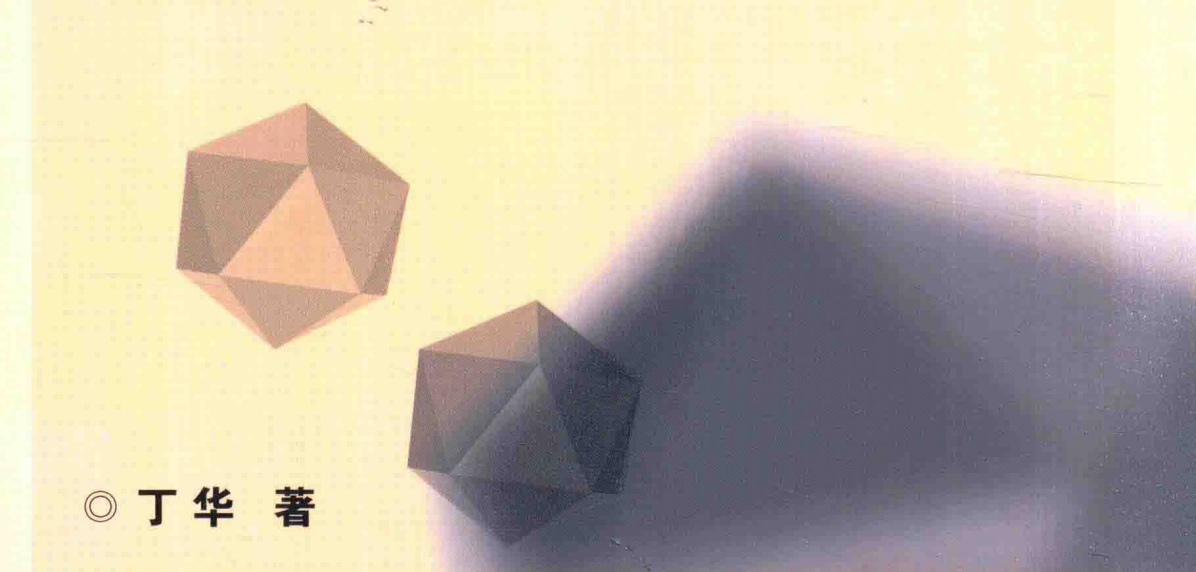




◎ 丁 华 著

基于知识工程的 电牵引采煤机现代设计

Modern Design of Electrical Traction Shearer
Based on Knowledge Engineering



国防工业出版社

National Defense Industry Press

基于知识工程的电牵引 采煤机现代设计

Modern Design of Electrical Traction Shearer Based
on Knowledge Engineering

丁 华 著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书针对电牵引采煤机现代设计技术研究存在的问题,将知识工程理论融入电牵引采煤机设计领域进行研究,面向采煤机总体设计和部件设计及 CAE 分析过程三个主要阶段,建立了基于知识工程的电牵引采煤机现代设计体系框架;给出了解决知识工程中的三大关键技术,即知识获取,知识表示和知识推理问题的理论依据及技术路线;提出了基于混合知识表达模型的电牵引采煤机知识表示方法,研究了基于 ε 一致性准则的粗糙集扩展模型的电牵引采煤机总体技术参数知识获取方法,提出了基于知识融合推理模型的电牵引采煤机概念设计推理方法,构建了基于组件技术的采煤机远程 CAD/CAE 集成设计与分析模型。在此研究基础上,开发了基于知识工程的电牵引采煤机现代设计系统,提高了电牵引采煤机设计的自动化和智能化程度,为电牵引采煤机设计知识共享与继承提供了有效途径。

全书总结了作者在该领域研究中所取得的最新研究成果,希望为从事现代设计、知识工程理论与方法研究的学者及研究生进行相关研究提供参考和帮助。

图书在版编目(CIP)数据

基于知识工程的电牵引采煤机现代设计/丁华著.

