

【文章编号】1002 - 1329 (2003) 10 - 0017 - 06

自组织与自组织城市 *

陈彦光

【摘要】自组织理论和方法在当代城市地理学和规划理论的前沿领域有着非常重要而深刻的应用,这方面的研究工作已经有30多年的历史乃至更早。文章评介了自组织城市理论、模型和自组织城市规划思想与方法,解释了自组织概念的基本含义,分别介绍了自组织城市研究的7个重要领域:耗散城市、协同城市、混沌城市、分形城市、细胞城市、沙堆城市以及FACS和IRN城市,讨论了基于自组织研究的空间复杂性问题。

【关键词】自组织; 自组织城市; 城市

SELF - ORGANIZATION AND SELF-ORGANIZING CITIES

CHEN Yanguang

ABSTRACT: Self-organization is the central property of city as a complex system and it became a leading paradigm in the study of cities and urbanism. In the paper, the theories and models of self-organizing cities involving seven fields are illustrated: Dissipative Cities, Synergetic Cities, Chaotic Cities, Fractal Cities, Cellular Cities, Sandpile Cities, FACS (free agents on a cellular space) Cities and IRN (inter-representation network) cities. The intersection of the above - mentioned seven fields is spatial complexity reflecting the levels of self - organization of cities.

KEYWORDS: self-organization; self-organizing cities; self-organized criticality; spatial complexity

* 国家自然科学基金资助项目的部分内容 (项目编号: 40071035)。

【中图分类号】TU984

【文献标识码】A

1 引言

2000年,以色列特拉维夫大学地理与人文环境系学者波图戈里(J. Portugali)发表名为《自组织与城市》的理论专著,协同学的创始人、对自组织城市素有研究的德国著名科学家翰肯(H. Haken)在为该书作序时指出:“城市是自组织系统”,是一种包含革命概念的新思想^[1]。实际上,自组织城市研究可以追溯到艾伦(P. M. Allen)早年的工作及其与耗散结构理论创始人普里戈金(I. Prigogine)的合作成果^[2,3]。早在1970年中期,艾伦就曾基于耗散结构的模拟分析证明:城市是突现(merge)于局部行为的自组织结构的深刻范例^[2~4]。从耗散城市(Dissipative Cities)到协同城市(Synergetic Cities)、混沌城市(Chaotic Cities)、分形城市(Fractal Cities)、细胞城市(Celluar Cities,或译“元胞城市”)、沙堆城市(Sandpile Cities)以至FACS和IRN城市^[1],自组织城市(Self-organizing Cities)思想和理论自始至终沿着科学演进的前沿方向逐步成长,而有关成果在理论发展的同时也向传统的城市规划与管理的思想提出了严峻的挑战。

在西方社会,城市规划的制度化历史已逾百年,我国的理论工作者和规划师也早就开始研究和实践城市规划。“然而”翰肯不无遗憾地指出,“规划师的二难困境(the planner's dilemma)正在变得日益明确:城市和超级

城市(megacities)似乎是不可规划的(unplannable)。^[1]正如气象学家搞了几十年的天气预报,忽然发现长期天气预报是不可能的^[5]一样,这是一个令人气馁的消息,但也振聋发聩:地理学家和城市规划师们原本早就应该改变思维方式。

近年来,国外学者已经基于自组织城市的理论研究成果提出了自组织规划(self-organizing planning)的全新思想,旨在调和“规划”和“不可规划”的理论纷争和现实矛盾^[1]。对于城市规划事业而言,自组织规划是一种革命性的思想,毕竟“城市本身是有一定的学习功能的系统,具有一定的自适应性和自组织性。许多规划建设中考虑不到而实际生活中必须解决的问题,往往通过这种功能得以暂时解决。”^[6]如果自组织城市规划方法发展起来,其理论意义和应用价值也许更为深远。然而,迄今为止,我国学者对国外自组织城市领域缺乏全面的认识。虽然也有少数文章介绍了国外学术界的有关信息,但论述准确的为数不多,提出创新理论者更其寥寥。事实上,我国学者在提出“淡化现行的城市发展方针”的时候,也就在自觉地运用自组织城市的有关思想^[7,8],而“主要经济联系方向”论则是对自组织城市理论的直接贡献^[9],有关问题今后还要深入探讨。

