

丘陵山区城镇体系的分形特征 ——以江西省赣州市为例

尚正永¹, 白永平²

(1. 淮阴师范学院地理系, 江苏 淮安 223300 2 西北师范大学地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 运用分形理论, 对赣州市城镇体系的规模分布和空间结构的分形特征进行了实证分析, 得到以下结论:

(1)在城镇规模分布方面, 中等位序的城市较多, 人口分布比较均衡, 认为是一种较低水平的均衡; (2)在城镇空间结构方面, 城镇空间分布呈现出集聚性特征, 城镇的空间关联程度不够紧密, 空间相互作用强度不大。在上述结论的基础上对赣州市城镇体系建设提出了建议。

关键词: 城镇体系; 规模结构; 空间结构; 分形特征; 赣州市

中图分类号: K901.8

文献标识码: A

分形研究 (fractal studies)是当代理论地理学研究的重要内容之一。在国外, Mandelbrot最早研究了城镇规模分布的性质^[1], D. Wong, A. S. Fotheringham和 P. Frankhauser等先后研究了城镇体系的位序-规模法则以及 Pareto分布与分维的关系, S. L. Arlinghaus和 W. C. Arlinghaus讨论了中心地体系的分维^[2]。国内自 1990年代初开始, 将分形理论引入城市地理学的研究, 艾南山、李后强等人做了开创性的工作, 陈彦光、刘继生等人在基础理论、应用方法和实证研究方面, 都取得了丰硕的成果。将分形理论应用于城镇体系研究是分形理论在人文地理学应用中的一个比较成熟方面^[3], 利用分形思想进行城镇体系规划, 可以有效地利用地理空间资源, 但是目前有关丘陵山区城镇体系分形特征实证研究的报道还相对较少。因此, 本文以赣州市为例, 对丘陵山区城镇规模分布和空间结构的分形特征进行探讨。

1 研究区概况

赣州市位于江西南部, 赣江上游, 位于 113°54' ~ 116°38'E, 24°29' ~ 27°09'N, 属典型的亚热带湿润季风气候。赣州市是江西省最大的行政区, 土地面积 $3.94 \times 10^8 \text{ km}^2$, 辖 18个县 (市、区) (图 1), 是我国辖县最多的地级市之一。从地形上看, 赣州市地处赣中南中低山与丘陵区, 东连武夷山脉, 南枕九连山、大庾岭和诸广山脉, 中部多为红岩层和花岗岩组成的低山、丘陵和盆地, 市内地形呈周高中低, 南高北低的特点。地貌以丘陵、山地为主, 占全市土地面积的 83%, 其中, 丘陵占 3/5, 山地和平原丘岗各占 1/5。境内最高点为崇义县齐云山, 海拔 2 061.3 m, 最低处海拔为 82 m。赣州市是赣江的发源地, 也是珠江支流东江的发源地之一, 境内有大小河流 1 270 条, 总长度为 16 626.6 km, 河流密度为 0.42 km / km^2 。赣江的两大支流章江和贡江在赣州市区汇合为赣江, 是境内最大的河流; 章江的主要支流有上犹

收稿日期 (Received date): 2006- 09- 15; 改回日期 (Accepted): 2006- 12- 21。

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金重点项目 (40131010)资助; 江西省赣州市政府委托项目“赣州市一小时城市经济圈规划研究”部分成果。[Sponsored by the National Science Foundation of China (No. 40131010) and the Item Consigned by Ganzhou Government]

作者简介 (Biography): 尚正永 (1968-), 男, 江苏淮阴人, 硕士, 副教授, 主要从事区域发展与区域管理方面研究。联系电话: 13770351169, E-mail: zhyshang@163.com。[Shang Zhengyong (1968-), male, native place of Huaiyin, Jiangsu, Master associate professor specialized on regional development & management]

江, 贡江的主要支流有桃江、平江、梅江、湘水等。赣州市相对封闭的地形, 为其城镇体系演化发展提供了相对封闭的地域单元, 主要城镇均分布在山间河谷盆地之中, 城市的规模分布与空间结构受到地形的影响较大, 城镇的发展也受到山地生态环境固有的脆弱性和人为性环境问题的严重性的双重影响^[4]。

