

基于操作便捷性和安全性的可变功能应急产品 应急效能评估

胡鹏骁^{1,2}, 邓益民^{1,2*}, 丁志勇^{1,3}, 张挺³

(1.宁波大学 机械工程与力学学院, 浙江 宁波 315211; 2.浙江省零件轧制成形技术研究重点实验室, 浙江 宁波 315211;
3.浙江永贵电器股份有限公司, 浙江 天台 317200)

摘要: 为更全面地评估可变功能应急产品的应急效能, 降低因应急效能问题导致的财产损失和人员伤亡的可能性, 同时也为该类产品的的设计开发提供技术支持, 提出了可变功能应急产品的应急效能评估方法。首先, 根据可变功能应急产品的自身特点和使用环境情况, 构建以操作时间、操作难度、使用安全性为基础的可变功能应急产品的应急效能评估指标体系。在此基础上, 引入层次-熵权法确定评估指标的权重, 并通过保守型效用函数统一量纲, 建立可变功能应急产品的应急效能评估模型, 为基于再设计策略的可变功能应急产品的设计开发提供评判依据。最后以两款多功能自救座椅为案例, 验证所提出方法的可行性。

关键词: 可变功能应急产品; 应急效能; 评估方法; 层次-熵权法; 效用函数

中图分类号: TH122

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2023) 01-0042-07

应急产品是应对突发事件、降低灾害损失、挽救人民生命的重要工具。由于此类产品存在功能单一、闲置率高等问题, 本课题组在前期研究中提出了“可变功能应急产品”的概念^[1], 其在日常状态下就像一般产品那样可以给使用者提供一个或多个“日常功能”, 而当突发事件发生时, 可以对环境作出快速响应, 从“日常功能”转变为“应急功能”, 从而避免了普通应急产品绝大多数情况下处于闲置状态的浪费问题。例如, 檀大华等^[2]设计的多功能自救座椅就属于这样一类产品, 该座椅可在椅子和梯子之间快速切换, 其中椅子提供日常功能, 梯子可以在特定环境下用作逃生工具。需要指出的是, 一般的可变功能产品实现功能切换的方法包括更换部分系统构件和调整构件的连接方式两种情况; 而作为应急产品, 更换构件这一方式并不适用, 其难以满足紧急情况对时间紧迫性的要求。因此, 可变功能应急产品通常都是通过调整构件的连接方式来实现“日常功能”和“应急功

能”的快速切换, 本文也正是针对这类产品开展应急效能的评估研究。

众所周知, 任何产品的设计都是一个“设计-评价-再设计”多次反复的过程。相较于一般产品, 可变功能应急产品的设计评价尤为重要, 这是由该类产品的自身特点和其使用环境的特殊性所决定的。在设计研究领域已有较多针对不同设计阶段、不同设计对象的各种设计评价模型及相关方法, 例如: 朱永梅等^[3]建立了机械产品设计综合评价模型; 王海伟等^[4]应用方案综合评价价值偏离度最小和最大信息熵原理, 构建了产品设计方案评价的优化模型与求解方法; 原思聪等^[5]将灰关联分析方法应用到机械设计综合评价体系各模块, 实现了机械产品设计的综合评价; 张雪华等^[6]采用改进的AHP、熵权法和模糊综合评价方法, 从工作能力、工作效率、协作能力、维护能力等4个方面对抓取剪切救援属具和破拆开孔救援属具进行了应用效能的综合评价研究。但目前还缺少针对可变功能

收稿日期: 2022-09-27.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金(51375246)。

第一作者: 胡鹏骁(1997-), 男, 浙江永康人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 机械设计理论与方法. E-mail: 519127324@qq.com

*通信作者: 邓益民(1966-), 男, 安徽舒城人, 博士/教授, 主要研究方向: 设计理论与方法、注塑成型与优化. E-mail: dengyimin@nbu.edu.cn

应急产品这一特定对象的设计评估。为此, 本文在构建可变功能应急产品的应急效能评估指标体系的基础上, 引入层次-熵权法确定评估指标的权重, 应用保守型效用函数统一量纲, 建立可变功能应急产品的应急效能评估模型, 为可变功能应急产品的设计开发提供评判依据。

