

城市污泥处置研究热点及其图谱可视化分析研究

于宝国¹, 许晓鑫¹, 詹然成¹, 李兴凯^{2*}, 韩培锋², 陈代果²

¹中国水利水电第七工程局有限公司南方分公司, 广东 深圳

²西南科技大学土木工程与建筑学院, 四川 绵阳

收稿日期: 2022年6月18日; 录用日期: 2022年7月20日; 发布日期: 2022年7月28日

摘要

随着城市的高速发展, 城市污泥处置成为不可忽视的重要内容。为了分析当今城市污泥处置领域的发展趋势及目前研究现状, 以“城市污泥处置”为主题词, 通过CiteSpaceV文献分析软件对1995~2022年中国知网的搜集到的579条文献数据进行可视化分析。结合CiteSpace软件的知识图谱, 研究结果表明: 1) 国内城市污泥处置领域的研究主要历经了缓慢增长阶段、稳定增长阶段和瓶颈衰减期三个阶段, 该研究领域研究起步比较晚, 但随着生态环境越来越受重视, 目前该领域的研究处于高速发展状态。2) 部分核心人员发文数量较多, 如刘佳昊、周桂清、侯永侠、宋雪英等学者是该领域的核心研究人员, 其发文量分别占总量的16.9%。但是其他大部分作者发文量普遍较少。沈阳大学环境学院重点实验室形成一家独大的局面, 发文频次是其他机构的五倍左右, 各机构的合作关系在未来应该有待加强。3) “城市污泥”、“污泥处置”、“资源化”、“重金属”等为近几年的研究热点词, “沼气利用”和“环境风险”在发展期为突现时间最长的关键词, “处置”是突现强度最强的关键词。相关学者在该领域已经形成各个合作较为紧密的关系网。本文研究结果可以为读者清晰梳理研究近年来的研究成果及研究热点, 使读者进一步理解城市污泥处置的发展脉络, 从而为相关学者追踪该领域近期热点以及发掘新的研究问题提供参考。

关键词

CiteSpace软件, 城市污泥处置, 研究热点, 知识图谱

Research Hotspot of Municipal Sludge Disposal and Its Map Visualization Analysis

Baoguo Yu¹, Xiaoxin Xu¹, Rancheng Zhan¹, Xingkai Li^{2*}, Peifeng Han², Daiguo Chen²

¹China Water Conservancy and Hydropower 7th Engineering Bureau Co., Ltd. South Branch, Shenzhen Guangdong

²School of Civil Engineering and Architecture, Southwest University of Science and Technology, Mianyang Sichuan

*通讯作者。

文章引用: 于宝国, 许晓鑫, 詹然成, 李兴凯, 韩培锋, 陈代果. 城市污泥处置研究热点及其图谱可视化分析研究[J]. 可持续发展, 2022, 12(4): 1214-1225. DOI: 10.12677/sd.2022.124138

Abstract

With the rapid development of the city, urban sludge disposal has become an important content that can not be ignored. In order to analyze the development trend and current research situation in the field of urban sludge disposal, 579 literature data collected by China Knowledge Network from 1995 to 2022 were visually analyzed by CiteSpaceV literature analysis software with “urban sludge disposal” as the key word. Combined with the knowledge map of CiteSpace software, the research results show that: 1) The domestic research in the field of municipal sludge disposal has mainly gone through three stages: Slow growth stage, steady growth stage and bottleneck attenuation stage. The research in this field started relatively late, but with more and more attention paid to the ecological environment, the research in this field is developing at a high speed at present. 2) Some core personnel have published a large number of articles. For example, scholars such as Liu Jiahao, Zhou Guiqing, Hou Yongxia and Song Xueying are core researchers in this field, and their articles respectively account for 16.9% of the total amount. However, most other authors generally publish few articles. The key laboratory of Shenyang University School of Environment has formed a dominant situation, and the frequency of publication is about five times that of other institutions. The cooperation among institutions should be strengthened in the future. 3) “Urban sludge”, “sludge disposal”, “resource utilization” and “heavy metals” are the hot research words in recent years, and “biogas utilization” and “environmental risk” are the key words that have emerged for the longest time in the development period, and “disposal” is the key word with the strongest intensity. Relevant scholars have formed a network of close cooperation in this field. The research results of this paper can clearly sort out the research achievements and research hotspots in recent years for readers, so that readers can further understand the development of urban sludge disposal, thus providing reference for relevant scholars to track the recent hotspots in this field and explore new research issues.

