

水资源合理配置研究进展

赵 勇 裴源生 王建华

(中国水利水电科学研究院水资源研究所 北京 100044)

摘要 对国际水资源配置的发展阶段进行分析和总结,认为水资源配置经历了从初步探索、系统分析与模拟、追求生态环境与社会经济协调发展到注重社会公平与市场调节这 4 个阶段,并从水资源配置理论、配置方法、配置机制以及配置效果的后效评价 4 个方面对我国水资源配置研究进行评价和分析,提出水资源配置的发展趋势应以天然与人工复合驱动作用下的水循环过程为基础,以广义水资源为配置对象,协调经济社会与生态环境用水的关系,配置手段应注意管理手段和工程措施并重。

关键词 水资源 配置理论 配置方法 配置机制 配置评价

中图分类号 :TV212.1 文献标识码 :A 文章编号 :1006-7647(2009)03-0078-07

The progress of water resources rational allocation//ZHAO Yong , PEI Yuan-sheng , WANG Jian-hua(China Institute of Water Resources and Hydropower Research , Beijing 100044 , China)

Abstract : The development of water resources rational allocation worldwide is analyzed and summarized. Water resources allocation experiences four stages : initial exploration , systematical analysis and simulation , harmonious development of the ecological environment and the social economy , and social impartiality and market adjustment . Water resources allocation in China is evaluated and analyzed through the following four aspects : allocation theory , allocation methods , allocation mechanisms , and allocation effect evaluation . It is suggested that the development of water allocation be based on the natural and artificial composite water cycle process , focus on general water resources , harmonize the relationship between economic and ecological environment water consumption , and pay equal attention to management and engineering measures .

Key words : water resources ; allocation theory ; allocation methods ; allocation mechanism ; allocation evaluation

促进水资源高效利用、保护生态与环境稳定是在有限的资源背景下水资源开发利用的主要目标。水资源合理配置是实现水资源公平、持续利用的有效调控措施之一,已成为当今世界关注的热点。国内外水资源合理配置研究的发展,是与水资源的持续利用和人类社会协调发展密不可分的,随着科学技术和配置实践的不断发展与深化,人们对水资源合理配置的认识和理解也体现为一个不断深化的过程。

1 国外研究进展

1.1 初步探索阶段

国际上以水资源系统分析为手段、水资源合理配置为目的的各类研究工作,源于 20 世纪 40 年代 Mass 提出的水库优化调度问题。由于水资源系统的复杂性,以及存在政治、社会、决策人偏好等各种

非技术性因素,简单使用某些优化技术并不能取得预期的效果,而模拟模型技术可更加详细地描述水资源系统内部的复杂关系,并通过有效的分析计算获得满意的结果,从而为水资源宏观规划及实际运行调度提供充分的科学依据。最早的水资源模拟模型是 1953 年美国陆军工程师兵团为了研究解决美国密苏里河流域 6 座水库的运行调度问题而设计的,其后,在尼罗河流域为解决水库的规模及其运行调度问题也构造了专门的模拟模型。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,体现了水资源合理配置的思想。Mass^[1]于 1962 年提出了模拟技术在评价流域开发经济指标中的应用实例。

1.2 系统分析与模拟阶段

20 世纪 70 年代以来,伴随计算机技术、系统分析理论和模拟技术的发展及它们在水资源领域中的

应用,水资源系统模型技术和合理配置研究得以长足进步,各种水资源管理系统模型应运而生。Marks^[2]于1971年提出水资源系统线性决策规则后,采用数学模型描述水资源系统问题更为普遍。1974年,Cohor^[3]对水资源多目标问题进行了研究。1975年,Haimes等^[4]应用多层次管理技术对地表水库、地下含水层的联合调度进行研究,使模拟模型技术向前迈进了一步。美国麻省理工学院于1979年完成的阿根廷 Rio Colorado 流域的水资源开发规划,是当时最成功和最有影响的例子。1982年,加拿大内陆水中心利用线性规划网络流算法解决了渥太华流域及五大湖系统的水资源规划和调度问题。Pearson^[5]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。荷兰学者 Romijn 等^[6]考虑了水的多种功能和多种利益的关系,强调决策者和决策分析者间的合作,建立了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等^[7]应用线性规划方法求解了由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,地下水运动基本方程用有限差分式表达,目标为供水费用最小或供水不足情况下缺水损失最小。美国学者 Dudley 等^[8]将作物生长模型和具有二维状态变量的随机动态规划相结合,对灌区的季节性灌溉用水量分配进行研究。

