

全国优秀博士学位论文专项资金资助

系统工程

理论与实践

(修订版)

陈庆华 等著

XITONG GONGCHENG
LILUN YU SHIJIAN



国防工业出版社

National Defense Industry Press

系统工程理论与实践 (修订版)

陈庆华 吕彬 李晓松 著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书以装备领域的决策优化问题为切入点,系统地介绍了系统工程的理论与方法,并进行了实例分析。全书共分为9章,其中第1章建立系统的概念。第2章研究系统工程常用的运筹学方法。从第3章到第8章,每章都从作者经历的具体实例入手,研究论述系统工程的思维方法与逻辑过程,力求将复杂问题的求解简单化。第9章分析了11个典型案例。

本书可作为军事装备学、军事运筹学、作战指挥学、军事后勤学等专业的研究生教材,也可供有关专业的军校教师、研究生和高年级本科学员以及从事装备发展论证、装备采购、装备管理保障等工作的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

系统工程理论与实践 / 陈庆华等著. —修订版.
—北京:国防工业出版社, 2011.10
ISBN 978-7-118-07775-9

I. ①系… II. ①陈… III. ①系统工程 IV.
①N945

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 215119 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 16 字数 400 千字
2011 年 10 月第 2 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 42.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422
发行传真:(010)68411535

发行邮购:(010)68414474
发行业务:(010)68472764

再版前言

为适应军事装备学学科建设与研究生培养的需要,在总装备部司令部军训局和装备学院训练部的支持下,《系统工程理论与实践》一书于2009年12月出版。该书出版后,该领域的专家和读者提出了一些修改建议,根据这些建议,由陈庆华、吕彬、李晓松等共同讨论,由陈庆华执笔完成了再版(修订版)。作为研究生导师,陈庆华指导的博士生吕彬完成的博士学位论文于2009年被评为全国优秀博士学位论文,指导的博士生李晓松完成的博士学位论文于2010年被评为总装备部优秀博士论文。本书的出版得到了教育部的专项资助和总装备部的专项资助,也得到了装备学院装备指挥教研团队的资助。

本书以装备管理领域的实际问题为牵引,以装备管理领域的决策优化为切入点,对已经在军事装备管理领域得到广泛运用的系统工程理论与方法进行了梳理、总结和分析。本书力求从宏观的角度,尽可能体现整体指导局部的意图,将马克思主义的辩证唯物论与现代科学技术相结合,采用定性与定量分析的手段,通过研究装备发展论证、科研、采购、保障,直至装备退役、报废、转移的全系统、全寿命管理活动中的决策优化问题,阐述系统工程的理论与方法。本书尽可能减少运筹学中有关数学基础的论证,以“案例剖析”为导向,由浅入深地介绍数学建模和求解方法,力求通俗与实用。

本书共9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;系统预测;系统模型;系统模拟;系统评价;系统决策;系统工程典型案例等。其中第1章建立系统的概念;第2章研究系统工程常用的运筹学方法;从第3章到第8章,研究论述了系统工程的思维方法与逻辑过程;第9章分析了11个典型案例。

书中的部分案例是作者在实际应用系统工程进行研究的成果总结,阅读这些案例可以帮助读者理解和掌握系统工程的有关理论和方法。在本书写作过程中,作者阅读了国内外相关学者的许多参考文献,从中吸收了许多重要的研究成果,并在书中加以标注。作者对这些学者在系统工程领域所做出的重

要贡献表示崇高的敬意,并对引用他们的成果感到荣幸。

在本书写作过程中,作者得到了汪浩教授、郭桂蓉院士、卢锡城院士、陈火旺院士、汪应洛院士、王众坨院士、刘源张院士等的支持和关心,得到了宋华文、薛勇、郭全魁、刘伟、刘国庆、侯妍、舒绍干等的帮助,在此表示衷心感谢。在此,还要特别感谢张炜、李元左、陈浩光等教授,他们参与了该书第一版的写作,对本书的再版给与了大力的支持和帮助。

