

新疆航空网络的空间格局及演变

车天培, 陈冰露, 林涛*

上海师范大学环境与地理科学学院, 上海

收稿日期: 2021年9月26日; 录用日期: 2021年11月4日; 发布日期: 2021年11月9日

摘要

近年来新疆航空网络拓展非常迅速。探讨新疆航空网络的发展态势及演化规律, 对其未来航空运输业的发展具有一定的理论和实践指导意义。依据2015年和2019年的新疆航线及航班运营信息数据, 运用基于O-D联系网络的GIS空间分析法, 分别从疆内、国内和国际三个尺度分析新疆航空网络的空间格局及其演变特征。研究表明: 1) 疆内和国内航线联系大大增强且航班增长率非常高, 而国际航线数量变化不大且航班的增长率非常低; 2) 疆内航线网络具有从西北向东南扩张的趋势, 北疆航线联系比南疆密切, 全疆航线联系越来越紧密, 乌鲁木齐发挥区域性枢纽的作用; 3) 新疆已经基本实现了对国内各省省会及一二线城市航线的全覆盖, 始终与北京、陕西、四川和河南保持着密切的航班交流; 4) 新疆国外通航城市主要集中在中亚和西亚地区, 近年来与东亚和东南亚地区的联系大大增强, 但航线和航班总数变化不大。

关键词

新疆航空网络, 疆内, 国内, 国际, 演变

The Spatial Pattern and Evolution of Xinjiang Aviation Network

Tianpei Che, Binglu Chen, Tao Lin*

College of Environmental and Geographic Sciences, Shanghai Normal University, Shanghai

Received: Sep. 26th, 2021; accepted: Nov. 4th, 2021; published: Nov. 9th, 2021

Abstract

In recent years, the development of Xinjiang aviation network is very rapid. It is of theoretical and practical significance to discuss the development trend and evolution law of Xinjiang aviation

*通讯作者。

network. Based on the information data of Xinjiang Airlines and flights in 2015 and 2019, this paper analyzes the spatial pattern and evolution characteristics of Xinjiang aviation network from three scales of Xinjiang, domestic and international by using GIS spatial analysis method based on O-D network. The results show that: 1) The connection between Xinjiang internal and domestic routes is greatly enhanced and the flight growth rate is very high, while the number of international routes has little change and the growth rate of flights is very low; 2) The Xinjiang internal route network has the trend of expanding from northwest to Southeast. The northern Xinjiang route is closer than the southern Xinjiang, and the whole Xinjiang route is more and more closely connected. Urumqi plays a regional role; 3) Xinjiang has basically realized the full coverage of routes to provincial capitals and first and second-tier cities in China and has always maintained close flight exchanges with Beijing, Shaanxi, Sichuan and Henan; 4) The navigable cities are mainly concentrated in central and Western Asia, and the links with East Asia and Southeast Asia have been greatly enhanced in recent years. The number of flights has not changed much.

Keywords

Xinjiang Aviation Network, Xinjiang Internal, Domestic Scale, International Scale, Evolution

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

新疆是我国西北的战略屏障和向西开放的重要门户，是国家实施西部大开发战略的重点地区和战略资源的重要基地[1]。“一带一路”倡议的提出和实施，为新疆航空市场的发展提供了新机遇，2015年新疆被确立为丝绸之路经济带核心区后，新疆加快打通与“一带一路”沿线各个国家城市之间的空中通道[2]，民航事业迅速发展。2019年新疆旅客吞吐量达3758.5万人次，比2015年增长48.2%；货邮吞吐量达21.7万吨，同比增长21.9%；起降架次达44.6万架次，同比增长47.7% [3]。

国内关于航空网络的地理学研究集中在以下三个方面：1) 航空网络的拓扑结构特征。如中国航空网络的拓扑性质[4] [5] [6] [7] [8]，“轴-辐”侍服模式下我国航空运输干支线网络空间结构的形成规律[9] [10] [11]；2) 航空网络抗毁性。对国内航空网络的抗毁实证分析表明，得出我国航空网络在“随机干扰”时抗毁性较强，但在“蓄意攻击”时抗毁性较差[12] [13] [14]，并且“蓄意攻击”将严重影响整个航空网络的连通性和集聚性[5] [15]；3) 国内航空枢纽的识别。利用位序规模模型衡量航空运输集中度以评价枢纽机场地位的强弱[11] [16]，基于中国城际航空客流结构判断中国主要城市在国内及国际客运航空网络中的层级及其变化[9] [17] [18] [19]。以上研究均从全国范围对航空网络进行分析。目前，在国内区域层面，还比较缺乏航空网络空间格局及演变的研究[20]。

近年来，国内外环境的变化以及支线机场的建设为新疆航空网络的发展带来了新的机遇，网络拓展非常迅速。探讨新疆航空网络地发展态势及演化规律，对其未来航空运输业的发展具有一定的理论和实践指导意义。本文拟以2015年和2019年航线与航班数据，探索近五年来新疆疆内、国内和国际三个尺度的航空网络的空间格局及演变。航线与航班数据来源于飞常准大数据平台，航空运输数据来自于中国民用航空局《2019年民航机场生产统计公报》。本文对有经停机场的航线进行处理，如将乌鲁木齐-郑州-杭州航线拆分为乌鲁木齐-郑州和郑州-杭州，并保持航班频率不变；将航空网络中有向的O-D数据处理为无向数据，如将乌鲁木齐-郑州和郑州-乌鲁木齐的航班数据进行合并；删除航线网络中的重

