

基于云模型的单元化应急物资集装评价

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2023.06.010

雷皓翔^{1,2} 黄国平^{1,2}

1. 湖南工业大学

商学院

湖南 株洲 412007

2. 湖南工业大学

湖南省包装经济研究基地

湖南 株洲 412007

摘要: 为优化单元化应急物资集装包装,引入云模型进行综合评价,并验证该方法的可行性。通过构建以功能性、经济性、环保性、安全性为主的单元化集装评价指标,以组合赋权计算指标权重,并采用云模型计算指标评价云和指标综合云,确定最优包装方案。仿真验证结果表明,云模型构建的单元化应急物资集装评价效果优异,可为应急物资集装单元化设计提供参考。

关键词: 应急物流;集装单元化;云模型;组合赋权

中图分类号: TB489; U169.6

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2023)06-0083-08

引文格式: 雷皓翔,黄国平.基于云模型的单元化应急物资集装评价[J].包装学报,2023,15(6):83-90.

1 研究背景

突发自然灾害时,人们的生命财产安全受到严重威胁。要最大程度地降低突发事件带来的冲击,应急物资快速安全地运输至需求地是救援过程的重要环节。但应急物流系统中处理的货物种类繁多、尺寸不一,单件处理成本过高,耗费时间与资源极大。要提升物流过程的整体效率,政府部门需预储应急物资。为缩短物流准备时间,对存在一定依赖关系或数量比例的物资应提前分类组套包装和组盘集装,组成一个单元的应急物资集装体^[1],这种处理方式称为单元化(模块化)应急物资集装。

单元化物资通常储备在应急仓库,当灾害发生时,根据不同灾害的属性,将对应功能的救援物资运输至灾区。根据应急物流管理要求,应急物资应生命周期长,符合救援标准,同时还应严格把控物资包装质量。目前对应急物资包装质量的考量主要从设计要素与标准出发。郭朋朋等^[2]从人道应急物资的标准

化设计角度,分析了人道应急物资包装模数,并从包装模数评价分析得出标准化设计的应急物资包装提高了物流作业效率。李雪琴等^[3]从柔性、效率、操作、时效4个维度分析了应急物流对包装设计的要求,认为在满足应急物流效能的情境下,应主要从包装柔性、智能化等6个方面提升应急物流包装设计。

单元化集装包装是从物流集装单元化衍生而来。吴清一等^[4]提出单元化物流概念,阐释了单元化物流的特点。王玉等^[5]认为单元化物流包装器具参数应当标准化,实现单元化包装可循环利用。刘振华等^[6]认为单元化包装不仅可提高物流效率,同时也可减少环境污染,单元化包装的可循环性作为环保性指标应当融入单元化包装设计当中。

要做到单元化应急物资包装设计贴近应急物流特性,除了上述文献中提到的设计要素和标准外,还需对包装进行客观、全面评价。包装评价通常属于多准则决策问题,通过计算评价指标权重,采用不同方法求解。施琦等^[7]等以集对分析法(set pair analysis

收稿日期:2023-05-05

基金项目:湖南省包装经济研究基地基金资助项目(2022BZJG05)

作者简介:雷皓翔(1995-),男,甘肃平凉人,湖南工业大学硕士生,主要研究方向为应急物流,

E-mail: lhxymx@163.com

通信作者:黄国平(1970-),男,湖南安仁人,湖南工业大学副教授,博士,主要研究方向为应急物流,

E-mail: gordon3211@126.com

method, SPA) 确定指标体系的内部联系, 并使用网络层次分析法确定指标权重, 以灰色模糊评价划分评价等级语言确定绿色包装评分。赵吉成等^[8]采用梯形模糊数确定观测样本评分, 引入 SPA 理论结合逼近理想解排序法 (technique for order preference by similarity to ideal solution, TOPSIS) 求解最优备选包装方案。周欢等^[9]考虑了社会网络环境情景, 利用概率语言数集获取专家评分, 并基于优序关系确定包装方案排序。唐未兵等^[10]使用概率语言数集将评价语言定量转换, 结合直觉模糊多属性决策方法构建指标评价模型。李志强等^[11]等在整体包装解决方案下设计了 3 款产品, 通过组合赋权求解指标权重, 使用 TOPSIS 法确定备选方案的优劣排序。

从上述文献来看, 包装评价大多是将定性语言转换为定量的数据分析, 用不同方法确定最优方案。这些文献大都以模糊语言模型对包装进行综合评价, 用隶属函数将具有模糊性的评价语言“硬化”成精确数值, 忽视了定性概念的亦此亦彼性 (即模糊性) 中存在的随机性。鉴于此, 本文通过分析应急物流与单元化集装箱包装特性, 构建单元化应急物资集装箱的指标体系进行综合评价, 采用云模型确定最优集装箱方案。

