

面向典型宇航产品的工艺知识库研究

郭亚飞 侯俊杰 石胜友

(中国航天工程咨询中心信息化总体设计部 北京 100048)

摘要 我国航天事业的快速发展对构建面向典型宇航产品的工艺知识库提出了迫切的需求。在对典型宇航产品工艺知识研究的基础上,针对典型宇航产品工艺知识的特点,构建了基础资源类知识、工艺方案类知识和工艺经验类知识表示模型,设计了面向典型宇航产品的工艺知识库,并通过典型宇航产品工艺知识库原型系统验证了知识库的实用性。

关键词 典型宇航产品,知识库,本体思想,知识表示

中图法分类号 TP392 **文献标识码** A

Research of Process Knowledgebase Oriented to Typical Aerospace Product

GUO Ya-fei HOU Jun-jie SHI Sheng-you

(Department of IT Strategy and Architecture, China Aerospace Engineering Consultation Center, Beijing 100048, China)

Abstract It is urgent to research process experience knowledgebase oriented to typical aerospace product because of rapid development of space cause. Based on researching process experience knowledge oriented to typical aerospace product, according to its characteristics, the paper constructed knowledge express model of basic resource, process project and process experience, designed the process knowledgebase oriented to typical aerospace product, and verified practicality of the knowledgebase by prototype system.

Keywords Typical aerospace product, Knowledgebase, Ontology, Knowledge express

1 引言

随着我国“载人航天”工程二期、“探月”工程二期、新一代大型运载火箭等一批重大型号工程的研制,我国宇航产品型号研制呈现出品种多、周期紧、生产批量变化大等特点,这就对宇航产品快速设计及制造能力提出了更高的要求。因此研究和构建面向典型宇航产品的工艺知识库,发挥信息化对宇航产品快速设计及制造能力的保障作用就变得更为重要和迫切。

近年来,知识库构建技术发展较快,许多学者、专家都相继提出了新的研究成果^[1-3],然而面向典型宇航产品工艺知识库构建的研究却较少。本文在深入研究工艺知识特殊性的基础上,研究了面向典型宇航产品工艺知识表示模型,设计了面向典型宇航产品工艺知识库,并通过原型系统验证了知识库的实用性。

2 面向典型宇航产品工艺知识研究

2.1 工艺设计过程知识要素分析

根据对典型宇航零部件生产过程和工艺设计过程及其所涉及知识要素的调研分析,工艺设计与产品生产知识流图可用图1表示。

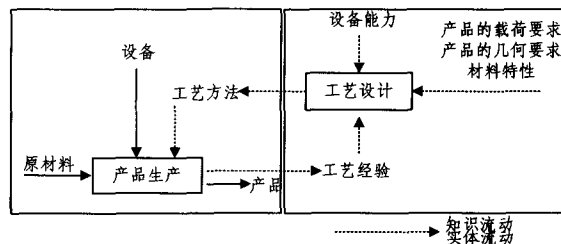


图1 工艺设计与产品生产知识流图

从图1可知,在前导输入“产品载荷要求”、“产品几何要求”和“材料特性”等限制下,工艺设计人员可根据“设备能力”,结合“工艺经验”设计工艺方法。“工艺方法”作为工艺设计环节的输出,同时也作为产品生产环节的输入,进入产品生产过程,在工艺方法与加工要求指导下,生产人员通过设备加工原材料,生产出产品,同时也对“工艺经验”进行校验和改进。

2.2 工艺知识表示需求

根据第2.1节的工艺设计过程知识要素分析,集合型号工程研制实际,可把工艺知识分为“基础资源类”、“工艺方案类”和“工艺经验类”3类,分类明细如表1所列。

基础资源类:该类知识是工艺知识的基础,包括材料性能知识和设备能力知识。该类知识的特点是属性较多,如材料

到稿日期:2012-07-24 返修日期:2012-11-28 本文受 863 重大专项计划(2011AA04601, 2011AA04602, 2011AA04603), 国防科技工业先进设计项目(Q032011A002), 宇航产品智能化设计制造集成技术与系统联合研究项目(2010DFB80730)资助。

