

陈 磊 李晓松 姚伟召 著

系统工程基本理论

XITONG GONGCHENG

JIBEN LILUN



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

013064755

N945
32

内容简介

系统工程基本理论

陈 磊 李晓松 姚伟名 著



北京邮电大学出版社
www.bupress.com



北航

C1672295

1945
32

013084752

内 容 简 介

本书系统介绍了系统工程的基本理论。全书共分为5章,第1章重点介绍了系统和系统工程发展历史、基本概念、系统工程方法论。第2章重点介绍了系统工程活动中几种常用的运筹学方法。第3、4、5章分别从系统分析与预测、系统模型与模拟、系统评价与决策等角度阐述了系统工程活动的逻辑框架和基本流程。

本书可作为管理专业相关的研究生教材,也可供有关专业的教师、研究生和大学高年级学生以及从事管理活动的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

系统工程基本理论 / 陈磊, 李晓松, 姚伟召著. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2013.6
ISBN 978-7-5635-3529-3

I. ①系… II. ①陈…②李…③姚… III. ①系统工程—研究生—教材 IV. ①N945

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 121642 号

书 名: 系统工程基本理论

著作责任者: 陈 磊 李晓松 姚伟召

责任编辑: 艾莉莎

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编: 100876)

发行部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京联兴华印刷厂

开 本: 720 mm×1 000 mm 1/16

印 张: 20.5

字 数: 397

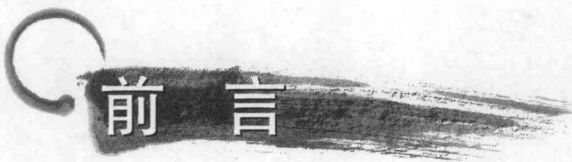
印 数: 1—1 000 册

版 次: 2013 年 6 月第 1 版 2013 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-3529-3

定 价: 55.00 元

· 如有印装质量问题, 请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·



前言

在管理活动中,我们经常碰到所谓“系统性问题”,要研究这些“系统性问题”,仅仅局限于使用工程技术是不行的。所谓“系统性问题”,也就是工程开发与现实社会环境之间的关系问题,为了解决工程进入系统发展时代所产生的系统性问题而发展起来的一门学科,称为系统工程。系统工程不同于传统的工程技术,系统工程是工程战略,是工程技术、组织管理和工程哲学的统一。系统工程基本理论的核心是系统工程原理。系统工程原理主要包括系统工程观念和系统工程方法论。将系统工程原理运用于各个专业领域中,就形成各个专业领域的系统工程,它们各自去开发本专业领域的工程系统。系统工程的功用是为重大工程计划的主管人员决策时提供各种可供选择的方案。

目前已经出版了许多关于系统工程的专著和教材,包括许多专业领域系统工程的专著和教材,不仅涉及系统工程的观念和系统工程方法论,还研究了系统工程活动中所使用的方法。

本书的重点是系统工程观念和系统工程方法论。全书共 5 章,内容包括:系统与系统工程;系统工程常用的运筹学方法;系统分析与预测;系统模型与模拟;系统评价与决策等。

本书在写作的过程中,参考了国内外一些学者和专家编著的同类教材和著作,并从中吸收了一些研究成果,在书中进行了标注,并列出了相应的参考文献。作者对这些学者在系统工程领域所作出的重要贡献表示崇高的敬意,并对引用他们的成果感到十分荣幸,在此,表示衷心的感谢。

由于作者理论水平有限,书中谬误之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

作 者

2012 年 9 月 1 日

目 录

第 1 章 系统与系统工程	1
1.1 系统概述	1
1.1.1 相关概念	2
1.1.2 我国系统思想的演变	4
1.1.3 系统思想发展历程	7
1.1.4 系统的特征	8
1.1.5 系统的分类	12
1.2 系统工程概述	17
1.2.1 系统工程的发展历程	17
1.2.2 系统工程在我国的发展历程	20
1.2.3 系统工程观念	21
1.2.4 系统工程概念	24
1.3 系统工程在学科中的地位	26
1.3.1 人类知识体系结构	26
1.3.2 系统工程是一门新的“社会—技术”学科	28
1.3.3 系统工程与运筹学的关系	30
1.4 目的工程系统	31
1.4.1 目的工程系统的全寿命过程	31
1.4.2 战略级目的工程的宏系统结构	33
1.5 系统工程方法论	35
1.5.1 相关概念	35
1.5.2 系统工程方法论的主要代表	37
1.5.3 系统工程方法论的结构和过程	49
1.5.4 系统工程方法论的子结构框	50
1.5.5 数量化问题	52

