



引用格式:岳仁田, 李君尉, 韩亚雄. 基于决策试行与评价实验室-Choquet 积分的航班运行风险评价[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(33): 13936-13941

Yue Rentian, Li Junwei, Han Yaxiong. Flight operation risk assessment based on decision making trial and evaluation laboratory-Choquet integral[J]. Science Technology and Engineering, 2020, 20(33): 13936-13941

基于决策试行与评价实验室-Choquet 积分的航班运行风险评价

岳仁田, 李君尉, 韩亚雄

(中国民航大学空中交通管理学院, 天津 300300)

摘要 为提高航空公司安全管理水平, 提出一种基于决策试行与评价实验室和 Choquet 积分耦合的方法对航空公司航班运行风险进行评价。首先在识别航班运行风险因素的基础上, 利用 DEMATEL 方法计算因素的综合影响矩阵。利用综合影响矩阵分别计算因素的影响度、被影响度、中心度和原因度, 确定因素的因果属性并确定关键因素。在利用决策试验和评价实验室方法计算得到关键风险因素的基础上, 利用 Choquet 积分构建风险评价模型对航空公司航班运行风险进行综合评价。结果表明: 该风险评价模型能够消除风险因素之间的关联性, 实现了航空公司航班运行风险的合理、有效评价。

关键词 航空公司; 航班运行风险; 决策试行与评价实验室; Choquet 积分; 风险评价

中图法分类号 X949; 文献标志码 A

Flight Operation Risk Assessment Based on Decision Making Trial and Evaluation Laboratory-Choquet Integral

YUE Ren-tian, LI Jun-wei, HAN Ya-xiong

(College of Air Traffic Management, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

[Abstract] In order to improve the safety management level of airlines, a method based on decision making trial and evaluation laboratory (DEMATEL) and Choquet integral coupling was proposed to evaluate the flight operation risk of airlines. Firstly, on the basis of identifying the flight operation risk factors of airline, the DEMATEL method was used to calculate the comprehensive impact matrix of factors. The comprehensive impact matrix was used to calculate the degree of impact, being impacted, centrality and the cause of the factors, and to determine the causal attributes of the factors and the key factors. Based on the key risk factors calculated by the DEMATEL method, the risk evaluation model was built by using Choquet integral to evaluate the flight operation risk of airlines comprehensively. The results show that the risk assessment model can eliminate the correlation between risk factors and achieve a reasonable and effective evaluation of airline flight operation risk.

[Key words] airline; flight operation risk; decision making trial and evaluation laboratory; Choquet integral; risk assessment

航空公司作为民航体系中重要的组成部分, 不仅承担着乘客出行安全责任, 同时影响着整个民航体系运作的安全, 做好航空公司的航班运行风险研究是保证航空公司运行安全的重要工作。在安全风险管理工作中确定风险评价值是开展风险控制工作的重点^[1]。因此, 航空公司在开展航班运行风险研究时要客观、全面、科学地进行风险指标识别, 找出风险影响因素, 运用科学方法对指标进行评估, 再针对评估结果采取对应的措施, 使

风险降至最低, 从而保证航空公司安全运行。

关于航空公司运行安全方面研究颇多。目前, 外国学者主要根据数理统计方法, 对历史事件进行数理统计, 评估航空公司运行安全。中国学者在航空公司运行安全研究方面主要运用证据理论评价、层次分析法等。丁松滨等^[2]在研究航空公司安全风险时为解决其中的不确定性问题, 引入了证据理论; 石荣等^[3]采用变权综合法对民航风险影响因素进行评价, 从而计算系统的风险评价值; 金灿灿等^[4]

收稿日期: 2019-12-18; 修订日期: 2020-05-31

基金项目: 国家自然科学基金民航联合研究基金(U1533112); 国家自然科学基金面上项目(61571441); 国家重点研发计划(2016YFB05-02405)

第一作者: 岳仁田(1978—), 男, 汉族, 山东日照人, 博士, 副研究员。研究方向: 空中交通运输规划与管理。E-mail: rtyue@cauc.edu.cn。

表 1 航班运行风险评价指标体系
Table 1 Risk evaluation index system for airline safety operation

