

文章编号:1674-8190(2020)01-132-08

# 基于飞行签派员的航空公司运行效率提升研究

罗凤娥, 李珊, 千富荣, 宋小强

(中国民用航空飞行学院 空中交通管理学院, 广汉 618307)

**摘要:** 航空公司运行控制中心是航空公司的核心, 而飞行签派员又是运行控制中心的核心, 运行控制中心的效率直接影响到航空公司的运行安全与效益。根据航空公司飞行签派员的特点和管理现状, 对效率量化和效率评估进行分析研究, 采用改进层次分析法(AHP)和物元可拓模型相结合的方法, 建立适合我国航空公司飞行签派员运行效率评估模型; 针对评价指标在实际情况下更具有针对性和可操作性, 提出 4 项准则和 16 项指标组成的基于签派员航空公司运行效率评价指标体系, 并进行算例分析。结果表明: 所构建的评价指标体系合理有效, 能够真实反映出航空公司的运行效率与飞行签派员、运控设备、AOC 组织结构与工作环境和航空公司管理规定有着密切联系, 为公司运行效率的提升提出理论依据。

**关键词:** 飞行签派员; 运行效率; 改进层次分析法; 效率量化; 物元可拓模型

中图分类号: V355.2; F562.1

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2020.01.017

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Research on Airline Operation Efficiency Improvement Based on Flight Dispatcher

LUO Feng'e, LI Shan, QIAN Furong, SONG Xiaoqiang

(College of Air Traffic Management, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, China)

**Abstract:** The airline operation control center is the core of the airline, and the flight dispatcher is the core of the operation control center, so the efficiency of the operation control center has a direct impact on the operation safety and efficiency of the airline. Based on the characteristics and management status of airline flight dispatcher, the efficiency quantification and efficiency evaluation are analyzed and studied, and an evaluation model suitable for the operation efficiency of airline flight dispatcher in China is established by adopting the method of combination of analytic hierarchy process(AHP) and matter-element extension model. Aiming at the evaluation index more targeted and operable under the actual situation, 4 criteria and 16 indexes are proposed and analyzed with example, which are based on the evaluation index system of the operation efficiency of the dispatcher. The results show that, the evaluation Index system is reasonable and effective, which can truly reflect the close relationship between the operating efficiency of the airline and the flight dispatcher, transportation and control equipment, airlines operation center(AOC) organization structure and working environment and airline management regulations, and put forward the theoretical basis for the improvement of the operating efficiency of the company.

**Key words:** flight dispatcher; operational efficiency; improved analytic hierarchy process; efficiency quantification; matter-element extension model

收稿日期:2019-03-19; 修回日期:2019-06-12

通信作者:李珊, 363114009@qq.com

引用格式:罗凤娥, 李珊, 千富荣, 等. 基于飞行签派员的航空公司运行效率提升研究[J]. 航空工程进展, 2020, 11(1): 132-139.

LUO Feng'e, LI Shan, QIAN Furong, et al. Research on airline operation efficiency improvement based on flight dispatcher[J].

Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2020, 11(1): 132-139. (in Chinese)

# 0 引言

近年来,在航班运行量快速增长、运行环境日趋复杂以及资源配置紧张等因素的发展大背景下,飞行签派员的日常工作负荷较以往大幅增加。过高的日常工作负荷定会引起签派员一定的疲劳和精力分散问题,难以确保对每次飞行进行恰当的运行管理与控制,容易发生人为因素差错或事故,降低签派员的整体工作效率和公司的运行效率,增加公司的运营成本<sup>[1-2]</sup>。“确保安全,狠抓效益,力求正点,优质服务”是每个航空公司的坚定目标和追求核心。