1 可变功能应急产品的应急效能评估指标体系

评估指标体系由表征评估对象各方面特性及其相互关系的多个指标构成。故在构建可变功能应急产品的应急效能评估指标体系时, 应该全面地考虑影响产品应急效能的各种相关因素, 并通过对各评估指标的认识与对比, 确保评估指标体系的合理性与科学性^[7]。根据可变功能应急产品的自身特点和使用环境情况, 本文采用操作时间、操作难度、使用安全性作为可变功能应急产品的应急效能评估指标。这是因为, 应急产品最重要的属性是“急”, 因此需要产品从日常功能向应急功能切换时操作时间短, 难度低; 而且, 要尽可能保证产品使用的安全性和可靠性, 也要照顾到使用者的人身安全。其中, 操作难度除了影响操作时间外, 还涉及到对操作工具、人员技能等方面的要求, 因此两者之间既有一定的相关性, 也有各自的侧重点。

1.1 操作时间

当紧急情况发生时, 使用者能在最快的时间内展开自救行为并脱离危险环境是尤为重要的。为此, 可以通过采集一组志愿者从产品初始状态到完成功能切换的操作时长, 经数据处理获得该指标相应的量化数值。考虑到应急产品的使用对象包括了不同性别、不同年龄段、不同文化水平等情况, 故应该选择具有代表性的操作志愿者, 并对多次操作的时间数值取平均值^[8]。

1.2 操作难度

考虑到可变功能应急产品实现功能切换主要通过调整构件连接方式来实现, 因此, 以调整构件连接方式的难度系数来衡量操作难度。难度系数包括组合类型和工具类型^[9], 取值为 1~10, 规定难度系数为

$$D_{\langle S_i, S_j \rangle} = D_{C\langle S_i, S_j \rangle} + D_{T\langle S_i, S_j \rangle}, \quad (1)$$

式中: $D_{C\langle S_i, S_j \rangle}$ 为组合类型的难度系数; $D_{T\langle S_i, S_j \rangle}$ 为

工具类型的难度系数。

(1) 组合类型

组合类型描述了功能切换时需要进行调整和拆装的相关构件之间的装配精确度要求, 本文将组合类型分为 3 个等级, 分别为简单连接、一般连接以及深度连接。构件之间的装配要求越高, 操作的困难程度就越高。表 1 为组合类型与难度系数的关系。

表 1 组合类型与难度系数的关系

组合类型	难度系数	描述
简单连接	1~3	构件之间在初始状态或者变形状态下处于简单连接的状态, 操作难度较低
一般连接	4~7	构件之间在初始状态或者变形状态下处于一般连接的状态, 操作难度居中
深度连接	8~10	构件之间在初始状态或者变形状态下处于深度连接的状态, 需要精准的操作

(2) 工具类型

工具类型描述了构件之间拆装的便捷度, 本文将工具类型分为了 4 个等级, 分别为徒手操作无需工具、简单工具、专用工具、大型工具。使用的工具越复杂, 操作的便捷程度越低, 拆装的效率也就越低。表 2 为工具类型与难度系数的关系。

表 2 工具类型与难度系数的关系

工具类型	难度系数	描述
徒手操作 无需工具	1	不需要其他工具, 用手即可完成构件的拆卸与连接
简单工具	2~4	构件的拆卸与装配需要简单的工具
专用工具	5~7	构件的拆卸与装配需要专用的工具
大型工具	8~10	构件的拆卸与装配需要大型的工具

设某一可变功能应急产品有 m 个与功能切换相关的构件, 且记为 $S_1, S_2, \dots, S_m$, 将需要调整连接方式的构件之间的关系记为 $\langle S_i, S_j \rangle = 1$, 反之记为 0。各构件之间的关联矩阵^[10]见表 3。在此基础上, 引入难度系数 $D_{\langle S_i, S_j \rangle}$, 见表 4。规定总操作难度为

$$\overline{\langle S_i, S_j \rangle}_{\text{总}} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \overline{\langle S_i, S_j \rangle}}{2m}, \quad (2)$$

$$\overline{\langle S_i, S_j \rangle} = D_{\langle S_i, S_j \rangle} \cdot \langle S_i, S_j \rangle. \quad (3)$$

表3 构件之间的关联矩阵表

构件	S_1	S_2	S_3	...	S_m
S_1	0	1	0	...	1
S_2	1	0	1	...	0
S_3	0	1	0	...	1
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
S_m	1	0	1	...	0

