

文章编号:1003-207(2025)06-0105-11

DOI:10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2022.2046

基于信息熵的实物捐助物资筛选和分拣 优化策略研究

吴敏莲¹, 樊 彧¹, 王熹徽¹, 刘林冬¹, 李云博²

(1. 中国科学技术大学管理学院, 安徽 合肥 230026;

2. 中国地质大学土地科学技术学院, 北京 100083)

摘 要:实物捐助是社会力量参与灾害应急救援的重要途径之一,但低效和无效的实物捐助会大量占用应急管理部门的资源和人手,导致物资聚集效应,反而影响应急救援工作的开展。目前实物捐助管理的难点是如何筛选和分拣混合类型的物资,控制劣质和无效捐助造成的不利影响。本文提出了一种基于信息熵的实物捐助物资筛选和分拣优化策略,旨在解决应急管理部门在何种情况下应接受实物捐助,以及如何高效分配资源以优化实物捐助处理效果这两个应急管理中的关键问题。本研究通过比较混合信息,构建了一种分步式实物捐助的分拣系统模型,给出相应判定阈值用于判断拒绝、误差筛选和完全筛选等分拣策略,并分析了不同参量对各阈值的影响。最后,通过设计随机分流算法和资源约束下的优化算法,本研究对所提出的模型结合实际数据进行计算分析,验证了所提出控制标准的准确性与可行性。

关键词:灾害应急;实物捐助;信息价值;物资分流;信息熵

中图分类号:C93

文献标识码:A

1 引言

伴随着大量应急物资的涌入,物资集聚是一种由于应急物资的优先级存在差异,低优先级的物资占据大量的人力、设备、空间和时间,堵塞了高优先级物资的运输配送通道,从而对应急救援造成巨大困难的现象。近年来,物资集聚问题突出,在卡特里娜飓风、海地地震和东日本大地震、普纳火山喷发中反复出现,给政府和人道主义机构的救援工作带来了重大挑战^[1-5]。对实物捐助的不当处理是导致物资集聚现象的重要原因之一,由于实物捐助的构成很复杂,包含不同的优先级(高优先级、低优先级和非优先级),其中非优先级在不请自来的捐赠中占据主导地位,对紧张的应急响应工作产生不利影响^[6,7]。Moskowitz等^[8]认为,大多数时候,尤其是当接受不合格产品的不利后果(法律、经济或其他方面)过于严重时,过度选择既不可接受且缺乏吸引力。因此,如何处理实物捐助以保证应急物流能

够高效运作,避免物资集聚现象,是该领域很重要的研究问题。然而,对实物捐赠的学术研究主要为定性研究,集中在归纳总结和描述物资集聚相关现象上^[9,10],仅有部分定量研究关注实物捐助的运输、分配和仓储管理^[11-14]以及实物捐赠处理进程中的动态资源分配^[15,16]。但是,关于如何筛选和分拣混合类型的物资,控制劣质或无效捐助造成的不利影响,相关研究仍然较为缺乏。因此,实物捐助的控制是两阶段的,分为物资接受前和接受后的控制,在考虑到救援组织的能力限制和实物捐赠的复杂属性的情况下,如何实施两阶段的控制决策方法,目前的研究尚属空白。总而言之,无论是研究还是实践中,都需要建立合理规范的控制标准,并在此基础上构建合适的物资筛选分拣体系,以提高应急物流运作的效率,避免物资集聚现象的发生。

本研究认为,合理规范的控制标准主要取决于以下3个物资基本属性(假反类损失、假正类损失和有效度),以及救援组织的能力属性(个体误分配偏差)。在筛选理论中,假反类指检查系统拒绝了没有缺陷的产品,例如未变质的食品;假正类则是让本应分类为无效的产品通过,这类检测可见于产品抽检、核酸检测、食品质量追溯^[18-20]。简而言之,假反类损失指有效的物资因被放弃而导致的效用损失;假正类损失指无效的物资被送往灾区所导致的

收稿日期:2022-09-15; 修订日期:2022-12-24

基金项目:国家自然科学基金项目(72071189,72188101,72201255);
中国博士后科学基金项目(2022M723019);中央高校
基本科研业务费专项资金项目(WK2040000052)

通讯作者简介:王熹徽(1982-),男(汉族),河北藁城人,中国
科学技术大学管理学院,教授,博士,研究方向:
应急管理,E-mail: wxihui@ustc.edu.cn.

不良经济后果,一般以受益人感知的损失函数度量^[8,17];有效度指规定品质要求下合格物资占据的比例。这些物资的基本属性决定了一批实物捐助是否值得被运往灾区,往往可以通过捐赠者提供的的相关信息或者救援组织的经验进行判断。在应急管理中,拒绝好产品的成本不仅与物资价值相关,也可能与救援时间相关,例如救援组织由于能力不足,导致高时效性的物资被延迟发放,食品类物资由于变质彻底损失效用。接受坏产品的后果严重性视物资类别而定,有研究界定了自发捐赠下低有效度的食品捐赠的不良经济后果^[21],不合适的捐赠给受助对象造成的外部性,例如对环境的破坏和销毁的代价^[9]。而救援组织的能力属性(个体误分配偏差)则衡量了由于误分配而导致本不合格的物资通过筛选的概率,即数学上的错误覆盖率,指所选区间中错误覆盖的平均比例。由于不请自来的实物捐助中潜在的不良后果非常突出,这一指标的重要性被凸显。在实物分拣中,分拣人员的判断会突出被认为是重要或者有效的物资,但是物资的有效性也并非一成不变的,而是随着时间的推移呈现动态变化的趋势。例如,灾害发生之初饮用水、药品等物资的优先级可能相对较高,但是,随着大量的救援物资抵达,很有可能这类物资已经不再缺乏甚至冗余,此时它们的优先级也会相应下降。这种动态性和不确定性会导致分拣人员的判断出现误差,这也是个体误分配偏差的最主要来源。这种误分配偏差可以通过提升相关人员的技能和经验,以及提高信息沟通的准确性来有效降低。

基于上述情况,可以看出,本研究主要针对大型的、具有强破坏力的自然灾害,例如地震、海啸、飓风等,由于这些自然灾害的不确定性较强,且容易破坏灾区的基础设施,造成信息传递的不确定性与滞后性,从而增加筛选的难度。而对于一些可预测的、破坏力相对较小的自然灾害,由于其不确定性较小,可以通过统筹规划调配解决,针对不确定性和复杂性提出的筛选标准的作用并不显著。

综上所述,本研究基于筛选理论^[22]和信息理论^[23]建立物资筛选控制标准,通过对不同属性的混合物资的筛选和分拣,降低非优先级和低优先级物资对应急物流运作的干扰,避免物资集聚现象的发生,提高应急物流运作的效率。信息论是 Shannon^[23]提出的一种测量信息、选择和不确定性的数学理论。信息消除沟通前后的“不确定性”。信息理论中,熵被用于衡量系统的有序性,即刻画控制下的系统发展,即高度有序的主体向有序度较低的被控对象输入信息,熵的减少伴随着系统有序度的提高^[24]。这个过程中,主体获得的信息量同步增

