



工业创新驱动与转型升级丛书

面向客户选项的 模块化产品开发

明新国 孔凡斌 何丽娜 著

助力**中国制造2025**，推动**工业企业转型升级**



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



工业创新驱动与转

面向客户选项的模块化 产品开发

明新国 孔凡斌 何丽娜 著



机械工业出版社

本书以模块化产品开发模式、面向客户选项、模块化产品开发、面向全生命周期产品模块化为关键点,对复杂产品/系统制造企业向大批量定制转变中的面向客户选项的模块化产品开发体系结构、模块化产品开发通用结构构建及表达方法、模块化产品客户选项规划技术、面向全生命周期的模块化方法、模块化产品平台构建、客户参与的模块化产品构型技术等关键问题进行了系统介绍,有助于企业快捷地实施模块化产品开发。

本书旨在为复杂产品/系统制造企业普遍提升模块化产品开发能力提供有益的参考和借鉴。本书既可以作为企业和政府管理人员、大学本科/研究生师生的培训教材,也可以作为从事复杂产品/系统制造业相关人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

面向客户选项的模块化产品开发 / 明新国, 孔凡斌, 何丽娜著. —北京: 机械工业出版社, 2017.3

(工业创新驱动与转型升级丛书)

ISBN 978-7-111-56300-6

I. ①面… II. ①明… ②孔… ③何… III. ①工业产品—产品开发—研究 IV. ①TB472

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 050420 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: 张淑谦 责任编辑: 张淑谦 王海霞

责任校对: 张艳霞 责任印制: 常天培

保定市 中画美凯印刷有限公司印刷

2017 年 4 月第 1 版 · 第 1 次印刷

169mm×239mm · 12.5 印张 · 229 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-56300-6

定价: 49.00 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

教育服务网: www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

前 言

随着科技的不断进步与发展, 20 世纪中后期的世界经济有了长足的迅猛发展, 经济总量的增长幅度是第二次世界大战后初期的几十倍、甚至几百倍, 已逐步进入了买方市场。世界经济发展使市场发生了巨大的变化, 主要变化包括需求个性化、市场全球化、产品复杂化、边际效益降低。这些变化使复杂产品/系统制造企业陷入了新的困境, 主要表现在构型管理困难、制造和管理成本高、成本控制难度大、产品开发效率低。这种困境要求企业从根本上转变产品提供模式, 在持续开发产品的同时, 不增加各个方面的投入。为此, 国际上一些技术先进的行业, 如汽车、计算机制造业, 已经广泛采用并成功地实施了大批量定制 (Mass Customization) 战略。该战略通过采用现实的、被广泛认可的产品平台、模块化等技术, 使企业以大批量生产的成本和速度来为客户提供可定制的个性化产品和服务, 以获得新的利润增长点。

在关于大批量定制的研究中, 模块化占据了重要的地位。通过模块化产品架构, 大量的产品变型可以被大批量定制配置和装配。模块化以低成本实现了大批量定制提供产品多样性的目的, 是一种容易且高效、实际的大批量定制实施方法。对于众多实现大批量定制的企业来说, 定制基本上是以选项的方法为客户和销售人员提供选择, 并给出一个符合客户需求的产品。选项是制造商为客户选配变型产品而提供的可进行选择的项目, 体现着客户的直接需求, 在制造商和客户之间架起了一个互动的桥梁。

面向客户选项的模块化产品开发展现了复杂产品/系统开发的一种新模式, 它使客户真正参与到产品构型活动中, 为客户提供选择权的同时, 也为

制造商提供了不断改进和提升产品的机会。在这种模式下,客户通过客户选项将自己的需求融入产品/系统构型中,定制出符合自身特点的产品/系统。制造商可持续地在定制活动中收集客户需求,并孵化出新客户选项,从而形成一种良性的产品演化循环。随着全球经济的进一步调整和优化,面向客户选项的模块化产品开发必将在一定程度上解决企业在实施大批量定制战略中面临的若干关键问题。

