

水资源优化配置理论及 应用案例

SHUIZIYUAN YOUHUA PEIZHI LILUN JI
YINGYONG ANLI

石岩 樊华 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高等学校重点科研项目: 15A610008

河南省科技攻关项目: 162102210077

水资源优化配置理论及 应用案例

石岩 樊华 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

800018A2I :目即操神点用对学参高

77001SS01S0I :目即关内 容 提 要

本书紧扣水资源优化利用主题,以水资源的优化配置和解决区域性缺水为导向,采用理论建模与南水北调中线工程河南受水区工程实际应用相结合的方法,系统地阐述了水资源优化利用与管理决策系统的工作机理,形成了可用于南水北调工程河南段水资源优化利用与管理的决策系统。

本书可供从事水文水资源相关专业的科研管理人员和高等院校师生阅读参考。

水资源优化配置理论及应用案例

石岩 樊华 著

图书在版编目(CIP)数据

水资源优化配置理论及应用案例 / 石岩, 樊华著

— 北京 : 中国水利水电出版社, 2016.4

ISBN 978-7-5170-4338-6

I. ①水… II. ①石… ②樊… III. ①水资源—资源
配置—研究 IV. ①TV213.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第106483号

书 名	水资源优化配置理论及应用案例
作 者	石岩 樊华 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 (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	北京京华虎彩印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 13.25印张 314千字
版 次	2016年4月第1版 2016年4月第1次印刷
定 价	48.00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

Qian Yan

水资源不仅是人类生存所需基础性资源,也是社会生产发展必需的重要战略经济资源。随着工业生产力和人民生活水平的提高,水资源的需求也日益增长,供需矛盾逐渐加剧。全球气候变化以及人类不合理的开发利用对生态的破坏,所造成的区域性缺水已严重制约社会经济的发展,威胁人类生存。人类已经认识到水资源可持续利用的重要性,因此在保证社会经济和水资源协调发展的前提下,对水资源的合理开发和优化利用迫在眉睫。

水资源的优化利用和管理是实现水资源可持续利用与人类社会协调发展的重要措施之一,区域水资源与社会发展的协调程度都将影响到社会经济发展规划和水资源分配。区域性水资源承载能力的大小在很大程度上制约当地的发展水平和发展速度,水资源承载能力的可持续性保障区域社会经济健康可持续发展的先决条件,而水资源的承载能力又与优化利用之间存在着相互促进的关系。因此,研究区域水资源与社会经济的协调发展,探讨水资源优化利用管理,具有重要的理论意义和实践意义。

本书以水资源的可持续利用为指导思想,将理论的研究、模型的构建分析与南水北调河南受水区的工程实例相结合,对水资源系统动力学、城市生态环境需水量、复杂系统水资源合理配置理论、南水北调中线工程河南受水区水资源合理配置、南水北调水价等进行探讨,建立了实用的计算模型,并最终形成了可用于南水北调工程河南段水资源优化利用与管理的决策系统。

全书主要内容:绪论部分简要介绍水资源优化利用的研究背景、现状、存在的问题和应用前景,概述本书研究内容和技术路线;第1章介绍南水北调中线工程河南受水区的自然地理概况、社会经济状况、水资源以及供水工程设施的供水能力等,并对供水情况和存在的问题进行分析;第2章从水资源系统动力学、混沌理论、动力学系统混沌特征及测度3个方面对水资源系统动力学特征进行分析研究;第3章从系统特征指数计算和系统动力学特征等两个方面对南水北调中线工程河南受水区水资源系统动力学特征进行详细的分析;第4章结合南水北调中线工程河南受水区的工程实例对相空间重构神经网络预测模

型、加权一阶局域法一步预测模型、偏最小二乘回归神经网络预测模型的原理和构建方法进行分析；第5章分别通过理论和工程实例对城市生态环境需水量及评价指标体系进行分析研究；第6章和第7章分别就复杂系统水资源合理配置理论体系和多目标优化配置模型及求解进行研究分析；第8章和第9章分别从理论数据和郑州市水资源配置方案实例方面对南水北调中线工程河南受水区水资源配置的情况进行阐述；第10章主要从多个方面对南水北调水价进行分析，并提出政策建议；第11章介绍南水北调工程河南段水资源优化利用与管理决策系统的理论依据，以及系统软件的功能和使用说明。其中绪论、第1~6章、第8~10章由石岩编写，第7章、第11章由樊华编写。

