

视频
教学

从零开始学

Altium Designer

电路设计与PCB制板

周新 主编

设计基础

操作技巧

布线布局

PCB制作

仿真实例



化学工业出版社



从零开始学

Altium Designer

电路设计与PCB制板

周新 主编



化学工业出版社

·北京·

本书采用图文与视频相结合的方式，在介绍 PCB 基本设计、制作流程的基础上，通过实例展示，结合 Altium Designer 的使用，详细讲解从电路原理图直至成功生成印制电路板图、打样制作的全部过程和细节、技巧。本书主要内容包括 Altium Designer 元件库开发与设计，原理图及 PCB 设计，Altium Designer PCB 封装库设计，绘制 PCB 板的关键所在——布局与布线设计，PCB 板 DRC 校验、生产输出，二层 PCB 板设计实例，四层 PCB 板设计实例，实际电路板的设计、制作、打样案例等，不仅适合 Altium Designer 电路设计自学者快速入门，还可满足电子发烧友自己制作 PCB 的需要，快速上手制作出满足各种实际需要的 PCB。书中案例均配套视频讲解，扫描书中二维码即可观看视频详细学习，如同老师亲临指导。

本书可供电子技术人员、电路设计人员、电子爱好者以及电气维修人员阅读，也可供相关专业的院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

从零开始学 Altium Designer 电路设计与 PCB 制板 / 周新
主编. —北京：化学工业出版社，2019.11

ISBN 978-7-122-35258-3

I . ①从… II . ①周… 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 (2019) 第 211426 号

责任编辑：刘丽宏
责任校对：王 静

文字编辑：陈 喆
装帧设计：刘丽华

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：大厂聚鑫印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张21½ 字数536千字 2020年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询：010-64518888 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：79.80元

版权所有 违者必究

前言

Altium Designer 可以说是目前 EDA 行业中使用最方便、操作最快捷、人性化界面最好的辅助工具，在国内的中低端 PCB 设计中应用最广。

Altium Designer 几乎是所有的电子公司都要用到的电路设计软件，许多大公司在招聘电子设计人才时在其条件栏上常会写着要求会使用 Altium Designer。因此在电子行业的 CAD 软件中，它当之无愧地排在众多 EDA 软件的前面，是电子设计者的首选软件，但是要想熟练地应用此软件设计出结构布局合理的电路并不容易，某些初学者由于不能轻松熟练地应用此软件，在电路设计时常常望而止步。为了帮助初学者快速熟练地掌握 Altium Designer 的应用技巧，我们特编写了此书。

全书内容全面，包括认识印制电路板、Altium Designer17 使用入门、Altium Designer17 元件库开发与设计、Altium Designer17 设计原理图及 PCB 设计、Altium Designer17 PCB 封装库设计、绘制 PCB 板的布局与布线设计、PCB 板 DRC 校验与生产输出、Altium Designer17 设计应用技巧、二层 PCB 板设计实例、四层 PCB 板设计实例、PCB 原理图及 PCB 设计原则规范、Altium Designer18 软件整体功能介绍、Altium Designer18 软件绘图功能介绍、Multism 中绘制原理图及 PCB、Altium Designer18 新功能应用。

书中还给出了很多制作实例及使用技巧的视频演示，详见最后一页二维码。读者在学习本书时，无论有无基础，只要多看几遍视频，跟着做几遍，很快就可以制作出合格的电路板。

本书由周新主编，参加本书编写的还有：寇海军、寇冠徽、曹振华、张校珩、王桂英、孔凡桂、张校铭、曹祥、曹铮、孔祥涛、王俊华、张书敏、张胤涵、张振文、越书芬、焦凤敏，全书由张伯虎审核。

本书具有较强的针对性和实用性，适合 Altium Designer 初学者自学使用，也可供有一定基础的读者作参考以提高软件的使用，同时也适合电子类大中专院校及 Altium Designer 电子线路设计培训班使用。

由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，敬请广大读者批评指正。



编者

目录

第1章

认识印制电路板.....1

- 1.1 认识印制电路板 / 1
 - 1.1.1 基本组成 / 1
 - 1.1.2 印制电路板的类型和特点 / 1
 - 1.1.3 印制电路板的组装方式 / 2
- 1.2 印制电路板设计 / 3
 - 1.2.1 印制电路板设计要求 / 3
 - 1.2.2 印制电路板设计步骤及注意事项 / 4
 - 1.2.3 印制电路板与外电路的连接 / 9
- 1.3 印制电路板的制造工艺流程 / 11

第2章

Altium Designer17使用入门.....14

- 2.1 Altium Designer17 的安装和配置 / 14
 - 2.1.1 Altium Designer17 安装 / 14
 - 2.1.2 Altium Designer17 应用激活 / 16
 - 2.1.3 Altium Designer17 中文界面设置 / 17
 - 2.1.4 Altium Designer17 操作环境 / 18
 - 2.1.5 Altium Designer17 文件打开方式及关联 / 19
 - 2.1.6 Altium Designer17 原理图系统参数 Schematic 设置 / 19
- 2.2 Altium Designer17 工程文件创建 / 22
 - 2.2.1 工程文件的组成 / 22
 - 2.2.2 工程文件创建 / 22
 - 2.2.3 工程新建 / 22
 - 2.2.4 工程文件打开 / 24
 - 2.2.5 新建或添加元件库 / 24
 - 2.2.6 新建或添加 PCB 库 / 26
 - 2.2.7 新建或添加原理图 / 27

