

基于腾讯迁徙大数据的中国城市网络研究

王录仓¹, 刘海洋¹, 刘清²

(1. 西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070; 2. 兰州大学资源环境学院, 兰州 730000)

摘要: 随着经济全球化和区域一体化的快速发展, 城市间的交流日益密切, 要素的流动性和互赖性促进了城市网络的形成, 并成为一种新的区域组织模式和空间结构。本文基于2018年腾讯人口迁徙数据, 构建了372×372关系数据矩阵, 并从不同交通方式出发, 系统刻画了中国城市网络格局。研究表明: ① 网络关联度高的城市主要集中在胡焕庸线以东区域, 尤其是长三角、珠三角、京津冀、成渝等城市群地区的聚集程度最高, 成为中国城市网络格局的主控力量; 而西北半壁的城市处于被支配地位。② 依据迁徙量, 将中国城市网络划分为国家级、大区级、区域级、地方级和基座级网络。城市网络结构随交通方式而变化, 当网络等级下移时, 节点城市趋于增多, 网络密度加大, 但网络范围趋于缩小, 网络等级与迁徙路径存在着密切的关联性, 国家级网络与空运相关, 区域级网络与铁路运输相呼应, 地方级网络与汽车运输相关。③ 不同运输方式的经济时空距离决定了网络结构, 是引致网络随路径不同而产生分异的基本因素。

关键词: 城市网络; 腾讯人口迁徙大数据; 分异; 中国

DOI: 10.11821/dlxb202104006

1 引言

随着经济全球化和区域一体化的快速发展, 城市间的交流日益密切, 要素的流动性和互赖性促使城市空间从“场所空间”不断向“流空间”演化^[1]。它不仅深刻地影响了人类社会经济系统的变化, 同时也重构了全球的虚拟空间和实体空间结构形式^[2]。城市间的联系突破了传统地理界限的约束^[3], 促进了城市网络的形成, 并成为一种新的区域组织模式和空间结构^[4]。

城市网络的研究可以追溯到“流空间”^[5], 在全球化和世界城市研究网络 (GaWC) 等机构的倡导下, 取得了丰硕的成果。“流空间”包括三个层次: 第一层次是将全球空间连接起来的基础设施网络, 这是实现“流”联系的通道; 第二层次由核心与节点构成世界城市网络, 这是“流”聚散的“网关”; 第三层次是由CEO (Chief Executive Officer)、CFO (Chief Financial Officer)、CTO (Chief Technology Officer) 等主导, 使空间得以接合成支配性的利益—功能空间逻辑^[5]。城市网络区别于传统城市体系的最大不同是空间组织逻辑, 即网络逻辑和等级逻辑^[6-11], 而要描述这种逻辑, 最主要的是寻求链接“网关”的各种“关系数据”。基于“流空间”的层次, 城市网络也通过3种途径构建: 基础设施途径、企业组织途径和社会文化途径。Taylor巧妙地用企业空间分布化解了描述城市网络的难题, 实现了从企业联系到城市联系转变、从空间布局到空间网络关联的转变^[7], 其后的追随者也大多利用企业 (或经济) “隶属”关系, 如APS企业总部—分部 (或分支

收稿日期: 2019-07-26; 修订日期: 2020-10-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(41261042) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41261042]

作者简介: 王录仓(1967-), 男, 甘肃天水人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为城乡发展与规划。

E-mail: Wanglc007@nwnu.edu.cn

机构), 母公司—子公司—孙公司关系来刻画城市网络。毫无疑问, APS企业的内部空间组织是影响不同区域企业分工协作和空间联系的组织架构和制度设计, 但这更多的表象为组织和领导上的“价值链”, 而非现实的“经济流”链; 总部的权威地位也并不绝对意味着对经济的支配地位, 相反, 不同企业之间建立的分工协作关系更具有普遍意义, 因此学者开始跳出企业内部的窠臼, 利用不同企业间的联系来勾勒城市网络。既然是关系数据, 那么城市间的相互作用是相向(或多向)的, 而非单向的, 经济数据只能刻画大小, 而对作用方向则显得捉襟见肘。同时出于商业机密的顾虑, 人们很难获得企业的利益是如何在空间上分配的数据, 即使是企业问卷调查数据也面临着样本容量与真实性的难题^[12-15], 因此更多的以定位与隶属度来替代, 但这样做的结果, 既无法有效地刻画功能空间逻辑, 也很难还原城市间联系的复杂性、多维性和多向性。后来转向更容易获得、更公开的关系数据。这些数据大多围绕“流空间”的第一层次(基础设施)开展, 如航空网络数据^[16-17]、高铁客运数据^[18-20]、城际公路客运流^[21-23]、港口货轮航运数据^[24]、电信网络数据^[25]、旅游流数据^[26], 这些数据可以借助传统的统计工具或网络爬虫工具就能获得, 且相对于企业数据, 该数据源更具有时效性、覆盖性、开放性等优势。

随着研究的深入和数据源的不断拓展, 研究视角逐步从“经济量”转向“社会量”, 从“现实量”转向“虚拟量”, 从“显性量”转向“隐性量”, 从传统数据走向大数据。尤其是大数据的应用, 成为近年来城市网络研究的最重要数据源。目前在使用大数据研究城市网络方面, 研究者使用带有定位信息的社交网络数据^[27-29]、手机信令数据^[30-31]、POI数据^[32]、百度贴吧数据^[33]、百度迁徙^[34]等, 它不仅刻画流量, 还能通过始发地—目的地(Origin-Destination, O-D)指示流向, 因而得到了广泛的应用。这些数据实质上都是基于人口的“流动性”而生成的概念。人口流是经济社会系统中最活跃、最能动的要素, 他的空间分布、迁徙对重塑城市网络发挥着基础性和关键的因素。现有的人口迁徙大数据主要有百度迁徙和腾讯迁徙大数据。相较于百度迁徙数据, 腾讯迁徙大数据被拆分的完整线路相对较少, 能更加真实反映人口迁徙状态和空间格局; 腾讯迁徙大数据还能析出不同交通方式(飞机、火车和汽车)下的迁徙量, 与既有的同类替代性研究(飞机、火车和汽车班次)相比, 人口迁徙数据更加准确。同时由于不同交通出行方式的特性不同、适宜运输的范围不同, 必然会导致城市网络随路径变化而呈现不同的结构形式和腹地范围。而在现有同类研究中, 基本以单一运输方式为基准建构中国城市网络, 不同交通方式由于数据源的不同缺少可比性, 更无法评判不同运输方式的网络结构与中国整体网络结构之间究竟存在着什么样的关联和异同? 不同交通方式引致的城市网络与总网间存在什么样的关系? 路径依赖(飞机、火车和汽车)对网络格局究竟产生什么影响? 另外在以往的研究中, 往往选取特殊时间, 如五一节、国庆节、“春运”来研究城市网络, 这实际上将人口迁徙的“常态”等同于“特殊态”, 很难真实有效地刻画中国城市网络结构。因此在刻画中国城市网络结构时, 要将“常态”与“特殊态”人口迁徙结合起来。因此本文利用2018年365 d的腾讯人口迁徙数据, 对中国城市网络的复杂性和路径的依赖性进行“全景式”分析, 解构不同交通方式引致的城市网络及其与总网的关系, 深度解耦路径依赖(飞机、火车和汽车)对网络格局的影响。以期为中国城市网络优化、路网配置提供决策依据。

2 数据来源与方法

2.1 数据来源与预处理

本文采用腾讯位置大数据平台(<https://heat.qq.com/>)的人口迁徙数据, 来测度城市

间的空间联系。采集了2018年1月1日—12月31日共计365 d、372个城市的人口迁徙数据,共258万多条。数据属性包括起点(终点)城市、经纬度坐标,迁入量、迁出量、3种不同交通方式(飞机、火车和汽车)的迁徙比例,并依据迁徙比例计算迁徙量。将城市(有坐标)间的直线连接作为人口迁徙路径(即城市间的连边),并区分起、迄点,形成“有向”联系,将相同的路径(或连边)加和处理。

2.2 研究方法

城市网络是一个由点线互动、互赖组合而成的巨系统,表现在节点众多、结构复杂、连接多样。为了清楚地刻画点一线的空间组织关系、节点的等级体系及其网络结构和密度等特征,人们引入社会网络法和复杂网络法来具体测度。社会网络法用于测度网络关系的拓扑结构,常用指标包括网络关联度(或连通度)、网络密度等。网络关联度考量网络中城市节点间发生直接联系的可能性(即连边数)及其在网络中的中转、衔接和控制功能,是城市中心性强弱的表达,中心性越强,对人口流的吸引力越强,在城市网络中的等级越高,而节点等级的差异是控制网络结构分异的关键因素。网络密度表征节点间相互连边的密集程度,密度越大,网络关系越复杂,节点联系越强。复杂网络法除对网络静态几何量及其统计性质进行分析外,还可以对网络的动力学性质进行探讨,常用的测评指标包括平均路径长度、群集系数等,实际上从两个角度反映了网络中节点的空间聚散程度。其中平均路径长度刻画了网络中节点的分离程度,意味着再复杂、再大的网络,任意两个节点间总有一条最短的路径相连,这表明相互关系的数目可以很小,却能够融入整个网络,这与运网布局的“路径最短原则”相吻合。而群集系数则刻画了网络集团化的程度,即一个大网络总是可以解构为若干个小网络,而小网则具有不同的聚集程度,也可以说正是小网的存在,才支撑了大网络的存在。

