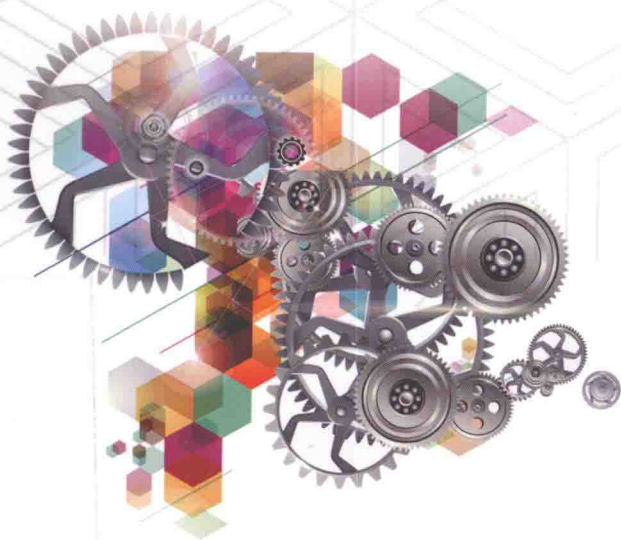


面向制造和装配的 产品设计指南

第2版

钟元 编著



如何降低产品成本、缩短产品上市时间、提高产品质量？

本书给您提供优秀的 **解决方案**



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

面向制造和装配的 产品设计指南

第2版

钟 元 编著

机械工业出版社

本书第1版自2011年出版以来深受广大读者好评,前后印刷了6次,销售15000余册。为答谢广大读者的厚爱,使之更符合读者的需求、更实用,我们根据近几年的技术发展和读者的反馈进行了修订再版。

面向制造和装配的产品设计(DFMA)是企业以“更低的产品成本、更短的产品开发周期、更高的产品质量”进行产品开发的关键。DFMA通过提高产品的可制造性和可装配性,使得产品非常适合进行制造和装配,继而保证制造和装配时的高生产效率、低不良率、高产品质量和低产品成本等。在劳动力成本日益上升的今天,DFMA对企业显得更为重要和迫切。

本书详细介绍了如何在产品开发中应用DFMA以及DFMA设计指南,包括面向装配的设计指南、塑胶件设计指南、钣金件设计指南、压铸件设计指南、机械加工件设计指南和公差分析等,并辅以图形和真实案例及DFMA检查表,具有非常高的实用价值。

本书非常适合从事产品开发的工程师和管理人员阅读,也可供高等院校机械类专业教师和学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

面向制造和装配的产品设计指南/钟元编著. —2版. —北京:
机械工业出版社, 2016.6

ISBN 978-7-111-54013-7

I. ①面… II. ①钟… III. ①产品设计—指南 IV. ①TB472-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第129833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:何月秋 责任编辑:何月秋 雷云辉

版式设计:霍永明 责任校对:肖琳

封面设计:张静 责任印制:李洋

北京华正印刷有限公司印刷

2016年8月第2版第1次印刷

169mm×239mm·20.25印张·412千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-54013-7

定价:59.00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

封面防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

第2版前言

本书第1版自2011年出版以来深受广大读者的好评，前后印刷6次，累计销售15000余册。为答谢广大读者的厚爱，同时使本书更符合大家的需求、更实用，我们根据近几年的技术发展和许多读者的反馈进行了修订再版。

很多读者对本书的评价是非常实用，不少企业把本书当作工程师必备的培训教材。承蒙广大读者和企业的厚爱，在过去的5年中，我有机会从事有关面向制造和装配的产品设计(DFMA)的培训、咨询、应用和推广工作，服务对象包括ABB、艾默生、欧普照明、北京阿奇夏米尔、旭东(中国)、康佳电子和特灵空调等各行业知名企业。这不但让我获得了许多宝贵的实战经验，加深了我对DFMA的认识和理解，同时也让我更进一步意识到DFMA确实能给企业带来实实在在的价值，包括降低产品成本和提高产品质量等。借此再版之际，我结合对DFMA更深层次的理解，对本书做了以下主要修改：

