

基于综合评价法的枢纽机场换乘系统评价

李运¹,解小东²,彭娅楠³

1. 内蒙古工业大学 航空学院,内蒙古 呼和浩特 010050;
2. 中国民用航空华北地区空中交通管理局 内蒙古分局,内蒙古 呼和浩特 010070;
2. 内蒙古工业大学 能源与动力工程学院,内蒙古 呼和浩特 010050

摘要:为更好地评价枢纽机场换乘系统的作用,分析国内外枢纽机场换乘系统,选择影响机场换乘系统品质的指标,构建换乘系统评价指标体系。以呼和浩特白塔国际机场为例,对换乘系统现有的换乘方式与陆侧换乘设施进行实地调查,以轨道交通、公交车、机场巴士为重点研究对象,并兼顾私家车、出租车等换乘交通工具,将层次分析法和模糊综合评价法相结合,对现有换乘系统进行综合评价。评价结果表明:白塔国际机场的换乘系统评价水平为一般,换乘系统的重要性未得到充分体现。建议将换乘系统作为独立的子系统进行详细规划与设计。枢纽机场换乘系统综合评价对呼和浩特白塔国际机场的发展及新机场建设具有一定的参考意义。

关键词:枢纽机场;换乘系统;层次分析法;模糊综合评价法

中图分类号:TU248.6

文献标志码:A

文章编号:1672-0032(2022)02-0032-09

引用格式:李运,解小东,彭娅楠.基于综合评价法的枢纽机场换乘系统评价[J].山东交通学院学报,2022,30(2):32-40.

LI Yun,XIE Xiaodong,PENG Yanan. The holistic evaluation of the airport hub transfer system based on comprehensive assessing approach[J]. Journal of Shandong Jiaotong University,2022,30(2):32-40.

0 引言

在2020年抗击新冠肺炎疫情中,武汉天河国际机场发挥了其他交通方式不可比拟的快速、点对点等优势,为及时运送医护人员及抗疫物资发挥了重要作用,换乘系统作为枢纽机场的重要组成部分发挥着不可替代的作用^[1-6]。枢纽机场换乘系统具有交通流量大、交通方式多等特点,出租车、私人车辆、公交、地铁、机场大巴、共享单车等多种交通换乘方式在机场汇合,导致机场航站楼出入口、私人车辆停车场、出租车乘降点、地铁站出入口、公交站点等空间关系复杂,只有合理安排枢纽机场换乘系统的交通资源,才能解决乘客在机场的出行问题^[7-10]。

国内外学者对枢纽机场陆侧换乘系统进行了大量研究。Monteiro等^[11]通过研究机场陆侧交通换乘系统对机场运行客流量的影响,验证了改善陆侧交通会提高机场运行效率的观点。Davis等^[12]提出了换乘设施的服务标准。郭桐君^[13]从出行方式角度构建了新的陆侧交通换乘系统,得到不同交通状况下交通方式的分配比例。李相志^[14]对机场陆侧地面交通换乘中心进行研究,归纳机场陆侧交通换乘设施的布局模式,并通过Anylogic软件对天津机场进行模拟仿真,总结现有问题并提出改善方法。

呼和浩特白塔国际机场是内蒙古唯一的一座干线型枢纽机场,作为区域交通中心,其陆侧换乘系统更加复杂。本文通过对呼和浩特白塔国际机场进行实地数据调查,构建机场换乘系统评价指标体系,通过层次分析法和模糊综合评价法对机场现有换乘系统进行综合评价,分析目前换乘系统存在的问题,为呼和浩特白塔国际机场换乘系统的提升提出建议。

收稿日期:2021-10-10

基金项目:内蒙古自治区高等学校科学研究项目(NJZY22387);内蒙古工业大学科学研究项目(ZY202018)

第一作者简介:李运(1990—),男,内蒙古包头人,工学硕士,主要研究方向为城市交通,E-mail:liyun@imut.edu.cn。

1 评价指标体系

1.1 换乘系统评价指标体系

为更好地评价枢纽机场换乘系统的作用,分析国内外枢纽机场换乘系统^[15],从换乘设施的适应性、协调性及换乘方式的便捷性、时效性等4个方面确定人均换乘设施面积、附属设施率等11个评价指标,构建枢纽机场换乘系统评价指标体系如图1所示。

