

长沙城市形态与用地类型的时空演化特征

陈群元^{1,2}, 尹长林^{2,3*}, 陈光辉^{2,3}

(1. 东北师范大学城市与环境科学学院, 吉林 长春 130024; 2. 长沙市规划信息服务中心,
湖南 长沙 410013; 3. 中南大学信息物理学院, 湖南 长沙 410083)

摘要: 运用 GIS 技术与高级编程方法提取了长沙市 1979、1996 年、2003 年的城市用地现状图的数据信息, 借助最小二乘技术, 通过幂指数拟合, 计算出了各年份的城市形态与用地结构的分维数, 并探讨了长沙城市分形演化的机理和城市形态演化的信息熵。通过对分维数的时空变化所包括信息的分析, 发现长沙城市形态及各职能类用地存在明显的分形特征, 且各类职能用地的分维小于城市形态的整体分维, 符合理论上推断的城市分维包容原理, 整个城市形态朝着混沌向有序渐趋优化演化, 但同时也存在绿化用地与对外交通用地发展不够完善的问题。

关键词: 城市形态; 时空演化; 分形理论; 长沙

中图分类号: F293.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-0690(2007)02-0273-08

1 城市形态分形研究回顾

在分形理论产生之前, 城市形态过去常被地理学家视为一种无序对象, 很少有人想到探讨其中隐含的自然法则。分形理论产生以后, 许多貌似破碎无规则的自然和人文现象逐渐引人注目, 学者们从表面上没有规则的大量事物中找到了深刻的自然规律。在这种学术背景下, 城市形态的分形研究开始走向城市地理科学的前沿。Batty 和 Longley 是较早开展分形城市形态和结构研究的学者, 他们在城市边界、城市用地、城市结构和城市人口-城区面积的异速生长等方面进行了大量的模拟和研究工作^[1,2]。在实证方面, Frankhauser 等发表了一系列包括中国城市(北京, 台北)在内的分维测算和分析结果^[3,4]。20 世纪 90 年代初, 在艾南山、李后强等的倡导下, 城市分形研究在中国兴起^[5]。陈彦光、刘继生在发展分形城市体系理论的同时, 在城市形态和结构方面也做了一些研究工作^[6-9]。此外, 还有学者利用几何测度关系测算了某些城镇边界的平均维数^[10]。近年来国内学者冯健、李江等分别对杭州、武汉的城市形态进行了分维测算和分析^[11-13]。目前, 对城市形态分形研究的理论探讨和实证研究仍是中国城市地理研究的一个热点^[14]。综观国内学者对城市形态的研究, 理论研

究较多, 实证研究相对较少, 对外部城市形态的分形研究较多, 而对城市形态内部土地利用类型的分形研究相对较少。本研究结合城市规划中的土地利用类型, 研究城市形态与用地类型时空演化的分形特征, 以期城市规划提供理论和技术方法。

2 城市形态的分形数学模型

分形几何学是相对于传统欧氏几何学的不足建立起来的, 由此发展起来的分形理论逐渐成为现代非线性科学研究中的一门新兴数学分支^[15-17]。研究城市形态和空间结构的分形形态, 目前主要有 3 种思路^[18-20]: 一是从城市用地的不规则性考虑, 用几何测度关系计算分维, 即计算边界维数; 二是从城市生长的视角, 考虑城市从中心向外围扩展的趋势, 采用回转半径法测算分维; 三是从城市空间结构的视角, 考虑城市土地利用的总体格局, 采用网格计数法即计盒维数测算分维。为了对比城市内部结构的分维, 必须采用网格法亦即小盒计数法^[21]。

本研究将采用网格法来研究长沙城市形态和城市用地类型的分形特征。网格法是盒维子计数法的一种, 其网格法的思路如下: 在地图上一个矩形区域覆盖一个城市地理对象如城市用地, 并设矩形的一个边长为 $r=L$, 这时只有一个网格, 这个网格肯定被研究对象占住, 即非空网格数目为

收稿日期: 2005-12-18 修订日期: 2006-07-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(40571061)、长沙市规划信息服务中心项目“CUMDPS”资助。

