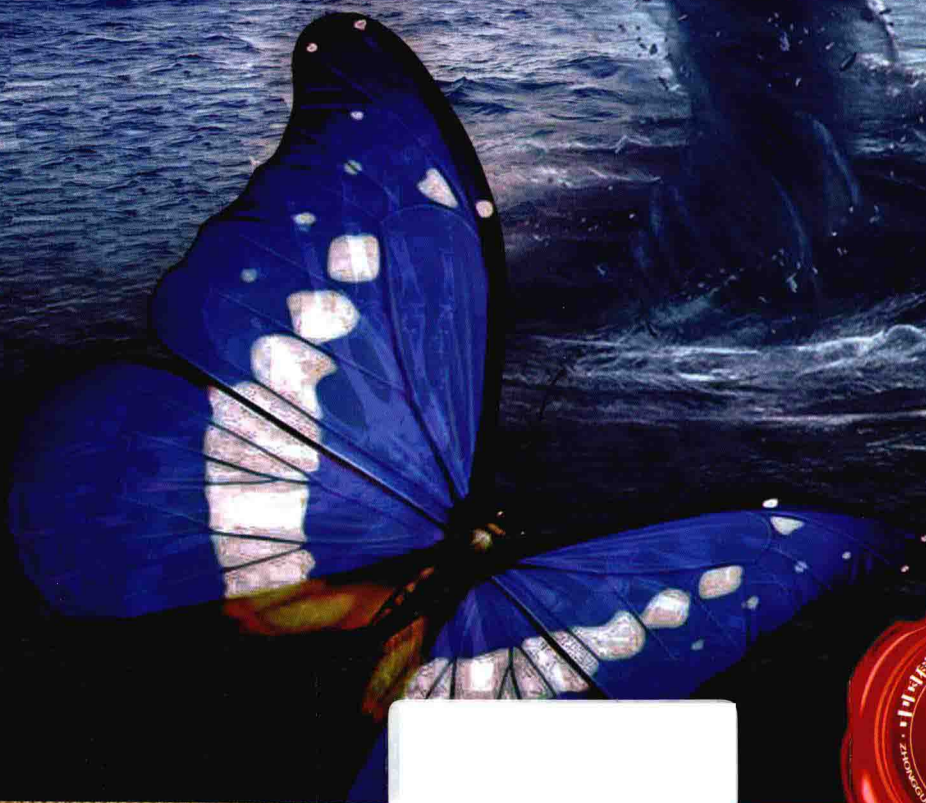


浑沌之旅

刘华杰◎著



中国科普大奖图书典藏书系

囊括新中国成立以来，著名科普、科幻作家经典获奖作品，
展现科学之真、善、美，传播知识、激发兴趣、启迪智慧！

中国科普作家协会选编推荐



长江出版传媒 湖北科学技术出版社

中国科普大奖图书典藏书系

浑沌之旅

刘华杰◎著



图书在版编目 (C I P) 数据

浑沌之旅 / 刘华杰著. — 武汉 : 湖北科学技术出版社, 2015.12

(中国科普大奖图书典藏书系)

ISBN 978-7-5352-8214-9

I. ①浑… II. ①刘… III. ①混沌—普及读物
IV. ①O415.5-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第200664号

责任编辑：谭学军

封面设计：戴旻

出版发行：湖北科学技术出版社

电话：027-87679468

地 址：武汉市雄楚大街268号

邮编：430070

(湖北出版文化城B座13-14层)

网 址：<http://www.hbstp.com.cn>

印 刷：武汉立信邦和彩色印刷有限公司

邮编：430026

700×1000 1/16

10.75 印张 2 插页 138 千字

2016年3月第1版

2016年3月第1次印刷

定价：18.00元

本书如有印装质量问题 可找本社市场部更换

总序

ZONGXU

我热烈祝贺“中国科普大奖图书典藏书系”的出版！“空谈误国，实干兴邦。”习近平同志在参观《复兴之路》展览时讲得多么深刻！本书系的出版，正是科普工作实干的具体体现。

科普工作是一项功在当代、利在千秋的重要事业。1953年，毛泽东同志视察中国科学院紫金山天文台时说：“我们要多向群众介绍科学知识。”1988年，邓小平同志提出“科学技术是第一生产力”，而科学研究和科学技术普及是科学技术发展的双翼。1995年，江泽民同志提出在全国实施科教兴国的战略，而科普工作是科教兴国战略的一个重要组成部分。2003年，胡锦涛同志提出的科学发展观则既是科普工作的指导方针，又是科普工作的重要宣传内容；不是科学的发展，实质上就谈不上真正的可持续发展。