云模型由我国工程院院士李德毅等^[12]提出, 已广泛应用于多准则决策、能源利用率评价^[13]、商品决策^[14]、综合评价等方面。云模型的 3 个数字特征不仅能实现定性语言与定量概念的完美转换, 而且将定性概念的模糊性和随机性关联起来进行统一刻画, 使评价结果更加准确可信。本文通过构建单元化应急物资集装箱评价体系, 使用组合赋权计算指标权重; 引入评价标准云, 并结合专家评分确定各指标综合云; 确定指标综合评价云与评价标准云的相似度, 进而选择最优方案。

2 指标选取

2.1 指标体系构建

单元化集装箱是提升应急物流发展的举措之一, 它能满足应急物流的突发性、随机性, 缩短物资准备时间。因此结合单元化与应急物流特点, 对单元化集装箱进行全面评价具有重要意义。科学、合理的指标体系是评价模型求解的基础, 因此需要分析应急物流包装设计准则, 构建单元化应急物资集装箱指标体系。本文将单元化应急物资集装箱设为目标层, 以功能性、经济性、环保性和安全性 4 个指标为一级指标, 根据

一级指标的影响因素设置 12 个二级指标。具体指标体系如表 1 所示。

表 1 单元化应急物资集装箱评价指标体系

Table 1 Index system for evaluating unitized emergency material assemblies

一级指标	二级指标	指标类型
功能性指标 (C_1)	快速储运水平 (C_{11})	效益型
	标准化水平 (C_{12})	效益型
	空间利用率 (C_{13})	效益型
经济性指标 (C_2)	制造成本 (C_{21})	成本型
	存储成本 (C_{22})	成本型
	回收处理成本 (C_{23})	成本型
环保性指标 (C_3)	材料回收率 (C_{31})	效益型
	可循环利用次数 (C_{32})	效益型
	生产污染排放量 (C_{33})	成本型
安全性指标 (C_4)	抗外力能力 (C_{41})	效益型
	防潮能力 (C_{42})	效益型
	密封性 (C_{43})	效益型

2.2 指标含义

2.2.1 功能性指标

功能性指标是评价单元化应急物资集装箱的重要指标。快速储运水平的高低反映单元化包装能否实现物资快速储备、装卸、搬运、运输等, 是判断集装箱能否满足应急物流过程紧急需求性的评价尺度。标准化水平反映包装单元化特点, 统一的集装箱尺寸便于确定物资在货架、托盘等器具的堆码方式和数量, 同时也便于包装材料、包装规格的归类整理^[3]。空间利用率的高低反映物资单元化包装布局及物资装载率的合理性, 是判断单元化应急物资集装箱在空间利用上是否高效的指标。这 3 个指标符合应急物流突发性、随机性的特点, 指标数据的高低反映了应急物流过程的效率。

2.2.2 经济性指标

单元化集装箱在确定集装箱模数后, 往往需要大批量生产和储备。为降低应急救援过程成本费用, 在满足应急物流需求特性下, 还需要考虑集装箱过程中产生的费用。应急物资可能需要长期储备, 因此需要考虑储备过程中的存储成本, 包括仓储费用和存储中产生的边际成本。同时还需要考虑集装箱制造成本和收回处理成本。经济性所选取的二级指标皆为成本型指标, 在数据处理时需区分于效益型指标。

2.2.3 环保性指标

我国包装行业面临“两山理念”的发展需求^[15], 在满足高救援效率的前提下, 集装箱的环保性要做到进一步优化。大批量的包装产生的污染不容小觑, 在单

元化应急物资集装评价时需要考虑绿色环保理念, 顺应生态文明思想。环保性二级指标的选取参照文献[5], 结合单元化集装可循环利用的特性, 主要选择材料回收率、可循环利用次数和生产污染排放量等3项指标。

2.2.4 安全性指标

由于应急物流的特殊性, 包装设计还需考虑长期储备环境、运输过程中复杂地理条件和极端天气状况, 确保应急物资具有长期、稳定的生命周期。二级指标选取为抗外力能力、防潮能力和密封性。抗外力能力指物资在运输中避免因外力造成的损坏和变形的能力, 以集装的抗压强度作为指标原始数据。运输过程中, 可能会遇到恶劣天气条件或船舶、车辆等运输工具漏水等情况, 因此单元化集装需要具备良好的密封性。同时, 灾害事件的发生具有不确定性, 应急物资可能需要长期储备, 应当确保储备过程中货物不易受潮, 因此集装也应当具有良好的防潮能力。

3 应急物资单元化集装评价模型

3.1 确定指标权重

3.1.1 指标数据处理

由于选取的指标数据在量纲上存在差异, 为消除这种影响, 需要对各指标值进行标准化处理。

效益型指标

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_{1 \leq j \leq m} x_{ij}}{\max_{1 \leq j \leq m} x_{ij} - \min_{1 \leq j \leq m} x_{ij}}; \quad (1)$$

成本型指标

$$y_{ij} = 1 - \frac{x_{ij} - \min_{1 \leq j \leq m} x_{ij}}{\max_{1 \leq j \leq m} x_{ij} - \min_{1 \leq j \leq m} x_{ij}}。 \quad (2)$$

