

高等学校统编精品规划教材

灌排工程系统分析

(第三版)

主 编 武汉大学 刘肇祯
副主编 武汉大学 胡铁松 罗 强 洪 林



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高等学校统编精品规划教材

灌排工程系统分析

(第三版)

主 编 武汉大学 刘肇祎
副主编 武汉大学 胡铁松 罗 强 洪 林



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书主要介绍系统工程的基本理论、常用方法及其在灌溉排水系统规划和管理中的应用。全书共分8章,包括系统分析概论、线性规划及其应用、整数规划及其应用、非线性规划及其应用、动态规划及其应用、模拟技术及其应用、遗传算法及其应用以及其他常用系统分析方法的介绍。

本书叙述简要,理论阐述与应用举例并重,主要供农田水利工程专业学生使用,也可供水利类专业研究生和水利工程技术人員参考。

图书在版编目(CIP)数据

灌排工程系统分析 / 刘肇祎主编. — 3版. — 北京:
中国水利水电出版社, 2010.2
高等学校统编精品规划教材
ISBN 978-7-5084-7220-1

I. ①灌… II. ①刘… III. ①排灌系统—系统分析—
高等学校—教材 IV. ①S277

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第023871号

书 名	高等学校统编精品规划教材 灌排工程系统分析 (第三版)
作 者	主 编 武汉大学 刘肇祎 副主编 武汉大学 胡铁松 罗强 洪林
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 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
刷 厂	北京市地矿印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 13.75印张 326千字
版 次	1988年11月第1版 1998年5月第2版 2010年2月第3版 2010年2月第9次印刷
印 数	16351—19350册
定 价	26.00元

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

第三版前言

《灌排工程系统分析》(第二版)出版于1998年5月,为有关学校农田水利工程专业本、专科和研究生学习使用,已经历十一个春秋。近年来有关学校对该书要求再版。中国水利水电出版社为满足需要,经与武汉大学水利水电学院协商,决定组织编写第三版,并将该书列入“高等学校统编精品规划教材”,进一步反映有关本课程领域内科学技术新成就和若干年来教学实践中积累的新经验。由于前两版绝大多数编写人员已先后退出教学第一线,第三版则由教学科研第一线年富力强的、具有博士学位以及正副教授职称的教师担任编写工作。

与第一版和第二版相比,《灌排工程系统分析》第三版,在结构上做了调整,内容上做了增删,补充了一些应用实例,并对图、表、文字和习题等做了部分更改。

本版修订了第二版中第一章至第六章内容,改写了原第七章其他常用方法,简要叙述了系统分析方法及其应用的最新成果,增设了“遗传算法及其应用”一章,供选择使用。

《灌排工程系统分析》(第三版)仍根据高等学校农田水利工程专业教学计划与有关课程教学大纲的规定,用作必选课教材,以本专业本科学生为主要对象,也可供水利类专业研究生和水利工程技术人员参考。

全书由武汉大学刘肇祎教授担任主编,武汉大学胡铁松教授、洪林教授、罗强副教授担任副主编。编写分工为:胡铁松编写第一章、第五章和第八章,洪林编写第四章和第六章,罗强编写第二章、第三章和第七章。全书由刘肇祎教授统稿,浙江大学郭宗楼教授主审。武汉大学研究生罗文兵、时元智等参加了部分编写工作。在本书编写过程中,得到了武汉大学杨金忠、黄介生、邵东国等教授的支持和帮助,在此表示感谢。

由于编者水平所限,书中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

主 编

2009年8月于武昌

第一版前言

随着社会主义现代化建设的发展，系统分析方法及其在各个领域中的应用，受到越来越广泛的重视。在灌溉排水工程中，系统工程方法的研究与应用也已开展起来。在这样的形势下，武汉水利电力学院农田水利工程系近年来已为本科学生、研究生、教师、工程技术人员、技术管理人员多次开出系统分析方法及其应用的课程。为了完成这些教学任务，曾经编写过不同深度的教材和参考资料。

