

傅建春,李 钢. 基于分形理论的农村居民点规模结构及空间分布——以江苏省沛县为例[J]. 江苏农业科学,2017,45(13):291-294.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.13.075

基于分形理论的农村居民点规模结构及空间分布 ——以江苏省沛县为例

傅建春^{1,2}, 李 钢¹

(1. 中国矿业大学环境与测绘学院,江苏徐州 221116; 2. 河南理工大学测绘与国土信息工程学院,河南焦作 454000)

摘要:基于江苏省沛县各行政村 2001、2007、2013 年的居民点用地面积,利用位序-规模法则和空间集聚等分形理论,从不同角度对沛县村级体系的规模和空间结构进行研究。结果表明,沛县的村级规模体系遵循位序-规模法则,聚集分形和形态分形特征显著。在全县尺度上,县城南部农业发展区农村居民点趋于均匀分布,沛北矿区呈现集聚性特征,且空间形状特征日益复杂,稳定性降低。该结论为沛县农村居民点用地整理、布局优化提供参考依据。

关键词:农村居民点用地;位序-规模法则;空间集聚;分形理论;江苏沛县;村级体系;空间结构

中图分类号: F291 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)13-0291-04

城镇分布的复杂性可以通过分形进行研究,因受人类活动影响较大,分形理论在解释城镇体系规模-位序分布和空间特征等方面可以收到显著的效果^[1-2],同样受人类活动影响较大的农村居民点的空间复杂性也可以通过分形来研究。李传武以重庆市云阳县南溪镇 24 个村庄为研究对象,得出各村庄人口位序-规模服从 Zipf 定律;李玉华等研究了重庆不同生态类型区农村居民点的分维数在一定时间跨度内是逐渐上升的^[3];宋志军等以北京城郊区总体、近郊平原区以及平原区为研究对象,发现城郊区不具有而近郊平原区和平原区所具有的明显的分形特征^[4];车明亮等以山东省平邑山区农村居民点为例,发现居民点的面积、周长、人口和分维具有一定的联系^[5]。农村居民点空间特征在宏观和微观上分别体现在空间结构和个体形态特征上^[6],研究空间特征的宏观和微观 2 种存在形式,有助于总结农村居民点的用地特点。目前,利用分形理论研究农村居民点的大多针对山区、丘陵和平原地区,而以矿区农村居民点为研究对象的却鲜有报道,因此本研究明确采煤塌陷区江苏省沛县农村居民点空间分布所呈现的分形特征,以深化沛北一体化过程中农村居民点的空间格局优化进程。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

沛县位于 116°41′~117°09′E、34°28′~34°59′N,坐落在黄淮海区域江苏省徐州市西北部,苏、鲁、豫、皖 4 省交界之地,是华东地区最大的煤炭工业基地的重要组成部分,总面积 1 805.77 km²,其中徽山湖水域面积达 320.21 km²,本研究范

围不包括徽山湖水面的陆地范围(图 1)。全县辖龙固、杨屯、大屯、安国等 15 个镇,分布有 8 对矿井,多年开采形成的采煤塌陷地主要分布在沛县北部的龙固、杨屯、大屯、安国、鹿楼、朱寨、沛城等镇,累计塌陷 2.26 万 hm²,涉及村庄 190 多个,煤炭资源的开发和利用在促进沛县经济发展的同时,造成土地的严重破坏,导致村庄的搬迁甚至多次搬迁,居民的生活、生产以及社会经济受到严重影响,进一步加深了人地之间的矛盾。同时,由于农村宅基地使用管理制度及农村自然发展的历史原因,沛县农村居民点用地普遍存在“散、乱、大、空”现象,土地资源浪费严重。截至 2013 年年底,沛县城镇建设用地 43 99.09 hm²,农村居民点用地为 18 549.49 hm²,占全县城乡居民点用地面积的 80.83%,户均占地面积 688.16 m²,人均达到 181.11 m²,远远超过国家和江苏省的用地标准,可见农村居民点用地在全县建设用地中所占比重极大,在强调加快城市化进程中城镇建设用地扩大的同时,必须加强对农村居民点用地的格局优化和管理^[7-8]。

