

基于主客观权重方法的某战机起飞阶段飞行品质评价

王奔驰, 杜军, 丁超, 吴镇涛, 张帅

(空军工程大学 航空工程学院, 西安 710038)

摘要: 飞行品质评价是飞行训练评估的重要组成部分具有重要的应用价值; 针对传统飞行品质评价方法中主客观评价的局限性, 提出一种主客观综合集成的评价方法; 通过非线性映射的方法将飞行参数数据转化为可评价的数据, 采用层次分析法(AHP)确定主观权重值, 利用信息熵理论计算客观权重值, 将客观权重值与主观权重值进行优化计算得出综合评价权重值, 最后进行主客观综合评价; 通过某型飞机起飞离地时刻数据为实例进行验证, 并与现有评价方法对比, 结果表明主客观权重集成法具有更高的准确性, 为飞行品质评价提供了参考, 对工程实践有很好的应用价值。

关键词: 飞行品质; 主观权重; 客观权重; 综合评价

Evaluation of Flying Qualities of a Fighter During Takeoff Stage Based on Subjective and Objective Weight Method

Wang Benchi, Du Jun, Ding Chao, Wu Zhentao, Zhang Shuai

(Aeronautics Engineering College, Air Force Engineering University, Xian 710038, China)

Abstract: Flying quality evaluation is an important part of flight training evaluation and has important application value. In view of the limitations of subjective and objective evaluation in traditional flight quality evaluation methods, a subjective and objective meta synthesis evaluation method is proposed. The flight parameter data are converted into evaluable data by the nonlinear mapping method. The subjective weight value is determined by the analytic hierarchy process (AHP), the objective weight value is calculated by the information entropy theory, and the objective weight value and the subjective weight value are optimized to get the weight value of the comprehensive evaluation. Finally, the subjective and objective comprehensive evaluation is carried out. The results show that the integrated method of subjective and objective weight is more accurate, and provides a reference for the evaluation of flight quality, and has a good application value for engineering practice.

Keywords: flying quality; subjective weight; objective weight; comprehensive evaluation

0 引言

信息化战争对人员以及武器装备提出了新的更高要求, 空中作战部队作为先头部队首当其冲, 军事斗争训练准备水平直接决定部队战斗力。飞行品质评价作为飞行训练评估的一个重要方面, 对飞机的飞行安全至关重要, 由于重大的现实意义而引起了学者的广泛关注。研究表明, 飞机起飞、着陆阶段发生事故的比例约占飞行事故的65%左右^[1]。大部分事故集中发生在起飞着陆阶段的事实要求学者们进一步研究事故发生的原因, 并建立合理有效的起飞着陆训练评估体系, 从源头减少故障发生的概率。飞机在日常的训练中, 积累了大量的飞参数据, 飞参数据在飞行事故调查、辅助飞行训练以及飞行品质评估方面具有重要应用。在这些数据的基础上上挖掘有效信息, 发现潜在的

设备性能变化趋势, 从而实现飞行训练评估, 同时, 结果还可以用于故障的诊断与预测。现有文献中关于飞参数据的应用^[2-9], 大多围绕飞行事故调查和故障诊断展开, 利用飞参数据进行飞行品质评价的研究有待进一步展开。

对于飞行品质的评价起初主要依据专家的知识 and 经验, 带有明显的属性偏好具有很大的主观性。文献^[10-11]通过挖掘数据中各参数之间的关联关系, 提出一种客观赋权的评估方法, 降低了专家评价的主观性, 但是, 完全依赖数据信息进行评估, 会丢失专家的经验, 具有脱离问题本质的风险。通常影响飞行品质的因素由“人机环管”构成, 因此飞机的飞行品质评价是一个多属性决策的问题。关于多属性决策问题已有大量的研究, 并且得到了很多有价值的结论^[13-20]。汪文革等人^[13]中提出了一种基于层次分析法和理想点逼近法综合的部队训练评估方法, 该方法分别用主观和客观法对训练进行评估, 但综合权重的分配不够明确。姚裕盛等人^[12]中利用飞行数据基于BP神经网络对飞行训练品质进行评估, 该方法利用历史飞行数据中7个重要指标参数和训练成绩进行训练优化, 建立模型, 然后用模型进行预测评估, 对于同一架飞机的飞行评估效果很好,