加。实物捐助的筛选过程可以被视为熵减过程,但是,筛选不一定是有意义的,一方面,救援工作者投入筛选努力获取的信息不一定提升整体系统的有序度;另一方面,不同的资源分配方式下每单位筛选努力所获得的物资效用可能是不理想的。因此,本文旨在通过合理的筛选过程过滤掉不符合性能规格(优先级)的产品,以达到提高整体产品质量(运作效率)的目的^[25,26];通过有效的分拣过程合理配置资源,以降低整体的效用损失,提高运作效率。本文中,用来衡量与判别整体筛选与分拣体系如何运行的关键参数为单位信息价值。信息价值的分析是从信息熵发展而来的一种统计分析方法,由 Howard^[27]提出,衡量决策者在做出决策之前愿意为信息支付的费用。在本研究中,信息价值衡量了每单位变动的信息熵所避免的效用损失,也是整体筛选效率的体现。

具体而言,本文遵循 Kaplan^[28]的决策系统设计理念,设计了物资的筛选和分拣系统,其中包含 4 种控制策略:直接发送、拒绝、完全筛选和误差筛选。该体系中包含三个判定,分别是通过无控制策略下的效用损失对比实现的初始判定,以及根据初始判定结果不同所采取的两种筛选判定。本文通过信息价值对这 3 种判定的判定条件进行量化,帮助决策者直观地判断应当采用何种物资处理方式,以及在相应处理方式下如何配置资源以达到最优效率。最后,本文通过设计算法对新冠疫情期间武汉红十字会的实物捐助分拣进行模拟实验,验证了本文所提出的实物捐助筛选与分拣体系的可行性与准确性。

2 复杂系统中的筛选过程和信息价值

信息价值包含实物捐助的三个基本属性(假正类损失、假反类损失和有效度)和救援组织的能力属性(个体误分配偏差)。需要指出的是,这些指标在实践中具有重要的意义,可以通过不同的方式进行估计与确定。

针对实物捐助的有效度,根据不同的灾害发生情况,救援组织应当有详细的标准以确定哪些物资是有效的,哪些物资是无效的。在实物捐助到来时,捐赠者会提供与实物捐助相关的信息(种类、品牌、来源方和数量等),结合已出具的物资相关标准,救援组织可以粗略地判断实物捐助的有效度。值得注意的是,如果遭遇地震、海啸等可能会导致基础设施损毁、通信信号中断的重大灾害时,救援组织还需要根据实际情况以及自身经验估计和调整物资有效性的分类,以避免信息不对称带来的影响。

针对假正类/假反类损失,即接受坏产品/忽略

好产品的成本,可以借鉴经济学中的效用,利用发生特定情况造成的经济、效用损失(或机会成本)进行衡量。例如,Holguin等提出了采用匮乏成本衡量应急物流的效果,而这里接受坏产品/忽略好产品的成本也可以酌情采用单位物资一定时间内的匮乏成本加以衡量^[26,27]。总而言之,该项参数一般由救援组织进行预估得到。

针对误分配偏差,主要根据救援组织对自身的评估进行估算。救援组织在招募人员后,通常会对其进行专业技能培训,并通过试验操作等多种方式,模拟真实的灾害场景,从而大致估计误差筛选所带来的误分配偏差。当然,实际操作中,误分配偏差还与筛选速度、员工熟练度等因素有关,本文在此不展开详细的描述。

除了上述的方法之外,救援组织一般都具有历次灾害以及实物捐助筛选情况的历史数据,基于这些历史数据,运用合适的分析方法(如回归分析、时间序列分析等),也可以得到这些指标的估计值,并代入模型中进行计算。

通过以上4个指标,本研究设计了合适的物资筛选与分拣系统,并给出了量化的判别标准和资源配置方法。

2.1 筛选与分拣系统构建

图1展示了物资筛选与分拣流程。其中,输入物资属性数据 S, A, ρ 分别代表物资的假反类损失、假正类损失和有效度, ε 代表了误差筛选下的个体误分配偏差。定义物资的筛选效率 v_i 为不同筛选方式(误差筛选和完全筛选)下为规避损失所实现的信息价值。实际上,相比于将物资直接送往灾区,救援组织可以选择花费一定资源进行粗略筛选以减小一部分效用损失,也可以选择花费较多资源进行精细筛选减小更多的效用损失,而筛选效率 v_i 即可理解为减少的效用损失与花费的资源之间的比值,即单位资源所能够为救援组织避免的效用损失。 D_o 表示直接放弃这批物资所损失的效用,而 D_d 则表示直接将物资运往灾区导致的灾民感知损失。根据以上数据之间的关系,可以得到以下3道判定以及4种策略。

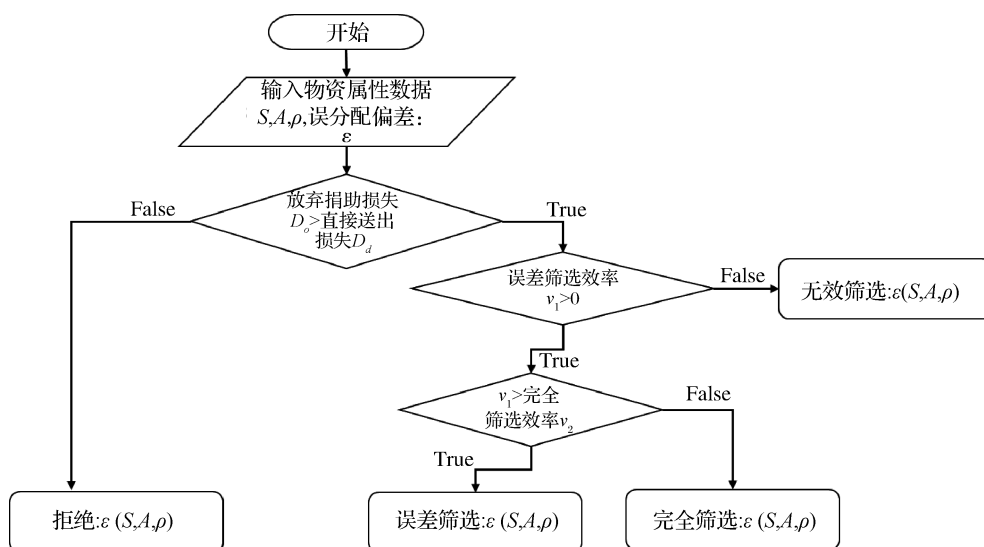


图1 筛选与分拣流程图

判定 I: 物资价值判定, 即比较 D_o 和 D_d 的大小, 这决定了是否考虑对这批实物捐助进行进一步处理。判定 I 会根据 D_o 和 D_d 的大小关系产生两个结果, 若 $D_o < D_d$ 则执行策略 1, 否则继续判定 II。

策略 1: $D_o < D_d$, 则救援组织会选择直接放弃这批实物捐助。例如, 这批实物捐助的质量太差(非优先级或低优先级物资数量太多), 进行处理或运往灾区得不偿失。

