

# 基于GIS的智慧消防研究现状知识图谱分析

张文康<sup>1</sup>, 刘 静<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>中国人民警察大学研究生院, 河北 廊坊

<sup>2</sup>中国人民警察大学涉外安保学院, 河北 廊坊

Email: wenkangzhang@qq.com, \*l\_j\_amy@163.com

收稿日期: 2021年6月18日; 录用日期: 2021年7月14日; 发布日期: 2021年7月21日

## 摘 要

因具备强大的空间数据管理、空间分析和可视化功能, 地理信息系统(GIS)一直以来都是智慧消防与应急的重点和热点技术之一。为梳理国内基于GIS的智慧消防与应急研究的发展脉络和现状, 探究其研究热点和趋势, 利用CiteSpace软件对2000~2021年国内基于GIS的智慧消防与应急研究进行可视化分析, 结果表明: 1) 应急管理、辅助决策、空间分析、WebGIS、森林火灾、地震应急、三维GIS是该领域的研究热点; 2) 近20年来该领域的演进路径可分为理论提出阶段(00~07年)、应用繁荣阶段(08~16年)和指导发展阶段(17~21年), 实现了多层次跨越; 3) 技术手段综合化、灾害防控精细化、消防设施智慧化、应急管理信息化、风险评估科学化、救援指挥高效化是未来该领域的发展方向。

## 关键词

GIS, 智慧消防, 智慧应急, CiteSpace, 文献计量学

# Knowledge Graph Analysis of Research on GIS-Based Smart Fire Protection

Wenkang Zhang<sup>1</sup>, Jing Liu<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of China People's Police University, Langfang Hebei

<sup>2</sup>Overseas Protection Department of China People's Police University, Langfang Hebei

Email: wenkangzhang@qq.com, \*l\_j\_amy@163.com

Received: Jun. 18<sup>th</sup>, 2021; accepted: Jul. 14<sup>th</sup>, 2021; published: Jul. 21<sup>st</sup>, 2021

## Abstract

For the powerful spatial data management, spatial analysis, and visualization functions, geographic information systems (GIS) have always been one of the key and hotspot technologies for smart fire-

\*通讯作者。

**fighting. To sort out the development context and status quo of GIS-based smart fire protection and emergency research, and explore its research hotspots and trends, CiteSpace was used to visualize the GIS-based smart fire protection research from 2000 to 2021 in China. The results show that: 1) Emergency Management, auxiliary decision-making, spatial analysis, WebGIS, forest fires, earthquake emergency, and 3D-GIS are the research hotspots in this field; 2) The evolution path of this field in the past 20 years can be divided into the theoretical stage (2000~2007), the application boom stage (2008~2016) and the guiding development stage (2017~2021); 3) Comprehensive technical means, refined disaster prevention, intelligent fire protection facilities, informationized emergency management, scientific risk assessment and efficient rescue command are the future development directions of this field.**

## Keywords

GIS, Smart Fire Fighting, Smart Emergency, CiteSpace, Bibliometrics

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

近年来, 智慧城市建设如火如荼, 随着其建设的不断深入, 智慧消防也应运而生[1]。智慧消防受到学界、政府和业界的广泛关注, 不仅是由于智慧城市的引导, 更是符合了现代经济社会发展的需要。当前我国经济蓬勃发展, 新老事物背后隐藏的安全隐患给消防与应急事业带来巨大的挑战, 面对日益复杂的灾害发展态势, 传统消防应用已不能满足现实需要。在此背景下, 作为新一轮技术革命的产物, 兼具科技性、智能性特点的智慧消防, 当之无愧地成为了破局的关键。所谓智慧消防, 就是综合利用各种现代化的技术手段, 从数据采集到功能应用, 实现管理和救援的智能化。促进智慧消防发展一方面可以优化消防监督管理, 提升社会治理能力, 另一方面也能够促进应急救援工作的科学化。此外, 在“全灾种、大应急”的背景下, 智慧消防为人民群众的生命财产安全、企业生产安全以及国家社会安全保驾护航。

