

# 城市群多要素外向联系网络结构

## ——基于长江中游城市群-长江经济带的实证

吴思雨<sup>1</sup> 钟业喜<sup>1</sup> 吴青青<sup>1</sup> 毛炜圣<sup>21</sup>

(1. 江西师范大学 地理与环境学院, 江西 南昌 330022;

2. 华东师范大学 城市与区域科学学院, 上海 200062)

**【摘要】:** 大数据分析已成为新时期理解城市网络的关键。基于交通、信息大数据, 通过 SNA、SSI、Modularity 等方法分析长江中游城市群外向联系网络结构及影响因素, 结果显示: (1) 空间异质性明显, 极化作用突出。普铁网络形成以周边城市为主的“π”型空间联系格局, 高铁网络廊道效应显著, 呈现以沪昆、汉沪蓉高铁为轴线的侧“V”型联系格局, 信息网络形成以武汉、长沙、南昌为核心向外放射状空间联系格局。SSI 均小于 0.1, 空间极化效应明显。(2) 拓扑结构上, 普铁、信息网络单核结构显著, 高铁网络双核结构突出, 综合网络显现多核结构。(3) 社区结构上, 普铁和高铁网络社区结构明显, 信息和综合网络未形成明显的社区结构。(4) 城市规模对长江中游城市群外向联系网络发挥关键作用, 地理距离、行政等级以及城市职能也会产生不同程度的影响。

**【关键词】:** 流空间 空间结构 拓扑结构 社区结构 长江中游城市群

**【中图分类号】:** F299.27 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2021)10-2360-13

随着全球化和信息化的不断推进以及交通技术的进步, 各类要素在全球范围内快速流动, 城市间的相互联系、作用和依赖程度不断加深, 对城市体系产生了深刻影响, 城市间相互联系所形成的网络成为新时期理解城市的关键<sup>[1,2]</sup>。在“流空间”背景下, 城市关系理论向“网络范式”转型, 以流要素作为区域研究范式的体系逐渐完善, 流动空间分析拓展了区域研究视角, 使城市等级理论框架向城市网络的框架演进<sup>[3]</sup>, 关注点逐步转向由金融流、信息流、人流和物流等构建的城市网络结构、功能和关系<sup>[4,5]</sup>。城市网络的本质是城市间的联系, 即城市外部关系, 其研究需要解决各种流的测度。目前, 众多学者已通过基础设施<sup>[6]</sup>、企业组织<sup>[7,8]</sup>和社会文化<sup>[9]</sup>等路径刻画了不同要素流在不同空间尺度的城市网络。交通既是构成区域空间结构的重要组成部分, 也是区域发展的重要支撑条件, 对引导和优化区域发展的空间秩序具有重要意义。作为“流空间”网络的一种重要表达形式, 交通流可以直接反映城市间的联系强度和等级结构, 是研究城市等级体系和网络结构的重要手段。

互联网和现代交通能够在空间上减小地理环境的约束, 同时具有获取相对容易、现实反映较为准确的优势, 又能直观体现城市间的联系总量、强度和城市等级结构, 因而成为城市网络研究的重要切入点。目前, 中西方学者对交通流和信息流视角下的城市网络结构展开了丰富的定量研究。就交通流而言, 主要包括公路运输<sup>[10,11]</sup>、铁路运输<sup>[12,13]</sup>、航班和水运<sup>[14]</sup>等方面的研究, 重点阐述了交通作用下的节点城市网络结构空间格局、城市网络结构与空间组织模式、城市网络层级演变特征, 对空间结构、组织模

**作者简介:** 吴思雨(1993~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为经济地理与空间规划研究. E-mail: WUsiyu0101@126.com; 钟业喜, E-mail: zhongyexi@126.com

**基金项目:** 国家自然科学基金(41961043)

式的形成机制有所忽视。随着互联网技术的广泛应用,通过对手机信令、车辆移动轨迹、地铁和公交刷卡等数据<sup>[15,16]</sup>的深入挖掘,城市内部联系网络得到进一步深化。不同交通运输方式在运输功能、运输效率等方面存在差异,继而在城市空间联系上也会体现出差异化的空间格局和特征,有学者基于航空流与铁路流、铁路流与公路流对比分析了城市网络结构、组织模式与层级结构<sup>[4,17,18]</sup>,总体上以单一交通流研究为主,对多种或综合交通作用下的城市网络结构的研究相对较少,且聚焦于城市群内部的无向网络,城市群外部的有向联系网络研究不足。就信息流而言,从微博签到数据、百度指数、通信数据等用户记录数据<sup>[19,20]</sup>入手成为网络研究的新方向,揭示了信息化作用下的城市中心性、凝聚子群、核心一边缘结构等网络结构特征。近年来随着互联网大数据的快速发展,有部分研究者深入挖掘百度贴吧、手机信令、微博舆情<sup>[16,21]</sup>等个体用户数据,研究了城市人居活动空间分异规律、网络结构及其驱动机制。已有研究侧重于对单一要素流作用下的城市网络研究,少数学者从多元流的视角分析不同类型城市网络结构特征、网络效率<sup>[22,23,24]</sup>。总体而言,学术界关于要素流对区域空间结构塑造的研究成果颇丰,多基于全球、全国、城市群、经济带等宏观或中观尺度分析交通流、信息流、企业流、知识流等单一要素流作用下的区域空间结构,重点刻画区域空间结构及其演化特征,对“流”空间结构的形成机制分析不足,多要素流作用下的区域空间结构对比研究涉及较少。此外聚焦于城市群内部“流”空间无向网络结构特征研究,城市群外部有向联系网络研究薄弱,且以长三角、珠三角、京津冀三大城市群为主,对一些新兴城市群有所忽视。

