



科学新知丛书

KE XUE XIN ZHI CONG SHU

13

KE XUE XIN ZHI CONG SHU

耿天明 郝思莲 著

# 混沌迷彩



远方出版社



科学新知丛书 13

---

# 混沌迷彩

耿天明 郝思莲 著

远方出版社

### 图书在版编目(CIP)数据

混沌迷彩/耿天明,郝思莲著. - 呼和浩特: 远方出版社,  
2007.3

(科学新知丛书)

ISBN 978 - 7 - 80723 - 096 - 0

I. 混… II. ①耿… ②郝… III. 混沌学 - 普及读物  
IV. O415.5 - 49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 032570 号

## 科学新知丛书 混沌迷彩

---

|       |                                |
|-------|--------------------------------|
| 著 者   | 耿天明 郝思莲                        |
| 出 版   | 远方出版社                          |
| 社 址   | 呼和浩特市乌兰察布东路 666 号              |
| 邮 编   | 010010                         |
| 经 销   | 新华书店                           |
| 印 刷   | 华北石油廊坊华星印刷厂                    |
| 版 次   | 2007 年 3 月第 1 版                |
| 印 次   | 2007 年 3 月第 1 次印刷              |
| 开 本   | 850 × 1168 1/32                |
| 印 张   | 135                            |
| 字 数   | 2000 千                         |
| 印 数   | 3000                           |
| 标准书号  | ISBN 978 - 7 - 80723 - 096 - 0 |
| 总 定 价 | 336.00 元(共 20 册)               |

---

远方出版图书,版权所有,侵权必究。

远方版图书,印装错误请与印刷厂退换。

# 内容简介

混沌科学是 20 世纪晚期形成的综合型新科学分支,是继相对论和量子力学之后,又一具有革命性的重大科学进展。它的科学观念新颖,思维方式独特,科学内涵丰富,影响范围深远。广大读者,尤其青少年,渴望有一本通俗易懂的入门性科普读物。本书既讲了混沌的初步概念,又讲了相关领域的知识背景,既揭示了混沌的种种奥秘,又介绍了有关的人物和故事。全书深入浅出,图文并茂,夹叙夹议,引人入胜,犹如科学散文,适合具有中学数理知识的任何读者阅读。

# 编写说明

未来的时代航船已经启动!

《科学新知丛书》是作者们怀着美好的祝愿和殷切的期望,献给未来的主人——广大青少年的一份珍贵礼品。

青少年朋友们,你们生活在一个科学技术高度发达、科技革命蓬勃兴起的时代。现代科学技术发展的速度之快、规模之大、对人类社会影响之深,都是过去任何时代所无法比拟的。作为未来社会的建设者和主人,要想胜任驾驭时代航船的重任,就必须把自己培养成掌握丰富科学文化的创造型人才。

“才以学为本”,学而有进,不学则退。文化科学素质的提高是以科学知识的学习为重要前提和阶梯的,自然科学知识是创造型人才优化知识结构中极其重要的组成部分。我们希望广大青少年能够在知识的海洋中畅游,去采撷知识的浪花。

《科学新知丛书》是针对青少年增长知识、发展智力的需要,在中学生已有课内自然科学知识的基础上加以

拓宽和延伸,广泛吸收天文学、地理学、数学、物理学、化学、生物学、计算机科学和当代各种高科技发展的新成果而精心编写的一套综合性课外读物,旨在以高密度的基础性、前沿性和前瞻性的科技知识武装青少年的头脑,使广大青少年紧跟现代科学技术发展的步伐,综合地、整体地了解当代科学技术的主要成就和发展水平,为青少年的智力发展和科学文化素质的提高,铺垫深厚的知识功底,培养热爱大自然和自然科学的科学意识,激励好奇心、惊奇感、探索欲望和创新精神,学习科学思想和科学方法,培养创新思维 and 创新能力,以达到开阔视野、活跃思想、增长才干、发展智慧的目的。

《科学新知丛书》内容丰富,题材新颖,图文并茂,形式活泼,文字生动流畅,论述通俗易懂,有很强的可读性,是一套科学性、思想性、趣味性高度统一的精品科普读物。我们希望这套丛书成为青少年成长途径中的良师益友,帮助青少年朋友“站在巨人的肩上”,迅速成长为适应时代需要的杰出人才。

愿你们驾驭着时代的航船,频频闪射出科学创造的眩目光辉!

