

超循环论

PM · 艾根
· 舒斯特尔 著



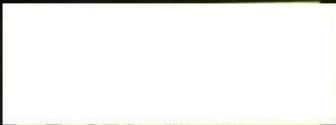
当今世界正在经历着深刻而巨大的变化。科学技术的发展日新月异，标志着人类认识自然界更进一步的飞跃和深化。在科学技术飞跃发展的冲击下，在当代世界的哲学社会科学领域内崛起了一大批崭新的学科思潮和观点，以期解决世界向

当代学术
思潮译丛

会上主义，对自然界要放眼世界，
进和借鉴当代世界的新成就，
成果

当代学术思潮译丛，就是
立足中国，立足当代，精选当
今世界自然科学、社会科学领域内
出现的
大影
响的
观点





超循环论

著 者/〔联邦德国〕M·艾根
P·舒斯特尔

译 者/ 曾国屏 沈小峰

● 上海译文出版社

M. Eigen & P. Schuster

The Hypercycle

A Principle of Natural Self-Organization Springer-Verlag 1979

本书根据施普林格出版社 1979 年版译出

超 循 环 论

〔联邦德国〕M·艾根 P·舒斯特尔著

曾国屏 沈小峰译

上海译文出版社出版、发行

上海延安中路 955 弄 14 号

全国新华书店经销

上海译文印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 14 插页 3 字数 321,000

1990 年 5 月第 1 版 1990 年 5 月第 1 次印刷

印数: 0,001—4,000 册

ISBN 7-5327-0487-4/B·037

定价: 7.15 元



本书作者M·艾根

译者的话

(一)

20世纪以来，科学前沿的探索主要在无穷大和无穷小方面，研究宇宙之初，粒子之渺，以及高温、深冷等等各种极端条件下的自然现象。人们普遍认为，我们对自身及周围世界的规律似乎已经认识得比较清楚了，因此没有什么新的学说能使我们惊奇了，以致有人又一次宣布了“理论物理学的终结”！

但是，第二次世界大战以后，特别是50年代以来，人们发现，不仅在微观和宇观领域，而且就是在宏观领域，都仍然充满着许多意想不到的事情。对于生命的起源，生物的进化，人体的功能，思维的奥秘，乃至社会经济文化的变革这样一些复杂性事物的演化发展规律，人们实际上是知之甚少的，有许多新的奇妙现象无法用现有的科学去解释。目前，探索复杂性成了科学研究的另一个发展方向。

在探索复杂性的征途上，系统科学的出现和发展特别引人注目。40年代中相继建立了系统论、控制论和信息论，它们将自然、社会现象作为系统来研究其信息传递、控制反馈等方面的问题，这在理论和应用上都取得了很大成功。自此之后，又出现了许多以系统为研究对象的理论。

在当代众多的系统理论中，既有比较严密的数学、物理学理论基础，又有一定的实验依据，并在自然科学领域和社会经济文化生活中得到广泛应用的，当首推耗散结构理论、协同学和超循环理论。这三种关于非平衡系统的自组织理论在70年代前后相继建立不是偶然的，它们是当代科学在探索复杂性、建立系统科学的过程中的重要进展。

我国科学家钱学森在倡导建立系统科学的基础学科——系统学时，高度赞扬了普里戈金、艾根和哈肯等人的工作，他在几年以前就强调过，把包括他们自组织理论在内的工作收集和组织起来，是当务之急。最近，他在主持研究编写《系统学》时又说：“我认为把运筹学、控制论和信息论同贝塔朗菲、普里戈金、哈肯、弗洛里希、艾根等人的工作融会贯通，加以整理，就可以写出《系统学》这本书。”因此，将艾根的超循环理论翻译出版，对于建立和发展系统科学有重要的科学意义。

(二)

艾根(Manfred Eigen)是一位音乐家的儿子，1929年5月9日出生在德国的波鸿。艾根青年时期

在格丁根大学学习物理学和化学。在他18岁生日那天，亦即德国法西斯正式签订投降书的第二天，他被征入高炮部队，从而一度中断了学习。战后不久，他重返格丁根大学继续学业，于1951年获得格丁根大学的博士学位。同年，他成为该大学物理化学研究所的助理员。1953年他进入了马克斯·普朗克物理化学研究所（即现在的马克斯·普朗克生物物理化学研究所），1958年成为该所的研究员，1962年进而成为该所的生物化学动力学室主任，从1964年开始担任该所所长。