目标层	准则层	指标层	
航空公司航班 运行风险	机组因素 S_1	机组违规操作 R_1	机组专业技能水平较低 R_2
		机组责任感不强 R_4	机组安全意识与态度不强 R_5
	航空器因素 S_2	空中停车频次 R_7	飞行系统运行异常 R_8
		机务维修失误 R_{10}	—
	环境因素 S_3	飞行期间天气恶劣 R_{11}	航路结构复杂度 R_{12}
		机场环境危险 R_{14}	通、导、监设备工作故障 R_{15}
	管理因素 S_4	人员技术培训不足 R_{16}	安全方针的制定与实施不完善 R_{17}
		签派决策失误 R_{19}	监管部门监管不力 R_{18}
			应急管理培训不达标 R_{20}

注: 指标层因素为 $R_i (i = 1, 2, \dots, 20)$, 准则层因素为 $S_i (i = 1, 2, 3, 4)$ 。

采用熵权和层次分析法确定指标权重后, 运用贝叶斯置信网络方法对航空公司安全风险进行综合评估; 唐卫贞^[5]根据航空公司风险评价的物元可拓性, 建立了风险评价的多级物元模型; 谷倩倩等^[6]考虑到飞行安全风险影响因素的不确定性, 将灰色理论与赋权法相结合对飞行安全风险进行定量评估。

前人研究可实现定性分析与定量分析有效结合, 领域适用性较强, 然而对于具有多因素且关系复杂的系统而言, 计算繁杂, 工作量较大, 具有一定的局限性。针对此问题, 可利用复杂系统分析方法确定系统的关键因素, 同时利用 Choquet Integral 的模糊测度消除指标间模糊不清的关系, 实现对系统风险的评价。为此, 拟通过决策试行与评价实验室 (decision making trial and evaluation laboratory, DEMATEL) 法对航空公司航班运行风险因素间的相互影响进行研究, 确定因素因果属性并找出关键因素实现风险因素指标优化, 最后利用 Choquet 积分构建风险评价模型对航班运行风险进行综合评价, 以期为航空公司安全管理决策提供理论支持。

1 航空运行风险评价指标体系建立

通过对航空公司航班运行风险因素的识别, 建立航班运行风险评价体系相关指标。由于航空公司航班运行风险的复杂性与多样性, 对运行安全风险因素的识别, 可以采用安全系统工程的方法来进行分析。以安全管理中的人、物、环境、管理为对象, 参考 2007—2015 年航空安全报告数据^[7], 结合中国民航局已施行的民用航空公司安全评估指标体系和安全审计体系^[8,9]中的指标进行整合, 在遵循指标体系建立的全面性、科学性、合理性和适用性的原则下, 构建航空公司航班运行风险评价指标体系, 如表 1 所示。

2 基于 DEMATEL-Choquet 积分的风险评价模型

2.1 基于 DEMATEL 的关键风险因素辨识

DEMATEL 法是一种运用图论与矩阵论原理进行系统要素分析的方法^[10]。通过分析评价指标体系中各个指标之间的逻辑关系, 计算得到指标之间影响关系的综合矩阵, 确定各指标的因果属性及其排序, 最后找出航班运行风险关键指标, 从而实现对航空公司航班运行风险的有效评价。利用 DEMATEL 方法进行关键因素辨识的步骤如下。

(1) 设指标层因素为 $R_i (i = 1, 2, \dots, 20)$, 准则层因素为 $S_i (i = 1, 2, 3, 4)$, 且 $R_i, S_i \in X, X$ 为风险因素集合。所研究的因素如表 1 所示。

(2) 专家参照表 2 的风险因素强弱评价标度, 根据指标之间是否存在关系以及关联程度的强弱对风险因素进行打分, 构建系统因素的直接影响矩阵 T 为

$$T = \begin{bmatrix} 0 & t_{1,2} & \cdots & t_{1,n} \\ t_{2,1} & 0 & \cdots & t_{2,n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ t_{n,1} & t_{n,2} & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式(1)中: t_{ij}^k 表示第 k 个专家赋予风险因素 t_i 对风险因素 t_j 的直接影响程度的分数, 其中, $j = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m$ 。

由于两因素间影响程度不等, 因此, 一般情况为 $t_{ij} \neq t_{ji}$; 当 $i = j$ 时, 取 $t_{ij} = 0$ 。

表 2 风险因素强弱评价标度
Table 2 Evaluation scale of risk factor relationship

影响关系	无	弱	一般	强
标度	0	1	2	3

(3) 计算规范化直接影响矩阵 \mathbf{H} , $\mathbf{H} = [h_{ij}]_{n \times n}$, 其中, h_{ij} 表示为风险因素 t_i 对风险因素 t_j 规范化后的影响程度, \mathbf{H} 的计算公式为

$$\mathbf{H} = \frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n t_{ij}} \quad (2)$$

