环渤海城镇建成区时空动态特征分析

吴 莉[1,2]，侯西勇[1,3]，于良巨[1]，邱向红[1,2]
(1. 中国科学院 烟台海岸带研究所，山东 烟台 264003;
2. 中国科学院 研究生院，北京 100049; 3. 杜克大学 尼古拉斯环境学院，达勒姆，27708，美国)

摘要: 以环渤海三省两市为研究区，基于20世纪70年代末期以来5个时相的Landsat MSS/TM/ETM+遥感影像提取县级及以上城镇建成区的空间分布图形信息，采用扩展动态度、扩展强度和空间自相关指数等指标分析环渤海区域城镇扩展的时空动态特征。结果表明: (1) 20世纪70年代末期以来，环渤海区域城镇用地不断扩展，各阶段扩展速度和扩展强度呈上升趋势，而扩展动态度趋于减少。(2) 不同类型城镇扩展的总体趋势基本一致，但类型间差异亦较显著。(3) 城镇扩展动态度的总体空间格局呈显著正相关，高值区空间分布的阶段性特征显著，且呈现沿交通干线分布和变化的特征。(4) 城镇扩展强度总体上趋于随机分布，但局部地区呈集聚分布态势，高值区多较为孤立地分布在大城市或其周围地区，并表现出据点式的演化趋势。

关 键 词: 城镇建成区; 城镇扩展; 时空动态; 空间自相关; 环渤海
中图分类号: F293.2 文献标志码: A 文章编号: 1003-2363(2012)01-0074-06

0 引言

1978年改革开放以来，中国经济持续快速的发展促进了快速的城镇化过程。城镇化所伴生的大规模土地利用/覆盖变化已经成为一种典型的人地系统相互作用过程，其结果是城市用地的空间扩展[1]，并引起耕地及生态用地随之转变[2]，进而对生态环境产生影响[3]。城镇用地扩展作为城镇化最明显的空间表现，可以在很大程度上反映区域城镇化的进程特征及空间组织特征。目前，田光进[2]、李丽[4]和卓莉[5]等人已在全国尺度上对城镇的扩展进行研究。在区域尺度上，张文忠等揭示了珠江三角洲城镇扩展强度与城镇化发展水平的关系，并分析了城镇用地扩展的空间格局特征[6]；李加林等在增长极理论和点轴理论的基础上构建了“城市生长极核”和“城市生长极带”模型，探讨了长江三角洲区域的城市空间生长过程[7]；王磊等采用空间自相关等方法分析了长江三角洲城市扩展的集聚特征及演化过程[8]。对于单个城市扩展的研究主要集中在城镇化水平较高或较为典型的城市，如，北京[9]、上海[1,10]、深圳[11]、大连[12]等。

近年来，对环渤海区域的研究主要集中在区域土地利用变化、驱动力以及其生态环境效应[13-15]，而针对该区域城镇用地扩展进行的研究较少[16]。本研究以环渤海区域为研究区，基于20世纪70年代末期、1990、2000、2005、2010年的遥感影像，提取城镇建成区的空间图形信息，分析该区域在改革开放以来城镇扩展的时空动态特征，为该地区城市规划执行和合理变更提供科学依据，促进环渤海区域城镇的协调发展。

1 研究区与数据

1.1 研究区概况

环渤海区域是指环绕渤海的辽宁、河北、山东、北京和天津，面积约51万km^2。该区域位于中国沿太平洋西岸的北部，在中国对外开放的沿海发展战略中占重要地位，是继珠江三角洲和长江三角洲之后中国经济增长的第三极，城镇化进程较快，其中，京津冀城市群、辽中南城市群和胶东半岛城市群发展尤为迅速。

1.2 信息源与建成区提取

基于20世纪70年代末期的Landsat MSS和1990，2000，2005和2010年的TM/ETM+影像，主要采用目视解译的方法提取不同时相的城镇建成区空间信息，各时相均提取出318个城镇斑块。按照行政等级将城镇分为4类: 省会和副省级及以上城市(以下简称特大城市) 7个，地级市37个，县级市70个，县城204个。

2 研究方法

2.1 动态度

单一土地利用类型动态度反映某研究区一定时间范围内某种土地利用类型数量变化情况，其表达式为[17]:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad 。 \qquad (1)$$