科普创作肩负着传播知识、激发兴趣、启迪智慧的重要责任。“科学求真，人文求善”，同时求美，优秀的科普作品不仅能带给人们真、善、美的阅读体验，还能引人深思，激发人们的求知欲、好奇心与创造力，从而提高个人乃至全民的科学文化素质。国民素质是第一国力。教育的宗旨，科普的目的，就是为了提高国民素质。只有全民的综合素质提高了，中国才有可能屹立于世界民族之林，才有可能实现习近平同志最近提出的中华民族的伟大复兴这个中国梦！

新中国成立以来，我国的科普事业经历了1949—1965年的创立与发展阶段；1966—1976年的中断与恢复阶段；1977—

1990年的恢复与发展阶段;1990—1999年的繁荣与进步阶段;2000年至今的创新发展阶段。60多年过去了,我国的科技水平已达到“可上九天揽月,可下五洋捉鳖”的地步,而伴随着我国社会主义事业日新月异的发展,我国的科普工作也早已是一派蒸蒸日上、欣欣向荣的景象,结出了累累硕果。同时,展望明天,科普工作如同科技工作,任务更加伟大、艰巨,前景更加辉煌、喜人。

“中国科普大奖图书典藏书系”正是在这60多年间,我国高水平原创科普作品的一次集中展示,书系中一部部不同时期、不同作者、不同题材、不同风格的优秀科普作品生动地反映出新中国成立以来中国科普创作走过的光辉历程。为了保证书系的高品位和高质量,编委会制定了严格的选编标准和原则:一、获得图书大奖的科普作品、科学文艺作品(包括科幻小说、科学小品、科学童话、科学诗歌、科学传记等);二、曾经产生很大影响、入选中小学教材的科普作家的作品;三、弘扬科学精神、普及科学知识、传播科学方法,时代精神与人文精神俱佳的优秀科普作品;四、每个作家只选编一部代表作。

在长长的书名和作者名单中,我看到了许多耳熟能详的名字,备感亲切。作者中有许多我国科技界、文化界、教育界的老前辈,其中有些已经过世;也有许多一直为科普事业辛勤耕耘的我的同事或同行;更有许多近年来在科普作品创作中取得突出成绩的后起之秀。在此,向他们致以崇高的敬意!

科普事业需要传承,需要发展,更需要开拓、创新!当今世界的科学技术在飞速发展、日新月异,人们的生活习惯和工作节奏也随着科学技术的进步在迅速变化。新的形势要求科普创作跟上时代的脚步,不断更新、创新。这就需要有更多的有志之士加入到科普创作的队伍中来,只有新的科普创作者不断涌现,新的优秀科普作品层出不穷,我国的科普事业才能继往开来,不断焕发出新的生命力,不断为推动科技发展、为提高国民素质做出更好、更多、更新的贡献。

“中国科普大奖图书典藏书系”承载着新中国成立 60 多年来科普创作的历史——历史是辉煌的,今天是美好的!未来是更加辉煌、更加美好的。我深信,我国社会各界有志之士一定会共同努力,把我国的科普事业推向新的高度,为全面建成小康社会和实现中华民族的伟大复兴做出我们应有的贡献!“会当凌绝顶,一览众山小”!

