

分形城市与城市规划*

陈彦光

【摘要】分形城市是自组织城市中非常重要的内容之一,也是与城市规划关系最为密切的自组织城市研究领域。本文首先阐述分形城市的基本概念及其测度方法,然后论证分形思想在城市规划中的应用思路和发展前景。分形是大自然的优化结构,分形体能够最有效地占据空间。借助分形思想规划城市和城市体系,将能使我们更为有效地利用地理空间和环境,美化人类的家园。

【关键词】分形城市;自组织城市;空间优化;城市规划

FRactal Cities and City Planning

CHEN Yanguang

ABSTRACT: The power-law associated with fractals is often regarded as a signature of feasible optimality thus yielding further support to the suggestion that optimality of the system as a whole explains the dynamic origin of fractal forms in nature. Many empirical studies have shown that cities have fractal structures, and fractal structure is the optimized structure of nature. In fact, a fractal body can occupy the space in the most efficient pattern. In this sense, planned with the idea of fractals, a city will be able to make the best of the limited geographical space. This paper explains what is fractal cities, how to understand and measure fractal cities, and how to plan the future cities using the idea of fractals. Fractal cities is one of the significant fields of self-organized cities, the development of the principle, theory, and method of fractal city planning relies heavily on the advance of the theory of self-organized cities as a whole.

KEYWORDS: fractal city; self-organized city; spatial optimization; city planning

自组织城市(self-organized city)有七大研究领域^[1,2]。分形城市为其中最为重要也是与城市规划关系最为密切的研究分支。所谓分形城市(fractal cities)乃是基于分形思想或者借助分形理论进行模拟和建模分析的城市研究领域。这个领域的源头可以追溯到分形理论的创始人曼德布罗(Mandelbrot)早期的城市研究^[3]。巴迪(Batty)、隆利(Longley)和弗兰克豪泽(Frankhauser)等在分别从模拟和实证的角度开展了奠基性的工作^[4,5]。在此期间,阿林豪斯(Arlinghaus)等揭示了中心地的分形性质^[6,7]。怀特(White)、恩格伦(Engelen)等借助细胞自动机(cellular automata, CA)模拟了城市用地的分形形态^[8,9],……分形城市研究积涓成流,逐渐发展成为自组织城市家族中的重要一员。

1990年代初期,以李后强、艾南山的《具有黄金分割特征和分形性质的市场网络》一文为标志,我国学者开始了分形城市研究^[10-12]。随后,中国的分形城市探索很快波及城市地理学的各个领域^[13]。国内的分形城市研究与西方的有关领域相比明显具有自己的特色:在研究对象方面,西方着重研究城市的结构和形态,中国则着重研究城市空间和等级体系;就研究方法而言,西方着重借助计算机模拟实验,中国则主要借助数学理论构造假设建立模型——模拟实验固然非常重要,但它不能帮助我们在概念这一更高层次上理解系统的行为规律^[14]。

由于分形是大自然的优化结构^[15],分形体能够最为有效地利用地理空间。从这个意义上可以想见,分形城市研究必将在城市规划和设计领域发挥重要作用。本文着重于分形城市规划思想的探讨,但考虑到学科之间的内在联系,间或涉及到城市乃至建筑设计方面的相关问题。

【文章编号】1002-1329
(2005)02-0033-08

【中图分类号】TU984
【文献标识码】A

【作者简介】
陈彦光(1965-),男,北京大学环境学院城市与区域规划系博士。

【收稿日期】2004-01-14

* 国家自然科学基金重点资助项目(40335051)部分内容。

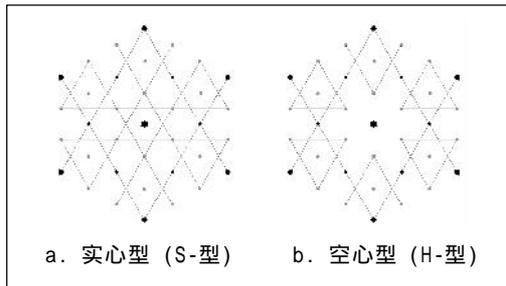


图1 基于中心地 $k=3$ 系统的城市体系 Koch 雪花图式
Fig.1 Koch snowflake models of cities based on central place systems (the first three steps)

(这里分形构造只示意前三步,城市等级到第四级)

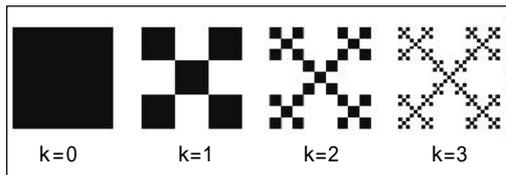


图2 模拟城市形态的一种确定型分形及其生成过程(前4步)

Fig.2 A deterministic fractal of modeling urban growth (the first four steps)

1 分形城市的基本思想

1.1 分形城市概念

分形的基本特征是自相似性,亦即没有尺度(scale-free)或者特征规模(characteristic size)。分形城市源于基于分形思想的城市形态与结构的模拟与实证研究。1991年,巴迪发表《作为分形的城市:模拟生长与形态》一文^[16],标志着分形城市概念的萌芽。1994年巴迪、隆利出版了题为《分形城市:形态与功能的几何学》的研究专著^[4];同年,弗兰克豪泽发表了专题著作《城市结构的分形性质》^[5];“分形城市”正式成为自组织城市领域的一个专门术语。分形城市最初主要是研究城市形态和结构,但是随着研究领域的扩展,逐渐向内细化到城市建筑^[17,18],向外拓展了区域城市体系^[11,13]。因此,目前的分形城市概念可以分为如下三个层次:

