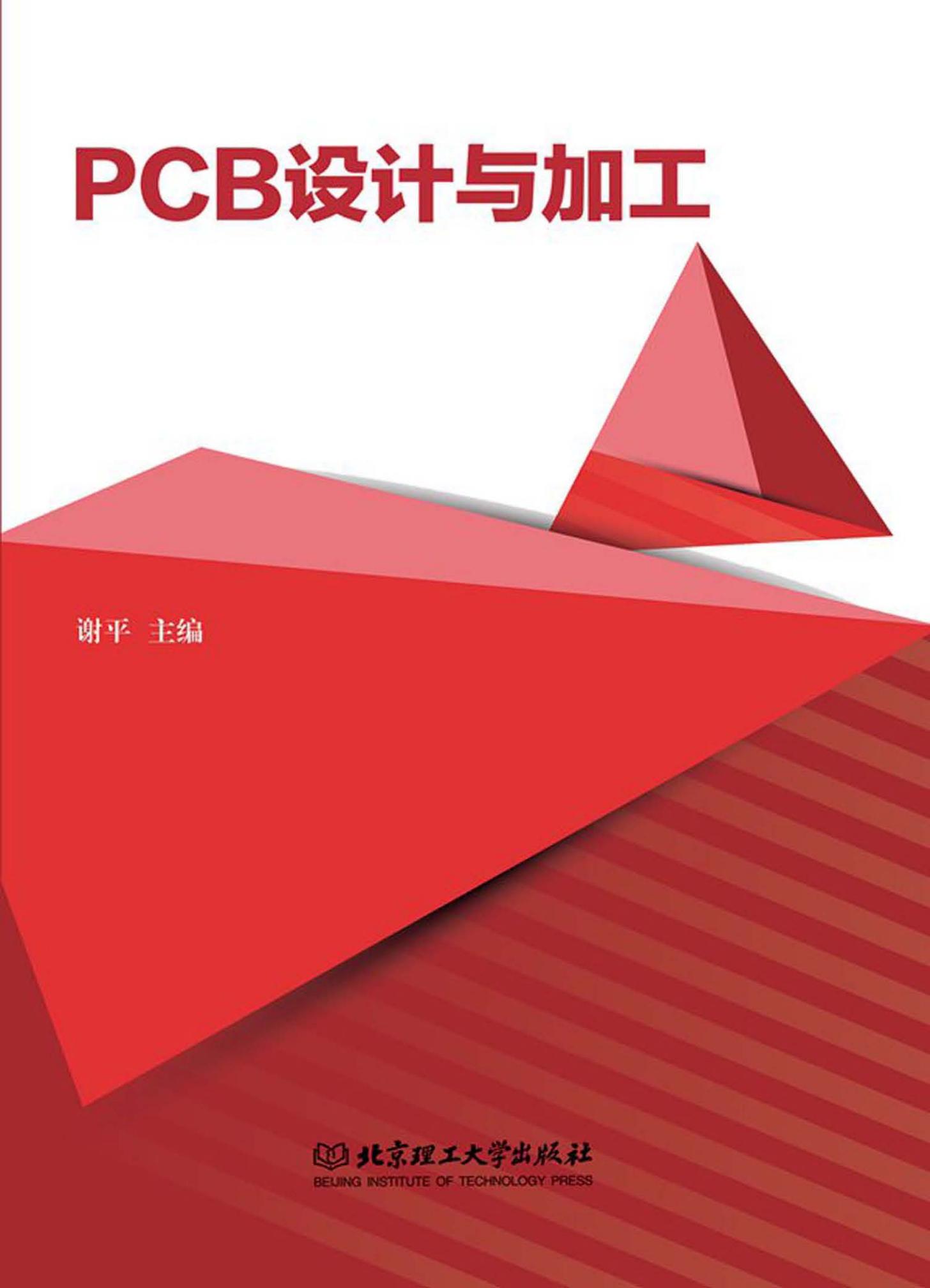


# PCB设计与加工



谢平 主编

 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

“十三五” 职业教育规划教材  
高职高专课程改革项目研究成果

# PCB 设计与加工

主 编 谢 平  
副主编 刘理云 谢 轩  
参 编 吴水平 李嘉安娜  
主 审 刘罗仁

版权专有 侵权必究

---

图书在版编目 (CIP) 数据

PCB 设计与加工 / 谢平主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2017. 2 (2017. 3 重印)

