

多维多层视角下中国世界级机场群同质化度量

王霞^a, 原洪玉^b, 李宗威^b

(中国民航大学 a.安全科学与工程学院; b.交通科学与工程学院, 天津 300300)

摘要: 机场群的过度同质化易造成资源的极大浪费, 不利于机场群一体化、精细化发展。针对机场群同质化问题, 本文建立了一个包含基础设施、生产规模、航线网络和经济效率的多维多层机场群同质化评价指标体系。基于该指标体系, 采用主客观相结合的方法计算指标权重, 并利用改进相似系数法定义了同质化系数的计算公式。最终以长三角机场群为例, 借助聚类分析法分析长三角机场群的同质化情况, 同时, 采用欧氏距离法验证了本文方法的可靠性。研究表明, 本文指标体系充分体现了各指标对世界级机场群同质化的影响, 且机场所在城市的经济效率对世界级机场群同质化具有重大影响。最后, 针对长三角机场群内不同同质化程度的机场, 提出了不同建议。该研究结论对促进中国世界级机场群高质量发展具有一定的实践意义。

关键词: 航空运输; 机场群同质化; 多维多层; 相似系数; 聚类分析; 长三角世界级机场群

中图分类号: V351

文献标志码: A

文章编号: 1674-5590(2026)02-0041-07

Homogenization measurement of China's world-class airport clusters from a multi-dimensional and hierarchical perspective

WANG Xia^a, YUAN Hongyu^b, LI Zongwei^b

(a. College of Safety Science and Engineering; b. College of Transportation Science and Engineering, CAUC, Tianjin 300300, China)

Abstract: Excessive homogeneity within airport clusters tends to result in significant resource waste, which is detrimental to their integrated and refined development. To address the issue of airport cluster homogeneity, this study establishes a multi-dimensional and hierarchical evaluation index system covering infrastructure, production scale, route networks, and urban economic efficiency. Based on this system, a combination of subjective and objective methods is adopted to calculate indicator weights, and a formula for the homogeneity coefficient is defined using the modified similarity coefficient method. Finally, taking the Yangtze River Delta airport cluster as a case study, cluster analysis is employed to analyze its homogeneity, while the Euclidean distance method is used to verify the reliability of the proposed approach. The results indicate that the established index system fully reflects the impacts of all indicators on the homogeneity of world-class airport clusters, with the economic efficiency of the host city of the airport exerting a particularly significant influence. Furthermore, targeted recommendations are put forward for airports with different homogeneity levels within the Yangtze River Delta airport cluster. The research conclusions hold certain practical significance for promoting the high-quality development of China's world-class airport clusters.

Key words: air transportation; airport cluster homogeneity; multi-dimensional and hierarchical; similarity coefficient; cluster analysis; Yangtze River Delta world-class airport cluster

区域机场群是促进区域经济发展的动力源泉^[1]。《中国民用航空“十四五”发展规划》指出, 机场群要发挥整体协同效应, 为民航高质量发展奠定基础。建立市场定位明确、分工合理清晰的世界级机场群协同发展格局, 满足世界级城市群日益增长的航空运输需

求, 对国民经济的可持续发展至关重要。然而, 在快速发展的同时, 机场群也显露出内部各机场间缺乏有效协同的问题^[2]。行政壁垒、腹地重叠、航空公司竞争等都可能造成机场群同质化发展过度, 进而造成机场网络集中, 浪费资源的同时, 也限制其发展空间^[3]。

收稿日期: 2025-04-10; 修回日期: 2025-06-05 基金项目: 中央高校基本科研业务费专项(3122019011)

作者简介: 王霞(1981—), 女, 河北保定人, 讲师, 博士, 研究方向为民航安全管理。

目前对于机场群同质化的研究多采用相似系数法间接评估机场群相关发展指标数据^[4]。蒋永雷等^[5]构建了包含旅客运输量、货邮吞吐量等指标的同质化评价指标体系,并采用改进相似系数法来计算机场群同质化系数;Jiang 等^[6]构建了包含旅客运输量、货邮吞吐量等指标的同质化评价指标体系,并以此评估了长三角机场群的同质化程度;杨依莹等^[7]从旅客运力的角度构建模型;Li 等^[8]采用相似系数来评价机场群同质化程度;Zietsman 等^[9]采用层次分析法评估了开普敦市机场发展的相关指标权重。但目前对于机场群同质化的研究仍存在以下问题:评价指标体系缺乏对多维指标的综合考虑;在计算评价指标权重时,未充分考虑主客观层面的融合。

基于此,本文建立了一个多维多层机场群同质化评价指标体系,采用主客观相结合的方法计算指标权重,并利用改进相似系数法定义了同质化系数的计算公式。最终以长三角机场群为例,借助聚类分析法分析其同质化情况。本研究丰富了机场群同质化评价方法,对世界级机场群协同发展具有实践意义。

