

中国水利教育协会

高等学校水利类专业教学指导委员会

共同组织



全国水利行业“十三五”规划教材（普通高等教育）

# 水资源系统 分析原理

邵东国 顾文权 付湘 罗强 编著



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

中国水利教育协会  
高等学校水利类专业教学指导委员会

共同组织



全国水利行业“十三五”规划教材（普通高等教育）

# 水资源系统 分析原理

邵东国 顾文权 付湘 罗强 编著



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

·北京·

## 内 容 提 要

本书主要阐述水资源系统分析基本原理及其新理论、新方法与新技术在水资源规划设计、运行管理中的应用。

全书共分6章,第1章和第2章主要介绍水资源系统分析基本原理与方法;第3章和第4章重点阐述水资源系统优化调度与配置基本理论方法及其应用;第5章和第6章侧重阐述水资源系统风险、复杂性理论与方法。

本书可作为水利、农业、管理等相关学科的水文水资源、水利水电工程、系统工程、农业水利工程等专业研究生教材,也可供从事水资源相关工程规划设计和运行管理的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

水资源系统分析原理 / 邵东国等编著. -- 北京 :  
中国水利水电出版社, 2019.10  
全国水利行业“十三五”规划教材. 普通高等教育  
ISBN 978-7-5170-8095-4

I. ①水… II. ①邵… III. ①水资源—系统分析—高等学校—教材 IV. ①TV211

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第232079号

书 名	全国水利行业“十三五”规划教材(普通高等教育) <b>水资源系统分析原理</b> SHUIZIYUAN XITONG FENXI YUANLI
作 者	邵东国 顾文权 付湘 罗强 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	清淤永业(天津)印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 8.25印张 196千字
版 次	2019年10月第1版 2019年10月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	<b>28.00元</b>

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 前 言

本书是全国水利行业“十三五”规划教材（普通高等教育），教育部2016年第一批全国工程硕士专业学位研究生教育在线课程建设项目（工程硕士教指委秘〔2016〕1号），武汉大学研究生精品课程“水资源系统工程”建设和“双一流”学科建设规划教材。

本书是在原武汉水利电力大学出版社出版的《水资源系统分析理论与应用》研究生教材基础上修订的，主要阐述水资源系统分析基本原理、基本理论和新方法、新技术。修订后的教材新增了近些年水资源系统分析最新进展及其在水库调度与水资源配置等方面的应用，引入了一些新的理论与方法，如风险分析方法、系统复杂性理论等，力图将研究生的教学置于一个理论与应用相结合的高起点上。

全书共分6章，第1章为绪论，主要论述系统、系统分析及水资源系统分析；第2章为水资源系统分析中的基本原理与分析方法；第3章、第4章分别介绍系统分析理论与方法在水库调度、水资源配置方面的应用；第5章介绍水资源系统风险分析方法；第6章介绍水资源系统复杂性理论。

全书力求简明实用，深入浅出，以便于水利水电工程、系统工程等相关专业研究生学习，也可供从事水资源系统及水利水电工程规划和运行管理的工程技术人员参考。

参加本书编写的有武汉大学水利水电学院邵东国、付湘、罗强、顾文权。全书由邵东国、顾文权统稿。

由于水平和时间的限制，本书中的错误及不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

2018年10月

# 目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 系统	1
1.2 系统工程	3
参考文献	8
第 2 章 水资源系统分析	9
2.1 系统分析概述	9
2.2 系统分析内容	13
2.3 常用的系统分析模型与方法	14
2.4 实例分析	26
参考文献	28
第 3 章 水库调度	29
3.1 概述	29
3.2 水库调度基本原理与方法	30
3.3 单一水库优化调度（确定性、不确定性）	35
3.4 水库群联合运行优化调度	40
思考题	45
参考文献	46
第 4 章 水资源配置	47
4.1 概述	47
4.2 水资源优化配置建模	49
4.3 水资源优化配置模型求解方法	53
4.4 实例应用	59
思考题	63
参考文献	63
第 5 章 水资源系统风险分析方法	64
5.1 重现期方法	65
5.2 直接积分法	66
5.3 均值一次二阶矩方法	69
5.4 改进的一次二阶矩方法	74

5.5 蒙特卡洛方法 .....	80
思考题 .....	81
参考文献 .....	82
<b>第6章 水资源系统复杂性理论 .....</b>	<b>83</b>
6.1 概述 .....	83
6.2 水资源系统的复杂性理论基础 .....	87
6.3 水资源复杂系统的建模方法 .....	104
6.4 实例研究 .....	119
参考文献 .....	124