式中: x_{ij} 为初始数据, 表示第 i 个样本的第 j 项指标; y_{ij} 为处理后的数据。

3.1.2 组合赋权确定指标权重

当指标体系中的组成成分确定后, 对各指标权重的确定是关键环节。权重的确定可以采用主观赋权法, 也可以采用客观赋权法。目前普遍采用的主观赋权法是层次分析法 (analytic hierarchy process, AHP)。它将目标分解为多个准则, 进而分解为多指标的若干层次, 通过专家打分 (一般用德尔菲法) 将定性指标量化, 算出层次单排序和总排序。而最常采用的客观赋权法是熵权法, 根据各指标的数据分散程度, 利用信息熵计算出各指标权重。由于 AHP 法过于依赖专家经验, 熵权法又只从实测数据出发, 因

此可结合 AHP 法和熵权法, 利用组合赋权计算指标权重, 这能在一定程度上消除单一赋权法的局限性, 从而形成一种主客观相结合的科学评价方法。

传统熵权法计算权重的过程如下:

令

$$p_{ij} = y_{ij} / \sum_{i=1}^n y_{ij}, \quad (3)$$

$$H_j = -\ln n \cdot \sum_{i=1}^n (p_{ij} \ln p_{ij}), \quad (4)$$

则得传统熵权法权重

$$b_{0j} = \frac{1 - H_j}{\sum_{j=1}^m (1 - H_j)}, \quad \sum_{j=1}^m b_{0j} = 1。 \quad (5)$$

为避免熵权随信息熵细微变化出现成倍扩大的现象, 同时为避免 $H_j \rightarrow 1$ 时熵传递的信息不一致的情况, 本文采用改进熵权法^[16]:

一次改进后熵权法权重

$$b_{1j} = \frac{1 + \bar{H} - H_j}{\sum_{k=1, H_k \neq 1}^m (1 + \bar{H} - H_k)}, \quad (6)$$

式中: H_k 为所有不等于 1 的熵值; \bar{H} 为所有不等于 1 的熵值平均值。

二次改进后熵权法权重

$$b_j = \begin{cases} (1 - \bar{H})b_{0j} + \bar{H}b_{1j}, & H_j < 1; \\ 0, & H_j = 1. \end{cases} \quad (7)$$

最后计算组合权重

$$\omega_j = \frac{a_j b_j}{\sum_{j=1}^m a_j b_j}, \quad (8)$$

式中 a_j 为 AHP 法的指标权重。

3.2 构建云模型评价方法

3.2.1 云模型相关概念

定义 1 设 U 是一个用精确数值表示的定量论域, C 是与 U 相联系的定性概念, 若定量值 $x \in U$, 且 x 是定性概念 C 的一次随机实现, x 对 C 的隶属度 $\mu(x) \in [0, 1]$ 是具有稳定倾向的随机数。 $x \in U$ 均有 $x \rightarrow \mu(x)$, 则 x 在论域 U 上的分布称为隶属云, 简称为云。

云模型的核心思想是通过其 3 个数字特征反应定性概念的特征, 实现定性语言与定量数据的转换, 降低隶属度的随机性, 并有效防止信息丢失^[17]。设 $C(Ex, En, He)$ 是一朵云, 其中 Ex 、 En 、 He 是云 C 的 3 个数字特征, 分别表示云的期望、熵和超熵。期望

Ex 指云滴在论域空间分布的期望, 表示概念在论域 U 的中心值。熵 En 指不确定程度, 表示云滴分布的不确定性和模糊性, 反映了指标概念所接受的数值范围。超熵 He 即熵的熵, 表示熵的程度; 超熵大小决定云的厚度, 也反映隶属度的随机性。

3.2.2 确定评价标准云

设确定的定性语言评价集为 S , 其对应的语义评价有效论域为 U , 将确定的语义评价论域划分为若干个奇数子区间, 每一个子区间可以转化为一朵云, 同时作为该区间的评价标准云。设论域 U 的一个子区间为 L , 双边约束为 $L=[X_{\min}, X_{\max}]$, 该区间 L 的评价标准云 $C_0(Ex_0, En_0, He_0)$ 的数字特征为^[18]:

$$\begin{cases} Ex_0 = \frac{X_{\max} + X_{\min}}{2}, \\ En_0 = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{6}, \\ He_0 = K. \end{cases} \quad (9)$$

