



普通高等教育“十五”国家级规划教材

孙东川 林福永 编著

系统工程引论

清华大学出版社



普通高等教育“十五”国家级规划教材

系统工程引论

孙东川 林福永 编著

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书是教育部“十五”国家级规划教材之一,是一本系统工程的基本教科书。根据各校情况,使用本书的课程可以是“系统工程引论”、“系统工程导论”,或者一般地叫作“系统工程”。

本书的主旨是讲述系统概念和系统工程原理,包括基本的和若干深化的系统概念,以及基本的和若干深化的系统工程理论。同时本书反映了国内外系统科学和系统工程的许多新的研究成果。作者归纳陈述了30多条命题,既是对全书主要内容的概括,也是给读者留下深入研究的空间。作者专门论述了“系统工程师的素质与培养”,其中特别提出系统工程师的道德修养。此外,作者还指出,系统工程不仅是技术,是方法,而且其本身正在成为一种普遍适用的科学方法论,即用系统的观点考虑问题(尤其是复杂系统、复杂巨系统的问题),用工程的方法来研究解决问题。这种方法论不但可以为工程技术人员和管理人员所掌握和使用,也可以为从中央到地方的各级领导人所掌握和推广。

全书12章内容是作者结合教学实践和科研成果精心选择的。在内容的阐述上,作者既注重概念的准确性、条理性,又注重深入浅出、循序渐进。读者面很宽,不但适用于理工科大学生和研究生,而且适用于经管类专业大学生和研究生,以及政府机关工作人员和企业管理人员。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13901104297 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

系统工程引论/孙东川,林福永编著. —北京:清华大学出版社,2004.10
ISBN 7-302-09561-2

I. 系… II. ①孙… ②林… III. 系统工程 IV. N945

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第095694号

出 版 者: 清华大学出版社 地 址: 北京清华大学学研大厦
<http://www.tup.com.cn> 邮 编: 100084
社 总 机: 010-62770175 客户服务: 010-62776969

责任编辑: 陈国新

印 刷 者: 北京国马印刷厂

装 订 者: 三河市金元装订厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印 张: 20 字 数: 461千字

版 次: 2004年10月第1版 2004年10月第1次印刷

书 号: ISBN 7-302-09561-2/TM·56

印 数: 1~4000

定 价: 29.00元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103或(010)62795704

我很高兴看到这本新的教科书《系统工程引论》出版。“组织管理的技术——系统工程”，由于钱学森院士等著名科学家的大力倡导和推动，20多年来在我国已经生根、开花、结果。

我与孙东川教授有比较经常的交往。他的勤奋、认真、执着给我留下了深刻的印象。1987年，由中国系统工程的主要倡导者和推动者之一、中国科学院院士、上海交通大学张钟俊教授推荐，湖南科学技术出版社出版了《系统工程简明教程》(51.8万字，孙东川、陆明生)，张钟俊教授为该书撰写了序言。在1987年12月召开的全国高等工科院校系统工程教学指导委员会工作会议上，该书被推荐为“七五”期间试用教材。

在这本《系统工程引论》中，作者不但写入了较多的系统工程学科的新进展，而且对于许多基本概念还做了认真的订正，对于一些常见的引述(包括人名、观点等)也认真查明出处并予以标注，如普朗克(Max Karl Ernst Ludwig Planck, 1858—1947, 德国物理学家，量子论的奠基人)、冯·贝塔朗菲(Ludwig von Bertalanffy, 1901—1972)、亚里士多德(Aristotle, 公元前384—公元前322)等。

孙东川教授从1980年起一直执着地在系统工程领域耕耘，并由系统工程延伸到管理科学，但仍然以系统工程为主。他先后在南京理工大学、华南理工大学和暨南大学工作，但是，对系统工程“情有独钟”，始终把自己当作一名系统工程工作者。他从1982年开始，就积极参与中国系统工程学会的学术活动和学会工作。

林福永教授1993年在上海交通大学获得系统工程博士学位。1998年他正式发表了专著《一般系统结构理论》(暨南大学出版社)，在此前后，还在国内外高水平刊物上发表了多篇研究一般系统结构理论的文章，至今仍然孜孜不倦地研究着，是系统工程领域的后起之秀。

