

# 基于航空运输的中国城市体系等级结构与空间联系

滕 野<sup>1,2</sup>, 张 莉<sup>1,2</sup>, 吴凤连<sup>1,2</sup>

(1.南京师范大学地理科学学院,江苏 南京 210023)

(2.江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心,江苏 南京 210023)

**[摘要]** 航空运输作为现代社会重要的交通运输方式,与城市发展紧密相关,对航空运输网络的研究已成为分析城市体系格局的重要视角. 基于 2016 年全国 207 个主要机场的航空客运数据,运用 ArcGIS、社会网络等分析方法,探讨了航空网络视角下的中国城市体系等级结构与空间联系. 研究发现:从等级结构上看,全国共分为全国性中心城市、区域性中心城市、次区域性中心城市和地方性中心城市 4 个等级,城市数量自上而下递增,以北京、上海、广州、成都 4 个城市为中心,全国城市体系形成近菱形网络结构;从空间联系上看,排名前十位的城市多位于东部沿海地区,全国城市的空间联系具有明显的东西差异性,东部地区具有更高的联系强度,长三角城市群为全国的核心,全国呈现以城市群为空间载体的多中心网络结构.

**[关键词]** 等级结构,空间格局,城市群,复杂网络,DNI 双核指数

**[中图分类号]** F299.2;F562 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2020)02-0072-08

## Hierarchical Structure and Spatial Connection of Chinese Urban System Based on Air Transportation

Teng Ye<sup>1,2</sup>, Zhang Li<sup>1,2</sup>, Wu Fenglian<sup>1,2</sup>

(1.School of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

(2.Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** As an important mode of transportation in modern society, air transport is closely related to urban development, and the study of aviation network becomes an important perspective to analyze urban system. Based on air passenger data from Chinese 207 major airports in 2016, this paper discusses the hierarchical structure and spatial connection of the Chinese urban system from the perspective of aviation network by using ArcGIS, social network and other analytical methods. Studies have shown that from the perspective of hierarchy, the country is divided into four levels, including national central city, regional central city, sub-regional central city and local central city, and that the numbers of the cities are increasing from top to bottom with Beijing, Shanghai, Guangzhou and Chengdu as the four centers. And the national urban system forms a rhomboid network structure. In addition, by analyzing the spatial connection, the top 10 cities are mostly located in the eastern coastal areas, the spatial connection of cities across the country has obvious east-west differences, the eastern areas have the higher contact intensity, the Yangtze River delta city cluster is the center of China, and the country presents a multi-center network structure with urban agglomeration as the spatial carrier.

**Key words:** hierarchy, spatial pattern, urban agglomeration, complex network, DNI dual core index

城市是人们脱离农业生产的聚集地,是各种产业技术的发源地.随着城市化进程的加快,各种各样的城市空间格局分类标准如雨后天春笋般出现在学术研究中.对城市体系的研究一般基于两种视角.一是人流视角,最常见的就是按照城市人口规模划分为不同的城市等级,如劳昕等<sup>[1]</sup>以城市迁移人口对中国城市等级规模进行了划分,许学强<sup>[2]</sup>对我国城镇规模体系演变进行了分析和预测.以公路、铁路、航空运输等为载体的交通客运流也是城市体系研究中重要的指标,周一星等<sup>[3]</sup>从航空运输视角探讨了中国城市体系的空间网络结构;武文杰等<sup>[4]</sup>通过对航空网络格局及演变的研究,发现中国城市网络具有“长尾分布”和小世界效应等特征;钟业喜等<sup>[5]</sup>利用铁路数据将中国城市划分为不同等级,揭示了中国城市 T 型分布

收稿日期:2019-04-19.

基金项目:国家自然科学基金面上项目(41571120)、江苏省高校优势学科建设工程资助项目(164320H101).

通讯作者:张莉,博士,副教授,研究方向:经济地理与区域规划研究. E-mail:zhangli@njnu.edu.cn

特征和双核结构模式。二是物流视角,主要通过各种物质流、能量流、信息流和知识流等来展现。贺灿飞等<sup>[6]</sup>发现跨国公司的功能布局受中国城市等级体系影响,同时又影响着城市等级体系;方创琳等<sup>[7]</sup>通过多种流因素的耦合构建城市群发育程度指数模型,综合分析了中国城市群结构体系。此外,国内学者还从不同的时间尺度研究了中国城市格局的演变过程,管驰明等<sup>[8]</sup>梳理了 100 多年来中国城市的空间分布格局;张莉<sup>[9]</sup>分析了改革开放以来中国城市体系的演变;顾朝林等<sup>[10]</sup>、陈良文等<sup>[11]</sup>等采用理论模型对影响中国城市空间分布的因素和内在机制进行了研究。

