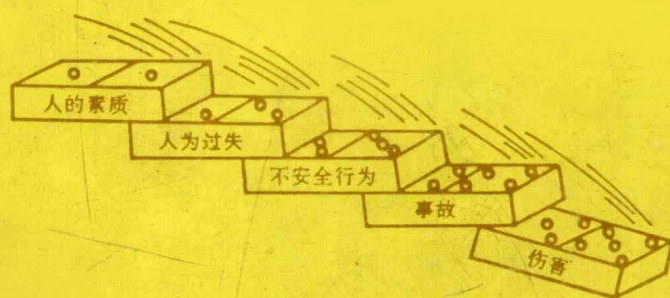


全国高等林业院校试用教材

林业安全系统工程

王述洋 主 编
崔存河 副主编
郭建平 主 审



东北林业大学出版社

全国高等林业院校试用教材

林 业 安 全 系 统 工 程

王述洋 主 编

崔存河 副主编

郭建平 主 审

东北林业大学出版社

(黑) 新登字第 10 号

全国高等林业院校试用教材

林业安全系统工程

Linye Anquan Xitong Gongcheng

王述洋 主 编

崔存河 副主编

郭建平 主 审

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路 26 号)

东北林业大学印刷厂印刷

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 19 字数 427 千字

1995 年 9 月第 1 版 1995 年 9 月第 1 次印刷

印数 1 — 500 册

ISBN 7-81008-586-7
S · 139 定价 14.50 元

前 言

安全系统工程是现代安全科学技术的重要分支领域和组成部分,是综合运用安全信息论、安全运筹学、安全控制论原理和系统工程方法研究和解决各种生产过程、生活过程中的安全问题、预防伤亡事故、工业灾害和经济损失发生的一个新兴学科。这个学科自 70 年代引入我国以来,其科学性和有效性受到人们的高度重视和首肯,先后在各行各业中得到推广、应用。经过十几年的教学、科研和生产实践,安全系统工程在我国又有了长足发展,取得了可喜的成绩,林业安全系统工程的产生就是其中的一例。

林业是危险性很高的行业,产业结构复杂,生产作业条件极其恶劣,与一般行业相比,具有更高的安全需要。1990 年,林业部在东北林业大学正式设立了高等林业安全工程专业。生产的需要促进了安全系统工程学科在林业领域中的应用和迅速发展,并逐渐形成了部门安全系统工程学科——林业安全系统工程。根据林业行业的特点及高等林业安全工程专业教学和科研的特殊需要,迫切需要编写一本适应高等林业安全工程专业教学要求的教材。鉴于这种情况,林业部将《林业安全系统工程》教材的编写列入“八五”教材出版计划。本书正是根据这个计划和高等林业安全工程专业“林业安全系统工程”课程的教学大纲编写的。

本书是作者根据多年从事安全工程教学、科研实践经验,在充分吸收国内应用安全系统工程的成功经验的基础之上,并博采各院校自编教材之长,加以融会贯通编写而成,是国内同类专著和教材中比较有代表性的一部著作。

本书由王述洋教授主编,崔存河高级工程师副主编,郭建平教授主审。全书共分十章,第一、三章由王述洋编写;第二章由温雪岩编写;第四章由关久明编写;第五章由谭文英编写;第六章由邢力平编写;第七章由张建华编写;第八章由储江伟、崔鹏飞编写;第九章由王述洋、鹿占荣编写;第十章由崔存河编写。全书由王述洋统稿。

本书在编写过程中,曾得到中国劳动保护科学技术学会副秘书长刘潜高级工程师、中国工运学院崔国璋副教授等有关专家、学者的大力支持,并参阅了国内外许多专家、学者发表的学术论文、出版的教材等,在此一并致谢。

由于编者水平及时间有限,错误在所难免,殷切希望读者指正。

编 者

1994 年 12 月于哈尔滨

内 容 提 要

本书系统地阐述了林业安全系统工程的基本理论、基本方法和工作程序。主要内容
包括：林业安全系统工程的数学基础、安全原理与事故规律、系统危险性分析与辨识理
论方法、事故树定性分析、事故树定量分析、行为安全性分析、系统安全可靠性和系统
安全性定性评价、系统安全性定量评价、系统安全性模糊评价、系统安全价值分析与决
策等。