本书的两个特点是内容新和读者面广。“内容新”是说，本书吸纳了最近10多年来国内外系统科学和系统工程的许多新的研究成果。例如，系统的涌现性、复杂适应系统(CAS)、“神舟五号”范例、自组织理论、综合集成法、WSR系统方法论等。作者专门写了一章“系统工程师的素质与培养”，其中特别提出系统工程师的道德修养，这是很重要的。“读者面广”是说，本书主要介绍系统工程基本原理，尽量避免运筹学方法，以适应更多的读者，包括文、经、管类专业的大学生、研究生和机关工作人员。本书的内容选取与《系统工程简明教程》及其他系统工程教材有所不同，这是一种独辟蹊径的尝试。在内容的阐述上，作者既注重概念的准确性、条理性，又注重深入浅出、循序渐进。在最后一章中，作者

归纳陈述了许多命题,既是对全书主要内容的概括,又给读者以启发和深入研究的空间。这种写法是比较新颖的。

正如作者所指出的:系统工程是技术,是方法,而且系统工程本身正在成为一种普遍适用的科学方法论,即用系统的观点考虑问题(尤其是复杂系统、复杂巨系统的问题),用工程的方法来研究解决问题。这种方法论不仅可以被工程技术人员和管理人员所掌握和使用,也可以被从中央到地方的各级领导人所掌握和推广。对于系统工程工作者来说,这是值得高兴的。因此,多宣讲一些系统工程的基本原理以利于系统的宣传和推广,是十分必要的。

汪应洛

2004年3月25日

本书是一本高等学校系统工程教科书，可适用的课程包括“系统工程引论”、“系统工程导论”、“系统工程”——课程名称依各校专业设置情况而有所不同。为了使本书拥有更多的读者，让系统工程为更多的人接受，本书编写主要以讲述系统工程基本原理为主，内容包括系统的基本概念、系统工程的基本概念、系统工程方法论、系统工程的理论基础等。根据这一主旨，本书不过多讲述运筹学方法。因此本书的读者面很宽，不但适用于在校的理工科大学学生和研究生，而且适用于文科（文经管类专业）大学生和研究生以及政府机关工作人员和企业管理人员。

为什么要这样编写？笔者有以下几点考虑：

第一，做任何事情都要解决两个问题，首先是树立观念，其次才是寻找和运用方法。系统工程基本原理是解决观念问题的，笔者希望把系统工程基本原理讲得比较深透。

第二，从教学来说，一门课程学时数总是有限的。系统工程一般为 40~60 学时（2~3 个学分），其容量有限，不可能安排太多的内容。同样，教材也不可能包含太多的篇幅，太厚了用起来不方便。

第三，从教学体系上看，理工科大学一般都有运筹学课程。如果在本课程中讲述运筹学方法，势必造成重叠。现在普遍使用的《运筹学》教材（如钱颂迪主编，清华大学出版社，1990 年 1 月第二版），字数在 70 万字以上，学时数 80，本书可与之有很好的衔接。

第四，运筹学方法是理工科学生很感兴趣的，但是，文科学生读起来有困难。教材如果包含系统工程基本原理和运筹学方法两大部分，对文科学生就造成了“浪费”。

基于上述考虑，本书采取了“缩短战线，集中兵力”的做法，重点讲述系统工程基本原理，争取讲得深透一些。这样，教材不太厚，要求课时不太多，适应的学生面更宽，读者群可以更广。同时，教材中介绍了运筹学的由来与发展，说明了它与系统工程的关系，在此基础上，理工科学生和数学基础适宜的读者可以另外学习运筹学方法。

(二)

