

中文引用格式:雷婷,回晓靖. 灾害链视角下应急组织协同与网络演化分析[J]. 中国安全科学学报,2025,35(6):191-199.

英文引用格式:LEI Ting, HUI Xiaojing. Analysis of emergency organization collaboration and network evolution from perspective of disaster chain[J]. China Safety Science Journal, 2025, 35(6): 191-199.

灾害链视角下应急组织协同与网络演化分析^{*}

雷婷 副教授,回晓靖^{**}

(北方民族大学 商学院,宁夏 银川 750021)

中图分类号:X915.5

文献标志码:A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2025.06.1136

基金项目:国家社会科学基金资助(21XZ050)。

【摘要】 为明确应急组织在执行应急任务的过程中所起的断链作用,描述协同网络的演化过程,以2023年舒兰暴雨为例,将应急任务视为联结灾害事件与应急组织的桥梁,研究暴雨灾害链网络与应急组织网络的拓扑结构;同时以各阶段应急组织在执行任务时所控制的灾害网络中边的脆弱度降低总量作为标准,衡量协同网络运行效果。结果表明:暴雨引发的灾害事件具有高群聚效应、相互影响显著、致灾路径较短等特点。在应急组织网络中,中心度较高的组织大部分为政府组织,与其他节点直接互动的能力较强;而中心度较低的组织大部分为企业组织与社会组织,相对独立于其他节点。各应急组织能够协同管控关键灾害事件与脆弱度较大的灾害链,其中,在清理安置阶段,应急任务、应急组织、断链数量均最多,边的脆弱度降低总量最大,在应急救援阶段、恢复重建阶段、预警响应阶段,边的脆弱度降低总量依次递减。

【关键词】 暴雨灾害链; 应急组织; 协同网络; 应急任务; 灾害事件

Analysis of emergency organization collaboration and network evolution from perspective of disaster chain

LEI Ting, HUI Xiaojing

(School of Business, North Minzu University, Yinchuan Ningxia 750021, China)

Abstract: To clarify the role of the emergency organization in breaking the disaster chain during the execution of emergency tasks and describe the evolution process of the collaborative network, taking the Shulan rainstorm in 2023 as an example, emergency task was regarded as the bridge connecting the disaster event and the emergency organization. The topological structure of the rainstorm disaster chain network and emergency organization network was analyzed. The effect of collaborative network was measured by taking the total amount of vulnerability reduction at the edges of the disaster network controlled by emergency organizations at each stage during the execution of tasks as the standard. The results indicate that disaster events caused by heavy rain exhibit high clustering effects, significant mutual influence, and short disaster paths. In the emergency organization network, most highly centralized organizations are government entities, which have strong capabilities to directly interact with other nodes. By contrast, organizations with low centrality, primarily enterprises and social organizations, tend to be

^{*} 文章编号:1003-3033(2025)06-0191-09; 收稿日期:2025-02-15; 修稿日期:2025-04-19

^{**} 通信作者:回晓靖(2000—),女,河北沧州人,硕士研究生,研究方向为应急管理。E-mail:1298427022@qq.com。

more independent from other nodes. Each emergency organization can coordinate and control critical disaster events and disaster chains with greater vulnerability. In the stage of clearing and resettlement, the number of emergency tasks, disaster-response organizations, and broken chains is the highest, and the total amount of edge vulnerability reduction is also the greatest. By contrast, during the stages of emergency rescue, recovery and reconstruction, early warning and response phases, edge vulnerability reduction decreases sequentially.

Keywords: rainstorm disaster chain; emergency organization; collaborative network; emergency task; disaster event

0 引言

近年来,我国频繁发生极端暴雨灾害事件,导致严重的人员伤亡和财产损失。《2023 年全国自然灾害基本情况》^[1]指出,全年洪涝灾害共导致 5 278.9 万人次受灾,造成直接经济损失 2 445.7 亿元,给我国的应急管理体系建设带来了巨大的挑战。由暴雨引发的多种灾害事件往往相互关联,形成 1 个链式系统^[2],导致灾害损失呈现非线性累积恶化态势,超出单一组织的应对能力。因此,构建并完善应急协作网络、准确联结灾害事件与应急组织,有助于优化全过程抗灾能力^[3];并且基于灾害链视角,研究应急组织协同网络演化过程,解决“灾害事件及其耦合关系有哪些”“如何控制灾害事件的发展蔓延”以及“协同进行断链减灾的效果如何”这 3 个问题,对明确暴雨致灾转化机制、合理分配应急任务、提升区域公共安全治理能力具有重要意义。