本书可作为高等林业院校安全工程及有关专业教材，也适于各类专业安技干部培训
之用，同时也可作为保险业务人员、科研单位工程技术人员和企业管理人员的参考用
书。

目 录

第一章 林业安全系统工程概论.....	(1)
第一节 系统论概述.....	(1)
第二节 系统工程.....	(6)
第三节 安全系统工程.....	(9)
第四节 林业安全系统工程概论.....	(13)
第五节 林业安全系统工程的工作方法与程序.....	(16)
第二章 安全系统工程的数学基础.....	(20)
第一节 集合及其运算.....	(20)
第二节 布尔代数.....	(27)
第三节 概率论与数理统计.....	(36)
第三章 安全原理与事故规律.....	(52)
第一节 安全及其特征.....	(52)
第二节 事故的发生原理和致因理论.....	(56)
第三节 系统的安全本质与安全本质化.....	(63)
第四章 系统危险性分析与辨识.....	(66)
第一节 安全检查表.....	(66)
第二节 危险性预先分析.....	(69)
第三节 故障类型和影响分析.....	(73)
第四节 事件树分析.....	(80)
第五节 可操作性研究.....	(83)
第五章 事故树定性分析.....	(89)
第一节 事故树分析的概念与程序.....	(89)
第二节 事故树的符号及其意义.....	(90)
第三节 事故树的编制方法.....	(93)
第四节 事故树的结构函数.....	(95)
第五节 最小割集求法及其意义.....	(97)
第六节 最小径集求法及其意义.....	(102)
第七节 基本事件结构重要度分析.....	(106)
第八节 事故树定性分析举例.....	(110)
第九节 求最小割 (径) 集的计算机程序.....	(115)
第六章 事故树定量分析.....	(127)
第一节 基本事件的发生概率.....	(127)
第二节 顶上事件发生概率的计算.....	(131)
第三节 基本事件的概率重要度和临界重要度.....	(142)

第四节 模块分割及应用·····	(146)
第五节 化相交集合为不交集合理论及其应用·····	(149)
第六节 不交事故树分析法·····	(154)
第七章 人的行为安全性评价 ·····	(157)
第一节 人的失误及其主要影响因素·····	(157)
第二节 行为抽样判定方法·····	(160)
第三节 行为安全性评价·····	(165)
第八章 系统安全可靠·····	(168)
第一节 安全性与可靠性的关系·····	(168)
第二节 可靠性基本函数及评价·····	(169)
第三节 典型故障的时间分布函数·····	(176)
第四节 系统可靠性分析与预测·····	(182)
第五节 人机系统的可靠性设计及可靠度分配问题·····	(191)
第九章 系统安全性评价·····	(196)
第一节 系统安全性评价概述·····	(196)
第二节 系统安全性评价的基本原理·····	(204)
第三节 系统安全性的衡量标准和指标·····	(207)
第四节 系统安全性评价的指标体系·····	(213)
第五节 工厂设计安全性评价法·····	(219)
第六节 系统火灾、爆炸潜在危险性评价法·····	(225)
第七节 人机系统安全可靠性和作业环境危险性评价法·····	(240)
第八节 企业危险性评价·····	(243)
第九节 企业安全管理现状评价·····	(255)
第十节 企业安全性模糊评价原理与应用·····	(259)
第十章 系统安全价值分析与决策·····	(264)
第一节 系统事故的经济损失及其计算·····	(264)
第二节 确定最优安全投资的原则和方法·····	(268)
第三节 安全技术措施经济分析与评价·····	(271)
第四节 安全措施方案的综合评价与决策·····	(274)
附 录·····	(282)
参考文献·····	(295)

第一章 林业安全系统工程概论

安全系统工程是现代安全科学技术的重要组成部分，是综合运用安全信息论、安全运筹学、安全控制论原理和系统工程方法研究、解决各种系统、各种生产过程、生活中的安全问题、预防伤亡事故、工业灾害和经济损失发生的一个新技术学科。林业安全系统工程学是安全系统工程学的基本原理、方法在林业安全生产实践中的具体运用和系统总结。

