

- 莫辉辉, 王姣娥, 彭峥, 肖凡. 2022. 机场群航线网络竞合评价方法及实证探讨——以粤港澳大湾区世界级机场群为例. 热带地理, 42 (11): 1797-1805.
- Mo Huihui, Wang Jiao'e, Peng Zheng and Xiao Fan. 2022. Co-Opetition on Airport Agglomeration's Air Transport Network: A Case Study of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Tropical Geography*, 42 (11): 1797-1805.

机场群航线网络竞合评价方法及实证探讨 ——以粤港澳大湾区世界级机场群为例

莫辉辉¹, 王姣娥^{2,3}, 彭 峥¹, 肖 凡^{2,3}

(1. 中国民航科学技术研究院, 北京 100028; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所 区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101; 3. 中国科学院大学 资源与环境学院, 北京 100049)

摘 要: 航线网络是机场群市场竞争—合作(竞合)的重要内容。借助图论、集合论、产业经济等理论方法, 从整体性市场及交互式市场两个视角探索并建立机场群航线网络竞合关系的量化评价模型, 并基于粤港澳大湾区世界级机场群开展实证分析, 研究表明: 1) 从整体市场竞争视角分析, 大湾区机场群航点竞合市场由完全垄断市场与弱合作市场主导, 但竞争程度在逐步强化; 同类通航点的航线竞合指数存在较大的差异性及复杂性, 但竞争程度也呈现加剧态势。2) 从交互式竞争视角分析, 大湾区机场群航线网络的竞合格局整体呈现由合作型向竞争型转变的态势, 且航线竞争水平大于通航航点竞争。

关键词: 机场群; 通航点; 航线网络; 竞争—合作; 粤港澳大湾区

中图分类号: F562.6

文献标志码: A

文章编号: 1001-5221(2022)11-1797-09

DOI: 10.13284/j.cnki.rddl.003578

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



航空运输是全球经济社会交流的重要纽带。伴随经济全球化及区域一体化进程的推进, 城市群与机场群联动发展已成为全球经济发展的重要趋势, 也是中国民航高质量发展的重要内涵(冯正霖, 2018)。机场群的概念最早由中国学者于20世纪80年代提出, 伴随中国城镇化的快速推进, 作为城市群重要支撑的机场群研究才开始受到持续关注(莫辉辉等, 2021)。2008年, 机场群首次出现在国家规划文件——《全国民用机场布局规划》^①中, 即提出“构筑规模适当、结构合理、功能完善的北方、华东、中南、西南、西北五大区域机场群。”2017年修订实施的《全国民用运输机场布局规划》^②提出“构建世界级机场群、国际枢纽和区域枢纽层次清晰、布局合理、功能完善的机场体系。”

2018年发布的《新时代民航强国建设行动纲要》^③提出要建设机场群, 着力推动京津冀、长三角、粤港澳、成渝等区域建设世界级机场群; 其后, 机场群的建设发展被纳入《国家综合立体交通网规划纲要》(2021年)^④。可见, 机场群在中国民航发展中的地位与作用与日俱增, 加强对该领域的研究不仅有利于助力机场群的规划发展, 同时也将丰富航空运输地理学的理论与实践。

航线网络是机场群生存与发展的重要要素, 也是响应群内机场功能定位及衡量机场群发展阶段的重要指标(杨学兵, 2020)。对机场群航线网络的研究一方面体现在宏观视角的定性探讨, 如机场群协同发展情景下的航线网络发展策略分析(郝媛等, 2016; 綦琦, 2017); 另一方面则是基于微观

收稿日期: 2022-04-24; 修回日期: 2022-05-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(42171187、42225106); 国家社会科学基金重大项目(20&ZD099)

作者简介: 莫辉辉(1979—), 男, 湖南衡南人, 研究员, 研究方向为民航发展规划, (E-mail) huihuimo@163.com;

通信作者: 王姣娥(1981—), 女, 湖南涟源人, 研究员, 博士生导师, 研究方向为交通地理与区域发展, (E-mail) wangje@igsrr.ac.cn。

① 资料来源: http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/FZGH/201511/t20151103_10715.html

② 资料来源: https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/201703/t20170315_962231_ext.html

③ 资料来源: http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/ZFGW/201812/t20181212_193447.html

④ 资料来源: http://www.gov.cn/zhengce/2021-02/24/content_5588654.htm

视角的定量化分析,如航线网络整体协调度的评价与优化(陈梵驿,2017;陈秋吉,2020;牟莹莹,2020)。尽管航线网络是机场群响应城市群航空市场发展的重要表征,也是区域规划中实施机场发展定位的重要抓手,既有研究多是关注航线网络的竞争(同质化)特征(蒋永雷等,2013;陈欣等,2020),忽视了航线合作是市场发展的重要基础(Derudder et al., 2010; 莫辉辉等, 2021)。在国外文献中,关于特定空间范围内机场竞合特征的研究,多基于问卷调查并从乘客出行的微观视角对大都市区/都市圈内机场的竞争特征开展研究(Harvey, 1987; Hess et al., 2005; Loo, 2008),从航线尺度开展的相关研究尚少。尽管Fuellhart等(2013)基于航线尺度对美国波士顿、华盛顿和旧金山3个大都市区内机场的竞争关系进行了描述,但其未建立相关量化评价模型,难以定量评价特定空间范围内机场集合的航线网络竞合关系。从图论、集合论等视角对航线网络组织结构特征进行分析是地理学的重要手段(Taaffe et al., 1996; 莫辉辉等, 2008),而市场竞争合作是产业经济的重要研究内容(苏东水, 2000)。因此,本文综合图论、集合论、产业经济等理论方法,创新性地建立机场群航线网络竞合关系的一类评价模型,并基于粤港澳大湾区世界级机场群开展案例分析,以期对机场发展差异化定位、航线网络优化布局等提供决策参考。

