

基于知识图谱的高位远程滑坡碎屑流研究热点及趋势分析

张应林¹, 杨 芍¹, 杨建江¹, 黄世杰^{2*}, 韩培锋^{2,3}, 陈代果²

¹中国水利水电第七工程局有限公司南方分公司, 广东 深圳

²西南科技大学土木工程与建筑学院, 四川 绵阳

³非饱和土力学特性及工程技术四川省高校工程研究中心, 四川 成都

收稿日期: 2022年10月17日; 录用日期: 2022年11月22日; 发布日期: 2022年11月29日

摘 要

本文以“高位远程滑坡碎屑流”为主题词, 在CNKI中国知网上搜集了有关“高位远程滑坡碎屑流”的241条文献数据, 并通过CiteSpace软件进行可视化分析, 以此来了解当前高位远程滑坡碎屑流领域的发展趋势及目前的研究热点问题。研究结果表明: 1) 自2008年汶川地震后, 国内关于高位远程滑坡碎屑流的研究开始越来越受到重视, 文章数量在不断增长; 2) 发文作者和发文机构主要集中在我国西南地区, 其中西南交通大学形成一家独大的局面, 其发文量占总量的20.3%; 3) 通过绘制关键词共现图谱并综合运用词频, 中心度和聚类的分析方法进行研究后发现, “数值模拟”、“碎屑流”、“动力破碎”等是近年来的研究热点词汇, 就此分析可知, 目前关于高位远程滑坡碎屑流领域的前沿是有关“数值模拟”以及“碎屑流”等方向的研究。本文通过对2006年~2022年“高位远程滑坡碎屑流”领域所发表的文献进行可视化分析, 以期为广大读者清晰地梳理这一领域近几年的研究成果及研究热点, 进而对相关研究人员跟踪这一领域的近期研究热点及未来发展趋势有所帮助。

关键词

CiteSpace, 高位远程滑坡碎屑流, 知识图谱, 可视化

Research Hotspot and Trend Analysis of Debris Flow of High Level Remote Landslide Based on Mapping Knowledge Domain

Yinglin Zhang¹, Shao Yang¹, Jianjiang Yang¹, Shijie Huang^{2*}, Peifeng Han^{2,3}, Daiguo Chen²

¹China Water Conservancy and Hydropower Seventh Engineering Bureau Co., Ltd., Shenzhen Guangdong

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

*通讯作者。

文章引用: 张应林, 杨芍, 杨建江, 黄世杰, 韩培锋, 陈代果. 基于知识图谱的高位远程滑坡碎屑流研究热点及趋势分析[J]. 地球科学前沿, 2022, 12(11): 1434-1445. DOI: 10.12677/ag.2022.1211140

³Open Fund of Sichuan Engineering Research Center for Mechanical Properties and Engineering Technology of Unsaturated Soils, Chengdu Sichuan

Received: Oct. 17th, 2022; accepted: Nov. 22nd, 2022; published: Nov. 29th, 2022

Abstract

This paper takes “high level remote landslide debris flow” as the theme word, collects 241 literature data about “high level remote landslide debris flow” on CNKI China Knowledge Network, and makes visual analysis through CiteSpace software, so as to understand the current development trend and current research hot issues in the field of high level remote landslide debris flow. The results show that: 1) Since the Wenchuan earthquake in 2008, more and more attention has been paid to the research on the debris flow of high level remote landslides in China, and the number of articles has been growing; 2) the authors and organizations of the articles are mainly concentrated in the southwest of China, among which Southwest Jiaotong University is the largest, accounting for 20.3% of the total; 3) through the keyword co-occurrence atlas, combined with word frequency, centrality, clustering and other analysis methods, it is found that “numerical simulation”, “debris flow”, “dynamic fracture” and other research hot words in recent years. From this observation, it can be concluded that the current frontier of the field of high-level remote landslide debris flow is the research on “numerical simulation” and “debris flow”. This paper makes a visual analysis of the literature published in the field of “high level remote landslide debris flow” from 2006 to 2022, with a view to clearly sorting out the research achievements and research hotspots in this field in recent years for the majority of readers, thus helping relevant researchers to track the recent research hotspots and future development trends in this field.

Keywords

CiteSpace, High Level Remote Landslide Debris Flow, Knowledge Map, Visualization

Copyright © 2022 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

“高位远程滑坡碎屑流”是一种滑动距离长,滑后冲击力大的滑坡类型。高位远程滑坡碎屑流一般是由大型岩质滑坡或崩塌在源区失稳后经过强烈的碎屑化作用而形成的超高速远程运动的岩屑流。对于高位远程滑坡碎屑流的定义,国际上一般认为符合以下四种特征的滑坡都可定义为高位远程滑坡碎屑流:一是体积巨大(通常大于 10^6 m^3);二是高速运动(运动速度一般大于 20 m/s ,多为 $40\sim 80 \text{ m/s}$,最高可超过 200 m/s);三是岩屑流由斜坡基岩失稳后形成(即始于岩质崩塌和滑坡,运动过程中不断破碎解体,形成碎屑流,具有流态化特征);四是具有超强的流动性($\Phi < 0.33$, Φ 即为滑坡源区最高点至堆积区最前缘连线的正切值)。由此可见,相较于其他的地质灾害事件,高位远程滑坡碎屑流虽然发生的概率更低,但是造成的危害却尤为突出。例如:2008年5·12汶川地震导致三溪村大字岩平台上部岩土体开裂形成贯通性裂缝,在强降雨的影响下,大量水体渗入到裂缝中,在动水压力和静水压力的作用下,山体结构破坏失稳,形成高位远程滑坡碎屑流,导致运动堆积区内11户居民建筑被毁、109人失踪。为此分析高位远程滑坡碎屑流的研究现状及未来发展趋势,对于高位远程滑坡碎屑流的研究及防范治理工作显得十分必