城市网络构建方法可分为模型转化和直接构建。无论何种方法,首先得建立关系数据矩阵。

(1) 关系数据矩阵。基于人口迁徙量,构建372个城市节点间的关系型数据矩阵:

$$R_{ij} = \begin{Bmatrix} 0 & R_{12} & \cdots & R_{1(n-1)} & R_{1n} \\ R_{21} & 0 & \cdots & R_{2(n-1)} & R_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{(n-1)1} & R_{(n-1)2} & \cdots & 0 & R_{(n-1)n} \\ R_{n1} & R_{n2} & \cdots & R_{n(n-1)} & 0 \end{Bmatrix}, \quad R = (R_{ij}) \quad (1)$$

式中: R_{ij} 为城市 i 至 j 的人口流强度。

(2) 网络关联度。用于衡量复杂网络中城市节点 i 与其他城市节点 j 发生直接联系的可能性,反映了城市的中转、衔接、控制能力。

$$I_{ij} = K_{ij} + K_{ji}, \quad (i, j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (2)$$

式中: I_{ij} 为 i 城市节点与 j 城市节点的连边数; K_{ij} 和 K_{ji} 分别代表客流从 i 城市 (j 城市) 出发最终到达 j 城市 (i 城市) 的路径数。

(3) 网络密度。网络中实际存在的边数与可容纳最大边数的比值,表征网络中节点间相互连边的密集程度。一个具有 N 个节点和 L 条实际连边的网络,其网络密度为:

$$d(G) = \frac{2L}{N(N-1)} \quad (3)$$

网络密度取值范围为 $[0, 1]$, $d(G) = 1$ 时,网络完全连通, $d(G) = 0$ 时,节点间不存在连边。现实世界中能够发现的最大的密度是 $0.5^{[35]}$,不同规模网络的密度无法进行直接比较,因此利用绝对密度来比较不同规模网络的密度。

$$d(G) = M/[4SR^3/3D] \quad (4)$$

式中： R 、 D 、 M 分别为网络半径、直径、圆周长。

(4) 平均路径长度。平均路径长度 (L) 指在所有连通(i, j)的通路中, 连接两点的最短路径所含边数, 刻画了网络中节点的分离程度。

$$L = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i \neq j} d_{ij} \quad (5)$$

式中： d_{ij} 为节点*i*到节点*j*的距离。

(5) 群集系数。指所有相邻节点间连边的数目占可能最大连边数目的比例, 用来衡量网络节点局部聚类的情况。

$$C_i = \frac{E_i}{C_{k_i}^2} = \frac{2E_i}{K_i(K_i - 1)} \quad (6)$$

式中： E_i 和 K_i 分别为*i*节点的实际和可能最大连边数目。

网络的群集系数 (C) 就是所有节点群集系数的平均值, 即:

$$C = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_i \quad (7)$$

通常来说, C 越大, 表示整个网络各个节点之间形成短距离联系的程度越大, 也即整个网络的局部连接明显, 若 C 为0表示网络中不存在三元环, 而 $C = 1$ 则为完全图, 这意味着迁徙线路是否闭合。此外本文还用到了自然间断法和网络可视法。

3 中国城市空间联系网络特征

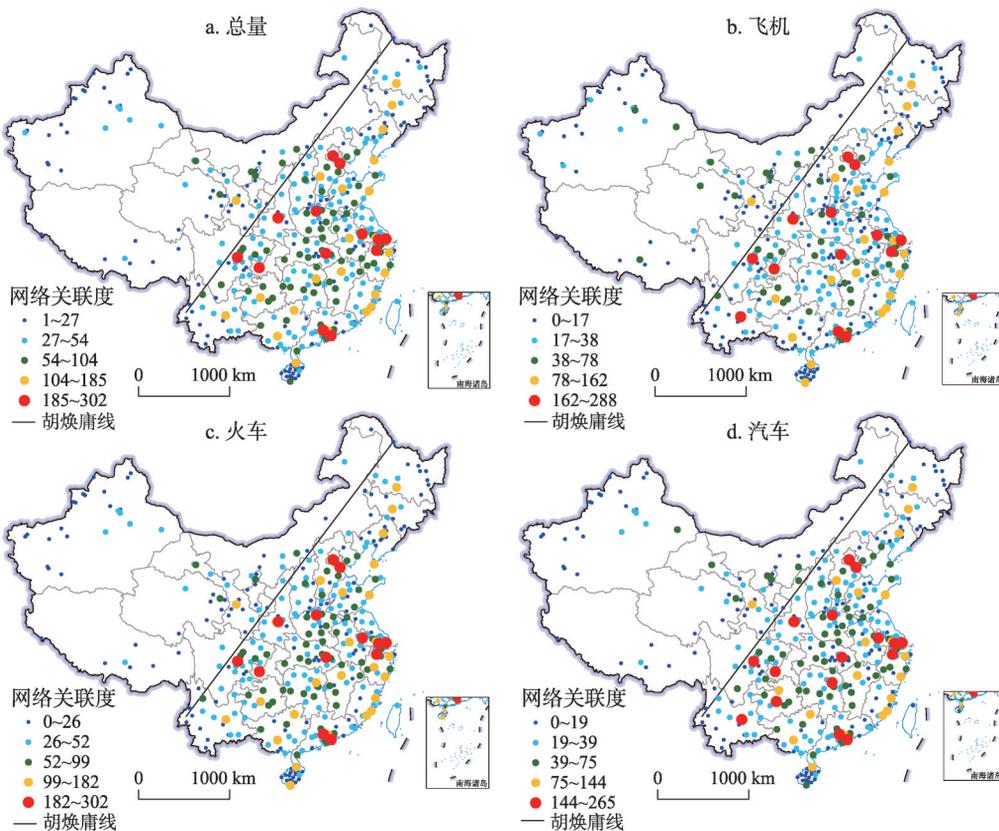
3.1 网络关联度

在 ArcGIS 10.2 软件中使用自然间断法进行分级显示, 得到不同交通方式下中国城市网络关联度。无论哪种迁徙方式, 网络关联度较高的城市均分布在胡焕庸线以东区域, 尤其是长三角、珠三角、京津冀、成渝等城市群的空间聚集程度最高, 成为中国城市网络格局的主控力量; 而西北半壁城市网络关联度普遍较低, 处于被支配地位 (表1、图1)。城市网络关联度与迁徙方式既存在相似性, 又有差异性, 相似性表现为城市对人口迁徙均具有空间聚集作用, 且城市等级越高, 聚集力度越大; 差异性表现为, 迁徙方式不同, 网络关联度的等级有差异, 一般飞机>火车>汽车。飞机运输方式下, 高等级网络关联度城市极化现象更明显, 尤其是城市群的核心城市 and 二线省会城市。沿边省份的省会城市 (如昆明、海口、哈尔滨、乌鲁木齐等) 出于国土安全、经济发展和长距离运输的需要, 也迫于地域广袤、跨度大的现实, 网络关联度也较高。火车运输方式下, 京津冀、长三角、珠三角、成渝城市群等仍然拥有众多网络关联度很高的城市, 但其空间极化现象已经不如飞机运输方式明显。此外, 还表现为显著的线性分布空间特征: 网络关联度高的城市集中分布在骨干铁路上, 表现出明显的路网依赖性, 如哈一大线、京—

表1 胡焕庸线两侧(东南、西北)城市的数量占比(%)

Tab. 1 Proportion of cities on both sides of the Hu Huanyong Line

| 网络级别 | 1级 | | 2级 | | 3级 | | 4级 | | 5级 | |
|--------|-----|----|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 东南 | 西北 | 东南 | 西北 | 东南 | 西北 | 东南 | 西北 | 东南 | 西北 |
| 胡焕庸线两侧 | | | | | | | | | | |
| 飞机 | 100 | 0 | 95.83 | 4.17 | 78.26 | 21.74 | 86.67 | 13.33 | 73.84 | 26.16 |
| 火车 | 100 | 0 | 96.30 | 3.70 | 93.44 | 6.56 | 84.80 | 15.20 | 66.90 | 33.10 |
| 汽车 | 100 | 0 | 95.45 | 4.55 | 89.06 | 10.94 | 86.07 | 13.93 | 75.40 | 24.60 |
| 总体 | 100 | 0 | 96.00 | 4.00 | 90.14 | 9.86 | 86.76 | 13.24 | 61.90 | 38.10 |



注: 基于自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2019)1823号的标准地图制作,底图无修改。

图1 2018年中国城市网络关联度空间分布格局

Fig. 1 Spatial distribution pattern of city network correlation degree in China in 2018

沈线、京—广线。汽车运输方式下,网络关联度较高的城市极化现象进一步减弱,具有典型的大分散、小集中特征,但东北平原、华北平原、长江中下游平原、四川盆地和珠三角地区依然是主要的集中分布区。

