



普通高等教育“十二五”规划教材

水资源系统分析

主 编 付 强

副主编 戴长雷 王 斌 冶雪艳

叶 勇 姜秋香



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



普通高等教育“十二五”规划教材

水资源系统分析

主 编 付 强

副主编 戴长雷 王 斌 冶雪艳

叶 勇 姜秋香



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本教材依据教育部普通高等教育“十二五”国家级规划教材编制计划,侧重对数学规划基本问题、理论和方法的论述,主要内容有:水资源系统分析概论;智能优化算法及其应用;数学规划及其应用;系统模拟方法及其应用;系统预测方法及其应用;系统评价方法及其应用;系统决策方法及其应用;系统动力学方法及其应用。教材编写重点放在培养学生解决实际问题 and 提高实践技能两方面,尤其考虑了如何拓宽学生视野、促使学生择优运用各种方法解决实际问题的能力问题。

本教材可作为高等院校水利水电工程、农业水土工程等专业教学用书,同时,兼顾了本科生、研究生、工程技术人员等在数学建模、毕业设计、科学研究及工程实践中对教材的参考要求。

图书在版编目(CIP)数据

水资源系统分析 / 付强主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2012. 6
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5084-9889-8

I. ①水… II. ①付… 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(2012)第127161号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 水资源系统分析
作 者	主编 付强 副主编 戴长雷 王斌 冶雪艳 叶勇 姜秋香
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 (发行部)
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	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 18印张 427千字
版 次	2012年6月第1版 2012年6月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	35.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

在水资源系统分析的实际工作中，通常会应用优化、模拟、预测、评价、决策等一系列方法，这些方法构成了水资源系统分析的方法体系。随着水资源系统分析学科以及与水资源相关交叉学科的发展，各种新方法不断涌现。以往同类教材大多围绕数学规划的模型建立、模型求解及模型应用几方面为核心编写，侧重于对传统系统优化方法的详细介绍。虽然部分教材也涉及了系统模拟、系统预测、系统评价和系统决策等方面的内容，但将这些内容整合为一体的教材并不多，对涉及的方法介绍的侧重点和详略程度也有所不同。此外，由于数学规划方法推理过程比较复杂，常使学生望而生畏，加之各种数学规划方面的软件不断推出，一方面将学生从繁杂的数学公式学习中解放出来，另一方面也会造成学生轻视基础理论方法，注重软件的操作应用等问题。

系统分析是系统工程中最普遍、最基本的分析方法，各种新方法应逐渐被介绍、引入和充实到水资源系统分析方法体系中。依据教育部普通高等教育“十二五”国家级规划教材编制计划，在广泛吸收其他经典教材部分教学内容的基础上，本教材侧重于对数学规划基本问题、理论和方法的论述，增加近些年来在水资源领域应用较广泛的几种智能优化算法内容，相对增加系统模拟、系统预测、系统评价、系统决策等内容。本教材编写重点放在培养学生解决实际问题 and 提高实践技能两方面，尤其考虑了如何拓宽学生视野、促使学生择优运用各种方法解决实际问题的能力问题。此外，本教材也兼顾了本科生、研究生、工程技术人员等在数学建模、毕业设计、科学研究及工程实践中的参考要求。

本教材的编写参阅和借鉴了大量学术论文、高等院校教材以及相关学科的专业书籍，本教材的出版得到了中国水利水电出版社的关心和支持。在此对各位作者、编著者及中国水利水电出版社一并表示感谢。

全书由东北农业大学付强教授担任主编，黑龙江大学戴长雷、东北农业

大学王斌、吉林大学冶雪艳、西南大学叶勇、东北农业大学姜秋香担任副主编。编写分工为：付强、王斌编写第一章、第二章、第五章、第六章，戴长雷编写第三章，叶勇编写第四章，冶雪艳编写第七章，姜秋香编写第八章。全书由王斌统稿，东北农业大学水利与建筑学院研究生姜辛、谢萌、张袁等参加了部分编写工作。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请读者指正。

