

中国高速远程滑坡知识图谱可视化分析研究

李春龙¹, 高海峰¹, 谢 珺¹, 汪 鑫^{2*}, 韩培锋², 陈代果², 欧小红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

Email: 8368013@qq.com, *787463223@qq.com

收稿日期: 2021年5月6日; 录用日期: 2021年6月9日; 发布日期: 2021年6月16日

摘 要

为了分析当今高速远程滑坡学科领域的发展趋势及目前研究现状, 以“高速远程滑坡”为主题词, 通过 CiteSpace 和 Bicom 文献分析软件对 1993~2019 年 CNKI 中国知网搜集到的 259 条文献数据进行可视化分析。研究结果表明: 1) 高速远程滑坡领域的研究历经了发展停滞期、高速增长期和快速下降期三个阶段, 该研究领域引起学者重视时期较晚, 目前该领域的研究处于平稳发展状态。2) 许强、殷跃平、程谦恭和吴树仁等学者是该领域的核心研究人员, 他们形成了四足鼎立的局面, 其发文量占总数的 21.23%。中国地质科学院地质力学研究所和成都理工大学是该领域内的核心机构。而研究机构方面则更加的集中, 形成两家独大的局面, 领域内其他机构作者总体发文量不高, 就整体合作情况来看, 已初步形成以两家机构为核心的网络框架。3) “稳定性”、“成因机制”、“数值模拟”、“滑坡碎屑流”、“成灾模式”为近几年的主要研究热点词汇, 相关学者在该领域取得了一系列的研究成果。本文研究结果可以为读者清晰梳理高速远程滑坡研究近年来的研究成果及研究热点, 并追溯高速远程滑坡发展演化进程, 从而为相关学者追踪该领域近期热点及未来发展趋势提供参考。

关键词

CiteSpace, 高速远程滑坡, 知识图谱, 可视化, 共现矩阵

Visualization Analysis and Research on Knowledge Map of High-Speed Remote Landslide in China

Chunlong Li¹, Haifeng Gao¹, Jun Xie¹, Xin Wang^{2*}, Peifeng Han², Daiguo Cheng², Xiaohong Ou²

¹South Branch of Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Shenzhen Guangdong

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

Email: 8368013@qq.com, *787463223@qq.com

*通讯作者。

文章引用: 李春龙, 高海峰, 谢珺, 汪鑫, 韩培锋, 陈代果, 欧小红. 中国高速远程滑坡知识图谱可视化分析研究[J]. 地球科学前沿, 2021, 11(6): 756-768. DOI: 10.12677/ag.2021.116070

Abstract

In order to analyze the development trend and current research status of the subject of high-speed remote landslide, the title of "high-speed remote landslide" was adopted to conduct a visual analysis of 259 data collected by CNKI from 1993 to 2019 through CiteSpaceV and Bicom literature analysis software. The results show that: 1) The research in the field of high-speed remote landslide has gone through three stages: stagnation period, rapid growth period and rapid decline period. The research in this field has attracted the attention of scholars for a relatively late period, and the current research in this field is in a stable development state. 2) Xu Qiang, Yin Yueping, Cheng Jianguo, Wu Shuren and other scholars are the core researchers in this field. They form a four-legged situation, and their publications account for 21.23% of the total. The Institute of Geomechanics of the Chinese Academy of Geological Sciences and Chengdu University of Technology are the core institutions in this field. As for the research institutions, they are more concentrated, forming a situation in which the two institutions are the only one. The total amount of articles published by other institutions in the field is not high. As for the overall cooperation, a network framework with the two institutions as the core has been preliminarily formed. 3) "Stability", "genetic mechanism", "numerical simulation", "landslide debris flow" and "disaster mode" are the main research hotspots in recent years, and relevant scholars have made a series of research achievements in this field. The research results of this paper can clearly sort out the research achievements and hot spots of high-speed remote landslide research in recent years, and trace the development and evolution process of high-speed remote landslide, so as to provide references for relevant scholars to track the recent hot spots and future development trend of this field.

Keywords

CiteSpace, High Speed Remote Landslide, Mapping Knowledge Domain, Visualization, The Co-Occurrence Matrix

Copyright © 2021 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

滑坡定义是指：在重力或者其他因素的作用下，岩石，土等物质，或这些物质的结合体向下做剪切运动的现象[1] [2] [3]。而高速远程滑坡基于滑坡概念，需要突出“高速”及“远程”的概念。根据国际地科联滑坡工作组于1995年公布的描述滑坡速度的方法，“高速滑坡”一般属于“极迅速”范畴(5~70 m/s)，大多数高速滑坡的平均速度在20 m/s左右，在滑坡距离上，国际上大多认为当H/L(落差H/平距L) < 0.6时，为远程滑坡[4] [5]。相对于常规类型滑坡而言，高速远程滑坡因其携带巨大冲击能量难以阻挡，滑动速度极快难以逃逸，滑行距离远且方向曲折难以预测，造成了更为重大的地质灾害[6] [7]。例如，1983年洒勒山滑坡造成3个村庄彻底摧毁，237人死亡；1991年昭通头寨滑坡造成216人死亡，掩埋牲畜252头，破坏耕地 $2 \times 10^5 \text{ m}^2$ ，直接经济损失约1200万元[8]；1996年加拿大亚伯达省高速远程滑坡，运动2.5 km造成10,000多人死亡等等[8]。