(1)微观层次,即城市建筑分形。在这个层次上,分形城市概念与建筑学的有关领域不可分割。1996年,美国马里兰(Maryland)大学建筑学院的波威尔(Bovill)出版了《建筑和设计中的分形几何学》一书^[19]。虽然该书以建筑学为主要视角,但也涉及城市形态等城市地理问题——毕竟建筑是城市地理系统的构成要素,分形城市规划必然无法回避建筑科学。正是在这种意义上,巴迪、隆利的《分形城市》一书也曾讨论建筑物的分形形态^[4]。2001年前后,英国曼彻斯特

(Manchester)大学建筑学院的克朗普顿(Crompton)甚至提出,分形在城市细部无所不在:大到公园——如海德(Hyde)公园,小到家居环境,都具有某种程度的自相似性^[17,18]。

(2)中观层次,即城市形态分形。这是本文讨论的中心层次,因为这个层次与城市规划的关系最为密切。关于城市形态的分形,加拿大科学家凯叶(Kaye)在其《分维漫步》一书中进行了如下图解^[20]:当我们走进某个城市扇形区(sector)的时候,我们可以看到居住用地(residential)、工业用地(commercial-industrial)、开放空间(open space)和空闲地(vacant land)等用地类型。但是,每一种用地都不是纯粹的一类用地,当我们走进以工业用地为主的街区(district,大致相当于我们的街道^[21])的时候,我们还可以看到住宅用地、工业用地、开放空间和空闲地。进一步讲,从街区走进以开放空间为主的邻里(neighborhood),从邻里走进以空闲地为主的场所(site)时,看到的依然是上述各种用地类型的组合。相同的城市用地结构(住宅-工业-开放空间-空闲地等)在扇形区、街区、邻里和场所等不同的层次上重现自己,这就是自相似的基本思想^[20]。

(3)宏观层次,即分形城市体系。分形城市体系包括空间结构和等级结构两方面的内容,前者以中心地的分形研究为标志^[6,22],后者以位序-规模分布研究为核心^[23-25]。1985年,阿林豪斯发现中心地体系的织构(texture)分形^[6],笔者则先后揭示了中心地的结构(structure)分形——例如中心地的 $k=3$ 体系可以变化科赫(Koch)雪花模型(图1),在此基础上可以将确定型分形中心地模型推广到随机分形领域^[22]。由于空间网络与等级体系是一个问题的两个方面^[4],中心地分形网络与城市体系的位序-规模分布具有内在的逻辑关系。中心地和位序-规模分布是分形城市体系最具代表性的研究领域,它们共同构成了人文地理系统空间复杂性的两个数理标志。

1.2 分形城市的维数

分形维数是刻画分形体的主要参数,也是未来分形城市空间结构的优化的定量判据之一。分维是由欧式维数推广而来,只需具有初等几何知识,就可以理解分维的数理含义。下面以维则克(Vicsek)的生长图形为例,说明分形的生成和分维计算。这种图形既可以以点为初始元(initiator)通过不断累计生成;也可以以一个正方形体为初始元,通过无穷细化生成。前者可以模拟城市形态的生长,后者可以模拟区域人口的

集聚。因此 维则克图形 是城市地理学家研究分形城市引用较多的一种确定型数学分形^[4,8,16]。图2给出了维则克图形细化生成的前4步 这个过程可以一直持续下去 直到图中的小方块变成几何斑点。

分维的计算主要基于分形的尺度 - 测度关系。在图2中,当第k级分形元的尺度下降到第k-1级分形元的1/3的时候(相似比取 $r=1/3$),分形元的数目则变为原来的5倍($N(r)=5$),于是分维 $D=-\ln N(r)/\ln r=\ln 5/\ln 3=1.465$ 。下面借助第k=2级维则克图形进行具体说明(图3)。

分维测算的方法之一是网格法或者小盒计数法(box-counting method),如图3所示 取一个正方形将维则克图形刚好全部覆盖 这时需要一个图形;但是,当我们将覆盖的正方形尺寸下降到原来的1/3时 需要的正方形体或者小盒子的数目就变成原来的5倍,于是分维可以由幂律 $N(r)=r^{-D}$ 定义,从而得到盒子维数:

$$D = - \frac{\ln[N(r_k)/N(r_{k-1})]}{\ln[r_k/r_{k-1}]} = - \frac{\ln N(r)}{\ln r} = - \frac{\ln 5}{\ln(1/3)} = 1.465$$

式中 $k=1,2,3\dots$ 表示分形体的生成步骤。

方法之二是所谓的半径法,实则同心圆环法:以分形体的中心为圆心作同心圆环 圆环的半径表作 R 的整数倍。当半径扩展为原来的3倍时,半径范围内的分形元累计数目变为原来的5倍。从图3可以看出,分维可以由幂律 $N(R)=R^{-D}$ 定义,从而:

$$D = - \frac{\ln[N(R_i)/N(R_{i-1})]}{\ln[R_i/R_{i-1}]} = - \frac{\ln N(R)}{\ln R} = - \frac{\ln 5}{\ln 3} = 1.465$$

式中 $i=1,2,3\dots$ 表示半径的序号。显然,两种方法给出的结果完全一样,都等于相似维数。将上述方法的任何一种用到科赫雪花模型(图1b),都可以得到 $D=\ln 7/\ln 3=1.771$ 。但是,网格维数和半径维数的地理意义并不相同:前者反映的是地物分布的均匀性质,后者反映的则是地物生长的中心-边缘聚散特征。在许多情况下,两种分维数值应当区分开来。

