

城市水源配置及其方案评估研究进展

阳眉剑¹, 秦天玲¹, 杨志勇¹, 于赢东¹, 郭海^{2,3}

(1. 中国水利水电科学研究院 流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038;

2. 高原圣果沙棘制品有限公司, 北京 100038; 3. 内蒙古海静环保科技有限公司, 内蒙古 鄂尔多斯 017000)

摘要: 城市作为一个多水源的系统, 如何保证各个水源之间的合理配置以达到不同时间尺度的用水需要、实现水资源高效利用, 已经成为当前所面临的重大问题。在讨论城市水源配置特征、城市发展与水源演变的基础上, 分析了国内外城市水源配置的研究成果, 对比了各种配置模型及其方案评估方法, 并对未来城市水源配置的发展趋势进行展望。

关键词: 城市水源配置; 配置模型; 方案评估; 研究进展; 配置技术; 模型求解; 指标

中图分类号: TU991 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)02-0382-05

Research progress of urban water source allocation and solution assessment

YANG Mei jian¹, QIN Tian ling¹, YANG Zhi yong¹, YU Ying dong¹, GUO Hai^{2,3}

(1. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 2. Conseco Seabuckthorn Co., Ltd, Beijing 100038, China; 3. Inner Mongolia Haijing Environmental Protection Science and Technology Co., Ltd, Ordos Inner Mongolia 017000, China)

Abstract: Many cities utilize multiple water sources. Reasonable allocation between different water sources in different time scales has become a big issue for the current research in order to meet demand efficiently. In this paper, the research progress of urban water source allocation was analyzed based on the urban water source allocation characteristics, urban development, and water source evolution. Different allocation models and their scheme assessment methods were discussed, and the development tendency of urban water source allocation in the future was predicted.

Key words: urban water source allocation; allocation model; scheme assessment; research progress; allocation technology; model solution; index

随着城市扩张模式的转变, 水资源的供需矛盾日益凸显, 逐渐成为影响城市发展的关键性因素之一^[1]。因此, 合理配置有限的水资源、保障城市供水安全是水资源管理中的关键任务^[2]。城市水源配置理论始于 20 世纪 40 年代, 随着计算机技术与水资源配置技术等学科的发展, 配置方式从单一的水库调度发展为综合性的多水源联合调配, 配置模型从简单的线性规划模型发展为多目标、多阶段、大系统模型, 评估指标由单一目标向多层次、多准则、多指标演变^[3]。本文通过分析城市发展模式与水循环、水源特征之间关系, 系统梳理了国内外城市水源配置技术和配置方案评估技术, 并对其未来发展趋势进行初步探讨。

1 城市水源配置概述

1.1 城市水源配置的特征

与传统水资源配置相比, 城市水源配置存在明显区别: 在水源方面, 传统地表水和地下水水源在城市已经基本达到饱和和利用, 而回用水、雨水、外调水及海水已经成为解决城市水危机的必要选择; 在用水对象方面, 传统水资源配置中农业用水占有较大比例, 而城市用水主要为生活用水和工业用水, 对水源有较高的水质及供水保证率要求; 在水源供给系统方面, 传统水源配置只着眼于对城市整体的输水过程, 而城市水源配置更要考虑市内供水及排水管道的布置; 在水源

收稿日期: 2014-07-10 修回日期: 2015-02-13 网络出版时间: 2014-03-19

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20150319.1624.018.html>

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项“南水北调受水区城市水源优化配置及安全调控技术研究”(2012ZX07404-001)

作者简介: 阳眉剑(1993-), 男, 湖南邵阳人, 主要从事水文水资源方面研究。E-mail: oymj2082@163.com

通讯作者: 秦天玲(1986-), 女, 山东临淄人, 工程师, 主要从事气候变化与水文水资源方面研究。E-mail: tianling406@163.com

管理方面,传统水源配置只着眼于某一类用水户或者某一个部门的利益,而城市水源配置要将城市作为一个大系统,使城市整体获益最大。

1.2 城市水源配置技术发展历程

城市水源配置以城市水源系统为研究对象,旨在解决城市水资源供需平衡问题,进而协调社会经济系统与生态环境系统之间的关系。随着研究深入和计算机技术的飞速发展,城市水源配置技术也在不断发展,可分为三个阶段。

(1) 萌芽阶段(1940年-1960年)。最初源于20世纪40年代 Masse 提出的水库优化调度模型,此后水源配置技术开始应用于城市水源配置领域。该阶段的配置技术主要集中在水库调度方面,还没有全面考虑整个城市的水源系统。

