

doi: 10.6046/gtzyyg.2018.03.28

引用格式: 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. (Guo J P, Zhao Y H, Chen H Q et al. Remote sensing monitoring for temporal and spatial expansion of construction land of industrial cities in Heilongjiang[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2018, 30(3): 204–212.)

黑龙江工业城市建设用地时空扩张遥感监测

郭晶鹏, 赵映慧, 谌慧倩, 项亚楠, 赵旭朦, 乔畅

(东北农业大学资源与环境学院 哈尔滨 150030)

摘要: 为揭示 2000—2015 年间黑龙江省工业城市建设用地扩张规律, 以哈尔滨、大庆、齐齐哈尔 3 个城市(分别简称哈、大、齐)为研究对象, 选取 2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年 Landsat 遥感影像为数据源, 基于扩张强度与速度指数、紧凑度、增长弹性系数、分维指数、变异系数和空间重心转移模型等, 探讨哈、大、齐建设用地扩张时空特征。研究表明: 2000—2015 年间哈、大、齐城市建设用地扩张态势显著, 建设用地增长近 1 倍; 城市整体投资效益不高, 其中大庆建设用地利用效益最低且年均扩张变化率的变异系数最大, 齐齐哈尔与哈尔滨年均扩张变化率的波动相对较弱; 2000—2010 年间工业城市扩张形态简单, 2010—2015 年间扩张模式趋于多元化且边缘不规则、形态复杂; 哈尔滨呈现“北跃南拓、东优西扩”发展格局, 大庆呈现斜“T”形扩张格局, 齐齐哈尔呈现斜“上”字扩张态势; 哈尔滨的西南、西北部已成为城市扩张的热点区, 大庆建设用地重心移动轨迹为“西南—东南—西南”, 齐齐哈尔建设用地有自东北向西南移动的趋势; 2000—2010 年间除大庆外其他城市重心向市政府方向移动, 2010—2015 年间向远离市政府方向移动; 建议政府在工业城市发展过程中制定适宜的土地利用总体规划, 加强监管力度, 切实提高土地利用效益, 从而保护耕地资源。

关键词: 工业城市; 建设用地; 时空分析; 重心模型

中图法分类号: TP 79 文献标志码: A 文章编号: 1001-070X(2018)03-0204-09

0 引言

工业在国家经济发展中起到了中流砥柱的作用, 但快速工业化引发的一系列安全问题已成为困扰城市健康发展的严重障碍; 建设用地扩张问题掣肘城市的可持续发展, 研究工业城市建设用地扩张的机理形势刻不容缓。2014 年国务院发布《国家新型城镇化规划(2014—2020 年)》明确要求改变城市的发展方式, 包括速度型向质量型转变、外延式向内涵式转变等 5 种转变方式; 2016 年“两会”期间又提出了地区性哈尔滨—长春(简称哈长)城市群的一体化建设方案。黑龙江省作为东北老工业基地和哈长城市群的重要组成部分, 哈尔滨、大庆、齐齐哈尔(分别简称哈、大、齐)又是哈大齐工业走廊沿线重要的核心城市, 以哈、大、齐为例研究黑龙江省工业城市建设用地扩张问题具有一定的前瞻性。但是目前尚缺乏一种自动化提取城市建设用地变化的机

制, 无法及时、客观、真实地反映城市建设用地扩张变化的区域特性。为了有效改善黑龙江省工业型城市发展带来的粗放式利用问题, 推进工业 4.0、新型城镇化的进程和集约且高效的土地利用机制, 必须分析哈、大、齐大型工业城市建设用地扩张过程的主要特征, 探索城市扩张过程的内在的发展规律。

城市建设用地扩张是城市空间发展的变化, 更是人类生产活动范围的直接表征。国内诸多学者开展了大量关于城市建设用地扩张的研究工作^[1-6], 从最初采用统计与实地调研数据研究城市建设用地, 到遥感监测与地理信息系统(geographic information system, GIS)技术在城市建设用地研究中的普及与深化, 在研究尺度和空间特征分析等方面均取得了显著成果^[7-10]。不同空间尺度的城市建设用地, 其空间特征存在着显著的差异性^[11-12]。在国家尺度上, 刘纪远等^[13]基于全国城市功能分区及东、中、西、东北 4 大区域功能区规划, 进行了空间特征遥感对比分析; 叶昌东等^[14]探讨了 1990—2010 年间全

收稿日期: 2016-12-05; 修订日期: 2017-02-06

基金项目: 黑龙江省社会科学基金项目“黑龙江省小城镇群建设研究”(编号: 16007)和教育部人文社会科学研究项目“东北地区城镇群的分化与组合: 过程、格局与动力机制”(编号: 12YJCZH305)共同资助。

第一作者: 郭晶鹏(1992-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为城市土地利用变化。Email: guojingpeng11@gmail.com。

通信作者: 赵映慧(1976-), 男, 博士, 副教授, 主要从事经济地理与区域发展方面的研究。Email: zhaoyhneau@163.com。

国特大城市空间特征的演变;黄永斌等^[15]对比了全国地级市以上城市紧凑度的时空特征,发现其存在显著的规模等级递增效应;舒帮荣等^[16]通过面板计量数据分析法,对比了全国不同职能地级市建设用地扩张的特征及驱动机理。在区域尺度上,主要集中在对长三角、珠三角等5大城市群及经济特区城市变化的研究^[17];施利锋等^[18]采用多源遥感数据剖析了1973—2013年间经济特区的城市空间扩张特征;曹银贵等^[19]运用聚类分析、判别分析研究了我国东部地区87个城市的建设用地变化规律;李加林等^[20]依托遥感和GIS分析了1979—2005年间长三角城市建设用地变化特征。在城市尺度上,多集中于北京、天津、上海、广州、深圳、厦门、沈阳等发达城市^[21];丛晓男等^[22]探讨了北京市1991—2011年间城市空间形态演变及增长态势;苏建忠等^[23]针对1980年广州市建设用地蔓延及调控展开了研究;孙雁等^[24]利用GIS技术对比了1910—2010年间不同时段沈阳市建设用地扩张变化特征。目前,针对东北地区和资源型工业城市建设用地的相关研究较少,且对区域内多个功能联系密切的城市建设用地扩张问题亟待研究。本文以哈、大、齐工业城市为例,分析2000—2015年间哈、大、齐主城区建设用地扩张变化的时空特征,模拟城市重心迁移过程,以期为黑龙江省哈、大、齐等工业城市转型、加快新型城镇化建设并在一定程度上减少其对耕地的