目前,国内相关学者在“高速远程滑坡”领域发表了一系列的相关性文章,如沈伟[9]等以陕西泾河南岸大堡子高速远程黄土滑坡为例,利用 Sassa 模型对滑坡运动进行分析,以达到对潜在高速远程滑坡预测分析提供借鉴。杨龙伟等[10]以新疆伊宁县喀拉亚尔奇滑坡为例,通过对高速远程黄土滑坡动力学特征的研究,为黄土地区类似滑坡的成灾机理和动力学效应分析提供参考。刘广煜等[11]开发了用于模拟地质体从连续介质到非连续介质破裂全过程的软件 CODEM,以易贡滑坡为例高效地模拟滑坡体灾变过程中的高速运动及解体过程,大量的学者通过数值模拟技术对高速远程滑坡领域中的成灾机理,力学特征,模型试验等进行了研究,除此以外还有部分学者对粒径分布、颗粒迁移等进行了部分研究,可见学科领域研究范围较广,但各研究方面发展趋势差异性分析需进一步深入,对高速远程滑坡领域的关键性内容有待掌握,本文将通过 citespace 软件,对以往学者研究内容进行整合,对研究趋势、发文量等进行可视化分析。

可视化分析是指通过挖掘数据文本信息,分析领域热点,科学计量,绘制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[12]。自 2006 年, citespace 引入国内后,大量的学科领域采用可视化分析的方法对其知识热点进行研究分析。如刘则渊等[13]基于 citespace 软件进行可视化分析,共检索出 477 条文献,进而研究生态经济学论文地区和机构分布等,反应经济学不同时期的研究前沿。再例如陈丽萍等[14]利用可视化分析软件 citespace,检索出 5538 条文献数据,绘制储热技术国家,机构,研究人员之间的合作图谱,通过共现分析得到储热技术的热点科学领域,进而指出储热技术的研究热点和发展趋势。区别于以往高速远程滑坡的研究分析方向,本文将以一种新的角度,基于 citespace 可视化分析,对我国高速远程滑坡研究进行详细的脉络图谱分析,探索学科领域研究热点及发展方向,为后期发展提供参考。

2. 数据来源和分析方法

2.1. 数据来源

为了深入了解“高速远程滑坡”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,进而进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“高速远程滑坡”为主题,检索区间为 1993 年~2019 年,共检索出 263 条相关文献检索时间为 2019 年 11 月 3 日早上 10:34,进一步整理分类,排除重复文献,书评,信息报道后,共计检索得 259 条相关文献。

2.2. 分析方法

2.2.1. 分析方向

基于检索得 259 条基础文献,通过 citespaceV 对其进行分析,由于 CNKI 可处理的数据源只能表达出作者及机构合作网络分析,关键词共现分析,本文主要通过以上各点进行分析展开,通过生成的知识图谱,了解学科内作者及机构之间的联系情况以及从关键词的共现程度判断学科目前发展趋势及热点研究方向。

2.2.2. bicomb 软件分析

通过知网所下载的数据源,采用崔雷博士开发的 bicomb 文献统计软件,实现数据到关键词共现矩阵的转换,即可通过量化分析判断关键词之间的联系情况。

2.2.3. LLR 对数似然算法与 ochiia 相似系数

LLR 对数似然算法可以得出某个聚类的紧密程度,而 Ochiia 相似系数可以表达文本之间的共现率[15]。通过 ochiia 相似系数得出相似矩阵,可以比 bicomb 统计软件更好表达关键词的关联程度,其公式如下:[15]

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

A, B 分别代表不同关键词的出现频率, A, B 分别代表关键词的出现频次, 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, 即关键词之间基本无联系, 当 $\text{Cos}(A, B) = 1$ 时, A, B 之间关联度为最大, 即关键词联系密切。

