

基于熵权-层次分析法和优劣解距离法的 飞行员胜任力评价

郭超^{1,2}, 尤建新¹, 彭博达¹, 许华捷²

(1. 同济大学 经济与管理学院, 上海 200092; 2. 中国商用飞机有限责任公司 民用飞机试飞中心, 上海 200092)

摘要: 结合熵权法、层次分析法(AHP)、优劣解距离法(TOPSIS), 提出了一种用于评估飞行员胜任力的多准则决策框架。首先, 根据国内外飞行员胜任力指标框架研究进展, 构建飞行员胜任力评价指标体系。其次, 采用熵权法计算飞行员核心胜任力指标权重。随后, 由专家使用AHP对飞行员心理胜任力和作风胜任力指标赋权, 并建立融合的权重指标体系。最后, 根据评价指标权重, 采用TOPSIS方法对飞行员胜任力进行排序。通过将提出的方法应用于航线飞行员胜任力评估, 验证方法的可行性。

关键词: 飞行员胜任力; 评价指标; 熵权法; 层次分析法; 优劣解距离法

中图分类号: C93

文献标志码: A

A Model for Evaluating Pilots' Competency Based on Entropy Weight-AHP Method and TOPSIS

GUO Chao^{1,2}, YOU Jianxin¹, PENG Boda¹, XU Huajie²

(1. School of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Civil Aircraft Flight Test Center, Commercial Aircraft Corporation of China Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: By combining the entropy weight method, the analytic hierarchy process (AHP), and the technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS), a multi criteria decision-making framework for evaluating pilots' competency is proposed. First, based on the research of pilot competency indicators framework at home and abroad, an evaluation indicators system for pilot competency is constructed. Next, the entropy weight method is used to weigh the core competency indicators of pilots. Then, the AHP is used by experts to weight psychological competence and style competence indicators, and an integrated weight indicators system is

established. Finally, based on the weight of evaluation indicators, the TOPSIS method is used to rank the pilots' competency. The feasibility of the proposed method is verified by applying it to the competency assessment of airline pilots.

Key words: pilot competency; evaluation indicators; entropy weight method; analytic hierarchy process (AHP); technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS)

随着现代飞机的高度自动化和集成化, 飞行员越来越难以预测飞机系统故障和应对外部环境威胁以及两者相互耦合而产生的风险, 以往事故经验和教训所生成的训练科目也已经难以全面反映当下的运行风险。国际民航组织(ICAO)和国际航协(IATA)提出了对飞行员采用循证训练来提升其胜任力^[1-3], 以应对影响飞行安全且难以预测的“黑天鹅”事件。因此, 准确评价飞行员胜任力, 发现不足并有针对性地增加训练, 对于保证飞行安全具有重要意义。

胜任力的相关研究来源已久, 数量较多^[4-8], 并且关于胜任力评价方法的研究也已经比较成熟, 其中最为常见的和典型的是多准则决策(multiple criteria decision making, MCDM)方法。MCDM在比较和选择不同方案时会根据所设定的属性或目标来进行评价, 属现代决策理论的重要内容。MCDM面临的巨大挑战之一是确定要评估的最佳标准以及为该标准分配准确的权重^[9]。这一挑战在群体决策过程中更加复杂, 决策者之间往往难以达成共识^[10-11]。用于确定最佳方案的标准越多, 决策就越复杂, 收集决策者的偏好和属性值就越复杂。在评价过程中, 很难

收稿日期: 2022-07-18

第一作者: 郭超(1982—), 男, 高级工程师, 管理学博士, 主要研究方向为国产商用飞机安全性设计、适航与试飞、管理理论与工业工程。E-mail: gcdzq@163.com

通信作者: 彭博达(1997—), 男, 管理学硕士, 主要研究方向为管理理论与工业工程。E-mail: pbd0101@163.com



论文
拓展
介绍

选择适当的标准并确定标准权重。决策者可能会因个人偏好和对被评价人的不同意见而难以就标准权重达成共识。而且,对于不同的标准采用适当的权重确定方法也是需要技巧的。以往对飞行员评价通常是根据以前的经验(例如,飞行时间、经验年限和驾驶资质)和科目考核(例如,检查驾驶表现)来完成的^[12]。胜任力评价技术未在飞行员评价中得到广泛应用,基于对已有研究成果^[13-15]的分析可以看出,飞行员胜任力的相关文献十分缺乏。目前,中国民航局结合国际研究成果和行业管理经验提出了飞行员三大胜任力框架^[16-17],即核心胜任力、心理胜任力和作风胜任力,其推行的以胜任力为基础的培训试点工作刚刚启动,各个航空公司和训练机构尚未以胜任力作为制定训练政策的基础。在上述背景之下,本文对飞行员胜任力评价模型进行研究,以用于飞行员基于胜任力的培训工作,从而提高飞行员的训练质量和效率,进一步推动飞行机组的高效建设和发展,保障飞行安全。

