



普通高等教育“十五”国家级规划教材

孙东川 林福永 孙 凯 编著

# 系统工程引论

(第2版)

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

## (第2版)

孙东川 林福永 孙 凯 编著

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书是教育部“十五”规划教材,是一本系统工程的基本教科书。根据各校情况,使用这本书的课程可以是“系统工程引论”、“系统工程导论”,或者一般地叫做“系统工程”。这是第2版,第1版于2004年出版后,每年重印,总印数为13500册。

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与系统工程理论。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多条重要命题,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。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,而且它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和解决问题。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使用。

本书内容是作者结合教学实践与科研成果精心选择的。在内容的阐述上,作者既注意概念的准确性、条理性,又注意深入浅出、循序渐进。其读者面的定位很宽,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,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

系统工程引论/孙东川,林福永,孙凯编著. —2版. —北京:清华大学出版社,2009.5  
ISBN 978-7-302-19554-2

I. 系… II. ①孙… ②林… ③孙… III. 系统工程 IV. N945

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第019317号

责任编辑:陈国新

责任校对:李建庄

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 刷 者:北京市世界知识印刷厂

装 订 者:三河市溧源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:20 字 数:468千字

版 次:2009年5月第2版 印 次:2009年5月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:32.00元

---

本书如存在文字不清、漏印、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)62770177 转 3103 产品编号:031433-01

2008年是值得庆祝、值得纪念的一年。这一年还有一个多月,已经发生了许多大喜大悲的事情——对于中国尤其是这样。这里只说两件喜庆的大事:今年是中国的改革开放30周年,改革开放取得了辉煌的成就,举世瞩目;今年也是中国的系统工程30周年,系统工程也取得了很大的成功。当此之时,在喜庆的氛围中,承蒙出版社和编辑同志关心,拙作《系统工程引论》修订出版,这是一件很荣幸的事情。

著名科学家钱学森院士是中国系统工程的领军人物。他与许国志院士和王寿云将军于1978年9月27日在上海《文汇报》发表重要文章《组织管理的技术——系统工程》,吹响了系统工程在中国的进军号。30年来,系统工程在中国得到了两方面的高度重视与大力推动:一是以钱学森院士等学者为代表的学术界,二是从中央到地方的各级领导人。系统工程需要改革开放,改革开放需要系统工程;系统工程与改革开放共生共荣,与时俱进,已经形成了颇具特色的系统工程的中国学派——钱学森学派。

2008年1月19日,胡锦涛同志看望著名科学家钱学森院士。胡锦涛同志在看望中谈起系统工程时说:“上世纪80年代初,我在中央党校学习时,就读过您的有关报告。您这个理论强调,在处理复杂问题时一定要注意从整体上加以把握,统筹考虑各方面因素,这很有创见。现在我们强调科学发展,就是注重统筹兼顾,注重全面协调可持续发展。”

这是党和国家领导人对钱学森院士的爱戴与关心,也是对于系统工程工作者的支持与鼓舞,是中国的系统工程进一步发展和提高的重要契机和强大推动力。

### 1. 第2版所作的修改

《系统工程引论》自2004年10月出版(下称第1版)以来,每年重印一次,2008年7月第5次印刷,总印数达到13500册。这个数字与那些“国学热”的热销书无法相比,但是,与其他系统工程教材相比,还算是不错的。

鉴于使用拙作的教师和读者比较认可本书的结构与选材,所以第2版采取“驾轻就熟,小改微调”的办法。其主要的变动是:

根据近几年来国际国内的发展和变化,有些章节增加了一些文字。例如,在第1.1节, p2增加了航天时代的最新进展:我国的嫦娥一号、神舟七号、夸父计划,美国的凤凰号火星探测等。

