

FOUNDATIONS OF
COMPLEX-SYSTEM THEORIES

复杂系统理论基础

欧阳莹之 著●
田宝国 周亚 樊瑛 译●姜璐 校



上海科技教育出版社

**Foundations of Complex-system Theories:
in Economics, Evolutionary Biology, and Statistical Physics**

By Sunny Y. Auyang

Copyright © 1998 Cambridge University Press

Chinese (Simplified Characters) Trade Paperback copyright © 2002 by

Shanghai Scientific & Technological Education Publishing House

Published by arrangement with

the Syndicate of the Press of the University of Cambridge, England

ALL RIGHTS RESERVED.

上海科技教育出版社

业经 the Syndicate of the Press of the University of Cambridge, England 授权
取得本书中文简体字版版权

责任编辑 潘 涛 匡志强

装帧设计 汤世梁 文 木

复杂系统理论基础

欧阳莹之 著

田宝国 周亚 樊瑛 译

姜璐 校

出版发行 上海科技教育出版社

地 址 上海冠生园路 393 号

邮政编码 200235

网 址 www.sste.com

经 销 各地新华书店

印 刷 上海新华印刷厂

开 本 850 × 1168 1/20

印 张 22

插 页 4

版 次 2002 年 10 月第 1 版

印 次 2002 年 10 月第 1 次印刷

印 数 1 - 3 000

I S B N 7 - 5428 - 2966 - 1 / N · 483

图 字 09 - 2001 - 337 号

定 价 36.50 元

序 言

爱因斯坦(Einstein)曾经说过:“如果没有界定范畴和一般概念,思考就像在真空中呼吸,是不可能的。”他的话回应了西方哲学的一个长期传统,即我们的经验和知识是被范畴或一般概念的框架所建构的。范畴框架(categorical framework)包含我们对这个可理解世界的最基本的、一般性的预设,以及我们在其中的地位。它不是外界强加的,而是像氧融合在呼吸生物体的血液中那样,已经固化在我们的客观思想之中。既然范畴微妙地影响着我们的思考,重要的是考察它们,就像检验我们呼吸的空气是否被污染过。从亚里士多德(Aristotle)到康德(Kant),很多哲学家一直竭力把这些范畴从我们实际思想中抽象出来,加以阐述,进行批判。

我一直在对融合在科学理论和常识中的客观思想的范畴框架进行探索,本书是这个工作的一个继续。科学理论包含一些我们最精炼的思想,它们并不纯粹描述客观世界:它们是以一种让我们易于理解的方式描述这个客观世界。因此,在其客观内容阐明这个世界的同时,它们的概念框架(conceptual frameworks)也阐明了理论推理的一般结构,我们思维中的一个重要方面。

作为一个转向哲学研究的物理学家,我自然从考察相对论和量子力学开始。许多一般概念,包括那些人们熟悉的客体与经验、时空和因果性等,当物理学推向人的观察之外且将物质分解到其最简单的组分层次时,就有了问题。许多哲学家用量子理论和相对论论证不变范畴(invariant categories)的不可能性。我在《量子场论如何可能?》一书中对其论点提出了异议。在书中,我比较了构成基本粒子物理学基础的量子场论的概念框架,宇宙大尺度结构的广义相对论,以及我们关于世界的日常思考等。这些论题的范围很广泛,但它们有着共同的范畴结构(categorical structure)。现代物理理论抛弃了许多关于特定客体的特定日常观点,而保留了客体和特性的一般常识观念。它们并不排斥那些看起来有问题的范畴,相反,他们尽力使这些范畴明晰、准确,将其纳入自身,有效地澄清和巩固我们日常话语中心照不宣地理解、未加思考地使用的一般性预设。

在量子力学和相对论物理学之后,明显的下一站就是统计力学。统计力学中的多数进展都发生在凝聚态物理学领域。凝聚态物理学考察的是固体和液体的微观结构。固体或液体是多体系统,一种由许多处于相似状态、有相互作用的组分组成的复杂系统。凝聚态物理学中的多体理论,为大组合系统的微观描述和宏观描述的统一(没有贬低任何一方)提供了概念框架。