(4) 计算综合影响矩阵 \mathbf{B} , $\mathbf{B} = [b_{ij}]_{n \times n}$, 其中, b_{ij} 为风险因素 t_i 对风险因素 t_j 直接与间接影响的叠加, \mathbf{B} 的作用是确定每一个指标相对于评价体系中最高水平的指标的最后影响, 即

$$\mathbf{B} = \mathbf{H} \frac{\mathbf{I}}{\mathbf{I} - \mathbf{H}} = \mathbf{H}(\mathbf{I} - \mathbf{H})^{-1} \quad (3)$$

式(3)中: \mathbf{I} 为单位矩阵。

(5) 计算各指标中心度 (m_i) 与原因度 (n_i)。中心度是影响度 (f_i) 和被影响度 (e_i) 的和, 原因度是影响度 (f_i) 和被影响度 (e_i) 的差, 影响度 f_i 为综合影响矩阵 \mathbf{B} ($\mathbf{B} = [b_{ij}]_{n \times n}$) 中元素行相加之和, 被影响度 (e_i) 是综合影响矩阵中元素列相加之和。

$$m_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} + \sum_{j=1}^n b_{ji}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$n_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} - \sum_{j=1}^n b_{ji}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

若原因度 (n_i) 为正, 则该指标影响或导致其他指标的发生, 称为原因因素; 若 (n_i) 为负, 则该指标被其他指标所影响, 称为结果因素。而中心度 (m_i) 越大, 表示指标对指标体系的影响程度高, 反之亦然。

2.2 基于 Choquet 积分的航班运行风险评价建模

Choquet 积分法是日本学者 Sugeno 将约束条件较弱的单调性取代了经典概率中的可加性条件, 目的是解决指标间存在关联但不具备可加性的多属性决策问题, 所提出的模糊测度的概念^[11-12]。基于模糊测度理论, Choquet 积分可常用作基数信息的集结算子^[13-14]。

航空公司航班运行风险是一个综合性风险, 且风险之间具有关联性, 运用 Choquet 积分计算, 可消除风险之间的关联性, 从而得出综合风险值。

(1) 设航空公司航班运行风险为 R , ($R = R_1, R_2, \dots, R_n$) 所构成的; 设有 k 位专家所占的权重 $\mathbf{w} = (w_1, w_2, \dots, w_k)$, 且 $\sum_{k=1}^m w_k = 1$, $0 \leq w_k \leq 1$, $k = 1, 2, \dots, m$; 设 $\mathbf{L} = (l_1, l_2, \dots, l_n)$ 为历史统计得出的某风险损失向量, l_n 为第 n 个风险损失; 设 $\mathbf{P} = (P_1, P_2, \dots, P_n)$ 为历史统计得出的风险概率向量, P_n 为第 n 个风险损失概率; 设 $\mathbf{Z} = (z_1, z_2, \dots,$

$z_n)$ 为风险值向量^[15]。

(2) 根据风险损失向量 $\mathbf{L} = (l_1, l_2, \dots, l_n)$, 将 n 个风险与 m 个专家赋权集结成综合风险损失向量 \mathbf{L}_G , $\mathbf{L}_G = (l_1^G, l_2^G, \dots, l_n^G)$, 其中综合风险损失值 l_i^G 表示共有 m 个专家对第 i 个风险损失值的赋权值总和, 其中 l_i 为第 i 个风险损失值其计算公式为

$$l_i^G = \sum_{k=1}^m w_k l_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

(3) 根据各风险指标概率向量 $\mathbf{P} = (P_1, P_2, \dots, P_n)$, n 个风险与 m 个专家赋权集结成综合风险概率向量 $\mathbf{P}_G = (P_1^G, P_2^G, \dots, P_n^G)$, 计算公式为

$$P_i^G = \sum_{k=1}^m w_k p_i^k, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

(4) 计算风险值向量 $\mathbf{Z} = (z_1, z_2, \dots, z_n)$, 其中 $z_i = l_i^G P_i^G$ ($i = 1, 2, \dots, n$)。

