

# 中国民航与高铁竞争因素的敏感性分析研究

李晓伟<sup>1,2</sup>, 王 炜<sup>2</sup>, 杨 敏<sup>2</sup>, 王 昊<sup>2</sup>, 徐铖铖<sup>2</sup>

(1. 西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 东南大学交通学院, 江苏 南京 210096)

**摘要:** 在系统分析现有旅客民航与高铁出行方式选择影响因素的基础上, 从购票、到站、中转换乘、出行、离站全过程视角全面科学地设计了旅客出行选择行为实验, 获取旅客中长距离出行过程中民航与高铁的 RP 数据, 将高铁作为参考方式建立 BL 方式选择模型, 获取显著性影响因素的参数估计结果, 并进行显著性影响因素的敏感性分析。研究表明: 运行时间、出行距离、出行费用、到站时间、准时性是影响民航和高铁竞争的显著性因素; 运行时间、出行距离、出行费用的弹性值分别为-3.05、1.39、1.07, 绝对值均大于 1, 表明运行时间、出行距离、出行费用对高铁竞争下的民航选择富有弹性; 到站时间、准时性的弹性值分别为 0.41、-0.82, 绝对值均小于 1, 表明到站时间和准时性对高铁竞争下民航的选择缺乏弹性。研究成果可为运输资源合理配置及交通运输政策制定提供重要的科学依据。

**关键词:** 综合运输; 敏感性分析; BL 模型; 竞争因素; 民航; 高铁

中图分类号: U121

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2017)03-0388-07

## Sensitivity analysis of competitive factors between civil aviation and high-speed rail in China

LI Xiaowei<sup>1,2</sup>, WANG Wei<sup>2</sup>, YANG Min<sup>2</sup>, WANG Hao<sup>2</sup>, XU Chengcheng<sup>2</sup>

(1. School of Civil Engineering, Xi'an Univ. of arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

2. School of Transportation, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** The impact factors of the passenger travel choice were made a penetrating analysis between civil aviation and high-speed rail. Travel choice behavior experiment was designed from the perspective of whole trip chain including ticket stage, access stage, travel stage, transfer stage and egress stage. The passenger RP data was obtained about civil aviation and high-speed rail in long distance passenger, and was used to establish the binary logistic model taking the high-speed rail as a reference. The parameter estimation and elastic analysis of significant factors were made to draw a conclusion. The research shows that running time, travel distance, fare, access time and punctuality are all the significant factors to affect the passenger travel choice between civil aviation and high-speed rail. The elasticity values of running time, travel distance, fare are respectively -3.05, 1.39, 1.07, and the absolute value of above factors are higher than 1, indicating that the three factors have higher sensitivity to the civil aviation choice under the competition of high-speed rail. However, the elastic value of access time and punctuality are respectively 0.41, -0.82, the absolute value of two factors were less than 1, indicating that access time and punctuality are of inelastic to the civil aviation choice under the competition of high-speed rail. The research results can provide an important basis for transport policy and the rational allocation of transport capacity.

**Key words:** Comprehensive transportation; Elastic analysis; BL model; Competitive factors; Civil Aviation; High-Speed Rail

飞机场、高铁站等综合交通枢纽是国家现代化和发展繁荣的重要标志, 显著地提高了人们出行的效率, 已经成为国家综合运输网络的主要节点。目前, 我国已成为世界上快速交通网络发展最为迅速的国家, 根据国务院《“十三五”现代综合交通运输体系发展规划》, 截止到 2020 年, 民用航空

机场增加到 260 个, 高速铁路将覆盖超过 113 个大城市, 随着中国高速铁路网络的不断完善, 高铁以其优异的产品质量和服务品质对民航运输产生了较大的冲击, 出现了一些航空公司因客流大量流失而减少航班甚至停运的现象。因此, 探讨民航和高铁两者如何相互影响, 解析哪些因素是影响

收稿日期: 2016-06-12 修改稿日期: 2017-05-18

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(51338003); 中国博士后基金面上资助项目(2015M571644); 陕西省住房城乡建设科技开发计划资助项目(2015-K54)。

