

系统工程与林业

徐 国 楨

林业部中南林学院干训班

一九八二年五月

05
3

系统工程与林业

一、系统工程产生的历史背景及其性质

系统工程是一门问世不久的新兴科学。虽然它还处在发展的开始阶段，但已在各个领域产生了巨大的影响，取得了显著的成效。近代系统工程理论的发展是从1940年第二次世界大战美国执行原子弹制造计划开始的。当时有个叫奥本海默教授，只用了三年半的时间，组织二万五千名科技人员，外加十三万生产人员，把原子弹搞成了。象这样一种组织工作是人类前所未有的。当时采用了六种方案，发挥了分散在各处的，各行各业人员的长处，以最快、最省、最好的要求，保证必要的条件和资料。发挥大家的特长，既不脱产，彼此又有联系，取得了成功。此后一个更大的工程“阿波罗登月计划”涉及到更多问题，用了四十二万人（不包括工人），包括了各行各业。象这样的人放在一个研究所是不可能的，所以除了一个七千人的中心实验室之外，其余都是分散在各地各自发挥专长，把一个总计划分散成几千几万个题目到各人手中解决，变成互相联接的计划，就这样把四十二万人组织起来。系统工程就逐渐形成了，系统工程公认是在1964年，这一年美国进行了系统工程年会，并授于系统工程学位。现在系统工程不仅在国防工业，而且也在工矿、水电部门发挥作用，农、林业的系统工程理论与实践也相继出现了。

所以，系统工程作为一门科学，它的出现不是偶然的，是有其历史背景，客观需要和内在规律的。主要是现代科学技术的发展出现了这样一种局面，即愈来愈多地出现大规模的，复杂的，或者直接对人

们社会生活有重大影响的所谓重大工程。表现在：① 社会化大工业发展到一定水平，出现了完成各个工作过程的成套自动化设备，构成了连续化，自动化，的生产系统。② 出现了与社会关系重大，涉及到资源、能源、生态平衡，人口、交通运输等问题，这就不单纯是个技术问题，而且与社会、经济紧密联系。例如世界各国从来没有象今天这样认识到森林资源的重大社会意义和生态意义。因此由于森林的破坏而带来了系统性问题即社会问题。③ 涉及到各种专业领域之间的知识交换和组织协调，即需要各学科紧密配合，互相协调，如黄土高原的综合治理，山区的综合开发等。这样，无论工程问题，科技问题，还是社会问题，单凭某一特定技术领域本身不能解决的问题越来越多了。需要运用各种科学技术成果，集其大成。从而出现了技术综合体。④ 有些工程事先没有样本性，存在不确定性的特点，象葛州坝工程，或者是一项新产品的推广。需要通过各种信息的处理，仿真模拟，实现最佳选择。特别是现在已进入信息时代，要从大量信息中选择，并恰当组合，求出最优的解。

长期以来，科学研究的趋势是较多注意研究个别现象或过程，使科学分工愈来愈细。作为研究一个系统的机制，仍要从这方面努力。但是另一方面，随着科学的发展，研究的范围和规模迅速扩大，复杂程度与日俱增，如果仅仅着眼于人为划定的系统中的各个方面，就会忽略了更重要的情况和问题。这样就出现了学科的交叉，渗透，出现边缘学科，同时推进了各门学科的“数学化”和“系统化”。因此就要在自然、社会、经济各个领域综合运用各专业领域内的科技成果和要求多部门的广泛协作。此外，为了适应政治、经济、生产力的急剧变化，必须建立预测预报系统，才能防患于未然。例如世界人口、能源、环境、经济四大危机，必须在预测预报的基础上作出统筹安排。

这样就必须把某一特定的对象作为一个系统，分析每一个部分与整体的关系，以及在事物发展的全过程中了解这种关系，这种把社会科学和工程技术相结合在一起的科学是一门新兴的社会—技术学科。这种从系统的角度去看待整个客观世界正是系统科学的特点。

