

DOI: 10.20103/j.stxb.202307091480

郑晓云,董仁才,练岸鑫,蔡粤,王泽瑞.基于多模态生态治理数据构建生态管理知识图谱技术.生态学报,2024,44(9):3924-3933.

Zheng X Y, Dong R C, Lian A X, Cai Y, Wang Z R. Preliminary study on the construction of ecological management knowledge graph technology based on the data of multimodal ecological governance. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(9): 3924-3933.

# 基于多模态生态治理数据构建生态管理知识图谱技术

郑晓云<sup>1</sup>,董仁才<sup>1,2,\*</sup>,练岸鑫<sup>2</sup>,蔡粤<sup>2</sup>,王泽瑞<sup>2</sup>

1 自然资源部城市国土资源监测与仿真重点实验室,深圳 518034

2 中国科学院生态环境研究中心,城市与区域生态国家重点实验室,北京 100085

**摘要:**我国新时代十年是生态环境保护认识最深、力度最大、举措最实、推进最快、成效最显著的十年。生态环境治理取得成效的同时,管理措施也逐步成熟和规范化,相关生态管理知识成果的文本、视频、照片等多模态数据也日益丰厚。采用先进的知识图谱理念创新我国生态环境保护工作,对未来助力打赢污染防治攻坚战,构建现代环境治理体系具有重要意义。聚焦我国美丽中国和生态文明建设领域,将典型污染防治攻坚战、生态恢复工程多模态素材作为数据源,通过数据整合、知识抽取、知识融合后形成标准知识表述,构建生态管理知识图谱体系。具体包括(1)定量分析深圳市“散乱污”企业整治成功案例数据,抽取管理主体、管理对象等实体,挖掘其空间特征、污染特征、治理效果关系;(2)关联分析企业驻点、污染物热点和城市空间相互关系;(3)通过我国典型生态环境损害赔偿案件中的“实施行为-破坏对象-损害功能”特定关系分析,抽取“生态治理行为——受影响环境要素——生态服务提升程度”生态环境管理知识图谱;(4)最终形成了整合“散乱污”治理、生态环境治理行为的综合性生态管理知识图谱,构建了包含 12 类本体、82 个实体、4 类、201 条关系的图数据库。研究表明,通过污染防治攻坚战成功案例、生态恢复工程成效的多模态数据构建我国生态管理知识图谱,能够形成贴近现实需求的知识体系,有助于依法治污、科学治污和精准治污全过程;也有助于生态环境损害鉴定评估工作中的“多因一果”和“一因多果”分析。建议未来加大生态管理知识图谱的应用,精准识别管理对象、实现科学分析与智能决策,促进公众参与生态管理和加快生态产品价值实现。

**关键词:**生态文明建设;知识图谱;数据挖掘;科学治污;生态管理

## Preliminary study on the construction of ecological management knowledge graph technology based on the data of multimodal ecological governance

ZHENG Xiaoyun<sup>1</sup>, DONG Rencai<sup>1,2,\*</sup>, LIAN Anxin<sup>2</sup>, CAI Yue<sup>2</sup>, WANG Zerui<sup>2</sup>

1 Key Laboratory of Urban Land Resources Monitoring and Simulation, Ministry of Natural Resources, Shenzhen 518034, China

2 Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

**Abstract:** The decade of China's New Era has been characterized by the most profound understanding, extraordinary efforts, practical measures, rapid advancement, and notable achievements in ecological and environmental protection. While ecological environment governance has become effective, the managers' measures have gradually matured and become standardized, and the array of texts, videos, photos, and other multimodal data reflecting ecological management knowledge is expanding. The adoption of the advanced knowledge graph concept in ecological environmental protection is crucial to winning the future battle against pollution and constructing a modern environmental governance system. Focusing on the field of beautiful China and ecological civilization construction engineering, the multimodal materials of typical pollution prevention and control battles and ecological restoration engineering are used as data sources, and standard knowledge

**基金项目:**自然资源部城市国土资源监测与仿真重点实验室基金项目(KF-2022-07-013);国家重点研发计划项目(2022YFC3802903);中国科学院战略性先导科技专项(A类)(XDA23030403);城市与区域生态国家重点实验室自主项目(SKLURE2022-2-5)

收稿日期:2023-07-09; 网络出版日期:2024-02-01

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dongrencai@cees.ac.cn

representations are formed after data integration, knowledge extraction, and knowledge fusion. The ecological management knowledge graph system is initially constructed. Specifically, it includes (1) A quantitative analysis of successful rectification case data from "Dispersed, Disrupted, and Polluted" enterprises in Shenzhen city, including the extraction of management subjects, management objects, and other entities, and the exploration of their spatial characteristics, pollution characteristics, and governance effect relationship. (2) Correlation analysis of enterprise domicile, pollutant hot spot, and urban space mutual relationship. (3) Through analysis of specific relationship between implementation behavior—destruction object—damage function in typical ecological environmental damage compensation cases in China, the knowledge graph of ecological environmental management based on ecological governance behavior—affected environmental factors—ecological service enhancement degree was extracted. (4) Finally, a comprehensive ecological management knowledge graph integrating "Dispersed, Disrupted, and Polluted" treatment and ecological environment management behavior was formed, and a graph database containing 12 ontologies, 82 entities, 4 categories, and 201 relationships was initially constructed. The research shows that the construction of China's ecological management knowledge graph through the multi-modal data of the successful cases of pollution prevention and control and the effectiveness of ecological restoration projects can form a knowledge system close to the practical needs, and contribute to the whole process of pollution control according to law, scientific pollution control and accurate pollution control. It also contributes to the analysis of "multiple causes and one effect" and "one cause and multiple effects" in identifying and assessing ecological environmental damage. We suggested to increase the application of ecological management knowledge graph in the future, accurately identify management objects, achieve scientific analysis and intelligent decision-making, promote public participation in ecological management, and accelerate the realization of the value of ecological products.

