

引用格式:魏伟,李金铠,郭崇慧.基于知识图谱的中国城市矿产研究进展[J].资源科学,2021,43(3):489-500.[Wei W, Li J K, Guo C H. Evolution of urban mineral resources research based on knowledge maps[J]. Resources Science, 2021, 43(3): 489-500.] DOI: 10.18402/resci.2021.03.06

# 基于知识图谱的中国城市矿产研究进展

魏伟<sup>1,2</sup>,李金铠<sup>1,2</sup>,郭崇慧<sup>3</sup>

(1. 郑州大学能源-环境-经济研究中心, 郑州 450000; 2. 郑州大学旅游管理学院, 郑州 450000;

3. 大连理工大学系统工程研究所, 大连 116024)

**摘要:**城市矿产是工业化和城市化的产物,具有重要生态价值和经济价值,对城市矿产进行科学、深入、全面的研究有助于其可持续开采和利用。本文基于文献挖掘视角,以1988—2018年间与城市矿产相关的4351篇中文研究文献为对象,运用科学计量学与文本挖掘相结合的方法,定量研究该领域近年来相关研究的动态发展状况,并对未来发展趋势展开分析。研究发现:①中国城市矿产研究正处于发展瓶颈期,存在5个主要研究团队,以理论研究为主,其中翟昕和周永生所在团队着手该领域的研究较早(2010—2014年),赵玉柱和李金惠所在团队在中间阶段较为突出(2015—2016年),王昶所在团队在近期较为突显(2017—2018年);②“矿产资源”(1995年)、“可持续发展”(2002年)、“矿业城市”(2004年)、“资源型城市”(2005年)、“循环经济”(2007年)等关键词在“城市矿产”(2010年)一词形成过程中扮演重要的更迭或者过渡角色,这与人们对城市矿产概念和认识的深化相关;③该领域在不同时间段的研究热点各异,政策导向性较为明显,与社会热点相结合是未来发展的趋势;④政策工具、技术进步与创新是该领域未来研究的重要关联主题。本文的研究能够帮助科研工作者和决策者快速了解和掌握城市矿产领域的研究状况和趋势方向,为推进城市矿产的深入研究和科学决策提供重要参考价值。

**关键词:**城市矿产;知识图谱;科学计量学;文本挖掘;演化分析

DOI: 10.18402/resci.2021.03.06

## 1 引言

城市矿产是蕴藏于城市中并具有较高经济价值同时可被回收利用的再生资源,它是相对于地下原生矿产的另外一种重要资源,城市矿产是工业化和城市化的产物,储量丰富,是一种重要的载能性、循环性、战略性资源<sup>[1]</sup>。城市矿产资源的循环利用可以节约资源、提高资源利用率,具有绿色、高效、环保等优点,是实现“零废弃物”“无废城市”和可持续发展目标的重要手段之一<sup>[2-4]</sup>,对减轻中国资源约束和环境压力,推进资源节约和生态文明建设有重要意义。城市矿产在资源战略和社会经济发

展中的地位日趋突显,在近些年引起了各国政府和学者的高度关注,城市矿产资源的回收利用体系逐步形成,城市矿产资源的相关政策、研究理论与方法也逐步提出<sup>[5-8]</sup>。

不同领域的学者围绕城市矿产的成矿机制、蓄积量测算、战略性筛选、开发潜力测算、回收机制、开发效应评估、管理与政策等方面展开了多角度的研究<sup>[9-12]</sup>。从收录期刊看,只有《资源科学》《环境保护》《生态经济》《中国矿业》和《宏观经济管理》等核心权威期刊较多地收录城市矿产相关论文,但是其收录量占城市矿产文献总量不足5%。中国对城市

收稿日期:2019-08-30 修订日期:2020-12-18

基金项目:国家社会科学基金项目(20BJL034);国家自然科学基金项目(72001191);河南省哲学社会科学规划青年项目(2020CZH009);河南省自然科学基金项目(202300410442)。

作者简介:魏伟,男,河南安阳人,副教授,研究方向为资源环境经济与政策、政策文本挖掘。E-mail: weiwei123@zzu.edu.cn

通讯作者:李金铠,男,河南驻马店人,教授,博士生导师,研究方向为产业经济与政策、人口资源与环境、能源环境经济理论与政策。E-mail: lijinkai@sina.com

矿产的研究并未形成一套较为成熟先进的技术和方法,城市矿产领域研究处于发展瓶颈期。

在现有的城市矿产的综合性研究中,可以从3个方面进行概括总结。第一方面,关于中国城市矿产综合性研究中,学者们主要对不同种类的城市矿产的开发理论和实践状况展开研究,并结合研究结果给出相应的城市矿产发展和政策建议<sup>[13-16]</sup>;部分学者从中国的实际发展背景出发,探讨当今城市矿产研究的定位和战略问题<sup>[17-19]</sup>;也有学者在中国生态文明发展背景下,从空间层面对矿产资源开发利用的优化实施管控展开深入研究<sup>[20,21]</sup>。第二方面,在城市矿产政策综述研究方面,学者们主要从中国政策体系现状、政策实施效果和政策顶层设计等角度展开研究<sup>[22-24]</sup>。第三方面,国际文献关于中国城市矿产的研究,主要结合中国发展环境,开展城市矿产的前沿理论、实践经验、产业发展、政策建议及矿产量预测等相关方面的研究<sup>[6,25,26]</sup>。

针对城市矿产的上述综合性研究及城市矿产政策综述研究中,仍缺少一种研究方法去揭示该领域系统的、整体的研究现状及演化趋势。如何从大量城市矿产研究文献中快速有效地提取信息,并准确总结研究文献的核心主题,对探索城市矿产研究的动态规律,推动城市矿产资源相关政策体系的完善具有重要参考意义<sup>[27-30]</sup>。因此,本文以城市矿产中文文献为研究对象,从文献挖掘视角出发,将科学计量学与文本挖掘方法相结合,定量研究该领域历年来相关研究的动态发展状况,并对未来发展趋势进行展望。本文采用的科学计量学与文本挖掘

相结合的策略,以及提出的两类词语的年热度计算方法,能够丰富文献计量学相关理论,为其他领域的综述性研究提供方法借鉴。

## 2 城市矿产研究数据与方法

### 2.1 研究数据

学术研究文献能够实时反映特定领域的研究动态,本文以中国知网收录的城市矿产相关的研究文献为分析对象,检索条件设置为:①“城市矿产”为全文检索词,或者②“资源化回收”并含“报废汽车”为关键词,或者③“资源化回收”并含“电子废物”为关键词;文献出版时间设置为1988年1月1日至2018年12月20日;3个条件分别在中国知网中的期刊论文数据库、博硕士论文数据库和会议论文数据库上检索;并过滤掉非中文论文。最终得到3249篇期刊论文、957篇学位论文和145篇会议论文,共计4351篇相关文献。

