

Measurement and Optimization
of Urban Space Based
on Fractal Theory: Case Study of
Loess Plateau in Northern Shaanxi

城 · 镇 · 空 · 间 的分形测度与优化

—基于陕北黄土高原城镇案例的研究

田达睿 著

中国建筑工业出版社

本书受国家自然科学基金青年项目(51408476)、陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2014JM2-5075)资助

城镇空间的分形测度与优化

——基于陕北黄土高原城镇案例的研究

Measurement and Optimization of Urban Space Based on Fractal Theory:
Case Study of Loess Plateau in Northern Shaanxi

田达睿 著



中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

城镇空间的分形测度与优化——基于陕北黄土高原城镇案例的研究 / 田达睿著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017.10

ISBN 978-7-112-21139-5

I. ①城… II. ①田… III. ①城市空间—空间规划—研价
IV. ①TU984.11

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第207173号

本研究课题由国家自然科学基金青年项目“基于分形理论的陕北黄土高原城镇空间形态及其规划方法研究”(项目批准号 51408476)和陕西省自然科学基金基础研究计划项目“陕北黄土高原城镇空间分形特征及其规划方法研究”(2014JM2-5075)共同资助完成, 由国家自然科学基金青年项目“基于分形理论的陕北黄土高原城镇空间形态及其规划方法研究”(项目批准号 51408476)资助出版。

责任编辑: 黄 翊 张 建

版式设计: 京点设计

责任校对: 李美娜 王 瑞

城镇空间的分形测度与优化

——基于陕北黄土高原城镇案例的研究

田达睿 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京京点图文设计有限公司制版

廊坊市海涛印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 12 字数: 255千字

2018年1月第一版 2018年1月第一次印刷

定价: 48.00元

ISBN 978-7-112-21139-5

(30778)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前言

陕北黄土高原是世界地貌系统中的一个重要组成部分,其因孕育着深厚的传统文化基因而成为中华文明重要的发源地之一。近年来,能源化工产业的兴盛极大地推动了陕北社会经济的发展与城市建设的步伐,但也因此使得陕北黄土高原人居环境建设面临巨大的挑战。城市发展伴随着大量的土地建设,而在陕北黄土高原丘陵沟壑区域,由于地形地貌的限制,适宜建设的土地极为稀缺,有限的河谷空间被大量开发建设填实占满,由此导致一系列有关生态、社会、文化等方面的问题。因此,对陕北黄土高原城镇空间发展模式的导控与优化十分紧迫。

陕北深厚的黄土堆积和自然地貌具有世界层面的独特性,其错综复杂的河流水系与沟壑形态呈现出鲜明的分形自相似特征,这一典型地貌形态成为制约和引导陕北地区人居环境发展的关键生态因子之一。陕北黄土高原地域环境的复杂性、交通条件的封闭性、建设活动的艰巨性和经济发展的滞后性,决定了陕北黄土高原人居环境建设的特殊性,尤其在空间层面与平原地区人居环境建设存在巨大差异。针对陕北黄土高原人居环境空间形态的特殊性及其所处地域环境的复杂性,本书提出借助分形理论从空间形态的维度对陕北地区城镇的特征、发展规律以及引导策略等问题进行深入探讨。

本书主要从城镇总体用地形态、道路路径形态和开敞空间肌理等层面入手,借助分形数理模型,通过对不同城镇空间构型或不同城镇空间案例进行对比研究,以及对城镇空间形态各要素分形特征及其影响因子的分析,揭示城镇空间形态的分形规律。在此基础上,综合分形效率和生态效益,以较低的生态代价获取较高的空间建设效益为原则,探索与自然环境相协调的城镇用地发展形态、道路系统组织以及空间要素的布局原则,尝试构建引入分形理论后城乡空间规划的新思路与新方法。

首先,基于“分形维数”视角对陕北黄土高原丘陵沟壑区的不同空间发展路径以及不同阶段的城乡用地构型进行比较分析与绩效评判,从中揭示城乡用地空间形态与分维数等指标之间的对应关系,并由此提出如何构建高效分形且适宜的城乡用地发展路径。其次,基于“分形秩序”视角对陕北黄土高原传统城镇与现代城镇开敞空间体系在空间分布上的分形差异进行比较分析,揭示传统城镇空间肌理的分形规律、特征及其优点,结合现代城镇发展的需求提出陕北分形城镇空间要素的布局原则与组织策略。再次,基于“分形网络”视角对陕北黄土高原传统城镇分形街巷系统与现代城镇非分形道路系统的特征进行比较分析,揭示两套道路路径系统的分形差异及其内在的影响因素,由此提出适宜于陕北地区现代城镇路网的构建模式。最后,基于上述各层面城镇空间形态分形

特征的研究，总结陕北黄土高原分形城镇空间的发展模式，在此基础上探讨分形思维与方法在城市规划实践中的应用。结合分形思想与理论基础，探索与当前城镇空间规划框架相融合的分形规划设计思路以及分形测度方法辅助城乡规划决策的方式。

