

基于指数随机图模型的应急协作网络形成机制研究

——以郑州“7.20”特大暴雨为例

丁会彤

天津工业大学经济与管理学院，天津

收稿日期：2023年11月24日；录用日期：2024年1月2日；发布日期：2024年1月11日

摘要

为应对复杂多变的灾害情境下，所有行动者在一定的规则和机制下建立跨主体、跨层级和跨领域的应急协作网络，探讨其形成机制有助于深入理解行动者行为逻辑，从而优化网络。本文以郑州暴雨为实证研究对象，采用网络数据进行事件分析，基于指数随机图模型探究政府组织间、政府组织与非政府组织间关系和网络形成规则。研究发现，存在隶属关系的地方政府部门合作紧密，中介组织在政府与非政府组织联系中发挥重要作用。因此，在突发暴雨灾害应对过程中，应明确纵向和横向部门权责划分、发挥枢纽组织影响力，进一步发挥协作网络在应急管理中的优势。

关键词

应急协作网络，指数随机图模型，突发自然灾害，网络形成演化机制，社会网络分析

Research on Formation Mechanism of Emergency Collaboration Network Based on Exponential Random Graph Model

—Taking the “7.20” Heavy Rainstorm in Zhengzhou as an Example

Huitong Ding

Faculty of Economics and Management, Tianjin Polytechnic University, Tianjin

Received: Nov. 24th, 2023; accepted: Jan. 2nd, 2024; published: Jan. 11th, 2024

Abstract

In order to cope with the complex and changeable disaster situation, all actors establish a cross-subject, cross-level and cross-domain emergency collaboration network under certain rules and mechanisms. Exploring its formation mechanism is helpful to understand the behavior logic of actors in depth, so as to optimize the network. This paper takes Zhengzhou rainstorm as the empirical research object, uses network data for event analysis, and explores the relationship and network formation rules between government organizations, government organizations and non-governmental organizations based on the exponential random graph model. The study found that the local government departments with subordinate relations cooperate closely, and intermediary organizations play an important role in the connection between government and non-governmental organizations. Therefore, in the process of sudden rainstorm disaster response, it is necessary to clarify the division of powers and responsibilities between vertical and horizontal departments, give full play to the influence of hub organizations, and further give full play to the advantages of collaborative networks in emergency management.

Keywords

Emergency Collaboration Network, Exponential Random Graph Model, Sudden Natural Disasters, Network Formation and Evolution Mechanism, Social Network Analysis

Copyright © 2024 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. 问题提出

特大暴雨灾害作为一种灾害性天气，情景演化具有复杂性和瞬时性，易引发山体坍塌、河流溃坝、交通阻断、通信故障等并发灾难，形成由单一灾害引发多种灾难的局面[1]。单一组织的能量储备尚不足以应对这种复杂局面。为了尽快将社会系统恢复到有序状态，多个层级、多种类型的组织基于一定规则开展协作，构成应对灾害的复杂网络。了解复杂网络形成规则，有助调整网络中组织关系，更好地发挥组织合力，提高救援效率。

《国家自然灾害应急救助预案》规定，自然灾害的应急响应遵循“条块结合、分级响应”的原则，相关政府部门要分工协作[2]，密切配合同时引导社会组织自救和互救。这对形成有序紧密的协作关系提供了指导性方向，从顶层设计的角度规划了应急协作网络形成规则。为了解地方政府应急协作网络实际形成逻辑，本文选取郑州暴雨应急协作网络为研究对象，运用指数随机图模型从结构和属性两方面厘清网络形成逻辑，探讨组织协作的着力点和建设点。

2. 文献回顾

2.1. 应急协作网络

在具体灾害情境下，为了尽快将社会系统恢复到有序状态，多个层级、多种类型的组织基于一定规则开展协作，构成应对灾害的复杂网络。考察网络结构是应急协作网络的热点研究方向。相关学者运用社会网络分析方法的不同测度指标，对应急协作网络整体结构和主体角色进行解读。张桂蓉等按照平均