以航空流为研究视角对城市体系进行研究,始于 20 世纪 50 年代末 60 年代初。美国的 Taaffe 运用重力模型方法研究美国城市的航空等级模式<sup>[12-13]</sup>;较具开创性的是 Smith 等<sup>[14]</sup>分析发现世界城市体系存在等级结构;Matsumoto<sup>[15]</sup>分析了亚欧美三大洲航空客货流网络的结构,评估了枢纽城市的等级。20 世纪 80 年代,国内学者开始大量研究航空网络结构的相关问题。郭文炯等<sup>[16]</sup>揭示了中国航空运输等级所代表的城市体系特征;冯健等<sup>[17]</sup>不仅通过航空网络来解释城市体系现状,还进行了城市体系演变的预测。此外,学者们还研究了航空运输联系的方向性<sup>[18]</sup>、我国对外联系的空间演进<sup>[19]</sup>以及交通网络和经济网络下中国城市体系空间结构的差异<sup>[20]</sup>等。从研究内容上来看,航空网络的研究主要集中在 4 个方面:一是航空网络与城市体系及地区经济之间的关系,如张凡<sup>[21]</sup>研究了航空运输对中国城市等级体系、结构的影响;吴晋峰等<sup>[22]</sup>将航空网络和旅游相结合,进行了社会网络分析。二是航空网络结构特征模式研究及性能优化和预测,例如王娇娥等<sup>[23]</sup>从 3 个层面对比分析了中国铁路与航空客流视角下的城市网络体系的结构特征和组织模式。三是航空网络的空间效应,如金凤君<sup>[24]</sup>研究了我国城市的地域分异现象以及相互作用特征。四是航空网络的拓扑结构,学者们通过拓扑分析发现航空网络具有小世界效应。从研究方法上来看,目前对航空网络的分析主要从 3 方面入手:一是通过建模来模拟设计航空网络最优模式;二是通过物理统计方法研究航空网络的拓扑性质,如 Matsumoto 结合模糊数学方法,对加拿大城市体系的开放性和独立性进行了研究<sup>[25]</sup>;三是采用经济学方法探究航空网络的空间特征以及城市体系的空间结构。

航空网络之间的数据流可以较好地反映大尺度空间上的城市体系,被诸多学者用以研究全球尺度、跨国尺度以及国家尺度的城市体系。本文以 2016 年中国航空客运量为依据,运用 ArcGIS、社会网络等分析方法,旨在从航空客运流的视角,揭示中国城市体系的等级结构与空间联系。

## 1 数据资料与研究方法

### 1.1 数据来源与研究对象

本文所使用的 2016 年全国机场旅客吞吐量、主要航段客运量数据来源于《从统计看民航》,涉及到的机场统计数据来源于《2017 年民航年度发展统计公报》,主要城市群城市数据根据中华人民共和国国家发展和改革委员会文件整理。随着 1980 年北京首都机场投入使用,2000 年浦东国际机场投入使用,出现了一个城市同时有两个机场的情况,为便于分析将北京、上海的两个机场数据合并成一个机场数据进行讨论。本研究主要从航空运输客运流的角度进行分析,因此中国国际货运航空公司等货运航空公司的数据不在本文讨论之列。

### 1.2 研究方法

运用 Ucinet 分析软件,构建了以机场为节点、航线为边的航空网络,计算节点的点度、度数中心度、中介中心度。

度数中心度是指与该点直接相连的点数。节点城市度数中心度越大,该城市的核心性越高。度数中心度的测算公式为:

$$C_D(c_i) = \sum_i a_{ij} / (n-1), \quad (1)$$

式中, $C_D(c_i)$ 为度数中心度; $a_{ij}$ 为节点  $i$  和其他节点城市之间的有效联系数量; $n$  为节点城市数量。

中介中心度也称介数中心度,是统计某个节点被其他节点以最短路径通过的数量与图中最短路径总数之比。节点的介数可以反映出该节点在网络中的影响力大小。中介中心度测量的是点与点之间的“距离”,是一种不受其他节点控制的测度。节点城市中介中心度值越大,越不易受其他节点城市的控制。中介中心度的测算公式为:

$$C_c(c_i)=(n-1)/\sum_{j\neq i}^n d_{ij},$$

(2)

式中, $C_c(c_i)$ 为中介中心度; $n$ 为节点城市数量; $d_{ij}$ 为节点*i*和*j*之间的最短路径。

2 中国城市体系等级结构

2.1 基于航空网络的中国城市体系等级划分

城市体系等级划分是研究城市等级格局与空间联系的基础。航空运输作为重要的交通方式,其发达程度可从侧面反映各城市的经济发展程度及其所处的城市等级。截止到 2017 底,我国共有航空公司 58 家、定期航班航线 4 418 条、颁证运输机场 229 座。客运市场方面,2017 年全国民航运输机场完成 11.48 亿人次,其中东部地区完成 6.14 亿人次,东北地区完成 0.72 亿人次,中部地区完成 1.22 亿人次,西部地区完成 3.40 亿人次。本文以各城市机场客运吞吐量为单指标,采用图表判别法对主要城市进行城市等级划分。采用图表判别法进行判别时,以城市数量为横坐标,各城市机场乘客吞吐量为纵坐标,根据统计数据中截止到 2017 年设有民用客运机场的 207 个城市乘客吞吐量作散点图,如图 1 所示。