式中 K 为常数, 根据实际模糊度取 $K=En_0/10$ 。

3.2.3 不确定语言评价转换为云模型

由 p 位专家 $T_s(s=1, 2, \dots, p)$ 对评价指标 $T_j(j=1, 2, \dots, m)$ 在有效论域 U 范围内进行综合打分, 得到的分数集合为 $Z_{sj}(z_{s1}, z_{s2}, \dots, z_{sm})$, 则不确定语言评价云 C_j 的数字特征计算如下:

$$Ex_j = \frac{1}{p} \sum_{s=1}^p z_{sj}, \quad (10)$$

$$En_j = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{p} \sum_{s=1}^p |z_{sj} - Ex_j|, \quad (11)$$

$$He_j = \sqrt{S_j^2 - En_j^2}. \quad (12)$$

式中 S_j^2 为第 j 个指标的专家评分方差,

$$S_j^2 = \frac{1}{p-1} \sum_{s=1}^p (z_{sj} - Ex_j)^2. \quad (13)$$

3.2.4 确定综合云

假定评价体系中有 n 朵相邻云, 通过式(14)~(16)得到 n 个云模型的综合云, 其数字特征^[19]为

$$E_X = \sum_{j=1}^m Ex_j \omega_j / \sum_{j=1}^m \omega_j, \quad (14)$$

$$E_N = \sum_{j=1}^m En_j \omega_j^2 / \sum_{j=1}^m \omega_j^2, \quad (15)$$

$$H_E = \sum_{j=1}^m He_j \omega_j / \sum_{j=1}^m \omega_j. \quad (16)$$

3.2.5 计算云相似度

在确定指标的综合评价云后, 其与评价标准云间

的关系可通过两者的相似度来综合评价。综合评价云与评价标准云的相似度越近, 则表示该指标越接近对应标准评价云的语义变量。计算综合评价云与标准评价云的相似度 $\text{sim}(C^*, C_i)$, 其算法步骤如下。

输入: 云模型 $C_1=(Ex_1, En_1, He_1)$, $C_2=(Ex_2, En_2, He_2)$ 及云滴数 n 。

输出: 云模型间相似度 $\text{sim}(C^*, C_i)$ 。

Step 1 两朵云 $C_1=(Ex_1, En_1, He_1)$ 、 $C_2=(Ex_2, En_2, He_2)$ 通过正向云发生器^[20]各生成 n 个云滴。

Step 2 将各自两朵云的云滴横坐标降序排列, 记作 $(x_{1i}, \mu(x_{1i}))$ 、 $(x_{2i}, \mu(x_{2i}))$, $i=1, 2, \dots, n$ 。

Step 3 保留区间 $[Ex-3En, Ex+3En]$ 内的云滴, 将两个云模型的云滴数记为 n_1 、 n_2 。

Step 4 比较两朵云的云滴数 n_1 、 n_2 。若 $n_1 \geq n_2$, 从 n_1 中选取 n_2 个云滴进行降序排列, 保存在集合 $Drop_1$ 和 $Drop_2$ 中; 否则从 n_2 中选取 n_1 个云滴进行上述操作。

Step 5 假设 $n_1 \geq n_2$, 计算两朵云间的距离,

$$d(C_1, C_2) = d(Drop_1, Drop_2) = \frac{1}{n_2} \sum_{k=1}^{n_2} \sqrt{(x_{1k} - x_{2k})^2 + (\mu(x_{1k}) - \mu(x_{2k}))^2}. \quad (17)$$

Step 6 计算两朵云的相似度,

$$\text{sim}(C^*, C_i) = 1 - \frac{d(C^*, C_i)}{\sum_{i=1}^n d(C^*, C_i)}. \quad (18)$$

4 案例仿真分析

对市场上主流的应急物资集装进行调研, 根据调研结果设置单元化集装的基本参数。使用仿真软件生成 3 组单元化集装样本数据作为备选方案进行分析。将 3 种集装方案(样本)分别记作 A_1 、 A_2 、 A_3 , 使用上述评价方法确定最优单元化应急物资集装。

4.1 指标数据标准化

在构建的应急物流单元化集装指标体系中, 大部分指标通过仿真给定的数据进行标准化处理。 C_{11} 、 C_{12} 、 C_{42} 、 C_{43} 为定性指标, 根据仿真样本给出的集装特点, 使用 1~9 标度法将指标量化计算, 其余指标均可通过设定的指标参数确定。量化后的所有指标均通过式(1)~(2)进行标准化处理。同时为避免标准化后极端数据较多的情况, 需要根据实际需要将指标数据平移, 本文按通常做法将标准化后的数据正向

平移 0.01 个单位。处理后的指标数据如表 2 所示。

表 2 标准化指标量化值

样本	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{31}	C_{32}	C_{33}	C_{41}	C_{42}	C_{43}
A_1	0.01	0.01	0.01	0.51	0.68	1.01	0.01	0.51	0.30	0.01	0.01	0.51
A_2	0.68	1.01	0.58	1.01	1.01	0.01	1.01	0.01	1.01	0.81	1.01	0.01
A_3	1.01	0.68	1.01	0.01	0.01	0.51	0.81	1.01	0.01	1.01	1.01	1.01

4.2 计算组合赋权

根据表 1 构建的指标体系，邀请应急物流领域专家运用德尔菲法对指标因素两两之间相对重要程度打分，使用 AHP 法并通过 yaanp 软件求解主观权重。依据表 2 标准化后的指标数据，使用改进熵权法（式（7））计算指标的客观权重。最后基于式（8）确定组合赋权，得到最优权重。各指标权重如表 3 所示。

