

中原城市群城市网络的演进及协同关系研究

沈炜怡

浙江理工大学经济管理学院, 浙江 杭州

收稿日期: 2023年9月20日; 录用日期: 2023年12月1日; 发布日期: 2023年12月11日

摘要

依赖于人口移动、交通连接、资本流动、技术和资金流动等多种连接形式形成的城市网络对社会经济发展至关重要。文章基于引力模型和社会网络分析方法, 借助ArcGIS软件对网络格局进行了可视化, 分析了中原城市群2010~2019年的经济联系网络和高铁网络变化特征, 并进一步检验二者间的相互关系。研究发现: 城市间经济联系强度随着时间的变化逐渐增强, 形成了以郑州为核心的发散状网络; 高铁网络的网络密度不断提高, 网络连通度不断上升, 网络结构逐步趋于复杂化, 形成以“郑州、开封、洛阳和许昌”为核心区域的“米”字形高铁网络。QAP检验方法验证了中原城市群的经济联系网络高铁网络间的正向相关关系, 两者间具有相互推动的作用。

关键词

中原城市群, 经济联系网络, 高铁网络, 引力模型, 社会网络分析方法

Research on the Evolution and Synergy Relationship of Urban Network in the Central Plains Urban Agglomeration

Weiye Shen

School of Economics and Management, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou Zhejiang

Received: Sep. 20th, 2023; accepted: Dec. 1st, 2023; published: Dec. 11th, 2023

Abstract

Urban networks that rely on multiple forms of connectivity such as population movement, transport connectivity, capital flows, technology and capital flows are essential for socio-economic development. Based on the gravitational model and social network analysis method, this pa-

per visualizes the network pattern with the help of ArcGIS, analyzes the changes of economic connection network and high-speed rail network in the Central Plains urban agglomeration from 2010 to 2019, and further examines the interaction between the two. It is found that the intensity of economic connections between cities gradually increases with time, forming a divergent network with Zhengzhou as the core. The network density of the high-speed rail network continues to increase, the network connectivity continues to rise, and the network structure gradually tends to become more complex, forming a high-speed rail network with “Zhengzhou, Kaifeng, Luoyang and Xuchang” as the core area in the shape of “meter”. The QAP test method verifies the positive correlation between the high-speed rail network of the economic connection network of the Central Plains Urban Agglomeration, and the two have a mutually promoting effect.

Keywords

Central Plains Urban Agglomeration, Economic Connection Network, High-Speed Rail Network, Gravitational Model, Social Network Analysis Method

Copyright © 2023 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

交通是兴国之要，强国之基，党的二十大报告进一步强调要加快交通强国建设的步伐[1]，其对于城市网络的形成具有重要作用。交通基础设施作为区域经济与社会活动的重要桥梁，是经济格局演变的重要影响因素，也是促进区域经济协调发展的重要驱动力。尤其是自 2009 年以来快速发展的高速铁路，对中原城市群乃至全国的城市网络进行了快速、大规模的重塑[2]。

随着城市网络研究的发展，学者们的研究方向逐渐由城市规模等级转向不同的“流空间”视角下的城市网络结构研究。如通过公路[3]、铁路[4]和航班[5]的客运数据代表城市之间的交通联系网络，通过百度指数[6] [7]、微博签到[8] [9]和互联网基础设施建设数据[10]表征城市间的信息网络，也有采用 A 股上市公司的总部与子公司信息[11] [12]构建空间经济网络。主要使用的方法包括引力模型[13] [14]或者修正后的引力模型[15] [16]、社会网络分析方法[17] [18]以及多极网络空间组织识别分析方法[19] [20]等对区域城市网络的层级结构、密度和规模以及组织模式进行分析探讨。

在城市间的各种联系呈现出网络化发展的背景下，选取中原城市群 30 个城市为研究对象，利用引力模型和 ArcGIS 可视化软件考察中原城市群的经济联系网络变化；利用 2010~2019 年的高铁列车数据建立高铁网络，进一步使用社会网络分析方法分析网络的演变特征，并借助 QAP 方法检验两者网络间的相互关系，为加快中部崛起和中原城市群的科学发展提供支持。