作者

2012年1月于哈尔滨

目录

前言

第一章 水资源系统分析概论	1
第一节 系统	1
第二节 系统工程学与系统分析	5
第三节 系统分析在水资源领域中的应用	8
参考文献	16
第二章 智能优化算法及其应用	17
第一节 遗传算法	17
第二节 粒子群算法	23
第三节 蚁群算法	26
第四节 鱼群算法	30
习题	39
参考文献	39
第三章 数学规划及其应用	41
第一节 线性规划及其应用	41
第二节 整数规划	68
第三节 非线性规划	85
第四节 动态规划	95
习题	106
参考文献	108
第四章 系统模拟方法及其应用	109
第一节 系统模拟方法概述	109
第二节 蒙特卡罗法	114
第三节 水资源系统模拟模型	123
第四节 应用实例	133
习题	150
参考文献	150

第五章 系统预测方法及其应用	151
第一节 系统预测方法概述	151
第二节 时间序列分析	154
第三节 人工神经网络	161
第四节 小波分析	166
习题	173
参考文献	174
第六章 系统评价方法及其应用	175
第一节 系统评价方法概述	175
第二节 投影寻踪	181
第三节 层次分析法	187
习题	196
参考文献	197
第七章 系统决策方法及其应用	199
第一节 系统决策概述	199
第二节 单目标决策方法	202
第三节 多目标决策方法	219
第四节 决策支持系统	224
第五节 实例应用	229
习题	234
参考文献	235
第八章 系统动力学方法及其应用	237
第一节 系统动力学概述	237
第二节 系统动力学建模过程	242
第三节 系统动力学软件简介	248
第四节 实例应用	255
参考文献	275
附录	277

第一章 水资源系统分析概论

第一节 系 统

一、系统的概念

系统的概念与系统思想是在人类认识自然、改造自然的实践过程中逐步形成并发展起来的,20世纪40年代以后“系统”一词开始广泛使用。但不同学科或不同学者对系统概念的认识也不完全一致,关于系统的定义,据不完全统计,目前有几十种提法。这些不同提法的出现虽然各有其不同的背景,反映各自特殊领域的特征,但其内涵却有共同之处,在实质上都是指一个由多种元素构成的有内在联系的整体。

一般来说,系统(system)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,而其本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。

在自然界和人类社会中存在各种各样的系统,如天体系统、生态系统、海洋系统、电力系统、交通系统等。在水资源开发利用中,由挡水建筑物、水库水体、泄洪设施、水电站、供水设施、航运设施等组成的有机整体,一般可以实现防洪、发电、工农业供水、航运等功能,称为水资源利用系统。

二、系统的结构与功能

1. 系统的结构

系统的相互联系、相互作用的组成部分(元素)称为系统的结构。

系统的组成元素之间是相互作用的,同时又是可分的。其中的每一个元素也可能是由更小的元素组成的系统,称为子系统。结构是形成系统整体性的基础,系统的结构越严密,其整体性越强。如水资源系统一般由水资源、水资源工程系统、水资源管理系统等组成,其中水资源由地表水资源和地下水资源构成,地表水又包括河道、水库、湖泊等部分,而地下水则包括潜水、承压水等部分。

2. 系统的环境

系统总是处在一定的环境中。在系统之外与其有物质、能量、信息交换的事物构成系统的环境。环境对系统的作用表现为系统输入,而系统对环境的作用表现为系统输出。对于流域水资源系统来说,环境包括对水资源系统有影响的自然因素(如气象、水文、地形、地貌、植被等)与人为因素(如水资源的开发利用),输入主要为降水,输出主要包括人类利用水量、自然消耗水量、外流河的入海水量等。

3. 系统的功能

把系统输入转换为输出就是系统的功能。例如水利枢纽的功能是把天然径流量(输

入) 调节为人类所需要的水量过程(输出), 水利枢纽的结构决定了它在防洪、发电、供水等方面的功能。

三、系统的属性

系统具有的一般特性可以归纳如下。

1. 系统的目的性

系统的目的性是指系统都具有特定的功能, 其组成都具有一定的目的并且有达到目的的手段。系统目的可以分解为多层次的目标, 实现全部的系统目标, 就等于实现了系统目的。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。创建一个人工系统, 必须有明确的目的, 这是系统设计和运行的一个非常重要的问题。但是, 确立一个系统的目的, 并不是一件简单的工作, 有时需要反复推敲、进行比较后才能确定。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, 使系统的构成要素有机地协调动作。

