

文章编号:1671-251X(2019)01-0022-06

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2018050073

多层次多粒度采煤机创新设计知识表达方法

李杏^{1,2}, 丁华^{1,2}, 杨琨^{1,2}

(1. 太原理工大学 机械工程学院, 山西 太原 030024;
2. 煤矿综采装备山西省重点实验室, 山西 太原 030024)

摘要:针对现有知识表达方法难以全面有效地表达采煤机创新设计知识、采煤机专题知识库对知识的表达不够全面和检索效率不高等问题,为实现采煤机创新设计知识和经验的重用,激发设计者进行知识类比迁移的能力,提出了多层次多粒度采煤机创新设计知识表达方法。提取参数、结构、功能、原理、效应和领域等6种属性,用不同抽象粒度的知识对属性进行描述,每一个粒度又分别对应着概念层、语义关系层、实例层等抽象层面。通过特征属性描述生成知识条目,构建了多层次多粒度采煤机创新设计知识库,并通过本体推理和语义扩展从本地知识库和互联网资源检索得到不同层次不同粒度的知识,从而实现采煤机创新设计知识的多层次多粒度表达。以采煤机滚筒结构改进设计为例验证了该方法的可行性。

关键词:煤炭开采;采煤机创新设计;知识表达;多层次;多粒度;知识库;本体推理;语义扩展
中图分类号:TD421 **文献标志码:**A
网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20181224.1257.002.html>

Multi-level and multi-granularity innovative design knowledge expression method of shearer

LI Xing^{1,2}, DING Hua^{1,2}, YANG Kun^{1,2}

(1. College of Mechanical Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;
2. Shanxi Key Laboratory of Fully Mechanized Coal Mining Equipment, Taiyuan 030024, China)

Abstract: In view of problems that existing knowledge expression methods are difficult to fully and effectively express innovative design knowledge of shearer, and knowledge expression of existing special knowledge base is not comprehensive enough and its retrieval efficiency is not high, in order to realize reuse of innovative design knowledge and experience of shearer, inspire ability of knowledge analogy transfer by designers, a multi-level and multi-granularity knowledge innovative design expression method of shearer was proposed. Six attributes are extracted including parameter, structure, function, principle, effect and domain. The attributes are described by knowledge with different abstract granularity, each granularity corresponds to abstraction levels of concept layer, semantic relationship layer and instance layer. Knowledge items are generated through feature attribute description, and multi-level and multi-granularity innovative design knowledge base of shearer is constructed. Through ontology reasoning and semantic extension, knowledge of different levels and different granularities is retrieved from local knowledge base and Internet resources, thus realizes multi-level and multi-granularity expression of innovative design knowledge of the shearer. The feasibility of the method was verified by improved structure design of shearer drum.

收稿日期:2018-05-22;**修回日期:**2018-12-03;**责任编辑:**胡娴。
基金项目:山西省科技基础条件平台项目(201805D141002);山西省自然科学基金项目(201601D011050);山西省研究生联合培养基地人才培养项目(2018JD15)。
作者简介:李杏(1992—),女,河南驻马店人,硕士研究生,主要研究方向为现代机械设计,E-mail: no11ix@163.com;通信作者:丁华(1979—),女,山西太原人,副教授,博士,主要研究方向为智能设计、图像处理,E-mail: dinghua2002@163.com。
引用格式:李杏,丁华,杨琨.多层次多粒度采煤机创新设计知识表达方法[J].工矿自动化,2019,45(1):22-27.
LI Xing,DING Hua,YANG Kun. Multi-level and multi-granularity innovative design knowledge expression method of shearer[J]. Industry and Mine Automation,2019,45(1):22-27.

Key words: coal mining; innovative design of shearer; knowledge expression; multi-level; multi-granularity; knowledge base; ontology reasoning; semantic extension

0 引言

随着煤炭地质条件越来越复杂,采煤机发展也面临新的挑战^[1],加强采煤机前沿技术和基础理论研究,将现代创新理论应用于采煤机领域,充分关联信息和知识,最大限度地获取、表达和重用知识,是推动采煤机进一步发展的方向。

知识表达是指采用有效的数据结构对获取的知识进行逻辑表示并物理地存储到计算机中,以便对知识进行灵活的处理和操作^[2]。目前机械领域常用的知识表达方法有本体、谓词逻辑、语义网络、产生式和面向对象等方法^[3]。而采煤机创新设计知识具有多样性、层次性、相关性等特点,使用上述方法难以全面有效地表达采煤机创新设计知识。