收稿日期:2018-06-13; 修回日期:2018-07-04。

基金项目:国家自然科学基金(11447174);陕西省自然科学基金基础研究计划(2015JQ5155)。

作者简介:王奔驰(1994-),男,陕西西安人,硕士研究生,主要从事智能数据处理方向的研究。

但是对于其他架次适应性较差。上述研究大多采用仿真数据缺乏可靠性, 另外, 飞行品质评估的关键是构建合理的指标体系, 在此基础上建立合理的评估模型, 进而实现飞行品质评价。

针对以上不足, 本文的研究以某型飞机起飞离地时刻的相关的飞参数据为基础。首先, 对相关的飞参数据进行了处理得到规范化后的分数矩阵; 然后分别使用层次分析法和信息熵值法进行主客观权值的计算, 最后利用主观层次分析法与客观熵值法优化模型赋权的方法进行计算, 得到综合权值, 并通过数据进行仿真计算。并且和主观、客观和 BP 神经网络进行了误差率和普适性对比, 最后进行了分析与总结。

1 数据处理

飞行员都是根据飞行手册和训练大纲进行飞行训练, 各飞行阶段的操作通过飞行参数可以很直观地反映出来。评价指标体系的选取是飞行评估的一个关键环节, 决定了评估的性能。为了使这个指标体系选择具有合理性, 同时能够起到实质性的作用^[21], 结合飞机起飞过程中涉及的主要参数, 通过综合考虑各指标的意义与实际价值, 并且参考专家的建议, 最后选择相对气压高度 (HO)、空速 (Vi)、升降速度 (VH)、俯仰角 (θ)、左襟翼位置 (WINL)、无线电高度 (LRH) 和左发排气温度 (ETL) 作为飞机起飞时的飞行品质评估指标。我们使用的数据是同一架飞机的 18 次飞行数据和标准评分 (STS)。为了使这些数据可以准确、合理和有效地在本文的方法中使用, 我们首先要对这些数据进行处理, 见表 1。

飞机飞行训练手册对飞机的每个飞行阶段的参数都有一个标准值, 越靠近标准值的数据分数化处理之后的分数

更高。我们采用正态分布的模型对相对气压高度 (HO)、空速 (Vi)、无线电高度 (LRH) 和左发排气温度 (ETL) 上面四个指标参数进行百分制分数化处理。

正态分布概率密度函数为:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\delta^2}} \quad (1)$$

在均值 μ 有最大概率密度 $\frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta}$, 取分值为 100。离均值越远的数据对应的概率密度越小, 分值越低, 我们以式 (2) 进行分值标准化处理:

$$S(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\delta^2}} / \frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta} = e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\delta^2}} \times 100 \quad (2)$$

这样将分布在 x 轴的数据可以投影到 y 轴上与之对应的概率密度, 并与均值处的最大概率密度进行比值从而进行非线性化数据处理, 最后得到处理后的标准分数 $S(x)$ 。

对升降速度 (VH)、俯仰角 (θ)、左襟翼位置 (WINL) 进行线性化处理, 取每个指标数据的最大值为 100 分, 其它数据与最大值的比值乘以 100 得到相应的分数。

经过处理我们得到的分数如表 2 所示。

2 主客观方法赋权模型

主客观综合赋权法实质上就是将主观赋权法与客观赋权法有机结合起来, 通过建立合理的优化模型, 使评估结果在最大程度上准确合理的反映专家的主观意向和指标信息的本身所包含的固有属性信息。将主观层次分析法 (AHP) 赋权法与客观熵值赋权法这两种方法进行有机的综合, 通过建立优化模型, 求出最合理的综合指标权重向量。我们首先要分别对主、客观评价方法进行相应的权值计算。