作者简介: 陈群元(1974-), 男, 湖南郴州人, 博士生, 主要从事城市发展研究。E-mail: chenqunyu@163.com

* 通信联系人: 尹长林, yc@hnup.com

$N(L) = 1$ 。将矩形框各边 2 等分, 划分为 4 个全等的网格, 这时小矩形的边长为 $r = L/2$ 计算包含该城市用地的网格数目, 记为 $N(L/2)$ 。进一步将 4 个小网格的各边 2 等分, 将矩形区 16 等分, 每个小格的尺度为 $r = L/4 = L/2^2$, 被占住的网格数目记为 $N(L/2^2)$ 。像这样, 将矩形区不断细化, 到第 n 步的网格尺度为 $r = L/2^n$, 网格数目为 4^n 个, 非空网格数目记为 $N(L/2^n)$ 。如果城市土地利用是分形的, 根据分形理论, 必有:

$$N\left(\frac{L}{2^n}\right) = 2^{-D} N\left(\frac{1}{2^{n+1}}\right) \quad (1)$$

显然, 负幂函数:

$$N(r) \propto r^{-D} \quad (2)$$

满足上式定义的标度不变性, 式中 D 便是分形维数, 一般情况而言 $1 \leq D \leq 2$ 但笔者研究发现, 如果计算分形时框定的范围较大或城市用地分形发育不良, 会出现 $0 \leq D \leq 1$ 的情况。基于网格计数法的城市土地利用空间形态和结构的分形研究, 前提条件就是网格尺度 r 与非空网格数目 $N(r)$ 之间服从负幂指数关系。分维数越大, 表示城市用地分布越均匀, 当 D 值等于 2 时, 则城市形态退化为欧式几何形态; 分维数越小, 城市用地分布越集中, 当 D 值等于 0 时, 城市用地退化为一个点。

3 城市形态与用地类型的分形测度

3.1 空间数据提取

运用上述原理和方法, 通过 Arcgis 软件和高级编程语言手段, 对 1979 年、1996 年和 2003 年的长沙市区全部建设用地 (代表整个城市形态, 见图 1 至图 3), 以及居住用地等职能用地进行了测算, 提取了各类用地的网格数据信息。由于长沙城市行政区划 1996 年进行较大调整, 市区面积由原来的 352 km^2 扩大到了 556 km^2 , 但为了便于时空意义上的可比性, 计算时, 1979 年的市区范围框定与 1996 年和 2003 年的市区范围相同, 框定的市区范围相对应于 2001 年版长沙市城市总体规划中的都市区范围。理论上, 由于分形体是自相似的, 市区范围的界定对分维测算结果应该没有影响; 但是由于分形发育过程中的不确定性因素, 分维值对测算范围及城市规模存在一定程度的依赖关系^[1], 尤其城市建设用地的某些用地类型, 如果城市规模较小, 分形发育欠成熟, 如市区范围框定过大, 会导致其分维值小于 1, 这就是为什么 1979 年和 1996 年的某些建设用地类型的分维值小于 1 的原因, 而分维值小于 1 并不影响其时空序列上的可比性。

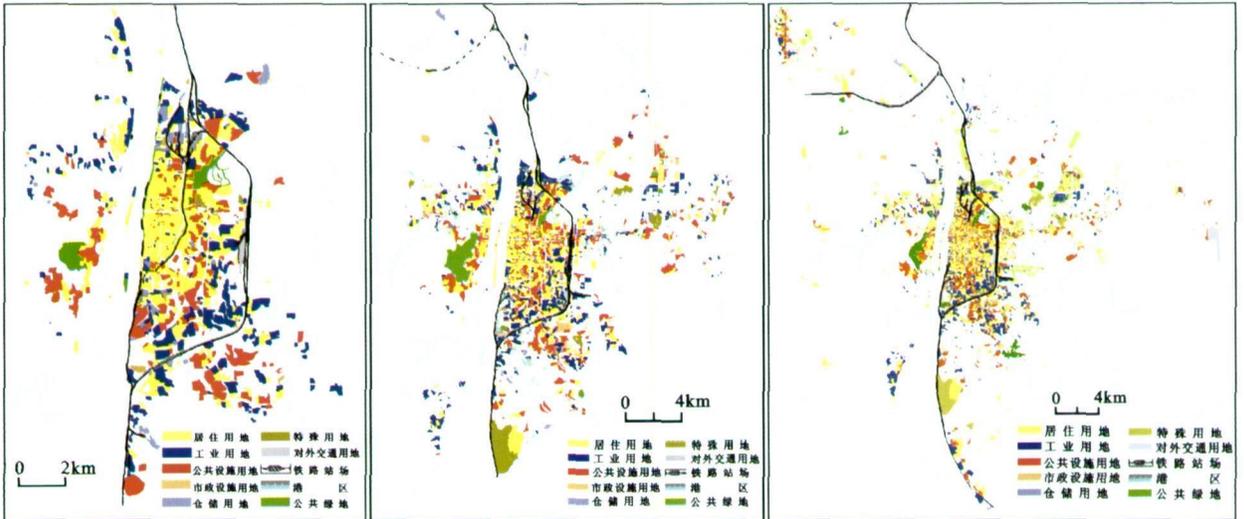


图 1 长沙市城市用地现状 (1979, 1996, 2003)