中国科学院院士
华中科技大学教授

杨叔子<sup>二〇一〇
九·廿八</sup>

引言:从《侏罗纪公园》说起	1
第 1 章 中央之帝为浑沌	6
1.1 世界之初	6
1.2 中国的太阳神	8
1.3 浑沌之道	9
第 2 章 艾丽丝请教矮梯胖梯	14
2.1 浑沌语义万花筒	14
2.2 “语言恶习”与浑沌	21
第 3 章 与天气斗法	26
3.1 气象浑沌	26
3.2 计算出来的天气	27
3.3 大象动物	30
3.4 非线性引出复杂性	35
第 4 章 振动的世界	42
4.1 从定义出发的困境	42
4.2 从声音说起:耳膜的振动	43
4.3 共振的利与弊	47
4.4 频率与音乐	49

4.5	弦振动与光速	51
4.6	非谐振动的变频效应	53
第5章	耦合创造节律	56
5.1	发现内部时间	56
5.2	纸上看摆	59
5.3	分水岭与吸引域	63
5.4	滑车	65
5.5	耦合中的竞争	67
5.6	舌头排序	73
5.7	锁不住则浑沌	77
5.8	朱照宣思维实验	79
5.9	耦合与随机性的诞生	82
5.10	与时代脉搏共振	83
第6章	非线性麻雀	85
6.1	中学数学中的抛物线	85
6.2	麻雀的骨架	87
6.3	迭代蛛网	90
6.4	周期加倍	97
6.5	普适常数与周期窗口	102
6.6	初始条件有多少信息	105
第7章	从流到映射	109
7.1	问题的来由	109
7.2	不动点及线性化矩阵	110
7.3	不动点分类	112
7.4	不变流形	114

7.5	霍普夫分岔实例	117
7.6	再现费根鲍姆过程	122
第8章	人在宇宙中	125
8.1	高傲的个人:四种观念	125
8.2	尺度与盲人摸象	129
8.3	红移·哈勃关系·大爆炸?	133
8.4	逾层分析与社会系统运行	136
8.5	浑沌思维及文化抽象继承	145
	主要参考文献	153
	后记	161

引言：从《侏罗纪公园》说起

我搞的是浑沌理论。但是我发现没有人愿意倾听这门数学理论的意义。它暗示了对人类生活的许多重大意义，其重要性远远超过人人都在喋喋不休地谈论的海森伯原理或哥德尔定理。那些理论事实上学究气十足，是哲学的思考。而浑沌理论却涉及人类的日常生活。

——马康姆，《侏罗纪公园》

学地质学的自然熟悉“侏罗纪”是怎么回事。

侏罗纪(Jurassic)取名源于法国与瑞士交界的侏罗山(Jura)。地质历史上的“中生代”有三个纪：三叠纪(用T表示)、侏罗纪(J)和白垩纪(K)。这些时代的地层分别叫作三叠系、侏罗系和白垩系地层。

1988年大学本科最后半年，一个偶然的机，我选修了黄永念先生为力学系研究生开设的课程“浑沌与稳定性理论”。在北京大学读书有一个好处，你可以随意听你想听的课程，除去外界熟知的喧嚣架子，北大其实是世外桃源。

从首次接触“浑沌”到改行学哲学，又再次听说“侏罗纪”字样，自然亲切。对个人而言，没想到浑沌与地质竟这样不可预测地联系在一起。

1990年美国著名科幻小说家迈克尔·克赖顿(Michael Crichton)又推出一力作《侏罗纪公园》(*Jurassic Park*)。它是一部小说，一部科学幻想小说。但科幻小说与伪科学不同，它运用现代科学，以现代科学为基础，并非

常讲究逻辑。作者把轰动科学界十余年之久的浑沌研究热潮艺术化,写进了小说。而且整部作品以浑沌理论为背景和骨架,按照浑沌系统的浑沌运动展开。书中还专门设置了一位颇有见地的浑沌学家——马康姆(Ian Malcolm)。实际上马康姆是作者的代言人,这可从作者的名字(“Michael”与“Malcolm”谐音)以及全书所表达的“对初始条件的极端敏感依赖性”思想明显地看出来。

