

赵道胜 主编

森林资源经营管理 模型的建立与应用

the
FORMULATION
and
APPLICATION
on the
MODELS OF FOREST
RESOURCE MANAGEMENT

中国林业出版社



THE FORMULATION AND
APPLICATION ON THE MODELS
OF FOREST RESOURCE MANAGEMENT

森林资源经营管理 模型的建立与应用

主 编 赵道胜

中 国 林 业 出 版 社

(京) 新登字 033 号

图书在版编目 (CIP) 数据

森林资源经营管理模型的建立与应用/赵道胜等著. —
北京: 中国林业出版社, 1995.5
ISBN 7-5038-1419-5

I. 森…

II. 赵…

III. 森林经营-经济管理-建立模型

IV. S 75

中国林业出版社出版

(100009 北京西城区刘海胡同 7 号)

北京广益印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

1995 年 5 月第 1 版 1995 年 5 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 10

字数: 238.0 千字 印数: 1000 册

定价: 20.00 元

ISBN 7-5038-1419-5/S·0793

前 言

在国际范围内,随着工业化的发展,资源和环境问题已成为困扰世界各国的重大社会问题,并越来越引起国际社会的广泛重视。森林生态系统是陆地生态环境的主体和基础,森林资源本身所具有的环境效益和经济效益的双重性赋予它在社会经济持续发展中的特殊地位。

随着人口的增加,农业和工业的发展,森林被大面积毁坏与开发,酸雨、火灾等干扰因素也对森林造成严重威胁。据联合国估计,全世界每年有1700万ha的森林消失,这将直接危害着人类社会的生存环境。1991年9月在巴黎召开的第十届世界林业大会,其主题就是“森林,未来的遗产”,专家们认为,森林除了具有经济作用外,它的生态作用也不仅仅体现在防风固沙、保持水土等方面,更重要的是森林关系着整个人类的生存和地球的前途。可以说森林是生存问题的基本要素,森林的减少将会危及人类社会的未来。而人类的生存法则是人们为了今天的生存,往往去破坏那些人类赖以生存的环境和资源,而不管明天将会发生什么。所以必须协调森林资源的利用和环境保护作用之间的矛盾,以达到森林资源的永续利用和林业的持续发展。

本书从应用的角度,系统介绍了系统动力学及其它定量化方法在森林资源经营管理工作中的应用,它有以下几个突出特点:第一,内容新颖、方法科学、手段先进。书中不但介绍了新的建模方法和应用手段,而且所研究的领域都是当前森林资源经营管理的热点问题;第二,模型具有实际应用价值。书中的所有模型是作者近几年来在森林资源经营管理定量化研究方面研究成果的系统总结,部分模型在林业生产中已得到实际应用;第三,可读性强。书中不但介绍了建模的具体步骤,而且给出了各种模型的具体应用实例。因此,本书不仅对林业经济管理决策部门,而且对科研、教学部门的同志,都是一本具有较高实用价值的参考书。

全书共分十章。第一章概述、第二章建模方法由赵道胜编写,第三章几种不同类型的林分生长动态模型,由李全基、赵道胜编写,第四章森林资源林分结构动态预测模型,由王玲编写,第五章木材允许采伐量确定和森林调整模型,由朱文吉编写,第六章森林资源产业结构调整与优化模型,由李全基编写,第七章城市森林生态环境系统模型,由赵道胜编写,第八章关于中国森林资源平衡的研究,由孙立文编写,第九章森林资源经营管理模型的发展、第十章 Professional DYNAMO Plus 仿真软件,由赵道胜编写。

在本书编写过程中,得到了北京林业大学董乃钧教授、顾凯平副教授的热情支持和帮助,并审阅了全书的初稿;中国林科院林业经济研究所刘东升、北京林业大学袁嘉祖同志为全书的编写提供了部分资料。借此机会,向他们表示衷心感谢!

著者

1994年12月于北京

目 录

前 言

第一章 概述	(1)
第一节 森林资源经营管理的概念.....	(1)
第二节 森林资源经营管理模型.....	(3)
第三节 国内外同类研究综述.....	(4)
第二章 建模方法	(8)
第一节 系统动力学方法概述.....	(8)
第二节 系统动力学建模的主要步骤.....	(12)
第三节 系统动力学模型的特点.....	(15)
第四节 系统动力学建模中应注意的几个问题.....	(15)
第三章 几种不同类型的林分生长动态模型	(18)
第一节 一般林分生长动态模型.....	(18)
第二节 速生丰产林生长动态模型.....	(28)
第三节 抚育间代林分生长动态模型.....	(29)
第四章 森林资源林分结构动态预测模型	(34)
第一节 模型建立.....	(34)
第二节 模型应用之一.....	(39)
第三节 模型应用之二.....	(47)
第五章 木材允许采伐量确定与森林调整模型	(56)
第一节 模型介绍.....	(56)
第二节 木材允许采伐量的确定.....	(57)
第三节 用材林龄组结构调整.....	(59)
第四节 结论与建议.....	(63)
第六章 森林资源产业结构调整与优化模型	(64)
第一节 森林资源产业结构的系统分析.....	(64)
第二节 森林资源产业结构的优化模型.....	(66)
第三节 森林资源产业结构的动态模型.....	(67)
第四节 森林资源产业结构调整与优化模型的应用.....	(69)
第七章 城市森林生态环境系统模型	(92)
第一节 城市森林与生态环境.....	(92)
第二节 城市森林生态环境系统模型的建立.....	(96)
第三节 模型仿真与结果分析.....	(98)
第八章 关于中国森林资源平衡的研究	(110)