要。

目前,国内相关学者在“高位远程滑坡碎屑流”领域发表了一系列的相关性文章,如林棋文,程谦恭等[1]系统地总结高位远程滑坡碎屑流碎屑化作用的沉积学特征,简要概述了碎屑化沉积结构对于滑坡动力学的指示,归纳并阐述了高位远程滑坡碎屑流动力破碎耗能和滑坡减阻这一争议性问题。陈果等[2]以三溪村滑坡为例,利用三维离散元软件 PFC,结合无侧限单轴压缩试验进行参数标定,模拟三溪村滑坡启动、下滑、堆积和冲击山区房屋的整个过程,该实验成功模拟出了三溪村高位远程滑坡碎屑流的四个阶段,建立的冲击力-时程演化关系、峰值冲击力-运程分布关系和峰值冲击力-速度的关系,可为山区建筑防灾减灾治理工程提供参考。殷跃平等[3]详细地记录了贵州关岭大寨高位远程滑坡碎屑流发生的地质环境条件、滑坡-碎屑流堆积特征、滑坡-碎屑流运动特征以及滑坡-碎屑流形成条件,通过分析资料得出发生高位远程滑坡碎屑流的充要条件。程谦恭等[4]集百家之长,厘定了高位远程崩滑的定义,通过分析和总结国内外发生的重大高位远程滑坡碎屑流事件,详细地阐述了高位远程滑坡碎屑流灾害事件的几何学、运动学特征。由此概述了迄今为止所提出的高位远程崩滑形成的各种动力学机理,分析与讨论了高位远程崩滑动力学机理研究的发展趋势与动向,提出了今后进一步研究的总体思路、目标与应重点解决的关键问题。

自 2006 年 CiteSpace 引入国内后,大量的学者便利用该工具对其所研究的领域进行可视化分析。如张攀[5]基于 CiteSpace 工具对有关少儿科普的文献进行可视化分析,探析关于少儿科普研究领域的主要问题、研究趋势以及最新研究热点,以期对未来少儿科普的研究和发展提供参考。再比如贺义雄等[6]借助 CiteSpace 知识图谱工具,对关键词进行共线和聚类分析、研究作者分析、得到了相应的知识图谱,揭示了海洋碳汇研究进程。为针对性了解高位远程滑坡碎屑流领域的研究热点及发展趋势,本文基于 CiteSpace 软件进行可视化分析研究,对我国的高位远程滑坡碎屑流领域进行了细致的图谱分析。

2. 数据来源和分析方法

2.1. 数据来源

为了深入研究“高位远程滑坡碎屑流”的热点问题,文章对这一领域作者,研究机构和研究人员的关系进行了分析,并在此基础上对这一领域的发展趋势进行了研究。本文数据来源以中国知网数据库(CNKI)为基础,主题词以“高位远程滑坡碎屑流”进行检索,时间线为 2006 年~2022 年,相关文献有 241 条。

2.2. 分析方法

2.2.1. 分析方向

通过 CiteSpace 对所得到的 241 条有关文献进行可视化分析,241 条文献数据均来源于中国知网,通过主题词“高位远程滑坡”进行检索所得。考虑到 CNKI 中推导的文献数据仅能分析作者与机构之间的合作网络关系以及关键词共现图谱的绘制,所以本文主要是对上述知识图谱的展开分析来揭示学科内部作者与机构的关联,并且根据关键词共现程度,引出“高位远程滑坡碎屑流”这一领域发展趋势和其热点研究方向。

2.2.2. CiteSpace 软件分析

CiteSpace 是一款基于 Java 开发的文献计量软件,以科学知识为计量单位,用数学方程式方法来表达科学发展规律,基于共引分析理论和寻径算法网络对特定文域(集合)进行计量,分析学科领域演化的关键路径和学科拐点[7]。目前,CiteSpace 主要用于对研究领域的热点话题和发展方向进行可视化分析,以期对研究者跟踪这一领域的最新热点及今后的发展趋势有所帮助。本文基于 CiteSpace 软件对高位远程滑坡

进行可视化分析,通过分析所得到的作者发文量知识图谱、发文机构知识图谱、关键词知识图谱、聚类知识图谱、时间线聚类图谱,进而得到近年来我国关于高位远程滑坡领域的研究热点和发展趋势。

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

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

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[8]。

3. 结果分析

3.1. 文献历年发文量分析

文章基于中国知网数据库(CNKI),以“高位远程滑坡碎屑流”为主题词进行文献检索,检索的时间区间定为 2006 年 1 月到 2022 年 8 月。通过检索所得到的相关文献共计 241 篇,以此为对象展开本次的研究工作。图 1 给出了 2016 年~2022 年每年有关高位远程滑坡碎屑流的发文数量。