表4 引入难度系数时构件之间的关联矩阵表

构件	S_1	S_2	S_3	...	S_m
S_1	0	$D_{\langle S_1, S_2 \rangle}$	0	...	$D_{\langle S_1, S_m \rangle}$
S_2	$D_{\langle S_2, S_1 \rangle}$	0	$D_{\langle S_2, S_3 \rangle}$	...	0
S_3	0	$D_{\langle S_3, S_2 \rangle}$	0	...	$D_{\langle S_3, S_m \rangle}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
S_m	$D_{\langle S_m, S_1 \rangle}$	0	$D_{\langle S_m, S_3 \rangle}$	...	0

1.3 使用安全性

设计者需要通过对产品整体结构特征的把握以及局部细节的处理,建立人-机-环境和谐关系,保证受灾者不受到二次伤害。本研究参考文献[11],从“直接安全”原理和“间接安全”原理对可变功能应急产品展开使用安全性的评估,并基于德尔菲法(Delphi Method)^[12]构建使用安全性评估指标体系,见表5。

表5 使用安全性评估指标体系

目标指标层	准则层指标	权重	指标层指标
使用安全性 综合评估	直接安全	70%	保持安全
			限制失效
			冗余配置
	间接安全	30%	保护系统(保护机构)
			保护设施

1.3.1 “直接安全”原理

“直接安全”原理分为“保持安全”原理、“限制失效”原理和“冗余配置”原理。“保持安全”原理是指该类产品不仅要满足日常环境下的使用要求,更重要的是能经受住特殊环境下所有可能事件而不产生失效或干扰。比如针对火灾而设计的多功能自救座椅的材料必须是耐高温的、不可燃烧的、轻量化的等等。“限制失效”原理是指允许该类产品在使用过程中发生功能失效的情况,但是应当及时被察觉出来并仍保持有限的功能,不允许造成严重的后果。比如,某一弹性联轴器的球

状橡胶元件的性能会随着载荷循环次数增大而降低,并出现裂纹而导致弹性联轴器的性能下降,但是不会引起脱离的后果。“冗余配置”原理是指在可能发生故障的构件不会引起危险的前提下,与之并联或串联安置的其他系统构件可以全部或者部分承担其功能,那么多个重复的构件就能提高安全性,比如多驱动装置、平行供电导线等。

1.3.2 “间接安全”原理

“间接安全”原理分为“保护系统”和“保护设施”。“保护系统”可以将危险输入量转化成消除危险的输出量,具有排除、限制和隔离的作用,比如温度、湿度监测装置等。若没有信号转化功能,可以识别该类产品是否具备“保护机构”。“保护机构”是一种以自身的功能能力为基础,行使保护功能的技术结构,比如过载保护阀、汽车安全带等。

“保护设施”不具备保护反应但是具有保护功能,主要是通过成形的材料以及合理的尺寸关系防止伤害等被动作用从而达到保护效果。比如风扇网罩格栅的间距尺寸和网罩与扇叶的距离尺寸分别从宽度和长度保护风扇使用者手指的安全。

2 应急效能评估的指标权重

层次分析法(AHP)^[13]将目标分解为若干层次的多指标(或准则、约束),通过对定性指标模糊量化的方法计算出层次单排序和总排序,实现多指标、多方案问题的优化决策。但是由于很多数据是由相关领域专家凭经验给出的,故主观成分大,难以令人信服。熵权法^[14]的基本思路是根据指标变异性的确定来确定客观权重。某个指标的信息熵越小,则该指标的变异程度越大,在综合评价中起到的作用越大。为避免主观因素对评估结果的影响,本研究在确定可变功能应急产品的应急效能评估指标的权重中,将层次分析法和熵权法相结合,保证评估方法的合理性和科学性。

2.1 AHP法指标权重的确定

采用AHP法确定可变功能应急产品各层次应急效能评估指标的权重。首先,通过指标因素的两两对比构建判断矩阵,该矩阵不仅可以有效地处理定性和定量的数据,而且可以评估划分等级的一致性。基于判断矩阵标度及其含义(表6)构建以下判断矩阵(A):

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

式中: $a_{nn}=1$, a_{ij} 表示 a_i 对 a_j 的相对重要程度, $a_{ij} = a_{ji}^{-1}$, $i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,n$.

