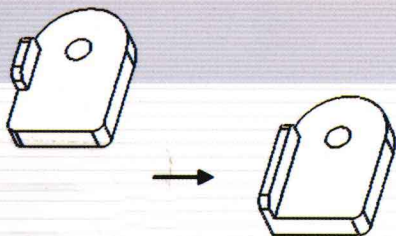


面向制造和装配的 产品设计指南

MIANXIANG ZHIZAO HE ZHUANGPEI DE
CHANPIN SHEJI ZHINAN

钟元◎编著



更低的成本

如何以

更短的时间

进行产品开发？

更高的质量



本书给您提供最佳解决方案



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

面向制造和装配的 产品设计指南

钟元 编著



机械工业出版社

面向制造和装配的产品设计是企业以“更低的开发成本、更短的开发周期、更高的产品质量”进行产品开发的关键。本书详细介绍了面向制造和装配的产品设计指南,包括面向装配的设计指南、塑胶件设计指南、钣金件设计指南和压铸件设计指南等,辅以图形和真实案例,并提供面向制造和装配的产品设计检查表,具有非常高的实用价值。

本书适合从事产品开发的工程师阅读,也可供高等院校机械类专业学生学习。

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. —北京:机械工业出版社, 2011. 4

ISBN 978-7-111-34008-9

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(2011)第058678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 刘本明

版式设计:张世琴 责任校对:李秋荣

封面设计:王伟光 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2011年5月第1版第1次印刷

148mm×210mm·7.5印张·219千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-34008-9

定价:28.00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

策划编辑:(010)88379732

社服务中心:(010)88361066

网络服务

销售一部:(010)68326294

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

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

同产品的制造一样，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机械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。作者从一个机械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，指导机械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

前言

第 1 章 面向制造和装配的产品开发	1
1.1 绪论	1
1.1.1 产品开发模式的进化	1
1.1.2 产品设计的重要性	4
1.1.3 产品设计的要求	7
1.2 传统产品开发模式	9
1.2.1 传统产品开发流程	9
1.2.2 传统产品开发模式的弊端	10
1.3 面向制造和装配的产品开发模式	12
1.3.1 面向制造和装配的产品开发流程	12
1.3.2 面向制造和装配的产品开发的优点	15
1.3.3 面向制造和装配的产品开发与并行工程	21
1.4 面向制造和装配的产品开发的实施	22
1.4.1 实施的障碍	22
1.4.2 实施的关键	24
第 2 章 面向装配的设计指南	26
2.1 面向装配的设计	26
2.1.1 装配的定义	26
2.1.2 最好和最差的装配工序	26
2.1.3 面向装配的设计的定义	27
2.1.4 面向装配的设计的目的	28
2.1.5 面向装配的设计的历史	28
2.2 设计指南	29
2.2.1 减少零件数量	29
2.2.2 减少紧固件的数量和类型	34
2.2.3 零件标准化	38
2.2.4 模块化产品设计	38

2.2.5	设计一个稳定的基座	40
2.2.6	设计零件容易被抓取	42
2.2.7	避免零件缠绕	42
2.2.8	减少零件装配方向	43
2.2.9	设计导向特征	44
2.2.10	先定位后固定	46
2.2.11	避免装配干涉	49
2.2.12	为辅助工具提供空间	49
2.2.13	为重要零部件设计装配止位特征	50
2.2.14	防止零件欠约束和过约束	51
2.2.15	宽松的零件公差要求	54
2.2.16	防错的设计	57
2.2.17	装配中的人机工程学	66
2.2.18	线缆的布局	70
第3章	塑胶件设计指南	73
3.1	塑胶	73
3.1.1	塑胶的定义	73
3.1.2	塑胶的特性	73
3.1.3	注射成型	74
3.2	塑胶材料选择	75
3.2.1	塑胶材料的分类	75
3.2.2	常用塑胶材料性能	76
3.2.3	塑胶材料选择原则	79
3.3	设计指南	80
3.3.1	零件壁厚	81
3.3.2	避免尖角	83
3.3.3	脱模斜度	85
3.3.4	加强肋的设计	88
3.3.5	支柱的设计	91
3.3.6	孔的设计	93
3.3.7	提高塑胶件强度的设计	97
3.3.8	改善塑胶件外观的设计	102
3.3.9	降低塑胶件成本的设计	108
3.3.10	注射模具可行性设计	112

