



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) 著
温斯顿·奈特 (Winston A. Knight) 著
林宋 译

 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: 李洋

中国农业出版社印刷厂印刷

2015 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

169 mm × 239 mm · 37.5 印张 · 839 千字

0001—2000 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

金书网: www.golden-book.com

策划编辑: 010-88379770

封面防伪标均为盗版

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的设计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. Cafone、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。

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
- A_0 修剪模制造的基础时间允差
- 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
- A_f 型腔表面面积; 插入的平均故障率
- A_H 锻件的通孔面积
- A_k 孔的横截面积
- A_{hol} 孔修正面积, $A_{hol} = A_h/3$
- A_m 已加工表面面积
- A_p 一个零件或一块模样的投影面积
- A_{pb} 修剪冲模块面积
- A_{pl} 砂型铸造模样板面积
- A_s 每个零件上所使用的金属板料面积; 注射投影面积
- A_t 粉末金属零件一层所有区域所封闭的总面积
- A_{tb} 修剪模块面积
- A_{tp} 模具里所有零件或模样的总投影面积
- A_u 可使用的模模板面积
- A_0 深拉深前的零件横截面积
- A_1 深拉深后的零件横截面积
- a_d 加工槽深度
- a_e 卧铣切削深度; 立铣切削宽度
- a_p 车削、立铣和磨削的切削深度; 卧铣切削宽度
- a_r 旋转工件径向的粗磨余量
- a_t 被切除材料的总深度
- 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
- B_0 锻模的基本工作台标准值
- B_L 熔炉的放置零件长度
- B_r 锻造设备的有效击打速率
- B_s 零件的批量
- b 还原指数; 型腔铣削标准方程指数
- b_w 被加工表面的宽度
- 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
- C_1 一对型腔和型芯插入件的成本
- C_{1000} 1000lb 动力锤的每次运行成本
- C_{20} 对于一层零件的 20t (196kN) 压力机机床附件成本
- C_{ab} 对于定制工作的模座成本
- C_{ac} 标准模具零件或制动器的成本
- C_{af} 模样装配夹具成本
- C_{ap} 每个零件的编程成本 (美分)
- C_{AP} 压力机容量
- C_b 模座成本; 黏合剂的单位成本
- C_{bo} 每个模组的拆解成本
- C_{box} 砂型铸造的芯盒成本
- C_{bu} 应用备用涂层成本
- 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
- C_{cl} 单腔模具成本
- 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

- C_{on} n 腔模具成本
 C_{co} 模组的切除成本
 C_{cors} 型芯加工成本
 C_{csd} 每个铸件的芯砂成本
 C_D 每个零件的锻模成本
 C_d 模具成本
 C_{db} 脱脂系数
 C_{DIE} 总锻模成本
 C_{di} 单腔模具成本；每板钻孔成本
 C_{dm} 模具制造成本
 C_{dman} 锻模制造成本
 C_{dmat} 锻模块材料成本
 C_{dn} n 腔模具的成本
 C_{ds} 成套模具成本
 C_s 熔化金属的能量成本
 C_{sn} 高炉能量成本
 C_f 每个零件的输送成本；感应熔化装置的成本；给料单位成本
 C_F 给料器成本
 C_{fk} 单位重量金属的固定炉成本
 C_{FL} 单位时间炉操作成本
 C_{fp} 塑料模座固定板成本
 C_{fs} 截断的设置成本
 C_g 磨削操作生产成本
 C_i 每个零件的自动插入成本；浸渗材料的单位重量成本
 C_{ip} 每个模样或型芯的工艺成本
 C_{it} 插入成本
 C_{lk} 单位重量金属的炉劳动力成本
 C_m 每个零件的高分子材料成本；材料成本；准备浇注的金属成本
 C_{man} 锻模制造成本费率
 C_{mat} 零件材料成本
 C_{mf} 合金熔炉成本；加工后砂型铸件的金属成本
 C_{mi} 铁炉成本
 C_{min} 最低生产成本 (C_p 的最小值)
 C_{ml} 熔化金属的人工成本
 C_{mp} 浇注成本；砂模铸造的工艺成本
 C_{ms} 在炉喷口内的金属总成本
 C_n n 对相同的型腔和型芯插入件成本
 C_{nh} 气动锤的每个模组操作成本
 C_{ns} 气动锤的设置成本
 C_o 浸渍油的单位体积成本；树脂或聚合物
 C_{op} 锻造设备的每次操作成本
 C_p 单位重量的粉末成本；使用最大功率时的磨削成本；一个零件的加工成本；电力成本
 C_{pca} 每个零件组装成簇的成本
 C_{pi} 成套模样凹模成本
 C_{pm} 蜡材料成本；模样安装板成本
 C_{po} 使用最大功率时的生产成本
 C_{pr} 每个机加工零件的生产成本；施加底漆到模组上的成本；锻造时每个零件的生产成本；每个零件样式的编程成本
 C_{pt} 砂型铸造模样的成本
 C_{px} 钣金冲压复杂性因素
 C_r 相对送料器成本
 C_{rm} 原始合金成本；砂型铸造的原材料成本
 C_{rp} 零件的材料成本
 C_{rs} 锻模的修复成本
 C_{ro} 相对于 1000lb 动力锤的锻造设备每次操作成本
 C_{rw} 故障元件再使用的总成本
 C_{rwc} 故障元件的返修成本
 C_s 每种零件类型的设置成本
 C_{sb} 每个电路板的加工成本
 C_{set} 每个零件的锻造设置成本
 C_{st} 一组相同封装样式的设置成本
 C_t 提供新的或新刃磨刀具成本；单位重量的工具钢成本；每个零件的总体处