维则克图形实际上是一种最简单的二状态CA模型^[8],很容易将它推广到随机形式。现实的城市从来不会如此规整——即便是“百千家似围棋局,十二街如种菜畦”的隋唐长安城,也不可能用确定的数学分形模拟。于是随机分形就成为“拟合”现实城市形态的主要工具之一。巴迪等曾将扩散限制凝聚(Diffusion-Limited Aggregation, DLA)模型和电介质击穿模型(Dielectric Breakdown Model, DBM)模型引入模拟城市生长及其形态演

化(图4)^[4,16]。将这种方法适当发展,就可以用于模拟城市的沿着主要经济联系方向扩展^[26]的情形。DLA是一种随机的二状态CA模型,怀特等发展的CA模型则不仅可以模拟城市形态,还可以模拟城市内部的用地结构的演化过程^[8,9]。不论采用什么方法模拟,其分维都可以采用半径法或者小盒计数法进行计算,前者叫做半径维数^[5,8],后者是更具有可比性的城市形态维数^[27]。这两种维数在城市规划和城市空间结构优化中各有自己的应用方向。

2 分形城市规划:从建筑到区域

2.1 城市规划中的分形思想

城市是一个复杂运动的矛盾体,城市演化的过程似乎就是在有序与无序之间寻求平衡的一种复杂动力学过程^[28]。因此之故,城市规划不可能找到完美无缺的解决方案。为了解决城市结构紊乱和功能混杂的问题,人们创造了功能分区的办法:“雅典宪章”中认为城市规划的目的是在于综合城市四项基本功能——生活、工作、休息和交通而规划,就是解决城市划分成区的办法;但

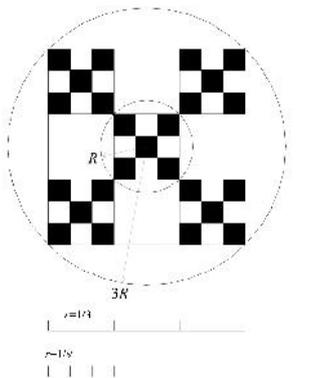


图3 生长分形的分维测算方法示意

Fig.3 Two methods of estimating dimension value of growth fractals

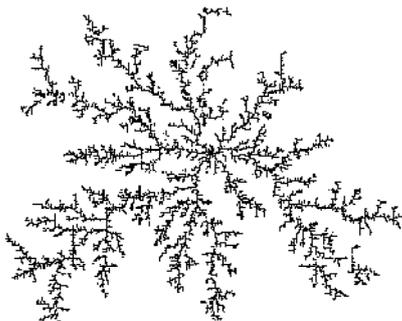


图4 模拟城市生长及其形态演化的随机分形(DLA&DBM)

Fig.4 A random fractal of modeling urban growth (DLA or DBM)

是实践证明追求功能分区却牺牲了城市的有机组织,忽略了城市中人与人之间多方面的联系,而应努力去创造一个综合的多功能的生活环境。^[29]但是,放弃功能分区却又无法避免城市功能紊乱,这显然是一对矛盾。尽管城市演化似乎是“挣扎于有序与无序之间的一种矛盾运动”^[8,9],城市规划却又必须试图消弭各种矛盾,这种企图本身又引发了一些新的矛盾。

分形是城市矛盾运动的结果,也为我们解决城市演化的各种矛盾提供了思路。尽管现实中的城市大都具有某种分形性质和特征,但与分形优化的要求都相距甚远。城市自组织演化的分形取向暗示着城市分形规划的可能,城市分形的发育不足意味着城市分形规划的必要。分形结构可以协调功能分区与有机组织的矛盾,解决城市生态环境与用地紧张的对立问题……但是,分形规划与设计理论目前是一种发展性的理论,理论基础和技术方法尚不成熟。

2.2 宏观层次与微观层次

一个区域的城市体系和交通网络都具有分形性质,城市-交通构成典型的自组织网络(self-organized network),分形城市规划应该从宏观着眼,从微观入手。所谓宏观着眼是首先考察区域和城市-交通网络,所谓微观入手是注重城市建筑设计。根据自组织城市理论,对于区域-城市系统,城市体系是慢变量,各种楼堂馆所、街道、地铁为快变量,主宰系统进化的是慢变量而不是快变量^[1,2],从而城市体系的规划要比各个建筑物乃至建筑群的设计重要得多:一栋建筑设计失败固然意味着较大损失,但城市体系的结构问题则可能导致区域发展的历史性顿挫。孰轻孰重,不言而喻。

但是,微观层次的建筑物影响人们生活的直观感受,建筑设计失误必然损坏城市景观。德国科学家艾伦堡(G. Eilenberger)感叹:“为什么一棵被狂风摧弯的秃树在冬天晚空的背景上现出的轮廓给人以美感,而不管建筑师如何努力,任何一座综合大学高楼的相应轮廓则不然?在我看来,答案来自对动力系统的新的看法,即使这样说还有些推测的性质。我们的美感是由有序和无序的和谐配置诱发的,正像云雾、树木、山脉、雪晶这些天然对象一样。所有这些物体的形状都是凝成物理形式的动力过程,它们的典型之处就是有序与无序的特定组合。”^[30]用分形理论创始人曼德布罗的话说,现代城市建筑的问题在于欧氏几何形态。欧氏几何的感受性在城市景观中的集中体现就是包豪斯(Bauhaus)建筑风格——方匣子

