

# 突发公共卫生事件应急决策支持方法综述\*

秦选斌 代 伟

陈邦华

(华中科技大学同济医学院医药卫生管理学院 武汉 430030) (武汉市疾病预防控制中心 武汉 430024)

马敬东

(华中科技大学同济医学院医药卫生管理学院 武汉 430030)

〔摘要〕 采用文献分析方法, 基于中国知网和 Web of Science, 从传统应急决策支持、基于大数据的应急决策支持两方面, 详细阐述突发公共卫生事件应急决策支持方法、模型、系统和应用的国内外研究现状。

〔关键词〕 突发公共卫生事件; 应急决策支持; 应急管理

〔中图分类号〕 R-058 〔文献标识码〕 A 〔DOI〕 10.3969/j.issn.1673-6036.2023.05.002

**A Review of Decision – making Support Methods for Public Health Emergencies** QIN Xuanbin, DAI Wei, School of Medicine and Health Management, Tongji Medical College, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430030, China; CHEN Banghua, Wuhan Center for Disease Control and Prevention, Wuhan 430024, China; MA Jingdong, School of Medicine and Health Management, Tongji Medical College, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430030, China

〔Abstract〕 Based on the literature analysis method and the China National Knowledge Infrastructure and Web of Science, the paper expounds the research status of the methods, models, systems and applications of emergency decision – making support for public health emergencies at home and abroad in detail from the aspects of traditional emergency decision – making support and the big data – based emergency decision – making support.

〔Keywords〕 public health emergencies; emergency decision – making support; emergency management

## 1 引言

我国《突发公共卫生事件应急条例》规定, 突

发公共卫生事件是指“突然发生, 造成或者可能造成社会公众健康严重损害的重大传染病疫情、群体性不明原因疾病、重大食物和职业中毒以及其他严重影响公众健康的事件”。为有效预防、及时控制、减轻和消除突发公共卫生事件对公众造成的伤害, 保障公众身体健康与生命安全, 各国逐步完善突发公共卫生事件应对机制。2003 年我国建立了一套以“一案三制”(应急预案、应急体制、应急机制、应急法制)为核心的综合应急管理体系<sup>[1]</sup>。根据应急预案内容划分, 应急管理流程大致可分为应急准备、监测预警、应急响应和善后处置 4 个阶段。其

〔修回日期〕 2023-04-28

〔作者简介〕 秦选斌, 硕士研究生, 发表论文 4 篇; 通信作者: 马敬东, 教授, 博士生导师。

〔基金项目〕 湖北省武汉市卫生健康科研基金资助项目“突发公共卫生事件应急决策支持系统和应对处置能力建设研究”(项目编号: WY22M03)。

中应急响应阶段是指在事件发生后，根据危急情况立刻科学决策并采取有效处置措施的阶段。

决策一般指在众多备选方案中选择最优方案以实现组织目标的过程，有学者<sup>[2]</sup>将应急决策分为问题定义、目标设定、项目设计、项目选择、组织反馈修正 6 个阶段。在突发公共卫生事件应急响应中，应急决策和协调响应具有同等重要地位<sup>[3-4]</sup>，物资保障、应急指挥等应急响应子环节均需要应急决策支持，如智能化物资保障决策支持、决策支持系统 (decision support system, DSS) 和智能决策支持系统 (intelligent decision support system, IDSS) 等，为应急决策提供更多信息，助力科学决策。

传统应急决策支持方法及模型是过往应急决策支持研究的重点内容，而新一代信息技术背景下，基于大数据和人工智能的 DSS、IDSS 研究成为未来发展趋势。本文从传统和大数据两个维度，围绕突发公共卫生事件应急决策支持方法，对算法、模型、系统和应用进行梳理总结，为突发公共卫生事件应急响应及决策支持研究提供借鉴，以期促进我国应急管理事业发展进步。

