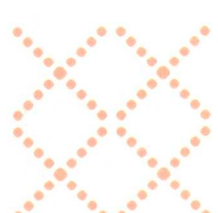


2

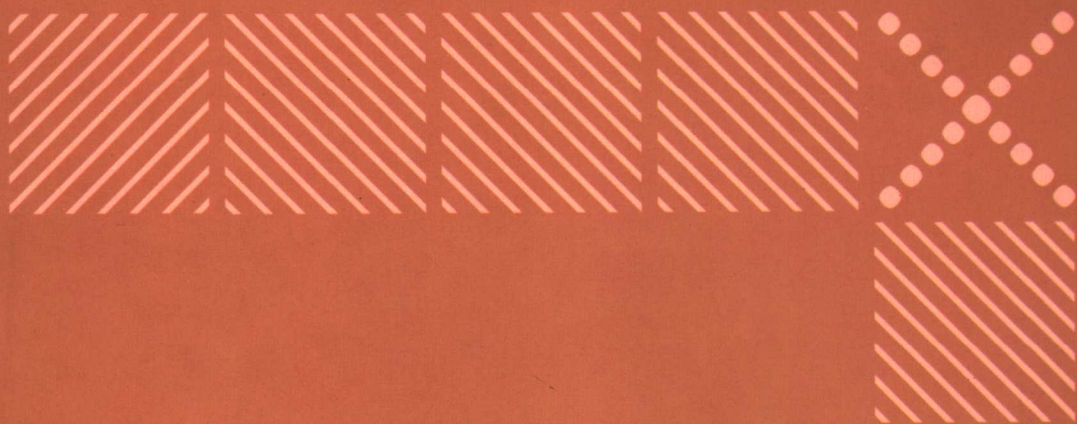


和谐智能 系统

CACD

HARMONIC INTELLIGENT CACD SYSTEM

杨国为 曹少中 著



科学出版社
www.sciencep.com



作者简介

杨国为 江西樟树人，北京科技大学工学博士，江西师范大学理学硕士，中国科学院半导体研究所博士后，青岛市青年学术、工程技术带头人，首届青岛市青年科技奖获得者。现为中国人工智能学会理事，中国人工智能学会可拓工程专业委员会副主任，中国人工智能学会神经网络专业委员会副秘书长，中国人工智能学会智能控制与智能管理专业委员会委员，青岛大学特聘教授工程教授。已独立出版2本著作（《人工生命模型》，科学出版社，2005；《物元动态系统分析——思维、决策、设计的形式化》，青岛出版社，1997）；以第一发明人身份申请3个发明专利；公开发表90余篇学术论文，其中20余篇以第一作者身份发表的论文被SCI、EI检索。目前正主持国家高技术研究发展计划（863计划）、国家自然科学基金、山东省自然科学基金、中国博士后科学基金等基金的课题。



曹少中 河北保定人，北京理工大学博士。现为北京科技大学信息工程学院博士后，北京印刷学院副教授。现从事智能信息处理、智能控制、非线性系统控制理论和应用研究工作，已发表论文10余篇，其中EI检索6篇。作为主要研究人员参加国家自然科学基金项目3项、国家863项目1项、山东省自然科学基金项目1项。

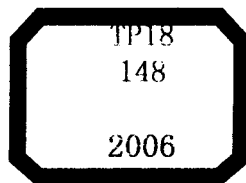
ISBN 978-7-03-018493-1



9 787030 184931 >

2006

定价：32.00 元



智能科学技术著作丛书

和谐智能 CACD 系统

杨国为 曹少中 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是关于智能计算机辅助概念设计 CACD 的一本专著, 书中系统地论述了作者提出的和谐智能 CACD 系统的初步理论、方法和技术。主要内容包括: 产品概念设计的可拓学知识表示和工具, 基于可拓学的产品概念设计模型, 最经济产品概念设计理论与方法研究, “良性循环”的绿色产品概念设计理论与方法研究, 和谐智能 CACD 系统, 网络环境下的协同智能 CACD 系统。

