

# 采用文献计量法的路基病害研究变化与热点分析

## ——基于CiteSpace

徐冠虎<sup>1\*</sup>, 王少文<sup>1</sup>, 刘飞<sup>1</sup>, 于涛<sup>1</sup>, 李言昂<sup>2#</sup>, 王罗喜<sup>2</sup>, 韩培锋<sup>2</sup>, 陈代果<sup>2</sup>

<sup>1</sup>山东省公路桥梁集团有限公司, 山东 济南

<sup>2</sup>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3月25日; 录用日期: 2024年5月10日; 发布日期: 2024年5月28日

### 摘要

本文借助CiteSpace可视化软件, 基于CNKI数据库, 收集2000~2023年期间路基病害研究相关的351条文献, 分析发文量、国家(地区)、机构和作者合作网络、关键词共现、聚类、突现词等情况, 得出结果: 1) 路基病害研究领域发文量呈现出上升-波动-发展趋势, 2008年之前发展较快, 2011年之后保持平稳发展态势, 近几年发文量有所下滑。2) 领域内作者众多, 但大多各自分散研究, 核心作者发文数量不足, 未形成核心作者群。研究机构发展类似, 研究机构大多为有实际工程需求的企业与相关高校, 各机构间缺乏跨地区的交流研究, 建议加强作者与机构的合作研究。3) 路基病害的整治措施一直是领域内流行的研究方向, 同时近几年基建发展, 对于在多年冻土区、盐渍土及山区公路铁路的路基病害研究逐渐成为研究热点, 许多学者开始将新的无损检测手段与图像识别等人工智能技术结合, 应用于上述场景中的路基病害识别与风险评估。本文对国内路基病害研究近二十余年来发展变化进行梳理, 旨在为后续学者对路基病害相关研究的突破和创新提供参考依据。

### 关键词

路基病害, CiteSpace, 可视化分析, 知识图谱

## Research Changes and Hot Spot Analysis of Roadbed Disease by Using Bibliometric Method

### ——Based on CiteSpace

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 徐冠虎, 王少文, 刘飞, 于涛, 李言昂, 王罗喜, 韩培锋, 陈代果. 采用文献计量法的路基病害研究变化与热点分析[J]. 地球科学前沿, 2024, 14(5): 541-552. DOI: 10.12677/ag.2024.145051

Guanhu Xu<sup>1\*</sup>, Shaowen Wang<sup>1</sup>, Fei Liu<sup>1</sup>, Tao Yu<sup>1</sup>, Yan'ang Li<sup>2#</sup>, Luoxi Wang<sup>2</sup>, Peifeng Han<sup>1</sup>, Deiguo Chen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Shandong Highway and Bridge Group Construction Co., Ltd., Jinan Shandong

<sup>2</sup>School of Civil Engineering and Architecture, Southwest University of Science and Technology, Mianyang Sichuan

Received: Mar. 25<sup>th</sup>, 2024; accepted: May 10<sup>th</sup>, 2024; published: May 28<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

With the help of CiteSpace visualization software and CNKI database, this paper collected 351 literatures related to roadbed disease research during 2000~2023, analyzed the number of publications, countries (regions), cooperation networks between institutions and authors, keyword co-occurrence, clustering, and emergent words, and obtained the results: 1) The number of published papers in the field of subgrade disease research presents a rising-fluctuating-developing trend, which developed rapidly before 2008 and maintained a stable development trend after 2011, and the number of published papers has declined in recent years. 2) There are many authors in the field, but most of them are scattered, the number of published papers by core authors is insufficient, and no core author group has been formed. Similar to the development of research institutions, most of the research institutions are enterprises and related universities with practical engineering needs, and there is a lack of cross-regional exchange and research among various institutions. It is suggested to strengthen the cooperative research between authors and institutions. 3) Rectification measures for roadbed diseases have always been a popular research direction in the field. Meanwhile, with the development of infrastructure in recent years, research on roadbed diseases of roads and railways in permafrost areas, saline soil and mountainous areas has gradually become a research hotspot. Many scholars have begun to combine new non-destructive testing methods with artificial intelligence technologies such as image recognition. Subgrade disease identification and risk assessment applied in the above scenario. This paper reviews the development and changes of dam failure mechanism research at home and abroad in the past 20 years, aiming to provide reference for subsequent scholars' breakthrough and innovation in roadbed disease related research.

## Keywords

Roadbed Disease, CiteSpace, Visual Analysis, Knowledge Graph

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

新世纪以来,我国基础设施建设取得巨大成就,在交通运输领域中,建设了覆盖全国的铁路及公路交通运输网。我国疆域辽阔,地质条件气候条件复杂,使得各类公路及铁路极易产生路基病害,不仅影响公路寿命及正常使用,威胁交通运输通畅,而且带来较大的安全隐患。

由于上述原因,诸多学者对路基病害进行了大量研究,如刘秋生[1]等以 319 国道某段发生的路基变形开裂为例,调查分析产生原因,并进一步提出处理方案,庞应刚[2]等则聚焦于斜坡高路路堤路基病害,

借助工程实例分析斜坡高路路基病害产生原因,在经过计算后,提出相应处理措施,并总结出在处理类似病害时的经验。隋昕展[3]等针对道路路基脱空病害,采用时间域有限差分法进行病害的雷达波长数值模拟,模拟了脱空病害不同大小、长度、位置及填充的差异,通过图像增益和复信号分析技术提取雷达波场的振幅、相位和频率等属性特征,依据研究结果可判断脱空病害上界面信息,为快速识别路基脱空病害提供判断依据。李鹏飞[4]等基于大-莱-龙铁路改造工程,针对铁路线路出现的翻浆冒泥病害,提出采用聚氨酯胶凝碎石复合层+上下双层土工布包裹的整治方法,并介绍了该技术的基本施工工艺及流程,应用于病害治理后,可以在运营线路天窗作业时段组织完成,且能有效防止水分进入级配碎石层而渗入侵蚀路基,还具有良好的弹性变形和耗能作用,改善效果显著。