1.5.6	优化问题	53
1.5.7	系统工程活动的主要环节	53
第2章	系统工程常用的运筹学方法	55
2.1	线性规划问题	56
2.1.1	线性规划问题的提出	56
2.1.2	线性规划的“定界对偶算法”	58
2.1.3	线性规划的对偶理论	65
2.2	网络优化	69
2.2.1	网络的概念	69
2.2.2	最小权的支撑树	72
2.2.3	最优选址	74
2.2.4	道路巡查	76
2.3	多目标规划问题	79
第3章	系统分析与预测	88
3.1	系统分析概述	88
3.1.1	系统分析的产生与发展	88
3.1.2	系统分析的概念	90
3.2	系统分析的要素、步骤和原则	95
3.2.1	系统分析的要素	95
3.2.2	系统分析应该避免的问题	96
3.2.3	系统分析的步骤	97
3.2.4	系统分析的原则	108
3.3	系统环境分析	109
3.3.1	环境分析的意义	109
3.3.2	物理和技术环境	110
3.3.3	社会经济环境	112
3.3.4	人的因素	113
3.3.5	系统与环境的边界	114
3.3.6	系统环境分析案例	115
3.4	系统目标分析	117
3.4.1	目的、目标及其属性	117
3.4.2	确定目标的重要性和作用	118

3.4.3 目标树的建立	120
3.4.4 目标冲突的协调	121
3.5 系统结构分析	122
3.5.1 系统结构分析的概念	122
3.5.2 系统要素集的分析	124
3.5.3 系统的相关性分析	124
3.5.4 系统的阶层性分析	125
3.5.5 系统的整体性分析	126
3.6 系统分析方法	126
3.6.1 目标-手段分析法	127
3.6.2 因果分析法	128
3.6.3 KJ 法	129
3.6.4 SWOT 法	132
3.6.5 Delta 框图法	133
3.6.6 其他系统分析方法	135
3.7 系统分析案例——“鱼钩”与“长矛”	141
3.8 预测概述	143
3.8.1 预测的概念	143
3.8.2 预测的基本原理	146
3.8.3 预测的步骤	147
3.8.4 预测的分类	148
3.9 定性预测方法	150
3.9.1 主观概率法	152
3.9.2 德尔菲法	153
3.9.3 头脑风暴法	156
3.9.4 交叉影响法	157
3.9.5 领先指标分析法	159
3.9.6 类推法	160
3.10 定量预测方法	161
3.10.1 平滑预测法	162
3.10.2 回归分析预测法	170
3.10.3 灰色预测模型	178
3.11 组合预测模型	182

第 4 章 系统模型与模拟	183
4.1 引言	183
4.2 模型的本质	184
4.3 模型的分类	184
4.4 模型在系统工程中的作用	187
4.5 数学模型的特点与分类	190
4.5.1 数学模型的特点	190
4.5.2 数学模型的分类	191
4.5.3 对数学模型分类原则的说明	192
4.6 模型化过程	197
4.6.1 模型发展过程中的辩证关系	197
4.6.2 模型化过程的构造方法论	198
4.6.3 系统模型的集巢化	199
4.6.4 模型化过程的规范化	203
4.6.5 系统模型研究的一个简单例子	205
4.7 模拟	208
4.7.1 模拟的分类	208
4.7.2 模拟的实质	211
4.7.3 蒙特卡洛法	214
4.8 系统动力学	219
4.8.1 系统动力学的分析过程	220
4.8.2 应用实例	224
4.9 遗传算法	230
4.9.1 遗传算法的步骤和特点	230
4.9.2 遗传算法参数与操作的设计	232
4.9.3 装备运输装载问题	242
第 5 章 系统评价与决策	252
5.1 系统评价概述	252
5.1.1 系统评价的含义	252
5.1.2 系统评价的原则	254
5.1.3 系统评价的特征	255
5.1.4 系统评价的基本要素	256

