

文章编号:1672-9331(2018)03-0027-08

# 基于混合熵权的机场陆侧客运交通内部衔接效率的模糊综合评价

李甜甜, 柳伍生, 周向栋

(长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114)

**摘要:** 为了对机场陆侧客运交通内部衔接效率进行综合评价,提出了一种基于混合熵权的模糊综合评价法。首先从转换方便性、设施布局合理性和衔接协调性三个方面,建立了机场陆侧客运交通内部衔接效率的评价指标体系,并介绍了各指标的定义及计算方法。然后采用模糊 AHP 与熵权修正各指标的权重,结合传统的模糊综合评判法,对机场陆侧客运交通衔接系统进行了评价。最后通过算例分析,得出了机场陆侧客运交通内部衔接效率 3 种方案的评价等级。研究结果表明,算法和模型合理有效。

**关键词:** 机场陆侧客运交通; 内部衔接效率; 混合熵权模糊综合评价; 转换方便性; 设施布局合理性; 衔接协调性

中图分类号: U491

文献标识码: A

## Fuzzy comprehensive evaluation of internal link efficiency of airport landside passenger transport based on mixed entropy weight

LI Tian-tian, LIU Wu-sheng, ZHOU Xiang-dong

(School of Traffic and Transportation Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China)

**Abstract:** In order to comprehensively evaluate the internal link efficiency of airport landside passenger transport, a fuzzy comprehensive evaluation method based on mixed entropy weight is proposed. First, the evaluation index system of the internal link efficiency of the airport landside passenger transport is set up, including three aspects of the conversion convenience, the rationality of the facility layout and the coordination of the link, and the definition and calculation methods of each index are introduced. Then, fuzzy AHP and entropy weight are used to modify the weights of each index, combined with the traditional fuzzy comprehensive evaluation method to evaluate the airport landside passenger transport link system. Finally, through the example analysis, the final evaluation grade of the internal link efficiency of airport landside passenger transport of three plans are obtained. The results show that the algorithm and model are reasonable and effective.

**Key words:** airport landside passenger transport; internal link efficiency; fuzzy comprehensive evaluation of mixed entropy weight; conversion convenience; rationality of the facility layout; coordination of the link

收稿日期: 2018-05-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51178061)

通讯作者: 柳伍生(1976-), 男, 湖北监利人, 长沙理工大学副教授, 博士, 主要从事交通运输规划与管理等方面的研究。E-mail: 99116438@qq.com

随着我国航空运输的高速发展以及经济的发展,越来越多人开始乘坐飞机,因此机场地面的集散运输需求也越来越高。机场数目以及旅客人数的不断增加,对机场陆侧客运交通内部的衔接效率的要求也越来越高。

近年来,机场陆侧交通方面的研究开始成为国内外的热点。Julie Roudet 等<sup>[1]</sup>通过大型数据库对机场陆侧交通的监控系统数据进行了综合分析。Gosling<sup>[2]</sup>提出了地理位置对航空旅客陆侧交通到达的影响模型。袁蕾<sup>[3]</sup>以昆明国际机场为例,探讨了枢纽机场陆侧交通系统的特点。白同舟等<sup>[4]</sup>提出了通道优化原则,从而提出了首都机场陆侧交通通道构建方面的优化建议。李相志<sup>[5]</sup>研究了有关机场陆侧换乘设施布局的评价方法,并建立了机场陆侧交通进行换乘的设施通行能力模型。熊鲲<sup>[6]</sup>根据昆明一国际机场的远景目标年旅客吞吐量,预测了机场陆侧高峰小时的交通需求。冯继平<sup>[7]</sup>提出了一种以机场为主体的评价机场陆侧交通系统客运服务水平的研究方法,并用

这种方法对其客运服务水平进行了分级评价。

虽然对机场陆侧交通的研究有很多,但是对其内部衔接效率进行评价的几乎没有。目前,关于模糊综合评价的应用,大多采用的是混合熵权,即将 AHP 与熵权法结合起来进行模糊综合评价的方法。因此,作者采用混合熵权模糊综合评价法对机场陆侧客运交通内部的衔接效率进行等级评价。该方法将层次分析法(AHP)与熵权法结合起来,先由模糊 AHP 来确定初始权重,再采用熵权法来修正权重。

