

文章编号: 0559-9350(2008)10-1168-08

水资源合理配置研究历程与进展

王 浩, 游进军

(中国水利水电科学研究院 水资源研究所, 北京 100044)

摘要: 本文系统介绍了目前的水资源配置理论方法, 分析了国内有关水资源合理配置研究的主要历程和研究进展, 并介绍了国内外水资源配置相关的模型软件研究现状。根据当前水资源管理的需求, 分析了在天然和人工侧支循环耦合的水资源系统模拟框架下研究水资源配置及相关问题的必要性, 展望了本领域未来的主要发展方向。

关键词: 水资源合理配置; 水资源评价; 二元水循环; 跨流域调水

中图分类号: TV213.9

文献标识码: A

1 水资源配置理论方法概述

水资源短缺和水环境恶化已严重影响了我国经济社会的可持续发展。水资源配置是实现水资源在不同区域和用水户之间的有效公平分配, 从而达到水资源可持续利用的重要手段。通过水资源配置可以实现对流域水循环及其影响的自然与社会诸因素进行整体调控。水资源配置最初主要是针对水资源短缺地区的用水竞争性而提出, 以后随着可持续发展概念的深入, 其含义不仅仅针对水资源短缺地区, 对于水资源丰富的地区也应该考虑水资源合理配置问题^[1]。从最初的水量分配到目前协调考虑流域和区域经济、环境和生态各方面需求进行有效的水量调控, 水资源配置研究日益受到重视。目前, 水资源开发利用和人类活动结合日趋紧密, 影响因素逐渐增多, 导致其结构更趋复杂, 这就要求在水资源天然循环和供用耗排人工侧支循环的统一框架下完成水资源配置。

对于水资源合理配置的含义, 不同阶段有不同学者提出自己的解释。综合逐渐深入的认识, 一般认为水资源配置是指在流域或特定的区域范围内, 遵循有效性、公平性和可持续性的原则, 利用各种工程与非工程措施, 按照市场经济的规律和资源配置准则, 通过合理抑制需求、保障有效供给、维护和改善生态环境质量等手段和措施, 对多种可利用水源在区域间和各用水部门间进行的调配^[2]。可以看出当前的水资源配置问题, 不是简单的用户间水量分配, 而是从流域和区域整体出发, 在分析区域水资源条件和水资源供需特点, 综合统筹不同情况和需求, 确定各类可利用的水资源在供水设施、运行管理等各类约束条件下对不同区域各类用水户的有效合理分配。水资源配置中必须考虑水量的需求与供给、水环境的污染与治理、水与生态这三重平衡关系。

2 主要研究历程

北方地区缺水及其日趋严重的生态环境变化是中国首要解决的问题之一, 针对这一状况, 从“六五”攻关开始, 国家相继将北方地区的水资源问题列为国家科技攻关项目, 重点研究了水资源配置的基础理论以及与社会经济发展之间协调关系和相应的解决措施, 使得以国家层面的攻关项目为主线的水资源

收稿日期: 2008-08-10

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2006CB403408); “十一五”国家科技支撑计划重大项目(2006BA B04A15)

作者简介: 王浩(1953-), 男, 北京人, 中国工程院院士, 主要从事水文学及水资源方面研究。E-mail: wanghao@iwhr.com

配置的研究形成了比较完整的水资源配置理论体系。

从研究的内容来看, 水资源配置研究中的水源范围有所增加, 从最初的地表水量分配为主, 发展到地表水、地下水联合调度配置再到对常规水源和非常规水源的统一调配, 从一次性水资源到再生性水资源的配置; 配置目标从单一的供水效益最大化发展到对流域水资源管理目标的多属性识别, 从而提出多维调控目标下的水资源合理配置; 配置上从供水量的配置发展到对取用水量与耗水量的统一分配, 扩大了水资源配置的范畴和口径。

2.1 “六五”攻关——水资源评价^[3] 水资源评价是水资源配置的基础, 也是分析流域和区域水资源问题的基础。由于华北地区径流明显减少和过量开发水资源, 造成多种生态环境问题, 严重影响到华北地区水资源安全。1983 年国家将《华北地区水资源评价和开发利用研究》列为“六五”(1981~1985 年) 国家科技攻关项目第 38 项, 对该地区的水资源状况进行深入研究。该项目包括 9 个课题, 由水利水电科学研究院、南京水文水资源研究所等单位承担。“六五”攻关中对水资源评价作了大量基础性工作, 比较科学全面的对华北地区水资源数量、质量和特点进行了评价, 并建立了大量水文水资源观测站点, 为后期的水循环规律研究奠定了基础。

