

面向制造与装配的 产品设计

[美] G. 布斯劳

P. 德赫斯特 著

W. 耐特

机械工业出版社

ISBN 7-111-06927-7/TG·1253

作者简介:

G. 布斯劳 (Geoffrey Boothroyd) 1962 年获英国伦敦大学工程科学哲学博士, 1974 年获理学博士; 现为美国罗得岛大学工业与制造工程系教授, 美国制造工程师学会特别会员, 美国国家工程院成员。曾获美国 1991 年国家技术奖。出版专著《加工及机床基础》(《Fundamentals of Machining and Machine Tools》)(与 W. 耐特合著)、《装配自动化与产品设计》(《Assembly Automation and Product Design》)。

P. 德赫斯特 (Peter Dewhurst) 1970 年获英国曼彻斯特理工学院数学学士, 1971 年获机械工程硕士, 1973 年获博士; 现为美国罗得岛大学工业与制造工程系研究生部主任, 美国《机械工程学会制造评论》、《设计与制造学报》、《系统自动化国际学报》等学术杂志审稿人和合作编辑。曾获 Charles Reynold 奖、国际生产研究学院 F. W. Taylor 奖、1991 年美国国家技术奖。

W. 耐特 (Winston Knight) 1963 年获英国伯明翰大学机械工程学士, 1967 年获工学博士, 1980 年获牛津大学博士; 现为美国罗得岛大学工业与制造工程系主任、教授。

译者简介:

王知行教授现为哈尔滨工业大学现代生产技术中心主任, 中国图像图形学会理事, 中国电子学会高级会员, IEEE 会员, 全国工业自动化系统与集成标准化技术委员会委员, 航天工业总公司科技委计算机及应用专业组成员, 黑龙江省科技经济顾问委员会高技术专家组成员。曾于 80 年代与 90 年代初期分别以访问学者、高级访问学者身份在美国与英国从事计算机应用研究; 获 1992 年黑龙江省科技进步一等奖, 并享受政府特殊津贴。参编《实用微机大全》, 主编《计算机图形显示技术》、《环球网 HTML 语言》。

ISBN 7-111-06927-7



9 787111 069270 >

定价: 35.00 元

面向制造与装配的产品设计

(美) G. 布斯劳
P. 德赫斯特 著
W. 耐特
王知衍 译



机械工业出版社

本书全面总结了作者在面向制造与装配的产品设计(DFMA)方法的大量工作,为从事设计与制造的工程技术人员提供了 DFMA 方法的具体细节,使他们在掌握了这些工具后可以预测产品所需的制造与装配成本,从而设计、制造出更经济、实用的产品,提高产品的竞争性。这对国内的工程技术人员尤其有益,既使他们开阔了眼界、提供了新思路,又使他们增加了适应新的市场经济环境的意识和手段。

Product design for manufacture and assembly

Geoffrey Boothroyd

Peter Dewhurst

Winston Knight

Copyright © 1994 by Marcel Dekker, Inc. All Rights Reserved

版权登记号:图字 01-98-2591

本书中文简体字版权归机械工业出版社所有。未经本出版者书面许可,本书的任何部分不得以任何方式或任何手段复制和传播。版权所有,翻印必究。

图书在版编目(CIP)数据

面向制造与装配的产品设计/(美)布斯劳(Boothroyd, G.)等著;王知衍译。—北京:机械工业出版社,1999.1

书名原文:Product design for manufacture and assembly

ISBN 7-111-06927-7

I. 面… II. ①布… ②王… III. 工业产品-设计 N. F406.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 02635 号

出版人:马九荣(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:徐 彤 沈 红

封面设计:姚 毅 责任印制:何全君

三河市宏达印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1999 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32·17.75 印张·450 千字

0 001—3000 册

定价:35.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、68326677—2527

译者序

21 世纪正在向我们走来。制造业是国民经济的基础产业，为了适应 21 世纪制造业面临的挑战，传统的制造业正在发生巨大的变化。计算机集成制造（CIM, Computer Integrated Manufacturing）、并行工程（CE, Concurrent Engineering）、敏捷制造（AM, Agile Manufacturing）新思想、新技术层出不穷。我国科技界和制造界也在紧紧跟踪各项高新技术，并努力付诸实践，取得良好的成绩。

如同制造业是国民经济的基础产业一样，设计是制造业的基础。因此面向制造与装配的产品设计（Design For Manufacture and Assembly, 简称 DFMA）的广泛应用是制造业新思想、新技术的基础。随着思想的活跃、技术的发展，目前新名词大量涌现，而我们必须在跟踪高新技术的同时，扎扎实实做好基础工作。