从城市网络关联度的互补累积分布函数曲线中可以看出(图2),城市数量呈现“重尾分布”态势,且与迁徙方式密切相关。除北京、上海、广州、深圳、重庆、成都(均为城市群核心城市)和西安、武汉、杭州(均为重要的二线城市)等外,绝大多数城市的网络关联度均偏小,北京、上海和广州则显得鹤立鸡群。飞机运输方式下(图2b),除上述城市外,昆明、郑州、武汉、长沙等中西部城市显现,构成中国城市网络的次级核心;火车交通方式下(图2c),北京成为网络关联度最高的城市,并且与后续城市之间存在明显的断层;汽车交通方式下(图2d),各城市的网络关联度相差较小,并且有多个城市的网络关联度一致。这就意味着高等级网络,可以通过最高效的运输方式实现联系,并将作用力以等级扩散的形式传递下去。

西北半壁(尤其是沿边地区)人口流动规模明显低于东南半壁(图3)。净流入区与净流出区在空间上显著不对称,净流入区几乎全部集中在东南半壁,尤其是各大城市群的核心城市成为人口迁入的引力中心,表现出显著的空间聚集态势。相对而言,净迁出区尽管也集中分布在东南半壁,但空间散布性更强,传统的东部发达地区(尤其是沿海地带)更是主要的净流出区,这与人们惯常的认知有相当的偏差,即常态下的城市人口迁徙格局与统计意义上人口流动格局并不吻合,映射出经济越发达,人口迁徙的活跃度

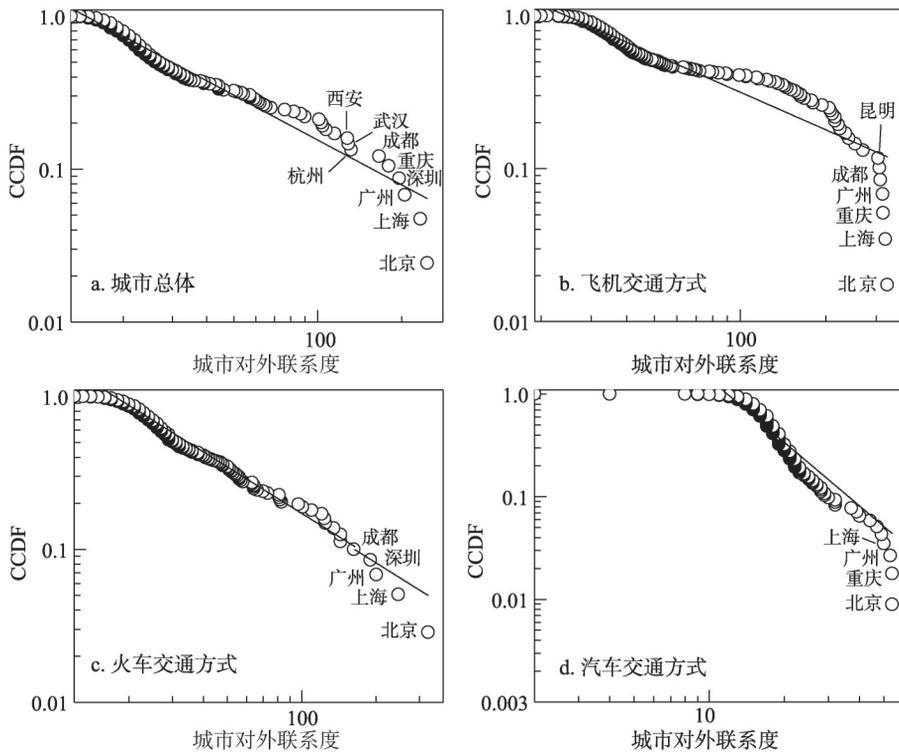
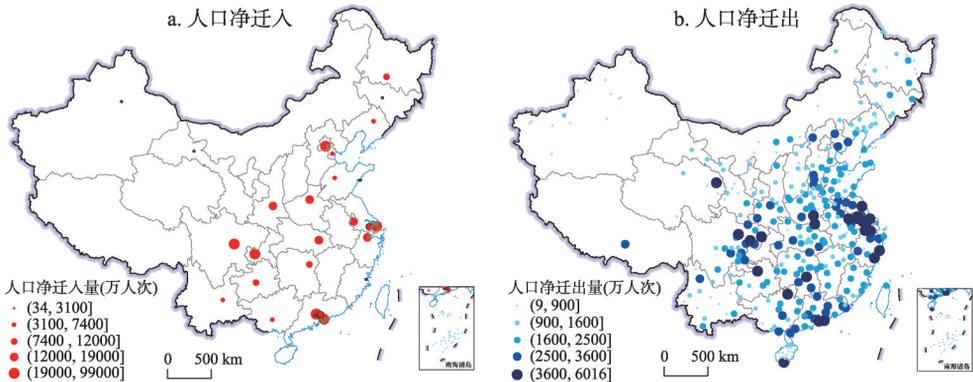


图2 2018年中国城市网络关联度互补累积分布函数曲线

Fig. 2 Complementary cumulative distribution function curve of network correlation degree of Chinese cities in 2018



注：基于自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2019)1823号的标准地图制作,底图无修改。

图3 2018年中国城市间人口流空间分布格局

Fig. 3 Spatial distribution pattern of inter-city population flow in China in 2018

越高。值得注意的是，部分等级低、规模小的城市，如北方的秦皇岛、承德、泰安、威海等，南方的厦门、三亚、桂林等，其点入度均远大于出度，显然与城市的性质（旅游）密切相关。

如果从省区尺度上考察，人口净流入省份主要为京、津、沪、浙、鄂、粤、渝、川、滇和陕，其余为净流出省份，尤其是东中部地带的鲁、闽、皖，东北地区的辽、吉、黑，西北地区的甘、宁、新、青。这与人们惯常的认知和国家流动人口动态监测结果有了明显的区别：人们习惯上认为中西地区的人口大省（如河南、四川）、经济相对落

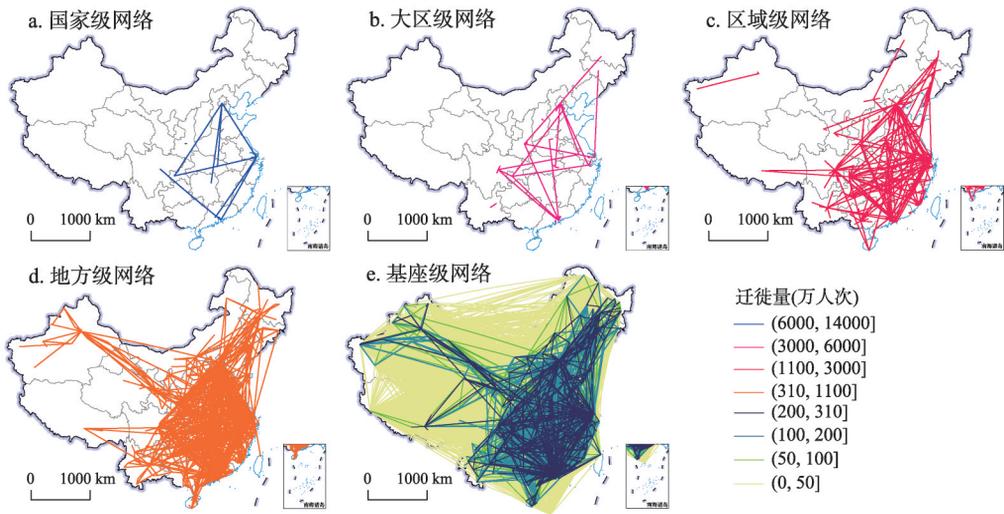
后的地区是人口的净迁出区,甚至存在两大明显的人口流出连绵区:川渝黔连绵区和浙西南—闽西连绵区。然而当从腾讯迁徙大数据角度考量时,就会发现西部地区的川、陕地区已成为人口的净迁入区,显然与成渝城市群、关中城市群的带动有关,也与“人才争夺战”相关。北方地区的内蒙古、辽、吉、黑、甘、宁、新、青等普遍性地成为净迁出地区,尤其是东北地区,显然与收缩城市的出现存在着关联。人口的迁徙不仅存在着流量的差异,也存在着联系范围的不同。华北地区以北京流量最大,流动范围最广,天津邻近首都北京,但是在流量范围上难以与北京抗衡,两者形成空间竞争效应,北京具有更强的“挤客能力”,尤其在航空运输中天津的生存空间受到北京的严重挤压。东北地区的联系主要集中在华北以及华东的沪、苏、皖、鲁与中南地区的豫、鄂。华东地区以沪、苏、浙三省市流量最大且流动范围最广,基本涵盖全国,上海与江苏、浙江两省虽然存在空间竞争效应,但是并未出现类似京津空间竞争态势。上海与北方地区间的流量较大,苏、浙则偏好南方诸省。中南地区以广东流量最大、流动范围最广,各大城市群是其主要的联系对象。豫、鄂、湘地处中国南北结合部,流动的范围足以覆盖全国;西南地区在地理空间上的“边远性”和经济发展的“非中心性”共同作用下,其联系范围主要与西部地区相关;西北地区除陕、新两省区对外联系较强、联系范围较广之外,其余省份人口流动大多限于本区城市间,与全国网络的接入程度较低。