系统工程的目的有三：

1. 最合理的提出任务问题，应该做什么？提出任务的背景和环境是什么？

2. 最好地完成，通过系统分析和系统设计实现最优化，选择合理的技术途径。

3. 最有效的运用，通过运用的研究，通过现代化管理使它发挥出最好的效果。

二、什么是系统与系统工程

“系统” (System) 这个词在我们日常生活中经常遇到。例如人体是由神经系统、呼吸系统、消化系统、循环系统等组成的人体结构系统，缺一不可。国民经济是由工交、财贸、农、林、水、文教卫生等系统所组成的国民经济系统。一个部门是一个系统，一个企业同样是一个系统；小到一粒沙子也是由分子、原子、原子核、基本粒子所组成的一个系统。辩证唯物主义认为世界的物质性、普遍联系性以及整体思想也就是事物构成的哲学基础。客观世界就是一个完整而连续的系统，如同行星围绕太阳运行一样，电子也在围绕原子核运动。

系统工程中所讲的系统与上述系统不同之处在于它不只是为了识别一件事，一个物，它强调了这个系统的现象，即包括了对象和关系，例如森林是一个系统，这不仅仅因为森林包括了不同林种，树种与林分，即不仅是树木与其它植被构成的植物群落。当名词“森林”作为一种资源管理的对象，而不是一个严格的生物现象时，它就可能包括

了广泛的、复合的生物社会——森林实体、牧地、灌木、林中空地、沼泽、湖泊、野生植物等，它们形成了一个彼此互相联系，互相影响的系统——森林生态系统。以其丰富多彩的内容通过时间和空间联结人类的资源和大规模的活动。正是从这个意义上来讲，森林具有生产的、保护的、社会的意义。所以我们一定要意识到：即使我们为了某种特定目的而去管理一片森林，我们实际上也是在管理与森林互相发生作用的整个生态系统。

所以，系统就是互相依赖的若干部分，结合成具有特定功能的有机整体，而且这个系统本身又从属于一个更大系统的组成部分。系统的整体性、相对性以及系统的相关性统称为系统性。利用系统的这些属性去指导工程实践就称为系统思想。那末系统的观点就是把一个系统内部的各个环节，各个部分看作是互相联系、互相影响、互相制约的；同时把一个系统内部和外部环境也看成是互相联系，互相影响和互相制约的。

什么是“系统工程呢？”工程，在这里讲的是完成一项任务，就是用我们所掌握的客观规律去改造客观世界，系统工程就是以系统为对象去组织管理一个系统”。对一个系统进行规划、研究、设计、制造、试验和使用的一种科学方法。显然，这里的工程不是指狭义的，有物质的一种建设。用系统工程的方法可以制订国民经济计划，也可以指导一个苗圃和温室的设计。通俗地讲，系统工程就是要创造（或者利用改造）一个系统。在运用这个系统中包括把人力、物力、技术组织起来，很好地完成一个任务。所以从广义的工程概念出发就能衍生出社会工程、经济工程、管理工程等。

所以系统工程是研究系统内外关系的，用数学名词来讲叫函数关系即“影响函数”。研究某一系统在各种各样关系下促成它的发展过

程，也就是一个运动的过程，从而寻求最优方案来解决问题，完成任务。所以系统工程是一种科学的方法，是方法论。用系统的观点来分析、考察问题就要涉及到系统的概念、要素结构与整体性等问题。

三、系统工程与林业

森林占陆地生态系统的三分之一，是一个大系统，林业作为一个生产系统，是国民经济的一个子系统，它应当为人们生产出更多，更好的物质财富。森林又是全球生态系统的一个子系统，作为生态系统的子系统，它要求不断改善环境，创造出一个合理的、高效能的符合人类生存发展的生态系统。把林业和森林看作为一个系统是十分有用的，因为随着生产力的提高和科学技术的发展，人类对森林的需要和依赖也愈来愈多，而森林的存在和发展又直接关系到人类生产生活的物质条件和生存发展的环境条件。加上林业生产的长期性、地域分布的广阔性，效用多样化，在发展过程中有很多不确定性因素，因而如何使林业开发工程和社会环境、自然环境相融合。为此，必须要了解系统工程观念包括那些内容。

(1) 要创造性地确定工程开发的系统性和价值。人的思维是最积极的，最活跃的，要依照正被认识着的客观规律和生产实践经验，创建一个具有最高价值的系统，这就是要考虑所组建系统的概念和层次结构，用全过程的观点，与环境统一的观点去研究如何组织开发等问题，即在不同的发展阶段搞好措施的组合，排列和协调，处理技术结构，搞好各个环节的结构。

(2) 整体性和全过程的观念。所谓整体性可以概括为①把研究对象作为一个整体，“先见森林，后见树木。”②把研究过程作为一个整体，就是全过程观点，局部尽管有局部的目的和任务，但是必须围绕着整体协调，不能只顾眼前，不顾长远；只顾木材，不顾生态关系。③全过程