Fig 1 Urban morphology of change in 1979, 1996, 2003

3.2 计算结果与分形的判定

为了揭示长沙城市形态与用地结构是否具有分形特征, 首先利用双对数坐标图进行直观判断。将表 1、表 2 中的有关数据分别标绘于 $\ln - \ln$ 坐标

图中, 发现点列的线性分布趋势非常明确。借助最小二乘技术, 用幂指数模型进行拟合, 效果较好, 因此可以初步判定长沙城市形态及其用地结构具有分形特征。为了进一步确定上述判断, 根据散点图

表 1 长沙市各类用地非空格子数目 $N(r)$ 与格子边长 r 的数据提取结果

Table 1 The number of grid of both the whole morphology and the different sorts of land use in Changsha

年份	数据点 编号	r	市区全部 用地	居住用地	工业用地	公共设施 用地	市政及仓储 用地*	公共绿地	对外交通 用地
1979年	1	1/2	4	4	3	4	3	2	2
	2	1/4	4	4	3	4	3	2	2
	3	1/8	10	9	8	8	6	5	4
	4	1/16	24	20	17	17	13	8	11
	5	1/32	69	58	56	46	26	16	27
	6	1/64	213	148	149	107	34	34	56
	7	1/128	635	382	351	286	51	64	97
	8	1/256	1999	1062	827	754	80	151	197
	9	1/512	6536	3103	2157	2048	177	425	384
1996年	1	1/2	4	4	4	4	4	4	3
	2	1/4	6	5	5	4	5	4	3
	3	1/8	18	15	16	14	15	7	6
	4	1/16	53	43	42	40	37	14	12
	5	1/32	149	106	111	111	78	31	19
	6	1/64	433	286	271	279	155	54	31
	7	1/128	1305	732	672	709	338	101	54
	8	1/256	4045	1999	1625	1847	708	258	120
	9	1/512	13193	5662	4187	5042	1687	752	295
2003年	1	1/2	4	4	4	4	4	4	4
	2	1/4	13	11	8	9	9	4	7
	3	1/8	34	32	22	24	21	9	12
	4	1/16	93	87	59	64	60	20	26
	5	1/32	264	206	159	158	157	47	48
	6	1/64	763	508	428	399	399	86	102
	7	1/128	2178	1226	1039	978	1036	157	207
	8	1/256	6514	3293	2414	2425	2506	361	500
	9	1/512	20757	9171	5925	6398	6430	982	1261

* : 市政设施用地与仓储用地放在一起, 因为二者都是起到保障城市运转的基础作用。

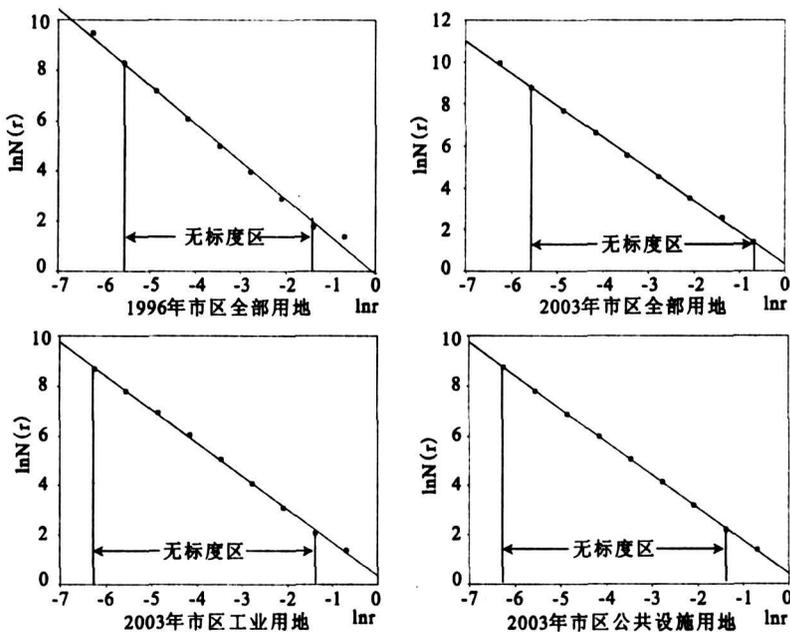


图 2 长沙市部分城市用地的分维图式

Fig 2 The fractal graphs of part sorts of land use in Changsha

表 2 长沙市各类用地分形维数测算结果

Table 2 The fractal dimension of both the whole morphology and the different sorts of land use in Changsha