本书适合从事创新设计、智能科学、系统科学、计算机科学、控制科学等领域研究的学者、研究生和工程技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

和谐智能 CACD 系统/杨国为, 曹少中著. —北京: 科学出版社, 2007
(智能科学技术著作丛书)
ISBN 978-7-03-018493-1

I. 和… II. ①杨…②曹… III. 人工智能-计算机辅助设计
IV. TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 012472 号

责任编辑: 陈晓萍/责任校对: 耿 耘
责任印制: 吕春珉/封面设计: 飞天创意

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006 年 12 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16
2006 年 12 月第一次印刷 印张: 15 1/2
印数: 1—2 000 字数: 344 000

定价: 32.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈双青〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62135763-8003

《智能科学技术著作丛书》编委会

名誉主编：吴文俊

主 编：涂序彦

副主编：钟义信 史忠植 何华灿 蔡自兴 孙增圻 童安齐 谭 民

秘书长：韩力群

编 委：(按姓氏汉语拼音排序)

蔡庆生 (中国科学技术大学)

蔡自兴 (中南大学)

杜军平 (北京工商大学)

韩力群 (北京工商大学)

何华灿 (西北工业大学)

何 清 (中国科学院计算技术研究所)

黄河燕 (中国科学院计算语言研究所)

黄心汉 (华中科技大学)

焦李成 (西安电子科技大学)

李祖枢 (重庆大学)

刘 宏 (北京大学)

刘 清 (南昌大学)

秦世引 (北京航空航天大学)

邱玉辉 (西南师范大学)

阮秋琦 (北京交通大学)

史忠植 (中国科学院计算技术研究所)

孙增圻 (清华大学)

谭 民 (中国科学院自动化研究所)

田士勇 (科学出版社)

童安齐 (科学出版社)

涂序彦 (北京科技大学)

王国胤 (重庆邮电学院)

王家钦 (清华大学)

王万森 (首都师范大学)

吴文俊 (中国科学院系统科学研究所)

杨义先 (北京邮电大学)

尹怡欣 (北京科技大学)

于洪珍 (中国矿业大学)

张琴珠 (华东师范大学)

钟义信 (北京邮电大学)

庄越挺 (浙江大学)

庆祝人工智能诞生50周年

暨

中国人工智能学会成立25周年

吴文俊

《智能科学技术著作丛书》序

“智能”是“信息”最精彩的结晶，“智能科学技术”是“信息科学技术”最辉煌的篇章，“智能化”是“信息化”发展的新动向、新阶段。

“智能科学技术”(Intelligence Science and Technology, 简称 IST)是关于“广义智能”的理论方法和应用技术的综合性科学技术领域,其研究对象包括:

- “自然智能”(Natural Intelligence, 简称 NI),包括“人的智能”(Human Intelligence, 简称 HI)及其他“生物智能”(Biological Intelligence, 简称 BI)。

- “人工智能”(Artificial Intelligence, 简称 AI),包括“机器智能”(Machine Intelligence, 简称 MI)与“智能机器”(Intelligent Machine, 简称 IM)。

- “集成智能”(Integrated Intelligence, 简称 II),即“人的智能”与“机器智能”人机互补的集成智能。

- “协同智能”(Cooperative Intelligence, 简称 CI),指“个体智能”相互协调共生的群体协同智能。

- “分布智能”(Distributed Intelligence, 简称 DI),如广域信息网、分散大系统的分布式智能。

1956年,“人工智能”学科诞生,五十年来,在起伏、曲折的科学征途上不断前进、发展,从传统的狭义人工智能走向现代的广义人工智能,从个体人工智能到群体人工智能,从集中式人工智能到分布式人工智能,在理论方法研究和应用技术开发方面都取得了重大进展。如果说,当年“人工智能”学科的诞生是生物科学技术与信息科学技术、系统科学技术的一次成功的结合,那么,可以认为,现在“智能科学技术”领域的兴起是在信息化、网络化时代又一次新的多学科交融。