2. 研究区域与数据来源、研究方法

2.1. 研究区域

依据 2016 年国务院批复的《中原城市群发展规划》，中原城市群涵盖了豫、皖、冀、鲁、晋 5 省 30 个地级市，具体包括河南省 18 座城市，安徽省的亳州、宿州、阜阳、淮北、蚌埠，河北省的邯郸、邢台，山东省的菏泽、聊城，山西省的晋城、长治和运城。

2.2. 数据来源及处理

数据主要来自《中国城市统计年鉴》及 5 省的统计年鉴及部分辖市的统计年鉴和统计公报。高铁数据来自全国铁路列车时刻表, 由于数据可得性缺少 2013 年的高铁数据。数据处理的具体做法如下: 首先, 根据列车种类, 从《全国铁路列车时刻表》中收集高速铁路、城际铁路和动车的列车班次信息。其次以 30 个城市的高铁站点为基本研究单元, 确认中原城市群内运行的列车班次, 并对一个城市拥有的多个高铁站点做合并处理, 即对只在城市内部通车而不与其他城市通行的列车班次作剔除处理, 得到不同城市间的列车班次。最后以列车的行驶方向依次计算两两城市间列车频次。

2.3. 研究方法

2.3.1. 引力模型

通常用有牛顿万有引力公式衍生而来的引力模型来测度两个区域间的经济相互作用力的大小。本文将利用引力模型来计算得到城市间的经济联系强度值。基础的引力模型将两个地区之间的经济联系强度表达为:

$$R_{ij} = k_{ij} \frac{\sqrt{P_i G_i} \cdot \sqrt{P_j G_j}}{D_{ij}^c} \quad (1)$$

式中, R_{ij} 为地区间的经济吸引力; k_{ij} 为引力系数, 通常取 1; c 为距离衰减指数, 表示城市间的经济相互作用的大小随距离的衰减, 其取值为 2 [21]; P 、 G 分别为人口指标和经济指标, D_{ij} 为两地区间的距离。但王欣等人的研究指出该表达式中的人口指标几乎不起作用[22], 因此可将引力模型简化为:

$$R_{ij} = \frac{G_i \cdot G_j}{D_{ij}^2} \quad (2)$$

2.3.2. 社会网络分析方法

测度指标为社会网络分析方法中的节点度、网络密度、网络连通度和网络规模。节点度表示与该节点直接相连的边的数目, 节点的度值越大节点越重要。中原城市群的空间经济网络中城市 i 与城市 j 之间联系总数为 $N_D(it)$, 计算式为:

$$N_D(i) = \sum_{j=1}^n K_{ij} \quad (3)$$

式中, $\sum_{j=1}^n K_{ij}$ 表示城市 i 与 j 之间的联系数。

网络密度刻画了包含 a 个节点网络的密度, 用节点在网络中实际存在的边数除以最大可能边数, 密度越大则表示网络中节点间的连接越紧密, 网络等级越高, 计算式为:

$$D_a = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{K_{ij}}{a(a-1)}, (i \neq j) \quad (4)$$

式中, a 为网络中城市节点的数量, 分母表示该节点的最大连边数(不包含与本身相连)。

网络连通度刻画出当节点之间存在重复联系时所有节点间联系紧密程度, 计算式为:

$$T = \frac{K}{a} \quad (5)$$

式中, K 为网络中联系的总数目, 即所有边的和。网络连通度越大说明节点之间的联系越紧密。

3. 中原城市群网络分析

3.1. 整体网络特征分析

基于上述引力模型的研究方法计算出 30 个城市间的经济联系强度值, 利用 ArcGIS 软件中的 XY 转线工具将其可视化, 同时运用自然段裂法按照值的大小划分为 5 个层级。得到的中原城市群 2010~2019 年城市间的经济联系网络图(图 1)和 2019 年经济联系强度层级图(图 2)。

