

# 国外流域水资源配置模型研究进展

柳长顺<sup>1</sup>, 陈 献<sup>1</sup>, 刘昌明<sup>2</sup>, 杨 红<sup>3</sup>

( 1. 水利部发展研究中心, 北京 100038 ; 2. 北京师范大学水科学研究所, 北京 100875 ;  
3. Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology, Switzerland Duebendorf CH-8600 )

**摘要** 对国外水资源配置模型研究进行了综述,总结了水资源配置模型研究发展的趋势,即单目标模型向多目标模型发展,模拟与优化模型相结合,以及不确定性和模糊优化模型的建立.建议开发多目标、多层次、多用户、群决策的流域水资源优化配置模型系统,为流域水资源合理配置与科学管理实践提供科学的决策依据.

**关键词** 流域;水资源配置模型;多目标;群决策

**中图分类号** :TV213.9 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980( 2005 )05-0522-03

流域水资源合理配置是在流域水资源可持续利用思想指导下,遵循自然规律与经济规律,通过工程和非工程措施,借助于先进决策理论和计算机技术,干预水资源的天然时空分配,统一调配流域地表水、地下水、废污水、外流域调水、微咸水和海水等水源,以合理的费用保质保量地适时满足不同用户用水需求,充分发挥流域水资源的社会功能和生态环境功能,促进流域及区域经济的持续稳定发展和生态系统的健康稳定<sup>[1,2]</sup>.流域水资源配置非常复杂,具有不确定性,经常要解决不同层次、不同目标、不同用户间的相互竞争,有时是相互冲突的问题,而水资源配置模型为决策者解决此类问题提供了必要的工具<sup>[3]</sup>.本文重点对国外水资源配置模型研究进行综述,总结水资源配置研究发展趋势,以期对我国水资源配置模型研究有所帮助.

## 1 研究概述

流域水资源配置模型的研究始于 20 世纪 50 年代中期,六七十年代得到了迅猛发展,线性规划、动态规划、多目标规划、群决策和大系统理论被广泛应用于水资源配置.优化模型是六七十年代研究的主流.

20 世纪 60 年代,由于系统工程理论与计算机技术的发展,系统分析方法应用到流域水资源系统规划中<sup>[4]</sup>.最早由工程、社会与自然科学等学科的专家们组成的美国哈佛大学“哈佛水资源规划组(Harvard Water Program)”,于 1955 年提出了将水资源与环境系统统一考虑的设想,探索经济目标、工程分析和政府决策间的关系,于 1962 年发表了《水资源系统分析》一书,将系统分析引入水资源规划<sup>[5]</sup>,开始了流域水资源配置模型研究,从此,水资源配置模型在欧美受到极大的重视<sup>[6]</sup>.20 世纪 70 年代以后,美国的麻省理工学院、加州大学等学校和工程兵团等工程单位用系统分析方法在水资源规划与设计方面做了大量的工作;同时,前苏联、加拿大、英国、法国等国家也先后开始用系统分析方法研究水资源问题.1972 年,Buras<sup>[7]</sup>出版的《水资源科学分配》一书是由福特基金从 20 世纪 60 年代中期开始资助的“数学分析在水资源工程中的应用”项目的成果,系统进行了线性规划和动态规划在水资源配置中应用的研究,并提出水资源系统模拟的一些思路.同年,Haimes 等<sup>[8]</sup>把多目标分析应用于水资源规划中,Grigg 等<sup>[9]</sup>对系统动力学应用于水资源系统进行了研究.1977 年,Haimes 等<sup>[10]</sup>将层次分析法(AHP)和大系统分解原理应用于水资源配置模型中,简化了流域水资源优化配置的方法,将流域大系统分解为若干相对独立的子系统,每个子系统应用优化技术分别求出优化解,然后通过全局变量把各子系统优化结果反馈给流域大系统优化模型,得到整个流域的优化解.1978 年,Singh 等<sup>[11]</sup>在前人研究的基础上,就流域系统分解、优化和控制理论进行了探讨.1982 年,美国召开“水资源多目标分析”会议,推动了水资源管理多目标决策技术的研究和应用<sup>[12]</sup>.Krzysztofowicz 等探讨了水资源多目标分析中的群决策问题<sup>[13]</sup>.

