

文章编号: 1000-8055(2007)01-0090-06

基于本体的航空发动机设计知识 组织模型构建与分析

陈永当¹, 杨海成², 杜兵劳¹

(1. 西北工业大学 现代设计与集成制造技术教育部重点实验室, 陕西 西安 710072;

2. 中国航天科技集团公司, 北京 100037)

摘 要: 为实现航空发动机设计知识的集中组织与管理, 进行知识组织模型技术研究, 提出基于知识本体的知识组织模型构建方法. 研究了面向航空发动机设计的知识本体的结构、设计准则、构建方法以及映射技术, 并分析了基于本体的知识组织模型的特征, 给出了基于知识本体的面向航空发动机设计的知识组织模型的实施框架. 此框架对航空发动机设计知识管理的应用研究有参考价值.

关 键 词: 航空、航天推进系统; 航空发动机; 知识管理; 知识本体; 知识组织模型

中图分类号: V 37

文献标识码: A

Building and analysis of ontology-based knowledge organization model for aircraft engine design

CHEN Yong-dang¹, YANG Hai-cheng², DU Bing-lao¹

(1. The key Laboratory of Contemporary Design and Integrated Manufacturing Technology, Ministry of Education, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China; 2. China Aerospace Science and Technology Corporation, Beijing 100037, China)

Abstract: In order to realize centralized organizing and management for aircraft engine design knowledge, formulation methods of ontology-based knowledge organization model are presented. This paper studies the structure, design criteria, formulation methods and mapping techniques for knowledge ontology for aircraft engine design and analyzes the characteristics of ontology-based knowledge organization model. The implementation framework of ontology-based knowledge organization model for aircraft engine design was given. The research result is of reference value to application research of knowledge management to aircraft engine design.

Key words: aerospace propulsion system; aircraft engine; knowledge management; ontology; knowledge organization model

知识管理是构建航空发动机创新设计体系的基础, 设计知识仓库系统是发动机设计知识管理

收稿日期: 2005-10-24; 修订日期: 2006-03-04

基金项目: 国家 863/CIMS 主题资助项目(2005AA411910); 航空基金资助项目(05H53080); 西北工业大学青年基金资助项目(M016212).

作者简介: 陈永当(1972-), 男, 陕西潼关人, 西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验室博士生, 主要从事企业信息化工程技术与知识管理技术研究.

的关键技术之一^[1], 它通过构建设计知识本体, 形成基于本体的知识语义骨架网络即领域模型^[2], 然后利用知识本体映射技术, 将各种设计知识与不同的本体元素进行映射, 使数据实体映射为基于本体的知识元, 从而实现发动机设计知识的统一组织和管理. 依据基于知识本体的设计知识组织模型建立的设计知识仓库系统不仅能够迅速、准确的定位设计者所需的设计知识, 而且能够通过系统内置的联接服务, 自动关联发现相关的设计知识, 实现对发动机设计活动的智能知识动态配置, 从而辅助航空发动机的快速和创新设计. 基于此, 本文提出了基于知识本体的发动机设计知识组织模型构建方法, 研究了面向航空发动机设计的知识本体的结构、设计准则、构建方法以及映射技术, 并分析此知识组织模型的特征, 给出了基于知识本体的面向航空发动机设计的知识组织模型的实施框架.

1 本体在知识处理系统中的应用

近年来, 本体在知识处理系统中的应用已成为人们研究的热点. 本体一词源于哲学, 描述事物的存在性, 引入到人工智能领域, 存在即意味着能够被描述, 因而, 本体就是一种明确的概念化的规范^[3-6]. 本体是从知识共享领域发展而来的, 为了在不同的代理间实现知识共享, 人们规定采用同一种标准本体语言对多个代理间的概念及其关系进行描述, 使得人与机器或机器与机器间的交流建立在所交流领域共识的基础上. 现在, W3C 最新公布了一种标准的本体语言 OWL (Ontology Web Language), 它对本体的描述是分布式的, 而且支持知识的理解和不断的更新^[4-6]. 本体在知识处理系统中应用, 目前主要有以下几种形式:

(1) 本体是一本领域术语大词典. 通过选取领域中一组有代表性的术语, 采用标准的本体语言对每个术语进行定义和描述, 最终形成一本领域术语大词典. 在该应用中, 系统的知识库就是领域标准本体, 知识的描述采用同种本体语言. 这种系统的扩展性很强, 通过扩充领域本体, 实现知识和知识理解的扩充, 但本体描述的工程巨大, 主要应用于机器翻译和常识自动推理, 典型的例子有 EcoCyc、WordNet 等^[5,6].

