

现代设计丛书




产品概念设计

— 理论、方法与技术

邓家禔、韩晓建、曾硝 等编著

产品
概念
设计

 机械工业出版社
China Machine Press

现代设计丛书

产品概念设计

——理论、方法与技术

邓家禔 韩晓建 曾硝等 编著



机械工业出版社

本书对有关产品创新与环境、产品设计、产品设计过程、计算机辅助产品设计技术与环境等概念作了基本的描述,便于读者理解书中的内容。对概念产品、设计过程、设计决策、求解方法等,从模型表示、建模、与实现的技术方法等,作了比较系统的介绍与深入的讨论,并用实例来具体地说明理论、方法的应用。

全书共分六章:绪论、产品设计的基本描述、产品的需求设计、产品概念设计及过程、产品概念设计中的功能—原理—结构设计问题、产品概念设计的计算机辅助技术与支持环境

本书的阅读对象为从事产品设计领域的研究人员、工程技术人员、研究生、大学生等

图书在版编目(CIP)数据

产品概念设计:理论、方法与技巧/邓家祺等编著.北京:机械工业出版社,2002.3

(现代设计丛书)
ISBN 7-111-09957-5

I 产… II 邓… III 产品—设计 IV TB472

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第014734号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:吴曾评 孙薇 版式设计:霍永明

封面设计:李洋 责任印制:王书莱 责任校对:肖新民

印刷:北京北林印刷厂

发行:新华书店北京发行所发行

2002年5月第1版·第1次印刷

850mm×1168mm^{1/32}·82印张·213千字

0001-4000册

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
本社购书热线电话(010)68993880、68326677—2721

编 委 会

主任委员 姚福生
副主任委员 李 健 王文斌 段爱珍 陈立周
委 员 (以姓氏笔画为序)
邓家禔 王玉新 刘志峰 刘宏增
刘 更 吴宗泽 芮延年 孟明辰
姚振强 黄永友 黄洪钟 黄靖远
檀润华

序

21 世纪世界的一个巨大变革就是形成一个统一的全球市场，每一个国家都不可能离开这个全球市场求得自身的发展，都必须在这个全球市场的竞争中求得生存。这对我国制造业提出了严峻的挑战。

市场竞争的生命力在于产品的创新。任何科技成果要转变为有竞争力的商品，设计起着关键性的作用。设计是产品研制的第一道工序，设计工作的质量和水平，直接关系到产品的质量、性能、研制周期和技术经济效益。世界各国都十分重视产品的设计工作。

随着计算机技术的发展，特别是 CAD 技术的发展，设计手段发生了根本性变化，设计新理论、新方法、新技术不断涌现。广大工程技术人员渴望在“甩掉图板”的同时，更新设计思维，采用现代设计方法，真正提高产品开发能力和设计水平。为此，中国机械工程学会机械设计分会与机械工业 CAD 咨询服务中心联手，组织机械设计领域从事现代设计研究的、有专长的、有经验的专家、教授，编写一套《现代设计丛书》，以适应我国进入 21 世纪技术创新和振兴制造业以及进入 WTO 的需要。

由于现代设计涉及面广，本丛书选题较多，一时难以全部确定，原则上根据需要成熟一个确定一个，不追求系统和全面。因此，全套丛书的编写及出版将采取分批的方式进行。第一批已出版 6 册，它们是：《并行设计》、《虚拟设计》、《稳健设计》、《绿色设计》、《优势设计》、《模糊设计》。第二批将出版：《创新设计》、《产品概念设计》、《数字化设计》、《敏捷制造》、《协同设计》、《无网格方

法及其应用》、《合作产品商务》等。

江泽民总书记在全国技术创新大会上强调，我们既要充分估量新的科技革命带来的严峻挑战，更要珍惜它带来的难得机遇。我们必须抓住机遇，正确驾驭新科技革命的趋势，全面实施科教兴国战略，大力推动科技进步，加强科技创新，加速科技成果向现实生产力转化，掌握科技发展的主动权，在更高的水平上实现技术发展的跨越。我们希望通过《现代设计丛书》的出版，能为我国科技创新工程和“信息化带动工业化”做出一点应有的贡献。