回归范围	参数类别	市区全部 用地	居住用地	工业用地	公共设施 用地	市政及仓储 用地	公共绿地	对外交通 用地
1979年 (全部点列)	分维数 D	1.3271	1.2288	1.1890	1.1649	0.8380	0.8806	0.9330
	测定系数 R^2	0.9944	0.9957	0.9956	0.9952	0.9943	0.9916	0.9937
	标准误差 δ	0.0352	0.0287	0.0279	0.0285	0.0224	0.0287	0.0264
1979年 (无标度区)	分维数 D	1.3247	1.2010	1.1876	1.1379	0.8376	0.8443	0.9327
	测定系数 R^2	0.9953	0.9972	0.9960	0.9972	0.9959	0.9935	0.9937
	标准误差 δ	0.0345	0.0261	0.0285	0.0247	0.0219	0.0280	0.0282
1996年 (全部点列)	分维数 D	1.4833	1.3656	1.3405	1.3516	1.2116	1.0022	0.8674
	测定系数 R^2	0.9989	0.9988	0.9989	0.9981	0.9977	0.9946	0.9959
	标准误差 δ	0.0178	0.0169	0.0159	0.0210	0.0207	0.0262	0.0197
1996年 (无标度区)	分维数 D	1.4657	1.3634	1.3382	1.3494	1.2089	0.9736	0.8462
	测定系数 R^2	0.9994	0.9995	0.9997	0.9989	0.9991	0.9994	0.9992
	标准误差 δ	0.0151	0.0112	0.0085	0.0171	0.0134	0.0096	0.0098
2003年 (全部点列)	分维数 D	1.6019	1.4941	1.4272	1.4306	1.4307	1.0793	1.1348
	测定系数 R^2	0.9993	0.9981	0.9990	0.9988	0.9990	0.9969	0.9967
	标准误差 δ	0.0155	0.0230	0.0163	0.0176	0.0157	0.0214	0.0230
2003年 (无标度区)	分维数 D	1.6005	1.4923	1.4252	1.4286	1.4287	1.0648	1.1267
	测定系数 R^2	0.9995	0.9985	0.9995	0.9993	0.9996	0.9996	0.9983
	标准误差 δ	0.0140	0.0218	0.0118	0.0139	0.0109	0.0091	0.0189

的点列分布趋势,采用负指数函数、对数函数和二次多项式等可能匹配模型进行拟合,效果远不如幂指数模型。幂指数函数拟合的测定系数均在 0.99 以上,而其它 3 种模型的测定系数与它相差较大。如就 2003 年的市区全部用地而言,(负)幂指数模型的测定系数高达 0.9993,而指数函数、对数函数和二次多项式 3 种模型拟合的测定系数分别只有 0.6734、0.5140 和 0.2523。结果表明,长沙城市形态及其各类职能用地,均服从式(2)表征的负幂律,即具有分形特征。

在双对数坐标图上,虽然点列整体上具有良好的线性分布趋势,但仔细观察可以发现第一个数据点或最后一个数据点有时对回归直线稍有偏离(图 2)。问题在于,当将网格二等分时,4 个网格通常都被占住。也就是说,绝大多数情况下,只有当 $r < 1/2$ 时,才有 $N(r = 2^{-n}) < 4n$,这时才真正出现分数维测度。另一方面,当 $r \leq 1/2^9$ 时,数据点对回归系数的稳定性有较大影响,这暗示在此尺度以下,系统的自相似性开始减弱。可见,对于城市形态和土地利用结构而言,也如同其它许多分形系统一样,自相似结构的出现是有尺度的,这个尺度范围就是所谓的无标度区。不过,城市形态或各类用地的无标度区相对于整个数据分布并不显得十分突出,本研究给出两种计算结果,一是让全部数

据点列进入回归,二是只拟合无标度区的数据点列。

4 讨论与预测

4.1 城市形态演化的分形特征

作为一个开放的、复杂的巨系统,城市具有明显的耗散结构特征,具有自相似、自组织和进化功能。这种自相似和自组织性是通过城市物质形态和意识形态共同作用于城市空间,形成城市形态自组织演变规律^[22]。探讨长沙作为城市分形或分形城市的时空演化特征,从表 2 中的分维值的时空演变中,不难看出,不论是整个市区抑或土地利用的各个职能类,分形结构都具有明显的进化特征,这种特征主要表现在以下三个方面。