总之，陕北城镇空间形态的分形研究对城市地理、城乡规划等学科的理论研究提供了新的思路，具有重要的理论意义和实践价值。但目前以城乡规划学科为本体的分形研究较少，尤其是在城市个体与片区层面对空间形态的研究更为鲜见，因此本书通过陕北城镇空间分形特征的研究以及分形规划方法的探讨尝试建立分形理论与城乡规划之间的联系，为城乡空间分形形态的规划研究做更进一步的探索并提供更多的依据。

目 录

■ 1	绪论	1
1.1	背景与问题	1
1.2	研究目的与意义	7
1.3	城乡规划学结合分形理论的研究进展	9
1.4	研究视角与内容	17
1.5	研究方案与技术路线	21
■ 2	研究对象与相关理论方法综述	25
2.1	城市空间形态及其研究：分形与规划结合的趋势性	25
2.2	陕北黄土高原地貌与人居形态：分形与规划结合的必要性	32
2.3	分维测算方法与分形模型内涵：分形与规划结合的优势性	39
■ 3	“分形维数”导向下城乡用地发展的适宜路径	46
3.1	陕北丘陵沟壑区城乡用地形态的发展路径问题	46
3.2	理论前提与研究问题	48
3.3	城乡用地发展路径的比选依据和方法	51
3.4	研究对象的划定与现状概况	53
3.5	米脂城乡总体用地形态发展路径的制订	55
3.6	米脂城乡用地发展路径的分维测算及变化趋势	60
3.7	米脂城乡用地发展路径的综合比选及对规划的指导	67
3.8	米脂城乡空间分形特征的影响因素与空间优化	71
3.9	本章小结	82
■ 4	“分形秩序”导向下城镇肌理的适宜形态	84
4.1	陕北丘陵沟壑城镇肌理形态的现状问题	84
4.2	理论前提与研究问题	86
4.3	城镇空间要素“分形秩序”的测度方法	88
4.4	研究对象及其现状特征	92
4.5	城镇开敞空间分形秩序的测度与描述	97
4.6	城镇开敞空间分形秩序比较与解析	105

4.7	影响分形秩序的因素：传统分形模式 V.S. 现代反分形规划	110
4.8	本章小结	116
■ 5	“分形网络”导向下城镇路网的适宜形式	118
5.1	陕北丘陵沟壑城镇路网建设的现状问题	118
5.2	理论前提与研究问题	120
5.3	研究对象及现状概况	121
5.4	米脂古城与榆林高新区路径分形特征对比	125
5.5	城镇路径分形网络的影响因素与空间释义	128
5.6	策略：陕北黄土高原现代分形路网的适宜形式	135
5.7	本章小结	138
■ 6	现代分形城镇空间的特征总结	139
6.1	城市要素分配的等级性——城市有序化	139
6.2	城市层级的连续性——城市网络化	140
6.3	城市建构的复杂性——城市多样化	142
6.4	城市发展的自组织性——城市渐进化	145
6.5	城市演化的适应性——城市有机化	146
6.6	城市系统的开放性——城市生态化	148
6.7	规划的变革——具有可持续性的分形规划	150
■ 7	城镇空间规划设计中的分形思想	152
7.1	分形思想的哲学内涵	152
7.2	空间规划设计引入分形思想的意义	158
7.3	空间规划设计中的分形思想	159
7.4	分形思维与方法对城市规划的影响	165
7.5	本章小结	168
■ 8	总结与展望	170
8.1	主要研究结论	170
8.2	可能的创新点	178
8.3	不足与展望	179
■	参考文献	180
■	后 记	185

1 绪论

1.1 背景与问题

1) 地域背景: 陕北地区的关键问题——机遇与挑战并存

黄土高原, 亦称为乌金高原, 位于中国中部偏北。其千沟万壑与梁峁交错的地貌形态在中国乃至世界上都极为罕见, 是世界上发育最好、分布最广的黄土堆积区。陕北, 占地 4.8 万 km^2 的陕西省北部地区, 是黄土高原的典型地域, 也是我国人居环境发展最悠久的地区之一。数千年来, 由于人居环境整体空间格局与自然地貌呈现出形态上的某种叠加性与相似性^①, 陕北黄土高原形成了相对稳态与和谐的人地关系, 沉积了深厚的传统文化基因。陕北也是我国 21 世纪重要的能源基地, 拥有丰富的煤炭、石油、天然气和岩盐等资源。可见, 陕北黄土高原不仅在我国生态安全格局中占据重要地位, 而且在能源安全战略中也具有重要价值。