Keywords

CiteSpace Software, Municipal Sludge Disposal, Research Hotspot, Knowledge Atlas

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

污泥处置是指将污泥无害化处理后弃置于自然环境中(地面、地下)或再利用,能够达到长期稳定并对生态环境无不良影响并最终消纳方式[1]。随着我国城市的高速发展,污水处理厂和相应的污水处理设施也随之增加,污水处理率的提升同时也会使污泥的产量增加,如何有效环保地处理城市产生的污泥是国内外学者都致力研究的问题。由于我国污泥处置技术与国外先进水平相比较为落后,目前已经对城市居民的健康和生态环境造成了威胁,城市污泥的处理处置俨然成为我国可持续发展战略中不可忽视的重大问题[2] [3] [4] [5]。

西欧目前主要以间接热干化工艺为主,美国和英国以填埋和农用为主,而日本以焚烧为主。在国内,传统的污泥处置办法有:卫生填埋,焚烧和土地利用等,目前城市污泥的资源化处理技术有:建材化技术、材料化技术、污泥堆肥、农业资源化等技术[6] [7]。例如孟详东[8]在基于低温热转化下对污泥中磷

资源的迁移转化及回用进行了研究,为污泥的清洁高效资源化利用提供技术支持、理论基础和参考方案,李志豪[9]通过城市污泥液化制备生物沥青,黄明[10]通过研究城市污水污泥中重金属的生物沥滤技术试验,得出污泥中 Cu、Zn、Cd 是研究生物沥滤去除的主要对象。

可视化分析原理是指通过计量软件处理文献数据信息,分析某一领域研究热点及趋势,采用科学计量算法,绘制直观的图谱对某一学科领域进行数据化分析,从而起到总结研究现状及研究热点,指引未来研究方向的目的。自 2006 年 CiteSpace 引入中国后,国内学者利用该软件开展了大量的文献研究工作。公茂刚,李汉瑾,窦心语[11]基于 CiteSpace 文献计量分析了数字普惠金融研究进展、热点探析与趋势展望,马萨·达瓦拉扎尔利用 CiteSpace 软件科学分析了生物炭在土壤改良剂中的应用,调查这一领域的研究和发展,并找出存在的差距,为今后的研究提供建议[12]。玛丽亚·海伦娜·佩斯塔纳文献计量学分析应用于 1998~2017 年高级旅游研究,确定其智力结构、新趋势和未来研究机会[13]。本文将以一种新的角度,利用 CiteSpace 可视化分析,对我国城市污泥处置研究方向进行详细的知识图谱分析,以便于广大学者更清晰、直观地把握我国城市污泥处置研究的知识脉络,推动我国城市污泥处置的发展。

2. 数据来源和分析方法

2.1. 数据来源

为了深入了解“城市污泥处置”热点问题,了解相关领域机构,作者,及其之间的合作关系,本研究领域的发展状况,领域研究热点,进而更进一步研究该领域发展趋势,论文数据来源基于中国知网数据库(CNKI)以“城市污泥处置”为主题,检索区间为 1995 年~2022 年,共检索出 582 条相关文献,检索时间为 2022 年 5 月 1 日早上 9:30,进一步整理分类,排除重复文献,书评,信息报道后,共计检索得 579 条相关文献。

2.2. 分析方法

2.2.1. 分析方向

基于检索得 579 条基础文献,通过 CiteSpace 软件对其进行分析,通过 CNKI 可处理的数据源表达出作者及机构合作网络分析,关键词共现分析,本文将通过以上四个方面的知识图谱进行展开分析,通过分析知识图谱,了解学科内作者及机构之间的合作情况以及从关键词的共现程度判断学科目前发展趋势及热点研究方向。

2.2.2. LLR 对数似然算法

LLR 对数似然算法可以得出某个聚类的紧密程度。

而 Ochia 相似系数可以表达文本之间的共现率[14]。通过 Ochia 相似系数得出相似矩阵,可以比 bicomb 统计软件更好表达关键词的关联程度,其公式如下:

$$\text{Cos}(A, B) = \frac{|A \cap B|}{\sqrt{|A| |B|}}, (A \geq 0, B \geq 0)$$

A, B 分别代表关键词的出现频次, $A \cap B$ 代表关键词的共现频率,所以依据三角函数定理,当 $\text{Cos}(A, B) = 0$ 时, A, B 之间关联度为 0,当 $\text{Cos}(A, B) = 1$ 时, A, B 之间关联度为最大。

3. 结果与分析

3.1. 文献历年发文量分析

为了深入分析近年来学者在城市污泥处置方面的研究成果及研究热点,文章基于中国知网数据库(CNKI),以“城市污泥处置”为关键检索词开展文献检索,共计查询到 579 篇相关文献,开展本文的研

究工作。下图 1 给出了 1995 年~2022 年有关城市污泥处置的相关文献，对文献数量进行分析，从而对该研究领域发展趋势进行研究，具体数据如(图 1)所示。

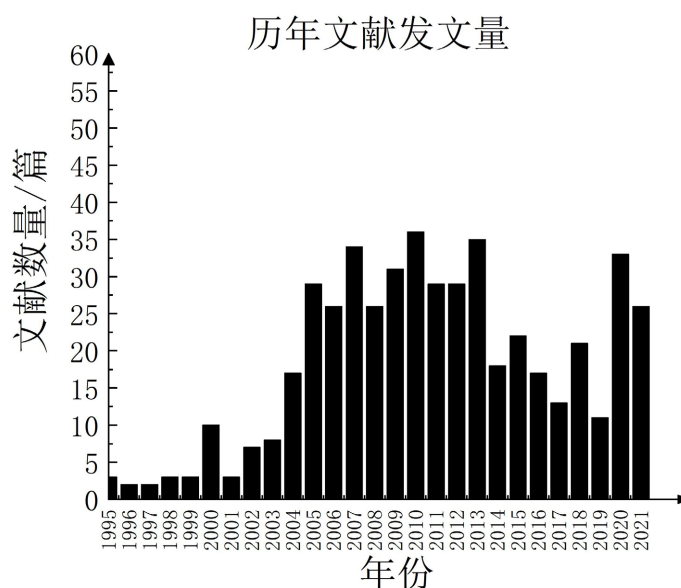


Figure 1. Analysis of the number of papers on “Urban Sludge Disposal” in China from 1995 to 2022