基于对已有相关局方文件的分析与总结,从核心胜任力、心理胜任力和作风胜任力3个方面共选取17个评价指标,构建了飞行员岗位胜任力评价决策层次结构模型,建立了飞行员岗位胜任力评价指标体系,并针对指标的成熟度和颗粒度等特点综合使用熵权法和层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)确定了各指标的权重,结合改进的优劣解距离法(technique for order preference by similarity to ideal solution, TOPSIS)建立分析模型,计算得出飞行员岗位胜任力评价得分和排序。

1 模型构建

结合熵权法、AHP、TOPSIS等方法,提出一种用于评估飞行员胜任力的MCDM框架。该框架主要包括构建指标体系、确定指标权重、专家打分评价以及评价结果排序等步骤。由于飞行员胜任力评价指标研发成熟度和颗粒度定义不同,在确定指标权重时,对成熟开发的指标采用熵权方法,该方法根据专家打分直接确定权重,可减少专家的评价偏颇,评价数据更为准确^[18-19];对尚在研究且颗粒度较粗的指标采用AHP主观评价并将其与熵权法结合构建指标权重体系^[20-21]。在胜任力排序时,引入TOPSIS方法评估每个飞行员胜任力与最优目标和最劣目标的相对位置距离来进行排序^[22-23]。

1.1 构建飞行员胜任力评价指标体系

构建评价指标是对飞行员胜任力进行评价的关键步骤。但不同于其他工作,飞行员从事的飞行活动具有环境类型杂、任务场景多、能力需求广等特点,不同场景、不同任务对飞行员胜任力的要求各不相同,飞行员胜任力评价指标的定义和开发在国内外业界也存在成熟度和认知有差异的问题。因此,飞行员胜任力评价指标的确定应分类定义并开展研究,根据国际民航组织(ICAO)专家达成的共识以及中国民航局发布的官方文件,将飞行员岗位胜任力指标分为核心胜任力、心理胜任力和作风胜任力。其中国际上对核心胜任力指标研究比较成熟,国内民航界专家也认可核心胜任力指标,而心理胜任力和作风胜任力尚在研究中,形成的胜任力指标的颗粒度还比较粗。因此,采用的飞行员胜任力指标体系由不同成熟度和颗粒度的指标构成。

1.2 确定评价指标权重

通过客观赋权(熵权法)和主观赋权(AHP)相结合的方式确定飞行员评价指标权重^[20-21]。

(1)客观赋权。通过信息熵确定飞行员核心胜任力权重。计算飞行员核心胜任力指标的信息熵,第 j 个属性的信息熵 E_j 为

$$E_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \quad (1)$$

特别地,当 $p_{ij}=0$ 时, $E_j=0$ 。式中: n 为指标的个数; $p_{ij} = \frac{z_{ij}}{\sum_{i=1}^n z_{ij}}$, z_{ij} 为归一化后的属性值, i 为样本对象序号, $i=1,2,\dots,n$; $j=1,2,\dots,m$ 。属性值的信息熵越大,其在决策中的作用越小,权重越小。信息熵与权重呈负相关,而属性重要度又可以反映出属性权重的大小,信息熵与属性重要度也呈负相关。

第 j 个属性的属性重要度 D_j 定义为

$$D_j = 1 - E_j \quad (2)$$

(2)主观赋权。通过专家打分确定权重,邀请相关领域专家对指标两两进行比对打分。对结果汇总整理后,得到目标层O与决策层C与指标层P的3个判断矩阵数据,分别根据上述的3个判断矩阵计算出每个矩阵中各个因素的相对权重,并进行一致性检验。一致性指数 C_1 的计算式为

$$C_1 = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

式中: C_1 为一致性指数; λ_{\max} 为判断矩阵最大的特征值; q 为判断矩阵的阶数。一致性比率 C_R 的计算

式为

$$C_R = \frac{C_1}{R_1} \quad (4)$$

如果 $C_R < 0.1$, 则认为判断矩阵的一致性可以接受; R_1 为随机一致性指标, $q=3$ 时, 决策过程中使用的因素的随机一致性指标 $R_1=0.58$ 。将得到的目标层与决策层之间的权重以及各决策层与各自指标层之间的相对权重进行整合, 进一步计算出各具体指标的总权重。

1.3 构造 TOPSIS 评价矩阵

将原始评价矩阵进行同向化处理, 一般选择正

$$Z^+ = (\max\{z_{11}, z_{21}, \dots, z_{n1}\}, \max\{z_{12}, z_{22}, \dots, z_{n2}\}, \dots, \max\{z_{1m}, z_{2m}, \dots, z_{nm}\}) = (z_1^+, z_2^+, \dots, z_m^+) \quad (6)$$

Z 中每列元素的最小值构成负理想解 Z^- 即为最劣目标, 见式(7):

$$Z^- = (\min\{z_{11}, z_{21}, \dots, z_{n1}\}, \min\{z_{12}, z_{22}, \dots, z_{n2}\}, \dots, \min\{z_{1m}, z_{2m}, \dots, z_{nm}\}) = (z_1^-, z_2^-, \dots, z_m^-) \quad (7)$$