国内对于运行效率的研究主要有:2010年,Wen Jun等<sup>[3]</sup>基于DEA模型对我国航空货运业运行效率进行了评价研究,为航空运输提供了科学的规划和决策依据;2012年,罗冠中<sup>[4]</sup>对空管运行效率评估技术进行了研究,使得运行效率的评估由定性层面发展到定量层面;同年,林欢<sup>[5]</sup>对管制运行效率评估进行了研究,实现了管制运行效率评估系统的设计和开发;2016年,宫廷玉<sup>[6]</sup>对到达流空间布局对终端区运行效率的影响进行了研究,验证了双三边布局能够有效的提高到达流的运行效率,进而提高终端区运行效率。国外对运行效率的研究较为成熟,2004年,ICAO颁布的《航行服务机构的绩效管理和绩效考评》中,提出考核航行服务机构的指标包括安全、运行效率、成本效益、服务质量四方面<sup>[7]</sup>;D. Robyn<sup>[8]</sup>从美国政治体制的角度提出,为了提高运行效率和减少航班延误,必须要对空中交通管制系统进行改革,空中交通组织(ATO)应该从FAA的监管机构中独立出来,努力使空中交通管制(ATC)走向商业化的运行方式,这样才能提高安全性和效率,从而减少航班延误;C. E. Huang<sup>[9]</sup>对美国本土20个航路交通管制中心进行了成本和效率分析。

目前国内其他行业对于运行效率的研究相对成熟,但置身于民航业来说,空管运行效率的研究相对较少,对于航空公司运行效率的研究更是较为缺乏。航空公司运行控制中心是飞行运行组织实施的核心,是公司运行效率的关键部门,然而签派员在飞行运行中担当组织、协调、决策的重要角色。因此,签派员的能力和效率提升对于公司运行效率起到至关重要的作用<sup>[10-13]</sup>。本文主要从签派员、运控设备、AOC组织结构和工作环境、航空公司管

理规定四个方面进行指标的提取和筛选,基于建立的评价指标体系建立飞行签派员的航空公司运行效率提升评估模型。

# 1 基于签派员的航空公司运行效率评价指标体系

航空公司运行效率管理提升研究涉及公司各个部门,本文主要在全面分析航空公司运行管理效率影响因素的基础上,基于航空公司运行控制中心和签派员两方面,对航空公司运行效率的提升建立相应的效率提升模型。此效率提升模型能够明确指出航空公司运行控制部门在运行效率管理中存在的不足之处,提高航空公司运行控制部门的运行效率,从而整体提升航空公司的运行效率。通过对各个航空公司运行效率的分析,可以发现航空公司在生产运行时所使用到的资源中有许多都具有民航特色,这种特殊性在航空公司运行管理效率指标体系中应当有所体现。只有以这样的指标体系为基础,对基于签派员的航空公司运行效率提升才会起到一定的作用,才能够明确其应当改善的方向,确保依据评价结果所提出的改进建议符合航空公司效率提升的运行与管理特点,具有较强的操作性和针对性<sup>[14-15]</sup>。

本文主要根据运行效率影响的四个关键因素,包括人(签派员)、机(运控设备)、环(AOC组织结构和工作环境)、管理(航空公司管理规定)<sup>[16]</sup>,建立4项准则,16项指标。结合指标之间的相互联系和制约关系,采用层次分析决策方法进行指标权重的确定,并用物元可拓模型系统评价分析,更能准确描述指标与实际事物之间的关系,最后建立影响航空公司运行效率的评价指标体系,如图1所示。

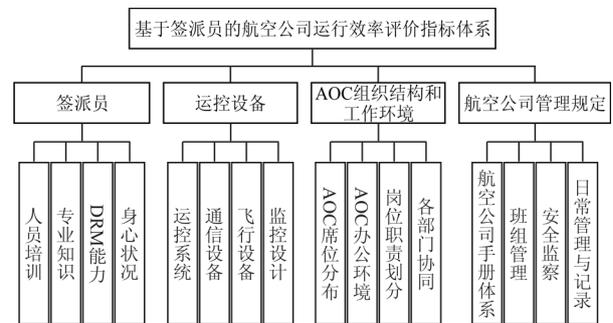


图 1 基于签派员的航空公司运行效率评价指标体系  
Fig. 1 Evaluation index system of airline operating efficiency based on dispatcher

## 2 评价模型分析

### 2.1 物元可拓模型分析

从模型的研究内容上来看,物元可拓理论研究的是事物的矛盾问题,而航空公司运行效率的提升与人、机、环境、管理也存在许多矛盾问题,在航空公司运行效率提升过程中,有限的签派员队伍和大量航班正常高效放行之间的矛盾就是不相容问题,有限的资源配置与运行效率提升本身就是矛盾问题。

