

FUZAXING
YANJIU
YUHUNDUN
KONGZHI
JIQI
ZHEXUE
CHANXI

复杂性研究 混沌 控制及其哲学阐释

FUZAXINGYANJIUYUYUHUNDUNKONGZHI

周守仁 著

JIQIZHEXUECHANYI

四川教育出版社

复杂性研究与混沌控制 及其哲学阐释

周守仁 著

四川教育出版社

2001 · 2

图书在版编目(CIP)数据

复杂性研究与混沌控制及其哲学阐释 / 周守仁著.
成都: 四川教育出版社, 2001·2
ISBN 7-5408-3500-1

I. 复... II. 周... III. ①复杂性理论-研究②混沌学-研究 IV. ①TP301.5 ②0415.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 47559 号

责任编辑: 何 杨
装帧设计: 金 阳
版式设计: 王 凌
责任校对: 王立戎
责任印制: 张克庆

复杂性研究与混沌控制及其哲学阐释

四川教育出版社出版

(成都市盐道街3号 邮政编码: 610012)

四川教育出版社发行

成都现代印刷厂印刷

(地址: 成都市青羊区文家乡董家坝土龙南路 邮政编码: 610091)

开本 880×1230 1/32 印张 8.875 字数 220 千字

2001 年 2 月第一版

2001 年 2 月第一次印刷

印数: 1—2000 册

ISBN7-5408-3500-1/G·3284

定价: 13.30 元

本书若出现印装质量问题, 请与工厂调换, 电话: (028)7072838

内 容 简 介

“复杂性研究与混沌控制及其哲学阐释”一书是由四川省社会科学院周守仁研究员负责承担的四川省哲学社会科学“九五”规划一般项目“混沌控制的哲学及科学方法论研究”的最终研究成果。该课题自1997年3月立项，1999年6月完成。全书共分14章。其主要内容是：以辩证唯物主义为贯穿全书的指导思想，通过对复杂性研究与混沌控制的科学内容及研究方法的阐释，在充分论述作者所创立的“超耦合—自随机”理论、观点与方法的基础上，深层次地运用辩证唯物论的“超耦合—自随机”思想策略，对事物的复杂性与混沌控制进行了科学哲学地分析。并探讨了“超耦合—自随机”进化复杂性和现代社会经济的“超耦合—自随机”动态复杂性以及“超耦合—自随机”的社会经济决策方法。

研究这一课题的目的是为21世纪人们向复杂性大举进军提供有效的柔韧性科学方法论，并试图建立能深刻反映客观事物进化复杂性规律的理论，即创建和论证“超耦合—自随机”理论。进而期望这一理论在未来的科学技术实践，社会经济实践中能逐渐显示其不可估量的哲学解释和方法启示的理论威力。

该书有以下一些重要的创新性观点：

- ①提出对复杂性概念的多角度描述的整合化表征。
- ②归纳并概括出研究、控制整合混沌的方法论。共阐述了“要掌握某些基本概念之间的超耦合相关性”等13条方法论要求。
- ③提出并论述了量子混沌复杂性的超耦合特征及量子混沌研究中的超可通约性。
- ④首次提出超非线性概念，并论述了超非线性现象的超逻辑、

非计算、强突现和自随机等基本特征。

⑤提出并阐述了超耦合的柔性定义，自随机的有限性、内涵性、灵活性、新异性、超耦合性及致稳性等特征。

⑥提出“充分的超耦合可导致自随机性”这一该书中的基本论断。同时举出大量的事实证据，并进行了充分的逻辑论证。此外，还提出并说明了与这一论断互补的“超解耦不导致自随机”论断。

⑦提出并论述了客观事物的“超耦合—自随机”探索、应变、选择、创造和缔新的进化运动所生成的复杂性是各种形式复杂性的本源与核心。

⑧阐述了“超耦合—自随机”在物质进化过程中的探索、应变、活化、锦囊、解顽、缔新等功能。

⑨论述了“超耦合—自随机”进化规律是辩证唯物主义基本规律在物质进化过程中的具体化、综合化和丰富化。

⑩提出并阐述了“超耦合—自随机”理论的方法论功能，即科学探索、科学创造、准量化、解顽、广容、超搜索等方法论功能。此外，还提出和解释了如“社会湍流”，“整性意识”等概念。