本书是根据1983年3月制定的高等学校“农田水利工程”专业教学计划及教学大纲（试用）的精神，在近几年教学实践和科学研究工作的基础上，按原来编写的教学参考资料编写而成，用作选修课教材。本书以农田水利工程专业本科四年级学生为主要对象，也可供水利类专业研究生和水利工程技术人员参考。

本书由刘肇祯（第一章）、沈佩君（第二章）、马文正（第三章）、郭元裕（第四章第一节、第五章）、白宪台（第四章第二、三节）编写，全书由刘肇祯、郭元裕主编。由于编者水平有限，编写时间又很仓促，定有不妥之处，恳请读者批评与指正。

编者

1987年8月于武汉

第二版前言

《灌排工程系统分析》一书出版于1988年11月，至今已有七个春秋。《1990~1995年高等学校水利水电类专业专科、本科、研究生教材选题和编审出版规划》中，列出该书进行修订再版，以进一步反映有关本课程领域内科学技术新成就和若干年来教学实践中积累的新经验。

与第一版相比，修订后的《灌排工程系统分析》一书，在结构上做了调整，内容上做了增删，篇幅上做了压缩，图表、举例和习题做了部分更换，有了相当幅度的修改。

本版修订了第一版中概论、线性规划及其应用、非线性规划及其应用、动态规划及其应用各章，增设了整数规划及其应用、模拟技术两章，改写了其他常用方法一章，简要叙述了系统分析方法及其应用的最新成果，供选择使用。

修订后的《灌排工程系统分析》仍根据高等学校农田水利工程专业教学计划与有关课程教学大纲的规定，用作必选课教材，以本专业本科四年级学生为主要对象，也可供水利类专业研究生和水利工程技术人員参考。

参加本书修订版编写工作的有刘肇祯（第一章）、沈佩君（第二章）、马文正（第四章）、白宪台（第五章）和袁宏源（第三章，第六章，第七章），全书由刘肇祯主编，冯尚友审阅。由于编者水平所限，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

1995年6月于武昌

目 录

第三版前言

第一版前言

第二版前言

第一章 系统分析概论	1
第一节 系统	1
第二节 系统工程	5
第三节 系统分析方法	7
第四节 系统分析方法在灌排工程中的应用	14
第二章 线性规划及其应用	18
第一节 线性规划问题及其数学模型	18
第二节 基本可行解与可行域	23
第三节 单纯形法	28
第四节 初始基可行解	36
第五节 线性规划的对偶	40
第六节 线性规划数学模型的建立	47
第七节 应用实例	52
习题	62
第三章 整数规划及其应用	65
第一节 整数规划的类型及数学模型	65
第二节 割平面法	66
第三节 分枝定界法	69
第四节 0—1 规划和隐枚举法	72
第五节 应用实例	76
习题	79
第四章 非线性规划及其应用	81
第一节 非线性规划的基本数学概念	81
第二节 无约束非线性规划	86
第三节 有约束非线性规划	97

第四节	非线性规划问题的线性化	111
第五节	应用实例	117
习题		125
第五章	动态规划及其应用	127
第一节	动态规划的基本思路	127
第二节	动态规划的基本概念	131
第三节	动态规划递推方程与最优化原理	134
第四节	动态规划求解方法与算例	137
第五节	多维动态规划的求解方法	145
第六节	应用实例	157
习题		170
第六章	模拟技术及其应用	174
第一节	模拟技术的基本原理与模型	174
第二节	灌排系统模拟技术	177
第三节	模拟技术中的优选方法	181
第四节	应用实例	184
习题		190
第七章	遗传算法及其应用	191
第一节	遗传算法的基本原理	191
第二节	基本遗传算法	195
第三节	遗传算法的数学基础	198
第四节	应用实例	199
习题		201
第八章	其他常用系统分析方法	202
第一节	随机规划	202
第二节	大系统优化	204
第三节	多目标决策	206
第四节	模糊决策	207
参考文献		211