式中: K为研究时段内城镇建成区的扩展动态度; U_a，U_b分别为研究期初及期末城镇建成区的面积; T为研究时

收稿日期: 2011-03-24; 修回日期: 2011-11-15
基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(kzcx2-yw-224); 中国科学院王宽诚教育基金会奖学金访问学者项目(2009年度); 国家自然科学基金项目(40801016)
作者简介: 吴莉(1987-)，女，山东菏泽人，硕士研究生，主要从事海岸带土地利用/覆盖变化研究，(E-mail) lwu@yic.ac.cn。
通讯作者: 侯西勇，(E-mail) xyhou@yic.ac.cn。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

段(一般以年为单位)。

2.2　扩展强度

城镇扩展强度表征某空间单元研究时期内城镇建成区的扩展面积占其土地总面积的百分比[3],其实质就是用研究区的土地面积来对城市建成区年均扩展速度进行标准化处理,消除不同空间单元土地总面积不等的影响。计算公式为:

$$S = \frac{U_b - U_a}{A} \times \frac{1}{T} \times 100 \quad 。 \qquad (2)$$

式中: S 为城镇扩展强度; A 为研究单元土地总面积。

2.3　空间自相关

空间自相关是检验一个区域单元上的某种地理现象或观测值与其相邻空间单元上同一现象或观测值是否显著相关联的常用指标,可使用全局和局部两种不同等级的指标来度量。

Moran's I 指数是一种应用非常广泛的全局空间自相关统计量,公式如下[18]:

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j\neq i}^{n} w_{ij}(x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \times 100\% \quad 。 \qquad (3)$$

式中: n 为研究区内空间单元的总数; x_i 和 x_j 分别代表第 i 个和第 j 个空间单元上的观测值; $\bar{x}$ 是观测值的平均值; w_{ij} 是空间权重; S_0 是空间权重矩阵 w_{ij} 中所有元素之和。本研究采用邻接标准构建空间权重矩阵。

Moran's I 指数取值在 $-1 \sim 1$ 之间。在给定显著性水平下,当 Moran's I 指数显著且为正时,表明观测值之间显著正相关,相似属性聚集在一起,呈现高高集聚和低低集聚分布格局; 当 Moran's I 指数显著且为负时,表示观测值之间存在显著负相关,呈空间分散格局; 当 Moran's I 指数接近于 0,表明不存在空间自相关,观测值在空间上随机分布。

全局空间关联指数仅使用一个单一值来反映整体上的自相关,难以探测不同位置局部区域的空间关联模式。Anselin L[19] 提出局部莫兰指数(LISA)来检验局部地区是否存在相似或相异的观测值聚集在一起。在空间位置 i 上,局部 Moran's I_i 统计量定义如下:

$$I_i = \sum_{j\neq i}^{n} w_{ij} z_i z_j \quad 。 \qquad (4)$$

式中: z_i 和 z_j 是观测值的均值标准化; 空间权重矩阵单元 w_{ij} 采用行标准化形式。在显著性水平下,当 I_i 和 z_i 均为正时,表示位置 i 处的观测值和它周围的观测值均为高值区,即高高集聚(HH); 当 I_i 为正,z_i 为负时,表示位置 i 处的观测值和它周围的观测值均为低值区,即低低集聚(LL); 当 I_i 为负,z_i 为正时,表示位置 i 处的观测值大于它周围的观测值,即高低集聚(HL); 当 I_i 为负,z_i 为负时,表示位置 i 处的观测值小于它周围的观测值,即低高集聚(LH)。

3　城镇扩展的过程特征

3.1　面积增长及扩展速度

20 世纪 70 年代末环渤海区域城镇总建成区面积约为 2 160 km^2,其中,建成区面积大于 100 km^2 的仅有北京、天津、沈阳和济南 4 个城市。而截止 2010 年,环渤海区域城镇建成区总面积约为 10 652 km^2,建成区面积在 100 km^2 以上的城市达到 15 个。北京市扩展尤为明显,建成区面积已达到 1 381 km^2,扩展面积为 1 104 km^2。

从表 1 可以看出,1980—2010 年间环渤海区域城镇总体的年均扩展速度先增加后下降。1980—2005 年,各类城镇除了地级市 1990—2000 年间年均扩展速度较前一时段下降约 2 $km^2 \cdot a^{-1}$ 外,其余均不断增加。2005 年后,特大城市和地级市扩展速度下降,而县级市和县城的扩展速度仍然保持增加。1980—1990 年间,年均扩展速度最大、对城镇总体建成区扩展贡献率也最大的城镇类型为地级市; 1990—2005 年为特大城市; 2005—2010 年则为县城。