计算各评价目标与最优目标的接近程度, 见式(8):

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m \omega_j (z_j^+ - z_{ij})^2} \quad (8)$$

计算各评价目标与最劣目标的接近程度, 见式(9):

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m \omega_j (z_j^- - z_{ij})^2} \quad (9)$$

式中: D_i^+ 为第 i 个目标与最优目标的接近程度; D_i^- 为第 i 个目标与最劣目标的接近程度; ω_j 为第 j 个属性的权重; z_j^+ 为第 j 个属性的最优目标; z_j^- 为第 j 个属性的最劣目标; z_{ij} 为归一化后的属性值, $j=1, 2, \dots, m$ 。计算各评价目标与最优目标的贴近程度, 见式(10):

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (10)$$

$0 \leq C_i \leq 1$, $C_i \rightarrow 1$ 表明评价目标越优。根据 C_i 大小进行排序, 得到评价结果。

2 案例分析

将提出的飞行员胜任力评价模型应用于某航空公司航线飞行员的胜任力评价, 并对评价结果进行讨论。

2.1 案例描述

为了解飞行员胜任力现状, 某国有大型航空公司分公司邀请 10 位专家(8 名资深机长教员和 2 名飞行员胜任力研究人员)采用本文评价模型对该公司 12 名飞行员的胜任力进行评估。

向化处理, 由于评价指标属性均属于效益型, 即值越大越好, 故可免去正向化处理。为方便计算, 对评价矩阵 X 进行归一化处理, 得到归一化后的矩阵 $Z = (Z_{ij})_{n \times m}$ ($i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$) 表示为

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & \dots & z_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ z_{n1} & \dots & z_{nm} \end{bmatrix} \quad (5)$$

确定最优目标和最劣目标: Z 中每列元素的最大值构成正理想解 Z^+ 即为最优目标, 见式(6):

2.2 模型应用

2.2.1 选取飞行员胜任力评价指标

以飞行员胜任力框架中核心胜任力、心理胜任力和作风胜任力构建评价指标体系。其中, 沿用 IATA 开发的九大核心胜任力指标: 知识运用、程序运用、沟通、飞行航径自动化管理、飞行航径人工管理、领导力与团队合作、问题解决和决策、情景意识与信息管理和工作负荷管理^[2-3]。确定了各决策原则对应的评价指标后, 根据决策层与指标层的关系构建飞行员胜任力评价指标体系。飞行员岗位胜任力评价的决策阶层结构如图 1 所示。业界对心理胜任力和作风胜任力指标仍在研究和开发, 根据目前共识将心理胜任力指标笼统定为基本心理能力、个体稳定性、健康/亚健康和心理疾病等 4 项, 将作风胜任力指标笼统定为训练作风、日常作风、飞行作风和运行作风等 4 项。

2.2.2 确立飞行员胜任力评价指标权重

采用客观赋权和主观赋权相结合的方法确定飞行员胜任力评价指标权重。针对已成熟开发的九大核心胜任力指标, 采用熵权法客观赋权, 针对尚在研究开发中的心理胜任力和作风胜任力指标邀请 10 名专家(权重相同)采用 AHP 主观赋权, 并最终汇总为统一的权重矩阵。

2.2.2.1 熵权法确定权重

本文采用熵权法对成熟的核心胜任力指标进行客观赋权。在国内某航空公司中选取 4 名副驾驶(A、B、C、D)、4 名机长(E、F、G、H)和 4 名教员(I、J、K、L), 对他们的历史训练运行数据进行统计, 得到关于核心胜任力中知识运用 P11、程序运用 P12、沟通 P13、飞行航径自动化管理 P14、飞行航径人工管

