

复杂性科学与建筑*

李效梅^{1,2}, 黄颖星¹

(1. 贵州大学 土木工程学院, 贵州贵阳 550003; 2. 清华大学 建筑学院, 北京 100084)

摘要: 复杂性科学是 20 世纪 70 年代新兴的一门科学, 是自然科学和社会科学的一次大整合, 也是思维科学的一次大风暴, 建筑学同哲学, 技术和艺术相比, 具有相对滞后性, 但这不能成为建筑师不去自觉关注和吸收其它学科领域思想的理由。复杂性科学从思维上可以开拓建筑师的思考领域和深度, 帮助建筑师更加系统、全面地认识周围的世界。复杂性科学中的自组织临界性理论和分形几何与地形地貌、城市规划、建筑空间和造型密切相关; 智能化设计将带来设计上的革命, 从而帮助我们建设更加美好的人居环境。

关键词: 复杂性; 自组织; 自组织临界性; 分形几何; 人工智能

中图分类号: TU-05 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7329(2007)04-0022-05

Complex Science and Architecture

LI Xiao-mei^{1,2}, HUANG Ying-xing¹

(1. College of Civil Engineering, Guizhou University, Guiyang 550003, China; 2. College of Architecture, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Complex science is a new science flourishing in 70s of the 20th century. It is a huge integration of Natural and Social Sciences and is also a huge storm in the Thinking Science. Compared with Philosophy, Technique and Art, the Architecture lags behind them. But it is not the reason that the architects need not care about and absorb the mind of other reign. The architects can recognize the world in a systematic and comprehensive way from exercising their mind by learning complex science. The self-organization-critical theory and fractal-geometry in complex science is close and related to topography, city planning, space and shape of building. The revolution of design will be raised by artificial-intelligence; therefore, there will be a better future for our residential environment by our effort.

Keywords: complex; self-organization; self-organization-critical; fractal-geometry; artificial-intelligence

1 复杂性科学的兴起

1975 年, 美国洛斯阿拉莫斯国家实验室研究部的前任负责人乔治·考温 (Cowan George A) 在新墨西哥州组建了研究复杂系统的圣塔菲研究所, 这个研究所聚集了包括菲利普·安德森 (Anderson Philip 凝聚态物理学家), 马瑞·戈尔曼 (Gell-Mann Murray 夸克发现者), 肯尼兹·艾瑞 (Arrow Kenneth 经济学家) 等一批诺贝尔奖获得者, 并吸引了一大批各个科研领域的顶尖学者, 从此揭开了研究复杂性科学的序幕。

20 世纪下半叶, 很多科学家对传统的还原论、线性思维感到了怀疑。科学定律虽然可以解释微小粒子的运动和性质 (人们对粒子的追踪已经到了夸克), 但

无法解释为什么这些简单、乏味的粒子却能组成丰富多彩的世界; 在生物界, 生物学家对构成 DNA 的碱基码的研究进入了分子的水平, 发现构成不同生物所用的基因码基本是相同的; 在经济领域, 传统的平衡式观点也不断遭到挑战, 因为它不能解释股市的大起大落和突如其来的经济危机。所有这一切都导向一个基本的思索: 世界是由简单的基本“砖块”构成, 但世界是复杂多变的, 重要的并不是“砖块”本身, 而是砖块的构成方式, 通过简单的规则, “砖块”会朝着均衡的临界态发展, 当这种状态偏离了平衡, 那么微小的扰动就可能导致大大小小的“雪崩”。显然, 朝着这种临界状态的演变并没有受到来自外部因素的影响, 即是自组织的。也就是说, 自组织临界性是产生复杂性的唯一的普遍

* 收稿日期: 2007-01-09

作者简介: 李效梅 (1970-), 女, 贵阳人, 建筑师, 硕士生, 主要从事建筑科学与技术研究。

机制。线性思维同样受到了科学家的质疑,因为它割裂了人们对事物的认识。人们一直以来倾向于研究普适性的简单规律,对偶然性却视而不见,同时各个学科之间彼此分离。这种把事物简单化,理想化的倾向使人们过于注重研究细节,失去了对事物的整体洞察力。

