

寇龙斌, 赵晗萍, 薛莹. 基于物资调配网络韧性的区域应急物资保障能力评估[J]. 灾害学, 2023, 38(4): 204–210. [KOU Longbin, ZHAO Hanping, XUE Ying. Assessment of Regional Emergency Material Support Capability Based on the Resilience of Material Allocation Network[J]. Journal of Catastrophology, 2023, 38(4): 204–210. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2023.04.032.]

基于物资调配网络韧性的区域应急物资保障能力评估^{*}

寇龙斌^{1,2,3}, 赵晗萍^{1,2,3}, 薛莹^{1,2,3}

- (1. 北京师范大学 地理科学学部 环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875;
2. 北京师范大学 地理科学学部 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875;
3. 北京师范大学 地理科学学部, 北京 100875)

摘要: 灾害事件发生后, 区域内应急物资运转能力易受打击, 各城市应急物资保障性能出现波动甚至失效, 严重阻碍应急救助与灾后恢复。有效评估区域内应急物资保障能力, 需要充分考虑受灾区域与周边区域的物资动态调配效率。因此本文提出了基于物资调配网络韧性的区域应急物资保障评估模型, 用于分析灾害打击后城市应急物资保障的时间—性能动态变化过程; 针对西藏地区的物资和交通现状, 构建区域协同与自上而下两种物资救助模式下的应急物资调配网络, 对不同网络结构下西藏地区物资保障能力进行对比分析, 探索最适合西藏地区的应急物资救助模式, 并提出改进意见。

关键词: 灾害打击; 应急物资救助模式; 应急物资调配网络; 韧性评估; 西藏自治区

中图分类号: X45; X915.5; F253.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2023)04-0204-07

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2023.04.032

应急物资保障对于顺利开展抢险救灾、保障受灾群众生产生活、快速恢复社会秩序、减少各类损失及不利影响等具有重大意义^[1]。充分评估区域在灾害打击后的应急物资保障能力, 对进一步加强城市防灾减灾能力至关重要。现今, 已有学者们从区域灾害危险性评估, 区域应急管理能力评估, 区域应急物资储备评估等方面对区域的应急物资保障能力评估进行了探索。对于区域灾害危险性的评估, 学者们针对不同灾害的特点采用不同研究方法, 其中仿真模型模拟^[2]多用于洪涝灾害, 基于概率统计的预测^[3-4]多用于地震灾害, 建立多指标体系的方法^[5]多用于台风—暴雨等复合灾害。区域应急管理能力评估则主要针对政府组织者等应急能力的综合评估。例如, WANG等^[6]基于多种评价指标体系, 建立了基于层次分析法和优劣解距离的韧性视角的应急管理能力评价模型。WANG等^[7]提出了八项指标来评估区域政府的应急组织能力, 并给出了评估细节的建议。应急物资储备评估的研究则重点关注了应急物资的需求量与物资储备选址等问题, 例如, 程紫燕等^[8]针对地震灾害的应急物资储备需求进行分析, 为各级政府合理统筹配置应急准备资源提供科学的依据。范东丽等^[9]通过基于多目标决策的方法优化应急物资储备选址, 极大地提高了区域应急物资储备能力。然而, 以上研究大多通过建立相应的指标体系, 针对区域应急物资保障的某一方面进行分析, 缺少了灾害发生后对区域应急物资

保障性能整体动态变化下的综合评估。与此同时, 应急物资的调配效率将对区域应急物资保障产生重大影响。现今应急物资调配研究中, 主要依靠算法模型等对其中某一环节进行改善, 以提高调配效率。其中, 多目标模型^[10], 两阶段模型^[11], 变量加权算法^[12]等被广泛用于供应点储备量与选址的优化, 鲁棒性优化模型^[13], 两阶段随机模型^[14-15], 启发式算法^[16]等被广泛用于应急物资运输调度的优化。然而, 相关研究大多忽略了区域应急物资调配时的网络化特性。整个应急物资调配过程中, 每个小区域都不是独立与静止的, 其内部市场物资可以填补一定的物资空缺, 城市间也可以有互相调配物资, 应急物资的调配往往会形成一个复杂网络。在整个网络视角下, 应急物资的调配过程具有更多的复杂性与不确定性。区域内受灾城市在应急物资调配网络支撑下, 物资保障将逐步得到满足, 具有一定的韧性能力。因此, 可以用应急物资调配网络韧性来表示区域在灾害下维持应急物流运转并快速恢复物资供应的能力^[17]。

综上, 本研究针对灾后应急响应, 建立了基于物资网络动态变化的应急物资调配网络韧性评估模型, 以评估区域的应急物资保障能力。并以西藏地区为例进行案例分析, 评估了西藏地区的应急物资保障能力。同时, 针对两种物资救助模式构建的不同应急物资调配网络, 对比分析了其对西藏地区应急物资保障能力的影响。

^{*} 收稿日期: 2023-02-13 修回日期: 2023-05-29

基金项目: 第二次青藏高原综合科学考察研究项目任务九“综合灾害风险评价与防御”(2019QZKK0906); 中国科学院战略性先导科技专项(XDA2003020201)