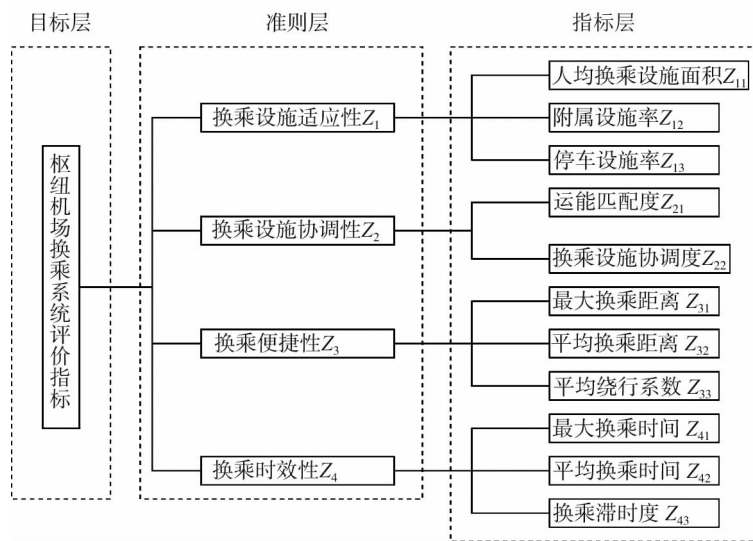


图1 枢纽机场换乘系统评价指标体系

1.2 评价指标量化

1.2.1 换乘设施适应性

1.2.1.1 人均换乘设施面积

人均换乘设施面积反映换乘中心能够同时容纳乘客的能力,可以判断换乘中心舒适程度和拥挤程度,量化公式^[16]为:

$$Z_{11} = M_r / Q_r ,$$

式中: M_r 为换乘系统中各换乘设施的总面积, Q_r 为设计换乘系统时可容纳的最大乘客数。

人均换乘设施面积等级划分如表1所示。

表1 人均换乘设施面积等级划分

等级	A	B	C	D	E
人均换乘设施面积/m ²	≥1.00	(1.00,0.75]	(0.75,0.50]	(0.50,0.30]	<0.30

1.2.1.2 附属设施率

附属设施可以辅助乘客完成换乘过程,包括自动扶梯、步行楼梯、直梯等,通过附属设施率对附属设施辅助换乘情况进行量化,公式^[17]为:

$$Z_{12} = \frac{1}{2} \left(\frac{L_s}{L_h} + \frac{H_s}{H_h} \right) ,$$

式中: L_s 为附属设施水平长度, L_h 为换乘通过水平长度, H_s 为附属设施垂直距离, H_h 为换乘通过垂直距离。

1.2.1.3 停车设施率

停车设施率是指机场换乘系统中机动车停车面积与整个换乘系统面积的比,量化公式为:

$$Z_{13} = f/f_z,$$

式中: f 为换乘系统中机动车停车面积, f_z 为整个换乘系统面积。

1.2.2 换乘设施协调性

1.2.2.1 运能匹配度

运能匹配度是指多种交通方式间运输能力的协调性,量化公式为:

$$Z_{21} = E / \sum_{k=1}^n p_k \alpha_k,$$

式中: E 为客流量最大时单位时间内通过换乘系统的客流量, p_k 为第 k 种换乘方式承载客流量的能力, α_k 为选择第 k 种换乘方式乘客的比例。

当 $Z_{21} < 0.8$ 时,换乘衔接能力过剩;当 $0.8 \leq Z_{21} < 1.0$ 时,换乘衔接良好;当 $Z_{21} \geq 1.0$ 时,换乘衔接能力无法满足当前乘客的需求^[18]。

1.2.2.2 换乘设施协调度

换乘设施协调度是指换乘系统运营的协调度,量化公式为:

$$Z_{22} = \sum_{r=1}^R p_r / S_h,$$

式中: p_r 为换乘系统中换乘路线第 r 个冲突点的面积, R 为冲突点的数量, S_h 为换乘设施站点面积。

换乘设施协调性等级划分如表2所示。

表2 换乘设施协调性等级划分

等级	A	B	C	D	E
运能匹配度	(0.78, 0.83]	(0.65, 0.78] ∪ (0.83, 0.95]	(0.55, 0.65] ∪ (0.95, 1.15]	(0.45, 0.55] ∪ (1.15, 1.25]	(0, 0.45] ∪ (1.25, ∞)
换乘设施协调度	(0, 2]	(2, 5]	(5, 8]	(8, 10]	>10

