

协同产品**创新**中概念设计过程 建模及关键技术研究

XIETONG CHANPIN CHUANGXIN ZHONG GAINIAN SHEJI GUOCHENG
JIANMO JI GUANJIAN JISHU YANJIU

马家齐 / 著



知识产权出版社

全国百佳图书出版单位

协同产品创新中概念设计过程 建模及关键技术研究

ETONG CHANPIN CHUANGXIN ZHONG GAINIAN SHEJI GUOCHENG
ANMO JI GUANJIAN JISHU YANJIU

常州大学图书馆
藏书章
马家亮 著



知识产权出版社

全国百佳图书出版单位

图书在版编目 (CIP) 数据

协同产品创新中概念设计过程建模及关键技术研究 / 马家齐著. —北京: 知识产权出版社, 2018.1

ISBN 978-7-5130-5296-2

I. ①协… II. ①马… III. ①产品开发-研究 IV. ①F273.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第291917号

内容提要

本书在深入研究协同产品创新等相关理论的基础上, 针对协同产品创新中概念设计过程建模及关键技术进行了深入研究, 主要包括协同产品创新中概念设计的过程模型、目标体系构建、方案评价、方案优化等方面, 为协同产品创新的理论体系提供理论支撑与工具支持, 进一步提高协同产品创新的效率, 带来更加明显的经济效益与社会效益, 驱动科技创新, 推动社会发展。

本书适合工业设计、产品设计领域的专业人员使用, 也可供工业设计等相关专业的本科生、研究生参考。

责任编辑: 彭喜英

责任出版: 刘译文

协同产品创新中概念设计过程建模及关键技术研究

马家齐 著

出版发行: 知识产权出版社有限责任公司

网 址: <http://www.ipph.cn>

电 话: 010-82004826

<http://www.laichushu.com>

社 址: 北京市海淀区气象路50号院

邮 编: 100081

责编电话: 010-82000860转8539

责编邮箱: pengxyjane@163.com

发行电话: 010-82000860转8101

发行传真: 010-82000893

印 刷: 北京科信印刷有限公司

经 销: 各大网上书店、新华书店及相关专业书店

开 本: 720mm×1000mm 1/16

印 张: 11

版 次: 2018年1月第1版

印 次: 2018年1月第1次印刷

字 数: 153千字

定 价: 49.00元

ISBN 978-7-5130-5296-2

出版权专有 侵权必究

如有印装质量问题, 本社负责调换。

前 言

在全球范围激烈的市场竞争环境中，产品创新已经成为企业最主要的经济增长方式之一，是企业建立核心竞争力的关键性因素。激烈的市场竞争使得产品创新周期变得越来越短，产品创新速度变得越来越快，同时由于产品创新具有较高的风险性和不确定性，企业面临着前所未有的创新压力与创新风险。协同产品创新作为一种新型的创新模式，能够充分利用创新主体的创新经验与创新知识，有助于提升企业的产品创新能力，因此越来越受到企业界和学术界的关注。在协同产品创新过程中，概念设计是最为活跃、最富于创造性的引导性设计前端，是构建整体性框架式创新设计方案的关键阶段，对其研究具有重要的理论价值和实践指导意义。

有鉴于此，本书在深入研究协同产品创新等相关理论的基础上，针对协同产品创新中概念设计过程建模及关键技术进行了深入研究，主要的研究内容包括以下几个部分。

第一，研究了协同产品创新中概念设计的过程模型。首先，系统分析了产品概念设计的基础理论，包括基本定义与基本过程。其次，深入研究了协同创新主体的基本类型与协同创新组织的基本特征，并进一步分析了协同产品创新中概念设计的基本特征；进而建立了协同产品创新中概念设计的基本框架。在此基础上，构建了协同产品创新中概念设计的过程模型，为后续研究内容奠定了理论基础。

第二,研究了协同产品创新中概念设计的目标体系构建方法。首先,通过系统性研究多创新主体的“推动型”与“拉动型”创新需求,构建了协同产品创新中概念设计目标体系的基本框架;在此基础上,提出了协同产品创新中概念设计目标重要度的三阶定量确定方法,该方法融合了AHP与熵值法相结合的主客观赋权法、多粒度非平衡语义决策方法等,对协同产品创新中概念设计目标重要度进行准确量化。最后通过实例验证该方法的可行性与有效性。