科技部高新技术发展及产业化司司长 **李健**

2002年2月

前 言

产品创新是企业创新的基本任务，产品的概念设计则体现了产品创新的最重要、最大的价值部分。

本书把产品的需求设计看作为概念设计的一个组成部分。

产品创新从总体上说是一种企业行为。本书认为产品的需求设计是企业商机的体现，是从技术上给出产品需求定义的说明，商机是目标市场（特定用户群）需求和企业发展策略要求的某种特定需求的结合。概念产品则根据产品需求而设计。概念产品是关于产品总体性能、结构、形状、尺寸和系统性特征参数的描述，用以验证、评估对产品需求符合的满意程度，以判定企业所期望的商机目标是否可能达到。概念产品设计本身不是生产、营销、维护等的具体技术依据与说明，但提供了产品详细设计的依据。产品的详细设计是生产、营销、维护等的具体技术说明与依据。

各种技术文档所表示的产品设计，是产品设计过程系统行为的结果。研究产品设计过程的基本构成、各基本构成互相间的关系、过程运行作用的活动空间（设计空间）、过程“收敛”于给定期望（产品设计解）的行为状态以及求解过程中约束、控制、调节的决策与机制等，构成了我们称之为产品设计理论、方法的基本内容，也是发展计算机辅助产品设计自动化、优化与支持环境的理论、方法依据。发展计算机应用于产品设计的技术，主要是将产品设计理论、方法中所阐明的有关事实、定义、方法、过程、机制等变为计算机可以理解和处理的对象，这就涉及到信息建模、结构和处理等一系列的信息技术方法。

本书是按照上述产品概念设计理论、方法与计算机应用于产品设计的技术这一框架而撰写的，由于概念设计本身的基本研究还处在发展阶段，本书只能反映作者已有的认识水平，提供读者

参考。

本书主要依据在北京航空航天大学机械工程及自动化学院工业与制造系统工程系（制造系统研究所）邓家禔教授主持下进行的产品设计理论方法与技术方面的研究进展而撰写的；分别由韩晓建副教授、曾硝副教授、吴斌博士、赵刚博士完成。其中曾硝撰写了第1章、第5章并负责了第2、3、4、5章的审阅工作，韩晓建撰写了第2章、第4章并负责了本书撰写的组织工作，吴斌撰写了第3章并负责了文字编排上的技术处理工作，赵刚撰写了第6章并负责了全文的初步编排工作，邓家禔对本书全部内容作了最后审定与修改。感谢863/CIMS计划曾对本书第3章部分内容的研究作过的资助。感谢国家自然科学基金委员会，曾对本书第4、6两章部分内容的研究给予的资助。感谢北京航空航天大学制造系统研究所周桂琴工程师与杨占勇博士生，给予本书部分图文修改与电子文档的技术支持，最后还要感谢所有参与本书相关内容研究工作的博士生、硕士生。

北京航空航天大学
邓家禔
2002年3月

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 以产品创新为核心的工业创新	1
1.1.1 工业创新的意义	1
1.1.2 工业创新的内涵	4
1.2 产品创新的意义	6
1.3 产品创新的发展历史	10
1.4 产品创新的动力机制与创新战略	11
1.4.1 产品创新的动力机制	11
1.4.2 产品创新的战略	13
1.5 产品创新的核心——产品概念设计	21
参考文献	23
第 2 章 产品设计的基本描述	25
2.1 产品的定义	25
2.2 产品的模型	26
2.3 产品设计问题的本质	27
2.3.1 产品设计理论与方法的研究进展	27
2.3.2 产品设计的一般描述	32
2.4 设计的分类	35
2.5 产品设计过程的定义与建模	37
2.5.1 产品设计系统的模型表示	38
2.5.2 设计系统集成定义	39
2.5.3 产品设计过程阶段划分	39
参考文献	40
第 3 章 产品的需求设计	41

3.1	产品的需求设计定义	41
3.1.1	市场的定义和构成	41
3.1.2	需求设计的定义及其模型	45
3.1.3	产品需求的定义及其层次结构	47
3.1.4	需求产品的定义	51
3.1.5	需求产品、概念产品和详细产品的关系	53
3.1.6	需求产品的设计和管理	55
3.1.7	需求与新产品开发的机制	58
3.1.8	需求产品信息模型的组织结构	61
3.2	产品需求设计过程	62
3.2.1	需求模型概念	62
3.2.2	需求层次模型的实现	65
3.2.3	需求产品设计过程定义	72
3.3	产品需求设计综合实例	79
3.3.1	需求参考模型中的功能分析过程	79
3.3.2	由需求特征构成的需求定义模型	82
3.4	产品需求设计的相关理论和方法	83
3.4.1	需求获取与市场预测方法	83
3.4.2	基于本体论(Ontology)的设计信息模型	84
3.4.3	大规模定制下的 QFD 方法	86
3.4.4	面向顾客的“感知—响应”式组织	88
3.4.5	从 ERP 到 CRM 的发展	90
	参考文献	92
第 4 章	产品概念设计及过程	93
4.1	产品概念设计的定义	93
4.1.1	概念产品的定义	93
4.1.2	概念产品结构的模型	94
4.1.3	产品概念设计的发展过程	95
4.1.4	产品概念设计的研究现状	96
4.1.5	产品概念设计的定义	98
4.2	概念设计过程的定义	99
4.3	概念设计过程的建模	102
4.3.1	概念设计问题的定位	102