2001 年 8 月，教育部工商管理类学科专业教学指导委员会在大连召开会议，采用招标投标方式确定“十五”规划教材，系统工程教材就是其中之一。在教育部和出版社的

关心和支持下，本书获准并被列入清华大学出版社出版计划，经本书责任编辑陈国新同志与编者几经商榷，确定了现在的框架。

在内容选取上，本书力求把握好“三度”，即足够的宽度，适当的深度，前沿的新度。全书共分12章，书末有附录。在深度上可以分为两个层次：第一层次是基本内容，适用于本科大学生，占2~3个学分；第二层次是加上星号*的部分适用于研究生，也占2~3个学分。所谓前沿的新度，是指本书的内容反映最新成果。例如，书中编入了涌现性和复杂适应系统(CAS)理论，写入了我国神舟五号载人飞船的成功发射；在第11章“投入产出分析”中，引用了我国目前发布的最新的投入产出数据表，为了充实有关内容，编者查阅了大量的最新资料。在本书编写过程中，作者还通过E-mail向在国外的朋友求援，并得到了他们的热情支持。

这里要对第10章“系统可靠性”和第11章“投入产出分析”作一些说明。这两章的内容从定性和定量的结合上生动地说明了系统工程的若干基本原理。其中，系统可靠性主要说明系统功能与结构的关系，相同的元件进行不同的组合，可以得到功能大不一样的系统；投入产出分析，很显著地反映了国民经济各部门之间的错综复杂的联系，反映了“牵一发而动全身”的系统性和整体性，说明了研究复杂巨系统的一种思路、一种方法，说明了简单的数学工具可以用来研究并解决复杂的技术经济联系，甚至还说明了系统分析同系统综合的辩证关系以及无穷同有限之间的哲理。总之，学习这两章的意义不仅在于可在方法层次上获得一些知识，而且在于可在方法论层次上获得重要观念。它们用到的数学知识并不复杂深奥，即使对于文科院校的学生，也是不难学习和掌握的。因此，这两章的内容是符合全书主旨的。

希望各位同行朋友以及使用本书的老师和同学对本书多提出宝贵意见！无论赞成的或不赞成的，补充的或指正的，对于各种意见和建议，笔者均表示欢迎和感谢！

我们的E-mail地址是：

bmdchsun@scut.edu.cn， tlinfy@jnu.edu.cn

编著者

2004年1月

系统工程引论

系统工程引论	1
第1章 系统的基本概念	1
1.1 引言	1
1.2 系统的定义与属性	2
1.3 系统的分类	6
1.4 系统的结构与功能	10
1.5 系统思想的演变	12
习题	18
第2章 系统工程的基本概念	19
2.1 引言	19
2.2 系统工程的定义	19
2.3 系统工程的产生与发展	20
2.4 系统工程的主要特点	25
2.5 系统工程在现代科学技术体系中的地位	26
2.6 系统工程范例:神舟五号与中国航天	29
习题	33
第3章 系统工程的若干专业	34
3.1 引言	34
3.2 工程系统工程	35
3.3 军事系统工程	37
3.4 信息系统工程与管理信息系统	38
3.5 社会系统工程	52
习题	54
第4章 系统工程方法论	56
4.1 引言	56
4.2 霍尔方法论	56

4.3	软系统方法论	62
4.4	综合集成法	66
4.5	物理-事理-人理系统方法论	71
4.6	系统论方法的若干要点	76
	习题	81
第5章	系统工程的理论基础	82
5.1	引言	82
5.2	运筹学的基本知识	82
5.3	控制论的基本知识	84
5.4	信息论的基本知识	94
	习题	100
第6章	深化的系统概念	101
6.1	引言	101
6.2	自组织理论的基本知识	101
6.3	开放的复杂巨系统	112
6.4	复杂适应系统	117
	习题	123
第7章	系统模型与仿真	125
7.1	引言	125
7.2	系统模型的定义和作用	125
7.3	系统模型的分类	126
7.4	系统模型的构建	129
7.5	系统仿真	137
	习题	148
第8章	系统分析	149
8.1	引言	149
8.2	系统分析的基本概念	149
8.3	技术经济分析	151
8.4	成本效益分析	158
8.5	量本利分析	165
8.6	可行性研究	170
8.7	若干常用的方法	175