第一章

系统分析概论

随着科学技术的迅猛发展,许多学科出现了交叉和相互渗透的形势,这种情况使原来关系不甚密切或互不相关的部门逐渐形成规模愈来愈大、关系愈来愈密切的系统,从而使人们的视野愈来愈广阔,并且愈来愈深刻地触及事物的本质,使用从整体的角度、相互联系相互制约的观点去观察、思考、分析和解决问题,这种情况反映到生产工作中和国民经济建设中,就成为从整体最优的概念出发,对各种有限的资源,通过科学的组织管理,使之发挥最大限度的作用。系统工程科学就是以这类问题为研究对象的新兴学科。

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年第一本《系统工程》专著问世,标志着这门科学的产生和命名。随后,在近40年的过程中,系统工程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。目前,从自然科学到社会科学,从经济科学到工程技术,从生态科学到管理科学,都不断出现应用系统工程方法的成功范例。这一情况又有力地推动了系统工程的进一步发展。

系统工程在水利工程中应用,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实际生产问题,在国内外日益受到重视,从而使系统工程方法的应用具有更为广阔的前景。

第一节 系 统

一、系统的定义

关于系统的定义,据不完全统计,目前有30多种提法。这些不同提法的出现虽然各有其不同的背景,以不同领域的特定内容为依据,各自反映其特殊领域的特征,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。我国著名科学

家钱学森院士为“系统”一词下的定义是“把极其复杂的研究对象称为系统，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”。这一定义也可用于灌排工程系统，覆盖了本书所涉及的有关系统的内容。

二、系统的类别

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。系统类别因其分类标准的不同，分类结果不尽相同，如开放系统与封闭系统、静态系统与动态系统、实体系统与概念系统、开环系统与闭环系统、人工系统与自然系统等。灌排排水系统就是一种自然与人工复合系统，下面侧重介绍自然系统、人工系统和两者组合起来的复合系统。

1. 自然系统

自然系统中有太阳系、银河系、宇宙系和生物系统，以及微观的原子核系统等。这些自然系统的共同特点是自然形成的，与人类的生活和生产有着密切的关系，它们时时刻刻在进行着活动。有的学者把社会系统也属于自然系统的范畴。

2. 人工系统

人工系统是人类基于生存的需要而人为地建立起来的系统。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。人工系统具有明确的目的性，它是人类为达到不同目的而建立起来的。在人类的工农业生产和生活中存在着许多人工系统，如生产系统、水利系统、电力系统、通信系统等。

人工系统大致可以归纳为三种类型：

(1) 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，形式多种多样，十分丰富。诸如水利系统、电力系统、教育系统、城市、医院、灌排工程、水库、电站、通信网络、自动控制装置等，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硬系统。

(2) 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。

(3) 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。近年来，随着电子计算机技术的飞速发展，又把信息处理装置作为构成要素，从而使硬系统和软系统在更高的水平上结合起来。

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，它们既具有自然系统的特征，又具备人工系统的特性。如交通管制系统、航空导航系统、广播系统等复合



系统。

实际上,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。因此,自然系统和人工系统处于非常密切的组合之中,本书所涉及的灌排系统就是其中之一。

三、系统的特性

系统所具有的一般特征可归纳如下。

1. 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。或者说,至少由两个或两个以上的可以相互区别的要素组成的,才能称之为系统。例如,一个最简单的水利系统——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别的要素组成的。实际工作中,系统常是巨大的对象,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。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。换言之,系统的集合性,是反映系统的构成要素的众多性和多样性,也反映系统结构的多层次性。

2. 系统的相关性

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,系统的各个组成部分是相互作用和相互依赖的,相关性是说明系统要素之间的这种关系。如果只有要素,尽管是多种多样的,但它们之间没有任何关系。就不能称之为系统。系统的相关性若能用数学式表达出来,就是后续章节内将要叙及的约束条件。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。

3. 系统的目的性

系统的目的性是指系统都具有特定的功能,也就是说:系统都有既定的目的。人工系统都有目的性,这是非常明显的,有时不止有一个目的。创建一个人工系统,必须有明确的目的性,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。系统的目的如果能用数学式表达出来就是目标函数,目标函数视系统的功能与结构不同而定,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,使系统的构成要素有机地协调动作,多层次递阶系统的优化问题就是一个范例。水利系统都有既定的目的,这是不需要多加说明的。

