

封建社会中国城市空间结构的计量分析

李 博^{1,2}, 金淑婷¹, 陈兴鹏^{*1,2}, 石培基³, 达福文^{1,2}, 庞家幸^{1,2}

(1. 兰州大学 资源环境学院, 中国甘肃 兰州 730000; 2. 兰州大学 中国西部循环经济研究中心, 中国甘肃 兰州 730000;
3. 西北师范大学 地理与环境科学学院, 中国甘肃 兰州 730070)

摘 要:以封建社会中国城市系统为研究对象,综合运用相关计量地理学分析方法,对其空间分布模式进行初步探索性分析,结果表明:①整个研究时段内中国城市空间分布均处于凝聚状态;②中国城市具有向东南沿江沿海地区不断分散的趋势,尤其在宋朝时期,基本形成黄河中下游及长江中下游两大高阶城市热点区;③封建社会中国城市空间结构具有明显的分形特征,通过构造不同分维函数发现,中国城市空间分形正趋于不断完善,其整体具有明显分散的趋势,但局部地区集聚特征显著;④封建社会城市设置相对集中于地形平坦、气候适中而且靠近河流的地区。

关键词:空间结构; 计量分析; 城市; 封建社会; 中国

中图分类号:F291 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-8462(2015)09-0079-08

DOI:10.15957/j.cnki.jjdl.2015.09.011

Econometric Analysis of China's Urban Spatial Structure in Feudal Society

LI Bo^{1,2}, JIN Shu - ting¹, CHEN Xing - peng^{1,2}, SHI Pei - ji³, DA Fu - wen^{1,2}, PANG Jia - xing^{1,2}

(1. College of Resource and Environment, Lanzhou University, Lanzhou 730000, Gansu, China; 2. Research Center for Circular Economy in Western China, Lanzhou University, Lanzhou 730000, Gansu, China; 3. College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: Taking China's city system in the feudal society as the research object, this paper did a preliminary exploratory analysis on its spatial distribution pattern based on some relevant quantitative geography. The results showed that: 1) China's urban spatial distribution in the entire study period was in a condensed state; 2) China's cities were in the trend of dispersing to the southeast coastal areas, and especially in the Song Dynasty, there basically formed two high level city hot zones in the middle and lower reaches of the Yellow River and the Yangtze river; 3) China's urban spatial structure in the feudal society had obvious fractal characteristics. We found that China's urban spatial fractal was tending to constantly improve by constructing different fractal dimension function and the overall was in a decentralized trend while some regions had conspicuous agglomeration characteristics; 4) The cities in the feudal society tended to be located in flat regions near the rivers with moderate climate.

Key words: spatial structure; econometric analysis; city; feudal society; China

城市是文明时代最重要的标志,其产生标志着区域内先进文化、经济以及政治在空间上的集聚,作为特定区域内地理空间上的“有机体”,城市的“自然生长”过程有着其内在的空间秩序以及特定的结构体系^[1]。通过研究区域内城市空间结构来探索区域城市发展模式已经成为当前城市体系研究的主流之一。城市空间结构不仅涉及城市的空间分

布格局、空间联系以及组合状态,而且直接对区域城市发展模式及空间竞争产生深刻影响。国外关于城市空间结构研究,可以追溯到20世纪初,主要集中在区域城市的职能分类、规模等级,而关于区域城市空间结构研究则相对较少,如Harris、Nelson等分别采用统计描述法研究城市职能分类^[2-3];Jefferson借助统计数据研究了城市规模等级分布规律,

收稿时间:2015-04-20;修回时间:2015-06-29

基金项目:国家自然科学基金项目(41471462、41271133);兰州大学中央高校基本科研业务费专项资金资助(13LZUJBWZB003);中央高校基本科研业务专项资金(lzujbky-2015-216)

作者简介:李博(1985—),男,陕西蒲城人,博士研究生。主要研究方向为城市与区域发展、循环经济与区域可持续发展。E-mail: guoguodog@163.com。

※通讯作者:陈兴鹏(1963—),男,甘肃庆阳人,博士,教授,博士生导师。主要研究方向为循环经济与区域可持续发展。E-mail: chenxp@lzu.edu.cn。

并提出首位分布模式^[4];德国地理学家 Christaller 首次从经济学角度,考察城市空间体系结构并提出中心地理论^[5];1980 年代,以分形为代表的新的数学方法和模型开始不断被应用于解释城市空间复杂性的研究中,由此开始了城市空间复杂性研究,同时随着全球化与计算机技术的发展,从全球视角综合运用空间网络研究城市空间结构的方法理论逐步形成并不断完善^[6-10]。国内学者结合我国实际情况,从不同尺度对我国城市空间体系进行了分析,从研究成果来看,1980 年代的研究主要集中在城市节点的规模等级和职能两方面,进入 1990 年代后,城市节点的空间结构开始成为关注热点,且主要集中在城市节点空间分布特征、可达性及交通通达性分析、空间结构演化模式及优化^[11-14];从研究方法来看,多借助分形、点格局分析、重力分析、ESDA 分析、复杂网络等技术^[15-21]。整体来看,将 GIS 空间分析技术与数理统计相结合的定量研究已经成为中国城市空间结构研究的主流,但从整个研究阶段来看,中国城市空间结构量化研究主要集中在近 100 年时间段内,而相对缺少统计数据的封建社会城市空间结构的研究主要集中在定性分析,因此,本研究尝试借助 GIS 和相关分析技术(包括数理统计和空间分析)探究封建社会中国城市空间结构。

1 数据来源及研究方法

1.1 数据来源

研究中不同历史时期城市的资料主要来源于谭骥骧等人出版的《中国历史地图集》^[22]、崔乃夫等人编写的《中华人民共和国地名大辞典》^[23]以及田新民主编的《全国市县地名沿革表》^[24],同时参考历代官史地理志部分记录以及部分省市县志对部分数据做了重新校正,经二值化处理录入数据库,通过矢量化 2010 年《中国行政区划地图》建立中国城市 GIS 数据库。

1.2 研究方法

1.2.1 城市的界定及研究阶段的划分。本研究借助中国古代城市史中关于城市的相关研究,将封建社会县级及县级以上行政区驻点作为研究对象——城市。从现有研究来看,“县”起源于何时一直没有定论^[25-27],但可以肯定“县”作为一级行政单位的雏形始于我国春秋时期(770B.C—476B.C),由于此时的“县”仍保留“分封制”世袭的特点,因此从严格意义上讲还不能算是一级行政单位。秦灭六国(221B.C)后,全国推行“郡县制”,由此将“县”真正意义上