(2) 本体是一类知识的描述框架或规范. 本体中的每一个概念包含一类对象, 本体中需要定义这一类对象的特征(属性), 对于每一类知识, 通过定义本体可确定它们的描述框架. 一个本体类的实例

就是该类知识的一个知识元实例^[7]. 在该应用中, 系统可对多类型的知识进行处理, 体现为允许自由地创建不同类别的知识, 并使知识的检索和使用得到统一处理, 但由于本体的定义和描述本身是结构化的, 因而特别适用于处理结构化的知识.

目前, 已有的研究更多的是将本体应用于产品开发领域模型或语义骨架网络的构建过程中, 而其在航空发动机领域的应用研究工作还未曾展开. 航空发动机设计知识比较繁杂, 涉及范围广、形式多样, 本体在航空发动机设计知识管理过程中具有很好的应用前景, 值得深入研究.

2 面向航空发动机设计的知识本体

本体在知识库系统开发中较多应用于开发领域模型, 它提供了建模所需的基本概念并说明了它们之间的关系^[8,9]. 这里的概念化并不刻意要求揭示对象本质, 只是明确地显式描述对象自身的各种特性和对象间的各种联系. 因此, 知识本体 (Knowledge Ontology) 是指与知识内涵相关的一组概念化的规范. 航空发动机设计企业在进行产品开发过程中, 产生了大量的设计文档、数据和工程图纸等, 这些资源被分门别类的存储, 组成各种设计知识库. 但由于对这些知识库中的设计知识没有进行统一组织和管理, 因此知识之间客观存在的有价值的联系大多没有被人们捕获、利用和开发. 因此, 需要建立一种能够正确实现发动机设计知识动态配置的机制, 而知识本体正是实现这一机制的核心.

2.1 知识本体的结构

针对航空发动机设计知识的特性, 知识本体的结构可描述为如下四元组:

$$KO = \langle C, P, M, R \rangle \tag{1}$$

其中, KO 表示知识本体, C 表示某领域的概念集, P 是建立在 C 上的属性集, M 是建立在 C 上的方法特性集, R 是建立在 C 上的关系集. 一个概念的定义和描述往往会涉及到多个其它概念, 概念之间具有关联性和继承性.

式(1)是领域知识本体的总体表示和描述, 对于知识本体中的每一个知识本体元素, 可以用式(2)来表示:

$$q = \langle c, p, m, r \rangle \tag{2}$$

其中, q 表示知识本体元素, c 表示某个领域概念, 如叶盘、叶片、叶片的结构设计等, p , m 分别是概念 c 上的一组属性和方法, r 则是建立在 c 上的与其它概念的一组关系. 实际应用中, 常常使用式(2).

为了进一步明确知识本体元素的含义和内部结构关系,将式(2)分解为式(3)和式(4):

$$\langle c, p, m \rangle \quad (3)$$

$$\langle c, r \rangle \quad (4)$$

式(3)是对领域概念 c 自身的描述,体现为对属性集 p 和方法特性集 m 的定义和描述;式(4)则是概念 c 与领域中其它概念之间的一组特定的领域关系 r 的描述,例如并列、隶属(度)、关联(度)、蕴涵、双向蕴涵、继承关系等。

根据以上对知识本体的结构描述,若知识本体由 n 个本体元素组成,概念集 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ 和建立在 C 上的关系集 $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ 将共同组成一个有向图 $G(X, E)$, 其中 X 为图的点集, E 为边集, X 的值域为概念集 C , E 的值域为关系集 R 。由此不难看出,知识本体通过概念之间的关系集 R 构成了相对完善的知识内容体系和网络化结构,知识本体的网状结构如图1所示。

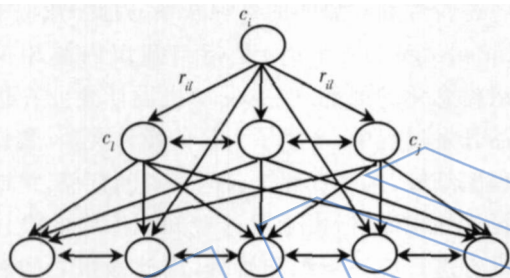


图1 知识本体的网状结构

Fig. 1 Reticulation structure of ontology

图中的小圆代表一个领域概念 c_i , 而一个小圆与其它小圆之间的箭头连线代表概念 c_i 与其它概念的关系, 诸如关系 $r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{ij}$ 等, 与之关联的概念不同, 则概念间的关系一般也不相同。例如概念 A 与概念 B 之间是包含关系, 而概念 A 与概念 C 则是关联或并列关系。图中的单向箭头表示关系不可逆, 而双向箭头则表示两个概念间的关系可逆。因此, 概念间关系的多样性, 使得关系集 R 构成概念之间的层次关系、关联关系、继承关系等多维关系的网络结构, 代替传统知识分类分层组织方法的主题之间单一层次结构关系, 能够更加方便地管理知识的分类和实现基于任务过程的知识动态配置。