5.1.5 系统评价的步骤	257
5.2 系统评价的指标体系	260
5.2.1 评价指标体系的基本概念	260
5.2.2 建立系统评价指标体系的依据和要求	262
5.2.3 建立系统评价指标体系的过程	264
5.2.4 实例分析	265
5.3 系统评价指标权重	270
5.3.1 权重的基本概念	270
5.3.2 确定权重的一般方法	272
5.4 系统评价信息的获取与处理	272
5.4.1 评价信息的基本概念	272
5.4.2 系统评价信息的获取	273
5.4.3 系统评价信息的处理	276
5.5 系统综合评价方法	281
5.5.1 层次分析法	281
5.5.2 模糊综合评价法	292
5.6 系统决策	297
5.6.1 决策的概念	297
5.6.2 科学的决策过程	297
5.6.3 决策树	299
5.6.4 多目标决策	304
参考文献	309



钱学森

系统工程,在整个 21 世纪应用的价值及其意义肯定会越来越大,而其本身也将不断发展^①。

—钱学森

第 1 章

1 章

系统与系统工程

1.1 系统概述

系统工程(Systems Engineering, SE)的研究对象是系统(system)。系统概念是系统工程的核心和基本概念。“系统”一词在汉语中,通常是作为名词来使用,有时也作为形容词和副词使用;作为工程科学的学术术语,需要在日常用语的基础上加以提炼和界定。系统无处不在,自然界和人类社会存在着多种多样的系统,例如:

- 银河系,太阳系,地球;
- 长江流域,黄土高原,珠江三角洲;
- 人类,中华民族,国防教育,军事通信网;
- 装备订货系统,航天发射系统;
- 马克思主义,毛泽东思想,邓小平理论,“三个代表”重要思想,科学发展观;
- 三峡工程,西部大开发,振兴东北,神舟七号,抗击 SARS,举办“奥运”,等等。

从这些实例中看到,“系统”的含意包括简单的事物、描述结构、显示过程、确定属性、区分功能,进而到描述纵横关系、层次关系等。

这些系统的形态和性质是大不一样的。系统可以互相包含与被包含,可以互

^① 刘兆世,航天与系统工程[M].北京:中国宇航出版社,2006.

相交叉和融合。每一个人都生活在系统之中,且生活在多种多样、互相交叉的系统之中。

1.1.1 相关概念

“系统”一词最早出现于古希腊德莫克利特所写的《宇宙大系统》一书中,“synhistanai”一词原意是指事物中共性部分和每一事物应占据的位置,也就是部分组成整体的意思。

20 世纪初,一般系统论的创始人奥地利生物学家冯·贝塔朗菲(Von Bertalanffy),针对当时机械论观点与方法,指出“不能只是孤立地研究部分和过程,还必须研究各部分的相互作用,应把生物作为一个整体或系统来考虑”,他把“系统”称为“相互作用的多要素的复合体”。如果一个对象集合中存在两个或两个以上的不同要素,所有要素按照其特定方式相互联系在一起,就称该集合为一个系统。其中的要素是指组成系统的不同的最小的(即不需要再细分的)组成部分。



冯·贝塔朗菲

美国的《韦伯斯特大辞典》(Webster)把“系统”称为“有组织的或被组织化的整体、相联系的整体所形成的各种概念和原理的综合,由有规则的相互作用、相互依存的形式组成的诸要素的集合”。

前苏联学者乌约莫夫考察了大量的系统定义后,给出了“系统”的两个等价定义:“任一客体,其中发生某种满足确定性这个性质的关系,这客体就是系统”;“任一客体,其中发生某种预先确定的性质的关系,这客体就是系统”。

在日本的 JIS(工业标准)中,认为“系统”是许多组成要素保持有机的秩序,向同一目标引动的东西。

《汉语大词典》中“系统”的定义如下:①有条理,有顺序,系统知识、系统研究。②同类事物按一定的秩序和内部联系组合而成的整体:循环系统、商业系统、组织系统、系统工程。③由要素组成的有机整体。与要素相互依存相互转化,一系统相对较高一级系统时是一个要素(或子系统),而该要素通常又是较低一级的系统。系统最基本的特性是整体性,其功能是各组成要素在孤立状态时所没有的。它具有结构和功能在涨落作用下的稳定性,具有随环境变化而改变其结构和功能的适应性,以及历时性。④多细胞生物体内由几种器官按一定顺序完成一种或几种生理功能的联合体。如高等动物的呼吸系统包括鼻、咽、喉、气管、支气管和肺,能进行气体交换^①。

钱学森给出的“系统”定义是指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。这个定义,与类似的许多定义一样,指出了作为系

① 现代汉语词典[M]. 北京:商务印书馆,1983.

