

doi: 10.7690/bgzdh.2016.12.015

基于熵权 G1 法的飞行保障装备维修合同商模糊综合评价

王双川¹, 吕瑞强¹, 李德权², 刘章龙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: 在飞行保障装备军民融合维修过程中, 为了选择最优地方维修合同商, 提出了基于熵权法和序关系分析法(G1法)的飞行保障装备维修合同商模糊综合评价模型。建立飞行保障装备维修合同商选择评价指标体系, 应用复合语言对定性指标进行量化, 采用熵权法和 G1 法综合赋权, 使确定的指标权重兼顾客观性和主观性, 应用模糊综合评价法确定待评合同商的相对优劣。通过实例验证了该模型的实用性和有效性, 为空军合理选择最佳飞行保障装备维修合同商提供了有益借鉴。

关键词: 熵权; G1 法; 飞行保障装备; 维修合同商; 模糊综合评价

中图分类号: TP391.92 **文献标志码:** A

Fuzzy Comprehensive Evaluation of Flight Support Equipment Maintenance Contractor Based on Entropy Weight and G1 Method

Wang Shuangchuan¹, LYU Ruiqiang¹, Li Dequan², Liu Zhanglong¹

(1. Department of No. 4 Aviation Station, Air Force Logistics College, Xuzhou 221000, China;

2. No. 4 Station Company, Fuzhou Air Force Station, Fuzhou 350026, China)

Abstract: In the process of military-civil integration maintenance of flight support equipment, aiming at selecting the best local maintenance contractors, a comprehensive fuzzy evaluation model based on entropy weight method and rank correlation analysis (G1) is proposed for flight support equipment maintenance contractor, in which the evaluation index system of flight support equipment maintenance contractor is established. Qualitative indexes are quantified by using composite linguistic expression. The entropy weight method and G1 method are applied to determine the weights of evaluation indexes, which balances both the objective and subjective factors. Besides, the comprehensive fuzzy evaluation method is used to determine the best contractor. Finally, the practicability and validity of the model are verified by an example, which provides a useful reference for the air force in order to choose the greatest flight support equipment maintenance contractor reasonably.

Keywords: entropy weight; G1 method; flight support equipment; maintenance contractor; comprehensive fuzzy evaluation

0 引言

推动军民融合深度发展是党的十八届三中全会部署的深化国防和军队改革的重大任务。当前, 军民融合发展已经上升为国家战略, 显示了党和国家对推动军民深度融合发展的高度重视。在社会主义市场经济条件下, 以合同契约为核心展开的合同商保障是军民融合装备保障的基本模式和必然选择。在签订合同前, 系统分析和评估装备维修合同商的保障能力, 选择能力最佳、风险最低的装备维修合同商进行合作, 对提高飞行保障装备维修效益, 降低维修风险, 确保军民融合装备维修保障任务的高效完成具有重要意义。

目前, 确定指标属性权重的方法主要有主观法、客观法和组合赋权法 3 种。主观赋权法反映了决策者的主观判断或直觉, 却可能存在产生一定主观随

意性的风险; 客观赋权法虽然利用了较为完善的数学理论和方法, 却忽视了决策者的主观信息, 而此信息对于决策问题来说, 有时是至关重要的^[1]; 因此, 笔者提出了一种基于熵权法和 G1 法综合赋权的飞行保障装备维修合同商综合评价与决策模型。熵值法赋权可以充分利用已掌握的客观信息, 使评价指标权重更为客观; G1 法赋权计算简便, 可以很好地体现决策者的主观意志。同时, 考虑到飞行保障装备维修合同商选择评价指标众多, 指标间相对重要性关系难以判定; 因此, 熵权法确定的指标权重也为 G1 法赋权提供了一个相对客观的指标间序关系, 2 种方法的结合使最终确定的评价指标权重更加科学合理。

1 合同商选择评价指标体系建立

飞行保障装备维修合同商选择评价指标体系的

收稿日期: 2016-08-25; 修回日期: 2016-10-10

作者简介: 王双川(1992—), 男, 河北人, 硕士, 从事航空四站保障技术与信息化研究。

建立不仅要遵循综合性、科学性、系统性、可操作性、定性与定量相结合等一般性原则，还要综合考虑部队装备维修保障的特殊性。在实地调查研究、分析合同商招投标过程和已有文献资料^[2-5]的基础

上，结合飞行保障装备维修保障任务的性质和特点，从技术能力、价格成本、管理水平、任务风险、发展潜力 5 个方面建立了飞行保障装备维修合同商的选择评价指标体系如图 1 所示。