按照一定设计原则和方法构建的设计知识本体, 实际形成了所描述领域的骨架模型, 建立起一个相对完善的网络化结构的设计知识内容体系, 以此知识内容体系来统一组织和管理发动机设计企业中相对分散的各种设计知识, 方便设计知识

的智能应用。

2.2 知识本体的设计准则

根据对知识本体的定义和式(1)对知识本体结构的描述, 在实际构建知识本体的应用中, 充分考虑系统进行知识处理的方便性和实际应用的有效性, 一般应遵循以下几条重要设计准则:

(1) 明确性. 一个本体概念的定义应能有效的表达自身的特性, 并独立于具体的应用环境。如果可能, 概念的定义应尽可能完整。某个概念可能源于特定的应用场合或计算要求, 但其定义应与具体的应用上下文无关。所有的定义都应该以自然语言归档。

(2) 一致性. 知识本体由许多本体概念的定义组成一个相互无冲突的、一致的语义骨架模型。如果系统根据一组本体概念推出的某个结论与另外的某个概念的定义相矛盾, 则说明概念定义在系统范围内不一致。为了保证处理结果的正确, 至少保证本体概念定义逻辑上一致。

(3) 可扩展性. 知识本体的创建是一个反复修改、逐步完善的设计过程。本体概念可根据特定的应用场合和要求, 扩展和特殊化本体概念的定义。换句话说, 在不修改已有概念的基础上, 能够根据已有的概念定义新的概念, 扩展知识本体库。

(4) 轻量级本体. 轻量级本体要求知识本体只定义知识共享活动中所必需的概念, 并尽量减少概念特性的声明和断言。知识本体中每个概念的定义尽量是轻量级的, 范围宽的概念应拆分为几个相互间不可替代的元概念, 用以支持可扩展的知识共享活动。

上述的知识本体一般设计准则并不是内在一致的, 像许多其它工程设计问题一样, 需要在众多设计准则之间寻求某种平衡, 使所构建的知识本体达到较好的实际应用效果。

2.3 知识本体的构建

针对航空发动机设计领域的知识特性, 知识本体概念大致可分为以下五类性质的概念:

(1) 类性概念(Class). 主要是指领域实体的概念, 这类概念是静态的, 描述的是静态知识的特性, 如轴、盘、叶片等。

(2) 集合性概念(Collection). 主要针对领域中的实体包含关系而特意提取的一类概念, 这类概念也是静态的, 描述概念之间的包含关系, 如联结件、标准件等。

(3) 过程性概念(Procedure). 描述某个设计

过程的概念, 这类概念是动态的, 描述的是动态知识. 过程性概念一般具有输入和输出信息即概念在领域模型中的上下文(Context), 可通过指定相关概念来表示概念的上下文. 如轴系设计、轴系结构设计等.

(4) 关系性概念(Relation). 表示实体间、过程间或实体与过程间的某种关系的概念, 这类概念也属于动态的. 关系性概念一般具有输入信息. 如轴系径向定位等.

(5) 事实性概念(Fact). 描述领域中的设计准则、规范等的概念, 如叶片设计准则等.

在航空发动机设计领域中, 知识本体概念大致可以分为上述五类性质的概念, 在实际的本体设计过程中, 某个概念往往很难界定为其中的某一种类型, 这时需要设计知识工程师与领域设计专家在知识本体构建一般设计准则的指导下, 共同交流, 做出综合评判.

面向航空发动机设计的知识本体的构建以式(2)为基础, 将其分解为 (c, p) 、 (c, m) 、 (c, r) , 分别为概念的属性、概念的方法和概念间的关系, 根据知识本体的设计准则和本体概念的分类方法, 对领域中有代表性的概念分别予以表示和描述. 其中, 在进行概念间的关系定义和描述时, 应特别注意选择概念间最基本的关系, 对于能够通过概

念的定义推理得到的关系, 一般不进行显式描述, 同时关系应标明方向, 这样可保证知识本体网状模型是无环和有向的. 像常见的概念间的包含关系, 一般只处理近邻的包含关系. 例如概念 A 包含概念 B, 概念 B 包含概念 C, 推理可知概念 A 包含 C, 但在定义概念 A 的关系时, 只显式描述概念 A 包含概念 B.

