

开创复杂性 研究的新学科

—— 系统科学纵览

四川教育出版社

N94
W 53-2

356369

魏宏森 宋永华 等 编著

开创复杂性 研究的新学科

—— 系统科学纵览



四川教育出版社

(川)新登字005号

责任编辑: 何 杨

封面设计: 刘节雨

开创复杂性研究的新学科
——系统科学纵览

魏宏森 宋永华 等编著

四川教育出版社出版发行
四川省新华书店经销

(成都盐道街三号)
达县新华印刷厂印刷

开本850×1168毫米 1/32 印张20.5 插页6 字数500千
1991年12月第一版

1991年12月第一次印刷

印数: 1——1050册

ISBN7-5408-1543-O/G·1492

定价: 10.00元

作者分工

序 言		许国志	
第一章	系统论	魏宏森	
第二章	控制论	宋永华	
第三章	信息科学	钟义信	
第四章	耗散结构	姜 璐	
第五章	协同学	郭治安	任光耀
第六章	超循环论	曾国屏	沈小峰
第七章	突变论	孙博华	
第八章	混沌	宋永华	张 彦
第九章	分形	黄立基	李后强
统 稿		魏宏森	宋永华

出版前言

本书是由我国处于各复杂性学科研究前缘的中、青年学者集体商定写作提纲后编写的，包括系统论、控制论、信息论、耗散结构论、协同论、超循环论、突变论、混沌论与分形论共九门非线性学科。各部分既相联为一整体，又各自独立成章，以便于读者对单章的阅读。本书既注意定性与定量的结合，也尽量包括各学科的新发展及其方向。由于本书各章均只代表各章作者的观点，如前后观点之间存有分歧，敬请读者谅解。

最后，感谢许国志先生在百忙之中为本书作序，感谢魏宏森教授、宋永华博士后为本书统稿所做的大量工作，还感谢宋永华在京为本书所做的组织、协调工作。

四川教育出版社编辑部

1991年2月

序

系统存在于世间万物，是人类迄今认识的重要事物之一。正如数学中的集合一样，很容易被人们从感性上理解并与以接受，但却难以定义。自从系统作为一个科学研究对象为人们重视以后，颇多发展。事实上，在现代科学中，一些研究是建立在某些特殊系统之上的。众所周知，热力学中的第二定律所涉及的是一个闭系统，但和周围环境交换物质、能量和信息的开系统却更为普遍。所说的稳定性问题，是研究状态的稳定。一个不倒翁若不被打翻在地，在一定倾斜度之内仍能恢复屹立的状态，但系统是重视其结构的。当状态达到一定程度时，可能发生结构的变化。水当温度降到零度时，从一个物态突变到另一物态，这就是结构稳定性的问题。正如没有不运动的物质一样，也没有不传输的信息。而信息的传输是在一定的系统中进行。信息和系统的关系，自不待言，以研究事理为对象的运筹学的一个重要分支排队，和成为一大类工程技术总称的系统工程，均最早出现于国际上两个电话公司，那就不是偶然的巧合。

系统和系统科学中很多辞条如突变、混沌、耗散，甚至信息等等，形似日常辞条，一方面容易为人们所接受，但一方面，也易于望文生义。这对误解系统科学的人和被误解的系统科学均颇不利，希望本书能起到正确传播系统科学的作用。

目 录

第一章 系统论	(1)
第一节 从系统思想到系统观的进化	(1)
一、古代朴素的系统思想	(1)
二、近代系统观的形成	(8)
三、唯物辩证法中的系统观	(11)
第二节 贝塔朗菲与一般系统论	(13)
一、贝塔朗菲与一般系统论的创立	(13)
二、一般系统论的基本内容	(22)
第三节 广义系统论以及其基本原理	(58)
一、广义系统论——综合学科的再综合	(58)
二、广义系统论的基本原理	(61)
第四节 系统论提供了新的思维方式——系统思维	(72)
一、对传统思维方式的反思	(72)
二、认识对象的改变要求思维方式的变革	(76)
三、系统思维方式的产生是思维方式的重大变革	(78)
四、改革开放需要系统思维方式	(84)
第二章 控制论	(90)
第一节 控制论的产生与发展	(90)
第二节 控制论的基本思想	(95)
一、控制、行为、目的、信息	(96)

