

» 数据分析与模拟丛书

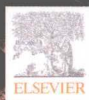
Alexey Voinov 著

张力小 译

Systems Science and Modeling for
Ecological Economics

生态经济学中的 系统分析与模拟

高等教育出版社



» 数据分析与模拟丛书

Alexey Voinov 著

张力小 译

Systems Science and Modeling for
Ecological Economics

生态经济学中的 系统分析与模拟

SHENGTAI JINGJIXUE ZHONG DE XITONG FENXI YU MONI

高等教育出版社·北京

图字:01-2012-5684 号

Copyright© 2008, Elsevier Inc. All rights reserved

This edition of *Systems Science and Modeling for Ecological Economics* by **Alexey A. Voinov** is published by arrangement with **ELSEVIER INC** of 30 Corporate Drive, 4th Floor, Burlington, MA 01803, USA

本书 *Systems Science and Modeling for Ecological Economics* 原作者为 **Alexey A. Voinov**

本书中文翻译版由 **ELSEVIER INC** 授权高等教育出版社有限公司出版

The ISBN of the original work:978-0-12-372583-7

The ISBN of the Chinese Translation Edition:978-7-04-034613-8

图书在版编目(CIP)数据

生态经济学中的系统分析与模拟/(美)沃伊诺夫(Voinov, A.)著;张力小译.--北京:高等教育出版社,2014.4

书名原文:Systems Science and Modeling for Ecological Economics

ISBN 978-7-04-034613-8

I. ①生… II. ①沃… ②张… III. ①生态经济学—系统分析—研究②生态经济学—系统仿真—研究 IV. ①F062.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 035381 号

策划编辑 柳丽丽

责任编辑 柳丽丽

封面设计 张楠

版式设计 马敬茹

插图绘制 尹莉

责任校对 杨凤玲

责任印制 韩刚

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印刷 北京汇林印务有限公司
开本 787mm×1092mm 1/16
印张 28.5
字数 540千字
插页 7
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版次 2014年4月第1版
印次 2014年4月第1次印刷
定价 49.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 34613-00

内容简介

系统分析与建模是生态经济学中非常有力的工具。本书分9章,阐述了系统分析与生态建模的概念和过程,重点介绍 Stella 软件包在建模过程中的应用,案例内容涉及经典捕食竞争模型的多重解析、流域水文与水资源时空模拟、社会经济的动态模拟与持续性探讨,并在此基础上特别讲述了模型优化与建模实践中的关键问题。本书中所包含的概念和过程模式代表着生态模型领域的最新发展。与其他现有的生态模拟书籍相比,本书内容整体上侧重于资源、环境与社会经济等宏观问题,论述上更注重对建模过程的分步和图示性描述。同时,本书网站可方便下载书中模型的源代码,帮助读者重现建模过程。本书适合作为生态模型课程的研究生教材,也是从事生态环境研究的工程师与生态学家的优秀参考书。

本书由国家基金委创新研究群体科学基金(项目编号:
51121003)以及高等学校“985 工程”建设项目(三期)资助

谨此献给养育我的人——我的父母 Zoe 和 Arkady; 以及我养育的人——我的儿子 Anton 和 Ivan!

中文版前言

Alexey Voinov

本书出版至今已有 5 年多时间,我们生活的世界已发生了巨大的变化。我在书中提出的很多趋势变得更加清晰了:以前只能预测的问题现在变为了现实;我们今天更需要系统的方法来理解事物是如何相互联系、相互作用的。

5 年间,地球上新增了 2 亿人口,这相当于巴西全国的人口规模,而且每秒都会增加 3~5 个人。我们看到了更多毁灭性的飓风和干旱灾害事件。气候变化正以更极端、更经常的方式在发生变化。我们更加纵深地向下挖掘化石燃料,成本更大、效率更低而且使用环境危害更大的技术(液压破碎法开采页岩油);我们正以前所未有的速度在丧失生物多样性;美国的金融危机直接引发了欧洲的金融衰退。看起来好像中国才是世界经济复苏的唯一希望。

当然,中国经济的快速发展也是有代价的。这个国家也在迅速耗竭着自然资源。水资源短缺在许多省份非常明显。水资源和能源生产密切相关,即所谓的水能联结效应,能源生产需要水,水处理也需要能源。越来越多的证据显示,持续下降的空气质量会引发疾病并降低生活水平。有研究表明,中国北方的空气污染会使人的寿命下降 5 年^①。同时,在 2006 年中国超过美国成为世界上第一大碳排放国家,贡献了全球约 23% 的排放量。

