



现代科学研究丛书

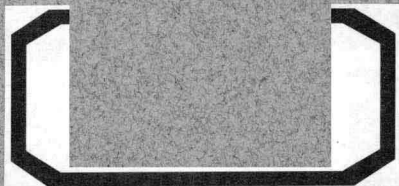
XINXI YU
ZIZUZHI

信息与自组织

[德] H. 哈肯 ● 著
本书翻译组 ● 译

四川出版集团  四川教育出版社

K X 现代科学研究丛书



信息与自组织

复杂系统的宏观方法

XINXI YU ZIZUZHI

[德] H. 哈肯 ● 著
本书翻译组 ● 译

四川出版集团
四川教育出版社
· 成 都 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

信息与自组织: 复杂系统的宏观方法 —2 版/(德)
哈肯著; 郭治安译. —成都: 四川教育出版社, 2010.4
(现代科学研究丛书)
ISBN 978-7-5408-5311-2

I. ①信… II. ①哈… ②郭… III. ①信息管理-研
究 IV. ①G203

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 051199 号

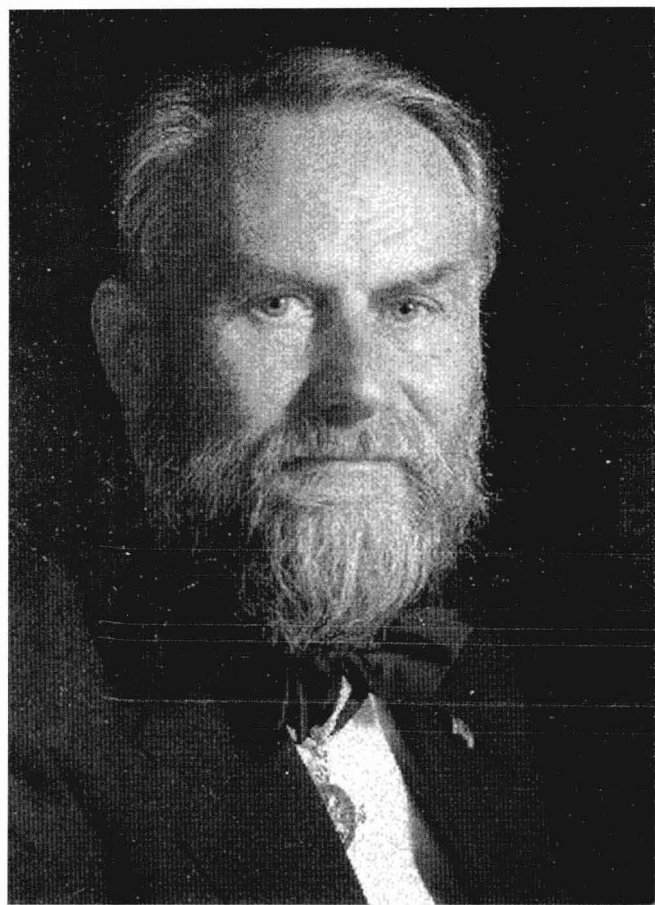
责任编辑 赵壁辉 肖 勇
封面设计 何一兵
版式设计 张 涛
责任校对 史敏燕
责任印制 黄 萍
出版发行 四川出版集团 四川教育出版社
地 址 成都市槐树街 2 号
邮政编码 610031
网 址 www.chuanjiaoshe.com

印 刷 成都东江印务有限公司
制 作 四川胜翔数码印务设计有限公司
版 次 1988 年 6 月第 1 版 2010 年 4 月第 2 版
印 次 2010 年 4 月第 2 次印刷
成品规格 170mm×240mm
印 张 17.5 插页 6
字 数 224 千
定 价 43.00 元