## 1 机场陆侧客运交通内部衔接效率评价指标体系

机场陆侧客运交通内部衔接效率的评价涉及到陆侧各组成要素布局的合理性、衔接系统之间的协调性以及换乘的方便性三个方面。图 1 列出了机场陆侧客运交通内部衔接效率评价指标体系。

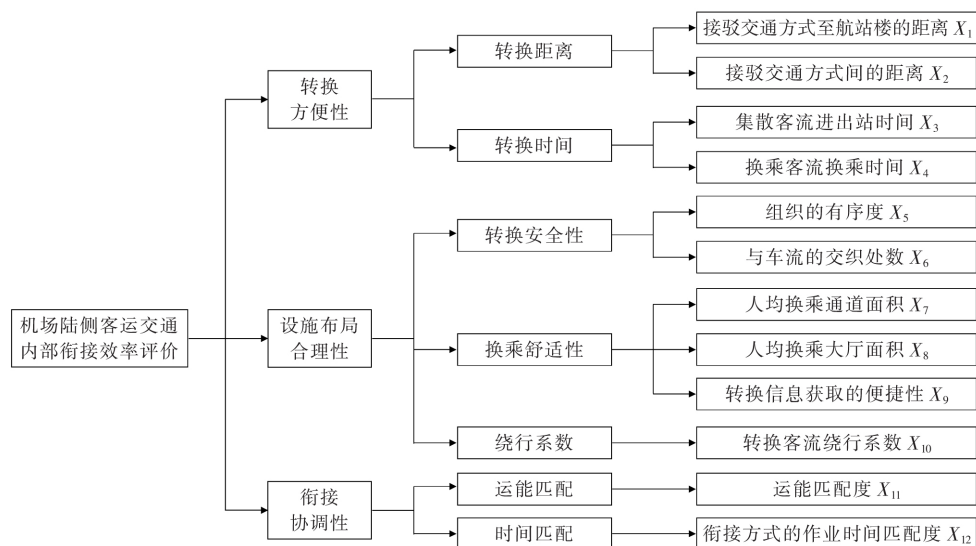


图 1 机场陆侧客运交通内部衔接效率评价指标体系

Fig. 1 Evaluation index system of airport link efficiency in land side passenger transport

各评价指标的定义及计算方法如下。

### 1) 转换方便性。

转换方便性是指旅客在机场陆侧内一种设施到另外一种设施的方便程度,可用转换距离和转换时间表示。

#### ① 转换距离。

对于机场陆侧客运交通,可将航站区内交通系统分为两类:一类是航空;另一类是为航空服务的接驳交通方式。对于航空而言,其旅客来自接驳交通方式和航站区其他航班。而对于接驳交通方式而言,其乘客来自刚下飞机的旅客和其他衔接方式的乘客。即旅客的换乘距离不仅包括接驳

交通方式至航站楼的距离,还包括交通方式间的距离。

a.接驳交通方式至航站楼的距离。

对于含有多种地面交通方式的机场而言,最佳转换为“无缝衔接”。而对所有衔接方式真正实现“无缝衔接”的还很小见,因此换乘距离仍然是一重要因素。其计算公式为:

$$\bar{L} = \frac{\sum_i l_i \cdot Q_i}{\sum_i Q_i} \quad (1)$$

式中: $\bar{L}$  为接驳交通方式至航站楼的平均换乘距离; $l_i$  为第  $i$  种交通方式至航站楼之间的实际距离; $Q_i$  为由第  $i$  种交通方式至航站楼的客流量; $m$  为接驳方式种类。

b.接驳交通方式间的距离。

各接驳方式间的距离计算公式为:

$$\bar{L}_i = \frac{\sum_j l_{ij} \cdot Q_{ij}}{\sum_j Q_{ij}} \quad (2)$$

式中: $\bar{L}_i$  为第  $i$  种接驳方式至其他接驳方式的平均换乘距离; $l_{ij}$  为第  $i$  种交通方式换乘第  $j$  种交通方式的实际距离; $Q_{ij}$  为由第  $i$  种交通方式换乘第  $j$  种交通方式的客流量。