第一节	概述.....	(110)
第二节	研究思路与研究方法.....	(111)
第三节	单项措施的定量分析与比较.....	(112)
第四节	解决森林资源危机的主要对策.....	(116)
第五节	森林资源平衡的综合分析.....	(118)
第九章	森林资源经营管理模型的发展.....	(121)
第一节	系统动力学方法与其它经济数学方法的结合.....	(121)
第二节	森林资源经营管理模型的发展方向.....	(127)
第十章	系统动力学仿真软件 Professional DYNAMD-Plus	(130)
第一节	Professional DYNAMO Plus 用户接口	(130)
第二节	Professional DYNAMO Plus 编辑模块	(131)
第三节	Professional DYNAMO Plus 仿真语言	(135)
第四节	DYNAMO 函数.....	(139)
第五节	Professional DYNAMO Plus 编译模块	(143)
第六节	Professional DYNAMO Plus 仿真模块	(144)
第七节	Professional DYNAMO Plus 结果查阅模块	(146)
参考文献		(149)

第一章 概 述

第一节 森林资源经营管理的概念

一、什么是森林与森林资源

1. 什么是森林

森林是一种植物群落，是集生的乔木及与共同作用的植物、动物、微生物和土壤、气候等的总体。森林不仅提供木材和其他林副产品，而且还具有保持水土、调节气候，保护农田、卫生保健、有利国防等作用(《辞海》，1979)。

联合国粮农组织(FAO)对森林下的定义是：“凡生长着以任何大小林木为主体的植物群落，不论采伐与否，但具有生产木材或其他林产品的能力，并能影响气候和水文状况，或能庇护家畜和野兽的土地称之为森林”。美国的《林学、林产工业和林产品术语词典》也从生态学的观点出发，提出了森林的概念：“森林是一种生态系统，它是或疏或密地互相连接的树木和其他木本植物占优势的植物群落。”

总体上来说，森林除提供木材及林产品等直接的经济效益外，还包括林地和林中的动、植物、微生物以及环境因子等社会公益性的效益，所以森林的概念应理解为，以林木为主体，具有一定面积、空间和密度，在林木之间，林木与各种生物之间，以及各环境因子之间进行互相影响，并能影响周围环境的森林植物群落。

2. 什么是森林资源

1984年我国六届人大七次会议通过的《中华人民共和国森林法(试行)》中明确规定：“森林资源包括林木、竹子和林地，以及林区范围内的植物和动物。”《辞海》(1979)对森林资源的定义是：“现有森林和林业生产地域内的各种土地的总称。包括成片和散生的林木、有林地、宜林荒山荒地和林业用地范围内的植物和动物。”由此可见，森林资源比森林具有更广的内涵，它既是林业生产的物质基础和经济建设，人民生活的物质财富，又是管理的主要对象。

1991年9月在巴黎召开了第十届世界林业大会，其主题就是“森林，未来的遗产。”并提出森林问题是关系着人类的生存和地球的前途的大问题，并呼吁要重视森林资源的规划，保护和发展森林，要求规划人员利用现代化的科学手段和方法，用以应付森林规划日益增加的复杂性。在规划过程中要把森林的经济、生态、社会和文化功能考虑进去，从而拓宽了森林经营永续利用的涵义。加强森林资源的经营管理日益受到全世界人民的重视。

二、森林资源经营管理的内涵

狭义地说，森林资源经营管理是指围绕连续经营森林所需要的全部决策活动(1984，威廉·A·鲁斯克纳)。很显然，这一定义则认为森林资源的经营管理主要是涉及森林的生物学方面的经营管理。这也正是传统的森林经营管理的实质所在。

随着人类社会的发展，人们对森林的认识愈来愈深刻。同时，也给森林资源的经营管

理赋予了新的内涵。林业作为一个大的社会经济系统，森林资源仅仅是其中的一个子系统，它与其它子系统既相互联系又相互制约，因此，对它的经营管理是一项非常复杂的系统工程。广义地讲，森林资源经营管理是综合生物学、生态学、经济学、社会学以及其他有关影响森林经营管理决策的因素进行的森林经营管理活动。实际上，其任务就是应用系统的概念和系统分析的方法为森林经营者制定一套最佳的经营管理方案，从而使森林资源系统成为一个高效能的生态系统，并达到一种最佳的发展模式，从而发挥最大的综合效益。