2. 系统的适应性

系统具有适应性是因为系统存在于一定的时空尺度上, 即存在于一定的环境之中, 通过系统输入、输出与环境之间发生物质、能量、信息的交换。环境提供并限制了系统的运行条件, 构成了系统的约束; 系统离不开环境, 并且要不断适应环境的变化, 否则系统将不能长期存在。一个理想的系统应该能够经常与外部环境保持最佳的适应状况, 不能适应环境变化的系统是没有生命力的。一个灌溉系统建成后, 河流来水、天然降雨等自然条件逐年都在变化, 灌溉系统就要具备对环境的这种变化的适应能力, 而且在其运行的长期过程中各构成要素将要发生损坏、老化等变化而不能完成或不能充分完成其功能, 这就需要对系统进行改善或改建。因此, 一个灌溉系统应该具备这种对环境变化或自身变化的适应性。例如, 战国时期修建的都江堰灌溉工程历经 2000 余年仍能持续发挥效益, 表明它具有极其优异的适应性。

3. 系统的集合性

系统的集合性是由于系统具有若干组成部分所致, 即系统至少是由两个或两个以上的可以相互区分的要素组成的, 才能称之为系统。例如, 水库是由坝、泄水涵洞和溢洪道组成; 渠道系统是由渠道、分水闸、节制闸和其他渠系建筑物等相互区分的要素组成的(水利系统在规模和构成的要素上, 都是一种典型的系统)。对于规模大而且组成要素之间相互关系复杂的系统, 可以看做是由若干个子系统有机结合起来的, 一个子系统又可由若干个更小的二级子系统构成。系统的集合性, 既能反映系统构成要素的众多性和多样性, 也可以反映系统结构的多层次性。

4. 系统的相关性

组成系统的元素或子系统之间存在着普遍联系, 这些联系是反映系统特征和保证实现系统目标的主要内容, 体现了各子系统或系统元素之间的相互作用。系统的相关性是指系统的构成要素之间具有有机的联系性。只有要素, 但各要素之间没有任何关系就不能称之为系统。在水利系统中, 相关性是十分明显的, 例如, 在灌溉系统中, 渠首工程与干渠这两个组成部分之间关系密切, 两者的技术性活动不可分割, 干渠与支渠之间的关系也

类似。

5. 系统的层次性

系统元素在系统中是按照一定的层次排列的。一个系统可以分解为若干个子系统，子系统可以再细分。例如，一个国家的水资源系统，可以分为国家—省—县—乡镇等不同的层次，根据具体问题确定需要进行研究的一个或几个层次。

6. 系统的整体性

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，系统不是各个组成部分的简单相加，而是作为一个统一的整体而存在的，系统目标、功能、规律等方面都体现出系统的总体特征。系统各组成要素的各自功能及其相互间的有机联系，只能在一定的协调关系之下统一于系统的整体之中。对任何一个构成要素都不能脱离整体去研究它的作用及其同其他要素的关系，也不能脱离开对整体的协调去研究。脱离开整体性，各构成要素的功能和要素间的作用就失去了意义。因此，系统构成要素的功能及其要素间的相互联系，要服从系统整体的目的和要求。一个灌溉系统，作为整体，它的功能是供水灌溉，它的目标是适时适量地提供水量并保证水质，它的各组成部分如渠首、输配水渠系以及调节控制设施，都是为了完成整体的功能、达到整体的目标而工作，它们之间的协调也是在整体功能和目标之下协同工作。

7. 系统的不确定性

系统具有不确定性是因为系统中存在自然要素或不能用确定性方法描述其状态的构成要素。在大部分人工系统以及自然系统和人工系统相结合的复合系统中，存在着天然因素或与人类活动有密切关系的构成要素，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规律，或者由于活动本身具有一定的随机性，因而只能使用统计规律等手段反映其活动状况与进程，这样就使系统带有不确定性。这种不确定性既反映了自然界的特性，也反映了人的活动所具备的一种属性。这种不确定性的特征为大量的系统所具备，从而使不确定性的研究成为研究系统的重要工作之一。水资源系统一般都具有不确定性。例如：灌溉系统包括水源工程，而其水源的来流具有不确定性；灌溉水源受到污染会影响供水水质，这是灌溉系统的重要组成要素，但导致河流污染的污废物排放却具有一定的随机性，这是由于人的生产和生活活动的不确定性所致，因此，灌排系统一般都具有不确定性。