所幸的是,随着计算机的普遍应用,人们终于可以模拟复杂事物的发展演变,而使复杂性科学被越来越多的人所接受和运用。科学界的思维风暴和大整合的发生已在所难免。

2 复杂性科学的特征和框架

复杂性科学的框架如图 1:

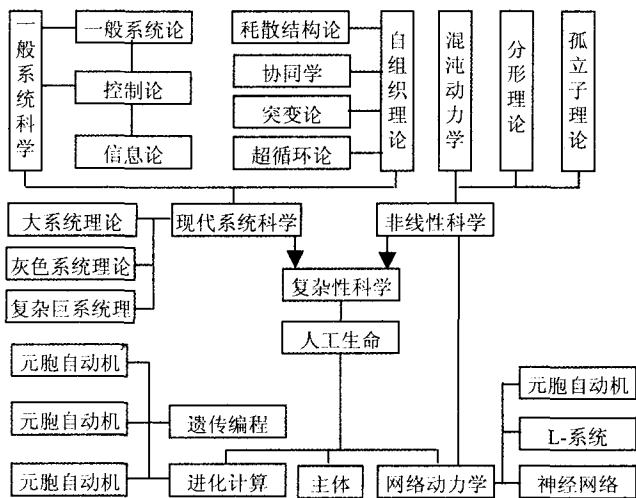


图 1 复杂性科学框架图

复杂性科学的特征有系统性、开放性、自相似性、自组织性、断续平衡性、偶然性、不可预测性、非线性、涌现性、临界性等。

系统性和自相似性反映了事物的本质特征。系统性,理解为大大小小的“砖块”构成了小系统,小系统又构成了大系统,系统不等于局部的简单相加,而是具有全新的功能。例如人是由器官组合成的,但器官的简单叠加不等于人体。同时这个系统又是开放的。自相似性,是指系统与其子系统具有相似性和同构性;局部或片面含有整体的信息。例如单细胞含有个体的全部信息,因而通过克隆技术可以繁衍出个体。

临界性、自组织性和断续平衡性、偶然性反映了事物发展变化的特征。临界性,即复杂性只存在于平衡和混沌之间,即混沌的边缘。自组织性,即事物发展演变的动力来自于内部,而不是外部。断续平衡性,是指事物的发展和变化是通过大大小小的“雪崩”式变化来实现,而不是走平和渐进的路线。即变化是突然涌现的。所谓偶然性,导致事物变化的因素往往是偶然的,微小的,因此具有不可预测性。最初的微小变化能导

致全然不同的结果,简单的动力能产生令人震惊的复杂行为。最有名的例子是“蝴蝶效应”,即一只蝴蝶翅膀的扇动可能导致远方的一个大风暴。

复杂性科学中的分形理论是研究复杂性科学的一个起始点,数学家曼德勃罗(Benoit Mandelbrot)提出“分形”的概念,用以描述自相似性。

复杂性科学整合传统科学与前沿学科理论,并能在计算机上进行模拟运用,这样的构成和运用方式,本身就符合时代的发展,是科学发展史上的必然。

3 中国传统建筑中的复杂性思维

当今复杂性科学为全球所瞩目,而事实上,在中国的传统思维中是可以寻到复杂性科学的思维闪光点的。中国传统思维中就十分注重整体性和直觉性思维,人与自然一体、时空一体,但缺乏逻辑性和精确性。中国传统思维重本轻末,西方思维重末轻本,二者殊途同归,最终统一在复杂性科学思维上。

建筑造型上,中国传统审美与西方对规则几何图案的偏爱大相径庭,注重“离方遁圆”,缘由于方和圆在自然界中都不存在,所以斗拱、柱头、屋面等都做成优美的自然曲线,追求人与自然一体的表达。有意思的是,这些复杂的曲线都是通过简单的卷杀做法用直线连接而成的(图 2)。

