

混沌理论：进展有多大？

R. Pool

在某些人看来，它几乎是每一个领域都可应用的新型智力武器；但在另外一些人看来，它无非是“Gödel 想象的产物”：进入陌生世界的窗口。

提要 这是6篇探讨在许多领域中工作的科学家正如何利用混沌¹⁾理论研究复杂现象的系列文章中的最后一篇。前面5篇已于1月6日到3月10日出版²⁾，它们报告了在流行病学、种群生物学、生理学、量子物理学和气象学方面的混沌研究。本文探讨了，混沌仅仅是喜欢追随时髦的人的一种有趣思想，还是象它的某些支持者声称的那样，实际上是科学思想的一场革命。

在政治上，称为革命；在商业上，称为敌对方的接管。科学家用了一个文雅的术语——型范变革 (paradigm shift) ——但还是留下了那种突然的根本性变化的感觉。

有些人说，现在科学处在这样一种剧变之中，在混沌旗帜下进军的科学反叛者力图要改造世界。他们的目标：用一个不那么可预言的宇宙来取代牛顿和爱因斯坦的有序宇宙。他们已经赢得了一些小争论的胜利，并且他们的思想有一种强大的吸引力，正一直不断地在吸引越来越多的追随者。

但其成果仍然是模糊的，并且混沌理论对实际世界的最终关系和重要性仍然是不清楚的。当烟雾消散的时候，这一切将会构成科学的历史呢？还是都将要被贬到脚注中去？

Joseph Ford 毫不怀疑，“我们处在重要革命的开始，”他说，“我们观察世界的所有方法都将要被改变。”在 Georgia Technological Institute 工作的物理学家 Ford，从50年代后期在这个领域具有吸引人的名字和高级形象以前很久，就开始从事本领域的工作³⁾。他说他的兴趣被统计力学的一个长期存在着的问题激发起来了：如果宇宙本质上是一个有序的确定性的场所，那么统计行为所必需的随机性来自哪里？

Ford 说混沌理论可能对这个问题提供一个回答。我们现在知道了那些用数学方程来描述其行为的确定性系统，其行为会是混乱的，这意味着它们的行为复杂到你不可能正确预测未来它们将做什么。你能做到的最多是作一个关于它们的概率叙述。例如，象太阳，地球及小行星那样简单的系统都可以变得混沌。虽然所有这三个物体都根据牛顿运动定律行动，但

1) 混沌 Chaos，亦作混沌。本文取前者，“浑然一体”带有整体性 (holistic) 之意。——校者

2) *Science*, 243 (1989): 25-28; 310-313; 604-607; 893-895; 1290-1293. ——校者

3) 为了称颂他的先驱工作，专门刊登非线性现象的期刊 *Physica D* 以第38卷整卷祝贺他的60寿辰。该卷主题为“混沌动力学的进展”，由这一领域中的专家写了22篇论文。——校者

两个较大物体的复杂影响可以使小行星的运动如此之不规则，以致它的未来的位置仅可根据概率来描述。

这可能是一种重要的领会，但这是革命性的吗？未必。它甚至不是新的。一个世纪以前，法国数学家 Henri Poincaré 研究了一般的三体问题，并了解到在某种情况下其解式复杂得难以处理。

那么，关于混沌，什么是革命性的呢？一种回答是，在过去的15年中，科学家在众多领域中已经认识到世界远不是他们以前所假设的那样有序。Poincaré 可能已经知道或者可能已经猜到世界混沌到什么程度，但直到最近，这种认识才渗入到科学界的普遍意识中，甚至很可能还没有渗入。“我们倾向于认为，当科学阐明了月亮如何围绕着地球运行时科学已经阐明了一切，” Maryland 大学的 Jim Yorke 说，“但是这种时钟样宇宙的想法与真实世界不相干”。Yorke 在 70 年代初造出了“混沌”这个专用词。¹⁾

混沌是一个相当难以精确定义的数学概念²⁾，但可以把它看作是确定的随机性³⁾——“确定的”是因为它由内在的原因而不是外来的噪声或干扰所产生；而“随机性”指的是不规则的，不能预测的行为。混沌的有吸引力方面是它提供了方法去把复杂的行为理解为有目的和有结构的某种行为，而不是理解为外来的和偶然的为行为。