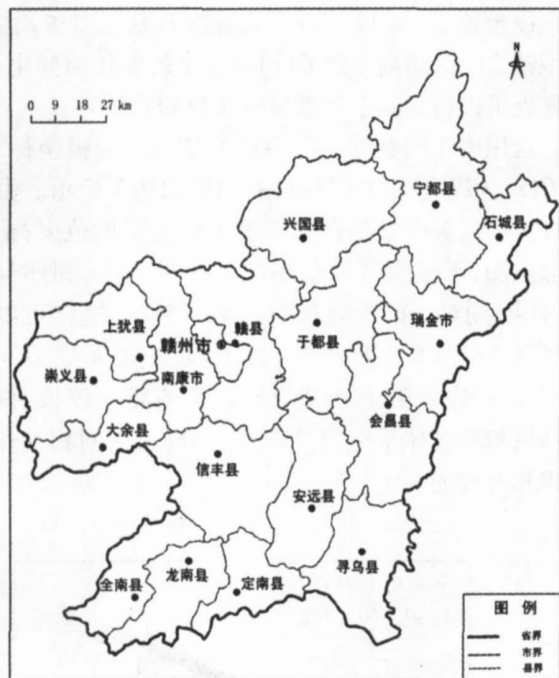


图 1 研究区略图

Fig 1 Sketch Map of Study Area

2 城镇规模分布的分形特征

2.1 区域城镇规模分布的分形模型

城镇的等级规模分布具有统计自相似性, 因此, 城镇体系规模分布具有分形特征^[5]。确定分维的方法有多种, 其中最基本、最常用的是豪斯道夫 (Hausdorff) 维数。对于一个特定区域, 将城镇人口规模从大到小排序, 用人口尺度 r (r 用人口数量表示) 来度量人口规模 $> r$ 的城镇数目 $N(r)$, 改变人口尺度 r 时, 区域内的城镇数目 $N(r)$ 也会随之改变, 当 r 由大变小时 $N(r)$ 不断增多。在某个标度范围内, $N(r)$ 与 r 满足关系

$$N(r) \propto r^{-D} \quad (1)$$

显然这是一个分形模型, 其中 D 便是豪斯道夫

(Hausdorff) 分形维数^[6]。1949年 G. K. Zipf 提出了一个通用的城市规模分布法则

$$p(r) = \frac{p_1}{r^q} \quad (2)$$

对 (2) 式两边取对数得

$$\ln p(r) = \ln p_1 - q \ln r \quad (3)$$

式中 r 为城市等级序列 ($r = 1, 2, 3, \dots, n$), $p(r)$ 为等级为 r 的城市规模, p_1 为首位城市规模, q 为与区域条件和发展阶段有关的常数。齐夫公式服从幂定律, 具有分形意义。参数 q (Zipf 维数) 与 D (Hausdorff 维数) 互为倒数, 即 $D = 1/q$ 或 $q = 1/D$ 。

一般来说, D 值的大小具有明确的地理意义, 直接反映了城镇体系等级规模结构。当 $D < 1$ ($q > 1$) 时, 表示该区域的城镇体系等级规模差异明显, 人口分布差异程度较大, 首位城市人口规模大, 具有较强的垄断性; 当 $D = 1$ ($q = 1$) 时, 表示该区域首位城市与最小城市的人口规模之比恰好为区域内整个城镇体系的城镇数目; 当 $D > 1$ ($q < 1$) 时, 表示该区域城镇规模差异较小, 人口分布比较均衡, 中间位序的城镇数目较多^[7]。

2.2 赣州市城镇规模分布的分形特征

按照上述模型, 采用赣州市 18 个城市非农业人口的数据 (表 1), 分析赣州市域城镇规模分布的分形特征。以 $\ln r$ 为横坐标, $\ln P(r)$ 为纵坐标做出散点图, 进行线性回归模拟, 结果如图 2 所示, $q = 0.6924$, $D = 1.4443$, $R^2 = 0.958$ 相关性较好。 D 相对较大虽然与研究区域较小、样本城市个数较少、最大城市规模不大等因素有一定的关系, 但还是能够说明赣州市城镇体系规模差异不大, 人口分布均衡的特点, 整个城镇体系处于低水平均衡发展阶段, 这种低水平的均衡分布不仅反映了区域发展的水平相对落后, 而且也将对区域今后的进一步发展产生不利影响。

3 城镇体系空间结构的分形特征

3.1 城镇体系空间相关性的分形特征

3.1.1 城镇体系空间相关性的分形模型

空间结构是城镇体系的重要特征之一。城镇体系的空间分布具有明显的无标度特征, 在一定范围内具有随机分形结构^[8]。城镇体系的空间相关性分形研究一般采用关联维数来标度。其公式为^[9]

$$C(r) = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N H(r - d_{ij}), \quad (i \neq j) \quad (4)$$