DFMA 是我们常听说的 DFX（面向……的设计）的中心，本书总结了作者在 DFMA 方面的大量工作，而且提供了 DFMA 方法的具体细节，对国内有关的工程技术人员、大专院校师生很有参考价值。在信息爆炸，人们深受各种新名词困惑的时候，这样一本详细具体的书籍无疑像是一股新风，使人感到脚踏实地。

本书牵涉面较宽，译文的缺点错误一定不少，恳请广大读者不吝指教。

王知衍

于哈尔滨工业大学
现代生产技术中心

1999 年 1 月

原书序言

我们在“面向制造与装配的产品设计”（Desing For Manufacture and Assenbly，简称 DFMA）领域中工作了近 20 年，所发展的方法已经在工业界，特别是在美国工业界得到了广泛的应用。事实上，这些方法已经在产品设计行业中引起了一场革命，并且帮助打破了设计和制造之间的壁垒，与此同时推动了并行工程的发展。

本书不仅总结了我们在 DFMA 领域所做的大量工作，而且为工程师们提供了 DFMA 方法的具体细节。

DFMA 方法的大部分内容是关于分析工具的，掌握了分析工具后可以使设计人员和制造工程师能够在详细设计之前预测产品所需的制造与装配成本。有些相关的书籍只是一般叙述性的，本书则不同，它提供了基本的方程式与数据用于评估制造和装配成本。这样，在一个有限的材料和工艺范围内，工程师或学生可以估计真实零件和装配的成本，于是也就熟悉了所使用方法的详细情况。

为了锻炼制造工程师和设计人员，除了本书之外还有由 Boothroyd Dewhurst 公司研制的 DFMA 软件，它包含更多、更实际的数据库和算法，本书可以帮助理解它所涉及的各种方法。

本书是作者在罗得岛大学两门系列课程的教学笔记的基础上编写而成的，适合作为工科学生面向制造与装配的产品设计的课本。

面向装配的设计的初始工作是在马萨诸塞的大学由美国国家自然科学基金会资助的。Hull 大学的 K. G. Swift 教授以及 Salford 大学的 A. H. Redford 博士和作者一起从事早期的研究工作，那是由英国科学研究委员会支持的。

在最初几年工作之后,本项研究主要由美国工业界支持,在罗得岛大学继续进行到今。在此我们谨对下列公司的支持表示感谢,这些公司是:Allied、AMP、DEC、杜邦、福特、通用电气、通用汽车、吉列、IBM、Instron、Loctite、摩托罗拉、Navistar、西屋以及施乐。

我们也向多年来对研究做出贡献的所有研究生助手和研究学者致谢,他们是:A. Anderson, J. Anderson, D. Archer, G. Bakker, T. Becker, C. Blum, T. Bassinger, K. P. Brindamour, T. Bushman, J. P. Cafone, A. Carnevale, H. Connelly, T. J. Consunji, C. Donovan, J. R. Donovan, W. A. Dvorak, C. Elko, B. Ellison, M. C. Fairfield, J. Farris, T. Feenstra, M. Fein, R. P. Field, T. Fujita, A. Fumo, T. Hammer, Y. S. Ho, L. Ho, L. S. Hu, G. D. Jackson, J. John II, B. Johnson, K. Ketelsleger, G. Kobrak, D. Kuppurajan, C. C. Lennartz, S. Naviroj, N. S. Ong, P. Radovanovic, B. Raucent, M. Roe, L. Rosario, M. Schladenhauffen, B. Seth, C. Shea, T. Shinohara, J. Singh, R. Stanton, G. Stevens, A. Subramani, B. Sullivan, J. H. Timmins, R. Turner, S. C. Yang, Z. Yoosufani, J. Young, J. C. Woschenko, D. Zenger, and Y. Zhang。

我们感谢同事 C. Reynolds 教授,他在制成零件的早期成本估计方面与我们进行了合作;G. A. Russell 教授,他在印制电路板装配方面与我们进行了合作。