1 机场群同质化评价指标体系构建

根据《中国民航高质量发展指标框架体系(试行)》^[10],需构建基础设施、生产规模、航线网络 3 个维度的指标。由于机场的客货运输量等指标与其所在城市的经济发展规模及对外交流强度密切相关,因此,引入经济效率指标来反映这一能力^[5]。最终构建了包含基础设施、生产规模、航线网络和经济效率 4 个维度的机场群同质化评价指标体系,并考虑所有能反映机场群同质化的指标^[10-12],如表 1 所示。

表 1 机场群同质化评价指标体系

Tab.1 Evaluation index system for airport cluster homogeneity

一级指标	二级指标
基础设施	停机位数量
	航站楼总面积
生产规模	旅客吞吐量
	货邮吞吐量
	飞机起降量
航线网络	连接机场数量
	飞行班次
经济效率	人均 GDP
	经济外向度

2 机场群同质化计算方案

同质化计算方案:①采用文献分析法收集及处理

同质化评价数据;②设定指标权重,具体为采用 BWM (best-worst method)^[13]计算指标主观权重,采用 CRITIC (criteria importance through intercriteria correlation)法^[14]计算指标客观权重;③使用拉格朗日(Lagrange)乘数法^[15]进行主客观权重融合;④借助改进相似系数法计算机场群同质化系数,同时采用聚类分析法对机场群同质化进行分类评价。同质化系数计算结果范围为 0~1,达到 0.5 则被认为存在同质化现象,且系数水平越高,同质化程度越高。同质化计算流程如图 1 所示。

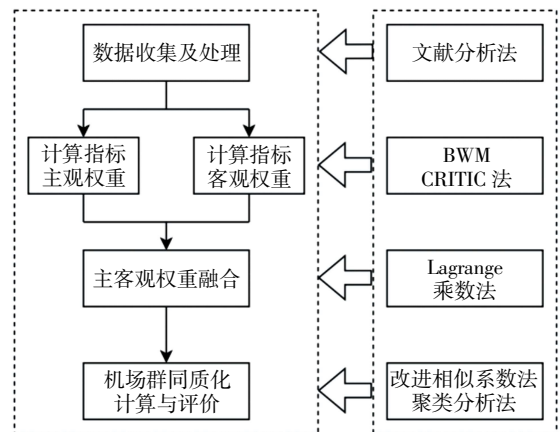


图 1 同质化计算流程

Fig.1 Workflow of homogeneity calculation

2.1 数据收集及处理

从国家统计局、飞常准数据、OAG(Official Airline Guide)数据库中提取相关数据,进行分类处理,作为评估机场群同质化的客观输入数据。

2.2 设定指标权重

2.2.1 基于 BWM 计算指标主观权重

BWM 是一种较为新颖的通过指标间比较来确定权重的主观赋权法^[16]。采用 BWM 计算指标主观权重的具体步骤如下。

步骤 1 根据专家的意见将停机位数量、航站楼总面积等 9 个二级指标设为集合 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_9\}$, 其中,选取 x_B 为最优指标, x_W 为最劣指标。

步骤 2 由专家采用 1~9 标度法进行打分,确定最优指标 x_B 相对于其他指标的重要程度,构建比较向量,计算公式为

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{B9})^T \tag{1}$$

式中: $a_{B\phi}$ 表示最优指标 x_B 与指标 x_ϕ 相比的重要性,当指标 x_B 与指标 x_ϕ 同样重要时, $a_{B\phi} = 1$; 当指标 x_B 与指标 x_ϕ 相比极端重要时, $a_{B\phi} = 9$ 。

步骤 3 确定最劣指标 x_W 相对于其他指标的不重要程度,构建比较向量,计算公式为

$$\mathbf{A}_W = (a_{W1}, a_{W2}, \dots, a_{W9})^T \quad (2)$$

式中: $a_{W\phi}$ 表示最劣指标 x_W 与指标 x_ϕ 相比的不重要性;当指标 x_W 与指标 x_ϕ 同样不重要时, $a_{W\phi} = 1$;当指标 x_W 与指标 x_ϕ 相比极端不重要时, $a_{W\phi} = 9$ 。

通过线性优化模型来获得最佳权重 $\omega^* = (\omega_1^*, \omega_2^*, \dots, \omega_\phi^*)^T$,其中目标函数为:对于所有的 ω_ϕ ,取全部

$\left| \frac{\omega_B}{\omega_\phi} - a_{B\phi} \right|$ 、 $\left| \frac{\omega_\phi}{\omega_W} - a_{W\phi} \right|$ 中最大的一个,使其最小化,即

$$\min \max \left\{ \left| \frac{\omega_B}{\omega_\phi} - a_{B\phi} \right|, \left| \frac{\omega_\phi}{\omega_W} - a_{W\phi} \right| \right\}$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{\phi=1}^9 \omega_\phi = 1 \\ \omega_\phi \geq 0 \end{cases} \quad \phi = 1, 2, \dots, 9$$