郭增建等^[4]提出了灾害链的概念,即一系列灾害连续发生的现象。暴雨通常伴随洪水、滑坡、房屋倒塌等一系列次生灾害,科学识别暴雨洪涝灾害链及其引发的系统性风险,是提升应急响应能力的关键。现有研究多采用案例分析法,统计暴雨引发的次生灾害事件,分析其相互关系,构建灾害链网络拓扑结构,计算灾害网络中节点的度中心度、中间中心度以及连接边的脆弱性等指标^[5],为评估灾害风险、梳理灾害事件与应急任务之间的关系提供依据。现有基于灾害链视角的研究主要集中在城市减灾能力评价^[6]、多灾种级联效应潜在机制分析^[7]、应急设施配置^[8]等方面。另外,吴泽斌等^[9]指出,在山洪灾害背景下,可以从灾害链视角,将水利、应急等多个组织联合起来,形成减灾合力。

在应急组织网络研究方面,采用社会网络分析法可有效衡量网络节点的地位、评估其行为绩效^[10],进而描述网络的静态结构及其动态演化过程^[11]。在静态结构描述方面,MENG Linghan 等^[12]

通过计算网络中心度、密度等指标,展示了地震场景下任务驱动型组织间的合作关系;CAI Jianmin 等^[13]则将应急组织网络按功能划分为指挥、搜救、医疗等 6 个模块化网络,并探讨其与整体协作网络的结构差异。在动态演化过程分析方面,黄纪心等^[14]以河南暴雨为例,划分出灾前预防、灾中应急和灾后恢复 3 个时间片段,并分析了灾害应对组织网络结构及参与主体角色地位的适应性演化过程。而基于传统科层制的应急管理模式,难以有效应对日益复杂且具有因果联系的灾害事件;若从灾害链视角出发,分析应急组织协同网络,可在精准识别灾害事件及其耦合关系的基础上,展示网络的灵活性和适应性,突破以往“信息孤岛”“各自为政”等治理瓶颈。

鉴于此,笔者拟考虑多事件、多阶段、多任务、多组织的复杂灾害应对情境,以 2023 年舒兰暴雨为例,构建暴雨灾害链网络模型和预警响应、应急救援、清理安置和恢复重建 4 个阶段的“应急任务-应急组织”网络模型,为提升灾害应急处置效率与区域公共安全治理能力提供理论依据。

1 暴雨灾害事件选取与分析

1.1 暴雨致灾典型案例选取

以“2023 年舒兰暴雨”为例的原因如下:首先,该灾害具有典型性。受 5 号台风“杜苏芮”影响,舒兰出现大范围强降雨、多个村镇遭遇险情,造成 15 人遇难,直接经济损失约 28.67 亿元。其次,灾害应对过程具有参考价值。作为极端气象灾害的直接体现,在舒兰暴雨应对处置过程中,当地应急力量迅速行动,高效完成被困人员搜救、受灾群众转移、基础设施抢通等多项应急救援工作,为较少受气象灾害影响地区提升应急处置能力提供了宝贵经验。最后,灾害相关资料易于获取。在这次灾害应对过程中,大量政府、企业和社会组织参与救援,并被官方媒体广泛报道,为研究协同网络演化过程提供了

充足的参考资料。

1.2 灾害事件、应急任务及应急组织识别

1.2.1 灾害事件识别

采用社会网络分析法,基于 2023 年 7 月 31 日—8 月 24 日央视新闻、新京报、新华社、吉林日报、人民网等 5 家媒体报道,及应急管理部与吉林省、吉林市、舒兰市三级政府网站发布的相关信息,共收集到 125 条数据;并总结出 19 个高频灾害事件,见表 1。在此基础上构建暴雨灾害链模型,将灾害事件之间的关系表示为 1 个邻接矩阵,若某一灾害事件的发生会触发其他灾害事件,则在矩阵中标记为 1,反之为 0,由此可得到 1 个二值矩阵。

表 1 舒兰暴雨灾害事件汇总

Table 1 List of Shulan rainstorm disaster events			
编号	灾害事件	编号	灾害事件
s_1	台风	s_{11}	道路阻断
s_2	强降雨	s_{12}	房屋倒塌
s_3	洪水	s_{13}	桥梁垮塌
s_4	城市内涝	s_{14}	车辆停运
s_5	地质灾害	s_{15}	企业停工停产
s_6	通信中断	s_{16}	经济损失
s_7	电力中断	s_{17}	停课
s_8	人员安全威胁	s_{18}	公共卫生事件
s_9	供水中断	s_{19}	水利工程受损
s_{10}	农田受损		

