

# 基于知识图谱的公路水毁灾害研究热点及发展趋势分析

张方<sup>1</sup>, 赵轲<sup>1</sup>, 夏银勇<sup>1</sup>, 韩延伟<sup>1</sup>, 李言昂<sup>2\*</sup>, 韩培锋<sup>2</sup>, 陈代果<sup>2</sup>

<sup>1</sup>山东省公路桥梁建设集团有限公司第四公司, 四川 成都

<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: 2023年7月24日; 录用日期: 2023年10月17日; 发布日期: 2023年10月25日

## 摘要

公路水毁是较常见的公路运行灾害, 为分析当前公路水毁研究领域发展趋势及研究热点, 以“公路水毁”为主题词, CNKI收集的2000年~2023年的392条文献记录, 由CiteSpace文献分析软件进行可视化分析。研究结果表明: 1) 公路水毁研究领域经历了稳定-增长-稳定的发展阶段, 公路水毁领域引起学者重视较早, 但近20年研究总体处于稳定发展状态。2) 马保成、凌建明、田伟平、赵洪铎、陈洪凯等学者为领域内核心研究者, 其发文频次均在5及以上。长安大学特殊地区公路工程教育部重点实验室、重庆交通大学岩土工程研究所和同济大学道路与交通工程教育部重点实验室为领域内核心研究机构, 但领域内机构之间相互合作研究较少, 没有形成成熟的合作研究网络。3) “公路水毁”、“公路工程”“农村公路”“山区公路”等早期存在, 但近几年成为研究热点, 相关学者在已有基础上取得了一系列的研究成果。本篇研究成果, 可帮助人们进一步梳理公路水毁研究领域近年来的主要研究现状以及发展问题与成果, 同时通过回溯最近二十年来的主要研究发展过程, 也可供有关研究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

公路水毁, CiteSpace, 知识图谱, 可视化

# Research Hotspots and Development Trends of Highway Flood Damage Based on Knowledge Graph

Fang Zhang<sup>1</sup>, Ke Zhao<sup>1</sup>, Yinyong Xia<sup>1</sup>, Yanwei Han<sup>1</sup>, Yan'ang Li<sup>2\*</sup>, Peifeng Han<sup>2</sup>, Daiguo Chen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>The Fourth Company of Shandong Highway and Bridge Construction Group Co., Ltd., Chengdu Sichuan

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

\*通讯作者。

文章引用: 张方, 赵轲, 夏银勇, 韩延伟, 李言昂, 韩培锋, 陈代果. 基于知识图谱的公路水毁灾害研究热点及发展趋势分析[J]. 地球科学前沿, 2023, 13(10): 1196-1206. DOI: 10.12677/ag.2023.1310114

## Abstract

Highway flood damage is a common highway operation disaster. To analyze the current development trend and hot research direction in the field of highway flood damage research, takes "Highway flood damage" as the subject word, 392 document data collected by CNKI China Knowledge Network from 2000 to 2023 were visually analyzed by CiteSpace document analysis software. The results show that: 1) The research field of highway water damage has experienced a development stage of steady-growth-stability, and the field of highway water damage has attracted the attention of scholars earlier, but the research has been in a stable development state in the past 20 years. 2) Ma Baocheng, Ling Jianming, Tian Weiping, Zhao Hongduo, Chen Hongkai and other scholars are core researchers in the field, and their publication frequency is 5 or more. The Key Laboratory of Highway Engineering in Special Areas of Chang'an University of the Ministry of Education, the Institute of Geo technical Engineering of Chongqing Jiaotong University and the Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education of Tongji University are the core research institutions in the field, but there are few cooperative researches among institutions in the field, and no mature cooperative research network has been formed. 3) "Highway water damage", "highway engineering", "rural road" and "mountain road" existed in the early stage, but in recent years, these three subject words have become research hot spots, and some scholars have achieved a number of results built on the existing research. The results of this study can help people to further sort out the main research status, development problems and achievements in the field of highway flood damage research in recent years. At the same time, by reviewing the main research and development process in the past two decades, it can also be used as a reference for relevant researchers to carry out the key research and future development prediction of this discipline in recent years.

## Keywords

Flood Damage of Highway, CiteSpace, 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

进入新世纪,伴随着经济的高速发展,国家越来越重视基础设施的建设。而公路作为重要的基础设施之一,也是我国重要的交通运输形式,对经济发展起到了极大的促进和保障作用。截止到2022年,我国公路里程达到535.48万公里。公路建设蓬勃发展的同时,灾害对公路的严重毁坏以及实际工程的需求,也使得研究人员逐渐注意到灾害对公路影响。其中最引人注意的是水毁灾害。公路水毁是指公路沿线的工程设施由于受到水的作用遭到损坏的现象与过程。常见的公路水毁类型有边坡坍塌、路基沉陷、涵洞破裂以及桥梁滑移等,涉及区域地质条件、水文条件、工程地质条件、公路设施强度等诸多因素[1]。

