

普通高等教育交通运输类应用型特色规划教材



# 交通工程 系统分析方法

陈新 李永义 杨亦慧 张鹏 编著

JIAOTONG  
GONGCHENG  
XITONGFENXI FANGFA



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等教育交通运输类应用型特色规划教材



# 交通工程 系统分析方法

陈新 李永义 杨亦慧 张鹏 编著

JIAOTONG  
GONGCHENG  
XITONGFENXI FANGFA

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书针对交通运输系统分析中的常用方法,介绍了系统分析的基本概念、基本原理和基本方法。主要内容包括:系统与系统工程的基本概念、线性规划问题、非线性规划问题、动态规划问题、图与网络分析、排队论、预测方法、决策分析方法等。

本书可作为高等院校交通工程、运输工程等专业本科生教材,也可作为相关专业的工程技术人员和管理人员的参考书。

### · 图书在版编目(CIP)数据

交通工程系统分析方法 / 陈新等编著. — 北京:国防工业出版社,2014.4

普通高等教育交通运输类应用型特色规划教材

ISBN 978-7-118-09346-9

I. ①交… II. ①陈… III. ①道路工程—系统分析—高等学校—教材 IV. ①U491

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 072350 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)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 17 字数 406 千字

2014 年 4 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 32.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

# 普通高等教育交通运输类应用型特色规划教材

## 审定委员会

(按姓氏拼音排序)

陈 峻 (东南大学)	崔新壮 (山东大学)	范钦满 (淮阴工学院)
韩宝睿 (南京林业大学)	胡永举 (浙江师范大学)	黄志义 (浙江大学)
满维龙 (安徽三联学院)	王任祥 (宁波工程学院)	吴 戈 (苏州大学)
幸筱流 (华东交通大学)	张卫华 (合肥工业大学)	郑安文 (武汉科技大学)
周兴林 (武汉科技大学)	朱从坤 (苏州科技学院)	朱顺应 (武汉理工大学)

## 编写委员会

### 主任委员

常玉林 (江苏大学)

陈 新 (南京理工大学)

### 委 员 (按姓氏拼音排序)

陈青春 (南京农业大学)	邓建华 (苏州科技学院)	董满生 (合肥工业大学)
杜胜品 (武汉科技大学)	胡军红 (南京工业大学)	姜 康 (合肥工业大学)
赖焕俊 (淮阴工学院)	李玉华 (盐城工学院)	凌代俭 (扬州大学)
毛 霖 (南通大学)	王卫杰 (南京工业大学)	吴金洪 (浙江师范大学)
邬 岚 (南京林业大学)	肖为周 (苏州大学)	徐勋倩 (南通大学)
徐永能 (南京理工大学)	姚 明 (江苏大学)	于 英 (江苏大学)
曾小舟 (南京航空航天大学)	郑长江 (河海大学)	

# 前 言

交通运输系统是一个复杂的大系统。经济的快速发展、城市空间布局结构的调整以及人们观念的变化,使交通运输系统运行中的不确定因素越来越多,矛盾也越来越复杂。如何保证交通系统的健康运行,最大限度地发挥其交通运输载体功能,是目前交通发展面临的一个重要课题。

系统工程是以大型复杂系统为研究对象,按一定目的进行设计、开发、管理与控制,以期达到总体效果最优的理论和方法。随着系统工程的广泛应用及系统工程本身的丰富和发展,系统工程理论已广泛深入到交通运输系统工程中,并极大地推动了交通理论和实践的发展。系统工程的理论、技术及方法已成为交通规划、交通管理、交通设计等领域的重要理论基础和工具。特别是随着计算机技术的发展,计算机已经成为求解交通运输系统工程问题的有力工具。笔者力图让本科生在学校学习期间掌握交通运输系统工程分析方法,以及计算方法和工具,为培养交通工程系统工程师打下基础。

