

# 基于叙词表的油田领域本体构建方法<sup>①</sup>

衣治安, 王 月

(东北石油大学 计算机与信息技术学院, 大庆 163318)

**摘 要:** 在对比研究现有本体构建方法的基础上, 提出了基于叙词表的油田领域本体构建方法, 该方法可以减少构建本体的工作量, 重点解决了叙词表向本体转化过程中的一些问题, 如概念选择的不确定性, 词间一些不确定关系的表示及关系细化等, 提出了叙词表中“用、代、分、属、参”关系进一步细化的原则, 并给出了如何利用 OWL 描述语言表示叙词及叙词之间的多种关系, 从而实现了叙词表的 OWL 描述。

**关键词:** 领域本体; 叙词表; OWL; 油田

## Approach of Building Oilfield Domain Ontology Based on Thesaurus

YI Zhi-An, WANG Yue

(Northeast Petroleum University, College of Computer and Information Technology, Daqing 163318, China)

**Abstract:** Compared with the existing ontology construction methods, the approach of building oilfield domain ontology based on Thesaurus is proposed, which can alleviate the amount of work involved in building ontology, and solve a series of problems in the process of transformation from the thesauri to the ontology, such as the selecting of some uncertainty concept, the representation of some uncertainty relationships among words in thesaurus and the refinement of those relationships. This paper proposes a series of principles which describe the refinement of “USE、UF、NT、BT、TT、RT” five relationships in thesaurus, and presents how to use OWL language to describe the thesaurus and several relationships among words, so as to realize the OWL description of the Thesaurus.

**Key words:** domain ontology; thesaurus; OWL; oilfield

随着石油开发的不断深入、科学技术水平的不断提高和互联网的不断普及发展, 油田在长期的开发过程中产生并积累了大量的基础信息和知识, 这些资源对于日后油田开发决策有着至关重要的指导作用, 然而在实际中资源的一部分只是作为历史记录沉睡在业务系统中, 另一部分也大多散落在报告中而未能得到充分的利用, 导致了数据过剩而知识贫乏的矛盾, 为油田开发领域知识的构建带来了复杂的问题。油田开发包含的多个专业之间普遍存在业务系统彼此单独设计开发、盲目追求功能实现的现象, 使得来自不同背景、持不同目的人员对专业知识理解和使用的不一致, 导致了不同业务系统之间对知识的共享障碍, 无法为油田开发领域提供完善的解决方案。

目前在航空、军事、农业、医学等领域已经开展了对领域本体的构建研究, 但还没有油田开发领域本

体, 仅有的也只是对油田个别专业的局部本体研究<sup>[1]</sup>。以大庆油田第三采油厂为例, 信息系统的开发建设多年却依旧存在着很多问题, 如系统编码原则不统一、数据管理彼此孤立平行、缺乏开发知识统一的概念模型、开发资源分布零散、知识无形磨损且大量流失等等<sup>[2]</sup>。因此引入本体的理念提高油田开发知识的共享性、互操作性和可重用性已迫在眉睫, 同时从长远看, 以知识的角度对油田开发资源进行统一的管理已经成为了一种趋势, 建立油田领域本体也已经成为石油公司取得竞争优势的必要条件。

## 1 油田领域本体构建方法

### 1.1 领域本体与叙词表

本体(Ontology)最初属于哲学领域“形而上学”分支中的一个概念, 直到上世纪 80 年代被引入计算机学

<sup>①</sup> 收稿时间:2014-12-24;收到修改稿时间:2015-03-12

科,最终斯坦福大学的 Gruber 给出了一个更能够被广泛接受的定义<sup>[3]</sup>:本体是概念化的明确的规范说明.从定义可以看出本体具有不仅具有概念化、明确化、形式化和共享性的特点,而且拥有良好的数据结构,为单一或多个领域提供了概念与术语之间明确地关联定义,因此将本体引入石油领域可以很好的解决油田开发知识构建过程中语义关系不确定及传统模式下知识应用的局限性等问题.近年来,本体的概念在各个领域的应用研究得到了较快的发展.

