

基于知识图谱的砂卵石地层可视化研究及趋势分析

张方¹, 赵轲¹, 夏银勇¹, 韩延伟¹, 李兴凯^{2*}, 韩培锋², 陈代果²

¹山东省公路桥梁建设集团有限公司第四公司, 四川 成都

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4月21日; 录用日期: 2023年7月3日; 发布日期: 2023年7月11日

摘要

为了解当前砂卵石地层学科的发展动向和当前的研究状况, 以“砂卵石地层”为主题, 利用CiteSpace文档分析软件, 对CNKI在1965~2023年间收集到的465篇文献资料进行了可视化分析。研究发现: 1) 砂卵石地层的研究经历了三个时期, 即发展停滞期、稳定发展期和快速发展期, 这一领域受到了学者们的关注, 但是这一领域的研究正处在一个快速发展的时期。2) 何川、袁大军、方勇、晏启祥、白永学、漆泰岳等学者是该领域的核心研究人员, 其发文频次均在6以上; 西南交通大学交通隧道工程教育部重点实验室和北京交通大学该领域内的核心机构, 领域内各机构目前已形成较为成熟的合作关系网络。3) “砂卵石”、“盾构”、“数值模拟”、“盾构隧道”是最近几年主要的研究热点关键词, 相关学者已经对此进行了大量的研究。本文能够帮助读者更好地梳理国内外砂卵石地层研究的研究热点和研究最新进展, 同时也能追溯砂卵石地层研究领域的发展过程, 为相关学者跟踪这一领域的最新热点和未来发展趋势提供借鉴。

关键词

CiteSpace, 砂卵石地层, 知识图谱, 可视化

Visualization Research and Trend Analysis of Sandy Pebble Stratum Based on Knowledge Graph

Fang Zhang¹, Ke Zhao¹, Yinyong Xia¹, Yanwei Han¹, Xingkai Li^{2*}, Peifeng Han², Daiguo Chen²

¹The Fourth Company of Shandong Highway and Bridge Construction Group, Chengdu Sichuan

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

*通讯作者。

文章引用: 张方, 赵轲, 夏银勇, 韩延伟, 李兴凯, 韩培锋, 陈代果. 基于知识图谱的砂卵石地层可视化研究及趋势分析[J]. 地球科学前沿, 2023, 13(7): 681-691. DOI: 10.12677/ag.2023.137065

Abstract

In order to understand the current development trend and current research status of the sand and gravel geotechnical discipline, we used CiteSpace document analysis software to visualize and analyze 465 documents collected by CNKI from 1965 to 2023. It was found that: 1) The research on sandy pebble stratum has gone through three periods, *i.e.*, the period of stagnant development, stable development and rapid development, and this field has received attention from scholars, but the research in this field is in a period of rapid development. 2) He Chuan, Yuan Dajun, Fang Yong, Yan Qixiang, Bai Yongxue, and Chia Taiyue are the core researchers in this field, and the frequency of their publications is above 6. Southwest Jiaotong University Key Laboratory of the Ministry of Education for Traffic Tunnel Engineering and Beijing Jiaotong University are the core institutions in this field, and the institutions in the field have formed a more mature cooperative relationship network at present. 3) The terms “sand cobble”, “shield”, “numerical simulation” and “shield tunnel” have been the main research hot words in recent years. This paper can help the reader to better understand the terms “sand cobble”, “shield”, “numerical simulation” and “shield tunnel”. This paper can help readers to better understand the latest progress and hotspots of sandy pebble stratum research at home and abroad, and also trace the development of sandy pebble stratum research, so as to provide reference for scholars to follow the latest hotspots and future development trends in this field.

Keywords

CiteSpace, Sandy Pebble Stratum, Knowledge Graph, Visualization

Copyright © 2023 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

砂卵石地层是典型的力学不稳定地层，砂卵石地层具有岩石性质不均、软、硬程度不等、构造疏松等特征，尤其是近代堆积层，有些砂卵石层具有较好的粒配度和较高的孔隙比；有些颗粒级配不规则，颗粒之间充满了砾石、沙砾和粘性土[1] [2] [3]。勘探钻井时井壁易脱落，起钻后井壁易塌陷；遇上较大的浮石层位，往往因地震而产生移位，不能继续钻探。这样的土层一旦被钻透，就很容易打破原有的相对稳定或平衡状态，使得孔壁不再受限制，变得不稳定[4] [5] [6]。

