

面向知识发现的突发事件风险评价领域知识图谱研究

陈治宇¹ 欧朝敏^{1*}

CHEN Zhiyu OU Chaomin

摘要

为构建学科领域知识图谱,促进知识科学管理,满足领域知识发现及关联分析的需求。文章着眼突发事件风险评价领域知识的精准获取,利用领域文献数据构建突发事件风险评价领域知识图谱,把握研究热点与趋势。构建领域知识图谱的本体模型,使用层次聚类将基于文献共现关系的样本关键词聚类与整合,形成突发事件风险评价的领域词典。结合词典设计文本相似性计算法则,实现实体识别,验证分析节点识别平均 F_1 值为 0.84,效果较好。最后使用图数据库构建包含节点数量 8 560 个,边关系数量 32 750 条的突发事件风险评价领域知识图谱,该方法可以为领域知识图谱的构建提供参考。

关键词

突发事件风险评价;层次聚类;实体识别;领域知识图谱

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2025.07.001

0 引言

知识图谱从海量数据信息中抽取实体及其属性,通过实体间关系链接实体,从而构建有语义处理能力与开放互联能力的知识库。面向研究领域构建知识图谱,可以对该研究领域的知识进行存储、表示与信息挖掘,这类知识图谱被称为领域知识图谱。当前这一方法已经应用于生物医学、社会科学等领域^[1]。

基于文献计量构建领域知识图谱可以聚焦学科研究热点话题,其构建基本关系主要包括引用关系与共现关系^[2]。利用文献数据库获取文献计量数据是常用的方法,CNKI、Scopus 等文献检索数据库提供了检索关键词的初步可视化分析,为检索者提供检索概况。为了更好地从文献计量中挖掘信息,VOSviewer、CiteSpace 等软件利用检索获取的文献实现基于文献计量的领域知识图谱构建,通过聚类、突显等运算分析领域热点趋势^[3-4],Bibexcel、Histcite 等引文计量分析软件通过共引、引文耦合等关联可以较好地实现学科文献引文分析^[5]。但上述领域知识图谱的构建相对泛化,其知识发现方式难以实现领域研究热点的查询关联分析。基于此,结合共词分析与社会网络,利用 SPSS 和 Ucinet 构建共词网络,可以实现研究热点的量化分析^[6]。领域知识具有知识专门性、系统性等特点,由于目前大多学科领域知识管理存在知识总量大、知识碎片化、知识关系难以分析等问题^[7],利用本体与领域词典构建领域知识图谱可以更好实现知识发现与关联

分析。

目前领域知识图谱研究在实现领域知识的深度发现与知识关系分析方面相对欠缺。本文基于突发事件风险评价领域,创新领域知识图谱建模思路,设计领域知识图谱构建的方法。从期刊文献中提取领域知识信息,建立突发事件风险评价的研究知识本体,面向文献数据库特点设计本领域词典,构建突发事件风险评价知识图谱,以期突发事件风险评价知识领域提供理论框架支持,发现该领域研究的热点与趋势,支持相关研究的开展,为领域知识图谱的构建提供参考。

1 领域知识图谱构建技术架构

本文着眼领域知识图谱构建技术架构,针对研究主题信息开展研究分析,综合文本挖掘与建模方法构建主题领域知识图谱,通过对知识图谱的知识发现与关联分析,挖掘领域研究的图谱中蕴含的知识信息,有助于增强学术领域研究的知识管理、探索研究热点趋势。本文构建领域知识图谱的总流程如图 1 所示,技术流程架构包括领域词典的设计、领域知识图谱构建以及后续的知识应用分析。

2 突发事件风险评价领域词典设计

2.1 知识获取

本文采用突发事件风险评价领域相关文献作为图谱用例数据来源,爬取文献数据。在数据预处理中,需要将知识图谱的实体抽取出来,从而获得易于处理的数据集。本文数据主要来源于中国知网,通过高级检索包含“突发事件”与“风险评价”的研究文献获取数据,考虑到本文知识图谱需要研究作者的合作、关键词的共现等关系。

1. 国防科技大学系统工程学院 湖南长沙 410073

[基金项目] 国家自然科学基金项目研究成果之一(71774168)