混沌起义的头目说，过去 200 年中西方科学家已经观察了混乱的、复杂的世界，并且只看见了这个“时钟样的宇宙”。他们说，经典物理学已被证明是如此成功，它结束了对人们观察自然的方法的限制。现在，Yorke 说，“混沌给了我们一幅极其不同的我们居住的这个世界的图画。”

Thomas Kuhn 在他的一本著名的书《科学革命的结构》（1962 年出版）⁴⁾中描述了这样的变革在科学前景中的效果：“通过一种新的型范的引导，科学家采用新的工具并观察新的地方。更重要的是，在革命期间，科学家们用熟悉的工具在他们以前观察过的地方看见了新的和不同的东西。”

相对论和量子力学在 20 世纪激发了两场重要的型范变革，Kuhn 写道。相对论克服了物质和能量间的谬误的区分，而量子理论引入了固有的不确定性的思想。混沌理论将产生第三次型范变革吗？

丝毫不奇怪，Ford 和 Yorke 二人作了肯定的回答。其他科学家比较怀疑。Harvard 应用科学院院长 Paul Martin 说：“已经有了一些有趣的思想，有一些是已存在着的，但许多科学家没有意识到这些，不过我不认为它正使我们考察科学的方法发生革命。”混沌的本质——

1) 一般认为 James Yorke (Jim 为爱称) 在 1975 年的论文“周期 3 意味着 Chaos” (*Amer. Math. Monthly*, 82 (1975): 985-992), 头次在学术论文中引进 Chaos 这词, 此文的第一作者为 Yorke 的学生李天岩 (T.-Y. Li). 但李天岩认为, 他们写这篇文章时, 所谓 Chaos 还并非现在理解的混沌那样是“对初值的敏感依赖性”, 文章意思只是“周期 3 则乱七八糟”. 见《自然杂志》(上海) 1986 年第 2 期梁美灵“混沌理论和同伦算法趣话”. ——校者

2) 目前尚无公认的数学定义. 突变理论创始人 R. Thom 甚至认为 Chaotic 系统是没有方程的, 并指出 Chaos 概念 (他说是一种文字游戏) 在数学上的局限性, 见 *Behavioral and Brain Sciences*, 10 (1987): 182-183. ——校者

3) 原文为 deterministic randomness. deterministic 也译作决定性. 在混沌理论出来以后, 有人认为应该区分 random (无规) 和 stochastic (随机) 这两个概念. 本译文暂从习惯. ——校者

4) 1970 年再版. 关于 Kuhn (1922-) 的“科学革命”, 可见《辞海》(补)“科学哲学”条目. ——校者

一些确定性的系统的行为仅可能统计地加以描述的思想——对一些人来讲可能是新闻，他补充说，但是“气象员30年以前就知道它了，而且在更多的领域中有更多的人已经认识了它。”

混沌理论已有的贡献是，Martin 说，使研究者能估计在系统中究竟需要多么小的复杂性以产生复杂现象。他说，这同样也产生了希望，研究者将能够得到一些物理系统的详细分析，以前这些物理系统似乎只能用统计解法才能揭开。“那是一个进展，它不是革命。”

不论是否革命，都不否认混沌事业的魅力。研究者已经一个领域接着另一个领域地响应了它的战斗号召。

在天文学方面，Massachusetts 理工学院 (MIT) 的 Jack Wisdom 已经发现了在太阳系中许多物体遵守混沌的轨道。土星的月亮 Hyperion (土卫七) 围绕着它混沌地转动，木星的引力能推动在行星带上的小行星进入混沌运动，并且它们中的一些以朝着地球成为流星而告终。计算机计算显示，冥王星轨道是混沌的。

在物理学中，国际商用机器公司 (IBM) 的 Richard Brewer 把两个钡原子放进电磁收集器中，通过改变电磁强度，他能推进原子从稳定进入不规则的、混沌的运动，并且能重新逆转回去。

