

环境系统工程导论

Huanjing Xitong Gongcheng
Daolun

左玉辉 编著

南京大学出版社

环境系统工程导论

左 玉 辉

南京大学出版社

1985·南京

内 容 简 介

本书以系统化、模型化、优化、决策科学化为主线论述了经济发展与环境保护以及两者关系的若干问题。

书中论述的新型投入产出模型、河网水质模型、非饱和土壤溶质运动模型是作者近几年的研究成果，第一次正式发表。

本书可供城市建设、经济、环境保护专业的科研、教学、管理等方面的人员参考。

环境系统工程导论

左玉辉

*

南京大学出版社出版

(南京大学校内)

江苏省新华书店发行 各地新华书店经销

江苏省地质矿产局测绘大队印刷

*

1985年9月第1版 1985年12月第1次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 17

字数: 432千 印数: 1—5000

统一书号: 13336·008 定价4.30元

责任编辑 晨露

序

第二次全国环境保护会议标志着我国环境保护事业进入了一个新的阶段。今后环境保护的主要任务是将环境污染与生态破坏解决于经济建设过程之中，使经济建设、城乡建设、环境建设同步规划、同步实施、同步前进，从而使经济效益、环境效益、社会效益相统一。

要实现这一任务，首要的工作是正确处理发展与环境的关系，使资源、经济、环境成为一个有机的整体，统一规划，综合平衡。为此就要从合理布局生产力、调整城市经济结构、提高工业技术水平入手，合理开发和利用自然资源（包括废弃物再资源化），降低废弃物发生量，并改善其分布；遵循自然界客观规律，合理利用并采取人工措施改善生态环境，提高环境的承载能力；科学地组建废弃物处置系统，使之社会化，用最少的投资达到必要的去除效果。要制定切实可行的环境规划，并使之与经济发展规划、城乡建设规划、能源规划、水资源利用规划协调一致。

为实现社会主义现代化，科学技术进步是关键。同样，要把环境问题解决在经济建设过程之中，关键也在于科学技术进步，特别是软科学的进步。应当提倡研究规划学、预测学、环境法学、生态经济学和环境系统工程，尤其要重视生态经济学和环境系统工程。

近几年，科学界提出生态经济学理论，这是把经济规律与生态理论相结合的科学。生态经济学认为，评价经济建设经济效益，必须从区域生态系统出发，充分注意系统中各个部分之间的密切配合，取得整体上的最佳效益。生态效益是经济效益的物质基础，生态系统受到损害，经济效益就难以保证。生态经济学提倡发展生态工程，用生态工艺代替传统的工艺，运用生态系统的再生原理以闭路循环的形式组织生产，实现资源的充分利用。

环境系统工程是运用系统工程的原理和方法研究环境问题的科学。环境系统工程强调运用系统思想分析环境问题，综合多学科的知识理顺错综复杂现象中的各种内在联系，从而清理出解决问题的思路来；然后定量地刻画各种因素之间的联系，并由此建立综合性的运筹学模型，借助电子计算机寻找解决复杂问题的最优方案，为科学决策提供可靠的依据。

《环境系统工程导论》一书围绕经济建设与环境建设如何协调发展这一中心课题，以系统化、模型化、最优化、决策科学化为主线，就城市经济——环境预测、水环境污染综合防治等问题进行较为全面的论述。作者在该书中阐述了他的一些见解和某些新的定量化方法，很值得环境保护工作者和经济工作者一读。

陈西平

1984年9月22日

目 录

第一篇 绪 论	1
第一章 系统工程概论	1
1.1 系 统	1
1.2 系统思想	1
1.3 系统工程	2
1.4 范 例	3
1.5 系统工程方法	4
第二章 环境系统工程概论	4
2.1 简 史	4
2.2 环境系统工程	5
2.3 环境系统工程展望	6
第二篇 系统化	9
第三章 系统化概述	9
3.1 系统化的基本步骤	9
3.2 专家创造力技术	14
3.3 系统化过程的某些定量化方法	15
第四章 经济——环境预测和城市环境规划	17
4.1 系统分解和指标体系	17
4.2 城市经济——环境预测的任务、内容与步骤	20
4.3 产业结构、技术结构、用地结构与污染发生量的关系	21
4.4 水量调节与河流人工曝气	25
4.5 土地处理系统	29
4.6 城市环境规划	34
第五章 区域环境规划概论	35
5.1 区域规划简介	35
5.2 区域环境规划的主要内容与研究程序	36
5.3 我国大气污染防治方案初探	39
第六章 美国七十年代水资源规划方法	41
6.1 美国七十年代水资源规划研究的技术水平	41
6.2 美国七十年代水资源规划研究的几个实例	44
第七章 国土规划	49
7.1 从系统工程看国土规划	49
7.2 三项建议	55
第三篇 模型化	58