②转换时间。

转换时间可以分为两种:一种是集散客流的进出站时间,主要为步行时间和免费接送工具时间;另一种是换乘客流的转换时间,主要包括换乘步行时间、免费接送工具时间和换乘等候时间。

a.集散客流进出站时间计算公式为:

$$\bar{t} = \frac{\sum_j (L_j/v_{\text{步}} + l_j/\bar{v}) \cdot Q_j}{\sum_j Q_j} \quad (3)$$

式中: $\bar{t}$  为集散客流出入站时间; $L_j$  为来自交通方式  $j$  的集散客流至其目的地的步行距离; $v_{\text{步}}$  为集散客流的步行速度,这里取各类步行者的平均步行速度; $l_j$  为由交通方式  $j$  至目的地的可利用免费交通工具的行驶距离; $\bar{v}$  为可利用免费交通工具的行驶距离速度;其他字母意义同前。

b.换乘客流换乘时间计算公式为:

$$\bar{t}_i = \frac{\sum_j (L_{ij}/v_{\text{步}} + l_{ij}/\bar{v} + T_j) \cdot Q_{ij}}{\sum_j Q_{ij}} \quad (4)$$

式中: $\bar{t}_i$  为换乘交通方式  $i$  的乘客换乘时间; $L_{ij}$  为自交通方式  $i$  换乘交通方式  $j$  的换乘步行距离; $l_{ij}$  为由交通方式  $i$  换乘交通方式  $j$  可利用免费交通工具的行驶距离; $T_j$  为换乘交通方式  $j$  的平均等候时间,对于固定发车间隔交通方式而言,一般取其发车间隔的一半;其他字母意义同前。

2) 设施布局合理性。

陆侧内各设施布局合理性可用转换安全性、换乘舒适性和绕行系数来表示。

①转换安全性。

转换安全性是指枢纽内各种交通流相互干扰的程度,可以用内部组织有序度和与车流的交织处数来表示。

a.组织的有序度。

机场陆侧内部组织有序度可用枢纽面积与陆侧内部交通流形成的冲突点的比值来表示:

$$D = \frac{P}{S} \quad (5)$$

式中: $D$  为陆侧内部组织有序度; $P$  为陆侧内部各种交通流可能形成的冲突点个数; $S$  为陆侧内的换乘面积,包括通道面积和换乘大厅面积。

b.与车流的交织处数。

客流与其他交通方式的冲突点数可以衡量旅客在换乘过程中的安全性。这里以客流需要经过或穿越其他交通方式运行道路的数量(或轨道股数)来表示。

②换乘舒适性。

a.人均换乘通道面积。

人均转换通道面积反映了客运换乘枢纽内的拥挤程度、舒适程度以及环境质量水平,可用高峰小时每个乘客平均能够使用的换乘通道面积来表示,其计算式为:

$$A_{\text{channels}} = \frac{S_{\text{channels}}}{Q_{\text{peak}}} \quad (6)$$

式中: $A_{\text{channels}}$  为人均换乘通道面积; $S_{\text{channels}}$  为换乘通道面积; $Q_{\text{peak}}$  为高峰小时换乘通道处客流量。

b.人均换乘大厅面积。

人均换乘大厅面积也反映了换乘的舒适性,

其计算式为:

$$A_{\text{hall}} = \frac{S_{\text{hall}}}{Q_{\text{hall}}} \quad (7)$$

式中:  $A_{\text{hall}}$  为换乘大厅面积;  $S_{\text{hall}}$  为换乘大厅面积;  $Q_{\text{hall}}$  为高峰小时换乘大厅客流量。

### c. 换乘信息获取的便捷性。

清晰的换乘信息及诱导标识可以给旅客在换乘过程中带来方便、愉快、踏实的体验。换乘信息及诱导标识越简便清晰,给旅客提供的换乘信息就越有效,对换乘过程的掌握程度也就越高。