郭亚飞(1984-),男,硕士,工程师,主要研究方向为数据库设计;侯俊杰(1971-),男,博士,研究员,主要研究方向为数据库设计;石胜友(1976-),男,博士,高级工程师,主要研究方向为数据库设计。

性能知识包含力学性能、热学性能、机械性能、化学成分等,但该类知识受到的约束较少,因此在基础资源知识表达中只需要能够完全表达这些属性即可。

表1 工艺知识分类明细表

知识类别	知识名称	描述内容
基础资源类	材料性能知识	材料性能:机械性能、热学性能等
	设备能力知识	设备能力:加工精度、加工限制等
工艺方案类	典型工艺方案知识	工艺方案
	典型工艺路线知识	工艺路线
	典型工序知识	工序
工艺经验类	优化性经验知识	以产品为对象,描述材料、设备的较优性组合,如:对于A产品,加工材料为a,设备1的参数组合为(x1,x2)
	禁止性经验知识	以产品为对象,描述材料、设备的禁止性组合,如:对于A产品,加工材料为a,不能使用设备a

工艺方案类:工艺方案是工艺设计的核心内容。实际生产中,同类零部件加工方案之间常具有某种相似性,而基于合理的工艺知识表达方式,设计人员能快速定位有效知识,快速生成新的工艺方案。因此工艺方案知识的表示模型研究中,如何建立各工艺方案之间的关联成为一个难点。

工艺经验类:工艺设计是一项经验性极强的工作,因此工艺经验是工艺设计中的一类重要知识。然而,工艺规程中很多经验性参数并没有严格的计算公式支持,而是老工艺设计师根据多年工作实践总结所得,因此就要选择一种知识表示方法,使得在存储时能够选择一种灵活的数据结构,以便于知识表达的扩展。

3 面向典型宇航产品工艺知识建模研究

3.1 知识表示方法的研究

知识表示就是选择合适的形式表示知识,即寻找知识与表示之间的映射,主要取决于知识的结构及其机制。近年来,许多学者、专家相继在这方面提出了自己的研究成果,如基于事例的表示法、基于框架的表示法、基于脚本的表示法、基于谓词逻辑的表示法、基于语义网络的表示法、面向对象的表示法、基于本体的表示法^[4,5]等。这些知识表示方法都有一定的优缺点,适用于特定类型知识的表达。其中,基于框架的知识表示方法较为常用。

通过对这几类知识表示方法的研究发现:

(1)基于框架的知识表示法可表示知识的多个属性,并且较常用且简单,能满足基础资源知识表示和工艺方经验知识表示的要求。设备库和材料库较常见,在多个知识库中都有研究,因此不做详细描述。工艺经验知识表示模型详细描述详见3.3节。

(2)基于本体的知识表示方法可建立各个方案之间的关联,并通过研究选择恰当的本体,可使知识表达更加简洁,以及实现对知识的智能检索,其能满足工艺方案知识表示的要求,详细描述见3.2节。

3.2 基于本体的工艺方案知识表示模型

工艺方案知识都描述的是某一工艺的解决方案,在实际应用中可分解为问题、方案和信息3部分,因此基于本体的工艺方案知识表示模型就采用“问题-方案-信息”的方法来实现

对工艺知识的表达:先提出问题,再阐述解决方案,并通过本体的思想使知识表达更加简洁且有利于知识的智能检索,表示流程如图2所示。

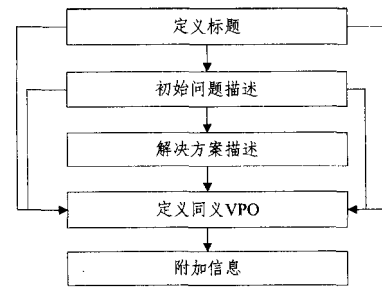


图2 “问题-方案-信息”知识表示流程

- (1)定义该条知识的标题;
- (2)定义该条知识的初始问题描述;
- (3)定义该条知识的解决方案描述,如问题现象的分析过程,最终的解决办法和实施方案等;
- (4)根据知识内容(标题,初始问题描述,解决方案描述,附加信息)定义该解决方案的同义V-P-O,其中V=动词 Verb,P=参数 Parameter,O=对象 Object(VPO用于本体扩展查询);
- (5)定义该条知识的附加信息,如该方案实施条件、适用范围、对解决类似问题的启示等。