若干细节作了更新或补充:例如第1版 p17、p95中提到的信息论的创始人香农

(C.E.Shannon)已于2001年去世,第2版补充了这一信息。

也有一些删节,例如附录A5删去了,使得体例更加一致。

第1版出版以来,受到大家的关注与欢迎,这对我们是很大的鼓舞。有的朋友对它提出了一些意见与建议,谨表示感谢!有一些新作,参考和引用了我们的内容,也向他们表示感谢!知识总要多多传播才好,我们只希望引用拙作时有所说明,不要走样。我们期待朋友们继续关注,继续提出各种意见和建议(通过Email地址 bmdchsun@scut.edu.cn, tlinfy@jnu.edu.cn 发给作者即可),以便继续改进本书。

## 2. 关于参考文献的说明

本书的主要参考文献1、2,即钱学森院士等著《论系统工程》、《创建系统学》,现在有了新的版本——中国系统工程学会、上海交通大学合编的《钱学森系统科学思想文库》,包含4本书:《工程控制论》(新世纪版),《论系统工程》(新世纪版),《创建系统学》(新世纪版),《钱学森系统科学思想研究》,上海交通大学出版社,2007年1月出版。参考文献14,薛华成教授主编的《管理信息系统》第5版已经出版(清华大学出版社,2007年8月)。第2版对这些都作了新的标注。

笔者近几年继续研究系统工程,发表了几篇文章,增列为参考文献54~56。

此外,我们还发表了几篇文章:

创建现代管理科学的中国学派及其途径研究(孙东川,林福永),管理学报2006(2,首篇),p127~131,142;

一项重大的历史使命:创建现代管理科学的中国学派(孙东川,张振刚,孙凯),美中经济评论,2008(1),总第74期,p57~63;

谈谈创建现代管理科学中国学派的若干问题(刘人怀,孙东川),管理学报,2008(3),p323~329;

再谈创建现代管理科学中国学派的若干问题(刘人怀,孙东川),中国工程科学,2008(12)。

这几篇文章乍一看似乎与系统工程没有多少关系,其实,它们是系统工程的应用研究。我们认为:创建工作是一项艰巨复杂的系统工程,这是系统工程和管理科学研究者的一项光荣而艰巨的历史使命,需要千军万马长期作战;创建途径是:洋为中用,古为今用,近为今用,综合集成。希望朋友们能够共同参与!

## 3. 两个基本概念的说明

为了引起大家足够的重视,有两个基本概念要在这里加强说明。

(1) Hall方法论的第三维是什么?

在本书中,霍尔(Hall)方法论的第三维是“专业维”而不是“知识维”,这是笔者做过一番考证的。请大家查看本书参考文献34。

(2) 不宜提“系统工程学”

钱学森院士提出了系统科学体系,本书第2.5.2节作了介绍。他指出:不要提“系统工程学”,因为不存在什么“系统工程学”。钱学森院士是在1985年讲的,见于参考文献1

《论系统工程》(新世纪版)的《系统工程与系统科学体系》一文,p288~299。这篇文章很重要,笔者建议大家全都读一读。

#### 4. 编写好系统工程教材,做好系统工程的教育与普及工作

系统工程的教育与普及工作是永远需要的,因为学校里年年有新的大学生与研究生,社会上年年有新干部和新的管理者,他们都是新的普及对象,更不必说其他人员也经常需要知识更新了。在普及的基础上提高,在提高的指导下普及,系统工程学科才能不断发展,这就是辩证法。

笔者有幸亲耳聆听中国系统工程学会前理事长、中国工程院院士许国志教授(1919—2001)1998年夏天在北京举办的系统科学与系统工程研讨班上的讲话,他呼吁“重视教材的编写”。许先生说:现在国内有职称晋升等方面的导向,普遍重视出版专著而不重视出版教材和科普读物,我不大赞成。因为专著只是给少数人看的——不是“同行”一般是不看的,所谓“同行”,往往并不多,而教材是给很多人看的——教育一届又一届的莘莘学子,延续多少年,使千千万万的人受益,甚至不止一代人。国外的许多著名教授和科学家都很重视编写教材,尤其是在他们退休前后编写,把他们丰富的学识和宝贵的教学经验写进去,所以国外有许多经久不衰的好教材。好的科普读物也非常重要,好的科普读物是高水平的杰作,不是什么人都能写得出来的,非要名家大家不可。许先生的这番话是至理名言,当时未有录音,笔者根据自己的记忆转述于此。