判定 II: $D_o > D_d$, 则救援组织会进一步考虑处理这批物资, 首先, 救援组织需要明确是否有足够的资源去处理物资, 即考察误差筛选的效率 v_1 是否大于 0, 若 $v_1 < 0$, 则执行策略 2, 否则继续判定 III。

策略 2: $D_o > D_d$ 但 $v_1 < 0$, 则救援组织会选择直接将这批实物捐助运往灾区。例如, 这批实物捐助的物资量特别大, 但是有不少高优先级的物资, 救援组织不能将其放弃, 但又没有足够资源、人手去处理, 只能直接将其运往灾区。

判定 III: $v_1 > 0$, 则救援组织决定对这批物资进行处理。救援组织将考虑是采用带有误差的粗略筛选方式, 还是花费较多资源进行完全精细的筛选, 即比较误差筛选效率 v_1 和完全筛选效率 v_2 的大小。若 $v_1 > v_2$ 则执行策略 3, 反之, 执行策略 4。

策略 3: $D_o > D_d, v_1 > \max(0, v_2)$, 则救援组织选择采用误差筛选的方式对这批实物捐助进行粗

略筛选后运往灾区。这种情况在实物捐助处理流程中最为常见,因为救援组织在救灾期间往往面临人手、资源不足的压力,很少完全精细地进行筛选,误差筛选适用于大多数的救援物资。

策略4: $D_o > D_d, v_2 > v_1 > 0$, 则救援组织选择采用完全筛选的方式对这批实物捐助进行精细筛选后运往灾区。这种情况较为少见,一般可能出现在主要捐赠物为药品等极为重要且不能出问题的物资时。

在给出了上述判定标准以及策略之后,本文通过筛选理论与信息熵理论,从数学建模的角度对每种策略的信息价值以及各判定的阈值进行量化研究,并通过算例给出数值模拟结果。

2.2 不同策略下的信息价值

假设大量的实物捐赠输送到救援组织,设置物资的有效性分布为 $P(X): \{p(a_i), i=1, 2, \dots, r\}$, 和经过筛选后对应的输出分配,记为 $P(Y): \{p(b_j), (j=1, 2, \dots, s)\}$ 。这里 $P(X)$ 和 $P(Y)$ 分布序列长度相同, r 和 s 则分别代表了不同分布下的实物捐助批次数。 a_i 和 b_j 表示捐赠的输入和输出,视为{有效,无效},其中物资处理通道记为 B_D , 矩阵表示为 $[P]$ 。错误使用或分配将导致效用损失,表示为 $d(a_i, b_j) > 0 (i=1, 2, \dots, r; j=1, 2, \dots, s)$, 个体误分类偏差记为 ϵ 。损失 A 表示接受坏物资的损失(假正类损失, FP), 损失 S 表示拒绝好物资的损失(假反类损失, FN), 均可量化为经济损失。在实物捐助中,很多低优先级或者无效的物资被送往灾区,一方面,它们会占用大量的人力资源、设备资源、时间和空间,妨碍了有效的救援,从而造成一种资源挤占;另一方面,这些物资需要得到特殊处理,不同的处理方式都会导致经济成本。每一种处理策略下对应的总损失记为 \bar{D}_m , 包含4个策略,即直接送出、拒绝、完全筛选、误差筛选。每种策略分别用 d, o, c, r 表示, $m \in \{d, o, c, r\}$, 设定物资分布为 $[X \cdot P]$, 有效部分表示为 (E) , 无效部分表示为 (\bar{E}) 。两组有效物资的比例分别为: $p_X(E)$ 和 $p_Y(E)$ 。相应地,无效比例为 $p_X(\bar{E})$ 和 $p_Y(\bar{E})$, 满足 $p_X(\bar{E}) = 1 - p_X(E)$ 。运算中将 $p_X(E)$ 表示为 ρ 。

经过严格筛选,被认定为有效的物品将被投入救援行动。鉴于人员能力有限,分类过程中难免会出现一定的误差,即在 X 中被误判为无效(或有效)的物品,在 Y 中可能被错误归类为有效(或无效)。概率转移矩阵 $p_{Y|X}(y|x)$ 在式(1)中给出,表示在给定 X 条件下 Y 出现的概率。例如, $p_{Y|X}(\bar{E}|E)$ 是有效物品被归类为无效的概率。

$$p_{Y|X}(y|x) = \begin{bmatrix} p_{Y|X}(E|E) & p_{Y|X}(\bar{E}|E) \\ p_{Y|X}(E|\bar{E}) & p_{Y|X}(\bar{E}|\bar{E}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-\epsilon & \epsilon \\ \epsilon & 1-\epsilon \end{bmatrix}. \quad (1)$$

此外,这种不匹配还会导致经济损失,用式(2)表示:

$$d(X, Y) = \begin{bmatrix} d(E, E) & d(E, \bar{E}) \\ d(\bar{E}, E) & d(\bar{E}, \bar{E}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & S \\ A & 0 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

其中,与假反类(FN)和假正类(FP)相关的损失满足 $S > 0$ 且 $A > 0$ 的条件。

所选物资(即被归类为有效的物资)包含两种情况:被正确筛选为有效的可用物资,以及被错误筛选为有效的不可用物资。因此, $p_Y(E)$ 按式(3)计算:

$$p_Y(E) = p_X(E) p_{Y|X}(E|E) + p_X(\bar{E}) p_{Y|X}(\bar{E}|E) = p_X(E) + \epsilon - 2p_X(E)\epsilon. \quad (3)$$

同样地,预期经济损失 $D(\epsilon)$ 的计算公式如下:

$$D(\epsilon) = \sum_{x \in \{E, \bar{E}\}} \sum_{y \in \{E, \bar{E}\}} p_X(x) p_{Y|X}(y|x) d(X, Y) = \epsilon [p_X(E)S + (1 - p_X(E))A], \quad (4)$$

此处, $D_{FN} = p_X(E)S$, $D_{FP} = (1 - p_X(E))A$, 二者分别对应假反类(FN)和假正类(FP)造成的损失。因此,每一种策略下,最终的效用损失的计算方式为:

$$D_m = \sum_i \sum_j p(a_i) p(b_j/a_i) d(a_i, b_j) \quad m \in \{d, o, c, r\} \quad (5)$$

当损失下降 $\Delta \bar{D}_m$, 筛选努力记为 $I[p(b_j/a_i)]$, 计算方式如下:

$$I[p(b_j/a_i)] = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s p(a_i) p(b_j/a_i) \log(p(b_j/a_i)/p(b_j)) \quad (6)$$

对应每一种决策下的效用损失可以得到在策略间进行权衡的信息价值,其衡量了策略间的可选择性。信息价值主要取决于当前策略下信息熵与完全筛选策略下信息熵之间的差值,其中信息熵衡量了物资分布的无序度,记为 H , 根据物资分布空间, X 和 Y 的熵表述如下:

$$H(X) = - \sum_{x \in \{E, \bar{E}\}} p_X(x) \log p_X(x) = -p_X(E) \log p_X(E) - (1 - p_X(E)) \log(1 - p_X(E)), \quad (7)$$

$$H(Y) = - \sum_{y \in \{E, \bar{E}\}} p_Y(y) \log p_Y(y) = -p_Y(E) \log p_Y(E) - (1 - p_Y(E)) \log(1 - p_Y(E)). \quad (8)$$

