

基于兴趣点位置和名称的中国城市网络分析

许留记 龙瀛

城市网络研究起源于对“流的空间”（Space of Flow）的理解，早期有关城市网络的研究主要是基于电信容量、航空客流、互联网等作为研究对象进行的。国内一些学者采用类似方法对城市网络进行了实证研究。

综合以往研究，大多数学者主要利用航班及货运量、公路车流量、铁路流量等交通流，以及高级生产性服务业数据，这些多以母子公司、企业总部分支机构等为研究对象，进行城市网络和城市间联系的研究。对人文要素和居民参与社会活动情况的关注较少，而这些数据也不易获取，这也是相关研究难以开展的主要原因。

随着互联网大数据、云计算时代的到来，运用计算机编程语言和数据抓取技术等，可获得一些新类型数据，如微博、公交卡、百度指数、手机信令、POI等。结合这些数据，一些学者也进行了城市网络和地区间联系的相关研究。本文利用数据采集技术，获取到中国各城市的POI网点数据，从人们经常参与其中的社会经济活动网点入手，根据不同城市的行动者在各个地区开设的网点信息而产生的社会空间联系，尝试着构建相应的网络模型，以此来分析基于社会经济活动的中国节点城市网络联系和等级特征。

研究区域及数据

研究区域

研究区域包括全中国所有的地级市、地区、州和自治区，以这些地区的城市作为网络节点的研究对象。其中，截止到2012年底，国家统计局数据显示，我国目前共有333个地级行政单位（含地级市、州）、4个直辖市、2个特别行政区、1个台湾省。由于未获取到港澳台数据，根据本文构建的模型，只能研究其单向间的联系，即基于出度、开放走出去的网络联系和中心性情况，不能得到这些地区的POI网点，基于入度反映城市吸引力的网络联系不作分析。

研究数据

文章的数据为2011年和2014年中国所有的POI网点。2011年POI网点有5281382个，2014年POI网点有10589322个。数据格式为ArcGIS中Shapefile文件的Point数据，可借助GIS软件进行空间可视化（图1）。相关的空间分析图主要基于ArcGIS10.2平台进行。

数据解释

POI即是“Point of Interest”的缩写，可译为“兴趣点”。在地理信息系统中，一个POI可以是一家银行、一家超市、一个药店、一个公交站等。包括住宅楼盘点位的POI（源于安居客或搜房网等），餐饮类POI、购物类POI、生活服务类POI（源于百度地图或腾讯地图等），本文主要研究居民社会活动参与的POI网点，根据得到的POI网点的坐标，借助ArcGIS软件，将对应的坐标转换成相应的空间网点Point数据，得到其可视化的空间分布图。

模型构建及研究方法

研究思路及模型构建

本文根据POI网点位置和名称字段的特征进行模型构建。如果一个城市的POI中含有其他城市的名称字段，则代表这两个城市之间有联系，如果这种类型网点个数越多，则城市间的联系强度越大，形成的网络等级越高。以北京为例，基于POI位置和名称能构成网络的POI网点（只列举了部分POI）如

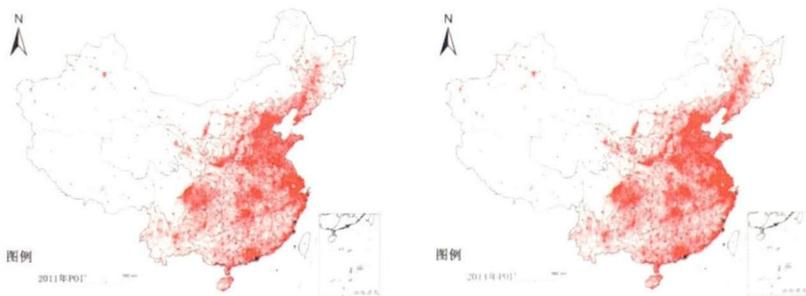


图1 2011年和2014年POI空间分布图

表1所示。

根据以上思路，结合地理信息空间处理方法，对能产生城市联系相关的POI数据进行统计。主要基于各个城市POI网点的位置及名称类型，筛选出有城市字段的POI网点，建立OD模型空间相关联的数据库，并通过创建全国的网络数据集，进一步绘制城市之间的网络联系图并作相应分析。具体运算过程和结果，基于Python+ArcGIS实现。

由于一些城市字段名称有些特殊，对最终的结果分析会造成一些影响，因此在程序编写代码时对其进行相应的List处理，消除其带来的影响。

数据算法及主要测度指标

泰勒通过数学模型来刻画城市间的网络连接度，本文基于以往的相关研究，结合文章的研究思路和算法模型，测度出相应的指标进行分析，主要对网络节点城市联系情况及节点城市的等级特征进行研究的展开。由于本文节点城市间的联系具有方向性，因此在展开研究时，分别从不同方向类型的联系流和层级中心性进行，主要基于出度和入度进行分析。