如发现印装质量问题, 请与本社调换。电话: (028) 86259359

营销电话: (028) 86259477 邮购电话: (028) 86259694

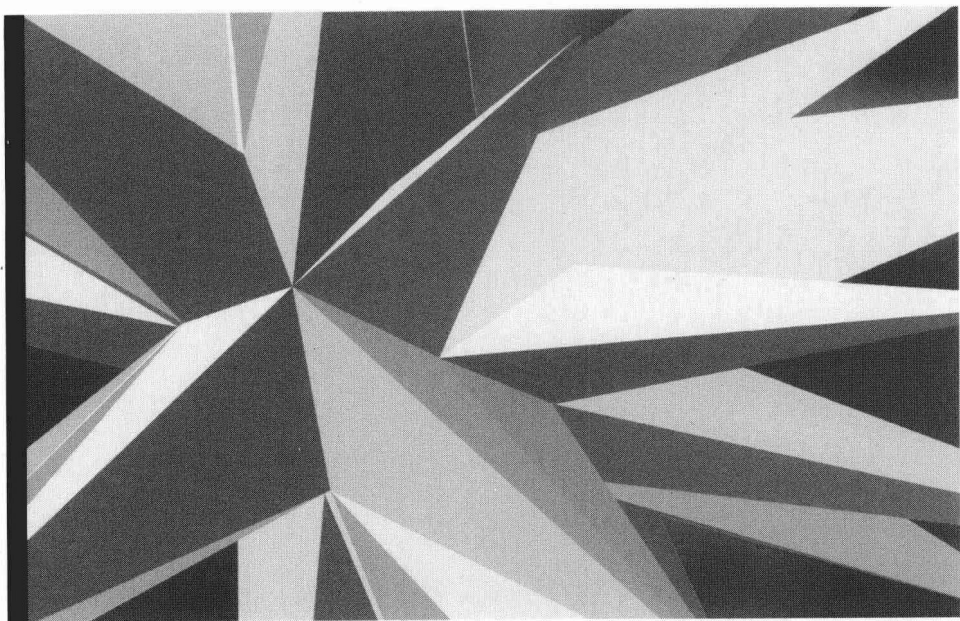
编辑部电话: (028) 86259381



I. H. 哈肯教授

在太阳之下,终究没有什么新的东西了。

——科利赫特

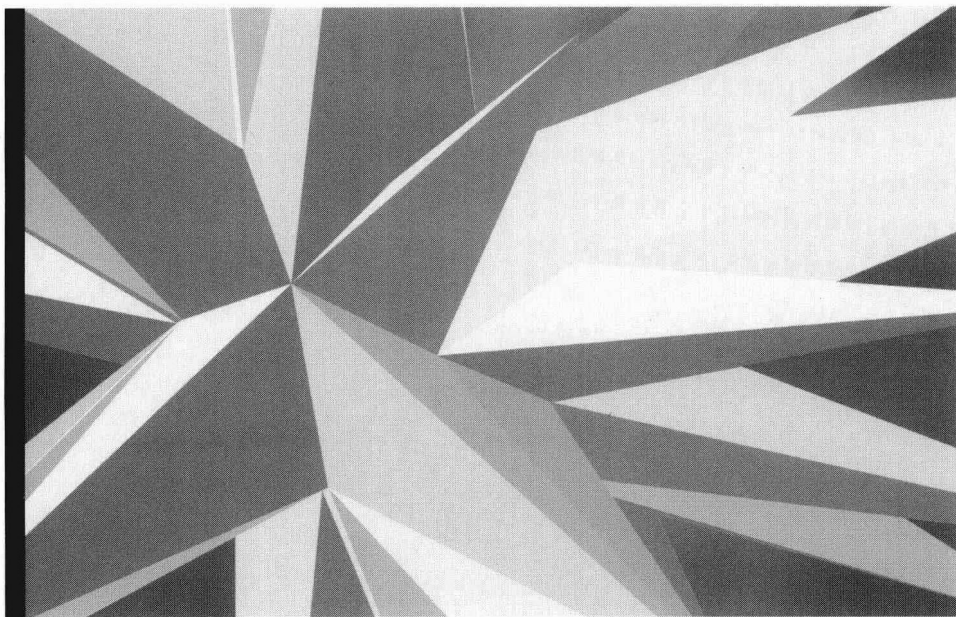


内容提要

协同学由于在揭示不同学科的共同本质方面取得了惊人的成功，引起了世界各方面学者的重视，在轰动当代的耗散结构论、协同论、突变论中以其特有的普适性而独树一帜。它使许多学科中那些长久以来难以解决的问题，都变得容易和简单了，正如科利赫特教授的名言所示：“在太阳之下，终究没有什么新的东西了。”本书作者 H. 哈肯教授因提出这一理论，获得了世界范围的承认和荣誉而名扬天下。

本书系 H. 哈肯于 1987 年 5 月定稿的协同学最新著作。书中将信息论引入协同学，旨在建立一种用统一观点处理自然科学、社会科学中的复杂系统的崭新方法——协同学宏观方法。本书是协同学和信息论最新发展的重要里程碑。