转化为

$$\min \max \left\{ \left| \frac{\omega_B}{\omega_\phi} - a_{B\phi} \right|, \left| \frac{\omega_\phi}{\omega_W} - a_{W\phi} \right| \right\}$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \min \lambda \\ \left| \frac{\omega_B}{\omega_\phi} - a_{B\phi} \right| \leq \lambda \\ \left| \frac{\omega_\phi}{\omega_W} - a_{W\phi} \right| \leq \lambda \\ \sum_{\phi=1}^9 \omega_\phi = 1 \\ \omega_\phi \geq 0 \end{cases} \quad \phi = 1, 2, \dots, 9 \quad (3)$$

式中: λ 为绝对误差; ω_B 为最优指标的权重; ω_W 为最劣指标的权重; ω^* 为通过BWM线性优化模型求解得到的最佳权重向量; ω_ϕ^* 为第 ϕ 个指标的最优权重值,明确区分了“待求的权重变量 ω_ϕ ”和“通过优化模型计算出的最终最优权重 ω_ϕ^* ”。

2.2.2 基于CRITIC法计算指标客观权重

CRITIC法利用评价指标的比较强度与冲突程度来对指标的客观权重进行测度,其计算公式为

$$c_\phi = \sigma_\phi \sum_{\mu=1}^9 (1 - r_{\phi\mu}) \quad (4)$$

$$w_\phi = \frac{c_\phi}{\sum_{\phi=1}^9 c_\phi} \quad (5)$$

式中: c_ϕ 为第 ϕ 个指标包含的信息量, c_ϕ 越大,第 ϕ 个指标就越重要; $r_{\phi\mu}$ 为第 μ 个指标和第 ϕ 个指标之间的

相关系数; $\sum_{\mu=1}^9 (1 - r_{\phi\mu})$ 为第 ϕ 个指标与其他指标之间

冲突程度的量化指标; σ_ϕ 为第 ϕ 个指标的标准差; w_ϕ 为第 ϕ 个指标的客观权重。

2.3 基于Lagrange乘数法确定评价指标权重

Lagrange乘数法是一种寻找变量受一个或多个条件约束的多元函数极值的方法。为综合考虑主、客观

权重的优势,本文使用Lagrange乘数法将BWM计算出的主观权重和CRITIC法计算出的客观权重进行融合,组合权重的计算公式为

$$W_\phi^* = \frac{\sqrt{\omega_\phi^* w_\phi}}{\sum_{\phi=1}^9 \sqrt{\omega_\phi^* w_\phi}} \quad (6)$$

2.4 基于改进相似系数法计算机场群同质化系数

2.4.1 改进相似系数法

机场群的同质化程度受其服务能力、所在城市经济水平、机场间空间距离等多重因素影响。鉴于此,本文运用了基于机场间地理空间距离改进的相似系数法。考虑到机场所在城市的经济发展状况及机场服务能力,选用两种经过优化的相似系数法,来更准确地反映机场与其所在城市经济社会背景及服务之间的关联性和相似性^[4]。第 i 个机场与第 j 个机场的停机位数量、航站楼总面积、飞机起降量、连接机场数量、人均GDP、经济外向度的相似系数计算公式为

$$H_{ij}^\phi = 1 - \frac{|L_i^\phi - L_j^\phi|}{L_i^\phi + L_j^\phi} \quad (7)$$

式中, L_i^ϕ 、 L_j^ϕ 分别为第 i 、 j 个机场的第 ϕ 个指标值。第 i 个机场与第 j 个机场的旅客吞吐量、货邮吞吐量、飞行班次的相似系数计算公式为

$$H_{ij}^\phi = \delta_{ij} \times \frac{\sum_{k=1}^n (P_{ik}^\phi \times P_{jk}^\phi)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (P_{ik}^\phi)^2 \times \sum_{k=1}^n (P_{jk}^\phi)^2}} \quad (8)$$

式中: P_{ik}^ϕ 、 P_{jk}^ϕ 为第 i 、 j 个机场的第 ϕ 个指标在第 k 个航段(共 n 个航段)的份额; δ_{ij} 为第 i 个机场所在城市与第 j 个机场所在城市的空间距离权重,计算公式为

$$\delta_{ij} = \begin{cases} (d_{\max} - d_{ij}) / (d_{\max} - d_{\min}) & d_{ij} \neq 0 \\ 1 & d_{ij} = 0 \end{cases} \quad (9)$$

