



面向知识服务的地质资料管理转型研究

李敏¹,傅洁²,陈安蜀¹,李磊¹,王国明¹,曾乐¹

1. 中国地质调查局天津地质调查中心,天津 300170; 2. 中国地震局第一监测中心,天津 300180

摘要: 针对传统地质资料服务方式单一、数据共享困难等问题,提出了地质资料管理的转型方案. 对面向知识服务的地质资料知识组织方式、知识检索以及知识管理理念如何指导地质资料服务等方面进行了探讨. 以地质数据本体构建、基于关联数据技术的地质资料语义化组织以及基于地质大数据的知识检索模型搭建为转型手段,介绍了促进地质资料转型升级的语义化描述及数据关联技术,以期对地质资料管理转型起到参考作用.

关键词: 知识服务;地质资料;管理;转型

STUDY ON THE TRANSFORMATION OF KNOWLEDGE SERVICE-ORIENTED GEOLOGICAL DATA MANAGEMENT

LI Min¹, FU Jie², CHEN An-shu¹, LI Lei¹, WANG Guo-ming¹, ZENG Le¹

1. Tianjin Center of China Geological Survey, Tianjin 300170, China;

2. The First Monitoring and Application Center, CEA, Tianjin 300180, China

Abstract: In view of the traditional unitary service mode of geological data and difficulty in data sharing, the paper puts forward a transformation plan of geological data management, and discusses the knowledge organization form, retrieval of knowledge service-oriented geological data and guidance of knowledge management concept for geological data service. With the construction of geological data ontology, the semantic organization of geological data based on associated data technology and construction of knowledge retrieval model based on geological big data as the transformation means, the semantic description and data association technology to promote transformation and upgrade of geological data are introduced to provide a reference for transformation of geological data management.

Key words: knowledge service; geological data; management; transformation

0 前言

地质资料是地质调查过程中形成的重要的基础信息资源,分散地存储在各级地质资料管理机构中^[1],具有类型复杂、数量庞大、经济和社会效益潜力巨大等特点

点,可广泛应用于基础地质调查、地质找矿、抗震救灾、决策支持等社会发展建设中.

自然科学知识(包括地球科学知识)在短时间内以极高的速度增长. 在知识爆炸的今天,以信息为中心

收稿日期:2020-01-03;修回日期:2020-05-15. 编辑:李兰英.

基金项目:中国地质调查局项目“国家地质大数据汇聚与管理”(编号 DD20190382).

作者简介:李敏(1984—),女,硕士,工程师,从事地质调查信息云计算与大数据技术相关理论、方法、技术的研究工作,通信地址 天津市河东区大直沽八号路4号,E-mail//liminyj@126.com

通信作者:傅洁(1986—),女,硕士,从事大数据理论、方法、技术的研究工作,通信地址者天津市河东区一号桥耐火路7号,E-mail//782768001@qq.com

的服务、组织和管理方式慢慢转变成以知识为中心的知识服务、组织和管理方式,并且,知识组织结构转变成网络辐射式的结构.基于此,知识管理也应该取代传统的地质资料管理.

知识服务已广泛应用于图书情报领域.大数据时代,单一、保守的地质资料信息服务模式已经难以满足用户的需求,面向知识服务实现地质资料的管理势在必行.知识服务的特点是基于知识内容,以用户需求为中心,融入用户决策,提供解决方案^[2].地质资料与图书情报具有共性,蕴含着海量的知识信息,是科技情报工作的基础.如何根据用户知识需求,提供知识服务是地质资料管理者面临的一项重要任务.地质资料知识服务是以用户需求为中心,标引、聚合、重组地质资料信息,并根据用户需求推送相关的地质知识.

1 地质资料服务现状及知识服务需求

传统地质资料服务方式单一、保守,以用户到馆借阅为主,检索时以“件”为最小单位,只能达到文件级,部分文献资料可以线上阅览及全文下载,少量的定制服务方式也难以满足用户的需求.其次,想要从海量的地质资料信息资源中查询到所需信息,对用户而言难度颇大.随着大数据时代的到来,用户需要检索到文件级内部蕴含的知识,并且希望根据自己的检索行为有相关知识能够推送给用户,因此,需要实现地质大数据的挖掘、个性化定制服务以及智能推送等.