第八章 模型化概述	58
8.1 模型	58
8.2 模拟	59
第九章 新型投入产出模型	59
9.1 新型投入产出表	59
9.2 直接消耗——产出系数	62
9.3 系统内各过程量与系统主要最终产品的关系	70
9.4 完全消耗——产出系数	71
9.5 消耗——产出系数的技术经济含义	77
9.6 新型投入产出模型在编制计划中的应用	81
9.7 新型投入产出模型的普适性	87
第十章 河流线性水质模型和河网水质模型	89
10.1 Streeter—Phelps 模型	90
10.2 水质模型的修正	91
10.3 水质模型的进一步改进	92
10.4 模型中的参数	94
10.5 论线性关系	97
10.6 线性回归水质模型与其它水质模型的联系	101
10.7 美国河流综合水质模型 QUAL—II——新型投入产出模型在河流水质模型研究中的应用	102
10.8 再论线性关系	108
10.9 河网水质模型	112
10.10 河网水质模型(续)	127
第十一章 曝气原理与河流人工曝气	130
11.1 氧转移率方程	130
11.2 用自来水不稳定状态曝气确定氧转移总系数 K_LA	134
11.3 评价曝气设备性能的指标	134
11.4 曝气设备分类	135
11.5 废水特性对氧转移的影响	139
11.6 河流中曝气器性能	139
11.7 通航大河的人工曝气	142
第十二章 氧化塘系统原理与设计	147
12.1 氧化塘技术经济分析	147
12.2 好气氧化塘	149
12.3 厌气氧化塘	154
12.4 兼性氧化塘	157
12.5 曝气氧化塘	164
12.6 氧化塘系统值得研究的几个问题	173
第十三章 非饱和土壤中溶质迁移模型	173
13.1 土壤中溶质的运动	174

13.2 非饱和土壤中溶质运动数学模型研究	181
第四篇 最优化	194
第十四章 最优化概述	194
14.1 优 化	194
14.2 优化方法	194
第十五章 线性规划与经济规划最优化	196
15.1 线性规划问题	196
15.2 经济年度计划的最优化	197
15.3 城市经济年度计划的最优化	199
15.4 投资规划最优化	202
15.5 经济发展规划最优化	204
第十六章 非线性规划与河网水质规划最优化	204
16.1 非线性规划问题	204
16.2 工业企业中污染源的 控制	206
16.3 处理系统的费用函数	209
16.4 控源与水体自净相结合的水质规划	211
16.5 控源与水量调节及水体自净相结合的水质规划	212
16.6 控源与人工曝气以及水体自净相结合的水质规划	213
16.7 控源、水量调节、人工曝气与水体自净相结合的水质规划	216
第十七章 动态规划	217
17.1 符号和术语	217
17.2 动态规划最优化原理	218
17.3 动态规划基本方程	219
17.4 分配问题	222
17.5 效率研究: 和直接搜索法比较	226
17.6 连续变量的例子	226
第十八章 分解和多级最优化	232
18.1 分解和多级最优化的优点	232
18.2 拉格朗日函数的一般表述	233
18.3 对偶函数和拉格朗日函数鞍点	236
18.4 分解和多级最优化例子	243
18.5 水质控制的最优化	247
18.6 只考虑BOD和DO的两级结构	250
18.7 多项污染物的两级结构	257
附录 主要参考文献	264
本书论述的模型微机软件征询函	264
后记	266

第一篇 绪 论

第一章 系统工程概论

1.1 系 统

一、定 义

“系统”这个名词含义很广。在系统工程学中所要研究的系统有它自己的含义，可是目前对系统的定义却很多。钱学森提出的系统定义是：“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的具有特定功能的有机整体，而且这个‘系统’本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分”。王寿云等编著的《系统工程名词浅释》（1982）一书中，进一步讨论了系统的概念：“系统是由相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的事物和过程组织成的具有整体功能和综合行为的统一体。为了实现系统自身的稳定和功能，系统需要以一定方式取得、使用、保持和传递能量、物质和信息，也需要对系统的各个构成部分进行组织。系统的内部组织是协同的，有序的。”

