

不同地域特征下机场吞吐量驱动因素研究

李龙海^{1a}, 朱宇峰^{1a,2}, 梁志星^{1b}

(1. 中国民航大学 a. 交通科学与工程学院; b. 教务处, 天津 300300; 2. 中国民航科学技术研究院, 北京 100028)

摘要: 为研究不同地域特征下机场吞吐量的驱动机理, 本文采用 Pearson 相关系数与熵权-灰色关联度相结合的方法展开分析。首先, 搜集 2006—2023 年中国 31 个省级行政中心城市运输机场的旅客吞吐量、货邮吞吐量数据; 其次, 选取地区生产总值(GRP, gross regional product)、人民生活水平、旅游等 9 类一级驱动因素指标和 19 个二级驱动因素指标, 并通过 Pearson 相关系数筛选出与机场吞吐量具有高相关性的驱动因素; 最后, 使用熵权-灰色关联度方法对筛选后的驱动因素进行加权分析和关联性排序, 选择排序结果中前 5 的一级驱动因素指标作为机场吞吐量的关键驱动因素, 并以天津滨海国际机场作为研究案例验证了该模型的有效性。结果表明, 各驱动因素对机场吞吐量的影响差异性显著, 表明不同地区的省级行政中心城市机场呈现出区域属性。本文研究结果可为不同驱动类型的机场未来规划及可持续发展提供参考。

关键词: 机场吞吐量; Pearson 相关系数; 熵权-灰色关联度; 驱动因素

中图分类号: V355 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-5590(2026)01-0025-07

Research on the driving factors of airport throughput under different regional characteristics

LI Longhai^{1a}, ZHU Yufeng^{1a,2}, LIANG Zhixing^{1b}

(1a. College of Transportation Science and Engineering; 1b. Academic Affairs Office, CAUC, Tianjin 300300, China;

2. China Academy of Civil Aviation Science and Technology, Beijing 100028, China)

Abstract: To investigate the driving mechanisms of airport throughput under different regional characteristics, this paper carries out an analysis using an integrated approach combining Pearson correlation coefficients with entropy-weighted grey relational degree. First, the data of passenger as well as cargo and mail throughput data from transport airports in the 31 provincial-level administrative center cities of China between 2006 and 2023 were collected. Second, 9 categories of primary driving factor indicators, including gross regional product (GRP), people's living standards, tourism, etc., and 19 secondary driving factor indicators were selected, and Pearson correlation coefficients were used to select driving factors highly correlated with airport throughput. Finally, the entropy-weighted grey relational degree method was applied to the selected driving factors for weighted analysis and relational ranking, and the top five primary driving factor indicators from the ranking results were identified as key driving factors of airport throughput, with Tianjin Binhai International Airport serving as a case study to validate the model's effectiveness. The results showed that the impacts of various driving factors on airport throughput differ significantly, indicating that airports in provincial-level administrative center cities across different regions exhibit regional characteristics. The research results of this paper can provide reference for future planning and sustainable development of airports with different driving patterns.

Key words: airport throughput; Pearson correlation coefficient; entropy-weighted grey relational degree; driving factors

航空运输是中国交通运输系统的重要组成部分, 随着机场规模的不断扩大及航空运输体系的不断完善, 机场在城市中的作用逐渐增强。机场的发展与区

域的多种因素有关, 如城市的地理位置、经济结构、人口及市内交通等。文献[1]对不同场景下机场旅客吞吐量的预测方法进行了系统综述。文献[2]采用最小二乘

收稿日期: 2025-06-14; 修回日期: 2025-10-16

基金项目: 天津市交通科技发展计划项目(2019-18); 贵州省教育厅高等学校科学研究项目(青年项目)(黔教技[2022]272号)

作者简介: 李龙海(1971—), 男, 黑龙江虎林人, 副教授, 硕士, 研究方向为机场运行、机场工程。

法和地理加权回归方法,分析了航线网络连通性的驱动因素。文献[3]分析了造成不同省域间民航旅客吞吐量差异的原因。文献[4]分析发现支线机场旅客吞吐量受当地的收入支出水平和产业结构类型的影响较大。文献[5]以合肥新桥国际机场为例采用多元线性回归和重力回归分析了机场吞吐量的影响因素。文献[6]分析了欧洲支线机场航班数量随季节的变化规律。文献[7]预测了北京首都国际机场、上海浦东国际机场、广州白云国际机场3个大型机场的旅客及货邮吞吐量,并为机场未来发展提出建议。文献[8]研究了不同条件下的机场吞吐量,并为基辅机场提出建议以增加该机场的吞吐量。文献[9]将模糊理论与支持向量回归(SVR, support vector regression)相结合,提出了一个用于预测国际机场吞吐量的模糊SVR模型。文献[10]对中国民航区域机场的吞吐量变化进行研究,发现中国民航区域机场旅客吞吐量的变化受政治、经济、社会、文化与自然因素等多方面因素的影响。文献[11]采用熵值与反向传播神经网络相结合的方法,综合考虑多种指标对机场吞吐量进行预测。文献[12]采用地理加权回归模型探究中国客运航空网络的外部性因素。文献[13]运用复杂网络分析了中小机场航线网络结构及其连接特性。文献[14]使用广义误差修正模型分析了城市发展对于民用机场运输的影响。除此之外,文献[15-18]分别运用拓朴网络、混合模型、卷积神经网络、粒子群优化-SVR模型进行机场吞吐量预测及驱动因素分析。