侵占提供参考。

1 数据源及研究方法

1.1 数据源

本研究选取的数据包括:①哈、大、齐工业城市2000年、2005年、2010年和2015年4个时间节点的Landsat遥感影像;②研究区城市主城区《2010—2020总体规划图》;③2000—2015年《城市统计年鉴》;④《黑龙江统计年鉴》。由于2014年5月阿城区和双城区刚刚撤县变区,故本研究中哈尔滨市不包括阿城区和双城区。

1.2 数据处理

首先下载轨道号/行号为118/28、119/28和120/27,且含云量少于10%的Landsat遥感影像,空间分辨率为30 m;其次,利用BIGMAP与ENVI5.0软件结合哈、大、齐《2010—2020年城市总体规划图》对Landsat影像进行裁剪和纠正,得到多个波段的哈、大、齐主城区影像;然后对主城区影像进行B7(R)、B6(G)、B4(B)波段假彩色合成,采用最大似然法进行监督分类,通过人工目视解译进行纠正,得到分类图,并用统计数据验证,以保证图斑属性的解译准确率达到90%以上;最后,将分类结果导入ArcGIS10.2中,进行统计和空间叠置分析(图1)。

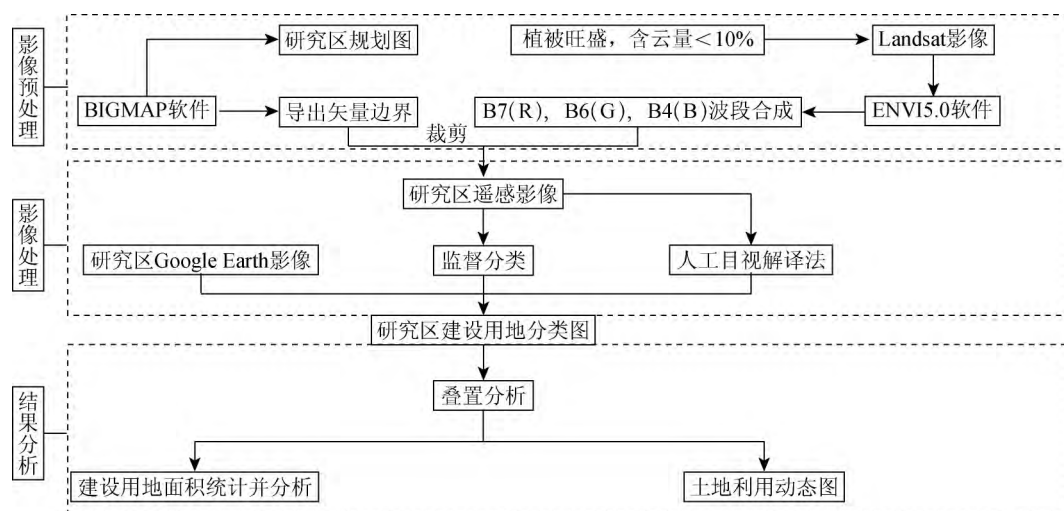


图1 城市建成区土地利用动态信息提取流程

Fig.1 Flow chart for extraction of dynamic information of land use in built-up area of city

1.3 测度指标

本文采用扩张强度与速度指数、紧凑度、增长弹性系数、分维指数、变异系数和空间重心转移模型等6项测度指标,探讨哈、大、齐城市建设用地扩张时空特征。

1) 扩张强度与速度指数,计算公式为

$$Q = \frac{A_{n+i} - A_i}{n \times A_i} \times 100\% \quad (1)$$

$$S = \frac{A_{n+i} - A_i}{n} \quad (2)$$

式中: Q 和 S 分别为扩张强度和扩张速度指数; A_i 为 i 时期城市主城区建设用地面积; n 为时间间隔;

A_{n+i} 为 $i+n$ 时期的城市建设用地面积。

2) 紧凑度 计算公式为

$$J = 2 \sqrt{\pi \times A/Z} \quad (3)$$

式中: J 为紧凑度指数; A 为城市主城区建设用地的面积; Z 为城市主城区轮廓周长^[18]。

3) 增长弹性系数 计算公式为

$$I_i = [(P_{ii} - P_{i0})/P_{i0}] / [(Y_{ii} - Y_{i0})/Y_{i0}] \quad (4)$$

式中: I_i 为 i 时期的增长弹性系数; Y_{ii} 和 Y_{i0} 分别为某一要素(人口、经济、社会固定资产投资) i 时期期末和期初的总量; P_{ii} 和 P_{i0} 分别代表期末和期初的建设用地总量^[10]。

4) 分维指数 计算公式为

$$F_i = 2 \ln(Z_i/4) / \ln(A_i) \quad (5)$$

式中: F_i 为斑块 i 城市分维指数; A_i 为斑块 i 的面积; Z_i 为斑块 i 的周长。 F 范围在 $1 \sim 2$ 之间, F 越大表示城市内部的填充能力越弱, 城市形态越复杂。当 $F < 1.5$ 时, 图形趋向于简单; 当 $F = 1.5$ 时, 说明图形处于布朗运动的边缘, 越接近该值稳定性越差; 当 $F > 1.5$ 时, 图形更趋向于复杂。以城市形态为研究对象时, F 极限值应在 1.71 上下^[21]。

