

基于知识图谱的泡沫轻质土研究热点及发展趋势分析

徐冠虎¹, 王罗喜^{2*}

¹山东省公路桥梁集团建设有限公司, 山东 济南

²西南科技大学土木工程与建筑学院, 四川 绵阳

收稿日期: 2023年12月19日; 录用日期: 2024年2月19日; 发布日期: 2024年2月28日

摘要

随着我国对可持续发展的重视度不断提高, 在新型建筑材料中的应用逐步增多, 以“泡沫轻质土”为主题词讨论“泡沫轻质土”的应用发展状况及目前研究现状, 通过CiteSpace文献数据分析软件对2000~2023年CNKI中国知网上搜集到的494条文献数据进行可视化分析。结合CiteSpace分析出的图谱, 研究结果表明: 1) 泡沫轻质土研究领域经历了稳定-增长的发展阶段, 泡沫轻质土领域引起国内学者重视较晚, 但近10年研究处于稳步增长状态。2) 陈忠平、李洪亮、伊利亚, 刘勇, 张留俊等学者是该领域的核心研究人员。天津市市政工程设计研究院是该领域的核心机构, 广东盛瑞科技股份有限公司、中交第一公路勘察设计研究院有限公司和长安大学公路学院紧跟其后, 发文量在10篇以上。就整体合作情况来看, 每个机构彼此间都有合作关系, 其中天津是市政工程设计研究院和多家公司有着合作关系。3) 最近几年的热点主要集中在“数值分析”、“铁路特征”、“动力特性”、“铁路路基”上, 学者对泡沫轻质土特性的研究拓展其新的应用领域。本文旨在为读者清晰梳理泡沫轻质土近年来的知识脉络及研究成果, 从而便于相关学者系统阐述该领域前沿热点及研究状况。

关键词

泡沫轻质土, CiteSpace, 文献分析, 可视化分析, 知识图谱

Analysis of Research Hotspots and Development Trend of Lightweight Foam Soil Based on Knowledge Map

Guanhu Xu¹, Luoxi Wang^{2*}

¹Shandong Province Highway and Bridge Group Construction Co., Jinan Shandong

*通讯作者。

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

Received: Dec. 19th, 2023; accepted: Feb. 19th, 2024; published: Feb. 28th, 2024

Abstract

With the continuous improvement of China's attention to sustainable development, the application of new building materials is gradually increasing. The application development status and current research status of "foam light soil" are discussed with "foam light soil" as the main topic. Through the CiteSpace literature data analysis software, the 494 literature data collected by CNKI from 2000 to 2023 were visualized and analyzed. Combined with the atlas analyzed by CiteSpace, the research results show that 1) the research field of foamed light soil has experienced a development stage of stability-growth, and the field of foamed light soil has attracted the attention of domestic scholars late, but the research has been in a steady growth state in the past 10 years. 2) Chen Zhongping, Li Hongliang, Yi Lihua, Liu Yong, Zhang Liujun and other scholars are the core researchers in this field. Tianjin Municipal Engineering Design and Research Institute is the core institution in this field, followed by Guangdong Shengrui Technology Co., LTD., China Communications First Highway Survey and Design Research Institute Co., LTD., and Highway College of Chang'an University, with more than 10 papers. In terms of overall cooperation, each institution has a cooperative relationship with each other, among which Tianjin Municipal Engineering Design and Research Institute has a cooperative relationship with a number of companies. 3) In recent years, the hot spots mainly focus on "numerical analysis", "railway characteristics", "dynamic characteristics" and "railway roadbed", and scholars have expanded their new application fields by studying the characteristics of foamed light soil. This paper aims to clarify the knowledge context and research results of foam lightweight soil in recent years for readers, so as to facilitate relevant scholars to systematically describe the frontier hot spots and research status in this field.

Keywords

Foamed Lightweight Soils, CiteSpace, Literature Analysis, Visual Analytics, Knowledge Graphs

Copyright © 2024 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

随着人们对环境保护和可持续发展的关注, 新型建筑材料的选择和应用也越来越广泛, 而泡沫轻质土的应用对于实现工程基础设施建设中减荷、不均匀沉降、环保和可持续发展具有重要意义。泡沫轻质土具有轻质性、低弹减震性、低渗透性、高流动性、固化后的自立性等优良物理力学特性[1], 结合工程特可施工现场调整原料配合比、密度和强度。给施工带来了便利。目前针对泡沫轻质土的研究内容逐渐深入, 应用范围逐步扩大, 但是近 20 年对于泡沫轻质土的研究整体分析还有待提升, 缺乏较系统的定量分析。基于此利用 CiteSpace 文献计量分析软件, 区别以往对泡沫轻质土的研究分析方向, 对国内学者近 20 年来的研究成果进行数据可视化分析, 从而具体量化本领域研究的发展历程、热点变迁及预测未来的研究的方向, 为泡沫轻质土领域未来的研究提供参考。