表 1 赣州市城市规模排序表

Table 1 The rank of urban population in Ganzhou

城市	位序	规模(万人)
赣州市	1	31.97
于都	2	15.08
信丰	3	14.47
瑞金	4	10.84
宁都	5	10.70
兴国	6	10.40
大余	7	7.83
龙南	8	7.79
上犹	9	6.44
石城	10	6.00
全南	11	5.90
赣县	12	5.83
南康	13	5.70
会昌	14	5.00
安远	15	5.00
崇义	16	4.74
寻乌	17	3.90
定南	18	3.00

资料来源:根据 2003 年中国城市统计年鉴和 2003 年赣州市统计年鉴整理。

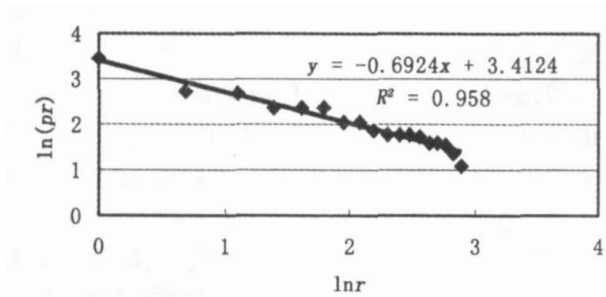


图 2 赣州城镇规模分布双对数坐标图

Fig 2 The ln- ln plot of the city-size distribution in Ganzhou

$$H(r-d_{ij}) = \begin{cases} 1 & (d_{ij} \leq r) \\ 0 & (d_{ij} > r) \end{cases} \quad (5)$$

式中 r 为给定的距离标度, d_{ij} 为城镇体系内第 i 个与第 j 个城镇之间的直线距离, H 为 Heaviside 越阶函数。根据城镇体系空间分布标度不变性的分形特征有

$$C(r) \propto r^D \quad (6)$$

式中 D 为关联维数, 其地理意义反映了城镇之间空间相互作用的规律性。 D 的取值范围一般介于 0 ~ 2, 其值越小, 说明该区域城镇体系空间分布的集中度越高, 空间联系越紧密, 空间相互作用也越强;

反之, 其值越大, 则说明该区域城镇体系空间分布越分散, 相互作用也就越弱^[10]。

3. 1. 2 赣州市城镇体系空间相关性的分形特征

根据上述模型, 首先确定赣州市区为中心城市。考虑到赣州市的城镇均地处山间河谷盆地, 城市之间的直线距离并无实际意义, 因此, 本文采用城市之间的营运距离进行计算。具体数据从赣州市交通图中查得, 构建 18×18 矩阵(表 2)。

以步长 $\Delta r = 14$ 来取距离标度 r , 则距离在 r 内的城镇之间的距离点数 $C(r)$ 随着 r 的变化而变化, 这样就可以得到一系列点对 $(r, C(r))$ (表 3)。

运用表 3 的数据, 在 EXCEL 中以 r 为横坐标、以 $C(r)$ 为纵坐标做出散点图, 结果如图 3 所示。由于计算空间关联维数必须考虑无标度区的范围, 根据散点图, 无标度区的范围应从序号 3 起, 到序号 20 结束, 则对应的距离范围是 42~ 280。这样可以得到 $C(r) = 0.4286r^{1.0483}$, 则空间关联维数 $D = 1.0483$, 测定系数 $R^2 = 0.9982$ 。 D 值相对较大, 说明该区域城镇体系空间分布相对分散, 空间相互作用也相对较弱。

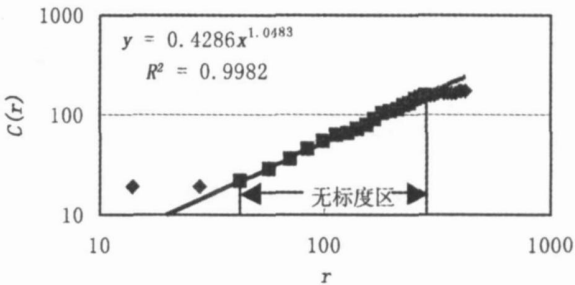


图 3 赣州市城镇空间相关性的坐标图

Fig. 3 The plot on the city spatial pertinence in Ganzhou

3. 2 城镇体系随机聚集的分形特征

3. 2. 1 城镇体系随机聚集的分形模型

空间集聚维数是描述城市在地域空间上分布的自相似特性。假定城镇体系按某种自相似规则围绕中心城市(一般是等级体系中的首位城市)呈凝聚态分布, 且城镇体系的分形体向各个方向均匀变化, 则可借助几何测度关系确定半径 r 的圆周内城市数目 $N(r)$ 与半径的关系, 即有 $N(r) \propto r^D$, 类似于豪斯道夫维数公式, 式中 D 为分维, 考虑到上式中 r 取值影响分维的数值, 可将其转化为其平均半径, 定义平均半径为^[11]

$$R_s = \left\langle \left(\frac{1}{S} \sum_{i=1}^S r_i^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right\rangle \quad (7)$$