其中,本研究中使用的自然对数"log"均以2为底数,下文亦同。

本文采用信息熵来量化真实类别 X 与通过筛选获得的筛选类别 Y 之间的信息量,在给出其表达式之前,首先定义条件熵 $H(Y|X)$ ——该指标衡量基于 X 预测 Y 时的不确定性。较小的 $H(Y|X)$ 值意味着预测捐赠信息时的不确定性更低,表明其具有更高的可预测性。

$$\begin{aligned} H(Y|X) &= - \sum_{x \in \{E, \bar{E}\}} \sum_{y \in \{E, \bar{E}\}} p_X(x) p_{Y|X}(y|x) \log p_{Y|X}(y|x) = \\ &= -p_X(E) p_{Y|X}(E|E) \log p_{Y|X}(E|E) - p_X(E) p_{Y|X}(\bar{E}|E) \log p_{Y|X}(\bar{E}|E) - \\ &= -p_X(\bar{E}) p_{Y|X}(\bar{E}|\bar{E}) \log p_{Y|X}(\bar{E}|\bar{E}) - p_X(\bar{E}) p_{Y|X}(E|\bar{E}) \log p_{Y|X}(E|\bar{E}) \\ &= -\epsilon \log \epsilon - (1 - \epsilon) \log(1 - \epsilon). \end{aligned} \quad (9)$$

由于误差分类是基于存在筛选的基础上提出,因此误差分类下的信息量记为 $I(X; Y)$,其中熵减记为 $I(\epsilon)$,满足式(10):

$$\begin{aligned} I(\epsilon) &= H(Y) - H(Y|X) = -(p_X(E) + \epsilon - 2p_X(E)\epsilon) \log(p_X(E) + \epsilon - 2p_X(E)\epsilon) - \\ &= -(1 + 2p_X(E)\epsilon - p_X(E) - \epsilon) \log(1 + 2p_X(E)\epsilon - p_X(E) - \epsilon) + (1 - \epsilon) \log(1 - \epsilon) + \epsilon \log \epsilon \\ &= -(\rho + \epsilon - 2\rho\epsilon) \log(\rho + \epsilon - 2\rho\epsilon) - (1 + 2\rho\epsilon - \rho - \epsilon) \log(1 + 2\rho\epsilon - \rho - \epsilon) + [\rho(1 - \epsilon) \log(1 - \epsilon) + \\ &= \rho\epsilon \log \epsilon + (1 - \rho)\epsilon \log \epsilon + (1 - \rho)(1 - \epsilon) \log(1 - \epsilon)] \end{aligned} \quad (10)$$

依据信息熵原理,系统维持有序度不降低的充分必要条件是,系统中有效利用的组织化信息量的增长率不低于最大熵增长率。“组织化信息量”是指在系统中以有序、结构化形式存在的信息总量。这一点贴合了处理实物捐助的思想,保持物流系统的有序性。决策者对物资分类筛选系统实施控制以获取信息,从而有效避免因不恰当归类而导致的效用损失。因此,引入信息价值,以求解后续的分类筛选系统中的阈值,即每单位筛选努力的增长量所避免的效用损失的增长率不小于最大信息量所避免的最大效用损失,信息价值的函数表示如下:

$$v(\epsilon) = \frac{\min\{D_{FN}, D_{FP}\} - D(\epsilon)}{I(\epsilon)} \quad (11)$$

其中,(1) $\min\{D_{FN}, D_{FP}\}$ 是最小的经济损失。

$\min\{D_{FN}, D_{FP}\} - D(\epsilon)$ 衡量实施筛查策略与完全不采取筛查措施相比可避免的最大损失。 $D(\epsilon)$ 表示在误差水平 ϵ 下的损失,这与筛查的准确性相关。如果筛查能够以较低成本识别风险,从而防止更大的损失,那么这种筛查策略就被认为具有价值。(2) $v(\epsilon)$ 是信息价值,衡量单位信息价值的损失规避量,它衡量了获取额外信息以减少不确定性的价值,这种不确定性的降低将转化为经济上的成本节约。 $I(\epsilon)$ 是策略间的筛选努力差值,受到以下约束:

$$\begin{aligned} I(\epsilon) &= \min_{p(b_j|a_i) \in B_D} \{I(X; Y)\} \\ \text{s.t. } \varphi &= D - \bar{D} = D \\ - \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s p(a_i) p(b_j|a_i) d(a_i, b_j) &= 0 \end{aligned} \quad (12)$$

即最大筛选努力下所能实现的信息量规避的损失不超过最大损失。

从而本文给出相应的信息价值:

$$\begin{aligned} v_1 &= \frac{\min_j \{\rho S, (1 - \rho) A\} - \rho S \cdot \epsilon - (1 - \rho) A \cdot \epsilon}{I(\epsilon)} \\ v_2 &= \frac{\min_j \{\rho S, (1 - \rho) A\}}{H(X)} \end{aligned}$$

以上表述中, $H(X)$ 和 $I(\epsilon)$ 分别是完全信息熵和信息熵差的简化表达。

3 各个决策点的阈值判别

如表1所示,本文给出了每一种策略下的效用损失,获取更多的信息可以实现更低的效用损失,最大的信息量可以避免所有的损失,本文将最大信息量下实现的损失规避的效果视为最低信息价值。信息价值是一种衡量方法,可以用它度量误差筛选策略的价值。此处信息量对应于筛选方式,越粗糙的筛选对应获得的信息量越少,而越精细的筛选对应获得的信息量越大,而完全筛选则对应获得全部(最大)信息量。如果误差筛选的误分配偏差足够小(可以理解为筛选的操作者十分有经验),即便筛选得很粗糙,也能够避免绝大多数的损失,此时单位信息量实现的价值(即信息价值)就很高;相反,如果粗糙筛选会导致很高的损失,那么其信息价值就很低,此时不得不进行完全筛选(即利用全部的信息量规避所有的误分配损失,也就是所谓的最低信息价值)。综上所述,所能实现信息价值低于完全筛选对应的最低信息价值的误差筛选被拒绝,而高于最低信息价值的误差筛选被接受。根据物资分拣流程,本文给出三个关键性的判定点。