(5) 对风险值进行由小到大排序, 使得 $z'_1 \leq z'_2 \leq \dots \leq z'_n$ 。

(6) 假设风险因素集为 $R = (R_1, R_2, \dots, R_n)$, μ 为 $P(R)$ 幕集到 $[0, 1]$ 上的函数, 满足条件 $\mu(\emptyset) = 0$, $\mu(R) = 1$; 具有连续单调性, 存在集合 A 与 B , 当 $\forall A, B \in P$, 有 $A \subseteq B$, 则 $\mu(A) \leq \mu(B)$, 可将 μ 为定义在 $P(R)$ 上的 λ 模糊测度。

若 $\forall A, B \in P, A \cap B = \emptyset$ 且满足式(8), μ 为 R 上的可加测度^[16], 其表达式为

$$\mu(A \cup B) = \mu(A) + \mu(B) + \lambda \mu(A) \mu(B) \quad (8)$$

结合 DEMATEL 方法求得的中心度与原因度计算模糊测度, 由于影响因素存在相互关联关系, 影响因素集为 $R = (R_1, R_2, \dots, R_n)$, $P(R)$ 为 R 的幕集, μ 为定义在 $P(R)$ 上的模糊测度, 则影响因素 R_i 的重要性指数定义为^[16]

$$v_i = \sum_{Q \subseteq R_i} \frac{(n-k-1)!k!}{n!} [\mu(Q \cup R_i) - \mu(Q)] \quad (9)$$

式(9)中: n 、 k 分别为集合 R 和 Q 的基数; v_i 表示影响因素在整个集合中的权重, 且满足 $0 \leq v_i \leq 1$ 与 $v_1 + v_2 + \dots + v_n = 1$ 。

假设影响因素集 R 的重要性指数权重为 w_i ^[17-18], 如式(10)所示:

$$w_i = \frac{\sqrt{m_i^2 + n_i^2}}{\sum_{i=1}^n \sqrt{m_i^2 + n_i^2}} \quad (10)$$

模糊测度 μ 的定义为

$$\begin{cases} \mu(R) = 1 \\ \lambda + 1 = \prod_{i=1}^n [1 + \mu(R_i)] \end{cases} \quad (11)$$

$B =$	0 0 0.01 0 0 0.03 0 0.18 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
	0.27 0 0.18 0 0 0.01 0 0.05 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
	0 0
	0.03 0 0 0 0.18 0 0 0.01 0
	0.18 0 0 0 0 0.01 0 0.03 0
	0 0 0.27 0
	0 0 0.18 0
	0 0 0.05 0 0 0.18 0
	0 0 0.01 0 0 0 0.03 0.03 0.03 0.28 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
	0 0 0.02 0 0 0.02 0.09 0.09 0.09 0.03 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
	0 0 0.28 0 0 0 0.18 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.04 0.18 0.09 0 0 0 0 0.19 0
	0 0 0.09 0 0 0 0 0 0 1 0
	0 0 0.18 0 0 0 0 0 0 2 0
	0 0 0.12 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0 0.18 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
	0 0 0.12 0 0 0 0 0 0 4 0 0 0 0 0.09 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.09 0
	0.26 0.27 0.18 0 0 0.01 0.01 0.05 0.28 0.08 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.18 0
	0.18 0 0.05 0 0 0.04 0 0.21 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.03 0.18
	0.13 0.02 0.04 0 0 0.01 0 0.04 0.12 0.03 0 0 0 0 0 0 0.09 0.09 0 0.04 0.11
	0 0 0.18 0
	0 0 0.21 0.18 0

基于此,计算模糊测度向量 μ_G , 设各专家给出相应风险集合 $\{R_i, R_{i+1}, \dots, R_n\}$ 的模糊测度 μ_{i-n}^k , 则

$$\mu_{i-n}^G = \sum_{k=1}^m w_k \mu_{i-n}^k, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

(7) 可通过 Choquet 积分进行集结计算综合风险 Z_e , 设 Z 为定义在 R 上的非负实值函数, μ 为定义在 R 上的模糊测度, $R_i = \{r_1, r_2, r_i, \dots, r_n\}$ 表示函数 Z 在非空集合 R 上的一个置换,使得 $Z(r_1) \leq Z(r_2) \leq \dots \leq Z(r_n)$, 则函数 Z 关于 μ 的离散 Choquet 积分集合 CI_μ 计算可表示为

$$CI_\mu(Z) = \sum_{i=1}^n [Z(r_i) - Z(r_{i-1})] \mu(A_i) \quad (13)$$

基于此,考虑各专家给出的模糊测度 μ_{i-n}^G , 可将综合风险 Z_e 表示为

$$Z_e = \sum_{i=1}^n (z'_i - z'_{i-1}) \mu_{i-n}^G \quad (14)$$

3 实例分析

3.1 模型应用

以中国某航空公司为例,采用专家评议法对该航空公司航班运行风险指标体系进行评定(包括一级指标与二级指标)。以专家评议结果为基础,建立直接影响矩阵,并利用式(2)将其进行标准化处理,接着利用式(3)计算综合影响矩阵 B 。最后利用式(4)、式(5)计算得到各风险指标的中心度与原因度,如表 3 所示。