当前，随着国民经济的快速发展，一批大中型城市已经开始或正在筹备中的地铁线路。在地铁建设中，必然会遇到各种复杂的地质条件，其中就包括了砂卵石地层，它的力学性质非常复杂，这也给地铁盾构施工带来了很大的困难，因此国内外学者对砂卵石土的静、动力学特性还有砂卵石地层盾构施工方面开展了大量的理论和实验研究[7] [8] [9] [10]；目前针对砂卵石地层的研究已经比较成熟、且研究内容较丰富，但是针对近 20 年有关砂卵石地层的研究整体分析还不足，缺乏较系统的定量分析近年来关于砂卵石地层的研究文献。基于此利用 CiteSpace 文献计量分析软件，区别以往对砂卵石地层的研究分析方向，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，从而为砂卵石地层领域未来的研究提供参考。

目前,国内相关学者在“砂卵石地层”领域发表了一系列的相关性文章,何川[11]等对盾构法建造地铁隧道所面临的技术问题进行了探讨,并对近年来国内外盾构设备的制作技术和选型技术、盾构施工对环境的影响和控制、盾构隧道在复杂条件下的结构性能、盾构隧道衬砌结构退化特点和耐久性等方面的技术研究和新发展进行了阐述;张明富[12]等人提出了工具磨损量与挖掘距离之间的一种拟合公式,该公式可为减少工具损耗和预测相似地层情况下盾构的最大挖掘距离等工程实践提供了理论基础;宋克志[13]等以北京市凉水河以南的下水道盾构工程为工程背景,基于泥浆法,开展了在砂卵石地层中,与单纯泥浆法相对比,并对其作用机制进行了分析。滕丽[14]等人以成都地铁1号线砂砾岩地层为研究对象,通过室内试验、PFC2D粒子流程序及Plaxis3D有限元软件,开展砂砾岩层下盾构隧道开挖过程的细观、宏细观数值模拟,揭示砂卵石地层层下土体的变形破坏机理及变形规律。

可视化分析指的是:通过计量软件挖掘其数据信息,对研究领域热点进行分析,利用计量算法,绘制简洁明了的图谱等方法,对某一领域知识展开方向分析[15]。从2006年开始,CiteSpace被引进到我国,很多的领域都运用了可视化的方法来对它们的知识热点进行了研究分析。如孙威[16]等运用知识地图可视化技术,分析了京津冀地区的文献总量特点、期刊与学科分布特点、研究机构的网络结构特点,并归纳出各阶段的研究热点及演变规律;邱均平[17]等对国内外计量经济学学科2008~2017年的文献通过可视化软件CiteSpace从年代分布、关键词、期刊、研究热点、研究前沿等方面进行了统计分析。本文将从一个新的视角出发,以CiteSpace可视化分析为基础,对国内砂卵石地层的研究方向展开详细的脉络图谱分析,为后续的发展提供借鉴。

2. 数据来源和分析方法

2.1. 数据来源

为了对“砂卵石地层”这一热点问题有更深刻的认识,对这一领域的研究机构、作者、他们之间的合作关系、发展现状、领域热点进行更深入的研究,本文的数据来源是以中国知网(CNKI)中的“砂卵石地层”为题目,搜索范围从1965年到2023年,一共搜索到470篇与之有关的文献,搜索时间截止到2023年2月16日上午9:30,经过对其进行分类,剔除掉重复的文献、书评和新闻报导,最终得到465篇与之有关的文献。

2.2. 分析方法

2.2.1. 分析方向及步骤

在CNKI获取的465条基础文献的基础上,将其导入到CiteSpace软件当中,然后勾选需要分析的选项,如:关键词、作者、机构等;接着拖动关键节点以达到其共现网络清晰明了的效果。将从以下几个方面进行分析:作者合作和机构合作网络分析、关键词分析、时间线分析、关键词突现。

2.2.2. LLR 对数似然算法

LLR对数似然算法能算出聚类之间的紧密程度。Ochiai相似系数则能表达出数据之间的共现率[13]。

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

A, B 分别代表关键词的出现频次, $A \cap B$ 表示着关键词的共现频率。

3. 结果与分析

3.1. 文献历年发文章量分析

为了更加深入的分析近年砂卵石地层领域的研究成果及研究热点,文章基于CNKI,以“砂卵石地层”

为关键词开展文献检索，选取 1965 年 1 月到 2023 年 2 月之间的共计 465 篇文献开展本文的研究工作。下图 1 给出了 1965 年~2023 年砂卵石地层相关的文献，对文献数量进行分析，如图 1 所示。