本书内容是分析复杂的交通运输系统工程问题的基础。全书共分9章,每章附有习题。第1章介绍系统和系统工程的基本概念,系统工程的理论基础和方法论,交通运输系统分析的内容;第2章介绍系统分析的方法和原则;第3章介绍线性规划问题分析的基础知识及计算机求解方法;第4章介绍非线性规划问题分析的基本方法,包括智能算法的简单介绍;第5章针对动态规划主要用案例介绍了其分析和应用方法;第6章介绍了图与网络分析中的最小树问题、最短路问题和最大流问题;第7章介绍了排队论的基础知识及应用方法;第8章介绍了常用的预测方法,包括定性预测方法、时间序列预测法、回归分析、灰色模型预测法、人工神经网络预测法、蒙特卡罗法、系统动力学等;第9章介绍了决策分析的基本技术。

本书参考了系统工程、运筹学、交通工程、交通运输系统等方面的书籍。陈新、李永义、张鹏、杨亦慧参加了本书的编写工作,全书由陈新统稿。书中图表由研究生杨维波完成。

限于编者学识和实践经验,本书难免存在疏漏或不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2013年8月

# 目 录

第 1 章 系统与系统工程 .....	1
1.1 系统 .....	1
1.1.1 系统的定义 .....	1
1.1.2 系统的属性 .....	1
1.1.3 系统的分类 .....	3
1.1.4 系统的运行模式 .....	4
1.2 系统工程 .....	4
1.2.1 系统的概念 .....	4
1.2.2 系统的理论基础 .....	5
1.2.3 系统的方法论 .....	9
1.3 交通运输系统 .....	13
1.3.1 交通运输系统的组成要素及特点 .....	13
1.3.2 交通工程系统分析的研究内容 .....	15
习题 1 .....	16
第 2 章 系统分析 .....	17
2.1 概述 .....	17
2.1.1 系统分析的概念 .....	17
2.1.2 系统分析的内容和要素 .....	17
2.1.3 系统分析的特点和原则 .....	20
2.2 系统分析的步骤 .....	22
2.2.1 系统目标分析与确定 .....	22
2.2.2 系统的模型化 .....	22
2.2.3 系统的最优化 .....	26
2.2.4 系统评价 .....	27
2.2.5 系统决策分析 .....	27
2.3 交通运输系统分析 .....	27
习题 2 .....	28
第 3 章 线性规划 .....	29
3.1 线性规划与单纯形法 .....	29

3.1.1	问题的提出	29
3.1.2	图解法	34
3.1.3	单纯形法	39
3.1.4	单纯形表	42
3.1.5	人工变量法(大 $M$ 法)	44
3.2	运输问题	48
3.2.1	数学模型	48
3.2.2	表上作业法	49
3.2.3	产销不平衡的运输问题	56
3.3	整数规划	57
3.3.1	数学模型	57
3.3.2	分枝定界法	58
3.3.3	割平面法	60
3.3.4	0-1 规划	64
3.4	指派问题	66
3.5	线性规划的计算机求解	72
3.5.1	LINDO/LINGO 软件	72
3.5.2	线性规划与 MATLAB	77
	习题 3	80
第 4 章	非线性规划	82
4.1	数学模型	82
4.2	基本概念	83
4.3	一维搜索	85
4.3.1	斐波那契法	85
4.3.2	黄金分割法	86
4.4	无约束极值问题	87
4.4.1	最速下降法	87
4.4.2	牛顿法	88
4.4.3	变尺度法	89
4.5	有约束极值问题	90
4.5.1	拉格朗日法	91
4.5.2	惩罚函数法	91
4.6	智能算法	93
4.6.1	遗传算法	94
4.6.2	蚁群算法	101
4.7	非线性规划与 MATLAB	105
4.7.1	无约束非线性规划问题	105
4.7.2	约束非线性规划问题	107