第3章

Altium Designer17元件库开发与设计.....28

- 3.1 元件符号说明 / 28
- 3.2 元件库编辑器 / 28
 - 3.2.1 元件库编辑器界面 / 28
 - 3.2.2 元件库编辑器工作区参数 / 31
- 3.3 单个元件创建 / 31
 - 3.3.1 添加或新建元件 / 31
 - 3.3.2 对新元件命令 / 32
 - 3.3.3 绘制元件符号边框并设置其属性 / 32
 - 3.3.4 放置引脚并设置其属性 / 32
 - 3.3.5 元件属性设置 / 35
- 3.4 多部件元件的创建 / 36
- 3.5 元件的检查与报告 / 37
- 3.6 元件库创建实例——电容 / 38
- 3.7 元件库创建实例——存储器设计 / 38
- 3.8 元件库创建实例——反向器 / 40
- 3.9 元件库的自动生成 / 41

3.10 复制元件 / 42

第4章

Altium Designer17设计原理图及PCB设计..... 43

- 4.1 原理图操作界面 / 43
- 4.2 原理图页面基本设置 / 44
 - 4.2.1 原理图大小设置 / 44
 - 4.2.2 原理图栅格设置 / 45
 - 4.2.3 原理图模板选择 / 46
- 4.3 元件的摆放 / 48
 - 4.3.1 元件放置 / 48
 - 4.3.2 编辑元件属性 / 49
 - 4.3.3 元件选择及快捷操作 / 51
 - 4.3.4 元件的拷贝(复制)粘贴 / 54
 - 4.3.5 排列和对齐元件 / 54
- 4.4 放置电气连接 / 56
 - 4.4.1 绘制导线及导线属性设置 / 56
 - 4.4.2 放置网络标号 / 57
 - 4.4.3 放置电源及接地 / 58
 - 4.4.4 放置节点 / 60
 - 4.4.5 放置页连接符 / 60
 - 4.4.6 总线的放置 / 61
 - 4.4.7 放置差分标识 / 64
 - 4.4.8 放置 No ERC 检查点 / 64
- 4.5 非电气对象的放置 / 66
 - 4.5.1 放置辅助线 / 66
 - 4.5.2 放置字符标注、文本框、注释及图片 / 67
- 4.6 原理图整体编辑 / 69
 - 4.6.1 元件的重新编号 / 69
 - 4.6.2 元件属性的更改 / 71
 - 4.6.3 原理图的跳转与查找 / 73
- 4.7 原理图层次设计 / 74
 - 4.7.1 层次原理图的定义及结构 / 74
 - 4.7.2 自上而下的层次原理图设计 / 74
 - 4.7.3 自下而上的层次原理图设计 / 78
- 4.8 原理图的编译与校验 / 80
 - 4.8.1 原理图编译的设置 / 80
 - 4.8.2 原理图的编译 / 81
- 4.9 BOM 表的生成与导出 / 82
- 4.10 如何输出原理图 / 84

第5章

Altium Designer17 PCB封装库设计..... 88

- 5.1 PCB 的封装 / 88
- 5.2 PCB 库编辑界面 / 88
- 5.3 PCB 封装库创建(2D) / 91
 - 5.3.1 向导创建法 / 91
 - 5.3.2 手工创建法 / 93
- 5.4 异形焊盘创建 / 96
- 5.5 PCB 文件生成封装库 / 97
- 5.6 PCB 封装库复制 / 98
- 5.7 PCB 封装库的检查和报告 / 98
- 5.8 常用 PCB 封装库的要求及设计 / 99
 - 5.8.1 SMD 贴片封装设计 / 99
 - 5.8.2 插件类型封装设计 / 102
 - 5.8.3 沉板元件的特殊设计要求 / 103
 - 5.8.4 丝印设计 / 104
 - 5.8.5 元件 1 脚、极性及安装方向的设计 / 104
 - 5.8.6 常用元件丝印图形式样 / 105
- 5.9 封装创建(3D) / 106
 - 5.9.1 常规 3D 模型绘制 / 106
 - 5.9.2 异形 3D 模型绘制 / 109
 - 5.9.3 3D STEP 模型导入 / 111
- 5.10 集成库 / 113
- 5.11 PCB 设计工作界面 / 115
 - 5.11.1 PCB 设计交互界面 / 115
 - 5.11.2 PCB 对象编辑窗口 / 115
 - 5.11.3 PCB 设计面板 / 115

- 5.11.4 PCB 设计工具栏 / 117
- 5.12 系统常用快捷键 / 119
 - 5.12.1 操作快捷键的自定义 / 120
 - 5.12.2 菜单选项设置快捷键 / 120
 - 5.12.3 Ctrl+ 鼠标左键单击设置快捷键 / 121

第6章

绘制PCB板的布局与布线设计123

- 6.1 PCB 布线原则与约束 / 123
 - 6.1.1 元件布局原则 / 123
 - 6.1.2 信号线布局原则 / 123
 - 6.1.3 布局电磁兼容原则 / 124
 - 6.1.4 布局元件散热原则 / 124
 - 6.1.5 可调整元件布置原则 / 124
- 6.2 PCB 布局模块化设计原则 / 124
- 6.3 PCB 布线设计 / 125
 - 6.3.1 PCB 布线规则设置 / 125
 - 6.3.2 PCB 布线的常用操作 / 147
 - 6.3.3 PCB 的敷铜 / 155
 - 6.3.4 蛇形走线 / 160

第7章

PCB板DRC校验与生产输出163

- 7.1 DRC 校验 / 163
 - 7.1.1 DRC 校验设置 / 163
 - 7.1.2 电气性能检查 / 164
 - 7.1.3 PCB 布线检查 / 165
 - 7.1.4 Stub 线头检查 / 165
 - 7.1.5 丝印阻焊检查 / 165
 - 7.1.6 元件高度检查 / 166
 - 7.1.7 元件间距检查 / 167
- 7.2 尺寸标注 / 169
 - 7.2.1 线性标注 / 169
 - 7.2.2 圆弧半径标注 / 170
- 7.3 距离测量 / 170
 - 7.3.1 点到点距离测量 / 171
 - 7.3.2 边缘间距测量 / 171
- 7.4 丝印位号调整 / 172
 - 7.4.1 丝印位号调整原则及推荐尺寸 / 172
 - 7.4.2 丝印位号的调整方法 / 172
- 7.5 PCB 文件生成 PDF 并输出 / 173
 - 7.5.1 装配图 PDF 文件输出 / 174
 - 7.5.2 多层板 PDF 输出 / 177
- 7.6 生产文件输出 / 179
 - 7.6.1 Gerber 文件输出 / 179
 - 7.6.2 钻孔文件输出 / 182
 - 7.6.3 IPC 网表的输出 / 183
 - 7.6.4 贴片坐标文件输出 / 183