目前关于机场吞吐量的研究大多集中在单个或几个大型机场,缺乏对中国不同地域机场吞吐量及其关键驱动因素的全面分析。为了更加精准地分析机场在不同地理位置城市中的功能与作用,亟须搜集整理更广泛、更完备的数据进行讨论,从而为机场的未来规划和发展提供科学依据。本文在前人研究的基础上对全国范围内的省级行政中心城市运输机场进行系统性探讨,揭示中国大陆地区31个省级行政中心城市运输机场吞吐量(包含22个省级行政区、5个自治区、4个直辖市,不包含港澳台地区)在城市中的发展特征,分析不同地域特征下机场吞吐量的关键驱动因素,弥补了现有研究的局限性。

1 研究方法

机场吞吐量的主要统计指标为旅客吞吐量和货

邮吞吐量,而机场吞吐量的驱动因素较为复杂,文献[2,4,10-11]都指出了机场吞吐量与多种因素有关。本文总结已有的研究经验,从经济、社会、文化、政治、自然资源等领域多层次地选取机场吞吐量驱动因素,其中包含9类一级驱动因素指标,分别为地区生产总值(GRP, gross regional product)、人口及就业、人民生活水平、地方财政收支、城市交通、零售业产值、旅游、对外经贸、其他交通方式。过多的指标可能面临数据缺失问题,且会导致模型复杂化、增加多重共线性风险,最终影响模型分析的效率与结果的清晰度,因此,为保证结果的准确性和科学性,本文选取的19个二级驱动因素指标是综合考虑数据可用性、模型简化和分析需求的主要驱动因素指标。

确定机场吞吐量驱动因素指标后,首先,基于Pearson相关系数初步筛选出与各地区机场吞吐量统计指标具有高度相关性的驱动因素;其次,运用熵权-灰色关联度方法将这些高度相关的驱动因素与机场吞吐量指标联立进行加权分析和关联性排序,得到省级行政中心城市运输机场吞吐量的若干关键驱动因素,进而确定其在城市经济、交通运输、旅游创收等方面的功能作用,并根据熵权-灰色关联度排序结果对其进行区域特征划分;最后,对不同地区机场的可持续发展提出针对性建议。

2 数据来源

从中国民用航空局官网的年统计公报中搜集2006—2023年的旅客吞吐量和货邮吞吐量2个机场吞吐量指标数据。对于拥有多个机场的城市,将这些机场数据合并计算且统一名称,如上海市的上海虹桥国际机场和上海浦东国际机场的吞吐量数据统一计算后合称为上海机场,中国大陆省级行政中心城市运输机场及其代码(不含港澳台)如表1所示。

从《中国城市统计年鉴》《中国交通运输统计年鉴》《中国旅游统计年鉴》等资料中搜集GRP、人口及就业、人民生活水平、地方财政收支、城市交通、零售业产值、旅游、对外经贸、其他交通方式9个一级驱动因素指标和19个二级驱动因素指标的相关数据,省级行政中心城市运输机场吞吐量驱动因素指标如表2所示。

表 1 中国大陆省级行政中心城市运输机场代码(不含港澳台)

Tab.1 Transport airport codes of provincial-level administrative center cities in Chinese Mainland (excluding Hong Kong, Macao, and Taiwan regions of China)

| 省级行政区 | 省级行政中心城市 | 机场代码 | 省级行政区 | 省级行政中心城市 | 机场代码 |
|--------|----------|---------|----------|----------|-----------------------------|
| 北京市 | 北京 | PEK,PKX | 广东省 | 广州 | CAN |
| 天津市 | 天津 | TSN | 广西壮族自治区 | 南宁 | NNG |
| 河北省 | 石家庄 | SJW | 海南省 | 海口 | HAK |
| 山西省 | 太原 | TYN | 四川省 | 成都 | CTU,TFU |
| 内蒙古自治区 | 呼和浩特 | HET | 贵州省 | 贵阳 | KWE |
| 辽宁省 | 沈阳 | SHE | 云南省 | 昆明 | KMG |
| 吉林省 | 长春 | CGQ | 西藏自治区 | 拉萨 | LXA |
| 黑龙江省 | 哈尔滨 | HRB | 陕西省 | 西安 | XIY |
| 上海市 | 上海 | PVG,SHA | 甘肃省 | 兰州 | LHW |
| 江苏省 | 南京 | NKG | 青海省 | 西宁 | XNN |
| 浙江省 | 杭州 | HGH | 宁夏回族自治区 | 银川 | INC |
| 安徽省 | 合肥 | HFE | 新疆维吾尔自治区 | 乌鲁木齐 | URC |
| 福建省 | 福州 | FOC | 重庆市 | 重庆 | CKG,WXN、 JIQ,CQW、 WSK |
| 江西省 | 南昌 | KHN | | | |
| 山东省 | 济南 | TNA | | | |
| 河南省 | 郑州 | CGO | | | |
| 湖北省 | 武汉 | WUH | | | |
| 湖南省 | 长沙 | CSX | | | |

