

# 系统工程引论

(第3版)

王众托 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

# 系统工程引论

## (第3版)

王众托 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书是高等工科院校自动化、计算机、管理科学与工程专业及理工科各类专业公共课程使用的“系统工程”教材,也可作为工程技术与管理培训与自学用书。本书包括系统工程学科的对象和任务、系统工程方法、系统的描述与建模、系统的结构模型、系统的静态分析与优化、系统的动态建模与分析、随机服务系统、网络系统、决策分析的概念与方法、系统可靠性、系统的建构与集成等内容。各章节可以按照不同的课程要求与学时,灵活组成不同类型的教材结构,以满足各种类型读者的要求。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有,侵权必究。

## 图书在版编目(CIP)数据

系统工程引论/王众托编著. —3版. —北京:电子工业出版社,2006.7  
ISBN 7-121-02752-6

I. 系… II. 王… III. 系统工程—高等学校—教材 IV. N945

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第061865号

责任编辑:赵平

印刷:北京智力达印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

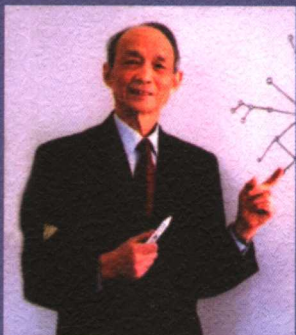
经销:各地新华书店

开本:787×980 1/16 印张:20.25 字数:518.4千字

印次:2006年7月第1次印刷

印数:5000册 定价:28.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。



**王众托**，大连理工大学教授，中国工程院院士。长期从事系统工程与信息技术应用的教学与科学研究工作。曾撰写过《系统工程学》、《系统管理》、《分布式计算机控制与管理系统》、《网络计划技术》、《计算机决策支持系统》、《计算机在经营管理中的应用：新的系统构成》、《企业信息化与管理变革》、《知识系统工程》等教材和专著，以及9种译著。目前从事知识系统工程学科的建设。

# 前 言

随着社会经济的发展和科学技术的进步,人类社会出现了越来越多的大型复杂系统。这些系统的规划、设计、建造、运用需要建立在科学的基础之上,系统工程作为对系统进行组织管理的技术也就应运而生了。20世纪的后半叶,系统工程的思想和方法在军事和民用工业各个领域中的应用有了很大发展,取得了很大成效,而系统工程学科本身也有了很大发展。我国从20世纪70年代后期开始,在钱学森、许国志等老一辈科学家的领导和指引下,开拓了中国的系统工程研究和应用事业。在工业、农业、军事、科技、资源、环境、经济等领域取得了很多成果,产生了很大影响。现在人们在面临重大而复杂的任务时,常常会把它看作是一项系统工程,并谋求从整体上综合而有序地解决问题。特别是当前为了落实科学发展观,建立和谐社会,面临复杂多变的环境和形势,需要处理许多带有全局性、长远性的问题,更有必要充分利用系统工程的理念和方法。

也正是在20世纪70年代末期,在高等学校的教学计划中开始出现了系统工程课程,并在研究生培养的学科目录中出现了系统工程专业(首先在自动化学科内,后来又在管理科学与工程学科及航天工程学科内)。近年来,这门课程不仅在自动化、管理类专业开设,而且已经成为理工院校各类专业的公共课程。

本书最早是由原电子工业部自动控制教材编审委员会为自动控制专业编写的。第1版于1984年由电子工业出版社正式出版(在此之前的1981年,曾由国防工业出版社以《系统工程学》为书名出版过内部发行版)。第2版(修订本)于1991年出版。先后两版曾长期作为自动化类本科生与研究生教材使用。由于系统工程作为一门通用性的学科,在许多理工院校为广大高年级本科生和研究生开设,因此,需要更为通用的教材,有必要对本教材再加修订,以适应更广泛的教学要求。

本次修订首先将这本教材定位于理工院校的工程技术类及与技术有关的管理类的各专业所开设的系统工程通用教材,内容着重于系统工程的理念和方法论,因为这些概念是系统工程学科的最根本的内容;其次是定性和定量相结合的系统分析和综合方法。为适应更广泛的教学要求,将一些计算细节加以压缩,而扩大了系统工程理念和方法的阐述。