以航空发动机轴系设计为例, 知识本体的构建方法和设计过程:

步骤 1: 确定轴系设计主题概念, 如轴、轴系设计、轴系径向定位等.

步骤 2: 确定主题概念的所属类型, 如轴属于类性概念、轴系设计属于过程性概念.

步骤 3: 结合知识本体的一般设计准则, 分别对概念的属性、方法和概念间的关系予以表示和描述. 此处设计的好坏直接关系到知识本体库构建的成败.

步骤 4: 对初步形成的轴系设计语义骨架模型不断调整、修改, 使其语义一致、表达简单明晰, 形成轻量级的知识本体库.

以上轴系设计知识本体构建的每一个设计过程都需要设计知识工程师与领域设计专家不断交流, 共同参与完成. 知识本体的构建还是一个伴随系统不断运行, 逐步调整和完善的长期过程.

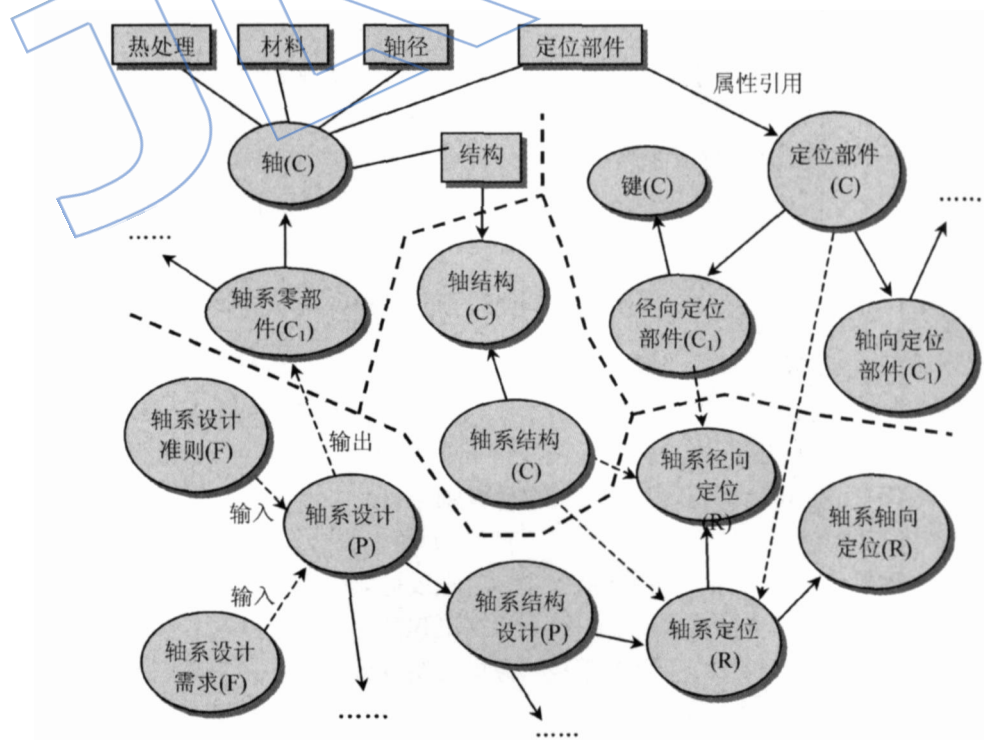


图 2 航空发动机轴系设计知识本体片断

Fig. 2 Snippet of ontology for shafting design of aircraft engine

图 2 是航空发动机轴系设计知识本体的一个片断,其中虚线箭头表示输入和输出信息,实线箭头表示概念间的关系,椭圆表示本体概念,方框表示概念的属性,C、C₁、P、R、F 分别表示类性概念、集合性概念、过程性概念、关系性概念和事实性概念.图中只表示了部分概念的属性和概念间的部分关系.