在寻求思想的一般模式这个哲学目标的指导下,我迅速意识到了那些在我从事凝聚态物理学研究中躲避我的那些内容。自古希腊的埃利亚学派(Eleatics)与原子论者(Atomists)的争论以来,多体理论表达了一个引起哲学家关注的重大问题:在保持系统的完整性和其组分的个体性的同时,我们如何能够清楚地表述一个大系统的组合?从该问题产生的背景多样性来看,这个问题的重要性是不言而喻的。霍布斯(Hobbes)的《利维坦》和莱布尼茨(Leibniz)的《单子论》,在不同语境下提出了迥然不同的解决办法,他们的解答也遭到很多批评。这个问题如今仍然存在,就像答案中存在方向性一样。大尺度组合是非常复杂的。粗糙的模型在概念上不能处理这种复杂性,因为这些模型要么牺牲个体,要么牺牲系统。更糟糕的是,这种权宜之计的牺牲有时竟然被解释为对不同意识形态的“科学”确证。除了破坏“科学”的信誉以外,这些简化的模型和解释也有一定的实际结果。注重个体和平等的现代社会是一个多体系统,在这个表面下潜藏的是个体与群体之间的张力。我们用来思考这种局面的概念,影响我们自身及我们置身其中的这个社会的感知,我们的感知又影响我们的行动。我们可以通过对科学理论的细致分析来澄清若干概念混淆,考察它们如何表示组合,在其表示中做出过何种假设。

多体系统在许多学科的论题中,因为这些系统在物理、生态、政治和社会经济领域内无处不在。如果确实存在一个我们在其中可以对其进行思考的范畴框架,那它就不应局限于物理学。为了保持一般性和与哲学相称的宽广视野,我决定分别讨论。我寻找了在多体理论方面已经合理地建立一些综合理论的那些学科。在扼要调查之后,我选择经济学和进化生物学进行学习,到达一种我可以分析它们的理论,比较它们的概念结构与统计物理学概念结构,抽出其共同的范畴框架的深度。我一直对这些领域有浓厚的兴趣,抓住这个机会去弄清楚那些研究者都在干什么。

对来自经济学、进化生物学和统计物理学的理论进行并行分析(paral-

lel analysis),并不意味着社会科学和生物科学模仿了物理学,或者说它们可还原成物理学。科学并不像一座高层堆垒于低层之上的摩天大楼,它更像是一个飞机场,在一个集总系统中,大家都平等合作。我在诸学科中做了类比,这些类比是有教益的,并不是因为它们在人们熟悉的语境中表现陌生,而是由于它们使我们在人们熟悉的情况中发现了普遍的思想,还可用于人们不熟悉的局面。例如,微观经济学中的完全竞争市场理论和物理学中的自洽场论的对比,并不是用电子来解释消费者,反之亦然。这样,就产生了一个一般性理论策略(general theoretical strategy):将有相互作用组分的复杂系统近似表示为无相互作用组分的一个更易处理的系统,那些无相互作用组分具有修正的特性,独立地对它们共同创造的局势做出反应。这种理论策略被广泛使用,但其背后的理念却很少在社会科学中予以解释。因此,使用它的那些社会理论经常引发一些围绕独立个体的本性与其共同环境的意识形态争论。这些争论可以用与物理理论作对比来澄清,在物理理论中,从原表象(original representations)到近似表象(approximate representations)的理论转换是明晰实施的,以使我们明白地看出所涉及的假设,以及生成个体的含义。

本书的相当大部分致力于对科学理论和模型的表述,从而为进行哲学分析提供素材。由于多体系统的复杂性,诸学科基本上依赖于理想化和近似,各学科都分成了许多强调系统不同侧面的模型。我将尽力展开模型背后的假设和预设,便于读者评价它们那些通常是有文化影响的声称。除了对一般概念进行澄清,我希望本书可以激起不同领域科学家之间的相互对话,不仅关于他们正在研究什么,还关于他们正在如何进行。因此,我努力使本书的内容易于一般读者理解,把诸学科的概念结构(conceptual structures)尽可能解释清楚,尽量少引用行话,并在每一专业术语第一次出现时予以解释。由于本书的覆盖面很广,我将力求简明,使主要思想凸现出来,而不拘泥于细节。

写这本书的念头萌发于弟弟曦之和我在他的家里的一次谈话,他的家在一个丘陵上,从那里可以俯瞰丹佛的美景。1985年6月的一个晚上,我们谈到了尼采(Nietzsche)(我们读到的第一位西方哲学家),遇到一个问题:如果你在没有稳定的收入和贵族待遇的条件下生活,你会做什么?我们漫谈着大学里面分科设系,难以开展交叉学科研究(interdisciplinary endeavor)。如果不是3个月后曦之意外去世,或许我再也记不起这次谈话。

