

机械产品可拓概念设计研究

赵燕伟

(浙江工业大学 科学研究中心, 杭州 310014)

[摘要] 文章在总结现有智能化概念设计思维规律的基础上, 提出基于可拓方法的机械产品智能化概念设计的研究内容、特点、流程与方法。围绕智能化概念设计的功能表达、功能分解与综合、功能推理与决策, 重点研究功能—原理—布局—结构的可拓化概念设计方法和计算机模拟人类解决问题的辩证思维过程。文中给出可拓方法在加工中心刀库概念设计中的应用实例。该方法对于解决目前智能化概念设计理论研究 with 工程实现中的瓶颈问题, 具有重要意义。

[关键词] 概念设计; 机械产品; 智能 CAD; 可拓学

1 引言

概念设计是一个求解实现功能、满足各种技术经济指标和可能存在的各种方案, 并最终确定综合最优方案的过程, 是一个发散思维和创新设计的过程。概念设计阶段具有明显的创造性、多解性、层次性、近似性、经验性和综合性特点, 是一个复杂的决策过程。研究表明: 一个产品的概念设计已决定了从设计到生产该产品所有费用的 80%。因此, 概念设计成为产品开发创新的核心环节, 研究一种面向创新的计算机辅助智能化、集成化概念设计的基本理论和方法势在必行。随着设计方法学、计算机技术和人工智能技术的深入发展, 智能化概念设计的新内涵集中表现在以产品创新为目的的计算机辅助概念设计 (CACD, Computer Aided Conceptual Design)。

2 概念设计研究现状与问题

在概念设计方法学研究方面, 国内外学者提出了不确定状态下的决策技术, 用分层信息结构实现

功能—载体映射^[1]; 在概念设计建模技术研究方面, 提出了层次概念模型、功能—行为—结构模型^[1]、基于功率键图的概念设计^[2]、基于广义特征的概念模型^[3]、基于协同机制的概念设计^[4]等建模方法; 在概念设计智能创新研究方面, 提出了设计智能 (DI) 问题、定性启发式搜索机理、基于设计目录的方案选择智能方法^[5]、基于逻辑推理和模糊综合评价相结合的推理机制^[1]、基于多层推理机制的概念设计^[6]、基于实例的再设计问题及实例检索与重用^[7]、基于原型的知识表示和推理方法^[8]、基于多代理技术的虚拟产品概念设计方法^[9,10]等等。

现有理论与方法对概念设计的研究起到了一定的推动作用, 但对概念设计的上游设计阶段的创造性活动规律研究还远远不够, 缺乏有效的创新与辩证思维形式化、模型化方法。主要问题是: a. 经典人工智能与专家系统相结合的方法侧重于对设计问题整体描述以及知识和经验的继承, 难以表达深层知识和创造性思维规律; b. 面向对象的设计方法, 利用了人们对事物分类和抽象的自然倾向, 引进了

[收稿日期] 2000-11-08; **修回日期** 2001-01-31

[基金项目] “八六三”高技术计划资助项目 (863-511-945-002); 浙江省自然科学基金资助项目

[作者简介] 赵燕伟 (1959-), 女, 河南郑州市人, 浙江工业大学副教授, 上海大学博士研究生

对象、类、消息和继承等概念，描述问题的各个方面及其相互联系，但因难以表达启发式知识等，使其应用范围受到一定的限制^[11]；c. 人工神经网络技术虽然为许多问题的研究开辟了一条新途径，但由于缺乏智能计算机硬件的支持，难以解决各种复杂设计问题；d. 模糊技术用0, 1之间的数描述事物“是”与“非”的隶属度，但不能描述“是”与“非”的可变性，从而也不能用辩证和求异思维解决不相容的矛盾问题。

因此，从概念设计的思维过程出发，探讨符合人类创新设计思维过程、支持计算机辅助概念设计与决策的全过程、研究产品的创新设计和多方案设计技术是概念设计研究的难点和热点。现有的方法大多从设计学、人工智能、神经网络、模糊技术、虚拟现实、面向对象建模与仿真等角度研究概念设计，然而，寻求从思维科学、系统科学、管理科学等领域进行交叉研究，不断探索概念设计的创新机理与方法，使概念设计思维达到更新更高的境界，乃是本研究的宗旨。