长期以来,国内学者对公路水毁做出了一系列研究。常昇宏在已有基础上进行了公路小桥涵的破坏类型与成因分析,运用模拟计算,对冲刷原理进行了深入分析,并在此基础上提出了相关应对措施[2]。

陈远川在资料收集整理和现场调研等多种方式下,总结暴雨性公路水毁机制与成因规律,同时对类型占比最大的路堤边坡水毁机制进行分析,揭示了暴雨不同阶段划分与水毁成因机制之间的关系,并给出了社会治理对策及科学技术对策,为相关部门公路水毁治理提供了治理依据[3]。

马保成等运用洪水灾害风险管理理论,对沿河公路路基水毁灾害选取危险性易损性因素进行风险识别及灾害破坏性评估,并给出了公路水毁灾害评价方法和路基易损性评价模糊评价方法,运用经济损失总量计算水毁经济破坏损失[4]。杨松久以西南公路为研究对象,总结公路路基水毁因,并对现有支护结构形式与公路路基快速修复之间关系进行适应性分析,提出了采用格宾挡墙或配筋混凝土砌体箱式挡土墙对水毁路基进行快速修复,借助有限元软件分析配筋混凝土砌体箱受力规律,并提出相应设计计算方法,为公路路基水毁快速修复提供指导[5]。

国内学者在公路水毁领域进行了多方面的深入研究,取得了一系列成果,但是针对领域内相关成果及发展变化过程、研究动态进行梳理总结的文献较少,而传统方法对于大量文献梳理研究存在一定局限性,因此面对海量文献时运用现代科学计量法尤为必要。基于此利用 CiteSpace 文献计量分析软件,以中国知网(CNKI)数据库内领域相关文献为基础,对近 20 年来相关文献进行分析研究。

可视化研究是指利用相关计算程序挖掘文本的数据内容,选择研究的问题,通过科学计量方法,描绘直观的图像等手段对某一学科知识作出方向研究,产生学科引导效果[6]。自 2006 年 CiteSpace 引入国内,许多不同领域的学者运用可视化技术分析学科演进过程及各个阶段的不同热点及研究情况变化。如胡亦武使用知识图谱可视化技术分析我国 40 年来农民工问题变化。梳理我国学者有关农民工问题的研究脉络、特征以及未来可能的研究方向,并对未来研究热点进行了预测[7]。王金伟对 1992~2005 年京津冀问题研究文献进行了可视化分析,并总结了三个不同阶段及个阶段间的研究热点,研究特征及对研究前沿进行了分析[8]。

## 2. 数据来源和分析方法

### 2.1. 数据来源

为进一步认识“公路水毁”热点问题,了解相关领域机构,作者,及其之间合作关系,发展状况,领域热点,进而深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“公路水毁”研究为主体,搜索范围为 2000 年~2023 年,共检索得到 410 篇有关文献,搜索日期为 2023 年 6 月 8 日上午 10:57,经进一步收集与分析,在剔除了重复论文,书评,以及公开报道之后,总共得到了 392 篇有关文献。

### 2.2. 分析方法

#### 2.2.1. 分析方向

通过检索到的 392 篇文献,将通过 CiteSpaceV 对其展开分析研究。由于软件无法分析 CNKI 文献的共被引数据,所以接下来的分析重点是对文献的作者合作网络与机构合作网络的分析上,借助对上述方面的知识图谱分析研究,做到对学科内研究者和机构合作情况及现状有一定了解,同时借助关键词共现以及对共现图谱的数据了解学科现阶段发展状况及确定当前热点研究方向。

#### 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,它以知识域为主要研究目标,直观地展现了科学知识所表现的结构特征与规律,并探讨其演变历程和结构之间的相互关联。而 CiteSpace 则是一个采用 Java 语言编写的文献计量软件,利用可视化图谱展示在科学技术过程中所深入发现的知识结构。目前, CiteSpace 主要用于知识图谱研究综述,探测

知识领域的热点、动态、前沿和发展趋势等。这项技术原来应用于教育、企业管理学等专业，近年来，在各专业交叉的态势下，已经在医学、土木工程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。Ochiai 相似系数能表现出文本之间的共现率[9]。

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

$A, B$  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

为了对近年来公路水毁领域内的研究成果及热点进行分析，本文使用中国知网数据库(CNKI)，以“公路水毁”为关键词进行检索，获得 410 篇相关文章信息。文献获取后，对其重复文献以及书评新闻等进行删除挑选，得到 392 篇文献，时间为 2000 年~2023 年 5 月。使用上述操作后获得的文献开展本文研究工作。下图 1 给出了 2000 年~2023 年公路水毁相关的文献，研究领域内文献数量的变化，在一定程度上代表了领域内研究趋势的发展变化情况。通过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。