1.2.3 换乘便捷性

1.2.3.1 最大换乘距离

最大换乘距离是指乘客在换乘中需要经过的最远距离,距离过长会导致乘客疲劳度增加,量化公式^[19]为:

$$Z_{31} = H_{pq} + KV_{pq},$$

式中: H_{pq} 、 V_{pq} 分别为乘客换乘过程中从第 p 种交通方式转到第 q 种交通方式通过的水平距离和垂直距离; K 为上楼和下楼转换系数,从步梯上楼时 $K=4$,从步梯下楼时 $K=2$,从自动扶梯或直梯上楼、下楼时 $K=1$ 。

1.2.3.2 平均换乘距离

平均换乘距离是指乘客在换乘过程中需要步行通过的平均距离,量化公式为:

$$Z_{32} = \frac{\sum Q_{pq} L_{pq}}{\sum Q_{pq}},$$

式中: Q_{pq} 为从第 p 种交通方式中转到第 q 种交通方式的换乘人流量, L_{pq} 为从第 p 种交通方式中转到第 q 种交通方式的平均距离。

1.2.3.3 平均绕行系数

平均绕行系数是实际需要换乘距离与理想换乘距离之比,量化公式为:

$$Z_{33} = \frac{\sum \sum \frac{L_{pq} Q_{pq}}{S_{pq}}}{\sum \sum Q_{pq}},$$

式中 S_{pq} 为理想换乘距离。

换乘便捷性等级划分如表3所示。

表3 换乘便捷性等级划分

等级	A	B	C	D	E
最大换乘距离/m	<200	[200,350)	[350,450)	[450,600)	≥600
平均换乘距离/m	<150	[150,250)	[250,350)	[350,450)	≥450
平均绕行系数	[1.0,1.2)	[1.2,1.4)	[1.4,1.8)	[1.8,2.0)	≥2.0

1.2.4 换乘时效性

1.2.4.1 最大换乘时间

最大换乘时间是指乘客在换乘系统中完成整个换乘流程所需要的最长时间,量化公式^[20]为:

$$Z_{41} = \max(T_1 + T_2 + T_3),$$

式中: T_1 为换乘过程中行走需要的时间, T_2 为换乘过程中排队需要的时间, T_3 为换乘过程中等车需要的时间。

1.2.4.2 平均换乘时间

平均换乘时间是指换乘系统内多种换乘方式之间的换乘时间平均值,量化公式为:

$$Z_{42} = \frac{\sum_p \sum_q Q_{pq} T_{pq}}{\sum_p \sum_q Q_{pq}},$$

式中 T_{pq} 为从第 p 种交通方式中转到第 q 种交通方式花费的时间。

1.2.4.3 换乘滞时度

换乘滞时度是指换乘系统中实际平均换乘时间与理想换乘时间的比,量化公式为:

$$Z_{43} = T/T_s,$$

式中: T 为实际换乘过程中在换乘中心内滞留的平均时间, T_s 为理想换乘时间。

换乘时效性等级划分如表4所示。

表4 换乘时效性等级划分

等级	A	B	C	D	E
最大换乘时间/min	<6.0	[6.0,8.0)	[8.0,11.0)	[11.0,15.0)	≥15.0
平均换乘时间/min	<4.0	[4.0,5.0)	[5.0,8.0)	[8.0,11.0)	≥11.0
换乘滞时度	[1.0,1.1)	[1.1,1.3)	[1.3,1.6)	[1.6,2.0)	≥2.0

2 评价方法

枢纽机场换乘系统具有涉及面广、维度多、复杂度高等特点,根据换乘系统的特点,首先采用层次分析法计算评价指标的权重,然后依据模糊综合评价法建立隶属度矩阵,对换乘系统评价指标体系的准则层与指标层进行2级模糊评价。

2.1 层次分析法

层次分析法的思想是通过建立层次结构,分解目标,在相同层级内,指标两两比较确定相对重要性,构造判断矩阵,计算各指标的权重,并进行一致性检验。

2.1.1 构造判断矩阵

依据专家打分情况计算各指标重要性的平均值,构造出判断矩阵。准则层的判断矩阵

$$A_Z = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1j} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2j} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \cdots & a_{ij} \end{bmatrix}, i, j = 1, 2, 3, 4,$$

