

899594

水资源系统规划与分析

姚汝祥 翁文斌 张 超 曾道先 译 方乐润 校

[美] D.P.洛克斯 J.R.斯蒂迪格尔 D.A.海茨

Water Resource Systems

Planning and Analysis

水利电力出版社

51

7/3744

水资源系统规划与分析

[美] D.P.Loucks, 洛克斯
J.R.Stedinger, 斯蒂迪格尔
D.A.Haith 海茨

姚汝祥 翁文斌
张超 曾道先 译
方乐润 校

水利电力出版社

内 容 提 要

本书是美国80年代水资源学科方面的最新著作,它着重阐明如何运用系统分析的方法指导水资源工程的规划、设计和运用管理。全书共10章,约40万字,叙述简明扼要,深入浅出,内容丰富,包含了许多最新发展起来的水资源规划、设计和管理的理论和实例,是一本较好的水资源专业的参考书。

各章主要内容有:第一、二章为综述和分析方法,叙述水资源规划中遇到的经济分析问题,目标函数与约束方程式的建立,动态规划及水资源问题的模拟等;第三章为随机水资源规划;第四章为水资源规划的目标函数,内容有收益—成本目标,多目标模型;第五章为确定性河川流域模型,包括河川流量、库容、防洪发电、给水等综合规划问题;第六章为人工合成河川流量的生成;第七章为随机流域规划模型,内容为水库的调度、多坝址流域规划等;第八章为灌溉规划和应用;第九、十章分别为水质预测和模拟及水质管理模型。各章并附有计算机程序和练习。

本书可供水利水电、水文地质、环境保护、城市规划、农业经济规划和国土整治等规划、管理部门的工程技术人员参考使用,也可供高等院校有关专业的教师、研究生和本科生参考使用。

WATER RESOURCE SYSTEMS PLANNING AND ANALYSIS

D.P.Loucks J.R.Stedinger D.A.Haith

水资源系统规划与分析

[美]D.P.洛克斯 J.R.斯蒂迪格尔 D.A.海茨

姚汝祥 翁文斌 译
张 超 曾道先
方乐润 校

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

北京建华印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 25.75印张 582千字

1988年12月第一版 1988年12月北京第一次印刷

印数00001—4000册 定价:10.85元

ISBN 7-120-00520-X/TV·167

译 序

系统工程是近三十年迅猛发展的一门新学科。水资源系统工程是系统工程在水资源科技领域的广泛应用所形成的一个分支。目前,我国正逐步实现以经济建设为中心的四个现代化,能源和水资源的合理开发利用与管理是一项重要的任务,用系统工程的方法指导水资源工程的规划、设计和管理,将会取得良好的效果。

本书是应用系统工程的方法进行水资源系统规划、设计和管理的专著。全书内容丰富、深入浅出、系统性强。书中着重讨论了水资源系统的各类数学模型的建立,以及模型求解的方法,并附有许多应用实例。它不仅是从事水资源工程的科技人员一本较好的参考书,也是高等院校有关专业师生的一本较好的教材参考书。

参加本书各章翻译的同志有:姚汝祥译序言、第一、二、八、十章;翁文斌译第三、七章;张超译第四、五章;廖松译第六章;曾道先译第九章。全书由方乐润校订,廖松修改定稿。

本书在翻译过程中得到了卢谦、沈之良、惠士博、胡家博等同志的指导和帮助,谨此致谢。限于译者水平,译文中有不当之处,敬请读者批评指正。

译 者

1987年于清华园

序 言

面对时间和空间上分布得当,数量足够和质量合适的水的不断增长的需求,已迫使工程师和规划者们思考并提出空前广泛的、复杂的和豪迈的水资源系统规划。这项规划包括天然水量供给的调节,集水区间、流域间和国家间的调水,甚至现已提出的洲际调水的设想。水资源系统规划已在有价值开发的地方付诸实施,以力求在一定的时间和地点,保证供给适当质量和足够数量的水。

