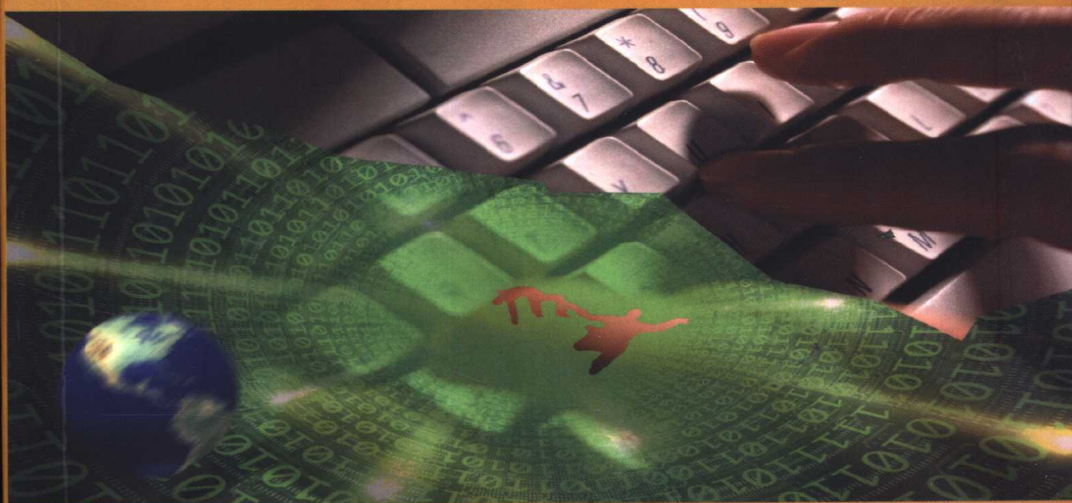


现代设计丛书



数字化设计

王玉新 编著

现代设计丛书

数字化设计

王玉新 编著



机械工业出版社

产品的快速开发与创新是增强企业竞争力的重要因素。本书以产品的快速化设计和创新设计为主线,介绍了基于三维设计平台的数字化产品建模方法、产品的快速建模技术、产品快速创新设计、产品开发的 KBE 技术、面向对象的产品开发技术、产品的工业美学设计以及虚拟产品创新设计自动化方法等内容。

本书可以作为研究生和高年级本科生了解当代数字化产品开发技术,培养其产品创新开发能力的教材,也可以作为在职工程技术人员再教育教材。

图书在版编目(CIP)数据

数字化设计/王玉新编著. —北京:机械工业出版社, 2003.9

(现代设计丛书)

ISBN 7-111-11630-5

I. 数… II. 王… III. 数字技术—应用—产品—设计 IV. TB472

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 007345 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:孙 薇 版式设计:霍永明 责任校对:肖新民

封面设计:小 月 责任印制:王书莱

印 刷:三河市长鸣印刷装订有限公司

发 行:新华书店北京发行所发行

2003 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷

850mm × 1168mm $1/32$ · 9.75 印张 · 251 千字

0 001-4000 册

定价:35.00 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)88379785 88379786

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	孙 薇	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。

江泽民同志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，全国实施科教兴国战略，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”作出应有的贡献。

科技部高新技术发展及产业化司司长 **李健**

前 言

产品的创新与快速开发是提高企业竞争力的关键。个性化的需求,快速多变的市场,以及日益加剧的市场竞争,都要求企业能够快速抓住市场需求的脉搏,并根据市场需求,快速地提供能够满足需求的产品,从而在第一时间获得丰厚的利润。因此,产品的快速开发与创新,对于提高企业的市场竞争能力是非常重要的。

基于对产品开发的快速性和创新性的考虑,作者以“三维虚拟机械产品开发自动化平台构建理论研究”为题目,于1999年申请了教育部首届“优秀青年教师教学、科研奖励基金”,获得为期5年的研究资助,总计经费50万元人民币。本书的部分相关内容反映了我们前期相关的研究成果。

一些数字化产品开发平台软件商充分认识到快速产品开发对于企业的重要性,在其平台上纷纷提供了支持产品快速开发的技术,如基于特征的产品建模技术,虚拟产品装配,CAD/CAM/CAE集成等功能。这些功能,无疑加速了数字化产品的开发速度。特别是近年来三维CAD平台的发展,使得基于PC机上的三维设计得到普遍推广与应用,极大地提高了产品开发的效率。产品的三维可视化、基于特征的造型、干涉检验、虚拟装配、CAD/CAM/CAE数据的共享是三维设计平台实现快速产品开发的优势技术。为此,本书主要介绍基于三维数字化产品开发平台的快速产品开发技术。

