

基于复合语言表达的装备维修合同商评价与选择

吕瑞强¹, 王双川¹, 李德权², 冉宝峰¹

(1.空军勤务学院 航空四站系, 江苏 徐州 221000; 2.福州场站 四站连, 福州 350026)

摘要: **目的** 科学选择最优装备维修合同商。**方法** 提出装备维修合同商的综合评价指标, 建立一种同时使用比较语言和单一语言表达的装备维修合同商选择评价模型。利用层次分析法确定指标权重, 采用复合语言对备选合同商的各项指标进行评价, 将复合语言转换为犹豫模糊语言术语集(HFLTS), 通过有序加权平均(OWA)算子计算HFLTS的模糊包络, 最后应用逼近理想点(TOPSIS)法进行了合同商的评价和选择。**结果** 通过实例验证了该选择方法的实用性和有效性。**结论** 为军方合理选择最优装备维修合同商提供了重要模型借鉴。

关键词: 复合语言; 装备维修; OWA算子; 模糊包络; 合同商评价

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2017.02.022

中图分类号: TJ07; E237

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2017)02-0109-06

Assessment and Selection of Equipment Maintenance Contractor Based on Composite Linguistic Expressions

LYU Rui-qiang¹, WANG Shuang-chuan¹, LI De-quan², RAN Bao-feng¹

(1.Department of Aviation Four Shops, Air Force Logistics College, Xuzhou 221000, China;

2.Fuzhou Air Force Station, Fujian Fuzhou 350026, China)

ABSTRACT: Objective To select the most optimal equipment maintenance contractor scientifically. **Methods** Comprehensive evaluation indexes of equipment maintenance contractors were proposed. A selection and evaluation model in which comparable and single linguistic expressions were used simultaneously was established. At first, the weight of each index was calculated by the method of analytic hierarchy process. Then, the indexes of alternative contractors were evaluated by composite linguistic expressions. Next, the composite linguistic expressions were transformed into hesitant fuzzy linguistic term sets (HFLTS), and the fuzzy envelope of HFLTS was reckoned by ordered weighted averaging (OWA) operator. At last, the best contractor was evaluated and selected by technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS). **Results** The applicability and the effectiveness of this model were verified by an example. **Conclusion** It provides the military with significant model reference on choosing the best equipment maintenance contractor.

KEY WORDS: composite linguistic; equipment maintenance; ordered weighted averaging operator; fuzzy envelope; contractor assessment

军民融合发展是深化国防和军队改革的重要目标和方向。在社会主义市场经济条件下, 军民融合装备保障的主要运作方式和基本模式是以合同契约为

核心展开的合同商保障^[1]。在招投标选择装备维修合同商的过程中, 对合同商综合保障能力的合理评估是选择最佳合同商的基本前提。装备维修合同商的评价

与选择就是在签订合同前,通过对装备维修合同商综合保障能力的系统分析和评估,选择保障能力最优、保障风险最低的合同商进行合作,提高装备维修效益,降低装备维修风险,确保部队军民融合装备维修保障任务的高效完成。

现实中,由于受信息失衡等因素的影响,部队往往无法全面准确地掌握维修合同商的各项信息,并给出精确评价。目前常用的评价决策方法如物元分析法、模糊综合评判法、专家分析法等,往往采用单一语言对事物的属性进行描述,既不符合实际,也难以体现决策者的真实想法。在这种情况下,采用模糊语言形式的偏好信息更能准确地反映决策者的意见,采用复合语言表达比单个语言值更能精确地表达个人偏好^[2]。因此,文中根据 Rodriguez 等^[3]提出的基于犹豫模糊语言术语集(HFLTS)的比较语言表达,提出了一种基于复合语言表达的装备维修合同商评价与选择模型。应用复合语言表达方式对各备选合同商的综合指标进行评价,根据上下文无关文法将复合语言转换为HFLTS,再应用有序加权平均(OWA)算子计算出由梯形模糊隶属函数表示的HFLTS的模糊包络,最后应用TOPSIS法进行选择决策,为军队合理选择最佳装备维修合同商提供了一种新的思路和方法。

1 装备维修合同商综合评价指标

在实地调查研究、分析合同商招投标过程及查阅已有文献资料^[4-8]的基础上,结合部队装备维修保障任务的特点和性质,从合同商资质、技术能力、管理水平、价格成本、保障风险等五个方面提出了装备维修合同商的综合评价指标,以综合全面地考察合同商。