1. 增加了Design For X(面向各种设计要求的设计，简称DFX)的内容。从产品设计全局的角度介绍DFX，指出DFMA在DFX中的地位及其重要性，但同时不能忽略产品设计时需要考虑的其他要求，例如来自客户或消费者对产品的功能、外观、易使用性等方面的要求，产品可靠性的要求，以及产品低成本的要求等。
2. 在塑胶件设计指南一章中增加了常用塑胶材料性能的解读，这有助于工程师在选择材料时做出正确的选择，同时对塑胶件进行有针对性的零件设计。另外，更加详细地介绍了塑胶件的超声波焊接，包括工艺介绍、焊接结构设计及指南等。
3. 增加了新的一章：机械加工作件设计指南。通过面向机械加工的设计，实现零件机械加工时的高效率、低成本和高质量等。
4. 重新调整了公差分析一章的结构。以常见错误公差分析方法为入口，系统化地介绍了在产品开发过程中进行公差分析的具体步骤和具体指南。

本书第1版出版后，我收到了不少读者的邮件和电话，经常共同探讨书中的技术问题，以及读者在应用DFMA过程中出现的问题，与读者的交流使我深受启发。非常欢迎广大读者一如既往地对本第2版提出建议和指正错误，共同推进DFMA在中国的发展，为中国制造业的腾飞贡献我们的智慧。

作者联系方式：邮箱 3945996@qq.com，电话 13564227795，微信号 zhongyuan1978。

钟 元

2016年5月于上海

第1版前言

产品开发如同奥林匹克竞技。更低的产品开发成本、更短的产品开发周期、更高的产品质量，永远是企业追求的最高境界。在全球化的背景下，企业之间的竞争日益加剧，在产品开发中任何一个环节稍有落后，就可能被竞争者超越，甚至被淘汰出局。

企业如何才能以“更低的成本、更短的时间、更高的质量”进行产品开发呢？面向制造和装配的产品设计正是这样的一个有效手段。它从提高产品的可制造性和可装配性入手，在产品开发阶段就全面考虑产品制造和装配的需求，同时与制造和装配团队密切合作，通过减少产品设计修改、减少产品制造和装配错误、提高产品制造和装配效率，从而达到降低产品开发成本、缩短产品开发周期、提高产品质量的目的。

本书首先介绍了面向制造和装配的产品开发；然后重点介绍了面向制造和装配的设计指南，其中包括面向装配的设计指南、塑胶件设计指南、钣金件设计指南、压铸件设计指南和公差分析等；最后提供了面向制造和装配的产品设计检查表，用于系统化地检查产品设计是否满足产品制造和装配的需求。

本书根据作者多年产品开发实际经验编写，并结合了国内外先进的产品开发理念和产品设计思想，具有以下特色：

1. 详细介绍面向装配的设计指南

与产品的制造一样，产品的装配处于同等重要甚至更为重要的地位，但长期被忽视。本书详细介绍了面向装配的设计指南，以确保产品设计符合产品装配的要求，减少装配错误，降低装配成本，提高装配效率和装配质量。

2. 实用性强

本书没有复杂的理论，而是从产品开发的实际应用着手，介绍了面向制造和装配的设计指南。每一条设计指南都来源于真实的产品开发经验和教训总结，违反其中任何一条设计指南都可能会造成产品开发成本的增加、产品开发周期的延长和产品质量的降低。

另外，本书提供的产品设计检查表能够帮助产品设计工程师系统化地检查产品设计，确保产品设计符合制造和装配的要求，具有非常高的实用性。

3. 实例丰富、强调实践

本书的设计指南辅以图形和真实案例，简单易懂。作者从一个产品设计工程师的角度来分析和讲述每一条设计指南对产品开发的影响，指导产品设计工程师利用每一条设计指南来提高产品开发的质量。

