



耗散结构论

中国展望出版社

耗散结构论

宋 毅 何国祥 编著

中国展望出版社

责任编辑 虞富洋
封面装帧 孙 云

耗散结构论

宋 毅 何国祥 编著

中国展望出版社 出版

(北京西城区太平桥大街4号)

常熟周行联营印刷厂印刷

北京市新华书店发行

开本 787×1092 毫米 1/32 印张 5

96千字 1986年10月北京第1版

1986年10月第1次印刷 1—4,000册

统一书号: 13271·012

定价: 1.00元

内 容 提 要

本书以深入浅出的语言，对现代系统性物理学——耗散结构论的渊源、内容、模型、主要观点及其广阔的应用领域进行了较为系统的阐述。同时，简要地介绍了现代科学的拓荒者——普利高津。全文最后为我们生动地描绘了一幅当代系统科学的百花齐放的灿烂图景。

我们相信，本书的出版，将同耗散结构论本身一样具有广泛的适用性，能拥有广泛的读者。无论是普通的科学爱好者、或是从事高深理论研究的科学工作者；无论是自然科学研究人员、或是社会科学研究人员，他们都能从这本书里找到一定的参考信息，获得一些有益的启示。

目 录

前 言	[1]
一、现代科学的拓荒者——普利高津	[5]
1. 大自然之谜	[5]
2. 耗散结构的概念及意义	[12]
3. 普利高津小传	[16]
二、耗散结构论的渊源	[24]
1. 能量守恒原理与不可逆性	[24]
2. 热力学第二定律	[26]
3. 十九世纪两种对立的发展观	[33]
三、耗散结构论的基本原理	[41]
1. 系统的不可逆性和耗散结构	[42]
2. 非平衡是有序之源	[45]
3. 耗散结构形成的条件	[55]
4. 非平衡相变	[58]
5. 结构、功能与涨落	[66]
四、普利高津的系统进化理论	[73]
1. 生物和社会的进化	[73]
2. 普利高津的时间	[82]
五、耗散结构模型的建立	[88]
1. 局域平衡假设	[88]

2. 李雅普诺夫的稳定判别法	[91]
3. 线性非平衡热力学系统	[92]
4. 非线性非平衡热力学系统	[95]
六、耗散结构论的广泛应用	[99]
1. 在生物科学及一般自然科学中的应用	[100]
2. 文化的层次结构	[106]
3. 现代社会的教育结构体系	[111]
4. 人才的社会运动	[113]
5. 现代社会发展中的产业结构体系	[116]
七、耗散结构论与系统科学的发展	[123]
1. 当代社会系统化的发展趋势与系统科学的发展	[123]
2. 耗散结构论是系统科学发展的突破口	[129]
3. 耗散结构论的姊妹学科——协同学简介	[132]
4. 系统科学百家争鸣	[137]
5. 自然界结构模式对偶性原理	[140]
参考文献	[148]

在科学技术高度分化又高度综合的当代社会中，各种交叉学科纷纷崛起，科学正大步朝着综合化、整体化的方向迈进，由此推动着科学、技术、经济、社会一体化发展。伴随着一体化的发展，各学科之间的联系愈来愈紧密，交流的信息量也愈来愈大，各研究领域的概念互相套用、引用的现象频繁出现，形成了当代社会特有的泛概念思潮。

作为耗散结构论的一种应用，或者，毋宁说是作为耗散结构论本身推广过程中的一种启发，我们试对这一泛概念思潮作初步的分析和讨论。

当前概念泛化的例子不胜枚举，比如“大科学”这一概念，便远远超出《辞海》中对科学的定义：“是关于自然、社会和思维的知识体系”，它还囊括了科研活动、项目、成果、方法及技术和社会经济活动的全过程。而且似乎只有冠以“大”字才足以表现出当代人类社会活动的耗散结构特性。与其类似的还有“大经济”、“大战略”、“大农业”、“大工程”……等等，它们都在原来的意义上开始泛化。还有的连“大”字都省却了，如“信息”这一概念，可以说是近些年来泛化的典型，无论对哪一个研究对象，均以“信息”加以解释，什么物理信息、化学信息、生物信息、工程信息、文化信息等