1981年,“中国人工智能学会”(Chinese Association for Artificial Intelligence, 简称 CAAI)正式成立,二十五年来,从艰苦创业到成长壮大,从学习跟踪到自主研发,团结我国广大学者,在“人工智能”的研究开发及应用方面取得了显著的进展,促进了“智能科学技术”的发展。在华夏文化与东方哲学影响下,我国智能科学技术的研究、开发及应用,在学术思想与科学方法上,具有综合性、整体性、协调性的特色,在理论方法研究与应用技术开发方面取得了具有创新性、开拓性的成果。“智能化”已成为当前新技术、新产品的发展方向与显著标志。

为了适时总结、交流、宣传我国学者在“智能科学技术”领域的研究开发及应用成果,中国人工智能学会与科学出版社合作编辑出版《智能科学技术著作丛书》,进一步推动智能科学技术更快的发展。

中国人工智能学会《智能科学技术著作丛书》编委会

2005年12月18日

序

杨国为、曹少中合作的新书《和谐智能 CACD 系统》，作为中国人工智能学会组编的《智能科学技术著作丛书》之一，将在科学出版社出版了。

该书是作者在国家高技术研究发展计划“鞋类产品和谐智能 CACD 系统研究”、国家自然科学基金项目“基于物元动态系统分析的模型化智能化概念设计研究”与山东省自然科学基金项目“创新设计思维模型和基于该模型的智能 CAD 软件”以及博士学位论文的研究工作基础上，关于和谐智能 CACD 系统的专著。以“和谐智能”为特色、“概念设计”为对象，系统地论述和谐智能 CACD 系统的理论、方法和技术。

“和谐智能 CACD”源于“和谐智能 CAD”，面向“概念设计”，兼论“绿色设计”与“经济设计”。从“和谐智能 CAD”发展到“和谐智能 CACD”，青出于蓝，而胜于蓝。作为老师看到学生新书出版，由衷地感到高兴。一方面，为学生们在学术上的成长和成就而兴奋；另一方面，也为老师的学术思想后继有人而庆幸。故为之序，且贺以诗：

和谐设计协调好
智能设计富灵巧
绿色设计利环境
经济设计效益高

涂序彦
2006 年 6 月

前 言

在全球经济一体化的买方市场态势下,制造企业竞争的焦点在于对市场的快速响应和产品创新。产品创新和低成本快速新产品开发成为制造企业生存的唯一出路,也是制造企业竞争制胜的法宝。

产品创新的核心在于产品概念设计。低成本快速新产品开发有赖于开发产品智能设计系统。产品概念设计是一个求解实现系统功能、满足系统各种技术和经济指标、可能存在的各种方案,并最终确定综合满意或最优方案的过程。概念设计过程是产品设计过程中最重要、最复杂,同时又是最活跃、最富于创造性、智能性的设计阶段。它决定着产品最终价值的 60%~80%。智能化设计就是要研究如何提高人机设计系统中计算机的智能水平,使计算机更多更好地承担设计中各种复杂任务,成为设计工程师得力的助手和同事。智能设计主要包括两大任务:① 建立设计知识模型(建模);② 开发计算机软件系统以处理和使用这一模型,即要研究设计知识的获取、组织、表达、集成和使用。当前,面向 CIMS 的智能计算机辅助概念设计(CACD)日益引起人们的广泛关注和重视。

智能 CACD 系统是一个复杂系统。它包含多人、多机、不同网、多模型、多库等子系统或元素。系统论告诉我们,只有处于和谐状态,系统才能获得最大的协同作用和效果。和谐是系统各个部分协同共进的关系。共进是目的,协同是手段,协同是为了共进,共进需要协调。共进即系统各部分相互依存、相互配合、相互补充、相互促进。各部分的相互作用是非线性作用,具有相干协同性。