结构,宽舒整齐、线条简练、几何化。简单的形状缺少人性,欧式几何的建筑设计没有生机。作为欧式几何式建筑的一种对立面,曼德布罗非常赞赏法国的工艺美术(Beaux-Arts)式建筑,这类建筑的典型代表之一就是巴黎歌剧院(Paris Opera),由于该建筑具有各种尺度,从而没有特征尺度。面对这种建筑物,从各种角度和不同的距离都可以看到某种层次的细节及其变化,这是一种复杂性的体验,令人感到赏心悦目。这种无标度式的建筑物具有分形的基本特征。克朗普顿(Crompton)指出:“由于分形在大自然中普遍存在,将分形用于设计可以提供一种体现自然的表达方式。因此,现代建筑缺乏分形意味着对独特风景构成 picturesque composition 的兴趣的匮乏。”^[18]

2.3 中观层次

中观层次即城市形态和内部结构层次,是与城市规划关系最为密切的空间尺度。大量模拟和实测研究表明,城市形态和结构具有分形性质,可以用分维进行刻画^[4,5,8,27]。分形的本质在于能量的优化分布,分形性质意味着城市演化具有自组织优化功能。但是,系统的自组织优化也是有条件的,容易受到不良因素的干扰而趋于次优(suboptimal)状态。一种令人不安的现实便是:许多规划师缺乏自组织科学训练背景,对分形思想没有概念,在实践中采用欧式几何理念规划分形结构的城市,从而为未来的城市发展流下了潜在的疾患。

分形城市首先是生态城市,分形规划要求城市必须留取足够的绿地(greenbelt)、空地(vacant land)和开放空间(open space)。因为分形城市要求城市形态的维数必须是分维的:在二维空间考察,城市的维数应该在1-2之间;在三维空间考察,城市的维数应该在2-3之间。城市规划一般在二维空间考察城市,城市设计在三维空间考察城市,因此,规划意义的分维都是变化于1-2之间的。一旦城市失去了它的绿地、空地和开放空间,城市形态必然上升到二维,这时的城市形态退化为平庸的欧式几何形态,城市内部的环境、生态、交通、住宅等问题必将形成难以救药的复杂症候群。

当代中国城市的一个突出弊端是“见缝插针”式地建设;“摊大饼”式的扩展。由于各种复杂的因素,城市绿地、空地和开放空间被蚕食鲸吞,导致城市形态迅速退化至欧式几何形态。城市分形退化的不良后果主要表现在:

(1)城市生态条件恶化。一个城市一旦远离

绿色生机,剩下的只是一堆钢筋-混凝土合成的病态躯壳。因此在城市规划中有必要强调‘第二风景(the second nature)’和‘第三风景(the third nature)’^[31]的位置和重要意义。

(2)城市改造困难重重。一个城市没有空地和开放空间,就意味着没有建筑拆除与重建的缓冲地带。虽然眼前看来城市土地资源的利用十分充分,但对未来的城市土地功能置换和要素更新留下了难以消除的隐患。

(3)城市减灾、防灾难度加大。由于没有空地和开放空间,一旦发生地震,人群无法疏散;倘若疫病传播,又难以将病毒隔离、消灭。城市中的人群聚散通常形成复杂的无标度网络(scale-free network),疫病一旦传来就会相当快速而且很难根除^[32,33]。如果城市形态退化为欧式几何结构,则SARS之类的疫病在这种网络中可能会导致巨大的灾难。

为了避免上述问题,城市总体形态的维数就不能太高。当城市形态的维数达到1.9以后,距离 $d=2$ 的欧式维数就不远了。研究表明,北京城市形态的分维在1981年就高达 $D=1.93$,是世界上少有的高分维城市^[4]。如果进一步退化,则北京就会成为典型的欧式几何形态。目前的现实情况则是:北京的城市建筑显得非常拥塞,到了交通高峰时期,一些地段如西苑-颐和园一带,连两边人行道上都爬满了小汽车!如果没有立交桥,北京的市内交通根本无法想象,有了立交桥,又大大地破坏了城市景观。

那么城市形态的分维数取什么数值为好呢?根据英国科学家巴迪等的模拟分析,城市形态的分维在 $D=1.7$ 附近比较理想,理论上的维数则为 1.701 ± 0.025 ^[4,16]。实际上,1.7是一个“期望值”,现实中城市形态的分维平均趋于1.7^[4]。笔者甚至猜想,作为一国之都的分维理想值应当取 $D=1.618$,即黄金分割数——当然,这个数值暂且没有理论依据。不过可以肯定的是,城市形态分维在整体上向着 $D=1.7$ 的平均位置回归。一般地,当一个城市的分维达到 $D=1.8$ 以后,大多会通过郊区化等自组织机制以及规划中的有机疏散策略降低维数。法国的巴黎、英国的伦敦都曾有一个分维转折时期:从1.8-1.9之间下降到1.7左右(图5)^[4]。

前面论述了城市形态分维测算的两种基本方法:网格法和半径法,理论上两个方法给出的结果理当相等。但是在研究具体城市和城市的具体问题的时候,就有必要区别对待了。原因在于,对于半径法,圆心的区位对分维有较大的影响;圆心原则上必须选取土地斑块的重心位置,而不