表 1　1980—2010 年环渤海城镇建成区面积及扩展速度

Tab. 1　Area and growth speed of urban land use in the CBR from 1980 to 2010

城镇类型	建成区面积/km^2					扩展速度/($km^2 \cdot a^{-1}$)			
	1980	1990	2000	2005	2010	1980—1990	1990—2000	2000—2005	2005—2010
县城	412	937	1 571	2 009	2 534	52.4	63.4	87.7	105.0
县级市	273	610	1 086	1 416	1 757	33.6	47.6	66.0	68.0
地级市	627	1 369	2 090	2 628	3 137	74.1	72.1	107.7	101.8
特大城市	848	1 423	2 307	2 858	3 223	57.5	88.4	110.0	73.0
所有城镇	2 160	4 339	7 055	8 913	10 652	217.8	271.7	371.5	347.8

3.2　动态度和扩展强度

动态度反映了城镇相对于自身的发展水平。由于城镇建设用地面积比重在一定程度上可以反映城镇化发育水平的差异,因此,扩展强度可用来表示城镇化进程快慢。根据公式(1)和公式(2)分别计算 318 个城镇个体以及 4 类城镇在 1980—1990,1990—2000,2000—2005 和 2005—2010 年的动态度和扩展强度。

3.2.1　动态度和扩展强度的统计特征。318 个城镇的动态度的均值在 4 个时段内不断减少,而扩展强度的均值不断增加(表 2)。城镇扩展动态度和扩展强度均表

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

现为中值小于均值,偏度系数和峰度系数值大于 0,说明环渤海区域城镇群体扩展动态度和扩展强度频率分布形态为右偏态尖峰分布,数据分布呈集中性和离群性特征。而扩展强度的峰度系数值远大于同时期扩展动态度的峰度系数,表明较扩展动态度而言区域城镇群体扩展强度呈现为较明显尖峰分布,分布的集中性更明显。

表 2 1980—2010 年环渤海城镇群体扩展的动态度和扩展强度统计特征

Tab. 2 Statistical characteristics of growth intensity and dynamic degree of urban expansion in the CBR during 1980—2010

统计特征	1980—1990		1990—2000		2000—2005		2005—2010	
	动态度	扩展强度	动态度	扩展强度	动态度	扩展强度	动态度	扩展强度
平均值	16.17	0.06	8.17	0.09	5.69	0.10	5.17	0.10
中值	12.21	0.02	6.34	0.03	4.13	0.04	4.04	0.05
峰度系数	8.35	4.96	10.16	8.41	3.83	12.65	3.40	6.57
偏度系数	2.19	30.80	2.40	83.66	1.82	190.95	1.77	54.94

3.2.2 不同类型城镇的扩展动态度和扩展强度变化特征。由表 3 可看出,环渤海区域城镇总体的扩展动态度可大致划分为 2 个阶段: 1980—1990 年,城镇扩展动态度较高,为 10.09%; 1990 年以后,城镇扩展动态度大幅度降低。不同城镇类型在 4 个时段内扩展动态度均呈不断下降的趋势。1980—2005 年各类城镇之间的差异趋于减少,2005 年之后各类型之间差异扩大。县级市和县城在 4 个时期内的扩展动态度高于特大城市和地级市。4 个时段内区域城镇总体的扩展强度缓慢上升,由 1980—1990 年间的 0.04 上升到 2005—2010 年间的 0.07。1980—2005 年间,各类型城镇扩展强度不断增加。特大城市的扩展强度及其增长态势尤为显著,其次是地级市,而县级市和县城之间则差异微小,并远远落后于特大城市和地级市。2005 年以后特大城市和地级市的扩展强度有所下降,但仍然远大于县级市和县城的扩展强度。

表 3 1980—2010 年环渤海区域不同类型城镇扩展动态度、扩展强度变化

Tab. 3 Dynamic degrees and growth intensities of different_type urban in the CBR from 1980 to 2010

城镇类型	1980—1990		1990—2000		2000—2005		2005—2010	
	动态度	扩展强度	动态度	扩展强度	动态度	扩展强度	动态度	扩展强度
县城	12.74	0.02	6.78	0.02	5.58	0.03	5.23	0.03
县级市	12.32	0.03	7.82	0.04	6.08	0.06	4.80	0.06
地级市	11.84	0.17	5.27	0.16	5.15	0.25	3.87	0.23
特大城市	6.78	0.19	6.21	0.30	4.77	0.37	2.56	0.25
所有城镇	10.09	0.04	6.26	0.05	5.27	0.07	3.90	0.07

