

人水关系博弈论研究进展与研究思路探讨

靳润芳¹, 张竞予², 左其亭¹

(1. 郑州大学 水科学研究中心, 郑州 450001; 2. 中国农业大学 水利与土木工程学院, 北京 100083)

摘要: 人水关系研究是目前水资源研究中的一个重要课题,“人水关系”可以理解为人与水之间的博弈关系。人水博弈是人水和谐量化研究的一种重要方法或途径,国内外学者针对人水关系博弈论已进行了广泛的研究和实践。通过查阅、整理国内外有关人水关系博弈论的大量文献,在概念与内涵、理论与方法、实践应用等方面全面分析了人水关系博弈论研究的进展情况及存在的问题。最后针对目前国内推行水利现代化、最严格水资源管理制度、水生态文明建设的形势,提出了人水关系博弈论研究的新思路,以期对相关研究提供参考。

关键词: 人水关系; 博弈论; 人水博弈; 新时期

中图分类号: TV213; F224.32 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)06-0138-06

Research Progress and Ideas of Game Theory in Human-Water Relationship

JIN Rur fang¹, ZHANG Jing yu², ZUO Qi ting¹

(1. Center for Water Science Research, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;

2. College of Water Resources & Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Human water relationship is a vital topic in the research of water resources, which can be considered as the game between human and water. Human water game is an important quantitative method for the research of human water harmony. To date, extensive research and practice have been carried out on the game theory in human water relationship. Based on the broad overview of previous literature on the game theory in human water relationship, this paper summarized and analyzed the research progress and current problems in the research of game theory in human water relationship from the aspects of concept and connotation, theory and method, and practical applications, respectively. Finally, in connection with the current new situation of water conservancy modernization, the most stringent water management system, and water ecological civilization construction, this paper proposed a new method for the research of game theory in human water relationship in order to provide guidance for relevant research.

Key words: human water relationship; game theory; human water game; new period

水是生命之源、生产之要、生态之基。兴水利、除水害,事关人类生存、经济发展、社会进步,历来是治国安邦的大事^[1]。进入21世纪,水资源危机已成为世界各国最关心的问题之一。Cosgrove和Rijsberman^[2]等指出日益严重的水危机将威胁人类生存和发展,甚至影响全球社会的安全。联合国教科文组织在2003年《世界水发展报告》中指出,“水已经成为制约可持续发展的关键因素,出现的水危机日益严重”^[3]。据估计,到2025年世界上79亿人口中将有50亿人缺水,他们的基本生活用水也很难甚至不可能得到满足^[4]。严峻的水资源形势使人水关系面临着前所未有的挑战。面对这些危机,为了保护人类赖以生存的生命支撑系统,现代

人类开始重新认识人水关系,重视人水关系的研究,并强调人水和谐相处^[5-8]。

博弈论(Game Theory)是研究具有斗争或竞争性质现象的理论和方法,已被广泛应用于经济学、政治、文化、军事、资源开发与管理、各种比赛等方面。在对人水关系进行研究时,左其亭和赵春霞认为可以将“人水关系”理解为“人”与“水”之间的博弈关系,人水博弈是人水和谐量化研究的一种重要方法或途径,人水和谐是人水博弈的最高境界,将博弈论应用于人水关系研究中,对促进人水和谐和指导水资源合理开发、管理及利用具有重要的意义^[9]。

目前,人水关系的博弈论研究渐渐得到重视,国内外已

收稿日期: 2013-04-21 修回日期: 2013-09-04 网络出版时间: 2013-10-10

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20131010.1029.028.html>

基金项目: 国家自然科学基金项目(51079132; 51279183); 河南省高校科技创新团队支持计划(13IRTSTHN030)

作者简介: 靳润芳(1989-),女,河南焦作人,硕士研究生,主要从事水文、水资源方面学习及研究。E-mail: xiaofang19891220@126.com

通讯作者: 左其亭(1967-),男,河南固始人,博士,教授,博士生导师,主要从事水文学及水资源专业方面研究。E-mail: zuoqt@zhu.edu.cn

对其进行了广泛的研究和实践,并取得了丰硕的研究成果,但是对其进行总结分析的研究还比较缺乏。为此,本文从概念与内涵、理论与方法、实践应用等方面对国内外人水关系博弈论的研究现状进行了论述,分析了当前研究中面临的问题,并提出了人水关系博弈论研究新思路。该研究对人水关系博弈论的进一步相关研究也具有启示意义。