## 2 数据来源与分析框架

### 2.1 检索策略

检索中国知网 (China national knowledge infrastructure, CNKI) 和 Web of Science 两个文献库。在

CNKI 中采用专业检索，检索式为：(SU = ‘突发公卫’ OR SU = ‘突发公共卫生事件’) AND (SU = ‘应急决策’ OR SU = ‘决策支持’ OR SU = ‘应急决策支持’)，共检索到 59 篇文献，包括学术论文 33 篇、学位论文 23 篇、会议论文 3 篇。在 Web of Science 中选择核心合集，引文索引限定为科学引文索引 (science citation index, SCI)、社会科学文献索引 (social sciences citation index, SSCI) 和新兴资源引文索引 (emerging sources citations index, ESCI)，采用高级检索，检索式为：TS = ((Public Health Emergenc \* ) OR (Public Health Crisis)) AND TI = ((Emergenc \* Decision Making) OR (Emergenc \* Decision Making Support) OR (Decision Making Support))，共检索到 41 篇文献。

### 2.2 纳入与排除标准

纳入标准：文献主题为突发公共卫生事件应急管理；采用方法为定性或定量应急决策支持研究。排除标准：文献虽然在标题或摘要中出现检索词，但主题脱离突发公共卫生事件应急管理范畴；文献对方法、过程描述不清楚，或未开展实际方法应用。

### 2.3 分析框架

通过对筛选后的文献进行初步归纳，拟从突发公共卫生事件的传统应急决策支持方法和基于大数据的应急决策支持方法两个维度进行分析，见图 1。

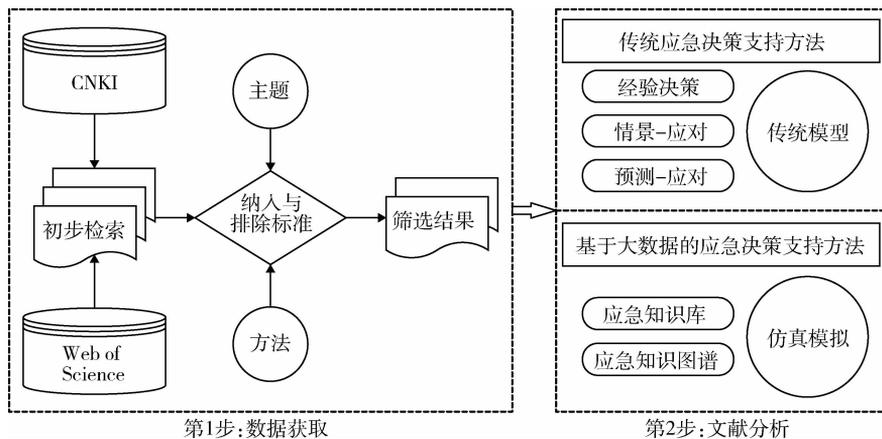


图 1 文献分析框架

### 3 传统应急决策支持方法

应急决策支持是应急管理领域的基础内容之一。基于现有文献,传统应急决策方法大致可划分为经验决策方法、“预测-应对”方法和“情景-应对”方法。

#### 3.1 经验决策方法

经验决策方法主要依据个人经验和智慧,从意识、体制、方法和能力等多层面综合考虑并决策。Mintzberg H<sup>[5]</sup>指出在突发事件中,决策主体通常会选择依靠直觉和经验作出决策。通信技术不发达、信息不对称、事件随机性等因素往往会导致决策主体依据经验快速作出判断,因此经验决策方法是过去突发公共卫生事件的常见决策支持方法。

#### 3.2 “预测-应对”方法

“预测-应对”方法是基于应急预案的决策方法,指在事件发生前相关部门和人员根据以往实际案例和经验编制当下应急预案,将发生事件情况和应急预案进行对比的决策。舒其林<sup>[6]</sup>认为“预测-应对”方法更适用于常规突发事件的应急决策。国

家、省、市和区级“突发公共卫生事件应急预案”对应急响应的机制、措施和保障等进行了较详细的描述,是“预测-应对”方法得以开展的重要条件。

#### 3.3 “情景-应对”方法

“预测-应对”在应急预案等基础上进行决策支持,其局限性在于较难应对突发公共卫生事件的动态性和随机性。“情景-应对”方法通过情景分析突显人、环境、事件之间的相互关系,可以较好地对未知风险进行决策支持。Mahmoud M<sup>[7]</sup>分析非常规突发事件的情景发展趋势与内在机理;Ahmed D M 等<sup>[8]</sup>分析情景构建的步骤与方法,提出一种基于知识的“情景-应对”方法;张磊等<sup>[9]</sup>利用情景建模,从事件本身、事件属性和属性间关系 3 个角度探索基于“情景-应对”的应急决策支持方法。