ISBN 978 - 7 - 5682 - 1123 - 9

I. ①P… II. ①谢… III. ①印刷电路 - 计算机辅助设计 - 高等学校 - 教材  
IV. ①TN410. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 195687 号

---

---

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 18

字 数 / 423 千字

版 次 / 2017 年 2 月第 1 版 2017 年 3 月第 2 次印刷

定 价 / 39.80 元

责任编辑 / 张慧峰

文案编辑 / 张慧峰

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

---

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换



# 前言

## Preface

目前我国的电子信息产业飞速发展，对应用电子技术人才的需求量很大，并且应用电子技术专业毕业的学生主要从事电子产品设计开发、PCB 加工等工作。应用电子技术专业顺应区域经济的发展需求，经过企业调研和岗位分析，在对典型工作任务进行分析的基础上，选取“PCB 设计与加工”为本专业的教学载体，特开设“PCB 设计与加工”这门课程，以为蓬勃的经济发展培养合格的技能人才。

本教材具有以下特色：

教材的针对性强、适用性强、内容设计合理并注入最新 PCB 加工技术内容，构建“阶梯式”技能训练链，强化 PCB 设计、PCB 加工职业能力。在教材的编写过程中，由于有企业专家全程参与，删去了许多复杂的、学生难以接受的内容，加入了一些流行元素，教材的难度降低，实用性增强了。通过学习本教材，可以让学生更好地融入企业，真正实现学校和企业零距离对接。

本教材内容包括五大项目，分别是：PCB 基础入门、原理图设计、元器件的创建、PCB 设计、PCB 加工。建议总学时为 56 学时，其中讲授 28 学时，实训 28 学时，并安排 1 周的实训，有条件的可以安排 2 周。

本教材可作为高职高专院校电子信息工程技术、应用电子技术、机电一体化技术和电气自动化技术及相关专业的教材，也可以作为从事电子产品设计与开发人员的培训教材。

本教材由娄底职业技术学院谢平担任主编，编写了项目五、任务 2.1、任务 2.2，并负责统稿。娄底职业技术学院刘理云、谢轩担任副主编，刘理云编写了项目一，谢轩编写了项目四。其他参与编写的人有：娄底职业技术学院吴水平，编写了任务 2.3、任务 2.4；中国移动通信集团广东有限公司东莞分公司李嘉安娜，编写了项目三。

本教材由刘罗仁教授担任主审。

本教材在编写过程中得到了湖南科瑞特科技股份有限公司的大力支持，同时得到了娄底职业技术学院应用电子技术专业各届学生们的协助，编写过程中还参考了许多同行专家的文献和资料，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编者



# 目 录

## Contents

► 项目一 PCB 基础入门 .....	1
任务 1.1 Protel DXP 2004 SP2 软件认知 .....	1
1.1.1 Protel DXP 2004 SP2 软件介绍 .....	1
1.1.2 Protel DXP 2004 SP2 的运行环境及软件安装 .....	3
1.1.3 Protel DXP 2004 SP2 软件应用初步 .....	6
技能训练 .....	9
习题 .....	13
任务 1.2 PCB 基础知识认知 .....	13
1.2.1 PCB 的基本概念 .....	14
1.2.2 PCB 的组成要素 .....	19
1.2.3 PCB 设计的原则 .....	26
技能训练 .....	28
习题 .....	30
任务 1.3 PCB 加工认知 .....	31
1.3.1 PCB 的加工方法 .....	31
1.3.2 加工 PCB 的主要材料 .....	32
1.3.3 PCB 加工的工艺流程 .....	38
技能训练 .....	39
习题 .....	44
► 项目二 原理图设计 .....	45
任务 2.1 三极管放大电路原理图设计 .....	45
2.1.1 原理图设计步骤 .....	45
2.1.2 原理图编辑器 .....	47
2.1.3 加载元器件库 .....	50
2.1.4 放置元器件 .....	53
2.1.5 电气连接 .....	57
技能训练 .....	59
习题 .....	63
任务 2.2 串联稳压电源电路原理图设计 .....	64
2.2.1 系统参数设置 .....	64

