



主编·曾国屏

新·视野·丛书

第1辑

副主编·刘兵

·刘华杰

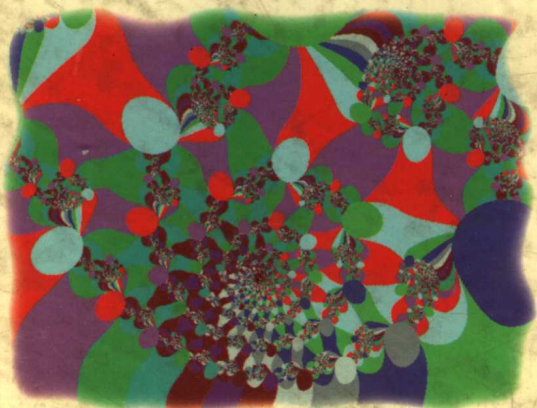
杨君游

# 分形

大自然的  
艺术构造

FEN XING

汪富泉 李后强 著  
山东教育出版社



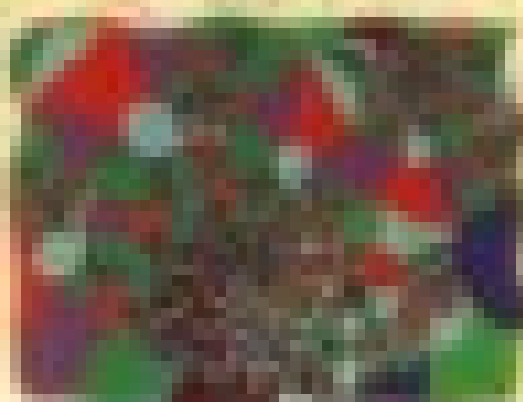


1985年10月



1985年10月

1985年10月



# 分形

大自然的  
艺术构造

FEI

汪富泉 李后强 \ 著



山东教育出版社

新视野丛书（第1辑）

分形

——大自然的艺术构造

汪富泉 李后强 著

\*

山东教育出版社出版发行

（济南经九路胜利大街）

山东新华印刷厂德州厂印刷

\*

850毫米×1168毫米 32开 7.75印张 5插页 160千字

1996年12月第1版 1996年12月第1次印刷

印数1—2000

ISBN7-5328-2331-8/G·2155

定价11.50元

## 编者的话

现代文明的潮流正在我们的时代奔涌，种种新学科、新理论、新思想在这个历史的潮流中翻波鼓浪，知识更新、学科交叉、知识集成在这个历史的潮流中分合汇聚。

改革开放、科教兴国，我们的国家正在走向世界，走向现代化，走向可持续发展的美好未来。在这个崭新的发展时期，我们正面临和经历着不同文化传统、学术观点、科学文化和人文文化的大交流、大碰撞和大融合。

于是，《新闻出版报》组织发表的“新学科出版物系列述评”不仅受到了出版界的赞扬和重视，而且得到了社会的广泛欢迎和好评。正是在此“系列述评”的直接鼓舞和学术前辈的热情关怀下，《新视野丛书》应运而生。

《新视野丛书》以促进文理相通、科教兴国、社会发展和文化繁荣为宗旨，将致力于发表、宣传和传播具有强烈时代感的新学科、新理论和新思想以及对于社会热点问题的新观察、新研究和新思考。