统的三个基本特征:第一,系统是由若干元素组成的;第二,这些元素相互作用、互相依赖;第三,由于元素间的相互作用,使系统作为一个整体具有特定的功能^①。

许国志等学者在《系统科学》一书中认为:系统具有整体性、多元性、内在相关性。具体表现在:系统是由它的所有组分构成的统一整体,具有整体的结构、整体的特性、整体的状态、整体的行为、整体的功能等;系统是多样性的统一、差异性的统一,存在有差别的多个事物(至少两个),才有可能在一定条件整合成为一个系统;系统中不存在与其他元素无关的孤立元素,所有元素或组分都按照该系统特有的、足以与别的系统相区别的方式彼此联系在一起,相互依存,相互作用,相互激励,相互补充,相互制约,现实世界不存在没有任何内在相关性的事物群体,凡群体中的事物必定以某种方式相互联系,否则不称其为群体,不存在数学意义上的孤立元^②。



许国志

通过分析总结以上关于“系统”的定义,本书认为,构成自然界的“元素”之间客观上存在着某种聚合性;当人们在研究具有某种属性的事物时,关系比较密切的“元素”,能够按照特定的关系和运行过程聚合起来,成为一个能输出一定功能的“聚合体”。人们为了研究问题的方便,称这个聚合体为“系统”。

组成“系统”的“元素”的相同属性称为系统的属性。“系统”输出的功能称为系统的功能,也称为系统的生命力。“系统”中“元素”之间的特定的关系称为系统的结构。系统运行的过程受系统中某种规则所制约,系统运行过程在外观上表现出的某种状态可以被人们所认识。

一方面可以看到,“系统”是唯物的,强调了“系统”的物质性基础,是客观存在的。另一方面又必须看到,“系统”又是辩证的,强调了“系统”是人们的一种思维形式,是主观意识的表现,是人们认识客观世界的一种普遍模型和通用方法。“系统”的概念是人们在处理客观世界的无限性与人类认识的有限性之间的矛盾时的一种方法。

系统的属性取决于组成它的“元素”和“元素”间的关系,也就是说,对同样的“元素”建立不同的结构(即确定“元素”间不同的关系),就会有不同的总体属性。因此,从普遍意义上来说,系统的价值称为系统结构的势能。为了提高人造系统的价值,可以从两个方面入手,可以用不同的“元素”组成系统,也可以用“元素”间的不同关系来组成系统。研究系统的概念,其目的之一是构造一个新的系统,能提供某种产品或某种服务;之二是描述已存在的系统,通过考察系统的输入与输出,研究系统的运行状态,通过干预系统的运行,使系统保持人们期望的额定的输出功能。

现在,让我们用罗沛霖教授于1996年9月在为《系统研究》一书所写的“序”中

① 钱学森. 大力发展系统工程, 尽早建立系统科学的体系[N]. 光明日报, 1979-11-10.

② 许国志. 系统科学[M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2000.

的一句话来结束本节:怎样划定一个“系统”?它应当包含多个个体。系统内个体之间存在着紧密的联系,而这些个体与本系统之外的系统和个体之间所存在的联系,则是显著地松散。系统有大的、小的、极大的、极小的。系统之内可以分成子系统,再分小也是可能的。任何一个个体之内,也可能又是一个系统。因此在观察、对待任何事物时,都必须从系统的角度予以考察。既要考察其内部构成,也要考察个体与整体之间,个体与个体之间的联系,更要考察其与外部的联系。不仅从空域中考察,还要在时域中考察,因为所有的因子,个体和群体以及相互的联系,都不会是一成不变的,必须作动态的考察^①。

1.1.2 我国系统思想的演变

系统的概念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、等级等概念的认识。我国是一个具有数千年文明史的古国,在丰富的历史宝库中,可以找到很多有关系统的朴素思想。古代天文、军事、工程、医药等方面的知识和成就,都在不同程度上反映了朴素的系统思想,并将这些系统思想运用于社会实践中,下面通过一些事例来看我国系统思想的演变^{②~⑥}。