复航线；本文中所指航线和航班均为直达航线和航班。

2. 新疆航空网络的总体变化特征

2.1. 航线特征

2015年,新疆建成并投入使用的机场共16个,到2019年底增至21个。2015年以来,新疆航线特征主要表现为疆内航线联系大大增强、国内通航城市覆盖更为全面和国际航线数量变化不大3个方面(表1)。新疆内部联系航线共增加70条,增长率为65.4%;新疆与国内其他城市的通航航线数量增加67条,增长率为40.6%;国际航线数量增加2条,增长率仅为6.7%。因此,新疆内部联系航线的增长率最快,远高于国内和国际通航航线的增长。2015年,新疆就已经实现对国内31个省份航空联系的全覆盖(香港和澳门除外),至2019年新增21个国内通航城市,增长率为30%,新疆与国内各省市的联系更为紧密,在国内的航空覆盖范围更为广泛。然而,五年间新疆国际航线仅增长2条,通航城市数量仅增加4个,通航国家仅仅增加1个,国际航线变化不大。

Table 1. The change of route connection in Xinjiang

表 1. 新疆航线联系的变化

类别	直飞航线	2015年	2019年	变化量
新疆 - 新疆	航线数量/条	37	107	70
	通航机场数量/个	16	21	5
新疆 - 全国	航线数量/条	98	165	67
	通航城市数量/个	49	70	21
	通航省份/个	31	31	0
新疆 - 全球	航线数量/条	28	30	2
	通航城市数量/个	26	30	4
	通航国家/个	17	18	1

2.2. 航班特征

新疆的总航班频率从2015年的2376趟/周增建到2019年的6474趟/周,增长率达到58.0%。2015年,新疆疆内、国内和国际的航班频率分别占当年航班总量的比重分别为42.9%、54.2%和2.9%,到2019年,这组数据分别为45.9%、52.3%和1.8%,说明五年来在航班总量中,疆内航班频率略有增长,国内和国际航班频率略有下降,整体上变化不大。但是,五年间,疆内、国内和国际航班频率分别增加了72.1%、55.3%和2.9%(表2),因此疆内和国内航班增长率非常之高,航班活力大大增强,地区间人员流动速度加快,而国际航班的增长率非常低。在新增长的总航班频率中,疆内、国内和国际航班频率占比分别为50.7%、49.1%和0.1%,这充分说明,五年间新疆疆内出行通达度和连通率大幅度提高,与国内其他省份和城市的联系与交流大大增强。

3. 新疆疆内、国内和国际航空网络的变化特征

3.1. 新疆疆内航空网络的变化

3.1.1. 疆内航线

新疆幅员辽阔,三山夹两盆的地势对陆路交通运输受到制约较大。2010年,民航新疆管理局提出“民

生航空”战略并付诸实施，支线机场不断增加，航空网络日益增多并不断优化，极大地提高了新疆交通运输的通达性。凭借“小机型、小机场、小航线、低成本”等特点，有效解决因运输系统滞后而导致的偏远地区村镇、社区、矿山等地居民日常出行和经济往来不便等问题[21]。

Table 2. The changes of flight frequency in Xinjiang

表 2. 新疆航班频率的变化

类别	2015 年	2019 年	变化量
疆内航班频率/(趟/周)	2239.2	3853.8	1614.6
国内航班频率/(趟/周)	2829.2	4393.7	1564.5
国际航班频率/(趟/周)	149.0	153.3	4.3
总航班频率/(趟/周)	5217.5	8400.8	3183.3

2015 年，新疆拥有 16 个通航机场，37 条疆内航线，到 2019 年，新疆新增 5 个机场，共有 21 个通航机场，107 条疆内航线。新增机场中，除石河子花园机场外，其余机场均位于南疆地区。乌鲁木齐地窝堡国际机场作为新疆空域国家级枢纽机场，连通了疆内所有支线机场。库尔勒机场位于新疆第二大城市兼几何中心库尔勒，同样也连通疆内全部机场，起疆内次中心枢纽机场的地位。从航线网络来看，新疆北部较为密集，增长速度较快；南部较为稀疏，增长速度较慢，整个区域内部的航线联系越来越紧密。这显然与北疆、南疆的经济发展水平是相对应的。

