



高等学校“十一五”规划教材

矿业系统工程

Kuangye Xitong Gongcheng

肖福坤 张俊文 主编

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

高等学校“十一五”规划教材

矿业系统工程

主 编	肖福坤	张俊文
副主编	董长吉	张晓宇
主 审	孙广义	

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书系统地阐述了矿业系统工程的基本思想和技术,介绍了相关理论问题的求解方法,并以典型应用为实例进行了分析。全书在介绍数学规划、网络系统、模糊综合评价、层次分析法、预测技术及系统可靠性的基础上,增选了并行系统仿真、遗传算法、模拟退火算法等最新理论知识。全书强调基本概念和基本理论,理论叙述深入浅出,重点突出;示例联系工程实际,并对求解结果进行了必要的讨论。

本书可作为采矿工程及相关专业本科生的专业基础课教材,也可供采矿工程专业研究生和工程技术人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿业系统工程/肖福坤,张俊文主编. —徐州:

中国矿业大学出版社,2010.3

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0610 - 7

I. ①矿… II. ①肖…②张… III. ①矿业工程:系统工程—高等学校—教材 IV. ①F407.161.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 027934 号

书 名 矿业系统工程

主 编 肖福坤 张俊文

责任编辑 潘俊成

责任校对 王美柱

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 16 字数 399 千字

版次印次 2010 年 3 月第 1 版 2010 年 3 月第 1 次印刷

定 价 27.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

矿业系统工程是矿业工程学科与系统工程学科相结合而形成的一个学科分支。矿业工程与系统工程的结合,是从 20 世纪 50 年代将运筹学应用于采矿业的研究起始的,60 年代将运筹学原理与计算机技术综合应用于矿业研究的一批成果涌现出来,使矿业系统工程作为一个新的学科分支逐渐形成。经历了近 60 年的蓬勃发展,矿业系统工程已成为系统工程在各行各业中开展研究较为充分的一大分支。近年来系统科学技术发展迅速,一些新的系统工程理论和技术也在矿业工程中得到了广泛的应用,尤其是随着计算机技术的迅速发展,使系统工程理论与技术在矿业工程中发挥了越来越重要的作用。为此,为了满足采矿工程专业教学及技术人员学习的需要,我们编写了本书。

在编写过程中,我们在参考现有教材的基础上,既保留了矿业系统工程中的原有成熟理论和技术,又尽可能地把新的系统科学思想、理论和方法选编进来。本书以介绍基础理论和基本知识为主,并适当阐述典型应用实例,以求做到理论与实践相结合。本书可作为采矿工程专业教材,也可供工程技术人员和矿山管理人员参考。

全书共分八章。第一章综述了系统、系统工程及矿业系统工程的基本知识及方法论;第二章介绍了数学规划法的基本内容;第三章介绍了最短路径、最大流及网络计划技术;第四章介绍了模糊综合评判及层次分析法;第五章介绍了预测技术;第六章介绍了系统可靠性;第七章介绍了计算机仿真技术;第八章介绍了智能优化方法。

本书由肖福坤、张俊文任主编,董长吉、张晓宇参加编写。其中,第一章、第七章、第八章由肖福坤编写;第二章、第三章、第六章由张俊文编写;第四章由董长吉编写;第五章由张晓宇编写。全书由孙广义教授审校。

本书在编写过程中,吸收了以前诸教材的优点,参阅了近年来公开发表的相关科技文献,为此特向文献作者们表示感谢!

矿业系统工程是一门尚在不断发展的交叉科学,涉及的知识面非常广泛。由于作者水平所限,书中难免有不妥甚至错误之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2009. 10

目 录

第一章 系统、系统工程与系统工程方法论	1
第一节 系统的概念	1
第二节 系统工程	2
第三节 矿业系统工程	5
第四节 系统工程方法论	7
第二章 数学规划法	22
第一节 线性规划法	22
第二节 整数规划法	40
第三节 多目标规划法	44
第四节 非线性规划	59
第五节 动态规划	70
第三章 网络系统	77
第一节 最短路径问题	77
第二节 最大流问题	83
第三节 网络计划方法	88
第四章 模糊综合评价	96
第一节 模糊集合	96
第二节 模糊关系与模糊矩阵	99
第三节 模糊聚类分析	103
第四节 隶属函数的确定方法	108
第五节 层次分析法	118
第六节 模糊综合评判	125
第五章 预测方法	131
第一节 预测概述	131
第二节 定性预测技术	134
第三节 回归模型预测	137
第四节 灰色预测技术	149

第六章 矿业系统可靠性	159
第一节 可靠性的基本概念.....	159
第二节 基本可靠性指标.....	160
第三节 常用分布函数.....	164
第四节 不可修复系统可靠性.....	169
第五节 可修复系统可靠性.....	175
第七章 计算机仿真技术	195
第一节 概述.....	195
第二节 系统仿真的原理与方法.....	200
第三节 计算机模拟仿真方法.....	203
第四节 长壁采煤工作面生产系统计算机模拟实例.....	215
第五节 系统仿真新技术.....	221
第八章 智能优化方法	227
第一节 人工神经网络.....	227
第二节 专家系统技术.....	233
第三节 遗传算法.....	240
第四节 模拟退火算法.....	247
参考文献	249

