

# Technique Controversies and Challenges of Applying the Strictest Water Resources Control System

Dedi Liu<sup>1,2</sup>, Shenglian Guo<sup>1,2</sup>, Haijing Guo<sup>3</sup>, Xingjun Hong<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan

<sup>2</sup>Hubei Collaborative Innovation Center for Water Resources Security, Wuhan

<sup>3</sup>Bureau of Hydrology of Changjiang (Yangtze) River Water Resources Commission, Wuhan

Email: [dediliu@whu.edu.cn](mailto:dediliu@whu.edu.cn)

Received: Apr. 10<sup>th</sup>, 2014; revised: Apr. 18<sup>th</sup>, 2014; accepted: Apr. 22<sup>nd</sup>, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

China faces a very serious situation of water resources, with increasingly conspicuous problems of water resources shortage, serious water pollution, deterioration of the water ecological environment, and so on, which have become major bottlenecks inhibiting sustainable economic and social development in the country. Applying the strictest water resources control system is the most effective way to solve these water resources problems. The optimal water resources allocation is the core issue of the strictest water resources control system. The challenges and controversies in optimal water resources allocation research under the strictest water resources control system have been analyzed according to the relationship between the strictest water resources control and the optimal water resources allocation. In order to satisfy the requirements of the strictest water resources control system, the dynamic structure of new water resources allocation model, the optimal solution algorithms and the scheme evaluation methods have been presented and suggested. What have been analyzed and suggested in this paper will be very helpful for applying the strictest water resources control system in China.

## Keywords

The Strictest Water Resources Control System, Spatial and Temporal Distribution, Environment Change, Dynamic Model, Optimal Allocation

---

作者简介: 郭生练, 武汉大学二级教授、博士生导师。现任武汉大学水问题研究中心主任、教授、博士生导师, 水文水资源国家重点学科和水资源与水电工程科学国家重点实验室学科带头人。

# 实施最严格水资源管理制度面临的技术问题与挑战

刘德地<sup>1,2</sup>, 郭生练<sup>1,2</sup>, 郭海晋<sup>3</sup>, 洪兴骏<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉

<sup>2</sup>水资源安全保障湖北省协同创新中心, 武汉

<sup>3</sup>长江水利委员会水文局, 武汉

Email: [dediliu@whu.edu.cn](mailto:dediliu@whu.edu.cn)

收稿日期: 2014年4月10日; 修回日期: 2014年4月18日; 录用日期: 2014年4月22日

## 摘要

我国水资源面临的形势十分严峻, 水资源短缺、水污染严重、水生态环境恶化等问题日益突出, 已成为制约经济社会可持续发展的主要瓶颈。最严格水资源管理制度是解决我国水问题的有效途径。本文根据最严格水资源管理制度的内涵, 在阐述最严格水资源管理与水资源优化配置关系的基础上, 分析了目前水资源优化配置研究面临的技术问题与挑战, 并从最严格水资源管理的考核要求出发, 提出了在最严格水资源管理制度下, 动态的水资源优化配置模型结构、求解算法和方案评价等方面的对策和建议, 从而为实施最严格水资源管理制度提供技术支撑和保障。

## 关键词

最严格水资源管理制度, 时空分布, 变化环境, 动态模型, 优化配置

## 1. 引言

水是生命之源、生产之要、生态之基。我国人多水少、水资源时空分布严重不均, 洪涝灾害、水资源短缺、水污染严重、水生态恶化等问题十分突出, 已成为制约经济社会可持续发展的主要瓶颈。国务院 2012 年发布《关于实行最严格水资源管理制度的意见》[1], 确立水资源开发利用控制、用水效率控制和水功能区限制纳污“三条红线”, 实施包括用水总量控制制度、用水效率控制制度、水功能区限制纳污制度和水资源管理责任与考核制度在内的“四项制度”, 从制度上推动经济社会发展与水资源、水环境承载能力相适应。而水资源优化配置研究是划分这“三条红线”的技术基础, 是落实和实施最严格水资源管理“四项制度”的根本保障。另一方面, 在气候变化和人类活动的双重影响下, 我国水文循环和水资源时空分布状况与历史资料系列相比, 已经发生了巨大的变化, 各地的社会、经济和生态环境发展指标也随流域径流的时空分布变化而发生动态改变。因此, 模拟和预测气候变化和人类活动影响下的水文时空分布和变化规律, 开展以水循环模拟为基础的区域动态水资源安全评价、水资源优化配置和适应性管理等重大需求的科学研究, 也必然成为当前水文水资源科学研究的前沿与热点问题。