1 理论分析与评价模型

1.1 网络建构及描述

机场群航线网络由群内机场及与其衔接的群外机场之间的航线共同构成,因此可采用二部图(Bi-part Graph)对其进行理论化描述及建模分析,即航线网络抽象描述为由2个点集和1个关系集构建的图 $N=(G, K, E)$ 。其中, G 表示机场群的点集 $G=\{V_i: i=1, 2, \dots, m\}$, $m=|G|$ 表示机场群体系中机场的数量,并将 V_i 简记为 i ; K 表示机场群通航点集 $K=\{V_j: j=1, 2, \dots, n\}$, $n=|K|$ 表示机场群通航点总数量,并将 V_j 简记为 j ;不考虑机场群内机场之间的航线联系,则有 $G \cap K = \emptyset$ 。 E 表示机场群内各机场及与其通航机场之间的连接关系集 $E=\{e_{ij}: i \in G, j \in K\}$,如果机场之间存在航线航班联系,定义 $e_{ij}=e_{ji}=1$,否则 $e_{ij}=0$ 。值得注意的是,本研究仅考虑直接联系的直飞(Non-stop)航线,即经停本场(G)的航线拆分为2段,如 $U-V$

$G-V$ 拆分为 $G-U$ 和 $G-V$,始发或终到的联程以及环飞航线仅考虑直接相连的1段航线,如 $U-V-G$ 则仅考虑 $G-V$ 航段,并对相应航线(航段)进行合并处理。考虑各机场与通航点之间联系强度的差异(如航班频率、可供座位数),用 f_{ij} 表示边 e_{ij} 的权重。

1.2 定量化评价模型

机场群航线网络市场竞合主要体现在2个方面:一是机场群对航线航点的竞合,即群内所有机场参与的整体性竞合评价;二是机场群内机场之间的航线竞合。从机场群基本特征分析,其成员机场数量在3个以上($m>3$);基于集合论的多元组(如存在二元、三元)交织关系,可知机场群航线网络之间的竞合关系异常复杂,难以通过单一的量化指标描述其复杂性;理论上,采用单一指标对网络的复杂性进行明确判定也是不可能的(Haggett et al., 1969);为此,通过研究机场群内机场对之间对其连通航线航点市场的交互式竞合关系,探讨其航线网络市场的竞合格局。

1) 整体性竞合评价 基于机场群的航线网络 N ,对于机场群节点集 G ,其通航点集 K 衔接的航线数量 k_j 存在以下的关系,即:

$$k_j = \sum_{i \in G} e_{ij} \quad (1)$$

式中: k_j 表示机场 j 的度(Degree)值,进一步利用频度分布 $p(k)$ 统计分析 k_j 的通航市场占比情况及判断市场竞合总体趋势(莫辉辉等, 2008; 杜德林等, 2019)。由于 k_j 受机场群内机场数量规模 m 的限制,对其进行标准化处理,用 $K_j=k_j/m$,则有 $1/m \leq K_j \leq 1$;其中, $K_j=1$ 表示该市场为完全竞争市场,即机场群内所有机场均有开通至机场 j 的航线; $K_j=1/m$ 表示完全垄断市场,即群内仅有1个机场开通了至机场 j 的航线;对于 $K_j \neq 1$ 的情况,采用四分法对机场群的整体航点竞合类型进行区分(杜德林等, 2020),其中 $K_j \leq 0.25$ 视为强合作市场、 $0.25 < K_j \leq 0.5$ 表示弱合作市场、 $0.5 < K_j \leq 0.75$ 表示弱竞争市场、 $K_j > 0.75$ 表示强竞争市场。

考虑机场群节点集 G 与其通航点集 K 之间存在联系强度的差异,引入航空市场竞争关系常用的产业经济赫芬达尔-赫希曼指数(HHI)(Wang et al., 2016; 莫辉辉等, 2017),以分析机场群在通航点 j 上的加权竞合程度,即:

$$G_j = \sum_{i \in G} \left(\frac{f_{ij}}{\sum_{i=1}^m f_{ij}} \right)^2 \quad (2)$$

式中： G_j 表示机场群至通航点 j 所有航线的市场权重竞合指数，且有 $1/m \leq G_j \leq 1$ 。其中， $G_j = 1$ 表示该市场为完全垄断市场。对于 $G_j \neq 1$ 的情况，由于群内机场数量的相对有限性，如果 $G_j \geq \frac{1}{K_j} \times (1 + 50\%)$ ，则定义该航线市场为垄断竞争型市场；反之，则定义航线市场为协调竞争型市场。

2) 交互式竞合评价 针对机场群内某个机场 V_a ，由其与其衔接的航线构成子网络 $A = (G_a, K_a, E_a)$ ，其中有 $e_{aj} = 1 (V_a \in G, V_j \in K)$ ；对于群内单个机场而言，航线与航点之间存在一一对应关系，即有 $|K_a| = |E_a|$ ，且子网络 A 的元素数量取决于其航点或航线，因此将该子网络简记为 $A = \{K_a\}$ 或 $A = \{E_a\}$ 。依据该原则构造交互式竞合分析的子网络 B 。基于集合论的理论，对于群内任意两机场 A 与 B ，定义两场航点竞合指数为：

$$NCI_{AB} = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} \quad (3)$$

式中： $0 \leq NCI_{AB} \leq 1$ ；其中，如果 $NCI_{AB} = 1$ 表示群内机场之间是完全竞争关系， $NCI = 0$ 表示群内机场之间是完全合作互补关系。考虑市场竞合程度，以四分法对竞合关系强度等级进行分类，确定 $NCI_{AB} \leq 0.25$ 表示强合作市场、 $0.25 < NCI_{AB} \leq 0.5$ 表示弱合作市场、 $0.5 < NCI_{AB} \leq 0.75$ 表示弱竞争市场、 $NCI_{AB} > 0.75$ 表示强竞争市场。基于上述交互式竞合指数，建立群内机场之间的二维竞合分析矩阵。

