

信息时代的科学精神与科学教育

*Scientific Spirit and
Education in the Information Age*

从系统论到混沌学

From System to Chaos

■ 李曙华



GUANGXI NORMAL UNIVERSITY PRESS

广西师范大学出版社

信息时代的科学精神与科学教育
Scientific Spirit and
Education in the Information Age

从系统论到混沌学

From System to Chaos

■ 李曙华



GUANGXI NORMAL UNIVERSITY PRESS

广西师范大学出版社

· 桂林 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

从系统论到混沌学：信息时代的科学精神与科学教育 /
李曙华. —桂林：广西师范大学出版社，2002. 5
ISBN 7-5633-3566-8

I. 从… II. 李… III. 自然科学史 IV. N09

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 031820 号

广西师范大学出版社出版发行

(广西桂林市育才路 15 号 邮政编码:541004)
网址: <http://www.bbtpress.com.cn>

出版人: 萧启明

全国新华书店经销

广西师范大学出版社印刷厂印刷

(广西桂林市临桂县金山路 168 号 邮政编码:541100)

开本: 787 mm × 1 092 mm 1/16

印张: 22.625 字数: 370 千字

2002 年 5 月第 1 版 2002 年 5 月第 1 次印刷

印数: 0 001 ~ 2 500 定价: 36.00 元

如发现印装质量问题, 影响阅读, 请与印刷厂联系调换。

目 录

导论:信息时代的科学精神与科学教育	1
--------------------------------	---

第一篇 开辟整体性研究的新方向——系统理论

1 科学应该重新定向	16
1.1 科学革命的世纪	16
1.2 科学思潮的重大转向	18
1.3 两条科学发展道路	22
1.4 解放人的脑力	25
1.5 “大赛先生”	27
2 系统论	33
2.1 超越还原论	33
2.2 机体论革命	36
2.3 系统科学体系	37
2.4 系统、要素与环境	39
2.5 结构、功能与演化	46

2.6	“整体大于部分之和”	50
2.7	功能耦合的“怪圈”	56
2.8	构成还是生成	58
2.9	模型与霍尔方法	61
2.10	贝塔朗非纲领	65
2.11	重建人类尊严	67
3	信息论	70
3.1	一个全新的科学范畴	70
3.2	通信系统的模型	72
3.3	申农的信息定义	74
3.4	申农的统计通信理论	76
3.5	申农的信息量公式	79
3.6	噪声及其二重性	81
3.7	二进制与计算机	83
3.8	从狭义信息论到广义信息论	85
4	控制论	88
4.1	从“柏格森时间”开始	88
4.2	老鹰抓兔子的启示	90
4.3	通信与信息	92
4.4	反馈与目的	94
4.5	自稳控制与自组控制	99
4.6	超稳定性	104
4.7	一般模型、统计与非线性	106
4.8	功能模拟方法	108
4.9	黑箱方法	110
4.10	人有人人的用处	114

第二篇 追寻新结构诞生的奥秘——自组织理论

5 耗散结构理论	120
5.1 破译宇宙学佯谬	120
5.2 多姿多彩的“活结构”	124
5.3 耗散结构形成的条件	127
5.4 突破热力学第二定律	130
5.5 建立反应扩散方程	132
5.6 三分子模型	136
5.7 分支理论	138
5.8 演化先于存在	139
5.9 进化是选择和创造	142
5.10 自然法则的新表述	144
6 协同学	148
6.1 通往协同学的“御道”	148
6.2 打破生命与机器间的壁垒	152
6.3 关于集体行为的新科学	153
6.4 相变理论及其主要概念	155
6.5 序参量与支配原理	157
6.6 协同学的一般微观方法	160
6.7 协同学的一般宏观方法	163
6.8 自然界与社会中的协同效应	165
6.9 突破及其限定	167
7 超循环理论	169
7.1 探究生物信息起源之谜	169
7.2 何谓超循环	172
7.3 组成整体协同进化	175
7.4 “一旦—永恒”选择机制	177
7.5 误差阈与进化	179