第一作者简介: 寇龙斌(2000-), 男, 汉族, 江苏无锡人, 硕士研究生, 主要从事灾害损失评估及灾害风险决策方面研究。

E-mail: 202221051212@mail.bun.edu.cn

1 方法模型

1.1 应急物资调配网络模型

应急响应过程中, 物资调配往往形成一个复杂网络, 其中网络节点代表区域内的城市, 连边代表这些城市之间应急物资流通的供应关系。应急物资调配网络中, 存在一组可能受到灾害打击的城市节点集合 $\{C_1, C_2, C_3, \dots, C_n\}$, $i \in n$ 。同时存在一组可以进行应急物资救助供应的城市节点集合 $\{D_1, D_2, D_3, \dots, D_m\}$, $j \in m$ 。而 A_{ij} 表示相应的一对城市节点间应急物资调配流通性能的强度, 这通常受到城市间通行时间, 运输车辆, 物流从业人员数量, 城市协同程度, 指挥决策能力等多方面因素的影响。

灾害事件发生后, 物资调配网络中的城市节点 C_i 受到打击, 区域的应急物资保障能力受损。在应急物资调配网络供应下, 区域应急物资保障性能逐步恢复, 整体应急物资保障能力呈现动态变化过程。因而本文引入韧性指标进行区域应急物资保障能力的评估。

对于传统的系统韧性研究中, 通常采用一段时间内系统损失的性能来描述系统应对打击时的韧性^[18]。韧性 R_c 通常表达为:

$$R_c = \int_{t_0}^{t_1} \frac{Q'}{Q^0} dt = \int_{t_0}^{t_1} \frac{Q^0 - Q'_{loss}}{Q^0} dt = \int_{t_0}^{t_1} \left(1 - \frac{Q'_{loss}}{Q^0}\right) dt. \quad (1)$$

式中: R_c 为系统的韧性; Q' 为受到打击后系统性能; Q^0 为系统初始性能; Q'_{loss} 为受到打击后系统损失的性能。公式(1)说明了在灾害打击后, 网络损失的性能越少, 所表现的韧性能力将越好。区域应急物资保障韧性能力的评估中, 其在灾害打击下损失的性能越少, 物资保障韧性相对越好。

1.2 区域应急物资保障韧性评估模型

灾害事件打击后, 区域内某一随机城市节点 C_i 受损, 该城市出现应急物资短缺问题, 应急物资保障性能降低。应急响应后, 在应急物资调配网络作用下, 受打击城市应急物资保障性能逐步恢复, 最终回到稳定状态。整个受到打击——完全恢复的过程中, 城市应急物资保障性能 $Q(t)$ 将随时间 t 变化而变化, 表现出显著的阶段性特征。

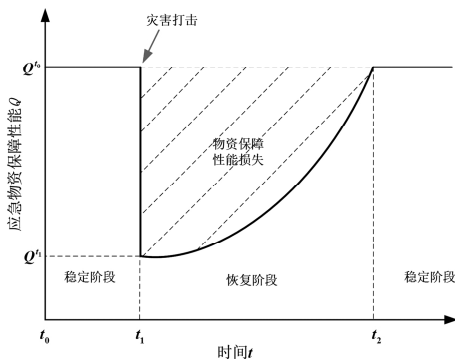


图1 应急物资保障时间-性能曲线

如图1所示, t_0 至 t_1 时段内, 城市应急物资保障性能处于一个稳定状态, 此时 $Q(t) = Q^0$; t_1 时刻时, 区域内城市遭到了突发事件的打击, 城市应急物资保障性能快速下降为 Q^1 , 此时城市物资保障状态处于最低点。 t_1 至 t_2 时段内, 城市进入到恢复阶段, 在基于网络的物资救助供应下, 城市应急物资保障性能开始逐步恢复。最终在 t_2 时刻, 城市应急物资保障性能重新满足需求程度, 之后

一直处于稳定状态。

图2展示了灾害发生后, 区域内受打击城市物资保障性能 $Q_i(t)$ 随时间变化的具体情况:

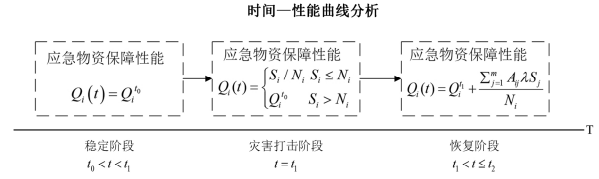


图2 时间-性能曲线分析

$t_0 < t \leq t_1$ 时段, 城市处于稳定阶段, 其应急物资保障性能 $Q_i(t) = Q_i^0$, 处于稳定状态。

在 $t = t_1$ 时刻时, 城市由于受到突发事件打击, 城市运转能力下降, 仅依靠自身内部供应维持物资保障, 应急物资保障性能急剧下降。此时, 城市应急物资保障性能 $Q_i(t)$ 为:

$$Q_i(t) = \begin{cases} S_i/N_i, & (S_i \leq N_i); \\ Q_i^0, & (S_i > N_i). \end{cases} \quad (2)$$

N_i 代表了城市应急物资需求量, S_i 则表示对应城市市场上应急物资流通量。当 $Q_i(t) = Q_i^0$ 时, 表明在灾害事件打击下, 城市 C_i 内部市场的应急物资流通量足以保障其应急需求, 该城市应急物资保障能力较好, 可以完全抵御打击造成的影响。

$t_1 < t \leq t_2$ 时段, 城市处于恢复阶段。此时, 基于区域内应急物资调配网络协同作用下, 城市 C_i 应急物资保障性能逐步恢复, 直至应急物资重新满足稳定条件: $Q_i(t) = Q_i^0$ 。此时所对应的时刻 t_2 为应急物资保障性能完成恢复的时刻。

$$Q_i(t) = Q_i^1 + \frac{\sum_{j=1}^m A_{ij} \lambda S_j}{N_i}, (t_1 < t \leq t_2). \quad (3)$$