在众多的水资源系统和策略中,究竟应该执行哪一个?水资源系统分析者所提供的信息有助于回答这个问题。水资源系统分析者应用各种数学模型和数学方法,帮助工程师、规划者、经济工作者和其他有关人员,从大量可能提出的方案中进行选择。系统分析法则有助于鉴别这样的规划或规划和策略的组合,即它们能最大可能地达到那些规划,支付资金和使用水资源设施或受各种水资源设施和管理规划影响的人们的需要、目标和目的。

应用数学优化和模拟那样的系统方法,大有助于确定、评价和选择水资源的投资、设计和决策。在水资源规划中,系统分析法的使用和文献日益增多,而且水资源系统分析的课程也已成为工科院校中大学生和研究生教学计划中的公共课程。本书可作为大学生和研究生此类课程的入门课本,也适用于从事或负责水资源系统规划和管理实际工作者。

虽然我们试图把水资源系统规划和分析中的最新见解和各种方法编入每一章,但并不打算把本书写成为文献的评述,而是要向读者介绍水资源系统规划中各种有用的方法。我们试图以对教学和自学均有用的形式,来评价和比较水资源设计和规划方案的各种定量方法。我们一般选择的各种模型技术,都是在实际应用中已经取得成功的。本书的风格反映了我们的下述信念,即对于规划最有用的模型,通常是最简单的模型,这主要是由于它们容易理解、解释和应用。但这并不意味着高度先进而复杂的模型用途不大。相反,分析者应当认识到适用模型的复杂程度是增加精度而使模型精细和节省建模时间,降低计算要求及模型简化之间的权衡的结果。

可惜,在类似本书的一本书中要真正地教会水资源系统分析的实用技巧是困难的,我们已放弃了这样的尝试企图。在实践中,一项成功的研究,需要系统工程师和规划者们抓住对规划过程中所涉及的人,作出决策的人以及直接受决策影响的人们的极为重要的论点和问题。此外,系统工程师和规划者,还必须了解所研究的水资源系统的运行,包括系统特性和各种方案选择的过程。然后,熟练地应用本书所介绍的模型和技术,系统工程师就能够确定和阐明各规划方案的重要后果。据此,他就可以找出这样的规划方案,它能妥善处理在规划目前或将来所涉及或影响到的为数众多的私人组织之间可能存在的互相抵触的目标之间的关系。系统分析中所需的重要的技巧,可通过查阅本书所列参考文献中各种研究实例加以掌握。但在实践中,只有当勤奋、干练和思想解放的系统工程师热心献身于

705131.2

其事业、并有广阔的见解时，才有可能得到这种技巧。

本书仅仅要求微积分、矩阵代数和概率论的基础知识。第二、三和四章介绍了定量的方法，这是水资源系统分析的基础，即数学规划模拟，概率和统计，效益—费用分析以及多目标模型法。这些概念和方法在水资源设计和管理等问题的章节中讨论。

定量方法的应用构成本书的主要部分，我们将河川流域的模型做了一点人为的，但是很常见的区分，即分为水量模型和水质模型。这两个问题的模拟方法有显著的不同，至少从数学的观点，当有此可能时，分别论述水量和水质问题是有益的。