本书第1章介绍了系统和系统的概念。首先对系统的含义、属性和特征做了介绍,阐述了系统的分类。介绍了系统工程的两种含义:一种含义是指那些规模庞大、涉及因素众多的任务、项目,它们需要从整体上加以把握,综合地进行处理;另一种含义是指处理上述任务或项目所应用的思想、方法所构成的学科。接着阐明了系统工程学科的定义和特征。本章还论述了系统工程的原则和国内外系统工程的广泛应用。

第2章是本教材的重点,阐述了系统工程的方法论和工程方法。本章首先介绍了系统思

想的发展和主要理念,从系统的整体性、功能和结构及自组织特性来具体研究系统思想的含义。其次说明了方法论和方法的关系,介绍了硬软两种系统工程方法论,以及方法论的进一步发展。接着依次讨论了问题和目标的确定,方案的生成,系统的建构,以及建模、分析与优化、评价与决策。最后讨论了系统工程中人的因素问题和系统、信息、控制三者之间的关系问题。

第3章介绍的是系统的描述和模型建立问题。这里所说的描述,包括从开始确定问题时所写的问题剖析报告,直到具体的数学模型公式或计算机程序。本章首先从量化和尺度开始,接着研究了数据和指标体系。为系统建立模型,实际上就是对系统的某些属性加以描述,特别是用符号语言来描述。本章最后一节讲述了建模的共性问题,特别强调了结构模型的重要性,为后几章讲述各类数学模型的建立做准备。

第4章讲述了系统的结构模型。首先介绍怎样从描述问题的概貌和系统轮廓的结构模型过渡到描述系统的结构形态的结构模型,阐明了结构模型的特点是描述系统各组成部分之间及它们与外界环境之间的关系(这里所谓关系,既包括因果关系、顺序关系、联系关系、隶属关系,也包括优劣对比关系等)。本章强调结构模型乃是从系统的概念模型过渡到定量分析的中介,而且即使对那些难以量化的系统来说也可以建立结构模型,用来深化对系统的认识。然后介绍各种结构模型的形式和建立方法。

第5章讲述系统的静态建模、静态分析与优化,从最简单的静态模型的建立开始,依次介绍静态分析与优化的方法。虽然系统的核心部分是它的理念和方法论,以及概念模型的建立,但是一些基本的数学模型的建立和定量分析方法还是很重要的,因为通过这些方法可以更深入地掌握系统的特性。与前两版相比,这一版对许多静态优化的具体计算方法进行了删节,因为那些是运筹学、优化方法等课程的内容。

第6章讲述系统的动态建模和动态分析。这里同样从最简单的动态模型建立开始,逐步引述系统的动态性能与特点。本章的一个重点是对非线性系统的动态分析作了阐述,因为随着系统复杂性的增加,非线性因素的作用和影响是不能忽视的。在这一章中特别对种群的动力学形态作了一些分析,因为种群的概念不仅限于自然生态系统,现在工业生态、信息生态的研究也提到日程上来了。此外还提到了正反馈在系统中的作用。

第7章研究了随机服务系统。这类系统大量存在于各种服务业(运输、通信、商业、银行等)之中,其中接受服务者的到来时刻和服务者进行服务的时间,都随时机和条件而变化。因此,服务系统的状况也是随机的,是随时机与条件而变化的。本章介绍了几类典型的服务系统的分析方法和系统的特点。

第8章则是有关网络系统的分析。这类系统由许多节点通过线路连成网络。在线路中,有物料、能量或信息在流动,例如运输网、信息网等。有一些工作计划,也是按相互的关系绘制成网络形式的,可以认为是沿时间展开的网络。本章介绍了各类网络的分析方法。近年来复杂网络的研究为系统复杂性研究开辟了一条新的道路,它的应用不仅限于实际的物理网络,而且会延伸到像企业集群、知识传播和集成、科研合作等问题的分析研究之中。因此在这一版中特地增加了有关复杂网络的内容。

第9章开始讨论决策分析的问题。人类的决策活动有着悠久的历史。开始时只能凭借经验来进行决策,等到积累了大量的成功和失败的正反面经验,借助于各类科学的理念、方法和数学与计算机工具,逐步形成一些决策科学方法。但是决策本身,特别是大型复杂决策问题本身涉及因素过多(尤其是一些心理和行为因素),决策又是一项创新性很强的工作,目前还难以形成普遍的规律。因此,人们更重视所谓“决策分析”这一学科,它主要是指可以用于实际生活的一些理性决策的理论与方法。本章将介绍有关决策分析的一些基本概念,决策分析过程和步骤,以及在决策分析过程中人们对决策结果的满意程度的一些基本度量方法。