考虑航线的联系强度差异，群内两机场 A 与 B 的竞合程度不仅取决于共同市场 $(A \cap B)$ 占两场 $(A \cup B)$ 总联系强度的比重 (S_{AB}) ，同时还应考虑竞争市场上的各航线竞争程度。引入赫芬达尔-赫希曼指数(HHI)来确定两机场 A 与 B 的航线竞合程度 (C_{AB}^*) 。即有：

$$S_{AB} = \frac{\sum_{A \cap B} f_{ij}}{\sum_{A \cup B} f_{ij}} \quad (4)$$

$$C_{AB}^* = \frac{1}{|A \cap B|} \times \sum_{v_j \in A \cap B} \left[\sum_{v_i \in \{v_a, v_b\}} \left(\frac{f_{ij}}{\sum_{i=1}^m f_{ij}} \right)^2 \right] \quad (5)$$

式(4)中： S_{AB} 表示共同市场占总市场的比重；式

(5)中： C_{AB}^* 为共同市场上所有航线集中度(HHI)的算术平均值。定义基于联系强度的两场航线网络交互式竞合指数 (NCI_{AB}^*) 为：

$$NCI_{AB}^* = S_{AB} \times (1 - C_{AB}^*) \times 2 \quad (6)$$

式中： $0 \leq NCI_{AB}^* < 1$ 。其中， $NCI_{AB}^* = 0$ 为完全互补型市场（两场之间无共同通航点）。考虑市场竞合程度，以四分法对竞合强度等级进行分类；即 $NCI_{AB}^* \leq 0.25$ 表示强合作市场， $0.25 < NCI_{AB}^* \leq 0.5$ 表示弱合作市场， $0.5 < NCI_{AB}^* \leq 0.75$ 表示弱竞争市场， $NCI_{AB}^* > 0.75$ 表示强竞争市场。同样，基于上述交互式竞合指数，可建立群内机场之间的二维竞合分析矩阵。

2 粤港澳大湾区实证分析

粤港澳大湾区（简称大湾区）地域范围包括广东省9市（广州市、深圳市、珠海市、佛山市、惠州市、东莞市、中山市、江门市、肇庆市）以及香港和澳门2个特别行政区，2019年《粤港澳大湾区发展规划纲要》确立了大湾区国家级战略区域地位。2020年民航局印发《关于支持粤港澳大湾区民航协同发展的实施意见》^⑤，提出要建设更高质量的世界级机场群。粤港澳大湾区是中国机场群理论与实践研究的重要策源地（莫辉辉等，2021），也是目前中国航空运输最为发达的地区；在2019年全球旅客吞吐量与货邮吞吐量前20位机场中（ACI，2020），大湾区也是中国唯一同时占据两席（香港和广州）的机场群。本文实证分析的航线网络数据基于OAG（Official Aviation Guide）全球航线航班数据库及中国民用航空局机场业务量统计数据，其中航线网络数据为2015和2019年（新冠疫情前），航线数据仅涉及客运航班，航线属性数据包括航班量（年航班量不少于52班，即单向至少每周1班）。

2.1 机场及航线网络

截至2021年底，大湾区地区共有7个民用机场（香港/HKG、澳门/MFM、广州/CAN、深圳/SZX、珠海/ZUH、惠州/HUZ、佛山/FUO）。2019年大湾区机场旅客吞吐量和货邮吞吐量分别达到2.23亿人次和801万t，位居中国四大世界级机场群之首。2015和2019年大湾区通航航线分别为1 606和2 233条，经合并处理得到2015和2019年的航线（段）数量分别为490和687条。

粤港澳大湾区机场群呈现空间集聚性特征（图

⑤ 资料来源：http://www.caac.gov.cn/XWZX/MHYW/202007/t20200715_203593.html

1), 即旅客吞吐量和客运通航点高度集聚于广州、香港、深圳3个机场。2019年旅客吞吐量前三位的机场分别为广州(7 338万人次)、香港(7 129万人次)和深圳(5 293万人次), 同期客运通航点数量前三位分别为广州(187个)、深圳(165个)和香港(157个), 分别占大湾区总量的89%和74%。其中, 2015—2019年深圳机场客运通航点数量快速增长(2015年为106个), 超过香港排名第二。此外, 珠海机场旅客吞吐量超过1 000万人次, 澳门机场旅客吞吐量接近1 000万人次, 佛山和惠州两场旅客吞吐量均未超过300万人次, 此4座机场的客运通航点均 ≤ 70 个。

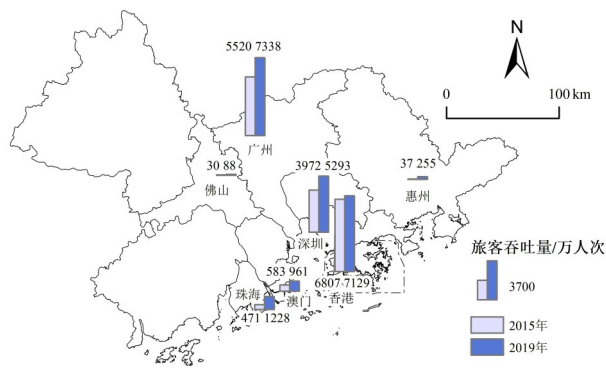


图1 粤港澳大湾区机场群旅客吞吐量的空间格局

Fig.1 Spatial pattern of passenger throughput of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area airport agglomeration

粤港澳大湾区机场群的航线网络也呈现集聚在部分城市对的特征。在国内航线网络方面(图2、3), 2019年粤港澳大湾区机场群与北京、上海、成都、台北等人口经济高度集聚城市的大型机场通航最为频繁, 其中航班量排名前三位的航段依次是深圳—上海虹桥(2.98万班)、广州—上海虹桥(2.63万班)、深圳—北京首都(2.38万班)。与2015年相比, 粤港澳大湾区机场群共新增141个国内航点, 同时也减少30个国内航点, 整体上表现出增加远距离航班、减少近距离航班的空间态势; 具体而言, 除飞往京津冀、长三角和成渝地区等主要市场地的航班增加外, 粤港澳大湾区飞往郑州、西安等中西部地区的远距离航班也相应增加, 但飞往广西、海南、台湾等近距离航点的航班却减少。