#### 3.4 传统应急决策支持模型

已有学者基于前景理论、贝叶斯网络、案例推理等理论方法,以特定事件为案例从定量角度进行应急决策支持模型研究。通过构建模型并验证其可靠性,旨在为未来可能发生的同类事件应急响应提供决策支持,见表 1。

表 1 部分传统应急决策支持模型

作者	理论方法	模型	作用
金卫健等 <sup>[10]</sup>	前景理论	大规模传染病应急管理决策模型	提高应急决策指挥能力,加强基层网格化防控能力
康正等 <sup>[11]</sup>	信息熵理论、ID3 算法	突发公共卫生事件风险决策树模型	准确判断事件风险等级,快速评估风险大小
万志远等 <sup>[12]</sup>	前景理论	医院突发事件应急群决策模型	获得患者最优集结信息,优化医院应急管理方案
李宝德等 <sup>[13]</sup>	前景理论、概率语言术语相似性度量	突发事件应急响应决策模型	对动态应急决策具有优越性和有效性
谢梅玉 <sup>[14]</sup>	案例推理、贝叶斯网络	建筑物火灾应急决策模型	缓解火灾恶化趋势,减少人员伤亡和经济损失
胡晓元等 <sup>[15]</sup>	粗糙集理论、模糊决策	应急决策模型	适合信息不充分、资源有限和时间紧迫的应急决策
刘奕等 <sup>[16]</sup>	多模型集成	4 层模型集成的应急决策模型	为突发事件应急管理的集成建模与仿真提供有效决策支持

### 4 基于大数据的应急决策支持方法

上述传统应急决策支持方法的有效性已在实践

中得到验证,然而随着大数据和人工智能的进步,传统方法无法大规模挖掘语义信息、较难根据事件进展动态智能决策等短板日益凸显。随着 XGBoost、长短期记忆人工神经网络(long-short term memo-

ry, LSTM)、双向编码器表征 (bidirectional encoder representations from transformers, BERT) 等机器学习和深度学习算法兴起, 自然语言处理技术、词向量模型及其他语言模型对文本数据的挖掘与利用逐渐成熟, 知识库、知识图谱和仿真模拟等技术在突发公共卫生事件应急决策领域的应用研究逐渐兴起。

#### 4.1 突发公共卫生事件应急知识库

知识库是采用特定知识表示方式来存储管理互相关联的知识集合。根据突发公共卫生事件的应急过程, 应急知识库可以分为事前、事中和事后知识库, 而事中知识库主要为应急响应阶段的应急决策提供支撑。

4.1.1 突发公共卫生事件应急知识库应用 知识库的主要作用是对医疗、经济、地理位置、公共卫生危险因素、人口死亡、应急资源等突发公共卫生事件应急管理相关信息进行梳理分类, 将知识存储并应用于现实中的突发公共卫生事件应急管理工作。国外已有基于知识库的应急管理系统<sup>[17]</sup>。国内学者对突发公共卫生事件应急知识库的应用研究主要分为两类, 一类关注知识库的内容组成, 围绕突发公共卫生事件应急管理的医疗服务<sup>[18]</sup>、数据共享<sup>[19]</sup>、监测预警<sup>[20]</sup>等, 运用内容分析、基于实体或本体的方法形成知识库内容。另一类关注知识库的系统构造, 通过设计知识库原型系统, 运用浏览器/服务器 (browser/server, B/S) 架构、MySQL 等工具实现知识库系统的开发<sup>[21-23]</sup>。如徐建等<sup>[22]</sup>探讨如何构建突发公共卫生事件应急知识库, 熊励等<sup>[24]</sup>提出疫情应急知识库的构建策略。