在这种表达方式中,标题是对该条知识最简洁、最准确的描述。初始问题描述、解决方案描述、方案实施附加信息描述能用文字、图片的形式将初始问题和针对该问题的解决方案准确、详细地表达出来。这种知识表达方式最大的特点和优势在于每一条知识都对应一个或者几个根据知识内容定义的,且能精确表达该方案所要解决问题的同义VPO。

VPO中的动词、参数和对象均以概念的形式存储到知识库中,并作为该条知识表达与检索的标志。整理成上述形式的知识存储在知识条目库中,其对应的文档(如图形信息)存储在文档库中。一条知识若可以解决多个问题,可为它定义多组VPO;若多条知识都能解决同一个问题,表示该问题的VPO可定义到多条知识。知识与VPO之间是一种多对多的关系。

3.3 工艺经验知识表示模型

表2 极限尺寸类经验知识表示模板

模板字段	字段说明
知识领域	钣金加工
二级子领域	极限尺寸
零部件类别	通过这3个字段标记与该经验知识相关联的零部件
零部件名称	
零部件代码	
极限附着特征名称	通过该组字段,说明描述的是零件上哪一个特征的极限尺寸
极限附着特征代码	
附图	
上极限	用上限表示极限尺寸的范围
下极限	用下限表示极限尺寸的范围
约束公式	用公式来表示极限尺寸的范围

通过对典型宇航产品制造厂多个车间的调研,根据调研所采集的案例发现,工艺经验知识可以进一步细分为极限尺寸类和加工精度类。极限尺寸类是指在一般生产条件下,实际加工能力所能达到的最大或最小尺寸,可通过知识领域、二

级子领域、零部件类别、零部件名称、零部件代码、极限附着特征代码、极限附着特征名称、附图、上极限、下极限和约束公式等表示。加工精度类是指在一般生产条件下,实际加工能力对设计尺寸偏差的满足能力,可通过知识领域、二级子领域、零部件类别、零部件名称、零部件代码、精度类型、特征尺寸名称、特征尺寸代码、特征尺寸大小、精度附着特征名称、精度附着特征代码、精度附着特征大小、附图、精度上限和精度下限表示。因此,极限尺寸类经验知识表示模板和加工精度类经验知识表示模板可通过表 2、表 3 表示。

表 3 加工精度类经验知识表示模板

模板字段	字段说明
知识领域	钣金加工
二级子领域	加工精度
零部件类别	
零部件名称	通过这 3 个字段标记与该经验知识相关联的零部件
零部件代码	
精度类型	公差带\粗糙度\平面度\圆度
特征尺寸名称	加工精度的范围往往与零部件的某一特征尺寸相关联,如锥蒙皮垂直度偏差与锥蒙皮的母线尺寸有关。
特征尺寸代码	
特征尺寸大小	通过该组字段,对制约加工精度的特征尺寸进行描述
精度附着特征名称	
精度附着特征代码	通过该组字段,说明描述的是零件上哪一个特征的加工精度
精度附着特征大小	
附图	
精度上限	加工精度上限
精度下限	加工精度下限

3.4 面向典型宇航产品工艺经验知识模型应用实例

3.4.1 蒙皮桁条加工工艺知识实例

在 XX 厂调研发现,蒙皮桁条零部件主要包括:加强口框、口盖、支架、中间框、端框、蒙皮、桁条、加强连接板,加工过程如表 4 所列。

表 4 蒙皮桁条加工工艺过程

构件	工艺过程
上端框、下端框(型材框)	拉弯
板材框	下料—滚弯—半切—阳极化
口框(蒙皮桁条上的窗户)	冲压—敲边
支架	模具压弯—修整
蒙皮	下料(数控冲床)—滚弯
桁条	模具压

