

〔丹麦〕 S.E. 扬戈逊 著 陆健健 周玉丽 译

生态模型法原理

上海翻译出版公司



生态模型法原理

〔丹麦〕 S. E. Jørgensen 著

陆健健 周玉丽 译

张利权 校

上海翻译出版公司

1988

Fundamentals of Ecological Modelling

S.E. Jørgensen

Elsevier 1988

生态模型法原理

(丹麦) S.E. Jørgensen 著

陆健健 周玉丽 译

张利权 校

上海翻译出版公司

(上海市复兴中路597号 邮政编码200020)

上海沪江电脑科技排印公司排版

新华书店上海发行所发行 南汇南华印刷厂印刷

开本850×1156 1/32 印张12.75 字数340,000

1990年12月第1版 1990年12月第1次印刷

印数 1—2,100

ISBN 7-80514-572-5/Q·10 定价: 8.50元

内 容 提 要

本书是作者积数十余年生态模型研究的经验及十多年主编国际《生态模型法杂志》(Journal of Ecological Modelling)的心得而著成,内容丰富,文字简洁。书中系统地介绍了生态模型建立的原理、方法及应用实例,讨论了建模过程中每一步骤的优缺点,特别详尽地介绍了建立BOD/DO,水文动态,富营养化,湿地,生态毒理,大气污染物的扩散与分布等动态生物地化模型的新方法、新技术及当前的发展趋势。

本书根据1988年修订版翻译。

本书适合生态学、环境科学专业的大专、本科、研究生及科研人员阅读,也可作为环境保护(监测)人员的专业参考书。

中文版序

建模法是环境管理的得力工具。我始终认为尽可能广泛地应用这项工具是必要的，而且以此作为本人的职责。因此，我总是乐意接受世界各地的邀请，授课或著文以介绍环境和生态建模法的应用。

我很高兴《生态建模法原理》一书能译成中文，因为中文是一种由十多亿人民使用的语言，毫无疑问这将导致环境管理建模法在世界人口最多的国家——中国的进一步应用。我感谢华东师范大学的陆博士承担了这项工作。

S. E. 扬戈逊

工程学教授、博士

1988年8月于哥本哈根

原 版 序

本书是为生态和环境建模领域的各类工程师和生态学家写的，假定读者对环境问题和生态学已有所了解，并具备解微分方程，矩阵计算的基础知识。

在已经出版的书中，很少有介绍生态模型法的。因此，为这一课题写一本教材还是需要的。虽然在这个标题下已出版了许多书籍，但在大多数情况下，他们都要求读者已经了解了这个领域，或至少在建立生态学模型方面已有一些经验。而本书的目的是要填补这个空白。

作者的目的，一方面概括地介绍这个领域，另一方面要使读者能建立自己的模型。为了达到这些目标，试图阐明如下几点：

1) 详细地讨论建模顺序，逐步阐明模型建立的过程。讨论每一步骤的优缺点，并用简单的例子来说明这些步骤。

2) 通过理论介绍，“应用概况表”、“复杂性”、“实例”和“说明”来阐明大多数模型类型。

3) 阐述简单的和复杂的模型。由于阐述复杂的模型相当占篇幅，大多数情况下仅讨论复杂模型的特征特点和问题。同时阐述几个复杂的模型，但这并不会使读者感到目前有大量可以利用的模型。重点放在理解模型的性质。模型是生态学和环境管理非常有用的工具，但如果粗枝大叶地建立和应用模型，可能有百害而无一利。建立模型不是做数学练习，需要对建模的系统有深入的理解。本书再三强调这点。

第1章绪论之后，第2章涉及建模顺序。作者试图对如下问题给读者以较完整的回答：如何对一个生物学系统建立模型？第3章介绍可应用于模型的子模型或单元过程（即要素）的概况。依据被应用的子模型过程的相同性用几种方法建模。第2章讨论