在国际市场方面(图4、5), 2019年大湾区机场群主要通航周边东亚和东南亚地区的机场, 其次是远距离的欧美国家机场; 其中香港国际机场在国

际航空客运市场上具有较大的优势, 占据航班量排名前六的航段, 由大到小排列连接航点依次为泰国曼谷(1.66万班)、韩国仁川(1.55万班)、新加坡樟宜(1.33万班)、菲律宾马尼拉(1.29万班)、日本关西(1.17万班)、日本成田(1.16万班)。与2015年相比, 粤港澳大湾区机场群共增加99个国际航点, 同时也减少了13个航点; 与国内市场相似, 大湾区机场群积极推动航点(广度)拓展策略。从2015—2019年航班量变化分析, 整体上以增加飞往东亚和东南亚地区的航班为主, 且洲际远程航班量呈现下降趋势; 其中航班变化量排名前三的航段依次是香港—成田(0.34万班)、香港—关西(0.34万班)、广州—柬埔寨金边(0.31万班); 与国内市场相对多元化的航班(深度)拓展策略相比, 受运输距离、航权时刻等资源约束, 国际市场的航班拓展的路径依赖性较强。

2.2 整体性竞合格局

从通航点情况看, 机场群整体通航机场数量由2015年的219座增加至2019年的272座。从航点竞合情况分析, 2015年(图6-a)大湾区机场群完全垄断市场($k_j=1$)包括多伦多、台南、多伦多等83座机场, 通航市场占比 $p(k)$ 为37.9%; 弱合作市场($k_j=2$ 与 $k_j=3$, 且 $0.25 < K_j \leq 0.5$)包括马尼拉、济南、东京等94座机场, 通航市场占比42.9%; 弱竞争市场($k_j=4$ 与 $k_j=5$, 且 $0.5 < K_j \leq 0.75$)包括新加坡、曼谷、海口等36座机场, 通航市场占比16.4%; 强竞争市场($k_j=6$, 且 $0.75 < K_j$)包括昆明、重庆、成都、宁波等4座机场, 通航市场占比为1.8%; 完全竞争市场($k_j=7$ 且 $K_j=1$)包括上海浦东和杭州2座机场, 通航市场占比为0.9%。2019年(图6-b)大湾区机场群完全垄断市场包括冲绳那霸、芝加哥、玉林等92座机场, 通航市场占比为33.8%, 较2015年增加9个通航点但市场占比反而下降4.1个百分点; 弱合作市场包括胡志明市、乌鲁木齐、大连等115座机场, 通航市场占比42.3%, 较2015年通航点增加21个但市场占比基本稳定; 弱竞争市场包括上海虹桥、台北桃园、曼谷等43座机场, 通航市场占比15.8%, 较2015年通航点增加7个但市场占比相对稳定; 强竞争市场包括北京首都、杭州、成都等17座机场, 通航市场占比为6.3%, 较2015年通航点增加13个且市场占比升高4.5个百分点; 完全竞争市场包括上海浦东、南京、昆明、海口、温州等5座机场, 通航市场占比为

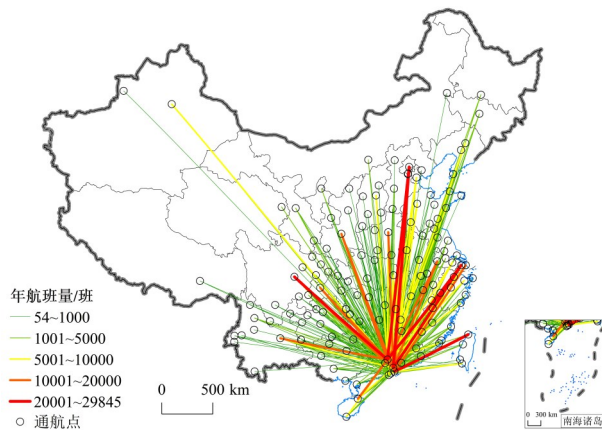


图2 2019年粤港澳大湾区机场群国内航线和航班分布

Fig.2 Domestic routes and flights from/to Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area Airport Agglomeration in 2019

注：该图基于自然资源部地图技术审查中心标准地图（审图号：GS（2020）4630号）绘制，底图无修改；图3同

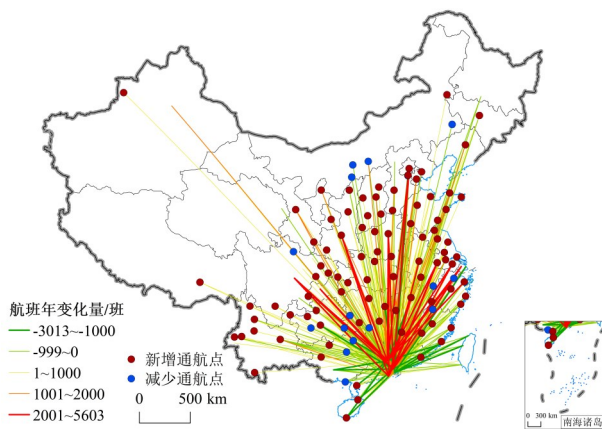


图3 2015—2019年粤港澳大湾区机场群国内网络变化

Fig.3 Domestic route and flight changes from/to Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area Airport Agglomeration during 2015-2019

1.8%，较2015年增加近1倍。从2015—2019年市场占比 $p(k)$ 的变化趋势分析，群内通航3、4及6座机场的增幅较为明显，同期通航1、2座机场的增幅较少，致使 $p(k)$ 整体斜率变小，表明市场整体竞争程度有所增加。

从基于航班频度的航线竞合情况（图7）分析，非垄断性航线（ $2 \leq k_j \leq 7$ ）竞争存在较大的差异性 & 复杂性。对于2015年大湾区机场群航线市场而言（图7-a），在 $k_j = 2$ 的航线市场上，东京羽田、伦敦希思罗、福冈等5座机场的航线为垄断竞争型市场，通航点市场占比为7.4%；在 $k_j = 3$ 的航线市场上，