长江中游城市群作为内陆开放合作示范区,努力成为中国区域增长第四极,其对外联系程度对今后区域高质量协调发展发挥重要的作用。多元流视角下的长江中游城市群内部联系核心一边缘结构特征显著<sup>[25]</sup>,但面向长江经济带的外向联系如何,其在网络中承担怎样的角色?随着“高铁时代”和“信息 4.0”时代的到来,时空压缩效应将显著提升,高铁流和信息流作用下的城市关联格局有待深入分析。基于此,本文运用 SNA、SSI、Modularity 方法探讨交通流、信息流与综合流视角下的长江中游城市群面向长江经济带的外向联系有向网络格局及其影响因素,以期拓展城市网络研究视角,丰富城市群之间的网络结构实证研究,识别长江中游城市群在长江经济带中所承担的角色,为更好发挥长江中游城市群“承东启西、连通南北”的区位优势,新时代长江经济带三大城市群的高质量协调发展提供一定的理论依据。

## 1 数据与方法

### 1.1 研究范围

本文研究范围涉及《长江经济带发展规划纲要》中的沪、苏、浙、皖、湘、赣、鄂、川、渝、黔、滇 11 个省市,国土面积约 205 万 km<sup>2</sup>,占全国的 21%,人口总量与经济总产值在全国的占比均超过 40%。长江经济带跨越中国东中西三大区域,地理位置优越,自然资源丰富,社会经济发展潜力大。在长江三角洲一体化、中部崛起、西部双城经济区等区域性战略以及长江经济带、一带一路等国家级战略的影响下,长江经济带逐渐成为我国综合实力最强、战略支撑作用最大的区域之一,在区域发展战略中占有重要地位。

### 1.2 数据来源

考虑到目前长江中游城市群与长江经济带其他城市之间的交通联系以铁路运输为主,随着国内“八纵八横”高铁网络的快速发展,区域间的时空压缩效益进一步加强,高铁在交通网络中发挥极其重要的作用,同时受互联网时代的影响,信息网络得以快速发展,能够极大的突破时空阻隔,基于此,选择普铁班次(包括普通、快速、直达和特快列车)、高铁班次(包括和谐号和复兴号高速列车)和百度指数作为城市间关联数据。普铁与高铁的班次数据来源于盛名列车时刻表 2019.05.05 版本,并通过 12306 网上铁路售票系统(<https://www.12306.cn/index/>)进行验证。信息数据通过 Python 编程获取两两城市间的百度搜索指数(<http://index.baidu.com>),数据采集时间为 2018 年 1 月~12 月。国内对于多要素流空间结构的研究逐渐成熟,但综合网络相关研究较少,各子网络在综合网络中所占的权重没有统一的标准,为此,本文将借鉴刘传明、刘晓燕、叶磊、程钰等学者关于公路、普铁、高铁和信息流综合网络的处理方法<sup>[22,26,27,28]</sup>将普铁、高铁和信息关联数据视为同等重要,权重均为 1/3,在此基础上构建城市网络关联矩阵。

### 1.3 研究方法

#### 1.3.1 社会网络分析方法

社会网络分析法是一种社会学研究方法，通过对网络关系的分析探讨网络结构及属性(个体和整体)特征，能够将区域联系网络化的过程变得更加直观，量化效果也更加明显<sup>[29]</sup>。2010年以来，这一方法逐步引入地理学，在经济、旅游、交通、人口迁移、创新网络等方面得到广泛运用<sup>[30]</sup>。本文主要从网络密度和网络中心性探讨长江中游城市群多要素外向空间联系结构。

##### (1) 网络密度。

网络密度用于反映区域网络完善程度及网络内个体节点空间相互作用的紧密程度<sup>[21]</sup>。网络密度越大，节点空间联系越紧密、城市网络趋于完善。计算公式为：

$$D = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k d(i, j)}{k(k-1)}$$

式中：D为网络密度；k为城市节点；d(i, j)为城市i与城市j间的联系强度。

##### (2) 网络中心性。

即某节点在网络中的中心地位，比较常用的有点度中心度和中间中心度。其中，点度中心度指节点在网络中的综合联系能力，中间中心度揭示节点对其他节点的控制能力。具体计算公式如下：

$$C_D(n_i) = \sum_{j=1}^k X_{ij}$$
$$C_B(n_i) = \sum_{j < k} g_{jk}(n_i) / g_{jk}$$

式中：C<sub>D</sub>(n<sub>i</sub>)为点度中心度；X<sub>ij</sub>为节点间的联系强度；C<sub>B</sub>(n<sub>i</sub>)为中间中心度；g<sub>jk</sub>是节点j到节点k的路径数。

#### 1.3.2 空间结构指数

Hanssens 完善了区域多中心测度的改进算法，构建了基于多元流视角下的城市网络空间结构的主导性结构指数，其值在[0, 1]之间，越接近于0，越表明空间结构单极化，越接近于1，越表明空间结构多极化发展，以此说明长江经济带流空间网络的集聚与扩散特征<sup>[31]</sup>。计算公式如下：

$$D_b = \frac{RC_i}{\sum_{j=1}^i RC_j}$$
$$R_{CI} = 1/i$$
$$SSI = \begin{cases} \frac{(2 - \frac{SD}{SD_{RC}})}{2}, & SD \leq SD_{RC} \\ \frac{SD_{RC}}{2SD}, & SD \geq SD_{RC} \end{cases}$$

式中： $D_{ii}$  为主导性指数，该值越大，区域的单极化现象越突出； $R_{ci}$  表示城市标准化后的联系强度指数； $j$  为城市节点的数量； $i$  为全部城市联系强度值降序后的序号； $SD$ 、 $SD_{kc}$  分别为全部城市  $D_{ii}$  标准差、城市节点序号标准差； $SSI$  为空间结构指数。

### 1.3.3 社区结构

社区结构的挖掘主要通过 Laplace 谱平分法、Kernighan-Lin 算法等图形分割法以及 GN 算法、Newman 快速算法、CMM 算法等聚类分级方法实现<sup>[32]</sup>。本文运用 Newman 的“模块度”来划分长江中游城市群多要素外向联系网络的社区结构。通常  $Q$  值介于 0~1 之间， $Q$  值越接近于 1，说明社区划分质量越高；越接近于 0 则说明社区结构特征并不明显。其公式如下<sup>[33]</sup>：

$$Q = \frac{1}{2m} \sum_{ij} \left( A_{ij} - \frac{k_i k_j}{2m} \right) \delta(C_i, C_j)$$