3.3.11 注射模具讨论要点	113
3.4 塑胶件的装配方式	115
3.4.1 卡扣装配	115
3.4.2 机械紧固	119
3.4.3 超声波焊接	126
第4章 钣金件设计指南	131
4.1 钣金	131
4.1.1 钣金的概念	131
4.1.2 冲压简介	131
4.1.3 常用钣金材料介绍	132
4.2 设计指南	133
4.2.1 冲裁	133
4.2.2 折弯	138
4.2.3 拉深	146
4.2.4 凸包	147
4.2.5 止裂槽	148
4.2.6 指明毛边的方向和需要压毛边的边	149
4.2.7 提高钣金强度的设计	150
4.2.8 降低钣金成本的设计	152
4.2.9 其他钣金设计考虑	157
4.3 钣金常用装配方式	158
4.3.1 卡扣装配	158
4.3.2 拉(铆)钉装配	159
4.3.3 自铆	160
4.3.4 螺钉机械装配	161
4.3.5 点焊	163
4.3.6 各种装配方式比较	163
第5章 铸件设计指南	166
5.1 压铸简介	166
5.1.1 压铸	166
5.1.2 压铸的优缺点	166
5.1.3 关于压铸件的六大误解	168
5.2 常用压铸材料介绍	169

5.2.1	铝合金	170
5.2.2	锌合金	171
5.2.3	镁合金	172
5.3	设计指南	173
5.3.1	零件壁厚	173
5.3.2	压铸件最小孔	175
5.3.3	避免压铸型局部过薄	176
5.3.4	加强肋的设计	176
5.3.5	脱模斜度	179
5.3.6	圆角的设计	180
5.3.7	支柱的设计	181
5.3.8	字符	183
5.3.9	螺纹	184
5.3.10	为飞边和浇口的去除提供方便	185
5.3.11	压铸件的公差要求	186
5.3.12	简化模具结构,降低模具成本	189
5.3.13	机械加工	191
5.3.14	使用压铸件简化产品结构,降低产品成本	192
第6章	公差分析	195
6.1	公差分析简介	195
6.1.1	引言	195
6.1.2	公差的概念	195
6.1.3	公差的本质	196
6.1.4	公差分析的目的	197
6.2	公差分析的步骤	198
6.2.1	定义公差分析的目标尺寸和判断标准	198
6.2.2	定义尺寸链	200
6.2.3	判断尺寸链中尺寸的正负	200
6.2.4	将非双向对称公差转换为双向对称公差	201
6.2.5	公差分析的计算	202
6.2.6	判断和优化	206
6.2.7	装配偏移	206
6.3	公差分析指南	209

6.3.1 明确目标尺寸及其判断标准	209
6.3.2 公差一致性	210
6.3.3 公差分析结果不满足判断标准时的解决方法	211
6.4 利用 Excel 进行公差分析	217
第 7 章 面向制造和装配的设计检查表	219
7.1 和谐的设计	219
7.2 设计检查表	220
7.2.1 简介	220
7.2.2 使用方法	220
参考文献	228

第 1 章 面向制造和装配的产品开发

1.1 绪论

1.1.1 产品开发模式的进化

1. 原始产品开发模式

在很久以前，当制造业刚刚兴起的时候，人们所能制造的产品很简单，相应的制造工艺也很简单。在此阶段，产品的设计和制造工作都由同一个人来完成，这样的开发模式被称为原始产品开发模式。

还记得小时候叮叮当当的打铁声吗？高温的火炉、飞溅的火星、挥舞的铁锤，铁匠们进行着原始产品开发。当农民需要锄头、镰刀和斧头等农作工具时，他们按照要求，点燃火炉，经过烧、锤、敲、磨、淬火等十几道工序，制造出农民需要的农具，如图 1-1 所示。在原始产品开发模式下，铁匠既是产品设计者，同时又是产品制造者。“我设计，我制造”，这是原始产品开发模式的典型特点。历史已经证明，他们的生产效率很低、很低。

2. 传统产品开发模式

随着社会的发展，叮叮当当的打铁声在人们生活中渐渐远去，产品变得越来越复杂，产品相应的制造工艺也越来越复杂。此时，产品设计和制造都需要很强的专业知识，无法由同一个人胜任，而且，原始产品开发模式效率太低，无法适应大批量的工业化生产。根据亚当·斯密的劳动分工理论，分工越细，效率越高，于是，产品开发产生了设计和制造的社会分工。产品开发过程分为产品设计阶段和产品制造阶段，分别由机械工程师和制造工程师负责。在产品设计阶段，机械工程师关注的是如何实现产品的功能、外观和可靠性等要求，而不去关心产品是如何制造、如何装配的；当机械工