式中: d_{ij} 为第 i 个机场与第 j 个机场间的航段里程; d_{\max} 为机场间最大航段里程; d_{\min} 为机场间最小航段里程。

H_{ij}^ϕ 的取值范围在0~1之间,当数值大于0.5时,表明两个机场间存在同质化情况,数值越大则同质化程度越高。

2.4.2 机场群同质化系数计算

依据上述讨论,得到机场群同质化系数计算公式为

$$\bar{H} = \frac{\sum_{i=1}^v \bar{H}_i}{v} \quad (10)$$

$$\bar{H}_i = \frac{\sum_{j=1}^v H_{ij}}{v} \quad (11)$$

$$H_{ij} = W_{BF}^* \cdot H_{ij}^{BF} + W_{PS}^* \cdot H_{ij}^{PS} + W_{RN}^* \cdot H_{ij}^{RN} + W_{EE}^* \cdot H_{ij}^{EE} \quad (12)$$

$$H_{ij}^{BF} = W_{NP}^* \cdot H_{ij}^{NP} + W_{AT}^* \cdot H_{ij}^{AT} \quad (13)$$

$$H_{ij}^{PS} = W_{PT}^* \cdot H_{ij}^{PT} + W_{CT}^* \cdot H_{ij}^{CT} + W_{AV}^* \cdot H_{ij}^{AV} \quad (14)$$

$$H_{ij}^{RN} = W_{NC}^* \cdot H_{ij}^{NC} + W_{CA}^* \cdot H_{ij}^{CA} \quad (15)$$

$$H_{ij}^{EE} = W_{PG}^* \cdot H_{ij}^{PG} + W_{EC}^* \cdot H_{ij}^{EC} \quad (16)$$

式中： \bar{H} 为机场群的平均同质化系数； \bar{H}_i 为第*i*个机场到机场群内其他所有机场的同质化系数的加权平均，称为平均同质化系数； H_{ij} 为第*i*个机场到第*j*个机场的同质化系数；*v*为机场数量； W_{BF}^* 、 W_{PS}^* 、 W_{RN}^* 、 W_{EE}^* 分别为一级指标基础设施、生产规模、航线网络、经济效率的权重； H_{ij}^{BF} 、 H_{ij}^{PS} 、 H_{ij}^{RN} 、 H_{ij}^{EE} 分别为上述对应指标第*i*个机场到第*j*个机场同质化系数； W_{NP}^* 、 W_{AT}^* 、 W_{PT}^* 、 W_{CT}^* 、 W_{AV}^* 、 W_{NC}^* 、 W_{CA}^* 、 W_{PG}^* 、 W_{EC}^* 分别为二级指标停机位数量、航站楼总面积、旅客吞吐量、货邮吞吐量、飞机起降量、连接机场数量、飞行班次、人均GDP、经济外向

度的权重； H_{ij}^{NP} 、 H_{ij}^{AT} 、 H_{ij}^{PT} 、 H_{ij}^{CT} 、 H_{ij}^{AV} 、 H_{ij}^{NC} 、 H_{ij}^{CA} 、 H_{ij}^{PG} 、 H_{ij}^{EC} 分别为上述对应指标第*i*个机场到第*j*个机场同质化系数。

3 实证分析

3.1 研究对象及数据来源

3.1.1 研究对象

本文以长三角机场群为研究对象，截至2019年，长三角机场群有23个民用机场，机场发展存在显著的不均衡现象。其中，上海浦东国际机场、上海虹桥国际机场、杭州萧山国际机场、南京禄口国际机场等4个主要机场的旅客吞吐量占长三角机场群总旅客吞吐量的74.3%，而其余19个机场则共同分担了25.7%的市场份额。长三角地区排名前6的机场在国内航空市场网络中存在近65%的高度重叠率。在这近65%的重叠市场中，座位运力投入占总运力投入的80%以上^[7]。

3.1.2 数据来源

本文收集了长三角机场群23个机场的基础设施、生产规模、航线网络相关数据及23个机场所在22个城市的经济效率数据，如表2所示。在实际计算过程中，将上海两场的数据进行合并处理。

表2 2019年长三角机场群各机场指标数据
Tab.2 Indicator data of airports in the Yangtze River Delta airport cluster in 2019