该书的学术价值、理论意义和实践意义表现在：

①这一研究成果体现了关于复杂性研究的理论、方法和知识的高度创新性。如书中阐释的“超耦合—自随机”理论，“超耦合—自随机”方法论功能，“超耦合”、“超非线性”，“对立通约点”等等都是作者首次独立提出的有助于深化复杂性研究的新思想、新方法和新概念。

②这一研究成果可丰富科学哲学研究的内容。如对可简化性与不可简化性，简单与复杂，随机性与确定性，发散性与收敛性，稳定性与失稳性，有序模式与无序模式，色散效应与非线性效应，相干性与去相干性，连续性与离散性，竞争与协作，诱发与抑制，不相容与兼容，不可能与超不可能，多元与整合，转换域与不变集等的辩证关系以及对物质世界相互联系、相互作用的复杂图景和多样统一性所做的“超耦合—自随机”分析，将在 21 世纪科学哲学发展中占有重要的一席之地。

③该课题的研究涉及多门类的较高深的科学知识和有待探索的科学领域。因此，它是在一个高起点上向更高的理论目标迈进的艰辛的研究工作。

④该书所阐述的“超耦合—自随机”理论观点和思想方法对有关复杂问题的决策和预测，攻克技术难关的策略制定，对某些复杂事物的控制和复杂系统的管理都将起到较为有效的方法论作用。例如，可有助于抑制单色性或平均主义的决策。

⑤这一研究成果在一定意义上对丰富和充实工程技术中的误差理论，误差检测方法；对混沌控制，柔性装配等的技术方法的改进和创新将有着重要的方法论启迪作用，并且也将能有助于促进工程设计的创新和发展。如运用“超耦合—自随机”理论和方法可进一步发展反馈（自反类超耦合）与试错（充分超耦合导致的自随机探索、应变或选择）相结合这一控制混沌的基本策略。又如利用“超耦合”概念可创造性地设计高次超静定结构。

该书研究方法的特色在于：首先深入到复杂性前沿研究（如混沌控制，超非线性现象研究）之中，通过对混沌控制等复杂性研究内容的专业性很强的科学阐释，归纳、概括、提炼出科学与哲学高度结合的丰满的科学方法论，即“超耦合—自随机”方法论。反过来又运用这一方法论进一步阐释复杂性前沿研究的新成果和新思想。

这一研究成果在克服刚性方法论和一元化模式的固有的僵化缺陷方面有显著的突破。因为它展示了柔韧性方法论和多元整合模式的优越性。并且，书中所系统论述的“超耦合—自随机”理论和方法是唯物辩证法与复杂性科学高度的创造性结合的崭新理论产物。

书末附有作者最近撰写的“21世纪的一些科学哲学问题”一文，其中共提出并论述了12个问题。这篇文章继续体现着作者在该书正文中所阐释的基本观点，即“超耦合—自随机”观点。附加这篇文章的目的，是希望能藉此打开21世纪我国科学哲学研究的新局面，开拓一条发展具有中国特色的科学哲学的新途径。

该书可作为从事复杂性研究的科技工作者，科学哲学工作者；

科技管理人员，自然辩证法爱好者进行研究、管理和运用科学方法的参考用书。也可供大学理工科各专业，哲学和自然辩证法专业各年级学生，研究生，教师在学习、教学和研究时参考。

四川教育出版社社长唐瑾怀编审，四川大学博士生导师张伟年教授，四川教育出版社何杨编辑大力支持和帮助本书的编辑出版，对本书稿的修改提出了许多宝贵意见。在此向他们一并致以诚挚的谢意。