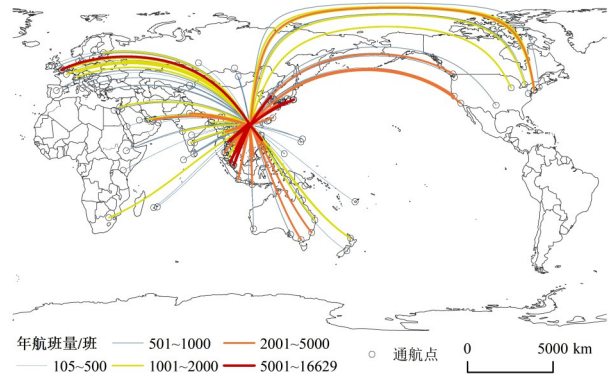


图4 2019年粤港澳大湾区机场群国际航线分布

Fig.4 International routes and flights from/to Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area Airport Agglomeration in 2019

注：该图基于自然资源部地图技术审查中心标准地图（审图号：GS（2016）1666号）绘制，底图无修改；图5同

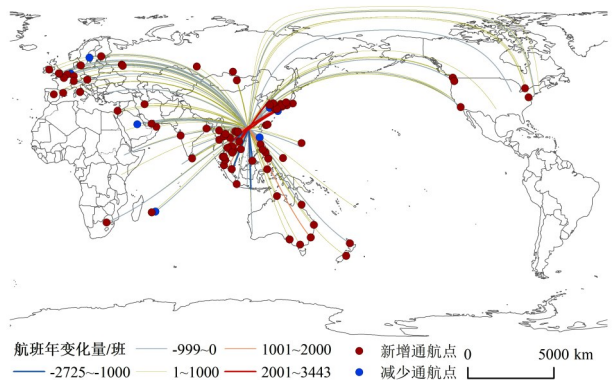


图5 2015—2019年粤港澳大湾区机场群国际航线网络变化

Fig.5 International route and flight changes from/to Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area Airport Agglomeration during 2015-2019

东京成田、马尼拉、长春等10座机场的航线为垄断竞争型航线，通航点市场占比为38.5%；在 $k_j = 4$ 的航线市场上，新加坡、高雄、湛江等16座机场的航线为垄断竞争型市场，通航点市场占比为64.0%；在 $k_j = 5$ 的航线市场上，上海虹桥、北京首都、长沙等8座机场的航线为垄断竞争型航线，通航点市场占比为72.7%；在 $k_j = 6$ 与 $k_j = 7$ 的航线市场上，昆明、重庆、成都等6座机场的航线均为垄断竞争型航线。对于2019年大湾区机场群航线市场而言（图7-b），在 $k_j = 2$ 的航线市场上，孟买、旧金山、乌兰巴托等6座机场的航线为垄断竞争型市场，通航点市场占比为8.8%；在 $k_j = 3$ 的航线市场上，迪拜、洛杉矶、伦敦希思罗等11座机场的航线垄断竞争型

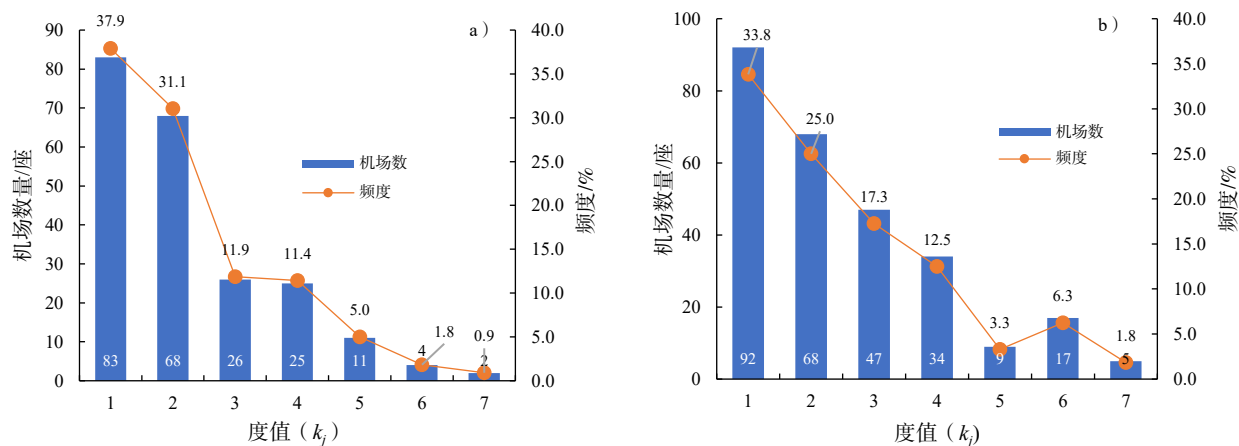


图6 2015 (a) 和2019年 (b) 粤港澳大湾区机场群航点竞合格局

Fig.6 The co-opetition pattern of airports in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area, 2015 and 2019

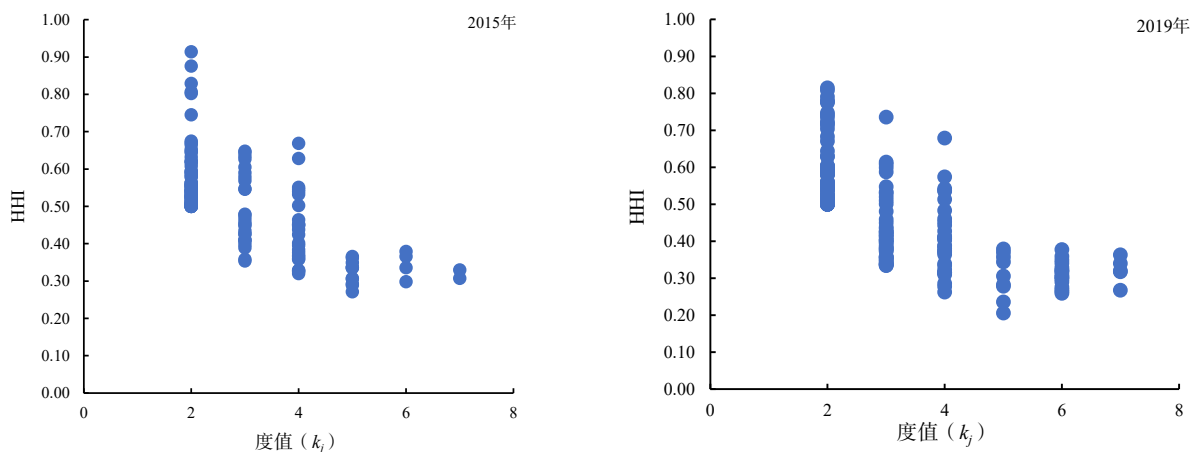


图7 2015和2019年大湾区机场群航线竞合指数分布

Fig.7 The co-opetition pattern of air routes in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area in 2015 and 2019