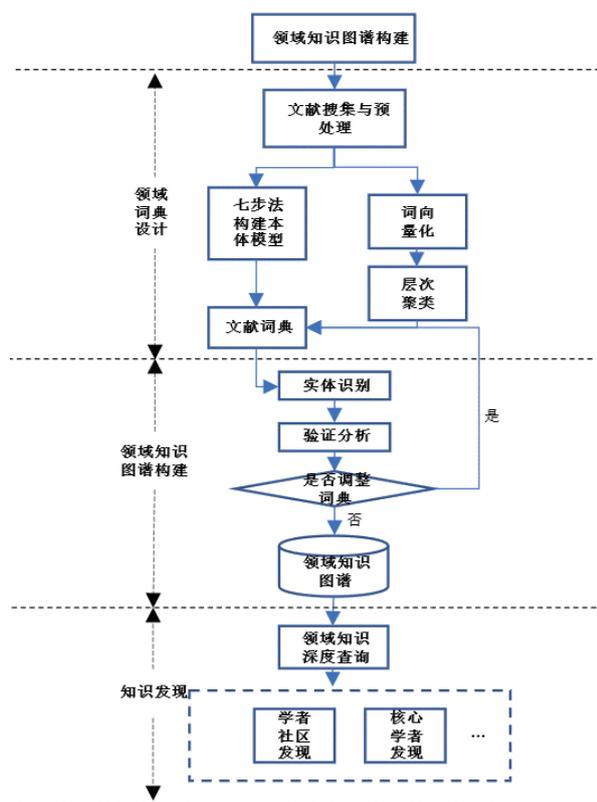


图1 领域知识图谱构建技术架构

聚焦图谱构建方法，精炼领域知识单元，按照引用量从高到低选取引用量非0的2015篇“学术期刊”文献作为本文的数据集，时间跨度为1990—2024年，删除其中包括学位论文、标准、法规等类型的文献。

预处理数据转化为研究需要的网络节点及边结构等结构化的信息。研究需要选取文献的作者、机构，以及关键词等数据信息，提取文献中的作者、对应的机构以及文献的关键词等信息作为节点要素，并将出现在同一文献中的作者、机构定义为合作关系，作者与机构定义为从属关系，作者、机构、关键词定义为共现关系。通过信息提取得到构建突发事件风险评价知识图谱所需的节点与边信息。

2.2 本体构建

本体不仅有助于更好地理解和组织知识，还可以提高知识图谱的可重用性和互操作性。本文结合文献知识特点采用斯坦福大学医学院开发的七步法^[8]构建本体模型，该方法主要用于领域本体的构建，其中的7个步骤并非完全的垂直顺序，其相互交织实现构建知识本体。

按照七步法的步骤，分析第一步要确定知识本体涉及的专业领域。本文涉及的专业领域为突发事件风险评价知识领域，属于应急管理研究领域下的研究内容。

第二步要考虑复用现有知识本体模型的可能。基于对知识本体研究的调查，突发事件风险评价还没有合适的本体模

型，但目前医学领域知识本体构建较为成熟且成果丰硕，其思路可以提供较好的参考。研究参考包括：英国曼彻斯特大学的Open Galen 生物医学本体项目^[9]以及国内中医医案知识图谱^[10]等项目的本体构建成果。

第三步要列举知识本体中的重要术语。在定义本体之前需要对本体中涵盖的术语进行列举，本文选取的数据集已经将文献作者、作者机构，以及文献关键词等基本信息作为术语集合，可以直接提取构建。

第四步要定义类(Class)和类的等级体系(Hierarchy)。本文采取自顶向下梳理本体结构中节点对象的类与等级。为规范梳理领域知识之间的逻辑，定义节点分类：作者、机构、关键词本体。其中，作者和机构属于文献属性类概念，关键词属于文献研究类概念。参考突发事件风险评价相关文献[11-14]，根据对第三步得到的术语集概括抽取，其中关键词又可以抽取为：风险因素、风险事件、风险区域以及研究方法。

第五步要定义类的属性。文献属性类中，作者的属性即为其作者的姓名，机构的属性即为作者所属研究机构的名字。文献研究类中，风险因素是指可能影响风险事件发生的因素或条件，如环境、气候、市场、政策等属性；风险事件是指突发事件风险评价研究的风险类型，包括自然灾害、事故灾难、社会安全、公共卫生等属性；风险区域是指研究面向的具体案例地理区域，包括自然区域、社会区域等属性；研究方法是指研究文献中主要使用理论方法，其中包括许多风险管理的方法^[15]是指对风险进行识别、评估、控制和监测的全过程，包括风险规划、风险识别、风险评估、风险控制和风险监测等相关方法术语。抽取需要定义的关系。“作者”与“机构”是从属关系，关系类型为“属于”；“作者/机构”与“风险因素/风险事件/风险区域”是前者研究后者的关系，关系类型为“研究”；“作者/机构”与“研究方法”是前者使用后者的关系，关系类型为“使用”；“研究方法”与“风险事件”是前者应用于后者的关系，关系类型为“应用”；“研究方法”与“风险因素”是前者分析后者的关系，关系类型为“分析”。