作者简介: 李晓伟(1985—), 男, 博士, 讲师, 主要从事交通规划与设计研究。E-mail: 185381729@qq.com

旅客民航和高铁出行决策的因素? 影响程度如何? 对于民航与高铁运输政策制定、运输能力合理配置具有重要的研究意义。

已有学者对于民航和高铁竞争的相互影响进行了研究, 如 Janic<sup>[1]</sup> 阐述了民航和高铁运输效益与成本之间的关系, 指出旅行时间是影响民航和高铁竞争的关键因素; Martín 等<sup>[2]</sup> 通过马德里-巴塞罗那综合运输通道旅客出行数据, 研究了到(离)站时间对高铁和航空运输竞争的影响; Dobruszkes<sup>[3]</sup> 从供给的视角研究欧洲五个城市对间民航与高铁的竞争, 研究结果表明航空公司可通过降低席位数量、增加航班班次提高竞争优势; 张旭等<sup>[4]</sup> 应用武广通道沿线民航与高铁的调查数据研究了不同机票折扣下民航和高铁的竞争程度。除此以外, 一些学者对影响因素的敏感性进行了研究, 如芮海田等<sup>[5]</sup> 建立了旅客中长距离出行下民航和高铁选择行为模型, 根据弹性理论分析了各个影响因素的敏感度; 四兵锋等<sup>[6]</sup> 将改进的敏感性分析模型运用于具有多模式交通方式的综合运输通道内, 分析了在出现不同交通工具的条件下价格因素对客流量的影响。

综上所述, 不同学者关于民航与高铁竞争影响因素选择不同, 导致研究结果具有较大的差异, 鲜有学者基于购票、到站、中转换乘、出行、离站全过程的视角系统全面地考虑旅客出行选择行为的影响因素, 并在建立选择行为模型的基础上

研究民航与高铁的竞争机理。因此, 本文在借鉴国内外已有研究的基础上, 重视旅客出行方式选择行为数据获取的科学性、全面性, 通过统计分析对众多影响因素进行筛选, 确定了影响民航与高铁竞争的显著性因素, 通过建立敏感性分析模型解析各影响因素的作用机理, 研究结果既印证了部分已有成果的研究结论, 同时也有新的科学发现, 比较符合旅客出行选择行为习惯。研究成果可为提高民航和高铁客运协调管控水平与运输政策制定提供参考。

1 数据获取

1.1 调查方案设计

调查方案的设计取决于研究目的和旅客出行决策过程的综合分析, 作者在对旅客出行决策过程及前人研究成果总结分析的基础上<sup>[7-14]</sup>, 已在文献<sup>[15]</sup>中详细介绍了调查方案, 具体调查内容基于旅客购票、到站、中转换乘、出行、离站全过程的视角, 不仅包括旅客购票、到站、中转换乘、出行、离站特征, 还包括旅客个体特征和出行需求特征; 调查内容既包括传统的属性特征, 又引入了新的购票方式、到离站方式的费用、时间及运输方式准时性等变量, 能够较为全面地体现旅客实际出行的决策过程; 在此基础上, 设计了涵盖旅客上述活动特征的调查问卷, 并确定了各变量类型和属性值的取值方法, 如表 1 所示。

表 1 实验设计属性和属性值<sup>[15]</sup>

Tab. 1 Experimental attributes and their values

类别	变量名称	变量取值
个体维度	性别	1: 男; 2: 女
	年龄	1: (0, 20]; 2: (20, 30]; 3: (30, 40]; 4: (40, 50]; 5: (50, 60]; 6: (60, +∞), 单位: 岁
	职业	1: 企业人员; 2: 机关事业单位人员; 3: 个体户; 4: 务工人员; 5: 学生
	月收入	1: (0, 3 000]; 2: (3 000, 4 000]; 3: (4 000, 5 000]; 4: (5 000, 6 000]; 5: (6 000, +∞), 单位: 元
	私家车	1: 有; 2: 无
出行需求维度	出行目的	1: 商务; 2: 上学; 3: 旅游; 4: 探亲访友; 5: 务工; 6: 返程
购票维度	出行距离	通过计算出行起讫点之间采用该方式的实际距离获取, 单位: km
	购票方式	1: 网络购票; 2: 电话购票; 3: 售票点购票; 4: 中介购票
到站维度	到站时间	1: (0, 30]; 2: (30, 60]; 3: (60, 90]; 4: (90, 120]; 5: (120, +∞), 单位: min
	到站费用	到站实际费用, 单位: 元
换乘维度	换乘时间	1: (0, 30]; 2: (30, 60]; 3: (60, 90]; 4: (90, 120]; 5: (120, +∞), 单位: min
出行方式维度	出行费用	旅客城际出行的实际费用, 单位: 元
	运行时间	旅客城际出行的实际时间, 单位: h
	出行方式	1: 民航; 0: 高铁
	舒适性	1: 特别不舒适; 2: 不舒适; 3: 一般; 4: 比较舒适; 5: 非常舒适
	准时性	1: 特别不准时; 2: 不准时; 3: 一般; 4: 比较准时; 5: 非常准时
离站维度	离站时间	1: (0, 30]; 2: (30, 60]; 3: (60, 90]; 4: (90, 120]; 5: (120, +∞), 单位: min
	离站费用	离站实际费用, 单位: 元