航线,通航点市场占比为23.4%;在 $k_j=4$ 的航线市场上,新加坡、高雄、长春等19座机场的航线为垄断竞争型市场,通航点市场占比为55.9%;在 $k_j=5$ 的航线市场上,烟台、太原、南宁等5座机场的航线垄断竞争型航线,通航点市场占比为55.6%;在 $k_j=6$ 与 $k_j=7$ 的航线市场上,昆明、成都、上海虹桥等22座机场的航线全部为垄断竞争型航线。对比分析2015和2019年不同度值的航线竞合指数发现,随着通航机场度值(k_j)的增加(除 $k_j=2$ 外),2019年各度值最大指数及最小指数之间的差值均大于2015年相应值,表明航线市场竞争程度整体呈现增加态势。

2.3 交互式竞合格局

从航点交互式竞合指数情况(表1)分析,

表1 2015年和2019年大湾区机场群航点交互式竞合指数分布

Table 1 Interactive co-opetition index of airports in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area in 2015 and 2019

指数	广州	佛山	香港	惠州	澳门	深圳	珠海
广州	—	0.07	0.43	0.16	0.26	0.64	0.35
佛山	0.06	—	0.04	0.17	0.10	0.08	0.13
香港	0.45	0.06	—	0.14	0.31	0.35	0.20
惠州	0.04	0.31	0.04	—	0.29	0.19	0.41
澳门	0.22	0.07	0.25	0.10	—	0.27	0.29
深圳	0.56	0.08	0.29	0.06	0.25	—	0.37
珠海	0.18	0.18	0.18	0.17	0.29	0.25	—

注:矩阵对角线上半部分(粗体)代表2019年情况,下半部分为2015年情况;表2同

2015年广州—佛山、香港—珠海、澳门—惠州等16对机场之间表现为强合作市场($NCI_{AB} \leq 0.25$),广

州—香港、深圳—香港、惠州—佛山、珠海—澳门等4对机场之间表现为弱合作市场 ($0.25 < NCI_{AB} \leq 0.5$)，仅有深圳—广州机场之间表现为弱竞争市场 ($0.5 < NCI_{AB} \leq 0.75$)。2019年广州—惠州、澳门—佛山、香港—珠海等10对机场之间表现为强合作市场，广州—香港、香港—深圳、澳门—惠州等10对机场之间表现为弱合作市场，深圳—广州机场之间表现为弱竞争市场。整体来看，2019年机场群交航点交互式竞合指数呈现增大趋势，市场竞争程度有所提升；除深圳—广州外，2015和2019年大湾区航线网络的航点交互式竞合市场整体仍属于合作型市场。

从航线交互式竞争指数情况（表2）分析，2015年广州—佛山、广州—惠州、澳门—佛山等10对机场之间表现为强合作市场 ($NCI_{AB}^* \leq 0.25$)，广州—珠海、深圳—澳门、惠州—佛山等9对机场之间表现为弱合作市场 ($0.25 < NCI_{AB}^* \leq 0.5$)，香港—广州机场之间表现为弱竞争市场 ($0.5 < NCI_{AB}^* \leq 0.75$)，广州—深圳机场之间表现为强竞争市场 ($NCI_{AB}^* > 0.75$)。2019年广州—佛山、广州—惠州、香港—惠州等8对机场之间表现为强合作市场，广州—澳门、香港—深圳、澳门—深圳等8对机场之间表现为弱合作市场，广州—香港、香港—澳门、深圳—珠海、惠州—珠海等4对机场之间表现为弱竞争市场；竞争市场多发生在旅客吞吐量千万级机场之间，广州—深圳机场之间表现为强竞争市场；随着机场规模增加，大湾区航线市场交互式竞争程度变强的趋势，原因可能在于大型机场所服务的城市具备规模以上飞往相同目的地的航空运输市场需求。整体来看，2019年机场群交互式航线竞合指数较2015年有一定幅度的增长，随着大湾区整体航空市场的快速增长，大湾区航线网络的航线交互式竞合市场格局整体由2015年的合作型向2019年的竞

争型转变。对比航点交互式竞合指数情况，发现机场群在航线市场上的竞争程度整体大于在航点市场上的竞争程度。值得指出的是，佛山—广州、佛山—澳门等机场对的航点市场竞争程度略高于航线，表明佛山机场在航线网络发展方面采取了广度（航点）拓展优先的策略。

3 结论与讨论

机场群已成为中国国家机场体系及综合交通体系的核心市场。从网络结构的基本特征出发，本研究基于二部图理论建立机场群航线网络的描述模型；考虑航点（边联系为0~1拓扑关系）及航线（边联系强度的加权关系）2种情形，从整体性竞合市场及交互式竞合市场2个视角，创新性地建立了机场群航线网络竞合的理论分析框架及量化评价模型，为机场群航线网络竞合的深化研究及其内在驱动机制分析奠定了基础。基于粤港澳大湾区世界级机场群航线网络的分析，该方法为机场群竞合关系提供了一种定性定量相结合的分析手段。