**Key Words:** ecological civilization construction; knowledge graph; data mining; scientific pollution control; ecological management

国家治理体系和治理能力现代化建设中,生态环境治理是重要一环。我国新时代十年是生态文明建设和生态环境保护认识最深、力度最大、举措最实、推进最快、成效最显著的十年<sup>[1]</sup>。生态环境治理取得成效同时,相关生态管理知识成果也日益丰厚,采用先进的知识图谱理念创新生态环境保护工作,对助力打赢污染防治攻坚战,促进现代环境治理体系建设具有重要意义。要把生态环境治理好,必须从精细处入手,精准识别问题,提升环境治理水平。当前生态环境领域必须紧跟国家数字化转型战略,激发生态环境监测现代化强大活力<sup>[2-3]</sup>,尝试采用多种技术手段、多种数据资源开展生态环境问题和生态环境风险精准识别和智慧化治理。

在决策部门来看,推进生态环境治理现代化进程中,生态环境管理战略转型、生态环境监管与执法、管理业务运行、重污染天气应对与精细化管控等都对生态环境监测提出了新要求<sup>[3]</sup>。基层生态环境执法部门呼吁尽早构建能及时甄别有效信息的智慧化城市环境治理体系。现有“散乱污”企业整治多停留在摸排、建档、立卡数据库建设阶段,没有形成“散乱污”企业现代化治理手段和治理方式。空间数据挖掘是抽取生态环境知识的关键工具,主要因其揭示地理对象与环境因子之间的相关性或关联关系。此外,它还可以利用 POI 数据与城市环境问题进行关联分析,从而准确识别环境问题高发区<sup>[4-5]</sup>。“散乱污”企业与其周边地图兴趣点 (POIs) 相关关系对于判定这些企业在生产生活生态方面的作用,区分邻里关系是否正常具有重要价值,这需要全面的知识库或知识图谱体系来辅助。部分学者已经开展生态环境领域知识图谱研究,如高梅香等<sup>[6]</sup>认为土壤动物知识图谱是一个具有有向图结构的知识库,其中图的节点代表与土壤动物相关的实体或概念,图的边代表实体或概念之间的各种语义关系,并提出了土壤动物知识图谱的定义、内涵、理论模型和构建方法。一些学者选择生态环境领域文献作为数据源研究领域知识图谱的构建方法具有典型性,如王天一等人形成了基于文献驱动的知识图谱构建方法技术<sup>[7]</sup>。马涛等运用知识图谱软件对山水林田湖草生命共同体研究相关论文的作者、机构、关键词等要素相关进行分析<sup>[8]</sup>。

我国当前阶段生态建设、环境优化治理体系信息化处在萌芽起步阶段,急需深入推进生态环境信息技术、业务、数据融合,打造数据赋能、智慧应用、安全保障等为生态规划和环境管理提供技术支撑<sup>[9-11]</sup>。随着跨尺度、跨部门和多要素复合型生态环境问题日益凸显,传统的生态环境管理决策手段已无法应对当前生态环境保护工作复杂性、动态性和系统性的特点<sup>[12]</sup>。生态工程成效评估结果是决策者、建设者和管理者了解工程成败与否、掌握工程建设成效和提高管理水平的重要依据<sup>[13]</sup>。

知识图谱在很多领域发挥作用,而应用知识图谱的前提是构建知识图谱。本文面向我国污染防治工程、生态文明建设工程,将我国生态文明建设成功经验和案例多模态素材作为数据来源,从中抽提结构化数据,借助人工编制的形式完成实体的构造,逐渐成为生态管理知识图谱的重要构成内容。

## 1 生态管理领域经验与知识数据源

### 1.1 我国生态管理成就与经验

我国已成为全球生态文明建设的重要参与者、贡献者、引领者<sup>[14]</sup>。党的十八大以来,以习近平同志为核心的党中央,以前所未有的力度推动生态文明建设,其中一个标志性的举措就是部署开展坚决打好污染防治攻坚战<sup>[15]</sup>。这一过程中,积累了大量成功案例,尤其是所凝练的“五个精准”——问题、时间、区域、对象、措施五个精准,是我国生态环境管理逐步由“拍脑袋”迈向规范化知识图谱的关键。生态管理科学家认为,科学认识不同地理环境下的人与自然关系,是制定生态保护修复政策,支撑可持续发展的前提<sup>[16]</sup>。如傅伯杰<sup>[16]</sup>基于文献、清查数据、遥感数据、公共数据库和政策文件评估了中国生态系统多路径管理的气候变化减缓能力,并将我国 2000—2020 年间的生态系统管理路径归类形成 9 条:包括造林、天然林管理、林火管理、实施生物炭、覆盖作物和农田养分管理,以及放牧优化、退牧还草和滨海湿地恢复。这些将多模态信息精确归类、结构清晰的生态管理研究工作,逐步规范了生态管理行为、管理对象和管理效果,成为知识图谱构建基础。

领域知识图谱的构建对于知识准确性有着较高的要求,通常需要领域专家参与到特定图谱构建过程。目前,生态领域知识图谱构建面临专用数据资源不足的挑战,数据资源集中度高、体量小,难以满足构建知识图谱的大规模数据量的需求,造成生态管理知识图谱应用研究稍显不足<sup>[17]</sup>。随着生态环境信息技术的不断发展,我国无论是在污染防治攻坚战还是生态修复工程都积累了大量数据和案例,关键是积累了很多成功经验和数据要素。各种对地观测、传感器网络与社会感知手段获取的图像、视频、移动对象轨迹监测数据中同样蕴含丰富的时空知识<sup>[18]</sup>。基于这些多模态数据开展我国生态管理知识图谱构建逐步成为可能。