第一章 系统、系统工程与系统工程方法论

第一节 系统的概念

人们在各种媒体上经常听到、看见诸如系统或系统工程这样的名词。这些媒体上讲的系统或系统工程和本书所讲的系统工程有什么区别？20 世纪 50 年代后系统或系统工程引起学者、政治家和管理者的关注和研究，逐步形成一门新兴的学科体系——系统工程。

一、系统的发展过程

系统的概念来源于人类长期的社会生产实践。人类认识自然和改造自然的过程，是一个不断深入积累经验和改变自己观念的过程。古代人类往往把世界看成为一个整体，但是缺少理论基础和观测方法及手段，所以对世界的了解和掌握仅是简单的表面现象，而把一些不能解释的过程归为上帝的安排。系统工程的全面发展是在 20 世纪 40 年代的第二次世界大战期间，50 年代后逐步发展成熟，60 年代引入到工业。我国在 60 年代初期开始研究系统工程理论与方法。

二、系统的定义

目前系统的定义较多，也不相同，各有侧重点。这说明系统还处在不断发展的过程中。

系统定义：系统是具有特定功能、相互间具有有机联系的许多要素组成的一个整体；系统是具有特定功能、相互作用、相互依存的许多要素组成的整体；极其复杂的研究对象称为系统。如煤炭系统、管理系统等。

一个形成系统的诸要素的集合永远具有一定的特性，或者表现为一定的行为，而这些特性或行为是它任何一部分所不具备的。一个系统是由许多要素构成的整体，但从系统功能上来看，它又是一个不可分割的整体，如果硬把一个系统分割开来，那么它将失去原来的性质。在物质世界中，一个系统的任何部分可以被看做一个子系统，而每一个系统又可以成为一个更大规模系统的一部分。这是一个分析与综合有机结合的思想方法。

三、系统的分类

1. 按系统的形成分类

自然系统：自然界自然形成的系统。如宇宙系统、生态系统。

人造系统：人类为了生存和发展而建立起来的系统。

动态系统：系统的状态随时间变化。

2. 按系统与外界有无联系分类

开放系统：开放系统是指系统与环境有能量、信息和物质等交换。

封闭系统：封闭系统是指系统与环境没有能量、信息和物质等交换。

3. 按系统的大小分类

根据系统的相对大小,分为大系统和小系统。

4. 系统工程研究的系统分类

简单系统:人们日常研究处理的系统(没有利用系统思想、理论和方法研究的问题),可以利用牛顿力学解决的问题,也是可以利用还原论方法解决的问题,即 $1+1=2$ (系统的功能)的问题,亦简单理解为线性系统。

简单巨系统:不能利用牛顿力学方法解决的问题,需要把系统划分为子系统,然后分析研究,即所谓的 $1+1>2$ 的问题(系统的功能),亦可以简单理解为非线性问题。简单巨系统是目前分析研究的较多,实际应用也较多的一个系统。

复杂巨系统:研究对象极其复杂,涉及社会科学、自然科学,定量与定性相结合才能解决的问题。如高度非线性问题、突变论、耗散结构理论、协同论、分形理论和人工智能等就属于复杂巨系统。

四、系统的特点

① 集合性:集合是把具有一定属性的研究对象看做一个整体或一个种类。集合内的各个研究对象称为要素或元素。集合性表明一个系统必须由两个或两个以上的元素组成。如螺栓是一个最简单的系统,而螺杆或螺母分开则不是一个系统。集合性亦表明一个系统由很多子系统组成,即一个系统可以划分为很多个子系统。各个子系统之间的关系称为结构,系统工程的主要任务之一是研究子系统之间的结构关系。

② 相关性:组成系统的各个元素之间相互联系、相互作用和相互制约,即各元素之间有点地联系,这种联系关系称为结构。

③ 阶层性:一个系统是相对的,它可以分解为一系列子系统,存在一定的层次性。一个小系统可以划归为另一个较大的系统,较大的系统又可以划归为另一个大系统。

④ 整体性:系统由两个以上的元素组成,这些元素之间相互协调形成整体。在分析和研究这些元素时必须从整体上、全局去考虑,特别是研究各个元素之间的功能关系要从整体进行。具体体现在 $1+1>2$ 的整体功能性,即子系统没有的功能,在整体中出现。