为了加快产品的创新,近年来,出现了面向产品创新设计的知识库^[4]、计算机辅助产品创新设计系统^[5]、创新设计本体知识库^[6]等,这些知识库主要为提供各种原理知识,以进行产品的原理级创新活动。为了实现采煤机具体设计知识和经验的重用,很多研究人员对采煤机专题知识库进行了研究,构建了采煤机计算机辅助工程(Computer Aided Engineering, CAE)分析数据库^[7]、采煤机设计规则库^[8-10]、电牵引采煤机零件知识库^[11]等。这些知识库系统能够为设计人员提供特定的采煤机设计知识,但是难以满足多种多样的设计需求。此外,现有的采煤机专题知识库还存在对知识的表达不够全面和检索效率不高等问题。

针对上述问题,本文基于人的多粒度认知模型,提出多层次多粒度采煤机创新设计知识表达方法,提取参数、结构、功能、原理、效应和领域等6种属性,用不同抽象粒度的知识对属性进行描述,从而实现采煤机创新设计知识的多层次多粒度表达。对采煤机创新设计知识进行表示并构建知识库,不仅可以为采煤机设计者提供详细具体的设计知识,还能提供可供参考和类比的跨领域、多学科知识。通过本体推理和语义扩展,快速而有效地检索知识属性所对应的不同层次不同粒度的采煤机创新设计知识和互联网知识,有利于激发设计者进行类比联想并实现知识迁移。

1 多层次多粒度知识表达模型

粒化是一种概括和总结知识的方法,可用来表

示对知识抽象程度的度量^[12]。信息粒度是实现知识重用和迁移的基础^[13]。在对事物进行描述时,人的大脑惯于先从很粗的粒度上笼统地理解事物,然后再从较细的粒度角度进行详细分析,最终达到从不同层次和不同角度全面把握事物的目的^[14]。整个认知过程的多层次多粒度模型如图1所示,模型的顶层表示事物的外在属性(粗粒度),底层表示事物的详细信息(细粒度)。

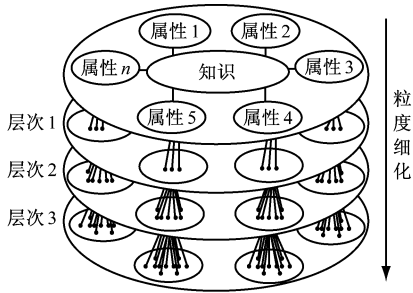


图1 认知过程的多层次多粒度模型
Fig. 1 Multi-level and multi-granularity model of cognitive process

2 采煤机创新设计知识表达

2.1 采煤机创新设计知识分类

采煤机创新设计是一个从抽象到具体、反复迭代、逐步细化的过程,主要包括6个环节,即需求分析、问题表征、原理设计、结构设计、方案评价和详细设计,如图2所示。随着设计过程的不断深入,需要的知识也会呈现由粗到精、由抽象到具体的状态。

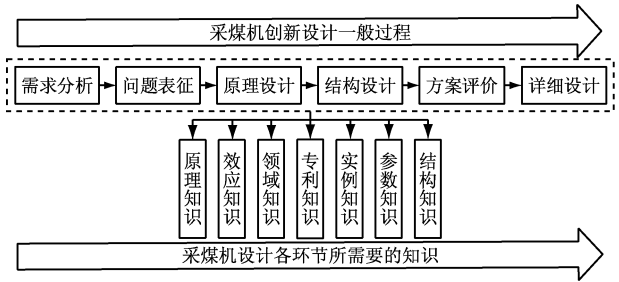


图2 采煤机创新设计过程及各环节所需要的知识
Fig. 2 Innovative design process of shearer and the knowledge required in each link

采煤机创新设计知识可分为原理类、综合类和领域类3种。原理类知识主要包含设计原理与发明原理等,是指在采煤机设计前端指导创新设计过程的一类高度抽象的设计知识,提供规律性的设计方法;综合类知识主要包含科学效应、专利知识和实例知识等,主要用来描述学科原理及其关系,便于实现采煤机功能;领域类知识主要包含采煤机具体参数、