1.2 数据来源

从中国科学院地理空间数据云获取了行列号为 122/036 的 2001、2007、2013 年空间分辨率为 30 m 的 TM 影像数据,卫星过境时间分别为 4 月 18 日、4 月 3 日、5 月 21 日,由于此时时间段的植被生长通常达到其最大程度上在该地区的生长季节,对识别居民点用地更为有利^[9]。

对获取的影像进行坐标转换、辐射校正和几何校正处理后,利用沛县的行政区矢量图从中切割出沛县的遥感影像范围,借助 eCognition 8.7 软件,根据各地物的波谱特征、形状、纹理等特征,采用决策树分类法,由易到难先后自动识别出水体、植被、道路和居民点用地类型^[10]。由于本研究只须提取居民点用地,在用 eCognition 8.7 软件自动提取居民点用地时,会误提取部分裸地及旱地,后期利用 ArcGIS 结合野外调查,删除误判的图斑,最终得到各年居民点用地图斑(图 2)。

2 研究方法

由法国数学家曼得尔布罗特提出的分形理论已经广泛应

收稿日期:2016-12-26

基金项目:国家自然科学基金(编号:41401610);国土资源部公益性行业科研专项(编号:201211050)。

作者简介:傅建春(1976—),男,江西新余人,博士研究生,讲师,从事城镇化、国土资源规划与评价研究。E-mail: fjchpu@163.com。

通信作者:李 钢,教授,博士生导师,从事城镇化、矿区土地复垦、数字化测绘及地理信息工程研究。E-mail: cumtlig@263.net。

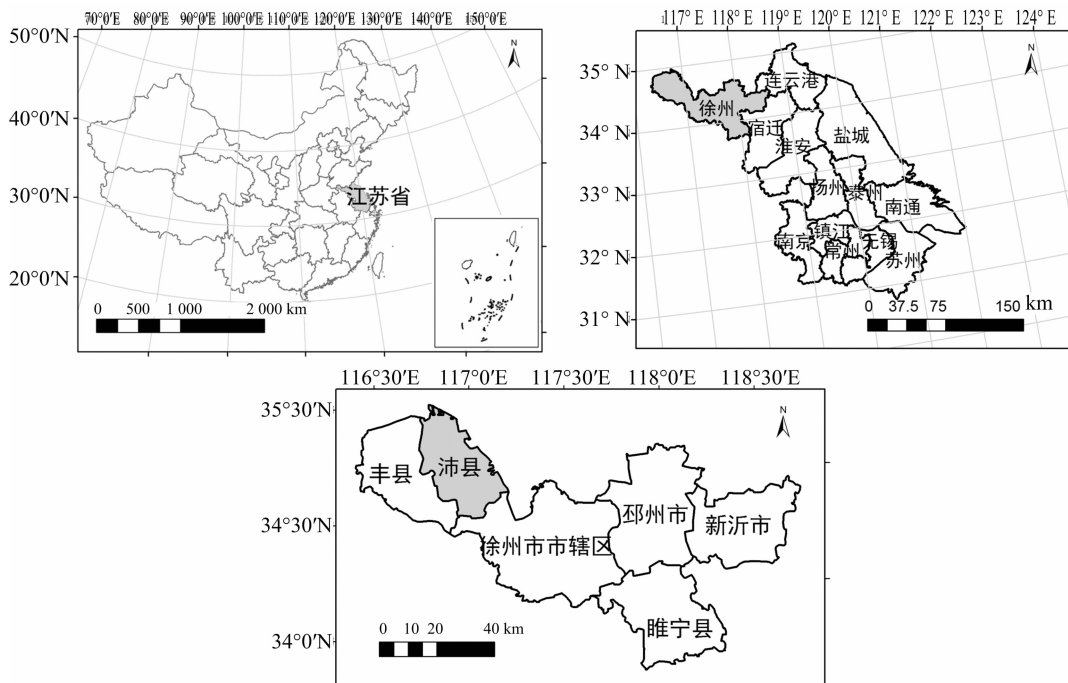


图1 研究区位置



图2 沛县农村居民点分布

用于各个领域,毫无疑问,分形理论也为土地利用空间结构和空间形态的研究提供了新的理论支撑,本试验对农村居民点的分形研究基于以下几个方面:用位序-规模法则研究居民点体系的规模分布特征,用集聚维数、形态维数分别反映农村居民点的空间结构、空间形态。