因此,本书以模块化产品开发模式、面向客户选项、模块化产品开发、面向全生命周期产品模块化为关键点,结合了大量的案例调研,构建了复杂产品/系统制造企业实现产品开发模式转变的体系结构。第1章介绍模块化产品开发的发展背景及其基本概念;第2章介绍实施模块化产品开发的基本理论基础;第3章介绍面向客户选项的模块化产品开发的体系结构;第4章介绍如何实现模块化产品的形式化表达;第5章介绍客户选项规划总体流程、客户选项遴选方法及客户选项优化模型;第6章介绍面向全生命周期的模块化方法;第7章介绍如何构建模块化产品平台;第8章分析客户参与的模块化产品构型模式;第9章简要介绍面向客户选项的模块化产品开发的相关方法与技术,在冶金装备、民用飞机以及汽车行业中的示范案例应用。

本书兼有理论性和实践性,实验经验和案例避免了内容的枯燥和空洞。本书既可以作为企业和政府管理人员的培训教材、大学本科/研究生师生的参考教材,也可以作为从事复杂产品/系统制造业相关人员的参考用书。

本书是复杂产品/系统制造企业向大批量定制转变中生产实践的结晶,也是当前国际前沿理论研究的总结。上海交通大学机械与动力工程学院的明新国教授、孔凡斌博士以及西南交通大学机械工程学院的何丽娜参与了全书的编著工作。感谢上海交通大学机械与动力工程学院的尹导、石义园、蒋鸿帆以及李波等人,他们参与了全书的整理与修订工作。

著者

目录

前言

第1章 模块化产品开发概述 / 1

- 1.1 模块化的发展背景 / 2
- 1.2 模块化的发展与演化 / 3
- 1.3 模块化的概念和特点 / 5
 - 1.3.1 模块化的概念 / 5
 - 1.3.2 模块化过程的特点 / 6
- 1.4 模块化产品开发的收益 / 7

第2章 模块化产品开发的理论基础 / 10

- 2.1 大批量定制战略 / 11
 - 2.1.1 背景及内涵 / 13
 - 2.1.2 关键方法与技术 / 15
- 2.2 产品平台战略 / 19
 - 2.2.1 产品平台的概念 / 19
 - 2.2.2 模块化产品平台 / 20

- 2.3 协同产品开发模式 / 21
 - 2.3.1 异地协同产品开发 / 21
 - 2.3.2 供应链协同产品开发 / 22
 - 2.3.3 全球产品开发 / 23
- 2.4 产品提供模式 / 23
 - 2.4.1 ETO 模式 / 24
 - 2.4.2 CTO 模式 / 24
 - 2.4.3 ATO 模式 / 25

第3章 模块化产品开发体系结构 / 27

- 3.1 面向客户选项的模块化产品定义 / 28
 - 3.1.1 定义与术语 / 28
 - 3.1.2 概念间的关系 / 31
- 3.2 面向客户选项的模块化产品开发框架 / 33
 - 3.2.1 开发模式 / 34
 - 3.2.2 开发体系 / 40
- 3.3 面向客户选项的模块化产品开发流程 / 42
 - 3.3.1 开发流程 / 44
 - 3.3.2 与现有方法的比较 / 45
 - 3.3.3 开发流程的优势 / 46
- 3.4 现有企业对新模式的部分实践 / 47

第4章 模块化产品开发通用结构及表达方法 / 49

- 4.1 通用产品结构 / 50
 - 4.1.1 通用产品结构形式 / 50
 - 4.1.2 通用产品结构的优缺点 / 51

- 4.2 产品族结构 / 51
 - 4.2.1 产品族结构形式 / 51
 - 4.2.2 产品族结构的优缺点 / 51
- 4.3 波音产品结构 / 52
 - 4.3.1 波音产品结构形式 / 52
 - 4.3.2 波音产品结构的优缺点 / 53
- 4.4 空客产品结构 / 53
 - 4.4.1 空客产品结构形式 / 53
 - 4.4.2 空客产品结构的优缺点 / 54
- 4.5 模块化产品通用结构 / 54
 - 4.5.1 模块化产品通用结构形式 / 54
 - 4.5.2 模块化产品通用结构的优缺点 / 56
- 4.6 基于本体的模块化产品通用结构的形式化建模 / 56
 - 4.6.1 客户选项本体建模 / 57
 - 4.6.2 产品结构本体建模 / 59
 - 4.6.3 模块本体建模 / 61
 - 4.6.4 模块实例本体建模 / 63
 - 4.6.5 产品结构本体建模 / 63
 - 4.6.6 OWL 表达 / 64
- 4.7 笔记本电脑的模块化通用结构表达 / 65
 - 4.7.1 客户选项建模示例 / 66
 - 4.7.2 产品架构本体建模示例 / 68
 - 4.7.3 模块本体建模示例 / 68
 - 4.7.4 模块实例建模示例 / 70
 - 4.7.5 产品结构建模示例 / 71
 - 4.7.6 OWL 表达示例 / 71