给出测度指标前，首先对出度和入度进行解释说明。在社会网络应用中，出度是扩张性 (expansiveness)的测度，而入度则是接收性 (receptivity)或受欢迎程度 (popularity) 的测度。如果我们考虑友谊关系的社会计量关系，一个有较大出度的行动者是喜欢结交朋友的人，一个有较小出度的行动者结交的朋友较少。一个有较大入度的行动者是很多人都喜欢与之交往的人，反之相反。在城市网络应用中，点出度、点入度分别代表了各城市的吸引力、控制力，点出度为从该点出发与其直接联系的城市节点，点入度为到达该城市并与该点由直接联系的节点城市。基于此本文也尝试从出度和入度的角度分析城市网络的联系情况。

文中主要测度指标有城市间联系流、出度中心性、入度中心性、总的中心性、距离衰减系数、变异系数。

城市间联系流：也指城市间的联系强度，本文基于POI的位置和名称来反映城市的联系情况，如果一个城市的POI中含有其他城市的名称字

段，则代表这两城市间有联系，POI个数越多，城市间联系流和联系强度越大，形成的网络等级越高，边联系较强。具体计算：

$$C_{ab} = \sum_{j=1}^m C_{abj}$$

C_{abj} ：表示基于兴趣点j而使得城市a与城市b产生作用联系，即b城市含有a城市字段的兴趣点j。
 C_{ab} ：表示a、b城市间关联度、联系流，主要反映a城市基于出度的联系流。

$$C_{ba} = \sum_{j=1}^m C_{baj}$$

C_{baj} ：表示基于兴趣点j而使得城市b与城市a产生作用联系，即a城市含有b城市字段的兴趣点。
 C_{ba} ：表示b、a城市间关联度、联系流，主要反映a城市基于入度的联系流。

$$C = C_{ab} + C_{ba}$$

C：表示城市a、b间的总关联度，即节点城市a、b间的总联系流。

出度中心性：反映城市控制力，通过其他城市具有该城市名POI多少，来反映城市在联系网络中的出度中心性，有联系的POI数

表1 可构成联系网络的POI

反映了城市出度 (开放走出去)		反映了城市入度 (开放引进来)	
含有北京字段的POI	所在城市	北京含有其他城市名称字段的POI	该城市名称
福联升老北京布鞋	石家庄	成都小吃	成都
泰和源老北京布鞋	太原	杭州小吃	杭州
老北京火锅	衡水	周记桂林米粉	桂林
北京天融信公司河北办事处	石家庄	百联顺杭州小吃	杭州
北京动力源科技	石家庄	昆明湖水操学堂	昆明
北京城建顺捷图文	石家庄	阿婆重庆绿色鱼火锅	重庆
北京名人婚纱摄影视觉馆	吴忠	华旗扬州修脚康体会所	扬州
北京金威焊材	石家庄	杭州小笼包	杭州
北京老万生物质能科技公司	吴忠	陈重庆刘一手火锅亚运村店	重庆
北京天诚盛业科技公司	石家庄	杭州风味小吃	杭州
北京华联生活超市滨河广场店	吴忠	泸州幺妹私房菜等	泸州
福联升老北京布鞋	石家庄	赛百味苏州街店	苏州
诚记老北京面馆	石家庄	重庆8号馆	重庆
北京味味香麻辣香锅古交店	太原	扬州修脚会所太阳宫店	扬州
老北京九味卷	石家庄	成都好吃馆家常菜	成都
等等		等等	

越多出度越大，网络等级越高，中心性越强。

$$C'_a = \sum_{i=1}^n C'_{ai} (a \neq i)$$

其中 C'_{ai} ：城市 a 与城市 i 之间的联系流； C'_a ：所有 i 城市含有 a 城市名字段的 POI 总和，反映了 a 城市在中国城市网络中与其他节点城市的总联系强度，即出度中心性， C'_a 越大联系强度越强，城市的层级地位越高，城市的中心性越明显。

入度中心性：反映城市吸引力，通过该城市具有其他节点城市名的 POI 多少，来反映城市在联系网络中的入度大小，有联系的 POI 数越多入度越大，网络等级越高中心性越强。

$$C'_{a0} = \sum_{i=1}^n C'_{ia} (a \neq i)$$

其中 C'_{ia} ：城市 i 与城市 a 之间的关联度，即其他城市在 a 城市设立网络的个数； C'_{a0} ：表示 a 节点城市的总联系强度，即入度中心性，反映了 a 城市作为网络节点在中国城市网络区位布局中的层级和地位， C'_{a0} 越大表明城市的层级地位越高，城市的入度中心性越明显。

