

中文引用格式:雷婷,回晓靖,刘杰. 面向暴雨灾害的县域适灾韧性演化模型构建及特征分析[J]. 中国安全科学学报,2025,35(11): 164–171.

英文引用格式:LEI Ting, HUI Xiaojing, LIU Jie. Construction and characteristic analysis of county disaster resilience evolution model for rainstorm disasters[J]. China Safety Science Journal, 2025, 35(11): 164–171.

面向暴雨灾害的县域适灾韧性演化模型构建 及特征分析*

雷婷¹副教授,回晓靖¹,刘杰²

(1 北方民族大学商学院,宁夏银川 750021;2 新疆伊犁州森林消防支队 巩留大队,新疆伊犁 835100)

中图分类号:X915.5

文献标志码:A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2025.11.0754

基金项目:北方民族大学一般科研项目(2023XYSSY01);国家自然科学基金资助(21XMZ050);宁夏回族自治区自然科学基金资助(2025AAC030057);北方民族大学中央高校基本科研业务费专项资金资助(2025ZLGGTYS10)。

【摘要】 为增加基层应灾行为的系统性与灵活性,构建县域适灾韧性三角形模型,以2024年辽宁建昌暴雨为例,使用社会网络分析方法,建立暴雨灾害事件、县域承灾体、应急管理方案间的关联网络,引入时序维度,设计反映县域适灾韧性演化过程的系统动力学模型,以网络节点个体属性作为模型赋值依据。结果表明:县域适灾韧性呈先缓慢下降后平稳上升且增速逐渐加快的演化趋势;在灾前预警阶段,灾害事件、承灾体、应急管理方案分别具备突发性、暴露性、吸收特征,组织准备、通信准备、物料准备、宣传准备最具优化空间;在灾中应对阶段,灾害事件、承灾体、应急管理方案分别具备耦合性与不确定性、敏感性、适应特征,转移群众能力、通信保障机制、电力设施韧性尚存优化空间;在灾后恢复阶段,承灾体、应急管理方案分别具备适应性、调整特征,此时需优化农作物种植结构、提升道路抗洪能力。应急管理方案在灾害应对全周期始终具备学习特征。

【关键词】 暴雨灾害; 县域适灾韧性; 动态演化; 社会网络分析; 系统动力学

Construction and characteristic analysis of county disaster resilience evolution model for rainstorm disasters

LEI Ting¹, HUI Xiaojing¹, LIU Jie²

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

2 Gongliu Brigade, Xinjiang Yili Prefecture Forest Fire Brigade, Yili Xinjiang 835100, China)

Abstract: In order to increase the systematicity and flexibility of disaster response behavior at the grassroots level, a triangle model of county disaster resilience was constructed. Taking the rainstorm in Jianchang, Liaoning Province in 2024 as an example, social network analysis method was used to establish an association network among rainstorm disaster events, county disaster bearing bodies and emergency management plans. The system dynamics model reflecting the evolution process of county disaster resilience was designed by introducing the time series dimension, and the individual attributes of network nodes were used as the basis for model evaluation. The results show that the county disaster resilience

shows an evolutionary trend of slowly decreasing first and then steadily increasing, and the growth rate gradually accelerates. During the pre-disaster warning stage, disaster events, disaster-bearing bodies, and emergency management plans respectively possess the characteristics of suddenness, exposure, and absorption. Organizational preparations, communication preparations, material preparations, and publicity preparations have the greatest room for optimization. During the disaster response stage, disaster events, disaster-bearing bodies, and emergency management plans respectively possess coupling and uncertainty, sensitivity, and adaptability characteristics. There is still room for improvement in the capacity to evacuate the masses, communication guarantee mechanisms, and the resilience of power facilities. During the post-disaster recovery stage, disaster-bearing bodies and emergency management plans respectively possess adaptability and adjustment characteristics. At this time, it is necessary to optimize the planting structure of crops and enhance the flood resistance capacity of roads. Emergency management plans always have the characteristic of learning throughout the entire cycle of disaster response.

Keywords: rainstorm disaster; county disaster resilience; dynamic evolution; social network analysis; system dynamics

0 引言

近年来,受气候变化、人类活动的叠加影响,我国极端暴雨灾害呈现多发、频发态势,各类承灾体的暴露度、集中度与脆弱度持续增加,给基层应急管理工作带来严峻挑战。2024 年,全国平均降水量较常年偏多 9%,造成 5 344.9 万人受灾。面对暴雨灾害链式风险传导的复杂态势,《中共中央办公厅 国务院办公厅关于进一步提升基层应急管理能力的意见》要求衔接好“防”和“救”的责任链条,推动形成隐患排查、监测预警、及时处置闭环管理,统筹做好灾后救助工作。“韧性”指社会生态系统为回应压力和限制而产生的一种变化、适应和改变的能力,基于韧性理论分析暴雨及其触发的次生灾害对承灾体的阶段破坏特征,及时调整应急管理方案,可增强基层应灾行为的系统性与灵活性。