脆弱的生态环境是陕北黄土高原地区的首要特征。人类活动是影响陕北生态环境脆弱性的重要因素之一, 人类不合理的生产、生活方式加剧了生态环境的脆弱程度。首先, 由于历史上战乱、长期乱砍滥伐、毁林开荒等人为因素, 尤其是粗放的种植模式与广种薄收, 使黄土高原地表贫瘠、植被覆盖稀少, 常年水土流失导致其生态环境脆弱、自修复能力差, 并已严重影响到区域生态系统的安全。其次, 21 世纪伊始, 石油、天然气、煤炭等能源重化工业的发展和红色旅游的兴起, 推动了陕北经济的发展, 进而使陕北地区城镇化进程进入了前所未有的快速发展时期。随着陕北能源产业和城镇化的急速发展, 城镇空间不断扩张, 超大规模的工业组团群和新城镇应能源而生, 在自然与人工植被地区迅猛增长。工矿建设加剧了区域生态环境的恶化, 工矿建设需要进行大规模的开挖与填土, 容易导致矿区水土流失、水体污染, 并诱发地质灾害, 所在区域的生态恢复难度极大。据不完全统计, 仅榆林市规划在建的新工业区就达上千平方公里, 因煤炭开采形成采空区面积达 400 多平方公里, 湖泊由开发前的 869 个减少到现在的 79 个。最后, 缺乏合理规划的城镇土地利用方式侵占了河流、良田、湿地等自然环境。受制于稀缺的土地资源, 许多城镇不得不依赖人工技术不断突破复杂地貌环境的制约, 因此在陕北出现了平山填沟、上山建城、开垦固沙地区等态势, 造成人居环境与自然环境的进一步恶

① 周庆华. 黄土高原·河谷中的聚落——陕北地区人居环境空间形态模式研究 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009: 127-140.

化与可持续发展。总之,这些大规模的人类活动不断造成水土流失、土地荒漠化、滑坡等生态环境问题,数千年相对稳态与和谐的人地关系面临突变性的冲击,原本脆弱的生态安全受到进一步威胁。

除了生态环境的问题以外,人居环境自身的发展也遇到了瓶颈。在陕北黄土高原地区,以干旱缺水、自然灾害频发等为表征的脆弱生态环境是人居环境发展的基础,沟壑地貌形态是城乡空间建设不可脱离的现实条件。近些年来,陕北开始套用平原地区城镇化的空间模式,与其自身沟壑纵横、梁峁起伏的地貌形态极不协调,导致城镇与脆弱生态环境之间的矛盾越来越突出,并阻碍了陕北地区人居环境建设智慧的传承。一方面,城镇空间增长的环境胁迫性特征明显,这种与自然环境对立的城乡发展模式阻碍城镇空间结构的优化并影响其自身运行效率,产生诸如水土资源投入产出效益低下等问题。另一方面,城镇空间的统一性和历史的连续性是陕北地区人居环境智慧的重要特征,但经过几十年的现代化发展,在以市场为导向的城市规划引导下,这种统一性和连续性在逐渐消亡。在陕北地区的大中城镇中,开始出现碎片化的街区、间断的道路系统、破裂的空间网络以及非延续性的尺度层级。

综上所述,陕北地区自然环境与人居环境的问题源于自然、历史、人类活动等诸多因素,但陕北黄土高原不合理的城乡建设模式与发展路径却是其中最为关键的问题之一,如忽略自然环境的条件、追求总量扩张的目标、采用高耗低效的方式等都是这一不合理模式的体现。为此,我们必须塑造可持续发展的新型城镇形态及其构成模式,并探索陕北黄土高原复杂地形地貌区中人居环境的适宜发展路径,使陕北地区的社会、经济要素以及自然环境都能协调发展。要构建这样的城乡发展模式就必须跳出现有的城乡发展路径、打破预设的定论并摆脱线性的规划思路。

在探索陕北黄土高原新型城乡发展道路的过程中,自然环境与人居环境之间的矛盾仍然是关键问题:在现代科学技术条件下,是否可以忽略地貌等自然条件的制约,或者可以突破这种制约至何种程度,人类活动以及越来越强大的技术手段与尊重自然生态环境之间如何获得平衡,就成为目前陕北城乡规划建设关注的焦点。以此问题为背景,探索既满足能源产业和城镇化扩展需求,又适应生态环境保护与独特地貌限制的新型城镇空间发展模式,引导陕北沟壑城镇形成适宜的空间规模、等级和形态,成为本课题重要的切入点。

2) 学术背景:城市形态研究的关键问题——理论与方法不足

在近20年来的快速城镇化时期,城镇经济的发展与城镇人口的迅速增加使城镇用地不断扩张。正如前文所述,陕北地区经历着相似的情况:城镇空间的持续膨胀推动着城镇形态的快速演变,并伴随着城镇结构的频繁重组。这种不适宜的城镇空间形态与失控的空间发展模式都与上述陕北地区城镇发展中产生的一系列问题相关联,因此,对于陕北黄土高原地区城镇空间形态与发展模式的研究显得十分必要。

但是, 由于缺乏成熟而系统的城市形态研究理论与方法的支撑, 当前针对城市形态尤其是陕北黄土高原地区城镇形态的研究并不充分, 也未能清晰、准确地描述城市空间形态的内在逻辑。目前国内一些学者对陕北黄土高原地区城镇形态与发展模式已展开研究并取得了不少成果, 如周庆华从生态动因角度对陕北人居环境空间形态展开研究, 探讨了陕北城镇空间形态的演化规律与内在机制, 并从宏观、中观和微观三个层面分别提出城乡空间形态发展的适宜模式^①; 刘晖从生态安全格局的角度出发, 对黄土高原小流域人居环境单元的特征、发展趋势以及空间规划等问题进行了详细论述^②等等。但总的来说, 既有研究较多是在宏观层面探讨城镇体系形态和微观层面探讨乡村聚落空间发展, 并注重历史演变与发展态势, 但对于复杂地形地貌限制下的单个城镇空间形态的深入探讨仍较为缺乏, 能够明确指导如何构建陕北黄土高原城镇空间形态的适宜标准与方法尚未形成。