—北京:国防工业出版社,2015.12

ISBN 978-7-118-10440-0

I. ①基… II. ①丁… III. ①电牵引采煤机—
机械设计 IV. ①TD421.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 296854 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 11 字数 192 千字

2015 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 68.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前言

PREFACE

随着经济水平的发展,煤炭依然占据着能源的主导地位,这就预示着我国煤炭工业将继续向着高产高效的方向发展。采用先进的现代设计方法研制出高效的采煤机械满足对煤炭日益增长的需要已经成为当务之急。电牵引采煤机械设计是一个十分复杂的决策和设计过程,迄今为止主要依靠设计者的经验,现有的计算机辅助设计仅仅局限于计算、绘图、三维建模等方面,还不能与设计过程相结合进行全面的创新设计。如何运用现代设计方法获取设计经验和知识,将其形式化表示、保存并应用于整个设计决策和设计过程中,实现设计自动化与智能化,是电牵引采煤机现代设计方法研究的重要内容。

本书针对电牵引采煤机现代设计技术研究存在的问题,将知识工程融入电牵引采煤机设计领域进行研究,面向采煤机总体和分系统设计及 CAE 分析过程三个主要阶段,建立了基于知识工程的电牵引采煤机现代设计体系框架,给出了解决知识工程中的三大关键技术即知识获取、知识表示和知识推理问题的理论依据和技术路线。在此研究基础上,开发了基于知识工程的电牵引采煤机现代设计系统,提高了电牵引采煤机设计的自动化和智能化程度,为电牵引采煤机设计知识共享与继承提供了有效途径。

提出了基于混合知识表达模型的电牵引采煤机知识表示方法。针对电牵引采煤机设计领域知识的可分解性、多样性和模糊性等特点,提出以面向对象的知识表示方法为主、产生式规则知识表示方法和过程式知识表示方法为辅的混合知识表达模型,将对象信息、设计过程和经验规则集中表达于模型中,实现了设计对象及其设计知识的集成。研究了电牵引采煤机设计知识库的构建方法和组织策略,给出了知识库中实例库、规则库、模型库、零件库、材料库及 CAE 分析库的存储结构和实现方法。

研究了基于 ε 一致性准则的粗糙集扩展模型的电牵引采煤机总体技术参数知识获取方法。分析了面向产品实例的经验性知识获取策略,采用基于 ε 一致性准则的粗糙集扩展模型进行知识获取,经过仿真实验表明,该方法有效解决了经典粗糙集理论与广义邻域粗糙集模型都无法处理的既包含离散数据又包含连续数

据的混合数据模式的决策系统问题。结合电牵引采煤机概念设计中的总体参数确定过程,构造了电牵引采煤机总体技术参数知识获取模型。经实例验证,该模型能够有效提取总体参数实例中的规则,为进一步知识推理奠定了推理基础。

提出了基于知识融合推理模型的电牵引采煤机概念设计推理方法。对实例推理中的近邻算法进行了改进,并基于支持向量机回归模型挖掘出设计需求与产品特征参数之间的联系,采用粒子群优化算法对 SVM 模型进行了参数优化,并得到了仿真实验验证。针对电牵引采煤机概念设计过程,将实例推理、模型推理和规则推理三种知识推理技术结合,构建符合设计思维的融合知识推理模型,通过工程应用实例验证了其可靠性。

提出了基于组件技术的采煤机远程 CAD/CAE 集成设计与分析模型。在参数化设计思想的指导下,研究了远程 CAD 参数化设计与参数化有限元分析集成的关键技术,并在网络环境下实现了电牵引采煤机零件的 CAD 建模与 CAE 分析的集成,缩短了设计与分析周期。

开发了基于 KBE 的电牵引采煤机现代设计系统。在 Unigraphics 平台上,利用二次开发工具 UG/Open、数据库技术、CAD/CAE 技术开发了系统,该系统包括概念设计、参数化设计、CAE 分析和知识管理等子系统。目前系统已在企业得到了成功应用,验证了理论研究结果的正确性,表明取得的研究成果具有良好的应用前景。

本书的目的是介绍作者在基于知识工程的电牵引采煤机现代设计研究中的一些经验,总结了本人在该领域研究中所取得的最新研究成果,希望为从事该理论研究的学者及研究生进行相关研究提供参考和帮助。

在本书写作过程中,我的博士生导师原太原理工大学机械工程学院院长杨兆建教授对研究内容给予了全面的指导和帮助,廉自生、刘混举、王义亮、任芳、王学文、李娟莉、庞新宇等教授在课题研究期间提出了许多建设性意见,太重煤机有限公司经理郝尚清和技术中心主任郭生龙等为课题在企业的调研和应用提供了良好的环境和大力支持,同一课题组的宋高峰博士、姚晶等硕士承担了课题中的辅助工作,在此一并表示衷心的感谢!