(2) 初步形成阶段(1970年-1990年)。在计算机技术的带动之下,初步的水源配置理论体系开始形成,其研究内容从只考虑地表水的配置发展到考虑地表水和地下水的联合配置,从单一的水量管理转变为水量与水质的统一管理;研究目标逐渐转变为生态环境与经济社会的可持续发展;市

场机制等原则也初步应用于水源配置。该阶段也是我国城市水源配置模型的起步阶段。

(3) 发展阶段(21世纪初至今)。多目标决策技术、大系统优化理论、模糊技术等现代技术的应用,极大推动了水源配置技术的发展。在该时期,我国的水源配置模型得到了飞速发展,产生了基于遗传算法的区域水资源优化配置模型、多目标递阶控制模型、基于水资源可持续利用的系统配置模型等多种技术手段。目前,水源配置技术的核心是建立配置模型。经过几十年的发展,涌现出大量的配置模型,并取得了显著的成果,主要有:1) 线性规划模型,求解线性约束问题;2) 非线性规划模型,求解非线性约束问题;3) 动态规划模型,求解多阶段决策问题;4) 多目标多阶段决策技术,求解多目标多阶段问题;5) 大系统优化技术,求解系统综合问题。模型的求解方法也在随之不断进步,从最开始只能求解简单的线性规划模型发展到现在的能求解各种复杂综合的模型,方法日趋多样化、具体化、综合化。这些模型技术在求解方法和工程应用方面各具优势和不足,详见见表1。

表1 城市水源配置技术及应用

Tab. 1 Urban water source allocation technology and its application

配置技术	求解问题	典型解法	工程实例	优点	不足
线性规划模型	用来解决约束条件为线性等式或不等式,目标函数为线性函数的最优化问题,用于研究有限资源的分配利用以获得最大效益。	修正单纯形法	刘有武 ^[4] 根据武汉市西湖水系的基本情况,采用系统分析的方法,分析研究水系的资源配置要素,拟定目标函数及约束条件,利用修正单纯形法求出了结果	可以处理多品种问题	考虑的因素不够全面或因素难以测得
非线性规划模型	用来解决目标函数或约束条件中有非线性函数的问题。	模糊数学规划法	谢新民 ^[5] 先后建立了济南地下水资源系统多目标管理模型、地下水资源系统多目标模糊管理模型及相应的计算方法	可以处理难以用线性表达的问题	比线性规划模型求解困难
动态规划模型	根据多阶段决策问题特点,可把多阶段决策问题化为一组相互联系的单阶段决策问题,逐个加以解决。	动态规划法	最初由 N. Buras 和 W. A. Hall ^[6] 用动态规划求解地表与地下水的分配问题,研究地表水与地下水联合规划与管理问题	求解多阶段决策问题的最优策略	没有标准表达式和明确定义的规则
多目标多阶段决策技术	水资源规划和管理的目标转变,是从单一的追求经济效益最大化到对各种因素的指标进行综合衡量后,做出合理的决策。	分段静态长系列法	马宏志等 ^[7] 根据可持续发展理论,提出一种交互式宏观多目标优化与方案动态模拟相结合的决策支持规划思想和操作方法,开发出相应的规划决策支持系统	确定多种目标下决策的优劣	必须舍弃某些单个目标的最优
大系统优化技术	大系统优化技术可以理解规模为庞大、因素众多、结构复杂、变量数目多、功能综合的技术。	系统工程法	许新宜等 ^[8] 系统地建立了基于宏观经济的水资源优化配置理论技术体系	解决众多小环节相互联系的大系统的求解	数学模型一般维数较高,求解困难

2 水资源配置方案评估方法研究进展

2.1 评估指标体系及其发展历程

我国水资源配置方案评估指标体系的研究始于20世纪80年代,由全国水资源初步成果汇总技术小组所编制的《中国水资源初步评价》最初定义了水资源配置方案评估指标。20世纪90年代以后,各种新型评估指标体系不断涌现,其主要发展历程总结如图1。总体上,水资源配置评估指标体系的研究过程是一个由单目标向多层次、多准则、多指标演变的过程,是一个考虑因素越来越全面的、逐步完善的发展过程。由于一般性评估指标体系并不能适应于所有水资源配置评估中,所以除了建立指标体系外,还相应地包括了评估指标筛选方法的研究。