适灾韧性强调主体在遭受灾害冲击、实现由原稳态向新的稳态过渡时,吸纳灾害带来的扰动的能力^[1]。目前,对适灾韧性的研究集中于内涵界定、水平测度、演化规律分析 3 个方面。在内涵界定上,SUN Yingkui 等^[2]认为,适灾韧性具有全过程均衡性,涵盖灾前防御、灾难影响、灾后恢复、灾害适应 4 个阶段;李华等^[3]指出适灾韧性具有多维性,包括区域韧性、城市韧性、乡村社区韧性等具体概念。在水平测度上,李崔茜等^[4]确立了城市公共安全韧性评价指标体系,以南京市为例进行测度,发现当地公共韧性存在结构性失衡问题;SHAN Siqing 等^[5]基于社交媒体数据,从基础设施和民众心理状态角度量化不同地区短期恢复能力、适灾韧性的差异,为进

行精准有效的灾后重建和心理干预提供参考。在演化规律分析上,CUI Peng 等^[6]利用社会网络分析法,以密度、度中心性等社会网络参数代表社区凝聚力、归属感等关键社会资本,表征城市社区的适灾韧性,并以南京市内涝灾害为例,根据上述参数的阶段变化总结适灾韧性演化规律。综上,现有对适灾韧性的测度多局限于城市尺度且采用静态指标评价方式,尚未系统考量灾害链式反应、承灾体级联失效等复杂过程。而县域作为城乡融合发展的关键切入点,既是城乡矛盾从隐性累积转向显性冲突的关键场域^[7],又是极端灾害风险治理的薄弱环节,随着气候变化加剧、极端天气频发,现有城市韧性评估体系难以匹配农田损毁等典型乡村风险场景。

鉴于此,笔者拟基于公共安全三角形理论,以 2024 年辽宁建昌县暴雨为例,运用社会网络分析法与系统动力学方法,明确灾害事件触发、承灾体破坏与应急管理方案运用三者的动态演化特征,识别暴雨灾害应对各阶段的关键灾害事件或承灾体破坏风险,确定最具优化空间的应急管理方案,完善“吸收、适应、调整、学习”循环,以期提升县域适灾韧性。

1 县域适灾韧性演化模型构建

1.1 县域适灾韧性三角形理论模型

参考黄弘等^[8-9]的研究,构建面向暴雨灾害的县域适灾韧性三角形模型,该模型由灾害事件、承灾体和应急管理 3 条边构成,连接 3 条边的节点统称为灾害要素,包括物质、能量和信息,其在未超过临

界量或未被触发前并不造成破坏作用^[10],如图1所示。由暴雨触发的洪涝、泥石流等灾害事件具有突发性、不确定性和耦合性特征;县域承灾体呈现城乡二元分化,物理实体(城市房屋与农村自建房、市政设施与农村水利工程)和社会生态(市民与农民的应急响应行为差异)均表现出不同程度的暴露性、敏感性、适应性;在此背景下,县域应急管理需立足城乡二元属性的现实约束,通过吸收、适应、调整、学习4个关键环节,提升适灾韧性水平。

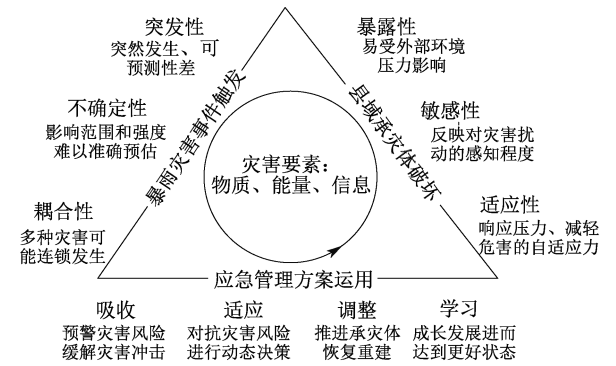


图1 县域适灾韧性三角形模型

Fig.1 Triangle model of county disaster resilience

1.2 暴雨致灾案例选择与数据来源

2024年8月18日23时起,辽宁省西部地区出

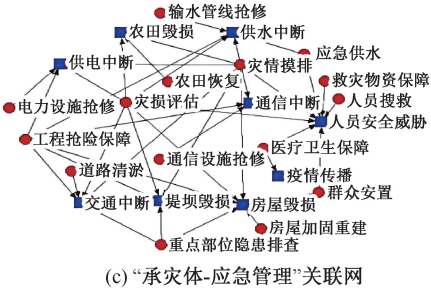
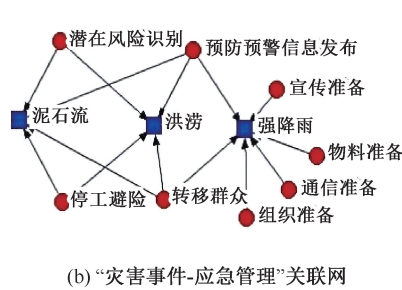
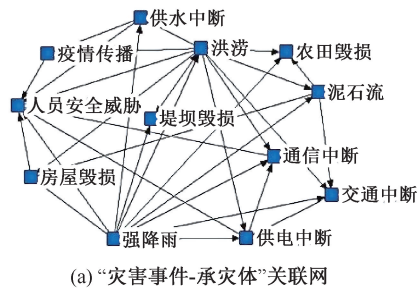


