

普通高等教育
兵工类规划教材

环境系统工程

侯克复 编著

北京理工大学出版社

X 192
1750

365089

环境系统工程

侯克复 编著



北京理工大学出版社

(京) 新登字149号

内 容 简 介

本书系部委级统编教材。全书共分七章。主要内容有环境系统工程基本概念；环境系统模型、预测、规划；大系统递阶控制；环境监测点优化分析和环境质量评价。各章中均有实用例题，实用性强。

本书可作为工科高等院校环保专业和相近专业高年级教材（70—90学时），也可供从事环保的技术人员参考。

DW07/03



环境系统工程

侯克复 编著

*

北京理工大学出版社出版发行

各地新华书店经售

北京密云华都印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 16.875印张 438千字

1992年9月第一版 1992年9月第一次印刷

ISBN 7-81013-560-0/Z·19

印数：1—3000册 定价：5.40元

出版说明

遵照国务院国发[1978]23号文件精神，兵器工业总公司承担全国高等学校兵工类专业教材的规划、编审、出版的组织工作。自1983年兵工教材编审室成立以来，在广大教师的积极支持和努力下，在国防工业出版社、兵器工业出版社和北京理工大学出版社的积极配合下，已完成两轮兵工类专业教材的规划、编审、出版任务。共出版教材211种。这批教材出版对解决兵工专业教材有无问题、稳定教学秩序、促进教学改革、提高教学质量都起到了积极作用。

为了使兵工类专业教材更好地适应社会主义现代化建设需要，特别是国防现代化培养人才的需要，反映国防科技的先进水平，达到打好基础、精选内容、逐步更新、利于提高教学质量的要求，我们以提高教材质量为主线，完善编审制度、建立质量标准、明确岗位责任，建立了由主审审查、责任编委复审和教编室审定等5个文件。并根据兵工类专业的特点，成立了九个专业教学指导委员会和两个教材编审小组。以加强对兵工类专业教材建设的规划、评审和研究工作。

为贯彻国家教委提出的“抓好重点教材，全面提高质量，适当发展品种，力争系统配套，完善管理制度，加强组织领导”的“八五”教材建设方针。兵工教材编审室在总结前两轮教材编审出版工作的基础上，于1991年制订了1991~1995年兵工类专业教材编写出版规划。共列入教材220种。这些教材都是从学校使用两遍以上、实践证明是比较好的讲义中遴选的。专业教学指导委员会从兵工专业教材建设的整体考虑对编写大纲进行了审查，认为符合兵工专业培养人才要求，符合国家出版方针。这批教材的

出版必将为兵工专业教材的系列配套，为教学质量的提高、培养国防现代化人才，为促进兵工类专业科学技术的发展，都将起到积极的作用。

本教材由郑英铭教授主审，经中国兵器工业总公司火炸药专业教学指导委员会复查，兵工教材编审室审定。

限于水平和经验，这批教材的编审出版难免有缺点和不足之处，希望使用本教材的单位和广大读者批评指正。

中国兵器工业总公司兵工教材编审室

1991年 8 月

前 言

自然环境的污染是随着经济发展而产生的，二者相互依存、相互制约、相互促进。要想从根本上解决环境污染问题，必须正确地处理经济发展与环境保护之间的关系，将其视为一个有机整体，运用系统工程原理和方法，统一规划，综合平衡。使经济建设与环境建设同时设计、同时实施、同时投产。把环境污染问题解决于经济建设过程之中，从而使经济效益、社会效益和环境效益相统一。为此，本书以环境系统的系统化、模型化和最优化为线索，全书内容由三部分组成：环境系统模型建立方法；处理环境问题最优方案的确定；大系统分解协调理论。三部分内容互相渗透、补充、配合，从而给出了完整的处理环境问题的理论和方法。在内容安排上，力求做到运筹学、模型学、大系统理论与工程应用相结合。着重论述适合于工程上应用的概念、原理和方法，力求做到抽象问题具体化，数学问题工程化，不追求严密的数学论证。书中编入许多例题，通过它将各学科原理有机地结合起来，对培养解决实际问题的能力是有益的。全书共分七章，参考学时数为90，其中第一章2学时，第二章12学时，第三章10学时，第四章18学时，第五章8学时，第六章16学时，第七章10学时，习题课10学时，机动4学时。使用本教材时，可以根据实际情况对各章节内容作一些删减，增加实际练习时间。