另外,本书得到了国家留学基金(201406935030)、山西省科技重大专项(20111101040、20131101026)的资助,在此表示感谢。

囿于作者的知识水平,书中难免有不足之处,恳请广大读者提出宝贵意见。

作者

2015年6月

目 录

CONTENTS

第 1 章 绪论	1
1.1 研究目的与意义	1
1.2 国内外研究现状	3
1.2.1 产品设计的现代设计方法研究现状	3
1.2.2 电牵引采煤机设计研究现状	9
1.3 主要研究内容	10
1.4 小结	11
第 2 章 基于 KBE 的电牵引采煤机设计体系	12
2.1 引言	12
2.2 KBE 技术	12
2.2.1 KBE 定义及内涵	12
2.2.2 KBE 系统与专家系统的区别	14
2.3 基于 KBE 的产品设计方法	15
2.3.1 知识获取方法	15
2.3.2 知识表示方法	16
2.3.3 知识推理方法	18
2.4 基于 KBE 的电牵引采煤机设计方法	21
2.4.1 基于 ε 一致性准则的粗糙集扩展模型的 电牵引采煤机知识获取	21
2.4.2 基于混合知识表达模型的电牵引采煤机知识表示	22
2.4.3 基于知识融合推理模型的电牵引采煤机知识推理	22
2.5 基于 KBE 的电牵引采煤机设计体系框架	23
2.5.1 电牵引采煤机传统设计流程	23
2.5.2 基于 KBE 的电牵引采煤机设计体系	25

2.6	小结	27
第3章	基于混合知识表示的电牵引采煤机 设计知识表示与知识库构建	28
3.1	引言	28
3.2	电牵引采煤机设计知识构成与特点	29
3.2.1	电牵引采煤机设计规范与流程	29
3.2.2	电牵引采煤机设计领域知识构成	29
3.2.3	电牵引采煤机设计知识的特点	32
3.3	电牵引采煤机设计知识表示方法	32
3.3.1	电牵引采煤机设计知识表示要求	32
3.3.2	混合知识表示方法	34
3.3.3	实例知识的表示	34
3.3.4	规则知识的表示	37
3.3.5	过程知识的表示	40
3.4	电牵引采煤机设计知识库构建方案	42
3.4.1	知识库的设计要求	42
3.4.2	知识库的总体结构	42
3.4.3	知识库的组织方式	43
3.5	电牵引采煤机设计知识库的实现	44
3.5.1	实例库的设计与实现	44
3.5.2	规则库的设计与实现	48
3.5.3	模型库的设计与实现	51
3.5.4	零件库的设计与实现	53
3.5.5	材料库的设计与实现	56
3.5.6	CAE分析库的设计与实现	57
3.6	小结	59
第4章	基于ε一致性准则的粗糙集扩展模型的 电牵引采煤机知识获取	60
4.1	引言	60
4.2	可获取的电牵引采煤机设计知识	61
4.3	基于粗糙集的知识获取	61
4.3.1	粗糙集理论的思想	61

4.3.2	粗糙集理论的基本概念	62
4.3.3	粗糙集与模糊集的关系	64
4.3.4	基于粗糙集的知识获取步骤	65
4.4	基于经典粗糙集模型的属性约简	66
4.4.1	基于差别矩阵的属性约简算法	67
4.4.2	基于属性重要度的启发式约简算法	68
4.5	基于广义邻域粗糙集模型的属性约简	69
4.5.1	连续属性的离散化问题	69
4.5.2	连续属性离散化的弊端	71
4.5.3	广义邻域粗糙集的属性约简算法	72
4.6	基于 ε 一致性准则的粗糙集扩展模型的属性约简	74
4.6.1	一致性准则	74
4.6.2	基于 ε 一致性准则的属性约简模型	74
4.6.3	实验及分析	76
4.7	电牵引采煤机知识获取模型	78
4.7.1	总体技术参数知识获取过程	78
4.7.2	数据选取	79
4.7.3	数据预处理	80
4.7.4	属性约简和规则生成	81
4.8	实例分析	81
4.9	小结	84