## 2. 最严格水资源管理制度与水资源优化配置之间的关系

### 2.1. 水资源优化配置的含义

水资源配置研究起源于 20 世纪 60 年代以单个水库优化调度(点)为手段的水资源分配研究, 其后为了

解决水库群联合运行调度(线)问题,提出了水资源系统模拟模型,而后“哈佛水资源规划组(Harvard Water Program)”提出了统一考虑水资源与环境系统的设想,探索工程分析、经济目标和政府决策间的关系,并把系统分析的概念引入到水资源配置中,在区域或流域(面)上配置水资源[2]。经过多年的研究实践,水资源配置在空间上已经从点(单个水库)、线(梯级水库或水库群,关注点在河道内)拓展到了区域或流域层次的面上进行配置,这也是研究水资源配置与传统的水库调度之间区别之处[3]-[5]。

目前水资源配置的含义主要是指“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”[6]。水资源优化配置就是指在现实的约束条件下对其配置目标进行优化,且“优化”常用最大或最小目标来体现;而当前关于最严格水资源管理制度中“最严格”这一关键词具体含义的理解并不明确,实质上,“最严格水资源管理制度”的含义是指在现有条件下为实现我国资源节约型和环境友好型社会目标而实施的“最严格”管理手段,因此“最严格”也是由目标、约束条件组成;与“优化”概念相同,从这个意义上来说,最严格水资源管理就是最优化水资源管理,所以,水资源优化配置问题也就是最严格水资源管理制度中的核心和关键问题[4]-[6]。

## 2.2. 最严格水资源管理制度是落实水资源优化配置方案的根本保障

“制度”是指要求大家共同遵守的办事规程或行动准则或在一定历史条件下形成的政治、经济、文化等方面的体系,而最严格水资源管理制度就是为了实现水资源优化目标而制定的办事规程或行动准则或社会管理体系。水资源优化配置方案是在分析研究区水资源系统的特点和考虑不同用水主体的需求基础上,根据最严格水资源管理的目标,在区域或流域上实现整体效益的最大化。由于人或个体具有自身利用优先的思维方式和行为原则的自私性[7],尤其是在市场经济环境下,在对待水资源系统整体利益时,会出现损害整体最优的用水或水资源保护的行为,从而使得水资源优化配置目标不能自觉实现,需要强有力且以整体利益为出发点和落脚点的制度来进行约束,使损害整体利益最优的成本高于其所得,保证水资源优化配置方案落实与实施。因此,在水资源开发、利用、保护和监管过程中实施最严格的管理制度,是落实水资源优化配置方案的根本保障[8]。

## 2.3. 水资源优化配置是实施最严格水资源管理制度的核心支撑技术

最严格水资源管理制度的核心是确立水资源管理的“三条红线”。根据2014年1月27日水利部、国家发展和改革委员会、工业和信息化部、财政部、国土资源部、环境保护部、住房和城乡建设部、农业部、审计署和国家统计局等九个部委联合发布的“关于印发《实行最严格水资源管理制度考核工作实施方案》的通知”(水资源[2014]61号)要求,对三条红线的考核主要体现在用水总量(水资源开发利用控制红线)、万元工业增加值用水量(用水效率控制红线)、农田灌溉水有效利用系数(用水效率控制红线)和重要江河湖泊水功能区水质达标率(水功能区限制纳污红线)四个指标上,无论用水总量、用水效率还是水功能区达标控制指标的确定,都需要考虑社会经济背景、水资源系统特点和用水户需求,实质上就是需要对水资源系统进行优化配置,以及为了达到和满足考核指标的要求在水资源管理工作中落实水资源配置方案。所以无论是确定最严格水资源管理前提即“三条红线”的指标值还是具体实施与落实水资源管理目标,水资源优化配置均是其核心技术手段。

