

基于知识的涡轮叶片精铸模具智能设计系统框架*

Framework of Intelligent Design System for Knowledge-Based Investment Casting Die of Aeroengine Turbo Blade

西北工业大学 蒋睿嵩 张定华 汪文虎 史华杰

[摘要] 针对涡轮叶片精铸模具设计过程中存在的设计周期过长、专家知识重用率不高、智能化程度不高等问题,提出将知识工程引入涡轮叶片精铸模具设计领域,构建基于知识的精铸模具智能化设计系统,在此基础上,重点研究了智能设计系统中相关关键技术。应用结果表明,该系统能有效地对专家知识进行继承利用,提高模具设计效率和质量。

关键词: 知识工程 涡轮叶片 精铸模具 智能设计

[ABSTRACT] In order to solve the problems in the turbo blade investment casting die design process, such as long design time, lower utilization of expert experience and lower level of intelligence, the knowledge engineering is introduced in the turbo blade investment casting die design, and an intelligent knowledge-based investment casting die design system is developed and the key technologies of the system are researched. The practical application results indicate that this system can reuse the expert experience efficiently and improve the efficiency and quality of die design.

Keywords: Knowledge engineering Turbo blade Investment casting die Intelligent design

复杂空心涡轮叶片是高推重比航空发动机的核心部件,被航空发动机行业誉为“皇冠上的明珠”,其设计制造工艺更是航空发动机制造中的关键技术。涡轮叶片精铸净成型模具(精铸模具)作为空心涡轮叶片生产中最重要工装,具有结构复杂,设计周期长、制造难度大等特点。调研发现,空心涡轮叶片精铸净成型模具设计制造已成为制约我国航空发动机行业发展的瓶颈之一。

随着知识工程的发展,充分利用现代计算技术强大的计算能力,将其与模具设计这一复杂系统工程相结合,成为近年来一个研究热点和难点;但是,将人工智能同工程实际相结合具有一定的困难^[1-3],主要体现在以下3个方面:(1)工程实际问题复杂多变,对其

抽象建模十分困难;(2)知识表示和推理方式过于单一,对类似于精铸模具设计这样复杂的问题,需要综合多种推理算法;(3)由于专家系统本身固有的缺陷,解决问题面狭窄,很难获得满意的应用。

针对上述问题,本课题提出构建基于知识的精铸模具智能设计系统,并探讨其系统总体架构、知识库系统的相关关键技术,该系统是以知识工程理论为基础,以工程应用中的专家知识为依据,对知识进行记忆、学习和推理,使计算机中的知识系统具有合理运用专家知识的能力。

1 基于知识的精铸模具智能设计系统框架

从人工智能的角度看,设计可以解释为一个状态空间表达式,使用专家知识将初始状态转换为一系列状态,采用状态空间来描述设计问题。对于精铸模具设计,系统的初始状态就是用户提出的设计任务描述,目标状态就是模具设计方案;设计操作就是推理控制策略、计算,设计约束是个阶段的决策评价准则。基于状态空间模型的设计智能模型可以用一个三元组 $DS=\{KB, IM, GDB\}$ 来表示。其中, GDB 是综合数据库,或称为黑板; IM 是一个监控程序,或称为推理机; KB 为知识库。在构建精铸模具智能设计系统时, GDB 、 IM 和 KB 的内涵需要得到拓展:

- 知识库(KB):知识库由一组独立的知识模块组成,每个知识模块对应一个子问题。知识库中可能包含的知识类型有产生式规则、框架、设计实例、模型等。采用面向对象的方式构建系统的材料库、分析模型、设计事例库、模具结构库等,它们共同构成了系统的知识库。