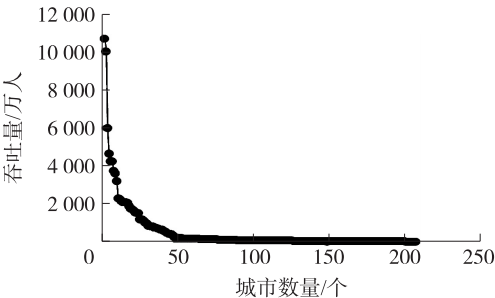


图 1 2016 年民航机场吞吐量  
Fig. 1 Throughput of civil airport in 2016

可以看出,代表城市的 207 个点排成一条呈下降趋势的曲线,下降趋势由陡变缓,自上而下点的分布逐渐密集。拟合曲线可得拟合程度为 0.944 8,拟合程度较好,一些高度相近的点在一定范围内成组分布。试做几条与横轴平行的直线上下移动,发现当纵坐标为 5 000 万、3 000 万、300 万时,斜率出现明显的突变,所有城市节点被合理地分为 4 组。如表 1 所示,最高的一组为以 5 000 万为节点的一级城市,包括上海、北京、广州 3 个城市,其乘客吞吐量以绝对优势高于其他城市;第二组为以 3 000 万为节点的二级城市,包括成都、昆明、深圳、西安、重庆、杭州 6 个城市;第三组为以 300 万为节点的三级城市,包括厦门、南京、长沙、武汉等 37 个城市;最后一组为以乘客吞吐量最少的 5 万~300 万为节点的四级城市,包括绵阳、常州、呼伦贝尔等 161 个城市。

表 1 基于航空网络的中国城市等级体系

Table 1 Chinese urban system based on aviation network

等级	城市数量	城市名称
一级城市	3	上海、北京、广州
二级城市	6	成都、昆明、深圳、西安、重庆、杭州
三级城市	37	厦门、南京、长沙、武汉、郑州、青岛、乌鲁木齐、海口、三亚、天津、哈尔滨、大连、贵阳、沈阳、济南、福州、南宁、兰州、太原、长春、温州、呼和浩特、南昌、宁波、合肥、石家庄、丽江、桂林、银川、珠海、无锡、烟台、西宁、西双版纳、揭阳、泉州、拉萨 新疆:喀什地区、库尔勒、阿克苏、和田、克拉玛依、阿勒泰地区、伊犁、哈萨克、库车、哈密地区、博尔塔拉蒙古、吐鲁番、石河子;内蒙古:呼伦贝尔、包头、鄂尔多斯、赤峰、锡林浩特、二连浩特、乌兰察布、通辽、乌兰浩特、满洲里、乌海、巴彦淖尔、阿拉善盟、阿尔山、扎兰屯;云南:德宏、大理、北海、腾冲、普洱、迪庆、保山、临沧、昭通、文山;黑龙江:牡丹江、大庆、佳木斯、齐齐哈尔、鸡西、黑河、加格达奇、伊春、漠河、抚远;四川:绵阳、阿坝、泸州、攀枝花、稻城、南充、西昌、达州、广元、甘孜藏族;甘肃:金昌、敦煌、嘉峪关、庆阳、六盘水、张掖、天水、甘南藏族;江苏:常州、南通、徐州、扬州、盐城、连云港、淮安;湖北:宜昌、宜宾、襄阳、恩施、十堰、神农架;湖南:张家界、常德、衡阳、怀化、永州;浙江:义乌、舟山、台州、衢州;辽宁:营口、丹东、锦州、鞍山、朝阳、长海;山东:威海、临沂、潍坊、济宁、日照、东营;贵州:遵义、毕节地区、铜仁、兴义、安顺、黔东南苗族侗族、黔南布依族苗族;陕西:榆林、运城、延安、汉中、安康;江西:赣州、景德镇、井冈山、九江、宜春;河北:张家口、秦皇岛、邯郸、唐山;山西:长治、大同、吕梁、临汾、忻州;西藏:林芝、昌都地区、阿里地区、日喀则地区;广东:湛江、佛山、惠州、梅州;福建:武夷山、连城、三明;安徽:黄山、阜阳、池州、安庆;吉林:吉林、延吉、白山、通化;青海:伊宁、玉树、格尔木、果洛;广西:柳州、百色、梧州、河池;河南:洛阳、南阳;宁夏:固原、中卫;海南:琼海、三沙;重庆:万州、黔江
四级城市	161	

中国城市体系可分为全国性中心城市、区域中心城市、省级中心城市、地方性中心城市 4 个等级,如表 1 所示。其中,全国性中心城市有北京、上海、广州 3 个城市,在全国范围内具有强大的城市竞争力和影响力,在全国城市体系中处于最高等级,基本相当于全国性的社会经济中心,也是其所在大区的中心;区域性中心城市的影响范围一般都跨越省级行政区的界线,是我国重要的区域中心城市或副中心城市,如深圳是华南地区的区域经济中心,重庆是西南地区的大区中心;次区域中心城市则往往是省域的中心城市或副中心;地方性中心城市的影响范围较小,仅限于省内一定区域。