4.1.2 突发公共卫生事件应急知识库构建 根据知识库的构建流程, 可以将突发公共卫生事件应急知识库构建分为知识获取、知识表示、知识推理和知识检索 4 个环节。(1) 知识获取。收集大量突发公共卫生事件应急管理相关文本, 为后续知识表示提供数据基础, 如《国家突发公共事件总体应急预案》《国家突发公共卫生事件应急预案》以及针对各类传染病的专项预案、各级政府发布的政策指南等。(2) 知识表示。对上述语料进行知识建模, 以

便机器识别和理解, 此过程既要考虑知识的表示与存储, 又要兼顾知识的使用和计算。(3) 知识推理。主要包括基于规则的推理<sup>[25]</sup>、基于分布式表示的推理<sup>[26]</sup>和基于神经网络的推理<sup>[27]</sup>。(4) 知识检索。主要包括传统基于分词的关键词匹配检索<sup>[28]</sup>、针对图像数据的检索<sup>[29]</sup>、3D 模型检索<sup>[30]</sup>等。

#### 4.2 突发公共卫生事件应急知识图谱

知识图谱是用节点表示语义符号, 用边表示符号间语义关系的一种通用语义知识形式化描述框架<sup>[31]</sup>。Liu X X 等<sup>[32]</sup>认为知识图谱是一种结构化语义知识库, 以符号形式描述物理世界中的概念及其关系, 通过知识表示和管理, 解决知识检索和语义问题回答等知识关联问题。

4.2.1 突发公共卫生事件应急知识图谱应用 突发公共卫生事件应急知识图谱通过挖掘语义关系, 在特定情境下给出基于大数据的预测结果从而辅助决策。国外对应急知识图谱的研究开展相对较早, 聚焦基于知识图谱的疾病预测和智慧问答, 如通过维基数据构建知识图谱以验证疾病发展趋势<sup>[33]</sup>; 基于知识图谱实现涵盖医疗、公共卫生、物资、防控、科研等主题的智慧问答系统<sup>[34]</sup>。国内近几年对突发公共卫生事件应急知识图谱的研究逐渐增多, 如基于实体和语义网规则语言推理规则的突发公共卫生事件辅助诊疗<sup>[35]</sup>、基于语义知识图谱的突发公共卫生事件网络舆情主题发现<sup>[36]</sup>等。

4.2.2 突发公共卫生事件应急知识图谱构建 通过文献梳理可知, 知识图谱构建主要有知识抽取、知识融合、图谱构建 3 个过程。(1) 知识抽取。指通过命名实体识别和实体关系抽取从海量数据中提取有用信息, 如提取突发公共卫生事件应急主体、响应措施、事件时间、地点、人群等, 以“节点-关系-节点”或“节点-属性-节点”等三元组形式储存。(2) 知识融合。通过构建本体和知识库使计算机具有人类智慧, 能够执行类人的推理过程, 例如通过关联响应措施和人群, 使计算机明白“人群应该采取什么措施”等规则。由于知识抽取的语料可能来源于不同语料库, 存在一词多义或多词一义等现象, 知识融合阶段还需开展实体对齐、实体

消歧、实体链接等工作。(3) 图谱构建。知识图谱主要以图形数据库形式存储并可可视化, 最常见的是 Neo4j 数据库。Neo4j 数据库可将三元组中的节点表示为图形上的点, 将三元组中的关系表示为点与点之间的连线, 通过批量处理节点和关系, 实现图形的快速增、删、改、查, 从而完成知识图谱构建。

### 4.3 突发公共卫生事件应急仿真模拟

4.3.1 应急仿真应用价值 应急仿真可以模拟突发公共卫生事件发展的动态过程, 模拟预防控制政策和应急响应处置方案的实施过程, 进而为有关部门应急决策提供有力支持。此外, 采用仿真技术搭建应急培训与沙盘演练平台, 能够使应急人员更充分地利用网络资源提高应急处理能力。