第三,研究了协同产品创新中概念设计的方案评价模型。遵循科学性与系统性相结合、联系性与层次性相适应、目的性与可行性相统一的原则,建立了一套系统性、层次性、合理性的概念设计方案评价指标体系。在此基础上,构建了基于R-A-WNN的协同产品创新中概念设计的方案评价模型。首先,运用粗糙集理论(RST)对评价指标进行预处理,降低了评价指标及其数据的冗余度;其次,基于小波神经网络(WNN)构建了概念设计方案评价的基本网络模型,并利用蚁群算法模型(ACO)对其中的网络参数进行同步优化;最后,通过实例验证了该评价模型的可行性与实用性。

第四,研究了协同产品创新中基于参数驱动的概念设计方案优化方法。首先,结合协同产品创新概念设计的特点,对方案参数优化问题进行了系统描述;其次,构建了基于QFD的协同产品创新中概念设计的方案参数优化模型,该模型充分利用协同创新主体的创新知识和创新经验,解决了创新期望与概念设计方案参数之间的复杂多维映射问题;最后,将该模型应用于实例,确定具有最大满意度的概念设计优化方案,验证了该优化方法及数学模型的有效性与可行性。

第五,研究了协同产品创新中基于智能重组的概念设计方案优化方法。首先,为科学定位分角色创新主体所提创新方案中的创新点,系统研究了产品创新的基本类型,包括基本创新、重要创新、关键创新与简单创

新,并提出了其分类方法;其次,为定量化描述不同创新点的创新程度,提出了基于粗糙集理论的创新性评估方法;在此基础上,提出基于智能重组的概念设计方案优化方法,以满足协同创新主体的特定创新需求;最后,通过实例验证了该方法的可行性与有效性。

第一章 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究意义	3
1.2 国内外研究现状	5
1.2.1 协同产品创新的研究现状	5
1.2.2 产品概念设计领域设计的研究现状	14
1.2.3 国内外研究重点对比	15
1.3 研究目的及研究思路	18
1.4 各章内容	21
1.5 本章小结	24
第二章 协同产品创新中概念设计过程模型研究	25
2.1 产品概念设计的基础理论	25
2.1.1 产品概念设计的基本定义	25
2.1.2 产品概念设计的基本流程	27
2.1.3 协同产品创新中概念设计基本内容	29
2.2 协同产品创新中概念设计基本模型	29
2.2.1 协同产品创新中概念设计基本模型	29
2.2.2 协同产品创新中概念设计基本模型	32
2.2.3 协同产品创新中概念设计基本模型	34
2.3 协同产品创新中概念设计过程模型构建	37
2.3.1 概念设计的需求模型	37

目 录

第1章 绪 论	001
1.1 研究背景及意义	001
1.1.1 研究背景	001
1.1.2 研究意义	003
1.2 国内外研究现状	005
1.2.1 协同产品创新的研究现状	005
1.2.2 协同创新中概念设计的研究现状	014
1.2.3 国内外研究现状总结	018
1.3 研究目的及课题来源	020
1.4 各章内容	021
1.5 本章小结	024
第2章 协同产品创新中概念设计的过程模型研究	025
2.1 产品概念设计的基础理论	025
2.1.1 产品概念设计的基本定义	025
2.1.2 产品概念设计的基本过程	027
2.2 协同产品创新中概念设计基本内涵	029
2.2.1 协同创新主体的基本类型	029
2.2.2 协同创新组织的基本特性	032
2.2.3 协同产品创新中概念设计基本特征	034
2.3 协同产品创新中概念设计过程模型构建	037
2.3.1 概念设计的基本框架	037

2.3.2	概念设计的技术路线	039
2.3.3	过程建模的基本原则	043
2.3.4	过程模型构建	043
2.4	本章小结	051
第3章	协同产品创新中概念设计的目标体系构建研究	052
3.1	目标体系的基本框架	052
3.1.1	创新需求分析	052
3.1.2	创新目标体系框架	058
3.2	目标重要度的三阶定量分析	061
3.2.1	目标重要度的定量分析过程	061
3.2.2	第一层目标基本重要度的确定	065
3.2.3	第二层目标基本重要度的确定	066
3.2.4	目标重要度的修订	068
3.3	案例研究	069
3.3.1	确定第一层目标基本重要度	070
3.3.2	确定第二层目标基本重要度	071
3.3.3	修订目标重要度	073
3.3.4	讨论	074
3.4	本章小结	075
第4章	协同产品创新中概念设计方案的评价研究	077
4.1	问题描述	077
4.2	评价指标体系的建立	083
4.3	基于粗糙集的评价指标的预处理方法	085
4.3.1	评价指标的混合量化	085
4.3.2	评价指标的预处理	086
4.4	概念设计方案的R-A-WNN评价模型	088