知识服务是信息提供机构的高端服务.传统的知识服务以人的智力服务为主,需要借助人脑进行分析.大数据时代,为了深层次利用分散在海量地质资料中的地质知识,实现面向知识服务的地质资料管理,需要借助知识组织工具对地质知识碎片化管理、再组织、有序聚合,将信息组织成能够提供知识服务的知识资源,达到细粒度的、智能化的地质资料的知识关联、聚合、融汇.

2 地质资料知识组织

地质资料的知识组织旨在实现知识单元的细粒度化—机器可计算、知识表示的语义化—机器可理解、知识组织的关联化—机器可推理、知识增长的自动化—机器可自学习^[3].

地质数据是地质知识模型的载体,描述地质数据

就是对地质对象本身、地质概念及其之间的关系、地质数据自身属性的描述.地质数据知识模型如图 1 所示^[4]:将地质对象及其相互间的关系进行概况与抽象,形成地质概念与关系;属性信息是对地质事物、现象、过程的详细描述,定性、定量的表达地质概念与关系.

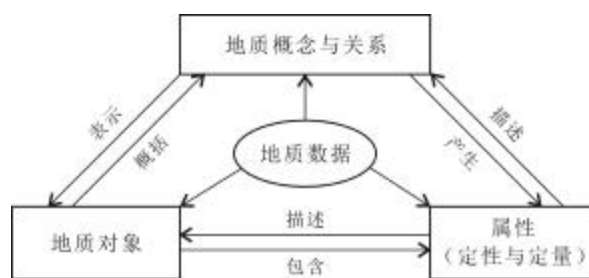


图 1 地质知识模型

Fig. 1 Model of geological knowledge

2.1 知识单元细粒度化

地质资料数据类型复杂、数量巨大,分散存储在各级保管单位,且缺乏对地质资料成果的深度揭示、关联关系的深度挖掘^[5-6]，“信息孤岛”现象普遍存在,严重阻碍用户对多来源和细粒度地质知识的有效获取与利用.因此,有必要对来源分散的地质资料信息片段进行深入揭示和关联,实现地质资料信息资源的细粒度聚合,从而有效满足用户对地质资料的复杂信息需求,提升地质资料知识服务能力.

用户虽然可以借助文件级资料的元数据查询地质资料的名称、关键词、编著者及形成单位等基本信息,但是大数据时代需要揭示的是资料内部的地质知识.因此,描述地质资料的知识单元应更细致的阐明地质资料的内容特征、相互之间的关系等,便于机器进行聚类、统计、分析、推理等计算,帮助用户便捷、高效地获取和利用所需信息,促进智能检索、知识发现、自动综述等一系列应用的有效实现.

2.2 语义信息知识组织

语义是对数据的解释,语义技术的应用使知识服务有了可靠的技术保障.W3C (World Wide Web Consortium)利用网络资源描述框架(RDF)描述网络资源及对应概念,利用网络资源描述框架模式(RDFS)描述网络资源概念间的关联性.数据间的语义关系将数据从信息价值转向知识价值.

基于本体和关联数据技术的知识组织可实现地质知识的搜集、组织、存储、检索、关联和推荐等.地质数

据本体从不同层次以形式化的方式明确定义了地质概念及概念间的相互关系,能够描述复杂的地质数据知识模型,建立地质领域的知识脉络,从而继承共享已有知识.利用关联数据技术,基于 RDF 将地质资料机构知识库元数据组织形式统一为 LOD (Linking Open Data)数据集标准,建立地质资料间的关联关系,便于知识发现.通过对地质资料进行数据建模、实体命名、实体 RDF 化、实体关联化及实体发布可以实现基于关联数据的地质资料知识共享^[7-8].

