

doi: 10.7690/bgzdh.2016.04.022

## 基于综合集成赋权法的飞行机务保障能力评估指标权重确定

戚玉玺, 祝华远, 段 刚

(海军航空工程学院青岛校区, 山东 青岛 266041)

**摘要:** 为提高指标权重的精确性, 避免单一赋权方法在赋权中存在的局限性, 采用基于综合集成赋权法, 将主观赋权法(德尔菲法)和客观赋权法(熵值法)进行综合。在考虑主客观赋权法的优缺点及评估对象特点的前提下, 利用德尔菲法和熵值法分别得到 2 个权重向量, 采用基于最小二乘法和相对熵的综合集成赋权法给出综合权重。结果表明: 该方法可在一定程度上提高指标权重的精确性, 为评估指标权重的可靠性和准确性打下了基础。

**关键词:** 飞行机务保障能力; 权重; 综合集成赋权法; 熵值法

**中图分类号:** TP301.6 **文献标志码:** A

## Determining the Weights of Evaluation Index in Flight Line Maintenance Support Ability Based on Combination Weight Method

Qi Yuxi, Zhu Huayuan, Duan Gang

(Naval Aeronautical Engineering Institute Qingdao Branch, Qingdao 266041, China)

**Abstract:** The subjective weight method (Delphi method) and the objective weight method (the entropy) comprehensive are combined through the integrated weight method to improve the accuracy of the index weight, and avoid the limit of single weight method. Two weight vectors were obtained, on the premise that the advantages and disadvantages of subjective and objective weight methods are considered and the features of the object are evaluated. After that the comprehensive weight are given based on least square method and integrated weight method of relative entropy. The result shows that the method can improve the accuracy of the index weight to a certain extent, and lay a foundation for the reliability and accuracy of the evaluation index weight.

**Keywords:** flight line maintenance support ability; weight; combination weight method; entropy method

### 0 引言

随着现代航空装备的发展, 对航空兵飞行团飞行机务保障能力的评估越来越重要, 而评估指标权重的确定是影响评估结果可靠性的关键因素之一; 因此, 探索科学、合理、可行的指标权重确定方法就具有很高的研究价值。

目前, 确定评估指标权重的方法大致可分为主观赋权法和客观赋权法。主观赋权法是指根据决策者的主观经验和判断, 用某种特定法则测算出指标权重的方法, 常用的有德尔菲法(Delphi)、层次分析法和二项系数法等方法。主观赋权法的优点是各评估指标的权重都是由专家根据经验和实际的判断给出, 在一定程度上满足按各指标重要程度给定的权系数的先后顺序, 从而达到评估要求, 其缺点是主观随意性大, 很难做到评估结果的精确。客观赋权法是指单纯利用属性的客观信息而确定权重的方法, 所定出的权系数具有客观性, 常用的有均方差法、主成分分析法和熵值法等。但该类赋权法的最

大缺点是有时定出的权重大小与实际不符。综合集成赋权法是一种能综合体现主、客观信息的权重确定方法, 其基本思路是在不同权重之间寻找一致或妥协, 尽量减小可能的权重跟各基本权重之间的各自偏差。

飞行机务保障能力评估指标权重确定的前提是先建立飞行机务保障能力评估指标体系。笔者针对主客观赋权法的优缺点, 先利用主观赋权法(德尔菲法)和客观赋权法(熵值法)分别得到 2 个权重向量, 再采用基于最小二乘法和相对熵的综合集成赋权法给出综合权重, 能够避免单一赋权方法在赋权中存在的局限性, 以提高评估的准确性和科学性, 为得到可靠的飞行机务保障能力评估结果奠定基础<sup>[1]</sup>。

### 1 飞行团飞行机务保障能力评估指标体系

根据构建装备保障能力评估指标体系的基本原则<sup>[2-3]</sup>, 在对飞行机务保障能力影响因素<sup>[4-5]</sup>、飞行保障任务能力<sup>[6]</sup>和战备工作<sup>[7]</sup>3 个方面研究的基础上, 采用科学的理论方法来构建航空兵飞行团飞行机务保障能力评估指标体系, 见表 1。

收稿日期: 2015-12-03; 修回日期: 2016-01-17

作者简介: 戚玉玺(1976—), 男, 山东人, 本科, 讲师, 从事海军航空装备技术保障研究。

表 1 飞行团飞行机务保障能力评估指标体系

一级指标	二级指标
人员及技术状况	人员编配
	人员训练水平
	人员任职能力
装备保障配套	保障装备
	保障设施
	技术资料
指挥管理能力	指挥管理系统
	保障组织
	飞机状态控制
	维修工作控制
战备建设水平	安全管理
	战备制度
	战备预案与演练
	作战保障研究
战训保障能力	训练保障能力
	战备等级转换能力
	战斗保障能力
	转场保障能力
	抢救及防护能力