表 3 指标权重

指标	主观权重	客观权重	组合赋权
C_{11}	0.139 6	0.080 9	0.136 1
C_{12}	0.087 9	0.080 9	0.085 7
C_{13}	0.110 8	0.082 8	0.110 6
C_{21}	0.069 8	0.084 9	0.071 4
C_{22}	0.055 4	0.080 9	0.054 0
C_{23}	0.044 0	0.084 9	0.045 0
C_{31}	0.053 2	0.079 5	0.051 0
C_{32}	0.084 4	0.084 9	0.086 4
C_{33}	0.067 0	0.096 9	0.078 3
C_{41}	0.118 8	0.079 5	0.113 8
C_{42}	0.074 8	0.079 0	0.071 3
C_{43}	0.094 3	0.084 9	0.096 5

从表 3 可知，指标 C_{12} 、 C_{32} 、 C_{42} 、 C_{43} 的主观权重与客观权重较为吻合，剩余指标的则差异较大。各指标的客观权重较为均衡，而指标 C_{11} 、 C_{13} 、 C_{41} 的主观权重较大，这表明专家对单元化应急物资集装更侧重于应急物流的属性。本文所采用的组合赋权法均衡了主观性与客观性，消除了因主观效应带来的指标权重偏差，权重结果更加合理。

4.3 评价标准云

选取有效论域 $U=[0, 100]$ ，划分为 5 个评分区间，对应语言标度集 $S=\{\text{差}, \text{中}, \text{良}, \text{优}, \text{特优}\}$ ，利用式（9）计算评价标准云模型参数，结果如表 4 所示。

通过云模型正向发生器，使用 Matlab 编程生成 5 朵标准评价云图，如图 1 所示。云滴数一般取值 1 000 以上，云滴数越多越能体现云映射的模糊性与随机性。为更清晰地体现云图中标准云与样本间的差异，本文取云滴数 $n=2\ 000$ 。图 1 中横坐标代表评

分值，纵坐标表示隶属度。从左往右的云图依次代表语言标度“差”~“特优”，分别用颜色蓝橙黄紫绿表示。

表 4 评价标准云模型参数

语义变量	子区间	标准云数字特征
差	[0, 25]	(12.5, 4.167, 0.42)
中	(25, 50]	(37.5, 4.167, 0.42)
良	(50, 75]	(62.5, 4.167, 0.42)
优	(75, 90]	(82.5, 2.500, 0.25)
特优	(90, 100]	(95.0, 1.667, 0.17)

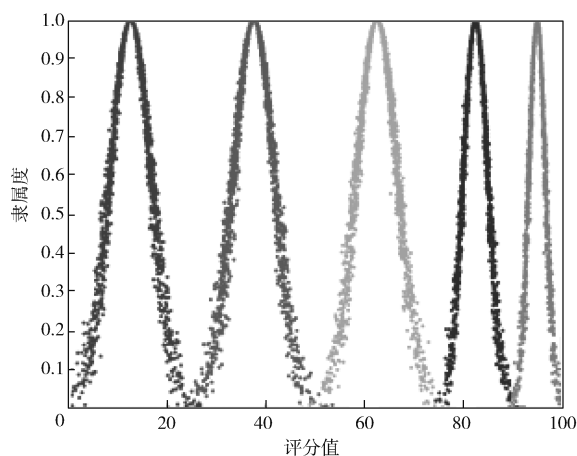


图 1 评价标准云图

Fig. 1 Standard cloud graphics for evaluation

4.4 计算指标云

邀请 10 位相关领域专家，在有效论域 U 的约束下对 3 个仿真样本综合打分。由于篇幅的原因，仅给出样本 A_3 的评分结果，如表 5 所示。

根据所有仿真样本的评价结果，通过式（10）~（12）得到各指标评价云 C_j ，其数字特征如表 6 所示。

表 5 样本 A_3 评分结果

专家	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{31}	C_{32}	C_{33}	C_{41}	C_{42}	C_{43}
1	89	77	78	87	75	75	80	89	81	89	82	82
2	75	82	89	85	83	81	84	85	85	85	76	86
3	76	86	87	83	83	80	89	84	89	79	83	81
4	78	81	87	82	84	87	80	85	86	81	84	89
5	76	83	85	76	83	77	81	87	86	82	87	76
6	85	88	76	85	82	81	87	76	75	76	89	88
7	80	86	79	81	82	85	86	79	79	84	89	84
8	75	88	80	80	87	76	77	80	79	86	82	76
9	85	87	87	78	77	86	80	77	87	80	88	80
10	80	76	82	78	87	78	84	79	84	87	77	77