表 1 实际飞行数据

架次	HO	Vi	VH	θ	WINL	LRH	ETL	STS
1	11	220.3125	1.0313	4.3561	18.8	2.0574	640.5	82
2	8.5	224.9375	1.1563	3.5431	20.2	2.0955	629	82
3	12	213.6875	2.0313	4.856	19.7	2.0955	617.5	93
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
16	18	225.5625	1.8125	4.5978	19.6	2.0793	592	88
17	9.5	216.0625	1.3125	3.5266	20.1	2.0955	596	89
18	11.5	227.625	1.375	5.1691	19.4	2.1717	594	86

表 2 处理后的飞行数据

架次	HO	Vi	VH	θ	WINL	LRH	ETL	STS
1	94.8369	90.45944	50.77044	84.27192	88.26291	99.20456	75.13836	80
2	75.8054	92.06332	56.92414	68.54385	94.83568	99.04975	83.69203	82
3	98.17379	83.10472	100	93.94285	92.48826	99.04975	89.85706	94
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
16	62.42999	92.0403	89.22857	88.94779	92.01878	99.96709	92.27587	88
17	84.88886	86.36449	64.61379	68.22464	94.3662	99.04975	92.99637	81
18	96.87084	91.5575	67.69064	100	91.07981	80.03673	92.68689	87

2.1 主观层次分析法

主观赋权法是利用专家或个人的知识和经验来确定各指标的权重，本文采用层次分析法(AHP)来确定评价各指标的权重。该方法是把定量分析与定性分析相互结合起来，通过对评价指标进行两两相互比较，建立判断矩阵，以1~9标度法将定性问题进行量化的分析，使矩阵中的各要素的^[4]重要性能够进行定量显示，给出了矩阵判断标度。下面是AHP的具体步骤。

1) 使用1~9标度法将定性问题进行量化的分析，运用特尔非法进行两两比较然后打分构造得到判断矩阵：

$$D = \begin{bmatrix} 1 & 1/9 & 1/5 & 1/5 & 1/7 & 1 & 1/9 \\ 9 & 1 & 2 & 2 & 1 & 9 & 1 \\ 5 & 1/2 & 1 & 1 & 1/2 & 3 & 1/3 \\ 5 & 1/2 & 1 & 1 & 1/2 & 4 & 1/3 \\ 7 & 1 & 2 & 2 & 1 & 5 & 1 \\ 1 & 1/9 & 1/3 & 1/4 & 1/5 & 1 & 1/9 \\ 9 & 1 & 3 & 3 & 1 & 9 & 1 \end{bmatrix}$$

其中： $d_{ji} > 0$, $d_{ii} = 1$, $d_{ji} = 1/d_{ij}$ 。

2) 将判断D矩阵的每一列向量经过归一化处理：

$$\hat{\omega}_{ij} = d_{ij} / \sum_{i=1}^n d_i \text{ 得到:}$$

$$\hat{\omega}_{ij} =$$

0.0286	0.0286	0.0189	0.0202	0.0341	0.0341	0.0237
0.0286	0.0286	0.0189	0.0202	0.0341	0.0341	0.0237
0.0857	0.0857	0.0566	0.0505	0.0614	0.0614	0.0414
0.1429	0.1429	0.1132	0.1010	0.1024	0.1024	0.0828
0.2571	0.2571	0.2830	0.3030	0.3072	0.3072	0.3314
0.2571	0.2571	0.2830	0.3030	0.3072	0.3072	0.3314
0.2000	0.2000	0.2264	0.2020	0.1536	0.1536	0.1657

3) 将归一化矩阵 $\hat{\omega}_{ij}$ 按行求和 $\hat{\omega}_i = \sum_{j=1}^7 \hat{\omega}_{ij}$ 得到：

$$\omega_i = [0.1882 \quad 1.6702 \quad 0.7589 \quad 0.7901 \quad 1.4911 \quad 0.2206 \quad 1.8809]^T$$