式(3)的第一部分 Q_i^1 表示灾害事件打击后, 城市依靠自身内部供应所剩余的应急物资保障性能。第二部分为在物资调配网络作用下, 救助城市 D_j 对受灾城市 C_i 的物资援助下所恢复的应急物资保障性能。 S_j 表示了救助城市 D_j 市场上应急物资流通量, λ 表示了救助城市可调用的应急物资占比参数。

当 $t > t_2$ 时, 受打击城市的应急物资保障性能重新恢复到稳定状态, 即 $Q_i(t) = Q_i^0$ 。

在整个研究时间段内, 面对灾害事件打击时, 受灾城市 C_i 应急物资保障能力的韧性 R_i 可以表示为:

$$R_i = \int_{t_0}^{t_1} \frac{Q_i(t)}{Q_i^0} dt = \int_{t_0}^{t_1} 1 dt + \int_{t_1}^{t_2} \frac{Q_i(t)}{Q_i^0} dt. \quad (4)$$

为了评估整个区域的应急物资保障能力, 我们在单个城市应急物资保障韧性模型基础上, 设计了区域整体的韧性评估模型。在研究时间段内, 每个受打击城市节点将根据其应急物资保障韧性能力值进行分类。其中, 物资保障能力能维持原始性能75%以上的城市, 我们将该城市节点定义为稳健城市节点, 而不满足条件的城市节点, 则被定义为易损城市节点。整个区域的网络中, 稳健节点的占比越高, 则区域整体应急物资保障的韧性越好。区域整体应急物资保障韧性 R , 如式(5)所示为:

$$R = \frac{\text{稳健城市节点数}}{\text{网络中总的城市节点数}}. \quad (5)$$

2 研究区域与数据来源

我们以西藏地区作为研究区, 将西藏自治区的67个非市辖区的行政区作为可能遭受灾害打击的城市节点 C_i , 基于市场物资调配网络作用下, 对西藏地区城市遭受灾害事件打击后的应急物资

保障能力进行韧性评估分析。

2.1 研究区域分析

西藏地区被称为第三极，位于青藏高原西南部，总面积约 120.22 万 km²，约占中国陆地总面积的 12.5%^[19]。西藏地区平均海拔 4 000 m，地形地貌复杂多样，其气候主要为高原气候，类型复杂，垂直变化大。

受其地形地貌及气候因素的影响，西藏地区雷电、洪涝、冰雹、雪灾、大风、霜冻、泥石流等等大规模灾害事件发生概率较大^[20]。据西藏自治区自然灾害统计数据公布，1982—2000 年西藏地区平均每年受灾面积达 2.844 万 hm²。重大灾害事件会对城市应急物资运输造成重大影响，因而西藏地区的应急物资保障需求极高。同时，西藏地区属于典型的地广人稀区域，其交通不便，经济基础较为落后，应急物资保障难度也相对更大。

2.2 数据来源

根据国家统计局发布的第 7 次人口普查数据 (<http://www.stats.gov.cn/tjsj/pcsj/>) 获取西藏地区各城市人口数量，将西藏地区各城市应急物资的需求量与其人口规模直接挂钩，假定了灾害应急期间每人每日需要 3 份应急物资，进而大致预测西藏各个城市在灾害事件打击下应急物资的需求量 N_i 。

通过高德开放平台的调用 API 功能，获取西藏地区的商铺地点等信息，根据其属性类型进行应急物资储备能力赋值，简化为商场可供应生活应急物资 2 000 件、便利店可供应应急物资 1 000 件、超级市场可供应应急物资为 3 000 件等，综合推算西藏地区各城市的市场物流流量 S_i 。同时，为验证数据的可靠性，我们对聂拉木县，吉隆县两处高德调用 API 获取的市场物资售卖地点与实地走访乡县政府调研数据进行对比验证。结果显示，高德调用 API 所获取的物资售卖点企业数据与县级政府登记企业数据重合率接近 60%，各售卖点实际所有的物资数量与估算量基本相符合，具有一定的科学性。

通过高德开放平台的地点时间分析功能，获取了西藏地区城市间的通勤时间 T_{ij} 。案例研究中，我们假定在运输车辆，物流从业人员数量，城市协同程度，指挥决策能力等方面因素均为相等条件。此时，应急物资的流通性能强度 A_{ij} 直接等价于两地的通行时间 T_{ij} 。

2.3 研究区域市场物流流通概况

图 3 展示了西藏区域内市场物资资源的分布情况。不难看出，西藏地区市场可流通应急物资总量并不丰富，各个地级市内的物资的供应量均不能满足灾害下物资的需求量。灾害发生后，该区域维持应急物资保障性能的稳定难度较大。

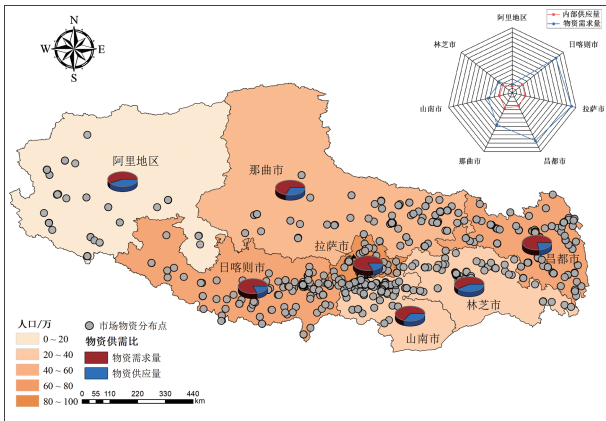


图 3 西藏地区市场物资分布图
(审图号：藏 S(2022)004 号，底图无修改，下同)

