

基于地学信息图谱的矿业城市空间扩展研究

——以徐州市为例

李保杰^{1,2}, 顾和和¹, 纪亚洲^{1,2}, 陈军¹

(1. 中国矿业大学 江苏省资源环境信息工程重点实验室, 江苏 徐州 221116; 2. 徐州师范大学 城市与环境学院, 江苏 徐州 221116)

摘要: 以矿业城市徐州市区 1979, 1989, 1999 和 2009 年 4 期遥感信息图谱数据为基础, 借助 GIS 空间分析技术和相关统计分析方法, 从城市建成区面积变化、扩展强度、分维数、重心坐标、紧凑度等方面对徐州市城市扩展的时空变化特征和驱动力进行分析。结果表明: 1979—1999 年间, 徐州市建设用地面积持续增加, 分维数有所变化, 扩展强度逐渐增强, 1989 年以后城市重心朝东部和东南方向移动, 城市紧凑度增加, 分形维数逐渐减少, 城市空间形态趋于合理。自然地理环境、煤炭资源的开采、政策、经济和人口等因素是城市空间扩展的主要因素。

关键词: 信息图谱; 城市扩展; 矿业城市; 徐州市
中图分类号: F291 **文献标志码:** A

文章编号: 1003-2363(2012)01-0050-05

我国正处于城市化进程高速发展阶段, 而城市建设用地的空间扩展是城市化进程的一个重要测度指标^[1]。城市建设用地空间扩展是自然、经济、政策等多方面因素共同作用的结果^[2-3]。因此, 通过研究城市建设用地的空间扩展变化以揭示城市的生长过程、演化规律, 为城市的发展规划、调控提供科学依据。近年来, 国内外学者对城市扩展进行了深入的探讨: Masek 等利用 TM 数据研究了华盛顿特区城市扩展的动态变化^[4], 我国学者相继借助 GIS 和 RS 技术对我国主要大、中型城市, 如北京^[5-6]、上海^[7-8]、南京^[9-10]、西安^[11]、厦门^[12]、沈阳^[13]、长春^[14]、延吉市^[15]、四平市^[16], 中尺度区域, 如苏锡常地区^[17]、长三角地区^[18] 从不同角度对不同的城市或区域的城市空间扩展进行了研究, 并对不同城市的空间扩展特征和驱动力因子进行了探讨。而对于中型矿业城市由于资源的开发和其他方面因素, 对城市空间扩展的影响方面的研究则鲜见报道。徐州作为一个典型的矿业城市, 近年来, 城市扩张的速度明显加快, 而且经历了资源大规模开采阶段和资源枯竭阶段, 因此, 研究矿业城市不同阶段对城市空间扩展的影响具有一定的理论和实践意义。为此, 文章基于 4 期(1979—2009 年) MSS/TM/ETM+ 遥感数据, 利用地学信息图谱并结合 GIS 空间分析技术, 对 1979—2009 年间徐州市区(依据 2005 年徐州市行政区划, 不含贾汪)不同发展阶段城市建设用地空间扩展进行探讨, 并结合矿业城市的发展特

点和相关统计数据对建设用地空间扩展及其驱动力进行了分析, 以期城市规划、城市用地结构调整和产业结构布局等提供理论依据。

1 研究区域及数据来源

1.1 研究区域概况

徐州市位于北纬 34°15′、东经 117°11′, 属于黄淮海冲积平原, 区内除少数丘岗外, 地势较为平坦, 年平均气温为 14.2℃, 年平均降水量为 834.7 mm。该区交通繁忙, 煤炭资源丰富, 重工业发达, 是我国煤炭、电力工业的重要基地之一, 2006 年原煤产量 282.7 亿 t, 占江苏省原煤产量的 93%, 是我国 12 个年产量超过 1 000 万 t 的煤炭产地之一, 有百余年的煤炭开采史。

1.2 数据来源与处理

采用 Landsat TM 轨道号为 122-37 的 4 个时相遥感图像作为数据源, 时间分别为 1979 年 6 月 15 日、1989 年 9 月 20 日、1999 年 9 月 26 日和 2009 年 9 月 14 日, 云量均为 0%, 以徐州市区 1:10 000 的地形图在 ERDAS 9 环境下对 4 期遥感影像进行精确配准, 然后利用徐州市行政区划矢量图转化成的 AOI 对徐州市区进行裁剪。解译前, 先采用监督分类中的最小距离分类法对遥感影像进行了预分类, 结合地面调查, 确定影像训练区。在进行多种分类方法比较后, 以分类精度较高的最大似然分类法进行分类, 4 期影像分类结果的 Kappa 系数在 0.844 6 和 0.866 5 之间, 精度满足分析的要求。本研究根据光谱特征将影像分为 5 类: 建设用地、水体、农田、绿地、林地, 然后将水体、农田、绿地、林地合并成一类地物, 即对分类后的图像进行二值化处理, 得到建设用地和非建设用地两类地物, 然后, 利用 ArcGIS 9.2 对二值化后的图像进行矢量化即对建成区的边界进行提取, 获