图2 县域适灾韧性关联网络

Fig.2 Correlation network of county disaster resilience

1.4 反映县域适灾韧性的系统动力学模型构建

为使仿真结果与实际灾情动态演化轨迹相匹配,引入时序维度,绘制反映建昌暴雨灾前预警、灾中应对、灾后恢复阶段县域适灾韧性的存量流量图,如图3所示。灾前预警阶段为8月18日23时建昌县出现连续降雨至8月19日20时建昌县启动一级响应(共21h),以建昌县“自救”为主;灾中应对阶段为8月19日20时建昌县出现险情至8月21日16时30分葫芦岛市气象局终止暴雨二级响应(共44.5h),建昌县“自救”开始与跨区域救援力量“他

现暴雨到大暴雨,葫芦岛市建昌县部分村镇出现山洪,多名受灾群众被困,基础设施破坏严重。暴雨发生后,各级防汛抗旱指挥部高度重视,应急、消防、电力、通信等力量均赶赴建昌县支援。此次极端暴雨灾害具备较强的典型性,相关资料易于获取。

选择建昌县广播电视台公众号以及建昌县人民政府、葫芦岛市应急管理局、葫芦岛市人民政府3个政府网站,筛选2024年8月18日—28日的126条有效新闻,明确灾害事件、承灾体、应急管理方案的具体内容。根据《建昌县突发事件总体应急预案》验证已识别内容的存在性。

1.3 基于社会网络分析的韧性关联网络构建

灾害事件的致灾力大于承灾体抵抗力时,便可能产生灾害损失,并在孕灾环境与承灾体的再次作用下继续引发次生灾害^[11]。因此,运用社会网络分析,建立一模网描述灾害事件与承灾体之间的触发关系,如图2a所示。若某项应急管理方案与某一灾害事件或承灾体破坏现象共现于同一篇新闻报道,且该方案能够控制灾害事件发展蔓延或对某一承灾体的持续破坏,则使用有向箭头将二者连接起来,进而构建侧重灾前预防与灾中应对的“灾害事件-应急管理”二模网,和侧重灾中应对和灾后恢复的“承灾体-应急管理”二模网,如图2b、图2c所示。

救”相耦合;灾后恢复阶段为8月21日16时30分降雨结束、水位回落至8月28日12时辽宁省防汛抗旱指挥部终止对葫芦岛市的防汛一级响应(共163.5h)。仿真步长均设置为0.5h。

1) 系统动力学模型假设。①县域适灾韧性的影响因素均来自系统内部,暂不考虑非正常因素导致的系统状态突变;②县域适灾韧性由灾害事件触发、承灾体破坏、应急管理方案运用共同表征,系统运行过程中存在物质与信息延迟,已在建模时予以考虑;③优化某一阶段应急管理方案不会直接提升