7.6 非线性反应网络 181

7.7 选择价值与“生命博弈” 182

8 突变论 186

8.1 关于形态发生的数学 186

8.2 托姆突变 189

8.3 势函数与降维简化方法 192

8.4 突变的类型与特征 194

8.5 突变、渐变与质变 199

8.6 社会革命与形态发生 202

8.7 追求信仰与知识的和谐 204

8.8 突变论的应用与价值 206

8.9 自组织理论的启示 207

第三篇 探索生成演化的普遍规律——非线性科学

9 分形 211

9.1 英国海岸线有多长 211

9.2 自相似性与分形定义 213

9.3 分形的定量参数——分维 216

9.4 相似维数与“妖魔曲线” 217

9.5 豪斯道夫维数与“几何怪物” 220

9.6 分形生长模型 225

9.7 空集与负分维 228

9.8 分形的类型 232

9.9 分形的应用 234

9.10 芒德勃罗与几何学的变革 237

10 混沌学 241

10.1 还原论纲领的终结 241

10.2 第一个奇怪吸引子 243

10.3 橡皮膜上的数学和动力学 248

10.4	湍流之谜	250
10.5	周期三蕴涵着混沌	253
10.6	倍周期分岔——种群整体演化规律	256
10.7	标度律与普适性	259
10.8	信息的创生与传送	264
10.9	学会与“上帝”对掷	268
10.10	寻求自然界新的统一	270
10.11	可能取代全部线性科学吗	272
10.12	“科学植根于对话之中”	276

第四篇 两种探索世界生成及其复杂性体系的对话

对话之一:文化视野中的中国科技史	281
1. 中国科技史的再认识及其文化背景	281
2. 综合参照系下的中国科技史	283
3. 中国科技史的“考第尔斯结”	285
4. 中国科技史的现代与后现代意义	289
对话之二:老子的自然哲学与科学	292
1. 生成宇宙的本根或本原——“道”与原子	292
2. 宇宙生成的大化流行——潜在与显在	295
3. 把握普遍规律之道——觉知与认知	298
4. 关于生成演化的未来科学——互斥互补	303
对话之三:易经与非线性科学	306
1. 探索生成及其复杂性科学之渊源	306
2. 基于两种文化与方法的科学与科学精神	308
3. 两种探索生成演化体系的对话	312
对话之四:“混沌”与“三生万物”的互释	317
1. 通向混沌的第一个关节点	317
2. “3”是宇宙常数吗	319

3. “生生之谓易”	321
对话之五:从“以有观有”到“以无观有”	323
1. 空隙 —— 生长的活跃区	323
2. 空集与负维数—— 潜在存在的透视与描述	325
3. 一种新的空间观—— 生长与演化的空间	327
4. 芒德勃罗与老子的相互解读	329
对话之六:中华科学的基本模型与体系	332
1. 中华科学模型及其符号体系	333
2. 中华科学体系及其历史发展	337
3. 中西科学差异与互补	341
结束语:“转识成智”—— 创造科学与教育的未来	343
参考文献和参考资料	346

Contents

Introduction: Scientific Spirit and Education in the Information Age
..... 1

Part I Starting New Direction of Wholeness Study
—— **System Theory**

1 Science Should be Redirected 16

 1.1 Century of Scientific Revolution 16

 1.2 Great Turn of Scientific Ideological Trend 18

 1.3 Two Roads of Scientific Development 22

 1.4 Liberating human's Brain 25

 1.5 "Mr. Da Sai" 27

2 System Theory 33

 2.1 Transcending Reductionism 33

 2.2 The Revolution of Organismic Theory 36

 2.3 The Framework of System Science 37

 2.4 System, Element and Environment 39

 2.5 Structure, Function and Evolution 46

 2.6 "Whole is Bigger than Sum of Parts" 50

 2.7 Odd Circle of Function Coupling 56

 2.8 Constitution or Generation 58

 2.9 The Model and Hall Method 61

 2.10 Bertalanffy Programm 65

 2.11 Rebuilding Human Dignity 67

3 Information Theory 70

 3.1 A Completely New Scientific Category 70

 3.2 The Model of Communication System 72

3.3	The Definition of Shannon Information	74
3.4	Shannon Statistic Communication Theory	76
3.5	Shannon Information Formula	79
3.6	Noise and Its Duality	81
3.7	Binary Number System and Computers	83
3.8	From Special Information Theory to General Information Theory ...	85
4	Cybernetics	88
4.1	Starting From Bergson Time	88
4.2	Enlighten From Eagle Catching Rabbit	90
4.3	Communication and Information	92
4.4	Feedback and Goal	94
4.5	Self-Stabilizing Control and Self-Organizing Control	99
4.6	Super-Stability	104
4.7	General Model, Statistics and Nonlinear	106
4.8	Functional Simulation Method	108
4.9	Black Box Method	110
4.10	The Human Use of Human Being	114

Part II Probing Into Mystery of New Structure Producing ——Self-Organization Theory

5	Dissipative Structure Theory	120
5.1	Solving “Cosmology Paradox”	120
5.2	Colorful “Alive Structures”	124
5.3	Conditions of Producing Dissipative Structure	127
5.4	Breaking Through the Second Law of Thermodynamics	130
5.5	Establishing the Reaction-Diffusion Equation	132
5.6	Three Molecule Model	136
5.7	Branch Theory	138
5.8	Evolution is Prior to Being	139
5.9	Evolution is to Select and Creat	142