# 3. 水资源优化配置研究进展与存在的问题

## 3.1. 国内外研究进展

国外对水资源配置研究多是在水资源系统模拟的框架下进行的[2]。Shafer等(1978)提出在水资源系统

模拟框架下的水资源配置和管理,并建立了流域管理模型[9]; McKinney 和 Cai(2002)提出基于 GIS 的 GIS 系统(OOGIS)的水资源模拟系统框架,做了流域水资源配置研究的尝试[10]。20 世纪 90 年代以来,为推动水资源系统规划的发展与应用,国外开发了一系列水资源系统模拟软件,如:丹麦水利与环境研究所(DHI)的 Mike Basin、美国 Brigham Young 大学与陆军工程兵团共同开发的 WMS、奥地利环境软件与服务公司开发的流域综合管理软件 Waterware、以美国农业部(USDA)为主开发的流域水资源模拟模型 Aquarius、澳大利亚研制的 ICMS(Interactive Component Modeling System)水资源系统管理模型等,同时水资源配置对象从单纯的水量配置也逐步发展为考虑水质因素的水资源配置。Loucks 和 Stedinger(2005)编著出版了《水资源系统规划和管理》,详细地介绍了水资源规划和管理的方法、模型和应用实例[11]。Sechi 和 Sulis(2009)建立了优化—模拟集合模型来识别和评价抗旱措施的效果,确定优化次序来替代模拟调度规则,并在实际应用中评价确认关键参数的综合技术[12]。Sandoval-Solis 等(2011)提出水资源可持续利用指标,分析计算各区、环境和流域的用水量,用来评价和比较不同的水管理政策的可持续性[13]。Ahmadi 等(2012)建立了一个综合水资源管理模型,把三类决策目标:水污染控制,农业用水规划,考虑经济、环境和社会目标的水资源配置,结合在一起进行综合考虑。采用基因优化算法求解,确定上游地区农业生产效益最佳的水质水量,减轻土地利用变化造成的失业影响,并为下游地区提供可靠的供水[14]。Giacomoni 等(2013)提出了一个新的复杂校正系统来模拟人口增长,土地利用变化、水文循环、居民用水和流域之间调水的动态交互作用。通过智能自动决策模型与水文模型的耦合,当可供水量减少时采用适应性管理政策限制各行各业的用水量,评价供水系统在人口增长、土地利用变化和干旱情形下的可持续性[15]。Berhe 等(2013)采用 MODSIM,即流域管理决策支持系统,分析 Awash 流域在不同农业发展水平下的水量供需平衡,优化配置流域上、中、下游的水资源[16]。

国内水资源配置研究开始于 20 世纪 60 年代以水库优化调度为手段的水资源分配研究,经过一系列的国家科技攻关、自然科学基金等项目的研究以及生产实践的推动,尤其是 20 世纪 80 年代初华士乾等运用系统工程方法对北京地区的水资源进行了研究,并编著出版了《水资源系统分析指南》[17]。王浩等(2003)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[3]。金菊良等(2007)为确定区域水资源合理配置各评价指标的权重、有效处理区域水资源分配过程中的模糊性和随机性,提出了基于信息熵原理的模糊模式识别模型与基于加速遗传算法的模糊层次分析法相耦合,进行各子区域水资源量合理配置的新模型(EFPR-FAHP)[18]。耿福明等(2007)根据水资源价值、边际机会成本、最优化数学等理论,基于水资源净效益最大化的水资源优化配置思想,以水资源承载力、用水部门生存条件、用水公平性及可持续发展约束等水资源开发利用约束为准则,建立了基于水资源净效益最大化的水资源优化配置模型,并将该模型应用于南水北调受益区[19]。王福林和吴丹(2009)基于区域产业结构发展趋势及其演变规律,以保障区域生活用水需求与生态环境用水需求为前提,在区域水资源可供总量与产业发展用水需求量的约束条件下,建立基于水资源优化配置的区域产业结构动态演化模型[20]。陈强等(2010)利用改进的 SWAT 模型多水源灌溉模块,将水资源配置模型的农业灌溉用水分布到改进后的 SWAT 模型中,实现二模型的松散式耦合,这种分布式水文模型与配置模型的耦合为流域水资源管理提供了一种新的途径[21]。陈晓宏等(2011)以大系统分解协调理论作为技术支持,运用逐步宽容约束法及递阶分析算法,建立了以东江流域水资源合理利用为目标,综合考虑防洪、供水、河道生态等约束的水资源合理配置多目标分析模型,并对该流域特枯年的水资源量进行了优化配置和供需平衡分析[22]。

经过多年的努力,我国水资源配置理论体系逐步丰富与完善。总体上说,主要表现在:1) 配置研究的水源范围上,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