目前,国内相关学者在“泡沫轻质土”领域发表了一系列的相关性文章,周中等学者通过 GA-BP 神经网络预测模型对泡沫轻质土的抗压强度进行调整和预测,对实现工程施工效率的提高提供参考[2];刘彬彬等在新建泡沫轻质土路涵过渡段工程中开展铁路泡沫轻质土过渡段行车动态测试,分析泡沫轻质土的动力响应特征[3];许江波等通过三轴剪切试验分析静力学作用下聚丙烯纤维加筋泡沫轻质土的剪切力学特性,分析了加筋泡沫轻质土随压力增大裂纹扩展的规律,强度随加劲肋变化的原因,并提出之后可对加筋泡沫轻质土的路用性能进行探究的研究方向[4];阮波等针对回填管道沟槽问题以振动加速度和动位移为动力响应指标开展了泡沫轻质土路面动力响应现场试验,得出泡沫轻质土回填区整体刚度较好,为之后回填管道沟槽的设计施工提供相关参考[5]。

可视化分析是指采用相关计量软件挖掘文本数据信息,分析研究领域热点,通过科学计量算法,整合分析文献数据进行科学绘图做出直观易懂的图谱等,对某一研究领域的认识有引导作用。自 2006 年, CiteSpace 引入国内后,许多学者开始应用可视化分析的方法对相关知识领域进行研究分析。如段海煦等利用 CiteSpace 和 VOSviewer 以 1990~2021 年期间文献为信息数据基础,对生态承载力、环境承载力和资源承载力研究进行了可视化分析,总结了不同时段的研究热点和演化过程[6];刘汉雄基于 CiteSpace 检索出 2010~2021 年的 851 篇坡离散元期刊论文,利用 CiteSpace 对该领域内论文的发表数量、国家/地区和机构、作者、高中心性关键词和突现词进行文献计量和可视化分析[7]。本文将基于 CiteSpace 对我国泡沫轻质土研究内容进行可视化计量分析,利用 CiteSpace 软件特点得出脉络图谱,系统分析泡沫轻质土领域研究深度、热点及发展方向,为后期研究提供借鉴。

2. 数据来源和分析方法

2.1. 数据来源

为进一步了解“泡沫轻质土”发展状况,结合相关领域机构、国家、作者、关键词分析其研究热点、知识脉络等多方位阐述泡沫轻质土方向上的发展状况,以便拓展对泡沫轻质土的认识,采用中国知网(CNKI)的数据库进行文献检索,以“泡沫轻质土”为主题对 2000 年~2023 年的相关文献进行检索,共检索出 500 条相关文献,检索时间为 2023 年 9 月 21 日下午 16:30,通过整理与审核,剔除重复文献及通知、报告、书评等非学术性文献后,最终获得有效样本 466 条。

2.2. 分析方法

2.2.1. 分析方向

基于检索得到 466 篇文献,通过 CiteSpaceV 对文献内容展开分析,CiteSpace 中无法分析 CNKI 的被引文献、作者、期刊三个部分,因此文献分析以合作作者、关键词、国家、机构四个节点为数据重点进行知识图谱可视化分析,多方位、深层次探索该领域各部分间的合作情况,对学科发展趋势和研究前沿借助共现程度和节点样态进一步探究,节点越大,该词出现的频次越高。

2.2.2. CiteSpace 软件分析

通过知网下载数据源,运用 CiteSpace 文献统计软件,设置参数对下载数据源分析从而得出科学知识图谱,利用所得图谱能够直观的对其知识域进行分析了解某学科内部间的结构和规律,并探索未来发展趋势和结构之间彼此的联系。CiteSpace 是一项需要 Java 运行环境支持的可视化文献分析软件,通过可视化图谱呈现学科领域中相互关系。当前,CiteSpace 主要用于知识图谱研究综述,快速锁定主题和科学文献,探测研究领域的核心信息、动态、整体发展历程和未来发展趋势等。该工具最初被用于教育、经济管理专业,近几年,在多学科交叉的影响下,初步在医疗、土木工程等学科领域发展。

2.2.3. LLR 对数似然算法

LLR 对数似然算法的结果表达聚类代表性。Ochiai 相似系数能表现出文本之间的共现率。

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

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

为进一步剖析近年来学术界在泡沫轻质土领域的主要研究成果及研究热点, 本文以中国知网数据库 (CNKI) 为依据, “泡沫轻质土” 为关键词开展文献数据检索, 共计检索到 500 篇有关文献, 去除重复文献以及通知、报告、书评等非学术性文献后, 得到 2000 年 1 月到 2023 年 9 月之间的 494 篇有效文献, 并对其内容展开数据分析。下图 1 给出了 2000 年~2023 年有关泡沫轻质土相关的文献, 利用统计出的各时间段发文数量探究该研究领域的发展趋势和研究热度, 具体数据由图 1 所示。

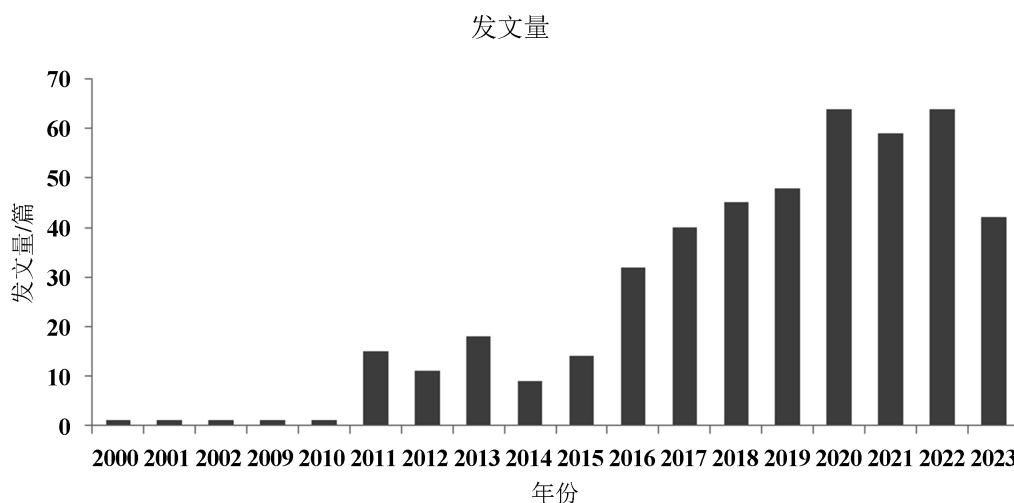


Figure 1. Analysis of the number of articles published on “foam lightweight soil” in China, 2000~2023

