



国际制造业先进技术译丛

CRC Press
Taylor & Francis Group

面向制造及装配的 产品设计

Product Design
for Manufacture and Assembly

[美] 杰弗里·布斯罗伊德 (Geoffrey Boothroyd) 著
彼得·杜赫斯特 (Peter Dewhurst)
温斯顿·奈特 (Winston A. Knight) 译
林宋

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际制造业先进技术译丛

面向制造及装配的 产品设计

——原书第3版——

[美] 杰弗里·布斯罗伊德 (Geoffrey Boothroyd)

彼得·杜赫斯特 (Peter Dewhurst)

温斯顿·奈特 (Winston A. Knight)

林 宋

著

译



机械工业出版社

本书全面介绍了面向制造和装配的产品设计方法,书中针对面向制造和装配的产品设计、材料和工艺的选择、面向手工装配的设计、电气连接和线束总成、面向高速自动装配和机器人装配的设计、面向制造和装配的印制电路板设计、面向制造的设计、面向注射成型的设计、面向钣金加工的设计、压铸模设计、面向粉末冶金加工的设计、砂型铸造设计、面向熔模铸造的设计和面向热锻的设计等作了详细的介绍,具有很高的参考应用价值。

本书可供机械工程技术人员参考,也可作为大专院校相关专业师生的教材或参考书。

Product Design for Manufacture and Assembly 3rd Edition/by Geoffrey Boothroyd, Peter Dewhurst and Winston A. Knight/ISBN: 978-1-4200-8927-1

Copyright© 2011 by CRC Press.

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC; All rights reserved; 本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下, CRC 出版公司出版,并经其授权翻译出版。版权所有,侵权必究。

China Machine Press is authorized to publish and distribute exclusively the **Chinese (Simplified Characters)** language edition. This edition is authorized for sale throughout **Mainland of China**. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher. 本书中文简体翻译版授权由机械工业出版社独家出版并仅限在中国大陆地区销售。未经出版者书面许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal. 本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签,无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记图字: 01-2012-4435 号

图书在版编目 (CIP) 数据

面向制造及装配的产品设计/[美]布斯罗伊德(Boothroyd, G.)等著;林宋译. —北京:机械工业出版社,2015.3

(国际制造业先进技术译丛)

书名原文:Product design for manufacture and assembly

ISBN 978-7-111-49569-7

I. ①面… II. ①布…②林… III. ①工业产品—产品设计
IV. ①TB472

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 046384 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:黄丽梅 责任编辑:王春雨 版式设计:常天培

责任校对:丁丽丽 张薇 封面设计:鞠杨 责任印制:

印刷厂印刷

2015 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 37.5 印张 · 839 千字

— 册

标准书号:ISBN 978-7-111-49569-7

定价:158.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

策划编辑:010-88379770

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

前 言

《面向制造及装配的产品设计》一书第3版包括原书所有章节的数据更新。除此之外，每一章里都添加了一套思考题和作业。这是因为本书在过去已经被许多大学作为指定教材使用，这些加入的思考题已经使得本书新版本更适合于作为教科书使用。我们的全部目标不仅仅是向服务于制造业的设计师和制造工程师提供一本参考书，而且还可作为产品设计和面向制造的设计的大学课程基础教材。本书还提供了在制造业广泛应用的各种基本工艺中，影响产品的制造和装配难易程度的诸多参数的详细讨论。

在绪论部分，我们已经更新了面向制造和装配的产品设计技术在制造业中应用的最新研究实例，同时也说明了DFMA对美国制造业的总体影响。在第3章和第5章，加入了产品特征分类体系的有关内容，这部分内容对手工装配、高速自动化装配和机器人装配的搬移和插入难易程度有影响。还将实际的学生作业加入到这些章节中。有关印制电路板装配的第6章也已经更新，能够反映从上个版本以来在制造业所发生的变化，特别是强调了表面安装器件的使用。

