

基于 AHP-模糊法的飞机空战能力指标评价*

Evaluation of Air Combat Capability Index Based on AHP-Fuzzy Method

西北工业大学工程设计与仿真研究所 刘亚斌 刘 更 刘文彬

[摘要] 针对作战飞机空战能力指标具有相对性和模糊性,将模糊综合评价方法引入到飞机的空战能力评价中来,并采用层次分析法(AHP)计算各空战能力指标的权重集,使评估结果更科学、更合理。通过对某型号飞机空战能力指标体系的建立并进行评估计算,验证了该方法的可行性和有效性。

关键词: 空战能力 模糊综合评价 层次分析法 评估指标体系

[ABSTRACT] In view of the air combat capability indexes of aircraft are relative and fuzzy, A fuzzy comprehensive evaluation method is proposed to evaluate the air combat capability, and the analytic hierarchy process(AHP) is used to calculate weight coefficients of air combat capability indexes, thus the evaluate result will be more scientific and rational. At last, through calculating a example, it verifies that this method is feasible and effective.

Keywords: Air combat capability Fuzzy comprehensive evaluation AHP Evaluation index system

飞机的空战能力是飞机作战效能的最重要的组成部分,在不少的场合甚至可以直接作为飞机作战效能的代名词,它是评估敌我双方空战实力的重要指标。分析和研究作战飞机的空战能力,是研究作战飞机作战使用问题的前提和依据。通过研究作战飞机的空战能力,可评价其在国内外所处的地位和水平,得出其在作战能力方面优劣的结论。

飞机空战能力的评估方法大约可分为5种:性能对比法、计算评估法、计算机模拟法、专家评估法和试飞打靶演习法。其中,专家评估法是一种对硬件要求比较低的相对简单的方法,在国内已得到了业内的承认,并且在很多不同的场合得到了应用^[1]。

由于在运用专家评估法进行飞机空战能力评估时,使用的评语常常带有模糊性,所以宜采用模糊综合评价方法。应用模糊综合评价方法,其各指标的权重系数对最终的评价结果有很大的影响,而模糊评价的权重通常是专家根据经验给出,难免带有主观性。针对模糊综合评价方法的不足,引入层次分析法(AHP),它是一种定

量和定性相结合将人的主观判断用数量形式表达和处理的方法,尽量减少个人主观臆断所带来的弊端,使评估结果更可信。文章将这两种方法的优点结合起来,通过建立多层次的评价指标体系运用AHP确定各层次指标的权重系数,用多层次模糊综合评价法根据最大隶属度原则对飞机空战能力进行了综合评价。

1 AHP-模糊综合评价原理和步骤

1.1 AHP 确定权重系数步骤

层次分析法根据问题的性质和要达到的总目标,一般将问题分解为不同的组成因素,并按照因素间的相互关联影响以及隶属关系将因素按不同层次聚集组合,形成一个多层次的分析结构模型,从而最终使问题归结为最低层(供决策的方案、措施等)相对于最高层(总目标)的相对重要权值的确定或相对优劣次序的排定^[2]。其主要的步骤如下:

(1) 建立层次结构模型。

将决策的目标、考虑的因素(决策准则)和决策对象按它们之间的相互关系分为最高层、中间层和最低层,绘出层次结构图。

(2) 根据标度理论,构造两两对比判断矩阵(正互反阵),尽可能减少性质不同的诸因素相互比较的困难,提高准确度。

$$A = (a_{ij})_{n \times n}, \quad (i, j = 1, 2, 3, \dots, n), \quad (1)$$

其中 $(a_{ii}) = (a_{jj}) = 1, (a_{ji}) = 1 / (a_{ij})$ 。

(3) 求出判断矩阵A的最大特征值 λ_{max} 和对应的特征向量 ω :

$$A\omega = \lambda_{max}\omega. \quad (2)$$

(4) 对判断矩阵进行一致性检验。

· 计算一致性指标:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}. \quad (3)$$

· 通过表1查找对应的随机一致性指标RI。

· 计算一致性比率:

表1 平均随机一致性指标

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

* 国家 863 高技术研究发展计划重点项目(2010AA7045015)资助。

$$CR = CI/RI。 \quad (4)$$

当一致性比率 $CR < 0.1$ 时,认为 A 的不一致程度在容许范围之内,通过一致性检验。可用其归一化特征向量作为权向量,否则就需要重新构造对比较矩阵 A ,对 a_{ij} 加以调整。