GIS 技术是实现智慧消防的重要支撑。作为地理测绘与计算机学科交叉融合下产生的技术工具, GIS 不仅能够实现空间事物可视化, 还能实现人机交互功能, 其强大的空间分析功能为现实世界构建模型与求解提供了可能性。有鉴于此, 早在本世纪初, 彼时智慧消防尚未形成关注重点, 部分学者已经开始探索利用 GIS 技术解决消防与应急领域中现实问题。2017 年公安部颁布的智慧消防指导意见, 进一步促进了智慧消防产业的繁荣, “GIS + 智慧消防”的概念逐渐变得炙手可热[2]。然而, 基于 GIS 的智慧消防研究虽成果众多但缺乏系统梳理, 其研究脉络和热点内容未明。因此, 引入知识图谱[3]对现有研究成果展开梳理显得十分重要, 不仅能够把握其热点和趋势, 进一步推动该领域研究的发展, 还能促进交叉学科融合, 响应习总书记关于加强交叉学科协同创新的倡议。

本文基于中国知网(CNKI)数据库, 利用文献可视化分析软件 CiteSpace 对近 20 年来基于 GIS 的智慧消防研究领域的文献进行统计整理, 梳理其研究热点及发展趋势, 以期为该领域进一步研究提供理论借鉴。

## 2. 数据与方法

### 2.1. 数据来源

本文数据来源于中国知网, 检索时间跨度为 2000 年 1 月 1 日至 2021 年 6 月 1 日, 通过构建篇名检索式 “SU = 消防\*GIS OR 应急\*GIS OR 救援\*GIS OR 灭火\*GIS OR 火灾\*GIS” 进行检索, 共检索文献

1003 篇。为保证文献数据的准确性和代表性, 经笔者筛选、剔除非研究性文献, 得出研究样本 926 篇。同时, 为保证关键词共现分析的可靠性, 预先对同义关键词进行合并。

## 2.2. 节点中心性算法

节点中心性是度量节点在网络中重要程度的指标, 其大小与节点重要性呈正相关, 计算公式如下:

$$C_i = \sum_{s \neq i} \frac{n_{st}^i}{g_{st}} \quad (1)$$

式中,  $C_i$  为节点中心性; 节点  $s$  和  $t$  之间的最短路径为  $g_{st}$  条, 这其中经过节点  $i$  的最短路径数量为  $n_{st}^i$  条。

## 2.3. 关键词聚类算法

由于关键词数量可能是巨量的, 人工归纳不足以快速简洁地总结出聚类标签。为了简化关键词数量, CiteSpace 通过聚类(cluster)算法以生成聚类标签, 在每个聚类中提取排序最高的特征词, 以此来表征整个聚类。谱聚类算法计算公式如下:

$$\cos(C_{ij}, S_i, S_j) = \frac{c_{ij}}{\sqrt{S_i S_j}} \quad (2)$$

式中, 余弦值越大表明词汇对差异度越小;  $c_{ij}$  表示节点  $i$  和节点  $j$  的共现频率;  $S_i$  和  $S_j$  代表词  $i$  和词  $j$  各自出现的频率。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 发文量与期刊分布

由图 1 可知, 近 20 年来基于 GIS 的智慧消防研究发文总量不断增加, 其年发文量总体呈“山”字型, 高峰期出现在 2009~2011 年, 发文量超发文总量的五分之一, 其中, 发文量最高的年份为 2010 年。2009~2011 年该领域文献的研究内容主要涉及应急救援、地震应急、应急指挥等方面, 推测发文高峰的原因与 2008 年国内四川地震灾害事件密切相关, 涌现出一批面向震害应急的 GIS 技术应用研究[4] [5]。2003~2007 年该领域发文量迅速增长, 曲线较为陡峭, 这与 GIS 学科的发展趋势总体相符, 该时段 GIS 学科蓬勃发展, 各地 GIS 教研室、学科点相继成立, 推动了 GIS 工具在智慧消防领域的广泛应用。2012 年以后, 基于 GIS 的智慧消防研究有所下降, 但发文量仍维持在年均 48 篇的水平, 热度不减。