### 1.2 生态管理知识图谱构建思路

知识图谱旨在从多种类型的复杂数据中抽取概念、实体和关系,是事物关系的可计算模型<sup>[19-21]</sup>。领域知识图谱的体系架构分为 3 个部分<sup>[22-24]</sup>:首先是源数据的获取,即在各种类型的数据中获取有用的资源信息;其次是知识融合,用于关联多数据源的知识,扩大知识范围;最后是知识计算与知识应用,知识计算是知识图谱能力输出的主要方式,而知识应用是将知识图谱与特定领域或业务相结合,从而提高业务效率。从原始的数据到形成生态领域知识图谱,一般也需经历知识抽取、知识融合(实体对齐)、数据模型构建、质量评估等步骤(见图 1)。

本研究的原始数据主要依托我国生态文明建设工程、山水工程、各部门业务成果、内部文件、生态环境媒体报道等,并结合互联网数据,抽取得到计算机可读的业务知识,辅助生态恢复业务行为与生态系统管理决策是生态领域知识图谱构建的目标(见表 1)。

根据数据全过程公开程度和管理决策透明度,选用深圳市污染防治攻坚战、生态环境损害因果关系两个案例开展知识图谱构建研究。

### 1.3 典型生态环境管理知识来源原始数据及其预处理

#### 1.3.1 典数据源 A:深圳“散乱污”企业整治数据分析

我国“散乱污”企业主要指一些违法违规,不符合产业政策、超标排放,无污染治理设施的小、散、落后且

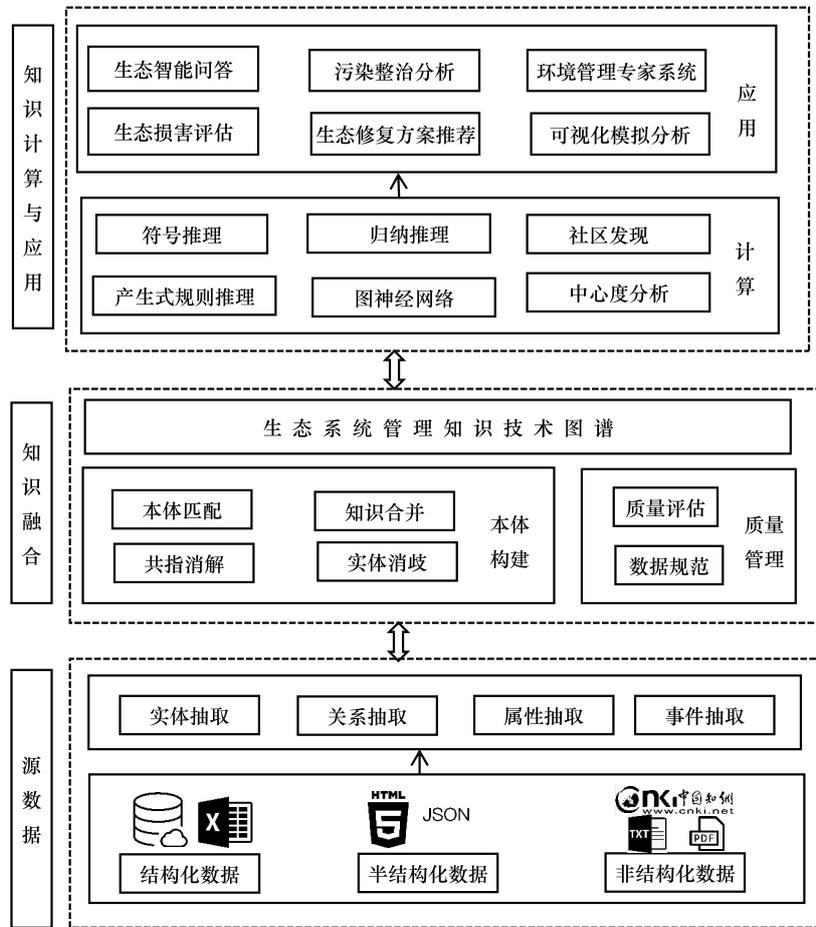


图 1 生态系统管理知识技术图谱构建框架

Fig.1 Framework for constructing the knowledge technology graph of ecosystem management

污染严重的企业<sup>[25-26]</sup>。“散”被认定是指不符合城镇整体规划、土地利用规划、产业布局规划的工业企业；“乱”是指违法违规建设、违规生产经营的,以及使用闲置设施农业用房、教育、农房等非工业用房进行非法生产的工业企业<sup>[27-28]</sup>；“污”指违法违规排放、超标排放废水、废气、废渣的工业企业。因“散乱污”企业场所规模小、工艺差、污染重、转移快、隐蔽性强,为环境治理造成了较大难度。

表 1 知识抽取的数据源

Table 1 Data source of knowledge extraction

序号 No.	抽取知识的数据源 Data sources for extracting knowledge	数据类型 Data Type	数据来源 Data Sources
1	空间数据	结构化数据	政府、组织、机构提供
2	“散乱污”治理成功经验	半结构化数据	日常媒体报道
3	生态环境损害鉴定评估	半结构化数据	生态环境部、国家市场监督管理总局
4	山水工程管理实践	非结构化数据	微信、网页中的数据
5	多媒体	非结构化数据	媒体报道
6	多模态数据集成	非结构化数据	本项目团队内部积累