一般来讲我们构建本体的目的是为了实现在一定程度上的知识共享,但是本体构建的本身却是一件耗时费力的工作,在本体的构建方法上,国内外研究最多的当属本体工程和词表资源转换,然而本体工程有着工作量大的明显缺点,同时叙词表相较与其他词表具有更加清晰的语义结构,因而得到许多学者的关注和研究,目前已经有十多种叙词表被转换了相应领域的本体<sup>[4]</sup>.

叙词表亦称主题词表或检索表,可以被认为是一部由叙词及叙词间关系所构成的语义词典,它不仅概括了某领域内事物概念的规范化集合,而且可以随着需求不断地完善、变更或补充.《石油主题词表》是用于标引和检索石油工业科技的专用叙词表,主要由叙词、非叙词、叙词的一些相关信息(汉语拼音、英文、分类号等)和叙词间的三种语义关系构成,其中词间的语义关系通过六种参照符“Y、D、S、F、Z、C”表示,分别对应词间的等同关系、属分关系和相关关系.参照项“Y、D”表示术语间的等同关系,可用来区分叙词和非叙词;参照项“S、F、Z”表示术语间的等级关系,可用来检索叙词的上位词和下位词;参照项“C”表示术语间的相关关系,相关关系是表达术语间各种联系、扩大检索范围、进行相关信息查找的重要手段<sup>[5]</sup>.

## 1.2 叙词表与领域本体的关系

通过对比两者的定义可以看出,叙词表和本体之间有着诸多相似之处:(1)两者都试图通过叙词的概念来表述某一领域或特定学科中复杂知识的关系,均可被视为信息组织的工具;(2)两者都具有清晰的语义等级结构,可以方便组织叙词;(3)为满足对知识的需求两者都需随学科的发展而不断进行补充和更新.由此可知,叙词表中的叙词为领域本体的构建提供了良好的基础,同时叙词表中的多种词间关系也为领域本体中概念、属性、关系以及实例的创建提供了良好的参

考<sup>[6]</sup>,从而弥补了非专业人员在构建本体时领域知识不足、概念和关系收集过程中耗时费力及成本较高等问题,有效的加快了领域本体的构建速度.因此可以看出基于叙词表的结构和内容构建领域本体是可行的.

除了上述相似点之外,两者也存在着一些不同之处,如表1所示.

表1 叙词表与本体的不同点

表现方面	叙词表	领域本体
构建目的	表达叙词概念,直接标引信息	提供对领域内知识的共同理解
表示语言	自然语言,机器不可读	机器语言,计算机可读
组织结构	一维或线性结构	多维或网状结构
语义关系	简单、宽泛、模糊、语义不清	深入、细致、全面、语义清晰
知识结构	词汇库	概念集、语料库和知识库
系统开放性	更新缓慢(印刷版)	更新方便快捷

## 1.3 油田领域叙词表的构建规则

构建基于石油叙词表的油田本体时需要按照一定的规则来处理转化过程中遇到的问题,本文通过对《石油主题词表》结构及前人对词表转换法研究的分析,提出了如下六条基于叙词表构建领域本体的规则:

(1)尽可能地将《石油主题词表》中的所有已有信息反映到油田本体上;

(2)结合领域专家对《石油主题词表》的部分叙词进行更新、修正和规范处理;

(3)在《石油主题词表》的基础上不断丰富对叙词表中叙词的描述;

(4)完整的保留“用、代、分、属、族、参”六种叙词间关系的语义;

(5)在《石油主题词表》基本语义关系的基础上增加更丰富、更具体的语义关系并进行细化处理;

(6)对汉语拼音、英文、分类号、叙词编号、注释项等叙词描述项依据实际应用需求选择性添加.