3.2 网络层级

Campagni在研究全球城市时提出“城市网络阶层”构想^[6]。第一层次:核心,借助高度协同的先进运输和通信网络相互竞合,成为整个区域乃至全球层面的金融、经济和文化中心。第二层次:节点,由专业化的国家城市组成,通过投入—产出关系和贸易彼此连接。第三层次:次节点,由专业化的区域城市组成,这些城市大多都表现出全球或国家信息的分解功能。

3.2.1 整体网络 依据迁徙量,构建中国城市间人口迁徙有向关系网络,并将中国城市网络划分为国家级、大区级、区域级、地方级和基座级网络(图4),基座网络几乎连接了所有的城市(占全国城市对的91.22%),但迁徙量及其占比均非常小(仅占17.83%),不具有指示意义。所以本文只描述前四级网络结构。

国家级网络:共有26个城市对(北京—上海、北京—长沙、北京—重庆、重庆—上海、上海—深圳、上海—广州、深圳—成都等),仅占全国城市对的0.14%,但迁徙量却占全国的11.09%,以京、沪、广、深、蓉、渝为顶点形成近乎“菱形”空间网络,连接了中国最重要的长三角、珠三角、京津冀、长江中游城市群的核心城市,构成中国最顶层的城市网络。**大区级网络:**共有63个城市对,占0.34%,迁徙量占11.34%。较一级网络有所扩张,原来的核心城市继续保持优势,但成渝中心的网络覆盖范围有所扩大,同时又增加了西安、郑州、哈尔滨、长春节点。北方形成以京津—沪杭—西安相连接的三角形网络;南方形成以广深—成渝—郑州相连接的三角形网络。在网络内部,除了原有的一线、新一线城市相互连接外,一些节点城市的带动作用进一步凸显,甚至往同城化方向发展,如太原与晋中、郑州与开封、杭州与嘉兴、成都与德阳和眉山,这些联系的出现进一步加密了中国城市网络。**区域级网络:**这是中国城市网络的主体,共涉及383个城市对,占2.04%,但迁徙量占29.66%。网络格局基本成型,密度明显提高,以京津、长三角、珠三角、成渝城市群的核心城市为节点构成完整的“菱形结构”,成为城市网络的稳定骨架,将中国南北方和东西地带最发达的区域连接起来。与此同时,东北、西北(主要是兰州和乌鲁木齐)、东南沿海的浙闽、甚至青藏高原(主要是拉萨)的城市网络也开始显现,加入到主体网络中。这意味着中国各大区域已基本消除了“被遗忘的角落”,所有的省会城市和重要的地级市被吸纳到全国网络中,成为网络次节点。只是网



注：基于自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2019)1823号的标准地图制作，底图无修改。

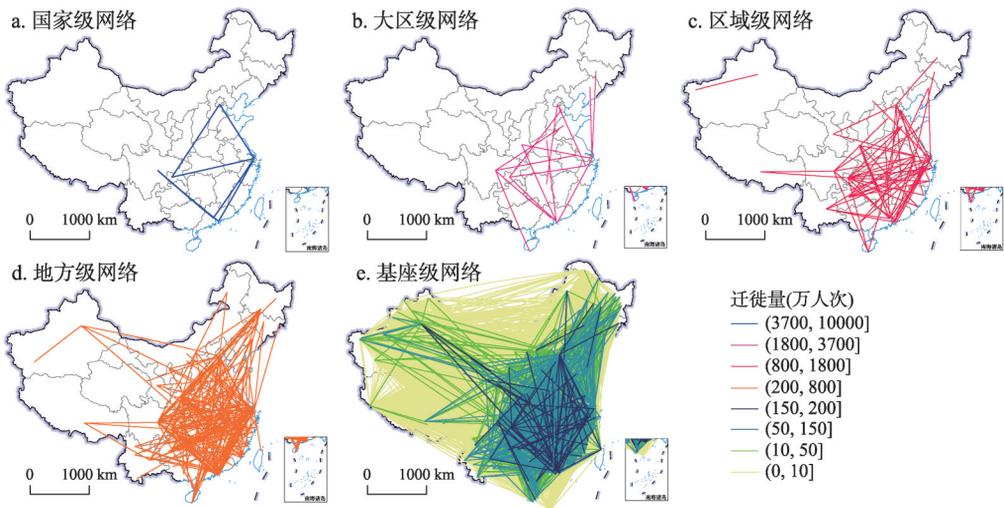
图4 2018年中国城市网络总体空间联系格局

Fig. 4 The overall spatial connection pattern of China's city network in 2018

网络的完整度在不同的区域有所差异，尤其在广大西部地带，仍围绕省会城市形成放射状联系格局，网络的闭合性相对较差。地方级网络：共涉及1178个城市对，占6.27%，但迁徙量高达30.08%，构成了中国城市网络的基底，越来越多的中小城市加入到网络中来，致使网络密度、网络连通度迅速提高，西部边疆地区通过一些次节点城市加强了与全国其他地区的关联。

这一网络阶层与架构，也映射出中国城市的等级秩序。国家级城市网络优先连接发育程度最好的长三角、珠三角、京津冀、成渝城市群的核心城市，随着网络等级的下移，将其他城市群的核心城市逐步连接起来，形成大区网络，随后将省会城市和地方城市吸纳进来，形成区域级和地方级城市网络。占全国8.79%的城市对吸引了82.17%的人口迁徙量，既反映出中国城市间人口流动的聚集和极化现象，也折射出绝大多数城市并不活跃，相对沉寂，是流空间中的“冷点地区”。如果详细考察这些城市，就会发现他们的共同特征：位置偏僻、经济落后、规模很小，或目前处在收缩状况。

3.2.2 飞机运输方式下的网络 国家级网络：共有13个城市对，仅占全国城市对的0.10%，但迁徙量却占全国的20.51%。与总体中国城市网络结构非常相似，但涉及城市对有所减少，仅限于京、沪、穗、深、成、渝之间，由于缺少长沙的衔接，网络结构由“菱形”（或钻石）变化为两个三角形结构：京—沪—蓉（渝）、广（深）—蓉（渝）—沪三角形（图5）。但依然围绕长三角、珠三角、京津冀、成渝城市群的核心城市结网，京、沪在网络中的优势度非常明显。大区网络：共有25个城市对，仅占0.20%，迁徙量占15.14%。除一级网络涉及的城市外，又新增长春、西安、沈阳、杭州和南京。与北方地区相比，南方地区的城市网络密度更大、结构更复杂。区域级网络：共有79个城市对，占0.64%，迁徙量占22.78%。与大区网络相比，主要的变化是向内陆地区延伸渗透，众多的内陆省会城市不断加入进来，并与一、二级网络中的节点城市形成联系，导致网络的结构更加复杂、密度加大。尤其是西北区的乌鲁木齐，东北的哈、长、沈，西南的拉萨，其中心地位凸显出来，形成相对独立的区域性放射状小网络，有些甚至填充到主体网络中。基本形成了东北（哈—长—沈）、西北（西安、乌鲁木齐）、西南（成、



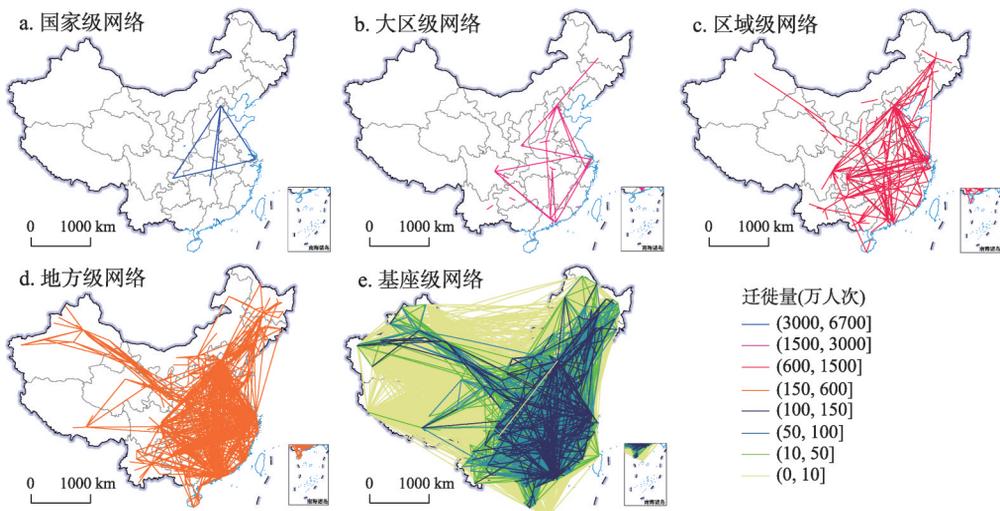
注：基于自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2019)1823号的标准地图制作，底图无修改。