实现制度化,使得“县”作为一级行政单位延续至今。由于本研究涉及到的“城市”主要是指封建社会制度化的“县城”,因此,为了便于研究,本研究以秦为起始研究时间,以清末(1911 年)为结束时间,依据历史资料重新对各阶段起始年份、结束年份进行划分(表 1)^[28]。

表 1 历史年代划分标准

Tab.1 The division standard of Chinese history

图层编号	时代	时间
第一年代图层	秦	(前 221—前 206 年)
第二年代图层	汉(东汉、西汉、三国)	(前 206—280 年)
第三年代图层	晋(东晋、西晋)	(280—439 年)
第四年代图层	南北朝	(439—581 年)
第五年代图层	唐(隋、唐、五代十国)	(581—960 年)
第六年代图层	宋(宋、辽、夏、金)	(947—1279 年)
第七年代图层	元	(1271—1368 年)
第八年代图层	明	(1368—1644 年)
第九年代图层	清	(1636—1911 年)

1.2.2 平均最邻近指数(ANN)。主要通过将区域城市节点和其最邻近城市节点之间的平均距离与假设随机分布的期望平均距离进行比较,来判断与随机分布的偏离程度,其具体方法详见文献^[29]。

1.2.3 热点聚类。城市热点区域是城市节点在空间上大量集聚的表现,即节点密度较大的区域。本研究以热点聚类来探测封建社会不同历史时期城市在空间的集聚区域,具体方法详见参考文献^[29]。

1.2.4 分形分析

①网格维数的测度。利用不同尺寸网格对整个研究区域进行分割,并考察区域城市系统不同时期的空间分布形态以及城市节点占据的网格数 $N(\varepsilon)$ 与网格尺寸 ε 的关系。若该系统分布具有无标度性,则应有:

$$N(\varepsilon) \propto \varepsilon^{-a} \quad (1)$$

类比 Hausdorff 维数公式可知, $a=D_0$ 为分维数(称容量维),这里的前提是假设每个网格城市节点的空间分布均呈均衡状态,然事实并非如此。因此,需要对其进一步修订即通过近似定义不同网格尺寸 ε 下,第 i 行 j 列网格内的城市节点的概率 $P_{ij}(\varepsilon)$,考察其信息量^[30]:

$$I(\varepsilon) = - \sum_i \sum_j P_{ij}(\varepsilon) \ln P_{ij}(\varepsilon) \quad (2)$$

其中:

$$P_{ij}(\varepsilon) = \frac{N_{ij}(\varepsilon)}{N(\varepsilon)} \quad (3)$$

式中: $K=1/\varepsilon$ 为区域各边的分段数目; $N_{ij}(\varepsilon)$ 表示网格尺寸为 ε 第 i 行 j 列的网格内的城市节点数; $N(\varepsilon)$ 表

示全区域的城市节点数目。若城市系统具有分形,则应有:

$$I(\varepsilon) = I_0 - D_1 \ln \varepsilon \quad (4)$$

式中: I_0 为常数; D_1 为分维数(称信息维)。研究表明,信息维主要反映区域城市节点分布的均衡性,正常情况下, $0 \leq D_1 \leq 2$, D_1 越大表明城市体系空间分布越均衡,反之则越集中;当城市体系均匀地集中在一条线上时 $D_1 \rightarrow 1$ 。

②聚集维数的测算。本研究假定封建社会城市系统中各节点按照某种自相似规则围绕某中心城市节点(一般是等级系统中的较高级别城市)呈集聚分布形态,且各个方向上城市呈均匀变化,则可依据几何测度关系确定半径 r 的圆周内城市节点数目 $N(r)$ 与相应半径的关系,即有^[31]:

$$N(r) \propto r^{D_c} \quad (5)$$

对比 Hausdorff 维数公式可知,式中 D_c 为分维数(即聚集维数值),采用回转半径法测算封建社会城市系统空间聚集的分维数(D_c)。由于半径 r 的取值直接影响分维的数值,因此,本研究以平均半径替代,定义平均半径为:

$$R_s = \left\langle \left(\frac{1}{S} \sum_{i=1}^S r_i^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right\rangle \quad (6)$$

式中: R_s 为平均半径; r_i 为第 i 个城市节点到中心城市节点的欧式距离(称重心距); S 为城市节点个数, $\langle \dots \rangle$ 表示平均。则其分维关系表示为:

$$R_s \propto S^{\frac{1}{D_c}} \quad (7)$$

具体模型为:

$$\ln R_s = \frac{1}{D_c} \ln S + c \quad (8)$$

分维数值以2为基准,分维数值大于2说明城市节点的空间分布以中心城市为原点向四周呈密度递增趋势,分维数值越大,其城市空间离散程度越大;分维数值等于2说明城市空间分布在半径方向上呈均匀变化态势;分维数值小于2表明城市密度的空间分布从中心向四周递减,城市体系空间分布呈凝聚状态,分维数值越小,其空间分布的集聚程度越强^[31]。

③空间相关性模型的测度。已有研究表明,城市体系的空间分布具有明显的自相似性^[31-32]。根据

关联维数的一般定义,考虑到本研究中城市体系空间分布所具有的二维性,故其空间关联函数定义为:

$$C(r) = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N H(r - d_{ij}) \quad (9)$$

$$H(r - d_{ij}) = \begin{cases} 1, & (d_{ij} \leq r) \\ 0, & (d_{ij} > r) \end{cases} \quad (10)$$