总之, 由于城市形态研究中量化方法、分析思路、标准前提等理论方法的匮乏, 很多陕北黄土高原城镇规划的编制、论证、出台和实施都缺乏对于城镇空间形态有效的评估和监管, 使得很多城镇的空间规划呈现出盲目性与片面性, 甚至将城市空间形态的发展引向错误的轨道。不适宜的城镇空间规划并未引导城镇走向人与自然相互协调的理性增长, 反而使城镇陷入愈演愈烈的无序扩张与大拆大建之中。

3) 理论背景: 分形理论及其推广

分形理论始于美国法裔数学家 B.B. Mandelbort 于 1967 年在美国《科学》杂志上发表的著名论文《英国海岸线有多长? 统计自相似性与分数维数》。文中提出: 由于海水长期的冲蚀和陆地自身的运动, 海岸线是由大大小小的海湾和海岬组成, 弯弯曲曲极不规则。在测量英国海岸线长度时, 如果以千米作单位, 那么 1 千米以下的弯曲就会被忽略不计; 如果以米作单位, 之前被忽略的弯曲大都可以被计入, 因此所测长度大于之前的长度, 但仍有 1 米以下的弯曲海湾线会被忽略不计; 以此类推, 如果以厘米作单位, 计入的弯曲线就更多, 所测海岸线长度就更大 (见图 1-1)。总之, 随测量单位变得无穷小, 海岸线长度会变得无穷大, 其长度依赖于测量时所用的尺度。因此, 海岸线的长度是不确定的, 那么长度也就不是海岸线最合适的定量特征, 为了精确描述海岸线的特点, 需要寻找另外的参量。此外, Mandelbort 还提出, 在一定尺度范围内, 变化万千的海岸线却是由少数几种基本“形态单元”有序生成的, 随着尺度的放大, 英国海岸线呈现出局部形态与整体形态自相似的特征, 分形思想由此产生。^③

① 周庆华. 黄土高原·河谷中的聚落——陕北地区人居环境空间形态模式研究 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009: 1-10.

② 刘晖. 黄土高原小流域人居生态单元及安全模式——景观格局分析方法与应用 [D]. 西安建筑科技大学, 2005: 1-10.

③ B.B. Mandelbrot How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension[J]. Science, 1967, 156: 15-65.

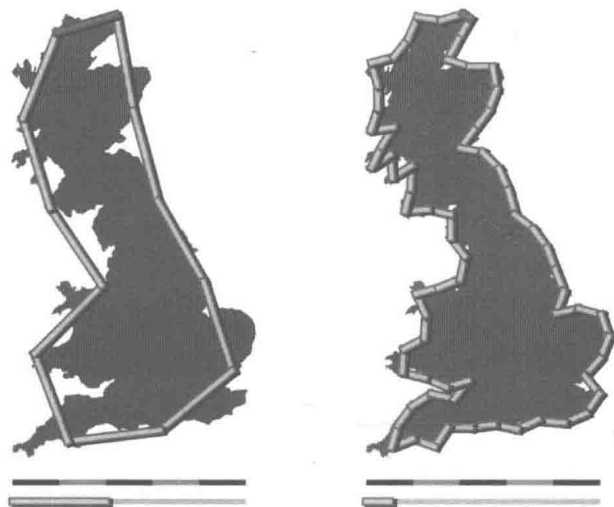


图 1-1 英国海岸线测量长度变化

(资料来源: https://en.wikipedia.org/wiki/How_Long_Is_the_Coast_of_Britain%3F_Statistical_Self-Similarity_and_Fractional_Dimension_.)

1977 年, Mandelbort 出版了分形理论的奠基性著作《Fractal: Form, Chance and Dimension》(分形: 形态, 机遇和维数), 首次创立“分形”一词^①, 1983 年, 他又出版了著作《The Fractal Geometry of Nature》(大自然的分形几何学)。这两部著作的出版, 标志着分形理论的诞生。分形理论自诞生以来迅速发展, 已成为当代研究复杂系统的非线性科学的三大支柱^②之一^③。非线性科学被认为是继相对论、量子力学之后的第三次科学革命, 其核心理论已超越自然科学的范畴, 在哲学、社会科学等方面也产生了深刻的影响。仅仅经过 40 年, 分形理论已在数学、物理学、生物学、地貌学、材料学、经济学、管理科学及形态艺术等众多领域得到广泛应用, 成为当今众多学科的前沿研究领域。尽管分形理论在城乡规划学科的研究应用还处于初始阶段, 但从地理学科视角对地貌与城镇空间体系的分形研究已比较成熟。近 20 余年来, 分形理论在国内外城市体系研究领域独树一帜, 已成为研究城市这一复杂巨系统的有效工具, 为分形城市的研究奠定了理论和实践基础。

分形可以分为数学分形和统计分形两大类^④:

数学分形是一种理想的状态, 数学分形曲线具有无穷的“层次”尺度和结构, 分形自相似性所要求的局部与整体完全相似的条件可得到严格的满足, 即在任一尺度下都成立。分形图形的经典例子就是科赫曲线 (Koch Curve), 科赫曲线被用作模拟雪花和海岸线形状的数学模型。其构造过程为: 以 1 条直线段为起始, 将其三等分, 用一个隆起的

① [法] B·曼德尔布洛特. 分形对象: 形、机遇和维数 [M]. 文志英, 苏虹译. 北京: 世界图书出版公司, 1999: 1-20.
② 非线性科学的三大支柱为混沌理论、分形理论和孤立子理论。
③ 陈彦光. 自组织与自组织城市 [J]. 城市规划, 2003, 27 (10): 17-22.
④ 蒋祺. 基于空间分形分维的丘陵型城镇用地布局规划研究 [D]. 中南大学, 2008: 3-16.

等边三角形的另外两边替换原线段的中间三分之一段, 得到一条由 4 个等长直线段构成的折线; 之后, 再分别以这 4 个直线段为起始, 同样三等分, 并将每一个直线段的中间三分之一段用一个次级隆起的等边三角形的两边代替, 从而生成一条由 16 个等长直线段构成的折线; 以此类推, 不断重复上述操作, 可至无穷, 即得到科赫曲线 (见图 1-2)。在这一构造过程中可以发现, 每条线段的内部结构与整体相似。另外, 将一个等边三角形的每条边按上述操作过程构造, 即可得到首尾闭合的科赫雪花曲线^① (见图 1-3)。

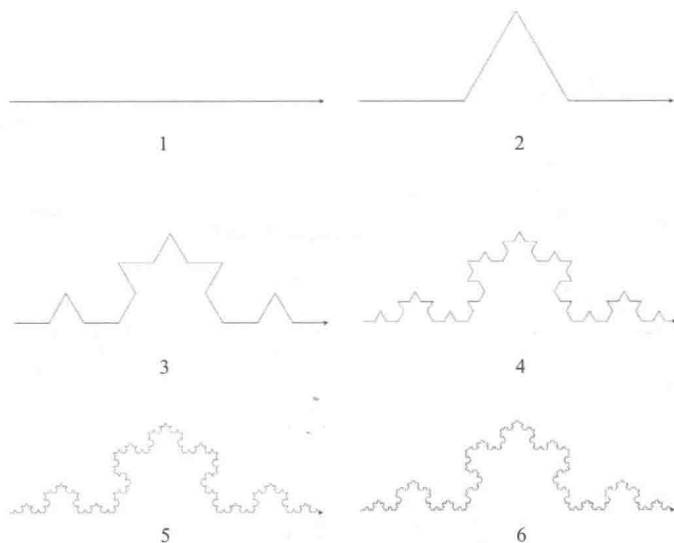


图 1-2 科赫曲线生成过程

(资料来源: <http://blog.sciencenet.cn/blog-677221-602637.html>.)

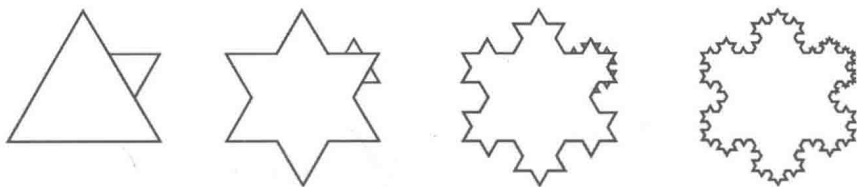


图 1-3 科赫雪花曲线生成过程

(资料来源: [法] B·曼德尔布洛特, 分形对象: 形、机遇和维数 [M]. 文志英, 苏虹译. 北京: 世界图书出版公司, 1999.)

自然界中有很多系统、现象和过程都具有分形特征, 例如曲折的海岸线、起伏的山脉、河谷水系、海螺、闪电、叶脉、星云的分布等等 (见图 1-4)。它们同样具有自相似特征, 但其自相似性只是在一定范围内成立, 往往无法满足数学分形所定义的严格要求。这种在有限的层级范围内, 且仅在统计意义上成立的自相似分形被称为统计分形。^②

① 叶俊, 陈秉钊. 分形理论在城市研究中的应用 [J]. 城市规划汇刊, 2001 (4): 38-42.

② 葛美玲. 基于遥感图像的城市形态分维计算的实现——以北京市为例 [D]. 中国科学院研究生院, 2006: 6-8.

现实中的统计分形也可以理解为在确定的数学生成原则下加入了随机性，从而呈现出复杂的形态结构，例如随机科赫曲线就是对这一类分形的简化描述。在科赫曲线的构造过程中，如果加入随机成分，就会生成随机科赫曲线，近似于海岸线。其生成过程与标准科赫曲线的区别是：每一尺度最初直线段的中间三分之一段，既可以被上凸的等边三角形的两条边替代，也可以被下凹的等边三角形的两条边替代，设定上凸或下凹的机率相等，基于此规则反复演替即会形成随机科赫曲线。可以看出，随机科赫曲线的某个局部与整体并不完全相似（见图 1-5）。