第8章

Altium Designer17设计应用技巧 184

- 8.1 大规模芯片的引脚调整 / 184
 - 8.1.1 FPGA 引脚调整注意问题 / 184
 - 8.1.2 FPGA 管脚调整技巧 / 185
- 8.2 同样模块的布线布局 / 187
- 8.3 孤铜（死铜）的移除 / 190
 - 8.3.1 正片去孤铜 / 190
 - 8.3.2 负面去孤铜 / 191
- 8.4 检查线间距时差分间距报错处理方法 / 192
- 8.5 快速开槽 / 194
 - 8.5.1 通过放置钻孔 / 194
 - 8.5.2 通过板框层及 Board Cutout / 195
- 8.6 应用插件的安装 / 195
- 8.7 PCB 中的厂家标识（Logo）

添加 / 197
8.8 3D 模型导出 / 199
8.8.1 3D STEP 模型导出 / 199

8.8.2 3D PDF 的输出 / 201
8.9 极坐标的应用 / 202

第9章

二层PCB板设计实例 205

9.1 设计流程 / 205	9.6 PCB 设计 / 218
9.2 工程创建 / 205	9.6.1 元件封装匹配检查 / 218
9.3 元件库的创建 / 206	9.6.2 PCB 文件导入 / 218
9.3.1 89C51 芯片创建 / 206	9.6.3 PCB 板框绘制及定位孔放置 / 220
9.3.2 数码管创建 / 208	9.6.4 PCB 布局 / 222
9.3.3 LED 创建 / 209	9.6.5 类的创建及 PCB 规则的设置 / 223
9.4 原理图设计 / 211	9.6.6 PCB 扇孔及布线 / 227
9.4.1 元器件放置 / 211	9.6.7 走线与敷铜 / 229
9.4.2 元件的复制与放置 / 212	9.7 DRC 校验 / 230
9.4.3 电气连接放置 / 212	9.8 生产输出 / 231
9.4.4 非电气符号放置 / 212	9.8.1 丝印调整与装配图 PDF 文件
9.4.5 元器件编号 / 213	输出 / 231
9.5 PCB 封装制作 / 214	9.8.2 Gerber 文件输出 / 231
9.5.1 89C51 PCB 封装创建 / 214	9.8.3 钻孔文件输出 / 234
9.5.2 89C51 3D 封装创建 / 217	9.8.4 IPC 网表输出 / 235
	9.8.5 贴片元件坐标输出 / 235

第10章

四层PCB板设计实例 237

10.1 设计实例 / 237	10.5.1 交互式布局 / 243
10.2 原理图编译与检查 / 237	10.5.2 模块化布局 / 243
10.2.1 工程的创建与添加 / 237	10.5.3 布局原则 / 244
10.2.2 原理图编译设置 / 237	10.6 类的创建与 PCB 规则设置 / 245
10.2.3 编译与检查 / 238	10.6.1 类的创建与颜色设置 / 245
10.3 封装匹配的检查及 PCB 导入 / 239	10.6.2 规则设置 / 246
10.3.1 封装匹配的检查 / 239	10.7 PCB 扇孔 / 250
10.3.2 PCB 导入 / 239	10.8 PCB 的布线操作 / 250
10.4 PCB 参数设置、板层设置和板框	10.8.1 对接座子布线 / 251
设置及定位孔设置 / 241	10.8.2 电源线处理 / 251
10.4.1 PCB 参数设置 / 241	10.8.3 SDARM 与 Flash 的布局与
10.4.2 PCB 板层设置 / 242	布线要求 / 252
10.4.3 板框设置及定位孔放置 / 242	10.9 PCB 设计后期处理 / 253
10.5 交互式布局及模块化布局 / 243	10.9.1 修减环路面积 / 253

第11章

PCB原理图及PCB设计规范 255

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| 11.1 规范中术语及定义 / 255 | 11.7 敷铜 / 267 |
| 11.2 设计流程规定 / 256 | 11.8 工艺设计 / 268 |
| 11.3 PCB 机械设计规范 / 256 | 11.9 自动插设计 / 270 |
| 11.4 封装设计 / 260 | 11.10 标识要求 / 277 |
| 11.5 布线设计 / 261 | 11.11 PCB 设计规则 / 279 |
| 11.6 线宽 / 线距 / 265 | 11.12 安规设计 / 283 |

第12章

Altium Designer18软件整体功能设置及应用 285

- | | |
|---------------------------------|----------|
| 12.1 Altium Designer18 界面 / 285 | 设置 / 285 |
| 12.2 Altium Designer18 整体功能 | |

第13章

Altium Designer18软件绘图功能及应用 286

- | | |
|---|--------------------------|
| 13.1 创建一个 PCB 项目 / 286 | 13.6 在库中查找组件 / 288 |
| 13.2 向项目添加原理图 / 286 | 13.7 创建一个新的 PCB / 289 |
| 13.3 设置文档选项 / 287 | 13.8 原理图导入 PCB / 293 |
| 13.4 Altium Designer18 中的组件
和库 / 287 | 13.9 配置 PCB 工作区 / 293 |
| 13.5 访问组件 / 288 | 13.10 验证 PCB 电路板设计 / 305 |