## 1.4 油田领域本体的构建方法

目前本体的构建主要有本体工程和词表转换两种途径,同时现有的比较典型的一些本体构建方法亦不是由权威标准化机构认证的,而是从具体项目中总结获得的,如今仍缺乏一套标准的本体构建方法<sup>[7]</sup>.本文在对比分析 METHONTOLOGY、骨架法、KACI'US

工程法、SENSUS 法、七步法<sup>[8]</sup>等方法的基础上,结合斯坦福大学开发的领域本体构建方法——“七步法”,提出了基于叙词表的油田领域本体构建方法,主要将油田领域本体构建过程分为两个阶段:油田基本领域本体构建和油田领域本体构建,如图 1 所示。

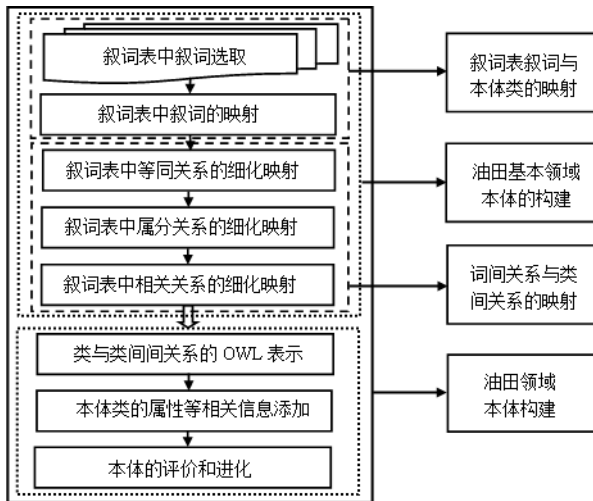


图 1 油田领域本体构建流程

(1)油田基本领域本体构建. 根据叙词表的结构和特点,可以直接跳过“七步法”中的前三个步骤,即叙词表已经确定了本体的领域、范围、重要术语、构建目的等内容,因此此阶段可以直接对应“七步法”的第四个步骤(定义类和类的等级体系)和第五个步骤(定义类的属性和关系),并在转换过程对类间的三种关系进行细化处理和完善. 最后通过本体构建软件 Protege 完成本阶段油田基本领域本体的构建,并进行一致性检查。

(2)油田领域本体构建. 此阶段是对前一阶段所构建的基本领域本体进行丰富和规范化的过程. 具体的工作是首先使用本体描述语言 OWL 表示油田基本领域本体,并在此基础上增加或修改油田基本领域本体中的类及类间关系,同时适当为类添加属性、实例、描述等相关内容,最后结合具体的应用需求完成对本体的修正和优化并输出油田领域本体. 同样在此阶段完成后也需要对本体中的所有概念进行一致性检查,并直至最后生成油田领域本体。

目前国内外大多机构所总结出的基于叙词表的本体构建原理主要是选定某一领域的叙词表,将其中的叙词和简单的词间关系直接转换成本体中的类及类间关系<sup>[9]</sup>,最后在使用中逐步趋于完善亦或是走向淘汰。

假使我们在构建油田领域本体时能够在转换过程中充分考虑到所选叙词表的适用性(词汇的规模,收词是否平衡,是否及时更新或添加新词汇等)、表中词汇的特点(是否属于已淘汰词汇,同形异义词、多义词、近义词是否得到规范处理,是否保证一词一义等)、语义关系的准确性(词间关系表达是否严格、全面、深入,词间关系是否缺乏等)这些情况,那么不仅可以大大减少出错率、缩短本体维护周期,同时站在全局的角度上对叙词表、词汇及词间关系进行分析选择亦将有效地避免语义不一致的问题,当然此过程中离不开油田领域专家和油公司现场作业人员的帮助,所以本文将油田领域本体的构建划分为如上两个阶段,在第一个的油田基本领域本体构建阶段考虑上述情况,以期为下一阶段油田本体的进一步构建提供基础。