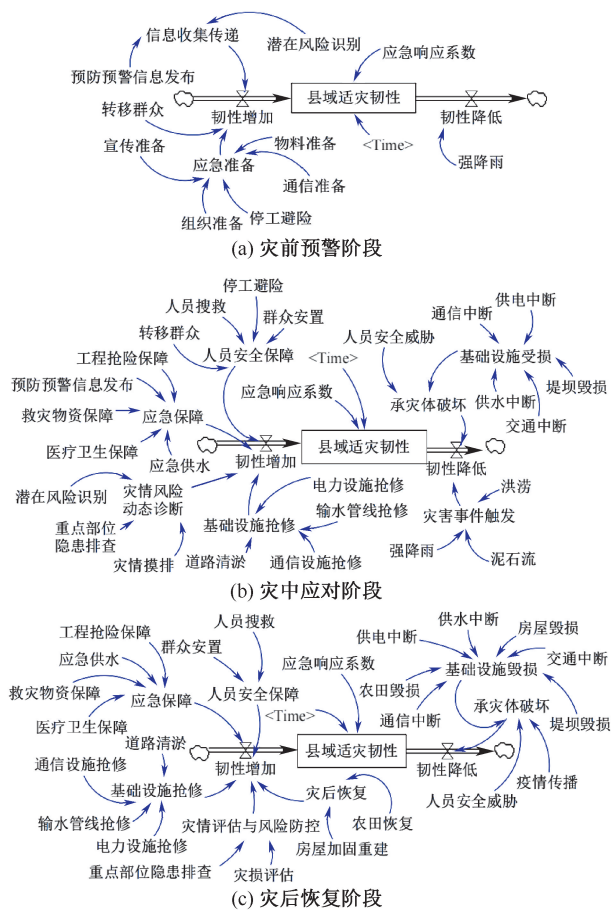


图 3 县域适灾韧性存量流量图

Fig. 3 Stock flow diagram of county disaster resilience

后续阶段的应对能力,但可通过减轻灾害事件影响或承灾体破坏程度,间接缓解后续阶段的应对压力。

2) 系统动力学常量与方程设定。在“灾害事件-承灾体”一模网中,采用出度作为灾害事件常量的取值,反映其对其他灾害事件、承灾体破坏现象的触发作用,使用入度作为反映承灾体破坏现象的常量取值,表征其受影响的程度;将“灾害事件-应急管理”“承灾体-应急管理”二模网转换为仅含应急管理方案的一模网,并采用接近中心度作为常量取值,衡量其对网络的控制性与实施效率。

根据图 3 设定方程,将某一常量的取值除以该模型中所有指向某辅助变量的常量取值之和,作为常量权重,将所有指向某一辅助变量的常量取值乘以各常量对应权重再求和,作为该辅助变量的取值,同样采用常量权重的计算方式,确定辅助变量权重。为保证仿真结果的连续性,引入应急响应系数,定义为各阶段持续时长与灾害应对总时长的比值,从而量化不同阶段存量(县域适灾韧性)的相对权重;并将上一阶段系统运行周期结束时存量的取值作为下

一阶段该存量的初始值。

3) 有效性检验。以灾中应对阶段的县域适灾韧性为例检验模型结构稳定性,将仿真步长分别更改为 0.25 和 1,如图 4a 所示,仿真步长变化后,该存量的变化趋势一致;将常量“农田恢复”分别上调 30%、40%、50%,以灾后恢复阶段的县域适灾韧性为例测试模型敏感性,如图 4b 所示。建昌县统计局披露:2024 年前 3 季度该县农林牧渔业占国内生产总值的比重为 28.64%,占比较上半年回落 4.36%,未出现断崖式下跌。农田恢复能力越强,县域适灾韧性水平越高,符合现实情况。

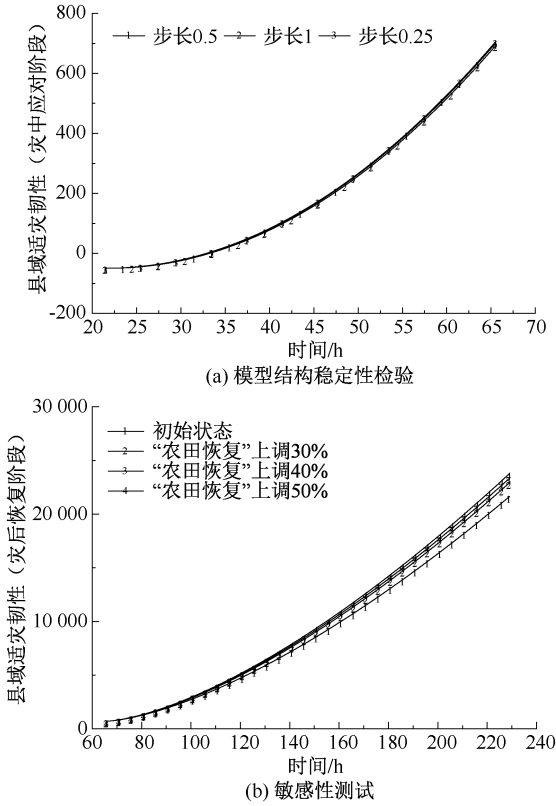


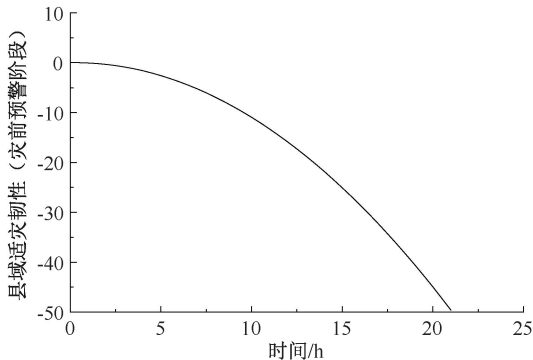
图 4 模型有效性检验结果

Fig. 4 Results of model validity test

2 县域适灾韧性演化特征分析

在灾前预警阶段,县域适灾韧性呈现缓慢下降的动态演化趋势,如图 5a 所示。使用 Python 对各阶段所属新闻资料做高频词统计并生成词云图,与仿真结果相互印证,可提升系统动力学模型的解释力。具体而言,该阶段建昌县正在遭遇具有“突发性”的强降雨,强降雨、暴雨、大雨、降水量等词累计出现 49 次,致灾风险较高;县域承灾体开始呈现“暴露性”特征,但图 5b 中尚未出现道路、通信、房屋、农田等词,表明基础设施尚未达到破坏临