第14章

Multisim中绘制原理图及PCB 316

- | | |
|-----------------------------|----------------------|
| 14.1 Multisim 中绘制原理图 / 316 | 14.3 PCB 导入后布局 / 323 |
| 14.2 Multisim 中绘制 PCB / 319 | |

第15章

Altium Designer18其他功能及应用 331**参考文献 335****→ 视频教学——Altium Designer电路设计与PCB制版 336**

第1章 认识印制电路板

1.1 认识印制电路板

印制电路板（PCB）是在覆铜板上完成印制线路工艺加工的成品板，它起电路元件和器件之间的电气连接的作用，同时印制电路板可以提供集成电路等各种电子元器件固定装配的机械支撑，实现集成电路等各种电子元器件之间的布线和电气连接或电绝缘，提供所要求的电气特性（如特性阻抗）等，同时为自动锡焊提供阻焊图形，为元器件插装、粘装、检查、维修提供识别字符标记图形。采用印制电路板后，电子产品的稳定性、可靠性大大提高，缩小了产品的体积，适合生产线大批量的生产。

1.1.1 基本组成

目前的电路板，主要由以下部分组成：

① 线路与图面（Pattern）：线路是元件之间导通的工具，在设计上会另外设计大铜面作为接地及电源层。线路与图面是同时做出的。

② 介电层（Dielectric）：用来保持线路及各层之间的绝缘性，也称为基材。

③ 孔（Through Hole/Via）：导通孔可使两层以上的线路彼此导通，较大的导通孔则作为零件插件用，另外有非导通孔（nPTH）通常用来作为表面贴装定位，组装时固定螺钉用。

④ 防焊油墨（Solder Resistant/Solder Mask）：并非全部的铜面都要吃锡上零件，因此非吃锡的区域，会印一层隔绝铜面吃锡的物质（通常为环氧树脂），即防焊油墨，避免非吃锡的线路间短路。根据不同的工艺，防焊油墨分为绿油、红油、蓝油。

⑤ 丝印（Legend /Marking/Silk Screen）：主要的功能是在电路板上标注各零件的名称、位置框，方便组装后维修及辨识用。

⑥ 表面处理（Surface Finish）：由于铜面在一般环境中很容易氧化，导致无法上锡（焊锡性不良），因此会在要吃锡的铜面上进行保护。保护的方式有喷锡（HASL）、化金（ENIG）、化银（Immersion Silver）、化锡（Immersion Tin）、有机保焊剂（OSP），方法各有优缺点，统称为表面处理。

1.1.2 印制电路板的类型和特点

随着电子技术的不断发展，现代电子产品的体积已趋小型化和微型化，如手机、计算机等。而印制电路板也随着电子产品发展要求的提高而不断发展，如由最初的单面板发展到双面板、多层板以及挠性板等。

① 印制电路板的种类很多，其分类方法也有所不同。一般按基材的性质可将其分为刚性印制板和挠性印制板两大类。

a. 刚性印制板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。一般电子设备中使用的都是刚性印制板。

b. 挠性印制板是以软层状塑料或其他软质绝缘材料为基材而制成的。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。挠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，其内部往往采用挠性印制板。

② 按布线层次可将其分为单面板、双面板和多层板三类。目前单面板和双面板的应用最为广泛。

a. 单面板：绝缘基板上仅一面具有导电图形的印制电路板。它通常采用层压纸板和玻璃布板加工制成。单面板的导电图形比较简单，大多采用丝网漏印法制成。

b. 双面板：绝缘基板的两面都有导电图形的印制电路板。它通常采用环氧纸板和玻璃布板加工制成。因为两面都有导电图形，所以一般采用金属化孔使两面的导电图形连接起来。双面板一般采用丝印法或感光法制成。

c. 多层板：有三层或三层以上导电图形的印制电路板。多层板内层导电图形与绝缘黏结片叠合压制而成，外层为覆箔板，经压制成为一个整体。为了将夹在绝缘基板中间的印制导线引出，多层板上安装元件的孔需经金属化孔处理，使之与夹在绝缘基板中的印制导线连接。其导电图形的制作以感光法为主。多层板的特点如下。

- 与集成电路配合使用，可使整机小型化，减少整机质量。
- 提高了布线密度，缩小了元器件的间距，缩短了信号的传输路径。
- 减少了元器件焊接点，降低了故障率。
- 由于增设了屏蔽层，电路的信号失真减少。
- 引入了接地散热层，可减少局部过热现象，提高整机工作的可靠性。

实际电子设备中所使用的印制电路板有很大的差别，最简单的可以只有几个焊点或几根导线，一般的电子产品中印制板焊点数在数十到数百个，焊点数超过 600 个的印制电路板属于较为复杂的印制板，如计算机主板。

1.1.3 印制电路板的组装方式

印制电路板的组装是指把电阻器、电容器、晶体管、集成电路等电子元器件插装到印制电路板上，以及对其进行焊接的过程。由于插装元器件的方法和焊接方式的不同，组装方式一般分为以下四种。

① 全部采用手工插装，手工焊接方式 该种组装方式只适用于小规模、小批量的生产方式以及电子爱好者制作应用。它的最大优势是不需要设备，成本低廉，只需要熟练的技能即可，效率最低。

② 全部采用手工插装，自动焊接方式 该种组装方式由于元器件采用手工插装，所以很容易产生插错位置和引脚极性颠倒等错误现象，这样给产品质量带来了隐患，故目前应用该种方式的不是很多。

③ 一部分元器件采用自动插装，全部采用自动焊接方式 该种组装方式是对大部分元器件采用自动插装方式，对少数体积较大和有特殊要求的元器件采用手工插装方式。由于大部分元器件采用自动插装方式，这将有效地抑制插装错误的产生，使生产效率大为提高，生产质量得到有效保障，加之自动化的焊接，使其可适用于大批量的生产。该种组装方式是目前应用最为普遍的一种。

