

中文引用格式:张露丹,王德运,朱雯楷,等. 极端环境下地震灾害“风险传导-应急响应”双网络协同研究[J]. 中国安全科学学报, 2025, 35(11): 198-206.

英文引用格式:ZHANG Ludan, WANG Deyun, ZHU Wenkai, et al. Synergistic study on dual-network for risk propagation and emergency response in earthquake disasters under extreme environments[J]. China Safety Science Journal, 2025, 35(11): 198-206.

极端环境下地震灾害“风险传导-应急响应” 双网络协同研究*

张露丹¹, 王德运^{**1,2}副教授, 朱雯楷¹, 孙莹¹, 郭海湘^{1,2}教授

(1 中国地质大学(武汉)经济管理学院,湖北 武汉 430074;

2 中国地质大学(武汉)自然灾害风险防控与应急管理实验室,湖北 武汉 430074)

中图分类号:X915.5

文献标志码:A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2025.11.0323

基金项目:国家自然科学基金资助(72274186);国家自然科学基金面上项目资助(42571359);湖北省自然科学基金创新群体项目资助(2024AFA015)。

【摘要】 为优化高原灾害应急管理体系,针对高原极端环境下应急治理效能提升的科学需求,以西藏日喀则 Ms6.8 地震为例,构建“风险传导-应急响应”双网络协同分析框架。基于复杂网络理论,系统揭示地震灾害风险的级联传导规律及多主体协调治理模式。结果表明:在高原极端环境下,灾害级联网络呈现“核心-边缘”结构,关键节点通过基础设施脆弱性与文化敏感性双重机制触发多层连锁反应;识别出一系列具有高原地域特征的灾害链,如“低温生存危机→牲畜集中死亡→无害化处理压力”等链式路径;藏语交流困难、宗教场所功能受损等文化敏感型风险节点是灾害治理的重要变量,其产生的影响也进一步推动传统应急管理体系进行文化适应性重构;协调治理网络具有短路径、高密度的去中心化特征,体现跨主体协作的高效性,然而层级冗余问题仍然存在。

【关键词】 极端环境; 地震灾害; 风险传导; 应急响应; 协同治理; 级联风险

Synergistic study on dual-network for risk propagation and emergency response in earthquake disasters under extreme environments

ZHANG Ludan¹, WANG Deyun^{1,2}, ZHU Wenkai¹, SUN Ying¹, GUO Haixiang^{1,2}

(1 School of Economics and Management, China University of Geosciences (Wuhan),

Wuhan Hubei 430074, China; 2 Laboratory of Natural Disaster Risk Prevention and

Emergency Management, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: To optimize the emergency management system for plateau disasters and to address the scientific demand for improving governance effectiveness under extreme plateau environments, this study developed a dual-network framework—"risk propagation-emergency response"—using the Ms6.8 Shigatse earthquake in Tibet as a case study. Based on complex network theory, it uncovered the cascading dynamics of seismic risks and multi-actor coordination governance patterns. The analysis demonstrates that the cascading disaster network exhibits a core-periphery structure, where critical nodes trigger multi-level

* 文章编号:1003-3033(2025)11-0198-09; 收稿日期:2025-06-20; 修稿日期:2025-09-11

** 通信作者:王德运(1981—),男,山东菏泽人,博士,副教授,博士生导师,主要从事灾害风险评估与韧性治理方面的研究。E-mail: wangdy@cug.edu.cn。

chain reactions via infrastructure fragility and cultural sensitivity. Plateau-specific disaster chains are identified, such as "cold survival crisis → mass livestock deaths → pressure of harmless treatment", alongside culturally embedded risks like "language barriers" and "religious site damage", and their impacts further promote the cultural adaptive reconstruction of the traditional emergency management system. The coordination network shows a decentralized, short-path, high-density topology, indicating efficient collaboration despite persistent hierarchical redundancy.

Keywords: extreme environments; earthquake disaster; risk propagation; emergency response; collaborative governance; cascading risk

0 引言

在高质量发展战略不断推进的同时,我国面临的风险形势日趋复杂,突发事件的极端性、不确定性和非线性特征日益凸显,形成了复合风险体系。近年来,地震灾害频发,严重危害了人民的生命健康和财产安全,其引发的次生地质灾害、基础设施瘫痪及社会系统失序等问题,构成了复杂的级联传导网络。如 2022 年四川泸定地震造成 93 人遇难^[1],2023 年甘肃积石山县地震致 151 人遇难等事件^[2],充分暴露出当前灾害防控体系面临的治理瓶颈。受高寒缺氧、交通不畅等因素的制约,高原地震灾害演化路径更为复杂,这对灾害响应过程中的多主体协调效率与信息传递机制提出了更高要求。