第一节 系统论概述

一、古代朴素系统思想的应用

系统思想是现代系统科学的基石。系统思想被人们公认和广泛传播，是在系统论诞生之后的近 40 年才开始的。然而，人类运用系统思想、从系统的角度考虑和解决问题，早在远离今天的古代就已经开始了。实际上，人类自从有了生产活动以后，在不断地与自然界作斗争的过程中，逐渐认识到遇事从系统的角度考虑和处理问题的重要性，于是就自发地产生了朴素的系统思想和观点，也就是现代系统思想的萌芽。如古希腊哲学家德谟克利特（Democritus，公元前 460 ~ 370 年）就曾论述过：“世界是包括一切的整体”，他认为世界是由原子和虚空组成，原子组成万物而形成不同层次的世界。著名哲学家亚里士多德（Aristotle，公元前 384 ~ 322 年）提出的整体性、目的性、组织性的系统观点，关于事物形成的“四因”——目的因、动力因、形成因、物质因的系统思想等，都是古代朴素系统思想和观点的写照。用自发的系统概念考察自然现象，是古代中国哲学思想和古希腊哲学思想的共同特点。例如，建立在自然界统一性和宇宙整体性基础上的我国古代天文学，很早就揭示了天气运行与节气变化的关系，从而制定了历法和 24 节气。我国古代中医理论强调人体各器官的有机联系，认为人的身体健康与心理、生理现象以及所处的自然环境有关，主张按四诊八纲，即望、闻、问、切和阴阳、里表、虚实、寒热综合诊断和治疗疾病，并强调因人、因时、因地制宜，治疗与调养相结合的重要性。春秋时代的《孙子兵法》更是朴素的系统思想在军事系统中运用的光辉典范，它将道义、天时、地利、将领和作战方法辩证地统一起来，指导人们在战争中取得主动、夺取胜利。

我国古代一些著名的工程建造构思中，也卓越地体现了朴素的系统思想，取得了举世瞩目的成功。如古代北宋年间（公元 998 ~ 1022 年），一次大火将皇城宫殿全部焚毁，宋真宗命大臣丁渭负责皇宫修复工程，要求既好又快。为了迅速修复皇宫，丁渭经过仔细分析研究，提出了一个颇具系统思想的施工方案：先在皇城前的大街上挖渠，取

土烧砖、解决部分建筑材料。把大街挖成河道后再引开封附近的汴水进入渠内、形成航运通道、运送砂石木料。皇宫修复后、再把碎砖残土填入河道、恢复原有大街。这个方案贯彻了“最优”原则、施工工效和结果极佳、成为历史上最优建筑方案之一、堪称系统思想的一次光辉实践。我国战国时期、秦国李冰父子（公元前 250 年）主持设计和修建的伟大的都江堰工程、更充分体现了完整的系统思想。这项工程包括“鱼嘴”岷江分水工程、“飞沙堰”分流工程、“宝瓶口”引水工程等三大主体工程 and 120 个附属渠堰工程。工程之间的系统联系处理得恰到好处、形成一个系统协调运转的防洪、灌溉总体工程、引导了汹涌澎湃的岷江激流、使它有控制地为川西成都大平原 40 多万 km^2 的农田进行灌溉、至今仍产生巨大效益。

类似以上的事例、举不胜举。古人这种理事方法和工程的建造思想明确地体现了整体思想、相关原理和优化原则。可见、虽然系统科学是 20 世纪的产物、然而它与整个科学技术发展史一样、是源远流长的。

二、系统的概念与内涵

所谓“系统”、就是由若干个相互依赖、相互联系、相互作用和相互制约的要素或要素组合所形成的具有特定功能的有机集合体。这个有机整体本身又是它所从属的更大系统的组成部分。如林业企业安全生产体系可以看成是一个系统、在这个系统中包括人、机、物（如作业对象、资源等）、环境等、这些要素的相互联系、相互制约和相互作用、形成一个有机整体、共同完成安全生产这一使命。

用比较抽象的概念来描述“系统”时、则一般系统可定义为：

设 $U_1, U_2, \dots, U_n$ 为任意集合、则 $U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n$ 的任意部分集合 S 、即 $S \subset U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n$ 称为一般系统。

“系统”源于拉丁语“Sytema”、由“共同地（sys）”这个词冠和“使定位（tema）”这个动词词干构成的复合词、表示“集合”的概念。最先把“系统”一词以及它的观点和方法引入科学技术领域并赋以特定内涵的是泰勒（F. W. Taylor、见 1991 年出版的《科学原理》）。

与孤立相反、系统意味着联系；与局部相对立、系统意味着整体或全局；与混乱或混沌（Chaos）相对立、系统意味着规律、组织和秩序。

实际上、任何客观事物、都可以看作是一个系统。系统是人类在长期的改造自然、改造社会的实践过程中、对事物整体性或全局性逐渐认识而形成的一种概念。如果我们稍加留意的话、就会发现“系统”一词在日常生活中并不鲜见：在自然界中有太阳系、银河系、人体系统等；在人类改造自然中、有水力系统、森林火灾灾害防控系统、安全生产系统等；在人与人之间的社会生活中、有公安系统、法制系统、教育系统等；在人的抽象思维中、有语言学、数学等抽象概念系统。正如马克思、恩格斯早就论述的那样、物质世界是由无数相互联系、相互依赖、相互作用、相互制约的事物和过程形成的统一体。它使人们在向宏观世界和微观世界的进军中、逐步揭示出客观事物的本质联系和内在规律、于是产生了系统理论。

三、系统的属性

系统一般具有如下属性:

(一) 集合性

为了实现特定的功能或特定的目的,系统至少要有两个或两个以上的要素构成,这一特征称为系统的集合性。一个要素不能成为系统。

(二) 整体性

系统不是所构成要素的简单组合,也不是盲目地联系在一起,而是通过各要素之间的相互联系、相互作用所构成的有机整体。各要素虽然具有不同的性能,但它们可按一定的逻辑要求构成具有新的特定功能的有机整体。系统的整体性通常表现在以下几个方面:

1. 整体功能大于各部分功能之和

这其中有两个含义:其一,系统的性质与功能不同于组成要素的性质与功能;其二,作为系统中的组成要素与它独立存在时有质的不同。以人体系统为例,人体的整体功能远远大于各个组成部分功能之和,这不仅体现在量上,更重要的是质的变化。即由于各部分之间建立了有机联系,实现了物质、能量和信息的交流,从而在功能上产生了量的增加和质的飞跃。这是系统论的一个重要定律,可用下式表示:

$$P_s > \sum P_i = P_1 + P_2 + \dots + P_n \quad (1-1)$$

式中: P_s ——系统整体功能;

P_i ——构成系统第 i 个要素的功能 ($n \geq 2$)。

2. 系统整体联系的统一性

系统要素的性质和行为并非独立地影响系统整体的功能,而是相互影响、相互协调地来适应整个系统功能的需要。如人这一系统整体内的每一个器官的性质和行为都将影响到整个人体系统的性质和行为,人体内的所有局部功能并非独立地影响人体整体性能,而是相互联系、协调工作的,如人体内心脏的行为以及它对人体整体的影响要依赖于肺脏的功能和状态。因此,人的任何一个局部都不能离开人体而独立存在,否则就不成其人。由此可见,每一个要素都不能独立地对整体实施影响,而是依赖于整体中其他一个或数个要素的性质或状态。

3. 不苟求每一个要素都具有良好的性能

构成系统的诸要素不一定都很完善,但可以通过一定的方式构成性能良好的整体。反之,即使每个要素都是性能良好的,但如果协调不好、联系受阻或要素之间缺乏必要的相互作用,那么所组成的整体并不一定具有良好的整体功能。对于安全生产系统而言,这正是目前需要加强管理的原因。

(三) 相关性

相关性是指构成系统的诸要素之间、诸要素与系统之间以及系统与环境之间所存在的相互联系、相互依赖和相互作用的特定关系。例如,电子计算机系统是由各种运算、贮存、控制、输入输出装置等各个硬件和操作系统、软件程序等子系统组成,这些子系统之间通过一定的方式有机地联系在一起,就形成了一个具有特定功能的计算机系

统。

(四) 有序性 (层次性)

凡系统都有结构, 结构都是有序的。系统的有序性主要表现在系统的层次性上, 即系统往往是以多级递阶结构组成的。任何系统都可以在空间或时间上进行逐步分解, 形成多层次结构。

1. 系统空间结构的层次性

系统按空间进行分解, 形成系统结构的层次性。如系统概念本身就有层次性, 有巨系统、大系统、系统、小系统、子系统等区别。自然界有宇观、宏观、微观、渺观等层次。林业企业有林业局、工厂、林场、车间 (工段)、班组等层次。系统结构的层次性决定了系统中物质、能量和信息的流通要以一定的渠道有秩序地进行。系统的层次性是无限的。

2. 系统发展的有序性

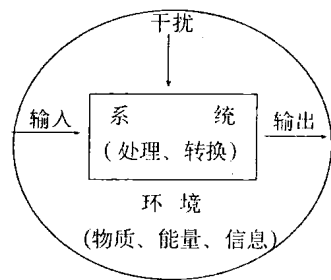
任何系统总是要经历孕育、产生、发展、衰退、消亡的过程, 这个运动、发展、变化的过程就是它的动态有序性, 即发展有序性。研究系统的特性时, 不仅要研究其静态特性, 而且更要注意它的动态特性。系统的发展、变化不是随意的, 而是受系统内部和外界各种因素的影响和限制, 依据一定的规律发展的。系统发展的有序性告诉我们, 在实际工作中既要不失时机地扩大、发展系统, 按照它的客观规律办事, 而且还要避免在条件尚不成熟的情况下超前盲目地扩大系统而造成不应有的损失。

(五) 目的性

任何系统都是以完成某种任务或实现某种功能为目的, 即有其确定的目标。生物系统的目的是生存和繁衍; 教育系统的目的是培养合格人才; 企业安全管理系统的目的是减少事故及损失, 保护职工安全、健康、高效地进行生产劳动。