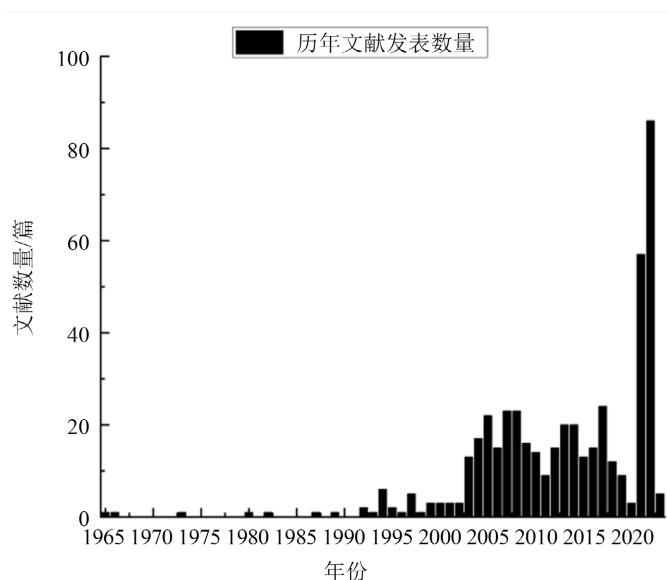


Figure 1. Analysis chart of the number of papers published in “sandy pebble stratum” in China from 1965 to 2023

图 1. 1965~2023 年中国“砂卵石地层”发文数量分析图

根据图 1 可以发现，最近几年，砂卵石地层研究的论文数量在整体上为快速增加的趋势，从 1965 到 2023 年，发文数量整体上都在增加，2022 年的发文量是最大的，从图 1 中我们可以看到，在我国，与砂卵石地层相关的文献数量大致可以被划分成三个阶段，在 1965 到 2000 年之间，这是一个缓慢增长的阶段，而在这期间，文献的数量也是比较少的。国内研究处于 2003~2019 年属于稳定发展时期，在这一阶段，关于砂卵石地层灾害的研究迅速增长，并且相对稳定，这可能是因为在这一时期，我国在该领域的工程建设量迅速增加，砂卵石地层工程问题变得更加突出，因此，这一时期的相关文献数量迅速增长。而 2020~2022 年是一个快速增长的阶段，这一阶段的文献数量迅速增加，这说明在这一阶段中，与地下工程有关的研究在不断增加，并引起了国内学者的关注。

3.2. 文献作者群体分析

本文通过 CiteSpace 对已有的研究成果进行可视化分析，通过对已有成果的 CiteSpace 进行可视化分析，发现中文成果随论文数量的增加而增加，并以此为结点，表示作者群之间的合作关系。在下面的图 2 中，共有 522 个节点和 525 个连接，以及 0.0039 的网络密度。在砂卵石地层研究领域，作者协作网络群落呈现出“全局 - 局部”的网络结构，多数研究者相互关联紧密，组成 4 个大型群体，少数研究者还处于分散状态。从表 1 可以看出，何川，袁大军，方勇，晏启祥，白永学，漆泰岳在 465 篇论文中，是发表论文数量最多的几个核心学者，分别占 2.58%，1.5%，1.29%，1.29%，1.29%，占总体的 7.95%。除了上述少数几位作者外，大部分作者发文频次均为 5，说明研究砂卵石地层灾害的研究团队较为集中，但是核心作者却较为稀少。

图 2 的分析表明，在作者身份方面，中国砂卵石地层已经形成了以核心作者为中心的合作网络，但大部分学者处于较为分散的状态，数量不多。由此可见，砂卵石地层学领域的合作关系网络将逐渐趋于完整。