粤港澳大湾区作为中国航空业务量最大、发展相对较为成熟的机场群，其航线网络竞合关系较为复杂。从整体性竞合格局看，大湾区机场群航点竞合市场主要由完全垄断市场与弱合作市场主导，但两大市场占比由2015年80.9%下降至2019年76.1%，市场整体竞争程度有所增加；同时，航线竞合市场表明航点规模（ k_j ）相同机场的内部竞争存在较大差异性，且竞争程度呈现增强态势。从交互式竞合格局分析，大湾区机场群航点交互式竞合市场由强合作市场及弱合作市场主导，2015和2019年的机场对数量均为20对；但弱合作市场数量增加，市场竞争趋势增强。航线交互式竞合市场也由强合作市场及弱合作市场主导，但机场对数量由2015年19对下降至2019年的16对；大湾区机场群航线市场竞争程度整体大于在航点市场，但部分机场对表现不一致。

航线网络是机场群重要的生产要素，也是机场之间差异化定位的重要抓手。机场群航线网络竞合关系的评价是优化资源配置、促进机场群协同发展的一项基础性工作，进一步的研究工作将结合图论、复杂网络、统计学等理论建立更加完善的评价模型体系（如考虑群内部联系及竞合阈值参数设定）。另外，亟需在更长时间尺度、更多地域范围开展机场群航线网络竞合关系的实证研究，以寻找发展规律并指导实践规划工作；同时，也需加强与

表2 2015和2019年大湾区机场群航线
交互式竞合指数分布

Table 2 Interactive co-opetition index of air routes in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area in 2015 and 2019

指数	广州	佛山	香港	惠州	澳门	深圳	珠海
广州	—	0.08	0.58	0.20	0.38	0.84	0.50
佛山	0.04	—	0.04	0.24	0.10	0.10	0.16
香港	0.56	0.06	—	0.16	0.54	0.43	0.30
惠州	0.04	0.50	0.04	—	0.36	0.28	0.54
澳门	0.32	0.04	0.44	0.12	—	0.46	0.46
深圳	0.82	0.08	0.44	0.06	0.36	—	0.60
珠海	0.34	0.12	0.26	0.20	0.44	0.44	—

城市群区域发展互动的系统分析,探索驱动机场群航线网络竞合关系演变的内在机制。

参考文献 (References):

- Airport Council internation (ACI). 2020. *Annual World Airport Traffic Report 2020*. Montreal: Publications Department ACI World.
- 陈梵驿. 2017. 京津冀机场群协同发展下的航线优化研究. 天津: 中国民航大学. [Chen Fanyi. 2020. *Study on Airline Optimization of Beijing Tianjin Hebei Region Multi-Airport System Coordinated Development*. Tianjing: Civil Aviation University of China.]
- 陈秋吉. 2020. 基于机场群协调发展的航线网络演变研究. 南京: 南京航空航天大学. [Chen Qiuji. 2020. *Research on Evolution of Airline Network Based on Coordinated Development of Airport Group*. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics.]
- 陈欣, 李心茹, 戴颀, 宣超. 2020. 基于复杂网络的机场群航线网络动态特征分析. 交通科技与经济, 22 (3): 5-11, 41. [Cheng Xin, Li Xinru, Dai Liang and Xuan Chao. 2020. Dynamic Characteristics Analysis of Aviation Network in Multiple-Airport-Systems Based on Complex Network. *Technology & Economy in Areas of Communications*, 22(3): 5-11, 41.]
- Derudder B, Devriendt L and Witlox F. 2010. A Spatial Analysis of Multiple Airport Cities. *Journal of Transport Geography*, 18: 345-353.
- 杜德林, 莫辉辉, 王姣娥. 2019. 三大国有航空公司网络空间结构比较与演化. 热带地理, 39 (2): 196-205. [Du Delin, Mo Huihui and Wang Jiao'e. 2019. Spatial Structure and Evolution of the Three State-Owned Airlines' Networks in China. *Tropical Geography*, 39(2): 196-205.]
- 杜德林, 王姣娥, 王祎. 2020. 中国三大航空公司市场竞争格局及演化研究. 地理科学进展, 39 (3): 367-376. [Du Delin, Wang Jiao'e and Wang Yi. 2020. Market Structure and Competition of the Three Major Airlines in China. *Progress in Geography*, 39(3): 367-376.]
- 冯正霖. 2018. 推动民航高质量发展 开启新时代民航强国建设新征程. 民航管理, (1): 6-15. [Feng Zhenglin. 2018. Promoting High-Quality Development of Civil Aviation, Embarking on a New Journey to Build a Strong Civil Aviation Country in a New Era. *Civil Aviation Management*, (1): 6-15.]
- Fuellhart K, O'Connor K and Woltemade C. 2013. Route-Level Passenger Variation within Three Multi-Airport Regions in the USA. *Journal of Transport Geography*, 31: 171-180.
- Taaffe E J, Gauthier H L and O'Kelly M E. 1996. *Geography of Transportation*. New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- Haggett P and Chorley R J. 1969. *Network Analysis in Geography*. London: Edward Arnold Ltd.
- 郝媛, 全波. 2016. 世界级城市群目标下京津冀机场群发展策略. 城市交通, 14 (3): 67-71, 80. [Hao Yuan and Quan Bo. 2016. Airports Development Strategies in Beijing-Tianjin-Hebei, a World-Class Cluster of Metropolitan Areas. *Urban Transport of China*, 14(3): 67-71, 80.]
- Harvey G. 1987. Airport Choice in a Multiple Airport Region. *Transportation Research Part A: General*, 21(6): 439-449.
- Hess S and Polak J W. 2005. Mixed Logit Modelling of Airport Choice in Multi-Airport Regions. *Journal of Air Transport Management*, 11(2): 59-68.
- 蒋永雷, 杨忠振, 王璐, 邹汶倩. 2013. 区域机场同质化发展特征分析: 以长三角地区机场群为例. 经济地理, 33 (2): 122-127. [Jiang Yonglei, Yang Zhongzhen, Wang Lu and Zou Wenqian. 2013. Homogenization Analysis of Airports in China Yangtze River Delta Region. *Economic Geography*, 33(2): 122-127.]
- Loo B P Y. 2008. Passengers' Airport Choice within Multi-airport Regions (MARs): Some Insights from a Stated Preference Survey at Hong Kong International Airport. *Journal of Transport Geography*, 16(2): 117-125.
- 莫辉辉, 王姣娥, 金凤君. 2008. 交通运输网络的复杂性研究. 地理科学进展, 27 (6): 112-120. [Mo Huihui, Wang Jiao'e and Jin Fengjun. 2008. Complexity Perspectives on Transportation Network. *Progress in Geography*, 27(6): 112-120.]
- 莫辉辉, 胡华清, 王姣娥. 2017. 中国货运航空企业发展过程及航线网络演化格局. 地理研究, 36 (8): 1503-1514. [Mo Huihui, Hu Huaqing and Wang Jiao'e. 2017. Air Cargo Carriers Development and Network Evolution: A Case Study of China. *Geographical Research*, 36(8): 1503-1514.]
- 莫辉辉, 王姣娥, 高超, 王涵. 2021. 机场群研究进展与展望. 地理科学进展, 40 (10): 1761-1770. [Mo Huihui, Wang Jiao'e, Gao Chao and Wang Han. 2021. Airport Agglomeration Research: A Review and Prospect. *Progress in Geography*, 40(10): 1761-1770.]
- 牟莹莹. 2020. 基于长三角机场群的航线网络优化. 南京: 南京航空航天大学. [Mu Yingying. 2020. *Optimization of Route Network Based on Airport Group in Yangtze River Delta*. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics.]
- 綦琦. 2017. 关于大珠三角国际机场群协同发展体系构建的思考. 民航管理, (5): 24-25. [Qi Qi. 2017. Thoughts on Building a Coordinated Development System of the Multi-Airport System in the Great Pearl River Delta. *Civil Aviation Management*, (5): 24-25.]
- 苏东水. 2000 产业经济学. 北京: 高等教育出版社. [Su Dongshui. 2000. *Industrial Economics*. Beijing: High Education Press.]
- Wang J, Bonilla D and Banister D. 2016. Air Deregulation in China and its Impact on Airline Competition 1994-2012. *Journal of Transport Geography*, 50: 12-23.
- 杨学兵. 2020. 我国世界级机场群聚类分析与精准施策研究. 民航管理, (4): 48-54. [Yang Xuebin. 2020. Cluster Analysis and Precise Strategy Research of World-Class Airports Group in China. *Civil Aviation Management*, (4): 48-54.]