2.3 知识地图

知识地图能有效地汇集、整合、关联分散的地质信息资源,使地质知识有序化,以可视化方式展示地质知识的分布及地质知识间的分布;用户可以按图索骥得到获取知识的途径,缩短知识获取时间;不仅能提供显性知识,也能展示隐性知识^[9].通过本体的语义描述能力可以建立地质知识单元间的语义关联,从而形成地质资料知识地图网络.

2.4 知识库

为实现地质资料档案的知识组织,需要将杂乱的信息蜕变、升华为有序、关联、可用的知识,达到信息知识化、知识有序化、知识服务化.以地质专业领域的专利、标准、论文、专著、地质调查成果专项数据为信息基础,以推动地质调查成果的分析与评价、地质调查工作的部署与规划、地质领域的知识服务等为目标,整合异构数据,对元数据归一、加工、实体抽取,设计地质学知识元模型,解析知识元,建设集地学知识资源汇集、知识加工、知识服务为一体的地质知识库体系.地质领域知识库能提升地质调查工作与地质科研工作的信息化水平、促进地质调查成果转化与利用、推动地质领域知识的社会化服务^[10-15].

3 知识检索

基于传统引擎检索地质资料仅是浅层检索,依据字符串的匹配,致力于从海量、异构的地质资料数据中过滤对用户有用的信息,然后将过滤结果反馈给用户,用户无法获取、解析所得结果中蕴含的内在关联关系,只能在结果中自己理解、筛选知识,无法获得数据间的规律等深层次的语义知识.

知识检索模型能够透过用户输入的请求语句字面本身的含义,看到本质,以此搜索信息,让用户获得意

想不到的知识.目前国内外在知识检索方面主要取得了 3 个方面的成果:1)语言模型的构建及应用^[16];2)信息检索的扩展^[17-18];3)围绕信息检索结果的聚类分析,特别是聚类算法的研究及改善^[19-21]、基于图数据库及知识图谱的检索^[22]及围绕语义检索展开的领域应用及知识服务^[23-25].地质数据具有复杂性、特殊性^[26],因此仅在地质大数据存储及一体化检索^[27]、地质数据知识图谱构建^[28]、地质数据知识建模^[29-31]及地质数据语义分析在云服务方面^[32-33]的应用等方面展开了研究.

4 知识管理理念如何指导地质资料服务

4.1 地质数据本体

地质数据本体可以描述复杂的地质知识模型.根据地质资料服务需求,对地质数据的概念与实例分类,确定概念间的关系,明确属性与规则,最终以地质数据概念、地质数据概念的关系、地质数据属性、地质数据规则、地质概念对应的实例 5 个部分表示出来.地质数据本体描述示例如图 2 所示.

地质数据本体的构建应遵循明确性、客观性、完整性、一致性、最大单向可扩展性以及最少约束等原则.根据地质资料服务需求,采用本体建模软件 *protegé* 构建基于 OWL 文件格式的本体模型^[34]. *Classes* 模块中建立地质数据对象的层级结构和关联关系; *Object properties* 中建立本体的层级关系及关联关系、属性; *Individuals* 中构建相应概念的实例,以及不同实例的关系、属性、规则约束.地质本体数据将信息对象之间的关系,形式化的明确而规范的表达出来,基于关系查询,通过可视化工具能较好地展现资源间的结构关系和演变情况;基于 SPARQL 的查询还可以实现以往关系数据库不能实现的智能查询.

基于地质数据本体的检索主要包括解析、索引、检索、语义标本和本体共 5 部分.解析 Doc、PDF、Xml 和 Html 类型的文档,基于 Lucence 已有的分词器进行文档预处理,去除停顿词保留主题词,实现索引;利用 Jena 实现本体的解析、推理,将本体中的等级、等同、相关关系解析处理,利用概念扩展算法实现检索词的语义扩展,形成新的检索词列表;以本体扩展后的新的检索词为输入条件,在本体库和资源库中查询相应的数据资源并返回至排序模块.排序模块对匹配到的数