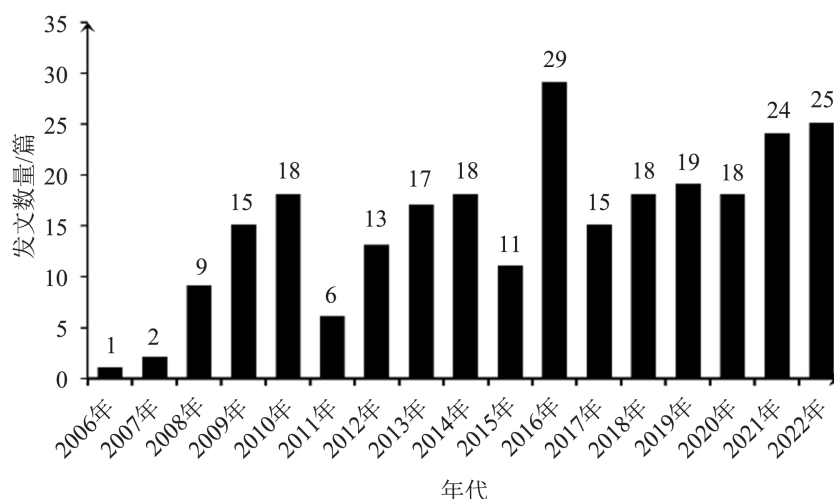


Figure 1. The number of “high level remote landslide debris flow” in China from 2006 to 2022
图 1. 2006~2022 年中国“高位远程滑坡碎屑流”发文数量分析图

由图 1 可知,从 2008 年开始,国内的发文数量开始增加,高位远程滑坡碎屑流问题逐步得到国内研究人员的重视。其中 2016 年发文量最多,达到了 29 篇。从 2012 年至 2022 年有关高位远程滑坡碎屑流的发文数量都在 11~29 篇以内。虽然最近五年的发文数量都较为稳定,但较之于 2008 年以前而言,我国在“高位远程滑坡碎屑流”领域的发文数量已有大幅增加。这说明在近些年以来,我国有关学者一直密切关注有关高位远程滑坡碎屑流方面的研究。

3.2. 文献作者群体分析

在由 CiteSpace 处理后得到的作者关系图谱中,作者文献发表量愈大,所代表节点也愈大,图中连线反映的是作者群体间的合作。在本次研究所得到的“高位远程滑坡碎屑流”作者关系图谱中,节点数有 245 个,连接 438 个,网络密度为 0.0147。在高位远程滑坡碎屑流学科领域中,作者间的协作是围绕几

大学者进行的，如殷跃平，程谦恭，王玉峰等学者，他们与其他作者之间具有较多的合作关系。但是也有一些学者发文量不多，发文量只有 1~3 份，彼此之间合作不多，说明研究高位远程滑坡碎屑流领域的作者较聚集，主要集中在少数学者中。在高位远程滑坡碎屑流研究领域中，核心作者分别构成了一个密切合作的联系网络，相互之间衔接紧凑，构成了两足鼎立之势，一部分是由殷跃平为核心形成的小合作网络，另一部分则是以程谦恭和王玉峰为核心而形成的合作关系网络。经图 2、表 1 分析可知，在我国的“高位远程滑坡碎屑流”领域中，该领域的研究人员往往是以团队的形式存在，研究人员联系都较为密切。