式中： $Q$  是模块度值； $A_{ij}$  是城市  $i$  到城市  $j$  之间的列车班次/百度指数； $k_i$ 、 $k_j$  分别表示到城市  $i$  与城市  $j$  的班次/百度指数总量； $C_i$ 、 $C_j$  分别表示城市  $i$ 、城市  $j$  所在的社区； $m$  是网络中可能存在的最大线路数。

## 2 长江中游城市群外向联系强度分析

### 2.1 核心节点城市

长江中游城市群形成以武汉、长沙、南昌三大省会城市为主导的多要素流出城市体系，核心城市在城市群内部存在差异。高铁、信息和综合网络中，武汉都市圈核心城市少，但对外联系强度大，这主要得益于京广与汉沪蓉高铁一横一纵骨干通道在武汉交汇，使其成为横贯东西连通南北的交通枢纽，日均开行动车、高铁近 500 班次，覆盖长江经济带内 60% 的城市，在网络中的地位突出，长株潭与鄱阳湖城市群核心城市多，但对外联系强度相对较弱；普铁网络中，武汉都市圈在核心城市数量和联系强度上均处于劣势，长株潭与鄱阳湖城市群对外联系优势突出，需要说明的是在普铁网络中未形成以省会城市为主导的流出城市体系，其中主要是因为“被火车拖来的城市”——株洲(由京广铁路、浙赣湘黔铁路在城区交汇形成的十字型铁路枢纽)是沟通华东、华南、西南和北方的铁路交通枢纽，日均开行客运班次近 300 余次，辐射长江经济带内 75% 以上的城市。总体上，武汉都市圈对外联系呈单极化态势，长株潭和环鄱阳湖城市群呈相对均衡化发展态势。

在流入城市方面，沪杭-浙赣-湘黔-贵昆沿线的城市是长江中游城市群普铁网络外向联系的主要区域。在高铁网络中，长江中游城市群与沪昆、汉沪蓉快速客运通道沿线的城市联系密切，尤其是沪昆高铁沿线城市。信息网络主要流入城市包括两类，一是成都、上海、重庆等省会城市，其中成都以西部经济、商贸、交通枢纽的中心地位以及中国优秀旅游城市的强大吸引力、以 6466 的联系强度远超其他城市，高出第二位城市(上海)23%；二是张家界、苏州、黄山等以自然风光、人文景观或历史文化为代表的城市，其中张家界凭借独特的红色文化、典型的土家文化以及秀丽的绿色文化，在国家森林城市、重点风景名胜区、世界自然遗产名录等方面取得重要成果，成为一个热点关注区域。综合网络中长三角是长江中游城市群外向联系的首要区域，其次是成渝城市群以及云贵地区。

### 2.2 主要联系通道

长江中游城市群外向联系通道具有典型的地理邻近性、路径依赖性、方位指向性特征。普铁网络以省内近距离的节点城市→门户城市为主、相邻区域间的门户城市→节点城市为辅，其中 Top10 中前 7 位均在湖南、湖北、江西境内，后 3 位介于江西与浙江的相邻区域之间。高铁网络主要形成以杭州、南京、贵阳等省会城市以及郴州、金华等交通枢纽城市为中心，以沪昆、汉沪蓉高铁为骨干的东西向跨区域联系网络。信息网络则主要形成以武汉、长沙、南昌为核心面向长江经济带的放射状连通廊道格局，

但 Top10 连通廊道联系量占总体比重偏低, 约 5.2%。综合网络主要形成以武汉为中心向重庆、成都、上海等高等级城市拓展的联系走廊, 但受普铁和高铁联系的影响, 衡阳→郴州在综合网络中表现突出。总体上, 普铁主要联系通道受地理空间约束明显, 方位指向性突出, 高铁路径依赖性强, 廊道效应突出, 信息和综合网络时空约束小, 但受城市属性影响大。

### 3 长江中游城市群外向联系网络结构分析

#### 3.1 空间结构

多要素流网络空间结构差异显著, 空间极化效应突出。普铁网络以周边城市联系为主, 形成以沪杭-浙赣-湘黔-贵昆线为横向通道, 京广铁路株洲-郴州段、京九铁路南昌-赣州段为纵向通道的“π”型空间格局(图 1a)。与普铁网络相比, 高铁网络联系相对松散, 网络密度最低(0.3), 基本形成以沪汉蓉、沪昆高铁为走廊的侧“V”型空间联系网络, 西部地区高铁线路稀疏, “洼地”效应显著(图 1b)。在互联网的作用下, 区域空间逐渐“扁平化”, 信息网络密度最高(0.981), 长江经济带内各城市联系密切。综合网络中, 长中游与东部联系密切而无序, 与西部联系相对较少。从城市群视角看(表 1), 长中游与长三角城市群联系最为密切, 与成渝、滇黔城市群联系相对不足, 不同要素网络之间存在差异。普铁与高铁网络中, 长中游与三大城市群联系不够, 尤其是高铁网络中, 长中游与成渝联系微弱; 信息与综合网络中, 长三角与三大城市群联系密度明显提升, 尤其在信息网络中仅存在微弱差距。为进一步了解多要素流网络空间结构的集聚与扩散特征, 通过计算 SSI 和 DI 发现(表 2):  $SSI_{(高铁)} < SSI_{(普铁、信息)} < SSI_{(综合)} < 0.1$ , DI 值较大, 普铁、高铁、信息和综合网络“缺位型金字塔”特征明显, 中等水平城市数量不足, 低等水平城市过多, 区域联系网络极化态势明显。