从模型的理论逻辑上来看,根据物元概念建立起航空公司运行效率提升的物元模型,事物是指航空公司运行效率提升,特征是指运行效率提升评价的任一指标,量值是指指标数值。

从模型的研究对象上看,在航空公司运行效率提升指标评价中,既有定性评价的因素,又有定量评价的因素,随着时间的推移和技术的发展,加其变化性,各种因素的变异正符合可拓学对研究对象的要求。

物元可拓模型是以物元理论和可拓集合为理论框架,建立经典域、节域以及评价等级<sup>[17]</sup>,根据实际计算数据计算待评物元关于评价等级的关联度,以此来确定评价对象的等级<sup>[18]</sup>。

#### 2.1.1 经典域和节域

设航空公司运行效率提升模型的定性指标有  $m$  个,并将指标量化的分为  $n$  个等级,把它们描述为以下定量、定性综合评估物元模型(称之为“经典域”)。

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_j &= (\mathbf{N}_j, \mathbf{C}, \mathbf{V}_{jk}) = \begin{bmatrix} \mathbf{N}_j & C_1 & V_{j1} \\ & C_2 & V_{j2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_m & V_{jm} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \mathbf{N}_j & c_1 & \langle a_{j1}, b_{j1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{j2}, b_{j2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_m & \langle a_{jm}, b_{jm} \rangle \end{bmatrix} \quad (j=1, 2, \dots, n) \end{aligned} \quad (1)$$

式中: $\mathbf{R}_j$  为第  $j$  级航空公司运行效率提升的物元模型; $\mathbf{N}_j$  为第  $j$  级航空公司运行效率提升评价等

级; $\mathbf{C}$  为评价等级对应的评价指标; $\mathbf{V}_{jk} (k=1, 2, \dots, m)$  为  $\mathbf{N}_j$  中关于  $c_k$  的取值范围,即经典域; $a_{jm}, b_{jm}$  分别为该取值范围的上限和下线。

令

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_p &= (\mathbf{N}_p, \mathbf{C}, \mathbf{V}_{pk}) = \begin{bmatrix} \mathbf{N}_p & C_1 & V_{p1} \\ & C_2 & V_{p2} \\ & \dots & \dots \\ & C_k & V_{pk} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \mathbf{N}_p & c_1 & \langle a_{p1}, b_{p1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{p2}, b_{p2} \rangle \\ & \dots & \dots \\ & c_k & \langle a_{pk}, b_{pk} \rangle \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2)$$

式中: $\mathbf{R}_p$  为航空公司运行效率提升评估指标允许取值范围的物元; $\mathbf{N}_p$  为航空公司运行效率提升评价全体等级; $\mathbf{C}$  为航空公司运行效率评价等级对应的评价指标; $\mathbf{V}_{pk} (k=1, 2, \dots, m)$  为  $\mathbf{N}_p$  中指标  $c_k$  的允许取值范围,即节域; $a_{pk}, b_{pk}$  分别为该取值范围的上限和下线。

#### 2.1.2 确定待评物元

把所检测得到的数据或分析结果用物元  $\mathbf{R}_0$  表示为

$$\mathbf{R}_0 = (\mathbf{N}_0, \mathbf{C}, \mathbf{V}) = \begin{bmatrix} \mathbf{N}_0 & C_1 & V_1 \\ & C_2 & V_2 \\ & \dots & \dots \\ & C_m & V_m \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中: $\mathbf{N}_0$  为待评航空公司运行效率提升评价等级; $V_1, V_2, \dots, V_m$  分别为收集到待评物元  $\mathbf{N}_0$  关于特征  $C_1, C_2, \dots, C_m$  的具体量值。

## 2.2 确定权系数

### 2.2.1 改进层次分析法基本原理

层次分析法一般会采用著名运筹学家 Saaty 提出的 9 级标度法,首先通过对各个层次以及各个指标元素之间两两进行互相比较,然后形成判断矩阵,最终确定指标间相对权重系数。本文采用改进三标度的指标权重确定方法,使各个评估专家针对构造判断矩阵的时候更加简便明了,避免了传统方法在评估过程中出现的计算量大、偏差大、主观性强、操作复杂的缺点,使得航空公司运行效率评价

指标的权重确定更加合理、有效、可行。航空公司运行效率管理专家根据三标度法则对指标进行两两比较判断,从而得到想要的判断矩阵:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