第六步要定义概念属性的分面(Facets)。属性可能包括不同的分面，分面表示取值类型、个数等其他特征。在以上概念属性中，作者和机构的取值类型都是特有命名，可以持续添加，但需注意实体的对齐。关键词类属性的分面已经包含有特定的分类，研究过程中需要根据添加的实例进行实体识别，将其添加进对应的概念属性中。

第七步要创建实例。创建实例即为类的各个节点属性赋予属性值的过程，即接下来的论述中将讨论的实例词典构建过程，最终得到突发事件风险评价知识图谱本体模型如图2所示。

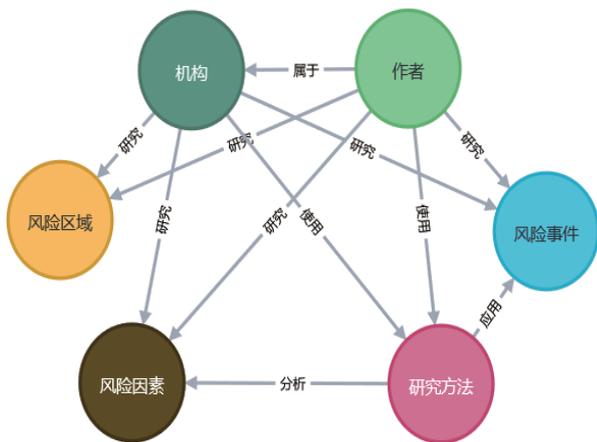


图2 突发事件风险评价知识图谱本体模型

2.3 基于层次聚类的半自动领域词典构建方法

对照本体模型，需要处理文本数据与之匹配。将文本数据转化为词向量便于进行文本分析、文本分类、信息检索等任务。因此，在对文本数据进行层次聚类之前需要进行词向量的训练。

提取文献的摘要语料进行分词为词向量模型的训练提供语料。在进行数据处理后，研究使用了 Word2Vec 方法进行模型的训练，得到一个突发事件风险评价文献语料专用词向量模型“Word2Vec.model”。

再根据词向量模型对语料进行分类，领域词典法 (Dictionary-Based) 是基于预定义的词汇表，将文本中出现的词与词汇表中的词进行匹配从而实现实体识别。因此本文需要构建一个突发事件风险评价研究领域的专有词典，领域词典的构建通过具体实例来实现，即通过样本语料集合的分类得到实例，对应本体模型中的实体类，即得到领域主题。

基于本文突发事件风险评价领域知识的特点，本文将主观划分大类与自动层次聚类相结合，设计一种半自动化的领域词典构建方法。为得到文献关键词的语义主题特征，研究进一步选取高引用文献的前 30 篇，将其文献信息作为实例词典的数据源。首先本体中文献属性类与文献研究类节点均要构建实例词典来进行实体识别。实验考虑到这两大类节点属性语义的差异性较大，分别构建两类词表有助于实现更好的实体识别效果。

首先识别文献属性类节点，即作者和机构等两类。导出 30 篇文献相关的语料信息作为词典语料，为提高词典语料丰富度与识别精确度，提升词典覆盖语义的完整度，根据中国姓名常用字在“作者”类中添加“李明；王丽；张伟；陈静”等姓名；精简“机构”类中的地方属性字符，避免与“作者”类中产生一定的重复，如：“中国人民大学”简化为“人民大学”等，得到文献属性类节点实例词典（部分），如表 1 所示。

表 1 文献属性类节点实例词典（部分）

领域主题	领域例词
作者	姜长云；姜惠宸；崔希亮；杨子晖；陈雨恬；张平淼；王拉娣；韩江旭；匡海波；杜浩；丰昊月……
机构	研究所；理工大学；研究院；财经大学；管理科学与工程学院；海事大学；创新中心……

构建关键词节点属性实例词典，有风险因素、风险事件、风险区域、研究方法四类。研究采用层次聚类方法进行构建。基于研究得到的突发事件风险评价专用词向量模型“Word2Vec.model”，遍历数据源中的所有关键词，获取每个关键词在语料模型中对应的 K 维向量空间中的向量。

在层次聚类过程中，需要考虑 3 个条件，距离计算规则、合并规则以及停止条件，定义 d 为两词对应向量之间的距离， x 为词向量对应的空间位置。选取欧氏距离 (Euclidean distance)，这一距离计算方法在文本相似度的向量距离计算中较常用，合并规则选取离差平方和法，经过实验可以得到相对较好的聚类效果。为得到较好的降维结果，实验确定阈值为 0.16，最终得到 15 个小类别的关键词主题，如图 3 所示。