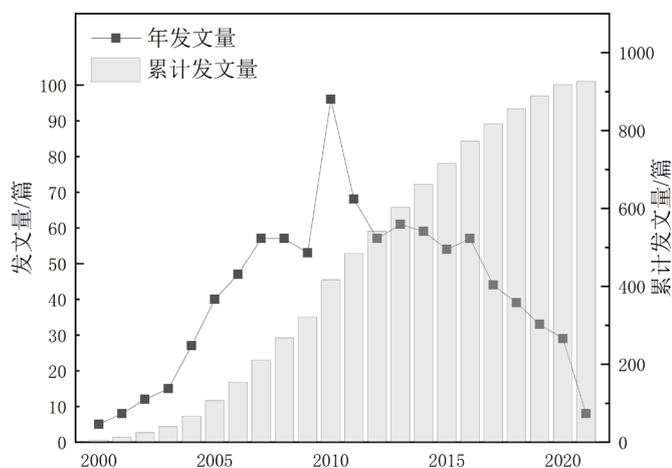


Figure 1. Number of publications in the past 20 years  
图 1. 近 20 年来基于 GIS 的智慧消防研究发文数量

近 20 年来刊登的基于 GIS 的智慧消防研究文献数量排名前 20 名的期刊及载文数量如矩形树状图 2 所示, 期刊名称后面的数字表示刊文量, 包括《中国安全科学学报》、《测绘与空间地理信息》等期刊。分析可知, 该领域刊文量前 20 名的期刊共刊文 231 篇, 主要集中在安全科学、消防科学、地理科学、测绘科学、计算机科学等领域的期刊, 这也反映了基于 GIS 的智慧消防研究的交叉学科研究的性质特点[6], 兼具学术性与应用性。



Figure 2. Top 20 journals in this field  
图 2. 该领域中刊文量前 20 的期刊

### 3.2. 作者和发文机构分布

以作者为节点类型, 得到作者合作关系图谱(图 3), 节点间连线代表合作关系, 其粗细程度反映合作强度。从图 3 中可以看出, 作者合作网络较稀疏, 连线较细或无连线, 反映各学者及团队间合作联系少, 合作强度小。其中, 高被引作者有刘红桂团队(江苏地震局)、曹彦波团队(云南地震局)、袁纪武团队(中国石化安全工程研究院)、张继权团队(东北师范大学)以及赵保华团队(中国科学技术大学), 上述团队引用率较高的文章主要刊登在 2010 年前后, 主要涉及基于 GIS 的地震应急救援[7]和草原火灾评估[8]等方向研究。

发文量最高的机构如表 1 所示, 经查询可知, 发文量前 10 的机构主要集中在高校及研究所中的土木建筑、测量测绘、遥感遥测、公共安全、防灾减灾、计算机信息技术等实验室。在 CiteSpace 中运行 Batch Mode 得到网络信息汇总表, 其中高被引机构如表 2 所示, 对应作者合作关系图谱(图 3)中部分高被引团队的所在单位。

