

PCB 设计基础

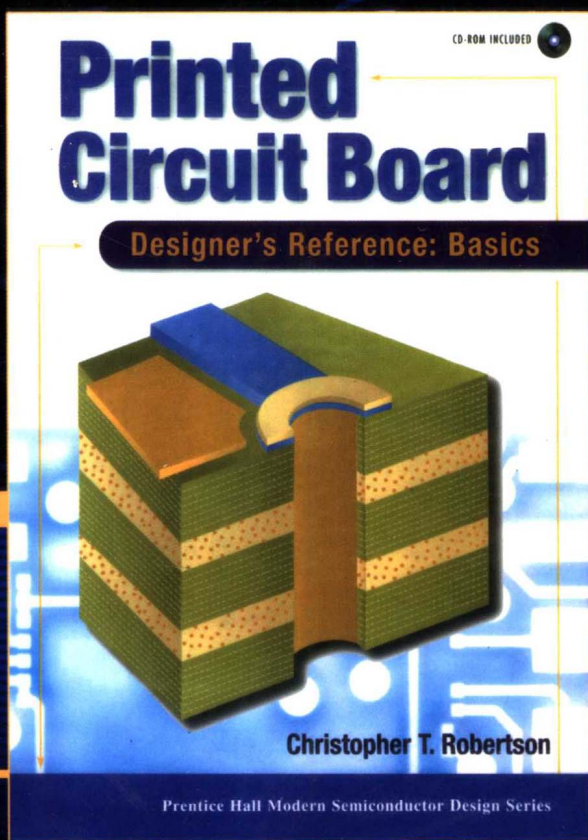
Printed Circuit Board Designer's Reference: Basics

(美) Christopher T. Robertson 著

刘勇 潘艳 袁辉 译
刘雷波 审校



附赠光盘



电子与电气工程丛书

PCB设计基础

Printed Circuit Board
Designer's Reference: Basics

(美) Christopher T. Roberston 著
刘勇 潘艳 袁辉 译
刘雷波 审校



机械工业出版社
China Machine Press

本书主要介绍 PCB 设计与制造的基础知识, 并且汇总了该领域的一般性标准和工艺。本书提供了日常计算工具、有效的表格、快速参考图及覆盖整个设计过程的完全清单, 清楚地解释了数据的来源及使用和调整方式等。读者可以从本书中了解到当今业界使用的关键设计技术, 并为学习更先进的技术打下良好的基础。此外, 本书附带的光盘包括极具价值的软件包和设计者参考资料, 可供设计者在实践中扩展使用。

本书适合 PCB 设计初学者学习和参考, 书中的参考资料和软件对有经验的设计者和相关从业人员也十分有用。

Authorized translation from the English language edition entitled *Printed Circuit Board Designer's Reference: Basics* by Christopher T. Robertson, published by Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall PTR (ISBN0-13-067481-8), Copyright © 2004 by Prentice Hall PTR.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanic, including photocopying, recording, or by any information storage retrieval system, without permission of Pearson Education, Inc.

Chinese simplified language edition published by China Machine Press.

Copyright © 2007 by China Machine Press.

本书中文简体字版由美国 Pearson Education 培生教育出版集团授权机械工业出版社独家出版。未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书内容。

版权所有, 侵权必究。

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

本书版权登记号: 图字: 01-2003-8108

图书在版编目(CIP)数据

PCB 设计基础/(美)罗伯特森(Robertson, C. T.)著;刘勇,潘艳,袁辉译.-北京:机械工业出版社,2007.5

(电子与电气工程丛书)

书名原文: Printed Circuit Board Designer's Reference: Basics

ISBN 978-7-111-19873-4

I. P... II. ①罗... ②刘... ③潘... ④袁... III. 印刷电路-计算机辅助设计 IV. TN410.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 106917 号

机械工业出版社(北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:秦燕梅

北京诚信伟业印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2007 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 16.25 印张

定价: 39.00 元(附光盘)

凡购本书, 如有倒页、脱页、缺页, 由本社发行部调换

本社购书热线: (010)68326294

译者序

在我们的生活中，到处都是像手机、MP3、电视机、POS 机这样的电子产品和嵌入式产品，它们正改变和影响着我们的生活。

印制电路板(Printed Circuit Board, PCB)几乎会出现在每一种电子产品当中。如果在某种设备中有电子零件，那么它们都是镶在大小各异的 PCB 上。应该说，PCB 是电子产品的骨架。因此，PCB 板的设计技术在某种程度上是电子产品的核心技术。