表6 判断矩阵标度及其含义

标度	含义
1	表示两个因素相比, 具有相同重要性
3	表示两个因素相比, 前者比后者稍重要
5	表示两个因素相比, 前者比后者明显重要
7	表示两个因素相比, 前者比后者强烈重要
9	表示两个因素相比, 前者比后者极端重要
2、4、6、8	表示上述相邻判断的中间值
1~9 的倒数	若因素 i 与因素 j 的重要性之比为 a_{ij} , 那么因素 j 与因素 i 重要性之比为 $a_{ji} = a_{ij}^{-1}$, $i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,n$

其次, 将所构造的判断矩阵的每一列元素做归一化处理, 并将归一化的判断矩阵按行相加再次归一化得到判断矩阵的层次单排序结果.

$$\bar{a}_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, \quad i, j=1,2,\dots,n, \quad (5)$$

$$\bar{w}_i = \sum_{j=1}^n \bar{a}_{ij}, \quad i=1,2,\dots,n, \quad (6)$$

$$w_i = \frac{\bar{w}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{w}_i}, \quad i=1,2,\dots,n. \quad (7)$$

由上可得特征向量 $W=(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$, 即为权重数值, 接着计算判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}$.

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[AW]_i}{w_i}, \quad (8)$$

式中, $[AW]_i$ 表示向量 AW 的第 i 个分量. 最后, 对判断矩阵进行一致性检验, 得到各指标的权重.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \quad (9)$$

$$CR = \frac{CI}{RI}, \quad (10)$$

式中: CI 为一致性指标; n 为判断矩阵的阶数; CR 为一致性比率; RI 为随机一致性指标, 具体数值见表7. 若 $CR < 0.1$, 说明判断矩阵符合一致性检验.

表7 RI 的值

n	RI	n	RI	n	RI
1	0	4	0.90	7	1.32
2	0	5	1.12	8	1.41
3	0.58	6	1.24	9	1.45

2.2 熵权法指标系数修正

利用熵权法计算各指标的信息熵、熵权以及最终权重, 对上述各个指标权重进行修正, 减小数据主观性对评估的影响. 权重修正计算过程如下:

(1) 利用公式(5)对判断矩阵作归一化处理, 得到归一化的矩阵($\bar{A}$).

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} \bar{a}_{11} & \bar{a}_{12} & \cdots & \bar{a}_{1n} \\ \bar{a}_{21} & \bar{a}_{22} & \cdots & \bar{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{a}_{n1} & \bar{a}_{n2} & \cdots & \bar{a}_{nn} \end{bmatrix}. \quad (11)$$

(2) 计算各个指标的信息熵以及熵权.

$$E_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n \bar{a}_{ij} \times \ln \bar{a}_{ij}, \quad j=1,2,\dots,n, \quad (12)$$

$$\beta_j = \frac{1 - E_j}{\sum_{j=1}^n (1 - E_j)}, \quad (13)$$

式中: E_j 为信息熵; β_j 为熵权.

(3) 计算各个指标的最终权重.

$$W'_r = \frac{w_j \times \beta_j}{\sum_{j=1}^n w_j \times \beta_j}, \quad r=1,2,\dots,n, \quad (14)$$

式中, r 代表各个指标.

3 可变功能应急产品的应急效能评估模型

根据上文提出的可变功能应急产品的应急效能评估指标体系以及各指标的一般数学描述方法, 可以建立可变功能应急产品的应急效能评估模型. 但是不同指标的单位以及性质各不相同, 难以将不同指标的数据自下而上聚合. 本研究参考文献[15], 使用保守型效用函数统一量纲, 达到效用聚合的目的. 应急效能评估模型如下:

$$P = \sum_{r=1}^n W'_r f_r(x), \quad (15)$$

式中, $f_r(x)$ 表示第 r 个指标的效用函数, 其分为3种类型.