艾根早年的研究工作主要在快速化学反应动力学及其反应机理方面。一个快速化学反应往往在百万分之一秒(10^{-6} 秒)以内就完成了，因此以前在研究其动力学及反应机理上遇到了困难。1954年，艾根成功地把弛豫技术引入到快速化学反应研究中，为研究提供了一种新的方法，从而得到了一系列重要的结果。

正是由于快速化学反应研究的出色成就，导致了艾根与诺里什(R. G. Norris¹, 英)和波特(G. Porter, 英)一起，荣获了1967年诺贝尔化学奖。不过，艾根主要是利用弛豫法研究了许多液相中的快速化学反应，而诺里什和波特则主要是利用闪光分解法

研究了许多气相中的快速化学反应。弛豫法现已成为化学反应动力学研究中的一种基本方法。

艾根在快速化学反应研究中，特别注意了生物体内发生的快速生物化学反应，并从生物分子演化的角度来对它进行考察。这使他对核酸和蛋白质的起源及其相互关系产生了兴趣，最终导致了他对生命起源的一个关键问题——生物信息起源的开创性探讨。

通过他自己的工作，同时也由于分子生物学、非平衡热力学、自组织现象研究、信息论和博弈论等方面进展的推动，艾根逐渐从实验和理论两方面步入了探索生命起源的领域。1970年他在讲演中提出了超循环思想；1971年在德国《自然杂志》上发表《物质的自组织和生物大分子的进化》一文，正式建立了超循环理论。在1973年出版的世界著名科学家庆贺狄拉克70寿辰的《物理学家的自然概念》论文集中，他又发表了《生物信息的起源》一文，阐述和发展了他的思想。他与温克勒(R. Winkler)合作于1975年发表的《博弈论——偶然性的自然选择》一书，也以探讨生物大分子自组织为主题。他与理论化学家舒斯特(Peter Schuster)合作，于1977—1978年在《自然杂志》上连续发表了3篇系列论文，系统地阐

明了超循环理论；在此基础上，1979年他们整理出版了《超循环：一个自然的自组织原理》一书。本书即由《超循环：一个自然的自组织原理》、《物质的自组织和生物大分子的进化》和《生物信息的起源》三部分组成。这样可以使读者对于超循环理论有一个系统的了解。

艾根除了与人共享诺贝尔化学奖以外，他还单独获得了本生学会的波登坦奖、奥托·哈恩化学奖、美国化学会的林纳斯·鲍林奖章、瑞士化学会的帕拉塞斯奖章、红外科学研究基金会的红外科学奖等10来种科学奖。他是不少国家的科学学会、组织的成员或荣誉成员，这些组织中包括英国的法拉第学会、美国国家艺术和科学院、奥地利科学院、丹麦皇家科学院和苏联科学院等。他还获得了一些国际知名大学的荣誉职位和学位。

(三)

达尔文在19世纪中叶建立了生物进化论以后，一个多世纪过去了，生物进化论的研究已有了相当的进展，但是关于生命起源的问题却至今没有解决。恩格斯在19世纪70年代曾经预言：“生命的起源

必然是通过化学的途径实现的。”（《反杜林论》，人民出版社，1970年版，第70页）苏联生物学家奥巴林于本世纪30年代从科学上倡导化学进化学说。50年代诞生了分子生物学以后，人们又在模拟原始地球的条件下，在实验室合成了构成生命的基础有机物——蛋白质和核酸。

但是，在理解核酸和蛋白质的关系上，又遇到了新的困难，这就是“先有核酸还是先有蛋白质”的问题，或者更抽象地说即“先有信息还是先有功能”的问题。这使人想起了古老的“蛋、鸡”之争。超循环理论探讨了这一问题。艾根指出，在生物信息起源上的这种“在先”，不是指时间顺序，而是指因果关系；事实上，提出“在先”的问题，不是提出了一个科学问题，而是一个伪问题。这里有一种双向的因果关系，或者说是一种互为因果的封闭圈。核酸和蛋白质的相互作用，相当于“封闭圈”即“循环”的一个复杂的等级组织。从反应循环，到催化循环，再到超循环就构成了一个从低级到高级的循环组织。