式中: r 为距离标度; d_{ij} 为城市体系内第 i 个与第 j 个城市节点之间的直线距离; $C(r)$ 为符合距离标度的城市节点之间距离值个数; H 为 Heaviside 阶跃函数。城市体系空间分布标度不变性的特征有:

$$C(r) \propto r^a \quad (11)$$

式中: $a=D_c$ 即为分维数值。运用的模型为:

$$\ln C(r) = D_c \ln r + c \quad (12)$$

2 结果分析

2.1 ANN 分析结果

通过 ArcGIS9.3 计算城市分布的最邻近距离指数 ANN(表2),对比已有结果,ANN ≤ 0.5 和ANN ≥ 1.5 分别表示集聚分布和均匀分布; $0.5 < \text{ANN} \leq 0.8$ 为集聚—随机分布; $0.8 < \text{ANN} < 1.2$ 为随机分布; $1.2 \leq \text{ANN} < 1.5$ 为随机—离散分布^[29]。从表2中可以看出,封建社会中国城市体系的空间分布总体呈现集聚分布但具有逐步分散的趋势,且Z检验值高度显著。分时段考察表明,秦—南北朝中国城市空间集聚分布显著,唐以后城市空间分布总体处于集聚—随机分布态势。这表明在整个封建社会时期城市发展过程中,已有城市对新建城市空间指示作用明显,从而导致封建社会整个城市体系分布区域虽呈不断扩大趋势,但以某一城市为中心的集聚分布态势仍存在。

2.2 热点探测

结合中国城市热点探测结果(图1)来看,中国城市空间分布总体分为四个阶段:第一个阶段为中国城市体系初步确立阶段——秦,该阶段是中国在全国实行郡县制的最初阶段,此时城市的职能主要行使行政管理功能,城市自身发展相对封闭,城市之间的联系偏重于行政上的上下级联系。其设立主要受政治功能的影响,在空间上的分布主要集中于

表2 城市空间分布的最邻近距离指数

Tab.2 The nearest distance index of urban spatial distribution

时间	秦	汉	晋	南北朝	唐	宋	元	明	清
ANN	0.282	0.421	0.437	0.438	0.510	0.511	0.513	0.539	0.603
Z检验	-63.165	-54.787	-42.276	-79.156	-49.083	-48.970	-47.837	-48.526	-45.231

黄河中下游地区,其城市数量占全国总数的2/5。第二个阶段为中国城市第一次扩张阶段——汉至南北朝,该时期由于农业技术革新(以代田法和区种法为代表),使中国农业从原始粗耕状态进入精耕细作阶段,为城市兴起提供大量的商品粮食以及农副产品和手工业原料,同时,该时期交通道路在原有基础上进行修复和开拓,形成了贯穿全国的交通网,尤其是以长安为中心通往中亚各国“丝绸之路”的开发,使得中国西北地区城市发展,城市经济功能得到进一步提升,城市之间的联系更为紧密,促使部分区域城市网出现端倪。从该时期城市的空间分布来看,城市发展轴线出现,东部地区基本形成以黄河和长江为代表的沿河沿江发展轴,西部地区沿“丝绸之路”形成新的发展轴。第三个阶段为中国城市第二次扩张时期(唐—元),自东汉末年以来北方地区陷入长期的战乱状态,北方经济受到严重摧残,导致大规模向长江以南移民,加速长江以南经济的发展,促使该地区城市发展。同时商品性农业的发展,促进了手工业的发达,导致这一时期以新

兴手工业为主的城市兴起,商品的跨区域流通,有力推动了河港(以商品流通为主)城市、海港(以对外贸易为主)城市以及陆运交通城市的兴起与发展,特别是城市体系整体由相对封闭走向相对开放,以水运为主的区域性城市网络基本形成。该时期城市空间分布格局表现为南北地区城市数量基本相当,沿长江、黄河及大运河区域性城市网络已经形成,相对于第二阶段,沿海出现大量新增城市,热点探测表现为南北地区同时出现沿河走向的三阶城市热点区。第四个阶段为中国城市第三次扩张时期(明—清):明、清两代对边境移民推行屯田政策,使得中国西南地区、西北地区以及东北地区的边境地区城市数量得到进一步提升,沿海地区受明、清两代不稳定的对外贸易政策的影响,导致海港城市发展长期处于动荡时期,主要表现为大、中海港城市相对滞后和衰落,小型海港城市大量兴起。商品经济的进一步发展,导致地域组织的不同类型城市职能组合结构开始出现,进一步加强区域城市之间的经济联系。该时期城市空间分布表现为