系统的典型例子可以从小到大地举出以下一些：

一台仪器	一个生物体或人体
一部自动机器	一个池塘或湖泊
一条生产线	一个企业或农场
一级行政组织	国民经济的一个部门
一个国家	地球的一个圈层
地 球	太阳系与银河系

二、特 点

系统工程研究的系统具有如下特点：

- 1、它是人工制造的系统或者是经过人工改造的自然系统，或是能被人所认识并能进行控制的系统。
- 2、系统较大或巨大。表现为多子系统、多层次、多因素。
- 3、系统结构复杂，但内部组织协同而又有序。
- 4、系统具有整体功能和综合作用。

1.2 系统思想

一、系统思想的哲学基础

辩证唯物主义认为，物质世界是由无数相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的事物和过程所形成的统一整体。辩证唯物主义体现的物质世界普遍联系及其整体性的思想，也就是系统思想。

二、系统思想的方法论基础

系统思想的方法论基础有定量化的数学方法、模型方法、模拟方法和优化方法。

我们知道，哲学的发展与科学技术的进步是紧密相关的。辩证唯物主义的确立与十九世纪上半叶的能量转化、细胞、进化论的发现分不开。现代科学技术对于系统思想方法也作出了重大贡献。第一个贡献是，为系统思想方法提供了定量化的数学理论，从而有可能定量处理系统各组成部分的相互联系；第二个贡献是，为量化系统思想方法的实际应用提供了强有力的计算工具——电子计算机。这两大贡献都是二十世纪中叶实现的。

三、系统思想的社会实践

社会实践活动的大型化和复杂化，越来越强烈地要求系统思想方法不仅能定性，而且能定量。这尤其表现在军事活动中，因为战争中决策的成败关系到国家民族的生死存亡。第二次世界大战期间，战争的方法和手段上的复杂程度都较以往有很大不同，交战双方都需要有全局观念，从全局出发合理使用兵力，最终达到全局效果最佳的目标，为此，对所拟采取的措施和反措施需要进行精确的定量分析，才有希望在对策中取胜。这样一种迫切的需要，把一大批有才干的科学工作者吸引到拟订和评价战争计划、改进作战技术与军事装备使用方法的研究工作中来，这就大大促进了量化系统方法的发展，使第二次世界大战成为量化系统方法发展的里程碑。战后，量化系统方法开始广泛用于分析工程、经济、政治领域的大型复杂的系统问题，并得到迅速发展，并使系统思想方法从一种哲学思维发展成为专门的系统科学。

概括起来，系统思想是进行分析和综合的辩证思维工具，它在辩证唯物主义那里取得哲学的表达形式，在运筹学和其它科学那里取得了定量的表述形式，在系统工程那里获得丰富的实践内容。

1.3 系统工程

一、工程与系统工程

用量化系统方法处理大型复杂系统问题，无论是系统的组织与建立，还是系统的经营管理，都可以统一地看成是工程实践。“工程”这个词十八世纪在欧洲出现的时候，指作战兵器的制造和执行服务于军事目的的工作。从后一种涵义引伸出一种更普遍的看法：把服务于特定目的的各项工作的总体称为工程，如水力工程、电力工程、土木工程、环境工程等等。如果这个特定目的是系统的组织建立或是系统的经营管理，也可以统统看成是系统工程。

系统工程不是某一类系统的组建、经营管理技术，而是各类系统组建、经营管理技术的总称。它包括物资的充分利用和系统潜力的开发，以最优方式实现预期目标。

二、系统工程的分类

系统工程按照它所研究的系统的性质不同可分为若干门类。如工程体系的系统工程称为工程系统工程；生产企业或企业体系的系统工程叫经济系统工程；国家行政机关系统的运转叫行政系统工程；科学技术研究工作的组织管理叫科研系统工程；战争的组织指挥叫军事系统工程；环境保护方面的系统工程，叫环境系统工程；计量体系的组织管理叫计量系统工程；信息编码、传输、存贮、检索、读出显示系统的组建管理是信息系统工程；组织管理社会主义建设的技术是社会系统工程，简称社会工程。

三、系统工程的理论基础

各类系统工程的共同理论基础是运筹学和计算科学。其中，运筹学只包括系统工程特有的数学理论：线性规划、非线性规划、动态规划、图与网络分析、博弈论、排队论、存贮论、决策论、搜索论等。