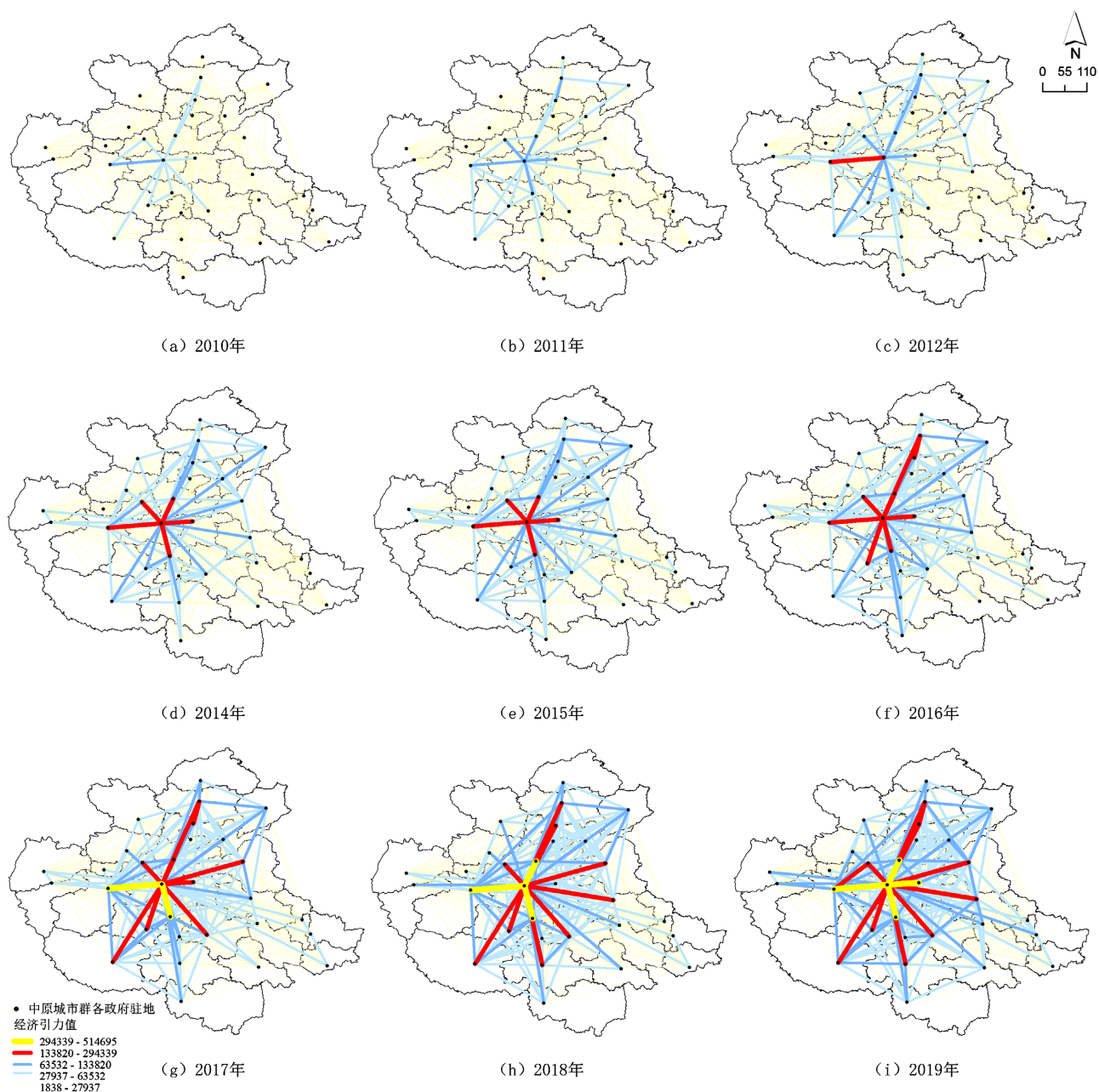


Figure 1. Economic nexus network chart 2010~2019

图 1. 2010~2019 年经济联系网络图

可以看到, 中原城市群的经济联系网络的联系强度随着时间的变化逐年明显增强, 表现出以郑州为核

心的发散状。传统的中心城市郑州在网络中占据重要位置，与周边城市的联系密切，对于其他城市具有带动作用，并且有明显的距离衰减效应，从而形成辐射圈。其次洛阳、许昌和开封等城市的网络地位逐渐提升，在中原城市群的经济联系网络中扮演着不可或缺的角色。中原城市群东部地区的经济联系更紧密，联系密而多，西部地区城市间的经济联系强度还有待提高。