3. 结果与分析

3.1. 文献历年发文量分析

以所得 259 篇文献为基础, 从 1993 年开始, 对文献发文量进行分析, 从而对学科历年发展趋势进行研究, 具体数据如(图 1)。

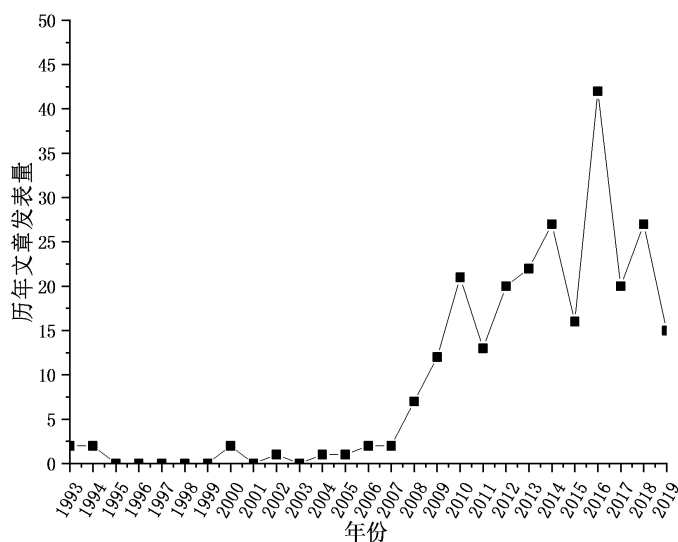


Figure 1. The number of “high-speed remote landslides” in China, 1993-2019

图 1. 1993~2019 年中国“高速远程滑坡”发文数量分析图

经图 1 可知我国自 1993~2019 年, 发文数量呈整体上升趋势, 其中以 2016 年为最, 整张图表可分大致分为三个阶段, 1993~2007 年发展停滞期, 2007~2016 年高速增长期, 2016 年~2019 年发展稳定期。其中第一阶段发展停滞期可见, 1993~2007 年历年发文量不超过 5 篇, 更有 5 年文献空白区, 说明此阶段, 国内高速远程滑坡出现较少, 学科发展于此阶段并未受到重视, 第二阶段 2008~2016 年, 发文量出现显著提升, 经调查, 在此阶段一是由于我国发生震惊世界的特大型汶川地震, 西部地区发生多地坍塌滑坡, 二是因为在此期间, 地震诱发导致坡体破裂, 又因为西部地区多地发生强降雨, 以致于滑坡事故屡屡发生。其中以汶川地震牛圈沟高速远程滑坡案例为代表, 大量相关学者对其成因机理及其影响损失进行探究, 学科发展也因此处在增长高峰期。2016~至今是快速下降阶段, 但发文量徘徊在 15~25 篇左右, 发展水平保持稳定。

3.2. 文献作者群体分析

经 citespaceV 可视化分析后, 文献发表量越多, 则其节点越大, 其中的连线则是作者群体之前存在的合作连接关系。图 2 表明, 节点共有 64 个, 117 个连接, 网络密度为 0.058, 在高速远程滑坡学科领域中, 作者合作网络聚类关系呈“整体-局部”状。由表 1 分析可知, “整体部分”以许强, 殷跃平, 程谦恭,

吴树仁,等为中心发表了大量的学科文献,核心作者发文量在259篇总体基础文献中分别占比6.95%、6.17%、4.24%、3.86%,占总数的21.23%而紧随其后的作者发文量为5~7次,除此之外,大部分作者都是发文量仅在2~4次,占据人数中的87.5%,说明研究高速远程滑坡领域的作者众多,但核心作者较少。在高速远程滑坡研究领域中,核心作者各自形成紧密的合作联系网络,彼此之间联系紧凑,形成四足鼎立的局面。而“局部部分”中,部分学者之间存在单方面合作关系,或存在独自研究此学科领域目前尚未与他人合作形成网络的学者等。经图2分析可知,就作者合作关系而言,目前我国高速远程滑坡领域已经初步形成以围绕核心作者为中心的网络合作雏形,部分学者处于分散状态,但人数并不多。由此可预测,高速远程滑坡领域合作关系的网络聚类关系将会越来越完整,而学科发展也将逐渐走向成熟。

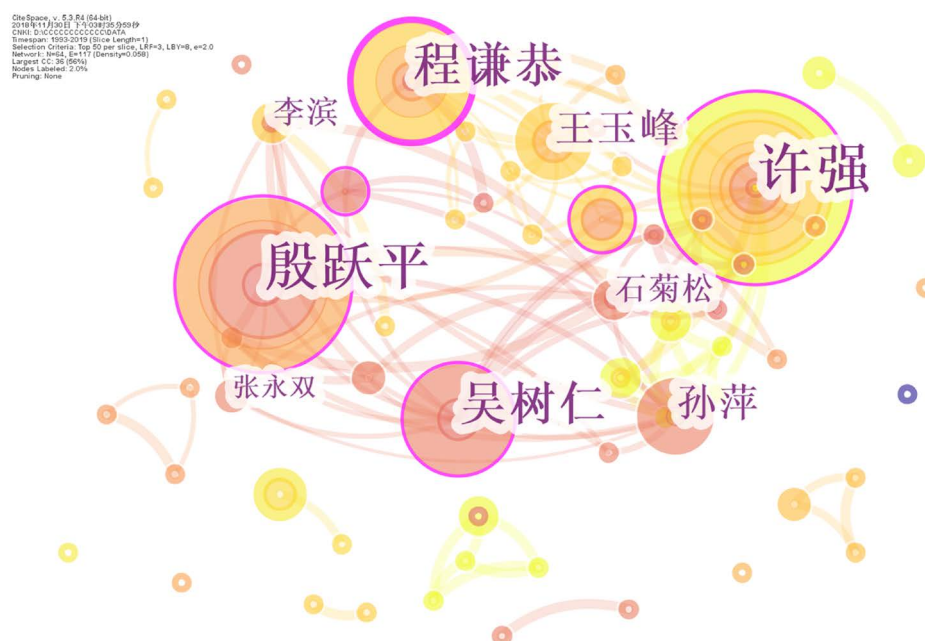


Figure 2. Authors of “high-speed remote landslide” in China, 1993~2019

图2. 中国1993~2019年“高速远程滑坡”作者发文量

Table 1. Statistics of published papers by authors of “high-speed remote landslide” in China 1993~2019

表1. 1993~2019年中国“高速远程滑坡”作者发文统计

序号	发文数量/篇	作者
1	18	许强
2	16	殷跃平
3	11	程谦恭
4	10	吴树仁
5	7	王玉峰
6	7	孙萍
7	6	邢爱国
8	5	郭长宝
9	4	汪发武
10	4	李滨

3.3. 机构合作分析

首先从检索得到的 259 条文献中进行可视化机构网络分析, 节点类型“Node Types = Institution”, 检索区间“Time slicing”取 1993~2019 年, 时间切片“Year Per Slice = 1”, 阈值取 Top = 50, 即每时间切片的排名前 50 位机构, 经可视化分析后, 调节至只显示发文量 ≥ 5 以上的机构, 得到高速远程滑坡发文机构图谱如图 3 所示, 并整理排名得出表 2。

