

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2019.05.020

2000—2013 年中国主要城市空间形态变化研究^①

郭煜琛, 田国行, 赵 芮,
申鑫杰, 董宝宝, 何瑞珍

河南农业大学 林学院, 郑州 450002

摘要: 以 Landsat TM/ETM+ 影像为数据源, 提取出 2000—2013 年我国 29 个主要城市建成区用地信息, 测算了各城市的扩张速度、紧凑度、分形维数和形状指数, 并运用相关性分析研究了影响城市形态变化的因素, 研究发现: 城市扩张速度明显加快, 且速度大小呈现出东部、中部、东北、西部依次递减的规律; 城市空间紧凑度下降, 城市总体呈现分散化扩张; 城市分形维数增加, 城市空间破碎度增强; 形状指数总体呈现增加趋势, 城市形状更加复杂化; 人口、经济、交通、城市建设因素与城市建成区面积之间存在显著正相关, 是城市扩张的主要驱动因素; 地形因素与建成区面积、紧凑度呈显著负相关, 与分形维数、形状指数呈显著正相关; 地形对城市扩张表现出明显的制约作用, 地形的复杂化降低了城市紧凑度, 增加了分形维数和形状指数, 使城市形状趋于复杂; 地形的影响力在西部地区更为明显, 并且不同范围内的地形影响力也不同, 存在一定的梯度效应。

关键词: 城市空间形态; 城市扩张; 形状指数; 相关性分析; 中国城市

中图分类号: TU984.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2019)05-0139-10

城市空间形态是城市在自然环境、历史发展、城市功能结构、空间发展政策以及规划管理等多因素互相作用下的结果^[1]。一个城市的空间形态演变能够清晰地刻画城市化的推进过程, 并且城市的空间形态也会影响城市的可持续发展。西方国家关于城市形态的研究起步较早, 从 19 世纪初开始, 在城市形态的研究中提出了一系列理论和方法^[2-6]。我国对此的相关研究则从 20 世纪 80 年代初开始起步。近年来随着我国城市化速度加快, 城市空间形态的研究也越来越受到城市规划、城市地理学界的关注^[7-11], 目前国内有关城市空间形态的研究可大致分以下 3 类: ① 城市空间形态的测度方法: 林炳耀^[12]系统地列举了 8 类 11 种形状计量指标, 并对其在描述城市空间形态方面的应用进行了评价; 刘纪远等^[13]利用“凸壳原理”对城市扩张类型进行判别, 将城市扩张类型分为填充型和延伸型, 发现 1990—2000 年安徽省城市扩张主要以填充型为主; 刘小平等^[14]提出景观扩张指数的概念, 将城市扩张方式分为填充式、边缘式和飞地式。② 城市形态特征的描述: 余瑞林等^[15]研究了不同定义下的城市分形维数之间的关系, 并对 1990—2000 年我国 31 个城市的分形维数进行测度, 发现城市分形维数减小, 并且南方城市分形维数大于北方; 张星星等^[16]运用填充-边缘-跳跃指数、凝聚指数、地形位指数对重庆市多年用地数据进行分析, 揭示了重庆主城区空间扩展过程及模式; 郭晶鹏等^[17]对哈尔

① 收稿日期: 2018-06-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(31470029); 河南省科技厅产学研资助项目(142107000101); 河南省科技厅科技攻关项目(2014Z06)。

作者简介: 郭煜琛(1992-), 男, 硕士研究生, 主要从事城市形态与城市微气候方面的研究。

通信作者: 何瑞珍, 副教授, 硕士研究生导师。

滨、大庆、齐齐哈尔 3 个城市多年的城市遥感数据进行分析,探讨了 3 个城市建设用地扩张的时空特征,并提出了相关的建设意见。③ 城市空间形态的扩张机制:吴宏安等^[18]运用监督分类法和归一化裸露指数法提取了西安市城市边界信息,并统计了相关资料,发现西安市城市快速扩张的驱动因素主要为经济发展、人口增长和基础设施建设;彭山桂等^[19]利用门限回归模型研究了 1994—2012 年省际面板数据,发现合理的城市扩张主要以经济和人口为驱动,不合理的城市扩张主要以财税和政绩考核等因素为驱动;熊皓等^[20]研究了驱动力和制约力作用下的城市空间形态的变化,提出了合理的城市形状指数取值范围。

总结已有研究发现,目前对城市空间形态的研究仍有不足:从研究方法来看,定性描述较多而定量分析较少;从研究对象来看,以单个城市或区域为对象的研究较多,而缺乏全国范围内的城市形态研究;从研究内容来看,对城市形态的影响机制研究较少,特别是对地形因素影响城市形态的研究不多。本研究在前人研究的基础上,以全国 29 个主要城市(省会城市和直辖市)为研究对象,计算了 2000 年和 2013 年城市的建成区面积、扩张速度、紧凑度、分形维数以及形状指数,分析了 2000—2013 年城市空间形态的变化特征。在此基础上运用相关性分析法探究了城市发展过程中人口、经济、交通、城市建设和地形等因素与城市形态之间的关系,以期为今后我国城市规划工作提供理论依据。