除共同的理论基础外，每一门类的系统工程还有特有的专业理论基础。例如，工程系统工程的专业基础是工程设计；科研系统工程的专业理论基础是科学学；企业系统工程的专业理论基础是生产力经济学；军事系统工程的专业理论基础是军事科学；环境系统工程的专业基础是环境科学等等。

四、系统科学

在科学技术的体系结构中，系统工程属于工程技术。但要注意：“农业系统工程”不属于“农业工程学”，这是因为，系统工程有它特有的学科理论基础，总称为系统科学，而系统科学是一个独立的体系。农业系统工程是属于系统科学体系的，是它的一个专业，一个分支，而不能与农业工程学混为一谈。农业工程学是搞技术的，可以说是“硬科学”，而农业系统工程既搞技术又搞组织管理，因此它是既有“硬科学”又有“软科学”的工程技术。农业系统工程与农业工程学的区别有普遍意义，其余各门类系统工程亦如此。不少人把系统工程理解为一系列工程是一种误解。

1.4 范 例

一、工程系统工程

现代工程体系的规模和复杂性日益增长，出现了所谓大系统的工程体系。例如，四十年代，美国研制原子弹的“曼哈顿计划”，动员了15000个研究人员；耗资20亿美元，历时3年；六十年代，美国“阿波罗载人登月计划”发射的火箭土星—5，有560万个零部件，仅飞船上也有300万个零部件，为了这项研究，前后参加的人员达400万人，最多一年动员了42万人，参加研制的公司达200家，大学120所，花费300亿美元，1969年终于第一次到达月球；北欧电力网工程向北欧许多国家的2000万居民和工业供电，电力网中，有火力、水力、原子能不同类型的发电站，大量的变电所，纵横数千里的输电配电线路，结构复杂，规模庞大。研制这样一类复杂工程系统所面临的基本问题是：怎样把比较笼统的初始研制要求逐步变为成千上万个研制任务参加者的具体工作，以及怎样把这些工作最终综合成一个技术合理、经济合算、研制周期短、能协调运转的实际系统，并使这些系统成为它所从属的更大系统的有效组成部分。

二、社会系统工程

系统思想用来研究社会，这是马克思《资本论》所开拓的方向。1758年重农学派魁奈的经济表，1893年马克思对再生产两个部类经济活动相互依赖性的分析，播下了新思想的种子；用数学模型分析社会经济活动。1950年，在美国哈佛大学Mark II计算机上，对38个生产部门的产业关联模型进行一次实验分析，费时56小时；1969年在CD Cb600计算机上，对100个生产部门的产业关联模型进行一次实验分析，只需10秒钟。目前，求解包含数百个产业部门的模型只需几分钟。用数学模型和计算机分析社会经济策略的主要问题是组建大型数据库，并正确描述包含大量数据的计算结果。

1979年钱学森、乌家培提出把系统工程应用于社会、经济系统，发展社会系统工程，简

称社会工程。它研究的对象不只是一个工厂，一个企业，也不只是全国铁路系统、电力系统这样的大系统，而是整个社会、整个国家范围宏观经济运动这样的巨系统，是最高级系统。1980年3月，钱学森在一次学术报告中提出建立国民经济总体设计机构以实现社会工程的主张。这是一个自然科学家、社会科学家、工程技术专家相结合的科学技术组织，它根据国家的目标，利用科学技术的最新成就，设计出包括工业、农业、交通运输、通讯、能源、教育、科学技术、文化、人口、国防和环境保护，以及人民生活的最佳建设方案，提供给国家权力机构决策参考。

1.5 系统工程方法

自六十年代以来，许多学者对系统工程方法进行了大量的探讨工作。但是，企图找到能够处理世界上所有问题的标准方法的想法是不现实的，也许这种方法根本不可能存在。然而，尽管没有这种普遍适用的方法，但总还是可以找到一些能大体适应于各种问题的方法思路，即方法结构。这些方法中，在国外影响最大的是1969年美国学者A.D.Hall提出的系统工程三维结构，简称Hall三维结构，其三维指时间、逻辑、知识。时间维表示系统工作从规划到更新的大略顺序；逻辑维指系统工程的每一个阶段要完成的步骤；知识维指的是完成上述各阶段、各步骤所需要的各种专业知识。