第5章 模块化产品客户选项规划技术 / 74

5.1 客户选项规划需求分析 / 75

5.1.1 客户选项规划需求 / 75

5.1.2 客户选项与传统选项对比 / 76

5.1.3 客户选项分类 / 76

5.2 客户选项规划流程 / 78

5.3 客户选项规划方法 / 79

5.3.1 客户选项规划遴选 / 79

5.3.2 客户选项规划优化 / 87

5.4 洗衣机的客户选项规划 / 93

5.4.1 选择调研客户选项 / 93

5.4.2 客户选项优化 / 96

第6章 面向全生命周期的模块化方法 / 98

6.1 产品模块化收益 / 99

6.2 传统产品模块化方法 / 99

6.2.1 MFD 分解法 / 99

6.2.2 主导流法 / 100

6.2.3 聚类分析法 / 101

6.2.4 QFD 分解法 / 101

6.3 面向产品全生命周期的模块化需求 / 102

6.4 面向产品全生命周期的模块化方法 / 102

6.4.1 面向产品全生命周期各阶段的模块化 / 102

6.4.2 综合模块化流程 / 105

6.4.3 测量系统 / 107

6.4.4 综合模块化方法实施程序 / 110

6.4.5 面向产品全生命周期模块化方法的意义 / 111

6.5 电动车的模块化 / 112

第 7 章 模块化产品平台构建 / 116

7.1 模块化产品平台模型 / 117

7.1.1 模块化产品平台组成分析 / 117

7.1.2 基于超图的模块化产品平台模型 / 118

7.2 模块化产品平台构建模型 / 119

7.2.1 构型变更最小原则 / 120

7.2.2 通用性最大化原则 / 122

7.2.3 型号最少原则 / 123

7.2.4 整体模型描述 / 123

7.3 模块化产品平台模型求解 / 128

7.3.1 种群分割与编码 / 129

7.3.2 初始化种群 / 129

7.3.3 遗传操作算子 / 130

7.3.4 协同个体选择方式 / 132

7.3.5 算法流程 / 133

7.4 电动车模块化平台的构建 / 134

第 8 章 客户参与的模块化产品构型技术 / 139

8.1 产品构型基本方法 / 140

8.1.1 基于规则的产品构型 / 140

8.1.2 基于约束满足问题的产品构型 / 140

8.1.3 基于资源的产品构型 / 141

- 8.2 产品构型基本规则 / 141
 - 8.2.1 版本构型 / 141
 - 8.2.2 有效性构型 / 141
 - 8.2.3 变量构型 / 142
- 8.3 面向客户选项的模块化产品构型模式 / 142
 - 8.3.1 面向客户选项的模块化产品定制模式 / 142
 - 8.3.2 面向客户选项的模块化产品定制机理 / 144
 - 8.3.3 面向客户选项的模块化产品企业交付过程 / 146
- 8.4 客户参与的模块化产品构型模型 / 148
 - 8.4.1 构型项属性的分析与表达 / 148
 - 8.4.2 构型项属性表达 / 150
 - 8.4.3 构型项属性与模块的关系 / 151
 - 8.4.4 需求孵化器 / 152
 - 8.4.5 选项孵化器 / 153
- 8.5 客户参与的模块化产品构型系统 / 153
 - 8.5.1 定制可行性判断方法 / 153
 - 8.5.2 最佳设计实例匹配 / 154
 - 8.5.3 产品构型数量计算 / 156
- 8.6 电动车的产品构型 / 157

第9章 模块化产品开发示范案例 / 161

- 9.1 冶金装备模块化产品开发案例分析 / 162
 - 9.1.1 冶金装备的客户选项规划 / 162
 - 9.1.2 冶金装备的模块化 / 164
 - 9.1.3 冶金装备的平台构建 / 166
 - 9.1.4 冶金装备的本体构建 / 167