5) 变异系数 计算公式为

$$CV_i = \frac{1}{\bar{V}_i} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V}_i)^2}{n}} \quad (6)$$

式中: CV_i 为变异系数; V_i 为第 i 时间段内建设用地扩张年均变化率; $\bar{V}_i$ 为第 i 时间段内建设用地扩张年均变化率的平均值。 CV 越大, 表示第 i 时间段内

建设用地扩张速率波动越大^[25]。

6) 空间重心转移模型 空间重心转移距离为

$$D_{i+1} = \sqrt{((x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2)} \quad (7)$$

空间重心转移角度为

$$\beta_{i+1} = \begin{cases} \arctan\left(\frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i}\right) & x_{i+1} - x_i \geq 0 \\ \pi - \arctan\left(\frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i}\right) & x_{i+1} - x_i < 0 \end{cases} \quad (8)$$

式中: y_{i+1} 和 y_i 为 y 轴上相邻两点; x_{i+1} 和 x_i 为 x 轴上相邻两点; x_i 为 i 时期地理单元的重心横坐标; y_i 为 i 时期地理单元的重心纵坐标; D_{i+1} 为从 i 到 $i+1$ 时期地理单元空间重心转移距离; β_{i+1} 为从 i 到 $i+1$ 时期地理单元空间重心转移方向与正东方向夹角^[18]。

2 结果与分析

2.1 城市建设用地扩张总体特征

2.1.1 扩张强度与速度

对哈、大、齐城市建设用地信息进行提取与统计分析的结果表明, 2000—2015 年间哈、大、齐城市建设用地发生强烈扩张, 2000 年建设用地总面积为 800.16 km^2 , 2015 年增至 $1\,526.41 \text{ km}^2$, 扩张近 1 倍; 受 2003 年振兴东北老工业基地战略及哈大齐工业走廊项目的实施诱导, 2000—2005 年间哈、大、齐城市建设用地面积增长量最大, 2010—2015 年增长量次之, 增长量最小时段在 2005—2010 年(表 1)。

表 1 城市扩张建设用地扩张强度与速度指数变化

Tab.1 Change of expansion strength and speed index of urban construction land

城市	建设用地面积/ km^2				$Q/\%$			$S/(\text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1})$		
	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2000—2005 年	2005—2010 年	2010—2015 年	2000—2005 年	2005—2010 年	2010—2015 年
哈尔滨	283.53	348.85	409.25	504.41	4.61	3.46	4.65	13.06	12.08	19.03
大庆	323.38	490.94	573.43	660.49	10.36	3.36	3.04	33.51	16.50	17.41
齐齐哈尔	193.24	249.27	295.66	361.51	5.80	3.72	4.45	11.21	9.28	13.17
总量	800.16	1\,089.06	1\,278.33	1\,526.41	7.22	3.48	3.88	57.78	37.85	49.62

从城市扩张强度指数来看, 2000—2015 年间哈、大、齐工业城市整体扩张强度指数呈波动递减态势, 由 7.01% 降至 3.88% ; 齐齐哈尔和哈尔滨的扩张强度指数维持在 $3.50\% \sim 5.90\%$ 之间, 大庆呈现宽幅波动态势, 扩张强度指数在 $3.50\% \sim 10.40\%$ 之间; 2000—2005 年间大庆市扩张强度指数最大 (10.36%), 远大于齐齐哈尔 (5.80%) 和哈尔滨 (4.61%); 2005—2010 年间哈、大、齐 3 市的扩张强度基本相同, 扩张强度指数稳定在 3.50% 左右;

2010—2015 年间齐齐哈尔和哈尔滨扩张强度保持在 4.50% 左右, 大庆相对较弱, 仅为 3.04% 。

从建设用地扩张速度分析, 2000—2015 年间哈、大、齐城市建设用地总扩张速度维持在 $50 \text{ km}^2/\text{a}$ 左右, 其中齐齐哈尔和哈尔滨分别稳定在 $10 \text{ km}^2/\text{a}$ 和 $15 \text{ km}^2/\text{a}$ 左右, 大庆扩张速度呈“跳跃”式波动; 2000—2005 年间大庆速度最高, 高达 $33.51 \text{ km}^2/\text{a}$, 齐齐哈尔及哈尔滨扩张速度分别为 $11.21 \text{ km}^2/\text{a}$ 及 $13.06 \text{ km}^2/\text{a}$; 2005—2010 年间大庆市扩张速度骤

降到 16.50 km²/a ,但与齐齐哈尔(9.28 km²/a)和哈尔滨(12.08 km²/a)相比仍较高; 2010—2015 年间哈尔滨扩张速度最高(19.03 km²/a) ,大庆次之(17.41 km²/a) ,齐齐哈尔最低(13.17 km²/a) ,且相比前一时段处于加速状态。大庆为石油城市 ,建设用地与石油开发用地交叉进行 ,扩张速度高于其他城市; 2010—2015 年间哈尔滨由于对平房区(南) 、松北区(北) 大规模开发建设 ,故在该时段扩张速度最大。

2.1.2 扩张形态

利用紧凑度指数和分维指数分析城市建设用地扩张空间形态。2000—2015 年间哈大齐工业城市紧凑度持续下降 ,说明哈、大、齐城市居民主活动区外扩 ,建设用地多处扩张; 2000 年和 2005 年大庆市

紧凑度最大(分别为 0.47 和 0.28) ,说明大庆城市的城区比较紧凑; 2010 年和 2015 年紧凑度发生反转 ,齐齐哈尔趋于紧凑 ,大庆和哈尔滨相对分散 ,即齐齐哈尔紧凑度(分别为 0.21 和 0.19) 高于大庆(分别为 0.18 和 0.13) 及哈尔滨(分别为 0.15 和 0.13) (表 2) 。