# 第 1 章 绪 论

系统的概念是随着人类社会生产实践逐渐形成并发展起来的。我国古代农事、工程、医学、天文等方面的知识和成就，都在不同程度上反映了朴素系统概念的自发应用。例如，战国时期秦李冰父子设计兴建的都江堰，包括：岷江“鱼嘴”分水工程、“飞沙堰”分洪排沙工程、“宝瓶口”引水工程和 120 多个附属渠堰工程，形成了一个各工程间联系合理、运转协调的工程总体，是一次典型的系统思想的实践活动。

随着人类社会实践活动的大型化和复杂化，要求系统思想不仅能定性描述，而且能定量表达。近几十年来，量化的系统方法和强有力的计算工具——电子计算机——已广泛地用来分析工程、经济、军事、政治领域大型的复杂系统问题。系统思想方法一经取得数学表达形式和计算工具，就从哲学思维领域发展成为专门的科学。

系统工程科学是一门具有高度综合性的学科，它是在第二次世界大战期间逐步发展起来的。当时，由于战争的驱动，在资源分配、军事设施配置、各种人员配置以及交通运输和军事工程的进度等方面进行了大量分析工作，进而明确地提出了对问题给予最优解决的概念，并产生了反映这一概念的数学方法。这就是出现系统工程学的历史背景和条件。1957 年，第一部《系统工程》专著问世，标志着这门科学的产生和命名。随后，在 60 多年的发展过程中，系统的概念和方法逐步运用到许多科学和技术领域，并取得了成功。

系统工程在水利水电工程中的应用，始于 20 世纪 50 年代中期，首例是用于制定流域规划的工作，以后逐步扩展到规划、设计、施工和管理诸多方面，从水力发电工程到灌溉排水工程的各个领域几乎都引进和应用了系统工程的方法。近些年来，运用系统工程更有效地解决了实际生产问题，在国内外普遍受到重视，从而使系统工程方法的应用具有更为广阔的前景。

## 1.1 系 统

### 1.1.1 系统的定义

关于系统的定义，不同的学科有不同的说法。一个比较通用的提法是：凡在一定环境下，为实现某一目标，由若干相互联系、相互制约、相互作用的因素（部分）而组成的集合体，就称为系统。任何一个系统均包括两个部分：一是系统本身；二是系统所处的环境。系统本身由 3 个元素组成，即输入、运转（转换、处理……）和输出。系统环境就是系统本身以外的部分。系统与环境的界限叫系统边界。

系统的相互联系、相互制约、相互作用的组成部分，称为系统结构。环境对系统的作用是系统输入，系统对环境的作用是系统的输出；在动态条件下，输出可反作用于输入，这就是所谓的反馈。把输入转换为输出就是系统的功能，它是由系统结构和系统环境决定

的。系统每时每刻所处的状况称为系统状态。系统状态随时间的变化称为系统行为。

对于工程体系中的系统，可以这样描述：在给定时间内，使物质（原料、能量、信息）的输入与物质（产品、能量、效益）的输出相互联系起来，在一定的环境下，具有一定功能的任何结构、装置、设计方案和运行程序的有机体。而且这个系统本身又是它所从属的一个大系统的组成部分（子系统），这就是系统的相对性概念。

### 1.1.2 系统的类别

在自然界和人类社会中，系统是普遍存在的。从不同的角度出发，可将系统分成不同的类别，大致可分为3类，即自然系统、人工系统和两者组合起来的复合系统。

#### 1. 自然系统

自然系统是由自然物质所组成的系统，如太阳系、银河系、宇宙系和生物系统、生态系统，以及微观的原子核系统等。

#### 2. 人工系统

人工系统是为达到人类需求的目的而人为地建立起来的系统，例如生产、交通、水利、电力、教育、经营、医疗等系统，一般可包括3种类型：①由人将零星部件装置成工具、仪器、设备以及由它们组成的工程技术系统；②由一定的制度、组织、程序、手续等组成的管理系统和社会系统；③根据人对自然现象、社会现象的科学认识而建立的科学体系和技术体系。