9.1.5 冶金装备的产品构型 / 168

9.2 民用飞机模块化产品开发案例分析 / 170

9.2.1 民用飞机的模块化产品开发流程 / 170

9.2.2 民用飞机的模块化产品结构 / 171

9.2.3 民用飞机的精简业务流程 / 173

9.2.4 民用飞机的构型配置方法 / 174

9.3 汽车模块化产品开发案例简介 / 176

9.3.1 汽车的模块化产品结构 / 176

9.3.2 汽车的构型配置流程 / 178

参考文献 / 180

1

第1章 模块化产品开发概述

- 1.1 模块化的发展背景
- 1.2 模块化的发展与演化
- 1.3 模块化的概念和特点
- 1.4 模块化产品开发的收益

1.1 模块化的发展背景

20 世纪中后期,科技的持续发展进步使得世界经济,特别是以美国为代表的西方国家的经济,出现了长足的迅猛发展,其经济总量增长幅度是第二次世界大战后初期的几十倍、甚至几百倍,并从卖方市场逐步进入买方市场。世界经济发展所带来的市场变化表现在以下几个方面。

(1) 需求个性化 买方市场推动了市场细分,统一的单一需求不复存在。由于消费者的收入水平和价值判断的差别,导致不同行业不同阶层的消费者对于产品的需求千差万别。不同消费者期望企业为其特殊需求提供相应的产品和服务,同质市场的数量越来越少,容量越来越小,异质市场的数量急剧增加。

(2) 市场全球化 伴随着信息时代的到来,世界经济日益全球化,垄断市场的状况几乎不复存在,行业渗透加强,竞争在越来越多的行业中变得异常严酷,每个企业不但要应对本地的竞争者,而且面临着来自全球市场的竞争者。

(3) 产品复杂化 由于个性化需求的不断增长和竞争的日益激烈,企业应对这些挑战不断改进产品,致使产品复杂度迅速增加,最终导致单一企业无法驾驭,促使企业间大量协作的产生。

(4) 边际效益降低 个性化需求催生企业提供品种多样的、复杂的、迅速交付的产品。在激烈的竞争压力下,产品销售价格的增长率远远低于投入成本的增长率,企业利润率不断下降。

为了应对来自市场个性化需求带来的挑战,国际上一些技术先进的行业,如汽车、计算机制造业,已经广泛采用并成功地实施了大批量定制(Mass Customization)战略(Pine II, 1993)。该战略通过采用现实

的、被广泛认可的产品平台、模块化等技术使企业以大批量生产的成本和速度,为客户提供可定制的个性化产品和服务,从而获得新的利润增长点。

在模块化研究的进程中,我国工业界与理论界也做出了举足轻重的贡献。1991年和1994年中国标准化协会先后组织了两次全国模块化理论与应用研讨会^[1]。随后出版了关于模块化的三本论著,即贾延林的《模块化设计》^[2]、童时中的《模块化原理设计方法及应用》^[3]和李春田的《(现代标准化前沿)模块化研究》^[4]。最近十年间,清华大学、上海交通大学、浙江大学等十几所大学的研究团队也对模块化进行了大量的研究和探讨,在此不再赘述。从目前的情况来看,国内的研究贡献集中于模块化设计这个角度,而较少涉及全生命周期以及产品的开发模式问题。

在这样的市场环境下,模块化已成为应对个性化需求增长的重要理念。有关模块化的研究范围浩如烟海,大到飞机^[5],小到螺钉旋具^[6-7]。其中,有的关注模块化的收益,如成本节约^[8-10]、产品多样性^[9, 11, 12]和柔性提高^[13-15];有的关注模块化的理论和方法,如开发流程^[16-18]、表示方法^[19-22]和模块识别^[23-25];有的则进行综述,如产品模块化^[26, 27]、模块化产品开发^[28]、产品模块化的概念化^[29]和模块性与通用性^[30, 31]。

1.2 模块化的发展与演化

虽然模块的使用已经有上千年的历史,但是最早的关于模块化研究的文献直到20世纪60年代才出现。随之也开始了大量的关于模块化理论和工业实践的研究。在综合文献基础上,模块化发展与演化可以分成五个阶段,如图1-1所示。