如表 1 所示，拉萨市的物资供需情况最差，物资的供需比仅为 21%，阿里地区的物资供需情况相对较好，达到了 77%。上述分析表明了对西藏地区维持应急物资保障稳定的难度较大，通过物资调配网络合理调配应急物资来满足区域应急物资保障能力具有较大的现实意义。

表 1 西藏地区地级市物资供需比情况

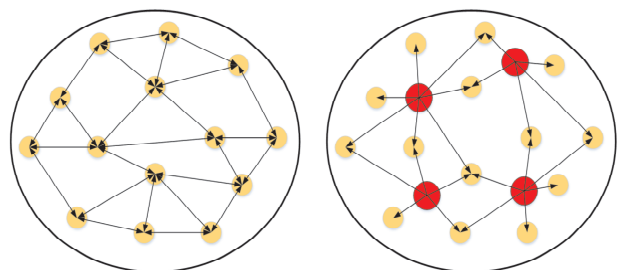
城市	物资需求量/件	内部供应量/件	物资供需比/%
阿里地区	369 843	284 000	77
日喀则市	2 394 459	556 600	23
拉萨市	2 603 673	558 200	21
昌都市	2 282 898	644 200	28
那曲市	1 514 514	715 800	47
山南市	1 062 105	563 600	53
林芝市	716 808	511 600	71

3 案例分析

3.1 西藏应急物资调配网络构建

为构建高效的应急物资调配网络，提出了以下两种灾害打击下的应急物资救助模式。其一为自上而下的应急物资救助模式，区域内负责应急物资救助的城市节点集合 $\{D_1, D_2, D_3, \dots, D_m\}$ 为一组地级市群。另一种为区域协同应急物资救助模式，区域内可能受到灾害打击的城市节点集合 $\{C_1, C_2, C_3, \dots, C_n\}$ 也同时为负责应急物资救助供应的城市节点集合 $\{D_1, D_2, D_3, \dots, D_m\}$ 。

图 4 展示了两种应急物资救助模式下所构建的应急物资调配网络形式。在区域协同应急物资救助模式下，网络中供应节点与可能遭受打击的节点相互重合，各距离相近节点进行相互的物资救助，物资调配网络呈现出复杂性相互性。从整体网络结构分析，各节点的度值较为平均且均相对较高，每一个节点在网络的参与度较强。整体网络的复杂程度较高，但应急物资救助的效率较低。在自上而下的应急物资救助模式下，西藏地区的应急物资调配网络呈现出以地级市为中心的散射状，物资的流通方向具有单向性，仅由固定的供应节点向受打击节点进行物资救助。从整体网络结构分析，作为物资救助城市的节点数量较少，具有较高的出度，整体网络的复杂程度较低，但效率更高。



区域协同救援模式物资调配网络 自上而下救援模式物资调配网络

图 4 两种救助模式物资供应链网络

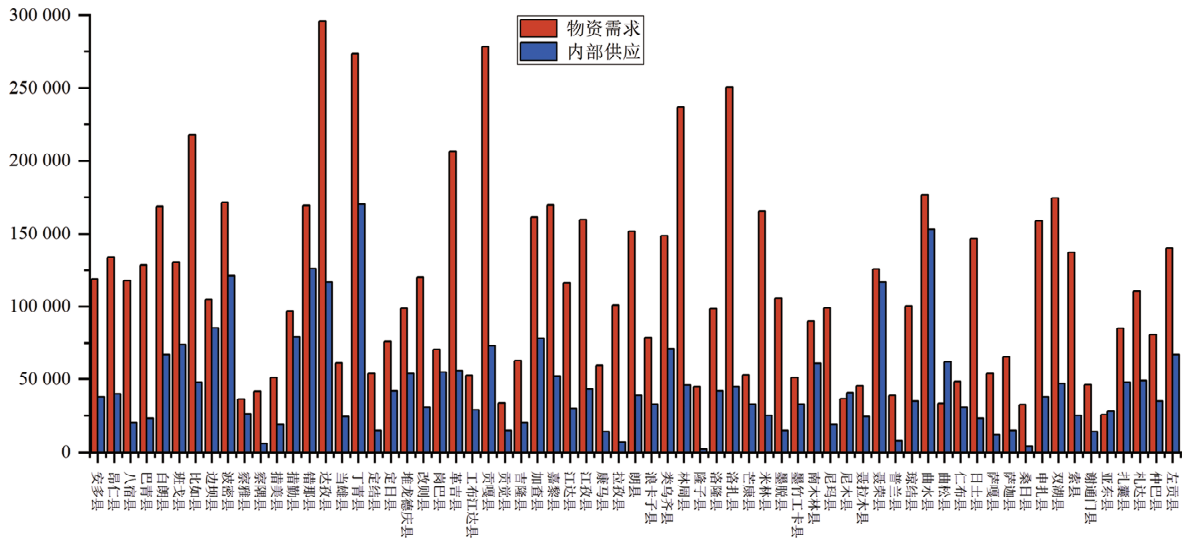


图5 西藏各城市应急物资需求量与内部供应量比较

3.2 西藏地区应急物资保障韧性分析

3.2.1 各城市物资保障性能灾害打击情况

图5反映了西藏地区各城市节点 C_i 在灾害事件打击下,城市内部应急物资供应量与其应急物资需求量之比,即在灾害打击的 t_1 时刻,该城市的应急物资保障性能。研究的67个城市节点中,64个城市自身应急物资的流通量无法满足灾后的需求量,仅普兰县,札达县,日土县因其自身较少的人口,可以保障灾后应急物资保障性能稳定不变。所有城市中,南木林县的 $Q_i^{t_1}$ 受灾打击最为严重,降低到不足18%。