2.2.2	图形编辑环境参数设置 .....	66
2.2.3	图纸设置 .....	71
2.2.4	元器件属性设置 .....	77
	技能训练 .....	80
	习题 .....	89
任务 2.3	24 s 计时器原理图设计 .....	89
2.3.1	原理图的完善 .....	89
2.3.2	原理图操作 .....	96
2.3.3	电气检查与报表生成 .....	98
	技能训练 .....	105
	习题 .....	111
任务 2.4	最小系统板电路原理图设计 .....	111
2.4.1	采用总线形式设计接口电路 .....	111
2.4.2	层次电路图设计 .....	114
2.4.3	原理图输出 .....	121
	技能训练 .....	122
	习题 .....	128
<b>► 项目三</b>	<b>元器件的创建</b> .....	<b>129</b>
任务 3.1	原理图元器件制作 .....	129
3.1.1	元器件库编辑器 .....	129
3.1.2	元器件库的管理 .....	131
3.1.3	绘制元器件工具 .....	132
	技能训练 .....	133
	习题 .....	136
任务 3.2	元器件封装制作 .....	136
3.2.1	PCB 元器件库编辑器 .....	136
3.2.2	元器件封装的创建 .....	137
	技能训练 .....	140
	习题 .....	141
<b>► 项目四</b>	<b>PCB 设计</b> .....	<b>142</b>
任务 4.1	三极管放大电路 PCB 设计 .....	142
4.1.1	印制电路板设计的基本概念 .....	142
4.1.2	元件与元件封装 .....	145
4.1.3	PCB 设计的基本操作步骤 .....	149
4.1.4	对原理图中各元件的封装进行编辑 .....	150
4.1.5	创建 PCB 文档 .....	152
4.1.6	手绘 PCB 板框 .....	154

4.1.7	生成网络表 .....	154
4.1.8	PCB 手动布局与布线 .....	156
	习题 .....	161
任务 4.2	串联稳压源电路 PCB 设计 .....	161
4.2.1	导入网络表出错原因分析 .....	162
4.2.2	PCB 自动布局与布线 .....	164
4.2.3	PCB 文件打印输出 .....	172
	习题 .....	174
任务 4.3	24 s 计时器电路 PCB 设计 .....	175
4.3.1	PCB 层的控制与管理 .....	175
4.3.2	创建 PCB 元件库和元件封装 .....	180
4.3.3	创建集成库 .....	186
4.3.4	双面 PCB 设计 .....	192
	习题 .....	194
任务 4.4	单片机最小系统电路 PCB 设计 .....	195
4.4.1	设计思路 .....	195
4.4.2	创建 PCB 文档 .....	197
4.4.3	PCB 布局与布线 .....	202
4.4.4	覆铜和补泪滴 .....	205
	习题 .....	206
► 项目五	PCB 加工 .....	208
任务 5.1	三极管放大电路的热转印加工 .....	208
5.1.1	打印文件 .....	208
5.1.2	加工文件输出 .....	212
5.1.3	热转印法制作 PCB .....	217
	技能训练 .....	221
	习题 .....	225
任务 5.2	串联稳压电源电路单面板加工 .....	226
5.2.1	底图形成 .....	226
5.2.2	外形加工与钻孔 .....	230
5.2.3	图形转移 .....	235
	技能训练 .....	238
	习题 .....	245
任务 5.3	24 s 计时器双面板加工 .....	246
5.3.1	金属化孔 .....	246
5.3.2	化学蚀刻 .....	250
5.3.3	表面处理 .....	253
	技能训练 .....	256



习题	261
任务 5.4 最小系统板电路双面板加工	262
5.4.1 底图输出	262
5.4.2 干膜工艺	268
5.4.3 PCB 的质量检测	271
技能训练	272
习题	277
► 参考文献	278

