

湖南省高等教育21世纪课程教材建设项目

林业系统工程基础

LINYE XITONG GONGCHENG JICHU

李际平 黄山如 等编著

国防科技大学出版社

湖南省高等教育 21 世纪课程教材建设项目

林业系统工程基础

李际平 黄山如 编著
李立辉 吕 勇

国防科技大学出版社

·长沙·

图书在版编目 (CIP) 数据

林业系统工程基础/李际平等编著. —长沙: 国防科技大学出版社, 2006.7
ISBN 7-81099-346-1

I. 林… II. 李… III. 林业—系统工程 IV. S7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 071758 号

国防科技大学出版社出版发行

电话: (0731) 4572640 邮政编码: 410073

<http://www.gfkdcbs.com>

责任编辑: 徐飞 责任校对: 肖滨

新华书店总店北京发行所经销

国防科技大学印刷厂印装

*

开本: 787×960 1/16 印张: 18.5 字数: 352 千
2006 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数: 1-3000 册

*

ISBN 7-81099-346-1/S·5

定价: 28.00 元

前 言

本书是根据湖南省高等教育 21 世纪课程教材建设项目确定的教材编写规划编写的。

在我国,林业系统工程是 20 世纪 80 年代在全国系统工程、农业系统工程蓬勃发展的推动下得以发展和壮大的。林业系统工程就是把林业看成一个系统,运用系统工程的一般原理和方法,科学地管理森林资源,合理地组织林业生产的一门工程技术。其本质是,在对以森林资源为主体的林业各个要素充分调查的基础上,对林业系统进行科学规划、设计、决策和实施,并不断进行反馈控制与调整等组织管理,以使林业获得最优的发展过程和最佳的综合效益。林业系统工程是一门新兴的边缘学科、交叉学科。林业系统工程所采用的方法是用于解决林业系统问题的一套工作步骤、方法、工具和技术,综合应用运筹学、控制论、信息论、管理科学、心理学、经济学、生态学和计算机科学等有关学科的理论与方法,以及定量分析和定性分析相结合的方法,对林业系统的构成要素、组织结构、信息交换和反馈控制等功能进行分析、设计、规划和服务,从而达到最优设计、最优控制和最优管理的目的,使林业系统内外各项活动协调有序,局部和整体之间的关系协调配合,以实现林业系统的综合最优化。

1992 年中国林业出版社出版了《林业系统工程》(徐国祯、黄山如编著),对林业系统工程的发展起到了促进作用。二十多年来,在我国林业系统工程的理论、技术和方法已成功地应用于林业发展战略与战略规划、山区林区林业区域规划、森林资源管理、林业生态系统经

营、林业经营模式研究等各个方面。系统工程和林业系统工程还在日新月异发展,一些基本概念、基本理论和基本技术方法已逐步形成。急需有一本反映系统工程和林业系统工程的基本理论、基本知识和方法、应用案例等方面的新发展、新成果的新教材,以满足林业系统工程理论研究、实践应用和教学的需要,促进林业系统工程学科的发展。为此,我们在综合国内外多种系统工程的专著、教材和参考资料的基础上,结合多年来我们从事林业系统工程理论研究、实践应用的工作成果,以及多年来在本科生和研究生教学、林业系统干部培训中积累的宝贵的教学经验,特编写了这本《林业系统工程基础》,其目的是为了较好地推动林业系统工程的发展,使学生通过本教材的学习,受到系统的、科学的思维方式的训练,学会综合应用系统工程的理论、方法和林学专业的基本理论及知识去解决林业的实际问题。