表 2 省级行政中心城市运输机场吞吐量驱动因素指标

Tab.2 Driving factor indicators for throughput of transport airports in provincial-level administrative center cities

| 一级驱动因素指标 | 二级驱动因素指标 |
|----------|---|
| GRP | 第一产业增加值 第二产业增加值 第三产业增加值 人均 GRP |
| 人口及就业 | 城镇化率 人口密度 城镇单位就业人员 |
| 人民生活水平 | 城镇居民人均可支配收入 城镇居民人均消费性支出 |
| 地方财政收支 | 地方财政一般预算收入 地方财政一般预算支出 |
| 城市交通 | 城市公共交通客运量 |
| 零售业产值 | 社会消费品零售总额 |
| 旅游 | 国内外旅游人数 |
| 对外经贸 | 对外贸易进出口总额 |
| 其他交通方式 | 铁路客运量 铁路货运量 公路客运量 公路货运量 |

3 相关性分析

3.1 Pearson 相关系数

以天津滨海国际机场(简称天津机场)作为案例进行分析,将 2006—2023 年天津机场的吞吐量及驱动因素指标数据导入 SPSS 软件进行 Pearson 相关性

检验后,得到的 Pearson 相关系数如表 3 所示。其中,其他交通方式对旅客(货邮)吞吐量的影响取铁路客运量(货运量)和公路客运量(货运量)作为二级驱动因素指标。

表 3 天津机场吞吐量与驱动因素指标 Pearson 相关系数

Tab.3 Pearson correlation coefficients between the throughput of Tianjin Binhai International Airport and driving factor indicators

| 驱动因素 | 旅客吞吐量 | 货邮吞吐量 |
|-------------|---------|---------|
| 第一产业增加值 | 0.444 | 0.452 |
| 第二产业增加值 | 0.649** | 0.685** |
| 第三产业增加值 | 0.738** | 0.712** |
| 人均 GRP | 0.681** | 0.642** |
| 城镇化率 | 0.694** | 0.415 |
| 人口密度 | 0.675** | 0.762** |
| 城镇单位就业人员 | 0.531* | 0.663** |
| 城镇居民人均可支配收入 | 0.690** | 0.578* |
| 城镇居民人均消费性支出 | 0.893** | 0.554* |
| 地方财政一般预算收入 | 0.779** | 0.695** |
| 地方财政一般预算支出 | 0.846** | 0.614** |
| 城市公共交通客运量 | 0.518* | 0.807** |
| 社会消费品零售总额 | 0.790** | 0.835** |
| 国内外旅游人数 | 0.961** | 0.778** |
| 对外贸易进出口总额 | 0.552* | 0.515* |
| 铁路客运量 | 0.944** | — |
| 铁路货运量 | — | -0.443 |
| 公路客运量 | -0.054 | — |
| 公路货运量 | — | 0.664** |

注:* 表示弱相关,** 表示强相关。

由表 3 数据可知,天津机场吞吐量与旅游、GRP、城市交通、人口密度和居民生活水平等多种因素都具有较高的关联性。其中,国内旅游人数与机场旅客吞吐量的关联性最强,相关系数为 0.961,表明天津市丰富的旅游资源促进了航空运输的发展。此外,第二、第三产业增加值,人均 GRP 和城镇化率等指标均与机场吞吐量呈现较强的相关性,反映了天津市经济和城市化水平的提升对天津机场吞吐量具有较强的推动作用。地方财政收入和支出、社会消费品零售总额、城市公共交通指标对机场货邮吞吐量也有显著影响,尤其是市内交通的便捷性提高了机场的物流周转效率。铁路客运量和公路货运量分别与旅客吞吐量和货邮吞吐量显示出较高关联性,表明铁路、公路运输与航空运输具有协同效应。总体来看,天津机场吞吐量受到经济、社会和交通等多维因素的驱动,为进一步确定天津机场吞吐量各关键驱动因素的重要程度,采用熵权-灰色关联度方法对表 3 中的高相关驱动因素进行加权排序。