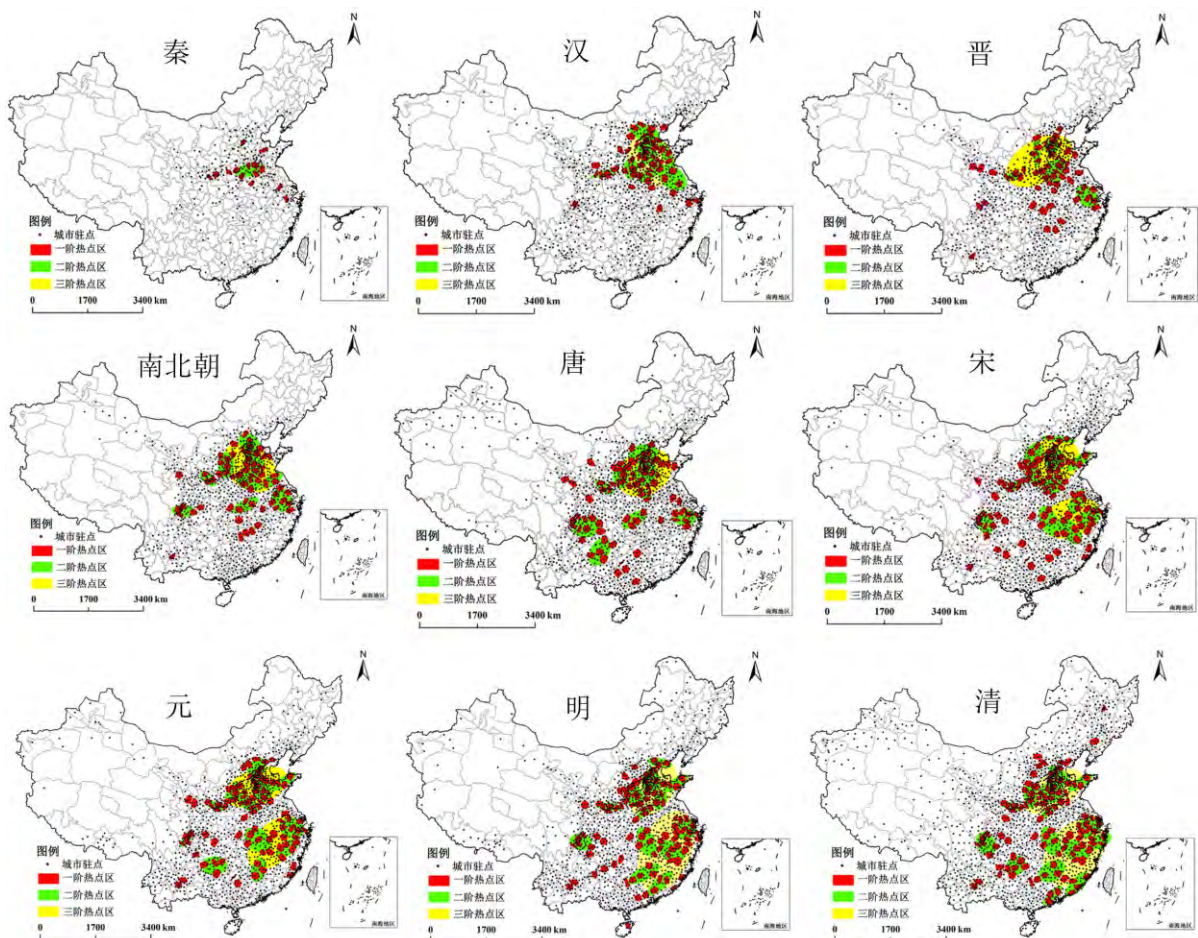


图1 城市空间分布热点探测

Fig.1 The hotspot detection of urban spatial distribution in China

沿江沿河原有城市发展轴进一步发展,以海港城市为代表的沿海城市发展轴进一步形成。城市热点探测表现为北方地区城市热点区仍集聚在黄河流域,南方地区三阶热点区由东西走向转向南北走向,范围由长江流域延伸到珠江流域。

2.3 城市空间分形研究

以分形理论为基础研究,研究区域城市空间结构,有助于揭示区域城市空间分布复杂现象背后的内在特征及机理。因此本部分尝试通过构造分形函数,揭示中国封建社会城市空间特征及内在机理。

2.3.1 网格维数的测算和分析。根据式(1)~式(4)对封建社会城市系统分布图进行网格分割,得出相应信息维计算数据,再根据这些基本数据做出封建社会城市系统的网格维数坐标图(图2),分别计算出城市系统的网格容量维数 D_0 以及信息维数 D_1 ,从中可以看出,容量维数 D_0 总体处于1.281~1.544之间,且有不断增大的趋势,表明封建社会时期中国城市在其自组织演化过程中,呈现出不断均衡的趋势。信息维数 D_1 总体处于0.493~0.423之间,远小于容量维数,且不断趋于0,这反映出封建社会时期中国城市节点空间分布不是等概率,而是呈现出明显的集聚状态,分形也表现出更为复杂状态。从网格维数与信息维数的差值来看,总体处于不断增大的

趋势,说明封建社会中国城市在其系统自组织演化过程中,空间分布总体不断均衡的同时,其局部集聚越来越明显,即局部具有围绕着某个中心不断集聚的过程。

相对而言,处于大一统的历史时期(秦、汉、晋、唐、元、明以及清),城市空间网格维数及容量维数变化较为规律,尤其是容量维数不断下降。而处于局部统一的南北朝及宋朝,其网格维数和容量维数相对于前后历史时期表现出明显的变异,这主要是由于各地方政权为了巩固其政权势力范围,对城市废立较为随意,从而导致这个时期城市空间分布较为均衡。

2.3.2 中国城市空间集聚性及其空间变化。由于地理环境及社会环境的不同,中国不同时期城市空间分布呈现出明显的区域化特点,本部分以2010年中国省级行政区为基本空间单元(内蒙古、黑龙江、西藏、青海地区以游牧为主,城市分布较少,本部分不予考虑,台湾及海南省由于整个封建社会城市发展相对缓慢,亦不做考虑),为了使得研究结论更为完整,消除各省之间行政区地域范围等方面的差别,依据清嘉庆二十五年(1820年)省级行政区划,将京、津、渝、沪四市分别并入邻近的河北省、四川省以及江苏省,将宁夏自治区并入甘肃省。

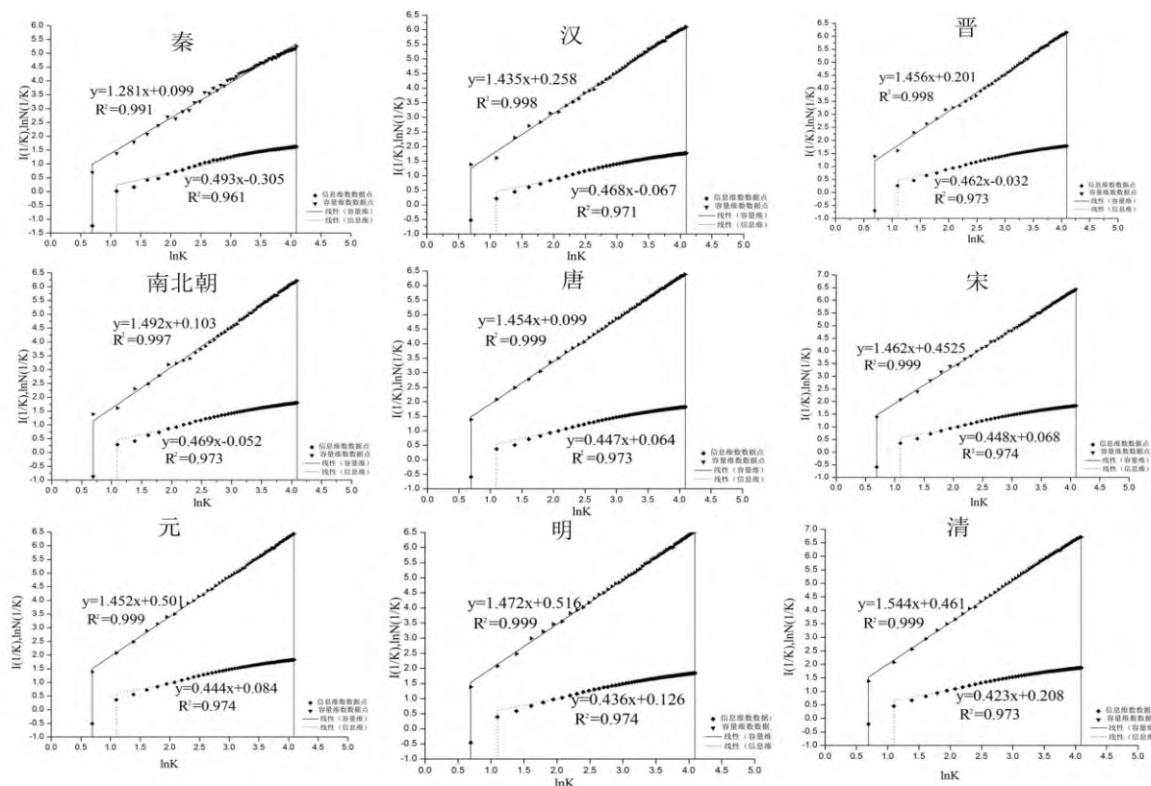


图2 中国城市系统网格分形维数双对数图

Fig.2 The double logarithmic graph of the city system grid fractal dimension in China