了方法选择以及方法与第 4~9 章提出的模型的关系。第 4 章综述了模型概念化的不同方法。由于不同的建模者偏爱不同的方法，作者认为尽可能提出所有可利用的方法是重要的。

雄心勃勃的建模者想建立动态模型，但问题往往是，系统和 / 或数据可能只需要应用一个简单的静态模型。在许多情况下，静态模型完全会令人满意。因此第 5 章提出建立和使用包括管理研究实例在内的静态模型。种群模型和其他模型之间原则上没有差别，但前者有不同的历史，用于解决不同的问题。第 6 章介绍了种群模型的概况，但较全面地处理这方面内容，必须在着重讨论这类模型的书中找到。广义的生态模型也包含种群的动态模型，因此这类生态模型的应用包括在这一章中。

第 7 章介绍动态生物地化模型。提出下列模型来说明这类模型：BOD / DO 模型；水文动态模型；富营养化模型；环境和生物中有毒物质的模型；空气污染模型和土壤污染模型。这类模型有非常广泛的用途。因此，考虑到其重要性而相当全面地介绍了生物地化模型的建立和应用。

第 8 章说明环境管理中模型的应用。讨论了这方面的问题，并详细举出三个例子来说明实际应用。

最后一章，第 9 章，阐明生态建模最近的发展：如何使建模具有生态系统所具有的弹性和灵活的结构。本章阐述并讨论了对这问题的不同处理方法。

各章不同程度上独立成章，这使本书有可能剪辑成生态模型法的任何课程。第 1 章、第 2 章是必修的，因为它们包括了生态模型法的一般理论。第 3 章可看作子模型“手册”。第 4~9 章可以组合成任何生物系统建模课程的内容。

为生物学者开设建模课程，可按下列计划：使用本书第 1、2 章全部，第 3 章用作手册，第 4、5、6、8 和 9 章几乎全部，7.1、7.2、7.4、7.5 和 7.6 节也全部讲述。在为农业工程师开设的课程中，计划用 7.9 节代替 7.4 和 7.5 节，而且对第 4、5、6、9 章也用较少的时间。

本书有很多“说明”，那都是详细讲述的一些模型和实例，其中先提出问题，再进行解答。希望这会给读者以建立模型所需要的知识。可用于解某些复杂问题的模型也将在某些章节中简要提及。在每一章开始，给出有关内容的概要，以便 1) 选择章节中最有关的部分，2) 理解顺序。

符号和数学记号

生态建模中要用到大量的符号和数学记号。例如，变量溶解氧在不同地方可能有不同的符号。如果在数学方程中，往往用 D ，而在计算机方程中可能是 OXYG 或 DISS，因为在计算机程序中，往往用 2~4 个字母组成的符号。

各种数学记号用在生态建模文献中，例如黑体字或字母上加一横或箭头表示矩阵。

本书没有试图统一生态建模中符号和数学记号的使用，而是用原来参考文献中用的符号和记号。缺点是不能给出符号和记号的总表，但另一方面要求读者熟悉生态建模文献中发现的大量符号和记号。希望这样做不会使读者在理解方程的含义方面有困难，因为符号和记号的解释总是随同方程一起给出的。

(陆健健译 张利权校)

目 录

中文版序	i
原版序	ii
1. 绪论	1
1.1 物理和数学模型	1
1.2 模型作为管理工具	2
1.3 模型作为研究工具	3
2. 建模的概念	4
2.1 模型的组成	4
2.2 建模过程	8
2.3 生态模型的类型	13
2.4 模型的复杂性及结构的选择	17
2.5 验证	35
2.6 灵敏度分析	43
2.7 参数估计	46
2.8 证实	78
2.9 模型的约束	80
2.10 计算机和生态建模	88
3. 生态建模法	97
3.1 单位过程在生态建模中的应用	97
3.2 物理过程	100
3.2.1 迁移过程	100
3.3 吸附作用	105
3.3.1 温度制约	107
3.3.2 蒸发	108
3.4 化学过程	108