---

# 项目一

## PCB 基础入门

### 任务 1.1 Protel DXP 2004 SP2 软件认知

#### 任务要求

##### 知识目标

- (1) 了解 Protel DXP 2004 SP2 的发展历史。
- (2) 掌握 Protel DXP 2004 SP2 的特点、运行环境、软件安装方法。
- (3) 掌握 Protel DXP 2004 SP2 主工作界面的内容。

##### 技能目标

- (1) 熟练掌握 Protel DXP 2004 SP2 的各种启动方法。
- (2) 熟练掌握 Protel DXP 2004 SP2 的基本操作。
- (3) 熟练操作 Protel DXP 2004 SP2 创建工程项目及创建文件。

#### 1.1.1 Protel DXP 2004 SP2 软件介绍

Protel 是 20 世纪 80 年代末出现的 EDA 软件，在电子行业的 CAD 软件中，它当之无愧地排在众多 EDA（电子设计自动化）软件的前面，是电子设计工程师的首选软件。它很早就在国内开始使用，在国内的普及率也最高，几乎所有高职院校的电子专业都开设了课程来学习它，现在大多数的电子公司都要用到它。

Protel DXP 2004 SP2 拓展了 Protel 软件的原设计领域，Protel DXP 2004 SP2 的功能更加完备、风格更加成熟，并且界面更加灵活，Protel 旧版具有的功能它都具有。

## 1. Protel 简介

最早由美国 ACCEL Technology 公司于 1985 年左右推出在 DOS 系统中运行的版本，称之为 TANGO 软件包，开创了电子设计自动化的先例。随后由澳大利亚 Protel Technology 公司推出升级版 Protel for DOS，由于其简单、易用，迅速风行大陆。

随着 Windows 操作系统的诞生，Protel 公司于 1991 年适时推出 Protel for Windows 版本，其后，又增加了通用原理图设计和其他功能。以后，Protel 公司又开创了 Client/Server（客户/服务器）架构体系，方便了各 EDA 软件工具的无缝连接与团队支持能力。

1999 年，Protel 公司推出的 Protel 99 构成了从电路设计到真实板分析的完整体系。随后又推出了 Protel 99SE，性能又进一步提高，成为当今 PC 机上应用最广泛的 EDA 软件之一。

进入 21 世纪，Protel 公司收购整合了多家电路设计软件公司，正式更名为 Altium（奥腾）公司。

2002 年，Altium 公司推出了 Protel DXP，它集成了更多工具，使用方便，功能强大。

2004 年，Altium 公司推出了 Protel DXP 2004 SP2，其功能更加强大和完善，为设计者提供了全方位的设计工具，能够进行各种复杂电路的设计。

随后，Altium 公司在 2006 年推出了 Altium Designer 6.0，2008 年推出了 Altium Designer Winter 09，2009 年推出了 Altium Designer Summer 09 等不同的版本。

## 2. Protel DXP 2004 SP2 的特点

Protel DXP 2004 SP2 是目前国内最流行的通用 EDA 软件，它将电路原理图设计、PCB 板图设计、电路仿真和 FPGA 设计等多个实用工具组合起来构成 EDA 工作平台。软件具有丰富的设计功能，能进行原理图的设计、印制电路板的设计、PCB 板的设计等，新增加了自动布线功能、引入了集成库的概念、支持更完美的 3D 功能，是目前网络上最流行的电路板设计软件。其主要特点如下：

(1) 集成了电路原理图设计、PCB 板图设计、电路仿真、自动布线器和 FPGA 设计等多个功能模块。

(2) 可进行 74 个板层设计，包含 32 层 Signal（信号走线层）；16 层 Mechanical（机械层）；16 层 Internal Plane（内层电源层）；2 层 Solder Mask（防焊层）；2 层 Paste Mask（锡膏层）；2 层 Silkscreen（丝印层）；2 层 钻孔层（钻孔引导和钻孔冲压）；1 层 Keep Out（禁止层）；1 层 Multi-Layer（横跨所有的信号板层）。

(3) 交互式编辑、出错查询、布线，具备可视化功能，从而能更快地实现 PCB 布局。对于同一个文件，设计者可打开多个窗口在不同的屏幕上显示。

(4) 采用了改进型 Situs Topological Auto routing 布线规则。这种改进型的布线规则以及内部算法的优化都大大提高了布线的成功率和准确率。