本书基于涂序彦先生的和谐 CAD、协调学、广义智能学、大系统控制论等学术思想和研究工作,以作者承担的国家高技术研究发展计划(863 计划)项目“鞋类产品和和谐智能 CACD 系统”(No. 2006 AA04Z110)、国家自然科学基金项目“人工脑信息处理的新神经网络模型研究”(No. 60673101)、国家自然科学基金项目“基于物元动态系统分析的模型化智能化概念设计研究”(No. 60375014)、山东省自然科学基金项目“创新设计思维模型和基于该模型的智能 CAD 软件”(No. Y2002G16)和中国博士后科学基金项目“人工生命信息处理新神经网络模型”(No. 2005038111)为任务背景,就产品概念设计的模型化、智能化、和谐化做了一些尝试工作。在开发和谐智能 CACD 系统方面也做了努力。

本书是在涂序彦先生的指导和支持下完成的,钟义信教授、韩力群教授对本书的写作也提出了宝贵意见。在此,我们还要感谢国家高技术研究发展计划(863 计划)、国家自然科学基金委员会、山东省自然科学基金委员会、中国博士后科学基金委员会对本书给予的资助。同时,感谢青岛大学出版基金资助出版本书。

由于时间仓促,作者水平有限,本书中难免会有错误和不足,敬请读者指正。

杨国为

2006 年 8 月于中国科学院

目 录

1 绪论	1
1.1 概念设计	1
1.1.1 产品设计发展过程与趋势	1
1.1.2 产品概念设计研究内容	2
1.1.3 产品概念设计研究特点	3
1.2 计算机辅助概念设计	4
1.2.1 问题提出	4
1.2.2 研究内容	5
1.2.3 研究现状	6
1.2.4 发展趋势	9
1.3 和谐智能 CACD 系统的基本概念	10
1.3.1 和谐	10
1.3.2 智能	11
1.3.3 和谐智能 CACD 系统	14
1.4 和谐智能 CACD 系统研究内容	15
1.5 和谐智能 CACD 系统研究方法	15
1.5.1 协调学方法	16
1.5.2 全信息理论方法	17
1.5.3 泛逻辑学方法	17
1.5.4 可拓学方法	18
1.6 本书的基本内容	18
参考文献	18
2 产品概念设计的可拓学知识表示和工具 (I)	21
2.1 物元系统与物元动态系统	21
2.2 物元系统可拓性	26
2.2.1 物元系统发散性	26
2.2.2 物元系统可扩性	35
2.2.3 物元系统相关性	43
2.3 物元系统变换	45
2.3.1 变换概念	45
2.3.2 要素的保类基本变换	47
2.3.3 系统的基本变换	55
2.4 小结	56
参考文献	56

3 产品概念设计的可拓学知识表示和工具 (Ⅱ)	57
3.1 广义物元系统可拓集	57
3.1.1 广义物元系统可拓集的概念	57
3.1.2 广义物元系统可拓集的运算	58
3.1.3 物元系统的正可拓域	61
3.1.4 广义物元系统可拓关系	71
3.2 多层高维可拓集	72
3.2.1 广义关系模型	72
3.2.2 多层高维可拓集合	76
3.2.3 多层高维可拓集合的性质及运算	79
3.2.4 多层高维可拓集合之交、并的可拓域与稳定域	81
3.2.5 多层高维物元可拓集合	91
3.2.6 多层高维物元可拓集之交、并的可拓域与稳定域	97
3.3 应用示例——可拓模式识别和可拓模式识别器设计	101
3.3.1 引言	101
3.3.2 可拓模式识别方法	101
3.3.3 高维可拓模式识别的一种神经网络模型	105
3.3.4 结束语	107
3.4 小结	108
参考文献	108
4 基于可拓学的产品概念设计模型	109
4.1 产品的可拓性与产品概念设计推理	109
4.1.1 产品的可拓性与产品概念设计原理	109
4.1.2 产品与或网模型及其产品概念设计可拓推理	118
4.2 基于广义物元系统可拓集的概念设计	123
4.2.1 基于产品性质约束的可拓集及其关联函数建立方法	123
4.2.2 产品方程及其求解	131
4.2.3 产品概念设计问题模型及其求解	134
4.2.4 产品的广义动态系统及其性质定理	137
4.2.5 产品概念设计问题求解续	145
4.3 产品概念设计中产品性能的评价	150
4.4 小结	151
参考文献	151
5 最经济产品概念设计理论与方法研究	153
5.1 最经济产品概念设计的提出	153
5.1.1 最经济产品概念设计产生的背景	153
5.1.2 最经济产品概念设计的概念	154
5.2 最经济产品概念设计研究	154
5.2.1 最经济产品概念设计过程	154