收稿日期: 2011-05-11; 修回日期: 2011-11-29
基金项目: 国家自然科学基金项目(41101158, 41101428); 江苏高校优势学科建设工程项目
作者简介: 李保杰(1979-), 男, 江苏丰县人, 讲师, 博士研究生, 主要从事 GIS 应用与生态环境研究, (E-mail) liboje@126.com。

得了徐州市 1979,1989,1999 和 2009 年的建成区矢量图,并保存为 SHP 格式。最后,在矢量图的基础上利用 ArcGIS 软件进行图斑面积的计算,从而对不同时期的建成区空间扩展进行研究。

2 研究方法

用遥感图像解译的成果图及徐州市区相关统计数据,以扩展强度和扩展指数作为城市空间面积扩展分异指标,以分维数和紧凑度作为城市空间扩展形态指标,研究城市空间扩展的形态特征变化,以城市重心转移指标来研究城市重心转移情况^[19-20]。

(1)城市扩展强度:城市扩展强度表征在某一时间段内年际城市面积增长比率。计算公式如下:

$$R = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\%。$$

式中: R 为研究末期城市扩展强度; U_b 为研究末期城市用地面积; U_a 为研究初期城市用地面积; T 为时间间隔。

(2)人口-城市扩展指数:人口-城市扩展指数用于表征城市扩展的紧密程度, I 值越小表明城市扩展越为紧密,城市用地的扩展有人口的支撑;反之,则城市用地扩展表现为稀疏模式,城市用地扩展超前于人口增长。计算公式如下:

$$I = \frac{U_b - U_a}{P_b - P_a}。$$

式中: I 为研究末期城市扩展指数; U_b 为研究末期城市用地面积; U_a 为研究初期城市用地面积; P_b 为研究末期人口; P_a 为研究初期人口。

(3)城市分形维数:分形维数用于描述城市形态,分析不同时期城市的空间复杂度和稳定性。计算公式如下:

$$\ln A(r) = \frac{2}{D} \ln P(r) + C。$$

式中: $A(r)$ 代表以 r 为量测尺度的某一样本的面积; $P(r)$ 为同一样本的周长; C 为截距; D 为分形维数。

(4)紧凑度:紧凑度是反映地物形状的参数,紧凑度的变化可表征城市用地扩展的空间特征。计算公式如下:

$$c = \frac{2 \sqrt{\pi A_t}}{P_t}。$$

式中: c 为紧凑度; A_t, P_t 分别为第 t 年城市斑块的面积(km^2) 和周长(km)。 c 值在 $0 \sim 1$ 之间,其值越大,表明地物形状的紧凑性越好;反之越差。圆是形态最紧凑的图形,其紧凑度为 1。

(5)城市空间重心转移计算公式如下:

$$X_t = \sum_{i=1}^n (C_{ti} \times X_i) / \sum_{i=1}^n C_{ti}, Y_t = \sum_{i=1}^n (C_{ti} \times Y_i) / \sum_{i=1}^n C_{ti}。$$

式中: X_t, Y_t 分别为 t 时间城市用地重心坐标; X_i, Y_i 为第 i 块城市用地的几何中心坐标; C_{ti} 为第 i 个片区面积。

3 结果与分析

3.1 城市扩展的时空特征

徐州市区建成区面积从 1979 年的 35.22 km^2 增加到 2008 年的 157.20 km^2 ,增长了 4.46 倍,扩展速度为 $4.06 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$,扩展强度指数为 7.75%。1979—1999 年间,徐州市城市扩展速度相对稳定,20 年间城市扩展了 50.15 km^2 ,扩展速度为 $2.51 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ 。进入 21 世纪以来,徐州进入城市快速发展时期,1999—2009 年间城市面积扩展了 71.83 km^2 ,扩展速度为 $7.18 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$,是前 20 年扩展速度的 2.86 倍。这一时期,由于新城区的建设、城市基础设施以及京沪高铁等的拉动作用,使得城市向东扩展的速度空前提高(表 1)。