2 自组织与自组织理论

自组织是开放的复杂系统的基本属性。自组织的理论含义在于:如果向系统注入能量使得一定的参数达到某个临界值,系统往往会自动形成某种秩序和模

型。通俗地讲，当系统演化无需外界的特定干扰、仅依靠系统内部各要素的相互协调便能达到某种目标时，我们说系统是自组织的^[10]。早期的科学家们提出“自组织”这一概念的原因主要在于发现了系统演化的一个特性，即非因果律（non-causality）。也就是说，在一定条件下，作用于系统的外在力量并不能决定系统的内部行为，而是激励系统自发形成某种有序组织的内在、独立过程。后来的研究涉及到更为复杂的系统演化机制。今天，与自组织有关的概念包括非线性（nonlinearity）、复杂性（complexity）、对称破缺、非平衡（nonequilibrium）、不稳定（instability）、分形结构与混沌等我们耳熟能详的众多术语。在物理、化学和生物等许多系统中都会发生自组织，特别是当系统被迫远离热力学平衡状态的时候。一个经典的实例是所谓的贝纳德（Bénard）元胞，这种六边形花样的出现似乎是某种外力作用的结果，但这种外力并不存在——空间秩序自发地产生，这种过程便是自组织。

自组织系统都是进化系统，进化过程曾经令热力学第二定律发生迷惑，这个难题直到耗散结构等自组织理论诞生以后才得以澄清。我们知道，根据热力学第二定律，一个孤立或封闭的系统，熵是单向增加的，即随着时间的推移，系统会变得越来越无序。但是，自组织系统是面向环境的开放系统，它们随时可能与环境交换物质、能量和信息，从而将热力学熵转移到环境。因此，自组织系统有序状态的形成和发展与热力学第二定律并不冲突。

自组织理论包括耗散结构论、协同学、超循环理论、突变论、混沌理论、分形理论、细胞自动机理论（在此基础上发展了广义的细胞自动机理论，即细胞空间理论）、沙堆理论（自组织临界理论）等。这些理论如今构成了阵容强大的自组织学科群，

表 1 自组织城市理论和模型的理论基础与创建人

自组织城市类型	理论基础	理论基础的奠基者	基础理论的发展者
耗散城市	耗散结构论	普里戈金	艾伦及其合作者
协同城市	协同理论	翰肯	卫里奇、翰肯、波图戈里及其合作者
混沌城市	混沌数学	洛伦兹、约克等	邓德里诺等
分形城市	分形几何	曼德布罗	班迪、隆雷、弗兰克豪斯
细胞城市	细胞自动机模型	图凌、纽曼等	库柯勒里及其合作者，等
沙堆城市	自组织临界模型	班克及其合作者	班迪及其合作者
FACS 和 IRN 城市	细胞空间模型	纽曼	波图戈里及其合作者

当代城市科学的前沿领域正在与这些理论发生意义深远的学术交融。

城市是一种开放的系统，城市时刻都在与环境交换物质、能量和信息。城市生长的过程，本质是一种自下而上的演化过程。城市和城市体系，无论在计划经济时代抑或自由市场国家，都是一种自组织系统，只不过自组织演化能力有一定差别，这种差别通常影响着不同国家城市发展的水平高低及其功能的强弱。近 20 多年以来，中国城市有两次重大的变化契机：一是 1980 年代初期的“改革开放”，这项政策使得中国城市由地方性“半开放系统”逐渐变成了社会意义的“开放系统”；二是 1990 年代初期社会主义“市场经济体制”的确立，这项政策使得中国城市由“自组织能力较弱的系统”逐渐变成了“自组织能较强的系统”。这是中国城市变化的两大关键时期。从自组织的视角可以更为深刻地认识中国城市化过程和城市系统的现实状况，为此我们需要了解自组织城市理论与模型。

3 自组织城市理论与模型

下面分别论述 7 种自组织城市模型的主要思想（表 1）。

3.1 耗散城市

耗散城市是普里戈金的耗散结构（dissipative structure）理论在城市和城市体系方面应用的成果，由艾伦及其合作者发展起来。我们知道，1980 年代中国地理学界津津乐道的耗散结构理论有两个基本观点：其一，开放