图 1. 1995~2022 年中国“城市污泥处置”发文数量分析图

从图 1 可知，国内城市污泥处置领域的研究从 1995~2005 年文章数量整体上呈现快速上升的发展趋势，其中 2010 年的发文量为最高，通过图 1 可以看出国内有关城市污泥处置的文献数量大致可分为三个阶段，1995~2005 缓慢增长阶段，该阶段的文献数量总数较少，且在前几年数量极少，到 2005 年才开始逐步增长，2005~2013 年历年发文量为稳定增长期，主要原因可能是国内的生态发展观已经逐步显露，随着我国对生态环境的重视，相关学者积极开展相关的研究工作，在 2013 年~2019 年之间文献发文量有所下降，此阶段为衰减期，原因可能是此阶段国内学者在此研究领域进入技术攻陷的瓶颈期，所以发文量有所下降。近两年此领域的发文量又有所增长，经调查发现，在此阶段是由于近几年国家经济高速发展，为了保证人与自然生态的和谐共生，国家开始颁布实施有关修复生态，注重生态文明的相关文件，所以国内学者开始重视污泥处置领域的研究。同时国内学者开展了大量的城市污泥处理处置与城市水质净化相关的研究工作，拓展了研究的范围。

3.2. 文献作者群体分析

在 CiteSpace 软件可视化图中，文献发表数量越多，则其节点越大，其中的连线则是作者群体之前的相互合作关系。下图 2 中，作者之间的合作关系节点共有 463 个，343 个连接，合作者之间的网络密度为 0.0032，说明合作者之间的合作关系较为分散。从下图 2 可以看出，在城市污泥处置学科领域中，作者合作网络聚类关系呈“整体 - 局部”状。结合表 1 可知，“整体部分”早期以杨嘉鑫、侯永侠、刘佳昊、陆庆轩、宋雪英、李玉双、魏建兵为合作团体进行了大量研究发文，近期以刘洪涛、高定、陈同斌、吴启堂为核心形成较为紧密的合作关系网络，还有余杰、姚金玲、王凯军、王海燕、于云江等核心作者组成的小合作网络，以刘佳昊、周桂清、侯永侠、宋雪英等学者为中心发表了大量的学科文献，其中排名前 4 的核心作者发文量分别占总量的 16.9%，在此之外，大部分作者都是发文量仅在 10 篇左右，说明

研究城市污泥处置的作者众多，且较分散，相关研究虽然已经形成体系，但合作关系网还不够紧密。同时还可以看出几个核心作者各自形成较为紧密的合作联系网络，他们之间的合作相对较紧密。而图 2 的“局部”中，只有部分学者之间存在单方面合作关系，没有形成交互形式。说明绝大部分的作者目前在该领域的研究各自为政，合作较分散，但是也可以看出，随着研究的深入，作者之间的合作逐渐增强，由此可推测，城市污泥领域未来的合作关系网络会越来越完整紧密，而学科发展也会逐渐走向成熟。



Figure 2. Number of papers published by authors of “Urban Sludge Disposal” in China from 1995 to 2022
图 2. 中国 1995~2022 年“城市污泥处置”作者发文量

Table 1. Statistics of published papers by authors of “Municipal sludge disposal” in China 1995~2022

表 1. 1995~2022 年中国“城市污泥处置”作者发文统计

序号	发文数量/篇	作者
1	28	刘佳昊
2	28	周桂清
3	28	侯永侠
4	28	宋雪英
5	15	李玉双
6	15	杨嘉鑫
7	14	杨慧敏
8	10	陆庆轩

3.3. 机构合作分析 166

基于 CNKI 中关键检索词得到 579 条相关的文献并对其进行研究机构的可视化分析，分析的节点类型为“NodeTypes = Institution”，检索时间长度为 1995~2022 年，时间切片“Year PerSlice = 1”，分析的阈值为 Top = 50，对 579 篇相关的文献开展可视化分析，筛选发文量排名前 8 名的研究机构，得到城市污泥处置发文机构图谱如图 3 所示，并整理排名得出表 2。