第一个方面的特征是城市分形性态逐渐变好。从表 2 中可以看到,模型的拟合优度 R^2 总体上渐趋上升,而分维标准误差 δ 则有不断下降的倾向。从整个市区用地来看,无标度区点列回归的拟合优度 1979 年为 0.9953,1996 年升至为 0.9994,2003 年升至 0.9995,分维的标准误差则从 0.0345 降至 0.015,再降为 0.014。作为参照,全部点列回归结果的变化特征与无标度区点列完全一致。城市的各职能类用地的变化特征也表现为相应的一致。据有关学者研究^[18],当维数 D 的标准误差低于临

界值 $\delta = 0.04$, 就可认为城市形态是分形的, 这个标准大约相当于测定系数 $R^2 = 0.996$ 对城市地理系统而言是一个相当严格的要求。然而, 长沙城市形态和土地利用结构全部符合这个标准, 在 1979 年, 市区用地的全部点列的分维标准误差为 0.035 就低于 0.04 的临界值。

第二个方面的特征是城市形态的分维有渐趋上升之势(表 2)。城市形态维数逐渐升高: 1.324 (1979年) \rightarrow 1.465 (1996年) \rightarrow 1.600 (2003年)。这与国外城市如伦敦、柏林、匹兹堡等城市的分维变化趋势一致, 但直至 2003 年长沙城市形态维数与 Batty 等经模拟研究提出的标准维数水平 ($D = 1.71$) 仍有一定的差距^[2]。城市的各个职能类土地分维的变化整体一致, 只有对外交通用地的维数 1996 年比 1979 年小, 2003 年又呈上升趋势, 但维数过小。造成长沙城市空间的分维数较小的原因主要为以下: 一是城市规模较小, 2003 年市区城市建设用地只有 160.41 km²; 二是受地形和水系的制约, 长沙城市建设用地主要集中在河东主城区; 三是市区山体和水系较多, 不可建设用地较多。

第三个方面的特征是长沙城市分形的维数关系符合分维包容原理。中国学者关于城市形态与土地利用结构的分维包容原理是: 城市各个职能类的土地利用形态维数不得高于整个城市形态的分形维数^[16]。从表 2 中可以看出, 长沙的各职能类土地的分维数均一致地小于城市整体形态的维数。城市职能类土地的分维数是城市功能分区特征的重要反映, 城市各职能类的土地形态维数太高, 表明城市的功能分区不够明显, 城市处于无序状态, 削弱城市的功能强度; 另一方面, 如果分维数太小, 城市高度分区, 又会牺牲城市内部各组织的有机联系, 降低城市的整体运行效率。长沙城市各职能用地的维数均不太高, 表明长沙城市用地的功能分区比较明显, 但尚处于合理界限范围。长沙的居住用地、公共设施用地和市政及仓储用地、工业用地、公共绿地和对外交通用地的维数均有较大上升, 表明长沙的城市用地的职能结构正趋于优化。

不同职能类土地的维数上升其意义是不同的。如绿化用地维数上升, 表明绿化用地分布更均匀, 居民享受绿化的条件改善, 且维数越高, 绿化的水平越高, 居民享受绿色环境的条件越好, 如长沙的公共绿地维数呈上升趋势, 表明通过加强规划, 公共绿地的布点更多, 居民能方便地享受绿化, 但长

沙的公共绿化维数仍较小, 距离创建全国园林城市仍有较大差距; 如工业用地维数的大幅度上升, 则表明城市工业分布不够集中, 趋于分散, 而工业用地维数过高, 则会导致城市生态环境退化和功能紊乱。令人惊喜的是, 长沙的工业用地维数不太高, 表明长沙的工业用地还比较集中, 上升的幅度也不太大, 工业用地仍处于不断优化中。

4.2 城市形态分形演化的机理

城市的生长过程, 必然伴随人口对城市内部空间的充填过程, 分维在某种意义上反映的正是系统对空间的充填能力^[2]。故随着城市的生长, 城市形态分维必然上升, 但绝不会超过其极限 $D_{max} = 2$ 。从国外研究看, 城市形态的分维波动上升到一定程度会向平均状态回归, 据 Batty 等的模拟研究, 认为 $D = 1.71$ 左右是城市分维期望数值。2003 年长沙市区的形态维数为 1.600, 离理想水平仍有一定距离, 因此可预见, 这个维数今后很长时间内还会继续上升, 向理想水平逼近。