1.1 合同商资质

合同商资质是保证合同商具有承担装备维修保障任务资格的基础和前提。合同商资质可以通过企业以往业绩、企业信用等级、企业财务状况、企业发展潜力^[1]等单指标来衡量。其中,以往业绩评估主要是判断军方对合同商在满足进度、预算和性能要求的情况下成功完成招标合同能力的信任程度^[5],是军方对各个合同商以前提供的产品和服务满意程度的反映。因此可以认为,企业以往业绩是评估装备维修合同商资质的核心指标。此外,企业信用等级可以反映企业的经营信誉,企业财务状况反映企业的经济实力,而企业的发展潜力作为一项前瞻性的指标,有利于军地双方建立和发展长久稳定的保障关系^[6]。

1.2 技术能力

维修合同商的技术能力直接影响着装备维修保障服务的质量,在合同商评价选择中具有十分重要的

地位。不同的装备维修合同商,其维修人员的技术水平有高低,维修设施设备和零配件的配套率^[9]各不相同,维修服务质量参差不齐,这些典型指标是评判维修合同商技术能力和水平的基本依据。同时,随着军民融合式装备维修保障的不断深入发展,要求合同商不仅要能够满足现阶段的装备维修保障任务,同时还必须具有与军方一同应对未来各种变化的能力、技术改进发展和创新能力^[7],这就对装备维修合同商的技术能力提出了更高的要求。

1.3 管理水平

装备维修合同商多以现代企业的形式存在,其管理水平对装备维修保障服务的质量具有重要影响。企业管理团队和维修人员的综合素质、企业管理法规的完善性及实施情况、企业内外部的协调沟通能力、信息化水平、对防间保密工作的重视程度等都是反映企业管理水平的重要参考依据。其中,企业管理团队素质、法规完善性及实施情况、企业协调沟通能力、保密制度执行情况等四项指标因其在管理水平评价中的特殊地位,在衡量合同商管理水平时应占有较大权重,需要引起决策者的重视。

1.4 价格成本

在保证维修质量、满足军事效益的前提下,追求良好的经济效益是军民融合装备维修保障的必然选择。维修价格成本包含军方交付合同商的维修报酬以及一些其他间接费用。其中,军方交付合同商的维修报酬主要是维修消耗的物资、器材、能源等的成本报价和支付维修人员的劳务费用。军方除了需要交付合同规定的维修报酬外,还需要承担一些其他的间接费用,如合同商信息资料搜集整理费、选择合同商时的决策费、维修过程监督管理费以及事后可能会产生的修补合同的费用等,这些费用会增加装备维修合同商保障的成本。

1.5 保障风险

装备维修合同商保障过程中,军方需要承担的各种风险也是决策者不可忽视的重要问题。如国家经济波动、自然灾害、国际国内政治环境等外部因素可能会使装备维修合同商保障出现难以预料的风险和危机,合同违约、人员装备失泄密、战时地方参保人员惧战拒保等不确定风险使装备维修合同商保障面临巨大安全挑战。此外,由于军地双方掌握信息的不对称性,合同商可能会利用自己的信息优势,通过隐蔽方式或采取机会主义行为来满足自我效用,从而损害军方利益,如在零配件的使用上以次充好等。保障风险主要考察合同商应对和规避各种风险的能力,以保证维修保障任务的顺利完成。

2 基于梯形隶属函数的新型 HFLTS 包络

2.1 梯形模糊数

设梯形模糊数 $A=T(a, b, c, d)$, 根据定义, 其隶属函数为:

$$\mu(x)=\begin{cases} (x-a)/(b-a) & x \in (a, b) \\ 1 & x \in [b, c] \\ (x-d)/(c-d) & x \in (c, d) \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

其中 $A \in F$ (F 为全体模糊数所构成的空间^[10])。

2.2 有序加权平均算子

设函数 $OWA: R^n \rightarrow R$, 若 $OWA(a_1, a_2, \dots, a_n) = \sum_{j=1}^n \omega_j b_j$, 则称函数 OWA 为有序加权平均算子, 也称作 OWA 算子^[11]。其中, $W = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$ 表示与函数 OWA 相关的加权向量, $\omega_j \in [0, 1]$, $\sum_{j=1}^n \omega_j = 1, j=1, 2, \dots, n$; b_j 表示一组数据 $(a_1, a_2, \dots, a_n)$ 中第 j 大的元素。