城市	基础设施		生产规模			航线网络		经济效率	
	停机位数量/ 个	航站楼总面积/ m ²	旅客吞吐量/ 人	货邮吞吐量/ t	飞机起降量/ 架	连接机场 数量/个	飞行班次/ 班	人均GDP/ (元·人 ⁻¹)	经济外向度/ %
上海	495	1 533 000	121 791 337	4 057 845.10	784 774	265	499 903	157 140.90	89.25
南京	143	425 000	30 581 685	374 633.51	234 869	209	182 401	151 170.10	34.39
无锡	26	106 000	7 973 446	145 128.16	62 483	54	49 066	159 010.40	37.60
常州	20	38 000	4 052 342	33 161.01	55 446	35	21 953	140 181.10	30.41
扬州	14	31 300	2 979 668	12 440.63	41 422	34	14 818	128 599.70	9.77
徐州	22	58 000	3 005 875	12 068.71	49 648	54	16 768	78 904.97	7.50
南通	34	6 000	3 484 484	42 263.11	34 580	48	22 786	128 218.10	14.01
盐城	20	43 300	2 090 304	8 684.41	19 099	27	11 307	79 096.67	7.32
淮安	22	17 700	2 347 566	10 259.27	45 573	39	12 541	78 477.88	6.67
连云港	16	30 000	1 922 824	3 342.93	18 118	32	11 071	69 585.46	18.70
杭州	165	16 567	40 108 405	690 275.89	290 919	231	235 221	132 377.50	33.77
宁波	46	43 500	12 414 007	106 120.18	89 487	127	70 893	128 954.20	76.51
温州	59	129 500	12 291 707	81 106.56	92 296	136	79 391	69 093.19	28.80
台州	6	7 850	1 381 321	10 278.51	10 333	19	9 340	78 405.62	33.11
义乌	11	30 000	2 029 109	10 612.86	15 511	22	13 144	65 981.77	92.51
舟山	14	6 400	1 521 949	622.55	24 190	17	8 634	117 768.20	99.94
衢州	4	3 440	404 092	839.36	3 604	8	2 566	69 553.69	37.17
合肥	53	110 000	12 282 384	87 101.65	95 135	130	65 424	114 898.00	23.61
阜阳	4	7 200	922 159	569.36	14 717	15	4 963	32 752.15	4.01
安庆	6	13 928	592 913	2 310.15	6 076	10	3 171	50 412.87	4.81
黄山	8	14 000	869 681	2 002.44	9 288	22	6 027	57 565.10	9.76
池州	5	11 700	524 471	934.63	5 638	14	3 417	56 026.94	6.95

数据来源：《2019年民航机场生产统计公报》《从统计看民航2020》及国家统计局。

3.2 指标权重分析

基于机场群同质化评价指标,根据 2.2 节计算过程,借助 Matlab 软件和 SPSS 软件分别求得机场群同质化指标的主、客观权重。根据 2.3 节的 Lagrange 乘数法计算过程,计算机场群同质化评价指标的综合权重,结果如表 3 所示。由表 3 可看出,人均 GDP 的综合权重最高,达到了 27.02%,其次是经济外向度、连接机场数量等。

表 3 评价指标权重
Tab.3 Evaluation indicator weights

评价指标	主观权重	客观权重	综合权重
人均 GDP	30.59	27.02	27.02
经济外向度	18.62	23.20	23.20
连接机场数量	12.41	12.98	12.98
飞行班次	9.31	7.45	7.45
停机位数量	7.45	6.49	6.49
飞机起降量	7.45	6.43	6.43
航站楼总面积	5.32	6.25	6.25
旅客吞吐量	6.21	5.91	5.91
货邮吞吐量	2.66	4.26	4.26

3.3 长三角机场群同质化结果

3.3.1 长三角机场群综合同质化结果

根据 2019 年长三角地区 23 个机场的各指标数据,采用第 2.4 节的计算过程,计算出长三角机场群同质化系数整体为 0.57(保留两位小数),处于较高水平,如图 2 所示。存在同质化趋势的机场网络图(机场间同质化系数 ≥ 0.50)如图 3 所示。常州、台州、无锡(同质化城市数量 ≥ 15 个)等 5 个城市机场与其他城市机场同质化程度最明显,其中,常州与无锡的同质化程度最高(0.87);合肥、温州、盐城(同质化城市数量 ≥ 10 个)等 11 个城市机场与其他城市机场之间的同质化程度较为明显,其中,杭州与南京的同质化程度最高(0.86);舟山、上海、阜阳(同质化城市数量 < 10 个)等城市机场与其他城市机场的同质化程度较低。

3.3.2 长三角机场群同质化聚类结果

根据同质化计算结果,采用聚类分析法将长三角机场群内各机场所在城市按照同质化水平划分为 5 类。其中:第 1 类为常州、无锡、扬州等 15 个城市;第 2 类为南京、上海和杭州;第 3 类为衢州;第 4 类为阜

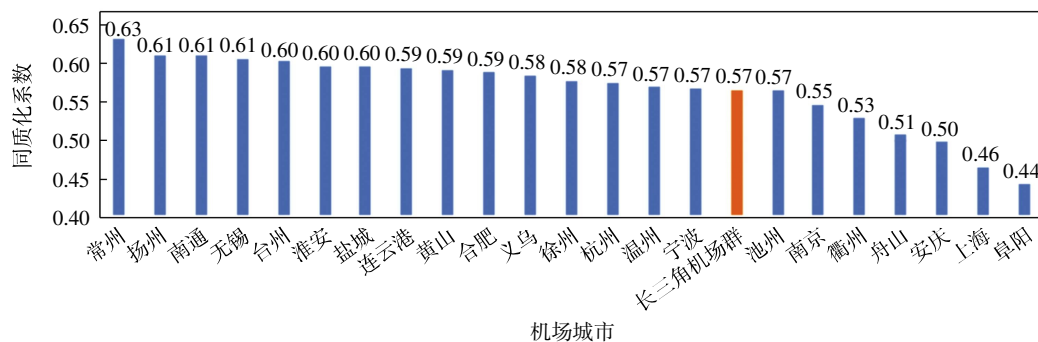


图 2 2019 年长三角机场群各机场综合同质化程度

Fig.2 Comprehensive homogeneity of airports in the Yangtze River Delta airport cluster in 2019