长沙城市整体用地维数的不断增加, 反映了城市内部空间的充填过程: 随着时间的推移, 城市不断协调其内部地域间的发展, 不断加强对物质形态的规划和控制, 从而更为有效而紧凑地使空间得以填充, 使城市建设用地的分布更加均匀, 导致维数不断增长。现实情况是, 改革开放以来, 长沙城市用地长期集中于河东主城区导致城市发展空间不足与经济的快速发展之间的矛盾, 城市空间迫切需要新的扩展点。为适应这种需要, 长沙市 1990 版城市总体规划的城市用地空间布局提出: 主城区相对集中发展, 城市适度向外拓展, 形成“一主体、两翼、两组团”的空间格局, 2001 年版城市总体规划进一步提出了“一主、两次、四组团”的组团式多核心分散发展的空间模式, 两版城市总体规划的实施大大拓展了城市发展空间, 也导致了城市建设用地的分布更加均匀, 城市形态维数不断增长。

各类职能用地维数的变化既与城市空间的组团式分散有关, 又与居住人口的空间变动和郊区化过程有一定的关系。研究表明, 居住用地维数的快速增长是居住郊区化快速发展所直接导致的, 维数的增加表明长沙市民的居住状况有所改善, 已经摆脱了过去过集中于老城区的局面, 而大量向郊区和周边的卫星组团发展, 从而使居住用地的空间分布变得均匀。工业用地维数的上升也与长沙市工业郊区化和工业化发展方式有一定的关系。

1980年代以后,一方面,受地租和环保压力的影响,工业的大量外迁直接促使了工业郊区化的发生与发展,另一方面,几个大型开发区均设立在郊区,对于工业郊区化起到重要的吸引作用,导致了工业用地维数的快速上升。市政设施及仓储用地维数增长最快,既与长沙市这些年开展了大规模的基础设施建设有关,也与居住用地和工业用地等其他用地郊区化有关。而各职能用地维数的增长,共同促成了同期城市整体用地维数的增长。

从耗散结构理论的角度出发,当城市处于发展时期,人类活动的有序状态和无序状态同时并存,在发展早期,无序状态占主导地位,因此在这一时期,随着城市人口、面积的不断增长,城市结构变得越来越复杂,城市形态的分维数将随之增大。但是当城市发展趋于成熟时,城市逐渐由无序走向有序,这时随着城市规模的不断扩大,城市结构趋于合理,城市外部形态的分维数将趋于稳定。这种变化趋势是完全符合城市社会的发展逻辑^[23]。

4.3 城市形态演化的信息熵

信息熵及其地理意义“熵”原是一个热力学概念,统计物理学用它来表示分子不规则运动的程度,信息论中则把它作为随机变量无约束程度的一种变量。借用信息熵的概念来对复杂的城市地理系统结构进行深入的定量分析,在这里用来描述城市土地利用类型的多样性。假定一个城市的建设用地的总面积为 S , 该市的土地根据其职能可分成 m 种, 每个职能类的面积为 S_i , 则有:

$$S = \sum_{i=1}^m S_i \quad (3)$$

各类土地职能所占城市建设用地的比例为:

$$P_i = S_i / S \quad \sum_{i=1}^m P_i = 1 \quad (4)$$

按照信息论的原理,并参考 Shannon Weaver 指数,则定义土地利用结构的信息熵为:

$$H = - \sum_{i=1}^m P_i \ln P_i \quad (5)$$

信息熵 H 是系统复杂性和均衡性的测度,这里用来描述土地利用的多样性, P_i 为第种土地类型所占的比例(概率)。多样性指数是描述一个区域土地类型的复杂程度。当区域处于未开发时,其多样性指数为 0 即 $H_{min} = 0$ 相反,当区域已发展成熟,各土地类型已趋于稳定、均匀,且满足熵最大化条件时,即 $S_1 = S_2 = \dots = S_m = S/m$, 多样性指数为最大, $H_{max} = \ln(m)$, 由此可以看出,土地职能类型越多,各职能内的面积相差得越小,则熵值就越大。

