

空港型国家物流枢纽承载城市航空物流 关联程度及其网络结构研究

曹允春^{1,2}, 罗雨^{1,2}

(1.中国民航大学 临空经济研究中心,天津300300;2.中国民航大学 经济与管理学院,天津300300)

摘要:基于23个空港型国家物流枢纽承载城市的多指标数据,通过修正的引力模型、社会网络分析法(SNA)对承载城市间的航空物流空间关联程度、关联网络的空间结构及影响因素进行了分析。结果表明:承载城市间呈现出“东密西疏,东强西弱”的空间关联格局;航空物流关联网络的密度较高,“核心-半边缘-边缘”结构显著,“多中心驱动”态势正逐渐形成,但空间结构不太稳定;网络的“轴辐式”层级结构不明显,“桥梁”城市的作用没有充分发挥;网络大致形成了4类不同职能的凝聚子群,各子群间的派系林立程度非常小,子群结构及梯度协作关系不尽合理;经济发展水平、对外开放程度、产业结构和交通通达性等因素共同驱动着关联网络的优化重组。

关键词:空港型国家物流枢纽;航空物流关联网络;修正的引力模型;社会网络分析(SNA);QAP分析

中图分类号:F560.84 **文献标志码:**A **文章编号:**1002—980X(2020)8—0174—10

航空物流因其服务范围广、附加值高、快捷高效等特点,对我国深度参与国际分工与合作、实现经济结构转型升级和加快推进民航强国建设具有重要意义。而航空物流枢纽作为航空物流系统的核心组成部分,不仅是航空物流业发展的基础条件和必要前提,也是影响航空物流运作效率的关键要素,近年来逐渐受到国家及有关部委的重视。2018年12月,国家发展改革委和交通运输部联合印发了《国家物流枢纽布局和建设规划》(以下简称《规划》),这是国家层面以“国家物流枢纽”为主题的首个重大专项规划,《规划》选择了23个具备一定基础条件的城市作为空港型国家物流枢纽承载城市,未来这些城市将在我国航空物流网络中发挥关键节点、重要平台和骨干枢纽作用。《规划》还明确指出,物流枢纽间要有完善的分工协作和对接机制,推动国家物流枢纽网络空间结构进一步优化,以实现协同发展和顺畅的网络化运作等^[1]。由此可见,探究空港型国家物流枢纽承载城市的航空物流空间关联格局及其网络结构特征,找出对网络关系有显著影响的因素,不仅可以明确各承载城市在网络中的地位和作用,也有利于了解整体网络的空间互动关系、协调发展情况和关键驱动因素,并引导23个承载城市逐步形成空间结构合理的航空物流关联网络,这对于推动空港型国家物流枢纽系统化、网络化和协同化运作具有不可忽视的作用。

一、文献综述

自Castells^[2]提出流动空间的相关概念后,以流通要素作为城市网络研究范式的体系已逐渐完善,学者们主要从空间联系的视角来考察城市间不同要素流动所形成的关系网络^[3],并尝试运用网络分析技术来解决复杂的空间网络问题。在物流空间方面,唐建荣等^[4]认为区域物流在发展过程中,因其运输空间扩散特性,使区域城市间产生物流联系空间结构。航空物流的发展也遵循此规律,但目前学术界针对城市间航空物流空间关系的研究较少,既有成果主要从城市间航空物流(货运)网络的角度展开分析,所用方法大多以航空网络研究的相关理论为基础,根据侧重点的不同大致可分为两个方向。其一,以“轴辐式”理论为基础,对航空物流(货运)网络进行构建或优化。这类研究多以网络总运输成本最小、网络可达性和利用率最大为目标,统筹考虑运输费用、航班数量、货运OD(起止点)流量、枢纽数量等约束条件,建立多目标规划模型,对航空物流(货运)网络的结构、布局、运力配置^[5-6]及枢纽节点选择^[7-8]等进行优化。其二,从全国或区域层面对航空物流(货运)网络的结构特性进行分析。例如,蒲亚琼等^[9]、朱佳翔^[10]、杨丽和苟晓冬^[11]以机场所在城市作为节

收稿日期:2020—03—19

基金项目:天津市哲学社会科学规划课题“京津冀协同发展背景下天津探索建设自由贸易港的制度创新与实现路径研究”(TJGL18-048)

作者简介:曹允春(1970—),男,陕西西安人,博士,中国民航大学临空经济研究中心主任,教授,博士研究生导师,研究方向:航空物流、临空经济;罗雨(1995—),男,四川泸州人,中国民航大学经济与管理学院硕士研究生,研究方向:航空物流。

点,以城市间航线货运量作为连接边的权重,构建无向航空物流(货运)网络,并应用复杂网络理论的拓扑指标解析网络的结构特征;党亚茹和彭丽娜^[12]采用复杂网络理论的中心性指标把我国航空货运网络划分为4个层级结构;杨扬等^[13]则基于社会网络分析法(SNA)研究了云南省航空物流网络的空间结构特征及优化布局问题。

然而以上研究普遍是在航线网络与货运 OD 流量的基础上展开的,没有考虑城市之间复杂的航空物流空间互动关系,更无法揭示节点城市航空物流发展水平以及各种经济社会因素对城市间航空物流空间关系的影响机理。与此同时,随着社会网络分析法(SNA)的引入,其注重节点“关系属性”的特征更加强调整体网络的关联性,为区域城市间错综复杂的关系网络提供了很好的分析途径,并迅速在各学科领域得到广泛应用^[14]。因此,众多学者也将社会网络分析法应用到物流关系网络的研究上,通常先采用分形理论、引力模型、Wilson 模型等测度节点城市之间的物流空间联系,再运用社会网络分析法对物流网络的空间结构进行分析,其中引力模型应用最为广泛。研究层面涵盖丝绸之路经济带^[15]、长江经济带^[4]、京津冀城市群^[16]、中欧班列沿线城市^[17]、中国五大城市群^[18]以及浙江省县域^[3]等尺度。

综上所述,社会网络分析法在区域物流空间联系和物流网络结构研究上已取得了较好的效果,为航空物流空间关系提供了一个新的研究视角,但目前该方法在航空物流空间关系研究中的应用有所欠缺。鉴于此,本文将结合前人的研究成果,以 23 个空港型国家物流枢纽承载城市为研究对象,首先运用修正的引力模型刻画承载城市之间的航空物流空间关联程度,然后在关系数据的基础上,结合社会网络分析法对航空物流关联网络的空间结构特征进行测度,最后基于 QAP(二次指派程序)分析方法多角度揭示影响航空物流关联网络空间结构的因素,以为空港型国家物流枢纽建设提供参考与借鉴。