森林资源的经营管理不但是一门科学，而且是一门艺术。在即将跨入 21 世纪的今天，人们更应该科学地处理好森林保护与开发利用之间的关系，使森林在保护和改善生态环境、维系生物圈平衡方面发挥更加重大的作用。因此，科学地经营管理好现有森林，合理地开发利用，并使其有更进一步的发展，这是我们目前林业工作者，乃至全社会的重大而又艰巨的任务。所以，必须采用现代化的科学方法和手段进行森林资源的经营管理，科学地规划好 21 世纪的林业发展，使地球上这个最大的生态系统——森林生态系统能够在稳定、协调中不断扩大与发展，让森林能够更好地为全人类服务。

三、森林资源经营管理的目标

森林是地球生物圈中最大的陆地生态系统，是人类社会物质生产的重要资源，对人类的物质生产和生活环境起着非常重要的作用。长期以来，森林不仅为人类提供了大量的直接物质产品，如木材、薪材等，同时，它还具有许多间接的功能，如涵养水源，防止泥沙流失和崩塌、保健游憩、保护野生动物、供给氧气、防止噪音和调节气候等。人们对森林多种功能的认识是随着科学和文明的发展而不断向前推进的。森林的效益是以森林的功能为基础的，森林功能是森林效益的前提。森林功能是指森林生物地理群落在与各环境因子、自然现象和生物圈成分互相作用时对它们所产生的影响。森林功能作为森林生物地理群落的特性，是一种客观存在，是独立于人们意识之外的。而森林效益是不能离开社会而独立存在的，是一种社会属性。森林具有经济、生态和社会三方面的功能，这种自然属性所表现的社会属性就是森林的经济效益、生态效益和社会效益。因此，广义上讲，森林经营管理的目标就是人们围绕森林资源所进行的保护、利用和发展等一系列扩大再生产的手段，而使得森林资源能发挥最大的综合效益。

具体地讲，森林资源经营管理的目标主要有以下三大方面：

1. 经济效益方面

即森林为社会提供直接的物质产品，如木材、薪材以及其它林副特产等。它是人们最早利用森林资源的目的，也是整个林业生产的主体部分，是森林资源经营管理的主要目标。

2. 生态效益方面

森林能够涵养水源、防止泥沙流失和崩塌、保护与改良土壤、供给氧气并吸收二氧化碳，减少噪音与改善空气质量，同时，森林还具有生物多样性、遗传多样性和物种保护等功能。

3. 社会效益方面

首先，森林为人类提供了一个良好的生活环境，具有保健游憩和美学的功能；其次，森林还可以保护野生动物；另外，森林还具有科研教育价值，如实验用动、植物、林业科研、遗传和基因材料等；除此之外，森林还具有保护国防的作用。

以上三大方面组成了森林资源经营管理的总目标。实际上,经营管理的目标并不是单一的某一方面,而是多种目标的混合,另外,在森林资源的开发利用中,人们对它所发挥的效益的认识也是有一个逐渐深入的过程,并且与国民经济的发展息息相关。在发展中国家,由于国民经济正处在发展阶段,这样就需要大量的木材,这时人们对森林的利用主要是侧重于经济效益方面,而对生态效益和社会效益还没有引起足够的重视。同时,由于人口迅速增长,粮食短缺,可耕地面积缩小,还会导致毁林开荒,这一结果必然会引起全球性气候和人类居住环境发生变化。而在发达的工业化国家里,工业高度发展引起空气和水污染、土壤酸化,从而危及森林和环境。同时,随着生活水平和社会工业化、城市化程度的提高,人们对森林的生态效益和社会效益越来越重视,许多发达国家都对林业给予一定的补贴来补偿林业生产经营管理的支出,西欧和斯堪地纳维亚农业区还采取了退耕还林的措施。他们在开发利用森林资源的同时,还注重森林更新和保护,以利于森林生态和社会效益的永续利用。

由此可见,现代的森林资源经营管理是以最大限度地发挥森林的经济、生态和社会效益为目标。在不同时期,这些目标是经常发生变化的,其目的是为了适应不同时期社会发展的需要。

第二节 森林资源经营管理模型

一、什么是森林资源经营管理模型

模型是反映客观真实世界若干有关侧面的反映像,从系统的角度讲,它是系统本质方面的抽象。它以各种可用的形式(物理或数学的)提供被研究系统的信息。模型一般分为物理模型和数学模型。物理模型实际上是与系统之间保持相似的物理属性的仿真器;而数学模型则是对系统的一种数学描述。本书中将要研究的森林资源经营管理模型都是属于数学模型。

现实世界是极其复杂的,尽管如此,人们通过对现实世界的分析与研究,仍能用模型来反映它的运动过程。实际上,森林资源系统也是一个极其复杂的社会生态经济系统,人们对它的管理也能借助于数学模型来反映系统的变化规律。森林资源经营管理模型就是运用现代系统论思想和数学方法,把反映森林资源系统主要动态变化行为的变量进行有机地联系在一起的各种数学表达式。利用模型森林经营者可以进行资源管理的计划、预测和决策等活动。