3 基于可拓方法的智能化概念设计

可拓学是一门以系统科学、思维科学和数学交叉的边缘新学科^[12~16]，它研究事物开拓创新的可能性和开拓的规律与方法，目前已形成由可拓论、可拓方法和可拓工程构成的学科体系，并已在一些领域进行了应用的尝试。

本文针对机械产品概念设计的创造性、复杂性、多目标、多方案以及设计推理的不确定性等特征，研究概念设计的可拓知识表达，统一描述设计过程中的定性和定量知识，建立概念设计的物元模型，研究人类进行产品创新设计一般思维过程的形式化方法。根据物元的可拓性进行发散性设计，利用物元变换使目的和条件朝着相互统一的方向转化，从而生成各种方案。利用可拓决策方法进行收敛，产生最佳方案。

根据物元的可拓性可获得一系列新产品的生成方法，这是物元分析参与产品开发的最初尝试之一，也是较为成型的一种可拓方法。文献[16~18]中利用可拓方法对产品构思方法进行了初步的研究，提出了菱形思维方法和产品设计的三个创造法。文献[19~23]将可拓方法应用于机械产品方案设计，取得较好的应用效果。

3.1 基于可拓方法的智能化概念设计

基于可拓方法的智能化概念设计见图1。

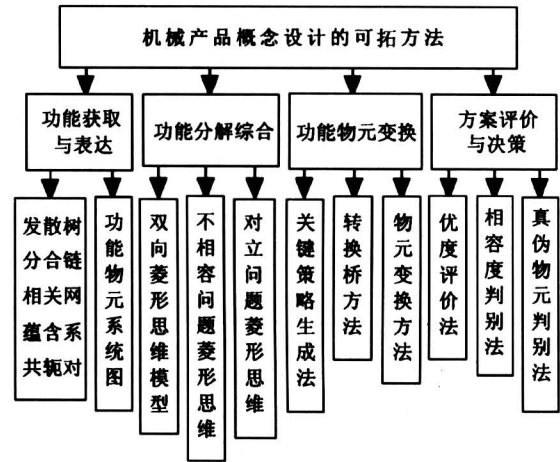


图1 可拓概念设计的层次关系

Fig.1 The administrative levels relations of conceptual design of extension

3.1.1 概念设计知识的可拓表达 以典型机械产品的概念设计为背景，分析、归纳概念设计过程中的深层次知识及其创新思维规律。利用物元和事元，对概念设计中的功能、原理、布局、结构进行形式化描述，建立相应的物元模型和事元模型。利用发散树等可拓方法，表达设计过程中的深层次知识，对概念设计中的功能进行可拓分析。利用功能特性的蕴涵系描述概念设计的功能关系，利用物元的可拓性构造功能物元系统图和将事物、特征、量值统一在功能物元系统图中进行考虑，使概念设计围绕功能设计进行。

3.1.2 建立概念设计过程的菱形思维模型 建立功能分解与综合的多级菱形思维模型：首先从某一主功能物元出发，利用物元的可拓方法，沿不同的途径，开拓出多个支功能物元和上下位功能物元，使设计方案有多种可供选择的途径，以实现功能创新设计的发散性思维过程；然后从可行性、优劣性、真伪性、相容性出发，对发散设计得到的大量物元进行评价，筛选出符合要求的少量物元，从而实现创新设计的收敛性思维过程。

3.1.3 功能物元和事元变换 对概念设计的功能物元、原理事元、布局物元或结构物元进行变换和组合，是解决概念设计多方案、多策略生成的又一种可拓方法。利用物元和事元的置换、分解、增删、扩缩和复合变换，研究设计创新过程的相关关系和传导规律。对于不相容物元和对立物元，采用