本教材是根据编者近年来讲授该课程的讲稿、讲义编写而成的，其中第七章是侯筠同志编写的，并承担全书的插图绘制、文字整理工作。

本教材由河海大学环境水利研究所郑英铭教授主审，兵器工业总公司兵工教编室孙业斌副教授对教材结构及格式提出了宝贵

意见。在此，一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中缺点错误在所难免，恳请读者批评指正。

编者

1991.10

目 录

第一章 环境系统工程概述	(1)
§ 1-1 系统与环境系统工程.....	(1)
一、系统与环境系统	(1)
二、环境系统工程	(2)
§ 1-2 环境系统模型化和最优化.....	(6)
一、环境系统模型概述	(6)
二、环境系统最优化	(8)
§ 1-3 环境系统预测.....	(9)
一、系统预测的基本概念	(9)
二、系统预测的基本原理	(10)
§ 1-4 环境系统规划的最优化.....	(11)
一、环境系统规划的任务和内容	(11)
二、环境系统规划方法	(13)
§ 1-5 环境系统评价和决策.....	(14)
一、环境系统评价	(14)
二、环境系统决策	(15)
第二章 环境系统模型	(17)
§ 2-1 环境系统模型建立方法.....	(17)
一、建立模型的基本概念	(17)
二、建立模型的方法	(19)
§ 2-2 环境系统模型的构造解析.....	(41)
一、环境系统模型的分解	(41)
二、环路子系统的切断	(52)
三、选择设计变量	(55)
§ 2-3 环境系统模型的参数估计.....	(58)
一、概述	(58)

二、直接估计算法	(60)
三、迭代估计法	(67)
第三章 环境系统预测	(89)
§ 3-1 概述	(89)
§ 3-2 回归分析法	(89)
一、概述	(89)
二、逐步回归法建立预测模型	(90)
三、时间序列预测法	(101)
§ 3-3 投入产出分析预测	(101)
一、概述	(110)
二、投入产出模型的基本表达式	(112)
三、环境经济投入产出模型	(120)
四、优化的投入产出模型	(131)
§ 3-4 数量化理论 (I) 预测法	(138)
一、基本概念	(138)
二、预测数学模型的建立方法	(139)
§ 3-5 灰色系统预测法	(149)
一、概述	(149)
二、灰色系统建模原理	(151)
三、灰色系统预测模型	(152)
第四章 环境系统规划	(171)
§ 4-1 概述	(171)
§ 4-2 线性环境系统规划	(172)
一、线性规划	(172)
二、单纯形法	(176)
三、目标规划法	(194)
四、灰色系统目标规划	(212)
§ 4-3 多级环境系统规划	(228)
一、多级过程系统和动态规划原理	(228)
二、动态规划的解题方法	(230)
§ 4-4 广义多项式问题最优优化	(266)
一、概述	(266)

二、几何规划数学模型和算法	(269)
§ 4-5 环境污染系统的最优控制	(276)
一、概述	(276)
二、最大值原理	(277)
§ 4-6 层次分析法	(297)
一、概述	(297)
二、层次分析法的基本原理和分析步骤	(298)
第五章 大系统理论与应用	(322)
§ 5-1 概述	(322)
§ 5-2 大系统的分解与协调	(324)
一、系统分解—协调的概念	(324)
二、分解—协调法	(327)
§ 5-3 大系统动态递阶控制	(341)
一、二次型性能指标开环递阶控制问题	(341)
二、二次型性能指标闭环递阶控制问题	(346)
三、非线性大系统的动态最优化	(349)
第六章 环境质量评价法	(363)
§ 6-1 概述	(363)
§ 6-2 环境质量评价方法	(364)
一、环境质量综合指数法	(364)
二、FUZZY概率法	(368)
三、热力学评价法	(378)
四、模糊综合评价法	(382)
§ 6-3 环境质量的分级	(415)
一、概述	(415)
二、模糊聚类分析	(416)
三、灰色聚类分析	(436)
§ 6-4 模糊模式识别	(444)
一、概述	(444)
二、模糊模式识别法	(445)
第七章 环境监测项目及其测点优化分析	(453)
§ 7-1 概述	(453)