2.3 HFLTS 包络

记集合 $S=\{s_0, s_1, \dots, s_g\}$ 为语言术语集, 令 $H_S=\{s_i, s_{i+1}, \dots, s_j\}$ 为一个 HFLTS, 即 H_S 为 S 的一个有限有序子集, $s_k \in S, k \in \{i, \dots, j\}$ 。

令 $\text{env}(H_S)$ 表示 H_S 的包络, HFLTS 包络的计算是基于上下文无关文法 $G_H=(V_N, V_T, I, P)$ 的语言表达^[3], 其中 V_N 表示非终结符变量的非空有限集; V_T 表示终结符变量的非空有限集, $V_T=\{\text{至多}, \text{至少}, \text{介于}, s_0, s_1, \dots, s_g\}$, 其中“至多”、“至少”分别等同于“小于等于”和“大于等于”; $I \in V_N, P$ 为扩展的巴科斯范式 (BNF) 定义的一个产生规则^[12]。

设 s_i 的值表示为 s_i^* , 若 $s_{i+1}^* > s_i^*$ 成立, $i=0, 1, \dots, g-1$, 即术语 s_{i+1} 较 s_i 对事物的描述具有正向递近性, 则 HFLTS 具有如下转换规则:

- 1) $f(s_i) = \{s_i\}$
- 2) $f(\text{至多 } s_i) = \{s_j | s_j^* \leq s_i^*\}$
- 3) $f(\text{至少 } s_i) = \{s_j | s_j^* \geq s_i^*\}$
- 4) $f(\text{介于 } s_i \text{ 和 } s_j) = \{s_k | s_i^* \leq s_k^* \leq s_j^*\}$, 其中, s_i, s_j, s_k 均为集合 S 中的元素。

2.4 梯形隶属函数表示的 HFLTS 包络

设集合 S 中的语言术语 s_k 均由梯形隶属函数 A^k 表示, $A^k = T(a_L^k, a_M^k, a_M^k, a_R^k)$, $k=0, 1, \dots, g$, T 为

$H_S=\{s_i, s_{i+1}, \dots, s_j\}$ 中所有语言变量对应的隶属函数边界点所构成的集合^[13], 即:

$$T = \{a_L^i, a_M^i, a_L^{i+1}, a_R^i, a_M^{i+1}, a_L^{i+2}, a_R^{i+2}, \dots, a_L^j, a_R^j, a_M^j, a_R^j\}$$

根据模糊划分^[14], 假设 $a_R^{k-1} = a_M^k = a_L^{k+1}$ ($k=1, 2, \dots, g-1$), 故集合 T 中待聚合的元素为 $T = \{a_L^i, a_M^i, a_M^{i+1}, \dots, a_M^j, a_R^j\}$ 。

2.4.1 基于比较语言表达“至少 s_i ”的模糊包络

文中基于 HFLTS 的比较语言表达由梯形隶属函数 $A=T(a, b, c, d)$ 表示, 因此 A 的定义域应与语言术语集 H_S 一致。 $s_i = \min H_S, s_j = \max H_S$ 采用 $\min$ 算子和 $\max$ 算子计算梯形隶属函数中参数 a, d 的值, 可得:

$$\begin{cases} a = \min \{a_L^i, a_M^i, a_M^{i+1}, \dots, a_M^j, a_R^j\} = a_L^i \\ d = \max \{a_L^i, a_M^i, a_M^{i+1}, \dots, a_M^j, a_R^j\} = a_R^j \end{cases} \quad (1)$$

参数 b, c 的值则可由剩余元素通过聚合的方式得到^[11]:

$$\begin{cases} b = OWA_{W^T} \{a_M^i, a_M^{i+1}, \dots, a_M^j\} \\ c = OWA_{W^S} \{a_M^i, a_M^{i+1}, \dots, a_M^j\} \end{cases}$$