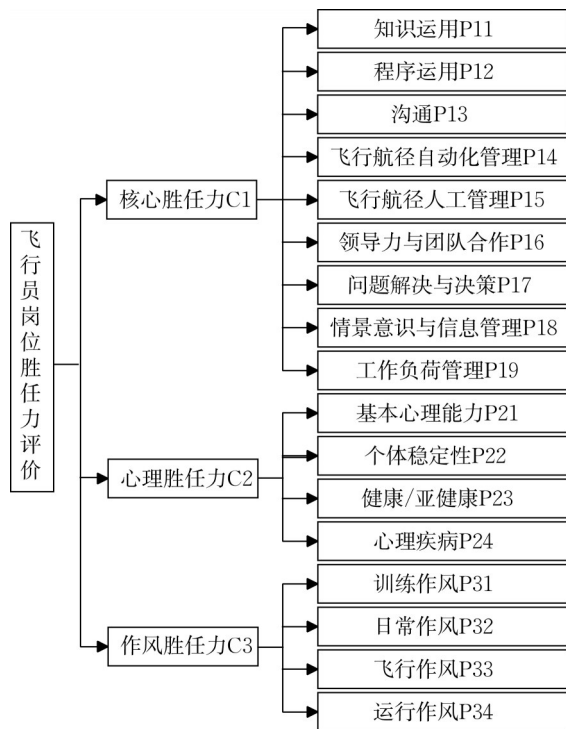


图 1 飞行员岗位胜任力评价决策阶层结构

Fig. 1 Hierarchy of pilot competency evaluation decision-making

理 P15、领导力和团队合作 P16、问题解决和决策 P17、情景意识与信息管理的 P18 和工作负荷管理 P19 一共 9 项评价指标的分值,如表 1 所示。

表 1 飞行员 9 项核心胜任力评价指标得分

Tab. 1 Score of nine core competency evaluation indicators for pilots

飞行员	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19
A	89.07	88.58	88.75	88.90	88.61	82.24	82.72	81.76	81.86
B	89.06	88.60	88.73	88.90	88.63	82.2	82.68	81.67	81.83
C	89.04	88.57	88.74	88.87	88.60	82.16	82.66	81.61	81.78
D	90.42	88.66	90.06	90.27	90.04	82.74	82.00	81.34	83.54
E	89.55	89.55	88.57	89.20	89.37	89.09	83.15	81.17	82.38
F	91.07	89.58	89.75	88.90	91.61	84.24	82.72	79.76	81.86
G	88.09	91.61	85.98	87.83	86.75	82.58	83.95	82.05	79.78
H	91.04	88.58	89.73	88.27	88.37	83.24	85.27	84.95	82.86
I	92.42	89.48	90.75	86.90	89.61	82.24	79.72	84.76	80.86
J	93.55	91.58	87.81	91.38	88.37	81.78	83.00	81.95	84.75
K	96.07	90.58	88.75	89.25	90.61	81.24	82.72	79.76	83.56
L	93.06	91.60	89.73	88.72	89.63	82.20	83.68	81.67	84.83

首先,对原始得分表中的各项数据进行标准化处理,数据标准化处理后的得分情况如表 2 所示。

基于得到的飞行员 9 项核心胜任力评价指标的标准化得分表,根据式(1)对各指标的信息熵进行计算,计算结果如表 3 所示。

根据式(2)计算出各指标的权重如表 4 所示。

表 2 飞行员 9 项核心胜任力评价指标标准化得分

Tab. 2 Standardized score of nine core competency evaluation indicators for pilots

飞行员	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19
A	0.12	0.00	0.58	0.45	0.38	0.13	0.54	0.39	0.41
B	0.12	0.01	0.58	0.45	0.39	0.12	0.53	0.37	0.41
C	0.12	0.00	0.58	0.44	0.38	0.12	0.53	0.36	0.40
D	0.29	0.03	0.86	0.75	0.68	0.19	0.41	0.30	0.74
E	0.18	0.32	0.54	0.51	0.54	1.00	0.62	0.27	0.51
F	0.37	0.33	0.79	0.45	1.00	0.38	0.54	0.00	0.41
G	0.00	1.00	0.00	0.21	0.00	0.17	0.76	0.44	0.00
H	0.37	0.00	0.79	0.31	0.33	0.25	1.00	1.00	0.61
I	0.54	0.30	1.00	0.00	0.59	0.13	0.00	0.96	0.21
J	0.68	0.99	0.38	1.00	0.33	0.07	0.59	0.42	0.98
K	1.00	0.66	0.58	0.52	0.79	0.00	0.54	0.00	0.75
L	0.62	1.00	0.79	0.41	0.59	0.12	0.71	0.37	1.00

表 3 飞行员核心胜任力评价指标信息熵

Tab. 3 Pilot core competency evaluation index information entropy

P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19
0.88	0.75	0.95	0.93	0.94	0.82	0.95	0.88	0.93

表 4 飞行员核心胜任力评价指标权重

Tab. 4 Weight of pilot core competency evaluation index

P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19
0.12	0.26	0.05	0.07	0.06	0.19	0.05	0.12	0.07

2.2.2.2 专家打分确定权重

邀请相关领域专家共 10 人(8 名飞行教员、2 名飞行员胜任力研究人员)对尚未成熟开发的心理胜任力和作风胜任力指标两两进行比对打分,运用 AHP 确定心理胜任力和作风胜任力指标权重,并将核心胜任力与两者进行整合,得出飞行员胜任力指标权重。目标层 O 与决策层 C、决策层 C2 心理胜任力与指标层 P 以及决策层 C3 作风胜任力与指标层 P 的 3 个判断矩阵数据,如表 5—7 所示。

表 5 目标层 O 与决策层 C 的判断矩阵 A₁

Tab. 5 Judgment matrix A₁ of target layer O and decision layer C

决策层 C	C1	C2	C3
C1	1	2	3
C2	1/2	1	1/2
C3	1/3	2	1

分别根据上述 3 个判断矩阵计算出每个矩阵中各个因素的相对权重,并进行一致性检验。计算后,可以得到核心胜任力 C1、心理胜任力 C2 和作风胜任力 C3 的相对权重归一化后的数值分别为:0.54、