换乘信息的获取途径有指示牌或显示屏、广播通知、咨询员等。这三者当中,指示牌或显示屏的信息获取时间最短,对乘客的作用效果最好;其次为向咨询员咨询;最后为听取广播通知。如果给有广播通知的通道口或出入口打“1分”,有咨询员的打“2分”,有指示牌或显示屏的打“3分”,有组合方式地将各种方式的分值加和,这样换乘信息的便捷性可以表示为:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n G_i}{n} \quad (8)$$

式中:  $X$  为换乘信息的便捷性;  $G_i$  为第  $i$  个通道口或出入口的分值;  $n$  为通道口或出入口的个数。

### ③ 绕行系数。

绕行系数反映了换乘枢纽内与各种换乘有关的设施布局对换乘客流步行的方便程度,可用枢纽内各交通方式之间换乘客流的实际步行距离与理想步行距离的比值来表示:

$$\delta = \frac{d_{\text{real}}}{d_{\text{beeline}}} \quad (9)$$

式中:  $\delta$  为绕行系数;  $d_{\text{real}}$  为枢纽内各交通方式之间换乘客流的实际步行距离;  $d_{\text{beeline}}$  为枢纽内各交通方式之间的直线空间距离。

### 3) 衔接协调性。

各枢纽内各交通方式衔接的协调性可以反映各种交通方式间换乘客流的能力是否匹配,可以用运能匹配度和衔接方式疏散时间的匹配度来表示。

#### ① 运能匹配度。

运能匹配度可用高峰时期各衔接交通方式的客流量与其总运输量的比值来表示,其计算式为:

$$D_{i,\text{match}} = \sum_j Q_{ij} / (\beta_i \cdot C_i) \quad (10)$$

式中:  $D_{i,\text{match}}$  为第  $i$  种衔接交通方式运能匹配度;  $Q_{ij}$  为来自第  $i$  种衔接交通方式换乘交通方式  $j$  的客流量;  $C_i$  为第  $i$  种衔接交通方式的容量;  $\beta_i$  为第  $i$  种衔接交通方式的可载客比例。

#### ② 衔接方式的作业时间匹配度。

对于机场枢纽来说,其衔接方式的作业时间对枢纽到达旅客在枢纽内的平均滞留时间有很大的影响。各衔接方式的作业时间与机场枢纽的到达时间的协调衔接与同步连续,有利于客流的快速疏散,可最大程度地减少乘客在枢纽内的等候时间,从而提高枢纽的换乘效率。衔接方式的作业时间匹配度可以用各衔接方式的实际作业时间与理想作业时间的误差值来表示,其计算公式为:

$$\varphi = \sum_{i=1}^m \frac{Q_i \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^m Q_i} \quad (11)$$

式中:  $\varphi$  为衔接方式作业时间的匹配度;  $\Delta t_i$  为各衔接方式的实际作业时间与理想作业时间的误差值;其他字母意义同前。

## 2 基于混合熵权模糊综合评价

### 1) 基于混合熵权模糊综合的衔接系统评价思路。

对于换乘效率的评价,经常使用的评价方法是均一评价法,它包括了模糊综合评价以及层次分析法等。该方法是先确定每个评价指标的优先级权重,然后将每个指标的值和其相应的权重进行乘积得到其总和,最后将它作为评价对象的排序基础。但是,均一评价法有两个缺点:一是优先级权重的确定比较困难,而且较不客观;二是虽然权重是均一性的,但有些指标之间实际差异比较大,会造成最终结果的不公平。本研究首先采用层次分析法确定初始的权重,然后利用熵权法对权重进行修正,增加权重的客观性,最后采用模糊综合评价方法来对机场陆侧客运交通的内部衔接效率进行评价,使内部衔接效率评价的结果更加客观、合理。