表1 流程图中处理策略、损失矩阵、处理矩阵和效用损失

物资分布: $[X \cdot P]$	损失矩阵 $[D]$	处理策略	处理矩阵 $[P]$	效用损失 \bar{D}_d
$\begin{cases} X: & E, \quad \bar{E} \\ P(X): & \rho, \quad 1-\rho \end{cases}$	$\begin{matrix} & E & \bar{E} \\ E & \begin{pmatrix} 0 & S \end{pmatrix} \\ \bar{E} & \begin{pmatrix} A & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$	无效筛选	$\begin{matrix} E & \bar{E} \\ E & \begin{pmatrix} 1 & 0 \end{pmatrix} \\ \bar{E} & \begin{pmatrix} 1 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$	$\bar{D}_d = (1-\rho) \cdot A$
		拒绝	$\begin{matrix} E & \bar{E} \\ E & \begin{pmatrix} 0 & 1 \end{pmatrix} \\ \bar{E} & \begin{pmatrix} 0 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$	$\bar{D}_o = \rho S$
		完全筛选	$\begin{matrix} E & \bar{E} \\ E & \begin{pmatrix} 1 & 0 \end{pmatrix} \\ \bar{E} & \begin{pmatrix} 0 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$	$\bar{D}_c = 0$
		误差筛选	$\begin{matrix} E & \bar{E} \\ E & \begin{pmatrix} 1-\epsilon & \epsilon \end{pmatrix} \\ \bar{E} & \begin{pmatrix} \epsilon & 1-\epsilon \end{pmatrix} \end{matrix}$	$\bar{D}_r = \rho \epsilon \cdot S + (1-\rho) \cdot \epsilon \cdot A$

3.1 判定点1:放弃捐助或直接送出

决策者存在两种不施加控制的选择:直接送出或拒绝物资,见图1,假设放弃物资的代价是 D_o ,小于直接送出时的代价 D_d ,物资可能产生更高的灾民感知损失,即使物资被接受,造成的损失甚至超过物资所能发挥的效用,则该物资进入接受或拒绝决策中。如果放弃物资的代价大于直接送出时的代价,则物资可能发挥更高的价值,则物资进入筛选类型判定中,第一道判定为:

$$\Omega(\rho) = \rho S - (1-\rho)A = 0, \rho^* = \Omega^{-1}(\rho) \quad (13)$$

命题1 如果物资有效度大于 ρ^* ,物资进入筛选类型判别中,如果物资有效度小于 ρ^* ,物资被拒绝。

3.2 判定点2:筛选或无效筛选

当放弃物资的损失大于直接送出物资的损失,物资进入筛选或无效筛选判定。其中,筛选工作用于避免最小损失 D_o 。如果误差筛选有意义,存在能力限制下的个体误分配偏差(ϵ)引起的损失,信息价值为 $v_1 = [(1-\rho)A - \rho S \epsilon - (1-\rho)A \epsilon] / I(\epsilon)$,如果 $v_1 > 0$,误差筛选有意义,否则为无效筛选,第二道判别式如下:

$$g(\epsilon) = \frac{(1-\rho)A - \rho S \epsilon - (1-\rho)A \epsilon}{I(\epsilon)} = 0,$$

$$\epsilon^* = g^{-1}(\epsilon) \quad (14)$$

命题2 当一类物资对救援组织提出的偏差要求为 ϵ^* ,组织能力限制下的偏差大于 ϵ^* ,误差筛选为无效筛选,物资可以被直接送出或者组织需要安排更多人手处理这批物资;如果偏差小于 ϵ^* ,物资进入筛选阶段。

3.3 判定点3:完全筛选或者误差筛选

当物资需要相当精准的处理,效用损失对错配非常敏感时,完全筛选是提倡的。当组织能力不足造成分配效果不佳,物资本身的效用折损,人力资源和设备资源等都未得到合理利用时,极易导致无

效筛选。在紧张的救援行动中,例如高时效性的物资需要及时分配,针对性的物资也需要匹配到需求,例如新冠疫情期间,医疗物资是最紧缺的,需要被分配到各大医院,普通的防护物资虽具备防护效果,但是并不适合被分配到医院。

完全筛选和误差筛选之间的判定实际上是对资源分配的一种探讨,如果救援组织有能力完全安置好一批救援物资,该批物资能够发挥全部的效用,针对另一批物资,如果资源未充分协调,存在效用损失,只要前者的完全筛选和后者的误差筛选可以实现最大的效用,那么此时的资源分配是理想的,但如果后者的整体效用损失更为可观,资源需要被重新分配以改善最终的效用表现。

如果救援组织考虑接受捐赠而不是直接拒绝,物资的效用更为突出,物资进入筛选通道,通过该判定,更容易观测到不同属性的物资所需要投入的资源水平,有利于在实物捐助实务中进行更有效的控制和实施资源调配,第三道判别式如下:

$$\begin{aligned} k(\epsilon) &= \frac{(1-\rho)A}{H(X)} \\ -\frac{(1-\rho)A - \rho \epsilon S - (1-\rho)\epsilon A}{I(\epsilon)} &= 0, \epsilon^{**} = k^{-1}(\epsilon) \end{aligned} \quad (15)$$

命题3 当一类物资对救援组织提出的偏差要求为 ϵ^{**} ,组织能力限制下的偏差大于 ϵ^{**} 但小于 ϵ^* ,物资进入完全筛选;如果偏差小于 ϵ^{**} ,物资进入误差筛选。

3.4 完全筛选和误差筛选阈值性质分析

根据边界条件 ϵ^{**} 的表达式,本文发现,偏差受到有效度和效用损失(S, A)的影响,偏差关于有效度的分布为4个单调区间,关于损失 S 的分布为3个单调区间,组合表现如图2所示,证明见附录。结合偏差关于有效度和损失 S 的关系,较低的有效度对处理能力提出更高的要求(偏差下降,即提高了对

处理能力的要求),同时,导致了损失 S 阈值的扩大(左上),进而导致更大损失 S 属性的物资会进入误差筛选,也意味着可能损失更大的效用;随着有效度的提升,物资对处理能力的要求下降,但同时损失 S 阈值增加(右上),或者更高的效度空间锁定更多的资源,即误差值下降,但损失 S 边界同时下降(左下),即更大损失 S 属性的物资不会进入误差筛选,资源需要在确保物资效度和获取高效用价值的

物资之间进行权衡;高效度区间的物资放松了对资源的要求,阈值 S 下降,资源在该区间更具备弹性。在完全筛选和误差筛选决策中,偏差关于物资效用非常敏感。效用越高的物资对处理的要求是资源密集型的。例如,一些高时效性的物资没有及时分发,或者应被定向分发的专业性物资被发送给不恰当的需求方处,这都会损失物资的效用,更具时效性和针对性强的材料对应应急救援组织提出了更高的要求。