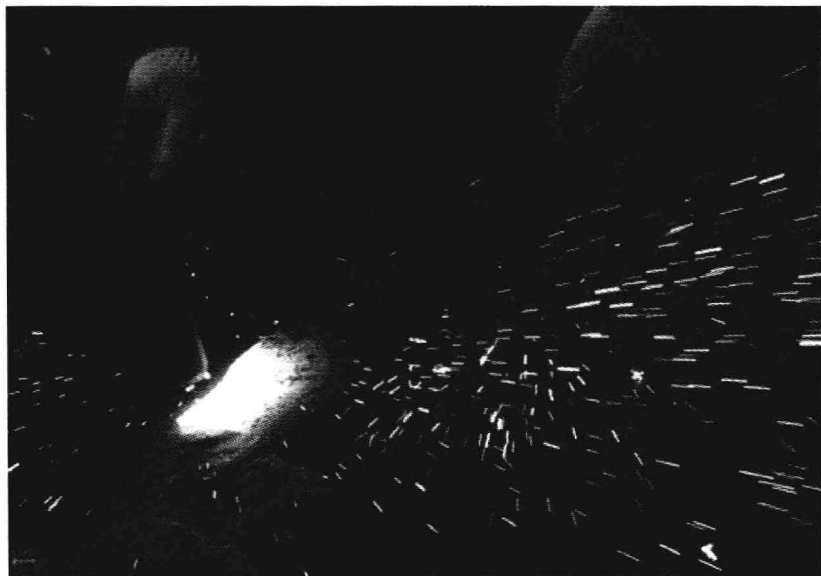


图 1-1 最后的铁匠

注：该图取自参考文献 [1]。

工程师完成产品设计后，由制造工程师进行产品的制造和装配，当然，制造工程师也不关心产品的功能、外观和可靠性等要求。这就是传统产品开发模式。在当时的社会背景下，传统产品开发模式大幅提高了产品开发的效率。

但是，传统产品开发模式存在着一个致命弊端，那就是产品设计与产品制造之间沟通很少甚至没有沟通，两者之间仿佛隔着一堵墙，阻断了设计与制造双方的沟通，因此传统产品开发模式也常被称为“抛墙式设计”。机械工程师完全不关心设计的产品能否顺利制造，不关心产品制造的质量，更不关心产品的制造成本。与此对应的是，制造工程师根本不关心制造的产品是否符合产品设计的要求。“我们设计，你们制造”，这是传统产品开发模式的典型特点。

在传统产品开发模式中，产品设计和产品制造的关系如图 1-2 所示。

3. 面向制造和装配的产品开发模式

进入现代社会，企业之间的竞争日益激烈，消费者对产品更加

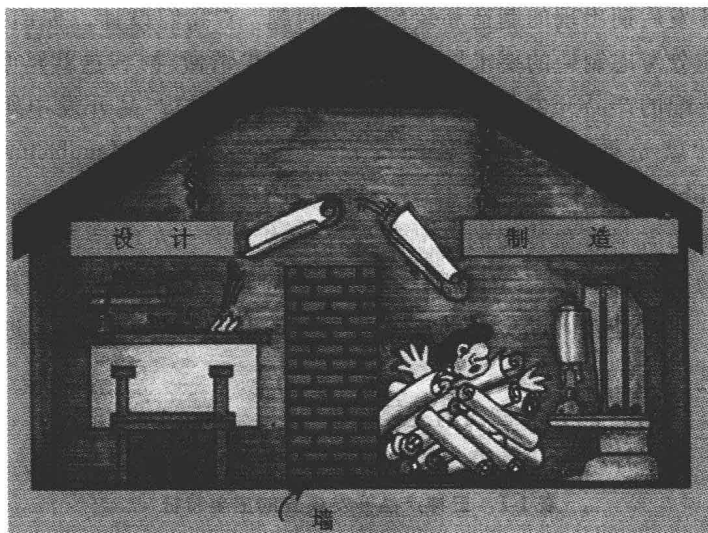


图 1-2 传统产品开发模式中设计与制造的关系

注：该图取自参考文献 [2]。

挑剔，企业必须以更低的成本、更短的时间和更高的质量来提高产品的竞争力。此时，传统产品开发模式的弊端逐渐显现出来：由于产品设计与制造的脱节，在产品的设计阶段难以考虑到来自于制造等方面的要求，机械工程师设计的产品可制造性、可装配性差，使产品开发过程变成了设计、制造、修改设计、再制造的反复循环，从而造成产品设计修改多、产品开发周期长、产品开发成本高、质量低等问题。“反反复复修改直到把事情做对”，这句话完整地概括了传统产品开发过程。而且，有些时候“甚至反反复复修改也不一定把事情做对”，结果项目失败。