依据集聚分形维数算法式(5)~(8),对中国 22 个省区的城市空间结构随机集聚维数进行测算,并通过最小二乘法求出分维值 D_r ,得出各地区在各标度区间的空间结构聚集维数值(表 3),从中可知,中国封建社会各时期城市空间结构随机集聚分形特征明显。总体上在整个封建社会中,除安徽及湖北外,其他地区($D_r < 2$)城市随机分布具有明显的凝聚态,即从中心城市向周围地区城市密度不断衰减,表明封建社会中国城市系统的空间结构已呈现出自组织的演化趋势,中心城市对于新增城市指示作用明显,同时也进一步验证其网格维数 D_0 和容量维数 D_1 的表现情况。具体来看,安徽省自汉朝以后 $D_r > 2$,表明安徽省城市空间分布从中心城市(合肥市)向周围密度不断增加,城市空间结构比较松散;湖北省城市空间结构的无标度区有两段,聚集维数值在两段无标度区间的变化呈现明显的差异性。第一无标度区,对应半径 R 在 0~115km 区间内,湖北省城市空间分布结构由向心型转变为离散态分布。第二无标度区,对应半径 R 在 115~263km 区间内,其 $D_r < 2$ 说明这个区间城市空间分布处于凝聚状态。整个研究时间段内,河南省集聚维数变化最为平稳,表明河南地区城市空间变化较为均匀,广西省集聚维数 D_r 逐步趋于 2,表明广西省城市空间分布趋于均匀状态。

2.3.3 空间关联维数测算。依据空间关联维数测算(公式 9~12),通过 ArcGIS 分别测算出封建社会各时期城市之间的欧式距离,以步长 $\Delta r=30\text{km}$ 来取距离标度 r ,分别测算距离在不同 r 内的城市之间的距离个数 $C(r)$,这样就可以得出一系列点对 $(r, C(r))$,分别以 $\ln r$ 为横坐标,以 $\ln C(r)$ 为纵坐标做出散点图,通过相关系数法(R 大于 0.970)确定各时期的无标度区间,并在无标度区间对图中的散点进行回归拟合(图 3)。

从图 3 中可以看出,封建社会不同时期城市系统在一定的尺码分割区间内具有无标度特性,即封建社会中国城市系统空间结构存在分形。整个封建社会城市点系统的空间结构呈现出多分形特性,但同时不同分形结构之间的差异比较大,即说明封建社会城市系统空间分布结构自组织优化还没有完全形成,或者开始发生某些退化,空间结构自组织优化正在发生或者受到人为等无序性因素的干扰^[31];整个封建社会城市系统的无标度区间处于不断增长的趋势,反映出封建社会城市系统分形结构正在趋于完善中;整个研究时段内,城市关联维数值 D 整体趋近于 2,说明封建社会城市的空间分布整体趋于均匀。

2.4 中国城市空间分布自然影响因素分析

不同历史时期城市的形成受到多种因素的综

表 3 中国城市系统空间结构随机集聚维数值
Tab.3 The random aggregation dimension value of the urban spatial structure in China

省份	中心城市	秦	汉	晋	南北朝	唐	宋	元	明	清
吉林	长春	-	-	-	-	-	1.347	1.075	1.736	1.701
辽宁	沈阳	-	1.394	1.201	1.648	1.200	1.655	1.597	1.785	1.585
河北	北京	1.510	1.662	1.676	1.710	1.600	1.736	1.743	1.744	1.692
山东	济南	1.602	1.651	1.683	1.715	1.978	1.849	1.847	1.755	1.777
河南	洛阳	1.833	1.877	1.856	1.891	1.894	1.851	1.825	1.822	1.826
山西	太原	1.507	1.704	1.583	1.665	1.708	1.897	1.811	1.850	1.850
陕西	西安	1.260	1.424	1.471	1.423	1.417	1.412	1.382	1.484	1.501
湖北	武汉	2.170	1.855	1.555	1.985	1.880	2.319	2.342	2.403	2.336
			1.274	0.963	0.822	0.920	0.981	0.844	0.838	0.839
湖南	长沙	-	1.681	1.640	1.768	1.670	1.737	1.749	1.762	1.687
江西	西昌	-	1.504	1.585	1.650	1.809	1.627	1.624	1.600	1.608
浙江	杭州	0.912	1.11	1.199	1.181	1.225	1.265	1.265	1.287	1.285
江苏	南京	1.240	1.487	1.309	1.295	1.541	1.592	1.556	1.377	1.410
安徽	合肥	1.825	2.065	2.114	2.172	2.029	2.086	2.053	2.343	2.345
福建	福州	-	-	2.046	1.452	1.287	1.452	1.534	1.603	1.683
广东	广州	-	1.492	1.844	1.810	1.592	1.490	1.655	1.607	1.526
广西	南宁	-	1.699	1.845	2.059	1.875	1.885	1.964	1.972	1.986
贵州	贵阳	-	-	1.711	1.745	1.652	1.657	1.796	1.560	1.662
四川	成都	0.642	1.147	1.281	1.331	1.427	1.407	1.341	1.402	1.406
云南	大理	-	1.253	1.330	1.286	1.362	1.169	1.298	1.337	1.377
新疆	乌鲁木齐	-	-	-	-	1.337	1.423	0.960	1.919	1.221
甘肃	兰州	1.861	1.337	1.412	1.496	1.645	1.519	1.473	1.462	1.494