结构设计知识和其他领域的设计知识,为采煤机设计后端具体参数和结构设计提供具体的专业知识。

2.2 多层次多粒度知识表达

用不同抽象粒度的知识对采煤机属性进行描述时,每一个粒度又分别对应着概念层、语义关系层、实例层等抽象层面。

2.2.1 概念层知识表达

概念层包括参数属性、结构属性、功能属性、原理属性、效应属性、领域属性,用基本单元和名称对知识进行描述,是对知识的高度抽象化表达。参数属性描述采煤机设计过程中的具体参数;结构属性描述采煤机改造设计过程中所涉及到的结构及零部件知识;功能属性是以功能基^[15]形式描述采煤机已经实现的割煤、破煤等功能及可能实现的功能;原理属性包括需求分析、功能-行为-结构(Function-Behaviour-Structure, FBS)设计等设计原理和 TRIZ (发明问题的解决理论)原理、创造性模板等发明原理;效应属性描述物理效应(如电磁效应)、几何效应(如体积效应)、化学效应(如光化学效应)等科学原理和效应^[16-17];领域属性是根据国际专利分类法的分类信息对知识的所属领域进行描述。使用概念对属性进行表达,有利于形成清晰的感知知识。以参数属性为例,其粒度概念结构如图 3 所示。

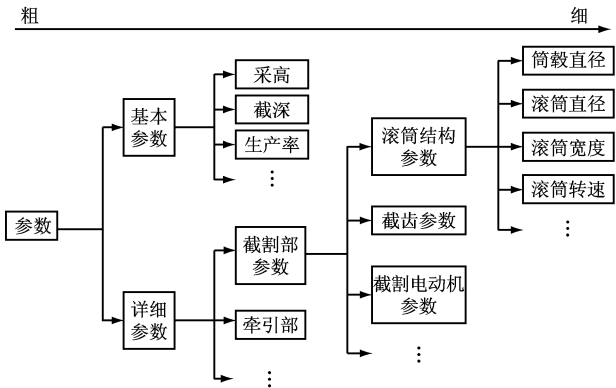


图 3 参数属性的粒度概念结构

Fig. 3 Granularity conceptual structure of parametric attribute

2.2.2 语义关系层知识表达

语义层描述粒度属性内容语义与语义之间的关系,包括属性描述和属性语义关系 2 个部分。属性是对象本质特征的刻画,有利于设计者快速理解知识,属性语义关系表示属性之间的关联。例如,“采煤机割煤是通过螺旋滚筒上的截齿对煤壁进行切割的”中结构属性包括“滚筒结构 & 截齿结构”,功能属性是“割煤”,结构属性和功能属性之间存在相关联系。属性之间的语义关系如图 4 所示。

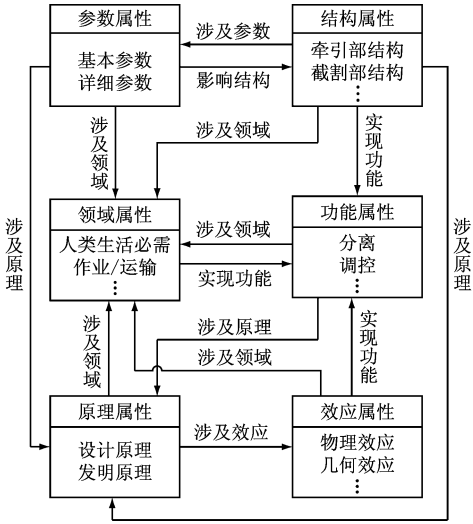


图 4 属性语义关系

Fig. 4 Semantic relation between attributes

利用本体技术构建属性语义本体,如图 5 所示。其中属性概念对应本体中的类,属性语义关系对应本体中类与类之间的关系(如种属关系 Kind of,实例关系 Instance of 等),用参数、结构、功能、原理、效应、领域 6 种抽象属性从不同角度描述知识。通过本体之间的关系,映射出不同学科、不同抽象程度、不同粒度的满足设计需求的知识,有利于实现知识推理和语义扩展。

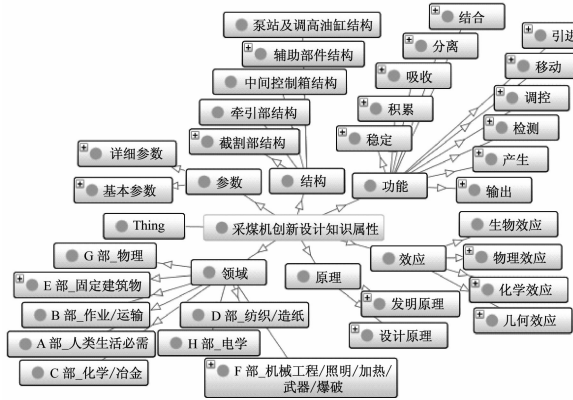


图 5 属性语义本体关系

Fig. 5 Relation between attributes semantic ontology

2.2.3 实例层知识表达

实例是指对文档、数据、图纸等知识的具体描述^[18]。实例层知识描述模型如图 6 所示。标题栏用于显示知识的名称;条目内容包含各粒度属性和方案内容;属性名称使用标准本体词汇进行表示;语义描述指对属性的具体内容进行描述,例如结构属性的具体内容包括概念描述、工作原理、CAD 模型、CAE 分析等信息;方案内容主要针对于专利和应用示例知识,包含问题描述、附图说明及方案描述,便于用户全面理解该类知识。