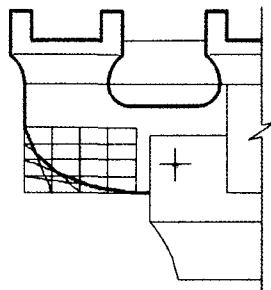


图 2 中国斗拱的卷杀作法

模式化和同构现象即复杂性科学中所指的系统性及自相似性特征在中国的建筑上也有表现,中国传统建筑单体趋向于单一化,无论皇宫,住宅还是寺庙,园林和市场,建筑单体都差不多,然而简单的单体通过各种组合方式形成了丰富多变的空间。所以我们常说,中国建筑的真正意义在于建筑单体组合而成的院落空间,而以西方的传统思维来观察中国建筑,只能得到片面的理解。

中国的院落空间也可以结合墙体的围合而获得,并在不断重复和放大中形成了城市和国家。有建筑界学者就认为,中国古代建筑的深层特征是与“墙”有关的院落体系,评剧《梅龙镇》里,明朝正德皇帝用一个比喻说他的处所,大意是“大圈圈套着小圈圈,小圈圈又

套着个小圈圈”。古代北京的城市建筑正是以一道道大大小小,相互叠加的“墙套墙”结构为主要特征^[1],从院墙,宫墙到城墙,以至于长城,这种空间结构上的自相似性实质上是与中国人潜意识里遵循自然法则的思维方式有关。

4 自组织临界性与城市发展

自组织临界性是观察和认识大自然的一种新方法。其基本的图像是,大自然在某处永久地偏离平衡,却又被组织在一种稳定状态中——一种临界状态:各种事物都能按照完全确定的统计规律发生。这项研究解释了大自然中存在的看来相当复杂却是普遍存在的结构。其发现是1987年从沙堆模型的研究开始的,当不断地往沙堆里加入沙粒,沙堆作为系统在非临界态,沙粒遵从局域的动力学规则;在临界态下,沙堆遵循整体动力规则。这时候再加入一粒细沙就有可能引起沙堆的“雪崩”,“雪崩”有大有小,大小的发生规律遵循古登堡—里特幂次定律。如果改变沙的颗粒大小或湿度,会改变沙堆到达临界状态所需要的条件,但最终沙堆都会到达临界状态并发生“雪崩”^[2]。

古登堡—里特幂次定律由孟非斯州立大学的阿克·约翰斯通(Johnston Arch C)和苏珊·娜娃(Nava Susan)发现,他们收集了1974到1983年美国东部新马里兰地区地震的大小分布,图3中点的大小表明地震的大小,它的标度是对数的,在图4中表现为一条直线。

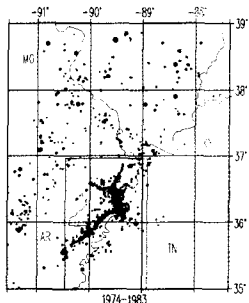


图3 地震分布

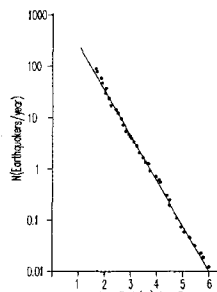


图4 幂次直线

事物的自组织临界性特征似乎从一个角度阐明了宇宙和生命形成的奥秘。研究表明,大自然遵循自组织临界性原则,地震的发生、物种的灭绝、地貌的形成、海岸线和江河湖泊的形状,无不遵循幂次定律并表现为分形的几何构成。

人类社会的形成和人类所赖以生存的环境也遵循自组织临界性原则,作为人类社会的载体——城市的发展是自组织临界性的,城市就像一个有机体,各部分之间相辅相成,互相作用,不断地生长变化。但城市相对来说具有滞后性,有些学者认为城市是人为规划干