深圳市委、市政府对“散乱污”企业(场所)综合整治高度重视,管理决策具体而明确。如深圳市“利剑三号”行动指挥部提前谋划、扎实推进,有效完成“散乱污”企业整治任务(数据下载网址:<https://opendata.sz.gov.cn/>)。市政府明确“关停取缔一批、整合搬迁一批、升级改造一批”的整治原则,各级执法力量进行拉网式

排查,摸清底数,建立整治清单,进行分类整治。深圳市“散乱污”企业治理成功经验的数据源相对完整和透明,知识结构明显,值得总结和凝练。预处理原始数据后形成关系型数据库,用于知识图谱分析(见表2)。在关系抽取的过程中,也结合地理信息系统(Geographic Information System, GIS)对深圳市“散乱污”企业空间分布特点进行挖掘,采用热力图相关系数分析方法,掌握“散乱污”企业空间分布格局与城市形态相关关系。这些关系能够揭示“散乱污”企业形成、聚集和整治规律,为科学治理“散乱污”企业提供重要的参考资料。

表2 用于知识抽取的深圳市“散乱污”企业整治数据表结构(个别抽样)

Table 2 Shenzhen “Dispersed, Disrupted and Polluted” enterprise remediation data summary table

序号 No.	区 District	镇街 Town and street	单位详细名称 Company name	单位地址 Company address	行业类别 Industry category	主要产品 Main products	存在问题 Existence of problems	完成时间 Completion time	整治措施 Remediation measures
1	宝安区	新安街道	深圳市***有限公司	深圳市宝安区新安街道*栋一楼东侧	塑料	电子成品	未批先建	2019-06-30	关停/搬迁/改造
2	宝安区	西乡街道	深圳市***有限公司	深圳市宝安区西乡街道*栋二楼	制造行业	电子成品	未批先建	2019-06-30	关停/搬迁/改造
3	宝安区	西乡街道	深圳***有限公司	西乡街道*A栋一楼A	制造行业	金属制品	未批先建	2019-06-30	关停/搬迁/改造
4	宝安区	福永街道	深圳市*纸制品厂	怀德翠岗工业*区*栋	纸品	纸品	无环评批复	2019-06-30	关停/搬迁/改造
5	宝安区	福永街道	深圳***玩具有限公司	第三工业区*栋*楼西侧	玩具加工	毛绒玩具	无环评批复	2019-06-30	关停/搬迁/改造
.....									

针对深圳市“散乱污”企业分布热点区域特征分析发现的知识,结合其他研究工作对电子地图兴趣点(POI)数据进行了核密度分析。POI的核密度等值线是以城市POI密度的最高点为中心(有时是多个中心),向四周不断扩展的不规则闭合曲线。结合日常执法、专项执法地点所记录周边街景信息,凝练“散乱污”企业密集区的城市形态特点。基于分析模型与特征参数研究“散乱污”场所疑似名录、疑似区域,并对挖掘结果进行有效性评价,进一步优化模型。热点区域POI特征主要涉及到了深圳市“散乱污”特征相关的企业,如涂料、橡胶、塑料、油墨等企业。已有研究利用各种数据源对“散乱污”企业造成的环境污染进行分析<sup>[29]</sup>,涉及“散乱污”企业集群的多种数据源,包括企业排查清单、电子地图兴趣点、手机信令、街景影像、遥感监测与城市规划等数据,基于多源数据开展数据清洗和数据挖掘,为后期生态环境管理知识抽取提供可靠的数据支撑。相关知识验证过程中,也参考运用电力大数据倒查监管“散乱污”、“散乱污”企业的社会效益和环境治理成本评估等文献知识<sup>[25—26]</sup>。

### 1.3.2 典型数据源 B:生态环境损害赔偿案件数据分析

生态环境损害赔偿制度是我国生态文明制度体系的重要组成部分,相关的制度、法规政策、技术标准等不断完善。近年来,我国生态环境损害赔偿案事件数据量较大,仅以《2022年中国生态环境状况公报》报道:全国各级法院共审结环境资源一审案件24.5万件;全国各级检察机关共对破坏环境资源类犯罪案件提起公诉2.16万件、3.7万人,立案办理的生态环境和资源保护领域公益诉讼案件9.5万件。其中,司法鉴定机构完成的环境损害鉴定2万余件。因此,以大量典型案例作为基础建立案例数据库,分析生态环境损害赔偿制度实施现状和效果,能够构建生态环境损害赔偿知识图谱,也能够完整体现生态环境损害案件主体、损害价值评估以及赔偿方式等因果关系,为科学开展损害鉴定评估、提高工作效率提供支撑与保障。

我国每年发布的典型案例或指导案例是在司法实践过程中对适用法律实施的摸索与探究,能够对妥善办理种类繁多、过程复杂的生态环境损害赔偿案件起到很好的指导作用<sup>[30]</sup>。本研究所采用的原始数据为生态环境损害典型案例与指导案例、卷宗等文本数据,以及分类整理后的半结构化数据,多来源于最高人民法院、最高人民检察院、司法部及省级相关部门官方网站的公开发布信息<sup>[30]</sup>。目前发布的典型或指导案例细节丰富,包括基本案情、诉讼过程、适用法律、裁判结果和典型意义等多项内容,蕴含丰富知识,具有充分的示范引

引领作用,在办理类似案件能够起到足够的参考作用。限于每个案例的介绍篇幅都较长,本研究重点就最高人民法院近 6 年来发布的 205 项典型案例中的全部文本,多达 25 万字进行文本分析。使用该文本进行案例特征分析的工作量较大,为完整地、结构化地展示生态环境损害赔偿案件中的因果关系,需进行大量人工开展文本分析。尤其是实体和关系的抽取,规范化的表示,以及案例中数据信息的关联分析<sup>[7]</sup>。分析重点在于生态环境损害赔偿案件的办理过程,聚焦关键实体,以准确分析和抽取因果关系。