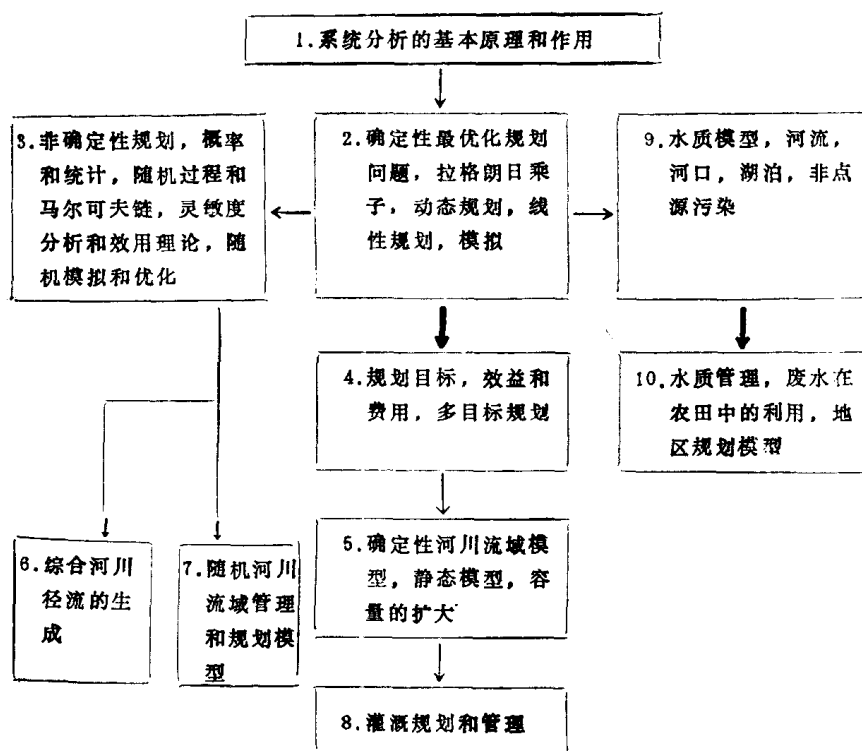
本书用四章的篇幅论述了地面水量管理问题及其模型。第五章把河川流域的各种现象，作为确定性问题来研究：一些未来量诸如径流量、需水量和价格，都视为已知的和确定的。虽然这是对实际的水问题的一种非常简化的考虑，但由此所得的模型在概念上是简单的，并适于在某些初步规划中应用。

在第六章和第七章中，介绍了随机的水量模型。第六章介绍各种综合河川径流的生成模型，用以帮助比较和评价计划中的或现有的水资源系统。第七章提出了许多随机最优化模型，这些模型对水库的规划设计及运行和解决河川流域的水量分配问题都是有用的。较之于第五章所述的模型，这些模型更能现实地模拟水资源系统中水文要素的变化性。随机模型构成了一个比较“近代”的课题，且需要对定性模型和概率有相当的理解。最后，第八章专门阐述灌溉规划和运行中的水量问题，这是水资源规划者的一个日益重要的活动领域。

在某种意义上，水质管理可视为河川流域规划所需达到的许多目的之一。然而，在世界许多地区，特别在发达地区，水质污染的控制在水资源规划中占有重要的优先地位。第九章和第十章介绍了多种的地表水质规划的模拟模型和优化模型。水质模型是基于质量守恒和与水质污染有关的生物化学和物理现象的描述。这两章的讨论说明如何将水质管理方案，例如污水处理、增大流量和污水的地上处置等的费用计入模型，以描述和预测各种生物化学和物理现象。它提供了比较和评价各种水质管理方案的经济效果以及环境影响的手段。

框图A说明了每章讨论的主题，图中箭头表示为某一章的材料建立在另一章材料的基础上。这些材料可按教员的需要和兴趣，用多种方式进行教学和组织。我们已经讲授了一门历时两学期的水资源系统规划课程，第一学期强调确定性模型和方法（第一、二、四、五和八章），第二学期讲授随机模型（第三、六和七章）和水质问题（第九、十章），对那些主要对水质管理感兴趣的人，第一、二、四、九和十章加上至少是第三章的第五节会组成一个良好的学习课程。对于教员，当他的学生们已经在数学规划和优化，或者在概率论，统计学和时间序列分析方面有过进一步的训练，第二、三章的大部分内容可以迅速简要地讲述。但是，我们一般发现，那怕仅仅是简短地讲述这些内容，对学生还是有益的。

在本书的编写过程中，许多人对作者给予了帮助，作者对H·V·Leeden和P·Apgar勤奋打字并协助校订本书的许多插图，谨致特别的谢忱。我们必须感谢荷兰，戴尔夫特，国际水力和环境工程学院院长Ir·L·J·Mostertman教授和美国麻省理工学院D·Harle-



框图A 每章的主题及其相互关系

man, D. Marks和F. Perkims等教授, 他们为作者提供了经费资助, 以及在他们 的单位讲授本讲义的机会。当然, 不可能在许多大学和研究所中, 对我们的教师、同事和学生们非常宝贵的帮助——致谢, 这些人通过他们的评论和工作对本书的出版作出了贡献。我们对S. Burges, R. Deininger, J. Dracup, D. Erlenkotter, L. Falkson, W. Hall, J. Heaney, P. McCarty, G. Orlob, S. Rinaldi, C. Scherer, C. Shoemaker, R. Soncini-Sessa和H. Stehfest等人对全书或部分早期手稿的仔细阅读和评议表示特别的感谢。

