各个元器件的电气连接关系的图纸，它不涉及元器件的具体大小，形状，而只关心元器件的类型以及它们相互之间的连接情况，如图 1-4 所示。

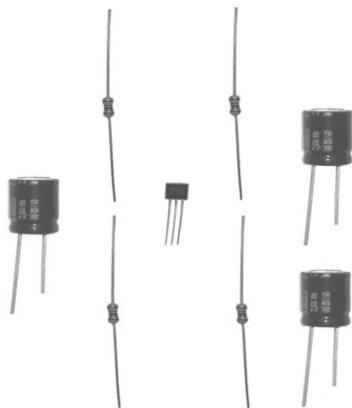


图 1-3 元器件实物

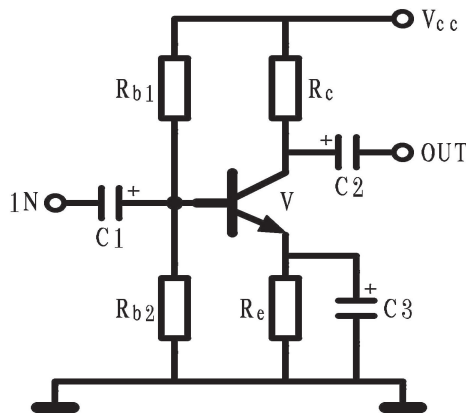


图 1-4 电路原理图

4. 元器件的封装

元器件的封装是指实际元器件焊接到电路板时所指示的外观和焊点的位置，是纯粹的空间概念。不同的元器件可共用同一个元器件的封装，同种元器件也可有不同的封装。这里特别注意的是，当元器件的种类比较多，引脚名称一定要和实际名称对应，否则就会出错。例如三极管种类很多，有 1 脚是 E、2 脚是 B、3 脚是 C 的三极管，也有 1 脚是 E、2 脚是 C、3 脚是 B 的三极管，这时不管你实际使用什么封装，一定要将元器件的封装改成与实际引脚名称一样才行。而且，原理图中的引脚名也要与实际一致。

5. 印制电路板

印制电路板是用来安装固定各个实际电路元器件并利用铜箔走线实现其正确连接关系的一块基板，如图 1-5 所示。

子任务 1.2.5 度量单位及关系

在 Altium Designer 的软件环境里，经常会使用两种长度单位，分别是英制单位 (Imperial) 和公制单位 (Metric)。设计时经常需要两种单位之间切换，切换的办法很简单，就是在英文输入法下按字母键 Q。

英制单位中常见的有英里 (mile)、码 (yard)、英尺 (foot)、英寸 (inch)、密尔 (mil) 等， $1 \text{ inch}=1\ 000 \text{ mil}$ 。

公制单位中常见的有公尺 (即米 metre)、分米、厘米、毫米、微米、纳米等， $1 \text{ metre}=1\ 000 \text{ mm}$ 。

两种单位之间的关系，我们分别以英制单位中的密尔 (mil) 和公制单位中的毫米 (mm) 来换算。因为在 Altium Designer 软件中就是以密尔作为英制单位的默认单位，以毫米作为公制单位的默认单位。 $1 \text{ inch}=25.4 \text{ mm}$ ，所以可以得到 1 mm 约等于 40 mil 。现在的制板工艺可以制成 4 mil 的导线宽度和 4 mil 的最小间距。

子任务 1.2.6 PCB 中的板层及作用

PCB 设计完成后，设计文件是一个很多层的复合体。由于各层的作用不同，生产加工的工艺也不同，我们最后要将 PCB 设计文件分成各个独立的层，生产企业才能分别对每个独立的层进行加工生产。软件自带分层的功能，就是创建生产输出文件——Gerber Files，这样生产企业就会针对每一层进行加工生产。可以将这些层大致分为两类：信号层和非信号层。信号层就是上面有铜膜作为电介质，能传递电流的层。非信号层主要是辅助信号层的层。PCB 的各层名称及描述如下：

- (1) Toplayer (顶层布线层)。设计为顶层铜箔走线，如为单面板则没有该层。
- (2) Bottom Layer (底层布线层)。设计为底层铜箔走线。
- (3) Top/ Bottom Solder (顶层 / 底层阻焊绿油层)。为顶层 / 底层敷设阻焊绿油，以防止铜箔上锡，保持绝缘。在焊盘、过孔及本层非电气走线处阻焊绿油开窗。焊盘在设计中默认会开窗，即焊盘露铜箔，外扩 0.1016 mm ，波峰焊时会锡。建议不做设计变动，以保证可焊性；过孔在设计中默认会开窗，即过孔露铜箔，外扩 0.1016 mm ，波峰焊时会锡。如果设计时要防止过孔上锡，则必须将过孔的附加属性 Solder Mask (阻焊开窗) 中的 Pating 选项选中，关闭过孔开窗。另外本层也可单独进行非电气走线，即阻焊绿油相应开窗。如果是在铜箔走线上面，则用于增强走线过电流能力，焊接时加锡处理；如果是在非铜箔走线上面，一般设计用于做标识和特殊字符丝印，可省掉制作字符丝印层。
- (4) Top/Bottom paste (顶层 / 底层锡膏层)。该层一般用于贴片元件的 SMT 回流焊接过程中上锡膏，和印制板厂家制板没有关系，导出 Gerber 时可删除，PCB 设计时保持默认即可。
- (5) Top/Bottom Overlay (顶层 / 底层丝印层)。设计为各种丝印标识，如元件位号、字符、商标等。

