

文章编号:0253-9993(2012)10-1765-06

面向知识工程的采煤机截割部现代设计方法与系统

丁 华,杨兆建

(太原理工大学 机械工程学院,山西 太原 030024)

摘 要:为实现采煤机截割部的智能设计,应用知识工程原理设计了采煤机截割部现代设计方案。研究了基于 ε 一致性准则粗糙集扩展模型的采煤机总体技术参数知识获取方法,为截割部设计奠定了推理基础。提出以面向对象表示方法为主、产生式规则和过程式表示方法为辅的混合知识表达模型,实现了采煤机截割部设计对象及其设计知识的集成。针对采煤机截割部设计过程,将实例推理、模型推理和规则推理 3 种知识推理技术结合,构建了符合设计思维的融合知识推理模型。在 UG 平台下开发了采煤机截割部现代设计系统,通过实例验证和企业应用证明该方法可行、有效。

关键词:采煤机截割部;现代设计;知识工程;知识获取;知识表示;知识推理

中图分类号:TD421.6 **文献标志码:**A

Method and system of shearer cutting unit modern design oriented to KBE

DING Hua, YANG Zhao-jian

(Institute of Mechanical Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: For the realization of the shearer cutting unit intelligent design, the principles of KBE was applied to the shearer cutting unit modern design. The knowledge acquisition method of a rough set extended model based on ε coherence criterion about the overall technical parameter of the shearer was presented and laied a reasoning foundation for the design of cutting unit. The hybrid knowledge expression model was put forward, which was mainly to the knowledge representation of object-oriented, as supplement to production rules and process knowledge representation method, and realized the integration of design object and knowledge. According to the process of design of shearer cutting unit, the fusion reasoning model building was accomplished based on the integration of CBR, RBR and MBR. The modern design system of shearer cutting unit was developed based on UG platform, which proved that the method is feasible and effective.

Key words: shearer cutting unit; modern design; knowledge engineering; knowledge acquisition; knowledge representation; knowledge reasoning

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。近年来,国内外一些高等院校和科研单位已经用现代设计方法研制采煤机械的关键零部件, Lu Z J 等利用 ANSYS 软件对采煤机摇臂进行了应力计算和有限元分析^[1]; 西班牙奥维尔多大学 Javier Torano 等开发了采煤工作面的虚拟现实仿真平台,并建立了液压支架的三维动力学模型进行有限元分析^[2];在我国,采煤机的现

代设计系统研究早在 1993 年辽宁工程技术大学就已经开展了,李晓豁教授等基于 AutoCAD 建立了 SDES 滚筒设计专家系统。近几年,他们利用 Pro/E 软件及二次开发模块建立了连续采煤机截割滚筒参数化设计系统^[3],并应用先进算法对采煤机参数进行优化设计^[4]。一些学者基于虚拟样机技术分别对采煤机的调高系统、摇臂和整机进行了计算机仿真及动力学、可靠性分析^[5-6]。上述研究将现代设计方法应用

收稿日期:2012-08-01 责任编辑:许书阁

基金项目:山西省重大专项资助项目(20111101040-01);山西省青年科技研究基金资助项目(2012021022-6)

作者简介:丁 华(1979—),女,山西太原人,讲师,硕士生导师,博士。E-mail:dinghua2002@163.com

于采煤机设计之中,提高了采煤机设计效率和质量,为本文的研究提供有益的借鉴和参考,但仍存在以下问题:① 现有的计算机辅助设计仅仅局限于计算、绘图、三维建模和仿真分析等方面,还不能与设计过程相结合进行全面的经验和创新设计,离设计自动化的目标还很远。② 上述研究均未建立采煤机设计知识表示和推理模型,导致了知识关系的割裂,为采煤机设计资源的继承、共享和重用增加了困难。

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过程中,实现设计自动化与智能化,是采煤机现代设计方法研究的重要内容。本文针对采煤机现代设计技术研究存在的问题,将知识工程(Knowledge Based Engineering, KBE)融入采煤机设计领域进行研究,重点解决采煤机知识获取、知识表示和知识推理三大关键问题,并以截割部部件为例建立采煤机截割部现代设计系统,提高了采煤机截割部设计的自动化和智能化程度,为进一步研究采煤机整机现代设计方法提供了有效途径。