4 城镇扩展的空间格局

以 2010 年环渤海区域县域行政区划为基本分析单元,分别将各城镇 4 个时段的扩展动态度和扩展强度空间化,并计算全局 Moran's I 指数和局部 Moran's I_i ,探索环渤海区域城镇群体扩展的空间格局特征。

4.1 扩展动态度的空间格局演化

4 个时段(1980—1990,1990—2000,2000—2005,2005—2010 年)城镇用地扩展动态度的全局 Moran's I 指数分别为 0.10,0.22,0.14,0.24,且通过正态分布显著性检验。这说明环渤海区域城镇群体扩展动态度在总体上表现出空间集聚特征,但集聚程度有所不同,2005—2010 年聚集程度最高。进一步计算局部 Moran's I_i 测度城镇 i 和其相邻城镇的扩展动态度之间的相关性,并将 HH,LL,HL,LH 4 种空间集聚模式表现在 Moran 散点地图上(图 1),特征如下:(1) HH 区是城镇扩展动态度较大且正相关区域,该类型占区域总城镇的 20% 左右。不同时段内,HH 区在空间上的"跳跃"比较明显,并呈现一定的沿着交通干线分布和变化的特征。1980—1990 年,HH 区主要位于辽宁东部山地丘陵区、辽宁中部县城、保定市西部、唐山北部、烟威沿海县市、潍坊—日照和临沂部分县市以及菏泽西部县城等; 1990—2000 年,HH 区较为集中地分布于京津冀内京广线和京九线沿线及其所包围的区域; 2000—2005 年,HH 区分布较前一时期离散,主要集中在山东省胶济铁路沿线城镇以及山东和河北交界处部分县市; 2005—2010 年,HH 区主要分布在沿海地区,如东营、滨州、营口和大连等。(2) 4 个时段内,HL 区城镇所占区域总城镇的比重均不到 20%,且空间分布较离散; LH 区和 LL 区是主要的集聚类型,二者合计所占总城镇的比重各时段均超过 60%。

