

环境系统工程

HUANJIN XITONG GONGCHENG

王素兰◎主编



中原出版传媒集团
大地传媒

 河南科学技术出版社

环境系统工程

王素兰 主编

河南科学技术出版社

· 郑州 ·

内容提要

本书系统地阐述了环境系统工程的基本理论与方法,作者在总结教学、科研和工程实践的基础上,吸收了同类教材的优点并进行较多的修改与充实,使内容更加丰富。全书共分七章,包括环境系统模型、环境系统模拟分析与评价方法、环境系统预测方法、环境系统决策方法、环境污染控制系统规划方法、突发性环境污染事故预测方法等内容。

本书中实例多取材于环境问题科研、规划、管理、治理工程实践,解题思路清晰,便于读者举一反三,可适用于环境科学与工程专业的本科生与研究生学习环境系统工程课程的教材,也可供从事环境保护事业的科技人员及管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

环境系统工程/王素兰主编. —郑州:河南科学技术出版社, 2015. 9
ISBN 978-7-5349-7943-9

I. ①环… II. ①王… III. ①环境系统工程-高等学校-教材 IV. ①X192

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 223168 号

出版发行:河南科学技术出版社

地址:郑州市经五路 66 号 邮编:450002

电话:(0371) 65788624

网址:www.hnstp.cn

策划编辑:王向阳

责任编辑:王向阳

责任校对:柯 姣

封面设计:张 伟

责任印制:张艳芳

印 刷:河南新华印刷集团有限公司

经 销:全国新华书店

幅面尺寸:185 mm×260 mm 印张:14.5 字数:326 千字

版 次:2015 年 9 月第 1 版 2015 年 9 月第 1 次印刷

定 价:35.00 元

如发现印、装质量问题,影响阅读,请与出版社联系调换。

《环境系统工程》编委会

主 编 王素兰
副主编 崔燕平 余 旻
编 委 (以姓氏笔画为序)
王素兰 余 旻 崔燕平

前 言

18 世纪工业化兴起以来，随着科学技术的不断进步，人类的生活水平大为提高的同时，现代工业对环境造成的污染已经远远超出环境自身的承载能力。面对日益严峻的环境问题，人类不得不反思过去，谋划未来的发展，消除污染、改善环境成为当今世界的共识。但是，环境本身是一个复杂的巨系统，环境管理涉及面非常广，大量环境保护工作实践使人们认识到，采用单一的方法或只从局部出发是难以有效处理复杂的环境问题的，必须对环境有整体性的把握，才能统筹兼顾、深谋远虑地处理好人类与环境系统的关系，这其中系统的思想和理论特别重要。

系统工程是正在迅速发展和被广泛应用的一门综合性科学技术，给人们提供了一种跨越学科界限而从整体上分析、处理问题的新模式、新思路、新方法。采用系统观点分析处理环境问题，就产生了“环境系统工程”这门新兴的交叉学科。

环境系统工程从系统角度出发，将区域环境系统看成是一个大系统，综合运用系统工程提供的系统论、决策论、运筹学、最优化技术等多学科知识综合方法系统性分析各种错综复杂的环境要素之间的联系，形成解决问题的思路，并应用量化技术描述系统结构与关系，用工程的方法解决环境问题。环境系统工程已经成为解决复杂环境问题的一项重要工具，目前在从环境规划到环境管理、从环境治理到实验研究等方面均获得较大的进展，是我国现代化建设中不可缺少的一门方法性学科。

本书编者和课题组在多年的教学、科研和工程基础上，参考并吸收了同类教材的优点，以环境系统模型、环境系统分析与评价、环境系统预测、环境决策分析等为重点内容，力求较全面阐述环境系统工程的基本理论和方法，同时涉及环境系统思想与方法的现实应用如环境污染控制系统规划和环境风险评价与管理等。本书作为教材具有系统完整性、结构合理、实用性强，对培养学生环境工程系统思维，用系统观点分析环境要素，解决综合性和区域性环境问题，进行突发事故性环境质量预测与环境信息管理、环境决策等具有重要意义。本书可作为高等院校环境科学与工程、城市规划、市政工程、资源管理以及其他相关专业本科生、研究生的教材或教学参考书，也可供从事环境规划、评价和管理以