4.7.3	二次规划问题	107
4.7.4	最小与最大化问题	108
4.7.5	多目标规划问题	109
	习题 4	110
<b>第 5 章</b>	<b>动态规划</b>	<b>112</b>
5.1	动态规划的基本理论	112
5.1.1	多阶段决策过程的数学描述	112
5.1.2	动态规划的基本概念	113
5.1.3	动态规划的数学模型	114
5.2	确定性动态规划问题	115
5.2.1	最短路线问题	116
5.2.2	资源分配问题	117
5.2.3	存贮控制问题	119
5.2.4	用动态规划求解非线性规划问题	121
5.3	随机性动态规划问题	122
5.3.1	最佳试制计划问题	122
5.3.2	最佳采购问题	124
5.4	用 LINGO 软件求解动态规划问题	125
	习题 5	130
<b>第 6 章</b>	<b>图与网络分析</b>	<b>132</b>
6.1	图论基本知识	132
6.1.1	图的概念	132
6.1.2	图的矩阵表示	135
6.2	最小树问题	138
6.2.1	支撑树	138
6.2.2	最小支撑树	140
6.3	最短路问题	142
6.3.1	Dijkstra 算法	142
6.3.2	Floyd 算法	146
6.4	最大流问题	149
6.4.1	网络流	149
6.4.2	标号法	152
6.5	图论问题的计算机求解	154
6.5.1	最小树问题	154
6.5.2	最短路问题	156
6.5.3	最大流问题	161
	习题 6	168



第 7 章 排队论及其应用 .....	170
7.1 排队论的基本知识 .....	170
7.1.1 服务过程的特征 .....	170
7.1.2 服务系统的描述 .....	171
7.1.3 排队模型的符号表示 .....	173
7.2 生灭过程 .....	174
7.2.1 生灭过程简介 .....	174
7.2.2 生灭过程的哥尔莫可尔夫方程 .....	175
7.2.3 在统计平衡条件下哥尔莫可尔夫方程的解 .....	175
7.3 最简单流和负指数分布 .....	178
7.3.1 最简单流(泊松流) .....	178
7.3.2 负指数分布 .....	180
7.4 $M/M/S$ 等待制排队模型 .....	180
7.4.1 单服务台模型 .....	181
7.4.2 多服务台模型 .....	184
7.5 $M/M/S$ 混合制排队模型 .....	187
7.5.1 单服务台混合制模型 .....	187
7.5.2 多服务台混合制模型 .....	190
7.6 排队系统的优化 .....	192
7.6.1 $M/M/1$ 系统中的最优服务率 .....	192
7.6.2 $M/M/S$ 系统中的最优服务台数 .....	193
7.7 排队论的应用 .....	195
习题 7 .....	199
第 8 章 预测方法 .....	201
8.1 概述 .....	201
8.1.1 概念与原理 .....	201
8.1.2 预测的步骤 .....	203
8.1.3 预测方法的分类 .....	204
8.2 定性预测方法 .....	205
8.2.1 德尔菲法 .....	206
8.2.2 类比法 .....	207
8.3 时间序列预测法 .....	208
8.3.1 移动平均法 .....	208
8.3.2 指数平滑法 .....	210
8.3.3 趋势外推预测法 .....	211
8.4 弹性系数预测法 .....	212
8.5 回归分析法 .....	213

8.5.1	一元线性回归	213
8.5.2	多元线性回归	216
8.5.3	非线性回归	217
8.6	其他预测方法	219
8.6.1	马尔科夫链预测法	219
8.6.2	灰色预测法	221
8.6.3	神经网络预测法	224
8.6.4	蒙特卡罗法	230
8.6.5	系统动力学仿真	232
习题8		237
<b>第9章</b>	<b>决策分析方法</b>	<b>240</b>
9.1	概述	240
9.1.1	决策的定义	240
9.1.2	决策的构成与内容	241
9.1.3	决策过程	242
9.2	确定型问题的决策分析	242
9.3	不确定型问题的决策分析	243
9.3.1	悲观准则	243
9.3.2	乐观准则	244
9.3.3	折中准则	244
9.3.4	等可能准则	245
9.3.5	遗憾准则	245
9.4	风险型问题的决策分析	246
9.4.1	最大可能准则	246
9.4.2	期望值准则	247
9.4.3	决策树法	248
9.5	层次分析法	252
9.6	决策分析方法的应用	255
习题9		259
<b>参考文献</b>		<b>260</b>

### 1.1 系 统

#### 1.1.1 系统的定义

系统是由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合而成的,具有特定功能的有机整体,而系统本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。系统作为一个整体来说可大可小,在宇宙中,大至银河系、太阳系,小至质点系,都可作为一个系统来研究,其量级可以相差很多倍。