中国也正由于没有加入全球气候变化公约^②以及碳减排而备受指责。然而,如果来比较一下人均碳排放水平,情况就不一样了,中国仅仅排在第 55 位,位于欧洲(第 49 位)之后,远远落后于美国(第 12 位)。我们还会注意到,中国的碳排放在很大程度上应该属于发达国家物质消费和服务的碳足迹,因为发达国家的产品和服务在中国生产加工。正如水资源会随产品和服务流动而流动(虚拟水),CO₂也一样。真正的问题不是谁造成了污染,而是谁从中受益、为谁而生产。中国快速增长的生态足迹仍然只占美国四分之一^③。中国通过牺牲自己的环境、资源以及人群健康,来使发达国家享用中国制造消费品好处的同

① 这是由来自美国麻省理工学院、我国的清华大学和北京大学以及以色列希伯来大学四位教授的合作研究课题,发表在《美国国家科学院院刊》(PNAS)上,随后我国环境保护部的相关负责人回应称,该研究报告样本量有限,结论缺乏可信度。——译者注

② 实际上中国政府早在 1992 年就正式签署了《联合国气候变化框架公约》,1998 年又签署了《京都议定书》。——译者注

③ [http://www. footprintnetwork. org/en/index. php/GFN/page/footprint_for_nations/](http://www footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/footprint_for_nations/)

时,而能保持较高的环境和生活质量。他们才会转而指责中国较高的碳排放水平。

我们需要全面考虑这些联系和反馈,这也正是系统思维。对中国来说,至关重要的是中国的选择以及驱动这些选择的优先事物。显然,如果中国还以西方的生活方式和赶上发达国家的生活标准作为目标,地球将注定没有希望。没有足够的资源去支持那样做:没有足够的资源来用,也没有足够的再生能力来消纳产生的污染物。我们唯一的希望是中国能够引领世界走向另外一个全新的发展道路与发展观,它们不是用你所住房子的大小以及你所开越野车的数量来衡量。

当然也有乐观的理由。中国成功地控制了人口的指数增长。抛开这其中的争议和艰难不说,结果是现在中国的人口增速低于美国和欧洲的许多国家^①。政府通过关税、补贴以及污染税等,来支持新能源发展。2012年中国至少投入了650亿美元进行可再生能源的开发,比上一年增加20%^②,这比美国的投入多出一倍。既然有许多重大科技能源发展的目标,也就有理由相信都待实现。

当然,不仅仅是当前的决策有说服力,中国的历史、文化以及思想智慧都让我们有所期待。中国是道教的发源地,道教是一个追求人地和谐,强调简朴、仁爱、节制和谦和的宗教和哲学。我认为我们地球的未来取决于中国未来的选择,是“道”还是“一切照旧”。如果中国走了西方资源开采、利润最大化的道路,崩溃即将来临。如果中国坚持“和谐”的传统,我们或许有可能实现可持续的平稳转型。

能把本书介绍给亿万中国读者,是我莫大的荣幸。我真诚地希望它能够帮助大家理解那些我们必须应对、能引导我们对有些事物、行为做出更好选择的复杂系统,帮助我们做出更好的决策,制定出更好的政策。

非常感谢张力小博士的辛苦工作,才使本书的出版成为可能。他承担了几乎所有的工作,寻找出版商,解决版权事宜^③,当然最重要的还是辛苦的翻译工作。再一次向他致谢!

① <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2002rank.html>

② <http://money.cnn.com/2013/04/17/news/economy/china-green-energy/index.html>

③ 本书版权的谈判与购买由高等教育出版社负责完成。——译者注

Preface for the Chinese Translation

Alexey Voinov

World has changed quite dramatically over the 5 years since the book was first published. Many of the trends that I have outlined became only more obvious; many of the problems that could be only expected have now become reality. Our life today increasingly requires a systems approach to understand how things are interconnected and interdependent.

In 5 years we have added about 200 million people to this planet, which is approximately the population of Brazil. Every second another 3–5 people are added. We have seen more devastating hurricanes and droughts. The climate is certainly changing with more extreme conditions observed more often. We have to dig deeper for our fossil fuels, using more expensive, less efficient and more environmentally hazardous technologies (fracking, shale oil). We are losing biodiversity at unprecedented rates. The financial crisis in US was followed by a meltdown in Europe. The world is looking at China as the only hope for an economic recovery.