5.2.2	最经济产品概念设计方案的选择	155
5.2.3	最经济产品概念设计中性能指标的和谐	157
5.3	最经济产品概念设计的实现方法	158
5.4	小结	159
	参考文献	159
6	“良性循环”的绿色产品概念设计理论与方法	160
6.1	绿色设计的概念	160
6.2	绿色设计模式	162
6.2.1	绿色设计的原则	162
6.2.2	绿色设计的模式	162
6.3	绿色产品概念设计的多重广义算子模型	163
6.3.1	多级绿色产品概念设计的多重广义算子模型	163
6.3.2	多段绿色产品概念设计过程的多重广义算子模型	164
6.4	“良性循环”的绿色产品概念设计研究	165
6.4.1	“良性循环”的绿色产品设计	165
6.4.2	绿色产品回收再制造	166
6.5	绿色设计可拓层次综合评价方法	167
6.5.1	绿色设计层次分析	167
6.5.2	可拓综合评价	171
6.6	小结	173
	参考文献	173
7	和谐智能 CACD 系统	175
7.1	协调学概述	175
7.2	和谐化概念设计方法	177
7.2.1	设计人员与计算机和谐化	177
7.2.2	产品概念设计多物元系统模型和谐化	177
7.2.3	产品概念设计系统的多库和谐化	177
7.2.4	产品概念设计系统多媒体和谐化	177
7.3	产品概念设计系统的多库协同软件类型	178
7.3.1	多库并列型	178
7.3.2	知识主导型	178
7.3.3	数据基础型	179
7.3.4	模型构造型	179
7.3.5	方法优选型	180
7.4	人机和谐 CACD	180
7.4.1	产品概念设计中的和谐问题	181
7.4.2	概念设计中的人机和谐	181
7.4.3	概念设计中的人人和谐	184
7.4.4	概念设计的功能—行为—结构过程模型	186

7.4.5	人机和谐概念设计过程模型	187
7.5	CACD 系统多媒体接口智能化	188
7.5.1	人机自然对话	189
7.5.2	人机友好交互	189
7.5.3	人机合理分工	189
7.6	CACD 智能集成概念设计	189
7.6.1	人机智能结合概念设计	190
7.6.2	人人智能结合概念设计	190
7.6.3	机机智能结合概念设计	190
7.7	和谐陶瓷 CACD 系统	190
7.7.1	系统的总体结构	190
7.7.2	系统的流程设计与分析	191
7.7.3	和谐陶瓷 CACD 系统结构模块	191
7.7.4	系统用户界面设计	193
7.8	和谐日用陶瓷创意 CACD 子系统	193
7.8.1	需求分析	193
7.8.2	模块结构	194
7.8.3	系统的实现	195
7.9	小结	206
	参考文献	206
8	网络环境下的协同智能 CACD 系统	207
8.1	协同设计概述	207
8.1.1	协同设计的产生背景	207
8.1.2	协同设计的定义及特点	207
8.1.3	协同设计的发展趋势	208
8.2	网络环境下的机机和谐协同设计	211
8.2.1	CORBA 技术	211
8.2.2	微软方案 (OLE、ODBC 和 DDL)	212
8.2.3	Web 技术	213
8.3	网络环境下的人人和谐的协同设计	213
8.3.1	网络环境下 CACD 系统的人人和谐工作特征	213
8.3.2	人人交互协同映射模型	216
8.4	网络环境下的人机和谐智能 CACD 系统	220
8.4.1	多 Agent 系统创新	220
8.4.2	Agent 的基本结构	227
8.4.3	基于 MAS 的人机和谐智能 CACD 系统	228
8.5	小结	230
	参考文献	230