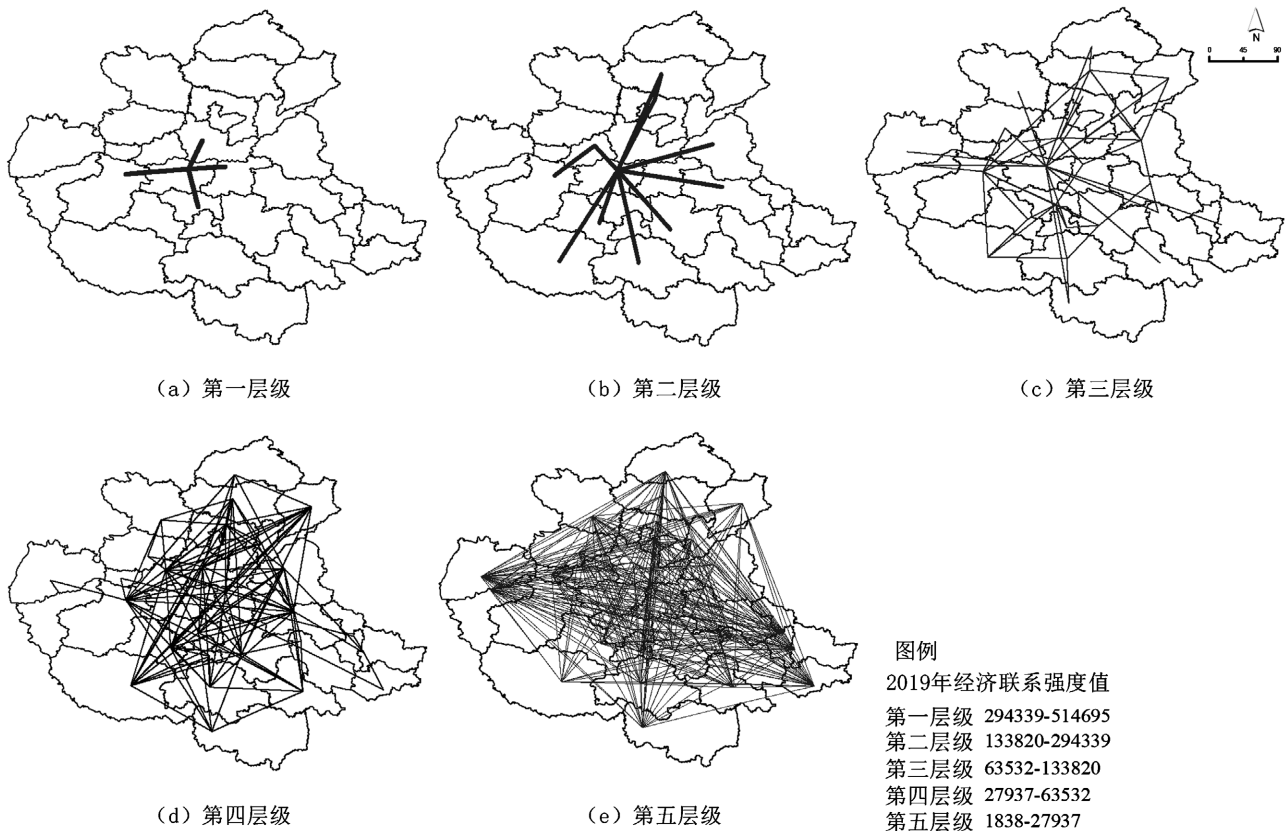


Figure 2. 2019 Economic nexus network hierarchy
图 2. 2019 年经济联系网络层级图

对 2019 年的经济联系网络做进一步分析，根据经济联系强度值划分出的第一层级城市为郑州、开封、许昌和洛阳，这四者间的经济联系更加紧密，形成了以郑州为核心的高联系强度区域，在整个中原城市群资源的组织和整合中占据重要位置，其组织和整合效率、模式以及传输的方向都会影响到中原城市群其他层级城市的发展。

中原城市群经济联系强度的第二层级网络同样表现出以郑州为中心的较高联系强度特征。主要集中在京广铁路沿线，尤其是邯郸、安阳、新乡和驻马店，与第二层级的其他城市相比具有更紧密的联系。

中原城市群经济联系强度的第三层级网络开始表现出低密度的复杂网络，并不完全以郑州为核心，例如洛阳和许昌的位置开始显现出来，形成了以洛阳、许昌为中心的小范围网络。

中原城市群经济联系强度的第四层级网络在第三层级网络的基础上进一步细化，是整个城市网络的“毛细血管”，打通了处于边缘位置的城市，各城市节点之间形成了相互作用的复杂网络形态。尽管中原城市群的西部地区的联系依然较为稀疏，但相较于前三个层级网络，其相互联络的范围得到进一步扩大。