4. 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。系统虽然包含众多的组成部分,但它是作为一个统一的整体而存在的。各构成要素的各自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。换言之,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。所以,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。要服从系统整体的功能,在整体功能的基础上,展开各构成要素及其相互间的活动。这些活动的总和形成了系统整体的有机行动,这就是系统功能的整体性。灌排系统的整体性是十分突出的。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。

5. 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所致。在自然系统和人工系统相结合的复合系统以及大部分人工系统中,存在着自然界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天然因素的特性,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。灌排系统是具有不确定性系统的典型例证。灌溉系统包括水源工程,而水源的来流带有突出的不确定性;排水工程涉及降雨径流问题,而降雨也带有强烈的不确定性。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带有一定的随机性,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。

6. 系统的适应性

系统具有适应性是因为系统是存在于一定的空间之内和一定的时间上,即存在于一定的环境之中,而系统所处的环境会随着时间的推移而变化,并且系统本身也会随着时间的进展而需要改善和发展。换句话说,系统周围的环境会出现变化,这种变化又要求系统的功能有所改变,因而就出现了系统对这些变化的适应性。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。系统的这一特征,有人称为系统的成长性,以表明系统的发展性能,也有人称为系统的环境适应性。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。四川省都江堰灌溉工程是系统工程的典范,它能存在两千多年而持续产生效益,表明它具有极其优异的适应性。

系统的上述各种特性,归纳起来,不外乎涉及系统本身和系统所处的环境。通常是把环境对系统的作用和影响作为对系统的输入,系统根据输入进行工作,产生输出。把输入转换成输出,是系统的功能、系统的目的和系统的工作。因此,系统又可以被看做是把输入变成输出的转换机构。

认识系统的上述特性,对于应用系统工程的方法,有着重大的指导意义。

第二节 系统工程学

一、系统工程学的范畴

当人类的各种活动日益多样化,并日益达到高级程度时,人们在对其所进行的活动作出决策时,一方面要反映人类社会的复杂程度,另一方面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、协同与控制的机理,探讨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。

系统工程学不同于过去长期存在的各种工程学,它主要是采用了过去的工程学所没有采用过的新的方法论。构成新方法论基础的就是系统思维方法。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,而系统工程学的思维方法是利用各构成要素的巧妙联系和各子系统间的巧妙联系,保证整体的良好状态。首先断定整体的目标,然后再参照这种目标,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、不断完善的过程中,人们对它的认识也不尽一致,因而对它的定义也不完全相同,下面列举三种典型定义。

1975年《美国科学技术辞典》对系统工程学下的定义是:“研究许多密切联系的单元所组成的复杂系统的设计的科学。在设计时,应有明确的预定功能和目标,并使各组成单元之间及各单元与系统整体之间有机联系、配合协调,从而使系统整体能够达到最佳目标。同时还要考虑系统中人的因素与作用。”

美国切斯纳茨(Hchesnats)对系统工程学下的定义是:“把各种结构特殊的要素和从属功能构成的系统作为一个整体。目的在于对系统进行调整,使系统整体符合于目的,使系统内部各部分保持在最佳状态。”

2008年中国系统科学与系统工程学科发展战略调研认为系统工程学是以人工系统或者与人相关的系统为研究对象,组织与管理系统的规划、设计、制造、试验与使用的科学技术与方法。系统工程涉及的领域包括自然科学、社会科学与工程技术及其相互交叉与综合的领域,其主要任务是确定系统的开发目标、分析系统所处的环境,设计出使工程与自然环境、社会环境相互融合的总体方案,并控制最少的物质、人力的时间的均衡投入。系统工程的应用领域极其广泛,包括军事、工业、农业、交通运输、资源管理等,甚至包括教育、卫生、科研与行政管理等。

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) 系统工程学的研究对象是系统,是由许多要素构成整体,相互之间呈现有机联系,并具有既定功能和目标的系统。

(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,换言之,它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,这是系统工程学的核心问题。

系统工程学是一门工程学,但它同其他工程学科有性质上的不同。例如,水利工程、电力工程、机械工程等工程技术学科,都有特定的物质对象,而系统工程学的对象则不限于某一专门领域,也不限于物质系统,各种自然的、人类的、生态的、社会的系统现象以及组织管理方法都是它的对象,系统工程学是一门范围十分广泛的学科。