第5章 基于知识融合推理模型的电牵引

采煤机概念设计推理

85

5.1	引言	85
5.2	基于实例的知识推理	86
5.2.1	常见的实例检索方法	86
5.2.2	改进的近邻算法	87
5.3	基于模型的知识推理	88
5.3.1	机器学习理论	88
5.3.2	支持向量机基本原理	90
5.3.3	支持向量机回归原理与算法	92
5.3.4	LS-SVM 模型中的参数优化	95
5.3.5	实验及分析	96

5.4	基于规则的知识推理	98
5.5	知识融合推理的电牵引采煤机概念设计推理模型	98
5.6	实例分析	101
5.7	小结	102
第6章	基于组件技术的电牵引采煤机零件远程 CAD/CAE 集成设计与分析模型	104
6.1	引言	104
6.2	底层组件技术	105
6.2.1	软件复用与组件技术	105
6.2.2	使用和处理 COM 对象	106
6.2.3	COM 组件的特点及开发方式	107
6.3	远程 CAD 参数化设计	108
6.3.1	UG 参数化设计方法	108
6.3.2	参数化建模程序开发环境	108
6.3.3	远程参数化实现方法与步骤	109
6.4	远程参数化有限元分析	110
6.4.1	ANSYS 参数化有限元分析	110
6.4.2	APDL 参数化语言	111
6.4.3	远程参数化有限元分析实现方法	111
6.5	基于组件技术的远程 CAD/CAE 集成设计与分析模型	113
6.5.1	网络模型的选取	113
6.5.2	体系结构与集成方法	114
6.6	电牵引采煤机零件集成设计实例	115
6.6.1	系统开发过程	115
6.6.2	实例演示	117
6.7	小结	120
第7章	基于 KBE 的电牵引采煤机现代设计系统	121
7.1	引言	121
7.2	设计系统框架与功能设计	121
7.2.1	系统框架设计	121
7.2.2	系统功能设计	122
7.3	设计系统开发平台关键技术	124

7.3.1	系统开发模式的选取	124
7.3.2	开发平台工具的选取	124
7.4	设计系统各子系统开发	125
7.4.1	概念设计子系统	125
7.4.2	参数化设计子系统	129
7.4.3	CAE 分析子系统	132
7.4.4	网络 CAD/CAE 设计子系统	140
7.4.5	知识管理子系统	141
7.5	设计系统测试实验	145
7.5.1	软件测试的目的和内容	145
7.5.2	软件测试过程模型	146
7.5.3	软件测试的方法	147
7.5.4	软件测试实验	147
7.6	设计系统的应用	157
7.7	小结	157
附录		158
参考文献		159

1.1 研究目的与意义

当前,全球经济正处于一个根本性的变革时期,人类社会正由以原材料和能源消耗为基础的“工业经济”时代,步入以信息和知识为基础的“知识经济”时代。知识经济是以知识为基础的经济,直接依赖知识和信息的生产、扩散和应用。现代产品开发的每个阶段需要包含大量的知识,设计过程实质上是一个知识驱动的创新设计过程。知识工程正是面向现代设计要求而产生、发展的新型智能设计方法和设计决策自动化的重要工具,已成为促进工程设计智能化的重要途径^[1]。

电牵引采煤机体积庞大、结构复杂,近年来,随着装机功率的不断加大,其研发成本也日益增加,其中设计工作决定了采煤机械成本的 80% 和质量的 70%。因此,在研制和开发采煤机械时,设计方法是十分重要的。目前我国大部分电牵引采煤机的研发单位所用的设计方法仍然是传统的经验类比设计方法。在设计完成后,为了验证设计,通常要制造样机进行实验,有时这些实验甚至是破坏性的。当通过实验发现缺陷时,又要回头修改设计并再用样机验证。只有通过周而复始的设计—实验—设计过程,产品才能达到要求的性能。这一过程是冗长的,尤其对于结构复杂的系统,设计周期无法缩短,更谈不上对市场的灵活反应。在竞争日益激烈的市场背景下,基于传统设计的产品研发严重地制约了产品质量的提高、成本的降低和对市场的占有,也不可能生产出可与国际上先进的采煤机相匹敌的产品。在未来的几十年内,煤炭仍然是我国能源的重要原料。我们必须开发出先进、高效的采煤机械,才能满足对煤炭日益增长的需求。现代设计方法的研究以及 21 世纪日益激烈的市场竞争对电牵引采煤机设计效率提出了更高的要求,电牵引采煤机设计日趋复杂,设计成功与否取决于所采用的技术和知识,尤其是新知识、新技术的含量。