Fast economic growth in China comes at a price. The country is running out of natural resources. Water becomes limiting in many provinces. Water is closely connected to energy production—the so-called energy-water nexus; we need water for energy, we need energy for clean water. There are clear indications that declining air quality leads to disease and lower living standards. It has been shown that lower air quality in the North of China has taken 5 years off the life expectation there. In 2006 China has surpassed US in terms of CO₂ emissions and is now responsible for more than 23% of world emissions.

China is constantly blamed for not joining the global conventions on climate change and emissions control. Yet comparing emissions we seem to forget that in per capita terms China remains in 55th place, below Europe (49th) and way below USA (12th). We also forget how much of the CO₂ emitted by China actually belongs to the footprint of the developed countries that consume the goods and services produced by China. Just like water is moved around with goods and services (virtual water), so is CO₂. What really matters is not who emits the pollution, but who benefits from it, in

whose sake it is produced. The rapidly growing ecological footprint of China is still only a quarter of that of the USA^①. In a way what happens is that China is sacrificing its environment, natural resources and the health of its people to provide for the developed countries that can keep their own environmental and health standards at much higher levels while enjoying all the benefits of consumption of goods produced by China. They can then at the same time blame China for the high level of CO₂ emissions.

We do need to be able to take all these connections and feedbacks into account. That is what systems thinking is about. What really matters today are the choices that China makes and the priorities that drive these choices. Clearly if China continues to strive for the Western life styles and keeps US life standards as a goal, then we are doomed on planet Earth. There are simply not enough resources for that: not enough natural resources to use, not enough regenerative capacity to absorb all the pollution produced. Our only hope is that China can lead the world to other, alternative priorities and values, which are not measured in terms of the size of the house you live in and the number of horsepowers in the SUV that you drive.

But there are also reasons to be optimistic. China has succeeded in curbing its exponential population growth. Despite all the controversies and hardships associated with this, the result is that now China has population growth lower than USA and many European countries^②. The government supports alternative energy with tariffs, subsidies and pollution taxes. At least \$65 billion were invested in renewable energy projects in China in 2012, a 20% increase over the year before^③. This is double the investment in US. There are ambitious alternative energy goals and there are good reasons to expect that they will be achieved.

But it is not just the present business decisions and policies that matter. The history, the culture, the mind-set of people matter even more. China gave birth to Taoism, a philosophy and religion that promotes living in harmony with nature, and emphasizes simplicity, compassion, moderation, and humility. I think the future of our planet hinges upon what will now prevail in China: the Tao or the BAU^④. If China takes the Western path of exploitation of natural resources and profit maximization, then collapse becomes imminent. If China sticks to its more harmonious traditions then a smooth transition to sustainable futures becomes more likely.

① http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/footprint_for_nations/

② <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2002rank.html>

③ <http://money.cnn.com/2013/04/17/news/economy/china-green-energy/index.html>

④ Business as Usual

It is a great honour to have my book available to the many more millions of Chinese people. I do hope that it can help in understanding some of the complex systems that we have to deal with today and can lead us to better choices of our priorities, behaviour, and help us to make better decisions and design better policies.

I am very grateful to Lixiao Zhang who has made this publication possible. He was the main motor behind the whole process: finding the publisher, negotiating with Elsevier and doing the translation itself. Many thanks to him.

前言

为什么？

在我即将写完这本书的时候，《Science》期刊正推出一期关于猕猴基因组测序的专刊。原来猕猴和人类共享着几乎 93% 的基因，而之前有报道称黑猩猩和人类共有的基因达 96%。这样看起来，和黑猩猩一样，猕猴也是我们共同的祖先。或许人们会认为，可能在 2 300 万年前一直在进行着自然选择，直到大约 600 万年前人类为了更好地适应环境而从黑猩猩中脱离出来，继续向前追求更好的适应。然而事实却不是这样的，而是黑猩猩脱离了我们。现在将猕猴视为起点，我们会发现黑猩猩较人类有更多的基因突变，因此他们对环境的适应其实比人类要早得多。