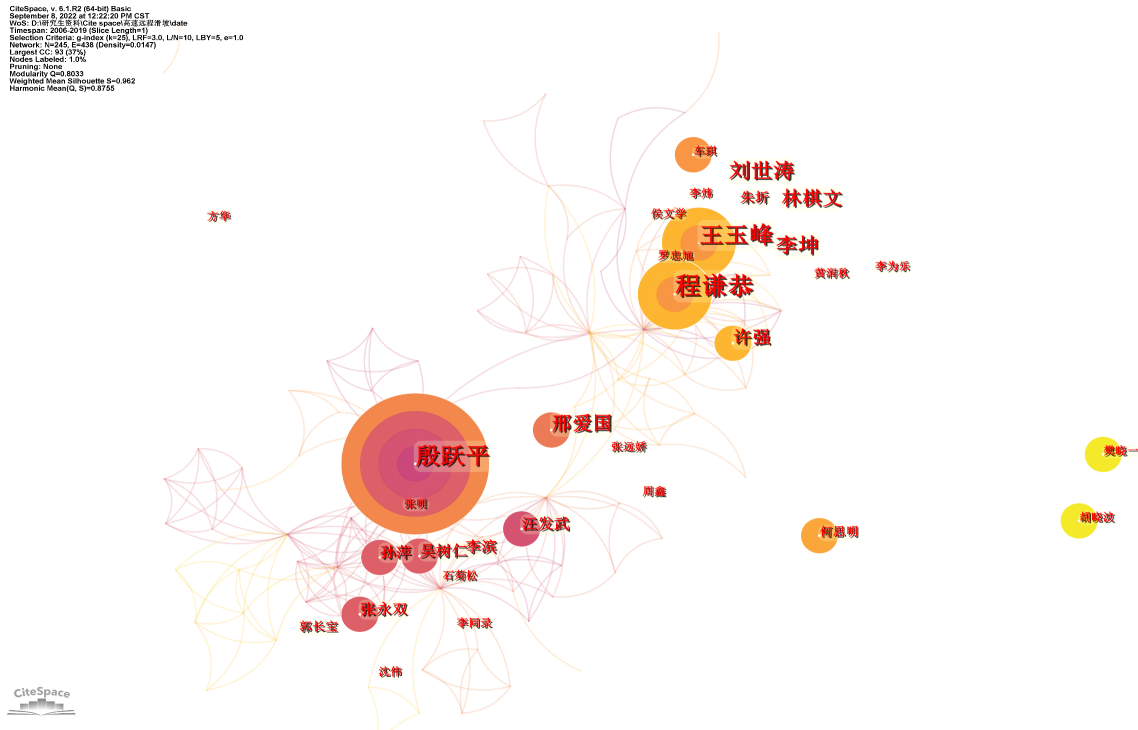


Figure 2. Authors of “high level remote landslide debris flow” in China from 2006 to 2022
图 2. 2006~2022 年中国“高位远程滑坡碎屑流”作者发文量

Table 1. Statistics of published papers by authors of “high level remote landslide debris flow” in China from 2006 to 2022
表 1. 2006~2022 年中国“高位远程滑坡碎屑流”作者发文统计

序号	发文数量/篇	作者
1	21	程谦恭
2	20	殷跃平
3	14	王玉峰
4	11	邢爱国
5	11	许强
6	8	汪发武
7	7	李滨
8	7	李坤
9	7	张永双
10	6	孙萍

3.3. 机构合作分析

对检索得到的 241 条文献进行可视化机构网络分析, CiteSpace 中相关的设置如下: 选取的节点类 “NodeTypes = Institution”, 检索区间 “Time slicing” 取 2006~2022 年, 时间切片 “Year Per Slice = 1”, 阈值取 Top = 50。由此可所得到的高位远程滑坡碎屑流发文机构图谱如图 3 所示, 并以频次为先后顺序进行排名可得出表 2。

CiteSpace, v. 5.10.R2 (64-bit) Basic
September 8, 2022 at 2:45:43 PM CST
WoS: D:\研究生资料\Cite space\高位远程碎屑流
Timespan: 2006-2019 (Slice Length=1)
Selection Criteria: Top 50 per slice, LRF=3.0, L/N=10, LBY=5, $\alpha=1.0$
Network: N=130, E=151 (Density=0.018)
Largest Cc: 85 (65%)
Nodes Labeled: 1.0%
Pruning: None
Modularity Q=0.8033
Weighted Mean Silhouette S=0.962
Harmonic Mean(Q, S)=0.8755

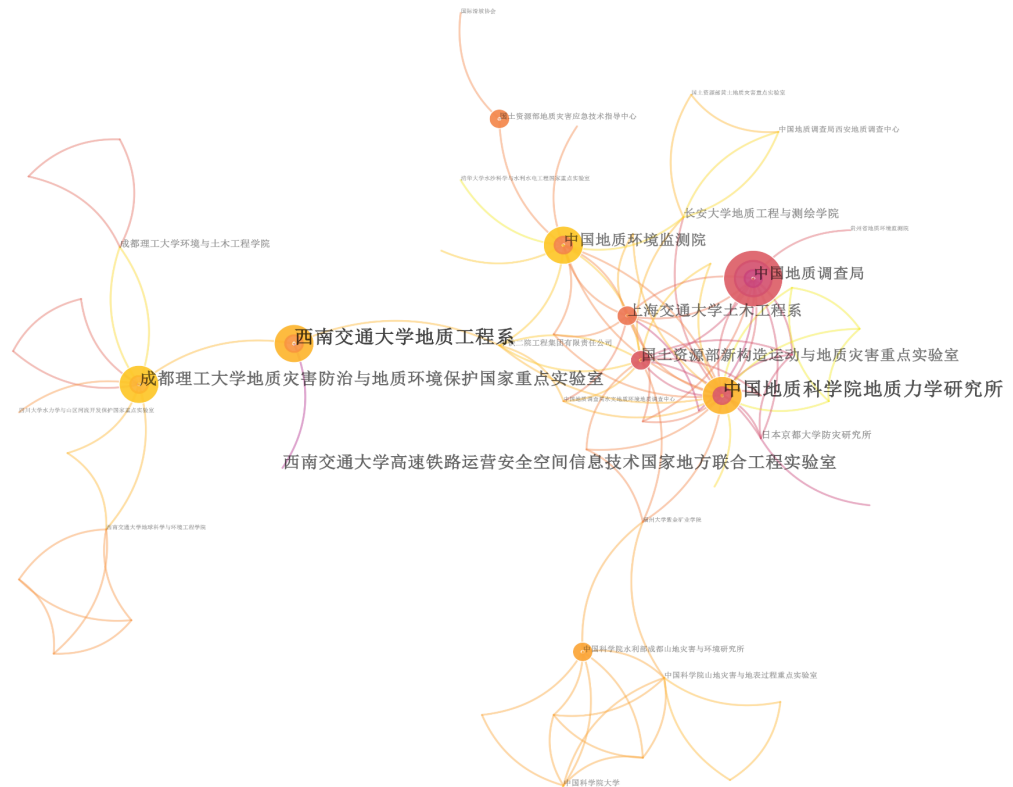


Figure 3. The institution of “high level remote landslide debris flow” in China from 2006 to 2022

