

基于可视化图谱的城市洪涝研究热点及发展趋势

张鸿涛¹, 杨 芍¹, 张应林¹, 李 鹏^{2*}, 韩培锋², 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

收稿日期: 2022年4月11日; 录用日期: 2022年5月11日; 发布日期: 2022年5月18日

摘 要

对国内城市洪涝领域进行梳理并预测其研究进展,探索其演化脉络,可为后续学者研究提供思路和启发。基于CiteSpace可视化分析软件,结合文献计量法,对CNKI数据库中1999~2021年之间以“城市洪涝”为主题的315篇文献进行可视化分析。结果表明:历年来文献发表的数量逐年增加且趋势尚未有减弱现象;研究此领域的作者逐年增加,核心作者群初步成熟但大多数学者缺乏横向交流,领域的研究还处于初级阶段;机构的数量逐年增加,机构之间的学术合作在未来将更加明显;“防洪排涝”、“海绵城市”、“Netlogo”是当前的研究热点,也是当前最需要解决的问题。最后在文献研读的基础上,就城市洪涝研究的领域提出了几点建议,以供后续学者参考。

关键词

城市洪涝, CiteSpace, 知识图谱, 可视化分析, 发展预测

Research Hotspots and Development Trends of Urban Floods Based on Visual Maps

Hongtao Zhang¹, Shao Yang¹, Yinglin Zhang¹, Peng Li^{2*}, Peifeng Han², Daiguo Chen²

¹South Branch of China Water Resources and Hydropower Seventh Engineering Bureau Co., Ltd., Shenzhen Guangdong

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

Received: Apr. 11th, 2022; accepted: May 11th, 2022; published: May 18th, 2022

*通讯作者。

文章引用: 张鸿涛, 杨芍, 张应林, 李鹏, 韩培锋, 陈代果. 基于可视化图谱的城市洪涝研究热点及发展趋势[J]. 可持续发展, 2022, 12(3): 671-684. DOI: 10.12677/sd.2022.123073

Abstract

To sort out and predict the research progress of urban flood in China and explore its evolutionary context can provide ideas and inspiration for the subsequent researches. Based on CiteSpace visualization analysis software and literature measurement method, 315 literatures with the topic of "Urban Flood" in CNKI database from 1999 to 2021 were analyzed visually. The results show that the number of published literatures has been increasing year by year and the trend has not abated. The number of authors in this field is increasing year by year, the core author group is mature, but most scholars lack horizontal communication, and the research in this field is still in the initial stage. The number of institutions is increasing year by year, and academic cooperation between institutions will be more obvious in the future. "Urban Flood", "Sponge City" and "Netlogo" are the current research hotspots and the most urgent problems to be solved. Finally, on the basis of literature study, some suggestions on the field of urban flood research are put forward for the reference of subsequent scholars.

Keywords

Urban Flood, CiteSpace, Knowledge Graph, Visual Analysis, Development Prediction

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

近年来,随着时代不断的发展,特别是十六大以来,中国城镇化发展迅速,城镇人口年平均增长 2096 万人,城镇基础设施建设速度追不上城镇快速增长的步伐,从而使得土地利用加大,湖泊面积萎缩,不透水面积增加;同时全球气候工业经济迅速发展造成大量温室气体的排放,导致全球温度升高,水循环加剧,极端的恶劣天气出现的概率越来越大[1]。这使得近年来我国城市洪涝问题愈加严重,“城市看海”成为常态,加之城市里的人口密集,财富高度集中,使得在发生洪涝灾害时,加大了财产的损失和治理难度。

近几年来,我国城市的暴雨洪水频发,不管是北方城市还是南方城市,沿海城市还是内陆城市,发生城市洪涝的几率越来越大,严重影响了城市的正常运转,消耗大量的人力资源和物力资源[2]。2010 年,中华人民共和国住房和城乡建设部对全国 351 个城市的洪涝情况进行调查显示:2008~2010 年间,全国 62% 的城发生过不同程度的洪水内涝,内涝超过三次的城市有 137 个,占调查城市数量的 39%,78.9% 的样本城市积水超过 0.5 h,74.6% 的样本城市积水深度超过 50 mm,甚至有些城市出现了遇大雨则涝,涝必成灾[3]。根据联合国减灾署调查统计,中国的年均河流洪水损失总额世界第一,超过第二名美国 and 第三名印度的总和,中国堪称世界上洪水造成的年均经济损失最严重的国家。比如在 2016 年 7 月武汉发生洪涝灾害,造成全省 17 个市 63 个县 616.17 万人受灾,直接经济损失 55.11 亿元,因灾死亡 25 人,失踪 6 人[4];2020 年广州“5.22”特大暴雨,全市积水 443 处,受灾群众达 22.05 万人,直接经济损失超过 7 亿元,因水灾死亡 7 人,失踪一人[5];2021 年 7 月 20 日郑州特大暴雨,累计平均降水量 449 mm,188.49 万人受灾直接经济损失 532 亿元,郑州市因灾遇害 292 人,47 人失踪[6]。

因此, 加大对城市洪涝灾害的研究是必要的。所以涌现了较多的关于城市洪涝的相关文章, 如某些城市的城市洪涝现象与减灾对策、城市暴雨洪涝灾害的时空特征分析、雨水系统数值模拟研究方法、洪涝灾害的经济损失模型研究。这些文章的发表对“城市洪涝”领域的研究发挥着重要作用, 为了把握城市洪涝研究进展, 研究热点和发展方向, 就要从宏观的角度出发。

2. 数据来源和分析方法

2.1. 数据来源

期刊文献是被研究的最多的数据来源, 具有更新频率高, 数据获取方便的特点, 本文利用由清华大学、清华同方发起的检索平台中国知网(CNKI), 以“城市洪涝”为检索词, 对知网中的所有文献进行检索, 检索时间为 2021 年 11 月 30 日。由于本文针对的是国内的城市洪涝领域研究, 则通过知网和人工筛选方法剔除国外文献和报纸、专利、会议文件, 最终在 712 篇文献中筛选出 312 篇数据样本, 其中 287 篇期刊论文, 25 篇硕博论文, 这些论文基本覆盖了该领域的主流和有影响力的研究成果。

2.2. 分析方法

面对海量的城市洪涝文献, 采用人为的方式处理诸多数据非常繁琐, 且错误率较高, 所以采用系统和精准的文献计量方法是非常重要的[7]。CiteSpace 的出现带来了新的文献计量方式: 李雯团队利用 CiteSpace 对 Web of Science 核心数据库中城市洪涝灾害进行了可视化分析[8]; 韩浩团队利用 SATI 和 SPSS 软件研究我国城市洪涝进展[9]。虽然国内外学者对城市洪涝进行了诸多研究, 但无人利用 CiteSpace 对国内城市洪涝的知识图谱进行系统性分析。鉴于此, 为了系统地对城市洪涝研究历程进行梳理, 让已有研究脉络和研究空缺更加清晰[10]。本文采用文献计量学方法对 1999~2021 年关于城市洪涝的相关研究进行整理分析, 旨在反应学科领域的研究现状和发展趋势以及存在的不足与空缺, 为今后的规划提供理论参考。