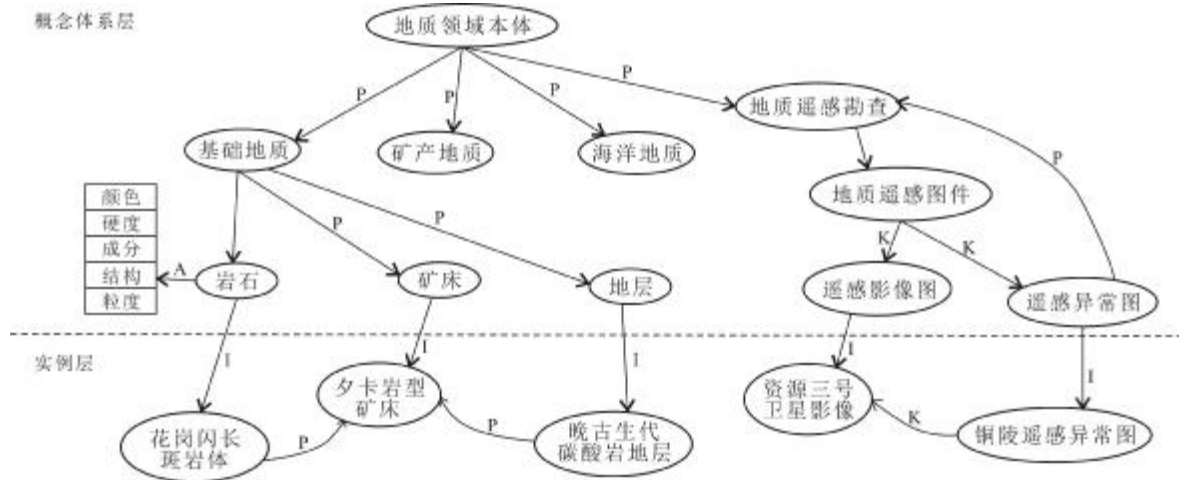


图 2 地质数据本体示例

Fig. 2 Illustration of geological data ontology

P—从属关系(subordinate relation); K—继承关系(inheritance relation); I—概念实例关系(conceptual instance relation); A—属性(attribute)

据资源按权重重新排序,并将检索结果返回给用户.

4.2 基于关联数据技术的地质资料语义化组织

为实现基于关联数据技术的地质资料机构知识库语义扩展,需抽取地质资料实体关系并添加约束.地质资料元数据中的实体包括案卷级资料、文件级资料、题名、摘要、关键词、编著者、形成单位、形成时间、标识

符.这 9 类实体间的约束关系如表 1 所示.

利用 RDF 进行语义标注和关联,尽可能复用已有的关联词表或本体模型是关联数据构建的基本原则之一.根据地质资料元数据抽取的实体关系,采用语义标注数据集 DC-TERMS, Dublin-Core (简称 DC)描述文件信息, Foaf 描述编著者信息.采用关联数据源

表 1 9 类实体间的约束关系

Table 1 Constraint relation between 9 types of entities

序号	约束对象	约束关系	对应关系
1	案卷级资料与文件级资料	一档案卷级资料对应若干档文件级资料	1:n
2	案卷级资料与题名	一档案卷级资料对应一个题名	1:1
3	案卷级资料与摘要	一档案卷级资料对应一个摘要	1:1
4	案卷级资料与关键词	一档案卷级资料对应若干个关键词	1:n
5	案卷级资料与编著者	一档案卷级资料由若干个编著者编写	1:n
6	案卷级资料与形成单位	一档案卷级资料由若干个子部门构成	1:n
7	案卷级资料与形成时间	一档案卷级资料只有一个形成时间	1:1
8	案卷级资料与标识符	一档案卷级资料对应一个标识符	1:1
9	编著者与案卷级资料	一个编著者可以撰写若干档案卷级资料	1:n
10	关键词与案卷级资料	一个关键词对应若干档案卷级资料	1:n
11	文件级资料与案卷级资料	一个文件级资料对应一档案卷级资料	1:1
12	形成时间与案卷级资料	一个形成时间可以对应若干档案卷级资料	1:n
13	形成单位与案卷级资料	一个形成单位可以对应若干档案卷级资料	1:n

DBpedia 进行语义扩展,以 owl:sameAs 描述 DBpedia 中同一个主题资源的其他资源.基于 RDFS 和 OWL 建模语言构建地质资料元数据的实体关联模型如图 3 所示.