图5 2018年飞机交通方式下中国城市网络

Fig. 5 China's city network under air transportation in 2018

渝、昆、贵)、华南、华东、中原城市网络。地方级网络：共有225个城市对，占1.81%，迁徙量占21.77%。

3.2.3 火车运输方式下的网络 与整体网络结构相比，火车运输方式下的网络发生了巨大的变化。国家级网络，共有20个城市对，仅占0.11%，迁徙量占7.98%。主要由北京(廊坊)、上海、重庆、武汉构成，城市间均有直达高铁，因此客流量非常多。北方网络连接度高于南方，形成以北京为中心，向上海、武汉、长沙、重庆辐射的网络结构。南方以城际通勤性联系为主，主要是广—佛和深—莞之间，且广—佛间的迁徙量是本等级中最高水平(图6)。



注：基于自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2019)1823号的标准地图制作，底图无修改。

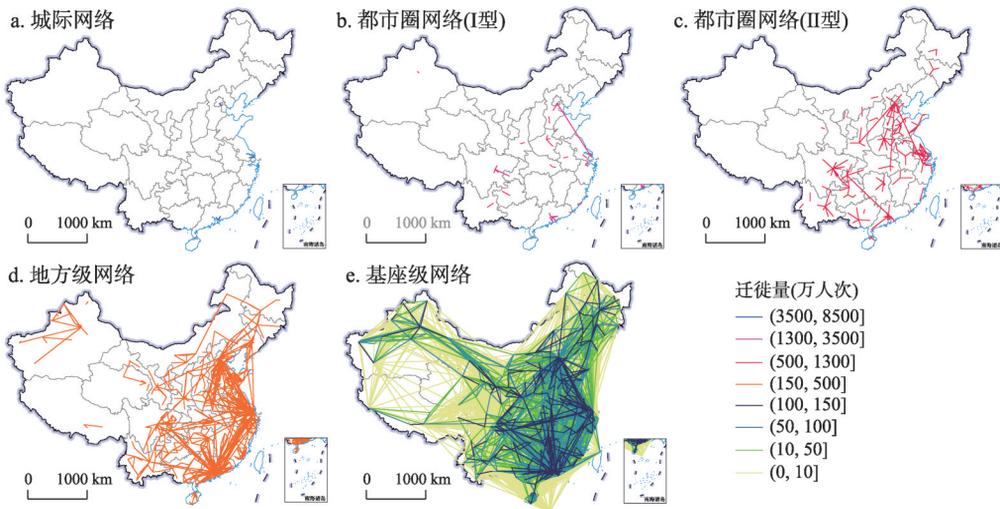
图6 2018年火车交通方式下中国城市网络

Fig. 6 China's city network under railway transportation in 2018

大区网络：共有69个城市对，仅占0.39%，迁徙量占12.92%。主要由北京（保定、石家庄）、上海、成都、广州（深圳、东莞、中山）、南京、杭州、上海、重庆、武汉、西安、郑州构成节点，也是京津冀、长三角、珠三角、成渝、关中、中原城市群的核心城市。城市间均有直达高铁，因此客流量非常多。相较国家级网络，新增哈尔滨、昆明和贵阳，但仅有哈尔滨接入主体网络，昆明和贵阳的网络联系仅限于本省。区域级网络：共有330个城市对，占1.85%，迁徙量却占28.87%。北京的辐射能力更强，在远距离联系中具有控制地位，与长三角、珠三角、成渝地区形成铁路运输网络的“菱形结构”，东北与主体网络的接入度越来越高，并依托主要铁路线，成网密度明显提升。在区域尺度上短距离联系网络开始增多，一些省会城市（郑州、合肥、西安等）与省内重要城市间形成放射状网络。地方级网络：共有1163个城市对，占6.53%，迁徙量占比高达32.51%。在前三等级网络的基础上，内蒙古和广大西北、西南地区接入主体网络，网络呈现出对铁路线路强烈的路径依赖，如京广、兰新、青藏和沪昆等线路。

3.3.4 汽车运输方式下的网络 与整体网络结构相比，变化更大，前三级无法成“网”。

城际网络：共有10个城市对，仅占0.07%，迁徙量却占6.92%。涉及北京—廊坊、上海—苏州、广州—佛山、深圳—东莞、深圳—惠州，均为同城化引致的通勤型客流，尤其是同城化水平最高的深—莞、广—佛高于北京—廊坊和上海—苏州（图7），单一道径突出，为典型的钟摆式迁徙。都市圈网络（I型）：共有58个城市对，仅占0.42%，迁徙量占13.99%。除保留上述城际线路外，围绕重点省会城市又出现许多单线，形成都市圈小组团网络。广深都市圈的网络连通度相较其他地区最高，同时京—沪之间形成长距离联系路径，但流量有限。都市圈网络（II型）：共有277个城市对，仅占2.03%，迁徙量占比猛增至27.67%。网络成网密度迅速提高，各区域内主要城市连接度增强，如京津冀、山东半岛、中原和长三角地区形成密集网络。总体来看，都市圈发育水平高时，围绕核心城市，形成放射状联系格局；发育水平低时，则形成点对点单一道径联系。同时长距离联系开始增多，北京—西安、北京—武汉、北京—杭州；重庆—深圳，但同样流量有限。地方级网络：这是汽车运输网络的重点，共有912个城市对，仅占6.67%，迁徙量却



注：基于自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2019)1823号的标准地图制作，底图无修改。

图7 2018年汽车交通方式下中国城市网络

Fig. 7 China's city network under automobile transportation in 2018

高达33.31%。以省会城市和重要节点城市为中心、以都市圈为基本单元、以省域为基本范围, 自成网络体系, 网络的地方性明显。长距离联系多出现在与京津冀、长三角、珠三角和成渝城市群有联系的网络路径中, 虽形成了近似菱形的网络形态, 但受网络地方性的制约, 与飞机和火车运输方式相比, 网络之间的接合力不强。

3.3 网络分异机制

如果将中国整体城市网络阶层与不同运输方式的网络阶层进行类比(表2), 就会发现: 飞机条件下的1级网络与总网的1级网络相似; 火车条件下的2、3级网络与总网的3级网络相似; 汽车条件下的4级网络与总网的4级网络相似。即网络阶层与迁徙路径存在密切的关联性, 国家级网络与空运相关, 区域级网络与铁路运输相呼应, 地方级网络与汽车运输相匹配。

“流动性”与“地方空间共有”(即网络化和物质化)是“流空间”的基本特征^[37]。流空间较地方空间最大的进步在于构筑了流动性和网络, 城市是这种网络的节点, 城市的功能就是对网络的服务、管理和控制。交通网是要素流动的最基本支撑系统, 运网空间的3个基本特征是通达性、连接性和遇曲性。可达性建立在交通运输方式和距离基础之上。在运网中, 可达性取决于点与线的数量及其空间组织状况, 一般而言, 由于机场与火车(汽车)站的布局条件不同, 即对线路起迄点(即网络节点)的要求不同, 因此航空运输网中节点的数量总是低于铁路和公路运输网, 而线路的长度(即运距)则相反, 这导致航空运输的可达性一般低于铁路和公路运输。正是这一分异结果, 引致了城市网络在不同的运输方式下, 点的选择性与线的连接性不同, 造成城市网络出现分异。

从点的角度考察, 节点的选择是国家综合运输网络布局的基础。尽管不同的运输方式在布局时都要遵循流量最大或距离最近、连通度最高原则, 但在具体的布局过程中, 对于流量和运网中节点的选择性有差异, 一般而言, 航空运输由于成本相对较高, 往往选择经济发达、客流集中的高级别城市。中国航空网络与城市体系的规模等级存在着正向耦合关系, 城市规模越大, 航空客运量就越多^[38]。而公路运输受成本、运力等条件的影响, 一般选择级别相对较低的城市。正是不同运输方式的差异性, 导致了运网中节点与线路的数量、密度存在着差异。而这种差异从根本上引导了城市网络层级结构。“逐层展开法”是路网布局的最常用方法^[39], 即依据路网布局的层次性要求, 优先考虑大节点的便捷连接, 然后考虑小节点的连接, 再逐渐加密形成网络。构建路网“最优树”的过程就是考量节点重要度的过程, 因此节点的等级必然与路径的等级间存在着正向耦合关系, 并在空间上表现出来。从宏观战略层面讲, 国家级运输网络及其节点, 要考虑国家与区域的经济水平、产业布局、人口分布和国地资源开发强度, 因此选择运力强、