CiteSpace 是美国德雷塞尔陈超美基于 Java 语言开发的一款信息可视化分析软件, 主要基于共引分析理论(Co-Citation)和寻径网络算法(Path Finder)等[11], 对主体所要分析的文献进行计量, 以探索出学科领域演化的关键路径以及未来热点发展方向, 并通过绘制一系列可视化图谱直观地展现出来。2007 年初 CiteSpace 可视化信息软件被引入国内, 并在 2008 年开始在国内的应用研究方面得到了快速广泛的传播[12], 该软件可以通过导入样本文献对关键词、作者、机构、被引文献等一系列数据进行处理和分析, 直接生成可视化图谱, 并结合软件内置的可编辑功能, 供使用者更好发掘知识图谱中的信息。软件操作过程为: 首先将筛选出的 CNKI 样本文献以 Refwork 格式导出并重新命名放在 CiteSpace 的 Input 文件夹内, 再打开 CiteSpace 5.7.R1 中的数据转换功能将转换的文本放入 Date 文件夹, 再新建项目设置好对应的文件路径, 设置时间跨度为“1999~2021 年”, 时间切片为一年, 分别选择“作者”、“机构”、“关键词”为分析对象, 并根据具体情况调整阈值, 最后直接生成可被编辑优化的可视化图谱。

3. 结果分析

3.1. 历年文献发文量分析

城市洪涝这一领域的提出是在 1992 年, 合肥市政协根据 1991 年的特大洪涝灾害分析了城市总体规划以及防洪涝灾害的作用, 这篇文章的发表解开了城市洪涝研究的序幕。为了深入分析历年来学者们在此领域的研究成果及研究热点、发展方向, 利用 CiteSpace 软件对“城市洪涝”的 312 篇文献进行分析, 具体历年文献发表统计如图 1 所示。

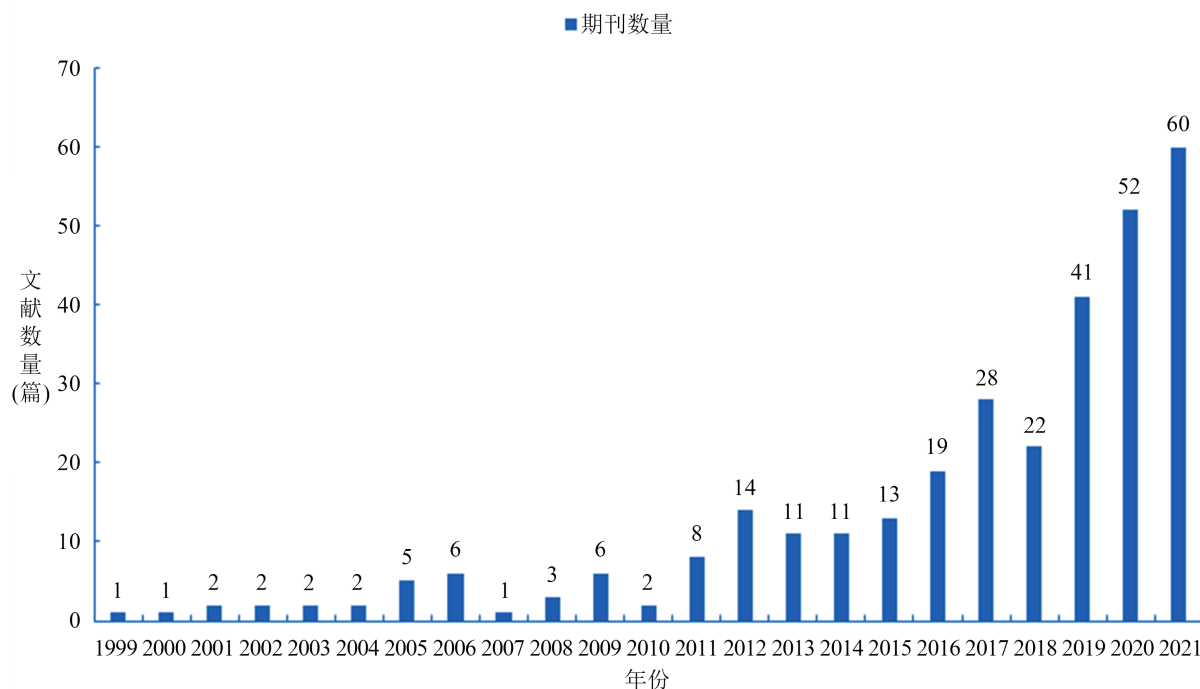


Figure 1. Statistical chart of “Urban Flood” in China from 1999 to 2021

图 1. 1999~2021 年中国“城市洪涝”历年发文数量统计图

从上图 1 可知，国内学者对城市洪涝领域的研究从 1999~2021 年文献数量整体快速发展趋势，其中 2021 年的发文量最高。从图上整体分析可以大致分为三个阶段：1999~2010 年为发展停滞期，发文量比较少，大多数年份不超过 2 篇，说明在此阶段开展城市洪涝的学者较少，分析其原因可能是我国处于经济发展的初期，城市面积较小，全球工业经济不发达，气候变化不明显无较多洪涝灾害，所以对此领域的研究不重视。2011~2016 年为稳定增长期，该文献数量稳定增长，短短几年时间文献的发文数量从最高的 6 篇文献增长到最低 11 篇文献，说明该阶段随着社会的发展，城市洪涝的问题日益突出，诸多学者的研究内容转移到城市洪涝领域。2017~2021 年为快速发展期，在此期间文献数量总体呈快速增长趋势，经调查发现，在此阶段国内发生众多大型城市洪涝灾害，国家和人民的损失极其严重，甚至因此死亡的人员数量逐年增加，诸多省份开始加强城市排洪能力的建设，特别是在 2021 年郑州市特大暴雨之后国务院办公厅发布了关于加强城市洪涝治理的实施意见，之后的时间里文献数量在 2021 年达到了 60 篇，该学科领域的发展进入了飞速发展时期。预测今后众多学者还会加强对这领域的研究，且研究手段不断创新，发文量持续增加。

3.2. 文献作者分析

1) 发文数量分析。利用 CiteSpace 软件对 315 篇样本文献进行数据统计分析，相关学者累计发文数量统计表如表 1 所示，经软件统计在中国知网(CNKI)中公开发表城市洪涝的相关文献共 374 人，其中发文在 4 篇及 4 篇以上的有 16 人占作者总数量的 4.3%，大部分作者(占 95.7%)发表相关文献数量在 4 篇以下。

2) 作者关系网。作者共现分析可以反应出作者之间的学术交流程度，每一个节点代表一个作者，作者发文数量越多则节点越大，节点之间的连线则代表两个学者之间的联系，即合作发文，线条的颜色则代表首次合作的年份。文献的发表是衡量作者研究水平的一个重要指标，也是认为该学者在此领域是否