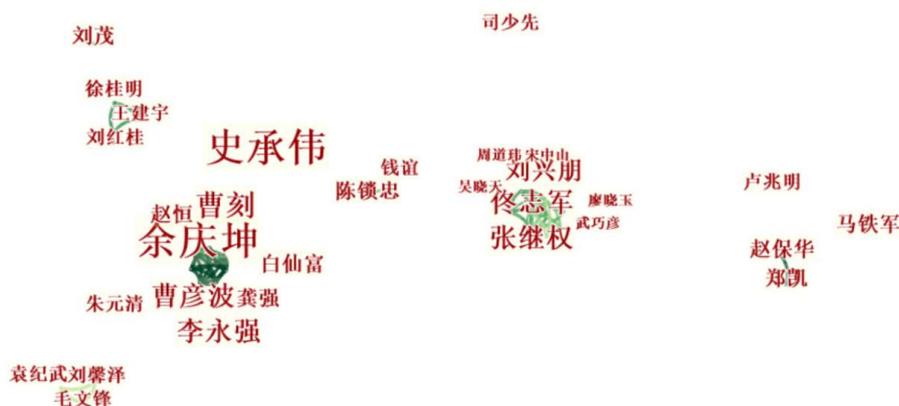


Figure 3. Author cooperation map  
图 3. 作者合作关系图谱

**Table 1.** Top 10 institutions by volume**表 1.** 发文量前 10 名机构

单位名称	发文数量
清华大学	21
武汉大学	16
中科院地理所	15
成都理工大学	11
昆明理工大学	11
中国安全生产科学研究院	10
中国地质大学	9
东北师范大学	9
中南大学	9
中国地震局	9

**Table 2.** Top 10 highly cited institutions**表 2.** 前 10 名高被引机构

单位名称	引用次数
中国科学技术大学	23
云南省地震局	23
北京大学计算机系	22
河北省科学院	13
中科院地理所	5
中国石化安全工程研究院	4
中国安全生产科学研究院	4
中南大学	3
南京师范大学地理科学学院	3
南开大学城市公共安全研究中心	3

### 3.3. 关键词共现及聚类分析

在关键词共现图谱(图 4)中,节点大小与关键词频次呈正相关,进一步统计关键词词频及其中心性(表 3),可以找出其中关键节点。其中,中心性  $\geq 0.10$  的关键词有 11 项,分别是 GIS、应急管理、辅助决策、应急指挥、空间数据库、空间分析、WebGIS、森林火灾、地震应急、三维 GIS (3D GIS)以及 ArcGIS,涵盖了近 20 年来基于 GIS 的智慧消防研究的兴趣热点。其研究热点之一,是在构建空间数据库的基础上,利用网页端 GIS 技术或桌面端的 GIS 软件,搭建针对自然灾害或事故灾难的应急管理系统,提供辅助决策、应急指挥等功能;研究热点之二,是三维 GIS 的蓬勃发展,现阶段三维 GIS 结合 BIM 技术、激光雷达、无人机测绘等技术,标志着空间可视化迈向新的阶段,为智慧消防提供可视化技术支撑。从图 4 和表 3 中,我们还可以得出,基于 GIS 的智慧消防研究结合了多种技术,在不同的研究方向和场所中得到应用。



Figure 4. Keyword co-occurrence map  
图 4. 关键词共现图谱

Table 3. Keyword frequency and centrality  
表 3. 关键词频次与中心性

序号	关键词	频次	中心性	序号	关键词	频次	中心性
1	GIS	686	0.56	21	火灾风险评估	13	0.05
2	应急管理	50	0.44	22	应急疏散	13	0.06
3	辅助决策	50	0.12	23	火灾	12	0.04
4	应急救援	49	0.08	24	消防规划	12	0.02
5	应急指挥	46	0.46	25	应急避难场所	12	0.08
6	应急	39	0.09	26	应急响应	11	0.09
7	消防	34	0.08	27	ArcGIS	11	0.10
8	空间数据库	27	0.17	28	消防站	10	0.03
9	最短路径	24	0.09	29	可视化	10	0.04
10	空间分析	23	0.22	30	移动 GIS	10	0.04
11	WebGIS	22	0.38	31	应急预案	10	0.06
12	突发事件	20	0.09	32	应急监测	10	0.03
13	森林火灾	20	0.42	33	高速公路	9	0.05
14	GPS	20	0.09	34	网络分析	9	0.06
15	地震应急	18	0.11	35	ArcEngine	8	0.04
16	层次分析法	17	0.08	36	全球定位系统	8	0.05
17	MapInfo	16	0.08	37	风险评估	8	0.04
18	三维 GIS	15	0.10	38	草原火灾	7	0.02
19	遥感	15	0.09	39	城市火灾	7	0.02
20	地震次生火灾	14	0.07	40	物联网	7	0.01