本书主要讲述了 PCB 设计的一些基础知识和基本概念，以及在行业中经常使用的规范和技术。读者可以从中了解到当今业界使用的关键设计技术，并为学习更先进的技术打下良好基础。本书内容涵盖了 PCB 设计工具和技术，为读者提供了日常计算工具、表格、快速参考图及贯穿整个设计过程的完全清单，并提供了常用数据的出处、用法和调整说明。

本书的作者 Christopher T. Robertson 是美国 PCB 行业的一位资深工程师，他在 PCB 行业的制造、测试、维护、装配及 PCB 设计软件的测试方面有着多年的经验，本书凝结了作者的实践经验，实用性很强。

我们把这本书介绍给国内读者，希望能够对 PCB 设计的初学者有所帮助，有经验的 PCB 设计工程师也会获益匪浅，本书还可供电子及相关专业的学生学习印制电路板设计时参考。本书的第 1、2、6 章及术语表由刘勇翻译，第 4、7、8 章和设计者清单由潘艳翻译，第 3 章和第 5 章由袁辉翻译。最后由刘雷波进行了审校。

由于时间较紧，加之译者水平有限，书中的疏漏和错误难以避免，请读者和专家批评指正。

前 言

撰写本书的目的，是通过各种参考材料、软件、图表和其他工具，为印制电路板(Printed Circuit Board, PCB)的设计和制造提供指导。

市场上面向初级 PCB 设计者的书目前很少，针对 PCB 制造者也只发布了很有限的一些标准。本书写作过程中的一个困难决定是，我们要公布一些新的没有发表过的信息，这些信息要么相关的研究较少，要么就是其中数据缺乏现成文献资料的支持。历史表明，业界公共的实践和经验完全可以看成是这种尚无正式文献的信息。业内很多 PCB 设计者和领导者认为，不应该提供正式文献没有记载的信息。但是，大多数标准并不是来自于文献，而是来自于经验、常识和讨论。

PCB 设计是以一种不断变化的技术为基础的，这种技术可以进行不断更新和文件编制。本书包含的数据并未得到互联与封装电子电路协会的支持。这些数据是按照设计和制造要求的平均水平所得的，也是由成百上千的 PCB 设计者的个人数据抽样得到的。当要求、应用、工艺及个人和公司的标准发生变化时，这些数据也会相应发生变化。

PCB 制造工艺表(见表 2-1)中的数据也是以全美 PCB 制造商的平均数据为基础的。这些数据可以帮助你依据设计的要求来选择制造商，以及根据制造商的能力来进行 PCB 设计。它们是指导设计者根据设计要求和制造能力选择制造商的一套规则。

本书涉及的范围

PCB 设计涉及了不计其数的样式、材料、类型及详图，但本书只涵盖 PCB 设计基础部分的内容。本书的进阶版本将涉及弯曲型 PCB/柔软型 PCB、可控电路阻抗、特殊材料等更多主题。本书足以解决 50% ~ 75% 的 PCB 设计问题。

PCB 行业总是更关注新工艺和新技术，而忽视了设计的基础。而本书讲述了 PCB 制造的一般过程和常规设计。进行高级 PCB 板的设计，要求设计者对 PCB 设计基础知识熟练掌握，而这正是本书的用意所在。

本书的另一个目的在于指出 PCB 行业的不足，以及目前面向初级设计的完整软件的缺乏。很多软件并不支持大多数设计者每天要完成的任务。本书附带的软件可以用来解决这一问题。本书希望引导软件开发商用计算机把解决各种问题的程序汇集在一起，以便节省程序设计的时间，并将这些表格和计算器集成到 PCB 设计软件中。

设计者须知

初级 PCB 设计者需要了解 PCB 板和元器件的基础知识，这样才能设计一些简单的 PCB 板。此外，掌握计算机辅助设计(CAD)的知识及电子电气的基础知识是必要的。有了这些知识，就可以理解“为什么导线必须这么宽”、“为什么导线之间的安全间距这么宽”等问题。