# 引言

什么是混沌？

作为一般文化意义上的习惯用语，混沌一词古代就有，通常也写作浑沌，含义主要指模糊一体未曾开化的状态，如形容宇宙形成前的景象和糊涂无知的人样。西方英、法、德文都写作 chaos，来源于希腊文，原意本与中文混沌相当，但后来演化为含有“完全混乱毫无秩序”的意思了。直到 1975 年，它才又作为一个崭新的科学术语重新出现，特指一类非线性现象。严格统一的混沌定义还未形成，通常有下面几种说法表达它的含义：

“确定性的非周期流”，“貌似随机性”（洛伦兹）；

“来源于决定论性方程的无规运动”（哈肯）；

“意味着决定论的随机性”（福特）；

“完全由规律支配的无规行为”（斯特瓦尔特）；

“确定性系统中出现的随机性态”（1986 年伦敦会议）；

“确定论系统的内在随机性”（郝柏林）。

这几种说法都包含有一种悖论：一方面是确定性或

决定论,意指严格的、精确的、不可动摇的定律支配下可重复的必然性;一方面又是随机性或无规性,意指无定律能决定的、不可预测的偶然性。上述说法都意味着混沌是“完全由定律支配的无定律性态”,这种矛盾的定义方式,在传统的科学理论中是没有过的,但它反映的却是事实。由此可见,混沌的奇特性质和对传统科学的背离倾向。混沌现象表面上显得复杂纷乱,但内在深处却又是秩序井然的。道理也很简单:它所属的系统和方程(定律)仍是旧的,但其行为表现又是新的。

哪里有混沌?

啊,这就太多了,因为混沌既是一种状态,又是一种过程,世界上的事物丰富多彩、千变万化,真正规则的、线性的很少,更多的是不规则、非线性的。只是过去出于无奈,或受观念束缚,或受手段限制,才使得混沌视而不见和含而不露。有时人们即使碰到了,也因其稀奇古怪而视为妖魔鬼怪,力图驱逐出科学视野。其实混沌比比皆是,人类无法回避。单摆或电路的振荡,流体的对流与湍流,台球的反弹,龙头的滴水,天气的变化,地震的发生,地磁极性的反转,小行星的间隙分布,天体的运行,脑电的波动,心室的颤动,细胞的代谢,流行病的传播,生物种群的数量变化,化学反应中相关成分浓度的变化,市场经济的价格和股市行情的波动……总之,你周围所见自然的、社会的甚至你自身的许多事物,仔细分析,往往就是混沌的。这是因为,世界原本就是非线

性的。本书所涉及的只是为说明混沌含义而介绍的几个例证而已。

谁发现的混沌？

这说来话长。长话短说吧，将近百年前，法国科学家庞加莱在对非线性动力学研究中，做出过一系列重大贡献，为混沌研究准备了概念和数学，并预言了混沌。尽管没有引入这一术语，但在《偶然性》一文中详细描述了混沌的特征，他发现的太阳系三体运动的复杂行为，实际就是混沌的征兆。当认识到当时的数学水平不足以解决天体的复杂问题时，他就集中精力发展新的数学工具去了。现在混沌研究中所用的许多基本概念和工具都是他的遗产。

美国气象学家洛伦兹，在长期的气象研究中首先发现并公开报道了混沌运动。他揭示了混沌的基本特征，如确定性方程的非周期性、对初值的敏感依赖性、长期行为的不可预测性等；他发现了第一个混沌吸引子；他最先在计算机上进行数值研究，开辟了混沌研究的新道路。尽管他也没有引入混沌这一术语，而称作《确定性非周期流》（1963 年第一次发表的著名论文标题，以后他又陆续发表过 3 篇论文），但现在人们还是公认他为混沌的发现者并称之为“混沌之父”。