理和插入成本	d_{ave} 锻造的平均型腔深度
C_{tea} 组装成模组的成本	d_b 刨削加工表面的内径
C_{tl} 单孔径修剪工具成本	d_c 锻造型腔深度
C_{tn} 多孔径修剪工具成本	d_g 手柄尺寸
C_{tp} 模样块的总成本	d_m 已加工表面直径
C_{tpa} 模样组装成本	d_{max} 最大截面直径
C_{trim} 修剪工具的总成本	d_t 刀具直径
C_{trm} 飞边修整工具的材料成本	d_w 工件表面直径
C_{tw} 每个模组的切除刀具磨损成本	E 零件的定向效率
C_{vp} 模座可变板的成本	E_{ct} 电力成本
C_w 磨削时砂轮磨损和换砂轮成本	E_f 所需的锻造设备功率容量
c 销孔之间无量纲径向间隙; “个体”降低指数	E_m 机床电动机和驱动系统的整体效率; 熔化金属所需的最小能量
c_d 紧凑态的剩余黏结剂平均浓度	E_{ma} 手工装配效率
c_f 模样间隙因素	E_o 设备工厂的管理费用比例
c_h 手工间隙	e 作用在销子上力的偏心距; 板料成形的应变
c_i 黏结剂初始浓度	F_{fc} 单位体积金属的固定熔炉成本; 锻造复杂性因素
D 孔径; 包围一个旋转体零件的圆柱体直径; 零件直径; 零件深度	F_{ff} 熔炉效率
D_a 有缺陷产品的概率	F_{ins} 锻模的钳工系数
D_{bar} 锻件的等效棒料直径	F_{lck} 修剪冲模锁系数
D_{bs} 黏结剂的溶剂扩散系数	F_{lw} 计划面积修正系数
D_c 硬质合金刀片直径; 型腔深度	F_m 标准给料机的最大进给速度
D_d 模套直径	F_{pWB} 印制电路板的基本成本因素
D_e 当量零件直径	F_{trm} 修剪压力机去除飞边所要求的负载
D_{eh} 当量孔径	F_r 所需的输送进给速率
D_h 孔径或孔的外接圆直径	f 刀具相对于工件的位移; 工件或刀具每行程或每转的进给运动方向; 分模力; 输出的因子增加; 压力
D_i 每个操作的装配缺陷平均概率	f_d 模板厚度的校正因子
D_{li} 第 i 层外接圆直径 ($i=1, 2, 3\cdots$)	f_p 分型面调整因子
D_o 整体零件的外接圆直径	G_f 砂型铸造模样的浇道因子
D_{pi} 第 i 个冲头毛坯材料直径 ($i=1, 2, 3\cdots$)	H 特征高度; 比热容
D_{pm} 模样材料的密度	H_b 黏合剂的比热容
D_0 深拉深坯料直径	H_f 熔化热; 原料比热容
D_1 深拉深杯口直径	H_F 熔炉打开高度
d 销钉深度直径	
d_a 刨削加工表面的外径	