目 录

内容简介	(1)
第一章 现代科学意义下的复杂性概念	(1)
第一节 时代标志与各学科领域中的复杂性	(1)
第二节 复杂性概念的多角度描述及其整合化表征	(4)
第二章 研究复杂性的理论和方法	(9)
第一节 关于复杂性生成的几个观点	(9)
第二节 刻划和度量复杂性的一些方法	(14)
第三章 复杂性研究的实践价值及其哲学意义	(21)
第一节 复杂性研究的实践价值	(21)
第二节 复杂性研究的哲学意义	(25)
第四章 混沌的含义与特征及其形成途径	(33)
第一节 混沌的含义与特征	(33)
第二节 混沌的形成途径	(38)
第五章 分析时间混沌的主要方法	(40)
第一节 数值方法	(40)
第二节 几何方法	(43)
第三节 统计描述方法	(52)

第一节	量子混沌研究的复杂性·····	(146)
第二节	量子混沌复杂性的超耦合特征·····	(152)
第三节	量子混沌研究中的超可通约性·····	(154)
第十二章	超非线性领域的科学探索及其哲学启示·····	(158)
第一节	一元化模式的困境与复杂性研究的探新·····	(159)
第二节	超耦合关联与超非线性现象·····	(162)
第三节	超非线性现象研究的哲学启示·····	(167)
第十三章	“超耦合-自随机”进化复杂性初探·····	(175)
第一节	超耦合的含义及一些典型实例·····	(175)
第二节	充分的超耦合可导致内随机性(自随机性)·····	(181)
第三节	“超耦合-自随机”在物质进化过程中的功能 ·····	(197)
第四节	“超耦合-自随机”进化复杂性的辩证实质·····	(210)
第十四章	“超耦合-自随机”理论在现代社会经济决策中的应用 ·····	(221)
第一节	“超耦合-自随机”理论的方法论功能·····	(221)
第二节	现代社会经济的“超耦合-自随机”动态复杂性 ·····	(229)
第三节	“超耦合-自随机”的社会经济决策方法·····	(236)
[附文]	21 世纪的一些科学哲学问题 ·····	(248)
参考文献	·····	(259)

第一章 现代科学意义下的复杂性概念

第一节 时代标志与各学科领域中的复杂性

当前,我们所处的时代可从不同侧面加以标志,如非线性时代,大脑时代,信息时代,多媒体时代,多极化时代等。这些标志的一个共同点就是反映了人们对世界复杂性的一种新认识。

由于人们在非线性动力系统的研究中发现了混沌现象,并通过对非线性问题的几十年深入的探索,逐渐形成了世界的复杂性与非线性紧密相联的观念,从而更进一步地将我们的时代称做非线性时代。与此同时,关于人的大脑的研究,也是许多领域的科学家所十分关注的极其重大的课题,以致有些国家曾将20世纪90年代称之为“大脑的10年”(Decade of the Brain)。大脑的组织结构及其功能机理是非常复杂的,尽管科学家们已初步接触到混沌神经元模型、混沌神经网络、连接主义(Connectionism)原理*等对大脑研究十分有用的工具,但认知过程的复杂性却远非现在非线性动力学所能完全阐释。

近些年来,许多人认为一场信息革命(或称“多媒体时代”,“信息高速公路”)即将到来,它将深深地影响到人类的经济、家庭和个人的生活方式。毫无疑问,把计算机技术、声像技术和通讯技术整合起来,使电话、电视、电脑一体化,必将大大推进信息社会

* 连接主义原理的主要内容是指脑神经系统按大量神经元连成网络的形式工作,神经网络中所有处理器(即神经元)的数字化活动形成一个巨大的状态矢量空间。根据连接主义原理来模拟人脑神经系统的活动,则在这样的模拟模型中突出巨量并行性(Massively parallelism)和信息分布存储及处理合一两大特点。

的发展。同时,信息复杂性也将随之大幅度增加。

当我们把目光从科学技术中的复杂性转向国际社会时,同样看到世界政治新格局的多极化及其复杂关联。所谓“多极化时代”就意味着政治复杂性剧增的时代。

上面我们仅从时代标志上窥视了一下复杂性,那么如何建立和表述现代科学意义下的复杂性概念呢?