表2 不同运输方式下的网络阶层平均聚类系数和平均路径长度

| | 层级 | 平均聚类系数 | 平均路径长度 | 迁徙量占比(%) |
|----|----|--------|--------|----------|
| 总网 | 1 | 0.086 | 2.423 | 11.09 |
| | 2 | 0.000 | 3.247 | 11.34 |
| | 3 | 0.051 | 4.293 | 29.66 |
| | 4 | 0.146 | 5.416 | 30.08 |
| | 5 | 0.235 | 2.180 | 17.83 |
| 飞机 | 1 | 0.361 | 1.733 | 20.51 |
| | 2 | 0.000 | 3.025 | 15.14 |
| | 3 | 0.003 | 3.388 | 22.78 |
| | 4 | 0.025 | 3.393 | 21.77 |
| | 5 | 0.163 | 2.623 | 19.80 |
| 火车 | 1 | 0.110 | 1.708 | 7.98 |
| | 2 | 0.061 | 3.050 | 12.92 |
| | 3 | 0.061 | 4.519 | 28.87 |
| | 4 | 0.150 | 5.145 | 32.51 |
| | 5 | 0.231 | 2.208 | 17.71 |
| 汽车 | 1 | 0.000 | 1.167 | 6.92 |
| | 2 | 0.036 | 1.404 | 13.99 |
| | 3 | 0.066 | 3.683 | 27.67 |
| | 4 | 0.172 | 7.530 | 33.31 |
| | 5 | 0.265 | 2.446 | 18.10 |

效率高、速度快的运输方式，其节点通常是国家级的核心城市。无论是“八纵八横”高铁网，“71118”高速公路网，还是北方（华北、东北）、华东、中南、西南、西北五大区域机场群，都将中国最核心的一线城市串联起来，形成城市网络的核心或节点。

从线的角度考察，不同的运输方式其线路指数不同，克服空间摩擦的能力不同，进而影响线路的连通性和经济距离。交通区位论认为，不同的运输方式，其运费率递减率不同，一般而言，航空>高铁>普铁>汽车。这从根本上影响了不同运输方式的适宜运输范围（或经济距离），而经济运距的差异又决定了空间的邻近性和各种流的作用强度，进而引致城市网络阶层和腹地范围不同。飞机运输方式下，城市联系范围主要集中在1000~1500 km（图8a），火车有两个区间，分别是0~500 km（普铁）和1000~1500 km（高铁）（图8b），汽车运输多集中在250 km之内（图8c）。可见不同运输方式适宜的运距存在着巨大的差异，由此导致的迁徙量也存在明显的差异（图8d、8e），进而引起城市网络结构随路径而出现差异。在飞机和火车运输方式下，国家级和大区域级网络总是在大范围内连接高等级城市，而在汽车方式下，高等级网络则以城际通勤网络为主。总体来看，飞机适合于长途运输，与全国性网络相呼应；火车适合于中长途运输，与大区级和区域级网络相呼应；汽车适合于短途运输，与地方级网络相呼应。

在流空间中，以距离为考量标准的绝对空间上的邻近让位于以时间为考量标准的相对空间上的邻近。在现代城市网络中，时间比空间所起的作用更明显，企业（尤其是虚拟经济）通过跨国公司的全球化生产与商务网络的空间扩张，利用时间控制取得相对空间上的邻近，即存在时空聚合效应^[40]。如果按平均速度（飞机约1000 km/h，高铁300~350 km/h，汽车60~120 km/h）计算，在经济距离范围内，国家级城市网络中，核心城市间依托空运（或高铁）基本可以实现“朝发夕至”的大区域联系，地方级网络中，节点城市间则可以依托汽车（或普铁）形成1~2 h都市圈。高铁的出现打破了航空运输的长途运输垄断地位，影响了城市网络的分异结果，原来依托航空运输而形成的国家级、大区域网络正在受到高铁网络的冲击，即依托高速铁路网，也可以建构区域级乃至国家级城市网络。而对于时间敏感性相对较弱的公路运输，很难上升到大区域级网络。

运输网络还存在着兼容性与外部性。只要运网有足够的通行能力(即新的城市节点没有对原有城市节点的运网造成明显的拥挤或干扰)，交通运输网络的价值对原有节点城市而言就是增加的。运网的外部性则指网络的参与者越多，网络的价值就越高。产生网络

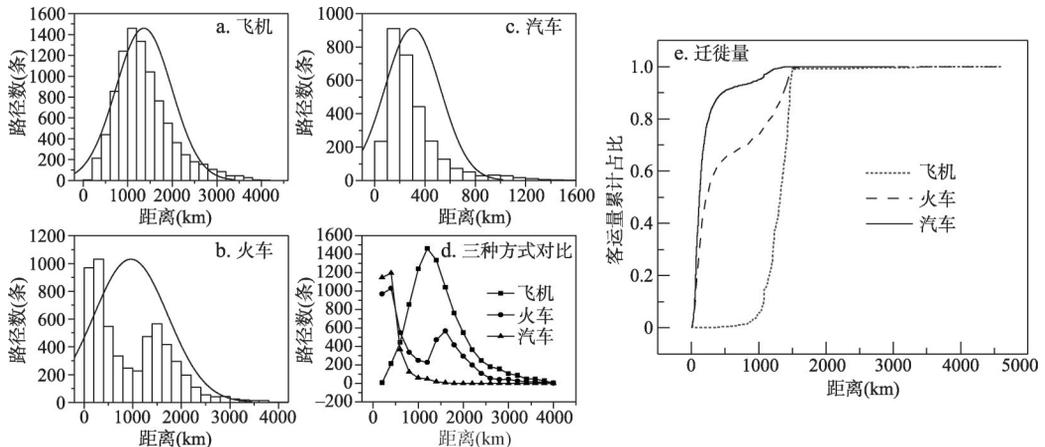


图8 不同交通方式对距离的响应程度

Fig. 8 Degree of response of different modes of transportation to distance

外部性的关键原因是网络成分(即不同的运输方式)之间的互补性。不同的运输方式具有适宜的时空经济距离,这是互补性的表象。在高等级城市网络中,由于交通方式整合了时效性更好的航空、高铁和高速公路网,因此各类运输方式可以取长补短,发挥综合运输效益;而当城市网络下移到基层网络时,一般仅有公路运输,因此,线路的替代性和时效性大大降低,网络的范围也受到严重制约。

人口的流动迁徙同样遵循距离衰减规律,这一规律主要受距离摩擦作用的制约,距离摩擦又深受时间成本和费用成本的制约。在一般情况下,城市间人口流动往往表现出邻接模式和地方效用,即以短途迁徙为主,对时空距离衰减敏感较强的公路运输对人口迁徙起基础性的作用。当时效性更强的运输方式取长补短,发挥综合运输功能时,城市间人口流动则突破时空邻近效应,更多地表现出大区域组合效用。流空间的时空变化导致了人口联系的时空变化,决定了人口流的簇集与扩散,从而产生重要的空间结果:城市网络。因此复合型交通廊道相连的城市,要比单一运输方式连接的城市对人口更具有吸引力和时效性。而复合型交通廊道往往选择级别较高的城市,形成综合交通枢纽,这也就表明为什么在城市网络中,高级节点总是与高级交通枢纽相伴生。当交通运输方式发生替代选择时,就会出现一种趋势,即人口在地域上更趋向极化。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文基于腾讯位置人口迁徙数据,并依据不同交通方式刻画了中国城市网络格局。研究表明:①网络关联度较高的城市均分布在胡焕庸线东侧,尤其在长三角、珠三角、京津冀、成渝城市群的空间聚集程度最高,成为中国城市网络格局的主控力量;而西北半壁城市网络关联度普遍较低,处于被支配地位。②净流入区与净流出区在空间上显著不对称,净流入区几乎全部集中在东南半壁,尤其是各大城市群的核心城市成为人口迁入的引力中心,表现出显著的空间聚集态势。相对而言,净迁出区尽管也集中分布在东南半壁,但空间散布性更强,传统的东部发达地区更是主要的净流出区,预示着经济越发达,人口迁徙的活跃度越高。③依据迁徙量,将中国城市网络划分为国家级、大区级、区域级、地方级和基座级网络。网络等级—城市对占比—迁徙量占比存在着准金字塔结构。国家级网络以京、沪、穗、深为节点,形成顶层结构,区域级和地方级网络是中国城市网络的主体。④不同的迁徙方式(飞机、火车、汽车)对时空距离的响应程度不同,由此导致的迁徙量、迁徙范围及其网络格局也存在明显的差异。

4.2 讨论

相较于百度迁徙数据,本文应用的腾讯迁徙大数据具有下列优势:①百度迁徙数据的更新周期为1h,这样大量的人口迁徙线路被拆解,无法真正看到人口迁徙的起迄点。而腾讯位置大数据的更新周期为1d,被拆分的完整联系线路相对较少,能更加真实反映人口迁徙状态和空间格局;②百度迁徙数据只记录了逐日各城市间总体人口流动量,腾讯位置大数据在此基础上加入了不同交通出行方式的比例,可以刻画城市网络联系路径的分异。

人口迁徙只能通过现实的路径才能实现空间位移,而不同的路径(飞机、火车和汽车)具有不同的运力、运输范围,由此导致了城市网络的分异。通过对多种交通运输方式下中国城市网络的细分研究发现,城市网络架构与交通方式之间存在着内在的关联:空运与国家级网络相呼应、铁路运输与大区级和区域级网络相呼应、汽车运输与地方级