作者贡献声明:

莫辉辉:构思全文、收集数据、完成初稿及修改;

王姣娥:构思全文、参与写作及修改;

彭 峥:数据支持及提出意见;

肖 凡:数据分析及制图。

Co-Opetition on Airport Agglomeration's Air Transport Network: A Case Study of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

Mo Huihui¹, Wang Jiao'e^{2,3}, Peng Zheng¹ and Xiao Fan^{2,3}

(1. China Academy of Civil Aviation Science and Technology, Beijing 100028, China; 2. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The status and role of airport agglomeration in China's airport system is becoming increasingly important, and air transport networks have received attention from multidisciplinary fields such as transportation planning, transport geography, and transport economics. Based on the analysis of the structural characteristics of airport agglomeration in China's air transport network, this study innovatively constructs an evaluation framework for the co-opetition relationship of airport agglomeration with the help of graph theory, set theory, and industrial economics theoretical methods. Considering the topological connectivity and weighted strength of connected airports, this study establishes a quantitative evaluation model for the co-opetition relationship of the airport agglomeration's air transport network from the perspectives of the overall and interactive markets. The Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area's airport agglomeration is a world-class airport agglomeration with the largest aviation traffic volume and a relatively mature market in China. Three large airports, Guangzhou (CAN), Hong Kong (HKG), and Shenzhen (SZX), occupy the leading positions in the Greater Bay Area. In recent years, the air transport network of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area's airport agglomeration has mainly expanded to medium- and long-distance routes. With the construction-based evaluation method, we found the following: (1) From the perspective of overall market competition index, the co-opetition market of airport agglomeration in the Greater Bay Area is dominated by a complete monopoly market and a weak cooperative market. In 2019, the complete monopoly market accounted for 33.8%, a decrease of 4.1% compared with 2015. The market with weak cooperation accounted for 42.3%, and market share remained relatively stable. The market with weak competition accounted for 15.8% of the market, and the market share remained relatively stable. The market with strong competition accounted for 6.3%, a decrease of 4.5% from 2015. Based on the calculation and analysis of the weighted strength of connected airports, there are significant differences in the co-opetition indices of similarly connected airports. The level of competition in the overall market has intensified. (2) From the perspective of interactive competition, the interactive co-opetition market within the airport group in the Greater Bay Area is dominated by strong and weak cooperation markets. From the co-opetition index of airports connecting with the Greater Bay Area, there are ten pairs of airports belonging to the strong cooperation markets in 2019, i.e. between Guangzhou and Huizhou, Macau and Foshan, Hongkong and Zhuhai airports, a decrease of six compared with 2015. The weak cooperation markets in 2019 included ten pairs of airports, such as Guangzhou and Hong Kong, Hong Kong and Shenzhen, Macau and Huizhou, an increase of six pairs of airports compared with 2015. Based on the weighted strength of connected airports, this study analyzes the interactive competition patterns. In 2019, the strong cooperation markets included eight pairs of airports, including Guangzhou-Foshan, Guangzhou-Huizhou, and Hong Kong-Huizhou, a decrease of two pairs compared with 2015. The weak cooperation markets include eight pairs of airports, such as Guangzhou-Macau, Hong Kong-Shenzhen, and Macau-Shenzhen, a decrease of two pairs compared with 2015. The weak competitive markets include four pairs of airports, namely, Guangzhou-Hong Kong, Hong Kong-Macau, and Shenzhen-Zhuhai, an increase in three pairs of airports compared with 2015. In general, the co-opetition market pattern of the Greater Bay Area turns from a cooperative overall to a competitive transformation.

Keywords: airport agglomeration; airport connected; airline network; co-opetition; Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area