4.3.2	概念设计过程的建模	102
4.4	概念设计过程的实现机理	104
4.5	产品概念设计过程的知识表达	107
4.5.1	概念设计问题归约	107
4.5.2	概念设计问题的与/或树表达	107
4.5.3	原始问题解的判定	110
4.5.4	原始问题解的表达	111
4.6	产品概念设计过程的网络求解的评价算法	112
4.6.1	产品概念设计的流程	112
4.6.2	问题求解网络的描述	113
4.6.3	网络求解的算法	114
4.7	产品概念设计的决策模型	119
4.7.1	AHP 决策模型	119
4.7.2	决策判据	123
4.8	概念设计中的产品建模	126
4.8.1	产品模型的概念	127
4.8.2	产品模型的抽象类	132
4.8.3	多级派生产品模型	133
4.8.4	需求产品模型	135
4.8.5	功能产品模型	135
4.8.6	原理产品模型	137
4.8.7	概念产品模型	139
	参考文献	144
第5章	产品概念设计中的功能—原理—结构设计问题	146
5.1	产品的功能—行为—结构关系	146
5.1.1	功能—行为—结构关系的各种观点及分析	146
5.1.2	产品结构、行为和功能定义	149
5.1.3	产品的功能—行为—结构关系	152
5.1.4	概念设计过程分析	154
5.2	产品的功能设计	158
5.3	产品的原理设计	162
5.4	产品的结构设计	166
5.4.1	产品结构的设计	166

5.4.2 面向功能的机械产品装配设计	174
5.5 功能推理的相关理论与方法	182
5.5.1 功能的价值分析及表达方法	182
5.5.2 流图方法	184
5.5.3 键合图方法	185
参考文献	186
第6章 产品概念设计的计算机辅助技术与支持环境	189
6.1 产品概念设计的计算机辅助技术与支持环境的发展	189
6.1.1 制造业和先进制造技术的发展	189
6.1.2 产品创新的需求与建立产品设计过程自动化的计算机环境	192
6.1.3 计算机辅助设计技术的发展趋势	194
6.2 计算机辅助产品概念设计的关键技术	196
6.2.1 概念设计问题的计算机表达技术	197
6.2.2 概念设计问题的计算机求解技术	206
6.2.3 产品数据管理技术	214
6.2.4 产品设计协同技术	216
6.2.5 基于智能代理(Agent)的设计技术	217
6.2.6 计算机辅助设计创新的方法和工具	218
6.2.7 虚拟现实技术	221
6.3 产品设计计算机分布式支撑环境的结构组成	224
6.3.1 分布式智能设计决策系统	227
6.3.2 产品设计过程管理系统	228
6.3.3 产品设计约束管理系统	233
6.3.4 产品数据管理系统(PDM)	234
6.3.5 支持产品设计的应用工具集成系统	236
6.4.6 基于 Internet 的网际协同设计通信系统	237
6.4 支持产品概念设计的智能协同优化平台的研究	239
6.4.1 计算机辅助产品设计平台的功能与作用	239
6.4.2 设计空间及设计过程的运行	242
6.4.3 计算机辅助产品设计系统技术与设计空间相关技术的实现	250
6.4.4 DRAGON 研究计划	254
参考文献	256

第1章 绪 论

1.1 以产品创新为核心的工业创新

1.1.1 工业创新的意义

纵观世界经济发展的历史,经历了从蒸汽机到计算机 200 余年的工业化、现代化,不难看出,无论是历史上蒸汽机、电力的发明及应用,还是当今电子信息技术对工业经济增长的作用,都远远超过了资本和劳动投入的影响,所产生的巨大作用远远超过人们的想象。没有创新发明,人类物质财富的增长只能依赖于资本和劳动投入的缓慢增加,经济运转只能在低水平上重复。可以说,世界工业文明的发展史就是一部无数技术创新构成的技术创新史,技术创新是人类文明进步与发展的永恒主题。