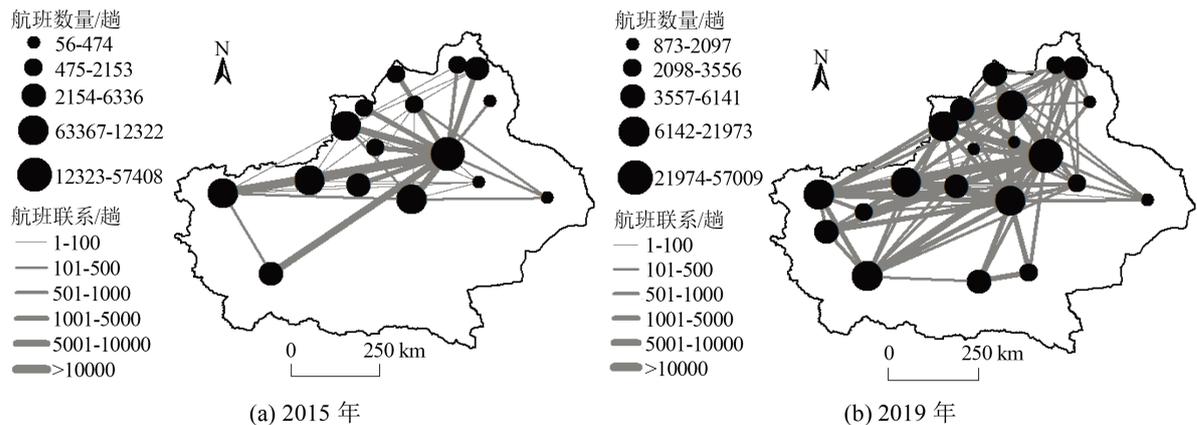


Figure 1. Spatial distribution pattern of routes and flights in Xinjiang

图 1. 新疆疆内航线及航班空间分布格局

3.1.2. 疆内航班

航班联系密度是指机场城市之间的航班数量，反映城市间社会经济联系的交流频率，是衡量城市快速联系紧密度的重要标尺[22]。图 1 中的联系线粗细程度及城市点位的大小代表航班密度的大小。显然，新疆各城市的疆内航班联系和密度格局存在显著的空间分异。2015 年，疆内航班数量最多的城市是乌鲁木齐，占疆内总航班的 49.2%，集中了近一半的疆内航班资源，并且以乌鲁木齐为轴心的航段班次数量最多，成为区域内航班网络的核心。其次，喀什作为南疆重要的政治、经济、文化和交通中心，疆内航班数量位居其次，占比 10.6%，与乌鲁木齐之间的航班联系更是达到了疆内总航班的 20.6% (图 1(a)，表 3)。随着新机场的设立与支线航班网络的不断完善，各机场的疆内航班占比有所优化。经过五年的发展，到 2019 年乌鲁木齐的疆内航班数量仍居首位，但占比则降至 28.4%，极化效应有所减弱。库尔勒超过喀

什成为疆内航班次多的城市，占比 10.9%。喀什的疆内航班比重虽有所下降，仍占 9.8%，仅次于乌鲁木齐和库尔勒。伊宁、阿克苏、和田等城市的航班比重虽有小幅波动但仍保持较高的占比，始终处于疆内航班网络中的重要位置。在新增疆内航班中，占比排名前五的城市依次是库尔勒、克拉玛依、和田、喀什和伊宁，分别占总新增疆内航班的 16.3%、10.4%、9.5%、8.6% 和 7.1%，这些城市的疆内航班发展速度较快，能更好地发挥支线机场在地区间的连接和分流作用(图 1(b)，表 3)。

Table 3. Ranking of City flights in Xinjiang

表 3. 新疆各城市疆内航班数量排名

排名	2015 年			2019 年			新增		
	城市	航班/ (趟/周)	占比/ %	城市	航班/ (趟/周)	占比/ %	城市	航班/ (趟/周)	占比/ %
1	乌鲁木齐	1101.0	49.2	乌鲁木齐	1093.3	28.4	库尔勒	262.5	16.3
2	喀什	236.3	10.6	库尔勒	421.4	10.9	克拉玛依	168.6	10.4
3	阿克苏	173.4	7.7	喀什	375.8	9.8	和田	153.5	9.5
4	伊宁	165.1	7.4	伊宁	279.6	7.3	喀什	139.5	8.6
5	库尔勒	159.0	7.1	和田	275.0	7.1	伊宁	114.5	7.1
6	和田	121.5	5.4	阿克苏	257.3	6.7	莎车	86.4	5.4
7	阿勒泰	64.3	2.9	克拉玛依	209.9	5.4	博乐	86.4	5.4
8	库车	61.4	2.7	博乐	117.8	3.1	阿克苏	83.9	5.2
9	克拉玛依	41.3	1.8	阿勒泰	108.9	2.8	且末	79.7	4.9
10	博乐	31.4	1.4	塔城	103.0	2.7	塔城	76.1	4.7
11	塔城	26.9	1.2	库车	89.1	2.3	吐鲁番	67.1	4.2
12	那拉提	23.6	1.1	莎车	86.4	2.2	若羌	58.6	3.6
13	布尔津	18.3	0.8	且末	79.7	2.1	图木舒克	49.8	3.1
14	哈密	9.1	0.4	吐鲁番	68.2	1.8	阿勒泰	44.6	2.8
15	富蕴	5.6	0.3	若羌	58.6	1.5	布尔津	35.9	2.2
16	吐鲁番	1.1	0.0	布尔津	54.2	1.4	富蕴	28.0	1.7
17				图木舒克	49.8	1.3	库车	27.7	1.7
18				那拉提	40.2	1.0	哈密	26.0	1.6
19				哈密	35.1	0.9	石河子	16.7	1.0
20				富蕴	33.6	0.9	那拉提	16.6	1.0
21				石河子	16.7	0.4	乌鲁木齐	-7.7	-0.5