1. 《黄帝内经》

我国古代最著名的医学典籍《黄帝内经》,是我国医学宝库中现存成书最早的一部医学典籍。《黄帝内经》是古人运用系统思想研究人体生理和病理现象的典范。《黄帝内经》认为人体是由各个器官有机联系在一起的整体,一个器官的病变可能影响其他器官或整体,而整体的变化又必然会引发局部病变。因此,它主张从整体角度来研究病理和病因,并应用脏腑学说、经络学说、阴阳五行学说来说明人体的生理功能、病理变化及其相互关系。《黄帝内经》还把人体系统看成是自然界的一部分,认为人的养生规律与自然界的规律密切相关。它提出了“天人相应”的医疗原则,主张把自然现象、生理变化、社会生活、思想情绪等多方面的因素结合起来,从更大的整体范围来研究人体的生理和病理现象。这种整体观念后来发展成为中国传统医学指导临床诊断和治疗的基本原则。其医学理论是建立在我国古代哲学理论的基础之上的,反映了我国古代朴素唯物主义辩证思想,充分体现了系统思想。



《黄帝内经》

① 许国志. 系统研究[M]. 杭州:浙江教育出版社,1996.

② 陈宏民. 系统工程导论[M]. 北京:高等教育出版社,2006.

③ 孙东川,林福永. 系统工程引论[M]. 北京:清华大学出版社,2004.

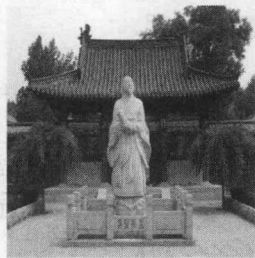
④ 汪应洛. 系统工程理论、方法与应用[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,2002.

⑤ 肖艳玲. 系统工程理论与方法[M]. 北京:石油工业出版社,2002.

⑥ 周德群,等. 系统工程概述[M]. 北京:科学出版社,2005.

2. 《孙子兵法》

我国古代的系统思想还反映在军事理论方面。春秋末期著名军事家孙武在他的《孙子兵法》中,阐述了不少朴素的系统思想和谋略。它所阐述的谋略思想和哲学思想,被广泛地运用于军事、政治、经济等各领域。《孙子兵法》有丰富的系统思想,书中探讨了与战争有关的一系列矛盾的对立和转化,如敌我、主客、众寡、强弱、攻守、胜败、利害等。《孙子兵法》正是在研究这种种矛盾及其转化条件的基础上,提出其战争的战略和战术的。这当中体现的系统思想,在中国系统思想发展史中占有重要地位。



孙武

3. 大禹治水

我国古代人民还将系统思想运用于治水方面,传说在尧帝时期,黄河流域经常发生洪水。为了制止洪水泛滥,保护农业生产,尧帝曾召集部落首领会议,征求治水能手来平息水害。鲧被推荐来负责这项工作。鲧接受任务后,沿用了过去传统的水来土挡的办法治水,也就是用土筑堤,堵塞漏洞的办法。鲧治水九年,劳民伤财,一事无成,并没有把洪水制服。最后被放逐羽山而死。舜帝继位以后,任用鲧的儿子禹治水。禹总结父亲的治水经验,改鲧“围堵障”为“疏顺导滞”的方法,就是利用水自高向低流的自然趋势,顺地形把壅塞的川流疏通。把洪水引入疏通的河道、洼地或湖泊,然后合通四海,从而平息了水患,使百姓得以从高地迁回平川居住和从事农业生产。后来禹因此而成为夏朝的第一代君王,并被人们称为“神禹”而传颂于后世。



大禹治水

这个故事所体现的系统思想是很明显的。大禹所处理的问题是一个开放的复杂巨系统,有很多种“治水”的方案。大禹在系统分析以后采用了“疏顺导滞”的最优方法,他实现了系统的最佳效能(治理了洪水,得到了“禅让”),即实现了“一石二鸟”的最优决策。

4. 都江堰水利工程

都江堰水利工程在四川省都江堰市城西,有2200年的历史,是全世界至今为止,年代最久、唯一留存、以无坝引水为特征的宏大水利工程,如图1.1所示。

这项工程主要有鱼嘴分水堤、飞沙堰溢洪道、宝瓶口进水口三大部分和百丈堤、人字堤等附属工程构成,科学地解决了江水自动分流(鱼嘴分水堤四六分水)、自动排沙(鱼嘴分水堤二八分沙)、控制进水流量(宝瓶口与飞沙堰)等问题,消除了水患,使川西平原成为“水旱从人”的“天府之国”。