2.2 “七五”攻关——“四水转化”与地表水地下水联合配置^[4] 继“六五”之后, “七五”(1986~1990 年) 国家科技攻关项目第 57 项, 《华北地区及山西能源基地水资源研究》课题在“六五”期间对水资源评价的基础上, 根据大量的水分运移观测资料, 探讨了包气带水分的运移规律, 分析了降雨入渗补给机制和变化规律, 在理论和实际计算上均有所创新。报告中研究了农田蒸散发和潜水蒸发现律、计算方法, 并提出了新的潜水蒸发计算公式。在实验资料的基础上对非饱和土壤水零通量面的发生、发展和消失的变化规律进行了分析, 并在入渗补给量和蒸散发的计算中应用, 并通过小区实验研究和大区水均衡实验研究相结合的方法, 进行水平衡分析和“四水”转化规律的研究。这些研究成果对深化认识“四水”转化规律, 提高水资源评价精度以及指导农业节水和合理开发利用水资源, 以及实现地表水地下水的联合配置调度具有科学意义和实用价值。

通过降水—地表水—土壤水—地下水的水循环分析, 以及水均衡观测试验研究, 基本摸清了在不同地下水位埋深条件下区域“四水”转化关系, 提出了华北地区地表水资源量、地下水资源量、水资源总量及水资源可利用量等评价成果, 并开展了华北地区节水、地表地下水联合运用、规划水平年的供需平衡分析等, 初步形成了华北水资源规划管理的科技支撑。

“七五”攻关将水资源分配的概念从以水库调度为主要内容的地表径流分配推进到了地下水和地表水的联合调控, 并考虑到了地表水文过程和地下水转换的动态关系, 从水源上扩展了配置的口径。

2.3 “八五”攻关——基于区域宏观经济的水资源配置^[5-6] 从 20 世纪 80 年代开始, 随着我国经济的高速发展, 水资源的社会经济属性越来越明显, 水资源配置与区域宏观经济越来越密切。而以往的研究中, 无论是“以需定供”还是“以供定需”, 都将水资源的需求和供给分离开来考虑, 要么强调需求, 要么强调供给, 忽视了水资源供需与区域经济发展的动态协调。为了避免这两种单一分析方式的弊端, 以协调区域经济发展和供需动态平衡为目标的基于宏观经济的水资源优化配置理论研究应运而生。

因此, 在“八五”(1991~1995 年) 攻关项目《黄河治理与水资源开发利用》中, 以中国水利水电科学研究院为主进行了“华北宏观经济多目标水资源规划模型”课题的研究, 进一步研究了基于宏观经济的水资源合理配置理论和方法, 并结合联合国开发计划署的技术援助项目《华北水资源管理》(UNDP CPR/88/068), 开发出了华北宏观经济水资源优化配置模型, 构建相应的模型系统, 为区域水资源优化配置和规划管理提供了科学决策手段。在该研究课题中, 首次利用水资源宏观经济理论, 提出了基于宏观经济水资源规划管理的理论与方法, 以及相应的系统分析决策模型。该项目的主要成果包括: (1) 建立了区域水资源优化配置理论, 定量的揭示了宏观经济系统、水资源系统和水环境系统间相互联系的规律, 发展了水资源规划的理论和方法; (2) 将单决策者模式下的切比雪夫(Tchebycheff) 决策方法发展和扩大为可处理半结构化问题的、考虑风险和不确定因素的多层次、多目标、群决策方法; (3) 研制了一批适用于区域水资源优化配置问题中各主要方面的通用数学模型; (4) 建立了我国当时数据装载量最大的通用水资源数据库和管理信息系统, 并研制了区域水资源优化配置决策支持系统。

通过“八五”项目研究将水资源配置从理论上作了深入推进,提出水资源配置与社会经济需求的密切关系,并实现了量化分析与优化模型,明晰了与社会发展目标关联下的水资源配置目标,为水资源配置研究开拓了进一步的研究空间。