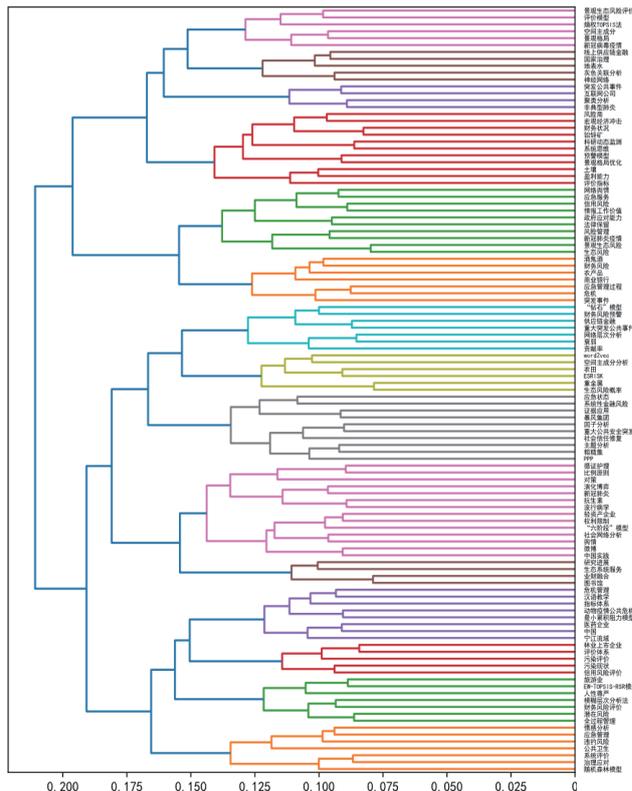


图3 关键词层次聚类结果

通过关键词主题合并等分析，使其转化为本体中概念属性对应的几类主题，即风险因素、风险事件、风险区域以及研究方法四类主题，将其存储到一个字典中。为提高后续数

据对应词典进行实体识别的精确度，使得词典中的属性值覆盖主体的语义更加全面准确，删除部分语义歧义、语义不符的词语，添加部分主题类中的常用词，得到文献研究类节点实例词典（部分），如表 2 所示。

表 2 文献研究类节点实例词典（部分）

领域主题	领域例词
风险因素	盈利能力；财务风险；违约风险；比例原则；业财融合；财务状况；危机；权利限制；轻资产企业……
风险事件	应急管理；新冠病毒疫情；网络舆情；铅锌矿；公共卫生；风险商；突发事件；危机管理；地表水……
风险区域	宁江流域；农田；区域；森林；地质；山坡；地层；地带；地震带……
研究方法	评价模型；神经网络；系统评价；评价体系；演化博弈；网络层次分析；“六阶段”模型；社会网络分析……

3 突发事件风险评价领域知识图谱构建

3.1 实体识别

本文通过 Jaccard 系数对文本单词与词典中的每个单词进行相似度计算，找到实体词典中与之最相似的单词集合，并将其标记为对应的实体类型。经过该方法可以实现标注未知实体的工作。定义每一个输入的新词为 W ，词典中对应的每个例词为 ex ， W 与 ex 进行 Jaccard 系数计算，在计算中新词 W 与每个例词 ex 逐字对比，得到两个词语作为集合的交集与并集，从而求得 Jaccard 系数。在本文中，为尽量消除词典中每个主题数据量的不同以及不匹配的其他词对 Jaccard 综合得分计算带来的影响，本研究改进计算方法的具体方式为：对于每一个新词 w ，其与例词 ex 匹配的每一次 Jaccard 系数不为零的得分 $J(W, Dic)$ 累加，记录与新词 w 匹配系数不为零的例词个数 $Num(ex)$ ，求取平均值，作为新词 w 与该主题 Dic 的 Jaccard 综合相似性得分，经过综合评价，可以根据领域词典主题的语料体量进行一定的加权平均，用公式表示为：

$$J(W, Dic) = \frac{\sum J(W, dic)}{Num(ex)} = \frac{\sum \frac{|W \cap ex|}{|W| + |ex| - |W \cap ex|}}{Num(ex)} \quad (1)$$

基于前文构建的文献属性类节点实例词典与关键词节点属性实例词典，分别对作者、机构节点与关键词节点进行实体标注。计算新词 W 与实例词典对应下的每一类主题 Dic 的综合相似性得分，最后取相似性得分最高的主题作为该新词 $word$ 的主题属性，若不能识别则标注为“不能识别”，从而实现节点实体标注，得到如表 3 识别详情示例。