1 面向知识工程的现代设计方法

1.1 基于 ε 一致性准则粗糙集扩展模型的知识获取

知识获取旨在研究如何从各种知识源(如领域专家、文本、数据库)中得到问题求解所需要的知识,并转换到计算机中。自动知识获取方法一直以来都是知识工程领域的难点问题,常用的方法有主成分分析方法、决策树方法、神经网络技术、遗传算法、粗糙集方法等。本文采用 ε 一致性准则粗糙集扩展模型^[7]进行属性约简和规则提取,结合采煤机概念设计中的总体参数确定过程,构造了采煤机概念设计知识获取模型,获取了采煤机实例中的隐形规则等知识,为下一步截割部设计中的知识推理奠定了推理基础。

基于 ε 一致性准则的属性约简方法是以属性值在同类对象中的一致性作为度量属性包含噪声和干扰的指标,利用一致性因子 ε 作为属性一致性判据,删除包含较多噪声和干扰的属性,通过逐步扩展重要属性得到一个有效的约简属性集。

依据 ε 一致对象和 ε 不一致对象的定义,得到决策表属性约简模型,定义如下:

定义 1 设 $S \leq U, C \cup D, V, f >$ 为一决策表,设 $R \subseteq C, \varepsilon \geq 0$,若 $U(R, \varepsilon) = U(C, \varepsilon)$ 且 $U(P, \varepsilon) \subset U(R, \varepsilon) (\forall P \subset R)$, 则称 R 是 C 的一个约简。

对于离散属性值,如果 U 中的两个对象在属性子集 R 中的距离 $d_R(x, y)$ 可定义为

$$d_R(x, y) = \begin{cases} 1, \exists a \in R, \text{满足 } f(x, a) \neq f(y, a) \\ 0, \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

对于连续属性值,设 $RC, \varepsilon \geq 0$,令 $x(x \in U)$ 关于 R 的 ε 邻域为 $NN(x, R, \varepsilon) = \{y | d_R(x, y) \leq \varepsilon\}$ 。对任意 $X \subseteq U$, 定义 X 关于 R 的下近似为 $\underline{R}X = \{x \in U | NN(x, R, \varepsilon) \subseteq X\}$, 有如下定理:

定理 1 若 $x_i(x_i \in U)$ 在 R 上是 ε 一致对象,若 $f(x_i, D) = s$, 则 $NN(x_i, R, \varepsilon) \subseteq \psi_s$ 。

定理 2 对给定的 $\varepsilon(\varepsilon \geq 0)$, 设 $R \subseteq C$, 若 $i \neq j(1 \leq i, j \leq k)$, 则 $\underline{R}\Psi_i \cap \underline{R}\Psi_j = \emptyset$ 。

定理 3 对给定的 $\varepsilon(\varepsilon \geq 0)$, 设 $R \subseteq C$, 有 $U(R, \varepsilon) = U_{i=1}^k R\psi_i$ 成立。

在属性约简过程中关于属性子集在不断扩大的过程中一致性对象集变化的问题有如下定义和定理:

定义 2 对给定的 $\varepsilon \geq 0$, 属性子集 RC , 差别矩阵为 M_R , 如果对于 $x_i \in U, f(x_i, D) = t(1 \leq t \leq n)$, $\sum_{j=1}^{|U|} M_R(x_i, x_j) = \sum_{j=1, i \neq j}^n |\Psi_j|$ 成立, 则称 x_i 在 R 上是 ε 一致对象, 否则 x_i 在 R 上是 ε 不一致对象。

定理 4 对于给定的 ε , 如果已知属性子集 $R \subseteq C$ 和 $P \subseteq C$, 差别矩阵分别为 M_R 和 M_P , 则属性子集 $R \cup P$ 的差别矩阵为

$$M_{R \cup P}(x_i, x_j) = \begin{cases} 1, \text{当 } M_R(x_i, x_j) = 1 \\ 1, \text{当 } f(x_i, D) \neq f(x_j, D) \\ \text{且 } d_{R \cup P}(x_i, x_j) > \varepsilon \\ 0, \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