本书内容新颖、生动形象、深入浅出，并有严密和富有逻辑的定量论证。适宜于自然科学、社会科学各门类不同程度的科学工作者、大专院校师生阅读，也适宜于具有中等文化程度以上的一般读者阅读。



出版者的话

此书是遵照作者 H. 哈肯 (H. Haken) 的意愿, 分别在中国和联邦德国以中文和英文同时出版的。中文版由四川教育出版社出版, 英文版由施普林格 (SPRINGER) 出版社出版。

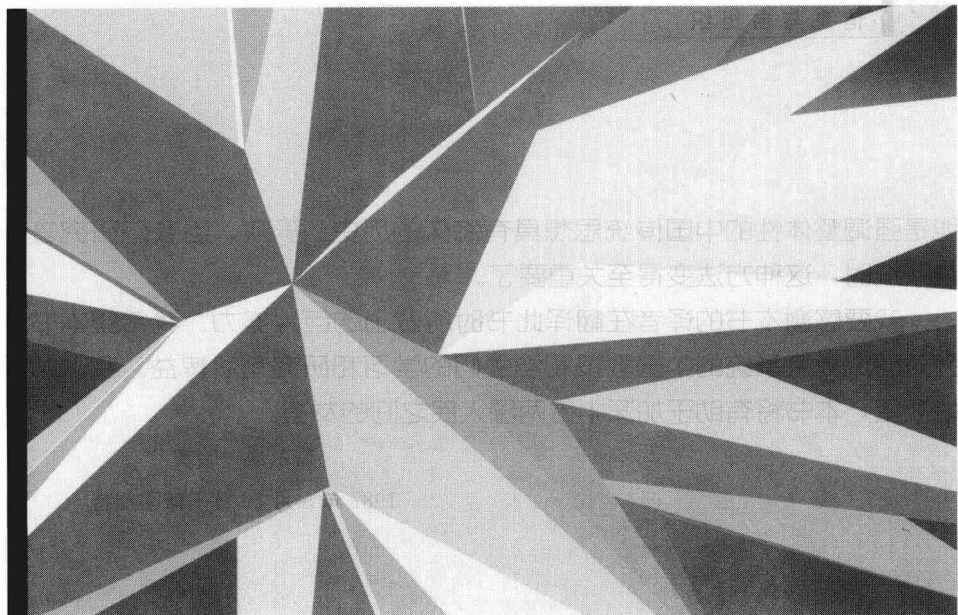
中文版第一章、第七章由大连铁道学院郭治安副教授翻译, 序言、第二章、第五章、第六章、第八章由 H. 哈肯的学生、西北大学教师宁存政翻译, 第三章、第四章由四川大学副教授王鸿谟翻译, 第九章至第十四章由四川大学副教授罗久里翻译, 译文经译者互校后, 由钱学森同志指定的于景元、郑应平同志审校。

作者 H. 哈肯自 1987 年 5 月寄来原稿和原图后, 在中文版翻译过程中曾三次寄来部分原稿的修订稿。

在本书中文版出版之际, 我们对作者、译者、审校者的辛勤工作和热情支持致以诚挚的谢意, 并对在翻译过程中做了大量工作的刘冬燕、车浩和夏雨等同志表示衷心感谢。对于本书的不足之处, 诚愿希望读者和各界专家批评指正。

出版者

1987 年 11 月



中文版序

我的专著《信息与自组织》(*Information and Self-Organization*)可以认为是协同学总体事业的一个组成部分。在协同学中，我们研究系统各部分是怎样合作并通过自组织来产生空间、时间或功能结构的。

迄今为止，协同学的研究系基于微观描述，然后由此导出系统的宏观行为。而在本书中，我们研究相反的问题：当系统的宏观行为发生质变，即当系统获得新的结构时，其内在机理是什么。