《新视野丛书》在坚持新颖性和高品位的同时，还注重严谨

学风和活泼文风的统一，以更好地为广大读者服务，以促进对于我们的时代进行更广泛的思考分析和更深刻的认识理解。

特别是：《新视野丛书》希望自己成为广大读者的朋友，在读者朋友们支持下共同拓展好通向未来的、有利于思想交流共鸣的知识新视野。

《新视野丛书》编委会

1996年6月于北京

汪富泉 李后强 著

分形——大自然的艺术构造

## 内容提要

分形是当代科学中最有影响和感召力的基本概念之一，分形几何学是探索复杂性的有效工具，对各部门自然科学均产生了并将继续产生深远的影响。本书共分两篇六章。第一篇深入浅出地介绍分形与分维的基本概念、计算分形维数的方法及纯数学中的分形实例。第二篇分五章介绍自然界中形形色色的分形现象，既有物质世界的真实形态，又有计算机仿真结果。内容包括：宇宙大尺度的分形结构，多姿多彩的地表形态及复杂地质构造的分形特征，物理、化学、生物等领域中的物体与过程在组织结构与形态上的分形艺术。其中较详细地介绍了作者近年来在分形理论及地球科学、生物物理、化学物理中的分形等研究工作。

本书可供高等学校高年级学生、教师和科技人员阅读。

## 作者简介

汪富泉，男，1955年生，四川师范学院副教授。已发表的论著有《分形几何与动力系统》、《利齐曲率满足某些条件的极小子流形》、《关于黎曼流形的某些整体性质》、《直积流形拟共形平坦的条件》、《蛋白质的谱维数》、《G-P算法的改进及其应用》和《关联维数在油气勘探中的应用》等。

李后强，男，1962年生，四川联合大学教授，非线性科学研究室主任，博士生导师。作为第一作者合著的《分形理论在分子科学中的应用》获1992年度国家教委科学技术进步一等奖，已发表的论著还有《分形与分维》、《分形理论及其应用》等。

## 分形——大自然的艺术构造

汪富泉 李后强 著



# 目 录

引言..... 1

## 第一篇 分形与分维——传统数学中的怪物

### 第一章 分形的基本概念与分维数的

计算..... 9

1.1 什么叫分形..... 10

1.1.1 特征尺度..... 10

1.1.2 科契曲线及其性质..... 12

1.1.3 统计自相似性..... 16

1.1.4 拟自相似集..... 17

1.1.5 自仿射集..... 17

1.2 分形维数..... 18

1.2.1 相似维数..... 22

1.2.2 豪斯道夫维数..... 22

1.2.3 容量维数..... 24

· 分形——大自然的艺术构造 ·

1.2.4	无标度区间·····	25
1.2.5	量规维数·····	25
1.2.6	计算维数的方法·····	27
1.3	传统数学中的怪物——分形的 数学实例·····	37
1.3.1	康托集合·····	37
1.3.2	谢尔品斯基集合·····	39
1.3.3	维尔斯特拉斯曲线·····	41
1.3.4	胖分形·····	44
1.3.5	和田曲线·····	51
1.4	多重分形及其维数谱·····	52
1.4.1	概念与例子·····	52
1.4.2	多重分形谱的计算方法·····	55

**第二篇 多姿多彩的分形世界——大自然的艺术构造**

<b>第二章</b>	<b>宇宙中的分形构造</b> ·····	61
2.1	星系分布的分形特征及其分 维·····	61
2.2	IRAS 星系大尺度分布的分形特征 与分维·····	65
2.3	月坑和小行星的直径分布·····	71
2.4	木星大气中的涡流与土星的 环·····	72
2.5	宇宙微粒的分形构造·····	76
<b>第三章</b>	<b>地表形态与地质的分形构造</b> ·····	79

3.1	地貌发育的分形特征·····	80
3.2	流水地貌及其分形特征·····	81
3.2.1	流水地貌与紊流的分形·····	81
3.2.2	流域地貌发育的分形模 型·····	87
3.2.3	小流域水系的多重分形 特征·····	89
3.2.4	泥石流沟判别的分形研 究·····	90
3.3	岩石断口的分形构造与地震的 分形现象·····	95
3.3.1	断层与裂缝的分形结构·····	96
3.3.2	地震分布的分形特征·····	107
3.4	地质构造的分形特征与矿产资 源的勘探开发·····	111
<b>第四章</b>	<b>地貌和地质构造的分形模拟···</b>	<b>136</b>
4.1	地貌的分形模拟·····	136
4.2	地质构造的分形模拟·····	154
<b>第五章</b>	<b>物理与化学中的分形构造·····</b>	<b>165</b>
5.1	固体与化学活性表面的分形 特征·····	166
5.2	材料断裂的分形性质·····	171
5.3	分形凝聚体·····	174
5.3.1	DLA模型和KCA模型 ·····	175