式中: a_{ij} 为第 i 个准则相对于第 j 个准则的重要性, $a_{ji} = 1/a_{ij}$ 。

第 i 个准则对应的指标层判断矩阵

$$B_i = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \cdots & b_{mn} \end{bmatrix}, m, n = 1, 2, \cdots, t,$$

式中: b_{mn} 为第 m 个指标相对于第 n 个指标的重要性, $b_{nm} = 1/b_{mn}$; t 为第 i 个准则对应指标层中指标的个数。

a_{ij} 及 b_{mn} 取值参照 1~9 级标定法的标度及标度意义, 如表 5 所示。

表 5 1~9 级标定法的标度及标度意义

标度	标度意义	标度	标度意义
1	2 个元素相比重要性相同	7	2 个元素相比前者特别重要
3	2 个元素相比前者略微重要	9	2 个元素相比前者绝对重要
5	2 个元素相比前者较重要	2, 4, 6, 8	判断的中间状态

2.1.2 一致性检验

通过计算准则层及指标层判断矩阵的最大特征值 λ_{\max} 、一致性指标 C_1 、一致性比率 C_R 进行一致性检验, 当 $C_R < 0.10$ 时满足要求, 最终得到准则层的权重向量 W_Z 和指标层权重向量 W_i 。

2.2 模糊综合评价法

模糊综合评价法是一种基于模糊数学的评价方法, 应用模糊关系合成原理, 将一些边界不清、不易定量的因素定量化, 进行综合评价。依据枢纽机场换乘系统评价指标体系的情况, 确定评价等级为 5 级, 即: 评价等级 $V = \{\text{非常好, 好, 一般, 差, 非常差}\}$, 利用模糊评价法建立隶属度矩阵进行模糊评价。

2.2.1 建立隶属度矩阵

将专家对枢纽机场换乘系统评价指标的评价结果与评价等级对比, 得到各指标的隶属度, 建立枢纽机场换乘系统准则层各准则的隶属度矩阵

$$E_i = [e_{i1} \quad e_{i2} \quad \cdots \quad e_{iu}] ,$$

式中 e_{iu} 为第 i 个准则对应的指标层指标的隶属度。

2.2.2 模糊综合评价

将枢纽机场换乘系统指标层的权重向量与隶属度矩阵相乘可得到 1 级模糊评价矩阵

$$C_i = W_i^T E_i,$$

以 C_i 为行矩阵构成 2 级模糊评价矩阵 C , 计算归属矩阵

$$S = W_Z^T C,$$

根据最大隶属度原则得到枢纽机场换乘系统评价结果。

3 实例分析

本文以呼和浩特白塔国际机场为评价对象, 其飞行等级为 4E, 目前拥有地铁、机场巴士、公交、出租

车、私有车辆等交通换乘方式。研究枢纽机场的换乘系统,需要对换乘系统的现状进行详细调查。

3.1 换乘系统基本情况

3.1.1 公共交通

经过实地调查,目前途经呼和浩特白塔国际机场的公交车有97路、12路、13路、125路、126路,单程票价为1元/人。公交站点距离航站楼约200m,从公交站到达机场航站楼入口需要约5min,通过入口闸机并排队通过防爆检查后到达扶梯需要约110s,乘坐扶梯从航站楼1楼到达航站楼2楼需要约34s。整个换乘流程需要约450s。

地铁站点与公交站距离大约40m,从坝堰(机场)站到达航站楼,路程大约240m,只有地铁1号线经过坝堰(机场)站并且以其为起、终点,单程最高票价为6元/人。高峰时期地铁发车间隔为6min,平峰时期地铁发车间隔为10min。从下地铁到出地铁站需要约170s,过程中需要经过2部扶梯,分别平均耗时41、33s。经过连接2部扶梯的路径平均需要17s。由于坝堰(机场)站为终点,所以下车乘客人数较多,需要排队约30s才可以乘坐电梯。地铁站出站口有8部闸机,排队通过闸机需要约46s。从地铁站出口到达航站楼需要约330s,路途中换乘标志不明显,不熟悉的乘客需要观察才能找到换乘路口。乘坐扶梯从航站楼1楼入口到航站楼2楼后完过换乘流程,总耗时约645s,换乘舒适度因露天受天气影响较大。

机场巴士分为1号线、2号线、空铁联运班线,单程票价均为15元/人。1号线为双向运行,连通火车西站和机场,按航班计划发车,最大发车间隔小于60min;2号线为环线,起、终点都是机场,6:00—7:00发车间隔为30min,其他时间发车间隔为45min;空铁联运班线双向连接机场与火车东站,发车间隔为15min。机场巴士乘降点紧邻航站楼1楼出入口,到达入口需要约20s,到达航站楼2楼需要约150s。