1.3 注重生态环境与社会经济协调发展阶段

20世纪80年代后期以来,随着水资源研究中水资源量与质统一管理理论研究的不断深入,水资源配置研究从单纯的水量配置发展到水量水质统一配置,从追求流域经济效益最优发展到追求流域整体效益最优,更加重视生态环境与社会经济的协调发展。Afzal等^[9]针对 Pakistan 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。Watkins等^[10]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,此模型是一个二阶段扩展模型,第一阶段可得到投资决策变量,第二阶段可得到运行决策变量,运用大系统的分解聚合算法求解最终的非线性混合整数规划模型。Fleming等^[11]建立了地下水水质水量管理模型,以经济效益最大为目标,考虑了水质运移的滞后作用,并采用水力梯度作为约束来控制污染扩散。Lal^[12]建立了地表水、地下水联合运用系统的多目

标管理模型,模型中将地表水和地下水的处理费用纳入管理目标。Percia等^[13]以经济效益最大为目标,建立了以色列南部 Eilat 地区的污水、地表水、地下水等多种水源的管理模型,模型中考虑了不同用水部门对水质的不同要求。Tewei等^[14]建立了流域整体的水量水质网络模型。

1.4 注重社会公平与市场调节阶段

20世纪90年代以来,欧美等发达国家水资源管理和合理配置的研究更加集中于社会公平与市场调节方面,主要体现在:①政府调控与市场机制相结合;②公众积极参与水资源配置;③政府通过水法律法规保证生态环境用水;④民主协商分配水资源。1990年由联合国出版的《亚太水资源利用与管理手册》回顾了亚洲及太平洋地区水资源保护、水环境、水生态系统现状,提出了水资源利用的战略目标和实施方法,其中就包括区域水资源调配方法。1992年在都柏林召开的水与环境国际会议提出了水资源规划和实施中的参与性原则,承认水的经济价值,认为应将水视为商品。同年,联合国在里约热内卢召开的环境和发展首脑会议提出了水资源综合管理、水资源评价、水质和水生态系统保护、饮用水供给和卫生、水与可持续的城市发展、可持续的粮食生产与农村发展用水以及气候变化对水资源的影响等7个行动计划。1998年,在巴黎召开的国际水与可持续发展会议对淡水资源管理的战略方法进行了评价,提出了国际上进一步协调水资源的需要。2000年在荷兰举行的第2届全球水论坛指出,全球21世纪的总目标是安全供水,实现水的可持续发展。而实现水资源的可持续发展,管理是关键因素之一。1998年美国 Whipple^[15]提出,水资源开发、配置和管理进入了一个以“沟通与协调”为特征的新时期。1999年 Allar^[16]研究认为,致力于提高水资源利用效率又不失公平地使有限的水资源发挥最大的效益,已成为科学家建议层次和实际政策操作层次的折衷点,符合水资源利用的经济学原理。2001年 Ioslovich等^[17]认为应用市场机制实现各种水资源的有效分配得到了广泛的应用研究,价格机制是当前研究和应用的重点。但目前水价改革由于多种原因进展缓慢,价格政策中的“市场失灵”和“政府失效”不但依然存在,而且流域管理还存在着严重的“体制失效”。Jerson等^[18]针对经济用水超过水资源承载能力的干旱地区,讨论了水分配机制,提出了基于不同用水户的机会成本的分配模型。

2 国内研究进展

我国水资源科学配置方面的研究起步较迟,但

发展很快,是在借鉴欧美发达国家的发展经验并立足我国水资源配置实践需求的基础上不断创新、发展和充实的,目前已经处于国际比较领先的水平,研究主要集中于4个方面:理论、方法、机制和后效评价。

2.1 水资源配置理论

我国水资源配置经历了一个由简单到复杂、由点到面逐步深入的过程。早期水资源配置多集中于满足经济社会用水需求,决策目标主要是经济效益的最大化,决策机制较为单一。随着经济、社会、生态和环境问题的凸显,以及可持续发展和和谐社会理念的形成和普及,现代水资源配置理论逐渐形成和发展,在配置目标上,从单纯追求经济效益最优发展到追求经济、社会和生态整体效益最优,配置对象上,由单一地表水、地下水资源量配置发展为广义水资源的配置;在决策机制上,由单一的经济决策机制发展为综合考虑水平衡、经济效率、生态环境和社会公平等的综合决策机制;配置过程从单纯的水量配置发展到水量水质统一配置,从长期的配置规划发展到规划和近期生产相结合。这一发展过程可划分为以下5个阶段。