最后，通过自然断裂法划分的经济联系强度层级网络具有弱联系占据了大多数城市的这一特点，因为划分方法遵循了组间差异大、组内差异小的原则。第五层级网络的联系较弱，但其覆盖范围非常广，

该层级的密度显著高于其他四个层级，主要加强了边缘节点城市与内部其他城市的联系，形成了弱关联的底层复杂网络，尤其增强了蚌埠、运城、三门峡、邢台和信阳与其他城市节点的联系。

综合看来，中原城市群的整体网络具有以郑州、洛阳、开封和许昌为核心的特征，这四个核心城市对于其他城市具有很强的辐射带动作用。按照经济联系强度值划分的层级图中，前三个层级密度都不高，均是以郑州为中心的发散型网络，并且由于距离衰减的影响，距离郑州越远城市间的联系就越弱。而第四、五层级网络的密度较高，承担着中原城市群大多数城市节点间的联系，是整个城市网络的“基石”。

3.2. 网络结构分析

利用社会网络分析法对中原城市群高速铁路网络进行分析，并借助 ArcGIS 软件可视化网络。其中社会网络化指标由 Gephi 软件计算得到。

从图 3 高铁列车频次的网络图可以看出列车运行主要集中在京广高铁和徐兰高铁的“十”字形区域上，以及由郑焦城际铁路、郑渝高铁(郑襄段)和郑阜高铁划下了中原城市群“米”字形高铁网络的“点”、“撇”和“捺”，“米”字形网络从纸上蓝图变为地上通途企踵可待。从网络的分布特征来看，中原城市群的西北和东北方向的高铁联系较少，例如濮阳、菏泽等城市的高铁还在建设中。