二、研究方法

(一)修正的引力模型

社会网络分析法(SNA)的关键是确定节点城市之间的航空物流空间联系,得到全矩阵关系数据,从而构建起航空物流关联网络。而引力模型是空间联系分析中最经典、最常用的模型,故本文基于引力模型的思想,通过对模型参数内涵的重构,以测度城市之间的航空物流空间联系强度,计算公式如下:

$$F_{ij} = G_{ij} \frac{M_i M_j}{R_{ij}^2} \quad (1)$$

其中: F_{ij} 表示城市*i*对城市*j*的航空物流作用强度, F_{ji} 同理; $F_{ij}+F_{ji}$ 的值即为城市*i*与城市*j*之间的航空物流空间联系强度; M_i 、 M_j 表示城市的航空物流“质量”; R_{ij} 表示两个城市之间的“距离”; G_{ij} 表示引力系数,各参数的修正如下。

(1)“质量”参数。该参数体现了承载城市航空物流业发展的综合实力,故本文采用城市的航空物流竞争力来表征“质量”参数。在借鉴既有研究^[19-20]的基础上,综合考虑航空物流竞争力的内外部影响因素,构建城市航空物流竞争力评价指标体系(表1),并采用熵权-TOPSIS组合方法进行测算,鉴于熵权-TOPSIS方法的应用已比较成熟^[21-22],在此不赘述其具体计算步骤。

(2)“距离”参数。该参数反映出的是两个城市之间产生空间联系的“阻力”,在以往的研究中比较常用的方法是采用城市间交通线路的“空间距离”或“时间距离”^[4,23]。本文研究航空物流,与铁路和公路运输不同,航空运输具有大空间收敛性,对空间距离比较敏感,并不是距离越近越容易发生航空联系。因此,单一的“空间距离”或“时间距离”无法反映出两个城市之间产生航空物流空间联系的难易程度,会丢失很多信息,并与实际产生偏差,故本文用城市*i*和城市*j*的最短航线飞行时间与周航班密度比值来度量 R_{ij} 。

(3)“引力”系数。两个城市之间的航空物流空间联系具有

表1 空港型国家物流枢纽承载城市航空物流竞争力评价指标体系

目标层	一级指标	二级指标
航空物流竞争力	空港基础设施水平	跑道数量
		停机位数量
		货运区面积
		保税资源面积
		指定口岸数量
	航线网络连通性	通航城市数量
		航空公司数量
		货运航空公司数量
		年起降架次
		航班准时率
	航空物流运营能力	货邮吞吐量
		货邮吞吐量年增长率
	经济支撑能力	生产总值 GDP
		适航货物产业规模
		快递量
地面交通集散能力		运营铁路密度
		高速等级公路密度

双向性和非对称性,故本文借鉴唐建荣等^[4]、刘艳和王小臣^[16]及梁红艳^[18]的修正方法,采用城市航空物流竞争力占两城市航空物流竞争力之和的比重来修正“引力”系数,即 G_{ij} 可以表示为

$$G_{ij} = \frac{M_i}{M_i + M_j} \quad (2)$$

(二) 社会网络分析

社会网络分析法(SNA)是刻画网络形态、特性和网络结构的一种重要分析方法,该方法的独特之处是基于“关系数据”,采用图论工具、代数模型量化描述个体和个体之间关系所组成的网络整体^[24]。因此,本文将选取以下指标对空港型国家物流枢纽承载城市间航空物流关联网络的空间结构特征及影响因素进行量化分析,分析软件为 UCINET6。

(1)网络密度。网络密度反映了网络中各节点之间关系的紧密程度,在有向多值型关系网络中,网络密度的计算公式为

$$D_n = \frac{L}{N(N-1)} \quad (3)$$

其中: D_n 表示网络密度; L 表示网络中实际存在的关联关系数; N 表示网络的节点个数。

(2)网络关联性。网络关联性反映了网络的连通程度,关联度是测量网络关联性的指标,其计算公式为

$$C = 1 - \frac{V}{N(N-1)/2} \quad (4)$$

其中: C 为网络关联度; V 表示网络中不可达节点的个数; N 表示网络的节点个数。

(3)网络中心性。网络中心性是衡量个体网络特征的指标,是对网络中各节点地位和作用的量化分析。包括点度中心度、中间中心度和接近中心度^[25]。其中,点度中心度衡量节点在网络中处于核心位置的程度,在有向多值型关系网络中,点度中心度可分为点出度和点入度,分别用 $C_0(i)$ 、 $C_1(i)$ 表示;中间中心度衡量节点处于“中介”位置的程度,刻画某节点在网络的连接过程中对其他节点的资源控制能力,用 $C_{AB}(i)$ 表示;接近中心度衡量网络中某个节点不受其他节点控制的程度,一个节点的接近中心度为该节点与网络中所有其他节点的最短路径之和,用 $C_{AP}^{-1}(i)$ 表示;具体计算公式如下:

$$C_0(i) = \sum_{j=1}^n F_{ij} \quad (5)$$

$$C_1(i) = \sum_{j=1}^n F_{ji} \quad (6)$$

$$C_{AB}(i) = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \frac{g_{jk}(i)}{g_{jk}} \quad (7)$$

$$C_{AP}^{-1}(i) = \sum_{j=1, j \neq i}^n d_{ij} \quad (8)$$

其中: F_{ij} 、 F_{ji} 分别表示节点 i 对节点 j 、节点 j 对节点 i 的航空物流作用强度; $g_{jk}(i)/g_{jk}$ 表示节点 j 与节点 k 之间的最短路径经过节点 i 的概率; d_{ij} 表示节点 i 和节点 j 之间的最短路径距离。

(4)凝聚子群。凝聚子群分析主要探讨一个整体网络由哪些小群体构成,子群内部成员以及子群之间的关系特点。如果一个网络的子群之间存在明显的派系林立现象,则不利于网络的一体化协调运作。本文运用块模型进行凝聚子群分析,它关注的是网络总体结构,并根据“结构对等性”把网络中各节点按照一定规则分成几个离散的子集,这些子集内部成员具有相同或相似的连接模式。

(5)QAP分析。QAP(二次指派程序)是社会网络分析中量化“关系矩阵”之间“关系”的一种方法,进而对一些关系性命题进行检验。QAP以对矩阵数据的置换为基础,是一种非参数检验方法,可以有效避免统计误差。具体可分为QAP相关分析和QAP回归分析,QAP相关分析用于对两个矩阵的相似性进行相关关系检验,QAP回归分析则用于研究多个矩阵和一个矩阵之间的回归关系。