洛伦兹的文章发表在比较偏僻的气象杂志上，埋没了 10 年未引起注意。直到 1972 年文章被介绍给马里兰大学的约克教授以及他的博士生、华人李天岩，才出

现了转机。在洛伦兹的论文的启发下,李-约克于1973年证明了一个定理,并将其写成论文《周期三意味着混沌》,但投稿后遭到退稿。1974年正在研究虫口问题并被其中混沌现象困扰的罗伯特·梅到马里兰大学讲学,在交流中见到未发表的李-约克论文,喜出望外,因为该论文解决了他的疑问。此后,他到处讲李-约克定理,由于梅的名气大,使得李-约克定理很快被人熟知,文章也于1975年发表了。洛伦兹的发现也随之名扬四海,为世人所知。所以,首先是洛伦兹发现了混沌,而李-约克发现了洛伦兹并命名了混沌,罗伯特·梅又发现了李-约克。李-约克的论文描述了混沌的数学特征,并为这个新兴的研究领域确立了“混沌”这个中心地位的科学概念,树立了一面统帅所有混沌研究的大旗,为随之而来的世界性混沌研究热潮指明了方向。

混沌有什么意义?

混沌的意义非常重大,简单地说,混沌渗透、覆盖和影响各个科学领域,改变着整个科学的结构和观念;混沌给人们新的观念,开拓新的视野,提供新的方法,展现新的现象;混沌修改了“钟表模式”的机械决定论宇宙观,确立了“世界既是确定、有序的,又是随机、无序的”辩证宇宙观。科学家们意识到一场新的科学革命的浪潮已经到来,所以很快的混沌一词不胫而走,混沌会议一个接一个地召开,混沌书刊一种接一种地出版,混沌研究机构一批接一批地成立,各个研究领域的科学家纷

纷寻找自己领地的混沌,各个大学纷纷开设有关混沌的课程。许多科学家都来研究混沌论。

混沌有用吗?

当然有用,但其用处究竟有多广泛,目前还难以说清。20世纪90年代以来,混沌控制的研究已有突破性进展。人们所追求的就是能驾驭混沌,有益的混沌让它产生和维持,有害的混沌让它消失或能预先防止。

前景是诱人的,但道路却是漫长的。人类虽有追求功利的本性,但也不能急于求成和急功近利。科学,特别是基础科学,最重要的或第一步的目标,是追求对科学本身的推动和发展,探索未知,寻找新的规律,新兴科学更不能过早地去追求应用。爱因斯坦当初研究相对论时,也并不知道它能制造原子弹和建造核电站。现在研究混沌大抵也处于那样的阶段。

最后,就本书的结构和阅读交代几句。各章内容基本是围绕一个中心议题展开叙述的,讲它的知识背景,讲它的混沌表现,讲研究混沌的故事和人物。关于混沌的一些初步知识放在前两章介绍,其余各章基本相互独立,但都以前两章的知识为基础。所以,应该先阅读前两章,在对混沌有了初步印象和必要的认识后再往下读,效果会更好些。

# 前言

●耿天明 郝思莲

20 世纪的最后 20 多年里,一个被称作“混沌”的科学术语,像幽灵般在全世界徘徊。其来势之凶猛,令世人刮目。兴起不久,就旋风般席卷了众多的数学家、物理学家、生物学家、医学家、气象学家、地理学家、工程师、经济学家和哲学家投入到混沌研究的主战场,并硕果累累,很快形成了有自己的语言和工具、有自己的特征和规律的综合型科学分支。

混沌学以其丰富的科学内涵、新颖的科学观念和独特的思维方式,挑战以经典物理为基础的传统科学,是继相对论与量子力学之后,科学发展史上的又一个里程碑,是 20 世纪物理科学的第三次革命性浪潮。以至于有的混沌鼓吹者宣称,20 世纪只有相对论、量子力学和混沌学这三件事将被后人永记。