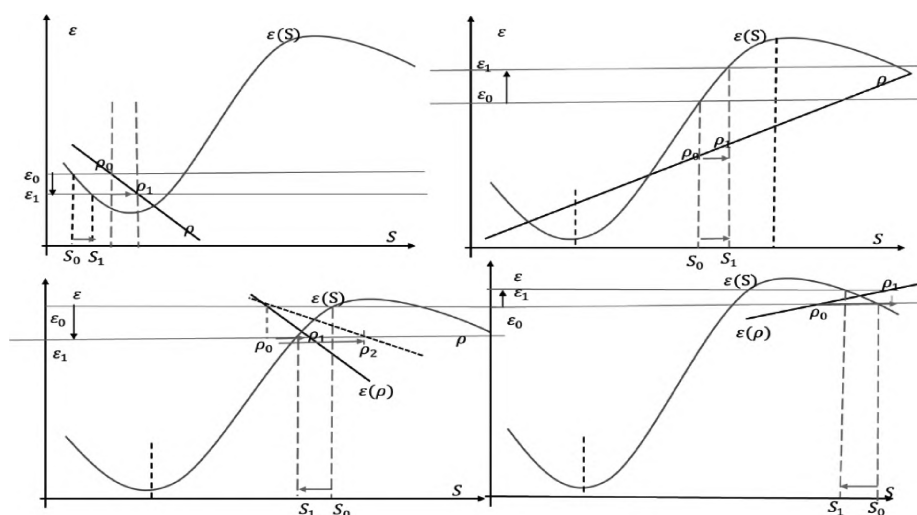


图2 阈值关于有效度和损失阈值 S 的关系

4 案例分析

本文以武汉市针对新冠疫情防控工作为例,分析疫情期间武汉市红十字会在处理实物捐赠方面的作用。本文统计了2020年1月24日—2月11日武汉市红十字会收到的实物捐赠(数据来源公告日期见附录)。武汉市红十字会发布的公告中,各类捐赠物资需在保质期内,来自正规企业,产品符合国家质量标准,包装完好无损。捐赠物资包括以下类型:N95口罩(有注册证,无阀门)、防护服(连体带鞋套)、一次性医院外科口罩、防护面罩、护目镜、84消毒液、一次性消毒床罩、一次性普通口罩、一次性医用帽、一次性使用手术衣、医用手套等。除了公告中列出的主要需求外,红十字会及其总部还收到了许多其他类型的物资捐赠。

鉴于武汉红十字会披露的公告中,口罩类物资占据相当高的比例,种类非常多。由于灾害的突发性,前期很多捐赠者没有按照红十字会发布的公告捐赠符合要求的口罩。很多口罩不符合医用标准,品牌和质量参差不齐,给处理人员带来困难,例如很多非医用口罩物资后期没有分拣,统一安排后直接由指挥部一并发放。由于医疗防护类的物资属于功能型的物资,物资效用取决于防护功效。基于武汉红十字会发布的物资标准公告,对不同类型的

口罩物资按照口罩的防护性归类^[31],根据使用场景按照防护系数差值确认负面影响,取决于使用者偏好下的感知损失。本文不使用经济成本来衡量两类损失,一方面,这些物资来源于自发捐赠,并非采购物资;另一方面,红十字会处理物资的过程中对标准的医用口罩有规范的分配,数量多且难以分拣的其他类型的口罩类物资由指挥部发放。因此,本文按照物资功效探讨分流结果,最终的分拣结果按照属性相似的材料组进行对比分析。

4.1 限制性资源能力下物资有效和假正类、假反类损失对筛选策略的影响

本文考虑不同类型的口罩,详情见附录附表3。计算结果验证了在所有组中,标准规格的医用口罩无需筛选,直接输出,不存在其他策略。对于非标准规格的口罩的输出,结果如图3、图4和图5所示。

针对图3,可以给出不同处理能力下的筛选结果。例如,当偏差为0.1时,如果有效度低于15%,该物资将被拒绝;如果有效度高于15%但低于40%,捐赠物可以接受0.1范围内的偏差;如果有效性高于40%且低于70%,则捐赠需要完全筛选;如果有效性高于70%,筛选无效。可以看出,当救援组织处理能力很弱时,几乎所有的物资都在无效筛选区。如果无效筛选是组织能力不足造成的,则因灾民感知损失带来的负面影响会非常突出。

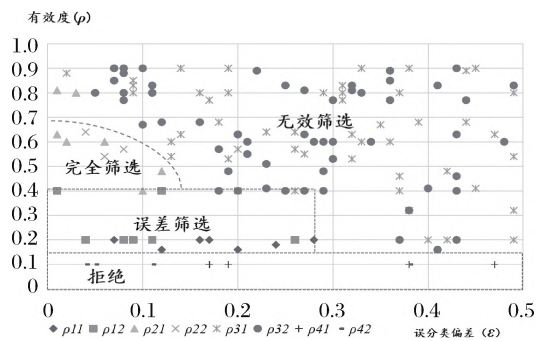


图3 非医用口罩1和非医用口罩2的分流结果

注:其中, ρ_{11} 、 ρ_{21} 、 ρ_{31} 、 ρ_{41} 代表非医用口罩1组的有效度,
 ρ_{12} 、 ρ_{22} 、 ρ_{32} 、 ρ_{42} 代表非医用口罩2组的有效度。

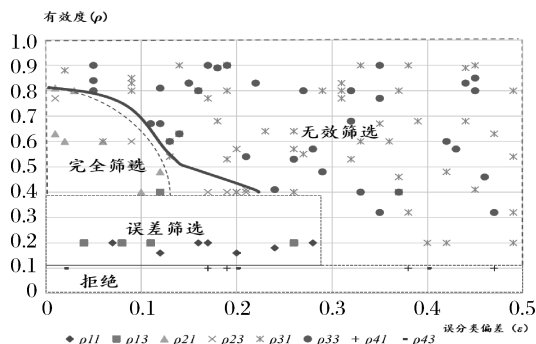


图4 非医用口罩1和非医用口罩3的分流结果

注:其中, ρ_{11} 、 ρ_{21} 、 ρ_{31} 、 ρ_{41} 代表非医用口罩1的有效度,
 ρ_{13} 、 ρ_{23} 、 ρ_{33} 、 ρ_{43} 代表非医用口罩3的有效度。

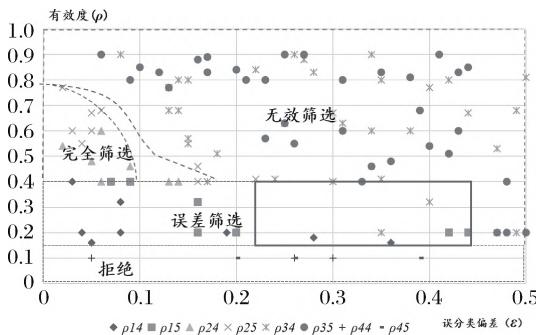


图5 非医用口罩4和非医用口罩5的分流结果

注:其中, ρ_{14} 、 ρ_{24} 、 ρ_{34} 、 ρ_{44} 代表非医用口罩4的有效度,
 ρ_{15} 、 ρ_{25} 、 ρ_{35} 、 ρ_{45} 代表非医用口罩5的有效度。

对比口罩1和口罩3,灾民感知损失更大的物资,完全筛选范围更广,完全筛选区域扩大的部分的有效度处于40%~60%之间,它占据的是整个完全筛选区域的有效度(即40%~80%)的低有效度段。这意味着,灾民感知损失高的物资容易将物资筛选锁定在一个更低的效用区间。但是,正如案例显示的,救灾的场景越复杂,资源能力和灾民的损失之间甚至存在传导作用,资源能力越有限,物资越可能发生错配和误配,这会导致图4无效筛选边界的左移,当无效筛选的广度超出一定范围,救援组织对物资的处理也失灵了。