及市政等有关部门的科技人员参考。

本书由王素兰担任主编，负责统稿、定稿，由崔燕平、余旻担任副主编，参与了部分章节的统稿工作。具体编写分工如下：第一章、第二章的 2.1 和 2.4 节、第三章、第五章的 5.2 节、第七章的 7.4 节由王素兰编写，第二章的 2.2 节、第四章、第五章的 5.1 节和 5.4 节、第六章的 6.2 节由崔燕平编写，第二章的 2.3 节、第五章的 5.3 节、第六章的 6.1 节和第七章的 7.1 节、7.2 节、7.3 节、7.5 节由余旻编写。本书编写过程中得到罗佳佳、李二岗、王梦菲、姚芳、凌源、刘晓鹏等的帮助，在此表示感谢。编者参考了大量文献，书中的案例均来自公开出版的书籍、资料，在此一并表示诚挚的谢意。

由于环境系统工程仍在继续发展，编者水平有限，书中疏漏错误在所难免，恳请读者批评指正。

编者
2015 年 6 月

目 录

第 1 章 环境系统工程基础	(1)
1.1 系统的概念	(1)
1.1.1 系统的定义和特点	(1)
1.1.2 系统的特征	(2)
1.1.3 系统的分类	(4)
1.2 系统工程学的发展与特点	(6)
1.2.1 系统工程的定义和特点	(6)
1.2.2 系统工程的发展历程	(7)
1.3 系统工程的方法步骤与应用领域	(8)
1.3.1 系统工程的方法与步骤	(8)
1.3.2 系统工程的应用领域	(10)
1.4 环境系统问题	(11)
1.4.1 环境系统的定义及其分类	(11)
1.4.2 大环境系统问题 (水、气、生态)	(12)
1.5 我国的环境现状 (水、气、生态)	(13)
1.6 可持续发展理论	(14)
1.6.1 可持续发展的实质	(14)
1.6.2 可持续发展的主要内容	(15)
1.6.3 可持续发展战略的应用	(16)
1.7 环境系统工程的任务和应用	(19)
1.7.1 环境系统工程	(19)
1.7.2 环境系统工程的理论基础	(19)
1.7.3 环境系统工程的发展、研究与应用	(20)
思考题	(22)
第 2 章 环境系统模型概述	(23)
2.1 模型的概念	(23)
2.1.1 模型的含义	(23)
2.1.2 模型的特征	(23)

2.1.3	模型的分类	(25)
2.2	建立模型的方法	(29)
2.2.1	建立模型的一般方法	(29)
2.2.2	建立模型的一般步骤	(29)
2.2.3	建立模型所遵循的原则	(29)
2.3	系统结构模型	(30)
2.3.1	结构模型的概念	(30)
2.3.2	结构模型举例	(30)
2.3.3	解析结构模型的求解步骤	(33)
2.4	环境系统数学模型	(37)
2.4.1	环境系统模型的建立过程与方法	(37)
2.4.2	环境数学模型参数的估值方法	(44)
2.4.3	模型的验证和误差分析	(50)
2.4.4	模型灵敏度分析	(51)
	思考题	(54)
第3章	环境系统的分析与评价	(56)
3.1	系统分析与评价方法	(56)
3.1.1	直接分析建模法	(56)
3.1.2	状态空间法	(60)
3.1.3	投入产出分析法	(66)
3.1.4	德尔菲法	(71)
3.2	层次分析法在环境系统分析中的应用	(74)
3.2.1	层次分析法	(74)
3.2.2	层次分析法的基本步骤	(74)
3.2.3	层次分析法的计算问题	(78)
3.3	网络分析在环境系统工程中的应用	(80)
3.3.1	概述	(80)
3.3.2	网络图的绘制	(82)
3.3.3	网络图时间参数的计算	(87)
3.3.4	网络计划的优化	(90)
	思考题	(95)
第4章	环境系统预测	(97)
4.1	概述	(97)
4.1.1	预测的作用	(97)
4.1.2	预测的方法	(97)
4.1.3	环境系统预测	(98)
4.2	环境容量预测(水、气、生态)	(99)
4.2.1	水环境容量预测	(100)