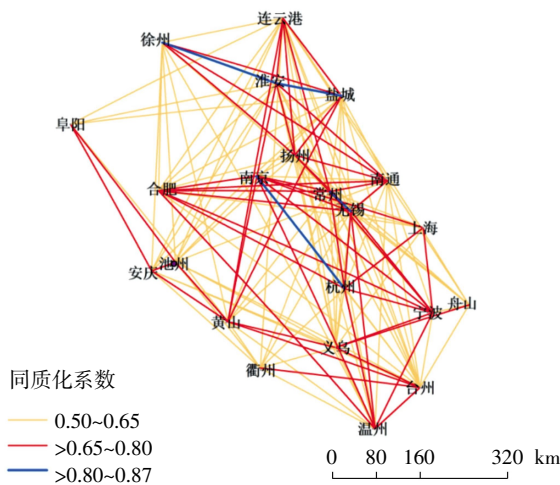


图 3 2019 年长三角机场群机场间同质化网络

Fig.3 Homogeneous network among airports in the Yangtze River Delta airport cluster in 2019

阳;第 5 类为舟山。并据此结果,按照机场群同质化评价指标绘制各机场与其他机场的各指标平均同质化雷达图,如图 4 所示。

由图 4(a)可以看出,常州、无锡、扬州等 15 个城市的机场之间最为相似,各指标平均同质化系数达到了 0.51。其中,在人均 GDP 方面最为相似,同质化系数达到了 0.79。这些机场所在城市的发展规模和对外开放程度都十分相似。常州、无锡等城市的机场虽非枢纽机场,但经济发展水平都较高,机场都提供了较为全面的服务,且这些城市之间的地理位置也相近,存在腹地重叠的情况。

由图 4(b)可以看出,南京、上海和杭州 3 个城市的机场较为相似。其中,在人均 GDP 方面最为相似,同质化系数达到了 0.76;而在连接机场数量(0.38)、航站

楼总面积(0.29)、飞机起降量(0.26)和停机位数量(0.25)方面的相似度则较低。上海作为拥有一市两场的国际枢纽,其机场的基础设施相较于南京和杭州机场有无法比拟的优势。例如,上海的航站楼总面积是南京的3倍多,而南京和杭州虽然都是区域枢纽,但南京的航站楼总面积是杭州的2倍。

图4(c)展示了第3、4、5类城市机场各指标平均同质化情况,分别是衢州、阜阳和舟山,这3个城市

机场与长三角机场群内其他机场同质化程度较低,各指标平均同质化系数为0.40,同质化现象不明显。衢州机场的停机位数量和航站楼面积与其他机场相比存在较大差距,航线仅有8条,飞机起降架次、货邮吞吐量和旅客吞吐量也较少。舟山属于群岛,与其他机场所在城市地理位置差异较大。阜阳地理位置相对偏远,其经济发展与整个长三角区域呈现出一定的差异。