“城市矿产”相关研究论文的年发文量如图1所示,1988年研究文献中逐步出现了“城市矿产”一词,与1985年杨显万在中国首次使用这一术语相距3年。1988—2009年,属于“城市矿产”研究领域的萌芽期,每年的相关研究论文较少,该阶段的研究论文数量占全阶段总数量的8.92%。从2010年国家开展“城市矿产”基地试点工程后,此方面的研究热度猛增,发文量呈指数形式增长,2010—2011年属于此研究领域的发展期。2012—2016年,是此领域发展的稳定期,2014年研究热度达到顶峰。而2017—2018年,属于此领域的研究瓶颈期,发文量逐年减少,呈直线下降趋势。

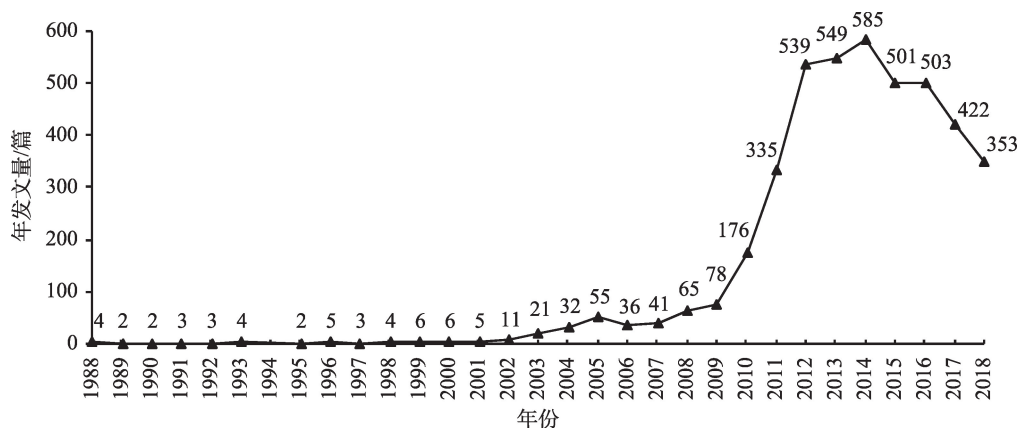


图1 1998—2018年“城市矿产”相关研究文献年发文量

Figure 1 Annual number of urban mineral resources related publications, 1988-2018

2021年3月

## 2.2 文献计量方法

本文采用可视化软件 CiteSpace 对城市矿产研究领域的相关文献进行定量的计量分析。CiteSpace 能够用来探测学科领域研究前沿变化趋势,也能够用来分析领域研究前沿与领域基础知识之间的复杂关系,为领域知识的动态演进提供可视化平台。此外,CiteSpace 能够在绘制的知识图谱中突出显示若干研究前沿领域的演进历程<sup>[31,32]</sup>。

## 2.3 关键词年热度计算方法

关键词词频一定程度上可以反映词的重要性<sup>[33,34]</sup>,但是在本文得到的关键词集合中,检索词与非检索词的词频差异较大,直接用词频表示不能突显非检索词的重要性与热度。因此,本文采用检索词在检索出的该年份的相关文献集合中的频次,与检索词集合在所有实验年份的相关文献集合中的频次之和的比值来衡量某一检索词的年热度。而对于文献集合中非检索词的关键词,本文提出一种新的关键词热度计算方法来衡量关键词在某一年份的相关文献集合中的重要程度。按照特定检索词集合检索出的某一年份的相关文献集合中,关键词的年热度为该关键词在文献集合中出现的总频次与除检索词之外的其他所有关键词出现的总频次的比值。为此,定义检索词集合  $I$ ,以  $I$  检索出的文献集合  $D$ ,文献集合  $D$  中包含的所有关键词作为集合  $K$ ,其中  $I \subset K$ ,则第  $t$  年的关键词  $w$  的热度 *Heatrate* 计算方法为:

$$\text{Heatrate}(w') = \begin{cases} \frac{f(w')}{\sum_i f(w'_i | w'_i \in K) - \sum_j f(w'_{0j} | w'_{0j} \in I)}, & \text{if } w' \in K - I \\ \frac{f(w')}{\sum_i \sum_j f(w'_{0j})}, & \text{if } w' \in I \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $w'_{0j}$  表示第  $t$  年 第  $j$  个检索词;  $f(w'_{0j})$  表示第  $j$  个检索词在第  $t$  年检索出的研究文献集中出现频次;  $f(w'_i)$  表示关键词  $w'_i$  在第  $t$  年检索出的研究文献集中出现频次。

## 2.4 关键词相似性计算方法

传统方法通常根据不同关键词在文献或者文献集中的共同出现(共现)次数来衡量关键词之间的相似程度或者相似性,但多值共现矩阵中,数值

悬殊对统计结果会造成一定的影响。本文采用 *Equivalence* 系数<sup>[35,36]</sup>将多值共现矩阵转化成元素值在  $[0, 1]$  区间取值的相似矩阵,具体计算方法为:

$$S(w_i, w_j) = \frac{F(w_i, w_j)^2}{\sum_t f(w'_i) \cdot \sum_t f(w'_j)} \quad (2)$$

式中:  $S(w_i, w_j)$  为关键词  $w_i$  与  $w_j$  的相似性取值;  $F(w_i, w_j)$  为关键词  $w_i$  与  $w_j$  在文献集中的共同出现的次数;  $f(w'_j)$  表示关键词  $w_j$  在第  $t$  年检索出的研究文献集中出现的频次。

## 2.5 近邻传播聚类

近邻传播方法(Affinity Propagation, AP)在聚类算法中优势明显,已被广泛应用于多个领域的数据聚类分析中<sup>[37-39]</sup>。AP 方法通过对代表程度  $r(i, k)$  和合适程度  $a(i, k)$  等两种信息进行循环和更新来完成整个聚类过程,其中  $r(i, k)$  表示数据  $x_k$  的积累信息,即  $x_k$  作为  $x_i$  的代表点的程度,  $a(i, k)$  表示  $x_i$  的积累信息,即  $x_i$  选择  $x_k$  作为代表点的合适程度,迭代过程为:

$$\begin{cases} \mathbf{R}^{(n+1)} = g1(\mathbf{S}, \mathbf{A}^{(n)}) \\ \mathbf{A}^{(n+1)} = g2(\mathbf{R}^{(n+1)}) \end{cases} \quad (3)$$