我相信，本书提供的方法能够应用于物理学、生物学到经济学的许多不同学科的大量问题。

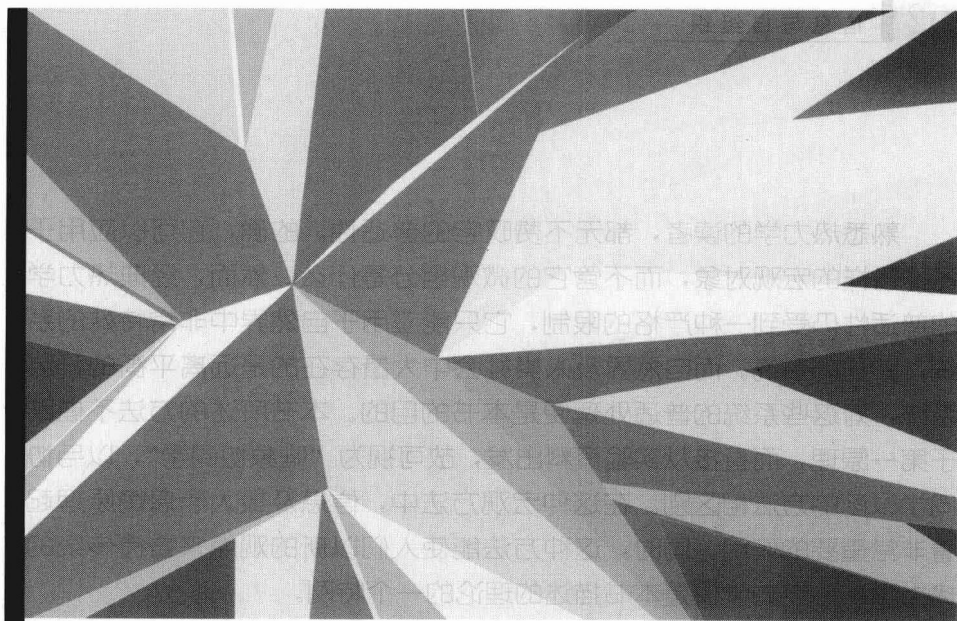
将本书翻译成中文，使我感到不胜荣幸和快慰。在我几次访问中华人民共和国期间，我不仅佩服传统的、令人惊异的中国式的热情接待，中国听众对我的演讲的深刻理解也使我十分感动。我认为其原因之一可

能是强调整体性的中国传统思想具有悠久的历史。确实，当我们研究复杂系统时，这种方法变得至关重要了。

我要感谢本书的译者在翻译此书时所做出的巨大努力。我希望本书会对研究复杂系统的中国教授和学生们的学习和研究有所裨益。我深切地期望，本书将有助于加深中德两国人民之间的友谊。

赫尔曼·哈肯

1987年5月26日于斯图加特



译者序

本书的出版，是协同学发展的一重要事件。如作者所说，协同学以前的方法，是从一组微观（或中观）的方程组出发，来导出微观系统的宏观性质。这无疑是种“严格的”且非常有力的方法，也是科学研究中一种传统的且仍很流行的方法。显然，这类方法强烈地依赖于我们对系统的微观元过程的机制和相互作用熟悉和了解的程度，即依赖于是否存在某种第一原理。对于自然科学的许多问题，特别是物理学中的许多问题，这种方法取得了令人满意的成就。然而，协同学从一开始就将整个自然界和社会中的所有结构的研究作为自己的对象，而在这些问题中，往往我们并不知道或很难直接应用某些第一原理，其微观元过程也极其错综复杂，要写出一组微观方程组，不是不可能，就是极其困难的。

能否放弃寻求微观方程组的打算，而像我们在热力学中所做的那样，直接从宏观的实验资料出发呢？这正是本书所采取的态度。

熟悉热力学的读者，都无不赞叹它的普适性。的确，它可以应用于各种各样的宏观对象，而不管它的微观组分是什么。然而，经典热力学的普适性仍受到一种严格的限制，它只能应用于自然界中非常特殊的系统，即封闭系统。而自然界及人类社会中大量存在的是远离平衡的开放系统，对这些系统的普适处理便是本书的目的。本书所述的方法不借助于第一原理，而直接从实验资料出发，故可视为“唯象协同学”，以与协同学以前的方法相区别。在这种宏观方法中，信息及最大信息熵原理起着非常重要的作用。同时，这种方法能使人们以新的观点来看待传统的热力学——热力学仅是本书描述的理论的一个特例。

有了这种宏观方法，处理一些相互作用不很清楚的过程或所谓的“软科学”才有可能。这类系统的一个典型的例子是作者详尽处理的“手的运动”。通过本书，读者将会看到，怎样来定量地处理生物学、社会学、经济学乃至人体本身等这些“真正的复杂系统”。