都江堰水利工程形成了一个协调运转的系统,体现了非常完善的整体观念、优化方法和发展的系统思路,即使从现在的观点看,仍不愧为是世界上一项宏伟的水利建设工程。

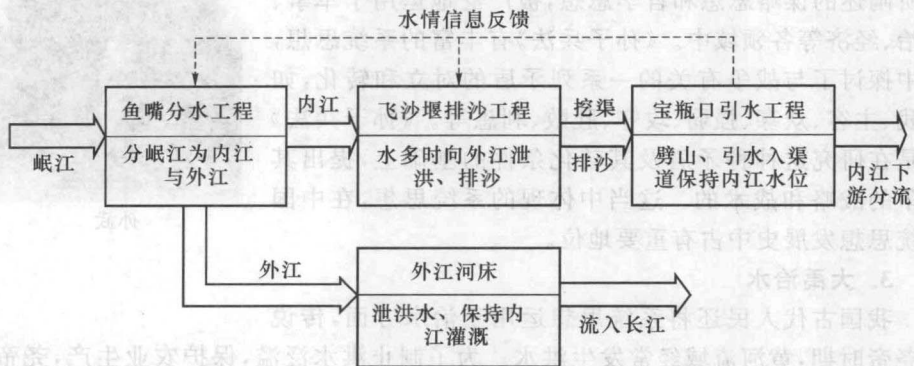


图 1.1 都江堰水利工程概况

5. 田忌赛马

战国时期齐国的国王好赛马,常常找手下大将田忌来,与他养的马比赛,比赛分三局,赌金是每局一千两黄金。两个人的马都分上中下三级,当然每一级里面齐王的马要比田忌的马强一些,比赛的结果往往是田忌连负三局,齐王有钱稳赚,乐此不彼。田忌的谋士孙臧给田忌出了个主意。因为齐王每次都赢,自然骄横,每次都先把马牵出来,而且都是第一局用上马,第二局用中马,第三局用下马。孙臧的主意是用田忌的下马与齐王的上马比赛,用田忌的上马和齐王的中马比赛,最后用田忌的中马和齐王的下马比赛。比赛的结果是田忌输了第一局,赢了第二和第三局,不但没有输钱,还赢回了一千两黄金。

齐王	上	中	下
田忌	田输	田赢	田赢
上	田输	田输	田赢
中	田输	田输	田赢
下	田输	田输	田输

田忌赛马

田忌赛马的故事说明在已有的条件下,经过筹划、安排,系统分析各种方案的优劣,选择一个最好的方案,就会取得最好的效果。可见,系统思想是十分重要的,只有这样才能“运筹帷幄之中,决胜千里之外”。

6. 丁谓建宫

丁谓建宫是一个历史典故。简单归纳起来,就是这样一个过程:挖沟(取土)→引水入沟(水道运输)→填沟(处理垃圾),如图 1.2 所示。

丁谓采用系统思想制定了一个“一举三得”的最优方案,按照这个施工方案,不仅节约了许多时间和经费,而且使工地秩序井然,使城内的交通和生活秩序不受施工太大的影响,因而确实是科学合理的施工方案。