3.2. 新疆国内航空网络的变化

3.2.1. 国内航线

2015 年，新疆共有 9 个机场开通 98 条国内航线，到 2019 年，新疆机场规模已达 17 个，开通 165 条国内航线(图 2，表 4)。在我国民航七大空管区域中，新疆独立成为一空管区域，除香港和澳门外，其他每个省/直辖市/自治区也都与新疆有直航航线交流。2015 年，与同航省区的航线数量排名前五省市区分别是北京、甘肃、四川、河南和上海，占国内航线数量的 37.8%，至 2019 年，相应排名的前五成为陕

西、四川、河南、甘肃和北京，占国内航线数量的 42.4%。新疆新增航线最多的省份分别是陕西、河南、四川、青海和湖北，占新增航线的 58.2%，且均为中西部省份。由此可见，新疆与我国东部经济发达地区和中西部地区的航线交流频繁，近五年来将进一步加强了中西部省份的联系。

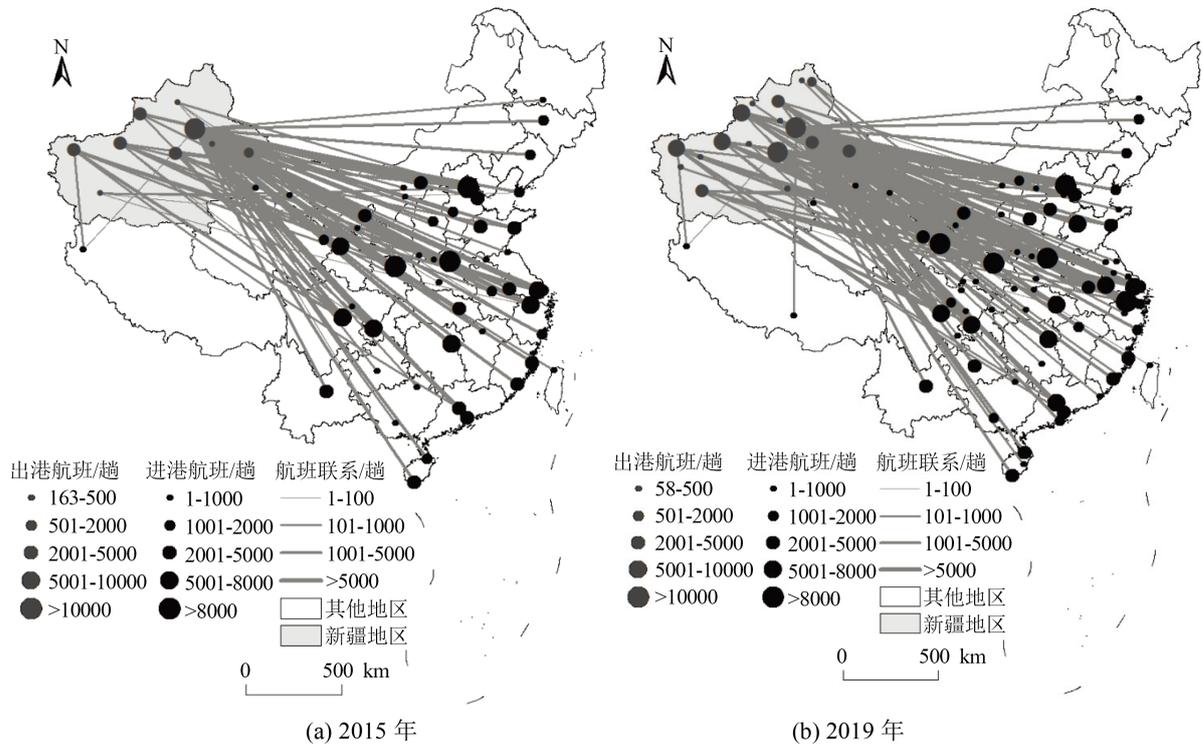


Figure 2. Spatial distribution pattern of Xinjiang's domestic routes and flights
图 2. 新疆国内航线及航班空间分布格局

Table 4. Ranking of navigation routes between Xinjiang and other provinces
表 4. 新疆通航省份航线数量排名

排名	2015 年			2019 年			新增		
	省份	数量/条	占比/%	省份	数量/条	占比/%	省份	数量/条	占比/%
1	北京	9	9.2	陕西	17	10.3	陕西	12	18.0
2	甘肃	8	8.2	四川	15	9.1	河南	8	12.0
3	四川	7	7.1	河南	15	9.1	四川	8	12.0
4	河南	7	7.1	甘肃	12	7.3	青海	6	8.9
5	上海	6	6.1	北京	11	6.7	湖北	5	7.4
总计		37	37.8		70	42.4		39	58.2

3.2.2. 国内航班

新疆出港国内航班最多的城市为乌鲁木齐，2015 年，乌鲁木齐机场占总出港国内航班的 89.9%，2019 年占比稍有下降(77.9%)。尽管如此，乌鲁木齐机场作为我国八大区域航空枢纽之一的地位并未有所降低，同时反映出乌鲁木齐的国内航班的虹吸效应有所减缓，新疆其他城市与国内各省份的航班联系度有所提高。根据进港航班的空间分布，2015 年，排在前五的省区市为北京、陕西、四川、上海和河南，总占比