三、数据的获取与预处理

(一) 数据的获取

在引力模型“质量”参数的测算中,各指标数据从各省(市)统计年鉴、《中国高技术产业统计年鉴》《从统

计看民航 2018》《中国民航机场生产统计公报》以及飞常准(VariFlight)获取。由于指标之间的差异性和数据统计的局限性,空港基础设施水平、航线网络连通性和地面交通集散能力均采用 2018 年的最新统计数据,航空物流运营能力和经济支撑能力采用 2014—2018 年统计数据的均值。对于“一市两场”的承载城市,把两个机场的各项指标合并成一个虚拟机场来研究。引力模型中使用的城市间最短航线飞行时间和周航班密度通过飞常准(VariFlight)航线数据库批量获取。

(二)数据的预处理

航空物流竞争力是测度各城市之间航空物流空间联系强度的基础,根据表 1 的指标体系和熵权-TOPSIS 法可以计算出各承载城市的航空物流竞争力指数,用 F_i 表示,最终结果见表 2(2014—2018 年的均值)。在后续的研究中,为方便计算,表 2 中数据为原始数据的 10 倍。

由表 2 可知,23 个城市的航空物流竞争力指数存在显著的“马太效应”,总体上呈现出阶梯式分布特征,上海、北京、广州、深圳 4 个一线城市的航空物流竞争力最强,其中上海拥有绝对的龙头地位,是我国内地最大的航空物流枢纽城市,其他大部分城市的航空物流竞争力则相对偏弱。从整体空间分布来看,航空物流竞争力的地区分异态势明显,呈现出以城市群为依托的群落化空间分布格局,形成了京津冀城市群、长三角城市群、珠三角城市群、成渝城市群等航空物流竞争力较强区域,在排名前 12 位的城市中有 10 个属于这四大城市群。

表 2 空港型国家物流枢纽承载城市航空物流竞争力指数

城市	航空物流竞争力指数 F_i	排序	城市	航空物流竞争力指数 F_i	排序
上海	7.596	1	武汉	1.683	13
北京	5.707	2	西安	1.647	14
广州	4.868	3	厦门	1.487	15
深圳	4.392	4	银川	1.451	16
南京	3.277	5	长沙	1.347	17
郑州	2.467	6	昆明	1.347	18
杭州	2.411	7	哈尔滨	1.173	19
重庆	2.324	8	乌鲁木齐	1.151	20
成都	2.192	9	贵阳	1.101	21
青岛	2.120	10	拉萨	0.897	22
天津	2.111	11	三亚	0.860	23
宁波	2.012	12			

四、实证结果与分析

(一)承载城市航空物流空间关联程度分析

根据前文修正的引力模型,计算出空港型国家物流枢纽承载城市间的航空物流空间联系强度(2014—2018 年的均值),并把该关系数据记为矩阵 $Y(F_{ij})_{23 \times 23}$ (为方便观察和计算, F_{ij} 为原始数据 $\times 10^{-3}$),限于篇幅,不列出矩阵 Y 的具体内容。在矩阵 Y 中, F_{ij} 表示城市 i 对城市 j 的航空物流辐射能力,同时逆向也反映了城市 j 对城市 i 的航空物流依赖性^[16], F_{ji} 同理。

在此基础上,以 23 个承载城市为物流节点,以 F_{ij} 和 F_{ji} 表征“关联线”,共同构成航空物流关联网络,并运用 Netdraw 软件绘制出关联网络的空间结构图。图 1 为阈值等于 0 时的空间结构图,为去除微弱联系的影响,将阈值设置为 0.5,即 F_{ij} 和 F_{ji} 中有一个大于 0.5,城市 i 与城市 j 就存在航空物流联系,均小于 0.5 则无航空物流联系,结果如图 2 所示。图中节点大小表示城市的航空物流竞争力高低,连线粗细表示航空物流空间联系强度大小。

在空间形态上,23 个承载城市间存在复杂的散射状航空物流空间联系,网络联结线密集交织,并且存在明显的空间非均衡分布特征,呈现出“东密西疏,东强西弱”的空间关联格局。图 2 的网络联结线明显稀疏,说明大部分城市之间的航空物流空间联系较弱(强度小于 1),仅少部分城市之间存在紧密的航空物流空间联系。从图中也可以进一步看出,强联系主要集

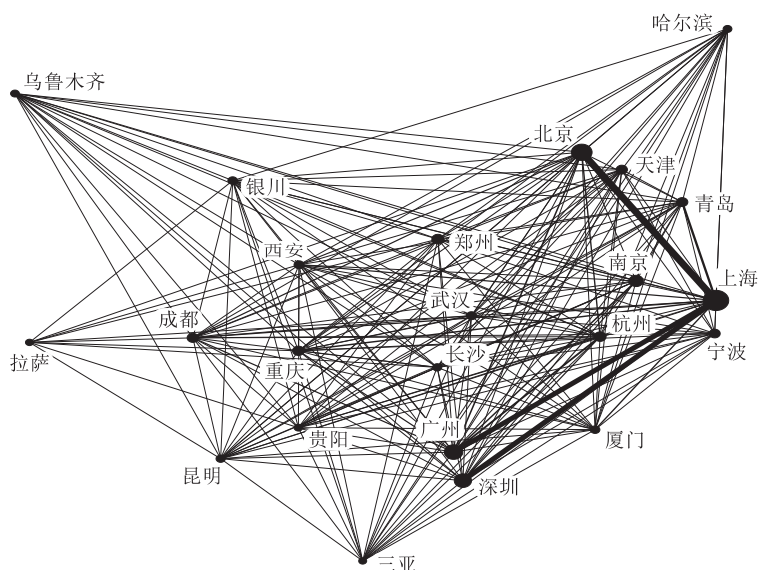


图 1 空港型国家物流枢纽承载城市航空物流关联网络空间结构图(阈值=0)

中在上海、北京、广州、深圳等城市与其他城市之间,较强联系主要集中在杭州、成都、重庆、青岛等城市与其他城市之间,而三亚、贵阳、银川、乌鲁木齐、拉萨等地与其他城市的联系强度则普遍小于 5,甚至出现中断现象,这表明航空物流空间联系与经济发展水平有一定的逻辑关联。

(二) 承载城市航空物流关联网络空间结构特征分析

1. 网络密度和网络关联性分析

设置不同的阈值对矩阵 Y 进行二值化处理,计算不同阈值下航空物流关联网络的网络密度和网络关联度,并且通过 UCINET6 还可得网络的平均可达路径长度,以此衡量城市间的平均连通距离,计算结果见表 3。