3.2 熵权-灰色关联度

3.2.1 熵权法计算权重

在进行灰色关联度计算时,各驱动因素对于机场

吞吐量的权重往往是不同的,为保证计算结果的准确性,需要对各驱动性因素进行赋权。熵权法是一种基于数据的客观赋权方法,对于多指标赋权具有实用性^[9],其主要计算步骤包括以下3个方面。

1) 数据标准化处理

根据驱动因素的原始数据,建立初始影响矩阵 \mathbf{X} ,可表示为

$$\mathbf{X} = (x_{ij})_{m \times n} \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (1)$$

式中: x_{ij} 为第 i 年的第 j 个驱动因素的原始数据; m 为统计数据的年数; n 为驱动因素的个数。

对于正向指标(值越大越好),标准化处理过程可表示为

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min\{x_{ij}\}}{\max\{x_{ij}\} - \min\{x_{ij}\}} \quad (2)$$

对负向指标(值越小越好),标准化处理过程可表示为

$$y_{ij} = \frac{\max\{x_{ij}\} - x_{ij}}{\max\{x_{ij}\} - \min\{x_{ij}\}} \quad (3)$$

式中, y_{ij} 表示经标准化处理后得到的驱动指标数据,进而机场吞吐量驱动因素标准化矩阵 \mathbf{Y} 可表示为

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} y_{11} & \cdots & y_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ y_{m1} & \cdots & y_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (4)$$

对标准化矩阵元素进行归一化处理,计算过程可表示为

$$p_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^m y_{ij}} \quad (5)$$

式中, p_{ij} 表示第 i 年的第 j 个驱动因素的归一化值。

2) 计算驱动因素信息熵

$$e_j = -\frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (6)$$

式中, e_j 表示第 j 个驱动因素的信息熵。

3) 计算驱动因素熵权

$$w_j = -\frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} \quad (7)$$

式中, w_j 为第 j 个驱动因素的熵权,进而得到机场吞吐量驱动因素指标集的客观权重向量为 $\mathbf{W} = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 。

3.2.2 灰色关联度

灰色关联分析方法可以对系统动态发展过程进

行量化分析,从而考察系统各因素之间的相关程度,其基本思想是根据曲线间相似程度来判断因素间的关联程度。由于灰色关联度分析法对样本的大小没有具体要求,也不需要确定样本分布规律,且分析结果与定性分析结果吻合度较高,因此,该方法在经济、工业、农业、交通等领域具有广泛的实用性^[20]。一般灰色关联度的计算步骤如下。

1) 建立分析矩阵 \mathbf{X}'

$$\mathbf{X}' = \begin{bmatrix} x_0(1) & \cdots & x_n(1) \\ \vdots & & \vdots \\ x_0(m) & \cdots & x_n(m) \end{bmatrix}_{m \times (n+1)} \quad (8)$$

式中: $\mathbf{X}_0 = [x_0(1) \ x_0(2) \ \cdots \ x_0(m)]^T$, 表示 m 年机场吞吐量指标数据的参考数列; 比较数列 $\mathbf{X}_j = [x_j(1) \ x_j(2) \ \cdots \ x_j(m)]^T, j = 1, 2, \dots, n$ 。

2) 指标数据无量纲化

由于系统中不同驱动因素的物理意义不同,使得分析矩阵各列的量纲差异较大,为保证计算结果的准确性,需要对指标数据进行无量纲化处理,以比较数列为例,其无量纲化过程可表示为

$$x_j'(k) = \frac{x_j(k)}{\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m x_j(k)} \quad (9)$$

经过无量纲化后的分析矩阵可表示为

$$\mathbf{X}'' = \begin{bmatrix} x_0'(1) & \cdots & x_n'(1) \\ \vdots & & \vdots \\ x_0'(m) & \cdots & x_n'(m) \end{bmatrix}_{m \times (n+1)} \quad (10)$$

3) 计算绝对差值

逐个计算参考序列与比较序列的绝对差值 $|x_0'(k) - x_j'(k)|$, 确定所有元素绝对差值最小值及绝对差值最大值,该过程可表示为

$$\min_{j=1}^n \min_{k=1}^m |x_0'(k) - x_j'(k)| \quad (11)$$

$$\max_{j=1}^n \max_{k=1}^m |x_0'(k) - x_j'(k)| \quad (12)$$

4) 计算关联系数

分别计算每个比较序列与参考序列对应元素的关联系数,可表示为

$$\zeta_j(k) = \frac{\min_j \min_k |x_0'(k) - x_j'(k)|}{|x_0'(k) - x_j'(k)| + \rho \cdot \max_j \max_k |x_0'(k) - x_j'(k)|} + \frac{\rho \cdot \max_j \max_k |x_0'(k) - x_j'(k)|}{|x_0'(k) - x_j'(k)| + \rho \cdot \max_j \max_k |x_0'(k) - x_j'(k)|} \quad (13)$$

