

# 基于面向对象的透平级设计优化专家系统的研究

童彤<sup>1</sup>, 丰镇平<sup>2</sup>, 罗国熙<sup>3</sup>, 郑心伟<sup>1</sup>

(1. 哈尔滨·第七三研究所, 黑龙江 哈尔滨 150036; 2. 西安交通大学 能源与动力工程学院, 陕西 西安 710049;  
3. 太原市汾西机器厂, 山西 太原 030027)

**摘要:** 基于面向对象的设计方法, 研究开发了透平级设计优化专家系统。本系统具有模块化程度高, 良好的人机界面等优点, 它为透平级设计带来了新的设计思想和实现方法, 从而推动了人工智能技术在透平机械设计领域中的进一步应用。

**关键词:** 面向对象; 透平级; 优化; 专家系统

中图分类号: TP182; TK14 文献标识码: A

## 1 前言

在众多的人工智能应用领域中, 专家系统是近30年发展起来的一门极具代表性的智能应用系统, 能够模拟人类专家来解决专门领域中的问题。近年来, 专家系统在机械设计方面得到了广泛的应用<sup>[1-3]</sup>。然而, 在透平级(叶栅)的设计中, 基本上只是计算机辅助设计(CAD)技术在其中的应用, 而且这种设计仍需要设计人员具有丰富的设计经验和方面的技术知识。因此, 传统的CAD技术难以胜任这些工作。而基于人工智能技术的专家系统的发展, 不仅可以弥补CAD技术的不足, 而且为透平级设计优化领域开辟了新的道路。

根据上述的背景和理论研究意义, 作者开发了透平级设计优化系统 TSDOS (Turbine Stage Design & Optimum System)。它是一个以人工智能理论和透平级气动设计理论为基础, 采用面向对象的设计方法且涉及多学科的系统。

## 2 面向对象设计方法的研究

对于一个实际的专家系统来说, 只有有了一定组织形式的知识, 才可能谈到知识的表示, 从而建立起知识库。根据透平级的设计过程所牵涉的方方面面, 本文作者将知识分为以下三种:

第一种: 具有一定特征参数和性能参数等方面

的透平级知识;

第二种: 满足气动性能等方面要求的知识;

第三种: 设计时所采用的叶片造型方法、气动性能计算方法及单目标、多目标优化方法等方面的知识。

上述三种知识表示方法可以采用面向对象的表示, 具体操作表现为槽的表示、规则的表示、方法的表示。对象的各个“槽”记录着该对象的有关属性, 与该对象的有关规则记录在“规则”中, 涉及对象的操作则记录在“方法”中。

例如, 以一个透平叶栅类为对象, 其知识的具体表现形式如下所示:

气流冲角:

type: 从期望值中选择其一

ask: “您对冲角  $\theta$  的要求:”

expect:  $\theta < -8^\circ$ ,  $-8^\circ \leq \theta \leq -4^\circ$ ,  $\theta > -4^\circ$

作功:

calculate: public work

----

rule: 冲角  $\theta$

if 冲角  $\theta$  满足  $-8^\circ \leq \theta \leq -4^\circ$

then conclude 叶栅气动效率较高

rule: 冲角  $\theta$

if 冲角  $\theta$  满足  $\theta < -8^\circ$  或  $\theta > -4^\circ$

then conclude 叶栅气动效率较低

----

function: public work

{叶栅气动性能数值计算}

可以看出, 上述实例中属性名为“气流冲角”的槽包括“type(类型)”、“ask(提问)”、“expect(期望值)”三个侧面, 需要由用户在期望值侧面的三个可能值中选择其一; 举出实例中第一条规则的规则名与第二条规则的规则名相同, 但是两个规则的前提子句却不相同, 因而得出了截然相反的结论; 在举出