表 1 徐州市不同时段城市扩展情况(1979—2009 年)

Tab. 1 Status of urban expansion in Xuzhou City during different periods (1979—2009)

时段	扩展面积 / km^2	扩展速度/ ($\text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$)	扩展强度 指数/%	扩展贡 献率/%
1979—1989	17.11	1.71	4.85	14.01
1989—1999	33.04	3.30	6.31	27.09
1999—2009	71.83	7.18	8.41	58.88
1979—2009	121.98	12.20	7.75	100.00

3.2 城市扩展的空间分异特征

为了深入研究城市空间扩展的空间分异特征,以 1979 年徐州市区几何中心为原点,东西方向为横轴,南北方向为纵轴,按 45° 角将研究区划分成 8 个象限区域,与不同时期城市空间分布图叠加(图 1),统计不同方向城市区扩展面积,分析不同时段各象限方位区内建成区扩展面积、扩展强度等特征(图 2,图 3)。

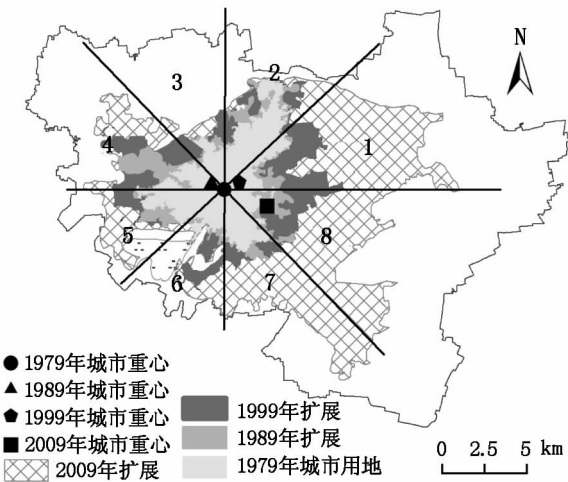


图 1 1979—2009 年徐州市不同方位区的城市扩展过程

Fig.1 Urban expansion processes of Xuzhou in different directions during 1979—2009

由图 2、图 3 可见,1979—2009 年间城市空间扩展增幅较大的 3 个象限分别是 1, 8 和 7 象限,平均增长速度

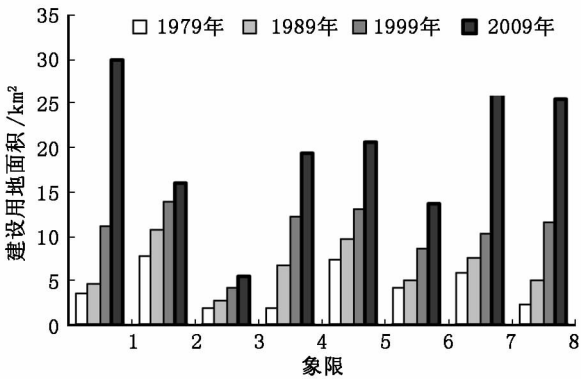


图 2 1979—2009 年徐州市 8 个象限城市建设用地面积变化
Fig. 2 The change of urban construction land in different quadrants of Xuzhou City during 1979—2009

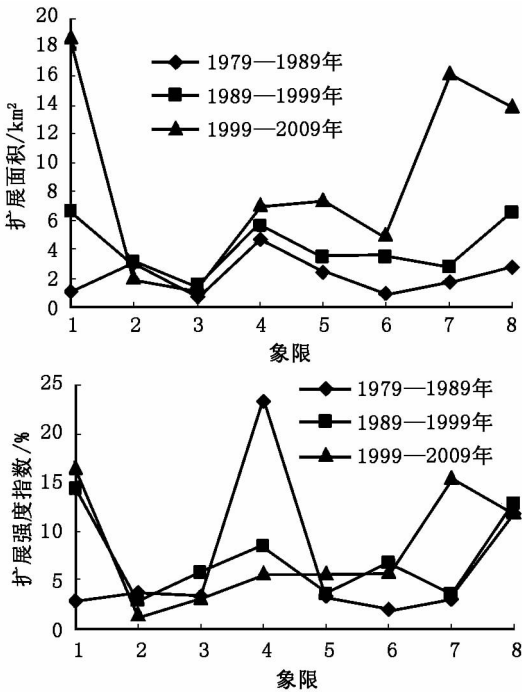


图 3 徐州市 1979—2009 年间各象限扩展面积和扩展强度的变化
Fig. 3 The change of expansion and expansion intensity of urban construction land in different quadrants of Xuzhou during 1979—2009