4.2 扩展强度的空间格局演化

全局空间自相关分析发现,4 个时段内城镇用地扩展强度在总体空间格局不存在显著空间自相关。进一

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

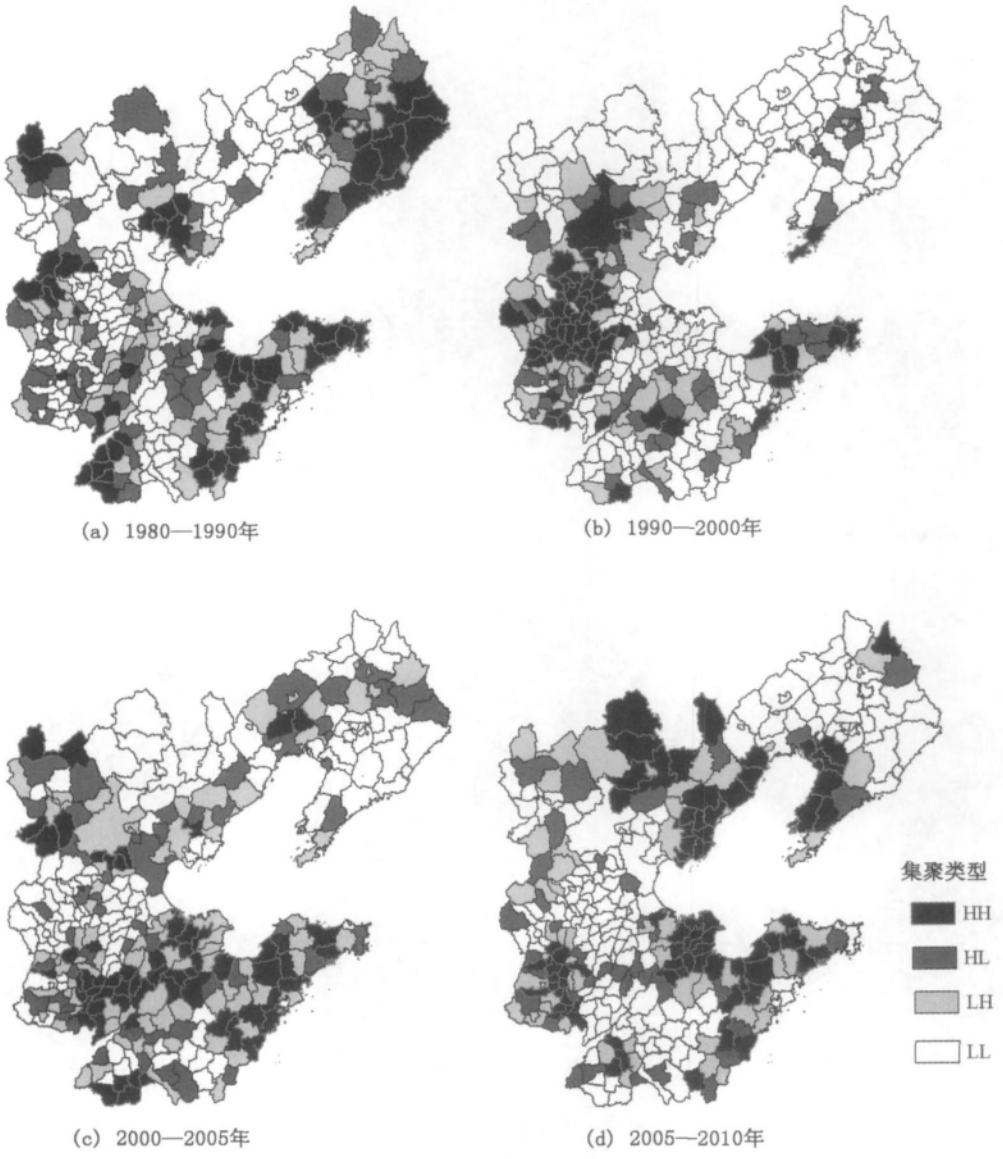

图 1　1980—2010 年间城镇扩展动态度的 Moran's *I* 散点地图

Fig. 1　Moran's *I* scatter maps of dynamic degrees of urban expansion during 1980—2010

步计算扩展强度局部 Moran's I_i ,并表现在 Moran 散点地图上(图 2),分析如下:(1)扩展强度 HH 区城镇数量较少,但不断增加,4 个时段内占总城镇的比重分别为 3.14%,6.29%,6.92% 和 7.86%。与扩展动态度空间格局中 HH 区的分布和演化不同,扩展强度的 HH 区多较为孤立地分布在大城市或者大城市的周围地区,并表现出据点式的演化趋势,例如,以天津市—廊坊市、即墨市为中心不断向周围扩展的 HH 区。而 2005—2010 年期间,已有的 HH 区趋于衰退,山东省东营市附近则形成新的 HH 区。(2) HL 区所占的比重在 15% 左右波动变化。特大城市、地级市以及小部分扩展强度较大的县级市和县城共同构成了 HL 区,其中,地级市是 HL 区主要城镇类型。HL 区城镇多为城镇发展的区域中心,但尚未充分带动周围城镇的发展。(3) LH 区所占的比重在 20% 左右,主要呈环状分布在 HH 区和 HL 区的外围。LL 区所占的比重在 60% 左右,为区域城镇扩展强度集聚的主要类型,这表明环渤海区域半数以上的城镇的扩展强度尚处在低水平的均衡状态。

5　结论与讨论

20 世纪 70 年代末期以来,环渤海区域城镇化进程不断加快。小城镇相对于自身的发展速度较快。在城镇发展的空间格局上,相对发展速度较快的城镇不同时段内的转移比较明显,并呈现一定的沿着交通干线分布和变化的特征;城镇的行政等级越高,城镇化水平提高的速度越快,随时间变化各等级之间差异就不断加大。城镇化水平提高速度较快的高值集聚区在京津冀和山东均有分布并呈据点式的演化趋势,而辽宁省内尚未有