矩阵  $A$  中  $a_{ij}$  为指标  $a_i$  与  $a_j$  之间的比较结果,其表达式为

$$a_{ij} = \begin{cases} 2 & (a_i \text{ 比 } a_j \text{ 重要}) \\ 1 & (a_i \text{ 与 } a_j \text{ 同样重要}) \\ 0 & (a_j \text{ 比 } a_i \text{ 重要}) \end{cases}$$

构造判断矩阵  $U$  为

$$U = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \cdots & u_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{n1} & u_{n2} & \cdots & u_{nn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

在判断矩阵  $U$  中

$$u_{ij} = \begin{cases} \frac{r_i - r_j}{r_{\max} - r_{\min}}(k_m - 1) + 1 & (r_i \geq r_j) \\ \left[ \frac{r_j - r_i}{r_{\max} - r_{\min}}(k_m - 1) + 1 \right]^{-1} & (r_i < r_j) \end{cases} \quad (6)$$

式中:  $r_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}; r_{\max} = \max \{r_1, r_2, r_3, \dots, r_n\};$

$r_{\min} = \min \{r_1, r_2, r_3, \dots, r_n\}; k_m = \frac{r_{\max}}{r_{\min}}.$

### 2.2.2 确定权重的步骤

(1) 利用改进层次分析法可以科学的、客观的将多因素问题整合成单一因素问题的形式,然后在一维空间利用评价模型进行综合评价,应用此法对评估指标进行权重计算<sup>[19-20]</sup>。根据式(5)得到判断矩阵  $A$ 。

(2) 计算各个评价指标的权重系数

$$K_j(v_k) = \begin{cases} \frac{\rho(v_k, V_{jk})}{\rho(v_k, V_{pk}) - \rho(v_k, V_{jk})} & (\rho(v_k, V_{pk}) \neq \rho(v_k, V_{jk})) \\ -\rho(v_k, V_{jk}) - 1 & (\rho(v_k, V_{pk}) = \rho(v_k, V_{jk}); j = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m) \end{cases} \quad (12)$$

根据方程  $AW = \lambda_{\max}W$ , 利用正规化处理得各指标系数。

(a) 对矩阵  $A$  按列规范化处理

$$\bar{a}_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

(b) 对于上述处理过后的矩阵进行行相加计算

$$\bar{W}_i = \sum_{j=1}^n \bar{a}_{ij} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

(c) 将得到的矩阵  $W = [\bar{W}_1, \bar{W}_2, \bar{W}_3, \dots, \bar{W}_n]^T$  对其进行正规化处理

$$W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{j=1}^n \bar{W}_j} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

得到  $W = (W_1, W_2, W_3, \dots, W_n)$  就是相应权重向量,最后对其进行层次总排序。

### 2.3 建立关联函数

在建立了航空公司运行效率提升物元模型后,需要对某航空公司运行效率进行评价,为此,需要计算待评物元与物元模型的经典域的“接近程度”。在实际计算中,“接近程度”需要根据指标的特点选择不同的计算方法,本文选择可拓理论中的初等关联函数法<sup>[21]</sup>。

$$\rho(v_k, V_{jk}) = |v_k - (a_{jk} + b_{jk})/2| - (b_{jk} - a_{jk})/2 \quad (10)$$

$$\rho(v_k, V_{pk}) = |v_k - (a_{pk} + b_{pk})/2| - (b_{pk} - a_{pk})/2 \quad (j = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m) \quad (11)$$

式(10)~式(11)分别为点  $v_k$  与区间  $V_{jk}, V_{pk}$  的“接近程度”。

计算各指标  $C_k$  关于评价等级的关联函数,当  $v_k \in [a_{jk}, b_{jk}]$  时,  $K_j(v_k) = \frac{-\rho(v_k, V_{pk})}{|V_{jk}|}$ , 公式为

$K_j(v_k)$ 表示待评物元的第  $k$  个指标关于第  $j$  级运行效率提升的关联度。

初等关联函数基本公式的建立,使问题关联度的计算不再依靠主观统计或判断,而是根据对事物关于某一特征量值要求的范围和质变区间来确定,这就使得关联函数摆脱由于主观判断造成的偏差。

### 2.4 确定关联度,进行综合评价

(1) 计算待评航空公司运行效率提升关于评价等级的关联度<sup>[17]</sup>。

关联度其值域是全体实数,表示对所有评价指标符合各个评价等级的程度<sup>[22]</sup>。

$$K_i(p) = \sum_{j=1}^m w_j K_j(v_i) \quad (j=1,2,\dots,n) \quad (13)$$

若  $K_j(p) = \max_{j \in \{1,2,\dots,n\}} K_j(p) > 0$ , 则评定的航空公司运行效率提升等级属于等级  $j$ 。