## 2 德尔菲法确定评估指标权重

德尔菲法也称专家调查法，其特点在于集中专家的经验与意见，确定各指标的权重，并在不断的反馈和修改中得到较满意的结果。具体步骤<sup>[7]</sup>如下：

- 1) 选取专家。一般情况下，选本专业领域专家 10~30 名；
- 2) 请专家根据相关规则给出各指标的权重值；
- 3) 回收结果并计算各指标权重均值和标准差；
- 4) 将计算的结果及补充资料返还给各位专家，要求所有的专家在新材料的基础上重新确定权重；
- 5) 重复上述步骤，直至各专家的意见基本趋于一致，以此时各指标权重的均值作为该指标的权重。

笔者以一级指标为例来说明评估权重的确定。根据德尔菲法的基本步骤，按照满足够用原则选取 15 名专家，并设计评估指标权重调查问卷表。每位专家填写如表 2 所示的评估指标权重调查问卷。

表 2 评估指标权重专家调查问卷示例

一级指标	分值比例/%
人员及技术状况	20
装备保障配套	13
指挥管理能力	23
战备建设水平	19
战训保障能力	25

汇总分析评估指标权重调查问卷，得出 5 个一级指标权重分别为 0.19、0.14、0.25、0.18、0.24。

## 3 熵值法确定评估指标权重

### 3.1 熵值法<sup>[8]</sup>

熵值法是一种根据指标观测值所提供的信息量的大小来确定指标权数的方法。熵是系统无序程度

的度量，可以用于度量已知数据所包含的有效信息量和确定权重。熵值法是在客观条件下，由评价指标值构成的判断矩阵来确定指标权重的一种方法，它能尽量消除各因素权重的主观性，使评价结果更符合实际，计算步骤如下：

- 1) 构建  $m$  个样本  $n$  个评价指标的判断矩阵。
- 2) 将判断矩阵归一化处理，得到归一化判断矩阵  $D=(d_{ij})_{m \times n}$ 。
- 3) 根据熵的定义， $m$  个样本  $n$  个评价指标，可以确定评价指标的熵为：

$$E_j = -(\ln m)^{-1} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}, i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n. \quad (1)$$

其中： $m$ 为被评价对象的数目； $n$ 为评价指标数目，为使 $\ln p_{ij}$ 有意义，假定 $p_{ij}=0$ 时， $\lim_{p_{ij} \rightarrow 0} \ln p_{ij} = 0$ 。

- 4) 计算评价指标的熵权，即权重

$$W_j = \frac{1-E_j}{n - \sum_{j=1}^n E_j}, j=1,2,\dots,n. \quad (2)$$

### 3.2 评估指标权重确定

- 1) 设计专家调查表并展开调查，打分标准分为 4 级：优(1)、良(0.7)、中(0.5)、差(0.3)，同样选取专家 15 名，其调查表如表 3；

表 3 飞行团飞行机务保障能力评估一级指标调查表

数据 来源	人员及技 术状况 A	装备保障 配套 B	指挥管理 能力 C	战备建设 水平 D	战训保障能 力 E
××基地 专家	...	...	...	...	...

- 2) 计算各指标相对于评估客体的特征比重，即归一化处理的结果；

- 3) 计算各指标的权重。由式 (1) 和式 (2) 得到各一级指标的权重。5 个一级指标权重分别为 0.21、0.16、0.25、0.13、0.25。

## 4 综合集成赋权法确定评估指标权重

### 4.1 综合集成赋权法<sup>[9-10]</sup>

- 1) 基于最小二乘法的综合集成赋权法<sup>[11]</sup>。

对上文通过主观赋权法和客观赋权法得到 2 组权重  $W_j^1$  和  $W_j^2$ ， $j=1,2,\dots,m$ ，通过综合集成赋权法进行组合，得到合成权重  $W_j$ ，其目的是要使评估结果的偏差越小越好；因此，笔者建立如下确定权重的加权最小二乘法优化模型：

$$\min \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_1 [(\mathbf{W}_j - \mathbf{W}_j^1) r_{ij}]^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_2 [(\mathbf{W}_j - \mathbf{W}_j^2) r_{ij}]^2 \right\}。$$

其中  $\sum_{j=1}^m \mathbf{W}_j = 1, \mathbf{W}_j > 0$ ,  $\mathbf{W}_j$  为组合后的权重向量,  $\mathbf{W}_j^1$  为主观赋权的权重向量,  $\mathbf{W}_j^2$  为客观赋权的权重向量;  $a_1$ 、 $a_2$  分别为主观赋权法和客观赋权法的权系数, 且  $a_1 + a_2 = 1$ 。