#### 3. 复合系统

由人工系统与自然系统组合起来的复合系统，也是广泛存在的系统。它们既有自然系统的特征，又具备人工系统的特性，如交通管制系统、航空导航系统、广播系统等人机系统。

### 1.1.3 系统的特性

系统一般具有下列特征。

#### 1. 集合性

系统由两个或两个以上可以互相区分的要素（或子系统）组成。实际工作中，系统常常是巨大而复杂的，这并不一定是在规模上庞大，而是由于有非常多的要素作为它的组成部分，从而产生复杂的动作、程序和状态。一个系统常常是由若干子系统有机地结合起来的，子系统又由更小的系统构成，形成一个多层次的结构。

#### 2. 关联性

组成系统的各部分之间及系统与环境之间相互联系、相互制约和相互作用，就是系统的关联性。如果只有一些要素，尽管是多种多样的，若它们之间没有任何联系，就不能称之为系统。

#### 3. 目的性

系统的目的性是指系统都具有特定的功能，即既定的目的。人工系统的目的，有时不止一个，可能有多个，并与系统的结构层次相对应。系统作为总体具有一个总目标，各子系统也可分别具有各自的层次性目标。为了使各层次的目标均能按既定的意图得以实现，就需要一定的手段与方法，使系统的构造要素有机地协调动作，以达到系统功能的总目标。

#### 4. 整体性

系统具有整体性是因为系统的各个组成部分构成了一个有机整体。各构成要素的独立功能及其相互间的有机联系，只能是在一定的协调关系之下统一于系统的整体之中。脱离开整体性，各构成要素的功能及要素间的作用就失去了意义。

#### 5. 不确定性

系统具有不确定性是因为系统中存在某些不能用确定性方法描述其状态的构成要素所致。这些组成部分的活动或者由于人的认识尚未完全掌握其准确的规律，或者由于活动本身带有一定的随机性，因而只能使用统计规律等手段反映其活动状态与进程，这就使系统带有不确定性。

#### 6. 环境适应性

任何系统不能孤立存在，而是存在于一定的环境之中，必定与外部环境发生物质的、能量的和信息的交换，以适应外部环境的变化，这就构成系统的环境适应性。能够经常与外部环境保持最佳适应状态的系统，是理想的系统；不能适应环境变化的系统是没有生命力的。

## 1.2 系 统 工 程

### 1.2.1 系统工程概念

系统工程是实现系统科学改造客观世界的工程技术和组织管理技术。它是应用系统理论、近代数学方法和电子计算机运算技术，研究系统规划、设计、制造、组织和管理的一门整体最优的技术科学。这种技术对于一切系统均适用，具有应用的广泛性和普遍性。研究不同的系统问题，就有相应的各种系统工程，如工程系统工程、经济系统工程、社会系统工程等。研究水资源系统问题，就有水资源系统工程。系统工程与一般工程技术和其他技术具有明显的特点，其主要表现为：

(1) 系统工程的研究对象广泛。系统工程的研究和应用对象是各种体系的系统，如自然的、生态的、社会的、经济的系统都是其研究的对象。

(2) 系统工程是一门“软”技术。系统工程主要研究软件技术，如概念、原则、原理、方法、制度、程序等非物质实体所构成的技术，为生产“硬件”提供思考方法、程序和决策等，以实现系统的最优规划、设计、控制和管理。

(3) 系统工程是定量技术。定量的办法通过建立系统模型、系统仿真、系统分析和系统优化等主要方法与步骤实现。

(4) 系统工程是一门多学科综合的边缘学科。系统工程既要应用数学、物理、化学等基础自然学科的知识，又要以运筹学、控制论为基础，应用管理科学、经济学、社会学、生态学等知识，从而构成一门多学科相互渗透的边缘学科。

综上所述，系统工程可以归纳为：研究对象是各种体系的系统；思考方法是全局的和协调的辩证思想；采用的技术是以运筹学和控制论为理论基础、以电子计算机为运算手段的近代科学方法；最终目的是使系统达到整体最优。

### 1.2.2 系统工程理论基础

系统工程的理论基础是系统科学。其中的一般系统论、运筹学、控制论、信息论、大系统理论、多目标决策技术等都是系统工程的公共理论基础。现扼要地介绍如下。

#### 1. 运筹学 (Operation Research)

运筹学是20世纪40年代形成的一门新兴学科,经过几十年来的实践,无论在理论上或应用上都得到了很大的发展。它是在研究生产、经济、工程建设、科学研究、行政管理等活动中,有关人力、财力、物力等的统筹规划和运用调度的科学。运筹学为系统工程提供了大量的理论方法,成为系统工程理论基础的一个重要组成部分。