式中: W^T 和 W^S 分别为计算参数 b, c 时所采用的 OWA 算子, 实际计算过程中需要根据具体情况进行选择。

根据 HFLTS 的转换规则, $f(\text{至少 } s_i) = \{s_i, s_{i+1}, \dots, s_g\}$, 其对应的待聚合的元素集合为 $T = \{a_L^i, a_M^i, a_M^{i+1}, \dots, a_M^g, a_R^g\}$, 相应的 HFLTS 模糊包络是梯形模糊隶属函数^[2] $T(a_L^i, b, a_M^g, a_R^g)$, 其中:

$$b = OWA_{W^2} \{a_M^i, a_M^{i+1}, \dots, a_M^g\} \quad (2)$$

且: $W^2 = (\omega_1^2, \omega_2^2, \dots, \omega_{g-i+1}^2)^T$, $\omega_1^2 = \alpha^{g-i}$, $\omega_2^2 = \alpha^{g-i-1}(1-\alpha)$, $\omega_3^2 = \alpha^{g-i-2}(1-\alpha)$, ..., $\omega_{g-i}^2 = \alpha(1-\alpha)$, $\omega_{g-i+1}^2 = 1-\alpha$ 。

查参考文献[2]可直接得 $\alpha = i/g$ 。

2.4.2 基于比较语言表达“至多 s_i ”的模糊包络

根据 HFLTS 的转换规则, $f(\text{至多 } s_i) = \{s_0, s_1, \dots, s_i\}$ 。比较语言表达式“至多 s_i ”得到的 HFLTS 的模糊包络是梯形模糊隶属函数^[2] $T(a_L^0, a_M^0, c, a_R^i)$, 其中:

$$c = OWA_{W^1} \{a_M^0, a_M^1, \dots, a_M^i\} \quad (3)$$

且: $W^1 = (\omega_1^1, \omega_2^1, \dots, \omega_{i+1}^1)^T$, $\omega_1^1 = \alpha$, $\omega_2^1 = \alpha(1-\alpha)$, ..., $\omega_i^1 = \alpha(1-\alpha)^{i-1}$, $\omega_{i+1}^1 = (1-\alpha)^i$ 。

2.4.3 基于比较语言表达“介于 s_i 和 s_j ”的模糊包络

根据 HFLTS 的转换规则, $f(\text{介于 } s_i \text{ 和 } s_j) = \{s_i, s_{i+1}, \dots, s_j\}$, 对应的待聚合的元素集合为 $T = \{a_L^i, a_M^i, a_M^{i+1}, \dots, a_M^j, a_R^j\}$, 相应的 HFLTS 的模糊包

络为 $T(a_L^i, b, c, a_R^j)$ 。这里参数 b, c 的算法不仅与 OWA 算子有关, 而且受语言变量数目的影响, 因此需要分两种情况进行讨论^[13] (限定 $0 < i < j < g$):

1) 当 $i+j$ 为偶数时, 有:

$$b = OWA_{W^2} \{a_M^i, a_M^{i+1}, \dots, a_M^{(i+j)/2}\} \quad (4)$$

$$c = OWA_{W^1} \{a_M^j, a_M^{j-1}, \dots, a_M^{(i+j)/2}\} \quad (5)$$

式中: $W^2 = (\omega_1^2, \omega_2^2, \dots, \omega_{(j-i)/2}^2)^T$, $\omega_1^2 = \alpha_1^{(j-i)/2}$, $\omega_2^2 = \alpha_1^{(j-i-2)/2} (1-\alpha_1)$, $\dots$, $\omega_{(j-i)/2}^2 = \alpha_1 (1-\alpha_1)$, $\omega_{(j-i+2)/2}^2 = 1-\alpha_1$; $W^1 = (\omega_1^1, \omega_2^1, \dots, \omega_{(j-i+2)/2}^1)^T$, $\omega_1^1 = \alpha_2$, $\omega_2^1 = \alpha_2 (1-\alpha_2)$, $\dots$, $\omega_{(j-i)/2}^1 = \alpha_2 (1-\alpha_2)^{(j-i-2)/2}$, $\omega_{(j-i+2)/2}^1 = (1-\alpha_2)^{(j-i)/2}$; 且有: $b+c = 2a_M^{(i+j)/2}$ 。

2) 当 $i+j$ 为奇数时, 有:

当 $i+1=j$ 时, $b = a_M^i, c = a_M^j$ 。

当 $i+1 < j$ 时。

$$b = OWA_{W^2} \{a_M^i, a_M^{i+1}, \dots, a_M^{(i+j-1)/2}\}$$

$$c = OWA_{W^1} \{a_M^j, a_M^{j-1}, \dots, a_M^{(i+j-1)/2}\}$$

式中: $W^2 = (\omega_1^2, \omega_2^2, \dots, \omega_{(j-i-1)/2}^2)^T$, $\omega_1^2 = \alpha_1^{(j-i-1)/2}$, $\omega_2^2 = \alpha_1^{(j-i-3)/2} (1-\alpha_1)$, $\dots$, $\omega_{(j-i-1)/2}^2 = \alpha_1 (1-\alpha_1)$, $\omega_{(j-i+1)/2}^2 = 1-\alpha_1$; $W^1 = (\omega_1^1, \omega_2^1, \dots, \omega_{(j-i+1)/2}^1)^T$, $\omega_1^1 = \alpha_2$, $\omega_2^1 = \alpha_2 (1-\alpha_2)$, $\dots$, $\omega_{(j-i-1)/2}^1 = \alpha_2 (1-\alpha_2)^{(j-i-3)/2}$, $\omega_{(j-i+1)/2}^1 = (1-\alpha_2)^{(j-i-1)/2}$ 。且有: $b+c = a_M^{(i+j-1)/2} + a_M^{(i+j+1)/2}$ 。

参考文献 [13] 可直接得: $\alpha_1 = \frac{g-(j-i)}{g-1}$,

$$\alpha_2 = \frac{(j-i)-1}{g-1}。$$

3 基于复合语言的装备维修合同商评价决策模型

3.1 问题描述

设有 m 个潜在维修合同商 $x_1, x_2, \dots, x_m$ 和 n 个评价指标 $c_1, c_2, \dots, c_n$, p_{ij} 表示合同商 x_i 在指标 c_j 下的评价, 其评价决策矩阵 $P = [p_{ij}]_{m \times n}$ 为:

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ p_{m1} & \cdots & p_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n}$$

其中, 指标 c_j 的权重为 ω_j , $\sum_{j=1}^n \omega_j = 1$ 。

3.2 评价与选择过程

综合以上分析, 可以得出基于复合语言的装备维修合同商评价与选择的基本步骤为: 根据实际需求选择合适的语言术语集 S ; 使用复合语言 (主要是比较语言) 对各项指标进行评价; 将复合语言表达式转换为 HFLTS, 构造成相应的判断矩阵 P ; 计算 HFLTS 中各语言的模糊包络 $\tilde{p}_{ij}$; 依据 TOPSIS 法进行排序, 选择综合保障能力最优的维修合同商。

1) 层次分析法确定评价指标权重 $W = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$, 计算加权模糊矩阵:

$$\tilde{V} = (\tilde{v}_{ij})_{m \times n} = (\tilde{p}_{ij} \cdot \omega_j)_{m \times n} \quad (6)$$

2) 确定模糊正负理想解, 计算各参评对象到正负理想解的距离。

设正理想解为 $A^+ = (T^+(a_1, b_1, c_1, d_1), \dots, T^+(a_n, b_n, c_n, d_n))$, 负理想解为 $A^- = (T^-(a_1, b_1, c_1, d_1), \dots, T^-(a_n, b_n, c_n, d_n))$ 。各参评对象到正理想解和负理想解的距离为:

$$D_i^+ = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, T^+(a_j, b_j, c_j, d_j))$$

$$D_i^- = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, T^-(a_j, b_j, c_j, d_j))$$

根据明可夫斯基距离公式^[15], 两个梯形隶属函数 $A_1 = T(a_1, b_1, c_1, d_1)$, $A_2 = T(a_2, b_2, c_2, d_2)$ 的距离 $d(A_1, A_2) = (|a_1 - a_2| + |b_1 - b_2| + |c_1 - c_2| + |d_1 - d_2|) / 4$ 。

3) 计算被评对象与理想点的贴近程度 C_i , 依据贴近度次序选择最优装备维修合同商。

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (7)$$

4 实例分析

空军某部拟采用公开招标的方式从地方选择一家维修合同商为某大型复杂武器装备系统提供长期维修保障。经过初期评审, 确定有 4 家合同商 $\{x_1, x_2, x_3, x_4\}$ 的维修保障能力满足军方要求。为选择最佳合同商, 专家组采用分级更为详尽的 7 级评分制, 选用语言术语集 (评语集) $S = \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6\} = \{\text{很差, 差, 较差, 一般, 较好, 好, 很好}\}$ 对备选合同商的综合指标进行评价。具体评判标准见表 1。