如图6所示,灾害打击对于西藏地区各城市节点应急物资保障性能破坏严重,约40%的城市的最低应急物资保障性能 $Q_i^{t_1}$ 将低于了0.5,约25%的城市的最低应急物资保障性能 $Q_i^{t_1}$ 不足0.25。

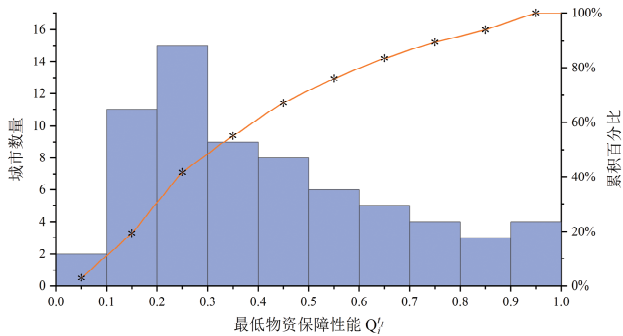


图6 西藏各城市最低应急物资保障性能 $Q_i^{t_1}$ 累积分布图

3.2.2 两种物资调配网络下各城市物资保障性能恢复情况

在两种应急物资救助模式下,依次构建区域内应急物资调配网络构建,受灾打击的城市节点逐步获取到应急物资救助,自身应急物资保障性能开始恢复。我们假定自上而下应急物资救助模式与区域协同救助模式中,各物资救助城市节点 D_i 可调用的应急物资占比 λ 分别为0.5与0.2。当以地级市作为物资救助城市,其应急物资可供应能力较好,占比也将更大。

本小节中,我们以丁青县遭受灾害打击作为这典型对象进行两种物资救助模式下的应急物资保障性能恢复过程说明。在灾害事件打击下,丁青县应急物资保障性能出现波动,其应急物资保

障性能将降到了39.51%,通过开展应急物资救助,在 $t_1 \sim t_2$ 时段内丁青县应急物资保障性能逐步恢复。

如图7和表2所示,在区域协同供的应急物资救助模式下,丁青县在受到打击后的2.67~10.02 h时间段内接收到了网络中13个物资救助城市的应急物资,最终在灾后10.02 h,丁青县的应急物资保障性能重新恢复稳定阶段。

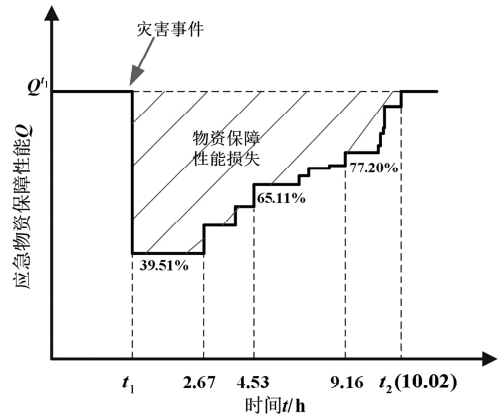


图7 丁青县应急物资保障时间-性能曲线
(区域协同救助模式物资调配网络)

表2 丁青县应急物资救助分析(区域协同救助模式物资调配网络)

时间 t/h	救助城市 D_i	物资供应量/件	$Q_i(t)/\%$
t_1			39.51
2.67	类乌齐县	30 600	49.85
3.84	巴青县	13 400	54.37
4.53	索县	7 600	56.94
6.21	察雅县	24 200	65.11
6.57	比如县	9 600	68.36
7.34	洛隆县	8 600	71.26
7.93	聂荣县	3 000	72.27
9.16	江达县	14 600	77.20
9.24	安多县	7 600	79.77
9.35	左贡县	13 400	84.30
9.39	贡觉县	6 200	86.39
10.01	八宿县	14 800	94.50
10.20	芒康县	25 200	Q^{t_1} (恢复)

如图 8 和表 3 所示,在自上而下的应急物资救助模式下,丁青县在受到灾害打击后的 4.64 h, 8.33 h, 11.89 h 分别接收到了网络中来自那曲市, 昌都市和拉萨市的救助应急物资,最终在 11.89 h 后重新恢复稳定阶段。

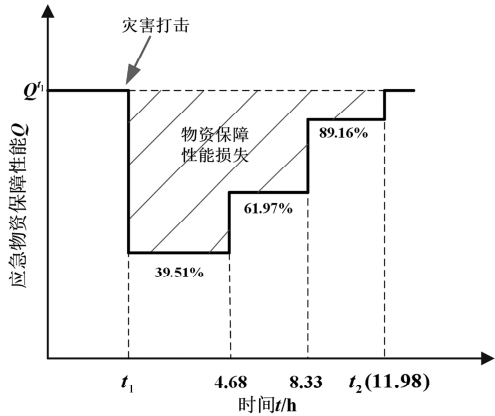


图 8 丁青县应急物资保障时间—性能曲线
(自上而下救助模式物资调配网络)

表 3 丁青县应急物资救助分析(自上而下救助模式物资调配网络)

时间 t/h	救助城市 D_j	物资供应量/件	$Q_i(t)/\%$
t_1			39.51
4.68	昌都市	66 500	61.97
8.33	那曲市	80 500	89.16
11.89	拉萨市	161 500	Q^1 (恢复)