当然, 本书中在事实或观点上尚存的任何错误, 完全是本书另外两个作者的责任! 我们将欢迎来自任何人的意见, 这将帮助我们再版时改进。

Ithaca, New York

(纽约州, 爱萨卡)

D. P. Loucks

(洛克斯)

J. R. Stedinger

(斯蒂迪格尔)

D. A. Haith

(海茨)

目 录

译序

序言

第一篇 概 述

第一章 水资源系统的规划和分析	2
第一节 水资源规划导论.....	2
第二节 水资源系统分析者、工程师和决策者.....	3
第三节 系统分析应用的特点.....	4

第二篇 分 析 方 法

第二章 水管理规划方案的鉴别和评价	10
第一节 引言.....	10
第二节 效益和费用时间序列的评价.....	11
第三节 规划方案的组成.....	13
第四节 规划模型和求解方法.....	14
第五节 目标函数和约束方程.....	14
第六节 拉格朗日乘子.....	15
第七节 动态规划.....	19
第八节 线性规划.....	32
第九节 模拟和搜索方法.....	45
第十节 结语.....	49
附录二A 线性规划的计算机程序.....	50
第三章 非确定性水资源规划	69
第一节 引言.....	69
第二节 概率的概念和方法.....	71
第三节 随机事件的分布.....	78
第四节 随机过程和时间序列.....	85
第五节 非确定性规划.....	89
第六节 非确定性动态分析系统.....	102
第七节 结语.....	117
附录三A 分位数和矩的置信区间.....	118
附录三B 实用的统计检验.....	120

附录三C 时间序列的统计量的性质	125
第四章 水资源规划的目标	142
第一节 引言	142
第二节 经济效益—费用目标	143
第三节 多目标模型	150
第四节 结语	157

第三篇 地面水量管理

第五章 确定性流域模型	166
第一节 引言	166
第二节 河川径流量计算	166
第三节 供水水库的库容计算	169
第四节 防洪比较方案	173
第五节 水力发电	180
第六节 抽水与分水	181
第七节 模型的合成	182
第八节 水资源系统扩展的规划	189
第九节 结语	194
第六章 综合河川径流的生成	201
第一节 引言	201
第二节 统计的河川径流生成模型	202
第三节 简单的自回归模型	203
第四节 边际分布的模拟	205
第五节 自回归滑动平均 (ARMA) 模型	208
第六节 Hurst和分数布朗噪声	213
第七节 多站模型	216
第八节 多时段多站模型	219
第九节 模型的选择及参数的估计	223
第十节 根据降水资料生成河川径流	224
第十一节 结语	225
第七章 随机的流域规划模型	233
第一节 引言	233
第二节 水库运行	234
第三节 单一水库的设计和运行	242
第四节 多水库的流域规划模型	265
第五节 结语	272
附录七A 随机的线性规划运行模型	272

附录七B 混合整数规划的水库设计问题实例的输入和输出	275
第八章 灌溉规划和管理	288
第一节 引言	288
第二节 灌溉规划模型	288
第三节 灌溉管理模型	307
第四节 结语	309

第四篇 水质管理

第九章 水质预测与模拟	316
第一节 引言	316
第二节 水质模型的类型	316
第三节 计算方法	317
第四节 模型的建立、率定与检验	318
第五节 河流和河口系统的稳态模型	319
第六节 湖泊和水库的水质模型	345
第七节 受纳水体的水质模拟模型的可靠性	349
第八节 非点源污染模型	349
第九节 结语	357
附录九A 基本方程的推导	358
附录九B 稳态基本方程的解	361
第十章 水质管理模型	373
第一节 引言	373
第二节 水质控制的各种管理方案	373
第三节 管理目标 and 水质标准	374
第四节 水质控制比较方案	377
第五节 湖泊水质管理	393
第六节 结语	397