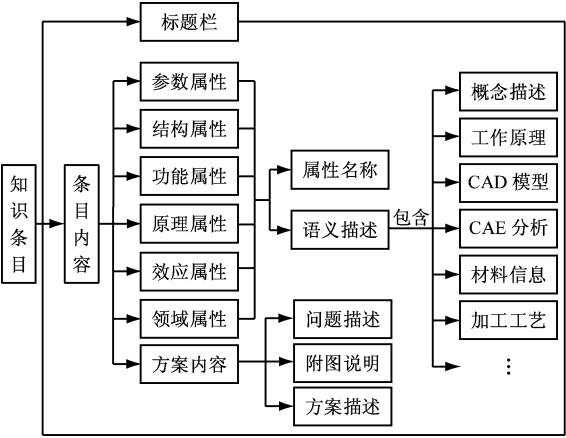


图 6 实例层知识描述模型

Fig. 6 Knowledge description model in instance layer

因为不同的知识实例包含的知识内容和类型不同,对应的知识属性的内容和类型也不同,所以针对某些特定的采煤机创新设计知识,可能无法提取得到某些属性对应的具体内容,可在整理知识文本时将该属性与其对应的具体内容置空。

此外,可通过属性概念和本体推理对互联网上的资源进行扩展检索,利用词频-逆文件频率(Term Frequency-Inverse Document Frequency, TF-IDF)公式计算检索结果文档与属性描述之间的语义相似度,对本地知识库和互联网资源的检索结果按本领域知识(相似度为 0.7~1.0)、近领域知识(相似度为 0.4~0.7)、远领域知识(相似度为 0~0.4)进行排序,得到本地知识和扩展知识。

通过多层次多粒度知识描述模型对知识进行描述,不仅便于设计者从不同角度理解和迁移知识,还可形成统一结构的知识文本,便于计算机的存储和检索。在信息时代,互联网上的知识日新月异,将互联网与本地知识库连接起来,有利于增加计算机的搜索范围,便于知识扩展。

3 知识库的构建与应用

3.1 知识库构建

首先,从采煤机创新设计领域中选取知识实例;然后,逐步抽取出知识对应的参数属性、结构属性、功能属性、原理属性、效应属性和领域属性知识;再对各粒度层次知识的属性进行语义描述,最终生成知识条目;将知识条目加入采煤机创新设计知识库中,实现实例知识由粗粒度向细粒度的转化及存储。在使用和维护的过程中对知识库进行扩充和改进,最终构建一个可以辅助采煤机进行创新设计的完善的知识库系统。

3.2 知识库应用

知识库采用设计目录和语义检索 2 种不同抽象粒度的检索方式。使用本体库中的标准本体词汇构建设计目录,以更方便地引导设计者进行知识检索。语义检索方法能很好地弥补传统检索方法因缺少语义易造成知识错检和漏检的缺陷,比设计目录的检索粒度细。此外,用户在检索时可对相似度范围进行设定,便于缩小搜索范围,更利于用户分别浏览本领域、近领域、远领域知识。

知识库应用流程如图 7 所示。设计者使用知识库时,可根据设计任务及设计目标的不同将问题表征为参数问题、结构问题、功能问题等标准问题,选择合适的检索方式。知识库根据设计者输入的内容进行本体推理和语义扩展,最后输出检索结果。若结果满足要求,用户可下载文档。若不满意,则需重新进行问题表征,直到检索出满足需求的结果。