采用模糊层次分析法和熵权法修正权重,结合模糊综合评价法,对机场陆侧客运交通内部的衔接效率进行评价,其计算步骤如下。

#### ① 确定评价目标的因素集,即评价指标 $B =$

$(B_1, B_2, \dots, B_n)$ 。

②确定评价目标的评语集  $U = (U_1, U_2, \dots, U_k)$ 。

③进行单个指标的评价,确定它的模糊评价矩阵。对每一个指标分别进行评价,得出每一个指标的评语,最终得到模糊评价矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11}, r_{12}, \dots, r_{1k} \\ r_{21}, r_{22}, \dots, r_{2k} \\ \vdots \\ r_{n1}, r_{n2}, \dots, r_{nk} \end{bmatrix} \quad (12)$$

式中:  $r_{ij} (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, k)$  是指评价指标中第  $i$  个评价指标作出第  $j$  级的评语。

④确定单个指标的权重向量  $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)$ , 通过层次分析法得到初始权重, 然后运用熵权法对初始权重进行修正, 最终得到更加合理的权重向量。

⑤计算模糊综合评判值。根据模糊矩阵的运算方法, 得出模糊综合评价的结果矩阵, 将评语集量化, 采用向量之间的乘积, 最终得到模糊综合评判值。

⑥比较综合评价值, 得出结论。

衔接系统效率评价过程如图 2 所示。

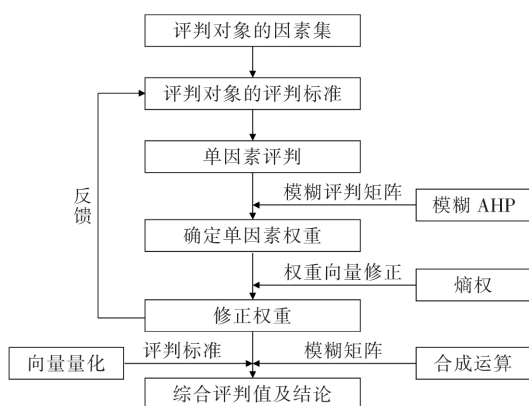


图 2 衔接系统效率评价程序图

Fig. 2 Program diagram of efficiency evaluation of cohesive system

## 2) 权重的判定。

权重判定的方法一般分为两种:一种是主观赋权法,包括了专家调查法和二项系数法等;另一种是客观赋权法,包括了熵权法和标准离差法等。如果这两种方法单独使用,则分别存在主观性较大和客观性较大的缺陷。因此,本研究结合这两

种方法中的层次分析法和熵权法,以使得到的综合权重更加精确。

①利用模糊 AHP 确定初始权重。

对要素的相对重要度可采用模糊 AHP 法进行,其方法如下。

设  $m$  是对象集的容量,  $n$  是目标集的容量,设第  $i$  个对象满足  $n$  个目标要求的程度值分别为  $M_{E_i}^1, M_{E_i}^2, \dots, M_{E_i}^n (i=1, 2, \dots, m)$ , 这里  $M_{E_i}^j$  都是三角模糊数,那么第  $i$  个对象满足  $n$  个目标的综合程度值为  $S_i = \sum_{j=1}^n M_{E_i}^j \left( \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M_{E_i}^j \right)^{-1}$ , 即  $S_i$  表示在给定的准则下,同一层次的每一个元素与所有元素进行比较得到的综合的重要程度值。

选用  $A_i$  表示第  $i$  个元素, 设  $d'(|A_i|) = \min V(S_i \geq |S_k|), (k=1, 2, \dots, m, k \neq i)$ , 那么权重向量为  $W' = [d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n)]^T$ 。经归一化处理, 模糊 AHP 的权重向量为:  $W = [d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n)]^T$ 。

②基于熵权修正初始权重。

熵是信息论中不确定性以及信息量的一个量度。一个系统的熵可以度量这个系统的有序以及无序的程度。熵越大,表明这个系统更加无序;熵越小,表明这个系统更加有序。熵权充分利用了最初指标的数据信息,通过比较各个指标值的差异来确定其最终的权重。

设指标的集合投影为  $P_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij}$ , 根据信息论,第  $j$  个指标输出的熵为:

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln(P_{ij}); j=1, 2, \dots, n. \quad (13)$$