2.4 “九五”攻关——基于二元水循环模式和面向生态的水资源配置^[7-9] 20世纪90年代,我国一些地区的水资源过度开发利用带来的生态环境恶化问题引起了人们的关注。尤其是西北地区,大规模水资源开发利用改变了原有的水循环过程和结构,使得西北地区的生态问题日趋突出。基于此,在实施国家西部大开发的总体战略下,提出了“九五”(1996~2000年)国家重点科技攻关计划“西北地区水资源合理开发利用与生态环境保护研究”项目,以西北地区水资源合理配置、水资源承载能力、生态保护准则及生态需水为攻关突破口,开展了跨部门、多学科的联合攻关。

“九五”西北水资源攻关课题的三项关键技术是:(1)西北地区的发展界限——水资源承载能力;(2)生态系统的允许状态——生态保护准则与生态需水;(3)社会经济发展、生态系统保护与水资源合理开发利用的相互关系——水资源合理配置。其中,以生态系统需水量的研究为基础,为水资源合理配置及承载能力分析提供依据。以水资源配置的研究为核心,通过合理配置确定国民经济用水和生态用水的合理比例,同时为资源承载能力计算提供基础,通过水资源承载能力的分析平衡协调区域发展模式、生态系统质量、水资源开发利用格局三者之间关系,达到对区域可持续发展的最大支撑能力。

通过“九五”攻关研究,提出了内陆河流域的水资源二元演化模式以及相应的水资源评价层次化体系,建立了干旱区生态需水量的计算方法,提出了针对西北生态脆弱地区的水资源合理配置方案。该方案在原则上坚持水土平衡,以水定发展规模,提高水资源与土地资源和矿产资源的匹配程度;坚持水量平衡,统筹考虑经济发展用水和生态建设用水;对于黄河流域坚持水沙平衡,进行减沙增水的综合调控;在内陆河流域片坚持水盐平衡,通过地表水-地下水联合利用解决春旱和次生盐渍化问题。

在“九五”攻关成果基础上,中国工程院“西北水资源”项目组经过广泛深入研究,进一步提出了水资源配置必须服务于生态环境建设和可持续发展战略,实现人与自然和谐共存,在水资源可持续利用和保护生态环境的条件下合理配置水资源。在对西北干旱半干旱地水循环转换机理研究的基础上,得出生态环境和社会经济系统的耗水各占50%的基本配置格局。该项研究为面向生态的水资源配置研究奠定了理论基础。

2.5 “十五”攻关——基于实时调度的水资源配置与调控^[10] 随着我国社会经济发展和用水量不断攀升,水问题的核心在于社会经济用水和生态用水之间的不平衡,使得流域水资源调配格局不当引起经济、生态问题。因此,建立与流域水资源条件相适应的生态保护格局和高效经济结构体系,统一合理调配流域水资源,是实现流域可持续发展的根本出路。

针对上述问题,“十五”(2001~2005年)科技攻关重大项目“水安全保障技术研究”中提出面向全属性功能的流域水资源配置概念。天然条件下,水资源具有三种基本属性,即因其物理性质所具有的自然属性,因其化学性质而具有的环境属性,因其生命组成物质特性而具有的生态属性。而社会用水使得水资源具有了特定的社会经济服务功能,所以水资源具备明显的社会属性和经济属性。上述五种基本属性关联伴生,某一属性的破坏不仅影响与其伴生的资源服务功能,而且还会给其他属性功能的实现带来负面影响,因此流域水资源合理配置必须以维护水资源自然、生态、环境、社会和经济等全属性功能为目标。其内在决策机制包括五个方面,自然属性的维护必须以流域水资源可再生性维持机制为准则,社会属性的维护是以平等机制为准则,生态属性的维护以水分-生态演替驱动关系为决策机制,经济属性的维护以水分-经济的互动机制为准则,环境属性的维护是以水环境可承载性维持为准则。

流域水循环过程模拟是水资源调配的科学基础,“十五”攻关中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四层总控结构,为流域水资源调配研究提供较为完整的框架体系。该层次化结构体系以“模拟-配置-评价-调度”为基本环节,实现流域水资源的基础模拟、宏观规划与日常调度,以及各环节之间的耦合和嵌套,进而通过流域水资源调配管理信息系统的构建,为水资源规划配置和管理调度提供了较为全面的技术支持,有效实现了规划层面的宏观水资源配置方案和操作层面的实时调度方案的总控与嵌套,保障了水资源实时调度的宏观合理性及可操作性。