4.2.2	大气环境容量预测	(103)
4.2.3	生态环境容量预测	(106)
4.3	环境影响预测(水、气、生态)	(109)
4.3.1	水环境影响预测	(110)
4.3.2	大气环境影响预测	(122)
4.3.3	生态环境影响预测	(129)
	思考题	(131)
第5章	环境决策分析	(132)
5.1	环境系统决策的基本理论	(132)
5.1.1	环境系统决策的基本概念	(132)
5.1.2	环境系统决策要素	(132)
5.1.3	环境系统决策的一般过程	(133)
5.1.4	环境系统决策分类	(134)
5.2	常用的单目标环境系统决策技术方法	(136)
5.2.1	确定型环境系统决策	(136)
5.2.2	风险型环境系统决策	(137)
5.2.3	不确定型环境系统决策	(142)
5.3	多目标环境决策分析	(144)
5.3.1	环境问题的多目标特征	(144)
5.3.2	多目标环境系统决策的特点	(144)
5.3.3	多目标环境系统决策的基本原则	(145)
5.3.4	多目标环境系统决策方法	(146)
5.4	案例分析	(149)
5.5	讨论总结	(154)
	思考题	(155)
第6章	环境污染控制系统规划	(156)
6.1	水污染控制系统规划	(156)
6.1.1	水污染控制系统的结构层次与规划	(156)
6.1.2	最优化法在水污染控制系统规划中的应用	(159)
6.2	大气污染控制	(173)
6.2.1	大气污染控制措施	(173)
6.2.2	最优化方法在大气质量管理中的应用	(174)
	思考题	(181)
第7章	环境污染事故的突发性预测	(182)
7.1	突发性环境污染事故及其预测	(182)
7.1.1	突发性污染事故	(182)
7.1.2	突发性环境污染事故的预测	(183)
7.2	系统简化及其划分	(185)

7.3	风险识别	(186)
7.3.1	理论基础	(186)
7.3.2	物质危险性识别	(186)
7.3.3	化学反应危险性识别	(190)
7.3.4	工艺过程危险性识别	(192)
7.4	风险事故源项分析	(198)
7.4.1	事件树分析	(199)
7.4.2	事故树绘制	(201)
7.4.3	最大可信灾害事故源项参数分析	(210)
7.5	突发事故案例	(211)
7.5.1	广东省茂名市茂南区公馆镇企业排污污染空气事件	(211)
7.5.2	千丈岩水库遭遇突发水污染	(212)
7.5.3	汉江上游排放渍水致武汉自来水氨氮超标	(214)
7.5.4	金山水污染事件	(215)
7.5.5	黄浦江漂浮死猪事件	(215)
7.5.6	日本福岛核电站事件	(216)
7.5.7	苹果代工厂偷排污,上海松江现“牛奶河”	(216)
7.5.8	福建紫金矿业集团含铜酸性溶液泄露污染事件	(216)
	思考题	(218)
	参考文献	(219)

第 1 章 环境系统工程基础

1.1 系统的概念

在我们的日常生活和工作中，处处存在着大大小小的系统。在自然界和人类社会中，可以说任何事物都是以系统的形式存在的。大到宇宙、地球、工业系统、计算机系统，小到肉眼无法观察的微生物环境，每个所要研究的对象都可以看成是一个系统。人们在认识客观事物或改造客观世界的过程中，用综合分析的思维方法看待事物，根据事物内在的、本质的、必然的联系，从全局的角度进行研究与分析，这类事物就被看成了一个系统。

系统的思想来源于人类长期的社会实践。人类很早就有了系统思想的萌芽，主要表现在对整体、组织、结构、等级、层次等概念的认识。可以说，自人类有生产以来，无处不在同自然系统打交道，也无时不在依据自己的生存需要而建立一些人为的系统，以增强人与自然相适应的程度。人们不仅用自发的系统观点考察自然现象，并且还基于这些概念去改造自然。人们从统一的物质本质本源出发，把自然界当作一个统一体，就是说，人类在社会实践中已经自觉和不自觉地在用系统的思想改造自然、促进社会发展了。

1.1.1 系统的定义和特点

系统一词来自拉丁语 *systema*，即“群”或“集合”的意思。

在韦氏（Webster）大辞典中，“系统”一词定义为“有组织的或被组织化的整体”，“是形成集合整体的各种概念、原理的综合”，是“以有规律的相互作用或相互依存形式结合起来的对象的集合”，等等。

