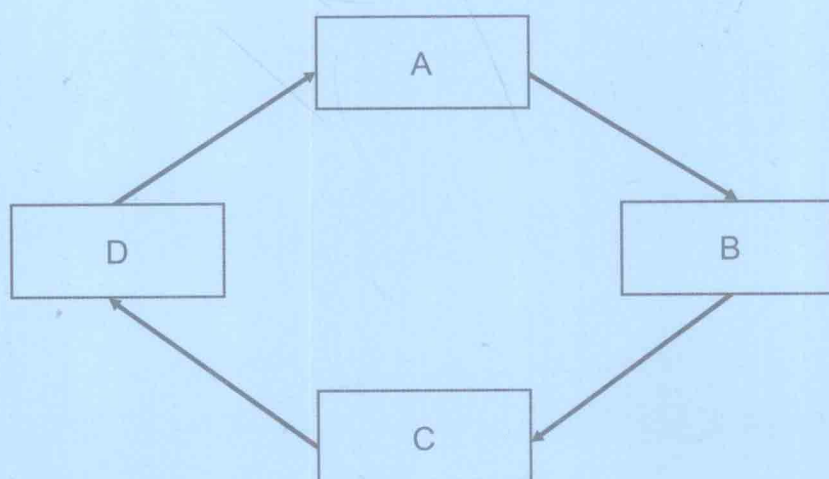




国家“十一五”重点规划图书——当代生态经济译库（四）

增长与发展

——生态系统现象学



Robert E. Ulanowicz 著

黄茄莉 译 徐中民 校

国家“十一五”重点规划图书——当代生态经济译库(四)

增长与发展

——生态系统现象学

Robert E. Ulanowicz 著

黄茹莉 译

徐中民 校

黄河水利出版社

图书在版编目(CIP)数据

增长与发展:生态系统现象学/(美)罗伯特(Ulanowicz, R.)
著;黄茹莉译. — 郑州:黄河水利出版社, 2010. 11

书名原文: Growth and Development – Ecosystems Phenomenology

ISBN 978 – 7 – 80734 – 932 – 7

I. 增… II. ①罗… ②黄… III. ①生态系统 – 现象学
IV. ①Q147

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 223187 号

All Rights Reserved. Copyright © 1986, 2000 by Robert E. Ulanowicz
This edition published by to Excel Press, an imprint of iUniverse. com, Inc.

First edition 1986

ISBN: 0 – 595 – 00145 – 9

出版社: 黄河水利出版社

地址: 河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码: 450003

发行单位: 黄河水利出版社

发行部电话: 0371 – 66026940, 66020550, 66028024, 66022620(传真)

E-mail: hhslebs@126. com

承印单位: 河南省瑞光印务股份有限公司印刷

开本: 787 mm × 1 092 mm 1/16

印张: 10. 25

字数: 234 千字

印数: 1—1 000

版次: 2010 年 11 月第 1 版

印次: 2010 年 11 月第 1 次印刷

定价: 35. 00 元

著作权合同登记号: 图字 16 – 2010 – 150

出版前言

当人类跨入 21 世纪的时候,科学研究的方式发生了很大的变化,已经进入了多学科交叉和团队协作研究来解决全球性重大问题(如全球变暖、生物多样性损失、环境污染、水土流失等)的新时代。生态经济学作为一门倡导从最广泛的角度来理解生态系统与经济系统之间复杂关系的新兴交叉学科,最近十多年来得到了迅速的发展,其在可持续发展的定量衡量、环境政策和管理、生态系统服务评价、生态系统健康与人类健康、资源的可持续利用、集成评价和模拟、生活质量及财富和资源的分配等方面的研究取得了突破性进展,对理解和解决环境问题做出了巨大的贡献。