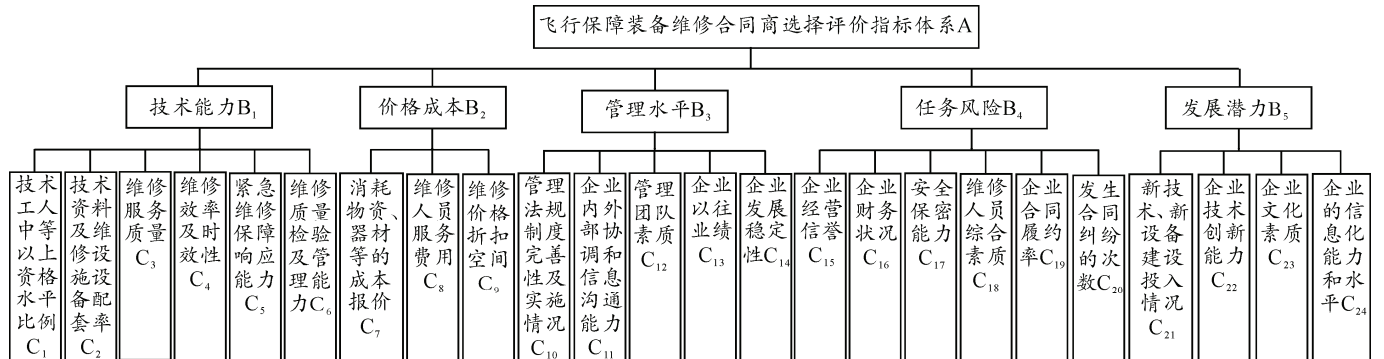


图 1 飞行保障装备维修合同商选择评价指标体系

2 合同商模糊综合评价模型

2.1 评语集及评价指标标准化矩阵的构建

2.1.1 评语集

采用模糊综合评价法对飞行保障装备维修合同商的保障能力进行评价。为了更加精确地对被评价对象的属性进行描述，笔者根据各项指标的影响程度，借鉴文献[6]中的语言术语集，将评语集划分为 7 个等级，即 $S = \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6\} = \{\text{很差, 差, 较差, 一般, 较好, 好, 很好}\}$ ，相应的参考分数集为 $\{30, 40, 50, 60, 70, 80, 90\}$ 。

2.1.2 建立初始评价矩阵

在飞行保障装备维修合同商选择评价过程中，有些指标只能定性分析而无法定量计算，如：维修服务质量、紧急维修保障响应能力、安全保密能力等，需要使用定性评语(模糊语言)进行描述，并通过专家打分将其量化^[4]。在实际评价过程中，由于对合同商信息掌握的不完备性和不确定性，采用模糊语言形式的偏好信息往往更能准确地反映决策者的真实意见或想法；因此，在模糊综合评价过程中采用比较语言表达方式^[6]对维修合同商评价指标体系中的定性指标进行描述，可以使指标量化过程更加科学，更能反映被评对象的实际情况。

设有梯形模糊数 $A = T(a, b, c, d)$ ，则其期望的计算公式^[7]为：

$$\bar{A} = (a + b + c + d) / 4. \quad (1)$$

根据文献[6]的思想，比较语言表达方式可以分为 3 种情形：1) 至少 s_i ；2) 至多 s_i ；3) 介于 s_i 和

$s_j (0 < i < j < 6)$ 。每种比较语言表达(或单一语言表达)都可计算出其由梯形模糊隶属函数表示的模糊包络。为便于计算和比较，再根据梯形模糊数的期望公式将梯形模糊隶属函数转化为确定的数值，即完成定性指标的量化过程；而对于评价指标体系中的定量指标，则由专家组通过统计和定量计算直接给出其数值。定性指标量化的具体过程如图 2 所示。

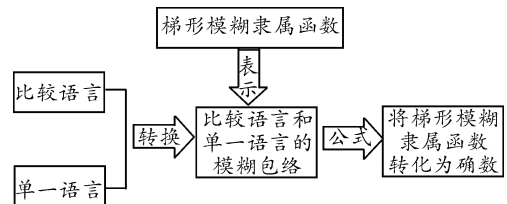


图 2 模糊综合评价法定性指标量化过程

综合以上分析，若第 i 个被评维修合同商的第 j 个指标的评价值为 x_{ij} ，则可得各维修合同商的初始评价矩阵 $X = (x_{ij})_{m \times n}$ 。

2.1.3 标准化处理

飞行保障装备维修合同商评价指标体系中，既有正向指标又有负向指标。其中：正向指标是指评价价值越大越优的一类指标；而负向指标是指评价价值越小越优的一类指标。为了满足不同属性指标间的可比性和一致性，需要对各项指标进行标准化处理。

对于正向指标，其标准化处理公式为

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_{1 \leq i \leq m} (x_{ij})}{\max_{1 \leq i \leq m} (x_{ij}) - \min_{1 \leq i \leq m} (x_{ij})}, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