2.1 位序-规模计算

村镇居民点体系的规模与等级结构能较好地表达规模的分布规律,通常可以用村镇居民点用地规模来表征,而从村镇

规模和规模位序的相互关系表达村镇体系的规模分布,就是村镇位序-规模法则(别称 Zipf 模型法则)。具体公式为

$$\ln P(k) = \ln P - q \ln k. \quad (1)$$

式中: k 表示村庄的位序; $P(k)$ 表示居民点用地规模排序后第 k 个居民点的用地面积; P 表示常数; q 体现出分维的性质,常被称作 Zipf 维数,和分位数 D 互为倒数,即 $D = 1/q$ 。当系数 q 即分维数 D 为 1 时,规模分布呈等级规模分布,结构达到最优状态;当 $q > 1, D < 1$ 时,居民点体系等级结构较松散,相互之间等级规模差异较大;当 $q < 1, D > 1$,表示规模结构较集中,处于中间位序的居民点数较多,其分布比较均匀^[11]。

2.2 集聚维数计算

空间集聚维数可以表达空间分布的自相似性,各居民点之间是按照某种自相似性围绕某一中心成集聚状态分布,且各个方向上的分形体变化均匀,由此有如下公式^[12]:

$$Rs = \left(\frac{1}{S} \sum_{i=1}^n r_i^2 \right)^{1/2}; \quad (2)$$

遵循分维关系

$$Rs \propto S^{1/D}. \quad (3)$$

式中: Rs 表示平均半径; r_i 表示第 i 个居民点到中心居民点的欧式距离; S 表示居民点个数; D 表示分维,反映的是居民点围绕中心居民点随机集聚的特征,因此,也可将 D 表述为集聚维数。

公式(3)可以变换为如下公式:

$$\ln Rs = (1/D) \ln S + C. \quad (4)$$

集聚维数 D 表示农村居民点分布从中心向周围的衰减特征。当 D 值小于 2 时,各农村居民点围绕中心居民点呈集聚状态分布,且 D 值越小,其集聚程度越高,即农村居民点分布由里向外逐渐衰减,此时在理论上居民点空间结构处于优化状态;当 D 值为 2 时,各农村居民点分布较均匀,空间结构有进一步优化的可能;当 D 大于 2 时,其分布由里向外递增,

一般来说这种情况不会出现。

2.3 形态维数的计算

形态维数能够通过定量分析图斑边界的曲折性和面积的大小关系表征图斑的自相似性,具体公式如下:

$$\ln A(r) = (2/D) \ln P(r) + C_0 \quad (5)$$

式中: $A(r)$ 表示某一居民点的面积; $P(r)$ 表示同一居民点的周长; C 表示截距; D 表示分形维数,介于 1~2 之间。 D 的值与居民点形态的复杂性和稳定性有关, D 值越大,图斑形状越复杂,达到 2 时最复杂; D 值越小,图斑形状越简单,当 D 值为 1 时,居民点图斑为正方形;当 D 值为 1.5 时,居民点图斑处于最不稳定状态,也是其稳定性的临界点,即 D 值越接近 1.5,居民点图斑就越不稳定,由此定义不稳定指数 S :

$$S = 1.5 - D \quad (6)$$

同理, S 的值介于 0~0.5,值越大表示居民点图斑越稳定,反之则越不稳定。

3 结果与分析

3.1 农村居民点位序-规模研究

根据位序-规模法则,利用遥感影像解译的沛县 2001、2007、2013 年的居民点图斑,结合行政区划界线,分别提取沛北矿区和沛南农业发展区的居民点面积数据,用 Excel 软件排序,以位序为横轴、居民点面积规模为纵轴作双对数坐标线性拟合(图 3),各年份的拟合度良好,具体分维数 q 、分维度 D 、测定系数 r^2 见表 1。