若  $K_j(p) \leq 0$ , 则表示待评物元的等级不在所划分的各等级范围内,则需要作不合理反馈,并且重新调整特征参数和权重因子,重复上述步骤。

(2) 求解评价等级的特征值。

$$\overline{K_j(p)} = \frac{K_j(p) - \min K_j(p)}{\max K_j(p) - \min K_j(p)} \quad (14)$$

$$j^* = \frac{\sum_{j=1}^m j^* \overline{K_j(p)}}{\sum_{j=1}^m \overline{K_j(p)}} \quad (15)$$

式中: $j^*$ 为  $p$  的级别变量特征值。

从  $j^*$  可以看出航空公司运行效率提升等级偏向相邻等级的程度。

### 3 算例分析

专家根据改进的三标度层次分析法进行两两指标间的相互比较最终得出指标的总层次排序如表 1 所示。

同时专家对指标进行评分如表 2 所示。

表 1 总层次排序

Table 1 Ranking of grades

指标	权重	子指标权重	总权重
签派员	0.199 9	0.055 0	0.011 0
		0.263 4	0.052 7
		0.117 8	0.023 5
		0.563 8	0.112 7
运控设备	0.333 2	0.117 8	0.039 3
		0.263 4	0.087 8
		0.563 8	0.187 9
		0.055 0	0.018 3
AOC 组织结构和 工作环境	0.133 7	0.117 8	0.015 7
		0.055 0	0.007 4
		0.263 4	0.035 2
		0.563 8	0.075 4
航空公司 管理规定	0.333 2	0.526 3	0.175 4
		0.157 9	0.052 6
		0.157 9	0.052 6
		0.157 9	0.052 6

表 2 评价指标评分

Table 2 Scoring of evaluation indexes

指标	平均分	指标	平均分
$C_1$	8.1	$C_9$	6.6
$C_2$	6.7	$C_{10}$	9.1
$C_3$	7.9	$C_{11}$	8.7
$C_4$	8.3	$C_{12}$	7.4
$C_5$	7.1	$C_{13}$	8.9
$C_6$	6.4	$C_{14}$	8.4
$C_7$	5.6	$C_{15}$	8.1
$C_8$	5.3	$C_{16}$	8.7

根据公式,经典域、节域、待评物元分别为

$$R_j = \begin{bmatrix} & \text{优秀} & \text{良好} & \text{中等} & \text{较差} \\ C_1 & (8,10) & (6,8) & (4,6) & (0,4) \\ C_1 & (8,10) & (6,8) & (4,6) & (0,4) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{16} & (8,10) & (6,8) & (4,6) & (0,4) \end{bmatrix}$$

(16)

$$R_p = \begin{bmatrix} N_p & C_1 & (0,10) \\ & C_2 & (0,10) \\ & \vdots & \vdots \\ & C_{16} & (0,10) \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$R_0 = \begin{bmatrix} N_p & C_1 & (8,1) \\ & C_2 & (6,7) \\ & \vdots & \vdots \\ & C_{16} & (8,7) \end{bmatrix} \quad (18)$$

(1) 计算各指标关于评价等级的关联度  $K_j(v_i)$   
 利用距定义,计算航空公司运行效率指标关于评价等级的关联函数,得出各个指标因素的关联函数值,由确定评价物元中得知  $v_1 = 8.1$ , 即  $v_1 \in [a_{11}, b_{11}]$ , 则:

$$K_1(v_1) = \frac{-\rho(v_1, V_{11})}{|V_{11}|} = 0.95$$

$$K_2(v_1) = \frac{\rho(v_1, V_{21})}{\rho(v_1, V_{p1}) - \rho(v_1, V_{21})} = \frac{A}{\rho(v_1, V_{p1}) - A} = -0.0500$$

$$A = \rho(v_1, V_{21}) = \left| v_1 - \frac{1}{2}(a_{21} + b_{21}) \right| - \frac{1}{2}(b_{21} - a_{21}) = 0.1$$