实例中又包含一个属性名为“做功”的槽及相应名为“work”的方法。当执行“做功”属性时,这时不再是系统向用户提问,而是直接执行“calculate”侧面指出的方法,此时的方法为一个公有型的函数“work”。当然,对于一个透平叶栅类来说,它所具有的“槽”、“规则”及“方法”很多。这里举出其中一个或两个的目的是为了说明在透平级的专家系统中是如何应用面向对象技术的。

### 3 透平级设计优化系统的建立

基于面向对象的设计方法,研究开发了透平级设计优化系统 TSDOS。该系统是以透平级气动热力学基本理论为基础,采用面向对象的设计方法,同时运用基于正向推理控制策略的方法推理技术和实例推理技术等人工智能技术,并结合叶栅造型方法、气动数值模拟方法和优化方法,形成了一个基于透平级的设计优化系统。用户界面如图 1 所示,其中给出了系统八个基本模块,它们分别是叶型选取模块、气动设计模块、方法推理模块、实例推理模块、知识库模块、报告生成模块、系统帮助模块及系统简介模块。这些模块每个都可以单独运行,也可以结合起来共同完成透平级设计任务。



图 1 透平级设计优化系统 TSDOS 知识库用户界面

下面将对系统的各个模块加以较为全面的阐述和分析。

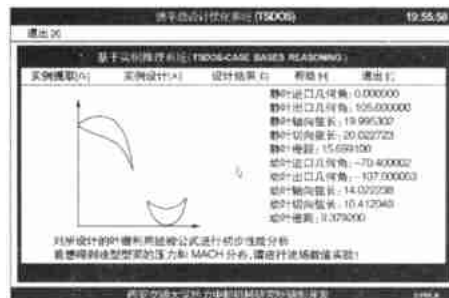
#### 3.1 知识库模块

知识库用来存放求解问题所需的领域知识,它包括实例库、方法库和规则库。其中,透平级实例库包括各种典型的透平级叶栅实例,采用面向对象的槽的表示法;方法库包括造型方法库、气动性能计算方法库及单目标、多目标优化方法库,采用面向对象的方法的表示法;规则库则是由设计过程中满足设计要求及进行相关设计分析的规则库构成,如由满足强度振动要求等一系列规则组成,采用面向对象的规则的表示法。同时,在知识库构造的基础上相应地实现了库的某些管理功能,如对知识库中知识的添加、删除、浏览、检测和帮助等功能。采用这种分类形式构造的知识库,不但方便库的运作,而且很适合于库管理功能的实现。

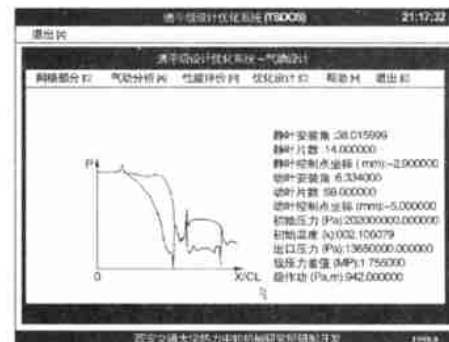
#### 3.2 方法推理模块和实例推理模块



(a) 设计要求



(b) 实例几何参数输出



(c) 初始叶型计算结果

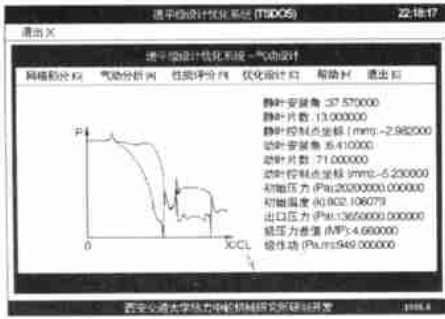


(d) 实例推理评价结果

笔者采用的控制策略是正向推理控制策略,其推理过程为:系统根据用户提供的原始信息,在知识库中寻找与之匹配的规则,若找到,则将该规则的结论部分作为中间结果,利用这个中间结果继续与知识库中的规则匹配,直到得出最终的结论。