目前国内电牵引采煤机设计存在以下普遍现象:

(1) 由于原有的技术图档、手册等资料分散,没有实现有效的管理、利用,大都采用图纸的方式来保存,知识管理的落后导致了采煤机知识关系的割裂,造成了技术易流失和知识共享的困难,削弱了企业技术开发能力。

(2) 仍使用传统设计方法,即设计者主要凭借直觉和经验,以生产的经验数据为设计依据,运用一些基本的设计计算理论,借助类比、模拟和试凑等设计方法来进行设计,缺乏智能化的知识推理,同时缺乏设计方法学的支持。

(3) 虽然有些企业使用了计算机辅助设计技术,但还停留在二维中、三维软件的初级使用阶段,尚不能与设计业务流程进行紧密结合对设计工具进行深入利用,未形成专业的支撑电牵引采煤机设计的平台。

(4) 企业 CAE 研究不深入,对于采煤机的一些关键零部件结构不可避免地存在着过设计或欠设计现象,势必增加大量的实验投资,致使生产成本一直居高不下,产品可靠性也得不到保证,极大地制约了产品市场竞争力的提高。另外,科研机构对采煤机零部件的 CAE 分析很大程度上依赖 CAE 专家的知识水平,仅采用计算机可视化技术分析是不充分的,缺乏有效的方法对大量 CAE 分析结果数据进行管理和分析,造成大量 CAE 知识的流失。

知识工程是将计算机技术、数据库技术、网络技术和人工智能技术相结合的综合性学科,主要研究知识获取、知识表示和知识推理的理论方法,以及将这些理论方法和技术在各行业实际系统中的应用。将知识工程引入电牵引采煤机设计中正是针对以上问题提出的,是电牵引采煤机计算机辅助设计技术发展到目前阶段的产物,利用知识获取理论与方法获取电牵引采煤机设计实例中的经验和规则,利用知识表示理论与方法实现电牵引采煤机设计知识的继承与共享,利用知识推理理论与方法实现智能化设计过程,既继承了以往成功的设计成果,又具有创新设计的功能,实现产品设计中继承性与创新性的有机统一。

本书研究的目的是通过对知识工程的知识表示、知识获取和知识推理理论方法的分析和探讨,为电牵引采煤机计算机辅助设计系统的开发提供理论和技术支持。系统的成功开发将有利于对电牵引采煤机庞大的设计知识的管理并提供集设计、建模、仿真、分析过程为一体的知识智能支持,降低产品开发成本,缩短研发周期,提高产品知识技术含量、创新性和竞争力。

基于知识工程的电牵引采煤机现代设计方法和系统的研究是在现代信息技术的支持下对传统的产品开发方式的一种根本性改进,具有重要的理论和现实意义:

(1) 探索了知识工程应用于电牵引采煤机的设计和系统实现方法。

调研结果显示目前国内外尚未实现应用知识工程进行电牵引采煤机设计

的研究,电牵引采煤机设计领域完全凭经验设计。本研究建立完善的电牵引采煤机知识资源体系,对电牵引采煤机设计资源和知识进行形式化描述、组织、管理、重用,建立科学合理的知识获取机制,获取电牵引采煤机设计专家的设计知识并经过知识推理实现专家知识在电牵引采煤机主要设计过程中的有效应用,是实现知识工程与现代设计方法在电牵引采煤机设计领域有机结合的有益探索。

(2) 有助于采煤机企业设计经验知识的重用。

采煤机设计是对经验要求较高的行业之一,设计的成败很大程度上取决于设计专家的经验。即使是一个经验丰富的设计专家,面对许多新的设计任务时,也需要经过多次反复修正的过程。电牵引采煤机现代设计系统的开发将企业设计专家几十年积累的设计经验和知识以软件的形式继承和保留下来并融合到产品设计中去,有利于电牵引采煤机设计知识的继承与重用^[2],有着广阔的应用前景。

(3) 提高产品设计效率,减轻了重复性设计劳动。

电牵引采煤机现代设计系统的开发,以实现电牵引采煤机设计的智能化和自动化为目的,最终把设计者从繁琐的劳动中解放出来。将电牵引采煤机关键零件的 CAE 分析结果归纳组织为知识库,方便非 CAE 专业设计人员查询和使用,提高了设计效率和设计质量。基于 Web 的电牵引采煤机 CAD/CAE 集成平台加强了产品信息的共享和交换,使设计工作更加方便、快捷。