4.3.2 国内外应急决策支持仿真应用 常见的突

发公共卫生事件应急仿真模拟有基于系统动力学、基于 Agent 建模 (agent - based modeling, ABM) 和基于地理信息系统 (geographic information system, GIS) 的应急决策仿真。国外使用较多的是系统动力学模型, 采用基于过程的仿真模型对突发公共卫生事件等问题进行研究。ABM 是一种自底向上的建模方法, 模型系统基本元素为具有适应性的 Agent, Agent 之间相互交互, 最终形成一个复杂适应系统<sup>[37]</sup>, ABM 在应急决策相关研究中得到广泛应用。GIS 仿真模拟通过对城市空间数据、人群信息、突发事件信息进行收集、分析、监测和动态演化, 以直观、高效的可视化方式为应急决策提供科学支撑, 提升应急响应的快速性和精准性。目前 GIS 已广泛应用于地震、洪水、海啸等自然灾害应急管理中, 在公共卫生领域尚处于探索阶段, 见表 2。

表 2 部分应急决策支持仿真应用

仿真技术	作者	仿真内容	仿真作用
系统动力学	肖玥 <sup>[38]</sup>	城市突发公共卫生事件演化系统动力学模型	为有效优化应急管理方向及应急策略选择提供参考
	郝志远等 <sup>[39]</sup>	基于系统动力学的大群体靶向协同应急决策仿真	辅助决策者获得决策情景映现和趋势判断
	王晰巍等 <sup>[40]</sup>	基于易感 - 感染 - 恢复模型的网络谣言逆转系统动力学仿真	模拟突发公共卫生事件期间网络谣言的传播 - 逆转过程
ABM	柴象海等 <sup>[41]</sup>	基于视景仿真技术的多 Agent 体系结构再现事故发生环境	实现应急响应虚拟演练
	刘高鹏等 <sup>[42]</sup>	基于 Agent 和灰色关联度的应急物资采购决策仿真	为应急物资供应商选择提出新的解决方案
	王剑等 <sup>[43]</sup>	基于 Agent 和贝叶斯网络的应急风险决策仿真	提出多属性决策方案选择方案
	刘丹等 <sup>[44]</sup>	基于 Multi - Agent 和拓展 Tropos 方法的应急决策仿真	灵活模拟不同突发事件情景下的应急决策过程, 为决策提供参考
GIS	Khalfaoui I 等 <sup>[45]</sup>	患者最快转移路径仿真	证明 GIS 仿真模拟在突发公共卫生领域应用的可行性
	邓少存等 <sup>[46]</sup>	基于 WebGIS、B/S 架构、多 Agent 建模等进行仿真模拟	实现可视化展示
其他	Asadzadeh A 等 <sup>[47]</sup>	将虚拟现实、增强现实用于传染病应急管理仿真建模	利用信息技术减轻负面影响
	Matamala - Gomez M 等 <sup>[48]</sup>	将仿真技术用于突发公共卫生事件领域的教学	提升应急管理能力

## 5 结语

随着新一代信息技术的发展,传统应急决策支持方法和基于大数据的应急决策支持方法成为突发公共卫生事件应急决策的两大类方法。通过文献分析可知,目前国内外对突发公共卫生事件的应急决策支持研究主要围绕单一案例或单一任务展开,而面向应急响应全流程的整体性、系统性实践研究相对较少。同时较少有学者关注到应用效果的评估研究。未来应更全面、宏观地探讨应急知识库、知识图谱和仿真模拟对突发公共卫生事件的决策支持,创新应用方法,提高使用效能。

## 参考文献

- 1 张海波. 中国应急预案体系: 结构与功能 [J]. 公共管理学报, 2013, 10 (2): 1-13.
- 2 ZHOU L, WU X, XU Z, et al. Emergency decision making for natural disasters: an overview [EB/OL]. [2023-04-02]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212420917302789/>.
- 3 VAN DE WALLE B, TUROFF M. Decision support for e-emergency situations [J]. Information systems and e-business management, 2008, 6 (3): 295-316.
- 4 CARVER L, TUROFF M. Human-computer interaction: the human and computer as a team in emergency management information systems [J]. Communications of the ACM, 2007, 50 (3): 33-38.
- 5 MINTZBERG H. The manager's job: folklore and fact [J]. Managing people and organizations, 1992, 68 (2): 163-176.
- 6 舒其林. 非常规突发事件的情景演变及“情景-应对”决策方案生成 [J]. 中国科学技术大学学报, 2012, 42 (11): 936-941.
- 7 MAHMOUD M, LIU Y, HARTMANN H, et al. A formal framework for scenario development in support of environmental decision-making [J]. Environmental modelling & software, 2009, 24 (7): 798-808.
- 8 AHMED D M, SUNDARAM D, PIRAMUTHU S. Knowledge-based scenario management-process and support [J]. Decision support systems, 2010, 49 (4): 507-520.