2000—2015 年间城市分维指数不断上扬 ,反映出城市发展趋向不规则; 2000 年各城市的分维指数均小于 1.44 ,说明城市形态简单 ,趋于稳定; 2005 年的分维指数均接近于 1.5 ,处于布朗运动边缘 ,稳定性差 ,城市显露出扩张现象; 2010—2015 年间分维指数均大于 1.5 ,映射出趋于复杂的城市形态 ,外扩趋势明显 ,填充能力弱(表 2) 。

表 2 城市扩张紧凑度与分维指数
Tab.2 Compactness and fractal dimension index of urban expansion

城市	J				F			
	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年
哈尔滨	0.31	0.22	0.15	0.13	1.37	1.48	1.58	1.61
大庆	0.47	0.28	0.18	0.13	1.22	1.37	1.51	1.60
齐齐哈尔	0.30	0.23	0.21	0.19	1.41	1.49	1.51	1.52

2.1.3 时间序列上扩张评价

运用弹性系数 ,从人口、经济和固定投资角度剖析建设用地扩张情况(表 3) 。

表 3 2000—2015 年间城市扩张增长弹性系数与变异系数
Tab.3 Elastic coefficient and coefficient of variation of urban expansion during 2000—2015

城市	$I_a^{①}$	$I_b^{②}$	$I_c^{③}$	CV
哈尔滨	2.16	0.30	0.04	0.16
大庆	4.65	0.38	0.25	0.74
齐齐哈尔	28.95	0.22	0.02	0.23

① I_a 为人口增长弹性系数; ② I_b 为经济增长弹性系数; ③ I_c 为固定资产投资增长弹性系数。

2000—2015 年间齐齐哈尔 I_a 最大(28.95) ,远大于大庆和哈尔滨 ,且三地都大于 1 ,揭示哈、大、齐建设用地相比其人口数量处于蔓延状态 ,其中齐齐哈尔蔓延最为显著; 2000—2015 年间大庆市 I_b 和 I_c 最大(分别为 0.38 和 0.25) ,远大于齐齐哈尔及哈尔滨 ,表明大庆市相比齐齐哈尔和哈尔滨市 ,土地利用效益最低; 2000—2015 年间哈、大、齐城市用地 I_a 与 I_b 之比远大于 2 ,说明工业城市过度重视经济产出 ,而忽视了“人”的发展; I_b 与 I_c 之比在 40 左右 ,映射出东北振兴战略、哈大齐工业走廊给工业城市带来海量资金的投入 ,但与收益相比 ,投资效益不高 ,土地要素投入粗放。

为比较城市时间序列上年均建设用地变化率的变异程度 ,计算出 2000—2015 年间城市建设用地年

均扩张变化率变异系数(表 3) 。大庆市的变异系数最大(0.74) ,齐齐哈尔次之(0.23) ,哈尔滨市的最小(0.16) ,表明 2000—2015 年大庆市建设用地年均变化率波动较大 ,而齐齐哈尔和哈尔滨的建设用地年均变化率近乎稳定 ,产生这种现象是因大庆市石油工业用地与城市居住用地同时开发导致 ,这与扩张强度是吻合的。

2.2 2000—2015 年间城市建设用地扩张空间分异

2.2.1 城市空间扩张模式分析

把不同时段建设用地信息与 2005 年城市主要公路、铁路进行空间叠置分析(图 2) ,探索 2000—2015 年间哈、大、齐城市的主要空间扩张模式。本文

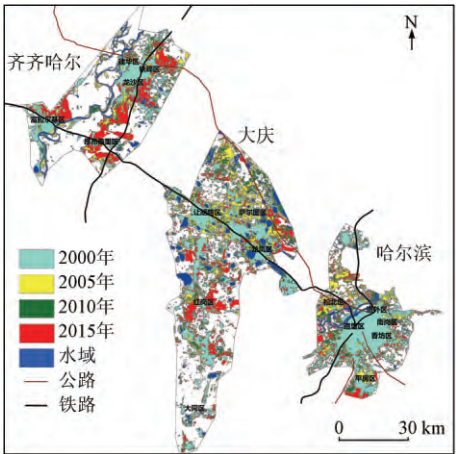


图 2 哈、大、齐城市建设用地变化
Fig.2 Changes of Ha - Da - Qi urban construction land

的扩张模式参考周翔等^[26]对苏锡建设用地扩张的分析,因篇幅所限,本文不再赘述。

哈尔滨市 2000—2010 年间以道里、道外、南岗和香坊 4 区为核心,以填充式、边缘式为主向外扩张,呈圈层结构;2010—2015 年间以边缘式、外延式为主向西南、西北 2 个方向扩张,道路两侧条带状特征明显^[26]。大庆市在 2000—2005 年间以让胡路区、龙凤区、萨尔图区为核心,以边缘式为主、填充式为辅助向外扩张,城市形态相对简单,呈核心-边缘结构;2005—2015 年间以外延式、飞地式为主,朝红岗区、大同区扩张,扩张模式趋于多元化,城市边缘不

规则,呈 T 型轴带。齐齐哈尔 2000—2015 年间以原来的建华、龙沙、铁峰区为核心,沿轴带状向昂昂溪区延伸,再朝富拉尔基区延伸,G111 和 G302 国道对齐齐哈尔城市扩张具有导向作用。

2.2.2 城市空间扩张方向分析

为明确 2000—2015 年间工业城市主要的扩张方向,以 2000 年各个城区建设用地的重心为圆心,按照北、东北、东、东南、南、西南、西和西北 8 个方向,将城市主城区空间分割为 8 个象限(图 3),并按象限依次统计各城市不同年份的建设用地面积,生成各个时段城市扩张的雷达图(图 4)。