1 国内外研究现状

1.1 国外研究现状

1.1.1 概念与内涵研究

国外很早就开始对博弈论进行定义和研究。1944年,美国数学家冯·诺依曼和摩根斯坦在《博弈论和经济行为》一书中首次将博弈论引入经济学领域。之后,合作博弈、非合作博弈、不完全信息静态博弈、纳什均衡等概念的提出,都是博弈论在经济学领域的进一步发展。直到20世纪70年代后期,博弈论才开始扩展应用到其他学科研究中,包括生物学、政治、文化、法律、计算机科学等。2010年, Madani^[10]指出博弈论在解决水资源冲突的问题中具有预见性。不过,国外研究尚未对人水关系博弈论进行明确、统一地定义,针对其概念与内涵的研究有待加强与完善。

1.1.2 理论与方法研究

Wright和Howell^[11]早在1975年就将博弈论引入水资源规划研究中,并且利用计算机构建了博弈模型,模拟各个用水户之间的竞争问题,从而进行水资源的合理规划和优化配置。Suzuki和Nakayama^[12]运用博弈论方法对水资源成本分配问题进行了分析和研究。William等^[13]将水文模型、效用函数、需水模型和F-H分析模型法进行集成,研究分析了SanPedro流域印地安人的水权冲突问题。

随着水资源问题日益复杂,人水关系博弈论的研究不断发展。Wang等^[14]阐述了基于合作博弈论的水资源分配方法,主要包括初始水权的分配和水资源的合作博弈再分配两个步骤。Loaiciga^[15]将博弈论引入到地下水研究中,用博弈论方法对公共地下水资源可持续开采过程中的合作和非合作两种情况进行了量化分析,指出非合作开采必然会导致地下水的严重超采。Homa^[16]介绍了一种平衡人类和生态流量需求的优化方法,所研究的方法涵盖了河道流量需求、取水监管策略和取水量的优化配置3个方面,最后指出优化以及合理监管策略的使用能够改善供水可靠性和河道流量。Ganji等^[17]将博弈模型引入水库调度管理中,综合分析了在考虑用水者、水库管理者及其偏好的情况下,水库的优化运行策略。Le Bars和Le Grusse^[18]利用Olympe软件构建了决策支持系统,提出应用博弈模型模拟快速构造假定并进行优化决策的方法。Requejo和Camacho^[19]基于模型和演化博弈论两个框架,研究了有限资源条件下的合作演变,结果表明,演化博弈理论的复式方程能够较好地描述动力学在模型中的应用,而建立资源与适宜度之间的关系方程能够简化检验演化博弈论预测性的实验设计。

1.1.3 实践应用研究

Fraser^[20]用博弈理论对跨国水环境冲突、美加杨树河流量变化引起的冲突和EPA发放许可证时与排放者之间的冲

突等进行了研究。随后,Okada等^[21]利用F-H分析方法中的误对策方法(Hypergame Analysis)对日本Biwa湖水资源分配冲突方进行分析研究。

进入21世纪,相关的实践应用研究成果更加丰富。Frisvold和Caswell^[22]针对美国和墨西哥边境水处理工程的经验和政策问题,用博弈理论进行了分析、研究,最终确立了合作博弈谈判模型。Raquel等^[23]将博弈论引入地下水研究,分析了位于墨西哥Guanajuato州Alto Rio Lerma灌区的农民和社会这两个决策者之间,针对经济效益和环境损失两方面问题的博弈均衡。博弈论在水资源管理中的应用也比较广泛。Kossal^[24]针对坦桑尼亚Rufiji河流域水资源短缺导致水资源利用过程中出现诸多用水矛盾,设计了一个用于实践的对话和决策支持工具“流域博弈”,从而使利益相关者参与到关键水资源问题分析中并影响水资源分配结果,解决水资源问题。Eleftheriadou和Mylopoulos^[25]针对模拟假设的希腊和保加利亚对奈斯托斯河(梅斯塔河)水资源管理问题所进行的谈判,运用博弈理论加以分析,从而说明博弈论可以有效运用到跨界水资源管理冲突问题解决方案的制定。

1.2 国内研究现状

1.2.1 概念与内涵研究

国内针对博弈论的研究起步比较晚,对人水关系博弈论概念与内涵的研究成果也比较少,代表性的是左其亭和赵春霞进行的研究。他们指出“人水关系”可以简单理解为“人”与“水”之间的博弈关系,人水博弈是指人文系统和水系统之间相互影响、相互协调、相互制约和相互作用的情形,是一种不完全信息的、非合作的动态博弈^[9,26]。