条件下的非平衡和非线性是有序之源；其二，自组织系统通过涨落达到有序^[11]。根据这种思想，自组织过程实则“从混沌到有序”的演化过程。普里戈金的自组织理论特别强调耗散过程，一个可取的出发点可能在于波茨曼（Boltzmann）的有序原理与贝纳德实验的相互结合^[1]。熟悉区位论的学者自然会由贝纳德元胞联想到克里斯塔勒和廖什中心地六边形景观。令人惊叹的是，艾伦及其合作者在一系列的研究中借助耗散结构理论模拟生成了静态的克里斯塔勒和廖什中心地空间图式，并发展了若干模型系列处理中心地等级景观，包括城市内部标度和城市体系^[1,11]。

3.2 协同城市

协同城市概念来自协同学在城市地理学领域的应用^[12]。协同学主要探讨部分、个体、子系统、组群共同工作的规律和机理^[13]。可见，翰肯的自组织理论着重于一个系统内部各个组成部分的相互关系、相互作用、整合效果（synergy）及其宏观结构和整体行为。简而言之，协同学的核心方法指南是“寻找宏观尺度的性质变化”^[14]。如果一个非线性运动方程有许多变量，这些变量可以划分为快变量和慢变量，而最终只有少数的慢变量才能发展为序参量（order parameter）主宰系统的宏观演化动力学^[15]。可见，决定系统发生临界相变的控制参量（control parameter）只能是慢变量而非快变量。序参量导致微观个体形成宏

观秩序的原理即所谓伺服原理 (slaving principle), 因为在序参量发生决定作用的过程中, 快变量仿佛成了序参量的伺从, 前者听候后者“发号施令”。如果将城市和城市化 (urbanism) 过程分为快过程和慢过程, 则快过程代表局部城市微观尺度上的建筑场所、街道、地铁等, 而慢过程则代表宏观尺度的整个区域, 一般表征为城市体系^[1]。快、慢过程的相互关系可以用伺服原理进行描述: 一方面, 区域系统作为局部城市微观结构演化的环境和边界条件; 另一方面, 区域的宏观结构又是局部结构的整体结果。根据这种局部与整体的因果循环, 研究整体的区域系统需要假定快的局部过程适应慢的区域过程, 而研究局部城市过程又要将区域视为给定的环境条件 (context), 在此前提下理当研究局部与整体的复杂相互作用。

3.3 混沌城市

混沌理论兴起以后, 很快影响到城市地理学领域^[16]。混沌与自组织过程有关, 许多经历自组织转变的系统也会经历混沌 (chaos) 转变。混沌理论有三个中心原则: 其一是简单与复杂的关系原则: 简单的确定性系统能够产生复杂的行为, 这种行为为一般不可预见; 其二是条件与结果的关系原则: 混沌系统对初始条件具有敏感依赖性, 或者形象地称为“蝴蝶效应 (butterfly effect)”; 其三是有序与无序的关系原则: 无序之中隐含有序, 有序的结构可以在空间中表现出来^[17]。其实, 自组织可视为关于混沌与秩序的一种理论: 混沌的系统通过自组织达到有序。研究发现, 局部的或微观的混沌与宏观的确定性混沌是两种不同的形态: 局部的混沌在于复杂系统中众多个体的无规则运动和行, 而确定性混沌则是系统自组织——例如, 大量个体突然被吸引子 (attractors) 吸引, 或者伺服于某些序参量——和协调运动的一种结果^[1]。耗散结构论和协同学都非常重视混沌研究, 前者

认为有序化过程在于耗散, 而后者则认为这种过程在于系统组成部分的相互协作。但是耗散结构理论和协同学主要研究微观混沌, 而混沌理论主要关注确定型混沌。邓德里诺 (D. S. Dendinos) 等将混沌思想引入城市研究, 提出城市就是混沌吸引子 (chaotic attractor) 的思想^[18], 他们的工作为后继者精确地运用混沌思想研究城市 and 城市化过程奠定了基础。