8.8 系统分析的案例	181
习题	188
第9章 系统综合与评价	189
9.1 引言	189
9.2 系统综合与评价的复杂性	189
9.3 指标评分法	191
9.4 指标综合的基本方法	197
9.5 指标综合的其他方法	202
9.6 层次分析法	206
习题	218
第10章 系统可靠性	219
10.1 引言	219
10.2 系统可靠性的基本概念	219
10.3 系统可靠性模型	226
10.4 系统可靠性设计	233
10.5 系统可靠度分配	239
习题	244
第11章 投入产出分析	245
11.1 引言	245
11.2 投入产出表的一般结构	246
11.3 投入产出表中的基本关系	251
11.4 投入产出表的应用	262
11.5 从1997年度投入产出表看我国经济状况	271
习题	278
第12章 系统工程人才的素质与培养	279
12.1 引言	279
12.2 系统工程人才的素质	279
12.3 系统工程人才的培养	283
12.4 若干重要的命题	284
12.5 结束语	286
习题	287

附录 A 国内外著名的系统工程研究机构及其他	288
A1 中国系统工程学会	288
A2 国际应用系统分析研究所	297
A3 兰德公司(RAND)	298
A4 圣菲研究所	300
A5 里昂节夫与投入产出分析	302
参考文献	308
后记	310

1.1 引言

人类社会当今处在一个什么时代？我们如何为自己所处的时代命名？

有人说当今是后工业化时代。他们说，以蒸汽机的改进和大量使用为标志的工业革命，开始了工业化进程，后来又经过电力革命、核能革命，完成了工业化使命，在 20 世纪后期则进入了后工业化时代。

有人说当今是知识经济时代。知识经济的提出源于 1996 年联合国的 OECD 组织的《以知识为基础的经济》的报告。知识经济的标志之一就是承认知识的扩散与生产同样重要，知识经济是人类社会继游牧经济、农业经济、工业经济之后的经济。知识经济是以知识阶层为社会主体，以知识和信息为主要资源，以高技术产业和服务为支柱产业，以人力资本和科技创新为动力，以可持续发展为宏观特征的新型经济。

有人说当今是网络经济时代。20 世纪 80 年代出现了因特网(Internet)，如今，以先进的计算机技术和通信技术为基础的信息网络无处不在，发挥着越来越大的作用。电子商务、电子政务、网络学院、远程教学、远程医疗、电子病历、网上购物、网上订票、上网检索、电子邮件、MIS(管理信息系统)、HIS(医院信息系统)、“金”字号工程(金税、金关、金科和金卫等)，悄悄进入了我们的工作和生活中。人类是一天也离不开网络了。

有人说当今是新经济时代。他们大概对上述几个名称不满意，于是提出“新经济时代”一词。其实这是权宜之计。因为新与旧是相对的，“新”是层出不穷、与时俱进的，现在的经济相对于工业经济而言是“新经济”，再过一百年或者几百年，现在的“新经济”恐怕就会是“旧经济”了。不过，暂时用一下这个名称以强调当代经济之“新”也未尝不可。

还有人说当今是计算机时代。自 1946 年第 1 台现代意义下的计算机 ENIAC 出现以来，计算机不断更新换代，而且更新换代的周期越来越短。20 世纪占主导地位的，50 年代是电子管计算机，50 年代末至 60 年代中期是晶体管计算机，60 年代末至 70 年代末是集成电路电子计算机，70 年代末至今是大规模集成电路和超大规模集成电路电子计算机。计算机的快速发展使其应用领域得到迅速扩展，如文字编排、数据处理、通信联络、设计绘图、教育培训以及各级各类管理工作，无处没有计算机的影子。电子计算机被称为“电脑”，现代社会“不可一日无此君”。

还有人说当今是信息时代。20 世纪 40 年代，人类终于发现：世界是由物质、能量、信息三大要素组成的，而不仅仅是由物质要素组成，或者由物质与能量两种要素组成。现在，没有人能否定信息的存在和作用，没有人能够不接受、不利用信息，信息的作用、处理

信息的手段是前所未有的。信息网络、信息高速公路、电子商务、电子政务等,正在改变人类的工作习惯、生活习惯、思维方式。距离变得无关紧要,“地球变得越来越小”,整个世界可以被因特网“一网打尽”。