1.2.2 理论与方法研究

国内针对人水关系博弈论的理论与方法研究较多,并且针对不同情况,有不同的研究方法。

在水资源优化配置方面,罗利民等^[27]以区域经济与水环境保护协调发展为目标,建立了水资源多目标配置模型,并提出一种以博弈分析思想为基础的模型求解方法;李建勋等^[28]根据水权、水市场的基本制度,结合博弈论、遗传算法原理,建立了区域二次配水博弈模型,有效地解决了完全水权交易方式和行政调节方式下的区域水资源配置问题;肖志娟等^[29]应用博弈论原理与方法求解了应急调水的合理补偿量,从而解决了水库调度过程中调水各方的利益冲突。

在水市场、水价问题、水权分配及水事纠纷方面,史晓明等^[30]通过对节水型社会水市场利益进行博弈分析,建立并分析了节水型社会水市场博弈模型,得出了水市场建立应具备的相关法律保障条件、硬条件和软条件等;刘晓君和李颖^[31]针对水价在吸引城市水务设施投资中所起的重要作用,以我国城市水资源短缺为背景,在水务设施管理企业与政府之间建立了博弈模型;陈艳萍等^[32]针对流域初始水权分配引起流域上下游、左右岸之间的冲突问题,提出一种基于和谐性诊断的流域初始水权配置方法;李浩等^[33]基于博弈论,提出了省际水事纠纷演化发展分析框架,为省际水事纠纷的调处提供了依据。

在水环境问题、水资源冲突和水资源开发及管理等方面,人水关系博弈论研究成果比较多,限于文章篇幅,在此仅

列举部分作为代表。杨念^[34]建立了督导推广节水灌溉的博弈模型,有利于区域经济节水视野的发展;玄英姬等^[35]为求解水资源优化配置中的水资源冲突分析问题,建立了完全信息动态博弈模型,以促进水资源的可持续发展;张俊等^[36]针对我国日益严重的河流水污染问题,对污染源企业和政府之间的关系进行了博弈分析,建立了监督博弈模型。

1.2.3 实践应用研究

国内针对人水关系博弈论的实践应用研究体现在很多方面,其中,在水质管理及水环境问题、水资源优化配置、水资源开发及管理和水资源冲突方面的应用比较普遍。例如:Lee^[37]将 MOGM(多目标博弈论模型)应用到台湾 T seng Wen 水库流域,解决了水库流域管理中的水资源冲突问题;张建肖等^[38]针对陕南秦巴山区南水北调中线水源涵养区的现状,从效用和成本两个方面分析了博弈论在流域跨区污染的应用,对南水北调工程的顺利实施具有一定的理论和现实意义;张勃等^[39]通过对水问题突出的黑河流域中游地区、下游地区和流域管理局 3 个主体之间进行博弈分析,为解决黑河流域水问题,实现流域水资源可持续利用提供了可行性策略;魏守科等^[40]以博弈论模拟方法为基础,对南水北调中线工程中有关污染减排、生活用水分配所引起的利益冲突进行模拟仿真分析,为南水北调中水资源分配、水价制定及生态补偿提供一定的参考;蔡喜明等^[41]结合多目标分析模型、多目标决策方法和扩展的切比雪夫算法对中国北方地区的水资源规划问题进行实例研究,为决策者做出群体决策和水资源规划提供指导。

此外,人水关系的博弈论研究在水库调度方面也有一定的应用,如向传三等^[42]从博弈论的角度,讨论了南水北调西线工程中四川省的最佳策略,提出应将调水藏族居住区的可持续发展以及民族稳定作为重点战略选择,借机推动藏区社会经济跨越式发展。

2 人水关系博弈论研究存在的问题

从以往研究来看,虽然对于人水关系博弈论的研究取得了一些成果,但是仍然存在以下几方面问题。

(1) 概念与内涵方面。虽然国内外对博弈论的定义与研究比较成熟,对人水关系的研究成果也比较多,但是基于博弈论的人水关系研究还略显不足,并没有形成全面、明确、统一的概念。由于缺乏对概念和内涵的界定和深刻理解,因此更多的是强调人类社会的作用,并没有实现真正意义上的“人”、“水”博弈双方具有同等重要的作用^[9]这一思想。