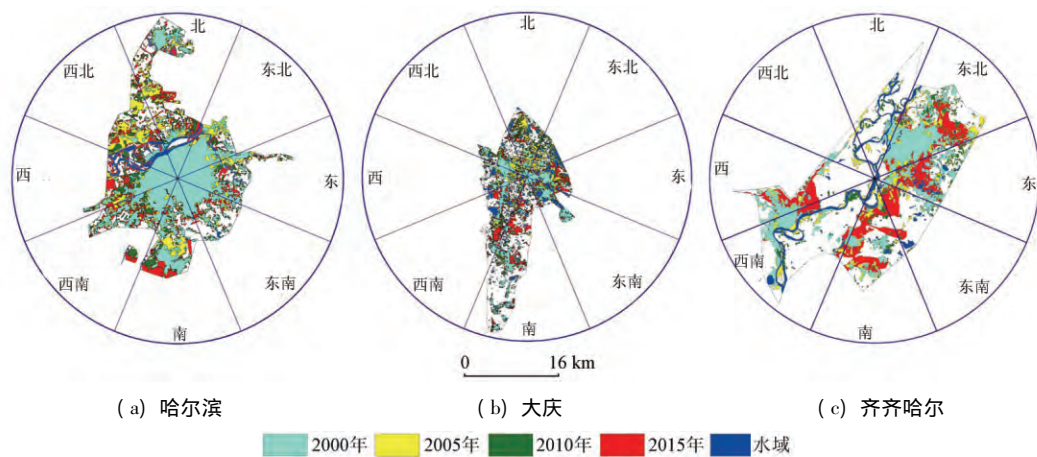


图 3 哈、大、齐城市扩张 8 象限统计图

Fig. 3 Statistical map of Ha - Da - Qi urban expansion in eight quadrants

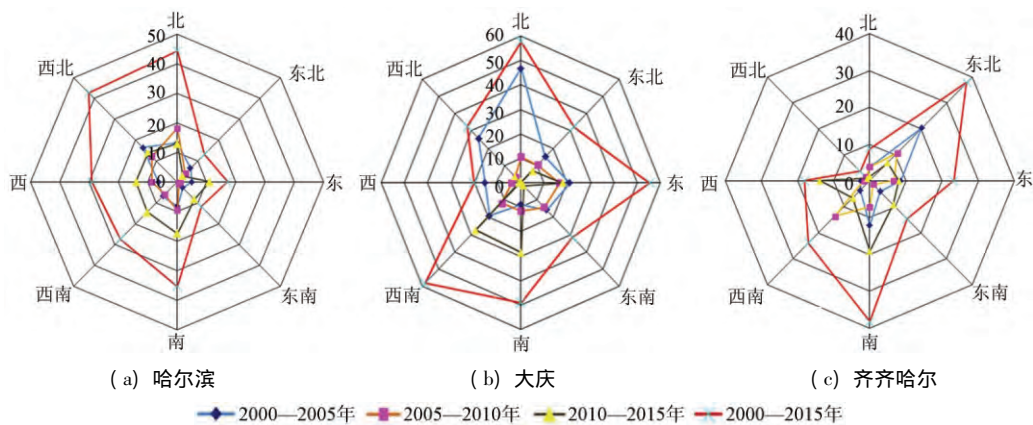


图 4 城市分时段各象限空间扩张强度对比

Fig. 4 Comparison of spatial expansion intensity of each quadrant in Ha - Da - Qi cities during different periods

结合图 3 与图 4 总体来看,哈尔滨市 2000—2015 年间建设用地扩张明显方向为北、西北、南 3 个方向,西和西南方向次之,东、东南和东北方向最弱,呈现出“北跃南拓、东优西扩”空间发展格局;大庆市 2000—2015 年间建设用地主要的扩张方向包括北、东、南、西南 4 个方向,东北、西北、东南方向扩张均匀,西城区扩张最不显著,呈现出斜“T”形扩张格局(图 2);齐齐哈尔市 2000—2015 年间建设用地扩张显著方向为东北、东、南和西南 4 个方向,西

和东南方向扩张稳定,西北和北方向扩张最弱,城内交通线路对城市扩张影响显著,表现出一个斜“上”字扩张格局(图 2)。

结合图 3 与图 4 分时期剖析来看,哈尔滨市 2000—2005 年间明显的扩张为西北和南方向,东北、北、东、西南和西方向均匀扩张,东南方向最弱;2005—2010 年间南—北轴带扩张最为显著,西北、西南和西方向扩张次之,东、东南和东北方向扩张微弱;2010—2015 年间主要扩张为北、西、西南、南、东

和西北方向,且南北轴带扩张显著,东南和东北扩张较弱。2010—2015 年间西、南、东南方向强烈扩张,其他方向扩张较弱。大庆市 2000—2005 年间主要的扩张方向为北、西北、东 3 个方向,西、西南、东北、东南和南方向均匀扩张; 2005—2010 年间以东—东南、西南—北为上、下底,其他扩张方向为斜边,呈“梯形”状扩张; 2010—2015 年间主要的扩张方向为西南、东北与南,构成“三角形”发展格局,其他方向扩张不显著。齐齐哈尔市 2000—2005 年间显著的扩张方向为东北、东、南 3 个方向,东南、北和西南次之,西和西北方向扩张不显著; 2005—2010 年间东北—西南轴带扩张最为显著,东、南、北次之,西、

西北、东南扩张较弱。
2.2.3 建设用地空间重心转移模拟

2000—2015 年间哈、大、齐城市主城区建设用地均向多个方向扩张,为了更直观地反映城市建设用地重心迁移过程,把同一时间节点主城区的多个斑块作为一个整体,仅生成一个重心,并在重心转移过程中标注上市政府在重心空间上的相对位置,绘制出市政府与城市用地重心迁移相对位置图(图 5)。同时,为了比较各城市重心迁移距离和方向,利用生成的城市重心的经纬度坐标,计算出城市建设用地重心变化情况(表 4)。