· 对特征向量归一化处理得到权向量 $\omega^{[3]}$ 。

1.2 模糊综合评价步骤

在比较复杂的系统中,由于考虑的因素多且各因素之间有层次之分,此处选用多层次模糊综合评价方法,它能比较好地解决评价问题。其具体步骤如下(以二级模糊综合评价为例):

(1) 根据总体的指标确定一级子指标集 U :

$$U = (U_1, U_2, U_3, \dots, U_s)。 \quad (5)$$

(2) 根据上述的层次分析法计算结果建立指标权重分配集 ω :

$$\omega = (\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_s), \quad (6)$$

其中, $\sum_{i=1}^s \omega_i = 1$ 。

(3) 各一级子指标 U_i 受各二级子指标 $U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{ik}$ 的影响,确定二级子指标集 U_i :

$$U_i = (U_{i1}, U_{i2}, U_{i3}, \dots, U_{ik}), (i=1, 2, 3, \dots, s)。 \quad (7)$$

(4) 根据层次分析法计算的结果确定各二级子指标 U_i 的权重分配集 ω_i :

$$\omega_i = (\omega_{i1}, \omega_{i2}, \omega_{i3}, \dots, \omega_{ik}), (i=1, 2, 3, \dots, s)。 \quad (8)$$

(5) 根据评价对象的具体情况,选择适当评语集形成评判集 V :

$$V = (V_1, V_2, \dots, V_m)。 \quad (9)$$

(6) 由若干名业界专家对二级子指标通过投票进行评价得到评价矩阵 R_i :

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{i1} & \dots & r_{im} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{k1} & \dots & r_{km} \end{bmatrix}。 \quad (10)$$

(7) 计算得到二级子指标的综合评价向量 B_i :

$$B_i = \omega_i \cdot R_i, (i=1, 2, 3, \dots, s)。 \quad (11)$$

(8) 形成一级子指标的评价矩阵:

$$B = (B_1, B_2, \dots, B_s)^T。 \quad (12)$$

(9) 求取目标评价向量:

$$C = \omega \cdot B。 \quad (13)$$

(10) 按照最大隶属度原则进行结果的评定^[4]。

一般的对于比较复杂的系统,其评价体系可能划分为多层,针对每一层都首先利用层次分析法确定各影响因素的权重系数,然后在模糊评价过程中利用层次分析法确定的权重系数进行评价计算,并按照自下而上的层次顺序进行总体的综合评价。

2 飞机的空战能力指标综合评估实例

2.1 空战能力评估指标模型构建

作战飞机的空战能力是作战飞机在空空战斗中,完成歼灭空中敌人、有效保存自己的能力。作战飞机的空战能力表现为多层次性、多参数性、多因素性。对作战飞机空战能力的评估,首先面临的问题是如何确定作战飞机空战能力的构成,目前国内外尚未形成统一的标准。本文根据参考文献[1]中专家评价法的空战指标体系和文献[6]中对空战各指标进行的分析,选取了影响空战的5个最主要的因素来衡量飞机的空战能力,机动性、生存能力、战斗火力、发现目标能力、操纵效能,构建了飞机空战能力指标体系,这个体系基本能够覆盖空战能力的指标空间,如图1所示。

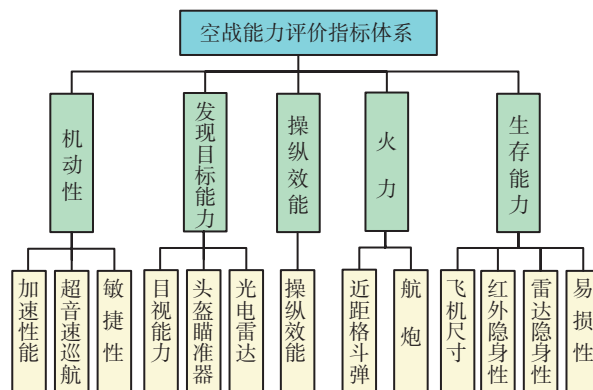


图1 空战能力指标体系

Fig.1 Air combat capability index system

2.2 AHP 确定一级子指标权重系数

本文以“幻影 2000”为例进行计算验证,根据文献[1]可以列出一级子指标的评判矩阵,如表2所示。

表中, U_1 代表机动性, U_2 代表火力, U_3 代表发现目标能力, U_4 代表生存能力, U_5 代表操作效能,运用 Matlab 计算上述矩阵得到最大特征值根 λ_{\max} 和对应的特征向量(权向量) ω :

$$\lambda_{\max} = 5.082, \omega = (0.306, 0.634, 0.673, 0.098, 0.203)^T。$$

带入公式(3)计算一致性指标:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{5.082 - 5}{4} = 0.0205。$$