等,不一而足,其含义远远超出了早年申农的经典信息论,大有将信息囊括整个世界之势。再如,搞系统论的往往偏爱系统概念,无论是国家、城市、工厂、家庭、科研项目,还是一个人,一个基本粒子,甚至一种理论,统统看作是一个系统。任何运动都用系统论的理论、观点来解释,有时甚至到了牵强附会的地步。还有其他一些概念如“价值”、“决策”、“管理”等等也有着相似的情形。

我们认为科学概念是客观事物的本质和本质的联系在人们头脑中的反映,人们认识事物的本质及其联系是不可能一下子完成,必然有一个逐步的深化过程。所以,反映它的概念也应有一个相应的发展过程。当旧认识、旧概念的内涵和外延都不能适应人们对事物进一步加以认识时,旧概念就要进行变革。从这个意义上来说,泛概念的出现本身就是对旧概念的一种冲击,是认识深化的前奏,是建立更为科学的概念体系的一个基础。

当代科学发展的实践说明,可以获得最大收获的领域是各学科的边缘区域以及它们间的交叉区域。那是束缚最少的开放领域。显然,泛概念已经成为开发这类区域的一种武器。在科学研究中,某一个或几个核心概念,如能得到深化或发展,那对某一学科体系来说,无疑是点燃了革命的导火线。比如,热力学中“熵”概念的泛化,使普利高津创建了耗散结构的理论;模糊数学中隶属度概念的泛化引起了不可一世的变革,出现了模糊控制、模糊识别等新的应用领域。可见,在新技术革命浪潮席卷世界的今天,在自然科学和社会科学汇流交融的大科学时代,泛概念思潮应该说是十分

正常的现象，某种程度上它恰恰标志着科学研究涨落式进化的活力。

当然，一个科学概念无论从其定义的内涵还是外延来看，在一定时期都有一个稳定约定俗成的范畴和边界。这个范畴或者是科学工作者在研究中根据研究对象的内在逻辑确立其定义，或者是由社会约定俗成。尽管有时概念还有些模糊，但在长期科学研究和科学交流中，它们具有巨大的稳定的习惯力量来维持这个边界。换句话说，概念也有其独特的“惯性原理”。但是，对应于千变万化的客观世界，概念及其组成的体系也不可能一成不变，它必然会不时地改变着自己的面貌。尤其在社会大变革时期，在科学迅速发展的浪潮中，“概念世界”也会有所反响，直至产生全面的变革。实际上，这种变革在很大程度上表现在各个学科的交叉，自然科学与社会科学的汇流之中。当耗散结构论出现后，很多人希望拿它的概念、方法应用到其他研究领域，特别是社会科学领域。当然这种应用性的开发，无疑也是一种创举。目前看来，耗散结构论的概念向其他领域“泛化”、“移植”，虽取得一定的成功，但还需要艰苦的探索。如果说，同构类比型系统论使泛概念思潮得到了推波助澜的力量的话，那么以耗散结构论为代表的系统性物理科学却指出：无论是物理世界，还是人类社会，在不可逆的发展过程中，由于涨落导致崭新的结构出现，这些新结构是历史上从未发生过的，甚至也不能用概率统计的方法去预测。显而易见，泛概念的武器在这样的情况下具有很大的局限性。所以，对于现代社会中的泛概念思潮还要进行深入的理论研究，进行科学

概念系统发展机制的全面探讨。

这里，耗散结构论本身的发展与应用以及它与其他领域理论的交叉融合过程，对我们有很大的启发：从热力学的研究中成长起来的耗散结构论，几乎同时应用于自催化的化学反应，如化学钟等自组织现象，进而有效地解释了与之相关的生物细胞等生物机制问题；通过动力学方程相似的发现，普利高津提出了生物群体的运动方程，深刻地描述了，如生物中物种之间的掠夺与被掠夺等过程；以后又踏进了具有一定社会性的昆虫世界，研究了蚂蚁的运动轨迹和群体队形的宏观结构，如著名的白蚁筑巢的例子等等。仅仅从这样一条生物界的线索进行追踪，我们就会发现，即使是适应范围很广的系统结构理论，在扩展它的应用领域时，也不得不具体地研究它们各自的特殊性。任意泛化一些系统科学的概念是无济于事的。