④ 全部采用自动插装, 自动焊接方式 该种组装方式是较为先进的一种组装方式, 具有速度快、准确度高、几乎无差错的特点。由于科技水平的不断提高和发展, 以及对产品小型化的要求, 此种组装方式得到了越来越广泛的应用。

1.2 印制电路板设计

印制电路板设计是按照设计人员的意图, 将电原理图转换为印制电路板图, 并确定加工技术要求的过程, 一般分为人工设计、计算机辅助设计两种方式。因为现代电子产品结构越来越复杂, 所以现在的印制电路板设计基本都采用计算机辅助设计。

1.2.1 印制电路板设计要求

印制电路板设计时应注意以下几点: 印制电路板材质的选择, 尺寸, 形状, 元器件的位置, 印制导线的宽度, 焊盘的直径、孔径, 地线要求, 抗干扰要求, 外部连接等。

(1) 印制电路板的设计

从确定板的尺寸大小开始, 印制电路板的尺寸因受机箱外壳大小限制, 以能恰好安放入外壳内为宜, 另外, 应考虑印制电路板与外接元器件(主要是电位器、插口或外接印制电路板)的连接方式。印制电路板与外接元件一般是通过塑料导线或金属隔离线进行连接的。但有时也设计成插座形式, 即在设备内安装一个插入式印制电路板, 要留出充当插口的接触位置。对于安装在印制电路板上的较大元件, 要加金属附件固定, 以提高耐振、耐冲击性能。

(2) 布线图设计的基本要求

首先, 需要对所选用元件及各种插座的规格、尺寸、面积等有完全的了解; 对各部件的位置安排作合理的、仔细的考虑, 主要是从电磁场兼容性、抗干扰的角度, 走线短, 交叉少, 电源、地的路径及去耦等方面考虑; 各部件位置定出后, 就是各部件的连线, 按照电路图连接有关引脚, 有计算机辅助制图与手工排列布图两种。最原始的是手工排列布图。这种方法比较费事, 往往要反复几次才能最后完成, 一般在没有其他绘图设备时选用。这种手工排列布图方法对刚学习印制板图设计者来说也是很有帮助的。对于计算机辅助制图, 现在有多种绘图软件, 功能各异, 但总的说来, 计算机辅助制图绘制、修改较方便, 并且可以保存和打印。

其次, 确定印制电路板所需的尺寸, 并按原理图, 将各个元器件位置初步确定下来, 然后经过不断调整使布局更加合理。印制电路板中各元件之间的接线安排方式如下。

① 印制电路中不允许有交叉电路, 对于可能交叉的线条, 可以用“钻”“绕”两种办法解决, 即让某引线从别的电阻、电容、三极管引脚下的空隙处“钻”过去, 或从可能交叉的某条引线的一端“绕”过去。在特殊情况下, 如果电路很复杂, 为简化设计也允许用导线跨接解决交叉电路问题。

② 电阻、二极管、管状电容器等元件有“立式”“卧式”两种安装方式。立式指的是元件体垂直于电路板安装、焊接, 其优点是节省空间; 卧式指的是元件体平行并紧贴于电路板安装、焊接, 其优点是元件安装的机械强度较好。这两种不同的安装方式, 印制电路板上的元件孔距是不一样的。

③ 同一级电路的接地点应尽量靠近, 并且本级电路的电源滤波电容也应接在该级接地

点上。特别是本级晶体管基极、发射极的接地点不能离得太远，否则会因两个接地点间的铜箔太长而引起干扰与自励。采用这样“一点接地法”的电路，工作较稳定，不易自励。

④ 总地线必须严格按高频 - 中频 - 低频一级级地按弱电到强电的顺序排列原则，切不可随便翻来覆去乱接，级与级间宁可接线长点，也要遵守这一规定。特别是变频头、再生头、调频头的接地线安排要求更为严格，如有不当就会产生自励以致无法工作。调频头等高频电路常采用大面积包围式地线，以保证有良好的屏蔽效果。

⑤ 强电流引线（公共地线、功放电源引线等）应尽可能宽些，以降低布线电阻及其电压降，可减小寄生耦合而产生的自励。

⑥ 阻抗高的走线尽量短，阻抗低的走线可长一些，因为阻抗高的走线容易发射和吸收信号，引起电路不稳定。电源线、地线、无反馈元件的基极走线、发射极引线等均属低阻抗走线，射极跟随器的基极走线、收录机两个声道的地线必须分开，各自成一路，一直到功效末端再合起来，如两路地线连来连去，极易产生串音，使分离度下降。

1.2.2 印制电路板设计步骤及注意事项

(1) 印制电路板设计步骤

① 合适的印制电路板 印制电路板一般用覆铜板制成。覆铜板的选用应注意以下三点。一是材料：覆铜板材料选用时要从所要求的电气性能、可靠性、加工工艺要求和经济指标等方面考虑，不同材料的层压板有不同的特点，环氧树脂与铜箔有极好的黏合力，因此铜箔的附着强度和工作温度较高，可以在 260℃ 的熔锡中不起泡；环氧树脂浸过的玻璃布层压板受潮气的影响较小；超高频电路板最好是覆铜聚四氟乙烯玻璃布层压板；在要求阻燃的电子设备上，还需要阻燃的电路板，可以采用浸入了阻燃树脂的电路板。二是厚度：电路板厚度应该根据电路板的功能、所装元件的质量、电路板插座的规格、电路板的外形尺寸和承受的机械负荷等因素来决定，主要是应该保证足够的刚度和强度。三是尺寸：从成本、铜膜线长度、抗噪声能力考虑，电路板尺寸越小越好，但是板尺寸太小，则散热不良，且相邻的导线容易引起干扰；电路板的制作费用是和电路板的面积相关的，面积越大，造价越高；在设计具有机壳的电路板时，电路板的尺寸还受机箱外壳大小的限制，一定要在确定电路板尺寸前确定机壳大小，否则就无法确定电路板的尺寸，一般情况下，在禁止布线层中指定的布线范围就是电路板尺寸的大小；电路板的最佳形状是矩形，长宽比为 3 : 2 或 4 : 3，当电路板的尺寸大于 200mm×150mm 时，应该考虑电路板的机械强度。总之，应该综合考虑利弊来确定电路板的选用。