根据透平级设计型专家系统的特点,同时结合面向对象的知识表示方法,笔者分别开展了同样都基于正向推理控制策略的方法推理技术和实例推理技术的研究。

基于方法推理模块的基本设计思想是以透平级叶栅气动设计要求为设计目标,在设计过程中寻求满足设计要求的叶栅型线、安装角等有关几何参数。当用户对所要求解的问题进行描述之后,系统运用叶栅几何造型方法生成初始叶型及相应的设计用到的数据,然后执行相关的气动性



(e) 优化结果



(f) 报告生成

图 2 透平级优化设计实例的操作过程

能计算方法对透平级叶栅进行气动性能分析, 并把生成的叶型几何参数和气动性能计算结果数据存放到动态数据库中。当不满足问题描述的要求时, 根据匹配规则提供的修改措施, 对设计的透平级叶栅的参数修改, 重新设计、推理、评价, 然后再修改、设计、推理、评价, 一直到满足设计要求为止。

基于实例推理模块的基本设计思想是首先根据所描述的实例, 在透平实例库中采用检索机制及正向推理的控制策略找到最佳匹配的实例叶栅并提取出来。再根据此实例与问题描述的差别, 对此实例进行修正, 使之适应当前的问题描述。如果实例修正的结果满足问题描述的要求时, 该结果输出的同时作为一个新的实例经索引机制组织到实例库中以备将来使用。同样, 应用方法推理技术生成的叶栅也可以组织到实例库中。

将方法推理技术和实例推理技术相比较, 不难发现前者是以方法为中心, 对每个问题都从头进行求解, 而后者是以实例为中心, 充分利用类似问题的答案进行求解, 大大提高了问题求解的效率。本文作者的研究将推理机和知识库相分离, 即将求解问题的知识和使用知识的程序相分离, 保证了专家系统的模块性、透明性、灵活性和可维护性。

### 3.3 其它模块

其它模块部分包括叶型选取、气动设计、报告生成、系统帮助及系统简介模块。其中, 叶型选取模块用来完成设计对象的初始设计和选择初始叶型的任务; 气动设计调用知识库来完成设计对象即叶栅或

级的流场计算、气动性能分析及相关的优化方法运用; 报告生成模块将设计结果通过用户界面展示给用户; 系统帮助模块对系统的运行过程起到一定的指导作用; 系统简介模块主要介绍系统的开发环境, 包括所需的软、硬件环境及编程语言。系统帮助和简介模块的引入方便了用户对本系统软件的使用。

另外, 知识获取模块作为专家系统必不可少的部分, 贯穿于专家系统的整个生命周期。本研究并未单独使用一模块来表示, 而是将其一部分实现于知识库模块中, 它表现为将此领域专家的经验、文献及数值模拟实验结果进行选择、分析和抽取等操作, 从而达到获取知识的目的; 另一部分实现于推理模块中, 它表现为运用前面所研究的推理技术, 将新生成的叶栅装入实例库中, 也可以达到学习的目的。

## 4 透平级设计优化系统的优化设计实例操作过程

在对所建立的系统结构、功能等介绍的基础上, 图 2 给出了一个基于实例推理的透平级多目标优化的具体实现过程: 首先基于实例推理技术在实例库中找到相匹配的“级”, 且输出其几何参数 (见图 2(a)、(b)); 再对相匹配的实例进行气动性能分析及根据计算结果对此实例的评价 (见图 2(c)、(d)); 最后再对此实例进行优化设计, 从而改进实例的气动性能, 以及将结果以报告的形式输出 (见图 2(e)、(f))。由这些操作过程可以看出, 本文研究的系统具有操作性能简便、实用性强等特点。

## 5 结论

本文通过对透平级设计优化系统 TSDOS 的结构、功能、特点及运行环境的介绍, 表明了本系统的研究在一定程度上解决了采用人工智能技术的透平级设计优化问题, 为系统的进一步开发奠定了坚实的基础。

### 参考文献:

[1] 石纯一, 黄昌宁. 人工智能原理[M]. 北京: 清华大学出版社, 1993.  
 [2] 陆汝铃. 人工智能[M]. 北京: 科学出版社, 1995.  
 [3] 林尧瑞. 专家系统在工程设计中的应用[J]. 模式识别与人工智能, 1993, 16(2): 1-7.