限于编者的水平和经验，书中不妥和错误之处在所难免，欢迎读者批评指正。

作者

2016年2月

目录

前言

0 绪论	1
0.1 研究背景及意义	1
0.2 研究现状和发展趋势	3
0.3 存在问题	9
0.4 应用前景	9
0.5 本书主要研究内容及技术路线	10
1 南水北调中线工程河南受水区概况	12
1.1 自然地理概况	12
1.2 社会经济状况	12
1.3 水资源状况	13
1.4 现有供水工程设施及供水能力	15
1.5 现状供用水情况及存在问题	16
1.6 2010 水平年供水规划	17
2 水资源系统动力学特征分析方法研究	19
2.1 水资源系统动力学	19
2.2 混沌理论	20
2.3 动力学系统混沌特征及测度	22
3 南水北调中线工程河南受水区水资源系统动力学特征分析	25
3.1 系统特征指数计算	25
3.2 系统动力学特征分析	30
3.3 结论	33
4 复杂系统水文水资源要素预测模型	35
4.1 相空间重构神经网络预测模型	35
4.2 加权一阶局域法一步及多步预测模型	38
4.3 偏最小二乘回归神经网络预测模型	39
5 城市生态环境需水量及评价指标体系研究	42
5.1 城市生态环境需水量	42

5.2	生态环境评价指标体系	44
5.3	城市生态环境质量评价模型研究(以郑州市为例)	49
6	复杂系统水资源合理配置理论体系研究	56
6.1	水资源合理配置的内涵	56
6.2	水资源配置的原则及目标	57
6.3	水资源合理配置机理	58
7	复杂水资源系统多目标优化配置模型及求解	63
7.1	复杂系统水资源多目标优化配置模型的建立	63
7.2	模型求解方法——遗传算法	66
7.3	遗传算法求解水资源多目标优化配置模型	71
8	南水北调中线工程河南受水区水资源合理配置	76
8.1	水资源合理配置的基本条件	76
8.2	水资源优化配置模型	79
8.3	水资源配置模拟模型	83
8.4	优化与模拟的耦合	89
8.5	配置方案结果比较与推荐方案分析	90
8.6	本章小结	99
9	典型城市(郑州市)水资源配置方案研究	100
9.1	郑州市水资源利用状况	100
9.2	郑州市水资源情势分析	116
9.3	水资源配置方案分析	123
10	南水北调水价分析	131
10.1	水价构成	131
10.2	供水价格制定原则及影响因素	134
10.3	水价形成机制与分析方法	137
10.4	用水户水价承受能力分析	138
10.5	南水北调工程供水对用水户水费支出影响分析	150
10.6	政策建议	155
11	南水北调工程河南段水资源优化利用与管理决策系统	158
11.1	水资源优化配置原则与实现过程	158
11.2	编制思路与总体框架	160
11.3	系统设计与功能实现	162
11.4	系统使用与说明	163
	参考文献	203

0.1 研究背景及意义

我国是一个水资源短缺的国家,人均水资源不足世界人均值的 $1/4$,华北、西北地区缺水尤甚,不足全国平均数的 $1/3$ 。水资源缺乏且分配不均已对中华民族的生存和发展构成重大威胁,南水北调对解决水资源问题将起到重要的作用。1992年,江泽民总书记提出要抓紧南水北调等跨世纪特大工程兴建,南水北调工程的实施被提上国家的议事日程。南水北调中线工程的水源区具有水质好、覆盖面大、自流输水等优点。此项目为举世瞩目的特大型工程,预计工程投资 1170 亿元,其中一期工程总引水量为 92 亿 m^3 ,河南省一期工程预计分得净水资源 37.3 亿 m^3 ,占总水量的 40.5% 。受水范围涉及河南省 12 个地市,总面积 23600 km^2 ,占全省范围的 14.1% 。

此项工程建设规模和投资巨大,河南省的分水量也很大。此工程的建设与运用对改善河南省严重缺水状况,改善生态环境,保证河南省的国民经济持续发展,均具有十分重大影响。因此,通过引进先进的理论方法、计算机技术、GIS 等先进工具,结合工程实际,开展复杂系统水资源合理配置理论与方法的研究,对于搞好该项工程运行管理和水资源的合理利用,提高工程管理工作的科技含量和水资源的利用效率及利用效益,搞好配套工程的应用,提高供水保证率,具有非常重要的作用,并且将产生十分巨大的经济效益、社会效益和环境效益。

水资源可持续发展关系全球发展,淡水短缺已经成为 21 世纪人类继全球变暖之后的第二大问题。由于我国水资源存在时空分布不均衡、供需矛盾突出、开发利用率高但利用效率低以及浪费严重等特点,随着社会经济的快速发展,水资源的短缺已成为制约各行业发展的关键因素。我国一方面水资源短缺,另一方面却又存在水资源分配不合理、利用率低及资源浪费严重等不良现象。随着社会经济的高速发展,水资源短缺已成为制约各行业发展的关键因素,由于水资源的短缺,农业难以高产,工业难以布设,矿藏难以开发;由于缺水,通信、交通、文教、卫生事业的发展也受到限制等。有关研究表明,我国 30 个省、自治区、直辖市中,北京等 9 个行政区划的区域发展与水资源极不匹配,占全国所有行政区划的 30% ,内蒙古自治区的区域发展与水资源不匹配,占全国所有行政区划的 3.33% ,吉林等 5 个行政区划的区域发展与水资源基本匹配,占全国所有行政区划的 16.67% ,上海等 15 个行政区划的区域发展与水资源匹配,占全国所有行政区划的 50% 。由此可见,在我国实施水资源优化配置尤为重要,特别是在水资源短