表 3 是生态环境损害赔偿典型案例信息示例。除上述数据源作为生态管理知识抽取的主要数据源外,本研究还结合国家重点研发计划、美丽中国生态文明建设工程、山水林田湖草沙一体化保护和修复工程等文本、视频、图片、录音等进行知识抽取和融合。

表 3 生态环境损害赔偿典型案例信息

Table 3 Information on typical cases of environmental damage compensation

案件编号 Case number	案发地点 Location of the case	损害行为 Damage act	损害赔偿执行 Damages execution
1	江苏省 A 市	非法捕捞水产品	采取增殖放流措施
2	湖南省 B 市	猎杀濒危野生动物	赔偿动物的核定价值,判处有期徒刑
3	广东省 C 市	非法倾倒固体废物	修复到本次污染损害发生前的状态和功能
.....			

## 2 生态环境管理知识抽取与融合

### 2.1 管理主体与管理对象的知识抽取

参照主要技术流程<sup>[31-32]</sup>,分别从源数据中提取出重要的实体、关系和属性信息,实现实体抽取、关系抽取和属性抽取。实体抽取主要是从原始文本中识别生态管理主体、管理对象或管理概念,如污染企业类型、污染企业治理措施、治理组织机构等。原始文本经过实体抽取之后,得到的是一系列离散的命名实体,为了得到语义信息,还需要提取出实体之间的关联关系,形成网状的知识结构。这里采用空间数据挖掘技术分析污染企业分布与行业特点、治理措施、实施效果之间的关系、物品的属性关系等。而属性抽取是指从文本中提取出实体的特征、属性或描述信息。地理空间关系抽取源自地理信息系统空间分析<sup>[33]</sup>,因此本研究实体之间的关系主要是依托空间数据挖掘展开的,目标是形成:“管理主体(行政区)-包含-管理对象(企业驻地)”三元组。基于空间数据挖掘深圳市“散乱污”企业治理空间关系的知识提取地图如图 2。这里的空间数据挖掘方法主要是热力图和相关性分析。

“散乱污”整治开始之后,各级生态管理主体按照上级政府部署,对工业园区进行全面摸查<sup>[34]</sup>,管理部门和新闻媒体等也从不同角度总结了相关经验知识。其中,涉 VOCs 排放的“散乱污”企业主要为涂料、油墨、合成革、橡胶制品、塑料制品、化纤生产等化工企业,使用溶剂型涂料、油墨、胶粘剂和其他有机溶剂的印刷、家具、钢结构、人造板、注塑等制造加工企业,以及露天喷涂汽车维修作业等。这些经验总结同样形成“管理对象-行业类别-整治措施”知识链条,部分经验成为知识图谱准确性的验证数据。

### 2.2 管理行为与生态效果变化知识提取

生态系统功能恢复与提升是我国近年来生态管理知识的焦点。本研究采用“反向操作”,即从一系列破坏生态系统行为案件提取生态系统管理的正面知识。例如在城市建设过程中不合理的水系规划,可能对水环境产生不利影响,引发水位下降、水污染等环境问题,最终使得城市生态系统服务功能受损。通过这一过程将行为、受影响的环境、功能下降表象以及城市受损的生态功能这四个要素有机的联系起来,能够深入理解城市生态系统的运行机制,为城市生态功能的提升提供有力的指导。这种基于生态破坏行为到生态系统服务功能下降的生态系统管理知识的关系提取方法,不仅可以帮助我们更好地了解 and 评估生态系统的现状和问题,还可以为提升生态功能的决策制定提供科学、有效的支持。最终形成的生态管理知识表示见图 3。

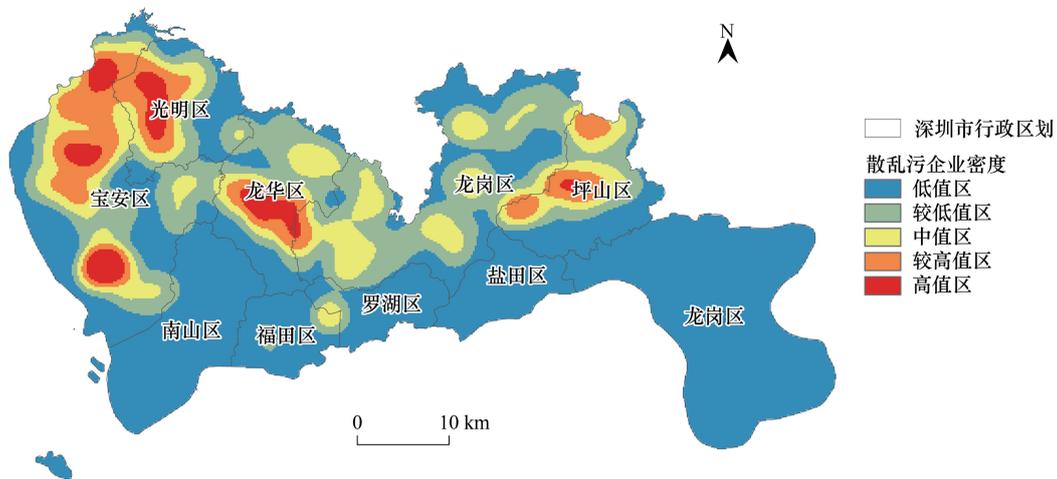


图2 深圳市各级行政区“散乱污”企业空间分布数据挖掘

Fig.2 Spatial distribution of “Dispersed, Disrupted and Polluted” enterprises in Shenzhen