本书共分八章。第一章系统、系统工程、林业系统工程,阐述系统、系统工程、林业系统工程的概念,介绍林业系统工程的基础理论;第二章系统思想、系统方法论、系统工程方法论,介绍系统的思维方式,系统工程方法论的框架、步骤等内容;第三章结构模型化与系统诊断,阐述结构模型化技术,着重介绍解释结构模型和系统诊断模型及其应用;第四章系统模型,主要介绍系统模型的概念、分类及建模的方法步骤;第五章系统动力学,着重介绍系统动力学的理论、方法及应用实例;第六章系统分析、系统预测、系统评价,着重介绍系统分析、系统预测、系统评价的理论、方法和步骤;第七章系统决策,着重介绍决策分析的基本理论和决策方法;第八章林业系统工程应用案例,从国内外林业系统工程的实际课题和研究成果中选取了几个具有代表性的应用案例,介绍如何将研究的实际问题抽象成系统模型,掌握构造模型的方法和技巧,分析评价模型计算结果并对模型进行调整,如何选择适当的模型技术、组合具有各种功能的模型群、系统工程研究总体构思的方法和系统工程研究过程的优化管理方法。

本书为高等林业院校林学及相关专业的本科生教材,也可作为相

关专业研究生的教学参考书，并可作为林业系统各级管理人员、工程技术人员、企业领导干部和广大企业家的参考书。

参加本书编写的有中南林业科技大学李际平教授、黄山如副教授、吕勇教授和湖南师范大学李立辉教授。

在本书的编写过程中承蒙许多林业系统工程工作者的大力支持和帮助，特别是徐国祯教授对本书的编写提出了许多系统、切实的意见和建议，并自始至终给予指导；在本书的计划、编著和出版过程中得到了湖南省教育厅，中南林业科技大学领导、教务处和学科建设处的热情鼓励和大力支持，在此一并表示感谢。

林业系统工程是一门尚在蓬勃发展中的新兴交叉科学，涉及的知识面非常广泛，应用领域众多。本书内容虽是多年的科学研究和教学实践的结晶，但限于编者的水平，书中不妥和错漏之处仍在所难免，敬请广大读者批评指正。

编著者

2006年5月

目 录

第 1 章 系统、系统工程、林业系统工程	(1)
1.1 系统	(1)
1.1.1 系统的定义	(2)
1.1.2 系统的要素、结构与层次性	(3)
1.1.3 系统的环境、边界与行为	(5)
1.1.4 系统的功能	(6)
1.1.5 系统的特性	(8)
1.1.6 系统的分类	(11)
1.2 系统工程	(12)
1.2.1 系统工程的定义及特点	(12)
1.2.2 系统工程产生的历史背景及发展	(14)
1.2.3 系统工程在中国的发展	(16)
1.3 林业系统工程	(17)
1.3.1 林业系统工程的形成与发展	(17)
1.3.2 林业系统工程的概念	(18)
思考题与习题	(19)
第 2 章 系统思想、系统方法论、系统工程方法论	(20)
2.1 系统思想	(20)
2.1.1 古今系统思想概述	(20)
2.1.2 系统论	(23)
2.1.3 大系统理论	(25)

2.2 系统方法论	(26)
2.3 系统工程方法论	(28)
2.3.1 霍尔的三维结构	(29)
2.3.2 切克兰德的“调查学习”模式	(32)
2.3.3 系统建模、仿真与分析	(33)
思考题与习题	(37)
第3章 结构模型化与系统诊断	(38)
3.1 结构模型简介	(38)
3.1.1 结构模型的定义及基本性质	(38)
3.1.2 结构模型化技术	(40)
3.2 解析结构模型法	(41)
3.2.1 图的基本概念	(41)
3.2.2 图的矩阵表示法	(43)
3.2.3 解析结构模型建模步骤	(46)
3.3 系统诊断模型	(54)
3.3.1 基本原理	(54)
3.3.2 系统诊断模型的建模方法	(61)
思考题与习题	(72)
第4章 系统模型	(74)
4.1 系统模型简介	(74)
4.1.1 模型方法的定义、分类	(74)
4.1.2 模型的作用	(76)
4.1.3 系统模型的特征及要求	(77)
4.1.4 系统建模的步骤	(78)
4.2 线性规划	(79)
4.2.1 线性规划(LP)数学模型	(79)
4.2.2 线性规划的图解法	(84)
4.2.3 线性规划的标准型	(88)