H_p	粉末材料的比热容	L_{plt}	锻模的板盘长度
H_s	比热容	L_s	夹紧行程
H_{st}	最大堆叠高度	L_{tbas}	基本修剪工具寿命
H_t	传热系数	L_{trm}	修剪工具寿命
h	壁厚或量具厚度	L_v	寿命
h_{cl}	最小间隙	L_w	线长
h_{cm}	截面厚度	l	进给方向上零件的总长度
h_d	模板厚度; 零件或模样块深度	l_b	印制电路板长度
h_f	粉末填充高度	l_f	工具寿命
h_{fp}	顶料板、冒口和脱模板厚度	l_p	机床之间的路径长度; 粉末冶金加工时的粉末损失; 印制电路板的面板长度
h_{max}	最大壁厚	l_{td}	响应请求叉车移动的距离
h_p	型芯和型腔板的组合厚度	l_s	截面长度
h_{pt}	模座的高度或厚度	l_t	拉刀长度
K	压实压力校正系数; 在加工时间内刀具切削刃的选定点相对于工件移动的距离; 型腔铣削标准公式系数	l_w	已加工表面长度
K_v	体积膨胀系数	M	总的机床和操作人工费率; 单位时间设备运营成本
k	导热系数	M_1	生产一个项目的总时间
k_b	黏结剂的导热系数	M_{1n}	n 个项目的每个平均生产时间
k_f	原料的导热系数	M_{bu}	备份涂层应用的机器和操作人工费率
k_1	磨削时单位金属去除率的砂轮磨损和更换砂轮成本的常数; 机器的每小时加工费率系数	M_{cp}	模样或型芯材料成本
k_2	粗磨时间乘以金属去除率的常数	M_{dl}	钻床运营成本 (美元/h)
k_p	粉末材料的导热系数	M_{ds}	模具的等效制造时间
k_r	粉末压缩比	M_e	制造点分数或顶杆系统时间
L	零件或特征的长度; 在孔截面上的销子长度; 插入深度; 包围一个旋转体零件的圆柱体长度	M_f	原材料质量
L_{blk}	锻模块的长度	M_i	机器和操作人工费率
L_b	折弯线总长度	M_m	型腔内原料质量
L_D	锻模总寿命	M_{me}	最低熔化能量
L_e	等效零件长度	M_n	制造 n 个项目的总生产时间
L_{FL}	熔炉总长度	M_p	钣金模具制造点; 修剪模的模块面积因子
L_h	电火花加工孔的长度	M_{pc}	定制冲模的制造点
L_{HT}	熔炉烧结区长度	M_{pn}	弯曲数量和长度的制造模具点
L_i	第 i 个下冲模长度 ($i=1, 2, 3\cdots$)	M_{po}	基本钣金模具制造点; 零件或模样尺寸的制造时间