由上述定理得到属性重要度计算公式

$$\text{Sig}(c, P, \varepsilon) = |U(R \cup \{c\}, \varepsilon)| - |U(R, \varepsilon)| \quad (3)$$

式中, 如果 $\text{Sig}(c, P, \varepsilon) = 0$, 则表明属性 c 对于 P 的重要度为 0, 属性 c 是冗余属性, 应该被删除; 如果 $\text{Sig}(c, P, \varepsilon)$ 的值越大表明属性 c 的重要度越高。

基于 ε 一致性准则的属性约简模型对于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可以有效地进行属性约简, 因此是经典粗糙集属性约简模型的有效扩展模型, 使模型更加实用。

1.2 基于混合知识表达模型的知识表示

对于不同领域的求解问题, 选择知识表示的方法至关重要。许多研究中涌现出大量面向智能系统的知识表示方法, 如产生式规则表示、语义网络表示、框架表示法、过程表示法、面向对象的知识表示等。这些传统知识表示方法尽管各有千秋, 但每种表示法均具有一定的局限性, 在对关系的描述、阶层性、概念与实体的分离等方面存在着不足, 不能完全满足知识表

示的四大特性^[8]。针对采煤机设计领域知识种类复杂、繁多的特点,采用单一知识表示方法难以全面、有效地描述,因此将面向对象的知识表示方法作为知识的载体,过程性知识表示方法作为描述特定过程的手段,通过规则知识表示方法加强对过程性知识的控制,构建了混合知识表达模型。该方法克服了单一知识表示方法的缺陷,特别适合表示结构复杂、形式多样的知识对象。

采煤机知识表示中将涉及到的概念、实体等都表示为对象,对象的各个“槽”记录着对象的有关参数、方法和规则等。对象由四类“槽”组成:关系槽、参数槽、方法槽和规则槽。关系槽反映出该对象和其他对象的静态关系;参数槽记录着对象中的所有参数;方法槽描述了对象参数的操作;规则槽存储着所需要用到的产生式规则。各对象以它们之间的超类、子类和实例的关系形成一个层次网络,属于某个类的对象除了直接具有该类所描述的特性外,还通过继承具有该类上层所有类描述的全部特性。

采煤机产品主要由截割部、牵引部等部件类构成,部件类可进一步划分为部件子类,如截割部部件类又可划分为提升托架、摇臂和滚筒等部件子类,摇臂部件子类又可划分为摇臂壳体、护板、油位计装配、电机护罩、加油接头、截一轴装配、截二轴装配、截三轴装配、截四轴装配、截五轴装配、湿式截割装置、双行星减速装置和透气塞装配等子子类,截一轴装配类又可进一步详细划分为轴承座、端盖、齿轮轴和密封座等零件类。利用混合知识表达模型可以较好地表示类的概念,例如在齿轮知识类层次结构中(图 1),齿轮知识类中的参数除了自身的参数外,还包含从摇臂齿轮箱类参数槽中继承的参数。