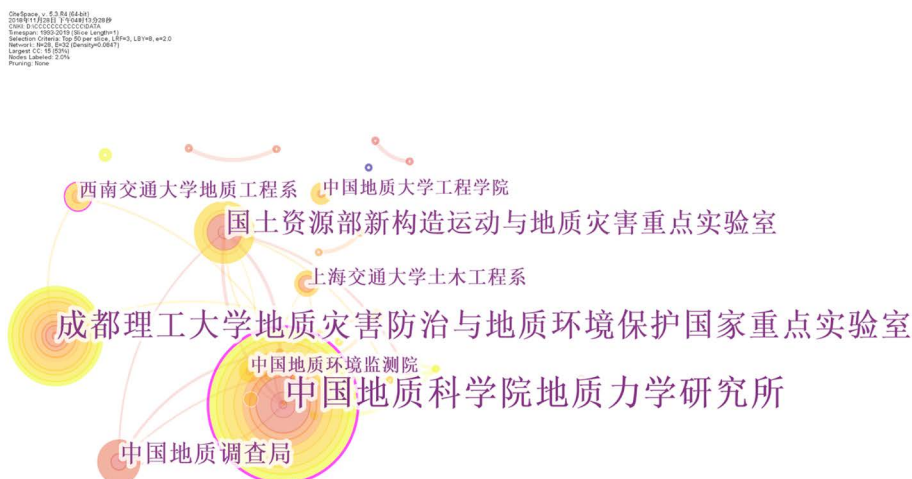


Figure 3. The institution of “high-speed remote landslide” in China, 1993~2019
图 3. 1993~2019 年中国高速远程滑坡发文机构图谱

Table 2. Ranking of “high-speed remote landslide” publishing agencies in China, 1993~2019

表 2. 1993~2019 年中国“高速远程滑坡”发文机构排名

序号	频次	机构
1	34	中国地质科学院地质力学研究所
2	23	成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室
3	14	国土资源部新构造运动与地质灾害重点实验室
4	10	中国地质调查局
5	6	上海交通大学土木工程系
6	6	西南交通大学地质工程系
7	5	中国地质环境监测院
8	5	中国地质大学工程学院

由图 3 可知, 节点 $N = 28$, 连接线 = 32, 网络密度 $density = 0.0847$ 综合表 2, 图 3 分析得出, 目前国内高速远程滑坡机构合作网络由部分发文量高的机构连接而成。例如中国地质科学院地质力学研究所, 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 国土资源部新构造运动与地质灾害重点实验室, 分别占比 13.1%, 8.8%, 5.4%。同时也存在着些由两三个机构形成的单独双向或三角网络, 发文量只能达到 1~4 篇左右。综合图 3, 表 2 从发文频次分析, 我国对高速远程滑坡的研究出现了严重的两级分化现象, 机构中, 排名第一和第五的发文量相差 5 倍左右, 大部分机构之间合作联系有待提升。从学科发展角度分析, 目前排名前四机构是国内对高速远程滑坡研究相对深入的机构, 在国内高速远程滑坡领域有着核心的地位, 对学科研究起到了促进发展的深远影响。

3.4. 关键词分析

3.4.1. 关键词共现图谱分析

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序内的热点领域、分析视角与研究方法的变化[16]。首先，在 citespace 中将时间切片定为 1a，取阈值为 Top N = 50 得出关键词的知识网络图谱，而在此图谱中网络线的颜色反应了首次共被引的时间，那么整体上从网络线的颜色变化就能了解研究领域的新旧情况，因此可以通过网络颜色的变化来考察领域的演进[17]。图 4 给出了 1993~2019 年中国高速远程滑坡关键词图谱图。

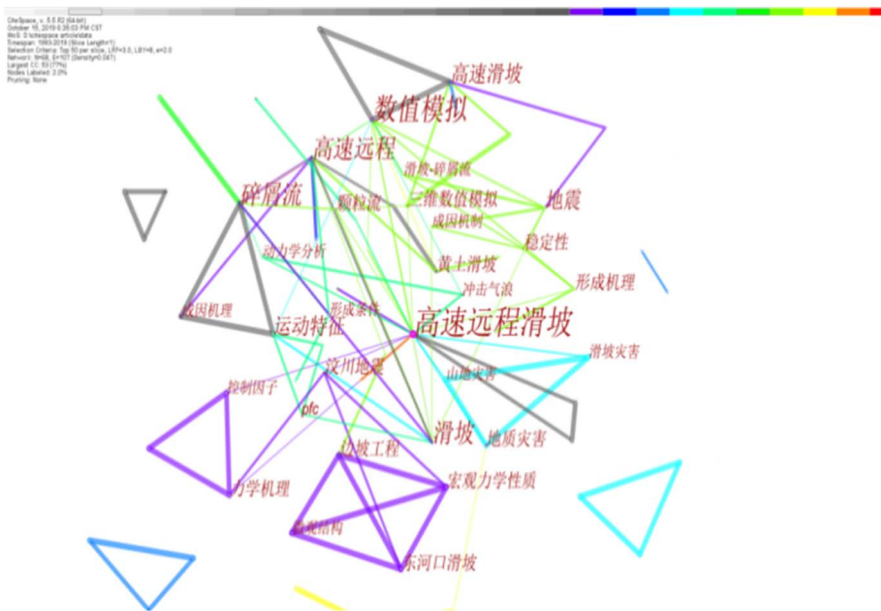


Figure 4. Keywords of “high-speed remote landslide” in China, 1993~2019
图 4. 1993~2019 年中国高速远程滑坡关键词知识图谱