一般认为，系统是由相互作用和相互联系的若干组成部分（要素）结合而成的、具有特定功能的有机整体。它包含三层意思：（1）系统必须由两个以上的要素所组成。要素是构成系统的最基本的单元，是系统存在的基础。（2）要素之间存在着有机的联系和相互作用的机制，从而形成一定的结构或秩序。（3）系统都具有一定的功能或特性，而这些功能或特性是它的任何一个部分都不具备的。这种新功能是由系统内部的有机联系或结构所决定的。

在客观世界中，一个系统中的任何组成部分可以被视为一个子系统，而每一个系统又可以被视为一个更大规模系统中的一个组成部分。系统与环境是一对范畴。任何一个系统都处于一定的环境。

1.1.2 系统的特征

系统具有集合性、整体性、层次性、相关性、目的性和适应性等特征。

一、集合性

集合性指系统是由两个或两个以上可以相互区别的要素组成的集合体。如简单的制造系统，一般由工作机、操作者、工具、材料、图纸、工艺卡、电力等要素组合而成。复杂系统则是由许多要素、单元体和活动过程等组成的集合体。如一个工厂通常是由各种类型的设备、各种原材料、能源、生产过程、经营及各类人员等要素或子系统组成的集合体。

二、整体性

系统的整体性可以表述为系统不是各个要素的简单集合，系统要素及其相互联系是根据逻辑统一性而协调存在、是以服从系统整体功能为目的的。系统整体中各个要素即使不都完美，也可协调综合成为有良好功能的系统。

在系统实际运行中，整体性表现为两种情况：

1. 整体小于各组成元素之和。
2. 整体大于各组成元素之和（多数情况属于这种）。

出现上述两种情况的原因，是由于系统的整体功能取决于一定结构的系统及其中各元素之间的协调关系。如果每个元素的功能都良好，但是元素的步调不一致，甚至出现分目标互相矛盾的现象，作为整体就不可能具有完好的功能。而如果元素之间的功能协同一致，即使单个元素的功能并不十分完善，作为整体也可能会有很好的功能。

由于这种整体功能不是各要素单独具有的，因此对于各要素来说，整体功能的产生更主要的表现为一种质变，系统整体的质不同于各个要素的质。系统整体之所以能产生新质，是因为在系统整体的各个组成部分之间，相互联系和相互作用形成的一种协同作用。只有通过协同作用，系统的整体功能才能显现。

系统的整体原则对现代化管理工作具有重要的指导意义，主要作用有如下几个方面：

1. 依据确定的管理目标，从管理的整体出发，把管理要素组成一个有机的系统，协调并统一管理其中的各个要素，使整体产生放大效应，发挥出整体的优化功能。
2. 将不断改善单个元素的功能，作为改进整体功能的基础。一般是从提高组成要素的基本素质入手，按照系统整体目标的要求，不断注意改善各个部门特别是关键部门或薄弱部门的功能素质，强调局部服从整体，从而实现管理系统的最佳整体功能。
3. 改善和提高管理系统的整体功能，还要注意调整要素的组织形式，建立合理的系统结构，促使管理系统的功能优化。

三、层次性

系统作为一个相互作用的诸多要素的总体，它可以分解为一系列的子系统，并存在一定的层次结构，这是系统结构的一种形式。在系统层次结构中表述了在不同层次子系统之间的隶属关系或相互作用的关系，在不同的层次结构中存在不同的运动形式，构成了系统的整体运动特性。

例如，对教育系统进行层次性考察，可得层次结构如图 1.1 所示。

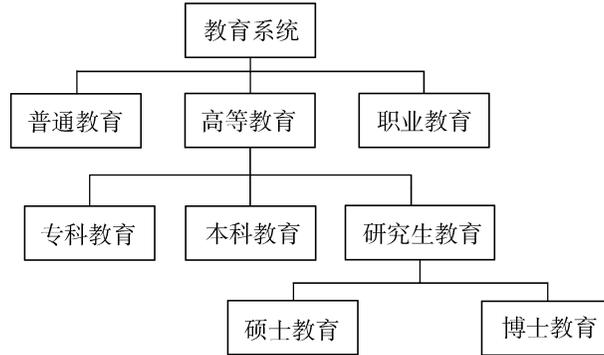


图 1.1 教育系统的层次性

事实上，普通教育又可以再划分为小学教育、中学教育等；职业教育又可以细分为不同职业领域的教育。

四、相关性

整体性确定系统的组成要素，相关性则是表明这些要素并不是孤立工作的，它们之间存在着确定性的关系。系统的要素相互联系，它们之间相互作用、相互制约，有着特定关系和演变规律。它们之间的某一要素发生变化，另一些要素就会做相应的调整，只有追求整体目标而不是单一目标，才能提高整体系统的整体运行效果，保证系统的整体仍然处在最佳状态。如发电厂中锅炉、汽机、发电机、风机、水泵、给煤设备、烟气净化设备等相互连接，相互制约。