(1)效益型指标效用函数:

$$f_r(x) = \begin{cases} e^{C_r(x-X)/X}, & 0 < x < X, \\ 1, & x > X. \end{cases} \quad (16)$$

(2)成本型指标效用函数:

$$f_r(x) = \begin{cases} e^{-C_r(x-X)/X}, & x > X, \\ 1, & 0 < x < X. \end{cases} \quad (17)$$

(3)固定型指标效用函数:

$$f_r(x) = \begin{cases} e^{-C_r|x-X|/X}, & |x-X| > h, \\ 1, & X-h < x < X+h. \end{cases} \quad (18)$$

C_r 是一个常数, 取为 1; X 为参考数据; h 为容差值. 效益型指标是指越大越好的指标, 成本型指标是指越小越好的指标, 固定型指标是指越接近某个值越好的指标.

4 实例分析

以图 1 所示的两种多功能自救座椅为例, 说明评估的过程, 验证本文方法的可行性.

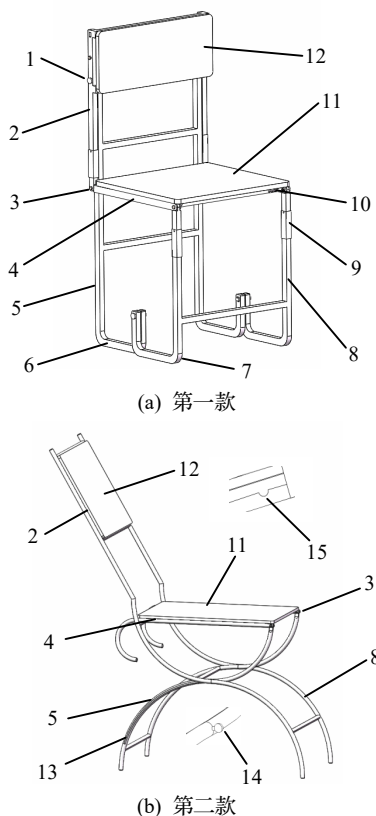


图 1 两款多功能自救座椅

第一款多功能自救座椅以后腿、椅背框、座板框和前腿依次相互铰接构成, 整体构架由不锈钢制造而成. 在座椅的状态下, 前脚和后脚通过卡扣锁紧, 卡扣安在椅背框和后腿铰接处下方的孔内, 靠背板和座板分别磁吸在椅背框和座板框上. 第二款多功能自救座椅以后腿和座板框铰接以及前腿和后腿销连接构成, 整体构架由铝合金制造而成. 在座椅的状态下, 座板框作用在前腿的横杆上, 球头销由于重力作用在后腿的凹槽中, 靠背板和座板分别磁吸在椅背框和座板框上.

图 2 为座椅展开为梯子的状态示意. 第一款座椅展开为梯子时, 分别将靠背板和座板取下, 打开前脚和后脚之间的卡扣, 将安在椅背框和后腿铰接处下方孔内的卡扣旋转取出, 通过铰链的转动将座椅展开为梯子, 并将卡扣安在椅背框和后腿铰接处上方的孔内, 椅背框与座板框之间的自由度由上方两套筒固定, 套筒由于重力抵在横杆上, 而座板框和前腿之间的自由度由下方两套筒固定, 两套筒由横杆上的插销进行固定. 第二款座椅展开为梯子时, 分别将靠背板和座板取下, 通过座板框与后腿的铰链转动并抬起前腿顺着凹槽滑动到底部, 将座椅展开为梯子.

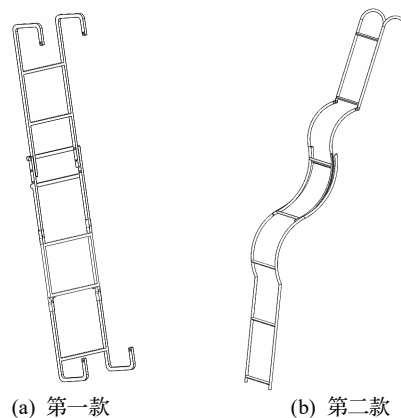


图 2 座椅展开为梯子的状态示意

4.1 指标数值计算

(1)操作时间. 挑选 50 位志愿者, 年龄在 12~60 岁, 身体状况均为健康, 测试其操作所使用的时间, 取平均值分别为 12.4 s 和 8.7 s.

(2)操作难度. 提取多功能自救座椅功能切换中所涉及的相关构件, 并利用表 1~2 进行评估, 接着运用公式(1)、(3), 得到引入难度系数时多功能自

救座椅结构之间的关联矩阵表,见表8~9.