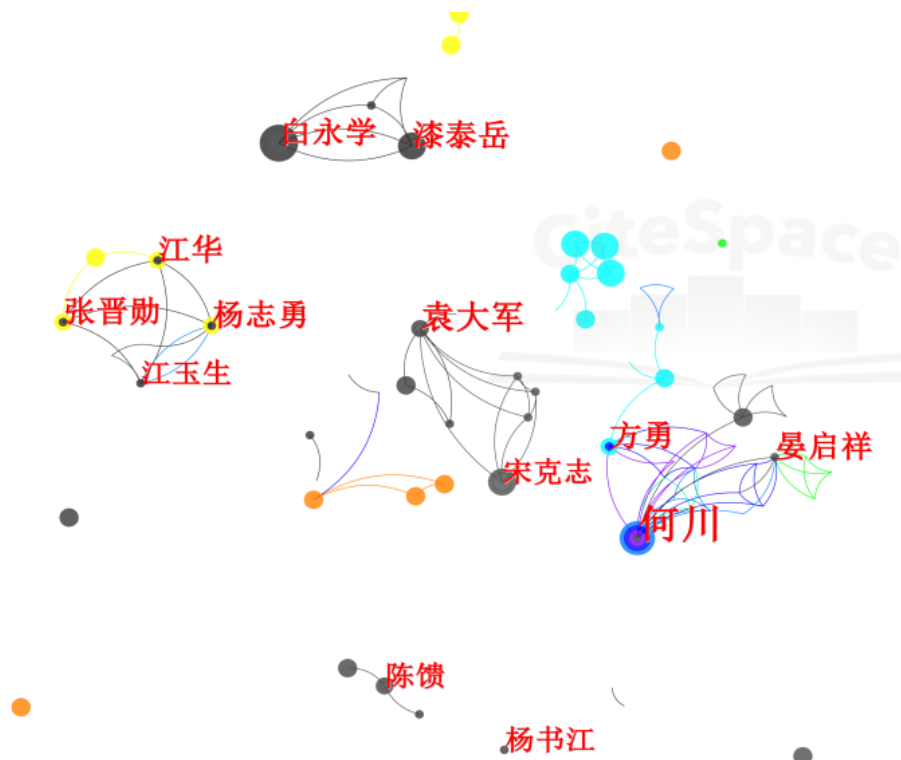


Figure 2. Number of articles by authors on “sandy pebble stratum” in China from 1965 to 2023
图 2. 中国 1965~2023 年 “砂卵石地层” 作者发文量

Table 1. Statistics of author publications on “sandy pebble stratum” in China from 1965 to 2023

表 1. 1965~2023 年中国 “砂卵石地层” 作者发文统计

序号	发文数量/篇	作者
1	12	何川
2	7	袁大军
3	6	方勇
4	6	晏启祥
5	6	张晋勋
6	6	白永学
7	6	杨志勇
8	6	江华
9	6	漆泰岳
10	5	陈馈

3.3. 机构合作分析

本文首先对 465 篇已搜索到的论文进行可视化机构网络分析, 搜索范围为 1965~2023 年, 阈值为 50, 将各时间段的前 50 个机构进行可视化分析, 将结果调整为仅显示发文量 ≥ 5 的机构, 并将其排序, 得出图 3。



Figure 3. Atlas of publishing organizations in “sandy pebble stratum” of China from 1965 to 2023

图 3. 1965~2023 年中国“砂卵石地层”发文机构图谱

Table 2. Ranking of “sandy pebble stratum” publishing agencies in China from 1965 to 2023

表 2. 1965~2023 年中国“砂卵石地层”发文机构排名

序号	频次	机构
1	25	西南交通大学交通隧道工程教育部重点实验室
2	20	北京交通大学
3	16	西南交通大学
4	10	中铁隧道股份有限公司
5	9	中国矿业大学力学与建筑工程学院
6	9	西南交通大学土木工程学院
7	8	中铁第一勘察设计院
8	7	北京市轨道交通建设管理有限公司

从图 3 中可以看到，节点 $N = 309$ ，连接线 $E = 175$ ，网络密度 $density = 0.0037$ ，从表 2 中可以看到，从图 3 中可以看到，在当前的情况下，我国砂卵石地层的研究机构之间的合作关系比较密切，其中，西南交通大学的交通隧道工程国家重点实验室占据着主导地位，北京交通大学的论文数量以及中铁隧道公司的论文数量位居第二，由此可以看到，不管是在理论研究方面，还是在设计实践方面，我国在砂卵石地层方面的研究都呈现出了一种百花齐放的状态，但是，各单位之间的协作还需要加强。

3.4. 关键词分析

3.4.1. 关键词共现图谱分析

通常来说，一篇文献中的关键词之间经常会有一定的关联，通过关键词共现分析，可以反应出学科的重要研究方向，也可以直观地反映出在不同的时间序列中的热点领域、分析视角与研究方法的变化[18]。首先，我们将 CiteSpace 中的时间长度设置为 1 a，然后将其设置为最大值 $N = 50$ ，这样就可以得到一个关键词的知识网，在这个知识网中，网线的颜色代表着被引用的时间。

然后，从总体上看，网络线的色彩变化，可以看出该学科的发展形势，从而可以从网络线色彩的变化，来观察学科的演变。下图 4 为砂卵石层 1965~2023 年的关键字图谱。

L10=10, LRF=1, w=1

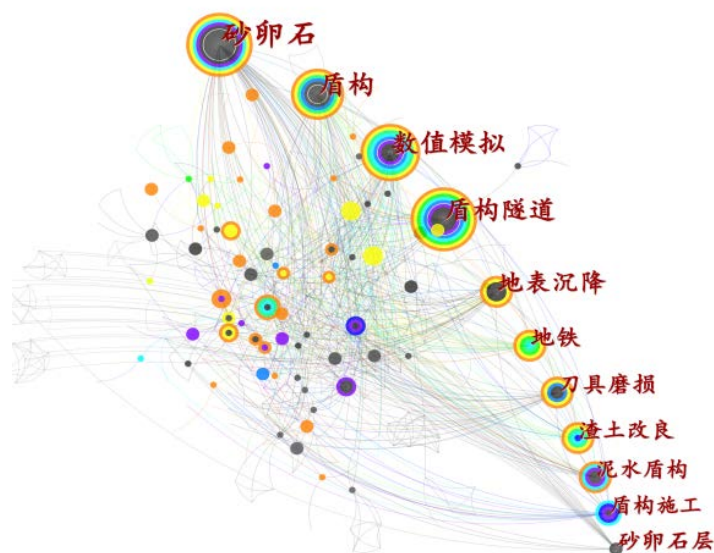


Figure 4. Keywords knowledge map of “sandy pebble stratum” in China from 1965 to 2023