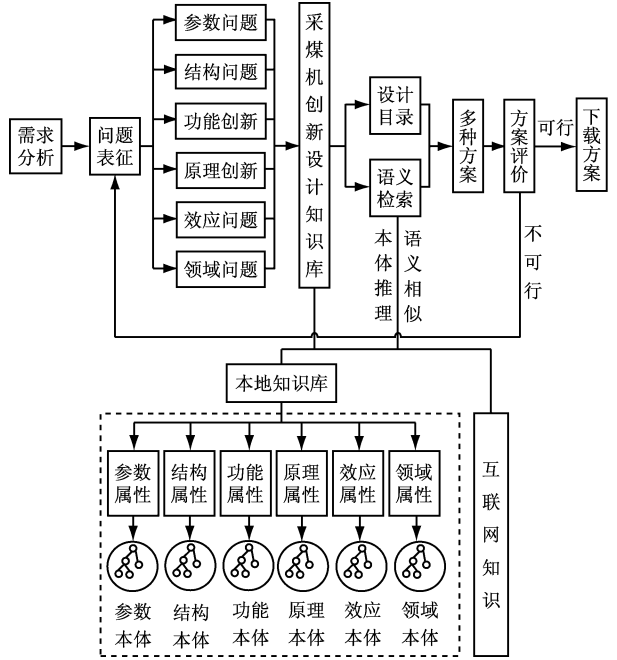


图 7 知识库应用流程

Fig. 7 Application flow of knowledge base

4 实例分析

以采煤机截割滚筒的结构改进设计为例,说明多层次多粒度采煤机创新设计知识表达方法的具体应用过程。以 java 语言环境下的 eclipse 为开发平台,mysql 为后台数据库,用 protege 4.3 实现属性语义关系的建立和存储,利用 jena2.5.6 将本体文件存储到关系数据库,结合 Lucene 开源检索工具、jena 本体推理、语义相似度计算和 Python 技术实现语义检索和知识扩展。

目前采煤机一般利用滚筒直接接触煤岩进行截

割,要提高生产率,就要提高采煤机牵引速度和截割速度,而这会导致滚筒能耗增加。针对该问题,采用本文所提方法进行改进设计,具体步骤如下。

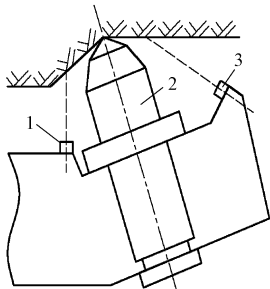
(1) 问题分析:目前已有的电牵引采煤机利用滚筒直接截割煤岩,若要提高采煤机的生产率,滚筒能耗也会增大,即采煤机的生产率与其滚筒能耗之间存在矛盾。

(2) 问题表征:用 TRIZ 理论中的 39 个通用工程特性将上述矛盾转换为标准冲突问题:欲改善的特性为“生产率”,欲恶化的特性为“运动物体的能量消耗”。

(3) 获取一般解:将上述欲改善的特性和欲恶化的特性代入阿奇舒勒矛盾矩阵,找到相应的发明原理,包括:10—预先作用,19—周期性作用,35—改变参数,38—加速强氧化。以“预先作用”原理为例进行分析。

(4) 获取类比知识:在知识库中输入“预先作用”,在本地知识库和互联网资源搜索到的实例知识有“预先作用原理”、“TRIZ 预先作用原理简述”、“基于水射流的水下开孔抽油装置”、“自动喷水灭火装置”等。

根据这些实例知识,会产生一些创新方案。例如,受“基于水射流的水下开孔抽油装置”的启发,可采用水射流方法辅助截割煤岩,如图 8 所示。在截齿座的前端和后端各增加一个喷嘴,在采煤机滚筒截齿截煤之前,先使用水射流对煤层进行预破碎,使煤岩局部或全部松动。虽然采用水射流也会消耗能量,但其消耗的能量与没有采取水射流辅助截割的滚筒相比要少得多,从而缓解了采煤机生产率提高时滚筒能耗增加的问题。



1—前喷嘴;2—截齿;3—后喷嘴

图 8 水射流辅助截齿座

Fig. 8 Water jet-assisted pick holder

5 结语

基于人的多粒度认知过程模型对采煤机创新设计知识进行分类,提出了多层次多粒度采煤机创新

设计知识表达方法,并通过本体推理和语义扩展对本地多层次多粒度采煤机创新设计知识库和网络资源进行搜索。利用该方法,设计者可获取与采煤机相关的本领域、近领域、远领域实例知识,促进设计者进行联想类比,从而进一步促进采煤机的创新设计活动,实现了采煤机创新设计知识的共享和重用。

参考文献(References):

[1] 杨芸. 采煤机现状与发展[J]. 工矿自动化, 2017, 43(1):26-28.
YANG Yun. Status and development of shearer[J]. Industry and Mine Automation, 2017, 43(1):26-28.

[2] OLES F J. An application of lattice theory to knowledge representation[J]. Theoretical Computer Science, 2000, 249(1):163-196.