第一阶段为以单一水工程配置为主的初步探索阶段。我国20世纪60年代就开始了以水库优化调度为先导的水资源分配研究,这一时期的水资源配置研究对象主要集中于单一的防洪、灌溉、发电等水利工程,研究目标是实现工程经济效益的最大化^[19-23]。20世纪80年代初,由华士乾教授为首的研究小组对北京地区的水资源利用系统工程方法进行研究,考虑了水量的区域分配、水资源利用效率、水利工程建设次序以及水资源开发利用对国民经济发展的作用,这成为水资源系统中水量合理分配的雏形^[24]。1995年由水利部中国水利水电科学研究院叶永毅等^[25]主编的《水资源大系统优化规划与优化调度经验汇编》系统地介绍了我国20世纪八九十年代初在水资源规划和调度方面的新理论、新技术和新方法,这些成果使水利工程单元的水量优化配置模型和方法不断丰富和完善,促进了以有限水资源实现最大效益的思想在水利工程管理中的应用。

第二阶段为基于宏观经济的区域水资源优化配置阶段^[26]。国家“八五”攻关专题“华北地区宏观经济水资源规划理论与方法”研究中,提出基于宏观经济的区域水资源优化配置理论,以及在区域水资源优化配置理论指导下的多层次、多目标群决策方法,结合区域经济发展水平并同时考虑供需动态平衡的基于宏观经济的水资源优化配置理论,不是单纯着眼于水资源系统本身,而且动态地对区域宏观经济

系统和水资源系统进行描述,揭示出这2个系统存在的相互依存、相互制约的关系,为区域水资源的规划与管理增加了新的内涵,深刻地影响了我国水资源配置研究。

第三阶段为基于二元水循环模式的水资源合理配置阶段^[27]。国家“九五”攻关专题“西北地区水资源合理配置和承载能力研究”针对内陆干旱绿洲生态的特点,进一步将水资源系统与社会经济系统、生态系统三者联系起来统一考虑水资源的合理配置问题,提出了基于二元水循环模式的水资源合理配置理论与方法。基于二元水循环模式的水资源合理配置同时考虑了人工侧支水循环和天然水循环,且考虑了人工侧支水循环和天然水循环的相互作用。在决策服务对象上,同时考虑社会经济和生态环境系统;在决策目标上,追求经济效益与生态效益之和最大。在合理配置问题涉及的生态系统方面,不仅包括城市、工业、农业和畜牧业等,还包括了人工生态系统,而且涉及了天然生态系统。

第四阶段为面向全属性功能的水资源合理配置阶段^[28-30]。“十五”国家科技攻关重大项目“黑河流域水资源调配管理信息系统”提出了面向全属性功能的水资源合理配置,并将合理配置的规划结果服务于实际生产中,建立了以宏观配置方案为总控的水资源实时调度体系。该研究在水资源调配基础理论研究中最突出的成果体现在2个方面:一是提出了面向全属性功能的水资源合理配置的概念、准则和实践;二是首次提出并实践了以“模拟-配置-评价-调度”为基本环节的流域水资源调配4层总控结构,并且实现了水资源宏观配置方案和实时调度方案的耦合与嵌套,为流域水资源调配研究提供了较为完整的框架体系。

第五阶段为广义水资源合理配置阶段^[31-32],该阶段反映了我国水资源合理配置的最新研究成果。以往的水资源合理配置工作主要关注于传统地表、地下水资源的配置,没有考虑到土壤水资源的调控,配置水源不全面;在配置对象上,重点分析人工系统水资源需求,未将天然生态系统纳入水资源合理配置水量平衡中;配置对象不全面,在供用耗排水量的分析中,缺乏理论依据;在地下水资源的调控中,没有将人工取用地下水与地下水位联系起来,没有对潜水和承压水进行区分;在配置过程中割裂了水资源配置与水循环之间的相互效应,不能反映水资源配置过程中水资源、水循环和生态演变过程,进而无法准确预测区域生态系统的稳定状况。中华人民共和国科学技术部西部开发重大项目“宁夏经济生态系统水资源合理配置”研究中提出广义水资源合理