⑤ 目的性:每个系统都有一个功能和目的,而这种目的是区分各个子系统的依据。系统的目的般用一个或几个目标(指标)来表示。

⑥ 环境的适应性:系统存在于一定的物质、社会环境中,它与环境进行物质和信息等交换。环境变化必然影响系统,而系统的变化又影响环境。系统必须适应环境的变化。

第二节 系统工程

用系统的思想、理论和方法,利用定性和定量相结合的技术研究处理复杂的工程问题,称为系统工程。

一、系统的概念

系统工程是一门新兴的交叉学科,目前的定义还不完全一样。各类系统有不同的特点和规律,而系统工程是一门从整体上研究各类系统共性规律的科学。

钱学森定义:系统工程是组织管理系统的规划、研究、设计、制造、实验和使用的科学方法,是对所有系统都具有普遍意义的科学方法。系统工程是一门组织管理技术。

日本学者指出:系统工程与其他工程技术不同之处在于它是跨越许多学科的科学,而且是填补这些学科边界空白的边缘学科。

系统工程学科是横向技术。一项大的工程不仅涉及工程领域,还涉及社会、经济和政策等领域,为解决这个问题,除了需要专门的纵向技术外,还需要一种从横向上把它们组织起来的技术——系统工程。

系统工程是研究一个系统所需要的思想、技术、方法和理论等体系的总称,是以研究大规模复杂系统为对象的交叉学科。它把自然科学与社会科学有机联系起来,是适用于各个学科的一种技术。系统工程是研究各种工程所具有的普遍规律的科学。

系统工程基本理论应用在哪个学科即称为哪个学科的系统工程,如机械系统工程、矿业系统工程等。

二、系统工程理论基础

1. 一般系统论

一般系统论是对各种不同系统进行科学的理论研究而形成适用于一切系统的理论,是属于逻辑学和数学、工程技术和社会科学领域,它具有描述性、逻辑性、规范性和艺术性的特点,是一门定性和定量相结合的技术。它是研究建立适用于系统的一般原则的统一理论与方法,即研究各种不同系统的共同特点、理论和方法,找出其共同点,形成理论。

① 老三论:系统论、信息论、控制论。

② 新三论:协同论、突变论、耗散结构论。

协同论——研究系统从无序状态到有序状态转变的规律和特征。一个系统从无序状态转变为有序状态的关键是系统内部各子系统之间的非线性相互作用(涨落现象),在一定条件下,这种相互作用能自发产生在时间、空间和功能上稳定的有序结构。

耗散结构论——系统在与外界进行物质、能量等交换过程中,在远离平衡状态下,因非线性的复杂相互作用,某一参数变化达到一定的阈值时,使系统产生质的变化,从无序状态转变为有序状态。

耗散结构论、协同论一般称为自组织理论,它们分别从宏观和微观上研究系统的复杂性。

突变论——当系统的某一个参数变化到一定范围时,使系统发生突然变化。

2. 大系统理论

大系统理论主要是系统的规模大、子系统多、结构复杂、影响因素多,分析研究和处理困难。

3. 经济控制论

利用现代控制理论与方法研究经济过程。如投入产出模型等。

4. 运筹学

运筹学是利用数学模型分析研究系统的一种方法,主要研究系统的定量问题。

三、系统工程基本方法

系统工程研究对象为复杂系统,系统包括的子系统多,内容复杂,既有定性又有定量参数,需要有多种技术方案进行分析运算和求解。解决复杂系统研究的理论与方法就是系统工程的基本方法。而系统分析、系统综合(系统研究)和系统评价是系统工程理论的基本理论方法,其特点是研究注重系统的整体性,技术应用强调综合性,管理决策科学性。

在系统工程理论分析和应用过程中,人们逐步分析研究和积累出多种科学的方法和解决问题的程序,而 20 世纪 70 年代具有代表性的主要有美国的霍尔三维结构(图 1-1)。

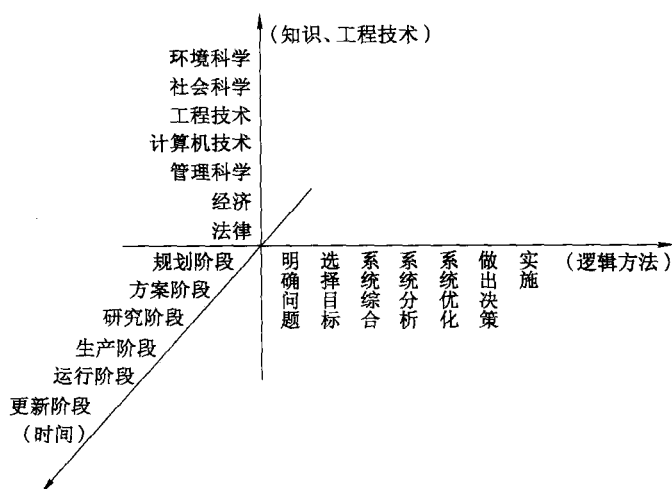


图 1-1 霍尔三维结构图

时间维说明一个系统从规划到更新按时间顺序排列的系统工程全过程。

逻辑维说明每个阶段所需要进行的工作步骤,也是利用系统工程方法应该遵循的一般程序。明确问题是指尽可能地收集第一手资料,了解和掌握研究问题的过去、现状和发展趋势及目前的条件等。选择目标是指对研究系统的最终目标是什么,达到的最终目的,确定评价目标的准则条件。系统综合是指达到目标的各种方案,各个方案的优缺点等。系统分析是指将各个方案进行系统的比较、分析和论证,建立模型。方案优化是指找出最优和次优方案的过程。做出决策是指选择方案。实施是指实施方案和跟踪调查。