图 1. 2000~2023 年中国 “泡沫轻质土” 发文数量分析图

根据图 1 所显示, 关于泡沫轻质土的每年的、论文总量在近年来呈现出波动性变化的态势, 在 2000~2023 年间, 发文量整体上呈上升趋势, 其中 2020 年和 2022 年在所有年份中的发文数量最高, 共发表了 64 篇文献, 针对泡沫轻质土的发文量可以大致划为三个阶段, 初始发展阶段为 2000~2010, 每年仅有一篇发文量, 国内个别学者开始了对泡沫轻质土的探究, 第二个阶段是 2011~2015 呈现出上下波动状态, 在该阶段泡沫轻质土的每年发文数量不稳定, 总体数量依旧偏少; 从 2016~2023 年为第三阶段发文量有整体的提升, 可能是由于我国科学技术的进步、市场的需求以及对绿色环保理念逐渐加强, 引起国内学者的重视从而增加对泡沫轻质土的研究深度。

3.2. 文献作者群体分析

为分析泡沫轻质土领域中科研者文献发表间的学术联系, 通过 CiteSpace 对发文作者合作网络进行可视化分析, 图 2 中每个节点代表一位作者, 文献发表量的数量由节点大小来表示, 节点间连线则是指作

者间存在的联系和合作关系。经可视化分析可得, 该图谱中共计 292 个节点, 334 个连接, 网络密度为 0.0078。在泡沫轻质土研究领域, 作者合作网络图谱以“整体-局部”的形态呈现出来, 部分学者间相互联系, 团队内部联系紧密, 形成学术合作团队, 以陈忠平、李洪亮、刘勇、张留俊等人为中心构成了 4 个较大的团体, 另有少数学者处于独立研究的状态。由表 1 分析可知, 以泡沫轻质土为核心的科研文献已有相关研究, 发布文献数量较多的核心学者的发文量在 497 篇总体文献中分别占比 2.82%、1.61%、1.21%、1.21%, 占总数的 6.85%, 该领域中大部分作者的发文频次不足 5 篇, 且部分研究泡沫轻质土的科研人员较为独立。目前而言, 已经形成了以陈忠平、李洪亮、刘勇、张留俊等为中心的研究团体, 尤其以张留俊为中心的团队作者间合作密切, 形成良好的互动; 少部分学者间存在相互合作的关系, 极少数学者任是处于独自研究此学科领域的状态, 暂未与他人形成合作关系, 而团队与团队间鲜有合作。经图 2 分析可知, 目前我国泡沫轻质土以围绕核心作者为中心的网络合作已经初级规模, 但任有部分学者处于较分散的状态。由图谱分析, 泡沫轻质土领域作者合作关系网络会越来越完善, 团队间应加强合作交流以便让泡沫轻质土的研究走向成熟。

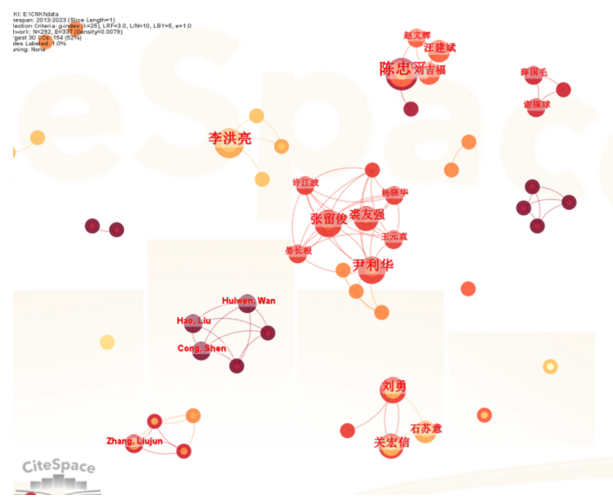


Figure 2. Number of publications by authors on “foamed lightweight soils” in China, 2000~2023

图 2. 中国 2000~2023 年“泡沫轻质土”作者发文量

Table 1. Statistics on publications by authors of “foamed lightweight soils” in China, 2000~2023

表 1. 2000~2023 年中国“泡沫轻质土”作者发文统计

序号	发文数量/篇	作者
1	10	陈忠平
2	8	李洪亮
3	7	尹利华
4	6	刘勇
5	6	张留俊
6	5	姜峰林
7	5	裘友强
8	5	关宏信
9	4	汪建斌
10	4	石苏意