缺的华北和西北地区。因此,如何合理分配有限的水资源,以及如何提高水资源的利用效率成为水资源管理中现实而紧迫的任务。本书将较为深入辩证地分析各种水资源优化配置理论,探索水资源优化配置理论的创新和完善。据测算,我国未来 30 余年供水量将增加 4000 亿~4500 亿 m^3 ,如果在水资源开发利用上没有新的突破,仅仅靠工程措施开发水资源,在管理上不能适应这种残酷现实,水资源很难满足国民经济发展的需要,水资源危机将成为所有资源问题中最为严重的问题,它将威胁中华民族的腾飞。因此,如何合理分配有限的水资源,以及如何提高水资源的利用效率,已成为水资源管理中现实而紧迫的任务。

水文水资源变化过程与生态环境变化相互作用、相互影响,区域水文水资源情势对生态平衡起到重要的调节作用。在干旱半干旱地区,水资源开发利用带来的问题特别突出,河枯湖干、水面降低、水污染严重、沙化扩张、地下水位大幅度下降、地面沉降、海水入侵、水质恶化、旱涝灾害增多。对生态环境需水量的研究不能仅局限于河道内生态需水量,应考虑对全区域的生态环境需水量进行客观的评价。

近年来,对水资源的研究循序渐进,从“三水”(降雨、地表水和地下水)转化的研究到考虑到土壤水,称为“四水转化”,更进一步联系到植物水分,称为“五水转化”。可见,随着人们对水资源研究的逐步深入,水资源的配置也逐步形成了多水源、多用户和多目标的复杂系统。

如何对水资源进行合理配置,为区域内工业、农业发展和人民生活、生态环境提供水资源,使其获得最大的社会、经济与生态环境效益是摆在我们面前迫切需要解决的问题。进行区域内水资源合理配置研究,缓解水资源供需矛盾,这对水资源短缺区域的经济发展与环境质量的提高都具有深远的意义。概括起来有以下几点:

(1) 促进水资源的合理有效利用。水资源优化配置的目的是,在不增加供水量,也不减少需水量的前提下,使总体效益最大化。这是因为水资源配置是以综合效益最大为目标,利用优化和模拟技术,通过产业结构调整,减少水资源单耗量大的用水部门的占有量,使水资源得到合理有效利用。正如汪恕诚部长在“水权和水市场”的讲话中所指出的,通过水资源优化配置提高水资源利用效率,实现水资源可持续利用,这是 21 世纪我国水利工作的首要任务。

(2) 促进人口、资源、环境、经济协调发展。发展永恒的主题,片面的经济增长并不一定意味着社会和谐发展。经济增长型的水资源配置方式,虽取得了经济的迅速发展却带来了环境污染和生态破坏,对人类的生存和发展构成了威胁。只有人口、资源、环境、经济相互协调发展才是最佳的发展模式,这种持续发展的协调型水资源配置方式,在保护生态环境的同时,促进经济增长和社会繁荣,保证可持续发展顺利进行。

(3) 促进工程水利向资源水利的转变。水资源合理配置虽然无法从数量上增加可供水量,但它是减缓水资源供需矛盾的最经济、最快速的方法,同时它还使科学技术渗透到水资源管理工作中,提高管理者的科学意识和管理水平,促进工程水利向资源水利转变。



0.2 研究现状和发展趋势

0.2.1 复杂水资源系统动力学特征及系统要素预测

“混沌”研究的鼻祖是法国的庞加奈 (H. Poincaré, 1854—1912), 他在研究能否从数学上证明太阳系的稳定性问题时发现, 即使只有 3 个星体的模型, 仍产生明显的随机结果。1902 年, 庞加奈在《科学验证》一书中提出了庞加奈猜想, 把动力学系统和拓扑学有机地结合起来, 提出了三星问题在一定范围内求解是随机的, 这实际上是一种保守系统中的混沌, 后又得到柯尔莫哥洛夫、洛伦兹、李天岩和约克等人的发展。到 20 世纪 80 年代, 人们重点研究从有序进入新的混沌以及混沌的性质和特点。法国数学家曼德布罗特 (Mandelbrot) 在 1950 年用计算机绘出了第一张 Mandelbrot 集的混沌图像。20 世纪 80 年代初, Takens、Reichard、Farmer 等根据 Whitney 拓扑嵌入定理提出了动力学轨道相空间的延迟法, Graciberger、Procaccia 首次选用这种相空间重构法, 从试验数据时间序列计算出试验系统的奇怪吸引子的统计特征, 如分维数、Lyapunov 指数和 Kolomogorov 熵等混沌特征量, 从而使混沌理论进入实际应用阶段。