达 40.9%，2019 年，排在前五省份是陕西、河南、北京、四川和浙江，总占比 40.1%。所以，北京、陕西、四川和河南始终与新疆保持着密切的航班交流。新增进港航班中排名前五的分别是陕西、河南、山东、浙江和甘肃，占总的新增进港航班的 50.2%，虽然东部沿海地区中的山东与浙江这两个省份最近五年加强了与新疆的联系，但目前仍是距离较近的中西部地区省份与新疆交流更为频繁(图 2，表 5)。

Table 5. Ranking of flights number between Xinjiang and other provinces

表 5. 新疆通航省份航班数量排名

排名	2015 年			2019 年			新增		
	省份	航班/ (趟/周)	占比/ %	省份	航班/ (趟/周)	占比/ %	省份	航班/ (趟/周)	占比/ %
1	北京	298.4	10.5	陕西	430.8	9.8	陕西	183.0	11.7
2	陕西	247.8	8.8	河南	367.7	8.4	河南	172.9	11.0
3	四川	211.4	7.5	北京	349.5	8.0	山东	155.1	9.9
4	上海	202.9	7.2	四川	311.7	7.1	浙江	145.6	9.3
5	河南	194.9	6.9	浙江	298.5	6.8	甘肃	129.4	8.3
总计		1155.4	40.9		1758.2	40.1		786.0	50.2

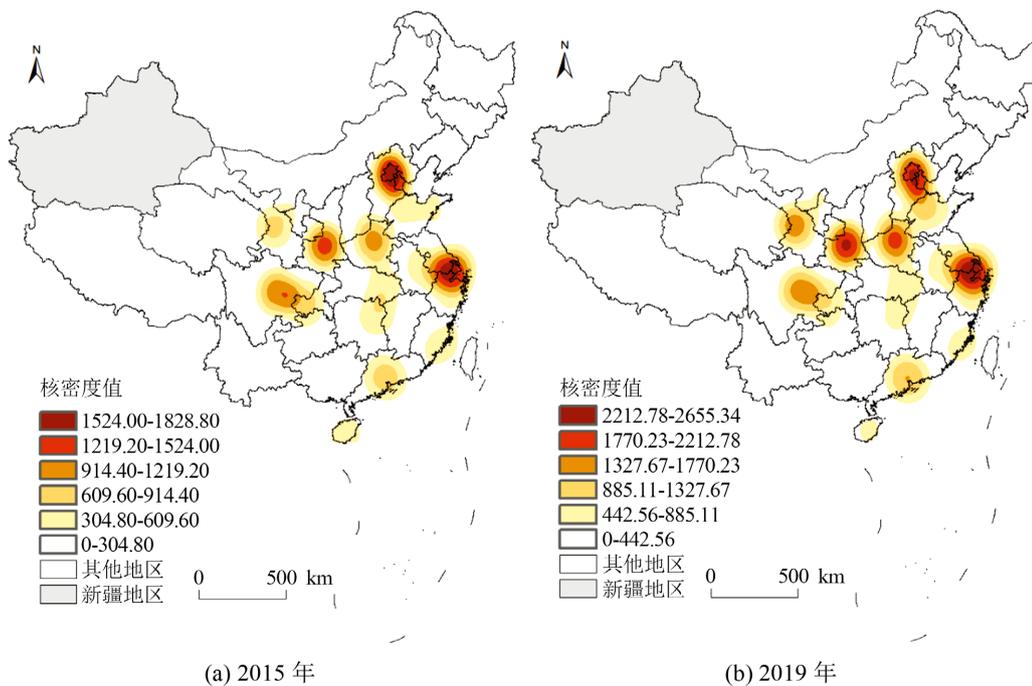


Figure 3. Nuclear density analysis of incoming flights in Xinjiang's domestic navigation airports

图 3. 新疆国内通航机场进港航班核密度分析

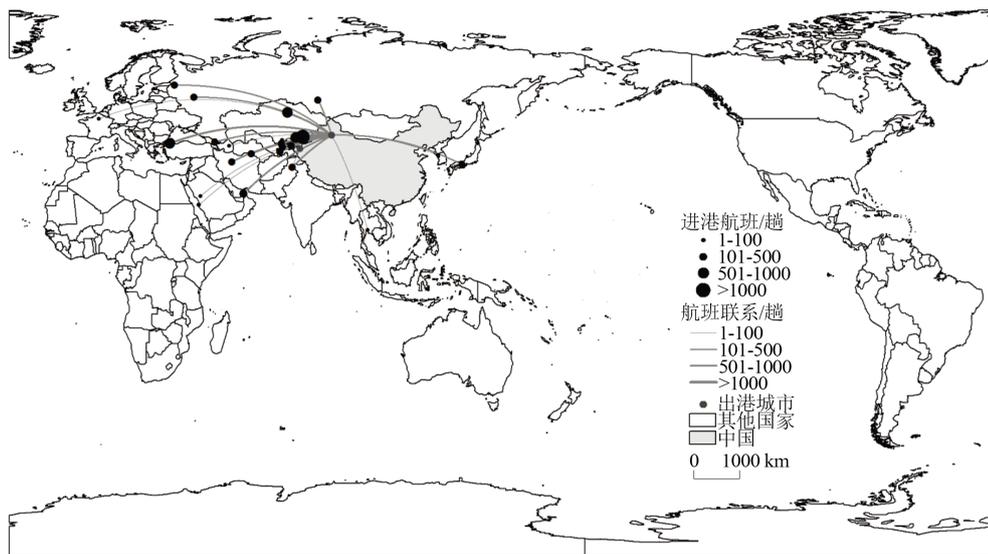
以航班班次作为权重，分别对 2015 年和 2019 年的新疆与国内通航机场进行空间核密度估计，得到新疆与国内通航机场在空间上的集聚和分布形态(图 3)。结果显示，2015 年，国内通航机场的进港新疆航班呈现多核分层集聚的空间特征：以北京为中心的京津冀地区和以上海为中心的长三角地区为主核心，形成高密度集中区；西安和成渝为中心的中西部省份形成次核，是进港新疆的较高密度区；以郑州为核心的中原地区为第三核，进港新疆也较为集中。广州、兰州、武汉、福州和厦门、海口与三亚为较弱联