最后,对 Joanne Paspuazzi 仔细打印手稿, Kenneth Fournier 准备图稿表示感谢。

Geoffrey Boothroyd

Peter Dewhurst

Winston Knight

EAA42106

目 录

译者序

原书序言

第 1 章 概论	1
1.1 面向制造与装配的设计是什么?	1
1.2 DFMA 如何起作用?	3
1.3 不执行 DFMA 的理由	11
1.4 应用 DFMA 的好处是什么?	16
1.5 典型的 DFMA 个例研究	17
1.6 结论.....	26
参考文献	29
第 2 章 材料和工艺的选择	30
2.1 概论.....	30
2.2 早期材料和工艺选择的一般要求.....	31
2.3 制造工艺的选择.....	33
2.4 工艺性能.....	35
2.5 材料选择.....	48
2.6 第一期工艺和材料的选择.....	51
2.7 工艺和材料的系统选择.....	53
参考文献	68
第 3 章 面向手工装配的产品设计	70
3.1 概论.....	70
3.2 手工装配的一般设计准则.....	71
3.3 系统 DFA 方法的发展	78
3.4 装配效率.....	80

3.5	手工搬运的分类系统	82
3.6	手工插入与固定的分类系统	84
3.7	零件对称对搬运时间的影响	86
3.8	零件厚度和长度对搬运时间的影响	89
3.9	重量对搬运时间的影响	90
3.10	需要双手操作的零件	91
3.11	因素结合的影响	91
3.12	零件严重套接或缠结并需要镊子操作时 对称性的影响	92
3.13	倒角设计对插入操作的影响	93
3.14	插入时间的估计	97
3.15	避免在装配期间阻塞	98
3.16	减少盘装配问题	100
3.17	取放不便、视线受阻对不同设计的螺纹 紧固件插入时的影响	101
3.18	取放不便、视线受阻对 Pop 铆接操作的影响	104
3.19	维持操作的影响	105
3.20	手工装配数据库和设计数据表	107
3.21	DFA 方法的应用	108
3.22	高级设计准则	116
3.23	大型装配	119
3.24	手工装配方法类型	121
3.25	装配布局对采集时间的影响	126
	参考文献	130
第 4 章	电气连接与配线安装	133
4.1	概论	133
4.2	电线或电缆的配线束	135
4.3	电气连接类型	140
4.4	电线和电缆类型	145
4.5	准备和安装时间	147
4.6	分析方法	168

参考文献	176
第 5 章 面向高速自动装配和机器人装配的设计	178
5.1 概论	178
5.2 高速送料和定向零件的设计	179
5.3 实例	183
5.4 附加送料难度	186
5.5 高速自动插入	187
5.6 实例	188
5.7 装配的分析	189
5.8 面向自动化的产品设计的一般规则	189
5.9 面向送料和定向的零件设计	195
5.10 面向高速自动装配的设计规则的总结	198
5.11 面向机器人装配的产品设计	198
参考文献	205
第 6 章 面向制造和装配的印制电路板设计	206
6.1 概论	206
6.2 印制电路板的设计步骤	206
6.3 印制电路板的类型	207
6.4 专用术语	210
6.5 印制电路板的装配	211
6.6 印制电路板装配成本的估计	226
6.7 印制电路板装配实例研究	232
6.8 印制电路板的可加工性	237
6.9 设计考虑事项	239
6.10 术语词汇	249
参考文献	253
第 7 章 面向加工的设计	256
7.1 概论	256
7.2 采用单点切削刀具的机床	256

7.3	采用多点刀具的机床	268
7.4	采用砂轮的机床	279
7.5	标准化	287
7.6	工件材料的选择	288
7.7	工件材料的形状	290
7.8	基本形状的加工	292
7.9	零件的装配	304
7.10	精度和表面粗糙度	305
7.11	设计规则的总结	308
7.12	已加工零件的成本估计	311
	参考文献	336
第 8 章	面向注射模的设计	337
8.1	概论	337
8.2	注射材料	337
8.3	注射工艺周期	340
8.4	注射模系统	342
8.5	注射模	344
8.6	注射机大小	350
8.7	制模周期时间	352
8.8	模具成本评估	358
8.9	模具成本记分系统	368
8.10	最优模腔数估计	369
8.11	设计实例	372
8.12	嵌入制模	374
8.13	设计规则	375
8.14	装配技术	377
	参考文献	380
第 9 章	面向钣金加工的设计	382
9.1	概论	382
9.2	专用冲模和冲压	384