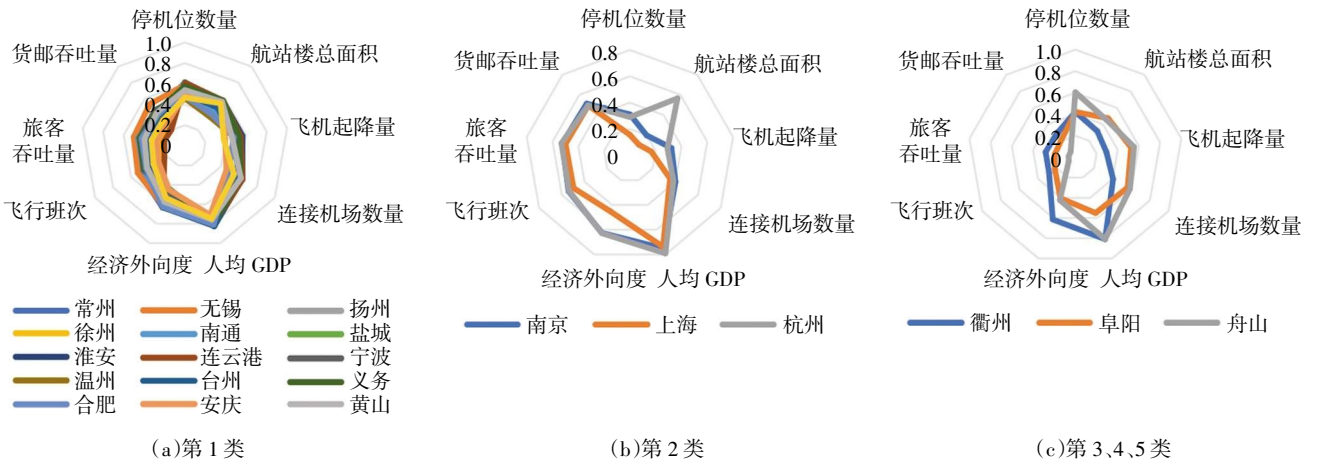


图4 机场各指标平均同质化雷达图

Fig.4 Radar chart of average homogeneity of airport indicators

3.4 对比算法

为了验证机场群同质化评价体系的准确性,采用欧氏距离法计算长三角机场群的同质化系数,并与本文方法计算结果进行对比。由于本文所用数据的每个维度的各分量分布均不相同,因此,需要对数据进行归一化处理。归一化后的欧氏距离法能够统一所有指标,得到一个全面的同质化结果^[18]。

假设样本 F 的均值为 M , 标准差为 S , 则样本集的“标准化变量”表示为

$$F^* = \frac{F - M}{S} \tag{17}$$

以任意机场对为例,归一化后的欧氏距离为

$$D_{ij} = \sqrt{\sum_{\phi=1}^9 \left(\frac{L_i^\phi - L_j^\phi}{F_\phi^*} \right)^2} \tag{18}$$

式中: D_{ij} 为第 i 个机场与第 j 个机场之间以欧氏距离法计算得到的同质化系数; F_ϕ^* 为第 ϕ 个指标的标准化变量。

将两种方法得到的长三角机场群各机场同质化结果进行比较,如图5所示,其中,欧氏距离法验证的结果为 D , 本文方法的计算结果为 H 。由图5可知,欧氏距离法的计算结果普遍低于本文方法的计算结果,但总体趋势保持一致,说明本文计算结果是合理的,且本文的方法考虑了不同指标权重对机场群同质化

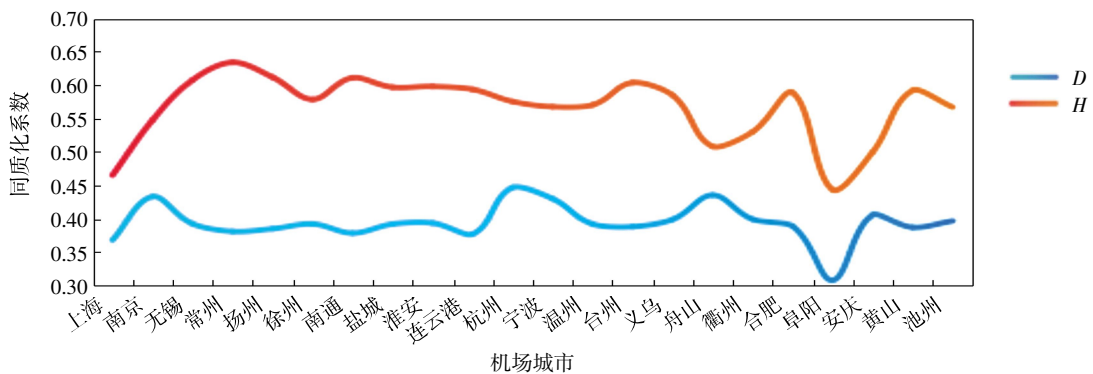


图5 两种方法同质化结果对比

Fig.5 Comparison of homogeneity results between the two methods

的影响,可以更好地反映实际的机场群同质化程度。

3.5 结果分析

1) 长三角机场群整体同质化程度较高

从图2可以看出,长三角机场群整体同质化系数达到了0.57,同质化程度较高,且有20多个机场的同质化系数达到了0.50及以上,可见长三角机场群的同质化问题较为严重。

2) 长三角机场群内非枢纽机场间同质化程度高

从图3可以看出,以常州、无锡为代表的非枢纽机场间同质化程度最高。这类机场所在城市的经济发展水平和经济结构相似,地理位置相近,随着机场的发展,会遇到腹地市场重叠的问题。机场为了自身发展,会提供相似的服务,加剧了同质化趋势。

3) 大型国际枢纽机场和小型非枢纽机场的同质化程度较低

从3.3.2节聚类分析结果可以看出,以上海两个机场为代表的大型国际枢纽机场与长三角机场群内其他机场相比同质化程度较低,不存在同质化问题。一方面,上海的经济高度发达,远超长三角地区其他城市;另一方面,上海两个机场的基础设施和航线网络规模显著领先于其他城市,功能定位也不尽相同。而其他城市机场主要服务于本地区区域性航班和货运等,规模相对较小。