按应用方向划分, 基于 GIS 的智慧消防研究主要用于风险评估[9]、防灾减灾[10]、灭火救援[11]、应急疏散[12]、消防规划[13]、智能巡检[14]、演练训练[15]、消防管理[16]等方面。其中, 风险评估研究以城市和森林草原的火灾风险评估为主; 防灾减灾研究涉及各类自然灾害, 如应用 GIS 手段进行防洪防汛预警、地震灾害救援; 灭火救援研究包括室内火灾模拟、预案可视化编制、指挥调度系统设计以及救援

路径规划; 应急疏散研究以疏散路径优化为主, 其中用到的路径算法主要有 Dijkstra 算法、蚁群算法、遗传算法等; 消防规划主要包括消防站布局选址、应急避难场所选址以及应急广播电台选址布置等。

从应用场所看, 基于 GIS 的智慧消防研究覆盖了海陆空等研究区, 如海上救援、森林草原火灾、交通网络(公路、铁路、地铁、机场、港口、隧道)、商业综合体、出租屋、水库大坝、核生化区、石油化工区、矿井煤矿、地下车库、燃气管道等。近几年古城镇、历史街区也成为热点研究场所。

从应用技术来看, ArcGIS Engine、WebGIS、三维 GIS、BIM、物联网(IoT)技术常被用作二次开发的有力工具, 基于以上技术集成各种智慧消防系统。近年来, GIS 结合无人机、大数据、云计算、RFID 标签技术的研究也逐渐兴起。此外, MySQL、空间句法、计算流体力学、红外技术、FDS、Mobile GIS、多 agent 智能体、SOA 技术、FDS 数值模拟、室内定位技术也较为常见。

研究涉及的 GIS 软件包括 ArcGIS、SuperMap GIS、ArcGIS Engine、Skyline、MapInfo 等, 其中常见的 GIS 空间分析手段包括缓冲区分析、网络分析、空间插值等。

通过关键词聚类分析, 可以对联系紧密的关键词进行归类, 简化关键词数量, 更有助于归纳总结出研究的热点和重点。图 5、图 6 分别是逐年切片和每 5 年切片得到的关键词聚类图谱, 图示结果与前述总结的研究热点基本相符。与图 4 关键词共现图谱相比, 聚类图谱还增加了城市火灾、气象信息服务系统、应急避难场所、大气污染等标签, 说明该类文献也值得引起关注, 如气象信息服务是应急管理系统的重要功能之一; 应急避难场所规划评估研究近年频现; 因突发事件或应急救援所产生的污染问题及其后续处理也受到广泛关注。

### 3.4. 突现关键词分析

在 CiteSpace 中运用 Bursts Detection 功能, 得到突现关键词如表 4 所示, 突现关键词即短时间内数量发生明显增长的关键词, 能够反映关键词的兴衰。GIS 是本文文献数据检索的关键词, 因此突现词分析中热度持续不降。地震次生灾害在 04~10 年得到重点关注, 此时段 WebGIS 技术也得到广泛应用。空间数据库是智慧消防与应急的数据库基础, 也是应急救援、指挥和管理系统的重要成分, 空间数据库发展到 2011 年, 三维 GIS 逐渐兴起, 近年来 BIM 技术也促进了三维 GIS 的发展。借助 GIS 工具对消防站布局规划开展评估和设计, 是智慧消防的热点研究内容之一, 类似的基于 GIS 的智慧消防评估工作还包括城市火灾及森林草原火灾的风险评估。近几年, 针对物联网、BIM、大数据的智慧消防研究热度居高不下, 推动了 GIS 技术与其他技术的交叉融合, 共同为智慧消防构筑技术支撑。