专家组在综合分析合同商自主提供的信息并实地考察的基础上, 对各备选合同商的合同商资质 c_1 、技术能力 c_2 、管理水平 c_3 、价格成本 c_4 、保障风险 c_5 等五个综合评价指标进行了打分, 某一指标的分数越高说明该合同商的这一指标越优。最后根据打分结果, 综合各位专家的意见, 参照表 1 中的评价标准,

使用复合语言给出了各备选合同商各指标的综合评价结果，见表 2。

表 1 指标评价标准值表

可能性等级	s_0	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6
标准值	[90,100]	[80,90)	[70,80)	[60,70)	[50,60)	[40,50)	(0,40)
释义	很好	好	较好	一般	较差	差	很差

表 2 使用复合语言评价的结果

	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5
x_1	介于一般和好	介于较好和好	较好	介于一般和较好	至少为好
x_2	至少为较好	至少为好	介于一般与好	一般	介于一般和好
x_3	介于较好和好	至少为较好	介于一般和较好	介于较差和一般	至少为较好
x_4	至少为好	介于较好和好	至少为较好	至多为一般	介于一般和较好

4.1 建立装备维修合同商评价决策矩阵

各候选合同商的初始评价矩阵为：

将复合语言表达转换为 HFLTS，可得专家组对

$$P = \begin{bmatrix} \{s_3, s_4, s_5\} & \{s_4, s_5\} & \{s_4\} & \{s_3, s_4\} & \{s_5, s_6\} \\ \{s_4, s_5, s_6\} & \{s_5, s_6\} & \{s_3, s_4, s_5\} & \{s_3\} & \{s_3, s_4, s_5\} \\ \{s_4, s_5\} & \{s_4, s_5, s_6\} & \{s_3, s_4\} & \{s_2, s_3\} & \{s_4, s_5, s_6\} \\ \{s_5, s_6\} & \{s_4, s_5\} & \{s_4, s_5, s_6\} & \{s_0, s_1, s_2, s_3\} & \{s_3, s_4\} \end{bmatrix}$$

4.2 计算 HFLTS 的模糊包络

根据各个语言变量正向递进的逻辑关系，令 $s_i^* = i/g$ ，则 $s_0^* = 0$ ， $s_1^* = 0.167$ ， $s_2^* = 0.333$ ， $s_3^* = 0.5$ ， $s_4^* = 0.667$ ， $s_5^* = 0.833$ ， $s_6^* = 1$ 。

矩阵 P 中 p_{11} ， p_{21} ， p_{44} 和 p_{13} 分别代表了复合语言表达形式的几种典型情况，因此，选取它们说明 HFLTS 模糊包络的计算过程。

$p_{11}=\{s_3, s_4, s_5\}$ 采用的比较语言表达式是“介于 s_3 和 s_5 ”，故有 $A=T(a_1, b_1, c_1, d_1)$ ， $T=\{a_L^3, a_M^3, a_M^4, a_M^5, a_R^5\}$ 。其中： $a_1 = \min\{a_L^3, a_M^3, a_M^4, a_M^5, a_R^5\} = a_L^3 = 0.333$ ， $d_1 = \max\{a_L^3, a_M^3, a_M^4, a_M^5, a_R^5\} = a_R^5 = 1$ 。

$$\alpha_1 = \frac{g - (j - i)}{g - 1} = \frac{4}{5}$$
，又 $i + j = 8$ 为偶数，故采用式

(4)进行计算，得到： $W^2 = (\alpha_1^{(j-i)/2}, \alpha_1^{(j-i-2)/2} (1 - \alpha_1))^T = (\frac{4}{5}, \frac{1}{5})^T$ ，因此， $b_1 = OWA_{W^2} \cdot \{a_M^3, a_M^4\} = 0.634$ ，