#### 3.2 拓扑结构

从普铁网络看(图 2a), 郴州、怀化、赣州等周边城市是长江中游城市群外向联系的主要区域, 其中郴州是普铁网络的核心, 占据绝对优势地位; 在高铁网络中(图 2b); 长江中游城市群主要流向长三角地区, 受沪昆高铁的影响, 长中游地区与云贵联系较多; 信息网络与普铁、高铁网络差异显著, 形成以成都为单核心的拓扑网络, 核心节点城市分散, 未形成区域集聚性的强联系城市(图 2c); 综合网络形成以上海、杭州、贵阳等中心城市为主的多核心的拓扑结构, 长中游城市群与江浙沪、成渝、滇黔联系相对密切, 整个长江经济带联系更为紧密, 受地理阻隔作用程度相对较小。总体上, 拓扑结构核心-边缘结构特征明显, 普铁、高铁、信息、综合网络分别形成单核、双核、单核、多核心拓扑结构。

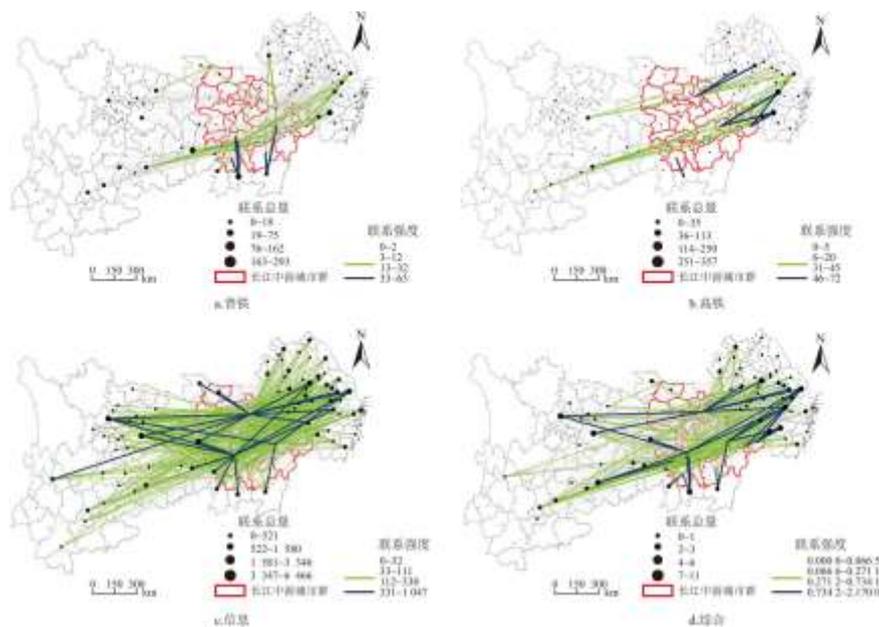


图 1 长江中游城市群多元流外向联系网络

表 1 城市群网络密度

		滇黔	成渝	长三角			滇黔	成渝	长三角
普铁	长中游	0.13	0.13	0.22	信息	长中游	0.76	0.72	0.77
高铁		0.13	0.05	0.18	综合		0.61	0.51	0.74

表 2 前十位城市要素流网络空间结构指数

排序	城市	普铁 DI	城市	高铁 DI	城市	信息 DI	城市	综合 DI
1	株洲	5.374	武汉	7.010	武汉	8.315	武汉	6.634
2	郴州	4.511	上饶	6.980	长沙	7.267	长沙	5.596
3	南昌	4.065	长沙	5.834	南昌	4.954	南昌	4.901
4	鹰潭	3.834	南昌	5.727	成都	2.920	上饶	3.592
5	九江	3.387	杭州	5.453	衡阳	2.930	衡阳	2.637
6	金华	3.357	金华	5.223	上饶	2.329	株洲	2.632
7	怀化	3.280	鹰潭	4.154	上海	2.213	上海	2.615
8	衡阳	3.280	贵阳	3.818	九江	2.192	杭州	2.441
9	萍乡	3.187	上海	3.742	株洲	2.187	鹰潭	2.339
10	娄底	3.095	衢州	3.436	张家界	2.176	金华	2.330
	SD	1.189		1.574		1.197		1.092
	SD <sub>bc</sub>	0.112		0.112		0.112		0.112
	SSI	0.047		0.036		0.047		0.051

### 3.3 社区结构

普铁(Q=0.377)和高铁(Q=0.411)网络具有明显的社区结构,信息(Q=0.116)和综合(Q=0.145)网络社区结构不显著(图3)。根据模块度可将普铁网络划分为24个社区,其一为由省内城市组成的相对独立的社区,如社区6主要包括岳阳、益阳、长沙等湖南省内城市;其二为相邻省份城市构成的区域性功能组团,例如社区10主要由安徽、江西与福建省大部组成,这些城市大多为区域性的交通枢纽,中介作用突出,受地理位置的影响大于行政边界;其三为飞地型组团,例如社区11包括黄冈、上饶、衢州等。高铁网络社区结构最明显,可划分为46个社区,不同社区在地理空间上呈不连续分布格局,两极分化严重,大部分社区基

本以一两个城市为主,其中社区 1~8、13~26、28~29、31~46 共 38 个社区均由单一城市组成,总体上并未形成以高铁沿线城市为主导的社区结构,说明高铁线路密度过小导致城市间的联系不足,从而形成众多单一城市组成的社区。相较而言,信息网络社区结构特征最不突出,可划分为 11 个社区,信息网络主要包括 3 个社区,一是以贵阳、张家界为核心的社区 2,包括杭州、宁波、张家界等 26 个城市;二是以赣州、扬州为核心的社区 6,包括淮南、淮北、宿迁等 19 个城市;三是以重庆、武汉为核心的社区 11,包括南京、武汉、重庆等 27 个城市。综合网络社区结构特征与信息网络类似,但其社区数量更少,总共有 7 个社区,主要包括两个社区,一是以普洱一连云港一线周边城市为主的社区 4,主要由川滇湘苏四省 32 个城市组成;二是以长江为轴线的社区 6,主要由川渝鄂苏四省市 27 个城市组成,两个社区城市总量约占整体的 60%。