4) 将矩阵 $\hat{\omega}_i$ 进行归一化处理即可得到主观评价矩阵 $\hat{\omega}'_j$ ：

$$\hat{\omega}'_j = [0.0269 \quad 0.2386 \quad 0.1084 \quad 0.1129 \quad 0.2130 \quad 0.0315 \quad 0.2687]^T$$

5) 检验判断矩阵的一致性。

利用AHP方法得到的指标权重是否合理的前提是判断矩阵的数值要协调一致，不能出现互相矛盾的情况，因此要对判断矩阵进行一致性检验。

定义一致性指标CI，计算判断矩阵D的偏离一致性指标：

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

其中： $\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(D\omega'_j)_i}{\omega'_j} = 7.0678$ ，经计算可得CI = 0.0113 < 0.1。

一致性指标的条件就是判断矩阵D接近判断矩阵D最

大特征根 λ_{max} 的接近程度，因此CI = 0，有完全的一致性；CI接近于0，有满意的一致性；CI越大，不一致性越严重。CI = 0.0113 < 0.1，说明判断矩阵D有满意的一致性。

经过一致性检验后，我们还要再用一致性比率来确定判断矩阵D的不一致容许范围。引入一致性指标RI，根据表3用样本计算出RI的值。

表3 随机一致性指标RI

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

我们对起飞飞行品质评价采用的是7个指标，因此查表3得RI = 1.32。

定义一致性比率：

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

将CI = 0.0113和RI = 1.32代入式(4)得到CR = 0.0085。

当一致性指标CI和随机一致性比率CR < 0.1时，认为判断矩阵D的不一致程度在容许范围之内，有满意的一致性，通过一致性检验。否则要重新进行判断值的调整，直至通过一致性检验为止。我们求得的CI = 0.0113 < 0.1, CR = 0.0085 < 0.1，因此根据AHP建立的判断矩阵D是合理的，得到的主观权重也是合理有效的。

2.2 基于信息熵的客观赋权模型

在客观赋权法中，熵值法确定的权重能够反映指标值的离散程度，运用信息熵为载体，根据每项指标值的差异程度，指标为评估决策提供的确定信息量大，其权重就越高。可以为多属性综合评价提供依据。因此选取熵值法作为客观赋权计算权值。

2.2.1 熵值法客观赋值计算步骤

设A = [a_{ij}]_m为原始分值矩阵，其中有m组训练成绩，包含n个评价属性，熵值客观赋值法采用以下步骤计算指标权重。

1) 对分值矩阵A进行线性化处理获得评估矩阵B。

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq m} a_{ij}}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$B = \begin{bmatrix} 0.96 & 0.98 & 0.51 & 0.84 & 0.88 & 0.99 & 0.81 \\ 0.77 & 1.00 & 0.57 & 0.69 & 0.95 & 0.99 & 0.90 \\ 1.00 & 0.90 & 1.00 & 0.94 & 0.92 & 0.99 & 0.96 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0.63 & 1.00 & 0.89 & 0.89 & 0.92 & 1.00 & 0.99 \\ 0.86 & 0.94 & 0.65 & 0.68 & 0.94 & 0.99 & 1.00 \\ 0.98 & 0.99 & 0.68 & 1.00 & 0.91 & 0.80 & 0.99 \end{bmatrix}$$

2) 计算在第i个成绩下第j个指标的特征比重c_{ij}：

$$c_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{i=1}^m b_{ij}}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$C = \begin{bmatrix} 0.06 & 0.06 & 0.04 & 0.06 & 0.05 & 0.06 & 0.05 \\ 0.05 & 0.06 & 0.05 & 0.05 & 0.06 & 0.06 & 0.05 \\ 0.06 & 0.06 & 0.08 & 0.06 & 0.06 & 0.06 & 0.05 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0.04 & 0.06 & 0.07 & 0.06 & 0.05 & 0.06 & 0.06 \\ 0.05 & 0.06 & 0.05 & 0.05 & 0.06 & 0.06 & 0.06 \\ 0.06 & 0.06 & 0.06 & 0.07 & 0.05 & 0.05 & 0.06 \end{bmatrix}$$