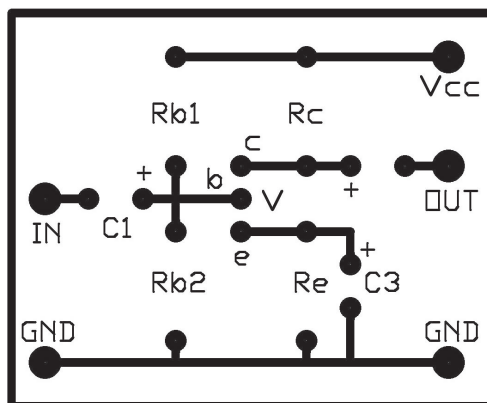


图 1-5 印制电路板图

(6) Mechanical Layer (机械层)。设计为 PCB 机械外形，默认 Layer 1 为外形层。其他 Layer 2/3/4 等可作为机械尺寸标注或者特殊用途。如某些板子需要制作导电碳油时可以使用 Layer 2/3/4 等，但是必须在同层标识清楚该层的用途。

(7) Keep-Out Layer (禁止布线层)。设计为禁止布线层，很多设计师也用作 PCB 机械外形，如果 PCB 上同时有 Keep-Out Layer 和 Mechanical Layer1，则主要看这两层的外形完整度，一般以 Mechanical Layer1 为准。建议设计时尽量使用 Mechanical Layer1 作为外形层，如果使用 Keep-Out Layer 作为外形，则不要再使用 Mechanical layer1，避免混淆！

(8) Mid Layer (中间信号层)。多用于多层板，设计时较少使用。也可作为特殊用途层，但是必须在同层标识清楚该层的用途。

(9) Internal Plane (内电层)。用于四层板及以上多层板，主要为电源层和地层，为负片图形。

(10) Multi-Layer (多层)。主要给通孔焊盘使用。

(11) Drill Guide (钻孔定位层)。焊盘及过孔的钻孔的中心定位坐标层。

(12) Drill Drawing (钻孔描述层)。焊盘及过孔的钻孔孔径尺寸描述层。

任务 1.3 PCB 设计软件介绍

子任务 1.3.1 软件的种类

(1) Altium Designer (以前叫 Protel)。在国内 Altium Designer 软件较易买到，有关 Altium Designer 软件和使用说明的书也有很多，这为它的普及提供了基础。想更多地了解 Altium Designer 的软件功能可以下载 Altium Designer 的试用版，可以在 Altium Designer 公司的网站上下载，且针对学生有试用期较长的许可提供。

(2) ORCAD。ORCAD Capture (以下以 Capture 代称) 是一款基于 Windows 操作环境下的电路设计工具。利用 Capture 软件，能够实现绘制电路原理图并为制作 PCB 和可编程的逻辑设计提供连续性的仿真信息。

(3) PowerPCB。PowerPCB 前身叫 PadsPCB，是一款用于设计及制作印制电路板底片的软件，与 Power Logic 配合使用，支持多款电子零件，如电阻、电容，以及多款 IC chip。PowerPCB 与 PSpice 不同，后者可模拟线路特性，而前者不能。

(4) PADS。PADS 是一款制作 PCB 板的软件。PADS 包括 PADS Logic、PADS Layout 和 PADS Router。PADS Layout (PowerPCB) 提供了与其他 PCB 设计软件、CAM 加工软件、机械设计软件的接口，方便了不同设计环境下的数据转换和传递工作。

(5) Cadence。Cadence Allegro 系统互连平台能够跨集成电路、封装和 PCB 协同设计高性能互连。应用平台的协同设计方法，工程师可以迅速优化 I/O 缓冲器和跨集成电路、封装、PCB 之间的系统互联。此方法能避免硬件返工并降低硬件成本和缩短设计周期。约束驱动的 Allegro 流程包括高级功能，用于设计捕捉、信号完整性和物理实现。由于它还得到 Cadence Encounter 与 Virtuoso 平台的支持，Allegro 协同设计方法使得高效的设计链协同成为现实。

(6) EAGLE。EAGLE PCB 软件包由 CadSoft Computer 公司开发，到如今已经有超过 20 年的历史了。它的总部在德国的 CadSoft，此软件有着非常大的用户基数，这其中包括一些业余爱好者、

专业人员和一些全球跨国公司，这些跨国公司包括 3M、AT&T、BMW、Daimler Chrysler、Hewlett Packard、IBM 等。易应用图形布局编辑器（Easily Applicable Graphical Layout Editor, EAGLE）是一款低价格、界面丰富、人性化、易于学习和使用且功能强大的原理图和 PCB 设计工具。它有很多高级功能，例如在线正反向标注功能、批处理命令执行脚本文件、覆铜以及交互跟随布线器等功能。原理图最多支持 999 个页面，PCB 最大绘图尺寸 1.6 m×1.6 m（约 64×64 英寸），最大 255 个绘图层，最多支持 16 个信号层、14 个电源层（支持用户自定义排序），PCB 绘图分辨率 1/10000 毫米（0.1 微米），支持所有的 SMD，盲孔、埋孔线路可绘制成任意半径的圆形转角，用于数据输入和输出的类 C 用户语言以及自定义命令，对 PCB 布线时支持信号线路动态计算，布线网格宽度最低至 0.8 mil（0.02 毫米），针对电路板进行设计规则检查，通过 CAM 处理程序为绘图仪和钻孔机提供制造数据。