个人能否成才通常取决于智商、情商、健商和机遇等许多因素,其中健商最为重要,“一个人做对的事情比做对事情更重要”指的就是一个人要有健商。一门学科的发展与此有许多相似之处。我国西北地区经济发展落后,生态与环境脆弱,从生态经济的角度来理解环境问题的病因、探询生态系统与经济系统和谐发展的机制、找寻积极而有效的行动对策措施,无疑是正确的方向。在知识创新和文化创新的背景下,中国科学院寒区旱区环境与工程研究所与兰州大学、西北师范大学等高等院校的一批对生态经济问题有浓厚兴趣的青年科研人员自发组织成立了一个学习型生态经济研究小组。该团队以五项修炼(自我超越,改善心智模式,建立共同愿景,团体学习和系统思考)为加强自身个人修养的要旨,目标是为解决西北地区突出的生态经济问题做出自己的贡献。这说明生态经济学科在西北的发展已经具备“智商”、“情商”和“健商”的基础,所缺的只是“机遇”。在西部做事比东部难、机遇少是当前不争的事实,但要认识到机遇只垂青于有准备的头脑,我们需要创造条件,等待机会。切莫在机遇来时,因自身条件限制而不能抓住,空悲叹。

如何创造条件?科研有它自己的规律,讲求厚积而薄发,“十年铸一剑”。任何学科的进步,都是靠一代又一代人的积累。没有旧知识的积累,就不会有新知识的拓展。对我国生态经济的发展而言,现阶段的任务主要是学习国际上的“开山斧法”。由于我国目前生态经济学科发展与国际前沿存在较大差距,要想顺利通过面前的“文献山”,跟上国际前沿,找到国际上生态经济研究的“开山斧”著作,并将它翻译介绍进国内,是一种很好的厚积斧头的方式。

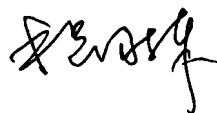
当然我们不能仅满足于掌握国际上的“开山斧法”,我们的最终目的是拥有自己的“开山斧法”,也就是要做出自己的创新成果。从现阶段的情况来看,要开创自己的“开山斧法”困难重重,但只要大家能静下心来,好好演练国际上生态经济研究的“开山斧法”,并以十年铸一剑的毅力和勇气,持之以恒,在不久的将来定能拥有自己的“开山斧法”。

希望通过大家坚持不懈的努力,在不久的将来能在研究范围、研究内容、研究方法和手段等方面跟上世界生态经济研究的前沿,甚至能在一些方面结出自己的思想之果,引领

风骚。

春风拂柳,拂昔追远,迎着朝辉,充满希望。

我和大家一起瞻望中国生态经济研究的未来!



2006 年 10 月 16 日

A Preface to the Chinese Edition of Growth and Development: Ecosystems Phenomenology

Almost a quarter century ago, I became convinced that the dynamics of ecosystem change was not determined by the universal laws of physics, as most in science assume. Not that I see universal laws as necessarily violated, but simply that they under – determine what we observe in complex systems. I came to this conclusion by studying, in phenomenological fashion, changes in networks of flows among the constituent species of an ecosystem. Since that time, the subject of networks has become a very popular subject in many leading scientific journals. The period of ca. 1998 – 2004, especially, saw a burst of publications about networks.

Unfortunately, almost all of this new literature on networks regards the subject through the lens of conventional science. Different classes of network topologies are related to various physical circumstances in the search for the key mechanisms that account for the various configurations. What everyone seems to be missing is that networks are not the simple tokens of scientific research as, say, mechanism, matter or energy. This was made clear one day when a colleague said to me, “Networks are determinate structures.” “Not so!” I replied emphatically. Networks are admixtures of constraint and indeterminacy. In general, if one is at a particular node in a network, one is constrained during the next time step to moving only to a small subset of all other the nodes. At the same time, it is usually not determined which of the allowable moves will ensue. Thus, movement through the network involves a combination of both constraint and indeterminacy.

The existence of inherent ambiguity distinguishes network dynamics from conventional, Newtonian – like science, where universal laws determine subsequent movements. In Western science, at least, determinism has been ascendant; flexibility has been considered either non – existent or was ignored. This focus on determinism at the expense of all else is called positivism, and it characterizes most of modern science.