## 2 油田基本领域本体的构建

本阶段属于油田领域本体构建的基础,以叙词表中叙词以及词间关系为数据源,将叙词映射为本体中的类,词间关系映射为本体中的类与类之间关系,并提出了映射过程中应遵循的原则,从而完成了《石油主题词表》向油田基本领域本体的初步转化。

### 2.1 叙词向本体类的映射

在将叙词表中叙词映射为本体中的类之前,需要根据实际应用需求确定本体中的基本概念(类). 基于《石油主题词表》构建的本体在概念的选择上对叙词表中叙词的描述有很大的依赖性,因此本文将叙词表中的叙词作为概念元素映射为本体中的类,如果该叙词在《石油主题词表》中存在等同关系,则将对应的非叙词也映射为本体中的相同类。

随着世界石油工业的迅速发展,石油工业领域出现了不少新词,而这部分新词并没有及时更新到《石油主题词表》中,而且石油领域包括地质勘探、石油地球物理勘探、测井、钻井工程、油气田开发与开采、油气集输及储运等多方面专业知识,彼此之间交错复杂,因此在进行叙词向本体类的映射时,本文结合了当前石油勘探开发业务的特点和油田本体的应用目的以求选取最合适的词汇,同时在石油领域专家的帮助下添加了一些必要的新词汇. 在具体映射过程中本文提出了以下三条需依次遵循的规则:第一确定油田领域内核心的概念;第二确定与核心概念有关的其他概念;第三确定用代关系的概念。

## 2.2 叙词间关系向本体类间关系的映射

《石油主题词表》利用“用、代、分、属、族、参”六个参照项定义了叙词间的等同、属分和相关关系,但同时亦存在着关系定义和划分不严格等问题。尽管本体定义了 Part-of、Kind-of、Attribute-of 和 Instance-of 四中基本语义关系,但实际概念间存在的关系却远不止这四种,可根据实际情况定义更多的关系。因此在将《石油主题词表》转换为本体之前需要应先明确并克服错综复杂的语义缺陷。

### (1) 等同关系的映射

叙词表用“Y、D”参照符表示词间的等同关系,即可相互替代的关系,可映射为本体中相同的两个类。但由于叙词表自身的更新比较缓慢,社会的发展使得部分等同关系的叙词之间关系多少有些调整,所以在映射之前应具体考虑以下三种情况:①词汇间的关系完全相同;②词汇的含义改变、有歧义或者已被淘汰;③词汇的意义相关但不等同。在进行关系映射时如果遇到以上情况应根据实际情况做出调整,直接进行转换或咨询领域专家进行更正或转换为其他关系。

### (2) 属分关系的映射

叙词表中词间的属分关系又名等级关系,由“S、F、Z”参照符表示。《石油主题词表》存在着等级关系定义不严格的问题,使得这些具有等级关系的叙词之间不仅包含整体与部分关系、类与实例关系、属种关系、属性值关系,还包括一些其他的需要自定义的关系。因此在属分关系映射时首先将族首词转换为父类,然后对等级关系进行细化处理,具体体现在如下方面:

1) 整体与部分关系转换。整体与部分关系是指概念间的整体与部分关系,由于子类与父类之间拥有部分相同的属性,所以子类的实例一定程度上可能来自父类。如《石油主题词表》中叙词“油田水”与叙词“层间水”、“底水”、“边水”、“束缚水”之间为等级关系,但在语义分析后发现“油田水”与这四个叙词之间是整体与部分的关系。

2) 类与实例关系转换。类与实例关系是指概念的实例与概念间的关系,可以初步理解为对象与类的关系,这里的对象不仅具有类的属性,还可以自定义属性。通过对《石油主题词表》细化处理可以从中提取出类与实例关系。