[3] 丁华, 杨兆建, 姚晶. 采煤机概念设计的知识表示与知识推理[J]. 机械设计与制造, 2011(6):216-218.
DING Hua, YANG Zhaojian, YAO Jing. Knowledge representation and reasoning of shearer conceptual design[J]. Machinery Design & Manufacture, 2011 (6):216-218.

[4] 廖荣福, 李彦, 李文强. 面向产品创新设计的知识库研究[J]. 机械设计, 2008, 25(7):5-10.
LIAO Rongfu, LI Yan, LI Wenqiang. Research on knowledge base orientating to innovation design of products[J]. Journal of Machine Design, 2008, 25(7): 5-10.

[5] 陈林, 李彦, 李文强, 等. 计算机辅助产品创新设计系统开发[J]. 计算机集成制造系统, 2013, 19(2): 319-329.
CHEN Lin, LI Yan, LI Wenqiang, et al. Development of a computer-aided product innovation and design system—CAIP [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2013, 19(2):319-329.

[6] 梁浩. 面向创新设计的语义知识表示方法的研究与应用[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2014.

[7] 宋高峰, 杨兆建, 丁华. 采煤机 CAE 分析数据库的设计与实现[J]. 煤矿机械, 2011, 32(2):217-219.
SONG Gaofeng, YANG Zhaojian, DING Hua. Design and implementation of shearer CAE analysis database [J]. Coal Mine Machinery, 2011, 32(2):217-219.

[8] 丁华, 常琦, 杨兆建. 基于混合知识表示模型的采煤机规则库构建与应用[J]. 机械设计与制造, 2016(5): 204-207.
DING Hua, CHANG Qi, YANG Zhaojian. Shearer rule base build and application based on hybrid knowledge expression model[J]. Machinery Design & Manufacture, 2016(5):204-207.

[9] 丁华,杨兆建. 面向知识工程的采煤机截割部现代设计方法与系统 [J]. 煤炭学报, 2012, 37 (10): 1765-1770.
DING Hua, YANG Zhaojian. Method and system of shearer cutting unit modern design oriented to KBE [J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37 (10): 1765-1770.

[10] 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, 28(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, 28(4): 15-19.

[11] 郭生龙. 电牵引采煤机零件知识库构建[J]. 煤炭工程, 2016, 48(11): 128-130.
GUO Shenglong. Construction of knowledge base for electric traction shearer parts[J]. Coal Engineering, 2016, 48(11): 128-130.

[12] PEDRYCZ W, RUSSO B, SUCCI G. Knowledge transfer in system modeling and its realization through an optimal allocation of information granularity[J]. Applied Soft Computing, 2012, 12(8): 1985-1995.

[13] WANG Guoyin. Extension of rough set under incomplete information systems [J]. IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 2002, 2(4): 1098-1103.

[14] 张清华,周玉兰,滕海涛. 基于粒计算的认知模型[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2009, 21 (4): 494-501.
ZHANG Qinghua, ZHOU Yulan, TENG Haitao. Cognition model based on granular computing [J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications(Natural Science Edition), 2009, 21(4): 494-501.

[15] 涂建伟,李彦,李文强,等. 一种面向产品创新设计的知识检索模型与实现[J]. 计算机集成制造系统, 2013, 19(2): 300-308.
TU Jianwei, LI Yan, LI Wenqiang, et al. Knowledge retrieval model and implementation for product innovative design [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2013, 19(2): 300-308.

[16] 刘龙繁,李彦,马金龙,等. 基于知识粒度的 TRIZ 在创新设计中的应用[J]. 机械工程学报, 2016, 52(5): 22-32.
LIU Longfan, LI Yan, MA Jinlong, et al. Application of TRIZ in creative design based on knowledge granularity[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2016, 52(5): 22-32.

[17] 范秋霞,杨兆建. 基于本体映射采煤机零部件 CAE 设计方案获取 [J]. 煤炭学报, 2013, 38 (增刊 1): 236-242.
FAN Qiuxia, YANG Zhaojian. Selection for CAE design scheme of shearer parts based on ontology mapping[J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38 (S1): 236-242.

[18] 范秋霞,杨兆建. 基于实例规则的采煤机 CAE 设计知识集成[J]. 煤炭科学技术, 2014(5): 84-87.
FAN Qiuxia, YANG Zhaojian. Integration method for shearer CAE design knowledge based on case rules [J]. Coal Science and Technology, 2014(5): 84-87.