注:“-”表示区域城市数量过少,不便拟合。

合影响,本研究选取气候、地形、水源等可能影响因素,对中国各朝城市设置的自然影响因素进行分析研究。

2.4.1 多变量驱动空间自然因素分析。考虑到各朝城市设置的复杂性,往往涉及多种要素,因此,需要通过研究多因素的综合影响。由于变量具有二值化特点(不同时期,设立城市取1,不设城市取0),模型可以表示成多元Logistic回归模型^[33-34]:

$$\ln\left(\frac{p_i}{1-p_i}\right)=\beta_0+\beta_1X_1+\beta_2X_2+\cdots+\beta_nX_n \quad (13)$$

式中: $p_i=P(y_i|X_1,X_2,\cdots,X_n)$ 为系列自变量 X_1,X_2,\cdots,X_n “设置城市”或“不设城市”事件发生的概率; $\beta_0,\beta_1,\beta_2,\cdots,\beta_n$ 是待估回归系数,此模型通常采用最大似然法求解。

在 Logistic 回归模型中,自变量之间的相关性往往影响回归结果的准确性,为此,本研究借助因子分析法来克服这一困难。从计算结果来看,其 KMO 检验值为 0.601, Bretlett 球检验的相伴概率均为 0.000,小于显著性水平 0.01,适合因子分析。依据各时期主因子碎石图,提取 3 个主因子,其累计方差贡献率达到 80.957%。为了明晰各个主成分的

含义,对初始因子载荷矩阵进行 Varimax 旋转,得到旋转后的因子载荷矩阵(表 4),从中可以看出第一主因子的方差贡献率为 32.806%,主要包括高程、起伏度、坡度;第二主因子方差贡献率为 29.827%,主要包括平均降水、平均气温;第三主因子方差贡献率为 18.325%,主要包括距离水系、蒸发量,上述各因子与其主成分之间均成正相关,本研究依次将其命名为“地形因子”、“气候因子”和“水源因子”。

表 4 原始变量在各因子上的载荷
Tab.4 The load of original variables on each factor

	地形因子	气候因子	水源因子
高程	0.900	-0.309	0.133
起伏度	0.875	-0.341	0.128
坡度	0.822	0.191	-0.090
降水	-0.058	0.937	-0.159
平均气温	-0.188	0.890	0.016
蒸发量	0.075	-0.400	0.679
距离水系	-0.023	0.105	0.868

以 3 个因子得分作为自变量,将其代入式(13),依据各时期城市设置的具体情况进行 Logistic 回归分析,从回归结果(表 5)可以看出,不同朝代城市设立受各因子影响具有显著的差异性。

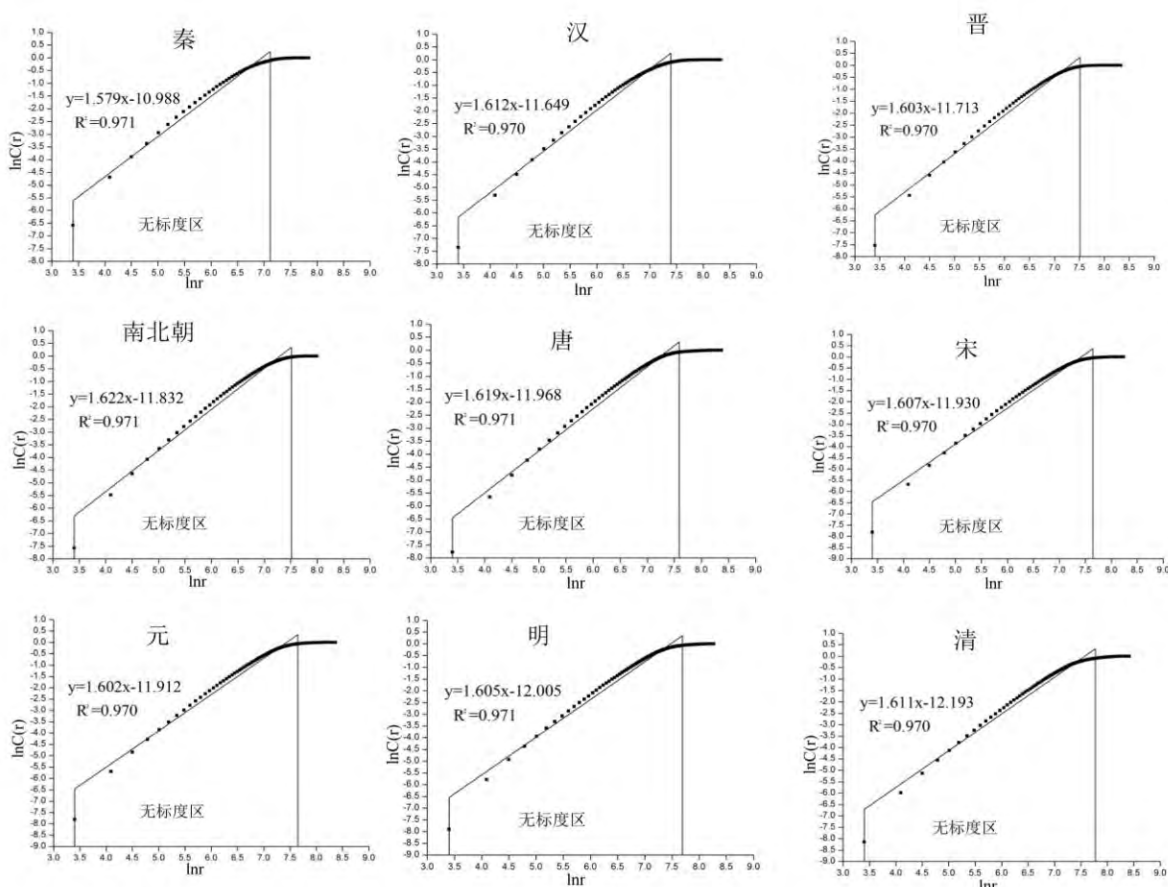


图3 中国城市系统空间关联分形维数双对数图

Fig.3 The double logarithmic graph of the city spatial correlation fractal dimension in China

表 5 中国城市相关因素多元 Logistic 回归
Tab.5 Multivariate Logistic Regression on urban
relevant factors in China