5.10	New Expression of the Nature Law	144
6	Synergetic	148
6.1	The “Imperial Path” to Synergetic	148
6.2	Breaking the Barrier between Life and Machine	152
6.3	New Science on Collective Behaviors	153
6.4	Phase Transition Theory and its Basic Concepts	155
6.5	Order Parameter and Slaving Principle	157
6.6	General Micro-Method of Synergetics	160
6.7	General Macro-Method of Synergetics	163
6.8	Synergetic Effects in the Nature and Society	165
6.9	Breakthrough and Limitation	167
7	Hypercycle Theory	169
7.1	Exploring Mystery of Biological Information Origin	169
7.2	What is Hypercycle	172
7.3	Organizing to Evolute Synergetically	175
7.4	“Once-Forever” Selecting Machine-Processed	177
7.5	The Error Threshold and Evolution	179
7.6	Nonlinear Reactive Network	181
7.7	Selective Value and “Life Gaming”	182
8	Catastrophe Theory	186
8.1	Math on Morphogenesis	186
8.2	Thom Catastrophe	189
8.3	Potential Function and Method of Reducing-Dimensionality	192
8.4	Types and Characters of Catastrophe	194
8.5	Catastrophe, Gradual Change and Qualitative Change	199
8.6	Social Revolution and Morphogenesis	202
8.7	Pursuing Harmony between Belief and Knowledge	204
8.8	Application and Value of Catastrophe Theory	206
8.9	Enlighten From Self-Organization Theory	207

Part III Exploring the Universal Law of Generation and Evolution —— Nonlinear Science

9	Fractal	211
9.1	How Long is British Coast-Line	211
9.2	Self-Similarity and the Fractal Definition	213
9.3	Quanta-Parameter of Fractal —— Fractal Dimension	216
9.4	Similar Dimension and “Ghost Curve”	217
9.5	Hausdorff Dimension and “Geometric Monster”	220
9.6	Fractal Growth Model	225
9.7	Empty Set and Negative Fractal Dimension	228
9.8	Fractal Types	232
9.9	Fractal Application	234
9.10	Mandelbrot and Geometric Revolution	237
10	Chaos	241
10.1	The End of Reductionism Programme	241
10.2	The First Strange Attractor	243
10.3	Math and Dynamic on Rubber Membrane	248
10.4	Tubulence Mystery	250
10.5	Period Three Implies Chaos	253
10.6	Period-Doubling Bifurcation —— The Law of Population Evolving Wholly	256
10.7	Scaling and Universality	259
10.8	Creation and Transmission of Information	264
10.9	Learning to Dice Against “the God”	268
10.10	Seeking New Unification of the Nature	270
10.11	Will Nonlinear Replace the Linear Science	272
10.12	“Science is Rooted in Dialogue”	276

Part IV Dialogue Between Two Systems To Explore the World Generating and Its Complexity

Dialogue I : Chinese History of Science and Technology in Sight of the Culture	281
1. Re-thinking the Chinese History of Science and Technology on Its Cultural Background	281
2. Chinese History of Science and Technology in Synthetic frame of Reference	283
3. “Gordian Knot” in Chinese History of Science and Technology	285
4. Modern and Postmodern Significance of Chinese History of Science and Technology	289
Dialogue II : Natural Philosophy of Lao Zi and Science	292
1. Source or Arche of Generating the Universe——“Tao” or Atom	292
2. The Great Flow of the Universal Generation—— Latent Being and Evident Being	295
3. Grasp the “Tao” of Universal Law —— “Rational Perception” and Cognition	298
4. Future Science on Generation and Evolution—— Mutual Exclusion and Supplement	303
Dialogue III : Book of Changes and Nonlinear Science	306
1. Exploring the Scientific Source on Generation and Its Complexity	306
2. Science and Scientific Spirit Based on Two Kinds of Culture and Method	308
3. Dialogue between Two Systems of Generation and Evolution	312
Dialogue IV : “Chaos” and “The Three begets all things of the world” ..	317
1. The First Critical Point to Go to Chaos	317
2. Is “Three” the Universal Constant	319

3. "Generation and Regeneration is What is Called Change" 321

Dialogue V : "Viewing Substance From Reality" to "Viewing Substance From Nothingness" ① 323