第10章讲的是决策分析的一些具体方法,包括最常使用的风险型决策分析方法、专家评估法、多准则决策的概念和层次分析法、模糊综合评价法等。探讨了决策分析方法的应用,简单地介绍了决策支持系统。最后讲述了元决策的概念。

第11章是关于系统可靠性的研究。任何系统要想发挥它的效用,首要条件是能可靠地工作。因此,在设计、研制和运用一个系统时,必须考虑系统的可靠性问题。这一章介绍系统可靠性与可用性的分析方法。首先介绍可靠性的基本概念,然后介绍可靠性模型与可靠度计算及系统可靠性估计与分配。最后介绍可维修系统模型与可用度计算。

第12章讲述了系统建构与集成问题。这是关乎系统开发的两项重要工作。按照本书作者的看法,这两项乃是系统工程学科本身所独具的方法和技术(按照一般说法,系统工程除了方法论外,许多方法和技术都是从其他学科(如运筹学、控制理论等)借用过来的,还没有自己独特的方法和技术)。由于在已有的系统工程教材中还缺乏这方面的论述,所以本书特辟专章来加以研究。系统建构可以认为是系统工程中怎样把系统的要求落实到构建一个前所未有的系统上的过程和任务。本章首先介绍建构工作的一般原则和特点,然后讲述建构的步骤和方法。关于系统集成,首先介绍它的含义和类型,然后围绕着当前举国上下所关心的自主创新中的系统集成创新,探讨系统集成的各种形式及集成创新的特点,最后以系统集成创新的方法论的研究作为对系统集成研究的实际应用。

前面曾经提到,本书是按照理工科院校的工程技术类(如自动化、信息工程、计算机、机械制造等)专业及与技术有关的管理类(如系统工程、工程管理、信息管理、工业工程、项目管理等)专业所开设的系统工程课程通用教材的要求编写的,着重系统工程的理念、方法论和系统分析与综合方法的介绍。至于在各行各业的应用,希望学生在学完本课程后主动联系自己的专业实际,进行有机的结合。

本教材可作为高年级与研究生的系统工程课程的教科书或教学参考书,可按不同的教学要求与学时数灵活安排。

如果需要完整而深入地掌握系统工程的理念和方法而课时数在40~50学时之间,可以全面讲授本书各章内容(其中第4章与第9章后面的几节可视需要与学生的基础加以删节)。

如果学时数在30~40之间,则可略去第4章的后几节和第9章的后半部分。至于第7、第8和第11章,则可按照专业需要选讲,或作简要的概念性介绍。

对于学时更少的短期课程或者培训课程来说,可以只选第1章到第3、第12章的全部,第

9 和第 10 章的有关概念的几节,以及第 4、第 5、第 6 章的开头部分,至于第 7、第 8、第 11 章,则按照课程对象有选择地加以简介。

本书也可供广大的工程技术人员、科研人员和管理人员自学参考。希望他们首先阅读第 1、第 2、第 3、第 9 章的前面部分和第 12 章,然后再按照工作需要选读其余各章。

由于系统工程是一门方法性的学科,为了适应更多的专业使用,本书无法一一列举更多的实例。所以建议读者在读到每一部分时都能联系自己的工作经验和见闻,考虑系统思想和方法的应用。

作者

2006 年 4 月



## 致 谢

我国的系统工程研究和应用事业,一直是在以钱学森、许国志为首的老一辈科学家的领导下从无到有开拓出来的。他们的远见卓识为系统工程的应用和学科研究指明了方向。我们的系统工程教学和研究工作一直是沿着他们指引的方向前进的。国外的先行者也通过国际学术交流为我国的系统工程事业和学科提供了有益的经验。特别应该提到的是模糊系统理论的创始人、美国的札德教授(L. A. Zadeh)和日本的榎木義一教授(Y. Sawaragi),他们十分重视中国传统的系统整体思维,提倡在系统学科中充分发挥东方系统思维的独特作用,作者从和他们的多次面对面的交流中得到许多教益,对我们的系统工程理念的发展起到了推动作用。