当阈值为 0 时,网络密度为 0.854,网络关联度为 1,平均可达路径长度为 1.146,表明整体网络的小世界效应显著,连通性能处于较高水平,大部分城市之间都能实现点对点连通,少部分城市间只需要通过一个城市中转就可以实现连通,这样的结构特征为空港型国家物流枢纽实现协同发展和顺畅的网络化运作奠定了基础。但随着阈值的增加,网络密度呈急速下降趋势,平均可达路径长度也逐渐增加,这佐证了网络中确实存在大量较弱的空间联系,使得整体网络的稳定性不高。对比子网络 1 和子网络 2,随着阈值的不断增加,网络密度和网络关联度均在下降,但子网络 2 的下降速度显著高于子网络 1,说明航空物流关联网络与城市航空物流竞争力分布存在明显的空间耦合性,具有一定程度的“质量效应”,即航空物流竞争力指数越高的城市之间往往有更为紧密的航空物流空间联系,网络结构更复杂,网络稳定性更高。

2. 网络中心性分析

本部分旨在量化各承载城市在航空物流关联网络中的地位、作用及影响力。由图 1 可知,全连通的网络(阈值为 0)不能够完全体现节点之间的分化,进行中心性分析时会损失部分有用的信息,故选择阈值为 0.5 时的航空物流关联网络来考察各承载城市的中心性指标。

(1) 点度中心度。各承载城市的点度中心度见表 4,其中 $C_0(i)$ 反映了城市 i 对外部其他城市的辐射能力; $C_1(i)$ 反映了城市 i 对外部其他城市的依赖性; $C_0(i) + C_1(i)$ 为城市 i 的点度中心度,该指标越大,说明城市 i 与外部其他城市的航空物流空间联系总量越大,在网络中越处于核心位置; $C_0(i) - C_1(i)$ 则在一定程度上可以反映城市 i 在网络中的作用, $C_0(i) - C_1(i)$ 的值为正,说明城市 i 的辐射能力强于依赖性。

从整体来看,23 个城市的点度中心度呈现出典型的多级分化现象,即航空物流关联网络在空间上表现为显著的“核心-半边缘-边缘”结构。根据点度中心度数据的变异情况,定义点度中心度大于

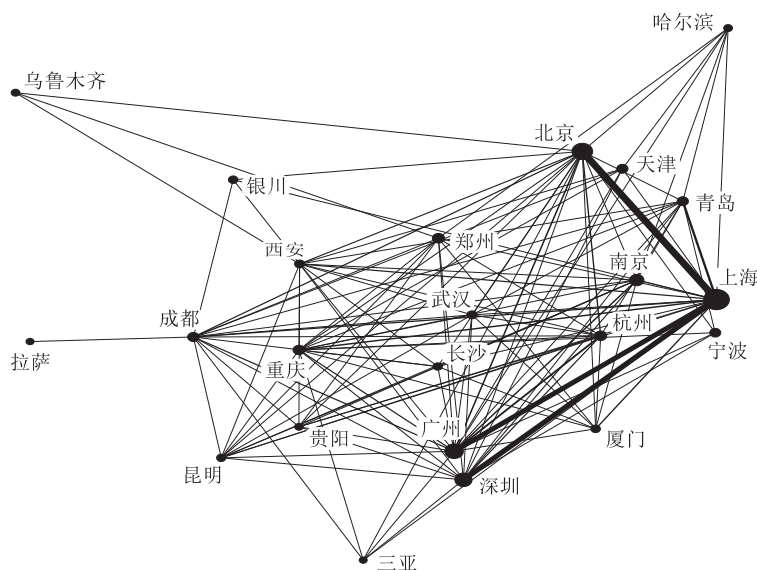


图 2 空港型国家物流枢纽承载城市航空物流关联网络空间结构图(阈值=0.5)

表 3 网络密度和网络关联性分析结果

阈值		>0	>0.5	>1	>9.242(F_{ij} 均值)
网络密度	整体网络	0.854	0.449	0.344	0.119
	F_i 前 12 位(子网 1)	0.864	0.712	0.621	0.333
	F_i 后 11 位(子网 2)	0.818	0.182	0.100	—
网络关联度(平均可达路径长度)	整体网络	1(1.146)	1(1.534)	1(1.660)	0.538(1.779)
	F_i 前 12 位(子网 1)	1(1.136)	1(1.273)	1(1.348)	0.682(1.582)
	F_i 后 11 位(子网 2)	1(1.182)	0.509(1.750)	0.382(1.810)	—

表 4 点度中心度分析结果

城市	$C_0(i)$	$C_1(i)$	$C_0(i) + C_1(i)$	$C_0(i) - C_1(i)$	城市	$C_0(i)$	$C_1(i)$	$C_0(i) + C_1(i)$	$C_0(i) - C_1(i)$
上海	1609.18	852.36	2461.54	756.82	昆明	21.77	61.15	82.92	-39.38
北京	692.72	593.41	1286.13	99.31	郑州	27.25	44.23	71.48	-16.98
广州	584.78	531.56	1116.34	53.22	长沙	12.73	44.32	57.05	-31.59
深圳	401.06	465.91	866.97	-64.85	哈尔滨	6.08	35.61	41.69	-29.53
杭州	115.32	212.70	328.02	-97.38	天津	11.00	24.87	35.87	-13.87
重庆	100.86	206.96	307.82	-106.10	贵阳	3.17	17.01	20.18	-13.84
成都	96.58	199.74	296.32	-103.16	宁波	5.17	11.84	17.01	-6.67
青岛	61.71	191.05	252.76	-129.34	三亚	1.39	15.31	16.70	-13.92
南京	104.30	124.98	229.28	-20.68	银川	3.27	7.86	11.13	-4.59
西安	52.97	153.02	205.99	-100.05	乌鲁木齐	0.82	3.97	4.79	-3.15
厦门	24.66	94.54	119.20	-69.88	拉萨	0.64	1.58	2.22	-0.94
武汉	26.20	69.67	95.87	-43.47					

800的节点为核心城市,可见,上海、北京、广州、深圳4个城市位于网络的核心位置;点度中心度大于200的城市位于半边缘位置,即杭州、重庆、成都等6个城市;其他13个城市则位于边缘位置。同时,从 $C_0(i)-C_1(i)$ 的值可以看出半边缘区和边缘区对核心区城市有不同程度的依赖性,“多中心驱动”态势正逐渐形成。