$$K_3(v_1) = \frac{\rho(v_1, V_{31})}{\rho(v_1, V_{p1}) - \rho(v_1, V_{31})} = \frac{A}{\rho(v_1, V_{p1}) - A} = -0.5250$$

$$A = \rho(v_1, V_{31}) = \left| v_1 - \frac{1}{2}(a_{31} + b_{31}) \right| - \frac{1}{2}(b_{31} - a_{31}) = 2.1$$

$$K_4(v_1) = \frac{\rho(v_1, V_{41})}{\rho(v_1, V_{p1}) - \rho(v_1, V_{41})} = \frac{A}{\rho(v_1, V_{p1}) - A} = -0.6833$$

$$A = \rho(v_1, V_{41}) = \left| v_1 - \frac{1}{2}(a_{41} + b_{41}) \right| - \frac{1}{2}(b_{41} - a_{41}) = 4.1$$

同理可得  $C_2, C_3, \dots, C_{16}$  关于各个等级的关联函数,其结果如表 3 所示。

表 3 各个评价指标关于级别的关联函数值

Table 3 Correlation function values of each evaluation index about grades

关联函数	数值	关联函数	数值	关联函数	数值	关联函数	数值
$K_1(v_1)$	0.9500	$K_2(v_1)$	-0.0500	$K_3(v_1)$	-0.5250	$K_4(v_1)$	-0.6833
$K_1(v_2)$	-0.2826	$K_2(v_2)$	1.6500	$K_3(v_2)$	-0.1750	$K_4(v_2)$	-0.4500
$K_1(v_3)$	-0.0455	$K_2(v_3)$	1.0500	$K_3(v_3)$	-0.4750	$K_4(v_3)$	-0.6500
$K_1(v_4)$	0.8500	$K_2(v_4)$	-0.1500	$K_3(v_4)$	-0.5750	$K_4(v_4)$	-0.7167
$K_1(v_5)$	-0.2368	$K_2(v_5)$	1.4500	$K_3(v_5)$	-0.2750	$K_4(v_5)$	-0.5167
$K_1(v_6)$	-0.3077	$K_2(v_6)$	1.8000	$K_3(v_6)$	-0.1000	$K_4(v_6)$	-0.4000
$K_1(v_7)$	-0.3529	$K_2(v_7)$	-0.0833	$K_3(v_7)$	2.2000	$K_4(v_7)$	-0.2667
$K_1(v_8)$	-0.3649	$K_2(v_8)$	-0.1296	$K_3(v_8)$	2.3500	$K_4(v_8)$	-0.2167
$K_1(v_9)$	-0.2917	$K_2(v_9)$	1.7000	$K_3(v_9)$	-0.1500	$K_4(v_9)$	-0.4333
$K_1(v_{10})$	-0.4500	$K_2(v_{10})$	-0.5500	$K_3(v_{10})$	-0.7750	$K_4(v_{10})$	-0.8500
$K_1(v_{11})$	0.6500	$K_2(v_{11})$	-0.3500	$K_3(v_{11})$	-0.6750	$K_4(v_{11})$	0.7833
$K_1(v_{12})$	-0.1875	$K_2(v_{12})$	1.3000	$K_3(v_{12})$	-0.3500	$K_4(v_{12})$	-0.5667
$K_1(v_{13})$	0.5500	$K_2(v_{13})$	-0.4500	$K_3(v_{13})$	-0.7250	$K_4(v_{13})$	-0.8167
$K_1(v_{14})$	0.8000	$K_2(v_{14})$	-0.2000	$K_3(v_{14})$	-0.6000	$K_4(v_{14})$	-0.7333
$K_1(v_{15})$	0.9500	$K_2(v_{15})$	-0.0500	$K_3(v_{15})$	-0.5250	$K_4(v_{15})$	-0.6833
$K_1(v_{16})$	0.6500	$K_2(v_{16})$	-0.3500	$K_3(v_{16})$	-0.6750	$K_4(v_{16})$	-0.7833