领域内对于分析路基病害成因及相应检测处理措施研究较多,但缺乏对近二十余年来对研究脉络梳理及热点研究,因此本文将借助 CiteSpace 可视化分析软件对领域内近二十余年来对研究脉络及研究热点进行分析梳理。

## 2. 文献收集及分析工具

### 2.1. 文献收集

本文数据检索库为中国知网数据库(CNKI),CNKI 包括了丰富的中文文献资源,收录了中文各个学科领域中最具权威性和影响力的学术论文[5](基于 CiteSpace 的国内电子政务研究热点及趋势预测可视化分析)。在 CNKI 中,以“路基病害”为主题词进行检索,发表时间设定为 2000 年 1 月 1 日~2023 年 12 月 31 日,对所获检索结果剔除书评报纸及主题明显不符的文献等,最终获取 351 条路基病害相关期刊文献。

### 2.2. 软件设置及文献处理

本文采用文献计量法,应用由美国德雷塞尔大学陈超美教授开发的信息可视化软件 CiteSpace,软件版本为 6.2.R4 (64-bit)。CiteSpace 软件是一个基于科学引文网络分析的可视化工具,用于研究学术文献之间的引用关系、主题演化和知识发展[6]。可视化分析是指通过相关计量软件挖掘文本的数据信息,分析研究领域热点,采用科学计量算法,绘制简洁的图谱等方法对某一领域知识进行方向分析,具有知识导航作用。

### 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。Ochiai 相似系数能表现出文本之间的共现率[7]。

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

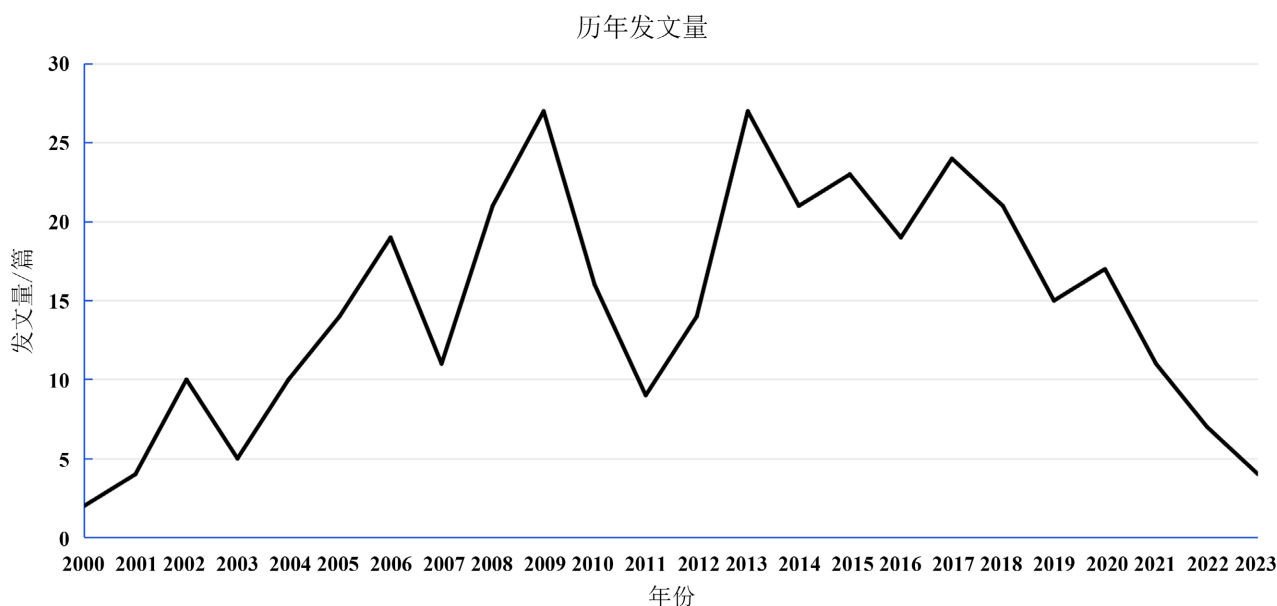
$A, B$  分别代表关键词的出现频次, $A \cap B$  代表关键词的共现频率,所以依据三角函数定理,当  $\text{Cos}(A, B) = 0$  时, $A, B$  之间关联度为 0,当  $\text{Cos}(A, B) = 1$  时, $A, B$  之间关联度为最大。

## 3. 结果分析

### 3.1. 文献历年发文量分析

文献的时间和数量分布情况能够反映出该领域的发展水平及研究前景[8]。从图 1 可以看出,路基病害领域在 2000~2023 年间,其历年发文量经历了较大波动,总体呈上升-波动-发展趋势,大体上可以分为三个阶段,第一阶段为 2000~2010 年,为快速发展期,发文量呈快速上升趋势,最高发文量在 2009 年,达到 27 篇,推测与 2008 年国家开展的新一轮基建开发投资相关,其中投资内有 25% 应用于铁路、公路、机场,水利建设,城市改造等交通民生领域,促进了铁路公路建设,也使得路基病害领域研究开

始配合实际工程需求不断发展。第二阶段为 2011~2019 年，路基病害领域在第二阶段内的年发文量稳定发展，最高发文量在 2013 年，达到了 27 篇。在基建开发的背景下，在数量巨大的公路铁路里程建成后，其路线及其相关设施的维护及病害治理需求成为了推动路基病害领域进步的一大动力，诸多相关学者开始向该领域内进行深入研究。第三阶段为 2020~2023，本阶段内发文量开始逐渐下降，说明领域内相关研究趋于成熟，但近年来结合数值模拟及人工智能等新技术新材料对路基病害进行识别治理开始起步，或可为路基病害领域发展迎来新助力。



