

基于多维要素流视角的城市群

网络结构及影响因素分析

——以武汉城市圈为例

王逸舟¹ 王海军^{1, 2} 张彬¹ 黄鑫鑫¹¹

(1. 武汉大学 资源与环境科学学院, 中国湖北 武汉 430079;

2. 武汉大学 教育部地理信息系统重点实验室, 中国湖北 武汉 430079)

【摘要】：基于多维要素流视角，以武汉城市圈9个城市为研究区域，从节点、层级、子网络三个方面对经济、人口、交通、信息等网络的空间结构进行刻画，并进行多维网络对比分析，用企业水平差异、文化节点性差异、平均时间距离差异、人均GDP差异、行业结构差异等五个影响因子构建多重网络关系回归模型，剖析多重网络影响因素。研究表明：①武汉城市圈可划分为三级联系片区，武汉、鄂州分别为主副中心，黄石、孝感、黄冈三市为集聚—辐射中心片区，其余城市为次级核心城市。②多维网络之间的相似性排序为经济网络—信息网络>经济网络—人口网络>人口网络—信息网络>经济网络—交通网络>人口网络—交通网络>交通网络—信息网络，经济网络与其余各类网络之间的相似性最高。③交通效率及企业发展水平是使多维网络产生相似性的主要因素，而经济发展水平、文化关系、产业分工影响因素是多维网络产生差异性的主要因素，其中文化关系影响最薄弱，交通效率因素影响最强。

【关键词】：城市网络 多维要素流 经济发展水平 交通

【中图分类号】：F291.1 **【文献标志码】**：A **【文章编号】**：1000-8462 (2021) 06-0068 - 09

城市群空间结构深刻影响城市群发展^[1]，也是近代经济地理学、区域经济学、城市规划学等学科研究的重要热点之一。伴随着城镇化进程的推进，城市间物质流、人口流、信息流、资金流等要素流动也正进一步加快，城市间联系更为复杂和密切^[2]，城市群空间组织形式逐步演化为以网络化模式为主导^[3]。城市网络研究对城市群空间结构研究及城市群发展规划等具有重大意义。

城市网络这一概念源于流动空间理论和地方空间理论整合，Batten、Taylor 等先后指出城市网络具有节点性和流动性的特征，并指出该概念考虑了城市间的水平联系，是对传统等级模式的补充和发展^[4-5]。1980年代以来，国外学者开展了大量城市网络实证研究。Smith 使用航空流数据分析考察城市联系^[6]，Baverstock 利用人口移动数据对城市网络进行探索^[7]，还有学者利

¹**基金项目**：国家自然科学基金面上项目 (41571384)

作者简介：王逸舟 (1997-)，女，湖南长沙人，硕士，研究方向为城市网络、城市流等。E-mail: wyz970117@yahoo.com

王海军 (1972-)，男，陕西凤翔人，博士，教授，研究方向为地理模拟、国土空间规划和土地资源评价等。E-mail:

landgiswhj@163.com

用企业总部—分支机构数据、地区研发合作机制等反映城市网络关系^[8-9]。国内早期相关研究，主要采用 GDP、人口数量、从业规模等静态属性数据，使用重力模型及其改进模型等方法刻画城市间经济网络^[10]。随着动态数据的挖掘，国内学者开始用社会网络分析工具和复杂网络理论研究企业总部分支机构反映的城市网络^[11]、交通基础设施形成的城市网络^[12]等，近年随着大数据的发展，基于各类网络开源数据的信息网络也进入学者视野^[13]。研究内容从网络结构剖析扩展至网络时空动态演化、驱动机制与影响因素分析、城市间网络对比等方面^[14]。

综上，可发现已有城市网络研究包括企业联系、基础设施、人口流动、信息交流等多个视角，但目前的城市网络研究多从单个维度出发，使用单一关系型数据来研究单维网络结构，难以全面反映城市群内复杂的网络联系。此外，与之对应的城市网络结构的驱动力和影响因素分析也多从单维网络视角出发，缺乏对多维网络影响因素的综合描述，更有多维网络影响因素对比分析。基于此，本文提出多维要素流视角下的城市群网络结构分析，以武汉城市圈为研究区域，利用包括经济流、交通流、人口流和信息流的多维要素流，结合传统静态属性数据与动态大数据，对城市群城际联系进行测度，构建多维城市网络。使用社会网络分析方法从节点、层级、子网络三个方面对其进行描述，利用 QAP (Quadratic Assignment Procedure, 二次指派程序) 方法构建关系回归模型，探讨其影响因素，解析城市群城市发展格局。