有影响力的一个参考依据, 本文利用 CiteSpace 可视化分析软件将作者关系网生成图谱的方式进行分析。将软件的分析对象设置为 Author (作者), 得到如图 2 可视化图谱, 其中 Node (节点) 共有 374 个, Link (连线) 403 条, Density (密度) 为 0.0058, 可以从图谱中看出, 在城市洪涝领域, 学者之间的合作关系大部分呈整体 - 分散的局面。根据著名的科技情报学家普赖斯提出的高产作者计算公式(核心作者的最低发文量 = $0.749 * \sqrt{\text{最高作者发文量}}$) [13], 从表 2 可以看出徐宗学为最高发文量学者, 共有期刊 11 篇, 那么意味着相对应领域论文发表 3 篇以上的才可入围城市洪涝研究的核心作者名单。结合表格和图谱分析, 整体合作关系以徐宗学、黄国如、李娜、邱苏闯等团队为代表发表了大量的学科文献, 且大多数发文频次较多的核心作者皆在以上团队。其他绝大部分学者的发文量大多没有超过 2 篇, 占据了学者总数的 93.3%, 学者之间的学术交流很少, 呈现出分散的局面。通过观察图谱中连线的颜色发现, 灰色线条较为分散代表早年间学者之间的合作关系较少, 随着年代的增加, 红色线条越来越多, 且联系越来越紧密。值得注意的是, 最早大型团队是以李娜学者为核心, 在此之后学者之间的联系变得紧密, 具有代表性的是黄国如团队, 在 2020 年之后选择与刘业森团队合作, 拉开了跨团队之间合作的序幕, 此举动将会加快城市洪涝研究的进展, 给其他学者提供了新的研究方式。由此可以推测城市洪涝领域的合作关系网络将会越来越紧密, 逐渐走向成熟。

Table 1. Statistical table of the number of authors' publications

表 1. 作者发文数量统计表

累计发文数量(篇)	作者数量统计(个)	比例	累计比例
4 篇及以上	16	4.3%	4.3%
3 篇	9	2.4%	6.7
2 篇及以下	349	93.3%	100%



Figure 2. The number of papers published by authors of "Urban Flood" in China from 1999 to 2021

图 2. 国内 1999~2021 年“城市洪涝”作者发文量

Table 2. Statistical ranking of “Urban Flood” published by authors in China from 1999 to 2021**表 2.** 国内 1999~2021 年“城市洪涝”作者发文统计排名

序号	发文数量	作者
1	11	徐宗学
2	9	黄国如
3	7	李娜
4	7	邸苏闯
5	6	李永坤
6	5	张书函
7	5	张建云
8	5	罗海婉

3.3. 科研机构合作分析

在 CiteSpace 操作主界面选取节点类型为“Node Types = Institution”，检索时间年限设置为 1999~2021 年，时间切片为 1 年，阈值“TOP = 50”，经软件生成可视化图谱并调整 Threshold 功能使发文较多的机构名称显示出来，优化调整后的图谱如图 3，最后通过 Run Batch Mod 功能将发文量较多的机构导出得到表 3。由机构关系图可知，Node (节点) 258 个，Link (连线) 171 条，Density (紧密度) 0.0052。节点的大小代表机构发文数量的多少，节点越大发文量越多；节点之间的连线为机构间的合作关系，连线越多，则合作关系越广，连线的数量与紧密度呈正相关关系。从机构发文量来看中国水利水电科学研究院最高达到了 22 篇，其次发文量较多的是水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心、华南理工大学土木与交通学院、北京师范大学水科学研究院分别为 10 篇、9 篇、8 篇，大多数机构只发了 1 篇。从发文频次上看，发文越多的机构是对领域研究较深入的机构，在研究领域中有核心地位，对以后的发展起着领导作用；从区域角度上看，发文最多的地区是北京，北京教育资源实力雄厚，有着较多的 985、211 高等院校，有强大的科研底蕴，其次是广东省，通过调查都是发生洪涝灾害较多的区域，也是当地政府比较重视的灾害之一，为城市洪涝的研究提供了便利。通过机构的可视化图谱可以反应机构之间的学术交流，例如图 3 中可以看出发文数量较多的几个机构都有着千丝万缕的关系，形成了以中国水利水电科学研究院为核心的研究团体；也可以反映出所属机构的作者研究方向，例如华南理工大学的黄国如教授主要利用数值模拟方法研究城市洪涝过程，提前获取可靠的洪涝情报；北京师范大学的徐宗学教授利用近年来的洪涝典型灾害进行洪涝模拟。

CiteSpace 不仅能将机构之间的联系反映出来，也能够统计各个机构首次对某个领域开始研究的时间。在生成机构图谱的基础之上，选择“Layout = Timezone View”，接着对生成的时间图谱进行优化得到图 4。图中可以清楚看到我国最早对城市洪涝进行研究的机构是山东省枣庄水利局，在 1999 年发表了对枣庄城市洪涝灾害及对策，随后的 2000~2015 年开始对此领域的研究的机构不断增加，但大多数机构仅仅只是浅度的研究，发文量也少，机构之间基本没有学术交流，2016~2021 年可以清楚的看到机构数量爆发式增长，且发文量也远远高于前几个时期，并且各个机构之间联系紧密，不断向新的领域扩展研究。由此可以推断：城市洪涝这方面的研究在我国起步较晚，少数机构对此进行了研究，但并没有进一步的加深，随着我国城市洪涝发生的次数逐渐增加，损失越来越严重，越来越多的机构相关学者把研究工作投入到此领域，并在较短的时间里取得了一些成果。结合图谱和表格可以发现大多数机构位于北京、广

州、武汉等一线城市且这些城市发生洪涝的几率较大。为此当地机构开展了城市洪涝的政治行动，投入较多的人员资金、技术开展研究工作。虽说一些大型机构对此研究领域了解较多，但结合现状来看，目前对此领域的研究阶段处于初级阶段，大多数地区的机构并没有重视这方面的研究，研究力量过度集中，限制了突破性创新的能力。

Table 3. Ranking of institutions of “Urban Flood” in China from 1999 to 2021

表 3. 1999~2021 年国内“城市洪涝”发文数量机构排名

序号	频次	科研机构
1	22	中国水利水电科学研究院
2	10	水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心
3	9	华南理工大学土木与交通学院
4	8	北京师范大学水科学研究院
5	8	城市水循环与海绵城市技术北京市重点实验室
6	7	北京市水科学技术研究院
7	7	华南理工大学亚热带建筑科学国家重点实验室
8	6	广东省水利工程安全与绿色水利工程技术研究中心
9	6	武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室
10	5	南京水利科学研究院水文水资源与水利工程科学国家重点实验室