2.2 中国城市体系等级结构特征

2.2.1 城市数量自上而下递增

从表 1 可以看出,城市分布呈典型的金字塔特征. 这与我国城市人口数量与发展程度密切相关. 我国人口 1000 万以上超大城市和 500 万以上特大城市经济发展水平较高,综合职能较强,与各方面的联系强度较密切,是航空客流网络的枢纽,但特大城市数量较少. 中小城市虽然数量较多,但受其人口数量和经济状况的影响,与其他城市的联系较弱,在总体航空客流规模上所占比重也较低. 2016 年排名前十位城市的机场吞吐量占到全国旅客吞吐量的 52.4%,具有最大的影响力和最高的集散能力,在城市网络中处于核心地位. 北京主要影响东北、华北地区,上海、南京主要影响华东地区,乌鲁木齐主要以新疆为辐射范围并对西北地区产生影响,广州、深圳主要影响华南地区,成都、重庆、昆明主要影响川渝云贵等西南地区,西安影响陕甘宁等西北地区,以这 10 个城市为骨架,连接起剩余 197 个城市,构成全国的城市等级空间分布格局.

2.2.2 全国构成多中心网络结构

按照排名收集前 270 条主要航线数据,前 100 位航线数据如表 2 所示,以 2016 年全国主要航线数量和机场乘客吞吐量为依据,构建全国主要航线数量桑基图,如图 2 所示. 图中航班线路稠密度反映全国城市等级状况. 航班数量与乘客数量呈正相关,全国各城市节点间连线的粗细反映出联系紧密程度,即连线由粗至细反映出两城市间的联系程度由强到弱. 从连接强度看,北京—上海线、上海—广州线、广州—北京线、北京—成都线、广州—成都线有着最高的连接强度. 在我国的航空网络中,集聚效应明显,超大城市始终是我国航空客流网络的“中心城市”,以北京、上海、广州、成都 4 个城市为核心,形成近菱形的全国城市体系核心结构. 排名前 20 位的城市中,次一级中心城市昆明、武汉、西安等作为地区城市群核心,与四大核心城市共同构成了我国城市体系的整体框架. 在此基础上,其他省会城市、区域中心城市、地方性中心城市等逐级分布构成我国完整的城市体系网络.

表 2 全国主要航线数量  
Table 2 Major of air routes across the country

航线	航线数	航线	航线数	航线	航线数	航线	航线数
北京—上海	37 032	哈尔滨—北京	13 760	昆明—西安	10 545	郑州—杭州	7 974
上海—深圳	32 561	大连—北京	13 177	北京—三亚	10 391	郑州—深圳	7 934
广州—上海	27 660	广州—昆明	13 034	福州—上海	10 158	广州—温州	7 904
成都—北京	24 452	广州—南京	12 930	北京—青岛	10 123	南京—北京	7 874
北京—深圳	23 874	重庆—昆明	12 704	西安—兰州	9 882	贵阳—北京	7 830
西双版纳—昆明	23 370	成都—昆明	12 693	昆明—德宏	9 870	海口—北京	7 787
广州—北京	21 349	上海—武汉	12 570	昆明—深圳	9 860	上海—烟台	7 736
成都—上海	21 137	北京—厦门	12 028	榆林—西安	9 689	广州—三亚	7 713
上海—厦门	20 437	广州—西安	11 988	海口—深圳	9 418	广州—武汉	7 586
上海—青岛	18 860	喀什—乌鲁木齐	11 941	重庆—杭州	9 328	呼和浩特—北京	7 570
重庆—上海	18 211	郑州—上海	11 889	长春—北京	9 326	北京—沈阳	7 552
杭州—北京	18 161	上海—天津	11 781	成都—拉萨	9 165	武汉—厦门	7 438
上海—西安	17 663	哈尔滨—上海	11 726	郑州—昆明	9 102	上海—乌鲁木齐	7 420
广州—杭州	17 365	广州—海口	11 462	阿克苏—乌鲁木齐	9 054	重庆—三亚	7 412
广州—成都	17 185	乌鲁木齐—西安	11 421	福州—北京	9 018	昆明—南京	7 400
杭州—深圳	16 954	深圳—西安	11 241	昆明—武汉	8 950	成都—南京	7 332
北京—西安	16 072	南京—深圳	11 204	贵阳—上海	8 768	北京—兰州	7 279
广州—重庆	15 992	上海—三亚	11 128	成都—西安	8 762	哈尔滨—青岛	7 193
重庆—北京	15 365	北京—乌鲁木齐	11 109	成都—杭州	8 622	重庆—西安	7 141
昆明—北京	14 857	杭州—西安	11 094	郑州—乌鲁木齐	8 445	成都—乌鲁木齐	7 123
昆明—上海	14 469	长沙—上海	11 037	西安—西宁	8 253	重庆—南京	7 034
上海—沈阳	14 388	长沙—北京	10 975	乌鲁木齐—伊宁	8 245	杭州—昆明	7 004
重庆—深圳	14 378	北京—武汉	10 955	银川—西安	8 225	北京—烟台	6 732
大连—上海	13 935	长春—上海	10 879	长沙—昆明	8 169	上海—太原	6 665
成都—深圳	13 893	昆明—丽江	10 826	广州—厦门	7 980	南宁—北京	6 620