1 数据与方法

1.1 遥感影像及处理

各城市建成区边界提取是基于卫星遥感数据,统一采用美国 Landsat 系列卫星数据。其中 2000 年采用 Landsat 5 TM 影像,2013 年采用 Landsat 7 ETM+ 影像,总数据量超过 200 G。选在夏、秋两季,天空云量较少、干扰较小的时段进行影像获取。影像下载自地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)。遥感影像的空间分辨率为 30 m,下载后的数据经过了辐射校正和几何校正。

本研究采用最大似然法^[21]对 Landsat 卫星影像进行分类,根据不同的光谱反射特征,选取训练区,进行人机交互式分类,分别提取出 2000 年和 2013 年城市建成区边界(图 1)。将所得结果与谷歌高清卫星图进行校对,所得分类结果精度达 90% 以上,满足研究需要。

1.2 城市空间形态

城市空间形态指城市空间在形状、紧凑性、破碎性等方面所表现出的特征^[22]。本研究测算了 2000 年和 2013 年我国 29 个主要城市(包括省会城市和直辖市)的建成区面积,并计算了城市建成区的扩张速度、紧凑度、分形维数和形状指数,以探究城市空间形态变化特征。

1.2.1 紧凑度

城市形态的紧凑度是反映城市空间形态的一个非常重要的指标。紧凑度指数 k_{BCI} 计算公式为^[12]

$$k_{BCI} = 2\sqrt{\pi A} / P \quad (1)$$

式中: A 为建成区面积, P 为城市建成区轮廓的周长。城市紧凑度指数值越大,说明其形状越紧凑。

1.2.2 分形维数

分形维数可以直观地理解为不规则几何形状的非整数维数,可用于描述城市边界形状的复杂性,计算公式为^[23]

$$F = 2\ln(P/4) / \ln A \quad (2)$$

式中: F 是分维数; A 为建成区面积, P 为城市建成区轮廓的周长。一般欧式几何形状的分形维数为 1; 具有复杂边界的几何形状的分维数大于 1, 小于 2, 分维数越大, 表示几何形状越复杂。

1.2.3 形状指数

形状指数是一种对城市形态的定量描述方法, 本文引用 Boyce-Clark 指数^[2]测算城市形状指数, 其原

理是将城市形状与标准圆形作比较, 得出相对值. 计算公式为

$$k_{\text{SBC}} = \sum_{i=1}^n \left| \left[\left(r_i / \sum_{i=1}^n r_i \right) \times 100 - \frac{100}{n} \right] \right| \quad (3)$$

式中: k_{SBC} 是形状指数; r_i 是半径, 表示某图形的优势点距图形外围的长度, 优势点可以取中央商务区 (CBD) 的中心, 也可取图形的质心, 本研究取质心; n 是辐射半径个数, 本研究 n 取 32. 表 1 是当 $n=32$ 时各规则图形的 Boyce-Clark 形状指数.