· 分形——大自然的艺术构造 ·

5.3.2	金属叶与金属树的分形特征 .....	177
5.3.3	粘性指进 .....	179
5.3.4	放电式样 .....	180
5.3.5	似分形晶体的生长 .....	181
5.3.6	准晶体的分形结构 .....	183
5.4	相变点附近的分形结构 .....	185
5.5	湍流的分形行为 .....	188
5.6	高分子的分形特征 .....	189
5.6.1	大分子的结构特征与分子链的分维 .....	189
5.6.2	大分子溶液的粘度性质与分维 .....	195
5.7	凝胶化与渗流的分形行为 .....	197
5.7.1	凝胶的标度 (分形) 性质 .....	198
5.7.2	凝胶集团的分维 .....	200
<b>第六章</b>	<b>生物体的分形特征</b> .....	<b>203</b>
6.1	分形植物 .....	204
6.1.1	植物的分岔构造与分维 ...	204
6.1.2	分形植物的计算机模拟 ...	205
6.1.3	植物叶序的分形性质 .....	211
6.1.4	植物的分形外显性 .....	213
6.1.5	植物分形的广义证据 .....	215
6.2	动物的分形特征 .....	218

·目 录·

6.2.1 动物的分形外显性 .....	218
6.2.2 人体生理结构中的分形 ...	219
6.2.3 生理结构中的分形时间 ...	222
6.3 生物大分子的分形特征 .....	225
6.3.1 DNA复制的分形性质.....	225
6.3.2 蛋白质与核酸的分形结构 与分维 .....	226
<b>参考文献</b> .....	230
<b>后记</b> .....	236

## 引 言

新世纪的钟声即将敲响。

回顾即将过去的一个世纪数学的发展历程，我们可以欣喜地看到，一个世纪以来，数学家们在追求数学理论的完美性和数学应用的广泛性上所做出的孜孜不懈的努力和所取得的丰硕成果：孤子、混沌、分形、小波 (wavelet) ……

在层出不穷的新学科中，美籍法国数学家曼德尔布罗特 (B. B. Mandelbrot) 于本世纪 70 年代中期所开创的分形几何 (fractal geometry) 理论在上述两个目标的追求上都取得了突出成就，被誉为开创了 20 世纪数学的重要阶段。

一方面，分形几何中的主要角色都是由传统数学中的“病态”结构或数学“怪物”所

扮演的：三分康托 (G. Cantor) 集、维尔斯特拉斯 (K. Weierstrass) 函数、科契 (Von Koch) 雪花曲线、皮亚诺 (G. Peano) 填充空间的曲线等等。曼德尔布罗特把它们放在分形几何中统一处理，使人们看到了过去那些被认为是“病态”的“怪物”展现出新的规则和奇妙无比的美。另一方面，使科学家们惊讶并欢迎的是，分形几何为研究自然界中形形色色的复杂形状和结构提供了十分简洁的工具，因而在天文、地学、物理、化学、生物、医学、材料乃至语言学、经济学等领域得到了十分广泛的应用。

从 80 年代中期开始，分形“热”了，成了科学界叫得最响的名词，吸引了几乎所有领域科学家和社会工作者的注意。有关分形出版了上百部专著，在国际期刊上发表了几千篇专业论文。美国物理学家惠勒 (J. A. Wheeler) 说：“明天谁不熟悉分形，谁就不能被认为是科学上的文化人。”