(2) 理论与方法方面。目前人水关系博弈论的研究方法,主要是基于博弈论和研究情况确定决策者,结合目标约束条件,建立博弈模型,最终求得博弈均衡解。国内外相关研究中也结合了一些其他的理论方法,例如遗传算法、切比雪夫算法、模拟仿真分析、水文模型、效用函数、软件平台等,使得研究分析更加完善,取得了较好的效果。但是毕竟现有研究中对这些方法的运用仍然相对较少,而且以定性研究居多,多方面条件约束、多种方法综合考虑的研究很少。

另外,研究中虽然最终都是为了达到博弈均衡,但在考虑不同时期背景下研究思想理念差异方面比较欠缺,包括最近的研究成果中也没有很好地体现新时期背景下的一些新

制度和新理念,新时期背景下应该重视理论方法和新理念的有机结合。

(3) 实践应用研究方面。国内外针对人水关系博弈论在水质管理及水环境问题、水资源优化配置、水资源开发及管理和水资源冲突方面的应用十分普遍。但是一方面,在水库调度、水事纠纷、水权和水价等方面的应用有待进一步加强;另一方面,缺少对水资源进行完整的系统分析,缺乏对水资源基本概念的理解,对水资源的价值仍然不清楚;第三,针对一个国家、流域或地区的研究居多,而针对跨国、跨流域、跨界等问题的研究比较少。

(4) 学科合作研究方面。人水关系涉及经济、社会、生态、水文、地理、气象等多个研究领域,经济社会也是不断发展变化的,在进行人水关系博弈论研究时,需要结合水文学、经济学、运筹学和高等数学等诸多学科领域,而研究者往往又面临知识的局限性以及多学科复杂性,对群体决策建模的研究还很少。因此,水问题的解决需要进行跨学科合作研究,这样才能深入分析各影响因素的作用机理,探索与时俱进的研究思路,改善人水关系,促进人水和谐。

纵观相关研究,在进行博弈问题考虑时,博弈参与主体大都是人类社会,例如:仅仅将管理企业和政府或政府与参与地区作为博弈参与方,而没有真正将水系统作为有“理性”的参与者,综合考虑“人”、“水”之间的博弈问题。一些研究虽然考虑了水系统的价值,但也是站在人类利用的基础上进行的。

3 新时期人水关系博弈论研究思路

总体来说,博弈论、水资源问题、人水和谐一直是国际社会研究的热点问题,人水关系博弈论在水资源领域具有广阔的应用价值和前景。当前,社会经济快速发展,水资源需求越来越大,用水矛盾越来越突出,而人水博弈是促进人水和谐的一种重要途径^[9]。

3.1 现代水资源管理的新理念

新中国成立 60 多年以来,中国水利建设取得了举世瞩目的成就。但是,水资源短缺、水环境污染和水资源浪费现象仍然十分严重。党的十五届三中全会和十五届五中全会把水资源问题提到突出位置,强调把水资源作为国家的重要战略性资源予以高度重视,进行现代水利的探索和实践。党的十六大又提出实现水利现代化的任务,即要用现代的理性思维和理念代替传统的治水思路,用现代化管理制度代替传统的管理过程,以水利现代化建设支持和保障经济社会的可持续发展^[43]。

2011 年,中央一号文件《中共中央国务院关于加快水利改革发展的决定》系统界定了最严格水资源管理制度的体系构成和基本内容,把最严格水资源管理制度作为推动经济社会发展与水资源水环境承载能力相协调的战略举措。2012 年 1 月,国务院发布了《国务院关于实行最严格水资源管理制度的意见》,对最严格水资源管理制度的实行做了全面部署和安排。可以说,最严格水资源管理制度是应对我国目前水资源问题的重大战略举措,是我国水资源管理方式、手段和内涵的深刻变革,对于和谐社会的建设具有重要意

义^[44-45]。

2013年1月,水利部印发了《水利部关于加快推进水生态文明建设的意见》(水资源[2013]1号文)。左其亭^[46]认为,推进水生态文明建设,完善水生态保护格局,是实现水资源的可持续利用,支撑经济社会的可持续发展,促进生态文明水平提高的必由之路。

3.2 新时期人水关系博弈论研究思路

传统的人水关系博弈论研究和应用中,主要是基于博弈理论、博弈论模型寻找帕累托最优或相对最优解,最终实现博弈均衡。在新形势下,综合考虑现阶段人水关系博弈论研究中存在的问题和水利现代化研究课题内涵,以及对实施最严格水资源管理制度、践行水生态文明建设的理解,提出一种新的人水关系博弈论研究思路,明确基本原则、技术支撑、理论方法、指导思想、实施目标和实施意见等6个方面内容,指导水资源合理开发利用。研究框架图见图1。