式中:  $k$  为一个正常数,  $k = (\ln m)^{-1}$ ; 其偏差度  $d_j = 1 - E_j (j=1, 2, \dots, n)$ 。

假设决策者对这  $n$  个评价指标没有明显的偏好,可认为这  $n$  个评价指标的偏好是相同的。第  $j$  个评价指标通过熵权法得到的权重  $w_j$  定义为:

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} = \frac{(1 - E_j)}{\sum_{j=1}^n (1 - E_j)}, j=1, 2, \dots, n. \quad (14)$$

那么其修正后的权重定义为:假设决策者对各评价指标是有偏好的,为  $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$ , 那么可以用  $w_j$  来修正已经得知的权重  $\lambda_j$ , 得到更加准确的权重值:

$$\bar{\lambda}_j = \lambda_j w_j / \sum_{j=1}^n \lambda_j w_j; j = 1, 2, \dots, n \quad (15)$$

通过上述计算方法,结合内部衔接效率指标的计算方法给出评价标准,可得到机场陆侧内部客运交通衔接效率最后评价等级。

### 3 算例分析

根据机场陆侧客运交通内部衔接效率来评价每一个指标,评估指数和评估指标的分级范围如表1所示。转换方便性包括了  $X_1, X_2, X_3, X_4$  四个指标;设施布局合理性包括了  $X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}$  六个指标;衔接协调性包括了  $X_{11}$  和  $X_{12}$  两个指标。

已知某机场陆侧客运交通有3种客运交通内部衔接的方案,方案a和方案c的等级评价差不多,方案b相对于方案a和方案c等级水平要高。根据表1可得每种客运交通内部衔接方案中每一个评价指标的值(如表2所示)。

1) 利用模糊层次分析法计算评价指标的初始权重。

按照上述步骤,利用模糊层次分析法可以计算出每一个评价指标的初始权重值(如表3所示)。

表1 评估指标值分级范围和评估指数

Table 1 Evaluation index value classification range and evaluation index

		效率等级					
		A	B	C	D	E	F
评估指数		10~9.0	9.0~7.5	7.5~6.0	6.0~4.0	4.0~2.0	2.0~0.0
指标值 分级范围	转换方便性						
	$X_1/\text{m}$	<200	200~275	276~350	351~425	426~500	>500
	$X_2/\text{m}$	<150	150~200	201~250	251~325	326~400	>400
	$X_3/\text{min}$	<6	6.0~8.0	8.1~11.0	11.1~15.0	15.1~20.0	>20
	$X_4/\text{min}$	<4	4.0~6.0	6.1~8.0	8.1~11.0	11.1~15.0	>15
	$X_5/(\text{m}^2/\text{个})$	0.000	0.001~0.002	0.003~0.004	0.005~0.007	0.008~0.009	>0.009
	$X_6/\text{个}$	0.0	1.0~2.0	3.0~4.0	5.0~7.0	8.0~9.0	>9
	$X_7/(\text{m}^2/\text{人})$	>1.2	0.9~1.2	0.7~0.9	0.3~0.7	0.2~0.3	<0.2
	$X_8/(\text{m}^2/\text{人})$	>1.2	0.9~1.2	0.7~0.9	0.3~0.7	0.2~0.3	<0.2
	$X_9/\text{分}$	>5.0	4.0~5.0	3.0~4.0	2.0~3.0	1.0~2.0	1.0
衔接协调性	$X_{10}$	<1.0	1.00~1.20	1.21~1.40	1.41~1.70	1.71~2.00	>2.0
	$X_{11}$	>0.9	0.81~0.90	0.71~0.80	0.61~0.70	0.50~0.60	<0.5
	$X_{12}$	<0.2	0.20~0.30	0.31~0.50	0.51~0.70	0.71~0.90	>0.9

表2 各交通组织方案的评价指标值

Table 2 Evaluation index value of each traffic organization plan

方案	转换方便性				设施布局合理性						衔接协调性	
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$
a	234	160	8.1	6.0	0.004	4	0.75	0.72	3.0	1.2	0.72	0.30
b	275	210	9.1	7.2	0.002	2	0.80	0.81	4.0	1.3	0.70	0.40
c	245	152	8.6	6.3	0.003	3	0.70	0.72	3.8	1.4	0.80	0.45