3) 计算第 j 个指标的熵值 e_j :

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m c_{ij} \ln c_{ij}, j = 1, 2, \dots, n$$

其中: $0 \leq e_j \leq 1$ 。

$$e_j = [0.9913 \quad 0.9882 \quad 0.9788 \quad 0.9904 \quad 0.9931 \quad 0.9912 \quad 0.9928]^T$$

4) 计算指标的差异性系数 h_j :

$$h_j = 1 - e_j, h_j = [0.0087 \quad 0.0118 \quad 0.0212 \quad 0.0096 \quad 0.0069 \quad 0.0088 \quad 0.0072]^T$$

5) 计算指标的权值 ω''_j :

$$\omega''_j = \frac{h_j}{\sum_{j=1}^n h_j}, j = 1, 2, \dots, n$$

$$\omega''_j = [0.1169 \quad 0.1593 \quad 0.2855 \quad 0.1300 \quad 0.0927 \quad 0.1191 \quad 0.0966]$$

熵值法客观权值法确定的权值大小反映的是属性指标内在的信息属性, 可以区分属性指标的敏感度差异性。从求得的 ω''_j 中可以看出第三个指标升降速度 (VH) 对评价时的重要性尤为明显, 和其它六个指标有着明显的差异性。

3 主客观综合优化赋权评估

3.1 综合优化评价

在使用 AHP 层次分析法和使用熵值法客观分别获得得到主观权值和客观权值后, 在对飞行品质评价中要结合主观赋权和客观赋权的优点, 既要考虑各指标的相对重要程度, 又要参考指标成绩差异性对飞行品质评价所贡献的信息量, 因此要综合主客观权重得到综合权值 ω :

$$\omega = \alpha \omega'_j + \beta \omega''_j \quad (5)$$

主客观集成综合权重方法评价飞行品质的完整步骤如下:

在确定综合权值时候, 采用文献[22]中的基于数据加权的最优模型确定综合系数 α 和 β 。其最优模型为:

$$\max Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} (\alpha \omega'_j + \beta \omega''_j) \quad (6)$$

$$s. t \quad \alpha^2 + \beta^2 = 1, \alpha > 0, \beta > 0 \quad (7)$$

此模型为一个约束条件下的极值问题, 我们利用拉格朗日数乘法可以求解: 令:

$$L = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} (\alpha \omega'_j + \beta \omega''_j) + \frac{\lambda}{2} (\alpha^2 + \beta^2 - 1) \quad (8)$$

式中, λ 为拉格朗日算子。令 $\frac{\partial L}{\partial \alpha} = 0$, 得:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} \omega'_j + \lambda \alpha = 0 \quad (9)$$

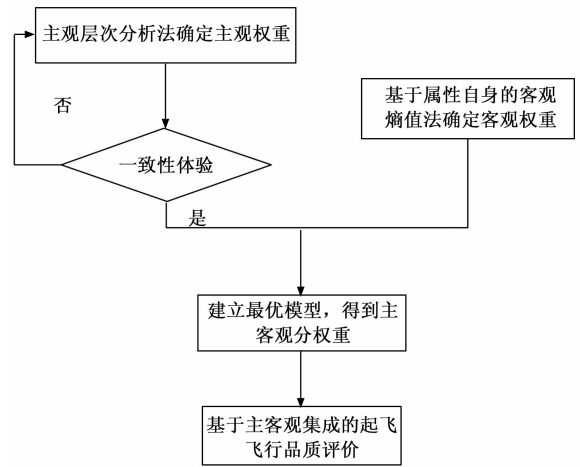


图 1 主客观集成权值的评价流程

令 $\frac{\partial L}{\partial \beta} = 0$, 得:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} \omega''_j + \lambda \beta = 0 \quad (10)$$