式中:  $\mathbf{R}$  和  $\mathbf{A}$  分别为数据对象在聚类循环过程中的代表程度矩阵和合适程度矩阵;  $n$  表示循环次数;  $g1$  和  $g2$  分别为信息更新函数,具体计算方法见文献<sup>[37]</sup>;  $\mathbf{S}$  为相似性矩阵,  $\mathbf{S}$  中每个元素值表示相应位置对应的两个数据对象间的相似程度。最后通过计算数据点  $x_i$  的  $r(i, k)$  和  $a(i, k)$  之和,选择最大信息程度的点  $x_{k'}$  ( $k'$  为代表点的编号)作为  $x_i$  的代表点:

$$k' = \arg \max_k (r(i, k) + a(i, k)) \quad (4)$$

AP 的聚类结果中,会选择每个簇中最具代表性的实际数据对象作为中心代表点,因此,将其应用于真实文献数据中,用来提取文献中的核心主题具有一定的实际意义。

## 3 结果与分析

### 3.1 城市矿产研究者分布与研究团队演化分析

城市矿产研究者分布与合作网络如图 2 所示。整体来看,图 2 中共有 1367 个结点,930 条连接边,



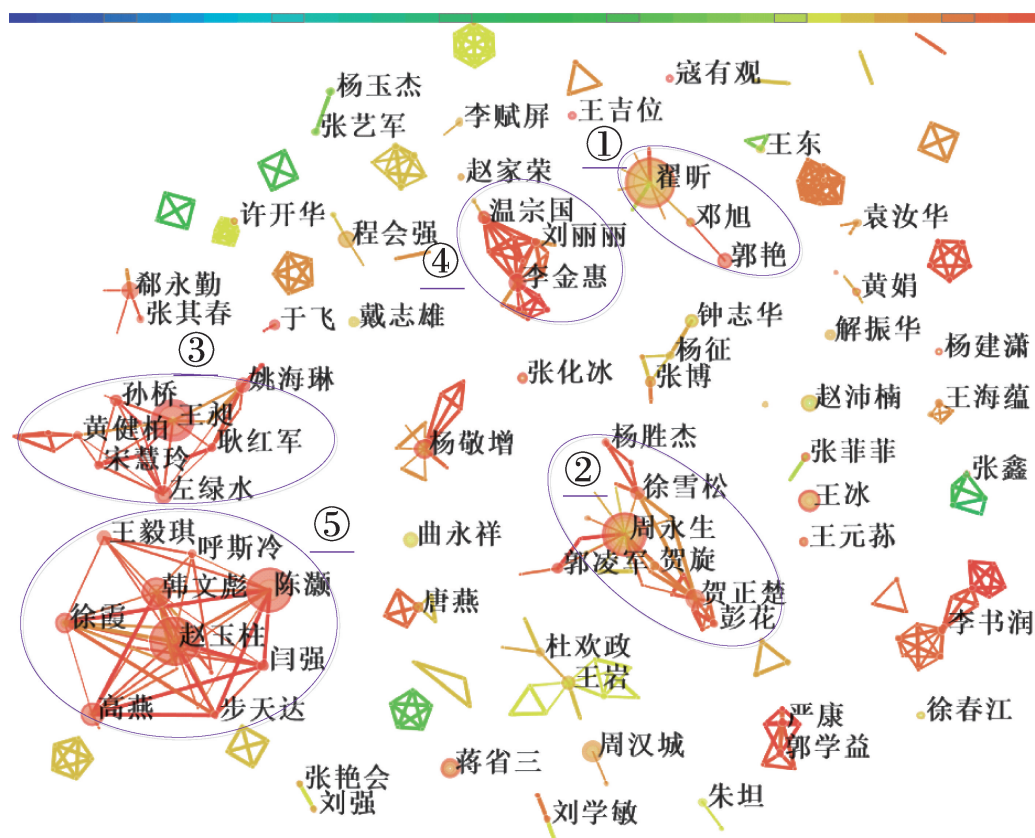


图2 1988—2018年研究者分布与合作关系网络

Figure 2 Author distribution and the collaboration network, 1988-2018

整个领域的平均合作强度不足为1,说明中国该领域整体的研究现状较为分散。从单个结点来看,翟昕、赵玉柱、陈灏、周永生、王昶以及韩文彪等的发文量都在15篇以上,他们在城市矿产研究领域有重要的影响。此外,规模较为显著的5个研究团队如图2中椭圆标记所示,分别记为①、②、③、④和⑤。

5个研究团队在城市矿产领域内的年发文情况及团队演化情况如图3所示。从研究团队开始着手城市矿产研究领域的时间及研究方向来看,团队①最早从2010年开始,并在2012—2014年间达到了研究顶峰,研究内容偏重于城市矿产的回收和循环利用,但近年来研究团队的发文量逐渐减少。团队②发文量相对稳定,团队规模逐渐的扩大,研究方向侧重于城市矿产的发展路径创新<sup>[16-18]</sup>。团队③开始城市矿产研究后,其团队逐步扩增,发文量也连续增长,研究水平和实力显著,是当前城市矿产研究领域中的核心团队,其研究内容主要集中于城市矿产的战略管理、产业发展与政策<sup>[9,27,28]</sup>。团队④规

模及年发文量较为稳定,研究实力较强,研究内容偏重于城市矿产回收与资源调控<sup>[6,14]</sup>。团队⑤的年发文量从2014年开始就出现爆发性增长,并在2016年发文量达到最高,该团队年发文量及团队规模在5个研究团队中居首,领域影响力较大,其研究内容偏重于城市矿产回收与垃圾处理。

### 3.2 城市矿产研究热点分析

以文献关键词为结点,关键词间的共现关系作为边,得到中国城市矿产研究领域的热点分布图,如图4所示,图中隐藏了“城市矿产”关键词,保留了与城市矿产相关联的关键词。依据图4中结点的大小,以及每个关键词首次出现在数据集中的时间,可以直观看出,“示范基地”(2010)、“循环经济”(2007)、“企业管理”(1998)、“企业”(1998)、“再生资源产业”(2010)、“再生资源回收”(2010)、“再生资源”(2010)、“资源循环利用”(2010)等词是“城市矿产”(2010)研究领域中最常用到的关键词。

根据结点和线的颜色,能够发现“矿产资源”