(4) 增强采煤机企业竞争力。

推动企业逐步实现数字化设计和数字化管理技术的开发应用和集成创新,对形成数字化企业可以起到推动作用^[3]。利用知识工程现代设计方法能够更好地保证产品质量,提高设计效率,提升设计理念和产品在国内外市场上的竞争能力^[4]。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 产品设计的现代设计方法研究现状

1. 产品现代设计方法

针对传统设计方法的局限,近年来美国等发达国家提出了产品现代设计方法。现代设计技术在波音 777 研制中的成功应用引起了全世界的瞩目,取得了显著效果:设计更改减少 93%、出错返工率减少 75%、研制周期从 8~9 年缩短为 4.5 年、降低成本 25%^[5]。国际上,现代设计方法的指导思想在产品研发中

的应用日益引起广泛关注,整个欧洲、日本、美国、印度等把现代设计应用于产品设计之中,加速了产品更新换代^[6,7]。

现代设计是以专业化设计技术为基础,与以信息技术为代表的技术充分融合,形成面向产品结构、分析计算、虚拟仿真、并行工作、分布式协同的设计工具、手段以及全新的设计理念。进入知识经济时代,传统的知识结构已经转化为数字化的信息,其研究方式和传播方式也发生了巨大的改变。由于这种转化,使知识的检索、获得、操作、组织、创造、价值均发生了改变,这就需要有认识和研究新知识形式的能力,即运用数字化技术表达和使用新的设计知识。数字化知识是一种用信息技术表达的知识,就是将传统的知识形式转化为如程序、应用软件等形式。现代设计技术包括计算机辅助设计技术(CAD)、计算机辅助分析(CAE)、计算机辅助制造(CAM)、产品数据管理(PDM)技术、计算机辅助工业设计(CAID)、虚拟样机技术(VP)、知识工程技术(KBE)、快速原型制造(RPM)技术、并行工程技术、分布式异地协同设计技术、多学科综合优化技术和数字样机技术等,贯穿产品设计、分析、制造全过程,是一项多学科的综合技术。

国外现代设计研究领域主要集中在航空、建筑、汽车领域,研究内容主要是利用先进的CAD建模软件和CAE分析软件对某一设备进行数字化设计,达到提高产品质量、缩短开发周期等目的。英国贝尔法斯特皇后大学航空航天工程学院的R. Curran等人开发了基于Dassault V5平台的商用飞机航行器的现代设计系统^[8];麻省理工学院建筑系运用现代设计技术开发了房屋的三维模型并进行了有效的仿真优化设计^[9];德国萨尔布吕肯大学探讨了数字化工厂中现代设计、装配和仿真相结合的理论,并利用CATIA V5开发了汽车工业的应用实例验证了此理论的可行性^[10];马来西亚普渡大学S. H. Tang等人开发了塑料模具现代设计系统,在UG软件建模和LUSAS Analyst软件有限元分析之后修正了模型,优化了模具的设计^[11];M. Jolgač等人利用同样的方法开发了模型锻造加工的CAD/CAE/CAM系统^[12]。文献[13-15]分别基于SolidWorks、Pro/E和CATIA软件开发了产品的CAD/CAE综合系统。

国内现代设计研究在汽车设计领域应用最为广泛,例如同济大学彭岳华博士等人开发的汽车悬架设计软件^[16],重庆大学杨德一等人利用UG开发了基于知识工程的汽车总现代设计系统,利用UG二次开发模块实现了参数化设计,然后利用ADAMS软件中进行动力学分析^[17]。文献[18]利用UG软件的CAD模块和CAE模块对汽车内部结构进行虚拟设计、虚拟装配、运动学仿真分析。除此之外,对模具^[19,20]、机构系统^[21]、挖掘机^[22]、潜油螺杆泵采油系统^[23]、液压缸^[24]、同向双螺杆^[25]、注塑机^[26]、舰船行业^[27]等领域及设备的现代设计研究也有相关报道。

产品的现代设计模式具体表现为参数化设计、集成化设计、网络化设计和智能化设计四个形式,研究现状总结如下:

1) 参数化设计方法

参数化设计是在设计对象结构比较定型的基础上,用一组参数来表示尺寸值和约束关系,其核心是尺寸参数驱动。模型的参数化不仅可以提高建模效率,而且可以提高 CAD 系统的灵活性。浙江大学吴伟伟博士利用 VB 开发了基于 SolidEdge 的注塑机参数化变型设计系统^[28],论文[29-31]均是基于 UG 平台开发的零件库和模型库系统,实现了零件的参数化建模。四川大学的王冬梅博士基于知识融合技术实现了滑动螺旋机构的参数化设计^[32]。

2) 集成化设计方法

集成化设计是把设计、分析、工艺、加工、管理等各个环节的各种功能有机地结合起来,统一数据的描述及交换,协调各功能的有效运行。集成化 CAD 能缩短产品研制周期,增强企业的竞争力。

集成化研究主要表现在三个方面,一方面是研究 CAD 与 CAE 软件的接口技术,例如文献[33]利用 UG 的二次开发工具 GRIP 和 ANSYS 的 APDL 模块编写接口程序,提出了 CAD 模型到 ANSYS 有限元模型的自动转换。文献[34,35]利用 UG 二次开发工具实现了参数化建模,利用 ANSYS 的 APDL 实现参数化有限元分析,但 CAD 建模和 CAE 分析两部分仍各自独立,并未实现真正意义上的 CAD/CAE 集成。文献[36,37]研究主要集中在 CAD/CAE 软件之间的模型转换,通过自编接口程序输出到 CAE 系统中,达到“零失真”的效果。另一方面是各个功能模块的接口集成问题。机械产品的设计过程与 CAD 模型关系密切,因此大多数系统都与 CAD 系统紧密集成。文献[38]利用 OLE 自动化技术解决应用软件与 CAD 软件(CATIA)的集成问题,开发了机械产品智能化设计与经营决策集成系统。西安交通大学宿月文博士开发的连续采煤机智能设计系统^[39]以 SolidWorks 为基础平台将专家系统、参数化建模集成在 CAD 软件环境下;同济大学开发的基于虚拟设计环境的轿车悬架系统设计平台^[40,41]将数据库、CAD 模块、CAE 模块各个模块集成并运行于 UG 环境下。此外,KBE 与 CAD/CAE 系统的集成方法研究也是一个重要方向,文献[42-45]是使用带推理机制的几何对象处理工具如 UG/Knowledge Fusion 模块实现知识驱动的几何设计;文献[46]利用 UG CAD 平台提供的 API,通过应用程序接口 API 实现 CAD 环境与知识的集成。

3) 网络化设计方法

随着 Internet 技术的应用不断深入,基于 Web 的现代设计技术也日益完善。网络的最大作用是实现资源共享。产品开发中也越来越多地需要进行信息的共

享与交换,以使得设计工作更加方便、快捷。因此对产品的现代设计提出了更高的 Internet 化的要求^[47]。

目前基于 Web 的现代设计系统研究日益增多,清华大学早在 2003 年就基于 AutoCAD 开发了基于网络的机械设计平台^[48],能够实现参数化绘图和标准零件库;上海交通大学的台立钢博士以电梯设计为例集成建立了机械产品集成化快速定制设计系统^[49]。文献[50,51]利用 CATIA 的 VBA 接口和 Web 技术构建了基于 Web 的 CATIA 产品三维模型信息共享系统和三维产品远程设计系统,开发理念和技术较为先进,但都是基于 CATIA 平台的,开发软件不适合本课题的使用。文献[52-54]基于 B/S 三层模式利用 ASP 技术和 COM(Component Object Model)组件技术开发了减速器、齿轮、数控磨床的三维模型远程设计。文献[55]利用 COM/DCOM 方式建立了基于 UG 外部开发模式的分布式零件参数化设计系统,大连理工大学徐毅博士开发了基于 Web 和 Pro/E 的零部件设计重用系统^[56],实现了网络环境下零件参数化设计的功能。