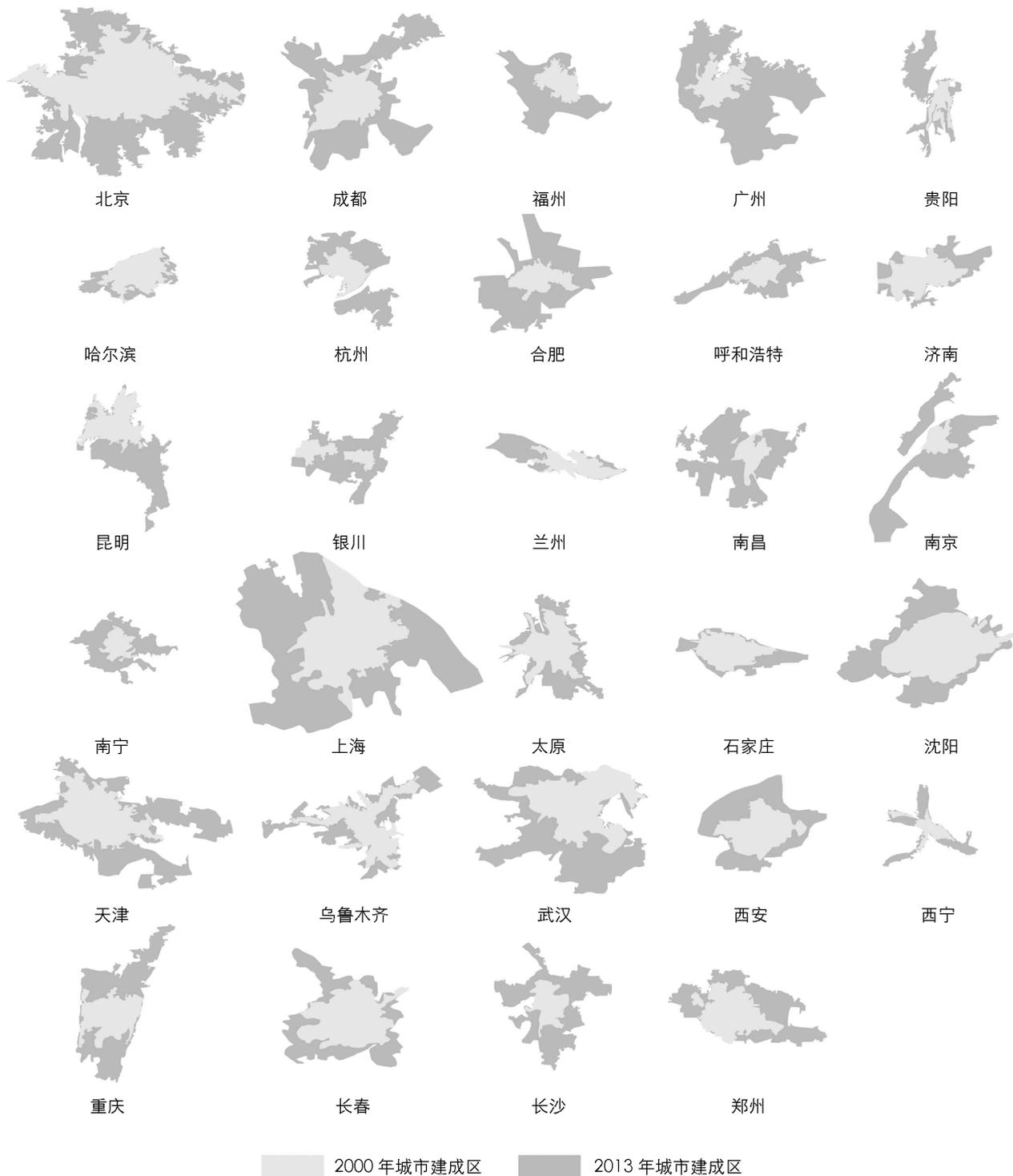


图 1 2000—2013 年城市建成区范围图

表 1 规则图形的形状指数

类型	圆形	正八边形	菱形	正方形	竖矩形	横矩形	星形	H 形	扁矩形	X 形
形状指数	0.000	2.060	9.656	9.658	25.286	33.041	34.852	49.706	59.880	66.366

1.3 影响因素的选择

以往的研究普遍认为城市人口、经济、地理环境等因素对城市形态的变化有较大影响^[24-26],在参考大量国内外研究的基础上,选取了 5 类因素作为潜在的影响变量:一是人口因素,选取年末总人口;二是经济因素,选取 GDP 总量、固定资产投资总额;三是对外交通因素,选取客运总量、货运总量;四是城市建设因素,选取城市道路铺装面积、城市绿地率、房地产投资额;五是地形因素,选取平均高程、平均坡度.其中地形因素数据来自于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)下载的 30 m 分辨率 DEM 数据,运用 ArcGIS 的空间分析工具计算坡度,最终统计出一定范围内高程和坡度的平均值.考虑到城市面积增加,地形因素的影响范围也会变化,本研究以城市中心点为圆心分别以 15 km 和 25 km 为半径做缓冲区,计算缓冲区内高程和坡度的平均值.其余 4 类因素的数据通过查找年鉴^[27-28]获取.

2 结果与分析

2.1 城市形态变化特征

2.1.1 建成区面积

通过对 Landsat 卫星影像的提取,获得 29 个城市建成区面积,并对其增长速率和扩张速度进行计算(表 2).由表 2 可知,2000 年城市面积最大的是北京(762.24 km²),之后是上海(722.5 km²)和武汉(460.71 km²);2013 年上海(2 168.59 km²)面积最大,其次为北京(1 578.88 km²)、南京(1 264.58 km²)、武汉(1 063.25 km²)、广州(1 003.83 km²),建成区面积均达到 1 000 km² 以上.面积较小的城市多集中在西部和东北地区,分别是 2000 年的西宁(49.6 km²)、贵阳(65.02 km²)、南宁(69.49 km²)和 2013 年的西宁(136.92 km²)、兰州(185.23 km²)、哈尔滨(218.90 km²).从扩张速度来看,上海(111.24 km²/a)、南京(85.24 km²/a)、广州(65.01 km²/a)、北京(62.82 km²/a)较快;而年增长率较快的是南京(17.44%)、南昌(15.38%)、广州(15.24%)、合肥(13.48%).总体来看,东部城市的建成区扩张速度较快,平均值达 47.77 km²/a;中部次之,为 30.21 km²/a,之后是东北地区(18.83 km²/a)和西部地区(18.42 km²/a).