顷刻之间,关于生活的意义等诸多问题成了现实问题。为了重新定向,我用了很长的时间进行批判性反思,做了一些实际的准备,寻求一个我确实心甘情愿长期为之奋斗的难题。在这期间,我非常感谢社会完善的基础设施,包括可以自由进入图书馆和大学。为写成这本书,我要感谢麻省理工学院的许多经济学教授,我每个学期听了他们一流的报告,他们提供的参考书目也指导了我的研究。

马萨诸塞州坎布里奇

目 录

序言	1
第 1 章 导论	1
1 复杂组合系统的综合微观分析	1
2 论题、理论、范畴	8
2.1 复杂系统	10
2.2 多体系统的复杂性	11
2.3 两种复杂性概念	14
2.4 多体理论	15
2.5 描述性哲学和范畴分析	17
2.6 本书梗概	19
3 经济学、进化生物学、统计物理学	22
3.1 微观经济学和宏观经济学	23
3.2 概率、统计学和统计推断	29
3.3 进化生物学	31
3.4 平衡统计物理学和非平衡统计物理学	35
3.5 凝聚态物理学	38
第一篇 平衡	41
第 2 章 组合系统理论	43
4 世界的组织层次和描述性层次	43
4.1 诸学科的研究对象	44
4.2 黏合与瓦解	46
4.3 原子论与物理主义	49
5 小系统的演绎构建	50
5.1 裸元素的神话	51
5.2 类型和量值	53
5.3 小系统理论及其外推	54

5.4	还原论与微观还原论	55
6	多体系统的综合微观分析	59
6.1	综合分析和综合微观分析	60
6.2	组合系统的宏观解释和微观解释	63
6.3	组合系统与世界	64
6.4	微观态、宏观态及分布	66
6.5	组合与因果关系	69
6.6	多体理论的概念组元	71
7	理想化、近似、模型	72
7.1	理想化和近似的必要性	72
7.2	模型	74
7.3	理论和实在	75
8	科学的联邦制与帝国制的统一	77
8.1	科学的联邦	78
8.2	关于科学的一个几何隐喻	79
9	平衡与最优化	82
9.1	平衡	82
9.2	极值原理	85
9.3	最优化	85
9.4	最优化—平衡命题	87
第3章	个体:组分和系统	89
10	个体及其可能性:态空间	89
10.1	在“关节”处切割自然	90
10.2	空间位置和数值同一性	92
10.3	种类和自然种类	92
10.4	变量和态空间:可能性	94
10.5	可能性范畴	95
10.6	物理学、生物学和经济学中的个体	97
11	统计力学论题的完整性	97
11.1	组分状态和系统状态	98
11.2	气体动理论和统计力学	100
11.3	系综、平均值和粗粒化	102

11.4	遍历性和统计力学的确证·····	103
12	进化单位和选择单位·····	105
12.1	物种作为个体和种类的双重角色·····	106
12.2	作为种类的物种和生物体的态空间·····	107
12.3	作为个体或组合系统的物种·····	109
12.4	群体遗传学的概念框架·····	110
12.5	组分个体的统计描述·····	112
12.6	选择单位·····	112
13	作为理想最优化者的经济个体·····	115
13.1	消费和生产中的理想最优化者·····	115
13.2	理性问题·····	118
13.3	涉及经济个体的认识论问题·····	119
第4章	局境个体和局势·····	122
14	独立个体近似·····	122
14.1	大系统中关系的错综复杂·····	123
14.2	个体的一般思想与个体的实际描述·····	124
14.3	局境谓词和局势·····	125
14.4	从独立个体近似中产生的混淆·····	127
15	自洽场中的单粒子·····	128
15.1	力学的一般概念结构·····	129
15.2	凝聚态物理中问题的基本描述·····	129
15.3	传导的自由电子模型·····	131
15.4	晶格的周期势中的电子·····	132
15.5	电子—电子相互作用的自洽场理论·····	135
15.6	准粒子和简化原则·····	137
16	完全竞争市场中的价格接受者·····	138
16.1	一个无风险的完全竞争市场模型·····	139
16.2	市场确立和谐中的单子·····	143
16.3	交换理论·····	144
16.4	拍卖师和摸索过程·····	145
16.5	不同个体效用的不可比性·····	145
16.6	独立个体的局限性·····	146