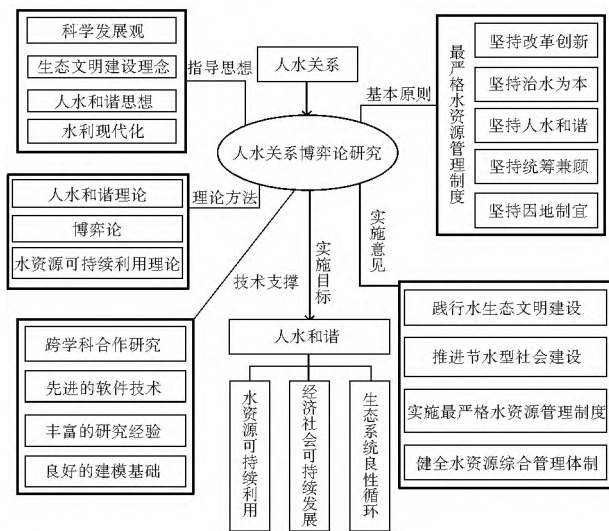


图1 新时期人水关系博弈论研究思路框架

Fig. 1 The framework of research ideas for the game theory in human water relationship

从图1可以看出,新时期人水关系博弈论研究主要体现在以下几个方面。

(1) 针对当前的人水关系博弈论研究中缺少对水资源进行完整的系统分析,没有真正将水系统作为“理性”参与者的问题,新时期的人水关系博弈论研究应该坚持如下基本原则:治水为“本”、人水和谐、统筹兼顾、因地制宜、改革创新。

(2) 针对人水关系博弈论研究涉及领域比较广泛、概念内涵不明确、人水关系定量研究和跨界研究不足等问题,新时期的人水关系博弈论研究中需要科技支撑,包括跨学科合作的研究、先进的软件技术、良好的建模基础和丰富的研究经验。

(3) 最严格水资源管理制度是新时期水利改革研究的重要内容,也是新时期水利改革重要的治水方略,并且具有一定的指导性理论,因此在进行人水关系博弈论研究时,需要将博弈论、人水和谐理论和水资源可持续利用理论作为理论方法。

(4) 应将水利现代化思想、生态文明建设理念及实施最严格水资源管理制度的指导思想*科学发展观与人水和谐思

想*融合起来,作为人水关系博弈论研究的指导思想。

(5) 传统的人水关系博弈论研究重在博弈均衡,虽然也指出实现人水和谐,但比较偏重于水资源可持续利用和经济社会可持续发展^[9]。新时期,应将人水关系博弈论研究的实施目标归结为“实现水资源可持续利用、经济社会可持续发展和生态系统良性循环”3个内容。

4 结语

人水博弈是实现人水和谐的一个重要途径,目前的研究也取得了丰硕的成果,但是在概念与内涵、理论与方法、实践应用等各方面研究中仍然面临很多新的问题。在新时期进行人水关系博弈论研究时,需要坚持“治水为‘本’、人水和谐、统筹兼顾、因地制宜、改革创新”等基本原则,以水利现代化、最严格水资源管理制度、水生态文明建设为指导思想,将博弈论、人水和谐理论和水资源可持续利用理论作为理论基础与研究方法,以实现水资源可持续利用、经济社会可持续发展和生态系统的良性循环。

参考文献 (References):

- [1] 中共中央国务院. 中共中央国务院关于加强水利改革发展的决定[Z]. 2010-12-31. (The State Council of the People's Republic of China. The Central Committee of CPC's Decision on Promoting Water Conservancy Reform and Development[Z]. 2010-12-31. (in Chinese))
- [2] Cosgrove B, Rijsberman FR. World Water Vision: Making Water Everybody's Business[M]. London, World Water Council, Earthscan Publications Ltd. 2000.
- [3] UNESCO (United Nations Educational Scientific and Cultural organization). The UN World Water Development Report (WWR). UN World Water Assessment Programme, 2003.
- [4] Leete R, Donnay F, Kersemaekers S, et al. Global Population and Water, UNFPA Report On Population and Development Strategies Series, 2003, (6). UNFPA: New York.
- [5] 桂冕. 重新认识“人水关系”[N]. 江苏经济报, 2004-12-23. (GUI Mian. The New Understanding of “Human Water” Relationship[N]. Jiangsu Economic News, 2004-12-23. (in Chinese))
- [6] 高立洪. 重塑新型人水关系[N]. 中国水利报, 2002-08-08. (GAO Lihong. Remodeling New Relationships Between Human and Water[N]. China Water Resources News, 2002-08-08. (in Chinese))
- [7] 付丽荣, 苏长荣. 正确认识和处理好人水关系 开创水利事业的新境界[J]. 内蒙古水利, 2009, (2): 99-100. (FU Lirong, SU Changrong. The Correct Understanding and Good “Human Water” Relationship A New Realm Creation of Water Conservancy[J]. Inner Mongolia Water Resources, 2009, (2): 99-100. (in Chinese))
- [8] 左其亭. 和谐论及其应用的关键问题讨论[J]. 南水北调与水利科技, 2009, 7(5): 101-104. (ZUO Qiting. Key Problems and Its Application of Harmony Theory[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2009, 7(5): 101-104. (in Chinese))
- [9] 左其亭, 赵春霞. 人水和谐的博弈论研究框架及关键问题讨论