表 6 决策层 C2 与指标层 P 的判断矩阵 A_2

Tab. 6 Judgment matrix A_2 of decision layer C2 and index layer P

指标层 P	P21	P22	P23	P24
P21	1	3	1/2	1/4
P22	1/3	1	1/4	1/5
P23	2	4	1	2
P24	4	5	1/2	1

表 7 决策层 C3 与指标层 P 的判断矩阵 A_3

Tab. 7 Judgment matrix A_3 of decision layer C3 and index layer P

指标层 P	P31	P32	P33	P34
P31	1	1/5	3	3
P32	5	1	7	5
P33	1/3	1/7	1	1/2
P34	1/3	1/5	2	1

0.30、0.16。判断矩阵 A_1 的最大特征值 $\lambda_{\max}=3.009\ 203$,一致性指数 $C_1=0.004\ 601\ 5$, $R_1=0.58$,

$C_R=0.007\ 9$ 。3类胜任力的相对权重数值表明,在对飞行员岗位胜任力进行评价时,专家最为看重的是飞行员的核心胜任力(权重为 0.54),其次是心理胜任力(权重为 0.30),最后是作风胜任力(权重为 0.16)。判断矩阵 A_2 的最大特征值 $\lambda_{\max}=4.237\ 129$, $C_1=0.079\ 043$, $R_1=0.9$, $C_R=0.088$ 。根据计算结果,可以看出专家认为心理胜任力中个体稳定性最重要,权重为 0.62;其次是权重为 0.21 的基本心理能力,而健康/亚健康情况和心理疾病指标的权重分别为 0.07 和 0.11。判断矩阵 A_3 的最大特征值 $\lambda_{\max}=4.152\ 331$, $C_1=0.050\ 777$, $R_1=0.9$, $C_R=0.056$ 。在作风胜任力中,飞行作风和运行作风的重要程度较为接近,权重分别为 0.40 和 0.36,其次是训练作风,权重大小为 0.17,而日常权重被认为对飞行安全的影响较小,权重为 0.07。

2.2.2.3 飞行员胜任力指标体系权重

将得到的目标层与决策层之间的权重以及各决策层与各自指标层之间的相对权重进行整合,进一步推算出各具体指标的总权重,如表 8 所示。

表 8 决策层和指标层的相对权重及总权重数值

Tab. 8 Relative weight and total weight value of decision layer and indicator layer

目标层	决策层	决策层权重	指标层	指标层权重	总权重
飞行员岗位胜任力评价	核心胜任力 C1	0.54	知识运用 P11	0.12	0.065
			程序运用 P12	0.26	0.140
			沟通 P13	0.05	0.027
			飞行航径自动化管理 P14	0.07	0.038
			飞行航径人工管理 P15	0.06	0.033
			领导力与团队合作 P16	0.19	0.103
			问题解决与决策 P17	0.05	0.027
			情景意识与信息管理 P18	0.12	0.065
			工作负荷管理 P19	0.07	0.038
	心理胜任力 C2	0.30	基本心理能力 P21	0.21	0.063
			个体稳定性 P22	0.62	0.186
			健康/亚健康 P23	0.07	0.021
			心理疾病 P24	0.11	0.033
			作风胜任力 C3	0.16	训练作风 P31
	日常作风 P32	0.07			0.011
	飞行作风 P33	0.40			0.064
	运行作风 P34	0.36			0.058

对各项指标的总权重进行归一化处理,得到权重列向量为

2.2.3 TOPSIS 排序

10名专家根据模拟机场场景下表现对 12名飞行员胜任力打分,如表 9 所示。

加权后的 12名飞行员胜任力评价得分如表 10 所示。

使用 TOPSIS 对飞行员胜任力计算评价结果并

排序,并与简单加权计算的评价结果排序进行对比,如表 11 所示。

从表 11 可以看出,2种模型的评价结果(飞行员排序)是有所不同的,其中飞行员 H、D、F、C、L 排序一致,排序分别为 1、2、3、6、8。这体现出 2种模型在评价结果排序上具有一定的一致性。但同时,飞行