自 20 世纪 90 年代以来, 混沌科学与其他科学相互渗透, 在数学、物理学、生命科学、地球科学、信息科学、经济学、天文学等领域均得到广泛的应用。林振山用混沌科学和相空间重构理论系统地研究了长期天气预报问题, 以及从动力学的角度出发, 以非线性动力学系统的两个最为重要的特征物理量——分维数和 Lyapunov 指数为指标来区划中国气候等; 郝海、杨一文、刘红超等在石油价格动力学系统、股市趋势、投资和资本市场等, 做出了许多开创性工作; Rodriguez-Iturbe 等分析了美国波士顿一次自记暴雨过程, 发现其具有一定的混沌特性, 进而讨论了混沌理论在水文学中应用的潜力, 他们在气候尺度上建立了一个非线性土壤水动力系统模型, 从理论上做了有益的混沌分析, 揭示出大尺度土壤水动力系统复杂的混沌演化规律; Wilcox 等分析了美国爱达华 Reynolds 山流域 (0.4 km^2) 的 24 年逐日融雪径流过程, 以寻求其混沌特性; Jayawardena 等对香港地区一些日降水和径流序列的混沌特征作了分析和预测; 王文均等人对长江径流时间序列的混沌特征进行了定量分析, 说明长江年径流具有混沌特性; 陈南祥等人用混沌相空间重构一维水文时间序列的可预报时间尺度进行了研究, 指出水文要素在一定时段内是可预报的; 丁晶、夏军、冯国章等在此方面做了一些开创性的工作。尽管国内外与水资源有关的主要学术刊物上尚不多见混沌理论应用于水资源的研究成果, 但上述研究成果已初步显示出水文系统存在混沌。

0.2.2 生态环境需水量预测及评价

20 世纪中期以来, 随着生态环境的日趋恶化, 西方发达国家提出了生态环境需水量概念, 多是建立河道内鱼类的生长、繁殖和产量与河流流量的关系而提出许多计算和评价生态环境需水量的方法。之后, 许多学者从不同视角对生态环境问题开展了广泛的研究。Covich (1993) 强调了在水资源管理中要保持恢复和维护生态系统健康发展所需的水量; Gleick 明确给出基本生态需水 (basic ecological water requirement) 的概念框架, 及提供一



定质量和数量的水给天然生境,以求最小化地改变天然生态系统的过程,并保护物种多样性和生态整合性;汤奇成(1995)以新疆地区为背景,论述了生态环境用水的必要性,并界定了生态环境用水量的计算范围,即生态环境用水:一是指对一些重要的湖泊进行补水,不主张对干旱区所有萎缩和干枯的湖泊一律进行补水;二是人工造林及人工草场的用水量,以土地沙漠化的面积不再扩大为原则;刘昌明和何系吾(1996)提出了“四大平衡”[水热(能)平衡、水盐平衡、水沙平衡、水量平衡和供需平衡]与生态需水之间的相关关系,探讨了“三生”(生活、生产和生态)用水之间的共享性;王西琴等(2001)从水污染问题出发,探讨了河道环境需水的内涵,指出河道最小水量是维持河流的最基本环境功能不受破坏,必须在河道内常年流动的最小水量,并以黄河支流渭河为例,概算了4个断面及其干流现状年及不同水文年的河道最小环境需水量;崔保山和杨志峰(2002)分析了典型湿地生态环境需水量的内涵和临界阈值,探讨了湿地生态环境需水量的计算方法和相关指标,对湿地生态需水量和环境需水量各种类型的主要特点、存在特征和关键指标进行了系统剖析;Liu和Yang(2002)根据湖泊的基本特征分析了湖泊生态环境需水量的内涵,辨识了湖泊生态需水量的不同计算方法和相应的指标体系,并通过实例进行了分析和估算。

生态环境需水量的定量化研究依旧是其未来研究的方向。目前多是针对河道或湖泊单一目标进行研究生态环境需水量,对大气水、地表水和地下水转化中所涉及的生态环境需水量的综合定量计算几乎是空白的。

0.2.3 水资源配置研究

0.2.3.1 以水量配置为主的水资源优化配置研究

国外对水资源优化配置的研究始于20世纪60年代初期。1960年科罗拉多的几所大学对计划需水量的估算及满足未来需水量的途径进行了研讨,体现了水资源优化配置的思想。20世纪70年代以来,随着数学规划和模拟技术的发展及其在水资源领域的应用,水资源优化配置的研究成果不断增多。Pearson等(1982)利用多个水库的控制曲线,以产值最大为目标,以输水能力和预测的需求值作为约束条件,用二次规划方法对英国Nawwa区域的用水量优化分配问题进行了研究;同年,英国学者P. W. Herbertson等,针对潮汐电站的特点,考虑多部门利益的相互矛盾,利用模拟模型对潮汐海湾的新鲜水量分配进行了模拟计算,展现了模拟技术的优越性;荷兰学者E. Romijn、M. Taminga考虑了水的多功能性和多种利益的关系,强调决策者和决策分析者之间的合作,建立了Gelderlandt Doenthe的水资源量分配问题的多层次模型,体现了水资源配置问题的多目标和层次结构的特点;Willis(1987)应用线性规划方法求解了1个地表水库与4个地下水含水单元构成的地表水、地下水运行管理问题,地下水运动用基本方程的有限差分式表达,目标为供水费用最小或当供水不足情况下缺水损失最小,同时,用SUMT法求解了1个水库与地下水含水层的联合管理问题。