#### 4 长江中游城市群外向联系网络格局影响因素分析

区域联系网络结构的形成有其内在作用机理和外动力,是多种因素综合作用的结果。城市社会经济发展基础是城市间产生联系的关键,综合发展实力越强的城市对外辐射、吸引能力越强<sup>[34]</sup>;高等级城市具有良好的资源配置能力,在网络中发挥集聚和辐射能力<sup>[35]</sup>;地理距离在城市物理网络中的发挥较大的作用,但在虚拟网络中的影响较小<sup>[36]</sup>;城市功能也会对城市联系产生影响,例如候鸟城市、旅游城市、枢纽城市、门户城市等在网络中的地位突出<sup>[19,37]</sup>,此外,政府政策导向、基础设施建设、发展历史、资源禀赋等均会对城市间的联系产生不同程度的影响<sup>[23,38]</sup>。基于此,本文从城市规模、地理距离、行政等级和城市职能四个方面探讨长江中游城市群对外联系网络格局的影响因素。

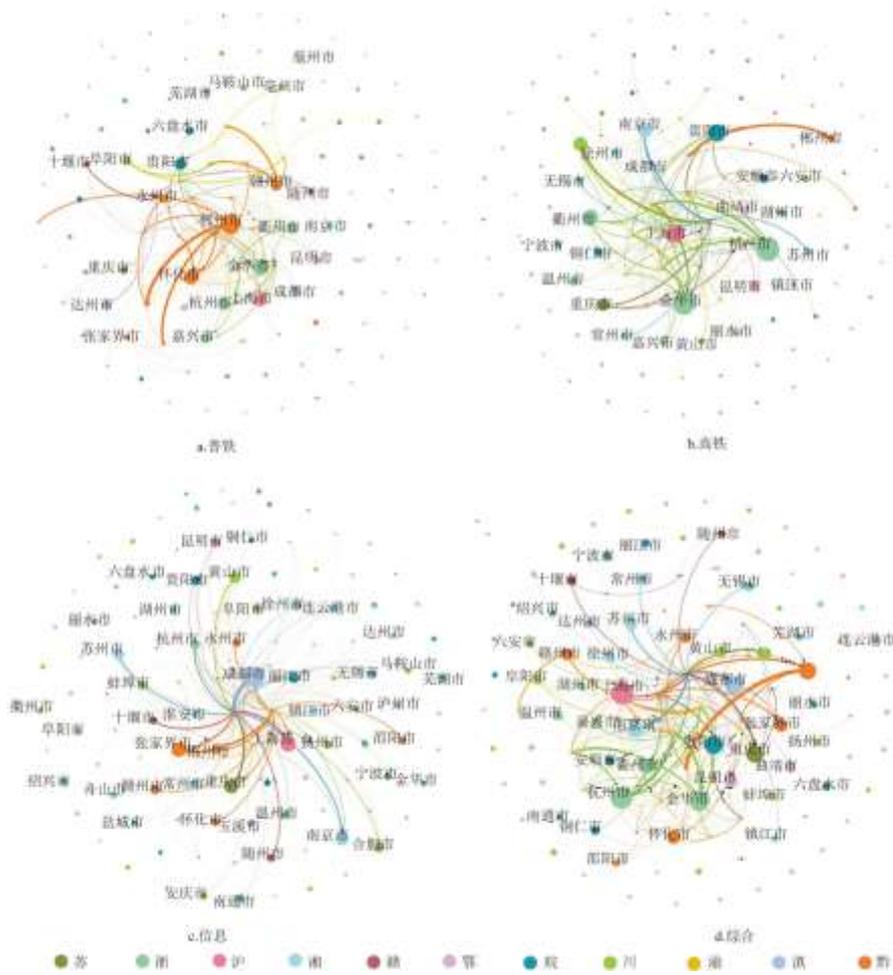


图 2 长江中游城市群多元外向联系网络拓扑结构

注：节点大小与度中性成正相关；边的粗细与交通流和信息流的流量成正相关；节点和线同颜色表示长中游城市群与该城市产生的联系。

#### 4.1 城市规模

经济发达的地区是城市对外联系的首选区域。发达地区在就业条件、收入水平、产业发展等方面具有明显的先发优势，对后进地区具有强大的吸引力，从而能够加强城市间的跨区域联系。通过长江中游城市群对其他城市的联系强度与各城市 2018 年的 GDP 进行 Spearman 相关性分析，结果显示普铁、高铁、信息以及综合网络相关性介于 [0.3, 0.6] 之间，且均通过显著性检验，说明普铁、高铁、信息、综合网络与 GDP 存在较强的相关。此外，人口规模的大小是城市基础设施网络（铁路、公路、信息）联系的重要因素。从相关性分析结果来看（表 5），在各要素网络与人口的相关强度中，信息网络 > 综合网络 > 高铁网络 > 普铁网络，说明信息网络受人口规模影响最大，普铁网络受人口规模影响最小。长三角、成渝城市群是长江经济带经济发展水平高，人口高度集聚的区域，是长江中游城市群外向联系的关键区域，这与花磊等人关于长江经济带人口空间流动的分析结果相吻合<sup>[39]</sup>。