表2 一级子指标的评判矩阵

A	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5
U_1	1	1/2	1/2	4	1
U_2	2	1	1	5	4
U_3	2	1	1	7	4
U_4	1/4	1/5	1/7	1	1/2
U_5	1	1/4	1/4	2	1

查表 1 得到随机一致性指标 $RI = 1.12$ 。

则由公式 (4) 得到一致性比率:

$$CR = CI/RI = 0.0205/1.12 = 0.0183 \ll 0.1.$$

表明上述评判矩阵的一致性很好。

对特征向量归一化处理得到:

$$\omega' = (0.160, 0.331, 0.352, 0.051, 0.106)^T.$$

2.3 确定二级子指标的模糊评价因素集和相应的权重系数

(1) 建立针对飞机空战能力二级子指标的评语集:

$$V = V_1 = V_2 = V_3 = V_4 = V_5$$

(较好, 好, 一般, 较差, 差),

根据文献 [6]、[8] 提供的资料可以得到:

U_1 = (加速性能, 超音速巡航, 敏捷性) 对应权重为

$$\omega_1 = (0.35, 0.25, 0.40).$$

U_2 = (近距离格斗弹, 航炮) 对应权重为 $\omega_2 = (0.8,$

$$0.2).$$

U_3 = (目视能力, 头盔瞄准器, 光电雷达) 对应权重

$$\omega_3 = (0.3, 0.25, 0.35).$$

U_4 = (飞机尺寸, 红外隐身性, 雷达隐身性, 易损性)

$$\omega_4 = (0.150, 0.325, 0.325, 0.200).$$

U_5 = (操纵效能) 对应权重为 $\omega_5 = (1)$ 。

(2) 就各因素集中每一因素在 V 中 5 个等级进行打勾, 最后经算术平均计算得到数据, 以飞机机动性为例, 得到统计录表如表 3 所示。

表3 飞机机动性评分统计表

U_1	V				
	较好	好	一般	较差	差
加速性能	0.05	0.35	0.35	0.15	0.10
超音速性能	0.40	0.35	0.2	0.05	0
敏捷性	0.10	0.25	0.45	0.15	0.05

对于 U_1 可以得到模糊关系矩阵 R_1 :

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.05 & 0.35 & 0.35 & 0.15 & 0.1 \\ 0.4 & 0.35 & 0.2 & 0.05 & 0 \\ 0.1 & 0.25 & 0.45 & 0.15 & 0.05 \end{bmatrix}$$

同样的方法可以得到 U_2, U_3, U_4, U_5 对应的模糊关系矩阵 R_2, R_3, R_4, R_5 :

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.35 & 0.45 & 0.15 & 0.05 & 0 \\ 0.45 & 0.3 & 0.2 & 0.05 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.15 & 0.35 & 0.3 & 0.15 & 0.05 \\ 0.25 & 0.3 & 0.25 & 0.15 & 0.05 \\ 0.45 & 0.35 & 0.15 & 0.05 & 0 \end{bmatrix},$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.35 & 0.2 & 0.1 & 0.05 \\ 0.25 & 0.35 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.35 & 0.35 & 0.2 & 0.05 & 0.05 \\ 0.05 & 0.1 & 0.35 & 0.25 & 0.25 \end{bmatrix},$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.45 & 0.2 & 0.05 & 0 \end{bmatrix}.$$