在此背景下,厘清风险演化路径是提升应急治理效能的重要突破口。通过梳理相关文献发现,现有研究主要集中在级联风险模型的构建与定量评估方法的应用。一方面,随着级联风险概念的深入,现有研究开始基于本体构建^[3]、复杂网络^[4]和多层次耦合系统^[5]等工具刻画灾害间演化关系。部分研究构建了灾害级联机制的理论框架,揭示了自然灾害如何通过基础设施、经济运行等多重途径引发次生灾害。另一方面,定量评估方法在灾害级联风险研究中得到了广泛应用,主要包括复杂网络分析^[6]、系统仿真^[7]等手段,这些方法在识别关键风险节点、评估系统脆弱性等方面取得了重要进展。然而,仅认知灾害级联传导风险仍难以支撑高效的应急治理实践。灾害响应往往涉及政府、救援组织、社会团体等多个主体的协同互动,直接影响灾害治理成效。现有研究多集中于应急管理体系的框架构建、网络结构特征分析以及多主体协同机制的探索,主要针对工业事故或特定自然灾害,而极端环境对救援效率的制约,以及宗教和民族文化因素对协同治理效率的深层影响,关注仍然不足。

鉴于此,笔者拟突破传统平原地区应急管理框架,结合极端环境和宗教民族文化适应性,构建“风险传导-应急响应”双网络协同分析框架,基于复杂网络理论,识别灾害演化的关键节点与路径,分析各主体的协作模式与信息互动效率,以期为提升高原地区灾害韧性提供科学依据。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区域

以 2025 年 1 月 7 日西藏定日 Ms6.8 地震为案例,探讨极端环境与宗教文化嵌套背景下的应急管理特征。震中位于喜马拉雅北坡海拔 4 300 m 的高寒缺氧区,低温环境大幅压缩黄金救援期;震区分布众多佛教寺院和以藏语为主要交流语言的村落。宗教场所的文化功能和救援沟通障碍,共同构成了特殊的应急指挥情境。该案例倒逼传统应急体系进行文化适应性重构:如牛粪、糌粑等差异化物资供给,寺院堪布参与心理干预与秩序维稳等。此类独特的应急管理需求,可为完善高原地区文化敏感型应急管理体系提供重要价值。

1.2 数据来源

数据主要来源于政务新媒体与新闻平台,具体包括 2 部分:①从日喀则发布、西藏发布官方政务微博采集震后 398 条通报;②以西藏地震、日喀则地震为主题,从中国新闻网、环球网、央广网等平台爬取 97 篇新闻报道。上述资料覆盖了震后黄金 72 h 至灾后安置阶段启动的关键期。在数据筛选方面,采用关键词筛选法排除非应急响应相关信息。随后,借助 NVivo 对文本中出现的事件、组织、行为等要素进行结构化编码,并去除无效信息记录。

此外,在协同治理网络构建中,充分参考《西藏自治区地震应急预案》《国家地震应急预案》《国家自然灾害救助应急预案》等文件,以进一步揭示极端环境下应急响应体系的运行特征。

2 双网络协同研究方法

2.1 整体网络分析

选取网络密度、平均路径长度、网络等级等多个指标系统评估网络的结构特征,具体指标表征参见文献[8]。

2.2 个体网络分析

个体网络的特征分析不仅关注节点的中心性及其对整体网络的贡献,还强调关键边在信息传递和风险演化中的作用,具体指标表征参见文献[9]。

2.3 K-plex 分析

使用 K-plex 方法识别风险簇,揭示节点间存在的弱连接或间接关联结构。结合网络规模与应用情景,将 K 值设置为 2,最小子群规模设为 7。该参数组合兼顾了风险簇的凝聚性与代表性^[10]。

2.4 块模型分析

块模型用于识别网络结构特征及主体互动模式。基于相似迭代收敛法^[11],综合协作强度和功能属性,将网络划分为 4 个板块。划分标准依据社会网络分析中的“二分角色”逻辑,依照关键职能维度

(如决策-执行)构建 2×2 矩阵。

2.5 结构洞分析

为分析协调治理网络中各主体结构优势及信息控制力,引入结构洞分析以识别跨群体的关键节点,衡量其在应急协同中的地位。相关指标表征详见文献[12]。

3 地震风险级联传导网络特征

3.1 灾害风险级联传导网络构建

3.1.1 灾害风险节点识别及网络构建

风险传导网络节点筛选标准为:具有明确时点、描述清晰且具备因果关系对。基于文本挖掘,共识别出 38 个灾害风险节点,并依据级联传导特征,按照原生事件、次级衍生灾害、基础设施受损、直接受灾影响、社会系统影响进行类别编码(表 1)。在极端环境与文化因素的共同影响下,研究识别出若干具有地域代表性的节点,如救援人员高原病爆发、藏语交流困难、牲畜集中死亡、宗教场所功能受损等。通过结构化编码,梳理节点的“先—后”触发关系,最终形成 167 条边关系。

表 1 地震灾害风险节点清单

Table 1 List of seismic hazard risk nodes

编码	节点事件	编码	节点事件	编码	节点事件	编码	节点事件
A	主震 6.8 级	C ₆	交通系统中断	D ₈	社会及市场秩序失调	E ₉	无害化处理压力
B ₁	余震频发	C ₇	电力系统中断	D ₉	教育活动影响	E ₁₀	公共建筑物倒塌
B ₂	次生地质灾害	C ₈	供水系统中断	E ₁	牲畜集中死亡	E ₁₁	生态环境恶化
B ₃	堰塞湖威胁	D ₁	民众恐慌	E ₂	人员伤亡	E ₁₂	耕地损毁
B ₄	次生环境问题	D ₂	社会舆论压力	E ₃	财政压力	E ₁₃	个人财产受损
C ₁	医疗系统超载	D ₃	宗教场所功能受损	E ₄	生产中断	E ₁₄	大面积停水、停电
C ₂	藏语交流困难	D ₄	文物受损	E ₅	人员安置困难	E ₁₅	珠峰景区紧急关闭
C ₃	基础医疗设施损毁	D ₅	低温生存危机	E ₆	物资运输受阻	E ₁₆	房屋损毁
C ₄	道路塌方、受损	D ₆	御寒资源不足	E ₇	铁路线路停运		
C ₅	通信网络中断	D ₇	救援队高原病爆发	E ₈	外来旅客滞留		