式中, $\rho \in (0, \infty)$ 为分辨系数, ρ 越小分辨能力越强,一

般 ρ 的取值在(0,1)之间,研究表明 $\rho \leq 0.5463$ 时分辨能力最好,通常 ρ 取 0.5。

5)计算关联度

针对比较序列,分别计算各元素与参考序列对应元素的关联系数的均值,以反映比较序列与参考序列的关联关系,并称其为关联度,可表示为

$$r_j = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \zeta_j(k) \quad (14)$$

6)加权灰色关联度

如果驱动因素在综合评价的过程中所起的作用不同,利用熵权法求得的权重可对关联系数求加权平均值,即

$$r'_j = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m w_j \cdot \zeta_j(k) \quad (15)$$

3.2.3 驱动因素加权排序

通过 Pearson 相关系数检验筛选出与天津机场旅客吞吐量、货邮吞吐量具有较高相关性的驱动因素,并利用 Python 软件将筛选出的高相关驱动因素进行熵权-灰色关联度加权分析排序;一级驱动因素指标的加权关联度取二级驱动因素指标的综合关联度值作为排序依据,且在一级驱动因素指标排序结果中取关联度较高的前 5 个指标作为机场吞吐量关键驱动因素。天津机场吞吐量一级驱动因素熵权-灰色关联度结果如表 4 所示,关键驱动因素排序结果如表 5 所示。

表 4 天津机场吞吐量一级驱动因素熵权-灰色关联度

Tab.4 Entropy-weighted grey relational degrees of primary driving factors for Tianjin Binhai International Airport throughput

| 一级驱动因素指标 | 旅客吞吐量 | 货邮吞吐量 | 综合吞吐量 |
|----------|---------|---------|---------|
| GRP | 0.050 9 | 0.049 1 | 0.047 6 |
| 人口及就业 | 0.043 7 | 0.057 2 | 0.050 5 |
| 人民生活水平 | 0.043 9 | 0.042 3 | 0.042 5 |
| 地方财政收支 | 0.043 2 | 0.038 3 | 0.040 8 |
| 城市交通 | 0.031 3 | 0.042 3 | 0.036 8 |
| 零售业产值 | 0.034 6 | 0.039 5 | 0.037 1 |
| 旅游 | 0.073 3 | 0.064 2 | 0.068 8 |
| 对外经贸 | 0.034 6 | 0.043 3 | 0.038 5 |
| 其他交通方式 | 0.048 5 | 0.045 6 | 0.046 9 |

表 5 天津机场吞吐量关键驱动因素

Tab.5 Key driving factors of Tianjin Binhai International Airport throughput

| 序号 | 旅客吞吐量 | 货邮吞吐量 | 综合吞吐量 |
|----|--------|--------|--------|
| 1 | 旅游 | 旅游 | 旅游 |
| 2 | GRP | 人口及就业 | 人口及就业 |
| 3 | 其他交通方式 | GRP | GRP |
| 4 | 人民生活水平 | 其他交通方式 | 其他交通方式 |
| 5 | 人口及就业 | 对外经贸 | 人民生活水平 |

由表 4 和表 5 可知,旅游对旅客吞吐量、货邮吞吐量及综合吞吐量的驱动性最强,其关联度分别为 0.073 3、0.064 2、0.068 8,表明天津作为旅游城市对机场发展具有强有力的支撑作用。除此之外,天津市作为环渤海地区的经济中心,同时也是国际性综合交通枢纽城市,GRP、人民生活水平、人口及就业和其他交通方式等因素对于机场吞吐量也显示出较强的驱动性。总体而言,天津市是一个集旅游、交通枢纽、人口和经济为中心的综合型城市,建议加强宣传天津旅游文化、完善空铁联运及优化产值赋能以提升天津机场的可持续发展潜能。

3.3 省级行政中心城市运输机场关联度对比分析

与天津机场的分析步骤相同,对其他省级行政中心城市运输机场同样进行 Pearson 相关系数检验及熵权-灰色关联度加权分析排序,各地区机场旅客吞吐量一级驱动因素熵权-灰色关联度气泡图如图 1 所示,各地区机场吞吐量一级驱动因素熵权-灰色关联度排序结果如表 6 所示。其中 GRP、人口及就业、人民生活水平、地方财政收支、城市交通、零售业产值、旅游、对外经贸、其他交通方式 9 个一级驱动因素指标分别用数字 1~9 表示。