关于系统的准确定义,国内外有不同的说法,一般系统理论创始人冯·贝塔朗非认为:“系统是相互作用的诸要素的综合体”。《韦氏大辞典》中“系统”(System)被解释为:“有组织或被组织的整体,被组织的整体所形成的各种概念和原理的综合,以有规则地相互作用、相互依赖的形式组成的诸要素的集合”。钱学森教授把系统定义为:“极其复杂的研制对象,即由相互作用和相互依赖的若干组成部分组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。”为了便于调查研究,定义一些小的部分称为“系统”。系统是相关物体或构成整体的各个部分的有组织集合。

系统是由相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的若干部分,按照一定的方式、为了一定的目的组合而成的存在于特定环境之中并具有一定功能的有机整体。这个整体本身又是它所从属的更大整体的组成部分。

#### 1.1.2 系统的属性

##### 1. 整体性

系统作为由若干相互作用和相互联系的部分有机组合的、有一定结构和功能的整体,其本质特征是“有机”整体性。系统整体性有:系统目标的整体性;系统功能的整体性,即组成系统的各部分的功能必须服从系统整体的功能,系统功能不等于各组成部分功能的简单相加,确定对系统的评价准则时,必须以系统整体为基础;系统演化规律的整体性,系统整体的演化规律不是各组成部分规律的叠加,而是系统整体为适应环境的变化,逐渐演化发展而成的运动规律;系统行为的整体性,系统行为的整体性是识别不同系统的重要标志,也是区分系统与要素(部分)行为的重要标志。一般情况下,不同系统的行为是不同的,系统要素的行为与系统整体行为是不同的,有时甚至是矛盾的。总之,一切系统都是整体,是组成部分与环境相互作用的整体,是各组成部分之间相互联系、相互作用、相互依赖、相互制约所形成的整体。

## 2. 有序性(结构性)

凡系统都有结构,结构是指系统各要素之间相互关联与作用的模式,有结构不等于有序,只有经过组织(或自组织)的系统才能形成有序的结构。处于静止或平衡状态的有序结构称为框架结构。处于运动状态的系统,由于各要素之间的相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用,而产生与静态结构不同的特性与行为,这种各要素之间关联的方式就形成了动态结构。一般情况下,静态结构是动态结构的基础,而动态结构是静态结构运行特性和行为的体现。系统要素在空间的排列,称为空间结构;系统要素随时间的分布与排列,称为时间结构;一般系统均随时间的推移而产生空间结构的变化,此时可统称为时空结构。系统的有序性还体现在系统的层次上,将系统的各组成部分按一定规则组织(划分)成若干个子系统,再将子系统划分成若干子子系统,由于子子系统、子系统在系统中的结构不同、所处的地位不同等原因,便形成了不同的层次,从而形成层次结构;该层次结构决定了系统内物质、能量和信息的流动,从而使系统能够作为一个整体发挥较高的功能和效率。

在子子系统形成子系统,以及子系统形成系统时,由于所处层次不同,其基本属性是不同的,高层次具有低层次所不具备的特性与行为,这些特性与行为是子子系统、子系统在相互作用、相互制约、相互影响过程中激发出来的,系统的这种性质称为整体涌现性。不同层次因其组成不同、结构不同,所涌现出的特性与行为也不同,这正是解决问题时站在不同层次解决问题的思路、方法和采取的决策不同的主要原因。

## 3. 集合性

系统都是由两个或两个以上可识别的部分(或子系统)所构成的多层次集合体。作为子系统或要素是系统不可缺少的组成部分,集合中不可再分的部分为要素,要素本身是“活”的,它具有多样性和差异性的特点,这些特点是系统“生命力”的源泉。

集合性又说明系统是有边界的,集合之外的与集合中各要素相关联的一切事物构成了系统的环境,二者的界面就是系统的边界,在处理问题时,划清系统边界,可避免将研究范围扩大化。

## 4. 关联性

系统各组成部分(子系统)之间按照一定的方式相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的性质称为系统的关联性。通过系统的关联性可揭示出系统整体特性和整体与部分的关系。

