国家"九五"规划重点图书

混沌科学丛书
HUNDUN KEXUE CONGSHU

社会现象中的混沌

李后强 黄登仕 方曙 著

生育可以控制吗？股市行情有规律可循吗？东南亚为什么会出现金融危机，巴林银行为什么会倒闭？前苏联为什么会在一夜间土崩瓦解？历史的发展为什么那样惊人的相似？这样的问题还有很多，本书将用混沌理论、从一个全新的角度回答这类问题。

东北师范大学出版社

国家“九五”规划重点图书

李后强 黄登仕 方曙 著

社会现象中的混沌
（修订版）

●混沌科学丛书

东北师范大学出版社
中国·长春

（吉）新登字 12 号

图书在版编目(CIP)数据

社会现象中的混沌／李后强，黄登仕，方曙著.—长春：东北师范大学出版社，1999.10（2000.3 重印）
ISBN 7-5602-2430-X

Ⅰ.社… Ⅱ.①李…②黄…③方… Ⅲ.社会学－混沌－现象－研究－普及读物 Ⅳ.C91-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字（1999）第 55892 号

混沌科学丛书

●社会现象中的混沌

SHEHUIXIANXIANG ZHONG DE HUNDUN

（修订版）

出版人　贾国祥
总策划　王忠山
著　者　李后强　黄登仕　方　曙
责任编辑　王忠山
封面设计　李冰彬
责任校对　方　军
责任印制　张允豪　栾喜湖

发　行　东北师范大学出版社
地址：吉林省长春市人民大街 138 号
邮编：130024　电话：0431-5688470
传真：0431-5695744　5695734
网址：http:// www.nenu.edu.cn
电子信箱：JGX@Public.cc.jl.cn
制　版　东北师范大学出版社激光照排中心
印　刷　吉林省吉新月历公司印刷分公司
版　次　1999 年 10 月第 1 版　2000 年 3 月第 2 版
印　次　2000 年 3 月第 2 次印刷
开　本　850 × 1092 1/32　印张：9　字数：180 千
印　数　5 001 册～7 000 册
书　号　ISBN 7-5602-2430-X/C · 27
定　价　12.00 元

前　言

面对股市的升降，经济的波动，企业的重组，教育的改革，管理的创新，文章的发表，艺术的韵美，人口的剧增，预测的失效，哲学的困惑……人们发出感叹：社会为何如此复杂？

人类社会存在着纷乱与无序，给人许多烦恼与不安。本书以丰富的事例说明这种现象的根源在于社会内部，在于世界本质上的非线性。混沌是非线性现象中的一个普适类，开创了自然科学的第三次革命。它既是探索复杂现象的新式武器，又是复杂性研究取得的新成果。

这本书是集体劳动的产物。本书作者均是活跃在混沌科研与教学前沿的年轻学者，他们以新的视角，多方位地扫描了人文科学中的混沌现象，对哲学、经济学、人口学、写作学、教育、艺术及管理等学科进行了批判性的反思，从复杂性中找到了规律性，从无规中分离出了有序，从平庸中发现了神奇。读此书有助于解放思想，深化认识，走出混沌误区，加速思维范式从线性向非线性的转变。

本书作者分工协作情况如下：第一章由李后强、王放撰写，第二章由张彦、王家增撰写，第三章由马正平撰写，第四

章由王放、李后强撰写，第五章由赵太想、汪富泉、王煦撰写，第六章由方曙、李后强撰写，第七章和第十一章由刘洪撰写，第八章由黄登仕、李后强撰写，第九章由方曙撰写，第十章由汤忆玲撰写，第十二章由李后强撰写。本书提纲由李后强、黄登仕草拟，李后强担任组稿和统稿工作，黄登仕承担组织协调工作，方曙提供了丰富的图书资料。

李后强

1999 年 3 月于四川大学

目　录

第一章　混沌初开——有言在先

人类在进步，科学在发展。如今，人们已经掌握了若干先进的科学武器，弄清了一些复杂现象的根源，认识了什么是非线性，什么是混沌。人类的自然观和科学的逻辑体系已发生巨大变化。我们决不能“坐看云起时，物我两相忘”。

§1.1　混沌的基本概念

在现代汉语中，“混沌”就是“紊乱”“杂乱”“纷乱”及“无规”。在中国的古代传说中，混沌指宇宙形成以前模糊一团的景象，称之为“混沌初开”。《白虎通·天地》中曰：“混沌相连，视之不见，听之不闻。”《孟子·离娄下》中曰“原泉混沌，不舍昼夜。”曹植在《七启》中写道：“夫太极之初，浑沌未分。”总之，在传统观念中，混沌并不是什么“好东西”。

但在现代科学中，混沌却非常时髦。有位物理学家甚至认为，混沌是本世纪继相对论和量子力学之后的第三次自然科学革命。因为相对论澄清了牛顿关于绝对空间和绝对时间的错觉；量子学说破除了牛顿关于过程测量可控的梦想；混沌学粉碎了拉普拉斯关于决定论预测的空想。混沌的出现，意味着经典科学的终结。数学家斯蒂瓦特（I.