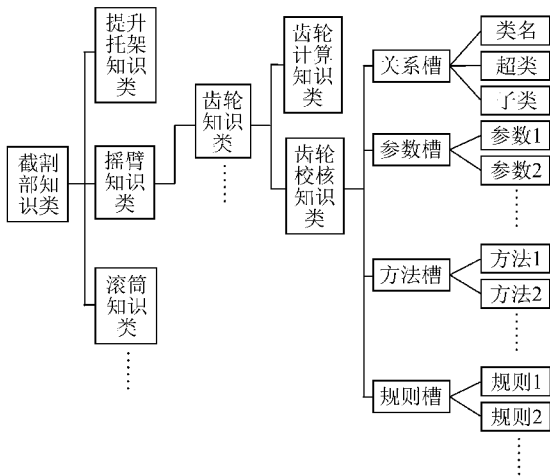


图 1 齿轮知识类层次结构

Fig. 1 The hierarchical structure of gear knowledge class

确定了知识表示方法后,还需要建立知识库系统

对知识进行存储^[9]。为了有利于知识库的长远发展,采煤机知识库采用模块化结构模型,使知识易于扩充、修改和维护。

1.3 基于知识融合推理模型的知识推理

知识推理技术是基于产品信息模型,依据相关知识,根据一个或一些前提、判断,按一定的推理策略得出另一个或一些判断,并最终求得结果的思维过程。知识工程中常用的推理技术主要有:实例推理(Case-based Reasoning, CBR)、规则推理(Rule-based Reasoning, RBR)、模型推理(Model-based Reasoning, MBR)及混合推理方法。

根据对采煤机截割部实际设计过程的分析,结合 3 种知识推理方法,其知识推理机制如图 2 所示。

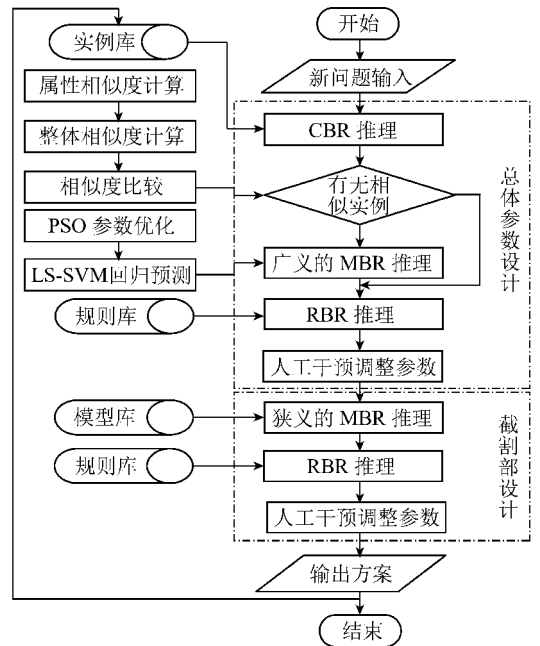


图 2 采煤机截割部现代设计知识推理机制

Fig. 2 The reasoning mechanism of shearer cutting unit modern design

首先进行 CBR 推理, CBR 推理能够为新问题寻求一个相似实例, 如果无相似实例则可以进行广义 MBR 推理, 其推理基础是基于支持向量机回归理论建立的广义 MBR 推理模型, 得到输出的总体参数与输入的设计要求参数之间的关系^[10]。随后可以利用 RBR 推理对参数进行验证。得到总体参数后进行部件设计, 利用模型库中截割部设计模型进行狭义 MBR 推理设计, 推理步骤中包含基于规则库的 RBR 推理。广义 MBR 和狭义 MBR 推理过程中都允许设计人员对设计过程结果和最终结果进一步进行交互调整与修改, 这是防止出现问题的最后一道屏障, 因此人工干预调整参数是整个设计过程中必不可少的环节。最终推理结果以一定的策略存入实例库, 以实

现不断提高系统知识自学习性和实例推理命中率的目的。

其中, MBR 包含两层含义: ① 采煤机概念设计中如果没有相似实例, 而且无法找出输入参数与输出参数之间明确的推导关系, 则可以以 MBR 组织问题的求解框架求解, 从而得到最终解, 此含义称为广义上的 MBR; ② 与采煤机总体技术参数确定过程不同的是, 在截割部的设计过程中输入参数与输出参数之间有明确的推导关系, 这时可以建立 MBR 模型, 用户输入设计参数通过计算机程序就可以得出设计结果参数的输出, 此含义称为是狭义上的 MBR。

2 知识工程在采煤机截割部设计中的实现

2.1 采煤机截割部设计知识获取实现

采煤机总体技术参数属性中, 截深、倾角、煤层硬度、供电电压属性为离散值属性, 其余采高、牵引力、牵引速度等属性为连续值属性。对于具有混合数据类型的属性, 利用 1.1 节所述方法进行属性约简, 得到最小约简属性集 {采高 C_1 , 截深 C_2 , 煤层倾角 C_3 , 牵引速度 C_4 , 牵引力 C_5 , 煤质硬度 C_6 }。根据式(3)计算出属性重要度, 并得出条件属性与决策属性的规则(表 1), 为下一步截割部设计的知识推理提供了科学依据。