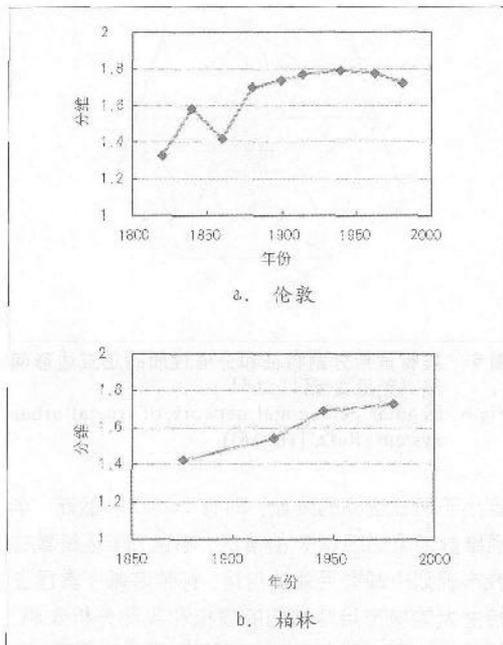


图5 英国伦敦和德国柏林的分维长期变化趋势(根据文献[4]描绘)

Fig.5 Fractal dimension changes of urban form: London and Berlin (Ref. [4])

同土地类型的重心位置肯定是不同的。对于西方城市,只有商业用地的重心可能与整个城市形态的重心吻合;对于中国的城市,由于中心商务区(CBD)的缺失,很难确定何种类型的用地与整个城市形态的重心一致。当我们研究整个城市形态的时候,两种方法给出的维数大致可比。但是,一旦深入到城市内部结构如各种职能类的用地形态,分维数就具有各自的含义,各类用地的维数与整个城市形态的维数不再可以简单地比较了。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。

笔者研究发现,将分形思想用于城市内部的土地利用结构,可以导出如下规律:基于网格法的城区各类用地的分维不得大于城市总体形态即市区全部用地的分维。这就是所谓城市土地利用的分维包容原理^[34]。北京大学的冯健博士在杭州城市土地利用的分形研究中从经验上证明了这一判断^[35]:基于网格法测算的各类用地的维数无一例外地小于整个城区形态的分维。但是,如果城市土地利用功能紊乱,缺乏适当的功能分区和组织结构,则完全可能形成例外的结果,即某类用地的网格维数大于城市形态的维数。因此,规划师如果能动地利用这一原理,则可以使得城市土地利用结果更为优化。

如果采用回转半径法测定分维,则未必能够反映上述规律。不仅如此,基于网格法的维数肯

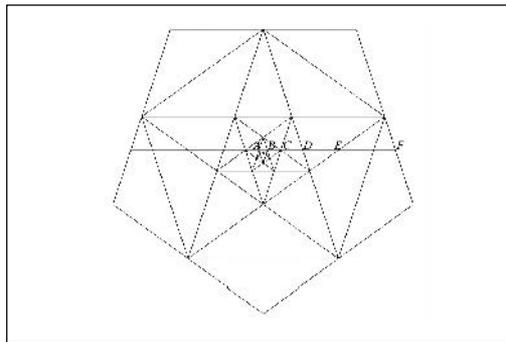


图6 具有黄金分割特征和分形性质的正五边形网络(参见文献[10,15])

Fig.6 Regular pentagonal network of fractal urban system (Refs. [10, 15])

定小于所在空间的维数,即有 $D < d = 2$ 。然而,半径维数却会出现 $D > 2$ 的情况。不过,半径维数在城市规划中却有另外的用途。怀特等基于美国亚特兰大的城市用地结构的模拟和实测分析表明,城市土地利用的半径维数具有如下变化规律:商业用地的分维 $<$ 工业用地的分维 $<$ 居住用地的分维 $<$ 其它用地的分维^[8,9]。这意味着,美国城市用地的分布具有如下规律:从城市内部到外围依次是商业用地、工业用地、居住用地、其它用地。当然这是一种概括性的中心-边缘分异图式,但这种图式表明城市形态是波动性(有序性)和粒子性(无序性)合成的矛盾统一体,分形结构便是这种有序与无序对立统一的矛盾结果。我国一些学者在开展城市规划工作过程中,有时将商业区乃至CBD规划到城市边缘地带,虽然这是一种不得已的折中行为,但其规划后效却可能破坏了城市演化的基本规则。

城市形态分维不是一个孤立概念,它不仅与城市土地利用结构具有一定数值关系,而且与城市人口分布的维数具有制约关系。人们早就发现,城市人口与城区面积具有如下异速生长(allometric growth)关系^[4,36]:

$$A = aP^b = aP^{D/d}$$

式中A为城区面积,P为城市人口,a为比例系数,b为标度因子(scaling factor)^[35],D为城市形态的维数,df为城市人口的维数。一个共识是,城市人口-城区面积的标度因子b与分维有

关^[4,37,38]。在理论上,它是城市形态的分维D与城市人口的维数df的比值,即有 $b = D/df$ 。在实践中,必须满足 $b < 1$:随着人口规模的增加而向高层发展。否则就意味着城市结构的“扁平化”:城市越大、人均用地越多,城市土地资源利用越是浪费^[36,38]。那么b值取多大为宜呢?前面论证了城市形态的分维平均为 $D = 1.7$ ^[4],而城市人口一般为非分形分布,即有 $df = 2$ ^[36]。标度因子的平均值应为 $b = 1.7/2 = 0.85$ ^[38]。这个数值与现实大量经验观测结果的平均值非常接近^[36]。由于城市人口具有分形化的趋向,城市用地的维数就不能过高,在规划上必须满足 $D < df < 2$,否则就会出现b=1的病态情况。可见,城市用地与人口的维数之间也存在着“包容”关系:城市形态的维数必须小于等于城市人口分布的维数。