- [J]. 自然资源学报, 2009, 24(7): 1315-1324. (ZUO Qiting, ZHAO Churxia. Discussion on Game Theory Research Framework and Key Problems of Human Water Harmony[J]. Journal of Natural Resources, 2009, 24(7): 1315-1324. (in Chinese))
- [10] Madani K. Game Theory and Water Resources[J]. Journal of Hydrology, 2010, 381: 225-238.
- [11] Wright GL, Howell DT. Application of Gaming simulation to Water Resources Planning[J]. Hydrol. Sym. Papers, 1975, 21: 214.
- [12] Suzuki M, Nakayama M. The Cost Assignment of the Cooperative Water Resource Development A Game Theoretical Approach[J]. Management Science, 1976, 22(10): 1081-1086.
- [13] William BL, Mary GW, Rose MS. Linked Models for Indian Water Rights Disputes, Managing Water Related Conflicts: the Engineer's Role[J]. American Society of Civil Engineers, 1990, 180-193.
- [14] LZ Wang, L Fang, Hipel KW. Water Resources Allocation: A Cooperative Game Theoretic Approach[J]. Journal of Environmental Informatics, 2003, 2(2): 11-22.
- [15] Loaiciga HA. Analytic Game Theoretic Approach to Ground Water Extraction[J]. Journal of Hydrology, 2004, 297(1-4): 22-33.
- [16] Homa1 ES, Vogel RM, Smith MP. An Optimization Approach for Balancing Human and Ecological Flow Needs[A]. Proceedings of the EWRI 2005 World Water and Environmental Resources Congress[C]. Alaska, 2005: 1-12.
- [17] Ganji A, Khalili D, Karamouz M. Development of Stochastic Dynamic Nash Game Model for Reservoir Operation. I. The Symmetric Stochastic Model with Perfect Information[J]. Advances in Water Resources, 2007, 30(3): 528-542.
- [18] Le Bars, Le Grusse. Use of a Decision Support System and a Simulation Game to Help Collective Decision Making in Water Management[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 62(2): 182-189.
- [19] Requejo RJ, Camacho J. Evolution of Cooperation Mediated by Limiting Resources: Connecting Resource Based Models and Evolutionary Game Theory[J]. Journal of Theoretical Biology, 2011, 272(1): 35-41.
- [20] Fraser N. Conflict Analysis: Models and Resolutions[M]. New York, North Holland, 1984.
- [21] Okada N, Hipel KW, Ok Y. Hypergame Analysis of the Lake Biwa Conflict[J]. Water Resources Research, 1985, 21(7): 917-926.
- [22] Frisvold GB, Caswell MF. Transboundary Water Management Game Theoretic Lessons for Projects on the US-Mexico Border[J]. Agricultural Economics, 2000, 24(1): 101-111.
- [23] Raquel S, Ferenc S, Emery Jr C, et al. Application of Game Theory for a Groundwater Conflict in Mexico[J]. Journal of Environmental Management, 2007, 84(4): 560-571.
- [24] Kossa RM. Use and Impacts of the River Basin Game in Implementing Integrated Water Resources Management in Mkoji Sub Catchment in Tanzania[J]. Agricultural Water Management, 2007, 94(1-3): 63-72.