17	适合度、适应性和环境	147
17.1	因式分解生物体	147
17.2	切断基因型描述和表型描述	148
17.3	适合度和负荷	150
17.4	最优化模型及其批评者	152
17.5	独立特征成为神话	155
第 5 章	交互个体与集体现象	158
18	中间结构层和个体	158
18.1	中间结构的涌现	159
18.2	集体	160
18.3	集体分析和系统分析	161
19	集体激发及其耦合	162
19.1	波、简正模和粒子	163
19.2	集体分析:集体激发	164
19.3	系统分析:比热	166
20	策略竞争和工业组织	167
20.1	交互个体和管理结构	167
20.2	交易成本和工业组织	169
20.3	博弈论	170
20.4	合作的可能性:累次博弈	172
21	群体结构和利他主义的进化	174
21.1	进化博弈论和频率依赖适应性	174
21.2	类群涌现和群体结构	176
21.3	利他主义的可能性	177
第 6 章	组合个体和涌现特征	180
22	系统整体上的涌现特征	180
22.1	涌现性与可解释性	180
22.2	涌现与生成	182
22.3	例子:传导和超导	186
22.4	普适性和超宏观描述	188
23	相变中的自组织	189
23.1	序参量和临界现象	190

23.2	对称性破缺·····	190
23.3	遍历性破缺和宏观系统的涌现特征·····	192
23.4	一个例子:磁性·····	194
23.5	涨落和关联·····	195
23.6	重正化群·····	197
23.7	临界指数和普适性·····	198
24	生物系统的适应性组织·····	199
24.1	宏观进化中的疑难·····	200
24.2	生物体中的自发有序·····	201
24.3	冲突约束·····	202
24.4	崎岖适合度景貌·····	204
24.5	NK 模型·····	205
24.6	随机 NK 布尔网络·····	207
25	通胀、失业及其微观解释·····	209
25.1	宏观经济学的概念框架·····	210
25.2	微观基础的两种方法·····	211
25.3	失业的微观解释·····	212
25.4	一个过于简化的微观基础·····	214
25.5	理性预期·····	215
第二篇	动力学·····	217
第 7 章	动力学系统的时间性·····	219
26	时间性和可能性·····	219
26.1	可能性与态空间·····	220
27	过程与时间·····	222
27.1	客观却非实体的时间·····	222
27.2	动力学系统、事件、过程·····	223
27.3	众多的过程和时间尺度·····	226
27.4	局域时间和全局时间结构·····	227
27.5	四维世界图景必然使时间僵化吗?·····	228
28	过去、现在、将来·····	230
28.1	引得词:语境敏感的称谓·····	231

28.2	时态和日期	232
第8章	时间维中的复杂性	235
29	确定性动力学:态空间图	235
29.1	动力学的几何观点	236
29.2	确定性动力学理论的概念结构	238
29.3	可逆系统和不可逆系统	240
29.4	规则系统和混沌系统	241
29.5	线性系统和非线性系统	241
29.6	保守系统和耗散系统	242
29.7	时间维中的复杂性	243
30	稳定性、不稳定性、分岔	244
30.1	稳定性和不变集	245
30.2	耗散系统中的分岔:逻辑斯谛映射	246
30.3	种群生物学中的实例	248
30.4	耗散系统和平衡系统理论中的概念	249
31	混沌和可预测性	250
31.1	二进制移位映射	251
31.2	面包师变换和伯努利系统	252
31.3	初始条件和预测	253
31.4	实例:天气和行星运动的长期不可预测性	254
31.5	混沌动力学的建设性方面	255
32	确定性概念和随机性概念的统一	256
32.1	逻辑斯谛映射的路径和分布	257
32.2	遍历理论	259
32.3	伯努利系统及其物理等价	260
32.4	随机性和复杂性	262
33	统计力学的基础	263
33.1	遍历性和混合	264
33.2	哈密顿系统的稳定性:KAM定理	266
34	因果性而不是决定论	267
34.1	因果关联、因果性、因果关系	268
34.2	作为持久变化着的事物的动力学系统	270

34.3	决定论	271
34.4	可预测性	273
34.5	因果关系和决定论	275
34.6	没有决定论的因果性	277
第 9 章	随机过程及其解释	278
35	概率演算和随机过程	278
35.1	量值的一般概念:测度	279
35.2	从个体到个体系统:随机变量	280
35.3	组分、系统和系统系综	282
35.4	随机过程	283
35.5	由随机过程驱动的系统:布朗运动	285
36	商业周期的确定性模型和随机模型	287
36.1	非解释性模型	288
36.2	确定性模型	289
36.3	随机线性响应	290
36.4	受冲击的经济	292
36.5	技术随机游动	294
37	适者生存还是幸者生存?	295
37.1	确定性自然选择的解释	296
37.2	自然选择中的随机效应	296
37.3	遗传漂变和中性进化说	297
37.4	经验分辨率的局限性	299
38	统计力学中的因果性和随机性	300
38.1	时间尺度和空间尺度	301
38.2	力学、动理学和流体力学层次中的动力学方程	302
38.3	玻尔兹曼方程推导中的随机化	303
38.4	流体力学方程导出过程中的集总	306
38.5	从局域平衡到全局平衡	307
39	概率性而非偶成论	308
39.1	概率概念和统计概念	309
39.2	偶成论	311
39.3	概率性原因和原因的指征	312