网络相呼应,而这一结论是已有研究成果没有发现的。原因是受数据源限制,往往只能选择单一的运输方式,如铁路^[41]、航空^[39, 42, 18]、公路^[21, 43]、或多种方式^[22]。本文突破了传统研究的缺陷,检视了不同路径对城市网络结构的影响。根据陈伟等^[21]的研究成果,利用火车班次数据生成的城市网络对铁路线有很强的依赖性,且网络的区域性较强,与同期利用统计年鉴的客流量数据做出的研究结果并不一致,本文结果与后者相似,但发现成渝的网络等级有所提升,而东北的网络等级有所下降。由于汽车运输的客流量数据难以获得,因此一般采用汽车班次数据,而该数据是公路客运部门记录的出行信息,大量的私人出行量未被记录,尤其在私家车拥有量日益增加、自驾行日益普遍的背景下,该数据源具有很强的局限性,这就导致了所形成的联系网络也具有偏差,如在网络结构上表现为长距离联系较多、且在网络层级中等级较高,这与汽车运输的短距特性相矛盾。本研究既弥补数据源的缺陷,又发现了与汽车运输短距特性相吻合的地方城市网络,这更符合实际情况。更重要的是空间距离不是一个简单的变量,而是一个复合型变量,尤其是不同运输方式组合后产生的综合效应,究竟是如何微妙地影响网络结构,还需要进一步探究。与以往的研究成果相比,本文识别出的航空网络密度更高,成渝网络的等级有所提升,东北地区的网络等级有所下降,可能的原因是已有的研究中采用的数据是2010年的分类交通客流量统计数据,当时的全国旅客吞吐量56431万人次,拥有机场175座,而2017年全国旅客吞吐量114786万人次,拥有机场229座^①,旅客吞吐量和机场数量在7年间增长较大,相应地航空网络整体成网密度更高。成都和重庆2010年的旅客吞吐量分别为2580万人次和1580万人次,是旅客吞吐量第一位的首都机场(7394万人次)的34.9%和21.37%,2017年两市的旅客吞吐量增加到4980万人次和3871万人次,是首都机场旅客吞吐量(9578万人次)的51.99%和40.42%,与首位机场的差距已大大缩小。同样在2010—2017年主要城市机场吞吐量占首位机场吞吐量百分比的增长率中,东北地区主要城市机场中除哈尔滨机场外,其余城市处于较低水平,因此除哈尔滨外,网络等级有所下降。

关于网络分级,现有的文献基本借助社会网络或复杂网络分析范式,配合GIS空间分析方法,将中国城市网络分为4~5级,本文与以往的研究成果相比,识别出的网络密度更高,层级更丰富。在本文研究过程中发现,由于数据量的不同,会影响网络阶层和结构,相对而言,高等级网络的一致性与稳定性更高,较少受数据量多寡的影响,然而对低层级网络而言,当数据量较小时,网络结构相对简单,尤其是网络的完整性相对较差。这就意味着必须要有一套科学的算法去解决网络阶层的问题。尤其面对连接路径相对较短(如汽车运输条件下)的状况,对网络阶层的细分研究才能真正揭示网络结构与路径依赖之间的耦合关系。

网络关联度较高的城市均分布在胡焕庸线东侧,而西北半壁则普遍较低,处于被支配地位。这意味着西部的城市很难融入到全国城市网络中,因此如何有机地参与到全国城市网络中是中西部地区面临的普遍性问题。值得注意的是成渝城市群同样地处西部,却成为中国城市网络的顶层,说明发展城市群具有很强的带动作用。城市群不仅肩负着国家参与全球竞争的重任,而且成为国民经济增长的主体。国家“十三五”规划纲要提出,要优化提升东部地区城市群,培育中西部地区城市群(东北地区、中原地区、长江中游、成渝地区、关中平原、北部湾、晋中、呼包鄂榆、黔中、滇中、兰州—西宁、宁夏沿黄、天山北坡)。因此,如何加快培育中西地区的城市群,是实现城市融入全国网络的有效路径之一。

① 数据来源于中国民用航空局网站(http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/TJSJ/index_1216.html),下文同。

交通运输(尤其是高等级骨干铁路网和航空网)是形成城市网络的现实路径。中西部地区,尤其是边远民族地区不论是路网等级,还是密度都远低于全国平均水平。某些省会城市,借助高效运输方式(航空运输)实现了与高等级网络的联系,如成都、重庆等经过多年的发展,逐渐跻身于国家级网络,昆明、海口和乌鲁木齐在飞机运输网络中的关联度也较高,缩小了与京沪等国家级网关城市间的差距;而另一些城市,如长春和沈阳则随着整个东北实力的下降,在国家级和大区级城市网络中,地位有所衰落。这就要求中西地区,必须想方设法加快基础设施建设,国家在骨干路网建设过程中要适当向中西地区倾斜,以解决发展过程中的瓶颈问题。

参考文献(References)

- [1] Castells M. Local and global: Cities in the network society. *Tijdschrift Voor Economische En Sociale Geografie*, 2002, 93(5): 548-558.
- [2] Wang Jue, Chen Wen, Yuan Feng. Human mobility and evolution based on social network: An empirical analysis of Yangtze River Delta. *Geographical Research*, 2014, 33(2): 385-400. [王珏, 陈雯, 袁丰. 基于社会网络分析的长三角地区人口迁移及演化. *地理研究*, 2014, 33(2): 385-400.]
- [3] Zhao Ziyu, Wei Ye, Wang Shijun, et al. Measurement of directed alternative centrality and power of directed weighted urban network: A case of population flow network of China during "Chunyun" period. *Geographical Research*, 2017, 36(4): 647-660. [赵梓渝, 魏冶, 王士君, 等. 有向加权城市网络的转变中心性与控制力测度: 以中国春运人口流动网络为例. *地理研究*, 2017, 36(4): 647-660.]
- [4] Castells M. *The Rise of Network Society*. Xia Zhujiu et al. trans. Beijing: Social Science Academic Press, 2006. [曼纽尔·卡斯特. *网络社会的崛起*. 夏铸九等, 译. 北京: 社会科学文献出版社, 2006.]
- [5] Sassen S. *The Global City: New York, London, Tokyo*. Princeton, N J: Princeton University Press, 2013.
- [6] Taylor P J. *World Cities Network: A Global Urban Analysis*. London: Routledge, 2004.
- [7] Taylor P J, Catalano G, Walker D R F. Measurement of the world city network. *Urban Studies*, 2002, 39(13): 2367-2376.
- [8] Taylor P J. Specification of the world city network. *Geographical Analysis*, 2001, 33(2): 181-194.
- [9] Taylor P J, Walker D R F, Catalano G, et al. Diversity and power in the world city network. *Cities*, 2002, 19(4): 231-241.
- [10] Derudder B, Taylor P J. Central flow theory: Comparative connectivities in the world-city network. *Regional Studies*, 2018, 52(8): 1029-1040.
- [11] Harris C D, Ullman E L. The nature of cities. *The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science*, 1945, 242(1): 7-17.
- [12] Ma Liya, Xiu Chunliang, Feng Xinghua. Urban network characteristics in the three provinces of the Northeastern China based on headquarter-affiliate enterprises connection. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(7): 1129-1138. [马丽亚, 修春亮, 冯兴华. 基于母子企业联系的东北三省城市网络特征. *地理科学*, 2019, 39(7): 1129-1138.]
- [13] Jin Zhongfan. On structural properties of transnational urban network based on multinational enterprises network in China: As the case of link with South Korea. *Geographical Research*, 2010, 29(9): 1670-1682. [金钟范. 基于企业母子联系的中国跨国城市网络结构: 以中韩城市之间联系为例. *地理研究*, 2010, 29(9): 1670-1682.]
- [14] Wang Cheng, Wang Maojun. Evolution of associated network characteristics between cities in Shandong province: Comparing central place and flow space theories. *Geographical Research*, 2017, 36(11): 2197-2212. [王成, 王茂军. 山东省城市关联网络演化特征: 基于“中心地”和“流空间”理论的对比. *地理研究*, 2017, 36(11): 2197-2212.]
- [15] Ye Lei, Duan Xuejun. City network structure of the Yangtze River Delta region based on logistics enterprise network. *Progress in Geography*, 2016, 35(5): 622-631. [叶磊, 段学军. 基于物流企业的长三角地区城市网络结构. *地理科学进展*, 2016, 35(5): 622-631.]
- [16] Jin Fengjun. A study on network of domestic air passenger flow in China. *Geographical Research*, 2001, 20(1): 31-39. [金凤君. 我国航空客流网络发展及其地域系统研究. *地理研究*, 2001, 20(1): 31-39.]
- [17] Wu Wenjie, Dong Zhengbin, Zhang Wenzhong, et al. Spatio-temporal evolution of the China's inter-urban organization network structure: Based on aviation data from 1983 to 2006. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(4): 435-445. [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. *地理学报*, 2011, 66(4): 435-445.]
- [18] Wang Jiaoe, Jing Yue. Comparison of spatial structure and organization mode of inter-city networks from the perspective of railway and air passenger flow. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(8): 1508-1519. [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. *地理学报*, 2017, 72(8): 1508-1519.]