2.2 评估方法分类及对比

在对配置模型进行求解得到具体配置方案之后,如何对



图1 水资源配置指标体系发展历程

Fig. 1 Development progress of water resources allocation index 各方案进行多方面评估比较来选择出最优方案成为关键问题。随着对方案评价方法研究的不断加深,人们发现很多单

一的评价方法在实际应用中都存在缺陷。为了弥补不足,研究者常将几种评价方法相互综合,形成合成评价法,应用效果较好。目前应用于水资源配置方案评价的评价方法主要有两类:¹ 考虑指标分级值,根据评价指标分级临界值计算各方案相对于评价总目标的评价等级,能直观看出各方案与

最优方案的差距;² 不考虑指标分级值,直接根据各方案的评价指标值确定既有方案的优劣次序,操作简单,所需数据资料少。两者主要区别及工程应用见表 2。在实际应用中,应当具体问题具体分析,选择最适合当地情况的评估方法,以求达到最佳评估效果。

表 2 水资源配置方案主要评估方法分类及对比

Tab. 2 Classification and comparison of main assessment methods in water resources allocation

类型	概念	优点	不足	代表方法	应用			
考虑指标分级值	根据评价指标分级临界值计算各方案相对于评价总目标的评价等级,根据评价等级进行方案排序,这些数的大小不仅表示方案的优劣,还表示方案的优劣程度	可以评价出所有方案相对于绝对最佳方案的距离,进而反复调整配置方案,然后进行评价,能最终得到令人满意的最佳配水方案	评价不同的区域确定的评价指标分级阈值不同,具体划分很难统一	模糊识别模型	陈文艳等 ^[23] 以海河流域为例进行水资源配置方案评价			
				概率神经网络	崔东文等 ^[24] 建立了 PNN 水资源合理配置评价模型,对文山州不同规划水平年水资源配置的合理性进行综合评价			
				层次分析法	王好芳等 ^[25] 根据可持续发展的理论,进行区域水资源可持续开发利用评价			
				遗传投影寻踪方法(GPPM)	杨晓华等 ^[26] 黄河中游关中地区水资源潜力进行了综合评价			
				集对分析方法	门宝辉等 ^[27] 对西安市水资源开发利用程度的评价			
				变异系数法和层次分析法结合	罗朝晖等 ^[28] 建立西安市水资源开发利用程度综合评价的 TOPSIS 模型			
				模糊物元法	李恩宽等 ^[29] 对西安市水资源开发利用进行综合评价			
				模糊优选模型	崔振才 ^[30] 等研究水库正常高水位的选择			
				不考虑指标分级值	不用考虑评价指标分级值,直接根据各方案的评价指标值,确定既有方案的优劣次序,而不能反应优劣程度	能选出相对最佳方案,却不能确定选出的相对最佳方案是否是相对于评价总目标的最佳方案	灰色关联分析法	孙晓东等 ^[31] 对传统理想解法(TOPSIS)进行了拓展,以灰色关联度为决策单元构造 GG-TOPSIS 模型
							多层模糊物元模型	马细霞等 ^[32] 对武嘉灌区水资源配置方案进行评价
多属性效用理论与 BP 神经网络理论结合	吴泽宁等 ^[33] 建立了水资源利用效果评价的效用模拟 BP 网络综合评价模型							
数值模拟法	董少刚等 ^[34] 建立了大同盆地地下水的三维流动数学模型,评价了大同盆地地下水资源量							

3 城市水源配置研究趋势

3.1 城市水源配置模型

随着城市化进程的不断加快,城市扩张模式的不断转变,城市水源种类越发多样化、复杂化,现有的水源配置模型难以满足将来水源配置的需要,今后的研究趋势主要如下。

(1) 由于不同城市的水源配置模型都应与城市主体相配套,不能脱离城市本身的状况凭空照搬理论,因此水源配置模型也将融合城市特点而发展成具有针对性的独立模型。

(2) 目前,水源配置模型受到普遍重视,但不同模型目标以及约束条件缺乏统一标准。过分追求模型自身的精细化与复杂化未必有利于指导水源优化配置的工程实践,因此,注重模型的可视化发展更有利于推动模型的实际应用。

3.2 配置方案评估方法

(1) 随着可持续发展相关理论及技术方法的进入,配置方案评估将综合新的理论和技术方法的优点,不断对已有方法进行修正与补充,使评估方法满足可持续发展的需要。评估方法的选取与改善也将结合城市所处的发展阶段,以遴选出城市水源配置的最优方案。

(2) 在建立评价指标体系的同时,必须要考虑其实际可操作性,还需要提出相应的应用与操作方法,对多种复杂因素的相互依存关系和动态影响如何表现在指标上,亦有待深入和提高。