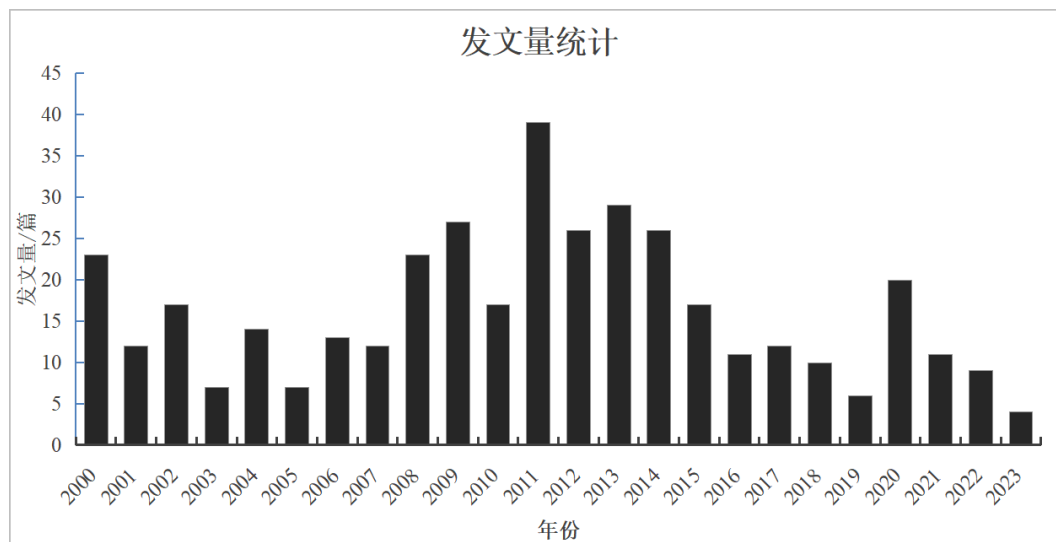


Figure 1. The number of “Flood damage of highway” in China, 2000~2023

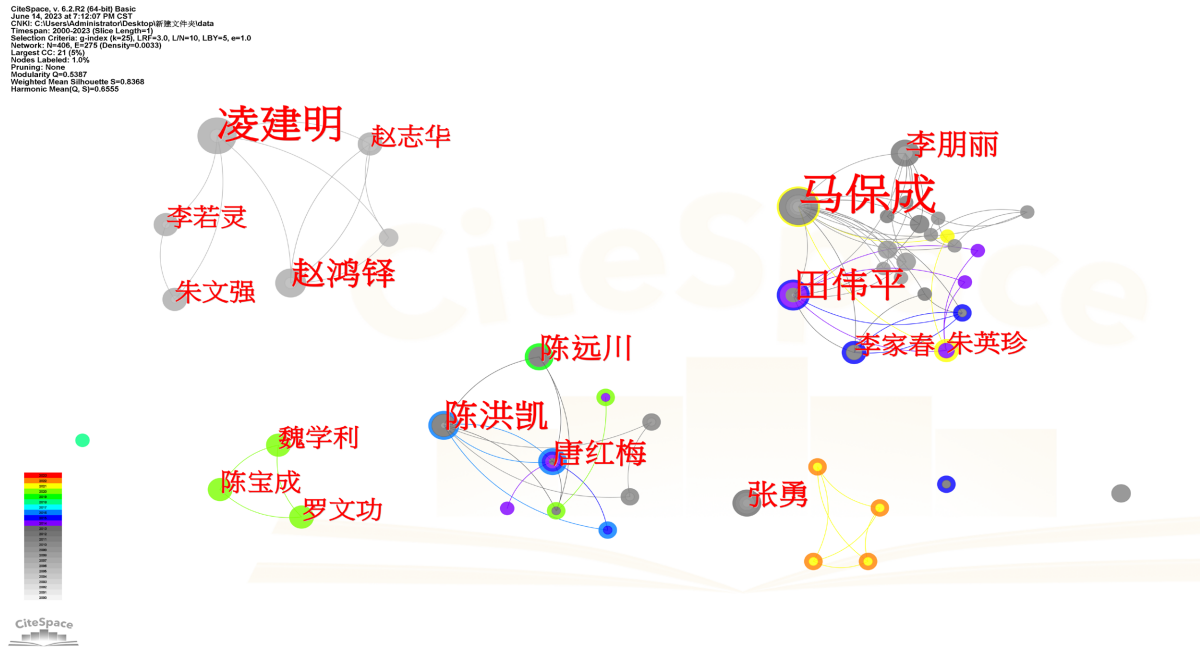
图 1. 2000~2023 年中国“公路水毁”发文数量分析图

从发文量图可知，公路水毁研究文章发文量呈现出较大的起伏。可将全图发文量变化趋势分为三个阶段，第一阶段为 2000~2007 年，为稳定发展期，期间国家组织进行公路水毁项目研究，研究进行期间，文章发文量趋势平缓。第二阶段为 2008~2014 年，公路水毁研究文章发文量不断上升，2011 年发文最高，达到 39 篇。08 年以后，伴随着建设工程建设的深入开展，相关学者推进了公路水毁领域的研究，同时 10 年我国多地发生的洪涝灾害，也使得研究人员对公路水毁的研究增多。