要掌握 PCB 设计，掌握射频和电磁场的知识也是很重要的。

在美国，很多高速、高频 PCB 的设计师只有高中学历，而很多有大学工程学位的设计者却只能设计简单的 PCB。在美国设计的很多 PCB 板都仅仅是简单的低频板，并不需要高学历人才。

PCB 行业的一个问题是设计需求的增长和新的年轻设计者数量的减少。这是由于设计软件和电路板越来越复杂，而设计者待遇却不能提高而造成的。

另一个问题是 PCB 制造行业缺少标准。这造成了设计者之间的分歧和混乱，以及在编制正式文件时的困难。

最后一个是 PCB 软件缺少考虑实际问题，因为软件设计者缺乏对 PCB 需求的了解，所以以下日常所需的一些计算常常不能被提供：

- 根据电流的要求，立即按层计算出导线的宽度。
- 根据电压的要求，立即按层计算出安全间距。
- 按层计算阻抗。
- 用实际材料值计算焊层并用文档记载。
- 可用材料数据库(从制造商处获得)。

本书的组织

本书试图清晰地描述有关数据，包括这些数据的来源，以及怎样对这些数据进行调整。因此，本书具有以下几个特点：

- 方便易用的日常计算工具。
- 易于理解的表格。

- 快速参考图表。
- 始自开发、终于最后，审查整个过程的完整核对清单。
- 定义、说明和用于解释数据和结果的图形。

随着工艺的改进，标准和数据也会随之变化；读者也可用较新的有关数据修改本书内容。本书附带的软件也可以随着工艺的改进而变化，这样就为设计者提供了一个可终身使用的设计工具。

本书所用的惯例

本书包含了很多标准和惯例，本节将详述这部分内容。大多数术语在第一次使用时就会给出定义，或者在本书附录的词汇表中描述。根据是从制造商的角度还是从设计者的角度，术语的名称是不同的，且有些术语是同义的，但在不同的应用场合它们有着不同的含义。

图和表格

本书包含大量图和表格。表格以多栏格式来提供信息，即每一条目占用一行，而数据则占用一列。与表格不同，图通过图片和图形的形式来表现信息。表格和图均按章号和顺序来依次编号。

设计者核对清单

设计者核对清单是对设计过程综合、详细的描述，既能用于各种设计，也可以根据特定的设计应用定制(本书附带的软件提供了核对清单的电子版)。在保证设计之间的一致性时，这个核对清单提供了经过验证的一种框架。

我们从设计者核对清单中摘录了某些条目，并融入到以下几章里：

- 第4章融入了核对清单中原理图输入部分的内容。
- 第5章融入了核对清单中设计部分的内容。
- 第7章融入了核对清单中输入板检查部分的内容。
- 第8章融入了核对清单中组合件绘制的内容。

本书的设计者核对清单旨在为完成 PCB 设计所需的各项检查条目提供指导。

注意和提示

本文中有许多注意和提示的内容。读者应该对这些内容多加留心，因为它们都非常重要。

公制和英寸

本书采用英寸作为长度单位，但是其后的方括号里有等价的公制长度。需要注意的一点是，很多标准值都是基于英制测量系统的，因此以公制设计的 PCB 板上的

数值也许不够精确。

实际上，很多零件、系统及制造商仍然以英制为基础，这很可能引起设计者的混淆。幸运的是，零件制造商和标准似乎也开始向公制转变。我们推荐初级设计者一开始就使用公制。

本书提供的光盘

本书附带了一张光盘，内容包括面向初学者的文档和程序，也包括前面所提到的设计者核对清单和设计者参考资源。

除此之外，还包括了：

- ANSI 和公制格式的边界区。
- 设计细节图。
- 穿孔尺寸表。
- 制造注意事项示例。
- 多层板层叠示意图。
- ANSI 和公制格式的标题区。
- 其他相关的浏览器和程序。