图 4. 1965~2023 年“砂卵石地层”关键词知识图谱

由图 4 可以看出，从学科发展进化的角度来看，如果关键词节点的外围圈有紫色，那么就意味着这个关键词的中心性最强，与图 4 中的共现关系连接线相结合，可以看出，如“砂卵石”、“盾构”、“数值模拟”、“盾构隧道”、等为近 20 年的研究热点所在。关键字中心度反映了关键字与其它关键字的共现程度，体现了关键字的链接效应的大小。在 CiteSpace 中，通过对关键词的核心程度的分析，可以更好地了解每一个学科的发展方向。采用了对关键词进行量化的方法，可以让分析变得更加可信。选择了 TopN = 10 的数据，将整个时间段内的数据进行了统计，得到了下表 3。

Table 3. Keyword centrality of “sandy pebble stratum” in China from 1965 to 2023

表 3. 1965~2023 年中国“砂卵石地层”关键词中心度

序号	关键词	频次	中心度
1	砂卵石	45	0.38
2	盾构	41	0.17
3	数值模拟	40	0.19
4	盾构隧道	35	0.18
5	地表沉降	26	0.23
6	地铁	24	0.14
7	刀具磨损	16	0.06
8	渣土改良	16	0.05
9	泥水盾构	15	0.06
10	盾构施工	14	0.04

从表 3 可以看出，“砂卵石”，“盾构”，“数值模拟”，“盾构隧道”是最重要的四个关键词，这表明砂卵石地层领域对这四个关键字的研究已经很多了。

3.4.2. 关键词聚类 LLR 算法分析

在此基础上,利用 CiteSpace 聚类 and LLR 的对数似然算法,确定砂卵石层中的“热点”。使用 CiteSpace 的快速聚类算法,抽取关键字,从这一结果可以看出,在 1965~2023 年期间,砂卵石地层的研究工作,基本上是按照图 5 所示的八个主要的聚类来进行的。根据聚类结构特点,可以将一个学科划分为几个具体的板块来阐明一个学科的发展方向,并与平均年数相结合,可以对一个学科的演变过程进行分析。根据平均年份,我们可以知道,学科发展的初期是在 2011 年左右。这是因为,在 2011 年以前,学术文献太少,这说明在该阶段,对砂卵石地层的研究开发还很少,还没有引起学术界的足够关注。但是,11 年之后,随着砂卵石地层工程的增多,地下工程事故频繁发生,我国学者开始逐步加大对砂卵石地层的研究力度。

在前期(1965~2000 年),我国学者对砂卵石层的地层序列、力学性质、工程性质等进行了初步的探索,也就是聚类#7;在研究中期(2003~2020 年),重点是对砂卵石地层盾构施工技术的应用研究。国内学者提出了很多关键技术与理论原理,如泥土式盾构和泥水式盾构,即聚类#1、#2、#4、#6;研究近期(2020 年~至今)主要是在对砂卵石地层盾构施工技术的优化研究和对既有建(构)筑物的沉降影响和防控措施的研究,即聚类#3。整体研究发现,大部分聚类词平均年份较晚,说明砂卵石地层领域研究主要集中在 2011 年后几年内,近年来,随着诸如地铁施工等地下工程问题的不断增加,使得这方面的研究进入了一个相对稳定的发展阶段,在这方面的研究还有待于进一步加强。

对关键聚类词进行整理,对聚类进行分析。从表 4 中可以看到,包含了最重要的三个的是砂卵石、盾构和盾构施工,这表明了针对砂卵石土层和盾构施工技术的研究非常之多,而且对其进行了深入和广泛的研究,并且砂卵石地层常与修建地铁、地下管线隧道等重要交通枢纽联系在一起,另外由于近期诸多地下工程的建设,越来越多的学者开始关注地下工程对既有工程的沉降影响,尤其是砂卵石地层的工程地质情况下。在“砂卵石”聚类中,“砂卵石”、“盾构机”和“刀盘”是最紧密的三个关键词,在“盾构”聚类中,“盾构”、“渣土改良”和“卵石”联系最为紧密。