由图 1 可知,不同地区机场旅客吞吐量在不同因素驱动下体现出区域特性,尤其是人口及就业、人民生活水平、地方财政收支、城市交通、旅游等因素对机场旅客吞吐量的驱动差异性显著。从表 6 的排序结果可以看出,GRP 在熵权-灰色关联度的排序结果中处于核心地位,绝大多数机场的旅客吞吐量和货邮吞吐量都与城市经济产值存在较高关联度,表明机场对城市的经济发展具有重要的推动作用。除 GRP 外,其他因素对于各机场的驱动性与机场所在城市的区域特征相关,如旅游、人口及就业、其他交通方式、零售业产值分别与城市的旅游资源丰富性、人口流动性、交通连接性、地区产业分布等密切相关。基于表 6 排序结果的具体分析如下。

对于旅客吞吐量,东北地区(如哈尔滨、长春、沈阳、呼和浩特等)的旅客吞吐量与人口及就业呈现较高的关联性,这是由于从 2006 年至 2023 年,这些地区城镇化率变化显著,同时地理位置的偏远性促使居民和务工人员的出行更加依赖航空运输,使得航空出行成为连接这些偏远地区和其他地区的主要运输方式之一。西部地区(如兰州、拉萨、西宁等)随着人民生活水平的提高及地方政府对航空运输业投资比例的上升,旅客吞吐量随之增加。城市交通发达的地区(如成都、武汉等),其公路、铁路和航空的多维交通网

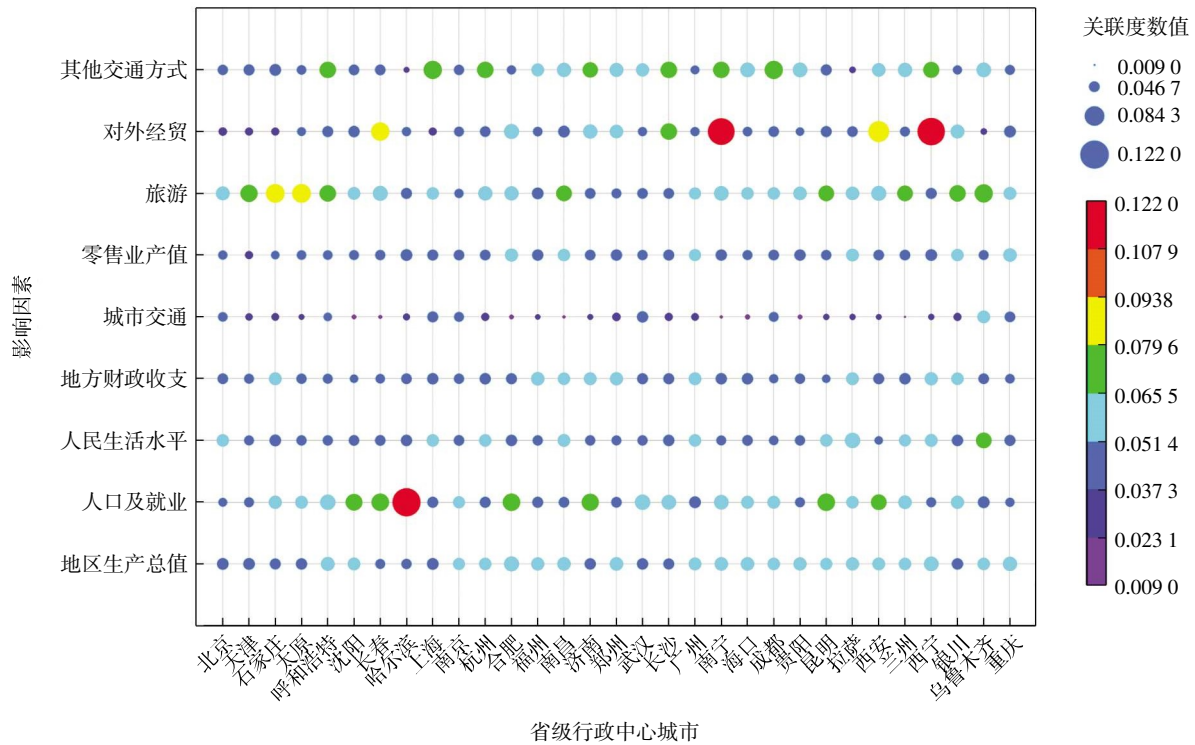


图1 各地区机场旅客吞吐量一级驱动因素熵权-灰色关联度气泡图(不含港澳台)

Fig.1 Bubble plot of entropy-weighted grey relational degrees for primary driving factors of airport passenger throughput in various regions (excluding Hong Kong, Macao, and Taiwan regions of China)