第三阶段是 2015~2022 年，此阶段内发文量逐步稳定，2020 年的发文量激增原因与 2011 年类似，收

到了 2020 年我国南方洪涝灾害影响，各地公路水毁受灾严重，使得国内学者开始再次加强这一领域研究。

### 3.2. 文献作者群体分析



**Figure 2.** Cooperation diagram of authors of “Flood damage of highway” in China from 2000 to 2023  
**图 2.** 中国 2000~2023 年“公路水毁”作者合作关系图

**Table 1.** Statistics of published papers by authors of “Flood damage of highway” in China 2000~2023  
**表 1.** 2000~2023 年中国“公路水毁”作者发文统计

序号	发文数量/篇	作者
1	10	马保成
2	8	凌建明
3	6	田伟平
4	5	赵洪铎
5	5	陈洪凯
6	4	唐红梅
7	4	张勇
8	4	李朋丽
9	4	陈远川
10	3	朱文强

通过 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联系。上图中，“N”代表作者发文数量，节点越大则发文量越多，“E”指节点之间的连线，代表了文章作者之间的合作连接关系。在图 2 中，共有节点 406 个，连接 275 条，网络密度为 0.0033。从表 1 结合图 2 可以看出，领域早期研究时期是以赵洪铎，凌建明等为核心的作者研究文章较多，发表文章数量达到了整体数量的 1.2%，2%。这之后是马保成和田伟平为核心的研究团体，其发文量最多，同时团体



内合作联系也最紧密，核心作者发文量分别达到了文献整体基数的 2.5% 和 1.5%。而其他核心作者例如陈洪凯，唐红梅等学者的发文量只分别占到整体数量的 1.2%，1%。其他研究者发文数量较小，频次大多在 1 篇，也未形成较大的合作团体。这也从侧面反映出公路水毁研究领域研究者众多，但研究者之间相互合作联系少，整体呈分散趋势，没有形成较大的研究合作团体。

### 3.3. 机构合作分析

首先，在搜索后所得到的 392 篇论文上进行了研究机构的可视化网络分析，节点类型为“Node Types = Institution”，时区选择为 2000~2023 年，时间切片定为 1 年，，阈值选择为 50，即每一年的文章排名前五十的机构。在完成了可视化统计分析以后，再调整至仅提供了总发文量  $\geq 3$  以上的研究机构，得到公路水毁发文机构图谱如图 3 所显示，随后又再次调整了排序得出表 2。

从图 3 数据来看，节点  $N = 365$ ， $E = 80$ ，网络密度  $density = 0.0012$ 。综合表 2 图 3 分析可得，公路水毁研究机构的合作网络松散，各机构之间合作较少，同时长安大学特殊地区公路工程教育部重点实验室形成了一家独大的局面，其次是重庆交通大学岩土工程研究所同济大学道路与交通工程教育部重点实验室分别占第二第三。与作者分析相近的是研究机构众多但各自分散单独研究，建议各研究机构应加强相互之间的相互合作联系。



Figure 3. The institution of “Flood damage of highway” in China, 2000~2023

图 3. 2000~2023 年中国公路水毁发文机构图谱

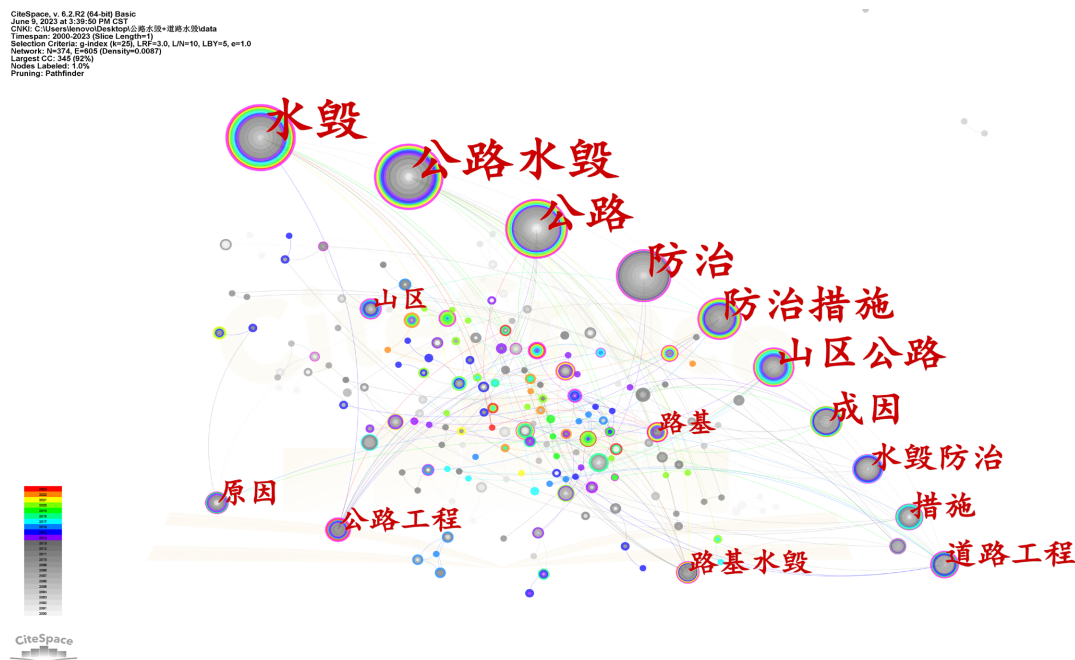
Table 2. Ranking of “Flood damage of highway” publishing agencies in China, 2000~2023