由图 3 可知，节点 N = 339，连接线 E = 0，网络密度 destiny = 0，综合表 2，图 3 分析得出，目前国

内研究城市污泥处置研究机构合作网络不紧密，沈阳大学环境学院重点实验室形成一家独大的局面，发文频次是其他机构的五倍左右，同济大学污染控制与研究实验室位居第二，其他机构对城市污泥处置领域的研究整体文献数量极少，且相互合作关系较弱，说明其他机构都是个别学者在开展相关的工作，可以看出还有待提升。在未来的研究中，各个机构还需加强团队之间的相互交流与合作。

CiteSpace, v. 5.8.R3 (64-bit)
 April 25, 2022 2:38:15 PM CST
 WoS: D:\CS\data for citespace\污泥处置\data
 Timespan: 1995-2022 (Slice Length=1)
 Selection Criteria: g-index (k=25), LRF=3.0, L/N=10, LB=5, e=1.0
 Network: N=339, E=0 (Density=0)
 Largest CC: 1 (0%)
 Nodes Labeled: 1.0%
 Pruning: None

沈阳大学环境学院区域污染环境生态修复教育部重点实验室

同济大学污染控制与资源化研究国家重点实验室

Figure 3. The institution of “Municipal sludge disposal” in China, 1995~2022

图 3. 1995~2022 年中国城市污泥处置发文机构图谱

Table 2. Ranking of “Municipal sludge disposal” publishing agencies in China, 1995~2022

表 2. 1995~2022 年中国“城市污泥处置”发文机构排名

序号	频次	机构
1	28	沈阳大学环境学院重点实验室
2	5	同济大学污染控制与研究实验室
3	2	东南大学环境工程系
4	2	河南省安阳态环境监测中心
5	2	中国环境科学研究院
6	2	上海市城市排水有限公司
7	2	江苏省环境监测中心
8	2	国家海洋环境监测中心

3.4. 关键词分析

3.4.1. 关键词共现图谱分析

关键词体现了文章的主要研究内容，是文章主要内容的凝练与概括，能够充分体现作者的研究方向与主要观点，关键词的中心性、频次，能够反映出某一时期内的研究热点情况[15]。通常文献中的关键词往往互相关联，为此通过文献中关键词共现分析可以反应该研究领域的主要研究内容，研究热点和方向，以及逐年的学科演化与发展，还可直观体现不同时期内的热点领域、分析视角与研究方法的变化[16]。首先，在 CiteSpace 中将时间切片定为 1a，取阈值为 Top N = 50 得出关键词的知识网络图谱，其中网络线的颜色反应了该关键词首次共被引的时间，从网络线的颜色变化就能整体上了解本研究领域的发展历程及时间坐标轴，因此可通过网络线颜色变化来分析该研究领域的演化过程。下图 4 给出了 1995~2022 年城市污泥处置领域的关键词图谱图。



Figure 4. Knowledge atlas of keywords of Urban Sludge Disposal from 1995 to 2022

图 4. 1995~2022 年城市污泥处置关键词知识图谱

通过图 4 可知，从学科发展演化的角度分析，关键词节点外圈出现紫色则代表此关键词为中心性最强的节点。结合图 4 共现关系连接线可知，如“城市污泥”、“污泥”、“污泥处置”、“资源化”、“重金属”等关键词为近 27 年来该领域的研究热点。关键词中心度(Centrality)反映的是该关键词与其他关键词的共现程度，反应的是该关键词连接其他关键词作用的大小度。通过 CiteSpace 对关键词中心度分析，可以进一步了解整个研究历程中城市污泥处置研究领域的重点方向及发展演化进程。通过量化关键词，使分析更加可靠，取 TopN = 10 的数据，在全部时间范围内进行统计得到下表 3。

Table 3. Key word centrality of “Municipal sludge disposal” in China from 1995 to 2022

表 3. 1995~2022 年中国“城市污泥处置”关键词中心度

序号	关键词	频次	中心度
1	城市污泥	180	0.58
2	污泥	111	0.36
3	资源化	84	0.10
4	污泥处置	79	0.44
5	重金属	63	0.24
6	处置	46	0.04
7	污泥处理	40	0.08
8	土地利用	35	0.09
9	处理处置	34	0.07
10	城区	28	0.00

结合表 3 可知，“城市污泥”、“污泥”、“污泥处置”、“重金属”分别为中心度较高的前 4 位关键词，说明在城市污泥处置学科领域中，涉及到此 4 类的关键词的研究较多。

3.4.2. 关键词聚类 LLR 算法分析

通过 CiteSpace 进行聚类分析,并基于 LLR 对数似然算法(Log-Likelihood Ratio),可以研究城市污泥处置的热点研究之间的紧密程度,从而判断研究热点的发展演化趋势。采用 CiteSpace 软件的快速聚类方法,提取关键词,调整阈值参数,得到图 5 所示的城市污泥处置研究热点聚类图谱。CiteSpace 利用其模块值(Modularity) Q 和平均轮廓值(Weighted Mean Silhouette) S 作为判断绘制效果的依据,如果 $Q > 0.3$,说明图谱的结构比较合理,如果 S 大于 0.7,说明网络图的同质性是合理的,且可信度较高[17]。图中 $Q = 0.8316 > 0.3$ 说明聚类结果显著,平均轮廓值为 $S = 0.9506 > 0.7$,说明聚类结果的可信度是非常高的。由此可以看出,1995~2022 年城市污泥处置领域研究,主要以图 5 中的 8 大聚类模块展开。通过聚类结构特征可以将学科研究分成特定的板块阐述学科研究方向,结合年份则可以研究该研究领域热点词的演化进程。通过平均年份可以得知学科发展初期在 2008 年左右,起步较晚,主要原因是在此之前国内经济水平相对落后,城市发展速度进程较慢,对城市污泥处置的重视还不够,而随着国家经济的快速发展,生态文明城市建设的理念越来越深入人心,城市污泥处置的紧迫性越来越受到重视[18],颁布一系列相关政策,国内学者开始对城市污泥处置处理技术逐渐加大研究力度。