本书的详细情况，我们不在此赘述，谅读者读后会有更好地理解。以下我们仅就作者及协同学的一些其他方面作一简要介绍，以便读者有一个全貌的了解。

作者概况（简介）

作者赫尔曼·哈肯（Hermann Haken）1927年生于德国莱比锡。开始他学习物理和数学，24岁时在爱尔兰根大学取得数学（群论方面）博士学位。1956年，他在爱尔兰根大学担任理论物理学教师。从1960年开始，他一直担任斯图加特大学理论物理学教授，并担任理论物理研究所所长。几十年来，他曾在美国、日本和欧洲的许多国家的著名大学和研究机构担任客座教授或科学顾问，如美国的贝尔实验室、康奈尔大学、英国的利物浦大学、法国的斯特拉斯堡大学、巴黎的电信实验室、日本京都的基本物理研究所等等。并曾担任过德国物理学会量子光学专业委员会主任和斯图加特马克斯-普朗克固体物理研究所的学术委员会成员。

另外，他还是巴伐利亚科学院通讯院士。

哈肯教授投身科学事业 30 多年来，作出了多方面的贡献。他起初研究固体物理。60 年代初，他在著名的贝尔实验室任顾问期间，开始了对激光理论的研究。尔后，他领导的斯图加特学派，发展了一整套激光理论，被公认为激光理论的两大学派之一，与著名的兰姆学派并驾齐驱。他们学派的工作总结，即哈肯的《激光理论》一书，也被视为权威和经典。70 年代初，哈肯在长期的工作和思索的基础上，提出了协同学（Synergetics）的概念，将寻找自然界千差万别现象的普适规律作为目标，并为之全力奋斗。迄今，协同学已发展成为一门应用广泛、前景远大的横断学科，得到了世界范围的承认和推崇。由于这些杰出的贡献，哈肯教授获得了极高的荣誉。世界上许多大学授予他名誉教授称号。特别是，由于他在激光理论和固体理论方面的突出贡献，1976 年，英国物理研究院和德国物理学会授予他玻恩奖金和奖章；1981 年，美国富兰克林研究院鉴于他在协同学方面的开创性工作，授予他迈克耳逊奖章；1986 年，联邦德国总统为了表彰他在科学上的卓越贡献，授予他联邦大十字功勋星章。通过这些，哈肯的名字以及激光理论的哈肯学派和非平衡系统理论的哈肯学派已为世界科学界所共知。

协同学，它的产生及发展

按照哈肯的说法，协同学是一门研究结构的横断学科，一门研究远离平衡的系统怎样通过自己组织产生时间、空间或功能结构的科学。横断是指，这里所研究的结构并不限于传统的某一门学科，自然界或人类社会中的各种结构原则上都是其研究的对象。

协同学一词是哈肯于 1970 年冬季学期在斯图加特大学的演讲中首次引入的。主要概念和思想的第一次正式表达是在他和他的学生兼合作者格拉哈姆（Graham, R.）于 1971 年发表在“Umschau”杂志上的题为《协同学：一门协作的学说》的文章中。后来，哈肯在许多不同的场合多

次更明确、更系统地表述了协同学的思想，如 1972 年在 Elmau 召开的第一届国际协同学会议上和此后有关的几次国际会议上。到了 1975 年左右，协同学的思想和方法日臻完整和成熟。这年，哈肯在美国物理学会的《现代物理评论》上发表了题为《远离平衡及非物理系统的合作效应》一文，同时还在《物理杂志》（德国）上发表了关于广义金兹堡-朗道方程的两篇论文，第一次完整地表述了协同学的中心原理——伺服原理。至此，一门新的横断学科初步建立。哈肯关于协同学的第一本专著《协同学导论》就是在上述文章基础上扩写而成的。

协同学的主要思想渊源于哈肯对激光理论长期不懈的潜心研究。其实，消去快变量，保留慢变量的这种消去顺序在物理学中的应用由来已久，绝热消去在激光中的应用也是很自然的，但哈肯通过在激光理论中的应用后，将其提升为一个更一般的原理。另一方面，通过近年来对远离平衡的合作现象的研究（包括激光系统），人们发现了许多规律性的东西，如发生在远离平衡的突变行为与平衡相变有某种类似性；另外，表面上看来极不相同的系统，如激光、流体、化学反应等，当它们发生某种转变时，会呈现某些共同的行为。哈肯曾说过，对这些问题的思索促使他提出一个问题：有没有一个一般性的原理，它支配着所有这些非常不同的系统的行为。上述两方面的结合，导致了协同学基本原理的产生。