3.3. 机构合作分析

以机构为节点类型进行检索, 共获得的 497 条文献开展可视化网络分析, 设置基础参数, 时间切片设置为 1, 取 2000~2023 年为该次检索区间, 阈值设置为 50, 即每时间切片的排名前 50 位机构, 将发文量 ≥ 5 以上的机构显示, 得到泡沫轻质土发文机构图谱如图 3 所示, 经数据统计后得出表 2。

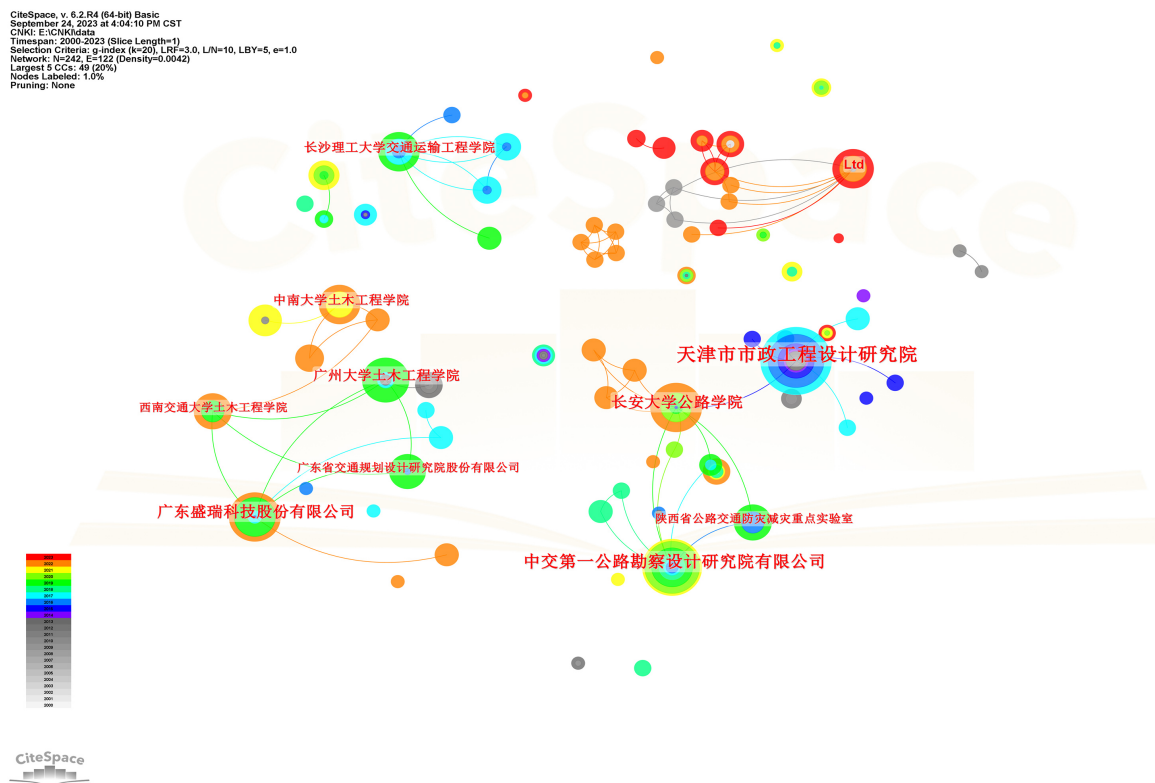


Figure 3. Mapping of foam lightweight soil issuing organizations in China, 2000~2023

图 3. 2000~2023 年中国泡沫轻质土发文机构图谱

Table 2. Ranking of authorized institutions for “foamed lightweight soil” in China, 2000~2023

表 2. 2000~2023 年中国“泡沫轻质土”发文机构排名

序号	频次	机构
1	19	天津市市政工程设计研究院
2	13	中交第一公路勘察设计研究院有限公司
3	10	广东盛瑞科技股份有限公司
4	10	长安大学公路学院
5	8	中铁第四勘察设计院集团有限公司
6	8	广州大学土木工程学院
7	6	广州大学
8	6	中南大学土木工程学院

由数据分析可得, 该图谱节点有 242, 连接线 E122, 网络密度 $density = 0.0042$, 结合表 3、图 3 分析得出, 几个主要核心机构间相互有联系, 国内泡沫轻质土研究机构合作网络较为密切, 天津市市政工

程设计研究院的发文成果最为突出, 中交第一公路勘察设计研究院有限公司的发文量紧跟其后, 可以看出泡沫轻质土的实际应用上在铁路方向上应用广泛, 对其研究较为深入, 国内对泡沫轻质土领域的研究方向还需进一步推广, 各个机构还需加强团队合作。

3.4. 关键词分析

3.4.1. 关键词共现图谱分析

通常一个领域中的关键词间互相存在着联系, 通过关键词共现分析可以得出研究领域内关键的研究方向, 以及逐年热点的演化与发展, 通过图谱能直观的得出不同时段内的热点领域、关联强度的变化。首先, 对 CiteSpace 中的基础数据进行调整, 得出关键词共现图谱, 图谱中, 节点颜色代表讨论热度, 越红则热度越高, 节点大小则表示关键词出现的频率, 进而可根据节点间连线情况、节点颜色变化和节点大小来推论研究领域中的迭代情况及未来趋势。下图 4 为 2000~2023 年泡沫轻质土关键词图谱。