在两种应急物资救助模式所形成的物资调配网络作用下,丁青县应急物资保障性能的恢复体现不同的差异。采用区域协同应急物资救助模式,受打击城市节点的应急物资保障性能的恢复时间 t_2 更短,但每个时间段内接收到的应急物资量较少,而采用自上而下的应急物资救助模式,可以使得丁青县在短时间内获得更多的应急物资救助。

3.2.3 两种应急物资救助模式下城市应急物资保障韧性对比

表 4 显示了西藏地区各城市受到灾害事件打击后,应急物资保障性能完成恢复的时间 t_2 ,以及 12 h 的应急物资保障韧性 R_i 。两种应急物资救助模式下,该区域各城市的应急物资保障性能的平均恢复时间分别为 4.99 h 和 5.20 h,所有城市中,尼玛县,芒康县,边坝县所反映出的应急物资保障韧性最为脆弱。各个城市应急物资保障的韧性差距较大,表现出了比较强的差异性。

表 4 西藏区域各城市节点应急物资保障韧性

城市	区域协同救助模式		自上而下救助模式	
	完全恢复时间 t_2/h	12 h 韧性值 R_i	完全恢复时间 t_2/h	12 h 韧性值 R_i
安多县	5.81	8.05	5.81	9.07
昂仁县	7.00	7.69	7.55	7.11
八宿县	4.79	9.65	5.35	8.83
巴青县	6.60	8.41	8.02	8.13
白朗县	3.22	9.65	4.30	9.91
班戈县	7.15	6.50	6.73	7.65
比如县	8.47	5.51	7.86	7.21
边坝县	8.93	5.46	8.87	3.60
波密县	5.24	11.03	4.41	10.79
察雅县	4.26	10.67	1.80	10.88
察隅县	8.68	9.07	10.09	6.77

续表 4

措美县	2.22	11.14	2.47	10.73
措勤县	5.93	8.44	9.04	5.08
错那县	5.04	7.64	3.75	7.08
达孜县	1.02	11.65	0.94	11.46
当雄县	3.22	11.13	2.59	10.83
丁青县	10.20	6.79	11.89	7.93
定结县	3.69	10.01	3.97	8.37
定日县	6.93	8.36	7.88	7.50
堆龙德庆县	1.90	11.03	0.21	11.16
改则县	8.22	8.61	6.05	8.40
岗巴县	2.98	10.18	2.79	9.33
革吉县	9.17	7.54	1.68	9.34
工布江达县	3.66	10.32	1.95	10.21
贡嘎县	1.76	10.82	1.40	10.20
贡觉县	7.70	7.65	12.00	6.92
吉隆县	3.95	11.13	7.55	7.73
加查县	2.79	11.34	2.07	11.10
嘉黎县	5.65	7.52	6.06	7.70
江达县	12.00	4.81	12.00	7.21
江孜县	5.09	9.89	4.75	9.25
康马县	3.00	10.02	2.23	9.12
拉孜县	5.42	8.78	6.44	8.78
朗县	3.16	10.79	3.73	9.85
浪卡子县	2.68	10.02	3.39	8.91
类乌齐县	3.44	11.52	1.89	11.48
林周县	2.52	9.84	1.63	9.17
隆子县	4.88	7.29	5.01	7.39
洛隆县	7.32	7.03	11.99	6.51
洛扎县	4.80	7.66	5.48	6.27
芒康县	12.00	4.16	17.46	5.73
米林县	4.68	9.35	1.19	10.15
墨脱县	8.69	5.35	7.57	2.85
墨竹工卡县	1.87	10.72	1.40	9.54
南木林县	4.97	11.09	4.69	9.16
尼玛县	10.32	3.88	8.53	3.49
尼木县	1.52	11.19	2.46	10.56
聂拉木县	3.25	10.08	6.88	8.86
聂荣县	4.91	7.71	5.39	8.91
普兰县	0.00	12.00	0.00	12.00
琼结县	2.07	10.72	0.73	10.37
曲水县	0.85	11.87	1.45	11.77
曲松县	2.45	9.63	1.26	9.01
仁布县	2.68	10.03	3.20	6.12
日土县	0.00	12.00	0.00	12.00
萨嘎县	3.26	10.75	7.02	11.04
萨迦县	5.39	8.18	6.35	6.68
桑日县	1.86	10.03	0.65	6.63
申扎县	5.93	7.73	4.31	7.46
双湖县	5.62	7.78	4.90	8.96
索县	7.26	7.35	7.40	6.83
谢通门县	4.62	8.21	5.53	9.58
亚东县	3.29	9.17	4.80	5.28
扎囊县	1.77	10.64	0.96	8.19
札达县	0.00	12.00	0.00	12.00
仲巴县	6.29	8.73	7.64	10.87
左贡县	6.64	8.85	12.00	10.96
平均	4.99		5.20	