由于作者水平所限,书中一定存在谬误,敬请广大读者批评指正。

陈庆华

2010. 12. 31

目 录

第 1 章 系统与系统工程	1
1.1 系统概述	1
1.1.1 系统的概念	1
1.1.2 中国古代系统思想	3
1.1.3 系统思想的成熟与发展	6
1.1.4 系统特征	7
1.1.5 系统分类	11
1.2 系统工程概述	15
1.2.1 系统工程的发展简史	15
1.2.2 系统工程观念	18
1.2.3 系统工程概念	21
1.2.4 目的工程系统	23
1.2.5 系统工程与相关学科的关系	26
1.3 系统工程方法论	31
1.3.1 系统工程方法论的概念	31
1.3.2 系统工程方法论的主要代表	32
1.3.3 系统工程方法论的结构和过程	43
1.3.4 系统工程方法论的子结构框	45
1.3.5 数量化与优化问题	46
参考文献	47
第 2 章 系统工程常用的运筹学方法	49
2.1 线性规划	49
2.1.1 线性规划问题的提出	49
2.1.2 线性规划的“定界对偶算法”	52
2.2 线性规划的对偶问题	61
2.2.1 线性规划的对偶理论	62
2.2.2 原材料与产品的对偶	67
2.2.3 运输与贩卖的对偶	72

2.2.4	关键路径与里程碑节点的对偶	78
2.2.5	二人零和博弈局中人的对偶	83
2.3	多目标规划问题	86
	参考文献	94
第3章	系统分析	95
3.1	实例	95
3.2	系统分析的概念	103
3.3	系统分析的要素和步骤	107
3.3.1	系统分析的要素	107
3.3.2	系统分析应该避免的问题	108
3.3.3	系统分析的步骤	109
	参考文献	114
第4章	系统预测	115
4.1	实例	115
4.2	系统预测概述	118
4.2.1	系统预测的概念	118
4.2.2	系统预测的步骤	119
4.3	定性预测方法	120
4.3.1	主观概率法	121
4.3.2	德尔菲法	122
4.3.3	交叉影响法	125
4.3.4	领先指标分析法	126
4.4	定量预测方法	127
4.4.1	平滑预测法	128
4.4.2	回归分析预测法	129
	参考文献	131
第5章	系统模型	132
5.1	实例	132
5.2	系统模型的概念	136
5.3	系统模型分类	137
5.4	数学模型的特点与分类	143
5.4.1	数学模型的特点	143
5.4.2	数学模型分类	144
5.4.3	对数学模型分类原则的说明	145
5.5	模型化过程	148

5.5.1	模型发展过程中的辩证关系	148
5.5.2	模型化过程的构造方法论	149
5.5.3	系统模型的集巢化	150
5.5.4	模型化过程的规范化	153
5.5.5	系统模型研究的一个简单例子	155
	参考文献	158
第6章	系统模拟	159
6.1	实例	159
6.2	系统模拟概述	163
6.2.1	系统模拟的分类	163
6.2.2	模拟的实质	165
6.2.3	蒙特卡洛法	168
6.3	系统动力学分析过程	171
	参考文献	174
第7章	系统评价	175
7.1	实例	175
7.2	系统评价概述	182
7.2.1	系统评价的概念	182
7.2.2	系统评价的步骤	184
7.3	系统评价的指标体系	186
7.3.1	评价指标体系的概念	186
7.3.2	建立系统评价指标体系的过程	187
7.3.3	实例分析	189
7.4	系统评价指标权重	193
7.5	系统评价信息的获取与处理	194
7.5.1	系统评价信息的获取	194
7.5.2	系统评价信息的处理	195
7.6	层次分析法	197
	参考文献	202
第8章	系统决策	203
8.1	实例	203
8.2	系统决策概述	206
8.2.1	系统决策的概念	206
8.2.2	决策树	207
8.3	多目标决策	212

参考文献.....	216
第9章 系统工程案例	217
9.1 “曼哈顿”计划	217
9.2 “阿波罗”计划	218
9.3 中国载人航天工程	220
9.4 阿拉斯加原油运输问题	225
9.5 汽车行业应对石油危机问题	227
9.6 “鱼钩”与“长矛”	229
9.7 长沙市城市交通问题	231
9.8 湘钢技术改造问题	234
9.9 百年一遇的洪水冲垮了“垸子”	237
9.10 预测“非典”疫情	238
9.11 医院里的经历	243
参考文献.....	246
后记	247

第 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的,有时也作为形容词和副词使用;作为系统工程的科学术语,则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;人类,中华民族;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;长江流域,黄土高原,珠江三角洲,环渤海经济区,西部大开发,东北老工业区,革命老区;三峡工程,全国铁路交通系统;国防教育,军事通信网,装备订货系统,装备保障系统,航天发射系统,“神舟”七号;索马里护航,抗击“非典”,举办“奥运”,汶川抗震救灾,玉树抗震救灾,舟曲救灾,上海世博会等等。