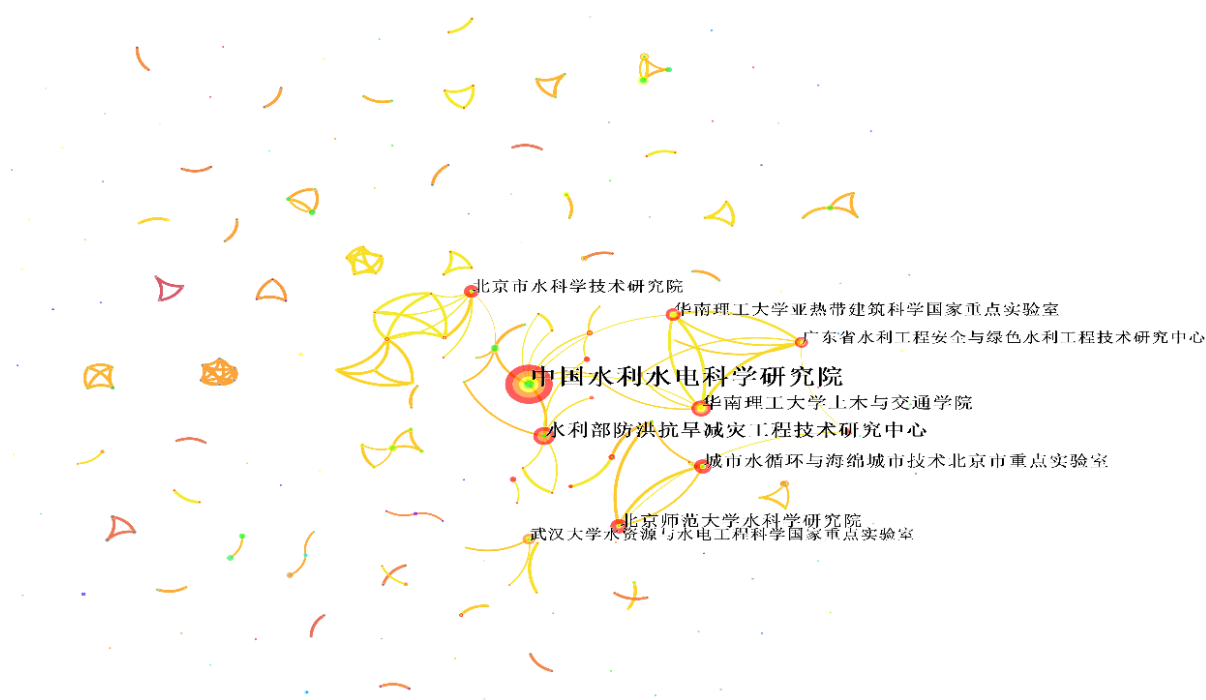


Figure 3. Map of “Urban Flood” agencies in China from 1999 to 2021

图 3. 1999~2021 年国内“城市洪涝”发文机构图谱

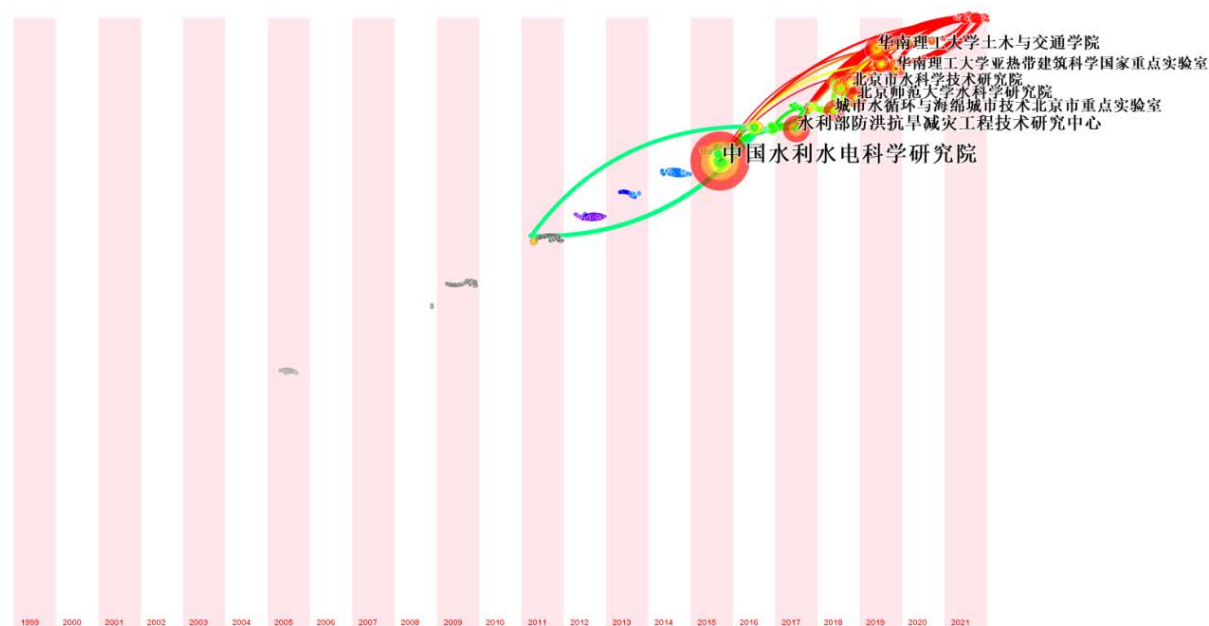


Figure 4. Time-line atlas of issuing agencies for "Urban Flood"

图 4. “城市洪涝” 发文机构时间线图

3.4. 关键词分析

3.4.1. 关键词共线图分析

关键词共现图谱可用于分析研究领域内的关键词共现，每一个节点代表一个关键词，如两个关键词在同一篇文章内，两个关键词之间就会连成一条线，则就会出现以关键词为节点，共线关系为边的可视化图谱[14]。其中节点的大小代表关键词出现的频次。首先在主界面选择“Keyword”选项，再选择 Pathfinder 与 Purning Sliced Network 功能使得图谱具有唯一解，将图谱中出现的相似关键词进行合并，最后的到图 5 所示的城市洪涝研究关键词图谱。其中 Node (节点)为 429 个，Link (连线)为 678 条，Density (密度)为 0.0074。图中由冷色到暖色代表 1999~2021 年，带有紫色外环的节点是中心性较高的节点，即衡量一个节点在网络中的重要性，其取值为 0~1 之间。按照 3.3 节的操作导出出现次数最多的关键词得到表 4。

关键词中心度能够表现出关键词之间的共线强度，结合图谱和表格可以发现，“城市洪涝”这关键词的词频远远超过词频第二的“城市化”，中心度也达到了 0.78，“城市化”、“防洪排涝”、“海绵城市”次之，通过阅读相关文献可知，随着气候变暖，温室气体排放越来越多，城市洪涝发生的次数越来越多，越来越多的学者把研究领域扩展到了城市洪涝这一领域中来。从整体来看其他大部分关键词出现的频率相对较低，且基本围绕着“城市洪涝”这一关键词，表明目前研究的阶段处于初级阶段，未衍生出新的中心关键词。