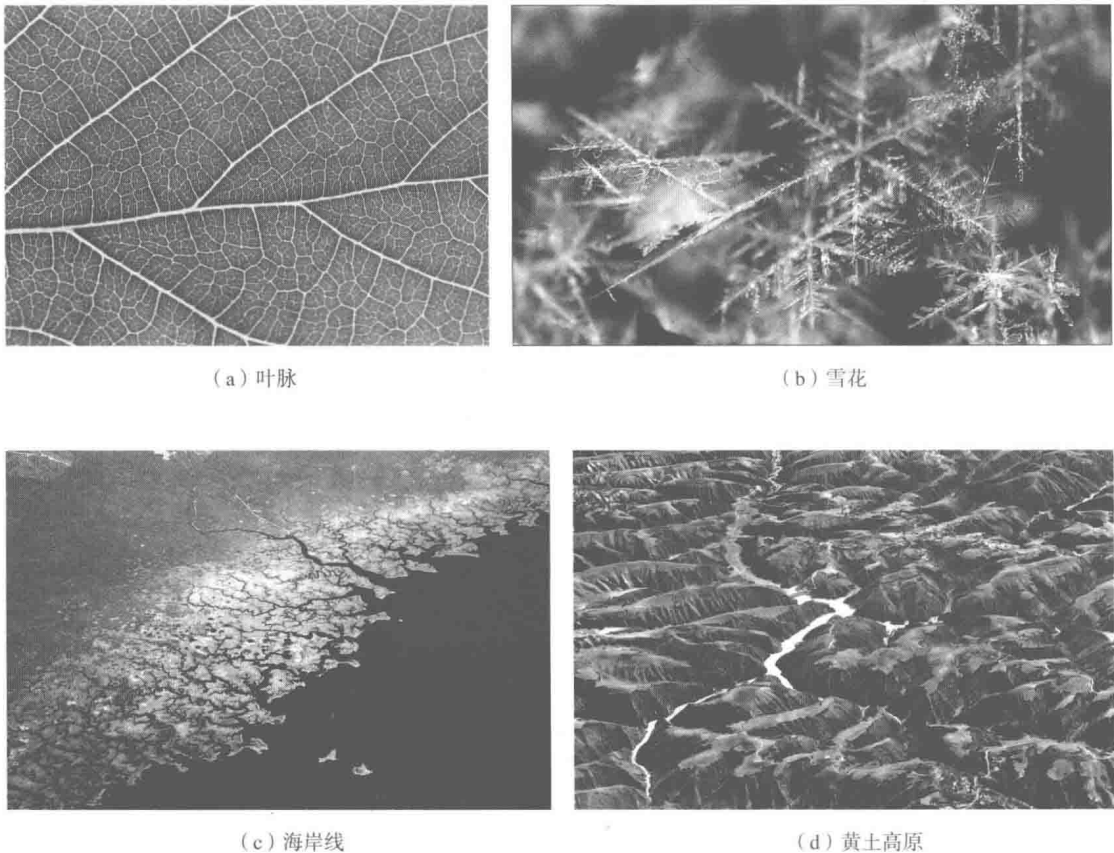


图 1-4 自然界中的分形现象

(资料来源: (a) <http://img.ivsky.com/img/tupian/pre/201008/10/yemaitupian.jpg>; (b) http://wvs.toleftpixel.com/photos/2008/01/snowflakes_macro_04.jpg; (c) <http://www.next-culture.net/wp-content/uploads/2014/11/coastline1.jpg>; (d) http://blog.sina.com.cn/s/blog_58b92ef60102wbej.html)



图 1-5 随机科赫曲线的生成过程

(资料来源: [法]B·曼德尔布洛特. 分形对象: 形、机遇和维数 [M]. 文志英, 苏虹译. 北京: 世界图书出版公司, 1999.)

Mandelbort 最初对分形的定义是这样的:局部以某种形式与整体相似的形状叫作分形^①。这个定义在物理上易于理解,但不够精确,也不够数学化。之后,英国数学家法尔科内(Falconer)给分形下了严格的数学定义,即如果集合 F 具有下面所有的或大部分的性质,可称之为分形:

- a) 具有精细结构,即在任意小的比例尺下,都可呈现出更加精致的细节;
- b) 其不规则性在整体和局部均不能用传统的几何语言加以描述;
- c) 具有某种自相似的形式,但不是完全数学意义上的自相似性,而是统计的自相似性,或是近似的自相似性;
- d) 一般 $D_f > D_t$,即豪斯道夫维数严格大于拓扑维数;
- e) 该集常可由简单的方法来定义,可能由迭代产生;
- f) 其大小不能用通常的测度(例如面积、长度、体积等)来量度。^②

从以上分形定义中可以发现,分形有两个基本特征:自相似性和无标度性。自相似性是指某几何对象的一个局部被放大后总是与其整体相似的特性。标度不变性是指当观测标度变化时,几何体或集合的许多性质仍保持不变的特性^③。正是由于分形的无标度性,使分形体难以用长度、面积等传统尺度所度量,从而必须采用新的尺度即分维数予以度量。