很明显，产品设计与产品制造的脱节是造成上述后果的根本原因。设计与制造并不应该只是简单的先后顺序关系，不应该是“我们设计，你们制造”的关系，而应当是“水乳交融，你中有我，我中有你”的关系。在产品的设计阶段必须考虑到制造和装配对产品的设计的要求，制造和装配的要求越早介入到设计中，越对产品开发有利。在产品的设计阶段，就应当引入制造和装配的要求，使得机械工程师设计的产品具有很好的可制造性和可装配性，从根本上避免在

产品开发后期出现的制造和装配质量问题。“我们设计，你们制造，设计充分考虑制造的要求”、“第一次就把事情做对”，这就是面向制造和装配的产品开发模式。在面向制造和装配的产品开发中所进行的设计就是面向制造和装配的设计（Design for Manufacture and Assembly, DFMA）。

在面向制造和装配的产品开发模式中，横亘在产品设计与制造之间的“柏林墙”已经倒塌，机械工程师和制造工程师有着共同的目标，那就是如何以更低的成本、更短的时间和更高的质量进行产品开发。

4. 三种产品开发模式的主要特征

上述三种产品开发模式的主要特征见表 1-1。

表 1-1 三种产品开发模式的主要特征

产品开发模式	主要特征
原始产品开发模式	<ol style="list-style-type: none">1. 产品简单2. 我设计，我制造3. 效率很低
传统产品开发模式	<ol style="list-style-type: none">1. 产品较复杂2. 我们设计，你们制造3. 产品设计修改多，产品开发成本高，产品开发时间长，产品质量低4. 反反复复修改直到把事情做对
面向制造和装配的产品开发模式	<ol style="list-style-type: none">1. 产品很复杂2. 我们设计，你们制造，设计充分考虑制造的要求3. 设计修改少，产品开发成本低，产品开发时间短，产品质量高4. 第一次就把事情做对

1.1.2 产品设计的重要性

从产品开发模式的历史演变和进化中可以看出，产品开发的发展历史实际上就是产品设计思想的发展历史。在产品开发中，产品设计扮演着举足轻重的角色。产品设计决定了产品结构、产品材料、

产品制造工艺和装配方法，决定了产品成本，同时也决定了产品质量和产品开发周期。

1. 产品设计决定了产品成本

影响产品成本的四个主要因素是设计、材料、劳动力和管理。在产品开发中，以上各项投入成本所占比例及其对产品成本的影响如图 1-3 所示。由图可见：

- 1) 产品设计阶段的成本仅仅占整个产品开发投入成本的 5%。
- 2) 产品设计决定了 75% 的产品成本。
- 3) 产品设计在很大程度上影响了材料、劳动力和管理的成本。
- 4) 如果没有产品设计的优化，材料、劳动力和管理对于降低产品成本影响很小。

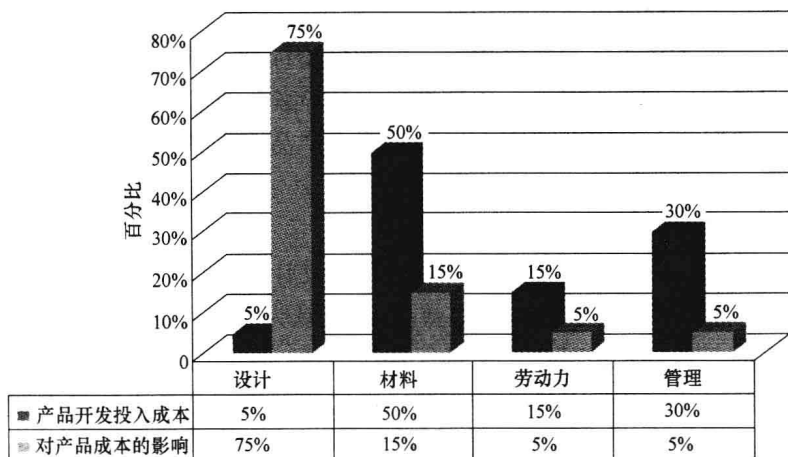


图 1-3 产品开发投入成本及其对产品成本的影响

因此，对一个企业来说，如果要降低企业的产品成本，合理有效的办法不是千方百计地偷工减料，不是千方百计地去剥削员工和工人的剩余劳动价值，不是千方百计地去购买昂贵的制造设备，而是千方百计地把成本和精力投入到产品设计中来。