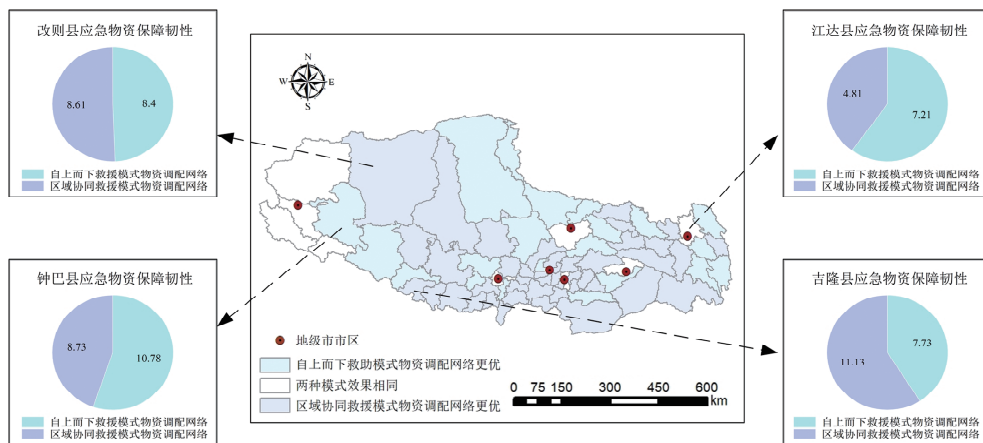


图9 两种供应链模式下应急物资调配网络应急物资保障韧性对比

如图9所示,两种应急物资救助模式下,西藏地区各城市在应对灾害事件打击时应急物资保障韧性的对比情况。其中,对于围绕在地级市周围的城市节点群,往往会更适合采取自上而下的应急物资救助模式,而对于距离地级市市区较为偏远的城市节点,采取区域协调的应急物资救助模式可以表现出更好的韧性。

区域协同的应急物资救助模式下,西藏地区稳健的城市节点为35个,自上而下的应急物资救助模式下,西藏地区稳健的城市节点为31个。依据公式5,这两种救助模式下西藏地区的应急物资保障韧性分别为0.522与0.462。这表明在西藏地区总体上更适宜采用区域协同的应急物资救助模式来构建应急物资供应链网络。同时,西藏地区在发生灾害事件打击后的12 h,区域中仅有约一半的城市应急物资保障可以满足稳健城市节点的要求,区域的总体物资保障性处于一个较为脆弱的程度,需要进一步地加强区域内各自城市的物资储备能力与区域间的物资流通能力。

4 结论与讨论

本文建立了基于应急物资调配网络的韧性评估模型,对区域应急物资保障能力进行评估,以西藏地区作为案例,依次构建了两种应急救助模式下的物资调配网络,对西藏各城市应急物资保障能力进行了评估,同时对两种模式进行对比分析,可得出如下结论:

(1)西藏地区在灾害打击下,区域内各城市应急物资保障能力差异较大,尼玛县,边坝县的应急物资保障能力较差,急需加强自身物资储备以及与地区内其他城市的交通网络建设。

(2)西藏地区整体的应急物资保障能力较为一般,区域内拥有较好物资保障能力的城市不足60%,需要进一步加强西藏地区的应急物资储备与完善相关物流系统。

(3)应急物资调配时,自上而下和区域协同应急物资救助模式所构建形成的物资调配网络对于各城市物资保障能力影响存在一定差异。对于离地级市市区较近的城市,往往更适合采取自上而下的应急物资救助模式来构建物资调配网络。而相对较远的城市,在区域协同应急物资救助模式下,会使得城市的应急物资保障具有更好的韧性。对于西藏地区这种地广人稀的区域,更适合基于区域协同的应急物资救助模式来构建应急物资调配网络。

总体而言,本研究基于物资调配网络的韧性模型,从物资动态性角度评估灾后一段时间某一区域的应急物资保障能力,有助于为灾后物资保障提供

决策依据。未来研究中,针对物资保障韧性的评估还可以进一步精细化,需要建立耦合应急物资分发所需车辆人力资源的物资保障能力评估模型。

参考文献:

- [1] 吕孝礼, 马永驰. 面向“十四五”应急物资保障体系建设的初步思考[J]. 中国减灾, 2021(9): 26-29.
- [2] LI Y, ZHOU W, SHEN P. Pedestrian danger assessment under rainstorm-induced flood disaster for an artificial island[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2022, 78: 103133.
- [3] YOUSUF M, BUKHARI K. Hazard estimation of Kashmir Basin, NW Himalaya using probabilistic seismic hazard assessment[J]. Acta Geophysica, 2020, 68(5): 1295-1316.
- [4] PEI W, ZHOU S, ZHUANG J, et al. Application and discussion of statistical seismology in probabilistic seismic hazard assessment studies[J]. Science China Earth Sciences, 2022, 65(2): 257-268.
- [5] CHEN J, CHEN M, ZHOU P. Using Multiple Index Comprehensive Method to Assess Urban Rainstorm Disaster Risk in Jiangsu Province, China[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2020, 1: 1-10.
- [6] WANG K, WANG Z, DENG J, et al. Study on the Evaluation of Emergency Management Capacity of Resilient Communities by the AHP-TOPSIS Method[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19(23): 16201.
- [7] WANG X, SUGUMARAN V, ZHANG H, et al. A Capability Assessment Model for Emergency Management Organizations[J]. Information Systems Frontiers, 2018, 20(4): 653-667.
- [8] 程紫燕, 杨斌. 基于地震风险评估的地震应急物资储备需求分析: 以山西省大同市为例[J]. 山西地震, 2017(4): 20-25.
- [9] 范冬丽, 王立娟, 贾虎军, 等. 不同管理模式应急物资储备库应急能力评估[J]. 防灾科技学院学报, 2022, 24(3): 43-49.
- [10] SNYDER L V, DASKIN M S. Reliability models for facility location: the expected failure cost case[J]. Transportation Science, 2005, 39(3): 400-416.
- [11] GÖRMEZ N, KÖKSALAN M, SALMAN F S. Locating disaster response facilities in Istanbul[J]. Journal of the Operational Research Society, 2011, 62(7): 1239-1252.
- [12] FENG J, GAI W, LI J, et al. Location selection of emergency supplies repositories for emergency logistics management: a variable weighted algorithm[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2020, 63: 104032.
- [13] BEN-TAL A, CHUNG B D, MANDALA S R, et al. Robust optimization for emergency logistics planning: Risk mitigation in humanitarian relief supply chains[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2011, 45(8): 1177-1189.
- [14] SUN J, CHAI R, NAKADE K. A study of stochastic optimization problem for humanitarian supply chain management[J]. Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, 2018, 12(3): JAMDSM0066.
- [15] ALEM D, CLARK A, MORENO A. Stochastic network models for logistics planning in disaster relief[J]. European Journal of Operational Research, 2016, 255(1): 187-206.
- [16] QI C, HU L. Optimization of vehicle routing problem for emergency cold chain logistics based on minimum loss[J]. Physical Communication, 2020, 40: 101085.
- [17] BARKER K, RAMIREZ-MARQUEZ J E, ROCCO C M. Resilience-based network component importance measures[J]. Reliability Engineering & System Safety, 2013, 117: 89-97.
- [18] BRUNEAU M, CHANG S E, EGUCCI R T, et al. A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of com-