4.5 案例研究	093
4.6 本章小结	097
第5章 协同产品创新中基于参数驱动的概念设计方案优化研究	098
5.1 问题描述	098
5.2 质量功能配置理论	101
5.2.1 基本概念	101
5.2.2 实现工具	101
5.3 基于QFD的方案参数优化模型过程分析	103
5.4 基于QFD的方案参数优化模型构建	106
5.4.1 目标函数的建立	106
5.4.2 协同创新期望重要度的计算	107
5.4.3 创新主体满意度的计算	109
5.4.4 约束条件的确定	109
5.5 案例研究	113
5.5.1 确定协同创新期望及其权重	113
5.5.2 确定方案关键参数	113
5.5.3 协同创新主体提出参数参考值	113
5.5.4 创新主体满意度的计算	115
5.5.5 确定关联性与自相关性	115
5.5.6 优化结果	119
5.6 本章小结	121
第6章 协同产品创新中基于智能重组的概念设计方案优化研究	122
6.1 产品创新的基本类型研究	122
6.2 创新类型的确定	125
6.2.1 识别创新类型	125
6.2.2 预测市场满意度	126

6.2.3 确定创新类型	127
6.3 创新性的定量评估	128
6.3.1 粗糙集理论	128
6.3.2 基于粗糙集的创新性定量评估方法	130
6.4 基于智能重组的概念设计方案优化方法	133
6.5 案例研究	137
6.5.1 构建备选创新点的集合	137
6.5.2 创新类型的确定	138
6.5.3 创新性的定量评估	140
6.5.4 产品创新概念设计方案的智能重组	144
6.6 本章小结	145
第7章 总结与展望	147
7.1 总结	147
7.2 研究展望	149
参考文献	151
后 记	164

第1章 绪 论

本章首先分析了研究背景和研究意义，然后分析总结了客户协同产品创新的国内外研究现状及存在的主要问题。在此基础上，明确了研究目的，并介绍了课题来源。最后对研究内容及其章节安排作了简要介绍。

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

在激烈的市场竞争环境中，产品创新已成为企业最主要的经济增长方式之一。激烈的市场竞争环境使产品的更新周期变得越来越短，产品创新速度也变得越来越快。同时，由于产品创新具有很高的风险性和不确定性，企业面临前所未有的创新压力和创新风险。因此，一个企业能否持续不断地进行产品更新，并高质量、低成本地开发出满足客户需求的创新产品，已成为现代化企业能否实现可持续、快速发展的关键影响因素之一。在全球范围内同类产品的激烈竞争环境中，产品创新已经成为企业建立全球竞争力的关键性因素。现阶段的产品创新，是贯穿产品构思、概念设计、详细设计、试制生产、营销服务全过程的，以满足动态多变的市场创新需求为主导方向的系统性工程，是功能创新、结构创新、服务创新等多个维度相融合的复杂的组合性创新。

2011年3月国家颁布了《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》^[1] (以下简称《纲要》),对“创新”给予了高度重视。《纲要》中指出,“坚持自主创新、重点跨越、支撑发展、引领未来的方针,加快建设国家创新体系,着力提高企业创新能力,促进科技成果向现实生产力转化,推动经济发展更多依靠科技创新驱动”。其中,特别强调了“协同环境下的创新”。《纲要》中指出,“通过促进全社会科技资源高效配置和综合集成,加快建立以企业为主体、市场为导向、产学研相结合的技术创新体系,推动建立企业、科研院所和高校共同参与的创新战略联盟”;同时,“围绕增强原始创新、集成创新和引进消化吸收再创新能力,强化基础性、前沿性技术和共性技术研究平台建设,建设和完善国家重大科技基础设施,加强相互配套、开放共享和高效利用”。

为保证客户的差异化与层次化需求得到及时响应,能够为其提供更加优质的创新产品或服务,企业通过不断地寻求产品创新设计方法或模式来提升自身产品的竞争优势,以期获取更大的发展上升空间。近年来,信息技术、网络化设计技术与计算机支持的协同技术(Computer Supported Cooperative Work, CSCW)的快速发展在很大程度上改变了设计者的创新设计手段^[2],虚拟制造(Virtual Manufacturing, VM)、并行工程(Concurrent Engineering, CE)、大规模定制(Mass Customization, MC)以及动态联盟(Virtual Enterprise, VE)等^[3-5]新的设计理念与制造方法的出现,使得产品研发逐步向网络化、集成化、智能化的方向快速发展。产品的开发与设计,特别是复杂产品的开发与设计,越来越多地采用多企业协作的方式,使企业利益同享、风险共担。因此,最初由企业独自承担并负责的产品创新设计活动,正逐步转向依靠创新网络平台而协同进行。