在配置的水资源范围上,“十五”攻关中作了进一步扩展,从常规水源扩展到了非常规水源,包括径流性水资源、地下水资源等被纳入到配置范围,土壤水、大气水通量等也通过植被生长调控、雨水利用等方式得到合理配置,除了一次性的水资源,处理后污水、中水等再生性水资源利用也得到了重视。

2.6 “十一五”——基于 ET 的水资源整体配置^[11,12] 流域水循环是流域水资源调配的科学基础,对流域水循环的模拟是水资源调配的前提条件。“九五”攻关中提出了二元水循环的认知模式,“973”项目课题《黄河流域水资源演变规律与二元演化模型》的研究真正实现了二元水循环模拟以及提出基于分布式水文模型的层次化全口径水资源评价方法,通过该研究将流域分布式水文模型和集总式水资源调配模型耦合起来,这是实现二元水循环过程的整体模拟的关键,并在海河 GEF 项目中对这一思路进行了进一步实践。

从水循环角度分析,考虑水资源利用的供用耗排过程,水资源配置的核心实际是关于流域耗水的分配和平衡。而以往的水资源配置多是在静态评价的水资源数量和质量基础上进行计算分析,所以流域水资源配置必须在动态考虑水循环过程和水量供用耗排关系的基础上进行。在评价不同区域允许耗水量的基础上实现对区域自然 ET 和人工 ET 的合理配置,从而真正实现流域水循环基础上的水资源整体合理配置。

中国水利水电科学研究院在全国水资源综合规划专题研究“流域及区域通用化水资源供需分析及配置模型分析系统研制”中提出了流域水量平衡和允许耗水量的概念,指出流域水量平衡是指流域某特定时段内总来水量(包括降水量和外调水量)、蒸腾蒸发总量、总排水量之间的平衡关系,水资源配置的核心在于分析给出合理的区域和行业水资源消耗量。而在海河 GEF 项目中,中国水科院课题组进一步提出了基于流域 ET 的水资源配置,并通过所构建的二元模型实现了对流域社会经济发展、水循环与水质调控等多重调控因素下实现流域入海水量目标的 ET 分配,并对自然 ET 和社会经济产生的 ET 作了划分,首次定量给出了基于二元水循环结构和 ET 分配基础上的流域水资源整体配置。

实现基于 ET 的分配是水资源配置的一个重要进步,将水量配置从取用水量配置推进到耗水量配置,将配置与真实节水相关联,对实现流域水循环调控目标具有重要意义。在 ET 的监测控制存在困难的情况下,需要借助对取水量和排水量的管理措施来实现 ET 分配。

2.7 未来重点突破方向——水量水质联合配置与调控 目前,我国的水资源配置研究成果都是针对水量进行,较少考虑不同水户对水质的要求。已有的水资源配置集中在水资源量的高效和合理利用方面,形成了以水资源数量为主的优化配置理论和方法,解决了有限水资源量实现最大经济效益的问题。而水资源的数量和质量都是其重要属性,满足水质要求的水资源才能对相应的用水户产生效益。现有的水资源合理配置中,通常比较重视水资源数量的调节与控制,而忽视水资源质量的调控。如果在配置中没有将供水、用水、排水和水资源质量管理有机结合起来,则不符合水质水量统一管理的要求,也难以符合水资源利用的综合要求。可见,研究水质水量统一优化配置具有重要的理论意义和实践价值。

和水量配置一样,只有以流域为单位进行水质水量统一配置,才能真正实现流域水环境质量的根本改善,水质水量联合调度面临在统一调度理论、方法、技术方面的进展和突破。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,以及水质水量联合优化配置的理论、模型和方法,是水资源优化配置的重要研究课题。

基于分质供水的水量水质合理配置模型和方法是今后的研究方向之一。其次,配置方案合理性评价也是流域水资源调配理论的重要组成部分之一,水量水质联合配置评价指标体系与评价方法需要专门研究。此外,水量水质实时调度需要考虑水文和其他决策信息的随机特性,因而以合理配置方案及其提供的规则为决策依据,在决策过程中辅以滚动修正的水量水质联合实时调度方法值得研究。