第一篇 概 述

本书系水资源系统规划和分析专著，涉及解决水管理问题的一些定量数学模型方法的建立与应用。在运筹学或系统分析的书籍或教程中，对定量模型方法均有典型论述。本书与系统方法论的教程不同，重点是应用这些方法解决水的管理问题。在下述导论中，对易于使用系统分析方法解决的各种类型水问题作了综合评述，并阐述了为什么这种定量方法在规划中可以发挥，而且已经发挥了有益的作用。

第一章 水资源系统的规划和分析

第一节 水资源规划导论

水是有时太多、有时太少、有时又太脏的物质。在整个世界，这些因素是推动水资源规划的条件。为了在特定的地点和时间满足理想的质量和数量的水的需要，工程师和经济学家、政治科学家、律师、规划者和水土保持工作者一起，在建筑物的设计、施工、拆迁和运行以及无建筑物措施而改善自然水供应的管理方面，都取得了相当丰富的经验。

在一次严重的灾害，诸如洪水、干旱、劣质水或由水带来的疾病蔓延之后，会促使人们为加强对某一种水资源的控制而进行规划。在上述促进水资源规划的危机发生后，市民评议委员会、规划局、顾问团体和公众舆论，都将有力地支持水资源规划的实现。

环境保护利益集团同公众对控制和管理水的工程建筑物的投资开发的支持一样，立即会提出有关这种投资明智与否的批评质询。该集团所关心的并不局限于风景区和天然河流的保护维持，通常包括由于空气、水质、噪音、土地利用和运输通道等变化所形成的广泛的区域影响。即使是为了改善水质，而且公认是切合实际需要的，为此而必须付款的人们中，肯定会有某些持反对意见。水资源规划中的矛盾是实际存在的，未必是人们的固执、自私和死板造成的结果。通情达理的和见广多识的人，因对工程的费用和效益评价的不同，对拟议中的工程明智与否，往往会得出相反的结论。

水资源规划必须考虑多用户、多用途和多目标，不同的人有不同的目标、观点和价值观。规划为了取得最大净经济收益，而对谁得益不管不顾是不足取的，因为涉及到谁支付费用谁受益的问题。均衡、风险、国民财富的再分配、环境质量和社会福利等问题和经济效益同等重要。制定一个单一目标去满足所有的利益、所有的对立面和所有的政治、社会的观点，显然是不可能的。

水资源规划中公众日益增多的参与已经改变工程师处理这项任务的方式。这种情况迫使那些墨守陈规的规划者和设计者必须开阔视野，对各种可供选择的规划方案进行考察研究。这也使抉择方案的更多责任从工程师和规划者转移到了政治家或国家官员的肩上。尽管工程师和规划者在决策过程中起着重要的作用，但当选的政治家应对妥善处理各种公众利益和关系的决策负有责任。

水资源工程师和规划者应制定许多可供选择的规划方案，提供国家行政官员考虑；应对每个方案可能产生的经济、环境、政治和社会等方面的影响作出评价。今天，我们研究河川流域、湖泊和河口等水资源系统，对其复杂性、敏感性及对外界力量的适应性已有较多了解，同时对其特性中的局限性的识认也有较大提高。我们意识到大型工程对自然生态系统和对我们社会和经济组织的影响通常是不可恢复的。大型水库的建设将有价值的土地资源和水资源应用于有限的范围，从而排除了其它方式利用这些资源的社会抉择。这种认识

虽然肤浅,但确实是一种挑战。为决定和评价对于管理这些系统的比较方案,以便作出可能的最好决策,在过去几十年已经加强了改善分析手段和方法的研究。

研究水资源系统方法论的人们意识到,使用这些方法并不一定能制定出水资源的开发和管理的最优规划。由于有各种竞争的变化目标及不同利益集团的优先权,“最优化计划”的概念究竟有多大的效用是不清楚的。然而,系统方法的功能是以相当详细的方式,确定和评价各矛盾集团之间,各种价值和管理目标之间的可能的、众多的妥协方案。特别是严格而客观的分析,有助于在可量化的目标之间作出可能的协调,以便在进一步讨论和分析中有更多的资料。系统分析方法就是辨别既重要又有意义的问题和关系,并加以分析和阐述。