由于运筹学研究的问题类型众多,范围广泛,所以它的内容十分丰富,包括的分支也较多,主要有规划论、博弈论、排队论、决策论、搜索论、存储论等。随着实践的发展,根据需要,可以预料新的领域还会不断出现。现有几个主要的分支简介如下:

(1) 规划论 (Theory of Programming)。规划论所研究的问题是:在一定数量的人力和物力资源条件下,如何合理安排,使它们发挥出最大限度的作用,从而完成最多的任务;或者在确定任务的前提下,研究怎样精打细算,使用最少的人力、物力去完成它。这类统筹规划的问题,用数学语言表达就是:在一组约束条件下寻找目标函数的极值问题。规划论有四大分支:线性规划、整数规划、非线性规划和动态规划。每个分支又都包括丰富的内容,为系统工程研究反映客观事物规律的合理性和有效性提供强有力的数学方法和优化技术。

(2) 博弈论 (Game Theory)。博弈论是用来研究对抗性的竞争局势的数学模型,探索最优的对抗策略的数学方法,又称为对策论。

一场博弈,依据参加者的多少,可以分为双方博弈和多方博弈。进行博弈的各方为对付对方必定要采取一定的策略。如果可能采取的策略只有有限个,称为有限博弈。如果可能采取的策略为无限个,则称为无限博弈。在每场博弈中,如果获胜的一方与失败的一方得失恰好相等,则称为零和博弈。如果参加博弈各方的得失可以列成一个矩阵(称支付矩阵),则称为矩阵博弈。

(3) 排队论 (Queueing Theory)。人们日常活动中经常出现排队现象。生产过程中也有排队问题,如电话总机为每一次呼唤的服务、计算机内存等待处理的程序、自动生产线中到达机床前等待加工的毛坯等。排队论是用系统计划规律来改进公用服务系统工作过程的数学理论和方法。在这个系统中服务对象何时到达以及其占用服务系统的时间的长短均无从预先确知,这是一种随机聚散现象,它通过对每个个别的随机服务现象的统计研究,找出反映这些随机现象平均特性规律,从而改进服务系统的工作能力。

(4) 决策论 (Decision Theory)。决策论是运筹学最新发展的一个重要分支。用在经营管理工作,对系统的状态信息可能选取的策略以及采取这些策略对系统的状态所产生的后果进行综合研究,以便按照某种衡量准则选择一个最优策略。决策有:单目标、多目标决策,确定型、风险型和完全不确定型决策,模糊决策和序贯决策等。

(5) 搜索论 (Search Theory)。搜索论是一种数学方法,用来研究在寻找某种对象(如石油、矿物、潜水艇等)的过程中,如何合理的使用搜索手段(如用于搜索的人力、物力、资金和时间),以便取得最好的搜索效果。

(6) 存储论 (Inventory Theory)。一个企业物资储备量是否恰当, 直接关系到生产的进行和资金的周转, 关系着增产和节约问题, 因此在经济管理中, 存储问题占有相当重要的地位。

物资储备大致可分为生产储备、供销储备、商品或产品储备。不论哪种储备, 目的都在于供给某种需要。因此, 储备的最佳方案就是在保证供应质量的条件下, 使有关物质储备供应的总费用最小。

存储问题的类型很多, 有些问题是非常复杂的。一般可通过简单例子介绍存储模型的基本方法。当实际问题非常复杂, 难以得出数学模型时, 或虽能得出, 但非常复杂不易求解时, 往往采取模拟方法求近似解。当具体问题包括随机因素时, 进行模拟往往与随机抽样技术有关。这种方法又称蒙特卡洛 (Monte Carlo) 方法。运用排队论方法也可解决某种存储问题, 模拟方法是常用的, 但只有当模拟次数很多时所得结果才比较可靠。

## 2. 控制论

控制论是 20 世纪 40 年代由美国科学家维纳创建的一门科学。经过 70 多年的发展, 它的理论与方法已广泛地应用于各个领域, 并成为系统工程另一重要的理论基础。

控制论的研究对象也是系统, 是研究系统控制及其应用的科学。也就是研究如何分析、综合和组成系统, 研究系统各个组成部分之间的关联和制约关系, 以及关联和制约关系如何影响和决定系统的总体功能。特别是要研究如何影响、调节、改变和控制这种关联和制约关系, 使系统具有人们希望的性能与行为。这样一些系统分析、综合的理论、方法便构成了控制论的基本内容。