结合灾害风险节点与边关系,进一步构建日喀则 Ms6.8 地震风险的级联传导网络,如图 1 所示。该网络清晰呈现了风险演化的方向和路径,系统揭示了灾害链的多层传导特征。

3.1.2 典型灾害链梳理

基于上述网络结构,梳理具有高原地理特征的典型灾害链路径,见表 2,灾害影响呈现高度关联、链式触发的传播特征。

在路径梳理的基础上,进一步构建“自然—文化”协同作用下的灾害放大机制,如图 2 所示,综合考虑高原地质背景与藏区社会文化特征,揭示灾害

风险传导的放大效应。

3.2 灾害风险级联传导网络特征分析

3.2.1 整体网络特征分析

日喀则 Ms6.8 地震风险级联传导网络特征显示,网络密度为 0.116 8,节点连接稀疏,但结构清晰,风险节点具有潜在的高破坏性;平均路径长度为 2.058,表明风险扩散路径较短;网络等级达 0.978 5,呈现高度层级性;网络效率为 0.813 8,体现出风险信息在极端环境下的快速传播与放大;网络凝聚力为 0.246,反映出灾害影响围绕核心事

表 2 部分典型灾害链

Table 2 Some typical disaster chains

序号	灾害链	序号	灾害链
1	主震 6.8 级 → 次生地质灾害 → 道路塌方、受损 → 物资运输受阻	6	藏语交流困难 → 人员安置困难 → 民众恐慌 → 社会舆论压力
2	主震 6.8 级 → 民众恐慌 → 社会舆论压力 → 社会及市场秩序失调	7	御寒资源不足 → 低温生存危机 → 人员伤亡
3	主震 6.8 级 → 宗教场所功能受损 → 文物受损 → 社会舆论压力	8	次生地质灾害 → 珠峰景区紧急关闭 → 外来旅客滞留 → 人员安置困难
4	主震 6.8 级 → 牲畜集中死亡 → 个人财产受损 → 财政压力	9	基础医疗设施损毁 → 医疗系统超载 → 人员伤亡 → 民众恐慌
5	电力系统中断 → 大面积停电 → 御寒资源不足 → 人员伤亡	10	余震频发 → 次生地质灾害 → 堰塞湖威胁 → 生态环境恶化 → 耕地损毁

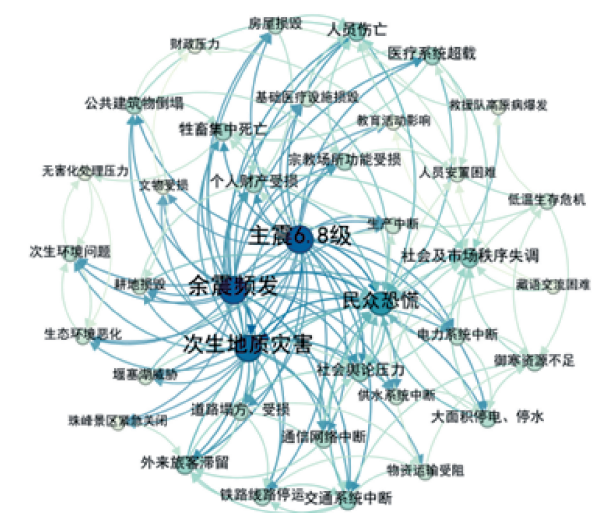


图 1 日喀则 Ms6.8 地震灾害风险的级联传导网络

Fig.1 Cascade transmission network diagram of disaster risk for Ms6.8 earthquake in Shigatse

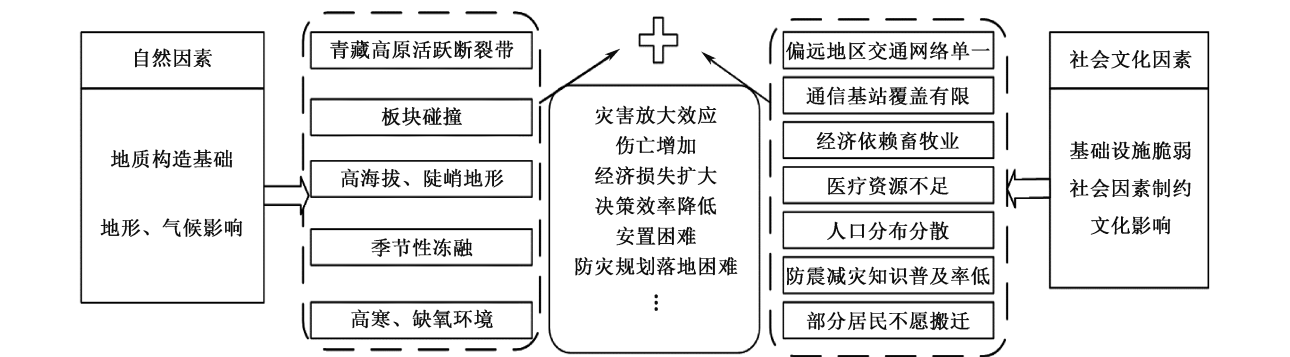


图 2 “自然-文化”协同作用下的灾害放大机制

Fig.2 Mechanisms of disaster amplification in context of synergies between natural and cultural factors