朝代	地形因子	气候因子	水源因子	常数
秦	-0.781*** (0.109)	-0.162** (0.068)	-0.278*** (0.083)	-2.331*** (0.076)
汉	-0.340*** (0.047)	-0.182*** (0.042)	-0.159*** (0.046)	-0.745*** (0.041)
晋	-0.254*** (0.045)	0.158*** (0.040)	-0.265*** (0.048)	-0.634*** (0.040)
南北朝	-0.281*** (0.044)	0.209*** (0.039)	-0.254*** (0.046)	-0.403*** (0.039)
唐	-0.155*** (0.039)	0.232*** (0.038)	-0.139*** (0.040)	-0.119*** (0.038)
宋	-0.339*** (0.042)	0.281*** (0.039)	-0.321*** (0.045)	0.045 (0.039)
元	-0.115*** (0.039)	0.344*** (0.039)	-0.208*** (0.042)	-0.006 (0.038)
明	-0.123*** (0.039)	0.402*** (0.039)	-0.180*** (0.041)	0.235*** (0.039)
清	-0.031 (0.039)	0.179*** (0.039)	-0.050 (0.039)	0.578*** (0.039)

注：样本数 n=2862，括号内为标准方差，*表示显著水平为 0.01，**表示显著水平为 0.005，***表示显著性水平为 0.001。

从各因子 Logistic 回归系数来看，整个研究阶段地形因子和水源因子回归系数值均表现为负值，说明在整个研究阶段，中国城市的建立均与地形、水源两个因子呈负相关，即中国城市的建立趋向于海拔较低，且靠近河流、地形平坦地区。气候因子在秦汉两个阶段表现为负值，其他均表现为正值，说明秦汉以后中国城市正逐步向气候更为湿润的地方集聚；从各因子的显著性来看，明以前各自然因子与城市建立均表现为显著相关，说明在这个阶段，中国城市的建立受自然因子作用比较明显，清时期，地形因子和水源因子的显著性降低，气候因子仍表现出显著性，说明该时期，地形和水源对中国城市的建设影响正逐步下降，而此时城市的建设还在向东聚集；从各因子的绝对值来看，地形因子在唐以前，表现为最大，唐以后（除宋），气候因子最大，说明唐以前城市建立主要受制于地形因子，唐以后城市建立主要受制于气候因子，尤其是地形因子表现为持续减小的趋势，说明地形对于人类城市的建设作用在持续减小。

3 结论与讨论

本研究综合利用相关计量地理学方法，对封建社会城市空间结构进行初步分析研究，一定程度上拓展了封建社会城市空间结构研究的新途径。研究发现：①城市节点的平均最邻近指数(ANN)的测算结果表明，封建社会中国城市空间分布总体处于凝

聚状态，但具有逐步分散的趋势；②从封建社会城市热点分析发现，整个研究时段城市较高一级热点主要分布在长江及黄河中下游地区，且长江中下游热点区具有不断向东南沿海地区移动的趋势，一定程度上为学者关于城市具有趋向沿海地区集聚的研究提供佐证；③以分形理论研究表明，封建社会中国城市在空间结构方面存在明显的分形特征，网格维数的测算表明中国城市整体区域分散，但局部集聚特征明显，省区内的集聚维数表明，除新疆外，其他省区城市均表现出不断趋于均匀分布的趋势，发育较早的黄河及长江流域城市集聚维数表现得相对较为平稳，发育较晚的东北地区城市集聚维数变化较为剧烈，空间关联维数研究表明，封建社会城市空间分形正在趋于完善，且其空间分布整体趋于均匀；④从不同时期城市设置相关自然因素分析可以看出，不同因子对于封建社会各朝城市设立的显著性影响差异明显，气候因子的显著性具有较强的持续性，同时，各因子对整个封建社会城市设置影响大小具有一定变动性，秦—南北朝时期，地形因子影响最为显著，唐以后气候因子最为显著。从因子的影响方向上来看，气候因子除在秦汉时期处于负方向外，其他朝均处于正向影响，其他几个因子影响方向均处于负向。

本研究通过综合运用计量分析方法，对中国封建社会城市系统的复杂结构进行研究，一定程度上弥补了传统关于封建社会城市空间结构定量刻画的不足，同时，也比较完整地勾勒出封建社会城市演化规律。但是由于相关数据的缺乏，关于城市等级空间研究还存在不足，还有待于进一步提升。

参考文献：

[1] 杨永春. 中国西部河谷型城市的发展和空间结构研究[D]. 南京: 南京大学, 2003.
[2] Harris C D. The market as a factor in the localization of industry in the United States[J]. Annals of the Association of American Geographers, 1954, 44: 315 – 348.
[3] Nelson H J. The functional structure of Canadian cities[J]. Geographical Bulletin, 1955, 31(3): 189 – 210.
[4] Jefferson M. The law of the primate city[J]. Geographical Review, 1939: 226 – 232.
[5] 沃尔特·克里斯塔勒. 德国南部中心地原理[M]. 常正文, 王兴中, 译. 北京: 商务印书馆, 2010.
[6] Friedmann J, Wolff G. World city formation: an agenda for research and action (urbanization process)[J]. International Journal of Urban & Regional Research, 1982, 6(3): 309 – 344.
[7] Taylor P J, Walker D R F, Catalano G, et al. Diversity and pow-

(下转第 140 页)