系统分析、系统综合和系统评价是系统工程的基本理论与方法(图 1-2),主要意义如下。

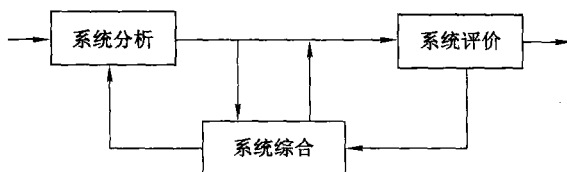


图 1-2 系统工程基本方法框图

系统分析的目的:对研究的系统进行全面分析,找到系统的目的是什么?系统的功能主要有哪些?结构关系和约束条件等。为系统设计做准备,使系统达到最优化。

系统分析是对系统的构成、行为方式进行探讨,运用各种方法对系统的要求和功能进行分析,明确系统目的,取得所需要的信息。在分析过程中,目标、约束、环境和评价指标等是如何使系统达到最优化是主要内容。

在进行系统分析时一般采用分解方法,先把一个系统分解为很多个子系统,对每个子系统进行全面系统的分析,找出子系统的特点、功能等,特别注意每个子系统之间的关系和结构。然后利用还原论方法进行综合(不是简单的综合还原),在综合过程中注意子系统没有的功能和结构关系,而在整个系统中存在的功能,即 $1+1>2$ 的功能。

子系统的划分有两种方法:一是按各个子功能划分子系统;二是按平级关系划分子系统,避免各个子系统的功能互相包含。

系统评价:怎样评价每个方案(措施)的优劣的方法,确定系统的最终评价指标体系和评价标准,是系统最后要达到的目的。一个系统一般比较复杂,评价指标是一个体系,有很多指标,一些指标是定量的,而另一些指标是定性的,最后是定性与定量相结合的指标体系。

系统综合:综合的目的是为了获得最优的系统方案,是把分析和评价结果综合在一起,为系统设计提供备选方案。

系统分析、评价和综合是相互联系和制约的,有时需要反复多次才能达到要求。

系统工程是一门交叉学科,决定它是应用在大的复杂方面的研究,即涉及很多专业领域的研究内容,应用社会科学、专业技术和经济等领域的协调发展,才能使系统达到最优。

系统工程是一门软科学,研究问题时采用的是硬、软系统相结合的研究方法,硬系统(良性系统)是偏工程、物理型(物理、事理和人理),原理比较清楚,可以利用数学方法解决。而软系统(不良系统)是偏社会、经济型,它们的机理并不完全清楚,很难利用数学方法解决,一般采用定性和定量相结合的方法研究处理。如工程技术人员大部分研究处理的是硬系统,而行政和党研究的是软系统。

四、系统工程的应用

系统工程的发展起源于 20 世纪 50~60 年代,如美国的贝尔电话网络系统、阿波罗登月计划,我国的导弹系统研究、卫星系统研究、国民经济长远规划研究等均是成功的具体应用。

系统工程理论与方法随着科学技术的发展也不断发展和提高。目前系统工程应用范围由原来的工程领域向社会领域发展,研究内容丰富而复杂,向大型化、智能化方向发展。如三峡工程的研究、2000 年中国发展研究等。

第三节 矿业系统工程

一、矿业系统工程的定义、特点和形成与发展

矿业是发展国民经济的基础工业,它包括了各种有益矿产资源的开发。这些矿产资源的开发虽从矿床赋存条件和开采技术上都有其特点,但从矿山整体系统的组建、运行和管理的全过程,以及从矿山开采的许多技术问题看,它们都有共同的特征和相似的性质。因此,在研究矿业有关部门的系统工程问题时,我们把它们归类于一个统一的门类——矿业系统工程。

矿业系统工程是系统工程的一个分支。矿业系统工程是系统工程的理论和方法在矿山的应用,即运用系统观念和系统技术科学的理论和方法,以电子计算机为工具,研究矿业部门各层次系统的组建、运行和管理问题,以求系统的总体效益达到最佳。

由于矿山工程学的特点有别于其他工程学科,这就决定了矿业系统工程区别于其他系统工程,其特点是:

① 矿山开采的工作地点是不断推移变化的,即一个矿山开发的全过程是一个“时序”发展过程。所以矿业系统工程的对象系统是一个时序变化的系统,也就是说,系统的结构、规模和状态随时间变化而变化。这个特点说明矿业系统是一个时序变化的动态系统,使得矿业系统工程具有更大的综合性和复杂性。