通过图 4 可知，从学科发展演化的角度分析，绿色，黄色，蓝色，红色分别代表学科的最新演化方向，结合图 4 共现关系连接线可知，如“稳定性”、“成因机制”、“滑坡碎屑流”、“三维数值模拟”等为近几年的较为新型的研究方向；关键词出现频次越高，则显示程度会越大，从关键词发文频次分析，“高速远程滑坡”、“数值模拟”、“碎屑流”是受到关注较高的热点方向。关键词中心度(Centrality)反映的是该关键词与其他关键词的共现程度，表现的是该关键词的连接作用的大小度。通过 citespace 对关键词中心度分析，可以进一步了解整个时间过程中，研究领域的重点方向。通过量化关键词，使分析更加可靠，取 TopN = 10 的数据，在全部时间范围内进行统计得到表 3。

Table 3. Key word centrality of “high-speed remote landslide” in China from 1993 to 2019
表 3. 1993~2019 年中国 “高速远程滑坡” 关键词中心度

序号	关键词	频次	中心度
1	高速远程滑坡	187	1.31
2	数值模拟	41	0.43
3	碎屑流	25	0.18

Continued

4	汶川地震	24	0.15
5	地质灾害	4	0.13
6	发育特征	2	0.09
7	形成机理	2	0.07
8	运动特征	6	0.05
9	流化床	2	0.05
10	边坡工程	8	0.03

结合表 3 可知,“高速远程滑坡”高速远程滑坡、“数值模拟”、“碎屑流”、“汶川地震”分别为中心度较高的前 4 位关键词,说明在高速远程滑坡学科中,涉及到此 4 类的关键词的研究较多。结合相关文献可知,自 5.12 特大汶川地震发生以来,发生滑坡灾害多达 15,000 多处,其中大型地震滑坡 300 余处,高速远程滑坡以其超常的高速滑动抛射,异常高的流动性,以及超长距离的滑距,引发了大量的学者对高速远程滑坡的运动特征进行研究[18],高速远程滑坡因其具有巨大的能量,成因机理复杂,实验难度较大,因此一系列的数值模拟软件问世,数值模拟软件可以很好的构建模型,根据电脑程序算法,计算出相应的结果,如离散元数值分析 PFC (图 5), UDEC (图 6)。从表 3 整体分析,大部分关键词出现频率较低,导致与其他关键词共现的可能性降低,进而导致其中心度降低,但值得注意的一点是“地质灾害”、“形成机理”、“发育特征”出现频次并不高,但中心度高于大部分同频关键词,原因在于此类关键词与其他大部分关键词共现机率大,研究领域很大概率为同一方向。为进一步探索关键词之间的共现程度,通过 bicomb 量化分析,可以更加清楚的了解目标关键词和其他关键词之间的联系情况,设置检索频次为 8 次或 8 次以上的关键词,整合相似关键词,按频次顺序,筛选得如下 10 × 10 关键词共现矩阵(表 4),但由于部分关键词总频次并不一致,所以联系程度并不直观,而通过 ochia 系数余弦公式可以更直观的表明关键词之间的共现程度,所以采用共同发生率修改矩阵,如表 5 所示,数值越接近于 1,则表明关键词之间越相似,越接近于 0,则表明关键词之间越不相关。结合表 4,表 5 得知,高速远程滑坡一般与数值模拟联系较为密切,而数值模拟也在运动特征上研究较多,汶川地震与边坡工程联系程度相对较高,并且研究地震滑坡较多。通过关键词共现矩阵的实现,可以为高速远程滑坡各个影响因素之间的联系提供参考价值,并且为灾害防治起到借鉴作用。

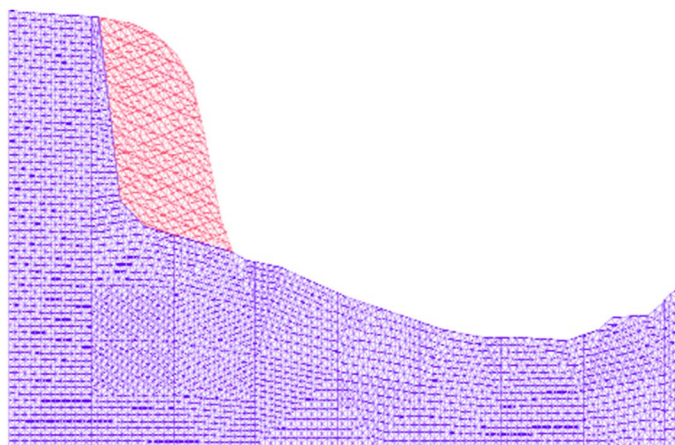


Figure 5. Meshing generation of numerical model for UDEC [19]

图 5. UDEC 离散元数值模拟网格剖分[19]

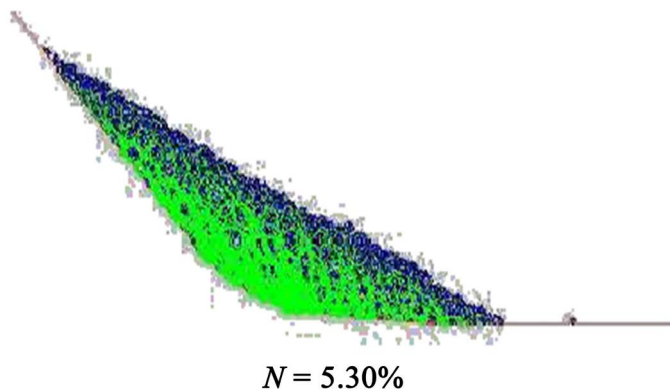


Figure 6. Calculation model and slope shape for PFC
图 6. PFC 完成的坡面形态和计算模型

Table 4. Keywords co-occurrence matrix of “high-speed remote landslide” in China, 1993~2019