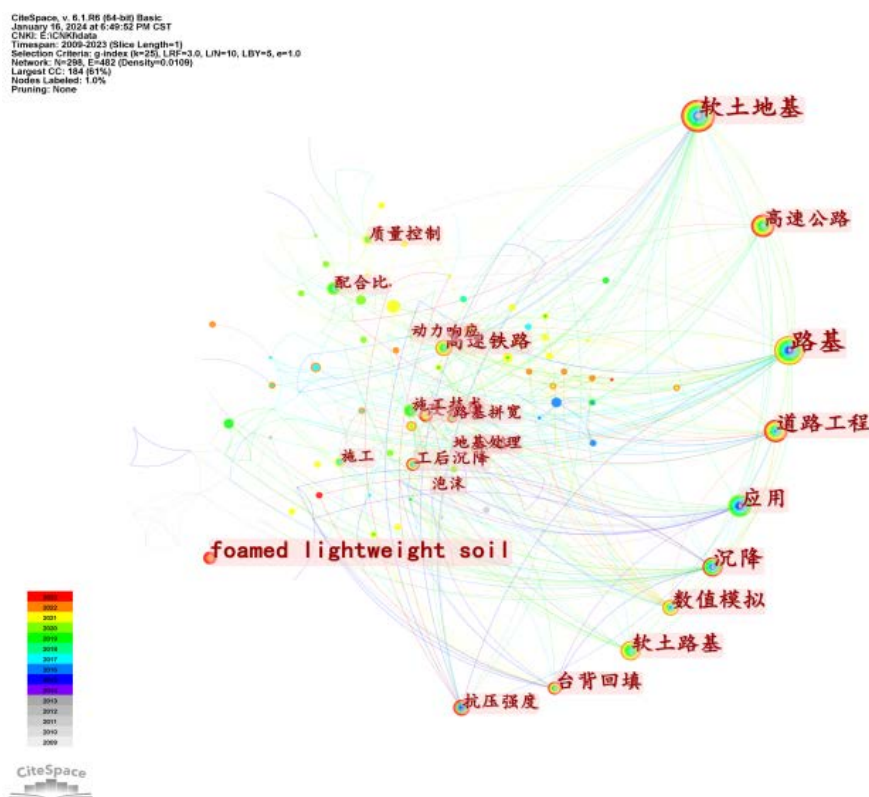


Figure 4. Knowledge map of foam lightweight soil keywords in China, 2000~2023

图 4. 2000~2023 年中国泡沫轻质土关键词知识图谱

根据图 4 分析可得, “软土地基”、“高速公路”、“数值模拟”、“道路工程”“抗压强度”等为最近几年的热点词汇; 高频关键词分别是“软土地基”、“高速公路”、“路基”等, “改扩建”、“抗压强度”虽然整体出现的频次不高, 但是近几年的研究热点, 经济的高速发展, 过去修建的道路难以满足现状, 这与我国的高速发展密切相关, 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, 表现的是该关键词的连接作用的大小度。通过 CiteSpace 对关键词中心度分析, 可以进一步了解整个时间过程中, 研究领域的重点方向。通过关键词的量化, 使结果更加可靠, 取 TopN = 10 的数据, 对全部时间范围内进行统计得到下表 3。

Table 3. Keyword center of “foamed lightweight soil” in China, 2000~2023
表 3. 2000~2023 年中国“泡沫轻质土”关键词中心度

序号	关键词	频次	中心度
1	软土路基	34	0.12
2	高速公路	32	0.03
3	路基	29	0.24
4	道路工程	22	0.09
5	应用	21	0.07
6	沉降	18	0.08
7	数值模拟	18	0.09
8	软土路基	17	0.05
9	台背回填	17	0.08
10	抗压强度	14	0.05

结合表 4 可知,“软土路基”、“高速公路”、“道路工程”、“应用”分别为中心度较高的前 4 位关键词。表明泡沫轻质土主要在公路、铁路、市政工程中有着广泛应用;此外针对泡沫轻质土在各种环境、空间中学者采用数值模拟的方法对其材料的基本物理性能进行模拟分析。泡沫轻质土的优良特性,在工况复杂、施工作业面小等特殊施工条件起着重要作用。尤其是路基工程相关应用,中国共产党的十八大以来,中国特色社会主义进入新时代,中国高铁建设迅速发展,一大批高铁建成开通,高铁运营的安全性、平稳性要求日益增高,路基基床作为承受荷载的主要结构根据泡沫轻质土的特点将其应用至路基工程逐渐成为当下发展趋势。蔡国庆[8]考虑路基长期受动荷载作用利用 Abaqus 软件分析泡沫轻质土路基的动应力和动位移。骆永震[9]通过使用 FLAC3D 软件,对以砂土和泡沫轻质土作为填料的软土路基上在施工过程中的应力以及位移变化规律进行了模拟和研究。