在系统工程学科建设与教材建设方面,原电子工业部工科自动控制专业教材编委会的主任、已故的中科院院士、上海交通大学张钟俊教授一直关怀和支持系统工程教材的编写。在系统工程学科与研究生教育的创建过程中,作者和华中理工大学的陈珽教授、清华大学的郑维敏教授、天津大学的刘豹教授、西安交通大学的胡保生教授、汪应洛院士有过长期交流,学习到了许多经验和体会,特别是陈珽教授和他的同事担任了本书前两版的主审工作,使作者得以改正一些错漏的地方。

本书作者对系统的认识和理解,除了从前人的著作和经验中吸取了养分外,在系统工程应用的长期实践中也得到合作者的许多启示。在多年的教学实践中,无论是听课的学生,还是一同担任过教学工作的同事,都根据他们对教材的使用经验和体会向作者提出过很多意见和建议,从本书的内部发行版到第1、第2版,每次都能根据这些意见进行修订,使得公开发行的两版先后获得原电子工业部的优秀教材奖,这是和他们的建议分不开的。

在此,对上述各位前辈、同事、合作者和学生,表示诚挚的谢意。

还要提到的是本书前两版责任编辑陆孝如女士和第3版的责任编辑赵平女士,对她们辛苦工作,作者深表谢意。

最后还应该提到我的终身伴侣邓文竹教授,她校读了这一版的文稿。她认真细致甚至苛刻的要求,使作者得以改正一些错漏和表达不恰当的地方。我们都已接近耄耋之年,欣逢盛世,能够有机会和精力从事书稿的编校,既是一件幸事,也是一件乐事。但作者深信书稿中还存在不少错误和不当之处,恳切希望广大读者不吝赐教,作者的电子邮件地址是:wangzt@dlut.edu.cn。

作者

2006年4月

# 目 录

<b>第 1 章 系统与系统工程</b> .....	(1)
1.1 系统 .....	(1)
1.2 系统工程 .....	(4)
1.3 系统工程的应用 .....	(9)
1.4 系统学科的体系结构 .....	(11)
本章小结 .....	(13)
参考文献 .....	(13)
习题 .....	(14)
<b>第 2 章 系统工程方法</b> .....	(15)
2.1 系统思想 .....	(15)
2.2 系统工程的方法论和方法 .....	(20)
2.3 硬系统方法论 .....	(23)
2.4 软系统方法论 .....	(27)
2.5 系统方法论的进一步发展 .....	(29)
2.6 问题的确定与目标的确立 .....	(31)
2.7 方案的生成与未来环境预测 .....	(35)
2.8 系统的建构 .....	(37)
2.9 建模、分析与优化 .....	(38)
2.10 评价与决策 .....	(41)
2.11 系统工程中人的因素 .....	(44)
2.12 系统、信息、控制 .....	(48)
本章小结 .....	(51)
参考文献 .....	(52)
习题 .....	(52)
<b>第 3 章 系统的描述与模型建立</b> .....	(53)
3.1 系统的描述 .....	(53)
3.2 量化与尺度 .....	(55)
3.3 数据的管理 .....	(57)
3.4 指标与指标体系 .....	(59)
3.5 系统的定性描述与知识表示 .....	(60)

3.6	不确定性描述(一)——随机性	(64)
3.7	不确定性描述(二)——模糊性	(67)
3.8	建模问题	(72)
	本章小结	(76)
	参考文献	(77)
	习题	(77)
<b>第4章</b>	<b>系统的结构建模</b>	<b>(79)</b>
4.1	概念模型与结构模型	(79)
4.2	系统结构模型的分解	(84)
4.3	索引矩阵与出现矩阵	(86)
4.4	结构模型的建立(一)	(89)
4.5	结构模型的建立(二)	(95)
4.6	层次结构分析	(103)
4.7	认知图与思维导图	(106)
	本章小结	(108)
	参考文献	(108)
	习题	(109)
<b>第5章</b>	<b>系统的静态模型与分析</b>	<b>(111)</b>
5.1	系统的静态模型	(111)
5.2	系统的静态分析	(115)
5.3	系统的静态优化(一)——线性规划问题	(118)
5.4	系统的静态优化(二)——非线性规划问题	(121)
5.5	无约束优化的近似计算方法	(129)
	本章小结	(132)
	参考文献	(132)
	习题	(133)
<b>第6章</b>	<b>系统的动态建模与分析</b>	<b>(135)</b>
6.1	系统的动态模型	(135)
6.2	系统动态模型举例	(138)
6.3	线性系统的动态分析	(139)
6.4	非线性系统的动态分析	(141)
6.5	离散事件动态系统	(151)
	本章小结	(152)
	参考文献	(153)
	习题	(153)