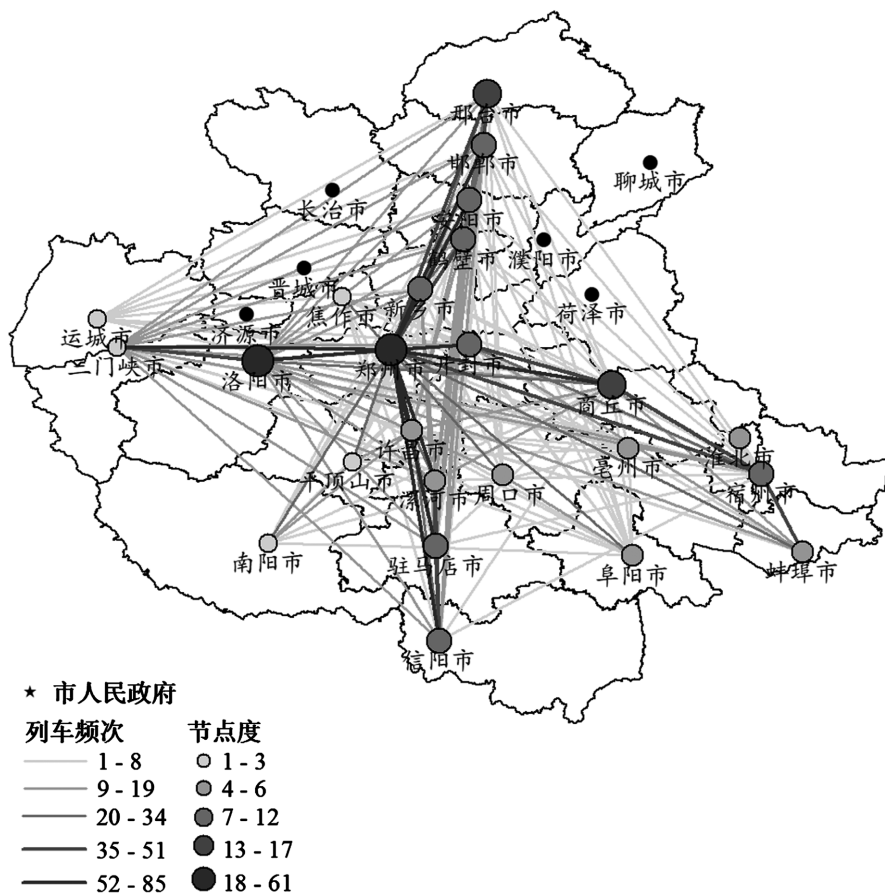


Figure 3. High-speed rail network diagram in 2019

图 3. 2019 年高铁网络图

在城市网络中，网络规模、网络密度和网络连通度反映城市节点的数量、节点间的相互影响以及节点间的联系紧密程度，越大表示节点之间的关系越紧密。为了 2019 年的高铁网络更具有可比性，加入

2010年郑西高铁正式进入高铁时代后的高铁网络进行比较。以下是用 Gephi 软件计算的 2010~2019 年(缺少 2013 年数据)网络规模、网络密度和网络连通度的结果。

由表 1 可看到以下几点: 第一, 中原城市群网络规模不断扩大, 由 2010 年的 14 增大到 2019 年的 24, 即 2019 年的高铁网络由 24 个城市节点组成, 目前覆盖范围还不够大, 仍有濮阳、长治、聊城等 6 个节点未加入。值得注意的是, 2010~2017 年的网络规模总体没有太大变化, 意味着新节点的加入较少, 城市间的高铁联系建立还较慢。如山西省的长治、晋城和运城, 尽管运城在 2014 年已有高铁站, 但直到 2019 年才以新节点的身份加入中原城市群的高铁网络中。

Table 1. Network density, network scale and network connectivity of high-speed rail networks from 2010 to 2019
表 1. 2010~2019 年高铁网络的网络密度、网络规模和网络连通度

指标\年份	2010	2011	2012	2014	2015	2016	2017	2018	2019
网络密度	0.087	0.106	0.136	0.179	0.183	0.264	0.264	0.268	0.386
网络规模	14	15	15	16	17	17	17	18	24
网络连通度	10.86	12.27	15.73	19.50	18.71	27.06	27.06	25.89	28.00

第二, 网络联系总数和网络密度不断增大, 2010 年的网络联系总数和网络密度仅为 152 和 0.087, 城市之间的联系较少且松散; 到 2014 年网络联系总数和网络密度增加为 312 和 0.179, 洛阳、三门峡、邢台等节点度高的城市数量增多, 同时不断有宿州、蚌埠、平顶山等新节点的加入; 而 2019 年中原城市群空间经济网络联系更加紧密, 网络联系总数和网络密度分别达到 672 和 0.386, 相较于 2018 年分别增加了 44.21% 和 44.03%, 仅 2019 年就有 6 个新节点的加入, 使得中原城市群高铁网络等级明显提高。