一、基本概念	(453)
二、水域采样技术	(456)
§ 7-2 监测数据公式化	(457)
一、回归分析法	(457)
二、正交表的灵活应用	(463)
三、回归正交试验设计分析法	(473)
§ 7-3 监测项目和测点的优化方法	(483)
一、主成分分析法	(483)
二、对应分析法	(493)
三、群分析法	(503)
四、数量化理论分类法简介	(523)
参考文献	(528)

第一章 环境系统工程概述^[1~4]

§1-1 系统与环境系统工程

一、系统与环境系统

系统这个词已经成为当代广泛流行的术语，对其所下的定义也很多。这里采用我国科学家钱学森提出的定义：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具有特定功能的有机体，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。这样的系统具有的特征如下：（1）它是人工制造的系统或者是经过人工改造的自然系统，这类系统是人工可以控制的；（2）它是由很多子系统、多层次、多因素组成的大系统；（3）系统的结构是复杂的，表现在各个子系统之间、系统的功能与系统内结构及参数之间的关系是很复杂的，且存在着不确定因素和竞争性因素；（4）系统是有组织的，其各个组成部分是按照逻辑统一性要求而形成的有机整体，完成系统特定的功能。

根据上面的讨论，可以对系统的概念作进一步论述：系统是由两个或两个以上相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的事物和过程组成的集合体，并具有特定的功能。在系统内部各事物和过程，通过特定的方式进行信息、物质和能量的输入、贮存、利用、输出及交换。各事物和过程之间存在着协同的，有规律的联系，又能适应于环境变化而保持其功能不变。

人类生存的环境（自然环境、生物环境和社会环境）是一个大系统。它是由一定时空范围内的物理系统（岩石、土壤、大气

圈、水圈)、生态系统(生物与非生物成分组成的循环动态系统)和社会系统等三个大子系统组成的。这个大系统亦称为环境系统。由于组成环境系统的三大子系统之间或内部不断地发生信息、物质、能量的交换。因而,它是一个具有多层次结构、多输入、多输出、多目标、多变量和随机性的巨大复杂的系统。每个大子系统又是由众多次级子系统组成的。例如,由技术系统,经济系统等一系列子系统构成社会系统,而技术系统又是由自然保护系统、环境管理系统、环境污染控制系统等一系列子系统构成的。各个子系统之间,具有相互作用、相互联系、互有因果的关系。例如,对一定的经济系统通过人类的劳动向物理、生态系统输入能量和物质,它们在物理、生态系统中转换成自然能量和自然物质,而又通过技术系统将这些能量和物质的一部分变换为经济产品又回输给经济系统;另一部分变为废品回输给物理系统和生态系统。这样循环反复的物质和能量变换,不仅在三个大子系统之间产生,而且各个子系统内部也通过一定的途径和按着一定顺序发生物质和能量变换。这就表明,三大子系统及其内部各子系统都具有使物质和能量转变的功能、结构,并表现出一定的效率,而其后果影响到其它系统中的物质和能量转变的结构和功能,即产生一定的影响和效益。这样,三大子系统的功能和影响结合起来,构成了环境系统的功能和环境系统的综合影响或效益。显然从物理、生态和社会系统的三者结合上来认识环境问题,把这三个大子系统当成一个有机的整体来研究,才能找到解决环境问题最有效的方法。

二、环境系统工程

1. 定义 系统工程是一门新兴学科。无论在理论上还是实践上都处于发展的初期,还不很完善。因此,目前还找不到一致公认的明确定义。这里仅举一种比较典型的关于系统工程定义的论述:通常把服务于特定目的的各项工作的总体称为工程。如果