预的结果,因此不能视为具有自组织性的有机体,但从复杂性科学观点看来,人为的干预也是属于社会的内力,城市与社会只是具有不同的域的阈值,就如同干沙子和湿沙子的区别,最终都将到达临界状态。因此作为一个整体,研究城市不能只从局部功能出发,而是要从系统的角度来研究城市内部各功能之间的关系,甚至要以城市群为研究对象从区域的角度来研究城市发展的规律。

哈佛大学的乔治·金斯里·兹波夫(Zipf George Kingsley)做了这个方面的研究,他对1920年左右的城市大小进行排位,发现城市的相关位次和它们的人口比值在对数坐标上大致是一条直线。

这种类似的研究有赖于对这种科学思维方式的理解与掌握,其若能广泛地运用到城市规划学科中的区域发展、城市发展的规划概念研究中,必将给城市规划学科的理论与实践创新发展带来更科学、更活力、更有价值的方向。

自组织临界性特征的研究也可具体到城市诸系统的分支内容上。德国杜伊斯堡大学的凯·尼格尔和迈克·斯奇里肯堡(Schreckenber Michael)用计算机模拟了城市的交通阻塞,计算出不同的交通阻塞系数,同样发现了一个幂次分布。车辆的阻塞都是由一个小的随机减速引起的,阻塞是分形的,大阻塞里永远包含小的阻塞。交通阻塞无法预测,临界态即有各种阻塞程度的态是最有效的态。系统自组织到汽车流通速度最高的临界态。如此,交通阻塞的自组织临界系统已被科学地研究与描述,把握这样的研究方法,并运用之以规划出便利于城市交通疏导系统的研究成果,这样的未来相信也就不远了。

也有学者用基于复杂性科学思维的网络模式研究城市空间,发现了空间和人的行为之间的对应关系,这种空间分析方法虽然还在起步阶段,但对研究城市空间做了很有意义的尝试。而空间模式与行为的研究正是建筑界早已明确的一个方向,过去都是从环境行为心理学的角度来探索与理解,而在复杂性科学研究思路引导下,这个研究方向会有更开阔的前景。

5 人居环境科学的复杂性思考

建筑相对于哲学,艺术和技术等学科的发展具有滞后性,建筑师应自觉地关心其它领域社会领域的发展状况,使建筑设计思维更适应社会的发展。

吴良镛先生在《人居环境科学导论》对建筑的复杂性做了深刻的思考,吴先生认为:“地球上的所有生命一起构成一个整体,这个整体能够使得地球的生物圈满足她的全部需要,而且赋予她远远大于其它部分之

和的功能。同样,一个良好的人居环境的取得,不能只着眼于它的各个部分的存在和建设,还要达到整体的完满。”^[3]在此基础上,吴先生将人居环境范围分为五大层次:“全球,区域,城市,社区(村镇),建筑”。同时吴先生认为人居环境科学应该是多学科的开放的体系,“其融合与发展离不开运用多种相关学科的成果,特别要借助各自的相邻学科的渗透和展拓,来创造性的解决繁杂的实践中的问题,因此,它们与经济、社会、地理、环境等外围学科,共同构成开放的人居环境科学体系”^[4]。

从方法论上,吴先生提到:“不能用一个关键词来概括,不能归纳为一个规律的作用,不能划归为一个单一的思想……认识复杂对象必须应用宏大概念……当前科学前沿研究的对象多半是复杂的系统,很多对象具有无穷多自由度。过去常用的方法和所谓公式都是对简单对象的,很可能是不够用的,必须进一步发展,才能处理复杂系统。”^[3]

不难看出,人居环境科学是复杂性科学在建筑领域的自觉运用,它从全范围,多层次,结合多学科综合考虑现有人居环境的复杂问题,是建筑学上里程碑式的论著。它的主要观点与复杂性科学对事物的理解相吻合,站在现代科学前沿的高度给建筑界的追求者们提出了思维新方向。