(六) 环境适应性

系统是由许多特定的部分组成的有机集合体, 而这个集合体以外的部分就是系统的环境。概括地讲, 系统以外的要素所构成的集合称之为系统的环境。它是一个相对概念。如大系统中的各个子系统和要素, 相对于某个特定或单个子系统来说就是其环境。系统与环境相分离的假想线就是系统的边界。系统从环境中获得必要的物质、能量和信息, 经过系统的加工、处理和转化产生新的物质、能量和信息, 然后再提供给环境。这一过程称为系统的输入和输出过程。把一定的输入转换为一定的输出, 是系统的特定功能。而环境对系统, 一方面提供系统工作所必需的物质、能量或信息, 另一方面也产生干扰或限制因素, 即约束条件。这种系统与环境的作用关系, 可用图 1-1 表示。



系统与环境之间存在着相互影响。环境特性的变化往往能够引起系统特性的变化, 甚至导致系统性质改变而失去原有功能。而系统对环境的作用有时也会引起环境的变化。系统欲实现预定的目的或功能, 必须能够适应外部环境的变化。研究系统时, 也必须重视环境对系统的影响。

四、系统的分类

用系统的概念去观察现实世界，就会发现，系统不仅普遍存在，而且存在的形式与状态多种多样。为了对系统的性质加以研究，就必须对系统存在的各种形态加以探讨，并按照不同的原则和标准将千差万别的系统划分为各种不同的类型。

1. 自然系统与人造系统

按照系统组成要素的性质，系统可分为自然系统与人造系统。自然系统是指由自然物所组成的系统，如由矿物、动物、植物、资源等自然物组成的系统，它的特点是自然形成的，是自然物的集合，没有人为参与而客观存在着，如天然生态系统、太阳系等都是自然系统。

人造系统是由人工造出来的系统，如生产系统、交通系统、安全管理系统等。人造系统一般有三种类型：① 工程技术系统——由人们从加工自然物中获取的零部件装配而构成的各种系统；② 由一定的制度、组织、程序、手续等构成的各种管理系统；③ 根据人们对自然现象和社会现象的科学认识所形成的各种学科体系和技术体系。如安全科学技术学科就是人类对安全问题长期认识所形成的一种学科体系。实际上，大多数系统都是自然物与人造物相结合的复合系统。

2. 封闭系统与开放系统

按照系统与环境是否存在物质、能量、信息交换，可分为开放系统和封闭系统。当一个系统与环境联系不密切，即很少与环境发生物质、能量和信息交换的称为封闭系统。与外部环境毫无联系的系统称为孤立系统。真正的孤立系统是不存在的，这只是为了便于研究、计算而作的假设和简化。开放系统是指系统与环境经常有较多的物质、能量和信息交换，而且这种交换影响着系统的结构、功能和发展，其特点是，一旦与外界的联系切断便会影响整个系统的稳定，甚至危及系统的存在。

3. 静态系统与动态系统

凡系统的状态与功效不随时间变化而改变的系统，称之为静态系统；反之，就是动态系统。绝对静态的系统在客观世界中是不存在的，这只是为研究方便而进行的近似描述。值得注意的是，静态系统并不是指系统中的一切都静止，并不排除所属各子系统之间仍存在着物质、能量和信息的交换。

4. 实体系统和概念系统

实体系统是物质系统，是以实体物理方面的存在物，如生物、矿物、机械、人类等组成的系统。人一机系统或机械系统就是一种实体系统。与此相对应，概念系统是以概念、原则、法则、方法、制度、步骤、手续等无形的非物理方面的存在物所组成的，如科学体系、安全教育体系等等。

5. 黑色系统、白色系统、灰色系统

按照人们对系统的本质、内部结构与过程的认识程度，可将系统分为黑色系统、白色系统和灰色系统。如果人们只知道系统的输入、输出，不知道实现这种关系的系统结构和过程，则称为黑色系统。如果人们不但知道系统的输入、输出关系，而且也知道实现这种输入、输出关系的系统结构和过程，则称之为白色系统。介于黑色和白色之间的

系统称之为灰色系统，它是指人们对于输入、输出关系、系统结构和过程信息部分清楚、部分不清楚的系统。黑色系统和白色系统是相对的，而灰色系统才是绝对的。

6. 简单系统与复杂系统

按照系统结构以及其包含要素的多寡可将系统划分成简单系统和复杂系统。简单与复杂没有严格界限，是相对概念。系统的复杂度取决于：①系统的要素数目；②要素与要素的关系数目。系统的复杂度可用下式表示