还有人说当今是纳米时代。纳米(nm)是一种度量单位,1nm 等于 1m 的十亿分之一(10^{-9} m),相当于 10 个氢原子一个挨一个排起来的长度。纳米结构是指 1~100nm 尺度内的结构。在这个尺度范围内对原子重新组合,新物质就会表现出不同于单个原子或分子的性质。其基本的物理化学性质,如熔点、磁性、电容、导电性、发光等都可能产生重大变化。这种组合产生新物质的技术,就是所谓的纳米技术(nanotechnology),它使人类可以获得许多用于科研、生产、生活各个领域的新材料。

还有人说当今是基因时代。破译基因密码,基因重组,克隆,制造干细胞,……,有关的新概念、新技术层出不穷。它们甚至有可能改变人类自身,因而引起了关于伦理道德的争论。

还有人说当今是航天时代。这是非常激动人心的。2003 年 10 月,我国的神舟五号飞船成功发射,中国成为“世纪航天俱乐部”的第三名成员。2004 年 1 月,我国又成功发射“探测一号”、“探测二号”人造地球卫星。我国的登月工程已经起步。美国的“勇气号”、“机遇号”探测车已经登上火星。俄罗斯的空间站在太空遨游。人类已经迈开步伐走向茫茫宇宙。

对时代的概括还可以列举一些。所有不同角度的概括都具有一定的道理,“仁者见仁,智者见智”。但是,如果换一个角度——从系统的角度看,我们要说:

人类社会当今正处在系统工程时代!

你赞成这种说法吗?

作为系统工程工作者,我们要宣扬这个观点,要让尽可能多的人能够理解,能够接受。

那么,什么是系统?什么是系统工程?系统工程的基本概念、基本原理是什么?这就是本书要讲述的内容。

本章将主要介绍系统的基本概念,包括系统的定义与属性、系统的分类、系统的结构与功能以及系统思想的演变等。

1.2 系统的定义与属性

1.2.1 系统的定义

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”一词是大家熟悉的,在汉语中,它通常是作为名词来使用,有时也作为形容词和副词使用;作为系统工程的科学术语,则需要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,在研究系统的分类之前,先让我们列举几组不同类型的系统,例如:

一辆汽车、一架飞机、一列火车、一台计算机、一个校园网分别都是一个系统;

一个国家、一个政府、一支军队、一个企业、一所学校、一家医院、一支乐队、一个球队、

一个家庭也分别都是一个系统；

一项工程(例如三峡工程、西部大开发、振兴东北、神舟五号、抗击 SARS、举办“奥运”)、一本教科书、一篇文章、一首歌曲、一张中药处方同样分别都是一个系统；

银河系、太阳系、地球、大森林、动植物群落以及联合国、WTO、WHO 仍然分别都是一个系统,等等。

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。系统是普遍的客观存在。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。

但是,并非任何事物或者事务都可以随心所欲地被称为系统。相对于一辆汽车而言,拆卸下来的若干齿轮与螺丝钉不构成系统;相对于一个球队而言,游离活动的几名队员不构成系统;相对于一场球赛,正常的犯规行为(可能有多次)不构成系统;海边沙滩上休闲的人群不构成系统;在盒子里放得整整齐齐的一副象棋,也不构成系统。

从许许多多、实实在在的系统 and “非系统”中可以提炼出如下的定义:

所谓系统,是由相互联系、相互作用的许多要素结合而成的具有特定功能的统一体。

这个统一体又称为整体或总体;要素又称为元素、部分、局部或零部件,在一定的意义上,又称为子系统。系统整体与构成系统的部分是相对而言的,整体中的某些部分可以被看成是该系统的子系统,而整个系统又可成为一个更大规模系统中的一个组成部分或者子系统。例如,一辆汽车或一架飞机的发动机,一个企业的某一条生产线,一所大学的某一个学院等,都分别是一个子系统;而一辆汽车对于一个车队,一架飞机对于一个航空公司,一个企业对于国民经济,一所大学对于全国的或地区的高教系统来说,分别只是其中的一个组成部分或者一个子系统。

从系统工程的角度而言,系统的范围或规模是根据我们研究问题的需要而决定的。系统具有特定的结构,表现为一定的功能和行为。系统整体的功能和行为由构成系统的要素和系统的结构决定,而这些功能和行为又是系统的任何一部分都不具备的。