从这些实例中看到,“系统”的含义,包括了从简单的事物到复杂的事物,从描述结构、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,可以互相交叉和融合。每一个人都生活在系统之中,而且是生活在多种多样、互相交叉的系统之中。

1.1.1 系统的概念

“系统”一词最早出现于古希腊德莫克利特写过的《宇宙大系统》一书中, syn-histanai 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。

一般系统论的创始人——20 世纪初奥地利生物学家冯·贝塔朗菲(Von Bertalanffy),针对当时机械论的观点与方法,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

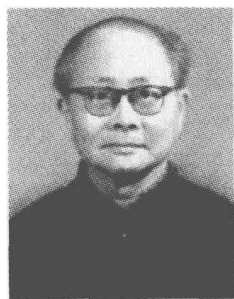
美国的韦伯斯特 (Webster) 大辞典把“系统”称为“有组织的或被组织化的整体、相联系的整体所形成的各种概念和原理的综合,由有规则的相互作用、相互依存的形式组成的诸要素的集合”。

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性质的关系,这个客体就是系统”。“任一客体,其中发生某种预先确定的性质的关系,这个客体就是系统”。

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

《现代汉语词典》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^[2]。

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,指出了系统的三个基本特征: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,元素间的相互作用,使系统作为一个整体具有特定的功能^[3]。



许国志

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下整合成为一个系统;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、足以与其他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^[4]。

通过分析总结以上关于“系统”的各种定义,本书认为,自然界、人类社会和人

的思维领域都是由“元素”构成的，“元素”之间客观上存在着某种聚合性；当人们在研究某种属性的问题时，有些“元素”之间的关系比较密切，有些“元素”之间的关系相对比较疏远。关系比较密切的“元素”具有相同的属性，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”。为了研究问题的方便，人们称这个聚合体为“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们认识世界的有限性之间的矛盾时的一种方法。

研究“系统”的概念，其目的—是构造一个新的系统，能够提供某种产品或某种服务，这个新的系统称之为目的系统。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，即保持系统的生命力。

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。

罗沛霖教授于1996年9月在为《系统研究》一书所写的“序”中这样来描述“系统”：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^[5]。

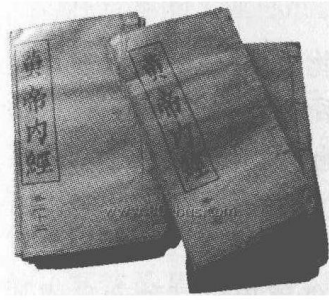
1.1.2 中国古代系统思想

“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^[6-10]。

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



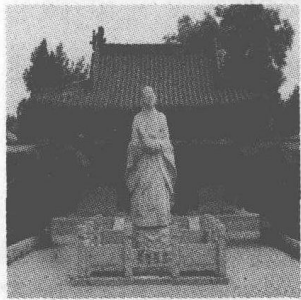
黄帝内经

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。

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



孙武

的《孙子兵法》中,阐述了不少朴素的系统思想和谋略。他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,在中国系统思维发展史中占有重要地位。

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,



大禹治水

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。

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。

4. 都江堰水利工程

都江堰水利工程在四川都江堰市城西,有 2200 年的历史,是全世界迄今为止,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。

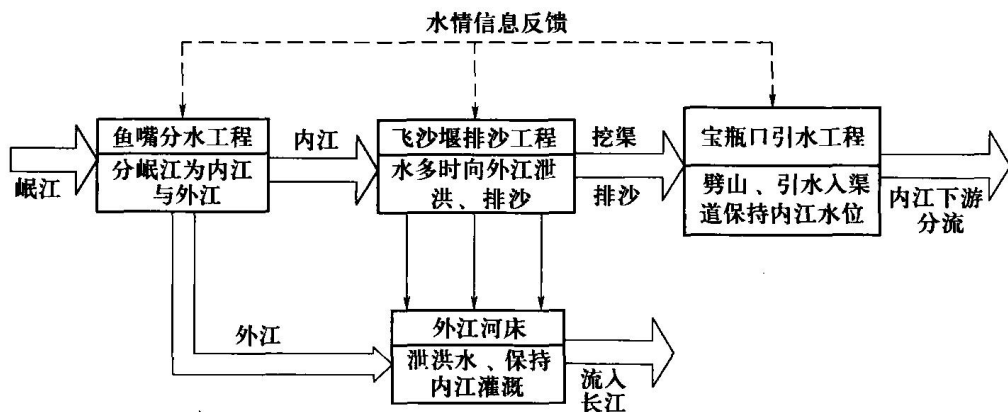


图 1.1 都江堰水利工程概况

这项工程主要由鱼嘴分水堤、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,仍不愧为世界上一项宏伟的水利建设工程。