如图3所示,非医用口罩组1和非医用口罩组2

的假反类损失相对接近,因此分拣结果相当一致。图4中,对比口罩组1和口罩组3,由于口罩组3的假正类损失明显大于口罩组1,因此完全筛选范围变大,负面影响高的材料对处理的要求更高。如图5所示,通过比较非医用口罩组2、3和非医用口罩组4、5的组合,非医用口罩组4、5的假反类损失低于非医用口罩组2、3,结果显示,误差筛选范围较广,对资源提出更低的要求。上述研究结果表明,如果救援组织能够清楚地界定不同物资的使用场景,资源的分配将会更有效率。

4.2 不同优先级物资在不同资源投入水平下的效用

实物捐助的突出特点是物资的混合优先级,且不同的救援组织所能够投入的资源也有所差异。因此,本文根据物资属性将物资分为三类:低优先级(有效度低,损失A低,损失S低),高优先级1类(有效度高,损失A低,损失S高)、高优先级2类(有效度高,损失A高,损失S高),并将救援组织能够投入的资源水平按照从高到低分为三个水平: $\phi_1 > \phi_2 > \phi_3$ 。本文将2020年1月28日—2月6日的物资信息按照三类物资进行编码,同类物资通过生成随机数来处理,通过算法搜索最优的资源分配方案,确定不同类型的物资应该投入的资源水平。首先,输入编码信息,搜索最优的资源分配方案。其中,资源约束下的随机偏差服从正态分布,即随机偏差组合的样本方差

$$\text{满足总约束: } S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\epsilon_i - \bar{\epsilon})^2}, \text{ 不同的样本方}$$

差值代表了不同的处理能力。最优的资源分配方式下,为了输出最多的误差筛选方案(资源弹性最大)和最少的无效方案(不良分配造成的资源浪费),其中每个输出结果中对应着组织针对不同有效度不同性质的物资所做出的决策判断,是否接受物资以及付出多少资源处理物资,处理能力根据相应的偏差分布得到,相关输出和最优输出结果见附录附表2,表格中最后一个解是最优解,最终的资源分配可以根据误分配偏差的具体数值判断。本研究不对细策策略下的资源分配策略展开分析,只分析不同资源投入水平下的三类典型的优先级物资的救援效果。由于不同优先级的物资的数量分布视具体灾害情境而定,本文假设三类物资的数量分布是一致的(每批次1000件),从而得到不同资源投入水平下的物资效用。

图6结合资源约束下总体处理偏差上限的约束,对比了三类不同优先级的物资在不同资源能力下取得的物资效用。较为特殊的是低优先级的物资,在分流的策略中,救援组织有能力对低优先级的物资进行筛选,但是物资取得的效果低于资源更

低时处理的结果,后者在分流中会有更多的低优先级物资被直接送出。由于在案例中,低优先级物资属于灾民感知损失低,有一定价值且有效性一般的物资,针对这类属性的物资,救援组织可以适当减少资源的投入,这在现实中较为常见,例如应急指挥部会统一将洗手液、面巾纸等物资集中送到各个社区,而不是针对性地分拣发放,例如对消毒水的处理。

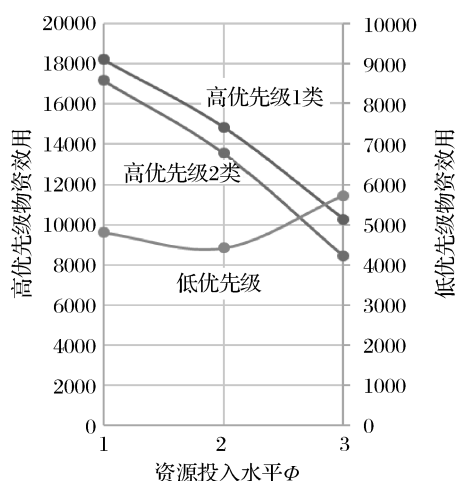


图6 不同资源投入下物资分类筛选的处理效果

4.3 讨论与启示

上述实际案例给救援组织带来了一定的管理学启示。第一,可以看出,无论救援组织的处理能力如何,低于一定范围的有效度的物资都是不可接受的;只有当物资的有效度达到一定程度时,才会考虑进行筛选;而当物资具有高有效度时,即可直接被送往灾区。这意味着,盲目地进行组织能力建设(即减小筛选误分配偏差)并不能保证提高实物捐助的效率,最重要的还是通过各种手段提高实物捐助的有效度,例如,加大相关知识的普及与推广力度,增加灾害的媒体曝光度等,让捐赠者更快速了解到灾民所缺乏的、有效的物资。第二,除了物资本身的有效度之外,实物捐助的处理还涉及诸多其他因素,例如可供调配的资源、物资时效性导致的优先级调整等。因此,救援组织应当明确不同物资的各项属性,根据相应的情况实行正确的筛选策略。第三,无论救援组织是否具有足够的资源,都应当优先将资源投入到高优先级、低负效用的物资筛选中去,因为这类物资的筛选所获得的效用是最高的;相反,对于低优先级的物资,不建议救援组织投入过多的资源进行处理,容易造成浪费。

5 结语

实物捐助在灾害应急管理运作中发挥着不可或缺的作用,然而,这也是一柄“双刃剑”,一旦处理

不当,就会造成诸如物资集聚现象的严重后果。为帮助救援组织以及应急运作决策者解决实物捐助的处理问题,本文引入了筛选理论和信息熵理论,以信息价值为核心建立了处理实物捐助的判别标准,并由此构建了实物捐助的筛选与分拣体系。不同于大多数相关文献停留于定性的概念说明与理论假设,本文通过数学建模给出了判别阈值,并设计算法结合实际案例数据进行分析,其结果与人们的正常认知相符(例如,随着灾民感知损失增大,拒绝的有效度判别阈值越高),进而验证了本文筛选与分拣体系的合理性。

在实物捐助中,物资效果的评价体系非常复杂,因此,本文是从组织决策的角度上通过不同决策方案下最优的资源协调效果去改善整体的实物捐助输出结果。系统的设计体现了一种预测性,即损失是尚未发生的,但最坏的情况是可以预测的。这种预测性结合了人力处理物资的核心目的,提升物资筛选与分拣系统的有序性并获取最大的物资效用。这种有序性的实现通过筛选过程获取的信息达成,在信息获取的基础上达到了对物资进行有效分配的目的,从而规避了整个系统的物资效用损失和组织资源损耗。

未来的研究可以基于本文的筛选与分拣体系,进一步精细化假设与参数,使得结果更加贴近实际情况,并运用于不同的场景。例如,考虑物资类别对整个筛选过程的影响,考虑救援组织的能力建设以及类型等。

参考文献:

- [1] Holguín-Veras J, Encarnación T, Van Wassenhove L N, et al. Reducing material convergence in disaster environments: The potential of trusted change agents [J]. Transportation Research part E: Logistics and Transportation Review, 2022, 162: 102736.
- [2] Suzuki Y. Impact of material convergence on last-mile distribution in humanitarian logistics [J]. International Journal of Production Economics, 2020, 223: 107515.
- [3] Matheny S, DeYoung S E, Farmer A K. Analysis of material convergence, logistics, and organizational typology of animal supplies in the 2018 puna lava flow [J]. Natural Hazards Review, 2020, 21(3): 05020006.
- [4] Ye N, Teng L, Yu Y, et al. "What's in it for me?" The effect of donation outcomes on donation behavior [J]. Journal of Business Research, 2015, 68(3): 480-486.
- [5] Holguín-Veras J, Jaller M, Van Wassenhove L N, et al. Material convergence: Important and understudied disaster phenomenon [J]. Natural Hazards Review, 2014, 15(1): 1-12.