在网络化协同产品创新设计技术和产品创新方法共同迅速发展的环境下,产品创新设计领域出现了一种能够充分利用客户的创新经验和创新知识的产品创新设计方法——客户协同产品创新(Customer Collaborative

Product Innovation, CCPI)^[6]。该方法突破了常规的产品创新思路,将客户作为产品创新的主要参与者,把客户集成到产品创新的过程中,使客户与专业设计人员共同进行产品创新,以最大限度满足市场需求,降低产品创新风险。

客户协同产品创新的最大优势在于,它不仅强调客户个性化需求的获取,更希望利用客户的创新知识、创新经验和创新技能,通过多个创新主体的深度集成与协同工作,实现客户与专业设计人员在知识、经验和创造技能方面的优势互补,激发群体创造力,从而开发出具有高度创新性和市场主导力的新产品。

1.1.2 研究意义

协同产品创新中的概念设计是根据市场需求,运用设计科学、产品制造以及商业运作的知识对产品功能、结构等进行整体创新规划,形成概念产品的创新过程。概念设计阶段决定了创新产品的结构、性能、成本、交货周期以及产品全生命周期的质量,概念设计的好坏将决定产品成功或者失败的命运。据统计^[7],产品全生命周期成本的90%左右在产品设计段已经被决定,其中70%~80%在概念设计阶段被决策。

协同产品创新中概念设计的实质是从整体上构建出框架性的创新设计方案,它是产品创新的前端,起着引导性和方向性的基础作用。在这一阶段,创新设计方案选择的自由度大,产品创新的空间大。协同产品创新中的概念设计是产品创新过程中最为活跃、最富于创造性的设计阶段,同时也是产品创新过程中最关键的环节之一。因此,对其研究具有重要的理论价值和实践指导意义。

1.1.2.1 完善协同产品创新理论体系

客户协同产品创新是针对创新设计目标,客户群体、专业设计人员、

领域专家等多种类型的创新主体在网络化协同创新环境条件下,将其所拥有的创新设计资源、创新知识、创新经验以及创新技能,利用信息交流平台与协同创新机制,共同完成创新设计项目的复杂活动过程。目前围绕“客户协同产品创新”的研究仍处于初步阶段,特别是对于客户协同产品创新中概念设计等问题还缺乏系统性研究。通过深入研究协同产品创新中概念设计领域的相关理论及方法,可以进一步完善协同产品创新的基础理论体系。

1.1.1.2.2 提高协同产品创新的效率

通过科学系统的协同产品创新概念设计,可以全面把握并准确理解市场的差异化创新需求,并利用协同创新主体的创新经验和创新知识,将创新主体对创新产品的感性认识与理性认知提升到新的高度。在此基础上结合企业的发展战略,有针对性地对创新产品的功能结构等进行整体性规划,可以有效缩短产品开发时间,提高产品创新效率,使其能够更好地应对市场的不确定性。

1.1.1.2.3 规避协同产品创新的风险

分角色创新主体具有独立性特征,其所提供的数据信息涵盖了多领域、多层次的创新知识和创新经验。利用协同创新平台,将大量的创新知识和创新经验进行组织融合,使得创新主体可以借助多方面的知识信息对实际问题进行科学判断,可以有效规避可能存在或潜在的创新风险,突破单一创新主体在创新能力等方面的局限性,并能使多创新主体共同分担研发中的风险。

1.1.1.2.4 增强企业的核心竞争优势

通过客户协同产品创新中概念设计的系统性研究,可有效促进不同的创新主体的创新优势互补和创新资源的利用最大化,为企业产品研发中创新目标的构建、创新方案的设计、评价及优化等创新活动提供有力的理论

依据和决策支持,能够在产品创新的方向上予以正确引导,并推动知识的低成本流通与反复使用,有利于资源最大化,降低创新成本,从而可以有力提升企业的核心创新能力及竞争优势。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 协同产品创新的研究现状

面对市场竞争日益激烈及技术环境日益复杂,企业必须持续创新以构建其核心竞争优势。企业的产品创新设计活动正逐步由独自完成转向集成外部组织和资源的产品创新网络协同进行。传统的大规模纵向集成的产品开发模式正逐渐被客户、供应商和制造企业组成的协同联合体开发模式取代^[8]。由于技术革新的飞速发展,最有潜力的用户可能未及时获得真实体验,从而无法将需要解决的问题和准确的信息数据提供给市场研究人员。