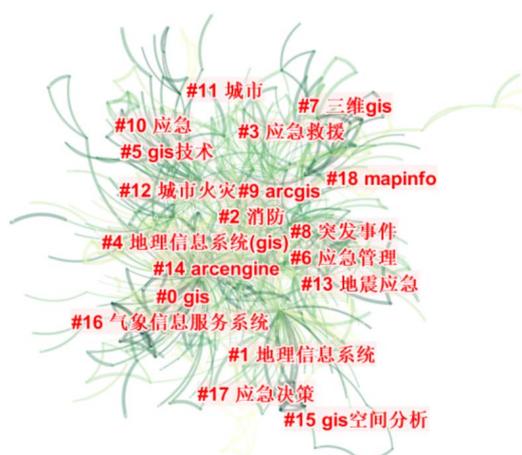


Figure 5. Yearly keyword clustering  
图 5. 逐年切片的关键词聚类

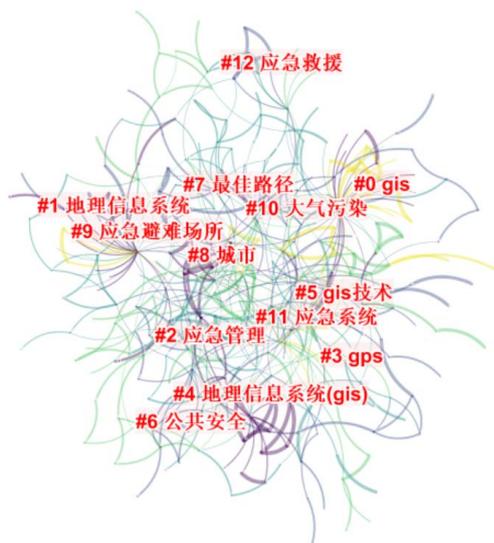


Figure 6. Keyword clustering map every 5 years  
图 6. 每 5 年切片的关键词聚类图谱

Table 4. Emerging keywords  
表 4. 突现关键词

关键词	强度	开始	结束	2000~2021 年
GIS	5.28	2003	2021	
地震次生灾害	4.37	2004	2010	
WebGIS	4.21	2004	2010	
空间数据库	4.18	2005	2013	
应急救援	4.10	2007	2014	
消防站	4.14	2010	2016	
应急指挥	4.86	2011	2017	
3D GIS	4.25	2011	2015	
火灾风险评估	3.79	2014	2019	
物联网	4.06	2014	2018	
应急避难场所	3.82	2016	2019	
BIM	3.93	2017	2019	
大数据	3.60	2018	2020	

### 3.5. 关键词时间线分析

在 CiteSpace 中进行 TimelineView 分析, 得到 2000~2021 年基于 GIS 的智慧消防研究关键词聚类的时间线知识图谱(图 7), 图谱右侧为聚类标签。由图 7 可得, 2010~2013 年是各聚类的研究成果井喷式出现的时段, 趋势与 2.1 节中发文量统计结果相符, 推测其一方面与 08 年四川地震后国家政府对消防及应急安全领域的重视密切相关, 另一方面得益于“十二五”规划期间消防部队信息化提上日程。