余下的有关基本制造工艺的章节也更新了大量的最新数据，并且把思考题和作业添加到了每一章。随着粉末注射成型技术越来越广泛地在工业上运用，我们在有关金属粉末加工的第11章中，添加了粉末注射成型技术的讨论内容。

每章都包括了有关材料、人工和机器操作的成本信息，这个信息是书籍出版时的有代表性的典型成本数据，或许并不能够作为目前的成本应用的真实数据。成本在一段时期内会明显波动。这些数据里显示的相对成本可能适合于产品设计和生产方法之间的合理比较。

和先前的版本一样，我们感谢所有支持过在罗德岛大学开展DFMA研究工作的各家公司和对该项研究有过帮助的研究生们。从这项研究中开发的技术已经被广泛地运用到工业生产中，同时对于开发更多的有竞争力的产品有着重大的影响，这些产品不仅结构更加简单，同时更容易制造并且总体成本减少。

Geoffrey Boothroyd
Peter Dewhurst
Winston A. Knight

第 2 版前言

《面向制造及装配的产品设计》一书第 2 版包括了三个新章节，它们分别描述了砂型铸造、熔模铸造和热锻等工艺。这些章节和原有的面向制造的设计、塑料注射成型、钣金加工、压力铸造和粉末冶金等章节内容，涵盖了工业生产中使用的大部分基本成型工艺。

此外，在绪论一章增加了大量材料来说明 DFMA 对整个美国制造业的总体影响。第 2 章除了描述制造时的材料和工艺的选择之外，现在还包括了专门描述材料选择的更多内容，以及如何使用新的软件工具来进行工艺方法选择的经济排序。

第 3 章包括面向手工装配的产品设计，其中更新了专门的一节来介绍有关设计对产品质量的影响。最后，在第 15 节新增加一些内容来讨论有关计算机辅助设计实体模型和设计分析工具之间的联系。

和先前的版本一样，我们感谢那些支持在罗德岛大学研究 DFMA 的各个公司以及对研究工作有过帮助的研究生们。我们要特别感谢 Allyn Mackay 教授的帮助，我们新增的有关熔模铸造一章的内容很多出自于他的研究工作。

最后，我们还要感谢 Shirley Boothroyd 先生为增加的大量新内容所做的文字输入工作，感谢 Kenneth Fournier 先生准备的一些精美插图。

Geoffrey Boothroyd

Peter Dewhurst

Winston A. Knight

第 1 版前言

我们在面向产品制造和装配的设计领域已经工作了 20 多年，所开发的这些方法已经在工业中得到广泛使用——尤其是在美国的工业中。事实上，可以说是这些方法的应用在产品领域开创了一场革命。它有助于消除设计与制造之间的障碍，同时也促进了并行工程的发展。

本书不仅总结了我们在面向产品制造和装配的设计研究中的大量工作，同时也为工科学生和实习工程师们提供了面向产品制造和装配的详细设计方法。

包括分析工具在内的很多方法都允许设计工程师和制造工程师在详细设计之前就能估算出产品的制造和装配成本。不同于相同研究的其他书籍，它们通常只作一般性描述。本书提供的基本公式和数据，可以用于制造和装配成本的估算。于是，在有限的材料和工艺条件下，工程师或学生就能够进行实际零件和组件的成本估算，进而熟悉所使用的方法和所作的假设的细节内容。

对于实习工程师和设计师来说，本书不能替代 Boothroyd Dewhurst 公司开发的 DFMA 软件，该软件包含了更详细的实验数据和运算法则。但是它可以作为一本参考书，帮助读者对使用方法加深理解。

对于工科的学生来说，本书适合作为面向制造和装配的设计的课程教材。事实上，本书部分内容是基于作者在罗德岛大学讲授的两门课程讲义编写而成。

面向装配的设计的初始工作是在马萨诸塞大学进行，并受到国家科学基金会的资助。在这个阶段研究中，来自于赫尔大学和萨尔福德大学的 K. G. Swift 教授和 A. H. Redford 博士分别与本书作者之一的 G. Boothroyd 教授进行了合作，同时也得到了英国科学研究理事会的支持。