② 矿山工程的主要对象是地下矿物资源,而矿物资源在地下的赋存状况和围岩条件是变化的。为此,对它们的认识和掌握要在矿山开发各个发展阶段不断加深,这就要求进行地质勘探工程和基建工程。这个多变的自然系统既是采矿工程的对象,又是进行工程活动的环境。由此可见,矿业系统工程研究和处理的对象系统是一个随机性很强、多变的人工自然复合系统,因此,矿业系统工程的特点之一是要综合运用多种方法,包括处理随机性和模糊性问题的定量和定性方法,来处理这个特殊的人工自然系统问题。

③ 矿业开发受到地理位置、交通运输条件、水源和电源、气候、环境保护等多种因素的影响,同时又涉及一系列其他辅助企业的组建问题。仅矿山内部来说,它是一个庞大的有多多个子系统组成的复杂的人工自然大系统。这个特点决定了矿业系统工程所要解决的是一些复杂的多目标、多方案的系统决策问题。

上述矿业系统工程的特点说明它处理的对象系统是复杂的多变的人工自然大系统,要综合运用多种定量和定性方法和手段进行多方案比较来解决系统分析与综合问题。单纯依靠定量的数学方法来处理矿业系统工程问题是很难奏效的。

矿业系统工程的形成是以 20 世纪 60 年代初期运筹学和电子计算机被广泛引入矿业领域为主要标志的。1961 年在美国亚利桑那州图森城召开了第一届国际电子计算机和运筹学在矿业中应用大会(简称 APCOM)。矿业系统工程经历了 60 年代的起步形成,70 年代的应用扩展和 80 年代广泛而深入的发展。目前矿业系统工程的发展从深度和广度上开始进入了成熟阶段。在矿业领域,应用系统工程的理论和各种定量分析方法以及电子计算机有效地解决矿业组建、运行和管理问题已成为国内外矿业人士公认的事实,而且逐渐被许多从事实践工作的矿业工程师和管理者所接受。随着我国科技教育事业的蓬勃发展,系统工程和电子计算机等现代科学技术被广泛引入矿业工程界,我国矿业系统工程开始进入发展时期。中国煤炭学会和冶金金属学会都成立了系统工程专业委员会。所有这些都标志着我国的矿业系统工程已步入广泛、深入的发展阶段。

最后应该指出,在我国,矿业系统工程是矿业界从事系统工程研究与应用的学者,在著名学者钱学森同志的系统科学思想和现代科学技术体系结构的启示下,把国内外对于系统工程在矿业中应用的称谓澄清归类,即把“矿业系统分析”“矿业运筹学”“系统工程在矿业中应用”和“电子计算机和运筹学在矿业中应用”等称谓统一归类于系统工程的一个分支——矿业系统工程。

二、矿业系统工程的应用范围

矿业系统工程主要在以下范围内应用比较广泛。

(1) 地质勘探方面

包括区域资源评价、钻探网密度的确定和建立矿床模型等。

(2) 矿区规划和矿山设计方面

矿区规划是一个复杂大系统的规划问题,它涉及国民经济发展方针,部门和矿区所在地区的发展战略和发展规划等有关问题,以及一系列工程技术问题。但是,作为以资源开发为

主的矿区来说,矿山工程本身的规划与设计是矿区规划的主体。

矿区规划和矿山设计中应用的系统工程方法主要有:地质统计学、数学规划论、目标规划、系统预测技术、层次分析法、系统动力学、图论、随机过程模拟、网络技术等。

(3) 矿山生产系统优化和生产过程模拟

相对矿山总体系统来说,矿山个别生产系统或生产过程具有规模小、结构简单和影响小等特点,但又具有影响因素多变、不确定性强和原始数据要求详细可靠的特点。这些特点一方面为系统工程和计算机提供了广阔的应用领域,另一方面又限制了一些数学定量分析方法的应用。

(4) 矿山管理和信息系统管理方面

系统工程作为组织管理的技术,它在矿山生产与经营管理方面大有用武之地。它被引入矿山企业管理领域以后,大大促进了矿山企业管理科学化的实现,促进了以计算机为中心的管理现代化。

从使用的方法看,线性规划、动态规划、网络技术、计算机模拟技术和图论等应用较多。其中计算机模拟技术用得最广,占领先地位。这可能是因为矿山生产过程直接受多变的自然环境因素影响,带有很大随机性和模糊性,难以用严格的数学方法建立模型;另外,复杂的严格的数学方法要求精确的原始数据在实际中不易得到,且模型的直观性差,难以为实际矿山工作者所接受和理解。而计算机模拟技术则比较直观、简单,求得的问题解是“满意解”,容易接受。由此可见,方法的实用性往往同它的数学复杂程度成反比关系。在实际工作中,切忌片面追求模型和方法的数学复杂性,要从实际出发,根据问题的性质,力求采用简单易行的方法来建模和解题。在解决矿山这类复杂的工程系统问题时,不片面追求“最优解”,而力求达到“满意解”,这是一个实事求是的原则。