表3 模糊 AHP 得到的初始权重

Table 3 Initial weight obtained by fuzzy AHP

	转换方便性				设施布局合理性						衔接协调性	
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$
初始权重	0.14	0.08	0.14	0.08	0.04	0.03	0.02	0.02	0.15	0.12	0.10	0.08

2) 利用初始权重进行初步评价。

根据表 3 中的初始权重值以及表 2 中的各个评价指标的值,可以得到值为:46.96, 56.89, 48.04,由初始权重得到 3 种方案的优选排序为:方

案 b>方案 c>方案 a,但 3 种方案的等级均为 D。

3) 利用熵权法修正初始权重。

利用熵权法来对已得到的初始权重进行修正,最终得到每个评价指标的修正权重(如表 4 所示)。

表 4 混合熵权得到的修正权重

Table 4 The modified weight by the mixed entropy weight

	转换方便性				设施布局合理性						衔接协调性	
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$
$E_j$	0.17	0.23	0.25	0.16	0.58	0.58	0.33	0.00	0.30	0.33	0.39	0.33
$d_j$	0.83	0.77	0.75	0.84	0.42	0.42	0.67	1.00	0.70	0.67	0.61	0.67
$w_j$	0.11	0.10	0.10	0.11	0.06	0.06	0.09	0.14	0.10	0.09	0.08	0.09
修正权重	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01

4) 采用模糊综合评价法对机场陆侧客运交通内部衔接效率的进行评价。

根据表 2 和表 4 的数据,采用模糊综合评价法进行分析后,得到 3 种方案评估指标分别为 5.320 9,6.439 9,5.448 9。由此得到 3 种方案的优选排序为:方案 b>方案 c>方案 a;且方案 a 和方案 c 的等级为 D,方案 b 的等级为 C。

5) 权重修正前后评价对比。

权重修正前后 3 种方案的优选排序是一致的,但是方案 b 的评价等级不一致。根据实际情况可知,采用修正后的权重进行综合评价更加符合实际情况。

## 4 结论

作者采用混合熵权法对机场陆侧客运交通内部的衔接效率进行了模糊综合评价,通过算例的求解分析得出如下结论。

1) 机场陆侧客运交通内部的衔接效率的评价指标体系包括三个方面:转换方便性、设施布局合理性和衔接协调性。这三个方面又分别包括了 12 个指标。由于从多个角度出发设置指标,因此评价结果的准确度更高。

2) 算例中包括了 3 种方案,经过求解后得出方案 a 和方案 c 的等级为 D,方案 b 的等级为 C。等级越高代表机场陆侧客运交通内部的衔接效率越高,故方案 b 的内部衔接效率更高。

3) 本研究的评价方法将模糊 AHP 和熵权法

结合起来,先采用模糊 AHP 法确定初始权重,然后运用熵权法对权重进行修正,并将主观与客观进行结合,可以更好地将专家知识集成到决策过程中。

本研究提出的方法将评价结果与机场陆侧客运交通的规划设计结合起来,可使机场的乘客换乘客运交通时更加方便,效率更高,因此基于混合熵权的模糊综合评价法的算法和模型是合理有效的,对评价机场陆侧客运交通内部衔接效率有一定的实际意义。

## 〔参考文献〕

- [1] Julie Roudet,Paul-Emmanuel Thurat,Nicolas Turcot,Airport ground-traffic surveillance systems data feed innovative comprehensive [J]. Transportation Research Procedia,2016,459(5):3741-3750.
- [2] Geoffrey D Gosling, M Asce.Specification and data issues with airport ground access mode choice models [J].Congress of Transport and Development Institute,2012,1061(10):386-395.
- [3] 袁蕾.机场航站区陆侧交通系统设计方法[J].市政技术,2017,35(9):29-31.  
YUAN Lei.The design method of land traffic system in airport terminal area [J].Municipal Technology, 2017,35(9):29-31.
- [4] 白同舟,刘雪杰,李先.城市群大型枢纽机场陆侧交通通道优化建议:以北京首都国际机场为例[A].中国城市规划年会[C].北京:中国学术期刊电子出版社,2016.