利用 Ucinet 软件绘制灾害链网络,如图 1 所示,图中方块节点表示灾害事件、带有箭头的有向线段表示灾害事件之间的关系。

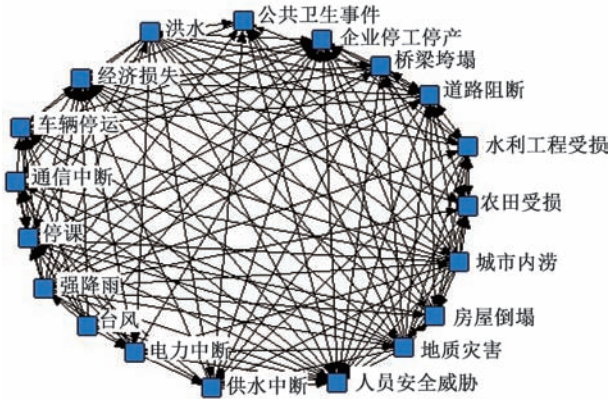


图 1 舒兰暴雨灾害链网络

Fig.1 Shulan rainstorm disaster chain network

1.2.2 应急组织与应急任务识别

一方面,根据相关新闻报道,提取 119 个应急组织,其中政府组织占 69.75%、企业组织占 21.85%、社会组织占 8.4%。另一方面,根据各级防汛抗旱

应急预案等资料,提取出 15 项应急任务,见表 2。

表 2 应急任务汇总

Table 2 Summary of emergency tasks			
序号	任务	序号	任务
1	监测预报预警	9	技术指导
2	指挥协调	10	社会捐赠
3	信息发布	11	灾区基本生活保障
4	交通保障	12	医疗防疫
5	物资保障	13	生产恢复
6	通信保障	14	水利设施恢复
7	人员救援	15	生活恢复
8	电力保障		

如果应急组织执行了某项应急任务,则将二者建立联系,在矩阵中标记为 1,反之则标记为 0,由此构建“应急任务-应急组织”整体协同网络。为描述协同网络演化过程,以 T1—T4 为统计单元,分别建立灾害发生发展各阶段“应急任务-应急组织”网络。具体而言,T1 为预警响应阶段,界定为 7 月 31 日舒兰出现连续降雨、启动防汛四级响应至 8 月 3 日启动防汛一级响应;T2 为应急救援阶段,界定为 8 月 4 日—6 日(黄金救援 72 h);T3 为清理安置阶段,界定为 8 月 7 日—14 日解除防汛一级响应;T4 为恢复重建阶段,以舒兰市启动灾后住房重建(修缮)工作的日期为界,为 8 月 15 日—24 日。

2 暴雨灾害链网络属性分析

2.1 暴雨灾害链网络整体性分析

分析反映舒兰暴雨灾害链网络整体结构的指标,结果见表 3。

表 3 网络整体结构分析

Table 3 Analysis of whole network structure			
指标	值	指标	值
节点数/个	19	聚类系数	0.440
边数/条	136	最长路径长度	14
密度	0.397 7	平均距离	1.19
紧密度系数	0.444		

其中,紧密度系数介于 0~1。聚类系数为 0.440,大于 0.1,表明此次暴雨引发的灾害事件具有高群聚效应和高耦合度。平均距离为 1.19,意味着任意节点平均只需 1.19 步即可到达其他节点,致灾路径较短。

2.2 暴雨灾害链网络节点个体属性分析

参考已有文献[15],采用度数中心度、中间中心度和接近中心度等指标,分析舒兰暴雨灾害链网

络节点的个体属性,见表4。

表4 网络节点个体属性分析

Table 4 Individual network node attribute analysis					
节点	出度	入度	中间中心度	入接近中心度	出接近中心度
s_1	8	0	0	5.263	64.286
s_2	17	1	9.5	5.556	50
s_3	16	1	0	5.863	33.333
s_4	15	2	0	6.228	25
s_5	14	3	0	6.642	20
s_6	5	6	0	7.692	7.143
s_7	7	5	0.5	7.143	9.045
s_8	4	14	6.333	20	6.667
s_9	5	8	2.083	12.245	7.66
s_{10}	5	7	0.333	9.89	12
s_{11}	11	8	10.5	9.945	12.5
s_{12}	6	7	1.667	9.89	12.081
s_{13}	9	5	0	9.783	12.329
s_{14}	3	10	0	23.377	6.25
s_{15}	1	14	0	32.143	5.556
s_{16}	0	18	0	100	5.263
s_{17}	1	13	0	31.579	5.556
s_{18}	2	7	0	13.74	7.059
s_{19}	7	7	1.083	9.89	12.162