表8 引入难度系数时座椅一构件之间的关联矩阵表

构件	S_2	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_{11}	S_{12}
S_2	0	5	8	0	0	0	0	2
S_4	5	0	0	0	0	7	2	0
S_5	8	0	0	0	0	0	0	0
S_6	0	0	0	0	4	0	0	0
S_7	0	0	0	4	0	0	0	0
S_8	0	7	0	0	0	0	0	0
S_{11}	0	2	0	0	0	0	0	0
S_{12}	2	0	0	0	0	0	0	0

表9 引入难度系数时座椅二构件之间的关联矩阵表

构件	S_2	S_4	S_5	S_8	S_{11}	S_{12}
S_2	0	0	0	0	0	2
S_4	0	0	3	0	2	0
S_5	0	3	0	6	0	0
S_8	0	0	6	0	0	0
S_{11}	0	2	0	0	0	0
S_{12}	2	0	0	0	0	0

由表8~9并运用公式(2)得到多功能自救座椅的难度系数分别为3.50和2.17.

(3)使用安全性.针对直接安全和间接安全2个准则层的5个指标层指标进行专家打分,表10为2种多功能自救座椅使用安全性的评估汇总.

表10 多功能自救座椅使用安全性评估汇总

准则层	权重	指标层	满分 分数	专家评分		
				I	II	III
直接安全	70%	保持安全	50	43/38	45/40	42/45
		限制失效	30	25/20	22/24	26/21
		冗余配置	20	20/15	20/16	20/14
		小计	100	88/73	87/80	88/80
间接安全	30%	保护结构	60	40/35	45/40	48/45
		保护设施	40	30/35	35/40	32/40
		小计	100	70/70	80/80	80/85
总分			82.6/72.1	84.9/80	85.6/81.5	
平均分			84.37/77.87			

4.2 权重计算

(1)邀请专家对3个指标两两评价并打分,从而得到判断矩阵(其中操作时间比操作难度稍重要一些,故记为2;使用安全性比操作难度明显重要

$$\text{一些,故记为4)} A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1/3 \\ 1/2 & 1 & 1/4 \\ 3 & 4 & 1 \end{bmatrix}.$$

(2)由公式(5)~(7)得到判断矩阵 A 的特征向量 $W = [0.240 \ 0.137 \ 0.623]^T$.

(3)由公式(8)计算得到 $\lambda_{\max} = 3.019$,通过公式(9)~(10)得到 $CR = 0.016 < 0.1$,说明判断矩阵符合一致性检验,判断合理.

(4)判断矩阵 A 归一化处理后得到矩阵

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} 0.222 & 0.286 & 0.211 \\ 0.111 & 0.143 & 0.158 \\ 0.667 & 0.571 & 0.632 \end{bmatrix}.$$

(5)由式(12)计算得到各指标的信息熵分别为 $E_1 = 0.772$, $E_2 = 0.870$, $E_3 = 0.828$;由式(13)计算得到各指标的熵权分别为 $\beta_1 = 0.430$, $\beta_2 = 0.245$, $\beta_3 = 0.325$;由式(14)计算得到各指标的最终权重分别为 $W'_1 = 0.304$, $W'_2 = 0.100$, $W'_3 = 0.596$.

4.3 应急效能综合值计算

第一步,建立基本指标的效用函数并计算效用值.由4.1节可知时间分别为12.4s和8.7s,难度系数分别为3.50和2.17,使用安全性分别为84.37分和77.87分.本文采用参考数据为:6s,1.5,90分.由式(16)~(17)可得各指标的效用分别为 $f_1^a(x) = 0.344$, $f_2^a(x) = 0.264$, $f_3^a(x) = 0.939$; $f_1^b(x) = 0.638$, $f_2^b(x) = 0.640$, $f_3^b(x) = 0.874$.

第二步,计算应急效能综合值.由式(15)可得多功能自救椅的应急效能综合值分别为 $P^a = 0.691$ 和 $P^b = 0.779$.故第二款多功能自救椅的综合应急效能高于第一款.