Stewart)对混沌的发自内心的赞美,却是严谨而又令人大开心智的:

"混沌是令人振奋的,

它开辟了简化复杂问题的途径;

混沌是令人忧虑的,

它给科学中建立模型的传统方法带来疑问;

混沌是令人神往的,

它把数学、科学和技术联姻;

但最重要的——

混沌是美的化身!"

"混沌"亦写成"浑沌",它是自然界中一大类现象。协同学创始人哈肯指出,"混沌性来源于决定性方程的无规运动"。科学意义的"混沌",译自英文 Chaos,意指在不可积分的非线性系统中由于内禀随机性所导致的外在的貌似无规的运动。据说,混沌学——Chaology 一词是贝利(M.Berry)从 1893 年出版的一本字典中发掘出来的。Chaos 一词与它同源,意为无秩序、混乱。混沌是一种无周期的有序。

在自然界和人类社会中,混沌现象及过程比比皆是。从宏观世界到微观世界,紊乱和混乱似乎无处不在。烟头上的一缕青烟袅袅上升,突然变成了层层烟圈,四处飘散;逐渐开大自来水龙头,先是均匀而流,随后却尖啸不已,水花四溅。无论是宏观的经济失调,还是微观的企业倒闭;是大自然界的风云突变,还是熔岩在地下奔突;是火山喷发,还是大地震动;是生物种群无规律的繁衍湮没,还是人类心脏的纤维性颤动;是地磁场方向的倒转,还是人的脑电图

……这些都存在着紊乱现象。所有这些紊乱、混乱、杂乱、无序、无组织、无规则的现象,都属于混沌现象。研究混沌运动的科学叫混沌学。

混沌学是过程的科学而不是状态的科学,是演化的科学而不是存在的科学。它在决定论和概率论之间架起了一座桥梁,实现了有序和无序的统一。它掀起了一场科学思想的革命,极大地丰富了我们的辩证唯物主义世界观。

研究表明,许多简单的非线性系统,都可能有混沌现象,如最简单的非线性电路、具有非线性阻力的有周期外力作用的单摆等。人们都希望通过研究混沌产生的原因来说明湍流产生的机制、生命现象中的许多问题以及某些社会现象等。混沌研究涉及众多的数学工具,其进展在很大程度上得益于计算机的广泛应用。尤为引人注目的是,在研究由一些符号(如 L、R)组成的序列行为时诞生的符号动力学,近来在混沌学研究中发挥了非常奇妙的作用。

§1.2 混沌理论的产生

混沌研究是从对非线性微分方程的求解开始的。非线性是对线性而言的。线性就是量与量之间存在正比关系,在直角坐标中画出的是直线,满足叠加原理,即部分之和等于整体;非线性指曲线关系,整体不等于部分之和,叠加原理失效,这是由于存在交互作用,耦合放大效应,系统中要素独立性丧失的缘故。本世纪初,著名的法国数学家和理论天文学家庞卡莱(H. Poincare)发现某些特殊的微分方程(如哈密尔顿方程)的可解性与解值对其初始条件极为敏

感,甚至产生无解现象。由此,庞卡莱得出以下两个结论:第一,在这种情况下不可能进行预测;第二,在这类确定性系统中,出现了随机现象。在庞卡莱逝世以后的半个世纪内,他的发现并没有引起数学家和物理学家的重视。

1963年,美国气象学家爱德华·洛仑兹(E.Lorenz)在用他所建立的微分方程模型在计算机上模拟气候变化时,偶然发现输入的初始条件的极细微的差别,可以引起模拟结果的巨大变化。因此,洛仑兹认为,在南半球某地一只蝴蝶的翅膀的偶然扇动所引起的微小气流,几星期后可能变成席卷北半球某地的一场龙卷风,这就是天气的"蝴蝶效应"。以后,洛仑兹在数值计算中发现,一个完全确定的三阶常微分方程组,在参数取某些值时,会给出非周期的、看起来很混乱的输出。于是,洛仑兹得出了三点结论:第一,某些微分方程的解的轨迹是非周期性的波动流线;第二,方程解的这种不确定性的非周期扰动,是由于初始条件的变化而引起的;第三,由于初始条件的细微变化在一定条件下会导致微分方程解的巨大偏差,因此,在这些条件下,中、长期气象预报是不可能的。洛仑兹的发现实际上是混沌理论研究的开始。