表6 各地区机场吞吐量一级驱动因素指标熵权-灰色关联度排序结果

Tab.6 Ranking results of entropy-weighted grey relational degrees for primary driving factor indicators of airport throughput in various regions

| 省级行政中心城市 | 旅客吞吐量 | 货邮吞吐量 | 综合吞吐量 | 省级行政中心城市 | 旅客吞吐量 | 货邮吞吐量 | 综合吞吐量 |
|----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| 北京 | 7,3,1,4,9 | 9,7,3,1,4 | 9,7,3,1,4 | 武汉 | 2,9,5,1,4 | 2,1,4,3,8 | 2,1,4,3,5 |
| 天津 | 7,1,9,3,2 | 7,2,1,9,8 | 7,2,1,9,3 | 长沙 | 9,8,2,3,1 | 8,2,9,3,1 | 8,9,2,3,1 |
| 石家庄 | 7,2,4,3,9 | 7,9,2,3,4 | 7,2,4,9,3 | 广州 | 1,4,3,6,7 | 3,1,4,6,2 | 1,4,3,6,2 |
| 太原 | 7,2,1,4,3 | 7,2,9,3,1 | 7,2,1,3,4 | 南宁 | 8,9,7,2,1 | 8,2,7,1,6 | 8,2,7,1,9 |
| 呼和浩特 | 7,9,2,1,8 | 2,1,7,9,8 | 7,2,1,9,8 | 海口 | 9,1,2,7,4 | 1,2,7,4,3 | 1,2,9,7,4 |
| 沈阳 | 2,7,1,8,3 | 2,9,7,1,8 | 2,7,1,8,9 | 成都 | 9,2,1,7,8 | 9,2,1,7,8 | 9,2,1,7,8 |
| 长春 | 8,2,7,9,3 | 2,8,7,3,1 | 2,8,7,3,1 | 贵阳 | 9,7,1,6,3 | 9,1,2,7,3 | 9,7,1,6,3 |
| 哈尔滨 | 2,6,3,7,4 | 2,3,7,6,9 | 2,3,6,7,4 | 昆明 | 2,7,3,1,8 | 2,9,7,3,1 | 2,7,3,1,9 |
| 上海 | 9,7,3,1,4 | 9,1,3,2,5 | 9,3,1,7,2 | 拉萨 | 3,7,1,4,6 | 3,7,1,6,2 | 3,7,1,6,4 |
| 南京 | 1,2,3,6,4 | 1,2,3,8,5 | 1,2,3,8,6 | 西安 | 8,2,7,9,1 | 8,2,7,1,4 | 8,2,7,1,9 |
| 杭州 | 9,7,3,1,4 | 1,4,3,7,6 | 9,1,7,4,3 | 兰州 | 7,9,2,1,3 | 2,3,1,9,7 | 2,7,3,1,6 |
| 合肥 | 2,8,1,7,6 | 2,8,9,1,6 | 2,8,1,6,7 | 西宁 | 8,9,1,4,3 | 8,9,1,4,3 | 8,1,9,4,3 |
| 福州 | 4,1,9,7,6 | 9,1,4,2,6 | 9,1,4,7,2 | 银川 | 7,8,2,6,4 | 9,7,8,2,6 | 9,7,8,2,6 |
| 南昌 | 7,9,1,3,6 | 7,1,6,4,8 | 7,1,6,4,3 | 乌鲁木齐 | 7,3,9,5,1 | 9,7,3,5,2 | 9,7,3,5,2 |
| 济南 | 2,9,8,4,1 | 2,8,9,4,1 | 2,8,9,4,1 | 重庆 | 1,6,7,8,3 | 3,1,6,8,7 | 1,6,3,7,8 |
| 郑州 | 9,8,1,4,6 | 8,1,4,6,2 | 8,1,4,6,9 | — | — | — | — |

络较为发达,形成了航空与其他交通方式之间的良好联动效应,提升了机场的旅客运输能力。旅游型城市(如乌鲁木齐、昆明、北京、天津等),因为丰富的旅游资源吸引了大量国内外游客,尤其是国际航班和国内旅游航线对旅客吞吐量的贡献较大。大部分城市其他交通方式客运量与航空运输的客运量表现出协同发

展的趋势,航空运输与铁路、公路运输共同推动了地区间的人员流动。

对于货邮吞吐量,人口及就业、人民生活水平、地方财政收支、旅游及其他交通方式等因素对于机场货邮吞吐量的驱动与旅客吞吐量体现出一致性。东部地区(广州、福州、杭州等)近些年来经济发展迅速,电子

信息、化工、金融业的崛起促进了机场货邮吞吐量的上升。中部地区(合肥、郑州、西安、长沙等)制造业蓬勃发展,对外经济贸易来往密切,使得相关产品对外贸易量逐年增长。东北、西南及沿海地区的零售业发达,这些城市的机场货邮吞吐量与零售业产值关联性较高,其中东北及西南城市(哈尔滨、成都、南宁等)以农副产品加工制造为主,而沿海城市(上海、天津、海口等)则以物流、批发业为主。