根据表 3 可知,经过专家评议后可保留中心度排名前 13 的风险指标有:机组专业技能水平较低、机组协调决断失误、飞行系统运行异常、飞机维修维护不达标、飞行期间天气恶劣、航路结构复杂度、空管指挥失效、机场环境危险、通信导航与监视设备工作故障、人员技术培训不足、安全方针的制定与实施不完善、监管部门监管不力、应急管理不达标,从而实现对评价指标的精简。根据专家权重 $w = (0.4, 0.3, 0.3)$ 与指标对应的风险向量与风险概率代入式(6)、式(7)得到对应的风险值以及排名如表 4 所示。

根据重新排序后的因素根据上述式(10)、式(12)计算模糊测度向量为

$$\begin{aligned} \mu_G &= (1, 0.984, 0.904, 0.867, 0.763, 0.720, \\ &\quad 0.596, 0.547, 0.507, 0.292, 0.189, \\ &\quad 0.068) \end{aligned} \quad (15)$$

3 位专家评议 $w = (0.4, 0.3, 0.3)$ 的模糊测度如表 5 所示。最后代入式(14)可计算出该航空公司的航班运行风险值为 0.964。

3.2 结果分析

以中国某航空公司为例,先运用 DEMATEL 方法得到风险指标的中心度和原因度。由表 3,从二级指标得知,原因属性的指标有:机组专业技能水平较低(R_2)、机组责任感不强(R_4)、机组安全意识与态度不足(R_5)、飞行期间天气恶劣情况(R_{11})、航路结构复杂度(R_{12})、空管指挥失效情况(R_{13})、机场

表3 指标的分析结果
Table 3 Analysis results of indicators

指标	f_i	e_i	m_i	准则层因素 m_i 排名	指标层因素 m_i 排名	n_i	属性
S_1	1.48	2.39	3.87	1	—	-0.91	结果
S_2	1.13	2.09	3.22	3	—	-0.96	结果
S_3	2.36	0	2.36	4	—	2.36	原因
S_4	1.49	1.98	3.47	2	—	-0.49	结果
R_1	0.22	1.05	1.27	—	7	-0.83	结果
R_2	0.51	0.29	0.8	—	12	0.22	原因
R_3	0	2.17	2.17	—	5	-2.17	结果
R_4	0.22	0	0.22	—	20	0.22	原因
R_5	0.22	0.18	0.4	—	19	0.04	原因
R_6	0.27	0.31	0.58	—	17	-0.04	结果
R_7	0.18	0.31	0.49	—	18	-0.13	结果
R_8	0.23	0.69	0.92	—	10	-0.46	结果
R_9	0.38	10.52	10.9	—	1	-10.14	结果
R_{10}	0.34	0.42	0.76	—	14	-0.08	结果
R_{11}	0.96	0	0.96	—	9	0.96	原因
R_{12}	1.09	0	1.09	—	8	1.09	原因
R_{13}	2.18	0.31	2.49	—	4	1.87	原因
R_{14}	3.30	0.18	3.48	—	3	3.12	原因
R_{15}	4.30	0.09	4.39	—	2	4.21	原因
R_{16}	1.32	0.09	1.41	—	6	1.23	原因
R_{17}	0.69	0.09	0.78	—	13	0.60	原因
R_{18}	0.72	0	0.72	—	15	0.72	原因
R_{19}	0.18	0.71	0.89	—	11	-0.53	结果
R_{20}	0.39	0.29	0.68	—	16	0.10	原因