3.1.2 其他交通

乘坐出租车到达机场的乘客在航站楼2楼入口处进入机场,通过闸机及防爆检查需要约90s,不需要经过电梯等辅助设施。出租车点采用即停即走的形式,每辆出租车放下乘客后须尽快驶离。

白塔国际机场的停车场位于航站楼北侧,面积约48000m²,包括大客车车位、夜车车位、小车位、无障碍车位共1401个。

3.2 换乘系统综合评价

3.2.1 评价指标权重

整理白塔国际机场换乘系统的调查结果,聘请20位专家对枢纽机场换乘系统评价指标体系进行打分。通过计算专家打分,得出白塔国际机场换乘系统评价指标体系准则层的判断矩阵

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

经计算 A_z 的 $\lambda_{\max}=4.1228$, $C_1=0.0375$, $C_R=0.0323<0.10$,满足一致性检验,白塔国际机场换乘系统评价指标体系准则层的权重

$$W_z = [0.0529 \quad 0.2817 \quad 0.2739 \quad 0.3915]^T。$$

白塔国际机场换乘系统评价指标体系中 Z_1 对应的指标层评价指标的判断矩阵

$$B_1 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 \\ 1/3 & 1 & 1/3 \\ 1/2 & 3 & 1 \end{bmatrix},$$

经计算 B_1 的 $\lambda_{\max}=3.0536$, $C_1=0.0268$, $C_R=0.0462<0.10$,满足一致性检验, B_1 的权重

$$W_1 = [0.5278 \quad 0.1396 \quad 0.3325]^T。$$

同理可得 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 对应指标层评价指标的权重分别为:

$$W_2 = [0.5168 \quad 0.4832]^T,$$

$$W_3 = [0.2176 \quad 0.6910 \quad 0.0914]^T,$$

$$W_4 = [0.5056 \quad 0.4417 \quad 0.0527]^T,$$

且均满足一致性要求。

3.2.2 评价指标隶属度

经过调查与计算,确定了白塔国际机场换乘系统评价指标的隶属度矩阵分别为:

$$E_1 = \begin{bmatrix} E_{11} \\ E_{12} \\ E_{13} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0.20 & 0.50 & 0.30 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0.55 & 0.20 & 0 \\ 0 & 0.10 & 0.30 & 0.60 & 0 \end{bmatrix},$$

$$E_2 = \begin{bmatrix} E_{21} \\ E_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0.35 & 0.65 & 0 & 0 \\ 0 & 0.60 & 0.40 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$E_3 = \begin{bmatrix} E_{31} \\ E_{32} \\ E_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1.00 & 0 \\ 0 & 0 & 0.40 & 0.60 & 0 \\ 0 & 0.30 & 0.40 & 0.30 & 0 \end{bmatrix},$$

$$E_4 = \begin{bmatrix} E_{41} \\ E_{42} \\ E_{43} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1.00 & 0 \\ 0 & 0.20 & 0.50 & 0.30 & 0 \\ 0 & 0.30 & 0.70 & 0 & 0 \end{bmatrix}。$$

3.2.3 综合评价

将白塔国际机场换乘系统指标层的权重向量与隶属度矩阵相乘,得到1级模糊评价矩阵分别为:

$$C_1 = W_1^T E_1 = [0 \quad 0.173 \quad 0.441 \quad 0.385 \quad 0],$$

$$C_2 = W_2^T E_2 = [0 \quad 0.4708 \quad 0.5292 \quad 0 \quad 0],$$

$$C_3 = W_3^T E_3 = [0 \quad 0.256 \quad 0.505 \quad 0.238 \quad 0],$$

$$C_4 = W_4^T E_4 = [0.166 \quad 0.411 \quad 0.422 \quad 0 \quad 0]。$$

以 $C_1 \sim C_4$ 为行矩阵构成白塔国际机场换乘系统评价指标体系的2级模糊评价矩阵 C ,将 W_z 与 C 相乘得到归属矩阵

$$S = W_z^T C = [0.0649 \quad 0.3565 \quad 0.4925 \quad 0.0856 \quad 0]。$$

根据最大隶属度原则对应评价集 V 的情况,呼和浩特白塔国际机场的换乘系统评价水平为一般。

目前白塔国际机场换乘系统初具规模,但较多设施为后期增建,在机场规划、建设、运营过程中,换乘系统的重要性未得到充分体现,该换乘系统可基本满足乘客在机场的换乘需求,但在舒适度和便捷度方面有所欠缺,主要体现在4个方面:1)公共交通停靠站点距离机场出发大厅过远,且没有单独的通道,直接影响换乘的舒适性及便捷性;2)公交和地铁换乘路径过长,并且在露天地面进行,乘客的换乘体验受天气影响较大;3)对于携带大件行李或者抱小孩的乘客,换乘距离过长会增加乘客的疲劳感,直接影响对此次航空出行的总体满意度;4)其他交通方式的停泊点,在空间上距离出发大厅很近,基本可以与航空实现无缝衔接,但存在布局不合理、各种方式的通道较为拥挤等问题,影响换乘的协调性及时效性。

与国内比较先进的机场换乘系统,如深圳宝安国际机场、上海浦东国际机场以及西部地区的西安咸阳国际机场等相比,呼和浩特白塔国际机场存在的主要问题是未将换乘系统作为一个独立的子系统进行详细规划及设计,往往是出现一种新的换乘方式才在现有换乘设施上进行调整,很难真正实现枢纽机场应有的功能。建议在建设呼和浩特新机场时,应提前规划、布局换乘设施,实现航空与其他交通方式的无缝衔接,达到综合立体交通的目的^[21-24]。

4 结论

本文通过分析国内外机场及呼和浩特白塔国际机场的特点,从适应性、协调性、便捷性、时效性等4

个方面细分为11个评价指标,构建枢纽机场换乘系统评价指标体系,将层次分析法与模糊综合评价法相结合,将评价指标量化后进行综合评价。通过对白塔国际机场的换乘系统进行数据调查与综合评价,判断目前换乘系统的评价等级为一般,只能基本满足乘客的换乘需求。应从便捷性、舒适性、公交优先原则等方面提升呼和浩特白塔国际机场的换乘系统,有益于机场今后的发展。

参考文献:

- [1] WONG A, TAN S, CHANDRAMOULEESWARAN K R, et al. Data-driven analysis of resilience in airline networks[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2020, 143(C):102068.
- [2] JAMIESON-LANE A, BLASIUS B. Calculation of epidemic arrival time distributions using branching processes[J]. *Physical Review E*, 2020, 102(4):1-16.
- [3] PARKAN P, ÖZKIR V. Simulation-based assessment methodology to improve ground service operations at a hub airport[J]. *Transportation Planning and Technology*, 2020, 43(5):520-538.
- [4] NEUFVILLE R D, ASCE M, BARROUS A D, et al. Optimal configuration of airport passenger buildings for travelers[J]. *Journal of Transportation Engineering*, 2002, 128(3):211-217.
- [5] ANTWI C O, FAN C J, NATALIA I, et al. Do airport staff helpfulness and communication generate behavioral loyalty in transfer passengers? a conditional mediation analysis[J]. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 2020, 54:102002.
- [6] MAERTENS S, GRIMME W, BINGEMER S. The development of transfer passenger volumes and shares at airport and world region levels[J]. *Transportation Research Procedia*, 2020, 51:171-178.
- [7] ZHOU Y M, KUNDU T, QIN W, et al. Vulnerability of the worldwide air transportation network to global catastrophes such as COVID-19[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2021, 154:102469.
- [8] TORKESTANI S S, SEYEDHOSSEINI S M, MAKUI A, et al. The reliable design of a hierarchical multi-modes transportation hub location problems (HMMTHLP) under dynamic network disruption (DND) [J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2018, 122:39-86.
- [9] TAM M L, LAM W H K, LO H P. Incorporating passenger quality in airport ground perceived service access mode choice model[J]. *Transportmetrica*, 2010, 6(1):3-17.
- [10] CHEN C D, ZHANG R H, WANG J P. Layout planning research on comprehensive transportation hub of Rizhao City[C]//COTA International Conference of Transportation Professionals. Shanghai: 14th COTA International Conference of Transportation Professionals, 2014:3158-3166.
- [11] MONTEIRO A B F, HANDEN M. Improvements to airport ground access and behavior of multiple airport system: BART extension to San Francisco International Airport[J]. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 1996, 1562(1):38-47.
- [12] DAVIS D G, BRAAKSMA J P. Level-of-service standards for platoon pedestrians in transportation terminals[J]. *ITE Journal*, 1987, 57(4):31-35.
- [13] 郭桐君. 轨道交通机场线规划方案对机场陆侧交通分担率的影响研究[D]. 北京:北京交通大学,2020.
GUO Tongjun. Impact of rail transit airport line planning scheme on airport ground access modal share[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2020.
- [14] 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 Xiangzhi. Traffic capacity study on airport landside transfer facilities based on the pedestrian flow[D]. Tianjin: Civil Aviation University of China, 2016.
- [15] PROKOP D. The logistics of air cargo co-mingling at Ted Stevens anchorage international airport[J]. *Journal of Air Transport Management*, 2002, 8(2):109-114.
- [16] GOSLING G D. Specification and data issues with airport ground access mode choice models[C]//Proceedings of the 1st Congress of the Transportation and Development Institute of ASCE. Chicago, Illinois, United States: First Congress of Transportation and Development Institute, 2011:386-395.
- [17] 杨晓康. 天津机场二期陆侧交通组织优化与仿真研究[D]. 天津:中国民航大学,2014.
YANG Xiaokang. Research on landside traffic organization optimization and simulation of the second phase of Tianjin Airport [D]. Tianjin: Civil Aviation University of China, 2014.