(5) 引入了集成库的概念，提供了丰富的元器件库，提供元器件查询功能。

(6) 提供了完善的混合模拟仿真、PCB 和原理图的信号完整性分析功能。

(7) 完全向下兼容，支持 Protel 98/ Protel 99/ Protel 99 SE/Protel DXP 等以前的版本。

(8) SP2 以上版本支持多种语言（中文、英文、德文、法文、日文）。

## 1.1.2 Protel DXP 2004 SP2 的运行环境及软件安装

### 1. Protel DXP 2004 SP2 的运行环境

电脑如下配置软件即可运行正常：

- Windows 2000 专业版或 Windows XP
- 1.8GHz 处理器
- 512MB RAM
- 2GB 硬盘空间（安装 + 用户文件）
- 1024 × 768 屏幕分辨率的显示器，32 位彩色、32MB 图形卡

由于软件的功能强大，在软件运行时要进行大量的运算和存储，因而电脑的配置越高，软件的运行速度就越快。

### 2. Protel DXP 2004 SP2 的安装

Protel DXP 2004 SP2 的安装步骤如下：

- (1) 找到 Protel DXP 2004 SP2 的安装文件。
- (2) 解压安装文件压缩包，运行 setup\Setup.exe 文件，安装 Protel DXP 2004。

双击 Setup.exe 弹出如图 1-1 所示安装向导对话框，单击【Next】，弹出如图 1-2 所示授权许可对话框，选 I accept the license agreement 后，单击【Next】，弹出如图 1-3 所示输入用户信息对话框，单击【Next】，弹出如图 1-4 所示选择安装路径对话框，系统默认路径为“C:\Program Files\Altium 2004 SP2\”，也可通过【Browse】按钮来选择安装路径，然后单击【Next】，弹出如图 1-5 所示安装画面，单击【Next】，弹出如图 1-6 所示复制文件过程画面，几分钟之后安装完成，弹出如图 1-7 所示的窗口，单击【Finish】按钮，完成 DXP 2004 SP2 的安装。



图 1-1 安装向导窗口



图 1-2 授权许可窗口



图 1-3 输入用户信息



图 1-4 选择安装路径



图 1-5 安装画面



图 1-6 复制文件过程



图 1-7 安装完成的画面

(3) 接着分别运行 DXP 2004 SP2 补丁 .exe 和 DXP 2004 SP2\_ Integrated Libraries.exe 文件，安装 SP2 补丁和 SP2 元件库。

完成以上步骤后，如果启动 Protel DXP 2004 SP2，将会出现如图 1-8 所示的画面，若提示没有有效的使用许可，说明软件不能使用。



图 1-8 使用许可提示画面

(4) 使用 DXP 2004crack.rar 文件中的 Protel 2004 SP2 keygen 生成协议文件对 SP2 进行破解。将 Protel 2004\_sp2\_Genkey.rar 文件中的破解补丁——Protel 2004\_sp2\_Genkey.exe 放在 Altium 2004 SP2 的安装目录里面双击注册。

### 3. Protel DXP 2004 SP2 的卸载

Protel DXP 2004 SP2 的卸载与其他应用程序的卸载是完全一样的。单击【开始】→【控制面板】→【添加或删除程序】，弹出如图 1-9 所示的【添加或删除程序】窗口，依次选取 DXP 2004、DXP2004 Service Pack 2、DXP2004 SP2 Integrated Libraries 删除。此时安装目录中的有些文件没有删除，如果要全部删除，选择安装目录中的文件夹 Altium 2004 删除。