国内,马斌等(2001)对多库多目标最优控制运用的模型与方法、灌区渠系优化配水、大型灌区水资源优化分配模型、多水源引水灌区水资源调配模型及应用进行了研究;吴泽宁等(1997)以跨流域水资源系统的供水量最大为目标,将模拟技术和数学规划方法



相结合,建立了具有自优化功能的流域水资源系统模拟规划模型,并以大通河和湟水流域为例对模型进行验证,提出了跨流域调水工程的规模;冯耀龙等系统地分析了面向可持续发展的区域水资源配置的内涵和原则,建立了相应的优化配置模型;方创琳等以柴达木盆地为例,采用以投入产出模型、AHP法等定性为主的决策方法和以系统动力学模型、生产函数模型等定量为主的决策方法生存水资源优化配置基准方案;赵建立等应用复杂适应系统理论,提出了水资源配置系统分析模型;薛小杰等从水资源可持续利用系统的目标参量入手,建立了水资源可持续利用的多目标分析评价核心模型;刘建林等建立了南水北调东线工程联合调水仿真模型,提出了调度模型的计算过程以及调算的水文系列和计算时段;王劲峰、刘昌明等探讨了区际调水时空优化配置理论模型,提出了水资源在时间、空间和部门的三维优化配置理论模型体系。

0.2.3.2 考虑水质因素的水资源优化配置研究

自20世纪90年代以来,由于水污染和水危机的加剧,传统的以供水量和经济效益最大为水资源优化配置目标的模式已不能满足需要,国外开始在水资源优化配置中注重水质约束、水资源环境效益以及水资源可持续利用研究。进入20世纪80年代后期,随着水资源研究中新技术的不断出现和水资源量与质统一管理理论研究的不断深入,水资源量与质统一管理方法的研究也有了较大发展。尤其是决策支持技术、模拟优化的模型技术和资源价值的定量方法等的应用,使得水资源量与质管理方法的研究产生了更大的活力。Afzal、Javaid等(1992)针对Pakistan的某个地区的灌溉系统建立了线性规划模型,对不同水质的水量使用问题进行优化。在劣质地下水和有限运河水可供使用的条件下,模型能得到一定时期内最优的作物耕种面积和地下水开采量等成果,在一定程度上体现了水质水量联合优化配置的思想。Watkins、David W Jr(1995)介绍了一种伴随风险和不确定性的可持续水资源规划模型框架,建立了有代表性的水资源联合调度模型。

我国对考虑水质因素的水资源优化配置研究才刚刚开始,过去只注重水质的变化对水域生态系统的影响,对水资源配置考虑较少。邵东国、郭宗楼(2000)以河北省洋河水库为例,建立了涵盖引水、供水、灌溉、防洪的综合利用的水库水量水质统一调度大系统多目标分解聚合模型。

0.2.4 水价格体系研究

0.2.4.1 国外水价研究进展

20世纪80年代以后,资源与环境问题更加严重,引起各国政府、多种组织研究机构、环境学家、经济学家的重视。许多学者开始考虑利用水价经济杠杆调节水资源供需矛盾,水价研究日趋活跃。

1. 水价作用

在国外,关于直接探讨水资源价值的研究文献并不多见,主要侧重研究水价在节约用水中的作用。Stanley(1982)研究认为,水资源定价的目的是为保护资源,促进用水效率,达到公平分配及为供水企业提供稳定的收入;Fakhraei(1984)研究随机供水情况下的价格稳定性和水量配给规律,给出两种形式的定额量,并推出可获取最大利润的长期价格,揭示出水价与利润之间的关系,分析水价对企业利润的影响;Wolman(1984)研究



认为不应将水价纳入商品价格的范畴,因为水资源是生命支持系统,不适宜用来做费用-效益分析; Mercer (1986) 分析研究水资源合理定价对供水企业利润的影响作用; Narayanan (1987) 等应用一个非整数规划模型研究计量成本下实行季节水价的问题,提出实施季节水价有利于合理分配水资源; Ellis (1987) 将环境作为输入量进行估价,在生产商品时应考虑环境输入量的价值,将环境作为最终产品直接予以估算,并将环境变化对产品收入的影响作为价值变化的尺度,强调环境与经济之间密切的相互依赖关系; Moncur (1988) 对水价在水资源管理中的作用进行深入的分析,结果表明,当水价有足够的弹性时,通过征收干旱附加税调节用水量,可避免限量供水所带来的一系列问题,干旱附加税可促进采取节水措施,如果同时加强宣传教育则效果更加明显; Raftelis (1988) 提出对于供水企业,建立一个有效的价格结构弥补服务成本,将有利于企业的良性运行。