3.4.1 化学氧化作用	109
3.4.2 光分解作用	109
3.4.3 水解作用	109
3.4.4 离子化、络合和沉淀	110
3.5 光合作用	111
3.5.1 第二及更高营养级的生产	121
3.5.2 次级生产中的能流	123
3.5.3 分解	125
3.5.4 适应	128
4. 概念模型	131
4.1 概念模型的应用	131
4.2 概念框图的类型	134
4.3 概念框图作为建模的工具	144
5. 静态模型	151
5.1 静态模型的应用	151
5.2 输入/输出量分析	152
5.3 响应模型	160
6. 种群动态建模	166
6.1 基本概念	166
6.2 增长模型	167
6.3 种群间的相互作用	173
6.4 矩阵模型	182
6.5 收获模型	196
7. 动态生物地化模型	205
7.1 动态模型的应用	206
7.2 BOD/DO 模型	209
7.2.1 简单的 BOD/DO 模型	209
7.2.2 复杂的 BOD/DO 模型	213
7.3 生物地化模型中水文动力学的应用	216
7.3.1 引言	216

7.3.2 完全混合系统的水文动力学	217
7.3.3 河流的水文动力学模型	220
7.3.4 河口模型	222
7.3.5 多维模型和数值方法	225
7.3.6 分层湖泊的建模	228
7.4 富营养化模型	232
7.4.1 富营养化	232
7.4.2 富营养化模型综述	236
7.4.3 一些相对简单的富营养化模型	237
7.4.4 复杂的富营养化模型	246
7.5 湿地模型	255
7.5.1 引言	255
7.5.2 落羽松树丛的模型	259
7.6 生态毒理学中的模型	264
7.6.1 引言	264
7.6.2 有毒物质的影响与分布建模的原则	265
7.6.3 生态毒理学模型的简化	269
7.7 毒理学中的模型	277
7.7.1 引言	277
7.7.2 积累	278
7.7.3 多室模型	280
7.8 大气污染物的分布	282
7.8.1 大气污染物建模综述	282
7.8.2 大气污染大范围迁移模型的基本方程	284
7.8.3 酸雨分布和影响的模型	285
7.8.4 大气污染中包括垂直迁移的模型	291
7.8.5 大气化学的模型	293
7.8.6 烟流扩散	295
7.9 土壤过程, 植物生长和作物生产的模型	303
7.9.1 引言	303

7.9.2 土壤中的物质迁移和热传递	305
7.9.3 水平衡方面的植物内流	310
7.9.4 如何考虑气候对植物生长和水平衡的影响	314
7.9.5 植物生长和作物生产的模型	318
7.9.6 土壤中氮过程模型	322
8. 生态模型在环境管理中的应用	329
8.1 环境管理模型	329
8.2 环境问题和模型	336
8.3 管理实例	338
8.3.1 根据管理模型, 证实预测	339
8.3.2 评价一个娱乐区人类环境负荷量的模型	344
8.3.3 湿地林管理抉择的模拟	353
9. 生态系统的特征和模型	358
9.1 生态系统的特征	358
9.2 生态系统动力学	360
9.3 具有目标函数的生态模型	363
9.4 灾变理论应用于生态建模	366
10. 参考文献	371

1. 绪 论

1.1 物理和数学模型

人们总是使用模型作为解决问题的工具，它使得实际问题简化。模型当然不可能包括真实系统的所有特性，否则，它将是真实系统本身了。然而，使模型包括所需求解或描述的问题的基本特征是极为重要的。

使用模型所依据的基本原理最好用例子来说明。多年来我们常用船舶的物理模型来决定船舶的外形，使它在水中受到阻力最小。这个模型将包括实际船舶的形状、大小和有关的主要尺寸，但并不涉及其他诸如仪器使用、船舱安排等的详细资料，这些资料显然是与该模型的目的不相干的。船舶的其他模型是为其他目的服务的，如电线布线的蓝图，各种机舱的布置安排，导管的图纸等等。