4 结语

基于城市发展历程及其与水循环、水源之间的内在联系,本文系统梳理了城市水源配置理论、方法、模型以及配置评估技术,并对相关技术的未来发展趋势进行展望。随着城市化进程的推进和社会经济对水资源的刚性需求增加,多水源的共同开发利用是城市朝着生态城市发展、实现城市零排放的最终目标的必由之路。因此,在城市水源配置研究过程中,如何在已有的配置理论与技术的基础之上,充分考虑城市发展阶段的特征和水循环演变,融合计算机技术等先进方法,建立健全理论基础、配置模型与评估方法,对大型水利工程的城市水源配置与实时调度研究提供技术支持。

参考文献(References):

- [1] 王顺久,侯玉,张欣莉,等.水资源优化配置理论发展研究[J].中国人口、资源与环境,2002,12(5):79-81. (WANG Shur jiu, HOU Yu, ZHANG Xir li, et al. Study on the development of optimal allocation theory of water resources[J]. China Population, Resources and Environment, 2002, 12(5): 79-81. (in Chinese))
- [2] 董婕,张华丽,延军平.西安城市化进程对城市用水的影响[J].资源科学,2010,32(8):1520-1526. (DONG Jie, ZHANG Huar li, YAN Jur ping. The influence of urbanization on urban water consumption in Xi'an City[J]. Resources Science, 2010, 32(8):