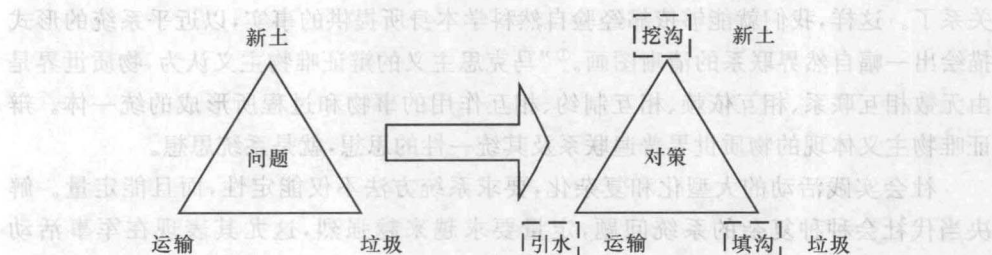


图 1.2 丁谓建宫方案

以上的例子都说明人类在认识系统工程之前,在社会实践中就已经进行辩证的系统思维了,并应用朴素的系统思想改造自然与社会。

朴素的系统思想,不仅体现在古代人类的实践中,而且在我国古代的哲学思想中得到反映。当时的一些朴素唯物主义思想家都从承认统一的物质本源出发,把自然界当做一个统一体。《易经》从自然界找出 8 种基本事物称为八卦(天、地、雷、风、水、火、山、泽),看做万物之源。《尚书·洪范》则把五行(金、木、水、火、土)作为构成万物的基本要素。这些学说都把宇宙看做一个整体。春秋战国时期的思想家老子说过:“天下万物无生于有,有生于无。”他用“有”和“无”的对立统一来说明自然界的统一性和事物之间相互联系和相互制约的关系。战国时的名家惠施提出:“至大无外,谓之大一;至小无内,谓之小一。”说明了客观事物的整体性及其无穷的层次关系。战国时的思想家荀况指出:“万物为道一偏,一物为万物一偏。”借以表述一个系统是更大的系统的一部分的观点。这里万物是指世界,道指宇宙。南宋的思想家陈亮阐述了“理-分殊”思想(“理”指天地万物这个整体,“分殊”指在这个整体中每一个事物的功能),从整体的角度来论述整体与部分的关系。

1.1.3 系统思想发展历程

古代朴素唯物主义哲学思想包含了系统思想的萌芽,它虽然强调对自然界整体性、统一性的认识,但缺乏对整体各个细节的认识能力,因而对整体性和统一性的认识是不完全的。

15 世纪下半叶,近代科学开始兴起,力学、天文学、物理学、化学、生物学等学科逐渐从古代哲学中分离出来,获得日益迅速的发展。在近代科学技术发展的基础上,到了 19 世纪,系统思想进一步从经验上升为哲学,从思辨进展到定性论述。19 世纪上半叶,自然科学取得了伟大的成就,特别是能量转化、细胞和进化论的发现,使人类对自然过程相互联系的认识有了很大提高。

恩格斯说:“由于这三大发现和自然科学的其他巨大进步,我们现在不仅能够指出自然界中各个领域内的过程之间的联系,而且总的来说也指出了各个领域之间的

关系了。这样,我们就能够依靠经验自然科学本身所提供的事实,以近乎系统的形式描绘出一幅自然界联系的清晰图画。^①”马克思主义的辩证唯物主义认为,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体。辩证唯物主义体现的物质世界普遍联系及其统一性的思想,就是系统思想。

社会实践活动的大型化和复杂化,要求系统方法不仅能定性,而且能定量。解决当代社会种种复杂的系统问题,定量要求越来越强烈,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的生死存亡。第二次世界大战是系统化系统思想发展的里程碑。这次战争在方法和手段上的复杂程度较以往的战争有很大增长,交战双方都需要在强调全局观念、从全局出发合理使用局部、最终求得全局效果最佳的目标下,对所拟采取的措施和反措施进行精确的定量研究,才有希望在对策中取胜。这样一种强烈的需要,以极大的力量把一大批有才干的科学家和工程师吸引到拟订与评价战争计划、改进作战技术与军事装备使用方法的研究中,其结果就是系统化系统方法及强有力的计算工具——电子计算机的出现及其成功的运用。

由此可见,现代科学技术的发展对系统思想的方法和实践产生了重大影响,具体表现在:(1)现代科学技术的成就使得系统思想方法量化,成为一套具有数学理论,能够定量处理系统各组成部分联系和关系的科学方法;(2)现代科学技术的成就和发展,为系统思想方法的实际运用提供了强有力的计算工具——电子计算机。

钱学森指出:系统思想和系统方法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了哲学的表达形式,在运筹学和其他系统科学那里取得了定量的表达形式,在系统工程那里获得了丰富的实践内容。系统思想经历了从经验到哲学又到科学,从思辨到定性又到量的发展过程^②。

1.1.4 系统的特征

明确系统的特性,是人们认识系统、研究系统、掌握系统思想的关键。系统应当具备的特征如下^{③~⑦}。

① 恩格斯,中共中央马克思列宁恩格斯斯大林著作编译局,路德维希·费尔巴哈和德国古典哲学的终结[M].北京:人民出版社,1997.

② 喻湘存,熊曙初.系统工程教程[M].北京:北京交通大学出版社,2006.

③ 陈宏民.系统工程导论[M].北京:高等教育出版社,2006.

④ 孙东川,林福永.系统工程引论[M].北京:清华大学出版社,2004.

⑤ 汪应洛.系统工程理论、方法与应用[M].2版.北京:高等教育出版社,2002.

⑥ 肖艳玲.系统工程理论与方法[M].北京:石油工业出版社,2002.

⑦ 周德群,等.系统工程概述[M].北京:科学出版社,2005.