M_{pr}	底漆应用时的机器和操作人员费率	N_{st}	线束接头里的针数
M_{ps}	标准冲模制造点	N_t	零件类型的数量
M_{px}	几何复杂性制造点	N_w	同时组装到线束夹具的电线数量
M_r	在流道里的原料物质的质量	n	零件数量; 型腔数量; 加工时的泰勒 刀具寿命指标 (或指数); 装配操作 的数量
M_s	不平分型面的加工时间; 锻模单位 投影面积的表面补丁数量	n_{bd}	所需弯曲模指标 (1 或 0)
M_{sl}	运营成本 (美元/h)	n_{bk}	所需预锻模指标 (1 或 0)
M_t	修剪工具制造点	n_c	每个模样块的型芯数量
M_{to}	修剪工具的基本制造点	n_{cb}	备份涂层数量
M_{tot}	模具制造的总生产时间	n_{cl}	要求的间隙数量
M_x	几何复杂性的生产时间	n_{cp}	打底漆层的数量
m	多型腔成本指数, 通常是 0.7	n_e	感应炉的效率
m_1	机器每小时费率系数	n_{edg}	所需修边模指标 (1 或 0)
m_{rc}	截止速率	n_{fin}	所需精整模指标 (1 或 0)
N_1	作用在点 1 的法向力	n_{fl}	所需第一个压槽模指标 (1 或 0)
N_2	作用在点 2 的法向力	n_{fl2}	所需第二个压槽模指标 (1 或 0)
N_b	在一个模具里成型的弯曲数量; 锻 件需要锻打的或行程数量	n_{gp}	每个铸件的浇道数量
N_c	接头的触点数; 砂型铸造的凹槽或 型腔数量; 每个周期所生产的相同 锻件数量	n_l	引线数量
N_d	不同冲模的形状或尺寸数量; 一个 产品的装配误差数量	n_{lp}	每块面板长度的板数
N_e	顶出销的数量	n_L	印制电路板层数
N_{fl}	锻件的压槽模数量	n_p	每块面板的板数
N_{fw}	熔炉宽度上所布置的零件数量	n_{pa}	每个模样的块数
N_h	回转头压力机的点击次数	n_{pc}	每个模组的零件数量
N_{hd}	孔或凹陷处的数量	n_{pd}	每个模具的模样 (型腔) 数量
N_{imp}	锻件凹槽的数量	n_{pl}	型芯和型腔板的数量
N_{min}	零件的理论最小数量	n_r	切削行程频率
N_{mw}	砂型铸造生产线的工人数量	n_{rs}	每个堆叠的面板数
N_p	定制冲模的数量	n_{rs}	锻模可能修复的次数
N_{pi}	模样板上相同凹模的数量	n_s	零件或模样块表面补丁的数量
N_r	替代工具项目的数量	n_{sb}	所需尺度分离模指标 (1 或 0)
N_{tp}	封装样式的不同组件数量	n_{sf}	要求的半精加工模具指标 (1 或 0)
N_{rs}	可能用于锻模粘接的合成树脂数量	n_{sm}	加工的印制电路板侧面数量
N_{sp}	被加工的表面补丁数量	n_{so}	每个模组补充切削的数量
		n_{sp}	每个模样块的侧抽芯数量
		n_t	刀具转速
		n_{ud}	每个模样块的拧松装置数量

n_w	工作台上工件的转速	R_{mp}	砂型铸造生产线的工人费率
n_{wp}	印制电路板面宽度的板数	R_{nh}	卸开的操作者费率
P	压实压力; 作用在销钉上的力; 钣金件上受到剪切得的周边长度	R_p	生产率 (单位时间的零件个数); 重复次数
P_b	回收期	R_l	砂型铸造的工具制造速度
P_{cm}	砂型铸造的型芯生产率	r	内弯曲半径; 工具轮廓半径
P_e	所需加工的电能	r_c	刀具圆角半径
P_{ff}	砂型铸造工厂效率	S	轮廓切削速度
P_i	推荐注射压力; 未校正的压实压力	S_a	金属的体积收缩
P_j	注射功率	S_{bw}	锻件工作台标准
P_l	金属损失率	S_c	锻模的型腔标准
P_m	加工所需功率	S_{ca}	模组组装的安装时间
P_{mp}	砂型铸造生产率	S_{co}	截断的安装时间
P_p	定制冲头的周长; 保压压力	S_d	锻造的型腔间距
P_{psr}	模块安装速度	S_{ds}	安装模具到注射机上的时间
P_r	投影面积周长	S_e	锻造的型腔边缘距离
P_{rv}	流道体积的比例	S_{lk}	锻模的锁模标准
P_s	单位时间去掉的单位体积材料所需功率	S_g	砂型铸件的废品百分率
P_v	生产批量	S_m	砂型铸造的废品率
P_w	锻件通孔周长	S_{ml}	锻模的铣削标准
Q	孔加工因子	S_n	每天工作的换班制数量
Q	流动速率	S_{nh}	气锤的安装时间
Q_{lv}	锻件的寿命产量	S_{pa}	模样装配的安装时间
Q_{mx}	最大蜡注射流动速率	S_{sl}	锻件的氧化皮损耗 (%)
Q_{rb}	锻模基本寿命	S_z	熔炉容量
Q_{rs}	锻模基本寿命	S_b	印制电路板面板上线路板之间的间隔
q_c	浸渗剂材料的重量比例	S_e	印制电路板面板上板边间隔
q_o	浸渍油的体积比例	T	零件厚度, 模具厚度, 温度
R_1	分层式烘炉的加热速率	T_1	第一个单元的生产时间
R_2	分层式烘炉的冷却速率	$T_{1,100}$	假设的基本 DFA 时间值
Ra	表面粗糙度算术平均值	$T_{1,B}$	对应于批量 B 的调整 DFA 时间
R_{cl}	清理砂型铸件的人工费率	$T_{1,x}$	x 单元生产的平均时间
R_{co}	截断的操作者费率	T_B	烧化时间 (燃尽时间)
R_{ds}	模具制造费率	T_{blk}	锻模块厚度
R_f	使用进给设备的成本	T_{bt}	锻模块准备时间的基准时间
R_i	单件使用自动工作头的成本	T_{bw}	锻模的钳工加工时间
		T_{cav}	锻模的型腔加工时间