城市洪涝研究热点的演化趋势如图 6 所示，自 1999 年开始，研究学者重点是城市洪涝的灾害特点以及风险评价，随着研究的深入，如何解决城市洪涝逐渐成为学者们重要的研究方向。从图谱中可以看出城市洪涝热点的发展状况分为三个阶段：在 1999~2002 年，在此阶段相关机构可能还未成立或者还未重视此领域的研究，大多数学者都是对某一个方面对城市洪涝的影响进行分析提出对策，且关键词之间的连线较少，侧面反映出发文量较少；在 2003~2015 年，出现了较多的新关键词，呈现了多元化发展的雏形，关键词之间的连线较多，其中还有学者用 GIS 模型对此领域进行研究，根据连线之间的终点，可以看出截至 2021 年，诸多学者也在用此方法进行研究。2015~2021 年在此期间发文量最多，且研究深度较

之前面愈深，还提出了“海绵城市”的概念来解决城市洪涝的问题，在图中看出研究城市洪涝的手段随时代发展越来越先进，但其关键词节点不大，研究成果较少。

在关键词热点分析的基础上，利用关键词突显的功能更能显示出不同时期研究热点的内容以及未来发展的趋势。本文选取 1999~2021 年的文献进行突显词分析，将凸显值设置为 1，共获得了 2 个突显词如图 7，其中“城市洪涝”关键词热度从 1999 年至今都比较高，所以不予展示。图中的“Strength (强度)”代表关键词爆发的强度，指某个关键词在某个年份突然增多的程度。2006~2014 年“防洪排涝”领域的研究较多，2016~2017 年“海绵城市”的突显程度还要高于“防洪排涝”但持续了仅仅只持续了一年，猜测诸多学者在此阶段的研究遇到了瓶颈。

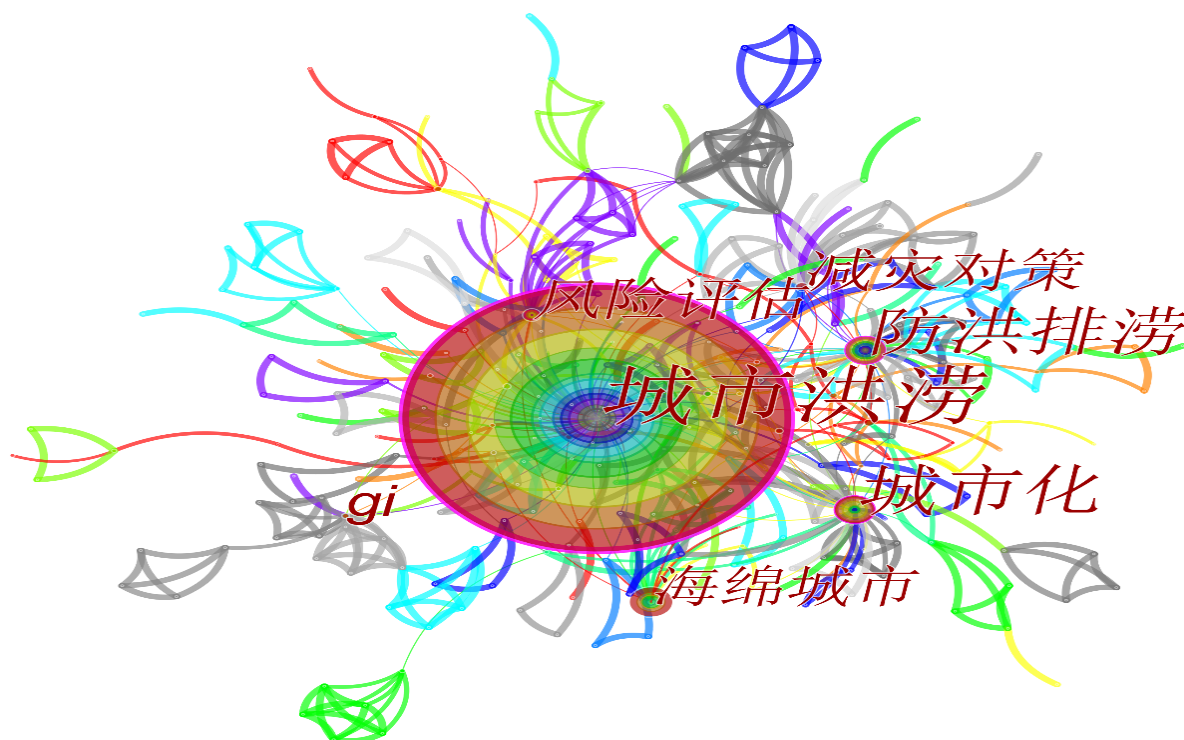


Figure 5. Collinear map of keywords “Urban Flood”

图 5. “城市洪涝”关键词共线图谱

Table 4. Keyword frequency and centrality of “Urban Flood” in China from 1999 to 2021

表 4. 1999~2021 年国内“城市洪涝”关键词词频和中心度

序号	关键词	频次	中心度
1	城市洪涝	191	0.78
2	城市化	30	0.23
3	防洪排涝	25	0.22
4	海绵城市	22	0.07
5	减灾对策	14	0.09
6	风险评估	11	0.18
7	GIS	8	0.10