**Figure 1.** Line chart of the number of published papers on roadbed disease research from 2000 to 2023

**图 1.** 2000~2023 年路基病害研究发文量折线图

## 3.2. 国家(地区)、机构及作者分析

### 3.2.1. 发文机构分析

**Table 1.** Top ten scientific research institutions in the field of subgrade disease

**表 1.** 路基病害领域研究发文量排名前十科研机构

序号	机构	发文量
1	中铁西北科学研究院有限公司	6
2	中交第一公路勘察设计研究院有限公司	5
3	贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司	5
4	中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室	3
5	中铁西北科学研究院	3
6	北京交通大学土木建筑工程学院	3
7	山西省交通规划勘察设计院	3
8	朔黄铁路肃宁分公司	3
9	重庆交通科研设计院	3
10	长安大学公路学院	3

将软件选项选择“机构”，可得到 CNKI 路基病害领域机构图谱(图 2)，对发文量排名前十的研究机构进行整理，得到表 1。结合图 2 与表 1 对图谱进行分析，首先图谱内节点共有 262 个，说明路基病害领域的相关研究机构众多，主要分布于施工单位，勘察设计单位及高校相关专业中。发文量最高前三位的是中铁西北科学研究院有限公司(6 篇)，中交第一公路勘察设计研究院有限公司(5 篇)，贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司(5 篇)，其他单位发文量大多为 2~3 篇，未出现取得较大文章数量优势的研究机构。其次，图谱连线仅 39 条，密度值为 0.0011，说明机构众多但相互之间合作交流较少，现存的机构之间的合作研究限于有工程需求的企业单位与相关高校之间，未能形成足够的合作机构群及足够密集的机构合作网络。通过上述分析，可以得出结论，CNKI 路基病害研究领域机构众多但机构之间的合作交流研究较少，建议加强各机构之间的合作交流，而不仅限于企业与高校之间，以推动领域内合作交流，稳步发展。

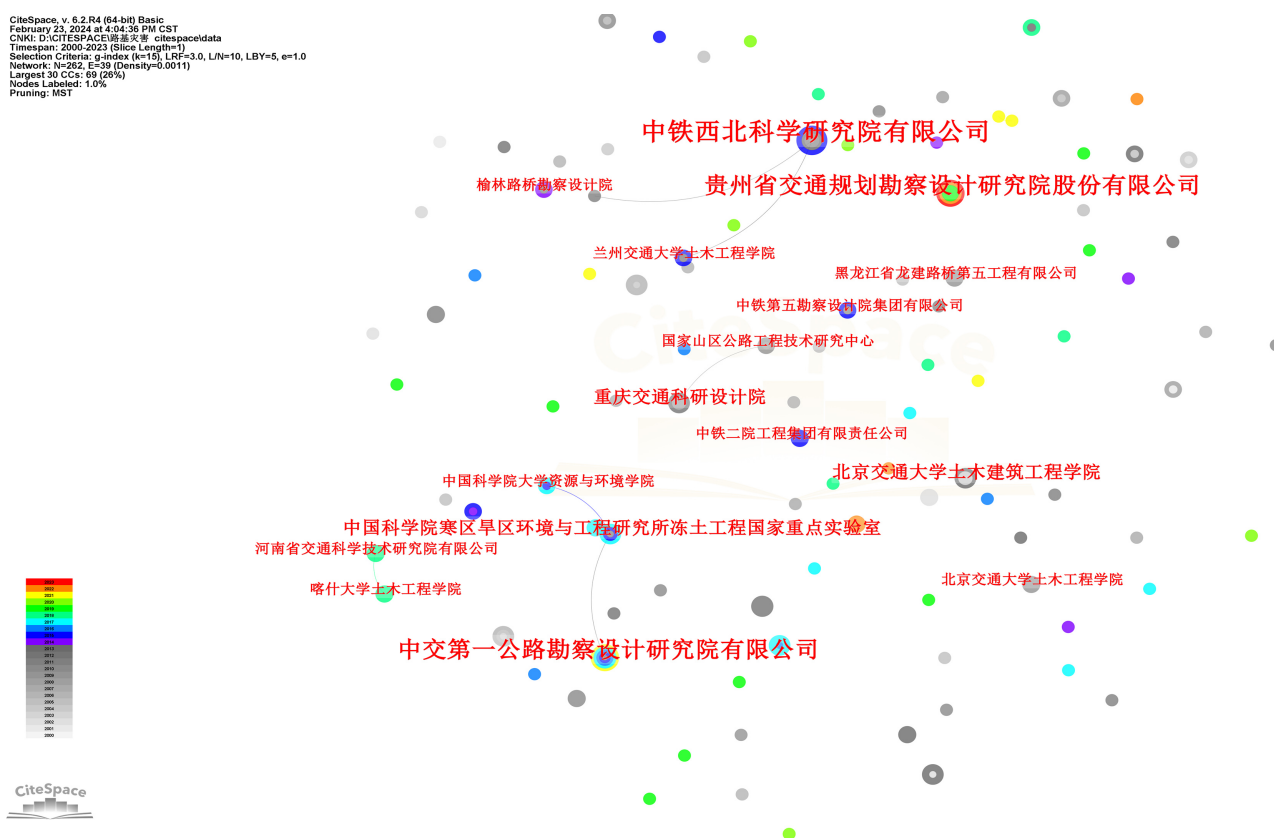


Figure 2. Cooperation network of CNKI Subgrade disease research institutions  
图 2. CNKI 路基病害研究机构合作网络图