表 9 飞行员胜任力评价
Tab. 9 Pilot competency assessment

飞行员指标	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P21	P22	P23	P24	P31	P32	P33	P34
A	89.07	88.58	88.75	88.90	88.61	82.24	82.72	81.76	81.86	95.06	76.50	84.84	86.19	78.12	94.87	86.77	80.14
B	89.06	88.60	88.73	88.9	88.63	82.20	82.68	81.67	81.83	77.69	89.97	94.24	79.20	87.20	89.33	90.65	89.65
C	89.04	88.57	88.74	88.87	88.60	82.16	82.66	81.61	81.78	84.06	78.14	96.54	94.03	84.82	91.83	92.98	87.94
D	90.42	88.66	90.06	90.27	90.04	82.74	82.00	81.34	83.54	83.33	96.99	92.53	92.43	91.72	80.21	84.42	81.62
E	89.55	89.55	88.57	89.20	89.37	89.09	83.15	81.17	82.38	75.58	84.95	92.45	79.55	80.77	87.27	76.72	83.71
F	91.07	89.58	89.75	88.90	91.61	84.24	82.72	79.76	81.86	91.74	91.82	77.43	86.42	81.80	77.24	85.26	90.42
G	88.09	91.61	85.98	87.83	86.75	82.58	83.95	82.05	79.78	77.22	87.88	87.91	95.44	82.33	94.25	94.19	85.55
H	91.04	88.58	89.73	88.27	88.37	83.24	85.27	84.95	82.86	81.65	97.06	82.07	92.16	79.84	82.01	94.65	88.94
I	92.42	89.48	90.75	86.90	89.61	82.24	79.72	84.76	80.86	84.76	76.79	84.13	84.51	81.42	92.72	79.99	96.10
J	93.55	91.58	87.81	91.38	88.37	81.78	83.00	81.95	84.75	81.24	75.79	89.99	89.38	88.60	94.92	75.70	88.45
K	96.07	90.58	88.75	89.25	90.61	81.24	82.72	79.76	83.56	80.45	75.26	77.69	87.74	75.96	95.45	96.22	76.78
L	93.06	91.60	89.73	88.72	89.63	82.20	83.68	81.67	84.83	97.09	78.92	82.82	76.05	82.99	81.34	78.43	81.30

表 10 飞行员胜任力加权评价
Tab. 10 Pilot competency with weight value assessment

飞行员指标	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P21	P22	P23	P24	P31	P32	P33	P34
A	5.77	12.44	2.40	3.36	2.87	8.44	2.23	5.30	3.09	5.99	14.23	1.78	2.84	2.12	1.06	5.55	4.62
B	5.77	12.44	2.40	3.36	2.87	8.43	2.23	5.29	3.09	4.89	16.73	1.98	2.61	2.37	1.00	5.80	5.16
C	5.77	12.44	2.40	3.36	2.87	8.43	2.23	5.29	3.09	5.30	14.53	2.03	3.10	2.31	1.03	5.95	5.07
D	5.86	12.45	2.43	3.41	2.92	8.49	2.21	5.27	3.16	5.25	18.04	1.94	3.05	2.49	0.90	5.40	4.70
E	5.80	12.57	2.39	3.37	2.90	9.14	2.25	5.26	3.11	4.76	15.80	1.94	2.63	2.20	0.98	4.91	4.82
F	5.90	12.58	2.42	3.36	2.97	8.64	2.23	5.17	3.09	5.78	17.08	1.63	2.85	2.22	0.87	5.46	5.21
G	5.71	12.86	2.32	3.32	2.81	8.47	2.27	5.32	3.02	4.86	16.35	1.85	3.15	2.24	1.06	6.03	4.93
H	5.90	12.44	2.42	3.34	2.86	8.54	2.30	5.50	3.13	5.14	18.05	1.72	3.04	2.17	0.92	6.06	5.12
I	5.99	12.56	2.45	3.28	2.90	8.44	2.15	5.49	3.06	5.34	14.28	1.77	2.79	2.21	1.04	5.12	5.54
J	6.06	12.86	2.37	3.45	2.86	8.39	2.24	5.31	3.20	5.12	14.10	1.89	2.95	2.41	1.06	4.84	5.09
K	6.23	12.72	2.40	3.37	2.94	8.34	2.23	5.17	3.16	5.07	14.00	1.63	2.90	2.07	1.07	6.16	4.42
L	6.03	12.86	2.42	3.35	2.90	8.43	2.26	5.29	3.21	6.12	14.68	1.74	2.51	2.26	0.91	5.02	4.68

表 11 飞行员胜任力评价结果对比
Tab. 11 Comparison of pilot competency evaluation results between entropy weight-AHP- TOP-SIS based method and entropy weight-AHP method

飞行员	熵权—AHP—TOPSIS 模型评价方法				熵权—AHP 评价方法	
	D_i^+	D_i^-	C_i	排序	评价得分	排序
A	11.00	6.49	0.37	7	84.10	11
B	7.64	8.77	0.53	4	86.45	5
C	9.73	7.51	0.44	6	85.18	6
D	6.70	11.00	0.62	2	87.98	2
E	10.36	5.92	0.36	9	84.83	7
F	6.35	9.58	0.60	3	87.46	3
G	7.94	8.80	0.53	5	86.55	4
H	6.01	11.68	0.66	1	88.67	1
I	11.03	6.26	0.36	10	84.42	9
J	11.83	5.71	0.33	12	84.22	10
K	12.34	6.56	0.35	11	83.85	12
L	11.02	6.39	0.37	8	84.68	8

员 A 的熵权—AHP—TOPSIS 模型评价排序比熵权—AHP 模型评价排序上升了 4 名,在结果上两者区别最大,飞行员 B、K 分别上升 1 名,而飞行员 E、G、I、J 则排序有所下降。熵权—AHP 模型评价忽略了被评飞行员群体特征,简单根据得分进行评价,而熵权—AHP—TOPSIS 模型挑选出了被评群体中最优与最劣,然后根据样本间的相对性进行排序,即在排序过程中纳入了现实情形,得出的结果也更符合实际。从数学模型上来看,熵权—AHP—TOPSIS 模型的排序是在一定的空间中计算距离得出的,使得评价尺度更具解读性。因此,熵权—AHP—TOPSIS 模型它根据指标特征将主客观赋权方法结合并融入了被评群体特征,在飞行员胜任力评价中更具优势。