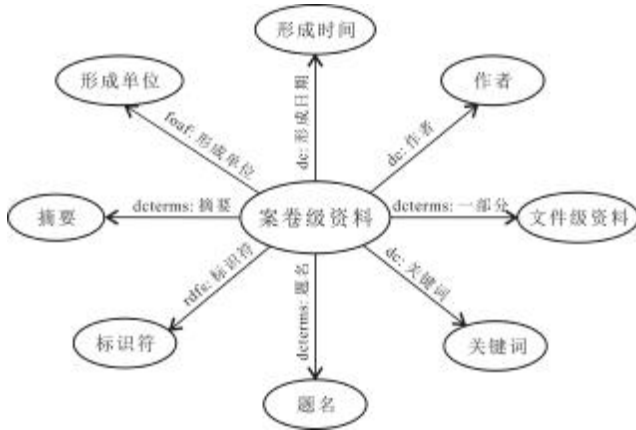


图 3 地质资料元数据的实体关联模型

Fig. 3 Entity association model of geological information metadata

基于数据间的语义关系,建立地质资料机构知识库与 LOD 数据集之间的语义关联,通过 D2R 实现数据发布. D2R 在不改变已经存在的数据模式的基础上,通过在映射规则中使用 SQL 语句,提供复杂关系结构的灵活映射,即在访问关系型数据库时将 RDF 数据的查询语言 SPARQL 转换为关系数据库查询语言 SQL,并将 SQL 查询结果转换为 RDF 三元组或 SPARQL 查询结果.

4.3 基于地质大数据的知识检索模型

地质资料包括案卷级资料、文件级资料.虽然文件级元数据已经建立,但也只能反映一些基本信息,用户无法得到文件级地质资料内部蕴含的信息.为了将地质隐性知识显性化,可以结合地质叙词表、地质大词典、地质本体,构建地质数据语义知识图谱,对地质资料文档的文本部分及表格部分分别处理:根据文本的标题分清上下级嵌套关系,提取各个标题下的内容并进行语义处理;对于表格,先识别表头,然后对单元格内容语义识别,结合地质领域专家知识、知识库模板、地质数据语义模型获得文本及表格的关键语句,采用基于地质叙词表扩展的半自动化本体构建方法构建地质知识图谱.地质知识图谱是地质结构化的语义知识库.基于地质领域专业文档及网络爬虫技术获取的互联网上的地质相关数据信息,采用 Neo4j 图谱数据存

储框架存储实体信息、语义关系、图数据库,完善地质知识图谱.基于地质知识图谱的语义检索将用户的查询需求当作实体,利用语义知识图谱获得候选的扩展词,经知识抽取、融合后采用概念、实体的匹配度将数据转变为代表实体的知识,返回给用户,减少用户的参与.

5 结语

知识经济时代,运用知识组织、知识管理理念,创新发展知识服务型数字地质资料档案馆,实现地质资料由信息管理型向知识服务型的转型是地质资料的信息化方向.运用大数据、人工智能等技术,数据化、结构化、碎片化馆藏地质资料,加速地质资料数据资源整合、服务进程,提供智能化数据服务,实现资源共享多元化是提升地质资料社会化价值的必由之路.

笔者在分析地质资料现状的基础上,提出基于本体构建地质数据组织模型、基于关联数据实现地质资料机构知识库的语义扩展的思路,以及面向地质大数据的语义检索机制,对地质资料各种资源的语义化描述和数据关联进行了探索,促进地质资料管理向知识服务转型.

参考文献(References):

[1]郑锦娜,陈安蜀,杨君.在涉密地质资料管理工作中的几点思考与对策[J].地质调查与研究,2018,41(4):318-320.
Zheng J N, Chen A S, Yang J. Some thoughts and countermeasures in the management of confidential geological data[J]. Geological Survey and Research, 2018, 41(4): 318-320.