表 2 赣州市城镇的距离矩阵 (km)

Table 2 The distance between the 18 cities in Ganzhou(km)

	赣州	赣县	兴国	于都	宁都	石城	瑞金	会昌	寻乌	安远	定南	全南	龙南	信丰	南康	大余	崇义	上犹
赣州	0	9	81	66	163	224	149	149	238	170	193	196	155	77	33	88	97	55
赣县		0	72	57	154	215	140	140	247	179	202	205	164	86	42	97	106	64
兴国			0	88	105	168	171	171	281	251	274	277	236	158	114	169	178	136
于都				0	97	158	83	83	193	148	259	262	221	143	99	154	163	121
宁都					0	63	82	128	238	245	356	359	318	240	196	251	260	218
石城						0	75	121	231	235	368	420	379	301	257	312	321	279
瑞金							0	46	156	160	229	345	304	226	182	237	246	204
会昌								0	110	114	247	345	304	226	182	237	246	204
寻乌									0	68	137	216	175	161	209	264	320	255
安远										0	69	148	107	93	141	196	252	187
定南											0	79	38	101	164	219	275	210
全南												0	41	119	167	222	255	213
龙南													0	78	126	181	214	172
信丰														0	48	103	136	94
南康															0	55	88	46
大余																0	56	98
崇义																	0	42
上犹																		0

资料来源: 赣州市公路学会,江西省第三测绘院编制。赣州市交通图。长沙: 湖南地图出版社, 2003。

表 3 标度 r 及其对应的关联函数 $C(r)$

Table 3 The yard stick (r) and the corresponding corelative function ($C(r)$)

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
r	14	28	42	56	70	84	98	112	126	140	154	168	182	196	210
$C(r)$	19	19	22	29	36	45	54	62	67	72	80	93	103	108	116
序号	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
r	224	238	252	266	280	294	308	322	336	350	364	378	394	408	422
$C(r)$	125	134	144	152	156	157	160	164	164	166	168	169	170	70	171

则分维计算公式为

$$R_s \propto s^{1/D} \tag{8}$$

或者

$$s \propto R_s^D \tag{9}$$

式中 R_s 为平均距离, r_i 为第 i 个城镇到中心城市的距离, S 为城镇个数, $\langle \text{---} \rangle$ 表示求平均值, D 为集聚维数。

D 一般取欧式维数为 2 如果 $D > 2$ 则城镇体系要素的空间分布从中心向四周呈密度递增, 城镇体系空间分布呈漏斗离散态分布, 这是一种非正常的情况, 且 D 值越大其城市空间分布的离散程度越大; 如果 $D = 2$ 城镇体系的要素分布在半径方向上是均匀变化的, 城镇体系空间分布呈均匀分布; 如果

$D < 2$ 城镇体系的空间分布从中心向四周密度递减, 城镇体系空间分布呈集聚态分布, 且 D 值越小其城镇空间分布的集聚程度越大^[12]。

3. 2. 2 赣州市城镇体系随机聚集的分形特征

根据上述模型, 运用中心城市赣州市区与各县(市)城区之间的营运距离数据, 通过计算可以求出平均半径, 见表 4。在 EXCEL 中, 以 S 和 R_s 数据做出散点图 (图 4), 可以求出 $R_s = 8.5488s^{0.9591}$, 则集聚维数 $D = 1.0426$ 测定系数 $R^2 = 0.9961$ 。从 D 值大小的情况来看, 赣州市城镇体系的空间分布明显具有一定的集聚性, 表现为从中心城市赣州向四周城镇的密度减小, 城镇在空间上具有集聚态分布的特点。