2.2.4 评价结果分析

从评价结果来看,在 17 个评价指标中,个体稳定性 P22 的权重最高,该指标权重由专家打分通过

AHP方法得到,说明专家认为心理素质是区分飞行员胜任力的十分关键的因素。事实上,在诸多不安全事件的良好处置或者最终酿成重大事故的案例中,飞行员的心理素质起到了关键性的作用,而综合排名第一的飞行员H在该项评价中也得分最高,而综合排名最后2名的飞行员J和K在该项评价中得分也排在最后2名。而权重排第二的指标程序运用P12,各个飞行员得分差距并不大,而综合排名第一、第二的飞行员H和飞行员D在该项得分和排名中并不突出,这说明参加评价的12名飞行员都能很好地对飞行程序予以掌握,基本素养都是合格的,在日常

飞行中飞行员都能够很好地贯彻标准操作程序SOP。根据表12所展示的12名飞行员在17个指标的得分的方差可以看出,对飞行员岗位胜任力区分度最强的指标是心理胜任力中的个体稳定性P22和作风胜任力中的P33,这也说明中国民航局正在开展的飞行员心理胜任力和作风胜任力研究是十分必要的。事实上,具有良好的心理素质和一贯优良的飞行作风、妥善应对复杂多变的空中特情,成为区分飞行员能力的“黄金标尺”。本文建立的飞行员岗位胜任力评价模型与现实情况相吻合,具备评价飞行员岗位胜任力的科学性和准确性。

表12 飞行员胜任力指标评价结果方差

Tab. 12 Variance of pilot competency indicator evaluation results

P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P21	P22	P23	P24	P31	P32	P33	P34
0.023	0.031	0.001	0.002	0.002	0.044	0.001	0.010	0.003	0.195	2.401	0.018	0.042	0.015	0.005	0.226	0.097

3 结论

对飞行员胜任力的评价模型进行研究,作为开展基于胜任力训练的依据,以提高飞行员的训练质量和效率,保障飞行安全。

基于飞行员胜任力框架中的核心胜任力、心理胜任力和作风胜任力3个维度,构建了包含17项飞行员胜任力指标的评价体系,并针对不同成熟度的评价指标采用不同的赋权方法,对成熟度高的指标采用客观性的熵权法,对成熟度低的指标采用主观性的AHP法,最终得到整个指标体系的权重矩阵。根据专家对不同指标的打分,分别采用熵权—AHP—TOPSIS模型和熵权—AHP模型进行评价,对比分析了评价结果。熵权—AHP—TOPSIS模型能够针对指标体系的成熟度区别使用客观赋权和主观赋权,从而使指标体系赋权更加合理。评价结果对比表明,熵权—AHP—TOPSIS模型更符合实际,对不同评价对象更有区分度。

本文虽然针对不同成熟度指标体系采用了主客观融合方法确定权重,但AHP法使用中专家个人主观性仍较强,在评价一致性和准确性上容易产生偏差,且本文模型未考虑专家个体间差异,后续需要对此开展研究,弥补不足。

作者贡献声明:

郭超:提出选题,构建模型,分析案例,撰写和修改论文。

尤建新:完善论文框架,指导论文撰写和修改。

彭博达:整理文献,撰写和修改论文。

许华捷:完善模型。

参考文献:

- [1] IATA. Evidence-based training implementation guide [EB/OL]. [2013-07-31]. <https://www.iata.org/contentassets/632cceb91d1f41d18ceec52e375f38e73/ebt-implementation-guide.pdf>.
- [2] IATA. Pilot aptitude testing: guidance material and best practices [EB/OL]. [2019-04-30]. <https://www.iata.org/contentassets/19f9168ecf584fc7b4af8d6d1e35c769/pilot-aptitude-testing-guide.pdf>.
- [3] International Civil Aviation Organization. Doc 9868, Procedures for air navigation services — Training [EB/OL]. [2020-11-05]. <https://www.icao.int/APAC/RASG/SafetyTools/19%20%20Procedures%20for%20Air%20Navigation%20Services%20Training-PANS-TRG%20Doc%209868.pdf>
- [4] SPENCER L M. Competence at work[M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 1993.
- [5] DUBOIS D. Competency of based performance: a strategy for organizational change[M]. Boston: HRD Press, 1993.
- [6] NORDHAUG Odd. Competence specificities in organizations [J]. International Studies of Management & Organization, 1998, 28(1):8.
- [7] 仲理峰, 时勘. 胜任特征研究的新进展[J]. 南开管理评论, 2003, 6(2):4.
ZHONG Lifeng, SHI Kan. The new development of the research of competencies [J]. Nankai Business Review, 2003, 6(2):4.
- [8] 赵海涛. 胜任力理论及其应用研究综述[J]. 科学与管理, 2009, 29(4):15.