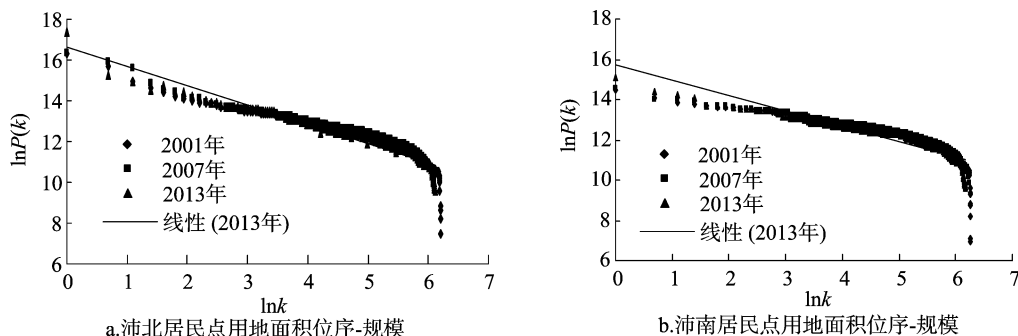


图3 沛县农村居民点的位序-规模双对数(2001—2013年)

表1 沛县农村居民点规模分布的 Zipf 维数

年份	全县面积位序-规模			沛北面积位序-规模			沛南面积位序-规模		
	q 值	r^2 值	D 值	q 值	r^2 值	D 值	q 值	r^2 值	D 值
2001	0.846 5	0.785 1	1.181 3	0.876 4	0.883 4	1.141 0	0.715 9	0.825 0	1.396 8
2007	0.849 2	0.889 9	1.177 6	0.930 5	0.846 7	1.074 7	0.764 1	0.842 1	1.308 7
2013	0.852 5	0.881 9	1.173 0	0.948 3	0.907 3	1.054 5	0.768 7	0.724 6	1.300 9

由图 3 可知,沛北矿区和沛南农业发展区的居民点规模分布都服从 Zipf 定律,沛北首位居民点即城区的坐标点远位于回归直线的上方,表明首位居民点的规模较大,在沛北甚至全县范围内有较强的辐射带动作用,只有 2001 年的双对数线拖下一条长尾巴,说明存在很多规模较小的居民点,随着农村居民点的整治及新农村建设的开展,部分规模大小的居民点逐渐被整合,这种现象可以从 2007、2013 年的双对数曲线看出。

由表 1 可知,随着时间的推移,全县范围、沛北及沛南的居民点用地规模拟合的相关系数 r^2 均在 0.7 以上,证明拟合程度均较好; q 值均小于 1,表明沛县居民点规模结构符合位序-规模分布特征;分维数 D 均大于 1 且分别从 2001 年的 1.181 3、1.141 0、1.396 8 下降到 2013 年的 1.173 0、1.054 5、1.300 9,其分维数特别是沛北矿区逐渐减小并靠近理想值 1,说明各居民点之间规模较集中,中间位序的居民点较多。其中,沛北矿区居民点规模分布为垄断性较强的首位型分布,而沛南农业发展区首位型分布较弱。

3.2 农村居民点空间聚集的分形分析

借助 ArcGIS 软件,将遥感解译的居民点图斑重心转换成中心点图层后,测算沛县城区居民点与各居民点中心点之间的直线距离,可以求出其平均半径 R_s ,并以 $\ln S$ 、 $\ln R_s$ 分别为横轴、纵轴作双对数图(图 4)。可以看出无标度区间明显,