以阜阳为代表的小型非枢纽机场,由于地理位置偏远、经济发展水平较低,其服务主要局限于本地区区域性航班。航线规模、服务水平较其他城市机场都有一定差距,与长三角机场群内其他城市机场相比,同质化程度也较低,不存在同质化问题。

4) 机场所在城市的经济发展水平对机场间的同质化具有重要影响

从3.3.2节聚类分析结果可以看出,机场所在城市的人均GDP对机场间同质化影响较大。机场所在城市的经济发展水平会影响机场的基础设施投资力度、服务的差异化程度和航空公司的运营策略,进而影响机场间的同质化程度。

4 结语

本文建立了一个多维多层机场群同质化评价指标体系。基于该指标体系,利用改进相似系数法定义了同质化系数计算公式,并采用主客观相结合的方法计算指标权重,最终以长三角机场群为例,借助聚类分析法分析长三角机场群的同质化情况。在构建指标体系时,采用了多维多层视角,充分体现机场的基础设施、生产规模、航线网络及机场所在城市的经济

效率对机场群同质化的影响。在权重的确定上,采用了主客观结合的权重设置方法,将主、客观因素相结合,充分考虑了专家经验和客观数据的作用。在同质化的计算方面,基于机场群的特点,运用了考虑机场空间距离的改进相似系数法,综合考虑机场所在城市的经济社会发展水平和机场本身的综合水平,从而得出更加准确的同质化评价结果。

参考文献:

- [1] 王 琼. 枢纽经济视域下成渝机场群协同效应评价与优化研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2023.
- [2] 牟莹莹. 基于长三角机场群的航线网络优化[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2020.
- [3] 蔡 蕤. 基于网络表示学习的机场群同质化分析研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2020.
- [4] 冯 霞, 蔡 蕤, 李忠虎. 融合机场属性和机场网络的机场群同质化级联分析[J]. 北京交通大学学报, 2020, 44(2): 105-111.
- [5] 蒋永雷, 杨忠振, 王 璐, 等. 区域机场同质化发展特征分析: 以长三角地区机场群为例[J]. 经济地理, 2013, 33(2): 122-127.
- [6] JIANG Y L, WANG L, JIANG X L, et al. Spatial-temporal evolution of multi-airports' homogenization in China Yangtze River Delta[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2013, 96: 1402-1411.
- [7] 杨依莹, 陈子怡, 杨新涅. 珠三角机场群协同发展定位分析[J]. 航空计算技术, 2016, 46(1): 53-55.
- [8] LI Y, YANG Z Z. Research on structural characteristics of homogeneity development of multi-airport in Yangtze River Delta Region[C]//CICTP 2019, July 1-4, 2019, Nanjing, China. American Society of Civil Engineers, 2019: 77-89.
- [9] ZIETSMAN D, VANDERSCHUREN M. Analytic hierarchy process assessment for potential multi-airport systems—the case of cape town[J]. Journal of Air Transport Management, 2014, 36: 41-49.
- [10] 中国民用航空局. 民航局印发《中国民航高质量发展指标框架体系(试行)》[EB/OL]. (2019-05-10)[2025-04-10]. http://www.caac.gov.cn/PHONE/XWZX/MHYW/201905/t20190513_196121.html.
- [11] GUO C C, CONG W, ZHONG F W, et al. Evaluation of homogenization in metroplex operations based on multi-dimensional indicators[J]. Aerospace, 2022, 9(8): 453.
- [12] 韦素琼, 陈艳华, 耿静嫒. 基于相似系数和R/S分析方法的闽台产业同构性[J]. 地理研究, 2010, 29(3): 491-499.
- [13] 艾 欣, 秦珺晗, 胡寰宇, 等. 基于最优最劣法-熵权-逼近理想解排序法的电网安全与效益综合评价[J]. 现代电力, 2021, 38(1): 60-68.
- [14] 吴季钊. 基于CRITIC-熵权法和TOPSIS法的内河港口竞争力研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2022.
- [15] 林永君, 白青飞. 基于组合权重与TOPSIS法的火力发电厂运行指标评价[J]. 山东电力技术, 2021, 48(8): 61-65.
- [16] 金炜凯. 基于BWM多准则决策方法的矿山安全态势研究[J]. 市场周刊, 2021, 34(1): 42-44.
- [17] 中国民用航空局. 2019年民航机场生产统计公报[EB/OL]. (2020-03-09)[2025-04-10]. https://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/TJSJ/202003/t20200309_201358.html.
- [18] BERNARDIN A, HOYET L, MUCHERINO A, et al. Normalized Euclidean distance matrices for human motion retargeting[C]//The 10th International Conference on Motion in Games, Barcelona Spain, November 8, 2017. ACM, 2017: 1-6.

(责任编辑: 明 月)