3.4 分形城市

《分形城市》是班迪 (M. Batty) 和隆雷 (P. Longley) 于 1994 年发表的一部研究专著, 主要论述城市形态和功能的分形几何学^[19]。同年弗兰克豪斯 (P. Frankhauser) 用法文发表专著《分形城市结构》^[20]。实际上, 曼德布罗 (Mandelbrot) 在创造分形理论的过程中, 曾经受到许多地理现象包括城市的启发, 并在城市规模分布方面从事过研究, 城市规模分布在分形城市或城市分形 (city fractals) 是非常关键的突破口^[5, 21], 明确这个问题已是后话。分形的原意为破碎和不规则, 其基本特性是自相似性 (self-similarity)。城市形态和结构表面看来没有规则, 实则隐含着自相似规律。正因为如此, 班迪等将城市视为分形体, 并且基于分形思想研究城市的形态与结构、生长与演化^[19], 而邓德里诺则将城市视为奇异吸引子 (strange attractor) 即混沌吸引子^[18], 奇异吸引子的最大特点是自相似结构。不过, 奇异吸引子的分形结构与一般所谓分形是有区别的: 前者处于混沌状态, 但不具备复杂结构; 后者则位于混沌的边缘 (the edge of chaos), 具有复杂性的深刻特征^[22]。

一个分形体有三个构成要素, 即形态 (form)、机遇 (chance) 和维数 (dimension)^[21]。形态对应于空间, 机遇对应于时间, 维数对应于信息。不言而喻, 时间、空间和信息正是我们分析和理解城市的关键所在。分形城市研究对我们直觉地理解自

组织城市的序参量和定态 (steady-state) 图式具有重要意义: 城市由少数序参量控制或者是一种定态图式并不意味着稳定与平衡, 克里斯塔勒和廖什的中心理论就是一个明显的例证。根据已知的有序原理, 自组织城市是一种丰富而又复杂的演化过程^[1]。分形城市是自组织城市研究领域中最有活力的领域, 这个领域的研究工作方兴未艾。

3.5 细胞城市

细胞城市又称细胞自动机城市 (Cellular Automata Cities), 简称“CA 城市”^[23]。CA 理论最早由 20 世纪最伟大的科学家之一的纽曼 (von Neumann) 等开创, 1960 年代被引入地理学。1980 年代以后, 由于分形研究的崛起, 人们发现 CA 可以产生复杂的分形图式, 从此出现研究热潮, 而 CA 城市研究也应运而生。

一个 CA 模型具有四个基本构成要素, 即用于模拟的细胞 (cells)、细胞的状态 (states)、邻位 (neighborhood) 的定义和状态转换规则 (rules)。有了这四个要素, 我们就可以对城市结构和形态的演化进行模拟。CA 的状态转换规则是局部的, 用于表示一个细胞及其紧邻的关系。CA 模型最为引人入胜的功能在于: 可以借助一组简单的局域性规则生成复杂的全局性结构和行为。常规的自组织研究主要借助微分方程进行冗长乏味的计算, 但有关计算未必能够给出有效的定性分析结果; 而基于 CA 网络模拟的简单系统分析则可以揭示更多的因果关系。因此, CA 模型被广泛用于模拟研究自组织过程。

CA 模型本质上是一种离散动力系统, 该系统中细胞阵列的状态取决于邻位细胞的状态^[24]。现实中的城市是由房屋、场地、街区以及诸如此类的离散空间单元构成, 这些单元可由不同状态的细胞表征。实际上, 城市与 CA 模型有许多相似的特征, 从而运用 CA 模拟自组织城市的空