- 9 张磊, 王延章, 陈雪龙, 等. 面向突发事件应急决策的情景建模方法 [J]. 系统工程学报, 2018, 33 (1): 1-12.
- 10 金卫健, 徐浩, 黄传峰, 等. 基于前景理论的大规模传染疫情应急管理决策研究 [J/OL]. 中国管理科学, 2021: 1-13. [2023-04-25]. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2020.1541>.
- 11 康正, 吴群红, 郝艳华, 等. 突发公共卫生事件风险决策树模型构建研究 [C]. 北京: 亚太卫生应急风险及战略研究国际大会暨卫生应急科学技术成果及卫生应急高校教育与培训研讨会, 2015.
- 12 王志远, 刘勤明, 叶春明, 等. 突发事件下的医院应急群决策模型研究 [J]. 中国管理科学, 2022, 30 (6): 254-262.
- 13 李宝德, 吕靖, 李晶. 基于前景理论和概率语言术语的突发事件应急响应决策方法 [J/OL]. 系统管理学报: 1-17. [2023-04-25]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1977.n.20230208.1701.006.html>.
- 14 谢梅玉. 基于 CBR 与贝叶斯网络的建筑物火灾应急决策模型研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2018.
- 15 胡晓元, 孙秉珍. 基于双论域量化模糊粗糙集的公共卫生应急决策模型 [J]. 系统科学与数学, 2019, 39 (3): 409-424.
- 16 刘奕, 王刚桥, 蒋泽宇, 等. 面向应急决策的模型集成方法研究 [J]. 管理评论, 2016, 28 (8): 6-16.
- 17 刘伟兰. 国外应急管理知识库建设策略及启示 [J]. 中国应急管理, 2022 (6): 68-69.
- 18 王成文, 熊励. 基于多源数据的突发公共卫生事件医疗服务知识库研究 [J]. 现代情报, 2022, 42 (11): 135-149.
- 19 崔宇红, 王飒. 新型冠状病毒突发公共卫生事件中的数据共享机制研究 [J]. 图书情报工作, 2020, 64 (15): 104-111.
- 20 左秀然, 杨国良, 刘普林. 以智能分级为核心的传染病多点触发预警系统建设的探讨 [J]. 中国数字医学, 2022, 17 (9): 28-32.
- 21 沈宇青, 范春, 冯东雷, 等. 突发公共卫生事件应急指挥体系建设研究与应用 [J]. 计算机应用与软件, 2010, 27 (8): 188-191.
- 22 徐健, 周华阳, 叶光辉. 突发公共卫生事件知识库构建研究 [J]. 图书馆学研究, 2018 (11): 26-39.
- 23 李彬. 突发公共卫生事件知识库系统的建设 [D]. 南昌: 南昌大学, 2007.
- 24 熊励, 王成文, 王钜. 基于事件本体的疫情知识库构建策略 [J]. 图书情报工作, 2021, 65 (14): 138-148.