1 绪 论

1.1 概念设计

纵观世界工业文明的发展史,无论是历史上蒸汽机的发明及应用,还是现代计算机的普及应用,所产生的巨大作用远远超过人们的想象。可以说,技术创新是人类文明进步与发展的永恒主题。

随着现代科学技术的迅猛发展和综合国力的提高,我国已经成为工业生产的大国,但还不是工业生产的强国。因为设计的粗陋,我国制造的产品成了低质低价的代名词,不注重产品创新设计是我国多数产品的通病。中国正在成为世界产品的“生产车间”,但这个生产车间为自己创造的利润只有1%~2%。

唯有创新,才能令中国企业走上自强之路;唯有重视设计,才能令中国由“制造大国”走向“制造强国”。

产品概念设计^[1]作为设计过程的早期阶段,其核心就在于产品创新^[2, 3]。一旦概念设计被确定,产品设计的60%~80%也就确定了,而概念设计阶段所花费的成本和时间在总的开发成本和设计周期中只占5%,并且很难或不能在详细设计阶段纠正产品设计的缺陷。因此,产品概念设计质量与效率不仅对产品的创新性、功能的合理性、使用的宜人性和外观造型的美观性等起着决定性的作用,同时也直接影响到整个产品的开发周期、上市时间、生产成本等重要因素。

1.1.1 产品设计发展过程与趋势

纵观产品设计过程的发展历程和趋势,可将其大致分成四个发展时期^[2]。

1. 第一时期(20世纪六七十年代)

这一阶段把设计过程划分为功能设计(阐明任务书)、原理设计(方案设计)和技术设计(结构设计)三大阶段。在这个阶段,计算机辅助技术主要局限于工程设计绘图的层次,并没有打破传统的设计过程划分。制造过程也主要是基于传统的“制造装配→实样试验→批量生产”的流程。

2. 第二时期(20世纪八九十年代)

随着计算机图形学特别是三维CAD系统的迅速发展,这一阶段的产品设计过程开始在相当大的程度上依赖于计算机的辅助。设计过程一般被分为概念设计、方案设计和详细设计三个阶段。其中,概念设计是创造性设计思维阶段;方案设计是概念设计与详细设计的过渡阶段,包括功构映射、初步结构设计、方案布置设计等;详细设计则主要是在CAD系统的支持下确定产品各类参数的过程。在这一阶段,一些新的制造模式如计算机集成制造系统(CIMS)、并行工程(CE)等得到了深入研究并逐步应用于企业的生产实践。

3. 第三时期(20世纪九十年代后期)

这一阶段,由于真实感显示、多媒体、虚拟现实(Virtual Reality, VR)等技术的发展以

及 CAD 系统的逐渐完善和广泛应用,设计过程变得更加紧凑、简捷,概念设计的内涵和范围逐步扩大,一般设计就分成概念设计和详细设计两个阶段,各阶段目标也更为明确。其中,概念设计是指产品设计早期的创造性设计阶段,目的在于实现产品创新;而详细设计主要是面向装配和制造,将概念设计方案详细化、精细化,同时修正存在的不妥之处。

在这一阶段,虚拟现实技术不仅应用于设计过程中的各个环节,而且也应用于产品的装配、检测和评价上,如虚拟原型(Virtual Prototype)、虚拟装配(Virtual Assembly)和虚拟产品(Virtual Product)等。此外,出现了一些新的制造模式,如数字样机(Digital Mock-Up, DMU)、敏捷制造(Agile Manufacturing, AM)等。

4. 第四时期(21 世纪初期)

进入这一阶段,产品的制造模式将发生根本性的变化,基本上达到虚拟制造(Virtual Manufacturing, VM)甚至敏捷制造的水平。设计过程高度集成化,概念设计和详细设计几乎并行进行。先进的 CAD 系统提供了一个数字化、集成化、协同化、智能化、网络化的设计开发环境。

1.1.2 产品概念设计研究内容

从产品设计过程的发展历程可看到,随着设计过程的逐渐紧凑、目标分化以及 CAD 技术的逐步发展和应用,概念设计的内涵也在不断的发生变化。为能对概念设计作一个全面的形式化定义,针对其发展状况,从以下三个方面加以考虑^[2]。