二、森林资源经营管理模型的作用

从广义上讲,森林资源经营管理模型可以帮助森林经营者在森林资源的管理过程中进行有效地计划、指挥、组织、调节和控制,这也正是管理的五大职能。具体地讲,森林资源经营管理模型的作用可以有以下几个方面:

1. 从宏观上讲,利用模型,借助于森林资源调查的数据,可以为国家制定林业规划,指导林业生产,从而达到科学合理地经营森林,以发挥森林的最大综合效益;
2. 利用模型可以进行森林资源预测,从而分析森林资源系统的动态变化行为;
3. 利用模型,借助于电子计算机,还可以在实验室仿真不同经营方案的未来预期效果,这样可为最佳经营方案的选择提供可靠的资料;

4. 利用模型, 还可以为经营者制定最佳的经营政策;

5. 利用模型, 可以帮助经营者对某一计划的执行过程进行调节与控制, 借助于执行过程中反馈的信息不断地调整经营计划, 从而使其按照一种理想的目标发展。

三、本书的主要研究内容

从前面的分析可以看出, 森林资源经营管理模型的种类很多, 涉及到资源管理工作的方方面面。本书将要研究的森林资源经营管理模型, 主要采用系统动力学方法, 同时, 还将结合其他一些规划和决策方法进行建模, 主要内容包括:

1. 在本书的第一章, 我们主要讨论了关于森林、森林资源和森林资源经营管理模型等几个概念; 第二章主要介绍建模方法——系统动力学方法。

2. 在第三章, 我们将从森林资源系统中的林分结构入手, 通过系统分析并用系统动力学方法建模来研究林分结构的动态变化行为, 这也是整个森林资源经营管理工作的基础。这些模型主要涉及到以下三个方面: 一般林分生长模型、速生丰产林生长模型和抚育间伐林分生长模型。

3. 在第四章我们将要建立一个完整的林分结构动态预测模型, 这一由系统动力学方法建立的仿真模型将结合具体实际资料进行仿真。另外, 我们还要将模型进一步扩展到森林经营方案的编制中, 进行木材允许采伐量的确定和龄组结构的调整(见第五章)。

4. 森林资源是整个林业生产的基础, 并逐渐发展成为一个产业。在第六章我们将建立森林资源产业结构调整与优化的模型, 这里的优化模型是用线性规划方法建立的, 它的结果将作为产业结构调整的理想目标。而森林资源产业结构的调整, 实际上是借助于森林资源产业结构动态模型进行的, 这个模型也是用系统动力学方法建立的。

5. 城市生态环境的日益恶化, 已经引起全社会的高度重视, 同时, 人们也越来越认识到发展城市林业是解决这一问题的关键。本书在第七章将要利用系统动力学方法建立城市森林生态环境系统模型, 利用它探讨城市林业的发展规模, 以及城市森林与生态环境因子的相互关系。

6. 第八章将要利用前面几章建立的森林资源动态模型, 来研究中国森林资源平衡问题, 这里还要利用一些其他预测方法。通过对中国森林资源平衡问题的研究, 提出促进森林资源发展的对策和解决中国木材供需问题的主要措施。

7. 第九章主要探讨森林资源经营管理模型的发展问题, 这里一方面要研究模型与其他定量方法结合的可行性, 同时, 还要为森林资源经营管理模型提出一个发展方向。

8. 第十章全面介绍了 Professional DYNAMO Plus 仿真软件的使用方法。

第三节 国内外同类研究综述

随着现代科学技术的发展和计算机技术的广泛应用, 在森林资源的经营管理方面, 人们越来越多地采用定量方法建立数学模型, 来帮助森林经营者进行管理方案的分析与决策, 这些方法通常包括: 线性规划、整数规划、非线性规划、动态规划、网络分析、马尔可夫方法、排队模型、库存模型、模拟模型、投入产出分析方法、模糊数学、灰色系统和系统动力学方法等。下面将就这些方法在森林资源经营管理方面的应用情况做一简单介绍。

一、国外概况

1. 用数学规划方法安排采伐进程

(1) 采伐进程的安排是森林经营管理中最关键的决策之一,同时,它也是最复杂的。如果使用手工方法选择最优安排,不但工作量大,而且很难考虑各种因素对采伐活动安排的影响,因此,就需要借助于数学规划方法来安排森林采伐进程。1966年基德(Kidd)、汤普森(Thompson)和霍普诺(Hoepner)最早进行了这方面的应用研究。其后,韦尔(Ware)和克拉特(Cluter)于1971年又相继发表了这方面的应用成果,用线性规划方法(LP)建立了采伐进程安排模型。这一模型并成为后来其他人线性规划采伐进程安排模型的基础。

(2) 1971年纳万(Navon)与美国农业部林务局西南太平洋林牧试验站的其他人合作,研究了林木RAM程序,它主要用于美国西部公共林地的森林经营上,后来又逐渐广泛传播,用于美国东部和西部许多工业用材林和公共林地的森林经营上。该程序提供多达35个可变长度的计划采伐期,由用户指明计划采伐期和规划周期,进行森林调整,使经营方案满足目标函数最大的要求。