配置,在配置目标上,满足经济社会用水和生态环境用水的需要;维系区域社会-经济-生态系统的可持续发展;在配置基础上,以天然-人工复合水循环的转化模拟为基础;在配置对象上,除考虑传统的生产、生活和人工生态水外,还增加了天然生态配水项;在配置范围上,不仅对可控的地表水和地下水进行配置,还对半可控的土壤水和地下水进行配置;在配置内容上,实现水量水质统一配置;在配置过程中,考虑天然-人工复合驱动作用下的水资源和水循环演变,及其对水资源配置的影响;配置指标上,提出了全口径的配置指标。

2.2 水资源配置方法

为了满足不同地区、不同水资源配置类型的要求,我国水资源配置实践和方法研究都进行了大量的探索。开发和改进了水资源配置优化模型和模拟模型,有效地解决了区域性水资源综合规划问题,迅速带动了我国水资源合理配置研究的工作。研究方法从模拟技术和常规优化技术(线性规划、非线性规划、整数规划、动态规划等)发展到优化技术与模拟技术相结合,以及随机规划、模糊优化、神经网络、遗传算法、复杂系统理论、供应链理论等新技术的应用。方创琳^[33]运用灰色计算模型对2000年河西走廊绿洲生态系统做了现状动态模拟和前景预测分析,提出以适度投入与产出为主要内容的可持续发展方案是保证河西走廊经济持续发展和生态环境良性循环的最佳对策方案。王浩等^[34]首次提出水资源“三次平衡”的配置思想,系统地阐述了基于流域水资源可持续利用的系统配置方法。王劲峰等^[35]针对我国水资源供需平衡在空间上的巨大差异造成区际调水需求的情况,提出了水资源在时间、部门和空间上的三维优化分配理论模型体系,并提出一种解析解法。尹明万等^[36]首次建立了基于河道内与河道外生态环境需水量的水资源配置动态模拟模型,能够将多种水资源进行时空调控,实现动态配置和优化调度模拟有机结合的模型系统。赵建世等^[37]应用复杂适应系统理论的基本原理和方法,构架出全新的水资源配置系统分析模型,并对南水北调工程对受水区水资源配置的影响进行了研究。贺北方等^[38]提出一种基于遗传算法的区域水资源优化配置模型,探讨了多目标遗传算法在区域水资源二级递阶优化模型中的应用。龙爱华等^[39]运用水资源利用的边际效益空间动态优化方法,研究了黑河中游张掖地区调水后启动分水的时序和数量,阐述了净边际效益的求解过程和处理方法,并对边际效益分析方法的应用进行预测分析。裴源生等^[40]基于水权的基本理论和使用权的分配原则,构建了

水量分配的一整套指标体系,将层次分析和模糊决策理论相结合进行水权分配。左其亭等^[41]提出了面向可持续发展的水资源管理量化模型,并对博斯腾湖进行了可持续水资源管理应用研究。王慧敏等^[42]将供应链理论与方法引入南水北调东线工程水资源配置与调度中,分析了南水北调东线工程水资源配置与调度供应链的概念模型和运作模式。裴源生等^[43]通过预测污染物排放量和入河量,模拟河道最小需求流量,并将其引入水资源合理配置模型中,进行水量水质统一调度。李如忠等^[44]设计了一个反映区域水资源-社会经济系统状况的多层次评价指标体系,探讨了基于指标体系的区域水资源合理配置。

2.3 水资源配置机制

目前水资源配置所依赖的内在机制大致包括4类,即边际成本价格分配机制、以行政管理为手段的公共(行政)分配机制、水市场分配机制和用水户参与分配机制。不同水资源分配机制各有其优势和局限,纯粹的市场或公共分配机制都难以满足合理配置要求;公共分配机制体现公平性原则,但往往导致低效、不合理的水资源配置;水市场分配机制对个体和社会都具有经济上的有效性,但有时需要政府参与创造必要的市场运作条件;用水户参与分配机制具有对满足当地用水需求所采取的分水模式的潜在适应性,但需要较高的用水户组织管理费用^[45]。

自20世纪80年代起,我国以政府部门为主要角色开展了以流域分水为主、以水量分配为核心的水资源配置的实践^[46]。目前,我国水资源配置模式仍主要以公共(行政)配置为主,部分地区出现了市场配置和用水户参与式配置。2001年浙江东阳、义乌市首开水权交易之先河,标志着我国水资源配置制度改革迈开了实质性的步伐。2003年按照治水新思路,应用水权、水市场理论,黄河水利委员会、内蒙古自治区和宁夏回族自治区水行政主管部门开展了水权转换试点工作。