第二章 环境系统工程概论

2.1 简 史

二十世纪六十年代后期，美、日、英等主要工业国先后建立了全国性环境管理机构和科研机构，开展了全国性、地区性和综合性的环境污染防治规划和管理的工作。由于环境问题的复杂性、综合性，迫切需要比较科学的定量化的方法来进行研究，这就大大促进了系统工程在环境保护中的应用，逐步形成一门新的学科——环境系统工程。

1972年美国环境工程教授协会发表了《环境工程的数学模式化》；1973年，美国克雷姆逊大学环境系统工程系Linrin G. Rich教授编著《环境系统工程》一书，该书反映了这个时期的成果。七十年代初，美国与日本进行“用系统工程方法防治环境污染”的科技协作，1977年日本京都大学工学院高松武一郎教授，日本国立公害研究所综合分析部主任研究员内藤正明和美国堪萨斯州州立大学林三方教授三人合写了《环境系统工程》一书；1978年美、英、澳、加、挪等国二十几名专家联合编写了“水污染控制的数学模式”。之后，国际上又出现许多更深入的一些研究成果。

国内，环境系统工程的研究尚处于初创阶段。1981年8月水利出版社出版了Rich编著《环境系统工程》的中译本；1980年7月清华大学环境系统工程研究室傅国伟撰写的《环境系统工程及其发展趋势》一文，扼要而又系统地介绍了国外环境系统工程研究进展和若干实例；继后，清华大学环境系统工程研究室集体编写了《水污染控制系统规划》一书（1982），该书着眼于阐明水污染控制系统的合理规划的全过程，包括水质模型与模拟、经济分析、规划与水质评价，重点是河流污染控制系统的研究。该书反映了我国环境系统工程的科技人员的研

究成果,并提供了若干实例,该书已作为环境工程专业高年级大学生的选修课教材。

近年来,国内许多大中型环境科研项目中已十分重视环境系统工程的研究。全国环境保护科技重点项目的研究中,许多项目都十分注重研究如何将环境系统工程应用于实践,力图用系统工程的理论和方法去解决面临的难题。

2.2 环境系统工程

一、环境问题的特点

环境科学工作者和环境管理干部日益感到环境问题的复杂性。概括说来,环境问题具有跨领域、多系统、多层次、多因素的特点。它涉及社会领域、工程领域、经济领域、生态领域;根据研究的目标,环境问题又可分为不同的系统,比如自然保护系统,环境管理系统,环境监测系统,环境污染控制系统;换一个分类方法,可将环境问题分为污染源发生系统,处理系统,环境系统;每一个系统又可分为若干层次;所有的系统都受许多因素的影响。这里提“环境问题”而不用“环境系统”,是因为“环境系统”这个词就直观意义来说,很难概括我们面临的研究对象。比如污染物的发生很大程度上来自工业生产系统;减少污染物的发生量,改变污染物发生的分布,在某种意义上不属于“环境系统”的范围,而事实上这些问题的研究却是摆在环境工作者面前的重要任务。

二、环境系统工程的主要研究内容

从横向上看,环境系统工程研究的课题涉及:河流污染与控制的模拟,污水系统的区域规划与长远规划,污水处理厂的最优设计和控制,河流水质规划、区域水系规划的优化,大气污染与控制的模拟,废物输送与处理系统的最优化,城市生态系统的系统分析,城市环境、能源和交通的综合动态平衡;环境信息和信息管理系统的开发等。随着形势的发展,环境系统工程的研究课题正在不断扩大和深入。

从纵向看,环境系统工程研究问题的主要步骤是系统化、模型化、最优化,目标是力求决策科学化。粗略地说,系统化阶段相当于总体设计或课题设计(见第二篇系统化);模型化阶段是定量地描述有组织的系统以及系统内各子系统之间的相互关系(见第三篇模型化);最优化阶段是科学地协调各系统以及各系统内子系统之间的关系,以便达到最优规划、最优设计、最优管理(见第四篇最优化)。三个阶段的划分是相对的,系统化过程中包含着模型化与优化,模型化过程中也包含着系统化与优化,而优化过程中也包含着模型化与系统化,所有的过程中都有一个决策科学化问题。然而,三个阶段又有明显的界线,这好象一部机器的生产全过程,设计对应于系统化,加工对应于模型化,总装对应于最优化。设计、加工、总装缺一不可,但设计是关键性的一环。为编写方便,第三章详细讨论系统化问题,第八章讨论模型化的一般概念,第十四章讨论最优化诸问题,请读者先阅读这三章以便尽早了解本书的主要内容。虽然三个阶段中都有决策科学化问题,但层次不同,系统工程追求整个系统的优化,比如城市环境污染综合防治规划是一系列决策,追求全局性的长远的决策科学化。