这个特定的目的是系统的组织建立或者是系统的经营管理，就可以统统看成是系统工程。显然，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。

如果系统工程方法用于研究环境系统上就称为环境系统工程。或者说，环境系统工程是对环境系统进行合理规划、设计和运行管理的思想、组织和技巧的总称，也是系统工程一个专业门类。

2. 环境系统工程的任务和内容 通常所研究的环境系统如图1-1所示。人类利用天然资源经过加工得到产品，同时也产生了“三废”及噪音等污染物质，以传播、扩散的方式进入大气，水域及土壤中，污染了环境，危害了植物、动物的生长和人体的健康。

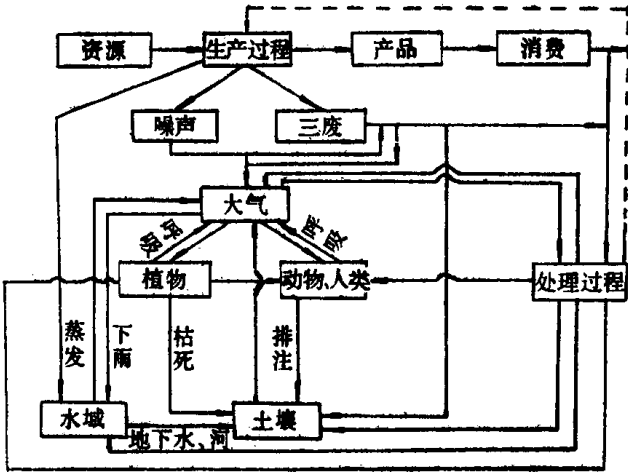


图 1-1

健康。我们就是对这样的全过程，进行系统研究。使其大气，水域，土壤以及动植物等子系统不被破坏，而达到生态系统动态平衡，这是研究环境系统的目的。为了消除或控制环境污染和资源破坏，采用减少从生产到环境的污染物质流和能量流，资源回收和闭路循环，提高废物处理效率，合理规划和综合治理等措施。因此，环境系统工程的任务就是把上述控制措施与各种环境子系

统（如水域系统）综合成一个环境系统，对该系统整体进行分析研究，运用近代数学与电子计算机工具，对环境系统进行规划、组织管理和协调，寻求环境系统整体最优（最优设计、最优控制和最优管理）。为了完成上述任务，环境系统工程研究的主要内容，是从系统的观点出发，采取定量的，或定性与定量相结合的方法，建立环境系统数学模型，进行最优化计算，从经济、技术和社会各方面来对环境系统作优化分析和评价，力求决策科学化。所谓系统的观点是指从全局、大范围、长时间、高层次和大空间来考虑问题。定量的方法是建立环境系统数学模型，并用计算机进行各种计算得到结论。定性方法是依专业有关理论对研究的系统加以评述、比较、推断、立论。定性和定量结合的方法是既要运用专业理论和实际经验来分析问题，又要根据资料、信息和数学原理建立环境系统数学模型。

3. 环境系统工程的理论基础 前已述及，环境系统工程是系统工程方法在环境系统上的应用。因此，环境系统工程的基础理论应该包括系统工程和环境工程这两方面的基础理论。系统工程理论是在系统科学、控制理论、信息论、运筹学、管理科学以及计算科学等基础上发展起来的。这些就是系统工程的基础理论。环境工程的基础理论是环境科学。

环境科学是近年来新兴的一门介于自然科学和社会科学之间的边缘学科。目前，尚处于发展中，对其研究的对象、任务及内容作出肯定完备的介绍，还是有困难的。这里只能简略地给予说明。环境科学是研究“人类—环境”系统。即人类为中心的生态系统的发生、发展、预测、调控、改造和利用的科学，其目的是探讨在人类活动的影响下，环境质量发生变化的规律及其对人类产生的后果，从而为改善环境和创造新环境提出科学依据。环境科学的研究内容：探索全地球范围内环境变化的规律；研究人类活动同自然生态之间的关系；讨论环境变化对人类生存的影响；寻求环境污染综合防治的技术措施和管理措施。因此，环境科学