整体而言,灾害链的风险级联传导呈现出从源头节点驱动,经由级联传导型节点扩散,最终在终端积累型节点形成显著影响的层级模式。这一分类框

件呈非均衡分布。

3.2.2 个体网络特征分析

进一步分析灾害风险级联传导网络的个体特征,识别核心节点和关键边在灾害演化中的影响。风险节点的个体网络特征如图 3 所示, A 与 B_1 具有最高的度中心度,表明其作为初始驱动节点,直接触发次生灾害并推动链式扩展。 B_2 出度较高,是风险传播的重要中介,易引发堰塞湖威胁、道路损毁等基础设施危机。 C_1 和 C_6 同样具有较高的出度,影响应急资源的承载力和调度效率。而 E_2 、 D_8 和 E_1 为高入度节点,受到多个前序风险事件的叠加影响,反映灾害的最终冲击效应。 D_5 、 D_6 跨类连接多个节点,对资源调配和响应效率造成干扰。

3.2.3 风险类型的划分

依据节点的出、入度特征,结合风险传导网络的演化路径,将风险节点进一步划分为源头驱动型、级联传导型、终端积累型和边缘渗透型,见表 3。

架揭示了灾害传播的结构特征,有助于深入理解各类型风险在灾害链中的作用机制。

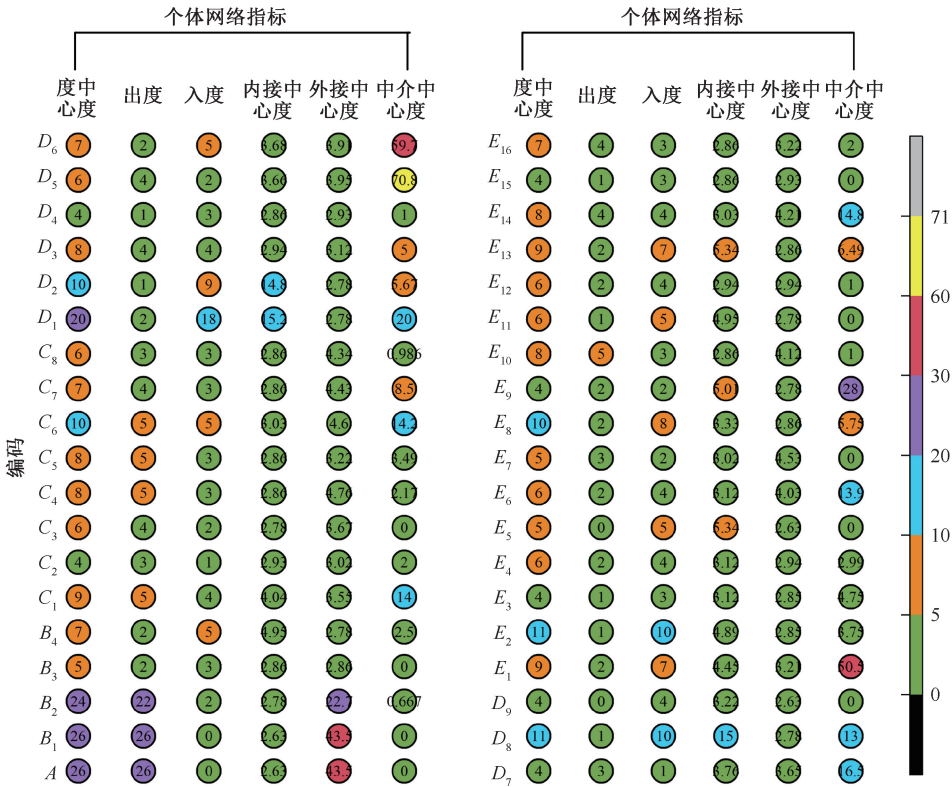


图 3 风险节点的个体网络特征

Fig. 3 Individual network characteristics of risk nodes

表 3 基于节点特征的风险类别划分

Table 3 Classification of risk categories based on node characteristics

风险类别	特征	拓扑角色	风险节点
源头驱动型	出度高于均值,入度小于均值	灾害链的触发点,引发多级次生灾害	$A、B_1、B_2、C_4、C_5、E_{10}、C_7、E_{16}、C_3、D_5$
级联传导型	出度、入度均高于均值	级联传播的中枢节点,连接多个子系统	$C_1、C_6、D_3、E_{14}$
终端积累型	出度小于均值,入度大于均值	灾害影响的汇聚点,反映灾害损失	$D_1、D_8、E_2、E_8、D_2、E_1、E_{13}、D_6、E_5、E_{11}、E_4、B_4、E_6、E_{12}$
边缘渗透型	出度、入度均小于均值	相对独立的节点,对级联传播影响有限	$C_8、B_3、C_2、D_4、D_7、D_9、E_3、E_7、E_{15}、E_9$