从具体城市来看,核心区4个城市的点度中心度总和为5730.98,占有所有城市的72.29%,与其他城市的航空物流空间联系直接且紧密,已然是我国航空物流发展的核心支撑区域,具有重要的战略地位。但4个城市中只有上海、北京、广州 $C_0(i)-C_1(i)$ 的值为正,说明这3个城市属于典型的辐射型节点,对其他城市的航空物流业发展有显著的辐射带动作用,而深圳作为核心城市需要强化对外辐射能力。半边缘区的6个城市在网络中往往起着区域性航空物流集散枢纽的作用,是地区对外联系的航空门户,特别是与核心区城市的航空物流互动较为频繁,接受这些城市的辐射较多,能够不断整合聚集外部资源。而边缘区的13个城市由于地理位置、空港基础设施水平、货源结构等原因,对其他城市的航空物流辐射能力和依赖性均不强。以上分析进一步表明航空物流关联网络在空间上的不均衡性,中西部地区缺乏核心城市,因此,亟待打破区域间的不平衡态势。

(2)中间中心度和接近中心度。各承载城市的中间中心度和接近中心度见表5。

从表5不难发现,北京、成都、西安、上海、广州的中间中心度均大于35,5个城市的中间中心度之和占了总量的76.13%,表明这5个城市处于其他城市航空物流连接的最短路径上,占据着结构洞的位置^[13],对运力、资源、信息等有较强的调控能力,在整个网络中扮演着重要的桥梁和中介角色。接近中心度也说明这5个城市到达其他城市的“距离”之和是最短的,在航空物流资源要素的交互和传递方面不受其他城市控制。这也再次验证了上海、北京、广州的核心地位,而成都未来则有望成为核心城市。相比之下,哈尔滨、银川、乌鲁木齐、拉萨等边缘城市的中间中心度和接近中心度均很小,与其他城市的距离相对疏远,不仅难以起到资源控制作用,而且在航空物流资源要素的交互和传递方面严重依赖于“桥梁”城市,如乌鲁木齐对外联系主要依赖西安和北京,拉萨则完全依赖成都。除此之外,网络的中间中心势相当低,仅为9.51%,也就是说航空物流关联网络没有表现出明显地向“桥梁”城市集中的趋势,网络不会因为个别节点的失效而瘫痪,同时也从侧面反映出整体网络的“轴辐式”层级结构形态不明显,“桥梁”城市集聚和配置资源要素的作用没有充分发挥。

3. 凝聚子群分析

利用UCINET6软件中的CONCOR算法解析航空物流关联网络的凝聚子群构成情况,结果如图3所示。在凝聚子群三级层面存在8大子群,在凝聚子群二级层面存在4大子群,模块化拟合优度达到了0.911,基本能够反映实际数据的情况。进一步计算凝聚子群的密度系数和E-I指数(取值范围为-

表5 中间中心度和接近中心度分析结果

城市	中间中心度	接近中心度		城市	中间中心度	接近中心度	
		入度	出度			入度	出度
北京	55.203	81.481	88.000	武汉	3.187	66.667	66.667
成都	54.327	68.750	78.571	厦门	2.649	59.459	61.111
西安	45.258	73.333	73.333	长沙	2.045	62.857	61.111
上海	40.318	78.571	84.615	天津	1.923	57.895	59.459
广州	35.577	78.571	84.615	贵阳	0.814	62.857	55.000
深圳	15.108	70.968	75.862	哈尔滨	0.326	56.410	51.163
重庆	14.513	70.968	75.862	银川	0.154	55.000	50.000
郑州	7.293	57.895	66.667	宁波	0.144	53.659	53.659
青岛	7.147	66.667	68.750	乌鲁木齐	0.125	51.163	43.137
杭州	6.754	66.667	68.750				
南京	6.012	66.667	68.750	三亚	0.067	56.410	50.000
昆明	4.057	68.750	66.667	拉萨	0.000	41.509	44.898

中间中心势: Network centralization index=9.51%

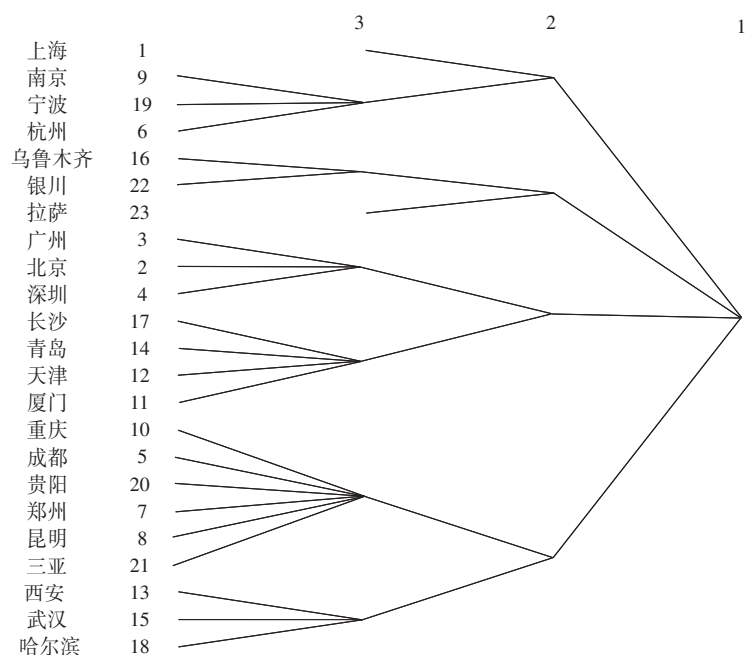


图3 凝聚子群分析结果

1~1,越接近 1 表示联系越趋向于发生在群体之外,派系林立程度越小),具体结果见表 6。

整体而言,不同规模、职能各异的子群共同组成了具有一定空间结构的航空物流梯度协作体系。从凝聚子群三级层面来看,部分子群成员具有地理位置邻近特征,表明相邻城市的航空物流空间联系在结构上具有相似性。从凝聚子群二级层面来看,子群 1 和子群 2 同属于二级子群