美国麻省理工学院的Eric von Hippel教授在1986年首次将“领先用户”(Lead User)作为产品创新的重要来源之一^[9],并从创新条件和创新动机两个方面给出了领先用户的基本特征:①领先用户处于重要市场前端,他们当前所提出的需要将会是以后许多用户提出的共性需求;②领先用户可以从创新解决方案中获得相对较高的利益,为其主动参与创新提供动力。

以用户为中心的创新过程与传统模式形成了鲜明的对比。传统模式下,制造企业以封闭的方式开发产品和服务,通过申请专利、版权保护以及其他保护手段来阻止其他竞争者免费享用他们的创新投资,用户唯一的职能是产生需求,随后制造企业通过识别需求,设计、制造新产品来满足这种需求。传统创新模式中存在的主要问题是,用户需求难以准确掌握,

其原因在于充分了解用户需求的前提条件是需要投入大量的人力资源和资金,同时用户需求信息及数据在传递过程中,往往容易产生偏差和缺失。

因此,以用户为中心的创新过程越来越有优势。Stefan Thomke 和 Eric von Hippel 于 2002 年正式提出了“客户创新”(Customer Innovation)的概念^[10],客户创新主要是客户对其所使用的产品或工艺的创新,包括为自己的使用目的而提出的新设想和实施首创的工具、材料、设备、工艺等,以及对制造商提供的产品或工艺的改进以辅助制造企业创新设计^[11]。超过 50% 的创新发生在制造商与客户之间的结合部分,客户协同产品创新可以有效地为企业的价值网络增值^[12]。同时,实证研究表明,越来越多的客户已经开始参与到产品的创新活动中,见表 1.1。

表 1.1 客户参与创新的调研数据

Table 1.1 The research data of customer collaborative innovation

创新产品	时间	客户群体	客户参与比例	数据来源
山地车装备	2002 年	291 个同地区的山地车手	19.2%	文献[13]
极限运动设备	2003 年	197 个专业运动俱乐部的选手	37.8%	文献[14]
外科手术设备	2003 年	261 个德国临床外科医生	22%	文献[15]
阿帕奇 OS 软件	2003 年	131 个技术精良的阿帕奇用户	19.1%	文献[16]
户外消费品	2004 年	153 个户外消费品客户	9.8%	文献[17]
Vaillant 供热设备	2009 年	80 个不同国家的大客户	15%	文献[18]

在客户创新的过程中,客户的需求被设计人员作为创意的来源加以考虑,并可进行一定程度的产品部件选择或参数化定制,但是考虑到客户的创新能力在设计过程中并没有加以专门的引导和强化。杨育教授于 2008 年对客户协同理论进行了提升和完善,在国内首次提出了客户协同创新(Customer Collaborative Innovation, CCI)的创新模式,该模式能够充分利

用客户与专业设计人员在知识结构和创新技能方面的不对称性,借助各种网络化协同工作环境、创新设计工具和知识融合手段,通过客户和专业设计人员之间的协同工作,将二者的创新优势进行互补并激发群体创造力,从而开发出具有高度创新性和市场主导力的新产品,以期能够更最大限度地发挥客户潜力^[19]。这种新的创新方式将客户知识和创造力作为最宝贵的创新资源,通过与客户的交流与交互,获取普通客户、创意客户和领先客户等各类客户的经验、知识与信息,同时利用各种网络化协同工作环境、创新设计工具和知识融合手段实现客户与专业设计人员共同进行产品创新。与以满足客户个性化需求为客户定制设计不同的是,客户协同产品创新不仅强调客户个性化需求的获取,更强调利用客户与专业设计人员在知识经验和创造技能方面的不对称性,通过客户的深度集成和团队的协同工作激发群体创造力。

目前国内外学者在客户协同创新设计领域进行了大量研究,研究重点与研究成果主要集中于以下四个方面。

1.2.1.1 协同创新理论与框架方面

Carliss 等^[20]研究了将用户创意转化为成熟产品的协同创新模式。第一步,创新主体通过讨论一个或多个创新设计的可能性并开始创新;第二步,少量制造企业采用“高可变成本-低资本”的生产方式进行试生产并推向市场;第三步,当市场稳定时,逐渐进入“高资本-低可变成本”的大规模制造模式。

Baldwin 等^[21]通过对不同的产品创新方式的预期收益和成本进行比较分析,其中,预期收益是指将创新构想转变为有用的产品、过程或服务后所获得的利益,成本包括设计成本、协作成本、生产成本、交易成本。研究得出,在许多经济领域,由制造企业独立创新的模式将逐步被由单个用户或多个用户协同的创新模式所取代,可以取得让市场高度满意的创新方