5 结论

针对可变功能应急产品的自身特点和使用环境,构建了具有针对性的应急效能评估指标体系,包括操作时间、操作难度、使用安全性3个方面,并将各项指标进行量化处理.结合主客观赋权方法的优缺点,引入层次-熵权法确定评估指标的权重.通过保守型效用函数统一量纲,最终建立了应急效能评估模型.通过对两款多功能自救椅的应急效能评估案例应用,展示了所提出的评估模型的使用过程及其可行性.未来将进一步考虑从应急功能切换回日常功能时的相应性能要求,并进一步

步完善本文的性能评估指标体系,从而使得可变功能应急产品的应急效能评估更为全面,为此类产品的设计开发提供更好的技术支持。

参考文献:

- [1] 胡鹏骁, 邓益民. 基于 SA-FBS-TRIZ 理论的可变功能应急产品设计方法[J]. 机械设计与研究, 2022, 38(3): 7-11.
- [2] 檀大华, 郭园园. 多功能自救座椅设计[J]. 起重运输机械, 2012(7):22-23.
- [3] 朱永梅, 王明强. 机械产品设计综合评价的方法研究[J]. 华东船舶工业学院学报(自然科学版), 2004, 18(3): 70-74.
- [4] 王海伟, 刘更, 杨占铎. 机械产品设计方案多指标综合评价方法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2014, 46(3):99-103.
- [5] 原思聪, 江祥奎, 段志善, 等. 基于灰色系统理论的机械产品设计综合评价[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(27):85-86; 94.
- [6] 张雪华, 李政, 李静, 等. 多功能救援属具应用效能综合评价[J]. 灾害学, 2022, 37(1):151-157.
- [7] 王耀辉, 王文和, 朱正祥, 等. 基于多级可拓方法的长输油气管道突发事故应急管理评估[J]. 安全与环境工程, 2021, 28(2):22-29.
- [8] 何洁. 自救型应急救援产品设计分析与研究——以火灾灾害为例[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2016.
- [9] Tseng H E, Chang C C, Li J D. Modular design to support green life-cycle engineering[J]. Expert Systems with Applications, 2008, 34(4):2524-2537.
- [10] 王根华, 邓益民, 邹长武. 可变功能机械非均衡功能使用构件重要度分析[J]. 机械设计与研究, 2015, 31(6):1-3; 7.
- [11] Pahl G, Beitz W. 工程设计学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1992:143-154.
- [12] Linstone H A, Turoff M. Delphi: A brief look backward and forward[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2011, 78(9):1712-1719.
- [13] 荆洪英, 张均勇, 回丽, 等. 面向复杂产品的用户需求获取与分析集成模式的研究[J]. 机械设计与制造, 2015(11):227-231.
- [14] 李远远, 刘光前. 基于 AHP-熵权法的煤矿生产物流安全评价[J]. 安全与环境学报, 2015, 15(3):29-33.
- [15] 黄炎焱. 面向突发灾害事件的应急效能评估方法[J]. 自然灾害学报, 2012, 21(1):71-77.

Evaluation of emergency effectiveness of the adaptable-function emergency products based on operation convenience and safety

HU Pengxiao^{1,2}, DENG Yimin^{1,2*}, DING Zhiyong^{1,3}, ZHANG Ting³

(1.Faculty of Mechanical Engineering & Mechanics, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2.Zhejiang Provincial Key Laboratory of Part Rolling Technology, Ningbo 315211, China;

3.Zhejiang Yonggui Electric Equipment Co., Ltd., Tiantai 317200, China)

Abstract: An evaluation method is proposed to evaluate the emergency effectiveness of the adaptable-function emergency products comprehensively, so as to reduce the likelihood of property loss and casualties and to provide technical support for the design and development of such products. Firstly, according to the characteristics of the adaptable-function emergency products, as well as those of the application environment, an emergency effectiveness evaluation criteria system is constructed based on operation time, operation difficulty and operation safety. After that, a hierarchical entropy weight method is introduced to determine the weights of the respective evaluation criteria, and an emergency effectiveness evaluation model is established through the unified dimension of conservative utility function. This evaluation model provides a supporting basis on which the design and development of the adaptable-function emergency products using a redesign strategy can be relied. Finally, two multifunctional self-saving seats are taken as examples to verify the feasibility of the proposed method.

Key words: adaptable-function emergency products; emergency effectiveness; evaluation method; hierarchical entropy weight method; utility function

(责任编辑 韩 超)