相应地，一个生态模型必须包括这样的特性，这些特性对管理问题或科学问题具有重要意义，而这些问题正是我们要用模型去解决的。生态系统是较船舶复杂得多的系统，这意味着要抓住对生态问题具有重要意义的主要特征是极为复杂的事情。然而，由于最近十年间的认真研究，已有可能建立实用的生态模型了。

模型可以是物理模型，如上面用于测量阻力的船舶模型，也称为缩影。模型也可以是数学模型，它用数学术语描述生态系统以及有关问题的主要特性。

物理模型在本书中只是非常简略地提到，本书讨论的重点集中于数学模型的建立。

最近十年中生态建模得到了迅速发展，主要由于下述两方面

的原因:

1) 计算机技术的发展, 它使我们能处理非常复杂的数学问题。

2) 对污染问题的认识, 认为需要认真考虑污染对生态系统的影响。虽然污染的完全消除是不现实的(“零排放”), 但是利用有限的经济资源适当控制污染是可能的。

1.2 模型作为管理工具

应用生态管理模型所依据的思想在图 1.1 中作了说明。城市化和技术的发展对环境的压力日益增大。能量和污染物释放到生态系统中, 在那儿可能引起藻类及细菌迅速生长, 危害物种, 或者使整个生态系统的结构发生变化。现在的生态系统是极其复杂的, 所以预测污染物环境效应的任务也变得十分艰巨。正是由于这一点, 模型才引起了人们的关注。只要具备相当程度的生态学知识, 就能从生态系统中找出与所考虑的污染问题有关的那些特征, 而这些特征即是形成生态模型的基础 (见第 2 章的讨论)。如图 1.1 所指明的, 所形成的模型可用来选取最适宜于解决特殊环境问题的环境技术, 或者确立减少或限制污染物排放的立法。

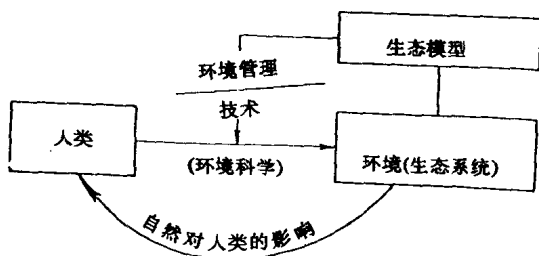


图 1.1 环境科学、生态学、生态模型以及环境管理和技术之间的关系。

1.3 模型作为研究工具

模型是科学中广泛使用的一种工具。科学家们常常应用物理模型在现场或在实验室里做实验来消除与他研究不相干的干扰。例如用恒化器测定藻类的增长作为营养物浓度的函数。在实验室中检测沉积物取芯以研究不受生态系统其他组成成分干扰的沉积物-水的相互作用。应用反应室来发现化学过程的反应率等等。

数学模型在科学中已有广泛应用。牛顿定律是重力对物体影响的较简单的数学模型，但是它不计摩擦力和风的影响等等。生态模型原则上与其他科学模型没有区别，这是因为，即使就复杂性而论，近十年来在原子核物理学中使用的许多模型甚至比生态模型还要复杂得多。

要想了解复杂生态系统的功能，在生态学中应用模型几乎是必不可少的。不用模型作为综合的工具而想调查生态系统中许多组成部分以及它们的反应则是不可能的。一个系统的总反应不一定是所有个别反应之和；这就意味着，作为一个系统，不使用整个系统的模型是不能揭示出生态系统特性的。

因此，在生态学中，日益广泛地使用生态模型作为了解生态系统性质的工具就不足为奇了。它们的应用明显地显示出模型作为生态学中有力工具的优越性；这可以概括成以下几点：

- 1) 模型在综述复杂系统方面是一种有力工具。
- 2) 模型能揭示系统的性质。
- 3) 模型揭示出我们知识中的薄弱点，因此使用模型可确立研究的重点。
- 4) 模型在检验科学假设中十分有用，因为它能模拟生态系统的反应，并可与观测作比较。