- [19] Feng Xinghua, Xiu Chunliang, Liu Zhimin, et al. Characteristics of urban network hierarchy evolution based on the perspective of railway passenger transport in Northeast China. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(9): 1430-1438. [冯兴华, 修春亮, 刘志敏, 等. 东北地区城市网络层级演变特征分析: 基于铁路客运流视角. *地理科学*, 2018, 38(9): 1430-1438.]
- [20] Meng Deyou, Feng Xinghua, Wen Yuzhao. Urban network structure evolution and organizational pattern in Northeast China from the perspective of railway passenger transport. *Geographical Research*, 2017, 36(7): 1339-1352. [孟德友, 冯兴华, 文玉钊. 铁路客运视角下东北地区城市网络结构演变及组织模式探讨. *地理研究*, 2017, 36(7): 1339-1352.]
- [21] Chen Wei, Liu Weidong, Ke Wenqian, et al. The spatial structures and organization patterns of China's city networks based on the highway passenger flows. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(2): 224-241. [陈伟, 刘卫东, 柯文前, 等. 基于公路客流的中国城市网络结构与空间组织模式. *地理学报*, 2017, 72(2): 224-241.]
- [22] Chen Wei, Xiu Chunliang, Ke Wenqian, et al. Hierarchical structures of China's city network from the perspective of multiple traffic flows. *Geographical Research*, 2015, 34(11): 2073-2083. [陈伟, 修春亮, 柯文前, 等. 多元交通流视角下的中国城市网络层级特征. *地理研究*, 2015, 34(11): 2073-2083.]
- [23] Liu Zhengbing, Liu Jingyu, He Xiaopei, et al. The spatial connection and network feature of Zhongyuan Economic District base on intercity traffic flow. *Economic Geography*, 2014, 34(7): 58-66. [刘正兵, 刘静玉, 何孝沛, 等. 中原经济区城市空间联系及其网络格局分析: 基于城际客运流. *经济地理*, 2014, 34(7): 58-66.]
- [24] Wang Liehui, Zhang Sheng. The network structure of port cities along Yangtze River: In view of shipping services. *Urban Planning Forum*, 2018(2): 19-28. [王列辉, 张圣. 长江沿岸港口城市网络结构: 基于航运服务业视角. *城市规划学刊*, 2018(2): 19-28.]
- [25] Li Jun, Dong Suocheng, Huang Yongbin, et al. Multi-scale spatial structure analysis of urban network based on Local IT Enterprise Network in China. *Geography and Geo-Information Science*, 2014, 30(1): 110-115. [李俊, 董锁成, 黄永斌, 等. 本土电信企业网络下中国城市网络多尺度空间结构分析. *地理与地理信息科学*, 2014, 30(1): 110-115.]
- [26] Chen Hao, Lu Lin, Zheng Shanting. The spatial network structure of the tourism destinations in urban agglomerations based on tourist flow: A case study of the Pearl River Delta. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(2): 257-266. [陈浩, 陆林, 郑婷婷. 基于旅游流的城市群旅游地旅游空间网络结构分析: 以珠江三角洲城市群为例. *地理学报*, 2011, 66(2): 257-266.]
- [27] Krings G, Calabrese F, Ratti C, et al. Urban gravity: A model for intercity telecommunication flows. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2009(7): 1-8. DOI: 10.1088/1742-5468/2009/07/L07003.
- [28] Naaman M, Boase J, Lai C H. Is it really about me? Message content in social awareness streams//Proceedings of the 2010 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work, CSCW 2010, Savannah, Georgia, USA. New York: ACM Press, 2010: 189-192.
- [29] Liu Y, Sui Z W, Kang C G, et al. Uncovering patterns of inter-urban trip and spatial interaction from social media check-in data. *PLOS ONE*, 2014, 9(1): 1-11. DOI: 10.1371/journal.pone.0086026.
- [30] Kang C G, Zhang Y, Ma X J, et al. Inferring properties and revealing geographical impacts of intercity mobile communication network of China using a subnet data set. *International Journal of Geographical Information Science*, 2013, 27(3): 431-448.
- [31] Zhen Feng, Wang Bo, Chen Yingxue. China's city network characteristics based on social network space: An empirical analysis of Sina Micro-blog. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(8): 1031-1043. [甄峰, 王波, 陈映雪. 基于网络社会空间的中国城市网络特征: 以新浪微博为例. *地理学报*, 2012, 67(8): 1031-1043.]
- [32] Xu Liuji, Long Ying. Analysis of Chinese urban network based on location and name of point of interest. *Beijing Planning Review*, 2016(6): 49-56. [许留记, 龙瀛. 基于兴趣点位置和名称的中国城市网络分析. *北京规划建设*, 2016(6): 49-56.]
- [33] Deng Chuxiong, Song Xiongwei, Xie Binggeng, et al. City network link analysis of urban agglomeration in the middle Yangtze River Basin based on the Baidu Post Bar data. *Geographical Research*, 2018, 37(6): 1181-1192. [邓楚雄, 宋雄伟, 谢炳庚, 等. 基于百度贴吧数据的长江中游城市群城市网络联系分析. *地理研究*, 2018, 37(6): 1181-1192.]
- [34] Liu Wangbao, Shi Enming. Spatial pattern of population daily flow among cities based on ICT: A case study of "Baidu Migration". *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(10): 1667-1679. [刘望保, 石恩名. 基于ICT的中国城市间人口日常流动空间格局: 以百度迁徙为例. *地理学报*, 2016, 71(10): 1667-1679.]
- [35] Mayhew B H, Levinger R L. Size and the density of interaction in human aggregates. *American Journal of Sociology*, 1976, 82(1): 86-110.
- [36] Camagni R P. From City Hierarchy to City Network: Reflections about an Emerging Paradigm, Structure and Change in the Space Economy. Berlin Heidelberg: Springer Cham, 1993.
- [37] Sun Zhongwei, Lu Zi. A geographical perspective to the elementary nature of space of flows. *Geography and Geo-*

- Information Science, 2005, 21(1): 109-112. [孙中伟, 路紫. 流空间基本性质的地理学透视. 地理与地理信息科学, 2005, 21(1): 109-112.]
- [38] Zhou Yixing, Hu Zhiyong. Looking into the network structure of Chinese urban system from the perspective of air transportation. *Geographical Research*, 2002, 21(3): 276-286. [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. 地理研究, 2002, 21(3): 276-286.]
- [39] Liu Qiang, Lu Huapu, Zou Bo. Research on the national integrated transportation network layout planning of China. *Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering)*, 2009, 33(2): 203-206. [刘强, 陆化普, 邹博. 我国综合运输网络布局规划研究. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2009, 33(2): 203-206.]
- [40] Goodchild M F, Klinkenberg B, Janelle D G. A factorial model of aggregate spatio-temporal behavior: Application to the diurnal cycle. *Geographical analysis*, 1993, 25(4): 277-294.
- [41] Jiao Jingjuan, Wang Jiaoe, Jin Fengjun, et al. Impact of high-speed rail on inter-city network based on the passenger train network in China, 2003-2013. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(2): 265-280. [焦敬娟, 王姣娥, 金凤君, 等. 高速铁路对城市网络结构的影响研究: 基于铁路客运班列分析. 地理学报, 2016, 71(2): 265-280.]
- [42] Xue Junfei. Hierarchical structure and distribution pattern of Chinese urban system based on aviation network. *Geographical Research*, 2008, 27(1): 23-32, 242. [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. 地理研究, 2008, 27(1): 23-32, 242.]
- [43] Ke Wenqian, Chen Wei, Lu Yuqi, et al. Extracting spatial structures and evolutionary characteristics of city networks in Jiangsu Province based on the expressway traffic flow. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(3): 405-414. [柯文前, 陈伟, 陆玉麒, 等. 基于高速公路流的江苏省城市网络空间结构与演化特征. 地理科学, 2019, 39(3): 405-414.]

China's city network based on Tencent's migration big data

WANG Lucang¹, LIU Haiyang¹, LIU Qing²

(1. College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China;

2. College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: With the rapid development of economic globalization and regional integration, the connection between cities is increasingly close. The mobility and interdependence of elements have promoted the formation of city network and become a new regional organization model and spatial structure. Based on Tencent's migration data, this paper constructs a 372×372 relational data matrix, and systematically depicts the city network pattern in China from different modes of transportation. The results show that cities with high network correlation degree are mainly concentrated in the area east of the Hu Huanyong Line, especially in the Yangtze River Delta, Pearl River Delta, Beijing-Tianjin-Hebei region, Chengdu-Chongqing region and other urban agglomeration areas, which have the highest concentration and become the main control power of China's city network pattern; and the cities in the northwest half are at a disadvantage status. According to the amount of migration, the Chinese city network is divided into national, large regional, regional, local and pedestal networks. The city network structure changes with the mode of transportation. When the network level moves down, the number of node cities tends to increase and the network density increases, but the network range tends to shrink. There is a close correlation between the network level and the migration path. National-level network related to air transportation, regional network related to railway transportation, and local network are relevant to automobile transportation. The economic space-time distance of different transportation modes determines the network structure, which is the basic factor that causes the network to differentiate with different paths.

Keywords: city network; Tencent's migration big data; heteromorphism; China