3.2.4 灾害风险的凝聚子群分析

基于 K-plex 分析识别日喀则 Ms6.8 地震灾害风险级联网络中的风险簇。通过敏感性测试,设定 K 值为 2、凝聚子群最小规模为 7。风险节点的凝聚子群如图 4 所示,由图 4 可知:此次地震风险级联网

络围绕核心节点形成多个紧密联系的子群,群内节点在灾害传播过程中交互频繁,揭示了灾害影响往往依赖局部集聚的高风险路径。

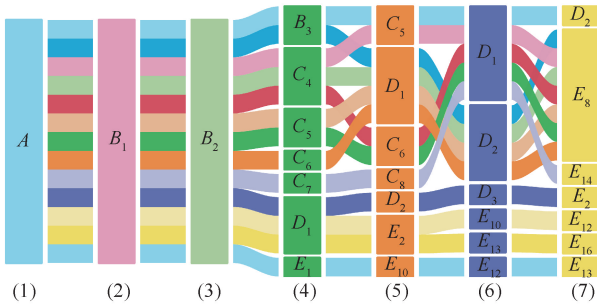


图 4 风险节点的凝聚子群

Fig. 4 Cohesive subgroups of risky nodes

3.3 灾害风险级联传导网络的关键边

边介数中心性分析结果见表 4,本次地震的灾害级联效呈现出极端环境与民族文化双重驱动播的复合特征。高介数关键边表明:该网络在资源调配与社会秩序方面表现出有别于平原地区的风险传导路径,凸显了高原灾害治理的挑战。

1) 高寒极端环境下的救援困境。地震发生于海拔 4 000 m 以上的高寒缺氧区,极端环境限制了生存条件与救援的持续作业能力。表 4 中排名前 3

的关键边“次生地质灾害 → 物资运输受阻”“牲畜集中死亡 → 无害化处理压力”“救援队高原病爆发 → 民众恐慌”直观呈现了高原救援的挑战性。

2) 文化适应性下的治理挑战。在西藏地区独特的文化背景下,地震灾害不仅是物理空间的破坏,

更深刻影响社会心理和宗教秩序。“藏语交流困难 → 社会及市场秩序失调”和“宗教场所功能受损 → 民众心理恐慌”等关键边表明:灾后响应需兼顾文化沟通、宗教需求和心理安抚等深层问题,文化适应性成为本地治理体系的重要介入。

表 4 排名前 20 的关键边识别

Table 4 Top 20 critical edge identification

序号	关键边	边介数 中心性	序号	关键边	边介数 中心性
1	次生地质灾害 → 物资运输受阻	0.032 1	11	御寒资源不足 → 社会及市场秩序失调	0.020 3
2	牲畜集中死亡 → 无害化处理压力	0.029 3	12	藏语交流困难 → 社会及市场秩序失调	0.020 2
3	救援队高原病爆发 → 民众恐慌	0.026 3	13	通信网络中断 → 藏语交流困难	0.020 0
4	主震 6.8 级 → 教育活动影响	0.025 3	14	医疗系统超载 → 人员安置困难	0.019 5
5	余震频发 → 教育活动影响	0.025 3	15	低温生存危机 → 牲畜集中死亡	0.019 2
6	社会及市场秩序失调 → 财政压力	0.022 4	16	主震 6.8 级 → 文物受损	0.018 9
7	主震 6.8 级 → 生态环境恶化	0.020 8	17	余震频发 → 文物受损	0.018 9
8	余震频发 → 生态环境恶化	0.020 8	18	次生地质灾害 → 生态环境恶化	0.018 6
9	主震 6.8 级 → 次生环境问题	0.020 8	19	次生地质灾害 → 次生环境问题	0.018 6
10	余震频发 → 次生环境问题	0.020 8	20	低温生存危机 → 人员伤亡	0.018 2

4 多主体协调治理网络特征分析

灾害级联传导网络揭示了风险节点间的关联及演化路径,但灾害控制更依赖应急响应系统中多主体的高效协同。尤其在极端环境下,资源调度与协作效率对损失控制至关重要。基于此,构建应急协调网络,系统探讨应急主体间的协同机制。

4.1 协调治理网络构建

基于文本数据挖掘,分析应急管理预案、行动通报、救援报告等多源数据,系统识别 40 个核心应急响应主体及 639 条协作关系,构建多主体协调治理网络。借助有向图论构建网络,边权 $G(e) \in \{0,1\}$ 表征主体间是否存在特定类型的应急交互,其方向由“资源供给-需求”关系确定,即从物资或信息输出方指向资源接收方或任务执行方。

4.2 协调治理网络特征

日喀则 Ms6.8 地震应急协调网络密度为 0.409 6,表明主体间存在适中的协作关系;平均路径长度为 1.599,反映信息及资源传递较为高效,跨部门协作路径较短;网络效率为 0.487 2,表明应急协调网络具有一定的信息传递效率,有助于减少冗余环节,提升决策效率;网络凝聚力达 0.568,显示出良好的网络稳定性,能够保障救灾行动的连续性与协调性。该网络总体呈现去中心化、扁平化的协同治理特征,契合灾害应急管理中对跨层级、高效率