1 研究区域、数据及方法

1.1 研究区概况

武汉城市圈位于中国东西与南北两大发展轴线交汇处，同时居中部地区五省中心位置，是中部区域经济增长的重要引擎。“武汉城市圈”概念于 2004 年提出，2007 年获中央正式批准成为国家“两型”社会建设综合配套改革试验区，2015 年成为国内首个科技金融改革创新试验区，是中部地区发展最快的城市群^[15]。截至 2018 年末，武汉城市圈面积占全省 1/3 不到，容纳的人口却超过五成，GDP 占全省六成以上，是湖北省经济发展的重要引擎，辖区范围覆盖武汉、黄石、鄂州、黄冈、孝感、咸宁、仙桃、潜江、天门等 9 个城市^[16]。

1.2 研究方法

1.2.1 多维网络度量模型

本文采用多维要素流模型测度武汉城市圈内各类联系，该模型可从多方面对城市圈城际联系进行全面评价^[17]。本文借鉴此概念建立对应的多维网络度量模型如下：

①经济网络度量模型：引力模型常用于测算城市经济联系^[18-19]。本文借鉴相关研究，引入城市综合质量指标体系^[20]与双向时间距离因子修正城市经济联系引力模型^[21-22]。城市综合质量指标体系，修正后的模型如下：

$$R_{ij} = K_{ij} \left(\frac{\sqrt{G_i \cdot G_j}}{T1_{ij}} + \frac{\sqrt{G_i \cdot G_j}}{T2_{ij}} + \frac{\sqrt{G_i \cdot G_j}}{T3_{ij}} + \frac{\sqrt{G_i \cdot G_j}}{T4_{ij}} \right) \quad (1)$$

式中： R_{ij} 为城市 i 对城市 j 的引力； $T1_{ij}$ 、 $T2_{ij}$ 、 $T3_{ij}$ 、 $T4_{ij}$ 分别为通过汽车、普快、动车、高铁等交通方式从 i 城市到达 j 城市所需要的时间； G_i 和 G_j 分别表示城市 i 和城市 j 的综合质量； K 表示的是引力系数，参考康维斯的断裂点公式取 1。

②人口网络度量模型：人口迁徙数据可以反映人口网络特征^[23-24]，本文以城市间人口迁徙量作为人口联系强度来构建人口网络度量模型。

③交通网络度量模型：城市交通流强度与交通方式的运载量、时间成本距离、班次有关^[25]，考虑到数据非重复性，需要中转的交通方式应不计。交通网络度量模型如下：

$$M_{ij} = A_{ij} \cdot \frac{Z_1}{T1_{ij}} + B_{ij} \cdot \frac{Z_2}{T2_{ij}} + C_{ij} \cdot \frac{Z_3}{T3_{ij}} + D_{ij} \cdot \frac{Z_4}{T4_{ij}} \quad (2)$$

式中： M_{ij} 为城市 i 到城市 j 的交通联系强度； Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 分别为高铁、动车、普通列车、客运汽车载客量； $T1_{ij}$ 、 $T2_{ij}$ 、 $T3_{ij}$ 、 $T4_{ij}$ 分别为高铁、动车、普通列车、客运汽车时间距离成本； A_{ij} 、 B_{ij} 、 C_{ij} 、 D_{ij} 分别代表四种交通方式从 i 城市到 j 城市的班次数量。

④信息网络度量模型：百度指数常用于表征信息联系，定义城市 A 在城市 B 的百度用户在研究时段内的平均关注度为城市 A 指向城市 B 的信息联系强度以构建信息网络^[26]。

1.2.2 社会网络分析

社会网络分析方法被广泛应用于复杂网络结构的研究。本文采用网络密度、整体网络距离、节点中心性、凝聚子群等指标，从节点、层级、子网络三个方面分析多维网络，其具体的计算方式见有关文献^[27]。