这是怎样产生的？又为什么现在遍布整个地球的是我们人类，而不是黑猩猩？很明显是在某个时点的基因突变使人类在进化道路上与黑猩猩“分道扬镳”，这正是因为基因突变的目不同。在自然选择的过程中，人类开始让环境来适应自身，而不是去适应环境。没有去获得更好适应环境的特征，而是去改变环境来更好地适应自身，这更加有效。看上去人类并不需要很多的突变，来开始运用我们的智力、技能和双手去制造工具，去设计一个微环境来支撑我们脆弱身体下的生命，至少这种突变远比黑猩猩争取存活之路发生的突变要少得多。建造庇护所，纺织衣物，使用火种，人类创造了适合生命的微环境。突然间这种改变、适应的速度提高了，再也不需要数百万年的反复探索。我们能将信息传递给后代，他们就可以学会如何做，我们再也不需要把握正确的基因变化和拥有最适应的特性，我们可以通过口头或书面语言而不是基因将这些特性记忆下来。

人类种群真正起飞了。我们在局部创造舒适的微环境并开始发展。从不舒服的几十人群居小洞穴，到几百平方米的独户住房，我们的微环境在拓展。我们学会了在地球上所有的气候带生活，甚至到更遥远的宇宙空间。只要随身带着“微环境”，我们就能适应外面的环境而生存。因此，出生的人口越来越多，空间也越来越多地被占用，越来越多的资源被使用来创造我们的微环境。当众多的小环境联合起来并扩展后，他们就不再“小”了。地球再也不是一个有着用之不尽资源的星球了，人类在主宰和控制着她。正如 Vernadskii 曾经预言的那样，人类已成为能改变地球的地质力量。那时他还没有谈到气候变化，而现在我们又

II 前言

能做到这一点了(改变气候),而且我们正在这样做。

遗憾的是,我们似乎还没有准备弄明白这些。是不是给予了我们技能和力量的突变中出现了小问题,使得我们忘记了自我控制?是否我们正驾驶着的车只有油门,而没有刹车?或许只是我们还没有发现?长期以来,人类进步几乎等同于增长和扩张。我们一直在踩油门,只是为了加速,但是任何一个司机都明白速度越快越难控制,尤其在没有标记的道路和终点未知的情况下。高速行驶下,任何错误的代价都是致命的。

让我们看看另一种极端情况。一个在食糖上的酵母菌落开始生长,它扩展得非常快,不断消耗食糖,然后分裂。耗尽了养分,最后窒息在自己新陈代谢的产物上。酵母和人类的基因有很多相似之处。酵母不断消耗和生长,它们当然不会预见或明白这种行为带来的后果,人类却可以,但是我们真的能够相应地采取措施吗?哪部分基因会起作用?是否和酵母一样,是那种只会把我们推向不断寻找、消耗资源,继而不断繁衍后代的基因?又或许是那种我们已获得的负责我们智力、并能理解现在的欲望和行为如何影响更远的未来结果的基因?

到目前为止并没有太多的证据来支持后一种观点。我们知道一些文明消失的例子,但是对于那些可持续的、时间久远的人类社会,却没有多少好的案例研究。为了知晓、为了明白,我们需要进行模型研究。模型是多种多样的。经济学可能是继物理学之后最数学化的科学分支。虽然经济学中有众多模型,它们算不上最好的模型,因为它们很少考虑驱动经济过程的其他系统。自然环境系统提供了资源并消纳污染与废弃物,社会系统包含了人际关系、生活质量和幸福。传统经济学中的线性规划和博弈论等,就不能很好地涵盖这些内容。如果要在经济学中加入“生态的”因素,我们需要其他的一些模型。

直到目前为止,我们还是只关注如何保持增长,像酵母菌落一样。古希腊人提出了 *oikonomika* 理论——管理家庭的技能。这在后来发展成经济学——一门关于生产、消费与分配的科学,都是围绕增长的。当我们面对巨大的外部敌对世界,显得很弱小、脆弱的时候,这当然是非常好的。

然而具有讽刺意味的是,生态学, *oikology*——关于家庭的认识和理解,出现就晚得多。在很长一段时间内,我们经营着家庭而并不了解它,没有真正明白我们正在做的事情。在人类群体很小、很脆弱的时候这行之尚可,毕竟我们能对整个强大的地球产生什么影响呢?但是,到了某个时点,我们环顾四周并且意识到我们不再如此软弱了,我们可以彻底摧毁全部物种,改变景观与河流,甚至可以改变气候了。