(3) 1978年克拉特、福特森和皮纳尔又研制了MAX MILLION II程序,这个模型主要用于美国南方松林的经营。运用该程序可以进行生长量和收获量的预估,还可以计算PNW和木材流量。它的最大特点是强调经济分析。

(4) 沃克于1971年提出了一个基于一阶差分方程和二元寻优程序的求解方法,以求得使净现值按时间最大的采伐日程安排。包括这个方法在内的程序被称为经济采伐最优化模型(ECHO),它的中心是一阶差分方程:

$$V_t(MR_t - MC_t)(1+i) = V_{t+1}(MR_{t+1} - MC_{t+1})$$

式中:

V_t ——在时间 t 采伐的最后(最幼)龄级的每英亩材积;

V_{t+1} ——在时间 $t+1$ 采伐的第一(最老)龄级的每英亩材积;

MR_t ——在时间 t 采伐的最后单位木材的边际收入;

MR_{t+1} ——如果单位第一(最老)龄级木材在时间 $t+1$ 后未被采伐,在时间 $t+1$ 总收入的变动;

MC_t ——在时间 t 后采伐的最后单位木材的边际成本;

MC_{t+1} ——如果单位第一(最老)龄级木材在时间 t 后未被采伐,在时间 $t+1$ 总成本的变动;

i ——使在时间 t 和 $t+1$ 的净现金流量相等的利率。

(5) 林木资源经济估价系统(TREES)是由美国俄勒冈州立大学林学院开发的。该模型原来是由约翰逊(N.L. Johnson)、舒尔曼(H.L. Scheurman)和比特(J.H. Bueter)为分析俄勒冈的林木供应而建立的(1976年)。自那以后, TREES已被广泛推广应用。它是一个功能很全的采伐进程安排模型,既适用于同龄林,又适用于异龄林,同时,还可为多达七个确定采伐进程安排的不同标准使用。

2. 多种利用的经营管理模型

(1) 线性规划模型。鲁斯科纳(Leuschner)等人于1975年提出了一个探讨多种利用规划的线性规划方法,并把它应用到弗吉尼亚州的杰弗森(Jefferson)国有林林管区。这个方法是把多种利用规划当作使生产目标与一系列可用以达到这些目标的经营活动相配合的过程来处理的。多种利用目标包括有林木、野营、野餐、游泳、骑马郊游、狩猎、骑自

行车游乐以及其它目标等。但在该模型中存在着多种目标具有不同度量单位的问题,因此,它是使用了一种替代方法,把目标函数表述为林木生产最大化,而把其它目标表述为林木生产的约束条件。

(2) 目标规划模型。由于线性规划的目标函数只允许表述一个经营目标,显然,这并不能满足实际的需要。1976年菲尔德(Field)最早提出了用目标规划方法来解决森林经营管理问题,之后,贝尔(Bell)于1976年完全用假设的例子提出了在多种利用规划上的理论应用。同时,巴特利特(Bartlett)、博特姆斯(Bottoms)和波普(Pope)于1976年出版了一个列表的GP程序和用户手册,并应用于科罗拉多州的波尼(Pawnee)国有林区。

(3) 投入—产出模型。弗利克为解决俄勒冈州西部土地管理局(BLM)所属尤金(Eugene)营林区的多种利用规划问题,于1974年提出了一个投入—产出模型的应用。该模型可以用于决策评价、分配一次投入、计划、研究和训练上。

3. 其他模型

(1) 动态规划模型。1968年美国的E.L. Amidon用动态规划方法建立了林分理想生长模式的模型;1979年Kao.C.也用此方法建立了确定理想间伐期的模型;1982年日本的箕轮光博也把动态规划方法应用到林分生长过程的研究;其他类型的应用还有许多。

(2) 模糊规划模型。1990年日本的野上启一郎把模糊线性规划方法应用到林分收获量的调整研究中;接着在1991年他又用模糊目标规划方法建立了森林资源经营管理的决策模型。

(3) 0—1整数规划模型。1981年日本的铃木太七和田中和博把0—1规划方法应用到林分收获的预估中;1983年日本的南云秀次郎又将此方法用来解决最优伐区配置问题及确定合理的林道建设顺序问题。

(4) 最优控制理论模型。近年来,最优控制理论在林业中的应用日益增加,其研究范围不仅限于林分,而且包括森林资源的最优配置和利用问题。较为典型的代表作是克拉克(Clark)的《数学生物经济学——更新资源的最优管理》一书,在这本著作中较为系统地讨论了更新资源开发的动态模型,以及用最优控制理论研究资源开发的最优配置和利用策略问题。1983年日本的神崎康一利用极大值原理研究了林分合理采伐期的确定问题。此外,David C.C.还利用变分技术研究了林分最优间伐和轮伐的问题。1983年Lyon K.C.还提出了一个宏观决策方面的最优控制理论模型,用以预测区域木材长期供给问题。这些都是最优控制理论在林业上的实际应用。