四、系统的类型

自然界和人类社会中，系统是普遍存在的，各种各样的系统有不同的存在形式和特点。根据不同的研究目的，系统类别具有不同的分类标准。

(一) 按系统组成部分的属性分类

1. 自然系统

按系统组成部分的属性可将系统分为自然系统、人工系统以及自然与人工复合系统。自然系统是由自然物质组成的系统，这些自然系统的共同特点是自然形成的，与人类的生产生活有着密切的关系，如宇宙系、银河系、太阳系、海洋系统以及微观的原子核系统等。

2. 人工系统

人工系统是人类为达到不同的目的而建立起来的系统。人工系统具有明确的目的性,它一方面要适应自然系统的内在规律,对自然系统实行干涉与改造并在这一基础上创建起来;另一方面又要把这种干涉、改造由观念形态变成可以实施的活动。在人类的工农业生产和生活中存在着许多人工系统,大致可以归纳为三种类型:

人类对自然界存在的天然物进行改造、加工、制作、装配而产生的器具和物品,并由这些物品组成的工程系统。这类人工系统也可称为硬系统,其形式多种多样,十分丰富。如电力系统、灌排工程系统、水库等,都是人类为了自身的生存和发展的需要,在自然界实物的基础上建立起来的系统。

人类为驾驭自然系统或操纵工程系统而建立的组织、制度、方法、程序、手续等因素构成的非实物系统,也称软系统。科技体系、教育体系、法律体系等均属此类。它是人类为了更好地建立起第一类人工系统所不可缺少的系统,在某种意义上讲甚至比第一类人工系统更重要。

由实物构成的硬系统与非实物软系统组合而成的系统,是一种软硬结合的系统,在其组成部分中,既包括人类加工、制作的器物及其构成的硬系统,还包括表现为抽象形态的概念、方法、程序等软系统。

3. 复合系统

由人工系统和自然系统复合而成的系统称为复合系统,它既具有人造系统的特性,又有自然系统的特性,如农田生态系统、气象预报系统、交通管制系统等。实际上,自然系统和人工系统处于非常密切的组合之中,因此大多数系统是由自然系统和人工系统组合起来的软硬结合的复合系统。

(二) 按系统组成部分的形态分类

按系统组成部分的形态可以将系统分为实体系统与概念系统。实体系统(硬系统)是由实物构成的系统,如工程系统、机械系统等;概念系统(软系统)是由非物质的概念、原理、方法等构成的系统,如软件系统、法律系统等。实体系统可以是自然系统、人工系统或复合系统中的任一种,但概念系统属于人工系统。

(三) 按系统与环境的关系分类

按系统与环境的关系可将系统分为封闭系统和开放系统。当系统与环境之间有物质、能量、信息交换时称为开放系统;当两者之间没有明显的物质、能量、信息交换时称为封闭系统。严格讲,封闭系统是不存在的,但当系统与环境之间的交换量很微弱、可以被忽略时,可将系统近似视为封闭系统。

(四) 按系统所处的状态分类

按系统所处的状态可将系统分为静态系统和动态系统。静态系统的要素不随时间变化,而动态系统则随时间发生变化。事实上绝对的静态系统是不存在的,但如果在研究时段内系统随时间的变化可以忽略,则可近似视为静态系统,如灌溉渠道系统、给排水管网系统在一定时段内是相对稳定的,可以视为静态系统。多数系统属于动态系统,如水文循环系统、生态系统等。

(五) 按系统的规模分类

按系统的规模可将系统分为小型、中型、大型、超大型系统。随着系统规模由小到大,系统元素或子系统的数量增加,各部分之间的关系从简单到复杂。

系统还可以按其他标准进行分类。此外,还可以按几个分类标准对系统进行组合分类,如按系统与环境的关系、系统状态这两个标准组合进行分类,则系统可分为静态开放系统、静态封闭系统、动态开放系统、动态封闭系统。