用于水资源规划的系统方法虽不限于数学模型,但模型的确可以说明这种方法。数学模型以结构清楚和次序分明的方式,表示水资源系统中各种控制建筑物和用户之间的相互依赖和作用。模型可评价各种工程结构比较方案,不同的运行和分配策略,有关未来的流量、工艺、费用,以及社会和法律所需各种假定的经济和物理方面的后果。虽然这种系统方法不能决定最好的目标和假定,但一旦目标和假定已定,就能鉴别出好的决策。

人们在承认系统方法在水资源规划中的作用的同时,还应意识到任何实际问题用模型表示有其局限性。包括目标和其它假定的输入资料,可能是有争议的或不确切的。当然,这些输入会影响到输出。未来的事未必能确切知道,而且我们对于水资源系统的认识也总是有限的。此外,比较方案定量分析所得到的结果,往往是整个规划和决策过程输入的一小部分。纯粹定性的因素,包括从定量分析中引伸的主观推论,具有同等的重要性。

因此,我们不应当期望从定量系统分析中得到可接受的和可实施的精确结果。衡量系统研究成败的标准在于能否回答以下问题:这项研究是否对规划和决策有益?研究成果是否为方案选择的讨论提供较多的依据?是否提出了具有竞争性的方案,而这些方案不通过系统研究是不可能获得的?

水资源规划者面临的水资源系统规划问题的挑战似乎是无休止的。人们模拟特定的水资源问题取决于:①分析的目标;②评价设计所需的资料;③时间、资料、资金和分析用的计算设施;④模型研制者的知识和技能。模型研制是一种艺术,应对从客观世界抽出的组成成分,即对制定决策有重要作用的,且能用定量方法表示的组成成分作出判断,也对这些成份以及它们之间的相互关系在模型中的数学表达方式作出判断。

第二节 水资源系统分析者、工程师和决策者

为成功地从事水资源系统研究,系统分析者不但必须掌握必要的数学知识和系统方法的技能,而且必须对环境工程和水资源规划问题的经济、政治、文化、社会等方面有所了解。例如,研究大规模土地开发规划的影响,分析者应预测拟议中的规划如何影响径流、地表水和地下水的水量与水质,开发规划对洪水流量的影响,反之,洪水流量如何影响规划的编制。此外,还必须了解各种营养物质、生物降解污染物,化学物质和其它物质引起的或影响的生物、化学和物理过程,上述物质可能由于土地开发规划而被排泄入水体,并为水体所

输送。

具有适当经济理论知识和具备水力学、水文学和环境工程学等学科知识一样,都是重要的。在水资源的投资规划中,经济学始终有其重要作用。显然,多数水资源管理决策的结果,会直接涉及到人的和人与人之间的关系。因此,在水资源系统综合规划期间,尤其是在研究和评价各种规划模型的结果时,也应输入具有法律知识、地区规划和政治科学等知识的人员提供的资料。

早期从事水资源系统研究仅朴素地估计决策过程中模型和模型研制者的作用和影响。决策者能够预见制定决策的必要性,应告诉系统工程小组研究这个问题。系统工程小组就可建立模型,鉴别各种可行的方案及其效果,并推荐一个或几个方案。决策者通过耐心等待得到推荐之后,要作出肯定或否定的决策。根据目前的经验建议注意如下三点:

1. 很少存在水资源规划问题的最后答案;规划和设计是变动的,当各种设施增加、修改及其用途和要求改变时,规划和设计也就随之变化和发展。

2. 每项重大决策包含许多次要决策,由负责工程不同方面的各部门或管理机构作出。规划就逐步形成。

3. 研究水资源问题的时间,通常较建立适用的现代数学模型的时间少,即使是足够的时间,在研究完成时,初始时的研究目标将发生很大变化。

上述经验不仅是水资源系统研究可能遇到的限制和困难,而且更重要的是强调了在分析者、负责系统运行的工程师和决策者之间必须保持经常联系。过去许多水资源研究的成败,主要归结于系统规划者、负责系统运行设计的专业工程师及主要决策和制定政策的政府官员之间能否坚持合适而有意义的联系。归根结底,这些工程师和政府官员需要从不同模型和分析中得到的资料,而且这些资料必须以对他们有用和有意义的形式提供。研究初期,目标通常不太明确。当人们通过研究有了更多了解,就能更好地判断自己的需要。若使系统研究在规划中发挥最大作用,则在整个模型建立过程中,密切分析者、工程师和国家官员之间的联系是非常重要的。