表 2. 2000~2023 年中国“公路水毁”发文机构排名

序号	频次	机构
1	13	长安大学特殊地区公路工程教育部重点实验室
2	7	重庆交通大学岩土工程研究所
3	6	同济大学道路与交通工程教育部重点实验室
4	5	重庆交通学院岩土工程研究所
5	4	西安科技大学
6	3	辽宁省交通厅公路管理局
7	3	新疆维吾尔自治区交通规划勘察设计研究院

### 3.4. 关键词分析

#### 3.4.1. 关键词共现图谱分析



**Figure 4.** Knowledge atlas of key words of “Flood damage of highway” from 2000 to 2023

**图 4.** 2000~2023 年中国“公路水毁”关键词知识图谱

通常一篇论文中的关键字往往彼此存在着联系，利用关键字共现研究能够反映学术领域中主要的研究目标，以及逐年的学术变迁和发展趋势，也能直接反映不同时间内的热点领域、研究观点和研究方式的不同[10]。在软件中，将时间切片定为 1a，阈值 Top N = 50，得出关键词共现网络图谱，即图 4，图谱中的节点大小反映了该节点所代表的关键词出现频次。图中连接线颜色反映了关键词首次共被引的时间。

若图中节点外圈出现紫色，则说明该节点的中介中心性最强。结合图中节点间连接线，可看出“公路水毁”、“防治措施”、“公路”、“防治”等为进二十二年研究热点所在。

**Table 3.** Key word centrality of “Flood damage of highway” in China from 2000 to 2023

**表 3.** 2000~2023 年中国“公路水毁”关键词中心度

序号	关键词	频次	中心度
1	水毁	128	0.42
2	公路水毁	120	0.4
3	公路	81	0.27
4	防治	71	0.23
5	防治措施	52	0.28
6	山区公路	48	0.23
7	成因	33	0.05
8	公路工程	20	0.12

去除检索基础词公路水毁,水毁,结合表 3 可知,“防治”、“防治措施”、“山区公路”、“成因”是 4 个中心度最高的关键词,说明在公路水毁学科领域中,较多研究都与此 4 个关键词有关。

### 3.4.2. 关键词 LLR 聚类分析

在聚类分析中,选择 LLR 的对数似然算法(Log-Likelihood Ratio)。选择此算法,将能够精确判断公路水毁研究领域的热点,并对公路水毁研究热点的结构紧密性展开分析研究。运用 CiteSpace 软件的快速聚类方法提取关键词,调整相应参数后得到图 4 所示的知识图谱。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[11]。图 4 中, $Q = 0.8449 > 0.3$ ,说明聚类结果良好,平均轮廓值为  $0.9526 > 0.7$ ,说明该聚类结果有较高的可信度。根据图 5,2000~2023 公路水毁学科研究可以由图中 9 大聚类模块展开,同时结合聚类节点平均年份,可以看出聚类内的学科演化过程。

在研究初期(2000~2004 年),公路水毁领域研究主要聚焦在对水毁灾害的成因以及对应的防治措施,即聚类#0, #4, #5; 研究中期(2005~2019 年),研究主要集中在对山区公路,以及公路水毁灾害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#5, #7, #8。近期研究(2019~)主要集中在增强公路以及公路路基抗水毁能力的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 2008~2014 年,与 08 年建设工程的大开展吻合,随着时间推进,说明国内公路水毁领域学科研究伴着现实工程所遇到的问题,不断深化拓展。

时间线视图可以很好地反映研究主题与聚类之间的关系以及主题在某个时间段上的跨度。本研究中的时间线视图以聚类为横轴、年份为纵轴,每个关键词在最早出现的年份固定,两个关键词节点之间通过线条连接,表示两个关键词之间存在共现关系。

从图 6 所示,大部分聚类强度接近,#4 强度最低,跨度为 2000~2015 年,2015 年后#4 就没有出现。其次为#5,在 2017 年后#5 也再未出现。由此预测,#4 与#5 不在未来几年的学科研究热点之内。而#0、#1、#2、#7、#8 等聚类都将持续作为研究热点加以探索和深入研究