五、目的性

“目的”是指人们在行动中所要达到的结果和意愿。系统的目的是人们根据实践的需要而确定的。系统的目的与功能相统一，是区别不同系统的标志。

例如，工业系统中企业的经营业绩既要考虑产量、产值等指标，又要考虑成本、利润、质量等指标。由很多设备组成的发电厂的目的是达到可靠、稳定、高效运行。

由于较大的系统往往具有多个目标，当组织规划大系统时，常采用图解的方法来描述目的与目的之间的相互关系，这种图解的方式称为目的树，如图 1.2 所示。

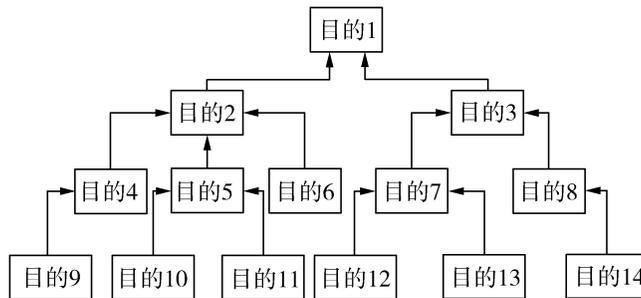


图 1.2 目的树

通过目的树，可使各目的层次鲜明，次序明确，并可对目的树各个项目的目的进行分析、讨论和磋商，统一规划和协调。

六、适应性

适应性是指环境的适应性。环境是存在于系统以外事物的总称，系统所处的环境就是约束条件。环境是一种更高级、更复杂的系统，在某些情况下，它也会限制系统功能的发挥。

系统与环境互相融入。系统不是孤立存在的，它必然会和外部环境产生物质的、能量的、信息的交换，因此，系统必须适应外部环境的变化。能够与外部环境保持最佳适应状态的系统才是健康运行的系统，不能适应周围环境变化的系统是难以生存的。系统的环境适应性提醒人们要考虑系统与环境的联系。只有系统内部关系和外部关系相互协调、统一，才能全面发挥系统的整体功能，保证系统整体性向最优化发展。

系统的环境适应性使得系统具有动态性的特征。物质和运动是密不可分的，各种物质的特性、形态、结构、功能及其规律性，都是通过运动表现出来的。开放的系统与外界环境有物质、能量和信息的交换，系统内部结构也具有随时间变化的特征。系统的动态性使得系统具有生命周期，系统的发展是一个有方向性的过程。

1.1.3 系统的分类

自然和社会中的系统多种多样。根据生成原因和反映属性的不同，系统可以进行多种分类。

一、自然系统和人造系统

这是按照事物的自然起源对系统进行的分类。

自然系统是自然物在自然过程中产生的。原始的系统都是自然系统，如天体、海洋、生态系统等。自然系统是一个复杂的均衡系统，如季节的周而复始、气候系统的混沌动力学特性、食物链系统、水循环系统等。

人造系统是人们将有关元素按属性和关系组合而成的，而且人造系统都是存在于自然系统中，如海洋船只、机械设备、社会经济系统、科学技术系统、各种工程系统等。

人造系统和自然系统之间存在着一定的界面，两者互相影响、相互渗透。多数系统都是自然系统和人造系统相结合的复合系统。如社会系统，看起来是一个人造系统，但是它的发展是不以人的意志为转移的，并有其内在的规律性。

系统工程所研究的对象，大多数是既包含人工系统又包含自然系统的复合系统。从系统的观点讲，对系统的分析应自上而下地而不是自下而上地进行。如研究系统与所处环境，环境是最上一级，先注意环境对系统的影响，然后再进行系统本身的研究，系统的最下级是组成系统各个部分或要素。自然系统常常是复合系统的最上一级。因此，在建设任何人工项目时，首先应该考虑对环境的影响。