3.4.2. 关键词聚类 LLR 算法分析

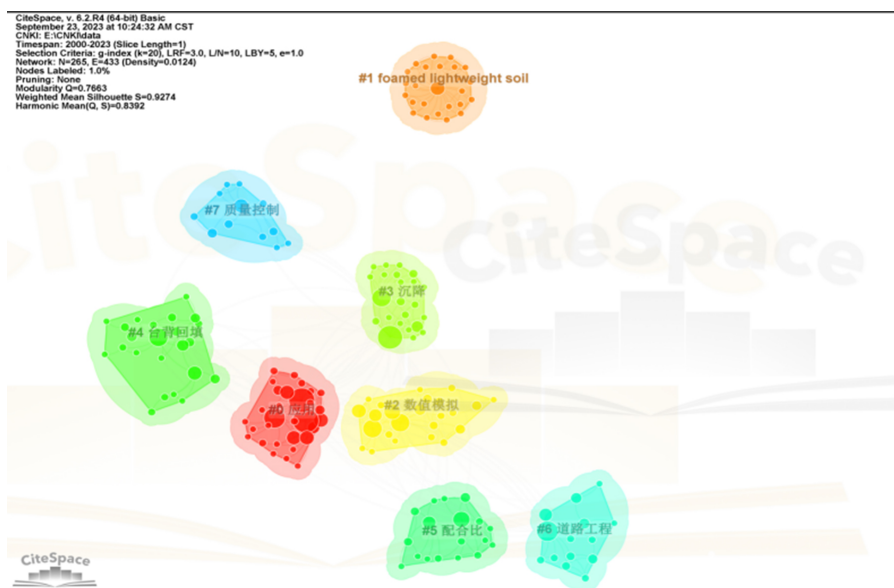


Figure 5. Knowledge map of foam lightweight soil clustering in China, 2000~2023
图 5. 2000~2023 中国泡沫轻质土聚类知识图谱

通过 CiteSpace 聚类分析, 并基于 LLR 对数似然算法(Log-Likelihood Ratio), 可以研究泡沫轻质土热点研究结构紧密程度, 判断研究热点。利用 CiteSpace V 中快速聚类法, 调整阈值, 提取关键词, 得到图 5 所示的知识图谱。该图中, 模块值(Modularity)为 $Q = 0.7663 > 0.3$ 说明聚类结果显著, 平均轮廓值(Mean)为 $S = 0.9279 > 0.7$, 说明聚类结果的可信度是非常高的。由此可得, 2000~2023 年对泡沫轻质土的研究, 主要对图 5 中 8 大聚类模块展开分析。利用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, 结合平均年份则可以研究学科领域的演化进程。通过平均年份可以得知学科发展初期在 2011 年左右, 我国于 2002 年开始引进泡沫轻质土, 2011 年前鲜有学者对该方向进项研究, 而 2011 年之后, 随着国家对可持续发展的重视, 新型建筑材料的应用逐渐增多, 国内学者对泡沫轻质土这一新型材料开始逐渐加大研究力度。

在研究初期(2000~2010 年), 以陈忠平为首开始初步讨论泡沫轻质土的基本概念、力学特性、公路工程中应用等; 研究中期(2010~2019 年)主要研究泡沫轻质土原材料间配合比对其力学特性的影响, 即聚类 #5; 研究近期(2020 年~至今)主要是在对泡沫轻质土利用有限元模拟得出结果为该领域实际工程建设提供有价值的参考对图谱整体进行分析, 大部分聚类词平均年份较晚, 对泡沫轻质土领域研究主要集中在 2010 年后几年内, 随着社会发展, 公路、高速铁路等道路修建增多, 不同道路间衔接导致沉降问题增多, 以及引入铁路作为减载的换填材料, 因此对该领域的研究成果日渐丰富。经过对关键词聚类分析法的资料收集, 将每个聚类排名前三的关键词列表, 对聚类进行量化分析(summary of clusters), 节点代表关键词, 聚类包含关键词越多, ID 值越小, 其分析范围更加广阔。据下表四显示, 涉及关键数量前三个为的分别为应用、泡沫轻质土、数值模拟, 表明对泡沫轻质土的应用和数值模拟的研究较为深入, 关于泡沫轻质土的应用上常在桥头跳车、新路旧路、公路与铁路间衔接导致的沉降, 管道沟槽填充等难题提供了很好的解决方案。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。其中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, 但聚类团之间彼此分离, 各研究联系相对分离。

Table 4. Detailed cluster analysis of foam lightweight soils in China, 2000~2023

表 4. 2000~2023 中国泡沫轻质土聚类分析详表

聚类号	节点数	紧密程度	平均年份	TOP terms (重要关键词)
#0 应用	30	0.891	2015	(22.51)高速公路; (22.51)软土地基; (21.74)应用; (21.05)公路; (20.84)改扩建
#1 foamed lightweight soil	25	1	2022	(11.95) foamed lightweight soil; (8.79) lightweight soil; (6.21) compressive strength; (6.21) grouting material; (6.21) bauxite tailings mud
#2 数值模拟	25	0.94	2019	(22.51)数值模拟; (18.63)软土路基; (16.05)路基施工; (16.05)动力特性; (15.63)高速铁路
#3 沉降	23	0.878	2016	(16.05)土压力; (14.5)沉降; (14.31)路基; (12.42)动应力; (12.42)应变
#4 台背回填	23	0.892	2015	(20.63)台背回填; (19.83)台背; (18.63)施工技术; (17.61)回填; (12.42)充填材料
#5 配合比	18	0.865	2016	(18.63)配合比; (15.63)抗压强度; (13.87)性能; (12.91)强度; (10.05)试验
#6 道路工程	14	0.93	2018	(18.68)道路工程; (16.05)水稳定性; (13.47)冻融; (12.42)路基工程; (12.42)发泡剂
#7 质量控制	12	0.977	2016	(18.63)质量控制; (12.63)控制; (12.42)施工工艺; (7.25)施工; (6.21)荷载验算