- 25 WANG W Y, MAZAITIS K, LAO N, et al. Efficient inference and learning in a large knowledge base [J]. *Machine learning*, 2015, 100 (1): 101 - 126.
- 26 NICKEL M, TRESP V, KRIEDEL H P. A three - way model for collective learning on multi - relational data [C]. Bellevue: International Conference on International Conference on Machine Learning, 2011.
- 27 WU Y, ZHU D, LIAO X, et al. Knowledge graph reasoning based on paths of tensor factorization [J]. *Pattern recognition and artificial intelligence*, 2017, 30 (5): 473 - 480.
- 28 魏建香, 王静, 朱云霞. 面向药品突发事件应急决策的知识库模型构建研究 [J]. *情报科学*, 2018, 36 (7): 66 - 70.
- 29 HUANG X L, SHEN L S. Research on content - based image retrieval techniques [J]. *Acta electronica sinica*, 2002, 30 (7): 1065 - 1071.
- 30 ZHENG B, WEI P, ZHANG S, et al. A survey on 3D model retrieval techniques [J]. *Journal of computer aided design & computer graphics*, 2004, 16 (7): 873 - 881.
- 31 YAN J, WANG C, CHENG W, et al. A retrospective of knowledge graphs [J]. *Frontiers of computer science*, 2018, 12 (1): 55 - 74.
- 32 LIU X X, BAI X S, WANG L H, et al. Review and trend analysis of knowledge graphs for crop pest and diseases [EB/OL]. [2023 - 04 - 02]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8710246>.
- 33 TURKI H, JEMIELNIAK D, TAIEB M A H, et al. Using logical constraints to validate statistical information about disease outbreaks in collaborative knowledge graphs: the case of COVID - 19 epidemiology in Wikidata [EB/OL]. [2023 - 04 - 02]. <https://peerj.com/articles/cs-1085/#>.
- 34 SUN Y, CAI Y, SHEN Y, et al. The COVID - 19 question answering system based on knowledge graph [C]. New York: 2021 IEEE/ACIS 21st International Fall Conference on Computer and Information Science (ACIS 2021 - Fall), 2021.
- 35 王成文, 熊励. 基于知识图谱的突发公共卫生事件辅助诊疗研究 [J]. *情报科学*, 2023, 41 (4): 1 - 12.
- 36 邵琦, 牟冬梅, 王萍, 等. 基于语义的突发公共卫生事件网络舆情主题发现研究 [J]. *数据分析与知识发现*, 2020, 4 (9): 68 - 80.
- 37 潘东华, 彭凡. 基于多 Agent 建模的技术创新联盟知识转移研究 [J]. *图书情报工作*, 2015, 59 (8): 72 - 77.
- 38 肖玥. 基于系统动力学的城市突发公共卫生事件演化机理及干预策略研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2021.
- 39 郝志远, 马捷, 孙文晶. 重大突发事件下大群体靶向协同决策模型仿真研究 [J]. *数据分析与知识发现*, 2023, 7 (3): 80 - 96.
- 40 王晰巍, 李玥琪, 邱程程, 等. 突发公共卫生事件下网络谣言传播逆转模型及仿真研究 [J]. *图书情报工作*, 2021, 65 (19): 4 - 15.
- 41 柴象海, 金先龙. 基于 Agent 的公共场所突发事件三维仿真建模与应用 [J]. *上海交通大学学报*, 2008 (10): 1669 - 1673.
- 42 刘高鹏. 基于 Agent 系统的应急物资采购决策研究 [J]. *价值工程*, 2017, 36 (24): 99 - 101.
- 43 王剑, 罗东. 基于 BDN 和 Multi - Agent 的突发事件应急风险决策方法研究 [J]. *中国管理科学*, 2016, 24 (S1): 253 - 265.
- 44 刘丹, 王红卫, 祁超, 等. 基于多主体的应急决策组织建模 [J]. *公共管理学报*, 2013, 10 (4): 78 - 87.
- 45 KHALFAOUI I, HAMMOUCHE A. Modelling and optimizing health emergency services: a regional study case [J]. *International journal of healthcare management*, 2021, 14 (4): 1551 - 1562.
- 46 邓少存, 张健钦, 张学东, 等. 基于 WebGIS 的新冠肺炎疫情可视化系统研发 [J]. *北京建筑大学学报*, 2020, 36 (4): 93 - 99.
- 47 ASADZADEH A, SAMAD - SOLTANI T, REZAEI - HACHESU P. Applications of virtual and augmented reality in infectious disease epidemics with a focus on the COVID - 19 outbreak [EB/OL]. [2023 - 04 - 02]. <https://www.science-direct.com/science/article/pii/S2352914821000691>.
- 48 MATAMALA - GOMEZ M, BOTTIROLI S, REALDON O, et al. Telemedicine and virtual reality at time of COVID - 19 pandemic: an overview for future perspectives in neurorehabilitation [EB/OL]. [2023 - 04 - 02]. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fneur.2021.646902/full>.