首先,我们考查一下非线性动力学中的复杂性概念。迄今为止,还没有一个普遍认可的关于复杂性的定义。这里也无须去探索这样一个定义。复杂性本应是一种相对的概念,但在非线性动力学的研究中是特指某些非线性动力学现象为复杂现象的,也就是说,这些现象具有现代非线性动力学意义下的复杂性。如混沌现象,自适应系统,自组织临界性(Self organized criticality,这个概念与哈肯(Haken)引入的自组织概念并无联系,下面即将说明二者的区别),自组织现象等都体现了动力学的复杂性。

目前对混沌尚无统一的定义,可视其为确定论方程中的内在随机性(详见本书第四章)。自适应系统是一种固有的非线性系统,其特性十分复杂,既难分析又不好定义。如果基于随机控制理论,则自适应系统和它所处的环境由一个随机模型描述,参数作为状态变量引入,而参数的不定性由随机模型模拟。自组织临界性是指大量广延耗散动力系统具有自然地演化到临界态,也就是失稳边缘状态的趋势,亦即不需要任何微调参数,不必详细规定初始条件,系统将被吸引到临界态。它本质上是多体现象,不能约化为低维问题。而哈肯的自组织,则是指多自由度的非线性动力学问题可以有效地用少数自由度来描述,呈现出可遵从维度约化的隶属原理的性态。在这些非线性动力学的复杂现象中,科学家们找到了以非线性作用为核心所导致的诸如内随机性、自组织、分形结构、幂律行为等特定性质,并以此表征非线性动力学意义下的复杂性。

接下去,我们简述一下计算复杂性(The complexity of computing)。所谓计算复杂性,通俗地讲,就是指对所研究问题的计算难度。对于计算复杂性,有关于计算链的最小计算步骤数,即组

合复杂性；关于计算链的最小深度，即延迟复杂性（Delay complexity）；关于解一问题的某种算法所需时间的算法的时间复杂性；关于时间复杂性极限状况的算法的渐近时间复杂性（Asymptotic time complexity）；还有关于一个算法所耗费空间的算法的空间复杂性和算法的渐近空间复杂性（Asymptotic space complexity）等。一个算法的复杂性是由所解问题的固有难度决定的，对同一个问题使用各种有效的计算模型，其计算复杂性应大致相近。此外，一个问题的计算复杂性是指实现该问题的所有算法中复杂性最小的那种算法的复杂性。

在生物学领域，人们普遍认为，生物体的复杂性和非生物体的复杂性是两类不同的复杂性，前者的复杂性程度比后者要高得多，而且有质的不同。生物复杂性有三个特点，其一是在复制生物结构的过程中存在指令和控制，并由此展现出生长性和自适应性；其二是生物具有无双性，这导致不同层次、不同类群，甚至不同个体生物的复杂性显示有很强的个性，这是在生物学领域应用数学方法的一个难点；其三是生物复杂程度的超巨性，这也使得生物复杂性难以量化。

在社会经济领域，除了某些社会经济系统大致是规则的周期性变化（如在城市公路上，处于旅游高峰时期的交通拥挤事件），非规则的周期振荡变化（如商业交易循环，年年的预算循环）或较长时期的非规则的周期性运动（如国民经济的盛衰）之外，经常遇到的社会经济系统中的现象多半是变化多端、十分复杂的超自主社会湍流（Super-autonomous social turbulence）。所谓超自主社会湍流是指许许多多的具有自主能力的社会个人相互超耦合地关联起来，演化成与自然界的混沌、湍流相类似但又有其更深刻的特殊本质的社会经济现象，在其中的社会个人既是自主的，又是不由自主的，而从整体看来，则是超自主的。例如，商品交换时商品价格的性态，股价波动的醉汉随机行走模式等。总之，超自主社会湍流表达了社会经济的复杂性。

在人的精神世界中，相互作用的神经元巨大组合的活动方式和

过程产生了意识的在意义和经历网络中的自我体验性，特别是构成了高级形式的意识——人的思维。现代科学已初步认识到思维和大脑的非线性、非平衡性和非局域性的某些方面，比如说，神经网络相当于一个非线性系统的鉴别器。但是，笔者认为，至少在目前，任何非线性动力学模型都不能完整地（甚至不能）模拟人的思维过程。因此，我们应探讨精神世界的超非线性复杂性。