还必须包括，不仅把研究对象作为一个系统，还必须把它所处的环境和研究工程开发（组织管理）三个系统协调起来（见图1）。通过环境系统来研究工程开发所获得的资源以及目标系统来研究工程开发所获得的资源以及目标系统所经历的环境条件；通过开发系统来考虑开发组织的能力，只有三者统一了，工程开发才有保证。

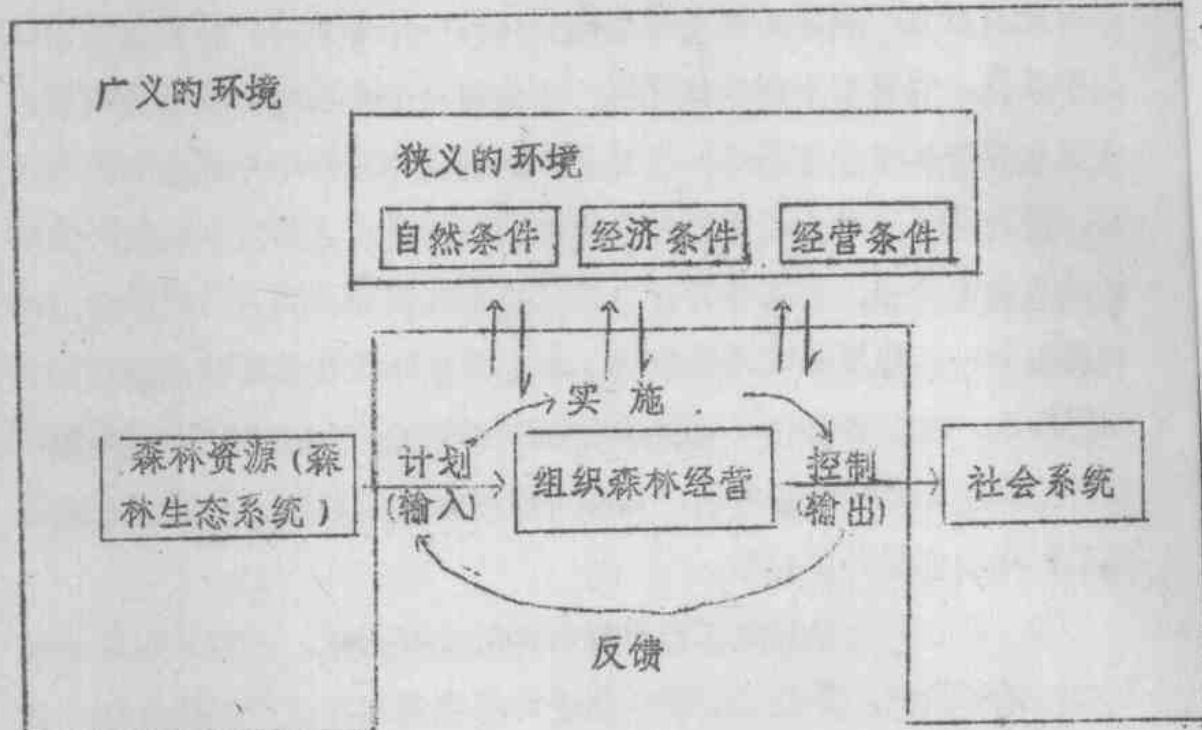


图1 森林资源管理系统

(3) 全面价值的观念。工程最本质的意义在于有效利用资源。因此价值观念十分重要。现在，任何一项工程都要以现实社会的利害关系为背景给以评价，作为社会评价就不能再只是直接效益了。作为系统开发的观念内容包括有：

- (1) 效益、性能
- (2) 适应性、兼容性，如农业上的复种，林业上的“一林多用”。

③ 与生态环境的融合性：即保持生态平衡。

④ 与资源经营利用的融合性，林业只能是栽培式的永续经营而不能是采掘式。

⑤ 与政策的融合性

⑥ 价值的有效利用：多效益，综合发挥。

工程开发如果把价值观念搞错了，必然导致整体性、策略性的错误。例如解放以来，林业部门“以原木生产为中心”的方针；形成了“大木头挂帅”。和农业部门在山区片面强调“以粮为纲”“一刀切”。这种方针上的失误带来了经济上，社会上，环境保护上的严重后果。