Time-line 更能清晰直观的体现出聚类的时间跨度和历史进程,从而可以清晰地展示出砂卵石地层的演变过程。

从图 6 可以看出,2#和 5#的强度是最小的,仅在 2009 年就出现了,其次是 7#地下水,在 1990~2009 期间出现;0#、1#、3#、4#、6#群集表示研究周期最长;2010 年之后,7 个聚类再也没有出现过,可以预见,今后的研究重点不会是这两个聚类,而是#0, #1, #2, #3, #4, #5, #6, #8 个聚类,都是值得讨论和研究的重点。

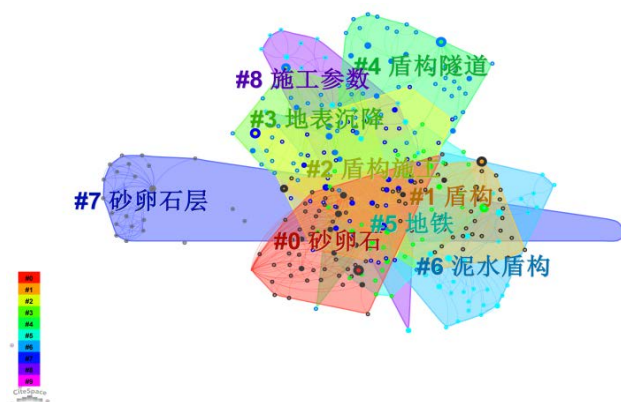


Figure 5. “Sandy pebble stratum” cluster knowledge map in China from 1965 to 2023

图 5. 1965~2023 中国“砂卵石地层”聚类知识图谱

Table 4. 1965~2023 China sandy pebble stratum cluster analysis table
表 4. 1965~2023 中国砂卵石地层聚类分析详表

聚类号	节点数	紧密程度	平均年份	重要关键词
#0 砂卵石	50	0.93	2001	砂卵石 24.77; 盾构机 19.05; 刀盘 11.38 超前地质预报(36.57); 突水(18.92); 数值分析(18.16)
#1 盾构	46	0.819	2009	盾构 17.78; 渣土改良 14.87; 卵石 11.94
#2 盾构施工	43	0.872	2012	盾构施工 20.84; 刀具磨损 17.14; 复合地层 11.2
#3 地表沉降	39	0.865	2013	地表沉降 21.41; 现场监测 12.92; 深基坑 12.51
#4 盾构隧道	36	0.875	2011	盾构隧道 19.96; 深孔注浆 17.91; 浅埋暗挖 9.12
#5 地铁	35	0.862	2015	地铁 21.59; 数值计算 17.8; 联络通道 17.8
#6 泥水盾构	31	0.918	2011	泥水盾构 33.76; 掘进参数 19.11; 施工技术 14.3
#7 砂卵石层	23	0.966	1994	砂卵石层 14.66; 地层层序 6.99; 褶皱 6.99