3) 属种关系转换。属种关系主要指概念与概念之间的继承关系,即父子概念关系。同时这种属种关系

是可以传递的,即如果两个概念是属种关系,则一个属于子类的实例一定属于父类。如《石油主题词表》中叙词“油田水”与叙词“采出水”、“地层水”、“注入水”之间的等级关系映射为本体类间的属种关系。

4) 自定义关系转换。叙词表中有等级关系的叙词之间必然存在着一定的语义关系,所以在进行转换时需要考虑所有具有等级关系的叙词间是否还存在着其他语义关系。如事物发展的因果关系、时间上的先后关系、词汇之间可能存在的矛盾、互补或者交叉关系等等。因此除了本体定义的四种基本语义关系仍需要结合领域专家的知识对这些叙词进行更进一步的分析与细化,从而更准确的确定其中的关系。

### (3) 相关关系的映射

在《石油主题词表》中相关关系是表现类型最为复杂的关系,由参照符“C”表示,因此在转换过程中具有相当大的难度,因此在处理相关关系时需要认真仔细地斟酌。具体转换过程可映射成以下几种情况:①映射为类与实例的参照关系;②映射为概念与属性的相关关系;③映射为时间先后的相关关系;④映射为事物发展的因果关系;⑤映射为交叉或互补关系的参照关系;⑥映射为矛盾关系的参照关系。最后结合 OWL 语言的属性特性标签和属性限制标签来定义相关关系映射后的概念间关系。

## 3 油田领域本体的构建

上一阶段所构建的油田基本领域本体只是初步的本体原型,本阶段在此基础上首先采用本体描述语言 OWL 表达由叙词表映射而来的概念及概念间关系,最后结合具体的应用,对油田基本领域本体进行修正和优化。

### 3.1 叙词及词间关系的 OWL 表示

本体描述语言主要解决的是如何将概念形式化的问题,在众多基于 AI 亦或是基于 Web 的本体描述语言中,本文选择 W3C 推荐的语言标准 OWL 作为油田领域本体的描述语言,它与 RDF/RDFS、XML 等相比拥有更强大的推理和语义表达能力,并拥有三个表达能力依次递增的子语言可供选择<sup>[10]</sup>。

(1) 概念的 OWL 表示: OWL 语言主要采用“< owl : Class >”标签来表示叙词表中由叙词和非叙词映射而来的概念(类),以叙词“地层水”为例如下:

```
< owl : Class rdf : ID = “地层水” > < /owl >
```

```
< owl : Class rdf : ID = "油层水" > < /owl >
```

(2) 等同关系的 OWL 表示: OWL 语言主要采用“< owl : equivalentClass >”、“< owl : SameAs >”等标签描述叙词间的 Y、D 关系, 同时通过属性限制“< owl : Restriction >”标签指定属性的特性. 如叙词表属于等同关系的叙词“层间水”与“夹层水”表示如下:

```
< owl : Class rdf : ID = "层间水" >
< owl : equivalentClass rdf : resource = "&夹层水" />
< owl : equivalentClass >
< owl : Restriction >
< owl : onProperty rdf : resource = "hasnon
PreferredTerm" />
< owl : hasValues rdf : resource = "#夹层水" />
< /owl : Restriction >
< /owl : equivalentClass >
< /owl : Class >
```

(3) 属分关系的 OWL 表示: OWL 语言主要采用“< owl : subclassOf >”、“< owl : supperClassOf >”等标签描述叙词间的 S、F 关系, 如果某一类有多个子类时, OWL 语言使用基本的集合操作算子中的并运算“unionOf”来处理这个类外延的所以子类<sup>[1]</sup>, 同时 OWL 也提供了一种通过直接枚举类的成员的方法来描述类, 即使用 oneOf 结构实现. 举例如下:

```
< owl : Class rdf : ID = "油田水" >
< rdfs : subclassOf rdf : resource = "地下水" />
< owl : unionOf rdf : parseType = "Collection" >
< owl : Class rdf : about = "采出水" />
< owl : Class rdf : about = "地层水" />
< owl : Class rdf : about = "注入水" />
< /owl : unionOf >
< /owl : Class >
```