2. 水价弹性与定价方法

Schneider (1991) 研究一定用户需求弹性,揭示水价弹性与节约用水之间的关系; Murdock (1991) 指出人口统计和社会经济变量,如住户年龄、种族、家庭成员的组成对用水量有很大影响,在研究水价定价时,要考虑这些因素对定价的影响,他从社会经济发展角度考虑水资源的需求量的变化,需求量的变化影响到水资源价格水平,拓宽水价研究所涉及的范围; Wichoins (1991) 研究灌溉用水划区收费,提出合理确定收费标准可提高用水效率; Michael (1992) 利用边际成本模型、平均成本模型等研究美国南部和西部地区水资源价格; Teerink (1993) 认为,定价模型一般基于服务成本、支付能力、机会成本、边际成本及市场需求; Panayotou (1994) 分析全成本定价方法及均衡产量; Elnaboulsi (2001) 研究为供水企业确定最优的非线性定价规则,提出一个标准的供水分配系统和一个独立的废水回收处理系统模型,将技术约束和财力约束都纳入考虑范围之内; Loslovich (2001) 等认为水价是水资源分配工具,提出一个用于城市用水者、农业用水者和其他用水者的水资源扩展模型,得出水资源的分配方案及水资源的影子价格。

3. 水权交易中的水价

随着水资源短缺现象日益严重,水资源的配置由水权的所有者在市场上进行交易。美国得克萨斯州格朗德河下游河谷的水市场与水权转让的实践为水资源价值研究开辟新的空间。水市场的建立,水资源的重新分配,主要目的是提高供水利用效率。Schoolmaster (1991) 研究认为,水市场建立的主要目的是提高供水利用效率,进行水资源重新分配,这是水资源管理的一种新模式,水市场机制有利于水资源高效配置,对其应予以肯定; Colby (1993) 分析水权交易的优点,提出合理定价是实现水权转让的基础; Renato (1996) 研究认为,可交易的水权可以改善对节水技术的投资;可以刺激用户充分考虑外部成本和机会成本,包括水的其他使用价值;可以减少资源退化的压力;有利于农作物的多样化,对农作物的价格和水的价格变动有一个灵活的适应性等。然而,由于较高的交易费用可能对交易的范围有所限制,同时由于水的流动性,水权转让后,确保水的使用权有一定的困难,加上水权交易对第三者有着显著的影响,因此需要确定合理的水价,规范和管理水市场等。除市场对水资源配置的作用以外,Geoffrey (1996) 指出,伦理道德、公平性和对水资源规划与水资源配置的优先权有着密切的联系,这些都对水资源配置的效率有着重要的影响; Nir Beckeret (1996) 用对策论的方法对中东几个国家在水资源优化配



置过程中水权的转让和条件进行研究；Bauer（1997）分析智利如何成为水市场管理成功范例，同时提出市场管理必须加强水权交易制度建设；Newlin（2002）对市场如何影响南加利福尼亚州水资源进行估算，对水资源分配政策的经济收益进行初步的评估，对水市场的特点进行归纳总结；Chatterton（2002）对澳大利亚水市场进行研究，提出建立水市场涉及政府政策、机构的管理问题、公共资源的本质、私有化的经济后果以及对社会收益和成本的评估，认为水市场可以达到持续利用水资源的目的。

0.2.4.2 国内水价研究

1. 研究现状

由于我国水费制度建立较晚，对于供水价格制订的理论及方法研究起步也较晚。研究一般是以马克思的劳动价值论和经济学理论为基础，借鉴国外的研究成果，结合我国特殊国情而进行的研究。

李金昌在财富论、效用论和地租论的基础上认为，水资源，包括未经人类劳动参与、尚未参与交易的天然水都是有价值的。胡昌暖等认为，在肯定资源价格是地租的资本化的同时，我国的资源价格与马克思所说的资本主义条件下的资源价格又有一定的区别。在我国，资源使用者向国家支付费用所依据的资源价格只能是资源使用权的购买价格，而不是资源所有权的购买价格。章铮用机会成本的概念分析了我国自然资源的价格，认为包含以下3方面含义：①机会成本意味着将相应的利润计入成本中；②机会成本定价意味着可能丧失了今后利用同一资源获取纯利益的机会，因此也要将放弃机会可能带来的最大收益计入成本中；③自然资源的开发利用可能使社会和其他人受到损失，因此还要将这些损失计入成本。程秀生在谈及合理的水价和科学的管理机制时，把二者作为供水部门改革的核心，具体到科学的管理机制而言，认为：①要建立价格决定的机制，要让公众意见得到充分的表达；②企业经营成本信息要得到充分的披露，要把经营情况摆到桌面上由社会中介机构审核其成本的真实性；③要有一套正常的价格决策机制，由谁提出、在什么范围内讨论交流应有健全的决策程序；④对所提供的产品和服务质量要有健全的管理系统和专家系统。袁志彬、王占生认为，我国水价改革的目标归结为以下4点：①使供水企业扭亏为盈；②增强节水动力；③增强水质处理与水源保护和开发的能力；④符合用户的承受能力。