表 6 凝聚子群密度系数及 E-I 指数分析结果

凝聚子群构成	子群编号		1	2	3	4	5	6	7	8
			I		II		III		IV	
上海	1	I	—	0.49	0.58	0.00	361.33	65.18	28.44	30.70
南京、宁波、杭州	2		0.19	0.00	0.04	0.00	19.30	1.17	1.72	1.12
乌鲁木齐、银川	3	II	0.10	0.02	0.10	0.00	0.27	0.01	0.12	0.53
拉萨	4		0.00	0.00	0.00	—	0.00	0.00	0.14	0.03
广州、北京、深圳	5	III	240.10	35.01	1.14	0.00	24.19	5.35	16.41	14.74
长沙、青岛、天津、厦门	6		16.19	0.70	0.01	0.00	1.83	0.30	0.39	0.64
重庆、成都、贵阳、郑州、昆明、三亚	7	IV	7.97	1.26	0.20	0.33	7.05	0.49	1.10	0.74
西安、武汉、哈尔滨	8		6.51	0.65	0.64	0.05	4.41	0.55	0.65	0.42
E-I指数			1.00	1.00	0.89	1.00	0.86	0.69	0.59	0.80

I,以上海为单核驱动,显示出了上海对长三角城市群航空物流业的聚集效应。子群 3 和子群 4 同属于二级子群 II,是我国西部偏远地区的 3 个城市,航空物流发展严重滞后,其并未和子群 7 划分到相同二级子群里,说明西部地区航空物流未形成良好的互动局面,成渝城市群的带动能力稍显不足。子群 5 和子群 6 同属于二级子群 III,以北京和广州为双核驱动,覆盖了环渤海经济圈和珠三角地区主要城市。子群 7 和子群 8 同属于二级子群 IV,以成都和郑州为双核驱动,城市数量最多,主要集中在我国中西部地区,而哈尔滨和三亚虽和其他城市并不邻近,但仍然被划分到子群 IV 中,说明这两个城市的门户优势有待利用和开发,以逐渐融入各自邻近的子群。

从子群内部密度系数来看,子群 5 的密度系数最大,广州、北京和深圳在网络中的地位和作用较为相似,组成了相对稳健的子群结构;子群 2 的密度系数为 0,说明南京、宁波、杭州 3 个城市虽同处一个子群,但由于空间距离较近,没有产生明显的航空物流联系,但对外联系比较相似。从子群间密度系数来看,各子群在网络中扮演着不同的角色,其中,子群 1、子群 5 与子群 2、子群 6、子群 7、子群 8 之间的密度系数较高,这两个子群所含城市的航空物流竞争力排名靠前,在关系上表现为辐射带动其他子群;子群 3 和子群 4 与其他子群之间的密度系数普遍是最小的,它们在网络中处于边缘和孤立状态,辐射和受益程度都很低。从 E-I 指数来看,8 个三级子群的 E-I 指数均大于 0.5,凝聚程度较低,航空物流联系均表现为趋向于发生在群体之外。可见,航空物流关联网络中虽然存在凝聚子群,但子群间的派系林立程度非常小,没有出现明显的圈层结构。综上分析,除子群 1、子群 5 外,其他凝聚子群的结构和成员尚处于不稳定状态,子群角色分工和子群间的关联关系也不尽合理,这与我国航空物流业缺乏分工和协作机制有较大关系,未来需要各城市找准最终子群归属,从而逐渐建立起合理的子群结构。

(三) 承载城市航空物流关联网络影响因素分析

1. 影响因素选取与模型构建

城市间航空物流关联网络的形成和演化是在多种因素的共同驱动下实现的,并通过驱动方向和强度的改变促使网络空间结构优化重组。因此,本文结合已有研究成果^[4,26-27],选取经济发展水平、对外开放程度、产业结构、空间邻近性和交通通达性 5 个影响因子作为变量,采用 QAP 算法对空港型国家物流枢纽承载城市间航空物流关联网络空间结构的影响因素进行探讨。为此,构建如下分析模型:

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5)$$

其中: Y 和 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 均为“关系”数据; Y 为城市间航空物流空间联系的强度矩阵(阈值=0.5); $X_1 \sim X_5$ 为城市间影响因子对应指标的关系矩阵^[27]。其中, X_1 为经济发展水平,经济发展在同等水平的城市间往往有频繁的经济往来,从而刺激适航货物流动需求,在此以各城市 GDP 的和矩阵来表示; X_2 为对外开放程度,对外开放所带来的要素流动和聚集效应推动城市航空物流业发育发展,有利于加强和巩固城市间的航空物流联系,在此以各城市进出口总额占 GDP 比重的和矩阵来表示; X_3 为产业结构,航空物流以高价值货物为主,产业结构的不断升级、协调和互补增强了城市间的航空物流联系,在此以各城市第三产业占 GDP 比重的矩阵来表示; X_4 为空间邻近性,从引力模型可以看出,各城市相互之间的邻近关系与航空运输的时间和经济成本直接相关,是影响航空物流联系的重要因素,在此以各城市间的最短航线距离矩阵来表示; X_5 为交通通达性,航线网络是城市之间实现航空物流联系的基础,与关联网络的形成与发展密切相关,在此以各城市空港

拥有航空公司数量的和矩阵来表示。上述自变量矩阵选取2014—2018年各个城市对应指标平均值的和组建,但由于空间邻近性和交通通达性历史数据难以获取,故选取2018年的截面数据。

2. QAP分析

运用UCINET6软件,选择10000次随机置换,航空物流空间联系强度矩阵与上述5个影响因子矩阵的QAP相关分析及QAP回归分析结果见表7。

表7 QAP相关分析和QAP回归分析结果

变量	相关系数	显著性水平	非标准化回归系数	标准化回归系数	显著性水平	$P_1 \geq 0$	$P_2 \leq 0$
截距	—	—	-239.193	0.000	—	—	—
X_1	0.444	0.000	0.001	0.114	0.031	0.031	0.969
X_2	0.275	0.029	0.179	0.132	0.002	0.002	0.998
X_3	0.246	0.028	1.304	0.179	0.000	0.000	1.000
X_4	-0.016	0.445	-0.002	-0.025	0.294	0.706	0.294
X_5	0.474	0.000	0.556	0.297	0.000	0.000	1.000
$R^2=0.272$			调整后的 $R^2=0.267$				