控制论按其研究系统的属性不同, 目前已有 4 个主要分支: 工程控制论、生物控制论、经济控制论和社会控制论。20 世纪 50 年代末 60 年代初, 发展起来的现代控制理论, 其特点是: 以系统的抽象模型为基础, 研究系统结构、参数、行为和控制性能之间的定量关系。由于这种抽象性、概括性的特点, 使这一理论适用于更广泛的系统分析与控制。这些理论包括: 反馈控制理论、能控、能观性理论、系统可靠性理论、大系统理论、稳定性理论、最优控制理论、最优滤波和随机控制理论、多变益系统理论、鲁棒性理论、人工智能和模式识别理论、自适应、自组织、自学习理论等。

现代控制论中上述各个分支所揭示的系统规律, 在系统思想、描述、结构、功能和研究方法上, 均为系统工程的迅速发展与应用, 提供了坚实的理论基础。

## 3. 概率论与统计学 (Probability and Statistics)

概率是描述一个事件发生的可能性的数值度量。一个事件的概率等于在大量试验的次数中, 这一事件发生的次数与所有事件总次数的比值。概率论是研究事件概率分布规律的理论, 它是统计学的基础。

统计学是有关科学方法的一门学问。当普遍存在不肯定的状态时, 统计学提供了一系列决策的工具。一般分为两大类: 描述统计学和推断统计学, 前者是研究简缩数据和描述数据的, 后者是研究利用数据去作出决策。有时常遇到数据随机性以及无法确知系统真实状态所引起的不肯定性, 概率就是这种不定性的变量。

## 4. 图论 (Graph Theory)

图论使用许多简单的符号, 这些符号不仅能简化思维, 且构成一种易于掌握和极其有

效的工具。它是根据现代数学的观点和方法,加以抽象化和形式化而建立起来的理论的综述。现在这些以点、线和各种符号组成的各种图表,已广泛应用到各个领域,如博弈论、规划论、信息论、拓扑学、电路、交通网络、工程企业管理、组织体系(经济学)、社会结构(心理学)等等。

#### 5. 网络理论(Network Theory)

在实际工作中,存在着许多网络问题,例如交通运输网、邮电通信网、电力输配网等等。从出发地到目的地可以有各种途径,而各种途径又有距离、费用、运输量等限制。因此,如何发挥已有网络的最大作用,如何规划一个网络使之更充分地满足经济、技术等各方面的要求,这就是所谓的“网络问题”。它解决的主要问题有:①最短路径问题,如自来水管的最少铺设长度问题,邮递员送信的最短路径问题;②最大流量问题,如一定公路条件下的最大运输流通量问题;③最小费用最大流量问题等。

#### 6. 模糊数学(Fuzzy Theory)

1965年美国自动控制学者Zadeh在建立模糊事物的数学模型时,首先提出了“模糊集合”的概念,奠定了模糊数学的基础。模糊数学的主要目标是探索更加接近人类大脑的实际功能,处理模糊事物的方法,如电子计算机具有智能模拟功能的数学理论,也就是说要研究一种数学推理逻辑,能够使机器像人一样,只有极少的模糊信息,依据一定的推理准则进行“思维”,就可以得出相当准确(或是足够近似)的结论来。

10余年来,人们在模糊数学的理论、模糊语言和模糊数学的应用上作了大量的研究工作。目前它在自动控制、模式识别、系统理论、信息检索、社会科学、心理学、医学和生物学等领域中的应用,获得了显著的效果,展现着诱人的前景。

#### 7. 大系统理论

大系统理论是以研究大规模复杂系统为对象的理论。但是,大系统迄今并没有一个严格和公认的定义,不过,可举出两种有代表性的定义:一种认为,凡可以解耦而使计算简化的系统,便是大系统(HO和Mitter,1976);另一种认为,若系统维数非常大,以致应用常规的建模、分析、控制、设计和计算方法,都不能通过合理的计算程序得到有效的结果时,这样的系统就是大系统(Mahmoud,1977)。

#### 8. 多目标决策理论

多目标决策问题早在1896年由经济学家V.Pareto提出,直至1951年HW.Kuhn和Tucker证明了向量优化问题的非劣充要条件以后,才具有标志性的发展。其后20世纪60年代发展了多属性效用理论(Keeney,1963);70年代以来,多目标决策方法已发展到数十种,并应用于社会与自然科学的各个领域。

以上的这选学科和理论,均是现代系统工程的公共基础理论。由于本书的重点是研究系统工程在水资源系统中的应用,而水资源系统是典型的大规模、多目标的复杂大系统,因此,下面的两章将专门介绍大系统理论和多目标决策问题,既作为系统工程基础理论部分的继续,又作为水资源系统规划与管理的数学基础。