这项研究过去一直在罗德岛大学进行，并主要得到美国企业界的支持。我们要感谢如下的公司在过去和现在对我们工作的一如既往的支持。他们是：Allied 公司、安普公司（AMP）、数据设备公司（Digital Equipment）、杜邦公司（Dupont）、美国电子资讯系统公司（EDS）、福特汽车公司（Ford）、通用电气公司（GE）、通用汽车公司（GM）、吉列公司、IMB 公司、美国英斯特朗公司（Instron）和施乐公司。

我们要感谢所有的研究生助理、助教和研究学者们这些年来对研究工作所做的工作，他们是：N. Abbatiello、A. Abbot、A. Anderson、J. Anderson、T. Andes、D. Archer、G. Bakker、T. Becker、C. Blum、T. Bassinger、K. P. Brindamour、R. C. Burlingame、T. Bushman、J. P. Caffone、A. Carnevale、M. Caulfield、H. Connelly、T. J. Consunji、C. Donovan、J. R. Donovan、W. A.

Dvorak、C. Elko、B. Ellison、M. C. Fairfield、J. Farris、T. J. Feenstra、M. B. Fein、R. P. Field、T. Fujita、A. Fumo、A. Girard、T. S. Hammer、P. Hardro、Y. S. Ho、L. Ho、L. S. Hu、G. D. Jackson、J. John II、B. Johnson、G. Johnson、K. Ketelsleger、G. Kobrak、D. Kuppurajan、A. Lee、C. C. Lennartz、H. C. Ma、D. Marlowe、S. Naviroj、N. S. Ong、C. A. Porter、P. Radovanovic、S. C. Ramamurthy、B. Rapoza、B. Raucent、M. Roe、L. Rosario、M. Schladenhauffen、B. Seth、C. Shea、T. Shinohara、J. Singh、R. Stanton、M. Stanziano、G. Stevens、A. Subramani、B. Sullivan、J. H. Timmins、E. Trolio、R. Turner、S. C. Yang、Z. Yoosufani、J. Young、J. C. Woschenko、D. Zenger 和 Y. zhang。

还要感谢我的同事们，感谢已故的 C. Reynolds 教授曾在加工零件的早期成本估算领域方面所做的工作，感谢 G. A. Rusell 教授在印制电路板装配方面所做的工作。

最后，感谢 Kenneth Fournier 先生在插图方面做了大量工作。

Geoffrey Boothroyd
Peter Dewhurst
Winston A. Knight

作者简介

Geoffrey Boothroyd

Geoffrey Boothroyd 是美国金斯敦的罗德岛大学工业和制造工程专业退休名誉教授。

Boothroyd 教授是 100 多篇期刊论文的作者或合作者，他也是数本著名专著的共同执笔人或共同编著者，其中包括与 W. A. Knight 合作编辑的《机床和加工基础》第三版、《自动装配和产品设计》第二版、《自动化装配》《运用机械学》。除此之外，Boothroyd 教授还是 Taylor and Francis 系列丛书《制造工程和材料加工》的共同主编。他是美国制造工程师协会（SME）的特别会员，也是美国国家工程学院的会员。他还是其他一些专业学会的会员。Geoffrey Boothroyd 教授获得英国伦敦大学哲学博士学位（1962 年）和工程学专业理学博士学位（1974 年）。他获得的众多荣誉和奖励包括美国国家科技奖和 SME/ASME 商业奖。