分别是 0.88, 0.78 和 0.69 $\text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ 。城市空间扩展朝东部和东南方向扩展,这是由于徐州市政府积极推进新城区的建设和京沪高铁的建设对城市扩展的拉动作用。第 3 象限的城市用地空间扩展在 8 个象限中扩展速度和扩展的幅度最低,主要是由于该区受到九里山的阻隔,对城市的空间扩展起到阻碍作用。1979—1989 年间城市空间扩展幅度较大区域集中在第 4 象限,其主要是由于西北部矿区的发展对城市发展的拉动作用,使得城市向西北发展。1979—1989 年间,徐州市城市在 8 个象限扩展较均衡,主要沿“西北—东南”轴线发展,而在 1989—2009 年间,城市主要朝东部和东南方向扩展。

由图 3 可以看出,徐州市不同时期不同象限内城市

扩展面积有所不同,扩展强度也不相同。1979—1989 年间,徐州市城市用地扩展强度变化最大的出现在第 4 象限,其主要原因是由于徐州作为矿业城市正处于快速发展时期,城市发展的重要动力主要是由于煤炭资源的开采和矿区居民的增多所致。1989—1999 年间,扩展强度的峰值出现在第 1, 8 象限,主要原因是该时段内,徐州东部京福高速等的修建和徐州市新的行政区划调整使得城市向东部发展。1999—2009 年间,扩展强度较大的区域主要集中在第 1, 7 和 8 象限。首先,主要是由于进入 21 世纪以来,徐州处于后采矿时期并进入快速发展时期,徐州西部和西北部主要是采煤塌陷地,由于地质结构等条件限制了城市朝该区发展;其次是徐州北部的九里山和京杭大运河以及南部的云龙湖的阻隔作用,抑制城市朝西、南部发展;同时,由于政策因素,新城区的建设和京沪高铁等设施的建设和使用,使得城市用地朝东部、东南部快速发展。

各监测时段重心分布结果(图 2, 表 2)表明,不同时期城市扩展的地域空间分异明显,1979—1989 年间,徐州市城市重心向西北方向移动,移动幅度较小,主要由于徐州市作为典型的矿业城市,该时段城市的发展主要依靠煤炭资源的开发,使得城市朝西北方向发展;1989—1999 年间,城市重心向东部迁移,表明该时期城市整体向着东部方向扩展显著。1999 年以后,城市逐渐向东部、东南方向发展,方向非常显著,用地扩展主要朝新城区方向(东部)发展,主要原因是城市东南部是城市主要的文教区、风景区,适宜城镇居民居住,使得城市朝东南方向发展。

表 2 徐州市建成区重心位置移动(1979—2009 年)

Tab. 2 The shift of urban gravity center of Xuzhou City during 1979—2009		
年份	经度	纬度
1979	117°11'30.66"	34°16'9.88"
1989	117°11'22.92"	34°16'29.16"
1999	117°11'34.44"	34°16'27.84"
2009	117°13'12.36"	34°15'49.32"

从迁移方向可以看出,徐州城市空间扩展与煤炭资源的开发密切相关,1979—1989 年间主要是由于煤炭资源的开发,使得市区西北部矿区蓬勃发展,城市的中心朝西北方向移动;其次是城市重心转移跟交通网络密切相关,朝公路、铁路等主要交通干线扩展是其发展的另一大特点。

3.3 城市扩展的空间形态演变特征

由表 3 可以看出,徐州市区城市用地的分维数随着时间的变化呈现先增大后不断减少的趋势,表明徐州市早期城市空间相对规则,由于煤炭资源的开发,使得城市的形状变得不规则。1989 年以来,随着规划的引导,城市空间变得更加规则;同时,城市的紧凑度得以提高,说

明城市朝着更加合理的空间形态发展演化,城市的行政职能和服务水平得以提高。

表 3 徐州市建成区分维数和紧凑度变化(1979—2009 年)
Tab.3 The variation of fractal index and compact index of Xuzhou City (1979—2009)

年份	分形维数	紧凑度
1979	1.458	0.308
1989	1.572	0.313
1999	1.316	0.408
2009	1.319	0.486

3.4 矿业城市空间扩展机制

3.4.1 自然地理环境。自然地理环境是城市发展的基础条件,城市的地质、地貌、水文和气候等是城市空间发展的重要因素。徐州市位于华北平原的东南部,区内除中部和东部存在少数丘岗外,大部皆为平原。地势西北高东南低,就城市扩展的制约因素和发展条件而言,首先,城市南郊的云龙湖和云龙山的屏障作用抑制了城市向南发展;由于城市北部的九里山和京杭大运河的阻隔,使得 20 多年来城市往北扩展的速度很慢;而城市东部和东南部地区,地质条件较好,地势较为平坦,适合作为城市发展的主要方向。