4) 智能化设计方法

智能化设计是根据具体设计方法、技术及经验,在处理数值性的工作的基础上,进行推理型工作,包括方案构思与拟订、最佳方案选择、结构设计、评价、决策以及参数选择等。将专家系统与 CAD 技术结合起来,是大多数智能化 CAD 系统采用的方法。东北大学的黄晓云博士开发了汽车总体设计专家系统^[57],辽宁工程技术大学的李晓豁教授等人建立了连续采煤机滚筒设计专家系统和装载系统故障诊断的专家系统^[58,59]。西安交通大学宿月文博士以 SolidWorks 和 ADAMS 软件为基础平台,用 VB. Net 开发了以设计、评价专家系统及参数化建模技术为核心的履带式采煤机智能设计系统^[39]。

早期智能系统中,智能化设计大多以设计型专家系统形式出现,存在许多缺陷:缺乏对数值计算的集成;缺乏对众多领域知识的集成;缺乏对多种任务和功能的集成,因而设计对象的规模和复杂性都受到限制。而现代工程设计是一个知识驱动的创造性过程,它包含了对知识的继承、集成、创新和管理。为了适应现代工程设计日益强烈的创新要求,有必要改造传统的设计型专家系统和智能 CAD,建立新型的智能设计方法,使之不仅可以胜任常规设计,更能支持创造型设计。

2. 基于知识工程的产品设计方法

随着知识工程概念的提出,基于知识工程的系统所包含知识的范围无论从深度以及广度都远远超过目前专家系统所包含的知识,问题求解的范围和能力也更强。实现自动化是现代设计的发展方向和目的,而自动化的基础是智能化和知识的集成,从而基于知识工程的设计方法成为了当前的研究热点和主要研

究方向。

知识工程是领域专家知识的继承、集成、创新和管理,是 CAX(包括 CAD、CAM、CAPP、CAE)技术、PDM 技术和 AI(Artificial Intelligence)技术的集成,是面向现代设计要求而产生、发展的新型智能设计方法和设计决策自动化的工具。传统的产品设计中,设计过程是以产品的几何模型为中心。设计过程是一个非常繁琐、反复的过程,CAD、CAE 工具只是产品设计的辅助工具,无法集成于统一的设计系统中。而基于 KBE 的产品设计方法中,设计过程是以产品的知识模型为中心的。设计专家的经验 and 已有的设计实例、分析结果都存储在知识库中,整个设计过程不需要完全依赖于设计专家的设计经验,也不需要太多的人工干预,部分依赖于 KBE 系统就可以实现设计过程自动化。

英国 Chapman 博士指出:到 2010 年,KBE 对于企业的重要性,就如同 CAD/CAM 在 20 世纪 90 年代给工业界带来的变革同样重要。目前知识工程的研究在美国开展得较为活跃和深入,例如福特汽车公司采用 KBE 技术设计某车型发动机机盖,设计时间由 2 个月缩短为 2h^[60];联合技术公司 Pratt&Whitney 部门已将 KBE 技术应用于喷气发动机的转子、轴、叶片等关键部件的设计中^[61]。

国内,知识工程已经在汽车、模具、轴承等领域得到了深入的研究与应用。南京航空航天大学的高中存研究了 UG/KF 技术在飞机结构件数控夹具设计中的应用^[62],浙江大学的邵健博士基于知识工程开发了注塑模具型腔设计系统,实现了基于知识的参数化设计^[63]。上海交通大学的顾军华等人以 UG 为平台基于实例和规则的混合推理模式开发了基于知识的模具设计支持系统^[64],复旦大学的陈明基于知识工程建立了反射器智能化设计系统^[65],实现了基于知识的智能化设计。华东理工大学的高源等人利用 UG/KF 的知识熔接模块建立了弹簧的标准件库^[66],西安交通大学的乌景瑞基于知识库开发了滑动轴承设计系统^[67]。Pinfold 和 Chapman 采用 KBE 技术对有限元分析结果进行自动化后处理^[68],吴祚宝等提出基于知识的有限元分析概念,认为 CAE 知识库应该包括所有要分析项目的数据、用户数据和有限元分析概念,即如何使用 CAE 系统的知识^[69]。

知识工程中主要包含知识表示、知识获取、知识推理三大方面,关于这三个方面的研究现状总结如下:

1) 知识表示理论方法

知识表示是将人类在改造客观世界中所获得的描述领域事实、关系、过程等知识,用计算机能够接受并处理的符号和方式表示出来,编码成为一种合适的数据结构,然后将数据结构和解释过程结合起来,在程序中以适当方式使用,为之后产生智能行为打好基础。