二、实体系统和概念系统

这是按照系统的物质属性对系统进行的分类。

实体系统是指以生物和非生物等实体为构成要素所组成的系统，如计算机系统、

通信网络系统、机械设备系统等。

概念系统是指由人的思维创造，以概念、原理、原则、方法、制度、规定、程序、政策等非物质实体为构成要素所组成的系统，如管理系统、社会系统、法律系统、教育系统、国民经济系统等。

在实际生活中，实体系统和概念系统往往是结合起来的。实体系统是概念系统的物质基础，而概念系统是实体系统的中枢神经，为实体系统提供指导和服务，两者是不可分的。如管理信息系统中的计算机及其外部设备是实体系统，而运行的管理软件、数据库、应用程序就属于概念系统。

三、开放系统和封闭系统

这是依据系统和环境的关系对系统进行的分类。

封闭系统是指系统与环境相互隔绝而孤立，系统与环境之间没有物质、能量和信息的交换，呈封闭状态。封闭系统的存在，首先是该系统内部组成部分及其相互关系存在平衡关系，这种平衡关系的意义是和不同系统的层次、系统的内容以及人们观察的侧重点相关的。

开放系统是指系统与环境有物质、能量、信息进行交换。如生产系统、商业系统等。这些系统通过系统组成部分的不断调整，来适应周围环境的变化，以使其在某个阶段保持稳定的状态。开放系统往往具有自适应特性。

实际生活中的绝大多数系统都是开放系统。封闭系统的划分是相对的，封闭系统是开放系统的近似和简化，是系统边界的相对明确。

四、动态系统和静态系统

这是按照状态变量的性质对系统进行的分类。

静态系统的运行规律中不含时间因素。现实生活中的实体网络系统、建筑结构系统、城市规划布局系统都是静态系统。静态系统和实体系统是相对应的。实际应用中，物理学中考虑的平衡系统可以看成静态系统。

动态系统的系统状态变量、内部结构都是随时间变化的，一般都有人的行为因素在内。如生命系统、服务系统、生产系统、社会系统等。动态系统需要以静态系统为基础，需要有概念系统的配合。

事实上，静态系统是动态系统的极限稳定状态或简化假设状态。

五、黑色系统、白色系统和灰色系统

这是按照对系统的认识程度而对系统进行的分类。

黑色系统是指明确系统与环境关系，但是对于系统内部的结构、层次关系、组成元素和实现机理却一无所知。

白色系统是指一切都很明朗化，既明确系统与环境之间相互作用的关系，也明确系统内部结构、元素和系统特性。

黑色系统和白色系统的划分是相对的。例如，对于同一个管理信息系统，从用户角度分析，是属于黑色系统。用户只需要了解如何使用该系统，通过界面完成特定的操作即可，而不需要知道系统是怎样设计、运行的。但对于该系统的开发人员来说，他们对系统的运行过程非常了解，因此，从开发人员的角度看，它又是一个白色系统。

灰色系统是指部分明确系统与环境关系、系统结构和实现过程。在现实世界中，灰色系统是存在形式最多的一种，我们所面临的研究的大部分对象都是灰色系统。

六、简单系统和复杂系统

这是按照系统内子系统的关系对系统进行的分类。

简单系统是指组成系统的子系统数量较少，或者尽管子系统数量多或巨大，但它们之间的关联关系相对比较简单。简单系统也可划分为简单小系统、简单大系统和简单巨系统。对于某些非生命系统，如一台机械设备，可视为小系统，这一类系统用传统的数学、物理学、化学等知识可以很好地描述。一个仅考虑产品生产的普通工厂，可视为一个大系统，可以用控制论、信息论和运筹学的部分内容加以研究。研究这些简单系统可以将各子系统之间的相互作用直接综合为系统整体的功能。

复杂系统的系统结构繁杂，系统的层次也相对较多，要素之间的关系复杂，关系种类多，最终形成具有多目标的多个方案，并且会涉及很多技术种类。复杂系统大多数具有不确定性，如人体系统、地理系统、气象系统都是复杂系统。

1.2 系统工程学的发展与特点

1.2.1 系统工程的定义和特点

一般认为，系统工程学是对系统进行合理规划、研究、设计和运行管理的思想、步骤、组织和技巧等的总称。它以系统（尤其是大型复杂系统）为对象，运用系统思想、观点和方法，根据总体协调的需要，把自然科学和社会科学中的思想、理论、方法、策略和手段有机地联系起来，以系统理论为基础，以现代数学和电子计算机为手段，对系统的构成要素、组织结构、信息交换和反馈控制等进行分析、设计、制造和服务，从而达到系统的最优设计、最优控制和最优管理的目的，以便最充分地发掘人力、物力和潜力，并通过各种组织管理技术，使局部和整体之间的关系协调配合，以实现系统的综合最优化。目前各类工程系统都正在形成各自的系统工程学，如环境系统工程、能源系统工程和管理系统工程等。