2001、2013 年分别近似为 $[2.3-5.4]$ 、 $[3.0-5.5]$,测定系数 r^2 分别为 0.967 6、0.980 5,两者线性相关显著,表明沛县农村居民点符合分形特征,其空间结构能用集聚维数描述。分形维数 D 分别为 1.962 3、1.797 9,居民点体系集聚维数均小于 2,表明沛县农村居民点已形成由县城区向四周密度递减的农村居民点体系,同时验证了县城居民点的首位效应。2013 年的分形维数较 2004 年有下降趋势,说明 2001—2013 年在沛县城镇化的带动下,沛县农村居民点体系分形特征正在逐渐加强。但分维值还是较大,并接近于 2,说明中心居民点周围的集聚度还不够,各个方向都均匀地分布着居民点,居民点体系分形结构还不够成熟。由解译的居民点分布图可以看出,有部分农民将房屋建在自己的承包地上,特别是沿道路分布明显,导致同一个村庄由多处住宅地组成,居民点破碎程度较高,这在一定程度上阻碍了农业的规模经济,造成巨大的土地浪费。

3.3 农村居民点空间形态的分析

利用 ArcGIS 提取农村居民点图斑的周长和面积测算 2001、2013 年的形态维数(图 5),可知无标度区间明显存在,决定系数 r^2 分别为 0.946 2、0.957 5,表明沛县的农村居民点空间形态中周长与面积的关系存在分形特征。图 5 可以计算出 2001、2013 年沛县农村居民点的形态维数 D 分别为 1.191 2、1.232 2,分形维数值较小,说明属于人工景观农村居

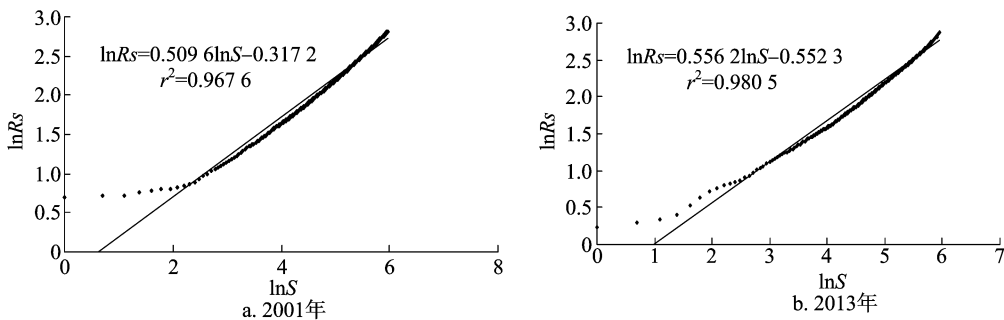


图4 沛县农村居民点向心集聚特征

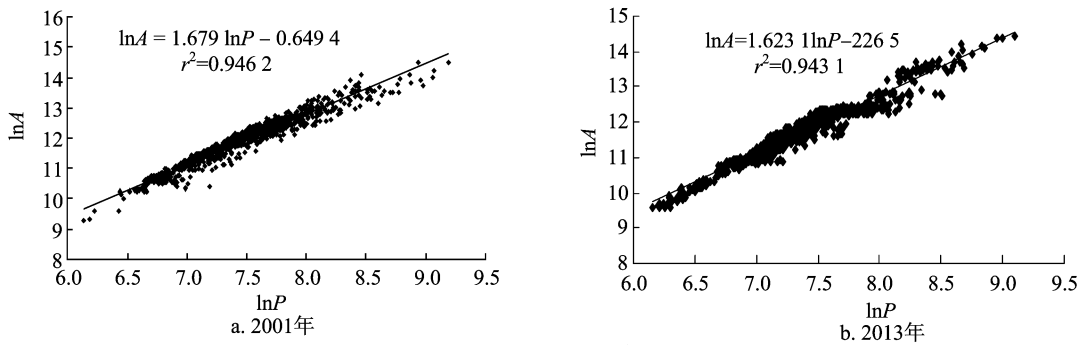


图5 沛县农村居民点空间形态

民点受人类活动的干扰较强,图斑自我相似性较强。同比之下,2013 年较 2001 年的居民点空间形态更复杂且呈扩张之势,空间形态越复杂说明空间稳定性越小,表明农村居民点扩建的随意性越大。