综合来看,机场旅客和货邮吞吐量受人口、社会、经济、旅游和交通网络等多维因素的影响,呈现出明显的区域差异。偏远城市因地理位置、人口及就业的原因对航空运输的依赖性较高;旅游型城市的机场受益于旅游业发展和政府投资;交通发达地区的多维交通网络提升了机场的旅客和货邮吞吐能力;中部和东部沿海城市则通过制造业、物流业的快速发展带动了机场货邮吞吐量的增长。总体而言,各地区机场应依托城市的区域特征制定相关政策,不断优化城市产业结构,强化各因素之间的协同作用,以提升机场驱动因素的经济转化效率。

4 结语

机场作为城市的重要交通设施,对于区域的经济发展具有深刻意义,研究发现机场吞吐量具有较强的区域属性,且绝大多数城市的机场发展与地区产值增加、交通设施完善、旅游文化输出、人民生活质量提高等都是相辅相成的。根据驱动因素的分析结果,对不同地区的机场提出以下针对性措施以实现机场的可持续发展。

(1)对于西部旅游型城市来说,机场的航班数量季节性变化较大,为增加旅游收入,建议机场在不同时期合理调整航线资源、增加国际旅游航线,并提高服务质量。

(2)东北地区的城市虽然人口流失较严重,但一些城市的零售业较发达,为保障机场的持续发展,建议这些城市要促进零售业数字化转型、加强基础设施建设,同时要提高人民生活水平以抑制人才流失。

(3)中部及东部地区的城市交通网络较复杂,且人口流动性较大,对于处于运输中转节点的省级行政中心城市需要完善其市内公共交通,并要加强多式联运以提升机场的交通枢纽地位。

(4)沿海及经济发达地区的机场吞吐量近些年增长迅速,目前单个机场已经不能满足运输需求,建议

规划建设机场群体体系,以实现航空资源的高效利用。

参考文献:

- [1] 陈 斌,吴 瑾. 机场旅客吞吐量预测方法研究综述[J]. 中国民航大学学报, 2023, 41(3): 1-7.
- [2] 姜 雨,李绍嘉,戴垚宇,等. 航线网络连接驱动因素分析[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(28): 12282-12290.
- [3] 王天宇. 我国省域民航旅客吞吐量影响因素研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2020.
- [4] 王 霞,王春阳. 基于熵权法和灰色关联法的支线机场吞吐量影响因素分析[J]. 物流科技, 2023, 46(11): 78-82.
- [5] PENG D Y, ZHANG M, XIAO Y, et al. Research on passenger throughput forecast of civil aviation airport based on multi-source data[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2022, 2179(1): 012027.
- [6] NÖMMIK A, ANTOV D. European regional airport: factors influencing efficiency[J]. Transport and Telecommunication Journal, 2020, 21(3): 211-220.
- [7] CHENA S, LIB X. Passenger and cargo throughput forecast of China's three major airports[J]. Industrial Engineering and Innovation Management, 2022, 5(11): 35-41.
- [8] SEMENENKO O. Dependence of an airport capacity on various factors[D]. Kyiv, Ukraine: National Aviation University, 2023.
- [9] YANG C H, LEE B, JOU P H, et al. Analysis and forecasting of international airport traffic volume[J]. Mathematics, 2023, 11(6): 1483.
- [10] 褚衍昌,侯云燕,陈飞超,等. 中国民航区域机场旅客吞吐量变迁解释[J]. 综合运输, 2018, 40(12): 23-28.
- [11] 高 伟,殷小曼. 基于熵值-BP神经网络的机场旅客吞吐量预测[J]. 计算机仿真, 2021, 38(10): 64-67.
- [12] 韩瑞玲,李玲玲,姚海芳. 中国客运航空网络节点结构及其外部性因素的空间异质性研究[J]. 世界地理研究, 2022, 31(5): 967-977.
- [13] 张培文,杜福民,赵文科. 中小机场航线网络结构及连接特性分析[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(2): 765-772.
- [14] 冉若灵. 城市发展对民航机场运输的影响[J]. 合作经济与科技, 2018(3): 8-11.
- [15] ZHOU Y M, KUNDU T, GOH M, et al. Beyond throughput: incorporating air transport network topology in airport performance measurement[J]. Journal of Air Transport Management, 2023, 112: 102458.
- [16] CHEN B, ZHAO X, WU J. Evaluating prediction models for airport passenger throughput using a hybrid method[J]. Applied Sciences, 2023, 13(4): 2384.
- [17] FENG H, ZHANG Y. Prediction of hourly airport operational throughput with a multi-branch convolutional neural network[J]. Aerospace, 2024, 11(1): 78.
- [18] LI Y X, JIANG X S. Airport passenger throughput forecast based on PSO-SVR model[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 780(6): 062006.
- [19] 郭 强,杨湘君. 中国省域发展软环境评价及其区域差异[J]. 经济地理, 2023, 43(9): 10-19.
- [20] 陆营波,丁士洲,江宜航,等. 基于灰色关联的体系效能评估指标筛选[J]. 空天防御, 2023, 6(3): 25-28.

(责任编辑:刘雅婷)