$c_1 = 2a_M^{(i+j)/2} - b_1 = 0.7$ ，即 $\tilde{p}_{11} = T(0.333, 0.634, 0.7, 1)$ 。

$$P = \begin{bmatrix} T(0.333, 0.634, 0.7, 1) & T(0.5, 0.667, 0.833, 1) & T(0.5, 0.667, 0.667, 0.833) & T(0.333, 0.5, 0.667, 0.833) & T(0.667, 0.833, 1, 1) \\ T(0.5, 0.852, 1, 1) & T(0.667, 0.833, 1, 1) & T(0.333, 0.634, 0.7, 1) & T(0.333, 0.5, 0.5, 0.667) & T(0.333, 0.634, 0.7, 1) \\ T(0.5, 0.667, 0.833, 1) & T(0.5, 0.852, 1, 1) & T(0.333, 0.5, 0.667, 0.833) & T(0.167, 0.333, 0.5, 0.667) & T(0.5, 0.852, 1, 1) \\ T(0.667, 0.833, 1, 1) & T(0.5, 0.667, 0.833, 1) & T(0.5, 0.852, 1, 1) & T(0, 0, 0.354, 0.667) & T(0.333, 0.5, 0.667, 0.833) \end{bmatrix}$$

4.3 运用 TOPSIS 法选择最优维修合同商

层次分析法算得 5 个综合评价指标的权重

$p_{21}=\{s_4, s_5, s_6\}$ 采用的是比较语言表达式“至少 s_4 ”，故有 $T(a_L^4, b_2, a_M^6, a_R^6) = T(0.5, b_2, 1, 1)$ ， $\alpha = \frac{i}{g} = \frac{2}{3}$ ，

$W^2 = (\alpha^2, \alpha(1 - \alpha), (1 - \alpha))^T = (\frac{4}{9}, \frac{2}{9}, \frac{1}{3})^T$ ，由式 (2) 得

$b_2 = OWA_{W^2} \{a_M^4, a_M^5, a_M^6\} = 0.852$ ，即 $\tilde{p}_{21} = T(0.5, 0.852, 1, 1)$ 。

$p_{44}=\{s_0, s_1, s_2, s_3\}$ 采用的是比较语言表达式“至多 s_3 ”，故有 $T(a_L^0, a_M^0, c_3, a_R^3) = T(0, 0, c_3, 0.667)$ ，

$\alpha = \frac{i}{g} = \frac{1}{2}$ ， $W^1 = (\alpha, \alpha(1 - \alpha), \alpha(1 - \alpha)^2, (1 - \alpha)^3)^T =$

$(\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}, \frac{1}{8})^T$ ，由式 (3) 得： $c_3 = OWA_{W^1} \cdot$

$\{a_M^0, a_M^1, a_M^2, a_M^3\} = 0.354$ ，即 $\tilde{p}_{44} = T(0, 0, 0.354, 0.667)$ 。

$p_{13}=\{s_4\}$ 采用的是单一语言表达式，则其模糊包络即为该语言变量本身的梯形模糊隶属函数^[12]，即 $\tilde{p}_{13} = T(0.5, 0.667, 0.667, 0.833)$ 。

经过计算，最后得到 HFLTS 的模糊包络，矩阵表示为：

$W = (\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5)^T = (0.1727, 0.2683, 0.2392, 0.1471, 0.1727)^T$ ，由式 (6) 可得加权模糊矩阵：

$$\tilde{V} = \begin{bmatrix} T(0.058, 0.109, 0.121, 0.173) & T(0.134, 0.179, 0.223, 0.268) & T(0.120, 0.160, 0.160, 0.199) & T(0.049, 0.074, 0.098, 0.123) & T(0.115, 0.144, 0.173, 0.173) \\ T(0.086, 0.147, 0.173, 0.173) & T(0.179, 0.223, 0.268, 0.268) & T(0.080, 0.152, 0.167, 0.239) & T(0.049, 0.074, 0.074, 0.098) & T(0.058, 0.109, 0.121, 0.173) \\ T(0.086, 0.115, 0.144, 0.173) & T(0.134, 0.229, 0.268, 0.268) & T(0.080, 0.120, 0.160, 0.199) & T(0.025, 0.049, 0.074, 0.098) & T(0.086, 0.147, 0.173, 0.173) \\ T(0.115, 0.144, 0.173, 0.173) & T(0.134, 0.179, 0.223, 0.268) & T(0.120, 0.204, 0.239, 0.239) & T(0, 0, 0.052, 0.098) & T(0.058, 0.086, 0.115, 0.144) \end{bmatrix}$$