- [25] Eleftheriadou E, Mylopoulos Y. Game Theoretical Approach to Conflict Resolution in Transboundary Water Resources Management[J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2008, 134(5): 466-473.
- [26] 赵春霞, 左其亭, 于洪涛. 人水和谐的博弈内涵及认识新途径[J]. 人民黄河, 2009, 31(8): 8-9, 12. (ZHAO Churxia, ZUO Qiting, YU Hongtao. Game Connotation and New Ways of Understanding of "Human Water" Harmony[J]. Yellow River, 2009, 31(8): 8-9, 12. (in Chinese))
- [27] 罗利民, 谢能刚, 仲跃, 等. 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. (LUO Limin, XIE Nenggang, ZHONG Yue, et al. Multi-objective Game Decision making for Rational Allocation of Regional Water Resources[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2007, 35(1): 72-76. (in Chinese))
- [28] 李建勋, 解建仓, 沈冰, 等. 基于博弈论的区域二次配水方案及其改进遗传算法解[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(10): 1914-1920. (LI Jianxun, XIE Jiancang, CHEN Bing, et al. Secondary Water Distribution Based on Game Analysis and Solution by Improved Genetic Algorithm[J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2010, 30(10): 1914-1920. (in Chinese))
- [29] 肖志娟, 解建仓, 孔珂, 等. 应急调水效益补偿的博弈分析[J]. 水科学进展, 2005, 16(6): 817-821. (XIAO Zhijuan, XIE Jiancang, KONG Ke, et al. Game Analysis for Emergent Water Dispatch Compensation[J]. Advances in Water Science, 2005, 16(6): 817-821. (in Chinese))
- [30] 史晓明, 詹红丽, 杜廷文, 等. 博弈理论在节水型社会水市场中的应用研究[J]. 灌溉排水学报, 2007, 26(增刊): 39-41. (SHI Xiaoming, ZHAN Hongli, DU Tingwen, et al. Application Research of Game Theory in Water Saving Society Markets[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2007, 26(Supp.): 39-41. (in Chinese))
- [31] 刘晓君, 李颖. 博弈论在城市水资源定价中的应用[J]. 河北工业大学学报, 2004, 33(4): 41-44. (LIU Xiaojun, LI Ying. Applying Game Theory to Regulating Urban Water Price[J]. Journal of Hebei University of Technology, 2004, 33(4): 41-44. (in Chinese))
- [32] 陈艳萍, 吴凤平, 吴丹, 等. 基于和谐性诊断的初始水权配置方法[J]. 系统工程, 2011, 29(5): 68-72. (CHEN Yanping, WU Fengping, WU Dan, et al. Basin Initial Water Rights Allocation Method Based on Harmony Diagnosis[J]. Systems Engineering, 2011, 29(5): 68-72. (in Chinese))
- [33] 李浩, 黄薇, 梁佩瑾. 基于博弈论的省际水事纠纷预防机制研究[J]. 长江科学院院报, 2011, 28(12): 72-76. (LI Hao, HUANG Wei, LIANG Peijin. Prevention Mechanism for Interprovincial Water Conflict Based on Game Theory[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2011, 28(12): 72-76. (in Chinese))
- [34] 杨念. 区域经济中博弈论在节水灌溉中的应用研究[J]. 节水灌溉, 2003, (3): 4-5, 33. (YANG Nian. Study on Application of Game Theory in Water Saving Irrigation of Regional Economy[J]. Journal of Water Conservation and Irrigation, 2003, (3): 4-5, 33. (in Chinese))
- [35] 玄英姬, 许江松. 水资源优化配置的冲突问题博弈分析[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2008, 30(1): 35-37. (XUAN Yingji, XU Jiangsong. Game Analysis of Conflict Problem of Water