早在 1776 年,Adam Smith(亚当·斯密)在他的经典著作《国民财富的性质和原因的研究》中就认为机械的改进具有重大作用。Carl Marx(卡尔·马克思)认为技术创新在资本制度的发展中起决定作用。20 世纪初,Schumpeter(熊彼特)在《经济发展理论》中提出技术创新的理论观点,认为技术创新导致经济的发展,技术进步是经济增长的内生变量。经济增长是非均衡的,当有重大的技术创新并迅速扩散开时,经济高速增长;不断有一般技术创新时,经济平缓增长;技术创新停滞时,经济停止增长或衰落。国家的成功是创新和使它的产业升级的能力决定的。企业也只有通过技术创新,不断改变产品结构,提高产品性能和质量,降低成本,才能长盛不衰。

美国研究与开发的总支出一直遥遥领先于世界其他国家,1985 年达 1348 亿美元,1996 年达 1710 亿美元,1997 年达 1894 亿

美元,1998年达2016亿美元^[11]。全世界44%的研究工作是在美国进行的,超过了日本、法国、德国和英国的总和,在27个关键技术领域处于世界领先地位^[12]。雄厚的技术基础使美国取得一次又一次重大技术突破,不断在国际市场率先推出全新的产品,特别是在高技术领域,始终保持优势地位,占有了引导技术和市场发展的主动权,获得了巨额的垄断利润,为美国在经济、科技、军事等方面保持霸主地位提供了有利的保证。二战以后,日本企业实行模仿创新战略,大量吸收西方发达国家先进技术,将主要技术力量和资金投入到了工艺改进、产品性能完善、大批量生产、质量控制、市场营销等环节,不断制造出物美价廉的产品,在商业上取得了巨大的成功。

飞利浦公司有百年历史,企业老而产品却不老,1914年发明了内置聚光镜的投射灯,1917年生产了世界上第一只无线电真空管,1922年第一只X光管在飞利浦公司问世……,1972年推出光学录像激光视盘技术,1980年将核磁共振成像系统应用于医疗诊断仪器中,1986年推出了硅片摄录影像管所用的影像感应器,1990年开发了红绿激光技术,1991年发明了QL感应照明系统,年年有多种新产品上市,正是由于一系列的创新努力,使飞利浦长盛不衰。

王安电脑公司曾鼎盛一时,进入20世纪80年代以后,公司满足于自己产品在设计和技术水平上的优势和声誉,未能及时跟上电脑转型创新的步伐,败在IBM公司和苹果公司的手下。西方评论家讲,王安公司的失败是由于“脱离了用户,忘记了创新”。

海尔集团从1984年引进德国先进的电冰箱生产技术起,短短15年中,海尔从无到有、从小到大、从大到强,由一个亏空140万元的集体小厂奇迹般地发展成为初具规模的国际化企业集团。海尔保持着平均每年82.8%的增长速度,到1998年已成为年销售收入162亿元、利税10亿元,产品市场综合占有率第一的中国最大的企业集团。海尔的产品涉及家电的42大门类8600多个规格品

种,成为中国家电产品品种最多、规格最全、技术最高、出口量最大的企业。海尔被美国《家电》杂志评为全球增速最快的企业。海尔的发展历程,是中国企业的奇迹,也是世界企业的奇迹。海尔奇迹就源于创新。创新不断实现着企业由量到质的转变。海尔一开始就紧紧抓住了技术创新这一企业的生命线,从德国引进了先进的利渤海尔电冰箱生产技术,实现了企业的第一次技术升级。他们认识到按照“引进—模仿—再引进—再模仿”的技术发展模式只能使企业处于技术落后的局面,生产不出具有国际竞争力的产品,因而走上了“引进—消化吸收—自主创新”的技术发展道路。目前,海尔达到了每天开发一个新品种,申请两项专利,每月投放市场十多个新品种的水平,1998年销售收入75%来自新产品^[13]。

科龙集团从技术创新起家,1983年9月用9万元试制费研制成功第一台BYD103双门双温露背式电冰箱后,于1984年12月开始投产,依靠持续不断的技术创新,使企业不断登上新台阶,到1998年,企业销售收入超过百亿元,资产总值超过90亿元,成为我国电冰箱行业的龙头企业。科龙的创业史、发展史,就是一部创新史^[14]。

“创新则兴,不创新则亡”,这是市场经济的一条铁律。

虽然我国有些企业已走上了“创新—发展”的轨道,但我国的经济增长仍然主要是靠资金、资源和人力的追加投入。从图1-1可以看到,工业发达国家的经济增长主要是靠技术创新,我国与之相比有很大的差距,单纯依靠资金和资源的投入已严重制约了我国经济高质量的增长,只有技术创新才是我国实现高质量经济增长的惟一途径。