总的来说, 基于 GIS 的智慧消防研究可分为理论提出阶段(2000~2007 年)、应用繁荣阶段(2008~2016

年)和指导发展阶段(2017~2021年)。理论提出阶段(2000~2007年)中, 热点关键词主要包括 GIS 模型、事故救援、决策支持、基础设施、监控系统等。在此期间, 部分学者开始将 GIS 手段引入到消防与应急领域中, 初步分析了 GIS 在消防应急领域中的意义, 并提出了许多理论构想。第二阶段为应用繁荣阶段(2008~2016年), 本期出版文献数量显著增加, 研究方向与内容更加多元。这一时期涌现出大量新兴关键词, 诸如移动 GIS、三维 GIS、协作 GIS、虚拟现实、空间分析、应急疏散、空间分析、最短路径、布局规划等, 奠定了相关研究的基础格局。第三阶段为指导发展阶段(2017~2021年), 2017年部局下发关于智慧消防的指导性文件, 对智慧消防的概念、主攻方向等问题进行了把握与指导, 这一时段内涌现出“一张图”、大数据、应急管理系统等关键词, 研究方向和内容贴近政策导向, 立足现实需求。

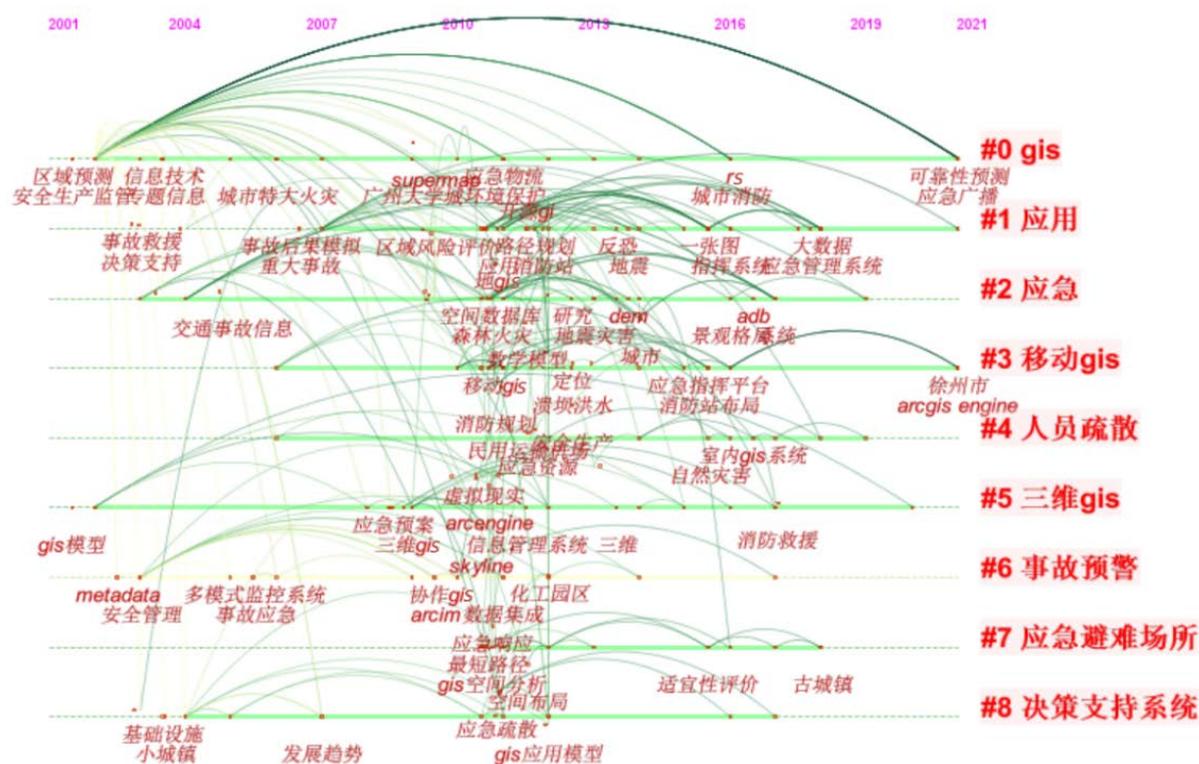


Figure 7. The evolution path map of smart fire protection research based on GIS in the past 20 years