分形研究是非线性科学的前沿之一，也是哲学家们感兴趣的课题之一。世界本质上是非线性的，而分形是复杂非线性特征的一种几何表现。分形概念与自相似是密不可分的，没有自相似就没有分形，但有自相似却未必有分形。从自相似概念到分形概念，在思维上有一个巨大的质的“飞跃”。对于大自然而言，自相似性是普遍存在的，但从来没有绝对的自相似。“分形”是一个科学术语，仍然只是一种人为的抽象，虽然在某种意义上说它比“整形”更能反映事物的本来面目。分形概念表达了 20 世纪下半叶人们看世界的一种新的方式，但它仍然是一种普通的科学模型，有好的方面，也同样有不适当之处。时至今日，分形理论所包含的深刻内涵及其哲学启迪还远未揭示出

来。

科学新概念的诞生，往往需要有一个整体的社会意识。20世纪初之所以有许多新概念问世，是由于当时社会整体的技术有了很大的进展，而且经典的理论已开始与实验所发现的事实发生冲突。另一方面，科学的哲学思想也为新概念的建立作了准备。分形概念的诞生也有类似的原因，决定论框架中的随机性的发展导致了混沌动力学的建立，而这些优美的动力学几何图象则鲜为人注意，分形正是在这方面显露才华，并引起各个领域的研究工作者的注意。

但是，分形并没有对时空给出一个实质性的新概念。而且依照分形的概念，在动力学的意义上对系统的行为的理解仍然获益不多。如果说多标度分形的理论使对这些形态的认识大大向前迈出了一步，那么概念性的突破仍然太少，因为它很快又返回到了“热力学”的类比之中去了。分形理论仍然处于发展之中，而且空间广阔。

来自科学哲学界的情报表明，一些富于探索精神的哲学家们，正在试图把分形的概念和思想抽象为一种方法论——分形论，它是一种辩证的思维方法和认识方法。部分与整体的关系是一对古老的哲学范畴，也是分形理论的研究对象。把复杂事物分解为要素来研究是一条方法论原则——简单性原则。哲学史上，人们很早就认识到，整体由部分组成，可通过认识部分来映像整体。系统中每一个元素都反映和包含整个系统的性质和信息，即元素映现系统，这可能是分形论的哲学基础之一。

从分析事物的视角方面来看，分形论和系统论分别体现了从两个极端出发的思路。它们之间的互补恰恰完整地构成了辩



证的思维方法。系统论由整体出发来确定各部分的系统性质，它是沿着宏观到微观的方向考察整体与部分之间的相关性。而分形论则相反，它是从部分出发来确立整体的性质，沿着微观到宏观的方向展开的。系统论强调了部分依赖于整体的性质，而分形论则强调整体对部分的依赖性质。于是二者构成了“互补”。

分形论的提出，或许具有以下几个方面的意义。首先，它打破了整体与部分之间的隔膜，找到了部分过渡到整体的媒介和桥梁，即整体与部分之间的相似性。

其次，分形论的提出，使人们对整体与部分的关系的思维方法由线性进展到非线性的阶段，并同系统论一起，共同揭示了整体与部分之间多层面、多维度的联系方式。分形论从一个新的层面深化和丰富了整体与部分之间的辩证关系。

再次，分形论为人们认识世界提供了一种新的方法论，它为人们从部分中认知整体，从有限中认知无限提供了可能的根据。

最后，分形论的提出进一步丰富和深化了科学哲学思想中关于普遍联系和世界统一性的原理。这主要表现在两个方面：一是分形论从一个特定的层面直接揭示了宇宙的统一图景；同时，分形论所揭示的整体与部分的内在联系方式是对宇宙普遍联系与内在统一的具体机制的一种揭示。二是关于世界物质统一性，分形论可以从共时态与历时性两个维度上展开说明：一方面在自然界中蕴含着历史的演化与嬗变的信息，另一方面部分与分形整体之间普遍的相似性编织了一张世界统一的网络。

分形论的产生，也是古代哲学思想在近代自然科学中的重