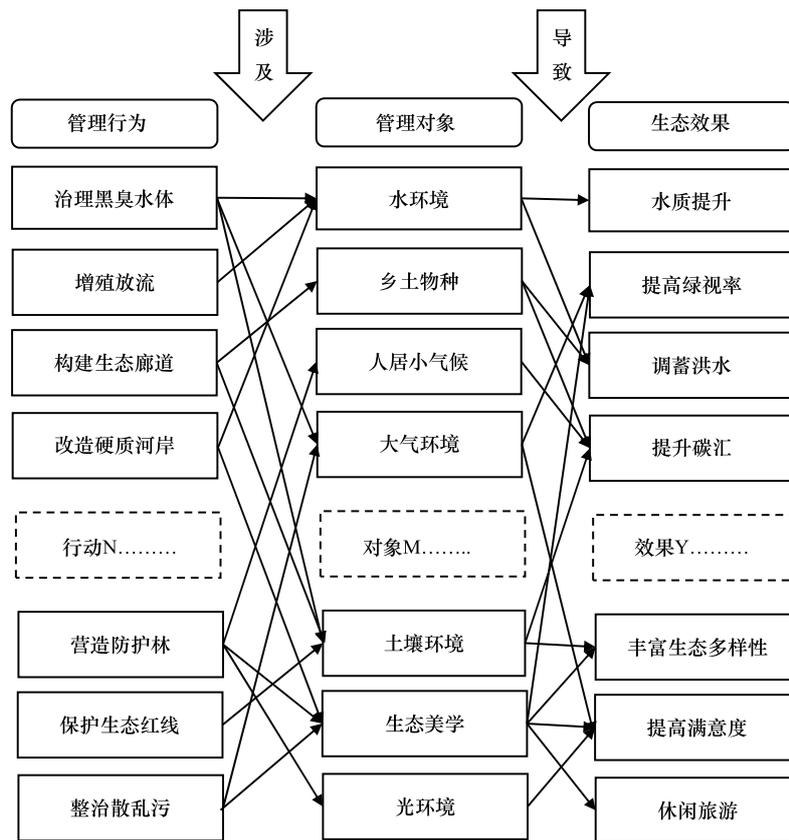


图3 基于生态管理工程数据源的生态管理过程的本体提取

Fig.3 Ontology extraction of ecological management process based on data source of ecological management engineering

### 2.3 生态管理知识融合

在知识融合的过程中,需要完成本体构建和质量管理。本体构建是指构建主体间的交流语义基础,用抽象、规范、形式化的方式对领域内的概念和关系给出明确定义,形成领域内描述知识的共享共识。作为初步探索阶段,本研究首先采用人工编辑的方式手动构建本体。在本体构建中,进行了实体消歧与共指消解,这关系着最终形成的知识图谱的质量与准确性。质量评估也是知识图谱构建过程中相当重要的一环,这一部分能对

所获取知识的可信度进行量化,通过舍弃可信度较低的知识来保障知识图谱的质量。本研究结合项目考评,多次聘请生态管理专家对所形成的知识进行点评,质量不断进行了提升。同时也大量采用媒体跟踪报道,其他地方实践中总结的知识条目进行有针对性知识验证。经过 4 年多次版本的修改,对不同领域或学科方向的知识进行融合,解决了实体对齐等问题,从而获得实体的完整描述。基于生态环境损害案件抽取的生态环境管理知识图谱局部示意图见图 4。