[2]张晓林.走向知识服务:寻找新世纪图书馆情报工作的生长点[J].中国图书馆学报,2000,26(5):32-37.
Zhang X L. Towards knowledge services: Seeking development opportunities for library and information services in the 21st century [J]. The Journal of the Library Science in China, 2000, 26(5): 32-37.

[3]夏翠娟,张磊,贺晨芝.面向知识服务的图书馆数字人文项目建设:方法、流程与技术[J].图书馆论坛,2018,38(1):1-9.
Xia C J, Zhang L, He C Z. Construction of library digital humanities projects for knowledge services: method, process and technology [J]. Library Tribune, 2018, 38(1): 1-9.

[4]吴永亮,陈建平,贾志杰,等.地质数据本体构建及其在数据检索中的应用[J].地质通报,2018,37(5):945-953.
Wu Y L, Chen J P, Jia Z J, et al. The construction of geological data ontology and its application to data retrieval [J]. Geological Bulletin of China, 2018, 37(5): 945-953.

- [5]曹树金,李洁娜,王志红.面向网络信息资源聚合搜索的细粒度聚合单元元数据研究[J].中国图书馆学报,2017,43(4):74-92.
Cao S J, Li J N, Wang Z H. Research on the meta-data schema for fine-grained aggregation units of internet resources [J]. Journal of Library Science in China, 2017, 43(4): 74-92.
- [6]王春女,杜泽忠,于晓飞,等.甘肃省花牛山幅1:50000矿产地质图数据库[J].中国地质,2019,46(S1):55-65.
Wang C N, Du Z Z, Yu X F, et al. 1:50000 mineral geological map database of the Huaniushan map-sheet, Gansu [J]. Geology in China, 2019, 46(S1): 55-65.
- [7]闫东,王诚.基于本体和语义标引的地质资料服务与管理研究[J].软件,2017,38(9):117-121.
Yan D, Wang C. Study of service and management of the geological resources based on ontology and semantic indexing [J]. Computer Engineering & Software, 2017, 38(9): 117-121.
- [8]陈昕昀,潘懋,况琪,等.基于关联数据技术的地质资料实体建模与Web发布[J].科学技术与工程,2016,16(1):107-113.
Chen X Y, Pan M, Kuang Q, et al. Geological archives entity modeling and Web publishing based on linked data technology [J]. Science Technology and Engineering, 2016, 16(1): 107-113.
- [9]苏新宁.面向知识服务的知识组织理论与方法[M].北京:科学出版社,2014:128-140.
Su X N. Knowledge service-oriented knowledge organization theory and methodology [M]. Beijing: Science Press, 2014: 128-140. (in Chinese)
- [10]丁群安,单昌昊.地学知识库建设研究与实践[M].北京:地质出版社,2017:33-36.
Ding Q A, Shan C H. Research and practice on the construction of geoscience knowledge base [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2017: 33-36. (in Chinese)
- [11]李敏,傅洁,陈安蜀,等.基于云计算的地质大数据挖掘内涵[J].中国矿业,2019,28(S1):343-346,348.
Li M, Fu J, Chen A S, et al. The connotation of geological big data mining based on cloud computing [J]. China Mining Magazine, 2019, 28(S1): 343-346, 348.
- [12]李磊,郑锦娜,孙义伟,等.多源异构空间数据库整合技术探讨与实践——以1/5万区域地质图空间数据库为例[J].地质调查与研究,2016,39(3):237-240.
Li L, Zheng J N, Sun Y W, et al. Discussion and Practice on multi-source heterogeneous spatial data Integrating Technology, taking 1/50000 regional geologic map spatial database as an example [J]. Geological Survey and Research, 2016, 39(3): 237-240.
- [13]李敏,傅洁,陈安蜀,等.大数据时代的国家基础地质信息化建设[J].地质与资源,2017,26(3):329-332.
Li M, Fu J, Chen A S, et al. National basic geological information construction in big data era [J]. Geology and Resources, 2017, 26(3): 329-332.
- [14]李敏,傅洁,任邦方,等.数字填图在区域地质调查中的应用——以内蒙古北山地区1:5万哈珠南山幅为例[J].地质与资源,2017,26(1):84-89,104.
Li M, Fu J, Ren B F, et al. Application of digital mapping techniques in regional geological survey: An example of 1:50 000 Hazhunanshan sheet in Beishan Area, Inner Mongolia [J]. Geology and Resources, 2017, 26(1): 84-89, 104.
- [15]李晨阳,王新春,何春珍,等.全国1:200000数字地质图(公开版)空间数据库[J].中国地质,2019,46(S1):1-10.
Li C Y, Wang X C, He C Z, et al. China national digital geological map (public version at 1:200000 scale) spatial database [J]. Geology in China, 2019, 46(S1): 1-10.
- [16]涂新辉.基于概念的信息检索模型研究[D].武汉:华中师范大学,2012.
Tu X H. A study of concept-based information retrieval model [D]. Wuhan: Central China Normal University, 2012.
- [17]李大高.信息检索中的查询扩展算法研究[D].镇江:江苏大学,2008.
Li D G. Research on query expansion algorithm in information retrieval [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2008.
- [18]张金.个性化信息检索系统中文本聚类研究[D].长春:东北师范大学,2010.
Zhang J. The research of text clustering in personalized information retrieval system [D]. Changchun: Northeast Normal University, 2010.
- [19]明均仁.基于本体图的文本聚类模型研究[J].情报科学,2013,31(2):29-33.
Ming J R. Research on text clustering model based on ontology graph [J]. Information Science, 2013, 31(2): 29-33.
- [20]王骏,王士同,邓赵红.聚类分析研究中的若干问题[J].控制与决策,2012,27(3):321-328.
Wang J, Wang S T, Deng Z H. Survey on challenges in clustering analysis research [J]. Control and Decision, 2012, 27(3): 321-328.
- [21]高茂庭.文本聚类分析若干问题研究[D].天津:天津大学,2007.
Gao M T. Study on several issues of text clustering [D]. Tianjin: Tianjin University, 2007.
- [22]王鑫印.无结构和半结构信息检索相关技术研究[D].上海:复旦大学,2007.
Wang X Y. Research on related technology of unstructured and semi-structured information retrieval [D]. Shanghai: Fudan University, 2007.
- [23]程晓伟,杨宝龙,葛春,等.基于领域本体的网络攻防训练资源库建设研究[J].网络安全技术与应用,2009(10):53-55.
Cheng X W, Yang B L, Ge C, et al. Research on the construction of network attack and defense training resource database based on domain ontology [J]. Network Security Technology & Application, 2009(10): 53-55.
- [24]颜端武.面向知识服务的智能推荐系统研究[D].南京:南京理工