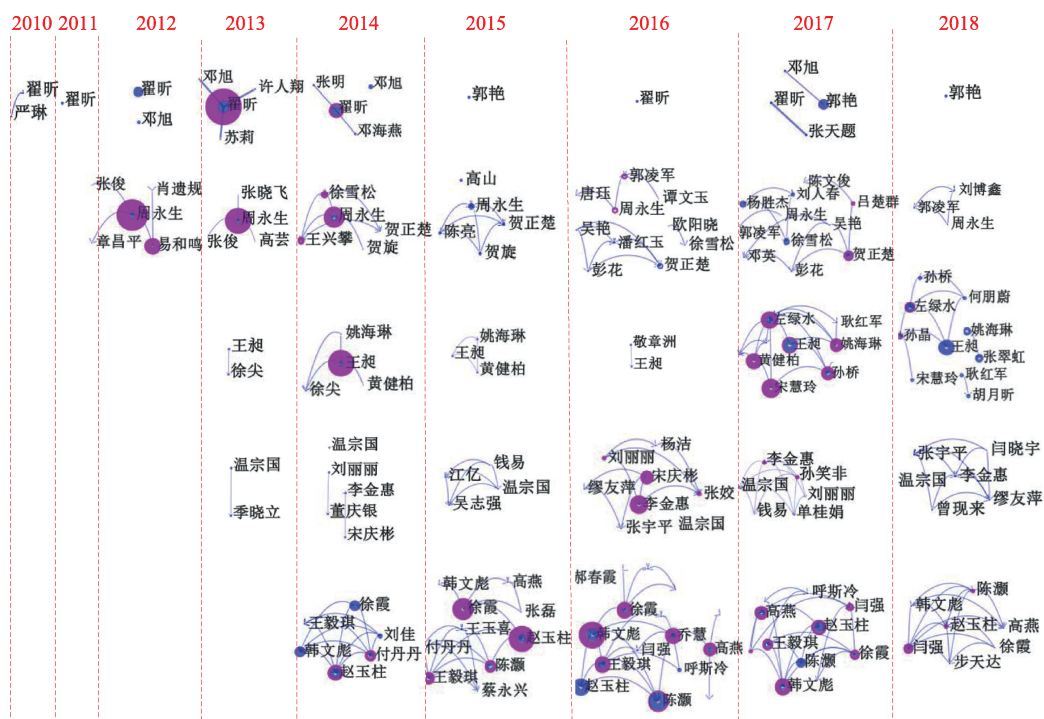


图3 2010—2018年城市矿产领域研究团队演化

Figure 3 Evolution of research teams in the urban mineral field, 2010-2018

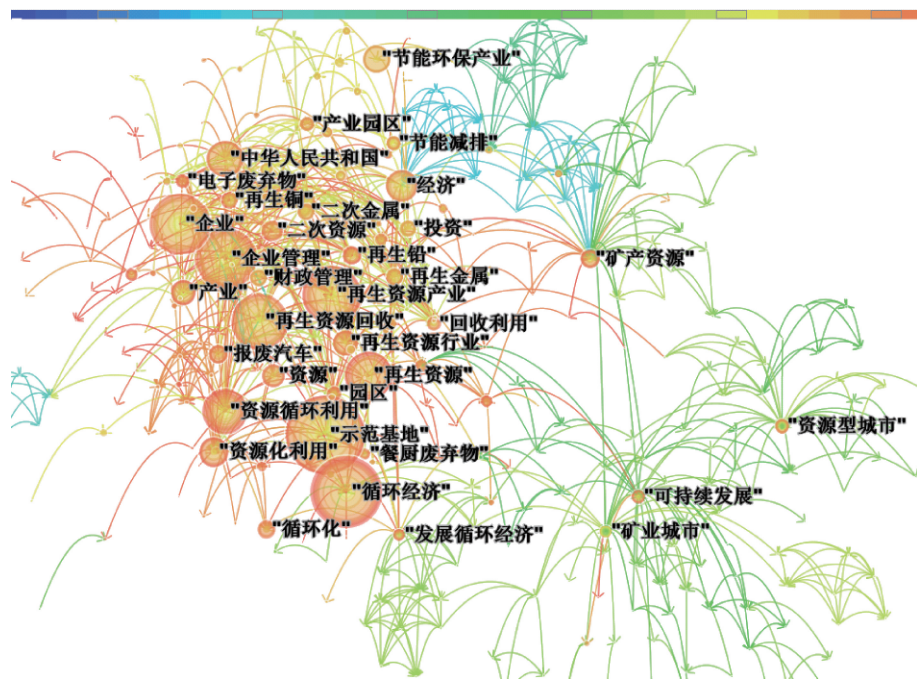


图4 1988—2018年中国城市矿产研究领域热点整体分布

Figure 4 Overall distribution of hotspots in the field of urban mineral resources research in China, 1988-2018

(1995)、“可持续发展”(2002)、“矿业城市”(2004)、“资源型城市”(2005)、“发展循环经济”(2007)、“循环经济”(2007)等词在“城市矿产”(2010)形成过程中扮演重要的更迭或者过渡角色。这与人们对城市矿产概念和认识的深化相关。工业革命以来,矿产资源大部分已经从地下转移到地上,以垃圾的形

式堆积在城市周围,并且原生资源消耗速度不减。为应对原生资源逐渐枯竭的危机,19世纪中下叶,发达国家开始重视循环经济及再生资源的回收利用,并形成了规模庞大的再生资源产业。自然资源储量的下降和原生资源的枯竭,城市垃圾的不断增长及再生资源产业巨大的商业空间共同促进了人类资源观点的改变,逐渐认识到城市垃圾中蕴含的巨大资源,并由此提出了“城市矿产”概念,城市矿产是“循环经济”的重要组成部分,其概念与“再生资源”相似。在中国学术研究中频繁出现的关联词以及如“再生金属”“电子废弃物”等回收对象,与中国颁布的关于循环经济、资源回收等一系列政策的引导作用密切相关。根据结点红色外圈的厚度可知,“循环经济”“资源循环利用”“再生资源产业”“节能环保产业”等与绿色产业相关的关键词极有可能是该领域未来持续重点关注的方向。

### 3.3 城市矿产研究热点演化分析

特定领域内研究热点演化通常表现为相应关键词随时间而发生的变化过程。因此,本文根据关键词的演化情况,分析文献中研究热点的变化规律和趋势,重点考虑与“城市矿产”相联系的关键词的热度。

由于2001—2009年有关“城市矿产”的文献较少,所以每3年合并为一个阶段,根据关键词词频进行排序,抽取出每个阶段前5个关键词(表1)。2010年之前,很少直接以“城市矿产”作为关键词,但从中可以看出“城市矿产”孕育前的相关词。结合城市矿产概念的演化过程以及国家陆续颁布的指导性政策分析,“可持续发展”“矿产资源”“矿业城市”及“资源型城市”等是“城市矿产”正式为人所熟知前最关联的热词,这些词的持续演进,使得人们对“城市矿产”认识更为深入。

分别选取2010—2018年间前10个关键词来探

表1 2001—2009年研究文献前5个热词

Table 1 Top 5 hot words in the research literature, 2001-2009

2001—2003年	2004—2006年	2007—2009年
可持续发展	矿业城市	矿业城市
矿藏资源	可持续发展	资源型城市
矿产资源	资源型城市	矿产资源
生态文明	矿产资源	发展循环经济
矿产资源利用	矿产资源开发	经济转型