子任务 1.3.2 Altium Designer 软件的发展

由于 PCB 的设计软件种类较多，而且各有特点。根据软件的历史延续性和软件的普适性，我们选择 Altium 公司的设计软件 Altium Designer 16（AD16）为代表进行学习。Altium Designer 是一个功能强大的通用电路板设计软件，其发展历程如下。

Protel 公司成立于 1985 年，2001 年更名为 Altium，主要产品是 PCB 设计的 EDA 平台。1988 年，美国 ACCEL Technologies 公司推出 TANGO 电路板设计软件，这是第一个用于电路板设计的软件。1991 年，Protel 公司推出 Protel FOR Windows 1.0。1997 年推出 Protel 98，实现了原理图、布局、布线、仿真等功能的综合，1999 年推出了 Protel 99、Protel 99SE。

Protel 99SE 是一个经典版本，至今很多公司都还在使用。2001 年，Protel 公司改名为 Altium 公司。2002 年发布 Protel DXP，2005 年推出 Altium Designer 6.0，2009 年推出 Altium Designer Summer09，2011 年推出 Altium Designer 10。此版本相对于 Protel 99SE 在很多方面有了改进，使用更方便。此后，基本上每年年底都会更新，而且会以年份的后两位数字作为版本号，例如，Altium Designer 16 指的就是 2016 年更新版本。Altium 软件在中国的市场占有率很广，有 73% 的工程师和 80% 的电子工程相关专业在校学生正在使用此软件，Altium Designer 已成为国内电子电路设计人员必须掌握的基础工具之一。

子任务 1.3.3 软件的安装、授权及简单基本操作

1. 软件的安装及授权

Altium 公司针对中国的高等学校的在校学生提供免费试用，可以到公司网站免费注册一个账号，注册时要准确填写所在学校及专业的信息。注册后公司会审核学生身份，审核通过后会发一个授权的试用账号及密码，使用该账号登录公司主页下载正规的软件，安装完后再添加授权文件就可以正常使用了，这个软件每个大学生在校期间都可以正常使用，试用期较长。接下来就将软件安装授权过程简单介绍一下。

（1）公司在收到申请并审核通过后，会通过注册时的邮箱发送一个邮件给申请者，邮件内容如图 1-6 所示。

James.Y您好,

感谢您提交Altium Designer Viewer许可证免费试用6个月的申请。请遵循以下步骤激活您的许可证:

1. 下载Altium Designer安装程序
2. 使用以下用户名及密码安装Altium Designer

用户名:	vieweruser@altium.com
密码:	1iavoaph

3. 下载Altium Designer Viewer许可证文件, 将其保存在本地
4. 运行Altium Designer, 通过点击DXP > My Account进入My Account页面
5. 点击Add standalone license, 并选择添加您保存在本地的许可证文件。
6. 扫描二维码或添加Altium微信公众平台账号AltiumChina了解免费培训信息和产品咨询。

全部设置完成! 现在您的整个设计团队都可以在一个安全、只读的格式下浏览、打印、交互查询您的设计文件。

非常感谢您对Altium Designer Viewer的支持。

Altium电子设计团队

Altium LLC, 4225 Executive Square, Suite 700, La Jolla, California 92037, United States. Copyright © 2017 Altium LLC. Altium®, Altium Designer®, Altium Vault®, Autotrax®, Camtastio®, CircuitMaker®, CircuitStudio®, Codemaker™, Common Parts Library™, Draftsman®, DXP™, Easytrax®, LiveDesign®, NanoBoard®, Octomyze®, Octopart®, PCBWORKS®, P-CAD®, Protei®, TASKING® and their respective logos are trademarks or registered trademarks of Altium Limited or its subsidiaries. All other registered or unregistered trademarks referenced herein are the property of their respective owners and no trademark rights to the same are claimed.



Altium中国市场部

图 1-6 邮件内容

(2) 在使用该用户名和密码登录后, 就可到公司的主页上下载两个文件, 如图 1-7 所示。

Altium Designer Viewer License YVKX-LZDT R10.alf	2019/12/15 13:57	ALF 文件	2 KB
AltiumDesignerSetup_20_0_9.exe	2019/12/15 14:01	应用程序	24,269 KB

图 1-7 下载安装文件

(3) 打开 AltiumDesignerSetup_20_0_9.exe 文件开始联网安装, 安装界面如图 1-8 所示。基本上只需要一路单击“Next”就行, 但是中间需要输入授权的账号名及密码, 如图 1-9 所示。只有验证通过后才能继续安装, 否则安装就会停止并退出。