二、控制论系统	(97)
三、反馈与反馈控制	(99)
四、控制论的主要方法	(101)
五、控制论的研究对象及特点	(103)
第三节 理论控制论	(106)
一、经典控制论	(106)
二、现代控制论	(115)
三、大系统理论与智能控制	(127)
四、控制理论的进一步发展	(132)
第四节 应用控制论	(133)
一、工程控制论	(134)
二、生物控制论	(135)
三、社会控制论	(139)
四、经济控制论	(142)
 第三章 信息科学	(147)
第一节 定义	(147)
第二节 逻辑	(152)
第三节 原理	(163)
一、信息的概念与度量理论	(164)
二、信息的获取原理	(173)
三、信息的传递原理	(177)
四、信息的再生原理	(184)
五、信息的调节原理	(189)
六、信息的组织原理和认知原理	(195)
第四节 意义	(201)
一、科学意义	(201)
二、技术意义	(203)
三、社会意义	(204)
 第四章 耗散结构	(208)
第一节 产生背景	(208)

一、科学发展中的矛盾·····	(209)
二、近平街区的工作·····	(214)
第二节 基本概念·····	(218)
一、典型实验·····	(218)
二、基本概念·····	(224)
三、产生耗散结构的条件·····	(229)
第三节 数学方法·····	(232)
一、反应扩散方程·····	(233)
二、主 (Master) 方程·····	(243)
第四节 应用·····	(259)
一、我国城镇人口空间分布·····	(260)
二、教育经济系统·····	(267)
三、应用的一般特点·····	(273)
第五节 耗散结构的新发展·····	(278)
 第五章 协同学·····	 (287)
第一节 协同学的建立和发展·····	(287)
一、典型现象·····	(290)
二、协同学的建立与发展·····	(294)
第二节 基本概念和原理·····	(296)
一、基本概念·····	(296)
二、协同学的基本原理·····	(302)
第三节 在社会科学中的应用·····	(323)
一、社会及管理·····	(324)
二、对哲学的贡献·····	(338)
第四节 协同学的新方向·····	(344)
 第六章 超循环论·····	 (353)
第一节 引论·····	(353)
一、生命是什么·····	(353)
二、生命是怎样起源的·····	(355)
第二节 超循环概念·····	(358)

一、循环	(358)
二、反应循环	(359)
三、催化循环	(361)
四、超循环	(362)
五、超循环进化原理	(364)
第三节 超循环和分子自组织	(369)
一、大分子自组织	(369)
二、选择的动力学	(673)
三、超循环的必要性	(378)
四、关于模型的讨论	(382)
五、生命起源过程	(396)
第四节 超循环论的进展和意义	(400)
一、超循环论的进展和反响	(400)
二、其他领域中的例子	(403)
三、超循环论的科学和哲学思想	(407)
 第七章 突变论	(413)
第一节 引论	(413)
一、突变现象及突变论的发展	(413)
二、突变论的研究对象	(418)
第二节 突变理论	(420)
一、突变机构	(420)
二、一些基本概念	(428)
三、结构稳定性	(432)
四、托姆的七种初等突变	(433)
五、确定度	(434)
六、开折	(435)
七、初等突变的几何图形	(436)
八、非初等突变理论简介	(440)
第三节 突变理论的应用	(445)
一、在物理科学中的应用	(446)
二、在医学中的应用	(459)

三、在生物学中的应用	(464)
四、在社会科学中的应用	(467)
五、发展中的突变论	(470)
第四节 突变论的哲学反思	(472)
第八章 混沌	(480)
第一节 混沌研究的历史	(480)
第二节 混沌理论	(487)
一、混沌产生的数学模型	(487)
二、奇怪吸引子	(503)
三、研究混沌的数值方法——功率谱和彭加勒映象	(508)
四、混沌程度的刻划——李亚普诺夫指数、维数和熵	(514)
五、研究混沌的解析方法	(525)
六、混沌理论进展与方向	(531)
第三节 形形色色的混沌现象	(537)
一、自然科学中的混沌运动	(538)
二、混沌——健康的标志吗	(541)
三、经济混沌现象	(543)
第四节 混沌的哲学思考	(545)
一、决定论与非决定论	(546)
二、非线性、混沌及自组织	(551)
三、意义及作用	(555)
第九章 分形	(562)
第一节 引论	(562)
一、分形概念的缘起	(562)
二、分形概念及理论的基本内容	(564)
三、分形概念的发展	(565)
第二节 经典的分形结构	(567)
一、中国的海岸线	(567)
二、科赫曲线及皮亚诺曲线	(569)
三、康托尔集合	(571)

第三节	分形的物理模型.....	(572)
一、	扩散限制的凝聚模型.....	(572)
二、	拉普拉斯场控制的生长.....	(576)
第四节	分形的唯象模型.....	(580)
一、	多标度分形理论.....	(581)
二、	多标度分形的热力学模型.....	(590)
三、	多标度分形的动力学行为.....	(597)
第五节	真实系统中的分形结构.....	(603)
一、	陶瓷形成过程中的分形.....	(603)
二、	材料表面的分形.....	(605)
三、	材料断裂中的分形.....	(608)
四、	超导薄膜中的分形.....	(610)
五、	生物大分子及分子光谱的分形.....	(611)
六、	天与地的分形.....	(617)
第六节	生物系统和自然噪声.....	(619)
一、	生物学系统.....	(619)
二、	自然噪声.....	(626)
第七节	通向分形的道路及分形的哲学.....	(633)