表 2 29 个城市建成区面积、增长速率及扩张速度

分区	城市	面积/km ²		增长 速率/%	扩张速度/ (km ² ·a ⁻¹)	分区	城市	面积/km ²		增长 速率/%	扩张速度/ (km ² ·a ⁻¹)
		2000 年	2013 年					2000 年	2013 年		
东部	北京	762.24	1 578.88	5.76	62.82	西部	成都	248.74	930.07	10.68	52.41
	上海	722.50	2 168.59	8.82	111.24		乌鲁木齐	240.30	437.57	4.72	15.17
	天津	345.92	842.83	7.09	38.22		西安	233.93	574.07	7.15	26.16
	济南	187.86	325.05	4.31	10.55		重庆	190.46	524.11	8.10	25.67
	石家庄	164.92	270.49	3.88	8.12		昆明	179.05	438.13	7.13	19.93
	广州	158.72	1 003.83	15.24	65.01		兰州	103.52	185.23	4.58	6.29
	南京	156.47	1 264.58	17.44	85.24		银川	74.36	311.21	11.64	18.22
	福州	122.51	463.74	10.78	26.25		呼和浩特	69.79	255.95	10.51	14.32
中部	杭州	113.00	405.09	10.32	22.47	南宁	69.49	288.26	11.56	16.83	
	武汉	460.71	1 063.25	6.64	46.35	贵阳	65.02	260.69	11.27	15.05	
	郑州	225.09	498.49	6.31	21.03	西宁	49.60	136.92	8.12	6.72	
	太原	201.94	395.90	5.31	14.92	沈阳	437.69	830.43	5.05	30.21	
	合肥	123.12	637.54	13.48	39.57	东北	长春	312.22	587.31	4.98	21.16
	长沙	101.45	445.61	12.06	26.47	哈尔滨	152.24	218.90	2.83	5.13	
	南昌	78.88	506.59	15.38	32.90						

2.1.2 紧凑度

通过对紧凑度的分析可以发现(表 3), 29 个城市差异较大. 总体而言, 2000—2013 年城市空间的紧凑度呈下降趋势, 紧凑度下降的城市有 20 个, 占所研究城市总数的 69%; 紧凑度平均值从 2000 年的 0.43 下降到了 2013 年的 0.40, 标准差从 2000 年的 0.10 增加至 2013 年的 0.12, 说明 2000—2013 年, 所研究城市的建设用地呈现分散化扩张, 趋于不紧凑, 并且城市之间的差异也在增大. 从全国区位比较紧凑度平均值, 2000 年紧凑度平均值从大到小依次为: 东北(0.53)、中部(0.44)、东部(0.42)、西部(0.41); 2013 年紧凑度平均值从大到小依次为: 东北(0.53)、东部(0.40)、中部(0.38)、西部(0.37). 仅东北地区紧凑度未变, 其余地区紧凑度均呈下降趋势, 中部地区下降最大, 达到 0.06, 西部下降 0.04, 东部下降 0.02.

2.1.3 分形维数

城市空间形态的分形维数可以描述城市建成区形状的复杂程度, 本研究运用邬建国^[23]描述景观斑块维数的计算公式, 计算了城市分形维数(表 3). 总体而言, 2000—2013 年城市分形维数呈增大趋势, 分形维数增大的城市有 18 个, 占到城市样本总数的 62%; 平均值从 2000 年的 1.078 8 增大到 2013 年的 1.084 5. 对比两年分形维数的极差发现 2000 年为 0.097 4, 到 2013 年该值增大到 0.120 4; 标准差从 2000 年的 0.024 4 增加到 2013 年的 0.030 3, 这说明城市间分形维数差异在不断增大. 从全国区位比较分形维数平均值, 2000 年分形维数平均值从大到小依次为: 西部(1.087 8)、东部(1.079 0)、中部(1.074 0)、东北(1.054 9); 2013 年分形维数平均值从大到小依次为: 西部(1.095 4)、中部(1.085 6)、东部(1.081 5)、东北(1.051 5).

表 3 29 个城市紧凑度、分形维数及形状指数

分区	城市	紧凑度		分形维数		形状指数		分区	城市	紧凑度		分形维数		形状指数	
		2000	2013	2000	2013	2000	2013			2000	2013	2000	2013	2000	2013
东部	北京	0.29	0.23	1.108 6	1.126 1	19.89	18.80	西部	成都	0.49	0.32	1.060 6	1.097 6	15.59	25.34
	上海	0.37	0.53	1.086 4	1.048 4	19.69	20.27		乌鲁木齐	0.26	0.23	1.128 2	1.133 6	40.47	33.95
	天津	0.33	0.31	1.099 2	1.101 7	17.20	26.09		西安	0.60	0.70	1.040 6	1.023 2	16.57	14.92
	济南	0.52	0.45	1.056 1	1.070 2	20.23	27.38		重庆	0.40	0.41	1.083 1	1.077 3	13.34	26.07
	石家庄	0.56	0.61	1.048 6	1.037 7	16.11	23.33		昆明	0.33	0.30	1.105 4	1.110 5	26.03	41.98
	广州	0.33	0.32	1.104 7	1.096 9	24.68	30.51		兰州	0.33	0.47	1.107 7	1.067 6	43.99	60.23
	南京	0.56	0.32	1.048 5	1.096 6	20.53	29.54		银川	0.37	0.38	1.095 4	1.087 4	70.87	29.94
	福州	0.40	0.56	1.085 6	1.045 1	20.74	34.46		呼和浩特	0.57	0.35	1.048 3	1.095 1	17.95	22.59
	杭州	0.45	0.30	1.073 3	1.110 7	22.20	28.07		南宁	0.47	0.39	1.069 8	1.084 8	12.40	17.19
	武汉	0.42	0.36	1.075 5	1.085 7	24.15	31.33		贵阳	0.31	0.22	1.115 2	1.143 6	27.26	43.61
中部	郑州	0.44	0.45	1.073 3	1.066 6	13.32	23.83	西宁	0.33	0.27	1.111 2	1.128 6	41.32	55.23	
	太原	0.38	0.34	1.088 3	1.096 7	21.41	28.47	沈阳	0.65	0.53	1.030 8	1.049 3	12.59	19.46	
	合肥	0.46	0.45	1.069 9	1.066 9	24.73	23.53	东北	长春	0.51	0.50	1.056 2	1.056 5	12.25	16.72
	长沙	0.51	0.35	1.059 2	1.094 0	19.84	25.93	哈尔滨	0.43	0.56	1.077 7	1.048 5	13.82	19.93	
	南昌	0.44	0.31	1.077 9	1.103 7	19.66	26.31								