Newton and subsequent theoreticians have developed very effective tools for quantifying deterministic constraints. There are far fewer means for quantifying flexibility, however, and most of those bear little mathematical resemblance to the quantitative descriptions of universal laws. The one shining exception is information theory – not the standard theory of communication, but its accompanying calculus of logarithms that can be applied to networks to quantify that which is missing or incomplete (its flexibility). A similar mathematical form can describe the complementary amount of constraint at work in the network. As a result, the inherent admixture of constraint and flexibility in any network can be parsed out into two separate terms (called ascendancy and overhead, respectively) that quantify the balance

between constraint and flexibility.

Unfortunately, this departure from strict positivism has not been appreciated by most network investigators. It is for this reason that this translation of Growth and Development into the Chinese language may take on significant importance: Unlike with Western science, where positivism has always been the rule, a familiar theme in Eastern philosophy has been the conversation, or dance between that which is and that which is not – the Yan and the Yin of existence. The network representing any complex system must possess sufficient structure and constraint (Yan) to undergo self – organization. But its persistence, or sustainability depends critically on its remaining flexibility (Yin), without which it would quickly succumb to perturbations from its environment.

Whence, the behavior of complex systems cannot be portrayed as “matter moving according to universal laws”, as has been the project of Enlightenment science. Rather, what we see in complex systems is the outcome of a “conversation” between opposite attributes of those ensembles – that which is explicitly expressed (ascendency) and that which is held in reserve (overhead). The foundations for this radical departure from science – as – usual are laid out in this volume.

There is yet another regard in which this book remains relevant almost 25 years after its publication. The overwhelming majority of articles on networks that have appeared in the last dozen or so years have treated either simple, undirected graphs or directed graphs, but not graphs wherein each link is associated with a specific magnitude or weighting. The treatment of networks in this book deals entirely with such “weighted digraphs”. The conventional wisdom holds that weighted digraphs are uninteresting, because they are only particular tokens of the *more general class of unweighted graphs*. In fact, the exact opposite is true: The most general form of a network is the weighted digraph. Unweighted networks are degenerate forms of their more elaborated, weighted counterparts. Any result or formula derived for weighted networks can be applied to their unweighted versions in corollary fashion simply by setting all the magnitudes equal.

Finally, I would like to express my sincere appreciation to Dr. Xu zhongmin and Mr. Huang jiali for the considerable labor and enthusiasm they expended in translating this book. I was surprised by the number of errors that they uncovered in the course of their translation and was impressed by the precision and thoroughness with which they checked the text and the examples. I am most grateful for their commitment, and it is my hope that when the reader has finished the text, he/she will be thankful to them as well.

Robert E. Ulanowicz
Gainesville, Florida, USA
June 23, 2010

中文版序

系统的动态变化是由普遍的物理规律决定的,大多数科研工作者都认为这是理所当然的事情。大约 25 年前,我开始笃信生态系统的动态变化并不是由普遍的物理规律决定的。有这样的想法,并不是我发现了违反普遍规律的现象。原因很简单,是因为这些普遍规律并不能充分解释复杂系统中的现象。通过采用现象学的研究方法研究生态系统中物种组成的流量网络的变化,我证实了自己的想法。从那时起,网络成了许多重要科学期刊上非常流行的主题,1998-2004 年间甚至出现了一段爆发期。

遗憾的是,差不多所有以网络为主题的文献都是从传统科学的角度来分析网络的。人们将不同的网络拓扑类型和不同的自然环境联系在一起,探索解释不同结构的关键机制。然而这样做似乎并未察觉网络不只是研究物质或能量运行机制的工具。经常会有人对我说“网络是确定的结构”,这就是很好的证明。对此我会断然否定,网络是约束和不确定性的一个混合体。针对网络中某个结点中的介质而言,由于受到约束,在下一时刻介质只可能向其余结点中的某些结点运动。介质最终会移向哪些结点?通常并不能确定。因此,网络中介质的运动同时包含了约束和不确定性。

传统科学认为普遍规律决定了物体以后的运动,网络中固有的不确定性将网络动力学与这类传统的、似牛顿的科学体系区分开来。至少在西方科学中,决定论是占主导地位的;适应性要么被忽视,要么认为根本不存在。这种忽视其他因素而强调决定论的做法称为实证主义,大多数现代科学都具有这样的特征。