系地区。至 2019 年,这一格局总态势并无改变,以西安、郑州和兰州为中心的核密度有所增强,成渝地区核密度略有减弱,整体范围拓展。

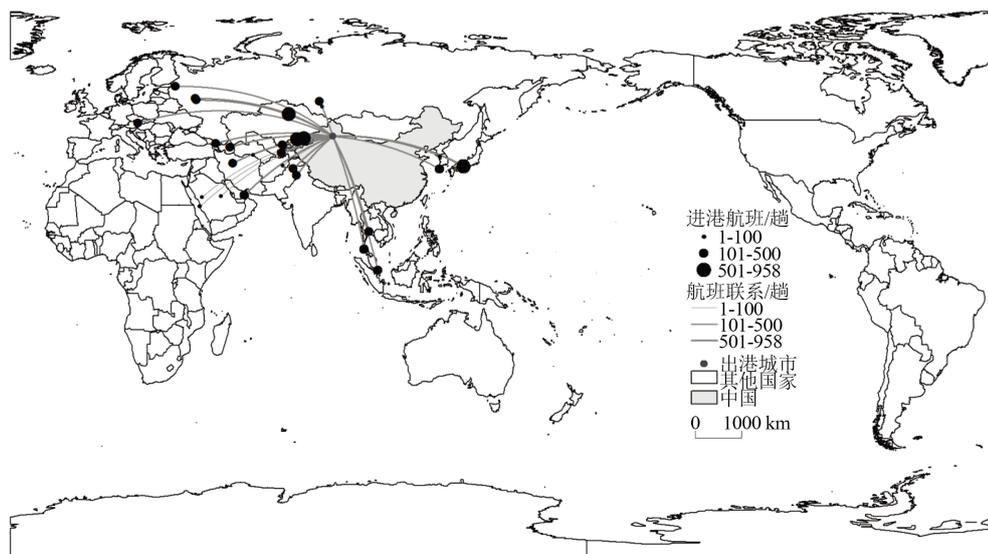
3.3. 新疆国际航空网络的变化

3.3.1. 国际航线

新疆国际航线主要连接亚洲和欧洲的国家。2015 年,乌鲁木齐地窝堡国际机场和喀什国际机场开通的国际航线共有 28 条,其中通往中亚地区和西亚地区的航线共 19 条,占当年国际航线的 67.9%。2019 年,地窝堡国际机场国际航线增至 30 条,中亚和西亚地区的国际通航总航线比重下降至 53.3%,通往东亚和东南亚的航线数量明显增多(图 4)。



(a) 2015 年



(b) 2019 年

Figure 4. Spatial distribution pattern of international routes and flights in Xinjiang

图 4. 新疆国际航线及航班空间分布格局

3.3.2. 国际航班

2015年,新疆出港的国际航班最多的是中亚、西亚两地区,两者的航班数合计占到83%;新疆出港的国际航班最多国家是哈萨克斯坦,航班数接近三成。五年后的2019年,新疆出港国际航班仍以中亚、西亚为最多,但两者的航班数比重已下降至56%,与南亚、欧洲的联系略有增长。而出港的东亚、东南亚航班数则异军突起,接近国际出港航班数的1/4,同比增长约10倍,且主要与日本、泰国、新加坡联系;2019年,新疆出港的国际航班最多国家仍然是哈萨克斯坦,但航班数已经减少了一成,巴基斯坦则超过吉尔吉斯斯坦居次席,占到了一成,而与俄罗斯队的联系航班数仍维持在9.1%,没有变化,与中亚土耳其联系的航班数大为减少(图4,表6、表7)。

地区和城市之间的航班联系是双向的。图5为进港新疆国际航班的空间分布的核密度估计。2015年,以哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦为核心的中亚地区形成了高密度区;分别以土耳其和以伊朗为核心的西亚地区形成了2个较低密度区,如图5(a)所示。图5(b)显示,至2019年,最高密度区仍以哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦为核心,但已南拓至南亚的巴基斯坦;西亚的低密度区中已形成以伊朗为主体,核密度的重心转移到了伊朗北部的里海沿岸,土耳其则无航班密度分布,新的低密度区分别出现在欧洲(以莫斯科为中心)、东亚(日本)和东南亚(泰国、新加坡)。

Table 6. Ranking of the number of general flights between Xinjiang and other regions