第 1 章

系 统 论

第一节 从系统思想到系统观的进化

我们从对系统论的简略的历史考察中认识到：它的产生决非偶然的一时时髦的产物，而是有着深远的历史、思想渊源和现代科学技术基础的。它的产生是经过古代——近代——现代的三个不同阶段，是从系统观逐渐发展到今天的系统论。它的产生、发展是与人类辩证地认识客观世界分不开的。它是人类理论思维发展的必然产物。对此，它的创始者L.V.贝塔朗菲（Beterlanffy）曾作过简单的历史回顾，并指出：正像科学与其他领域中的每一个新的概念一样，系统的概念也有一段漫长的历史进化过程。

一、古代朴素的系统思想

作为一种系统的思想并以此去看待世界的系统观点，早在古代就有萌芽，这无论在中国或古希腊、古罗马的哲学著作中都可以找出证据。不过，那时的系统思想、系统观是寓于朴素的唯物论和辩证法之中的，它是与秩序、整体、组织、相互联系等概念联系

在一起的。

古希腊朴素辩证法的奠基人赫拉克利特（约公元前510～前480年）在《论自然界》一书中说过，世界是包括一切的整体。他认为世界万物是在永不停息的火的变化中作有规律、有秩序的运动。土死生水，水死生气，气死生火；反过来亦一样。他把事物的规律、秩序称作“逻各斯”。古代原子论的创始人德谟克利特（公元前460～前370年）对物质的结构作了探讨，认为一切事物都是由原子和空虚组成的。他还著有《世界大系统》一书，这是最早采用“系统”这个词的著作。唯心主义的代表人物柏拉图则以他的理想国方案表达了他的系统思想。他提出：理念世界是在“善”的理论统率下的一个等级系统。被马克思称之为古代最伟大的思想家的亚里士多德的系统思想对系统论的形成有重大影响。贝塔朗菲说：“亚里士多德的世界观及其固有的整体论和目的论的观点就是这种宇宙秩序的一种表达方式。亚里士多德的论点‘整体大于它的各种部分的总和’是基本的系统问题的一种表述，至今仍然正确……。基本的系统问题至今尚未过时”。亚里士多德提出用四因论来说明事物的生灭变化的原因，即：1.质料因，指出事物由什么东西构成；2.形式因，说明事物具有什么形式结构；3.动力因，说明什么力量使一定的质料取得一定的形式结构；4.目的因，说明事物形成的目的是什么。他的整体论、目的论、组织论和四因论是古代朴素的系统观点、系统思想的最高表达形式。他写的《工具篇》在人类历史上第一次把形式逻辑变成系统的科学，体现了丰富的系统思想。

在我国古代，朴素的唯物论和辩证法中亦蕴存着系统思想。我国最早成书的《易经》和《洪范》两篇著作中在宗教神学体系下透露出的朴素唯物论和辩证法观念里就包含了系统思想。《易

《经》中的八卦说是从人们经常触及的自然界中选取了八种东西作为说明世界上其他更多东西的根源，它们是天、地、雷、火、风、泽、水、山。其中天地是总根源，天地为父母，产生雷、火、风、泽、山、水六个子女。《洪范》中的“五行”说，把金、木、水、火、土这五种最基本的物质看成是构成世界万物的不可缺少的元素。这些十分朴素的万物生成的自然观中就蕴含了系统观点。

春秋战国时代的思想家老子（公元前580～前500年）在《老子》书中指出：“天下万物生于有，有生于无”（二十五章），

“无，名天地之始，有，名万物之母”（第一章），“道生一、一生二、二生三、三生万物。万物抱阴而负阳……”（四十二章）。他用有与无、始与母、一与二、阴与阳的对立统一关系来表达自然界的统一性，这里就包含了事物之间的相互联系、相互制约的关系。战国时代杰出的唯物主义思想家荀况（公元前298～前238年）提出“列星随旋，日月递照，四时代御，阴阳大化，风雨博施，万物各得其和以生，各得其养以成”（《荀子·天论》）。他把宇宙看作是由客观规律支配的统一体，认为“天”是列星、日月、四时、阴阳、风雨、万物等等自然现象互相协调、互相作用、不断生成的功能系统。他还说“万物为道一篇，一物为万物一篇”（《荀子·天论》），即一物为万物