- munities[J]. *Earthquake Spectra*, 2003, 19(4): 733–752.
 [19] ZHONG L, YU H, ZENG Y. Impact of climate change on Tibet tourism based on tourism climate index[J]. *Journal of Geograph-*

- ical Sciences*, 2019, 29(12): 2085–2100.
 [20] 刘瑜. 近 30 年西藏自然灾害研究综述[J]. *红河学院学报*, 2015, 13(5): 83–86.

Assessment of Regional Emergency Material Support Capability Based on the Resilience of Material Allocation Network

KOU Longbin^{1,2,3}, ZHAO Hanping^{1,2,3}, XUE Ying^{1,2,3}

(1. *Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster of Ministry of Education, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*; 2. *State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*; 3. *Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*)

Abstract: After the occurrence of disaster events, the regional operation capacity of emergency materials will be hit and the emergency material support capability will fluctuate or even fail, which seriously hinders emergency rescue and post-disaster recovery. Effective assessment of regional emergency material support capability requires full consideration of material dynamic allocation efficiency between disaster-stricken areas and surrounding areas. Therefore, we propose a regional emergency material support assessment model based on the resilience of material allocation network, which can analyze the dynamic change process of time to performance of urban emergency material support after disaster strikes. According to the current situation of materials and transportation in Tibet, the emergency materials allocation network under regional coordination and top-down materials rescue modes was constructed, and the material support capability in Tibet under different network structures was compared and analyzed. The most suitable emergency materials assistance mode for Tibet is explored and suggestions for improvement are put forward accordingly.

Keywords: disaster strikes; emergency supply rescue mode; emergency supplies allocation network; resilience assessment; Tibet

(上接第 143 页)

- [15] 张翼, 唐姝娅, 王悦, 等. 地震应急信息产品分类编码研究[J]. *震灾防御技术*, 2016, 11(1): 132–143.
 [16] 王海鹰, 孙刚, 欧阳春, 等. 地震应急期关键时间阶段划分研究[J]. *灾害学*, 2013, 28(3): 166–169, 197.
 [17] 张原硕, 曹彦波, 王茜, 等. 地震应急信息产品需求差异化分析: 以云南抗震救灾指挥部成员单位为例[J]. *震灾防御技术*, 2021, 16(1): 193–201.
 [18] 张虎, 田茂峰. 信度分析在调查问卷设计中的应用[J]. *统计与决策*, 2007(21): 25–27.

- [19] 孙艺, 荆涛. 基于 Android 智能移动终端的辽宁省地震应急信息发布系统的设计与实现[J]. *防灾减灾学报*, 2021, 37(3): 53–57.
 [20] 邓砚, 聂高众, 苏桂武. 县(市)地震应急能力评价指标体系的构建[J]. *灾害学*, 2010, 25(3): 125–129.
 [21] 王海鹰, 李志雄, 张涛, 等. 地震应急救援信息需求及获取建议[J]. *灾害学*, 2016, 31(4): 176–180.
 [22] 孙艺, 安容蒂, 荆涛, 等. 辽宁省地震应急产品移动发布平台的需求分析与设计[J]. *防灾减灾学报*, 2021, 37(1): 68–72.

Analysis of Demand and Service of Earthquake Emergency Information Products: A Case Study of Emergency Management Departments of Cities and Counties in Liaoning Province

SUN Yi¹, JING Tao², ZHANG Xinran¹, LI Yujia¹, KONG Xiangxue¹,
 WANG Wanning¹, LEI Xiaokang³

(1. *Liaoning Earthquake Agency, Shenyang 110034, China*; 2. *Shenyang Earthquake Monitoring Center Station, Shenyang 110000, China*; 3. *School of Emergency Management, Northwestern University, Xi'an 710127, China*)

Abstract: In view of the problem that the service object is not comprehensive enough in the previous research, we carried on the fine classification to the earthquake emergency information demand object, that is, government, industry, city and county emergency management departments, news media, the public, professional and technical personnel, and then select one of the city and county emergency management departments as the main object of this study, the Seismic Emergency Information Service Demand Questionnaire is designed from the aspects of time node, content classification, display form, push channel, etc., the earthquake emergency information needs of city and county emergency management departments in Liaoning province were investigated and analyzed. The research contents are divided into several parts, such as basic questions, information demand survey, presentation mode and distribution channel, finally, according to the reasonable results of the integration, some suggestions are put forward for the earthquake emergency services of the emergency management departments of cities and counties in Liaoning province.

Keywords: earthquake emergency; information service; demand analysis; emergency departments of cities and counties