1.2.3 QAP 分析

QAP（二次指派程序）是研究网络间关系的常用方法，它以数据置换为基础对网络矩阵的各个单元值进行比较，以给出矩阵间的相关及回归系数，同时对系数进行非参数检验，避免了关系型数据回归产生的“共线性”问题^[28]。本文在构建各类网络度量模型时所采用的 GDP、人口迁徙量、信息指数等数据与各类模型本身高度相关，故借助该工具消除数据间存在的“多重共线性”问题，以研究多维网络及其与影响因素的关系。

1.3 数据来源概况

本文构建各类网络模型所需数据。

2 多维城际联系网络结构分析

2.1 多维网络节点分析：武鄂为主副中心，黄石—孝感—黄冈为集聚—辐射片区

区间差值排序为信息网络、经济网络、人口网络、交通网络。信息网络与经济网络区间差异较大，极化现象比较明显，人口网络和交通网络区间差异小，发展相对均衡。

点出度衡量节点辐射能力。经济网络中排名靠前的城市依次为武汉、黄冈、鄂州、黄石、孝感，从位置来看，五市位于城市群东部区域，较弱的为省直辖市天门、潜江、仙桃，其经济体量小，辐射能力较弱；人口网络中排名靠前的城市依次为武汉、孝感、黄冈，排名后三位为仙桃、潜江、天门，经济—人口网络之间相关性较大，反映出人口规模是经济体量的基础，孝感市在两个网络中表现差异较大，人口辐射能力大于经济辐射能力；交通网络辐射能力分级明显，武汉、黄石、鄂州三市辐射能力远大于其余六市，发挥着辐射中心作用；信息网络辐射能力呈三级，武汉辐射能力远高于平均值，潜江及天门较低，其余市基本持平。

点入度衡量节点集聚能力。经济、人口网络中节点的集聚与辐射能力显著相关，其排序特征与辐射能力排序相似度高，但经济网络中鄂州与黄石集聚辐射能力不对等，鄂州经济辐射能力大于集聚能力，黄石则相反；交通网络中，辐射能力较弱的潜江、天门、仙桃集聚能力反而较强，三市对外影响虽较小，但内部交通联系紧密。信息网络各节点集聚能力较为平均。

从网络节点特征向量中心度来看，武汉在多维网络中均占据中心地位，鄂州在经济、人口、交通三类网络中发挥主要作用，黄石在经济、交通网络中地位较重要；孝感为人口、信息网络；黄冈为经济、人口网络。咸宁、仙桃、潜江、天门在多维网络中的核心位置尚未凸显。基于上述节点分析，多维网络可如图 1 所示划分为三级联系片区，武汉、鄂州分别为主副中心，黄石、孝感、黄冈三市共同形成一个集聚—辐射中心片区，其余城市为次级核心城市。



图 1 武汉城市圈城市片区层级划分图

2.2 多维网络层级分析

将上述模型计算所得结果利用自然间断法进行分级，并将分级结果在 ArcGIS 上呈现，得到多维网络空间结构图。通过 Ucinet6 软件中的 Concor 算法对多维网络进行凝聚子群分析以描述组团现象，根据二级层面分类的结果绘制组团分类图，颜色越深的组团密度系数越高，内部联系越紧密。四类网络空间结构分别如图 2、图 4、图 6、图 8 所示，四类网络凝聚子群组团分类结果则分别如图 3、图 5、图 7、图 9 所示。采用三级层面组团联系系数显示出高级组团对其余组团的辐射带动作用，以描述组团间的联系。