系统工程学从选择目标开始就是为了求得一个最优或准优的综合系统。它的主要特点可以概括为以下三个方面。

一、研究方法的整体性

它要求既要把研究对象看作一个整体，也要把研究对象的过程看作一个整体。从整体与部分、整体与环境相互联系、相互制约、相互依赖的关系中揭示研究对象的性质和运动规律。

二、处理问题的综合性

综合性包括以下几方面内容：一是系统目标的多样性与综合性，要统筹兼顾、综合考虑，而不能顾此失彼。二是处理问题时要全面综合考虑某项措施可能产生的多方面后果，防患于未然。如我国南方的一些农村，因为能源短缺，有的地方大量砍伐树木和采伐草根作燃料，由此导致了水土流失、气候失调等一系列严重后果，甚至陷入恶性循环，使本来短缺的能源更加短缺。所以，每采取一项措施，必须全面综合考虑

其相互影响或连锁效应，以防止发生不良后果或造成重大损失。三是综合利用多种技术，形成新的技术综合体。一个大型复杂系统，往往是一个技术综合体，需要多方面的技术，仅靠某一个领域的技术是不够的。系统工程尤其强调综合运用各个学科和技术领域内的成就，使各种技术相互配合以达到系统的整体最优。

三、组织管理上的科学化和现代化

系统工程的整体性和综合性客观上要求管理的科学化和现代化。没有管理上的科学化和现代化，就难以实现研究方法的整体化和处理问题的综合化，也就不可能发挥系统的效能。

1.2.2 系统工程的发展历程

在任何一门学科的研究与学习过程中，了解它的发展史，对于掌握其思想方法、加深理解基本概念等，都有很大的帮助作用。系统工程是以已有的科学和技术为基础，将各种科学和技术融合起来，而又重新体系化了的科学和方法。它在工业工程、质量管理、人机工程、价值工程以及计算机科学等学科的基础上发展而来。

系统工程的发展大致可以分为萌芽、发展、初步成熟三个时期。

一、萌芽时期

系统工程的思想在古代就出现了，而且不乏成功使用系统思想的案例。

在20世纪初，美国的泰勒从合理安排工序、分析人工的操作、提高劳动生产率入手，研究科学管理的规律，探索管理科学的基本规律，到20世纪20年代逐步发展为主要研究生产在时间和空间上管理技术的工业工程。20世纪30年代，美国贝尔电话公司提出系统途径的观点，1940年正式采用“系统工程”这个词，并且在研究发展微波通信网时，应用一套系统工程的方法论，取得了良好的效果。

第二次世界大战期间，由于军事上的需要，人们提出并发展了运筹学。运筹学在以后的应用中逐渐发展成为工程学的理论基础。战后，这种理论被迅速推广到经济和管理领域。1945年，兰德公司在美国成立，开始研究复杂系统的数学分析方法。此后，美国采用系统工程分析方法对国防系统、宇航系统以及电力、交通、通信等大规模的系统进行研究开发，取得了很多成果。在20世纪40年代后期，工程界出现了控制论、信息论。1946年，第一台电子计算机在美国研制成功。这些都为系统工程的发展奠定了坚实的基础。

二、发展时期

1957年，美国的H. H. Goode和Macho合著出版了《系统工程》一书。从此，系统工程作为专门术语沿用至今。这时，许多运筹学的成果已经开始大量应用到民用系统中，成为经营管理的手段。与此同时，运筹学自身也得到了极大的发展。

美国在研制原子弹的“曼哈顿”计划中，运用系统工程方法取得显著成效，对系统工程的发展起了一定的作用。美国在北极星导弹的研制中，首次采用了计划评审技术（PERT）。获得了成功，有效推进了计划管理。现在PERT方法已经在大多数先进企业内采用。PERT方法以及由它派生的方法已成为系统工程的重要方法之一。

20世纪60年代开始，计算机在西方普遍使用，为系统工程的发展和应用提供了强