图 1-9 【添加或删除程序】窗口

### 1.1.3 Protel DXP 2004 SP2 软件应用初步

#### 1. Protel DXP 2004 SP2 的启动

方法一：双击桌面 DXP 2004 SP2 快捷启动图标  即可启动。

方法二：单击桌面任务栏【开始】→【所有程序】→【Altium】→【DXP 2004】即可启动 Protel DXP 2004 SP2。

程序启动后屏幕展示如图 1-10 所示的启动界面。程序运行完毕后，进入 Protel DXP 2004 SP2 英文设计主窗口，如图 1-11 所示。

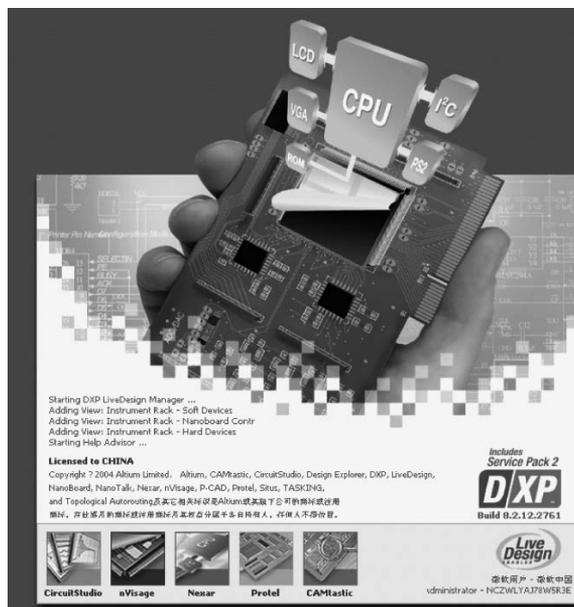


图 1-10 Protel DXP 2004 SP2 启动界面

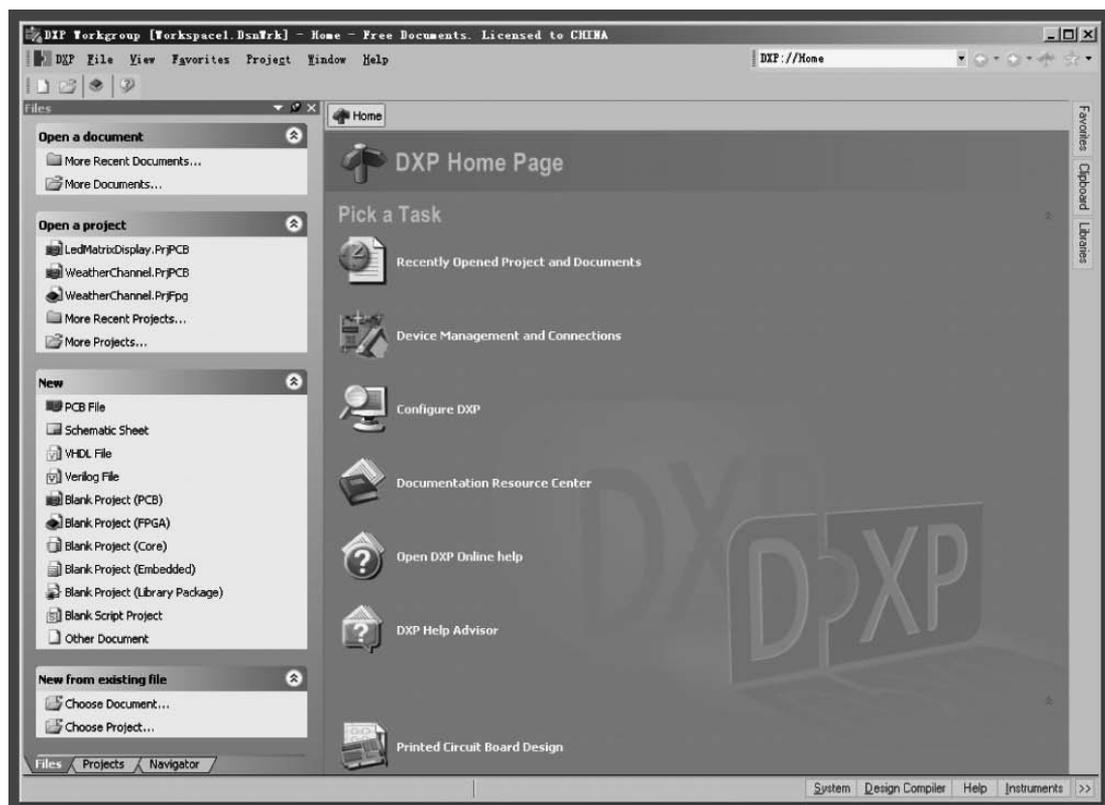


图 1-11 Protel DXP 2004 SP2 英文设计主窗口

启动 DXP 2004 SP2，进入主界面之后，单击【DXP】→【Preferences】。在弹出的【Preferences】选项中，选择【Use localized resources】，如图 1-12 所示，单击【OK】按钮返回主界面，关闭应用程序并重新启动 DXP 2004 SP2，系统的界面就变成了中文界面。