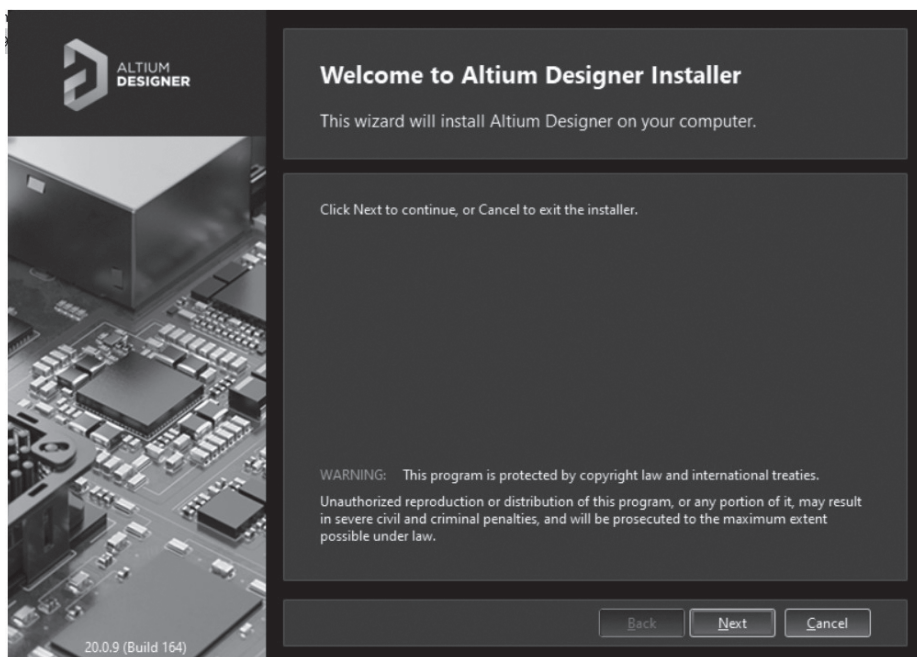


图 1-8 安装界面

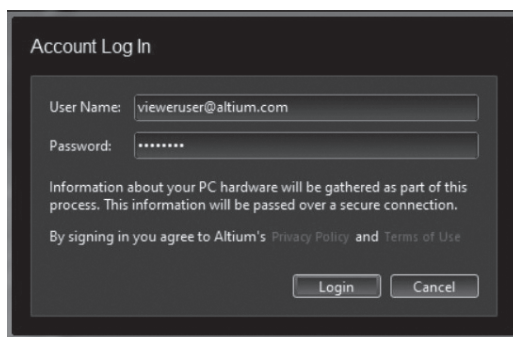


图 1-9 授权的账号名及密码

(4) 安装完成之后，会弹出一个对话框，直接单击“Finish”按钮结束安装即可。软件会自动启动，启动界面如图 1-10 所示。

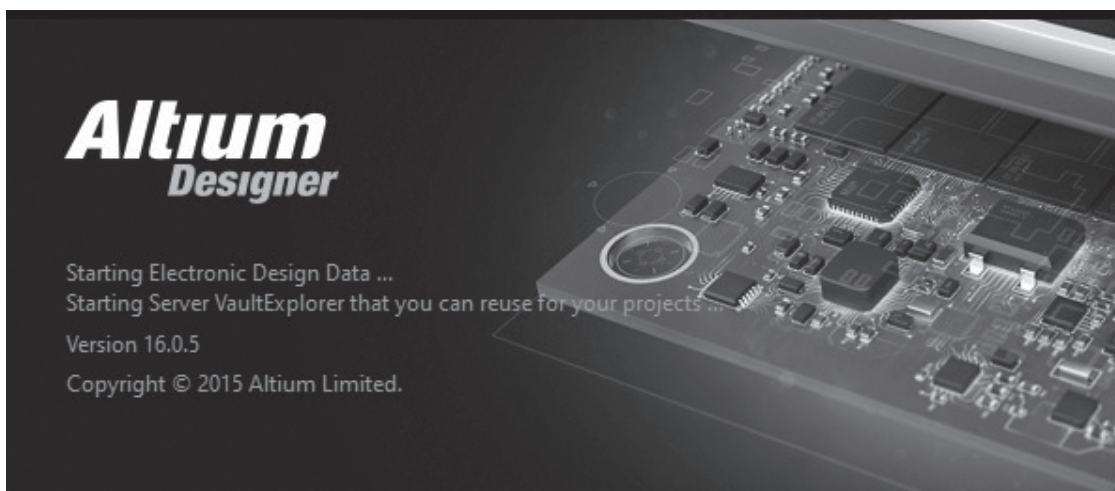


图 1-10 启动界面

(5) 等待一段时间后，进入到软件 Home 界面，如图 1-11 所示。如果是申请成功的用户，就会有一个授权文件，如图 1-12 所示。

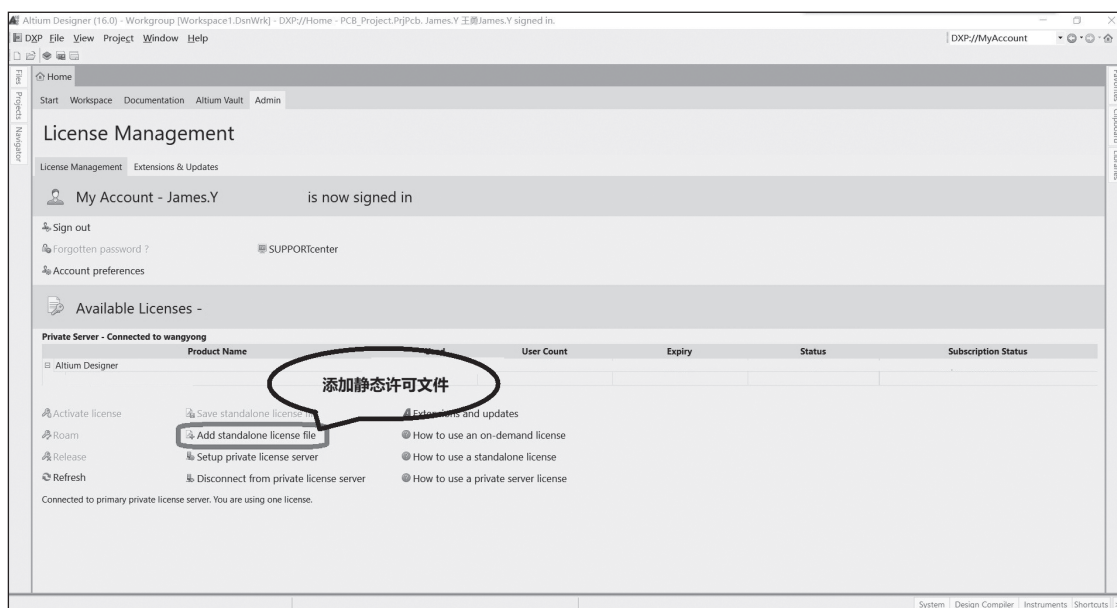


图 1-11 软件 Home 界面



图 1-12 授权文件

(6) 单击图 1-11 所示的框内文字，进行静态许可文件的安装，单击后就会出现图 1-13 所示的界面。

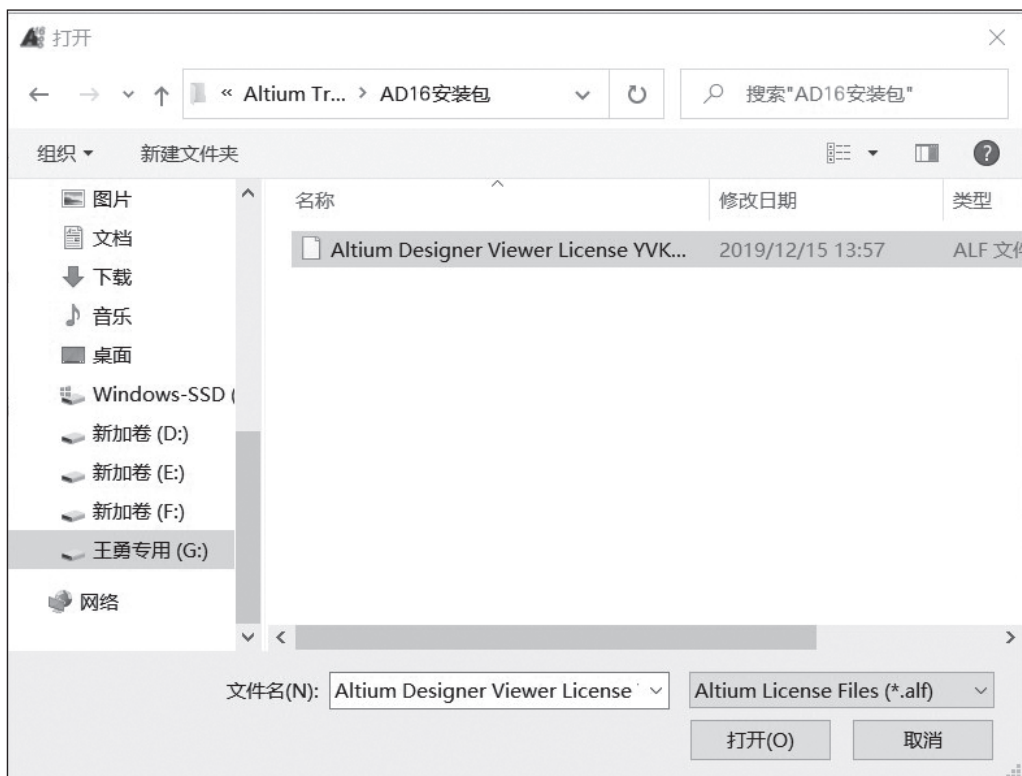


图 1-13 查找静态授权文件路径