## 5. 目的性

系统按照统一的目的将各组成部分组织起来的性质称为系统的目的性。除自然系统外,人工系统、复合系统都具有特定的功能,都具有一定的目的并且有达成目的的机制。系统的每一个组成部分都有为系统目的服务的一面,同时又不同于其他组成部分,有维护自身利益的一面,因此研究确定系统目的和子系统目的之间的关系,保证各子系统在系统总目的的指导下,协同配合,分工合作,在完成各子系统目的的同时达成系统的目的是系统目的性的主要研究内容。

## 6. 环境适应性

任何一个系统总处于特定的环境之中并与环境不断地进行物质、能量、信息的交换。系统离不开环境,而且必须适应环境的变化,否则系统将不能存在。这种系统随着环境的变化而存在的性质称为系统的环境适应性。任何复杂均来源于简单,任何复杂的系统均由简单系统构成,系统之所以复杂,均是在适应环境过程中产生和演化的,均是环境适应性造成的,系统在适应环境的过程中体现出其演化的规律性。

根据系统的定义和属性,可得出以下结论:

(1) 系统中每一个部分的性质或行为将对系统整体的特性和行为产生影响。

(2) 系统中每一部分的特性或行为以及影响整体的途径依赖于系统中其他一个或几个部分的特性或行为。

(3) 系统中每一部分对整体都不具备独立的影响,所以系统不能分出独立的子系统。

(4) 系统不能独立于环境而存在。

(5) 系统中不同层次的性能和功能是不同的。

### 1.1.3 系统的分类

如何对系统进行分类取决于研究目的。依研究目的,选择不同的分类标志对系统分类,可界定研究对象的属性。

#### 1. 按单一标志分类

(1) 按组成部分的属性可将系统分为自然系统、人造系统和复合系统三类。

自然系统是由自然物组成的系统,如太阳系等;人造系统是由人或社会集团按某种目的建立的系统,如道路交通工程系统等;复合系统是由人造系统和自然系统复合而成的系统,如气象预报系统等。

(2) 按与环境的关系可将系统分为封闭系统和开放系统两类。

封闭系统是指与环境很少发生物质、能量、信息交换的系统,实际上,世界上根本不存在封闭系统,只是为了研究方便,有时人为地把一个系统当作封闭系统处理;开放系统是指与环境经常发生能量、物质、信息交换的系统。系统与环境所进行的物质、能量、信息的交换,可影响系统的结构、功能及其发展。一旦系统与环境的联系切断,就会对系统的稳定产生不利影响,而使系统遭到破坏。

(3) 按所处的状态可将系统分为静态系统和动态系统两类。

静态系统是指系统的要素不随时间变化或处于相对静止、平衡状态的系统。事实上这种系统是不存在的,只是为了研究方便,人为地假设系统处于相对平衡或静止的状态,一般在研究系统框架结构时,假设系统是静态系统。动态系统是指系统的要素随时间变化的系统。世界上所有系统均是动态系统,系统的要素随时间变化必将引起时空结构、层次结构、系统特性与行为等的变化,是造成系统复杂性的原因之一。

(4) 按形态可将系统分为实体系统和概念系统两类。

实体系统是指由实物构成的系统,如道路系统等;概念系统是指由概念、原理、方法等非物质组成的系统,如交通仿真系统等。

(5) 按系统的规模可将系统分为小型、中型、大型和超大型系统四类。

小型系统是指所包含的部分(子系统)数量较少或变量数较少的系统。一般来讲,这类系统各部分之间的关联较简单。如工艺简单、产品品种较少的企业。中型系统是指所包含的部分(子系统)较多或描述系统状态的变量数较多,各部分之间的关联比较复杂的系统,如中型企业,地、县一级的区域系统等。大型系统是指所包含的影响因素相当多、组成部分(子系统)或描述系统状态的变量数很多、结构层次复杂、关联复杂的系统,如国民经济系统、生态经济系统等。超大型系统又称为巨系统,是指所包含的部分(子系统)或描述系统状态的变量数相当多、关联和结构层次极其复杂以致应用常规的方法和手段无法完成其分析和优化,必须采取一些独特的处理方法的系统,如生物圈系统、人体系统、社会系统等。