- 大学, 2007.
- Yan D W. Research on knowledge service oriented intelligent recommendation system[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2007.
- [25]张红岩. 我国图书情报领域本体研究可视化分析[J]. 图书馆学研究, 2012(6): 7-12.
- Zhang H Y. Visualization analysis about ontology research in the field of library and information science in China[J]. Researches in Library Science, 2012(6): 7-12.
- [26]Zhu Y Q, Zhou W W, Xu Y, et al. Intelligent learning for knowledge graph towards geological data [J]. Scientific Programming, 2017, 2017: 5072427.
- [27]朱月琴, 谭永杰, 张建通, 等. 基于 Hadoop 的地质大数据融合与挖掘技术框架[J]. 测绘学报, 2015, 44(S1): 152-159.
- Zhu Y Q, Tan Y J, Zhang J T, et al. A framework of Hadoop based geology big data fusion and mining technologies[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2015, 44(S1): 152-159.
- [28]Wei D Q, Zhu Y Q. Management of unstructured geological data based on Hadoop [C]//2015 IEEE 12th Intl Conf on Ubiquitous Intelligence and Computing and 2015 IEEE 12th Intl Conf on Autonomic and Trusted Computing and 2015 IEEE 15th Intl Conf on Scalable Computing and Communications and Its Associated Workshops (UIC-ATC-ScalCom). Beijing, China: IEEE, 2015: 432-435.
- [29]李婧, 陈建平, 王翔. 地质大数据存储技术[J]. 地质通报, 2015, 34(8): 1589-1594.
- Li J, Chen J P, Wang X. A study of the storage technology of geological big data[J]. Geological Bulletin of China, 2015, 34(8): 1589-1594.
- [30]Zhu Y Q, Tan Y J, Li R X, et al. Cyber-physical-social-thinking modeling and computing for geological information service system[J]. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2016, 12(11): 1-9.
- [31]姚健鹏, 郭艳军, 潘懋, 等. 铜矿床领域本体的构建方法研究[J]. 中国矿业, 2017, 26(8): 140-145, 153.
- Yao J P, Guo Y J, Pan M, et al. Study on the method of constructing copper deposits domain ontology[J]. China Mining Magazine, 2017, 26(8): 140-145, 153.
- [32]Luo X, Deng J, Wang W P, et al. A quantized kernel learning algorithm using a minimum kernel risk-sensitive loss criterion and bilateral gradient technique[J]. Entropy, 2017, 19(7): 365.
- [33]Luo X, Liu J, Zhang D D, et al. An entropy-based kernel learning scheme toward efficient data prediction in cloud-assisted network environments[J]. Entropy, 2016, 18(7): 274.
- [34]孙凯, 诸云强, 潘鹏, 等. 形态本体及其在地理空间数据发现中的应用研究[J]. 地球信息科学学报, 2016, 18(8): 1011-1021.
- Sun K, Zhu Y Q, Pan P, et al. Research on morphology-ontology and its application in geospatial data discovery [J]. Journal of Geoinformation Science, 2016, 18(8): 1011-1021.