各零部件的极限尺寸和尺寸精度如表 5—表 9 所列。

表 5 支架类

极限尺寸类	d=材料厚度
	折弯半径; $R1 \geq 2 * d$
	止裂孔; $R2 \geq 2 * R1$
	弯边高度; $L = 2 \sim 3mm$
尺寸精度	工艺能力:±0.5;实际标注:±0.2

表 10 极限尺寸类经验知识表示

知识领域	二级子领域	零部件类别	零部件名称	零部件代码	极限附着特征名称	极限附着特征代码	附图	上极限	下极限	约束公式
钣金加工	极限尺寸	支架类	支架	001001	直径(d)	001	略	无	无	d=材料厚度
钣金加工	极限尺寸	支架类	支架	001001	折弯半径	002	略	无	2 * d	
钣金加工	极限尺寸	支架类	支架	001001	止裂孔	003	略	无	2 * R1	
钣金加工	极限尺寸	支架类	支架	001001	弯边高度	004	略	无	无	L=2~3mm
钣金加工	极限尺寸	桁条类	桁条	001002	下陷深度	005	略	无	无	4mm;过渡区长度>3~4X 下陷深度
										5mm;过渡区长度>4X 下陷深度

表 6 口框

尺寸精度	工艺能力:±1;实际标注:±0.2
------	-------------------

表 7 端框

尺寸精度	端框与直线的偏差
	工艺能力:±2.5;
	实际标注:±1

表 8 蒙皮

尺寸精度	锥蒙皮母线长度
	>2m;偏差 2mm
	1~2m;偏差 1.5mm
	<1m;偏差 1mm

表 9 桁条

极限尺寸	下陷深度:
	4mm;过渡区长度>3~4X 下陷深度
	5mm;过渡区长度>4X 下陷深度
尺寸精度	桁条长度实际工艺能力
	长度>4m;±2;
	1m~4m;±1

3.4.2 蒙皮桁条加工工艺知识模型表示

上述实例可分为工艺方案知识和工艺经验知识两部分,因此可从这两方面分别进行表示。

(1)蒙皮桁条加工工艺方案知识表示

该条知识所能解决的问题是:“蒙皮桁条加工工艺过程”,则可定义该条知识的同义 VPO 为 V:加工;P:蒙皮桁条;O:工艺过程。该条知识就可表示为:

标题:蒙皮桁条加工工艺过程

问题描述:蒙皮桁条加工是宇航制造的一项重要工作,蒙皮桁条加工方案知识是宇航制造必需的重要知识。

方案描述:蒙皮桁条的零部件主要包括:加强口框、口盖、支架、中间框、端框、蒙皮、桁条、加强连接板。其中:上端框、下端框(型材框)加工工艺过程是“拉弯”;板材框加工工艺过程是“下料—滚弯—半切—阳极化”;口框加工工艺过程是“冲压—敲边”;支架加工工艺过程是“模具压弯—修整”;蒙皮加工工艺过程是“下料(数控冲床)—滚弯”;桁条加工工艺过程是“模具压”。

(2)蒙皮桁条加工工艺经验知识表示

根据第 3.4.1 节的研究,蒙皮桁条加工工艺经验知识分为极限尺寸类经验知识和尺寸精度类经验知识两部分,详见表 10 和表 11。

表 11 尺寸精度类经验知识表示

知识领域	二级子领域	零部件类别	零部件名称	零部件代码	极限附着特征名称	极限附着特征代码	附图	上极限	下极限	约束公式
钣金加工	极限尺寸	支架类	支架	001001	工艺能力	001	略	+0.5	-0.5	
钣金加工	极限尺寸	支架类	支架	001001	实际标注	002	略	+0.2	-0.2	
钣金加工	极限尺寸	口框类	口框	001002	工艺能力	003	略	+1	-1	
钣金加工	极限尺寸	口框类	口框	001002	实际标注	004	略	+0.2	-0.2	
钣金加工	极限尺寸	端框类	端框	001003	工艺能力	005	略	+2.5	-2.5	
钣金加工	极限尺寸	端框类	端框	001003	实际标注	006	略	+1	-1	
钣金加工	极限尺寸	蒙皮类	蒙皮	001004	锥蒙皮母线长度	007	略			>2m; 偏差 2mm 1~2m; 偏差 1.5mm <1m; 偏差 1mm
钣金加工	极限尺寸	桁条类	桁条	001004	桁条长度实际 工艺能力	008	略			长度>4m; ±2; 1m~4m; ±1