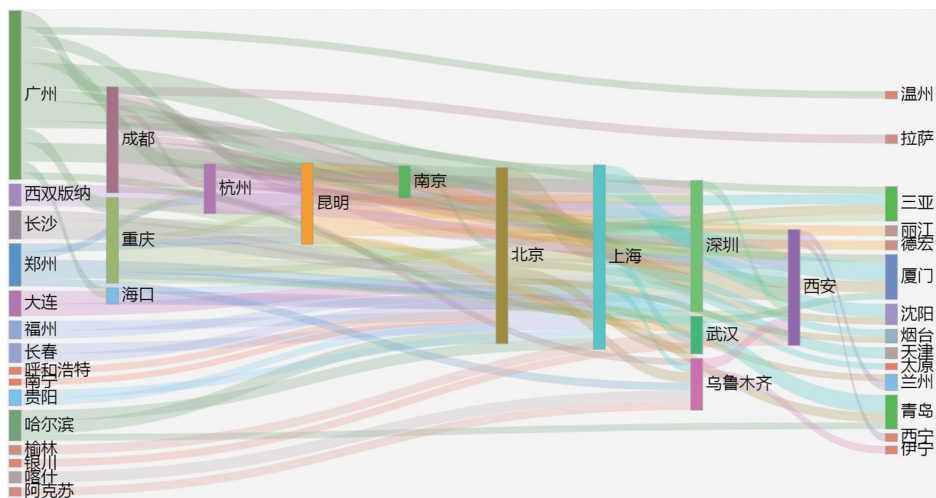


图 2 全国主要航线桑基图

Fig. 2 The sankey diagram of air routes across the country

### 2.2.3 旅游城市等级排名的上升

我国旅游行业发展迅速,促进了许多地方性旅游城市的崛起. 云南是中国的航空大省之一,云南省旅游资源丰富,各旅游景点分布较远,为方便城市间的联系建成机场数量众多. 根据 2016 年统计数据显示,云南共有 12 个机场. 在 2019 年城市排行榜中昆明为新一线城市,排名第 20 位;而在航空等级排名中(表 1),昆明排在第 6 位. 在图 2 显示的主要航线分布上,昆明与西双版纳、成都、广州、重庆等 22 个城市都有紧密的航空联系. 在省内联系上看,昆明与西双版纳段航线年班次量排名全国第 6 位,在图上显示这一航线有着一级的联系强度,除这一航段外排名靠前的其他航段均为一级城市与二级城市的联系. 2018 年三亚实现了机场旅客吞吐量超 2 000 万人次,成为国内首个空港突破 2 000 万的非省会地级城市. 在 2019 年全国旅游城市竞争力排行前 50 位的城市中,丽江排名 15 位,昆明排名 20 位,桂林排名 32 位,三亚排名 47 位. 海口为二线城市,三亚、桂林为三线城市,丽江、西双版纳为四线城市,这几个城市在航空网络视角下的城市体系中排名均在前 50 名,为第三等级,远远超过了其人口规模和经济发展水平所占的排名.

## 3 中国城市体系空间联系

### 3.1 城市体系整体联系

在航空网络中,城市的度数中心度、中介中心度反映了城市节点在全国城市体系网络中所处的地位和 控制影响力. 为更好地反映全国尺度下航空节点的联系强度,将 2016 年排名前 270 位的主要航线转化为 O-D 矩阵得到 60 个主要航空节点城市,使用社会网络分析软件测算这 60 个节点城市的点度、度数中心度与中介中心度(如表 3 所示),并根据中介中心度绘制航空联系的网络空间可视化结构图(如图 3 所示), 据此探究城市体系中的城市整体联系.在排名前 60 位的城市中,点度和度数中心度大体一致. 北京、上海、广州位于网络图的最中心,与其他城市联系强度较高,集散能力较强,居于整个网络中的第一层级,对全国起着辐射带动作用. 杭州、南京、三亚等省会城市或地方经济中心居于网络的第二层级,这些城市在所在地区的控制力和影响力较强,在地区的航空联系中发挥了中介作用. 此外,从泉州到阿克苏的后 15 位城市在主要航线排名中点度值为 1,度数中心度仅为 0.008,具有单向性,集散能力较弱,多为当地单一中心城市之间的固定联系,居于网络的第三层级. 从中介中心度看,仅有从北京至郑州的前 29 位城市具有一定的中介性. 值得一提的是,深圳作为我国四大一线城市之一,其中转能力低于其在城市等级中的排名;乌鲁木齐在度数中心度中排名第 16 位,在中介中心度排名中上升至第 5 位,是西北地区最重要的交通枢纽城市;可见,中心性强的城市未必具有与之相应的中转能力. 从地区看,影响力较大的北京、上海、广州、深圳等城市主要位于东部地区,云南进入排名的有昆明、西双版纳、丽江、德宏、大理 5 个城市,新疆进入排名的有乌鲁木齐、喀什、库尔勒、阿克苏 4 个城市,两个地区分别以昆明、乌鲁木齐作为区域的核心城市,成为西北与西南地区独立的轴辐系统. 东北地区的黑龙江、吉林、辽宁三省、中原地区的河南、山西、陕西等