表 4. 1993~2019 中国 “高速远程滑坡” 部分关键词共现矩阵

*	高速远程滑坡	数值模拟	碎屑流	汶川地震	黄土滑坡	边坡工程	运动特征	环剪试验	地质灾害	地震滑坡
高速远程滑坡	132	13	6	6	1	4	0	2	4	0
数值模拟	13	45	3	2	3	1	3	2	0	2
碎屑流	6	3	40	4	0	1	3	0	1	1
汶川地震	6	2	4	23	0	3	2	1	0	2
黄土滑坡	1	3	0	0	13	0	1	0	0	0
边坡工程	4	1	1	3	0	12	1	1	0	0
运动特征	0	3	3	2	1	1	10	0	0	0
环剪试验	2	2	0	1	0	1	0	9	0	0
地质灾害	4	0	1	0	0	0	0	0	9	0
地震滑坡	0	2	1	2	0	0	0	0	0	8

Table 5. Keywords co-occurrence matrix of “high-speed remote landslide” in China, 1993~2019

表 5. 1993~2019 高速远程滑坡部分关键词共现矩阵

*	高速远程滑坡	数值模拟	碎屑流	汶川地震	黄土滑坡	边坡工程	运动特征	环剪试验	地质灾害	地震滑坡
高速远程滑坡	1	0.17	0.08	0.11	0.02	0.10	0	0.06	0.12	0
数值模拟	0.17	1	0.07	0.06	0.12	0.04	0.14	0.10	0	0.11
碎屑流	0.08	0.07	1	0.13	0	0.05	0.15	0	0.05	0.06
汶川地震	0.11	0.06	0.13	1	0	0.18	0.13	0.07	0	0.15
黄土滑坡	0.02	0.12	0	0	1	0	0.09	0	0	0
边坡工程	0.10	0.04	0.05	0.18	0	1	0.09	0.10	0	0
运动特征	0	0.14	0.15	0.13	0.09	0.09	1	0	0	0
环剪试验	0.06	0.10	0	0.07	0	0.10	0	1	0	0
地质灾害	0.12	0	0.05	0	0	0	0	0	1	0
地震滑坡	0	0.11	0.06	0.15	0	0	0	0	0	1

3.4.2. 关键词聚类 LLR 算法分析

通过 citespace 聚类分析, 并基于 LLR 对数似然算法(Log-Likelihood Ratio), 可以研究高速远程滑坡热点研究结构紧密程度, 判断研究热点。采用 citespace V 利用快速聚类方法, 提取关键词, 通过阈值调整, 得到图 7 所示的知识图谱。

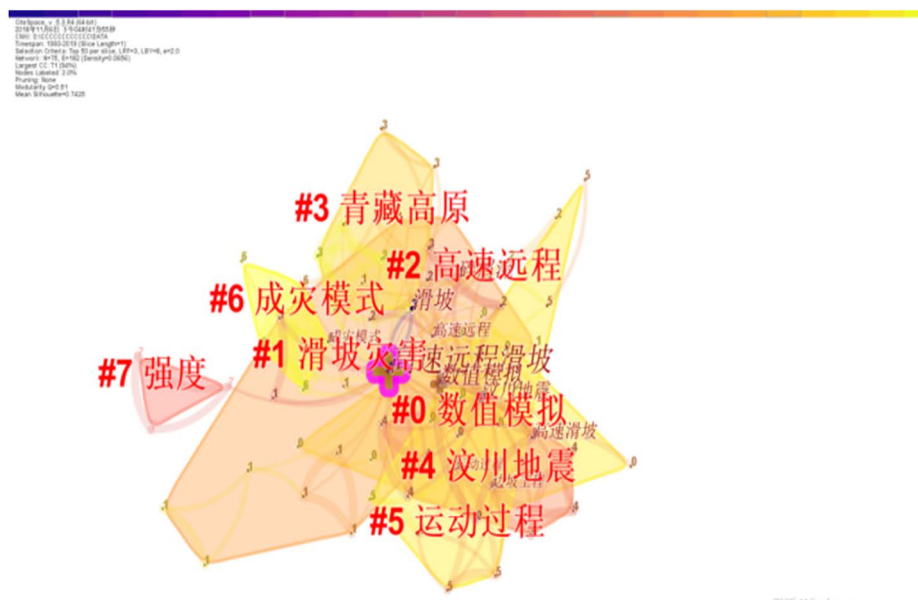


Figure 7. “High speed remote landslide” cluster knowledge map in China, 1993~2019
图 7. 1993~2019 中国高速远程滑坡聚类知识图谱