许先生对于中国系统工程学会的建设呕心沥血,建树颇多。许先生身体力行地做系统工程普及工作,包括在20世纪80年代初的一些系统工程培训班上亲自登台讲课。笔者孙东川在1980年暑假赴京参加当时五机部举办的系统工程师资培训班,就亲耳聆听了许先生讲课。在厦门、北京等地举办的大中学生系统工程夏令营,德高望重的老前辈许先生都非常关心,亲临讲话和指导。

第2版增加了1名作者孙凯,他已经获得管理学博士学位,正在做博士后研究。他为本书做了不少工作。管理学博士钟拥军也做了不少修订工作。

这里还要说明一点:为了避免繁琐,在本前言中作了说明的事项,在“后记”中就不作相应的改动了。

我们认为:系统工程在中国已经取得了很大的成功,但是还没有实现其应有的辉煌。我们期盼系统工程在中国早日实现其应有的辉煌!

我们有一个明确的、坚定的信念:系统工程将永葆青春,一万年以后仍然需要系统工程,所以,要把系统工程红旗永远打下去!

编著者

2008年11月11日

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



## (一)

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

<b>第 1 章 系统的基本概念</b> .....	1
1.1 引言 .....	1
1.2 系统的定义与属性 .....	3
1.3 系统的分类 .....	7
1.4 系统的结构与功能 .....	11
1.5 系统思想的演变 .....	13
习题 .....	18
<b>第 2 章 系统工程的基本概念</b> .....	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 .....	27
2.6 系统工程范例：神舟五号与中国航天 .....	30
习题 .....	34
<b>第 3 章 系统工程的若干专业</b> .....	35
3.1 引言 .....	35
3.2 工程系统工程 .....	36
3.3 军事系统工程 .....	38
3.4 信息系统工程 .....	40
3.5 社会系统工程 .....	54
习题 .....	57
<b>第 4 章 系统工程方法论</b> .....	58
4.1 引言 .....	58
4.2 霍尔方法论 .....	58
4.3 软系统方法论 .....	64
4.4 综合集成法 .....	68

4.5	物理-事理-人理系统方法论 .....	73
4.6	系统论方法的若干要点 .....	78
	习题 .....	83
<b>第5章</b>	<b>系统工程的理论基础 .....</b>	<b>84</b>
5.1	引言 .....	84
5.2	运筹学的基本知识 .....	84
5.3	控制论的基本知识 .....	86
5.4	信息论的基本知识 .....	96
	习题 .....	102
<b>*第6章</b>	<b>深化的系统概念 .....</b>	<b>103</b>
6.1	引言 .....	103
6.2	自组织理论的基本知识 .....	103
6.3	开放的复杂巨系统 .....	114
6.4	复杂适应系统 .....	119
	习题 .....	125
<b>第7章</b>	<b>系统模型与仿真 .....</b>	<b>127</b>
7.1	引言 .....	127
7.2	系统模型的定义和作用 .....	127
7.3	系统模型分类 .....	128
7.4	系统模型的构建 .....	131
*7.5	系统仿真 .....	139
	习题 .....	150
<b>第8章</b>	<b>系统分析 .....</b>	<b>151</b>
8.1	引言 .....	151
8.2	系统分析的基本概念 .....	151
8.3	技术经济分析 .....	153
8.4	成本效益分析 .....	160
8.5	量本利分析 .....	167
8.6	可行性研究 .....	172
8.7	若干常用的方法 .....	177
8.8	系统分析的案例 .....	184
	习题 .....	191
<b>第9章</b>	<b>系统综合与评价 .....</b>	<b>192</b>
9.1	引言 .....	192