某种特定的系统,通常是自然科学和社会科学某一学科的研究对象。例如,太阳系是天文学研究对象,植物群落是植物学研究对象,动物群落是动物学研究对象,人体和疾病是医学研究对象,社会制度是历史学和社会学研究对象,等等。系统工程以及系统科学(系统工程是系统科学部门的工程技术)的研究对象并不限于某种特定的系统,也不重复其他学科的研究,而是研究各种系统的普遍属性和共同规律,研究各种系统的有效组织与管理问题。

中外学者从不同的角度对系统的定义作过描述。例如,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”。

一般系统论的创始人奥地利生物学家冯·贝塔朗菲(Ludwig. Von Bertalanffy, 1901—1972)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。

钱学森院士在回顾我国研制“两弹一星”的工作历程时说:“我们把极其复杂的研制

对象称为‘系统’，即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，而且这个‘系统’本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。”

在汉语中与 System 一词相对应的名词还有体系、体制、制度。

此外，在管理学原理和企业管理中用得最多的单词之一——组织(organization)，其意义与系统(system)是很相近的，而且常常是等同的。

1.2.2 系统的属性

从系统工程的观点来看，系统的属性主要有：

1. 集合性

集合性表明系统是由许多(至少两个)可以相互区别的要素组成。例如，一个工业企业是一个系统，它的要素集合如图 1-1 所示。



图 1-1 工业企业的组成要素

2. 相关性

所谓相关性是指系统内部的要素与要素之间、要素与系统之间、系统与其环境之间存在着这样那样的联系。联系又称关系，常常是错综复杂的。如果不存在相关性，众多的要素就如同一盘散沙，只是一个集合(set)而不是一个系统(system)。

3. 层次性

一个大的系统，包含许多层次，上下层次之间是包含与被包含的关系，或者领导与被领导的关系。例如，我国的行政系统包含国家-省(自治区，直辖市)-市-县-乡镇；军队包含军-师-(旅)-团-营-连-排；一所大学包含学校-学院-系-教研室；一个大企业包含总公司-分公司-工厂-车间-班组。

图 1-2 表示了企业管理的层次，它分为战略计划层(高层)、经营管理层(中层)和作业层(基层)。大企业的中层又可以分为若干层次，构成一座金字塔。

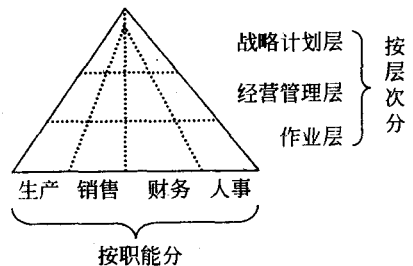


图 1-2 企业管理的层次

在组织管理工作中,系统的层次与管理的跨度是一对矛盾。从个人的管理能力而言,管理跨度的平均值是一个常数,被称之为“奇妙的7”,即一个管理者,他能够直接有效管理的下属是7人左右,不会太多。如果要管理一个10万人的企业,设管理跨度为7,则

$$10^5 = 7^n$$

求得 $n=5.916 \approx 6$,就是说,需要6个管理层次,理论上的管理人员总数为

$$1 + 7 + 7^2 + 7^3 + 7^4 + 7^5 = 19601(\text{人})$$

如果利用计算机技术,建立性能卓越的管理信息系统(MIS),提高管理的跨度,就可以减少管理的层次。假设管理的跨度提高到18,通过简单计算可知:管理层次可以降低至3,管理人员总数只需6000人左右,可以减少2/3以上。当然,管理岗位的设置要考虑多种因素,并非如此单一。但是可以确信,在当代的计算机和信息技术条件下,管理组织的结构可以由金字塔趋向扁平化。

在管理工作中,层次性并非是一成不变的。在一般情况下,上一级指挥下一级,下一级服从上一级,下一级向上一级反映情况;在特殊情况下,也可以“越级指挥”、“越级反映情况”(“上访”、“上告”)。我们把前者称为规范的层次性,把后者称为不规范的层次性。后者并不是可有可无的,而是对前者的必要补充。例如,中国共产党党章规定:党员有权“向党的上级组织直至中央提出请求、申诉和控告,并要求有关组织给以负责的答复”;“党的任何一级组织直至中央都无权剥夺党员的上述权利”。