界点;此时当地采取的应急管理方案包括:利用乡村“大喇叭”引导群众做好防御强降雨天气准备、建立健全防汛抗旱组织指挥机构、分析研判强降雨过程、落实水库预泄要求、预置抢险物料、组织开展群众转移等,上述方案的实施强度可通过高频词统计结果加以佐证,包括水库(17次)、防汛(16次)、防御(11次)、气象(9次)、群众(7次)等,应急管理方案呈现预警灾害风险、缓解灾害冲击的“吸收”特征。但由于雨势持续增强,县域适灾韧性在该阶段仍维持下降趋势。



(a) 县域适灾韧性



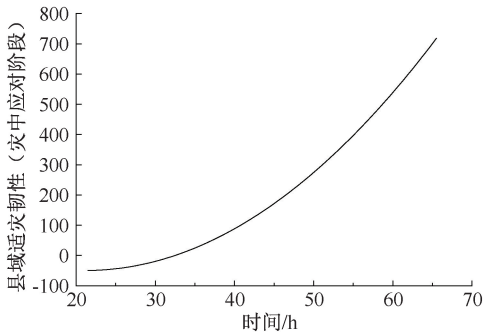
(b) 词云分析

图5 灾前预警阶段仿真结果

Fig. 5 Simulation results of pre-disaster warning stage

县域适灾韧性在灾中应对阶段呈现缓慢上升的动态演化趋势,如图6a所示。建昌县启动一级响应后8 h内,灾害事件为“突发性”强降雨,8月20日4时,建昌县雨量达70.8 mm/h,强降雨触发洪涝、泥石流2个新的灾害事件,灾害事件特征转变为耦合性和不确定性。8月20日7时,建昌县出现险情,部分乡镇失联,无法确定被困人员的具体位置,县域承灾体特征从暴露性向敏感性转变。图6b中反映城乡基础设施破坏与人员安全威胁现象的高频词包括:通信(56次)、被困(28次)、电力(25次)、道路(19次)。面对险情,建昌县积极“自救”,对应高频词包括消防(29次)、抢险(24次),为县域适灾韧性在灾中应对初期呈现缓慢上升趋势提供了实际行为数据支撑;8月20日8时,辽宁省防汛抗旱指

挥部将葫芦岛市防汛应急响应提升至三级,周边力量赶往建昌县支援,8月20日19时,建昌县雨量为3.2 mm/h,随着雨势减弱、水位下降,工作重点转变为应急供水、通信保障、道路抢通、电力恢复,对应高频词包括:抢修(22次)、保障(20次)、恢复(17次),8月20日23时,建昌县28个乡镇中仅剩3个乡镇因通信中断暂无法取得联系,外部力量支援为县域适灾韧性在响应中期与后期持续回升提供现实依据。该过程展现出应急管理方案的“适应”特征。



(a) 县域适灾韧性



(b) 词云分析

图6 灾中应对阶段仿真结果

Fig. 6 Simulation results of disaster response stage

县域适灾韧性在灾后恢复阶段呈增长趋势且速度逐渐加快,如图7a所示。在葫芦岛市气象局终止暴雨二级响应后,强降雨的直接触发作用减弱,但因其前期对建昌县域内的各类承灾体造成严重破坏,承灾体“敏感性”特征仍然突出,具体表现为:需继续修复城市基础设施(道路清淤、通信电力恢复)、处置乡村典型损失(房屋、农田修复)、控制潜在的疫情传播风险,图7b中对应的高频词包括:道路(53次)、通信(47次)、农业(29次)、电力(29次)、房屋(24次)。8月24日晚,建昌县召开灾后重建会议,启动系统性恢复工作,设立相关领导小组统筹地质灾害风险排查、灾害损失综合评估、水毁房屋重建选址、农作物抢救等工作,标志着承灾体开始具备“适应性”特征。8月28日12时,辽宁省防汛抗旱指挥部终止对葫芦岛市的防汛四级响应,建昌县各乡镇的工作重心已由初期应急抢险的局部应对,全