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,从而可以清晰展示泡沫轻质土的演进。如图 6、图 7 所示,大部分关键词从 2010 年开始显现,#4 台背回填的出现最长,从 2009 年开始一直有热度;#0 应用中软土地基在初期讨论最多,随着时间发展将泡沫轻质土用于路基拼宽和改扩建的讨论逐步成为热点,根据时间图谱和突现词可预测在未来该研究领域的前沿、热点和迭代情况继续是此两类,并且会拓展更多的应用方向,而#5 配合比的热度会有一定的下降。

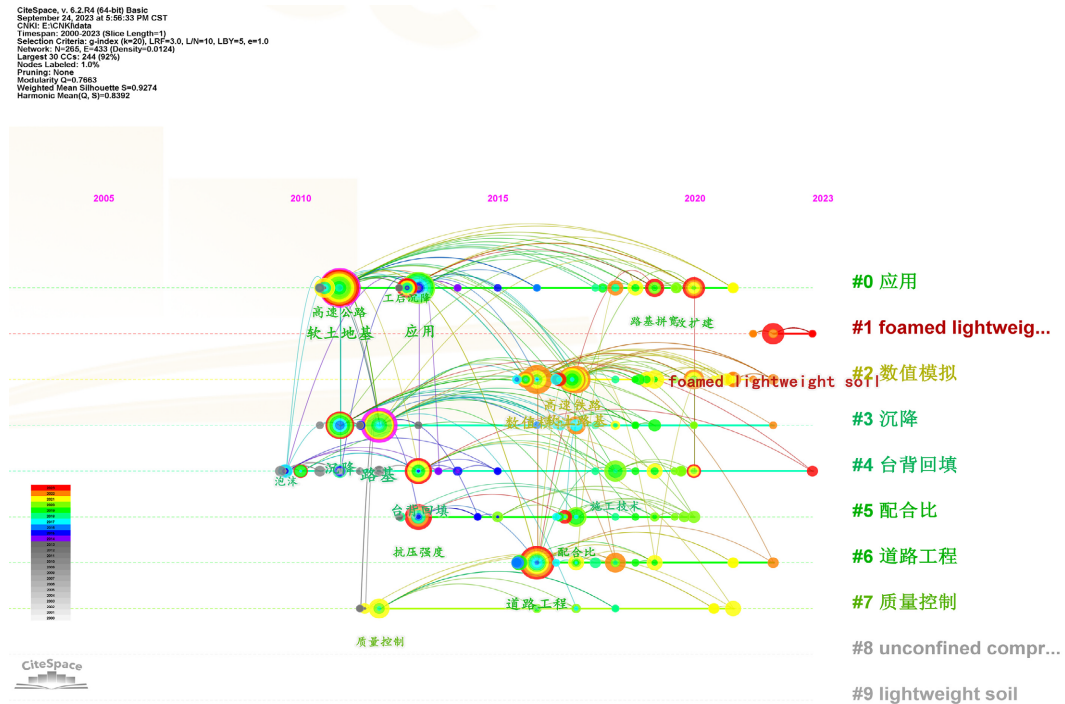


Figure 6. Timeline clustering mapping of foam lightweight soil in China, 2000~2023
图 6. 2000~2023 年中国泡沫轻质土时间线聚类图谱

Top 9 Keywords with the Strongest Citation Bursts

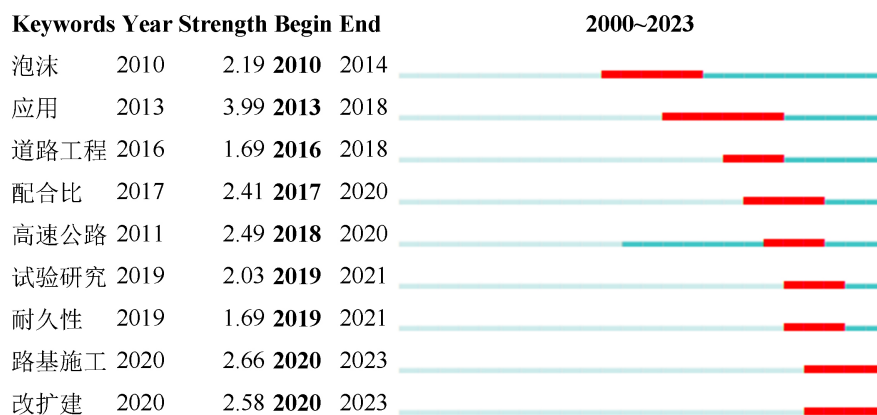


Figure 7. Mapping of foamed lightweight soil emergence terms in China, 2000~2023
图 7. 2000~2023 年中国泡沫轻质土突现词图谱