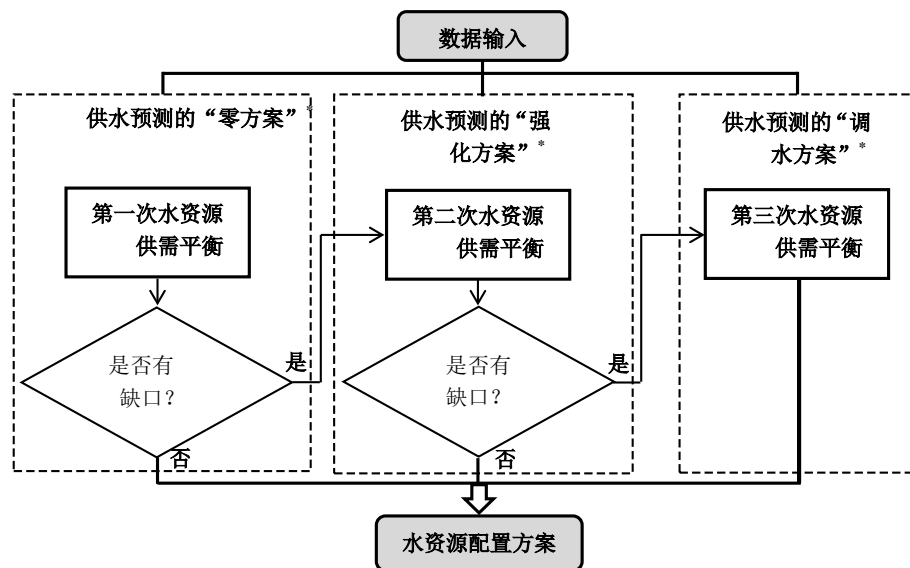


非常规水源的统一调配，从一次性水资源到再生性水资源的配置；2) 配置目标上，从单一的供水效益最大化发展到对流域水资源管理目标的多属性识别；3) 配置对象上，从供水量的配置发展到对取用水量与耗水量的统一分配，从水量分配到考虑水量水质的联合分配；4) 配置指导思想，从“以需定供”和“以供定需”到基于宏观经济的水资源配置，再到面向可持续发展配置；5) 配置方式上，从单一的工程措施扩展到采用经济、协商等多种手段并用的配置方式；6) 配置模型构建上，从“还原论”为基础的组模型方法到整体模型方法，系统动力学、大系统分解协调、多目标规划与决策技术等都引入到模型的构建和分析中；7) 配置模型求解技术上，根据所构建模型特点，已从线性规划、动态规划发展到多目标求解技术以及各种启发式智能算法，如模拟退火算法(SA)、蚁群算法(ACO)、遗传算法(GA)、粒子群算法(PSO)、人工免疫算法、人工鱼群算法、和声算法、多目标广义演化免疫算法(MEMOIA)、第二代非支配排序遗传算法(NSGA-II)等[3] [5] [22]。

### 3.2. 面临的问题与挑战

水资源配置模型主要分为模拟模型和优化模型两种，而将两者相结合的模拟优化模型是水资源配置模型的发展趋势，也是目前进行水资源配置研究的主要手段。尽管现有的水资源优化配置研究已取得了不少的进展，但与当前最严格水资源管理需求相比，还主要存在以下几个方面的问题和挑战：

1) 现有的水资源优化配置研究目的与实施最严格水资源管理的需求不匹配。现有的水资源优化配置研究的目的是用于水资源规划与设计。例如：根据现有水资源配置中常用的水资源“三次平衡”（见图 1）配置思路可以看出[6]：水资源配置主要是对供水预测的不同方案进行供需平衡分析，而供水预测是对规划工程和非工程措施(如节水措施)布置、规模设计等方面进行研究；而实施最严格水资源管理制度时尤其是考核制度实施中是对水资源配置进行实时管理或者事后评价，即需要利用水资源优化配置对已发生的配置过程进行评估，并与考核指标进行对比分析，为满足考核目标要求所做的下一步配置战略提供



\*：“零方案”是指现状水资源开发利用格局和发挥现有供水工程潜力的情况；“强化方案”是指强化节水、污水处理再利用、挖潜配套以及合理提高水价、调整产业结构、合理抑制需求和保护生态环境等措施；“调水方案”是指进一步加大调整经济布局和产业结构及节水的力度，具有跨流域调水可能的，应考虑实施跨流域调水[6]。

Figure 1. The flowchart of water allocation based on the “Three Times Water Supply and Demand Balance Law”

图 1. 水资源“三次平衡”配置图

决策支持。因此，最严格水资源管理制度下的水资源优化配置，不仅需要满足传统水资源配置中的工程规划和设计的需要，而且还应为最严格水资源管理制度中实时的水资源调度决策提供支持。

**2) 现有以水资源优化配置为基础的水量与纳污量分配方案，不能满足构建最严格水资源管理考核制度的需求。**2012年1月12日国务院颁发的《国务院关于实行最严格水资源管理制度的意见》(国发[2012]3号)中阐明了到2015年、2020年和2030年水资源开发利用控制、用水效率控制和水功能区限制纳污三条红线的目标，但用水量尤其是农业用水量和生态环境补水两方面易受到天然降水影响，即不同的降水量和不同的降水过程直接影响其用水量的多少，而现有以水资源配置为基础的水量分配与纳污量分配方案及其确定的考核指标，均未反映出不同时空尺度的水量和水质的变化过程，给实施最严格水资源管理制度带来挑战。