4.2.4 线性规划的单纯形法	(91)
4.2.5 线性规划模型的应用与建模技巧	(94)
4.3 目标规划	(95)
4.3.1 单目标规划模型	(96)
4.3.2 不分优先级别的多目标规划模型	(97)
4.3.3 考虑优先级别的多目标规划模型	(97)
4.4 动态规划	(98)
4.4.1 动态规划的基本概念	(99)
4.4.2 动态规划的基本方程和最优化原理	(101)
4.4.3 动态规划实例	(103)
思考题与习题	(105)
第5章 系统动力学	(107)
5.1 概述	(107)
5.1.1 系统动力学的产生、发展与应用	(107)
5.1.2 系统动力学仿真步骤	(109)
5.2 反馈系统与因果关系	(110)
5.2.1 反馈系统	(110)
5.2.2 系统的因果关系	(111)
5.3 系统动力学模型	(114)
5.3.1 系统动力学模型的构造	(115)
5.3.2 系统流程图	(117)
5.3.3 数学模型	(122)
5.4 DYNAMO 方程	(125)
5.5 DYNAMO 仿真计算	(130)
5.5.1 一阶正反馈回路	(130)
5.5.2 一阶负反馈回路	(131)
5.5.3 两阶负反馈回路	(132)
5.6 系统动力学模型建模步骤	(134)
思考题与习题	(136)

第6章 系统分析、系统预测与系统评价	(137)
6.1 系统分析	(137)
6.1.1 层次分析法简介	(137)
6.1.2 层次分析法的主要步骤	(139)
6.2 系统预测	(151)
6.2.1 系统预测概述	(151)
6.2.2 常用的定性分析预测方法	(156)
6.2.3 常用定量预测方法	(162)
6.3 系统评价	(170)
6.3.1 系统评价概述	(170)
6.3.2 成本效益法	(172)
6.3.3 聚类分析法	(173)
6.3.4 专家评价法	(174)
6.3.5 模糊综合评价法	(178)
思考题与习题	(186)
第7章 决策分析	(188)
7.1 决策分类与决策过程	(189)
7.1.1 决策的分类	(189)
7.1.2 决策过程	(191)
7.2 不确定型的决策	(193)
7.3 风险决策	(197)
7.4 效用理论在决策中的应用	(204)
7.4.1 盗用及盗用曲线	(204)
7.4.2 效用曲线的确定	(205)
7.4.3 效用曲线的拟合	(207)
7.5 序列决策	(208)
7.6 灵敏度分析	(212)
7.6.1 灵敏度分析的意义	(212)

7.6.2 转折概率	(214)
思考题与习题	(214)
第8章 林业系统工程应用案例	(216)
8.1 造林线性规划模型	(216)
8.1.1 设计对象和假设条件	(217)
8.1.2 变量设计	(217)
8.1.3 约束条件	(218)
8.1.4 目标函数	(222)
8.1.5 计算结果	(222)
8.1.6 线性规划在农林业生产中的应用特点及局限性	(226)
8.2 雷州林业局林业系统工程研究案例	(228)
8.2.1 雷州林业局林业系统工程研究的总体构思	(228)
8.2.2 系统诊断模型	(231)
8.2.3 战略研究与目标确定	(236)
8.2.4 林种、树种优化结构模型	(237)
8.2.5 多种经营优化结构模型	(244)
8.2.6 系统仿真与总体优化	(253)
8.2.7 决策、实施与效益	(261)
8.3 省级林业发展规划制定案例	(262)
8.3.1 规划的依据和总体构思	(263)
8.3.2 建模指导思想和模型群的总体构思	(265)
8.3.3 规划制定的具体过程	(268)
参考文献	(282)

第 1 章 系统、系统工程、林业系统工程

系统的概念和思想来源于人类在长期的社会实践中,是对现实世界认识的不断深化。系统思想经历了从经验到哲学再到科学,从思辨到定性再到定量的发展过程,最终形成了当今从总体上研究各类系统共性规律的系统科学。进入 20 世纪以来,人类社会实践越来越丰富,也越来越复杂,突出表现在活动空间范围越来越大,时间尺度变化越来越快,层次结构越来越复杂,效果和影响越来越广泛和深远;随着科学技术的发展,系统论、系统学、运筹学、控制论、信息论等提供了思想理论基础和方法,数学和计算机技术等提供了定量化的技术和手段。正是这种社会实践的需要和在科学技术上的可能,在系统科学体系的应用层次上产生了系统工程。