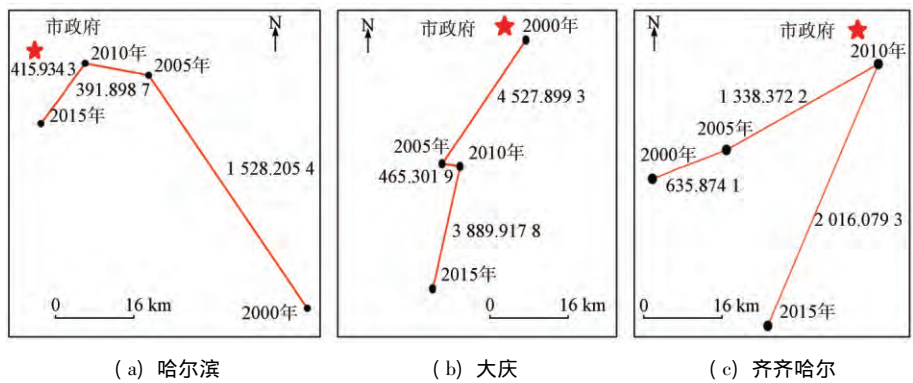


图 5 城市建设用地重心迁移路线
Fig. 5 Shift of gravity center of urban construction land

表 4 城市建设用地重心变化

Tab. 4 Changes of gravity center of urban construction land						
城市	时段	经度变化/(°)	纬度变化/(°)	变化方向	迁移距离/m	β 与正东方向夹角/(°)
哈尔滨	2000—2005 年	-0.011 0	0.011 4	西北	1 528.21	124.46
	2005—2010 年	-0.005 0	0.000 5	西北	391.90	170.46
	2010—2015 年	-0.003 0	-0.003 1	西南	415.93	233.07
大庆	2000—2005 年	-0.031 0	-0.669 9	西南	4 527.90	239.71
	2005—2010 年	0.006 0	-0.034 7	东南	465.30	352.20
	2010—2015 年	-0.010 0	-0.000 7	西南	3 889.92	259.92
齐齐哈尔	2000—2005 年	0.008 0	0.001 8	东北	635.87	18.38
	2005—2010 年	0.016 0	0.005 2	东北	1 338.37	25.91
	2010—2015 年	-0.012 0	-0.016 2	西南	2 016.08	243.71

综合分析图 5 与表 4 的结果表明,哈尔滨市在 2000—2015 年间城市建设用地重心依次向西北—西北—西南移动,移动距离和移动角度分别为 1 528.21 m(124.46°)、391.90 m(170.46°)以及 415.93 m(233.07°),其中 2000—2010 年间城市重心向市政府方向移动,2010—2015 年间向市政府方向移动迹象减弱,说明未来哈尔滨市西南(平房区)和西北(松北区)将成为城市扩张的热点区。大庆 2000—2015 年间城市建设用地重心分别朝西南—东南—西南方向移动,逐渐偏离市政府的空间位置,移动距离和移动角度分别为 4 527.90 m(239.71°)、

465.30 m(352.20°)和 3 889.92m(259.92°),表明未来大庆市西南方向的红岗区和大同区将成为城市扩张的热点区。齐齐哈尔市 2000—2015 年间城市建设用地重心移动轨迹为东北—东北—西南移动,移动距离和移动角度(与正东方向夹角)分别为 635.87 m(18.38°)、1 338.37 m(25.91°)和 2 016.08 m(243.71°),2000—2010 年间城市重心向靠近市政府的位置移动,2010—2015 年间城市重心向偏离市政府的位置移动,说明市政府周围开发短期之内达到饱和状态,未来齐齐哈尔市的西南将成为城市扩张的热点区。

3 结论与建议

1) 从扩张强度、扩张速度、紧凑度和分维指数来看,2000—2015 年间哈、大、齐的城市扩张快慢交替,其中大庆市波动最大,齐齐哈尔和哈尔滨市波动相对较小;2000—2015 年间城市紧凑度不断下降,2000 年最紧凑的是大庆市,2015 年最紧凑的为齐齐哈尔市;2000—2010 年间城市扩张形态简单,城市分维指数小于 1.5;2010—2015 年间各城市存扩张模式趋于多元化,城市边缘不规则,形态复杂。

2) 从弹性增长系数和变异系数来看,在 2000—2015 年间城市建设用地快速扩张态势中,齐齐哈尔城市用地—人口蔓延最为突出,大庆市次之,哈尔滨市最弱;2000—2015 年间哈、大、齐城市整体投资效益不高,其中大庆市建设用地的土地利用效益最低;2000—2015 年间大庆年均扩张变化率显示较大波动的迹象,齐齐哈尔和哈尔滨市则相对稳定。

3) 2000—2015 年间哈尔滨市建设用地呈现出“北跃南拓、东优西扩”发展格局;大庆市则呈现出斜“T”形扩张格局;齐齐哈尔市呈现出一个斜“上”字扩张态势。

4) 城市重心向市政府空间位置方向移动,2010 年后,这种移动减弱,甚至反向移动。2000—2015 年间哈尔滨市重心沿西北—西北—西南移动,西北(松北区)和西南(平房区)将成为城市扩张的热点区;大庆市重心朝西南—东南—西南方向移动,西南方向的红岗区和大同区是城市扩张的热点区;齐齐哈尔市建设用地重心向东北—东北—西南移动,西南方向为扩张的热点区。

需要说明的是,虽然本文通过多指标的方法研究了哈、大、齐城市建设用地的扩张特征,并取得了阶段性结论与认识,但随着工业化与城镇化不断推进,各城市扩张受到多种因素共同作用,无论是测度方法还是基础数据仍有很大的挖掘和研究潜力;城市扩张的测度方法除本文采用的方法外,还有优势度指数、景观扩张指数等方法^[27];基础数据除 Landsat 数据外,还有城市面板数据、夜间灯光数据等,可供进一步提高城市边界的提取精度。因此,仅靠增长弹性系数和变异系数对建设用地在时间序列上的扩张进行评价是不够的,且目前对建设用地空间扩张布局的自相关性还缺少研究,对城市扩张的时空耦合也有待进一步研究。

参考文献(References):

[1] 李效顺,曲福田,张绍良,等.基于国际比较与策略选择的中国

城市蔓延治理[J].农业工程学报,2011,27(10):1-10.