第二节 系统工程学与系统分析

一、系统工程学

人们在进行日益多样化的活动并对其作出决策时,不仅要反映人类社会的复杂程度,还要体现出技术高度发展而出现的先进技术,并且使此项活动产生最优的实际效果。系统科学与系统工程学就是在这样的背景下产生的。

系统科学是研究系统的基本属性与运动规律,探讨系统演化、转化、协同与控制机理和系统间复杂关系的形成法则,以及研究系统结构与功能关系、有序与无序状态形成规律的科学。对于任何系统来说,系统的结构和外部环境决定了系统的功能,因此系统结构与外部环境的变化势必引起系统功能的变化,揭示这些规律便是系统科学的基本任务,系统科学不仅要揭示系统规律去认识系统,更重要的是在认识系统的基础上去控制系统。

与过去长期存在的各种工程学不同,系统工程学主要采用了过去的工程学没有采用过的新的方法论。过去的工程学主要是用构成要素的良好程度来保证整体的良好状态,而系统工程学是利用各构成要素以及各子系统间的巧妙联系,保证整体的良好状态。首先确定整体的目标,再参照这种目标决定各构成要素所必需的性能,这比提高每个构成要素的良好程度更能使整个系统的水平得到提高。

系统工程学是一门新兴学科,尚处在继续发展和不断完善的过程中,人们对它的认识也不尽一致,对它的定义也不完全相同。如运筹学(Operations Research)、管理科学(Management Science)、系统工程(System Engineering)、系统分析(System Analysis)、系统研究(System Research)等,其内涵没有太大差别。1978年,我国学者钱学森等提出“系统工程是组织管理系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法,是一种对所有系统都具有普遍意义的方法”的观点。

尽管对系统工程学的定义不同,但各种定义中都具有以下几个共同点:

(1) 系统工程学以系统作为研究对象,综合运用现代科学技术的有关成就,寻求工程总体开发、设计、运用最优化的思想方法和技术方法。

(2) 系统工程学是用系统理论建立人们需要的各种人工系统,或对已有系统进行改造使之更加完善的工程学科,即系统工程学是一门以人工系统为工程对象的工程学科。

(3) 系统工程学在于解决系统的最优化问题,即使系统整体以及各组成部分均处于最佳的状态及组合,是整体优化的科学,这是系统工程学的核心问题。

(4) 系统工程学是管理决策的科学。

系统工程不同于一般的工程技术。一般的工程技术（如水利工程等）均具有其特定的研究对象，称之为“硬”工程；而系统工程的研究对象是一般的系统，除了以上各类“硬”工程外，还包括工程的组织与管理等软科学的内容。系统工程是一门“软”技术，可以为具体的工程技术提供方法、程序和决策等，以实现系统的最优规划、设计、施工、控制和管理。

总之，系统工程是一门新兴的工程技术学科，是应用系统理论、近代数学方法、计算机技术等理论和工具来研究系统的规划、设计、组织、管理、运行、评价等问题的学科。系统工程方法适合于一般的系统，而对于不同类型系统的研究，就形成相应的系统工程，如水资源系统工程、环境系统工程、农业系统工程、工业系统工程、经济系统工程、社会系统工程等。

二、系统分析

系统分析是工程系统的量化和定性分析方法，它通过研究确定系统内有关要素、结构、功能、状态、行为等之间的关系以及系统与环境之间的相互关系，并通过推理和计算的定量途径，找出可行方案；再经过分析、综合与评价技术，选出可行方案的最佳者，供决策者参考。系统分析的中心内容是建立模型和最优化问题。

（一）系统分析的主要特点

系统分析具有以下主要特点：

（1）在思想方法上，强调整体性和协调性。整体性观点是指在处理问题时，要以整体为出发点和归宿，对系统的分析采用从整体到部分分析、再从部分到整体综合的途径，以整体目标为出发点协调系统各部分的运行，使整体目标达到最优。