2.1.4 形状指数

分析城市形状指数(表 3)发现, 29 个城市形状指数总体呈现增大趋势, 仅 5 个城市形状指数减少, 形状指数增加的城市占 83%; 平均值从 2000 年的 23.063 增加到 2013 年的 28.488; 标准差 2000 年为 12.151, 2013 年为 10.375, 但考虑到 2000 年银川的数据与其他样本偏差过大, 除去银川的数据后计算标准差, 2000 年降为 8.270, 2013 年增到 10.556. 所以, 总体来看, 2013 年的城市形状更为多样, 这与散点

图(图 2)表现出来的趋势相符. 从分布情况来看, 2000 年城市形状多集中在菱形和横矩形之间, 也有少数几个星形(乌鲁木齐、西宁、兰州)和 X 形(银川)城市; 2013 年城市形状多集中在菱形和星形之间, 位于竖矩形和横矩形之间的城市数量增多, 并且出现了 H 形(西宁)和扁矩形(兰州)城市. 从全国区位来看形状指数平均值, 2000 年和 2013 年形状指数平均值从大到小依次为: 西部、中部、东部、东北.

2.2 城市形态与各因素之间的相关性

为分析各影响因素与城市形态之间的关系, 分别对 2000 年、2013 年城市形态指数和影响因素进行相关性分析, 分析用 SPSS 统计软件进行, 分析结果见表 4.

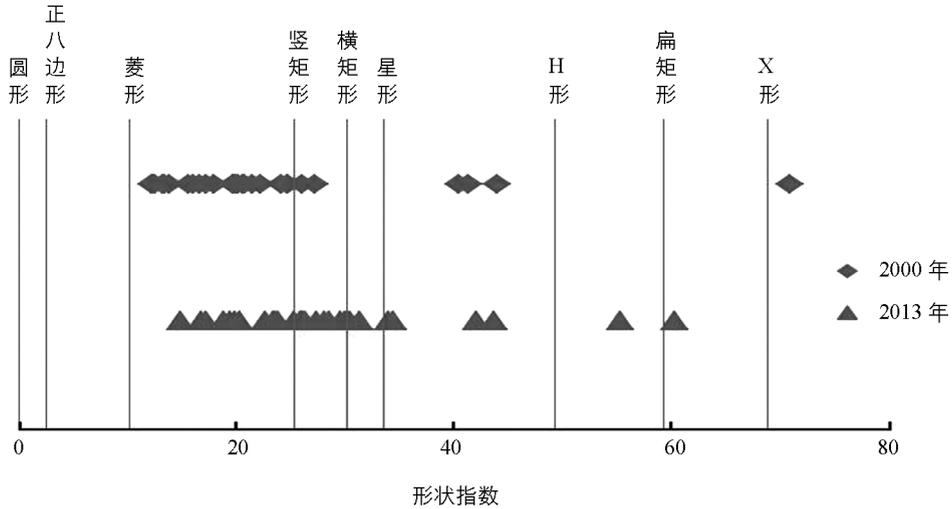


图 2 2000 年和 2013 年城市形状指数散点图

表 4 影响因素与城市形态指数的相关性系数

解释变量	2000 年				2013 年				
	面积	紧凑度	分形维数	形状指数	面积	紧凑度	分形维数	形状指数	
人口	年末总人口	0.814**	-0.186	0.096	-0.319	0.664**	0.038	-0.098	-0.327
经济	GDP	0.809**	-0.204	0.114	-0.214	0.889**	-0.102	0.028	-0.315
	固定资产投资	0.766**	-0.238	0.150	-0.125	0.657**	0.024	-0.086	-0.416*
交通	客运总量	0.082	0.019	-0.061	-0.301	0.244	-0.141	0.102	-0.132
	货运总量	0.795**	-0.212	0.112	-0.316	0.559**	0.121	-0.184	-0.273
城建	绿化覆盖率	0.076	0.277	-0.315	-0.437*	0.453*	0.031	-0.059	-0.258
	道路铺装面积	0.766**	-0.127	0.047	-0.248	0.693**	0.058	-0.155	-0.387*
	房地产投资额	0.777**	-0.338	0.261	-0.124	0.751**	0.042	-0.081	-0.381*
地形	15 km 平均高程	-0.355	-0.389*	0.476**	0.581**	-0.442*	-0.304	0.390*	0.767**
	15 km 平均坡度	-0.383*	-0.314	0.388*	0.236	-0.423*	-0.269	0.330	0.729**
	25 km 平均高程	-0.361	-0.386*	0.474**	0.576**	-0.451*	-0.298	0.384*	0.769**
	25 km 平均坡度	-0.441*	-0.231	0.309	0.231	-0.478**	-0.179	0.244	0.680**

注: * 表示相关系数在 0.05 水平下差异具有统计学意义、** 表示相关系数在 0.01 水平下差异具有统计学意义.