### 3.2.2. 作者合作网络

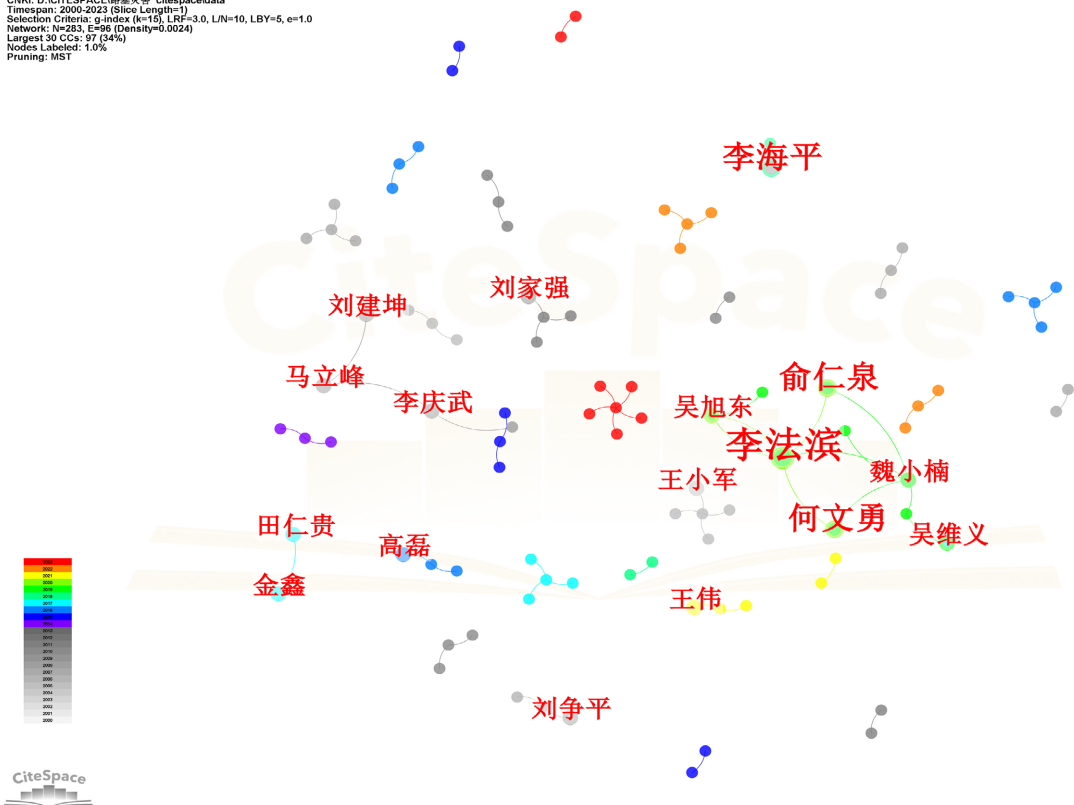
将选项设置为“作者”进行分析，得到路基病害领域 2000~2023 年作者分析图谱(图 3)。从图 3 可以得到。N (节点) = 283，E (连线) = 96，密度值为 0.0096，其中节点大小代表发文量大小，连线颜色及粗细代表不同作者之间合作时间及频次。观察图谱可以看出，路基病害领域内学者众多，但相互间合作研究较少，密度值低，合作网络稀疏。领域近期以李法滨学者为核心的研究团体发文量较多。根据普赖斯定理公式： $N = 0.749 * \sqrt{N \max}$ ，可得出核心作者的最低发文量约为 2 篇，将发文量为 2 篇及以上的作者进行整理，领域内核心作者共有 24 人(见表 2)所发表文章数量进行判断，核心作者群所发表文章仅占总

数的 15.4%，远低于普赖斯定律设定的 50% 标准值，说明路基病害领域内尚未形成稳定的核心作者群，研究者之间应加强相互合作交流，促进领域研究协同发展。

**Table 2.** Core authors of subgrade disease  
**表 2.** 路基病害核心作者

序号	作者	发文量	序号	作者	发文量
1	李法滨	4	13	陈冬梅	2
2	李海平	3	14	马立峰	2
3	何文勇	3	15	金鑫	2
4	华剑飞	3	16	李庆武	2
5	俞仁泉	3	17	高磊	2
6	田仁贵	2	18	张威	2
7	刘争平	2	19	王伟	2
8	吴维义	2	20	王定举	2
9	吴旭东	2	21	刘家强	2
10	李红艳	2	22	陈国良	2
11	刘建坤	2	23	王小军	2
12	魏小楠	2	24	邓桂萍	2

CiteSpace, v. 5.2.R4 (64-bit) Basic  
February 23, 2024 at 4:01:24 PM CST  
CNKI: D:\CITESPACE\路基病害作者合作网络数据  
Timespan: 2000-2023 (Slice Length=1)  
Selection criteria: q-index (k=15), LRF=3.0, L/N=10, LBY=5, e=1.0  
Network: N=283, E=96 (Density=0.0024)  
Largest CCs: 97 (34%)  
Nodes Labeled: 1.0%  
Pruning: MST



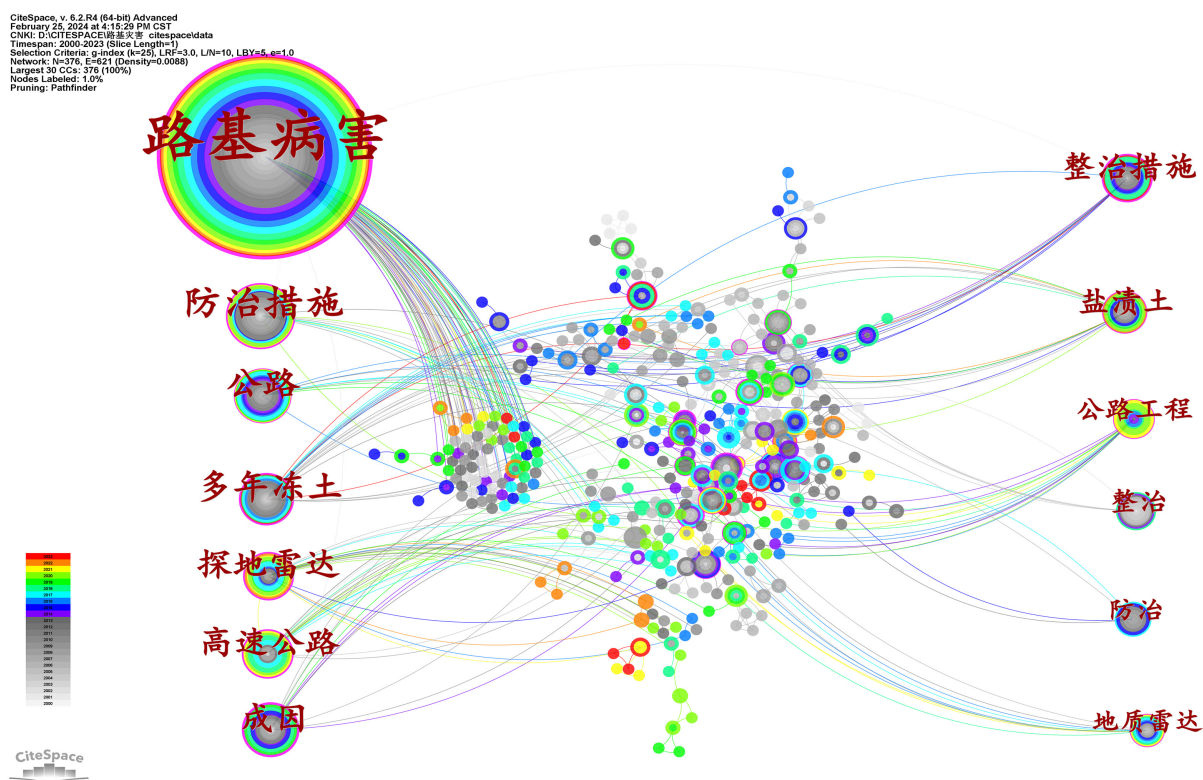
**Figure 3.** CNKI subgrade disease author cooperation network  
**图 3.** CNKI 路基病害作者合作网络