第三, 网络连通度的增大趋势最为明显。2010 年、2014 年和 2019 年分别为 10.86、19.50 和 28.00, 相较于 2010 年分别增长了 1.80 倍和 1.44 倍, 网络连通性的提高表明节点间连接越来越紧密。2015~2016 年的网络连通度明显增长, 主要由于徐兰高铁(郑徐段)的开通, 使得旧节点间的联系大幅增加, 东部城市间的连通性明显增强, 如开封的节点度由 2015 年的 0.375 增加到 0.938, 三门峡由 0.75 增加到 0.938。

总体上看, 中原城市群高铁网络以“郑州、开封、洛阳和许昌”为核心区域, 具有明显的“米”字形网络的发展态势, 但受省际差异的影响较为明显, 还需要加强山西省长治和晋城的高铁建设, 使中原城市群的高铁网络更加完善。

4. 经济联系网络与高铁网络的协同关系分析

为进一步考察经济联系网络和高铁网络两者之间的协同关系, 本文将借助 UCINET 中的 QAP 工具对这两者之间的相关性进行检验。

经济联系网络与高铁网络的 QAP 相关分析

QAP 分析方法(Quadratic Assignment Procedure), 也称二次指派程序, 是可以对两个或多个方阵中对应的各个元素值进行比较的方法, 在社会网络分析中已经被广泛运用, 也逐渐被引入到经济研究领域。为对经济联系网络和高铁网络之间的相互作用关系进行定性分析, 利用 QAP 方法的检验结果见下表 2。

Table 2. QAP correlation analysis of economic nexus network and high-speed rail network

表 2. 经济联系网络与高铁网络的 QAP 相关分析

指标\年份	Obs Value	Significa	Average	Std Dev	Minimum	Maximum	Prop ≥ 0	Prop ≤ 0
Pearson Correlation	0.617	0.000	0.001	0.105	-0.185	0.547	0.000	1.000

“Obs Value”是两个矩阵实际的相关系数,可知经济联系网络和高铁网络两个矩阵之间是正向相关关系,系数为0.617,并且在统计意义通过显著性检验,说明两者彼此之间具有正向的促进作用。中原城市群高铁网络的建设不仅能在投资、产业和就业等直接效应方面增强城市间的经济联系,并在间接效应方面上缩短时空距离促进区域间的互动交流。同样地,经济联系的强弱对于高铁建设的重要性也不言而喻。

5. 结论与启示

通过对中原城市群经济联系网络和高铁网络的时空演进特征进行了分析,并检验了两者间的相互关系,得到以下结论。2010~2019年间的经济联系网络和高铁网络各自展现出不同的网络格局,城市间的经济联系强度增强,联系密度越来越紧密;高铁网络的网络格局越来越复杂和完善,2019年“米”字形的高铁网络已具雏形。在区域一体化和区域协调发展的背景下,非传统中心城市地位不断得到提升。例如,经济联系网络以郑州、洛阳、开封、新乡和许昌为中心区域,而高铁网络则以郑州、洛阳、开封、许昌为核心区域,并且从这两种网络来看,中原城市群的西部地区在经济联系和高铁建设上相较东部地区较弱。进一步的相互关系检验发现经济联系网络与高铁网络之间具有互相推动的作用。

针对本文得到的研究结论,提出以下几点建议:第一,充分发挥郑州、洛阳、开封和许昌的重要作用以提升对其他城市的辐射带动作用。包括制定联合中原城市群边缘城市的高铁建设计划,以更好地推动城市间的融合发展。第二,由于经济联系网络和高铁网络之间具有明显的正向关联,充分利用高铁网络为经济联系网络带来的正向效应以优化城市经济结构。另一方面,依托中原城市群的“米”字形高铁,增强沿线城市的辐射带动能力,促进大中小城市间的合理分工、联动发展。第三,拓展郑州的交通枢纽功能,持续完善其公路、铁路和航空功能,同时也促进与其他城市建设为布局合理的现代交通枢纽体系,如把开封、许昌等提升为区域性枢纽,邯郸、三门峡等提升为地区性枢纽。