(2) 计算航空公司运行效率关于评价等级的关联度

由公式(13)计算航空公司运行效率能力关于第一级的关联度为

$$K_1(p) = \sum_{i=1}^{16} W_i K_1(v_i) = 0.2045$$

同理,可计算出  $K_2(p)$ 、 $K_3(p)$ 、 $K_4(p)$ ,计算结果如表 4 所示。

表 4 评价等级关联度值  
Table 4 Correlation values of evaluation grades

关联度	数值	关联度	数值
$K_1(p)$	0.2045	$K_3(p)$	0.0658
$K_2(p)$	0.2890	$K_4(p)$	-0.5240

(3) 等级评定

评价结果的分级如表 5 所示。

表 5 评价结果分级  
Table 5 Grading of evaluation results

等级	级别	级别特征值
1(优秀)	1+	[0,0.33]
	1	(0.33,0.66]
	1-	(0.66,1]
2(良好)	2+	(1,1.33]
	2	(1.33,1.66]
	2-	(1.66,2]
3(一般)	3+	(2,2.5]
	3-	(2.5,3]
4(差)	4	(3,4]
5(较差)	5	(4,5]

根据公式(14)求得指标关联度值  $\overline{K_1(p)}$ 、 $\overline{K_2(p)}$ 、 $\overline{K_3(p)}$ 、 $\overline{K_4(p)}$  的值分别为 0.896 1、1、0.725 5、0。

根据公式(15)求得级别特征值  $j^*$  为

$$j^* = \frac{\sum_{j=1}^m j \overline{K_j(p)}}{\sum_{j=1}^m \overline{K_j(p)}} = 1.9349$$

由特征值  $j^* = 1.9349$ ,查分级表可得该航空公司应急事件处置能力为“2-”级别,即为良好,偏向一般。

## 4 结 论

(1) 以航空公司目前运行效率管理现状为出

发点,构建的由 4 项准则、16 项具体指标组成的航空公司基于运行控制中心和运行控制中心中签派员的航空公司运行效率提升指标体系合理有效,各个指标对于指导航空公司运行效率提升实际工作更具有可操作性和针对性。

(2) 鉴于各个指标存在相互影响、相互依赖的关系,利用层次分析法确定各指标的权重。将物元可拓模型应用于航空公司运行效率能力提升过程,完全可以得出基于运行控制中心的航空公司运行效率等级,也可以反映航空公司运行效率发展变化的特性。

(3) 此效率评估提升模型有助于公司运行效率的评估,其中评估指标可反映出公司在哪些方面有不足之处,为指导航空公司运行效率的提升提供了理论基础,同时文章最后采用算例验证了效率评估模型对于公司运行效率评估的有效性。

## 参考文献

- [1] 刘继新,王璟焯. 航空公司运行控制签派放行中的人为差错分析[J]. 江苏航空, 2010(1): 26-28.  
LIU Jixin, WANG Jingye. Analysis of human error in the release of airline operation control signings[J]. Jiangsu Airlines, 2010(1): 26-28. (in Chinese)
- [2] 赵宁宁,赵宇婷. 航空公司运行控制中心保障能力评估模型研究[J]. 数学的实践与认识, 2016, 46(3): 36-42.  
ZHAO Ningning, ZHAO Yuting. Research on the evaluation model of the support capability about airline operation center[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2016, 46(3): 36-42. (in Chinese)
- [3] WEN Jun, JIANG Youhui, FANG Wenqing. Assessment of air cargo industry operational efficiency in china based on DEA model[C]// 2010 International Conference on Engineering and Business Management. [S. l.]: EBM, 2010: 2619-2622.
- [4] 罗冠中. 空管运行效率评估技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2012.  
LUO Guanzhong. Research on operational efficiency evaluation in air traffic management[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2012. (in Chinese)
- [5] 林欢. 管制运行效率评估[D]. 成都: 中国民用航空飞行学院, 2012.  
LIN Huan. Efficiency assessment for air traffic control operation process[D]. Chengdu: Civil Aviation Flight University of China, 2012. (in Chinese)
- [6] 宫廷玉. 到达流空间布局对终端区运行效率的影响研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2016.  
GONG Tingyu. Impacts on terminal area operation of arri-