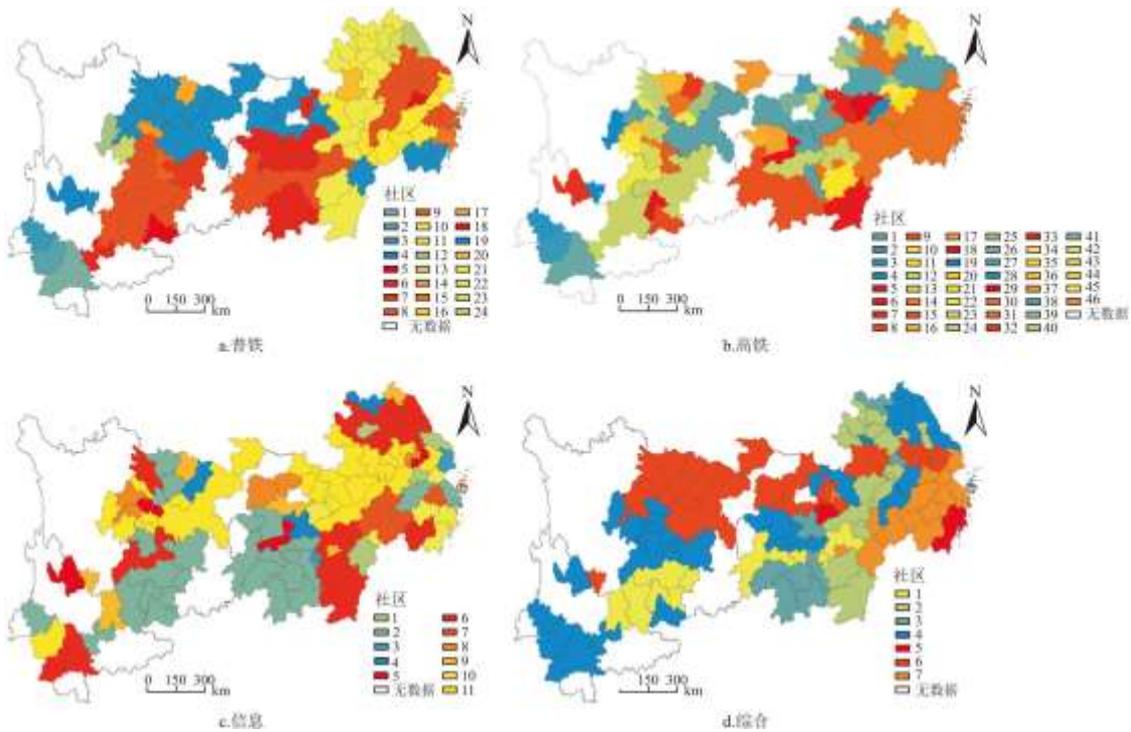


图 3 长江中游城市群多元外向联系网络社区结构

表 5 长江中游城市群外向联系强度与 GDP、人口相关性分析

	人口		经济	
	Spearman 相关系数	显著性(双侧)	Spearman 相关系数	显著性(双侧)
普铁	0.253*	0.027	0.321**	0.005
高铁	0.304**	0.008	0.446**	0.000
信息	0.358**	0.001	0.554**	0.000

综合	0.330**	0.004	0.480**	0.000
----	---------	-------	---------	-------

注：\*\*为在 0.01 水平上显著相关，\*为在 0.05 水平上显著相关。

#### 4.2 地理距离

普铁、高铁、信息、综合网络距离衰减效益明显，但不同要素流网络的衰减程度存在差异。对比联系强度距离分布特征可知(图 4)，普铁、高铁、信息、综合网络距离衰减效益阶段性特征明显，400km 以内普铁分配率最高，400~700km 以内高铁最高，700km 以上信息最高。普铁网络距离约束最强，80%的联系集中在 800km 以内，400~600km 为峰值。高、普铁的变化趋势较为相似，分配率在 500km 以后处于不断下降的趋势，尤其是 800km 后急剧下降，这与王娇娥等人关于多元交通流的地理空间约束研究结果较为吻合<sup>[36]</sup>。相较于普铁和高铁，信息网络能够最大程度地缩小时空约束，其距离衰减效应较弱，整体上 80%的联系集中在 900~1000km 之间，其分配率在 800km 达到最大值。

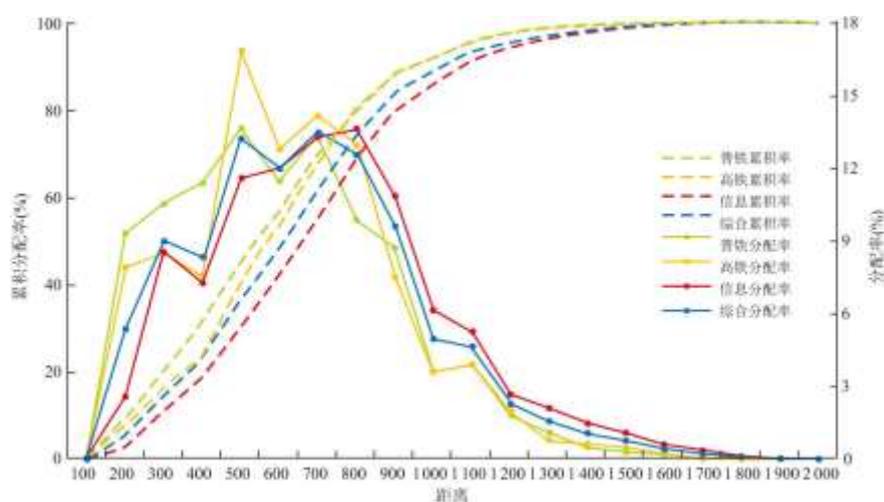


图 4 长江中游城市群外向联系网络的距离分布规律比较

#### 4.3 行政等级

长江经济带中高等级城市集聚效应与规模效益较强，行政等级高，经济腹地广，辐射能力强，基础设施建设更为完善，对外交通联系更加便捷，为区域间的联系提供良好的物质基础。同等级城市之间，经济发展水平、人口规模、基础设施建设等方面差距较小，两者之间难以建立较强的联系。根据上海、南京、杭州、合肥、重庆、成都、昆明、贵阳 2 个直辖市和 6 个省会城市不同要素流的联系总和占有联系总量的比重可知(图 5)，8 位城市在信息、普铁、综合、高铁网络联系总量中的占比分别为 27.4%、27.5%、32.1%、48.8%，高铁受行政等级影响最为明显，以不到 10%的城市却拥有近 50%的联系量，而普铁和信息网络受行政等级影响相对较弱，这与我国高铁、普铁建设布局规律存在一定的联系。