- ter Resources Optimizing Allocation [J]. Journal of China Three Gorges University(Natural Sciences), 2008, 30(1): 35-37. (in Chinese)
- [36] 张俊, 张荣. 博弈论在治理河流水污染中的应用[J]. 生态经济, 2006, (1): 53-55. (ZHANG Jun, ZHANG Rong. The Application of Game Theory in the Control of River Pollution [J]. Ecological Economy, 2006, (1): 53-55. (in Chinese))
- [37] Lee CS. Multi-Objective Game Theory Models for Conflict Analysis in Reservoir Watershed Management [J]. Chemosphere, 2012, 87(6): 608-613.
- [38] 张建肖, 安树伟, 刘世伟. 博弈论与流域间跨区污染问题研究——以陕南秦巴山区南水北调工程为例[J]. 西安财经学院学报, 2008, 21(6): 76-79. (ZHANG Jian xiao, AN Shu wei, LIU Shi wei. Game Theory and Research about Cross-Region Pollution between Hanshui and Danjiang: Taking Qinba Mountain Area South to North Water Diversion Project in South Shaanxi as an Example [J]. Journal of Xi'an University of Finance and Economics, 2008, 21(6): 76-79. (in Chinese))
- [39] 张勃, 吕永清, 张耀宗, 等. 博弈理论在水资源管理中的应用——以黑河流域为例[J]. 中国沙漠, 2010, 30(2): 461-466. (ZHANG Bo, LV Yong qing, ZHANG Yao zong, et al. Game Theory in the Management of Water Resources: A Case Study of the Heihe River Basin [J]. Journal of Desert Research, 2010, 30(2): 461-466. (in Chinese))
- [40] Wei Shouke, Yang Hong. Using Game Theory Based Approaches to Simulate Stakeholder Conflicts Concerning Domestic Water Allocation and Pollution Reduction in Inter-basin Water Transfer in China [J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2010, 46(3): 254-267.
- [41] Cai Ximing, Lasdon L, Michelsen AM. Group Decision Making in Water Resources Planning Using Multiple Objective Analysis [J]. Water Resour. Plann. Manage, 2004, 130(1): 4-14.
- [42] 向传三, 房俊民. 从博弈论谈南水北调西线工程的四川对策 [J]. 世界科技研究与发展, 2007, 29(4): 72-75, 22. (XIANG Chuan San, FANG Jun min. The Strategy of South to North Water Transfer Project in Sichuan Province According to Game Theory [J]. World Sci Tech R & D, 2007, 29(4): 72-75, 22. (in Chinese))
- [43] 顾浩. 中国水利现代化研究[J]. 水利水电技术, 2004, 35(1): 26-29, 38. (GU Hao. Water Conservancy Modernization in China [J]. Journal of Water Resources and Hydropower Engineering, 2004, 35(1): 26-29, 38. (in Chinese))
- [44] 郭永金. 简述实施最严格水资源管理制度的战略意义[A]. 实行最严格水资源管理制度高层论坛优秀论文集[C]. 2010: 62-66. (GUO Yong-jin. Brief Description of Strategic Significance of the Strictest Water Resources Management System Implementation [A]. Excellent Forum Proceedings of the Strictest Water Resources Management System Implementation [C]. 2010: 62-66. (in Chinese))
- [45] 胡四一. 最严格水资源管理制度的提出背景及其内涵解读? 引自胡四一副部长解读《国务院关于实行最严格水资源管理制度的意见》[A]. 中国水利学会水资源专业委员会 2012 年年会暨学术研讨会论文集[C]. 郑州: 黄河水利出版社, 2013: 8-13. (HU Si yi. The background and Connotations of the Strictest Water Resources Management System: Citing Huisiyi Minister's Interpretation on the "State Council's View on the Implementation of the Most Strictest Water Management System" [A]. Proceedings of Chinese Hydraulic Engineering Society Professional Resources Committee Annual Meeting and Symposium in 2012 [C]. Zhengzhou: Yellow River Conservancy Press, 2013: 8-13. (in Chinese))
- [46] 左其亭. 水生态文明建设: 践行生态文明的“水利”体现[N]. 中国水利报, 2013-02-07(56). (ZUO Qi ting. Water Ecological Civilization Construction: "Water Conservancy" Reflections of Ecological Civilization Practice [N]. China Water Resources News, 2013-02-07(56). (in Chinese))

(上接第 48 页)

- [17] Swain E B, Engstrom D R, Brigham M E. Increasing Rates of Atmospheric Mercury Deposition in Mid-continental North America [J]. Science, 1992, 257: 784-784.
- [18] 张学恕. 中国长江下游经济发展史[M]. 南京: 东南大学出版社, 1990. (ZHANG Xue shu. History of Economic Development in the Lower Reaches of the Yangtze River [M]. Nanjing: Southeast University Press, 1990. (in Chinese))
- [19] 陆桂华. 关于骆马湖水生态环境保护的调研与建议[J]. 江苏水利, 2008, (9): 12-16. (LU Gui hua. Investigation and Suggestions on the Protection of the Ecological Environment of Luoma Lake [J]. Jiangsu Water Resources, 2008, (9): 12-16. (in Chinese))
- [20] SHEN Ji, Ryo M, WANG Su min. A 3600 Years Paleoclimatic Change Inferred from Organic 13C and TOC/TN of the Gucheng Lake Sediments, Southeast China [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 1997, 15(3): 279-284.
- [21] Meyers P A. Preservation of Source Identification of Sedimentary Organic Matter during and after Deposition [J]. Chemical Geology, 1994, 144(3/4): 289-302.