水资源配置通常是多目标的,有时目标会相互冲突,最优解往往不存在或难以达到,水资源管理中应用模拟和决策支持技术同样需要。20世纪80年代以后,随着计算机的普及、地理信息系统(GIS)的发展以及公众参与水资源管理意识的不断提高,开发多用户参与的交互式多目标水资源配置模型得到了重视。Salewicz等<sup>[14]</sup>开发了水资源协商-交互式流域模拟模型IRIS。不同的用户可以输入自己的数据进行协商,帮助冲突各方快速解决冲突争议。Camara等<sup>[15]</sup>介绍了水资源管理的综合决策辅助模拟模型,该模型通过逻辑关系和矢量计算,把数字、语言、图片等自然语言用于水资源管理决策,增加了决策的可视化程度。Simonovi<sup>[16]</sup>就可持续水资源管理决策支持系统的概念进行了界定,并通过实例对决策支持系统在水资源管理中的应用进行了探讨。Hamalainen等<sup>[17]</sup>讨论了多准则水资源管理和多用户协商决策支持系统的框架,并将其应用于芬兰的Kymijoki流域。Kipkorir等<sup>[18]</sup>为肯尼亚的Perkerra灌区开发了灌溉辅助实时决策系统,优化结果说明,通过决策系统可以优化种植结构。

20世纪90年代中期以后,流域水资源配置模型出现了新的趋势。一方面,基因算法和灰色模拟等计算技术不断引入模型中;另一方面表现为水资源管理模型与地理信息系统、水文模型和经济模型的耦合。Minsker等<sup>[19]</sup>应用遗传算法(Genetic Algorithms)建立了不确定性条件下的水资源配置多目标分析模型。Rosegrant等<sup>[20]</sup>为评价改善水资源配置和利用的效益,将经济模型与水文模型进行耦合,并把模型应用于智利的Maipo流域。Xu等<sup>[21]</sup>将分布式水文模型与地理信息系统有机结合,解决了传统方法不能解决的大量水资源配置方案的检验问题,同时,能形象展示决策者由于条件变化对流域水资源管理的改变,为开发流域水资源管理空间决策支持系统(SDSS)奠定了基础。

地理信息系统可以表示流域水资源系统的空间关系和属性特征,解决复杂的水资源配置和管理问题。1992年,Walsh<sup>[22]</sup>对地理信息系统扩展到水资源领域进行了综合的讨论与分析,随后许多专家学者对如何连接地理信息系统与水资源配置模型进行了有益的尝试。McKinny等<sup>[23]</sup>利用面向对象技术把水资源管理模型与地理信息系统有机地结合,模拟流域水资源分配。

## 2 发展趋势

a. 单一水利工程模型向流域系统模型发展,单一目标模型向多目标模型发展。目前流域水资源配置模型以单一水利工程如水库、灌区等工程的用水、配水管理模型为主,对流域尺度研究较少,实现流域水资源的持续利用,以支持流域经济社会的可持续发展,需要把社会、生态等难以量化的目标引入流域水资源配置模型的目标函数中,建立多目标配置模型。

b. 开发模拟与优化耦合模型。虽然流域水资源配置问题非常复杂,往往不存在最优解,仅仅通过优化技术难以得到满意的结果,而且结果难以执行并指导生产,但可以计算不同方案对应的不同解,模拟与优化模型相耦合,可以较快得出易于各方接受和实施的满意解。

c. 建立多层次、多用户的面向对象的交互式决策支持系统。流域水资源配置属于一类半结构化的决策问题,具有多层次的、多目标、多水源、多用户、多功能的特点,用单一模型是不可能描述的。流域水资源配置面临许多具体的问题,要实现水资源的可持续利用,需要用水户参与决策管理和配置。

d. 不确定性和模糊优化模型是未来流域水资源配置模型的发展方向。水资源配置常遇到许多不确定性或模糊性问题,需要不确定性模型或模糊模型予以解决。近年来,不确定性问题与模糊问题的优化方法发展较快,为流域水资源配置模型的开发提供了有力的工具。

e. “3S”技术与分布式水文模型(包括地下水模型)有机结合是流域水资源配置模型研究的重要领域。“3S”技术的发展及其在流域水资源管理中的广泛应用,为流域水资源配置模型提供了强有力的工具与丰富详实的数据。分布式水文模型不断完善,为流域水资源管理科学决策奠定了基础。目前,这方面的研究较少。

### 参考文献:

- [1] 柳长顺. 流域水资源合理配置与管理研究[D]. 北京: 北京师范大学, 2004.
- [2] 李令跃, 甘泓. 试论水资源合理配置和承载力概念与可持续发展的关系[J]. 水科学进展, 2000, 9(3): 307—313.
- [3] GUPTA R A. River basin management: a case study of Narmada Valley development with special reference to the Sardar Project in Gujarat, India[J]. Water Resources Development, 2001, 17(1): 55—78.
- [4] 华士乾. 水资源系统分析指南[M]. 北京: 水利电力出版社, 1988. 1—21.