(5) 系统动力学模型。系统动力学是一种运用计算机技术,把系统论、控制论和信息论有机地结合起来的一种系统工程方法。自从1956年由美国麻省理工学院(MIT)福雷斯特(Jay W. Forrester)教授发明以来,已被广泛地应用于社会经济的各个领域,并且取得了许多可喜的成果,著名的世界模型II(World II)就是这一方法的典型的应用。在林业上的应用,国外,最早始于1974年,斯堪地纳维亚国家(瑞典、芬兰和挪威)就利用系统动力学方法来研究如何充分利用他们本国的森林资源;在丹麦,系统动力学用来建模描述红杉林分的生长情况(Seppala, 1978), Lönnstedt(1978)也利用该方法建立了一个描述Vasterbotten森林发展的模拟模型;在挪威,Hosteland(1978)还研究了有关造纸工业生产和存储波动的系统动力学模型;另外,芬兰研究者们利用系统动力学方法建立了“芬兰林业部门系统动力学模型”,其框图如下:

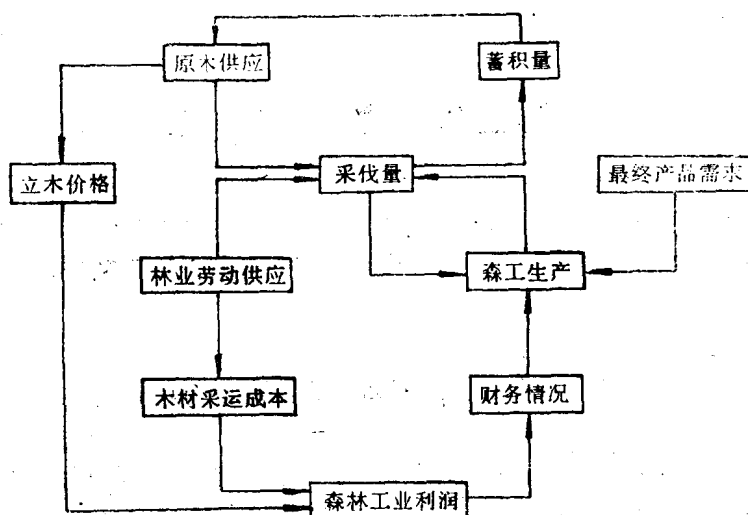


图 1.1 芬兰林业部门系统动力学模型框图

另外，阿根廷的研究者们利用系统动力学方法建立了 TIMEPLAN 森林资源动态模拟系统；日本也建立了森林与水的最佳控制和公共效益评价模型。

二、国内概况

近年来，国内在利用数学规划和其他定量方法进行森林资源经营管理的建模方面也有了很大的发展，主要表现在以下几个方面：

1. 在林分生长预估及森林资源的其他预测方面，郑治刚等最先利用矩阵转移模型进行林分生长的预估工作，其后，谢哲根(1991)等也在这方面进行了许多有益的探讨。
2. 在同龄林和异龄林经营的研究方面，周国模(1991)运用最优控制理论对同龄林的收获调整进行了研究；宋铁英等(1991)则利用多目标决策方法对异龄林的经营进行了研究。
3. 在林业生产经营的多目标决策方法方面，徐智(1985)首先运用线性规划方法对营林生产的集约经营问题，从理论和应用方面进行了有益的探讨；另外，张浩军(1985)、陈华豪(1985)、周国模(1988)等都利用目标规划方法建立了林业生产的经营决策模型。
4. 1987年袁嘉祖首先把模糊数学方法应用到林业生产的经营中，1991年他又把灰色系统理论应用到林业生产发展规划的研究中，这些研究为林业生产的经营管理工作起到了有益的推动作用。
5. 系统动力学方法自80年代初期引进我国以来，它被广泛地应用到社会生产的各个领域，并且取得了许多成果，在我国林业上的应用研究也取得了一些突破性的进展。第一个全国森林资源动态预测模型(顾凯平，1987)就是利用该方法建立的，通过该模型的仿真，分析了中国森林资源的现状和未来，为中国林业宏观政策的制定提出了许多有益的结论；1988年赵道胜等首次在我国把系统动力学方法应用到森林经营方案的编制中，除利用仿真模型进行森林资源的预测外，还进行采伐量的确定和森林调整工作；另外，王洪斌(1986)利用系统动力学方法对森林工业的发展战略问题进行了探讨；徐国楨(1986)也利用该方法对林业生产的产业结构及优先发展顺序问题进行了研究。这些研究证明系统动力学方法在林业生产经营管理的研究上是切实可行的，以往的研究成果对促进我国林业生产决策的科学化起到了很大的作用。

第二章 建模方法

从第一章的论述我们可以看出：用于建立森林资源经营管理模型的各种数学方法很多，这里将要介绍的建模方法主要是本书中所要涉及到的主要建模方法——系统动力学方法。

第一节 系统动力学方法概述

系统动力学(System Dynamics)是一门分析研究复杂信息反馈系统的学科。它是系统科学的一个分支，也是一门沟通自然科学和社会科学等领域的综合性、交叉性的新学科。