由表4可知:出度值较高且显著高于入度值的节点包括:强降雨、洪水、城市内涝、地质灾害和台风,表示其对其他节点的影响程度较高。入度值较高且显著高于出度值的节点包括:经济损失、人员安全威胁、企业停工停产、停课和车辆停运,表明其易受其他节点的影响。节点平均出入度值为7.158,即平均每个灾害事件影响或受影响于7.158个其他灾害事件。中间中心度反映节点的中介作用,经计算,平均节点中间中心度为1.684,道路阻断、强降雨、人员安全威胁和供水中断4个节点的中间中心度远高于平均值,表明其既易受其他节点的影响,又传递此种影响,从而增加灾害风险。上述节点的入接近中心度平均值为17.204,出接近中心度平均值为16.520。入、出接近中心度显著低于平均值的节点分别包括:台风、强降雨、洪水与经济损失、停课、企业停工停产,表明这些节点与其他节点的距离较近,各应急组织协同减灾时,需对其给予重点关注。

2.3 暴雨灾害链网络中边的脆弱度分析

边的脆弱度可由边介数、平均路径长度和连通度3个指标来衡量:边介数指通过某边的最短路径的条数,反映复杂网络中边的重要性和影响力;平均路径长度是复杂网络中某一节点到其他所有节点的

距离,值越大表明该边越重要;连通度指当复杂网络中某边移除后,初始节点能与其他节点相连接的数量之和与总节点数的比值,表示为:

$$V = \frac{BL}{H} \tag{1}$$

式中: V 为边的脆弱度; B 为边介数; L 为平均路径长度; H 为连通度。

将舒兰暴雨灾害链网络中的136条边逐一代入该公式,将计算结果从高到低排列。脆弱度排名前20的边见表5。脆弱度较高的边包括: s_1 (台风) $\rightarrow s_2$ (强降雨)、 s_{18} (公共卫生事件) $\rightarrow s_8$ (人员安全威胁)、 s_{12} (房屋倒塌) $\rightarrow s_{11}$ (道路阻断)、 s_{10} (农田受损) $\rightarrow s_{11}$ (道路阻断)等。应急组织优先协同控制或切断上述边,能够显著抑制灾害链网络发展演化。

表5 边的脆弱度计算

Table 5 Edge vulnerability calculation							
排名	边	介数	脆弱度	排名	边	介数	脆弱度
1	$s_1 \rightarrow s_2$	10.5	84	11	$s_1 \rightarrow s_7$	1.5	12
2	$s_{18} \rightarrow s_8$	4	64	12	$s_{12} \rightarrow s_{18}$	1.83	11.73
3	$s_{12} \rightarrow s_{11}$	5.5	35.2	13	$s_{19} \rightarrow s_9$	2.08	10.42
4	$s_{10} \rightarrow s_{11}$	4.08	34.71	14	$s_{12} \rightarrow s_{17}$	1.58	10.13
5	$s_{10} \rightarrow s_{12}$	2.42	20.54	15	$s_9 \rightarrow s_{18}$	2.83	9.92
6	$s_{10} \rightarrow s_8$	2.08	17.71	16	$s_{12} \rightarrow s_8$	1.5	9.6
7	$s_{18} \rightarrow s_{16}$	1	16	17	$s_{19} \rightarrow s_{12}$	1.92	9.58
8	$s_{19} \rightarrow s_{11}$	3.08	15.42	18	$s_{11} \rightarrow s_{13}$	4	8.8
9	$s_{10} \rightarrow s_{19}$	1.75	14.88	19	$s_{19} \rightarrow s_8$	1.75	8.75
10	$s_8 \rightarrow s_{14}$	4.5	12	20	$s_{10} \rightarrow s_{16}$	1	8.5

3 应急组织协同网络整体性分析

利用Ucient软件,将“应急任务-应急组织”整体协同网络转化为应急组织间的一模网,并以0为临界值进行二值化处理,从整体上分析应急组织协同效果。结果显示,总体网络密度为0.1879,整体网络中心势为48.99%,紧密度系数为0.542。每个应急组织平均需要2.023步才能与其他组织建立联系。表明由于此次灾害应急组织网络规模较大,且运行方式存在差异,导致协同关系相对松散。采用网络中心度(包括度数中心度、接近中心度和中间中心度)评估的方式,测量各应急组织在网络中的角色地位与重要性,结果见表6。网络中心度较高的组织大多为政府组织,如武警吉林总队吉林支队等,其在资源控制和直接互动能力方面表现突出;而网络中心度较低的组织大多为企业和社会组织,如舒兰市电信公司、吉林爱心救援队等,其承担的应急任务类型较少,在协同网络中相对独立。