图 2 武汉城市圈经济网络空间联系图

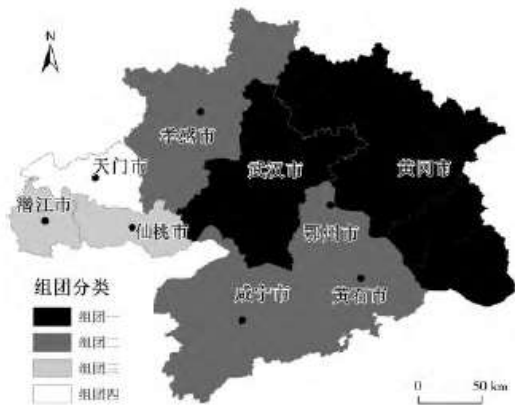


图 3 武汉城市圈经济网络凝聚子群可视化图

2.2.1 经济网络：以武汉为中心的辐射状核心骨架，经济联系西弱东强

经济网络中一、二级联系表现为从武汉辐射至全域各个城市的骨架结构；三、四级联系表现为孝感—咸宁—黄冈—黄石的四边形格局，五级联系表现为以潜江—仙桃—天门三市为辐射点，由西向东呈放射状的网络格局。经济联系西部明显弱于东部，武汉的辐射带动作用地位显著高于其他城市，武汉、鄂州、孝感、黄冈、咸宁的辐射能力覆盖全域且联系等级较高，东部城市集群担任经济辐射中心的态势愈加凸显。经济网络中存在四个组团，武汉—黄冈同质性最强，天门市处于被独立边缘化地位；组团空间相邻现象明显，经济网络发育受空间制约较大；武黄组团对仙潜组团的辐射带动作用最弱。



图4 武汉城市圈交通网络空间联系图

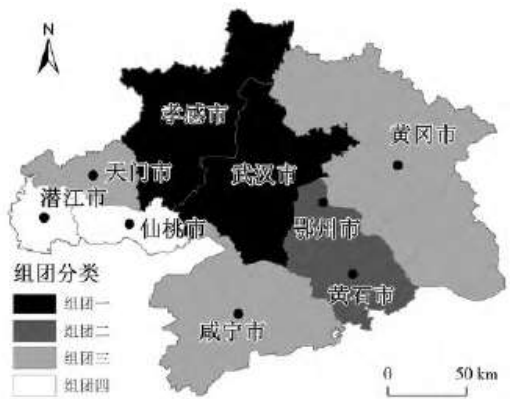


图5 武汉城市圈交通网络凝聚子群可视化图

2.2.2 交通网络：武汉—鄂州—黄石的三角核心骨架，外围联系弱于内部

交通网络中平均最短路径距离为 2.111，连通度较差，网络密度仅为 0.077，整体网络较为稀疏。一级联系以武汉—鄂州—黄石三市为核心骨架；二级联系包括以武汉市为核心向天门、潜江、咸宁等三市放射的联系对与潜江到仙桃的联系对；三、四、五级联系在城市群内部纵横交错，其中，三、四级联系在内部居多而五级分布相对外围，说明城市群外圈城市间交通联系较为薄弱。交通网络中存在四个组团，其中武孝组团同质化水平高，潜江—仙桃组团较低，组团空间分布的邻近性不高，说明武汉城市圈交通网络的发育克服了部分空间距离制约因素，打破了部分行政壁垒。组团间联系来看，武孝组团对天门的辐射带动作用最弱。

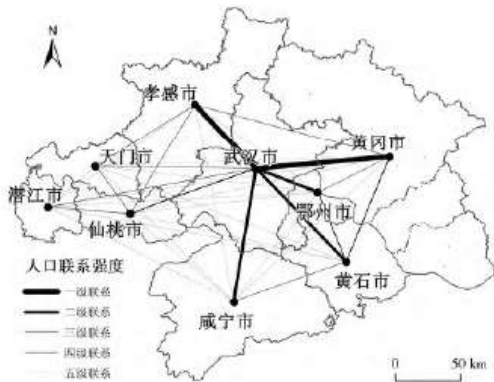


图6 武汉城市圈人口网络空间联系图



图7 武汉城市圈人口网络凝聚子群可视化图

2.2.3 人口网络：日字形核心骨架明显，内外圈层间联系稍显不足

人口联系网络密度在多维网络中最低仅为 0.074，其平均最短路径排名倒数第二，网络密度较低但通达性较好。一、二级联系表现为以武汉—孝感—黄冈为轴，与黄冈、咸宁、黄石三市共同组成的“日”字形骨架结构；三、四级联系串联起外围城市，

集中分布于西北、东南部；五级联系广泛分布于城市群内部。整体来看，武汉与外圈城市及外圈城市之间的人口联系较强。城市群在二级层面上存在四个子结构，武汉市为独立核心，仙桃市被边缘化，组团整体空间邻近性较高，说明人口网络发育受空间距离制约，武汉与黄鄂组团联系密切，与仙桃市联系薄弱。