间动力学就是理所当然的事情。

3.6 沙堆城市

自组织临界性 (self-organized criticality) 是当代复杂科学的重要概念, 而沙堆 (sandpile) 则是自组织临界性的典型实例。美国前副总统戈尔 (S. A. Gore) 在其《濒临失衡的地球》一书中对沙堆理论有较为详细的介绍^[25], 这种理论首先由丹麦学者班克 (P. Bak) 及其合作者发展起来^[22]。设想一堆沙子, 在沙堆上不断添加沙粒。随着沙堆的增长, 出现越来越大的沙崩 (avalanche)。当沙堆高到一定程度, 各种规模的沙崩都会出现, 于是系统进入一种统计意义的稳定状态: 关联长度为无穷大。类比为平衡热力学系统可知, 这种状态实则一种自组织的临界状态, 因为系统进入这种临界状态无需外部力场的调节, 似乎是一种不可避免的趋势。沙堆具有两种互不协调的特征: 系统在许多区位是不稳定的, 但临界状态却是绝对鲁棒的 (robust): 一方面, 像沙堆的局部面貌这种特征因为沙崩而随时变化; 另一方面, 诸如沙崩的规模分布这类统计性质却基本保持不变^[26]。

由沙崩规模分布的稳定性容易联想到城市规模分布的稳定性。曼登 (C. H. Madden) 曾利用 1790 ~ 1950 年 10 年一次的城市资料进行分析, 发现在这 160 多年的漫长岁月里, 城市位序在微观层次上发生过多次交换, 但宏观层次上的位序—规模分布则稳定地向前发展, 没有发生明显的类型转变^[27, 28]。“对于人文地理学家和城市化的研究者而言, 上述所谓‘沙崩规模分布几乎保持不变’的统计观察结果立即使我们想到熟悉的‘位序—规模法则’之类的实例, 根据这种法则城市规模分布在人口持续增长的条件几乎保持不变。^[11]像位序—规模分布之类的城市地理学规律, 过去一直缺乏有效的理论解释, 如今自组织临界性可以提供洞察这种规律的全新视角。

与耗散结构论和协同学之类的“大牌 (grand)”理论相比, 沙堆理论的应用范围相对狭窄, 但其思想却非常独到。近年来, 沙堆城市与分形城市、细胞城市渐趋融合, 城市地理学的理论创新必将得益于这种融合。

3.7 FACS 和 IRN 城市

FACS (free agents on a cellular space) 意为“细胞空间上的自由智能体”, 是一种自组织城市模型的名称; 而 IRN (inter-representation network) 则是指“相互表示网络”, 描写的是 FACS 的动力学^[1]。FACS 城市模型的理论基础是广义的 CA 模型—细胞空间 (cellular space, CS) 模型以及人工生命 (artificial life, ALife) 等复杂性科学。设想一个两层次的城市游戏 (city game) 模型, 基础结构 (infrastructure) 层次是定义于 2 维细胞空间上的常规 CA 城市, 而上层结构 (superstructure) 则是单个的自由智能体 (free agent), 这种智能体能够自由地运动于整个“城市”的细胞之间。每个智能体就是一个自组织系统或者潜在的居民: 自由智能体有自己过去的经历 (有“记忆”), 也可以规划自己的未来 (有“智力”), 还可以有意识的行动 (有“目的”)。它们可以看到局部环境之外, 但其观察具有主观性并且受制于认知地图 (cognitive maps), 由认知地图决定它们在城市中的行动和行为。FACS 城市的动力学可以简单地描述如下: 在两种不同层次上有两个自组织子系统, 它们共同形成具有内、外两种表示的单一网络, 它们的行为则反映一种因果循环即反馈链条。在局部尺度上单个自由智能体表征城市的组成部分, 但非普通的组成部分, 而是一种自组织系统。单个自由智能体的活动决定城市, 而城市可视为智能体行动和行为的外部表示; 另一方面, 在整体尺度上, 作为自组织系统的整个城市又反过来决定个体的内部表示即认知地图, 并通过内部表示决定个体的行动和行为。借助上述

模型和动力学, 波图戈里及其合作者根据自组织思想模拟了城市人口迁移动力学^[1]。研究发现, 城市动力学必需一种新的城市文化群体的突现, 这种新文化群体则是后现代城市和超现代城市的典型现象。