超循环理论的提出，也是对生物学中多样性和统一性关系深入思考的结果。地球上的生物有数百万种之多，其形态结构、生理机制和生态习性各异，因而存在着多样性。然而，在它们的细胞中又只有

一种基本的分子机构，即普通的遗传密码以及基本一致的翻译机构和一种大分子手性，其中翻译过程的实现又要求数百种分子的配合，因而又存在着统一性。艾根指出，这种统一性很难想象是一下子形成的，除非是一次巨大的创世行动的结果。他认为，在生命起源和发展中的化学进化阶段和生物学进化阶段之间，有一个分子自组织过程。因此，进化可以划分为如下几个阶段：

1. 化学进化阶段；
2. 分子自组织进化阶段；
3. 生物学进化阶段。

在分子自组织进化阶段，既要产生、保持和积累信息，又要能选择、复制和进化，从而形成统一的细胞机构，因此这个自组织过程只有采取超循环的组织形式。

艾根认为，超循环组织和一般的自组织一样，它必定起源于随机过程，开始于随机事件，但是，只要条件具备，它的出现虽然不是决定论的，但却是不可避免的。在超循环自组织过程中，也包含了许多随机事件，但是，这些随机效应能反馈到它们的起点，使得它们本身变成某种放大作用的原因。经过因果的多重循环、自我复制和选择，功能不断

完善，信息不断积累，从而向高度有序的宏观组织进化。他认为，“上帝不掷骰子”和“绝对偶然”的观点在此都是不正确的。

艾根指出，达尔文自然选择原理不仅是生物学进化的原理，而且也是研究超循环自组织的指导性原理。达尔文原理强调“物竞天择，适者生存”，艾根在对超循环的研究中指出，在此不仅“生存竞争”、“空间隔离”是重要的，而且“协同作用”、“整合作用”同样是重要的。超循环组织，作为一个远离平衡的开放系统，既竞争又协同，既隔离又整合，从而选择和进化。因此，艾根的超循环理论在分子水平上把竞争和协同结合起来，发展了达尔文原理。

艾根强调，他之所以提出超循环理论，是想把物理学普遍原理推广到生物学并与生物学成果相结合，对经验事实进行抽象，从现存中追踪历史的遗迹，从而用模型反映现实的结果。正是在建立抽象模型的基础上，他运用了包括非线性微分方程、概率论、博弈论、不动点分析等数学工具对模型进行了定量的处理，从而得出定量的、规律性的富有意义的结果。艾根提出的超循环理论，虽然有一定的实验事实支持，但还有待于进一步改进和完善。他希望他的理论能够“激起……进行新的实验，从而有

助于更深刻地理解作为‘自然规则’的生命以及生命的起源。”

艾根还特别指出，在神经组织和社会组织中，也存在超循环的组织形式，超循环理论的许多结论，不仅具有自然科学意义，而且具有社会科学意义。

*

*

*

在翻译过程中，曾分别求教于漆安慎、李占柄、郭华庆、蔡兵等多位专家、学者，他们分别审阅了部分译文或提出了宝贵意见；翻译中还参考了徐京华先生发表的有关译文，以及李建华同志的有关译稿；卢治恒副教授协助翻译了书中一节德文；在西德任客座教授的安文铸博士协助约请艾根为本书写了序言并代译为中文；刘未、沈文、李莉、万伟协助抄写了部分稿件，谨在此表示衷心感谢。本书论述的是一门新的学科，涉及到数学、物理学、化学、生物化学、生物学、信息论等多学科知识和词汇，有许多新的科学名词术语，译者的专业和文字能力有限，虽然求教了许多有关专家，但翻译中错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

译者

1987.10

作者为中译本写的序

分子生物学的研究成果为达尔文的进化论提供了新的、物理学的牢固基础。核酸的复制动力学——一种借助于模型推演出任何生物繁殖所依赖的聚合过程——已经被当作某些重要的进化现象(如筛选、优化、对环境的适应或共生协同)进行定量描述的新的途径。分子进化论与传统的群体遗传学观点的主要区别在于以下两点:

1. 变异是复制过程中不可缺少的组成部分。不论是无缺损的还是带有缺损的复制都是一个或同种反应机制的平行反应。借助于这种新的观点,人们有可能对于频繁变异系统进行没有局限的分析。

2. 决定筛选过程结果的那些量(如,在群体遗传学中的适合度)获得了建立在物理-化学特性基础上的一个新的解释,这些物理-化学特性(至少在原则上)可以不依赖于筛选过程而被测量出来。达尔文理论中的同语反复问题(即经常借助“适者生存”表达的循环推理)从而简单地被解决了。在特别简单的系统(例如,用在试管中的RNA分子所作的进化实验或存在于体内和体外的简单病毒)中,一种对进化现象的定量的实验途径已成功。

分子进化理论发展了一些新的概念,这里给出两个例子,

“拟种”被理解为一个群体中稳定的变异分布；“超循环”是在自复制元素中的一个有组织的全体，在这个整体中，导致筛选的竞争通过相互依赖的简单形式被联结在一起。呈现在读者面前的这个中文文本包含着分子进化理论在1979年时的概貌，其中《超循环——一种自然的自组织原理》汇集了1977年和1978年在《自然科学》杂志上发表的三篇论文。尽管从那以后，该理论继续有了发展，但是其基本理论在《超循环》发表以后只有极少的变动。因此，从今天看来，这本书仍可视为超循环理论从一个简单的观点到新的理论的入门。不考虑理论的新发展，这本入门著作首先是包含了大量的实验结果，同时介绍了新的进化理论的许多应用可能性。借此，我们在这里附上一个新成果的出版物索引。

Literaturhinweise:

- [1] M. Eigen, J. McCaskill, P. Schuster. *Adv. Chem. Phys.* 75 (1988) ****.
- [2] M. Eigen, P. Schuster. *J. Mol. Evol.* 19 (1982) 47-61.
- [3] M. Eigen. *Stufen zum Leben*. Piper Verlag, München 1987.
- [4] M. Eigen, W. C. Gardiner, P. Schuster, R. Winkler-Oswatitsch. *Sci. Am.* 244(4) (1981) 88-118.
- [5] M. Eigen. *Chemica Scripta* 26B (1986) 13-26.
- [6] M. Eigen. *Ber. Bunsenges. Phys. Chem.* 89 (1985) 658-667.
- [7] P. Schuster. *Physica Scripta* 35 (1987) 402-416.
- [8] P. Schuster, K. Sigmund. *Ber. Bunsenges. Phys. Chem.* 89 (1985) 668-682.
- [9] C. K. Biebricher. *Evolutionary Biology* 16 (1983) 1-52.
- [10] C. K. Biebricher, M. Eigen, W. C. Gardiner. *Biochemistry* 22 (1983) 2544-2559.
- [11] C. K. Biebricher, M. Eigen, W. C. Gardiner. *Biochemistry* 23 (1984) 3186-3194.
- [12] C. K. Biebricher, M. Eigen, W. C. Gardiner. *Biochemistry* 24 (1985) 6550-6560.

- [13] C. K. Biebricher, M. Eigen, R. Luce. *J. Mol. Biol.* 148 (1981) 369-390.
- [14] C. K. Biebricher, M. Eigen, R. Luce. *J. Mol. Biol.* 148 (1981) 391-410.
- [15] C. K. Biebricher, S. Diekmann, R. Luce. *J. Mol. Biol.* 154 (1982) 629-648.

der hoch. Herrn:

ch. R. Luce

Göttingen, 1. Juli 1988.

1988年7月1日于格丁根
(安文铸 译 卢治恒 校)

目次

作者为中译本写的序.....	1
----------------	---

超循环：一个自然的自组织原理艾根 舒斯特	1
-------------------------------	---

前言.....	3
---------	---

1 超循环的出现.....	9
---------------	---

1.1 进化中的统一性和多样性规范.....	9
1.2 什么是超循环?	11
1.3 达尔文系统.....	20
1.4 误差阈和进化.....	42

2 抽象的超循环	61
----------------	----

2.1 具体的问题.....	61
2.2 动力学系统的一般分类.....	69
2.3 自组织反应网络的固定点分析.....	77
2.4 基本超循环的动力学.....	106
2.5 超循环与翻译.....	119
2.6 超循环网络.....	128