按照这个原理，对于一个高维（甚至无穷维）的非线性系统，在线性稳定性分析的不稳定点附近，存在着少数几个不稳定模和大量稳定模，后者完全为前者所支配，即后者可表示为前者的函数。这样，我们消去后者后，原来的高维系统就可用一组维数很低的方程组，即所谓的广义金兹堡-朗道方程描述，它控制着系统在临界点附近的动力学特征。通过求解此方程组，可得到各种时间、空间或时空结构，甚或混沌。目前这一方法已成功地应用于很多系统，其结果与实验符合得很好。

后来，哈肯学派致力于继续发展协同学的一般理论和将协同学应用于各种具体问题。他与 A. 翁德林（A. Wunderlin）合作，以严格的数学形式对于常、偏微分系统以及随机微分系统多次表述了伺服原理。这一阶段的工作总结便是哈肯 1983 年出版的《高等协同学》一书。至此协同学的数学基础更加强化，应用更加广泛。而《信息与自组织》这本书的

出版及宏观方法或唯象方法的提出则表明协同学发展到新的阶段。

协同学和自然界的统一性

认为世界是统一的，这是大多数自然哲学家和自然科学家的一般信仰。追求世界的统一性是自然科学家长期为之奋斗的目标，这种努力可以追溯到古希腊或古代中国的元素学说，它们是人们对物质构成的统一性的早期思索。在现代，这种思索早已从哲学变成自然科学。人们陆续发现了原来认为是基本粒子的原子是由电子和核构成的，而核中的核子又是由夸克构成的，夸克也许不是没有结构的，等等。这种对更基本的粒子的探索，构成了当代追求世界统一性的主流。与此相应，物理学家也在探索自然界的力的统一性，人们已经认识到，支配着整个自然界各种现象和过程的力实际上只有四种：电磁力、引力、弱相互作用与强相互作用。弱电统一理论告诉人们，电磁相互作用与弱相互作用乃是同一起源。到今天，朝着更大的统一努力的兴趣正有增无减，人们试图实现将以上四种力统一的巨统一。

但是，以上所说的统一，或是指微观构成之“终极”的一致，或是指这些粒子之间“个体”的相互作用的单一。纵令这种统一已达到，离我们理解宏观世界的大块物质（它们包含着巨大数目的微观粒子）中所发生的过程相差仍然很远。那么，在宏观世界的宏观现象中是否也存在某种统一性呢？

我们日常生活中会遇到各种各样的结构，只要环顾周围，便可发现结构无处不有。如房屋、桌凳、机器、雪花、植物等，人体本身自然是各种结构中极其高级和复杂的一种。这些结构大致可分为两类：一类是“死的”、不动的结构；另一类则是“活的”结构，需要不断地由外界提供能量或物质流来维持。前者的起源是很清楚的，它们是人为地“组织起来的”；后者的起源问题则是一个长期以来悬而未决的问题。宗教和迷信将后一种结构归结为是上帝创造的，即在自然力之外存在着一种超自

然力。显然，对于没有宗教成见的自然科学工作者来说，这种看法是绝对不能令人满意的。

不仅如此，自然科学家们事实上从来没有停止过对这一问题的科学答案的思索。但是一个根本的困难是：结构的自发产生与基本的物理学规律相矛盾，热力学第二定律给我们提供了一个万籁俱寂的、结构逐渐消失的、功能愈来愈低的宇宙的未来，对自然科学家来说，这里有两个问题必须回答，一是自然界各种各样的结构是如何产生的，它们遵从什么样的规律，怎么样来凭借这些规律摆脱热力学给出的困局；二是每一种结构之起源是仅遵从只适用自己的单独的规律，还是在这些千差万别的结构背后，存在某些共同的规律呢？显然，前者是很难令人接受的。

对这些问题的探索就导致了协同学的生产。按照哈肯的说法，协同学就是为了寻找这些支配着极不相同的系统的结构形成的普适规律的。即协同学认为，在我们日常生活的尺度上，世界的统一性不仅在于它们微观构成的单一性，而且表现在宏观结构的形成遵从某些普适的规律。这里，至少有以下几点，它们是自组织系统所共有的：