该图中, 该图中, 模块值(Modularity)为 $Q = 0.51 > 0.3$ 说明聚类结果显著, 平均轮廓值(Mean)为 $S = 0.7425 > 0.7$, 说明聚类是令人信服的。于是可得, 1993~2019 年高速远程滑坡领域研究, 主要以图 7 中 7 大聚类模块展开。通过聚类结构特征可以将学科研究分成特定的板块阐述学科研究方向, 结合平均年份则可以研究学科领域的演化进程。由于 08 年之前文章发表量过少, 所以在此次分析中, 暂且忽略不计。通过平均年份可以得知学科发展初期在 2009 年左右, 原因在于 08 年之前, 学术文献过少, 说明该阶段高速远程滑坡灾害还没有引起学术界的足够重视, 而 08 年之后汶川地震诱导了大量的高速远程滑坡, 造成极大的影响, 国内学者对高速远程滑坡开始逐渐加大研究力度, 产生了大量的文献, 初期(2008~2012 年)主要研究因汶川地震所产生的高速远程滑坡和滑坡具有的能量强度, 即聚类#4 和#7; 研究中期(2012~2016 年)主要研究高速远程滑坡所带来的滑坡灾害损失以及通过数值模拟构件滑坡模型, 分析高速远程滑坡运动过程中的特征以及预测结果, 即聚类#0、#1、#2、#3、#5; 研究近期(2016 年~至今)主要是在对高速远程滑坡的成灾模式进行总结分析, 即聚类#6。整体研究发现, 大部分聚类词平均年份较早, 说明高速远程滑坡领域研究主要集中在汶川地震后一段时间内, 随着时间推移, 高速远程滑坡灾害数量有所减少, 导致该领域的研究相对减少, 后期需要加强该领域的研究。通过对关键聚类词的整理, 将每个聚类排名前三的关键词列出, 对聚类进行量化分析(summary of clusters), 节点代表关键词, 聚类包含关键词越多, ID 值越小, 其研究领域更为广泛。从表 6 可知, 包含关键数量前三的为数值模拟, 滑坡灾害和高速远程, 说明针对数值模拟, 滑坡灾害和高速远程的研究众多, 研究深入且广泛, 并且高速远程滑坡常与汶川地震, 青藏高原等联系在一起。说明汶川地震诱发大量的高速远程滑坡灾害, 另外由于近期川藏铁路等工程建设, 越来越多的学者开始关注青藏高原区域内的大型地质灾害, 尤其是高速远程滑坡。紧密程度体现每个聚类中的所有关键词的同质性, 该数值越大, 代表该聚类成员的相似性越高。其中除

高速远程聚类紧密程度小于 0.5 以外, 其余聚类紧密程度均大于 0.6 说明聚类效果很好, 同质性强, 关键词之间联系紧密。如在“数值模拟”聚类中, “数值模拟”、“高速滑坡”和“三维数值模拟”是最紧密的三个关键词, 在“滑坡灾害”聚类中, “滑坡灾害”、“山地灾害”和“地质灾害”联系最为紧密。时间线视图(Time-line)将聚类分析和时间结合到一起, 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, Time-line 更加可以清晰直观的体现聚类的时间跨度以及历史进程, 从而可以清晰展示高速远程滑坡的演进。如图 8 所示, #5 强度最短只在 2009 年出现过、#4 汶川地震次之出现时间为 2008~2010 年; #1、#3 聚类代表的研究时间跨度最长; #0、#2、#4、#5、#6、#7 等聚类都是在 08 年之后出现的聚类, 进一步体现学科繁荣期在 08 年之后。

Table 6. 1993~2019 China high-speed remote landslide cluster analysis table
表 6. 1993~2019 中国高速远程滑坡聚类分析详表

聚类号	节点数	紧密程度	平均年份	TOP terms (重要关键词)
0#数值模拟	16	0.685	2013	数值模拟(27.51); 高速滑坡(24.19); 三维数值模拟(18.14)
1#滑坡灾害	14	0.835	2012	滑坡灾害(22.34); 山地灾害(22.34); 地质灾害(16.45)
2#高速远程	10	0.481	2011	高速远程(28.43); 黄土滑坡(15.51); 成因机理(12.81)
3#青藏高原	8	0.783	2013	青藏高原(35.04); 防控技术(30.59); 堵江滑坡(30.59)
4#汶川地震	8	0.842	2009	汶川地震(64.83); 微观结构(39.11); 宏观力学性质(39.11)
5#运动过程	7	0.861	2012	运动过程(42.75); pfc3d (34.23); 鸡尾山高速远程滑坡(34.23)
6#成灾模式	5	0.950	2016	成灾模式(40.2); 软基效应(31.12); 多序次黄土滑坡(28.91)
7#强度	3	0.989	2009	强度(39.66); 剪切面(39.66); 环剪试验(34.48)

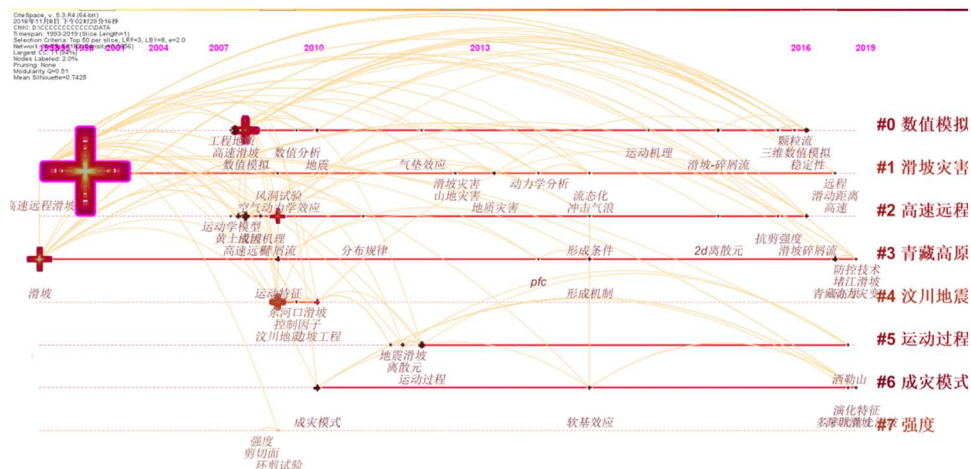


Figure 8. Cluster map of time-line of high-speed remote landslide in China from 1993~2019
图 8. 1993~2019 年中国高速远程滑坡时间线聚类图谱