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

式中：C——系统复杂度；

m——实际关系数目；

n——构成系统的要素数，n-1 即是可能的最少关系数。

当 $C > 1$ 时，系统属于复杂系统；当 $C = 1$ 时，为简单系统。

由于系统要素的多样性及要素关系的复杂性，上述分类方法仍不完善，尚待进一步研究。

第二节 系统工程

一、系统的概念与特征

系统工程是人类在总结长期运用系统思想综合考虑系统总体时所发现的共性问题和成功经验，并在现代科学技术发展到相当程度为系统思想的定量化创造了必要条件基础上发展起来的一个既有理论指导，又有科学方法和实践内容的新兴系统技术学科。系统工程自本世纪 60 年代问世以来，发展相当迅速，几乎在各个领域都得到了广泛运用。但是，系统工程毕竟是一个年轻的学科，还不能说已经到了完善和成熟的地步，目前虽然在总的方面是一致的，但在具体内容上仍看法不一，定义甚多，概括起来，主要有以下几种说法。

(1) 日本工业标准 JISZ8121 规定：“系统工程是为了更好地达到整个系统的目标，而对系统的构成要素、组织机构、信息流动和控制机构等进行分析与设计的技术”。

(2) 日本学者寺野寿郎认为：“系统工程是为了合理地开发、设计和运用系统而采用的思想、程序、组织和方法的总称。系统工程有广义和狭义之分。广义的系统工程是指为合理地进行系统的研制、设计、运用等工作而采用的思想、程序、组织和方法等，尚属经验范畴。狭义的系统工程是指对系统的分析、综合、模拟、最佳化等比较理论性的技术”。

(3) 美国学者切斯纳认为：“系统工程是为了研究由多个子系统构成的整体系统所具有的多种不同目标的相互协调，使系统的功能达到最优化、最大限度地发挥系统各组成部分的能力而发展起来的一门科学”。

(4) 所谓系统工程，就是通过对系统的分析、规划，以充分发挥系统的 4M(即材料

——Material、设备——Machine、人员——Man、资金——Maney)作用的工程。

(5) 日本学者三浦武雄认为：“系统工程的目的是研制系统。系统研制不仅涉及到工程领域，而且还涉及到社会、经济、政治等领域。为了解决这些问题，除了需要某些纵向技术外，还需要有一种技术从横的方向把它们组织起来，这种横向技术就是系统工程。”

(6) 1978年钱学森教授指出：“系统工程是组织管理系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法，是一种对所有系统都具有普遍意义的科学方法。”这个定义明确地表达了三层意思：①系统工程属于工程技术，主要是组织管理技术；②系统工程是解决工程活动全过程的技术；③这种技术具有普遍的适用性。

综上所述，尽管系统工程尚无统一定义，但其基本内容是一致的：系统工程是合理地研制和运用系统而采取的各种组织管理技术的总称。系统工程的基本思想就是用搞工程的方法搞组织管理。它以系统为对象，以整体性或全面性为指导思想，把自然科学和社会科学中的原理、方法、策略和手段有机地联系起来，以信息论、控制论为基础，借助于现代数学（概率统计、运筹学等）和电子计算机手段，对要组织和管理的事物，即系统的构成要素、组织机构、信息交换和反馈控制等功能进行综合分析、设计、制造和管理，以实现系统的最优设计、最优控制和最优管理，即系统的最优状态。亦即是，经过工程的过程，使系统达到技术上先进、经济上合理、时间上最省，运行是安全、可靠的整体最佳效果。因此，它具有以下特征：

第一，用最优化的方法使系统状态达到最佳效果的特征；

第二，系统工程离不开具体环境、条件及所研究事物的性质和特点，即与所研究的系统本身所在学科密切相关。根据所研究的系统归属而有不同的专业类型，如工程系统工程、农业系统工程、安全系统工程等；

第三，它着眼于系统的整个状态和过程，而不拘泥于局部的、个别的部分，表现为系统获得最佳状态的途径，并不需要所有子系统都达到最佳的特征；

第四，系统工程包含着深刻的社会性，涉及到组织、政策、体制、管理、教育等上层建筑因素；

第五，系统工程的精华在于它是软技术，是一种联系与协调各种工程技术的“水泥”，它能够在不增加硬技术投资的前提下增加效益。

二、系统工程的基本内容、目的与任务

（一）系统工程的基本内容

一般地，系统工程的基本内容就是使系统实现模型化（不仅仅是数学模型）和最优化的全部工作内容。它是通过系统工程的程序来体现的：系统分析、系统设计、系统的分级与协调、系统建模、系统优化、系统科学管理、系统评价、系统预测等。