- 1520-1526. (in Chinese))
- [3] 王新才. 规划水资源论证实践与思考[J]. 人民长江, 2012, 43(19): 1-5. (WANG Xir cai. Practice and thinking of assessment for water resources planning[J]. Yangtze River, 2012, 43(19): 1-5. (in Chinese))
- [4] 刘有武. 武汉市西湖水资源合理配置研究[J]. 中国农村水利水电, 2003(5): 46-47. (LIU Youwu. Water resources optimal allocation research in Xihu Lake, Wuhan City[J]. China Rural Water and Hydropower, 2003(5): 46-47. (in Chinese))
- [5] 谢新民. 济南地下水资源系统多目标管理模型及模糊带权方法[J]. 自然资源学报, 1993, 8(1): 63-72. (XIE Xinmin. A multi purpose management model and the fuzzyweight method for groundwater resource system in Jinan City[J]. Journal of Natural Resources, 1993, 8(1): 63-72. (in Chinese))
- [6] [美]N. 伯拉斯. 水资源科学分配[M]. 戴国瑞译. 北京: 水利水电出版社, 1983: 12-13. (Nebulas. Scientific allocation of water resources[M]. Translated by DAI Guorui. Beijing: China Water Power Press, 1983: 12-13. (in Chinese))
- [7] 王忠静, 马宏志, 翁文斌. 干旱内陆河区水资源可持续利用规划方法研究[J]. 清华大学学报, 1998, 38(1): 33-36. (WANG Zhongjing, MA Hongzhi, WENG Wenbin. Study on the planning methods of sustainable utility of water resources for arid area[J]. Journal of Tsinghua University, 1998, 38(1): 33-36. (in Chinese))
- [8] 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: 34-40. (XU Xin yi, WANG Hao, GAN Hong, et al. Theories and methods in macroscopic economy water resources planning in North China[M]. Zhengzhou: The Yellow River Water Conservancy Press, 1997: 34-40. (in Chinese))
- [9] 金晶, 唐德善, 李晓英. 基于AHP模糊决策模型的水资源配置方案优选[J]. 水电能源科学, 2013, 31(7): 33-35. (JIN Jing, TANG Deshan, LI Xiaoying. Scheme optimization of water resources allocation based on AHP-Fuzzy decision model[J]. Water Resources and Power, 2013, 31(7): 33-35. (in Chinese))
- [10] 王春山. 邛山生态园区水资源配置指标方法评价及其应用[J]. 科技传播, 2012(13): 76-77. (WANG Chunshan. Water resources allocation index method assessment and application in Mangshan Ecology Park[J]. Public Communication of Science and Technology, 2012(13): 76-77. (in Chinese))
- [11] 刘喜峰, 谷红梅, 王海潮, 等. 公共水资源公平配置研究[J]. 人民黄河, 2007, 29(1): 43-44, 49. (LIU Xifeng, GU Hongmei, WANG Haichao, et al. Research on equal allocation in public water resources[J]. Yellow River, 2007, 29(1): 43-44, 49. (in Chinese))
- [12] 袁鹰, 甘泓, 王忠静, 等. 浅谈水资源承载能力研究进展与发展方向[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2006, 04(1): 62-67. (YUAN Ying, GAN Hong, WANG Zhongjing, et al. Discussion on progress and development trend of the research on water resources carrying capacity[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2006, 04(1): 62-67. (in Chinese))
- [13] 耿雷华, 王建生, 刘翠善. 浅谈水资源合理配置评价指标体系[J]. 水利规划与设计, 2004(3): 57-59. (GENG Leihua, WANG Jiasheng, LIU Cuihan. Discussion on water resources optimal allocation assessment index system[J]. Water Resources Planning and Design, 2004(3): 57-59. (in Chinese))
- [14] 刘恒, 耿雷华, 陈晓燕. 区域水资源可持续利用评价指标体系的建立[J]. 水科学进展, 2003, 14(3): 265-270. (LIU Heng, GENG Leihua, CHEN Xiaoyan. Indicators for evaluating sustainable utilization of regional water resources[J]. Advances in Water Science, 2003, 14(3): 265-270. (in Chinese))
- [15] 崔振才, 田文苓. 区域水资源与社会经济协调发展评价指标体系研究[J]. 河北工程技术高等专科学校学报, 2003(1): 15-19. (CUI Zhencai, TIAN Wenling. Research on the assessment criteria of the sustainable development of regional water resources and social economy[J]. Journal of Hebei Engineering and Technical College, 2003(1): 15-19. (in Chinese))
- [16] 沈珍瑶, 杨志峰. 黄河流域水资源可再生性评价指标体系与评价方法[J]. 自然资源学报, 2002, 17(2): 188-197. (SHEN Zhenyao, YANG Zhifeng. Index system and method for assessing water resources renewability of the Yellow River basin[J]. Journal of Natural Resources, 2002, 17(2): 188-197. (in Chinese))
- [17] 王建生, 徐子恺, 姚建文. 水资源紧缺程度评价指标[J]. 水利规划与设计, 1998, S1: 32-36. (WANG Jiasheng, XU Zikai, YAO Jianwen. The assessment index of water resources shortage degree[J]. Water Resources Planning and Design, 1998, S1: 32-36. (in Chinese))
- [18] 左东启, 戴树声, 袁汝华, 等. 水资源评价指标体系研究[J]. 水科学进展, 1996, 07(4): 367-374. (ZUO Dongqi, DAI Shusheng, YUAN Rurhua, et al. Study on the water resources assessment indexes system[J]. Advances in Water Science, 1996, 07(4): 367-374. (in Chinese))
- [19] 左东启. 初论建立水资源评价指标体系[M]. 中国水资源研究论文集, 北京: 中国科学技术出版社, 1992: 176-182. (ZUO Dongqi. Discussion about the establish of water resources assessment index system[M]. China Water Resources Research Proceedings, Beijing: China Science and Technology Press, 1992: 176-182.)
- [20] 吴以鳌. 中国水资源利用[M]. 北京: 水利水电出版社, 1989, 44: 40-68. (WU Yiaao. Water resources utilization in China[M]. Beijing: China Water Power Press, 1989, 44: 40-68. (in Chinese))
- [21] 水利电力部水文局. 中国水资源评价[M]. 水利电力出版社, 1987: 66-85. (Hydrology Bureau in the Ministry of Water Power. Assessment of water resources in China[M]. China WaterPower Press, 1987: 66-85. (in Chinese))
- [22] 全国水资源初步成果汇总技术小组. 中国水资源初步评价[M]. 全国水资源初步成果汇总技术小组, 1981: 40-60. (Technical Group of the Summary of Preliminary Results of the National Water Resources. Preliminary assessment of water resources in China[M]. Technical Group of the Summary of Preliminary Results of the National Water Resources, 1981: 40-60. (in Chinese))
- [23] 陈文艳, 王好芳. 基于模糊识别的流域水资源配置评价[J]. 水电能源科学, 2009, 27(4): 29-30, 66. (CHEN Wenyan, WANG Haofang. River basin water resources allocation evaluation based on fuzzy recognition[J]. Water Resources and