(上接第 36 页/Continued from Page 36)

- [29]陈新跃. 铍厂沟金矿床构造特征及其对金矿的控制作用[D]. 西安: 长安大学, 2003: 1-66.
- Chen X Y. Tectonic characteristics of Huachanggou gold deposit and its control of gold deposit[D]. Xi'an: Chang'an University, 2003: 1-66.
- [30]张彦艳, 王建新, 赵志, 等. R 型聚类分析在成矿阶段划分中的应用: 以桦甸大庙子-菜枪子金矿区为例[J]. 世界地质, 2006, 25(1): 29-33, 38.
- Zhang Y Y, Wang J X, Zhao Z, et al. Application of R-type clustering analyses in subdivision of mineral stages: An example from gold ore area in Damiaozhi-Caiqiangzi of Huadian[J]. Global Geology, 2006, 25(1): 29-33, 38.
- [31]董庆吉, 陈建平, 唐宇. R 型因子分析在矿床成矿预测中的应用——以山东黄埠岭金矿为例[J]. 地质与勘探, 2008, 44(4): 64-68.
- Dong Q J, Chen J P, Tang Y. Application of R type factor analyses in mineralization prognosis: By an example of Huangbuling gold deposit, Shandong Province[J]. Geology and Prospecting, 2008, 44(4): 64-68.
- [32]刘晓玲, 陈建平. R 型因子分析在青海省治多杂多地区成矿预测中的应用[J]. 物探化探计算技术, 2010, 32(3): 332-336.
- Liu X L, Chen J P. A case study of R-factor analysis for metallogenic prognosis applied to Zhiduo-Zaduo area of Qinghai Province [J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2010, 32(3): 332-336.
- [33]邢利琦, 刘炳璋. 矿床原生地球化学晕分带性研究[J]. 四川地质学报, 2011, 31(4): 489-492, 495.
- Xing L Q, Liu B Z. Study of zonation of primary halo of hydrothermal deposits[J]. Acta Geologica Sichuan, 2011, 31(4): 489-492, 495.
- [34]陈永清, 韩学林, 赵红娟, 等. 内蒙敖包特 Pb-Zn-Ag 多金属矿床原生晕分带特征与深部矿体预测模型[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2010, 36(2): 236-246.
- Chen Y Q, Han X L, Zhao H J, et al. Characteristics of primary halo zonation and prediction pattern of deep orebody of the Huaobaote Pb-Zn-Ag polymetallic deposit, inner Mongolia [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2010, 36(2): 236-246.