面转向统筹协调的灾后系统性重建,应急管理方案“调整”特征显著,县域适灾韧性增速逐渐加快。

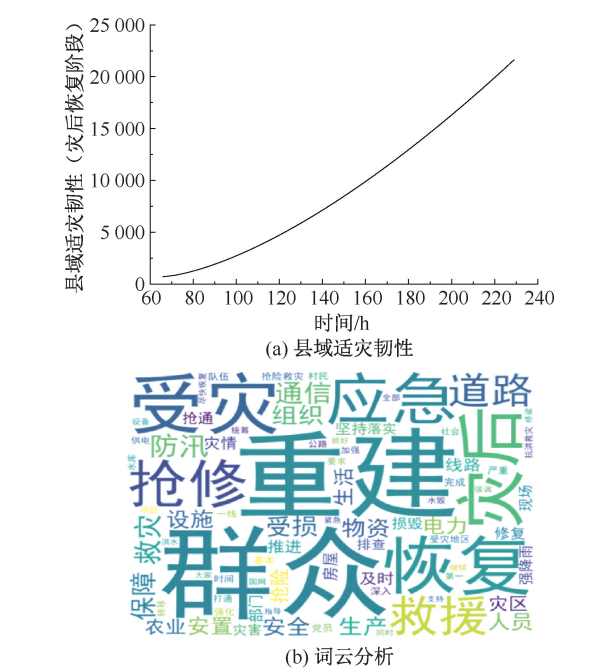


图 7 灾后恢复阶段仿真结果

Fig. 7 Simulation results of post-disaster recovery stage

在整个仿真周期内,作为存量的县域适灾韧性的数值呈现先缓慢下降,后平稳上升,增速逐渐加快的动态演化趋势,在建昌县宣布启动一级响应时该值最小,为-49.607 8,仿真结果与灾害实际应对过程相吻合。此外,应急管理方案在灾害应对全过程中始终具备“学习”特征,后续将通过讨论灵敏度分析结果,阐明学习内容,推动县域适灾韧性向更优状态演化。

3 适灾韧性要素耦合与灵敏度分析

在分析县域适灾韧性时,考虑灾前预警、灾中应对、灾后恢复 3 个阶段,将所有可带来县域适灾韧性的提升或降低因素分别同时上调 50%,计算调整后的韧性总提升量与总降低量的比值,从总体上评估各阶段应急管理方案的有效性。该比值越小,说明在灾害事件触发强度或承灾体破坏程度增加的情况下,对应的应急管理方案越存在优化空间。前述 3 个阶段的比值分别为 0.97、1.06、1.45,说明灾前预警阶段的应急管理方案存在优化空间,可通过加强现有方案的执行力度或进一步丰富方案内容来提升韧性,灾中应对阶段次之,灾后恢复阶段的应急管理方案可较好地应对暴雨灾害影响。

在保持其他因素不变的情况下,将各阶段单个

灾害事件触发强度或单一承灾体破坏程度分别上调 50%,模拟更为严峻的外部冲击,计算对应的韧性降低量;根据图 2,提取与该灾害事件或承灾体对应的应急管理方案组合,将其同时上调 50%,计算韧性提升量,同样计算韧性提升量与降低量的比值,评估应急管理方案组合对单一灾害事件或承灾体破坏现象的控制能力。基于假设③,在不考虑各阶段重复指标的前提下,灾前预警阶段针对强降雨(比值 0.85)强度增大的应急管理方案、灾中应对阶段针对洪涝(比值 1.03)、人员安全威胁(比值 1.66)、通信中断(比值 27.37)、供电中断(比值 27.66)风险加剧的应急管理方案、灾后恢复阶段针对疫情传播(比值 0.99)、农田毁损(比值 16.73)、交通中断(比值 25.43)风险加剧的应急管理方案存在更大的优化空间。

将各阶段已识别出的灾害事件触发强度或承灾体破坏程度分别上调 50%,以恢复原有县域适灾韧性水平为判断标准,逐一提升应急管理方案组合内部各项指标,计算提升倍数,选择提升倍数最高的应急管理方案,作为灾害事件触发强度或承灾体破坏程度增加时的优先改进目标,结果见表 1。

表 1 应优先改进的应急管理方案

Table 1 List of priorities for improving emergency management plans			
阶段	灾害事件或承灾体破坏现象	提升倍数最高的应急管理方案	提升倍数
灾前预警	强降雨	组织准备	10.6
		通信准备	10.6
		物料准备	10.6
		宣传准备	10.6
灾中应对	洪涝	停工避险	4.31
	人员安全威胁	救灾物资保障	4.06
		医疗卫生保障	4.06
	通信中断	通信设施抢修	1.14
	供电中断	电力设施抢修	1.13
灾后恢复	疫情传播	医疗卫生保障	1.51
	农田毁损	农田恢复	1.13
	交通中断	道路清淤	1.21

由表 1 可知:对较少发生极端暴雨的县域来说,在灾前预警阶段,通过提前落实防汛责任人、提高通信设施的抗水能力、按灾情储备必要的应急物资、提升公众的防灾减灾与自救互救意识等方式,可避免后续出现的乡镇失联问题,减少不当避险造成的人员伤亡。在洪涝风险加剧的灾中应对阶段,自救力量需优先强化对重点企业的停工管理,组织高危区

域人员安全转移;在人员安全风险显著增加的场景下,需优先强化救灾物资与医疗保障体系建设,确保受灾群众在紧急状况下仍能获得基本生活物资与急救药品;面对通信中断情况,应迅速抢修关键通信设施,部署卫星电话、移动应急通信车等临时通信手段;针对电力中断风险,需尽快清理水淹、倒塌的电力设施,临时采取替代线路供电等方式,保证电力供应的连续性,并在灾后总结评估通信与供电中断的原因、抢修过程中遇到的问题以及恢复效果。在牲畜受淹、地下水污染、疫情传播风险加剧的灾后恢复阶段,应对垃圾堆放点、临时安置点等重点场所进行全面消杀,避免疫病传播;针对农田毁损情况,运用科学手段测量作物受灾面积与渍水深度,可为相关部门提供决策依据,此外,通过调整未来种植结构,推广抗涝性强的作物,降低经济损失;针对交通中断风险,需组织抢修队伍做好道路清淤工作,恢复县域主干道通行,而后优化县域排水系统,提高道路抗洪能力。