在研究初期(1995~2005 年),国内学者开始重视城市污泥处置以及探究各种新颖的污泥处理技术,特别是在 2004 到 2005 年之间,此段时间内有关城市污泥处置的文章发文量较高,呈快速增长,即聚类#1、#2、#4; 研究中期(2005~2013 年),该阶段国内学者主要研究城市污泥处置新技术的开发资源化处理,并且开始考虑环境风险和生物炭利用,即聚类#0、#5; 研究近期(2015 年~至今),城市污泥处理处置的技术已经大概成熟,在对污泥处理技术开发的同时,更注重污泥的资源化利用比如污泥堆肥和建材利用等技术。整体研究发现,大部分聚类词平均年份较晚,说明城市污泥处置领域研究主要集中在 2005 年之后。随着我国经济高速发展,城市发展的同时也需要重视污泥的处置处理和控制在污泥的产量,后期需要继续加强该领域的研究。通过对关键聚类词的整理,将每个聚类排名前三的关键词列出,并对聚类进行量化分析,节点代表关键词,聚类包含关键词越多, ID 值越小,其研究领域更为广泛。从下表 4 可知,包含关键数量前三的为环境风险、处理、处置处理,说明针对城市污泥处置方面,主要是对于生态环境风险的评估进行开展,并且污泥处置处理技术的研究还是较为广泛,并且近几年对于生态修复的重视以及必要性愈发强烈,城市污泥处置必将成为我国可持续发展战略中不可忽视的一点。紧密程度体现每个聚类中的所有关键词的同质性,该数值越大,代表该聚类成员的相似性越高。每个聚类紧密程度均大于 0.8,说明聚类效果很好,同质性强,关键词之间联系紧密。如在“重金属”聚类中,“堆肥”、“填埋”和“焚烧”是最紧密的三个关键词,在“土地利用”聚类中,“污泥”、“处理处置”和“咸里化”联系最为紧密。

时间线视图(Time-line)将聚类分析和时间结合到一起,同一聚类的节点按照时间顺序会被排布在同一水平线上,同时不同聚类之间的联系也可以清晰展现在图中,Time-line 更加可以清晰直观的体现聚类的时间跨度以及历史进程,从而可以清晰展示城市污泥处置的演进。如图 6 所示,#6 剩余污泥,#7 强度最短,从 2001 年开始出现到 2015 年就消失; #0、#4、#5、#2 聚类代表的研究时间跨度最长; #1 聚类在 2020 年后就没有出现,可能由于在城市污泥处置技术方面已经相对成熟,由此可预测在未来几年内此领域的研究热点将不在这两类上,而#0、#2、#4、#5 等聚类在未来几年将持续作为研究热点进行探讨和研究。

3.4.3. 研究主题演进与研究前沿分析

通过 CiteSpace 软件的 Burst detection 功能可以探测某个时间段内突然大量出现在文献中的关键词。在进行关键词突现分析时,根据 1995~2022 年的研究情况,将突现词的最小持续时间设置为 2 年,