4 自组织城市与空间复杂性

复杂性是一个系统的自组织水平的度量, “探索复杂性”是新世纪科学的明确主题。自组织城市研究的核心课题之一就是空间复杂性 (spatial complexity)。在物理系统中, 复杂性总是与破坏的对称 (broken symmetry)、系统在不同状态之间进行相变 (phase transitions) 的能力以及空间上的长程相干性 (coherence) 等概念有关。对于一个系统而言, 不需要太多的自由度, 复杂性就会发生。当系统被迫远离热平衡状态并通过自组织进入有序状态的时候, 复杂性结构常常出现, 前述贝纳德元胞就是一个典型的实例, 地理学家和规划师自然由此想到克里斯塔勒—廖什的中心地景观。复杂性科学的兴起主要得益于计算机技术的支持, 当一个系统不可能分析地描述的时候, 计算机模拟和数值计算就会发挥巨大作用。

空间复杂性研究与前述自组织城市理论和模型是不可分割的, 可以认为, 空间复杂性是各种自组织城市模型的核心。怀特 (White) 等研究发现, “在自组织过程中复杂结构的出现取决于有序与无序之间的一种平衡。事实上, 进化的结构可以刻画成有序与无序的精巧结合。^[24]具体到城市问题, 也是这种情况: “直观地, 我们在城市中看到的复杂性似乎在表达一种有序与无序之间的矛盾运动; 经验上则已证明城市具有分形结构。^[29]从定量的角度, 复杂性可以定义为自组织系统表明自身的方式数目的对数, 或者系统可能状态数目的对数。这种定义显然就是著名的 Shannon 信息熵。城市地理系统的 Shannon 熵部分是可以计算的, 但多数情况下特

别是空间信息熵无法有效计算^[30]，于是我们需要等效的参数刻画空间复杂性，于是分维(fractal dimension)就成了首先的测度。研究证明，Hausdorff 维数(基本的分维)与 Shannon 熵、Kolmogorov 复杂度数理等价^[31]。西方学者曾经借助 CA 模型模拟出美国城市土地利用的分形图式，“这种图式的本质特征是其空间复杂性，即结构出现于全部尺度范围：从个体元胞尺度到整个城市尺度。定量地，复杂性体现为分维的集合，借助这些测度可以将细胞城市与现实城区进行比较，后者已被证明可以采用类似的分维刻画。”^[24]可以想见，分形维数将会成为刻画空间复杂性的重要定量判据之一。

探索空间复杂性需要运用两种工具，一是数学理论，二是计算机模拟方法。数学工具主要倚重混沌数学、分形几何等后现代数学理论，计算机模拟则着重借助 CA 模型和 CS 技术^[32,33]。前者有助于我们建立复杂空间系统的逻辑法则，后者则可以帮助我们揭示系统演化的因果关系。过去，地理学由于实验手段的短缺，学科发展长期滞后。如今，计算机模拟实验室终于可以弥补传统地理研究不可实验性的不足。但是，模拟并不能帮助我们在概念这一更高的层次上理解系统行为规律，数学模型始终是我们认识自然法则的有效手段。CA 理论的奠基人纽曼曾经指出，科学研究的主要任务是建立数学模型^[34]，而好的数学模型不仅可以用于对系统进行解释和预言，更重要的是活跃思想和提出新的尖锐问题^[35]。概念层次的问题必然倚重数学方法，而解释和预测更是规划不可或缺的必然程序。

5 结语

讨论至此，问题自然涉及城市规划问题。规划，顾名思义，涉及两个基本层次的概念，一是预测，二是控制。所有的规划，既不是针对过去，也不是处理当前，规划无一例外都是面向未

来。这就要求规划师具备预测未来事件发展的能力。另一方面，特别是在命令经济体制影响深远的国家，规划含有某种程度的控制色彩，即假定被规划的对象是可以通过外力进行组织的。可见规划在某种程度上是一个“他组织”的概念，这与“自组织”是背道而驰的。但是，城市作为一种自组织的复杂空间系统，其本身是不可预测(unpredictable)和不可控制的(uncontrollable)，从而也就是不可规划的(unplannable)^[1]。幸运的是，根据自组织理论和方法，我们可以从全新的角度开展城市规划的理论探讨和实践工作。传统的城市规划是一种自上而下的活动，而现实中的城市演化却是一种自下而上的行为。直到近 10 年来，城市规划的基本观念才由于自组织理论的发展而有所改观。1995 年，英国科学院的班迪院士在英国《自然》杂志上撰文指出：“在过去 10 年里，地理学家和规划师在城市生长与形态方面的思考方式发生了巨大变化。”^[4]变化的动力源于复杂空间理论的发展，而变化的结果对城市规划和管理影响至深：“早在 100 多年前，城市规划在西方社会就已制度化了，但始终保持为一种自上而下的活动(top-down activity)。随着社会的日渐多元化以及基于命令经济的中央计划(central planning)的崩溃，旧有的规划观念已趋式微了。理解复杂系统必须从头开始，毕竟管理复杂性的现实方式已经形成。”^[4]看来，中国的地理学家和规划师们也该改变思维方式。