总的网络中心性：总的节点城市的中心计算为节点城市的出度得分与入度得分加和，反映了城市的影响力和开放程度，得分越高城市的影响力、总的中心性越高，影响力越大。

距离衰减系数：用来衡量城市间联系流受距离的影响程度。本文根据计算的城市间相互作用联系流，依据地理学中距离衰减理论来揭示城市间的相互作用与距离的关系，主要通过测算的距离衰减系数来反映。以往研究中测算距离衰减系数常用的函数有幂函数、指数函数等。以幂函数的形式，重力模型能够更好地刻画大尺度的空间范围内，地理实体间的相互作用情况，在测算距离衰减系数时具有一定优

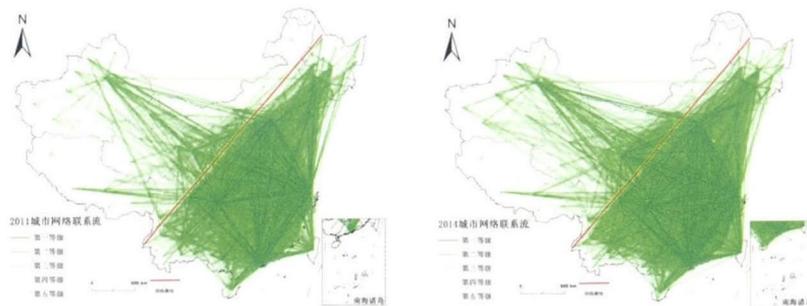


图2 2011年和2014年中国城市网络等级

势。故本文运用幂函数测算衰减系数，公式为 $f(d)=d^{-\beta}$ ， $f(d)$ 为城市间的联系流， d 为城市间距离（本文统一用城市间的直线距离）， β 表示距离衰减系数。 β 越大，距离 d 对 $f(d)$ 的阻碍作用越大，距离衰减效应明显，反之相反。

变异系数：是衡量一系列数值中各观测值变异程度的一个统计参考系数。当对两个或多个地区资料变异程度进行比较时，如果测度单位与平均数测度单位相同，可以直接利用平均数和标准差进行比较。统计学上把标准差 S 与平均数 V 的比值称为变异系数 T ，记为 $T=S/V$ 。本文变异系数用来衡量样本数据的差异性，主要比较两年城市网络等级的差异性变化情况。系数计算是由所有节点城市的中心性得分的标准差和均值的比，系数越大差异性就越大。

城市网络特征分析

中国城市网络等级特征分析

根据 ArcGIS 分类标准将中国城市网络等级分为五等级，第一等级为排名前 1% 城市对，第二等级为前 1%~5%，第三等级为前 5%~10%，第四、五等级分别为 10%~25%、25%~50%。

总体上，中国城市网络空间格局差异较大，发展不平衡。从空间格局上看（图 2），沿海发达的城市及西部重庆、成都、兰州等地网络联系程度明显较高，京津冀、长三角和成渝城市群城市间的联系强度最强，且边联系不断增强，呈现以多边形为核心的空间网络格局特征。而在胡焕庸线以西，除兰州和乌鲁木齐外的城市联系较少且弱，而这些城市多以外向联系为主，表明胡线以西的地区经济发展较落后，人口相对较少，居民经济活动多以迁出为主。从时间演变上可知，城市间的联系强度明显增强，2011 年有联系的城市对有 11975 对，2014 年 18645 对，最高联系的城市对网节点个数由 761 增加为 1813，增加两倍多，2014 年的网络密度和强度增强显著，城市间的相互联系、相互作用及经济来往强度明显提升。

2011 年城市网络呈菱形为核心的空间结构特征。在 11975 个城市联系对中，有联系的 POI 个数在 220 以上表现为强联系，其城市对有：重庆—成都 761（对）、重庆—上海（714 对）、中山—上海（583 对）、上海—无锡（467 对）、中山—广州（333 对）、上海—常州（322 对）、南京—上海（253 对）、上海—郑州（239 对）、香港—东莞（232 对）、上海—杭州（228 对）、上海—宁波（224 对）、上海—南京（221 对）。城市主要集中在长三角和珠三角，京津冀在最高等级的网络联系中明显较弱。其中，2011 年形成的中国城市网络联系主要呈现出以菱形为核心的空间格局特征，且菱形的东半部

分联系明显较强，西半部分较弱，多边形的顶点分别由北京（北）、上海（东）、广深（南）、重庆（西）等节点城市构成，在这个菱形结构内，也有一些高等级的节点城市，如郑州、西安、太原、武汉等，另外菱形外的高等级城市有兰州、吉林、大连。除这些城市以外，在东北、东南、西南和西北等区域则通过次一级的联系流与菱形区域紧密的联系起来。