城市地理系统的分维与信息熵具有一定的数理关系^[6]。早在 1986年,就有学者证明 Shannon 熵与 Hausdorff 维数具有等价性。实际上,城市地理系统的信息熵和分维变化趋势是一致的。分别以 1979年、1996年和 2003年的长沙市各类型土地面积占城市土地总面积的比重作为概率,借助 Shannon 信息熵公式,计算 3 年度土地职能构成的信息熵,结果如下表 3。城市各职能类土地的构成出现熵增趋势,与表 2 所反映的分维数递增趋势相一致。意味着城市各职能类用地比重差异减小,其原因是居住用地比重、工业用地和公共设施用地比重减小,其他类型的用地比重则上升。城市形态的信息熵增和土地职能构成的信息熵增反映了城市地理系统由“混沌”走向“秩序”的运动过程,这个过程反映在分形结构方面便是前述维数的变化特征。

表 3 长沙市城市建设用地构成及其信息熵

Table 3 The information entropy and ratio of urban land use structure in Changsha

年份	总用地 (km ²)	居住用地 (%)	工业用地 (%)	公共设施用地 (%)	市政及仓储 用地 (%)	公共绿地 (%)	对外交通用地 (%)	信息熵 H
1979年	51.80	39.47	23.04	23.94	6.41	4.56	2.08	1.4715
1996年	104.93	31.46	20.88	25.70	7.56	5.54	1.66	1.6530
2003年	160.41	30.19	17.15	19.39	20.43	3.88	3.66	1.7095

地理系统的信息熵最大化与效用最大化具有内在的一致性。最近的研究表明,信息熵最大化与效用最大化过程之间具有对偶转换关系:城市地理系统的演化要么以效用最大化为发展目标,以信息量的一定损失为约束条件;要么以信息量损失最小(熵最大化)为演化目标,以效用保持一定为约束

条件^[24]。效用最大化可以最有效地发挥城市内部各部门的功能,但却将城市整体导向无序;信息熵最大化可以将城市整体导向有序,但对城市各个职能部门的功能发挥却有某种程度的限制作用。城市演化正好是在效用最大与信息损失最小的矛盾运动之间追求一种平衡,当这种自组织运动达到临

界状态即所谓“混沌边缘”地带的时候,分形结构便“涌现”出来。城市地理系统自组织演化过程,就是这样一种“有序”与“无序”对立统一的矛盾运动过程。从以上的计算与讨论中可以看出,长沙城市的发展进程既是这种矛盾运动过程的反映,也是这种矛盾运动过程的结果。

5 结 论

从以上对长沙城市形态与用地类型的分形研究结果可以归纳以下 6 点结论:

1) 基于分形算法中的网格计数法对研究城市形态用地结构的时空演化特征效果较好,但目前因无专门的分形计算软件,这种方法在实际操作上存在一定的难处。本研究中发现,如果计算分形时框定的范围较大或城市用地分形发育不良,会出现 $0 \leq D \leq 1$ 的情况。

2) 长沙城市形态具有明显的分形特征。长沙城市分形显示出典型的进化规律:长沙城市形态的分维标准误差逐渐下降,各职能类用地的分维标准误差总体上也在下降,从而意味着长沙城市生长具有自组织优化趋势。在城市用地分形演化过程中,各种分维朝着理想状态逼近,城市形态的信息熵增和职能用地类型的信息熵增趋势,均表明长沙城市地理系统由“混沌”走向“有序”优化运动过程。

3) 长沙城市形态的分维呈不断上升之势,而城市各类用地的分维也呈不断上升之势,但分维数仍较小,距离理想的标准维数仍有一定的距离,意味着长沙城市用地由集中向分散发展的趋势,但受城市规模较小及地形和水系的制约,城市用地分维数较小。

4) 长沙城市土地利用各职能类的分维小于城市形态的整体分维,符合理论上推断的城市分维包容原理。各职能类土地的分维被城市形态的分维包容暗示城市的功能分异,是城市发展和进化的必然结果。

5) 改革开放以来,长沙城市形态分维的变化不但与相应阶段的城市经济发展背景、行政区划的变革和城市规划总体规划有着相当完好的对应关系,而且还可以从后者获得较好的解释。

6) 在城市异速增长的过程中,城市形态由小变大、由简单趋于复杂,分形是大自然的优化结构。研究长沙城市空间的分形演化规律,有助于在城市

规划中从定量的角度更清楚地认识城市的空间演化规律,有意识地利用分形优化思想,使城市增长扬长避短,从而更为有效地利用城市地理空间。

参考文献:

- [1] Batty M. Cities as fractals: Simulating growth and form [A]. In: Crilly A J, Jones H, eds. Fractals and Chaos [M]. New York: Springer-Verlag, 1991.
- [2] Batty M, Longley P. Fractal Cities: a Geography of Form and Function [M]. San Diego, CA: Academic Press, 1994.
- [3] Frankhouser P. Aspects fractals des structures urbaines [J]. L' Espace géographique, 1990, 19: 45~69.
- [4] Frankhouser P. La Fractalité des Structures Urbaines [M]. Paris: Economica, 1994.
- [5] 李后强,艾南山. 具有黄金分割特征和分形性质的市场网络 [J]. 经济地理, 1992, 12(4): 1~5.
- [6] 陈彦光,刘继生. 城市土地利用结构和形态的定量描述: 从信息熵到分维数 [J]. 地理研究, 2001, 20(4): 146~152.
- [7] 刘继生,陈彦光. 人口的区位过程与城市的分形形态——关于城市生长的一个理论探讨 [J]. 人文地理, 2002, 17(1): 24~28.
- [8] 刘继生,陈涛. 东北地区城市体系空间结构的分形研究 [J]. 地理科学, 1995, 15(2): 136~143.
- [9] 刘继生,陈彦光. 城市体系空间结构的分维数及其测算方法 [J]. 地理研究, 1999, 18(2): 171~178.
- [10] 杨山. 发达地区城乡聚落形态的信息提取与分形研究——以无锡市为例 [J]. 地理学报, 2000, 49(1): 9~15.
- [11] 冯健. 转型期中国城市内部空间重构 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [12] 冯健. 杭州城市形态和土地利用结构的时空演化 [J]. 地理学报, 2003, 58(3): 343~353.
- [13] 李江,段杰. 组团式城市外部空间形态分形特征研究 [J]. 经济地理, 2004, 24(1): 62~66.
- [14] 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.
- [15] 赵锐,赵宏. 地理现象分形研究 [J]. 地理科学, 1994, 14(1): 9~15.
- [16] 陈彦光,刘明华. 城市土地利用结构的熵值定律 [J]. 人文地理, 2001, 16(4): 20~24.
- [17] 李新运. 山东省城市体系分形特征及规模结构预测 [J]. 经济地理, 2003, 17(1): 60~64.
- [18] Benguigui L. When and where is a city fractal? [J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2000, 27: 507~519.
- [19] 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.
- [20] 王新生,刘纪远,庄大方,等. 中国特大城市空间形态变化的时空特征 [J]. 地理学报, 2005, 60(3): 392~400.
- [21] 陈彦光. 分形城市与城市规划 [J]. 城市规划, 2005, 29(2): 33~40.

- [22] 李 江, 段 杰. 组团式城市外间空间形态分形特征研究 [J]. 经济地理, 2004 24(1): 62~ 66
- [23] 李 江. 武汉市外部空间形态分形特征演变规律研究 [J].

- 长江流域资源与环境, 2004 13(3): 208~ 211.
- [24] 陈彦光, 刘继生. 效用最大化、Logit变换和城市地理学的数量分析模型 [J]. 地理科学, 2002 22(5): 581~ 586

Spatial-temporal Evolution of Urban Morphology and Land Use Sorts in Changsha

CHEN Qun-Yuan^{1, 2}, Y N Chang-Lin^{2, 3}, CHEN Guang-Hui^{2, 3}

(1. College of Urban and Environmental Sciences of Northeast Normal University, Changchun, Jilin 130024;

2 Changsha Planning Information Service Center, Changsha, Hunan 410013; 3 College of

Informational and Physical Sciences of Central South University, Changsha, Hunan 410083)

Abstract The history and the present situation of study on urban morphology and land use structure based on the fractal theory are briefly introduced and reviewed. The model and its meanings of the fractal theory on urban morphology research is also introduced and explained. Taking Changsha as an example, the authors draw 1979, 1996, 2003's fractal data message of its urban morphology by writing compute program and using ArcGIS soft and calculate the fractal dimensions of its urban morphology and land use structure of different periods. The end shows that the tendency of fractal evolution gradually changing from the chaos to the order has been existing in urban morphology and land use structure in Changsha, and its causes of this phenomenon are mainly made for the development of urban economy, the innovation of regionalism and the modification of city planning. At the same time a few of questions in land structure also have been discovered, including that the area of the green land and the traffic land is smaller and their distributions are also more centralized. In this study, the dimension inclusion theory is confirmed, which means all the dimensions of different land use sorts are smaller than that of the whole urban morphology. Some significance about the study to Changsha urban planning also has been put forward.

Key words urban morphology, spatial-temporal evolution, fractal theory, Changsha