表 6 网络中心度对比结果

Table 6 Results of network centrality comparison			
度数中心度(前三)		度数中心度(后三)	
武警吉林总队吉林支队	66.95	舒兰市电信公司	6.78
应急管理部	55.09	腾讯公益平台	3.39
吉林市林业局	40.68	国网吉林省电力公司	0.85
接近中心度(前三)		接近中心度(后三)	
武警吉林总队吉林支队	30.18	吉林省通信管理局	22.22
应急管理部	29.14	字节跳动公益平台	21.42
舒兰市开原镇政府	27.57	舒兰市供电公司	0.85
中间中心度(前三)		中间中心度(后三)	
武警吉林总队吉林支队	17.89	吉林爱心救援队	0.10
应急管理部	16.08	国家粮食和物资储备局	0.06
吉林市应急管理局	6.23	舒兰市联通公司	0

表 7 T1 阶段断链减灾情况

Table 7 Disaster reduction through broken chain at T1 stage		
边的脆弱度排名	断链减灾情况	应急组织性质
1	$s_1 \rightarrow s_2$	政府组织
10	$s_8 \rightarrow s_{14}$	
11	$s_1 \rightarrow s_7$	
14	$s_{12} \rightarrow s_{17}$	
19	$s_{19} \rightarrow s_8$	

4 应急组织协同网络演化分析

为分析各应急组织在执行应急任务过程中的断链减灾情况及协同网络演化过程,以“应急任务-应急组织”二模网度数中心度所呈现的节点大小,反映 T1—T4 阶段应急组织的任务执行情况。通过人为匹配应急任务与灾害事件,解决“如何控制灾害事件发展蔓延”“协同进行断链减灾的效果如何”2 个关键问题。

4.1 T1 阶段协同断链减灾过程分析

T1 阶段共涉及 5 项应急任务,如图 2 所示,协同断链减灾情况及应急组织性质见表 7。

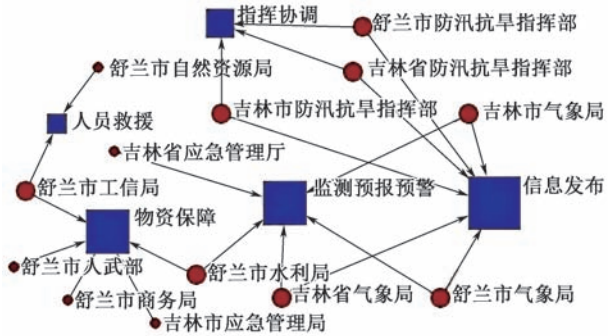


图 2 T1 阶段网络拓扑图
Fig. 2 Network topology at stage T1

此时应急组织的数量有限,且全部为政府组织。首先,在省、市防汛抗旱指挥部的指挥协调下,吉林市气象局、舒兰市气象局等负责监测预报预警,通过多渠道将天气信息报送至相关决策部门,主动控制了“台风导致强降雨”这条脆弱度最高的边;同时,中小学校及时停课,客运班线停止服务,有助于彻底

切断“人员安全威胁导致车辆停运”“房屋倒塌导致停课”等边的传播路径;其次,在防汛任务下达后,舒兰市人武部、舒兰市水利局等组织预置了各类救灾物资,采取巡堤查险措施,防范“道路损毁”“供水中断”等网络中心度较高的节点进一步演化带来的不利后果,控制了“台风导致电力中断”“水利工程受损导致人员安全威胁”等关键边;最后,该阶段“人员救援”任务的度数中心度较低,尽管各级防指要求做好山洪灾害防御及转移避险工作,但由于部分民众心存侥幸或坚持传统观念,未积极配合转移、私自返回住处,导致人员伤亡,对人度和中间中心度较大的“人员安全威胁”控制力度有限,仅依靠政府组织阻止灾害链网络演化的效果仍有待改善。

4.2 T2 阶段协同断链减灾过程分析

T2 阶段,暴雨影响范围不断扩大,大量政府、企业与社会组织参与进来,执行的 11 项应急任务,如图 3 所示,协同断链减灾情况见表 8。

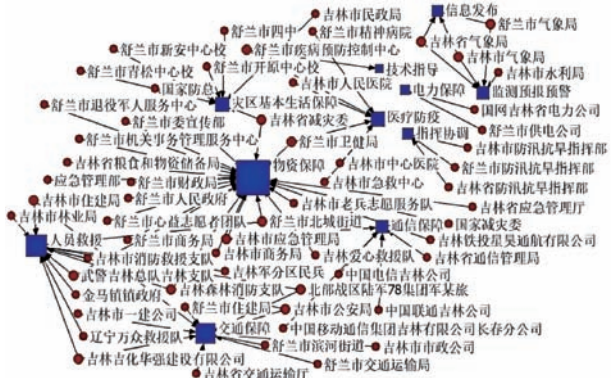


图 3 T2 阶段网络拓扑图
Fig. 3 Network topology diagram at T2 stage

首先,吉林消防救援支队、吉林爱心救援队等应急组织协同执行物资保障、人员救援 2 项度数中心度最大的任务,控制“房屋倒塌导致人员安全威胁”“水利工程受损导致人员安全威胁”等关键边,避免高出度值的“城市内涝”持续恶化;其次,舒兰市交通运输局、舒兰市供电公司等迅速组织抢修水毁道