联动的实际需求,弱化了对传统层级指令体系的依赖。

4.3 块模型分析

为分析协调治理网络中的信息传递、资源调配与跨层级协同机制,引入块模型分析,系统研究日喀则 Ms6.8 地震多主体协同治理网络。

4.3.1 板块划分及关联板块分析

基于块模型分析,将协调治理网络划分为 4 个板块(图 5),各板块代表一组内部协作密切的组织群体,板块间联系体现了跨部门协同机制。

板块 1 主要由中央应急管理部门组成,承担决策、监测和资源统筹职能,内部联系数 77,联系比例 36.84%,显示出该板块内较强的信息共享和统筹能力。板块 2 由财政、经济调控及社会组织构成,主要负责资源保障、资金拨付与经济恢复,虽内部连接比例略低(32.99%),但对外协同频繁,跨领域调度特征突出。板块 3 主要由专业救援机构构成,在灾害现场承担应急响应、基础设施恢复及生命救援等任务,内部联系数 89,连接比例最高(42.58%),反映出救援体系在灾害发生后能够迅速形成稳定、高效的行动网络。板块 4 以地方政府及基层组织为主,负责灾害信息上报、基层动员、人员安置等事务,内部连接比例为 33.14%,但跨板块互动活跃,是上下贯通、资源整合的关键枢纽。

4.3.2 块间协作特征

从块间协作关系来看(表 5),板块 1 与板块 3

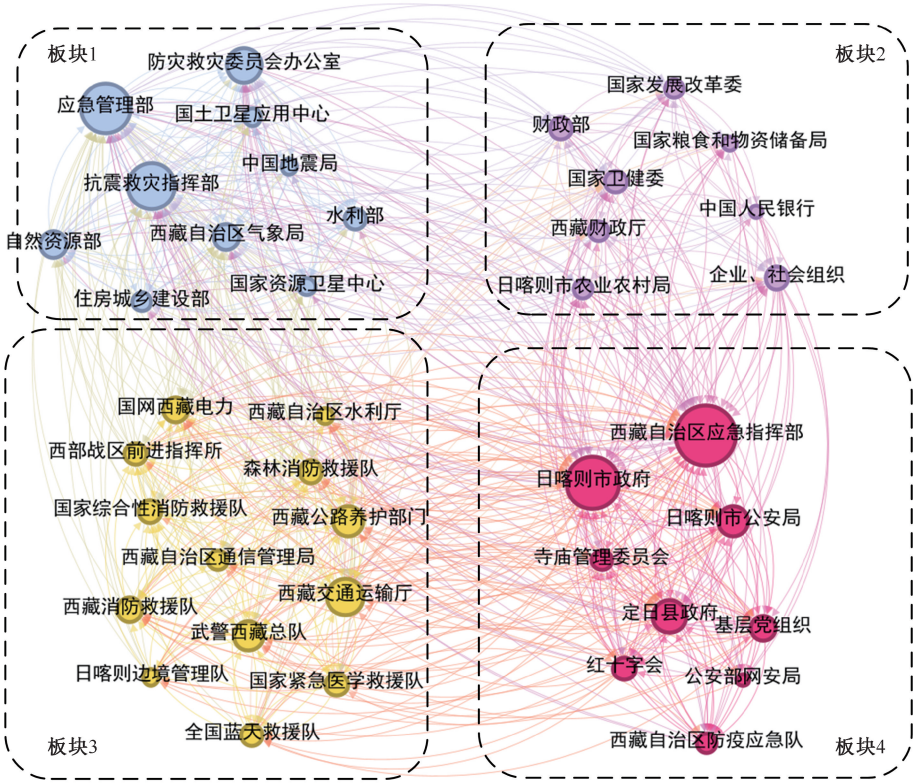


图 5 多主体协调治理网络及板块划分

Fig. 5 Multi-body coordinated governance network and board division

联系紧密,应急指挥与救援力量之间的协同度较高,有助于提升响应效率。板块 2 主要通过板块 4 进行资源调度,与其他板块的直接交互较少,职能更偏宏观统筹。板块 4 作为资源接收与执行层,连接各板块,凸显地方治理在灾害响应中的承接功能。此外,部分主体角色在协调网络中呈现动态演变。如寺院

堪布在安抚民众心理、协助秩序维稳方面发挥实质作用,角色从传统宗教管理向灾害治理辅助者拓展,体现出文化主体在非常规治理网络中的潜在协同价值。同时,地方与基层主体在资源接收中亦反映出文化适应性需求,如灾区居民对糌粑等本地物资的依赖,导致早期物资保障存在适配不足。

表 5 协调治理网络关联板块溢出效应

Table 5 Coordinated governance network linked board spillover effects

板块	接收关系数				内部 关系数	外溢关 系数	外接关 系数	期望内部 关系比例/%	实际内部 关系比例/%
	板块 1	板块 2	板块 3	板块 4					
板块 1	77	21	34	26	77	132	109	23.08	36.84
板块 2	27	32	6	32	32	65	63	17.95	32.99
板块 3	49	13	89	58	89	120	95	30.77	42.58
板块 4	33	29	55	58	58	117	116	20.51	33.14