承灾体是灾害影响范围内遭受损失的对象,灾害事件只有作用于承灾体后造成了损失,完整的灾害链才最终形成^[12],因此,可聚焦灾中应对阶段,重点优化灾害事件触发与承灾体破坏并存情境下的应急管理方案组合。基于前述单一灾害事件触发强度或承灾体破坏程度增加对应韧性降低量、相关的应急管理方案实施强度增加对应韧性提升量比值的计算结果,发现针对强降雨触发人员安全威胁、洪涝触发人员安全威胁 2 条灾害链,现有应急管理方案存在显著优化空间。进一步设定灾害事件触发强度与承灾体破坏程度,同时提升 50% 的极端情境,提取灾害事件、承灾体破坏对应的应急管理方案各 1 项,

以图 2 中二模网络转换为应急管理方案一模网络后的接近中心度计算结果作为方案组合权重分配依据,使之共占 100% 的上调比例,以县域适灾韧性损失最小作为核心优化目标,识别最优方案组合。发现强降雨触发人员安全威胁、洪涝触发人员安全威胁的强度提升,均使县域适灾韧性降低至 -3243.43,其中,转移群众上调 50%、灾情摸排上调 50%,使得县域适灾韧性回升最为明显,均为 -1 269.15。面对强降雨、洪涝触发的人员安全威胁风险,直接避险逻辑为切断“人-灾”空间接触,将受威胁群众转移至安全地带,当人员已暴露于风险环境时,通过灾情摸排,识别被困人员位置、伤亡情况,确保救援资源精准投放,并决定是否扩大人员转移范围。此外,该阶段灾害事件之间同样存在触发耦合关系,针对强降雨触发洪涝这条灾害链的应急管理方案存在最大提升空间,其触发强度同时上调 50%,县域适灾韧性降至 -3 810.97,转移群众上调 50%、预防预警信息发布上调 50%,使得县域适灾韧性回升最为明显,为 -2 272.57,说明及时预警与疏散在极端灾害中更具有效性。

基于上述分析,灾害应对全过程韧性学习内容包括:灾前预警阶段的组织准备、通信准备、物料准备、宣传准备,灾中应对阶段的转移群众、通信保障机制完善、电力设施韧性提升,灾后恢复阶段的农作物种植结构调整、道路抗洪能力提升,如图 8 所示。将对应指标上调 50% 视作完成韧性学习,上述 3 个阶段的县域适灾韧性分别为 137.993、2 049.79、25 045.8,即在下一轮暴雨灾害应对过程中,累计可提前 53.5 h 达到原有县域适灾韧性水平。

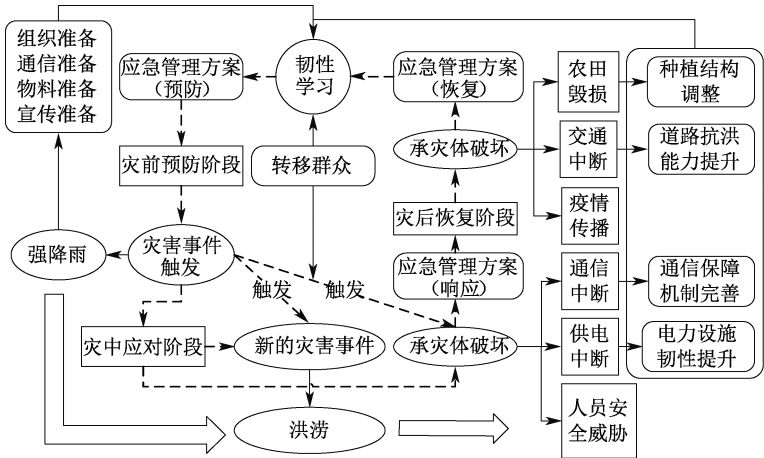


图 8 韧性学习内容分析

Fig. 8 Content analysis of resilience learning

4 结 论

1)暴雨灾害背景下,县域适灾韧性呈现先缓慢下降后平稳上升且增速逐渐加快的动态演化趋势。灾前预警阶段,灾害事件、承灾体分别呈现突发性、暴露性特征,应急管理方案发挥吸收作用;灾中应对阶段,灾害事件的耦合性与不确定性并存,承灾体以敏感性特征为主,应急管理方案展现适应特征;灾后恢复阶段,承灾体开始具备适应性特征,应急管理方案发挥调整作用。