表 3 节点识别详情示例

Id	Label	Type
0	闫文德	作者
1	大数据	研究方法
2	财务状况	风险因素

检查节点实体的识别，发现部分节点存在重复，由于语料语义的离散性质，利用实体相似性计算对进行实体对齐改善节点识别的效果。如“中国矿业大学”与“中国矿业大学（北京）”，经过识别对齐为“中国矿业大学”，从而避免产生节点语义重复累赘。

3.2 结果分析

基于实体识别与对齐的节点详情，计算分析准确率、精确率、召回率与 F_1 值 4 个指标，从而相对全面地评估识别模型的性能。抽取其中 100 个标注结果进行人工验证校核，得到实体识别效果分析的召回率和准确率，如图 4 所示。

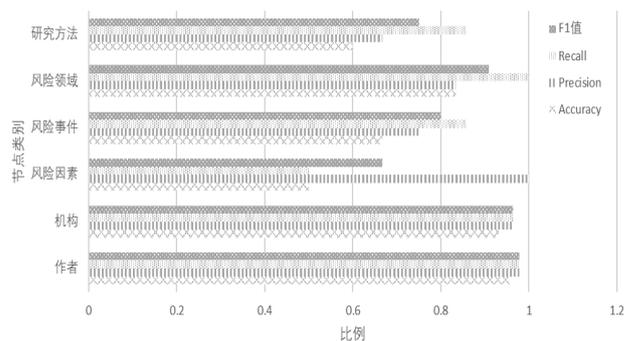


图 4 实体识别效果分析图

6 种类型的节点实体识别精确率都比较高，说明对于某一种的识别结果，其中正确匹配的情况较好。作者和机构节点实体整体效果很好，体现了其领域词典语料集覆盖语义完善。除风险因素之外的其他 5 种类型的节点实体识别召回率都高于 80%，尤其是风险领域的召回率最高，说明风险领域类的节点都被识别为了风险领域。精确值与 F_1 值的分布情况也比较类似，其中准确率相对较低，因为样本数量相对比较少，错误的识别对该指标影响最大。风险因素的准确率、召回率、 F_1 值较低的原因是验证校核中该类别节点的样本量最少，且这些词与风险事件有些类似或相对重复，样本中许多数据被识别为了风险事件，与语料集的交叉定义有一定关系。

此外， F_1 平均值可以反映整体 6 类节点实体识别效果的综合评价。经过计算， F_1 平均值为 0.844 717 36，对比 2020 年中国科学院文献情报中心的构建的英文科技论文词典实体识别 F_1 平均值 0.760 6^[16]，说明整体识别效果较好，同时对风险因素的词典构造还可以完善，降低其与风险事件集的语义交叉定义，使其覆盖语义更全面准确。

3.3 关系抽取

为实现基于共现关系建立知识图谱，边关系在实体识别后根据知识之间的共现关系抽取。为筛选出研究感兴趣的边关系，研究根据节点与边头、尾节点的对应关系，将每一对实体之间的边属性“rel”与本体中的边属性匹配起来。仅保留本题中定义的边属性，无标记定义的边直接删除，比如研究本体无关注风险因素与研究方法的关系，舍弃其之间的边关系。

以图 5 为例展示知识表示范例，即“陈新胜研究风险识别”。“陈新胜”是作者实体，作为头节点，“风险识别”是研究方法，作为尾节点，“研究”表示两个实体之间的关系。



图 5 知识表示

3.4 知识图谱可视化

本文使用 Neo4j 图形数据库系统创建突发事件风险评价的知识图谱^[17]，该图数据库可以实现原生图储存层的“无索引链接”^[18]。完成所有节点与边数据集的导入后，可以对知识图谱进行展现，得到知识图谱包含节点数量有 8 560 个，边关系数量有 32 750 条，如表 4、表 5 节点与边标签统计所示。

表 4 各类节点标签统计

节点类型	数量统计
作者	987
机构	647
风险因素	172
风险事件	234
风险区域	87
研究方法	239

表 5 各类边标签统计

节点类型	数量统计
属于	1 577
合作	1 538
分析	192
研究	4 084
应用	287
空白	802

选择某一文献关系下得到的局部知识图谱展示如图 6 所示，在局部示例知识图谱中，6 位作者“李先华”“常静”“王丽丽”“刘敏”“高磊”以及“林啸”，分别来自两个机构

“上海大学通信与信息工程学院”和“华东师范大学资源与环境科学学院”。这些学者们合作的主题涉及“上海市”“地表灰尘”和“暴露量”等，展现了在该两所研究机构的突发事件分析评价研究领域，灰尘暴露是一个重要的研究课题。