通过对非线性动力学、计算机科学、生物学，社会经济领域以及人的精神世界中的复杂现象和复杂性概念的分析 and 研究，我们可以形成关于现代科学意义下的整体的复杂性概念。但在目前阶段，还很难说已具备建立复杂性或复杂系统的“一元化理论”的条件。笔者在此不打算探讨这个问题。

第二节 复杂性概念的多角度描述及其整合化表征

复杂性的含义与对复杂性的刻划，虽然密切相关，但二者是有区别的，前者指的是“什么是复杂性”，后者则指的是“如何标定或度量复杂性”。关于对复杂性的刻划问题，笔者把它放到本书第二章研究复杂性的理论和方法中去探讨。这里，只是阐述笔者提出的对复杂性概念的多角度描述的整合化表征。

所谓对复杂性的多角度描述，即是从本体论和认识论，质和量，绝对性与相对性，存在和演化，空间和时间等方面多角度地说明复杂性的科学含义（但不是下定义，因为复杂性的定义是很复杂的，是很难下的）。所谓整合化表征就是把多角度描述进行一下整合概括。

第一，从本体论和认识论来看复杂性。从本体论来看，复杂性意味着是在物质运动中某种增殖的新异状态，某种创造性行为或某种嵌套的、揉杂的关联和相互作用以及某种不确定性的适应性变化，是一种标志意义和内容逐增的普遍属性或关系。严格说来，宇宙间的任一事物都包含着一定的现代科学意义下的复杂性。因为，

随着科学技术的发展,人们越来越相信非线性关系和非线性作用充满整个宇宙,这无疑导致复杂性的普遍存在。而且不仅如此,在一定条件下,充分的线性作用也将产生丰富的复杂性,更不用说还有数不胜数的超非线性关系和作用。此外,对任一单个事物的整体来说,如果将其深剥下去,总会显露现代科学意义下的复杂性。许多科学家都认为,简单原因可能导致复杂后果,复杂结构可能源于简单系统,千姿百态的大千世界可能是由于非常简单的规律无数次重复作用的结果,最简单的元胞自动机(Cellular automaton)就是表明这一论断的范例。在这一论断的启迪下,再进一步考虑宇宙的演化,即使在宇宙爆胀之初,也是复杂得不得了,更何况人们并不能否定宇宙的无穷演化。所以,任一单个事物必处在宇宙无穷演化历史的一个截面上,它储存了以前的复杂性,同时也体现着由物质统一性决定的某种基本简单性。

若从认识论角度考查复杂性,人们总把学习的难度、理解的难度、控制的难度乃至各种社会实践的难度与复杂性程度连结在一起。但是,对同一个问题而言,其认识论上的复杂性却可能因人而异,因时代而异,因解决该问题的方法、工具而异。鉴于此种情况,为了判定一个问题的难度,即为了判定其复杂性程度,必须建立适当的判定标准,给出一些固定的判定条件,使得人们在比较有关的不同问题的难易程度时,有一个共同的比较基础。当然,认识论上的复杂性与本体论上的复杂性本质上是相互一致的。往往被科学界公认的难题大都是在本体论意义上复杂性程度很高的问题,如数学上的关于偶数的哥德巴赫猜想,医学上的关于癌症的本质,经济学上的关于竞争性平衡等。

第二,从质和量的相互关系上考查复杂性。在物质的运动过程中,由量的变化所生成的创新性,所扩展和累积的具有质变意义的相互作用结果以及某些事物含有的相对说来不太可能发生的元素等均可看成是一种质的复杂性。如果量的增加尚不足以引起质变,此时相对应的复杂程度的增加是指量的复杂性的增加。比如,在流体力学中的超湍流(Super turbulent flow)是一种在其中摩擦产生的

能量损失很大,以致层流转捩为湍流的雷诺准则已不适用的水流,这就是涉及质的复杂性的例子。又如,三位数乘法要比一位数乘法复杂一些,但此处的复杂性只是量的复杂性。

在实践中如何区分质的复杂性和量的复杂性,这是一个具体科学方面的问题。如三体问题与二体问题相比,其复杂性是质的复杂性,因为三体问题不仅很难解决,而且可能呈现随机时间间隔、随机交错区域等随机性^[1]。而三体问题的随机性必须通过对某些具体的三体问题的动力学分析才能找出。