Peter Dewhurst

Peter Dewhurst 是一名工业工程教授，也是罗德岛大学的机械工程教授。在他的工作生涯里，他在金属加工、金属切削理论、人工智能设计、最优化结构设计等领域都做出了很大贡献。在 2000 年之前，他主要从事于来自国家科学基金会和 Sandia 国家实验室的两项科研调查。他曾经获得过的奖项有：Sir Charles Reynold 奖学金，F. W Taylor 奖章和国家科技奖章。他已经在 URI 从事教学工业生产设计及组装约 20 年，同时因为他的杰出贡献，他两次被授予 URI Carlotti 奖章。

Winston A. Knight

Winston A. Knight 是一名在罗德岛大学从事工业化系统工程教学的退休教授。Knight 教授发表过 120 多篇专业学术性文章，也是《机械及其工具基础》第三版等几本专著的合著者。教授的研究兴趣涉及产品设计加工、再循环设计、环境工程、机械工具技术、新技术合作以及 CAD/CAM 等各个领域。教授也是人工自动化社科院的研究员和 CIRP 的研究员。他获得了伯明翰大学的理学学士学位（1963）和哲学博士学位（1967），还获得了牛津大学的文学硕士学位。

目 录

前言	
第2版前言	
第1版前言	
作者简介	
术语表	
第1章 绪论	1
1.1 什么是面向制造和装配的设计	1
1.2 发展沿革	1
1.3 面向装配的设计的执行	4
1.4 面向制造的设计	5
1.5 生产能力准则	5
1.6 DFMA 如何运作	9
1.7 不使用 DFMA 的错误理由	14
1.7.1 没有时间	14
1.7.2 并非此处发明	15
1.7.3 丑陋儿童综合征	15
1.7.4 低装配成本	15
1.7.5 小批量生产	15
1.7.6 我们已做这项工作多年	15
1.7.7 这仅是价值分析	17
1.7.8 DFMA 只是多种手段之一	17
1.7.9 DFMA 带来更加难以服务的产品	17
1.7.10 我更喜欢设计规则	18
1.7.11 我拒绝使用 DFMA	18
1.8 产品设计中应用 DFMA 的优点	18
1.9 DFMA 对美国工业的总体影响	21
1.10 结论	23
习题	24
参考文献	25
第2章 材料和工艺的选择	27
2.1 引言	27
2.2 早期材料和工艺选择的一般要求	27
2.3 制造工艺的选择	29
2.4 工艺能力	31
2.4.1 一般形状属性	31
2.4.2 DFA 的可兼容性	41
2.5 材料的选择	41
2.5.1 将材料按工艺兼容的类别分组	42
2.5.2 采用隶属函数选择材料	42
2.5.3 采用量纲一排序的材料选择	43
2.6 初级工艺/材料的选择	51
2.7 工艺和材料的系统选择	55
2.7.1 基于计算机的主要流程/材料的选择	56
2.7.2 专家处理顺序选择器	56
2.7.3 工艺的经济性排序	60
习题	65
参考文献	67
第3章 面向手工装配的设计	69

3.1	概述	69
3.2	一般手工装配设计指南	70
3.2.1	面向零件搬移的设计 准则	70
3.2.2	面向插入和紧固的设计 准则	70
3.3	面向装配方法系统设计的 发展	74
3.4	装配效率	75
3.5	分类系统	76
3.6	零件对称性对搬移时间的 影响	81
3.7	零件厚度和尺寸对搬移 时间的影响	82
3.8	重量对搬移时间的影响	84
3.9	双手操作零件	84
3.10	综合因素的影响	84
3.11	严重套接或缠结并要求用 镊子抓取和操作的零件对 称性的影响	85
3.12	倒角设计对插入操作的 影响	86
3.13	插入时间估计	88
3.14	装配过程中避免阻塞	89
3.15	减少圆盘装配问题	90
3.16	阻塞通道和视线受阻对插入 螺纹紧固件的各种设计的 影响	91
3.17	阻塞通道和视线受阻对空心 铆接操作的影响	93
3.18	握持影响	94
3.19	手工装配数据库和实际 数据表	95
3.20	DFA 方法的应用	96
3.21	更多的设计准则	101
3.22	大型装配件	103
3.23	手工装配方法的类型	104