产品快速开发的目的在于快速地提供具有竞争能力的产品以满足市场需求。单纯地实现产品的快速开发,而忽略产品的创新性,企业同样不能获得市场利润。相反,企业还可能因为投入的

产品开发费用无法收回而产生亏损。因此,重视和实现产品开发的创新,才是产品开发的关键。

通常,人们依赖于人类专家的方法,获得具有创新性的产品设计方案,亦即借助于人类专家的知识和经验,通过类比、想象、联想等抽象思维过程,得到具有创新性的产品设计方案。在具体实施产品创新过程中,一些创新思维方法,如“集智慧”方法等常常用来获得具有创新性的设计。但是,受人类专家知识的局限性和创新思维的局限性(专业人员的思维受其所从事的专业知识限制),要人类专家在第一时间快速地拿出能够满足市场需求的产品是困难的和不现实的。

创新的本质在于用非常规的方法获得具有新颖性的结果。用非常规的方法,就是鼓励人们在方案构思阶段,打破传统思维的条条框框限制与束缚,从不同的思维角度寻求问题的解。为了得到具有新颖性的设计,必须从不同的思维角度出发,得到同一问题的一系列解,组成解空间。通过分析比较,在解空间中选取那些新颖性和创新性突出的设计方案。只有适应市场需求,具有竞争力的概念设计方案才具有价值,才能成为特定市场需求和特定生产条件下最具有创新性的概念设计,才能成为可行的设计方案。因此,要实现产品创新,必须从原理方案构造的最高层次实现方案构思的多样性,并生成尽可能多的具有新颖性的原理方案。根据市场需求,从这些方案中选取最具有竞争力的产品设计方案。因此,产品创新设计不单纯追求问题的一个解,而是在于获得现有物质条件下的最具有创新性、新颖性、最具有竞争能力的产品。

研究能够实现产品创新设计的计算机化方法,对于解决产品的快速创新设计问题是十分重要的。国内外学者在计算机辅助概念设计领域进行了相关研究,取得了一定的进展。计算机辅助概念设计主要是基于功能分解的方法,通过功能分解得到功能与结构映射关系,利用功能结构的索引,得到产品的概念设计。体现产

品概念设计创新性的关键在于功能描述的抽象性,从目前的研究来看,功能描述的抽象性还是尚未解决的世界性难题。

需求的个性化和市场的快速多变性,要求我们在实施产品创新过程中,必须解决产品创新的快速性问题。人类专家的联想具有随机性,不能保证在特定的时间内给出具有创新性的设计方案。因此,必须解决基于方法学的产品创新设计问题。现代设计过程的程式化和系统化要求产品的创新设计过程也应有一定的方法可循。基于计算机化的功能变异方法和基于图论的逻辑推理方法是实现产品创新计算机化的有效方法,也是以发散思维作为创新思维方法,得到产品的解空间,因而其解空间比较大。另外,由于功能变异和逻辑推理的过程具有较大的变异性,因而能够获得具有新颖性的设计方案。虽然我们以机构为例阐述基于图论的逻辑推理方法,但是,对于任何可以用图形描述的设计方案,该方法都可以实施。本书的章节安排基于如下考虑:

第1章主要介绍数字化产品开发的基础知识,包括产品开发过程、数字化产品开发技术、三维产品开发平台,以及各种三维建模方法。

第2章介绍了产品的快速建模技术。为了增强新开发产品的可靠性,在结构设计中,我们建议采用相似性设计方法,利用参数化和基于特征的建模技术,以及数据库操作技术,可以实现三维产品开发的高效率与高可靠性的结合。为了解决大型复杂系统装配、修改与完善的快速装配与仿真问题,我们提出了“后台预置”装配技术,借助于该技术可以实现产品方案设计、运动分析、产品构型与虚拟仿真的自动化。

第3章重点介绍了产品创新开发技术,主要为功能分解的变异技术和基于逻辑推理的计算机化产品创新技术。目前,我们的研究工作已经基本解决了基于逻辑推理的产品创新计算机化问题,现正在将该方法应用到其他领域,如工业美学设计,布局设计等。虽然,方法学本身是以机构学为应用实例给出的,但是,对于