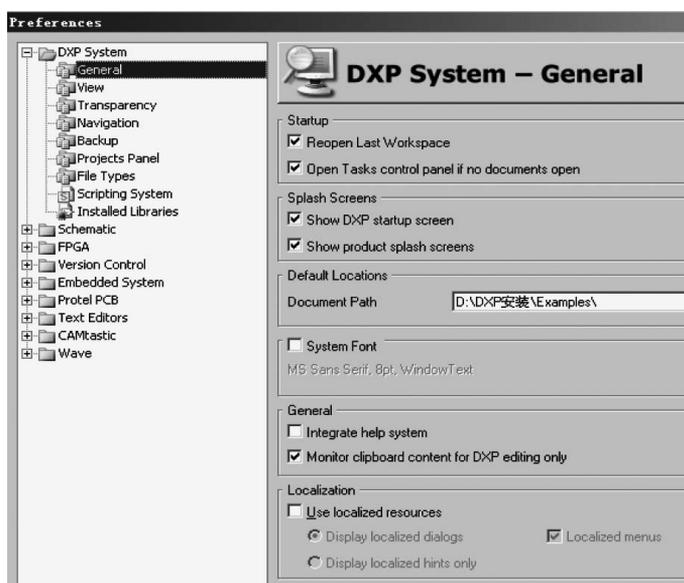


图 1-12 Preferences 下设置中文界面

## 2. Protel DXP 2004 SP2 的主工作界面

Protel DXP 2004 SP2 的主工作界面如图 1-13 所示，主要由菜单栏、工具栏、工作窗口、工作面板、状态栏、导航栏和面板标签栏 7 部分组成。



图 1-13 Protel DXP 2004 SP2 的主工作界面

### (1) 菜单栏。

Protel DXP 2004 SP2 集成开发环境的菜单栏集成了 Protel DXP 的所有命令和操作，如图 1-14 所示。

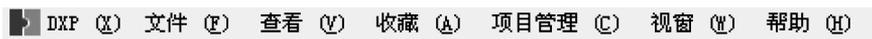


图 1-14 主工作界面的菜单栏

### (2) 工具栏。

工具栏如图 1-15 所示，包括 4 个基本按钮，从左到右分别是创建任意文件、打开已存在文件、打开器件视图页面、顾问式帮助。



图 1-15 工具栏

### (3) 导航栏。

导航栏如图 1-16 所示，包括 5 个部分，从左到右分别是当前窗口地址栏、后退一步按钮、前进一步按钮、返回到主页面、收藏夹选项。



图 1-16 导航栏

(4) 工作面板。

工作面板位于主工作界面的左边，如图 1-17 所示。工作面板的标签栏位于面板的最下方，通常有【Files】、【Projects】、【Navigator】等标签，用鼠标左键单击所需要的标签就可以进行查看该标签的内容。

(5) 工作窗口。

Protel DXP 2004 SP2 启动后的工作窗口，如图 1-18 所示。窗口中图标说明如下。



图 1-17 工作面板



图 1-18 工作窗口

左边 6 个图标分别是：

最近打开的项目设计文件和设计文档、元件管理和连接、配置 Protel DXP 系统、帮助文档资源中心、Protel DXP 在线帮助系统、Protel DXP 帮助向导。

右边 6 个图标分别是：

PCB 设计相关选项、FPGA 项目设计相关选项、嵌入式软件开发相关选项、Protel DXP 库文件管理、Protel DXP 脚本编辑管理、参考设计实例。



## 技能训练

### Protel DXP 2004 SP2 基本操作

#### 1. 实训设备与器材

- |                            |     |
|----------------------------|-----|
| (1) Protel DXP 2004 SP2 软件 | 1 个 |
| (2) 计算机                    | 1 台 |
| (3) U 盘                    | 1 个 |