### 3.3. 关键词共现图谱分析

**Table 3.** The top ten high-frequency keywords of roadbed diseases

**表 3.** 路基病害高频关键词排名前十

序号	关键词	频次	中心性
1	路基病害	351	0.78
2	防治措施	37	0.25
3	公路	28	0.15
4	多年冻土	26	0.36
5	探地雷达	23	0.3
6	高速公路	22	0.28
7	成因	21	0.59
8	整治措施	19	0.26
9	盐渍土	16	0.12
10	公路工程	12	0.12



**Figure 4.** Co-occurrence map of roadbed diseases

**图 4.** 路基病害关键词共现图谱

关键词是研究论文主题的高度概括，能有效帮助学者快速了解论文的核心内容和重点方向[9]。通过 CiteSpace 软件对文献内关键词进行分析整理，可得到 CNKI 路基病害关键词共现图谱(图 4)，借此反映领域内的研究方向与热点，观察领域前沿内容。将相关数据进行整理后，得到关键词频次排名前十(表 3)。

结合图表, 去除“路基病害”母词, 排名前六的关键词分别为防治措施(37), 公路(28), 多年冻土(26), 探地雷达(23), 高速公路(22), 成因(21), 以上关键词说明了在过去二十余年时间里, 面对实际工程需求, 在国家政策指导下, 领域内学者围绕路基病害成因检测方法, 防治措施进行了研究, 以期解决多年冻土或其他特殊情况下的公路铁路路基病害难题, 推动领域研究深化发展。在关键词图谱中, 中介中心度是衡量节点重要性的一个指标, 中介中心度  $\geq 0.1$  的节点则被认为是关键节点[10]。在表中列出了排名前十关键词的中心度, 其中中心度最高的是成因(0.59), 多年冻土(0.36), 探地雷达(0.3), 高速公路(0.28), 关键词的共现频次和中介中心度最高的关键词为该领域的集中热点[9]。

### 3.4. 关键词聚类及时间线图谱分析

从知识理论的角度看, 关键词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。通常一篇文献中的关键词往往互相存在着关联, 通过关键词共现分析可以反应学科领域内重要的研究方向, 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[11]

使用 CiteSpace 绘制 CNKI 路基病害关键词聚类图谱, 基于 LLR 对数似然算法(Log-Likelihood Ratio)对关键词进行聚类分析, 可以研究领域研究热点结构紧密程度, 判断研究热点方向。

选择大小前 9 位聚类显示, 并保存聚类数据进行整理, 得到表 4。CiteSpace 利用其模块值(Modularity)和平均轮廓值(Weighted Mean Silhouette)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[12]。图谱中  $S = 0.9585 > 0.7$ , 说明本次聚类效果显著, 有较高可信度。

由图 5, 路基病害领域学科研究由图中 9 大类聚类模块展开, 各聚类之间有着密切联系, #1 作为路基病害初期发展评估的研究手段必不可少, 贾鑫[13]总结了针对公路路基病害的主流检测方法, 例如沉弯检测, 声波检测, 摩擦系数检测法等, 同时针对路基病害检测处理给出了基于质量监测数据的全过程质量管理。#2 作为#1 检测方法的一种, 探地雷达借助计算机与发射装置组合, 实现对路基精准检测, 应用于高填方路基。作为一种新型路基病害检测技术, 与其他技术相比具有快速, 连续, 无损和高精度等特点。#3 与#4 是路基病害的主要表现形式和路基土质问题。路基翻浆冒泥指被水浸湿的路基床在车辆行驶作用下形成泥浆, 进而沿路基空隙涌出的现象, 不仅降低公路使用寿命, 而且对交通运输产生安全隐患[14]。盐渍土具有溶陷性, 盐胀性, 腐蚀性等特点, 当路基下土层土质为较厚盐渍土时, 遇水的盐渍土因其盐胀性变化导致路基产生较大不均匀沉降, 同时腐蚀施工材料, 降低使用寿命, 影响经济效益并且产生安全隐患。因此, 针对盐渍土道路路基及相关问题, 许多学者展开研究, 杨峰[15]等依托实际工程, 对在盐渍土地区道路施工中各种因素影响下路基病害问题进行总结, 并对清理基底, 换填土, 隔水排盐等关键施工工艺进行分析, 针对性提出质量控制措施; 张留俊等[16]以人工配置的不同含盐量盐渍土为研究对象, 研究了盐渍土在降水入渗条件下的水盐迁移规律, 建立了降水入渗作用下土体盐分迁移与水迁移之间的联系。#7 与#8 作为我国公路铁路施工难题, 其中青藏铁路等世纪工程的巨大需求也使得领域内对这两类难题进行深入研究, 以期研究出在这两类情况下的路基病害问题, 如吕慧娟[17]基于青藏公路某段路面路基病害实例, 对冻土地地区路基病害及治理措施进行研究, 然后从冻土地基的工作特性、病害成因等方面进行分析, 最后提出相关治理方案; 彭惠[18]等借助青藏公路长期路面监测及水热监测数据, 采用数理统计方法建立多年冻土路基路侧积水水热模型, 分析了多年冻土公路路基水分迁移规律, 得到了积水入渗情况下的路基长期变形机理, 并基于研究结果, 提出了采用冲击碾压、抛石挤淤、以桥代路等工程措施, 为多年冻土情况下的公路施工建设及维护提供了借鉴参考; 而件靖[19]则提出在多年冻土区公路采用基于超声多普勒的路基变形监测方法, 通过试验得出, 基于超声多普勒方法监测得到的数据更加