**3) 由于降水(径流)和用水的空间分布不均匀性，对最严格水资源管理制度中实际用水量考核所必须具备的公平性带来挑战。**由于各地自然条件不同，降水量和降水过程也不完全相同，而受自然条件影响较大的用水户如农业和生态环境在空间上也常呈现出非均匀性，特别是我国南北水资源条件差别巨大，再加上不同区域的用水结构(经济结构的差异带来的用水过程和用水量的不同，比如重工业为主的城市和高科技的电子产品为主的城市)不同，如何在水资源配置中建立各个区域均能接受的考核标准尤其是用水效率考核标准，并针对不同考核标准，又如何实现在某一区域内进行再配置，从而使得该区域整体上满足最严格水资源管理的要求，是水资源优化配置急需解决的问题之一。例如当国家层对各个省或直辖市进行考核时，关注的空间尺度单元为省或直辖市，而为了满足省或直辖市考核标准的要求，各个省或直辖市也将考核指标分解到其各自的地级市。在满足总量要求下如何进行各区域之间分配，是水资源优化配置需解决的问题。但目前水资源配置中采用水资源分区套行政区进行长系列计算后，在流域上选择某一个典型年(与典型频率对应)进行配置思路已不能完全满足水资源实时管理的需要，其原因是在省或直辖市分解到各个地级市(或水资源分区套行政区)的用水总量指标是按某一个典型年(与典型频率对应)情况进行配置，而该典型年内发生的用水过程或不同区域的用水量不可能在现在或将来的实际中再次发生，或者说不可能在一个流域或区域内同时发生典型年的降水分布情况和用水分布状况，那么用其典型年进行空间分配的思路与实际的实时水资源管理难以匹配，这为落实最严格水资源管理的考核提出了挑战。

**4) 水资源供需在时间上的矛盾，使得以历史资料为基础的静态水资源优化配置不再适应最严格水资源管理的要求。**现有的以历史资料系列为基础的水资源配置研究，反映的是历史来水和未来社会经济条件组合的情景下配置情况，与3)中空间来水分布不可能在将来重复发生一样，时间上的来水过程也不一样(如年际间和年内来水量不同)，且水资源需求量也不一样，使得以历史资料为基础的静态水资源优化配置不再适应最严格水资源管理的要求。但采用年用水量来考核某一区域的水资源开发利用控制情况，为区域内通过动态的优化配置水资源满足考核要求提供了可能。首先由于该区域内各子区域用水结构不同，可通过相互调配在满足考核要求的同时，也使得该区域供水综合效益实现最大化；另外可以根据不同时段单位用水效益的不同在年内时间内进行调配。

为了避免来水量年际之间的差别带来用水量差别，2014年1月九部委联合发布的《实行最严格水资源管理制度考核工作实施方案》中对用水总量考核要求是将“当年用水总量折算成平水年用水总量”，这虽然考虑了客观因素引起的年际变化，并也能够一定程度上克服上述静态配置的不足，但并没有给出如何折算方法和计算公式且不能完整反映动态变化特点；同时需要指出的是：折算方法和公式的构建也必须是建立新的水资源配置模型的基础上。

**5) 最严格水资源管理中水量配置和纳污量配置，分别是实现水资源开发利用控制红线和满足水功能区达标控制指标关键途径，但目前的水资源配置尚未将两者进行有效的耦合。**尽管国内外进行了一些水

量水质联合配置(实际上“水量水质分配或配置”这一说法存在问题,水量是通量,可以分配或配置,但水质是一状态量,如何分配?)的研究[23]-[26],但这些研究通常采用单向联系,即将不符合水质要求的水量直接从水资源可利用量中扣除,或以水功能区的水质目标为约束,在水量分配后,根据水量条件,选择某一设计条件进行污染物分配,这些方法和手段较少考虑水量与水质条件之间双向耦合[27]。在河库联合模拟和调度中,将水资源量的调度与影响水质的污染物排放量调度相互耦合,从而使得以水量分配为核心的水资源开发利用控制与纳污量分配为基础的水功能区达标控制实现相互满足,避免水量满足要求而水功能区不达标或相反,因此,建立真正水量分配与纳污量分配相耦合的水资源配置模型才能满足最严格水资源管理的现实需求。