随着现代科学技术的迅猛发展,技术创新的成果以空前的规模和速度应用于生产,全面深刻地影响了人们的生活,改变了人类社会的生活方式、生产方式、流通方式、思维方式和社会结构。市场需求变化更加迅速、产品市场生命周期缩短、企业竞争加剧、全球经济一体化进程加快,企业在这样的生存和发展条件下,在同一

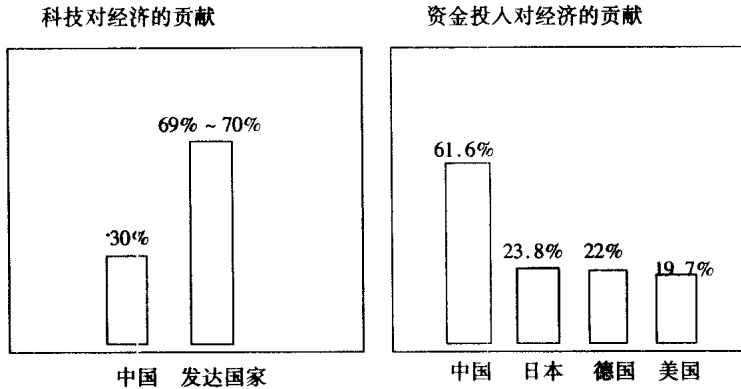


图 1-1 科技与资金投入对经济增长的贡献比较^[51]

市场中与发达国家的跨国公司进行竞争，必须走技术创新的道路。任何企业的持续增长都必须建立在创新这一基础上。

1.1.2 工业创新的内涵

创新作为一种基本的企业行动，其具体的表现形式是多种多样的，涉及企业活动的所有方面。根据其场合的不同，可分为产品创新、工艺创新、市场创新和管理创新。

(1) 产品创新 改善或创造产品，进一步满足顾客需求或开辟新的市场。产品在市场上要拥有竞争优势，必须在产品的成本和差异性上有所突破，使其别具一格。此外，在产品的整体价值方面不断创新。

(2) 工艺创新 改善或变革产品的生产技术及流程，包括新工艺和新设备的变革。如：美国英特尔公司通过不断的工艺创新来保证有新的、更有力的产品源源推向市场，从而使公司保持竞争的领先地位。

(3) 市场创新 改善或创造与顾客交流和沟通的方式，把握顾客的需求，销售产品。产品创新的源泉来自于对于顾客需求的

深刻把握和敏锐观察，产品成功推销依赖于对顾客心理的把握和与顾客的交流。

(4) 管理创新 改善或创造更好的组织环境和制度，使企业的各项活动更有效。充分发挥员工的积极性和创造性，不断根据企业目标和员工的需求进行管理创新，建立有效的以企业为主体的创新体系。

产品创新是关于“产品设计如何能满足目标市场开发的功效性要求”的创新，工艺创新是关于“产品如何制造”的创新，市场创新是关于“产品如何能创造新的市场以及推销”的创新，这三者与产品价值链中的增值过程有直接关系。管理创新是关于“如何使人力资源和物力资源在产品创新、工艺创新和市场创新中有效地发挥作用”的创新，它与产品价值链中的增值过程间接有关，表现在使设计人员与制造、市场等部门的人员能进行有效合作，创新能力得到充分发挥，使设计资源、制造资源、顾客资源得到有效利用。

工业中的创新活动哪些归于技术创新，各个研究者在概念的界定和使用上各有不同。其主要的差别和争论反映在以下三个方面^[1-6]：第一，对技术创新中所使用的“技术”的限定。如：技术创新是否包括与经济效益增长直接联系的相关管理技术变动，与技术产生和应用有直接联系的那些基础研究和市场行为是否是技术创新。第二，技术创新对技术变动的强度的限定。增量性改进，即技术上的渐进改进导致规模效益增长，是否属于技术创新范畴。第三，技术创新最终都必须通过市场上的成功实现表示出来，“成功”的标准是什么？是指商业利润，还是市场份额，或是技术优势？

Schumpeter 将创新分为以下五种形式：①引入新的产品或提供产品的新质量；②采用新的生产方法、新的工艺过程；③开辟新的市场；④开辟并利用新的原材料或半制成品的供给来源；⑤采用新的组织方法。

《中共中央国务院关于加强技术创新，发展高科技，实现产业