上述研究只能反映沛县农村居民点的总体形态结构,无法识别沛北矿区与沛南农业发展区的区域差异,所以进一步研究 2 个区域的居民点空间形态特征。由表 2 可知,沛北部矿区农村居民点空间形态较沛南要复杂,表明该区域的农村居民点图斑边界曲折程度大,形状不规则,并且随时间变化其复杂性逐渐增大,而沛南相对较稳定,变化不大。

表 2 沛县农村居民点空间形态分形维数

年份	沛北空间形态		沛南空间形态	
	形态维数 D	稳定性指数	形态维数 D	稳定性指数
2001	1.206 8	0.293 2	1.152 7	0.347 3
2013	1.254 0	0.246 0	1.168 9	0.331 1

4 结论与讨论

沛县农村居民点空间结构分形特征明显。以农村居民点用地面积作为衡量农村规模的指标,其规模分布符合位序-规模法则,沛北矿区和沛南农业发展区拟合曲线的决定系数都在 0.9 以上,各农村居民点规模较集中。从稳定性来看,研究区农村居民点用地形态相对稳定,从稳定性变化来看,沛北矿区由于受煤炭开采、经济和社会因素的影响,其农村居民点具有较复杂的空间分布,其形态维数高于沛南农业区,考虑生态安全和发展的限制条件,应规划对受塌陷及潜在塌陷的村庄进行迁建,迁建至镇区或周围新型农村社区。以大屯、龙固镇为代表的经济较发达的镇和以杨屯、安国、朱寨镇为代表的采煤塌陷区,村庄规模较大且聚集程度较高;以农业为主导的沛县南部各镇村庄规模偏小,聚集程度较低,南北差异明显。

因此,在推进沛北一体化过程中,应严把规划关,推进“多规融合”、搭建矿地统筹平台,兼顾沛南农业发展区,综合开发黄河故道,优化沛县布局,节约集约用地。

参考文献:

[1] 车前进,曹有挥,马晓冬,等. 基于分形理论的徐州城市空间结构演变研究[J]. 长江流域资源与环境,2010(8):859-866.

[2] 傅建春,李 钢,赵 华. 基于分形理论的徐州市城镇体系规模结构及空间分布研究[J]. 干旱区资源与环境,2015(10):25-30.

[3] 李玉华,高 明,吕 焯,等. 重庆市农村居民点分形特征及影响因素分析[J]. 农业工程学报,2014,30(12):225-232.

[4] 宋志军,关小克,朱战强. 北京农村居民点的空间分形特征及复杂性[J]. 地理科学,2013(1):52-60.

[5] 车明亮,聂宜民,姜曙千,等. 平邑山区农村居民点分形特征及影响因素[J]. 农业工程学报,2010,26(增刊2):360-365.

[6] 李传武,杨本俊,叶宋铃. 基于分形理论的山区村镇体系研究——以大别山区南溪镇为例[J]. 皖西学院学报,2013,29(2):12-15.

[7] 李裕瑞,刘彦随,龙花楼. 中国农村人口与农村居民点用地的时空变化[J]. 自然资源学报,2010(10):1629-1638.

[8] 杨存建,周成虎. TM 影像的居民地信息提取方法研究[J]. 遥感学报,2000,4(2):146-150,166.

[9] 郭 鹏,徐丽萍,王 玲,等. 面向对象的玛纳斯河流域 TM 影像分类技术研究[J]. 水土保持研究,2013,20(3):120-124.

[10] 黄 婷. 近 15 年来荆州市城乡居民点用地规模时空变化特征研究[D]. 武汉:华中师范大学,2012.

[11] 刘继生,陈彦光. 城镇体系空间结构的分形维数及其测算方法[J]. 地理研究,1999,18(2):60-67.

[12] 庄至凤,姜广辉,何 新,等. 基于分形理论的农村居民点空间特征研究——以北京市平谷区为例[J]. 自然资源学报,2015,30(9):1534-1546.