注释 (Notes)

由贝纳德(Bénard)所做的一个实验结果。用两块平行的玻璃板做成容器，盛水之后，在底部加热，水体由于温差发生对流。当温度达到某个临界值，水面突然出现六边形花样，这是一种非外力强制的有序结构，其形态类似中心地景观，故地理学家由此联想到克里斯塔勒和廖什的中心地理论的自组织机制。混沌学家有个比喻：一个蝴蝶在巴

西煽动一下翅膀，可能在美国德克萨斯引起一场龙卷风。开端的毫厘之差可能导致结果的千里之异，这就是对初始条件的敏感依赖性。

沙堆实验最开始是在计算机上模拟进行的，在现实中用米粒实验才能得到理想的效果。从这个意义上讲，“沙堆城市”也许应该改称“米粒城市”。不过“沙堆城市”已经约定俗成，故地理学界仍然沿用这一概念。

鲁棒(robust)原意为“强健，坚固”。作为一个科学名词，主要是指系统特殊的稳定性质。

参考文献 (References)

- Portugali J. Self-Organization and the City [M]. Berlin: Springer-Verlag, 2000.
- Allen PM, Sanglier M. Urban evolution: self-organization and decision-making [J]. Environment and Planning A, 1981 (13): 167 - 183.
- Allen PM. Self-organization in the urban system [A]. In: Schieve WC, Allen PM. Self-Organization and Dissipative Structures: Applications in the Physical and Social Sciences. Austin: University of Texas Press, 1982, 142 - 146.
- Batty M. Fractals: New Ways of Looking at Cities [J]. Nature, 1995, 377, 574.
- Geick J. 著. 张淑誉, 译. 混沌开创新科学 [M]. 上海: 上海译文出版社, 1991.
- 周干峙. 城市及其区域——一个典型的开放的复杂巨系统 [J]. 城市规划, 2002, 26 (2): 7 - 8, 18.
- 周一星. 主要经济联系方向论 [J]. 城市规划, 1998 (2): 22 - 25.
- 周一星. 人文地理研究能为制订国家政策和贡献: 以城市发展方针研究为例 [J]. 人文地理, 2001, 16 (2): 1 - 5.
- 周一星. 主要经济联系方向论 [J]. 城市规划, 1998 (2): 22 - 25.
- 许国志, 主编. 系统科学 [M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2000.
- Prigogine I, Stengers I, 著. 曾庆宏, 沈小峰, 译. 从混沌到有序——人与自然的新对话 [M]. 上海: 上海译文出版社, 1987.

12 Haken H. A synergetic approach to the self-organization of cities and settlements [J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 1995, 22 (1): 35 - 46.

13 Haken H, 著. 凌复华, 译. 协同学——大自然构成的奥秘 [M]. 上海: 上海译文出版社, 2001.

14 Haken H, 著. 郭治安, 吕翎, 译. 大脑工作原理——脑活动、行为和认知的协同学研究 [M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2000.

15 Weidlich W. From fast to slow processes in the evolution of urban and regional settlement structures: the role of population pressure [A]. In: Population, Environment and Society on the Verge of the 21st Century (J. Portugali, ed.). A special theme issue, Discrete Dynamics in Nature and Society, 1999.

16 Dendinos DS. Sonis M. Chaos and Social Spatial Dynamics [M]. New York: Springer-Verlog, 1990.

17 Malanson GP. Bulter D. Walsh SJ. Chaos Theory in Physical Geography [J]. Physical Geography, 1990, 11 (4): 293 - 30.

18 Dendinos DS. Cites as spatial chaotic attractors [A]. In: Chaos Theory in the Social Sciences: Foudations and Applications (L. D. Kiel, E Elliott, eds.). Ann Arbor, MI: The University of Michigan Press, 1996, 237 - 268.