6) 现有的水资源配置的基础理论与方法无法完全适应变化环境条件下水资源优化配置和管理需求。气候变化和人类活动的剧烈影响[28],给传统的以一致性为基础的水文频率计算[29]与水文模拟[30]带来了挑战,那么也给传统以频率计算为基础的典型年选择方法或长系列法即用历史系列资料为输入的水资源配置带来了新的问题;同时人类社会经济的发展,科技进步,水资源需求也发生变化,水资源配置能力和结构也发生变化。国际水文科学协会(IAHS)2013年正式启动 PantaRhei(2013~2022)科学计划[31],主题是变化中的水文与社会(Change in Hydrology and Society),该计划提出了6个科学问题,即:①人们认知水文变化的主要差距在哪?②水文系统变化如何通过水文过程驱动与自然、社会系统相互作用和反馈?③什么是水文系统变化的外部驱动力和内部系统特征?④怎样运用水文和社会耦合系统新知识来提升预测能力,包括预测结果的不确定性计算、可预测性评价?⑤如何增强水文监测和数据分析能力、以便预测和管理水文过程变化?⑥怎样考虑水文自然变化与人类活动影响的相互反馈和不确定性,支撑经济社会发展适应这些变化条件?通过对上述6个科学问题进行研究探讨,以实现科学认知、预测评估、实际应用三大目标,构成水文科学研究的整体平台,应对处于正在变化中的环境系统和经济社会发展的需求。因此,必须提出一些新的理论和方法,以适应变化环境下水资源的优化配置和管理要求。

## 4. 最严格水资源管理制度下水资源优化配置研究的对策

### 4.1. 水资源优化配置的模型结构

最严格的水资源管理制度针对我国水资源短缺和水污染严重问题,提出了明确的“三条红线”管理目标,为适应和满足现实的水资源管理需求,水资源优化配置模型中需将“三条红线”的考核目标转换成目标函数或约束条件。

用水总量控制目标,要在现有水资源配置模型目标函数缺水量最小转换成配水量小于用水量考核目标的约束下,用水量考核目标值与配水量的差值最大。针对用水效率考核,降低万元工业增加值用水量指标一方面通过加大工业增加值,另一方面是降低工业用水量;后者已通过用水总量控制目标得以体现,前者可在现有经济效益最大目标函数中加以强化,这样在考核区域内可优化分配工业用水,使得工业用水向效益高的企业和区域内配置,也符合当前产业结构调整宏观战略。水功能区达标率主要是通过污染物排放量控制来实现,可在水资源优化配置中建立纳污量分配目标函数,并将该目标函数的决策变量和前面涉及水量分配的决策变量,通过相应的水动力方程、水质方程进行耦合,满足用水量考核和水功能区达标考核的要求,实现水量与排污量分配的耦合。而农田灌溉用水有效利用系数通过对考核区域内不同子区域农田灌溉用水的效益分析,并根据用水变化规律,在考虑基本农田用水需求的情况下,对该考核区域内的农田灌溉用水进行优化配置(如建立以不同区域不同时间农田灌溉用水效益系数为权重的配置目标函数),使其农业用水向效益高的水区进行配置,与此同时利用工程措施,对灌溉系统进行升级改造,在实时监控墒情和农田用水需求的情况下,在时间上逐步实现优化配置水资源。



## 4.2. 水资源优化配置的模型动态适应与求解

水资源配置模型中输入的来水条件与水资源需求均随时间而动态变化,即供需平衡的整体变化,这种动态变化需动摇了传统以历史资料为基础的静态水资源优化配置理论与方法,需建立根据内外条件实时动态调整的对水资源配置模型来适应。从模型输入来说,目前已有大量的未来气候变化对水资源影响的研究(虽然面临很多挑战),但大部分研究还停留在分析水量多少变化的分析上,而针对这些来水量的变化是否会对水资源优化配置产生的影响?其定量研究工作甚少。可将这些研究成果作为输入在水资源系统模型中进行配置效果对比分析;另外,水资源需求量不仅受气候和水资源条件的影响而且也受到社会经济因素的驱动,同时水资源配置的工程和非工程条件也影响着水资源配置能力和范围。因此,需构建动态的水资源配置模型来适应内外在条件变化,从而满足实时动态水资源管理的必要需求。动态的水资源配置模型结构由于模型变量条件的变化,必要要求其优化求解算法也随之动态变化,可在现有优化算法的基础上,研究出能适应动态变化的优化算法如多智能体或元胞自动机等优化算法。

## 4.3. 水资源优化配置方案的评价

水资源优化配置模型必然存在系统概化和多目标性特点,使得优化配置结果和方案呈现出非唯一性,为方便决策和管理的需要,还需在最严格水资源管理过程中需对各配置方案进行综合评价。综合评价一般由评价指标体系、评价标准和综合评价方法三部分组成。评价指标体系可根据最严格水资源管理的考核要求指标进行建立,且可根据九个部委联合发布的“关于印发《实行最严格水资源管理制度考核工作实施方案》的通知”,建立各个区域自己的评价标准和等级,其评价方法可根据该通知给出的打分方法进行评价,而对于超目标值情况(打分法为0分)可采用传统的综合评价方法如单指标法、模糊法进行评价,有利于分析各不同方案造成其评价结果不同的原因,并有利于经验总结。