9.3	冲床选择	406
9.4	转塔冲压	411
9.5	压弯机操作	416
9.6	设计规则	419
参考文献		426
第 10 章 面向压铸加工的设计		428
10.1	概论	428
10.2	压铸合金	428
10.3	压铸周期	430
10.4	压铸机	431
10.5	压铸模	434
10.6	表面涂层	436
10.7	自动化辅助设备	438
10.8	最优模腔数的确定	439
10.9	合适机器大小的确定	444
10.10	压铸周期时间估计	449
10.11	压铸模成本估计	458
10.12	装配技术	463
10.13	设计原则	464
参考文献		466
第 11 章 面向粉末金属工艺的设计		467
11.1	概论	467
11.2	粉末冶金工艺的主要阶段	468
11.3	辅助制造阶段	470
11.4	粉末压紧特性	474
11.5	粉末压紧工装	482
11.6	粉末压紧压力机	485
11.7	粉末金属零件成形	489
11.8	烧结设备特性	492
11.9	粉末金属处理材料	498

11.10 基本粉末冶金制造成本的构成	503
11.11 渗透材料的修正	523
11.12 浸渗,热处理,抛光,蒸汽处理 和其它表面处理	524
11.13 粉末金属零件的一些设计规则	527
参考文献	528
第 12 章 面向制造的设计和计算机辅助设计	529
12.1 概论	529
12.2 联系 CAD 和 DFMA 分析的一般考虑事项	529
12.3 CAD 系统中的几何表示法	531
12.4 CAD 和 DFMA 互联环境中的设计过程	544
12.5 从 CAD 系统数据库中抽取 DFMA 数据	548
12.6 专家设计和成本估计程序	551
参考文献	552

第 1 章 概论

1.1 面向制造和装配的设计是什么？

本书中所提的“制造”是指产品或者装配中的单独零件的制造，而“装配”是指增添或者联接若干零件来形成一个完整产品的过程。这就是说，在本书中，装配并不作为一种制造过程加以考虑，而加工、模制等等是制造过程。因此，术语“面向制造的设计”是针对零件装配成产品前，简化和方便产品零件制造的设计；“面向装配的设计”是指简化和方便装配的产品设计。

多年来，一直提倡设计人员应该对制造上可能有的问题给予更多注意。传统上，在机械设计课程之后，希望工科学生选取“车间制造”课程。这是因为对于一个有能力的设计人员来说，如果他熟悉制造过程就可以在设计期间避免增加不必要的制造成本。不过很遗憾的是，早在 60 年代，有关车间制造的课程就已经从美国的大学课程表中消失；人们认为它们不适合于工程理论教学学分的要求。事实上，一般并不认为具有工程学位的人就能适合设计职位的。当然，“设计”这个词有许多不同的意义。有些设计是指产品的外形美学设计，比如汽车的外形，开罐头刀的颜色，纹理以及外部形状等。有一些大学课程表中就是把这些称为“产品设计”的。

另一方面，设计可以认为是解决系统的基本参数的过程。例如，在考虑细节之前，我们说“设计”一家电厂，可以认为是确立电厂各种各样的部件诸如发电机、泵、锅炉以及连接管道等等的特性。

目前，设计的另一种解释是确定产品各独立零件的材料、形状以及公差的细节，本书中所说的产品设计主要是指这个意思。它从零件和装配的草图开始，在图板或者计算机辅助设计工

作站上完成详尽的零件图和装配图这样的一些工作。然后，这些图通过制造和装配工程师优化生产工艺以便得到最后产品。通常正是在这个阶段遇到制造和装配的问题，并且要求对设计作出变化。有时，这些设计变化量相当大，使得产品推延相当长时间以后才能最后发布。此外，在产品设计和开发周期中，修改得越晚，代价越大。因此，不仅要在产品设计期间考虑制造和装配，而且必须在设计周期中尽早地考虑这些事项。

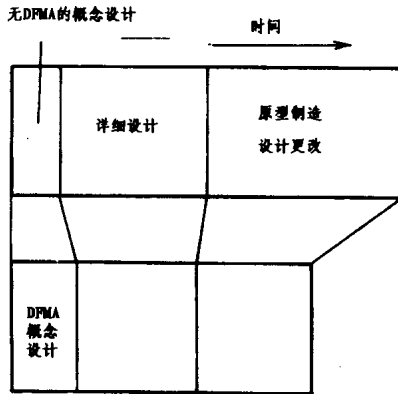


图 1-1 在设计早期采用 DFMA 节省时间的情况

图 1-1 定性地说明了这个问题，在设计过程早期花费较多时间的代价可以由原型制造所节约的时间进行有效补偿。这样，应用面向制造和装配的设计（DFMA）除了可以减少产品的成本之外，还可以缩短时间，把产品尽早推向市场。比如，Ingersoll-Rand 公司报告^[1]说，用了 Boothroyd Dewhurst 公司的 DFMA 软件后，产品开发时间从两年削减至一年。此外，并行工程组（参见如下）把一种便携式的压缩机散热器与油冷却器的装配零件数量从 80 减少到 29，把紧固件的数量从 38 减少到 20，把装配操作的数量从 159 调整到 40，装配时间从 18.5min 减少至 6.5min。新的设计在 1989 年 6 月开发，1990 年 2 月整个投入生产。在设