相关网站

网站 www.PCBDR.com 提供了与本书相关的更多信息和示例。

致谢

感谢以下诸位：

Carol Robertson 审阅和编辑了本书的初稿。

Judy Eigelsbach 审阅和编辑了本书的第二稿。

James Markham 为本书终审和定稿，并提供了大多数附录材料。

感谢 Bernard Goodwin 对我的信任并出版此书。

设计者核对清单

电路设计者的要求

初始计划

1) 汇集设计要求，包括所需要的元件清单、要求的元器件位置及机械位置和要求。

2) 确定是否所需要的元器件都能从已有的库中获得，否则需要创建元件清单。

3) 选择设计模板。

4) 按照子部分的编号来保存文件。

5) 输入设计信息。

6) 打开或加载需要的库。

7) 元器件和导线一起放置。

8) 标注所有的电流、电压、高频、噪声和回路。

9) 在印制板设计中，对于大多数常用的铜膜导线和安全间距，加入如下注意事项：“若无特殊说明，所有电路应符合电流小于 0.25A 和耐受电压小于 30V 的规范”（适用于 6/6，即 0.006 英寸的铜膜导线和 0.006 英寸的安全间距）。

10) 放置电源引线表。

11) 放置“最近使用”和“未使用的引线/门电路”表。

12) 突出显示电源节点并核对每张图表以确保电路网的连通性。

13) 根据设计规则检查有无诸如单节点网络、无节点网络、无连接管脚引线、无连接导线等问题。

14) 生成材料表清单 (BOM) 并对照材料表进行核对。

15) 增加必需的注意事项。

16) 增加图表编号。

17) 打印并再次检查原理图。

- 18) 设置或修改位置、格式和字体等。
- 19) 将所有的节点进行归类。
- 20) 生成节点表。
- 21) 将库存档。
- 22) 进行其他的相关检查：
 - 所有芯片的输入终端是否都满足要求。
 - 芯片或元器件是否都有必需的滤波电容。
 - 主电路和支路是否可以清楚地区分。

印制电路板设计清单

(这一部分内容在第 5 章进行论述。)

确定约束条件

- 1) 确定印制板的尺寸。
- 2) 确定印制板顶层与底层间的布线间距。
- 3) 注意隔断区、隔断槽及不可用区域的尺寸。
- 4) 确定印制板的厚度。
- 5) 确定边缘间隙区。
- 6) 确定所有的隔断区、隔断槽。
- 7) 确定如开关信息这样的装配需求。
- 8) 对包括金属件、接插件、发光管/LED 和开关等元器件的预定义位置进行标注。
- 9) 在阻焊层不需要阻焊的区域放置一个多边形以示标记。
- 10) 禁止布线层放阻焊剂，并确定走线之间、过孔之间、焊盘之间、元器件之间的间距要求(根据元器件与孔径公差、元器件移动范围或孔径公差)。
- 11) 按照 IPC 或军用的规范确定要求。
- 12) 确定产品的装配形式，如手工、自动、手工自动结合。
- 13) 确定服务形式：
 - 无服务/故障处理(用于试验板、学习板)。
 - 初级服务(用于 PCB 上比较廉价、容易更换或只需初级服务的应用的元器件)。

- 高级服务(用于 PCB 上比较昂贵、难以更换或需要高级服务应用的元器件)。
- 确定工艺要求及工艺限制。

开始设计

- 1) 打开新文件或加载相应的模板。
- 2) 对焊盘、过孔或文字样式进行标准化检查。
- 3) 在图中心用 0.040 英寸的线画印制板的边框。
- 4) 在图中心用 0.040 英寸的线画印制板中所有的隔断槽和隔断区。
- 5) 输入设计信息。
- 6) 加载库/存档库。
- 7) 加载节点表。
- 8) 生成材料表清单(BOM)并对照材料表进行核对(使材料清单中包括原理图里没有的机械元件)。
- 9) 在预定义的区域放置所需元件。
- 10) 定义相应类别/节点的导线宽度、间隙(安全间距)以及孔间隙。
- 11) 确定其他的设计属性或设计规则。
- 12) 若可行, 分层确定铜膜导线和安全间距参数。
- 13) 设定以下方面的设计工作:
 - 全部的设计规则
 - 阻焊层膨胀(总体的)
 - 粘贴膨胀(总体的)
 - 内层膨胀(总体的)
 - 焊盘膨胀(总体的)
 - 热量分离
 - 热量间隔
- 14) 确定装配的方向(特别是对于自动装配)。
- 15) 确定元器件的方向。
- 16) 按类型确定区域。
- 17) 从以下方面确定多层板的参数:
 - 层数
 - 层的对称性(信号层对信号层等)
 - 层的方向