2.4 知识本体映射

知识本体的构建定义了设计知识组织的领域骨架模型或网络化的知识内容体系.为了对设计企业的知识库中分类存储的知识元实行集成组织和统一管理,还需要利用知识本体映射技术将设计知识与不同的独立本体元素进行映射,建立知识元与本体元素间的联系,实现基于知识本体库的知识集成组织.因此,设计企业在实施设计知识的集成组织和统一管理的过程中,知识本体映射过程是整个系统得以实现的重要环节.对知识本体映射可定义如下:

定义 1 知识本体映射

设 S 为某领域知识元的数据源,如果知识本体 KO 中存在本体元素 $q = \langle c, p, m, r \rangle$, 其中 $q \in KO$, 使得有序对 $\langle q, S \rangle$ 在该领域内有意义, 则称该有序对构成知识元 S 到 q 的知识本体映射 ξ 记做 $\xi_{\langle q, S \rangle}$.

从知识本体映射的定义可以看出,有序对 $\langle q, S \rangle$ 即本体类的实例的创建是否合理,需要领域设计专家根据自身所拥有的领域知识、经验、智慧等做出综合评判.因此,为了对知识元正确实施知识本体映射,领域设计专家或设计知识工程师可借助知识本体映射向导,以交互操作的方式创建出有序对 $\langle q, S \rangle$ 即本体类的实例.

通过知识本体映射,将组织中相对分散的知识元集成到知识本体库,从而便于进行统一管理和实现知识动态配置.映射过程中产生的映射条目(概念ID,知识条目ID)由知识仓库系统自动存储,形成基于知识本体的映射库.映射库是存放系统知识库引擎访问的重要信息的地方,也是本体库与存储知识元的基础数据库的中间桥梁.

通过实施知识本体映射,将一般的知识分类层次组织提升为基于知识本体的网状结构组织,这一改变不仅极大的丰富了知识间的联系,同时,也避免了对大量非结构化的设计知识直接进行结构化表示的困难.理论上,任何可描述的设计知识都能够通过知识本体映射,集成到知识本体库.

3 基于本体的知识组织模型的特征分析

知识本体和知识本体映射是基于本体的知识组织模型中的两个重要概念.前者是模型的基础,后者是为模型正常运转而必须实施的技术手段.进一步分析基于本体的知识组织模型,可得到一个重要特性:知识关联发现.

定义 2 本体蕴涵

令任意的两个知识本体元素 $q_1 = \langle c_1, p_1, m_1, r_1 \rangle$, $q_2 = \langle c_2, p_2, m_2, r_2 \rangle$, 其中 $q_1 \in KO$, $q_2 \in KO$, 如果有 $c_2 \in U(c_1)$, 其中 $U(c_1)$ 是概念 c_1 的关联概念集合, 则称 q_1 本体蕴涵 q_2 , 记做 $q_1 \varphi q_2$.

概念 c_1 的关联概念集合 $U(c_1)$ 是指以节点 q_1 为原点,进行有向图搜索,所能到达的所有节点的集合.因此,本体蕴涵实质是在知识本体网状有向图中,如果有 $c_2 \in U(c_1)$, 则节点 q_1 和节点 q_2 之间至少存在一条通路.本体蕴涵是知识本体 KO 的一个重要特性.

定义 3 知识关联发现

设 S 和 T 分别为领域知识元的数据源, q_1 和 q_2 为知识本体元素, 即 $q_1 \in KO$, $q_2 \in KO$, 若 $\xi_{\langle q_1, S \rangle}$, $\xi_{\langle q_2, T \rangle}$, 且 $q_1 \varphi q_2$, 则称知识元 T 构成到知识元 S 的一个知识关联发现.

知识关联发现是发动机设计知识组织模型的一个最基本也是最重要的特征,知识库引擎正是以此特征为主要理论依据搜索整个设计知识仓库,迅速获得设计人员所需的发动机设计知识,从而帮助设计人员进行航空发动机的创新设计.

4 航空发动机设计知识组织模型的实施框架

根据前文对基于知识本体的知识组织模型的相关概念、理论和关键技术的研究,本文给出了航空发动机设计企业进行设计知识统一组织的实施框架,如图 3 所示.

在该框架中,知识本体映射是核心.通过设计知识工程师与系统交互进行知识本体映射,数据源中类型各异的设计知识集成到知识本体库,实现知识分类分层组织基础上的网络化组织,从而为实施智能知识供应,实现基于任务过程的知识动态配置奠定了基础.在框架中,数据源是相对于知识本体映射过程而言的,数据源中知识元的组织是一般的数据分类分层组织方法,知识间联系

体现为单一的层次结构关系. 数据源本身可组成一个功能比较完善的知识元数据库系统, 包括对每种类型知识的添加、删除、更新和浏览等.