至此，如果我们用泛概念的语言来描述当代泛概念运动，那么，这样一种交错汇流的概念大系统具有一种耗散结构的特性，它开放于新技术革命——新产业革命的浪潮之中，输入的是各个领域最新进展的大量信息，输出的则可能是具有内核、外壳和大气的行星式结构的新的科学概念。

一、现代科学的拓荒者

——普利高津

1. 大自然之谜

人类历史的长河滚滚向前，推动着人类社会进入了大科学时代。人们对客观世界的认识在微观和宏观两大领域里已取得了令人振奋的进展。如量子力学、相对论的诞生，遗传工程、空间技术的突破等等，并且随着电子计算机技术的诞生和发展，各门类的科学技术就象插上了翅膀。同时，产生了以物质系统为研究对象的系统性科学，系统论、信息论、控制论的发展深化了人们对复杂事物的认识，强烈地影响着整个现代科学技术体系。科学技术在不断分化的同时又不断地综合，单纯分门别类的研究方法已越来越不适应大科学时代科研工作的需要。系统性科学的研究方法则为我们从整体上、从互相联系的机制上、从动态演变的发展中提供了揭示自然及人类社会奥秘的有效武器。

但是，大自然就象一个“千呼万唤”仍难以窥见的“琵琶女”，在探索她的真正面目的征程中，会遇上许许多多“斯芬

克司之谜”^①，需要科学上的“俄狄浦斯”去解开它。现代科学的拓荒者——普利高津（I. Prigogine）正是这样一个“俄狄浦斯”，他勇敢地走上探索系统科学的崎岖小路。大自然之谜是这样的深奥、这样的有趣，令他流连忘返，难以舍弃。

（一）大自然发展方向之谜。恩格斯在总结十九世纪自然科学的发展时，赞誉了三大发现——细胞学说、能量守恒及转化定律和达尔文的进化论。在以后的发展道路上，这三大发现却产生了意想不到的巨大矛盾。能量守恒及转化的规律在热力学中称之为第一和第二定律。第二定律告诉我们，能量转化的方向是确定的。比如物体各部分温度不同，那么高温部分向低温部分会产生热量的传递，直至平衡。机械运动能自发地转化为热能；如摩擦生热，但相反的转变过程是不可能自发地产生的。这在热力学中，称之为不可逆过程。如把这一定律推广到宏观世界，那么显然会得到这样的结论：各种系统的运动随着能量朝着一定方向的转化逐渐趋向缓慢，最终将静止下来，宇宙趋向热寂，一切组织形态趋向衰亡。用物理术语来说，就是熵，即无序度逐渐趋向极大。然而达尔文的进化论则用大量事实说明从无机界到有机界，从低等生物到高等生物，世界是不断地趋向有序，发展演化为越来越高级和越来越复杂的形态。换句话说，当时物理学应用熵趋向极大的概念，指出了一个大自然发展的方向，而进化论的确立则提出了另外一个发展方向。这两

① 斯芬克司系希腊神话中带翼狮身女怪。传说她常叫过路行人猜谜，猜不出即将行人杀害；后因谜底被英雄俄狄浦斯道破，她即自杀。

个方向究竟哪一个正确地代表着世界物质大系统的发展方向呢？无疑这是一个复杂难解的谜。

十九世纪的科学甚至不能解释这样简单的事实：为什么机器功能的发挥只能导致其结构不断地“磨损”，而生物的功能发挥却可能加强自身的组织结构，甚至创造新的结构，“劳动创造人”就是雄辩的一例。从理论上来看，这个谜造成了物理学和生物学的巨大鸿沟，使得很多学者只好以“有机界与无机界大约遵循着不同的发展规律”的遁辞来逃避十九世纪提出的这一严峻的挑战。可是，普利高津却深信这样一种哲学观点，无论是生命物质还是非生命的物质，既然它们都是处于同一个宇宙之中，是客观物质系统的各个互相联系的有机部分，那么，它们就不应该有天上世界和月下世界的巨大差别，而一定会遵循同样的自然规律。同时，也只有找到了揭示大自然内在联系的规律，才能完全揭开这种发展方向之谜。