2.2.1 人口因素

如表 4 所示, 年末总人口与城市建成区面积之间呈显著正相关, 2000 年相关性系数为 0.814 ($p = 0.000$), 2013 年相关性系数为 0.664 ($p = 0.000$), 说明人口因素是城市建成区面积的一个重要影响因素, 城市人口越多则其建成区面积越大; 但相比 2000 年, 2013 年相关系数相对降低, 说明 2013 年人口对城市

建成区面积的驱动力相对减弱。人口城市化是城市化的重要表现,城市人口的增长导致其对住房、交通、城市绿地及相关服务设施的需求相应增加,这些因素都将导致城市面积的不断增长。但人口因素与城市紧凑度、分形维数、形状指数之间的相关性都较弱,可见人口因素只是城市发展的内在驱动因素,而对城市形态的影响并不显著。

2.2.2 经济因素

由表4可知,两个年份的GDP、固定资产投资与城市建成区面积之间呈显著正相关,2000年相关性系数分别为0.809($p=0.000$)和0.766($p=0.000$),2013年分别为0.889($p=0.000$)和0.657($p=0.000$)。说明城市经济发展水平高,其建成区面积也越大。城市用地扩张是城市经济发展的需求与体现^[29]。随着城市经济的发展,产业部门需要扩大产业规模、优化产业结构,对土地的需求越来越高;而经济的发展会提高居民的收入水平,从而使人们对生活水平、居住环境和基础设施等提出更高要求,这些都将导致城市建设用地的增加。近几年新兴城市功能区不断出现,如CBD、航空港等,一方面其自身建设需要大量的土地资源,另一方面大型工程的建设能增加地区的可达性、拉动投资、促进地区基础设施建设,从而进一步促进城市扩张。分析经济因素与其他形态指数之间的关系发现,2013年固定资产投资额与形状指数之间呈显著负相关,相关性系数为-0.416($p=0.025$),说明固定资产投资多的城市形状指数偏小,城市形状更为规则。

2.2.3 交通因素

分析交通因素与城市形态之间的关系可知,货运总量与城市建成区面积之间呈显著正相关,2000年相关性系数为0.795($p=0.000$),2013年相关性系数为0.559($p=0.002$),说明货运量大的城市建成区面积也相对较大。交通状况的改变是城市空间扩展最直接的原因之一。我国的主要城市基本都是沿着交通干线向外扩展的,城市交通格局也是引导城市空间结构发展和演化的方向^[1]。如郑州市是典型的交通枢纽型城市,集铁路、公路、空运多种交通方式于一体,对外联系的强烈需求导致大量交通设施的建设,并且城市内环路的建设也使得城市建设用地的面积迅速扩张。

2.2.4 城市建设因素

分析城市建设因素与城市空间形态的相关性发现:2000年,道路铺装面积、房地产投资额与城市建成区面积之间呈显著正相关,相关性系数分别为0.766($p=0.000$)和0.777($p=0.000$);绿化覆盖率与城市形状指数之间呈显著负相关,相关性系数为-0.437($p=0.018$)。2013年,绿化覆盖率、道路铺装面积、房地产投资额与城市建成区面积之间呈显著正相关,相关性系数分别为0.453($p=0.013$)、0.693($p=0.000$)和0.751($p=0.000$);道路铺装面积与城市形状指数之间呈显著负相关,相关性系数为-0.387($p=0.038$);房地产投资额与城市形状指数之间呈显著负相关,相关性系数为-0.381($p=0.042$)。综上可知,城市建设因素对城市用地扩张有较强的促进作用,同时,又能抑制城市形状的复杂化。城市的基础设施建设是城市发展的最基本方式,其对城市土地资源的利用是最直接的,并且城市建设活动有一定的规划性和引导性,所以在一定程度上城市建设活动的进行有利于城市土地资源的整合,使城市形态向规则化、紧凑化方向发展。

2.2.5 地形因素

总体来看,地形因素对城市建成区面积、紧凑度、分形维数和形状指数影响较大,并且不同范围内地形因素的影响强度也有所不同。2000年,城市建成区面积与平均坡度之间呈显著负相关,在25 km范围内的相关性最高,相关性系数为-0.441($p=0.017$);紧凑度与平均高程之间存在显著负相关,在15 km范围内相关性最高,相关性系数为-0.389($p=0.037$);分形维数与平均高程及平均坡度之间存在显著正相关,且均在15 km范围内相关性最高,相关性系数分别为0.476($p=0.009$)和0.388($p=0.037$);形状指数与平均高程之间存在显著正相关,在15 km范围内相关性最大,相关性系数为0.581($p=0.001$)。2013

年,城市建成区面积与平均高程及平均坡度之间存在显著负相关,且均在 25 km 范围内相关性最大,相关性系数分别为 $-0.451(p=0.014)$ 和 $-0.478(p=0.009)$;分形维数与平均高程呈显著正相关,在 15 km 范围内相关性最大,相关性系数为 $0.390(p=0.038)$;形状指数与平均高程呈显著正相关,在 25 km 范围内相关性最大,相关性系数为 $0.769(p=0.000)$;形状指数与平均坡度之间存在显著正相关,在 15 km 范围内相关性最大,相关性系数为 $0.729(p=0.000)$.