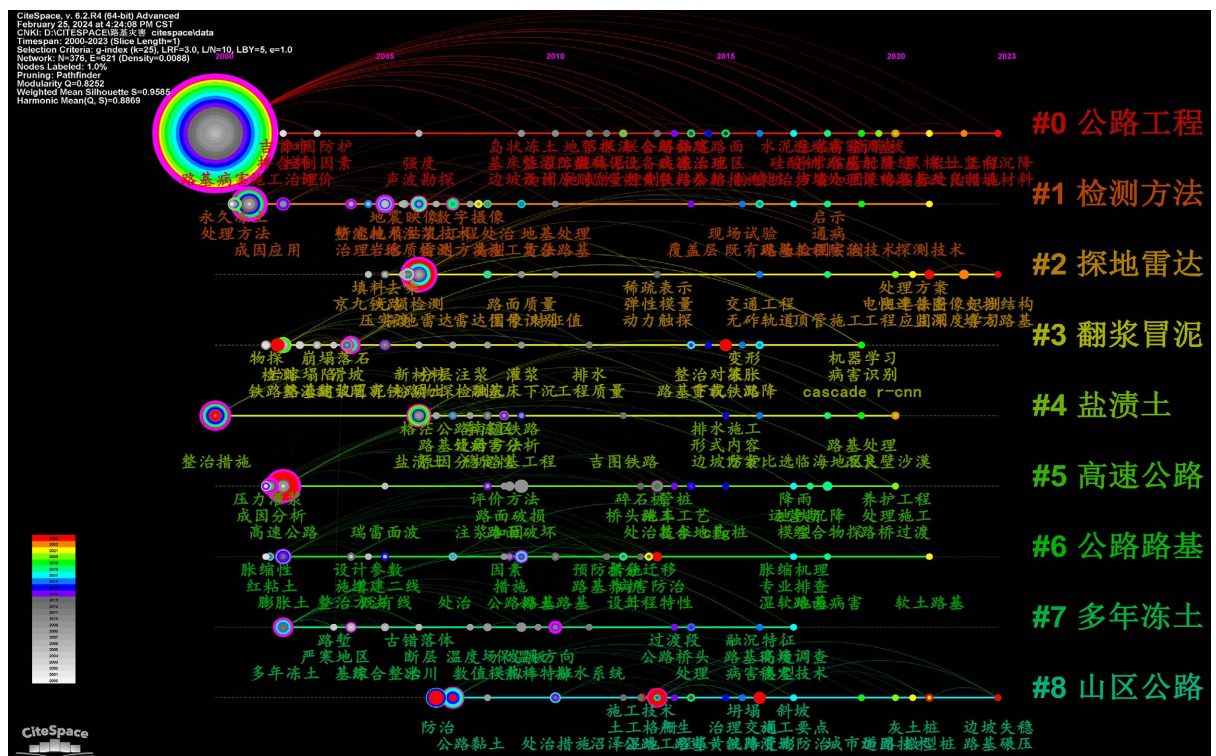
精准。针对山区公路路基病害问题，柴贺军[20]等针对三种山区公路常见路基形式，总结路基病害类型及机理，并结合工程实例提出了路基病害处置措施。

整理关键词聚类，将每个聚类的前三名关键词列出，对聚类进行量化分析(summary of clusters)。聚类内的关键词越多，其 ID 也就越小，也意味着其包含的研究领域也更加广泛。

从表可知，前三位的聚类分别是“公路工程”、“检测方法”“探地雷达”，可以看出，在路基病害领域内，对于路基病害检测方法研究更加频繁深入，同时也更加侧重于考虑到盐渍土及多年冻土地区的公路路基检测。

**Table 4.** Top nine clusters of CNKI roadbed diseases  
**表 4.** CNKI 路基病害大小排名前九聚类

序号	聚类名称	轮廓值	平均年份	前四高频关键词
#0	公路工程	1	2013	公路工程；盐渍土；质量控制；翻浆冒泥
#1	检测方法	0.946	2009	检测方法；地质雷达；既有路基；地质钻孔
#2	探地雷达	0.956	2014	探地雷达；无损检测；压实度；无砟轨道；
#3	翻浆冒泥	0.949	2009	翻浆冒泥；重载铁路；滑坡；铁路路基
#4	盐渍土	0.999	2011	盐渍土；处理措施；原因分析；整治措施
#5	高速公路	0.886	2011	高速公路；路面破坏；成因分析；防治方法
#6	公路路基	0.941	2010	公路路基；工程特性；措施；机理
#7	多年冻土	0.963	2009	多年冻土；热棒；保温板；特征
#8	山区公路	0.982	2015	公路工程；山区公路；处治措施；微型桩；



**Figure 5.** Subgrade disease clustering time line

**图 5.** 路基病害聚类时间线图谱

在关键词共现图谱基础上进一步进行聚类时间线序列分析,可以有效揭示该领域的研究动态和热点问题,从而对该领域的发展趋势和前沿方向有更深入的认识[21]。同时时间线图谱可以很好反映研究主题在时间上的变化过程,展现某一聚类中节点的分布及时间跨度。本文中时间线图谱以聚类作为横轴,年份作为纵轴,每个关键词节点固定于最早出现的年份,其连线代表了关键词之间的共现关系。从图中可以看出,持续时间最短的聚类是#7,跨度时间为2003~2016年,2016年后#4不再持续。其次为#3,持续至2018年。由此可以推测,#4与#3不在未来领域研究热点范畴之内。而#0、#0、#2、#8等聚类都将持续作为研究热点进行探讨和研究。在最近持续的#0、#2与#8聚类中,逐渐出现的是将现有检测方法与人工智能,图像识别等新技术结合,同时面对频发的自然灾害,山地公路的路基灾害识别判断,治理预防措施的新工艺与新材料或将成为未来研究热点。