整理关键词聚类时,把每个聚类的前三个名词列表并进行聚类的量化研究(summary of clusters)。聚类内部的关键词越多,其 ID 也就越小,这表明它涉及的范围也越来越宽泛。从表 4 可知,前三位的聚类分别是“公路水毁”、“山区公路”、“山区”,从表中可以看出在公路水毁研究领域,对于山区公路的水毁研究最为广泛和深入。山区地质地形情况的复杂性以及较大的设计施工难度,让山区公路成为了水毁灾害的多发区。此外,公路水毁灾害一直持续不断研究的是灾害发生的具体成因分析及相应防控措施研究。聚类中关键词的同质性由紧密程度值这一项反映出来,聚类内部紧密程度值越大,代表内部成员相似性越高。表中每个聚类紧密程度均大于 0.8,说明聚类内部具有高同质性,同时聚类效果良好,关键词之间相互关联紧密。如在“山区公路”聚类中,“山区公路”、“水毁”和“路基”联系最为紧密,在“公路”聚类中,“公路”、“公路水毁”和“防护”联系最为紧密。

### 3.4.3. 研究主题演进与前沿分析

在 CiteSpace 中,节点类型选择关键词,运用 Burst detection 功能进行突发性检测,可以检测出某个时间段内突然大量出现的关键词。进行关键词突现分析,将持续时间设置为 2 年,进行检索后获得 8 个关键词,即图 7。

从图 7 中可以看出,“防治”一词的持续时间最长,说明在很长一段时间内公路水毁研究领域重点在水毁本身的防治问题。而自 2011 年后,研究关键词转变为“公路工程”、“山区公路”、“农村公路”,其中“农村公路”从 2019 年开始持续到了现在,说明新进十余年的研究热点除山区公路外,集中在农村



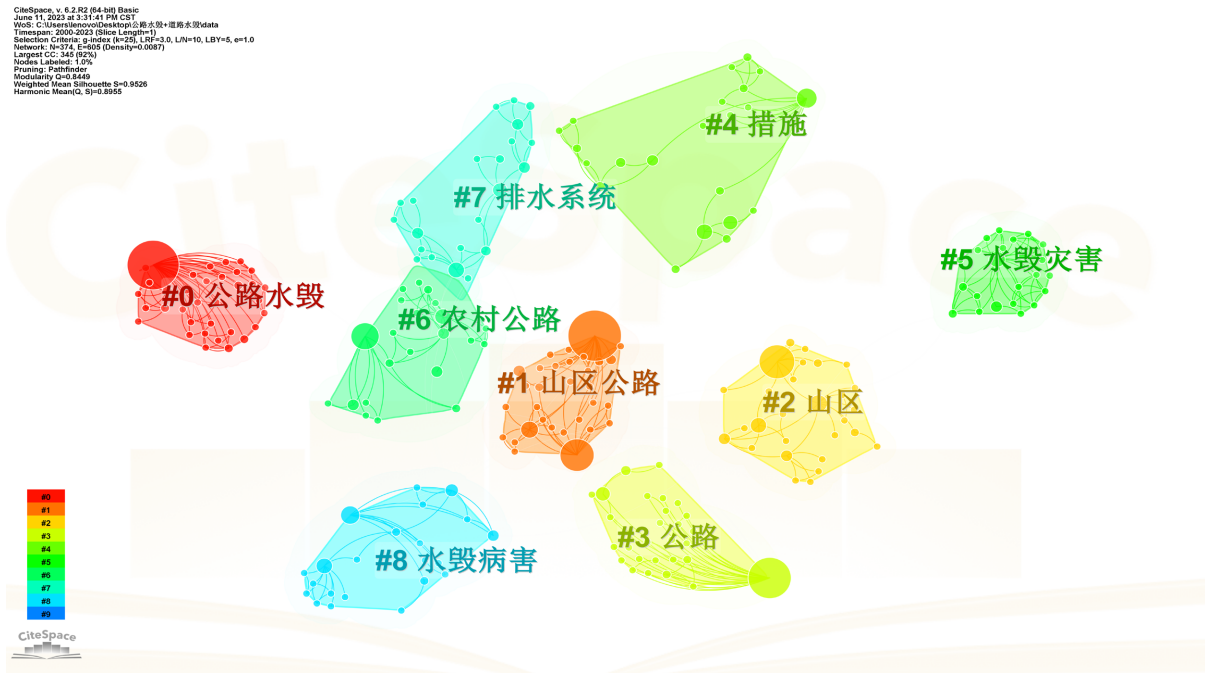


Figure 5. Knowledge atlas of keyword clustering of “Flood damage of highway” in China from 2000~2023  
图 5. 2000~2023 中国 “公路水毁” 聚类知识图谱