1. 定位的完整性

从设计方法学的角度看,完整意义上的概念设计包含了工程设计与工业设计两大部分,两者密不可分。但由于历史的原因,它们一直处于分裂的局面,前者主要由工程师完成,后者则由工业设计师完成。

工程设计界将概念设计界定为产品设计的创造性设计思维阶段,目的在于求得满足功能需求的原理解,即产品的功能设计、原理设计以及初步的结构设计。不少学者从工程设计学出发,提出了层次概念设计模型、工程设计概念模型、基于功率键图的概念设计等概念设计建模方法。

工业设计界则将其定义为在功能、原理基本确定的情况下,考虑产品结构、人机工程、形态、色彩、制造以及成本等因素在内的产品外观造型的设计,即产品的形态设计、色彩设计、布局设计与人机工程设计。不少学者从产品设计方法学出发,提出了造型文法、色彩文法、形状文法等产品概念设计原理、原则与方法。

2. 计算机的支持

在信息技术迅猛发展的今天,产品概念设计已离不开计算机的支持。概念设计内涵的不断变化,其最大的驱动因素就在于计算机的不断发展。

当前,计算机辅助概念设计(Computer-Aided Conceptual Design, CACD)的研究已受到众多学者的关注。CACD 系统能满足创新设计师的各类特殊需求,更为简捷地生成设计对象,有效地提高概念设计的质量,可避免因设计失败而造成开发成本的浪费,并提供了一个进行信息交流和对象评价的更好的平台。

3. 产品创新为目的

产品的创新性是产品是否具有竞争能力的关键因素。而概念设计是产品设计过程中

创新表现最为集中、最为突出的一个阶段,其目的就在于追求产品的创新。

综上所述,概念设计可定义为产品早期设计阶段,在 CACD 系统支持下进行产品概念设计的过程,包括了产品在功能、原理、形态、色彩、布局、人机工程和结构这七个方面的创新活动。

1) 功能设计:将需求分析转化为功能设计任务书,并针对市场需求进行功能上的改进或创新的过程。

2) 原理设计:按照功能设计说明书,进行产品原理解的求取和创新的过程。

3) 形态设计:包括各部件的形状、材料、工艺、表面造型、机理在内的产品形态创新过程。

4) 色彩设计:在功能、材料、批量生产的加工手段、时尚、生理、人机工程学等条件的制约下,对设计的形体赋予色彩。

5) 布局设计:根据排列方式、配置方式、尺寸比例等要素进行产品布局。

6) 人机设计:考虑产品与人以及环境的全部联系,全面分析人在系统中的具体作用,明确人与产品的关系,确定人与产品关系中各部分的特性及人机工程学要求设计的内容。

7) 结构设计:包括尺寸、结构、部件之间连接关系在内的产品结构创新过程。

通常以功能创新和原理创新为主的产品概念设计往往是创造性设计,而以布局创新、形态创新、色彩创新、人机工程创新和结构创新为主的产品概念设计主要是变型性设计。它们虽存在一定的相互独立性,但在实际的概念设计过程中往往相互影响,相互制约。

1.1.3 产品概念设计研究特点

概念设计阶段的工作高度体现了设计的艺术性、创造性和综合性。随着社会的发展,设计的难度日益增大,很难全面、准确地捕捉市场现实和潜在的需求,也很难把握众多相关领域技术的发展。总体而言,概念设计具有如下特性^[2]:

1. 创新性

创新是概念设计的灵魂。只有创新才有可能得到用户最需要、最适用、最满意的新产品。这里的创新可以是多层次的,如从结构修改与替换、布局变换的低层次创新工作到工作原理更换、功能修改和增加、形态变异、人机约束满足等高层次的创新活动看,都属于概念设计的范畴。一个新产品在功能、原理、形态、色彩、布局、结构、人机工程、材质、工艺等任一方面的创新,都会直接影响产品的整体特性,影响产品的最终质量和市场竞争力。