2)灾前预警阶段的应急管理方案最具优化空间,灾中应对阶段次之,灾后恢复阶段的应急管理方案较有效。此外,在灾中应对阶段,需重点关注强降雨

雨触发人员安全威胁、洪涝触发人员安全威胁、强降雨触发洪涝 3 条灾害链对应应急管理方案组合的有效性。

3)全过程韧性学习的内容包括:提升组织准备、通信准备、物料准备、宣传准备、转移群众能力,完善通信保障机制,增强电力设施韧性,调整农作物种植结构、提升道路抗洪能力。

4)文中数据来源以官方新闻报道为主,且尚未对“灾害事件、承灾体”网络中的连接边赋以动态权重。未来,随着暴雨灾害复杂性不断加剧,可通过计算节点的加权中心性指标,进一步量化不同灾害事件对承灾体破坏的触发强度差异,同时结合多源数据,构建更加符合灾害应对实际的仿真模型。

参 考 文 献

[1] 丁元慧,周强,刘峰贵,等. 灾害韧性的研究演变及多维度展望[J]. 灾害学, 2024, 39(1): 109-117.
DING Yuanhui, ZHOU Qiang, LIU Fenggui, et al. Research evolution and multi-dimensional prospect of disaster resilience[J]. Journal of Catastrophology, 2024, 39(1): 109-117.

[2] SUN Yingkui, ZHAI Binqing, SAIERJIANG H, et al. Disaster adaptation evolution and resilience mechanisms of traditional rural settlement landscape in Xinjiang, China[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2022, 73: DOI: 10.1016/j.ijdr.2022.102869.

[3] 李华,荆子昊,吴立舟,等. 基于多准则决策方法的乡村应急能力影响因素研究[J]. 中国安全科学学报, 2025, 35(1): 202-208.
LI Hua, JING Zihao, WU Lizhou, et al. Study of factors influencing rural emergency response capacity based on multi-criteria decision-making method[J]. China Safety Science Journal, 2025, 35(1): 202-208.

[4] 李崔茜,王义保,刘志翔. 居民感知视角下城市公共安全韧性评估及提升路径研究:以南京市为例[J]. 中国安全科学学报, 2024, 34(9): 209-216.
LI Cuixi, WANG Yibao, LIU Zhixiang. Study on resilience assessment and improvement path of urban public safety from perspective of residents' perception: taking Nanjing as an example[J]. China Safety Science Journal, 2024, 34(9): 209-216.

[5] SHAN Siqing, ZHAO Feng. Social media-based urban disaster recovery and resilience analysis of the Henan deluge[J]. Natural Hazards, 2023, 118(1): 377-405.

[6] CUI Peng, LI Dezhi. A SNA-based methodology for measuring the community resilience from the perspective of social capitals: take Nanjing, China as an example[J]. Sustainable Cities and Society, 2020, 53: DOI: 10.1016/j.scs.2019.101880.

[7] 姜长云,姜惠宸,芦干文. 科学理解统筹新型工业化、新型城镇化和乡村全面振兴的深刻内涵[J]. 华中农业大学学报:社会科学版,2025(3): 1-10.
JIANG Changyun, JIANG Huichen, LU Qianwen. A scientific comprehension of the profound implications of coordinating our efforts in new industrialization, new urbanization, and all-around rural revitalization[J]. Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition, 2025(3): 1-10.

[8] 黄弘,范维澄. 构建“安全韧性城市”:概念、理论与实施路径[J]. 北京行政学院学报, 2024 (2): 1-9.
HUANG Hong, FAN Weicheng. Building "safe and resilient cities": concepts, theories, and implementation approaches[J]. Journal of Beijing Administration Institute, 2024(2): 1-9.

[9] 黄弘,李瑞奇,范维澄,等. 安全韧性城市特征分析及对雄安新区安全发展的启示[J]. 中国安全生产科学技术, 2018,14(7): 5-11.
HUANG Hong, LI Ruiqi, FAN Weicheng, et al. Analysis on characteristics of safety resilient city and enlightenments for safe development of Xiongan new area[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2018, 14(7): 5-11.

[10] 范维澄,刘奕,翁文国. 公共安全科技的“三角形”框架与“4+1”方法学[J]. 科技导报, 2009, 27(6): 3.
FAN Weicheng, LIU Yi, WENG Wenguo. Triangular framework and "4+1" methodology for public security science and technology[J]. Science & Technology Review, 2009, 27(6): 3.

[11] 尚志海. 基于人地关系的自然灾害风险形成机制分析[J]. 灾害学, 2018, 33(2): 5-9.
SHANG Zhihai. Natural disaster risk formation mechanism based on man-land relationship [J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(2): 5-9.

[12] 周姝天,翟国方,施益军,等. 城市自然灾害风险评估研究综述[J]. 灾害学, 2020, 35(4): 180-186.
ZHOU Shutian, ZHAI Guofang, SHI Yijun, et al. A literature review of urban natural disaster risk assessment[J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(4): 180-186.

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。