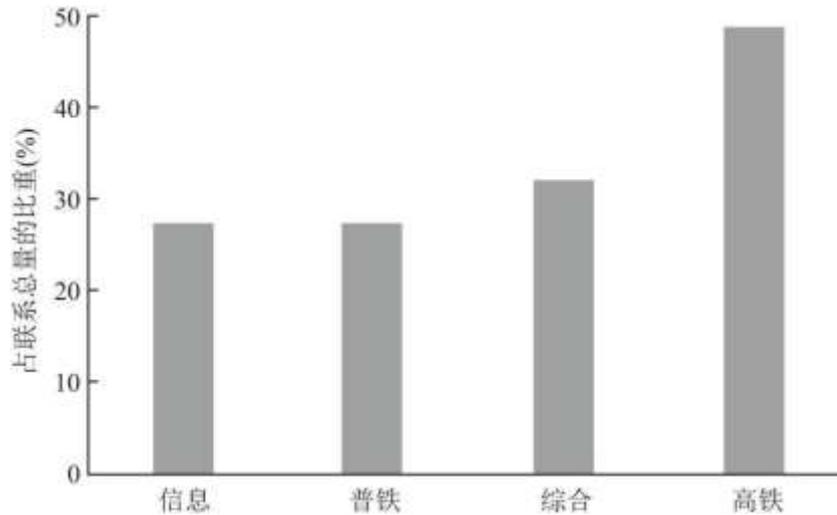


图 5 长江中游城市群外向联系网络的行政等级分布比较

#### 4.4 城市职能

城市在某一方面具有相对优势或者某种特殊的职能在城市间的联系上也能发挥重要的导向作用，具有文化旅游、交通枢纽优势的城市在交通、信息网中具有重要的组织带动作用。例如黄山、张家界、昆明等自然风光秀丽的十佳旅游城市，扬州、南京、苏州等兼具独具特色的民俗文化、璀璨的历史文化的园林城市成为一个热点关注区域，其中黄山、张家界、苏州等城市是长江中游城市群外向联系的重要区域，株洲、郴州、上饶、金华、怀化等由于独特的地理位置，发挥重要的区域性交通枢纽或地方性交通要道的作用，在交通网络中起着不可替代的作用。

## 5 结论与讨论

### 5.1 结论

交通运输网络和信息网络对区域空间联系和区域空间结构的塑造具有重要的作用，基于流空间视角的研究有待进一步深入。本研究对比分析交通流、信息流作用下的长江中游城市群与长江经济带其他城市的地理空间格局、拓扑结构、社区结构。

长江中游城市群多要素外向联系网络空间异质性突出，形态各异。普铁网络距离衰减效应明显，以 400km 以内的城市联系为主，方位指向性突出，形成由京九、京广、沪杭-浙赣-湘黔-贵昆线组成的“π”型空间联系格局，具体表现为以株洲为核心的单核拓扑结构；高铁网络廊道效应显著，形成由沪汉蓉、沪昆高铁为走廊的侧“V”型空间联系格局，由于行政等级和城市规模约束力大，形成以杭州、金华为核心的双核拓扑结构，长三角地区是长江中游城市群主要外向联系区域。信息网络时空压缩效应明显，但受城市规模和城市职能影响较大，形成以武汉、长沙、南昌为核心的放射状空间联系格局，具体表现为以成都为核心的单核拓扑结构，成渝地区发育为长江中游城市群的重点关注区域。综合网络形成与信息网络大致相同的空间联系格局，但拓扑结构差异显著，形成以上海、杭州、成都等中心城市为核心的多核拓扑结构。总体上，长江中游城市群多要素外向联系网络受城市规模与地理距离影响大，行政等级和城市职能也会对其产生重要的作用，其中普铁网络距离衰减效应显著，高铁网络行政等级效应突出，信息网络受城市职能影响更为明显。

长江中游城市群普铁和高铁网络社区结构特征显著 ( $Q > 0.3$ )，信息和综合网络社区不明显 ( $Q < 0.3$ )。高铁网络社区结构特征最突出，可划分为 46 个社区，主要包含 2 个社区，其余社区以单个城市为主，集中分布在大西南、淮北、安徽等地；普铁网络形

成飞地型、周边城市主导型以及区域性功能组团等 3 种社区，共 24 个社区。信息与综合网络未形成明显的社区结构特征，分别可划分为 11、7 个社区。

## 5.2 讨论

长江中游城市群在长江经济带中具有明显的地理位置优势，是沟通长三角与成渝城市群的纽带。在交通与信息流联系网络中，长中游城市群的组织带动作用不突出，并没有发育为承东启西的联系纽带，需要进一步优化空间结构：

构建科学高效的交通网络，打造次级空间扩展通道。高铁、普铁网络社区结构相对明显，但形成“大分散，小集聚”的特点，未在地理空间上形成集中连片式的内部联系密切的社区。区域内目前形成沪汉蓉、沪昆高铁为主轴的区域连接通道，但区域内需要培育一批次级交通轴连接主轴，形成层次有序的交通网络，促进资本、信息、人才等资源向低等级城市扩散。主要包括：建设长中游与长三角之间的东西向延伸的高铁主线，重点推进合肥-长沙、武汉-杭州、南昌-南京主线建设。强化昌九、武广、昌赣等沟通南北的重要发展轴，加强南北向城市之间的联系，将武汉、南昌、和长沙纳入沪昆、汉沪蓉高铁的辐射圈，延伸主线的辐射范围，弥补核心城市之间的联系空白。着实推动西部构建川滇黔、滇中、渝昆、渝贵等等系列轴线建设，促进形成以重庆、成都的核心，依托其核心交通枢纽的优势，形成一主线多支线的连通型交通网络，提升长中游的西向可达性。

科学规划与合理定位，打造与经济、人口等相适应的多层级城市。目前长中游城市群对外联系网络单极化发展特征突出，呈现明显的缺位型金字塔结构。首先需要加强武汉、长沙、南昌、昆明、贵阳等区域性中心城市建设，增强其集聚与扩散能力，发挥区域增长极的组织带动作用；其次重点推动如上饶、怀化、阜阳等次级区域功能性城市建设，尤其是省域交界地带的交通枢纽型城市建设，增强区际间的人员、物资、资金等方面的来往，以此提高区际联系水平；最后促进黔中、川西、湘西、鄂西、赣南苏区、苏北、皖南等低等级城镇群的发展，这些城镇群主要位于欠发达或边缘地区，但潜在增长不容小觑，能够充分发挥比较优势，通过利用周边自然环境与社会经济资源以及政策优势成长为新的区域增长极，带动周边城市发展。最终形成点、线、面相互交织融合的发展格局。

## 参考文献：

[1]刘卫东.经济地理学思维[M].北京：科学出版社，2013.

