

基于知识图谱的软土承载力研究热点及发展趋势分析

解永团¹, 子文达¹, 刘祥¹, 王永昶¹, 龚钰凯², 李言昂², 韩培锋², 陈代果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: 2024年4月1日; 录用日期: 2024年5月19日; 发布日期: 2024年5月31日

摘要

为了分析并了解当今软土承载力领域的发展趋势及目前研究现状, 以“软土”为主题词, 在结果中搜索“承载力”, CNKI收集的2010年~2024年的345条文献记录, 利用CiteSpace文献分析软件对其进行可视化分析。软土承载力研究领域经历了缓慢下降-快速下降-稳定的发展阶段, 在早期学者对这个研究领域的关注较早, 但现在该领域的研究正在稳定发展。刘汉龙、王建华、刘松玉等学者是该领域的核心研究人员, 其发文频次均在5以上。天津大学水利工程仿真与安全国家重点实验室和河海大学岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室为领域内核心研究机构。近年来, “承载力”和“软土”和软土地基, 成为研究热点, 相关学者在这一领域取得了一系列的研究成果。本篇研究成果, 能够有效帮助人们进一步梳理软土承载力研究领域最近的研究目标及其现状, 同时通过追溯十多年多年间的主要研究发展历程, 还可以提供相关研究学者对进行该学科的近年重点研究和未来发展预测工作作为借鉴。

关键词

CiteSpace, 软土地基, 承载力, 复合地基

Research Hotspot and Development Trend Analysis of Soft Soil Bearing Capacity Based on Knowledge Graph

Yongtuan Xie¹, Wenda Zi¹, Yi Liu¹, Yongchang Wang¹, Yukai Gong², Yan'ang Li², Peifeng Han², Daiguo Cheng²

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

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

Received: Apr. 1st, 2024; accepted: May 19th, 2024; published: May 31st, 2024

文章引用: 解永团, 子文达, 刘祥, 王永昶, 龚钰凯, 李言昂, 韩培锋, 陈代果. 基于知识图谱的软土承载力研究热点及发展趋势分析[J]. 地球科学前沿, 2024, 14(5): 686-696. DOI: 10.12677/ag.2024.145063

Abstract

In order to analyze the development trend and current research status of the sand and gravel strata field, with “soft soil” as the theme word, “bearing capacity” was searched in the results. CNKI collected 345 literature records from 2010 to 2024, and used CiteSpace literature analysis software to visually analyze them. The research field of soft soil bearing capacity has gone through a slow decline, rapid decline, and stable development stage. In the early days, scholars paid attention to this research field earlier, but now research in this field is steadily developing. Scholars such as Liu Hanlong, Wang Jianhua, and Liu Songyu are core researchers in this field, with a publication frequency of over 5. The State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety of Tianjin University and the Key Laboratory of Geotechnical Mechanics and Dam Engineering of the Ministry of Education of Hohai University are the core research institutions in the field. Soft soil foundation, bearing capacity and soft soil are the main research hot words in recent years, and relevant scholars have made a series of research achievements in this field. The research results of this article can effectively help people further clarify the recent research goals and current situation in the field of soft soil bearing capacity. At the same time, by tracing the main research development process over more than ten years, it can also provide relevant researchers with reference for conducting key research in recent years and predicting future development in this discipline.

Keywords

CiteSpace, Soft Soil Foundation, Bearing Capacity, Composite Foundation

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

我国软土分布广泛，随着我国交通运输行业的高速发展和基础设施建设投入的不断增加，我国公路不可避免地需要穿越广阔的软弱土地区。软土路基具有承载能力低、沉降变形量大、施工维护困难等特点，极易产生路基病害，威胁道路的运行安全，对软弱地基采取合适的加固措施研究十分重要[1]。对此，大量学者进行了深入研究。刘大华[2]等以公路软土地基实际工程为背景，对水泥搅拌桩加固软土地基的施工工艺及质量控制技术进行了探讨，详细介绍了采用强度试验及静载试验进行成桩检测的全过程，为软土地基水泥搅拌桩复合地基的施工与设计提供了参考。马龙祥等[3]对于深厚淤泥软土地层桩基承载力性状研究得出① 扩孔直径、锚固段长度、地层摩擦角以及杆体倾角对扩大头锚索的极限抗拔力影响均较大，但相较而言，增大扩孔直径对提高扩大头锚索的极限抗拔承载力更为有效；② 提出的理论计算公式可以对淤泥质软土地层中扩大头锚索的极限抗拔承载力进行较为可靠的分析。谭鑫[4]等采用有限分法对软土地基中碎石桩单桩竖向受荷破坏全过程进行数值模拟研究。重点分析了桩体鼓胀变形、桩侧土压力演化以及由此决定的单桩破坏模式与典型荷载沉降曲线。

软土承载力作为工程建设研究的基础，目前，软土承载力已经成为全球科研人员和相关行业的关注焦点，近些年来发展迅猛，发表的文章数量也在逐步增加。由于其诞生的时间不长，涉及的领域和学科非常广泛，因此有必要深入了解近些年国内软土承载力的发展情况，以便把握未来的研究方向。