(3) 由于加权平均型算子 $M(\cdot, +)$ 模型依据权重系数的大小对所有的因素权衡兼顾, 比较适用于综合评价体系, 所以此处选用加权平均模型进行一级模糊运算。

$$B_1 = \omega_1 \circ R_1 = (0.1575, 0.31, 0.3525, 0.125, 0.055),$$

$$B_2 = \omega_2 \circ R_2 = (0.34, 0.42, 0.16, 0.05, 0),$$

$$B_3 = \omega_3 \circ R_3 = (0.025, 0.3325, 0.23, 0.115, 0.325),$$

$$B_4 = \omega_4 \circ R_4 = (0.25, 0.3, 0.2625, 0.11375, 0.07375),$$

$$B_5 = \omega_5 \circ R_5 = (0.3, 0.45, 0.2, 0.25, 0).$$

那么可以得出一级模糊关系矩阵:

$$B = (B_1, B_2, B_3, B_4, B_5)^T =$$

$$\begin{bmatrix} 0.1575 & 0.31 & 0.3525 & 0.125 & 0.055 \\ 0.34 & 0.42 & 0.16 & 0.05 & 0 \\ 0.29 & 0.3325 & 0.23 & 0.115 & 0.0325 \\ 0.25 & 0.3 & 0.2625 & 0.11375 & 0.07375 \\ 0.3 & 0.45 & 0.2 & 0.05 & 0 \end{bmatrix}.$$

依然选取加权平均型算子 $M(\cdot, +)$ 求出目标评价结果:

$$C = \omega' \circ B = (0.2844, 0.3687, 0.2249, 0.0881, 0.240),$$

其中, ω' 为 2.2 节中计算出的一级评判矩阵的最大特征值特征向量的归一化处理结果。

对 C 进行归一化处理得到

$$C' = (0.2872, 0.3724, 0.2271, 0.0891, 0.0242).$$

2.4 综合评价结果

由于上述结论是利用加权平均型模型 $M(\cdot, +)$ 计算得出, 总评价结果和所有的影响因素有关, 由于根据最大隶属度原则此时可以直接评定“幻影 2000”型的综合空战能力为“好”。这与文献 [1] 中的观点是一致的, 说明这种 AHP-模糊综合评价法是可行的可靠的, 有一定的实用参考价值。

3 结论

(1) 应用层次分析法 (AHP) 和模糊数学方法建立的 AHP-模糊综合评价模型, 发挥了这两种方法的优点, 可以全面考虑影响作战飞机空战能力的各种因素, 将定性和定量的分析有机地结合起来, 既能够充分体现评价因素和评价过程的模糊性, 又尽量减少了个人主观臆断所带来的弊端, 比一般的评比打分等方法更符合客观实际, 因此评价结果更可信、可靠。

(2) 用该方法可以对一个产品的综合性能进行评价, 同时也可以对两件或多件产品进行性能的比较。当进行多件产品性能比较时, 最后根据最大隶属度原则评价得出的结论会比较粗糙, 如果两件产品的最大

(下转第 78 页)

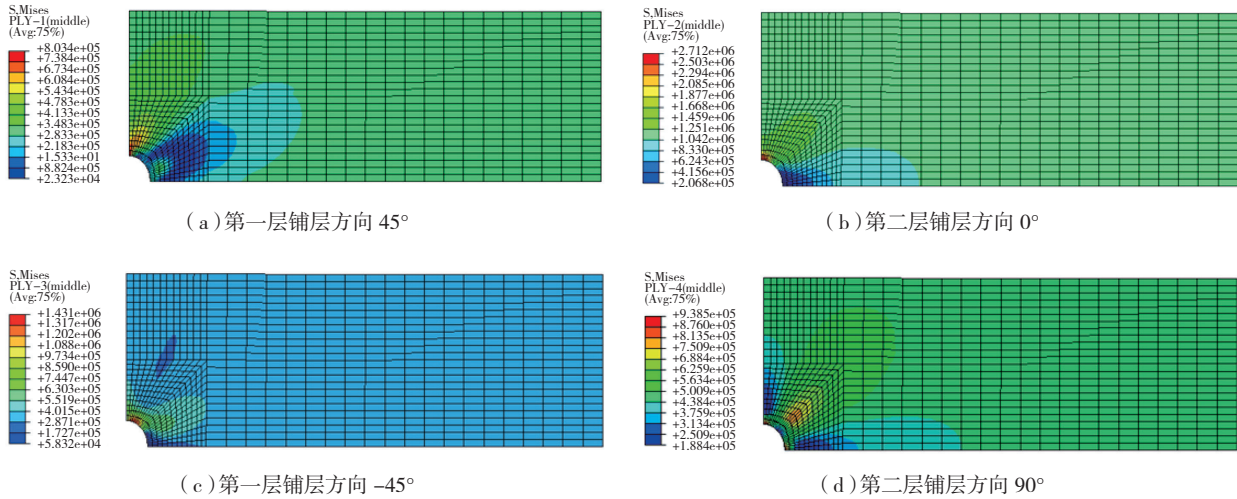


图8 应力分层云图
Fig.8 Stress stratified cloud

3 结论

本文对某新型复合材料层合板的压缩试验和有限元分析,得出以下结论:

(1)对试件进行压缩性能试验和有限元损伤分析,由试验获得的压缩强度为 314.5MPa,由有限元损伤分析获得的压缩强度为 317.6MPa,误差为 3.1%,可以看出,完全在误差允许的范围。

(2)由有限元损伤分析获得各铺层的失效损伤图。从图可以看出,各铺层的损伤都是发生在中间孔的两侧,并沿孔向两侧成一定角度延伸。

(3)有限元分析模型能够准确地预测复合材料层合板开孔压缩破坏强度,并能够准确预测复合材料层合板开孔压缩过程中的损伤扩展和最终破坏模式,对复合材料层合板试验有很好的预测作用。

参考文献

[1] Ramadan A, Esmacel, Farid Taheri. Delamination detection in laminated composite beams using the empirical mode decomposition energy damage index. *Composite Structure*, 2012(1):1-9.

[2] Ayanci C, Carey J. 2D braided composites: A review for stiffness critical application. *Composite Structure*, 2008, 85(1): 43-58.

[3] Pierron F, Green B, Wisnom M R, et al. Full-field assessment of damage process of laminated composite open-hole tensile specimens. Part II: Experimental Results. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2007, 38(11): 2321-2332.

[4] LEE J H. Uniaxial Compressive Behaviour of Carbon Fibre-Epoxy Laminates-Part 2: Notched. EU-Korea conference on science and Technology, 2010, 135: 175-189.

[5] Soutis C, Filiou C. Stress Distributions around Holes in Composite Laminate Subjected to Biaxial Loading. *Applied Composite Materials*, 1998(5): 365-378.

[6] Berbinau P, Filiou C, Soutis C. Stress and failure analysis of composite laminates with an inclusion under multiaxial compression-tension loading. *Applied Composite Materials*, 2001(8):307-326.

[7] 曹海建,钱坤,魏取福,等. 三维整体中空复合材料压缩性能的有限元分析. *复合材料学报*, 2011, 28(1):230-234.

[8] 汪源龙,程小全,范舟,等. 国产 CCF300 双马树脂层合板高温拉伸与压缩性能试验研究. *复合材料学报*, 2011, 28(3):180-184.

[9] 黎增山,关志东,何为,等. 复合材料层板开孔拉伸损伤分析. *复合材料学报*, 2012, 29 (1):169-175.

(责编 三丰)

(上接第 70 页)

隶属度分别为 0.378 和 0.380,其实这时候并不能草率的确定后者性能就比前者好,为综合考虑各种等级因素带来的影响可以采用等级赋值法进行评价比较,由于篇幅所限本文没有对此展开讨论。

参考文献

[1] 朱宝鏊,朱荣昌,熊笑非. 作战飞机效能评估. 2版. 北京: 航空工业出版社, 2006.

[2] 许树柏. 层次分析法原理: 实用决策方法. 天津: 天津大学出版社, 1988.

[3] 梁保松,曹殿立. 模糊数学及其应用. 北京: 科学出版社, 2007.

[4] 董彦非,王礼沅. 基于空战模式和 AHP 法的空战效能评估模型. *系统工程与电子技术*, 2006, 28(6):885-888.

[5] 王礼沅,张恒喜. 基于粗糙集的空战效能多指标综合评估模型. *航空学报*, 2008, 29(4):880-885.

[6] 徐浩军,周莉. 基于区间 AHP 法与粗糙集的飞机空战效能评估. *空军工程大学学报*, 2010, 11(5):16-20.

[7] 黄太平. 飞机性能工程. 北京: 科学出版社, 2005.

[8] 李佩乾,译. 简氏飞机鉴赏指南. 北京: 人民邮电出版社, 2009.

(责编 亦非)