39.4	概率性解释	315
39.5	概率的含义	317
39.6	概率的倾向性解释	318
39.7	凡不可言说者,皆须保持沉默	319
第10章	方向性、历史、期望	323
40	因果性和时间不对称性	323
40.1	因果性、共因和时间不对称性	323
40.2	探寻全局时间方向	325
40.3	过程的时间反演对称性	327
40.4	熵增与不可反演性的涌现	328
40.5	自组织和概念化	331
40.6	序的最终之源:宇宙的初始条件	332
41	自然历史中的叙述和理论	334
41.1	系统分类学和系统发生推断	335
41.2	进化生物学中的历史性叙述	336
41.3	叙述	337
41.4	覆盖律解释的不当性	338
41.5	历史和理论	339
41.6	叙述性解释	342
41.7	历史叙述与假设的故事	343
42	动态最优化、期望、不确定性	345
42.1	静态特性和动态特性	345
42.2	最优控制:从积分观点到微分观点	346
42.3	随机因素和风险估算	349
42.4	不确定性和未来	350
第11章	后记	352
43	回顾与展望	352
注释		357
参考文献		394
人名索引		413

第1章 导论

1 复杂组合系统的综合微观分析

根据业已在实验上充分证实的物理学理论,宇宙中所有为人们共知的稳定物质都由三种基本粒子通过四种基本相互作用结合而成。¹在最基本层次上的这种同质性(homogeneity)和简单性(simplicity)表明:我们周围所能看到的事物表现出来的无限多样性(infinite diversity)和复杂性(complexity)只能是组合的结果。组合(composition)不仅仅是聚集,组合物的组分之间存在着相互作用,通过这种相互作用会形成复杂的结构;但它还不仅仅是相互作用,它在表现组分特性的同时,还传递着作为整体而新产生的特点。组合,对于我们认识宇宙像基本粒子定律一样重要,对认识我们自身更为重要,因为我们每个人都是一个复杂的组合系统,我们参与复杂的生态、政治和社会经济系统中的一些活动。科学怎样表示和解释组合的复杂性呢?

大尺度组合特别能激起人们的兴趣,因为它产生了高度的复杂性和无限的可能性。亿万个原子结合成物质,在一定条件下,这种物质可以从固体转变为液体。数以百万计的人集合在一个国民经济系统中,在一定条件下,也可以从繁荣走向衰落。更一般地说,无数的个体组织起来,形成了一个动态的、易变的、自适应的系统。虽然要对外界环境产生反应,但该系统的演化主要依照由其组分间的相互关系所产生的复杂的内部结构进行。在大尺度组合所产生的可能性之“海洋”中,即使是我们最熟悉的一般理论所涉及的范围也仅仅像一艘“船”。大组合系统理论(theories of large composite systems)是复杂而专业的,缺少基础物理学理论的广泛的通用性。探讨其特有的方法、结构和结果,乃是本书的目的。

大组合系统是多样的,充满惊奇。也许最奇妙的在于,除了小尺度上的复杂性,有时我们能够以非常简单的方式在概念上刻画大尺度模式,就像当我们退后一步,从整体上再来欣赏由一些颜料涡旋形成的一幅壁画,发现这

是一幅非常有意义的图画一样。这些显著的特征就是组合物的涌现特性(emergent properties)。与其说涌现特性的出现显示了组合物的物质基础,不如说是显示了这些物质是如何被组织起来的。这些属于组合物的结构层面,它们与组分的特性是完全不同的,而且如果把它们的概念应用于组分的话,会得出似是而非的结论。生命是从无机物中涌现出来的;意识是从一些动物中涌现的;社会组织从个体行为中涌现出来。虽然不明显,但毫不令人吃惊的是,固体的刚性和液体的湍流涌现于基本粒子难以捉摸的量子态;而刚性和湍流却与基本粒子毫不相干,就像信念和欲望与神经元无关一样。如果没有涌现特性,整个世界就将毫无生气,当然,那样的话,我们也就不会存在这样的烦恼了。