混沌热潮不仅卷进了众多研究者,也吸引了广大局外人的注意,尤其是青年学生。他们迫切地想知道:什

么是混沌？它和我们人类有多大关系？研究生态学混沌有杰出贡献的理论物理学家罗伯特·梅(Robert May)曾大声疾呼“必须向一般学生讲授混沌。”现在国家一直都在强调教育要面向现代化、要进行素质教育。笔者认为,进行科学教育,特别是自然科学的教育,是提高人们素质的重要内容和手段,它不仅使人能获得工作、生活甚至生存的知识和技能,更重要的是能使人获得科学思想、科学精神、科学态度和科学方法的熏陶和培养,使人获得非生物本能的和非天生的聪明与才智。在这方面,混沌有其得天独厚的教育作用。

介绍混沌的读物很多,但对局外人来说都有些晦涩。就是一些科普性的图书,也往往对知识背景交待不清,缺乏连续性,读了之后仍感觉不知所云。广大读者尤其是青年学生,需要有一本通俗易懂、知识背景介绍清晰的科普读物。本书就是针对具有中学数理知识的读者写的,力争能够与广大读者已有知识的衔接得上。书中用了很少一点数学,而且基本上限于个别章节,因为实在躲避不开。据说数学可能吓住一批读者,其实没有那么严重,我倒觉得,作为科学普及的读物,目的是让读者了解所述的科学知识,什么语言最直接、最有效就应该用什么。数学代表人类认知的深层次语言,是我们感知事物的有力工具,在揭开自然奥秘、阐明物理意义方面不仅准确可靠,有时更是一目了然,甚至比用文字语言兜圈子更通俗易懂。

混沌是一种貌似随机无律、实则乱中有序的现象，将书名取为《混沌迷彩》，强调了它那多姿多彩的迷离景色和迷惑作用的一面。其实混沌还有迷人的一面，它以其真、善、美的科学形象确实迷住了不少人。我们希望能通过这本迷你小书，激发起读者对混沌的兴趣，引荐你成为球迷、歌迷那样的混沌迷。笔者愿望高远，但学识有限，又不善通俗言辞，故谬误难免，敬请指正。

# 目录

|                 |    |
|-----------------|----|
| ①混沌一瞥           | 1  |
| 虫口问题不简单         | 1  |
| 非线性令数学为难        | 5  |
| 罗伯特·梅进军生物领域     | 8  |
| 飘忽不定的混沌现象       | 10 |
| 混沌的三大特征         | 12 |
| 混沌的定量指标         | 16 |
| 制造混沌的实验         | 18 |
| ②混沌秩序           | 23 |
| 系统状态讲安定         | 23 |
| “虫口机器” $\mu$ 调频 | 27 |
| 通向混沌的无果树        | 31 |
| 混沌内部有结构         | 33 |
| 混沌普适看常数         | 36 |
| 费根鲍姆闯新路         | 39 |
| 命名混沌故事多         | 43 |

### 混沌与天气 47

预报天气的美好梦想 47

计算机和卫星真好 50

天有不测风云 52

数字的主人——洛伦兹 54

发现混沌 55

蝴蝶效应 59

### 混沌与天体 63

钟表模式大世界 63

杞人忧天多高见 65

奥斯卡数学大奖 70

庞加莱预见混沌 73

三角关系有混沌 76

土卫七号翻筋斗 79

行星也混沌 83

### 混沌与振动 89

振动原本非线性 89

相图变戏法 93

荡秋千与共振 99

准周期走向混沌 102

|                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 黄金数最难混沌                                                                                     | 106 |
|  6 混沌与分析   | 109 |
| 树是什么形状的                                                                                     | 109 |
| 科学游牧民——曼德布罗特                                                                                | 113 |
| 维数不一定是整数                                                                                    | 115 |
| “病态”图形                                                                                      | 118 |
| 奇怪吸引子                                                                                       | 124 |
| 分形美                                                                                         | 127 |
| 分维预报地震                                                                                      | 132 |
|  7 混沌与生命   | 135 |
| 人体最混沌的器官——脑                                                                                 | 136 |
| 心脏也有混沌                                                                                      | 142 |
| 混沌式流行病                                                                                      | 150 |
| 人类能控制混沌吗                                                                                    | 156 |
|  8 混沌与宇宙 | 159 |
| 古人眼里的混沌和宇宙                                                                                  | 160 |
| 看看宇宙去                                                                                       | 164 |