表 10 T4 阶段断链减灾情况

Table 10 Disaster reduction through broken chain at T4 stage

边的脆弱度排名	断链减灾情况	边的脆弱度排名	断链减灾情况	应急组织性质
2	$s_{18} \rightarrow s_8$	12	$s_{12} \rightarrow s_{18}$	政府组织 企业组织 社会组织
3	$s_{12} \rightarrow s_{11}$	13	$s_{19} \rightarrow s_9$	
4	$s_{10} \rightarrow s_{11}$	15	$s_9 \rightarrow s_{18}$	
5	$s_{10} \rightarrow s_{12}$	16	$s_{12} \rightarrow s_8$	
6	$s_{10} \rightarrow s_8$	17	$s_{19} \rightarrow s_{12}$	
7	$s_{18} \rightarrow s_{16}$	19	$s_{19} \rightarrow s_8$	
8	$s_{19} \rightarrow s_{11}$	20	$s_{10} \rightarrow s_{16}$	
9	$s_{10} \rightarrow s_{19}$			

员安全威胁”等边,使群众尽早恢复正常的生产生活秩序。

4.5 协同网络演化过程与运行效果分析

通过累计分析各阶段控制的、脆弱度排名前 20 的边,描述协同网络演化过程,并评估其运行效果。在暴雨引发灾害的应对过程中,由于场景变化,各阶段的应急任务和应急组织数量均存在显著差异,协同断链减灾情况也随之发生变化,如图 6 所示。

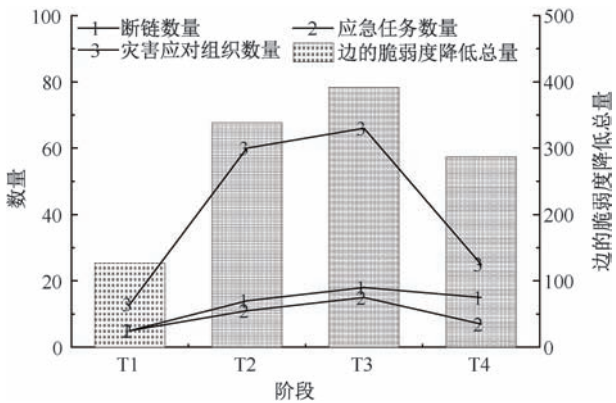


图 6 协同断链减灾效果阶段对比

Fig. 6 Comparison diagram of chain-breaking disaster reduction effects across stages in collaborative processes

由图 6 可知:清理安置阶段既需承接上一阶段的转移疏散和监测预警任务,又需持续进行群众安置、确保基础设施稳定运行等,因此,应急任务、应急组织、断链的数量均最多,边的脆弱度降低总量最大,即协同网络的运行效果最佳。相比之下,边的脆弱度降低量在应急救援阶段、恢复重建阶段和预警响应阶段依次递减。

接下来,筛选各阶段度数中心度排名首位和前三位的应急任务,并以该度数中心度数值占该阶段

所有应急任务度数中心度之和的比重来衡量该项应急任务的重要性,以各阶段边的脆弱度降低总量与上述比重乘积的数值揭示应急组织在执行关键应急任务时的协同断链减灾情况,为未来精准分派应急任务提供依据,见表 11。

表 11 执行关键应急任务时的协同断链减灾效果

Table 11 Impact of chain-breaking disaster reduction on critical emergency tasks

阶段	边的脆弱度降低总量	应急任务前三	度数中心度	重要性程度/%	断链减灾效果
T1	126.89	信息发布	0.462	23.80	30.2
		监测预报预警	0.385	76.19	96.68
		物资保障	0.385	(前三)	(前三)
T2	338.25	物资保障	0.367	29.74	100.6
		人员救援	0.2	59.48	201.19
		交通保障	0.167	(前三)	(前三)
T3	391.75	交通保障	0.227	16.47	64.52
		灾区基本生活保障	0.152	38.53	150.94
		生活恢复	0.152	(前三)	(前三)
T4	286.95	生活恢复	0.56	32.56	93.43
		生产恢复	0.48	76.74	220.21
		医疗防疫	0.28	(前三)	(前三)