<b>第 7 章 随机服务系统</b> .....	(155)
7.1 引言 .....	(155)
7.2 生灭过程 .....	(159)
7.3 无限队长、泊松输入、指数服务分布的系统 .....	(162)
7.4 有限队长、泊松输入、指数服务分布的系统 .....	(168)
7.5 泊松输入、一般服务分布的系统.....	(170)
本章小结.....	(172)
参考文献.....	(173)
习题.....	(173)
<b>第 8 章 网络系统</b> .....	(175)
8.1 最短路径问题 .....	(175)
8.2 最大流问题 .....	(182)
8.3 网络计划方法 .....	(188)
8.4 复杂网络 .....	(196)
本章小结.....	(203)
参考文献.....	(204)
习题.....	(204)
<b>第 9 章 决策分析基础</b> .....	(207)
9.1 引言 .....	(207)
9.2 决策过程与步骤 .....	(209)
9.3 决策问题的基本描述和类型 .....	(213)
9.4 偏好关系 .....	(218)
9.5 效用和效用函数 .....	(222)
9.6 主观概率 .....	(228)
本章小结.....	(230)
参考文献.....	(231)
习题.....	(231)
<b>第 10 章 决策分析方法</b> .....	(233)
10.1 风险型决策分析方法.....	(233)
10.2 决策分析中的专家评估法.....	(238)
10.3 多准则决策.....	(243)
10.4 层次分析法.....	(248)
10.5 模糊综合评价法.....	(258)
10.6 决策分析方法的运用.....	(261)
10.7 计算机决策支持系统.....	(264)

10.8	元决策	(267)
	本章小结	(269)
	参考文献	(270)
	习题	(270)
<b>第 11 章</b>	<b>系统可靠性</b>	<b>(271)</b>
11.1	可靠性的一些基本概念和定义	(271)
11.2	系统可靠性模型与可靠度计算	(275)
11.3	系统可靠性估计与分配	(281)
11.4	系统可靠性分析举例	(283)
11.5	可维修系统的模型	(286)
11.6	几种可维修系统的可用性分析	(288)
	本章小结	(290)
	参考文献	(291)
	习题	(291)
<b>第 12 章</b>	<b>系统的建构与集成</b>	<b>(293)</b>
12.1	系统的建构工作	(293)
12.2	系统建构工作的特点与原则	(294)
12.3	系统建构工作的步骤	(296)
12.4	系统建构工作的方法	(298)
12.5	系统集成的含义	(299)
12.6	系统集成的类型	(301)
12.7	系统集成创新	(303)
12.8	系统集成创新的方法论	(305)
	本章小结	(309)
	参考文献	(309)
	习题	(309)

# 第 1 章 系统与系统工程

## 1.1 系 统

### 一、系统的含义与属性

在当今世界上,随着经济和科学技术的迅速发展,生产的规模、社会活动的规模、科学研究以及人类文化活动的规模日益扩大,各部门之间的联系日益密切,逐渐形成了一个有机整体。人类不能不从总体上、从系统上来认识和处理问题,而在人类长期实践中形成的“系统”的概念,便日益引人注目。

“系统”这个名词,从它的拉丁语“Systema”来分析,是“在一起”、“放置”的意思,因此,很久以来就是用来表示群体、集合等概念的。但作为一个科学概念,还是 20 世纪以来,由于科学技术发展的结果才使它的内涵逐步明确起来的。世界上有各式各样的系统,在自然界和人类社会中,任何事物都是以系统形式存在的。但是,撇开各类系统的具体形态和性质,可以发现系统具有一些共性,这些共性是:系统由许多要素组成。各要素之间、要素与整体之间以及整体与外部环境之间都存在着有机联系。系统整体具有整体功能(不同于要素的功能)。系统与要素的区分是相对的。人们把这些共性加以归纳,就得出了系统的定义,下面列述的是其中一些典型的定义。