看起来我们已承受不起“经济学”了——不需要知识的管理。我们需要真正知道和明白我们正在做的一切,这就是生态经济学的内容。我们需要将对“家”的认识加入对它的管理中。

认识到复杂系统是如何运行的是非常重要的。我们是复杂生物圈的一部分,通过改造生物圈以满足人类需求,并且将具有复杂性和不确定性的人类成分也加入其中,又进一步增加了生物圈的复杂性。模型是一个能够开展探索研究并与复杂系统进行同步试验而不去破坏它的极好的方法和工具。本书的目的就是要介绍一些能帮助我们明白这个世界是如何运行的建模方法。主要关注的是工具和方法,而不是案例研究和运用。力图展示模型是怎样建立和运用的——如何成为一个交流的工具,帮助我们超越个人的理解进而融入到群体学习和决策中去。

实际上,模型对我们来说是相当通俗的。思考、说话、阅读、交流时我们都在建立模型,我们的想法就是真实世界的“大脑模型”。一些人能说得很好,清楚地解释他们所想的,和他们交流会很简单,几乎不会有什么误解。相反地,一些人说话含糊、没有逻辑以至于很难理解。这些人不能建立很好的思维模型——想法或许很好,但仍然存在一些问题。

不是所有的模型都很好。好的模型对理解有帮助,尤其是当我们处理复杂问题的时候,学会观察他们之间的相互关系是非常重要的。我们身边的系统中存在各种各样的联系与反馈。如果想明白这些系统是如何工作的,我们需要学会去找出这些链接,发现最重要的继而去更详细地学习他们。随着系统渐趋复杂化,这种链接变得更加疏远和间接,而反馈的延迟响应使得我们更难发现这些作用并判断它们的重要性。

设想你开始旋转一个大的飞轮。当你为了使它转得更快而加入更多的蒸汽时,它会不停旋转。这时没有危险的预兆——没有裂缝,没有咯吱声,它转得很流畅。一个工程师可能刚好路过,看到你所做的一切后变得很担心。他会告诉你如果持续加速飞轮的话它迟早会爆炸,材料承受不了太高的内部压力。“哦,看起来不像啊”,在又观察了一下你的设备后,你可能会这样回答。没有任何的危险信号。问题就在于延迟反应和阈值效应。一分钟前一切都是极好的,然后突然“嘣”的一声——飞轮爆炸成了碎片,铁片飞得到处都是,还有人因此受伤。这是怎么发生的呢?我们如何知道它会不会再次发生呢?

虽然我们知道,但我们并不想知道。全球气候变化的事实和许多政治家及普通民众对它的否认,说明相似的情况又在发生。我们不喜欢坏消息,讨厌改变现在的生活模式。酵母菌落一直在增长,直到最后的几个小时。

模型可以帮助我们,它能提供理解、展示、沟通交流的工具。建模过程本身就是一个获取知识和数据的好机会,并把它们以连贯、完整的方式呈现出来。特别是当我们在处理超越物理世界,包含人类、经济与社会等复杂系统时,建模真的很重要。

是什么？

本书源于我十年前开设的一门在线课程，它旨在建立一个能提供基础知识及教师和学生间互动的独立互联网课程。通过网络，不同地方的教师可以一起合作参与教学过程。经过他们的努力，更多的教师参与进来，并且这个课程不受版权的限制，促进了世界各地平等享有这个受教育的机会。通过长期对不同地区的教学开放该课程，不同年级的学生都能同时参与进来，并期待高年级学生能帮助初学者。就像开放源码范式对软件发展的贡献那样，我们也希望在开放教育上有所作为。目前这项工作仍在进行当中，有一些前兆表明这可能会成功。

鉴于总会有来自不同国家的学生（包括美国、中国、爱尔兰、南非、俄罗斯等）独立选课，所以在我教授的几门课上仍然使用网络资源。在这个过程中，我发现学生们经常使用从网络上打印的材料来开始学习，这使我有将之整理成一本书的想法。

本书加入了一些全新的章节，拓展了网络课程的范围，并且余下的部分也经过了修改。尽管如此，我仍然认为该书是网络课程的伴生物，我会持续网上的工作和更新。网络教程一个最大的优势在于一旦报道或出版新的结果和发现，就可以马上把它们加入进来。出版或更新一本书往往需要好几年的时间，而对于网络通常只需要几分钟就可以插入一个发现或者链接。到时读者会发现讲授的课程和我最初写的会有所不同，那是因为总有新的想法和结果出现。虚拟课堂上的讨论为课程增加了素材。所有这些都会成为课堂的内容。这本书能让你即便手头没有电脑依然能离线工作，而在线部分能提供与教师互动、下载学习模型的机会。