表6 仿真样本指标云模型数字特征

Table 6 Numerical characteristics of the simulation sample index cloud model

指标	A ₁	A ₂	A ₃
C ₁₁	(56.1, 5.41, 1.85)	(64.0, 6.02, 1.82)	(79.9, 4.89, 0.46)
C ₁₂	(56.1, 6.39, 1.37)	(70.8, 5.77, 1.03)	(83.4, 4.51, 1.10)
C ₁₃	(57.7, 7.39, 2.40)	(72.1, 12.41, 5.17)	(83.0, 5.01, 2.06)
C ₂₁	(63.9, 6.14, 0.91)	(61.0, 10.53, 2.20)	(81.5, 3.63, 0.70)
C ₂₂	(66.1, 6.64, 0.83)	(61.3, 6.97, 0.57)	(82.3, 3.31, 1.87)
C ₂₃	(56.5, 6.39, 2.24)	(68.2, 4.31, 1.57)	(80.6, 4.26, 0.34)
C ₃₁	(60.5, 7.39, 1.84)	(73.7, 4.71, 1.71)	(82.8, 4.01, 1.30)
C ₃₂	(62.6, 8.77, 0.96)	(63.8, 6.47, 2.42)	(82.1, 4.89, 2.00)
C ₃₃	(62.2, 6.52, 2.42)	(68.8, 6.07, 0.97)	(83.1, 4.61, 1.36)
C ₄₁	(57.1, 5.84, 1.05)	(69.6, 7.12, 2.44)	(82.9, 4.14, 1.00)
C ₄₂	(63.6, 9.17, 1.80)	(68.5, 7.02, 2.23)	(83.7, 4.64, 0.53)
C ₄₃	(62.0, 5.01, 2.26)	(60.1, 7.14, 2.37)	(81.9, 4.89, 0.95)

4.5 确定综合云和相似度

将样本指标云和指标组合权重代入式(14)~(16)确定综合云。计算可得样本A₁的综合云为(59.87, 6.49, 1.70)，同理可得样本A₂、A₃的综合云，分别为(66.74, 7.42, 2.33)、(82.21, 4.58, 1.12)。

通过相似度算法，使用Matlab编程反复计算，确定仿真样本的综合云与5个等级的评价标准云间相似度。相似度越大，则与该评价等级越接近。计算结果如表7所示。

表7 指标综合云与评价标准云的相似度

Table 7 Similarity of the integrated cloud of indicators to the standard cloud for evaluation %

样本	语义变量				
	差	中	良	优	特优
A ₁	1	2	94	2	1
A ₂	1	3	83	10	3
A ₃	0	0	1	96	3

4.6 结果分析

表7的结果表明，样本A₁、A₂与语义变量“良”的等级最为接近，相似度分别为94%和84%，而A₃与“优”相似度等级最高为96%，表明A₃评价结果最优。

通过正向发生器得到如图2所示的样本A₁、A₂、A₃综合云图与标准评价云图，其中浅蓝色的分别是样本A₁、A₂、A₃的综合云图。由图2可知，与标准云相比，A₁、A₂的综合云更离散。A₂表现出的云滴图更厚重，也验证了云模型超熵He数字特征的意义。这两个样本与语义评价“优”重叠部分较少，表明方案A₁、A₂不确定程度更高，反映了在评价A₁、A₂过程中评价语言信息存在较强的随机性与模

糊性。而样本A₃基本与评价云“优”重合，表明3个样本中A₃包装方案更优，因此认为在单元化应急物流集装箱设计时，A₃方案更值得推荐。

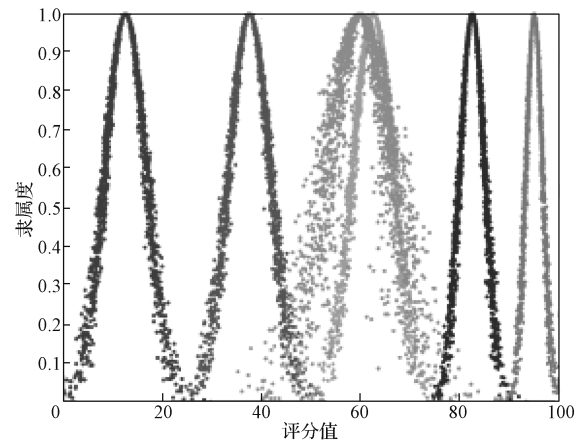
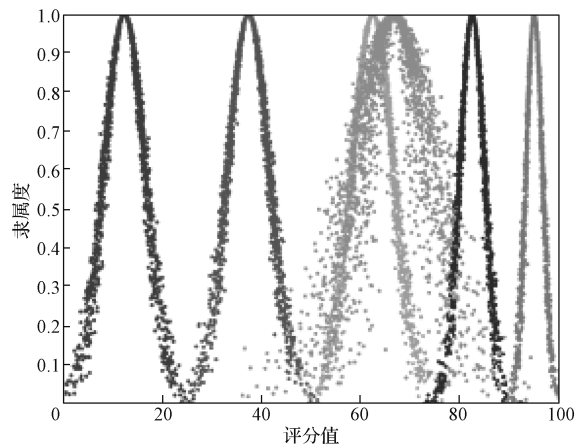
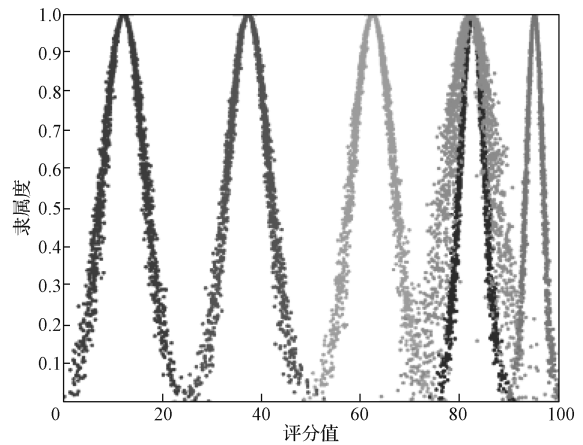
a) 样本 A₁b) 样本 A₂c) 样本 A₃