省份与全国其他地区的联系较弱,集散能力弱于其他地区,除西安外缺少代表性区域中心城市. 由可视化结构图可见,中国航空客运网络以北京、上海、广州 3 个城市为核心,以重庆、成都、昆明、乌鲁木齐 4 个城市为次核心,呈现多中心、不均衡分布特征.

表 3 全国主要城市点度、度数中心度和中介中心度  
Table 3 Degree, national degree and betweenness

城市	点度	城市	度数中心度	城市	中介中心度	城市	点度	城市	度数中心度	城市	中介中心度
北京	41	北京	0.316	北京	102.358	宁波	6	长春	0.042	阿克苏	0
上海	36	上海	0.300	上海	94.729	桂林	6	桂林	0.041	包头	0
广州	33	广州	0.258	昆明	51.061	长春	5	兰州	0.041	保山	0
成都	32	成都	0.250	深圳	42.102	兰州	5	宁波	0.041	大理	0
昆明	29	深圳	0.208	乌鲁木齐	26.198	丽江	5	丽江	0.033	德宏	0
西安	29	西安	0.200	广州	22.195	石家庄	4	石家庄	0.033	鄂尔多斯	0
重庆	26	昆明	0.191	西安	21.702	呼和浩特	3	呼和浩特	0.025	桂林	0
深圳	25	重庆	0.183	杭州	11.971	银川	3	无锡	0.025	和田	0
杭州	23	杭州	0.175	长沙	8.766	无锡	3	银川	0.025	呼和浩特	0
南京	19	南京	0.141	厦门	6.112	西宁	3	呼伦贝尔	0.017	呼伦贝尔	0
武汉	18	厦门	0.133	成都	5.004	珠海	2	拉萨	0.016	揭阳	0
厦门	16	武汉	0.125	南京	4.004	烟台	2	西宁	0.016	喀什地区	0
海口	16	青岛	0.116	重庆	2.399	西双版纳	2	烟台	0.016	库尔勒	0
长沙	15	三亚	0.116	武汉	1.414	拉萨	2	珠海	0.016	拉萨	0
青岛	15	长沙	0.116	青岛	1.264	呼伦贝尔	2	阿坝	0.008	兰州	0
乌鲁木齐	14	乌鲁木齐	0.108	南昌	1.232	泉州	1	阿克苏	0.008	丽江	0
三亚	14	郑州	0.108	天津	0.802	揭阳	1	包头	0.008	绵阳	0
郑州	13	海口	0.100	海口	0.767	包头	1	保山	0.008	泉州	0
天津	13	天津	0.100	三亚	0.760	喀什	1	大理	0.008	石家庄	0
贵阳	13	贵阳	0.075	福州	0.589	绵阳	1	德宏	0.008	太原	0
南宁	10	哈尔滨	0.067	贵阳	0.409	鄂尔多斯	1	鄂尔多斯	0.008	温州	0
大连	9	南昌	0.067	宁波	0.375	榆林	1	和田	0.008	无锡	0
哈尔滨	9	南宁	0.067	大连	0.362	延吉	1	揭阳	0.008	西宁	0
福州	9	大连	0.066	济南	0.305	九寨	1	喀什地区	0.008	烟台	0
太原	9	济南	0.066	南宁	0.205	德宏	1	库尔勒	0.008	伊宁	0
南昌	9	沈阳	0.058	哈尔滨	0.032	大理	1	绵阳	0.008	义乌	0
沈阳	8	太原	0.058	合肥	0.032	湛江	1	泉州	0.008	银川	0
济南	8	温州	0.058	沈阳	0.032	义乌	1	伊宁	0.008	榆林	0
温州	7	福州	0.058	郑州	0.032	库尔勒	1	义乌	0.008	长春	0
合肥	7	合肥	0.050	阿坝	0	阿克苏	1	榆林	0.008	珠海	0