2. 多样性

概念设计的多样性主要体现在其设计路径的多样化和设计方案的多样化。不同的市场需求,不同的功能定义、分解,不同的工作原理,不同的产品形态,不同的布局形式等,都会产生完全不同的设计思路和设计方法,从而在产品概念设计中产生完全不同的解决方案。

3. 层次性

概念设计的层次性体现在两个方面。一方面,概念设计分别作用于功能层和载体结构层,并完成由功能层向结构层的映射。如功能定义、功能分解作用于功能层上,而结构修改、结构变异则作用于结构层,由映射关系将两层连接起来。另一方面,在功能层和结构层中也有自身的层次关系。例如,功能分解就是将功能从一个层次向下一层次推

进。功能的层次性也就决定了结构的层次性,不同层次的功能对应不同层次的结构。例如,结构“自行车”的功能是代步,而自行车的子功能之一“控制行进方向”则由子结构“车把”完成。

1.2 计算机辅助概念设计

1.2.1 问题提出

产品概念设计的核心在于产品创新设计^[1]。低成本快速新产品开发则有赖于开发产品智能设计系统^[3,4]。产品概念设计是一个求解实现系统功能、满足系统各种技术和经济指标、可能存在的各种方案,并最终确定综合满意或最优方案的过程。产品的概念发展与产品的设计是产品概念中具有决定性作用的阶段。从分析市场开始发展概念产品是产品概念设计过程的主要任务与内容。概念产品的发展经历了两个阶段,即需求设计和概念设计。需求设计的目的在于通过商机分析而定义出对产品概念设计的需求,即能体现出有获得商业机会的价值的特征要求。而通过需求设计给出的概念产品,应是实现上述需求设计要求的商机价值特征的设计技术,以便确认验证,产品的创新将能满足企业的市场预期。概念设计阶段,设计中不确定的因素很多,设计的可塑性及自由度较大,是最有可能发挥创造力的时候。随着设计过程的逐渐推进,所设计产品的概念被基本确定下来,问题变得越来越明确,设计的自由度则越来越小,到了详细设计阶段设计自由度将达到最低,这时设计中各种参数完全被定下来,也标志着产品设计过程的结束。因此,从这一设计的基本过程来看,在产品设计早期做出正确的决策对产品的最终结果是至关重要的。产品概念设计将决定性地影响产品设计过程中后续的产品详细设计、产品生产开发、产品市场开发以及企业经营战略目标的实现。

实践表明,概念设计过程是产品设计过程中最重要、最复杂,同时又是最活跃、最富于创造性、智能性的设计阶段。它决定着产品最终价值的80%。智能化设计就是要研究如何提高人机设计系统中计算机的智能水平,使计算机更多更好地承担设计中各种复杂任务,成为设计工程师得力的助手和同事。智能设计主要包括两大任务:①建立设计知识模型(建模);②开发计算机软件系统以处理和使用这一模型,即要研究设计知识的获取、组织、表达、集成和使用^[4]。当前,面向CIMS的计算机辅助产品概念设计CAD日益引起人们的广泛关注和重视^[1-4]。

概念设计是一个创造性设计的过程。但目前以CAD为核心的计算机辅助工具主要应用在详细设计阶段,如Pro/Engineer、EDS Unigraphics等,这些系统的着眼点主要是“设计表达”,虽能生成复杂、精确、完整的三维造型,但由于其本身不是为概念设计而开发的,不能快速输入和再现完备的概念造型,基本上是一个在设计方案基本定型之后的电脑化绘图工具,而非辅助设计工具。传统的好的CAD设计系统,基本上能把设计人员头脑中已有的、基本成型的产品设计方案借助CAD系统表达出来,大大提高了工厂设计开发阶段的生产效率与质量,而对于产品设计上游阶段——产品概念设计,由于缺乏恰当的面向计算机的具体类产品概念设计的模型化和谐化智能化方法(注:此处模型是指计算机可表示、利用、处理的知识,而和谐是指概念设计模型和谐、概念设计库和谐、概念设计人机和谐等。给出产品概念设计的模型化和谐化智能化方法,是开发有效的计算机辅助产