图2 样本的综合云图与评价标准云图比较

Fig. 2 Integrated cloud map of samples compared to standard cloud map for evaluation

5 结论

本文将单元化集装与应急物流特点相结合, 构建了单元化应急物资集装评价指标, 为达成应急物流的降本增效目标提供优化思路。同时引入云模型, 提供一种包装评价求解方法, 并通过仿真集装方案验证了该方法的可行性。综上所述可得如下结论:

1) 云模型符合正态分布的特点, 在实现专家语言变量转换时, 能考虑到决策者评价时的模糊性与随机性, 使量化的语言评价变量和评价结果更加合理。

2) 采用云模型对包装类问题评价时, 能够给出评价结果的期望值, 评价结果更加准确, 也更具有可信度与稳定性。

3) 针对目前多数指标权重计算方法存在主观性强、方式单一的缺点, 通过组合赋权克服了单一方法的局限性。

在应急物流过程中, 单元化应急物资集装对救援保障有着重要意义。单元化集装未来的优化方向可倾向于模数标准化和集装安全性提升。标准的集装模数使应急部门物流器具和物流载具相统一, 可以提升物流过程作业效率。而集装安全性的提升能对应应急物流过程中的随机性, 提高物资安全期限, 保障救援后勤工作。同时单元化应急物资集装的储备、运输等环节可采用政企、军民联合的形式开展, 以降低应急相关部门的开支。

参考文献:

- [1] 魏宇琪, 杨敏, 梁樑. 基于需求预测和模块化的应急物资库库联动方法研究[J]. 中国管理科学, 2019, 27(6): 123-135.
WEI Yuqi, YANG Min, LIANG Liang. Research on the Linkage Method of Relief Materials Warehouse Based on Demand Forecasting and Modularization[J]. Chinese Journal of Management Science, 2019, 27(6): 123-135.
- [2] 郭朋朋, 王成林, 水源. 人道应急物资的标准化设计[J]. 物流技术, 2015, 34(24): 157-160, 190.
GUO Pengpeng, WANG Chenglin, SHUI Yuan. Standardized Design of Humanitarian Emergency Relief Materials[J]. Logistics Technology, 2015, 34(24): 157-160, 190.
- [3] 李雪琴, 双海军. 应急物流需求下的包装设计[J]. 包装工程, 2021, 42(9): 201-206.
LI Xueqin, SHUANG Haijun. Packaging Design Under the Demand of Emergency Logistics[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(9): 201-206.
- [4] 吴清一. 集装单元化概论[J]. 物流技术与应用, 2007, 12(1): 59-64.
WU Qingyi. Introduction to Unitization of Container[J]. Logistics & Material Handling, 2007, 12(1): 59-64.
- [5] 王玉, 吴菁芃. 单元化物流包装器具的共享模式与价值分析[J]. 物流技术与应用, 2017, 22(2): 100-103.
WANG Yu, WU Jingpeng. Sharing Mode and Value Analysis of Unitized Logistics Packaging Equipment[J]. Logistics & Material Handling, 2017, 22(2): 100-103.
- [6] 刘振华, 刘小平, 罗少锋, 等. 统一军用托盘规格标准发展单元化物流[J]. 包装工程, 2020, 41(7): 258-261.
LIU Zhenhua, LIU Xiaoping, LUO Shaofeng, et al. Unified Military Pallets Standard for Development of Unit Logistics[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(7): 258-261.
- [7] 施琦, 阮榕. 基于ISM-ANP的绿色包装灰色评价模型研究[J]. 包装工程, 2023, 44(8): 201-207.
SHI Qi, RUAN Rong. Research on Grey Evaluation Model of Green Packaging Based on ISM-ANP[J]. Packaging Engineering, 2023, 44(8): 201-207.
- [8] 赵吉成, 徐丕文. 基于模糊群决策的天津特色食品包装SPA-TOPSIS评价[J]. 包装工程, 2022, 43(17): 213-223.
ZHAO Jicheng, XU Piwen. SPA-TOPSIS Evaluation of Tianjin Local Characteristic Food Packaging Based on Fuzzy Group Decision[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(17): 213-223.
- [9] 周欢, 张培颖, 刘嘉. 社会网络环境下融合概率语言和QUALIFLEX的绿色包装评价方法[J]. 包装学报, 2022, 14(6): 1-12.
ZHOU Huan, ZHANG Peiying, LIU Jia. A Green Packaging Evaluation Method Combining Probabilistic Linguistic and QUALIFLEX in Social Network Environment[J]. Packaging Journal, 2022, 14(6): 1-12.
- [10] 唐末兵, 孟慧静. 融合概率语言的VIKOR方法在中药饮片包装材料评价中的应用[J]. 包装学报, 2022, 14(2): 76-82.
TANG Weibing, MENG Huijing. Application of VIKOR Method Combined with Probabilistic Language Term Set in Evaluation of Packaging Materials of Traditional Chinese Medicine Decoction Pieces[J]. Packaging Journal, 2022, 14(2): 76-82.
- [11] 李志强, 李琳, 张素凤, 等. 基于CRITIC-G1法赋权的包装方案综合评价[J]. 包装工程, 2021, 42(13): 180-185.