究领域研究的年度热点(表2)。整体来看,每年的热词都有所重叠,2010—2018年每年的前10个热词组成了36个不重复热词,整体热词的重叠率为 $(90-36)/90=60\%$ ,反映出一些关键词受到持续的关注,这与国家政策的引导作用密切相关。例如,2007年《中华人民共和国循环经济法(草案)》中的“循环经济”等词,2007年《再生资源回收管理办法》中的“再生资源”“再生资源回收”“再生资源产业”等词,2010年《关于开展“城市矿产”示范基地建设的通知》中的“示范基地”等词,从相应政策的出台之后持续受到科研工作者和期刊编辑的持续重点关注。受资源环境的刚性约束,“城市矿产”的开发和利用一定意义上属于“资源循环利用”与“资源化利用”的中观方面,是当代社会、“企业”与“企业管理”层面需要重点考虑的问题,能够为社会“经济”产生正面影响。同时,一些具有时代特征的关键词,如“十二五”“工业园区”“产业园区”等,只是在国家相应政策提出之后热度迅速提升,但随后又快速下降。从近几年的热词及国家政策导向分析,“生态文明”“战略性新兴产业”“经济技术”“生活垃圾”可能是未来城市矿产研究领域的着手点和结合点。

### 3.4 城市矿产研究主题演化分析

为分析关键词联合使用时所呈现出的研究主题,本文使用 *Equivalence* 系数<sup>[35,36]</sup>构建关键词相似性矩阵,然后通过AP聚类方法对关键词相似性矩阵进行聚类分析。首先根据关键词年热度值对同年的关键词排序,并选取2010—2018年间每年前50个关键词作为代表;然后计算关键词间的相似性,生成相似性矩阵;最后使用AP聚类方法得到的主题结果如图5a-5i所示,所有年份文献中排名前50的关键词的聚类结果如图5j所示。

图5中每个簇的中心词代表该簇的主题概念,每个主题概念都由一组密切相关的关键词共同构成。主题分布与国家政策演变密切相关,2010年以来,“城市矿产”主题一直是该领域的研究重点与中心,相关的关键词都以“城市矿产”为代表点,然而从2015年开始,代表点依次变成了“示范试点”“再生资源产业”“示范基地”以及“循环经济产业链”,说明研究范围在逐步扩大化和广泛化,同时也与

2021年3月

表2 2010—2018年研究文献前10个热词

Table 2 Top 10 hot words in the research literature, 2010-2018

序号	2010年		2011年		2012年	
	热词	热度/%	热词	热度/%	热词	热度/%
1	示范基地	4.55	企业	2.96	示范基地	3.08
2	经济	2.80	企业管理	2.96	再生资源产业	2.25
3	循环经济	2.45	示范基地	2.30	再生资源回收	2.01
4	资源循环利用	2.10	节能减排	1.97	企业	1.66
5	再生资源回收	1.75	再生资源回收	1.81	企业管理	1.66
6	产业	1.75	循环经济	1.64	经济	1.42
7	再生资源产业	1.40	再生资源产业	1.48	再生资源	1.30
8	资源回收	1.40	二次铝	1.48	循环经济	1.18
9	子牙循环经济产业区	1.40	“十二五”	1.32	资源循环利用	1.07
10	资源管理	1.40	再生金属产业	1.32	“十二五”	0.95
序号	2013年		2014年		2015年	
	热词	热度/%	热词	热度/%	热词	热度/%
1	节能环保产业	2.37	循环经济	2.55	循环经济	3.10
2	再生资源回收	1.89	再生资源回收	1.91	资源循环利用	2.03
3	循环经济	1.89	再生资源	1.91	企业	1.91
4	示范基地	1.80	示范基地	1.81	企业管理	1.91
5	企业	1.70	再生资源产业	1.81	循环化	1.79
6	企业管理	1.70	工业园区	1.70	示范基地	1.67
7	再生资源	1.70	企业	1.59	再生资源	1.43
8	再生资源产业	1.33	企业管理	1.59	再生资源产业	1.43
9	财政管理	1.33	再生资源行业	1.59	资源化利用	1.43
10	投资	1.33	产业园区	1.28	再生资源回收	1.31
序号	2016年		2017年		2018年	
	热词	热度/%	热词	热度/%	热词	热度/%
1	企业	2.68	再生资源	1.45	循环经济	3.08
2	企业管理	2.68	循环经济	0.72	资源循环利用	1.54
3	再生资源	2.20	资源循环利用	0.72	再生资源产业	1.54
4	循环经济	2.05	企业	0.72	可持续发展	1.54
5	再生资源产业	1.73	企业管理	0.72	政策工具	1.54
6	资源循环利用	1.42	再生资源产业	0.72	再生铜	1.54
7	经济	1.42	示范基地	0.72	电子废弃物	1.54
8	资源化利用	1.26	战略性新兴产业	0.72	发展	1.54
9	废弃电器电子产品	1.10	循环化	0.72	经济技术开发区	1.54
10	生活垃圾	1.10	生态文明	0.72	县域经济	1.54

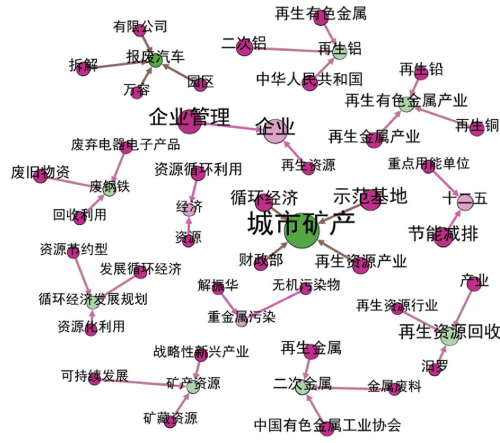
2015年后关于城市矿产的政策支撑减少密切相关。随着《2015年循环经济推进计划》和《关于推进资源循环利用基地建设的指导意见》的出台,“循环经济”与城市矿产逐渐脱离,继而形成以自己为中心的新簇,同时与“资源循环利用”等相关再生资源产业化发展逐渐成为新的主题。从理论研究逐步深入到实践应用角度看,以政策分析为主的“内容

分析法”“SWOT”等逐步演变成面向实践应用的多学科交叉方法及应用产品研发等,如面向蓄积量及物质流动过程的“生命周期分析”“物质流分析法”及“社会网络分析”。从时代背景发展角度看,城市矿产研究领域出现了一些与时代热点相关的关键词,如2016年的“互联网+”,2017年的“一带一路”“新能源汽车”以及“大数据”在内的“技术创新”主