在化学中，许多研究者已经认识了 Belousov-Zhabotinskii 反应，一种振荡化学反应，并已经看到反应产物的浓度在整个过程中始终都混沌地变化着。

但在某种意义上，这些研究成果没有一个可以被称为革命。在每一种情况中，系统的行为符合十分了解的和被接受的物理定律，并且研究者确实发现了一些情况，其方程解的行为是混沌的而不是至那时我们所研究过的那种美好的有序的行为。知道真实世界的行为的确犹如数学方程 (甚至当那些方程有混沌解时) 所预测的那样，是一件好事，但这并不太使人出乎意料。

真正的革命者是那些从事数学模型不那么有效，或者可能根本没有数学模型的领域工作的科学家们，以及那些正在利用混沌思想解释一些一般科学不能解释的事情的科学家们。

在 Harvard 医学院工作的心脏病学家 Ary Goldberger 是一位这样的造反者。Goldberger 研究了心脏节律 (心律) 的变化。他假设，这些涨落持有大量有关心脏健康的信息。他说，够不可思议的了，一个健康的的心脏在心脏搏动图形上有着混沌的涨落，而有病的心脏的心律常常是规则得多。

这种研究的内在思想，Goldberger 说，是研究者除了研究系统的稳定有序外，还能通过研究系统的变化性得到大量的信息。例如，他说，两位病人可能统计上有相同的心脏搏动，但具有不同的动力学特性，于是他们的健康情况就可能极其不同。一位内科医生能区别两位病人健康的唯一方法应该是通过观察心脏搏动的涨落，这种涨落通常却被认为是可以忽略的外来的噪声。

Goldberger 说，传统上，生理学的研究者们力图寻找有序性，并且力图把系统中凡是存在的有序性都当作最重要的细节来处理。在确信涨落——无序——同样包含着有关系统的重要信息这一点上，如果他是正确的，那么“这将要改变人们观察他们试验的方法，改变观察他们的数据的方法。人们将在数据中寻找所有的混沌思想。”

但如此崭新的处理方法与革命是同一回事吗？芝加哥的 Northwestern 大学的科学哲学家 Steven Toulmin 说，量子力学或相对论是革命的，在这种意义上混沌研究不是革命，

量子力学迈向了物理世界中行为的完全新的高度，而浑沌只不过是纠正了一个 200 年之久的错误。“在长达 200 多年的时间内，人们假设牛顿世界是可预测的，”他说，“而浑沌揭示了这始终是一种错误的假设。”

Toulmin 认为，与统计力学相比，不是量子力学或相对论，而是浑沌是一种比较好的数学工具，它可以用于研究显示统计行为的各种物理系统。Toulmin 争论说，浑沌理论给了我们额外的智力武器，而不是给了我们完全新的世界观。

从表面上判断，似乎是难以与 Toulmin 的观点争辩的。如果浑沌理论提供的一切使人们领悟了这个世界上除了有序和稳定以外还有更多的东西，领悟了自然界圆满的描述必须包括复杂的行为，那么它不是革命的。它提出新的探究路线，提供了研究不规则行为的新的工具，但是它不是一种新的世界观。

然而，一些研究过和考虑过浑沌的人十分坚定地坚持有更多的东西会出现。

例如，一个已经提出的，而没有回答的深刻问题是：什么是量子浑沌？至今，已经见到的浑沌仅仅是在经典系统中，而物理学家对量子浑沌应该是什么样的这个问题甚至还没有一种好的想法。但如果量子力学的确是自然界的基础理论，那么它应该包括某种形式的浑沌，因为浑沌无疑是自然世界的一部分。没有一个人已经看到了可以鉴别为量子浑沌的任何东西，这个事实可能反映了量子理论的缺点。¹⁾

把自己称作是浑沌的传教士的 Ford 说，他相信通过“强迫我们正视我们的局限性”，浑沌理论将根本上改变我们的世界观。他建议，这样做的一种办法是把 Gödel 的定理用于物理学。数学家 Kurt Gödel 证明了，任何有意义的数学系统都是不完善的——在任何特殊逻辑系统中将总会有可以提出但不能回答的问题。“在某种意义上，浑沌是 Gödel 想象中的产物”，Ford 说。浑沌理论证明了，有一些物理问题是不可能回答的，例如，10 亿年以后冥王星将在它的轨道上的什么地方。