第四节 系统工程方法论

迄今为止的系统工程主要沿着逻辑推理的途径,去解决那些原本靠直感判断处理的复杂问题。显然,它具有自然科学的“描述性”和工程技术的“规范性”特色。然而,系统工程的发展历史表明,解决这类归属于社会系统的复杂问题,势必要从人的行为方面去找出路,以取得决策者的支持,赢得舆论等。因而,系统工程又具备对话式的特点,注重讨论和沟通,在系统工程人员、决策者、评论者和公众之间形成畅通融洽的沟通网。“描述性”、“规范性”和“对话性”三者相互交织,构成了富有特色的系统工程处理问题的基本程序和步骤,即系统工程方法论。

一、系统工程方法论框架

系统工程是一门技艺。对待同样的问题,每个分析者可根据其专业经验和主观判断,选择不同的分析方法。而应用同样的分析方法,某个分析者能得出有价值的见解,另一个分析者也许会得出错误的结论。尽管如此,探讨系统工程方法论仍然是有意义的和必要的。每一个系统分析都或多或少的由一些典型的相互关联的行为构成。根据实践经验,可以将系统分析过程的典型行动概括成图 1-3 所示的逻辑结构。它包括五个行动环节:① 阐明问题;② 谋划备选方案;③ 预测未来环境;④ 建模和估计后果;⑤ 评比备选方案。它的整个过程可归纳成阐明问题、分析研究、评价比较三个阶段。阐明问题阶段的工作结果是提出目

标,确定评价指标和约束条件;分析研究阶段提出各种备选方案并预计一旦实施后可能产生的后果;评价比较阶段将各个方案的评价比较结果提供给决策者,作为判断决策的依据。

一项系统工程的分析过程中,每个行动环节一次即顺利完成的可能性是很小的,需要在反馈信息的基础上反复进行。分析者研究每一个环节输出的中间结果或最后阶段的结果后,都可能改变最初的设想,或收集更多的信息以修正原先的结果。例如,决策者在弄清方案的后果以前,往往难以有把握地提出某项目标;在发现某些后果后有可能增加约束条件,筛选备选方案,调整方案的决策参数等。图 1-3 表示了几种必要的信息反馈回路。

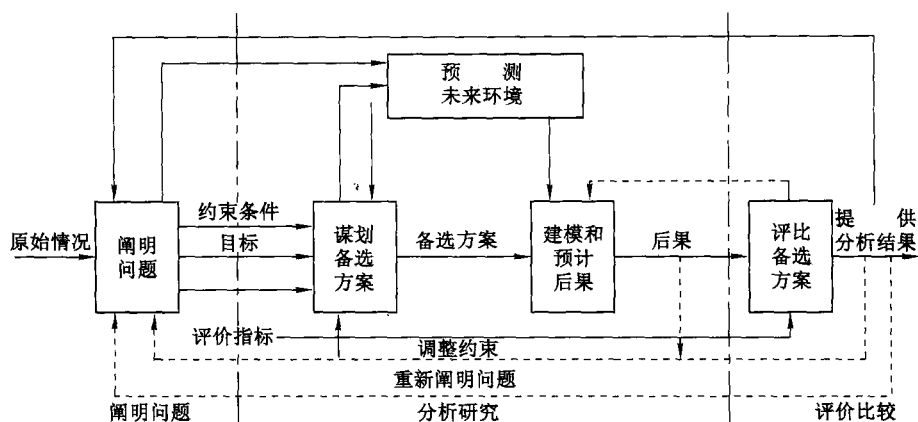


图 1-3 系统分析过程的逻辑结构

系统分析过程中的另一个重要因素是分析人员和决策者之间的沟通和对话。各个环节和阶段都需要决策者的建议和判断。而且,不断对话意味着决策者考虑了问题的各个方面,感到亲自参与了分析过程,容易接纳分析结论,不至于因出乎意料而拒绝。

系统工程需要专业技术和组织体制、行为因素相结合,逻辑推理和直观判断相结合,定量和定性分析相结合,这将体现在下面展开讨论的各个行动环节中。

二、阐明问题阶段

1. 系统工程和工程技术处理问题的区别

系统工程的目的在于影响和改善复杂的社会、经济运营系统。系统工程人员实际上担负着社会“建筑师”(至少是其助手或参谋)的任务,所处理的是各种现实的社会经济问题,面临着各种人、人际关系、组织结构以及复杂的环境。因此,在解决问题时,必须弄清其处境与局限于实验室范围内的工程技术学科研究的区别。

在实验室里,科学家和工程师往往将问题简化,精确地定义所需解决的问题,划定其研究边界并直截了当地让某些因素按设计要求发生变化或保存不变。系统工程人员的处境却不一样。他们所研究的现实世界的问题无法带进实验室,这些现实问题和其他许多问题交织在一起,相互关联,一个属于运输的问题会变成一个土地利用问题,而土地利用问题又牵涉环境保护问题。这样推演下去,所有的系统工程问题都涉及政治领域和政策问题。这些更广泛的问题还应属于原来问题的研究范围吗?能够划出边界和确定约束条件吗?工程技术出身的系统工程人员总想把科学和工程技术方法延伸到解决社会经济系统问题,这样往