- [ 5 ] MAASS A , HUFSCHEIDT M M , DORFMAN R , et al. Design of water resource management[ M ]. Cambridge : Harvard University Press ,1962. 1—8.
- [ 6 ] 李慈君. 水资源与环境系统管理模型研究现状[ J ]. 水文地质工程地质 ,1990 ( 3 ): 23—27.
- [ 7 ] BURAS N. Scientific allocation of water resources : water resources development and utilization—a rational approach[ M ]. New York : American Elsevier Publishing Company , Inc , 1972. 1—5.
- [ 8 ] HAIMES Y Y , HALL W A , FREDMANN H T. Multiobjective optimization in water resources systems : the surrogate worth trade off method[ M ]. New York : Elsevier , 1972. 3—8.
- [ 9 ] GRIGG N S , BRIGSON M C. Interactive simulation for water system dynamics[ J ]. J of The Urban Planning and Development Division , 1975 , 126( 3 ): 116—124.
- [ 10 ] HAIMES Y Y. Hierarchical analysis of water resources systems : modeling and optimization of large-scale systems[ M ]. New York : McGraw Hill , 1977. 1—10.
- [ 11 ] SINGH M G , TITLI A. System : decomposition , optimization and control[ M ]. New York : Peramon Press , 1978. 162—232.
- [ 12 ] HAIMES Y Y , ALLEE D J. Multiobjective analysis in water resources[ M ]. New York : American Society of Civil Engineers , 1982. 1—3.
- [ 13 ] PETER W F L , WILLIAM W G , YE H M , et al. Multiobjective water resources management planning[ J ]. J Water Resources Planning and Management , 1984 , 110( 1 ): 39—56.
- [ 14 ] SALEWICKS K A , LOUCKS D P. Interactive simulation for planning , managing , and negotiating[ M ]. Oxfordshire : Proceeding of the IAHS Symposium , IAHS Pub , 1989. 180—183.
- [ 15 ] CAMARA A S , FERREIRA F C , LOUCKS D P , et al. Multidimensional simulation applied to water resources management[ J ]. Water Resources Research , 1990 , 26( 9 ): 1877—1886.
- [ 16 ] SIMONOVIV S P. Decision support systems for sustainable management of water resources : 1. General principles[ J ]. Water International , 1996 , 21( 4a ): 223—232.
- [ 17 ] HAMALAINEN R , KETTUNEN E , EHTAMO H. Evaluating a framework for multi-stakeholder decision support in water resources management[ J ]. Group Decision and Negotiation , 2001 , 10( 4 ): 331—353.
- [ 18 ] KIPKORIR E C , RAES D , LABANIE J. Optimal allocation of short-term irrigation supply[ J ]. Irrigation and Drainage System , 2001 , 15 : 247—267.
- [ 19 ] MINSKER , B S , PADERA B , SMALLEY J B. Efficient methods for including uncertainty and multiple objectives in water resources management models using Genetic Algorithms , 13[ M ]. Alberta : International Conference on Computational Methods in Water Resources , Calgary , 2000. 25—29.
- [ 20 ] ROSEGRANT M W , RINGLER C , MCKINNY D C , et al. Integrated economic-hydrologic water modeling at the Basin Scale : The Maipo River Basin[ J ]. Agricultural Economics , 2000 , 24( 1 ): 33—46.
- [ 21 ] XU Z X , ITO K , SCHULTZ G A , et al. Integrated hydrologic modeling and GIS in water resources management[ J ]. J Computing in Civil Engineering , 2001 , 15( 3 ): 217—223.
- [ 22 ] WALSH M R. Toward spatial decision support systems in water resources[ J ]. Water Resources Planning , 1992 , 10( 2 ): 158—169.
- [ 23 ] MCKINNY D C , CAI X M. Linking GIS and water resources management models : an object-oriented method[ J ]. Environmental Modeling & Software , 2002 , 17 : 413—425.

## Review of foreign river basin water resources allocation models

LIU Chang-shun<sup>1</sup> , CHEN Xian<sup>1</sup> , LIU Chang-ming<sup>2</sup> , YANG Hong<sup>3</sup>

( 1. Development Research Centre of Ministry of Water Resources , Beijing 100038 , China ;

2. Institute of Water Sciences , Beijing Normal University , Beijing 100875 , China ;

3. Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology , Dübendorf , CH-8600 , Switzerland )

**Abstract** : The development trend of water resources allocation models was integrated , i. e. the development of multi-objective models to replace single objective models , the combination of simulation models with optimization models , and the establishment of uncertain and fuzzy optimization models. It is suggested that river basin water resources optimal allocation models of multi-objective , multi-user , and multi-layer with group decisions should be developed to serve decision makers for rational allocation and scientific management of river basin water resources.

**Key words** : river basin ; water resources allocation model ; multi-objective ; group decision