3 相关研究进展

3.1 国内主要理论与方法研究 20 世纪 80 年代初,华士乾等^[13]对北京地区的水资源利用系统工程方法进行了研究,该项研究成果考虑了水量的区域分配、水资源利用效率、水利工程建设次序等,成为我国

水资源配置研究的雏形。南京水文水资源研究所采用系统工程方法,建立了地下水和地表水联合优化调度的系统仿真模型,并在国家“七五”攻关项目中进一步完善并应用^[14]。

黄河水利委员会于1998年进行了“黄河流域水资源合理分配及优化调度研究”,综合分析了区域经济发展、生态环境保护与水资源条件,是我国第一个针对全流域进行的水资源配置研究^[15]。王浩等在“黄淮海水资源合理配置研究”中,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,其核心内容是在国民经济用水过程和流域水循环转化过程两个层面上分析水量亏缺态势,并在统一的用水竞争模式下研究流域之间的水资源配置问题^[9,16]。复杂性适应系统理论、大系统分解协调理论以及面向可持续发展的理念也被结合应用到水资源配置,并建立了优化配置模型和求解方法^[17~19]。

国内对流域水资源配置的理论研究主要从配置目标、配置的水源用户关系上进行了分析,从最初“以需定供”的水量分配和供需平衡发展到以水资源开发治理为整体性目标,尝试以可持续的理念实现流域和区域的水资源合理配置。

在配置模型与相应计算方法上,也有不少学者进行了深入研究。刘健民等^[20]采用大系统递阶分析方法建立了模拟和优化相结合的三层递阶水资源供水模拟模型,并对京津唐地区的供水规划和优化调度进行了应用研究。吴险峰等^[21]探讨了城市多水源优化配置的进化算法。甘泓等^[22]结合邯郸市水资源管理项目,率先在地市一级行政区域研究和应用了水资源配置动态模拟模型,并开发出界面友好的水资源配置决策支持系统,并针对新疆区研制出可适用于巨型水资源系统的智能型模拟模型。尹明万、谢新民、游进军等也针对不同的水资源配置目标提出了相应的技术方法^[23~25]。在计算技术方面,水资源配置中逐渐引入了优化和模拟两种计算方法。模拟模型具有直观易懂、仿真性强等优点,适合构建输入输出式的系统响应结构。而优化模型则通过建立目标函数和系统约束的方式,通过模型的求解可以得出满足给定要求下效益较好的结果。一般而言,模拟模型便于结合实际情况进行相应的调整,根据需要对实际发生的过程进行描述,便于结合专业人员的经验。而优化模型可以更严格的反映各类约束,具有较强的结构性。

水量水质联合配置的研究在近年得到了重视,已经有一些学者针对相关问题进行了研究。严登华等、王同生等、刘丙军等、吴泽宁等对于水量水质联合调控与分配进行了初步研究,给出了分质供水等计算方法^[26~29]。从配置模拟计算的角度分析,水量水质联合配置存在3个层次。第1个层次是基于分质供水的水量配置,其次是在水循环基础上添加污染排放和控制等要素,实现水量过程模拟基础上的水质过程分析,进而进行水量配置,第3个层次就是在动态联合水量和水质实现时段内紧密耦合的动态模拟。目前的研究主要还集中在第1个层次,对于第2层次有所涉及,但是还不够系统,需要作更深层面的研究,进而展开到第3个层面的模拟。

3.2 国内模型软件化方法研究 水资源模型是实现水资源配置的重要工具,在研究水资源合理配置理论和方法的同时,进行模型研制是一个必然过程。而使得模型工具能得到推广和应用,离不开模型软件化的工作,这方面的工作在信息化时段显得尤为重要,而近期的相关研究也促进了这一进程。