T_{cl}	砂型铸件的清理时间	t_{cl}	为切除而装载模组所需要时间
T_{dl}	锻模的燕尾榫加工时间	t_{co}	从模组中切除所有零件的时间
T_{edg}	锻模的磨边机加工时间	t_{cp}	申请应用每个后续底漆的时间
T_f	热锻的飞边桥厚度	t_{ct}	换刀时间
T_{fl}	加工锻模的飞边槽时间	t_d	穿线时间, 干燥周期
T_{int}	修剪模制造的初始时间余量	t_{dc}	溶剂脱脂时间
T_i	注射温度; 单件插入时间	t_{enl}	钻孔的进入膜层厚度
T_{lay}	锻模的布置时间	t_{enl}	钻孔的出口膜层厚度
T_{lk}	锁模的修剪模制造的附加时间	t_f	充模时间; 叉车的往返运输时间
T_{lp}	每块面板的装卸时间	t_{FB}	分层式烘炉的批次烧结时间
T_m	模具温度	t_{FL}	单件的熔炉通过时间
T_{mill}	锻模的型腔铣削时间	t_{gc}	推荐条件下的磨削时间
T_{pl}	锻模的模块设计时间	t_{gf}	精磨时间
T_{pol}	锻模的型腔抛光时间	t_{gp}	使用最大功率时的磨削时间; 从一个内浇道到另一个内浇道模组的重新定位时间
T_{prep}	锻模块准备时间	t'_{gp}	砂轮成本所允许的 t_{gp} 修正值
T_{rm}	脱焊或去除时间	t_{gr}	粗磨时间
T_{rs}	焊接替换元件的时间	t_h	操作一个“轻质”零件的基本时间
T_s	烧结时间	t_i	将一个销子手工插入到孔里的时间; 每个操作的平均装配时间; 注射时间
T_{set}	锻压设备的安装时间	t_l	发生在机床上每次工件的装卡和卸下或者装载与卸载的非生产时间
T_{sm}	每个电路板侧面的处理时间 (s)	t_m	加工时间; 将附着在连接器上的 N_w 根线束装配到线束夹具上的时间
T_{tp}	制造一个飞边修剪冲模的时间	t_{ma}	产品的总装配时间
T_{ird}	飞边修剪模的制造时间	t_{mc}	当使用最小成本切削速度时的加工时间
T_w	锻件加强筋厚度	t_{mp}	使用最大功率时的加工时间
T_x	注射温度; 生产第 x 个单位的时间	t_n	同时将 N_w 根线束安装到线束夹具上的时间
t	机器周期时间; 零件厚度; 刀具寿命 (刀片重磨或刀片换刀之间的加工时间); 粘接剂提取时间	t_{nh}	气锤的爆发周期
t_a	零件的基本装配时间	t_{oc}	开闭时间
t_b	将一个销子插入到一摞零件中所需要的基本时间; 线路板厚度	t_p	将一个销子插入到一摞零件中的时间
t_c	磨削的非生产时间, 包括砂轮修正时间和工件的装卸时间; 最小成本加工时的刀具寿命; 冷却时间		损失; 以压接接触将线束安装到连接器中的时间; 保压时间
t_{cl}	施加第一层底漆所需要的时间	t_{pa}	模样组装时间
t_{ca}	安装模组时间		
t_{cb}	施加一个加固层所需要时间		
t_{cg}	切通单个内浇道的时间		