- val flow's spatial distribution[D]. Tianjin: Civil Aviation University of China, 2016. (in Chinese)
- [7] HOFFMAN R, BURKE J. Resource allocation principles for airspace flow control[C]// 2005 AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit. San Francisco: AIAA, 2005: 6470-6473.
- [8] ROBYN D. Reforming the air traffic control system to promote and reduce delays[J]. *Engineering & System Safety*, 2007, 10(3): 210-248.
- [9] HUANG C E. Cost and efficiency analysis of en-route traffic control[J]. *Journal of ATC*, 2007, 9(4): 112-135.
- [10] 陈有志. 打造数字化运行控制以提高航空公司运控能力[J]. *科技与企业*, 2015(12): 30.  
CHEN Youzhi. Create digital operation control to improve airline transportation and control capability[J]. *Technology and Enterprise*, 2015(12): 30. (in Chinese)
- [11] 田晨蕾. 航空公司运营管理效率评价与提升策略研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2014.  
TIAN Chenlei. Research on airline company's operation management efficiency evaluation and improvement strategies[D]. Tianjin: Civil Aviation University of China, 2014. (in Chinese)
- [12] 曹勃. S航空公司飞行签派放行体系研究[D]. 济南: 山东大学, 2012.  
CAO Bo. The research of flight dispatch system for S Airlines[D]. Jinan: Shandong University, 2012. (in Chinese)
- [13] 汪波. 航空公司运行控制的研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2005.  
WANG Bo. The flight operation control research [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2005. (in Chinese)
- [14] 林峰. 我国航空公司绩效评价体系的革新探索[D]. 厦门: 厦门大学, 2009.  
LIN Feng. Tentative research into the performance evaluation system for the airlines in China[D]. Xiamen: Xiamen University, 2009. (in Chinese)
- [15] 杜实, 张琦. 空中交通管制运行效率评估指标体系研究[J]. *科学技术创新*, 2014(28): 144-153.  
DU Shi, ZHANG Qi. Study on evaluation index system of air traffic control operation efficiency [J]. *Scientific and Technological Innovation*, 2014(28): 144-153. (in Chinese)
- [16] 宋小强, 罗凤娥, 杨丰宁, 等. 基于可拓学的航空公司应急事件处置能力评估模型研究[J]. *综合运输*, 2019(1): 47-52.  
SONG Xiaoqiang, LUO Feng'e, YANG Fengning, et al. The evaluation model of airline emergency incident disposal ability based on extenics[J]. *Transport Development and Reform Topics*, 2019(1): 47-52. (in Chinese)
- [17] 蔡文. 物元模型及其应用[M]. 北京: 科学文献技术出版社, 1994: 119-161.  
CAI Wen. Matter-element model and its application[M]. Beijing: Scientific Literature Technology Press, 1994: 119-161. (in Chinese)
- [18] 蔡文, 杨春燕, 林伟初. 可拓工程方法[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 26-79.  
CAI Wen, YANG Chunyan, LIN Weichu. Extension engineering method[M]. Beijing: Science Press, 2000: 26-79. (in Chinese)
- [19] 郭金玉, 张忠彬, 孙庆云. 层次分析法的研究与应用[J]. *中国安全科学学报*, 2008, 18(5): 148-153.  
GUO Jinyu, ZHANG Zhongbin, SUN Qingyun. Research and application of analytic hierarchy process [J]. *Chinese Journal of Safety Science*, 2008, 18(5): 148-153. (in Chinese)
- [20] 冯秀珍, 张杰, 张晓凌. 技术评估方法与实践[M]. 北京: 知识产权出版社, 2011: 96-99.  
FENG Xiuzhen, ZHANG Jie, ZHANG Xiaoling. Technical evaluation methods and practices[M]. Beijing: Intellectual Property Press, 2011: 96-99. (in Chinese)
- [21] 李聪攀. 基于可拓学的城市交通可持续发展评价理论[D]. 北京: 北京交通大学, 2009.  
LI Congpan. Research on the evaluation of urban transportation sustainable development based on extension method [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2009. (in Chinese)
- [22] 王锦国, 周志芳, 袁永生. 可拓评价方法在环境质量综合评价中的应用[J]. *河海大学学报*, 2002, 30(1): 15-18.  
WANG Jinguo, ZHOU Zhifang, YUAN Yongsheng. Application of extension method to comprehensive assessment of environmental quality[J]. *Journal of Hohai University*, 2002, 30(1): 15-18. (in Chinese)

### 作者简介:

罗凤娥(1972—),女,硕士,教授。主要研究方向:航空运行,民航签派。

李珊(1992—),女,硕士研究生。主要研究方向:航空运行,民航签派。

千富荣(1992—),女,硕士研究生。主要研究方向:航空运行,民航签派。

宋小强(1993—),男,硕士研究生。主要研究方向:航空运行,民航签派。

(编辑:丛艳娟)