[2]TAYLOR P J,HOYLER M,VERBRUGGEN R.External urban relational process:Introducing central flow theory to complement central place theory[J].Urban Studies,2010,47(13):2803-2818.

[3]王钊，杨山，龚富华，等.基于城市流空间的城市群变形结构识别——以长江三角洲城市群为例[J].地理科学，2017,37(9):1337-1344.

[4]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.

[5]CASTELLS M.Globalization,networking,urbanization:Reflections on the spatial dynamics of the information age[J].Urban Studies,2010,47(13):2737-2745.

[6]MAHUTGA M C,MA X,SMITH D A,et al.Economic globalisation and the structure of the world city system:The case of airline passenger data[J].Urban Studies,2010,47(13):1925-1947.

[7]王聪，曹有挥，宋伟轩，等.生产性服务业视角下的城市网络构建研究进展[J].地理科学进展，2013,32(7):1051-1059.

- 
- [8]钟业喜,傅钰,朱治州,等.基于母子企业联系的上市公司网络结构研究——以长江中游城市群为例[J].长江流域资源与环境,2018,27(8):1725-1734.
- [9]CASTELLS M.The new public sphere:Global civil society,communication networks and global governance[J].Annals of the American Academy of Political and Social Science,2008,616(1):78-93.
- [10]王海江,苗长虹,牛海鹏,等.中国中心城市公路客运联系及其空间格局[J].地理研究,2016,35(4):745-756.
- [11]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[J].地理学报,2017,72(2):224-241.
- [12]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[J].地理学报,2016,71(2):265-280.
- [13]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[J].地理科学,2018,38(9):1430-1438.
- [14]MATSUMOTO H.International urban systems and air passenger and cargo flows:Some calculations [J].Journal of Air Transport Management,2004(10):239-247.
- [15]WANG HAN,KILMARTIN L.Comparing rural and urban social and economic behavior in Uganda:Insights from mobile voice service usage[M].Journal of Urban Technology,2014,21(2):61-89.
- [16]顾秋实,张海平,陈旻,等.基于手机信令数据的南京市旅游客源地网络层级结构及区域分异研究[J].地理科学,2019,39(11):1739-1748.
- [17]YANG HAORAN,DOBRUSZKES F,WANG J E,et al.Comparing China's urban systems in high-speed railway and airline networks [J].Journal of Transport Geography,2018,68:233-244.
- [18]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[J].地理研究,2015,34(11):2073-2083.
- [19]熊丽芳,甄峰,王波,等.基于百度指数的长三角核心区城市网络特征研究[J].经济地理,2013,33(7):67-73.
- [20]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[J].地理学报,2012,67(8):1031~043.
- [21]李雪铭,刘贺,田深,等.东北三省城市人居活动网络结构及影响因素分析——基于百度贴吧分析[J].地理科学进展,2019,38(11):1726-1734.
- [22]叶磊,段学军,欧向军.基于交通信息流的江苏省流空间网络结构研究[J].地理科学,2015,35(10):1230-1237.
- [23]马丽亚,修春亮,冯兴华.多元流视角下东北城市网络特征分析[J].经济地理,2019,39(8):51-58.
- [24]邱坚坚,刘毅华,陈浩然,等.流空间视角下的粤港澳大湾区空间网络格局——基于信息流与交通流的对比分析[J].经

---

济地理, 2019, 39(6):7-15.

[25]钟业喜, 吴思雨, 冯兴华, 等. 多元流空间视角下长江中游城市群网络结构特征[J]. 江西师范大学(社会哲学版), 2020, 53(2):47-55.

[26]刘传明, 曾菊新. 县域综合交通可达性测度及其与经济发展水平的关系——对湖北省 79 个县域的定量分析[J]. 地理研究, 2011, 30(12):2209-2221.

[27]黄晓燕, 曹小曙, 李涛. 海南省区域交通优势度与经济发展关系[J]. 地理研究, 2011, 30(6):985~999.

[28]程钰, 刘雷, 任建兰, 等. 县域综合交通可达性与经济发展水平测度及空间格局研究——对山东省 91 个县域的定量分析[J]. 地理科学, 2013, 33(9):1058-1065.

[29]TINDALL D B, WELLMAN B. Canada as social structure: Social network analysis and Canadian sociology [J]. Canadian Journal of Sociology, 2001, 26(3):265-308.

[30]钟业喜, 冯兴华, 文玉钊. 长江经济带经济网络结构演变及其驱动机制研究[J]. 地理科学, 2016, 36(1):10-19.

[31]HANSSENS H, DERUDDER B, WITLOX S V A F. Assessing the functional polycentricity of the Mega-city-region of central Belgium based on advanced producer service transaction Links[J]. Regional Studies, 2013, 48(12):1939-1953.

[32]陈娱, 许珺. 考虑地理距离的复杂网络社区挖掘算法[J]. 地球信息科学学报, 2013, 15(3):338-344.

[33]NEWMAN M E. Analysis of weighted networks[J]. Physical Review E, 2004, 70(5):056131.

[34]程利莎, 王士君, 杨冉. 基于交通与信息流的哈长城市群空间网络结构[J]. 经济地理, 2017, 37(5):74-80.

[35]唐锦, 张维阳, 王逸飞. 长三角城际日常人口移动网络的格局与影响机制[J]. 地理研究, 2020, 39(5):1166-1181.

[36]王姣娥, 杜德林, 金凤君. 多元交通流视角下的空间级联系比较与地理空间约束[J]. 地理学报, 2019, 74(12):2482-2494.

[37]冯章献, 张瑜, 魏冶, 等. 基于百度迁徙数据的长春市春运人口流动时空格局与动力机制[J]. 经济地理, 2019, 39(5):101-109.

[38]安俞静, 刘静玉, 乔墩墩. 中原城市群城市空间联系网络格局分析——基于综合交通信息流[J]. 地理科学, 2019, 39(12):1929-1937.

[39]花磊, 彭宏杰, 杨秀锋, 等. 基于腾讯位置大数据的长江经济带人口流动空间分析[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2019, 53(5):815-820.