随着水权制度探讨的深化和水权界定的明晰,国内学者进行了大量探索工作。胡鞍钢等^[47]就跨区域水资源分配问题,从政治经济学的视角提出“准市场”分配水资源的思路,在平等参与的基础上建立规范的政治民主协商制度。甘弘等^[48]提出以边际成本价格进行水分配来优化配置水资源,认为水价与边际成本相等的水量分配是经济上有效和社会最优的水资源分配方式。王先甲等^[49]对目前水资源分配中的集中分配机制和市场分配机制的各自特点进行分析,通过对2种分配机制数学模型解的关系推导,认为市场在分配稀缺水资源方面的作用和效

率可以保证在平衡价格体系下实现集中分配机制的最大整体效益,同时又能避免集中分配机制不能向用水户传递水资源稀缺信息等弊端。徐方军^[50]提出用水户参与或协调配置的方法,农民参与灌溉系统的管理就是这种方式的一个最典型例子。张范^[51]进一步提出建立水市场来发挥市场机制在水资源配置中的作用,而水权的定价受到需水、供水、水资源总量 3 个因素的影响。徐华飞^[52]提出运用俱乐部机制来优化配置水资源,他认为俱乐部机制与市场机制有所不同:市场机制发挥作用的前提是以明晰的私有产权为基础,以价格为信号,优化配置水资源的私有产权;而俱乐部机制发挥作用的前提是以政府的法律法规的约束条件为前提,以政府为导向,运用市场机制的一些手段来达到优化配置水资源这一目标。清华大学 21 世纪发展研究院和中国科学院-清华大学国情研究中心^[53]组成联合课题组,以黄河为背景,从自然科学和社会科学 2 方面,探讨如何引入水权和水市场优化水资源配置,以及转型期水管理体制变革问题,对转型期水资源配置问题进行了前瞻性的研究。周玉玺等^[54]提出建立市场与非市场制度配置的双层水资源配置制度,一个层次是以政府为配置主体的水资源配置制度;另一个层次是以用水户为主体的水市场资源配置机制。王亚华^[55]认为完善流域水资源分配制度应从 9 类机制着手,即初始分配机制、再分配机制、临时调整机制、监控机制、激励机制、惩罚机制、信息机制、利益整合机制、保障机制。曹永强等^[46]在分析水权、水价和水市场几个核心要素的基础上,建立了水资源价值模型和水资源优化配置模型,并给出相应的计算方法,从经济学角度对水资源的市场配置进行了探讨。胡继连等^[56]认为在竞争性水权制度下,水权的分配主要有 6 种模式,即人口分配模式、面积分配模式、产值分配模式、混合分配模式、现状分配模式和市场分配模式。对于水权分配过程中出现的利益冲突和缺陷,可以采用政府调控、民主协商和水权转让的机制进行协调和弥补。汪恕诚^[57]总结了宁夏回族自治区、内蒙古自治区从实际出发进行水权转换的实践,指出在黄河流域水权转换是水资源优化配置的重要手段,是解决经济发展用水和水资源短缺问题的一把钥匙。

2.4 水资源配置后效评价

水资源配置是一个典型的半结构化、多层次、多目标的群决策问题,使得水资源配置实施的效果评价和评估也成为是一个多层次、多目标的群决策过程。目前对于流域水资源调配的评价大多从经济、效率、公平等方面展开,关于流域水资源调配的定量评价

指标体系尚未真正建立。流域水资源调配方案的合理性评价指标体系的具体结构取决于合理性判别准则的选取与确定。中国水利水电科学研究院从流域水资源调配的目标入手,提出了流域水资源调配合理性的系统判别准则,包括社会合理性、经济合理性、生态环境合理性、工程效率合理性 4 条准则,整体构成了流域水资源调配效应评价体系,并且针对每条准则提供可操作性的评价指标和定量计算方法。常规综合评价方法有加权算术平均法和加权几何平均法。近年来随着应用数学的发展,新的综合方法也被应用于实际评价工作中,比如聚类分析、判别分析、模式识别、人工神经网络、主成分分析、因子分析、距离综合评价方法、模糊综合评价方法、灰色关联度评价法、层次分析方法、数据包络分析、多维标度法、多目标博弈决策^[58]等,还有一些是通过上述这些方法耦合后得到的方法。