表 6. 新疆通航地区航班数量排名

排名	2015年			2019年			新增	
	地区	航班/ (趟/周)	占比/ %	地区	航班/ (趟/周)	占比/ %	地区	航班/ (趟/周)
1	中亚	81.4	54.6	中亚	59.4	38.8	东亚和东南亚	32.6
2	西亚	42.4	28.4	东亚和东南亚	36.3	23.7	南亚	6.2
3	欧洲	13.8	9.3	西亚	26.4	17.2	欧洲	3.4
4	南亚	7.8	5.2	欧洲	17.2	11.2	西亚	-16.0
5	东亚和东南亚	3.7	2.5	南亚	14.0	9.1	中亚	-22.0
总计		149.1	100		153.3	100		4.2

Table 7. Ranking of the number of general flights between Xinjiang and other countries

表 7. 新疆通航国家航班数量排名

排名	2015年			2019年			新增	
	国家	航班/ (趟/周)	占比/ %	国家	航班/ (趟/周)	占比/ %	国家	航班/ (趟/周)
1	哈萨克斯坦	41.9	28.1	哈萨克斯坦	30.0	19.6	日本	11.1
2	吉尔吉斯斯坦	17.3	11.6	巴基斯坦	14.0	9.2	泰国	10.0
3	阿联酋	14.3	9.6	俄罗斯	13.9	9.1	新加坡	9.3
4	土耳其	14.0	9.4	日本	13.2	8.6	巴基斯坦	6.2
5	俄罗斯	13.6	9.1	吉尔吉斯斯坦	11.9	7.7	奥地利	3.2
总计		101.1	67.8		83.0	54.2		39.8

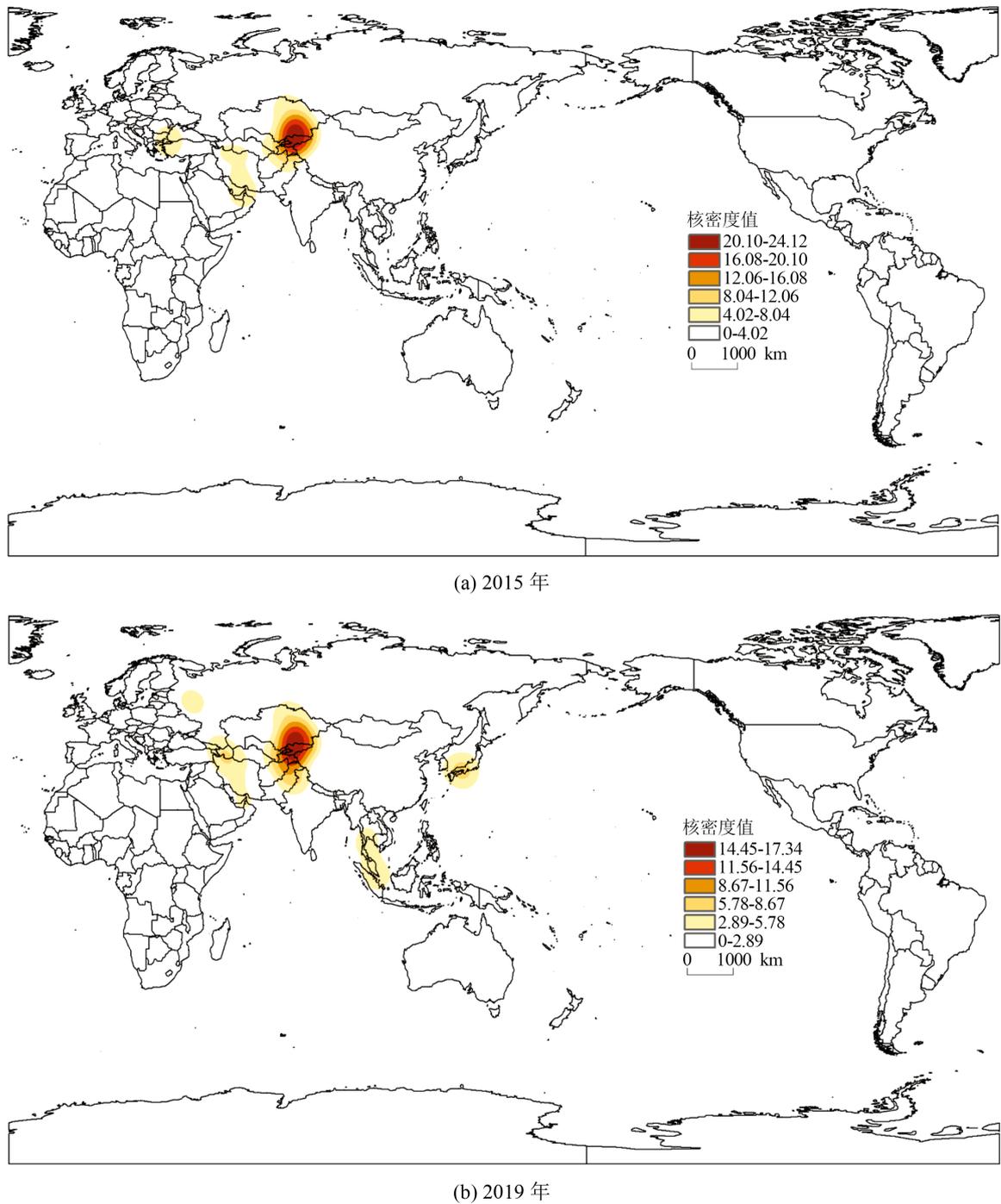


Figure 5. Nuclear density analysis of incoming flights between Xinjiang and foreign general airports
图 5. 新疆国际通航机场进港航班核密度分析