量化确定的约束,牛顿及后来的理论研究者开发出了非常有效的方法。然而,量化适应性的方法却非常少。通常,描述适应性和普遍规律的数学形式非常不同。信息论是个例外,并非因为信息论是权威的通信理论,而是因为它采用的对数运算方法可用于网络中来量化忽视的或不完整的部分(网络的适应性)。相似的数学形式还可以描述与适应性互补的网络约束。因此,网络这种约束和适应性的混合体就可以分解为上升性和杂项开支两项,用来量化约束和适应性之间的平衡。

令人惋惜的是,这种偏离严格实证主义的做法并没有引起大多数网络研究者的重视。正因为如此,《增长与发展》一书译成中文意义重大。西方科学通常以实证主义为准则,而东方哲学与之不同,经常讨论是与非之间的相互转化——阴阳的相生相克。代表任何复杂系统的网络必须拥有充分的结构和约束(阳)来形成自组织。然而,网络的持久性或可持续性关键取决于余下的适应性(阴),缺乏适应性的网络很容易被环境中发生的扰动主导。

启蒙运动时期,复杂系统的行为被描述成“根据普遍规律发生的物质运动”。显然,不应该如此。明确表达的上升性和储藏的杂项开支是系统整体所具有的两种对立属性,复杂系统产生的现象是这两种对立属性相互作用的结果。本书充分展示了这种背离常规科学的基本原理。

本书出版 25 年后,仍有一个与之有关的问题值得关注。过去 10 多年,绝大多数网络方面的论文都只研究简单的无向图或有向图,而没有研究网络链接被赋予了特定数值或权重的图。本书研究的网络均为“权重图”。传统的观点认为研究权重图意义不大,因为它只是一般无向图的特殊情况。实际上该观点的逆命题同样成立:网络最一般的形式是权重图。无权重网络是描述更详细的权重图的退化形式。实际上,很容易将从权重网络中推出的结果或公式用于对应的非权重网络,只需假定权重相等即可。

最后,我对本书的译校者表示衷心的感谢。徐中民博士和黄茹莉博士一直关注我的工作,翻译本书他们付出了艰辛的劳动。在翻译过程中,他们发现了原著中的许多错误,而且非常严谨地检验了书中的文字和算例。我非常感激他们付出的努力。希望读者读完本书后会有同样的感受。

Robert E. Ulanowicz

Gainesville, Florida, USA

June 23, 2010

译序

作为从事生态经济研究的中国科学院的普通科研工作者,我们接受了国家对我们 22 年的正规培育。鸦有反哺义,羊有跪乳恩,一个人总要做点什么回报社会吧。在当前的社会形势下,作为科研工作者怎样回报社会呢?我们觉得主要有两种途径:一是搞出高水平的科研成果;二是引进一些国外的新理论和新方法,让周围的人革新观念。提出自己的理论和假说,“一朝成名天下知”当然是我们梦寐以求的事情。然而有心无力,一旦堕入交叉科学知识密布的网中,只能茫茫如堕烟雾,瞠目结舌不能语。创造不行,能做的事情也就是引进一些国外的新理论和新方法。当然,引进国外的新理论和新方法绝不是委曲求全的无奈之举。这样逐渐的积累为搞出高水平的科研成果提供了可能,这是显而易见的。

10 年前,Ulanowicz 就送给了我们关于他论述增长与发展方面的两部著作。怎么到这时候才翻译出来,是“睫在眼前长不见”,还是 Ulanowicz 的书本身没有什么吸引力?两者都不是,是我们的能力问题。断断续续加起来,译者和校者阅读这本书的时间已有 16 年,并就这一主题发表过很多文章。今天能让它与读者见面,我们颇费了一番周折,但收获颇丰。在交付出版的时候,我们感到自己的能力提高了许多,对世事的认识也更清楚了一些。