6 分形与建筑

作为复杂性科学中的重要组成部分—分形几何,以严谨的科学思维在几何学领域解释了自然界一维分形里的自相似性。

曼德勃罗(Mandelbrot)是最早对自然界的分形现象做出观察的科学家之一,在传统欧几里德几何世界中,所有的事物都是以光滑的曲线围合而成,而曼德勃罗通过测量海岸线的长度,发现海岸线不是一条整数维度的曲线,海岸线的长度依赖于测量的尺子的精确程度(图 5)。因此他提出分形的概念。

传统欧几里德和分形几何的比较:

欧几里德	分形几何
传统的(约 7 200 年)	现代怪物
基于特征大小或不变	没有特定大小或比例
适于人造对象	适于自然形状
公式描述	递归算法

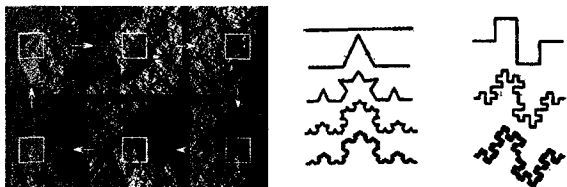


图 5 海岸线上的分形几何

自然界奇妙之处在于一维分形维度大多集中在 1.6~1.7 附近,也即是在我们熟知的黄金分割值附近,这便是曼德勃罗认为的“分形是非线性变换下的不变性”的原因之一。建筑造型比例中,黄金分割被认为是最美的,人体的比例符合黄金分割定律。由此看来,分形从复杂性科学的角度解释了造物主创造生命的奥秘,站在前沿科学的研究成果上建筑师是否可以这样认为,黄金分割因为是分形的所以它具有生命力,所以它是美的(图 6)。

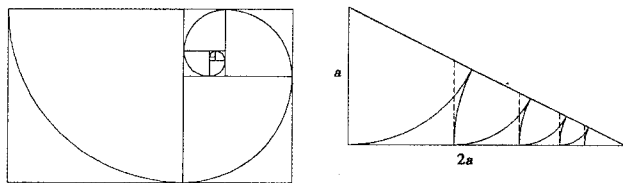


图 6 黄金分割形成优美自然螺旋

分形几何由于更接近自然造型因而具有很强的环境亲和力,利用分形几何产生的造型更能体现中国传统“天人合一”的思想,同时这种复杂造型又是由简单的单元通过简单的规则形成的,它又能适应工业化的大规模生产,从而具有适用性。由于它能产生不可预测的复杂多变的造型,为建筑师提供了丰富的造型手段和广阔的想象空间。以分形几何的理解来诠释建筑的空间与视觉、来运用于工业化大规模生产,便不再是如前人的机械简单的运用黄金率的数值,这种思维引导出的必将是一个缤纷的建筑世界,值得期待。

分形几何的复杂图案,似乎揭示了生命无穷的奥秘^[4](图 7)。

7 人工智能与智能设计

美国密西根大学的约翰·荷兰德(John h Holland)于 1975 年出版了《自然和人工系统中的适应性》,提出了“基因算法”的概念。传统编程的方法是确保准确无误地按照正确的指示和顺序来编写程序,但荷兰德认为:这个前提是你早就知道你想让计算机干什么,但如果你并不知道你想让计算机干什么,比如你想找到某种复杂的数学功能的最大值,即使是最优秀的算法都无法保证在任何情况下都能提供正确的最大化价值,在某种层次上,这些算法总是不得不依赖传统的尝试/错误法,也就是猜测法,既然如此,“与其编一个程序来执行你自己都不知道该如何定义的任务,还不如让它们通过进化自然产生”。基因算法就是这样的一个方法。

荷兰德发现,复杂性系统具有预测和模拟功能,这些系统包括经济学、人脑、免疫系统、生态系统、细胞、发育中的胚胎和蚂蚁,还包括人类社会中的政党和科

学社团等等,根据这个原理荷兰德研究出具有学习和进化功能的“分类器系统”。1983年,荷兰德的学生戴维·高德勃格(David Goldberg)运用基因算法和分类器系统模拟了对煤气管线网的控制,每一条煤气管道都有几十到几百个压缩机,用户的煤气用量每一小时,每一季度都会有变化,压缩机和管道的经常性渗漏限制整个系统在适当压力下的供气能力。安全控制要求煤气的气压和运速保持在适当的程度,但任何一个因