4. 整体性

系统是作为一个整体出现的,是作为一个整体存在于环境之中、与环境发生相互作用的,系统的任何组成要素或者局部都不能离开整体去研究。

系统的整体性又称为系统的总体性、全局性。系统的局部问题必须放在系统的全局之中才能有效地解决,系统的全局问题必须放在系统的环境之中才能有效地解决。局部的目标和诉求,要素的质量、属性和功能指标,要素与要素之间、局部与局部之间的关系,都必须服从整体或总体的目的,它们共同实现系统整体或总体的功能。系统的功能和特性,必须从系统的整体或总体来加以理解,加以要求,使之实现并且优化。系统的整体观念或总体观念是系统概念的精髓。

5. 涌现性

系统的涌现性包括系统整体的涌现性和系统层次间的涌现性。

系统的各个部分组成一个整体之后,就会产生出整体具有而各个部分原来没有的某些东西(性质、功能、要素),系统的这种属性称为系统整体的涌现性。

系统的层次之间也具有涌现性,即当低层次上的几个部分组成上一层次时,一些新的性质、功能、要素就会涌现出来。

6. 目的性

系统工程所研究的对象系统都具有特定的目的。研究一个系统,首先必须明确它作为一个整体或总体所体现的目的与功能。人们正是为了实现一定的目的,才组建或改造

某一个系统的。例如,学校的目的主要是培养合格的人才;企业的目的主要是生产合格的产品,提供相应的服务,并获取显著的经济效益等。

明确系统的目的性,是开展系统工程项目的首要工作。与目的一词意义相近的术语有目标、指标。系统的目的常常通过更具体的目标或指标来描述。系统总是多目标或多指标的,它们分为若干层次,构成一个指标体系。

7. 系统对于环境的适应性

任何一个系统都存在于一定的环境之中,在系统与环境之间具有物质的、能量的和信息的交换。环境的变化必定对系统及其要素产生影响,从而引起系统及其要素的变化。系统要获得生存与发展,必须适应外界环境的变化,这就是系统对于环境的适应性。

系统必须适应环境,就像要素必须适应系统一样。从图 1-3 可看到

$$\text{系统}(S) + \text{环境}(\bar{S}) = \text{更大的系统}(\Omega) \quad (1-1)$$

这就要求研究系统时必须放宽眼界,不但要看到整个系统本身,还要看到系统的环境或背景。只有在一定的背景上考察系统,才能看清系统的全貌;只有在一定的环境中研究系统,才能有效地解决系统中的问题。

总之,系统这个概念,其含义十分丰富。它与要素相对应,意味着总体与全局;它与孤立相对应,意味着各种关系与联系;它与混乱相对应,意味着秩序与规律。研究系统,意味着从事物的总体与全局上、从要素的联系与结合上去研究事物的运动与发展,找出其固有的规律,建立正常的秩序,实现整个系统的优化。这正是系统工程的宗旨。

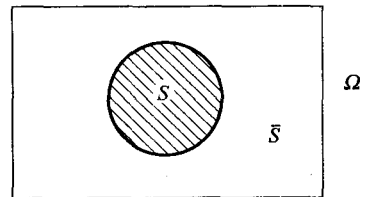


图 1-3 系统与环境的适应性

1.3 系统的分类

世界上的系统举不胜数,千差万别。为了便于研究,可以根据不同的标准对它们进行分类。

1.3.1 按照系统属性分类

1. 按自然属性分为自然系统与社会系统

自然系统是自然形成的、单纯由自然物(天体、矿藏、生物、海洋等)组成的系统,例如太阳系、地质构造、原始森林。它们不具有人为的目的性与组织性,所以不是系统工程直接研究的对象。但是,如何组织科学技术队伍去研究天体现象(例如日食、月食)或勘探、开发利用地下矿藏和地面资源,则是系统工程的任务。实际上,这时自然系统已转化成了社会系统。