图 3. 2006~2022 年中国 “高位远程滑坡碎屑流” 发文机构图谱

Table 2. Ranking of “high level remote landslide debris flow” publishing agencies in China from 2006 to 2022

表 2. 2006~2022 年中国 “高位远程滑坡碎屑流” 发文机构排名

序号	频次	机构
1	49	西南交通大学
2	29	成都理工大学
3	23	中国科学院地质力学研究所
4	21	上海交通大学
5	19	长安大学
6	12	中国地质调查局
7	11	中国地质环境监测院
8	9	中国地质大学

经 CiteSpace 处理后所得到的发文机构知识图谱中,共有 130 个节点,151 条连接,网络密度为 0.018,说明了在高位远程滑坡碎屑流方面,机构间交流与合作关系较密切,这有助于高位远程滑坡碎屑流研究领域的持久开展。具体来看,图中出现了以中国地质调查局为核心,其中包含上海交通大学土木工程学院、长安大学地质工程与测绘学院等高校以及中国地质环境监测院和国土资源部新构造运动与地质灾害重点实验室等国家重点实验室。值得注意的是,在以中国地质调查局为核心的圈外,西南交通大学和成都理工大学这两所高校也凭借其独特的地理优势和国家重点实验室,为高位远程滑坡碎屑流领域做出了突出贡献。再者,这些研究所还与各大院校有合作,实现了研究资源共享,共同克服了关于高位远程滑坡碎屑流问题。相信在后续的发展研究过程中,各机构更能保持密切交流合作。

3.4. 关键词分析

3.4.1. 关键词共线图分析

一般一篇文献的关键词之间常有联系,对关键词进行共现分析,能够反应出学科领域中的重要研究领域,及逐年学科演化和发展,也能直观地反映出不同时序下热点领域、分析视角和研究方法发生了转变[9]。首先,在 Citespace 的设置中将时间切片定为“Year Per Slice = 1”,阈值定为 Top N = 50,得出关键词知识网络图谱,在该图谱中网络线的颜色体现了关键词首次被引的时间,因此从整体上分析网络线的颜色变化就可以清楚地知道该研究领域的情况。如图 4 所示,为 2006~2022 年高位远程滑坡碎屑流关键词图谱图。



Figure 4. Keywords of “high level remote landslide debris flow” in China from 2006 to 2022

图 4. 2006~2022 年“高位远程滑坡碎屑流”关键词知识图谱

结合图 4 可知,2006~2022 年高位远程滑坡碎屑流领域研究,出现次数最多的是数值模拟,一共出现了 36 次。其次碎屑流,汶川地震、动力破碎出现的频率也较为频繁。据此,我们可以分析出,过去十多年来,我国“高位远程滑坡碎屑流”研究的许多方向是围绕图 4 所示 4 个方向展开的。通过量化关键词可以使我们的分析更为准确,由此进行统计分析可得到表 3。

Table 3. Key word centrality of “high level remote landslide debris flow” in China from 2006 to 2022
表 3. 2006~2022 年中国 “高位远程滑坡碎屑流” 关键词中心度

序号	关键词	频次	中心度
1	数值模拟	36	1
2	碎屑流	28	2
3	汶川地震	19	3
4	动力破碎	18	4
5	滑坡	16	5
6	高速远程	16	6
7	碎屑化	15	7
8	工程地质	9	8
9	黄土滑坡	9	9
10	高速滑坡	8	10

根据表 3 可知, “数值模拟” 出现频次最高, 达 36 次, 其次 “碎屑流” (28 次), “汶川地震” (19 次), “动力破碎” (18 次), “滑坡” (16 次), “高速远程” (16 次) 等, 以上的关键词都表明了高位远程滑坡碎屑流领域的重要研究热点和发展趋势。可以发现, 最近几年来我国的研究人员多从有限元数值模拟的角度去对高位远程滑坡领域进行研究探索, 例如张艳玲团队[10], 以哀牢山地区芭蕉树滑坡为研究对象, 根据芭蕉树滑坡的基本特征, 利用 DAN-W 软件建立出了芭蕉树滑坡的计算模型。该模型能够较为准确地呈现芭蕉树滑坡的整个动力模拟过程, 并根据滑坡特征, 结合滑坡分区和滑坡运动过程中的铲刮效应, 将滑坡滑动路径分为了滑源段、铲刮段、堆积段 3 段。该项目的数值模拟所得的结果与调查与所得的滑坡滑移结果吻合度高。由此可见, 对于 “高位远程滑坡碎屑流” 领域数值模拟这个环节是必不可少的。

3.4.2. 关键词聚类 LLR 算法分析

通过基于 LLR 对数似然算法(Log-Likelihood Ratio)的聚类分析, 可以推测出高位远程滑坡碎屑流领域的研究热点。本文利用 CiteSpace 的快速聚类方法, 提取出关键词, 再通过阈值调整, 得到图 5 所示的知识图谱。该图中模块值(Modularity)为 $Q = 0.6914 > 0.3$, 说明聚类结果显著, 平均轮廓值(Mean)为 $S = 0.8807 > 0.7$, 说明聚类结果的可信度是非常高的。由此可得, 2006~2022 年高位远程滑坡碎屑流领域的研究主要是从图 5 所示的 9 大聚类模块进行展开。从平均年份可以看出该领域的发展初期在 2011 年左右, 起步较晚, 主要原因是 2008 年以前我国鲜有发生这类大规模且速度极快的滑坡现象, 高位远程滑坡碎屑流在当时并未得到国内研究人员的重视。但是自从 2008 年汶川地震之后, 高位远程滑坡碎屑流地质灾害事件频繁出现, 国内学者开始对高位远程滑坡碎屑流逐渐加大研究力度。