表4 指标的风脸值及排名
Table 4 Analysis and ranking of index

影响因素	风险值	排名
机组专业技能水平较低	0.930 7	10
机组协调决断失误	3.360 0	13
飞行系统运行异常	0.663 3	6
飞机维修维护不达标	0.789 6	8
飞行期间天气恶劣	1.073 5	11
航路结构复杂度	0.068 2	5
空管指挥失效	0.048 7	4
机场环境危险	2.352 0	12
通、导、监设备工作故障	0.000 5	1
人员技术培训不足	0.868 4	9
安全方针的制定与实施不完善	0.731 4	7
监管部门监管不力	0.003 1	2
应急管理不达标	0.007 2	3

环境危险(R_{14})、通信导航监视设备工作情况(R_{15})、人员技术培训不足(R_{16})、安全方针的制定与实施情况(R_{17})、监管部门监管不力(R_{18})、应急管理培训不达标(R_{20})。这些指标属于致因因素,会导致结果属性的因素发生。

结果属性的指标有:机组违规操作(R_1)、机组

协调决断失误(R_3)、机组心理素质较差(R_6)、空中停车情况(R_7)、飞行系统运行异常情况(R_8)、飞机维修维护不达标(R_9)、机务维修失误(R_{10})、签派决策失误(R_{19})。从一级指标得知,环境因素属于原因属性,且对应二级指标普遍排名较高,中心度较高,可见对其他因素起着决定性的作用,也是导致航空公司航班运行风险的最主要原因。机组因素属于结果属性,且中心度最高,可知当环境类因素对机组因素影响最大。

经过筛选后的13个指标,利用Choquet积分进行指标体系的风险评价,由表4可知,管理因素的直接引起的风险值较小,而机组人员面对突发情况做出错误决断时所导致的风险损失是最大的,而突发情况的产生一般是由于飞机设备故障、危险天气等因素所引起的。由表5的模糊测度评估得到的风险值表明,该航空公司航班运行风险较低,与实际情况相吻合。综上,航空公司管理者与风险管理团队,加强培养针对不同环境情况的机组飞行专业技能、应急决断能力等,同时做好日常风险管理,从根源上消除危险因素,以提升航空公司运行安全水平。

表 5 指标的模糊测度
Table 5 Fuzzy measures of index

专家	μ_k												
	μ_{1-13}^k	μ_{2-13}^k	μ_{3-13}^k	μ_{4-13}^k	μ_{5-13}^k	μ_{6-13}^k	μ_{7-13}^k	μ_{8-13}^k	μ_{9-13}^k	μ_{10-13}^k	μ_{11-13}^k	μ_{12-13}^k	μ_{13-13}^k
1	1	0.99	0.91	0.87	0.76	0.72	0.62	0.55	0.51	0.31	0.28	0.21	0.08
2	1	0.97	0.89	0.87	0.79	0.76	0.56	0.52	0.49	0.29	0.26	0.18	0.07
3	1	0.99	0.91	0.86	0.74	0.68	0.60	0.57	0.52	0.27	0.25	0.17	0.05

4 结论

(1) 运用复杂系统因素分析的 DEMATEL 方法对航空公司航班运行风险因素进行分析, 得知环境因素主要影响航班运行风险, 以及各影响因素的重要程度, 明确关键指标, 达到进一步优化指标的效果。

(2) 通过 Choquet 积分算子对精简后的关键影响因素进行计算, 能够消除由于指标相互影响的关联方式带来的评价结果失真问题, 可知机组人员对突发事件处理成功与否直接影响风险的大小, 最后计算得到该航空公司航班运行风险较低。

(3) 整个评价指标体系风险中需要较高专家评议过程复杂且计算量较大, 仍需进一步研究。在计算综合评价值后还应针对航空公司实际安全管理情况, 设置相应的风险参考区间。