- BAI Tong-zhou, LIU Xue-jie, LI Xian. Suggestions for optimization of land side traffic corridors of large scale hub airports in urban agglomerations: taking Beijing Capital International Airport as an example [A]. Annual Meeting of Urban Traffic Planning in China [C]. Beijing: China Academic Journal Electronic Publishing House, 2016.
- [5] 李相志. 基于行人交通流的机场陆侧换乘设施通行能力研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2016.
- LI Xiang-zhi. Traffic capacity study on airport land-side transfer facilities based on the pedestrian flow [D]. Tianjin: Civil Aviation University of China, 2016.
- [6] 熊鲲. 昆明长水国际机场陆侧交通需求预测及交通系统研究[J]. 城市道桥与防洪, 2015, 12(12): 4-8.
- XIONG Kun. Landside traffic demand forecasting and traffic system research on Kunming Changshui International Airport [J]. Urban Road Bridge and Flood Contron, 2015, 12(12): 4-8.
- [7] 冯继平. 大型枢纽机场陆侧交通系统客运服务水平评价研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2014.
- FENG Ji-ping. Study on service level of hub airport landside passenger transportation system evaluation [D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2014.
- 
- (上接第 20 页)
- [6] 张薇, 何瑞春, 肖强, 等. 出租车合乘定价多目标优化研究[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2015, 39(6): 1105-1109.
- ZHANG Wei, HE Rui-chun, XIAO Qiang, et al. Research on taxi carpooling pricing multi-objective optimization [J]. Journal of Wuhan University of Technology: Transportation Science and Engineering, 2015, 39(6): 1105-1109.
- [7] 肖强, 何瑞春, 张薇, 等. 基于模糊聚类 and 识别的出租车合乘算法研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2014 (5): 119-125.
- XIAO Qiang, HE Rui-chun, ZHANG Wei, et al. Algorithm research of taxi carpooling based on fuzzy clustering and fuzzy recognition [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2014(5): 119-125.
- [8] 程杰, 唐智慧, 刘杰, 等. 基于遗传算法的动态出租车合乘模型研究[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2013, 37(1): 187-191.
- CHENG Jie, TANG Zhi-hui, LIU Jie, et al. Research on dynamic taxipooling model based on genetic algorithm [J]. Journal of Wuhan University of Technology: Transportation Science and Engineering, 2013, 37(1): 187-191.
- [9] 贺剑, 柳伍生, 周向栋, 等. 区间阻抗下的网约车合乘鲁棒有效路径[J]. 长沙理工大学学报: 自然科学版, 2017, 14(3): 41-47.
- HE Jian, LIU Wu-sheng, ZHOU Xiang-dong, et al. Robust valid paths of internet private hire vehicles ride-sharing under interval-valued impedance [J]. Journal of Changsha University of Science and Technology: Natural Science, 2017, 14(3): 41-47.
- [10] 何胜学. 无预警紧急疏散中公交车辆路径的确定方法[J]. 运筹学学报, 2014(3): 47-59.
- HE Sheng-xue. Determining optimal routes for transit vehicles in no-notice emergency evacuation [J]. Operations Research Transactions, 2014(3): 47-59.
- [11] 何胜学, 陈经纬. 考虑上客点选择的公交紧急疏散时空路网模型[J]. 计算机应用研究, 2017, 34(7): 2001-2005.
- HE Sheng-xue, CHEN Jing-wei. Time-space network model of emergency transit evacuation with choice of pick-up points [J]. Application Research of Computers, 2017, 34(7): 2001-2005.
- [12] 赵惠光, 何胜学, 黄清, 等. 基于改进蚁群算法的公交疏散策略研究[J]. 电子科技, 2017(4): 68-71.
- ZHAO Hui-guang, HE Sheng-xue, HUANG Qing, et al. Study on the strategy of bus evacuation based on improved ant colony optimization [J]. Electronic Sci and Tech, 2017(4): 68-71.