(7) 找到先前下载的静态授权文件，该文件的扩展名为 .ALF，打开即可。授权后界面如图 1-14 所示。

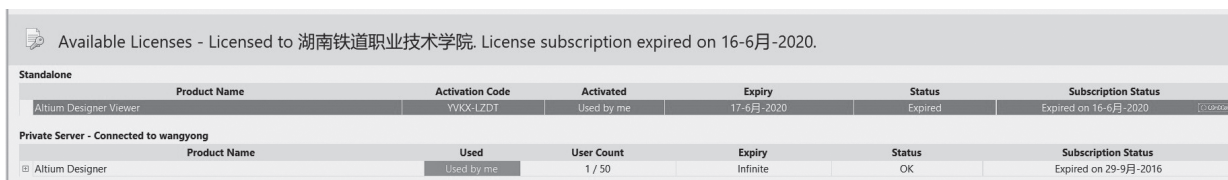


图 1-14 授权后界面

(8) 单击主界面左下方的“Activate license”按钮，对刚打开的文件进行激活，激活后在 Available License 后面就会有许可名称。

上面是对个人申请到正式的静态许可文件后的授权引导，如果需要在学校的机房电脑上课，由于学校使用的是正版的 Altium Designer 16，使用的是网络服务器版的授权，所以也需要简单介绍网络服务器授权过程，不然在教学过程中，学生没有办法正常使用电脑。网络版授权，只需要在教师机安装一个网络授权的专用程序就可以。有两种网络授权服务应用程序，如图 1-15 和图 1-16 所示。这两个应用程序都可以对学生机进行网络授权，它们在功能上完全相同，对 AD16 都可以正常授权，我们选择图 1-15 所示的应用程序进行安装。安装完后也需要授权激活，但是教师机只需要一次，且设置下次开机自动登录即可。不过教师机需要联网，与公司主服务器需要定时验校许可。