所有能够用图形表示方案的问题,计算机化方法都可以适用。

第4章主要介绍专家系统与工程相结合产生的基于知识的产品开发技术(KBE)。KBE技术可以用于适用组合创新原理的各种应用场合,主要解决基于已有知识的工程设计问题。已有知识包括设计经验、手册、成功事例等内容,这些知识被存储于知识库中。KBE技术主要应用于诸如材料的选择、尺寸的确定、运动方案的设计、配合连接形式等工程设计场合。在面向对象的产品开发过程中,KBE技术可以用于封装子模块,通过少量的信息交流,在KBE推理支持下,实现子模块设计过程的自动化。由此可见,KBE技术无疑可以加速产品开发的速度,同时,还可以减少设计过程中的错误。

第5章主要介绍利用三维设计平台,实现面向对象产品开发的相关技术问题,重点是二次开发技术。三维平台的二次开发技术是实现面向对象虚拟产品开发的技术关键。掌握了二次开发技术,将知识、创新设计方法、结构设计等领域知识集成,就可以建立面向对象的产品开发模型,从而实现产品的快速开发与创新的有机结合与统一。

第6章介绍了计算机辅助工业美学设计的一些研究进展。随着个性化需求的不断发展,产品的工业美学得到了普遍的重视。本章主要介绍了一些三维设计平台的工业造型设计模块,同时对基于形态要素的工业美学设计方法作了介绍。

第7章以轮胎成型鼓为例,给出了集成创新设计、结构设计、运动分析、虚拟仿真等产品开发过程的面向对象的产品开发自动化平台;提出了面向产品的虚拟创新设计自动化理论,该理论总结了我国前期近十年在产品创新设计及其自动化领域的研究体会。

本书是《机构创新设计方法学》的姊妹篇,本书的相关内容是在《机构创新设计方法学》学术观点的实施与完善。

数字化产品开发技术涉及的内容比较多,如结构设计的有限

元分析方法、虚拟制造、虚拟测试等,不可能在本书里一一列举。鉴于一些偏向制造的虚拟产品开发的方法已经有学者进行了专门的阐述,本书不再介绍。本书的目的在于使读者了解和掌握如何在产品开发初期,利用三维设计平台快速地获得能够满足市场需求的富有创新性的设计方案的方法,因此,本书更偏向于设计。

受作者学术水平的限制,一些学术观点的不妥之处恳请专家、学者指正。因时间仓促,不能细致地对书中语言错误一一更正,请读者原谅。

天津大学机械学院喻宏波老师参加了本书的第1章、第2章的编写工作。

本书承蒙教育部 985 项目“优秀青年教师教学、科研奖励基金”资助,项目编号:1999076

王玉新
同济大学
2003·3

此书完稿于教师节前夕,在此,谨以此书
献给那些爱岗、敬业、富有爱心的老师们!



作者简介

王玉新,男,1964年生,教授、博士生导师。1994年毕业于天津大学机械系,获博士学位,后留校任教。

1996年晋升为教授,1997年被确定为具有博士生导师资格。2001年9月调入同济大学。曾获国家发明四等奖(1995)一项,霍英东教育基金会青年教师奖(研)一等奖(1997),GM(通用公司)中国科技成就二等奖(1996)等多项奖励。为教育部跨世纪优秀人才称号获得者,并入选人事部"百千万人才工程"一、二层次。主要研究方向:机械产品创新设计及其自动化方法,齿轮机构非线性动力学问题。

目 录

序

前言

第 1 章 面向产品创新的数字化产品开发	1
1.1 新产品开发的过程	1
1.2 数字化产品开发基础	4
1.2.1 面向产品创新的数字化产品开发	4
1.2.2 数字化产品建模	9
1.2.3 数字计算系统	14
1.3 数字化产品设计平台	17
1.3.1 CATIA 系统	18
1.3.2 UGS 软件系统	32
1.4 参数化建模	36
1.4.1 实体模型的描述	36
1.4.2 参数化建模	38
1.4.3 零件的参数描述	42
1.5 数字化产品建模的方法	44
1.5.1 二维建模	44
1.5.2 三维建模方法	46
第 2 章 产品的快速建模技术	54
2.1 基于特征的产品建模技术	54
2.1.1 特征的描述	54
2.1.2 面向应用的特征种类	59
2.1.3 基于特征的产品模型	64
2.1.4 产品的特征造型	67
2.1.5 利用特征进行产品造型	70
2.1.6 基于特征产品建模的应用实例	74