表 4 城市数目与平均半径
Table 4 The city amount and average sem ilimeter

城镇	到赣州 距离 r_i	城市 数目 s	r_i^2	平均 半径 RS	无标度 区范围	城镇	到赣州 距离 r_i	城市 数目 s	r_i^2	平均 半径 RS	无标度 区范围
赣州	0	1	0	0		瑞金	149	10	22 201	77. 714 22	77. 714 22
赣县	9	2	81	6. 363 961		会昌	149	11	22 201	86. 652 91	86. 652 91
南康	33	3	1 089	19. 748 42		龙南	155	12	24 025	94. 260 72	94. 260 72
上犹	55	4	3 025	32. 384 41	32. 384 41	宁都	163	13	26 569	101. 219 50	101. 219 50
于都	66	5	4 356	41. 354 56	41. 354 56	安远	170	14	28 900	107. 600 50	107. 600 50
信丰	77	6	5 929	49. 125 69	49. 125 69	定南	193	15	37 249	115. 279 10	115. 279 10
兴国	81	7	6 561	54. 825 70	54. 825 70	全南	196	16	38 416	121. 900 30	121. 900 30
大余	88	8	7 744	59. 984 37	59. 984 37	石城	224	17	50 176	130. 142 70	130. 142 70
崇义	97	9	9 409	65. 144 28	65. 144 28	寻乌	238	18	56 644	138. 358 40	138. 358 40

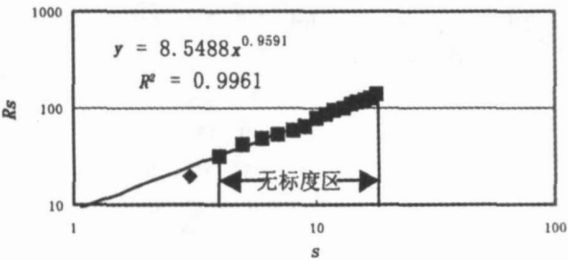


图 4 赣州市城镇随机集聚分布的双对数坐标图
Fig 4 The plot on the city random centralization in Gan Zhou

4 结论与建议

1. 处于丘陵山区的赣州市城镇体系在规模分布和空间结构上都具有比较明显的分形特征,表现出自相似结构。说明分形理论适合丘陵山区城镇体系的分析研究,对丘陵山区城镇规划具有一定的实践价值。因此,在赣州市城镇体系规划中,可以运用分形思想设计城镇体系的等级规模结构和空间结构。

2. 根据对城镇体系规模分布的分维测算,赣州市城镇体系中间位序的城镇数目较多,人口分布比较均衡。这说明赣州市城镇体系的首位城市规模小,带动能力较弱,而中间位序城镇数目多,呈竞争发展的格局。因此,必须重点突出区域中心城市赣州市的建设,促进其规模扩大和功能扩张。赣州市要充分利用下辖 18个县(市、区)的政治资源,举全市之力促进中心城市的发展,促进生产要素向赣州市的集聚,通过不平衡发展,实现赣州市的规模扩大和功能扩张。同时也要充分利用其作为市政府驻地的区位条件,发挥其经济实力相对雄厚的优势,扩大

对全市物流、资金、人才、信息、科技等要素集聚的辐射带动功能,带动全区域镇体系的协调发展。

3. 根据中间位序城镇数目多的实际,可选择基础条件好、发展潜力大的县城进行重点培育。从县城发展的历史基础考虑,可将瑞金、龙南作为市域门户城市进行定位和发展,增强其次中心城市的功能;对南康、于都、信丰、兴国等基础较好的县城要适当扩大其规模;对区位条件较好的重点镇也要有选择地加以扶持发展,以完善城镇体系的结构,改变中间位序城镇分布过于集中的状况。

4. 根据对赣州市城镇体系空间结构的分形特征研究,赣州市城镇体系在空间上呈集聚态分布的特点,城市之间空间关联程度不高、空间相互作用强度较小。由于赣州市城镇主要分布在山间河谷盆地之中,空间分布格局主要受到盆地地形的影响,因此交通条件成为影响城市之间相互作用强度的主要因素,为改变城市之间空间关联程度不高的现状,必须加快以交通为主的基础设施建设,改善城市之间的通达条件,通过以时间来压缩空间距离,增强城市之间的空间相互作用强度。

致谢: 感谢北京大学陈彦光博士对本文写作和分形方法的指导!

参考文献 (References)

[1] Cleick J Chaos Making a New Science[M]. New York Viking Penguin, Inc., 1988.