- ZHAO Haitao. A survey on competence theory and its application[J]. *Science and Management*, 2009, 29(4):15.
- [9] VELAZQUEZ Maria, CLAUDIO David, RAVINDRAN A Ravi. Experiments in multiple criteria selection problems with multiple decision makers[J]. *International journal of operational research*, 2010, 7(4):413.
- [10] DYER R F, FORMAN E H. Group decision support with the analytic hierarchy process[J]. *Decision support systems*, 1992, 8(2):99.
- [11] KUMAR FNUP, CLAUDIO David. Implications of estimating confidence intervals on group fuzzy decision making scores[J]. *Expert Systems with Applications*, 2016, 65:152.
- [12] DAI J, WANG H, YANG L, *et al.* Emotional intelligence and emotional state effects on simulated flight performance [J]. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 2019, 90(2):101.
- [13] 朱志航, 阎雷. 基于主成分分析法的飞行员培养质量评价研究[J]. *价值工程*, 2012, 31(34):216.
- ZHU Zhihang, YAN Lei. Study on evaluating the quality of training pilots based on the principal component analysis method [J]. *Value Engineering*, 2012, 31(34):216.
- [14] 王永刚, 孙睿韬. 飞行员飞行安全绩效评价研究[J]. *安全与环境学报*, 2018, 18(4):1364.
- WANG Yonggang, SUN Ruitao. On the performance evaluation for the pilot flight safety [J]. *Journal of Safety and Environment*, 2018, 18(4):1364.
- [15] 汪磊, 高杉, 张静怡, 等. 民航飞行员超限行为评价方法研究[J]. *安全与环境学报*, 2021, 21(2):695.
- WANG Lei, GAO Shan, ZHANG Jingyi, *et al.* Evaluation of the exceedance behaviors of the airline transport pilots based on the QAR data[J]. *Journal of Safety and Environment*, 2021, 21(2):695.
- [16] 中国民用航空局. 中国民航运输航空飞行员技能全生命周期管理体系建设实施路线图: 1.0版[S]. 北京: 中国民用航空局, 2020.
- Civil Aviation Administration of China. Road map for the construction and implementation of the full life cycle management system for aviation pilot skills in civil aviation transportation of China: version 1.0[S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2020.
- [17] 中国民用航空局. 关于全面深化运输航空公司飞行训练改革的指导意见[S]. 北京: 中国民用航空局. 2019
- Civil Aviation Administration of China. Civil Aviation Administration of China. Guidance on comprehensively deepening the reform of flight training of transport Airlines [S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China. 2019.
- [18] 雷玲, 脱潇潇. 基于供给侧结构性改革的陕西现代农业科技园区综合创新发展能力评价——基于熵权法与TOPSIS相结合的模型[J]. *科技管理研究*, 2019, 39(3):114.
- LEI Ling, TUO Xiaoxiao. Evaluation of comprehensive innovation and development ability of Shaanxi modern agricultural science and technology park based on structural reform on the supply side: a model based on entropy weight method and TOPSIS [J]. *Science and Technology Management Research*, 2019, 39(3):114.
- [19] 宁连举, 肖玉贤, 刘经涛, 等. 跨行政区域创新策源能力评价与实证——基于熵权法、TOPSIS法、灰色关联分析[J]. *科技管理研究*, 2021, 41(20):44.
- NING Lianju, XIAO Yuxian, LIU Jingtao, *et al.* Evaluation and demonstration on the creatonal and original innovation capacity of cross-administrative area: based on the entropy weight method, TOPSIS method, and gray correlation analysis [J]. *Science and Technology Management Research*, 2021, 41(20):44.
- [20] 李娟, 李保安, 方晗, 等. 基于AHP-熵权法的发明专利价值评估——以丰田开放专利为例[J]. *情报杂志*, 2020, 39(5):59.
- LI Juan, LI Baoan, FANG Han, *et al.* Evaluation of invention patent value based on AHP-entropy weight method: taking Toyota's open-source patent as an example [J]. *Journal of Intelligence*, 2020, 39(5):59.
- [21] SAATY T L. Decision making with the analytic hierarchy process[J]. *International Journal of Services Sciences*, 2008, 1(1), 83.
- [22] 孙涵, 聂飞飞, 胡雪原. 基于熵权TOPSIS法的中国区域能源安全评价及差异分析[J]. *资源科学*, 2018, 40(3):477.
- SUN Han, NIE Feifei, HU Xueyuan. Evaluation and difference analysis of regional energy security in China based on entropy-weight TOPSIS modeling [J]. *Resources Science*, 2018, 40(3):477.
- [23] SHARMA D, SRIDHAR S, CLAUDIO D. Comparison of AHP-TOPSIS and AHP-AHP methods in multi-criteria decision-making problems[J]. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 2020, 34(2):203.