将式 (7), 式 (8) 和约束条件 $\alpha^2 + \beta^2 = 1$ 联立求解, 可得:

$$\lambda = -\sqrt{\left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} \omega'_j\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} \omega''_j\right)^2} \quad (11)$$

将式 (11) 给出的 λ 的值分别代入式 (9) 和式 (10) 可得到最优模型 (6) 的解为:

$$\alpha^* = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} \omega'_j / \sqrt{\left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} \omega'_j\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} \omega''_j\right)^2} \quad (12)$$

$$\beta^* = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} \omega''_j / \sqrt{\left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} \omega'_j\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} \omega''_j\right)^2} \quad (13)$$

代入数据解得 $\alpha^* = 0.7288$, $\beta^* = 0.6488$ 。

为了使 α^* 和 β^* 为确定的权重向量 $\omega = [\omega_1 \quad \omega_2 \quad \dots \quad \omega_n]$ 满足条件 $0 \leq \omega_j \leq 1$ 和 $\sum_{j=1}^n \omega_j = 1$, 对 α^* 和 β^* 进行归一化处理: 令:

$$\alpha = \frac{\alpha^*}{\alpha^* + \beta^*} \quad (14)$$

$$\beta = \frac{\beta^*}{\alpha^* + \beta^*} \quad (15)$$

将 $\alpha^* = 0.7288$, $\beta^* = 0.6488$ 代入式 (14) 和式 (15) 可以解得归一化处理后得 $\alpha = 0.53$, $\beta = 0.47$ 。

根据上文所求系数 α , β 和主观权重 ω'_j 和客观权重 ω''_j , 代入式 (5) 可得综合得权值为:

$$\omega = [0.0692 \quad 0.2013 \quad 0.1916 \quad 0.1209 \quad 0.1564 \quad 0.0727 \quad 0.1878]$$

根据所求的主客观优化集成的权重 ω 我们可以根据每一个飞行训练架次的飞行数据对每个架次起飞进行飞行品

质评价, 评价的分数为:

$$S_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} \omega_j, i = 1, 2, \dots, m \quad (16)$$

显然, S_i 越大, 相应的飞行架次起飞品质评分越高, 飞行质量越好。

3.2 结果分析

为了验证我们所建立的主客观综合评价方法的准确性和有效性, 我们根据上文所建立的基于主客观优化集成权重的方法和分别利用主观层次分析法、熵值法并和智能算法之一的 BP 神经网络对飞机起飞品质进行打分, 并和标准评分进行误差分析。为了显示 4 种方法的差异性我们对得到的评分进行了柱状图图形处理, 结果如图 2 所示。

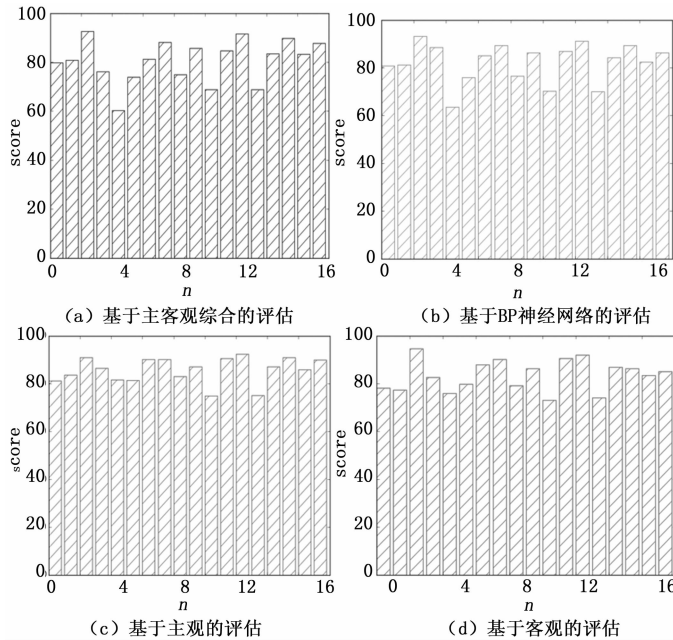


图 2 4 中方法评分结果

从图 2 的 4 种方法对于成绩的评估成绩结果的柱状图对比来看, 我们可以看出来主客观综合方法评估的结果差异性最为明显, 其次是 BP 神经网络, 主观评价法和客观评价法差异性效果较差, 从表 4 的评分误差我们可以看出来 BP 神经网络误差是最小的, 其次是主客观综合法, 主观评价法和客观评价法误差相对较大。