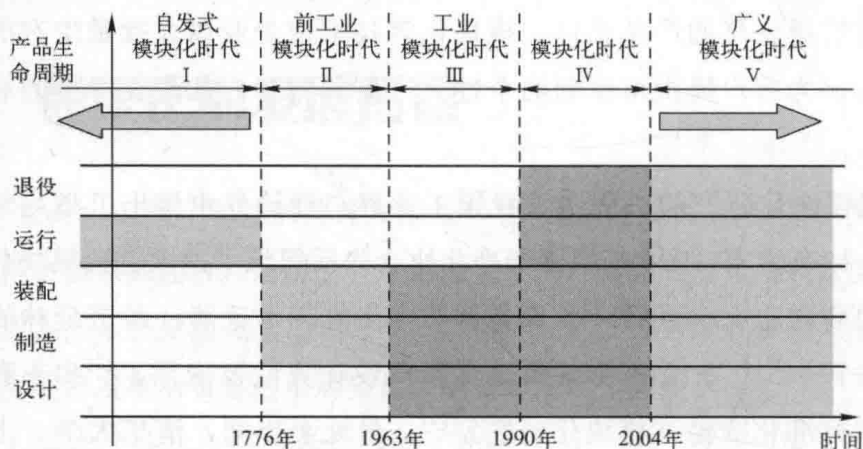


图 1-1 模块化发展与演化阶段

阶段 I：自发式模块化时代（Spontaneous Modularity Time）。它的历史最长，但当时没有理论化的指导，只是来自灵感和自觉。例如：为了方便建筑，人们发明了通用件，如建造埃及金字塔用的巨型石块、建造中国长城用的烧制砖块；还有为了方便出版，人们发明了活字印刷术。在某种程度上说，是易用性推动了通用性的发展。

阶段 II：前工业模块化时代（Pre-industrial Modularity Time）。亚当·斯密在 1776 年出版的《国富论》中表明了这个时代的开始。那时，为方便生产制造，工业产品被分割成零件，产品得以大批量制造。随着社会分工的发展和人们对通用性的持续追求，许多公司，如 20 世纪上半叶德国的家具和机床公司^[32, 33]，开始研究如何通过模块化来容易地制造和装配产品。汽车业、计算机业和消费品制造业也在积极的开发新的技术，用于将来的模块化产品开发^[11]。

阶段 III：工业模块化时代（Industrial Modularity Time）。在 1963 年，模块化设计问题的提出代表模块化已经进入了一个有理论支持的时代。模块化设计问题的提出者——大卫·伊凡被模块化研究界公认为模块化研究的最早先驱之一。另外一个更重要的事件是 1964 年 IBM360 计算机的诞生，从那时起，工业模块化时代正式拉开了序幕。工业实践和模块化理论研究的范

围非常广,大到飞机,如波音 777,小到螺钉旋具,贯穿产品生命周期的设计、制造和装配等环节。尽管很少有文献能够提供有价值的案例研究,但工业实践已经为理论研究打下了坚实的基础。

阶段 IV: 模块化时代 (Age of Modularity)。从 1990 年开始,历史走进了模块化时代,无论是公司企业还是学术界,在模块化理论和方法上的研究都取得了长足的进步。模块化的研究范围完全贯穿了整个产品生命周期。《设计原理》^[34]一书可以作为这个时代的开端,它为模块化研究提供了重要的理论基础。许多研究都发源于独立性公理^[35],尽管没有清晰、明确被广泛接受的定义,对于模块化问题的描述在本阶段开始的十年内已基本趋于成熟,在以后没有太大的变化。2000 年以后,便很少见到关于模块化定义的讨论了。

阶段 V: 广义模块化时代 (Pan-Modularity Time)。本阶段大约开始于 2004 年,没有具有里程碑意义的文献指明其开始时间。但是,一个很重要的现象是,模块化的研究范围已经突破了产品本身,而进入了供应链^[36-38]、组织^[39-41]等其他领域。虽然这些领域关于模块化的报道很少,但是,对模块化的研究已经不再仅限于产品的技术方法研究了。

1.3 模块化的概念和特点

►► 1.3.1 模块化的概念

模块化产品的定义比较多。一般认为,模块化产品是标准模块(子系统)的组合^[42-46]。后来,模块化产品被较权威地定义为一些由有区别的构建块组合而成的能够执行一定功能的产品、装配体或者组件^[47]。另一个有影响的定义认为模块化产品是一个可配置的系统,用户可以增加或者删除某些属性,或者通过组合两个有明显区别的产品得到^[48]最终产品。Baldwin 和