表 4 的紧密程度体现了各聚类中的所有关键词同质性, 若紧密程度值越大, 那么, 代表这个聚类成员相似性就越大。在给出的表 4 中每个聚类板块紧密程度都超过了 0.8, 这说明本次聚类效果很好, 关键词之间联系紧密。如在 “地质灾害” 聚类中, “滑坡体”、“减灾防灾” 和 “地址选线” 是最紧密的三个关键词, 在 “颗粒流” 聚类中, “模型试验”、“细观流态”、“科里奥利效应” 联系最为最为紧密。

CiteSpace 所得到的时间线图(Time-line)将聚类分析和时间线结合到一起, 在时间线图中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, 通过时

间线图可以清晰直观地了解聚类的时间跨度以及历史进程。从经过 CiteSpace 可视化处理后得到的图 6 中我们可以看出, 以上的九个节点分别对应了各聚类的历史发展历程, 通过这些时间节点我们可以做以下分析: 1) 聚类#0 碎屑流: 研究人员先是从碎屑流成因的原理出发进行研究, 随后采用能量法分析, 接着建立各种关于碎屑流的模型。例如郇颖超, 位伟, 姜清辉[11]采用数值流形方法, 对牛圈沟强震诱发滑坡所形成的高速碎屑流运动过程进行模拟, 分析了其堆积状态及运动特性。在建立碎屑流模型的过程中, 研究人员也从碎屑流的各个方面进行研究。2) 聚类#6 动力破碎: 将理论和实验两者结合, 以此来研究动力破碎对高位远程滑坡碎屑流的影响。在这个过程中研究人员进行了“模型试验”与“斜槽实验”中。如郑光[12]基于现场典型灾害实例调查和已发生碎屑流数据统计, 确定了影响远程运动距离的主要因素, 从而建立了一系列碎屑流体的斜槽堆积实验。

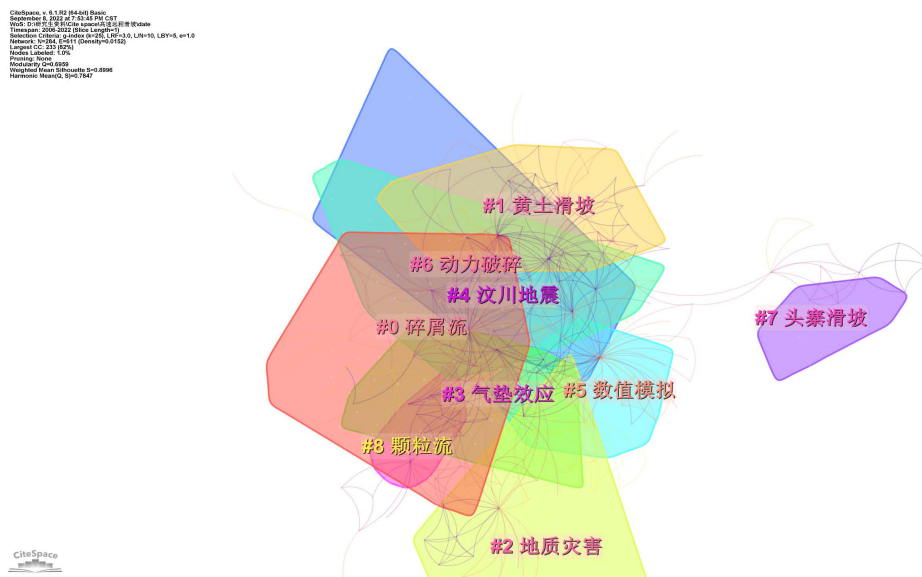


Figure 5. “High level remote landslide debris flow” cluster knowledge map in China from 2006 to 2022
图 5. 2006~2022 中国 “高位远程滑坡碎屑流” 聚类知识图谱

Table 4. China “high level remote landslide debris flow” cluster analysis table from 2006 to 2022
表 4. 2006~2022 中国 “高位远程滑坡碎屑流” 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 碎屑流	29	0.848	2014	成因机理(11.67); 成因机制(7.75); 运动特征(7.48); 高位远程滑坡碎屑流(5.04)
#1 黄土滑坡	28	0.975	2013	离散元(12.36); 运动过程(12.36); 运动学模型(8.2); 地震滑坡(8.2)
#2 地质灾害	28	0.939	2013	减灾防灾(9.63); 滑坡体(6); 地质选线(4.79); 三峡库区(4.79)
#3 气垫效应	28	0.853	2011	地面效应(14.03); 高速滑坡(13.99); 风洞试验(9.3); 冲击气浪(9.3)
#4 汶川地震	28	0.857	2011	滑坡(17.39); 堰塞湖(13.42); 控制因子(8.9); 环剪试验(8.9)
#5 数值模拟	24	0.814	2016	易贡(8.05); 液化(8.05); 双层结构(4.01); 易贡滑坡(4.01)
#6 动力破碎	23	0.872	2014	碎屑化(29.96); 综述(29.96); 影响因素(8.37); 边坡工程(8.37)
#7 头寨滑坡	11	1	2011	化学风化(7.43); 碎裂化(7.43); 堆积体(7.43); 岩体演化(7.43)
#8 颗粒流	10	0.91	2019	模型实验(6.45); 细观流态(6.45); 科里奥利效应(6.45); 剪切速率(6.45)