9.2	系统综合与评价的复杂性 .....	192
9.3	指标评分法 .....	195
9.4	指标综合的基本方法 .....	200
*9.5	指标综合的其他方法 .....	205
9.6	层次分析法 .....	209
	习题 .....	221
<b>第 10 章</b>	<b>系统可靠性 .....</b>	<b>222</b>
10.1	引言 .....	222
10.2	系统可靠性的基本概念 .....	222
10.3	系统可靠性模型 .....	229
10.4	系统可靠性设计 .....	236
*10.5	系统可靠度分配 .....	242
	习题 .....	247
<b>第 11 章</b>	<b>投入产出分析 .....</b>	<b>248</b>
11.1	引言 .....	248
11.2	投入产出表的一般结构 .....	249
11.3	投入产出表中的基本关系 .....	254
11.4	投入产出表的应用 .....	265
11.5	从 1997 年度投入产出表看我国经济状况 .....	274
	习题 .....	281
<b>第 12 章</b>	<b>系统工程人才的素质与培养 .....</b>	<b>282</b>
12.1	引言 .....	282
12.2	系统工程人才的素质 .....	282
12.3	系统工程人才的培养 .....	286
12.4	若干重要的命题 .....	287
12.5	结束语 .....	289
	习题 .....	290
<b>附录 A</b>	<b>国内外著名的系统工程研究机构及其他 .....</b>	<b>291</b>
A1	中国的系统工程与系统科学研究机构 .....	291
A2	国际应用系统分析研究所(IIASA) .....	295
A3	兰德公司(RAND) .....	297
A4	圣菲研究所(SFI) .....	299
	<b>参考文献 .....</b>	<b>302</b>
	<b>后记(第 1 版) .....</b>	<b>304</b>

## 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 年经济合作与发展组织 (Organization for Economic Co-operation and Development, OECD) 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 台现代意义上的计算机 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 10 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,重组基因,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。

还有人说说是“航天时代”。这是非常激动人心的。2003 年 10 月 15—16 日,我国的神舟五号飞船成功发射,中国第一名航天员杨利伟遨游太空,中国成为“世界航天俱乐部”的第三名成员。2005 年 10 月 12—17 日,搭载两名航天员费俊龙、聂海胜的神舟六号飞船成功发射。2008 年 9 月 25—28 日,搭载 3 名航天员翟志刚、刘伯明、景海鹏的神舟七号飞船成功发射,翟志刚成为中国在太空出舱活动第一人。

我国的探月工程已经起步,探月工程分为“绕”、“落”、“回”3 个阶段。第一期为绕月工程,发射探月卫星“嫦娥一号”,对月球表面环境、地貌、地形、地质构造与物理场进行探测。嫦娥一号于 2007 年 10 月 24 日发射升空,经过 8 次变轨后,于 11 月 7 日顺利进入高度为 200 公里、周期为 127 分钟的工作轨道。11 月 18 日卫星转为对月定向姿态,11 月 20 日开始传回探测数据。第二期工程时间定为 2007—2010 年,目标是研制和发射航天器,以软着陆的方式降落在月球上进行探测。第三期工程时间定在 2011—2020 年,目标是月面巡视勘察与采样返回;其中前期主要是研制和发射新型软着陆月球巡视车,对着陆区进行巡视勘察;后期即 2015 年以后,研制和发射小型采样返回舱、月表钻岩机、月表采样器、机器人操作臂等,采集关键性样品返回地球,对着陆区进行考察,为下一步载人登月探测、建立月球前哨站的选址提供数据资料,此段工程的结束将使我国航天技术迈上一个新的台阶。

研究太阳的夸父计划即将于 2012 年启动。

美国的“勇气号”、“机遇号”探测车已经登上火星。美国凤凰号探测器预计于美国东部时间 2008 年 5 月 25 日 19 时 53 分(北京时间 5 月 26 日 7 时 53 分),登陆火星北极附近,实施为期 90 天的勘测任务。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了。

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——从系统工程的角度看,我们要说:

**人类社会当今处在系统工程时代!**

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;作为工程学的科学术语,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 仍然都是一个系统等。

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。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

从系统的观点来看,系统的属性主要有以下几个方面。

### 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