此外,凡使用模型并将所得的资料提供决策者的人们,必须熟悉模型的建立、求解和分析。这样,他们才能理解任何一个特定模型所根据的各种假设,进而恰当评价成果的可靠性。任何一项水资源系统研究,如果仅由外部咨询人员从事,而负责管理部门的规划者与咨询人员之间又很少联系,就很难对规划过程产生重要的影响。有用的模型不是固定不变的,负责编制、评价和实施规划的机构应经常加以修订而后再应用。

第三节 系统分析应用的特点

成功的系统分析应用有许多共同的特点,根据这些特点,可以判断出用系统分析研究特定问题是否有价值。本节就对这些特点加以评述。假若规划者的目标很不明确,比较方案又很少,或者对有关问题缺乏系统了解,那么数学模型的建立和复杂的方法用处不大。系统分析成功应用的特点是:

1. 系统的中心或方向:注意力必须集中于全系统部件之间的相互作用及各部件本身。

2. 实行跨学科协作：在许多复杂的新问题中，开始不清楚哪个学科的观点最为合适。来自不同学科的参加者，必须逐渐熟悉其它学科的技术、词汇和概念，这是很重要的。可以说，凡是跨学科研究的人需要有在技术能力边缘上酿成错误的思想准备。

3. 正式数学模型的使用：多数系统分析者优先采用数学模型描述和评价系统，并为分析使用的假定和数据提供清楚的记录。

系统分析方法并非适用于所有水资源问题的研究。此法最适用于下列情况。

4. 系统的目标相当明确，而且有关组织与个人有必要的权威和权力去执行作出的决定。

5. 有许多能满足所选目标的可供选择的决策，而最佳决策则不明显。

本书阐述的定量规划方法，对有下列两个附加特点的水资源问题特别有用。

6. 所分析系统的比较方案和目标，可用较易处理的数学表达式描述。

7. 模型的各种参数可根据容易获得的资料加以估算。

当然，上述最后四种情况在现实中是很少遇到的。尽管如此，系统分析研究仍有助于对有关问题提供新的见解和了解，但不会取得上述情况那样的成功。

练 习

[1-1] 最适合应用定量系统分析方法的水资源系统规划或管理问题的特点是什么？

[1-2] 试鉴别一些特定的水资源系统规划问题，并为每个问题说明其可能的目标，待求的未知决策变量，以及题解所必须满足的约束或关系式。

[1-3] 查阅最近出版的有关水资源和工程、经济、规划和运筹学等方面的杂志，试问哪些杂志载有水资源系统规划和分析方面的文章，以及目前讨论中的课题或问题。

[1-4] 不少水资源系统规划问题包含许多虽有可能，却难以定量的因素，这些因素很难纳入确定和评价各种方案的数学模型之中。当不可定量的因素相当重要时，试简要讨论不完全的定量模型在规划过程中有何价值。你能指出一些这种捉摸不定目标的规划问题吗？

参 考 文 献

1. BISWAS, A. K. (ed.), *Systems Approach to Water Management*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1976.
2. BUGLIARELLO, G., and F. GUNTHER, *Computer Systems and Water Resources*, Elsevier, Amsterdam, 1974.
3. BURAS, N., *Scientific Allocation of Water Resources*, American Elsevier Publishing Co., Inc., New York, 1972.
4. BURKE, R., III, and J. P. HEANEY, *Collective Decision Making in Water Resources Planning*, Lexington Books, D. C. Heath & Company, Lexington, Mass., 1975.
5. CIRIANI, T. A., U. MAJONE, and J. R. WALLIS (eds.), *Mathematical Models for Surface Water Hydrology*, John Wiley & Sons Ltd., London, 1977.
6. DAVIS, R. K., *The Range of Choice in Water Management*, Johns Hopkins Press, Baltimore, Md., 1968.