利用以上方法评判的是同一架飞机不同架次训练的评分估计和相对于标准评分的误差, 为了进一步验证方法的普适性, 我们用这 4 种方法对同一型号的 20 组不同编号的飞机进行评估。图 3 是 4 种方法的平均绝对评分误差。

从图 3 中我们可以看出主客观综合评价对于不同编号的飞机有着最小的评价误差, 其次是主观和客观评价法, 误差最大的是 BP 神经网络。这说明主客观集成评价有着良好的普适性和较小的误差率。

综合以上的分析, 我们可以得到主客观综合评级法相对于单独的主观和客观评价法和 BP 神经网络评价法对于同一架飞机和不同架次飞机起飞的飞行品质评价有着较小的

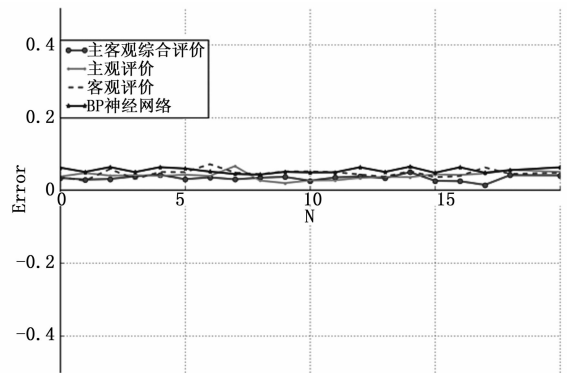


图 3 不同编号飞机的绝对误差情况

表 4 4 种方法评分误差

架次	主观	客观	BP	主客观
1	0.016	-0.023	0.010	-0.002
2	0.021	-0.057	-0.010	-0.015
3	-0.034	0.004	-0.011	-0.016
4	-0.046	-0.089	-0.022	-0.159
5	0.267	0.177	-0.016	-0.065
6	0.101	0.078	0.027	-0.001
7	0.046	0.019	-0.012	-0.057
8	0.001	0.002	-0.008	-0.020
9	0.071	0.021	-0.013	-0.034
10	-0.002	-0.010	-0.011	-0.018
11	0.056	0.028	-0.012	-0.031
12	0.030	0.036	-0.011	-0.036
13	-0.005	-0.009	-0.016	-0.014
14	0.050	0.040	-0.021	-0.036
15	0.025	0.021	-0.009	-0.018
16	0.030	-0.022	0.011	0.016
17	0.055	0.027	0.012	0.024
18	0.031	-0.023	-0.011	0.006

误差、良好的差异比较性和较好的普遍适应性, 综合来看使用效果最好。说明主客观综合集成法可以准确合理有效地对飞机起飞品质进行评价, 使用效果甚好。

4 结束语

从飞行安全现状出发, 针对飞行安全和飞行品质评估方法做了分析与探讨, 结合复杂多属性问题的相关研究, 提出了基于主客观权重集成方法的飞行品质评价模型, 这种方法把主观评价和客观评价综合起来并且建立优化模型最终得到综合权值, 把两种方法的优点相互结合补充, 使得对飞行品质的评估客观、准确和全面。使用同一型号不同架次飞机起飞离地时刻数据进行检验, 并且 BP 神经网络、主观、客观评价方法分别在差异性和评价误差上进行了比较, 结果显示主客观评价方法有着很好的使用效果。研究的方法和得到的结果为利用飞参数据进行飞行安全评估做了研究探索, 有很重大的工程实践意义。

(下转第 314 页)