4.4 结构洞分析

基于结构洞理论分析各主体的结构优势与信息控制能力分析结果见表 6,由表 6 可知:抗震救灾指挥部、应急管理部及西藏自治区应急指挥部等主体有效规模较大,在跨部门协作中占据主导,能够高效实现跨组织协调。同时,这些主体的限制度较低,具备较高的组织自主性。相比之下,中国地震局、住房城乡建设部等机构的限制度较高,协作网络较为封

闭,主要依赖垂直指挥体系。网络层级性较低的机构,如西藏自治区应急指挥部更具灵活应对能力,而层级性较高的主体更依赖指挥链条,可能面临信息反馈滞后的风险。

4.5 对策建议

基于研究内容,提出以下建议以优化高原地区的灾害应对机制。

首先,推动应急管理体系的文化适应性重构。

表 6 结构洞分析结果

Table 6 Structural hole analysis results

序号	主体	有效规模	效率	限制度	层级性	序号	主体	有效规模	效率	限制度	层级性
1	抗震救灾指挥部	23.052	0.607	0.107	0.052	21	国网西藏电力	8.984	0.408	0.136	0.056
2	应急管理部	22.347	0.621	0.105	0.044	22	全国蓝天救援队	5.463	0.341	0.158	0.03
3	国家综合性消防救援队	6.983	0.368	0.153	0.044	23	寺庙管理委员会	6.308	0.371	0.156	0.047
4	中国地震局	3.775	0.29	0.184	0.062	24	西部战区前进指挥所	9.018	0.429	0.142	0.053
5	防灾减灾委员会办公室	16.058	0.554	0.123	0.069	25	武警西藏总队	9.946	0.432	0.137	0.045
6	国家粮食和物资储备局	7.222	0.425	0.141	0.04	26	西藏财政厅	7.16	0.448	0.152	0.04
7	国家发展改革委	8.021	0.446	0.148	0.064	27	中国人民银行	5.313	0.409	0.177	0.046
8	财政部	8.268	0.459	0.148	0.045	28	西藏公路养护部门	13.026	0.501	0.123	0.051
9	自然资源部	8.5	0.447	0.147	0.04	29	日喀则市公安局	12.553	0.502	0.129	0.053
10	西藏自治区气象局	9.53	0.433	0.137	0.052	30	红十字会	7.172	0.398	0.142	0.04
11	住房城乡建设部	5.625	0.352	0.165	0.059	31	日喀则市农业农村局	6.833	0.427	0.149	0.046
12	国家卫健委	8.089	0.426	0.143	0.059	32	日喀则边境管理队	6.048	0.403	0.153	0.062
13	国家紧急医学救援队	7	0.368	0.151	0.049	33	西藏自治区防疫应急队	6.44	0.429	0.149	0.049
14	西藏消防救援队	7.097	0.355	0.152	0.042	34	企业、社会组织	10.19	0.485	0.138	0.051
15	森林消防救援队	7.552	0.378	0.147	0.054	35	公安部网安局	4.656	0.388	0.17	0.061
16	西藏自治区应急指挥部	24.34	0.624	0.101	0.032	36	日喀则市政府	22.326	0.603	0.106	0.042
17	水利部	6.481	0.381	0.163	0.049	37	定日县政府	15.202	0.563	0.119	0.059
18	西藏自治区水利厅	6.119	0.408	0.155	0.061	38	基层党组织	9.547	0.455	0.137	0.055
19	西藏自治区通信管理局	8.365	0.418	0.139	0.068	39	国土卫星应用中心	6.455	0.403	0.158	0.076
20	西藏交通运输厅	16.348	0.527	0.118	0.056	40	国家资源卫星中心	6.455	0.403	0.158	0.076

建议震前制定民族语言应急指引,组建本地语言志愿服务队;支持寺院僧侣参与灾后心理疏导与秩序维稳,并合理将宗教场所纳入灾后心理干预空间;同时,构建本地化物资保障机制,优先储备糌粑、酥油等必需品,以提高调配效率与群众接受度。

其次,应构建面向多元文化的协同治理机制。将民族文化系统融入灾前教育与应急演练,推动管理干部接受文化背景培训;通过藏语广

播、寺庙宣传、图解手册等本地化方式开展防灾减灾科普,增强基层群众的灾害认知与自救互救能力。

最后,为破解多层次协调网络中存在的冗余链条问题,明确地方政府的快速处置权限,加强应急响应“扁平化”建设;健全部门间横向联动机制,推动社区、村委、寺院等参与协同演练,增强其作为执行者的响应自主性。

5 结 论

1) 灾害风险级联传导网络呈现“核心-边缘”结构,少数关键节点主导多层级链式扩散。传播路径短、速度快、灾害事件间的联动效应明显,易引发次生灾害链。

2) 高寒环境与宗教文化共同驱动灾害风险的级联传导。低温生存危机 → 牲畜集中死亡 → 无害化处理压力反映自然条件对救援能力的考验;藏语交流困难、宗教场所功能受损等特殊节点凸显灾害治理中文化适应能力的结构性短板。