“八五”攻关研究中所提出的基于宏观经济的华北水资源配置模型是国内较早实现软件化构建的水资源配置模型。王文林等^[30]提出了水资源优化配置决策支持系统集成方法,根据水资源优化配置决策支持系统的开发实践,分析了多平台软件的集成问题,给出了多平台软件集成中用户数据及控制信息的相互传递方法。黄书汉^[31]提出水资源供需平衡评价系统软件UML建模,针对实例引入基于面向对象的UML标准建模语言进行水资源供需平衡评价系统分析和系统设计。谢宜岳等^[32]以区域水资源供需过程的原理与算法为基础,构建了水资源系统分析数学模型软件。艾萍等^[33]根据软件复用的基本原理,结合水利领域应用需要,形成水利领域软件标准化体系,为不同抽象层次制定水利领域软件技术标准提供技术基础。游进军等^[34]提出概念化水资源系统模拟的面向对象设计方法,从而将系统划分为相互关联的功能模块并实现了模块间分层次的耦合,为实现水资源配置模拟模型的软件化提供了技术性基础。通过GIS控件的应用进行水资源配置模型的软件化工作也是一个重要方向^[35]。

总体而言,由于我国水资源严重短缺、水生态环境问题日益严重,国内学者对水资源配置理论和应

用研究以及相应决策分析作了较多工作。但由于研究范围和投入力量的限制, 各类研究通常以具体问题为导向, 应用范围有限。对模型以及软件开发尚缺少必要的投入, 模型软件化的工作还不够系统, 与国外研究和应用水平尚有一定差距。

3.3 国外相关研究进展 国外对水资源配置研究更多是在水资源系统模拟的框架下进行, 世界银行 (1995) 在总结各种水资源配置方法不同地区应用的基础上, 提出了以经济目标为导向, 在深入分析用水户和各方利益相关者的边际成本和效益下配置水资源的机制。McKinney 等^[36] 提出基于 GIS 系统 (OOGIS) 的水资源模拟系统框架, 作了流域水资源配置研究的尝试。20 世纪 90 年代以来, 水资源系统规划管理软件得到了长足发展, 为水资源配置提供了更多的工具。

相对而言, 国外在水资源模拟的软件产品上处于领先优势, 开发的模型具有较高的应用价值, 充分利用计算机技术完成系统化集成。丹麦的 MIKEBASIN、美国的 WMS 和 Aquarius 以及 Riverware、奥地利的 Waterware、澳大利亚的 ICMS 和 IQQM 是其中应用比较成熟的代表性流域模拟与水资源管理的模型软件^[37~40]。

4 总结与展望

分析已有研究, 水资源配置研究的发展历程具有以下趋势: (1) 充分考虑水资源配置的综合性。水资源配置不能仅仅停留于对一个区域范围内部的水量调配工作上, 而应当更多的是从大流域整体角度出发, 系统分析流域中各个子区域自身水资源条件和水资源供需特点, 以合理的水资源配置格局为区域发展总体布局提供参考。(2) 加强对生态和环境方面需求的考虑。当前水资源配置不能仅仅局限于满足水资源数量上的供需平衡, 而是应当追求区域发展与水相关的各类主要因素的平衡, 包括水质平衡、水土平衡和水生态平衡。当前的水资源开发尤其需要注意对于生态环境需水的要求, 能提出防止生态环境破坏的预防措施以及恢复和改善的措施。(3) 提高决策方案的比选和配置效果的评价水平。配置方案的选择涉及面宽, 决策因素众多, 各方面的效益指标在价值量度上也不统一, 所以必须引入合适的多目标决策方法。在得出合理可行的推荐配置方案后, 还应当对其实施后可能产生的效果作尽量全面的评估, 并考虑到所有能涉及的方面, 组成全面的评价体系。(4) 提高配置分析工具和系统的软件技术水平。随着社会经济进一步发展, 水资源配置面对的问题更加复杂化, 计算的范围和精度也均会有所增加, 数据处理要求提高, 配置模型的软件化是解决这一矛盾的重要手段。从国内外发展差异看, 国内研究必须紧跟目前的新技术, 在模型软件化方面投入更多力量。