由于分形在城市生活环境中无所不在^[17],分形思想可以用于城市规划的各个方面。例如,作为克里斯塔勒正六边形网络的补充形式,李后强、艾南山曾经提出具有黄金分割特征和分形性质的正五边形市场网络(图6)^[10]。波索马特尔(Bossomaier)和格林(Green)则建议采用分形中的皮亚诺(Peano)曲线模拟城市内部交通网络^[14]……可以想见,各种分形城市模型对城市形态和结构的规划将会具有重要的启发和指导意义。概括起来,分形城市形态规划的内容大致对应于分形的三个基本要素:形态(form)、机遇(chance)和维数(dimension)^[39]。在空间方面,城市形态不能过于紧凑,从中心到外围必须有绿地、空地和开放空间有机分隔,而且越往外围空地留取必须越多(图4);在时间方面,城市动态演化有许多偶然因素的作用,因此城市规划不能是静态规划,必须借助自组织思想开展动态的自调节规划;在信息方面,分维反映的恰是城市生态环境的状态与特征,分维过高暗示着城市生态环境的退化(表1)。随之而来的一个问题乃是,城市用地与生态条件可能互相冲突,要维持良好的生境就难以保证足够的用地,要充分地利用城市土地就会导致分形退化。这类问题如何解决,决定着分形城市规划的成败得失,因此不可不察。

2.4 综合协调问题

分形城市形态基于生态城市结构,分形城市规划在中观尺度上要求城市中必须具备足够数量的绿地和开放空间。这样一来,就与我国人多地少、城市建设用地不足等问题相冲突。在某种意义上,我们的“见缝插针”式城市建设乃是不得已而为之的“摊大饼”式的扩展也是城市人-地

表1 分形城市与城市规划的要素

Tab.1 Comparison between the fractal elements and urban planning types

领域	分形要素	分形城市	规划	备注
空间	形态(form)	城市结构	形态规划	确定型, 运筹层次
时间	机遇(chance)	城市演化	动态协调	随机型, 预测层次
信息	维数(dimension)	城市信息	生态优化	测度型, 判断层次

关系紧张的结果。有没有办法解决这类矛盾？既然我们提倡分形规划，当然在从分形思想中可以找到解决问题的方案，这就涉及到不同尺度的综合协调问题。实际上，中观尺度的人-地关系问题必须借助微观尺度的城市建筑设计进行调和。我们知道，一栋建筑，一个小区，一所公园，都可能具备分形结构^[17-19]。如果我们能够有意识地根据分形原理设计城市建筑和建筑群，则可以非常有效地发挥城市空间的作用。因为分形结构在理论上具有“有限无穷”的性质，图6所示的正五边形网络就是一例，它可以在有限的空间范围之内无穷层次地填充空间，使得空间得到最大效率的利用。只要微观尺度的分形建筑设计提高了空间利用率，在中观层次上就完全可以留有足够的绿地和开放空间。

城市形态的中观尺度与区域城市体系的宏观尺度也存在综合协调问题，这一点从城市位序-规模的分维性质可以看到端倪。研究发现，城市位序-规模分布与城市和城市网络具有如下维数关系：

$$D_{rs} = \frac{D_1}{d_{r1}} = \frac{D_n}{d_{ns}}$$

式中 D_{rs} 为城市规模分布的维数， D_n 为城市体系或区域城市网络的分维， d_{ns} 为城市体系或者区域城市网络中人口的维数， D_1 为城市体系中最大城市的形态维数， d_{r1} 为最大城市的人口分布维数。由于城市体系是无标度的，所谓“最大城市”就具有广延意义，它可以代表不同层次的“最大城市”。由此可见，区域城市和城市体系存在一个城市用地和城市人口的相互协调问题，同时存在一个城市个体与整体即城市体系的分维匹配问题。

综上所述，未来的城市规划绝不单纯是规划师的问题，在微观上城市规划工作必须与城市建筑师进行协作，在中观上应该与城市设计师保持一致，在宏观上应当与城市地理学家建立理论联系。规划是一项系统工程，不是某一类知识群体可以单独“图解”的简单任务。分形城市规划意味着城市的中观层面需要大量的开放空间，这些空间的创造可以由分形城市设计和建筑师在微观层面的工作提供，同时城市规划必须跟踪宏观层面城市地理学发展的理论前沿。

3 结语

借助分形思想进行城市规划看来是一个技术性质很强的业务，其实，分形城市规划蕴涵两个

层次的问题。

(1) 分形优化的本质问题。分形城市是自组织城市的一类^[1]，分形概念的基础是自组织城市理念。只要改变过去那种自上而下(top-down)式控制色彩浓厚的控制性规划和管理，代之以自下而上(bottom-up)自组织城市管理策略，城市结构就会自动向着分形优化的方向演进，中国的城市在改革开放以后分形形态明显增强就是明证^[35]。

(2) 分形优化的技术问题。分形城市规划理论正在发展之中，要求所有的规划师全面掌握分形理论肯定不太现实。但是，随着计算技术的发展，城市分维测算和优化模拟的软件必将应运而生，普通规划师只要具备基本的分形思想就足以开展分形城市规划工作。要求我们的规划师掌握基本的分形思想不为过分，英国科学院的巴迪院士明确指出：“我们自然地理学和人文地理学的许多理论正在被分形思想重新阐释，它们在我们未来的地理教育和实践中将如同今天的统计学和地图一样平常。”^[40]不仅地理教育和实践领域如此，规划教育和实践领域也理当如此。如果一个规划师今天不至于看不懂地图，将来也应当不至于不具备基本的分形理论知识。