系统工程学与各种对象的实践相结合,就形成了各种系统工程领域,如水资源系统工程、农业系统工程、环境系统工程、军事系统工程、教育系统工程、科技系统工程、社会系统工程、经营系统工程等。这些不同种类的系统工程,其不同点在于各自的具体对象不同,共同点则是都运用系统工程学的理论和方法进行各自对象的研究。

系统工程学是系统论、控制论、信息论、运筹学、电子计算机技术等学科基础上发展起来的一门边缘学科,它的任务除系统的最优规划、最优设计和最佳运行及现代化的组织管理技术之外,还包括各种系统未来和状态的预测技术。

二、系统工程学的基本原理和方法

系统工程学的基础理论是20世纪后半叶逐渐形成的,以研究系统理论为对象的系统科学。因此,系统工程学的基本原理以系统科学原理为依据。系统科学原理涉及的内容比较广泛,除了与前述有关的整体性原理、相关性原理及分解综合性原理以外,还有动态性原理、创造思维原理和反馈原理等。动态性原理是研究系统元素间的联系随时间的变化;创造思维原理是研究如何运用已有的知识去识别新的事物和解决新的问题,以及运用新的原理和方法去研究已经熟悉的事物,从而创造新的理论;反馈原理则是研究将输入经过处理后的结果(输出)再送回输入环境,从而又对输入产生影响的过程。

系统工程学以上述基本原理为依据,形成了其独特的思考 and 解决问题的方法。采用系统工程学解决实际问题的过程大致可分为以下几个子过程。

1. 问题的设定

这是一个组织过程,即有关人员在以下几个问题中取得一致认识的过程:对局部认识到的问题,经过讨论,在大致相同的方向上和近似的水平上求得基本一致,而且对能否解决该问题的评价标准达成一致的意見;同时,还要对客观存在的环境或给予的条件以及变量之间的界限取得一致看法,换言之,问题的设定就是对系统的目的和为达到这一目的可以采用哪些途径的一个认识过程。

2. 系统分析

根据设定的问题,将系统中的实物现象或人的活动等之间的复杂因果关系,用具有一定结构的形式表达出来,其中包括系统的目标、评价标准、给予的条件和各有关变量等的复杂关系,这就是系统分析的过程。在这个过程中,为了描述系统的情况,必须巧妙地运



用可行的概念或语言，包括逻辑学和数学上严密的语言，以及其他自然科学、社会科学方面可行的概念或语言。特别重要的是，此时还要迅速而准确地跟踪环境变化或方案变更引起的效应。系统分析过程的核心是模型化和最优化，前者是构造反映系统情况的模型，后者是达到既定目的的最佳结果。

3. 系统设计

对系统分析得出的成果，为系统制定合理的实施方案，就是系统设计的内容。例如，针对系统的目的，决定如何分配有限的资源，决定资源的用途，而且把资源分配置于系统之中，作为有制约性的体系，从而规定了单元要素之间以及子系统之间的相互关系。换句话说，在硬件和软件两方面建立单元要素之间和子系统之间的制约性工作，就叫做系统设计。

4. 系统管理

通过系统设计，以系统内制约性体系为轴心，使它与环境间的相互作用结合在一起，使系统动作，并防止其动作结果脱离制约性体系规定进行的控制过程，就是系统管理。系统管理的前提是，为了实现上述的制约性体系，必须使系统具有跟踪标准或计划的能力，一旦发现脱离规定的标准或计划，便能立即将其差异反馈回去，使实施结果接近于标准或计划。

5. 系统更新

如果系统对计划或目标失去跟踪能力时，即环境发生了大变化，而计划或目标的实际情况都不能准确地得以判断时，都必须改变制约性体系。这时，就需要探索新的认识，寻求新的方法改变系统的内涵，这就是系统更新。

综上所述，系统工程学有其独特的基础理论和实践方法，对水利工程中的灌排系统都有指导意义。

第三节 系统分析方法

系统分析方法是系统工程的量化和定性分析方法，用来解决系统的规划、设计和管理问题，提供最优规划、最优设计、最优控制和最优组织管理。如前所述，其中心内容是建立模型和最优化问题。