- 推理机(IM):构建针对复杂叶片精铸模具设计知识的混合推理模式。

- 综合数据库(GDB):是一个记录动态信息的介质,其中记录了推理结果及轨迹、解释信息、知识源共享信息、中间状态信息等。

智能设计系统平台以航空发动机涡轮叶片精铸模具为研究应用对象,分为数据层、基础层、集成层、



图1 智能设计系统平台结构

Fig.1 Architecture of intelligent design system platform

功能层4个层次,如图1所示。

(1)数据层。

提供平台运行的数据库环境,包括设计规范和知识库、位移场数据库、模具设计实例库、流程数据管理数据库等,该层次采取开放式结构,根据应用需求设立或扩展。

(2)基础层。

该层包括硬件基础和软件基础。其中,软件基础采用通用数据库访问技术实现对数据层的直接访问,并维护后台数据结构。通过基础层可以将核心逻辑与对数据库的具体操作相隔离,保障平台与具体数据库类型的无关性,从而提高平台对用户实际数据库环境的适应能力。硬件基础提供系统运行所必须的硬件条件,保证数据需求顺利执行,对系统发出的指令快速、精确响应。

(3)集成层。

为功能层提供集成环境,主要包括面向工程师专业应用的专业应用集成平台、研发流程管理平台和产品数据与知识管理平台。专业应用集成平台实现统一软件入口/出口、设计流程驱动和结构化产品数据管理;将软件工具和硬件环境统一到集成平台,实现数

据流的无缝连接。

(4)功能层。

在集成层基础上构建,面向设计人员终端用户,主要包括各种层次的专业应用软件,包括智能设计类软件、分析类软件(结构、强度等)、也包括知识库建库工具、用户权限管理工具、流程导向工具等。本层次也采取开放式体系架构,采取插入式软件方式,平台提供一个高度柔性的软件基础结构。

通过该系统的开发实施,以期快捷地完成模具的绝大多数的设计工作,之后再采用人工交互完成剩余的设计工作或进行模具的优化,充分将计算机的严谨、快捷和专家知识的灵活、实时有机结合起来,提高涡轮叶片精铸模具设计速度和精度,缩短涡轮叶片的研制周期。

2 精铸知识库构建技术

知识库作为智能设计的核心,在精铸模具智能设计系统中占有无可替代的地位,有效的知识表示方法是推理引擎顺利执行的保证。随着知识经济的到来,知识正成为生产力中最活跃、最重要的要素。在一个企业内部,只有当知识能在个体之间有效地传递时,

才能真正体现知识资产的全部价值。知识库管理系统的三大功能是:知识收集、知识管理、知识服务。精铸模具知识库的开发遵循面向对象建模方法、采用开放系统管理手段等先进的技术,并最终实现对设计的全面智能支持。

(1)知识源。

精铸模具设计知识大多为隐性知识,蕴含在设计图纸、设计模型、专家经验及各种文档文件中,同时,其他系统产品数据也包含着大量的专家知识,所有这些,构成了系统知识提取的源泉。

(2)知识获取。

设计知识获取,专家系统建立质量的好坏,一般有2个评判标准:一是专家知识的丰富与否;二是推理机推理效率的高低好坏。知识获取作为智能化设计系统中最重要的环节之一。知识获取一般有以下2个途径:一是基于数据挖掘技术的自动获取;二是由领域专家和知识工程师共同努力,对知识进行总结固化的交互获取。

(3)推理机制。

推理机针对不同类型设计知识及应用方式设计,包括基于实例的推理引擎,基于规则的推理引擎,混合推理引擎等。

(4)用户接口。

这是精铸模具知识库系统所提供的知识服务方式。ICAD系统可以通过用户接口来进行基于实例的推理、基于规则的推理等。同时,能将知识进行发布共享,推动协同制造、虚拟制造等网络化制造模式。

3 基于CBR-RBR混合推理模式的推理机制

基于规则的推理RBR是一种基于演绎的推理,主要应用于产生式规则的专家系统,其表达形式为:IF<条件满足>,THEN<执行动作>。专家知识全部是由具有因果关系的规则组成,规则间相互独立,信息的传递靠事实库来完成,具有表达自然、清晰的特点,目前运用较广。这种系统的好坏取决于规则的规模和规则的完备程度,其不足在于:

- 当规则的数量不断增加时,规则的一致性及完备性难于检查和保证;

- 当规则数量较多时,推理效率低下,且容易产生“组合爆炸”,导致无效推理结论的出现;

- 不太符合人类认识事物的规律,尤其是涡轮叶片精铸模具设计这一强经验、弱理论的领域。

基于实例的推理CBR是一种基于类比的推理。

这种推理系统相对于RBR系统,对于知识、经验与理论的完备性程度要求要低很多,且推理过程符合设计人员的实际习惯,从某种程度上说,其正确结论推理效率更高,现在比较流行,但它也存在以下缺点:

- 实例检索过程中可能最好的实例没有被选中,经常检索出的相似实例并不是用户满意的结果;

- 当相似实例无法完全满足用户需求时,缺乏对于相似实例的效率较高的修改机制。

如表1所示,2种方法都有各自的优缺点,但总的来说实例推理表现最好。由于精铸模具设计的复杂性,仅依靠一种推理技术提供设计方案较为困难,解决现实中复杂问题的最好办法就是对它们进行集成,结合它们的优点、克服单个方法的缺点,于是产生了各种各样的混合推理,因此本课题提出将CBR和RBR结合在一起的推理方式,即CBR-RBR推理方式来完成精铸模具智能设计系统的设计推理。这种推理的优势在于:

- 推理过程符合设计人员的设计思维过程,很好的实现了对现实系统的模拟;

- 可以满足不同知识层次的需求,提高推理的准确性;

- 结合了CBR和RBR的优点,提高了系统推理效率。

本系统在设计初始阶段,采用类比的方式,将新的设计问题与以前设计的模具结果进行比较,并从中选择最为接近的设计结果作为新模具的初始方案,然后以此为基础对其进行参数修改或整体结构修改,从而得到满足用户需求的新模具设计方案,而在参数修改和整体结构修改的过程中采用的是演绎推理的思考模式。当然,如果无法从实例库中获得满意实例,即采用RBR在灰色理论指导下进行交互设计。这种模式正好弥补了基于实例推理的系统在实例改写方面的不足,利用规则推理提高实例修改的智能化,使基于实例的推理和基于规则的推理完美的结合在一起,采用一种优势互补的方式提高了精铸模具智能设计系统的智能化程度,其推理机制如图2所示。

4 系统开发及应用

基于上述章节的研究工作,对精铸模具设计领域知识提炼总结,基于UG二次开发平台,完成了知识库系统及模具设计系统的初步开发,并进行实例验证:首先读入叶片CAD模型,接下来进行铸件毛坯设计、铸件工艺设计、型腔体设计、模具核心活块设计、