[2] Liu Jisheng Chen Yanguang Fractal studies of urban geography in the past and future[J]. Scientia Geographia Sinica, 2000 20(2): 166~ 171[刘继生,陈彦光. 城市地理分形研究的回顾与前瞻[J]. 地理科学, 2000 20(2): 166~ 171]

[3] YueWenze Xu Jianhua SiYouyuan, et al. Applications of fractal

- geometry theory in the study of human geography [J]. *Geography and Territorial Research*, 2001, 17(2): 51~56 [岳文泽, 徐建华, 司有元, 等. 分形理论在人文地理学中的应用研究 [J]. 地理学与国土研究, 2001, 17(2): 51~56]
- [4] Liu Yansui. Structural pattern of land type and ecological design in mountainous region [J]. *Journal of Mountain Science*, 1999, 17(2): 104~109 [刘彦随. 土地类型结构格局与山地生态设计 [J]. 山地学报, 1999, 17(2): 104~109]
- [5] Chen Yanguang, Liu Jisheng. Fractals and fractal dimensions of city-size distributions [J]. *Human Geography*, 1999, 14(2): 43~48 [陈彦光, 刘继生. 城市规模分布的分形与分维 [J]. 人文地理, 1999, 14(2): 43~48]
- [6] Liu Jisheng, Chen Yanguang. Fractal dimensions of hierarchical structure of urban systems and the methods of their determination [J]. *Geographical Research*, 1998, 17(1): 82~89 [刘继生, 陈彦光. 城镇体系等级结构的分形维数及其测算方法 [J]. 地理研究, 1998, 17(1): 82~89]
- [7] Wu Dianting. Advanced Program of Regional Analysis and Planning [M]. Beijing: Higher Education Press, 2004. 316~317 [吴殿廷. 区域分析与规划高级教程 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004. 316~317]
- [8] Liu Jisheng, Chen Tao. A Fractal study on the spatial structure of systems of towns in northeast China [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1995, 15(2): 23~24 [刘继生, 陈涛. 东北地区城镇体系空间结构的分形研究 [J]. 地理科学, 1995, 15(2): 23~24]
- [9] Liu Jisheng, Chen Yanguang. A study on fractal dimensions of spatial structure of transport networks and the methods of their determination [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1999, 54(5): 471~478 [刘继生, 陈彦光. 交通网络空间结构的分形维数及其测算方法 [J]. 地理学报, 1999, 54(5): 471~478]
- [10] Liu Jisheng, Chen Yanguang. Fractal dimensions of spatial structure of an urban system and the methods of their determination [J]. *Geographical Research*, 1999, 18(1): 171~172 [陈彦光, 刘继生. 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): 171~172]
- [11] Chen Tao. A study on the systems of towns as aggregation fractals [J]. *Bulletin of Science and Technology*, 1995, 11(2): 98~101 [陈涛. 城镇体系随机聚集的分形研究 [J]. 科技通报, 1995, 11(2): 98~101]
- [12] Li Yaobin, Chen Zhi, Yang Yiming. Study of the development of the spatial structure of urban system in Hubei province [J]. *Journal of Huazhong University of Science and Technology (Urban Science)*, 2003, 23(3): 53~59 [刘耀彬, 陈志, 杨益明. 湖北省城市体系空间结构发展研究 [J]. 华中科技大学学报 (城市科学版), 2003, 23(3): 53~59]

Urban System Fractal Characteristics in Mountainous Areas

——A Case of Ganzhou in Jiangxi Province

SHANG Zhengyong¹, BAI Yongping²

(1. Department of Geography, Huaiyin Teachers College, Huai'an 223300, Jiangsu, China;

2. College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract Fractal study is one of the most important content in modern theoretic geography, and the urban system fractal study is a new way for the study of the city geography especially. This paper commences with the application of the urban system fractal theory and tries to find the rule of the urban system in mountainous area. Based on the fractal theory, the paper analyzes the scale structure and spatial structure of urban system in Ganzhou, and finds out that the urban system in Ganzhou have the fractal properties, so the paper thinks that fractal theory can fit to calculate and analyze the scale structure and spatial structure of urban system in mountainous area. According to the results of calculation and analysis, the paper draws the conclusions below: (1) The quantities of middle scale city are more than bigger and smaller one, and the regional population distribution is equilibrium relatively. (2) The degree of interspaces conjunction between the cities is inadequate compactness, and the intensity of the interaction of the cities is medium. According to the conclusions mentioned above, the paper presents that the effective measures must be taken to improve the situation of the urban system structure in Ganzhou. The Ganzhou government should centralize the whole resources to construct regional center city and some county city with finer condition, and should improve the communication conditions to boost up the spatial interaction intensity.

Key words urban system; scale structure; spatial structure; fractal characteristics; Ganzhou