4.3.1 确定各方案到正负理想解的距离

正理想解 $A^+ = (T(1, 1, 1, 1), T(1, 1, 1, 1), T(1, 1, 1, 1), T(1, 1, 1, 1), T(1, 1, 1, 1))$, 负理想解 $A^- = (T(0, 0, 0, 0), T(0, 0, 0, 0), T(0, 0, 0, 0), T(0, 0, 0, 0), T(0, 0, 0, 0))$ 。

各候选维修合同商到正理想解和负理想解的距离分别为:

$$D_1^+ = 4.287, D_1^- = 0.713, D_2^+ = 4.272, D_2^- = 0.728, D_3^+ = 4.299, D_3^- = 0.701, D_4^+ = 4.309, D_4^- = 0.691。$$

4.3.2 依贴近度次序选择最优维修合同商

由式(7)可得各维修合同商与理想点的贴近度分别为:

$$C_1 = \frac{D_1^-}{D_1^+ + D_1^-} = 0.143, C_2 = 0.146, C_3 = 0.140, C_4 = 0.138。$$

将各维修合同商的贴近度进行排序, 有 $C_2 > C_1 > C_3 > C_4$, 因此合同商 x_2 的综合保障能力最强, 即应选择合同商 x_2 参与完成装备维修保障任务。

5 结语

提出了评价装备维修合同商综合保障能力的五项准则, 建立了基于复合语言表达的装备维修合同商评价决策模型, 与传统的基于单一语言表达方法的评价决策相比语言表述更加灵活, 更能准确反映决策者的意见, 也更贴近实际情况。另外, 文中提出的由梯形模糊隶属函数表示新的 HFLTS 的模糊包络, 有效简化了多目标决策问题的词计算过程, 对处理定性指标信息具有一定借鉴意义。

参考文献:

[1] 袁良运, 赵以贤, 宋贤龙. 基于三角模糊熵的装备维修

合同商评价与选择[J]. 火力与指挥控制, 2013, 38(6): 85—88.

- [2] 戴文战, 李昀. 基于梯形模糊隶属函数的复合语言多目标决策[J]. 控制与决策, 2015, 30(12): 2205—2211.
- [3] RODRIGUEZ R M, MARTINEZ L, HERRERA F. Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets for Decision Making[J]. IEEE Trans on Fuzzy Systems, 2012, 20(1): 109—119.
- [4] 郑桂凯, 苏凡圉, 王海涛, 等. 基于模糊综合评价的工程装备维修保障合同商选择[J]. 工兵装备研究, 2014, 33(2): 55—59.
- [5] 章庆玲, 陈燕平. 合同商技术服务质量评估举要[J]. 军事经济研究, 2011(12): 79.
- [6] 李环林. 军民融合装备保障[M]. 北京: 解放军出版社, 2009: 219—232.
- [7] 刘增勇, 陈祥斌, 赵坤, 等. 军民一体化装备维修保障风险评估[J]. 兵工自动化, 2012, 31(9): 27—41.
- [8] 张红梅, 张松, 张敏芳, 等. 基于性能的装备采购合同商选择研究[J]. 装甲兵工程学院学报, 2011, 25(2): 23—26.
- [9] 赵建忠, 张磊, 李保刚. 武器装备维修器材供应效果的模糊综合评估方法研究[J]. 装备环境工程, 2015, 12(1): 45—50.
- [10] 欧渊, 丁茹, 张涛, 等. 梯形模糊层次分析法在装甲车辆维修性要求重要度排序中的应用[J]. 军事交通学院学报, 2010, 12(5): 72—76.
- [11] 柳毅, 高晓光, 卢广山, 等. 基于 OWA 算子的加权属性信息融合[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(3): 322—325.
- [12] BORDOGNA G, PASI G. A Fuzzy Linguistic Approach Generalizing Boolean Information Retrieval: A Model and Its Evaluation[J]. Journal of the American Society for Information Science, 1993, 44: 70—82.
- [13] 李昀. 基于复合语言的不确定多准则决策方法研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2014.
- [14] 于剑, 程乾生. 模糊划分的一个新定义及其应用[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2010, 36(5): 619—623.
- [15] 刘海文, 覃凤, 雷久淮, 等. 一种基于 Minkowski 分形边界的小型化宽频蝶形天线[J]. 江西师范大学学报: 自然科学版, 2014, 38(2): 124—127.