1.2 调查数据基本特征

在京沪高铁沿线机场和车站对旅客进行离散选择行为实验调查,于发放的 1200 份调查问卷中回收有效问卷 893 份,统计数据显示调查样本中男、女所占比例分别为 55%和 45%,以 20~59 岁的中青

年为主,中高收入旅客居多,商务和旅游的旅客比重较大;另外,旅客以网络购票为主,比例为 78.2%,旅客到、离站时间主要分布在30~60 min,所占比例分别为 44.80%和 43.30%;各主要特征变量的属性与交通方式选择关系如表 2 所示.

表 2 旅客交通方式选择与影响变量的交叉表

Tab. 2 Cross table between passenger transport mode choice and influence variables

		客运交通方式		
		飞机	高铁	样本数
性别	男	240(54.90%)	253(55.10%)	493(55.00%)
	女	197(45.10%)	206(44.90%)	403(45.00%)
年龄	0~20 岁	50(11.45%)	74(16.12%)	124(13.88%)
	21~30 岁	78(17.85%)	67(14.60%)	145(16.24%)
	31~40 岁	105(24.03%)	109(23.74%)	214(23.96%)
	41~50 岁	108(24.71%)	103(22.44%)	211(23.62%)
	51~60 岁	70(16.02%)	81(17.65%)	151(16.90%)
	60 岁以上	26(5.94%)	25(5.45%)	51(5.70%)
月收入	0~3 000 元	86(17.43%)	109(23.74%)	195(21.83%)
	3 000~4 000 元	97(19.67%)	124(27.01%)	221(24.74%)
	4 000~5 000 元	107(21.70%)	91(19.82%)	198(22.17%)
	5 000~6 000 元	78(15.81%)	94(20.48%)	172(19.26%)
	6 000 元以上	69(13.99%)	41(8.93%)	110(12.30%)
拥有私家车	是	186(42.60%)	130(28.30%)	316(35.30%)
	否	251(57.40%)	329(71.70%)	580(64.70%)
出行目的	商务	139(31.80%)	148(32.20%)	287(32.00%)
	上学	53(12.10%)	69(15.00%)	122(13.60%)
	旅游	107(24.50%)	65(14.20%)	172(19.20%)
	探亲访友	53(12.10%)	62(13.50%)	115(12.80%)
	务工	60(13.70%)	72(15.70%)	132(14.70%)
	返程	25(5.70%)	43(9.40%)	68(7.60%)
购票方式	网络订票	355(81.20%)	346(75.40%)	701(78.20%)
	电话订票	34(7.80%)	14(3.10%)	48(5.40%)
	代售点购票	23(5.30%)	79(17.20%)	102(11.40%)
	中介购票	25(5.70%)	20(4.40%)	45(5.00%)
到站时间	0~30 min	75(17.20%)	113(24.60%)	188(21.00%)
	30~60 min	191(43.70%)	210(45.80%)	401(44.80%)
	60~90 min	100(22.90%)	76(16.60%)	176(19.60%)
	90~120 min	24(5.50%)	23(5.00%)	47(5.20%)
	120 min 以上	47(10.80%)	37(8.10%)	84(9.40%)
离站时间	0~30 min	74(16.90%)	130(28.30%)	204(22.80%)
	30~60 min	192(43.90%)	196(42.70%)	388(43.30%)
	60~90 min	89(20.40%)	73(15.90%)	162(18.10%)
	90~120 min	44(10.10%)	20(4.40%)	64(7.10%)
	120 min 以上	38(8.70%)	40(8.70%)	78(8.70%)
舒适性	特别不舒适	9(2.10%)	14(3.10%)	23(2.60%)
	不舒适	51(11.70%)	64(13.90%)	115(12.80%)
	一般	159(36.40%)	140(30.50%)	299(33.40%)
	比较舒适	188(43.00%)	200(43.60%)	388(43.30%)
	非常舒适	30(6.90%)	41(8.90%)	71(7.90%)
准时性	不准时	15(3.40%)	14(3.10%)	29(3.20%)
	特别不准时	61(14.00%)	80(17.40%)	141(15.70%)
	一般	141(32.30%)	105(22.90%)	246(27.50%)
	比较准时	189(43.20%)	187(40.70%)	377(42.00%)
	非常准时	31(7.10%)	73(15.90%)	104(11.60%)