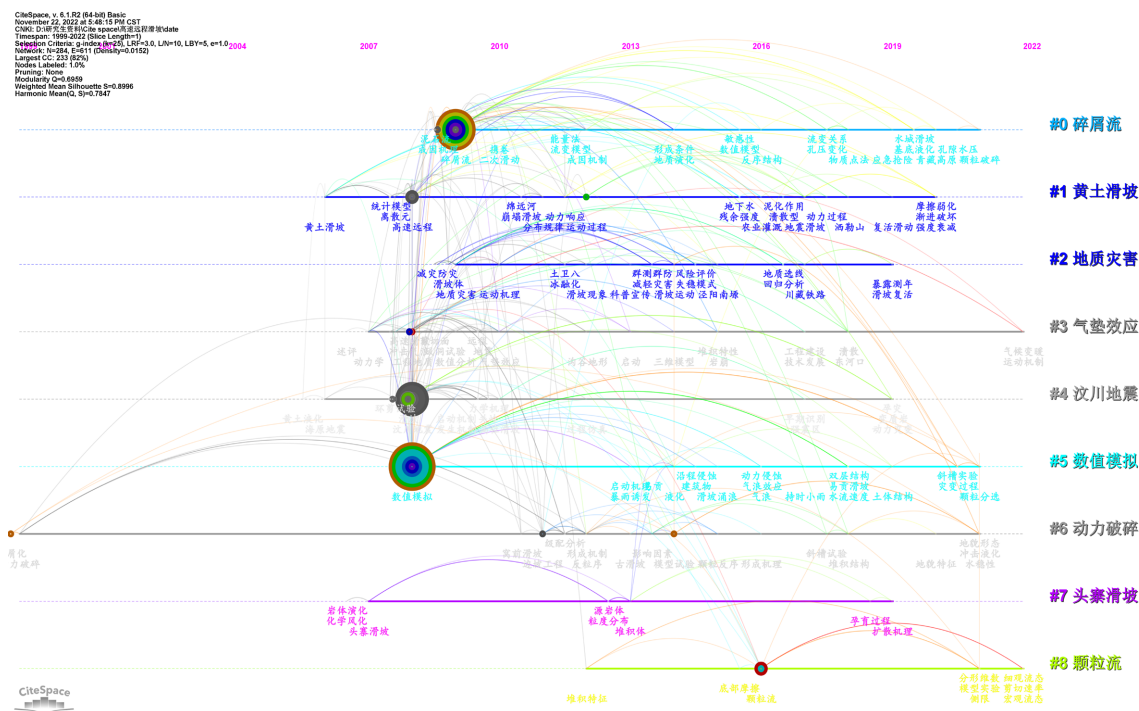


Figure 6. Cluster map of time-line of high level remote landslide debris flow in China from 2006 to 2022
图 6. 2006~2022 年中国“高位远程滑坡碎屑流”时间线聚类图谱

3.4.3. 主题演进与前沿分析

利用 Burst detection 功能我们可以获得某点时间内突然大量使用的关键词。在进行关键词突现分析时，在其余设置均为不变的情况下，将突现词的最小持续时间定为 2 年，由此得到突现词 2 个。表 5 对突现关键词的强度、出现年份、结束年份、持续时间进行整理，从表 5 可以看出关于关键词“汶川地震”的强度较高。

Table 5. Emergent key word of “high level remote landslide debris flow” in China from 2006 to 2022
表 5. 2006~2022 年中国“高位远程滑坡碎屑流”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	汶川地震	8.47	2008	2011	3 年
2	数值模拟	4.45	2015	2016	2 年

强度最高的突现词为“汶川地震”，起始于 2008 年，于 2011 年强度开始降低。2008 年，汶川地震引发了多起高位远程滑坡碎屑流灾害事件，分析其诱发原因、运动特征以及防范措施在当时是迫在眉睫的任务。因此从汶川地震发生以后，国内便掀起了对高位远程滑坡碎屑流的研究的热潮。例如殷跃平[13]通过解剖牛圈沟滑坡-碎屑流、北川城西滑坡和青川东河口滑坡-碎屑流 3 个典型实例，分析出汶川八级地震远程高速滑坡具有的五个特征——岩性条件、抛掷效应、碰撞效应、铲刮效应、气垫效应，此外也指出了汶川地震高速滑坡初始滑动主要来自于强震的抛掷，从而确定了高速远程的初始速度要求是来源于强震的抛掷而非平常所认为的来自于滑带强度的突然丧失。吴鑫培[14]则是在系统研究高位远程滑坡碎屑流运动机理的基础上，进一步探讨研究区内形成的地质灾害链的成灾模式及形成条件。通过建立 PFC3D 模型，研究了灾害链链生机理的方式，将整条文家沟灾害链分成两个阶段来进行分析。这为工程