② 印制电路板元器件的布局与布线 这里以单面印制板的制作技术为重点加以介绍。

• 印制电路板元器件的布局。印制电路板布局的基本原则是：第一，保证电路的电气性能；第二，便于产品的生产、维护和使用；第三，导线尽可能短。

由于元器件的引脚之间存在着分布电容，一些电感元器件的周围存在着磁场，连接各元器件的导线也存在电阻、电容和电感，外部干扰也会影响电路性能，因此，这些因素的相互作用将产生不利影响。布局的首要任务就是如何合理地安排元器件位置，减小不利因素的影响。

a. 在通常情况下，无论是单面印制板还是双面印制板，所有元器件均应布置在印制电路板的同一面，以便检查、加工、安装和维修。对于单面印制板的元器件，只能安装在没有印制电路铜箔的一面。

b. 板面上的元器件应尽量按电路原理图顺序呈直线排列，并力求将电路安排紧凑、整齐，各级走线尽可能近，且输入、输出走线不宜并列平行，这点对高频和宽带电路尤为重要。对于三个引脚以上的元器件，必须按引脚顺序放置，避免引脚扭曲。

c. 印制板上常含有多个单元电路，一般情况下，各单元电路的位置应按信号的传输关系来安排，传输关系紧密的就安排在相邻位置。模拟电路和数字电路应尽量分开，大功率电路与小信号电路也尽量分开。倘若由于板面所限，无法在一块印制板上安装下全部电子元器件，或是出于屏蔽的目的必须把整机分成几块印制板安装时，则应使每一块装配好的印制电路构成独立的功能，以便单独调试、检验和维修。

d. 为便于缩小体积或提高机械强度，可在主要的印制板之外再安装一块乃至多块“辅助底板”。辅助底板可以是金属的，也可以是印制板或绝缘板。一些笨重器件，如变压器、扼流圈、大电容器、继电器等可以安装在辅助底板上，并利用附件将它们紧固。

e. 对于辐射电磁场较强的元器件或电磁感应较灵敏的元器件，安装时可以加大它们相互之间的距离或加以屏蔽。元器件放置的方向，应与相邻的印制导线交叉。特别是电感器件，要注意采取防止电磁干扰的措施。

f. 重而大的元器件，尽量安置在印制板上靠近紧固端的位置，并降低重心，以提高机械强度和耐振、耐冲击能力，减少印制板的负荷变形。

g. 在保证电气性能的前提下，元器件应相互平行或垂直排列，元器件之间的距离要合理，以求整齐、美观。一般情况下，不允许将元器件重叠起来。若是为了紧缩平面尺寸非重叠不可时，则必须把元器件用机械支撑件加以固定。

h. 需要通过印制接头与外部电路相连的元器件，尤其是产生大电流信号或重要脉冲的集成电路块，应尽量布置在靠近插头的板面上。

i. 时钟脉冲发生器及时序脉冲发生器等信号源电路，在布局上应考虑有较宽裕的安装位置，以减少和避免对其他电路的干扰。

j. 装在振动装置上的电子电路，印制板上的元器件轴向应与机器的主要振动方向一致。

确定印制板尺寸的方法是：先把决定要安装在一块印制板上的集成块和其他元器件全部按布局要求排列在一张纸上。排列时，要随时调整以使印制板的长宽比符合或接近实际要求的长宽比。各个元器件之间应空开一定的间隙，一般为5~15mm，有特殊要求的电路还应放宽。如果间隔太小，将使布线困难，元器件不易散热，调试维修不方便；间隔太大，印制板的尺寸就大，由印制导线电阻、分布电容和电感等引起的干扰也就会增加。待全部元器件都放置完毕后，印制板的大致尺寸就知道了。如形成的印制板长宽比与实际要求有出入，可在不破坏布局的前提下，对长宽进行适当的调整。

• 印制电路板的布线。元器件布局工作完成后，就可用铅笔在代表印制板的纸上画出各个元器件的轮廓，然后根据电路原理图安排，绘制各个元器件之间的连接线，即布线设计。布线设计是印制板设计中一项较费时的工作，灵活性很大。布线设计的基本考虑就是如何使导线最短，同时要使导线的形状合理。在布线设计时如果发现布局不合理（如布线困难），还要调整布局。

a. 公共线（地线）一般布置在印制板最边缘，以便于印制板安装在机壳底座或机架上，也便于与机架（地）相连接。将电源、滤波、控制等低频元器件与直流导线靠边缘布置，高频元器件、高频管、高频导线布置在印制板中间，以减小它们对地线和机壳的分布电容。

b. 印制导线与印制板的边缘应留有一定的距离（不小于板厚），这不仅便于安装导轨并

进行机械加工，而且提高了绝缘性能。

c. 单面印制板的某些导线有时要绕着走或平行走，这样印制导线就比较长，不仅使引线电感增大，而且印制导线之间、电路之间的寄生耦合也增大。这种现象虽然对于低频电路印

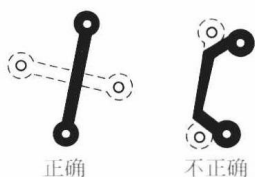


图 1-1 双面印制板的布线
(注：垂直布置，减小分布电容)