一般情况下,中小型系统是相对简单的系统,大型和超大型系统是相对复杂的系统。

(6) 按变量间的关系可将系统分为线性系统 and 非线性系统两类。

线性系统是指系统要素间呈线性关系的系统。这类系统满足可加性,系统是部分的总和,可应用叠加原理解决,一般是相对简单的系统。客观世界一般不存在线性系统,只是人们为了研究的需要,假设各要素间呈线性关系而建立的系统。

非线性系统是指系统要素间呈非线性关系的系统,该类系统不满足可加性,系统不是部分的叠加,不能用叠加原理去解决,一般是相对复杂的系统。

(7) 按系统处理方法可将系统分为简单系统和复杂系统两类。

简单系统是指结构简单,即组成要素关联少、关联属性单一、层次少的系统,如中小型企业系统等。复杂系统是指结构复杂,即组成要素数量多、关联多且关联属性众多、层次多的系统,如社会系统、生态系统等。

此外,还有很多其他分类方法,如按具体研究对象可把系统分为不同的对象系统,如教育系统、林业系统、电力系统等。

## 2. 综合分类

综合分类是按研究目的将某些分类标志加以组合形成组合分类标志,并以该组合分类标志对系统进行分类的一种分类方法。如将规模与环境关系两个标志组合进行分类可将系统划分为大型开放系统、中型开放系统、小型封闭系统,将结构复杂性与规模两个标志组合进行分类可将系统划分为简单巨系统、复杂巨系统等。

### 1.1.4 系统的运行模式

从系统的结构特点和与环境的关系方面研究,系统都按以下模式运行。

(1) 任何系统都由环境输入物质、能量和信息,经系统处理后向环境输出物质、能量和信息,因此系统均具有将输入转化为输出的功能。系统由输入、处理、输出三部分组成。

(2) 系统内部都有物质、能量、信息三种流的流动。系统本身的运动过程就是对这三种流的处理过程,过去往往只重视物质、能量两种流的管理,而忽视了信息流的管理,这是造成工作被动的原因之一。从对系统的组织管理角度研究,信息流是至关重要的。

(3) 系统都有反馈和自适应能力。系统都靠信息的反馈控制调整自身的运行,以适应环境并实现目标。

(4) 系统都有严密的层次结构。生物系统、工程系统和非工程系统均如此。

---

## 1.2 系统工程

---

### 1.2.1 系统的概念

系统工程是从实践中产生的,它用系统的思想与定量和定性相结合的系统方法处理大型复杂系统的问题,是一门交叉学科。系统工程也是一门工程技术,但它与机械工程等其他工程学的某些性质不尽相同。上述各门工程学都有其特定的工程物质对象,而系统工程则不然,任何一种物质系统都能成为其研究对象,而且不只限于物质系统,还可以包括自然系统、社会经济系

统、经营管理系统、军事指挥系统等。由于系统工程处理的对象主要是信息,所以系统工程又被称为“软科学”。

系统工程在自然科学与社会科学之间架设了一座沟通桥梁。现代数学方法和计算机技术,通过系统工程,为社会科学研究增加了极为有用的定量方法、模型方法、模拟实验方法和优化方法。系统工程为从事自然科学的工程技术人员和从事社会科学的研究人员的相互合作开辟了广阔的道路。

## 1.2.2 系统工程的理论基础

### 1. 一般系统论

20世纪20年代,美籍奥地利生物学家冯·贝塔朗菲在对生物学的研究中发现:把生物分解得越多,反而会失去全貌,对生命的理解和认识反而越来越少。因此冯·贝塔朗菲开始了理论生物学的研究,创立了一般系统论。1945年《关于一般系统论》的发表,成为系统论形成的标志。

一般系统论是通过对各种不同的系统进行科学理论研究而形成的适用一切系统的学说。基本观点是:系统的整体性、系统的开放性、系统的动态相关性、系统的多级递阶性和系统的有序性

系统的整体性是指:

(1) 要素和系统不可分割。凡系统的组成要素都不是杂乱无章的偶然堆积,而是按照一定的秩序和结构形成的有机整体。

(2) 系统整体的功能不等于各组成部分的功能之和。在系统论中,1加1不等于2,这是贝塔朗菲著名的“非加和定律”。

(3) 系统整体具有不同于各组成部分的新性质或功能。

### 2. 大系统理论

一般所说的大系统是指包括各领域的大型而复杂的系统,其特征就是规模庞大、结构复杂、功能综合。大系统理论的研究对象是大系统,即研究规模庞大、结构复杂、目标多样、功能综合、因素众多的各种工程或非工程的大系统的综合自动化问题,是控制论、系统工程、运筹学的继续和发展,涉及工程技术、社会经济、生物生态三个领域。研究大系统的结构方案、稳定性、最优化、模型的建立与求解等问题,称为大系统理论。

由于大系统的结构非常复杂,为使系统有效运行和达到预想的功能,对大系统的控制就尤为重要。通常分为递阶控制和分散控制两种。

递阶控制是在层次结构的系统中,将控制单元分成若干等级。最上层的叫做协调层,以下各级称为各层次的决策单元,最下一层称为第一级决策单元,它们直接控制着基层的各个子系统。递阶控制的特点是下级决策单元只接受上一级决策单元的指令,不允许越级。最上层的协调层负责协调控制整个大系统。整个递阶系统有一个总目标,各决策单元和谐地工作,以实现目标的优化。

分散控制是通过只有局部信息的各子系统局部控制器对系统的局部(子系统)进行控制。分散控制常用于彼此联系不太紧密的相对独立的系统,如工程项目系统。这种控制可以减少信息传输方面的困难,但不易获得最优解。

使大系统达到最好的目标就是所谓大系统优化。由于大系统规模庞大、结构复杂、影响因

素众多,因此大系统优化工作比较困难。目前,分解与协调的方法是大系统优化的基本方法。由于大系统的总目标和各个子系统的目标不一定一致,甚至是有矛盾的。因此不能将大系统简单地分解成若干子系统,然后对各子系统分别优化,最后加起来求得总目标的优化。这里所说的分解与协调方法,是把可分的大系统分解成许多互不相关的子系统,但这些互不相关的子系统又都是与大系统有关的,各子系统特性能反馈给大系统,用总目标衡量后,再下达给各个子系统。大系统优化可分为静态优化和动态优化。

由于大系统的复杂性、不确定性和模糊性等,往往难以用传统的数学模型描述,即使建立了数学模型,往往也是十分复杂的,很难求解,所以这就需要简化模型。模型简化使计算减少,模型结构简化,虽仍可保留原系统的主要模式,但模型的精确性却有所降低。

### 3. 运筹学

运筹学是 20 世纪 40 年代发展起来的一门科学,是管理系统的人为了获得系统运行的最优解而使用的一种科学方法。常用的运筹学方法包括以下几种。

#### 1) 数学规划

数学规划是在某一组约束条件下,寻求某一函数(目标函数)的极值问题的一种方法。如果约束条件用一组线性等式或不等式表示,目标函数是线性函数时,就是线性规划。线性规划是求解这类问题的理论和方法,它在企业经营管理、生产计划的安排、人员物资的分配、交通运输计划的编制等方面有广泛的应用,是目前理论上比较成熟、实践中应用较广的一种运筹学方法。

如果在所考虑的数学规划问题中,约束条件或目标函数不完全是线性的,则称为非线性规划。在实践工作中所遇到的大量问题一般都是非线性问题,用线性规划是难以解决的,这也正是线性规划的局限性。非线性规划是解这类问题的理论和方法。这种方法在理论上不如线性规划成熟,但随着科学的发展和电子计算机的普及,非线性规划将越来越重要,它能比线性规划更准确、更严密地解决问题。

#### 2) 动态规划

这种方法是在动态条件下解决多阶段决策过程最优化的一种数学方法,它可使多维或多级问题变成一串每级只有一个变量的单级问题,适用于解决多阶段的生产规划、运输及经营决策等问题。