3.4.3. 研究主题演进与研究前沿分析

运用 CiteSpace 软件的 Burst detection 功能可以得出一段时期内研究较为集中的关键词。针对本次讨论 20 年的情况, 对各部分进行参数设置, 最小持续时间设置为 3 年, γ [0, 1] 设置为 0.5, 其余保持默认值, 获取 9 个突现词, 见图 6。从图 6 可以看出“应用”活跃时间最长, 强度最强, 泡沫轻质土凭借其优良的物理力学性能和良好的施工性, 积极将泡沫轻质土应用于实际工程建设中, 但也由于初期对泡沫轻质土研究较少, 对泡沫轻质土的应用局限于采空区的充填、软弱地基处理、道路工程等相关实际工程中; 自 2017 起, 为了更好的开发与利用泡沫轻质土, 以陈忠平为代表针对泡沫轻质土的原材料间配合比及制作从其密度、强度、应力应变、耐久性等各方面展开研究, 随着对泡沫轻质土研究的推进, 作者不再局限于材料本身状态的研究, 开始在动荷载状态下、酸碱、高温、冻融等各种特殊环境下开展泡沫轻质土力学性能的试验, 泡沫轻质土的应用开始向房建工程、公路路基、军事土建等重要工程领域迈进, 2015 年我国颁布了公路路基设计规范于“3.9 轻质材料路堤”中将泡沫轻质土作为减小路堤自重或土压力的路堤填料[10], 自 2020 年起“路基施工”和“改扩建”开始成为该领域的热点词汇, 初期对泡沫轻质土在路基上以理论研究为主, 陈成华[11]团队对纤维丝和网加筋泡沫轻质土力学特性和抗冻性的影响展开调查, 后期杭州东站首次将泡沫轻质土应用于铁路路基过渡段, 为之后雄忻高铁忻州西站站场、京沪高铁德州东站等路基相关工程应用提供了参考。

4. 结论与展望

以 CNKI 数据库为本次数据来源, 结合 CiteSpace 软件对泡沫轻质土领域 23 年内发展情况展开研究, 根据其年发文章量, 学者合作情况, 机构发文数量、聚类分析及关键词等得出的汇总数据进行知识图谱结构分析, 根据上述讨论得出以下结果: 1) 自 2000 年起, 国内学者开始了对泡沫轻质土研究, 泡沫轻质土以其优良特引起学者重视让泡沫轻质土的研究相较于较早年份有较大进展, 在研究人员和发文的数量上都有了显著提升。此外, 随着对泡沫轻质土的认识, 应用范围不再局限于铁路方向, 将其推广至更广阔的领域, 以促进泡沫轻质土的研究。2) 在泡沫轻质土研究领域, 天津市市政工程设计研究院形成了一家独大的局面, 其次是中交第一公路勘察设计研究院有限公司的发文章量占第二, 目前国内泡沫轻质土的研究机构还未形成一个成熟的合作网络, 国内对泡沫轻质土领域的研究还需多方面、深层次探讨, 各个机构间加强团队之间的合作。3) 通过图谱中相关信息等分析, 得出“路基拓宽”、“改扩建”、“数值模拟”、“路基施工”等关键词成为国内学关注的热点, 持续推进新型建筑材料的应用, 使泡沫轻质土凭借优良的特性有效取代部分材料解决实际困难。

针对上随着学者对泡沫轻质土的深入研究, 对泡沫轻质土在工程应用中, 如何更加精准地预测和调整泡沫轻质土的力学性能, 以提高施工效率; 测试泡沫轻质土在酸碱、高温、冻融等各种特殊环境下的力学性能规律; 此外, 近年来推动铁路高质量发展, 在平顺性和稳定性上高速铁路相对于普通铁路要求更高, 为讨论泡沫轻质土在特定状态下的适用性, 对其在有动力条件下的质量检测等可作为之后的研究方向。

参考文献

- [1] 杜素云, 刘启顺, 操龙玉, 等. 泡沫混凝土在绍兴软基地段路基工程中的应用[J]. 混凝土, 2013(4): 147-149.
- [2] 周中, 邓卓湘, 陈云, 等. 基于 GA-BP 神经网络的泡沫轻质土强度预测[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2022, 50(11): 125-132.
- [3] 刘彬彬, 曾志姣, 杨晨, 等. 公路下穿既有线新建泡沫轻质土路涵过渡段动力响应特性分析[J]. 铁道科学与工程学报, 2022, 19(6): 1577-1584. <https://doi.org/10.19713/j.cnki.43-1423/u.t20210610>
- [4] 许江波, 王元直, 骆永震, 等. 加筋泡沫轻质土三轴剪切力学特性[J]. 交通运输工程学报, 2020, 20(4): 120-133.

- <https://doi.org/10.19818/j.cnki.1671-1637.2020.04.009>
- [5] 阮波, 田江, 魏丽敏, 等. 泡沫轻质土回填管道沟槽路面表层动力响应研究[J]. 铁道科学与工程学报, 1-10. <https://doi.org/10.19713/j.cnki.43-1423/u.T20230566>
- [6] 段海煦, 曾维华, 陈家军. 基于 CiteSpace 和 VOSviewer 可视化分析的“生态、环境、资源”承载力研究[J]. 中国环境科学, 1-13. <https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20230606.002>
- [7] 刘汉雄. 基于 Citespace 的边坡离散元研究文献计量分析[J]. 路基工程, 2023(1): 63-69. <https://doi.org/10.13379/j.issn.1003-8825.202206051>
- [8] 蔡国庆, 韩博文, 蔡德钧, 等. 高速铁路泡沫轻质土路基动力响应分析[J]. 北京交通大学学报, 2019, 43(3): 8-15.
- [9] 骆永震, 许江波, 王元直, 等. 加筋泡沫轻质土路基施工过程应力变形模拟分析[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(25): 10379-10387.
- [10] 中华人民共和国交通运输部. 公路路基设计规范: JTG D30-215 [S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015.
- [11] 陈成华, 黄志超, 黄俊杰, 等. 纤维丝和网加筋泡沫轻质土力学特性和抗冻性[J]. 西南交通大学学报, 2023, 58(2): 462-469.