4 面向典型宇航产品工艺知识库构建

4.1 基础资源知识库设计

基础资源库包括设备库和材料库。

(1) 设备库中表结构设计

设备库建 4 张表：“基本信息表”、“XYZ 三轴信息表”、“A 轴信息表”、“C 轴信息表”，由外键“设备号”关联，如图 3 所示。

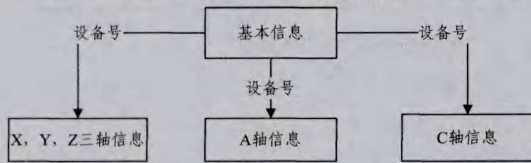


图 3 设备库中表结构

(2) 材料库中表间结构关系

材料库中建 5 张表：“基本信息表”、“机械性能表”、“热学性能表”、“生命周期属性表”和“化学成分表”，由外键“材料 ID”关联，如图 4 所示。

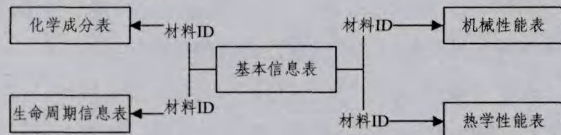


图 4 材料库中表结构

4.2 工艺方案知识库设计

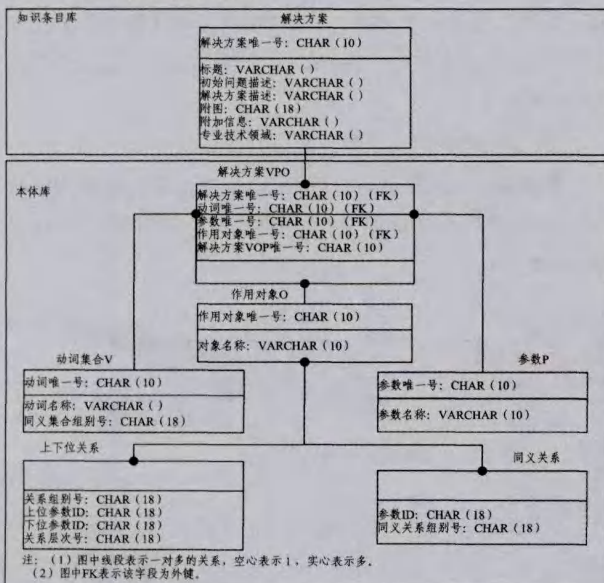


图 5 工艺方案知识库中表结构

基于第 3.2 节的研究，通过基于本体的形式表示工艺方案知识，建立工艺方案知识库，包括知识条目库和本题库两大部分^[6]。知识库不但包含大量的简单事实，还包括了用于推理及问题求解的条件和规则，这里构建的领域本体库就是知识库中知识进行推理和检索的依据。

知识条目存储按照“问题-方案-信息”的形式表达工艺知识。本体库中存储从知识中提取出来且符合领域规范的概念、术语及概念、术语之间的本体关系，具体包括：动词集合表、参数表、参数上下位关系表、参数同义关系表、作用对象表、知识本体表(解决方案 VPO)。其数据结构和关系如图 5 所示。