2.2.4 信息网络：高等级联系覆盖全域，西南部联系较弱

信息联系网络密度为 0.114，平均最短路径距离为 1.788，在多维网络中密度最大，通达性最好。高等级联系覆盖范围在多维网络中最广，形成了以武汉为中心的放射状核心骨架结构，一、二级联系围绕武汉市向四周辐射，三、四级联系广泛分布于城市群内外，连接各个城市，五级联系主要集中在西南部，西南部信息联系较为薄弱。网络中含有三个子结构，组团存在空间邻近分布的现象，武孝组团同质化水平最高，潜江—仙桃—天门组团同质化水平最低，组团间联系强度水平差异不大。

2.3 多维网络相关分析

QAP 相关分析是以重抽样为基础通过两两一模的 $N \times N$ 矩阵中各个格值的相似性比较，给出两个矩阵间的相关系数，并对系数进行非参数检验的一种方法。本文将多维网络的标准化矩阵导入 Ucinet 软件进行相关分析探讨多维网络间的相似性。显示相关系数均在 10%显著性水平下通过检验，所得相关系数在统计意义上显著。对相关系数进行排序，可得到经济网络—信息网络>经济网络—人口网络>人口网络—信息网络>经济网络—交通网络>人口网络—交通网络>交通网络—信息网络。可以发现，经济网络与各类网络之间的相似性最高，说明经济联系与交通、人口、信息等联系具有高度协同性。



图8 武汉城市圈信息交通网络空间联系图

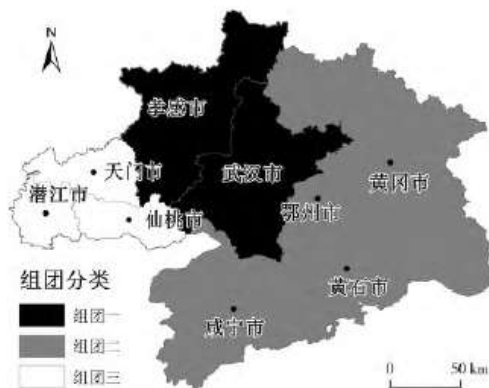


图9 武汉城市圈信息网络凝聚子群可视化图

3 多维网络结构影响因素分析

从上述分析可以看出，武汉城市圈多维网络之间存在着共性与差异。为探究造成差异的影响因素，在解析多维城际联系网络空间结构的基础上，拟引入解释变量并构建关系回归模型，定量识别与测度多维网络影响因素。

3.1 回归模型的构建

本文通过 Ucinet6.0 软件的回归功能构建关系回归模型。其中，因变量为多维网络关系矩阵。本文结合已有研究 [29-30]，拟从企业发展水平、经济发展水平、文化关系、交通效率、产业分工方面选定五个解释变量，利用 QAP 关系回归方法对影响因素进行定量分析。模型如下：

$$Z_i = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 + b_5 X_5 \quad (5)$$

$$(i = 1, 2, 3, 4)$$

式中：Z1~Z4 分别为经济、人口、交通、信息网络矩阵；b1~b5 为回归系数；b0 为常数；X1~X5 为解释变量关系矩阵。城市网络作为复杂系统，其演化发展受多方面因素共同影响，拟从经济、文化、交通等方面引入解释变量。具体选取的解释变量因子如下：①企业水平差异因子：企业经济活动的过程也是各网络要素重新分配的过程，企业发展水平越高，经济活动强度越大，对各类网络影响越显著。本文以企业规模与数量表征企业水平。用“天眼查”工具查询武汉城市圈 9 个城市的企业数量，根据企业数量的分级，将其分为 0~100、100~200、200~500、500~1000、1000 以上五个等级，赋以 1~5 的分级权重，将权重与数量相乘相加，得到每个城市的企业指数以表征城市企业发展水平，构建企业指数差值矩阵。②文化节点性差异因子：文化交流通常伴随着人口迁移、交通流动等现象，城市网络在此过程中不断重塑。城市文化节点性衡量城市文化辐射力影响力，规模不等的文化节点相互连接进而构成城市网络体系。本文参考相关研究^[31]，得到城市节点的文化节点性指数，构建文化节点性差值矩阵（测算最小单元为武汉城市圈 48 个县市，构建了文化资源、要素、产业等 6 大要素、15 个子要素共 32 个具体指标）。③平均时间距离差异因子：城市间各类要素流动均通过交通展开，交通效率极大地影响城市交往效率，对城市网络的形成起着基础性作用。采用平均时间距离因子表征城市间的交通效率，用城际公路、高铁、动车、普快 4 项交通方式所需的时间成本的平均值构建城市交通水平差值矩阵。④人均 GDP 差异因子：城市间的人均 GDP 差异会影响人口流动和资源配置，是促进城市群联系发生的动力之一。基于 2017 年湖北省九市统计年鉴数据构建城市人均 GDP 差值矩阵。⑤行业结构差异因子：行业结构差异使城市间劳动力产生流动，行业总产出也会出现再分配^[32]，这个过程伴随人口、交通、经济等要素流动。通过对武汉城市圈内 9 个城市内第二产业、第三产业中涉及 17 个行业类别（制造业、电力煤气及水生产供应业、建筑业、批发零售贸易业等）的行业就业数据进行统计。使用克鲁格曼专业化指数来构建行业结构差值矩阵。该指数计算公式如下：