## 2 模型构建

### 2.1 模型构建

基于随机效用最大化理论,旅客 $n$ 选择 $i$ 类交通方式的概率可表示为

$$P_{in} = \text{Prob}(U_{in} > \max_{j \neq i, j \in A_n} U_{jn}) \quad (1)$$

式中: $U_{in}$ 为旅客 $n$ 选择 $i$ 类交通方式的效用函数,其表达式为

$$U_{in} = V_{in} + \epsilon_{in} \quad (2)$$

式中: $V_{in}$ 为可观测到的特性变量计算的固定项; $\epsilon_{in}$ 为不能观测到的其他因素的影响及已有变量的偏差引起的随机项.假设式(2)中 $\epsilon_{in}$ 和 $V_{in}$ 相互独立,且 $\epsilon_{in}$ 服从Gumbel分布,则旅客 $n$ 选择 $i$ 类交通方式概率的表达式为<sup>[16]</sup>

$$P_{in} = \exp(V_{in}) / \sum_{i \in C_n} \exp(V_{in}) \quad (3)$$

式中: $P_{in}$ 为旅客 $n$ 选择 $i$ 类交通方式的概率; $C_n$ 为旅客 $n$ 的可选择交通方式集合.为便于计算,一般假设 $V_{in}$ 与特性向量 $x_{ink}$ 呈线性关系,即

$$V_{in} = \sum_{k=1} \beta_{ik} \cdot x_{ink} + \beta_{i0} \quad (4)$$

式中: $\beta_{i0}$ 为常量; $\beta_{ik}$ 为交通方式 $i$ 第 $k$ 个变量的待定系数; $x_{ink}$ 为旅客 $n$ 的选择 $i$ 类交通方式的第 $k$ 个变量值.

本文研究对象为民航和高铁竞争条件下旅客

出行选择行为,所涉及的方式选择肢为民航和高铁,因此应用BL(binary logit, BL)模型将高铁作为参考方式进行建模分析,则旅客选择民航出行的概率可表示为

$$P_1 = \frac{e^{V_1}}{1 + e^{V_1}} \quad (5)$$

选择选择高铁出行的概率为:

$$P_0 = \frac{1}{1 + e^{V_1}} \quad (6)$$

式中: $P_1$ 为民航选择概率; $P_0$ 为高铁选择概率; $V_1$ 为效用函数差.

### 2.2 参数估计

运用SPSS软件进行参数标定,将交通方式作为因变量,各阶段影响因素作为自变量,自变量均将最后类别作为参考类别,采用向前递进法进行参数估计,确定有显著性影响的因素参数估计结果如表3所示<sup>[15]</sup>,其中, $\beta$ 为自变量系数,Wald为统计量, $S_{ig.}$ 表示统计量的显著性水平, $\text{Exp}(\beta)$ 表示自变量增长一单位所引起预测概率发生比的变化<sup>[17]</sup>;需要指出的是,显著性影响变量的选择根据显著性水平 $S_{ig.}$ 确定,如果 $S_{ig.} < 0.05$ 说明该变量对旅客出行选择有显著性影响.根据参数估计结果可知,出行距离、出行费用、运行时间、到站时间、准时性是影响民航和高铁竞争的显著性因素.