“系统——①通常是体现许多各种不同因素的复杂统一体,它具有总的计划或旨在达到总的目的;②是由持续相互作用或相互依赖连接在一起的诸客体的汇集或结合;③有秩序活动着的整体、总体(Webster 新国际词典)”。

“系统——①一组相联接、相聚集或相依赖的事物,构成一个复杂的统一体;②由一些组成部分根据某些方案或计划有序排列而成的整体(Oxford 英语字典)”。

“系统——许多组成要素保持有机的秩序,向同一目的行动的事物(日本 JIS 工业标准)”。

“系统——一些在相互关联与联系之下的要素组成的集合,形成了一定的整体性,统一性(前苏联大百科全书)”。

“系统——自成体系的组织;相同或相类的事物按一定的秩序和内部联系组合而成的整体(辞海)”。

这里需要对系统的如下属性再做一些说明。

(1) 系统是由要素(系统的组成部分)结合而成的,这些要素可能是元件、零件、单个机器、

个体,也可能是子系统(分系统)。简单的手工工具只有几个要素;钟表有几十个;电视机有几百甚至几千个;一架喷气式飞机有几十万个;宇宙飞船有几百万个,而一座大城市大约有几亿个要素。社会愈发展,系统愈复杂,组成部分的数目愈多。我们称系统的这一属性为集合性。

系统与要素之间的关系是相互依存,互为条件,而且也是相互作用的。各种要素在系统中的地位和作用不尽相同,特别是在要素数目较多的复杂系统中更是如此。

用数学语言来表述,系统的集合性可表达成

$$X = \{x_i \mid x_i \in X, i = 1 \sim n, n \geq 2\}$$

其中, $x$ 是组成系统的要素; $X$ 是集合。

(2) 系统的各个组成部分是按一定方式、一定关系组合起来的,各组成部分之间有一定的关联,我们把系统的这一属性称之为关联性。

例如,一个机械加工车间是由一些机床组成的,但仓库里堆放的一群机床不能构成车间,必须按工艺要求把机床按一定的顺序排列,并把它们开动起来才能称其为车间,这里,各机床之间就有一定的关系。

上述关系如果用数学语言表述,设系统要素集合 $X$ 的某一部分 $x_i \in X_i \subset X$ ,对另一部分 $x_o \in X_o \subset X$ 具有因果关系和影响关系,用 $R$ 来表示这个关系,即

$$x_i R x_o, x_o R x_i \quad \text{或写做} \quad x_i = R(x_o), x_o = R(x_i)$$

则有序对 $x_i \in X, x_o \in X_o$ 之间关系的总体为

$$R = X_i \times X_o = \{(x_i, x_o) \mid x_i \in X_i, x_o \in X_o; \\ x_o = R(x_i), x_i = R(x_o), i, o = 1 \sim n, i \neq o\}$$

或者说系统 $S$ 可表述为

$$S = \{X \mid R\}$$

这里要强调的是要素间的关联只是从某种性质方面来说的。例如,齿轮箱中的齿轮是从机械传动的角度来研究的;计算机中的电子组件之间是从电信号传递方面来研究它们的相互关系的。

(3) 任何系统都有特定的功能,而人建造或改造的系统总有一定的“目的性”。这里所说的系统功能和目的,是系统整体的功能和目的,是原来各组成部分不具备或不完全具备、只是在系统形成后才具备的,有时候人们把它称为系统的整体属性。系统的目的有时不止一个,即总目的 $G$ 由各分目的 $g_i$ 组成

$$G = \{g_i \mid i = 1 \sim m\}$$

(4) 系统的另一个重要性质是它的层次性。一般来说,系统是由一些子系统(分系统)构成的,而系统本身可能又是更大的系统中的一个子系统,也就是说,系统总是形成层次结构的。这在技术设备、社会生活中都是常见的。

系统的层次是自然界和人类社会在从简单到复杂,从低级到高级的发展、进化过程中产生的,低层次是高层次发展的基础,而高层次又带动低层次的发展,高层次常常具备低层次不具

备的性质。

层次结构有助于我们认识系统,通常我们所说的宏观与微观正代表着层次的两极。

(5)任何系统都存在于一定的环境之中,系统的存在和发展都必须适应客观环境,系统的这一性质可称为系统的环境适应性。

在研究系统时,首先要区分哪些是系统内部要素,哪些是外部环境要素,从而得出系统的边界。系统与外部环境要素的关联决定了系统如何适应环境。当系统一旦不适应环境,就会解体、消亡。