转换桥方法，通过不相容反馈调整主指标值以及物元变换改变相容度的方法，使不相容问题转化为相容问题和对立目标转化为共存目标，从而实现复杂推理与决策和表达辩证思维规律，提高设计过程的智能水平。物元变换方法、转换桥方法、关键策略方法等对创新过程中不相容问题的转化及创新方案的生成起关键作用。

3.1.4 概念设计方案决策、评价与再设计 物元的可拓性为概念设计提供了各种各样的可能方案，在考虑设计过程的约束条件和相容性的前提下，对这些物元、路径、方案进行筛选。采用可拓决策与评判方法，对得到的方案进行灵敏度分析，并作出技术、经济和社会评价，如果合理就作为决策方案，否则通过信息反馈调整主指标，进行再设计直到得出最优设计方案。通过优度评价方法、真伪物元评判方法和相容度判别方法建立概念设计决策与评价体系，是对智能决策技术的补充和完善。

3.2 研究特点

3.2.1 与现有智能化概念设计研究的数学基础和出发点不同 运用可拓学工具，建立概念设计问题的可拓模型，研究基于可拓方法的知识获取与表达、知识分解与综合、知识推理与决策方法。采取定性（物元可拓性等）与定量（关联函数等）综合集成的方法形成概念设计的可拓工程方法。用物元模型、事元模型以及可拓方法对创新过程进行形式化描述，形成计算机辅助智能化概念设计创新体系。这些在国内外尚未见报道。可拓集合是对经典集合论和模糊集合论的补充和发展，能够描述既有某种性质又有相反性质的事物，避免了经典集合论中所谓“Russell 悖论”。因此，物元模型能够表示和处理概念设计过程中的信息转化关系。

3.2.2 与现有智能化概念设计研究方法不同 运用可拓数学模型进行深层次知识表达和用物元变换进行复杂的辩证和求异推理，转化设计约束中的矛盾因素，解决定量计算与辩证分析决策共存系统的优化设计，形成基于可拓模型的智能设计理论与方法。该方法的实质区别在于其形式化、模型化和定性定量相结合。它所建立的模型是物元模型，避免了数学建模中常常舍去问题的一些实际内容的缺点，也避免了已有创新方法的形式化、量化不足的缺陷。

3.2.3 与国内外类似研究内容的侧重点不同 将可拓工程方法用于研究机械产品概念设计——这一

智能 CAD 关键技术，并针对机械产品智能设计中的一系列难题研究创新算法，力图在机械产品智能技术领域开辟一条新的途径。

3.3 可拓概念设计流程

可拓概念设计流程见图 2。

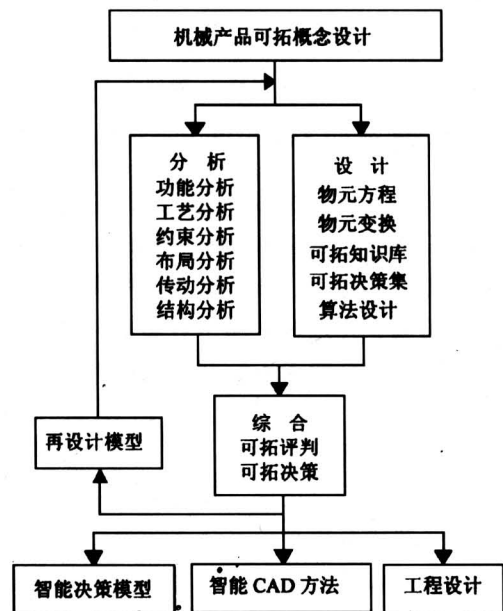


图 2 可拓概念设计流程图

Fig.2 The flow chart conceptual design of extension

1) 从一般机械产品概念设计的功能、原理、布局、形状和结构分析出发，研究可拓集合在知识表示和推理方面的特点，归纳设计过程经验性、常识性和结构性知识。将产品的功能、原理、布局、形状和结构等物元作为概念设计物元模型的主要特征，着重研究功能信息、不完全信息和不相容信息的可拓知识表示方法，提出基于可拓集合的深层次知识表示方法。