（2）在系统分析过程中，注重多学科合作以及分析者与决策者合作。复杂系统一般涉及多个学科领域，为避免片面性和主观性，在系统分析过程中需要不同专业的人员共同合作，对系统各部分进行综合考虑。由于系统分析的目的是为决策者提供参考，因此决策者的参与对于系统分析来说也是至关重要的。

（3）在系统分析技术上，将定性分析与定量分析相结合。在定性分析的基础上，建立系统模型对系统进行定量分析。专家系统（Expert System）、人工智能（Artificial Intelligence）、决策支持系统（Decision Support System）等技术的发展为定性分析与定量分析的结合提供了有力的工具。

（4）在系统分析工具方面，以计算机为主。在系统的规划、设计、施工、运行管理等环节，包含有数据采集与处理、模型优化与模拟等大量的计算工作，计算机技术的发展使系统分析中复杂的计算成为可能。目前，网络技术与可视化技术的发展为系统分析提供了更广阔的应用前景。但在应用计算机的同时，要注意人机结合，根据对计算结果合理性的分析改进和完善计算模型和计算方法。

（二）系统分析问题的类型

系统分析问题可以大体分为以下几种类型。

1. 资源分配问题

资源分配是最常遇到的问题，也是系统分析中最常见的一类问题，这类问题需要寻求

最符合目的的共有资源或稀有资源的分配方法,以实现资源的有效利用和优化配置。多品种产品的生产计划、资源的分部门利用等问题均为这种类型。在水利水电工程中,水资源的合理配置、充分与非充分供水条件下的灌溉制度优化等,都属于水资源的分配问题。

2. 存储问题

存储问题是在解决物资交换问题的基础上产生和发展起来的。在交换过程中,物品、资金和信息等都有一定的储量,但储量是否恰当,则直接关系到生产的顺利进行和资金的有效周转,关系到增产和节约问题。因此,在经济管理系统工程中,存储问题有着重要地位。存储问题的类型很多,各种存储问题的目的是缓解供应(生产)与需求(消费)之间的不协调程度。因此,存储的最优方案就是在保证供应的条件下使有关存储的费用最小。水库蓄水是存储问题的一种,在水库规划和运行课题中常见到存储问题。

3. 流通问题

流通问题是随着物资的流通和运输而产生的,这也是人类生产生活中经常遇到的问题。渠道输水、电网输电、交通运输、通信联络等都是流通问题的特殊形式。流通问题的实质是:从出发地有许多途径可以达到目的地,各种途径的距离、费用、运输量等均不相同并有若干限制,如何发挥这一运输网络的最大作用,或者如何规划一个网络使之最优地满足各种经济、技术条件的要求。流通问题一般包括最短路径问题,如使输水管道的铺设长度最小的问题;最大流量问题,如在通过能力一定的条件下使通过流量最大等。流通问题在水利水电工程中有较广泛的应用,如输水管道系统的规划,水利水电工程施工的组织管理等。

4. 排队问题

人们在日常生活生产中经常遇到排队问题。排队是接受服务的一方和服务的一方相互等待而形成的问题,电话通信系统的工作、生产线上等待加工或装配的部件等都是比较典型的排队问题。在电话通信系统中,用户是服务对象,是接受系统服务的一方,电话呼唤是系统的服务,是服务的一方,用户使用电话进行呼唤就构成了等待电信系统服务的排队问题。在水利水电工程中,把水库看做是服务系统,把各用水部门看做是服务对象,把水库放水看做是系统的服务,这样,水库的规划和调度就可以看做是排队问题。

5. 竞争问题

在生活和生产过程中经常出现竞争问题,例如商业中的销售问题,信息处理中的预测问题等,都是对抗性竞争局势的问题,其目的在于寻求最优的对抗策略。一场对抗中的一方,为了战胜对方,必定要采取一定的策略。竞争型问题就是在一场对抗中应采取何种策略为上策的问题,它更多地用于对事先未知的对象采取什么对策。有的科学工作者把水库调度看做是竞争问题,以水库用水为一方,以水库来水为另一方,用解决竞争型问题制定对策的方法研究水库最优运行方案。