1. Lacunarity — Active Field for Generating 323

2. Ampty Set and Negative Dimension— Perspective and Description of Latent Being 325

3. New Outlook of Time and Space—Space of Generation and Evolution 327

4. Mutual Interpretation Between Mandelbrot and Lao Zi 329

Dialogue VI : Basic Model and System of Chinese Science 332

1. The Model and Symbol System of Chinese Science 333

2. Chinese Scientific System and Its Historical Development 337

3. Differences and Supplement between Chinese Science and Western Science 341

Concluding Remarks: "Turning Knowledge to Wisdom"—Creating the Future of Science and Education 343

Reference Books Appendix 346

① or translate to "Viewing Visibal Thing From Visibal Thing to Viewing Visibal Thing From Invisibal Thing"

导 论：信息时代的科学精神与科学教育

科学不仅是知识,而且是时代精神的生动展现,是人类智慧与创造力的结晶!科学教育绝不能仅限于科学知识的传播与灌输,更重要的是让学生了解科学演变发展的历史过程和规律,把握科学精神的丰富内涵,领略科学探索者的人格魅力,培育学生的科学批判精神和创新能力。

信息时代的科学

20世纪以来,牛顿的经典力学体系无论在宇观、微观乃至宏观世界都遇到了应用界限,暴露了它的局限性,同时近代科学文明也带来了西方的文化危机,这一切使20世纪成为科学革命的世纪。相对论、量子力学与系统科学相继兴起,彻底改变了科学的基础与面貌。其中非线性科学^①可谓“20世纪物理学第三个最大的革命”。目前它正以全新的科学概念、科学规律和科学方法,全方位超越以往线性科学。^②这次科学革命不仅带来了科学规范的全面转换,而且孕育了以此为基础的信息技术与信息社会。可以

^① 笔者认为,20世纪非线性科学的发展经历了三个阶段:第一阶段是控制论、信息论、系统论,俗称“老三论”,本书统称为系统理论;第二阶段是耗散结构、协同学和突变论,有人称之为“新三论”亦称为自组织理论;第三阶段是以混沌、分形和孤立波为主干的非线性科学。本书将系统理论、自组织理论、非线性科学统称为系统科学。

^② 线性科学:研究具有简单比例关系,符合叠加原理对象的科学,如牛顿力学。

说:不了解系统科学,就不可能真正了解信息时代和信息时代的科学精神!

如果说近代科学的奠基者是从批判亚里士多德开始的,那么,系统科学的创始人则皆从批判经典科学机械论起步。与西方近代、现代传统科学孤立地研究局部、运动及其简单性相反,系统科学是探索整体、演化及其复杂性的科学。“对整体性、混沌和变易的全新理解是这场革命的关键”,“它正把科学家传统上热衷于对部分的预测、控制和解析,转变到关注于事物的不可预见之整体的运动方式上来。”^①科学语言及范式正在进行新的全面转换。

20世纪40至60年代,系统论、信息论、控制论的诞生可以看做系统科学的理论奠基。系统论以“整体不可分性”的“机体论”和“整体论”原则,首先批判了经典科学的还原论和机械论,使科学研究的对象从孤立的部分转向对复杂系统整体及其整体性规律的研究,突出了部分之间不可分割的相互作用以及部分与整体间的层次差别;信息论第一次赋予信息以严格的科学定义,从此,信息成为可以定量研究的最基本科学概念,成为与物质、能量并列的三大要素进入现代科学的殿堂;控制论揭示了系统作为整体的自调节稳定机制,通过反馈控制和信息通信,维纳将目的性和学习的概念赋予了机器,为计算机、智能机的制造提供了重要的科学基础和技术规范。

20世纪60至80年代以耗散结构理论、协同学、超循环和突变论为代表的自组织理论先后兴起,可以看做系统科学发展的第二阶段。耗散结构理论研究了系统新结构产生的条件和机制,证明了系统进化的可能,解决了使经典科学陷入困境的进化与退化、确定性与不确定性的宇宙学佯谬。近年其创始人普里戈金提出新的时间观和自然法则的新表述,试图以基于自然的概率描述包含时间之矢,给出我们宇宙不可逆演化的统一的科学理论;协同学突破了以往线性科学着眼他组织的局限,探讨了在突变点上系统如何通过内部各子系统之间的协同、竞争,自己组织起来形成结构的内在机制;超循环理论则揭示了生物大分子形成的自组织形式,架设了从无生命向生命过渡的桥梁;突变论不仅超越了以往“自然界无飞跃”的渐进进化思想,使突变现象成为科学研究的对象,而且给系统科学提供了新的数学工具。自组织理论不仅超越了只限于研究简单物体运动的牛顿力学,而且超越了达尔文的进化论。如果说以时间可逆和确定性为特征的线性科学,满足于对

^① 布里格斯·湍鉴·见:木水共·走向混沌·上海:上海新学科研究会,1995.65