可视化分析是一种利用数据挖掘、领域分析、科学测量和绘图等技术手段,对特定领域的知识进行有针对性的分析,能够有效地帮助用户进行知识导航。CiteSpace 于 2006 年问世,成为这一领域的重要工具。许多学科领域采用可视化分析方法研究和分析其知识焦点。基于 CiteSpace 软件,施源[5]等人进行了可视化分析,检索了 2002~2022 年发表的 1567 篇文章,并进一步研究了光力杀菌技术论文的地域和机构分布。众多学科领域都在使用可视化分析方法对其知识热点进行研究和分析。本文也将运用 CiteSpace 进行可视化分析,对我国软土承载力进行详细的脉络图谱分析,探索学科领域研究的热点以及未来发展方向。

2. 数据来源及研究方法

2.1. 数据来源

为了深入了解“软土承载力”的热点问题,了解到相关机构,作者以及他们之间的合作关系,发展的情况,热点话题,为了能够更加深一步了解到该领域的发展趋势。本研究所使用的数据均来源于中国知网中文期刊,以“软土”为主题。在结果中搜索了承载力,并且检索范围是 2010 年至 2024 年,检索出 345 条相关文献检索时间为 2024 年 2 月 19 日下午 15:34。

2.2. 分析方法

2.2.1. 分析方向

在以检索得到 345 条文献为基础,通过 CiteSpaceV 对其进行分析,因为软件无法得到 CNKI 的文献的共被引数据,关键词共现分析,本文主要通过通过对相关学者合作网络与机构的相关合作网络的分析上来通过研究分析知识图谱,近年来,学者们通过研究“承载力”和“软土”,揭示了作者和机构之间的联系,以及评估了该学科领域的发展状况和研究热点方向,其中关键词的共现程度发挥了重要作用。

2.2.2. CiteSpace 软件分析

通过知网所下载的数据源,使用 CiteSpace 文献统计应用软件,科学知识图谱是一个计量学引文研究的新方法,它的主要研究对象以知识域为主,很直观的表现出科学知识的结构特征与规律,并深刻的研究其演变历程和结构之间的关联[6]。CiteSpace 是一款基于 Java 语言编写的文献计量软件,用于分析和可视化科学技术领域的知识结构,揭示研究热点、动态、前沿和发展趋势等方面的深入发现[7]。这种方法最初在教育、企业管理等专业领域得到了广泛应用,最近几年,在各专业交叉的态势下,也已经在土木工程、医学等专业中初步开展研究。

2.2.3. 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。Ochia 相似系数能表现出文本之间的共现率[8]

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

当 A 和 B 之间的余弦相似度为 0 时,它们的关联性为 0,当余弦相似度为 1 时,它们之间的关联性达到最大值。

3. 结果与分析

3.1. 文献历年发文量分析

基于收集的 345 篇文献,自 2010 年起进行了学科发展趋势的分析,主要通过对发表数量的研究来揭示各年度的变化情况。具体数据如(图 1)。

通过可图 1 可得到我国自 2010 年~2023 年,发文数量总体出现下降趋势,其中 2010 年为最多,整

张图表大约可以分为三个阶段，2010年~2013年低速下降期，2013年~2018年高速下降期，2019年~2023年发展稳定期。2024年目前才2月份发了两篇，其中第一阶段2010年~2013年缓慢减少时期，文献数量整体较多，说明此阶段软土承载力的重视程度很高，此阶段正是快速发展时期，第二阶段2013年~2018年，发文量出现了显著下降，最低发表文章仅为5篇。第三阶段2019年~2023年，此阶段内发文量逐步稳定，对于软土承载力成因机制等的研究以趋于成熟自此出现了大量更为深刻的研究性文献，说明软土承载力的研究趋于成熟。

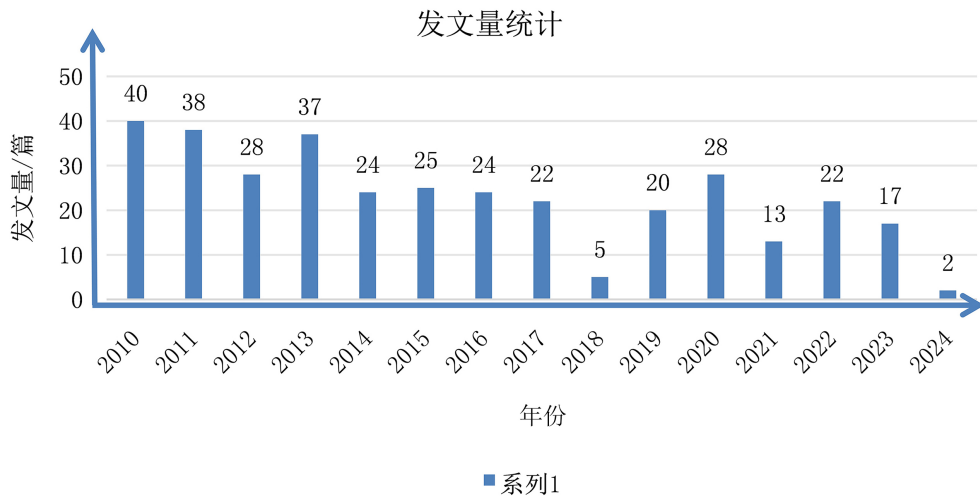


Figure 1. Analysis of the number of publications on “soft soil bearing capacity” in China from 2010 to 2024
图 1. 2010~2024 年中国“软土承载力”发文数量分析图