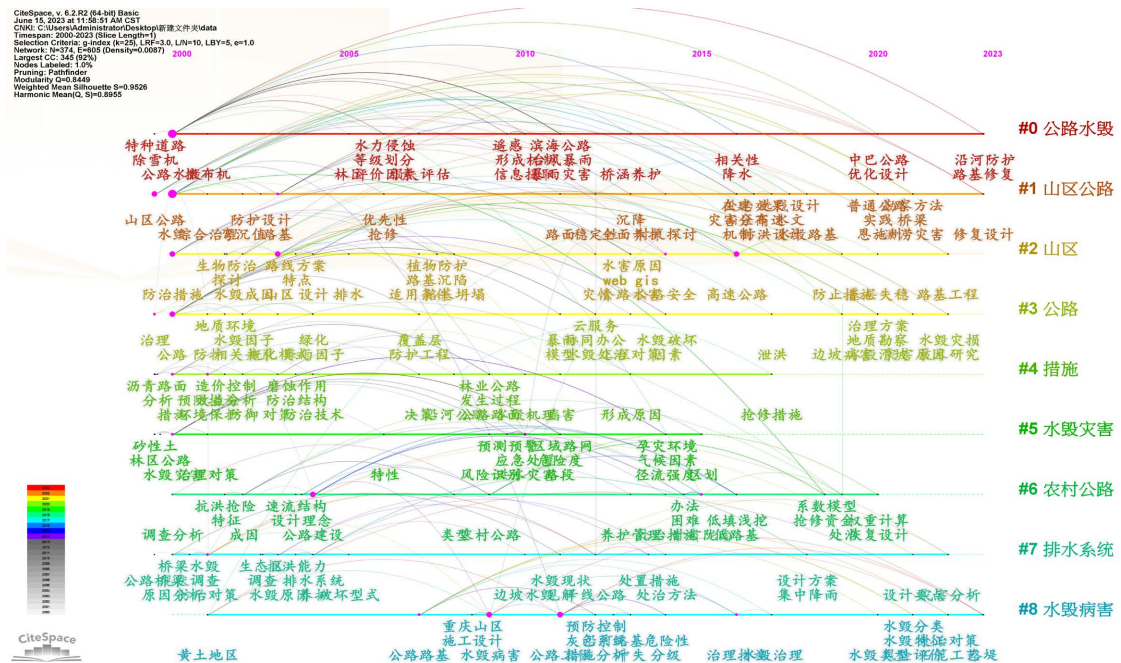


Figure 6. Cluster map of time-line of “Flood damage of highway” in China from 2003~2021  
图 6. 2000~2023 年中国 “公路水毁” 时间线聚类图谱

Table 4. 2000~2023 China “Flood damage of highway” cluster analysis table  
表 4. 2000~2023 中国 “公路水毁” 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 公路水毁	35	1	2008	公路水毁 41.77; 水毁 27.09; 公路 14.42

## Continued

#1 山区公路	31	0.939	2013	山区公路 49.45; 水毁 33.63; 路基 25.81
#2 山区	28	0.896	2008	山区 24.44; 防治措施 19.34; 设计 15.07
#3 公路	27	0.946	2011	公路 40.3; 公路水毁 12.6; 防护 10.03
#4 措施	24	0.923	2004	措施 18.05; 分析 16.83; 环境保护 11.18
#5 水毁灾害	23	0.956	2007	水毁灾害 27.19; 风险识别 6.7; 强度和稳定性 6.7
#6 农村公路	22	0.962	2011	农村公路 27.3; 成因 14.77; 类型 14.4
#7 排水系统	22	0.935	2008	排水系统 20.29; 原因分析 13.46; 干线公路 9.71
#8 水毁病害	22	0.946	2014	水毁病害 19.71; 公路工程 17.05; 公路路基 15.28

## Top 8 Keywords with the Strongest Citation Bursts

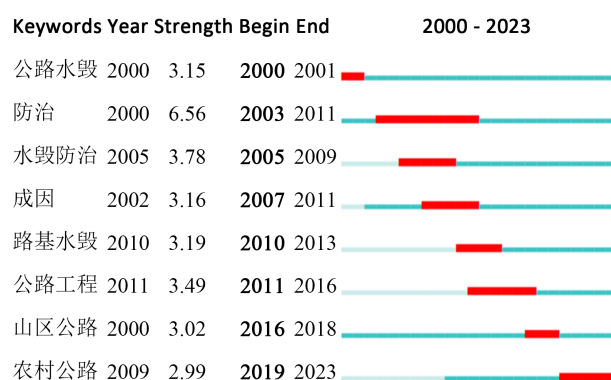


Figure 7. Emerging keywords of “Highway flood damage” in China from 2000 to 2023

图 7. 2000~2023 年中国“公路水毁”突现关键词

公路的水毁研究上, 如杨棚以云南省内农村公路水毁严重案例为基础, 结合云南省特殊地质条件对损毁进行分类, 并对照其他省份公路水毁情况及防治措施, 提出了适用于云南省农村公路水毁的防治建议[12]。李先忠以闽南某地区农村公路作为研究区, 根据案例得到评价因子, 使用层次分析法对评价因子进行影响权重分析, 为闽南地区公路风险定量分析提供了理论依据[13]。万冬华在重庆农村公路路面使用状况进行调研基础上, 针对资金不足等缺点提出了全寿命分析模型, 并给出了提高路面耐久性的相关措施[14]。金佳旭等建立了无防水毁浆砌片石等 3 种工况下的水毁模型, 试验表明无防水毁工况下的冲刷水毁过程具有渐进性, 揭示了山区公路桥梁结合部位水毁规律[15]。