- [6] Holguín—Veras J, Taniguchi E, Jaller M, et al. The tohoku disasters: Chief lessons concerning the post disaster humanitarian logistics response and policy implications [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2014, 69: 86—104.
- [7] Van Wassenhove L N, Pedraza Martinez A J. Using OR to adapt supply chain management best practices to humanitarian logistics [J]. *International Transactions in Operational Research*, 2012, 19(1—2): 307—322.
- [8] Moskowitz H, Plante R, Tsai H T. Single-sided economic screening models incorporating individual unit misclassification error and risk preference [J]. *European Journal of Operational Research*, 1991, 53(2): 228—243.
- [9] Islam M. In-kind donation practices, challenges and strategies for NGOs and donors [D]. Atlanta: Georgia Institute of Technology, 2013.
- [10] Thomas A, Fritz L. Disaster relief, inc [J]. *Harvard Business Review*, 2006, 84(11): 114—22, 158.
- [11] 郭鹏辉, 朱建军, 王嵩华. 考虑异质物资合车运输的灾后救援选址—路径—配给优化 [J]. *系统工程理论与实践*, 2019, 39(9): 2345—2360.
Guo P H, Zhu J J, Wang H H. Location—routing—allocation problem with consolidated shipping of heterogeneous relief supplies in post—disaster rescue [J]. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 2019, 39(9): 2345—2360.
- [12] Buisman M E, Haijema R, Akkerman R, et al. Donation management for menu planning at soup kitchens [J]. *European Journal of Operational Research*, 2019, 272(1): 324—338.
- [13] 朱莉, 曹杰, 顾珺, 等. 考虑异质性行为的灾后应急物资动态调度优化 [J]. *中国管理科学*, 2020, 28(12): 151—161.
Zhu L, Cao J, Gu J, et al. Dynamic routing—allocation optimization of post—disaster emergency resource considering heterogeneous behaviors [J]. *China Journal of Management Science*, 2020, 28(12): 151—161.
- [14] 葛洪磊, 刘南. 复杂灾害情景下应急资源配置的随机规划模型 [J]. *系统工程理论与实践*, 2014, 34(12): 3034—3042.
Ge H L, Liu N. A stochastic programming model for relief resources allocation problem based on complex disaster scenarios [J]. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 2014, 34(12): 3034—3042.
- [15] Ozen M, Krishnamurthy A. Resource allocation models for material convergence [J]. *International Journal of Production Economics*, 2020, 228: 107646.
- [16] Zayas-Cabán G, Lodree E J, Kaufman D L. Optimal control of parallel queues for managing volunteer convergence [J]. *Production and Operations Management*, 2020, 29(10): 2268—2288.
- [17] Tang K. Economic design of a one—sided screening procedure using a correlated variable [J]. *Technometrics*, 1987, 29(4): 477—485.
- [18] Metz C E. Basic principles of ROC analysis [J]. *Seminars in Nuclear Medicine*, 1978, 8(4): 283—298.
- [19] Wilson J, Jungner G. Principles and practice of screening [J]. WHO: Geneva, 1968, 69(5): 1085.
- [20] Aiello G, Enea M, Muriana C. The expected value of the traceability information [J]. *European Journal of Operational Research*, 2015, 244(1): 176—186.
- [21] 梁帅, 汪翔, 王熹徽. 基于匮乏理论的灾害应急实物捐助协调研究 [J]. *系统工程理论与实践*, 2022, 42(9): 2509—2522.
Liang S, Wang X, Wang X H. Coordination research of in-kind donation in disaster relief based on deprivation theory [J]. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 2022, 42(9): 2509—2522.
- [22] Dorfman R. The detection of defective members of large populations [J]. *The Annals of Mathematical Statistics*, 1943, 14(4): 436—440.
- [23] Shannon C E. A mathematical theory of communication [J]. *Bell System Technical Journal*, 1948, 27(3): 379—423.
- [24] 李习彬. 熵—信息理论与系统工程方法论的有效性分析 [J]. *系统工程理论与实践*, 1994, 14(2): 37—42.
Li X B. Entropy—information theory and an analysis of the effectiveness of systems engineering's methodology [J]. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 1994, 14(2): 37—42.
- [25] Cha J H, Finkelstein M, Levitin G. Optimal warranty policy with inspection for heterogeneous, stochastically degrading items [J]. *European Journal of Operational Research*, 2021, 289(3): 1142—1152.
- [26] Chen J, Hu Q. Optimal payment scheme when the supplier's quality level and cost are unknown [J]. *European Journal of Operational Research*, 2015, 245(3): 731—742.
- [27] Howard R A. Information value theory [J]. *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, 1966, 2(1): 22—26.
- [28] Kaplan S. The words of risk analysis [J]. *Risk analysis*, 1997, 17(4): 407—417.
- [29] Holguín—Veras J, Jaller M, Van Wassenhove L N, et al. On the unique features of post—disaster humanitarian logistics [J]. *Journal of Operations Management*, 2012, 30(7—8): 494—506.
- [30] Holguín—Veras J, Pérez N, Jaller M, et al. On the appropriate objective function for post—disaster humanitarian logistics models [J]. *Journal of Operations Management*, 2013, 31(5): 262—280.

- [31] World Health Organization. Advice on the use of masks in the community, during home care and in health care settings in the context of the novel coronavirus (2019—nCoV) outbreak: interim guidance, 29 January 2020 [R]. Working Paper, World Health Organization, 2020.

Research on Optimization Strategy of In-Kind Donation Selection and Sorting Based on Information Entropy

Wu Minlian¹, Fan Yu¹, Wang Xihui¹, Liu Lindong¹, Li Yunbo²

(1. The School of Management, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China;

2. The School of Land Science and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: In-kind donations are one of the crucial ways for social forces to participate in disaster emergency relief. However, many inefficient and ineffective in-kind donations can take up a lot of resources and staffing of emergency management departments, leading to the aggregation effect of materials, which in turn affects the development of emergency relief work. The current difficulty in managing in-kind donations is how to screen and sort mixed types of materials and control the adverse effects caused by poor quality and ineffective donations. In this paper, an optimization strategy for screening and sorting in-kind donations is proposed based on information entropy to address the question of when emergency management departments should accept in-kind donations. Furthermore, how can allocate resources to handle in-kind donations achieve optimal results? These are two critical questions in in-kind donations for emergency management. A stepwise sorting system model for in-kind donations is constructed by comparing mixed information, corresponding judgment thresholds are given for judging sorting strategies such as rejection, error screening, and complete screening, and the effects of different covariates on each threshold are analyzed. Finally, by designing a stochastic sorting algorithm and an optimization algorithm under resource constraints, case studies on the proposed model are conducted to verify the accuracy and feasibility of the proposed control criteria.

Key words: disaster emergency; in-kind donation; information value; material distribution; information entropy