表3 交通方式选择行为模型的参数估计

Tab.3 Significant parameter estimation of transport mode choice behavior model

变量	符号	$\beta$	Wald	$S_{ig.}$	Exp ( $\beta$ )
常量	—	-1.831	2.37	0.024	0.16
出行距离	$x_1$	0.004	37.116	0	1.004
出行费用	$x_2$	0.006	21.248	0	1.006
运行时间	$x_3$	-1.034	64.696	0	0.356
到站时间	$x_4$	0.589	5.27	0.022	1.803
可靠性	$x_5$	-0.519	4.158	0.041	0.595

由于本研究采用的是分层随机抽样调查,调查样本中民航与高铁所占的比例与总体中两者所占的比例不完全一致,因此根据统计学中关于分层随机抽样调查效用函数的确定方法<sup>[18]</sup>,确定旅客交通方式选择的效用函数为:

$$V_1 = \beta_0 + \sum_{k=1} \beta_k x_k - (\ln \frac{S_{F1}}{P_{F1}} - \ln \frac{S_{F0}}{P_{F0}}) \quad (7)$$

式中: $S_{F1}$ 、 $P_{F1}$ 分别指样本和总体中民航所占比例; $S_{F0}$ 、 $P_{F0}$ 分别指样本和总体中高铁所占比例.

根据通道综合交通客运量统计数据和应用样

本数据,确定 $S_{F1}$ 、 $P_{F1}$ 、 $S_{F0}$ 、 $P_{F0}$ 的取值分别为46%、57%、54%、43%.则效用函数 $V_1$ 的表达式为:

$$V_1 = -1.831 + 0.004x_1 + 0.006x_2 - 1.034x_3 + 0.589x_4 - 0.519x_5 + 0.4676 \quad (8)$$

根据公式(5)、(6)、(7)、(8),确定旅客出行选择民航、高铁的概率公式分别为:

$$P_1 = (1 + e^{1.3634 - 0.004x_1 - 0.006x_2 + 1.034x_3 - 0.589x_4 + 0.519x_5})^{-1} \quad (9)$$

$$P_0 = (1 + e^{-1.3634 + 0.004x_1 + 0.006x_2 - 1.034x_3 + 0.589x_4 - 0.519x_5})^{-1} \quad (10)$$

### 3 影响因素敏感性分析

#### 3.1 敏感性计算方法

敏感性是因变量对自变量变化的反应程度,用于分析各影响因素与旅客出行方式选择概率之间的关系,常用影响因素的弹性值来表达,指交通方式显著影响因素的相对变化所引起的选择概率的相对变化<sup>[18]</sup>.

旅客  $n$  民航选择概率  $P_1(n)$  相对于第  $k$  个连续变量  $x_k$  的弹性值  $E_{nk}$ , 计算公式如下式(11)所示<sup>[18]</sup>:

$$E_{nk} = [1 - P_1(n)] \beta_k x_k \quad (11)$$

表4 民航与高铁竞争下交通方式选择概率的弹性值

Tab. 5 Probability elasticity of traffic mode choice under the competition between civil aviation and high-speed rail

变量	符号	民航		高铁	
		弹性值	弹性类型	弹性值	弹性类型
出行距离	$x_1$	1.41	富有弹性	-3.07	富有弹性
出行费用	$x_2$	1.09	富有弹性	-2.35	富有弹性
运行时间	$x_3$	-3.09	富有弹性	2.03	富有弹性
到站时间	$x_4$	0.42	缺乏弹性	-0.79	缺乏弹性
准时性	$x_5$	-0.83	缺乏弹性	1.71	富有弹性

#### 3.2 竞争因素的敏感性分析

根据参数估计结果可知,出行距离、出行费用、运行时间、到站时间、准时性是影响民航和高铁竞争的显著性因素,研究结果比较符合旅客的出行行为,下文就上述因素的影响进行具体分析.