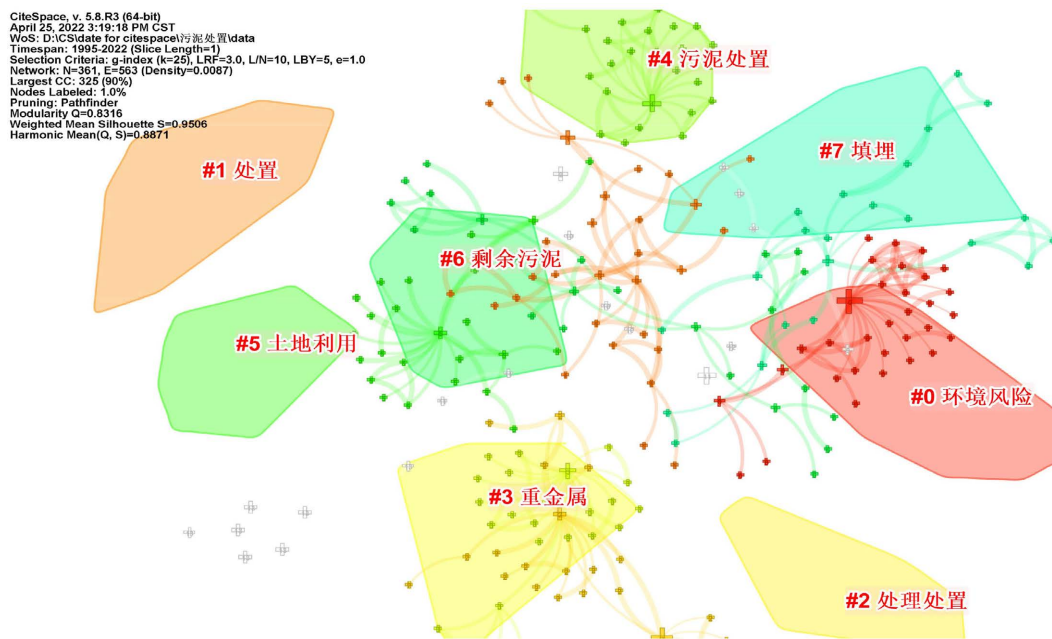


Figure 5. Cluster knowledge map of hot spots of urban sludge disposal research from 1995 to 2022
图 5. 1995~2022 城市污泥处置研究热点聚类知识图谱

Table 4. Detailed table of cluster analysis on research hotspots of municipal sludge disposal from 1995 to 2022
表 4. 1995~2022 城市污泥处置研究热点聚类分析详细表

聚类号	节点数	紧密程度	平均年份	TOP terms (重要关键词)
#0 环境风险	47	0.604	2009	污泥处置 64.71; 城市污泥 17.74; 污水处理 9.38
#1 处置	46	0.757	2010	重金属 38.92; 有机质 22.95; 污泥堆肥 17.75
#2 处理处置	43	0.779	2008	城市污泥 44.61; 架度脱水 17.09; 污泥 15.31
#3 重金属	39	0.847	2007	堆肥 36.78; 填埋 32.87; 焚烧 23.73
#4 污泥处置	39	0.742	2009	城市资源化 53.05; 环境风险 45.7; 生物炭利用 41.81
#5 土地利用	36	0.89	2010	污泥 43.65; 处理处置 37.48; 咸里化 28.14
#6 剩余污泥	34	0.795	2008	处置 30.83; 利用 25.93; 城市 21.58
#7 填埋	20	0.915	2000	现状上海市 20.06; 处置途径 13.33; 污泥填埋 13.33

共得到突现词 3 个，对突现关键词的强度、出现年份、结束年份、持续时间进行分类整理得到表 5 成果。从表 5 可以看出沼气利用和环境风险持续突现的时间最长为 8 年，而处置突现的持续时间只有 4 年，而且突现时间在发展前期，说明在发展期内国内学者的研究重点为污泥处置方面。

现对前四热度及频次最高的关键词进行分析，分别是“城市污泥”、“资源化”、“污泥处置”、“重金属”。

1) 城市污泥。早在 1978 年国家建委建研院城市建设研究所[19]提出了利用城市污水处理厂的沉淀或者上浮污泥制取沼气用于处理厂的动力，而后又有学者王豫林[20]对城市污水、污泥中气单胞菌的存在与分布情况进行了调查，从而说明污泥、污水在气单胞菌所引起疾病的传播中具有重要作用。还有张思靖[21]提出利用污泥转换成燃料油，直到今天，越来越多的污泥资源化处理技术越来越成熟，但随着城市的高速发展，城市产生的污泥量巨大，如何更加有效环保地处理处置污泥仍然是学科的研究热点。