(二)大自然发展过程之谜。十六、十七世纪以来，由于经典力学获得了辉煌的成功，长期以来使得很多人深信，用经典力学的方法和模式去描述客观世界是“放之四海而皆准的”。因此，不论是对动物界还是对人类社会，历史上曾有不少学者拿机械论的力学的观点来解释诸如有关生命、生物、生态和社会等复杂的问题。那时著名的笛卡尔 (René Descartes) 就写了一本书，书名叫《动物就是机器》，更有甚者，拉美特利 (La Mettrie) 出版的著作叫《人是机器》。从这些书名，我们就可以得知当时很多科学家的头脑中充满了机械的、形而上学的自然观，并企图用牛顿力学的原理去解释世

界，这样，必然否认生物和机械在本质上的差异，否认偶然性，夸大必然性，导致机械决定论。

十八世纪法国的拉普拉斯(LaPlace)把这种机械决定论推到了登峰造极的地步。他认为，只要知道某一时刻自然界中的一切力以及一切组成部分的相对关系，那么就可以用一个公式来概括描述宇宙中一切物体的运动，就可以计算出过去或今后任何一时刻，任何一部分的运动。当然，他认为这些运动包括最大的天体运动和最小的原子运动。就好像根据逻辑推理的基本前提，可以演绎出结论来一样。这就是科学史上有名的“拉普拉斯决定论”。它对后来的科学研究有较大的影响，尤其在物理学中，虽然科学家们也逐步开始处理一些随机现象和随机过程，并且发展了象“概率论”这样处理随机事件的数学工具和统计物理学这样的学科。但是，在很多人看来，统计的方法仍然是一种不得已的补充，是由于不能完全知道物质世界各部分精确的联系而采用的一种过渡方法。比如，他们认为，在量子力学中，一旦找到了决定微观粒子运动的全部参量，就可以对每个粒子作出精确而完备的描述，就可以把量子力学中不得已的几率性的描述还原为决定论的描述。

但是，随着科学的发展，人们越来越多地发现，在科学的各个领域，包括物理学、生物学以及人类社会都存在着大量的随机性、偶然性的事件。例如物理学中的涨落和突变就是非决定论的明显例证，布朗运动中，微观粒子的运动轨迹，量子力学中的“测不准关系”等等，都是“拉普拉斯决定论”所难以解释的客观现象。在人类社会生活中，象这样非

决定论的例子更是比比皆是。某一国家或地区的经济增长率，某一城市在某一月份的车祸次数，甚至在历史的紧要关头，国家首脑的决策是否心血来潮，等等。这些随机事件都会在不同程度上影响或改变社会历史的进程，而并不是无足轻重的昙花一现。并且，一般来说，在系统发展的不可逆过程中，这样的随机事件往往是不可预言的。但是它们对系统的演化，有时却会产生很大的影响。所以，整个世界，包括人类社会的进化历程可以说是充满了非决定论、随机性。

那么，大自然发展过程中究竟受统计规律支配，还是受动力学规律支配？如果这两类规律都起作用，那么它们的关系又是怎样的呢？这又构成了大自然发展过程之谜。

普利高津的工作，使我们越来越清楚地看到，走向极端的非决定论和“拉普拉斯决定论”一样，都不是科学理论研究可依赖的假设和前提。他认为统计规律和动力学规律都反映了客观世界的规律，它们的关系是互补关系，并且可用一个图式来描述系统的功能、结构和涨落之间的相互联系、相互制约的关系。在这一图式中，我们可以清楚地看到，决定论的和随机的规律在发展进程中各自发挥着不可相互替代的作用。虽然要完全揭开这一谜还为时过早，但是，普利高津已经迈出了一大步。他指出：“功能 $\longleftrightarrow$ 结构 $\longleftrightarrow$ 涨落之间的相互作用是理解社会结构及进化的基础。”