4.3 工艺经验知识库设计

由于工艺经验知识要随着工艺师经验的积累而不断完善，因此不能将每个模板用一张表表示，而需要将模板和属性分开存储，以实现模板属性的动态增加，同时将模板和实例分开存储，便于知识的扩展。也就是，在工艺经验知识库中建立“模板基本信息表”、“模板字段表”、“案例基本信息表”和“案例实例表”^[7]。用“模板基本信息表”存储各类模板的基本信息；用“模板字段表”存储各类模板的各个字段，模板信息唯一标识码作为外键区分各模板；“案例基本信息表”存储各个实例的基本信息；“案例实例表”存储知识实例的具体信息，模板信息唯一标识码和模板字段唯一标识码作为联合外键，标记每一条记录属于哪一个模板的哪一个字段。详细结构图如图 6 所示。

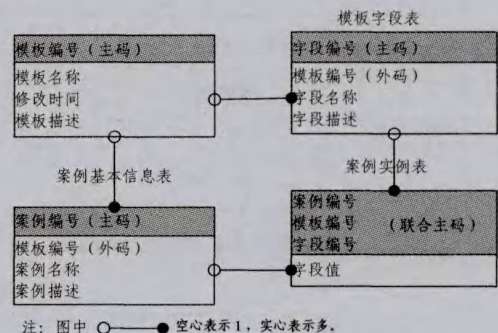


图 6 工艺经验知识库表结构图

5 典型宇航产品工艺知识库的应用

典型宇航产品工艺知识库应用于典型宇航产品工艺知识库系统中，该系统在 Visual C++6.0 编程环境下开发，采用 Oracle 数据库、ADO 数据库接口^[8]。

(下转第 197 页)

模[J]. 上海交通大学学报, 2010, 44(2): 252-258

- [7] Ardissono L, Leva A D, Petrone G, et al. Adaptive Medical Workflow Management for a Context-Dependent Home Healthcare Assistance Service [J]. Electronic Notes in Theoretical Computer Science, 2006, 146(1): 59-68
- [8] 杨年华, 虞慧群, 郭新顺. 基于广义随机着色 Petri 网的 Web 服务组合模型[J]. 计算机科学, 2012, 39(4): 142-144, 158
- [9] Yang Nian-hua, Yu Hui-qun, Sun Hua, et al. Quantifying Software Security Based on Stochastic Petri nets [J]. Journal of Computational Information Systems, 2010, 6(9): 3049-3056
- [10] 张方田, 王开义, 隋静, 等. 着色 Petri 网在科技计划项目管理系

统建模中的应用[J]. 计算机应用, 2009, 29(12): 396-398, 400

- [11] 王红霞. 基于价格随机 Petri 网的服务协同建模与分析[J]. 计算机科学, 2011, 38(1): 166-169
- [12] 吴哲辉. Petri 导论[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006
- [13] 付新华, 罗护, 肖明清. 基于赋时有色 Petri 网的测试系统资源优化方法[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(9): 1672-1678
- [14] 李海凌, 史本山, 刘克剑. 基于 Petri 网的建设工程项目实施阶段 workflow 建模与仿真[J]. 计算机应用, 2011, 31(10): 2828-2831, 2868
- [15] 陈春良, 王岩磊, 孙盛坤. HTPCN 在装备保障业务流程建模与优化中的应用[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(10): 2746-2749

(上接第 192 页)

典型宇航产品工艺知识库系统包括管理模块、策略制定模块、工艺设计实施模块、知识读取模块。其中管理模块可读写工艺经验知识库, 策略制定模块和工艺设计实施模块只能对知识库进行读操作, 对知识库进行读操作都通过知识读取模块实现, 如图 7 所示。