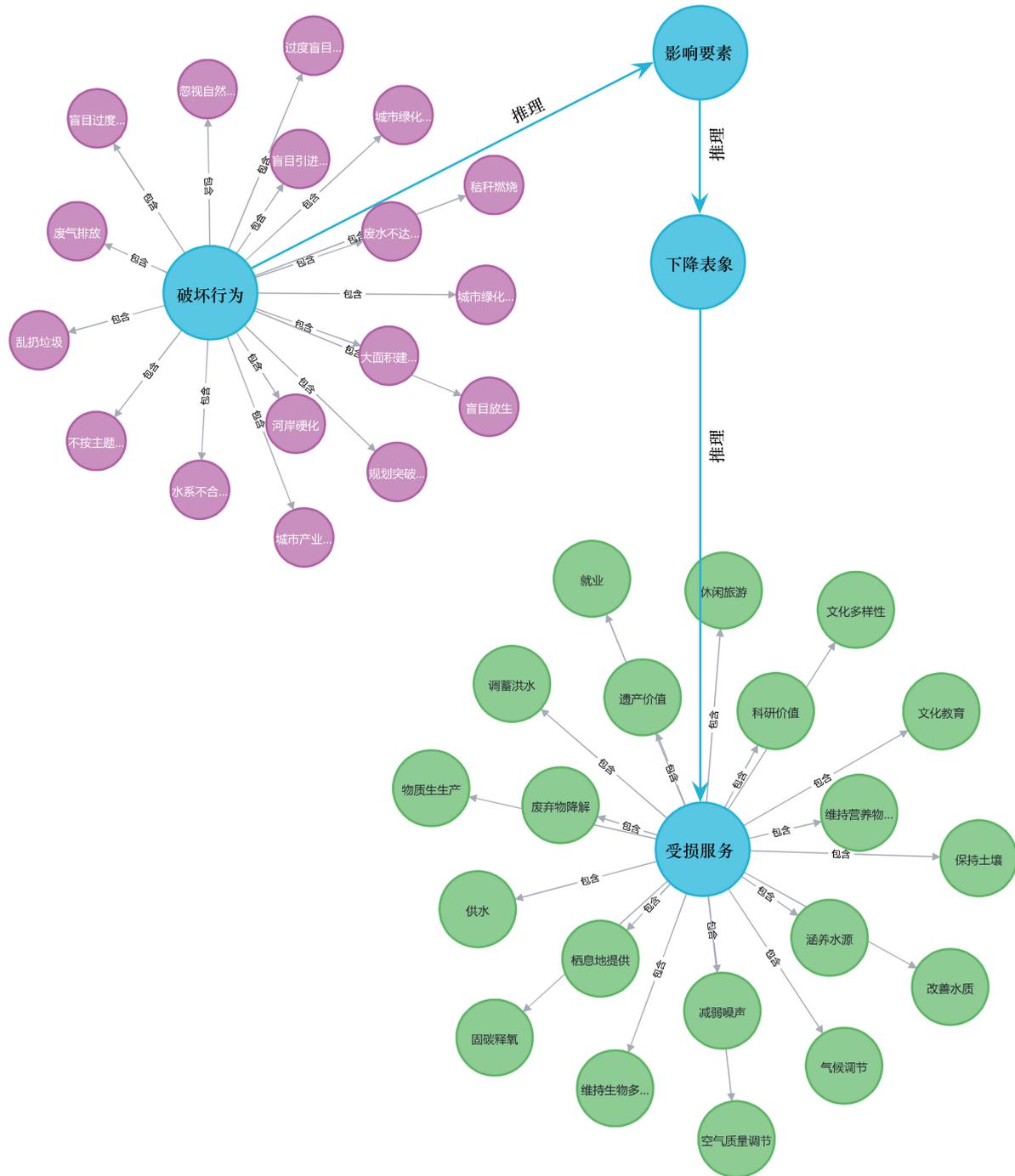


图 4 基于生态环境损害案件抽取的生态环境管理知识图谱局部示意图

Fig.4 The schematic diagram of knowledge graph of eco-environmental management based on ecological and environmental damage cases

生态系统管理融合了多个领域的知识,如生态学、环境科学、管理学、地理信息系统等,这些学科对相同的

管理行为和管理对象本体也略有差异。虽然治理行为的地域性、行业性、专业性各不相同,但分解为生态环境领域知识三元组后,基本能够解析为知识三元组最小单元。从这个角度来说,能够形成共性知识条目,进行知识融合。通过知识融合,能够将多个领域的专业知识进行整合和标准化处理,从而帮助决策者和相关行业者更加全面的了解生态环境状况,制定更加有效的保护和治理策略。此外,知识融合还能在一定程度上促进不同领域间的交流与合作,推动跨学科研究的发展与进步,从而为生态环境管理提供更加广阔的视野和思路。

### 3 生态管理知识图谱应用与展望

#### 3.1 生态管理知识图谱促进环境治理现代化

利用生态管理知识图谱辅助生态文明建设工程,能够规范不同区域、不同类型的生态环境问题分析处理流程,通过一定规则的逻辑推理,为用户决策提供支持。深圳市“散乱污”企业整治成功经验所形成的知识,对推广普及到其他城市“散乱污”治理决策具有重要参考意义。通过“管理对象-行业类别-整治措施”知识链条,可有效提高其他城市精准识别“散乱污”企业污染特征、活动特征,防止“一刀切”的关停政策。相关知识也有助于协调联合规划、国土、公安、水务、城管执法、工商、质检等多部门力量,共同发力联合开展清理整治工作。同时,基于生态环境损害鉴定评估多模态数据形成的知识图谱,尤其有助于分析生态环境问题的“多因一果”和“一因多果”的管理思路,从而激发地方生态系统管理的新智慧和新实践。此外,虽然生态环境治理行为的地域性、行业性、专业性各不相同,但分解为生态环境领域知识三元组后具备共性表达方式,并能够进行知识融合。

#### 3.2 展望

我国人民群众非常关心生态环境质量,重视生态文明建设成效,迫切需要丰富多样的生态产品<sup>[35]</sup>。直观和严谨的生态管理知识能够满足不同层次的生态管理模型、智能问答等。生态环境管理与污染防治已进入大数据与智能分析时代<sup>[12]</sup>,未来应该将生态知识图谱应用系统与目前生态管理大模型耦合,不断拓展研究广度。要加快我国现代化生态文明建设进程,助力生态环境治理的现代化,服务人与自然和谐共生的现代化必须加快生态管理知识图谱建设。

#### 参考文献 (References):

- [ 1 ] 黄润秋. 深入学习贯彻党的二十大精神 奋进建设人与自然和谐共生现代化新征程——在 2023 年全国生态环境保护工作会议上的工作报告. 环境保护, 2023, 51(4): 14-25.
- [ 2 ] 中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于构建现代环境治理体系的指导意见》. (2020-03-03) [2023-11-21]. [https://www.gov.cn/gongbao/content/2020/content\\_5492489.htm](https://www.gov.cn/gongbao/content/2020/content_5492489.htm).
- [ 3 ] 陈善荣, 陈传忠, 陈远航, 文小明, 孙媛, 胡天洋. 面向生态环境治理现代化的生态环境监测数字化转型研究. 环境保护, 2022, 50(20): 9-12.
- [ 4 ] Dong R C, Li S Y, Zhang Y L, Zhang N N, Wang T, Tan X R, Fu X. Analysis of urban environmental problems based on big data from the urban municipal supervision and management information system. *Ecological Indicators*, 2018, 94: 52-69.
- [ 5 ] 韩善锐, 韦胜, 周文, 张明娟, 陶婷婷, 邱廉, 刘茂松, 徐驰. 基于用户兴趣点数据与 Landsat 遥感影像的城市热场空间格局研究. 生态学报, 2017, 37(16): 5305-5312.
- [ 6 ] 高梅香, 朱家祺, 刘爽, 程鑫, 刘冬, 李彦胜. 土壤动物知识图谱构建理论、方法与技术——以浙江天目山土壤螨类为例[J]. 生态学报, 2023, 43(16): 6862-6877.
- [ 7 ] 王天一, 孟小亮, 张华. 一种面向生态环境领域的知识图谱构建方法. 地理空间信息, 2023, 21(1): 14-19.
- [ 8 ] 马涛, 樊杰. 山水林田湖草生命共同体研究的知识图谱透视分析. 科技促进发展, 2020, 16(11): 1468-1476.
- [ 9 ] 王志伟. 生态环境治理的信息化体系建设思路. 科技创新与应用, 2020(30): 53-54.
- [ 10 ] 新华社记者. 奋力谱写新时代生态文明建设新篇章[N]. 新华每日电讯, 2023-07-20(001). DOI: 10.28870/n.cnki.nxhmr.2023.004165.
- [ 11 ] 刘立平, 勒伟青. 信息化在构建现代环境治理体系中的价值. 环境经济, 2022(11): 64-67.
- [ 12 ] 王运涛, 王国强, 王桥, 张庆竹. 我国生态环境大数据发展现状与展望. 中国工程科学, 2022, 24(5): 56-62.
- [ 13 ] Varghese J, Crawford S S. A cultural framework for Indigenous, Local, and Science knowledge systems in ecology and natural resource management.