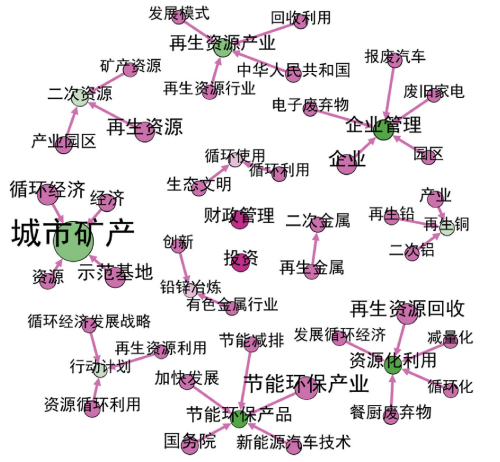


创新。城市矿产大数据的研究与应用能够为城市矿产资源的高效回收与利用提供理论支撑,能够有效促进中国城市矿产资源循环产业的科学发展<sup>[40]</sup>。

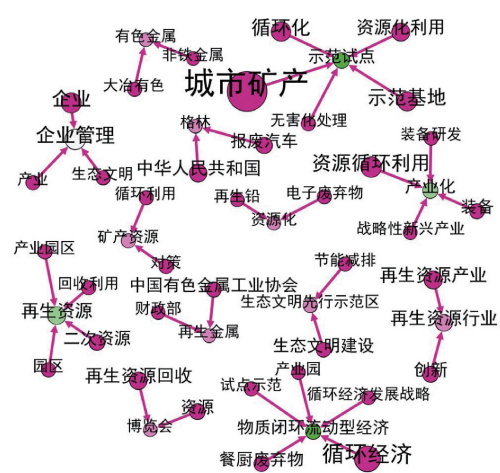
b. 2011年



d. 2013年



f. 2015年



续图5

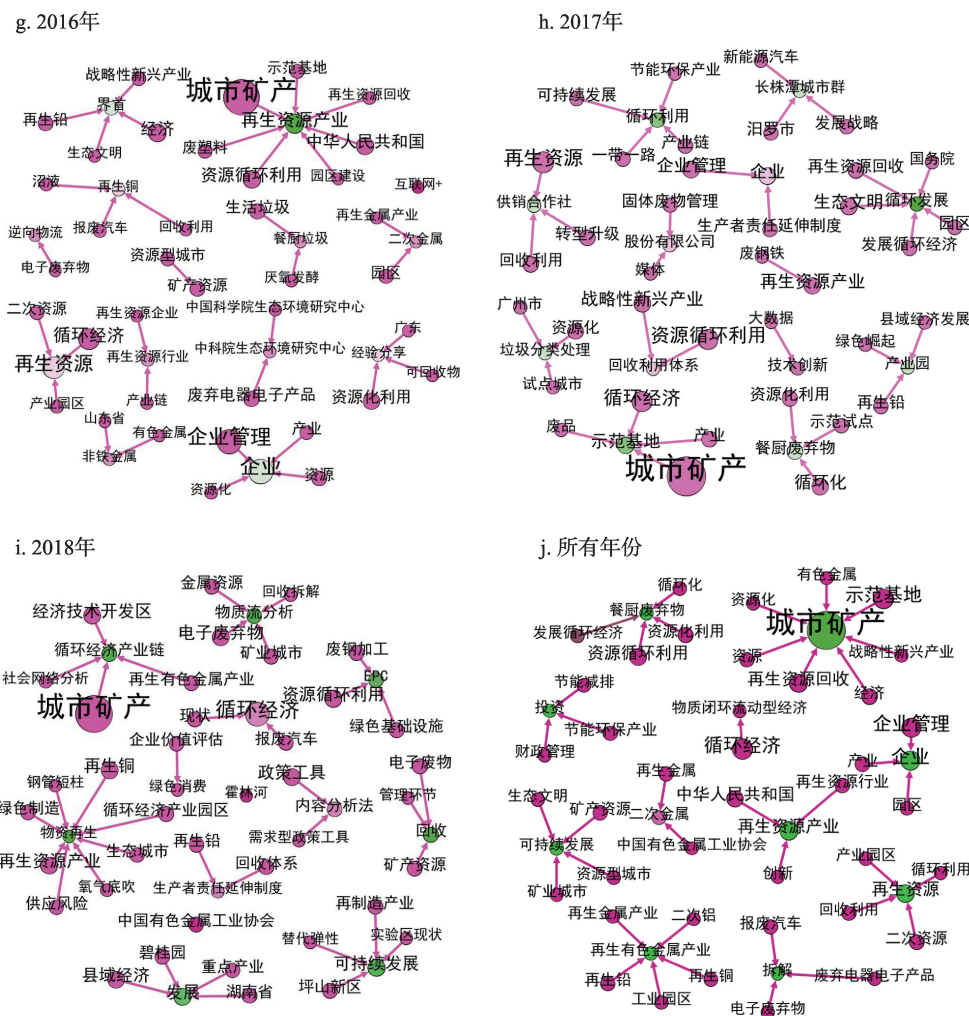


图5 2010—2018年基于AP聚类的核心主题演化情况

Figure 5 Evolution of the core topics based on affinity propagation (AP) clustering, 2010-2018

## 4 结论与展望

### 4.1 结论

本文从文献挖掘的视角,以科学计量学与文本挖掘为主要研究方法,结合城市矿产领域的研究文献,系统定量地对领域的研究布局、研究热点和研究主题的演化作了分析。得到的主要结论为:

(1)中国城市矿产研究处于发展瓶颈期,城市矿产相关论文收录于核心权威期刊比重不足5%;该领域存在5个主要研究团队,以理论研究为主,并且每个团队的发展规律和特点各异。5个研究团队聚焦于城市矿产回收理论、发展战略、产业与政策等研究方向,说明中国在此方面的研究仍处于理论基础探索和宏观政策制定阶段,缺少实践和应用。

(2)与“城市矿产”关联紧密的关键词多扮演重要更迭或过渡角色,这与人们对城市矿产概念和认识的深化相关。原生资源危机与城市垃圾问题促进了人类资源观点转变,逐渐认识到城市垃圾中蕴含的巨大资源,并由此提出了“城市矿产”概念。近些年,该领域研究热点问题多与绿色产业相关,“循环经济”“资源循环利用”“再生资源产业”“节能环保产业”等关键词极有可能是该领域未来持续重点关注的方向。

(3)该领域的研究热点相对集中,政策导向性较为明显,与社会热点相结合是未来发展的趋势。城市矿产研究领域中,部分热词在国家政策的引导下,受到持续关注,如2007年《中华人民共和国循环

经济法(草案)》中的“循环经济”等词。而一些具有时代特征的热词,如“十二五”“工业园区”等,只是在国家相应政策提出之后热度迅速提升,但随后又快速下降。“循环经济”背景下的“生态文明”“战略性新兴产业”“经济技术”可能是未来该领域新的研究热点和结合点。

(4)政策工具、技术进步与创新是该领域未来研究的重要关联主题。对研究主题挖掘发现,该领域研究范围扩大化、广泛化,理论研究逐步深入到实践应用。2015年之前,该领域研究重点和中心一直为“城市矿产”,2015年开始,研究中心逐渐扩大,依次变为“示范试点”“再生资源产业”“示范基地”以及“循环经济产业链”。理论研究从以政策分析为主的“内容分析法”“SWOT”等逐步演变成面向实践应用的多学科交叉方法及应用产品研发等,但与社会技术发展的结合仍略显滞后。

## 4.2 展望

基于对城市矿产领域研究文献的演化分析结果,对其未来发展的主要启示为:

(1)加强人工智能技术与城市矿产回收理论与应用的结合。基于过去“互联网+城市矿产回收利用”平台基础设施和积累的大数据信息,利用人工智能技术和方法,应用到城市矿产回收过程中的全生命周期评价、蓄积量估计、需求分析、资源化利用技术、政策效果评估、运营模式评估、产业链布局和优化以及开发利用模式创新等回收体系系统化建设问题上。

(2)多管齐下,激活领域研究热度。城市矿产研究正处于瓶颈期,不同机构和学科间合作较少。但城市矿产开发利用具有重要战略意义,城市矿产科学研究有助于加快城市矿产资源开发利用效率。积极的宏观政策引导、跨机构和跨学科之间的合作以及建立“产学研用”融合的技术创新体系可能是促进该领域度过瓶颈期并迎来第二次发展的有效措施。

(3)加强和完善城市矿产政策体系建设。政策体系的完善是城市矿产领域有效发展的保障,要重视对城市矿产政策的整体规划和协同引导。中国现有的政策措施较为单一,无法满足城市矿产开发利用的需求,需要中央及地方政府各部门、企业及科研单位间的协同分工合作,加强政府的监管和引

导作用,细分责任主体,增强法律效力,制定具有针对性和协同性的城市矿产政策,实现从单纯依靠财政补贴向多元化政策支撑体系的转变。

## 参考文献(References):

- [1] 王昶,孙桥,左绿水.城市矿产研究的理论与方法探析[J].中国人口·资源与环境,2017,27(12):117-125.[Wang C, Sun Q, Zuo L S. Research on theories and methods of urban minerals[J]. China Population, Resources and Environment, 2017, 27(12): 117-125.]
- [2] Orlins S, Guan D B. China's toxic informal e-waste recycling: Local approaches to a global environmental problem[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 114: 71-80.
- [3] 刘航.中国城市矿产资源开发利用现状、问题及对策[J].中国矿业,2018,27(9):1-6.[Liu H. Current situation, problems and countermeasures of urban mineral resources development and utilization in China[J]. China Mining Magazine, 2018, 27(9): 1-6.]
- [4] Brunner P H. Urban mining a contribution to reindustrializing the city[J]. Journal of Industrial Ecology, 2011, 15(3): 339-341.
- [5] Silva A, Stocker L, Mercieca P, et al. The role of policy labels, keywords and framing in transitioning waste policy[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 115: 224-237.
- [6] Wen Z G, Zhang C K, Ji X L, et al. Urban mining's potential to relieve China's coming resource crisis[J]. Journal of Industrial Ecology, 2015, 19(6): 1091-1102.
- [7] Kuong I H, Li J H, Zhang J, et al. Estimating the evolution of urban mining resources in Hong Kong, up to the year 2050[J]. Environmental Science & Technology, 2019, 53(3): 1394-1403.
- [8] Tsai W T. Current practice and policy for transforming e-waste into urban mining: case study in Taiwan[J]. International Journal of Environment and Waste Management, 2019, 23(1): 1478-9868.
- [9] 姚海琳,张翠虹.政策工具视角下中国城市矿产政策效果评估[J].城市问题,2018,(11):12-20.[Yao H L, Zhang C H. Effect evaluating of China's urban mining policy from the perspective of policy instrument[J]. Urban Problems, 2018, (11): 12-20.]
- [10] 刘蕊,张明顺,李惠民.我国电子废物资源化利用的产业化障碍及其政策分析[J].环境与可持续发展,2015,40(3):113-118.[Liu R, Zhang M S, Li H M. Industrial obstacles and policy analysis on electronic waste resource recovery in China[J]. Environment and Sustainable Development, 2015, 40(3): 113-118.]
- [11] 张其春.城市固体废弃物治理机制研究:一个协同治理的分析框架[J].江南大学学报(人文社会科学版),2019,18(3):83-91.[Zhang Q C. Study on the governance mechanism of municipal solid wasters: An analytical framework for collaborative governance[J]. Journal of Jiangnan University (Humanities & Social Science), 2019, 18(3): 83-91.]
- [12] Hu Y, Poustie M. Urban mining demonstration bases in China: A