3.24	装配布局对抓取时间的 影响	108
3.25	装配质量	111
3.26	将学习曲线应用到 DFA 中	113
	习题	115
	参考文献	120
第4章	电气连接和线束组装	122
4.1	概述	122
4.2	导线或线束组装	124
4.3	电气连接的类型	127
4.3.1	锡焊连接	127
4.3.2	低压连接	128
4.3.3	高压连接	129
4.4	电线和电缆的类型	130
4.5	制备和组装时间	131
4.5.1	制备	132
4.5.2	组装与安装	137
4.5.3	固定	141
4.5.4	连接	146
4.6	分析方法	149
4.6.1	步骤	150
4.6.2	案例研究	162
	习题	165
	参考文献	165

第5章	面向高速自动装配和 机器人装配的设计	167
5.1	简介	167
5.2	面向高速进给和定向的 零件设计	168
5.3	示例	175
5.4	其他进给困难	176
5.5	高速自动插入	179
5.6	示例	182
5.7	组件分析	182
5.8	适于自动化的产品设计	

准则	184
5.9 输送和定向的零件设计	187
5.10 面向高速自动装配设计的 准则概要	188
5.10.1 产品设计准则	189
5.10.2 零件设计准则	189
5.11 面向机器人装配的产品 设计	189
习题	199
参考文献	202

第6章 面向制造和装配的印制

电路板设计	203
6.1 概述	203
6.2 印制电路板的设计顺序	203
6.3 印制电路板的类型	204
6.3.1 面数	204
6.3.2 层数	204
6.3.3 板材	204
6.3.4 设备类型	205
6.3.5 铜的重量	205
6.4 裸板制造	206
6.4.1 基本裸板成本	206
6.4.2 每个面板的板数	208
6.4.3 钻孔	209
6.4.4 可选的裸板工艺	209
6.4.5 裸板测试	210
6.5 术语	210
6.6 印制电路板的装配	211
6.6.1 通孔印制电路板的装配 操作	212
6.6.2 表面装配元器件的装配	218
6.6.3 焊接	219
6.6.4 其他组装过程	221
6.6.5 印制电路板的装配顺序	221
6.7 印制电路板的装配成本 估计	224

6.7.1 元器件插入成本	225
6.7.2 印制电路板装配成本的 工作表	229
6.7.3 实例分析	230
6.8 印制电路板装配的案例 研究	233
6.8.1 仪器连接板的测量	233
6.8.2 电源	235
6.9 术语词汇表	236
习题	239
参考文献	241

第7章 面向制造的设计

7.1 引言	243
7.2 使用单刃刀具加工	243
7.3 使用多刃刀具加工	248
7.4 使用砂轮加工	255
7.5 标准化	261
7.6 工件材料的选择	262
7.7 工件材料的形状	263
7.8 加工基本零件形状	264
7.8.1 盘形回转件 ($L/D \leq 0.5$)	264
7.8.2 短圆柱零件 ($0.5 < L/D < 3$)	266
7.8.3 长圆柱回转体零件 ($L/D \geq 3$)	266
7.8.4 非回转体零件 ($A/B \leq 3$, $A/B \geq 4$)	268
7.8.5 长非回转体零件 ($A/B > 3$)	271
7.8.6 非回转的立方零件 ($A/B < 3$, $A/C < 4$)	271
7.9 零件的装配	274
7.10 精度和表面粗糙度	275
7.11 设计准则小结	277
7.12 对于加工零件的成本	