3.2. 文献作者群体分析

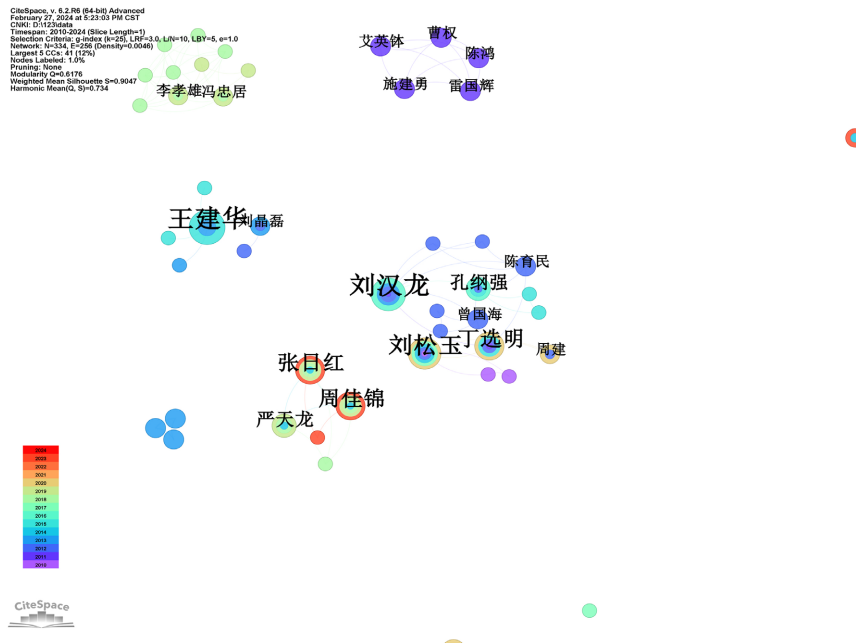


Figure 2. Number of publications by authors on “Soft Soil Bearing Capacity” in China from 2010 to 2024

图 2. 中国 2010~2024 年“软土承载力”作者发文量

CiteSpace 对下载的数据进行可视化和分析。为了分析钻孔灌注桩稳定性研究领域的出版物数量和学者之间的学术联系,图 2 中的节点越大,出版物越多。连接线表示在作者组之前存在的一定的关系合作。在图 2 中,共有 334 个节点和 256 个连接,网络密度为 0.0046。在软土承载力领域,作者的协同网络聚类关系呈现出“局部”网络形态,大部分研究学者是以小团体在一起研究。整体呈分散趋势,没有形成较大的研究合作团体。例如比较明显几个是以刘汉龙学者为代表,以王建华和刘松玉和张日红为核心的团队,见表 1 所示。研究学者都很多,但发文量都不太高,最高的发文量是刘汉龙,王建华,等也仅有 6 篇,分别占整体发文量 1.7%。虽然研究学者居多,但大部分研究学者发表一篇后,后续就没有继续发表了,未形成较大的合作团体,大部分研究学者占整体发文量 0.28%,这也从侧面反映软土承载力研究领域研究者众多,但研究者之间相互合作联系少。这也可能反应出不同地区的研究学者对自己所处地区的环境研究较多,这也是可能导致未形成较大研究团体的一个原因。

Table 1. Statistics of Author Posts on “Soft Soil Bearing Capacity” in China from 2010 to 2024
表 1. 2010~2024 年中国“软土承载力”作者发文统计

序号	发文数量/篇	作者
1	6	刘汉龙
2	6	王建华
3	5	刘松玉
4	4	张日红
5	4	周佳锦
6	4	丁选明
7	3	刘先林
8	3	孔纲强
9	3	杨光华
10	3	吴江斌

3.3. 机构合作分析

Table 2. Ranking of “Soft Soil Bearing Capacity” Issuing Institutions in China from 2010 to 2024
表 2. 2010~2024 年中国“软土承载力”发文机构排名

序号	频次	机构
1	14	天津大学水利工程仿真与安全国家重点实验室
2	10	河海大学岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室
3	8	中交第三航务工程勘察设计院有限公司
4	6	天津大学岩土工程研究所
5	6	华南理工大学土木与交通学院
6	6	河海大学岩土工程科学研究所
7	6	东南大学交通学院
8	5	东南大学土木工程学院

通过对 345 篇文献进行分析,我们研究了自 2010 年以来的学科发展趋势。然后,我们进行了可视化机构网络分析,筛选出每年发文量排名前 50 的机构,并将结果呈现为软土承载力领域的机构图谱。如图三所示。最后,我们进一步筛选了发文量至少为 2 篇以上的机构,并对它们进行了重新排序,结果显示在表 2 中。