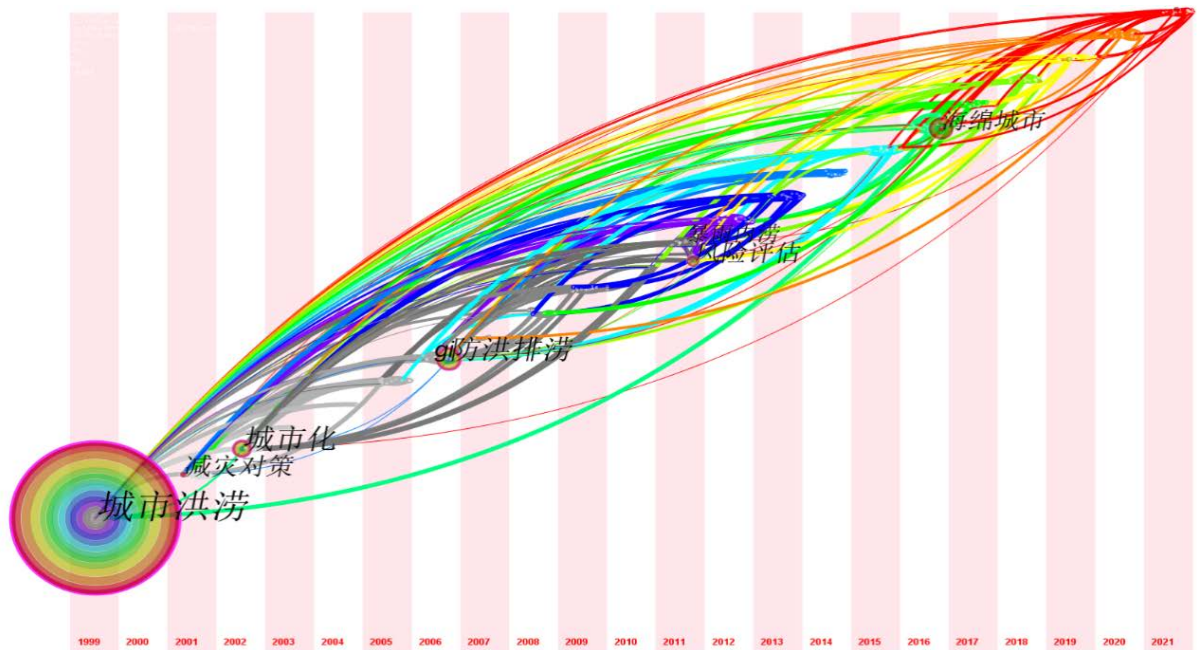


Figure 6. Time zone atlas of "Urban Flood" hotspot research
图 6. “城市洪涝” 热点研究时区图谱

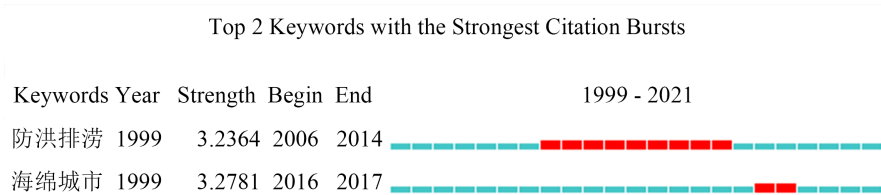


Figure 7. Keyword highlighting map
图 7. 关键词突显图谱

3.4.2. 关键词聚类 LLR 算法分析

CiteSpace 中具有关键词分析聚类功能为划分研究热点提供了便利。CiteSpace 基于 LLR 聚类算法对关键词进行分析，挖掘出最适合的主题聚类词，主要探析该领域研究各主题方向母聚类极其子类，是共现词图谱的进一步演化的结果，其中 LLR (Log-Likelihood Rational)，即对数似然比算法，根据概率密度函数运算关键词之间的相似度。利用 CiteSpace 软件，提取关键词并快速聚类的到图 8 所示的关键词聚类图谱[13]。#代表聚类，其中 Modularity Q (模块值) = 0.7888 > 0.3 说明聚类结果显著，Mean (平均轮廓值) S = 0.51 > 0.5，说明聚类一般是合理的[11]。由此可以看出，1999~2021 年城市洪涝领域的研究主要是以图中的 10 大类模块展开的。聚类分析的 10 个关键词排名顺序依次是洪涝灾害、城市、应急管理、城市防洪、城镇化、有限体积法、风险评估、城市水安全、泵站设计流量、Nettlogo。聚类文字前的数字为编号，编号越小则代表聚类中关键词出现的次数越多。结合表可看出，聚类最大的是#0 洪涝灾害，代表大部分学者在研究城市洪涝领域时，都会涉及到洪涝灾害的研究，是研究领域的核心问题。在关键词聚类图谱生成的基础上，选择 Timeline View，生成关键词聚类时间线图如图 9，同一聚类的节点按照时间顺序排布到同一条水平线上。其中#0 聚类贯穿整个研究领域，#1，#4 是主要对城市化较快的城市进行洪涝灾害分析，其中#4 聚类是#1 聚类的进一步深化研究；#2、#3、#6、#7 主要对城市洪涝的灾害分析并提出防止措施，进行风险评估保障人民安全；#5、#8、#9 是利用现代先进技术手段对城市洪涝灾害进行数

值建模模拟给城市防洪能力建设提供技术支撑。其中有限元体积法与泵站设计流量持续时间较短，可能在此方面的研究较为成熟，Netlogo (编程建模软件)、城镇化、风险评估虽然持续时间短但延续至今，由此可以推测未来几年将持续作为研究热点。