增长与发展原本是分开描述的两个系统整体属性,Ulanowicz 提出的最优上升性原理将其定量地统一在一起。同时,最优上升性原理可以将不同的现象描述假说统一在一起。目前学科发展流行统一的趋势,如地理学尝试统一自然地理、人文地理;可持续发展研究尝试将人文因素和自然因素在历史时间尺度上统一起来;文化理论尝试将二元的文化和社会结构从多元的角度统一起来。在译校者的知识范围内,最优上升性原理可以为这些学科内部知识的统一提供理论基础。更重要的是,最优上升性原理统一机制背后是一种不偏不倚的科学态度,这与我国传统的中庸之道是一致的。“草色人心相与闲,是非名利有无间”,如果能有这样的心态来从事科学研究,就绝不会埋怨坐冷板凳,更多的是看到书中的黄金屋、千钟粟。

本书的出版得到国家自然科学基金项目“黑河流域生态补偿研究”(No. 40971291)、国家自然科学基金青年基金项目“基于文化理论的水资源管理模拟优化研究”(No. 40901292)、国家自然科学基金项目“1949a 以来山西矿区环境演变下的植被重建研究”(No. 41071335)、中国科学院知识创新工程重要方向项目群“地表过程集成系统研究”第四项目“区域人文过程演化机理与模拟研究”(No. KZCX2 - YW - Q10 - 4 - 03)、中国科学院西部行动计划(二期)项目“黑河流域遥感—地面观测同步试验与综合模拟平台建设”(No. KZCX2 - XB2 - 09)的资助。另外,在校订过程中,Ulanowicz 一直给予热心的指导,耐心地回答我们的问题。这对确保本书的质量功不可没,在此表示感谢。

最优上升性原理是类似热力学定理那样的普适性原理,涉及的知识面广。我们翻译过 5 本译著,具备一定的语言文字处理能力,但在面对如此内涵丰富的主题时仍然经常感

到不知所措。因此,书中疏漏肯定比比皆是,我们衷心希望读者能不吝指正。尽管如此,我们仍然认为不管你从事什么专业的研究,阅读本书你都会有所收获。我们衷心希望 Ulanowicz 的上升性精灵能与你会心的交流,并把你的喜悦传递给我们,形成正反馈,为我们那没有止境的努力提供激励。

译校者

2010 年 6 月 5 日

序

“这个世界真是荒诞！Ulanowicz 对热力学的乏味评论能与生态学有什么关系呢？”

《美国博物学家》的匿名评审者,1979

“想法要成真需要一个漫长的过程，但首先要有一个想法。”

Walt Kelly, 波戈荒诞的 10 年,1959

“听起来很有趣,但好像是空穴来风。”这是我的好朋友 Ray Lassiter 在听我滔滔不绝地介绍完“上升性”这个新概念后的答复。当时的窘态还历历在目,顿口无言了半天才回话:“怎么会呢,看样子得写本书介绍一下它是怎么来的。”

工作上的知心朋友都是这样的反应,那些以传统方式看待生物学发展的人会是怎样的反应?这是可想而知的。毕竟,这里提出要量化整个生态系统的增长与发展,而且还认为这种发展并不完全取决于更小尺度上的事件及实体,反过来还可以影响它们的过程和结构。这些在传统生物学家眼里是离经叛道的。

无可否认,上升性是对目前公众完全支持的还原论的最新挑战。和其他提出新概念的人一样,我也对我的情有独钟。上升性是从众所周知的唯象原理中自然演绎而来的。实际上,任何反对绝对的还原论的观点都会引起激烈的争论,等着我的是赞美还是责骂呢!很久才有人回应。

有的人认为它“太抽象”或“虚无缥缈”,极少数人对它进行了猛烈抨击,大部分人是漠不关心。我绞尽脑汁设想新达尔文学说阵营中可能产生的批评,以及面对各种批评时的应对策略。因为质疑期很短,而且大多算得上批评的意见是研究室给出的书面评论,这让我的积极备战显得有点多余。我尽管很热心,但也未能就自己的观点与别人很好地沟通。

我非常清楚为什么很多人对我的想法漠不关心。我的本专业是化学工程学。在上研究生的时候,研究所不重视化学工程的实践,重视的是化学工程的科学原理。因此,大部分时候都在评价那些推动基础学科发展的人的动机和视角。热力学是我们讨论最多的领域,我相信大多数同学在离校时,肯定都非常关心实用的定量分析方法、探究现象的方法和量化整个系统的宏观方法。