制板影响不显著，但对高频电路影响较大，必须保证高频导线、晶体管各电极的引线、输入和输出线短而直，并避免相互平行。若个别印制导线不能绕着走，则为了避免导线交叉，可用外接

(也叫“跨接线”“跳接线”)。必须指出，高频电路应避免用外接导线跨接，若是交叉的导线较多，最好采用双面印制板，将交叉的导线印制在板的两面，这样可使导线短而直。用双面板时，两面印制线路应避免互相平行，以减少导线间的寄生耦合，双面印

制线路最好成垂直布置或斜交，如图 1-1 所示。高频电路的印制导线长度和宽度要小，导线间距要大，这样可减小分布电容的影响。

d. 对外连接用接插形式的印制板，为便于安装，往往将输入、输出、馈电线和地线等均平行安排在板子的一边，如图 1-2 所示，1、5、11 脚接地，10 脚接电源，4 脚输出，6 脚输入。为减小导线间的寄生耦合，布线时应使输入线与输出线远离，并且输入电路的其他引线应与输出电路的其他引线分别布于两边，输入与输出之间用地线隔开。此外，输入线与电源线之间的距离要远一些，间距不应小于 1mm。对于不用插接形式的印制板，为便于转接(外连接)，各个接出脚也应放在印制板的同一边。

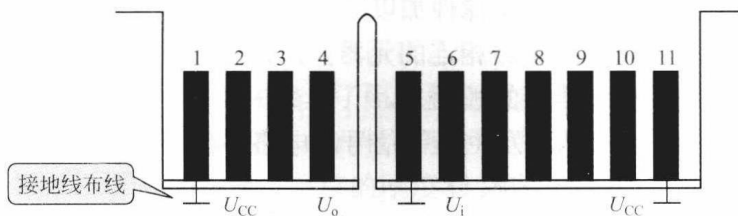


图 1-2 印制板与外连接的布线方式

e. 在印制电路板的排板设计中，地线的设计是十分重要的，这有时可能关系到设计的成败。印制板上每一级电路的接地元器件就近接地，地线短，引线电感小。当频率较高时，为减小地线阻抗，地线应有足够的宽度。频率越高，连接线也应越宽，以减小引线电感。最好采用大面积接地，即大面积铜箔均为地线。如果用的是双面印制板，则可在印制线路的反面，将相当于正面印制导线部分的铜箔去除，其余部分作为地线，这称为全地线印制板。大面积接地还具有一定的屏蔽作用，但会使元器件对地的分布电容增大。

当地线的面积较大，超过直径为 25mm 的圆的区域时，应开局部窗口，使地线成为网状。这是因为大面积的铜箔在焊接时，受热后容易产生膨胀，造成脱落，也容易影响焊接质量。

f. 印制导线如果需要屏蔽，在要求不高时，可采用印制屏蔽线，如图 1-3 所示，其中，图 1-3 (a) 为单面板的印制屏蔽线的做法；图 1-3 (b) 为双面板的印制屏蔽线的做法；图 1-3 (c) 为单面板大面积地线屏蔽线的做法。当频率高达 100MHz 以上，或屏蔽要求高时，采用上述方法不能满足导线屏蔽的要求。

g. 若要屏蔽印制板上的元器件时，可在元器件的外面套上一个屏蔽罩。在底板的另一面对应于元器件的位置再罩上一个扁形屏蔽罩(或金属板)，将这两个屏蔽罩在电气上连接起

来并接地，这样就构成了一个近似于完整的屏蔽盒。若是将对应于欲屏蔽元器件部分的铜箔保留，再将元器件上的屏蔽罩穿过印制板，与屏蔽用的保留铜箔连接起来接地，也能满足屏蔽要求。

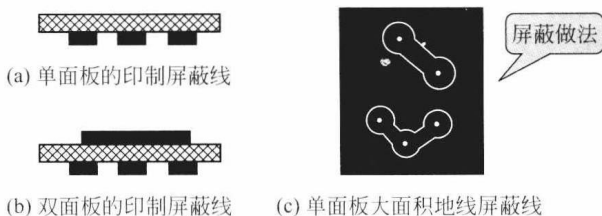


图 1-3 印制导线的屏蔽方法

h. 一般印制板的铜箔厚度为 $35\mu\text{m}$ 左右，当这种铜箔形成一条宽 0.5mm 、长 100mm 的印制导线时，其两端电阻为 0.1Ω 左右。当通过较大的直流或脉冲电流时，其压降就较可观。因此，为减小电阻并使加工方便、可靠，印制导线的宽度通常不应小于 0.5mm ，地线、电源线应放宽到 $1.5 \sim 2.5\text{mm}$ ，印制板周边地线还可以放宽到 5mm 以上。一般情况下，建议优先采用 0.5mm 、 1.0mm 、 1.5mm 、 2.0mm 的导线宽度，其中 0.5mm 的导线主要应用于微型化设备。

i. 印制导线的最小间距应不小于 0.5mm 。若导线间的电压超过 300V 时，其间距不应小于 1.5mm 。在高频电路中，导线间距大小会影响分布电容、分布电感的大小，从而影响信号损耗、电路稳定性等。因此，导线的间距应根据允许的分布电容和电感来确定。

j. 印制导线的图形在设计时应遵循几点：除地线外，同一印制板上导线的宽度尽量保持一致；印制导线的走线应平直，不应出现急剧的拐弯或尖角，所有弯曲与过渡部分均需用圆弧连接，其半径不得小于 2mm ；应尽量避免印制导线出现分支，如果必须分支，则分支处应圆滑过渡。导线的形状如图 1-4 所示。

k. 常用的焊盘形状有方形、圆形、岛形和椭圆形，最常用的是圆形。焊盘的尺寸取决于穿线孔的尺寸，一般焊盘内径比穿线孔直径大 $0.1 \sim 0.4\text{mm}$ ，穿线孔直径比元器件引线直径大 $0.2 \sim 0.3\text{mm}$ ，焊盘的圆环宽度通常为 $0.5 \sim 1.5\text{mm}$ 。