- 层的类型(如严格的电源层、数字部分等)
- 分割平面

18) 按照印制板、隔断区和隔断槽的轮廓在所有的平面层边缘间隙上敷铜。

19) 在电源层上用文字显示网络节点名称(地, +5V 等)。

20) 计算印制板厚度并确定材料是否可用。尽量使用预先确定或曾使用过的材料。或者, 在设计完成后保留有价值的未用完材料。

21) 增加加工孔。

22) 在所有的层或镀层上增加基准点。这样不仅有助于设计完成后的调整也有利于制造时校准。

23) 在底边用敷铜标示印制板零件号码。

24) 印制板修改(用敷铜或手工标示)。

25) 层号(按照层号编号的每层有一个胶印)。

26) 装配号(丝网层, 标于上边缘)。

27) 装配修改(留出空白区域以便于手工标示)。

初始检查

- 1) 检查电源管脚是否正确地连接零件相应的极性。
- 2) 检查要求接地的孔是否接地。
- 3) 完成布置定位并准备布线。

手工布线

- 1) 首先布置以下类型的节点:
 - 最难布置的节点
 - 最复杂的节点
 - 布线困难的节点优先
 - 强电流的节点(主要布置在外部)
 - 高电压的节点(主要布置在内部)
 - 敏感节点
 - 噪声节点
- 2) 分开模拟和数字部分。
- 3) 布置总线。

自动布线

- 1) 必要时手工布置前面“手工布线”中所讲的项目。
- 2) 确定自动布线的共同属性。
- 3) 确定/选择“常规”、“执行”文件、“布置”文件或“布线图”文件。
- 4) 布线完成后需要做的工作：
 - 手工擦除路径
 - 斜接直角拐角
 - 运行 DR/按照设计规则确保间距都满足要求
 - 检查环孔尺寸
 - 改变路径或零件

附加标识

- 1) 静电放电符号。
- 2) 高压警告。
- 3) 运行 DR/按照设计规则确保间距都满足要求。
- 4) 将参考标识符重新放置于正确的位置。
- 5) 将参考标识符重新编号。

生成制造/装配图

- 1) 以边界为范围绘制层，或包括边界层。
- 2) 以 X 轴和 Y 轴的尺度来标识印制板的尺寸。
- 3) 定位孔到边缘的尺寸(这是作为胶片导出和钻孔时定位确认所用)。
- 4) 任何割断区的尺寸偏差要小于 ± 0.005 英寸。
- 5) 印制板层面信息包括以下方面：
 - 层数
 - 层的类型
 - 层的厚度
 - 层的公差
 - 敷铜层的类型
 - 每层的铜膜导线之间的最小宽度(仅此种特殊情况)
 - 整个印制板的厚度

- 整个印制板的允许公差(惯例是 $\pm 10\%$)
- 6) 钻孔导向图, 包括:
- 孔化后的尺寸
 - 孔的类型(电镀的或非电镀的)
 - 孔径公差(小于 0.080 英寸的孔径公差不得超过 ± 0.003 英寸, 大于 0.080 英寸的孔径公差不得超过 ± 0.005 英寸, 不同的工艺有不同的要求)
 - 符号(与装配图相关联或者由光绘文件导出)
- 7) 导出或者装配注释包括:
- 参照的说明或指导, 若无其他注解说明(PC 类质量和 SS/DS 或 ML 类型)
 - 所使用的材料(主要材料)
- 8) 是否每张图都详细说明了敷铜厚度。
- 9) 最小的铜膜导线宽度和公差(一般 ± 0.003 英寸, 最严格 ± 0.001 英寸)。
- 10) 最小间距和公差(一般 ± 0.003 英寸, 最严格 ± 0.001 英寸)。
- 11) 每种要求的电镀(加厚电镀, 过孔加厚电镀, 增强 MFGAR)。
- 12) 孔的电镀最小为 0.0002mm(通常是外部电镀)。
- 13) 磨光类型: HASL 或涂锡导线(检查可用性)。
- 14) 孔至盘的校准(不允许有裂口)。
- 15) 层层之间的校准(± 0.002 英寸)。
- 16) 整体测量公差(每英寸 ± 0.002 英寸, 整体 ± 0.005 英寸)。
- 17) 印制板尺寸公差(± 0.005 英寸)。
- 18) 割断槽公差(± 0.003 英寸到 0.005 英寸)。
- 19) 倾斜度(若要求)。
- 20) 电气测试或收到官方测试结果。如果要求 P. O. 或者只作为试验模型。在外加电压 100V 时, 连续每英寸的阻抗小于 5Ω 。
- 21) 一个或几个如下的制造标识(通常置于底边):
- 盒代码(通常用于军事合同)
 - 公司标志(当其他部件也需订购时便于识别)
 - 日期代码(便于知道印制板生产日期)
 - 批号代码(便于故障维修)
 - 电气试验认证标志
- 22) 双绞线扭曲值(差分 0.010 英寸, 严格 0.007 英寸)。
- 23) 抽样检测或对于孔化质量的 X 射线检测(印制板质量好坏最重要的方面