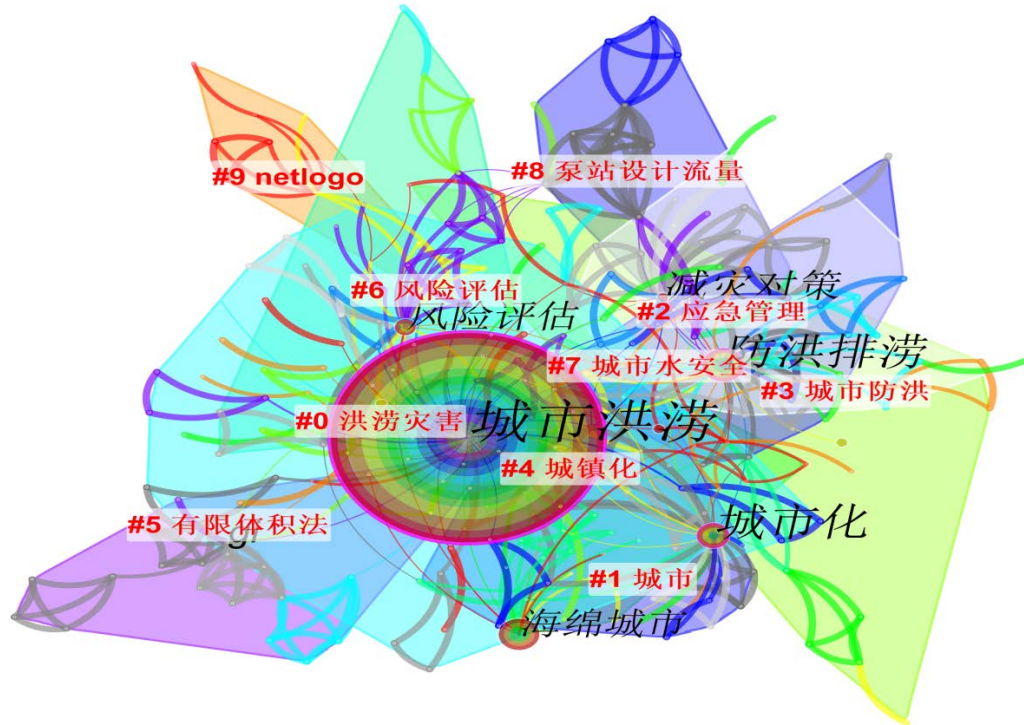


Figure 8. Keyword clustering atlas
图 8. 关键词聚类图谱

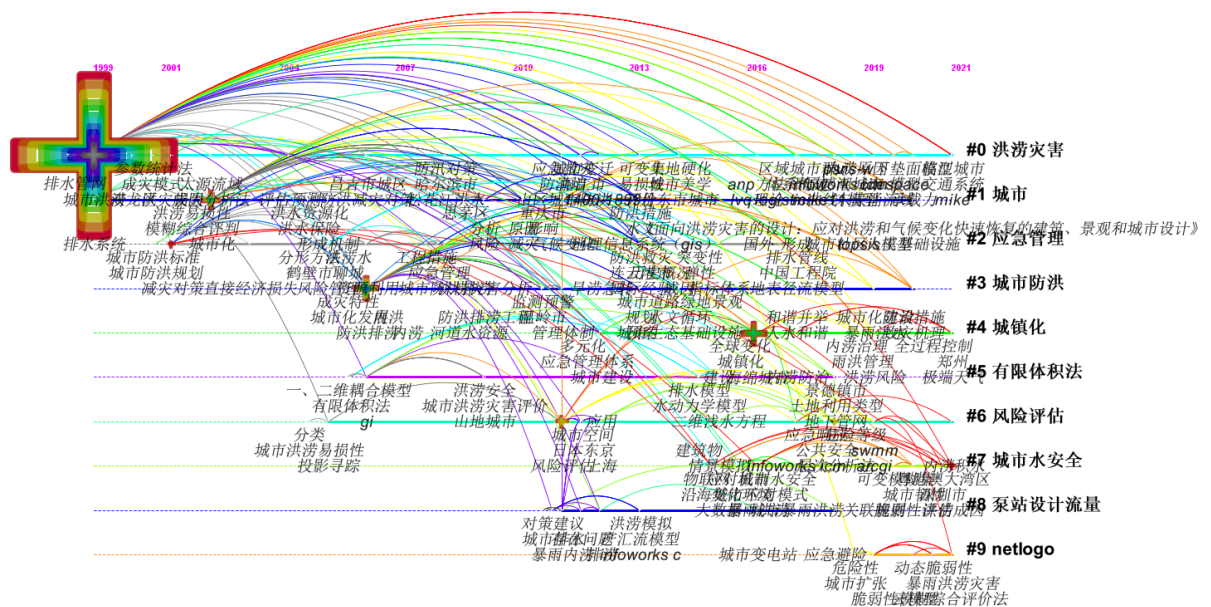


Figure 9. Keyword time line clustering atlas
图 9. 关键词时间线聚类图谱

3.4.3. 核心关键词分析

紧密程度体现的是每个聚类中关键词的同质性，即关键词与对应聚类的关系紧密程度，如果聚类程度大于 0.8 则代表聚类效果好，关系词之间联系紧密，通过 CiteSpace 软件的 Cluster Explorer 导出聚类分析详表(表 5)。一般关键词是最能体现文章中心的词，也是聚类分析中最方便的类型，从以上分析可以得出聚类热度最高的四个分别是“洪涝灾害”、“城市”、“应急管理”、“城市防洪”。下面对四个类型进行分析：

1) 洪涝灾害。早在 1999 年，山东省枣庄市水利局就针对当地的洪涝灾害提出分析并提出了治理对策[15]。随后越来越多的当地机构对其地区的洪涝灾害进行分析研究，2003 年万良军[16]团队不仅分析了城市洪涝灾害形成机制还介绍了洪灾经济损失估算方法，为后面的风险评估研究奠定了基础。接着在 2016 年郎禹为了客观评估洪涝灾害风险要素以及发生的机率，在向量化神经网络理论(LVQ)客观特性基础上，构建了融合 LVQ 原理的洪涝灾害网络层次分析(ANP)风险评估模型，完善城市洪涝灾害风险评估体系[17]。直到现在，洪涝灾害一直都是此学科领域的热门研究方向，随着工业时代的飞速发展，洪涝问题不仅仅出现在野外，城市出现洪涝灾害的几率也大幅度增加，由此可以预测怎样解决洪涝灾害一直会持续作为研究热点。

2) 城市。将#1、#3 聚类统一到城市这一个聚类。研究学者最开始的目光聚集在城市之中，最开始系统性分析洪涝灾害的是山东省的枣庄市，对排水系统进行了系统性研究，随后各种城市对当地城市设施进行系统性研究，在 2011 年周玉文提出城市洪涝是全球气候变化和城市化进程中产生的问题，基于投影寻踪的方法整合排水模型、GIS 和 MIS 系统的多方面洪涝风险因素，对城市排水系统的模型进行研究，为城市防洪提供了技术支持[18]。2014 年住建部出台了《海绵城市建设指南 - 低影响开发系统》，2016 年又确定了 14 个城市为 2016 年中央财政支持海绵城市建设试点[19]，此后海绵城市成为了众多行业和科技领域的讨论热点之一，其中最具代表的就是张建云院士通过对试点建设评审和调研国外海绵城市的情况，阐述了海绵城市建设的目标和指标、建设功能与发展方向等若干问题，最后总结出了海绵城市的建设中心应该围绕湖河水系。由此可推断以在未来的时间里以城市为聚类的关键词大部分围绕着“海绵城市”逐步发展。

3) 应急管理。此聚类的文章大多数包括着“应急管理”与“减灾对策”这两个关键词，“减灾对策”一直是此领域的研究重点，是研究城市洪涝灾害的主题贯穿整个领域；由于在早期对城市所存在的洪涝灾害风险宣传不够，大多数地方领导和群众对洪涝灾害风险认识不足，因此在 2008 年方国华团队对我国城市洪涝的安全研究进行研究分析，提出要加强科学研究以及通过宣传教育鼓励公众参与洪涝灾害的知识宣讲[20]；发展持续到 2020 年张念强团队系统的分析了前期我国城市洪涝灾害应急管理的概念、框架与组成体系，在前人的基础上阐述了我国城市洪涝灾害应急管理现状以及不足，并结合国外应对灾害的经验，提出了对策建议，为我国洪涝应急管理的建设和完善提供参考[21]。从时间线图谱可以看出应急管理聚类在最近几年发展较缓慢未有较多文献发表，推测国内在此方面的研究已经较为成熟，难有较大的突破，也可能在遇到了瓶颈。

4) 城市防洪。洪涝灾害与城市防洪具有因果关系，洪涝灾害是因，城市防洪是果。从时间线图谱来看以洪涝灾害为主题的研究较早，城市防洪文章虽说有，但是覆盖面很小且发文了较少，直到 2006 年左右，我国城市化增长较快，洪涝灾害频发，引起了学者们的注意，此后关于城市防洪的文献逐渐多了起来，例如 2014 年高哲通过研究城市道路绿地景观设计研究，发现并阐述了传统城市市政排水基础设置存在的问题，提出防洪排涝功能的城市道路绿地景观体系[22]；2017 年张建云院士分析城市设计暴雨、设计洪水计算方法，提出了城市防洪。除涝与排水标准之间的协调与衔接问题，提出加强城市基础设施建设、

洪涝灾害预警系统[23]。通过文献可以看出城市防洪的研究进展不大，解决措施的手法较为单一，因此这个方向的研究需要进一步深入。

Table 5. Cluster analysis of “Urban Flood”

表 5. “城市洪涝” 聚类分析详表

聚类号	紧密程度	平均年份	Top Term (重要关键词)
#0 洪涝灾害	1	2013	洪涝灾害(4.44); 洪灾损失(3.59)
#1 城市	0.916	2010	城市(9.44); 城镇化(8.67)
#2 应急管理	0.944	2009	应急、风险管理(9.03); 减灾策略(5.03)
#3 城市防洪	0.887	2011	城市防洪(15.37); 防治措施(5)
#4 有限元体积法	0.995	2010	有限元积法(11.62); 排水模型(5.73)
#5 风险评估	0.888	2014	风险评估(14.64); 住宅(4.77)