PLS_14.0.0.34.exe



Altium Infrastructure Server 1.0.1.61.exe

图 1-15 网络授权应用程序 1

图 1-16 网络授权应用程序 2

学生机由于装载自动还原系统板卡，每次开机需要与教师机进行一次网络授权，不需外网也可，但需要连接到教师机所在的局域网。否则，学生无法正常授权使用。现将学生机网络授权过程讲述如下：

(1) 安装过程与个人安装是一样的，因为机房电脑已经装好，学生不需要再次安装，单击图 1-17 所示授权后，弹出图 1-18 所示界面。

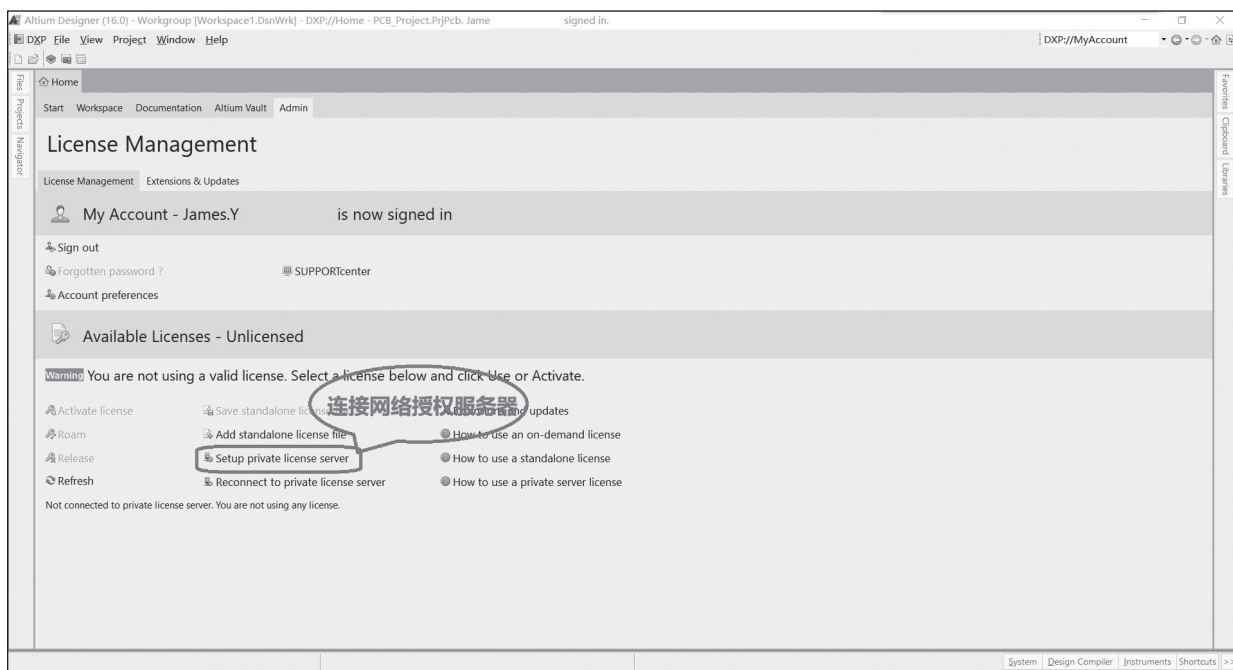


图 1-17 网络授权 Home 界面

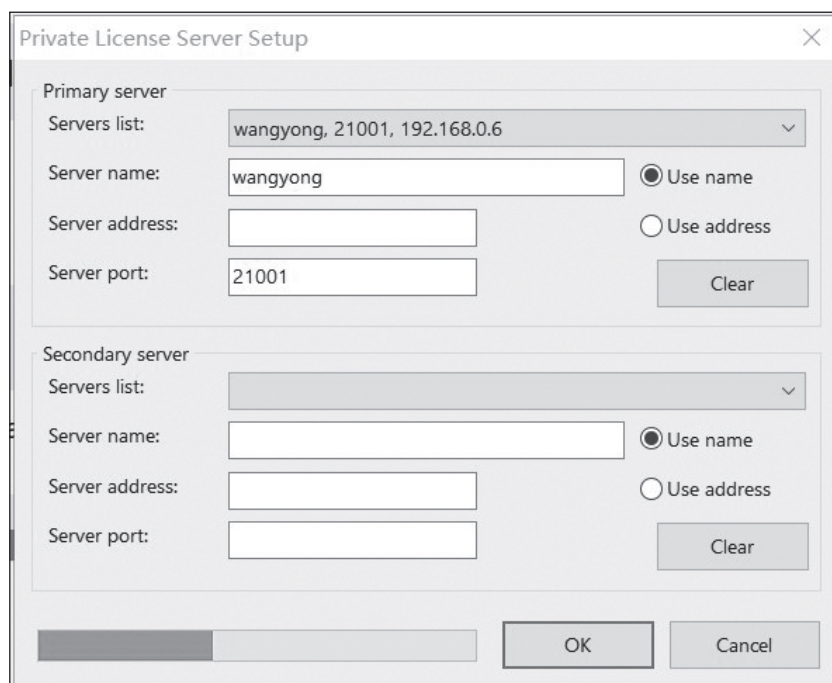


图 1-18 网络服务器授权界面

(2) 在此界面中, 一般正常情况下是自动连接上的, 如果不能自动连接, 只需将教师机服务器 Primary Server 中的 Server name 或者 Server address 和 Server port 设置为教师机的电脑名称或者 IP 地址与端口固定号 21001 就行, 然后单击“OK”按钮就成功链接教师机服务器。激活许可后可在学生机电脑端可以直接看到 licensed to XXXX、授权给机构的名称及时间段。此时, 软件正式安装授权成功, 可以正常使用了, 授权成功后的 Home 界面如图 1-19 所示。