1957年,美国数学家李天岩和詹姆斯·约克(J.Yorke)提出了著名的李-约克(Li-Yorke)定理,即"三阶周期意味着混沌",从而正式定义了"混沌"的概念。李-约克定理的主要思想是:设一阶差分方程

$$x_{t+1}=f(x_t) \tag{1·1}$$

的函数 f 是从区间 I 到区间自身的连续映射,若存在着一点 $x\in I$,使得

$$f(f(f(x)))\leqslant x<f(x)<f(f(x)) \tag{1·2}$$

则对任意的 $k=1,2,3\cdots$ 在 Z 中存在着一条 k 周期的轨道，并且 f 在区间 Z 中产生了非周期性的混沌轨道。根据李-约克定理，如果从 $x=x_0$ 开始，按照式(1·1)迭代 n 次，使得

$$x_n=f(x_{n-1})=x_0 \tag{1·3}$$

则 x_0 就是函数 f 的一个 n 周期点。因此，李-约克定理可以简单地表述为：如果区间到区间自身的连续函数 f 有一个 3 周期点，则对任何正整数 n，f 有 n 周期点。李-约克将这类现象定义为“混沌”。

李-约克定理实质上只是萨柯夫斯基(Sarkovskii)定理的一个特例。早在 60 年代，苏联学者萨柯夫斯基在一篇论文中把所有的自然数按所谓的萨柯夫斯基序重新排列：

$$\left.\begin{aligned}&1<2<2^2<\cdots<2^{n-1}<2^n<\cdots\\&\cdots<2^m(2n+1)<\cdots<2^m\cdot5<2^m\cdot3<\cdots\\&\cdots<2\cdot(2n+1)<\cdots<2\cdot5<2\cdot3<\cdots\\&\cdots<2n+1<\cdots<5<3\end{aligned}\right\} \tag{1·4}$$

并证明了在上述序列中，若 $p>q$，则某系统如果有 p 阶周期解，那么它就必有 q 阶周期解，也就是说有 p 以前的所有周期解。在上述序列中，周期 3 是最后一个周期，若它存在，则必定存在所有阶周期。系统的轨迹有各种周期，这就是混沌。

1976 年，美国生物学家梅(R. M. May)在利用一个二次差分方程对生物种群进行研究时发现，生态学中一些非常简单的数学模型，具有极其复杂的动力学行为，包括分岔和混沌。1978 年，美国数学家费根鲍姆(M. J. Feigenbaum)

发现了在系统通过倍周期分岔而进入混沌时的系统参数 μ 的值以及费根鲍姆普适常数。同时,美籍法国数学家曼德尔布罗特(B. B. Mandelbrot)创立了分形理论,使混沌系统在相空间中的奇怪吸引子的特征用分维得到描述,从而系统的混沌程度也可以被刻画。

自 70 年代后期以来,数学家、物理学家、生物学家、化学家、医学家、天文学家、经济学家等纷纷从不同的角度研究自然界和人类社会存在的复杂的混沌现象,从而掀起了研究混沌理论的热潮。

§1.3 混沌现象的基本特征

混沌是一种貌似无规的运动,是在确定论系统中出现的类似随机的行为过程,是系统在内禀不确定性因素作用下,产生的时间演化的宏观复杂现象。混沌存在于不可积分的非线性系统中,可积分的非线性系统则产生孤子。混沌现象把表面的无序性和内在的规律性融为一体,其基本特征是:

1. 确定论系统的内禀随机性

混沌现象是由系统内部的非线性因素引起的,是系统内在随机性的一种表现,而不是由外来的随机扰动产生的不规则结果。混沌理论的研究结果表明,只要确定论系统中有非线性因素作用,系统就会在一定的控制参数范围内产生一种内禀随机性,也就是确定的随机性,即确定性混沌。“确定的”是指随机性的产生是由系统内部的原因造成的,其过程是严格确定性的,而“随机性”则是指其现象是不