(4) 相关关系的 OWL 表示: 在 OWL 语言中并没有给出能够表达本体中类间的相关关系的标签, 因而在实际定义两个概念之间的相关关系时需要根据需求自定义属性. 比如表示叙词“圈闭”和“油气藏”之间的相关关系, 由于圈闭是油气藏形成不可缺少的条件, 因此可定义属性“形成条件”并描述如下:

#### 1) 属性定义

```
< owl : ObjectProperty rdf : ID =
"formationCondition" >
< rdf : type rdf : resource = "&owl;
```

```
SymmetricProperty" />
```

```
< rdfs : label xml : lang = "en" > formation
Condition < /rdfs : label >
```

```
< rdfs : label xml : lang = "zh" > 形成条件 < /rdfs :
label >
```

```
< /owl : ObjectProperty >
```

#### 2) 相关关系表示

```
< owl : Class rdf : ID = "圈闭" >
< formationCondition rdf : resource = "#油气藏" />
< /owl : Class >
```

### 3.2 本体中标注属性及相关信息添加

《石油主题词表》中除了提供叙词、非叙词和词间关系外, 还提供了拼音、分类号、记录控制号三个标注信息, 因此当叙词和非叙词被映射为类时, 同时也应该将这三个信息标注到对应类的属性中, 以达到完善类定义的作用. OWL 除了提供数据属性和对象属性外, 还提供了注释属性和本体属性, 其中包括六种预定义的注释属性, 如 rdfs:label、rdfs:comment、rdfs:seeAlso、rdfs:isDefinedBy、owl:VersionInfo 和 owl:AnnotationProperty, 但规定来了不可为这些注释属性添加子属性(owl:subPropertyOf)或者 domain/range 限制. 以叙词“油田水”为例定义标注属性如下:

```
< owl : AnnotationProperty rdf : ID = "拼音" />
< owl : AnnotationProperty rdf : ID = "分类号" />
< owl : AnnotationProperty rdf : ID = "记录控制号" />
```

进一步对表述属性进行描述和限制. OWL 语言提供了 rdf:type、rdfs:comment、rdfs:range 等标签完成对标注的描述, 以上述定义的“拼音”属性为例, OWL 表示如下:

```
< owl : AnnotationProperty rdf : about = "#分类号" >
< rdfs : comment rdf : datatype = "&xsd:string" > 该
属性所在的类最多只能有一个字符串类型的分类号 < /
rdfs : comment >
```

```
< rdf : type rdf : resource = "&owl;Functional
Property" />
```

```
< rdf : type rdf : resource = "&owl; Datatype
Property" />
```

```
< rdf : range rdf : resource = "&xsd:string" />
```

```
< /owl : AnnotationProperty >
```

最后结合《石油技术辞典》完善对类的属性的定

义。这里除了将叙词表中已有信息尽可能的表达外,还需要人为的适时添加一些辅助信息,最后将定义好的标注属性添加到类“油田水”中,具体定义如下:

```
< owl : Class rdf : about = "#油田水" />
< rdfs : label xml : lang = "en" > Reservoir water < /rdfs : label >
< rdfs : label xml : lang = "zh" > 油田水 < /rdfs : label >
< rdfs : comment >油气田分布地区的地下水或与油气有关的地下水< / rdfs : comment >
< 拼音 rdf : datatype = "&xsd:string" > you tian shui < / 拼音 >
< 分类号 rdf : datatype = "&xsd:string" > TE311+.1 < / 分类号 >
< 记录控制号 rdf : datatype = "&xsd:string" > S090128 < / 记录控制号 >
< /owl : Class>
```