③ 综合布线

• 线长。铜膜线应尽可能短，在高频电路中更应该如此。铜膜线的不拐弯处应为圆角或斜角，而直角或尖角在高频电路和布线密度高的情况下会影响电气性能。当双面板布线时，两面的导线应该相互垂直、斜交或弯曲走线，避免相互平行，以减少寄生电容。

• 线宽。铜膜线的宽度应以能满足电气特性要求而又便于生产为准则，它的最小值取决于流过它的电流，但是一般不宜小于 0.2mm 。只要板面积足够大，铜膜线宽度和间距最好选择 0.3mm 。一般情况下， $1 \sim 1.5\text{mm}$ 的线宽，允许流过 2A 的电流。例如地线和电源线最好选用大于 1mm 的线宽。在集成电路引脚焊盘之间走两根线时，焊盘直径为 50mil ，线宽和线间距都是 10mil ，当焊盘之间走一根线时，焊盘直径为 64mil ，线宽和线间距都为 12mil 。注意公制和英制之间的转换， $100\text{mil}=2.54\text{mm}$ 。

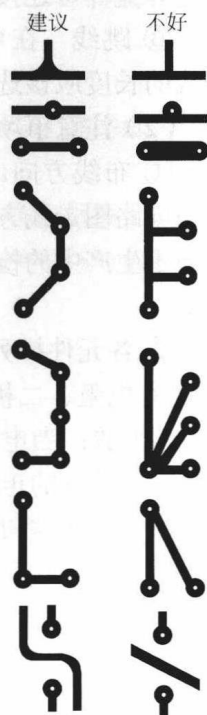


图 1-4 印制导线形状

线间距。相邻铜膜线的间距应该满足电气安全要求，同时为了便于生产，间距应该越宽越好。最小间距至少能够承受所加电压的峰值。在布线密度低的情况下，间距应该尽可能大。

屏蔽与接地。铜膜线的公共地线应该尽可能放在电路板的边缘部分。在电路板上应该尽可能多地保留铜箔作地线，这样可以使屏蔽能力增强。另外，地线的形状最好做成环路或网格状。多层电路板由于采用内层作电源和地线专用层，因而可以起到更好的屏蔽作用。

④ 焊盘要求 焊盘尺寸、焊盘的内孔尺寸必须从元件引线直径和公差尺寸以及镀锡层厚度、孔径公差、孔金属化电镀层厚度等方面考虑，通常情况下以金属引脚直径加上 0.2mm 作为焊盘的内孔直径。例如，电阻的金属引脚直径为 0.5mm，则焊盘孔直径为 0.7mm，而焊盘外径应该为焊盘孔径加 1.2mm，最小应该为焊盘孔径加 1.0mm。当焊盘直径为 1.5mm 时，为了增加焊盘的抗剥离强度，可采用方形焊盘。对于孔直径小于 0.4mm 的焊盘，焊盘外径 / 焊盘孔直径 = 0.5 ~ 3。对于孔直径大于 2mm 的焊盘，焊盘外径 / 焊盘孔直径 = 1.5 ~ 2。常用的焊盘尺寸如下：焊盘孔直径 0.4mm、0.5mm、0.6mm、0.8mm、1.0mm、1.2mm、1.6mm、2.0mm；焊盘外径 1.5mm、1.5mm、2.0mm、2.0mm、2.5mm、3.0mm、3.5mm、4mm。

设计焊盘时的注意事项如下。

- 焊盘孔边缘到电路板边缘的距离要大于 1mm，这样可以避免加工时焊盘缺损。
- 当与焊盘连接的铜膜线较细时，要将焊盘与铜膜线之间的连接设计成泪滴状，这样可以使焊盘不容易被剥离，而铜膜线与焊盘之间的连线不易断开。
- 相邻的焊盘要避免有锐角。

⑤ 大面积填充 电路板上大面积填充的目的有两个，一个是散热，另一个是用屏蔽减少干扰。为避免焊接时产生的热使电路板产生的气体无处排放而使铜膜脱落，应该在大面积填充上开窗，或者使填充为网格状。使用覆铜也可以达到抗干扰的目的，而且覆铜可以自动绕过焊盘并可连接地线。

⑥ 跳线 在单面电路板的设计中，当有些铜膜无法连接时，通常的做法是使用跳线，跳线的长度应该选择如下几种：6mm、8mm 和 10mm。

(2) 注意事项

① 布线方向。从焊接面看，元件的排列方位尽可能保持与原理图相一致，布线方向最好与电路图走线方向相一致，因生产过程中通常需要在焊接面进行各种参数的检测，故这样做便于生产中的检查、调试及检修（注：指在满足电路性能及整机安装与面板布局要求的前提下）。

② 各元件排列，分布要合理和均匀，力求整齐、美观，满足结构严谨的工艺要求。

③ 电阻、二极管的放置方式分为平放与竖放两种。

• 平放：当电路元件数量不多，而且电路板尺寸较大的情况下，一般采用平放较好。对于 1/4W 以下的电阻平放时，两个焊盘间的距离一般取 0.4in（1in=25.4mm），1/2W 的电阻平放时，两焊盘的间距一般取 0.5in；二极管平放时，1N400X 系列整流管，一般取 0.3in，1N540X 系列整流管，一般取 0.4 ~ 0.5in。

• 竖放：当电路元件数较多，而且电路板尺寸不大的情况下，一般是采用竖放，竖放时两个焊盘的间距一般取 0.1 ~ 0.2in。

④ 电位器、IC 座的放置原则

• 电位器：在稳压器中用来调节输出电压，故设计电位器应满足顺时针调节时输出电压