19 Batty M, Longley PA. Fractal Cities: A Geometry of Form and Function [M]. London: Academic Press, Harcourt Brace & Company, Publishers, 1994.

20 Frankhauser P. La Fractalit édes Structures Urbaines [M]. Paris: Economica, 1994.

21 Mandelbrot BB. The fractal Geometry of Naure [M]. New York: W. H. Freeman and Company, 1983, 334 - 345.

22 Bak P, 著. 李炜, 蔡勖, 译. 大自然如何工作——有关自组织临界性的科学 [M]. 武汉: 华中师范大学出版社, 2001.

23 陈彦光, 周一星. 细胞自动机与城市系统的空间复杂性模型: 历史、现状与前景 [J]. 经济地理, 2000, 20 (3): 35 - 39.

24 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.

25 Gore SA, 著. 陈嘉映, 等, 译. 濒临失衡的地球 [M]. 北京: 中央编译出版社, 1997.

26 Bak P, Chen K, Creutz M. Self-organized Criticality in the Game of Life [J]. Nature, 1989, 342: 780 - 782.

27 Madden CH. On some indications of stability in the growth of cities in the United States [J]. Economic Development and Culture Change, 1956 (4): 236 - 252.

28 周一星. 城市地理学 [M]. 北京: 商务印书馆, 1999.

29 White R, Engelen G, Uljee I. The use of constrained cellular automata for high-resolution modeling of urban land dynamic [J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 1997 (24): 323 - 343.

30 陈彦光, 刘继生. 城市土地利用结构和形态的定量描述: 从信息熵到分数维 [J]. 地理研究, 2001, 20 (2): 146 - 152.

31 Ya B. Ryabko. Problemy Peredaci Informatsii [J], 1986, 20 (3): 16 - 26.

32 Batty M, Couclelis H, Eichen M. Editorial: Urban systems as cellular automata [J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 1997 (24): 159 - 164.

33 White R, Engelen G. Cellular dynamics and GIS: modeling spatial complexity [J]. Geographical Systems 1993 (1): 237 - 253.

34 Neumann J von. 杂文集 [C]. 1961 (6): 492. 转引自: 方兆本. 走出混沌. 长沙: 湖南教育出版社, 1995, 96.

35 Kac M. Some mathematical models in science [J]. Science, 1969 (166): 695 - 699.

【作者简介】

陈彦光 (1965 -), 男, 地理学副教授, 北京大学在读博士。

【收稿日期】2003 - 04 - 03

欢迎订阅 2004 年《城乡建设》杂志

中华人民共和国建设部主管、建设部建设杂志社主办的《城乡建设》杂志, 是中国期刊方阵双效期刊, 建设部优秀期刊一等奖。2004 年的《城乡建设》杂志将在去年改版成功的基础上进一步充实栏目内容, 改进版式设计, 提高印制质量, 页码由 64 页扩充到 80 页, 内文采用进口铜版纸, 以更好地回报广大读者的厚爱。

《城乡建设》杂志的栏目主要有: 建设经纬、城乡规划、城市建设、村镇建设、住宅与房地产业、人居环境、体制改革、专家论坛、市长园地、理论探讨、调查报告、横谈纵论、专题聚集、本刊专访、热点话题、城市文化、江山多娇、域外写真、企业战略、人物志、建设纪事等。

本刊为大 16 开本, 80 页, 月刊, 全彩印制, 面向国内、外公开发行。国内统一刊号: CN11 - 1618/D, 国际刊号: ISSN1002 - 8455, 国内发行代号: 2 - 217, 国外发行代号: M - 479。2004 年每册定价: 15 元, 全年 180 元。

地 址: 北京市三里河 9 号建设部内《城乡建设》编辑部 (100835)

联系人: 张静

电 话: (010) 68393705 68342146

传 真: (010) 68342146

电子信箱: cxjs1956@263.net cxjs@mail.cin.gov.cn