### 1.2.3 系统工程工作程序与方法

系统工程的工作程序是指其解决各类不同问题时,具有比较相同或相似的工作思路、工作阶段和工作步骤的模式,以便实现系统整体最优的目的。自20世纪60年代以来,许

多学者对这方面工作做了大量探讨，其中比较公认而有代表性的成果是霍尔三维结构。

霍尔三维结构是由美国学者 A. D. 霍尔 (A. D. Hall) 等人在大量工程实践的基础上，于 1969 年提出的。其内容反映在可以直观展示系统工程各项工作内容的三维结构图中。霍尔三维结构集中体现了系统工程方法的系统化、综合化、最优化、程序化和标准化等特点，是系统工程方法论的重要基础内容。

### 1. 时间维

时间维表示系统工程的工作阶段或进程。系统工程工作从规划到更新的整个过程或寿命周期可分为以下 7 个阶段：

- (1) 规划阶段。根据总体方针和发展战略制定规划。
- (2) 设计阶段。根据规划提出具体计划方案。
- (3) 分析或研制阶段。实现系统的研制方案，分析、制定出较为详细而具体的生产计划。
- (4) 运筹或生产阶段。运筹各类资源及生产系统所需要的全部“零部件”，并提出详细而具体的实施和“安装”计划。
- (5) 系统实施或“安装”阶段。把系统“安装”好，制定出具体的运行计划。
- (6) 运行阶段。系统投入运行，为预期用途服务。
- (7) 更新阶段。改进或取消旧系统，建立新系统。

其中规划、设计与分析或研制阶段共同构成系统的开发阶段。

### 2. 逻辑维

逻辑维是指系统工程每阶段工作所应遵从的逻辑顺序和工作步骤，一般分为以下 7 步：

- (1) 摆明问题。同提出任务的单位对话，明确所要解决的问题及其确切要求，全面收集和了解有关问题历史、现状和发展趋势的资料。
- (2) 系统设计。即确定目标并据此设计评价指标体系。确定任务所要达到的目标或各目标分量，拟定评价标准。在此基础上，用系统评价等方法建立评价指标体系，设计评价算法。
- (3) 系统综合。设计能完成预定任务的系统结构，拟定政策、活动、控制方案和整个系统的可行方案。
- (4) 模型化。针对系统的具体结构和方案类型建立分析模型，并初步分析系统各种方案的性能、特点、对预定任务能实现的程度以及在目标和评价指标体系下的优劣次序。
- (5) 最优化。在评价目标体系的基础上生成并选择各项政策、活动、控制方案和整个系统方案，尽可能达到最优、次优或合理，至少能令人满意。
- (6) 决策。在分析优化和评价的基础上由决策者作出裁决，选定行动方案。
- (7) 实施计划。不断地修改、完善以上 6 个步骤，制定出具体的执行计划和下一阶段的工作计划。

### 3. 知识维或专业维

该维的内容表征从事系统工程工作所需要的知识（如运筹学控制论、管理科学等），也可反映系统工程的专门应用领域（如企业管理系统工程、社会经济系统工程、工程系统

工程等)。

霍尔三维结构强调明确目标,核心内容是最优化,并认为现实问题基本上都可归纳成工程系统问题,应用定量分析手段,求得最优解答。该方法论具有研究方法上的整体性(三维)、技术应用上的综合性(知识维)、组织管理上的科学性(时间维与逻辑维)和系统工程工作的问题导向性(逻辑维)等突出特点。

### 参 考 文 献

- [1] 袁宏源,邵东国,郭宗楼. 水资源系统分析应用 [M]. 武汉: 武汉水利电力大学出版社, 2000.
- [2] 汪应洛. 系统工程 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [3] 冯尚友. 水资源系统工程 [M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1991.