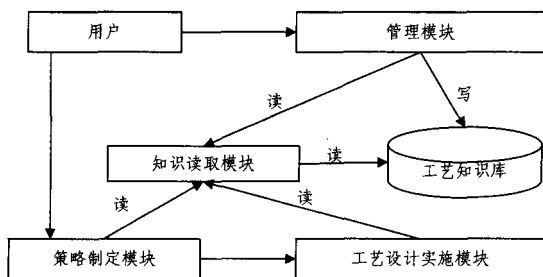


图 7 工艺经验知识库与各模块的关系

用户可通过管理模块实现对知识库的增、删、改操作及安全管理, 再通过策略制定模块调用经验知识, 从而制定设计策略, 实现对工艺设计实施模块的支撑。

知识读取模块实现对知识的读取及输出控制, 主要是进行知识的重新组织及格式转换。

当用户要查询某条知识时, 通过系统查询界面输入与该知识相关的一些信息, 知识读取模块会根据不同知识类别进行相应操作。

对于工艺方案知识, 知识读取模块会从这些信息中提炼出该条知识的“案例名称”, 并在经验知识案例基本信息表中查到与之相应的“模板编号”; 然后通过“模板编号”在模板字段表中查询到相应的“字段名称”及“字段编号”; 再通过“字段编号”在案例实例表中查询到对应的“字段值”; 最后把查询出的结果重新组织, 以查到的“字段名称”作为字段, 以对应的“字段值”作为相应记录的值, 建立新表输出。

对于工艺经验知识, 知识读取模块会从这些信息中提炼出该条知识的 VPO, 若能在知识库中检索到匹配的 VPO, 则输出对应的工艺方案知识; 若检索不到匹配的 VPO, 则对输入的 V、P 进行同义关系扩展后重新检索知识库, 若能检索到匹配的 VPO, 则输出对应的工艺方案知识, 否则对 P 进行上下位关系扩展, 看能否检索到相应的方案知识, 若能检索到, 输出, 否则输出“检索不到”。

基础资源库采用传统的表结构存储, 因此按传统的方法检索即可, 本文不做详细描述。

宇航产品工艺知识库系统操作界面和用户查找“碳钢”的

操作界面分别如图 8、图 9 所示。

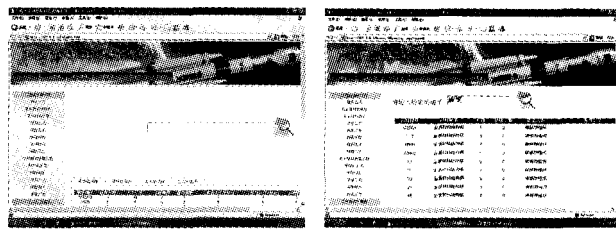


图 8 宇航产品工艺知识库系统操作界面 图 9 用户查找“碳钢”的操作界面

结束语 面向典型宇航产品工艺知识的表示模型能够有效满足面向典型宇航产品工艺知识特点的要求, 充分表示该领域的知识。基于该模型构建的面向典型宇航产品工艺知识库有利于工艺知识的利用、组织、维护和管理, 在典型宇航产品工艺知识库系统中应用取得了较好的效果, 有效提高了典型宇航产品构件的设计能力。

参 考 文 献

- [1] Koyama K, Hara N, Ohsugi I J. A study of knowledge database for Kana' strings self-study system on navigation[J]. International Journal of Advanced Intelligence Paradigms, 2010, 2: 49-63
- [2] Ken Li-da. Editing The Encyclopedia Poplardia, a knowledge database for children[J]. Journal of Information Processing and Management, 2011, 54: 243-253
- [3] Niu Fang-qu, Liu Yan-hua, Gao ya. Design of Knowledge Database of Agricultural Information Cooperative Service[J]. Agriculture Network Information, 2009(2): 112-117
- [4] 金鑫. 面向 Web 信息资源的领域本体模型自动构建机制的研究[J]. 计算机科学, 2012, 39(6): 213-216
- [5] 王进鹏, 张亚非, 苗壮. 基于本体的关系数据集成的查询处理[J]. 计算机科学, 2010, 37(12): 134-137
- [6] 赵磊. 基于本体的坦克装甲车辆工艺知识库研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2008
- [7] Guo Ya-fei, Hou Jun-jie, Shi Sheng-you. The Research of Process Experience Knowledgebase Oriented to Typical Aerospace Product[A]// 2012 Second International Conference on Electric Information and Control Engineering[C]. Lushan, Hubei Institute of Automation, 2012: 2377-2312
- [8] Xu Bing, Hu Ning. Design and application of traveling informatization backed database based on Web[A]// Information Technology and Artificial Intelligence Conference of 6th IEEE Joint International[C]. 2012: 435-437