参 考 文 献

- International Civil Aviation Organization (ICAO). Safety management manual (SMM) [M]. Montreal: ICAO, 2009.
- 丁松滨, 石 荣, 施和平. 基于证据理论的航空公司安全系统风险评价[J]. 交通运输系统工程与信息, 2007, 7(2): 77-82.
Ding Songbin, Shi Rong, Shi Heping. Airline safety system risk assessment based on evidencetheory[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2007, 7(2): 77-82.
- 石 荣, 李明捷. 变权综合法在航空公司风险评价中的应用研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2011, 7(10): 143-148.
Shi Rong, Li Mingjie. Application of variable weight synthetic evaluation method in risk assessment of airlines[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2011, 7(10): 143-148.
- 金灿灿, 左洪福, 张 营, 等. 基于 BBN 的航空公司风险评估技术研究[J]. 航空学报, 2013, 34(3): 588-596.
Jin Cancan, Zuo Hongfu, Zhang Ying, et al. Research on risk evaluation for airlines based on BBN[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2013, 34(3): 588-596.
- 唐卫贞. 基于物元模型的航空公司飞行安全风险综合评价[J]. 安全与环境学报, 2015, 15(2): 25-29.
Tang Weizhen. Comprehensive evaluation for the airline flight safety risk based on the matter-elements model[J]. Journal of Safety and Environment, 2015, 15(2): 25-29.
- 谷倩倩, 丁松滨. 基于综合集成赋权法的航空公司飞行安全风险灰色评估[J]. 交通信息与安全, 2017, 35(6): 143-148.
Gu Qianqian, Ding Songbin. A gray evaluation method of flight safety risk based on comprehensive integration weight method[J]. Journal of Transport Information and Safety, 2017, 35(6): 143-148.
- 中国民用航空局航空安全办公室. 中国民航安全信息统计分析报告[R]. 北京: 中国民用航空局航空安全办公室, 2016.
- Safety Office, Bureau of General Administration of Civil Aviation Administration of China. China civil aviation safety information statistical analysis report[R]. Beijing: Safety Office, Bureau of General Administration of Civil Aviation Administration of China, 2016.
- 中国民用航空局安全办公室. 航空公司安全评估系统[R]. 北京: 中国民用航空总局安全办公室, 2000.
Safety Office, Bureau of General Administration of Civil Aviation Administration of China. Aviation safety assessment system of airline[R]. Beijing: Safety Office, Bureau of General Administration of Civil Aviation China, 2000.
- 中国民用航空局飞行标准司. 航空公司安全审计手册[M]. 北京: 中国民用航空局, 2007.
Flight Standards Department of Civil Aviation Administration of China. Security audit system of airline[M]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2007.
- 周德群, 章 玲. 基于 DEMATEL/ISM 的复杂系统层次划分研究[J]. 管理科学学报, 2008, 11(2): 20-26.
Zhou Dequn, Zhang Ling. Establishing hierarchy structure in complex systems based on the integration of DEMATEL/ISM[J]. Journal of Management Sciences in China, 2008, 11(2): 20-26.
- 王大澳, 菅利荣, 刘思峰, 等. 基于 Choquet 积分的多属性灰靶群决策方法[J]. 控制与决策, 2017, 32(7): 1286-1292.
Wang Daao, Jian Lirong, Liu Sifeng, et al. Approach for multi-attribute grey target group decision-making based on Choquet integral[J]. Control and Decision, 2017, 32(7): 1286-1292.
- Lee W. Evaluating and ranking energy performance of office buildings using fuzzy measure and fuzzy integral[J]. Energy Conversion & Management, 2010, 51(1): 197-203.
- Hu Y C, Tsai J F. Evaluating classification performances of single-layer perceptron with a Choquet fuzzy integral-based neuron[J]. Expert Systems with Application, 2009, 36(2): 1793-1800.
- Feng C M, Wu P J, Chia K C. A hybrid fuzzy integral decision-making model for locating manufacturing centers in China: a case study[J]. European Journal of Operational Research, 2010, 200(1): 63-73.
- 张 磊, 樊治平, 乐 琦. 基于 Choquet 积分的综合风险测评方法[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2010, 31(11): 1665-1668.
Zhang Lei, Fan Zhiping, Le Qi. Assessing the integrated risk based on choquet integral[J]. Journal of Northeastern University(Natural Science), 2010, 31(11): 1665-1668.
- Kojadinovic I, Marichal J L, Roubens M. An axiomatic approach to the definition of the entropy of a discrete Choquet capacity[J]. Information Science, 2005(172): 131-151.
- 章 玲, 周德群, 高 岩, 等. 基于 DEMATEL 和 Choquet 积分的文明城市测评方法研究[J]. 科研管理, 2012, 33(9): 71-77.
Zhang Ling, Zhou Dequn, Gao Yan, et al. The evaluation method of civil cities based on DEMATEL and Choquet integral[J]. Science Research Management, 2012, 33(9): 71-77.
- 张发明, 王伟明. 基于 DEMATEL 和 Choquet 积分的学术期刊综合评价研究[J]. 情报科学, 2018, 36(5): 71-75.
Zhang Farming, Wang Weiming. Research on comprehensive evaluation of academic journal based on DEMATEL and choquet integral[J]. Information Science, 2018, 36(5): 71-75.