系统分析方法自 20 世纪 20 年代问世以来，经过长期的实践，无论在理论上或在实际应用上都获得了巨大的发展。它是以生产活动、科学试验、组织管理为对象，对人力、物力、财力等各种资源进行统筹调度、统筹规划的决策方法，是寻求对问题的最合理解决，制定最有效的方案。

一、系统分析问题类型

系统分析的问题大体上可分为以下几种类型。

1. 资源分配型问题

资源分配是最常遇到的问题，也是系统分析中一种常见的问题，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、资源分部门利用等问题都相当于这种类型。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以及制定最优运行策略等，都是应用非常广泛的资源分配型问题。

2. 存储型问题

存储型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、资金和信息等都要有一定的储量，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，因而在水库规划和运行课题中常见到存储型问题。

3. 流通型问题

流通型问题是随着物资的流通和运输而产生的，这是人类生产和生活中大量遇到的问题。渠道输水、电网输电、交通运输、通信联络等都是流通型问题的特殊形式，也可归结为网络问题的一种形式。流通型问题（或称网络问题）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。网络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。流通型问题或网络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. 排队型问题

人们在日常生活中经常遇到排队问题，生产过程中也有排队问题。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就是一种排队问题。在这种系统中，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。合理安排电子计算机内部等待处理的程序和信、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。各种服务设施的窗口发生的问题是生活中出现的排队问题。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看做是排队问题。目前，这种处理方式尚处在探索阶段，运用于实际生产工作的尚少。

5. 竞争型问题

在生活和生产过程中常出现竞争问题，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，也称对策问题。一场对抗中的每一方，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. 排序型问题

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,也称组合型问题。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. 综合型问题

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。

二、传统的系统分析方法

1. 线性规划(LP)

线性规划是数学规划方法的一个分支,也是应用最为广泛的一种数学工具。它的数学理论和方法是用来求解约束条件为线性等式或不等式、目标函数为线性函数的最优化问题,即数学模型中各数学表达式均为线性函数。这种方法用于解决资源分配型问题、存储问题等。在水利水电工程中,用于制定河流开发规划最优方案,解决灌溉工程、除涝工程、排水工程以及水力发电工程的最优规划问题和编制最优运行方案等,都取得了良好的成果。

2. 非线性规划(NLP)

非线性规划也是数学规划的一个分支,其应用也很广泛。它的数学理论和方法是用来解决约束条件和目标函数中部分或全部存在非线性函数的有关问题。非线性规划方法有许多种,包括无约束条件的非线性规划、有约束条件的非线性规划、非线性规划问题的线性化方法等。非线性规划方法应用范围较广,在水利水电工程中也有应用。

3. 整数规划(IP)

整数规划的数学理论和方法是在线性规划的基础上发展起来的,它的基本特点是对研究的变量有特定的要求,即变量的取值必须是整数,甚至在某些情况下变量只有两个可能的数值,即0或1。全部变量为整数者,称整数规划;均为0或1变量者,称0—1规划;部分变量为整数,部分变量为任意非负实数者,称混合整数规划。其他特征与线性规划方法相同。这类方法在水利水电工程中用途也较广,因为许多变量所代表的对象,其性质决定它们必为整数,如施工机械、水力机械、运输工具等实物的数量只能是整数,不可能是其他数值。排序问题、组合问题多使用整数规划方法。

4. 动态规划(DP)

动态规划同属数学规划,这是一种多阶段决策理论和方法。它是把问题分成若干阶段,运用建立的递推关系逐阶段依次作出最优决策,并使全过程达到最优结果。鉴于它是对各个阶段确定最优决策,也称作多阶段决策过程,多阶段决策过程不仅用于把问题在时间上分成若干阶段,还可用于把问题在空间上分成若干阶段,即分成不同对象,区分不同位置等。动态规划是一种概念明确、计算思路简便的方法,因复杂程度的不同,这一方法还有常规动态规划、状态增量动态规划、离散微分动态规划等多种算法。动态规划的应用