按照小说的描写(实际上也和这差不多),马康姆是新一代数学家中公开对“世界如何运转”这类问题高度着迷的人。他们在几个重要方面和传统数学家决裂。

第一,他们个个都使用计算机,这是传统派数学家们所不齿的。在一些传统数学家看来,应用数学是坏数学,计算数学则是糟糕的数学。

第二,在新兴的所谓浑沌理论领域中,他们毫无例外地运用非线性方程。而传统数学研究的主要是线性数学,如傅里叶变换、线性微分方程、线性代数等等。

第三,他们似乎非常自信地以为,他们的数学描述了真实世界中实际存在的东西和实际发生的过程。

第四,他们的衣着和言谈似乎都为了表明他们正从学术王国走进真实世界。他们本身就是大杂烩,干什么的都有,多大年纪的都有,哪个国家的都有。他们都想走出传统框架。

小说中,马康姆对律师简罗(D. Gennaro)是这样解释浑沌理论的:

物理学在描述某些问题的行为上取得了巨大的成就:轨道上运转的行星、向月球飞行的飞船、钟摆、弹簧、滚动的球之类的东西的运动,都是物体的规则运动。这些东西用所谓的线性方程描述,数学家想解这些方程是轻而易举的事。几百年来他们干的就是这个。

可是,还存在着另一类物理学难以描述的行为。例如与湍动

有关的问题：从喷嘴里喷出的水、在机翼上方流动的空气、天气、流过心脏的血液。湍动要用非线性方程来描述。这种方程很难求解——事实上通常是无法解出的。所以物理学从来没有弄通这类事情。直到大约十年前（小说写于1990年），出现了描述这类东西的新理论，即所谓的混沌理论。

这种理论最早起源于1960年对天气进行计算机模拟的尝试。天气是一个庞大而复杂的系统，它指地球的大气对陆地、太阳所作出的响应。这个庞杂的系统的行为总是令人难以理解，所以我们无法预测天气是很自然的事。但是，较早从事这项研究的人从计算机模拟中明白一点：即使你能理解它，也无法预测它。原因是，此系统的行为对初始条件的变化十分敏感。

人们想不到，这是小说中的文字，它们以通俗的语言向公众解说现代科学，而我们国家非常缺少这些。如今，中央电视台增设《科学探索》节目，真是难得。

马康姆又给简罗解释了一通“蝴蝶效应”，简罗插话说：“所以说，混沌状态是随机的？不可预测的？”

“不，”马康姆说，“事实上我们从一个系统复杂多变的行为之中，发现了其潜在的规律性。所以混沌理论才变成一种涉及面极广泛的理论。这种理论可用来研究从股市到暴乱的人群或者癫痫患者的脑电波等许许多多问题，并可以研究处于混乱和不可预测状态的任何复杂系统。我们可以发现其中潜在的规律。”

人们不禁惊诧于作家克赖顿的学识，他作为一个小说家怎么如此精通科学？原来他是搞科学出身的，如今他靠写科幻小说出了名，如果当初他不学科学，没有好的数理根底，后者绝不会出现。这也解释了为什么别人没有写出这样行销全球的好书。

马康姆对葛兰特(A. Grant)说：“混沌理论告诉我们，从物理学到虚构的

小说中的直截了当的线性,我们都视为理所当然,然而它们从来就不存在。线性是一种人为的观察世界的方式。真实生活,不像项链上串着的一粒挨一粒的珠子,构成一件接一件发生着的事件。生活实际上是一连串遭遇,其中某一事件也许会以一种完全不可预测的甚至是破坏的方式改变随后的事件。

“这是关于我们宇宙结构的一个深刻的真理。可是由于某种原因,我们却执意表现得仿佛这不是真的。”

马康姆的讲解未必都准确,但基本上是正确的。《侏罗纪公园》作者的用意非常明显,原书每一章不叫“chapter”,而叫“iteration”(迭代),如第五章写作“FIFTH ITERATION”。每章标题下是一幅表示迭代进程(当然也表示小说情节的发展)的分型生成图。再下面是章首引语,都是马康姆说的与浑沌理论有关的格言。