2.2 “后台预置”装配技术	80
2.2.1 数字化装配	80
2.2.2 面向装配的设计体系结构	85
2.2.3 产品的“后台预置”装配技术	89
2.3 相似设计	92
2.3.1 相似性设计方法	92
2.3.2 基于三维平台的相似性设计	97
第3章 产品的快速创新设计	105
3.1 基于功能的设计	105
3.1.1 功能的分类	106
3.1.2 功能分析	109
3.1.3 功能综合	114
3.1.4 功能分解与重组方法的不足	116
3.2 功能结构映射的变异设计方法	117
3.2.1 功能结构映射的变异方法	117
3.2.2 FBS 分解与变异	123
3.2.3 基于 FBS 的变异设计的实现	127
3.3 逻辑推理的变异方法	134
3.3.1 运动链再生方法	134
3.3.2 图论的方法	147
第4章 产品开发的 KBE 技术	155
4.1 KBE 技术	155
4.1.1 KBE 技术的体系结构	155
4.1.2 KBE 关键技术	158
4.2 KBE 的知识处理	162
4.2.1 知识的表达	162
4.2.2 基于知识的推理	171
4.3 UGS 的 KBE 技术——KDA	179
第5章 面向对象的产品开发技术	182
5.1 面向对象的产品开发的必要性	182
5.1.1 三维设计平台的优点与不足	182

5.1.2 面向对象的产品开发的必要性	183
5.2 三维平台的二次开发环境	186
5.2.1 CATIA 系统	186
5.2.2 UGS 系统	193
5.2.3 SolidWorks	200
5.2.4 MDT 系统	206
5.3 二次开发的实例	208
5.3.1 零件的设计	208
5.3.2 空间机构组成的复杂系统的快速装配	210
5.3.3 凸轮机构的设计	212
第 6 章 产品的工业美学设计	218
6.1 工业美学设计的原则	218
6.1.1 造型要素	218
6.1.2 形式美学法则	220
6.1.3 机械产品造型的特点	225
6.2 计算机辅助工业美学设计 CAID	226
6.2.1 三维参数化平台工业造型的特点	226
6.2.2 三维设计平台的工业美学设计模块	228
6.2.3 CATIA 曲面造型实例	231
6.3 基于形态要素的量化美学设计	236
6.3.1 工业美学设计的形态要素	236
6.3.2 基于遗传算法的量化美学设计	238
第 7 章 虚拟产品创新设计自动化方法	251
7.1 虚拟产品创新设计自动化理论	251
7.1.1 三维设计平台的优点与不足	251
7.1.2 基于三维平台产品创新设计的特点	253
7.2 三维虚拟机械创新设计系统(VCM2.0)	257
7.2.1 创新原理	257
7.2.2 三维虚拟机械创新设计系统的构成	258
7.2.3 三维虚拟机械创新设计系统 VCM2.0	273
7.3 面向对象的产品设计实	277

7.3.1	方案设计	277
7.3.2	运动分析	281
7.3.3	三维造型	282
7.3.4	后台预置装配	287
参考文献		290

第1章 面向产品创新的数字化产品开发

本章主要介绍了产品开发的过程、面向产品创新的数字化产品开发思想、三维数字化产品设计平台、数字化建模方法等内容,为后续章节的学习奠定理论基础。其中,面向产品创新的数字化产品开发思想是指导本书写作的主线。

1.1 新产品开发的过程

根据现代设计程式化、逻辑化的产品设计思想,产品的开发有一定程式可以遵循,以减少开发过程中不必要的重复性劳动,提高产品的开发效率。参考国外学者提出的设计进程模式,结合我国具体情况,提出符合国情的产品设计程序,如表 1-1 所示,以帮助设计者通过最经济的途径,获得最满意的解。据该表,产品的设计过程可以分为 5 个阶段:计划阶段、设计阶段、试制阶段、批量生产阶段和销售阶段。

产品计划阶段主要解决产品的规划问题,包括产品需求调查、市场预测、可行性论证及确定设计参数、选定约束条件、最后提出详细设计任务书等步骤。在此阶段,设计者应尽可能全面地了解所要研究的问题,例如,弄清设计对象的性质、要素、解决途径等。

在产品设计阶段中,原理方案设计占有重要位置,它关系到产品设计的成败和质量的优劣。在这个阶段,设计者运用他们所有的经验、创新能力、洞察力和天资,利用前一阶段收集到的全部资料和信息,经过加工和转换,构思出达到期望结果的合理方案。结构方案设计是指对产品进行结构设计,即确定零部件形状、材料和尺寸,并进行必要的强度、刚度、可靠性计算,最后画出产品结构草图。总体设计是在方案设计和结构方案设计的基础上全面考虑产