## 5. 结论和建议

在综述国内外水资源系统分析和优化配置研究进展的基础上,结合我国存在的严重水问题,论证实施最严格水资源管理制度的必要性。阐述了最严格的水资源管理制度内涵与水资源优化配置的相互关系,明确了最严格水资源管理中“最严格”的含义与最优化的含义相同,并理清了最严格水资源管理制度是落实水资源优化配置方案的根本保障,而水资源优化配置是实施最严格水资源管理制度的核心支撑技术。

根据国内水资源优化配置研究现状,针对最严格水资源管理的要求,阐述了水资源优化配置研究不足和面临的问题,并进一步阐明了动态最优化水资源管理的概念,也说明最严格的水资源管理是一定条件下的“最严格”。

在水资源监控系统逐步建立和完善的条件下,水资源优化配置在模型构建及其求解上,亦需逐步动态化和实时化,从而满足最严格水资源管理的需求,保障社会经济的可持续发展。

## 参考文献 (References)

- [1] 国务院. 关于实行最严格水资源管理制度的意见(国发(2012)3号), 2012.  
The Chinese State Council. Opinions of applying the strictest water resources control system, No. 3, 2012. (in Chinese)
- [2] HUFSCHMIDTMM, M. D., et al. Design of water resources management. Cambridge: Harvard University Press, 1962.
- [3] 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.  
WANG Hao, QIN Da-yong, WANG Jian-hua, et al. Reasonable water resources allocation in River Basin. Beijing: Science Press, 2003. (in Chinese)
- [4] 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.  
WANG Hao, WANG Jian-hua and QIN Da-yong. Research advances and direction on the theory and practice of rea-



- sonable water resources allocation. *Advances in Water Science*, 2004, 15(1): 123-128. (in Chinese)
- [5] 柳长顺, 刘昌明, 杨红. 流域水资源合理配置与管理研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.  
LIU Chang-shun, LIU Chang-ming and YANG Hong. Reasonable water resources allocation and management. Beijing: China Water Power Press, 2007. (in Chinese)
- [6] 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.  
Hydropower and Water Resources Planning and Design General Institute of MWR. Outline of water resources overall planning. Beijing: Hydropower and Water Resources Planning and Design General Institute of MWR, 2002. (in Chinese)
- [7] 陈浩. 基于人的自私性的生态哲学分析——论生态问题[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2013, 23(6): 23-26.  
CHEN Hao. Eco-philosophy analysis based on hominine selfishness-discussion ecological problem. *Journal of Environmental Management College of China*, 2013, 23(6): 23-26. (in Chinese)
- [8] 左其亭, 李可任. 最严格水资源管理制度理论体系探讨[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(1): 34-38.  
ZUO Qi-ting, LI Ke-ren. Discussion on theoretical system of the strictest water resources management system. *South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2013, 11(1): 34-38. (in Chinese)
- [9] SHAFER, J. M., LABADIE, J. Synthesis and calibration of a river basin water management model. Colorado State University, 1978.
- [10] MCKINNEY, D. C., CAI, X. Linking GIS and water resources management models: An object-oriented method. *Environmental Modeling & Software*, 2002, 17(5): 413-425.
- [11] LOUCKS, D. P., STEDINGER, J. R. Water resources system planning and management, an introduction to methods. In: *Models and Applications*, UNESCO Publishing, 2005.
- [12] SECHI, G. M., SULIS, A. Water system management through a mixed optimization-simulation approach. *Journal Water Resources Planning & Management*, 2009, 135(3): 160-170.
- [13] SANDOVAL-SOLIS, S., MCKINNEY, D. C. and LOUCKS, D. P. Sustainability index for water resources planning and management. *Journal Water Resources Planning & Management*, 2011, 137(5): 381-390.
- [14] AHMADI, A., KARAMOOUZ, M., MORIDI, A. and HAN, D. Integrated planning of land use and water allocation on a watershed scale considering social and water quality issues. *Journal Water Resources Planning & Management*, 2012, 138(6): 671-681.
- [15] GIACOMONI, M. H., KANTA, L. and ZECHMAN, E. M. Complex adaptive systems approach to simulate the sustainability of water resources and urbanization. *Journal Water Resources Planning & Management*, 2013, 139(5): 554-564.
- [16] BERHE, F.T., MELESSE, A. M., HAILU, D. and SILESHI, Y. MODSIM-based water allocation modeling of Awash river basin, Ethiopia. *Catena*, 2013, 109: 118-128.
- [17] 华士乾. 水资源系统分析指南[M]. 北京: 水利电力出版社, 1988.  
HUA Shi-qian. A guide to water resources systematic analysis. Beijing: Water Resources and Electric Power Press, 1988. (in Chinese)
- [18] 金菊良, 王文圣, 程吉林, 等. 区域水资源合理配置的模糊模式识别——模糊层次分析法的熵耦合模型[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2007, 39(2): 9-13.  
JIN Ju-liang, WANG Wen-sheng, CHENG Ji-lin, et al. Entropy coupled model of fuzzy pattern recognition and FAHP for reasonable allocation of water resources to region. *Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition)*, 2007, 39(2): 9-13. (in Chinese)
- [19] 耿福明, 薛联青, 吴义锋. 基于净效益最大化的区域水资源优化配置[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2007, 35(2): 149-152.  
GENG Fu-ming, XUE Lian-qing and WU Yi-feng. Optimal allocation of regional water resources based on maximization of net benefit. *Journal of Hohai University (Natural Sciences)*, 2007, 35(2): 149-152. (in Chinese)
- [20] 王福林, 吴丹. 基于水资源优化配置的区域产业结构动态演化模型[J]. 软科学, 2009, 23(5): 92-96.  
WANG Fulin, WU Dan. Regional industrial structure dynamic evolutionary model based on water resource optimal allocation. *Soft Science*, 2009, 23(5): 92-96. (in Chinese)
- [21] 陈强, 秦大庸, 苟思, 等. SWAT模型与水资源配置模型的耦合研究[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(1): 19-22.  
CHEN Qiang, QIN Da-yong, GOU Si, et al. Research of the coupling of SWAT model and water allocation model. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2010, 29(1): 19-22. (in Chinese)
- [22] 陈晓宏, 刘德地, 刘丙军, 等. 湿润区变化环境下的水资源优化配置——理论方法与东江流域应用实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2011.  
CHEN Xiao-hong, LIU De-di, LIU Bing-jun, et al. Optimal water resources allocation in humid area under changing environment—Theories and application in Dongjiang River Basin. Beijing: China Water Power Press, 2011. (in Chinese)