Li X S, Qu F T, Zhang S L, et al. Urban sprawl control in China based on international comparison and strategy selection [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(10): 1-10.

[2] 崔雪竹,王要武.城市用地扩张的社会人文驱动机制——以上海市为例的实证研究[J].土木工程学报,2012,45(S2):306-310.

Cui X Z, Wang Y W. Social and human driven mechanism of urban land expansion - case study of city of Shanghai [J]. China Civil Engineering Journal, 2012, 45(S2): 306-310.

[3] Wang H J, He Q Q, Liu X J, et al. Global urbanization research from 1991 to 2009: A systematic research review [J]. Landscape and Urban Planning, 2012, 104(3/4): 299-309.

[4] Dai J L, Gao X L, Du S S. Expansion of urban space and land use control in the process of urbanization: An overview [J]. Chinese Journal of Population, Resources and Environment, 2010, 8(3): 73-82.

[5] Bhatta B, Saraswati S, Bandyopadhyay D. Urban sprawl measurement from remote sensing data [J]. Applied Geography, 2010, 30(4): 731-740.

[6] Qi Y J, Yang Y, Jin F J. China's economic development stage and its spatio-temporal evolution: A prefectural-level analysis [J]. Journal of Geographical Sciences, 2013, 23(2): 297-314.

[7] 吕晓,黄贤金.建设用地扩张的研究进展及展望[J].地理与地理信息科学,2013,29(6):51-58.

Lyu X, Huang X J. Research progress and prospect of construction land expansion [J]. Geography and Geo-Information Science, 2013, 29(6): 51-58.

[8] 满卫东,王宗明,刘明月,等.1990—2013 年东北地区耕地时空变化遥感分析[J].农业工程学报,2016,32(7):1-10.

Man W D, Wang Z M, Liu M Y, et al. Spatio-temporal dynamics analysis of cropland in Northeast China during 1990—2013 based on remote sensing [J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(7): 1-10.

[9] 傅鸿源,陈煜红.城市建设用地利用结构优化 SD-MOP 整合模型研究[J].土木工程学报,2011,44(4):129-135.

Fu H Y, Chen Y H. Investigation on urban construction land use with a new structure optimization model - SD-MOP integrated model [J]. China Civil Engineering Journal, 2011, 44(4): 129-135.

[10] 闫梅,黄金川.国内外城市空间扩展研究评析[J].地理科学进展,2013,32(7):1039-1050.

Yan M, Huang J C. Review on the research of urban spatial expansion [J]. Progress in Geography, 2013, 32(7): 1039-1050.

[11] 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.

Zhang L, Lei J, Li X M, et al. The features and influencing factors of urban expansion in China during 1997-2007 [J]. Progress in Geography, 2011, 30(5): 607-614.

[12] 焦利民,吴苏.利用自组织网络分析 1990—2010 年中国主要城市扩展特征[J].武汉大学学报(信息科学版),2014,39(12):1435-1440,1471.

Jiao L M, Wu S. Analyzing the characteristics of the expansion of the metropolises in China from 1990 to 2010 using self-organizing