(何静芳 编辑)

基于面向对象的透平级设计优化专家系统的研究 = **A Study of the Expert System for Turbine Stage Design Optimization Based on an Object-oriented Approach** [刊, 汉] / TONG Tong (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036), FENG Zhen-ping (Energy and Power Engineering Institute under the Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049), LUO Guo-xi (Taiyuan Fengxi Machinery Works, Taiyuan, China, Post Code: 030027) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(5). — 481 ~ 483

With the help of a design method based on an object-oriented approach an expert system for turbine stage design optimization has been studied and developed. The expert system enjoys such merits as a high modularization level and favorable man-machine interface, etc. Representing a new design philosophy and approach for conducting turbine stage design the recommended system can play a significant role in promoting the further application of artificial intelligence technology in the field of turbomachinery design. **Key words:** object-oriented approach, turbine stage, optimization, expert system

两段燃烧流化床锅炉的设计方法 = **The Design method for a Fluidized Bed Boiler with Two-stage Combustion** [刊, 汉] / HU Guo-xin, LI Ya-hong, FAN Hao-jie and LIU Yan-qin (Energy and Power Engineering Institute under the Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200030) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(5). — 484 ~ 487

A new type of fluidized bed boiler with two-stage combustion is designed for use in a gas and steam cogeneration plant, featuring low emissions of harmful gases. Because of this it is especially suited for gasification units and central heating plants of small and medium-sized enterprises in economically developed rural districts. The authors present the operating principles and design requirements of a two-stage combustion system as well as the thermodynamic calculation method of the relevant gasification section. A gasification equilibrium model was set up to predict the gas components with related calculations being performed. The calculation results have been found to be in fairly good agreement with industrial measurement and test data. On the basis of the calculation results and a theoretical analysis effective measures are proposed to rationally organize the two-stage combustion. **Key words:** two-stage combustion method, gasification, gas and steam cogeneration plant, fluidized bed

增压流化床燃烧用的煤水混合物流变特性研究 = **A Study on the Rheological Properties of Coal-water Paste Fired in a Pressurized Fluidized Bed Combustor** [刊, 汉] / LU Ping, ZHANG Ming-yao, XU Yue-nian (Thermal Energy Engineering Research Institute under the Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(5). — 488 ~ 490

By way of experimental research a systematic analysis was conducted of the influence on the rheological properties of coal-water paste (CWP) of such a variety of factors as moisture content, particle distribution, addition of limestone and pipe diameter change, etc. The results of the experimental investigation indicate that the CWP will have good flowing properties at a very low moisture content ( $Wt = 22.16\%$ ) if a proper particle distribution has been selected. The addition of limestone can markedly decrease the flow resistance of CWP in pipeline and improve its transport characteristics. The data obtained from experiments show that the rheological properties of the CWP approximate those of a Bingham fluid. **Key words:** pressurized fluidized bed combustor, coal-water paste, rheological properties, experimental study

增湿活化脱硫试验研究 = **Experimental Investigation of Humidification Activated Desulfurization** [刊, 汉] / WU Shu-zhi, ZHAO Chang-sui, LIU Xian-zhuo (Thermal Energy Engineering Research Institute under the Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(5). — 491 ~ 493

Spray water activated and steam activated desulfurization tests were conducted on a hot-state desulfurization test stand. Also investigated were the desulfurization performance under different values of Ca/S ratio, saturation approach temperature,  $SO_2$  concentration and gas speed. The results of the investigation indicate that as compared with a pure absorbent