2021年3月

- new approach to the reclamation of resources[J]. *Waste Management*, 2018, 79: 689–699.
- [13] 戴湘毅, 刘家明, 唐承财. 城镇型矿业遗产的分类、特征及利用研究[J]. *资源科学*, 2013, 35(12): 2359–2367. [Dai X Y, Liu J M, Tang C C. Categories, characteristics and utilization of urban mining heritage[J]. *Resources Science*, 2013, 35(12): 2359–2367.]
- [14] 王昶, 徐尖, 姚海琳. 城市矿产理论研究综述[J]. *资源科学*, 2014, 36(8): 1618–1625. [Wang C, Xu J, Yao H L. A systematic review of urban mining theory[J]. *Resources Science*, 2014, 36(8): 1618–1625.]
- [15] 李金惠, 宋庆彬. 中国城市矿产开发潜力、问题及对策研究[J]. *环境污染与防治*, 2014, 36(12): 96–99. [Li J H, Song Q B. Study on the developing status, problems and suggestions of urban mining in China[J]. *Environmental Pollution & Control*, 2014, 36(12): 96–99.]
- [16] 张晨阳, 刘学敏. “城市矿产”开发与利用研究进展[J]. *再生资源与循环经济*, 2015, 8(10): 32–37. [Zhang C Y, Liu X M. Research progress on development and utilization of urban mine[J]. *Recyclable Resources and Circular Economy*, 2015, 8(10): 32–37.]
- [17] 周永生, 章昌平. 国内外“城市矿产”研究与实践综述[J]. *学术论坛*, 2012, 35(4): 118–124. [Zhou Y S, Zhang C P. A summary of research and practice on “urban mining” at home and abroad[J]. *Academic Forum*, 2012, 35(4): 118–124.]
- [18] 周永生, 贺旋. 我国“城市矿产”发展战略研究[J]. *广西社会科学*, 2014, (11): 70–75. [Zhou Y S, He X. Research on the development strategy of china’s urban mining[J]. *Social Sciences in Guangxi*, 2014, (11): 70–75.]
- [19] 郭凌军, 周永生. “城市矿产”发展路径创新: 基于发展水平视角[J]. *湖湘论坛*, 2017, 30(3): 92–97. [Guo L J, Zhou Y S. Innovation in the development path of “urban mining”: Based on the perspective of development level[J]. *Huxiang Forum*, 2017, 30(3): 92–97.]
- [20] 葛荣凤, 许开鹏, 迟妍妍, 等. 京津冀地区矿产资源开发的生态环境影响研究[J]. *中国环境管理*, 2017, 9(3): 46–51. [Ge R F, Xu K P, Chi Y Y, et al. Eco-environmental impact of mineral resources exploitation in Beijing–Tianjin–Hebei Region[J]. *Chinese Journal of Environmental Management*, 2017, 9(3): 46–51.]
- [21] 张玉韩, 吴尚昆, 董延涛. 长江经济带矿产资源开发空间格局优化研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2019, 28(4): 839–852. [Zhang Y H, Wu S K, Dong Y T. Optimization of the spatial pattern of mineral resources development in the Yangtze River economic belt[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2019, 28(4): 839–852.]
- [22] 刘光富, 张士彬, 鲁圣鹏. 基于产品全生命周期理论的再生资源产业政策体系研究[J]. *科技进步与对策*, 2014, 31(9): 111–116. [Liu G F, Zhang S B, Lu S P. Research on policy system of renewable resources industry based on product life cycle theory[J]. *Science & Technology Process and Policy*, 2014, 31(9): 111–116.]
- [23] 彭花, 贺正楚, 潘红玉. 城市矿产开发利用的政策创新[J]. *矿业研究与开发*, 2016, 36(8): 105–109. [Peng H, He Z C, Pan H Y. Policy innovation on development and utilization of urban mineral resources[J]. *Mining Research and Development*, 2016, 36(8): 105–109.]
- [24] 杨敬增. “城市矿产”资源化与智慧城市建设[J]. *智能建筑与智慧城市*, 2019, 267(2): 14–18. [Yang J Z. “Urban mining” resources and smart city construction[J]. *Intelligent Building & Smart City*, 2019, 267(2): 14–18.]
- [25] Zeng X L, Mathews J A, Li J H. Urban mining of e-waste is becoming more cost-effective than virgin mining[J]. *Environmental Science & Technology*, 2018, 52(8): 4835–4841.
- [26] Zhang L, Qu J M, Sheng H, et al. Urban mining potentials of university: In-use and hibernating stocks of personal electronics and students’ disposal behaviors[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2019, 143: 210–217.
- [27] 王昶, 耿红军, 姚海琳, 等. 中国城市矿产政策演化研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(5): 92–101. [Wang C, Geng H J, Yao H L, et al. The evolution of urban mining policies in China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2017, 27(5): 92–101.]
- [28] 姚海琳, 向艳芳, 王昶, 等. 1987–2015年中国城市矿产政策的文献量化研究[J]. *资源科学*, 2017, 39(6): 1059–1070. [Yao H L, Xiang Y F, Wang C, et al. Textual and quantitative research on Chinese urban mining policies from 1987 to 2015[J]. *Resources Science*, 2017, 39(6): 1059–1070.]
- [29] Krook J, Baas L. Getting serious about mining the technosphere: A review of recent landfill mining and urban mining research[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2013, 55: 1–9.
- [30] Zhang X R, Bai Z K, Fan X, et al. Urban expansion process, pattern, and land use response in an urban mining composited zone from 1986 to 2013[J]. *Journal of Urban Planning and Development*, 2016, DOI: 10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000327.
- [31] Chen C M. Searching for intellectual turning points: Progressive knowledge domain visualization[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2004, 101: 5303–5310.
- [32] Chen C M. CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature[J]. *Journal of the American Society for information Science and Technology*, 2006, 57(3): 359–377.
- [33] Michel J B, Aiden E L, Shen Y K, et al. Quantitative analysis of culture using millions of digitized books[J]. *Science*, 2011, 331(6014): 176–182.
- [34] 郭崇慧, 魏伟, 任晓玲. 文化组学研究综述[J]. *情报学报*, 2014, 33(7): 765–774. [Guo C H, Wei W, Ren X L. A review on culturomics[J]. *Journal of the China Society for Scientific and Technical Information*, 2014, 33(7): 765–774.]
- [35] Callon M, Courtial J P, Laville F. Co-word analysis as a tool for describing the network of interactions between basic and technological research: The case of polymer chemistry[J]. *Scientometrics*, 1991, 22(1): 155–205.

- [36] Eck N J V, Waltman L. How to normalize co-occurrence data? An analysis of some well-known similarity measures[J]. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 2014, 60(8): 1635–1651.
- [37] Frey B J, Dueck D. Clustering by passing messages between data points[J]. *Science*, 2007, 315(5814): 972–976.
- [38] Sun L L, Guo C H, Liu C R, et al. Fast affinity propagation clustering based on incomplete similarity matrix[J]. *Knowledge and Information Systems*, 2017, 51(3): 941–963.
- [39] 李海林, 万校基, 林春培. 基于关键词重要性和近邻传播聚类的主题分析研究[J]. *情报学报*, 2018, 37(5): 533–542. [Li H L, Wan X J, Lin C P. Theme analysis based on keyword importance and affinity propagation clustering[J]. *Journal of the China Society for Scientific and Technical Information*, 2018, 37(5): 533–542.]
- [40] 郭学益, 严康, 田庆华. 城市矿产大数据应用展望[J]. *有色金属科学与工程*, 2016, 7(6): 94–99. [Guo X Y, Yan K, Tian Q H. Prospect for big data applications in urban mining[J]. *Nonferrous Metals Science and Engineering*, 2016, 7(6): 94–99.]

## Evolution of urban mineral resources research based on knowledge maps

WEI Wei<sup>1,2</sup>, LI Jinkai<sup>1,2</sup>, GUO Chonghui<sup>3</sup>

(1. Center for Energy, Environment & Economy Research, Zhengzhou University, Zhengzhou 450000, China;

2. School of Tourism Management, Zhengzhou University, Zhengzhou 450000, China;

3. Institution of Systems Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

**Abstract:** Urban mineral resources are an inevitable product of industrialization and urbanization process, which has significant ecological and economic values. Scientific and comprehensive research on urban mineral resources is conducive to their sustainable development and use. This study combined scientometrics with text mining methods, and took 4351 Chinese publications on urban mineral resources from 1988 to 2018 as the research object to quantitatively analyze the dynamic change of relevant research in this field over the period and future development. The results show that (1) The development of urban mineral resources research in China is in a bottleneck period and there are five main research teams in the field, mainly conducting theoretical research. Among these five teams, Zhai Xin and Zhou Yongsheng's teams begin earlier in this field in 2010-2014, Zhao Yuzhu and Li Jinhui's teams are more prominent in 2015-2016, and Wang Chang's team becomes more prominent in 2017-2018. (2) "Mineral Resources" (1995), "Sustainable Development" (2002), "Mining Cities" (2004), "Resource-Based Cities" (2005) and "Recycling Economy" (2007) play an important role of transition in the formation of "urban mineral resources" (2010), which is related to the deepening of people's understanding of urban mineral resources. (3) The research hotspots in this field are distinctive and clearly influenced by government policies in different time period, and incorporating social concerns is the future development trend. (4) Policy tools and technological advancement and innovation are the important topics for future research in this field. The analysis of change of urban mineral resources research based on literature mining can help researchers and decision makers to quickly understand and grasp the current status and trend of the research, and provide an important reference for the in-depth research and decision-making of urban mineral resource development.

**Key words:** urban mineral resources; knowledge map; scientometrics; text mining; change analysis