- Power, 2009, 27(4): 29-30, 66. (in Chinese)
- [24] 崔东文, 郭荣. 基于概率神经网络的文山州水资源配置合理性评价分析[J]. 长江科学院院报, 2012, 29(10): 57-62. (CUI Dongwen, GUO Rong. Evaluation of rational water allocation based on probabilistic neural network: Case study of Wenshan Prefecture[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2012, 29(10): 57-62. (in Chinese))
- [25] 王好芳, 董增川. 区域水资源可持续开发评价的层次分析法[J]. 水力发电, 2002(7): 12-14. (WANG Haofang, DONG Zengchuan. Application of analytic hierarchy process (AHP) method in regional water resources sustainable development evaluation[J]. Water Power, 2002(7): 12-14. (in Chinese))
- [26] 杨晓华, 杨志峰, 酃建强. 区域水资源潜力综合评价的遗传投影寻踪方法[J]. 自然科学进展, 2003, 13(5): 554-557. (YANG Xiaohua, YANG Zhi feng, LI Jian qiang. Genetic projection pursuit comprehensive evaluation of the potential of regional water resources[J]. Progress in Natural Science, 2003, 13(5): 554-557. (in Chinese))
- [27] 门宝辉, 梁川, 赵燮京. 评价区域水资源开发利用程度的集对分析法[J]. 南水北调与水利科技, 2003, 1(6): 30-32, 41. (MEN Baohui, LIANG Chuan, ZHAO Xie jing. Set pair analysis for evaluating on developmental and utilization extensions of region water resources[J]. South to North Water Transfers and Water Science and Technology, 2003, 1(6): 30-32, 41. (in Chinese))
- [28] 罗朝晖, 陈丹, 席会华. 区域水资源开发利用程度综合评价的 TOPSIS 模型及其应用[J]. 广东水利水电, 2004(6): 17-18, 41. (LUO Zhao hui, CHEN Dan, XI Hui hua. The degree of utilization of regional water resources development and evaluation of TOPSIS model and its application[J]. Guangdong Water Resources and Hydropower, 2004(6): 17-18, 41. (in Chinese))
- [29] 李恩宽, 梁川. 物元分析法在西安市水资源开发利用综合评价中的应用[J]. 四川水力发电, 2005, 24(4): 15-17, 33. (LI En kuan, LIANG Chuan. Application of matter element analysis in comprehensive evaluation of water resources exploitation and utilization in Xi'an City[J]. Sichuan Water Power, 2005, 24(4): 15-17, 33. (in Chinese))
- [30] 崔振才, 田文苓, 郭林华. 水资源可持续利用的模糊优选模型[J]. 中国人口. 资源与环境, 2000, 10(S1): 97-99. (CUI Zhen cai, TIAN Wen ling, GUO Lin hua. Fuzzy optimization model for sustaining water resources utilization[J]. China Population, Resources and Environment, 2000, 10(S1): 97-99. (in Chinese))
- [31] 孙晓东. 基于组合权重的灰色关联理想解法及其应用[J]. 工业工程与管理, 2006(1): 62-66. (SU N Xiaodong. Grey correlation based on combinational weight and its application[J]. Industrial Engineering and Management, 2006(1): 62-66. (in Chinese))
- [32] 马细霞, 李艳, 王加全, 等. 水资源配置方案综合评价的多层模糊物元模型[J]. 水资源与水工程学报, 2010, 21(6): 26-29. (MA Xi xia, LI Yan, WANG Jia quan, et al. Model about comprehensive evaluation of water resources allocation based on multi level fuzzy matter element[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2010, 21(6): 26-29. (in Chinese))
- [33] 吴泽宁, 崔萌, 曹茜, 等. BP 网络模型在水资源利用方案评价中的应用[J]. 南水北调与水利科技, 2004, 2(3): 25-28. (WU Ze ning, CUI Meng, CAO Qian, et al. Application of BP artificial neural network model in evaluation of water resources utilization[J]. South to North Water Transfers and Water Science and Technology, 2004, 2(3): 25-28. (in Chinese))
- [34] 董少刚, 唐仲华, 刘白薇, 等. 大同盆地地下水数值模拟及水资源优化配置评价[J]. 工程勘察, 2008(3): 30-35. (DONG Shao gang, TANG Zhong-hua, LIU Bai wei, et al. Groundwater numerical simulation and water resources optimal allocation assessment in Datong Basin[J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2008(3): 30-35. (in Chinese))

《南水北调与水利科技》优先数字出版声明

为即时确认作者科研成果、彰显论文传播利用价值,从 2011 年起,将《南水北调与水利科技》印刷版期刊出版的定稿论文在“中国知网”(http://www.cnki.net)以数字出版方式提前出版(优先数字出版)。欢迎读者在中国知网“中国学术期刊网络出版总库”检索、引用本刊作者最新研究成果。

《南水北调与水利科技》编辑部