估算	279
7.12.1 材料成本	279
7.12.2 机器的装卸	280
7.12.3 其他非生产性成本	281
7.12.4 机器之间搬移	281
7.12.5 材料类型	282
7.12.6 加工成本	282
7.12.7 换刀成本	283
7.12.8 加工数据	284
7.12.9 粗磨	287
7.12.10 精磨	288
7.12.11 砂轮磨损余量	288
7.12.12 无火花磨削余量	290
7.12.13 加工成本估算工作表	292
7.12.14 加工零件的近似成本 模型	296
习题	299
参考文献	303
第8章 面向注射成型的设计	304
8.1 概述	304
8.2 注射成型材料	304
8.3 成型周期	306
8.3.1 注射或填充阶段	306
8.3.2 冷却阶段	306
8.3.3 脱模和复位阶段	308
8.4 注射成型系统	308
8.4.1 注射装置	308
8.4.2 夹紧装置	309
8.5 注射模具	309
8.5.1 模具结构和操作	310
8.5.2 模具类型	311
8.5.3 浇道、流道和浇口	313
8.6 注射成型机尺寸	313
8.7 注射循环周期	315
8.7.1 注射时间	316
8.7.2 冷却时间	316

8.7.3 模具复位	319
8.8 模具成本估算	320
8.8.1 模座成本	321
8.8.2 型腔和型芯的制造成本	322
8.9 模具成本点系统	327
8.10 最佳型腔数量的估计	330
8.11 设计实例	333
8.12 嵌件成型	334
8.13 设计指南	334
8.14 装配技术	335
习题	337
参考文献	340
第9章 面向钣金加工的设计	342
9.1 概述	342
9.2 专用模具和压力加工	344
9.2.1 用于外形剪切的单工序 模具	344
9.2.2 单工序剪切模的成本	348
9.2.3 单工序冲孔模	353
9.2.4 单工序弯曲模	354
9.2.5 单工序深拉深模	357
9.2.6 其他特征	361
9.2.7 级进模	362
9.3 压力机的选择	363
9.4 回转头压力加工	368
9.5 折弯操作	371
9.6 设计准则	373
习题	377
参考文献	379
第10章 压铸模设计	381
10.1 概述	381
10.2 压铸合金	381
10.3 压铸周期	383
10.4 压铸机	383
10.4.1 模具安装和夹紧系统	383
10.4.2 金属压射系统	383

10.4.3 热压室压铸机	384	11.3.3 熔渗	416
10.4.4 冷压室压铸机	385	11.3.4 浸渍	416
10.5 压铸模和修剪模	386	11.3.5 树脂浸渍	416
10.6 精整	387	11.3.6 热处理	416
10.7 自动化辅助设备	388	11.3.7 机械加工	416
10.8 最优型腔数量的确定	388	11.3.8 滚筒抛光和去毛刺	417
10.9 适当机器尺寸的确定	392	11.3.9 电镀和其他表面处理	417
10.9.1 机床夹紧力的要求	392	11.3.10 蒸汽处理	417
10.9.2 每个零件的注射体积和 材料成本	394	11.3.11 装配过程	417
10.9.3 机械尺寸约束	395	11.4 粉末的压制特性	417
10.10 压力铸造循环周期估计	396	11.4.1 粉末压制机理	418
10.10.1 熔融金属的浇注	396	11.4.2 金属粉末的压缩特性	419
10.10.2 金属压射	397	11.4.3 粉末压缩比	422
10.10.3 金属冷却	397	11.5 粉末压制工具	423
10.10.4 零件取出和模具润滑	400	11.5.1 压制模	424
10.10.5 修剪循环时间	402	11.5.2 压制凸模	425
10.11 模具成本估计	403	11.5.3 通孔芯棒	425
10.11.1 模具成本	403	11.5.4 模具配件	425
10.11.2 型腔和型芯成本	404	11.6 粉末冶金压力机	425
10.11.3 修剪模成本	405	11.6.1 选择合适压力机的因素	425
10.12 装配技术	407	11.6.2 用于整形、精整和复压 的压力机	427
10.13 设计原则	408	11.7 粉末冶金零件的形状	428
习题	409	11.8 烧结设备的特点	430
参考文献	410	11.9 粉末金属加工用材料	434
第11章 面向粉末冶金加工 的设计	412	11.10 基本粉末冶金制造成本 的组成	439
11.1 引言	412	11.10.1 材料成本	439
11.2 粉末冶金工艺的基本 阶段	413	11.10.2 压制成本	440
11.2.1 混合	413	11.10.3 压制工具成本	442
11.2.2 压缩	414	11.10.4 工具配件成本	448
11.2.3 烧结	414	11.10.5 工具更换成本	449
11.3 次级加工阶段	415	11.10.6 工具成本估算程序 的验证	450
11.3.1 复压复烧	415	11.10.7 烧结成本	450
11.3.2 精整和整形	416	11.10.8 复压、整形和精整	452
		11.11 渗透材料的修改	453