度和凝聚力,将不同类型突发事件协同网络模式进行分类,并运用中心性指标高低判断组织在网络中的位置和扮演的角色[3]。刘蕾等以整体密度和个体中心度指标构建二维分析框架,识别寿光洪灾网络模式、整体结构特征以及主体角色特征[4]。除了静态视角下的应急协作网络分析,部分学者还引入时间维度,研究网络结构和组织角色动态演化[5]。郭雪松以重大突发公共卫生事件为例,研究不同时间段危机应对央地组织间网络、危机响应功能和核心组织角色地位变化[6]。刘纪达从国家层面部际协同出发,以议事协调机构设立为研究视角,考察不同阶段下我国自然灾害应急协同网络结构特征[7]。张海波将组织网络结构和组织角色划分为不同类型,分析了我国三大典型重大公共卫生事件应急管理中政府部门间合作网络的变化[8]。

2.2. 指数随机图模型

指数随机图模型将内生结构和外生属性因素结合起来对网络的成因进行定量测度,解释网络关系生成。在研究区域产业组织网络[9]、产学研合作网络[10]、省际贸易网络[11]等网络形成机理方面产生丰富的研究成果。此模型中内生结构对于网络形成的影响在应急协作网络研究中得到充分的解释。例如,Kyung Woo Kim 等人基于韩国对 2015 年中东呼吸综合征冠状病毒爆发的应对情况,对区域和地方政府机构风险沟通网络关系进行研究[12]。Ö. Bodin 等基于瑞典森林大火对参与者协作模式与不同任务的相互依赖关系进行研究[13]。康伟以 8.12 天津港爆炸事件为例研究同质组织间和异质组织间应急协同网络的形成[14]。

综上所述,目前学术界对突发事件应急协作网络进行研究,尤其侧重于网络结构和关系,为本研究提供了思路,并奠定了坚实的理论基础和方法支撑。通过梳理研究内容发现,以往研究大多都关注到了应急协作网络的结构,针对暴雨灾害这一情境结合应急组织属性来挖掘组织合作的微观机制研究尚不充分,本文采用网络数据进行事件分析,运用指数随机图模型,将网络结构和组织属性纳入多类型网络节点网络关系研究中,探索应急组织协作行为逻辑。

3. 研究方法 with 假设


3.1. 指数随机图模型

本文主要运用指数随机图模型研究自然灾害情境下应急协作网络中不同组织类型间的结构规则和作用关系。指数随机图模型的具体数学表达式如下:


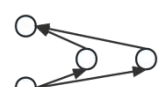
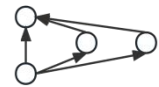

$$P(Y = y | X = x) = \left(\frac{1}{k(\theta, y)} \right) \exp \left\{ \sum_{k=1}^k \theta_k g_k(y, x) \right\} \quad (1)$$

在 ERGM 模型中,要处理边的连接概率问题,不同于一般的逻辑回归模型对属性变量的处理,ERGM 模型要求每个属性至少是一个外生协变和一个关系变量之间的统计交互项,属性效应(外生协变)是作为伴随内生自组织机制(内生效应)的外生过程,网络变量之间也存在依赖[15]。指数随机图模型统计量及含义见表 1。

Table 1. Statistics and significance of exponential random graph model
表 1. 指数随机图模型统计量及意义

统计量	名称	图例	解释
内生结构	边		模型常数,等价于网络密度

续表

	互惠性		基础效应
	中介性		是否倾向形成开放三角形结构
	传递性		是否倾向形成闭合三角形结构
外生属性	同配效应		相同属性节点是否更倾向与连接

3.2. 研究假设

3.2.1. 政府组织应急协作网络

在紧急情况下，应急响应组织应该能够准确地获得描述问题性质的关键信息，以便立即对于需求做出回应，保证抢险救灾效率。我国各级防汛抗旱应急预案中也规定防汛抗旱指挥部负责领导组织、协调防汛工作，各成员单位及时向防汛抗旱指挥机构报告受灾情况，指挥机构收集动态灾情情况，并将及时向同级政府和上级防汛抗旱指挥部报告，根据灾情演进情况各部门加强会商研判并配合举措。暴雨灾害情景演化的复杂性和瞬时性致使灾害应对组织需要快速且准确互通信息与指令以动态调整应对策略。直接联系成为组织首要选择，除了基础的互惠结构之外，闭合三角结构也能反映组织之间的直接联系。当网络中存在两个节点共享一个节点时，该二者也倾向于建立连接，形成小范围的紧密聚集，增强联盟关系的稳定性同时提高资源调动的效率。