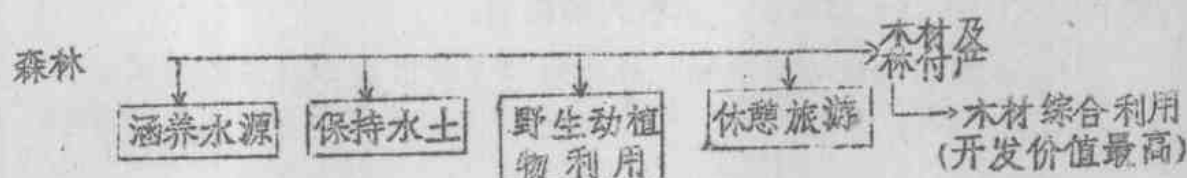
(4) 系统的综合观念

我们强调一个目标系统要从结构和过程两个方面来研究系统，所以工程开发的概念也应从这两个方面来进行创造。那么山区林业的特点：“以林为主、多种经营”、“综合利用”，综合开发”都是在这一观念下的具体途径。

森林资源开发价值比较

森林 → 燃烧 → 肥料、热能（开发价值最低）

森林 → 采伐 → 木材（开发价值稍高）※



※ 木材在整个森林资源中的价值美国占1/10,日本占1/25。

创造性的工程开发不单纯提形式上的综合,技术上的堆砌。首要的是在于有一个创造性工程开发概念,即建立一个新系统的概念。系统的功能与其组成部分的功能既有联系又有区别,系统只有作为一个整体,才能发挥最大的功能,就是针对由部分到整体发生了质的变化而言,否则达不到整体功能。例如从林木到林分,从林分到由林分组织起来的森林经营类型就产生了一种新的内容,一种更高价值的功能。作为一个整体的系统所能起到的组织的作用,这正是个别树木,个别林分所不能达到的。我国南方山区经济的发展带有强烈的综合性,有复合经营的价值。“单打一”,片面“以粮为纲”,“一刀切”、“广种薄收”都不符合价值观念。所以必须寻求山区综合开发工程的最佳生产结构和最优组合方案。

四、用系统工程的方法来组织林业生产,管好、用好、发展好森林资源。

林业就是对所经营的林地及其所属资源的一种研究与实践,从这个意义上来讲也就是森林资源的管理,作为经营对象的森林资源这个系统是有那些特点呢?

(1) 森林资源这个系统不仅包括林木、竹子和林地,以及林区范围内的野生动、植物和土壤微生物,还包括林木培养过程中森林发挥的生态效益和自然景观,它所构成的元素种类和数量极其繁多。

(2) 森林资源所占居的空间范围广,生产周期长。

(3) 森林资源这个系统是开放性的,它与环境关系密切,受环境影响极大,同时也对环境产生较大的影响。

(4) 森林资源这个系统内、外存在着大量信息交换与处理系统。

例如森林的生长量，蓄积量采伐量之间，森林和气候、土壤、水文各生态因子之间的关系。没有必要的信息，系统就不能合理动作，就不可能有序化。

(5) 森林资源经营管理的目标不是单一的，而是多目标的，是一个与环境结合着的由许多营林措施（造林、抚育、保护、采伐、更新等）所构成的技术体系。

既然经营林业的目标是从合理经营利用森林资源出发，并把森林资源建立在维持生态系统平衡，实现多效益永续利用的基础之上。因而需要系统评价，研究林分、林地、小班的属性。通过系统的结构，把它们转变为系统的属性。研究森林资源在开发过程中的目标系统、环境系统，以及组织开发系统三者如何有利结合，协调平衡。研究发生在林业生产过程中的种种矛盾，结合从森林资源清查中所得到的大量信息，研究与所有有关的各个方面。采取相应的技术措施，并给这些技术措施作出定量反映，研究技术结构，分析过程，寻求改造与调整整个森林资源系统的结构，从而获得最优方案。