建设和防灾减灾提供科学的技术支持,具有重要的理论和实践意义。以上案例都是基于汶川地震所引发的灾害事件而开展的有关高位远程滑坡碎屑流的研究。

除此之外,“数值模拟”也是高位远程滑坡碎屑流研究领域绕不开的话题。关于数值模拟软件的使用,苏生瑞[15]等采用 2D-Block 软件,建立了二维离散元数值模拟模型,研究了相应地质体在不同阶段下的运动特征。齐超等[16]采用了滑坡动力分析软件 DAN-W 分别建立了摩擦模型、Voellmy 模型和 F-V 等 3 种不同的滑坡数值模型,对东河口滑坡-碎屑流的运动距离、不同时刻运动速度特性、堆积物分布规律及滑坡堆积体积进行了模拟,同时对滑坡运动时间进行了估算。

4. 结论与展望

本次研究以 CNKI 数据库为平台,运用 CiteSpace 分析 2006~2022 年间高位远程滑坡碎屑流研究领域相关文献知识图谱结构,从文献的历年发文量,文献的作者群体,机构合作和关键词等作了详细说明,具体说来,可以得到如下三点结论。

1) 目前,我国在高位远程滑坡碎屑流研究领域较 2008 年前取得了长足的进步,不仅是发文数量上有上升,学科有关的研究人员的人数也呈现上升趋势。在此基础上,与早期单方面的研究相比,2008 年后聚类方向较多,高位远程滑坡碎屑流学科进一步发展和提高。从发文机构方面得知,西南交通大学作为该领域的核心研究机构其发文量远高于其他机构。从机构分布地区区域来看,在西南片区,西南交通大学和成都理工大学双方联系最为密切。

2) 根据论文发表数量趋势来看,接下来的几年关于高位远程滑坡碎屑流的发文数量仍会持续增加,将会有越来越多的学者关注这个领域。但是在该领域中研究结构的联系合作较少,望在后续的发展研究过程中,各机构能保持密切交流合作。希望作者之间能加大交流合作力度,携手攻克高位远程滑坡碎屑流的问题。

3) 通过所得到的关键词共现图谱来看,“数值模拟”、“碎屑流”、“动力破碎”等为近几年的研究热点,就此说明了目前高位远程滑坡碎屑流领域的前沿工作是有“数值模拟”和“碎屑流”,因此我们在研究该领域的过程中,应当重点把握这两个方面的学习。

基金项目

中国水利水电第七工程局有限公司 2021 年项目赞助。

参考文献

- [1] 林棋文,程谦恭,李坤,等. 高速远程滑坡碎屑化运动机理研究综述[J/OL]. 工程地质学报, 1-15[2022-11-23]. <https://doi.org/10.13544/j.cnki.jeg.2021-0035>
- [2] 陈果,钮志林,樊晓一,等. 高速远程滑坡沿程速度演化与冲击力分布研究——以三溪村滑坡为例[J]. 自然灾害学报, 2022, 31(3): 232-241.
- [3] 殷跃平,朱继良,杨胜元. 贵州关岭大寨高速远程滑坡-碎屑流研究[J]. 工程地质学报, 2010, 18(4): 445-454.
- [4] 程谦恭,张倬元,黄润秋. 高速远程崩滑动力学的研究现状及发展趋势[J]. 山地学报, 2007, 25(1): 72-84.
- [5] 张攀. 基于 CiteSpace 的少儿科普研究可视化分析[J]. 传播与版权, 2022(11): 15-18.
- [6] 贺义雄,王燕炜,谢素美,等. 我国海洋碳汇研究进展——基于 CNKI (2006-2021)的文献分析[J/OL]. 海洋经济, 1-15[2022-11-23]. <https://doi.org/10.19426/j.cnki.cn12-1424/p.20220630.002>
- [7] 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.
- [8] 王萍,刘涛,杜萍,等. 2000-2017 年中国灾害风险研究的知识图谱分析[J]. 自然灾害学报, 2019, 28(4): 169-177.
- [9] 李杰,等. 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.
- [10] 张艳玲,陈亮,闫金凯,等. 基于 DAN-W 模型的高速远程滑坡灾变过程分析[J]. 西北地质, 2021, 54(1): 204-211.

-
- [11] 郜颖超, 位伟, 姜清辉. 基于流形元模型的高速远程滑坡碎屑流运动规律与拦挡结构减灾效果研究[J]. 工程科学与技术, 2020, 52(6): 40-48.
- [12] 郑光. 滑坡-碎屑流远程运动距离研究[D]: [博士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2018.
- [13] 殷跃平. 汶川八级地震滑坡高速远程特征分析[J]. 工程地质学报, 2009, 17(2): 153-166.
- [14] 吴鑫培. 汶川地震高速远程滑坡灾害链链生机理研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆交通大学, 2021.
- [15] 苏生瑞, 张永双, 李松, 等. 汶川地震引发高速远程滑坡运动机理数值模拟研究——以谢家店子滑坡为例[J]. 地球科学与环境学报, 2010, 32(3): 277-287.
- [16] 齐超, 邢爱国, 殷跃平, 等. 东河口高速远程滑坡-碎屑流全程动力特性模拟[J]. 工程地质学报, 2012, 20(3): 334-339.