参考文献

- [1] 张振,陈思锦.加快推进交通强国建设构建现代综合交通运输体系[J].中国经贸导刊,2022(2):23-30.
- [2] 王姣娥,焦敬娟,金凤君.高速铁路对中国城市空间相互作用强度的影响[J].地理学报,2014,69(12):1833-1846.
- [3] 柯文前,陈伟,陆玉麒,俞肇元,杨青.基于高速公路流的江苏省城市网络空间结构与演化特征[J].地理科学,2019,39(3):405-414.
- [4] 张宇,曹卫东,梁双波,任亚文.中国春运城际出行网络结构特征与城市角色识别——基于多元交通客流的测度[J].地理研究,2021,40(9):2526-2541.
- [5] 张婷婷,陈瑛,王孟林.基于航空联系的中国城市网络格局演变分析[J].世界地理研究,2022,31(1):166-176.
- [6] 宗会明,郝灵莎,戴技才.基于百度指数的成渝地区双城经济圈城市网络结构研究[J].西南大学学报(自然科学版),2022,44(1):36-45.
- [7] 王启轩,张艺帅,程遥.信息流视角下长三角城市群空间组织辨析及其规划启示——基于百度指数的城市网络辨析[J].城市规划学刊,2018(3):105-112.
- [8] 龚朴一,杨家文.基于微博大数据的中国城市群空间结构研究[J].城市发展研究,2020,27(6):1-8+61+181.
- [9] 吴炫,杨家文.流动量与关注度视角下的城市网络结构——以广州、深圳为例[J].地理科学进展,2019,38(12):1843-1853.
- [10] 白永亮,陈楚运.长江经济带空间网络结构重塑:交通与信息的功能差异与联合作用[J].华中师范大学学报(自然科学版),2019,53(5):658-670.
- [11] 覃成林,唐雅岚.长江经济带多极网络空间发展格局研究——“经济网络-多增长极-共生关系”分析框架的构建与应用[J].西部论坛,2022,32(1):1-15.
- [12] 覃成林,樊双涛.黄河流域空间发展格局演进特征及优化研究[J].经济问题,2021(9):104-110.

- [13] 李福柱, 苗青. 黄河流域城市生态保护与经济高质量发展耦合的空间网络特征[J]. 统计与决策, 2022, 38(5): 80-84.
- [14] 陈小宁, 白永平, 宋龙军, 高祖桥. 黄河流域中上游四大城市群经济联系和网络结构比较分析[J]. 地域研究与开发, 2021, 40(4): 18-23.
- [15] 徐长乐, 吴梦. 基于修正引力模型的成渝城市群空间联系分析[J]. 管理现代化, 2018, 38(3): 85-87.
- [16] 相雪梅. 省内城市间经济关联结构研究——基于引力模型中 K_{ij} 的修正[J]. 技术经济, 2020, 39(10): 128-137.
- [17] 王鹏, 钟敏. 粤港澳大湾区创新网络与城市经济韧性[J]. 华南师范大学学报(社会科学版), 2021(6): 38-55+205-206.
- [18] 郑航, 叶阿忠. 空间关联网结构特征的减排效应: 基于城市群视角[J]. 环境科学, 2022, 43(10): 4401-4407.
- [19] 覃成林, 韩美洁. 中国区域经济多极网络空间发展格局分析[J]. 区域经济评论, 2022(2): 16-22.
- [20] 贾善铭, 王亚丽, 位晓琳. 粤港澳大湾区多极增长格局下广州交通发展对策的思考[J]. 城市观察, 2019(1): 19-26.
- [21] 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(1): 1-12.
- [22] 王欣, 吴殿廷, 王红强. 城市间经济联系的定量计算[J]. 城市发展研究, 2006(3): 55-59.