系统工程不同于其他技术,它是一门综合性的整体技术,又是一门定性定量相结合的技术,是从整体上研究和解决问题的科学方法。半个世纪以来,系统工程在社会、经济、区域规划、环境生态、能源、水利、交通、农业、林业、科技、教育、军事等各个领域和部门得到了迅速发展和广泛应用。林业系统工程是基于系统科学和林业科学理论,以林业系统为研究对象,综合应用系统工程原理、观点和方法,以实现林业的可持续发展为目标的一门新兴交叉学科,也备受关注,应用越来越广泛和深入,其理论和技术正在不断发展和完善。

1.1 系 统

系统是一常见的术语,系统普遍存在,无处不有:如太阳系、银河系;社会系统、经济系统、生态系统;分子系统、原子系统、基本粒子系统等等。系统有大有小:生物圈是一个系统,一滴水也可以看成一个系统;一个企业是一个系统,一部机器也是一个系统;整个社会是一个系统,一个行政组织也是一个系统,单独的一个人也可以看成一个系统;林业是一个系统,森林也是一个系统,

单独一株林木也可以看成一个系统。用系统的一般理论来认识系统，了解系统的概念和范畴，以系统为对象，研究系统的要素、结构、层次、功能、特性及分类等；并在时间和空间上研究系统的动态发展规律。

1.1.1 系统的定义

思维方式的不同，研究的专业角度不同，侧重点不同，对系统有不同的定义，对其内涵也有不同的理解。对系统定义的表达方式一般有描述式和数学式。

一、描述式

一般系统论的创始人，V·L·贝塔朗菲（V.L.Bertalanffy）对系统（systems）的定义是：“相互作用的多元素的复合体”。这个定义可以表述为：如果一个对象集合中至少有两个可以区分的对象，所有对象按照可以辨认的特有方式相互联系在一起，就称该集合为一个系统。集合中包含的对象称为系统的组分（组成部分：要素和子系统），最小的组分是在系统中不需要再细分的元素或要素。定义说明了系统具有的几个基本特点：第一个特点是多元性，系统是多样性的统一、差异性的统一。系统的组分之间存在差异性，在一定条件下可能整合成为一个系统的要求。组分的多样性和差异性系统是“生命力”的重要源泉；第二个特点是相关性或相干性，系统中不存在与其他要素无关的孤立的组分（要素和子系统），所有组分（要素和子系统）都按照该系统特有的、足以与别的系统相区别的方式彼此关联在一起，组分之间相互依存、相互作用、相互激励、相互补充、相互制约，系统特有的内在的相关性或相干性也是系统“生命力”的重要源泉；这两个特点又决定了系统的另一个更重要的特点：整体性，系统是由它的所有组分构成的统一整体，具有整体的结构、整体的特性、整体的状态、整体的行为和整体的功能等。

在我国，钱学森教授对系统所下的定义是：“把极其复杂的研究对象称为系统，即由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成具有特定功能的有机整体，而这个系统本身又是它所从属的更大系统的组成部分。”

系统是具有特定功能的相互间具有有机联系的许多组分（要素和子系统）所构成的一个有层次结构的整体。

二、数学式

令 A 记系统 S 中全部要素构成的集合。设 S 中把所有要素关联在一起的那些特有方式可以用数学中的关系概念来表达, 以 r 记要素之间的关系, R 记所有这种关系的集合, A 中不存在相对于 R 的孤立元, 则系统 S 可以用数学式表示如下:

$$S = (A, R) \quad (1-1)$$

上式表明: 系统是由要素集和关系集共同决定的。

1.1.2 系统的要素、结构与层次性

一、系统的要素

系统的要素是构成系统的基本单元, 是系统的组成部分。要素的本质特征是具有基元性, 相对于给定的系统它是不能也无需再细分的最小组成部分, 要素不具有系统性, 所以不讨论其结构问题。系统是由要素组成的, 但系统不等于组成的各要素简单相加, 而是由要素有机组织起来的。系统与要素的关系如下:

(1) 系统必须由两个以上组分(要素或子系统)组成, 一个要素不能组成系统。例如, 构成森林资源系统的要素的数量和种类极其众多; 又如森林经营系统就是由造林、培育、保护、利用、更新等若干个子系统和要素组成。

(2) 构成系统的所有要素具有某种或某些共同的属性。例如, 森林经营类型就是由在同一林种区内、地域上不一定相连的小班组成一个森林经营技术系统, 这些小班一定是具有树种(优势树种或主要树种)相同、立地质量(地位级或地位指数)相同、林分起源相同、经营目的相同、需要采取的经营措施和林学技术计算方法相同等共同的属性。

(3) 构成系统的各个要素之间、要素与整体之间以及整体与环境之间有一定的相互关系, 即系统联系。系统联系是指系统诸要素之间的相互作用、相互影响、相互渗透、相互制约等。例如, 美国社会学家波沙特曾将家庭人口数对家庭关系的影响列出一个公式:

$$r = \frac{(n-1)n}{2} \quad (1-2)$$

式中: r 为家庭关系数, n 为人口数。

若一家有两代人: 父、母、子共 3 人, 代入公式, 可得 $r=3$, 即夫妻、父

子、母子三对关系；又若另一家有三代人：祖母、父、母、子共 4 人，代入公式，就得 $r=6$ ，即有夫妻、父子、母子、祖孙、婆媳、母子（祖母与父亲）六对关系。

要素之间的联系或影响关系可能是单向的，也可能是双向的，还可以是通过第三者传递的，如妯娌关系。

(4) 系统各个要素之间的联系必须产生集合体的功能。例如，在平原农业地区由乔木树种组成的林带、林网、片林所形成的完整的农田防护林体系产生的防风、固沙、调节气温、减少地面蒸发、降低地下水位、增加农作物产量等功能。

二、系统的结构

系统的结构 (structure) 是指系统内各组分 (包括要素和子系统) 及组分之间的相互联系、相互作用的方式 (系统把其要素整合为统一整体的模式) 的总和。在组分不变的情况下，往往把组分的关联方式就称为系统的结构。系统结构是事物和系统的组织化、有序化的重要标志。结构既是物质系统存在的方式，又是物质系统的基本属性，是系统具有整体性、层次性和功能性的基础和前提。

当系统的要素很少、彼此之间差异不大时，系统可以按单一的模式对要素进行整合。当系统的要素数量很多且彼此之间差异不可忽略时，不再按单一模式进行整合，需要划分不同的部分分别按照各自的模式组织整合，形成若干子系统 (subsystem)，再把这些子系统 (S_i) 组织整合为整系统 (S)。

子系统 (S_i) 的条件为：

- (1) S_i 是 S 的一部分 (子集合) 即 $S_i \in S$;
- (2) S_i 本身是一个系统，基本满足是前述系统的要求。

相对于 S_i ， S 成为整系统或母系统。

要素和子系统都是系统的组成部分，简称为组分，应注意子系统与要素的区别：要素的本质特征是具有基元性，是给定系统的最小组成部分，要素不具有系统性，不讨论其结构问题；子系统则具有可分性、系统性，需要时也能够讨论结构问题。子系统对系统具有相对的独立性。

系统结构分析的重要内容是划分子系统，分析各个子系统的结构 (要素及其关联方式和关联力)，阐明不同子系统之间的关联方式。

可以简单地说：所有系统都是由若干要素，按照一定的联系方式或数量比例关系形成系统结构，系统结构是系统保持整体性以及具有一定功能的内在根据。系统功能是系统在特定的环境中发挥的作用或能力。也就是说，系统功能是通过环境起作用的。同时系统结构也给要素以某些新的特征，从而使要素成为系统的