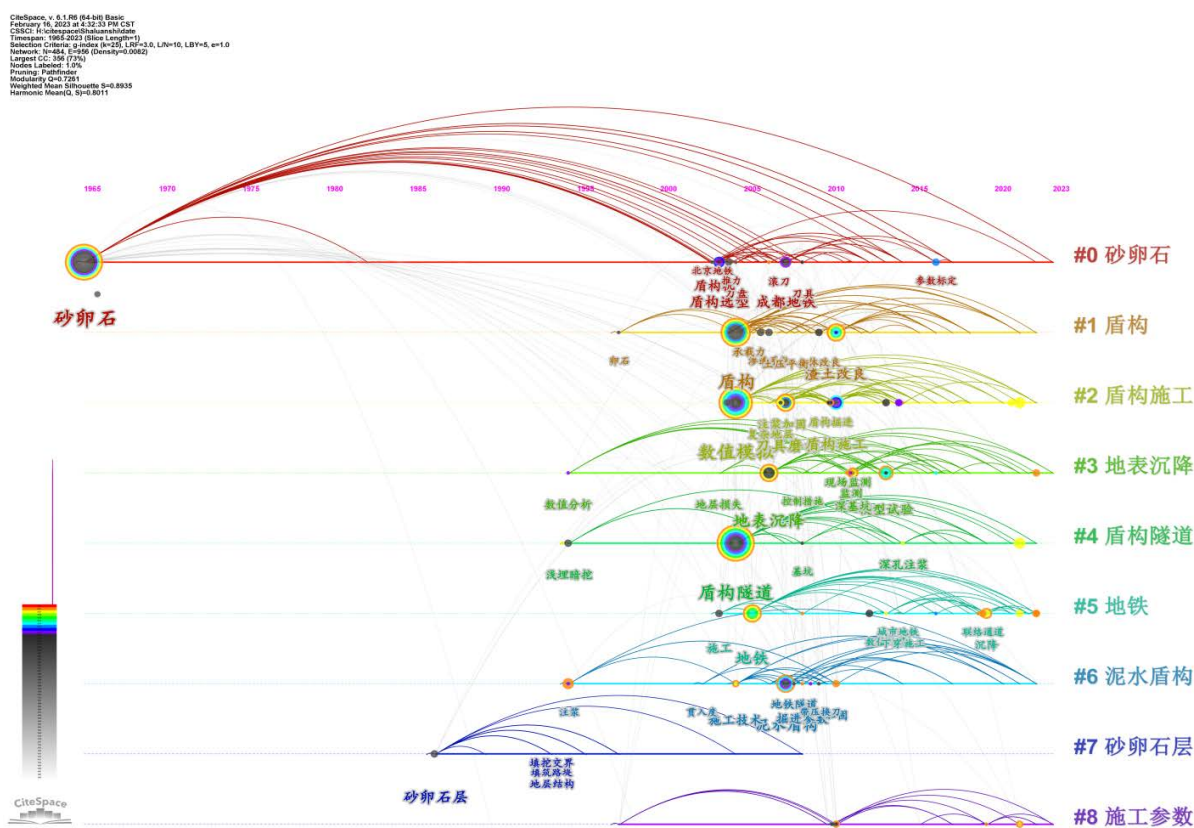


Figure 6. Cluster map of time-line of sandy pebble stratum in China from 1965 to 2023
图 6. 1965~2023 年中国砂卵石地层时间线聚类图谱

3.4.3. 研究主题演进与研究前沿分析

在某个特定的时刻，突出了很多关键字。在进行关键词浮现分析时，基于本研究 20 年的研究，将浮现词的最短持续时间设为 5 年，在其他设置均为默认值的情况下，共有 3 个突显词，并对突显关键词的强度、出现年份、结束年份、持续时间进行了排名，如表 5 所示。

从表 5 可以看出砂卵石层，盾构施工，砂卵石层出现的时间最长，这表明在很长一段时间里，我国

学者的研究重点都集中在了砂卵石层的理论原理上,在2010年出现的盾构施工虽然突现持续时间短,但是突现强度最强,说明在2010年左右,盾构施工是研究的热点方向,地铁的突现强度仅次于盾构施工,且凸显年份较近,说明在近几年建设地铁所遇到的工程问题是国内的研究热点方向,如董新平[19]等在富水砂卵石地层中,利用人工冻结法施工的基础上,研究了地层热力学参数、冻结参数和施工工艺对冻结壁厚度、交界时间和平均温度的影响。周瑶[20]等以北京地区富水砂卵石地层为研究对象,自主设计了动水注浆模型试验,基于均匀设计法研究了水泥浆在注浆压力、水流速度、水灰比和地层渗透系数共同影响下的浆液空间分布形态及扩散规律;张佩[21]等人以砂砾岩地层中砾岩倾斜角度对其工程力学特性的影响为研究对象,将岩层物质看作是砂砾岩与土的混合介质,构建了砂砾岩地质条件下的2D细观有限元模型,并进行了不同砾岩倾斜角条件下的隧道开挖数值模拟。最后,将围岩应力数值与理论数值进行比较,以检验该细观模型的适用范围。然后,从岩体应力、岩体变形等方面,研究了在不同倾斜角度下,隧道开挖过程中的围岩响应。

Table 5. Emergent keyword of “sandy pebble stratum” in China from 1965 to 2023

表 5. 1965~2023 年中国“砂卵石地层”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	砂卵石层	4.39	1986	2008	22 年
2	盾构施工	4.8	2010	2017	7 年
3	地铁	4.47	2017	2023	6 年

4. 结论

本文基于 CNKI,对 1965~2023 年砂卵石地层领域的文献进行了知识图谱结构分析,可以得到如下几个结论。

1) 与几年前相比,国内对砂卵石地层的研究有了很大的进步,从论文发表的数量和相关科研人员数量的增长上都能看出来。何川,袁大军,方勇,晏启祥,白永学,漆泰岳,都是这一领域的核心科研人员。此外,2010 之后的聚类结果更多,这也进一步促进了砂卵石地层的发展和完善。当前,该学科的总体发文量保持在一个相对平稳的水平,但各个学者之间的合作还需要逐步加强。

2) 在砂卵石地层研究领域,西南交通大学交通隧道工程教育部重点实验室形成了一家独大的局面,其次是北京交通大学,目前国内砂卵石地层研究机构已形成较成熟的合作网络,从这一点来看,不管是在理论研究方面,还是在设计实践方面,我国在砂卵石地层方面的研究都呈现出了一种百花齐放的状态,但是各机构之间的协作还需要加强。

3) 根据关键字共现图,并对词频、权重和聚类进行了分析,发现近年来比较热门的关键词是“砂卵石”,“盾构”,“数值模拟”,“盾构隧道”;在今后的研究中,应着重于渣土改良与盾构施工。