三、环境系统工程的理论基础和专业理论基础

在第一章中已经指出,系统工程的共同理论基础是运筹学和计算科学。环境系统工程的理论基础也不例外。环境系统工程的专业理论基础是环境科学,环境科学是一门综合性的新兴科学,它几乎涉及所有的学科。

这里对系统工程和运筹学这两个名词稍作解释。二十世纪四十年代以来,国外对定量化

系统思想方法的实际应用相继采取过许多不同的名称：运筹学，管理科学，系统工程，系统分析，系统研究，费用效果分析，等等。他们说的运筹学指目的在于增加现有系统效率的分析工作；所谓管理科学指大企业的经营管理技术；所谓系统工程指设计新系统的科学方法；所谓系统分析指对若干可供选择的执行特定任务的系统方案进行比较，如果上述选择比较着重在成本费用方面，即所谓费用效果分析；所谓系统研究，指拟制新系统的实现程序。钱学森、王寿云在《系统思想和系统工程》一文中，对国外情况作了上述概括之后指出：由于历史原因形成的这些不同名称，混淆了工程技术与其理论基础技术科学的区别，用词不够妥当，认识也不够深刻。该文建议：“国外称运筹学、管理科学、系统分析、系统研究以及费用效果分析的工程实践内容，均可以用系统的概念统一归入系统工程，国外所称运筹学、管理科学、系统分析、系统研究以及费用效果分析的数学理论和算法，可以统一地看成是运筹学。”作为各门系统工程共同理论基础的运筹学是系统思想方法定量化所形成的数学理论和算法。运筹学的内容属于确定性理论的有：线性规划、非线性规划、动态规划、整数规划、几何规划、图论、网络分析、最优控制理论等，属于随机理论的有排队论、库存论、决策论、对策论、搜索论等等。

2.3 环境系统工程展望

一、环境系统工程面临着大量的研究课题

环境保护工作中存在着大量的研究课题值得用系统工程的原理与方法去进行研究。典型的问题有：

- 区域、流域、城市水污染控制系统的组建与管理；
- 区域、城市大气污染控制系统的组建与管理；
- 城区噪声控制系统的管理；
- 城市、流域水资源系统的谱系化、模型化与优化；
- 城市污染综合防治规划方案的确定与实施；
- 环境预测，大型工程的环境影响评价；
- 环境工程的规划和优化设计；
- 土地处理系统的规划与优化设计；
- 生态工程的组建与设计；
- 管理工程的组建与设计；
- 技术工程的组建与设计；
- 区域环境规划的编制与实施；
- 城市生态系统的组建与优化；
- 大型科研课题的组织、设计与管理；
- 技术经济政策的调查、研究与确立；
- 大型试验项目的规划与设计；
- 环境监测网的规划与优化设计。

类似的问题还有很多。这里列举的例子本质上都是某一特定系统的组织建立与经营管理问题。

二、环境系统工程有旺盛的生命力，当前的重点应立足于普及

环境问题的综合性、复杂性、区域性、实践性决定了环境系统工程这门学科有强大的生命力。但是，学科的发展和兴衰与从事学科研究的人员的指导思想有密切关系。目前，大多数环境系统工程的专门化著作，偏重于模型化与最优化，偏重于数学化。过分地强调数学化有局限性，其一，使相当多的学科或部门对环境系统工程不易发生兴趣；其二，现实生活中的问题，并不能都用数学方法解决，经验决策仍占主导地位，而且将来还要占重要地位；其三，数学方法的使用要恰到好处，要着重解决经验决策无法解决的问题，要力求简明扼要，恰到好处地抓住问题最本质的东西。追求学术价值高，简单问题过分复杂化，会走到繁琐哲学的歧路上去，而繁琐哲学最终要灭亡。

根据我国的实际情况和我们面临的急待解决的大量研究课题的现实情况，本书主张用系统化、模型化、优化、决策科学化来概括环境系统工程的基本研究方法，其中系统化是关键；系统化、模型化、优化都是为了追求决策科学化，是实现决策科学化的手段和方法。正因为模型化、最优化是方法与手段，所以它的深度，它所耗用的人力、物力、财力要以达到决策科学化这一总目标为限度。超越这个限度，盲目地追求繁杂的数学模型，终究会有一天被人们发觉：早就不该这样做。