无论如何，由于分形是大自然的优化结构，分形体对空间的利用最为有效、合理。分形城市规划的理论、方法和技术必将发展起来。一个城市是否具有分形结构或者向着分形分布的方向发展，决定着一个城市的本质与属性问题^[3]。随着科学知识的普及，这种思想将会得到更大范围的认同和欣赏。

注释(Notes)

维则克(Vicsek)图形是T. Vicsek于1980年代提出的一种确定型生长分形，但国外地理学家将其与谢尔宾斯基地毯(Sierpinski Carpet)混同了，本文引用时对名称进行了纠正。

见于白居易《登观音台望城》诗。后两句为“遥认微微入朝火，一条星宿五门西。”

在系统科学中，“次优”是一种在局部看来最优、但整体效果有害的伪优化状态。

在国内有关的城市规划论著中，一般将open space译为“空地”，相应的，vacant land则应译为“休闲地”或者“备用地”了。但是，这种译法似乎容易产生语义混淆。因为在英文中，open space是一个强调绿色生态的概念，用汉语的“空地”与之对应有些词不达意。参见Kaye, 1989，即文献[20]。

1998年，笔者和刘继生博士一起考察东北城市，图们市的一位海关关长（前图们副市长）

指出了图们市建设“见缝插针”将会导致旧城改造困难的问题。图们是一个约有十几万人口的边境小城,情况尚且如此,其它大型城市情形可想而知。

笔者曾与周一星老师探讨分形城市形态与城市规划问题,周先生提出地震等灾害的减、防问题。

标度因子又叫异速生长系数,关于它与分维的关系,英国的巴迪(M. Batty)日本的高安秀树(H. Takayasu)和笔者看法不尽相同,但这种不同的认识目前看来并不影响它在规划中的应用。

图6中 $AB+BC=CD$, $BC+CD=DE$, $CD+DE=EF\dots$,这正是导致黄金分割的菲波那契(Fibonacci)数列: AB/BC BC/CD CD/DE DE/EF 0.618;图形的生成数为 $N=5$,相似比 $r=2.618$,根据前面的公式,分维为 $D=\ln 5/\ln 2.618=1.672$,与城市形态的平均维数接近。

其实,未来普及分形思想未尝没有可能。美国科学家惠勒(J. Wheeler)曾说:“明天,谁要是不知道分形,它就不能算是科学上的文化人。”巴迪(M. Batty)是英国伦敦大学大学学院空间分析与规划(Spatial Analysis and Planning, UCL)教授——世界著名城市规划大师阿伯克隆比(P. Abercrombie)就出自这个学院。2003年12月20日,巴迪教授应周一星先生邀请到北京大学做了题为“分形城市与地理学(Fractals, Cities & Geography)”的学术报告。巴迪教授非常关心分形城市规划研究,但他认为目前应该着重解决基础理论问题。

① 笔者在1999年曾经与出身生物学的同事合作研究人体和狗体的动脉血管分形结构。结果表明,人体血管的分维在大自然规定的2-3之间,但狗体血管不然,有时大于3,有时又小于2。由此我们类比到城市,从理论上讲,城市的维数也应当有一个合理的范围,从而应该有“人城”、“狗城”、“猫城”之分。有人可能对生物体与城市相似性的类比表示怀疑,其实大自然中许多看来毫不相关的现象遵循着相同的自然规律。最早开展城市、河流、生物体类比研究并取得重要成果的是美国布法罗纽约州立大学(SUNY-Albany)地理系的沃登堡(M. Woldenberg)教授。他的开创性人-地类比工作对今天的分形城市研究的确具有重要启发意义。

参考文献(References)

1 Portugal i J. Self-Organization and the City [M]. Berlin: Springer-Verlag, 2000.

- 2 陈彦光. 自组织与自组织城市[J]. 城市规划, 2003, 27(10): 17-22.
- 3 Mandelbrot B B. The Fractal Geometry of Nature [M]. New York: W.H. Freeman and Company, 1983.
- 4 Batty M, Longley P A. Fractal Cities: A Geometry of Form and Function [M]. London: Academic Press, Harcourt Brace & Company, Publishers, 1994.
- 5 Frankhauser P. La Fractalité des Structures Urbaines [M]. Paris: Economica, 1994.
- 6 Arlinghaus S. Fractals Take a Central Place [J]. Geografiska Annaler, 1985, 67B, 2: 83-88.
- 7 Arlinghaus S L, Arlinghaus W C. The Fractal Theory of Central Place Geometry: a Diophantine Analysis of Fractal Generators for Arbitrary Looschian Numbers [J]. Geographical Analysis, 1989, 21: 103-121.
- 8 White R, Engelen G. Cellular Automata and Fractal Urban Form: a Cellular Modeling Approach to the Evolution of Urban Land-Use Patterns [J]. Environment and Planning A, 1993, 25: 1175-1199.
- 9 White R, Engelen G, Uljee I. The Use of Constrained Cellular Automata for High-Resolution Modeling of Urban-Land Dynamics [J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 1997, 24: 323-343.
- 10 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.
- 11 陈彦光, 刘继生. 城市体系分形特征的初步研究[J]. 人文地理, 1994, 9(1): 26-30.
- 12 陈勇, 艾南山. 城市结构的分形研究[J]. 地理学与国土研究, 1994, 10(4): 36-41.
- 13 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.
- 14 Bossomaier T, Green D, 著. 陈禹 等. 译. 沙地上的图案: 计算机、复杂和生命 [M]. 南昌: 江西教育出版社, 1999.
- 15 林鸿溢, 李映雪. 分形论——奇异性探索 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1992.
- 16 Batty M. Cities as Fractals: Simulating Growth and Form [A]. In: A J Crilly, R A Earnshaw, H Jones. Fractals and Chaos [C]. New York: Springer Verlag, 1991, pp43-69.
- 17 Crompton A. The Fractal Nature of the Everyday Environment [J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2001, 28: 243-254.
- 18 Crompton A. Fractals and Picturesque Composition [J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2002, 29: 451-459.
- 19 Bovill C. Fractal Geometry in Architecture and Design [M]. Boston: Birkhauser, 1996.