3 发展趋势

国内外水资源配置研究实践经验表明,要适应水资源开发、利用与管理的发展变化,关键是要更新观念,突破原有思维模式,以更加广阔的眼界来考察水资源配置问题。

3.1 配置理论

随着生产实践问题的不断出现,水资源配置理论研究将不断深入,研究内容从不考虑水资源演变向考虑天然水循环和人工侧支水循环的相互作用过渡;从只配置径流水资源向同时考虑广义水资源过渡^[59];从单纯的经济用水配置向同时配置经济用水和生态用水过渡;从单纯依靠工程手段向依靠管理手段和工程手段并重过渡,具体表现出以下发展趋势:

a. 以广义水资源为配置对象。水资源高效利用是缓解水资源短缺的有效手段,从资源有效性出发拓宽水资源配置对象,将人工系统和生态系统利用的水分纳入水资源配置体系中,并在配置行为中考虑如何将无效降水转化为有效降水,对水资源合理配置、雨水资源化、资源节水和制定缺水标准研究具有重要的理论和实际意义。

b. 以天然-人工复合系统为配置内容。水资源是维持区域经济社会发展和生态环境稳定的纽带,以往水资源配置研究注重于人工系统的水资源配置过程,而忽略了人工系统水资源配置对天然系统水资源消耗时空分布的影响。以天然-人工复合系统为配置内容,同时考虑天然系统和人工系统的供用耗排关系,并保持两者的协调统一,是水资源合理配置的又一趋势。

c. 以流域/区域水循环模拟为基础。水资源合理配置的本质是按照自然规律和经济规律,对流域/区域水循环和影响水循环的自然与社会因素进行多维整体调控。水循环模拟为水资源合理配置提供客观真实的物理参数,还可以充分利用空间信息,模拟人类活动改变下垫面和人工取用耗排水对区域水资源、水循环演变的影响,是水资源合理配置过程及其后效评价的基础。

d. 以水资源配置后效评价为依据。水资源配置是一个基于期望目标的决策过程,尽管在决策过程中采取局部和整体优化方法来保证决策过程的合理性,或是基于一定的准则来实现合理配置,但配置后效的模拟与评价仍然是配置过程不可或缺的一环,是水资源配置方案调整的基本依据。内容主要包括社会后效性评价、生态环境后效性评价、经济后效性评价和效率后效性评价等。

e. 以水资源实时调度为实现手段。水资源合理配置是水资源宏观管理与规划层面内容,在配置时间上的跨度甚至超越 10~30 a,空间上也通常以整个流域或区域为配置范围。水资源配置与紧密联系生产实际的水资源实时调度尚存在一定脱节,导致水资源配置规划难以落实到水资源日常管理调度中,因此实现水资源配置与水资源调度的紧密耦合是今后水资源调配工作的主要趋势之一。

f. 实现水质水量联合调配。水资源的可持续利用必须充分考虑经济发展与水资源和环境的相互协调,进行水质水量联合调配是水资源配置研究的重要内容。研究水体的水环境容量,污水与用水之间的关系,污水排放和水体纳污量间的关系,以及水质水量联合配置的理论、模型和方法,是水资源合理配置的重要研究课题。

3.2 配置方法

新的优化方法和 3S(GIS,RS,GPS)技术的应用将丰富水资源优化配置的研究领域和手段。目前,水资源优化配置模型多采用线性规划、非线性规划、动态规划、模拟技术及它们之间的有机结合方法,这些方法应用于复杂大系统时会受到一定的限制,最近发展起来的智能优化方法,如遗传算法、模拟退火算法、禁忌搜索、人工神经网络和混沌优化等,对于离散、非线性、非凸等大规模优化问题具有优越性,必将越来越广泛地应用。在信息化社会,3S 等高新技术在水资源领域的应用已经显示出其强大的功能,从数据采集、储存到管理、分析,信息技术与水资源优化配置的理论、模型和方法的结合衍生出一系列非常有前途的研究方向。

3.3 配置机制和评价方法

研究有效的初始水权分配机制、有机的补偿与激励机制以及广泛的社会参与机制等水资源配置机制,并在深入研究水资源计划调控(政府机制)和市场配置(市场机制)理论与方法的基础上,运用系统工程理论,探索面向经济系统和生态系统的水资源合理配置多种机制结合的最佳形式。

参考文献:

- [1] MASS A. Design of water-resource systems[M]. New York: Harvard University Press, 1962.
- [2] MARKS D H. A new method for the realtime operation of reservoir systems[J]. Water Resources Research, 1971, 23(7):1376-1390.
- [3] COHON J. Multi-objective programming and planning[M]. Dover: Dover Publications, 1974.
- [4] HAIMES Y Y, HALL W A. Multi-objectives in water resources systems analysis: the surrogate worth trade off method[J]. Water Resources Research, 1975, 11(4):615-624.
- [5] PEARSON D. Optimization model for alternative use of different quality irrigation waters[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1992, 118(2):218-228.
- [6] ROMIJN E, TAMIGA M. Multi-objective optimal allocation of water resources[J]. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 1982, 108(1):133-143.
- [7] WILLIS R, LIU P. Optimization model for groundwater planning[J]. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 1984, 110(3):333-347.
- [8] DUDLEY N, HOWELL D, MUSGREAVE W. Optimal inter seasonal irrigation water allocation[J]. Water Resources Research, 1971, 7(4):283-297.
- [9] AFZAL J, NOBLE D H. Optimization model for alternative use of different quality irrigation waters[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1992, 118(2):218-228.
- [10] WATKINS D W, MCKINNEY J R, DAENE C R. Optimization for incorporation risk and uncertainty in sustainable water resources planning[J]. International Association of Hydrological Sciences, 1995, 231(13):225-232.
- [11] FLEMING R A, ADAMS R M, KIM C S. Regulating groundwater pollution: effects of geo-physical response assumptions on economic efficiency[J]. Water Resources Research, 1995, 31(4):1069-1076.
- [12] LALL U. Yield model for screening surface and ground-water development[J]. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 1995, 121(1):9-21.
- [13] PERCIA C, ORON G, MEHREZ A. Optimal operation of regional system with diverse water quality sources[J]. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 1997, 123(2):105-115.
- [14] TEWEI D, JOHN W L. River basin network model for integrated water quantity/quality management[J]. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 2001, 127

(5) 295-305.

[15] WHIPPLE W. Water resources :a new era for coordination [M]. Reston :ASCE Press ,1998 45-49.

[16] ALLAN T. Productive efficiency and allocative efficiency :why better water management may not solve the problem[J]. Agricultural Water Management ,1999 40(3) :71-75.

[17] IOSLOVICH I , GUTMAN P. A model for the global optimization of water prices and usage for the case of spatially distributed sources and consumers[J]. Mathematics and Computer in Simulation 2001 56(1) 347-356.

[18] JERSON K ,RAFAEL K. Water allocation for production in a semi-aridregion[J]. Water Resources Development ,2002 ,18 (3) 391-407.

[19] 李雪萍. 国内外水资源配置研究概述[J]. 海河水利 , 2002(5) :13-15.

[20] 张勇传, 李福生, 熊斯毅, 等. 变向探索法及其在水库优化调度中的应用[J]. 水力发电学报, 1982(2) :12-18.

[21] 施熙灿, 王浩. 考虑保证率约束的马氏决策规划在水电站水库优化调度中的应用[J]. 水力发电学报, 1982(2) : 22-27.

[22] 董子敖. 改变约束法和国民经济效益最大准则在水电站水库优化调度中的应用[J]. 水力发电学报, 1982(2) : 1-11.

[23] 马光文, 颜竹丘. 水电站群补偿调节的递阶控制 :关联平衡流[J]. 水力发电学报, 1986(4) 22-25.

[24] 华士乾. 水资源系统分析指南[M]. 北京 :水利电力出版社 ,1998.

[25] 叶永毅, 黄守信. 水资源大系统优化规划与优化调度经验汇编[G]. 北京 :中国科学技术出版社 ,1995.

[26] 许新宜, 王浩, 甘泓. 华北地区宏观经济水资源规划理论与方法[M]. 郑州 :黄河水利出版社 ,1997.

[27] 王浩, 陈敏建, 秦大庸. 西北地区水资源合理配置和承载能力研究[M]. 郑州 :黄河水利出版社 ,2003.

[28] 王浩, 常炳炎, 秦大庸. 黑河流域水资源调配研究[J]. 中国水利 ,2004(9) :18-21.

[29] 裴源生, 赵勇, 王建华. 流域水资源实时调度研究[J]. 水科学进展 ,2006 ,17(3) 395-401.

[30] 赵勇, 裴源生, 于福亮. 黑河流域水资源实时调度模型系统研究[J]. 水利学报 ,2005 36(12) 82-22.

[31] 裴源生, 赵勇, 张金萍. 广义水资源合理配置研究(I) :理论[J]. 水利学报 ,2007 38(1) :1-7.

[32] 赵勇, 陆垂裕, 肖伟华. 广义水资源合理配置研究(II) :模型[J]. 水利学报 ,2007 38(2) 43-49.