6. 排序问题

人们在生产和日常活动中常出现排序问题,即对各种活动和环节,按规定的要求和条件,排列出理想的顺序,使之达到最佳的组合。例如,在生产过程中更换设备和部件的安排,工程实施过程中各种作业顺序的确定,交往活动中访问路线的拟定等,都有一个最佳组合的问题,即最佳排序问题。在水利水电工程中,施工进度计划的制定就是排序问题的

典型实例,目前已得到广泛应用。

7. 综合问题

在复杂的系统中常会出现多种问题并存的复杂局面,即包含上述各类型问题共同存在于一项系统工程中,形成复杂的综合型问题。

(三) 系统分析方法

传统的系统分析方法主要有数学规划、对策论、排队论、集合论、多目标决策技术、网络技术、模拟技术等,其中数学规划方法主要包括线性规划(Linear Programming,简称LP)、非线性规划(Non-linear Programming,简称NLP)、动态规划(Dynamic Programming,简称DP)、从线性规划的基础发展起来的整数规划(Integer Programming,简称IP)、从非线性规划的基础发展起来的几何规划等。伴随科技进步和计算机技术的日新月异,在传统的系统分析方法被不断发展的同时,也产生了许多新的系统分析方法,如人工神经网络(Artificial Neural Network,简称ANN)和各种智能优化算法等,本书的其他章节将对其作详细介绍。

第三节 系统分析在水资源领域中的应用

一、水资源系统

水资源(water resources)一词由来已久,随着时代的进步其内涵也在不断地丰富和发展,至今不同的国家或国际组织对水资源提出了不同的定义。《大不列颠大百科全书》将水资源解释为:“全部自然界任何形态的水,包括气态水、液态水和固态水的总量”,为“水资源”赋予十分广泛的含义。1963年英国的《水资源法》把水资源定义为:“(地球上)具有足够数量的可用水”。联合国教科文组织(United Nations Educational Scientific and Cultural Organization,简称UNESCO)和世界气象组织(World Meteorological Organization,简称WMO)共同制订的《水资源评价活动——国家评价手册》中,定义水资源为:“可以利用或有可能被利用的水源,具有足够数量和可用的质量,并能在某一地点为满足某种用途而可被利用。”这一定义的核心主要包括两个方面,其一是应有足够的数量,其二是强调了水资源的质量。这一定义比英国《水资源法》中水资源的定义具有更为明确的含义,不仅考虑水的数量,同时其必须具备质量的可利用性。1988年8月1日施行的《中华人民共和国水法》将水资源认定为“地表水和地下水”。

引起对水资源的概念及其内涵不一致的认识与理解,主要原因在于:水资源是一个既简单又非常复杂的概念。它的复杂内涵表现在:水的类型繁多,具有运动性,各种类型的水体具有相互转化的特性;水的用途广泛,不同的用途对水量和水质具有不同的要求;水资源所包含的“量”和“质”在一定条件下是可以改变的;更为重要的是,水资源的开发利用还受经济技术条件、社会条件和环境条件的制约。正因为如此,人们从不同的侧面认识和体会水资源,造成对水资源一词理解的不一致性及认识的差异性。

综上所述,水资源可以理解为人类长期生存、生活和生产活动中所需要的各种水,既包括数量和质量含义,又包括其使用价值和经济价值。一般认为,水资源概念具有广义和

狭义之分。狭义上的水资源是指人类在一定的经济技术条件下能够直接使用的淡水，广义上的水资源是指能够直接或间接使用的各种水和水中物质，在社会生活和生产中具有使用价值和经济价值的水都可称为水资源。

从结构上来看，水资源系统由物质单元（如水体、挡水建筑物、输水建筑物、泄水建筑物、通航建筑物、水电站等）和概念单元（如设计方案、管理策略、组织管理等）组成，其中物质单元是构成水资源系统整体性的前提，概念单元是划分系统与环境、识别系统内部要素的必要条件。水资源系统的结构决定了其具有的功能，如灌溉、排水、发电、供水、航运及综合利用等。

水资源系统是自然与社会相结合的开放性动态复合系统，其结构、功能受自然规律的制约，对社会、环境的影响效应受人类意识的支配。根据研究的范围，水资源系统可分为跨流域水资源系统、流域水资源系统、区域（行政区域、供水区域等）水资源系统等。