经过 CiteSpace 软件对所获文章进行作者发文量统计,可以从中发现学者文献发表与学科研究之间相关联系。在图表中,作者发文数量用“N”表示,节点的规模与其发文数量成正比,而节点间的连线以“E”符号表示,代表了作者之间的合作关系。在图 3 中,总共有 298 个节点和 222 条连线,网络密度为 0.005。当前国内钻孔软土承载力研究机构合作网络较为紧密,各种机构都在发表文章,其中天津大学水利工程仿真与安全国家重点实验室发表了 14 篇,领先于其他机构,河海大学岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室位居次席。虽然国内在软土承载力领域的理论研究和设计实践方面取得了丰硕成果,但各机构仍需加强团队间的合作,以推动该领域更进一步的发展。

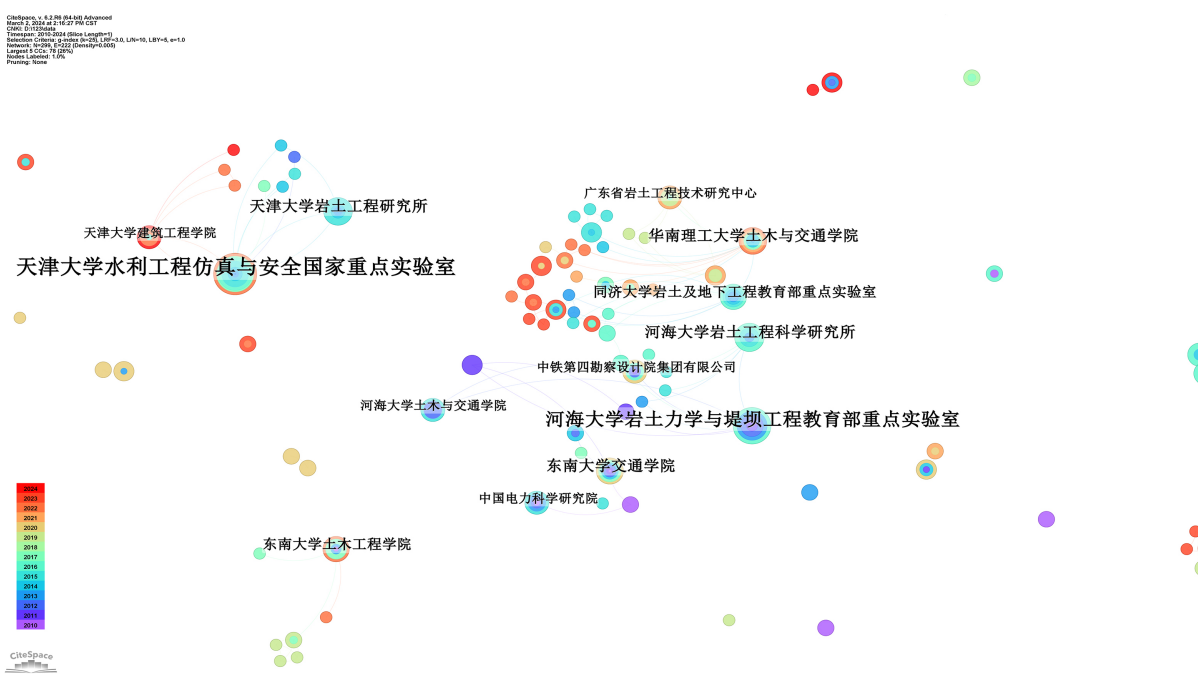


Figure 3. Atlas of Chinese soft soil bearing capacity publishing institutions from 2010 to 2023

图 3. 2010~2024 年中国软土承载力发文机构图谱

3.4. 关键词分析

3.4.1. 关键词共现图谱分析

通常一篇论文中的关键字往往彼此存在着联系,合理运用关键字共现研究能够反映学术领域中主要的研究方向,不能能够分析逐年的热点领域和发展趋势,还可以快速的反映不同时间内的学术变迁、研究观点和研究方式的不同[6],第一步,为了得出关键词共现网络图谱,在软件 CiteSpace 的运用中将时间切片定为 1a, 阈值 Top N = 五十,关键词出现频率是图谱中的节点大小。通过分析软土承载力研究领域的关键词图谱中连接线的颜色变化,可以观察到不同关键词之间的引用关系及其演进情况。紫色标识的外围节点代表具有最强中介中心性,扮演着连接不同领域或概念的关键桥梁角色。如图 4 所示。

通过分析节点之间的连接线,我们可以发现在过去十四年里,“软土地基”、“承载力”、“软土”以及“复合地基”等概念已成为研究的热点。通过量化关键词,提高研究分析的可靠性,选取出现频率