11.11.1 材料成本	453	12.7.2 型砂成本	481
11.11.2 压制成本	454	12.7.3 工具成本	482
11.11.3 烧结成本	454	12.7.4 加工成本	484
11.12 浸透、热处理、抛光、 蒸汽处理和其他 表面处理	454	12.8 砂型铸造的设计规则	486
11.12.1 加工成本	454	12.8.1 避免尖角和多截面连接 ...	486
11.12.2 附加材料成本	455	12.8.2 均匀厚度的截面设计	487
11.13 粉末冶金零件的设计 指南	455	12.8.3 合适的内壁厚度	488
11.14 粉末注射成型	457	12.8.4 设计时考虑金属收缩	489
11.14.1 原料制备和造粒	458	12.8.5 使用简单的分型面	489
11.14.2 成型	458	12.8.6 确定适当的加工余量	489
11.14.3 脱脂	459	12.8.7 使用经济公差	489
11.14.4 烧结	460	12.9 计算实例	491
11.14.5 次级加工	461	习题	494
11.14.6 原料特性	461	参考文献	495
11.14.7 材料成本	465	第13章 面向熔模铸造的设计	497
11.14.8 模具型腔几何尺寸	466	13.1 引言	497
11.14.9 成型成本	467	13.2 工艺概述	497
习题	468	13.3 模样材料	499
参考文献	470	13.4 模样注射机	499
第12章 砂型铸造设计	471	13.5 模样模具	500
12.1 概述	471	13.6 模样和模组的组装	500
12.2 砂型铸造合金	472	13.7 陶瓷型壳	501
12.3 基本特点和模具制备	473	13.8 陶瓷型芯	502
12.3.1 型砂制备	473	13.9 模样熔出	502
12.3.2 浇注系统	473	13.10 模样烧尽和模具烧制	503
12.3.3 模具冒口和冷铁	474	13.11 脱模和清理	503
12.3.4 模样类型	475	13.12 切断和精整	503
12.3.5 型砂压实方式	476	13.13 模样和型芯材料成本	503
12.4 砂芯	477	13.14 蜡模注射成本	505
12.5 金属的熔炼与浇注	477	13.15 填充时间	507
12.6 铸件清理	478	13.16 冷却时间	507
12.7 成本估计	479	13.17 脱模和复位时间	509
12.7.1 金属成本	479	13.18 每个模样或型芯的工艺 成本	510
		13.19 型芯注射成本估计	511
		13.20 模样和芯模成本	511