# 第2章 水资源系统分析

## 2.1 系统分析概述

### 2.1.1 系统分析概念与作用

系统分析是系统工程应用中最基本、最普遍的分析方法，也是系统工程最核心的部分。系统分析原本出自对数学方程式的系统所进行的数学分析。但是，它并不是简单的数学技术的应用，而是集合了过去若干学科的概念、观点和技术综合发展起来的一门学科。它是分析研究系统规划和决策问题的科学方法，也是帮助决策人从多种可行方案中识别和选择最优方案的决策手段。

系统分析方法，主要研究确定系统内有关要素、结构、功能、状态、行为等之间的关系，及其与外部之间的相互关系，并通过逻辑思维推理和科学计算的定量途径，找出可行方案；再经过分析、综合和评价技术，选出可行方案的最佳者，供决策者参考。所以，可以认为系统分析是对系统工程做出定量分析的基础，也是优选方案的工具。

系统分析的最重要内容是：确定系统目的和目标，建立系统数学模型，实施模拟和优化技术，进行分析、综合和评价，做出选择方案的满意决策。

### 2.1.2 系统分析的意义与原则

#### 2.1.2.1 系统分析的意义

在现代化社会，科学技术高度发达，事物间的联系日趋复杂，出现了形式多样的各种大系统。这类大系统通常都是开放系统，其所处环境即更大的系统发生着物质、能量和信息等的交换关系，从而形成了环境约束。系统同环境的任何不适应，即违反环境约束的状态或行为，都将对系统的存在产生不利的影响，这是系统的外部条件要求。

从系统内部来看，它们由许多层次的子系统组成，系统与子系统之间有着复杂的关系，如纵向的上下关系、横向的平等关系以及纵横交叉的相互关系等。但不管这些关系如何复杂，有一条基本原则是不变的，即下层系统以达成上层系统的目标为任务，横向各子系统必须用系统总目标协调行动，各附属子系统要为实现系统整体目的而存在。因此，任何子系统的适应或不健全，都将对系统的整体功能和目标产生不利的影响；系统内各子系统的上下左右之间往往会出现矛盾因素和不确定因素，对这些因素能否及时了解、掌握和正确处理，将影响到系统整体功能和目标的实现。系统本身的功能和目标是否合理也有研究分析的必要。不明确、不恰当的系统目标和功能，往往会给系统的生存带来严重后果，系统的运行与管理，要求有确定的指导方针。综上所述，不管从系统的外部或内部，不论是设计新系统或是改进现有系统，系统分析都是非常重要的。

系统分析的重要意义还在于系统分析不是最终目的，最终目的是为系统决策服务。因

此，系统分析应为决策提供各种分析数据、各种可供选择方案的利弊分析和可行条件等，使决策者在决策之前心中有数，有权衡选择比较优劣的可能性，从而提高决策的科学性和可行性。系统决策的正确与否和系统分析的水平与质量高低关系极为密切。如果说决策的正确与否关系到事业的成败，那么，系统分析则是构筑这些成败的基石。

### 2.1.2.2 系统分析的原则

系统分析是一个有目的、有步骤的探索、分析过程。系统分析人员要使用科学的分析工具和方法，对系统的目的、功能、环境、费用、效益等进行充分的调查研究，收集和整理有关资料与数据，据此建立若干替代方案及相应的数学模型，开展仿真试验，把试验、分析、计算的各种结果进行比较和评价，最后得出完整与正确的结论并提出可行建议，作为决策依据。进行系统分析的原则如下。

(1) 整体性与目的性原则。系统分析不同于一般的技术经济分析，除了有更为广泛的内容外，必须着重于系统的整体目标，以发挥系统整体的最大效益为前提。系统总体最优往往会要求某些局部放弃其最优的利益与要求，不应局限于个别局部或子系统的利益来削弱系统的整体利益。此外，系统分析时，还应站在高一层次的立场与角度来观察，例如注意防止社会公害和环境污染等问题。

(2) 递阶分层分解和综合协调原则。大系统特别是复杂的巨系统常可分解为若干子系统，形成许多层次等级。因此，分析时可遵循递阶分层分解和综合协调的原则，将大系统逐层分解，即所谓“化整为零”，使问题简约清晰，便于深入研究；然后根据系统整体与各层次的目标互相协调配合，将子系统“集零为整”，只有各子系统实现各自功能，并相互协调一致，才能实现整体目标并达到最优。

(3) 长远利益与当前利益相结合的原则。不论是创建新系统还是改进已有系统，必须从整个系统的生命周期出发，要有预见性，兼顾当前利益与长远利益。人类历史上由于不遵循此原则，曾有不少惨痛教训，如西亚（美索不达米亚、小亚细亚）地区，为了获得耕地而乱砍森林，破坏了水源涵养场所，致使今天成为不毛之地；我国大跃进时期，建设单位为追求当时的片面利益与政治需要，致使工程质量低劣，建设时省了小钱而维修时却花了大钱，并给工程带来了诸多隐患。