素都会影响到其它因素,即使想使一个简单的煤气管道发挥最大效益,都复杂到无法用数学分析。传统的方法是靠管道工的长期经验来应付,但模拟系统经过短期的学习之后,很快就达到了专家水平,而且情况发生突变时,模拟系统能很快的反应过来并更改原有的规则。煤气管道模拟系统的成功使高德勃格获得1985年度美国的总统青年研究者奖^[5]。

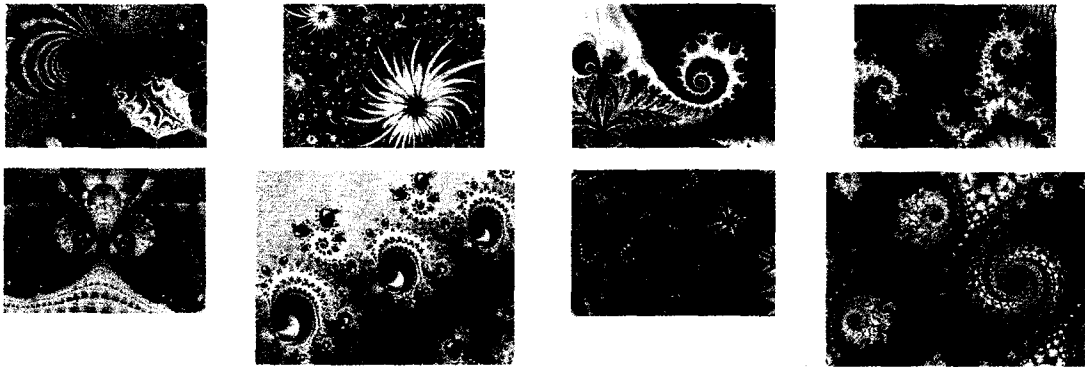


图7 自然界分形几何的复杂图案

荷兰德的研究成果使计算机真正具有了“智能化”的意义,也即成果表现为符合事物发展规律的复杂性系统。这样的智能设计如果能运用在建筑设计上,将使建筑师真正展开想象的翅膀,在建筑空间里自由翱翔:可以想象,如果通过输入一些限定性因素,计算机就可以模拟出各种复杂的建筑造型并比较其结构、造价甚至美学上的优劣,并不断地通过与建筑师的互动及新变量因子的涉入变得越来越聪明,从而成为建筑师真正的“设计参谋”。这无疑是在设计程序开发领域建筑师所期待的。

8 结语

复杂性科学给建筑实践指明了一条前进的方向,“路漫漫其修远兮”,复杂性科学自身还没发展到十分成熟的阶段,建筑师现在能做到的是以其思维方式在规划设计、景观设计、建筑设计中进行探索,寻找创新方向;而在分形几何的理解上对建筑空间设计、区域及

城市规划设计已到了可以尝试运用的阶段;当基于复杂性科学的智能化计算机辅助设计时代到来之时,复杂性科学将以建筑设计思维与手段融为一体的形式,更为全面地展示出建筑学科发展的前景。

参考文献:

- [1] 朱文一. 从轴线对称到院套院[J]. 世界建筑, 1997, (1): 67.
- [2] 帕·巴克(丹麦). 大自然如何工作[M]. 武汉: 华中师范大学出版社, 2001.
- [3] 吴良镛. 人居环境科学导论[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [4] 苑玉峰. 分形几何与分形艺术[EB/OL]. <http://www.fractal.net.cn>.
- [5] 米歇尔·沃尔德罗普. 复杂[EB/OL]. <http://www.es-hunet.com>.

(编辑 陈蓉)