表 1 条件属性与决策属性规则

Table 1 The rules between condition attributes and decision attributes

编号	规则	决策属性	支持度
1	$C_1 \text{ AND } C_6 \geq D_1$	截割功率	0.90
2	$C_3 \geq D_2$	牵引功率	0.85
3	$C_1 \text{ AND } C_3 \text{ AND } C_6 \geq D_3$	装机总功率	0.93
4	$C_1 \geq D_4$	滚筒直径	0.97
5	$C_5 \geq D_5$	整机质量	0.98

2.2 采煤机截割部设计知识表示实现

以截割部设计中的传动齿轮校核知识类为例, 利用 1.2 节所述方法, 采用面向对象的知识表示方法表示其结构及其与各对象的关系, 过程知识表示方法表示齿根弯曲强度、弯曲疲劳许用应力、齿面接触强度和接触疲劳许用应力的计算过程, 规则知识表示方法控制结果的判断。首先用面向对象的 C++ 语言描述知识类的定义, 然后将齿轮校核知识类实例化, 即将齿轮校核中的适当值进行填充。如下所示:

```
Class jiaohe
{
    Realtionjiaohe();
```

```
Rulejiaohe();
Parajiaohe();
Funjiaohe();
}
jiaohe: :Realtionjiaohe()
{
    CString className=" 齿轮校核"; /* 知识类的名为齿轮校核 */
    CString superClass=" 齿轮知识"; /* 超类为齿轮知识 */
    CString childClass="无"; /* 子类为空 */
}
jiaohe: :Parajiaohe
{
    float chigenwanquqiangdu; /* 齿根弯曲强度为 float 类型 */
    float wanqupilaoxuyongyingli; /* 完全疲劳许用应力为 float 类型 */
    float chimianjiechuqiangdu; /* 齿面接触强度为 float 类型 */
    float jiechupilaoxuyongyingli; /* 接触疲劳许用应力为 float 类型 */
    CString wanqujiaohe; /* 弯曲校核为 CString 类型 */
    CString jiechujiaohe; /* 接触校核为 CString 类型 */
}
jiaohe: :Funjiaohe(k, YFa, YSa, od)
{
    chigenwanquqiangdu = 2 * k * T * YFa * YSa / (od * m3 * z2); /* 计算齿根弯曲强度 */
    wanqupilaoxuyongyingli = KFN * jiechuapilaojixian / sa; /* 计算弯曲疲劳许用应力 */
    chimianjiechuqiangdu = 2.5 * pow(2 * k * T * (u+1) / od * d3, 0.33); /* 计算齿面接触强度 */
    jiechupilaoxuyongyingli = KHN * wanqupilaojixian / sb; /* 计算接触疲劳许用应力 */
}
jiaohe: :Rulejiaohe(chishu)
{
    int Rulenum[1] = 1001; /* 规则编号 */
    if( chigenwanquqiangdu <= wanqupilaoxuyongyingli) /* 规则前提句 */
        wanqujiaohe="合格"; /* 规则结论句 */
    else
```


例如传动比的分配可以由用户进行调配。

Step3 进行参数校核,得到截割部零件的详细参数。

3 系统应用

基于 UG 平台利用二次开发工具 UG/OPEN, 结合数据库技术、CAD/CAE 技术开发了采煤机截割部现代设计系统,使面向知识工程的现代设计方法得到了工程应用。该系统已在太原矿山机器集团有限公司设计研究院得到了成功应用。用户报告表明:与传统人工设计结果相对比,节省了查阅设计资料和设计计算的时间,降低了出错率和减少了重复工作次数,减轻了设计人员的劳动强度,设计结果可靠,系统应用效果良好。使用该系统研发的首台设备开发成本节约了 100 万元,若按今后每年 10 台计算,可为公司增产 1 000 万元。目前产品已在晋兴煤业集团投入使用,按每年年产原煤 1 000 万 t,每吨原煤 500 元计算,已产生原煤销售额 50 亿元。今后若在此基础上开发整机现代设计系统,将会带来更加显著的经济效益和社会效益。