《侏罗纪公园》由小说经导演斯皮尔伯格(Steven Spielberg)搬上银幕,获得巨大成功。1993年6月11日同名影片在美国公映,一个周末就收入150多万美元,创下周末票房最高纪录,到1994年初在美国市场的收入就超过3亿美元,在日本公映33天就已收入6600万美元。后来此片又获多项奥斯卡大奖。

成功是毫无疑问的。但是,影片中“浑沌理论”的色彩淡化了,马康姆成了无足轻重的配角,观众很难从中悟出更多的非线性动力学浑沌“教训”。影片经剪辑变成录像片,经翻译再变成中文字幕片和纯中文片(在这里“chaos”被译成“混乱”),原片原有的一点“浑沌”痕迹荡然无存。这又说明了什么?这是否是商业化过程的规律?

录像片在北京大学校园放映不下6次,我问过北京大学许多看过《侏罗纪公园》的同学,竟没有一人知道它原来与浑沌有任何联系!栩栩如生的恐龙以及山雨欲来的遗传工程固然吸引人,但小说《侏罗纪公园》的主要魅力不在此。如果没有浑沌穿线,小说中的所有故事是互不相关的事件。

什么是浑沌?一言难尽。是浑沌太复杂了吗?不仅仅如此。严格说,

是因为浑沌一词有太多太多的语义层面，人们在用这个词时，往往同时跨越几个语义层面。说到浑沌，大脑中沉淀已久的文化特质和个人经验，不自觉地被勾起，最终导致哲学上的、宗教上的、神话上的、美学上的以及科学上的东西相互纠缠。你中有我，我中有你；想区分开，又想交联起来。这仿佛真正回到了日常语言的浑沌状态：事物如乱麻一般，彼此交织在一起，朦朦胧胧，恍恍惚惚，其中之规律若有所现，但看不真切。

到此为止，读者不一定弄得清楚浑沌是什么东西，反而可能有另一种感觉：“本来我还知道一点浑沌，可现在让你给弄糊涂了，或者说弄乱了，思维更加浑沌了。”那好，我们慢慢道来，即使最终你的头脑中仍然混乱不堪，或者说仍然处于浑沌状态，但是此时的浑沌也明显高于原初自发的、朴素的浑沌。

没有较深的数学基础也无妨，作者力求省略让一些人生厌的公式。书中配置大量图形，也许有助于理解浑沌运动。这样做的好处是，更多的普通人可以知道浑沌是什么东西，坏处是牺牲严格性。不过，作者还是在能力范围之内力求折中矛盾，做到既通俗，又不太油腔滑调。

小说中通过马康姆之口谈到了“非线性方程”“湍动”“迭代”“蝴蝶效应”“不可预测性”“计算机模拟”等等，这也正是本书要讲的东西，所以别指望一开始就理解了所有概念。

克赖顿在写小说时看过美国《纽约时报》科技部主任詹姆斯·格莱克（James Gleick）的名著《浑沌：开创新科学》（Chaos: Making a New Science），很受启发。顺便一提，此书至少已有三个不同的中译本，写得的确精彩，但外行人看后还是不知道何谓浑沌理论。最近上海远东出版社出版的斯图尔特（Ian Stewart）写的《上帝掷骰子吗？——混沌之数学》（Does God Play Dice? The Mathematics of Chaos）则是一部更好的书，潘涛的译文也优美，大家不妨先读读这部书。

第1章 中央之帝为浑沌

起初，神创造诸天和大地，地是空虚浑沌……

——《旧约·创世纪》

天地未形，笼罩太一、充塞寰宇者，实为一相，众谓之浑沌。其象未化，无形聚集；为自然之种，杂沓不谐，然燥居于一所。

——奥维德，《变形记》

神话，实际说起来，不是闲来无事的诗词，不是空中楼阁没有目的的倾吐，而是若干且极其重要的文化势力。

——马林诺夫斯基，《原始心理与神话》

神话在精神上超出了物，但在它借以取代物质世界的图型和形象方面，它只是用物质的另一种形式和对物的另一种束缚形式去代替物。

——卡西尔，《神话思维》

1.1 世界之初

起初，世上没有人，没有地球，没有太阳，没有太阳系，也没有银河系

……甚至没有我们今天谈论的所谓“宇宙”。按照大爆炸宇宙学理论,当今的宇宙起源于原始偶然的,也许又是命中注定的一次大爆炸。

然而好奇心迫使人们追问,大爆炸之前是什么?