（二）系统工程的目的

系统工程的产生与发展有三个主要目的，它们分别是：

1. 最合理的确定目标和任务

系统工程的目的之一，就是研究如何最合理地提出任务，选定工作目标。目标的确

定应在充分调查研究的基础上进行。要注意所确定的目标必须符合客观实际、具有现实可能性。

2. 最好地完成任务

最快、最经济地实现预定目标，必须详细分析系统内各相互关联、相互依存的因素；分析各子系统与总系统的功能及它们的相互关系；确定各个子系统的指标分配与要求。然后建立模型、分析、模拟、制定出多种替代方案，并根据一定的准则筛选出实现目标的**最佳方案**，即系统分析过程。这是系统工程的核心工作。

3. 最有效地运用

通过运用研究，实现科学的组织管理，使系统达到最佳状态，发挥出最好效果。

系统工程的三大目的可用图 1-2 表示。

(三) 系统工程的基本

任务

系统工程的基本任务，就是将所研究的系统模型化，在模型化的前提下寻求系统的最优化，进而在最优化的基础上对系统作出综合评价。具体有以下几点：

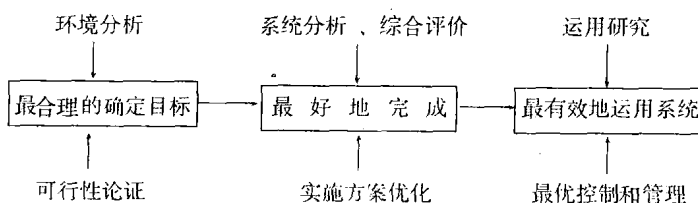


图 1-2 系统工程的三大目的

第一、对不同类型的系统，有不同的具体任务：对于实体类系统（如制材生产线）作最优设计、最优管理、系统分析和评价；对事物类系统（如制定企业安全生产计划）作最优规划、最优设计、最优管理、最合理投资及战略性研究和发展预测等。如事故态势预测，对安全生产方针政策作评价等。

第二、正确运用系统思想、观点解决具体问题。一是把研究对象作为一个整体来分析，既注重整体各部分间的相互联系和相互制约关系，又注重各组成要素之间的协调配合，最终服从整体优化的要求。二是综合考察系统的运动与变化（如过去、现在、未来），以保证科学地分析问题和解决问题。三是研究系统所处环境状况、变化规律及其对系统的影响，使系统适应环境的变化。系统思想往往要求把定性分析与定量分析有机地结合起来，从经济、技术、社会等多角度来优化一个大系统、通过综合分析与判断，然后作出决策。

三、系统工程与一般工程技术的区别

“工程”一词源于 18 世纪欧洲的兵器制造业，最早是指兵器制造和军事目的的工作。“工程”一词后来引伸为特定目的的工作的总体，泛指工程技术人员所进行的活动。具体讲，就是运用科学原理、方法、构思、设想出具有特定功能的实物系统的全部工作和过程。

系统工程不同于传统的一般工程技术，主要区别有以下三个方面：

(1) 一般工程，如机械工程、电气工程、建筑工程等，都有自己特定的物质对象，如机械、电机、建筑物等，国外称这类工程为“硬”工程。而系统工程则是以系统为研究

对象，这里的系统既可以是实体系统，也可以是无形的概念性系统，这里的“工程”是泛指为完成某项任务而提供的决策、计划、方案、方法和工作程序等。不像传统的工程仅限于“物”的建造或改造，即仅限于“硬件”，而且还涉及工程的组织、管理以及无形的概念性系统研究等“软件”。因此，有人称系统工程为“软科学”，是对所有系统都具有普遍意义的科学方法。

(2) 一般工程多着眼于特定对象技术上的合理性，如性能、结构、效率等。而系统工程则着重考虑系统要素之间以及系统与环境的关系，侧重于保证整体效果最优所采用的方法、程序、手段和决策等“软技术”的合理性。

(3) 在知识的运用实践中，一般工程仅涉及专业知识的运用，而系统工程则涉及各种学科、各个领域的知识内容。如果把一般工程视为纵向知识，则系统工程就是联系各种纵向知识的横向纽带。对于一个具体的工程项目而言，一般工程技术可在系统工程技术的组织、管理、协调、指导下更好地发挥作用，而系统工程所展开的技术问题又必须通过有关专业工程技术予以完成。系统工程通过横向联系与综合，提出解决问题的方法和步骤，因此，它是跨越不同学科的科学。