当一个人鼻子贴着墙站的时候,是没有办法看到壁画的结构,他必须退后。复杂组合物的本质,以及我们吸收各种智识核心和观点的能力,这两者使众多学科能够审视这个世界中许多层次的组织形式。不同组织层次中的事物是很不相同的,以至于不同的学科都发展了自己的概念和模型对它们加以描述。那么,是我们心智中的哪些通用的条件,使我们能发展出多种相当自主运作、而又共同具有一个客观世界观的学科呢?是世界中的哪些通用的条件,使我们能够在不同的尺度和不同的组织层次上,使用根本不同的概念来描述同一事物的结构呢?如果通过组合,不同的组织层次是因果相关的,那么相应的描述层次之间的理论关系是什么?更具体一些,大组合系统的理论与其组分的理论之间的关系,即赋予了“组合”这个概念内涵的理论关系是什么?

本书试图通过提炼、阐明、比较若干学科的复杂系统理论(complex system theories)的概念结构(conceptual structures),来回答这些问题,这些学科都是专门研究不同组织层次(organizational levels)之间联系的学科。我们将考察经济学、进化生物学(尤其是它的理论核心——群体遗传学)、统计力学(尤其是它在凝聚态物理学中的应用,凝聚态物理学研究的是形成固体和液体宏观行为的微观机制)。而且,我们将探究在这三个学科内外广泛使用的三种数学理论:确定性动力学、概率演算和随机过程,以及联系上述两者的遍历理论。这些学科和数学分别引起了很多哲学关注,但就我所知,没有这方面的系统比较,而且几乎没有什么研究注意到组合作用。²

经济学、进化生物学和统计物理学中的理论覆盖了很大的论题范围,这些论题又由于使用了数学理论而得到进一步推广。我们的分析与其说是集

中于这些理论表述了什么,不如说是它们如何进行表述的。尽管有论题的多样性,它们在理论的处理上还是有一个抽象的共同点,这使我们可以建立一个由生物学家、经济学家和物理学家组成的交叉学科工作间,吸收彼此的观点。³本书试图说明:最近的学科间交流仅仅是冰山的顶端,在冰山的下面,在更抽象的水平上,这个共同点就是很基础的了,因为这些学科主要的研究对象是相似的,科学家都有人类思维通用的理论推理。

经济学、进化生物学和统计物理学的研究对象,都是由许多有相互作用的组分组成的复杂系统:国民经济系统是由上百万的消费者和生产者组成,他们议价并进行交易;进化中的物种由数以十亿计的生物体组成,它们为获取资源而相互竞争;固体由无数有相互吸引或排斥作用的电子和离子构成。这些学科旨在研究这些系统整体上的特点,并在这些特点与其组分的行为以及组分中的关系之间建立联系:经济的运行与消费者决策之间的因果关系;物种组成的变化与生物体的适应性之间的因果关系;金属延展性与原子键之间的因果关系。经济学、进化生物学和统计物理学不是仅有的几个由大尺度组合而形成复杂系统的学科。它们所以显得突出,原因在于:它们的知识足够理论化,以使我们说明,它们在解释大系统的整体性、组分的个体性以及将系统和组分绑在一起的因果关系之谜等问题时,采用的理论推理结构。因此,它们是我们考察那些至今无法进行理论化的更复杂组合现象的基石。本章的剩余部分,将会更完整地介绍这些学科。

适当概括起来,组合的思想适用于我们所研究的数学理论。概率演算从本质上研究了某些类型的大组合系统的结构,比如,已知单次掷硬币的特点,可得出一个由许多独立重复的掷硬币行为形成的长序列。它为我们提供了从整体上把握这一系列掷硬币特点的框架,列举出所有可能的状态,以某种粗的构形计算这些可能状态发生的频率。这种总体的综合观点使计算的分析能力得到加强,它在组合系统诸学科中得到了广泛运用,对其成功贡献甚大。

由许多阶段组成的动力学过程,是一种一维组合系统。在一个确定性过程中,根据对某一规则的迭代(iteration),这些相继阶段一个接一个地发生,就像在一个组合物中,其组分通过某种定律进行相互作用一样。经典动力学理论满足于已知特定初始条件,求解特定过程的行为,而现代的动力学表述则从整体上把握这个过程,研究不同过程类的一般特征,这又一次证明了整体的综合分析观点的威力。混沌、分岔、吸引子和奇怪吸引子,