往会碰到一个难以对付的,C. W. 丘奇曼称之为“理性受到挑战”的局面。事实上,系统工程人员力图对现实决策做出贡献时经常碰到的并不是一个很明确的或者说结构明确的问题,而是一个难以解开的病态结构的问题域或问题网。尽管决策者很明确地提出所希望解决的问题,如“应该采用哪种类型的运输工具?”“怎样规划处理一套更好的保健系统?”而对于系统工程人员来说,总不应忘记:所面临的是一个由事态、机构、人员和价值观等因素所组成的广泛的问题网。

2. 几个概念

(1) 问题和解决问题

系统工程问题的起因是决策者已察觉到需要采取行动去改变现实生活中的某些状况,而系统工程人员的任务是分析信息,提供各种观点、建议,为决策者提供判断的参考或依据。所以,在系统工程问题处理过程中就会有两种起不同作用的人员:一是提出问题者,往往即决策者,他要承担风险或成败的责任;二是解决问题者,即系统工程人员,他有专业人员的偏好和荣誉感,但不对决策后果负责。当然,有时一个人可以担当两种角色,系统工程人员可以用系统工程方法来解决自己的问题,而决策者也可自己开展研究。不过区分开来仍有必要,双方所处的地位、价值观念、责任感都是很不同的。

相应地,可以将系统工程分成两部分活动:一是分析问题内容,着重从决策者的角度弄清现实世界中相互交织的问题网络;二是解决问题,着重从专业角度提出和分析各种解决问题的途径。当然,两者是相互关联的,问题的内容蕴含着对解决问题所需资源的要求,而拥有资源又影响到问题内容的边界。

阐明问题阶段须对某项具体问题和具体解决问题的活动做出详尽的说明:规定问题的边界和约束,划分系统和环境,阐明解决问题的对策和资源,并解释问题内容和解决问题两部分活动之间的相互匹配关系。

(2) “硬”问题和“软”问题

“硬”问题可以看出能够清楚地阐明目标、边界和约束的问题,问题求解过程的信息流程及解答是清晰的。而“软”问题的目标、边界和约束都不清晰,有些重要变量无法定量分析。

系统工程最初是应用技术和经济专业知识来解决那些结构明确的“硬”问题。但随着科学的发展及取得愈来愈多的成果,系统工程人员的抱负是对更广泛的决策问题做出贡献,包括对公众产生重大影响的公共决策问题和政策分析问题等。系统工程人员如要解决这些公共决策方面的问题,如能源、保健系统或城市改造问题等,就必然会遇到下面一些问题:什么才是有意义的目标?这些目标具有什么价值?这些价值是对谁而言的?其他目标又有哪些价值?这样,即使开始似乎很明确的问题也会变得复杂起来。

例如,凯恩在叙述兰德公司早期发展思想时说:“在兰德公司刚成立时,大部分的研究都企图在给定的环境、目标和衡量标准的条件下,去发现最优化系统”。但是,后来出现了技术方面的突破,在处理“软”问题过程中出现了新的观点:“我们打算在环境和目标有很大变化的情况下比较不同的系统,主要考虑不确定因素,按照方案设计所依据的环境估计各种性能指标,也要顾及到不太可能出现或者万一出现的情况”,这就是说,系统工程已发展到着重解决“软”问题的阶段。

就“硬”“软”问题而言,分析者容易在“软”问题上出错,不合适地套用“硬”问题的分析方法。把一个“软”问题当做“硬”问题处理较之将“硬”问题当“软”问题处理更不利于有效的探

索。当然,在“软”问题的分析过程中往往可以逐步形成一些“硬”问题。

(3) 决策者、提出问题者、委托人和系统工程(分析)人员

在系统工程中,涉及这几种人员:决策者——能够采取行动去调配资源以改变系统的内容。提出问题者——是对某种态势感到不安的人,其领悟到现状和目标不适应,或模糊地感到事情可以做得更好些,但往往不能明确地表达那种不安的心情和设想,也说不清应采取的解决办法;提问者可能不是决策者,然而,通常系统分析都是为兼备问题提出者的决策人进行的。委托人——接受决策者的旨意,委托他人从事某项系统分析工作,起到决策人和系统工程人员之间的中间人作用,有些咨询公司就是扮演委托人的角色。系统工程人员——是专业人员,应处于不涉及自身利益、没有偏见的位置,在回答委托人、决策者的问题时,既不说“同意”,也不必说“不同意”,只需说“知道了”。

系统工程人员要了解决策人和委托人的目标及其对问题的理解和对系统分析的期望。但又抱有这样的认识,即决策者和委托人实际上并不明确他们自己的目标究竟是什么。决定做系统分析本身就意味着要对目标进行争论,甚至要考虑和决策者、委托人相反的目标。尽管系统工程人员将为决策者提供咨询,但不应过高估计自己的作用。咨询意见一旦被采纳,实施后的成败毕竟需要决策人承担责任,这涉及个人(组织)的盛衰荣辱,系统工程人员是无法弄清决策者的评价准则和期望目标的。