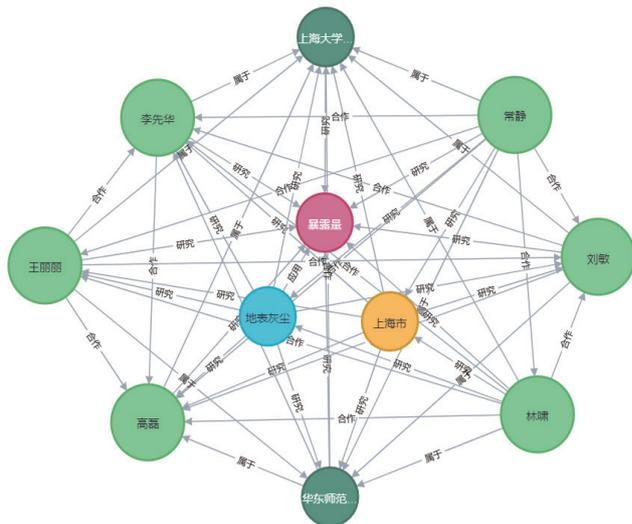


图 6 突发事件风险评价知识图谱（局部）

4 领域知识发现

基于知识图谱可以开展进一步的领域知识的深度发现与关联分析，本文以作者及合作关系为研究对象，利用知识图谱的网络性质开展学者社区发现和核心作者发现的研究范例。

4.1 学者社区发现

社区发现是为找到节点间潜在的特定关系构成的组织，在常用的社区检测算法中，如 Louvain Modularity、Edge Betweenness、Walktrap 等，Louvain Modularity 算法生成的社区发现聚集性更高，社区中的成员联系更紧密^[17]。学者社区发现利用 Louvain Modularity 算法进行实验，计算得到学者社区发现结果（部分），按照聚集数量从高到低排列，如表 6 所示。

表 6 学者社区发现结果（部分）

社区标签	学者数	姓名集
723	25	[“王业耀”；“战玉柱”；“华祖林”……]
822	13	[“江希流”；“龙涛”；“万金忠”……]
832	10	[“刘兴朋”；“王琪”；“张会”……]
939	10	[“郑文晖”；“雷梅”；“杜国栋”……]
949	10	[“吴明红”；“张兴卫”；“方明”……]