从研究内容分析, 在理论和方法上还需要重点在以下几方面进行突破: (1) 加强对水量水质联合调控下的水资源配置理论和方法研究。水量水质统一调度的科学基础, 随着人类活动的加剧, 传统的集总式模型已经不能全面描述越来越复杂的点源和面源污染物扩散、汇集、稀释、转化等物理化学过程, 应重视有物理机制的、能反映污染物运移过程的分布式水质模型的研究, 并基于此研究水质水量联合配置。具体的突破方向包括基于分质供水的水量水质合理配置模型和方法、水量水质联合配置方案合理性评价技术、水量水质联合实时调度方法等研究。(2) 结合宏观多目标经济分析模型、分布式水文模型构建以流域水循环模拟平台为基础的水资源配置, 实现水资源评价- 模拟- 配置- 调度的一体化的决策系统。通过宏观经济分析模型、分布式水文、水质模型和集总式水资源调配模型动态耦合起来, 互相反馈, 实现基于分布式模拟的水量水质联合实时调度, 完成以流域降水基础、ET 和出境水量为控制目标的广义水资源配置系统。(3) 提高水资源配置的动态性分析。目前的水资源合理配置是基于静态的水资源评价结果, 没有考虑到人工水循环系统和天然水循环系统之间的动态作用关系。在水资源评价- 模拟- 调度一体化的平台上, 应该将水资源合理配置的主要平衡关系进行交互式分析, 包括社会经济增长、水资源量的需求与供给、水环境的污染与治理、投资与效益等内容的动态关联性分析。(4) 技术上突破单纯使用优化模型或模拟模型的思路, 结合优化方法和模拟计算。由于水资源配置的复杂性, 仅使用数学优化方法难以贴近于实际, 完全采用模拟的方法则又无法有效控制众多的参数、条件。所以借助计算机技术的发展采用优化- 模拟- 评价的总体思路得到水资源配置模型的决策方案结果, 通过在简化目

标和约束下寻求优解,再利用模拟模型得到进一步的结果便于方案选取评价。这样便于发挥优化方法的搜索能力和模拟技术的仿真性、可靠性强的优势。

加强对水资源配置理论和方法的研究对提高水资源管理水平有重要意义。通过对现有理论和技术的改进,并注重对国际上同类软件的引进和消化,可以有效提高水资源配置的研究水平,为相关各项工作提供基础,同时增强决策部门对流域的总体认识,提高管理水平促进水利现代化。今后的水资源合理配置需要由单一的流域水量配置和调度向全流域水质水量统一配置和调度发展,由集总式的、静态的水循环模拟和调控向分布式的、动态的水循环模拟与调控发展。

参 考 文 献:

- [1] 王浩.我国水资源合理配置的现状和未来[J].水利水电技术,2006,37(2):7-14.
- [2] 水利部水利水电规划设计总院.全国水资源综合规划技术大纲[R].北京:水利部水利水电规划设计总院,2002.
- [3] “六五”国家科技攻关水利电力部38-1-5课题组.华北地区水资源评价[R].1987.
- [4] 鲁学仁.华北暨胶东地区水资源研究[M].北京:中国科学技术出版社,1992.
- [5] 许新宜,王浩,甘泓,等.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.
- [6] United Nations Development Program (UNDP). Water Resources Management in North China[R]. Research Center of North China Water Resources China Institute of Water Resources and Hydropower Research,1994.
- [7] 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.
- [8] 中国工程院“西北水资源”项目组.西北地区水资源配置生态环境建设和可持续发展战略研究[J].中国工程科学,2003,5(4):1-26.
- [9] 王浩,秦大庸,王建华,等.黄淮海流域水资源合理配置[M].北京:科技出版社,2003.
- [10] 中国水利水电科学研究院.黑河流域水资源调配管理信息系统研究[R].2004.
- [11] 中国水利水电科学研究院水资源研究所.黄河流域水资源演变规律与二元演化模型[R].北京:中国水利水电科学研究院水资源研究所,2004.
- [12] 蒋云钟,赵红莉,甘治国,等.基于蒸腾蒸发量指标的水资源合理配置方法[J].水利学报,2008,39(6):720-725.
- [13] 华士乾.水资源系统分析指南[M].北京:水利电力出版社,1988.
- [14] 张世法,汪静萍.模拟模型在北京市水资源系统规划中的应用[J].北京水利科技,1988,34(4):1-15.
- [15] 常炳炎,薛松贵,张会言,等.黄河流域水资源合理分配和优化调度[M].黄河水利出版社,1998.
- [16] 王浩,秦大庸,王建华.流域水资源规划的系统观与方法论[J].水利学报,2002,(8):1-6.
- [17] 赵建世,王忠静,翁文斌.水资源配置系统的复杂适应原理与模型[J].地理学报,2002,57(6):639-647.
- [18] 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.
- [19] 冯耀龙,韩文秀,王宏江,等.面向可持续发展的区域水资源优化配置研究[J].系统工程理论与实践,2003,(2):133-136.
- [20] 刘健民,张世法,刘恒.京津唐水资源系统供水规划和调度优化的递阶模型[J].水科学进展,1993,4(2):98-105.
- [21] 吴险峰,王丽萍.枣庄城市复杂多水源供水优化配置模型[J].武汉水利电力大学学报,2000,33(1):30-32.
- [22] 甘泓,李令跃,尹明万.水资源合理配置浅析[J].中国水利,2000,(4):20-23.
- [23] 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[J].水利水电科技进展,2004,24(2):4-8.
- [24] 谢新民,赵文骏,裴源生,等.宁夏水资源优化配置与可持续利用战略研究[M].郑州:黄河水利出版社,2002.
- [25] 游进军,甘泓,王浩,汪林.基于规则的水资源系统模拟[J].水利学报,2005,36(9):1043-1049,1056.
- [26] 严登华,罗翔宇,王浩,等.基于水资源合理配置的河流“双总量”控制研究—以河北省唐山市为例[J].自然资源学报,2007,22(3):322-328.
- [27] 王同生,朱威.流域分质水资源量的供需平衡[J].水利水电科技进展,2003,23(4):1-3.
- [28] 刘丙军,陈晓宏,王兆礼.河流系统水质时空格局演化研究[J].水文,2007,27(1):8-13.