### 3.5. 突现词分析

CiteSpace是一种能够识别出研究领域关键词随时间的变化及突变情况的工具,它可以显示出关键词的突现年份、突现强度和持续时间,从而清楚地看到过去和现在的研究热点的变化[22]。

#### Top 9 Keywords with the Strongest Citation Bursts

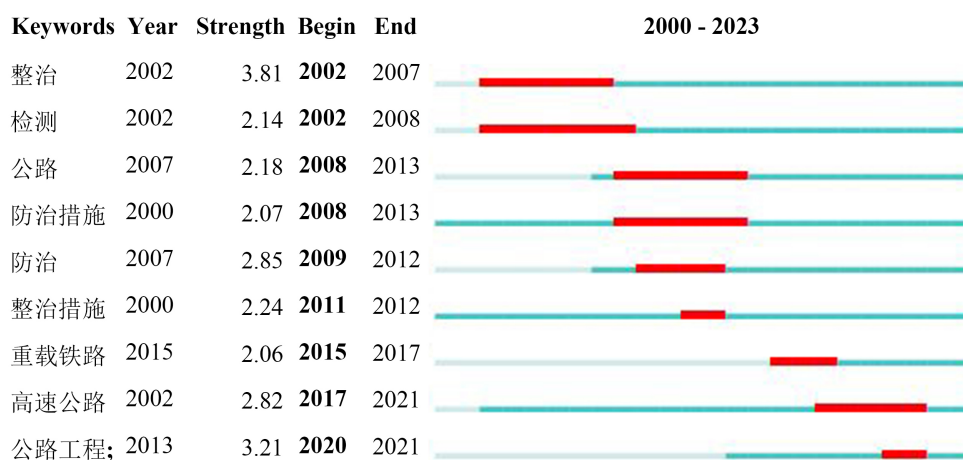


Figure 6. Keywords in the research of roadbed disease in CNKI

图 6. CNKI 中路基病害研究关键词突现

在关键词共现图谱基础上进行突现词分析,将持续时间设置为2年,进行检索后获得9个关键词,即图6。从图6中可以看出,“整治”、“防治措施”等词在2000~2023时期内均有出现,可说是贯穿领域研究发展始终。从突现词分布强度及持续时间来看,研究热点变化可分为两个阶段。第一阶段是2000~2012年,领域内多注重于路基病害检测及处理措施,诸多学者在总结处理措施时,也提出需要建立路基工程公路工程整体的质量管理检测体系,系统防治路基病害。第二阶段为2012-,随着基建建设深化,该阶段内领域研究更侧重于重载铁路,高速公路等交通设施的路基病害研究治理,同时引入了探地雷达,图像智能识别等新技术。如岳海潮[23]总结了重载铁路常见的路基病害现象,如翻浆冒泥与路基下沉等,并针对性提出了治理措施;乔景芳[24]研究了探地雷达无损检测技术的探测实验原理与方案,以及四种常见的路基病害及其雷达判识特征;张万涛[25]等以某段重载铁路的路基病害治理工程为例,介绍了斜打旋喷桩技术在治理工程中的应用,并使用瞬态瑞雷波法检测治理效果。数据表明,旋喷桩技术在治理工程中效果良好,且瞬态瑞雷波法检测效果也具有较好的可信度。杜彦良[26]针对探地雷达检测重载铁路

路基病害识别中存在数据量大、耗时长、经验差异等问题,提出了一种基于稀疏表示的路基病害识别方法,基于探地雷达的电磁传播特征及雷达图像特征进行训练,求解 11 范数下的最优化问题,结果表明基于稀疏表示的病害识别速度和准确率得到明显提高。

新技术的引入使得检测手段变得越来越精准,高效,并且对于特殊条件下的路基病害检测也有一定帮助。

## 4. 结论

本次研究基于中文文献数据库,对 2000~2023 年路基病害学科文献进行了 CiteSpace 可视化分析,借助知识图谱,从文献历年发文量、作者、研究机构及关键词等方面对所获得 351 篇文献信息进行分析并详细阐述领域内各方面发展变化情况,大致可以得出以下几点结论。

1) 2000~2023 年间,路基病害研究领域历年发文量呈上升-波动-发展趋势,在 2000~2010 年间随着基建开发进展发文量逐年上升,学科本身由于实际工程应用需求热度不断上涨;2011~2019 年间处于平稳发展阶段,领域研究内容开始深化,近年来(2020~2023)发文量有所下滑,也代表着领域研究逐渐成熟。

2) 领域内研究机构众多,出于路基病害研究本身的较强实用性,研究机构大多为公路铁路建设施工单位,另外包括一部分科研院所与高校,但机构之间合作交流研究较少;与研究机构现状类似,领域内研究者众多,但大多分散研究,发文量大多在 1~2 篇,最高发文量作者为李海滨学者为核心的研究团队,但也仅有 6 篇,说明研究者之间不仅缺乏相互合作交流,也未形成核心作者研究群体,在机构与研究两方面,建议加强相互之间跨地区的合作交流,深化校企合作科研,推动领域协同发展。

3) 在关键词聚类,时间线及序列方面,频次与中心性最高的关键词为多年冻土、探地雷达、高速公路等词。而聚类结果上,由前三位的聚类“公路工程”、“检测方法”、“探地雷达”,可以看出,在路基病害领域内,对于路基病害检测方法研究更加频繁深入,应用于高速公路及多年冻土区公路的病害检测中。突现结果则说明,近年来的研究热点在病害智能识别评估与探地雷达的创新应用结合上。同时面对频发的自然灾害,山地公路的路基病害识别判断,治理预防措施的新工艺与新材料或将成为未来研究热点。