#### 3) 库存论

物资管理是经营管理的主要内容之一。该理论主要研究在什么时间、以多大数量组织进货使得存储费用和补充采购的总费用最少。库存问题包括静态库存模型和概率型库存模型。其中静态库存模型实质上是无约束非线性规划模型的一种。

#### 4) 排队论

排队论是研究服务系统工作过程的一种数学理论和方法,是研究随机聚散的理论。它通过个别随机服务现象的统计研究,找出反映这些现象的平均特性,从而改进服务系统的工作状况。

#### 5) 网络分析和网络计划

研究网络图中点和线关系的一般规律的理论称为网络分析。它是应用图论的基本知识解决生产、管理等方面问题的一种方法。

网络计划是用网络图的形式解决生产计划的安排、控制问题的一种管理方法。常用的网络计划方法有关键线路法(CPM)、计划评审技术(PERT)、决策关键线路法(DCPM)、图解评审技



术(GERT)等。

#### 6) 决策论

决策论应用于经营决策。它是根据系统的状态、可选取的策略以及选取这些策略对系统所产生的后果等对系统进行综合的研究,以便选取最优决策的一种方法。

#### 7) 对策论

对策论又称博弈论,是研究竞争现象的数学理论与方法,最早产生于第二次世界大战期间,用于军事对抗,后来扩展到各种竞争性活动。在竞争活动中,由于竞争各方有各自不同的目标和利益,必须研究对手可能采取的各种行动方案,并力争制定和选择对自己最有利的行动方案。对策论就是研究竞争中是否存在最有利的方案及如何寻找该方案的数学理论与方法。

### 4. 控制论

1947年由美国人维纳(Norbert Wiener)创立的控制论(Cybernetics)是一门研究系统的控制的学科。维纳于1948年出版了《控制论》一书,他对控制论的定义是:“关于动物和机器中控制和通信的科学。”

控制论的发展已大致经历了三个时期。从20世纪40年代末到50年代是第一个时期,即经典控制理论时期。在这一时期,主要的研究对象是单因素控制系统,重点是反馈控制,借以实现的工具是各种各样的自动调节器、伺服机构及其有关的电子设备,着重解决单机自动化和局部自动化问题。

控制论发展的第二个时期为20世纪60年代,即现代控制理论时期。这一时期,控制论的主要研究对象就成了多因素控制系统,研究重点是“最优控制”,研究借助的工具是电子计算机。

20世纪70年代以后是大系统控制理论时期。在这一时期,主要研究对象是因素众多的大系统,重点是大系统多级递阶控制,借助的工具是电子计算机联机和智能机器,应用领域主要为社会系统、经济系统、生态系统、管理系统、环境系统等。

控制系统由施控器、受控器和控制作用的传递者三者组成,形成一个整体的控制功能和行为,但这又是相对于某种环境而言。因而可以把施控器、受控器和控制作用的传递者三个部分所组成的、相对于某种环境而具有某种控制功能的系统,称为控制系统。

### 5. 信息论

信息论于20世纪40年代末产生,其主要创立者是美国的数学家香农和维纳。从通信角度看,信息是数据、信号等构成的消息所载有的内容。消息是信息的“外壳”,信息是消息的“内核”。从实用角度看,信息是指能为人们所认识和利用的,但事先又不知道的消息、情况等。

人们根据不同的研究内容,把信息论分成三种不同的类型。

(1) 狭义信息论。主要研究消息的信息量、信道容量,以及消息的编码问题。

(2) 一般信息论。主要研究通信问题,但还包括噪声理论、信号滤波与预测、调制、信息处理等问题。

(3) 广义信息论。不仅包括前两项的研究内容,而且包括所有与信息有关的领域。

信息论研究运用了类比方法和统计方法。信息论运用了科学抽象和类比方法,将消息、信号、情报等不同领域中的具体概念,进行类比,抽象出了信息概念和信息论模型。针对信息的随机性特点,运用统计学(概率论与随机过程),解决了信息量问题,并扩展了信息概念,充实了语义信息、有效信息、主观信息、相对信息、模糊信息等方面的内容。