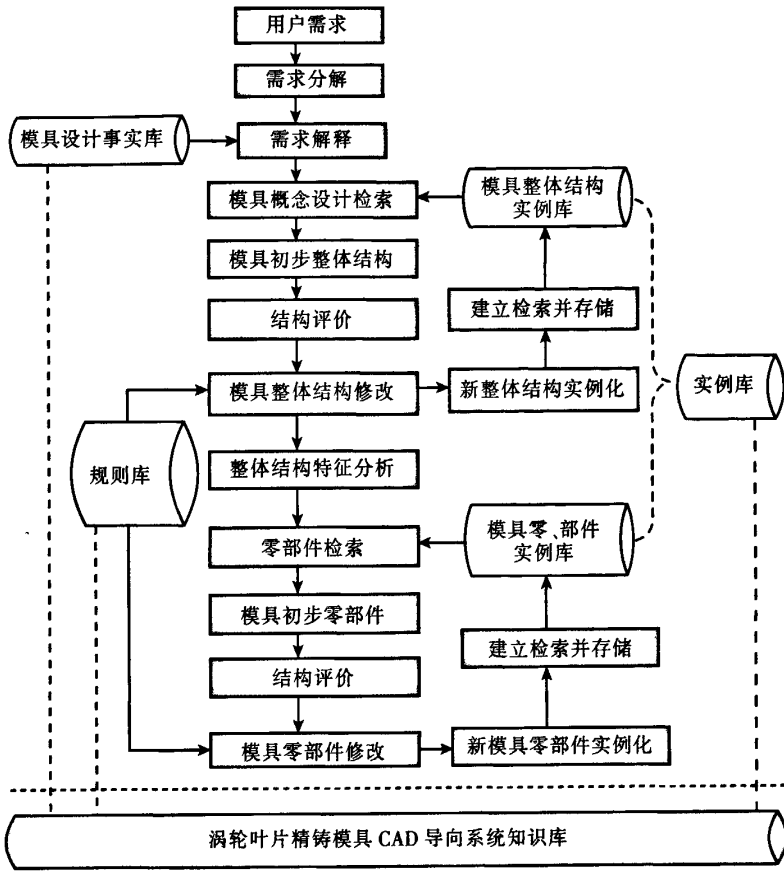


图2 系统 CBR-RBR 推理及结构
Fig.2 System of CBR and RBR reasoning and its structure

表1 CBR 与 RBR 比较

方法	知识获取	学习	开发时间	维护	解释	知识来源
规则推理	难	差	慢	困难	好	专家
实例推理	易	很好	快	容易	很好	实例、专家

锁紧机构设计、起模机构设计等步骤,最后得到完整的模具设计图,通过模具加工,得到模具实物,试验结果显示了以 CBR 为核心的 RBR 和 CBR 混合推理方法用于精铸模具设计是可行的,它在充分利用精铸设计领域知识的同时,提高了 CBR 的效率和可靠性。为精铸设计过程的智能化提供了新的方法和思路。

5 结束语

本课题针对精铸模具设计周期过长、专家知识不

能继承利用等问题,提出将基于知识的工程引入该领域。研究了设计系统总体框架、知识库系统结构等宏观问题;同时,根据精铸模具设计特点,提出构建基于 CBR 及 RBR 的混合推理设计引擎;最后,在上述理论的指导下进行了知识库系统及模具设计系统的开发,通过实例验证,证明了本文所提出方法的有效性。本课题研究内容具有较高的工程实际应用和理论探索价值。

参 考 文 献

[1] 姜臻亮. 模糊知识系统及其在模具设计中的应用. 上海:上海交通大学出版社,1998.
[2] 张申生,曹健,王英林,等. 敏捷制造理论、技术与实践. 上海:上海交通大学出版社,2001.

(下转第 84 页)

从图 4~6 可以看出,胶接面应力 $\tau_{13}, \tau_{23}, \sigma_{33}$, 都在 T 形桁条凸缘的处明显变大,产生应力集中,在远离 T 形桁条凸缘之处,在端部作用轴向拉力的作用下,胶接面应力变化不大,并且数值较小。胶接面应力在远离中间位置约 80% 位置处开始出现明显的应力集中,且大小都在同一个数量级上。可以推断,即使是在轴向拉力(面内载荷)的作用下,分层破坏将从自由边开始。

从图 7~9 看出,无论界面间采用什么样的铺层形式,对 τ_{13} 的影响都非常小。而界面间不同铺层形式对 τ_{23}, σ_{33} 的影响较为明显,这种影响仍然主要发生在 T 形桁条凸缘的处,在远离 T 形桁条凸缘的地方,界面间不同铺层形式对应力的影响同样非常小。当胶膜上下表面分别采用同样的铺层形式时,其应力集中系数比采用不同铺层形式时小。