2014年城市网络呈多边形为核心的空间结构特征，城市间联系强度增大。2014年的18645个城市联系对中，城市联系对中POI个数在650以上的较强联系流有：上海—苏州1813(对)、重庆—成都(1465对)、重庆—上海(1163对)、上海—北京(1028对)、香港—深圳(975对)、上海—无锡(857对)、中山—广州(826对)、上海—成都(824对)、上海—杭州(752对)、北京—成都(687对)、上海—郑州(667对)。在2011年的基础上，成渝地区的城市联系明显增强，与北京有联系的城市POI网点数量和等级都有所提升。整体上，2014年的中国城市网络联系主要呈现以多边形为核心的空间格局，多边形的顶点分别由京津（北）、沪（东）、广深港（南）和兰州、成渝（西）等节点城市构成，联系流强的城市明显增多。在这个多边形结构内，又形成了较多的高等级节点城市，主要有郑州、武汉、合肥、长沙、济南、太原等，多边形外部的高节点城市有，乌鲁木齐、昆明、沈阳、大连、长春等。与2011年相比2014年高等级的城市明显增多，且全国大部分地区都有分布。表明高等级城市之间形成的城市网络结构没有受到距离的明显约束，核心网络联系流主要发生在核心节点城市之间。另外低等级的城市受距离约束较大，这些城市主要与周边城市及稍临近的大城市发生联系，遵循地理学中的距离衰减理论，即地理要素间的相互作用随着距离的增加，作用强度不断减弱。

核心节点城市的网络格局分析

为进一步分析城市网络中主要核心发达城市在网络体系中的特征，

选出经济发展水平及网络层级高的城市进行分析，即用北京、上海、广州、深圳四个节点城市作为研究对象。基于ArcGIS将城市网络分为四等级，第一等级为排名前10%的城市对，第二等级为前10%~20%，第三等级为前20%~50%，第四等级为后50%的城市对。并分别得出城市出度和入度网络图。

核心节点城市与发达城市间出度联系较强，且增幅大，京沪强于广深；距离对出度网络联系影响不强

总体上，北上广深这些发达的城市外向联系较强，且发达城市之间存在着较强的联系，其次与一些省会城市及周边的城市联系较大，与西部和东北地区的城市联系较弱。

从时空演变可看出（表2、图3）：与高等级有联系的城市和网点个数不断增多，联系强度增强。各城市比较可知，北京开放走出去与外界城市联系的程度最强，2014年与外界有联系的城市个

表2 2011年和2014年基于出度的核心城市网络等级统计

城市	与第一等级有联系的网点数(区间)		与第一等级有联系城市数		与核心城市有联系城市总数	
	2011	2014	2011	2014	2011	2014
北京	37~202	64~1028	8	13	193	241
上海	97~714	108~1163	13	16	188	212
广州	78~333	170~826	5	8	102	151
深圳	65~179	134~975	5	7	96	141

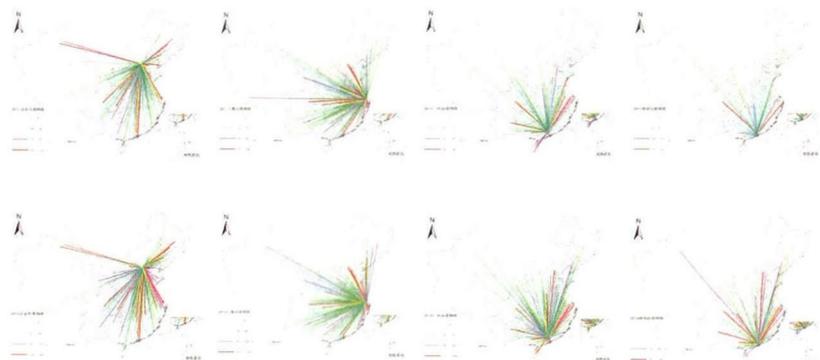


图3 2011年和2014年北上广深城市网络等级出度联系流

表3 城市间联系出度的衰减系数

城市	2011衰减系数	2014衰减系数
北京	0.072	0.022
上海	0.179	0.397
广州	0.397	0.731
深圳	0.365	0.607

数达241个，比2011年多了38个城市，占城市总数的70%以上，其中西部地区城市较少，且强度较低。上海在2011年与中国188个城市有联系，2014年达212个，仅次于北京，其形成的联系网络遍布全中国，两年中高等级的联系网点数区间明显高于北京，表明上海形成的城市网络不仅密度大且联系强度也强，而北京的形成城市联系强度较上海弱，但增幅明显，与其有联系的城市较多。广、深作为珠三角的核心城市，2014年形成的城市网络类似，形成的城市网络联系强度明显弱于京、沪，其联系强的城市主要集中在京津、华中、华南及西南等地，东北、西北等北部地区联系较少且强度较弱，从两城市的演变格局可以看出，城市的联系强度和密度都在增大，且增幅明显，高于北京、上海。