数据源层主要包括网页资源(航空发动机设计常识、设计原理等), 分散在设计企业中的各种电子化的产品设计图档、文档、相关产品的行业政策和法规, 以及个人经验、思维知识、设计实例等, 并支持以 XML WebService 实现与第三方软件系统数据库的集成.

知识组织层主要依据知识本体库, 对数据源中类型各异的知识元或数据实体实施知识本体映射, 形成基于网络结构的知识元组织. 映射过程中产生的映射信息保存到映射库, 映射库成为数据源与知识本体库的中间桥梁.

通过构建知识本体库, 并对知识元实施知识本体映射, 实现航空发动机设计知识的统一组织和管理, 这一方法特别适合于那些已拥有大量设计知识库的企业进行产品设计知识管理, 建立企业知识仓库, 实现知识高层应用, 从而充分发挥知识在航空发动机设计中的主导作用.

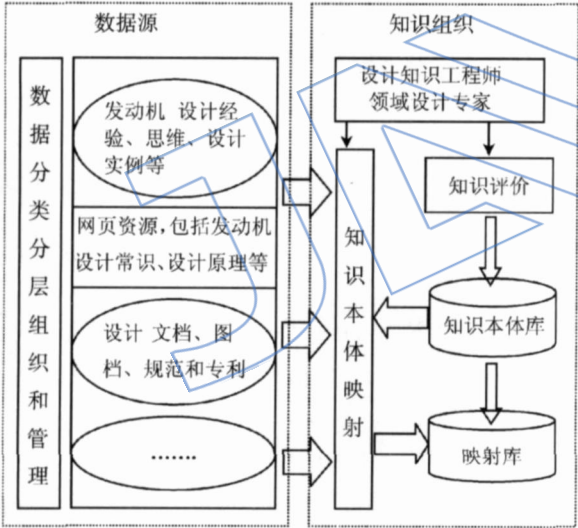


图 3 基于知识本体的航空发动机设计知识组织模型的实施框架

Fig. 3 Implement framework of ontology based knowledge organization model for aircraft engine design

5 结 语

航空发动机设计企业通过构建合适的知识本体, 并对大量的、形态各异的设计资源(包括设计

师的经验、思维等) 实施知识本体映射, 记录并保存相应的映射关系, 完成知识组织的层次结构模型到基于知识本体的网状结构模型的转化, 使其数据实体映射为基于本体的知识元, 形成可被共享和重用的发动机设计知识. 对于发动机设计过程中用户提交的知识查询请求, 系统知识库引擎根据知识本体自身的本体蕴涵特性, 采用特定的搜索、推理策略即系统内置联接服务, 可迅速关联发现相关的设计知识, 并显示给用户, 供其浏览和选用, 从而提高设计者的技能素质, 增强发动机设计企业的产品创新能力.

参考文献:

[1] 周军, 苏新宁, 孔敏, 等. 知识管理系统下的知识仓库研究[J]. 情报学报, 2002, 10: 542-546.
ZHOU Jun, SU Xinning, KONG Min, et al. Knowledge database in knowledge management system[J]. Journal of the China Society for Scientific and Technical Information, 2002, 10: 542-546.

[2] 李思强, 袁满, 张连斌, 等. 语义对象及建模技术[J]. 计算机应用, 1999, 5: 40-43.
LI Siqiang, YU AN Man, ZHANG Lianbin, et al. Semantic object and modeling technique[J]. Computer Application, 1999, 5: 40-43.

[3] Gruber T R. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing[J]. Knowledge System Laboratory Technical Report KSL, August 23, 1993: 136-140.

[4] O'leary D E. Using AI in knowledge management: Knowledge bases and ontologies[J]. IEEE intelligent systems, 1998, 5: 34-39.

[5] Buckingham S, Mona E, Domingue J. Schol onto: an ontology based digital library server for research documents and discourse[J]. International Journal of digital libraries, 2000, 3(3): 237-248.

[6] Studer S S, Schnurr H P, Sure Y. Knowledge processes and ontologies[R]. IEEE Intelligent Systems, 2001, 1: 26-34.

[7] Lin J, Fox M S. A requirement ontology for concurrent engineering[J]. Concurrent Engineering: Research and Applications, 1996, 4(4): 279-291.

[8] U schold M. Ontologies: principle, methods and application[J]. The Knowledge Engineering Review, 1996, 11(2): 93-106.

[9] Van H G, Schreiber A. Using explicit ontologies in KBS development[J]. International Journal of Human Computer Studies, 1997, 4(6): 183-192.