由表 11 可知:在 T1—T4 阶段,应急组织执行度数中心度排名前三的应急任务,其协同断链减灾效果均优于仅执行排名首位的应急任务,差值依次为 66.48、100.59、86.42、126.78。首先,在预警响应阶段,政府组织通过科学研判、执行“信息发布”任务,为各级防汛部门有序部署、强化防汛应急物资保障争取更多时间。此时,“人员安全威胁”节点尚未与其他灾害事件形成耦合关系,但若不对其加以控制,将增加后续救援及恢复工作的难度。因此,仅关注度数中心度靠前的应急任务并不能达成防灾减灾目标,政府组织还需进一步落实预防性转移措施,解决企业与社会组织事前参与不足问题,与之协同进行隐患排查和人员紧急撤离。

其次,随着暴雨影响的持续扩大,预警信号适时提级升格,进入应急救援阶段,该差值增大。对比各阶段发现,政府、企业、社会组织协同执行度数中心度最高的“物资保障”任务,取得的协同断链减灾效果最佳。与此同时,执行重要性较高的“人员救援”与“交通保障”任务,能够有效阻止入度中心度和中间中心度较大的“人员安全威胁”、出度值较大的“城市内涝”、中间中心度最大的“道路阻断”等灾害事件的进一步演化。因此,在暴雨灾害应对过程中,

政府组织需持续发挥引导作用,组建搜救、保供、抢修等工作组,搭建交流沟通平台,企业组织与社会组织则应充分展示其专业性与服务性,共同把握好灾后黄金救援 72 h。

第三,进入清理安置阶段,舒兰市各个水库及主要河流水位开始回落,应急组织在执行度数中心度排名前三的应急任务时,其断链减灾作用较前一阶段下降 24.98%。说明在应急任务数量最多的清理安置阶段,执行专业性要求较高但度数中心度不高的应急任务,例如医疗防疫、技术指导、通信保障、电力保障等,对于控制“公共卫生事件”“农田受损”“通信中断”“电力中断”等节点、防范次生衍生灾害、阻止灾害链网络持续演化同样关键。

第四,随着市防指宣布解除防汛一级响应,舒兰市进入恢复重建阶段,以政府组织为主、企业组织为辅,执行度数中心度排名前三的“生活恢复”“生产恢复”“医疗防疫”任务,协同断链减灾效果较前一阶段提升 45.89%。此时,应急任务与应急组织的数量明显减少,任务重点较清理安置阶段更为明确,因此政府组织需充分考虑群众利益与区域发展实际,带动企业组织共同确保房屋重建、作物生产恢复和饮水工程抢修等工作顺利进行。

5 结 论

1) 舒兰暴雨引发的灾害事件具有高群聚效应、致灾路径较短等特点。在灾害链网络中,强降雨节点的出度最大,经济损失节点的入度最大,道路阻断

的中间中心度最大,台风导致强降雨、公共卫生事件导致人员安全威胁、房屋倒塌导致道路阻断等边的脆弱度较高,应急组织据此协同执行应急任务,对灾害网络的破坏性较高。

2) 舒兰暴雨灾害应急组织网络的规模较大,协同关系相对松散;从性质上看,政府组织具备较强的资源控制能力,企业和社会组织由于承担的应急任务类型不多,相对独立于其他节点。

3) 应急组织能够协同管控关键灾害事件及其耦合关系,以各阶段应急组织协同控制的、灾害网络中边的脆弱度降低总量作为标准,发现在清理安置阶段,协同网络的运行效果最佳,而后依次为应急救援、恢复重建、预警响应阶段。

4) 提升应急任务分派的精准性,在预警响应阶段,政府组织需落实预防性转移措施,解决企业组织与社会组织事前参与不足问题;在应急救援阶段,需把握黄金救援 72 h,确保物资保障、人员救援、交通保障任务具有较高优先级;在清理安置阶段,需重点关注医疗防疫、技术指导等专业性要求较高但度中心度不高的应急任务;在恢复重建阶段,在应急任务与应急组织数量明显降低的情况下,需保证生活恢复和生产恢复工作的科学性。

5) 文中的数据全部源于网络公开报道,缺乏深入访谈等更为全面的资料。尽管考虑到了应急组织的性质差异,但未能细致区分不同等级的政府组织、不同规模的企业与社会组织的数量差异。因此,未来研究应在上述方面进行深入探讨。

参 考 文 献

[1] 中华人民共和国应急管理部. 国家防灾减灾救灾委员会办公室应急管理部发布 2023 年全国自然灾害基本情况[EB/OL]. (2024-01-20). https://www.mem.gov.cn/xw/yjglbgzdt/202401/t20240120_475697.shtml.

[2] 王威, 瞿致诺, 郭小东, 等. 城市多灾种关联框架与链式网络的构建思路与方法[J]. 中国安全生产科学技术, 2023, 19(11): 5-12.