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

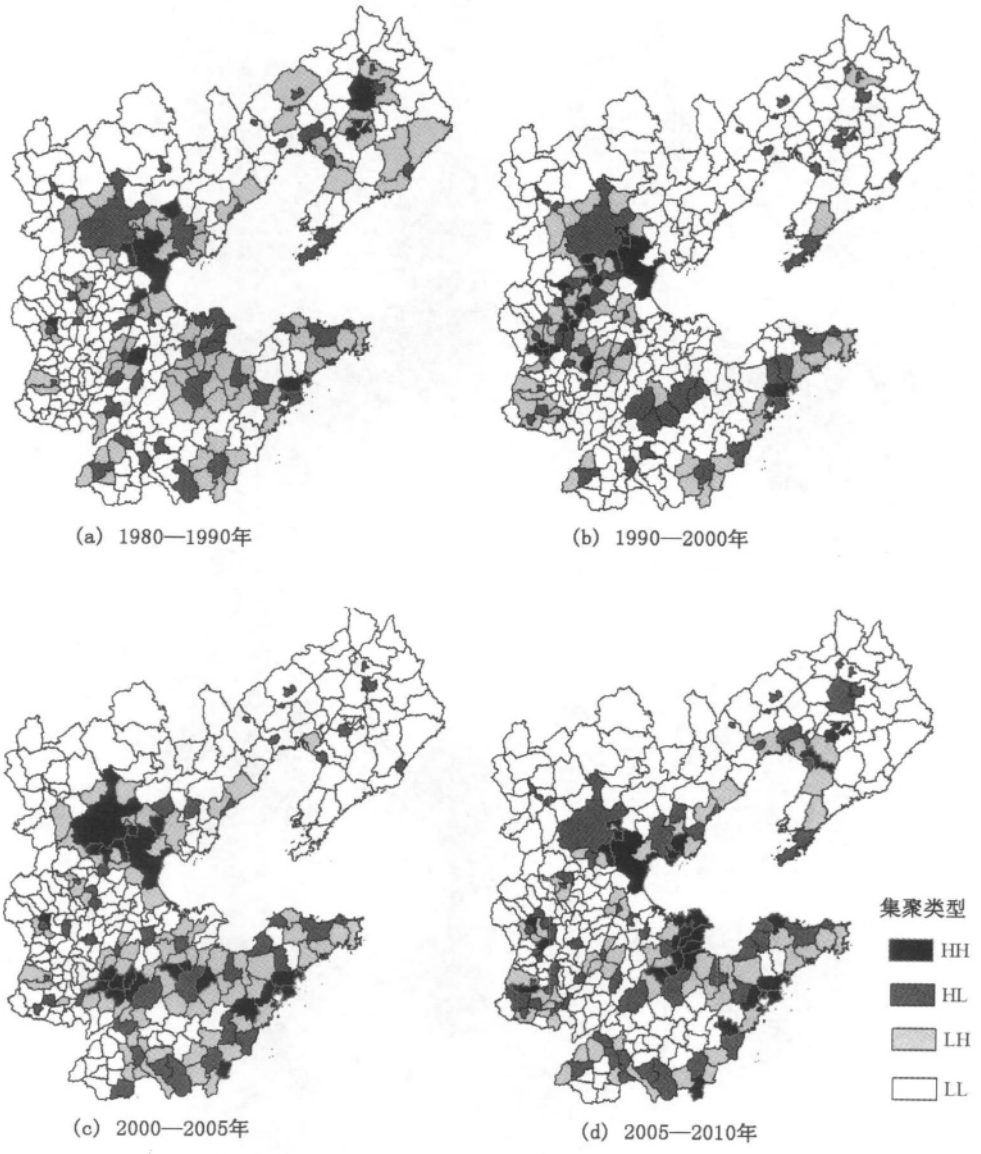

图 2 1980—2010 年间城镇扩展强度的 Moran's *I* 散点地图

Fig. 2 Moran's *I* scatter maps of growth intensities of urban expansion during 1980—2010

稳步发展的高值区。

与长江三角洲[7]和珠江三角洲地区[8]相比，环渤海区域城镇用地扩展动态度和扩展强度均较低，城镇扩展的空间组织性较差。通过研究，认为环渤海区域城镇体系在未来的发展中除了加快城镇化速度外，还应加强对区域城镇体系组织结构特征的研究及其优化管理。跨省的区域性中心城市和副中心城市的培养是重点之一，应继续充分发挥其对周边地区的辐射带动作用；以较有实力的地级市为代表的次一级中心城市的培育和发展应该成为另一个重点；在城镇体系历史演进的基础上，充分重视发挥交通干线对区域城镇空间发展的带动作用，通过进一步培育和强化区域城镇化的空间发展轴线达到逐渐优化和提升环渤海区域城镇化水平的目标。

参考文献:

[1] 赵晶，陈华根，许惠平. 20 世纪下半叶上海市居住用地扩展模式、强度及空间分异特征 [J]. 自然资源学报，2005，20(3)：400－406.