(下转第51页)

- 城市发展战略规划”为例[J].城市规划汇刊, 2003(5): 68-71.
- 6 赵民, 栾峰. 城市总体发展概念规划研究刍论[J]. 城市规划汇刊, 2003(1): 1-6.
- 7 李晓江. 关于“城市空间发展战略研究”的思考[J]. 城市规划, 2003(2): 28-34.
- 8 王微波, 陶咏椿. 概念规划编制框架——以慈溪为例[J]. 城市问题, 2002(6): 9-12.
- 9 王凯. 从西方理论看我国规划理论建设之不足[J]. 城市规划, 2003(6): 66-71.
- 10 顾朝林, 等. 概念规划: 理论、方法、实例[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- 11 王慧. 新城市主义的理念与实践、理想与现实[J]. 国外城市规划, 2002(3): 35-38.
- 12 沈清基. 新城市主义的生态思想及其分析[J]. 城市规划, 2001(11): 33-38.
- 13 桂丹, 毛其智. 美国新城市主义思潮的发展及其对中国城市设计的借鉴[J]. 世界建筑, 2000(10): 26-30.
- 14 唐历敏. 人文主义规划思想对我国旧城改造的启示[J]. 城市规划汇刊, 1999(4): 1-3.
- 15 周素红, 蓝运超. 人本思想综述及其在城市规划中的体现[J]. 现代城市研究, 2001(2): 25-28.
- 16 邓平, 周波. 在人居环境建设中对“人本主义”思想的探索[J]. 四川建筑, 2003(3): 3-5.
- 17 曲凌雁. 城市人文主义的兴起、发展、衰落和复兴[J]. 城市问题, 2002(4): 6-8.
- 18 [美]约翰·M·利维, 著, 张锦秋, 等, 译. 现代城市规划[M]. 中国人民大学出版社, 2003.
- 19 孙施文. 规划的本质意义及其困境[J]. 城市规划汇刊, 1999(2): 6-9.
- (上接第40页)
- 20 Kaye B H. A Random Walk through Fractal Dimensions[M]. New York: VCH Publishers, 1989.
- 21 Wang F H, Zhou Y X. Modeling Urban Population Densities in Beijing 1982-90: Suburbanisation and its Causes[J]. Urban Studies, 1999, 36(2): 271-287.
- 22 陈彦光. 城市体系 Koch 雪花模型的实证研究——中心地 K3 体系中的分形与分维 [J]. 经济地理, 1998, 18(4): 33-37.
- 23 Wong D, Fotheringham A S. Urban Systems as Examples of Bounded Chaos: Exploring the Relationship between Fractal Dimension, Rank-Size, and Rural to Urban Migration [J]. Geografiska Annaler B, 1990, 72: 89-99.
- 24 陈勇, 陈嵘, 李后强, 等. 城市规模分布的分形研究[J]. 经济地理, 1993, 13(3): 48-53.
- 25 陈彦光. 中国的城市化水平有多高?——城市地理研究为什么要借助分形几何学[J]? 城市规划, 2003, 27(7): 12-17.
- 26 周一星. 主要经济联系方向论[J]. 城市规划. 1998(2): 22-25.
- 27 Benguigui L, Czamanski D, Marinov M, Portugal i Y. When and Where is a City Fractal [J]? Environment and Planning: Planning and Design, 2000, 27: 507-519.
- 28 White R, Engelen G. Urban Systems Dynamics and Cellular Automata: Fractal Structures between Order and Chaos [J]. Chaos, Solitons & Fractals 1994, 4(4): 563-583.
- 29 同济大学, 主编. 城市规划原理(第二版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996, P16.
- 30 Gleick J, 著 张淑誉, 译. 混沌开创新科学[M]. 上海: 上海译文出版社, 1991, P126-127.
- 31 普兰(Pullan W), 巴德师雅(Bhadesia H), 主编. 曹博, 译. 科学与艺术中的结构[M]. 北京: 华夏出版社, 2003.
- 32 Barabási A-L. Linked: The New Science of Network[M]. Massachusetts: Persus Publishing, 2002.
- 33 Barabasi A-L, Bonabeau E. Scale-Free Networks [J]. Scientific American, 2003, (7): 50-59.
- 34 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.
- 35 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.
- 36 Lee Y. An Allometric Analysis of the US Urban System: 1960-80[J]. Environment and Planning A, 1989, 21: 463-476.
- 37 Takayasu H. Fractals in the Physical Sciences [M]. Manchester: Manchester University Press, 1990
- 38 陈彦光, 许秋红. 区域城市人口—面积异速生长关系的分形几何模型——对 Nordbeck-Dutton 城市体系异速生长关系的理论修正与发展[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 1999, 12(2): 198-203.
- 39 Mandelbrot, B B. Fractals: Form, Chance, and Dimension [M]. San Francisco: W. H. Freeman, 1977.
- 40 Batty M. The Fractal Nature of Geography [J]. Geographical Magazine, 1992, 64(5): 33-36.