3.4.2 煤矿的开采。徐州是江苏省唯一的能源基地,有百余年的煤炭开采史。城市的空间扩展受到煤炭开采的影响。矿区主要集中在市区西部和西北部,由于煤炭的开采,使 1989 年之前徐州市城市空间扩展的方向主要朝西部和西北部;1989 之后该区处于后采矿阶段,随着煤炭的开采,塌陷地的增多,抑制了城市向西部、西北部矿区的进一步扩展。由此可见,矿区在矿业城市的空间扩展中具有两面性,一方面推动城市空间早期朝矿区扩展,另一方面又抑制城市空间后期向矿区扩展。

3.4.3 交通因素。交通是城市空间拓展的骨架,交通干线周围通常是城市扩展的热点区域。徐州城市的交通网络从 1979—2009 年经历了由传统的环状交通格局到城市主干路与城市快速路共同构成主城区路网骨架的环形加放射路网格局,从而改变了城市的内部结构和外部形态。如在老城区与主城区各片区之间建立快速公共客运系统和快速道路系统;加强交通基础设施建设,采用“交通设施发展为先导”策略,促进城市新区开发和老城改造;建设与城市布局形态相协调的道路网络;在老城区向东、东南跨越铁路、河湖和山体的交通薄弱截面,提高现有通道道路等级,增加通道,以支持城市向东、东南发展的战略。

3.4.4 政策与规划。城市规划通过引导和控制干预城市空间发展,城市空间扩展通过对规划的适应以期影响城市规划方案,从而实现城市规划和城市发展的协调与统一。《1984 年徐州市总体规划》规划发展孟家沟、下淀、八里屯等 5 个工业区,使得城市工业用地面积急剧

增加,同时,由于城南大学城和教育区的规划扩建,使得对城市的向南扩展起到了一定推动作用。20 世纪 90 年代,规划建设了西苑、坝山、杨庄、九里山机场、金山桥、万寨、拾屯、七里沟、桃园、罗王庄等生活区域,规划下淀和金山桥经济技术开发区、九里山经济技术开发区、万寨、朱庄轻化工业区、矿山路机械工业区、乔家湖机械工业区、七里沟为轻工业区,规划九里山区、孟加沟等为仓库区,使得城市朝东北和东部方向发展。《2003 年徐州市总体规划》中确立了以老城区中心和徐州新区中心为“双心”和“城市组团”空间布局结构,从而使得 2003 年以来城市向东、东南方向快速扩展。

3.4.5 经济、人口因素。城市经济增长对城市空间扩展起到推进作用。分析 1979—2009 年徐州市 GDP、第二产业增加值和第三产业增加值与城市扩展之间的关系,其相关系数分别为 0.946、0.957 和 0.929。由此可见,经济的发展是徐州市城市空间扩展的重要原因之一。同时,人口增长是最具活力的城市扩展驱动力,随着城市化进程的加快,城市人口逐年增多,人口增长必然导致居住地、基础设施的增加,加剧了人们对于生活、工作以及基础设施的需求,进一步推动了城市的扩展。

4 结语

(1)以城市建成区土地利用时空演变为研究对象,利用多时相卫星遥感资料并辅以城市统计资料、城市土地利用图为数据源,借助 GIS 空间分析、统计分析等方法对矿业城市徐州近 30 年来的城市空间扩展时空分异和驱动力进行分析。在改革开放 30 年来,矿业城市徐州的城市空间扩展划分为 2 个主要的发展阶段:1979—1999 为慢速发展阶段;1999—2009 为城市快速发展阶段。

(2)煤炭资源的开采对矿业城市空间扩展具有双重作用:一方面,在 1979—1999 年间,由于煤炭资源的开发导致矿区的繁荣,使城市朝西北和西部矿区方向扩展;另一方面,在 1999—2009 年间,矿区处于后采矿阶段,塌陷地的增多和地质结构的不稳定性等诸多因素抑制了城市向矿区进一步扩展,导致城市在 1999 年以后朝东部和东南方向扩展。