距离衰减性分析为进一步分析距离对城市网络等级的影响，根据出度网络得到的各城市间的联系流与距离，测算出距离衰减系数（表3）。

基于出度的高等级城市主导的城市网络的衰减系数较小，即距离对城市间的外向联系影响不大。北京距离衰减系数最小且在变小，说明受距离的影响最弱。上海2014年衰减系数比2011年有所增加，但受距离的影响仍不明显。一定程度上城市间的联系打破了距离约束的瓶颈，随着中国交通建设的加快，城市间的通达性和便利性越来越强。广、深距离系数稍大，且都在增大，表明城市间的联系受距离影响强于北上，城市间的相关作用受距离的影响也在变大，即距离越远与其他城市的作用影响越弱，但总的表现为距离对城市间的联系影响较弱。

基于入度的网络联系2014年增强明显，且强于出度联系，城市的吸引力显著；入度网络联系受距离影响较大

总体上核心城市网络联系强度在不断增强，对外界城市的吸引力不断增大（表4、图4）。反映出这些城市具有较强的包容性且不断增强。各城市网络强度比较可知，上海与外界的联系强度最强，城市吸引力、包容性强，其次是北京、广州、深圳。随着时间的推移城市网络的连接密度及强度不断增强。

2011年与上海有联系的城市有324个，2014年达332个，与中国大部分城市都有联系，2011年最高等级城市对中有联系的网点数为467个，2014年为1813个，增长近四倍（表4），充分表明外地居民在上海的经济活动及社会来往程度较强。北京两年中有联系的城市分别313个和327个，仅次于上海排名第二，有联系城市占城市总数的百分之九十五还多，与中国大部分城市都有联系，最高等级城市对的网点数增长四倍，城市活力明显。两年中与广深有联系的城市占比相对较少，但两年间有联系的城市个数增速高于京沪，表明这些城市的活力及与外界城市进行经济往来的强度不断增强，城市的吸引力不断加大。

此外基于入度（开放引进来）与基于出度（开放走出去）相比，其有联系的城市数量和网络密度都较强。城市对外界的影响力较大，对其

表4 2011年和2014年基于入度的核心城市网络等级统计

城市	与第一等级有联系的网点数(区间)		与第一等级有联系城市数		与核心城市有联系的城市总数	
	2011	2014	2011	2014	2011	2014
北京	45-154	154-687	19	22	313	327
上海	77-467	241-1813	23	27	324	332
广州	23-78	51-329	9	22	231	298
深圳	15-52	67-248	4	13	167	246

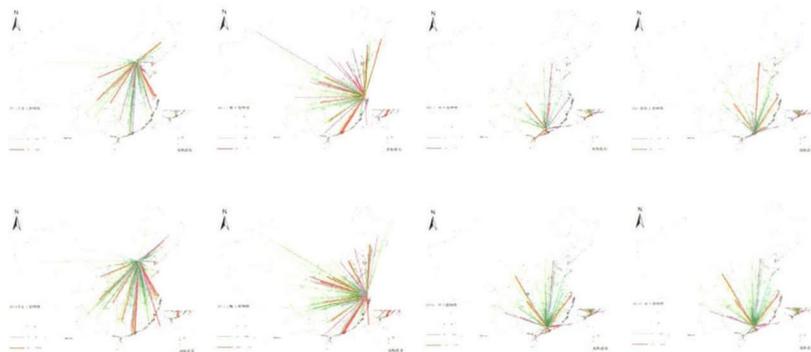


图4 2011年和2014年北上广深城市网络等级入度联系流

表5 城市间联系入度的衰减系数

城市	2011衰减系数	2014衰减系数
北京	0.678	0.943
上海	1.147	1.23
广州	0.537	0.933
深圳	0.399	0.729

他城市的吸引力强，也反映出高等级的城市有较强的包容性和活力，使外地居民能在其城市较好的进行经济活动往来。

距离衰减性分析同样对基于入度的高等级城市主导的城市网络的衰减系数进行测算分析（表5）：与出度的节点城市网络衰减系数相比可知，基于入度的衰减系数较大，城市间的相互关联受距离影响较大且在增大。尤其上海距离衰减系数都大于1，影响最为明显，距离上海越远城市间的联系越弱，上海更多的还是与外围节点城市进行作用联系。北京的人度衰减系数远大于出度系数，城市对外界的吸引一定程度上受距离影响。广深距离衰减系数稍小，也都在增大，城市间相关作用受距离的影响在变大，但广深城市网络中城市间联系受距离影响弱于京沪。出度的衰减系数较小，也反映了城市开放走出去进行经济活动往来时，具有一定的选择性和针对性。