系统动力学是由美国麻省理工学院(MIT)的福雷斯特(Jay W. Forrester)教授于1956年创立的，随后并逐渐发展成为一门新的学科。在初期，它主要用于工业企业管理，处理诸如生产与雇员情况的波动、市场股票与市场增长的不稳定性等问题，因此，早期它也被称之为“工业动力学”。自此以后，系统动力学的应用范围日益扩大，涉及到社会生产的各个领域。在六、七十年代，其相继的研究成果和著作有《工业动力学》(1961)、《系统原理》(1968)、《城市动力学》(1969)、《世界动力学》(1971)、《增长的极限》(1972)、《趋向全球的均衡》(1974)等。运用该方法所建立的世界模型对全球未来的人口、资源、工业、农业和污染等问题进行了详细的分析，所建立的美国模型把美国的社会经济问题作为一个整体加以研究，解开了一些在经济增长方面令经济学家们困惑不解的疑团，诸如，70年代以来通货膨胀、失业率和实际利率同时增长的问题。其最有价值的研究成果还在于揭示了美国与西方国家经济长波现象的内在奥秘。由于利用系统动力学方法取得了这些令人瞩目的成就，因此，到了80年代系统动力学这一新兴学科在理论和应用研究方面却得到了更加飞跃性的发展，并且日益成熟。

一、系统动力学的理论基础

系统动力学这一新兴学科的建立基于以下理论：

1. 系统理论(System Theory)

系统有自己的边界，有自己追求的目标，边界以外有系统的环境，系统动力学把一切研究对象都看成系统，并着眼于系统全局的、宏观的动态行为。在此基础上，系统动力学使用了系统设计的概念。它的基本步骤是先确定目标，后确定边界，再确定内部控制机理，建立系统的模式或构架，由此构架产生系统的行为。

2. 信息反馈理论(Information Feedback Theory)

由于控制论反馈系统概念、伺服系统的反馈控制等应用于社会系统，使人们了解到如何利用信息，并通过系统的构造来控制系统的行为，从而构成了动力学的基本概念：信息反馈系统。如果系统的环境发生变化，导致系统决策的变化，因而使系统产生行动，再改变系统与环境的关系，进而影响系统的未来决策，如此循环，就是信息反馈系统。

3. 决策理论(Decision Theory)

决策理论的发展主要起源于军事；今天，它已广泛地应用到社会生产的各个领域。所谓决策，就是按照政策规定的原则，并参照实际情况而做出的决定，同时产生行动。系统动力学模型就是要描述决策者的思考过程和决策过程，模仿决策的基本构造及系统在不同决策下的行为。

4. 系统力学(System Mechanics)

系统力学就是根据古典流体力学的基本原理，并融合系统的概念之后，把社会系统中流动着的物质流体化，并按照流的特点来把握系统的行为。根据古典流体力学的原理，流体在系统中流动，必然产生某种堆积现象，像流体在容器中一样。堆积的物质要产生压力，这种压力将通过信息的传递作用于决策者，迫使决策者做出必要的决策。流系统正确地描述了社会系统中的各种延迟现象，并可以定量化。信息通道也是用流来描述的。系统力学是系统动力学模型的重要基本支柱之一。当我们展视系统动力学流图时，首先看到的是各种流、流的积累，以及控制流的阀，宛如进入一个水网地带。

5. 仿真技术(Simulation Technology)

可以说，仿真技术是伴随着计算机的诞生而发展起来的。有了仿真技术，借助于电子计算机，人们就可以在很短的时间内清楚地了解到一个复杂系统的动态行为。系统动力学模型正是借助于仿真技术来研究复杂系统的。事实上，有许多事物用解析方法是找不到模型的，这时，分析家们只有应用仿真技术。因此，仿真技术是分析家们最后使用的方法，也是当解析方法不能使用时才使用的方法。

6. 电子数字计算机(Electronic Digital Computer)

社会系统中数据量大、重复性高，在进行各种运算时，不能仅由手工或借助于其他计算器来实现，而必须借助电子计算机。它可以提供大量、高速、重复、正确的计算及资料处理；另外，系统动力学模型的仿真也必须在计算机上才得以实现。计算机用于社会系统仿真，并支持战略决策，是信息时代的一个重要标志。

二、系统动力学研究系统的基本观点

系统动力学是一门基于系统论，吸取了控制论和信息论的精髓，并借助于计算机仿真技术来研究一些高阶次、非线性、具有多重信息反馈复杂系统的软科学。它研究系统的基本观点是：