第一，系统内的单个部分（子系统）自我排列，自我组织，似乎有一个“无形的手”在操纵着这些成千上万的子系统；另一方面正是通过这些大量的子系统的协同作用才导致了这个“无形的手”的产生。这种“无形的手”就是序参量。也就是说，子系统的协同作用导致了序参量的产生，而所产生的序参量又反过来支配着子系统的行为。这种“鸡”与“蛋”式关系的交叉、发展、放大，形成了最后的有序结构。这就是使役过程。

第二，结构的产生或新结构的出现往往由少数几个序参量所支配。一个宏观客体的变量数目往往是很大的甚或是无穷的，但惊奇的是，在结构出现的临界点附近，起关键作用的只有少数几个，这一发现具有很大的实际意义，在数学上，它能使我们以最经济的方式来处理一个高维问题。从物理上讲，它告诉我们，复杂的自然界本质是简单的，复杂的结构本身只由少数几个序参量支配。这一点已被近来越来越多的研究结果所证实，特别是近年来对混沌的研究表明，湍流的出现竟然可用低维方程组来模拟。

第三，在结构出现的临界点，涨落起着触发的作用。由于这时系统处于高度不稳定的状态，任何微小的涨落都会被放大，从而将系统驱于与新结构相应的态。

哈肯一再强调，一定要将协同学的目标同它现已取得的成就相区别。它旨在寻找那些千百年来在各个不同学科中分别加以研究的各种系统的普适规律，从而在横向上将自然科学的各分支甚或社会科学连接起来，这种目标显然是够远大的，因而其艰巨性也是显而易见的。现阶段，这个目的还没达到，怎样将协同学的方法更好地应用于社会科学乃是极其艰巨的任务。不断地发现自然界结构的秘密，不断地揭示自然界更本质的规律，实现自然界在各个层次、各个方面的统一，仍是各个领域研究工作者的共同任务。

协同学处理问题的方法

从一般方法论上来讲，协同学处理问题的方法是一种综合的方法，这是与传统的西方思想方法相反的。哈肯曾说到，传统的西方文化思想的影响，使得近代科学偏重于分析的方法：即将大块物质分裂成原子、分子、中子、质子等。这种方法使人容易忽略同一层次的事物之间的相互联系，过分地想知道一斑而忽略了全豹。因而即使知道了每一组分的性质，也不一定知道它们组合成整体的性质，因为就这一点说来，总体不等于而是大于部分之和。而他的协同学从传统的中国思想中获益甚多，这就是综合的方法。协同学注意从总体上把握对象，即着重研究各部分之间是怎样以协调一致的动作来产生整体的结构的。

那么，协同学究竟怎样解决问题呢？一般来说，我们要经过以下步骤。首先，将具体问题“翻译”成数学。如前所述，若存在某种“第一原理”，则这一步较为简单。对于一般的社会学问题，或其他复杂系统，这一步将成为解决问题的重点和难点所在。这时，将更多地依赖于工作者本人对自己领域的熟悉程度和经验，实验资料也是建立模型的重要依

据。第二，对于所建立的方程组，在参考态（往往易于求得，对应于“老”的结构）附近，做线性稳定性分析。这在原理上很简单，但对于高维问题，具体做起来并不容易。通过这一步，便可区分出稳定模和不稳定模，后者即为相应于参考态的序参量。其次，便是应用伺服原理，消去快变量，得到所研究系统的广义金兹堡-朗道方程（GGLF）。最后，便是分析和求解 GGLE，一种有效的办法是用正规形式理论，也可直接由计算机求解，将所得结论与实验对照，以检验模型是否正确。这一系列步骤就是哈肯所说的微观方法。当这一方法行不通时，我们可试图应用本书所提供的宏观方法。

× × × × ×

总之，协同学从提出概念到现在已近 20 年了。近 20 年中，它经受了各种批评，同时得到了广泛的承认。在批评声中，它的数学严格性一再得到加强。特别是它的基本原理——伺服原理在与中心流形定理发生联系后，协同学被放在坚实的数学基础之上。现在，伺服原理已在很多情况下得到了表述。协同学的微观方法已在许多问题的处理中取得了很大的成就。为了解决生物、形态发生、经济、社会等学科的问题，唯象方法或宏观方法也取得了一定的结果，读者学习后会对宏观方法有更深入地掌握。

译者

1987 年 6 月