总体来看,地形因素对城市建成区面积存在限制作用,随着高程和坡度的增加,城市建设的阻力也在增加,城市建成区面积相对较小;而地形相对平滑、海拔较低的地区来自地形因素的阻力相对较小,有利于城市建设的进行.就城市形态而言,海拔和坡度的增加在一定程度上使城市紧凑度减小而使分形维数和形状指数增加,促使城市向非紧凑、破碎化、不规则的方向发展.比较两个年份的分析结果可以看出 2013 年城市建成区面积、城市形状指数与地形因素之间的相关性更大,说明随着城市的扩张,来自外部环境的制约力也在增强,地形对城市形状的作用力越来越大.考虑到我国东、西地形差异较大,按西部地区(包括成都、乌鲁木齐、西安、重庆、昆明、兰州、银川、呼和浩特、南宁、贵阳、西宁)和其他地区将城市分为两类,分别对城市形状指数和地形因素进行相关性分析(表 5),可以看出无论 2000 年还是 2013 年,西部地区的城市形状受到来自地形的影响更为显著,且 2013 年地形的影响力显著增加.

表 5 不同地区城市形状指数与地形因素之间的相关性

年份	城市分区	15 km 平均高程	15 km 平均坡度	25 km 平均高程	25 km 平均坡度
2000	西部	0.732*	0.489	0.744*	0.512
	其他地区	-0.007	0.190	0.006	0.193
2013	西部	0.848**	0.718*	0.853**	0.703*
	其他地区	0.099	0.651**	0.134	0.577*

注: * 表示相关系数在 0.05 水平下差异具有统计学意义、** 表示相关系数在 0.01 水平下差异具有统计学意义.

3 结 论

1) 对 2000—2013 年我国 29 个主要城市的空间形态进行分析,发现 2000—2013 年间,我国主要城市扩张明显且速度较快,扩张速度从快到慢依次为:东部、中部、东北、西部;从城市形态来看,2000—2013 年总体表现出紧凑度降低、分形维数增加、形状指数增加的趋势;东北地区紧凑度最高,分形维数和形状指数最小,西部地区紧凑度最低,分形维数和形状指数最大,中部和东部地区的各项指数则位于两者之间.

2) 人口因素、经济因素、交通因素、城市建设因素与城市建成区面积之间存在显著正相关,这些因素的增长都将促进城市建成区面积的增加.固定资产投资、绿化覆盖率、道路铺装面积和房地产投资额等因素在一定程度上促进城市形态向紧凑化、规则化发展.

3) 地形因素与城市建成区面积之间存在显著负相关,海拔高、坡度大的城市建成区面积相对较小;另一方面,地形因素与紧凑度呈显著正相关,而与分形维数、形状指数呈显著负相关,高程较高、坡度较大的地区城市形状更为复杂,城市向非紧凑、破碎化方向发展,且西部地区地形因素的作用力更强.

此外,研究发现地形因素对城市形态的影响力存在一定的梯度效应,不同范围内的地形因素对城市形状、城市面积的影响程度并不相同,并且随着城市建成区的扩张,地形对城市形态的影响力也在增强.城市周围地形条件对城市扩张的影响范围有多大?不同范围内地形因素的影响力有多强?这些问题都有深入讨论的必要,这将对确定合理的城市边界、指导城市规划有一定的参考价值.但限于篇幅本研究并未深入,有待进一步研究.

参考文献:

- [1] 潘竟虎,戴维丽. 1990—2010年中国主要城市空间形态变化特征[J]. 经济地理, 2015, 35(1): 44-52.
- [2] BOYCE R R, CLARK W A V. The Concept of Shape in Geography [J]. The Geographical Review, 1964, 54(4): 561-572.
- [3] LEE D R, SALLEE G T. A Method of Measuring Shape [J]. The Geographical Review, 1970, 60(4): 555-563.
- [4] 凯文·林奇. 城市形态[M]. 林庆怡, 陈朝晖, 邓华, 译. 北京: 华夏出版社, 2001.
- [5] BATTY M, XIE Y. From Cells to Cities [J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 1994, 21(7): S31-S48.
- [6] GRIFFITH D A, SCOTT A J. Metropolis: From the Division of Labor to Urban Form [J]. Geographical Review, 1988, 79(4): 479.
- [7] 蒋娅娜. 城市新区空间优化布局的挑战与对策——以重庆市南川区为例[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2018, 43(5): 127-130.
- [8] LI X W, ZHANG L N, LIANG C. A GIS-Based Buffer Gradient Analysis on Spatiotemporal Dynamics of Urban Expansion in Shanghai and its Major Satellite Cities [J]. Procedia Environmental Sciences, 2010, 2(6): 1139-1156.
- [9] 王新生, 刘纪远, 庄大方, 等. 中国特大城市空间形态变化的时空特征[J]. 地理学报, 2005, 60(3): 392-400.
- [10] 高金龙, 陈江龙, 苏曦. 中国城市扩张态势与驱动机理研究学派综述[J]. 地理科学进展, 2013, 32(5): 743-754.
- [11] 李灿, 汤惠君, 张凤荣. 基于建设用地适宜性评价的城市增长边界划定[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2017, 42(7): 105-111.
- [12] 林炳耀. 城市空间形态的计量方法及其评价[J]. 城市规划汇刊, 1998(3): 42-45, 65.
- [13] 刘纪远, 王新生, 庄大方, 等. 凸壳原理用于城市用地空间扩展类型识别[J]. 地理学报, 2003, 58(6): 885-892.
- [14] 刘小平, 黎夏, 陈逸敏, 等. 景观扩张指数及其在城市扩展分析中的应用[J]. 地理学报, 2009, 64(12): 1430-1438.
- [15] 余瑞林, 王新生, 孙艳玲, 等. 中国城市空间形态分形维及时空演变[J]. 地域研究与开发, 2007, 26(2): 43-47.
- [16] 张星星, 刘勇, 杨朝现. 重庆山地城市空间扩展形态的定量研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2015, 37(10): 119-124.
- [17] 郭晶鹏, 赵映慧, 谌慧倩, 等. 黑龙江工业城市建设用地时空扩张遥感监测[J]. 国土资源遥感, 2018, 30(3): 204-212.
- [18] 吴宏安, 蒋建军, 周杰, 等. 西安城市扩张及其驱动力分析[J]. 地理学报, 2005, 60(1): 143-150.
- [19] 彭山桂, 黄朝明. 中国城市扩张的合理性分析及驱动力分类[J]. 城市问题, 2015(9): 4-11.
- [20] 熊皓, 郑伯红, 贾磊. 驱动力与制约力相互作用下我国城市空间扩张[J]. 经济地理, 2016, 36(1): 82-88.
- [21] 杨鑫. 浅谈遥感图像监督分类与非监督分类[J]. 四川地质学报, 2008, 28(3): 251-254.
- [22] 叶昌东, 周春山. 中国特大城市空间形态演变研究[J]. 地理与地理信息科学, 2013, 29(3): 70-75.
- [23] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007: 99-105.
- [24] 黄宝荣, 张慧智, 宋敦江, 等. 2000-2010年中国大陆地区建设用地扩张的驱动力分析[J]. 生态学报, 2017, 37(12): 4149-4158.
- [25] 梁鹏飞, 刘勇, 刘秀华. 山地城市居住用地扩展的驱动力分析——以重庆市主城区为例[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2016, 38(2): 98-103.
- [26] 张利, 雷军, 李雪梅, 等. 1997-2007年中国城市用地扩张特征及其影响因素分析[J]. 地理科学进展, 2011, 30(5): 607-614.
- [27] 国家统计局. 中国城市统计年鉴 2001 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2001.
- [28] 国家统计局. 中国城市统计年鉴 2014 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2014.
- [29] 贾鹏, 杨钢桥. 城市用地扩张驱动力分析——以湖北省为例[J]. 水土保持研究, 2006, 13(2): 182-185.

A Study of the Changes in Urban Spatial Morphology of Major Chinese Cities During 2000—2013

GUO Yu-chen, TIAN Guo-hang, ZHAO Rui,
SHEN Xin-jie, DONG Bao-bao, HE Rui-zhen

College of Forestry, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

Abstract: In a study reported in this paper, a total of 29 major cities of China were selected as the research object. Central built-up areas in 2000 and 2013 were extracted from multi-temporal and multi-band Landsat TM/ETM+ remote sensing satellite imagery with the help of ArcGIS. Expansion speed, compactness index, fractal dimension and shape index were calculated to analyze the spatio-temporal characteristics of urban spatial morphologic evolution. Finally, based on correlation analysis, we gave an in-depth analysis of the correlation between natural and social factors and urban morphology. The results showed that eastern cities had the highest expansion speed, followed in order by central, northeastern and western cities, during the period from 2000 to 2013. Overall, urban spatial compactness declined, urban fractal dimension increased and the shape of cities became more and more dispersed; the shape index showed an increasing trend and the shape of the cities was more diverse. The acreage of the urban built-up areas was in a significant positive correlation with population, economy, transportation and urban construction, and was the main driving factor for urban expansion. The factor of terrain was in a significant negative correlation with the acreage of the urban built-up areas and compactness of cities, and in a significant positive correlation with their fractal dimension and shape index. The terrain caused an obvious restriction on urban expansion. The complexity of terrain reduced the compactness of cities, increased their fractal dimension and shape index, thus making their shape more complicated. The influence of terrain was more obvious in the western region of the country and usually changed depending on the distance from the city center.

Key words: urban spatial morphology; urban expansion; shape index; correlation analysis; Chinese city

责任编辑 潘春燕