nese)

- [23] LOFTIS, B., LABADIE, J. W. and FONTANE, D. Optimal operation of a system of lakes for quality and quantity. Proceedings of Specially Conference on Computer Applications in Water Resources, Buffalo, NY, 1985.
- [24] WONG HUGH, S., SUN, N.-Z. Optimization of conjunctive use of surface water and groundwater with water quality constraints. Proceeding of the Annual Water Resources Planning and Management Conference, 1997.
- [25] DE AZEVEDO, L. G. T., GATES, T. K., FONTANE, D. G., LABADIE, J. W. and PORTO, R. L. Integration of water quantity and quality in strategic river basin planning. *Journal of Water Resources Planning & Management*, 2000, 126(2): 85-97.
- [26] 徐国宾, 王健, 马超. 耦合水质目标的三峡水库非汛期多目标优化调度模型[J]. *水力发电学报*, 2011, 30(3): 78-84.  
XU Guo-bin, WANG Jian and MA Chao. Multi-objective optimal dispatching model combined with water quality objectives for Three Gorges reservoir in non-flood season. *Journal of Hydroelectric Engineering*, 2011, 30(3): 78-84. (in Chinese)
- [27] LIU, D. D., GUO, S. L., SHAO, Q. X., et al. Optimal allocation of water quantity and waste load in the Northwest Pearl River Delta, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2014.
- [28] 张建云, 王国庆. 气候变化对水文水资源影响研究[M]. 北京: 科学出版社, 2007.  
ZHANG Jian-yun, WANG Guo-qing. Impact of climate change on hydrology and water resources. Beijing: Science Press, 2003. (in Chinese)
- [29] MILLY, P. C. D., BETANCOURT, J., FALKENMARK, M., HIRSCH, R. M., KUNDZEWICZ, Z. W., LETTENMAIER, D. P. and STOUFFER, R. J. Stationarity is dead: Whither water management? *Science*, 2008, 319(5863): 573-574.
- [30] 许崇育, 陈华, 郭生练. 变化环境下水文模拟的几个关键问题和挑战[J]. *水资源研究*, 2013, 2(2): 85-95.  
XU Chong-yu, CHEN Hua and GUO Sheng-lian. Hydrological modeling in a changing environment: Issues and challenges. *Journal of Water Resources Research*, 2013, 2(2): 85-95. (in Chinese)
- [31] MONTANARI, A., YOUNG, G., SAVENIJE, H. H. G., et al. "Panta Rhei-Everything Flows": Change in hydrology and society—The IAHS scientific decade 2013-2022. *Hydrological Sciences Journal*, 2013, 28(6): 1256-1275.