7. DEININGER, R. A. (ed.), *Models for Environmental Pollution Control*, Ann Arbor Science Publishers, Inc., Ann Arbor, Mich., 1973.
8. DE NEUFVILLE, R., and D. H. MARKS, *Systems Planning and Design: Case Studies in Modelling, Optimization and Evaluation*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1974.
9. DORFMAN, R., H. D. JACOBY, and H. A. THOMAS, JR. (eds.), *Models for Managing Regional Water Quality*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1972.
10. FIERING, M. B., *Streamflow Synthesis*, Harvard University Press, Cambridge Mass., 1967.
11. FIERING, M. B. and B. JACKSON, *Synthetic Streamflows*, Water Resources Monograph 1, American Geophysical Union, Washington, D.C., 1971.
12. FLEMING, G., *Computer Simulation Techniques in Hydrology*, American Elsevier Publishing Co., Inc., New York, 1975.
13. HAIMES, Y. Y., *Hierarchical Analysis of Water Resources Systems*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1977.
14. HAIMES, Y. Y., W. A. HALL, and H. T. FREEDMAN, *Multiobjective Optimization in Water Resources Systems: The Surrogate Worth Trade-off Method*, Elsevier, Amsterdam, 1975.
15. HALL, W. A., and J. A. DRACUP, *Water Resources Systems Engineering*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1970.
16. HAMILTON, H. R., S. W. GOLDSTONE, J. W. MILLIMAN, A. L. PUGH, E. G. ROBERTS, and A. ZELLNER, *Systems Simulation for Regional Analysis: An Application to River Basin Planning*, The MIT Press, Cambridge, Mass., 1969.
17. HOWE, C. W., *Benefit-Cost Analysis for Water System Planning*, Water Resources Monograph 2, American Geophysical Union, Washington, D.C., 1971.
18. HUFSCHMIDT, M. M., and M. B. FIERING, *Simulation Techniques for Design of Water-Resources Systems*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1966.
19. JAMES, A. (ed.), *Mathematical Models in Water Pollution Control*, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, Great Britain, 1978.
20. KNEESE, A. V., and S. C. SMITH (eds.), *Water Research*, Johns Hopkins Press, Baltimore, Md., 1966.
21. KNEESE, A. V., and B. T. BOWER, *Managing Water Quality: Economics, Technology, and Institutions*, Johns Hopkins Press, Baltimore, Md., 1968.
22. KNETSCH, J. L., *Outdoor Recreation and Water Resources Planning*, Water Resources Monograph 3, American Geophysical Union, Washington, D.C., 1974.
23. MAASS, A., M. M. HUFSCHMIDT, R. DORFMAN, H. A. THOMAS, JR., S. A. MARGLIN, and G. M. FAIR, *Design of Water-Resource Systems*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1962.
24. MAJOR, D. C., *Multiobjective Water Resource Planning*, Water Resources Monograph 4, American Geophysical Union, Washington, D.C., 1977.
25. MAJOR, D. C., and R. L. LENTON, *Applied Water Resources Systems Planning*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1979.
26. META Systems, Inc., *Systems Analysis in Water Resources Planning*, Water Information Center, Inc., Port Washington, N.Y., 1975.
27. O'LAOGHAIRE, D. T., and D. M. HIMMELBLAU, *Optimal Expansion of a Water Resources System*, Academic Press, Inc., New York, 1974.
28. OVERTON, D. E. and M. E. MEADOWS, *Stormwater Modeling*, Academic Press, Inc., New York, 1976.

29. RINALDI, S., R. SONCINI-SESSA, H. STEHFEST, and H. TAMURA, *Modeling and Control of River Water Quality*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1979.
30. RUSSELL, C. S., D. G. AREY, and R. W. KATES, *Drought and Water Supply*, Johns Hopkins Press, Baltimore, Md., 1970.
31. THOMANN, R. V., *Systems Analysis and Water Quality Management*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1972.
32. THRALL, R. N., et al., *Economic Modeling for Water Policy Evaluation*, North-Holland Publishing Co., Inc., Amsterdam, 1976.