经统计发现，Louvain Modularity 分割的图谱包括两人及以上社区共有 195 个，对最多学者社区进行图谱展现，如图 7 所示。

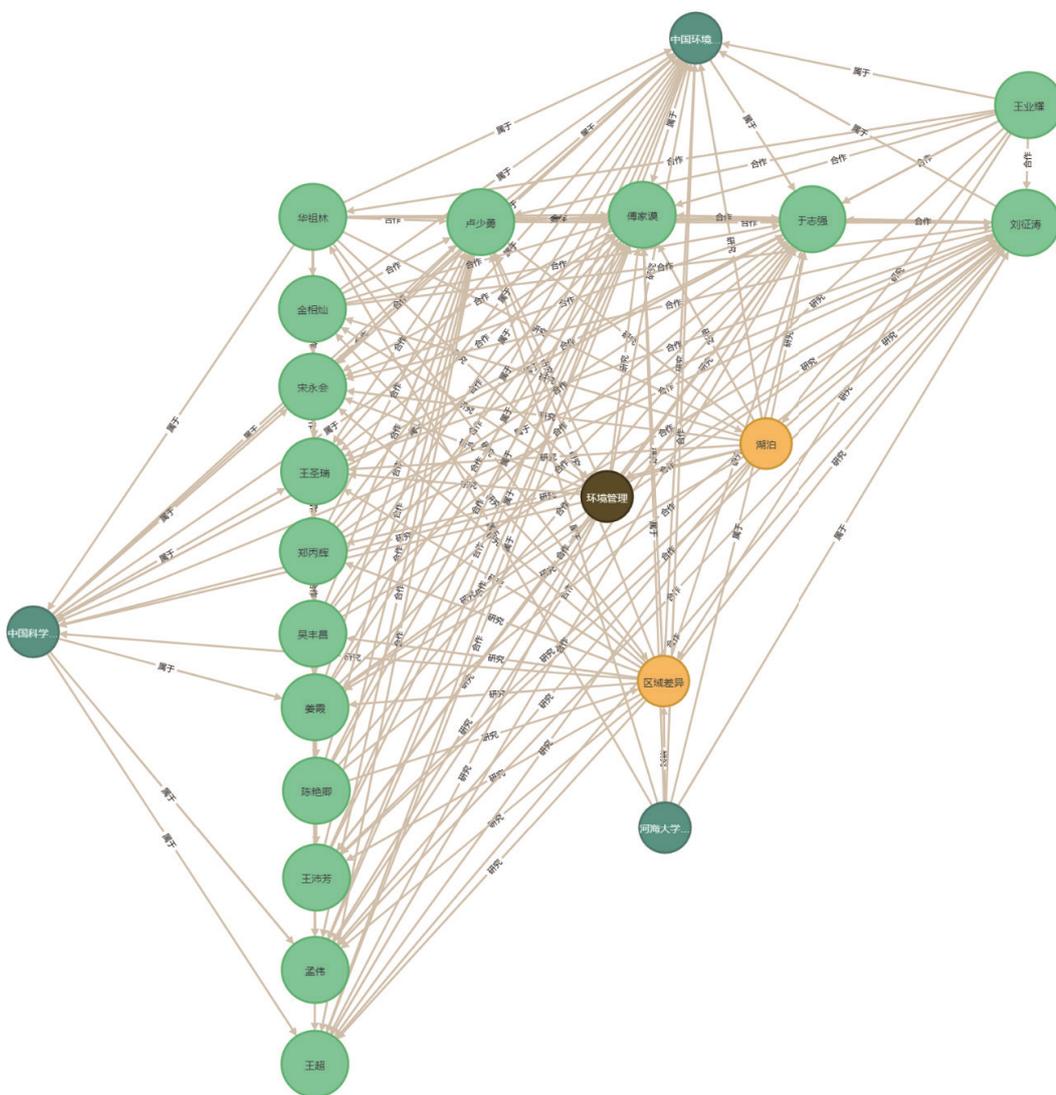


图 7 学者社区图谱展现示例

该社区包括 25 位学者，发现其中核心学者之一——“华祖林”，可知该社区的学者主要来自两个研究机构，分别是“中国科学院广州地球化学研究所”和“中国环境科学研究院”，他们在这一学术社区中主要研究“环境管理”，其中主题包括“湖泊”“区域差异”等。以上结果说明“华祖林”的学者社区成员主要来源于以上两个研究机构，其研究的突发事件分析评价领域的问题聚焦于与湖泊相关的环境管理。

4.2 核心作者发现

核心学者是该研究领域学术影响力较大的学者，具体一般体现为产出的成果更多、合作的学者更多。发现、分析核心学者有助于了解该领域的权威与突出内容，快速定位该领域的核心研究成果，发现该领域的核心科研团队。对于核心学者发现，主要是基于网络结构对节点进行计算与评价，常用的指标有度中心性、紧密中心性、介数中心性、PageRank 等。本文通过对比实验发现在该领域知识图谱中适用的指标算法。

在计算节点度中心性的过程中发现，如一篇文章囊括的作者较多，所涉及学者的中心性提高明显，容易影响核心学者的判断，所以这一指标存在较大误差；在计算节点紧密中心性时，由于有许多由两位学者构成的合作关系，导致其紧密中心性为 1。因此，共发现 431 个节点的紧密中心性都为 1，所以在该网络中，紧密中心性无法反映出核心学者的特点。介数中心性计算节点位于另外两点间最短路径之中的概率，计算展现的学者经过检索相对比较核心，检索效果较好，即在不考虑边权重的情况下，介数中心性可以较好地实现核心学者发现；PageRank 根据传入关系的数量和相应源节点的重要性来衡量图形中每个节点的重要性，结合

资料检索验证，其发现的学者多为核心团队的人员，但核心程度的区分度不明显。

进一步分析节点介数中心性得到的核心作者发现，如表 7 所示。

表 7 节点识别详情示例

Id	Label	介数中心度
909	郑丙辉	114
323	张国华	93
737	吴宗之	81.666 667

将 3 位核心作者的关联领域知识展开，发现“吴宗之”研究的风险事件包括“公共场所”“人群管理”“安全工程”等，研究的风险区域是“化工园区”和“城市规划”，使用的研究方法包括“城市规划”“应急预案”以及“安全规划”等；“张国华”研究的风险事件包括“软件”“电力系

统”，风险因素是“电网”；“郑丙辉”研究的风险事件包括“环境管理”“区域差异”等，风险区域是“湖泊”“河口”，风险因素是“沉积物”，使用的研究方法包括“生态风险”分析等。3位核心作者之间并无合作关联，但结果客观反映了突发事件分析评价领域的研究核心作者以及相应的领域知识，反映了公共安全风险、电力风险与环境生态风险3个方面研究学者的核心程度，介数中心度分别是81.67、93和114。

5 结语

领域知识图谱是目前分析研究趋势热点的重要工具，通过对学科文献进行信息抽取、实体识别、关系抽取等处理，可以构建研究领域的知识图谱。突发事件风险评价是一类典型的研究领域，利用相关研究资料构建领域知识图谱有助于领域研究更好开展。本文着眼领域知识图谱的构建方法，七步法构建领域知识图谱的本体模型，层次聚类与结合实现半自动化构建领域知识图谱，通过相似性计算实现实体识别与关系抽取，得到领域知识图谱，进一步开展知识的深度发现与关联分析，得到领域知识相关结论。