城市网络层级演变分析

基于有联系的POI个数的城市网络层级特征

本部分主要基于有联系的POI数量进行层级划分，即与每个节点城市有联系的POI个数进行分析。分别从城市网络的出度、入度及二者总和，对节点城市的网络中心性进行研究，三者分别代表了城市的包容性、吸引力和总的影响力。

基于入度的中国城市网络层级空间差异较大，高等级的城市主要集中在胡线以东（图5左）。两年的变异系数都在1.7以上，2014年的变异较2011年小，表明中国城市网络层级的空间差异有所减小。2011年高等级城市有上海、成都、北京、广州、天津等，2014年高等级的城市为上海、成都、长春、广州、北京等。2014年有联系的POI网点明显增多，且增长在三倍左右，表明随着城市的较快发展，城市的联系强度增加较大，对外吸引力在不断提高，也表明城市具有较强的包容性。此外2014年层级高的地区主要集中京津、长三角、珠三角、成渝等、长春周边地，即胡焕庸线以东的地区。

城市出度网络层级空间差异较入度的大，西部地区迁出程度明显大于迁入程度。两年的变异系数在3.5以上，且2014年变异系数增大，网

络层级的空间差异性增大（图5中）。2011年高等级城市有重庆、上海、中山、北京、香港地，2014年高等级城市有上海、重庆、北京、香港等，其他较多的地区等级较低，城市的联系程度较弱，城市网络联系的两极分化程度较大，网络层级较不均衡，低等级的城市较多分布较广。同样2014年有联系的高等级城市POI数量明显增多，增幅三倍多，这些城市在外界城市设立网点较多，与其他城市的经济活动往来频繁，城市对外界的影响和城市的活力较大。此外西部的重庆、兰州等地，对外界城市的影响较大，在中国其他城市设立了较多网点，反映出这些地区的迁出程度比迁入要强，另一方面也表明这些地区城市居民的流动性较大。

节点城市的网络中心性差异显著，高等级的城市较少其中心性增强，两级分化程度明显。两年中高等级的节点城市多集中在长三角和珠三角地区，而低等级的节点城市较多，分布范围广泛（图5右）。2011年高等级的节点城市有上海、重庆、北京、中山，有联系的POI数都在5000个以上，2014年比2011年高等级的节点城市有所增加，等级强度明显增强，上海有联系的POI达到了35187个，是2011年的两倍还多，网络的中心性和地位显著加强。其他节点城市的网络等级强度也有较大的提升，广州、兰州、深圳等地也较明显。

基于有联系的城市个数的城市网络层级特征

上文基于有联系的POI个数进行了网络层级分析，此部分基于有联系城市个数进行层级划分和分析，也分别从城市网络的出度、入度及二者的总和对节点城市的中心性进行研究。

基于入度的网络联系强度增加显著。2011年北京、上海、广州及周边地区，有较多的城市与其有联系（图6左）。其他地区的联系

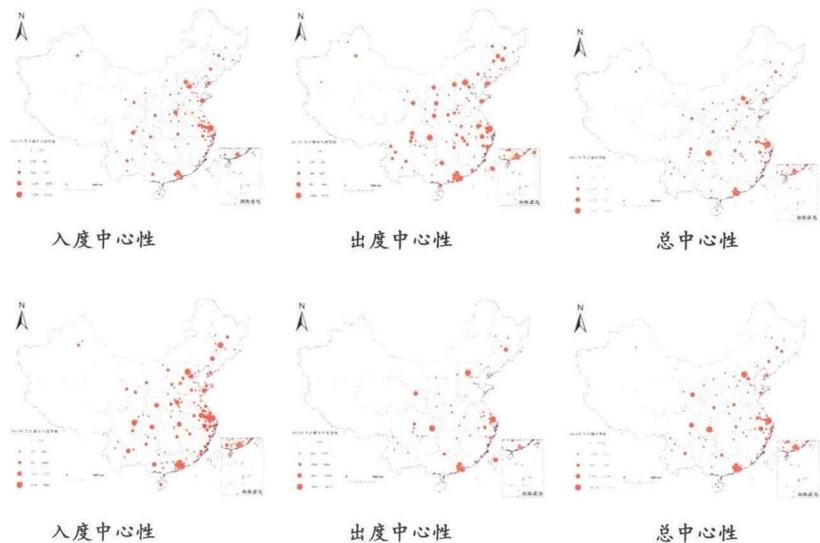


图5 2011年（上）和2014年（下）节点城市网络层级图——基于有联系的POI数量

程度相对较低。2014年有联系的城市明显增多，表明这些城市中有较多城市在其设有网点，进行一些经济活动往来，而西部除乌鲁木齐以外大部分地区明显等级较低，与其有联系的城市较少，其发展也较落后。