4 结 论

(1) 研究了基于 ε 一致性准则粗糙集扩展模型的采煤机知识获取策略,对采煤机概念设计的条件属性和决策属性进行了属性约简和规则提取,为截割部设计的知识推理提供了参考。

(2) 提出了基于面向对象的表示方法、产生式规则和过程式表示方法的混合知识表示方法,实现了采煤机截割部设计知识的数字化表示。

(3) 提出了基于实例、模型和规则推理技术的融合推理模型,利用该模型可以得到采煤机总体和截割部的主要技术参数,实现了采煤机截割部设计的智能推理。

(4) 基于 UG 平台开发的采煤机截割部现代设计系统实现了工程应用,验证了该方法可行、有效,为下一步进行采煤机整机现代设计的研究提供了一种有效途径。

参考文献:

[1] Lu Z J, Leong H Y. Stress analysis of the rotatable arm of a coal min-

ing machine[A]. 4th Int. ANSYS Conf. Exhib. [C]. 1989:10-17.

- [2] Javier Toraño, Isidro Diego, Mario Menéndez. A finite element method (FEM)-Fuzzy logic (Soft Computing)-virtual reality model approach in a coalface longwall mining simulation[J]. Automation in Construction, 2008, 17:413-424.
- [3] 李晓豁, 杨丽华. 基于 PRO/E 的连续采煤机滚筒的参数化设计[J]. 黑龙江科技学院学报, 2007, 17(6):437-439.
- Li Xiaohuo, Yang Lihua. Parametric design of continuous miner drum on customized development of Pro/E[J]. Journal of Heilongjiang Institute of Science and Technology, 2007, 17(6):437-439.
- [4] 李晓豁, 郭继文, 邓云, 等. 基于人工鱼群算法的螺旋钻采煤机二次破碎率最低的参数优化设计[J]. 煤炭学报, 2011, 36(2):346-350.
- Li Xiaohuo, Guo Jiwen, Deng Yun, et al. Parameter optimization of lowest secondary crushing rate for coal auger based on artificial fish school algorithm[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(2):346-350.
- [5] 徐志鹏, 王忠宾. 基于粒子滤波的采煤机截割负载特性分析[J]. 煤炭学报, 2011, 36(4):696-700.
- Xu Zhipeng, Wang Zhongbin. Characteristic analysis of shearer cutting load based on particle filter[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(4):696-700.
- [6] 赵丽娟, 马永志. 基于多体动力学的采煤机截割部可靠性研究[J]. 煤炭学报, 2009, 34(9):1271-1275.
- Zhao Lijuan, Ma Yongzhi. Reliability research on shearer cutting unit based on multi-body dynamics[J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(9):1271-1275.
- [7] 杨明. 一种基于一致性准则的属性约简算法[J]. 计算机学报, 2010, 33(2):231-239.
- Yang Ming. A novel algorithm for attribute reduction based on consistency criterion[J]. Chinese Journal of Computers, 2010, 33(2):231-239.
- [8] 陈文伟, 陈晟. 知识工程与知识管理[M]. 北京:清华大学出版社, 2010.
- Chen Wenwei, Chen Cheng. Knowledge engineering and knowledge management[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2010.
- [9] 丁华, 杨兆建, 王义亮. 基于知识工程的采煤机数字化设计系统研究[J]. 机械设计, 2011(4):15-19.
- Ding Hua, Yang Zhaojian, Wang Yiliang. Research on digital design system for coal mining machine based on KBE[J]. Journal of Machine Design, 2011(4):15-19.
- [10] 丁华, 杨兆建. 采煤机概念设计融合推理模型研究与实践[J]. 煤炭学报, 2010, 35(10):1748-1753.
- Ding Hua, Yang Zhaojian. Research and practice of shearer conceptual design fusion reasoning model[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(10):1748-1753.