4. 结论与展望

4.1. 结论

本文基于 CNKI 数据库, 对 1993~2019 年高速远程滑坡领域的文献进行了知识图谱结构分析, 分别从文献历年发文量, 文献作者群体, 机构合作, 及关键词等方面进行了详细的阐述, 具体可得出以下几点结论。

1) 目前国内关于高速远程滑坡的研究方向相较于较早年份有较大进展, 不仅仅在发文量数量方面出现增长, 学科相关研究人员在数量上也出现了增长, 并且形成了以许强、殷跃平、程谦恭和吴树仁等核心研究人员四足鼎立的合作研究网络。除此之外, 相较于较早年份的单方面研究, 08 年以后出现了大量的聚类方向, 进一步推动高速远程滑坡学科的发展与完善, 目前学科整体发文量一直处在稳定状态, 但大部分作者及机构仅仅发表 2~4 篇文章, 研究深度不足。

2) 在高速远程滑坡研究领域, 中国地质科学院地质力学研究所, 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 国土资源部新构造运动与地质灾害重点实验室是研究此领域的核心机构, 发文量远高于其他机构, 彼此之间联系较多, 但在机构发文量中, 出现了严重的两级分化现象, 排名第一和第五的发文量相差 5 倍左右。

4.2. 展望

本文通过关键词共现图谱, 结合词频, 中心度, 聚类分析, “稳定性”、“成因机制”、“滑坡碎屑流”、“三维数值模拟”、“成灾模式”等为近几年的研究热点; 高速远程滑坡、运动特征、数值模拟、碎屑流是此学科研究较为深入的几个方面, 在学习此学科的过程中, 需要重点关注这几大方面, 而通过关键词共现矩阵可以得出目前数值模拟是高速远程滑坡研究的重要手段, 学者主要通过数值模拟技术分析高速远程滑坡的运动特征及其力学机制。汶川地震之后, 高速远程滑坡研究数量集中爆发, 主要原因是汶川地震及其后期降雨等因素诱发大量的高速远程滑坡灾害, 如文家沟滑坡, 谢家店子滑坡和牛圈沟滑坡等, 引起国内外学者的重视, 而最近两年该领域的研究热度有所减弱, 一方面说明高速远程滑坡发生率变小, 另一方面说明该领域需要进一步深入研究和探索。

参考文献

- [1] 王治华. 滑坡图像自动识别浅议[J]. 地球信息科学学报, 2013, 15(5): 726-733+782.
- [2] 张铎, 吴中海, 李家存, 蒋瑶. 国内外地震滑坡研究综述[J]. 地质力学学报, 2013, 19(3): 225-241.
- [3] 赵永红, 王航, 张琼, 徐安东, 田罡. 滑坡位移监测方法综述[J]. 地球物理学进展, 2018, 33(6): 2606-2612.
- [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] Bagnold, R.A. (1973) The Nature of Saltation and of Bed-Load' Transport in Water. *Proceedings of the Royal Society of London*, **332**, 473-504. <https://doi.org/10.1098/rspa.1973.0038>
- [6] 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.
- [7] 黄润秋. 20 世纪以来中国的大型滑坡及其发生机制[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(3): 433-454.
- [8] 徐峻龄. 中国的高速滑坡及其基本类型[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1994(S1): 24-29.
- [9] 沈伟, 翟张辉, 李同录, 赵权利, 汪发武. 陕西泾河南岸大堡子高速远程黄土滑坡运动过程模拟[J]. 工程地质学报, 2016, 24(6): 1309-1317.
- [10] 杨龙伟, 魏云杰, 王文沛, 朱赛楠, 张楠. 新疆伊宁县喀拉亚杂奇滑坡动力学特征研究[J]. 地质力学学报, 2018, 24(5): 699-705.
- [11] 刘广煜, 徐文杰, 佟彬, 王立朝. 基于块体离散元的高速远程滑坡灾害动力学研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2019, 38(8): 1557-1566.
- [12] 韩增林, 李彬, 张坤领, 李璇. 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.
- [13] 刘则渊, 王贤文. 生态经济学研究前沿及其演进的可视化分析[J]. 西南林学院学报, 2008, 28(4): 3-11.
- [14] 陈丽萍, 蔡亮, 李光华, 周强. 基于 CiteSpace 的储热技术研究进展与趋势[J]. 材料导报, 2019, 33(9): 1505-1511.
- [15] 王萍, 刘涛, 杜萍, 杨国林. 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.
- [16] 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.

- [17] 李建都. 牛圈沟高速滑坡特征及发生机理研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2015.
- [18] 申通, 王运生, 吴龙科. 重庆小南海滑坡形成机制离散元模拟分析[J]. 岩土力学, 2014, 35(z2): 667-675.
- [19] 胡明鉴, 汪稔, 陈中学, 王志兵. 泥石流启动过程 PFC 数值模拟[J]. 岩土力学, 2010, 31(z1): 394-397+434.