对于负向型指标，其标准化处理公式为

$$r_{ij} = \frac{\max_{1 \leq j \leq n} (x_{ij}) - x_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq n} (x_{ij}) - \min_{1 \leq i \leq n} (x_{ij})}, \quad j=1,2,\dots,n. \quad (3)$$

标准化处理后, 得到各维修合同商的标准化评价矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n}. \quad (4)$$

2.2 确定指标权重

2.2.1 熵权法确定指标权重

熵权法是根据评价指标体系中各指标间的差异程度, 利用信息熵计算指标权重的一种方法。按照熵权思想, 在评价过程中充分利用客观数据所蕴含的有效信息, 按照指标信息的多少和质量决定各评价指标的权重^[8], 可以增强评价结果的客观性, 使评价结果更加科学。该方法确定各指标权重的一般步骤为:

1) 计算第 j 个指标值的熵值

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m p_{ij} \cdot \ln(p_{ij}). \quad (5)$$

其中 $p_{ij} = r_{ij} / \sum_{i=1}^m r_{ij}$ 为第 j 个指标下第 i 个项目的指标值的特征比重。

2) 计算第 j 个指标的熵权

$$v_j = (1 - e_j) / \left(n - \sum_{j=1}^n e_j \right), \quad j=1,2,\dots,n. \quad (6)$$

最后, 得到的基于熵值法的评价指标权重集为:

$$v = (v_1, v_2, \dots, v_n)^T.$$

其中, $0 \leq v_j \leq 1, \sum_{j=1}^n v_j = 1$ 。

2.2.2 G1 法确定指标权重

G1 法是郭亚军教授在分析层次分析法 (analytic hierarchy process, AHP) 主要缺点的基础上, 提出的一种主观赋权方法, 其本质是一种序关系分析法, 通过专家给出评价指标的重要性排序, 并对相邻指标的相对重要性程度进行比较, 给出比较结果的理性赋值, 从而得出各评价指标的属性权重。该方法的优点是能够真实而唯一地确定出各指标之间的重要性关系^[9], 而无须构造复杂矩阵, 不

需要一致性检验, 在避开 AHP 缺点的同时, 减少了计算量, 使指标赋权更加简便。G1 法确定各指标权重的一般步骤^[10]为:

1) 确定序关系。记指标 x_i 相对于某评价准则的重要程度大于 (或不小于) 指标 x_j 的情形为 $x_i > x_j$, 若现有 n 个评价指标 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 相对评价目标有关系式:

$$x_1^* > x_2^* > x_3^* > \dots > x_n^*, \quad (7)$$

则称评价指标 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 之间按“>”确定了序关系。 x_i^* 表示 $\{x_i\}$ 按照序关系“>”排定顺序后的第 i 个评价指标 ($i=1,2,\dots,m$)。为了方便叙述和不失一般性, 不妨仍然记为:

$$x_1 > x_2 > x_3 > \dots > x_n. \quad (8)$$

2) 给出相邻指标间相对重要程度的比较判断。设决策者给出的评价指标 x_{k-1} 与 x_k 重要性程度之比的理性判断为:

$$r_k = w_{k-1} / w_k, \quad k = n, n-1, \dots, 3, 2. \quad (9)$$

其中 r_k 的理性赋值如表 1 所示。

表 1 r_k 理性赋值参考

r_k	说明
1.0	指标 x_{k-1} 与指标 x_k 有同样的重要性
1.2	指标 x_{k-1} 与指标 x_k 稍微重要
1.4	指标 x_{k-1} 与指标 x_k 明显重要
1.6	指标 x_{k-1} 与指标 x_k 强烈重要
1.8	指标 x_{k-1} 与指标 x_k 极端重要

3) 计算评价指标权重系数。基于以上 2 步, 即可计算出评价指标的权重系数:

$$w_n = \left(1 + \sum_{k=2}^n \prod_{i=k}^n r_i \right)^{-1}; \quad (10)$$

$$w_{k-1} = r_k w_k, \quad k = n, n-1, \dots, 3, 2. \quad (11)$$

最后, 得到的基于 G1 法的评价指标权重集为:

$$w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T.$$

其中, $0 \leq w_i \leq 1, \sum_{j=1}^n w_j = 1$ 。

2.2.3 指标综合赋权

可以看出, 飞行保障装备维修合同商选择评价指标体系中包含的指标众多, 难以对各项指标的相对重要性给出准确的判断, 而熵值法所确定的指标权重虽然在取值上不能完全反映客观实际, 但却从

相对效率角度给出了各项指标相对于评价目标的重要性序关系的判据^[10]。基于以上观点，笔者提出了一种新的组合赋权方法，即基于熵权法和 G1 法的综合赋权法，使得最终确定的指标权重兼顾了主观和客观 2 方面的因素^[4]，具有更大的实际意义。其具体赋权步骤^[9]如下：