5. 展望

随着近几年国内发展迅速,各个行业积极响应国家“深空”“深陆”的计划,因此地下工程的未知性和复杂性还亟待研究解决,当前,我国学者重新开始关注这一领域,并表现出快速发展的趋势;一方面说明砂卵石地层的工程地质特性还未研究透彻,另一方面说明人们对于地下工程对既有工程的影响机理还需要进一步深入研究和探索。

在未来研究砂卵石地层领域中,各学者和机构之间应该继续加强彼此之间的合作与联系。砂卵石地质条件下的地下工程对地表和既有工程的沉降影响和预警控制方面的理论研究取决与对砂卵石地层情况

的认知深度,随着数值模拟技术的发展,这一技术的发展,不但可以节省实验的时间和费用,而且还可以从多个角度,对实验数据进行准确而快速的分析。

资助项目

山东省公路桥梁建设集团有限公司国道 212 线苍溪回水至阆中双龙段公路 2021 年科技项目经费资助。西南科技大学高教研究专项课题(20GJZX02);西南科技大学 2019 年度本科教育教学改革与研究项目(19xn0063)。

参考文献

- [1] 白永学,漆泰岳,李有道,等. 浅埋砂卵石地层盾构开挖面稳定性影响因素研究[J]. 铁道学报, 2013, 35(3): 115-121.
- [2] 刘睦峰,彭振斌,王建军,等. 砂卵石层泥浆护壁与旋挖钻进工艺[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2010, 41(1): 265-271.
- [3] 胡群芳,李敏,王飞. 我国城市地铁隧道盾构施工刀具磨损性分区研究[J]. 现代隧道技术, 2016, 53(2): 26-34.
- [4] 胡长明,张延杰,谭博,等. 富水砂卵石地层土压平衡盾构隧道碴土改良试验研究[J]. 现代隧道技术, 2017, 54(6): 45-55.
- [5] 王俊,王闯,何川,等. 砂卵石地层土压盾构掘进掌子面稳定性室内试验与三维离散元仿真研究[J]. 岩土力学, 2018, 39(8): 3038-3046+3054.
- [6] 田四明,赵勇,王丽庆,等. 大直径铁路盾构隧道设计及选型技术研究[J]. 现代隧道技术, 2019, 56(2): 1-9.
- [7] 何珺,张成平,杨公标,等. 砂卵石地层非对称连拱隧道结构受力模型试验研究[J]. 土木工程学报, 2017, 50(4): 116-124.
- [8] 刘泓志,李辉,赵亮,等. 泥水盾构掘进砂卵石夹黏土地层泥饼处置技术研究[J]. 隧道建设(中英文), 2022, 42(S1): 442-448.
- [9] 韩龙强,吴顺川,高永涛,等. 富水砂卵石地层露天矿止水固坡技术研究及应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2022, 41(12): 2460-2472.
- [10] 刘泓志,干聪豫,赵亮,等. 基于地质条件变化的泥水盾构动态施工技术研究[J]. 现代隧道技术, 2022, 59(3): 246-253.
- [11] 何川,封坤,方勇. 盾构法修建地铁隧道的技术现状与展望[J]. 西南交通大学学报, 2015, 50(1): 97-109.
- [12] 张明富,袁大军,黄清飞,等. 砂卵石地层盾构刀具动态磨损分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2008(2): 397-402.
- [13] 宋克志,汪波,孔恒,等. 无水砂卵石地层土压盾构施工泡沫技术研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005(13): 2327-2332.
- [14] 滕丽,张桓. 盾构穿越砂卵石地层地表沉降特征细宏观分析[J]. 岩土力学, 2012, 33(4): 1141-1150+1160.
- [15] 韩增林,李彬,张坤领,等. 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.
- [16] 孙威,毛凌潇. 基于 CiteSpace 方法的京津冀协同发展研究演化[J]. 地理学报, 2018, 73(12): 2378-2391.
- [17] 邱均平,沈恕谔,宋艳辉. 近十年国内外计量经济学研究进展与趋势——基于 CiteSpace 的可视化对比研究[J]. 现代情报, 2019, 39(2): 26-37.
- [18] 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.
- [19] 董新平,于少辉,张毅豪,等. 地铁联络通道冻结法施工中涌水成因及防治[J]. 地下空间与工程学报, 2022, 18(1): 322-329+340.
- [20] 周瑶,谢志清,刘长友,等. 富水砂卵石地层动水注浆模型试验[J/OL]. 地下空间与工程学报: 1-12. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1169.tu.20230112.1548.001.html>, 2023-07-17.
- [21] 张佩,刘泽昊,齐吉琳,等. 卵石倾角对砂卵石地层隧道开挖影响的细观力学研究[J]. 工程力学, 2022, 39(10): 48-60.