由表7的QAP相关分析结果可知,经济发展水平(X_1)、对外开放程度(X_2)、产业结构(X_3)、交通通达性(X_5)与航空物流空间联系强度矩阵的相关系数均为正数,且 X_1 、 X_5 在1%以内的水平上显著, X_2 、 X_3 在5%以内的水平上显著,说明这4个因素对城市间航空物流空间联系具有十分显著的正向影响。QAP回归分析结果显示,调整后的确定系数 $R^2=0.267$,显著性水平为0.000,说明模型设定是可靠的,可以用这5个影响因子解释城市间航空物流空间联系变异的26.7%。从具体影响因子来看, X_2 、 X_3 、 X_5 在1%的显著性水平下通过了检验, X_1 在5%的显著性水平下通过了检验,且4个变量的回归系数均为正数,可见,这4个因素在不同的程度上影响着航空物流关联网络空间结构的完善与扩展。其中,经济发展水平(X_1)、对外开放程度(X_2)和产业结构(X_3)的标准化回归系数分别为0.114、0.132、0.179,表明当其他因素不变时,腹地经济发展、国际贸易繁荣和产业结构升级可以带动需求,进一步提升关联网络的强度和密集度;交通通达性(X_5)的标准化回归系数为0.297,存在显著的正向效应,意味着航空公司的聚集会从运力供给的角度影响城市间的航空物流空间联系,进而推动网络空间结构演变,这也启示各承载城市应注重基地航司的培育。值得注意的是,空间邻近性(X_4)的相关系数与回归系数均为负,但这两个系数没有通过显著性检验,表明空间距离的这种负向影响并不显著,与其他因素相比几乎可以忽略不计,这也与航空运输的大空间收敛性和受地形限制小相匹配。

五、结论与政策建议

本文运用修正的引力模型、社会网络分析法(SNA)对23个空港型国家物流枢纽承载城市间的航空物流空间关联程度、关联网络的空间结构特征及影响因素进行了深入分析,主要研究结论如下:

第一,大部分承载城市之间的航空物流空间联系较弱,整体呈现出“东密西疏,东强西弱”的空间关联格局。第二,从关联网络整体结构特征来看,较高的密度和关联度使得网络的小世界效应显著,但大量较弱的空间联系使得整体网络的稳定性不高,且具有一定程度的“质量效应”。第三,从关联网络节点结构特征来看,23个城市在空间上表现为显著的“核心-半边缘-边缘”结构,核心区城市有较强的辐射和“中介”效应,整体网络正逐渐形成“多中心驱动”态势,但网络的“轴辐式”层级结构不明显,“桥梁”城市的作用没有充分发挥。第四,从关联网络凝聚子群来看,网络大致可分为4类子群,在网络中扮演着不同的角色,但子群间的派系林立程度非常小,多数凝聚子群的结构和成员尚处于不稳定状态,子群结构及梯度协作关系需要进一步完善。第五,从关联网络影响因素来看,经济发展水平、对外开放程度、产业结构、交通通达性对网络空间结构的完善与扩展具有显著的正向影响,而空间邻近性则无显著影响。

基于上述研究结论,提出以下政策建议:

第一,强化辐射带动作用,弱化空间差异程度。加强上海、北京、广州等核心城市辐射带动作用的均衡性,凸显对外围城市的“增长极”效应。重点培育郑州、成都融入核心圈层,优化与东部核心城市的航空物流

空间联系,充分突出二者的“中介引导”效应,推动我国航空物流业形成东中西多中心联动发展的新格局。放大三亚、哈尔滨、乌鲁木齐等城市的门户优势,以降低自身结构劣势,与邻近城市群组团发展。

第二,构建“轴辐式”梯度协作网络,提高整体运作效率。统筹考虑各承载城市的航空物流竞争力、中心性指数及子群归属,以京津冀城市群、长三角城市群、粤港澳大湾区、成渝城市群以及中原城市群为核心区域,明确各城市的功能定位和服务范围,将其划分为国际性枢纽、区域性枢纽、专业性枢纽和门户性枢纽,并以其他支线枢纽为补充,充分满足 4 种航空物流中转需求,全面构建“横向错位、纵向分工、国内通达、全球可达”的多枢纽“轴辐式”航空物流协作网络。

第三,完善合作对接机制,消除跨区域协调障碍。在政府的科学规划和政策引导下,完善空港型国家物流枢纽之间的分工合作和对接机制。充分发挥行业主管部门、行业协会等作用,推动空港型国家物流枢纽间成立战略联盟,整合机场、航司、货代等主体,在联盟内部通过功能联合、平台对接、资源共享等市场化方式打造优势互补、业务协同、利益一致的合作共同体。形成政府协调和市场调节有机结合的发展模式,争取克服地方性政策制度、地方性恶性竞争和低水平重复建设等障碍,提高航空物流网络的协调程度。

参考文献

- [1] 国家发展改革委. 国家物流枢纽布局和建设规划[EB/OL]. (2018-12-24)[2019-10-09]. https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/dt/sjdt/201812/t20181224_1112191.html.
- [2] CASTELLS M. Grass rooting the space of flows[J]. Urban Geography, 1999, 20(4): 294-302.
- [3] 刘程军, 周建平, 蒋建华, 等. 电子商务背景下县域物流的空间联系及其网络结构研究——以浙江省为例[J]. 地理科学, 2019, 39(11): 1719-1728.
- [4] 唐建荣, 倪攀, 李晨瑞. 长江经济带物流网络结构演变特征及影响因素分析[J]. 华东经济管理, 2019, 33(8): 60-66.
- [5] 褚艳玲, 杨忠振, 冯茹梅. 基于可达性指标的航空货运网络布局优化研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2017, 17(5): 214-220.
- [6] 杨忠振, 于述南, 陈刚. 混合式航空货运网络优化[J]. 交通运输工程学报, 2016, 16(1): 103-114.
- [7] 钟前朗. 快递企业航空物流网络枢纽节点选择研究[D]. 重庆: 重庆工商大学, 2013.
- [8] GUNTHER Z, MICHAEL W. Planning and optimization of hub-and-spoke transportation networks of cooperative third-party logistics providers[J]. International Journal of Production Economics, 2002, 78(2): 207-220.
- [9] 蒲亚琼, 赵礼强, 靖可. 基于复杂网络的我国航空货运网络结构分析[J]. 沈阳航空航天大学学报, 2018, 35(6): 82-89.
- [10] 朱佳翔. 基于复杂网络的中国航空物流网络拓扑属性实证分析[C]//Intelligent Information Technology Application Association. Economic, Education and Management(ICEEM 2011 V2). 澳门, 中国: 智能信息技术应用学会, 2011: 190-193.
- [11] 杨丽, 苟晓冬. 中国航空货运网络结构分析[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2019, 55(4): 30-36.
- [12] 党亚茹, 彭丽娜. 基于航空货运网络结构的城市层级分析[J]. 中国民航大学学报, 2011, 29(2): 52-58.
- [13] 杨扬, 董红丹, 谭慧芳. 基于 SNA 的区域航空物流网络空间结构研究[J]. 公路交通科技, 2017, 34(9): 138-145, 152.
- [14] 钟洋, 林爱文, 周志高. 基于社会网络分析的中国空港城市协调发展途径研究[J]. 经济问题探索, 2019(2): 62-68.
- [15] 鄢飞, 杨帆. 丝绸之路经济带物流网络研究——基于社会网络分析视角[J]. 技术经济与管理研究, 2017(7): 3-7.
- [16] 刘艳, 王小臣. 京津冀物流空间联系研究——基于引力模型[J]. 商业经济研究, 2019(15): 105-108.
- [17] 王东方, 董千里, 陈艳, 等. 中欧班列节点城市物流网络结构分析[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(1): 32-40.
- [18] 梁红艳. 我国五大城市群物流业发展的空间网络结构及其运行效应[J]. 中国流通经济, 2019, 33(3): 50-61.
- [19] 张学龙, 王军进, 罗辉, 等. 广西航空物流竞争力 FCE-AHP 评价模型研究[J]. 数学的实践与认识, 2016, 46(24): 49-59.
- [20] 张永莉, 周文彬. 基于 M-FCE 的浦东机场货运核心竞争力评价[J]. 中国民航大学学报, 2016, 34(1): 50-54.
- [21] 李彤, 李武选, 陈竹茹. 基于熵权-TOPSIS 法的沿海港口城市物流竞争力评价研究[J]. 资源开发与市场, 2019, 35(8): 1031-1036.
- [22] 刘艳, 曹伟, 王晏晏. “一带一路”内陆节点城市物流业竞争力评价——基于熵权 TOPSIS 组合模型[J]. 技术经济, 2016, 35(11): 68-72, 104.
- [23] 刘程军, 周建平, 蒋建华. 长江经济带区域物流的空间联系格局及其驱动机制研究[J]. 华东经济管理, 2019, 33(9): 87-96.
- [24] 刘军. 整体网分析: UCINET 软件实用指南[M]. 3 版. 上海: 格致出版社, 2019: 138-166, 238-251, 372-379.
- [25] 陈钰芬, 姚天娇, 胡思慧. 浙江省 ICT 产业产学研合作创新网络动态演化分析[J]. 技术经济, 2019, 38(10): 65-73.
- [26] 孙浩, 杨治辉. 生态治理的空间联动网络结构特征及其影响因素分析[J]. 统计与决策, 2019, 35(18): 94-98.
- [27] 任会明, 叶明确, 祝影. 基于教育网络的上海城市网络空间结构研究[J]. 经济地理, 2019, 39(8): 77-86.