- [18] 夏巍. 枢纽型机场陆侧交通换乘组织的研究:以浦东机场二期工程为例[D]. 上海:同济大学,2008.
XIA Wei. Study on the hub-airport landside traffic transfer operation;take example for Pudong Airport second phase project [D]. Shanghai: Tongji University, 2008.
- [19] 赵荷花. 枢纽机场陆侧交通换乘系统优化与仿真研究[D]. 天津:中国民航大学,2014.
ZHAO Hehua. Research on optimization and simulation of hub airport landside traffic transfer system [D]. Tianjin: Civil Aviation University of China,2014.
- [20] 孙玉龙. 机场地面交通中心布局模式和仿真优化研究[D]. 天津:中国民航大学,2014.
SUN Yulong. Studies on layout mode and simulation optimization of airport ground traffic center [D]. Tianjin: Civil Aviation University of China,2014.
- [21] LU J, MENG Y C, TIMMERMANS H, et al. Modeling hesitancy in airport choice: a comparison of discrete choice and machine learning methods[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2021,147:230-250.
- [22] ADIKARIQATTAGE V, BARROS A G D, WIRASINGHE S C, et al. Airport classification criteria based on passenger characteristics and terminal size[J]. Journal of Air Transport Management, 2012, 24(C):36-41.
- [23] WANG K F, WANG K, ZHU Y, et al. Study of structural characteristics of asphalt overlays on airport pavement with damaged load transfer efficiency of joints[J]. Transportation Research Record, 2021:1-14.
- [24] 国务院. 国家综合立体交通网规划纲要[EB/OL]. (2021-02-24) [2021-10-10]. http://www.gov.cn/zhengce/2021-02/24/content_5588654.htm.

The holistic evaluation of the airport hub transfer system based on comprehensive assessing approach

LI Yun¹, XIE Xiaodong², PENG Yanan³

1. College of Aviation, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010050, China;

2. Inner Mongolia Sub-bureau, North China Regional Air Traffic Management Bureau CAAC, Hohhot 010070, China;

3. College of Energy and Power Engineering, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010050, China

Abstract: In order to better evaluate the role of airport hub transfer system, the evaluation index system of the transfer system is formed through analyzing the airport hub transfer system at home and abroad, and by selecting the indexes that affect the quality of airport transfer system. The case study is Hohhot Baita International Airport, the full evaluating aspects of the transfer system include the spot survey to the existing transfer ways and the landside transfer facilities, then comprehensive evaluation of existing transfer system has been made after using the analytic hierarchy process and fuzzy comprehensive evaluation methods to analyze the rail transit, bus and airport shuttle bus, assisted by private cars, taxis and so on. The evaluation results show that the evaluation level of the existing transfer system of Hohhot Baita International Airport is mediocre, and the significance of the transfer system has not been fully reflected in the airport. It is suggested that the transfer system should be planned and designed in detail as an independent subsystem, so the comprehensive evaluation of transfer system of airport hub has certain role for the further development of Hohhot Baita International Airport or the construction of some new airports in the future.

Keywords: airport hub; traffic transfer system; analytic hierarchy process; fuzzy comprehensive evaluation method

(责任编辑:郭守真)