二、水资源系统分析

（一）水资源系统分析的概念

将系统分析的思想、概念、理论和方法应用于水资源系统的规划、设计、施工、管理的实践中，就形成了水资源系统分析。《水利科技名词：1997》对水资源系统分析（system analysis of water resources）的定义为“利用系统科学的理论和方法分析制定水资源合理开发、利用、保护和管理方案，使达到整体最优或最满意的综合效益”。水资源系统分析的对象包括流域或区域的水资源工程系统、防汛抗旱系统、农业灌溉排水系统、给排水系统、水污染控制系统等。近年来，研究领域进一步扩展到宏观经济水资源系统、水资源—生态环境—经济系统等。

水资源系统分析应结合水资源系统的特点进行，一般需要考虑以下特点。

1. 多学科性

水资源系统是自然与社会相结合的复合系统，对其研究和分析涉及到多学科的知识，包括自然科学（如数学、物理学、化学、水文学、地质学、气象学等）、工程技术（如水利工程、农业工程、环境工程等）、社会科学（如经济学、管理学、社会学、法学等），在水资源系统分析中需要强调不同专业的协作。

2. 多目标性

水资源是工农业生产、生活及生态环境所必需的资源，水资源系统从本质上讲具有多目标的特点。在水资源系统分析中，除了传统的经济目标外，社会福利、粮食安全、生态环境保护等也日益受到重视。在众多的目标中，不同的目标间可能是矛盾的（如防洪与发电、供水），甚至是不可公度的（即不能用同一单位来度量，如经济目标、社会发展目标与环境保护目标）。多目标问题是水资源系统分析的重要问题，但多目标问题的处理方法目前尚未成熟。

3. 层次性

层次性是大系统的基本特征。作为社会经济系统的一个子系统，水资源系统本身也具有一定的层次性，如流域水资源系统—省级水资源系统—市、县级水资源系统等。在水资源系统规划中需要考虑各层次之间的协调问题。

4. 不确定性

作为水资源系统主要输入项的降水、径流具有很强的随机性,使得水资源系统具有显著的不确定性,增加了分析的难度。另一方面,水资源工程系统是受人类调控的,运行决策的不确定性也会增加其不确定性。

5. 时空分布不均匀性

降水量和蒸发量的动态变化与地域分布特性决定了水资源系统的时空不均匀性,水资源在时间、区域上的合理配置是水资源系统分析的重要内容。

6. 非线性

水资源系统中约束条件和函数关系多数是非线性的,非线性问题的处理一般要比线性问题复杂得多。

(二) 水资源系统分析步骤

水资源系统分析一般包括以下步骤。

1. 系统描述

根据所研究问题的性质和目的,对水资源系统进行定性分析,了解系统的结构、功能、环境及其相互关系。

2. 目标选择

目标是水资源系统开发利用所要达到的目的,是评价方案优劣的标准,因此目标选择是否准确对系统分析结果至关重要。所选择的目标应该能够反映系统的整体目的,而不能只考虑局部的目的。

3. 方案确定

分析确定系统中所有可行的决策方案。

4. 约束分析

确定系统的所有控制条件,即约束条件。约束条件应该不遗漏、不矛盾,否则可能得不到正确的方案或无解。

5. 模型建立

在确定目标、可行方案、约束条件之后,建立相应的数学模型以反映系统的特征及各部分的相互关系。在模型中,系统的目标和约束均用决策变量的函数来描述。水资源系统分析中常用的数学模型包括预测模型、优化模型、模拟模型、评价模型、决策模型等。

6. 模型求解

根据模型的类型,用相应的方法进行求解,同时分析模型参数变化对求解结果的影响(灵敏度分析)。

7. 模型检验与方案评价

将模型求解结果与历史资料进行比较,或根据系统分析人员、决策者的经验对结果进行判断,以确定计算结果的可靠性。如果结果可靠,可将推荐方案提供给决策者参考;否则需要返回第1步,重新对系统进行分析、建模。

8. 决策与实施

决策者在系统分析推荐方案的基础上,考虑其他有关因素,做出决策并实施。在实施过程中,需要根据可能出现的情况和问题,对系统模型和方案进行必要的修正和调整。