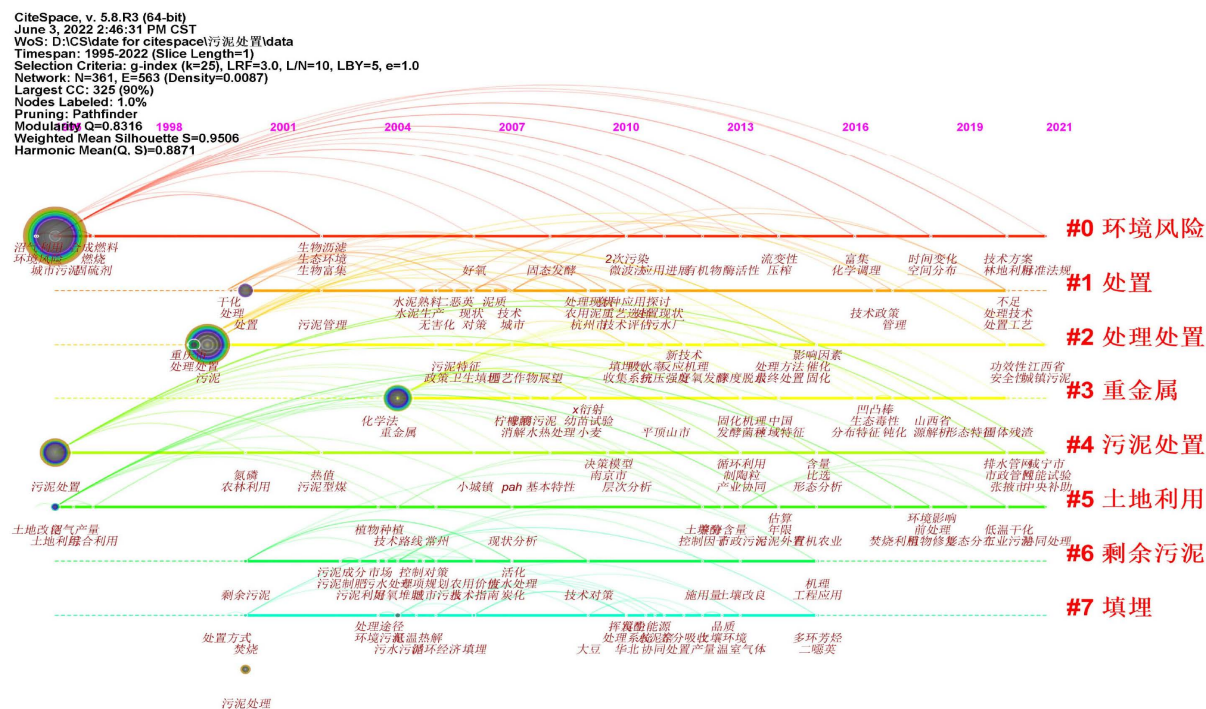


Figure 6. Time line clustering map of hot words in municipal sludge disposal research from 1995 to 2022

图 6. 1995~2022 年城市污泥处置研究热点词时间线聚类图谱

2) 资源化。在污水污泥的处理与处置方法中，以土地利用方式受到各国的普遍重视。污水污泥中含有能促进植物生长的氮、磷等养分和能改良土壤结构的大量有机质；把污泥经过堆肥化处理，使其中的有害成份减害化，便于贮藏、运输与使用[22]。除了将污泥应用在土地利用上面，还有一系列将污泥建材化的技术，这些技术属于污泥资源化，是污泥处理处置的技术手段，技术是不断发展革新的，所以对污泥处理的技术也会随着时间的推移逐渐增多。

3) 污泥处置。污泥处置是指将污泥无害化处理后弃置于自然环境中(地面、地下)或再利用，能够达到长期稳定并对生态环境无不良影响并最终消纳方式[1]，污泥处置方式有土地利用、建筑材料、综合利用、焚烧、卫生填埋等。由于我国在此学科领域方面的研究起步较晚，重视度不够，造成相关处理部门有“重水轻泥”的现象，且对污泥的处理工艺和配套设施不完整，收各地区环境因素影响，其污泥处置的效率并不高，所以后续在此方面的研究还需加强。

4) 重金属。由于污泥中有 Cu、Zn、Cd 等重金属，且 Cd 的污染危害最为突出。在实际应用中，由于金属元素进入土壤后，土壤条件的改变，有时会使土壤平衡受到破坏，有效态含量激增，故仍需考虑其总量指标[23]，目前方法是将处理剂加入含重金属的污泥中进行混合使其固化或者将其转移[24]。

Table 5. Emergent key word of “Municipal sludge disposal” in China from 1995 to 2022

表 5. 1995~2022 年“城市污泥处置”突现关键词

序号	关键词	强度	出现年份	结束年份	持续时间
1	沼气利用	3.9	1995	2003	8 年
2	环境风险	3.64	1995	2003	8 年
3	处置	5.2	2003	2007	4 年

4. 结论与展望

本文基于 CNKI 数据库,对 1995~2022 年城市污泥处置领域的文献进行了知识图谱可视化研究,分别从文献历年发文量,文献作者群体,机构合作关系及关键词共现等方面进行了详细的阐述,具体可得出以下几点结论。

1) 目前国内关于城市污泥处置的研究相较于较早年份有较大进展,不仅仅体现在发文数量上,学科相关研究人员在数量上也出现了增长,以刘佳昊、周桂清、侯永侠、宋雪英等学者为中心发表了大量的学科文献,其中排名前 4 的核心作者发文量分别占总量的 16.9%,且目前已经形成了遍地开花趋势,各部分有良好合作关系网络图,除此之外,相较于较早年份对于污泥处置生态性环保性的重视程度也变化较大,2013 年以后国内关于城市污泥处置的技术已经相对成熟,但仍有学者不断进行对此领域的研究,对技术的完善,对材料的探索创新,进一步推动污泥处置的发展与完善。目前学科整体发文量仍处在高速增长状态,但大部分机构的发文数量还不是很,沈阳大学环境学院重点实验室形成一家独大的局面,发文频次是其他机构的五倍左右,各机构的合作关系应该加强。

2) 通过关键词共现图谱,结合词频,中心度,聚类分析,“城市污泥”、“污泥处置”、“资源化”、“重金属”等为近几年的研究热点;“沼气利用”和“环境风险”在发展期为突现时间最长的关键词,“处置”是突现强度最强的关键词,污泥的资源化处置和污泥中重金属元素的转移是近几年研究较为突出重视的两个方面,由于污泥处置在工艺上还存在缺陷和不足,在研究此学科的过程中,需要重点关注这两方面。