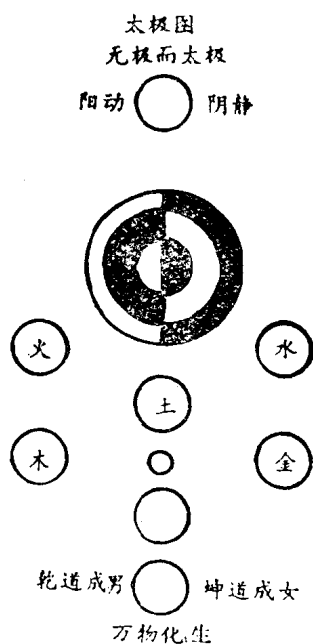


图1-1 太极图

的一部分，万物又是更大的道的一部分，这就指出了一事物与高一事物之间、部分与整体的辩证关系。

北宋时王安石（公元1021～1086年）继承了《淮南子》的世界构成说。认为世界万物发展的顺序是：二气（阴阳）——五行——万物，是一个逐渐展开的系统。他说，“夫太极者，五行之所由生”（《原性》），“天（阳）一生水”，“地（阴）二生火”，“天三生木”，“地四生金”，“天五生土”（同上），“五行，天所以命万物者也”（《洪范传》）。即认为自然物质世界（太极）分化为天地（阴阳），再分化为水、火、木、金、土，由这五种物质元素的变化而成万事万物。

周敦颐（公元1016～1073年）提出了《太极图》，论证世界本体及其形成发展的图式，建立了一套客观唯心主义的本体论。

他在《太极图说》中指出：“无极而太极。太极动而生阳。动极而静，静而生阴。静极复动。一动一静，互为其根。分阴而阳，两仪立焉。阳变阴合而生水火木金土，五气顺布、四时行焉。五行一阴阳也，阴阳一太极也，太极本无极也。五行之生也，各一其性。无极之真，二（两仪）五（五行）之精，妙合而二凝。‘乾道成男，坤道成女’。二气交感、化生万物，万物生生而变化无穷”。他的太极图及其对它的解释，实际上是从唯心主义的角度提出了一个描述世界的构成和发展的系统模型。

邵雍（公元1011～1077年）与周敦颐是同时代人，也是客观唯心主义者。他创立了系统的唯心主义象数体系，提出了所谓《先天图》（见附图）作为解释宇宙发生的系统模式。他认为世界上的万事万物都是一个总的本体“太极”演化出来的。太极演为两仪，两仪演为四象，四演为八，八演为十六，十六演为三十二，三十二演为六十四。这种演化的过程，他认为好像“根之有

干，干之有枝，枝之有叶”，“合之斯为一，衍之斯为万”《观物外篇》）。这里的两仪（动“—”，静“—”、）四象（阴阳柔刚即“—”“—”“—”“—”）、八卦（太阳、太阴、少阳、少阴、太柔、太刚、少柔、少刚即“三”、“三”、“三”“三”、“三”、“三”、“三”、“三”、）是“象”。与这些象相适应的一、二、四、八、十六、三十二、六十四是数，他就用这种一演为二，二演为四，四演为八，八演为十六……的简单的“加一倍法”（见图1-2），推演出一个神秘的数的系统，用它来说明宇宙的形成。他的这种先假定有一个先于世界而存在的太极世界，然后任凭主观想象一层一层分下来，虽然只是一个不符合客观实际的猜想，但却提出了一个分层次地认识客观世界的系统模式。

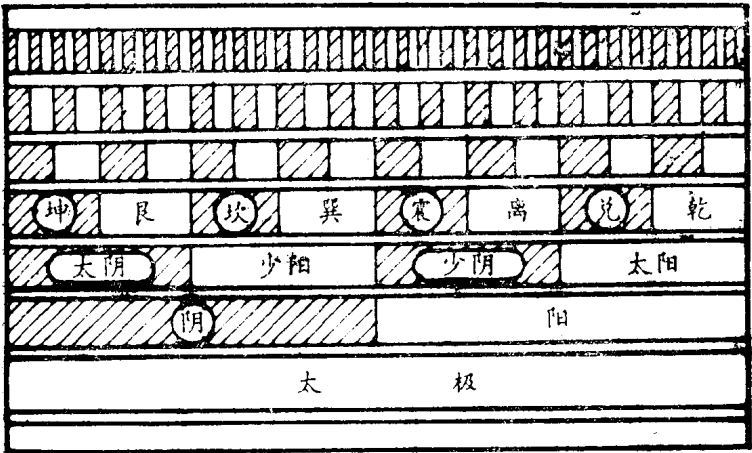


图1-2 邵雍六十四卦次序之图

南宋唯物主义者陈亮(公元1143~1194年)从整体的角度说明理一分殊的关系就是部分与整体的关系，他认为理一分殊的理一