要素，以区别于孤立存在的要素。结构与要素的相互关系可以概括为结构与要素的相对独立性和相互依赖性。

三、系统的层次

系统具有层次性，系统中的子系统对系统具有相对的独立性，同样可以作为一个单独的系统来研究，而整个系统同时又是更大系统的一个组成部分。

复杂系统可以分解为一系列的子系统，并存在一定的层次结构，这是系统空间结构的特定形式。或者说复杂系统是从要素层次开始，由低层次向高层次逐步整合、发展，最终形成系统的整体层次。系统的层次结构表述了在不同层次的子系统之间的从属关系或相互作用关系。一般来说：低层次隶属和支撑高层次。高层次包含或支配低层次。但低层次也不是被动的、被决定的，它具有一定的独立性。层次是系统科学的基本概念之一，层次分析是认识系统的重要工具，层次分析要回答系统是否划分层次，层次的起源，分哪些层次，不同层次的差异、联系、衔接和相互过渡，不同层次的相互缠绕，层次界限的确定性与模糊性，层次划分如何增加系统的复杂性，层次结构的系统学意义，层次结构设计的原则等。

1.1.3 系统的环境、边界与行为

一、系统的环境

系统的环境（environment）是指一个系统之外的一切与它相关联的事物构成的集合。更确切地说：系统 S 的环境 E 是指 S 之外的一切与 S 具有不可忽略的联系的事物集合，即：

$$E_S = \{x | x \in S \text{ 且与 } S \text{ 具有不可忽略的联系}\}$$

系统环境有一定相对性，在不同的研究目的下，对于不同的研究者，同一系统的环境划分也有不同。

任何系统都是在一定的环境中产生出来，又在一定的环境中运行、延续、演化，不存在没有环境的系统。系统的结构、状态、属性、行为等或多或少都与环境有关，这就是系统对环境的依赖性，所以研究系统必须研究它的环境以及它同环境的相互作用。同一系统的环境中的不同事物之间总有这样或那样的联系，并且通过与该系统的联系而形成某种更大的、更高层次系统。所以应当用系统观点认识环境，把环境当作系统来分析。

二、系统的边界

系统的边界(boundary)是把系统与环境分开来的东西。系统边界是相对的,有的边界明显,有的边界不明显。

根据系统与环境有无相互关系,可以把系统分为开放系统和封闭系统。与外界环境有物质、能量和信息交换的是开放系统,反之为封闭系统。边界概念有助于理解开放系统与封闭系统的区别。封闭系统的边界是完全封闭的、连续的,没有可以进出的通道;开放系统的边界往往有间断点,即具有可以进出的通道。封闭系统的边界具有刚性和不可渗透性,开放系统的边界具有柔性和可渗透性。

例如,在生物个体层次上,与外界环境的物质和能量交换由食物体现,信息的交换由感觉摄取。而对于社会组织而言,与外界环境的物质和能量交换以货币为中介,以商品形式进行交换,信息的交换是由语言、文字和电磁波等作为载体,进行传播,用计算机(或其他传统工具)作为信息处理的工具。系统的开放与封闭影响着系统的生存与发展。对生命系统和社会系统具有特别重要的意义。开放系统的物质、能量和信息摄取是维系一切生命系统新陈代谢的必要条件;封闭系统中因为切断了物质、能量和信息的输入,生命机体无法维持新陈代谢活动,必然导致生命的停止。处在不同层次的生命系统呈现开放性的机制也不同。

系统性是开放性与封闭性的适当统一。

三、系统的行为

系统的行为(behavior)是指系统相对于它的环境所表现出来的任何变化,或者说,系统可以从外部探知的一切变化。系统的行为属于系统自身的变化,是系统自身特性的表现,但又同环境有关,反映环境对系统的作用或影响。

不同系统有不同的行为,同一系统在不同环境(情况)下也有不同的行为。系统有各种各样的行为:维生行为,学习行为,适应行为,演化行为,自组织行为,平衡行为,非平衡行为,局部行为,整体行为,稳定行为,不稳定行为,动态行为,等等。可以说系统科学是研究系统的行为的科学。

1.1.4 系统的功能

系统的功能(function)是指系统行为所引起的,有利于环境中某些事物及至整个环境存续与发展的作用。即系统在特定环境中发挥作用的能力叫系统的功能。被作用的外部事物,称为系统的功能对象。