##### (1) 运行时间对出行方式竞争的影响

根据调查样本的统计数据,旅客民航的平均运行时间为 2.93 h,旅客高铁的平均运行时间为 4.11 h,旅客民航的平均运行时间低于高铁;根据表 3 参数估计结果可知,将高铁作为参考方式,运行时间的估计系数  $\beta = -1.034$ , 小于 0, 这说明时间越紧迫的旅客越有可能选择民航出行.

根据表 4 中的弹性值计算结果,可知旅客选择民航出行的概率相对于运行时间的弹性值为 -3.09, 绝对值大于 1, 说明运行时间对于旅客选择民航出行富有弹性,运行时间每减少 1%, 旅客选择民航出行的概率将增加 3.09%; 同理,旅客选择高铁出行的概率相对于运行时间的弹性值为 2.03, 绝对值大于 1, 说明运行时间对于旅客选择高铁出行也富有弹性;另外运行时间对于旅客选择民航概率的弹性值绝对值大于高铁,说明运行时间对于民航选择概率的影响程度大于高铁.

旅客  $n$  高铁选择概率相对于第  $k$  个连续变量  $x_k$  的弹性值  $E'_{nk}$  计算公式<sup>[20]</sup>为

$$E'_{nk} = [-P_1(n)] \beta_k x_k \quad (12)$$

式中:  $P_1(n)$  为旅客  $n$  民航的选择概率;  $\beta_k$  为第  $k$  个连续变量的系数;  $x_k$  为旅客  $n$  第  $k$  个连续变量的属性值.

依据公式(11)、(12),分别计算样本个体显著影响变量的弹性值,通过对个体选择弹性系数的加权平均得到方式选择概率的弹性值,需要指出的是本文中民航和高铁选择概率的弹性值是分别以高铁和民航作为参考计算的结果,具体详见表 5 所示.

##### (2) 出行距离对飞机和高铁竞争的影响

根据调查样本的统计数据,旅客民航的平均出行距离为 1 451 km,旅客高铁的平均出行距离为 669 km,旅客民航的平均出行距离远于高铁;根据表 3 参数估计结果可知,将高铁作为参考方式,出行距离的估计系数  $\beta = 0.004$ , 大于 0, 这说明出行距离越远,旅客更有可能选择飞机出行;若将飞机作为参考方式,则意味着出行距离越远,旅客选择高铁出行的可能性越低.

根据表 4 中的弹性值计算结果,可知旅客选择民航出行的概率相对于出行距离的弹性值为 1.41, 绝对值大于 1, 说明出行距离对于旅客选择民航出行的概率是富有弹性的,出行距离每增加 1%, 旅客选择飞机出行的概率将增加 1.41%; 同理,旅客选择高铁出行的概率相对于出行距离的弹性值为 -3.07, 绝对值大于 1, 说明出行距离对于旅客选择高铁出行也富有弹性,出行距离每增加 1%, 旅客选择高铁出行的概率降低 3.07%; 另外旅客高铁选择的弹性值绝对值 3.07 大于飞机的绝对值 1.41, 说明出行距离对于高铁的影响程度大于飞机.

##### (3) 出行费用对出行方式竞争的影响

根据调查样本的统计数据,旅客民航的平均

出行费用为815元,单位里程票价为0.56元/km,旅客高铁的平均出行费用为295元,单位里程票价为0.44元/km,民航的单位里程运价高于高铁;根据表3参数估计结果可知,将高铁作为参考方式,票价的估计系数 $\beta=0.006$ ,大于0,这说明花费越高的旅客飞机出行的可能性越大。

根据表4中的弹性值计算结果,可知旅客选择民航出行的概率相对于出行费用的弹性值为1.09,绝对值大于1,说明出行费用对于旅客选择民航出行富有弹性,出行费用每增加1%,旅客选择民航出行的概率将增加1.09%;同理,旅客选择高铁出行的概率相对于出行费用的弹性值为-2.35,绝对值大于1,说明出行费用对于旅客选择高铁出行也富有弹性,出行费用每增加1%,旅客选择高铁出行的概率降低2.35%。

#### (4)到站时间对出行方式竞争的影响

根据调查样本的统计数据,旅客民航的到站时间平均值为2.33,旅客高铁的到站时间平均值为1.84,旅客飞机的到站时间略高于高铁;根据表3参数估计结果可知,将高铁作为参考方式,到站时间的估计系数 $\beta=0.42$ ,大于0,这说明到站时间越长的旅客越有可能选择民航出行。