基于出度的外向联系强的地区为京津、成渝、长珠三角等地的省会城市和发达城市。这些地区与外界更多的城市有联系（图6中），城市外向联系形成的网络等级较高，即这些城市在其他较多城市设有网点，并与其有一定的经济活动往来；西部、北部及中部部分地区相对落后与较少的地区有联系。与2011年相比2014年有联系的城市数量明显增多，但不均衡特征较显著。其中兰州、成都等城市的等级提升明显且等级较高。

城市网络中心性差异较大。空间上比较可知，有联系的城市个数形成的中国城市网络层级差异较大（图6右）。京津、成渝、长三角、珠三角地区网络中心性较高，西部地区城市网络的中心性普遍较低。从时间演变可知：两年中与较多城市有联系的节点城市为上海、北京、重庆、广州等。2014年与2011年相比高等级地区的城市中心性变化较小，等级较低的城市网络的中心性明显提高。长三角地区网络的中心性增强明显，兰州的城市层级也明显提高。

城市网络层级特征小结

对基于有联系的POI的个数和有联系的节点城市个数形成的网络层级特征比较可知。

两类城市网络层级的变化比较可知，发达城市在两年中的保持着高等级地位和高强度联系，中心性增强都较为明显。如上海、北京、广州、重庆等，表明与这些城市有联系的节点城市较多且联系强度较大。而边缘地区大部分城市在两种类型下的网络层级都较低，表明这些城市与外界联系强度较低，城市间进行经济活动往来较少。

除以上两种情况外，还表现为，与一个城市有联系的节点城市较多，其联系强度不是很大，即有联系的POI个数不多，例如香格里拉、哈尔滨、鄂尔多斯等，这些城市与大部分节点城市有联系但联系强度不大。此外是与节点城市有联系的POI多，其有联系的城市不多，例如东莞、郑

州等，说明了这些节点城市与外界产生联系的机会较大，但有联系的城市少。

从社会网络的角度可解释为，一些行动者有联系的朋友多且友谊也较好，但不都是如此，有的行动者有联系的朋友多而朋友间的友谊不深厚，有的行动者有联系的朋友少，但朋友间的友谊都较为深。

结论与讨论

本文基于POI网点的位置和名称信息，通过构建网络模型，建立OD网络矩阵，对中国城市网络演变的格局特征进行分析，结果表明。

第一，中国城市网络空间格局差异较大，网络密度高且联系强的地区主要集中在胡焕庸线以东，胡焕庸线以西的兰州网络联系流也较强，但该城市以外向联系为主，经济活动以迁出为主。2011年网络格局呈现以菱形为核心的结构特征，沿海和发达地区等级高且联系流强。2014年形成的网络呈现以多边形为核心的空间结构特征，高等级地区主要有京津冀、长三角、成渝等地，且2014年节点城市网络密度在增大，城市间的联系在增强。

第二，核心城市主导的网络密度大的为京沪、其次是广深，有联系的城市和网点在不断增多，联系强度增强。其中京沪开放走出去与外界城市联系的程度最强，形成的联系网络遍布全中国。基于入度的网络与出度相比，有联系的城市数量多、网络密度大，表明这些城市在外面的影响力大、吸引力和包容性强，使外地居民在其城市能较好的进行经济活动往来。基于出度的衰减系数都较小，即距离对城市间的外向联系影响不大，基于入度的城市网络衰减系数整体较大，城市间的相互关联受距离影响较大且在增大。由此也可以看出发达核心城市在选择城市（基于出度）进行