- LI Zhiqiang, LI Lin, ZHANG Sufeng, et al. Comprehensive Evaluation of Packaging Schemes Based on CRITIC-G1 Method[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(13): 180–185.
- [12] 李德毅, 刘常昱. 论正态云模型的普适性 [J]. 中国工程科学, 2004, 6(8): 28–34.
- LI Deyi, LIU Changyu. Study on the Universality of the Normal Cloud Model[J]. Engineering Science, 2004, 6(8): 28–34.
- [13] LI L, FAN F F, MA L, et al. Energy Utilization Evaluation of Carbon Performance in Public Projects by FAHP and Cloud Model[J]. Sustainability, 2016, 8(7): 630.
- [14] ZHANG H Y, JI P, WANG J Q, et al. A Neutrosophic Normal Cloud and Its Application in Decision-Making[J]. Cognitive Computation, 2016, 8(4): 649–669.
- [15] 罗琼. “绿水青山”转化为“金山银山”的实践探索、制约瓶颈与突破路径研究 [J]. 理论学刊, 2021(2): 90–98.
- LUO Qiong. Practical Exploration, Restriction Bottleneck and Breakthrough Path Research on the Transformation from “Green Water and Green Mountains” to “Jinshan Yinshan” [J]. Theory Journal, 2021(2): 90–98.
- [16] 李英海, 周建中. 基于改进熵权和 Vague 集的多目标防洪调度决策方法 [J]. 水电能源科学, 2010, 28(6): 32–35.
- LI Yinghai, ZHOU Jianzhong. Modified Entropy Method and Vague Set Based Multi-Objective Flood Control Decision Making Approach[J]. Water Resources and Power, 2010, 28(6): 32–35.
- [17] PENG H G, ZHANG H Y, WANG J Q. Cloud Decision Support Model for Selecting Hotels on TripAdvisor.com with Probabilistic Linguistic Information[J]. International Journal of Hospitality Management, 2018, 68: 124–138.
- [18] 李敬强, 樊天辰, 周妍汝, 等. 基于云模型的民航监察员队伍能力综合评价 [J]. 北京航空航天大学学报, 2022, 48(12): 2425–2433.
- LI Jingqiang, FAN Tianchen, ZHOU Yanru, et al. Comprehensive Evaluation on Capability of Civil Aviation Supervisor Team Based on Cloud Model[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2022, 48(12): 2425–2433.
- [19] 田红娜, 孙钦琦. 基于云模型的汽车制造企业绿色技术创新能力评价研究 [J]. 管理评论, 2020, 32(2): 102–114.
- TIAN Hongna, SUN Qinqi. Research on Capability Evaluation of Green Technology Innovation of Carmakers Based on Cloud Model[J]. Management Review, 2020, 32(2): 102–114.
- [20] WANG K Q, LIU H C, LIU L P, et al. Green Supplier Evaluation and Selection Using Cloud Model Theory and the QUALIFLEX Method[J]. Sustainability, 2017, 9(5): 688.

(责任编辑: 邓光辉)

Evaluation of Integrated Packaging of Unitized Emergency Materials Based on Cloud Model

LEI Haoxiang^{1,2}, HUANG Guoping^{1,2}

(1. College of Business, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;

2. Hunan Packaging Economy Research Base, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: In order to optimize the integrated packaging of unitized emergency materials, a cloud model was introduced for comprehensive evaluation, and the feasibility of this method was verified. The optimal package scheme is determined by constructing a unit evaluation index focusing on functionality, economy, environmental protection and security. The index weight is calculated by combinatorial weighting, and the index evaluation cloud and index comprehensive cloud are calculated by cloud model. The results of model simulation verification show that the evaluation effect of unitized emergency material assembly constructed by the cloud model is excellent, which can provide a reference for the unitized design of emergency material assembly.

Keywords: emergency logistics; integrated unitization; cloud model; combinatorial weighting