网络教育还提供了分布式开放教学的机会，这有点类似于黑客文化里的开放源码概念。开放源码许可的一个重要部分在于修改和衍生工作是允许的，不过他们需要在与原软件系统相同的条件下得以传播。所以，跟那些商业版权控制下的免费简易代码借用不一样，开放源码定义和许可有效保证其衍生物在公共领域的获取、扩展和提高。正是由于这个特点，开放源码社区在迅速扩大。

开放源码范式同样可以用来促进教育。通过众多研究者、程序员、教师和学生们的共同努力，网络课程可以成为一个核心。研究者能描述适合课程主题的发现，教师们能把最满足特定项目和课程要求的模块打包，按顺序组织起来，并找到有效使用这些工具的方法。程序员能为可视化、解释、交流提供软件工具支持，学生则能测试材料，贡献他们的反馈和问题，这对课程内容和形式的完善都是至关重要的。

上述部分都有待于将来去实现。但只要你决定阅读这本书，参与我们的在线课程，就能成为这个开放资源和开放教育的一员。

怎么做？

我相信建模并不是真正被教会的，而是学会的，它是一种需要不断练习而获得的技能。就如同婴儿需要不断说话-犯错来练习说话，然后才能逐渐掌握语言一样。同样，如果只有形式上的模型，没有犯过错误和经历建模带来的惊喜，你就不可能正确地理解这个过程。这种技能的学习在建模的每一步都是一种实践经验，从数据获取、建立概念模型到形式化模型，再到不断改进这种模拟。这也是我为什么强烈推荐大家上网了解本书会运用到一些模型软件的试用版，下载我们讨论的模型。这样你就不单单是阅读这本书了，而且还能够了解模型的相关信息。做做练习，改变模型参量，独立钻研，发现问题并找到答案。也许这样会更加有趣和有所益处。

最好思考一个你感兴趣的话题并开始独立研究它。找出你希望找寻的，看看哪些数据可以使用，然后试着走走本书中会讨论到的模型步骤。

网络课程的地址是 <http://www.likbez.com/AV/Simmod.html>，它将对所有人保持开放。你只需注册然后上课就行了。你会发现它与本书有重合之处，你亦可以提问、回答并和其他学生互动。

在每章的末尾都有参考文献目录，从通常意义上来看，它们可能不全是关于模型的，但是却告诉你如何分析复杂系统和这些分析能带来的相关属性。在需要深入研究不同模型、系统以及问题与方案时，就需要去查阅这些参考文献。

在你的日常生活中需要做出大大小小的决定，包括以后买东西或投票选举时，如果能应用到所学的系统分析和模型技能，那就最好了。学会从总体上看待一个系统，确认它的组成部分、关联、反馈、控制与驱动，了解事物之间的相互联系，意识到退一步看看整个系统的重要性，可能出现的延迟效应和临界状态等。

致 谢

我对建模的学习与理解受惠于很多人。作为我的导师,毫无疑问 Yuri Svirezhev 教授在我建模视野的形成过程中起到了关键性作用,让我明白模型是什么,它能做什么,不能做什么,可惜他老人家于 2007 年辞世了。我的同事们在世界各地的建模项目也帮助我学到很多建模的技巧。我还要感谢我的学生,特别是那些参与在线课程、积极提问题、参与在线讨论的学生,他们让我知道哪些方面需要改进。冈德生态经济学研究所(Gund Institute for Ecological Economics)及其主任 Robert Costanza 教授,为我提供了一个开发各种想法与应用的激励性环境,使我受益匪浅。此外,几乎有 10 年的时间,我在泰国朱拉隆功大学(Chulalongkorn University)教授环境与自然资源经济学硕士项目中的模拟课程。我非常感谢 Jiragorn 及 Nantana Gajasen 的邀请,并帮助我建立这门课程。我还感谢那些参加课程并帮我在很多方面改进的泰国学生。

还有很多人帮助审阅了本书的不同章节,并提出了很多有用的建议。我要感谢 Helena Vladich、Carl Fitz、Urmila Diwekar、Evan Forward 以及 Nathan Hagens。还要感谢 Andrey Ganopolski、Dmitrii O. Logofet 以及 Jasper Taylor 提出的建议。特别感谢 Erica Gaddis,他在许多章节都帮了很大的忙,还一起合写了第 9 章。Joshua Farley 鼓励我来写这本书,也是解答我所有生态经济学问题的源泉。最后,要感谢 Tatiana Filatova,她认真审阅了全书,并在许多方面提供了非常有价值的意见。