由于突发事件有临时性、不可控等特征，在应急响应过程中，由不同的部门共同承担起某一类职责，部门间共享的权限可以增进组织之间的信任和工作关系，有助于增进部门协作。鉴于以上分析，提出以下假设。

假设 1：政府组织间协作网络中存在互惠和传递结构，具有相似职能的政府部门，拥有组织利益同质性，倾向于建立联系。

3.2.2. 跨组织应急协作网络

特大暴雨灾害作为一种灾害天气，发展迅猛破坏性大，应急处置过程中参与组织众多，应急任务复杂。为了迅速消除灾害影响，恢复正常的生产生活秩序，治理的多主体之间传统意义上的界限模糊，交往密切，互动频繁。非政府组织种类和数量较多，资源充足但分布较为分散，政府部门调度掌握在各组织的专业资源时不仅仅依靠官方的直接沟通，还需要一些具有较强资源控制的组织成为组织之间沟通的桥梁，增强资源调动速度和力度。这些关键组织自身具有一定的影响力，其他组织在关键组织的调度和部署下围绕特定的任务板块展开协作，形成“块状连接” [16]。

假设 2：在跨组织网络中中介性，传递性显著，组织间的合作聚集程度高、路径短，同任务模块的组织节点之间合作频繁。

4. 实证分析

4.1. 案例选择

2021 年 7 月 17 日至 23 日，河南省遭遇历史罕见特大暴雨，特别是 20 日郑州市城市内涝严重，抢险救灾时间紧迫任务繁重。地方政府交通、水利、城管、城建、住房、卫生等多部门立即开展应急响应

工作，各类社会组织、企业积极参与。在多方力量配合下，应急救援与灾后重建稳步推进，27日在河南省防汛救灾第六场新闻发布会上宣布进入灾后恢复新阶段。因此，本文重点研究郑州暴雨7月20日~7月27日应急管理过程中组织联动协调情况。选取郑州暴雨作为案例的原因：一是，它是由极端暴雨导致多灾并发的特别重大自然灾害，事件得到社会各界广泛关注，在河南省人民政府、郑州市人民政府等官方网站成立专栏，对应急响应全过程进行了翔实的报道，数据易于收集。二是，郑州暴雨发生后启动了应急响应机制，协作网络中参与者较多，涉及到的政府、非政府组织间复杂关系与大多数自然灾害事件具有较高的同质性。

4.2. 应急协作网络节点

网络分析中的行动者又称为节点，此次应灾中涉及的节点主要包括政府组织、事业单位、非营利组织、企业组织、媒体。为了研究方便，本文主要考量政府组织间关系、政府组织和非政府组织间关系。其中政府组织包括地方党政机关、公安消防部门、事业单位、群团组织；非政府组织包括非营利组织、企业组织、媒体组织。组织节点示例见表2。

Table 2. “Zhengzhou rainstorm event” emergency collaboration network nodes

表 2. “郑州暴雨事件”应急协作网络节点

网络节点		节点组织的类型
政府组织	地方党政机关	郑州市委市政府、郑州市水利局、郑州市应急管理局、河南省委省政府、
	公安消防部门	河南省消防总队、郑州市公安局、河南省公安厅、河南消防郑州支队
	事业单位	郑州大学、郑州市爱卫会、郑州市文明办、河南省建筑科学研究院
	群团组织	郑州市总工会、郑州市妇联、河南省妇联
非政府组织	官方非营利组织	郑州市红十字会、中国红十字会、郑州慈善总会
	非营利组织	蓝天救援队、支付宝公益基金会、郑州市志愿服务联合会、 郑州红十字水上义务救援队
	企业组织	郑州市市政工程勘测设计研究院、郑煤集团杨河煤业有限公司、 郑州公用事业集团、郑州市保安服务集团有限公司、 郑州市宇中公路质量检测有限公司
媒体组织	国有企业	郑州瑞卡福医用氧公司、河南东越市政工程有限公司、 博大面业集团有限公司、郑州佛光发电设备有限公司
	非国有企业	郑州瑞卡福医用氧公司、河南东越市政工程有限公司、 博大面业集团有限公司、郑州佛光发电设备有限公司
	媒体组织	官方媒体 郑州日报、央视新闻 社交媒体 澎湃新闻、顶端新闻、中国经营网