- t_{pw} 由于重量所导致的附加零件处理时间
 t_r 总重置时间；对应于切削速度 v_r 的刀具耐用度
 t_s 无火花磨削时间；焊接触点连接器的装配时间
 t_{sc} 浇道或直浇道的补充切割时间
 t_{so} 模组再定位的补充切割时间
 t_{st} 缠绕线束的时间
 t_t 总循环时间
 t_{tr} 单个工件的运输时间
 t_o 最小脱脂时间周期
 U 极限拉伸强度
 U_i 上模模具 i 长度, $i=1, 2, 3\cdots$
 V 零件体积, 要求的生产量
 V_c 模腔体积
 V_{fc} 铸件成品的金属体积
 V_{fl} 溢料线上的单位长度的飞边体积
 V_m 切削去除的材料体积
 V_p 零件体积
 V_r 流道里的材料体积
 V_s 注塑量
 V_{sc} 废料残值
 V_{trd} 飞边修建模的材料容积
 V_{trp} 飞边修建冲模的材料容积
 v 切削速度 (刀具与工件之间的相对速度)
 v_{av} 平均切削速度
 v_c 对应于最小成本加工的切削速度; 压力机闭合速度
 v_f 铣削进给速度
 v_F 熔炉的带速或进给速度
 v_{max} 最大切削速度
 v_o 压力机开启速度
 v_{po} 最大功率切削速度
 v_r 对应于刀具寿命 t_r 的切削速度
 v_{trav} 磨削移动速度
 W 零件重量; 零件宽度或特征宽度
 \dot{W} 热流动速率
 W_a 人工操作者费率
 W_{blk} 锻模块厚度
 W_c 工作头成本
 W_f 热锻的飞边桥宽度
 W_{max} 熔炉的单位面积最大重量
 W_p 铸件浇注重量
 W_{pa} 模样装配操作者费率
 W_{plt} 热锻的压盘宽度
 W_{pr} 注入到单个模具里的材料重量
 W_r 相对工作头成本
 W_{sm} 壳模的干重
 w 内浇道厚度
 w_1 销子上倒角宽度
 w_2 孔上倒角宽度
 w_b 印制电路板宽度
 w_p 印制电路板的面板宽度
 w_F 炉的带宽或炉的送料机宽度
 w_s 断面宽度
 w_t 砂轮宽度
 X_i 内部复杂性指标值
 X_o 外部复杂性指标值
 x 相同的单元数
 Y_1 超过 10% 应变的屈服应力
 Y_d 铸件实收率
 X_p 轮廓复杂性指标值
 Y_s 材料的当量剪切屈服应力
 Y_{sm} 壳模产量
 Z_{pw} 当使用最大功率时的磨削金属去除率
 Z_w 金属去除率
 Z_{wc} 推荐条件下的磨削金属去除率
 Z_{wmax} 最大金属去除率
 α 热扩散性; 零件的阿尔法对称
 α_m 热锻的材料载荷因子
 α_s 热锻的形状载荷因子

β_m	零件的贝塔对称; 极限拉深比	ρ_f	粉末表观密度
β_s	热锻的形状模具寿命因子	ρ_i	给料理论密度; 铁密度
θ	作用在销子上力的角度; 钣金零件弯曲角度	ρ_o	浸渍油的密度
θ_b	烧化温度	ρ_p	零件密度 (包括浸渗剂)
θ_s	烧结温度	ρ_t	工具钢密度
θ_1	销子上的半圆锥形角倒角	ρ_w	材料的当量锻造密度
θ_2	孔上的半圆锥形角倒角	Φ_c	临界给料固体负荷
μ	摩擦因数	Φ_m	固体质量负荷
ρ	零件密度	Φ_v	粉末装载体积
ρ_a	合金密度	Φ_n	模块上的压槽模角度