(3)徐州市城市空间扩展过程中分维数随时间的变化呈现先增大后不断减少的趋势,表明徐州市早期城市空间形态相对规则,由于煤炭资源的开发,使得城市空间形态变得不规则。1990 年以来,随着规划的引导,城市空间变得更加规则;同时,城市的紧凑度得以提高,说明城市朝着更加合理的空间形态发展演化,城市的行政职能和服务水平得以提高。

总之,城市的空间扩展是自然、政策、人口和经济以及交通等多种因素综合作用下的结果;另外,产业结构的调整也是城市发展演变的重要驱动力。因此,徐州市应继续以振兴徐州老工业基地的政策为契机,强化城市内涵挖潜,改善投资环境,推动城市健康转型和经济社

会稳定发展。

参考文献:

- [1] 曾磊,宗勇,鲁奇. 保定市城市用地扩展的时空演变分析[J]. 资源科学,2004,26(4):96-103.
- [2] 何春阳. 北京地区城市化过程与机制研究[J]. 地理学报,2002,57(3):363-371.
- [3] 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.
- [4] Masek J G, Lindsay F E, Goward S N. Dynamics of Urban Growth in the Washington D C Metropolitan Area, 1973-1996, from Landsat Observations[J]. International Journal of Remote Sensing,2000,21(18):3473-3486.
- [5] 刘盛和,吴传均,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.
- [6] 牟风云,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.
- [7] 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.
- [8] 王玉洁,李俊祥,吴健平,等. 上海浦东新区城市化过程景观格局变化分析[J]. 应用生态学报,2006,17(1):36-40.
- [9] 李飞雪,李满春,刘永学,等. 建国以来南京城市扩展研究[J]. 自然资源学报,2007,22(4):524-535.
- [10] 王茜,张增祥,易玲,等. 南京城市扩展的遥感研究[J]. 长江流域资源与环境,2007,16(5):554-559.
- [11] 冯晓刚,李锐,莫宏伟. 基于 RS 和 GIS 的城市扩展及驱动力研究[J]. 遥感技术与应用,2010,25(2):202-208.
- [12] 陈本清,徐涵秋. 城市扩展及其驱动力遥感分析——以厦门市为例[J]. 经济地理,2005,25(1):79-83.
- [13] 王厚军,李小明,张祖陆,等. 1979—2006 年沈阳市城市空间扩展过程分析[J]. 应用生态学报,2008,19(12):2673-2679.
- [14] 徐枫,刘兆礼,陈建军. 长春市近 50 年城市扩展的遥感监测及时空过程分析[J]. 干旱区资源与环境,2005,19(7):80-84.
- [15] 李明玉,黄焕春. 改革开放以来延吉市城市空间扩展过程与演变趋势研究[J]. 地理科学,2009,29(6):832-839.
- [16] 尹芳,冯敏,钟凤,等. 基于 GIS 的四平市城市扩展遥感分析[J]. 地球信息科学学报,2010,12(2):242-247.
- [17] 刘文超,董金玮. 近 20 年来苏锡常地区建设用地扩展及耕地占用态势的遥感分析[J]. 地球信息科学学报,2009,11(4):549-534.
- [18] 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):703-709.
- [19] 吴晓青,胡远满,贺红土,等. 沈阳市城镇扩展时空格局及其驱动力[J]. 应用生态学报,2007,18(10):2282-2288.
- [20] 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.

Research on Urban Spatial Expansion Process of Mining City Based on Geo-information Atlas: Taking Xuzhou City as An Example

Li Baojie^{1,2}, Gu Hehe¹, Ji Yazhou^{1,2}, Chen Jun¹

(1. China University of Mining and Technology, Jiangsu Key Laboratory

of Resources and Environmental Information Engineering, Xuzhou 221116, China;

2. College of Urban & Environmental Science, Xuzhou Normal University, Xuzhou 221116, China)

Abstract: The spatial expansion information and the driving forces of mining city Xuzhou City were analyzed with the technology of GIS spatial analysis and statistical analysis from the aspects of area change, growth intensity, fractal index, center coordinates and compact index based on the 1979, 1989, 1999 and 2009 satellite images. The results showed that in 1979—1999, the urban build-up area and its expansion rate and fractal index in Xuzhou City were increased continuously. The urban gravity shifted to the east and northeast and the compact index were increased while the fractal index were decreased and the urban spatial patterns shows the tendency of reasonable. Natural environmental factors, exploitation of coal resources, economic factors, population growth, traffic infrastructure construction and government policy were the main driving forces of the urban expansion.

Key words: geo-information atlas; urban spatial expansion; mining city; Xuzhou City