4.3. 数据收集与处理

本文收集的数据类型为关系型数据，收集了郑州暴雨应急响应过程中，政府组织、企事业单位、社会组织等多主体参与灾害应对过程的关系数据。此次防汛责任主要是地方政府落实，所以只收集省市两级政府组织数据。主要数据来源有：(1) 政府官方网站，如河南省政府、郑州市政府以及政府各部门网站。(2) 非营利组织的官方网站，如郑州慈善总会、郑州市红十字会网站。(3) 社交媒体平台，如澎湃新闻、郑州日报、顶端新闻、中国经营网。本文将郑州暴雨应急响应期间，参与进来的地方党政机关、企事业单位、群团组织以及非营利组织视为应急协作网络中的节点。由于收集的数据存在一定的重复性以及对于组织名称和关系表述较为模糊情况，经过人工逐条阅读整理，最终保留了有效数据。

数据收集后，对于数据进行处理。具体原则如下：

1) 同一条新闻内容被多家媒体报道时，只保留一条有效数据。

2) 节点合并原则。新闻中涉及到多家组织，它们名字虽然不一样但其工作的内容和在关系网络中的位置和角色都是一样的[17]，可以用一个组织名称代表。比如在中国城镇供水排水协会设备材料委员会号召二次供水设备厂家参与灾后供水恢复。二次供水厂家众多，这种情况下选择代表的原则就是看其除了与中国城镇供水排水协会设备材料委员会有联系，是否与其他组织也存在联系。与其他组织也存在联系的厂家名称保留，由这个节点代表相同位置和作用其他厂家。如果这些厂家都只与中国城镇供水排水协会设备材料委员会有联系，随机选择一个厂家为代表。

4.4. 数据编码

1) 结构数据编码

数据整理后，按如下规则编码。例如：按照市委动员要求，市生态环境局在市防汛抗旱指挥部安排下认真做好应急防汛各项工作。以此为依据，确定“郑州市防汛抗旱指挥部 - 郑州市生态环境局”“郑州市委 - 郑州市生态环境局”以及“郑州市委 - 郑州市防汛抗旱指挥部”三条组织协作关系数据。如果组织之间存在信息、指令、资源以及队伍的流动，则在两方关系矩阵中记为“1”，否则记为“0”(见表3)。

Table 3. “Organization-organization” relationship data part interception

表 3. “组织 - 组织” 关系数据部分截取

组织	郑州市委 市政府	郑州市 生态环境局	郑州市防汛抗旱 指挥部	郑州市城市 管理局	郑州市城市管理 执法支队
郑州市委市政府	0	1	1	1	0
郑州市生态环境局	1	0	0	0	0
郑州市防汛抗旱指挥部	1	1	0	1	1
郑州市城市管理局	1	0	0	0	1
郑州市城市管理执法支队	0	0	0	1	0

2) 属性数据编码规则：

政府组织应急协作网络中考察相似职能的组织是否倾向于合作。本文参照许振宇和刘晶在突发暴雨灾害应急协作网络研究中政府组织角色和位置分析[18]，并结合应急预案中相关部门的职能对照信息进行类型划分。类型编码规则见表4。

Table 4. Partial coding rules of functional attributes of government organizations

表 4. 政府组织职能属性部分编码规则

政府部门	职能	赋值
市委市政府	统一指挥	1
市城管局	管理分配	2
市自然资源和规划局	技术支持	3
城市道路绿化管理处	技术支持	3
郑州市城市管理执法支队	技术支持	3

在研究政府组织与非政府组织之间网络时考察承担相同任务的组织是否倾向于合作。此次暴雨事件灾害预警阶段只有少数几个组织参加应急准备，结构不明显。考虑组织属性和实际情况，应急任务的划定以及数据收集集中于在灾中处置和灾后恢复。具体任务划分参考黄纪心和郭雪松在基于应急任务驱动地灾害应对组织网络适应性机制——以河南郑州“7.20”特大暴雨应对[19]一文中对于应急任务的分类。任务以及编码如下表 5 所示。组织与任务相对应编码规则见表 6。