2. 我国供水价格体系的历史发展

我国供水价格体系从无到有，主要经历了图0-1所示的几个主要阶段。

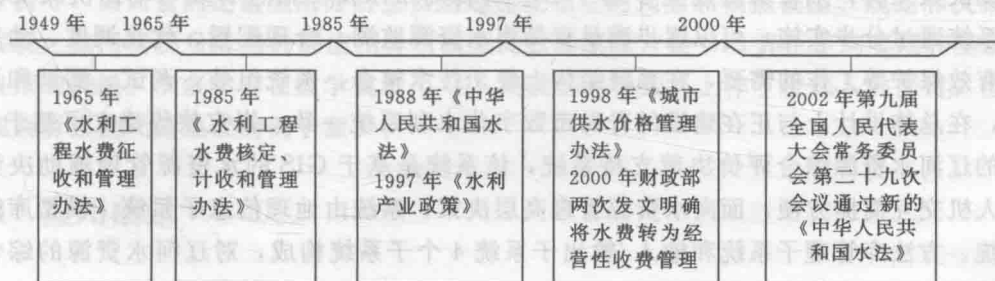


图0-1 我国供水价格发展历史



可见,从新中国成立初期我国第一个有关水价制度的重要文件——《水利工程水费征收使用和管理办法》的出台到后来《水利工程水费核定、计收和管理办法》的颁布,理论上确定了自来水属于商品的概念,供水作为一种有偿服务行为,水费定位为行政事业性收费。

《中华人民共和国水法》《水利产业政策》的颁布提供了依法制定供水价格制度的基础。《水利工程供水价格管理办法》使水价改革工作有了很大进展,水利工程供水价格纳入了国家商品价格管理体系,将“水费标准”改为“水价”,为正式出台水价办法奠定了基础。这是我国水价改革的一个重要转折点。

如今是供水价格制度彻底贯彻和调整的时期。有偿供水已被社会普遍接受,其商品属性得到各方面的认可,水价水平得到不同程度的提高,水费收取办法也逐步完善,水费收取率平均由1984年的30%提高到目前的50%~60%。水费已成为许多供水企业的重要经济来源,企业维护和管理经费不足的矛盾有所缓解。2002年第九届全国人民代表大会常务委员会第二十九次会议通过了新的《中华人民共和国水法》,标志着我国新一轮供水价格体系建立的开始。从我国供水价格体系的发展历程来看,经历了从无到有、从粗泛管理到科学制订的过程。当然,从进程来说,科学制订供水价格以及切实落实供水价格,促进供水企业的健康发展的事业才刚刚开始,而且这必将是一个长期而艰巨的过程。

0.2.5 GIS在水资源优化配置中的应用

从目前GIS在水资源配置和管理中的应用情况看,基本上停留在空间数据获取、存储、查询、分析、显示、制图、制表的水平上,缺少对复杂空间问题决策的有效支持能力,很难满足各级决策者的需要。空间决策支持系统(SDSS)作为处理、分析地理空间数据和可视化建模以辅助半结构或非结构空间问题决策的计算机系统,是决策支持系统(DSS)与地理信息系统(GIS)两种技术融合的产物。决策支持系统的融入将地理信息系统处理空间信息的能力从数据处理提高到模型模拟高度,同时为地理信息系统从空间信息处理到空间决策的发展提供了新的平台和工具。

GIS对决策支持系统最主要、最有利的贡献是空间数据库的识别、空间数据的分析和图像显示,GIS与决策支持系统的结合时间不长,但是发展较快、应用较广,出现了较多的水资源领域的决策支持系统。李门楼等建立了河北平原区域地下水资源决策支持系统,该系统的建立和运营,为区域地下水环境和资源的探查、监测、管理和规划提供了现代化的辅助决策工具;刘青勇等建立了基于GIS的青岛市水资源信息管理与辅助决策支持系统,系统通过分步实施,可以逐步满足青岛市水资源监测、合理配置、优化调度、动态管理和有效保护等工作的需要,在系统结构上便于技术整合,系统组装,调试、测试和运行管理,在总体设计上与正在建设的青岛市数字化水利系统一致;崔宝侠等建立了基于GIS平台的辽河水资源综合评价决策支持系统,该系统是基于GIS的水资源管理辅助决策工具,人机交互简捷方便,面向水资源管理高层决策,系统由地理信息子系统、模型库管理子系统、方法库管理子系统和输入/输出子系统4个子系统构成,对辽河水资源的综合评价起到了一定的决策支持作用。

但迄今为止,GIS应用于水资源配置和管理中的关键问题仍处于研究初级阶段。例



如,已开发的系统多为单一的信息管理系统,部分引入了GIS技术,总体开发起点较低,尚不能满足现代水资源管理的要求;系统开发的标准化程度低,推广应用受限制;将水资源专业模型嵌入系统和以COM组件进行系统无缝集成的研究较少。

0.3 存在问题

1. 水资源系统的动力学特征

从动力条件的角度来看,水资源系统中包括自然动力作用和人类活动作用,水资源系统按其存在形式又可分为大气水子系统、地表水子系统和地下水子系统。目前重点研究的是地表水的混沌特征,对一个流域来说,应该综合考虑大气水、地表水和地下水3个子系统的混沌特征,以及在自然动力作用下各子系统的混沌特征和人类活动作用下各子系统的混沌特征。