(下转第 190 页)

- [6] 高阔, 江康. 基于风险考量的有机农产品供应链利益分配问题[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(19): 363-367.
- [7] 张红霞, 安玉发, 张文胜. 我国食品安全风险识别、评估与管理——基于食品安全事件的实证分析[J]. 经济问题探索, 2013(6): 135-141.
- [8] 王志涛, 梁译丹. 交易成本、风险交流与食品安全的治理机制[J]. 科技管理研究, 2014, 34(24): 204-210.
- [9] 郝世绵, 汪伟忠, 申慢慢. 食品全产业链三维风险评价[J]. 决策参考, 2017(11): 38-41.
- [10] 晚春东, 秦志兵, 吴绩新. 供应链视角下食品安全风险控制研究[J]. 中国软科学, 2018(10): 184-192.
- [11] 胡冰川, 董晓霞. 乳品进口冲击与中国乳业安全的策略选择: 兼论国内农业安全网的贸易条件[J]. 农业经济问题, 2016(1): 84-94.
- [12] 邱薏华. 管理决策与应用熵学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [13] 蔡文. 物元模型及其应用[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994.
- [14] PRAKASH S, SONI G, RATHORE A, et al. Risk analysis and mitigation for perishable food supply chain: A case of dairy industry[J]. Benchmarking: An International Journal, 2017, 24(1): 2-23.
- [15] SHAPLEY L S. A value for n-person games. contribution to the theory of games[M]. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1953: 307-317.

Profit Matching of China's Dairy Industry Chain Based on Risk Coefficient Correction

Guo Yingchun¹, Wei Yao¹, Xiang Fei¹, Wang Yizhao¹, Li Shihui²

(1. School of Economics, Hebei University, Baoding 071002, Hebei, China;

2. Employment Service Bureau of Weichang Manchu and Mongolian Autonomous County, Hebei Province, Chengde 068450, Hebei, China)

Abstract: Dairy industry chain is long, including raw material production, dairy processing, transportation and sales and other links. If the profit distribution of each link is seriously unreasonable, it will increase the potential risk of dairy safety. Based on the starting point that high risk should bring high profit, the results show that the reasonable profit ratio of each link of China's dairy industry chain, and provides reasonable suggestions for the benign development of the dairy industry. Firstly used Fuzzy Matter-Element method and Entropy Weight method to comprehensively evaluate the risk of each link in China's dairy industry, and calculate the risk coefficient. Then discussed the unbalanced status of the profit distribution of each link; On this basis, the risk coefficient was taken as the risk bearing factor, and by using the modified Shapley Value model, this paper obtained the final reasonable profit distribution scheme of the dairy industry chain. Finally, corresponding measures and suggestions were put forward to promote the industry to form a balanced risk-profit ratio, so as to reduce the risk of the dairy industry chain.

Keywords: dairy industry chain; risk assessment; profit matching; fuzzy matter element; Shapley value

(上接第 182 页)

Research on the Aviation Logistics Correlation Degree and Its Network Structure of City Charactered by Airport-type National Logistics Hub

Cao Yunchun^{1,2}, Luo Yu^{1,2}

(1. Institute of Airport Economics, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China;

2. School of Economics and Management, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: Based on the multi-index data of 23 cities charactered by airport-type national logistics hub, this paper analyzes the aviation logistics spatial correlation degree, correlation network spatial structure and influencing factors of 23 cities by employing the modified Gravity Model and Social Network Analysis (SNA). The results show as follows. The spatial correlation pattern among 23 cities is "dense East and sparse West, strong East and weak West". The density of aviation logistics correlation network is high, the "core-semi-periphery-periphery" structure of the network is remarkable, and the "multi-center drive" situation is gradually forming, but the spatial structure is unstable. The "hub-and-spoke" hierarchical structure of the network is not obvious, as well as the role of "bridge" city has not been fully played. There are roughly four cohesion subgroups with different functions, and the degree of faction between which is very small, the subgroup structure and gradient collaboration relationship are also not reasonable. Factors such as the economic development, opening up, the industrial structure and the accessibility of transportation have driven the optimization and reorganization of the aviation logistics correlation network.

Keywords: airport-type national logistics hub; aviation logistics correlation network; modified gravity model; social network analysis; QAP analysis