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

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

田忌赛马

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。田忌的谋士孙臆给田忌出了个主意。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。孙臆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,以三局两胜的战果赢得了比赛。

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:首先需要大量的土方构筑地基,然后需要大量的石料、木料、砖瓦等建筑材料,最后将大量的建筑垃圾处理好。具体的操作是:首先挖掘大街取土,大街变成沟,引流汴河水成为运河,运输建筑材料,最后将建筑垃圾充填运河,复修成为街道,如图 1.2 所示。

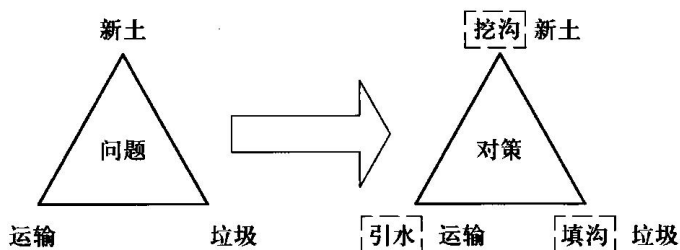


图 1.2 丁谓建宫方案

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因施工受到太大的影响,确实是科学合理的施工方案。

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。

1.1.3 系统思想的成熟与发展

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 世纪上半期,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^[11]。”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。第二次世界大战是量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,其结果就是量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。

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^[12]。

1.1.4 系统特征

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^[6-10]。

1. 集合性

集合性表明系统是由许多(至少两个)可以相互区别的要组成。例如,一个武器系统是一个系统,它的要素集合如图 1.3 所示。

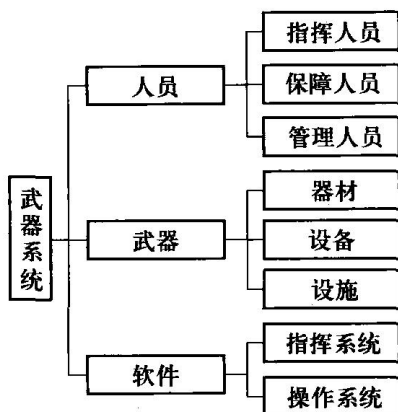


图 1.3 武器系统

2. 整体性

系统的整体性是系统最基本最核心的特性,主要表现为系统的整体功能。系统的整体功能不是各组成要素功能的简单叠加,也不是组成要素的简单拼凑,而是呈现出各组成要素所没有的新功能,可概括地表达为“系统整体不等于其组成部分之和”,而是“整体大于部分之和”。

小故事:拿破仑的系统思维



拿破仑

法国著名的政治家、军事家拿破仑(1769—1821)给人讲述过这样一段故事:历史上曾有A、B两国交战,相互动用了凶猛强悍的骑兵。其中A国骑兵骑术高明,剑法高超,最善于单个格斗,他们的缺点是纪律涣散,配合不佳;B国骑兵虽然骑术并不娴熟,剑法也不甚精湛,然而他们纪律严明,步调一致,行动如一人。这样,尽管单个的B国的骑兵根本不是A国骑士的对手,但如果1000个B国骑兵联合作战,则可以打败1500个A国骑士组成的联队。

这则故事生动地说明了系统科学的整体性原理,即“整体不等于它的局部的总和”。这个意思可形象地表示为 $1 + 1 \neq 2$,即局部与局部功能相加,不等于其整体的功能。

整体不等于局部之和,会出现两种情况。

第一种情况是整体小于局部之和,即 $1 + 1 < 2$ 。三个和尚没水吃,就是属于这种情形。

第二种情况是整体大于局部之和,即 $1 + 1 > 2$ 。三个臭皮匠,胜过诸葛亮,是属于这种情形。

由于这种整体功能不是各要素所单独具有的,因此对于各要素来说,这种整体功能的产生就不仅是一种数量上的增加,更表现为一种质变,系统整体的质不