Table 5. Summary of emergency tasks for heavy rainstorm and flood disasters
表 5. 特大暴雨洪涝灾害应急任务汇总

序号	任务	序号	任务
1	信息发布	8	抢险救灾
2	交通保障	9	通信保障
3	指导监督	10	灾后防病
4	救灾捐赠	11	金融支持
5	生活物资保障	12	供水保障
6	电力恢复	13	医疗保障
7	市场运行保障	14	灾后恢复

Table 6. Coding rules of cross-organizational task attributes
表 6. 跨组织任务属性部分编码规则

组织	任务	赋值
郑州日报	信息发布	1
郑州公交集团	交通保障	2
郑州市工信局	指导监督	3
河南家可美家政服务有限公司	救灾捐赠	4
市粮食和物资储备局	生活物资保障	5
郑州佛光发电设备有限公司	电力恢复	6
郑州市价格监测中心	市场运行保障	7

5. 实证结果

5.1. 政府组织间协作治理网络分析

系数显著性参照 t 统计量，模型的拟合程度参照赤池信息量(AIC)和贝叶斯信息量(BIC)，AIC 和 BIC 越小模型拟合效果越好[20]。政府组织间协作网络采用模型 4 进行结果分析。

依据表 7 检验结果可知，变量互惠性为正且通过显著性检验，表明政府组织各部门间趋向形成双向互动关系，并不是信息的单向传达，尤其是具有上下级隶属关系的政府组织间。变量中介性估计值负向显著但传递性参数估计值正向显著，说明灾难发生后政府部门倾向于与彼此紧密关联的组织建立直接联系以分担风险并应对灾难的后果。由此可知“郑州暴雨事件”政府组织间存在小团体，协同发生在小范围内。同配效应中统一指挥职责系数为正且显著，说明在应急过程中，从实际需求出发，有指挥职能的部门发挥统筹会商的作用，保证应急过程中各部门步调一致。而负责具体的管理分配和技术支持的部门则需要进行跨职能合作，以更好的应对危机。至此，对于假设 1 进行了有效阐释。

Table 7. Estimation results of exponential random graph model
表 7. 指数随机图模型估计结果

类型	变量	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4
内生结构	边	3.56671***	3.5145***	2.25982***	2.42759***
	互惠性			4.03598***	4.15556***
	中介性			0.37669***	-0.28836*
	传递性			0.34412*	0.29857***
外生属性	同配效应 (相同职责)		1.6658*** -0.7482 0.6645***		0.46972+ -0.93189 -0.37483+
AIC		1514	1438	1387	1330
BIC		1520	1465	1414	1377

注: *** $p < 0$, * $p < 0.05$ 。

5.2. 跨组织协作治理网络关系分析

依据表 8 模型 1 中只有一条边变量, 这个变量代表该随机图的网络密度。根据指数随机图模型计算公式可知密度值为 $\exp(-4.364)/[1+\exp(-4.364)] = 0.0125$, 也就是应急组织建立连接的概率只有 1.25%, 说明组织间协作关系松散, 未形成紧密型网络形态。总体上, 模型 4 的 AIC 和 BIC 指标最小, 拟合效果最佳, 能更好地捕捉应急协作网络形成机制。依据“郑州暴雨事件”中跨组织间协作网络构成实证检验结果可知, 互惠性显著, 说明网络中部分行动者倾向于双方展开联合行动, 发挥技术以及资源的整合优势。中介性系数显著为负, 说明组织协作中中间节点作用突出, 由中间节点链接两端并承担汇聚、传递救灾资源和信息的任务, 但是由中间节点连接起来的链条之间关联性较差。传递性系数为正向显著, 说明在网络中存在紧密合作的小团体。代表同配效应的变量系数为正且显著, 说明承担相同任务的组织联系多, 各组织围绕特定板块任务展开协作, 不同任务之间关联性弱。非政府组织数量以及类型相较于政府组织更为丰富, 与政府组织有着多样化的连接方式。由检验结果可知, 假设 2 得到验证。