从图 10~12 采用模型 1 含胶膜和不含胶膜胶接面应力的比较可以看出,总体来说,胶膜不能改变胶接面应力的分布状态,但能够有效地降低 T 形桁条凸缘处的胶接面应力大小,这对于抑制分层破坏有非常重要的作用。算例表明采用其他模型也能得到同样的结论。综合比较图 7~12 还可以发现,在既含胶膜、又在胶膜上下表面采用同样铺层形式的 T 型加筋结构中,胶接面应力将达到最小值。

这里以模型 3 为例,通过改变厚度参数来研究不同胶膜厚度对胶接面应力的影响。图 13 给出了这种影响的变化规律,图中横坐标为胶膜的厚度,纵坐标为界面上所有节点 Mises 应力的最大值。从图 13 可以看出,在胶层厚度超过 0.3mm 时,胶层截面上最大 Mises 应力改变不明显。

3 结论

(1) 采用在界面附近按照单层,在远离界面以外的区域等效方法建立复合材料加筋结构的三维有限元模型分析胶接面应力的方法是可行的。采用这种方法既能方便建模,节约计算时间,又能够揭示出胶接面应力的分布状态。

(2) 含胶膜加筋结构,自由边上的应力集中发生在远离界面中间位置长度大约 80% 以外的区域。

(3) 含胶膜加筋结构,在界面上下采用同样的铺层形式,有利于降低界面上自由边附近的应力集中。

(4) 胶膜不能改变胶接面应力的分布状态,但能够有效地降低 T 形桁条凸缘的处胶接面应力的大小。

在既含胶膜,又在胶膜上下表面采用同样的铺层形式的 T 型加筋结构,胶接面应力将达到最小值。

(5) 胶层厚度超过 0.3mm 时,胶层截面上最大应力改变不明显。

参 考 文 献

[1] Sela N. The effect of adhesive thickness interlaminar toughness of interleaved CFRP specimens. *Composites*. 1989, 20 (3): 88-93.
 [2] Odagiri N. T800/3900-2 toughened epoxy prepreg system: toughening concept and mechanisms. *Proceeding of the American Society for Composites 6th Technical Conference*. Lancaster, 1991.
 [3] Lin C C, Tseng C K. Adhesive interface element for bonding of laminated plates. *Composite Structures*, 1993 (25): 217-225.
 [4] 叶天麟,周天孝. 航空结构有限元分析指南,北京:航空工业出版社,1996.
 [5] 矫桂琼,杨宝宁,许家瑶. 层间加胶膜层压板的层间应力与孔边应力分析,2002,20(1):6-8.

(责编 洪盖)

(上接第 77 页)

[3] 吴泉源,刘江宁. 人工智能与专家系统. 长沙:国防科技大学出版社,1995.
 [4] Agnar Aamodt, Enric Plaza. Case Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches, <http://www.iiaa.csic.es>.
 [5] Maher M L, Andres Gomez de Silva. Case-based reasoning in design. *IEEE Expert*, 1997, 12(2): 34-41.
 [6] 周娜,沈建新,廖文和. 基于 Internet 的 CAD/CAPP/CAM/ERP 信息集成系统的研究. *机械科学与技术*, 2004, 23 (3): 365-369.
 [7] Sun Zhaohao, Finnie Gavin, Weber Klaus. Abductive case-based reasoning. *International Journal of Intelligent Systems*, September, 2005, 20(9): 957-983.
 [8] Cheng Y I. Case-based approaches for preliminary design of steel building frames. *Microcomputers in Civil Engineering*, 1997, 12(5): 327-337.
 [9] Dutta Soumitra, Wierenga Berend, Dalebout Arco. Case-based reasoning systems: From automation to decision-aiding and stimulation. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 1997, 9(6): 911-922.
 [10] Marling C R, Petot. G J, Sterling L S. Integrating case-based and rule-based reasoning to meet multiple design constraints. *Computational Intelligence*, 1999, 15(3): 308-332.

(责编 钟元)