## 5. 展望

我国公路铁路运营里程数巨大,基础设施建设成就斐然,近几年虽然基建进度放缓,但公路铁路及其基础设施维护作为基建维护的一部分仍有巨大需求空间。近五年来,极端天气频发,局部暴雨,洪水地震等自然灾害增多,不可避免地对各地区公路铁路使用造成破坏,随之涌现出越来越多极端特殊情况下的路基病害问题,限于探测维护的便捷性,引入图像识别等人工智能技术的检测方法会是领域内新的技术增长点,或会引领领域内新的变革。

## 资助项目

山东省公路桥梁建设集团有限公司广元磨石坡至曾家山公路 2023 年科技项目经费资助。

## 参考文献

- [1] 刘秋生,王俊杰,王婷.公路崩滑体路基病害及治理[J].山东农业大学学报(自然科学版),2009,40(2):273-276.
- [2] 庞应刚,姚裕春,李楚根,等.斜坡高路堤路基病害治理及分析[J].铁道工程学报,2015,32(6):25-28,68.
- [3] 隋昕展,杜衍庆,师海,等.道路路基脱空病害雷达波场数值模拟与瞬时属性分析[J].科学技术与工程,2024,24(2):782-788.

- [4] 李鹏飞, 孙万军, 张志国, 等. 聚氨酯碎石道床在既有线路基病害整治中的应用[J]. 铁道建筑, 2022, 62(9): 52-55.
- [5] 刘晗瑞. 基于 CiteSpace 的国内电子政务研究热点及趋势预测可视化分析[J]. 现代信息科技, 2024, 8(4): 88-91, 96. <https://doi.org/10.19850/j.cnki.2096-4706.2024.04.018>
- [6] Luo, H., Cai, Z., Huang, Y., et al. (2021) Study on Pain Catastrophizing from 2010 to 2020: A Bibliometric Analysis via Cite Space. *Frontiers in Psychology*, **12**, Article 759347. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.759347>
- [7] 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. <https://doi.org/10.13249/j.cnki.sgs.2016.05.001>
- [8] 刘丽强. 基于 CiteSpace 可视化分析的社会投资理论文献综述[J]. 西部学刊, 2024(4): 30-33. <https://doi.org/10.16721/j.cnki.cn61-1487/c.2024.04.002>
- [9] 谢冬凌, 郑菲. 我国新闻出版行业智库研究热点及趋势展望——基于 CiteSpace 知识图谱分析[J]. 传播与版权, 2024(4): 57-62. <https://doi.org/10.16852/j.cnki.45-1390/g2.2024.04.019>
- [10] 张学颖. 基于 CiteSpace 的我国高校科技期刊研究领域现状与热点分析[J]. 传播与版权, 2023(2): 10-15. <https://doi.org/10.16852/j.cnki.45-1390/g2.2023.02.005>
- [11] 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.
- [12] 陈悦, 陈超美, 刘则渊, 等. CiteSpace 知识图谱的方法论功能[J]. 科学学研究, 2015, 33(2): 242-253. <https://doi.org/10.16192/j.cnki.1003-2053.2015.02.009>
- [13] 贾鑫. 路基路面病害检测及治理方案分析[J]. 交通科技与管理, 2023, 4(24): 64-67.
- [14] 李晓楼. 不同影响因素对公路路基翻浆冒泥的影响[J]. 交通世界, 2023(5): 107-109. <https://doi.org/10.16248/j.cnki.11-3723/u.2023.z2.071>
- [15] 杨峰, 李鹏华. 盐渍土路基道路工程施工技术分析[J]. 科技资讯, 2023, 21(19): 96-99. <https://doi.org/10.16661/j.cnki.1672-3791.2210-5042-5348>
- [16] 张留俊, 裴友强, 张发如, 等. 降水入渗条件下氯盐渍土水盐迁移规律[J]. 交通运输工程学报, 2023, 23(4): 116-127. <https://doi.org/10.19818/j.cnki.1671-1637.2023.04.008>
- [17] 吕会娟. 冻土地区路基病害及治理措施分析[J]. 交通世界, 2023(24): 29-31. <https://doi.org/10.16248/j.cnki.11-3723/u.2023.24.023>
- [18] 彭惠, 魏尧, 袁堃, 等. 多年冻土公路路基水分迁移规律与成灾机制研究[J]. 公路交通科技, 2023, 40(3): 42-50.
- [19] 仵靖. 超声多普勒监测多年冻土区路基变形方法研究[J]. 天津建设科技, 2022, 32(6): 9-11, 17.
- [20] 柴贺军, 李海平, 王俊杰. 山区公路斜坡地形路基病害类型及处治方法[J]. 公路交通技术, 2008(6): 1-5, 10.
- [21] 张勇. 我国高校阅读推广研究演进路径、热点与趋势分析[J]. 图书馆工作与研究, 2020(8): 87-97. <https://doi.org/10.16384/j.cnki.lwas.2020.08.012>
- [22] 唐荣, 魏欣, 马江, 等. 基于 CiteSpace 科学知识图谱分析石榴皮研究现状及热点[J]. 中草药, 2023, 54(12): 3949-3961.
- [23] 岳海潮. 浅谈重载铁路路基床病害与整治[J]. 科技与创新, 2017(3): 131-132. <https://doi.org/10.15913/j.cnki.kjycx.2017.03.131>
- [24] 乔景芳. 重载铁路既有线路基病害探地雷达无损检测方法[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2017(9): 224-225. <https://doi.org/10.19569/j.cnki.cn119313/tu.201709190>
- [25] 张万涛, 邓建义, 杨德喜. 旋喷桩在重载铁路路基下沉病害整治中的应用[J]. 铁道标准设计, 2015, 59(1): 64-67. <https://doi.org/10.13238/j.issn.1004-2954.2015.01.015>
- [26] 杜彦良, 侯哲哲, 赵维刚. 一种基于稀疏表示的重载铁路路基病害快速识别方法[J]. 土木工程学报, 2013, 46(11): 138-144. <https://doi.org/10.15951/j.tmgcxb.2013.11.011>