用系统思想将问题系统化，这是大多数人易于接受的，然而真正做好系统化并非一件容易的事。中国环境保护战略，环境保护的基本方针，环境污染防治的道路，环境技术政策的确定要耗用多长的时间，付出多大的代价啊！中国环境保护工作已开展十年了，全国数以万计的人员在搞环保，耗资数十亿元，这是何等伟大的工程！如果说系统工程的研究目标是追求决策科学化的话，那么中国的环保战略、基本方针、防治污染的正确途径、技术经济政策这些都是重大决策，是环境中最高级别的决策。这些决策的科学化决定了我国环境保护工作的前途和命运，重大政策上的失误将会造成数以亿计的经济损失，而时间上的损失，则是无法估价的。要追求实践效果的优化，首要的问题是正确地确立战略、方针、途径、政策。然而，从系统工程看来，正确地确立战略、方针、途径、政策的研究方法主要是系统化。即使在较低级别的研究课题中，比如前一节所提到的所有研究课题，系统化也是关键性的一步。每个课题的研究有三步：系统化、模型化、优化。系统化中又有模型化和优化，模型化、优化中间也有系统化；系统化、模型化、优化结合起来，目标是寻求决策科学化。

然而，在强调系统化的时候，决没有否定模型化、优化的重要性和科学性的意思。事实上，系统工程是用定量化的系统思想研究系统的组织建立与经营管理，追求实践效果的优化。没有模型化与最优化方法，就谈不上定量化，也就没有系统工程这门学科了。目前，有不少人对数学方法能否解决社会、经济、资源、环境中的问题表示怀疑，这是没有根据的，或者说缺乏远见。自然科学、工程技术向社会科学渗透，用定量化系统思想来研究我国的社会、经济、国土、资源、环境是历史潮流，是不可阻挡的潮流，之所以不可阻挡，并不是因为自然科学家想介入社会科学，恰恰在于当今的社会、经济的发展迫切需要自然科学家来研究和解决大量的凭经验一时无法解决的难题。环境科学中，有相当一部分问题属于社会科学，作为一门介于技术科学和社会科学之间的环境系统工程，将是最早进入环境方面社会科学研究领域的技术学科，并且它将成为在环境方面的社会科学与自然科学之间的桥梁。

一门学科的兴衰，首先在于它的科学性；其次，取决于客观的需要；第三，从事该学科的研究人员的指导思想是否正确。环境系统工程的科学性以及环境事业对它提出强烈要求，这是不成问题的；目前，关键在于：环境系统工程本身如何发展，如何适应环境保护工作的

客观需要，以什么样的途径尽快地让它发挥作用？本书主张用系统化、模型化、优化来概括环境系统工程的基本研究方法，尤其强调系统化，旨在尽快普及，尽量多地吸取各门学科的知识经验。另外，现实生活告诉我们：当你研究一个项目时，首先碰到的问题就是系统化，其次才是模型化、优化。因此，系统化、模型化、优化是研究过程的真实反映。

第二篇 系 统 化

第三章 系统化概述

3.1 系统化的基本步骤

大型环境科技课题往往涉及许多方面，常使人感到千头万绪，一时理不出一个头绪来，因此，将问题条理化，梳梳辫子，是最起码的工作。然而辫子如何梳，其中颇有学问。系统化就是科学地梳辫子的方法之一。现在让我们先从系统化的基本步骤说起。为了便于说明问题，而又避免环境科技工作者的某些心理影响，我们尽量少说些环境问题，而言其他，但话题最终归宿仍是环境问题。

系统化的基本步骤大体可概括为：

- 1、确定目标；
- 2、草拟各种可能的行动方案和措施，以备选用；
- 3、拟定合适的行动方案；
- 4、将计划方案清晰地表达出来。

一、确定目标

确定目标是系统化的第一步，确定目标时要研究下述问题。

1、确定目标的依据

摆明问题是确定目标的先行步骤。首先要收集有待研究的问题的各方面的资料，对问题的性质、特点和范围有个清楚的了解，尽量把问题的症结所在表达出来，并找出其原因。问题分析得越深入，确定目标就越有充分的根据。