此外,分形体是大自然优化结构的体现,其优势在于通过有限空间内的不断填充、细化,可以最大效率地占据和利用空间。例如,血管是分形体,其把无限长的线形系统纳入有限的面积之中;呼吸系统是分形体,其把巨大的表面积纳入有限的体积之中,以便有效地进行要素交换,满足生理需求^④。同样,如果城乡聚落能达到分形优化状态,那么人居环境就能最有效地占据地理空间。因此分形理论对城镇空间研究尤其是复杂地形地貌区的城镇空间布局具有重要价值。总之,分形理论对认知自然界及人类社会自相似现象有突出意义,作为研究复杂系统自相似规律的前沿理论,其普适性与哲学价值已达成广泛共识。

1.2 研究目的与意义

基于上述背景,本书聚焦于陕北黄土高原地区城镇空间的发展问题,借助分形理论从空间形态层面对该地区城镇的特征、发展规律以及引导策略等问题进行深入探讨,以应对快速工业化和城镇化带来的城镇空间拓展与地形地貌等自然生态环境之间的冲突问题。

① Benoit B. Mandelbrot. 大自然的分形几何学 [M]. 陈守吉, 凌复华译. 上海: 上海远东出版社, 1998: 30-50.
 ② 谢和平, 张永平, 宋晓秋, 徐汉涛. 分形几何: 数学基础及其应用 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1991: 20-40.
 ③ 葛美玲. 基于遥感图像的城市形态分维计算的实现——以北京市为例 [D]. 中国科学院研究生院, 2006: 6-8.
 ④ 赵珂, 冯月, 韩贵锋. 基于人地和谐分形的城乡建设用地面积测算 [J]. 城市规划, 2011, 35 (7): 20-23.

1.2.1 研究目的

针对陕北黄土高原地区地理条件的复杂性和城镇空间形态发展的特殊性,本研究试图借助分形数理模型和 GIS 技术工作平台,从不同层面分别对城镇整体和局部形态进行对比研究,通过对城镇空间形态各要素分形特征及其影响因素的分析,揭示与自然环境相适应的人居环境的分形自相似性及其自组织的内在机制。在此基础上,综合考虑城镇发展的多重空间因素,探索与陕北黄土高原地域环境条件更加协调和适应的分形城镇空间发展模式,并由此构建引入分形理论后陕北城乡空间规划的新思路与新方法。

具体而言,本书期望通过数据测算、图形比较等方式,揭示分形数理逻辑与陕北黄土高原城镇空间形态之间的对应关系,解答分形城镇形态的空间模式、特征及优点,并基于分形思想对复杂地形区域城乡空间规划的现有思路进行优化与改良,从而初步建立分形理论与城市空间形态之间的联系纽带,以及分形思维方法与城市空间规划相结合的途径。

总之,本书以“学科交叉、立足规划、为我所用”作为主导原则,既需要综合考虑分形地貌、城镇发展等众多影响因素的集合作用,力求发挥不同学科的优势,也应立足于规划学科本身,将分形理论知识纳入城市规划体系框架中,而非仅限于分形理论内在的数理运算。

1.2.2 研究意义

1) 哲学普适性

根据分形理论,分形现象是客观世界大量复杂巨系统自组织构成的内在规律,普遍存在于自然界乃至人类社会之中,如叶脉、山地、公司管理机构等。分形是大自然的优化结构,分形形态能够最有效地占据空间。将分形理论引入城乡规划研究与城市空间设计,既能使人类更为合理地利用有限的地理空间资源,又能保持人类社会与自然环境的和谐共融。^①此外,地貌是构成自然界生态环境系统的重要因子,更是人居环境生成的前提性条件,尊重和认知自然环境演化的内在机制及其对城镇空间的影响,对于独特地貌区域中的人居环境建设具有普适的价值。

2) 理论前沿性

分形理论在城乡规划学科的研究应用还处于初始阶段。尽管在地理学科对复杂地貌以及城镇体系进行独立分形研究的成果已较丰富,但在单个城市层面对分形城镇空间形态的探索以及由此构建特定规划方法的研究目前尚属空缺。分形理论无疑为具有生态脆弱性的黄土高原地区人居环境建设提供了前沿视野和有效手段。本书将对陕北黄土高原

① 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.

的城镇空间形态进行更加科学深入的认知和量化描述,揭示新的特征,解析新的规律,探求新的方法,构建更加适应自然地貌等生态本底的城镇空间形态生长模式。本课题的研究将进一步充实我国城市空间发展研究领域的现有成果,为城市规划实践的更新优化提供更多依据,具有较强的学术价值和理论前沿视野。

3) 现实紧迫性

黄土高原蕴涵着深厚的传统文化基因,同时也是我国重要的生态敏感地区。但随着工业化与快速城镇化,这里的生态安全受到严重威胁,数千年相对稳态发展的人居环境受到突变性的冲击,正经历着历史性的关键时期。因此,借助分形理论研究复杂自然地貌中的城镇空间形态,探索更加适应地域生态环境的城镇空间发展途径,保护原生文化基因精华,对于分形地貌特征明显的陕北黄土高原地区的城乡规划建设具有紧迫的现实意义,对其他丘陵、山地等生态敏感地区的人居环境空间形态研究也具有借鉴价值。