4. 结论

本文选用 2015 年和 2019 年的新疆航空数据，从疆内、国内和国际三个层面对航线与航班的空间分布格局进行对比分析，得出如下结论：

- 1) 从整体来看，5 a 来新疆航线特征主要表现为疆内航线联系大大增强、国内通航城市覆盖更为全

面、国际航线数量变化不大。航班特征主要表现为疆内和国内航班增长率非常高，航班活力大大提高，地区间人员流动速度加快，而国际航班的增长率非常低。

2) 从疆内尺度来看，北疆航线联系较为密切，南疆较为稀疏，航线网络具有从西北向东南扩张的趋势，全疆航线联系越来越紧密。乌鲁木齐作为新疆的政治和经济中心，始终与区域内支线机场保持高比例的航班交流，发挥区域性枢纽的作用，而喀什、库尔勒、伊宁、阿克苏、和田等城市的疆内航班发展速度较快，更好地起到支线机场在地区间的连接和分流作用。

3) 从国内尺度来看，随着支线机场的不断建设，新疆国内航线和航班数量不断增多，已经基本实现了对国内各省省会及一二线城市航线的全覆盖。近年来，新疆与我国东部经济发达地区的航班联系有所增强，但始终与北京、陕西、四川和河南保持着密切的航班交流。

4) 从国际尺度来看，新疆国际航线和航班数量变化不大，通航城市主要集中在中亚与西亚的地区。近年来，东亚和东南亚地区的航班数量增幅较大，中亚和西亚地区航班数量虽下降较多，但仍保持着较高的占比。

参考文献

- [1] 国家发展改革委, 外交部, 商务部. 推动共建丝绸之路经济带和 21 世纪海上丝绸之路的远景与行动[R]. 北京: 外交出版社, 2015.
- [2] 冯明远. 空中丝路, 南航领航, 国家级民航合作红利: 南航新疆国际航线发展提速[J]. 空运商务, 2016(10): 19-20.
- [3] 2019 年民航机场生产统计公报[R]. 中国民用航空局, 2020.
- [4] 刘宏鲲, 周涛. 中国城市航空网络的实证研究与分析[J]. 物理学报, 2007(1): 106-112.
- [5] 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.
- [6] 党亚茹, 彭丽娜. 基于复杂网络中心度的货运航空网络层级结构[J]. 交通运输系统工程与信息, 2012, 12(3): 109-114.
- [7] 李红启, 袁俊丽, 赵文聪, 等. 我国民航货运网络的统计特性分析[J]. 北京交通大学学报(社会科学版), 2017, 16(2): 112-119.
- [8] 潘坤友, 曹有挥, 魏鸿雁, 等. 我国航空货运网络结构研究[J]. 经济地理, 2007(4): 653-657.
- [9] 金凤君, 王成金. 轴-辐侍服理念下的中国航空网络模式构筑[J]. 地理研究, 2005, 24(5): 774-784.
- [10] 钟山. 集中星型结构及在航空运输的应用[J]. 交通运输系统工程与信息, 2003, 3(3): 9-14.
- [11] 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(3): 276-286.
- [12] 姚红光, 朱丽萍. 基于仿真分析的中国航空网络鲁棒性研究[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2012, 36(1): 42-46.
- [13] 曾小舟, 唐笑笑, 江可申. 基于复杂网络理论的中国航空网络抗毁性测度分析[J]. 系统仿真技术, 2012, 8(2): 111-116.
- [14] 陈娱, 王姣娥, 金凤君. 中国国内航空网络的可靠性评价[J]. 地理与地理信息科学, 2015, 31(3): 59-64+2.
- [15] 党亚茹, 李雪娇. 七大空管区域复杂网络特征对比与抗毁性分析[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2015, 12(3): 19-26.
- [16] 王法辉, 金凤君, 曾光. 中国航空客运网络的空间演化模式研究[J]. 地理科学, 2003, 23(5): 519-525.
- [17] 宋伟, 李秀伟, 修春亮. 基于航空客流的中国城市层级结构分析[J]. 地理研究, 2008, 27(4): 917-926.
- [18] 薛俊菲. 基于航空网络的中国城市体系等级结构与分布格局[J]. 地理研究, 2008(1): 23-32+242.
- [19] 王姣娥, 王涵, 焦敬娟. “一带一路”与中国对外航空运输联系[J]. 地理科学进展, 2015, 34(5): 554-562.
- [20] 蒲亚琼. 我国西部地区航空网络结构研究[J]. 综合运输, 2019, 41(3): 18-22+53.
- [21] 侯建雄. 民生航空将成为新疆民航发展的重要路径[N]. 中国民航报, 2014-05-21(008).
- [22] 王伟, 王成金. 枢纽机场航班时刻资源配置的时空网络模式——以北京首都国际机场为例[J]. 地理学报, 2013, 68(6): 762-774.