3) 随着国家经济的高速发展与国民生活水平的提高,人们对生态环境和身体健康提出了更高要求,传统的污泥处置方式已经无法适应当代社会发展和国家的可持续发展战略,探究污泥的资源化利用势在必行。将生活生产中的废物作为原料加以利用,或对废物加工进行再生利用,是循环经济中废物资源化利用的重要内容。希望相关部门以后从行政、经济、人才、法律等方面有效治理污泥,相关学者大力研究污泥的资源化,逐步将污泥处置技术过渡到一个更加成熟稳定的阶段,真正实现污泥的无害化,稳定化于资源化。

基金项目

中国水利水电第七工程局有限公司 2021 年科技项目经费资助。

参考文献

- [1] 陈旭华,李晓军.城市污泥管理处置问题及对策[J].绿色科技,2020(6):158-161.
<https://doi.org/10.16663/j.cnki.lskj.2020.06.053>
- [2] 张晨,李学文.城市污泥的处理以及资源化利用[J].广东化工,2020,47(16):132-133.
- [3] 黄岚,封莉,杜子文,房思艺,张立秋.我国城市污泥土地利用瓶颈问题分析与对策研究[J].中国给水排水,2019,35(20):31-36.
- [4] 赵丽君,张大群,陈宝柱.污泥处理与处置技术的进展[J].中国给水排水,2001,17(6):23-25.
- [5] 陈红霞.生活污水处理与处置技术的研究进展[J].山西化工,2021,41(1):190-192.
<https://doi.org/10.16525/j.cnki.cn14-1109/tq.2021.01.71>
- [6] 杨裕超.城市污泥处理处置技术研究进展[J].化工设计通讯,2020,46(2):223+231.
- [7] 杨传玺,王小宁.城市污泥处理处置技术研究进展[J].科技创新与应用,2019(36):157-159.
- [8] 孟详东.基于低温热转化的污泥中磷的迁移转化及回用研究[D]:[博士学位论文].杭州:浙江大学,2021.
- [9] 李志豪.城市污泥液化制备生物沥青研究[D]:[硕士学位论文].重庆:重庆交通大学,2021.
- [10] 黄明.城市污水污泥中重金属的生物沥滤技术试验研究[D]:[博士学位论文].重庆:重庆大学,2009.

- [11] 公茂刚, 李汉瑾, 窦心语. 数字普惠金融研究进展、热点探析与趋势展望——基于 Citespace 文献计量分析[J/OL]. 兰州学刊: 1-12. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/62.1015.C.20220524.0939.002.html>, 2022-06-02.
- [12] Kamali, M., Jahaninfard, D., Mostafaie, A., Davarazar, M., Gomes, A.P.D., Tarelho, L.A.C., Dewil, R. and Aminabhavi, T.M. (2020) Scientometric Analysis and Scientific Trends on Biochar Application as Soil Amendment. *Chemical Engineering Journal*, **395**, Article ID: 125128. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.125128>
- [13] Pestana, M.H., Sánchez, A.V. and Moutinho. L. (2019) The Network Science Approach in Determining the Intellectual Structure, Emerging Trends and Future Research Opportunities—An Application to Senior Tourism Research. *Tourism Management Perspectives*, **31**, 370-382. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2019.07.006>
- [14] 韩增林, 李彬, 张坤领, 李璇. 基于 Citespace 中国海洋经济研究的知识图谱分析[J]. 地理科学, 2016, 36(5): 643-652.
- [15] 王萍, 刘涛, 杜萍, 杨国林. 2000-2017 年中国灾害风险研究的知识图谱分析[J]. 自然灾害学报, 2019, 28(4): 169-177.
- [16] 李杰, 陈超美. CiteSpace: 科技文本挖掘及可视化[M]. 北京: 首都经济贸易大学出版社, 2016.
- [17] 陈悦, 陈超美, 刘则渊, 胡志刚, 王贤文. CiteSpace 知识图谱的方法论功能[J]. 科学学研究, 2015, 33(2): 242-253.
- [18] 张贺飞, 徐燕, 曾正中, 郭浩磊, 潘玉. 国外城市污泥处理处置方式研究及对我国的启示[J]. 环境工程, 2010, 28(S1): 434-438.
- [19] 国家建委建研院城市建设研究所. 城市污水处理厂利用污泥制取沼气作为动力的探讨[J]. 建筑技术通讯(给水排水), 1978(1): 36-39.
- [20] 王豫林. 城市污水、污泥中气单胞菌及其病原学意义[J]. 环境与健康杂志, 1989(3): 12-14.
- [21] 张思靖. 城市污水处理厂污泥转换成燃料油[J]. 环境科学技术, 1990(2): 48.
- [22] 张增强, 薛澄泽. 城市污水污泥的堆肥化与资源化[J]. 环境保护, 1997(7): 12-15.
- [23] 杨居荣, 王素芬, 金玉华. 污泥中重金属对土壤的污染及控制途径[J]. 环境科学, 1982(3): 9-13.
- [24] 孙家寿. 含重金属污泥的处理方法[J]. 环境科学动态, 1985(2): 24-25.