我要感谢妻子曾颖和女儿钟曾，她们是我写这本书的动力。

鉴于作者水平有限，书中错误在所难免，欢迎广大读者批评指正。读者可以发邮件至 joezhong@hotmail.com 与作者进行交流。

钟 元

2011 年 5 月于上海

目 录

第2版前言

第1版前言

第1章 面向制造和装配的产品开发	1
1.1 产品设计的重要性	1
1.1.1 iPhone 利润分配的启示	1
1.1.2 产品设计的作用	4
1.1.3 好的产品设计	7
1.2 Design For X	10
1.2.1 产品生命周期	10
1.2.2 DFX 产生的背景	10
1.2.3 DFX: 面向产品生命周期的设计	11
1.2.4 DFX: 面向各种要求的设计	15
1.2.5 DFX 的内涵	17
1.3 产品开发模式	18
1.3.1 产品开发模式的进化	18
1.3.2 传统产品开发流程	20
1.3.3 传统产品开发模式的弊端	21
1.4 面向制造和装配的产品开发模式	22
1.4.1 DFMA 概述	22
1.4.2 DFMA 的开发流程	24
1.4.3 DFMA 的价值	27
1.4.4 DFMA 与并行工程	32
1.4.5 DFMA 在各企业的成功应用	32
1.5 DFMA 的实施	33
1.5.1 实施的障碍	33
1.5.2 实施的关键	34
第2章 面向装配的设计指南	37
2.1 概述	37
2.1.1 装配的概念	37
2.1.2 最好和最差的装配工序	37
2.1.3 面向装配的设计的概念	38
2.1.4 面向装配的设计的目的	38
2.1.5 面向装配的设计的历史	39

2.2 设计指南	39
2.2.1 减少零件数量	39
2.2.2 减少紧固件的数量和类型	49
2.2.3 零件标准化	53
2.2.4 模块化产品设计	54
2.2.5 设计一个稳定的基座	55
2.2.6 设计零件容易被抓取	57
2.2.7 避免零件缠绕	58
2.2.8 减少零件装配方向	58
2.2.9 设计导向特征	60
2.2.10 先定位后固定	62
2.2.11 避免装配干涉	64
2.2.12 为辅助工具提供空间	65
2.2.13 为重要零部件设计装配止位特征	65
2.2.14 防止零件欠约束和过约束	66
2.2.15 宽松的零件公差要求	69
2.2.16 防错的设计	71
2.2.17 装配中的人机工程学	84
2.2.18 线缆的布局	87
第3章 塑胶件设计指南	92
3.1 概述	92
3.1.1 塑胶的概念	92
3.1.2 塑胶的优缺点	92
3.1.3 注射成型	94
3.2 塑胶材料的选择	95
3.2.1 塑胶材料的分类	95
3.2.2 常用塑胶材料的性能	97
3.2.3 塑胶材料的选择原则	99
3.3 塑胶的性能参数	101
3.3.1 物理性能	104
3.3.2 力学性能	106
3.3.3 热性能	112
3.3.4 环境性能	114
3.3.5 阻燃性	116
3.3.6 UL746	117
3.3.7 电性能	118
3.4 设计指南	118
3.4.1 零件壁厚	120
3.4.2 避免尖角	122

3.4.3 脱模斜度	124
3.4.4 加强筋的设计	126
3.4.5 支柱的设计	128
3.4.6 孔的设计	130
3.4.7 提高塑胶件强度的设计	133
3.4.8 提高塑胶件外观质量的设计	137
3.4.9 降低塑胶件成本的设计	142
3.4.10 注射模具可行性设计	146
3.4.11 注射模具讨论要点	147
3.5 塑胶件的装配方式	148
3.5.1 卡扣装配	149
3.5.2 机械紧固	152
3.5.3 热熔	158
3.6 超声波焊接	163
3.6.1 超声波简介	163
3.6.2 超声波焊接	165
3.6.3 超声波焊接工艺	168
3.6.4 塑料的超声波焊接性能	171
3.6.5 塑胶件的超声波焊接结构设计	175
3.6.6 塑胶件的超声波焊接结构设计指南	181
第4章 钣金件设计指南	186
4.1 概述	186
4.1.1 钣金概述	186
4.1.2 冲压概述	186
4.1.3 常用钣金材料的介绍	187
4.2 设计指南	188
4.2.1 冲裁	188
4.2.2 折弯	191
4.2.3 拉深	198
4.2.4 凸包	199
4.2.5 止裂槽	200
4.2.6 指明飞边的方向和需要压飞边的边	200
4.2.7 提高钣金件强度的设计	201
4.2.8 减少钣金件成本的设计	203
4.2.9 其他钣金件设计的考虑	206
4.3 钣金件常用的装配方式	208
4.3.1 卡扣装配	208
4.3.2 拉(铆)钉装配	208
4.3.3 自铆	210