第三节 安全系统工程

一、安全系统工程的产生

安全是人类生存和发展的基本需求之一。人类赖以生存的物质基础必须通过生产活动才能实现，而进行生产活动的同时，又产生了必须解决的安全问题。因此，安全问题是随着生产的产生而产生，随着生产的发展而发展，是人类永恒探索的课题。随着工业技术的发展，生产规模不断扩大，人类在矿山、冶金、化工、林业等领域逐步利用机械代替手工劳动。自 18 世纪蒸汽机发明以来，蒸汽机被广泛地作为轮船、火车、纺织机械的动力。但蒸汽机不断出现的锅炉爆炸常常造成数千人的死亡。从 19 世纪初到本世纪初的 100 年中，仅美国就发生锅炉爆炸事故 1 万多次，死亡人数在 1 万人以上。为了防止锅炉爆炸，人们开始对锅炉的结构、材料、压力、水垢等进行研究。进入本世纪上半叶，西方大部分国家进入资本主义迅速发展时期，工业规模日益扩大，一些行业，如化工、水运、煤矿、堤坝、土建等工程经常发生数百人甚至上千人的重大伤亡事故，这种工伤事故和职业病日益加重的局面，引起了社会的广泛不安。为了加强管理，各国政府纷纷制定有关安全法令。英国 1864 年制定了工厂法和职业病条例，在 1960 年又制定了职业病赔偿法。1919 年国际劳工局（IOL）成立，负责组织世界范围内预防事故的情报交流和制定工业安全卫生法规。由于各国的努力，安全技术发展很快，现正逐步成为一个综合性学科。

第二次世界大战后，工业技术水平又有了很大提高，生产规模更进一步扩大，大型石油、化工、冶金等重工业及航天工业中的事故越来越频繁，公害越来越严重，广岛原子弹给人的恐惧与核能利用同时存在，工业产品因安全质量问题而造成的事故也日益增多。事故和公害发生后，企业损失巨大，社会舆论强烈不满，因此，许多国家和政府不

得不制定一系列法律促使企业重视安全问题。然而，由于传统的安全工作是采用“问题出发型”的方法，不能预先辨识危险、预测预防事故，致使事故预防工作总是跟不上技术的发展和进步，越来越不适应生产的发展，必须进行改进。

长期以来，人们总是希望找到一种能够事先预测到事故发生的可能性，掌握事故发生的规律和条件，作出定性和定量的评价，以便能在设计、施工、运行、管理中向有关人员预先警告事故的危险性，并且能够根据评价结果，找出最优的安全措施。为了达到这个目的，安全系统工程学便应运而生了。

二、安全系统工程的定义与内涵

什么是安全系统工程？所谓安全系统工程，就是综合运用现代安全科学技术知识和系统工程的有关理论、方法去分析、辨识、预测、消除或控制所研究系统中存在的不安全因素、可能发生的各种事故或公害现象，从而使系统在一定的投资、成本、生产效率和寿命周期等约束条件下，达到事故最少、损失最小的最佳安全状态的普遍适用的系统化科学技术方法和知识体系。

安全系统工程学是在现代系统工程学基础上发展起来的一门专门研究系统的安全与可靠性的学科，是现代安全技术工程与现代安全管理工程相结合的产物，它着眼于研究、总结和运用预防、控制事故及各种公害的具有普遍适用性的理论和方法，是系统化的学科领域，是一门跨门类、跨学科的综合性的技术科学。近年来，安全系统工程已经形成了安全系统工程和安全系统管理两大分支，其主要应用可归纳为以下六个方面：

1. 发现、鉴别系统的危险性或事故隐患；
2. 预测风险及事故发生的可能性；
3. 安全措施方案的设计、选择、调整、实施和评价；
4. 事故致因调查、分析；
5. 设计新型安全系统，采用更先进的安全技术，最大限度地防止事故发生；
6. 与行为科学、管理科学相结合，实现安全现代化管理。

三、安全系统工程的发展过程

安全系统工程是一门很年轻的学科，从产生到现在不过 40 年的时间。安全系统工程最初起源于美国的军事工业。1957 年前苏联发射了第一颗人造地球卫星，其空间技术在世界居领先地位。美国为了同前苏联争夺空间势力，匆忙进行导弹技术的开发，实行所谓研究、设计、施工齐头并进的方法。由于事先对系统的可靠性和安全性研究不够，在短短一年半时间内连续发生了 4 次重大事故，每一次都造成了数百万美元的损失，并且导致地下核设施的重大破坏，最后不得不全部报废，从头开始。后来，美国空军以系统工程方法研究了导弹发射系统的安全性和可靠性，于 1962 年第一次提出了“弹道导弹安全系统工程学”，制定了《武器系统安全标准》。1966 年美国国防部采用了空军的安全标准，并于 1969 年发表了《安全系统工程标准 MIL-ST-822》，在这项标准中，首次提出了安全系统工程的概念及设计、分析、综合等基本原则。该标准于 1969 年和 1977 年进行了两次修订。