相比之下,我现在生物学系的大部分同事从小就推崇分解过程——将整体分解成部分,探索这些组分的性质,并从中寻找变化的原因。我们学习的科目差别悬殊,消化和理解问题的视角也不一样。上升性与我的同事毫不相干,怎么可能引起他们的兴趣呢。看来要让这个想法受到重视,必须撰写这本书。

在写序言的时候,这些最优秀的生物学同事一直在我心头萦绕。本书旨在通俗地介绍上升性概念的理论基础,因此规避了高深的数学知识、省略了繁杂的技术细节或一些晦涩难懂的行话。从引言开始,读者可能会觉得讨论生态系统的增长与发展没有什么意义,但希望读完第6章后不会再对上升性的概念感到突兀。确实,要接受现象学的分析视角,生物学家需要改变以前的一些看法,但新的视角并没有新到需要他们放弃原学科整体框架的程度。

我鼓励非生物学的读者了解上升性。增长与发展包含的内容非常广泛,非生物学的读者也会饶有兴致。在各章节中,蕴涵和衍生的一些道理一定能引起下列领域中研究人员的共鸣,如经济学、热力学、控制论、认知学、网络分析、运筹学、流体力学、社会学,甚至可能还有哲学。

工程师和生物学家不同的教育经历确实会阻碍交流,但必须承认也有我自身的问题。现在再看自己早期发表的网络发展方面的论文,发现它们非常肤浅而且含义非常模糊。如果语言表达前后更连贯和一致一些,就不至于让读者感到迷惑不解,或认为方法过于抽象。将所有的概念背景提炼成浅显易懂的文章是一个繁重的学习过程,也是对自我约束能力的一种考验。

真诚地希望几年内对自然系统发展过程的描述能取得长足进展,回头发现本书的工作非常原始。当然,现在我能做的就是描述好发展,希望这能促进那些对增长、发展和生命有不同理解的人相互进行交流。

Robert E. Ulanowicz

致谢

本书能顺利付梓,需要感谢很多朋友和同事。Trevor Platt 是我的良师和益友,是他最直接地促成了本书。记忆中,只有 Trevor 中肯地评论了书中的初步想法,我有幸将这些弥足珍贵的评论收录在 1972 年发表的一篇文章中。几年后,当我为就业选择心烦意乱时,Trevor 为我指明了方向。他将我安排到 SCOR 第 59 工作组工作,并鼓励我能投入更多的时间研究热力学和发展,同时将这个岗位作为展示自我的国际平台。正是在为工作组做基础研究期间,我用现在书中具体的数学公式描述了增长与发展。在至关重要的前几个月,工作组主席 Kenneth Mann 和其他成员给了我很多鼓励和评论,至今回味仍似盛夏喝清凉饮料般沁人心脾。

十月怀胎,方能一朝分娩,这中间是一个漫长、紧张且充满喜悦的过程。在本书的写作过程中,既是好朋友又是合作者的 Alan Goldman 提供了许多非常宝贵的建议。他敏锐的洞察力、深刻的评论、创造性的取舍能力,在我熟悉的人中无出其右者。虽然这里很少引用我们合作的工作成果(这本身就不能作为判断我们合作重要性程度的标准),但需要强调的是跟他合作,我确实受益匪浅。

特别感谢佐治亚州立大学生态研究所的几位朋友。尤其要感谢 Bernard Patten,他不仅不辞辛苦地认真审查了本书的初稿,还将它拿到了他上的高级系统生态学课上讲授。上那门课的学生 Thomas Burns、Lee Graham、Masahiko Higashi 和 Thomas James 等还给了书面评论,在此对他们的支持一并表示感谢。同时要向一直无缘见面的 Eugene Odum 致以特别的敬意。读了他的生态学基础后,我从化学工程转而研究生态学。在唯一的一次通信中,他对综合他关于生态系统发展观测结果的想法给予了高度评价,这坚定了我沿这条“离经叛道”之路继续走下去的信心。