Table 8. Estimation results of exponential random graph model
表 8. 指数随机图模型估计结果

	变量	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4
内生结构	边	4.36426***	3.5067***	5.253***	4.54838***
	互惠性		3.9496***		3.19066***
	中介性		0.8972***		0.30981**
	传递性		0.9549***		0.92416***
外生属性	同配效应(相同任务)			2.0766***	1.58215***
AIC		1420	1341	1296	1190
BIC		1427	1371	1310	1226

注: *** $p < 0$, ** $p < 0.001$ 。

6. 结论与讨论

本文借用此模型结合典型案例对应急协作网络进行研究, 厘清地方政府应灾网络形成逻辑, 使得地

方应急协作网络构建更具科学性。主要结论和启示包括以下三方面：

1) 要明确纵向和横向部门权责划分, 统筹调配资源, 实现快速响应。通过分析可以发现“郑州暴雨事件”涉及到应急、气象、通信、水利、城管城建、市政管理等跨层级多专业部门, 部门间纵向协作频率高, 横向部门协作有待完善。整体应急协作网络呈现多中心聚合的形态, 聚合体之间呈弱连结关系。具有隶属关系的政府组织节点, 双向互动, 除此外不同职责部门依托隶属关系还形成了多个紧密连结直径较小的聚合体。网络互惠性、传递性显著, 显示出政府组织间的紧密协同发生在小范围, 组织之间联系取决于行政命令, 组织内部不具有隶属关系节点间关系稀疏, 各自为政, 整体救援能力欠佳。从横向序列上看, 要理顺多个应急管理指挥机构间的权力责任关系, 遵循一类事项由一个部门负责的原则。从纵向序列上看, 国家和省级政府应该更好发挥指导支持, 督促调查等赋能型作用[21], 做好全域资源调配和平衡以及消防、军队等重要应急力量的调配工作, 及时给予下级政府资源支持, 辅助下级政府解决疑难杂症。

2) 发挥枢纽型组织的影响力, 调动非政府组织共参共建。随着社会正能量的倡导非政府组织参与应急管理的意识和意愿不断提高, 但与政府组织的连接不足, 这时候有影响力的枢纽型组织作用凸显。发挥枢纽型组织整合资源和信息传递等功能, 可以从以下几方面做: 第一, 枢纽型组织充分发挥为其他组织提供服务和支持的功能, 加大人才培养、行业自律、标准化建设, 健全行业规范, 引领行业良性发展, 提升社会组织公信力和新形象。通过政治引领、示范带动、服务联系的方式与各组织积极互动, 构建组织网络。第二, 政府组织设立常设机构, 保持与重要的枢纽组织或区域型社会组织的日常互动与交流, 充分了解这些组织的人员构成、业务特长等信息, 并将这些核心组织纳入到本地区防灾减灾救灾统筹中心统一管理。

3) 建立全方位的信息共享平台, 助力智能决策和精准救援。准确且及时的信息为各应急协作主体做出正确决定和采取精准措施提供保障。统一的信息共享平台加速信息的交汇和传递, 动态更新实时灾情以及救援进度, 打破任务和资源的不匹配的局面。郑州暴雨事件后各大媒体、互联网公司、民间组织自发建立起信息发布平台, 信息碎片化现象严重, 这也进一步带来了指挥调度不畅。因此, 在常态化管理中, 政府牵头搭建信息共享平台加入危机管理数据收集模块, 并及时向枢纽型组织宣讲数据上传端口和操作方式, 使得各组织能够在既定的规范和流程下及时分类上传其掌握的信息, 另外政府部门应该充分利用互联网服务平台, 例如腾讯共享文档, 了解请求救援的情况, 实现任务和资源的双向匹配。使用信息共享平台可以节约各组织信息的搜寻、传递与汇集成本, 使资源得到合理地分配和使用, 进一步提升应急部门对风险情况的全面了解, 为紧急指挥、智能决策提供保障, 缓解信息不对称带来的无序和损失。