是奇点。

奇点之前是什么?是早先一场大爆炸的遗迹。那么遗迹之前……

思维可以不断提问下去,但理性不能准确回答出来,甚至大爆炸理论也有猜测性成分。还有类似的许多问题(诸如鸡和蛋的起源)。我们总得从某一个阶段开始讨论。这个阶段之后和之前可以有限追问,但最好不要无限追问,因为没有人能比你更好地回答它们。也就是说,别人所知,绝不会比你所知更多一些。是科学彻底无能吗?不是,科学主要关心有限问题,科学是关于“有限现象”的研究,而不是关于“无限本体”的研究,不能因此误解科学。我们因此而依靠哲学吗?高傲的哲学在起源问题上显现了原形——浅陋。

有一天,人类诞生了。究竟是哪一天?没人知道,也不必要知道。但可以肯定:在有限间隔的过去,存在那么一段时间,人类确实出现在大地上了。人在漫长(但却是有限时间)的进化中,发展了智力,有了语言。人们并不知道世界从哪里来,关于世界历史以及周围现存世界的一种自然的叫法可能就是“浑沌”,当然也可以叫作“宇宙”之类。但是,当人的认识水平并不高时,把世界叫作浑沌与叫作宇宙,实在没有什么大的区别。

不过,两者之中微弱的差别被一代一代放大,放大到有牛顿力学,有相对论,有量子力学,有“阿波罗”登月,以及有今天热门的浑沌研究。

在英文中 chaos 与 cosmos 本是一对词语。两者都指称外部世界,前者是浑沌,含有模糊、笼统、混乱的意味;后者是宇宙,含有秩序、规律、条理化的意味。

浑沌,也作混沌。有些人喜欢用前者,有些人喜欢用后者。这都无所谓。因《庄子》中用的是“浑沌”,本人愿用前者。学了浑沌学,人们更重视的是实在内容,而不是外表形式。

chaos (浑沌,混乱) → chaology (浑沌论)

cosmos (宇宙,秩序) → cosmology (宇宙论)

在英文中浑沌写作chaos,不但如此,在法文、德文中写法也一样,而且都源于同一个希腊词Χαος。当代的浑沌理论起源于国外,chaos一词译成中文时一度译作“紊乱”之类,但很快统一译作“浑沌”或“混沌”了。

浑沌是一个多义的词汇,从科学角度和哲学角度,都有必要研究其语义学(semantics)问题。中国古代有寓意深刻的浑沌故事,浑沌一词语义层面也极为丰富。

1.2 中国的太阳神

谈到神话,得先有一个基础。可是,“对于神话学的文字,即使肤浅地涉猎一下,也足知道五花八门,议论分歧”。关于神话思维的诸多论述中,马林诺夫斯基(B. Malinowski)和卡西尔(E.Cassier)的理论比较有说服力。

《山海经》中就记述了浑沌,不过在那里写作“浑敦”。《山海经》第二卷的《西山经》中说:

又西三百五十里曰天山,多金玉,有青雄黄,英水出焉,而西南流注于汤谷。有神鸟,其状如黄囊,赤如丹火,六足四翼,浑敦无面目,是识歌舞,实惟帝江也。

这段话的大意是:有一巨大的神鸟,形状像一种渡河用的皮囊,颜色红红的,像炉火一般,它长有六只脚、四只翅膀(参见图1-1)。此神鸟面部未分化,浑沌一片,但它懂得歌舞,实际上是帝江啊。

帝江就是帝鸿,古代“江”字与“鸿”字相通。而帝鸿则是人人都知道的黄帝。也就是说,浑沌就是黄帝。

初听起来,黄帝与浑沌扯到一起有点不自然,实际上自然得很。