(三)大自然发展机制之谜。机械论的自然观之所以会把力学原理照搬到客观世界的各种更高级的运动形式中去，从科学方法论的角度看，是立足于一个重要的原则，即简单性原则。这一原则认为，在千变万化的大自然形态背后

的内在联系机制是简单的。它指导着科学技术人员透过五彩缤纷的复杂的表面现象,去抓住事物内在的本质,从而推动科学不断地向纵深发展。它的历史功绩是巨大的,可是同时也带来了追求简单化的倾向。到了十九世纪末,这一原则几乎被运用到科学的各个领域。物理学把物质的基本结构归结为电子和质子、后来又加上中子,似乎这样就穷尽了物质的本源,物理学的任务因此也就完成了。无怪乎,当时一些物理学家认为物理学的大厦已经建成,再没有什么重大工作可做了,顶多也不过是“再多求一位有效数字”的问题而已。后来分子生物学的发展也经历了类似简单化的过程,人们以为只要搞清了蛋白质、核酸等生物大分子的结构,生命现象就可以归结为分子之间特殊的相互作用,那么生命的本质就被阐明了。可是,科学发展的严峻实践却证明了这种把整体分解为各个小单元,把一切运动归结为简单组合的机械运动的简单化倾向是无可争辩地错了!

一般系统论告诉我们:“复杂现象大于因果链的孤立属性的简单总和。解释这些现象不仅要通过它们的组织部分,而且估计到它们之间联系的总和。”也就是说,在整体中正在发挥功能的部分同与整体分割出来的部分是截然不同的。一颗离开人体的心脏是根本无法表明心脏的任何功能及联系的。所以,一个复杂系统不能看作是许多很小的基本单元的简单组合,在系统中各个部分的联系一般来说是极为复杂的,尤其在生命系统、生态系统和各种社会系统中,例如反馈、自组织、自催化、自复制等等,这些系统内的联系机制都不是简单化的。从数学的角度来看,经典力学所处理

的力学系统中的各元素之间的关系往往是线性的，比较简单。如虎克定律、达西定律等等，热力学平衡系统中也是线性关系。但是普利高津的理论却告诉我们，一个远离平衡态的复杂系统，各元素之间的作用具有非线性特点，正是这种非线性的相干机制，导致大量粒子的协同动作，突变而产生有序结构，从而具有简单系统所不具有的惊人的功能，例如激光的形成，化学钟的产生，等等。

那么，物质世界所组成的各种系统从根本上来说，究竟是简单的还是复杂的？是线性的还是非线性的？这是现代科学面临的又一大自然之谜。这一问题的提出与解决不仅可以深化我们对各类系统的认识，创立更为深刻而完善的系统理论，而且在科学研究的方法论上也有着巨大的意义。

普利高津就是面对着这样神秘莫测的大自然之谜，勇敢地接受了大自然的挑战，毫不犹豫地跳入了理论探索的海洋，努力地游向那成功的彼岸。为了找到大自然内在的统的基本规律，把握决定论与非决定论的辩证关系，搞清自组织系统中从无序走向有序的复杂机制，弥合物理与生物学的巨大鸿沟，他与他的同事们二十多年来奋斗在科学的前沿阵地。终于在1969年一次理论与生物学的国际会议上提出了载入史册的“耗散结构论”。该理论的诞生显示出许多学科之间的深刻联系，为解答大自然之谜而奠定了重要的基础。仅仅在短短的十几年时间里，无论从理论上还是从应用上都取得了十分可喜的成果。普利高津教授本人也由于他在科学上的这一重大贡献为世人所知，并荣获1977年度的诺贝尔奖金。