排名前八的数据，即\$TopN = 8\$，在整个时间范围内进行统计，形成下表 3。

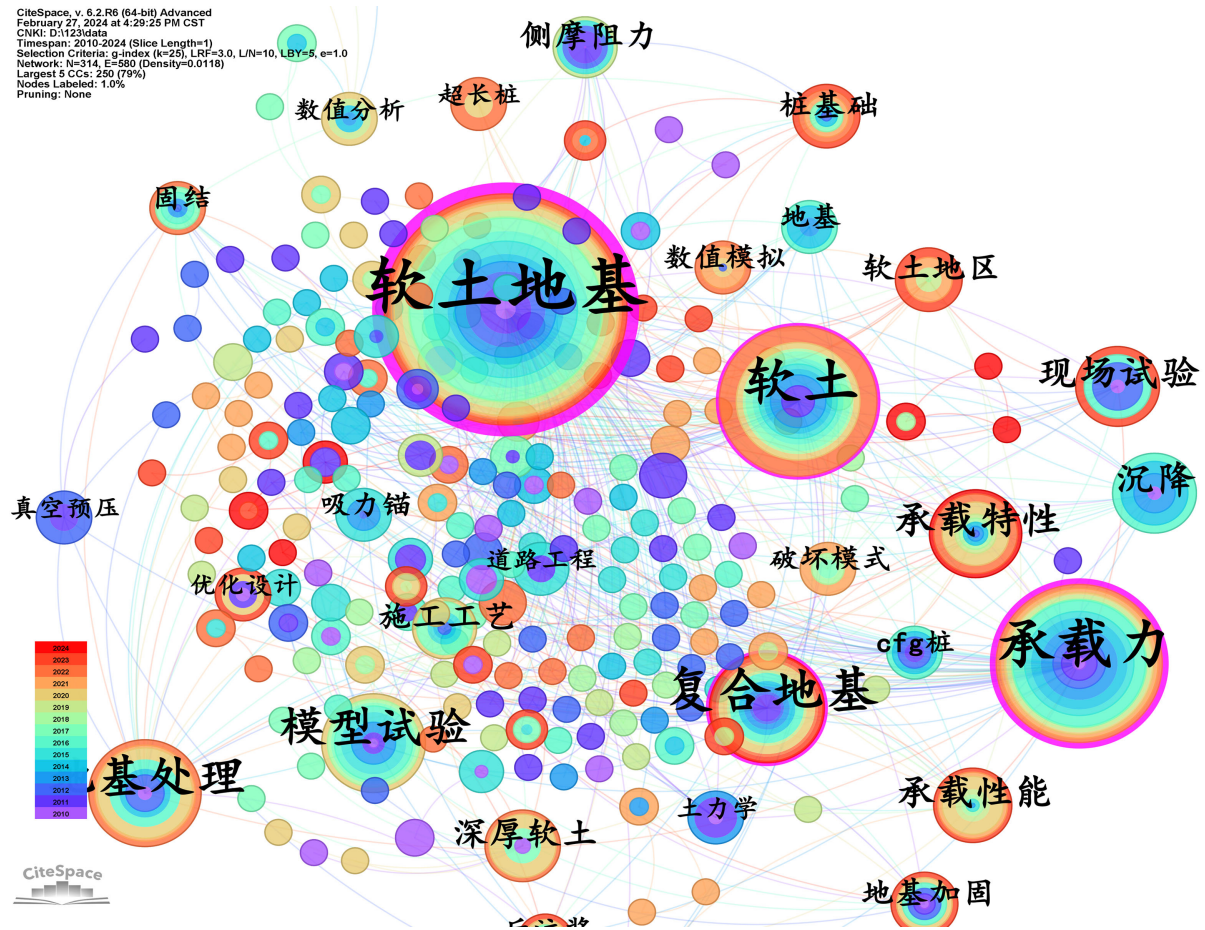


Figure 4. Key Knowledge Graph of Soft Soil Bearing Capacity from 2010 to 2024

图 4. 2010~2024 年软土承载力关键词知识图谱

Table 3. Keyword centrality of “soft soil bearing capacity” in China from 1965 to 2023

表 3. 1965~2023 年中国“软土承载力”关键词中心度

序号	关键词	频次	中心度
1	软土地基	85	0.67
2	承载力	39	0.24
3	软土	39	0.19
4	复合地基	26	0.11
5	地基处理	20	0.04
6	模型试验	17	0.06
7	承载特性	11	0.08
8	沉降	10	0.03