13.21	芯模成本	515	14.7	锻件的分类	545
13.22	模样和模组组装成本	515	14.8	锻造设备	547
13.23	每个模组的零件数量	516	14.8.1	重力锤	548
13.24	模样件成本	517	14.8.2	双动式动力锤	549
13.25	清洗和蚀刻	518	14.8.3	立式对击锤	549
13.26	壳模材料成本	518	14.8.4	水平对击锤	549
13.27	蜡模组的成本	519	14.8.5	机械压力机	549
13.28	模样的熔出	519	14.8.6	螺旋压力机	549
13.29	烧尽、烧结和预热	520	14.8.7	液压机	549
13.30	壳模总成本	520	14.8.8	锻造机类型的选择	550
13.31	熔化金属的成本	521	14.8.9	锻压设备的比较	551
13.32	基础原材料成本	524	14.9	材料分类	555
13.33	准备浇注的液态金属 成本	525	14.10	锻造成本	556
13.34	浇注成本	525	14.10.1	材料成本	557
13.35	最终材料成本	525	14.10.2	设备运行成本	558
13.36	脱模	526	14.10.3	设备选择的例子	561
13.37	清理	527	14.10.4	锻造加工成本	561
13.38	切除	528	14.10.5	锻压机设置成本	562
13.39	设计指南	530	14.11	锻模成本	563
习题		530	14.11.1	初始模具成本	564
参考文献		531	14.11.2	多模腔锻模的成本 估算	564
第14章	面向热锻的设计	532	14.12	模具寿命和工具替换 成本	568
14.1	概述	532	14.13	去除飞边成本	569
14.2	锻造工艺的特点	532	14.13.1	去除飞边加工成本	569
14.3	锻造中飞边的作用	533	14.13.2	去除飞边的工具成本	570
14.3.1	飞边桥几何形状的确定	534	14.14	其他锻造成本	572
14.3.2	飞边数量	536	14.14.1	坯锭制备	572
14.3.3	锻件腹板	537	14.14.2	坯锭加热成本	572
14.4	锻造余量	538	习题		572
14.5	锻造中的预成型	540	参考文献		575
14.6	飞边去除	545			

术 语 表

A	周长内包含的面积；封闭在一个非旋转体加工零件内的矩形包络长度	B	小批量规模；包含一个非旋转体加工零件的矩形棱柱宽度
A_o	修剪模制造的基础时间允差	B_o	锻模的基本工作台标准值
A_c	型腔板面积；模具底座的投影面积；未变形切屑的横截面积	B_L	熔炉的放置零件长度
A_f	型腔表面面积；插入的平均故障率	B_r	锻造设备的有效击打速率
A_H	锻件的通孔面积	B_s	零件的批量
A_k	孔的横截面积	b	还原指数；型腔铣削标准方程指数
A_{hol}	孔修正面积， $A_{hol} = A_h/3$	b_w	被加工表面的宽度
A_m	已加工表面面积	C	封闭在一个非旋转体加工零件内的矩形棱柱包络的厚度
A_p	一个零件或一块模样的投影面积	C_1	一对型腔和型芯插入件的成本
A_{pb}	修剪冲模块面积	C_{1000}	1000lb 动力锤的每次运行成本
A_{pl}	砂型铸造模样板面积	C_{20}	对于一层零件的 20t (196kN) 压力机机床附件成本
A_s	每个零件上所使用的金属板料面积；注射投影面积	C_{ab}	对于定制工作的模座成本
A_t	粉末金属零件一层所有区域所封闭的总面积	C_{ac}	标准模具零件或制动器的成本
A_{th}	修剪模块面积	C_{af}	模样装配夹具成本
A_{tp}	模具里所有零件或模样的总投影面积	C_{ap}	每个零件的编程成本（美分）
A_u	可使用的模具板面积	C_{AP}	压力机容量
A_0	深拉深前的零件横截面积	C_b	模座成本；黏合剂的单位成本
A_1	深拉深后的零件横截面积	C_{bo}	每个模组的拆解成本
a_d	加工槽深度	C_{box}	砂型铸造的芯盒成本
a_e	卧铣切削深度；立铣切削宽度	C_{bu}	应用备用涂层成本
a_p	车削、立铣和磨削的切削深度；卧铣切削宽度	C_c	单位体积碳化钨成本；使用推荐条件的磨削成本；更换零件成本
a_r	旋转工件径向的粗磨余量	C_{cl}	单腔模具成本
a_t	被切除材料的总深度	C_{cf}	每个模组切除的操作人工成本
		C_{ol}	每个模组清洗或浸出成本；砂型铸造清理成本