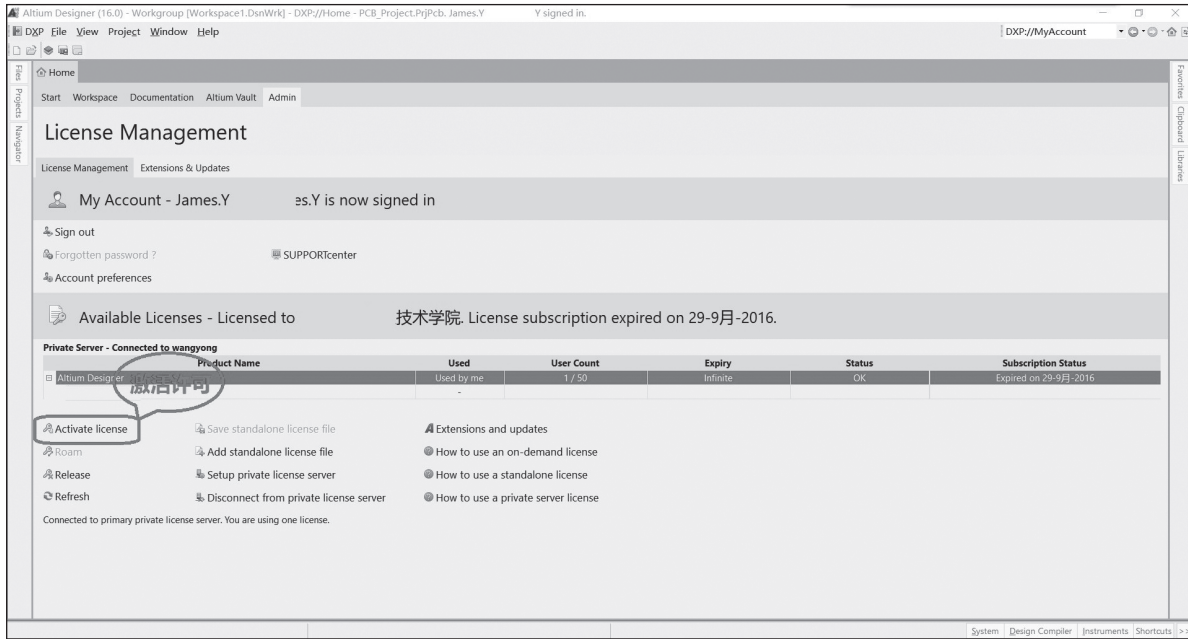


图 1-19 授权成功后的 Home 界面

2. 软件主界面的认识与基本操作

在软件授权成功后, 软件界面主菜单中的各级都可以正常使用了。在没有打开工程之前, 主菜单栏

DXP File View Project Window Help、工具栏会随着操作界面的变化而自动变化。主界面如图 1-20 所示。

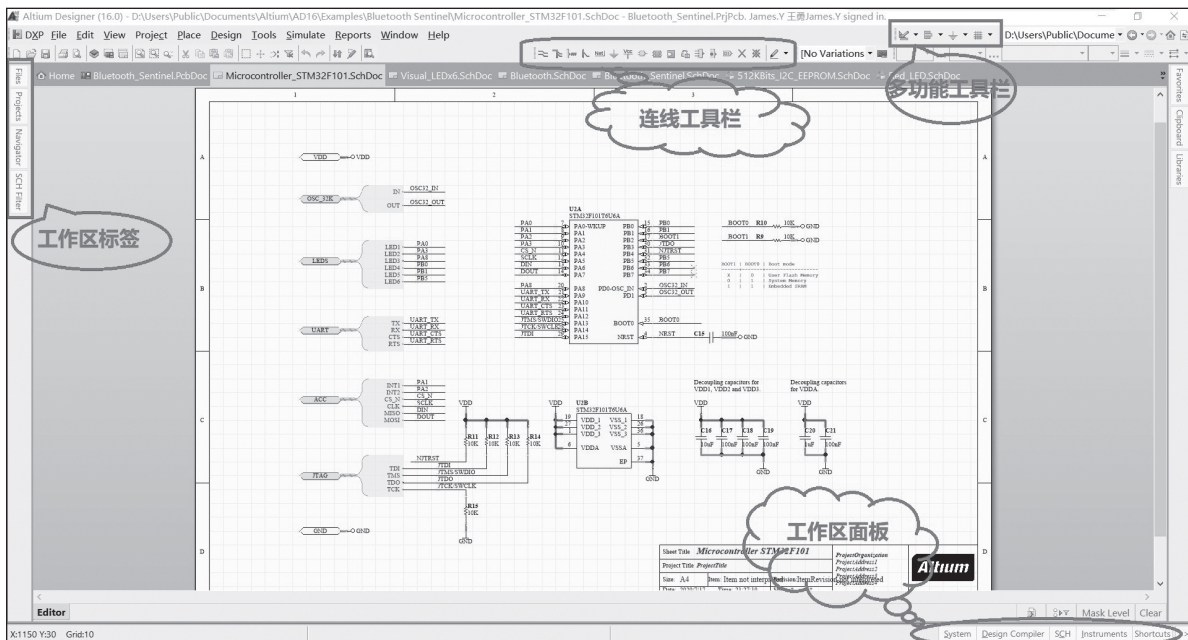


图 1-20 主界面

Altium Designer 16 中的文件以项目式进行管理，与 PCB 设计相关的文件类型有 *.PrjPCB（工程项目文件）、*.SchDoc（原理图文件）、*.PcbDoc（PCB 电路板文件）、*.SchLib（原理图元件库文件）、*.PcbLib（PCB 封装库文件）、*.IntLib（集成库，既有原理图元件库文件也有封装库文件）。在设计前，需要创建以工程项目命名的文件夹。将这些与该工程有关的文件全部保存在该文件夹内，文件是否保存在同一个文件夹内，在该工程项目管理器的树形结构图标中可以看出。如果文件在该项目文件夹内，文件图标上无任何多余标记。如果不保存在该项目文件夹内，那么就会在文件图标上有一个小标记，如图 1-21 所示。其中的原理图是保存在项目文件夹内的，所以无任何标记，而 PCB 是没有保存在该项目文件夹内的，所以 PCB 文件的图标上有个小标记。对于有标记的文件，如果直接递交文件夹的话，文件就会丢失，因为该文件不在项目文件夹内，无法递交，就丢失了。

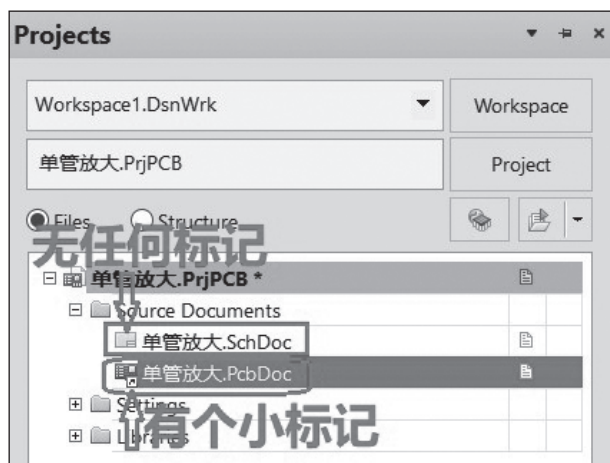


图 1-21 项目中文档的保存

由于该软件是由加拿大的公司设计的，软件的操作语言是英文。虽然可以使用本地化设置来对其汉化，但是这样设置的后果就是不利于相似软件的移植。因为这类的设计软件基本都是国外设计的，都是英文界面，所以我们尽量使用英文菜单来操作与教学。为了提高大家快速查找相关菜单及操作中中英文翻译的问题，编者将该软件中几乎所有可能碰到的英文翻译成了英汉对照表，做成附录一收集在书后二维码中，供大家及时查阅。在主界面的菜单中，都有一个字母下面带有下划线，表示该字母在英文状态下是热键字母，即直接在键盘上按对应字母就可以操作该菜单，将该菜单直接下拉。这样设计的效果就是左手可以控制键盘，右手使用鼠标，这样左右手全部可以参与工作，从而提高工作效率。其实不单纯是在主菜单中，每级菜单中都有热键字母，常用的快捷键操作归类到附录二内，可以到附录二中参考。