的基础理论不仅是自然科学，也涉及到社会科学。

大系统理论是70年代发展起来的新学科。它是研究规模庞大、结构复杂、目标多样、功能综合、因素众多的巨大系统的强有力工具。其主要内容是环境系统分析和环境系统综合。

环境系统分析是对已有的大系统或设计方案，进行定性和定量的理论分析或实验研究。以便对系统的技术性能、经济指标、社会效果以及生态影响作出评价和预测，寻找改进现在系统性能和运行效率的途径，为选取系统设计方案、进行规划决策，提供理论和实验依据。

环境系统综合是对尚待筹建或改建的大系统，进行规划决策总体设计、制定协调计划和组织管理方法，使环境系统整体最优，以便新建或改建技术上最先进、经济上合理、运行可靠、工作协调的大系统。分析与综合是不能截然分开的，而是相辅相成的，交替进行的。

模糊数学理论和灰色系统理论也开始应用于环境系统领域，发展也很迅速。例如，环境污染分类可以采用模糊聚类分析法。环境质量综合评价及识别，环境质量变化规律的预测等都能应用模糊理论和灰色理论给予解决。

4. 环境系统工程方法和工作程序 环境系统是多种多样的，它们的性质、特点以及所服从的规律，都不完全相同。然而，它们都是多因素、多变量、多目标以及随时间变化的巨大复杂的动态系统。都可以采用系统工程的方法来处理。系统工程的方法就是运用上面介绍的基础理论和计算方法，按照一定的步骤及进程去规划、设计、管理或控制环境系统。图1-2表示了环境系统工程的方法。图中所有的方框都是动态、多变量系统。从人类生活、生产活动系统产生的污染物进入环境系统（大气、水域、土壤），它与环境状态会合一起形成新的状态，对自然条件进行观测，然后，将这些结果代入环境系统模型进行预测未来的状态。再用这个预测的结果结合约束条件（如经济模型）和环境

条件（环境标准），制订出控制政策，以便控制人类的活动。

环境系统工程的工作一般程序是明确污染控制问题；提供可供选择方案；建立系统数学模型，进行数学模拟；选择目标函数及评价标准；最优化；决策；实施控制。这一工作程序对一些环境系统问题，在应用系统工程学方法来进行规划、设计管理及运行时都可以参照，但不一定严格按照这一顺序，常常要反复穿插进行。

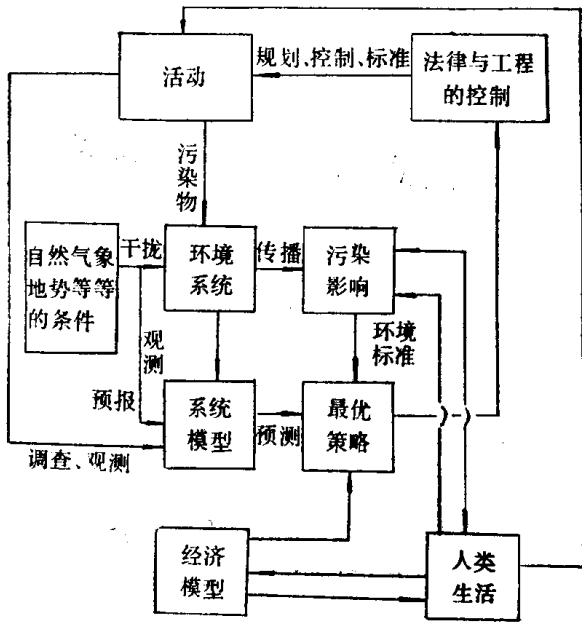


图 1-2

§1-2 环境系统模型化和最优化

一、环境系统模型概述

1. 环境系统模型和模拟 环境保护最根本的任务是防止环境污染和自然资源的破坏，改善环境质量，保护人类的身体健康。这就需要认识和改造环境系统，使其按照人们所需要的方向