1) 分析熵值法确定的各评价指标的权重 v ，由各评价指标权重的大小关系确定出指标间的唯一重要性序关系，如式(7)所示；

2) 由专家组给出相邻指标间相对重要程度之比，即 r_k 的理性赋值(具体参见 G1 法确定指标权重的第 2 步)；

3) 由式(10)、式(11)求得各评价指标的权重，即为基于熵权法和 G1 法组合赋权的指标综合权重集 $\xi = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)^T$ 。

2.3 模糊综合评价

对模糊矩阵进行复合运算，即可得到各备选维修合同商的综合评价价值。显然，评价价值越高，说明该维修合同商的保障能力越强。综合评价公式为

$$W = R\xi \tag{12}$$

其中： R 为各备选维修合同商的标准化评价矩阵；

表 2 比较语言(单一语言)与其模糊包络的对应关系(部分)

单一语言(部分)	模糊包络	比较语言(部分)	模糊包络
较差	$T(0.17, 0.33, 0.33, 0.5)$	介于一般和好	$T(0.33, 0.64, 0.7, 1)$
一般	$T(0.33, 0.5, 0.5, 0.67)$	介于较差和一般	$T(0.17, 0.33, 0.5, 0.67)$
较好	$T(0.5, 0.67, 0.67, 0.83)$	至少为好	$T(0.67, 0.97, 1, 1)$
好	$T(0.67, 0.83, 0.83, 1)$	至少为较好	$T(0.5, 0.85, 1, 1)$
很好	$T(0.83, 1, 1, 1)$	至多为较差	$T(0, 0, 0.15, 0.5)$

加上专家组通过统计和定量计算直接给出的定量指标数值，即可得到各备选维修合同商的初始评

$$R = \begin{bmatrix} 0.60 & 0 & 0.26 & 1 & 0 & 1 & 0.51 & 0.39 & 0 & 1 & 0 & 0.34 & 0.66 & 0.50 & 1 & 0.7 & 0 & 0.33 & 0.55 & 0.67 & 1 & 0.49 & 1 & 0.34 \\ 1 & 0.71 & 1 & 0.66 & 0.75 & 0.70 & 1 & 0.60 & 0.67 & 0.34 & 0.33 & 1 & 0 & 1 & 0.67 & 1 & 0.66 & 1 & 0 & 1 & 0.49 & 1 & 0 & 1 \\ 0.40 & 0.29 & 0.51 & 0.33 & 1 & 0 & 0.51 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0.34 & 0.33 & 0 & 0.64 & 0.33 & 0.97 & 0.49 & 0.55 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0.50 & 0.34 & 0 & 1 & 0.33 & 0.70 & 0.67 & 0.67 & 0.98 & 0.50 & 0.33 & 0 & 1 & 0.66 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0.52 & 0.67 \end{bmatrix}$$

3.2 确定指标权重

将得到的各评价指标的标准化矩阵代入式(5)、式(6)，得各评价指标的熵值权重

$$v = (0.0410, 0.0452, 0.0414, 0.0398, 0.0375, 0.0427, 0.0433, 0.0488, 0.0433, 0.0427, 0.0383, 0.0429, 0.0350, 0.0399, 0.0427, 0.0433, 0.0386, 0.0433, 0.0372, 0.0433, 0.0433, 0.0403, 0.0433, 0.0429)^T。$$

由此，可得各评价指标的相对重要性序关系；然后，由专家组给出相邻指标间重要性程度之比的

ξ 为各评价指标的综合权重。

3 实例分析

为了促进空军场站军民深度融合发展，提高场站飞行作战保障效率，解决场站建制维修保障能力不足等问题，某场站拟采用公开招标的方式，从地方选择一家维修合同商签订长期合同，以执行飞行保障装备的维修保障任务。通过初期资格评审，确定共有 4 家维修合同商(分别记为：合同商 I、II、III、IV)对装备维修的性能指标满足军方要求。为了选择最优维修合同商，专家组在对合同商提供的信息进行综合分析评判并实地考察的基础上，对各备选维修合同商进行了综合评价。

3.1 建立标准化评价矩阵

对于评价指标体系中的定性指标，专家组参考评语集 S {很差，差，较差，一般，较好，好，很好} 及其对应的分数标准，采用复合语言(主要是比较语言)对各项指标进行了定性描述，并按照图 1 所示的流程，实现了对各定性指标的量化。

复合语言模糊包络的具体计算过程在文献[6]中已有详细阐述，这里仅作应用。篇幅所限，笔者只给出了部分常用复合语言与其梯形隶属函数表示的模糊包络的对应关系，如表 2 所示。

价矩阵。然后，根据式(2)、式(3)，得到各评价指标的标准化矩阵

理性赋值；最后，根据式(10)、式(11)求得各评价指标的综合权重：