结合表 3 可知，“软土地基”、“承载力”、“软土”、“复合地基”分别为中心度较高的前 4 位关键词，说明在土木工程学科中，联系到此 4 类的关键词的研究较多。

3.4.2. 关键词聚类 LLR 算法分析

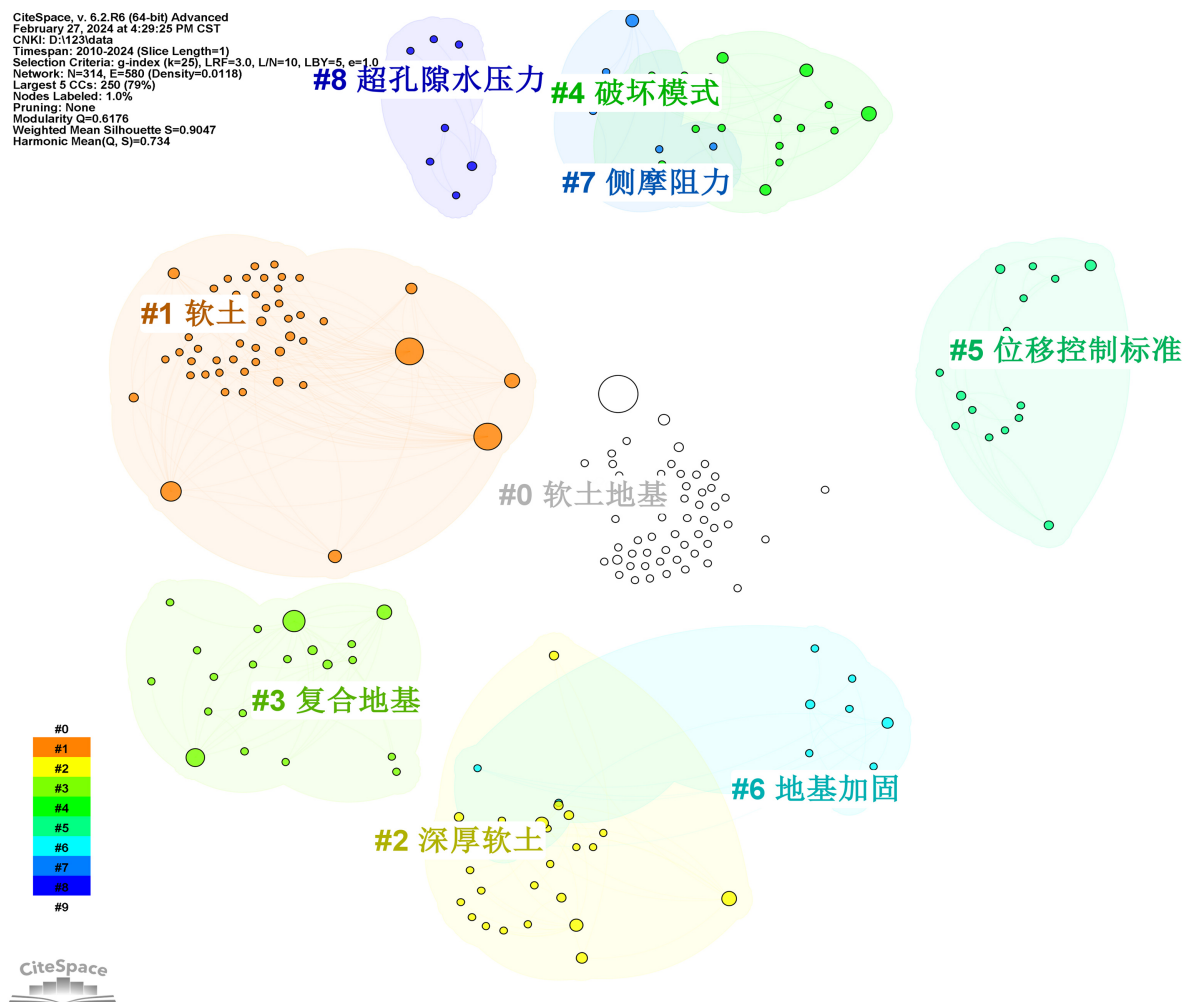


Figure 5. Clustering Knowledge Graph of Soft Soil Bearing Capacity in China from 2010 to 2023

图 5. 1996~2023 中国软土承载力聚类知识图谱

使用 CiteSpace 进行聚类分析, 基于 LLR 算法研究钻孔灌注桩稳定性热点研究的结构紧密程度, 并分析研究热点。通过 CiteSpace V 软件的快速聚类方法生成知识图谱, 调整阈值以确保显著的聚类结果(如图 5 所示), 其中模块值($Q = 0.7261 > 0.3$)表明显著性, 平均轮廓值($S = 0.8935 > 0.7$)表明结果可信。类似地, 图 4 中的 $Q = 0.8449 > 0.3$, 平均轮廓值为 $0.9526 > 0.7$, 显示出较高的聚类结果可信度。根据图 5 的结果, 1996 年至 2023 年关于软土承载力的研究可分为 9 个主要聚类模块, 通过结合聚类节点的平均年份, 可以揭示出这些领域内的学科演化过程。在研究初期(2010~2017 年), 软土承载力领域研究主要聚焦在对软土地基的施工以及对应的加固措施, 即聚类#7, #4, #6, #1; 研究中期(2017~2019 年), 研究主要集中在对深厚软土, 以及复合地基成因的影响因子分析以及灾害发生的破坏程度评估和危险性评价, 即聚类#3, #2, #5。近期研究(2019-)主要集在增强软土承载力新技术以及预防和修复阶段的施工方法研究。在研究中可以发现, 大部分聚类平均年份为 2010~2018 年, 与基建工程的大开展吻合, 随着时间推进, 说明国内软土承载力领域学科研究伴着现实工程所遇到的问题, 不断深化拓展。

时间线视图有效地展示了研究主题和群集之间的关系, 以及特定时间段内主题的发展情况。在这个

研究中,时间线视图将群集作为横轴,年份作为纵轴。每个关键字都与其首次出现的年份对应,而两个关键字节点之间的线条表示它们之间的共现关系。

从图6所示,大部分聚类强度接近,#8强度最低,跨度为2014~2020年,2014年之前#1就没有出现。其次为#6,在2020年以后#2也再从未出现。#0、#1、#2、#3、#4聚类代表的研究时间跨度最长。#0、#1、#2、#3、#4、#5、#7、等聚类都将持续作为研究热点进行探讨和研究。在最近几年都比较活跃。