2、目标的准确性

要使目标订得准确，必须在概念、时间、条件与数量这四个方面都有个清晰的界线。

3、目标的层次性

一项研究课题，必有一个总目标(或二、三个)，为达到总目标，一般又可分成若干子课题，每个子课题都有明确的研究目标，这是下一层次的目标，每一子课题又可分成更小的课题，形成更低层次的研究目标，如此下去便形成“分层目标结构”。

目标结构的层次性十分重要。第一，总目标不分解成若干层次的小目标，总目标就不能落实；第二，下一层次的目标要服从上一层次的目标，若下一层次的目标并不是上一层次的目标所必需的，而又要花耗较多的人力、物力、财力才能达到，以致影响到其他目标难以实现(因为人、财、物力总是有限的)，则必须修正这一目标，使全局平衡。

4、多目标问题的处理

复杂的问题，目标往往不止一个，而是多个，有时各个目标之间还有矛盾。应当慎重考虑，适当处理。其方法有，抓主要目标，将某些目标降为从属目标，即把它放到目标分层结构中的较低层次去；经过分析，主要目标仍不止一个，则应当将这些主要目标按重要性大小

分类,比如“必须达到的”和“希望达到的”,按轻重缓急排成顺序,初定下来,然后再论证。

5、防止确定目标的不正常心理作用

一个研究项目往往需要多个单位和多学科的科技人员参加,由于某些心理作用,在确定总目标和分层目标结构时,尤其是涉及到资金、器材、人力分配时,往往发生争论,甚至引起小小的纠纷。为了避免这些不正常心理作用的影响,首先要求参加研究的人员要有求实的精神,不要片面夸大某一学科、某一项工作的重要性,要有全局观念;其次,决策部门要有一个科学的工作程序,先不涉及资金、器材等问题,而是首先确定好目标,明确目标分层结构,再研究备用措施和初定方案,最后才合理分配人、财、物。层次不清、情况不明就确定人、财、物的分配,难免没有盲目性,事后调整又十分困难,其结果就有总目标难以实现的危险。

总目标和分层目标结构的确定是件极重要的工作,目标错了一切都会错,这对于投资多研究周期长的大型研究工作,会产生严重后果。

英、法合作的“协和”式飞机的研制是一个典型例子。1962年英、法开始合作研制超音速客机“协和”式,当时确定的目标是快速、豪华和舒适。经过十几年的研制,耗资数以亿计,于1975年研制成功,并投入生产。然而,由于能源危机和环境污染问题日益突出,乘客和航空公司都改变了对民航机的要求,乘客希望票价不要太贵,对豪华和高速并无高要求,航空公司则希望省油、载人多和噪声小。这样一来,耗费巨额资金历时十余年的研制工作付之东流。

二、草拟各种可能的行动方案和措施,以备选用

对于一些复杂的课题,尤其是没有研究过的新问题,很难一下子直接设计出包括细节在内的备择方案来,这里包含着许多艰辛的工作,有一个大胆创新和精心论证的过程。一般来说,可分两步走,第一步先作轮廓设想,第二步再细心设计和论证。

1、轮廓设想

轮廓设想这一步的重点是保证备择方案的多样性,即从不同的角度和多种途径,设想出各种各样的可能方案来,尽可能提供广阔的思路,以便选择。

对于那些已经经历的或前人已有成熟经验可资借鉴的问题,寻找达到目标的措施和方案较为容易些;对于一些不曾研究或研究较少而又需要重点研究的问题,难度就大一些。找到新问题的解决方案,是一个创新过程;或者,找到了老问题的新的解决方案,也是创新过程。因为事物总是发展的,情况在不断变化,新问题层出不穷,因此拟定方案阶段,创新具有十分重要的意义。

拟定方案的人员能否创新,取决于他们的知识、能力和精神这三方面的条件。广博的知识是研究问题和创新的基础,虽然想出某种新主意往往很突然,但它只不过是人们在丰富的知识材料基础上,由于某些事物的感触和联想经过思考之后而诱发出来的。知识与能力既有联系又有区别。能力是指把各种知识融会贯通并用于解决实际问题的本领。多谋善断的人,不但知识丰富,而且富于创新精神。创新能力强的人思路活跃流畅,对问题敏感,有独到见解,易于重新认识变化了的事物。创新的第三个条件就是要有敢于冲破习惯势力与环境压力的精神。

创造性思维是个十分复杂的心理过程。心理学与社会心理学的研究表明,有两种主要的心理障碍影响创新。一是社会障碍,自觉或不自觉地向占统治地位的观点看齐;二是思想认