- 查[J]. 资源科学, 2008, 30(10): 1 491 - 1 496.
- [4] 卞琦娟, 周曙东, 葛继红. 发达地区农地流转影响因素分析——基于浙江省农户样本数据[J]. 农业技术经济, 2010(6): 28 - 36.
- [5] 赵丙奇, 周露琼, 杨金忠, 等. 发达地区与欠发达地区土地流转方式比较及其影响因素分析——基于对浙江省绍兴市和安徽省淮北市的调查[J]. 农业经济问题, 2011(11): 60 - 65.
- [6] 李庚. 农村土地流转的空间差异及成因分析——以陕西关中三县为例[J]. 人文地理, 2012(1): 102 - 106.
- [7] 陈琼, 蔡运龙. 经济欠发达地区农户对耕地非农转换的价值感知[J]. 地理研究, 2013, 32(2): 203 - 213.
- [8] 许恒周, 郭玉燕. 农民非农收入与农村土地流转关系的协整分析——以江苏省南京市为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(6): 61 - 66.
- [9] 王成超, 杨玉盛. 农户生计非农化对耕地流转的影响——以福建省长汀县为例[J]. 地理科学, 2011, 31(11): 1 362 - 1 367.
- [10] 高珊, 黄贤金. 农村市场化对农户耕地流转的影响[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(7): 816 - 820.
- [11] 王兆林, 杨庆媛. 农户兼业行为对其耕地流转方式影响分析——基于重庆市 1096 户农户的调查[J]. 中国土地科学, 2013, 27(8): 67 - 74.
- [12] 李中. 农村土地流转与农民收入[J]. 经济地理, 2013, 33(5): 144 - 149.
- [13] 陈美球, 肖鹤亮, 何维佳, 等. 耕地流转农户行为影响因素的实证分析——基于江西省 1396 户农户耕地流转行为现状的调研[J]. 自然资源学报, 2008, 23(3): 369 - 374.
- [14] 张务伟, 张福明, 杨学成. 农业富余劳动力转移程度与其土地处置方式的关系——基于山东省 2421 位农业转移劳动力调查资料的分析[J]. 中国农村经济, 2009(3): 85 - 90.
- [15] 郝海广, 李秀彬, 田玉军, 等. 农牧交错区农户耕地流转及其影响因素分析[J]. 农业工程学报, 2010, 26(8): 302 - 307.
- [16] 吕世辰, 李华. 准市民参与耕地流转的现状及其影响因素——基于中部地区省内流动的准市民群体的考察[J]. 中国农村经济, 2011(4): 57 - 64.
- [17] 陈美球, 吕添贵, 许莉, 等. 外出打工对耕地流转影响的实证分析[J]. 江西农业大学学报: 社会科学版, 2011, 10(1): 13 - 18.
- [18] 易小燕, 肖碧林. 典型地区农民耕地流转基本特征及影响因素分析[J]. 资源与产业, 2011, 13(1): 158 - 165.
- [19] 易小燕, 陈印军. 农户转入耕地及其“非粮化”种植行为与规模的影响因素分析——基于浙江、河北两省的农户调查数据[J]. 中国农村观察, 2010(6): 2 - 10.
- [20] 乔颖丽, 岳玉平. 土地流转中农业规模经营组织类型的经济分析——基于农户与规模经营组织双向层面的分析[J]. 农业经济问题, 2012(4): 55 - 61.

(上接第86页)

- er in the world city network[J]. Cities, 2002, 19(4): 231 - 241.
- [8] Taylor P J, Evans D M, Pain K. Application of the interlocking network model to Mega-City-Region. Measuring polycentric city within and beyond city-regions[J]. Regional Studies, 2008, 42(8): 1 079 - 1 093.
- [9] Sassen S. Locating cities on global circuits[J]. Environment and Urbanization, 2002, 14(1): 13 - 30.
- [10] 杨永春. 西方城市空间结构研究的理论进展[J]. 地域研究与开发, 2003, 22(4): 1 - 4.
- [11] 房艳刚, 刘鸽, 刘继生. 城市空间结构的复杂性研究进展[J]. 地理科学, 2005, 25(6): 754 - 761.
- [12] 胡天新, 李平. 批判实在论在城市空间研究中的应用[J]. 地理研究, 2006, 25(5): 775 - 784.
- [13] 刘贤腾. 空间可达性研究综述[J]. 城市交通, 2007, 5(6): 36 - 43.
- [14] 刘大均, 谢双玉, 陈君子, 等. 基于分形理论的区域旅游景区系统空间结构演化模式研究: 以武汉市为例[J]. 经济地理, 2013, 33(4): 155 - 160.
- [15] 李传武, 张小林, 吴威. 基于分形理论的江苏沿江城镇体系研究[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(1): 1 - 6.
- [16] 薛俊菲, 陈雯, 曹有挥. 2000 年以来中国城市化的发展格局及其与经济的相关性: 基于城市单元的分析[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(1): 1 - 7.
- [17] 顾朝林, 庞海峰. 建国以来国家城市化空间过程研究[J]. 地理科学, 2009, 29(1): 10 - 14.
- [18] 李震, 顾朝林, 姚士煤. 当代中国城镇体系地域空间结构类型量化研究[J]. 地理科学, 2006, 26(5): 544 - 550.
- [19] 冷炳荣, 杨永春, 李英杰, 等. 中国城市经济网络结构空间特征及其复杂性分析[J]. 地理学报, 2011, 66(2): 199 - 211.
- [20] 李博, 石培基, 金淑婷, 等. 甘肃省及其毗邻区经济差异空间演化研究[J]. 经济地理, 2013, 33(4): 40 - 46.
- [21] 蔡芳芳, 濮励杰, 张健, 等. 基于 ESDA 的江苏省县域经济发展空间模式解析[J]. 经济地理, 2012, 32(3): 22 - 28.
- [22] 谭骥骥. 中国历史地图集[M]. 北京: 中国地图出版社, 1982.
- [23] 崔乃夫. 中华人民共和国地名大辞典[M]. 北京: 商务印书馆, 2000.
- [24] 田新民. 全国市县地名沿革表[M]. 石家庄: 河北人民出版社, 2012.
- [25] 周书灿. 中国早期国家结构研究[M]. 北京: 人民出版社, 2002.
- [26] 周振鹤. 县制起源三阶段说[J]. 中国历史地理论丛, 1997(3): 23 - 38.
- [27] 陈剑. 先秦时期县制的起源与转变[D]. 长春: 吉林大学, 2009.
- [28] 金淑婷, 李博, 杨永春, 等. 地学视角下的中国县级行政区空间格局演变[J]. 经济地理, 2015, 35(1): 29 - 37.
- [29] 从忆波. 中国 A 级旅游景区空间结构与可达性测度[D]. 兰州: 兰州大学, 2013.
- [30] 黄泰, 保继刚, 戴学军. 苏州城市游憩场点系统空间结构分形[J]. 地理科学进展, 2009, 28(5): 735 - 743.
- [31] 刘继生, 陈彦光, 余斌. 区位选择与人文地理系统的分形优化[J]. 地理科学, 1998, 18(4): 328 - 334.
- [32] 程开明, 庄燕杰. 城市体系位序—规模特征的空间计量分析: 以中部地区地级以上城市为例[J]. 地理科学, 2012, 32(8): 905 - 912.
- [33] 李洪, 宫兆宁, 赵文吉, 等. 基于 Logistic 回归模型的北京市水库湿地演变驱动力分析[J]. 地理学报, 2012, 67(3): 357 - 367.
- [34] 王济川, 郭志刚. Logistic 回归模型: 方法与应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.