[33] 方创琳. 河西走廊绿洲生态系统的动态模拟研究[J]. 生态学报 ,1996 ,16(4) 389-396.

[34] 王浩, 秦大庸, 王建华, 等. 黄淮海流域水资源合理配置[M]. 北京 :科学出版社 ,2003.

[35] 王劲峰, 刘昌明, 于静洁, 等. 区际调水时空优化配置理论模型探讨[J]. 水利学报 ,2001 32(4) 7-14.

[36] 尹明万, 谢新民, 王浩, 等. 基于生活、生产和生态环境用水的水资源配置模型研究[J]. 水利水电科技进展 , 2004 24(2) 5-8.

[37] 赵建世, 王忠静, 翁文斌. 水资源复杂适应配置系统的理论与模型[J]. 地理学报 ,2002 57(6) 639-647.

[38] 贺北方, 周丽, 马细霞, 等. 基于遗传算法的区域水资源优化配置模型[J]. 水电能源科学 ,2002 20(3) :10-12.

[39] 龙爱华, 徐中民, 张志强, 等. 基于边际效益的水资源空间动态优化配置研究 :以黑河流域张掖地区为例[J]. 冻土研究 ,2002 24(4) 407-413.

[40] 裴源生, 李云玲, 于福亮. 黄河置换水量的水权分配方法探讨[J]. 资源科学 ,2003(3) 32-37.

[41] 左其亭, 陈嘻. 面向可持续发展的水资源规划与管理[M]. 北京 :中国水利水电出版社 ,2003.

[42] 王慧敏, 张玲玲, 王宗志, 等. 基于供应链的雨水北调东线水资源配置与调度的可行性研究综述[J]. 水利经济 ,2004 22(3) 2-5.

[43] 裴源生, 赵勇, 罗琳. 相对丰水地区的水资源合理配置研究[J]. 资源科学 ,2005(9) 84-89.

[44] 李如忠, 金菊良, 钱家忠, 等. 基于指标体系的区域水资源合理配置初探[J]. 系统工程理论与实践 ,2005(3) : 125-132.

[45] 王浩, 王建华, 秦大庸. 流域水资源合理配置的研究进展与发展方向[J]. 水科学进展 ,2004 ,15(1) :123-128.

[46] 曹永强, 王兆华. 市场经济条件下水资源优化配置研究[J]. 水利发展研究 ,2004(10) 8-10.

[47] 胡鞍钢, 王亚华. 转型期水资源配置的公共政策 :准市场和政治民主协商[J]. 中国软科学 ,2000(5) 5-11.

[48] 甘弘, 李令跃, 尹明万, 等. 水资源合理配置浅析[J]. 中国水利 ,2000(4) 20-23.

[49] 王先甲, 肖文. 水资源的市场分配机制及其效率[J]. 水利学报 ,2001 32(12) 26-31.

[50] 徐方军. 水资源配置的方法及建立水市场应注意的问题[J]. 水利水电技术 ,2001(8) 6-8.

[51] 张范. 从产权角度看水资源优化配置[J]. 中国水利 , 2001(6) 38-39.

[52] 徐华飞. 我国水资源产权与配置中的制度创新[J]. 中国人口·资源与环境 ,2001 ,11(2) 41-48.

[53] 清华大学 21 世纪发展研究院, 中国科学院-清华大学国情研究中心. 转型期中国水资源配置机制研究[J]. 经济研究参考 ,2002(20) 2-44.

[54] 周玉玺, 胡继连. 基于水资源外部性特征的配置制度安排研究[J]. 山东科技大学学报 :社会科学版 ,2002 ,4 (1) 67-70.

[55] 王亚华. 完善流域水资源分配制度应从九类机制着手[J]. 中国水利 ,2003(4) :19-22.

[56] 胡继连, 葛颜祥. 黄河水资源的分配模式与协调机制 :兼论黄河水权市场的建设与管理[J]. 管理世界 ,2004 (8) 43-60.

[57] 汪恕诚. 资源水利 :人与自然和谐相处[M]. 北京 :中国水利水电出版社 ,2005.

[58] 罗利民, 谢能刚, 仲跃. 区域水资源合理配置的多目标博弈决策研究[J]. 河海大学学报 :自然科学版 ,2007 ,35 (1) :72-76.

[59] 裴源生, 赵勇, 陆垂裕, 等. 经济生态系统广义水资源合理配置[M]. 郑州 :黄河水利出版社 ,2006.

(收稿日期 2008-08-05 编辑 骆超)