Yorke 的想象比 Ford 的更广阔，但更少特殊性。Yorke 认为，用《哈姆雷特》中的一句话可以完美地总结浑沌的课题：“在天国和地球上比你哲理所想象的要更多的东西。”或者用 Yorke 的释义是：“事情比你想象的要奇妙得多。”

由此，他指出，我们对世界的感性认识受到我们对自然了解的限制。浑沌使有可能把观点从时钟样的宇宙图象中解脱出来，这种观点在长达两个多世纪的时期中影响了西方科学的型范。“一件令人扫兴的事情是科学界猛烈攻击了浑沌中有序性的思想，”Yorke 说，“现在他们已经发现了浑沌，他们想要寻找浑沌中的有序性。”

“然而”，Yorke 继续说，“如果我们树立我们的目标要寻找这世间，那么我们将会发现它。事实是，宇宙比我们想象的复杂得多，并且如果一个人了解了这个世界是多么奇特，那他就会开始去寻找这种奇特的事情。”对 Yorke 和许多其他浑沌科学家来说，对这些奇特事情的搜寻已经开始了。

1) W. K. Heisenberg (1901—1976) 在 1966 年曾指出非线性将导致不可预测性，并指出由于量子力学中波函数已是概率性的，因而方程可以是线性的。见 *Physics Today*, 10, 5 (1967): 27—33。从这个观点说，不必考虑量子浑沌。另外，最近钱学森在一篇文章中指出，比量子力学更深的渺观层次（空间尺度要小 19 个数量级）上，如果决定性的超弦 (Superstring) 理论成立，那么在量子力学层次上只是随机性的解释是合理的。他认为从辩证法看来，不必争议量子浑沌存在与否。他说，“我猜想，微观层次的量子力学所表现出来的非决定性，实际是决定性的渺观层次中 10 维时空运动的混沌所形成的。”——校者

艺术摹仿混沌

科学对艺术来说通常没有多大关系。让我们面对这个问题，弦理论，板块构造理论和DNA(脱氧核糖核酸)都不可能使画家们急匆匆地跑向油画布。但分形和奇怪吸引子……啊！那就不同了。

“关于混沌，存在着某种内在的吸引人的东西，总有某种每一个人都可以用于感情移入的宿命论的东西”，艺术家又是Kaos公司董事长的Kevin Maginnis说。该公司是非赢利性机构，它支持“在艺术上或科学上的古怪的或不同寻常的努力”。Kaos公司正在倡办今年秋季的主题为混沌的芝加哥艺术展览会。Maginnis说艺术家和建筑师们的反响是热烈的。

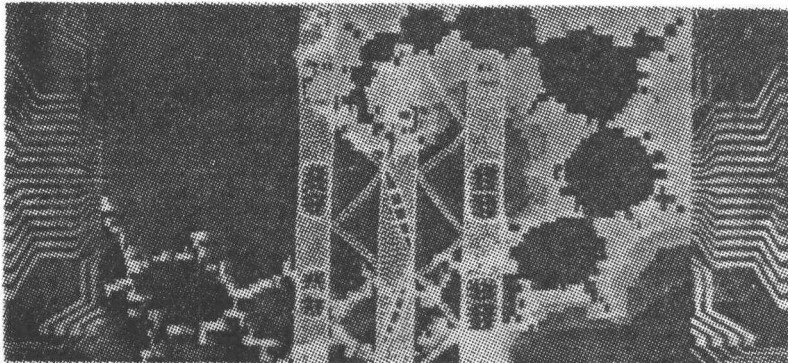
混沌正在吸引艺术家，Maginnis说，因为它提供一种新鲜的方法去观察世界。“达到一种受到[混沌]思想影响，但不仅是图解这种思想的艺术是一种挑战，”他说。做这件事的方法是“把这个思想引到直觉的，非理性的水平上，没有哪个科学家能表达这点。”

