

TDES—三系列工业汽轮机方案设计专家系统

应保胜 吴明华 周 济 (华中理工大学)

刘伟烈 张一民 谢和坤 (杭州汽轮机厂)

〔摘要〕 本文研究和探索了人工智能技术在工业汽轮机总体方案设计中的应用。讨论了三系列工业汽轮机总体方案设计专家系统(TDES)的基本模式和关键技术。

关键词 专家系统 汽轮机 设计

一、前 言

杭州汽轮机厂于70年代后期从西德引进了积木式工业汽轮机系列的整套技术。在该系列中,按功能的不同将汽轮机划分为三种区段:前区段(主要为进汽部分),中区段(压力级部分)和后区段(主要为排汽部

分)。为适应不同的蒸汽参数、流量、转速和功率等的要求,各区段又被划分为尺寸不同的分挡(即积木块)。多个积木块可按一定的规律相互拼接组合,以满足不同用户的要求,图1为工业汽轮机积木块组合示意图。

积木式工业汽轮机CAD系统流程简图如图2所示。

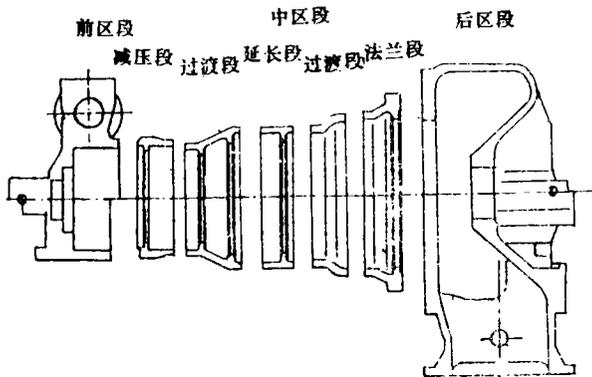


图1 工业汽轮机积木块组合示意图

1. 静子设计:按照用户提出的参数及技术要求,选择各区段及导叶持环的结构和挡号,进行合理匹配,形成各种设计方案。这是一个在用户提供证据基础上进行推理的

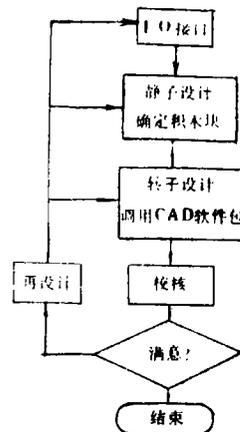


图2 积木式工业汽轮机CAD系统简图

逻辑组合过程,运用二十几种积木块就可组合出几百种不同的设计方案。

2. 转子设计:通过分析用户各项要求,确定性能设计、强度计算的工况点,分

析并提出汽轮机通流部分的尺寸限制条件，为方案设计计算程序提供大量输入参数。然后调用 CAD 软件包，进行大量的热力、强度和振动计算，确定设计方案。

3. 评价与决策：通过以上热力、强度和振动等计算，分析该设计方案是否达到了要求及其它各性能指标，以便决定该方案是否可行。

4. 再设计：如果初始设计方案不可行，则要运用专家知识分析导致失败的可能原因，修改原方案，进行反复设计，直至成功。

总体方案设计是工业汽轮机设计的“瓶颈”部分，它要求运用专家的经验 and 知识，并应用推理决策技术，因而采用专家系统技术是适宜的。

二 TDES系统的功能和控制结构

TDES 系统的特点是：（1）能够象专家一样完成三系列工业汽轮机的方案设计；（2）可以作为一个咨询系统协助专家进行设计；（3）能对知识库进行修改、删除和扩充，具有一定的学习功能。

该系统模拟专家进行方案设计的思路，在“设计——评价——再设计”控制策略的基础上扩展，形成该系统的控制结构，如图 3 所示。它采用了按功能划分的独立性较强

的模块化结构。

1. I/O 模块（信息交互模块）：包括用户参数输入、打印用户订货单及向用户咨询磋商等。

2. 初始设计模块：（1）首先启动类比设计子模块，将用户参数要求和现有汽机方案相比较，决定是否可以根据已生产机组复产；（2）调用初选型子模块，根据用户给定的要求，得出相应的前压段及后压段尺寸及型号，然后从中选取较为合理的组合，待前后区段选定后，根据前后区段型号及尺寸决定中间区段的结构及尺寸；（3）根据设计的静子结构及尺寸，调用转子设计子库，确定转子及叶片的结构和尺寸；（4）最后生成一个描述整个设计方案的数据文件。