#### 4. 结论与展望

本文依托于 CNKI 数据库, 对 2000~2023 年间中国公路水毁领域的研究论文进行了知识图谱的分析, 从研究论文的历年及所发文献数量, 著者, 研究机构和关键词等方面文献资料进行分析并详尽介绍各方面发展变化情况, 大致可以得出以下几点结论。

1) 从文献发表数量看, 2000~2023 年中国公路水毁研究领域的历年发文数量呈现阶段式发展的状况, 且各阶段内起伏变化较大, 在发文数量最大的 2011, 2020 年, 其各自年份都发生了较严重的洪水灾害, 各地公路的水毁受灾破坏暴露出公路工程更多问题同时为相关研究提供了更多的工程实例。学科前期以陈洪铎、凌建明为核心的研究团队为公路水毁早期的成因探索及措施研究做出了贡献, 中后期形成了马保成为核心的研究团队及一些单独进行研究的学者等更侧重于水毁破坏评估与风险等级评价。

2) 从领域内相关研究机构方面看, 长安大学特殊地区公路工程教育部重点实验室发文量占据榜首且为第二位和第三位机构发文量总和, 其他机构发文量均在 2~3 篇。由此可以看出领域内各机构相互合作较少而且近年来的研究方向不够深入。

3) 从关键词聚类及高频词方面看, 通过关键词图谱及共现分析和聚类分析, 研究重点集中在“山区公路”“山区”“农村公路”等关键词。同时“山区公路”“农村公路等等持续到现在, 为研究热点。“措施”“成因”等为研究最为深入的关键词, 几乎贯穿整个研究时间段。

4) 随着信息化的发展, 公路水毁研究也逐渐从总结性的实地调研成因机理探索演化到运用数字模拟软件进行仿真模拟与实地探察相结合的模式。而防治措施的研究, 也涌现出越来越多的新技术及施工方法来面对山区公路农村公路等复杂特殊情况的公路水毁修复问题。

未来公路水毁研究领域中, 研究人员及各研究机构应加强相互联系合作。近几年来强降雨暴雨等局部异常天气频发, 对于强降雨及复杂地质条件下的山区公路农村公路水毁灾害等级评估及灾后快速修复技术应是未来领域内研究重点。

## 基金项目

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。

## 参考文献

- [1] 李莉. 浅谈公路水毁的成因与防治[J]. 公路, 2004(5): 179-182.
- [2] 常昇宏. 山区公路小桥涵水毁形成机理与防护试验研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆交通大学, 2023. <https://doi.org/10.7666/d.Y2559718>
- [3] 陈远川. 山区沿河公路水毁评估与减灾方法研究[D]: [博士学位论文]. 重庆: 重庆交通大学, 2012.
- [4] 马保成, 田伟平, 李家春. 山区沿河公路水毁危险性评价方法的研究[J]. 自然灾害学报, 2012, 21(3): 6.
- [5] 杨松久. 水毁路基快速修复相关问题研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2013.
- [6] 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.
- [7] 胡亦武, 杨康. 我国农民工问题研究 40 年: 脉络、特征与趋势——基于 CiteSpace V 的可视化研究[J]. 华南理工大学学报(社会科学版), 2019, 21(4): 100-110. <https://doi.org/10.19366/j.cnki.1009-055X.2019.04.011>
- [8] 王金伟, 张赛茵, 秦静, 等. 京津冀研究的热点与前沿——基于 CiteSpace 的知识图谱分析[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(6): 106-113.
- [9] 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, 24(13): 2327-2332.
- [10] 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
- [11] 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.
- [12] 杨棚. 云南省农村公路水毁灾害分析及对策研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2020. <https://doi.org/10.27200/d.cnki.gkmlu.2020.001229>
- [13] 李先忠. 丘陵山地农村公路水毁灾害成因分析与风险评价——以泉州市德化县农村公路为例[J]. 地质灾害与环境保护, 2020, 31(2): 80-86.
- [14] 万冬华. 重庆农村公路路面耐久性改善对策研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆交通大学, 2013.
- [15] 金佳旭, 许彬, 董天文, 等. 山区公路桥梁结合部位水毁防治试验研究[J]. 中国安全科学学报, 2017, 27(8): 108-113. <https://doi.org/10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2017.08.019>