[2] 田光进，庄大方. 90 年代中国城镇用地动态变化的遥感监测 [J]. 资源科学，2003，25(3)：77－82.

[3] 万利，陈佑启，谭靖，等. 土地利用变化对区域生态系统服务价值的影响——以北京市为例 [J]. 地域研究与开发，2009，28(4)：94－99，109.

[4] 李丽，迟耀斌，王智勇，等. 改革开放 30 年来中国主要城市扩展时空动态变化研究 [J]. 自然资源学报，2009，24(11)：1933－1943.

[5] 卓莉，李强，史培军，等. 基于夜间灯光数据的中国城市用地扩展类型 [J]. 地理学报，2006，61(2)：169－178.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[6] 张文忠，王传胜，薛东前. 珠江三角洲城镇用地扩展的城市化背景研究 [J]. 自然资源学报，2003，18(5)：575－582.

[7] 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.

[8] 王磊，段学军. 长江三角洲地区城市空间扩展研究 [J]. 地理科学，2010，30(5)：702－709.

[9] 刘盛和，吴传钧，沈洪泉. 基于 GIS 的北京城市土地利用扩展模式 [J]. 地理学报，2000，55(4)：407－416.

[10] 李晓文，方精云，朴世龙. 上海城市用地扩展强度、模式及其空间分异特征 [J]. 自然资源学报，2003，18(4)：412－422.

[11] 史培军，陈晋，潘耀忠. 深圳市土地利用变化机制分析 [J]. 地理学报，2000，55(2)：151－160.

[12] 姚秀利，王红扬. 近百年来大连城市空间演变还原与模拟 [J]. 地域研究与开发，2009，28(4)：24－28，66.

[13] Zhu Huiyi, Li Xiubin, He Shujin, *et al*. Land Use Change in Bohai Rim: A Spatial-temporal Analysis [J]. Journal of Geographical Sciences, 2001, 11(3): 305－312.

[14] 朱会义，何书金，张明. 环渤海地区土地利用变化的驱动力分析 [J]. 地理研究，2001，20(6)：669－678.

[15] 郭丽英，王道龙，邱建军. 环渤海区域土地利用景观格局变化分析 [J]. 资源学报，2009，31(12)：2144－2149.

[16] 何春阳，李景刚，陈晋，等. 基于夜间灯光数据的环渤海地区城镇化过程 [J]. 地理学报，2005，60(3)：409－417.

[17] 王秀兰，包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨 [J]. 地理科学进展，1999，18(1)：81－87.

[18] Cliff A D, Ord J K. Spatial Processes, Models and Applications [M]. London: Pion, 1981.

[19] Anselin L. Local Indicators of Spatial Association: LISA [J]. Geographical Analysis, 1995, 27: 93－115.

Dynamics of Urban Expansion in Circum-Bohai Sea Region

Wu Li[1,2], Hou Xiyong[1,3], Yu Liangju[1], Di Xianghong[1,2]

(1. *Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai* 264003, *China*; 2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*; 3. *Nicholas School of the Environment, Duke University, Durham, NC* 27708, *U. S. A*)

Abstract: China has experienced rapid urban expansion since reform and opening-up. In this paper, the Circum-Bohai region (CBR) is selected as the study area. Based on five years of Landsat MSS/TM/ETM + images which were mainly acquired in 1970s, 1990, 2000, 2005 and 2010 respectively, the spatial boundaries of all the cities and towns have been interpreted by GIS techniques. Furthermore, the dynamic characteristics of urban expansion in the CBR were analyzed quantitatively by some indices. The results are drawn as follows: (1) In the past four periods, the average annual growth area and growth intensity of urban expansion of the whole CBR were accelerating, while the dynamic degree was decreasing. Cities in different administrative hierarchy positions followed the same trend. (2) The highest growth intensity was always mega-cities, provincial cities, county-level cities and lowest counties. However, cities with the largest annual growth area or dynamic degree changed with time. (3) In the perspective of the dynamic degree of urban expansion, high-high value clusters tended to distribute along the important transportation axes and transferred evidently in different periods. (4) As for the growth intensity, high-high value clusters always distributed around big cities and expanded based on the previous.

Key words: build-up area; urban expansion; spatial-temporal dynamics; spatial autocorrelation; Circum-Bohai region

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net