构造拉格朗日函数:

$$L(\mathbf{W}, \lambda) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_1 [(\mathbf{W}_j - \mathbf{W}_j^1) r_{ij}]^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_2 [(\mathbf{W}_j - \mathbf{W}_j^2) r_{ij}]^2 + 2\lambda (\sum_{j=1}^m \mathbf{W}_j - 1)。$$

对上式两边求导, 由极值存在的必要条件可得模型的最优解:

$$\mathbf{W}_j = a_1 \mathbf{W}_j^1 + a_2 \mathbf{W}_j^2。 \quad (3)$$

2) 用相对熵的方法来  $a_1$ 、 $a_2$  的值。

由于赋权法的各种方法在实践中各有优劣, 很难认定哪一种赋权结果更合理一些, 所有各赋权法所占的比重也难有统一的标准来确定。笔者通过确定 2 种赋权结果的“可信度”, 以此作为自身赋权结果的重要程度。

笔者利用相对熵对各种赋权结果进行集结得到集结权重, 根据简单多数原则, 以各赋权结果与集结权重间的贴近度度量各赋权结果的可信度<sup>[1]</sup>。

根据相对熵的定义, 当 2 种赋权法给出的权向量可以视为离散分布时, 相对熵可以作为二者符合程度的一个量度。

定义 2 个权向量  $\mathbf{u}_1$ 、 $\mathbf{u}_2$ , 其相对熵  $h(\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2)$  形式为  $h(\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2) = \sum_{i=1}^m u_{1i} \log \frac{u_{1i}}{u_{2i}}$ 。

当  $h(\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2) = 0$  时, 当且仅当  $\forall i \in M, \exists u_{1i} = u_{2i}$ 。

依据以上原理, 对各种赋权结果进行集结得到集结权重  $d = (d_1, d_2, \dots, d_m)$  的问题可以转化为如下数学规划问题:

$$\min H(d) = \sum_{i=1}^m d_i \log \frac{d_i}{u_{1i}} + \sum_{i=1}^m d_i \log \frac{d_i}{u_{2i}}, \quad \text{s.t.}$$

$$\sum_{i=1}^m d_i = 1, d_i > 0 (i \in M)。$$

对于最优化模型有如下结论:

最优化模型有全局最优解  $d^* = (d_1^*, d_2^*, \dots, d_m^*)$ , 其中

$$d_i^* = \frac{\sqrt{u_{1i} \cdot u_{2i}}}{\sum_{i=1}^m \sqrt{u_{1i} \cdot u_{2i}}}, \quad i = 1, 2, \dots, m。 \quad (4)$$

它给出了基于相对熵集结指标权重向量的计算公式。在此基础上, 计算每一赋权结果与集结权重  $d^*$  的贴近度  $h(u_i, d^*)$  ( $i=1, 2$ )。根据贴近度, 计算各赋权结果的可信度。哪个赋权结果与集结权重向量的贴近度越大, 说明其在组合赋权中的作用越大, 则此赋权结果的可信度权重可表示为

$$a_1 = \frac{h(u_1, d^*)}{h(u_1, d^*) + h(u_2, d^*)}, \quad a_2 = \frac{h(u_2, d^*)}{h(u_1, d^*) + h(u_2, d^*)}。 \quad (5)$$

#### 4.2 评估指标权重的确定

根据前文的计算, 主观赋权权重  $\mathbf{W}_j^1 = (0.19, 0.14, 0.25, 0.18, 0.24)$ , 客观赋权的权重  $\mathbf{W}_j^2 = (0.21, 0.16, 0.25, 0.13, 0.25)$ , 权系数  $a_1 = 0.44$ 、 $a_2 = 0.56$ 。代入式(3)得到综合集成赋权的权重  $\mathbf{W}_j = (0.2, 0.15, 0.25, 0.15, 0.25)$ 。

将各二级指标采用同样的方法最终得到飞行机务保障能力评估指标权重, 见表 4。

表 4 飞行团飞行机务保障能力评估指标权重

一级指标	相对权重	二级指标	相对权重	合成权重
人员及技术状况	0.2	人员编配	0.3	0.06
		人员训练水平	0.4	0.08
		人员任职能力	0.3	0.06
装备保障配套	0.15	保障装备	0.5	0.075
		保障设施	0.2	0.03
		技术资料	0.3	0.045
指挥管理能力	0.25	指挥管理系统	0.15	0.0375
		保障组织	0.25	0.0625
		飞机状态控制	0.2	0.05
		维修工作控制	0.2	0.05
		安全管理	0.2	0.05
战备建设水平	0.15	战备制度	0.3	0.045
		战备预案与演练	0.5	0.075
		作战保障研究	0.2	0.03
战训保障能力	0.25	训练保障能力	0.3	0.075
		战备等级转换能力	0.1	0.025
		战斗保障能力	0.2	0.05
		转场保障能力	0.2	0.05
		抢救及防护能力	0.1	0.025