3) 多主体协调治理网络呈现去中心化特征,整体密度适中,平均路径较短,主体间协作关系紧密,信息流通顺畅,能够较好支撑灾害突发态势下的快

速联动。

4) 块模型识别出协调治理网络的4个主体板块:中央决策、财政与社会组织、专业救援、地方执行。各板块协同程度不一,存在功能交叉。核心主体在跨组织协作中作用突出,但高层级性主体存在信息滞后风险,制约其响应效率。

5) 尽管文中系统揭示了高原地震灾害的级联传导机制与多主体协同特征,但仍存在以下局限:①受限于网络规模,未对响应主体行为进行阶段性建模;②灾害链构建未融入物理因素进行复合建模;③受限于历史灾害记录,尚未实现对比分析。未来研究可进一步融合多源异构数据与模拟推演方法,以提升模型的机制解释力与普适性。

参 考 文 献

- [1] 四川省人民政府. 人民至上 生命至上—四川省抗击“9·5”泸定地震七日记[EB/OL]. (2022-09-12). <https://www.sc.gov.cn/10462/10464/10797/2022/9/12/5973fd88141145ea9f49477bb4f92c9d.shtml>.
- [2] 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.
- [3] 许慧, 蒋玫, 薛红, 等. 基于知识图谱的建筑火灾事故智能分析[J]. 中国安全科学学报, 2024, 34(12): 94-99. XU Hui, JIANG Mei, XUE Hong, et al. Intelligent analysis of building fire accidents based on knowledge graph[J]. China Safety Science Journal, 2024, 34(12): 94-99.
- [4] 刘洪良, 罗年学, 赵前胜. 基于灾害复杂网络的深圳台风灾害链风险分析[J]. 灾害学, 2023, 38(4): 228-234. LIU Hongliang, LUO Nianxue, ZHAO Qiansheng. Risk analysis of typhoon disaster chain based on complex network in Shenzhen[J]. Journal of Catastrophology, 2023, 38(4): 228-234.
- [5] 周子滢, 杨赛翥, 刘晓燕, 等. 基于 C-Vine Copula 函数的台风灾害链“风-雨-潮”联合概率分布研究[J]. 热带地理, 2024, 44(6): 1 036-1 046. ZHOU Ziyang, YANG Saini, LIU Xiaoyan, et al. Joint probability distribution of typhoon disaster chain "strong wind-rainstorm-storm surge" based on C-Vine Copula function[J]. Tropical Geography, 2024, 44(6): 1 036-1 046.
- [6] 高玉琴, 徐诺, 汪键, 等. 基于复杂网络的洪涝灾害链风险评估[J]. 水资源保护, 2025, 41(2): 115-122. GAO Yuqin, XU Nuo, WANG Jian, et al. Risk assessment of flood disaster chain based on complex network[J]. Water Resources Protection, 2025, 41(2): 115-122.
- [7] 张权, 莫祯祥, 杨璐端. 复杂金融网络级联失效模型仿真及可靠性分析[J]. 运筹与管理, 2024, 33(4): 112-117. ZHANG Quan, MO Zhenxiang, YANG Lurui. Simulation and reliability analysis of cascading failure model for complex financial networks[J]. Operations Research and Management Science, 2024, 33(4): 112-117.
- [8] 谢聪, 王强. 中国新能源产业技术转移及其网络复杂性的时空演化: 基于专利转移数据[J]. 地理科学, 2024, 44(12): 2 093-2 102. XIE Cong, WANG Qiang. Spatiotemporal evolution of technology transfer network based on the date of patent transfer in China's new energy industry[J]. Scientia Geographica Sinica, 2024, 44(12): 2 093-2 102.
- [9] 郝智娟, 文琦, 施琳娜, 等. 黄河流域城市群社会经济与生态环境耦合协调空间网络分析[J]. 经济地理, 2023, 43(12): 181-191. HAO Zhijuan, WEN Qi, SHI Linna, et al. Spatial network analysis of coupling coordination between social economy and eco-environment in Yellow river basin urban agglomerations[J]. Economic Geography, 2023, 43(12): 181-191.
- [10] 胡漠, 马捷, 张云开, 等. 我国智慧政府信息协同网络结构识别与分析[J]. 情报学报, 2020, 39(1): 47-56. HU Mo, MA Jie, ZHANG Yunkai, et al. Awareness and analysis of the structure of the information synergy network in China's smart government[J]. Journal of the China Society for Scientific and Technical Information, 2020, 39(1): 47-56.
- [11] 白鹏飞, 谭小虎, 侯蕊芳. 社会网络视角下地质灾害应急处置合作关系[J]. 中国安全科学学报, 2024, 34(4): 207-216. BAI Pengfei, TAN Xiaohu, HOU Ruifang. Geohazard emergency response partnerships from a social network perspective[J]. China Safety Science Journal, 2024, 34(4): 207-216.
- [12] WHITE H C, BOORMAN S A, BREIGER R L. Social structure from multiple networks. I. blockmodels of roles and positions[J]. American Journal of Sociology, 1976, 81(4): 730-780.



作者简介: 张露丹 (1999—), 女, 河南南阳人, 博士研究生, 主要研究方向为灾害风险评估、灾害演化规律。E-mail: zhangludancug@163.com。