根据表4中的弹性值计算结果,可知旅客选择民航出行的概率相对于到站时间的弹性值为0.42,绝对值小于1,说明民航与高铁竞争条件下到站时间对于旅客选择民航出行缺乏弹性;同理,旅客选择高铁出行的概率相对于到站时间的弹性值为-0.79,绝对值也小于1,说明民航与高铁竞争条件下到站时间对于旅客选择高铁出行也缺乏弹性,到站时间每增加1%,旅客选择高铁出行的概率降低0.79%。

#### (5)准时性对出行方式竞争的影响

根据调查样本的统计数据,民航准时性的平均值为3.70,高铁的准时性平均值为4.01,高铁的准时性高于民航;根据表3参数估计结果可知,将高铁作为参考方式,准时性的估计系数 $\beta=-0.519$ ,小于0,这说明准点率要求越高的旅客越有可能选择高铁出行。

根据表4中的弹性值计算结果,可知旅客选择民航出行的概率相对于准时性的弹性值为-0.83,绝对值小于1,说明准时性对于旅客选择民航出行缺乏弹性;同理,旅客选择高铁的概率相对于准时性的弹性值为1.71,绝对值大于1,说明准时性对于旅客选择高铁出行富有弹性;另外旅客选择高铁的弹性值绝对值大于民航,说明准时性对于

高铁选择概率的影响大于民航。

## 4 研究结论

本研究在系统分析现有旅客出行选择影响因素的基础上,从购票、到站、中转换乘、出行、离站全过程视角系统科学地设计了旅客民航和高铁的出行选择行为实验,获取旅客民航和高铁出行调查样本数据,构建了BL选择行为选择模型,进行了参数估计和显著变量弹性分析,揭示了民航和高铁运输竞争机理。研究结论如下:

(1)有别于传统的已有研究成果,本文从旅客全过程出行的角度,重视旅客出行方式选择影响因素的全面性,在系统地设计了旅客出行选择行为实验的基础上,通过对调查数据进行科学建模和统计分析,研究表明运行时间、出行距离、出行费用、到站时间、准时性对旅客民航和高铁选择行为有显著性影响。

(2)将高铁作为参考方式进行参数估计和敏感性分析,可知出行距离、出行费用、到站时间对旅客选择飞机出行有显著的正影响;出行距离、出行费用、到站时间每增加1%,旅客选择民航出行的概率分别增加1.41%、1.09%、0.42%;运行时间对旅客选择民航出行有显著的负影响,弹性值为-3.09,在所有因素弹性值绝对值中最大,这意味着出行越紧迫,旅客越可能选择民航出行。

(3)准时性对旅客选择高铁出行有显著的正影响;旅客对准时性要求越高,选择高铁出行的概率越大。同理,出行距离、出行费用、到站时间对旅客选择高铁出行有显著的负影响,弹性值分别为-3.07、-2.35、-0.83,表明民航和高铁竞争下出行距离越短、出行费用越低、到站时间越短,高铁选择的可能性越大。

## 参考文献 References

- [1] JANIC M. True multimodalism for mitigating airport congestion: substitution of air passenger transport by high-speed rail[J]. Transportation Research Record, 2010, 2177:78-87.
- [2] MARTIN J C, ROMAN C, GARCIA-PALOMARES J C, et al. Spatial analysis of the competitiveness of the high-speed train and air transport: the role of access to terminals in the Madrid-Barcelona corridor[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2014, 69: 392-408.
- [3] DOBRUSZKES F. High-speed rail and air transport competition in Western Europe: a supply-oriented per-