1. 系统动力学一反过去常用的功能模拟法，而是从系统的微观结构入手，根据系统结构与功能的相互关系来构造系统的模型，进而模拟与分析系统的动态行为。这样的模拟更适合于研究复杂系统随时间变化的问题。系统动力学认为仅通过研究分析系统的表面功能现象是不能完全反映系统的内部结构的，要真正构造系统的模型必须通过细致的系统结构分析，深入到真实世界去洞察它所包含的那些不可测量的反馈因果关系中去，把系统的动态变化与其内部的反馈回路结构联系起来，借助于人们的分析能力与认识能力，获得对系统的正确认识或概念，并把它们结合到模型的结构中去。

2. 系统动力学研究系统的另一基本观点是：它认为信息反馈回路是系统的基本结构。而一个大的系统则是由这些反馈回路(正的、负的)相互作用、耦合而形成的。它还认为一个系统是由单元、单元的运动和信息组成。单元是指系统存在的现实基础，而信息在系统中发挥关键的作用，依赖信息，系统的单元才能形成结构，单元的运动才能形成系统的行

为与功能。

3. 系统的主导部分原理是系统动力学研究分析系统的一个重要原理。任何系统都存在着一个或几个主导回路，它是系统的主导部分，在一定的时空条件下决定着系统的主要结构和动态发展趋势。系统动力学在研究系统时正是基于这一原理去寻找系统的主要回路，通过分析这些主要回路的性质获得对系统的结构与动态行为的进一步理解和认识，并以此为基础对整个系统进行进一步的分类和简化。另外，值得注意的是系统的主导部分不是一成不变的，在一定条件下，系统的主导部分与非主导部分会发生相互转换。

4. 系统的整体性和层次性原则是系统动力学应用综合与分解原则研究剖析系统的理论依据。整体大于部分之和，整体的质不同于单元的质，整体的结构与功能不同于部分的结构与功能，这就是整体性原则。它表明：组成系统整体的各部分，一旦由一定的方式相互联系、相互作用形成特定的结构时，就发生了质的变化，形成了新的特定的结构和功能。因此，系统动力学强调从整体考虑系统，综合考虑各种因素，尽量减少外生变量。而系统的层次性则是由系统结构和功能的层次性决定的。根据系统的整体性和层次性原则，我们在研究系统时就可以从整体观点出发，综合考虑总系统与子系统，子系统与子系统之间的相互关系和反馈机制，全面、综合地研究系统的内部结构。

三、系统动力学模型的构成因素及流图符号

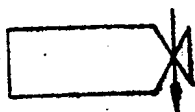
1. 积量(Level)

积量也称状态变量或水平变量，它表示在系统中的某个元素在整个时间内积累起来的数量。如容器中的储水量、某产品的库存量等都属于积量。由于积量是系统内部状态的描述，因此，它与实际系统的状态相对应，是描述系统的核心。系统的动态行为实际上就是系统中积量随时间变化的过程。积量的符号为：



2. 率量(Rate)

率量也称速率变量，是指在系统中引起积量在单位时间内的变化数量。如库存控制系统中的入库量和出库量等。它是控制积量的变量，积量是系统活动的结果表现出的状态，而率量则是系统活动本身的描述。由于决策者是通过控制率量变化的大小来实行决策的，所以率量又称为决策函数。它的符号为：



3. 流(Flow)

动态变化的系统中，某些元素之间一定要产生流。流分为实体流(如物质流、资金流、订货流等)和信息流两大类。实体流可以代表系统中任何流动着的实体，如材料、产品、资产和资源等；信息流是连接积量和率量之间的信息通道。下面是分别代表这几种流的图形符号：

物流：在系统中流动着的实体。

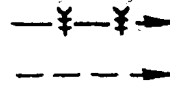


订货流：表示订货量及需求量的流。



资金流：表示现金、存款及货币流。

信息流：连接各因素的信息通道。



4. 辅助变量(Auxiliary)

在系统建模中，除了积量和率量以外，往往还需要引进几个独立的变量来描述或补充说明率量，我们称这些变量为辅助变量。用了辅助变量后，模型就会显得清楚，通过它的连接和补充说明，这样就可以突出每个因素所起的作用。辅助变量的符号为：



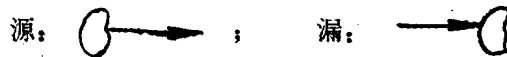
5. 常量(Constant)

它是用来描述系统的参数或系数的，在系统的整个动态变化过程中，其值始终保持不变。在不同的模拟运行时，可更改常量，从而得到不同的仿真结果。它的符号为：



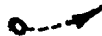
6. 源和漏

“源”为流的发源地，“漏”为流的消失地，只要系统中有流，就有流产生和消失的地方。在系统动力学中，“源”和“漏”代表着系统以外的环境，因此，在建模时，只需考虑物质或信息是以怎样的规律流入或流出系统就可以了。它们的符号为：



7. 信息起点

在流图中信息取出的地方画一小圆圈，表示信息的来源。它的符号为：



8. 外生变量

外生变量是指不是由系统自身产生的变量。它是与内生变量相对应而言的。其符号为：



9. 时间延迟(Delay)

时间延迟是指某些因素的作用并不是立即起作用，而是要经过若干时间，分若干次显示出来。它的符号为：