2. 产品设计决定了产品质量

(1) 质量无极限

每个企业、每种产品和服务，要想在国际市场上占有一席之地，都

要面对“超严格的质量要求”，要努力使自己达到世界级的质量水平。

——朱兰（伟大的质量导师）

随着社会发展和科技进步，企业间竞争不断加剧，顾客对产品和服务的期望越来越高，这一切都要求企业对自身的产品质量提出更高的要求，有一句话可以形象地描述这种情况：“质量无极限”。

（2）产品质量的决定因素 既然产品质量在竞争的环境如此重要，那么产品质量从哪里来？

质量是制造出来的？

制造是按照设计图样和工艺要求，来制造产品。如果产品设计不合理，再精密的制造仪器和再高明的制造工程师也无法制造出高质量的产品。

质量是检验出来的？

检验是在产品制造完成后，根据检验标准，挑出不合格品。检验只是事后把关。当然，通过提高产品检验标准，可以提高产品质量，但同时产品不良率也会增加，造成产品成本的上升，这种方法没有从根本上解决问题。

质量是设计出来的？

没错，质量就是设计出来的。产品设计决定了产品的基因，决定了产品的质量。日本质量大师 Taguchi 认为：产品质量首先是设计出来的，然后才是制造出来的。20 世纪初，德国人把质量定义为：优秀的产品设计加上精致的制造。在这样的思想指导下，日本和德国的产品质量有目共睹。而在朱兰的质量三部曲中，质量设计是提高产品质量的根本。

二八原则形象地说明了产品设计对产品质量的重要性。根据统计，80%左右的产品质量问题是由设计引起的，20%的产品质量问题由后期的制造和装配引起的，如图 1-4 所示。换句话说，如果产品设计很完善，就能够避免 80%的产品质量问题

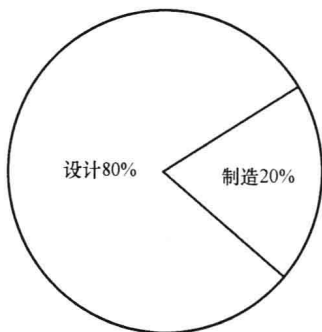


图 1-4 产品质量问题产生根源的二八原则

题；而无论产品制造多么完美，也只能避免 20% 的产品质量问题，对另外 80% 的产品质量问题无能为力。

遗憾的是，现阶段有些企业对质量的认识依然停留在产品质量等于制造质量的初级阶段。它们往往愿意投入巨资购买昂贵的制造设备和引进国外先进的制造技术，却不愿意投入少量的资金引进国外先进的产品设计理念和技术。“中国制造”占领了全世界的市场，但产品质量还有待进一步的提高。

要想改变现状，唯一可以做的就是重视产品设计，从“中国制造”转变到“中国创造”，在产品开发中引入面向制造和装配的产品设计理念。只有这样，“中国制造”的产品才可能与高质量画上等号。

3. 产品设计决定了产品开发周期

产品设计决定了产品开发周期。一个合理的产品设计能够顺利地进行制造和装配，而一个不合理的设计往往会造成产品无法制造或者装配，从而造成产品开发周期的加长。特别是在大批量生产的今天，很多零件都是通过模具（如注射模具等）加工而成，如果产品的设计不合理，零件无法顺利制造或者零件的质量不符合要求，那么此时就不得不修改产品的设计，相应的模具也需要修改，而模具的修改往往会耗费大量的时间，从而造成产品开发周期的加长。

1.1.3 产品设计的要求

既然产品设计对产品开发如此重要，那么怎样才能完成一个优秀的产品设计呢？作为机械工程师，需要明白产品设计的目的是什么以及产品设计需要满足哪些方面的要求。只有明白这些之后，机械工程师才能够设计出优秀的产品。

如图 1-5 所示，产品设计主要需要满足六个方面的要求。

1. 来自于客户或消费者的要求

产品设计的首要和最最重要的要求是来自于客户或消费者对产品功能、质量、外观、可靠性和使用方便性等方面的要求。只有客户或消费者满意的产品，才是最好的产品。一般来说，来自于客户或消费者的要求均会在产品的规格中进行明确的定义。在产品设计和