- [29] 吴泽宁, 索丽生, 曹茜. 基于生态经济学的区域水质水量统一优化配置模型[J]. 灌溉排水学报, 2007, 26(2): 1 – 6.
- [30] 王文林, 王文科, 王钊, 等. 水资源优化配置决策支持系统中的软件集成方法[J]. 西安工程学院学报, 2001, 23 (2): 68– 70.
- [31] 黄书汉. 水资源供需平衡评价系统软件 UML 建模[J]. 水土保持通报, 2001, 21(6): 48– 52.
- [32] 谢宜岳, 杨彤. 论区域水资源供需分析与软件研制[J]. 人民珠江, 2002, (1): 14– 16, 33.
- [33] 艾萍, 倪伟新. 基于构件的水利领域软件标准化基础研究[J]. 水利学报, 2003, (12): 104– 108.
- [34] 游进军, 王忠静, 甘泓. 概念化水资源系统及其面向对象构架设计[J]. 清华大学学报, 2007, 47(9): 1457– 1461.
- [35] 牛冀平, 胡志华, 肖晓红. 数字流域系统的 Q/S 与 B/S 混合软件体系结构[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2005, (03): 45– 48.
- [36] McKinney D C, Cai X. Linking GIS and Water Resources Management Models: An Object-Oriented Method[J]. Environmental Modeling and Software, 2002, 17(5): 413– 425.
- [37] Fedra K. GIS and simulation models for Water Resources Management: A case study of the Kelantan River, Malaysia [J]. GIS Development, 2002, (6): 39– 43.
- [38] Jha M K, Das Gupta A. Application of Mike Basin for Water Management Strategies in a Watershed [J], Water International, 2003, 28(1): 27– 35.
- [39] Zagona Edith A, Terrance J Fulp, Richard Shane, Timothy Magee, Morgan Goranflo H. RiverWare: A Generalized Tool for Complex Reservoir Systems Modeling[J]. Journal of the American Water Resources Association, AWRA 2001, 37(4): 913– 929.
- [40] Tahir H, Geoff P. Use of the IQQM simulation model for planning and management of a regulated river system[J]. Integrated Water Resources Management, IAHS Publ. no, 2001, 272: 83– 89.

Advancemen s and developmen cou se of esea ch on wa e esou ces deploymen

WANG Hao, YOU Jin-jun

(China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China)

Abstract: The current used theories and methods of water resources deployment in China and abroad are presented and the research finds and course of progress in this field are introduced. The present status of study on software for related models is summarized. The necessity of further study on water resources deployment and related problems in the frame of simulation system for coupling natural water cycling with artificial water cycling is demonstrated based on the requirement of modern water resources management. The development trend and related research topics in this field in the near future are suggested.

Key words: water resources deployment; assessment of water resources; dualistic water resources cycling; inter-basin water transfer

(责任编辑:王成丽)