- spective [J]. *Transportation Policy*, 2011, 18(6): 870-879.
- [4] 张旭, 栾维新, 赵冰茹. 基于非集计模型的武广线高铁与民航竞争研究[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2012, 12(6): 17-22.  
ZHANG Xu, LUAN Weixin, ZHAO Bingru. Competition between Wuhan-Guangzhou high-speed railway and civil aviation based on disaggregate model [J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2012, 12(6): 17-22.
- [5] 芮海田, 吴群琪. 高铁运输与民航运输选择下的中长距离出行决策行为[J]. *中国公路学报*, 2016, 29(3): 134-141.  
RUI Haitian, WU Qunqi. Medium-and-long distance travel mode decision between high speed rail and civil aviation [J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2016, 29(3): 134-141.
- [6] 四兵峰, 高自友. 铁路旅客票价与客流量之间的灵敏度分析[J]. *铁道学报*, 1999, 21(4): 13-15.  
SI Bingfeng, GAO Ziyu. Sensitivity analysis for the relationship between railway passenger fare and passenger flow volume [J]. *Journal of the china railway society*, 1999, 21(4): 13-15
- [7] DOBRUSZKES F, DEHON C, GIVONI M. Does European high-speed rail affect the current level of air services? An EU-wide analysis [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2014, 69, 461-475.
- [8] NESSET E, HELGESEN Ø. Effects of switching costs on customer attitude loyalty to an airport in a multi-airport region [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2014, 67, 240-253.
- [9] PELLEGRINI P, RODRIGUEZ J. Single european sky and single european railway area: A system level analysis of air and rail transportation [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2013, 57, 64-86.
- [10] NJAV Exel, RIETVELD P. Could you also have made this trip by another mode? An investigation of perceived travel possibilities of car and train travellers on the main travel corridors to the city of Amsterdam, The Netherlands [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2009, 43(4), 374-385.
- [11] 何宇强, 毛保华, 陈团生, 等. 高速铁路客流分担率模型及其应用研究[J]. *铁道学报*, 2006, 28(3): 18-20.  
HE Yuqiang, MAO Baohua, CHEN Tuansheng, et al. The mode share model of the High-speed passenger railway line and its application [J]. *Journal of the China Railway Society*, 2006, 28(3): 18-20.
- [12] 王爽, 赵鹏. 基于 Logit 模型的高速铁路旅客选择行为分析[J]. *铁道学报*, 2009, 31(3): 6-10.  
WANG Shuang, ZHAO Peng. Analysis of passengers' choice behavior for dedicated passenger railway lines based on logit model [J]. *Journal of the China Railway Society*, 2009, 31(3): 6-10.
- [13] 王孝之, 赵胜川, 闫祯祯. 基于 Rank Logit 模型对城际交通分担率的计算方法研究[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2012, 12(2): 137-143.  
WANG Xiaozhi, ZHAO Shengchuan, YAN Zhenzhen. Intercity transport mode split calculation method based on rank logit model [J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2012, 12(2): 137-143.
- [14] 张睿, 马瑜, 赵冰茹, 等. 京沪线高铁与民航旅客出行选择行为研究[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2016, 16(1): 223-228.  
ZHANG Rui, MA Yu, ZHAO Bingru, et al. Passenger Choice Behavior of High-speed Rail and Airline between Beijing and Shanghai. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2016, 16(1): 223-228.
- [15] 李晓伟, 王伟, 杨敏, 等. 基于径向基和 Logistic 的民航运输与高铁竞争因素研究[J]. *深圳大学学报理工版*, 2016, 33(6): 653-660.  
LI Xiaowei, WANG Wei, YANG Min, et al. Competitive factors between civil aviation and high-speed rail based on radial basis function and logistic regression [J]. *Journal of Shenzhen University Science and Engineering*, 2016, 33(6): 653-660.
- [16] 李晓伟, 王伟, 杨敏, 等. 多模式综合交通客运方式选择行为差异性—基于强制与休闲型活动出行的对比分析[J]. *西安建筑科技大学学报(自然科学版)*, 2016, 48(6): 868-873.  
LI Xiaowei, WANG Wei, YANG Min, et al. Disparity of choice behavior for multi-mode passenger transport system—A comparative analysis of the compulsory and leisure activities travel [J]. *J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition)*, 2016, (06): 868-873.
- [17] 杜强, 贾丽艳. SPSS 统计分析 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2011.  
DU Qiang, JIA Liyan. SPSS statistical analysis from entry to master [M]. Beijing: People's Posts and Telecommunications Press, 2011.
- [18] SIMON P. Washington, MATTEW G. Karlaftis, FRED L. Mannering. Statistical and econometric methods for transportation data analysis [M]. 2nd ed. CRC Press, 2010.

(编辑 吴海西)