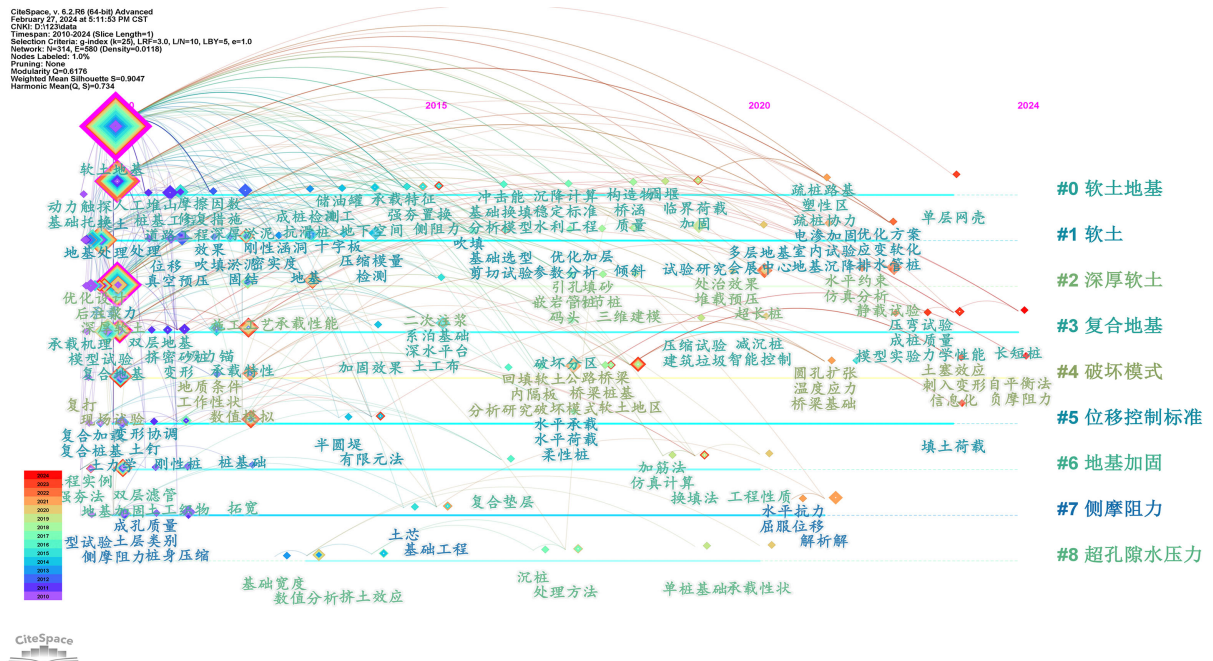


Figure 6. Clustering Map of the Time Line of Soft Soil Bearing Capacity in China from 1910 to 2023
图6. 2010~2023年中国软土承载力时间线聚类图谱

2.4.3 研究主题演进与前沿分析

在 Cite Space 中,节点类型选择关键词,利用 Burst detection 的特点是可以进行突发性检测,检测得到突然某个时间大量涌现的关键词。运用对这些关键字的迅速分析,我们把其持续的时长定义为 2 年,通过搜索,我们最终找到了 8 个相应的关键字。从图 7 中可以了解到,“承载性能”一词的持续时间最长,证明在很长一段时间内软土承载力研究领域重点在控制上面。而自 2018 年后,研究关键词转变为“超长桩”、“数值模拟”其中“超长桩”关键词都持续到了现在,说明新进十余年的研究热点除建筑工程外,集中在路桥施工的研究上。例如张培成[8]针对沿海地区饱和软土地基上部软弱、下部坚硬的特点,改进传统载体桩技术,达到在饱和软土基础工程中完成大承载力桩的目的。解决了大直径长预应力混凝土管桩、角桩、竹缝桩在穿越相对密实的淤泥或砂层时难以打入桩中,桩长与承载力差异不能满足设计要求的问题。通过具体工程项目现场试验,进行对比研究,使其成为可控桩,缩短桩长,达到满足高承载力要求的预期效果。刘廷[9]以南京地铁 7 号线东青石站为例,结果表明,用标准方法和十字板剪切试验经验公式计算的结果过大,使用前需减少,平铲侧胀试验经验公式计算结果偏保守,标准贯入试验中查表法得到的承载力最准确。王桂萱[10]重点介绍了我国核岛电站建设尚未采用桩基的现状。以某核电站埋桩加固的软地基为研究对象。采用滑动面应力法确定地基的自然承载力,采用等效线性法描述近场地基的非线性特性。考虑到桩土效应的影响,采用粘性人工边界模拟了辐射阻尼效应和节点耦合。建立了桩土结构动力相互作用模型,通过有限元分析计算了桩在静荷载和地震荷载下的内力分布。提出了满足