Ecological Monographs, 2021, 91(1): e01431.

- [14] 黄润秋. 推进生态环境治理体系和治理能力现代化. 环境保护, 2021, 49(9): 10-11.
- [15] 黄润秋. 国务院关于 2022 年度环境状况和环境保护目标完成情况的报告——2023 年 4 月 24 日在第十四届全国人民代表大会常务委员会第二次会议上. 中华人民共和国全国人民代表大会常务委员会公报, 2023(4): 455-461.
- [16] 傅伯杰, 吕楠, 吕一河. 加强生态系统管理 助力碳中和目标实现. 中国科学院院刊, 2022, 37(11): 1529-1533.
- [17] 祝薇, 向雪琴, 侯丽朋, 王保盛, 唐立娜. 基于 Citespace 软件的生态风险知识图谱分析. 生态学报, 2018, 38(12): 4504-4515.
- [18] 陆锋, 诸云强, 张雪英. 时空知识图谱研究进展与展望. 地球信息科学学报, 2023, 25(6): 1091-1105.
- [19] 张吉祥, 张祥森, 武长旭, 赵增顺. 知识图谱构建技术综述. 计算机工程, 2022, 48(3): 23-37.
- [20] 徐增林, 盛泳潘, 贺丽荣, 王雅芳. 知识图谱技术综述. 电子科技大学学报, 2016, 45(4): 589-606.
- [21] 李涓子, 侯磊. 知识图谱研究综述. 山西大学学报: 自然科学版, 2017, 40(3): 454-459.
- [22] 马忠贵, 倪润宇, 余开航. 知识图谱的最新进展、关键技术和挑战. 工程科学学报, 2020, 42(10): 1254-1266.
- [23] 朱木易洁, 鲍秉坤, 徐常胜. 知识图谱发展与构建的研究进展. 南京信息工程大学学报: 自然科学版, 2017, 9(6): 575-582.
- [24] 王勇超, 罗胜文, 杨英宝, 张宏鑫. 知识图谱可视化综述. 计算机辅助设计与图形学学报, 2019, 31(10): 1666-1676.
- [25] 彭菲, 於方, 马国霞, 杨威杉. “2+26”城市“散乱污”企业的社会经济效益和环境治理成本评估. 环境科学研究, 2018, 31(12): 1993-1999.
- [26] 张军. 运用电力大数据倒查监管“散乱污”. (2019-11-20) [2023-11-21]. [http://epaper.cenews.com.cn/html/2019-11/20/content\\_89459.htm](http://epaper.cenews.com.cn/html/2019-11/20/content_89459.htm).
- [27] 智静, 乔琦, 李艳萍, 孟立红, 赵若楠. “散乱污”企业定义及分类管控方法框架. 环境保护, 2019, 47(20): 46-50.
- [28] 张菁. 北京: 多措并举推动“散乱污”企业“动态清零”. 中国环境监察, 2018(10): 38-39.
- [29] 马鹏飞, 厉青, 陈辉, 张丽娟, 张玉环, 王桥, 周春艳, 毛慧琴, 陈翠红, 王中挺. 京津冀及周边地区大气污染防治重点关注区域遥感综合分析. 遥感技术与应用, 2019, 34(2): 404-411.
- [30] 朱丽欣. 刑事指导性案例中的案例教学探讨. 中国检察官, 2020(23): 6-67.
- [31] 王浩学, 王兴隆. 基于 Neo4j 的语言学术语知识图谱构建研究. 中国科技术语, 2023, 25(3): 18-26.
- [32] 戎菲, 屈尧, 张逸雯, 佟旭, 胡镜清. 基于 Neo4j 构建知识图谱分析胡镜清论治痴呆的思路与特色. 世界科学技术-中医药现代化, 2023, 25(3): 826-834.
- [33] 黄诗颖, 黄涛. 自然资源领域知识图谱构建与应用研究. 自然资源信息化, 2023(4): 53-59.
- [34] 宗述. 六部委印发“十三五”挥发性有机物污染防治工作方案. 中国环境监察, 2017(9): 13-14.
- [35] 董仁才, 孙晓萌, 韩林桅, 翁辰, 王辰星, 张永霖, 马赫, 柳文华, 李思远, 于天舒, 王丹寅, 郑博福. 基于景感生态学促进生态产品价值实现的方法. 生态学报, 2023, 43(18): 7660-7669.