规则的和不能预测的。

反映确定性混沌的最典型的模型是生态学中的逻辑斯蒂模型

$$y_{n+1}=\mu y_n-by_n^2 \tag{1·5}$$

式中，y_{n+1}和 y_n 分别为第 $n+1$ 代虫口（人口）数和第 n 代虫口（人口）数，μ 为反映虫口（人口）增长速度的参数，by_n^2 为反映环境限制因素的非线性项。经过变量代换和改变变量的定义，可以把式(1·5)改写成下面形式的迭代方程：

$$x_{n+1}=\mu x_n(1-x_n) \quad (\mu\in[0,4],x\in[0,1]) \tag{1·6}$$

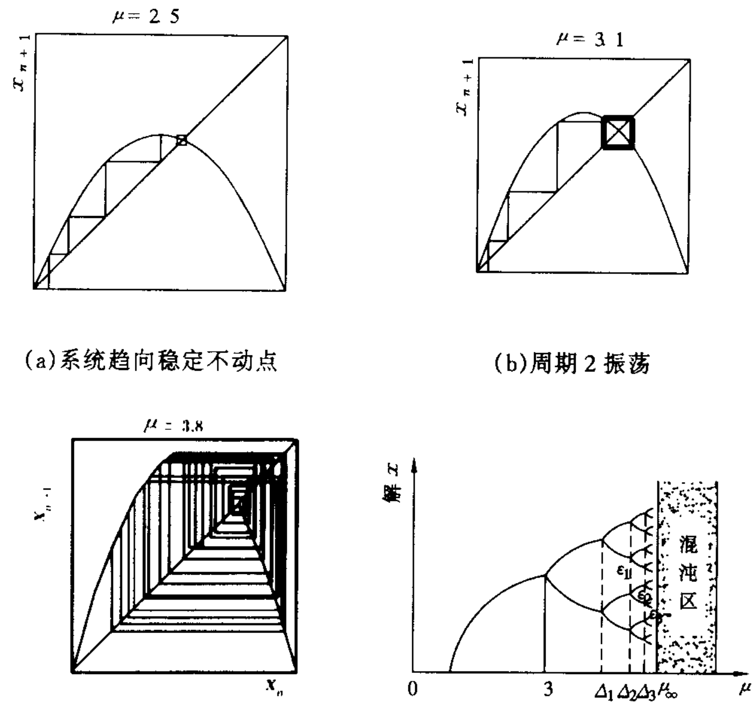
随着参数 μ 的变化，系统(1·6)将会出现下列不同的状态：

当 $0\leqslant\mu\leqslant1$ 时，系统(1·6)是稳定的，即不论初始条件 x_0 是什么，系统最后都将收敛于 0，即 $x_n\to\xi=0$。

当 $1\leqslant\mu\leqslant3$ 时，系统(1·6)仍然是稳定的，系统最后的收敛点即稳定不动点是 $\xi=\frac{\mu-1}{\mu}$。图 1 - 1(a)是当 $\mu=2.5$ 时系统(1·6)的迭代过程。从该图可以看出，每给定一个初值 x_0，迭代过程就会沿箭头所示的途径行进，最后终止于 $x_{n+1}=f(x_n)$曲线与 $x_{n+1}=x_n$ 线（图中斜率为 1 的直线）的交点，该点就是迭代方程(1·6)的不动点，其值为 $\xi=\frac{\mu-1}{\mu}$。

当 $3<\mu\leqslant1+\sqrt{6}$时，对于任意初值 x_0，随着 $n\to\infty$，迭代序列无限趋近于

$$\xi_1,\xi_2,\xi_1,\xi_2,\cdots \tag{1·7}$$



(a)系统趋向稳定不动点　　(b)周期 2 振荡

(c)无穷长周期振荡(混沌区)　　(d)倍周期分岔示意图

图 1 - 1　一维迭代方程的行为

即系统出现周期 2 解，$\xi_1 = f(\xi_2) = f(f(\xi_1))$或 $\xi_2 = f(\xi_1) = f(f(\xi_2))$，其中

$$\xi_1, \xi_2 = [(1+\mu \pm \sqrt{(\mu+1)(\mu-3)})/2\mu] \qquad (1\cdot 8)$$

如图 1 - 1(b)所示，当 $\mu = 3.1$ 时，系统出现两个值 ξ_1 和 ξ_2 的交替振荡：

$$\begin{aligned} \xi_2 &= 3.1\xi_1(1-\xi_1) \\ \xi_1 &= 3.1\xi_2(1-\xi_2) \end{aligned} \qquad (1\cdot 9)$$