抗震承载力要求的加固方案。研究成果可为类似条件下核岛厂软地基处理方案的抗震设计提供参考和指导。

Top 8 Keywords with the Strongest Citation Bursts

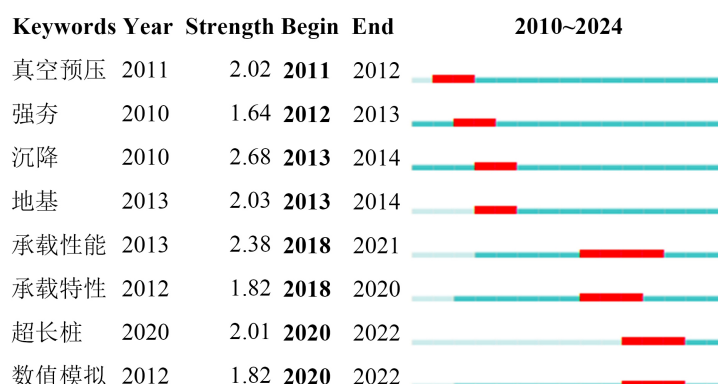


Figure 7. Key words for “Soft Soil Bearing Capacity” in China from 2010 to 2024

图 7. 2010~2024 年中国“软土承载力”突现关键词

4. 结论与展望

本文以 CNKI 数据库为基础,对 2010~2024 年间国内软土承载力的研究论文进行了知识图谱的分析,从研究论文的历年所发文献数量、研究机构、著作和关键词等方面文献资料进行分析并详尽介绍大致各个方面发展情况,可以得出以下几点结论。

1) 2010~2024 年软土承载力研究领域的历年发文数量体现出阶段式发展的状况并且各阶段内起伏变化较大,最大发文数量在 2010 年。在 2017 年之后,随着基础工程发展稳定,发文量减少,但随着国家发展的区域越来越多,面对所处的不同区域的环境不同,软土承载力的研究就会更加的深入,学科前期以刘汉龙和王建华学者为代表,为软土承载力早期的成因探索及措施研究做出了贡献。除此之外,相较于较早年份的单方面研究,2015 年以后出现了大量的聚类方向,进一步推动软土承载力学科的发展与完善。目前该学科总体发表量处于稳定状态,但多数作者和机构只发表了 14 篇左右的文章,研究深度不足,学者之间的合作有待逐步加强。

2) 在软土承载力研究领域,天津大学水利工程仿真与安全国家重点实验室处于领先地位。目前,国内软土承载力研究机构之间已形成较成熟的合作网络。这表明,我国软土承载力研究领域在理论研究和设计实践方面都呈现出蓬勃发展的趋势,但各机构仍需加强团队间的合作。

3) 关键词方面,通过关键词图谱及共现分析和聚类分析,研究重点集中在“软土地基”“承载力”“软土”等关键词。同时“复合地基”“地基处理”等等持续到现在为研究热点。施工技术和质量控制是该学科研究较为深入的两个方面,我们需要留意以后学科的研究过程中,需要重点关注这两方面。

4) 伴随着国家发展越来越快,各个行业都得到迅猛的发展,都在相应国家“中国速度”的计划,同时我们也要抓紧中国的好质量。目前国内学者对于该领域比较重视,既说明了对于不同环境的软土承载力研究还不够深入,还说明了对于软土承载力的研究还有待更加深入。

在未来的软土承载力学科领域研究中,各个学者和机构之间应该加强合作联系。地下工程在软土承载力地质条件下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,取决于对软土承载力情况的

深入认知。随着数值模拟等技术的不断改进,未来的研究应该侧重于利用精确而高效的多方面分析地下工程试验数据,以推动该领域的发展,不仅能够节约实体试验的成本和时间,也能够提高对地下工程问题的准确性。因此,加强学者和机构之间的合作联系对于推进软土承载力研究具有重要意义。

参考文献

- [1] 李超. 软土地基水泥搅拌桩承载力试验及数值模拟研究[J]. 长春工程学院学报(自然科学版), 2023, 24(3): 40-44.
- [2] 刘大华, 卢颖, 郑六龄, 等. 水泥搅拌桩施工技术在山区公路软土地基处理中的应用[J]. 工程建设与设计, 2022(4): 123-125. <https://doi.org/10.13616/j.cnki.gcjsysj.2022.02.239>
- [3] 马龙祥, 余云翔, 杜文, 等. 淤泥质软土地层中扩大头锚索的极限抗拔承载力研究[J]. 建筑科学, 2023, 39(3): 81-91. <https://doi.org/10.13614/j.cnki.11-1962/tu.2023.03.012>
- [4] 谭鑫, 冯龙健, 胡政博, 等. 竖向荷载下软土中碎石单桩破坏模式及承载力计算[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2021, 48(9): 10-19. <https://doi.org/10.16339/j.cnki.hdxzbk.2021.09.002>
- [5] 施源, 李璟, 胡嘉淼, 等. 基于 Citespace 的光动力杀菌技术研究进展可视化分析[J]. 食品工业科技, 2024, 45(10): 335-352. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023010162>
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 张培成, 孙玉文, 张殿树, 等. 基于饱和软土地基大承载力载体桩试验研究[J]. 河北水利电力学院学报, 2020, 30(1): 19-23. <https://doi.org/10.16046/j.cnki.issn2096-5680.2020.01.004>
- [9] 刘廷, 施发剑, 陈海军. 软土区地基承载力的确定[J]. 山西建筑, 2019, 45(9): 70-71. <https://doi.org/10.13719/j.cnki.cn14-1279/tu.2019.09.038>
- [10] 王桂萱, 张睿, 赵杰. 某沿海软土地区核电厂核岛天然地基及桩基抗震承载力分析[J]. 地震研究, 2016, 39(1): 15-21+179-180.