2. 生态环境需水量计算和评价

目前,对河道内生态环境需水量的研究较多,而对河道外生态环境需水量的评价方法研究较少,尤其欠缺对河道外生态环境需水量和地下水位埋深的关系研究。

3. 水资源合理配置

水资源合理配置的流域化发展,水资源的配置也逐步形成了多水源、多用户和多目标的复杂系统。目前对水资源合理配置的研究偏重于水量调度,对水质考虑较少。由于受生态环境需水量量化计算程度的制约,水资源合理配置中多对生态环境需水量进行概化,不能真正体现流域的生态需水情况。

4. 水价格体系

由于历史上遗留下来的水价格体系的不合理没有得到彻底的调整和克服,同时由于经济发展中产生的新的价格问题没有得到及时、合理的解决,水价格体系仍然存在一些不合理的情况:①水价格体系不完善、水价分摊补偿机制不健全;②水价内部比价及占工农业产值和成本的比例不合理;③水价水平过低且计算方法不完善;④水价的制订不适应市场经济要求;⑤水价行政事业性收费的定位制约了水价的合理化;⑥水价概念混乱、不真实;⑦水价过于单一。

5. GIS在水资源配置和管理中的应用

GIS中的空间分析仅提供一些常用的图层合成、空间拓扑叠加、简单的统计分析和邻域分析等,而大量的定量应用分析主要通过建立相应的预测和模拟模型、规划和决策模型来实现。如何实现GIS与外部应用分析模型高效的集成,是GIS真正走向实用和实现可视化决策的关键。众多学者在数学模型与GIS集成的途径选择上作了较深入的探讨,但真正实现两者紧密无缝集成的例子甚少。

0.4 应用前景

(1) 通过探索水资源系统的动力学特征,揭示水资源系统的动力学行为和演化规律,完善对水资源系统的定量描述和仿真,提高对水资源系统要素的预报精度。



(2) 以灌溉为目的地下水开采,通常因地下水位降低而使包气带厚度增加,这种影响在不同地区产生的后果是不同的。在开采前地下水位埋深浅、土壤盐渍化严重的地方,地下水的开采可起到排水作用,达到降低水位、控制土壤盐渍化和改良土壤的目的,最终对农田生态系统具有有益的影响。另外,大规模集中开采地下水,持续过量地超采地下水,会在灌区形成降落漏斗,破坏地下水的采补平衡,引起地下水逐年持续下降,进而对地表水文生态系统和地下水文生态系统产生不利影响,是导致环境退化的重要原因之一。

地下水的开采不仅影响开采区的水文生态系统,同时也因改变原有的水循环与水平衡关系及水质对区域水文生态系统产生影响。地下水埋深是大气水、地表水、土壤水、地下水之间转化消长过程的集中反映,也是维持植物生长和防止土壤沙化的重要因素。通过对地下水的生态环境需水量的研究,进而预测流域的生态需水量不仅符合流域的实际情况,也提高了生态环境需水量量化计算的可操作性。

(3) 水资源优化配置要在流域或特定的区域范围内,遵循公平、高效和可持续利用的原则,以水资源的可持续利用和经济社会可持续发展为目标,通过各种工程与非工程措施,考虑市场经济规律和资源配置准则,通过合理抑制需求、有效增加供水、积极保护生态环境等手段和措施,对多种可利用水资源在区域间和各用水部门间进行的合理调配,实现有限水资源的经济、社会和生态环境综合效益最大化,以及水质和水量的统一和协调。

以大气水、地表水和地下水为对象,对流域水资源系统进行水量和水质联合配置,有利于实现整个流域系统多水源、多目标、多用户水资源合理配置。

(4) 调水必然带来水权和产权关系的转化,带来受水区水源结构的变化。为了充分发挥调水工程的功能与效益,实现水资源优化配置,提高用水效率,就必须研究在国家宏观调控下实现水资源优化配置的经济手段,建立科学的政策体系。在社会主义市场经济体制下,价格是最重要的市场信号和资源配置手段。南水北调工程通水后多水源水价分析研究将为今后其他跨地区、跨流域调水工程的决策提供有价值的借鉴经验

(5) 通过将 GIS 与水资源优化配置等专业模型有机融合,实现水资源优化配置的可视化决策支持。

0.5 本书主要研究内容及技术路线

0.5.1 主要研究内容

(1) 将混沌理论、相空间重构理论、人工神经网络技术以及偏相关分析技术引入到水资源动力学特征及演化规律的分析研究,建立水资源动力学特征及演化规律的定量分析和描述方法。

(2) 将地下水资源系统和地表水系统有机融合,从“四水转化”出发,揭示河道外生态环境需水量与地下水埋深的关系,建立合理的计算方法。

(3) 以南水北调中线工程河南段受水区为例,建立多水源、多用户、多目标的水资源优化配置模型。

(4) 以社会主义市场经济理论为指导,从市场经济体制、水资源状况和南水北调工程实际出发,分析南水北调工程水价问题。突出体现水资源有偿使用的市场调节机制和完善