前几年康奈尔大学的 Simon Levin 指导我发表了几篇期刊论文,本书能由 Springer-Verlag 出版,其中也有很多 Simon 的汗水,在此一并表示感谢。

其他同事阅读并评论了部分(很多时候是全部)手稿。Henri Atlan、Albert Cheung、Michael Conrad、Richard Emery、James Kay、Bruce Hannon、Robert May、Ian Morris、Robert O' Neill、Eric Schneider、Janusz Szyrmer 和 Richard Wiegert 挤出大量时间阅读初稿,并提出了很多宝贵的建议,与他们的交流丰富了我的经历、启迪了我的思想。需要说明的是,这里并没有完全采纳他们的建议,因此书中的任何问题都由我个人承担。

我工作的 Chesapeake 生物实验室为本书的出版提供了主要的财政支持。在实验室的预算里没有发展理论的时候,就能开辟空间,任我自由探索,实属难得。能与这么多开明、睿智的领导和同事一起工作,确实非常幸运。在成书期间,实验室还派了能干的助手协助我。Gail Canaday 高超的文字处理技巧使初稿和打字机打出来的一样,热情的 Frances Younger 熟练地完成了图表编辑工作。另外,最后 2 章中的许多想法得到了国家自然科学基金项目“系统理论与运筹学”(No. ECS-8110035)的部分资助。

在我个人的备忘录上,该理论的起源可以追溯到 25 年前,那时我还是走读生。父母 Edward 和 Mary 给我提供了思想可以自由驰骋的环境。在此以片纸聊表我对他们的感激之情。

最后要感谢我的家人,没有他们的耐心和支持,很难想象本书这么快就能瓜熟蒂落。其中尤其是妻子 Marijka,整本书都凝聚着她的汗水。她和我一起修订了初稿,帮我润色句法,检验我对观点的解释。有她红袖伴读,使我书屋飘香。我殷切地希望,这本书能把我的爱和感激传递给她。

目 录

出版前言	程国栋 (I)
英序	Ulanowicz (III)
中文版序	Ulanowicz (V)
译序	(VII)
序	(IX)
致谢	(XI)
1 引言	(1)
1.1 谜	(1)
1.2 不确定的宇宙	(2)
1.3 现代生物学的困境	(2)
1.4 现象纠正	(3)
1.5 理论的渊源	(4)
2 视角	(6)
2.1 热力学:关于现象的科学	(6)
2.2 热力学第一定律和功的本质	(8)
2.3 热力学第二定律	(11)
2.4 非平衡态热力学和原始群落	(14)
2.5 小结	(17)
3 对象	(19)
3.1 普遍的流动	(19)
3.2 描述流量网络	(20)
3.3 分析流量网络	(25)
3.4 不循环的存量与流量	(36)
3.5 小结	(37)
4 媒介	(38)
4.1 循环和自主行为	(38)
4.2 自主行为和整体描述	(42)
4.3 流量网络中循环的数量	(43)
4.4 网络循环的结构	(44)
4.5 小结	(62)
5 计算方法	(63)
5.1 信息论和生态学	(63)

5.2	结果的不确定性	(64)
5.3	信息	(67)
5.4	小结	(72)
6	描述	(73)
6.1	网络的视角	(73)
6.2	增长	(73)
6.3	发展	(74)
6.4	同时发生的增长与发展	(78)
6.5	动态平衡中产生的上升性	(79)
6.6	增长与发展的限制因素	(80)
6.7	自主的增长与发展	(85)
6.8	自主增长与发展的限制因素	(87)
6.9	最优上升性的现象基础	(90)
6.10	最大功原理	(97)
6.11	和其他变分原理的关系	(98)
6.12	小结	(101)
7	扩展	(102)
7.1	不完整的图片	(102)
7.2	空间异质性	(102)
7.3	时间动态	(105)
7.4	多种介质	(107)
7.5	全面的异质性	(108)
7.6	归并	(109)
7.7	确定最优上升性的结构	(111)
7.8	其他应用——经济学和个体发生学	(112)
7.9	小结	(117)
7.10	结语	(117)
参考文献		(121)
作者索引		(127)
主题索引		(130)
附录		(147)