4.3.4 螺钉机械装配	210
4.3.5 点焊	212
4.3.6 各种装配方式比较	212
第5章 压铸件设计指南	214
5.1 概述	214
5.1.1 压铸的概念	214
5.1.2 压铸的优缺点	214
5.1.3 关于压铸件的六大误解	215
5.2 常用压铸材料介绍	216
5.2.1 铝合金	217
5.2.2 锌合金	217
5.2.3 镁合金	218
5.3 设计指南	219
5.3.1 零件壁厚	219
5.3.2 压铸件最小孔	221
5.3.3 避免压铸型局部过薄	221
5.3.4 加强筋的设计	222
5.3.5 脱模斜度	223
5.3.6 圆角的设计	224
5.3.7 支柱的设计	225
5.3.8 字符	227
5.3.9 螺纹	227
5.3.10 为飞边和浇口的去除提供方便	228
5.3.11 压铸件的公差要求	229
5.3.12 简化模具结构,降低模具成本	231
5.3.13 机械加工	233
5.3.14 使用压铸件简化产品结构,降低产品成本	234
第6章 机械加工作件设计指南	236
6.1 概述	236
6.1.1 机械加工的概念	236
6.1.2 机械加工的分类	236
6.1.3 机械加工的优缺点	239
6.2 通用机械加工作件设计指南	239
6.2.1 尽量避免使用机械加工	239
6.2.2 毛坯的选择	240
6.2.3 宽松的零件公差要求	241
6.2.4 简化产品和零件结构	242
6.2.5 降低加工难度	242
6.2.6 保证位置精度	243

6.2.7 尺寸标注便于测量	244
6.2.8 保证零件热处理后的质量	245
6.2.9 零件结构要有足够的刚度	245
6.2.10 采用标准化参数	246
6.2.11 零件应便于装夹	249
6.2.12 减少装夹次数	250
6.2.13 减少机械加工面积	252
6.2.14 减少走刀次数	252
6.2.15 零件结构应便于刀具工作	254
6.2.16 不同要求的表面明显分开	255
6.3 车削件设计指南	256
6.4 钻削件设计指南	257
6.5 铣削件设计指南	259
第7章 公差分析	261
7.1 概述	261
7.1.1 引言	261
7.1.2 公差	261
7.1.3 公差分析	270
7.1.4 常见公差分析的错误做法	270
7.2 公差分析的计算步骤	274
7.2.1 定义公差分析的目标尺寸和判断标准	274
7.2.2 定义尺寸链	275
7.2.3 判断尺寸链中尺寸的正负	275
7.2.4 将非双向对称公差转换为双向对称公差	275
7.2.5 公差分析的计算	276
7.2.6 判断和优化	278
7.3 公差分析的计算模型	278
7.3.1 极值法	278
7.3.2 均方根法	279
7.3.3 极值法和均方根法的区别	281
7.4 装配偏移	285
7.5 公差分析指南	288
7.5.1 明确目标尺寸及其判断标准	288
7.5.2 公差与成本的关系	289
7.5.3 公差一致性	289
7.5.4 公差分析结果不满足判断标准时的解决方法	290
7.6 产品开发中的公差分析	296
7.6.1 定义关键尺寸及公差	297
7.6.2 优化的产品设计	297

7.6.3 公差分析的计算	297
7.6.4 二维图样尺寸公差标注	299
7.6.5 制程能力测量	299
7.6.6 真实产品公差分析	299
7.7 利用 Excel 进行公差分析	300
第8章 面向制造和装配的设计检查表	303
8.1 和谐的设计	303
8.2 设计检查表	303
8.2.1 概述	303
8.2.2 使用方法	304
参考文献	310

第1章 面向制造和装配的产品开发

1.1 产品设计的重要性

1.1.1 iPhone 利润分配的启示

1. iPhone 利润分配

2011 年美国学者披露的一份研究报告表明，每出售一台 iPhone 手机，苹果公司就能获得其中利润的 58.5%，而作为主要的 iPhone 组装地和大部分零部件生产地，中国大陆从中能获得的利润只有 1.8%，中国台湾获得的利润为 0.5%。