系统工程方法解决森林资源的开发利用和管理的程序如下：

1. 识别环境系统，提出问题，研究问题，这项任务通过林业调查来完成。

2. 确定目标。是单一的，还是综合的多目标决策，构成目标系统。

3. 构成系统的层次结构，例如山区的大农业结构包括农、林、牧、水等；就林业来说又分别林种、树种、森林经营类型，森林经营小班（见图2）。

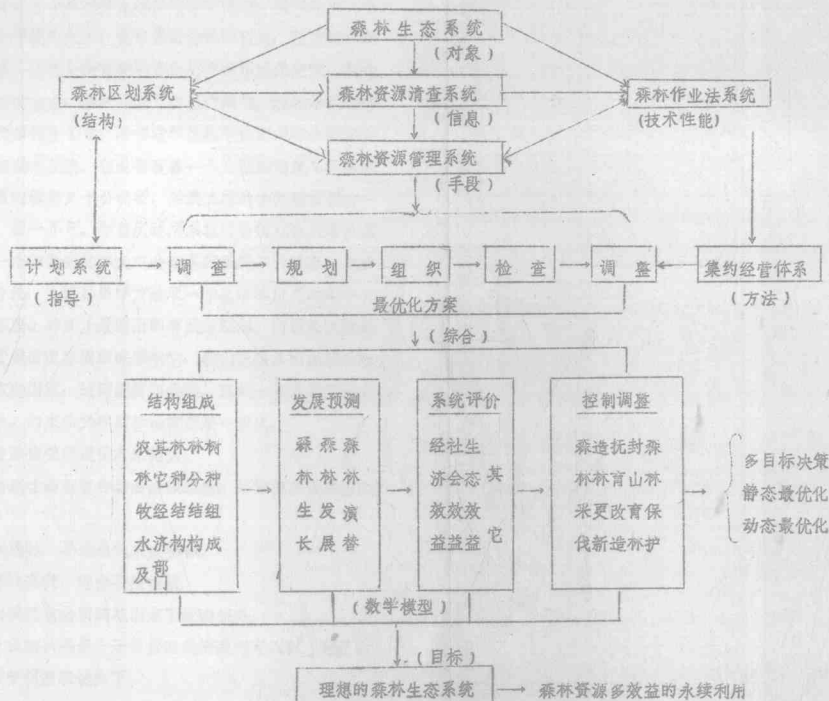


图1 森林资源系统管理工程图(静态实体)

4 系统分析与评价。根据调查所得的数据和资料，经过整理统计，分析，建立起描述各个系统变化规律的数学模型，模型反映了系统内部结构；系统与环境的关系，衡量系统功能的程度，就为选择改进系统提供最优方案。系统分析首先要作出质的模型就是定性。例如山区开发体现了“以林为主，多种经营”的层次结构。森林采伐的计划体现了采伐量不得超过生长量；不得破坏生态平衡的森林永续作业的结构，这是长期实践的经验。但是要改善一个系统的性能又必须进行定量处理，所以量的模型又十分必要，系统工程的在处理模型时一是定性，一是定量，缺一不可。如前所述用系统的价值观念来评价系统，就要推断哪一个参数变化多大就会使系统获得多大改善。定量管理有许多种数学方法，（这些数学方法取一个总名称就是运筹学）。
 运筹学里有十多种方法，其中在农、林业上最常用的有线性规划。所谓线性规划就是指一个事物的发展有很多因素来影响它，我们把很多因素联合起来就知道怎样调整这些因素，达到最好的促进，就是一切因素跟任务的完成都是线性关系。约束条件和目标函数都是一次式。

例如某林场确定采伐必须遵循的原则为：

- (1) 采伐必须有利于调整该林场的龄级结构，尽量使其做到龄级分布均匀。
- (2) 只能采伐成熟林，不准采伐未成熟林。
- (3) 成熟林应尽快采伐，避免积压枯损。
- (4) 计算出来的采伐量必须满足国家下达的任务。

那末要在一个轮伐期获得最大采伐量的线性规划可以以上述原则作为约束条件，用数学模型表达如下：

目标函数

$$X_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_j A_{ij} \rightarrow \max \quad (\text{木材采伐量最大值})$$