在图谱实例构建中检索CNKI中文文献数据库中突发事件风险评价的相关文献为数据来源，面向研究领域设计构建了该领域的领域词典与领域知识图谱，使用图数据库工具实现知识存储与可视化知识表示，以“华祖林”为例开展了学者社区发现得到其研究机构与研究内容相关结论；根据介数中心性得到的核心作者发现效果较好，并对3位核心作者进行关联展开的知识深度发现。这一领域知识图谱的构建方法可以推广应用到其他类似的研究领域。

同时，本文主要就该类领域知识图谱构建框架开展研究，数据搜集相对片面，且因为计算复杂度影响，选取样本量较小，图谱构建结果具有一定的片面性，图谱改进与进一步知识分析还有待在后续研究中展开。

参考文献：

- [1] 胡正银, 刘蕾蕾, 代冰. 基于领域知识图谱的生命医学学科知识发现探析[J]. 数据分析与知识发现, 2020, 4(11): 1-14.
- [2] 焦晓静, 王兰成, 韩锋. 知识图谱在科技情报研究中的应用模型构建[J]. 图书情报知识, 2017(3): 118-129.
- [3] MENG L C, WEN K H, BREWIN R, et al. Knowledge atlas on the relationship between urban street space and residents health—a bibliometric analysis based on VOSviewer and CiteSpace[J]. Sustainability, 2020, 12(6): 2384.
- [4] 乔楠. 我国政务大数据研究回顾：基于CSSCI的文献计量

分析[J]. 信息技术与信息化, 2020(1): 165-167.

- [5] YUMNAM G, CH I S, RAJKUMARI S D. Bibliometric study of defence science journal during 1994-2020 based on Web of Science database[J]. International journal of information science & management, 2023, 21(4): 293-308.
- [6] 陈雪, 黄奇. 基于共词分析的国内图书情报领域本体研究热点探析[J]. 图书馆学研究, 2019(8): 2-8.
- [7] 叶丁菱, 牟丽君, 许鑫. 基于知识图谱的中医古方交互式检索研究[J]. 数字图书馆论坛, 2024, 20(2): 24-33.
- [8] 郭梦莹, 周璐, 孙燕. “领域本体七步法”在中医辨证推理知识库构建中的应用[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2019, 21(12): 2646-2651.
- [9] 赵洁, 司莉. 国内外生物医学领域本体研究与实践进展[J]. 数字图书馆论坛, 2020(8): 7-14.
- [10] 羊艳玲, 李燕, 帅亚琦, 等. 基于中医医案的知识图谱构建[J]. 医学信息学杂志, 2022, 43(10): 50-54.
- [11] 黄星, 刘樑. 突发事件网络舆情风险评价方法及应用[J]. 情报科学, 2018, 36(4): 3-9.
- [12] 练继建, 孙萧仲, 马超, 等. 水库突发水污染事件风险评价及应急调度方案研究[J]. 天津大学学报, 2017, 50(10): 1005-1010.
- [13] 焦敏, 秘玉清, 王镇德, 等. 中国疾控机构卫生应急能力评估现状分析[J]. 中国公共卫生, 2023, 39(1): 62-67.
- [14] 张江华. 突发公共事件应急管理研究：以危险化学品事故为例[D]. 上海：复旦大学, 2008.
- [15] 汪忠, 黄瑞华. 国外风险管理研究的理论、方法及其进展[J]. 外国经济与管理, 2005(2): 25-31.
- [16] 宋东桓, 李晨英, 刘子瑜, 等. 英文科技论文摘要的语义特征词典构建[J]. 图书情报工作, 2020, 64(6): 108-119.
- [17] DRAKOPOULOS G, GOURGARIS P, KANAVOS A. Graph communities in Neo4j: four algorithms at work[J]. Evolving systems: an interdisciplinary journal for advanced science and technology, 2018, 11: 397-407.
- [18] 凌晨, 杨伟铭, 李宏建. 基于知识图谱的国防科技成果管理研究[J]. 科学与信息化, 2024(3): 74-76.

【作者简介】

陈治宇(2000—), 男, 重庆人, 硕士研究生, 研究方向: 复杂系统与复杂网络。

欧朝敏(1979—), 通信作者(email: ouchm@163.com), 男, 湖南郴州人, 博士, 教授, 研究方向: 国家安全与风险管理。

(收稿日期: 2025-03-05 修回日期: 2025-07-02)