(4) 充分运用定量方法，并与定性分析相结合的原则。系统分析内容主要是定量化方法。解决问题不能单凭想象、经验或直觉，在许多复杂情况下要获得可靠的能反映问题本质性的结果，必须运用各种近现代的定量化方法。当然一个方案的优劣虽以定量分析数据为依据，但又绝不能忽视定性因素。首先定量分析要建立在对本系统本质属性和规律性的定性分析和深入理解的基础上，其次要遵守国家的政策法规，维护社会公德，保护环境，而且用定量方法得到的某些结论也还要用定性分析方法加以综合、推理与判断。此外，由于复杂系统往往受众多社会、经济、环境、技术因素的影响，且其中不少可能是不确定因素，需要进行某种预测与判断，因此分析过程中会掺杂决策者个人的价值观和对未来的理性判断甚至臆断，这样从方法论上看系统分析不仅需要数学计算与分析，还需要直观经验和主观推理，两者结合才能更有效地解决问题。

(5) 针对性原则。系统分析虽是具有普遍意义的科学方法和手段，但在应用上又以特定问题为对象，有很强的针对性，其目的在于求得解决该问题的最优方案。因此，一定要

开展对具体对象的调查研究，实施不同的分析，采取针对性的求解策略和方法，才能取得良好的效果。

### 2.1.3 系统分析的步骤

#### 1. 划定问题范围

进行系统分析，首先要明确问题性质，划定问题范围。一般来说，问题是在一定的外部环境作用和系统内部发展的需要中产生的。它不可避免地带有了一定的本质属性和存在范围。只有明确了问题的性质和范围后，系统分析才有可靠的起点。其次，要进一步研究问题所包含的因素，因素间的联系以及和外部环境的联系，把问题界限进一步划清。比如一个企业长期亏损，涉及产品的品种和质量、销售价格、上级的政策界限、领导班子、技术力量、管理不善等多方面的问题，那么究竟哪些因素属于这个问题的范围？问题界限的划定如图 2.1 所示。

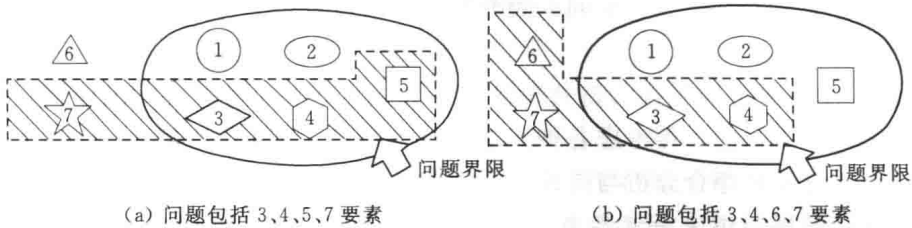


图 2.1 问题界限的划定

#### 2. 确定目标

为了解决问题，要确定具体的目标。它们通过某些指标表达，而标准则是衡量目标达到的尺度。系统分析是针对所提出的具体目标而展开的，由于实现系统功能的目的是靠多方面因素来保证的，因此系统目标也必然有若干个。如经营管理系统目标就包括品种、产量、质量、成本、利润等，而一项目标本身又可能由更小的目标集组成，比如利润是一个综合性目标，要增加利润，就要扩大盈利产品的销售量和降低单位产品成本，而要增加销售又要做好广告、组织网点、服务等工作，采取正确的销售策略等。在多目标情况下，要考虑各项目标的协调，防止发生抵触或顾此失彼。在明确目标过程中，还要注意目标的整体性、可行性和经济性。

#### 3. 收集资料，提出方案

资料是系统分析的基础和依据。根据所明确的总目标和分目标，集中收集必要的资料和数据，为分析做好准备。收集资料通常多借助于调查、实验、观察、记录以及引用外国资料等方式。收集资料切忌盲目性。有时说明一个问题的资料很多，但不是都有用，因此，选择和鉴别资料又是收集资料中所必须注意的问题。收集资料必须注意可靠性，说明重要目标的资料必须经过反复核对和推敲。资料必须是说明系统目标的，对照目标整理资料，找出影响目标的诸因素，而后提出达到目标条件的各种替代方案。所拟定的替代方案应具备创造性、先进性、多样性的特色。先进性是指方案在解决问题上应采纳当前国内外最新科技成果，符合世界发展趋势，前瞻未来若干年，当然也要结合国情和实力；创造性是指方案在解决问题上应有创新精神，新颖独到，有别一般，包容设计人员的一切智慧的