约束条件

$$A_{ij} + B_i = G \quad \dots\dots\dots ①$$

$$A_{im} = X_{im} \quad \dots\dots\dots ②$$

$$C_j A_{ij} > K \quad \dots\dots\dots ③$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m A_{ij} = 0 \quad \dots\dots\dots ④$$

$$A_{ij} > 0 \quad \dots\dots\dots ⑤$$

$$B_{ij} > 0 \quad \dots\dots\dots ⑥$$

式中: i : 经理期

j : 龄级

A_{ij} : 第 i 经理期在 j 龄级的采伐面积

n : 一个轮伐期的森林经理期数

m : 成熟林的最后一个龄级

A_{im} : i 森林经理期成熟林最后一个龄级的采伐面积

X_{im} : i 森林经理期成熟林最后一个龄级的可采伐面积

t : 成熟林前的最后一个龄级

B_i : i 森林经理期的荒山绿化面积

G 、 C_j 、 K 、均为常数

这是一个寻求最大解的数学模型, 其目标是在一个轮伐期内获得最大的主伐收益, 计算出各经理期的主伐量, 并满足①—⑥约束条

件。根据调查所得必要的数椐，如：森林蓄积按龄级分配，宜林荒山荒地面积，国家期望木材任务等即可求解。如果我们再把生态效益的要求估算进去。例如复被率必须保持多少？混交林比重多少？水土流失必须控制到多少？增加一定的约束条件，就使经济效益考虑更全面。

可以举出一个提高系统整体功能的例子※——黄土丘陵区最佳农林结构模式。

问题提出：为了搞好一个系统，避免农林牧矛盾，“三料俱缺”，水土流失严重，生态环境恶化。

问题要求：必须定量回答人一粮一草一肥一柴等一系列能量转换平衡问题。

解决方法：对农业资源的特点，潜力，适应性以及农林牧相互关系系作充分调查研究的基础上，运用系统工程的方法，求出生态平衡下的最佳农林牧结构模型，为农业调整提供根据。

目标：结构合理，生态环境达到稳定平衡，经济效益最佳。

整体功能：

原有：农占46%，林占2.4%，人工草5%，天然草46.6%，每公生物量只有100余斤，产值3元，水土流失6000—7000吨，

新的：农占20%，林占22%，草58%，粮食1286斤，柴3281斤，羊6.6头，生物产量每公571斤，产值24元，水土流失降为1200吨。

主要方法为用线性规划解决资源分配及建立合理农业生产结构等问题，主要的约束条件为：土地肥力下降，水土流失加剧，求出不同阶段的线性规划模型，从而用静态的模型去研究不同阶段的动态系统。

※ 引自农业现代化探讨(3)——总64、82、1、8“提高系统的整体功能”。

(5) 开发求解方案。为了择优求好，有必要进行多方案的比较，仿真模拟，运用电子计算机来分析抉择。方案要制定长远的，中期的，近期的，年度的，方案要能预测预报，体现经济、技术、生态、环境、技术管理的统一。

(6) 决策。

科上说，它

由此可见，系统工程“从学^科上说，它^是以一切系统为对象，以对象的自身规律为依据，以现代控制论所表述的系统概念和原理为基础，以现代数学，特别是运筹学为分析工具，以计算机为进行判断的手段，实现系统的最优控制为目的的一门发展中的综合性学科”。

林业在一定意义上讲就是森林资源的科学经营管理，这是一系列复杂工作（生物的，技术的，工程的，经济的）的综合。在森林资源管理中存在着多因素，多变量，多干扰和多目标。因而林业生产、资源管理必须强调系统完整、连续。从定性到定量地去解决生产全过程中出现的矛盾与问题，在林业中应用系统工程的理论和方法就是林业生产的组织与管理科学化的过程。林业系统工程是林业技术学科，林业经济学与数学互相渗透、综合发展的结果。森林资源的合理开发利用，林业上新技术，新设备、新成果的推广，林业经济措施的制订都只有在系统工程的这一科学方法的策划下，才能取得更大的限度的效果。当前全国各省都正在进行农业区划和即将进行“六·五”森林资源清查。这就为我们运用系统工程的理论与技术创造了有利的条件。从理论上研究林业工程开发的环境，森林资源科学管理的技术与方法，找出规律，以便合理组织安排各个子系统与各种因素，用最少的人力和物力取得最大的经济效益。这就是研究林业系统工程的目的。

参 考 文 献

- 刘源张 系统科学与企业管理。“系统工程理论与实践” 1981. 1
- 李国平 系统的控制、滤波与识别。“系统工程理论与实践”
1981. 1
- 周曼珠 现代化、大系统、系统工程与系统科学。系统工程普及讲义。国防科技大学
- 庄郁华 生产函数模型在农业上的应用。湖南省系统工程学会
农业系统工程研究会
- 徐国祯 森林经理与系统工程。系统工程理论与实践 1982. 1

W. A. Duerr , D. E. Teegarden, N. B. Christiansen
S. Guttenberg. Forest Resource Management