$$K_{ij} = \sum_k |S_i^k - S_j^k| \quad (6)$$

式中：K_{ij} 为 i 地区、j 行业的克鲁格曼专业化指数；i、j、k 分别为地区 i、地区 j、行业 k；E_{ki} 为地区 i 行业 k 的从业

人员数； $S_i^k = E_i^k / \sum_k E_i^k$ 。

3.2 多重网络结构影响因素分析

运用构建的关系回归模型对 5 个解释因子矩阵与多维网络矩阵进行 QAP 回归分析，选择 5000 作为随机置换的次数，判定系数（R-square）可以显示出模型的拟合情况，模型回归结果见表 7 所示。模型中 R-square 值处在 0.499~0.724 之间，说明所选影响因子可以解释多维网络空间联系的 49.9%~72.4%，总体来看解释效果较好^[33-34]。

从各类标准化回归系数的显著性指数结果可以判断影响因子的影响大小。①平均时间距离差异因子在 5 个影响因子中影响力最大。在经济网络、交通网络、信息网络中均在 5%的水平下显著，在人口网络中在 0.1%的水平下显著。说明该因子对多维要素在城际之间的流动均有显著影响，其中人口要素流动受到交通效率因素影响最强烈。②企业水平差异因子影响力排名第二，其标准化回归系数在经济、人口、交通网络中均在 10%的水平下显著，在信息网络中在 5%的水平下显著，说明企业水平差异对各要素流动均有较显著影响，对信息网络的作用尤为明显。③人均 GDP 差异因子在人口网络与信息网络中在 5%的水平下显著，交通网络中在 10%的水平下显著，说明其对人口、交通、信息三类要素交互存在显著影响；但在经济网络中不显著，这说明人均 GDP 差异的大小对城际经济联系的发生的影响不大，结合行业结构差异因子在经济网络中显著的结果来看，相比城市间经济发展水平的差异因素，城市间的产业分工更能直接促进城市间经济要素的流动。④行业结构差异因子在经济、人口网络分别在 10%与 5%的水平下显著，但是在交通和信息网络中没有显著影响。⑤文化节点性差异因子影响力最小，仅在信息网络中 5%的水平下

显著，只对城际信息网络联系具有显著影响。显著性指数结果可进一步总结出：5个驱动因子中，交通效率因素作用最强，文化关系作用最弱。交通效率及企业水平两个影响因素对多维要素交互存在普遍影响，是多维网络产生相似性的主要因素；而经济发展水平、文化关系、产业分工影响因素只对个别要素流动作用，是网络差异性的主要来源。

对影响因素因子的回归系数进行分析可进一步剖析影响作用的正负性。①平均时间距离差异回归系数在多维网络中均显著为负，说明城市间交通效率越不对等，整体路网发育水平越低，就越不利于区域内的各类要素流动。②企业水平差异回归系数在多维网络中均呈显著正值，说明城市间企业数量与规模的差异越大，企业间产生分工合作的可能性越强，城市间经济活动就越活跃，进而促进城市圈内经济、人口、交通、信息等要素在城市节点间的流动；该差异对经济网络与交通网络的影响更加显著。③人均GDP差异回归系数与人口、交通、信息网络显著正相关，说明城市间人口收入差异的存在会促进三项要素在城市间的流动，但过大的收入差异不利于经济网络发育。④行业结构差异回归系数在经济网络中显著为负，在人口网络中显著为正，意味着地区间行业结构差异越大，越能促进城市圈内人口要素流动，但随着差异扩大，对整体区域经济网络的发育却有负面影响。⑤文化节点性差异回归系数仅在信息网络中呈显著正值，说明城市间文化辐射影响强度差异只对城市间的信息交流具有显著促进作用。