之一)。

24) 其他。

文件编制

1) 图标/图表编号。

2) 加载或增加信息块以说明如下事项(这些信息可以保存在印制板上直至被从镶板上擦除):

- 公司名称
- 公司电话
- 层名
- 层数
- 零件号
- 修正
- 图表编号

应用公司详细信息

1) 在第 1 页上增加图表修改块(装配图)。

2) 增加图表修改部分(边框信息)。

3) 更新如下设计信息:

- 日期(每次当文件被结束、改动或修改时更新)
- 设计者(设计者姓名)
- 工程师(电气设计师或原理图的申报人)
- 校核者(QC、最终版或工程师的姓名)

4) 在第 1 页上增加图表修改块(装配图)。

检查计划(不要求)

1) 不必检查印制板就打印每层。

2) 检查以下内容:

- 图表层数目
- 数据
- 静电放电符号
- HV 注释

- 加工
- 管脚 1 的检查
- 定位孔的位置
- 印制板尺寸和间隔
- 机械支撑
- 元器件间隔
- 堆砌厚度

正式批准

- 1) 获得工程师对 PCB 板的批准。
- 2) 按规则实现。
- 3) 再次依据原理图生成节点表。
- 4) 再次运行 DRC(设计导则)并比较节点表清单。

输出

- 1) 建立胶片(光绘文件)输出文件或建立数据库输出。
- 2) 输出以下内容(in 274-X):
 - 分别输出所有的层
 - 输出要求的丝印层
 - 分别输出上下阻焊层
 - 带标识的装配图
 - 钻孔文件(用 ASCII 格式指示校正)
- 3) 导入光绘文件用 CAM/CAD 浏览器打开文件并针对原始设计检查一致性。

文件存档

- 1) 可以在收到印制板或测试完成后进行。
- 2) 妥善保存文件并将文件属性改为只读。
- 3) 如果还需改动, 改动后保存于一个新文件并针对相应的图号做出改动说明。

接下来的印制板检查

(这一问题将会在第 7 章中阐述。)

- 1) 目测印制板, 检查是否清洁及其外观。

- 2) 检查阻焊层, 包括:
 - 指定的颜色
 - 指定厚度
 - 质量
 - 污点
 - 蚀损斑
- 3) 敷铜是否满足要求。
- 4) 孔是否在焊盘中心(是否成环形并对齐)。
- 5) 孔的尺寸是否正确。
- 6) 是否层已定位。
- 7) 粘附力检验。
- 8) 外观是否与原图相符。
- 9) 丝印层是否与原图相符。
- 10) 全部印制板的尺寸是否正确。
- 11) 印制板有无弯曲。
- 12) 印制板边缘处有无铜。
- 13) 铜膜导线宽度是否在偏差范围内。
- 14) 进行以下项的电气检查:
 - 从顶层到底层的几个镀孔(小于 2Ω)
 - 从起点到终端的最长走线(每英寸小于 5Ω 或指定值)
 - 不同节点之间的短接阻抗(应该为开路状态)
 - 测试焊盘应该就近(可以知道连续的地方是否连续)

印制电路板装配清单

创建装配图

(这一问题将在第 8 章中阐述。)

- 1) 加载工程图明细表到丝印层。
- 2) 每张图表上注明页数。
- 3) 在装配区或指定区域输入设计信息。
- 4) 针对印制板类型增加基本的注释。
- 5) 加载丝印层光绘文件, 删除印制板中所有除丝印层外的层。