2) 根据物元的可拓性进行发散性设计，以关联函数为定量化工具，建立菱形思维模型。在设计过程中，不应将约束条件（限制物元）看成是确定的、静止的，而应看成是动态的、可变的，利用物元的可拓性研究约束条件变化的各种可能性，从而生成各种实现设计目标的可能方案。利用物元变换方法、转换桥方法和关键策略生成方法使目的物元和条件物元朝着相互统一的方向转化，创建定性与定量相结合的多方案设计的可拓方法。

3) 根据物元的可拓性进行收敛性设计，利用

可拓综合评判方法进行集中性思维，产生最佳设计方案。研究建立概念设计评价、决策及其再设计过程的可拓模型，形成以优度评价法、真伪物元判别法和相容度判别法为核心的机械产品概念设计的可拓评价与决策方法。

4) 将理论成果应用于智能设计系统，研究基于可拓模型的机械产品概念设计的智能 CAD 系统，验证基于可拓方法的智能设计系统的有效性。

4 可拓概念设计的应用研究

基于可拓方法的机械产品概念设计应用于加工中心总体设计智能 CAD 系统，初步建立了相应的可拓知识库、图形库、数据库、方法库和可拓评价与决策策略集，并进一步用于方案的再设计。图 3 是采用可拓学中发散树方法开发的加工中心刀库概念设计系统 E - MCCAD。该系统基于 AutoCAD2000 绘图环境，采用 AutoLisp 和 DCL 语言，包括分析模块、设计模块、评判模块和绘图模块等四大模块，其中分析模块又分为功能分析模块、布局分析模块、设计分析模块：功能分析模块对刀库的功能作一些定性的分析；布局分析模块从刀库的适用范围和放置位置两方面考虑，分析出在特定条件下的满足用户要求的刀库；设计分析模块根据用户输入的参数，设计出可用的刀库方案，并由绘图模块进行参数化绘图。最后，由评判模块根据优度评判算法进行评价。

5 结语

本文提出了基于可拓方法的概念设计新理论，并将其应用于刀库方案设计中。通过实例说明了该方法的可行性和有效性。同时，通过研究和比较国内外的资料，发现该方法有一些新的特点：