研究也存在一定不足: 数据收集仍然不够全面, 对于主体关系的判断有主观性, 后续将结合访谈、问卷等渠道获得应急协作相关一手数据对应急协作网络做进一步研究。

参考文献

- [1] 张春颜, 姜伟. 新安全格局下突发公共事件中的风险间关系及应对研究[J]. 中国延安干部学院学报, 2022, 15(6): 43-54.
- [2] 任蕾蕾. 自然灾害应急响应的组织协作研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2021.
- [3] 张桂蓉, 雷雨, 周付军. 社会网络视角下政府应急组织协同治理网络结构研究——以中央层面联合发文政策为例[J]. 暨南学报(哲学社会科学版), 2021, 43(11): 90-104.
- [4] 刘蕾, 赵雅琼. 城市安全应急联动合作网络: 网络结构与主体角色——以寿光洪灾事件为例[J]. 城市发展研究, 2020, 27(3): 91-99.
- [5] 郭雪松, 赵慧增, 石佳. 基于时间动态网络的应急响应组织协调机制研究[J]. 上海行政学院学报, 2018, 19(6): 31-44.

- [6] 郭雪松. 突发公共卫生事件协同应对机制研究——以新冠肺炎疫情应对为例[J]. 四川大学学报(哲学社会科学版), 2020(4): 16-27.
- [7] 刘纪达, 麦强. 自然灾害应急协同: 以议事协调机构设立为视角的网络分析[J]. 公共管理与政策评论, 2021, 10(3): 54-64.
- [8] 张海波, 陶志刚. 公共卫生事件应急管理中政府部门间合作网络的变化[J]. 武汉大学学报(哲学社会科学版), 2021, 74(4): 114-126.
- [9] 迪安·鲁谢尔, 约翰·科斯基宁, 加里·罗宾斯. 社会网络指数随机图模型[M]. 杜海峰, 任义科, 杜巍, 等, 译. 北京: 社会科学文献出版社, 2016.
- [10] 钮亮. 浙江省产学研合作网络形成机理——基于指数随机图模型的分析[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2020, 35(4): 74-82.
- [11] 侯传璐, 覃成林. 中国省际贸易网络的特征及影响因素——基于铁路货运流量数据及指数随机图模型的分析[J]. 财贸经济, 2019, 40(3): 116-129.
- [12] Kim, K., Yoon, Y.H. and Jung, K. (2017) Resilience in Risk Communication Networks: Following the 2015 MERS Response in South Korea. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 25, 148-159. <https://doi.org/10.1111/1468-5973.12180>
- [13] Bodin, Ö. and Nohrstedt, D. (2022) Corrigendum to “Formation and Performance of Collaborative Disaster Management Networks: Evidence from a Swedish Wildfire Response” [Global Environ. Change 41 (2016) 183-194]. *Global Environmental Change*, 73, Article ID: 102491. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2022.102491>
- [14] 康伟, 杜蕾, 曹太鑫. 组织关系视角下的城市公共安全应急协同治理网络——基于“8·12 天津港事件”的全网数据分析[J]. 公共管理学报, 2018, 15(2): 141-152, 160.
- [15] 迪安·鲁谢尔, 约翰·科斯基宁, 加里·罗宾斯. 社会网络指数随机图模型[M]. 杜海峰, 任义科, 杜巍, 等, 译. 北京: 社会科学文献出版社, 2016.
- [16] 朱梓媛. 突发自然灾害治理中的组织协作研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2023.
- [17] 朱世超. 突发公共卫生事件应对中应急组织合作网络分析[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2022.
- [18] 许振宇, 刘晶. 突发暴雨灾害应急协作网络研究——以郑州“7·20”特大暴雨为例[J]. 河北科技大学学报(社会科学版), 2023, 23(1): 10-18.
- [19] 黄纪心, 郭雪松. 基于应急任务驱动的危害应对组织网络适应性机制——以河南郑州“7·20”特大暴雨应对为例[J]. 公共管理学报, 2022, 19(4): 52-64, 168-169.
- [20] 段庆锋, 马丹丹. 基于指数随机图模型的专利技术扩散机制实证研究[J]. 科技进步与对策, 2018, 35(22): 23-29.
- [21] 钟开斌. 中国应急管理体制的演化轨迹: 一个分析框架[J]. 新疆师范大学学报(哲学社会科学版), 2020, 41(6): 73-89.