3. 评价与决策模块：根据初设计确定的各部分结构和尺寸，调用 FORTRAN 分析程序，检查设计方案是否达到用户要求和某些必要的条件（功率、转速、叶片强度等）

4. 再设计模块：根据决策结果及反馈信息，利用专家知识进行推理，指导系统进行方案的再设计。

5. 解释模块：TDES 系统具有解释自身行为和所生成的结果的功能，能对思维过程中的任意步骤在屏幕上进行解释，为此在程序中设置了下述功能：（1）在求解过程各状态中，可对推理路径进行记录；（2）具有信息转换功能，能进行有限的自然语言理解，识别外界提出的解释要求并把对规则的分析转换成相应的语言显示在屏幕上；（3）根据用户提出的解释要求寻找出需要解释的节点在推理网络中的位置，导致这个节点的链和由这个节点发出的链，以及这些链在程序中所对应的规则。

6. 学习模块：本模块具有浏览、修改、增加和删除等功能。当用户需要修改某知识库

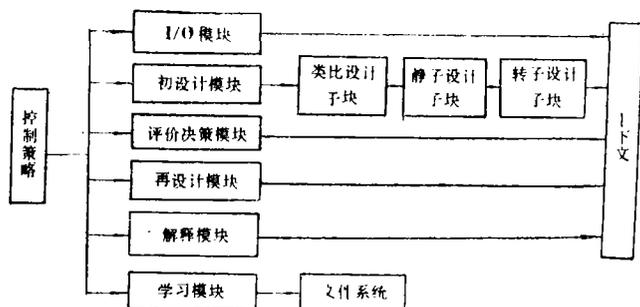


图 3 系统的控制结构框图

时,调用学习模块,该程序通过规则库的树状搜索找到要处理的规则,用户即可在系统的指导下完成所要做的工作。这是一个半自动的学习过程。

三、TDES系统所采用的 基本技术

1. TDES系统的知识库系统

知识库是领域知识的存贮器,知识库中主要包括两类知识。第一类是领域里的知识,它主要包括一些特性、数据和一些标准。第二类是用于推理判断的启发性知识,是该领域的专业知识及专家经验的总结,它必须具有启发性,能进行试探性设计。

为了能较好地表示上面的两类知识,TDES系统分析了汽轮机的设计特点,用规则和框架两种方法联合表示该领域的设计知识。规则主要用来表示知识源,框架用来表示知识实体。

(1) 规则表示

该系统基本上是一个产生式系统,规则库是其核心。其规则分为两个层次。顶层是关于如何运用已有知识的元规则,它主要用来解决被触发规则的冲突集解除;底层是用来解决领域问题的启发性规则。这两种知识都以一致的形式加以表示。每个规则都是一个IF-THEN语句,其知识表示模型是状态空间搜索模式。

在系统中,知识库是与任务紧密相连的。为了防止知识的组合爆炸,提高推理效率,系统将规则库按子任务划分为初始设计规则库,再设计规则库等。对于某些子规则库又划分为几个更低层次的子规则库,其层次结构如图4所示。

下面是一条初始设计规则:

(RULE-01

(IF (汽轮机转速 $n \geq 8000$ r/min)

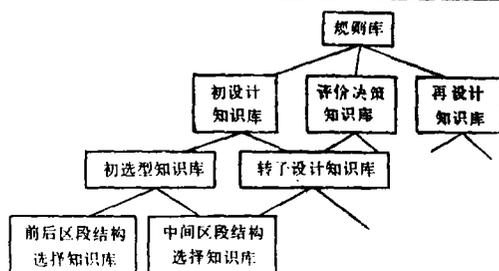


图4 系统规则库的层次结构

(汽轮机转速 $n \leq 16000$ r/min)

(进汽容积流量 $V'_{adm} > 0.4$ m³/s)

(进汽容积流量 $V'_{adm} \leq 1.55$ m³/s)

(进汽压力 < 10 MPa)

(THEN (选中进汽段型式TYPE1 = VN)

(选中进汽段型号VN = 25)))

在规则的条件和结论部分,可以是陈述或LISP操作函数,也可以是指定的比较符号,如 $>$, $=$, $<$, $\cdot/$, $<$, $>$, $=$ 等。推理机将完成这些符号的模式识别及匹配。

元知识形式和上述规则相同,下面是一条元规则的例子:

(META-R01

(IF(用户要求实际汽耗 $m_{实} \geq 0.96 * 用户给定汽耗m)$

(用户要求实际汽耗 $m_{实} \leq 1.04 * 用户给定汽耗m)$)

(THEN (选用型号较大的一组汽机)))

也就是说,当两种型号如(NK32/28, NK32/36)都有可能被选用时,这条元规则告知,当元规则IF部分满足时,优先选用较大的型号的一组汽机如NK32/36。在该系统中元规则要做两方面的工作:①约束剪切,消除不可能解或相矛盾的解;②优选,在几个可行解中优选一个首先被执行。