4 总结与讨论

本文基于多维要素流视角，以武汉城市圈为研究区域，从节点、层级、子网络三个方面对多维城市网络空间结构进行刻画并进行对比分析，从企业、文化、交通、经济水平、产业结构等方面构建关系回归模型分析多维网络影响因素。主要结论如下：第一，多维网络中可形成三级联系片区，武汉、鄂州分别为主副中心，黄石、孝感、黄冈三市共同形成一个集聚—辐射中心片区，其余城市为次级核心城市。

第二，多维网络共性为：空间结构均以武汉市为核心，并包含武汉至黄冈、孝感、咸宁三市的放射状核心骨架。多维网络差异性为：从核心骨架形状来看，经济和信息网络表现为从武汉辐射至全域各个城市；交通网络以武汉、鄂州、黄石为点构成三角形骨架；人口网络表现为以武汉—孝感—黄冈为轴，与黄冈、咸宁、黄石三市共同组成的“日”字形骨架结构。从联系强度区域差异来看，经济网络西部弱于东部；交通网络外围弱于内部；人口网络外圈联系与以武汉市为核心向外辐射的联系强于其他；信息网络西南部联系较弱。从网络组团现象来看，经济、人口、信息网络中组团的空间相邻现象明显，但交通网络中部分组团克服了空间距离限制条件，说明交通网络一体化程度较其余三类更高。

第三，5个影响因素中，交通效率因素影响最强，文化关系因素影响最弱。交通效率及企业发展水平两个影响因素是使多维网络产生相似性的主要因素；而经济发展水平、文化关系、产业分工影响因素是多维网络产生差异性的主要原因。交通效率不对等对各类城市网络发育均有不利影响；企业水平差异促进各类网络形成，尤其是经济与交通网络，武汉城市圈内交通基础设施建设和各级规模企业配置水平在各类网络发育中均起了正面促进作用。经济发展水平与行业结构差异过大不利于区域网络的发育，城市圈内经济发展有待均衡，产业分工配置需进一步协调；文化水平仅促进信息联系的发生，文化水平影响尚未凸显。

第四，结合上述分析，武汉城市圈在下一步规划中需重点关注以下问题：①引导“一强多弱”转向“一核多强”模式发展。关注尚无优势职能凸显的潜江市、天门市、仙桃市、咸宁市，对于天门市的独立边缘化问题，可通过“天仙潜”组团内部产业承接和转移来破解。②补齐区域网络发展短板。发挥西部“天仙潜”组团集聚效应，为西部经济发展薄弱局面纾困，推进武汉城市圈大通道环线规划，补足外围城市交通联系不足。③保证城市圈内交通基础建设先行，配置多级别多规模市场主体，保证经济水平和行业结构有合理范围内的差异。

本文在构建多重网络影响因素回归模型采用了5个因子，取得了较好的回归效果，但城市圈系统内实际的影响机制较复杂，部分影响因素难以发现与量化，故城市网络影响机制与驱动力分析仍需要学者关注。本文使用的社会网络分析法剖析网络结构，

数据处理时使用了二值化和对称化, 损失了部分信息, 能否探索出更好的城市网络结构分析方法也值得探讨。

参考文献:

- [1]方创琳. 中国城市群研究取得的重要进展与未来发展方向[J]. 地理学报, 2014, 69(8):1130-1144.
- [2]张荣天, 焦华富. 江苏省城市网络空间结构演化特征与驱动机制[J]. 世界地理研究, 2015, 24(1):68-75.
- [3]吴康, 方创琳, 赵渺希. 中国城市网络的空间组织及其复杂性结构特征[J]. 地理研究, 2015, 34(4):711-728.
- [4]Batten D F. Network cities:creative urban agglomerations for the 21st century[J]. Urban Studies, 1995, 32(2):313-327.
- [5]Taylor P J. World City Network:A Global Urban Analysis[M]. London:Routledge, 2004.
- [6]Smith D A, Timberlake M. World city networks and hierarchies, 1977-1997:An empirical analysis of global air travel links[J]. American Behavioral Scientist, 2001, 44(10):1656-1678.
- [7]Beaverstock J V, Smith R G, Taylor P J, et al. Globalization and world cities: some measurement methodologies [J]. Applied Geography, 2000, 20(1):43-63.
- [8]Alderson A S, Beckfield J. Power and position in the world citysystem[J]. American Journal of Sociology, 2004, 109(4):811-851.
- [9]Derudder B. On conceptual confusion in empirical analyses of a transnational urban network[J]. Urban Studies, 2006, 43(11):2027-2046.
- [10]鲍超, 陈小杰. 中国城市体系的空间格局研究评述与展望[J]. 地理科学进展, 2014, 33(10):1300-1311.
- [11]李仙德. 基于上市公司网络的长三角城市网络空间结构研究[J]. 地理科学进展, 2014, 33(12):1587-1600.
- [12]王圣云, 宋雅宁, 温湖炜, 等. 双向联系视域下长江经济带城市群网络结构——基于时间距离和社会网络分析方法[J]. 经济地理, 2019, 39(2):73-81.
- [13]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.
- [14]宋琼, 赵新正, 李同昇, 等. 多重城市网络空间结构及影响因素——基于有向多值关系视角[J]. 地理科学进展, 2018, 37(9):1257-1267.
- [15]李春洋. 武汉城市圈建设概况[M]. 武汉:武汉年鉴社, 2016.
- [16]刘阳, 董捷. 武汉城市圈土地利用结构与产业结构特点分析[J]. 国土资源科技管理, 2010, 27(3):23-27.

-
- [17]王海军, 翟丽君, 刘艳芳, 等. 基于多维城市要素流的武汉城市圈城市联系与功能分析[J]. 经济地理, 2018, 38(7): 50-58.
- [18]贺欢欢, 吕斌. 长株潭城市群经济联系测度研究[J]. 经济地理, 2014, 34(7): 67-74.
- [19]苗洪亮, 周慧. 中国三大城市群内部经济联系和等级结构的比较——基于综合引力模型的分析[J]. 经济地理, 2017, 37(6): 52-59.
- [20]刘金石, 李小江. 中国城市竞争力指数测度及其影响因素——基于 1990—2012 年中国 30 个城市面板数据的实证研究[J]. 财经科学, 2013(8): 92-100.
- [21]陈韶清, 夏安桃. 长江中游城市群城市韧性与规模关系的时空分析[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2020, 43(3): 10-17.
- [22]钱春蕾, 叶菁, 陆潮. 基于改进城市引力模型的武汉城市圈引力格局划分研究[J]. 地理科学进展, 2015, 34(2): 237-245.
- [23]赵梓渝, 魏冶, 庞瑞秋, 等. 基于人口省际流动的中国城市网络转变中心性与控制力研究——兼论递归理论用于城市网络研究的条件性[J]. 地理学报, 2017, 72(6): 1032-1048.
- [24]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.
- [25]蒋大亮, 孙烨, 任航, 等. 基于百度指数的长江中游城市群城市网络特征研究[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(10): 1654-1664.
- [26]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.
- [27]汤放华, 汤慧, 孙倩, 等. 长江中游城市群经济网络结构分析[J]. 地理学报, 2013, 68(10): 1357-1366.
- [28]张荣天, 焦华富. 江苏省城市网络空间结构演化特征与驱动机制[J]. 世界地理研究, 2015, 24(1): 68-75.
- [29]刘军. 社会网络分析导论[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2004.
- [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]朱媛媛, 曾菊新, 韩勇. 基于信息流的武汉城市圈城乡文化空间结构研究[J]. 人文地理, 2015, 30(1): 105-111.
- [32]柏培文, 张伯超. 工资差异与劳动力流动对经济的影响——以上市公司行业结构和产出为视角[J]. 中国人口科学, 2016(2): 47-60, 127.
- [33]王俊, 夏杰长. 中国省域旅游经济空间网络结构及其影响因素研究——基于 QAP 方法的考察[J]. 旅游学刊, 2018, 33(9): 13-25.
- [34]任会明, 叶明确, 祝影. 基于教育网络的上海城市网络空间结构研究[J]. 经济地理, 2019, 39(8): 77-86.