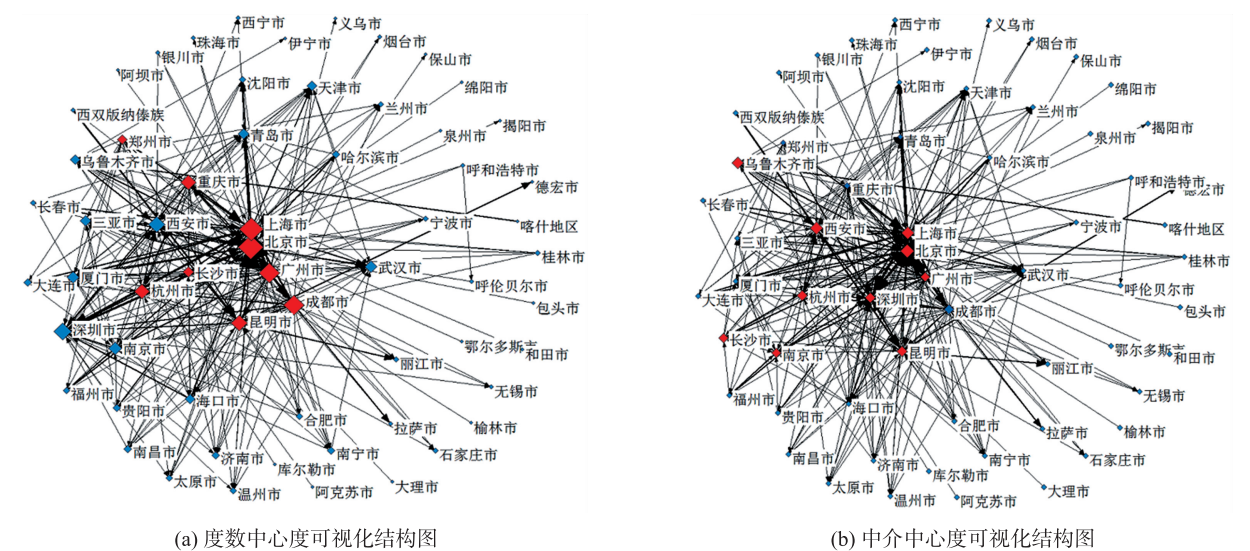


图 3 度数中心度、中介中心度可视化结构图  
Fig. 3 Visual structure diagram of national degree and betweenness

### 3.2 城市体系局部联系

城市群作为我国城市化发展过程中的重要空间载体,能够反映城市之间的紧密联系. 根据《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》,本文选取北部湾、成渝、关中、哈长、海峡西岸、呼包鄂榆、京津冀、辽中南、山东半岛、长江中游、长三角、中原、珠三角等具有代表性的 13 个城市群,探究城市群视角下城市体系的局部联系.

根据主要航线数据作城市群主要城市弦图,如图 4 所示,从联系强度看,北京、上海、广州、深圳、成都、重庆位于第一梯队,这 6 个城市所在的京津冀城市群、长三角城市群、珠三角城市群、成渝城市群呈菱形在全国均衡分布,是全国的四大核心地区,有强度最高的区内联系和区外联系. 从空间分布上看,城市群机场数量排名前三的依次是长三角城市群、山东半岛城市群和海峡西岸城市群(见图 5),客运吞吐量排名前三的依次是长三角城市群、京津冀城市群和珠三角城市群. 山东半岛、京津冀、长三角、海峡西岸、辽中南、长江中游 6 个城市群空间集聚更加明显. 最好的 6 个城市群均位于东部沿海地区,表明东部的机场与其他地区的联系更紧密,有较强的吸引力,这与我国当前东部沿海地区经济最为发达的发展形态相符. 呼包鄂榆城市群机场覆盖率最高 4 个城市均有机场,但由于城市群经济发展程度有限,航空客运量排在最末位,本地区 4 个城市发展均衡,在全国层面较为薄弱,落后于其他城市群. 关中城市群机场数量最少,仅有 2 个,尚未形成明显的网络结构,这与关中地区地理位置有关,关中地区位于中部地区,铁路线路发达,减缓了该地区航空运输的发展. 长江中游城市群以武汉为中心城市,长沙、南昌为副中心城市,3 个中心城市均衡分布,在联系强度上长沙最好,其次是武汉、南昌,南昌在吞吐量排名和联系强度上的表现均弱于前两个城市. 长江中游城市群人口数量众多,腹地广阔,但机场数量相对较少,内部网络结构呈典型的多中心形态. 北部湾城市群位于广西地区,地级市数量少,经济发展状况差,航空可达性排名较为靠后,但作为新划定的城市群,北部湾城市群为中国与东盟共建“一带一路”过程中的全新“接口”,有很大的发展空间.