(周玉丽译 张利权校)

2. 建模的概念

第2章讨论的主题是建模理论及其实际应用。在介绍了模型组成的定义和建模步骤后，将给出一种尝试性的建模过程，并详细讨论建模过程的各个步骤。另外，本章着重于模型的选择——即对模型成分、过程，尤其是模型复杂性的选择。并介绍选择“接近于正确”的模型复杂性的各种方法。概念图或概念模型是模型的初步表达，但是由于存在着多种可能性，这一步骤在本章仅作简要介绍，而在第4章中再作详细讨论。然而其余的步骤：验证、参数估计和证实，在本章将作详细讨论。讨论中还包括一些解释，用以向读者说明实际建模时如何执行各个步骤。

我们总有几种模型公式，从中将进行挑选，其要求是把合理的科学约束条件施加给模型。我们将介绍并讨论可能的约束条件。数学模型总是需要使用计算机和计算机语言。对这个问题的讨论作为本章的结束。

2.1 模型的组成

一个生态模型在它的数学公式中包含5个部分：

(1) 强制函数或外部变量，它们是影响生态系统状态的外部变量或函数。就管理内容来说，要解决的问题常常可以重新阐述如下：如果某些强制函数发生变化，它们对生态系统的状态将有什么影响？换句话说，可用模型来预测强制函数随时间而改变时生态系统所发生的变化。输入生态系统的污染物质、矿物燃料的消耗、捕鱼方针等都是强制函数的一些例子，而温度、太阳辐射和雨量也是强制函数（不过我们目前不能处理它们）。可以由人类控制的强制函数通称为控制函数。

(2) 状态变量是描述生态系统状态的变量。状态变量的选择对于模型结构极为重要，不过在大多数情况下这种选择还是比较明显的。例如，我们想建立一个湖泊的富营养化模型，那么很自然，状态变量中将会包括浮游植物的浓度和营养物浓度。当模型应用于管理方面时，由于模型中包含着强制函数和状态变量的关系，所以可通过改变强制函数来预测状态变量的值，这可以看作是模型的结果。大多数模型所包含的状态变量的数目多于管理直接需要的数目，因为关系是如此复杂，以至必须引入一些附加的状态变量。例如，在许多富营养化模型中，把营养物输入与浮游植物浓度联系起来就够了，但是，由于该变量受多个营养物的影响（它将受到其他营养物浓度、温度、水体的水文学、浮游动物浓度、太阳辐射、水的透明度等等的影响），因此，富营养化模型往往包括许多状态变量。

(3) 在模型中用数学方程表示生态系统中的生物、化学、物理过程。这些方程表示强制函数与状态变量之间的关系。在许多生态系统中可以发现相同类型的过程，就是说在不同的模型中可以用相同的方程。因此在第3章专门阐述这些单位过程的数学表达式。然而，在生态学方面目前还不可能用一个方程来代表一个特定过程。或者因为过程太复杂目前不能被详尽地理解，或者由于某些指定的情况允许我们进行简化，所以大多数过程可以有几种数学表示式，它们都是同样有效的。

(4) 生态系统中过程的数学表达式含有系数或参数。对一个特定的生态系统或生态系统的某一部分，参数可以看作常数（见第2.9节分布参数模型和集中参数模型的讨论）。在因果模型中，参数具有科学的确定意义，例如，浮游植物的最大生长率。许多参数只知道其值所处的一个范围。在 Jørgensen 等人 (1979) 的书可找到生态参数的完整综合。只有少量的参数知道其确切数值，所以有必要对其余的参数进行校正。

所谓校正是一组参数的变化情况试图寻找计算出的状态变量和观测到的状态变量之间最好的一致。执行校正可以用尝试