- neural network[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University 2014 39(12): 1435–1440, 1471.
- [13] 刘纪远, 刘文超, 匡文慧 等. 基于主体功能区规划的中国城乡建设用地扩张时空特征遥感分析[J]. 地理学报 2016 71(3): 355–369.
- Liu J Y, Liu W C, Kuang W H et al. Remote sensing – based analysis of the spatiotemporal characteristics of built – up area across China based on the plan for major function – oriented zones [J]. Acta Geographica Sinica 2016 71(3): 355–369.
- [14] 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.
- Ye C D, Zhou C S. Urban morphology evolution of Chinese metropolises [J]. Geography and Geo – Information Science 2013 29(3): 70–75.
- [15] 黄永斌, 董锁成, 白永平 等. 中国地级以上城市紧凑度时空演变特征研究[J]. 地理科学 2014 34(5): 531–538.
- Huang Y B, Dong S C, Bai Y P et al. Spatio – temporal evolution of urban compactness in China [J]. Scientia Geographica Sinica, 2014 34(5): 531–538.
- [16] 舒帮荣, 李永乐, 曲 艺 等. 不同职能城市建设用地扩张及其驱动力研究——基于中国 137 个地级以上城市的考察[J]. 南京农业大学学报(社会科学版) 2014 14(2): 86–92.
- Shu B R, Li Y L, Qu Y et al. Urban land expansion and its driving forces in different functional cities: An empirical analysis based on 137 cities in China [J]. Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences Edition) 2014 14(2): 86–92.
- [17] 蒋金亮, 周 亮, 吴文佳 等. 长江沿岸中心城市土地扩张时空演化特征——以宁汉渝 3 市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2015 24(9): 1528–1536.
- Jiang J L, Zhou L, Wu W J et al. A comparative study on spatio-temporal characteristics of urban expansion for the central cities along the Yangtze River: A case study of Nanjing, Wuhan and Chongqing [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015 24(9): 1528–1536.
- [18] 施利锋, 张增祥, 刘 芳 等. 1973–2013 年经济特区城市空间扩展遥感监测[J]. 遥感学报 2015 19(6): 1030–1039.
- Shi L F, Zhang Z X, Liu F et al. Spatial expansion remote sensing monitoring of special economic zones from 1973 to 2013 [J]. Journal of Remote Sensing 2015 19(6): 1030–1039.
- [19] 曹银贵, 周 伟, 乔陆印 等. 中国东部地区城市建设用地变化与利用效益分析[J]. 地理科学进展 2012 31(7): 869–877.
- Cao Y G, Zhou W, Qiao L Y et al. Research on urban construction land changes and using benefit in eastern China [J]. Progress in Geography 2012 31(7): 869–877.
- [20] 李加林, 许继琴, 李伟芳 等. 长江三角洲地区城市用地增长的时空特征分析[J]. 地理学报 2007 62(4): 437–447.
- Li J L, Xu J Q, Li W F et al. Spatio – temporal characteristics of urbanization area growth in the Yangtze River Delta [J]. Acta Geographica Sinica 2007 62(4): 437–447.
- [21] 牟凤云, 张增祥, 迟耀斌 等. 基于多源遥感数据的北京市 1973–2005 年间城市建成区的动态监测与驱动力分析[J]. 遥感学报 2007 11(2): 257–268.
- Mu F Y, Zhang Z X, Chi Y B et al. Dynamic monitoring of built – up area in Beijing during 1973–2005 based on multi – original remote sensed images [J]. Journal of Remote Sensing 2007 11(2): 257–268.
- [22] 丛晓男, 刘治彦. 基于 GIS 与 RS 的北京城市空间增长及其形态演变分析[J]. 杭州师范大学学报(社会科学版) 2015 37(5): 122–130.
- Cong X N, Liu Z Y. An analysis on the spatial growth and structure evolution of Beijing——based on GIS and RS [J]. Journal of Hangzhou Normal University (Humanities and Social Science) 2015, 37(5): 122–130.
- [23] 苏建忠, 魏清泉, 郭恒亮. 广州市的蔓延机理与调控[J]. 地理学报 2005 60(4): 626–636.
- Su J Z, Wei Q Q, Guo H L. The mechanism and adjustment of urban sprawl of Guangzhou [J]. Acta Geographica Sinica 2005 60(4): 626–636.
- [24] 孙 雁, 刘志强, 王秋兵 等. 百年沈阳城市土地利用空间扩展及其驱动力分析[J]. 资源科学 2011 33(11): 2022–2029.
- Sun Y, Liu Z Q, Wang Q B et al. Spatial expansion of urban land use and its driving forces in Shenyang City over the past century [J]. Resources Science 2011 33(11): 2022–2029.
- [25] 吕 晓, 黄贤金, 钟太洋 等. 建设用地扩张过程的时间均衡态势分析[J]. 农业工程学报 2013 29(15): 236–243.
- Lyu X, Huang X J, Zhong T Y et al. Temporal equilibrium analysis on process of construction land expansion [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering 2013 29(15): 236–243.
- [26] 周 翔, 陈 亮, 象伟宁. 苏锡常地区建设用地扩张过程的定量分析[J]. 应用生态学报 2014 25(5): 1422–1430.
- Zhou X, Chen L, Xiang W N. Quantitative analysis of the built – up area expansion in Su – Xi – Chang region, China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology 2014 25(5): 1422–1430.
- [27] 易凤佳, 李仁东, 常变蓉 等. 长株潭地区建设用地扩张遥感时空特征分析[J]. 国土资源遥感 2015 27(2): 160–166. doi: 10.6046/gtzyyg.2015.02.25.
- Yi F J, Li R D, Chang B R et al. Spatial – temporal features of construction land expansion in Changzhutan (Changsha – Zhuzhou – Xiangtan) area based on remote sensing [J]. Remote Sensing for Land and Resources 2015 27(2): 160–166. doi: 10.6046/gtzyyg.2015.02.25.

Remote sensing monitoring for temporal and spatial expansion of construction land of industrial cities in Heilongjiang

GUO Jingpeng, ZHAO Yinghui, CHEN Huiqian, XIANG Ya'nan, ZHAO Xumeng, QIAO Chang
(College of Resource and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: In order to reveal the urban construction land expansion rules of the industrial cities in Heilongjiang

during 2000—2015 , the authors , taking Harbin - Daqing - Qiqihar (Ha - Da - Qi) as the research objects , selected the Landsat remote sensing images acquired in 2000 , 2005 , 2010 and 2015 as the data source and , based on expansion speed and intensity index , compactness , growth elasticity coefficient , area weighted points dimension index , variable coefficients and spatial center of gravity transfer model , explored the spatial and temporal characteristics of the construction land expansion of Harbin , Daqing , and Qiqihar. The research results show that , during 2000—2015 , the expansion trend of Ha - Da - Qi city construction land was significant , the construction land increased by nearly 1 time than before. Ha - Da - Qi city investment efficiency is not high during 2000—2015. Among them , the construction land use efficiency in Daqing was the lowest and the variation coefficient of annual expansion rate of Daqing was the largest , while the fluctuation of Qiqihar and Harbin was relatively weak. During 2000—2010 the expansion form of the industrial city was simple. Nevertheless , during 2010—2015 the expansion mode tended to be diversified and the edge was irregular and the form was complex. Harbin formed a development pattern “jumping in the north , extension in the south , improvement in the east and expansion in the west”. Qiqihar showed a expansion trend shaped as oblique word “上” , Daqing exhibited a “T” expansion pattern. The gravity center moving track of Daqing city construction land was a “southwest—southeast—southwest” route , and Qiqihar had the northeast—southwest moving trend. The southwest and northwest of Harbin City became the hot spots of the urban expansion. From 2000 to 2010 , the center of gravity of cities other than Daqing moved in the direction of the city government and moved away from the city government in 2010 - 2015. It is suggested that , in the process of the development of the industrial city , the government should make the appropriate land use planning , strengthen the supervision and improve the efficiency of land use so as to protect the farmland resources.

Keywords: industrial city; construction land; temporal and spatial analysis; gravity center model

(责任编辑: 张 仙)