3. 阐明问题阶段的工作内容

阐明问题阶段本身就是一项小规模的系统工程,需要分析研究目标结构、价值观念、约束条件、备选方案、方案后果及人们对后果的反应等。尽管分析的方法很粗略,甚至完全凭直观判断,但这些工作决定着今后的分析过程,如构造什么模型,比较哪些备选方案,某种后果是否可行,等等。其重要性已为愈来愈多的系统工程人员接受。但是,人们总感觉阐明问题的工作比较空洞,似乎只有开始建立数学模型才是系统分析的真正开端。为此,弄清这一阶段工作的实际内容,总结某些典型做法仍有必要。经验表明,采取撰写两种书面文件的做法,即初期的问题剖析报告和结束的阶段结果报告,比较能集中体现阐明问题阶段的工作内容(图 1-4)。

(1) 问题剖析报告

包括问题性质和问题条件两部分内容。问题性质报告主要是弄清各种相关联问题形成的问题域和它们的来龙去脉,简而言之,即问题的结构、过程和势态。为此,系统工程人员必须广泛地和决策者、与利益有关的人员以至各界人士进行对话。系统工程人员通常在对话中提出下面一类问题:你认为存在什么问题?为什么这是个问题?如何出现的,什么原因引起的?解决这个问题的重要性何在?如果就这个问题进行系统分析可能得出什么结论?可能解决的方式是什么?谁能采取解决问题的行动?这类行动会带来什么变化?这个问题和哪些问题相牵连,它是哪个更大问题中的一部分?等等。通过对话,感受决策者及有关人员的情绪、价值观念,才有可能对问题的结构、过程和势态获得一幅生动的总体图像。工程技术人员有时可以根据用户提出的技术要求在远隔千里之外进行一项技术设计。如果系统工程人员仅凭决策者的一个要求或意见,就立即在自己的“技术方法库”中去找解决办法的话,往往容易导致虚假印象,如排队论“爱好者”总希望把研究对象看成是排队问题,而线性规划“爱好者”又把它看做是线性规划问题,那是难以奏效的。

在对话的基础上得出了问题性质报告,主要是扼要地描述存在的问题,确定问题提出者

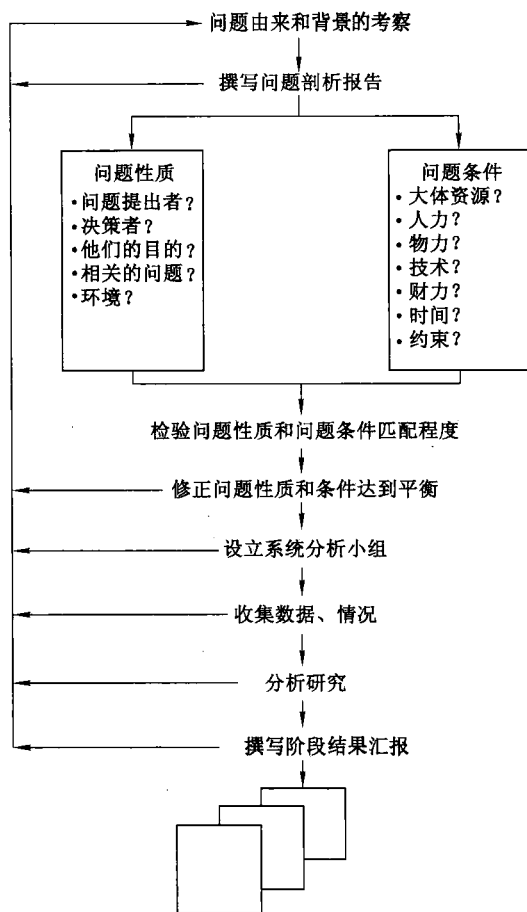


图 1-4 阐明问题阶段的工作内容

和决策者,了解他们的价值观念和相关的问题、环境等。

问题条件报告主要是弄清解决问题所需资源。系统工程人员在对话过程中要问:涉及哪些资源分配问题?谁分配?分配者的职权、作用如何?资源使用的监督、控制系统如何?报告描述各种可利用的资源情况,以及相应的限制条件。

这两项报告都比较粗略、简要。目的是检验问题性质和问题条件是否匹配,使工作任务和所需资源相当。如果力不能及或绰绰有余,则可以从两方面作适当调整,直至大体平衡。接着,可以确定解决问题的成员,最好组成一个小组,并着手进一步收集数据、资料,形成观点。

(2) 阶段结果报告

在以上工作的基础上,便可着手撰写阶段结果报告。这项报告的主要内容包括:问题的由来和背景,重要性,可能采取行动的组织和个人,利益相关的组织人员,目标、评价指标、约束条件、备选方案的初步描述、建议等。根据阶段结果报告,决策者可以看出解决问题的大体方向和领域,以便给予较多的支持。当然也可能认为到此为止,不值得进一步分析下去。一般来说,阐明问题阶段占系统分析过程时间的 20%~25%。