主管展览会观赏艺术部的Klaus Ottmann对这种要求的看法略为不同。“对艺术家来说主要的吸引力，”他说，“是混沌中的装饰成分，特别是分形几何。”Ottmann是一位艺术批评家又是Wesleyan大学的展览馆馆长。他说装饰被现代派学派贬低了，现代派学派强调功能，但混沌和分形几何使艺术家有机会去拥有二者。“混沌理论能把意义或内容带回到装饰术中，”他说。

Maginnis和Ottmann二人都强调混沌和有序之间阴/阳关系的吸引力。混沌/有序二分又提供“一种随随便便的方法去组织事情”，这种方法“估计到自发性，但是是形象化地非常引人注目的”，Maginnis说。某些艺术家，Ottmann说，企图“在观赏艺术领域中把有序和混沌并列，”引起象计算机产生的分形图象与初始图形结合这样的联合。

无论什么吸引力，都不只局限于芝加哥。在筹划他的展览会后，Maginnis发现纽约市的当代艺术新博物馆(New Museum of Contemporary Art)正在筹划类似的展览会，并且他们同意同时举行展出。从9月13日至11月26日，“奇怪吸引子：混沌的符号”将光顾纽约城，而“奇怪吸引子：混沌的奇观”则光顾芝加哥。

Maginnis说，在这次展览会上他所接触到的某些艺术家在他们的工作中已经自觉地运用了混沌思想，而其余的一些艺术家在他向他们描述混沌后已认识到在他们工作中对混沌的反响。“人们对混沌有一种自然的移情作用”，Maginnis提示，“在不同程度上每一个人都有体验。”



混沌激起的艺术：“Puru渐近线”，作者 Carter Hodgkin

A REVIEW ON FUNDAMENTAL STUDY OF COMBUSTION AT MICROGRAVITY CONDITIONS

Zhang Xiao-qian

Institute of Engineering Thermophysics, Academia Sinica

Abstract Fundamental studies of combustion at microgravity conditions are reviewed. There is no buoyancy and natural convection at microgravity condition, which will affect the fundamental process of combustion. Theoretical and experimental studies have shown that the flame structure, flame propagation and the stability of flame etc. at microgravity condition are quite different from that at normal gravity.

Keywords *microgravity; combustion*

(上接第 104 页)

你环顾四周，一切都是浑沌的

浑沌造反几乎已经在每一科学学科中开辟了战线。对象中的一些是：

气象学 Massachusetts 理工学院的 Edward Lorenz 在 1963 年以浑沌行为的实验证明使浑沌造反得到发展。他用的是一个很简单的大气空气流动的模型。今天的气象学家承认了大气的浑沌使超过三两周到未来的精确的天气预报成为不可能，但是一些人希望浑沌模型最终可以使它有可能预报长期的天气趋势。

经济学 Wisconsin-Madison 大学的 William Brock 和 Houston 大学的 Chera Sayers 已经应用浑沌理论来寻求商业周期中隐藏的有序性。他们希望改善经济数据的短期预报。

生理学 Berkeley 的 California 大学的 Walter Freeman 说脑子利用浑沌作为等待状态。他说，人类脑电图 (EEG) 的研究表明，当一位接受试验者在接受或处理信息时，脑电图图形变得更有秩序。其余的脑研究者正在通过分析浑沌的脑电图的图形寻找预报癫痫发作的方法。

国际政治学 Wayne 州立大学的 Alvin Saperstein 为敌对的两个国家之间的军备竞赛编制了一个模型。一个两国都有反导弹防御系统的模型实验表明，局势是浑沌的和不稳定的，最终导致战争。¹⁾

天文学 一些变星在不规则地脉动。Columbia 大学的 Oded Regev 作了这种行为的数值模拟，并且发现了浑沌的证据。

运输 浑沌理论最现实应用的奖赏应归于一个交通工程师小组。他们在 1988 年的华盛顿会议期间把浑沌与错综复杂的交通图形联系起来。下次你被停停走走地堵塞在高峰超公路上，那你就把这种责任推给浑沌。

程屏芬译自: *Science*, 245 (7 July, 1989): 26—28. (朱照宣校)

1) 这当然是在采用极为简化的数学模型后得出的结论。事实上，有政治，社会等因素起作用时，这种过于简化的数学手法是值得怀疑的。——校者