这份研究报告名为《捕捉苹果全球供应网络利润：iPhone 和 iPad》，由美国加州大学和雪城大学的 3 位教授合作撰写，其中针对 iPhone 手机利润分配的研究显示，苹果公司每出售一台 iPhone，利润分配（见图 1-1）如下：

- 利润排在第一位的是苹果公司，独占其中 58.5% 的利润。
- 利润排在第二位的是塑胶、金属等原材料供应国，占去了 21.9%。
- 利润排在第三位的是作为屏幕、电子元件主要供应商的韩国，分得了 iPhone 利润的 4.7%。

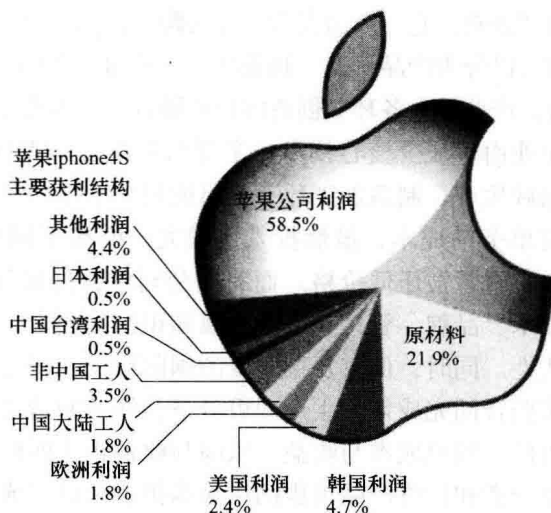


图 1-1 iPhone 利润分配图

注：美国利润不包含苹果公司，工人部分和原材料部分均指成本投入额。数据来源于公开报道。

- 利润排在第四位的是非中国工人，占去 3.5%。
- 利润排在第五位的是苹果公司以外的美国从业者，获得 2.4%。
- 利润排在第六位的是中国大陆工人和欧洲从业者，分别获得 1.8%。
- 利润排在最后的是日本和中国台湾，各获得 0.5%。
- 其他未归类项目占去 4.4%。

2. 微笑曲线

在上面的 iPhone 利润分配中，这一组对比数据显得非常刺眼：

- 苹果公司独占 58.5% 的利润。
- iPhone 的组装和生产者中国台湾和中国大陆工人仅仅获得 0.5% 和 1.8% 的利润。

这不得不引起我们的反思，为何苹果公司能够独占绝大部分的利润，而我们仅仅只能获得非常微薄的利润呢？

这可以通过微笑曲线理论来解释。微笑曲线告诉我们，企业在产业链中的利润分配取决于企业在产业链中的位置或地位。

微笑曲线（Smile Curve）是 1992 年，当时的宏碁电脑董事长施振荣在《再造宏碁：开创、成长与挑战》一书中所提出的企业竞争战略，作为宏碁的策略方向。微笑曲线获得了业界的广泛认可，并成为台湾各产业中长期发展策略的方向。

微笑曲线理论的形成，源于国际分工模式由产品分工向要素分工的转变，也就是参与国际分工合作的世界各国企业，由生产最终产品转变为依据各自的要素禀赋，只完成最终产品形成过程中某个环节的工作。最终产品的生产，经过市场调研、创意形成、技术研发、模块制造与组装加工、市场营销、售后服务等环节，形成了一个完整链条。这就是全球产业链，它一般由实力雄厚的跨国公司主导，以制造加工环节为分界点，全球产业链可以分为产品研发、制造加工、流通三个环节。从研发产品到最终产品再到产品销售，产业链上各环节创造的价值随各种要素密集度的变化而变化。