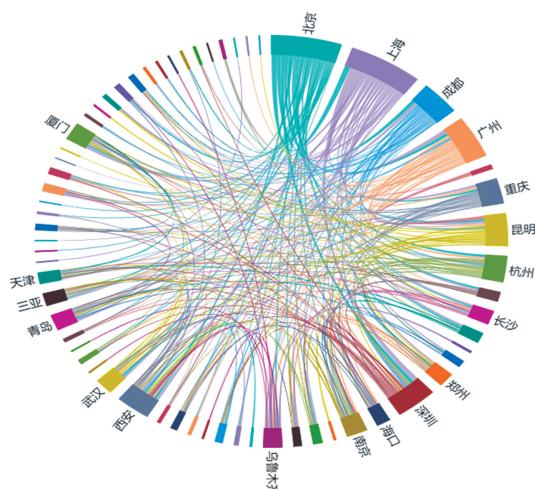


图 4 城市群主要城市联系强度

Fig. 4 Relation force of main cities

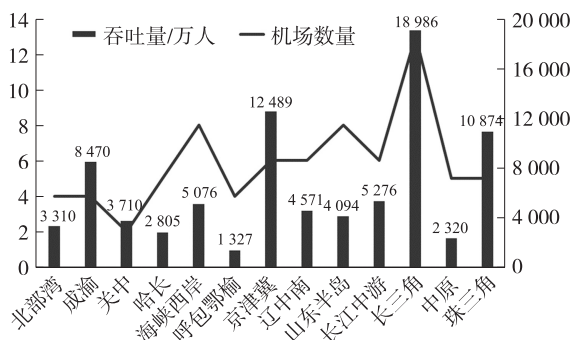


图 5 城市群机场数量及吞吐量

Fig. 5 Number and throughput of city clusters airports

## 4 结论

中国城市体系受经济、地域、行政等多种因素的影响;从等级联系上看,全国以北京、上海、广州 3 个城市为核心,以成都、昆明、深圳、西安、重庆、杭州为次核心,共同构成全国城市体系等级结构的框架,低等级的城市通过与较高等级城市相连接而进入全国性的航空网络;城市空间联系上东部地区联系较强,西部地区联系较弱,空间联系呈现明显的向右偏向性;随着城市群的发展,各城市群之间的联系与城市群内部的联系加强,全国呈现以城市群为空间载体的多中心的网络结构.

### [参考文献](References)

- [1] 劳昕,沈体雁. 基于人口迁移的中国城市体系演化预测研究[J]. 人口与经济,2016(6):35-47.
- [2] 许学强. 我国城镇规模体系的演变和预测[J]. 中山大学学报(社会科学版),1982(3):40-49.



- [3] 周一星,胡智勇. 从航空运输看中国城市体系的空间网络结构[J]. 地理研究,2002,21(3):276-286.
- [4] 武文杰,董正斌,张文忠,等. 中国城市空间关联网络结构的时空演变[J]. 地理学报,2011,66(4):435-445.
- [5] 钟业喜,陆玉麒. 基于铁路网络的中国城市等级体系与分布格局[J]. 地理研究,2011,30(5):785-794.
- [6] 贺灿飞,肖晓俊. 跨国公司功能区位实证研究[J]. 地理学报,2011,66(12):1669-1681.
- [7] 方创琳,宋吉涛,张蕾,等. 中国城市群结构体系的组成与空间分异格局[J]. 地理学报,2005,60(5):827-840.
- [8] 管驰明,崔功豪. 100 多年来中国城市空间分布格局的时空演变研究[J]. 地域研究与开发,2004,23(5):28-32.
- [9] 张莉. 改革开放以来中国城市体系的演变[J]. 城市规划,2001,25(4):7-10,31.
- [10] 顾朝林,庞海峰. 基于重力模型的中国城市体系空间联系与层域划分[J]. 地理研究,2008,27(1):1-12.
- [11] 陈良文,杨开忠,吴蛟. 中国城市体系演化的实证研究[J]. 江苏社会科学,2007(1):81-88.
- [12] TAAFFE E J. Air transportation and united states urban distribution[J]. The Geographical Review,1956,46(2):219-238.
- [13] TAAFFE E J. The urban hierarchy:an air passenger definition[J]. Economic Geography,1962,38(1):1-14.
- [14] SMITH D,TIMBERLAKE M. World city network and hierarchies,1977-1997[J]. American Behavioral Scientist,2001,44(10):1656-1678.
- [15] MATSUMOTO H. International air network structures and air traffic density of world cities[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,2007,43(3):269-282.
- [16] 郭文炯,白明英. 中国城市航空运输职能等级及航空联系特征的实证研究[J]. 人文地理,1999,14(1):31-35.
- [17] 冯健,周一星. 中国城市内部空间结构研究进展与展望[J]. 地理科学进展,2003,22(3):304-315.
- [18] 朱英明. 中国城市密集区航空运输联系研究[J]. 人文地理,2003,18(5):22-25.
- [19] 王成金,金凤君. 从航空国际网络看我国对外联系的空间演变[J]. 经济地理,2005,25(5):667-672.
- [20] 劳昕,王彦博,沈体雁. 基于交通网络和经济网络的中国城市体系空间结构对比研究[J]. 经济体制改革,2015(3):49-55.
- [21] 张凡. 航空联系视角下的中国城市网络:结构特征与演化规律[D]. 上海:华东师范大学,2016.
- [22] 吴晋峰,任瑞萍,韩立宁,等. 中国航空国际网络结构特征及其对入境旅游的影响[J]. 经济地理,2012,32(5):147-152.
- [23] 王姣娥,景悦. 中国城市网络等级结构特征及组织模式——基于铁路和航空流的比较[J]. 地理学报,2017,72(8):1508-1519.
- [24] 金凤君. 我国航空客流网络发展及其地域系统研究[J]. 地理研究,2001,20(1):31-39.
- [25] MATSUMOTO H. International urban systems and air passenger and cargo flows:some calculations[J]. Journal of Air Transport Management,2004,10(4):239-247.

[责任编辑:严海琳]