图 7. 近 20 年来基于 GIS 的智慧消防研究演化路径图

#### 4. 结论与展望

本文利用 CiteSpace 文献计量软件, 对近 20 年来基于 GIS 的智慧消防研究进行分析, 展现了该领域近 20 年来的演化路径、发展现状和研究热点, 得出以下主要结论:

1) 基于 GIS 的智慧消防研究兼具场景多样化、内容多元化、技术综合化等特点, 体现了多学科交叉融合特质。相关研究经历了理论提出阶段(2000~2007年)、应用繁荣阶段(2008~2016年)和指导发展阶段(2017~2021年), 研究内容实现了从二维到三维、从静态到动态、从数字化到自动化、从智能化到智慧化、从学界探索到政府指导的跨越。

2) 未来基于 GIS 的智慧消防研究发展方向应朝着技术手段综合化、灾害防控精细化、消防设施智慧化、应急管理信息化、风险评估科学化、救援指挥高效化的方向发展, 实现智慧消防规划路线的发展目标。

## 参考文献

- [1] 刘筱璐, 王文青. 美国智慧消防发展现状概述[J]. 科技通报, 2017, 33(5): 232-235.
- [2] 赫永恒, 朱国庆, 张国维. 三维 GIS 智慧消防可视化平台设计与实现[J]. 消防科学与技术, 2018, 37(10): 1390-1393.
- [3] 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.
- [4] 丰江帆, 李林, 杨富平, 等. 面向震害应急的移动 GIS 关键技术研究与应用[J]. 计算机工程与设计, 2010, 31(22): 4937-4938.
- [5] 蔡菲, 崔健, 丁宁, 等. 基于 GIS 和 GPS 的地震应急救援指挥系统[J]. 计算机应用与软件, 2010, 27(4): 83-86.
- [6] 程超, 黄晓家, 谢水波, 吴懂礼, 蒋为. 智慧城市与智慧消防的发展与未来[J]. 消防科学与技术, 2018, 37(6): 841-844.
- [7] 曹彦波, 李永强, 曹刻, 等. 基于 GIS 技术的地震应急异地疏散接受能力判断模型研究[J]. 地震研究, 2008, 31(S2): 623-628.
- [8] 张继权, 崔亮, 佟志军, 等. 基于格网 GIS 与最优分割法的呼伦贝尔草原火灾风险预警阈值研究[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(3): 770-775.
- [9] 王爱, 张强, 陆林, 余浩然, 黄超伟. 多源数据支持下城市火灾风险评估及规划响应[J]. 中国安全科学学报, 2021, 31(3): 148-155.
- [10] 余思汗, 李伟, 王建勇, 刘超, 单帅帅. 基于 ArcGIS Engine 的地震应急快速成图软件的设计与实现[J]. 防灾减灾学报, 2020, 36(1): 92-96.
- [11] 李超鹏, 靳涛. 基于 BIM 和 GIS 技术的灭火救援数字化预案平台研究[J]. 数字技术与应用, 2019, 37(3): 99-100.
- [12] 康顺旺, 刘刚. 基于 GIS 空间分析方法的危化品泄漏事故应急疏散路径规划[J]. 测绘, 2020, 43(3): 122-125.
- [13] 刘湃, 史健勇. 基于 GIS 路网可达性的城市避难空间选址与疏散规划[J]. 消防科学与技术, 2016, 35(3): 324-328.
- [14] 陈能成, 李丹丹, 肖长江, 陈志红, 龚健雅. 基于物联网 GIS 的消防智能巡检系统设计与实现[J]. 地理信息世界, 2016, 23(4): 71-75+80.
- [15] 王文俊, 张迎军, 金雪松, 王景霞, 陈勇. 基于 GIS 的机场应急救援演练系统开发与应用研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2017, 13(3): 169-173.
- [16] 曹维. 上海市黄浦消防大数据管理三维 GIS 平台应用研究[J]. 城市勘测, 2017(5): 110-114.