系统与环境之间总要有物质、能量或信息的交换,因此,系统常用图 1-1 形式表示。其中,输入是环境送进系统的物质、能量或信息,输出则是系统送出环境的物质、能量或信息。例如,加工厂输入的是原料、毛坯,输出的是成品;火力发电厂输入的是煤的化学能,输出的是电能;计算机系统输入的是原始信息,输出的是处理结果信息。

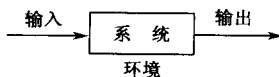


图 1-1

前面曾经提到,自然界和人类社会中任何事物都是以系统形式存在的,那么是否有非系统的事物存在呢?应该说,系统是物质的普遍存在和发展形式,现实世界的一切事物和过程,都是由互相联系的要素构成的有机整体,系统是无所不在的。但另一方面,从相对性角度来看,一些联系不紧密、有机程度较差的群体或集合,可以认为是非系统的一类集合。再就是在某一层次上,组成系统的单元相对说来也具有非系统性(尽管对下一层来说它又是系统)。我们必须辩证地进行理解。

## 二、系统的类型

为了便于研究系统的性质,揭示不同类型系统的特点以及它们之间的联系,需要对系统进行分类。分类的方法很多,例如以下几种。

(1)从系统的构成内容来分,可分为:

**物质系统** 由自然物与人造物组成的系统。

**概念系统** 由主观概念和逻辑关系等非物质组成的系统,也可叫做抽象系统,如学科体系、规章制度等。

(2)从要素性质来分,可分为:

**自然系统** 由自然力而非人力所形成的系统,如天体系统、江湖河海。

**人工系统** 由人力建立起来的系统。它可再分为:

- 加工自然物获得的人造物质系统,如建筑物、通信网、计算机;



- 社会和管理系统,它们是人们按一定的制度、程序、手续建立的,如行政管理系统;
- 人造的抽象系统,即概念系统。

**复合系统** 这是自然系统和人工系统相结合的系统,例如,灌溉系统。

也有人建议分为:

**自然系统** 这是指已存在和经过人工改造或建造的以物质为主的系统。又可再分为:

- 天然系统,或称天工系统,也就是上面那种分法的自然系统;
- 人工自然系统,指的是上面那种分法中人工系统里的第1种。

**社会系统** 指的是上面那种分法中人工系统里的第2种。

**思维系统** 即前面所说的概念系统或称抽象系统。

(3) 从系统与环境的关系来看,可分为:

**闭系统** 系统与外界环境无联系。现实的系统都在不同程度上和外界环境有联系,没有绝对的闭系统,但在一定条件下可把某些和外界联系微弱的系统看做闭系统。

**开系统** 与外界有物质、能量或信息交换的系统。这里需要指出的是,系统科学在划分开、闭系统时与物理学的划分是有区别的。在物理学中,开系统是指与外界同时有物质与能量交换的系统,而闭系统是指只交换能量不交换物质的系统,至于既无能量又无物质交换的系统,则称为孤立系统。

(4) 按系统状态对时间的关系,可分为:

**静态系统** 状态不随时间变化。

**动态系统** 状态随时间变化。

(5) 按系统是否发展进化,可分为:

**无发展进化的系统** 系统的功能和结构没有变化和发展。

**发展进化的系统** 系统的功能和结构有变化和发展。

当然还有其他分法,这里就不一一列举了。

## 1.2 系统工程

### 一、系统工程的形成和发展

很久以前,人们就开始把在长期实践过程中逐步形成的系统思想,运用到改造自然、造福人民的工程中去了。例如,在我国的战国时代(公元前250年),蜀郡太守李冰和他的儿子带领当地人民修建的都江堰(在现在的四川灌县)就是一个例子。这项工程是为了控制岷江洪水,化害为利而建立的。它包括分水工程、引水工程和分洪排砂工程,三部分互为连接、紧密结合,把分水导江、防洪防旱、引水灌溉和排除泥砂有机地结合成一个整体,两千年来一直都在发挥