1) 该方法应用了可拓学中的发散树方法，使人们的思维形式化，可以采用计算机有效地模仿人类的创造性思维过程，使计算机辅助概念设计系统开发成为可能。

2) 可拓方法是为解决不相容问题和矛盾问题提出的，具有丰富的思想，将可拓方法应用于概念设计过程中，使人们对问题的考虑更全面、更客观。

3) 应用可拓方法中提出的菱形思维方法构思产品，为产品构思和产品优化提供了形式化工具。

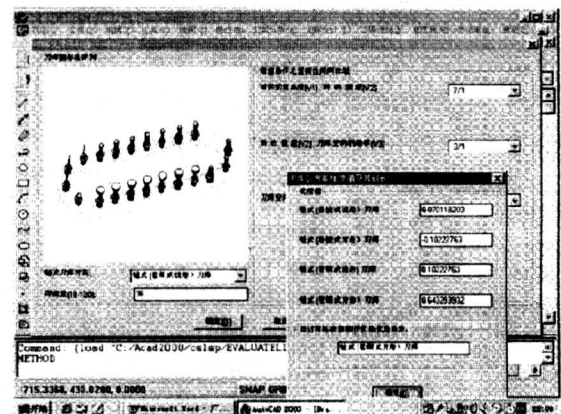


图 3 加工中心刀库可拓概念设计系统 E - MCCAD

Fig.3 E - MCCAD sample of conceptual design system

参考文献

[1] 邹慧君, 汪利, 王石刚, 等. 机械产品概念设计及其方法综述 [J]. 机械设计与研究, 1998, (2): 9~12

[2] 檀润华, 谢英俊. 基于功率键图的概念设计 [J]. 机械设计, 1997, (7): 1~3

[3] 宋玉银, 蔡复之, 张伯鹏, 等. 面向并行工程的集成产品信息建模技术研究 [J]. 计算机研究与发展, 1998, 35(2): 164~168

[4] 林宗楷, 孙守迁, 唐明. 计算机支持的协同概念设计 [J]. 计算机世界, 1999, 16(8): 7~9

[5] 冯培恩, 徐国荣. 基于设计目录的原理方案及其求解过程的特徵建模 [J]. 机械工程学报, 1998, 34(2): 79~85

- [6] 蔡逆水, 邹慧君, 王石刚, 等. 基于多层推理机制的机械产品概念设计 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 1997, 17(6): 549~553
- [7] 毛 权, 肖人彬, 周 济. CRB 中基于实例特性的相似实例检索模型研究 [J]. 计算机研究与发展, 1997, 34(4): 257~263
- [8] 潘云鹤. 智能 CAD 方法与模型 [M]. 北京: 科学出版社, 1997. 32~58
- [9] 韩晓建, 邓家提. 产品概念设计过程的研究 [J]. 计算机集成制造系统, 2000, 6(1): 14~17
- [10] 韩晓建, 邓家提. 基于多代理技术的产品概念设计系统实现 [J]. 制造业自动化, 1999, 21(4): 10~13
- [11] 路全胜. 智能 CAD 技术研究新方法新进展 [J]. 中国机械工程, 1996(4): 56~58
- [12] 蔡 文. 可拓学理论及其应用 [J]. 中国科学通报, 1999, 44(7): 673~682
- [13] 蔡 文. 物元模型及其应用 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994. 21~61
- [14] 蔡 文. 可拓学概述 [J]. 系统工程理论与实践, 1998, (1): 76~84
- [15] 蔡 文. 从物元分析到可拓学 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1995. 217~224
- [16] 蔡 文, 杨春燕, 林伟初. 可拓工程方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1997. 86~128
- [17] 杨春燕, 何 斌. 可拓方法在新产品构思中的应用 [J]. 系统工程理论与实践, 1999, 19(3): 120~124
- [18] 蔡 文, 杨春燕. 可拓营销 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2000. 41~89
- [19] 赵燕伟. 机械产品方案设计可拓综合评判方法 [J]. 软件学报, 1999, (增刊): 243~246
- [20] 赵燕伟, 王万良, 魏云冰, 等. 可拓方法在加工中心方案设计中的应用 [J]. 系统工程理论与实践, 1999, 19(9): 135~139
- [21] 王万良, 赵燕伟. 探索机械智能 CAD 可拓决策方法 [J]. 系统工程理论与实践, 1998, (2): 114~117
- [22] Zhao Yanwei. A scheme design method based on rhombus thought [A]. Proceedings of the 6th International Conference on CAD&CG [C]. Shanghai: WenHui Publishers, 1999, 12: 162~166
- [23] 赵燕伟, 基于多级菱形思维模型的方案设计新方法 [J]. 中国机械工程, 2000, (6): 684~686

Study of Conceptual Design of Extension for Mechanical Products

Zhao Yanwei

(Science Research Center of Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

[Abstract] On the foundation summing up existing intelligent conceptual design method, this article puts forward the research content, characters, path, and method of the conceptual design of extension for mechanical products. Around the core technology of intelligent conceptual design this article conducts research on the modelization method of extension design in function-principle-layout-configuration. It includes the function expression, function decomposition and synthesis, function illation and decision. Computers are utilized to simulate the human dialectic thought when resolve problems in this method. The living example shows that the extension method has been applied in the field of conceptual design for mechanical products. This method is of great significance to resolve the bottleneck problem in theoretic studying and engineering realization of intelligent CAD.

[Key words] conceptual design; mechanical product; intelligent CAD; extension

生活垃圾——一种可供利用的新能源

研究表明, 1 t 城市生活垃圾经填埋发酵后可产生约 300 m³ 的可燃气体, 将其用于发电则可提供 400 kW·h 左右的电能。中国每年约产生上亿吨的生活垃圾, 如果把其发酵气体都转为电能, 那么就相当于几个葛洲坝电厂的发电总量。杭州天子岭垃圾填埋气体发电厂, 把垃圾产生的气体收集起来用来发电, 实现了生物能到电能的转化。