第三,从绝对性和相对性的角度考查复杂性。事物的简单性与复杂性是在一定比较标准、比较基础和比较条件下相比较而存在的,不同复杂程度之间也是相比较而排序的。因此,复杂性的相对性似乎是不言而喻的。但是,如何确定各种复杂性之间,各不同复杂性程度之间的比较标准、比较基础和比较条件,则不是一件轻而易举的事情,这涉及到复杂性研究的理论和方法。本书第二章将对这个问题加以探讨。关于复杂性的绝对性问题,笔者认为至少应注意分析以下三个方面内容。一是存储与耗费。即不论复杂性的具体形式和内容如何,都涉及到储存历史、储存关系、储存信息等问题。比较复杂的事物和现象,其储存的自我发展的历史、内在和外在关系以及包容的信息应是比较丰富的。毫不存储历史和信息的事物几乎是不存在的。即使像抛掷硬币这样的实验,也储存了“概率”信息。所谓耗费,既是指复杂事物的运动变化所需的空间、时间、物质、能量或信息,也是指人们处理复杂事物所需的空间、时间、物质、能量或信息。任何较为复杂的事物和现象都有一个较多耗费问题。二是随机与有限。在现代科学意义下的复杂性大都涉及到某种内随机性(或称自随机性, Self-stochasticity),而具体复杂事物和现象的内随机性(自随机性)都不是无限的。因为,复杂事物和现象在展示其复杂性时,会受到自身运动的极限时空、极限性态和极限关系的限制。人类的活动算是非常复杂的了,但它仍有自身的极限(确定人类的存在期限似乎是不可能的,但人类并不是无限性事物)。据此,可以说,内随机(自随机)的有限性(见本书

第十三章第二节)是指复杂事物自身的应变、选择和演化的可能性空间是有限维的,其运动是在一个由极限元素组成的集合包围下进行的。三是缔新与发散。复杂性与缔新(自然的或社会的创造)是二位一体的。有人曾把“复杂性”与“感兴趣”连在一起,这表明复杂性研究能激起人们的兴趣,因为它将导致人们的新的创造、新的发现,而在客观上,复杂性也确实含有诸多缔新的特征,如网络了新关系,产生了新性态,形成了新机制等。在上面关于本体论意义下的复杂性的阐述中,笔者也提到了由创造性来界定复杂性。关于发散问题,如轨道发散、行踪不定、性态多变等都可以归属于复杂性范畴,而这些又都可以用发散加以概括。不过,发散行为是在有限范围内表现的,此外,发散行为有可能(但不一定)导致缔新,如发散思维有可能捕捉新的东西。

总之,存储与耗费,随机与有限,缔新与发散这几个方面整合起来可表达复杂性的绝对性特征。

第四,从事物的存在与演化来考查复杂性。存在复杂性是指某一事物的现存结构、功能和性态具有较多的关联枝节,较大的空间范围或较长的时间区段。演化复杂性是指事物在演化过程中呈现的上述本体论意义、质的意义、绝对性意义下的复杂性。例如,科学技术的进步使原来落后的复杂笨重的设备或装置改革成为简便精巧的先进设备或装置。这里的“复杂”一语表达的是存在复杂性,而“先进”一语则表达具有更多更高的科技含量和创新意义的演化复杂性。再如,以电子管为逻辑元件的第一代电子计算机庞大笨重,运算效率低,以后相继有晶体管式计算机,集成电路,大规模集成电路乃至超大规模集成电路计算机,其演化复杂性程度一代比一代高,但其存在复杂性却一代比一代低。当然,存在复杂性与演化复杂性也并不是在任何情况下都不一致的。人类社会在许多方面的存在复杂性和演化复杂性都愈来愈大。如航天技术、建筑技术、信息技术、海洋科学、高能物理等都有大量的存在复杂性和演化复杂性均愈来愈大的例子。但是,我们不能说这两者的同步是无止境的。

第五,从空间和时间来看复杂性。关于求解问题的时空复杂