计初期，应该悉心考虑制造和装配的另一个理由是，现在广泛地认为最后产品成本的 70%是在设计期间确定的^[2]。

按照传统的观点，设计人员的态度曾经是“我们设计，你们制造”。这种情况现在已称为“越墙法”，即设计者坐在墙壁的一边，把设计投掷过墙壁给制造工程师，由于他们没有参加设计，必须处理由此产生的各种各样的制造问题。要克服这个问题的一种方法是在设计阶段设计人员就向制造工程师求教。这样配合工作可以避免许多以后会出现的问题。然而，这种现在称为并行工程的小组需要分析工具帮助他们研究所面临的设计，并且从制造难度和成本的观点来进行评价。这些工具就是本文讨论的 DFMA 工具。

1.2 DFMA 如何起作用？

让我们从概念设计阶段开始举例。图 1-2 表示一个电动机驱动总成，需要感知和控制它在两条钢导轨上的位置。电动机必须完全封闭，以满足美学的要求；并且要有一个可移动的罩子，以便调整位置传感器。最主要的是，要有一个坚实的基座，用于轨道滑行，支持电动机和固定传感器。电动机与传感器和电源、控制部件分别用导线相连。

图 1-3 表示一种解决方案，基座上带两个衬套以便提供适当的摩擦力以及抗磨损特性。电动机用两个螺钉固定在基座上，同时有一个孔用来装圆柱形的传感器，它用设置螺钉固定。对于装置操作来说，电动机基座与传感器是唯一必须的装配项。为了提供所需的罩子，把一块端板拧紧到两个立柱上，立柱用螺钉固定在基座上。这个端板和一种塑料衬套相配，连接导线从该衬套通过。最后，一个盒子形状的罩子从基座之下一直套在整个装配上，并且用 4 个螺钉固定；两个和基座相连，两个和端板相连。

总成中有两个部件，这就是电动机以及传感器，它们需要采用装配项。在初始设计中，有 8 个附加的主要零件和 9 个螺钉，

总共为 19 个装配项。

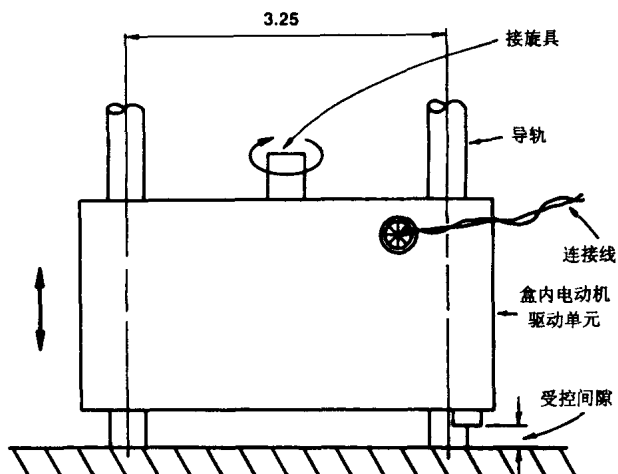


图 1-2 电动机驱动总成

人们从 80 年代开始认真考虑 DFMA，感受到它所带来的利益，并清楚认识到，最大的改进是通过减少独立的零件数量来简化产品。下面是指导设计人员减少零件数量的原则。在装配时，每一个零件加到产品中之前必须加以检查，DFMA 方法^[3]提供 3 个判据：

判据一： 在产品的操作期间，所考虑的零件与所有其它已装配的零件是相对运动的关系吗？一般仅考虑大的运动，一些小的运动可以用所含的诸如弹性单元这样的方式来解决，它们不足以成为一个该考虑的问题。

判据二： 所考虑的零件与已经装配的零件相比，是否必须用一种不同的材料或者应该与其它零件隔离开来？这里只考虑与材料特性有关的基本原因。

判据三： 所考虑的零件是否必须和所有已经装配的其它零件分离，以免影响其它独立零件的必要装配或者拆卸。