1.3 城乡规划学结合分形理论的研究进展

1.3.1 国外相关研究进展

城乡规划结合分形理论的研究最初主要集中于中观层面的城市结构和空间要素,随着研究领域的扩展,逐渐向上拓展到区域城市体系,向下细化到街区和建筑^①。因此,国外的分形城市研究可以分为如下三个层次:

1) 中观层次:城市形态分形研究

早在1985年,英国学者 M. Batty 受分形海岸线问题的启发,研究了英国卡迪夫市的边界线,发现城市边界具有分形特征,并且计算了其不同年份的分维数,从而揭示了卡迪夫市演化过程的许多地理信息^②。

20世纪90年代, M. Batty、P. A. Longley 和 P. Frankhouser 分别出版了有关分形城市研究的理论专著,“分形城市”正式成为自组织城市领域的一个专门术语^③。

1991年, M. Batty 发表《作为分形的城市:模拟生长与形态》一文,基于分形思想对城市形态与结构进行模拟和实证研究,标志着分形城市概念的萌芽^④。随后在1994年, M. Batty 与 P. A. Longley 合作出版了《分形城市》,基于分形思想探讨了城市的边界线、土地使用、城市形态与增长等问题^⑤。

① 陈彦光. 分形城市与城市规划 [J]. 城市规划, 2005, 29 (2): 33-40.

② 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 黄勇. 城市空间形态的分形研究——以武威市为例 [D]. 兰州大学, 2006: 8.

④ 陈彦光. 分形城市与城市规划 [J]. 城市规划, 2005, 29 (2): 33-40.

⑤ Batty M., Longley P. A. .Fractal Cities: A Geometry of Form and Function[M].London: Academic Press, 1994: 10-30.

1990 ~ 1994 年, 法国学者 P. Frankhouser 和 R. Sadler 以德国为中心, 对全世界主要城市的空间结构进行了分形研究, 并进行了大量的实证分析, 测算了包括中国的北京和台北在内的世界许多城市空间结构的分维数, 并于 1994 年出版了法文专著《城市结构的分形性质》^①。2000 年, Frankhouser 还对许多城市案例进行了比较研究, 得出这些城市表现为某些相似性, 即一个相当紧凑的中心, 以及沿交通轴线伸展出树枝状的建成区^②。

加拿大科学家 Kaye 在其《分形漫步》一书中对分形城市的自相似性进行了阐释: 城市在区域、街区、街坊邻里等不同尺度层次上重复着相似的用地结构, 即都存在住宅、开放空间、工商业和空闲地等用地划分模式, 并不是单一的纯粹用地^③。

此外, 还有一些学者在城市交通网络方面展开了分形研究。1987 年, S. Thibault 对法国里昂市的公共交通、郊区铁路乃至排水设备进行了系统的分维测算^④。1991 ~ 1995 年, 以色列学者 Benguigui 等研究了法国巴黎市的铁路网系统, 通过建立分形模拟模型并借助计算机实现了仿真的网络结构, 发现巴黎城郊的交通网络是枝状结构的分形形态^⑤。

2) 宏观层次: 城市体系分形研究

城市体系的分形研究包括空间层次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, 后者以位序—规模分布研究为核心。

也是在 1985 年, S. L. Arlinghaus 研究了 Christaller 的中心地体系, 发现中心地结构就是典型的分形几何体, 为分形理论在城市研究领域的应用做了开拓性的工作^⑥。由此, 城市地理学的分形研究日渐兴起, 分形理论成为地理学界的一个研究热点。

1989 年, S. L. Arlinghaus、W. C. Arlinghaus 在其前期工作的基础上进一步探讨了 Losch 中心地体系的分形与分维^⑦。

另外, D. Wong 和 P. Frankhouser 等先后研究了城市体系的位序—规模法则。

3) 微观层次: 街区建筑分形研究

在这个层次上, 分形城市概念和建筑学的分形研究不可分割^⑧。例如, 美国马里兰大学建筑学院的 C. Bovill、英国曼彻斯特大学建筑学院的 A. Crompton 分别从微观层次上对

① Frankhouser P. *La Fractalité des Structures Urbaines* [M]. Paris: Economica, 1994: 1-15.

② Frankhouser P. *GIS and the fractal formalisation of urban patterns: towards a new paradigm for spatial analysis* [M]// A.S.Fotheringham, M.Wegener. *Spatial Models and GIS: New Potential and New Models*. London: Taylo & Francis, 2000: 1-20.

③ [加] B.H. Kaye. 分形漫步 [M]. 徐新阳等译. 沈阳: 东北大学出版社, 1999: 15-37.

④ 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.

⑤ Benguigui L., Daoud M. Is the Suburban Railway System a Fractal? [J]. *Geographical Analysis*, 1991, 23 (4): 362-368.

⑥ 叶俊, 陈秉钊. 分形理论在城市研究中的应用 [J]. 城市规划汇刊, 2001 (4): 38-42.

⑦ Arlinghaus S. L., Arlinghaus W. C. The fractal theory of central place geometry: a Diophantine analysis of fractal generators for arbitrary Loschian numbers [J]. *Geographical Analysis*, 1989 (21): 103-121.

⑧ 陈彦光. 分形城市与城市规划 [J]. 城市规划, 2005, 29 (2): 33-40.