WANG Wei, QU Zinuo, GUO Xiaodong, et al. Thinking and method of constructing urban multi-disaster association framework and chain network[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2023, 19(11): 5-12.

[3] MEEROW S, HANNIBAL B, WOODRUFF S C, et al. Urban flood resilience networks: exploring the relationship between governance networks, networks of plans, and spatial flood resilience policies in four coastal cities[J]. Annals of the American Association of Geographers, 2024, 114(8): 1 866-1 876.

[4] 郭增建, 秦保燕. 灾害物理学简论[J]. 灾害学, 1987, 2(2): 25-33.

GUO Zengjian, QIN Baoyan. Brief discussion on disaster physics[J]. Journal of Catastrophology, 1987, 2(2): 25-33.

[5] 李磊, 马梦格, 折亚亚, 等. 复杂网络下雨洪灾害链风险分析及断链减灾研究[J]. 中国安全科学学报, 2023, 33(12): 192-197.

LI Lei, MA Mengge, SHE Yaya, et al. Risk analysis of rainstorm flood disaster chain and research on disaster mitigation

- of broken chain under complex network[J]. *China Safety Science Journal*, 2023, 33(12): 192–197.
- [6] YANG Xiaolu, QIN Xiaochen, ZHOU Xiang, et al. Assessment of disaster mitigation capability oriented to typhoon disaster chains: a case study of Fujian province, China[J]. *Ecological Indicators*, 2024, 167: DOI:10.1016/j.ecolind.2024.112621.
- [7] WU Bohua, QUAN Quan, YANG Hanbo, et al. A multiple-drought cascading framework based on causal inference[J]. *Journal of Hydrology*, 2024, 630: DOI:10.1016/j.jhydrol.2024.130657.
- [8] 张柯伟, 陈秋晓, 章明宇. 灾害链视角下的华东滨海乡村应急设施配置优先级评价研究[J]. *自然灾害学报*, 2022, 31(6): 56–66.
- ZHANG Kewei, CHEN Qiuxiao, ZHANG Mingyu. Priority evaluation of emergency facilities configuration in coastal rural area of East China from the perspective of disaster chain[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2022, 31(6): 56–66.
- [9] 吴泽斌, 徐萌萌, 楚中柱. 中国山洪灾害防治政策的演进、特征与展望[J]. *资源科学*, 2023, 45(4): 776–785.
- WU Zebin, XU Mengmeng, CHU Zhongzhu. Evolution, characteristics, and prospects of mountain flash flood disaster prevention and control policies in China[J]. *Resources Science*, 2023, 45(4): 776–785.
- [10] COMFORT L K, OH N, ERTAN G. The dynamics of disaster recovery: resilience and entropy in hurricane response systems 2005–2008[J]. *Public Organization Review*, 2009, 9: 309–323.
- [11] 关贤军, 秦昌伟, 方伟鹏. 应急组织的结构、韧性与绩效: 述评与展望[J]. *中国应急管理科学*, 2023 (4): 26–38.
- GUAN Xianjun, QIN Changwei, FANG Weipeng. The structure, resilience and performance of emergency organizations: review and prospect[J]. *Journal of China Emergency Management Science*, 2023 (4): 26–38.
- [12] MENG Linghan, CHENG Wuyi, DENG Yunfeng, et al. Research on the collaborative relationship of task-driven urban earthquake emergency organizations[J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2024, 113: DOI:10.1016/j.ijdr.2024.104887.
- [13] CAI Jianmin, SUN Fei, HU Shiyu, et al. Research on cross-organizational emergency collaboration networks based on functional modules: an example of landslide disaster incident in Shuicheng, Guizhou, China[J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2023, 97: DOI:10.1016/j.ijdr.2023.104043.
- [14] 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.
- HUANG Jixin, GUO Xuesong. Research on adaptive mechanism of disaster response organization network driven by emergency task: taking the case of "7.20" extraordinary rainstorm in Zhengzhou, Henan[J]. *Journal of Public Management*, 2022, 19(4): 52–64, 168–169.
- [15] 刘丹, 朱卫昌, 李墨潇, 等. 利益相关者视角下化工安全关键致因网络分析[J]. *中国安全科学学报*, 2023, 33(11): 59–66.
- LIU Dan, ZHU Weichang, LI Moxiao, et al. Network analysis of chemical safety critical causation from perspective of stakeholders[J]. *China Safety Science Journal*, 2023, 33(11): 59–66.



作者简介: 雷婷 (1985—), 女, 陕西渭南人, 博士, 副教授, 主要从事应急管理、风险决策等方面的研究。E-mail: yuxinwh_030@126.com。