3. 原理图编辑基础

表 1-1 所示的快捷键对熟悉工作区的视图（View）菜单提供了一个非常有用的选择。当执行命令时，这些快捷键也可以同时被使用。

表 1-1 快捷键及其功能

快捷键	功能
End	刷新设计窗口
Page Down	放大鼠标光标处
Page Up	缩小鼠标光标处

续表

快捷键	功能
Ctrl+Page Down	显示所有目标
Home	以鼠标光标点为中心显示窗口
Space Bar	停止刷屏
Arrow Keys	按箭头方向移动鼠标光标一个最小间隙栅格
Shift+Arrow Key	按箭头方向移动鼠标光标十个最小间隙栅格

在设计文档中，鼠标滚轮也可以被用作平移和缩放。

(1) 平移。向上滚动界面则向上平移，向下滚动则向下平移；按住 Shift 键同时向下滚动界面会向右平移；按住 Shift 键同时向上滚动界面会向左平移。

(2) 放大。按住 Ctrl 键同时向上滚动，界面会放大。

(3) 缩小。按住 Ctrl 键同时向下滚动，界面会缩小。

鼠标操作及其功能如表 1-2 所示，这些鼠标操作广泛使用在原理图编辑器上和菜单命令之中。

表 1-2 鼠标操作及其功能

鼠标操作	功能
Click-and-Hold on Object	移动物体
Ctrl+Click on Object	保持连接的移动物体，按空格键可以改变连线模式
Double-Click on Object	编辑一个物体的属性
Left-Click	等同回车键
Right-Click	等同 Esc 键取消

当把鼠标放在对象上时，可以使用以下快捷方式。

(1) 空格键。对所选对象执行旋转操作。

(2) X 键。对所选对象执行垂直翻转操作。

(3) Y 键。对所选对象执行水平翻转操作。

巩固练习

1. 独立完成 Altium Designer 16 的安装及授权。
2. 什么是印制电路板 (PCB) ?
3. 什么是元器件的封装? 常见的封装有哪些?
4. PCB 中的层有哪些, 分别有什么作用?
5. 电子产品制图与制板常用的软件有哪些?
6. AD16 中常用的长度单位有哪些, 它们之间的关系是什么?