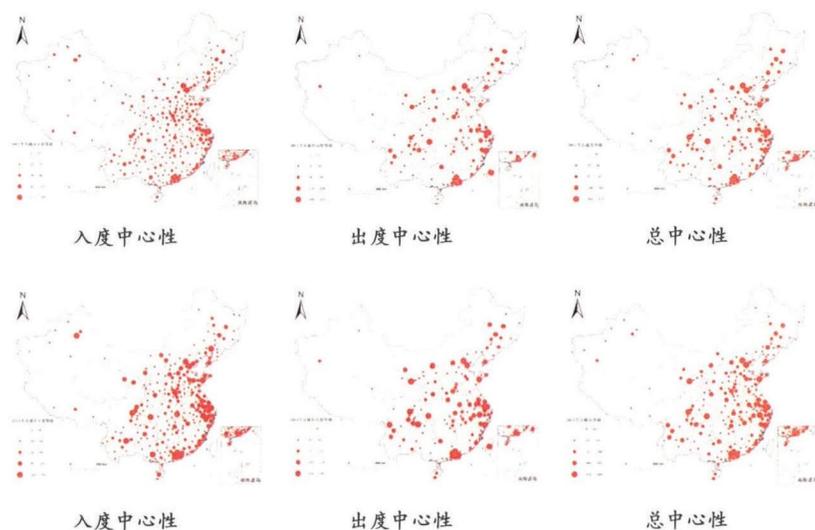


图6 2011年（上）和2014年（下）节点城市网络层级图——基于有联系的城市数量

经济往来时具有一定的针对性和选择性。

第三，由城市的网络层级特征可知，中国城市网络层级空间差异较大，高等级城市有上海、北京、成都、广州等。2014年较2011年城市的联系强度增加较大，对外吸引力不断提高，表明城市的包容性增强。边缘地区的城市经济发展缓慢，城市与外界的联系程度有所下降。基于出度的城市网络联系等级不均衡。西部的重庆、兰州等地，在中国其他城市设立了较多网点，这些地方的迁出程度比迁入强，城市居民的流动性较大。基于有联系的POI数和城市数形成的城市网络层级不完全相同。表明中国的城市在向多元化和差异化方向发展。☑

参考文献

- 1 Castells M. The rise of network society[M]. Oxford: Blackwell, 1996.
- 2 Smith DA, Timberlake MF. World city networks and Hierarchies, 1977-1997[J]. The American Behavioral Scientist, 2001, 44 (10): 1656 ~ 1678.
- 3 Alderson A S, Jason B. Power and Position in the World City System[J]. American Journal of Sociology, 2004, 109 (4): 811 ~ 851.
- 4 Sassen S. Global City: New York, London, Tokyo[M]. New Jersey: Princeton University Press. 2001.
- 5 Beaverstock J, Smith R G, Taylor P. World City network: a new mega geography[J]. Annals of the Association of American Geographers, 2000, 90(1): 123 ~ 234.
- 6 Taylor P. Specification of the World City Network[J]. Geographical Analysis. 2001, 33: 181 ~ 194.
- 7 Beaverstock J V, Smith R, Taylor P. A Roster of World Cities[J]. Cities, 1999, 16(6): 445 ~ 458.
- 8 陈伟劲, 马学广, 蔡莉丽等. 珠三角城市联系的空间格局特征研究——基于城际客运交通流的分析[J]. 经济地理, 2013, 04: 48 ~ 55.
- 9 王圣云, 秦尊文, 戴璐等. 长江中游城市群空间经济联系与网络结构——基于运输成本和网络分析方法[J]. 经济地理, 2013, 04: 64 ~ 69.
- 10 吴康, 方创琳, 赵游希. 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, 04: 711 ~ 728.
- 11 朱查松, 王德, 罗震东. 中心性与控制力: 长三角城市网络结构的组织特征及演化——企业联系的视角[J]. 城市规划学刊, 2014, 04: 24 ~ 30.
- 12 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[J]. 地理研究, 2010, 09: 1670 ~ 1682.
- 13 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, 12: 1587 ~ 1600.
- 14 王宝平, 徐伟, 余运江. 基于价值链—生产者服务业融合视角的中国城市网络研究[J]. 世界地理研究, 2014, 04: 77 ~ 84.
- 15 路旭, 马学广, 李贲才. 基于国际高级生产者服务业布局的珠三角城市网络空间格局研究[J]. 经济地理, 2012, 04: 50 ~ 54.
- 16 全丽, 李院, 刘建东. 基于跨国APS企业布局的国际城市网络格局研究——以天津为例[J]. 天津商业大学学报, 2012, 02: 36 ~ 40.
- 17 王聪, 曹有挥, 陈国伟. 生产性服务业视角下长三角城市网络特征分析[J]. 经济地理, 2013, 07: 74 ~ 80.
- 18 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, 08: 1031 ~ 1043.
- 19 龙瀛, 张宇, 崔承印. 利用公交刷卡数据分析北京职住关系和通勤出行[J]. 地理学

报, 2012, 10: 1339 ~ 1352.

- 20 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, 07: 67 ~ 73.
- 21 李明巨, 刘昱君, 陶阳, 张磊. 面向ArcGIS的Python脚本编程[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2014.
- 22 Paul A. Zandbergen. Python Scripting for ArcGIS[M]. Esri Press, 2013.
- 23 Stanley W, Katherine F. Social Network Analysis: Methods and Applications[M]. Cambridge University Press. 1994. 125 ~ 129.
- 24 Freeman L C. set of measures of centrality based on betweenness [J]. Sociometry, 1977, 40(1) : 35 ~ 41.
- 25 Fotheringham S. Spatial structure and distance-decay parameters[J]. Annals of the Association of American Geographers, 1981, 71(3): 425 ~ 436.
- 26 刘瑜, 龚俐, 重庆禧. 空间交互作用中的距离影响及定量分析[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2014, 03: 526 ~ 534.

作者单位：许留记，首都师范大学资源环境与旅游学院；龙瀛，清华大学建筑学院
责任编辑：刘道然