4. 发展趋势

从上文的各种聚类图谱可以看出，城市洪涝由原来制定防洪标准、防洪规划、模糊综合评价发展到现在城市洪涝全过程物理机制模拟、建立精细化洪涝模拟模型，虽现阶段对于洪涝模型的构建还处于初级阶段，但随着科学技术水平的提高与国家政策的促进，可以明显看出，城市洪涝将会围绕物理机制模拟、精细化模拟做进一步完善不断更新，由于要建立模型并进行精细化模拟所以还会带动云计算领域快速发展；在对城市洪涝模型建立的基础上，洪涝预报预警信息系统也会随着研究进度的加深不断完善，同时带动防汛应急研究领域的发展进而带动其他领域多元化发展。

5. 结论

本文利用 CiteSpace 软件对 1999~2021 年知网收录的 315 篇城市洪涝文献进行统计，并对文献数量、发文作者、发文机构、关键词进行了可视化分析，得出以下结论：直观上：① 文献发表整体呈增长的态势，且增长趋势还未减弱，未来将会持续增加。② 核心作者群已经初步成型，研究整体上趋于成熟，但大多数学者缺乏横向交流，在一定程度上限制了研究的质量和水平。③ 该研究近年来受到了较为广泛的关注，研究机构之间的合作有了进一步的进展，但研究机构数量较少发文数量差距过大，且多位于发达、多洪涝城市，高校对于此领域的研究较少，研究所较多。客观上：① 对于该领域开始研究的时间较早，但研究的阶段还处于初期阶段，目前可能已经进入到过渡阶段的瓶颈期，需要做进一步的突破。② 该领域研究紧紧围绕“城市洪涝”展开研究，未形成以其他关键词为中心的研究方向，带动其他领域发展。③ “防洪排涝”、“海绵城市”、“Netlogo”等成为最新研究热点；“城市防洪”、“防治措施”将成为防洪排涝的最新前沿话题。

基于文献的研读，就城市洪涝领域研究提出以下建议：① 联合政府、企业、高校、科研机构共同打造城市洪涝的五位一体创新研究平台，提高机构之间的交流频率，发挥平台统筹兼顾、部门协同、科技支撑的作用[13]。② 加强数值模拟技术的研究，构建具有物理机制城市洪涝精细化模拟模型，实现对城市降雨汇流全过程模拟，为内涝诊断、管网改造、预案编制等工作开展提供技术支持[24]。③ 开拓研究视野，延伸研究主题。加强对其他领域的研究力度，加大跨领域合作力度。防洪的研究方向也可以向土木、材料、市政园林、城乡规划、智慧化等领域发展[25]；建立防洪预警平台，加快推进治理智慧化、现代化进程。

本文有的观点也有一些薄弱之处：文章只是基于国内学者的研究成果进行的可视化系统分析，因此具有一定的局限性。此外，CiteSpace 软件的参数设置具有相对可调性[26]，不能排除一些漏掉的一些低频但有探讨意义的关键词的可能。

参考文献

- [1] 夏军. 我国城市洪涝防治的新理念[J]. 中国防汛抗旱, 2019, 29(8): 2-3.
- [2] 钱树芹, 高秋霖, 张丽. 浅议我国城市暴雨洪灾内涝原因及对策[J]. 人民珠江, 2012, 33(6): 61-63.
- [3] 袁媛, 王沛永. 从防止城市内涝谈海绵城市建设的策略[J]. 风景园林, 2016(4): 116-121.
- [4] 陈璟浩. 突发事件中的政务微博网络舆论引导能力研究——以 2016 武汉暴雨为例[J]. 情报探索, 2017(1): 44-49.
- [5] 陈文龙, 夏军. 广州“5-22”城市洪涝成因及对策[J]. 中国水利, 2020(13): 4-7.
- [6] 苏爱芳, 吕晓娜, 崔丽曼, 李周, 席乐, 栗晗. 郑州“7.20”极端暴雨天气的基本观测分析[J]. 暴雨灾害, 2021, 40(5): 445-454.
- [7] 张增可, 王齐, 吴雅华, 刘兴诏, 黄柳菁. 基于 CiteSpace 植物功能性状的研究进展[J]. 生态学报, 2020, 40(3): 1101-1112.
- [8] 李雯, 姜仁贵, 解建仓, 赵勇, 朱记伟, 王尹萍. 基于文献计量学的城市洪涝灾害研究可视化知识图谱分析[J]. 西安理工大学学报, 2020, 36(4): 523-529.
- [9] 韩浩, 姜仁贵, 解建仓, 于翔, 汪雅梅. 基于文献计量的我国城市内涝研究进展[J]. 水资源与水工程学报, 2017, 28(3): 134-138.
- [10] 宋丽美, 徐峰. 基于 CiteSpace 的城市碳排放研究进展与研究体系建构[J]. 生态科学, 2021, 40(5): 183-194.
- [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] 侯剑华, 胡志刚. CiteSpace 软件应用研究的回顾与展望[J]. 现代情报, 2013, 33(4): 99-103.
- [13] 伍国勇, 李浩鑫, 杨丽莎, 孙红雨. 基于 CiteSpace 的中国流域生态补偿研究知识图谱分析[J]. 生态经济, 2021, 37(10): 164-172+184.
- [14] 孙威, 毛凌潇. 基于 CiteSpace 方法的京津冀协同发展研究演化[J]. 地理学报, 2018, 73(12): 2378-2391.
- [15] 高长亮, 刘艳明. 枣庄城市洪涝灾害及对策[J]. 治淮, 1999(11): 21.
- [16] 万良君, 曾再平, 王改利. 城市洪涝灾害的损失评估研究与防灾减损对策[J]. 气象水文海洋仪器, 2003(4): 34-43
- [17] 郎禹. 基于改进 ANP 法的城市洪涝灾害风险评估探析[J]. 吉林水利, 2016(10): 41-44.
- [18] 王磊, 周玉文. 基于投影寻踪的城市排水系统洪涝风险评估模型[J]. 中国给水排水, 2011, 27(23): 78-82.
- [19] 张建云, 王银堂, 胡庆芳, 贺瑞敏. 海绵城市建设有关问题讨论[J]. 水科学进展, 2016, 27(6): 793-799.
- [20] 方国华, 钟淋涓, 苗苗. 我国城市防洪排涝安全研究[J]. 灾害学, 2008, 23(3): 119-123.
- [21] 张念强, 李娜, 王艳艳, 丁志雄, 俞茜. 我国城市洪涝灾害应急管理框架探讨[J]. 中国防汛抗旱, 2020, 30(7): 5-9+77.
- [22] 高哲. 基于防洪排涝的城市道路绿地景观设计研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2014.
- [23] 张建云, 王银堂, 刘翠善, 贺瑞敏. 中国城市洪涝及防治标准讨论[J]. 水力发电学报, 2017, 36(1): 1-6.
- [24] 臧文斌, 赵雪, 李敏, 薛轩柱. 城市洪涝模拟技术研究进展及发展趋势[J]. 中国防汛抗旱, 2020, 30(11): 1-13.
- [25] 陈军飞. 推进城市洪涝灾害治理现代化的重点与难点[J]. 国家治理, 2021(37): 17-21.
- [26] 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.