(2) 框架

① 用框架表示解的状态。问题求解就是在可能的解空间搜索,解的路径是由初始状态经过合理推理经由中间状态到达目标状态。在工程设计中,每个解状态是一些有名

有值的属性的集合。在TDES系统中，解状态是与子任务紧密相联的，每个解状态都用一个框架来表示，框架的槽名表示属性的名，槽值表示属性的值。

在每个框架中，都设置了一个特殊的槽，即 AKO 槽，它相当于一个指针，框架之间可以通过它来继承信息，同时它还可为再设计或失败、回溯处理提供了路径。

② 用框架记录推理路径。每个框架中都有一个名为RULESUSED的槽，其槽值为该子任务执行过程中用到的规则，这些规则是按序存取的，可以用做推理路径的解释。

③ 用框架表示控制知识单元。TDES系统采用了模块化技术，将整个设计任务分解成各个子任务。由于子任务完成工作的性质不同，其求解的方法也有区别。为此，系统采用了一特殊框架来记录各子任务执行的有关控制信息，如所要用到的规则库，问题求解方式及下面将要执行的任务。我们称这种框架为控制知识单元。

2. TDES系统的控制策略

(1) 设计规划的生成

TDES 系统设计了一个调度程序，该调度程序根据用户的设计要求，控制子任务的执行顺序。当执行某一子任务时，调度程序根据控制知识单元提供的信息，驱动子任务求解适用的推理器在相应的知识库中搜索，完成该子任务的求解，并根据情况，拟动态地选择下一步将要执行的子任务，直到设计完成。

(2) 推理方法

在TDES 系统里，根据求解问题的性质不同，设计了几个不同的推理器：①正向推理器。由于设计问题的多目标性及目标未知性，TDES 系统在初设计时采用了数据驱动的向前推理；②反向推理器，该推理器主要用作系统对自身的行为进行解释，回答用户的提问；③失败处理推理器，这是一个特殊的推理器，它能够根据系统的评价结果或出

错信息，搜索再设计知识库，对出错原因定位，并修改错误，实现再设计。

(3) 失败处理 (或再设计)

失败处理子任务能够根据出错信息，驱动失败处理推理器，在再设计知识库中搜索，找到出错点，修改错误，并进行特殊形式的正向推理修改由这一校正而带来的连锁反应。

如果有一解的状态序列 (ABCDE)，各状态为：

- (框架A (AKO.....)
- (P)
- (:)
- (框架B (AKO (VALUE (非A)))
- (:)
- (框架C (AKO (VALUE (A)))
- (:)

当在状态D中出现求解失败时，失败处理推理器经过工作，告知必须修改特性P的值，并查知P特性存贮在框架A中，这时就要修改P的值，并在该子任务的知识库中推理，修改那些受到P值改变影响的特性的值，其它特性不变。紧接着，系统将考察状态B，由于状态B中的AKO槽为非A，状态A的改变将不会影响状态B，因此在重新设计时，就不必对子任务B进行重新求解。而状态C的AKO槽值为A，故状态A的改变将会引起状态C的改变，失败处理推理器将会在子任务C的知识库中搜索，修改状态C，如此反复直至状态D的成功，然后继续向下执行。状态序列变为(A'BC'D'E)。

四、结束语

本TDES 系统由华中理工大学和杭州汽轮机厂联合研制，它能自动完成三系列工业汽轮机的总体方案设计。近百个设计实例证明了该系统的有效性和实用性。目前，该系统已在杭州汽轮机厂投入实际运用。

TDES系统的设计实例从略。

参考文献

[1] Dixon J R, Simmons M K. Expert system for mechanical engineering. Computers in mechanical engineering, 1983, (10)

[2] Brown D C, Chandrasekaran B. Knowledge and control for a mechanical design expert

system. Computer, July, 1986

[3] Rosenman M A, Gero J S. Design codes and expert systems. Computer aided design, 1985, (9)

[3] 周济, 王群, 周迪勋. 机械设计专家系统概论. 华中理工大学出版社, 1989

[5] 王群, 周济. 关于机械设计专家系统求解策略探讨. 计算机科学, 1987.1

TDES—Expert System for the preliminary Design of Three Series Industrial Steam Turbines

Ying Baosheng, Wu Minghua, Zhou Ji

(Central China University of Science & Engineering)

Liu Weilie, Zhang Yimin, Xie Hekun

(Hangzhou Steam Turbine Works)

Abstract

This paper deals with and explores the application of artificial intelligence techniques to the industrial steam turbine integrated version design. The basic module and key technology of the expert system for the three-series industrial steam turbine integrated version design have been discussed.

Key words expert system, steam turbine, design

新产品新技术信息

№.R88-36 **彩色不锈钢** 彩色不锈钢板及制品先后通过了两个部级产品鉴定, 鉴定其性能达到国外同类产品水平, 某些指标已超过国外现有水平。彩色不锈钢色彩丰富, 性能优越, 具有无毒、耐高温、耐腐

蚀、可弯曲、可拉伸、可冲压等特点。可用于现代建筑, 高级宾馆及商场的室内、外装饰。还可以用于机械设备、高档商品及牌匾贴面装修等。本产品可根据用户的要求进行设计和加工。