发展中国家的企业由于缺少核心技术，主要从事制造加工环节的生产。然而，无论加工贸易还是贴牌生产，制造加工环节付出的只是土地、厂房、设备、水、电等物化要素成本和简单劳动成本，虽然投入也很大，但在不同国家间具有可替代性，企业为争取订单，常常被压低价格。而跨国公司掌握的研发环节和流通环节，其所投入的信息、技术、品牌、管理、人才等属知识密集要素，比制造加工环节更复杂，具有不可替代性。同时，面对复杂多变的国际市场，研发和流通环节要承担更大的市场风险，按照合同完成订单生产即可分享利润的制造加工环节并不负责产品销售，市场风险极低。按照成本与收益、风险与收益正比匹配原则，跨国公司作为生产过程的最大投资者和最终产品销售的风险承担者，自然成为收益最大者。

按照产业链中各环节在产业链中的位置及其产生的附加价值可绘制成一条微笑曲线。微笑曲线是一条微笑嘴形的曲线，如图 1-2 所示，微笑曲线的两端朝上，分别是产品设计、技术研发以及品牌、渠道、物流和服务等，它们处在产业链的核

心, 具有非常高的附加价值; 微笑曲线的底端是产品制造, 它们处在产业链的底端, 产生非常低的附加价值。

通过微笑曲线, 我们可以回答上文中的疑问: 为何苹果公司可以获得绝大部分的利润, 而我们仅仅获得微薄的利润?

这是因为, 在 iPhone 的产业链中, 苹果公司处在微笑曲线的顶端, 是产品设计者、技术研发者, 并掌握着品牌、渠道等, 苹果公司是 iPhone 产业链的核心, 产生最多的附加价值。没有苹果公司, 就没有 iPhone 产业, 苹果公司在 iPhone 产业链中的核心位置决定了他们能够获得绝大部分的利润。

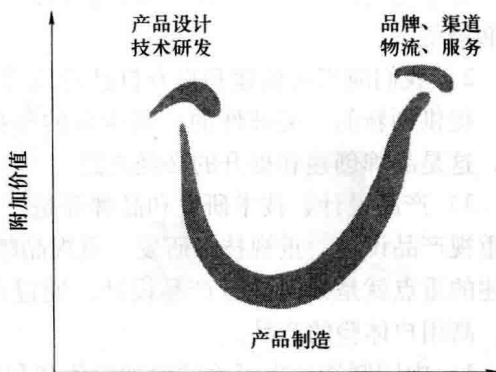


图 1-2 微笑曲线

而富士康等企业和中国工人, 在 iPhone 产业链中处在微笑曲线的底端, 是产品制造者, 产生非常低的附加价值。也就是说, 没有富士康和中国工人, iPhone 产业完全不受影响, 只不过 iPhone 的生产地换成东南亚某国或墨西哥而已, 我们在 iPhone 产业链中的微不足道的位置决定了我们仅仅能够获取微不足道的利润。

对处于微笑曲线顶端的企业来说, 微笑曲线确实在向他们微笑; 而对于底端的企业来说, 这却是一张苦笑的脸。

3. iPhone 利润分配的启示

在《捕捉苹果全球供应网络利润: iPhone 和 iPad》研究报告中, 站在美国企业和国家的角度, 学者对美国企业管理者和政策制定者总结和建议到:

1) 在全球化的背景下, 供应商处于受支配地位, 非常容易被替换。日本企业在 iPad 中的供应商地位就被韩国的 LG 和三星取代; 而有传言说三星制造的芯片会被苹果内部设计的芯片以及中国台湾制造所取代。

2) 品牌对于一个企业至关重要。尽管 iPhone 的组装和零部件制造都是在美国本土以外进行的, 但获得了 iPhone 绝大部分利润的是苹果, 一个美国公司。

3) 苹果通过对产品设计、软件开发、产品管理、市场, 以及其他高附加值部分的控制, 获得了绝大部分的利润。

4) 中国在整个产业链中的作用比我们通常认为的小得多, 从中获益甚少。

5) 电子产品的装配产生非常少的价值, 把大批量的电子产品装配带回美国对经济增长不是一个好的主意。同时, 尽管当前美国面临严重的失业率, 尽管电子产品的制造能够提供大量的就业岗位, 但仍没有必要把电子产品的制造带回美国。

这也恰恰是对中国企业管理者和政策制定者的启示和建议:

1) 在全球化的产业链中, 中国的身份和地位是供应商, 为世界上的多数品牌