### 3.3 油田领域本体的评价和进化

构建本体就如同开发一套软件产品,只有在应用中才能发现其是否满足需求。因此所以上述阶段的完成并不是本体构建工作的结束,而是检验本体构建是否合格的开始,主要包括本体评价和本体进化两部分。

(1)本体评价。截止到目前国内外研究有关本体评价的研究仍未能有一个统一的指标体系,因此领域本体的评价只能以实际的应用效果作为评价依据,秉承效率第一的原则,目前采用较多的当属用户信息反馈法,最后将收集的反馈意见用于本体的改进方面。

(2)本体进化。本体进化是一项复杂的工作,具体可包括以下三方面进化内容:

1)概念的进化:主要指对领域概念的添加、删除、修改及所属范畴的调整等。

2)概念间关系的进化:包括对原有关系的调整及增添新的概念间关系两部分。

3)实例的进化:主要指将发现的新实例及本体中的类关联,同时添进实例库。

在对如上三方面内容进行进化的同时也很容易产生其他问题,比如所添加的新概念很可能对已存在的概念产生语义冲突,进而导致整个本体产生语义不一致的问题,所以在本体进化的过程中只有均衡全面的考虑到可能会产生的冲突,才能保证本体进化的正确性和可行性。这里我们可以从已有本体中抽取并定义一个用于解决冲突的公共概念本体,通过比较新概念与已有概念之间的相似度来检测是否存在语义冲突,

同时借助领域专家所定义的用于推理的规则建立本体与实例之间的映射以实现冲突的消除,从而保证语义的一致性。

## 4 结语

任何一个本体的构建都是件十分复杂的,不仅需要领域专家的参与帮助,同时过程中还会耗费大量的人力与物力。对于本文基于《石油主题词表》构建的油田领域本体而言,将一个内容模糊不完全、语义关系不准确严格、有歧义的叙词表转换成一个支持推理、语义关系丰富全面、没有歧义的油田本体不仅是需要油田领域背景支撑、专家的人工干预的,而且具有一定的困难,主要表现在《石油主题词表》中现有词汇和词间关系的语义关系的完善方面。尽管文章提出了叙词表中叙词确定的规则和词间关系进一步细化的原则,但是在两者转换过程中依旧存在一些亟待解决的问题,如转换效率、质量等问题,所以仍需继续进一步研究解决。

## 参考文献

- 1 Zhong J, Aydin A, McGuinness DL. Ontology of fractures. *Journal of Structural Geology*, 2009, 31(3): 251-259.
- 2 袁国铭,陈殊聪,辛盈,邓小亚.本体构建理论在石油领域的应用研究. *计算技术与自动化*, 2011, 3: 113-118.
- 3 Studer R, Benjamins VR, Fensel D. Knowledge engineering, principles and methods. *Data and Knowledge Engineering*, 1998, 25(112).
- 4 贾君枝.《汉语主题词表》转换为本体的思考. *中国图书馆学报*, 2007, 4: 41-44.
- 5 贾黎莉. Ontology 构建中概念间关系的研究[学位论文]. 北京:中国农业科学院, 2007.
- 6 李乃峰. 基于石油领域本体的语义关联机制研究[学位论文]. 大庆:东北石油大学, 2014.
- 7 鲜国建. 农业科学叙词表向农业本体转化系统的研究与实现[学位论文]. 北京:国农业科学院, 2008.
- 8 白华. 中文叙词表本体语义描述中的几个重要问题. *图书馆杂志*, 2010, 11: 21-25.
- 9 丁晨春,傅柱. 基于航天叙词表的领域本体半自动化构建研究. *情报理论与实践*, 2011, 11: 113-116.
- 10 文必龙,张莉. 石油勘探开发领域本体的构建方法研究. *计算机工程与应用*, 2009, 34: 1-3, 6.
- 11 邓小亚. 石油领域本体库的构建研究. *电子设计工程*, 2011, 20: 1-4, 10.