

文章编号: 1007-7588(2013)01-0132-08

中国水资源优化配置定量研究进展

陈太政¹, 侯景伟², 陈 准¹

(1. 河南大学环境与规划学院, 开封 475004; 2. 宁夏大学资源环境学院, 银川 750021)

摘要:基于中国知网中水资源优化配置定量研究的核心期刊和硕博论文视角,对文献的时间分布、来源分布、类型分布、内容分布和主题分布进行统计分析,多角度地揭示中国水资源优化配置定量研究发展的历程和特点;继而从政治经济学方法、生态学方法、规划与模糊数学方法、系统学方法、人工智能方法5个方面透视水资源优化配置定量研究方法的演变规律及发展趋势。分析表明,1987年以来,相关中国水资源优化配置定量研究的学术论文数量增长很快,质量和规范性有较大提高,研究队伍逐渐壮大,研究内容更加深入,学科交叉更加广泛;方法体系由单调走向智能,但有过分依赖模型的趋势;评价体系多元化、综合化,但评价指标及其权值有待深入研究。学科交叉、方法融合、“3S”技术以及各种优化算法和软件的发展将促进水资源优化配置定量研究的深度发展和日益完善。

关键词:水资源;优化;配置;定量研究;进展

1 引言

20世纪80年代以来,随着水资源供需矛盾的日益加剧,国内水资源优化配置定量研究逐渐受到学界的关注,特别是2000年以后,成为政府和学界的热点领域。在不同尺度和视角上,各种配置和研究方法以及多种方法的交叉运用逐渐被广大学者所接受,并不断改进和完善,从而丰富了水资源优化配置定量研究的理论和方法体系。然而,目前国内水资源优化配置研究的文献综述^[1-4],大多从水资源配置的机制、实践、理论、方法和后效评价等方面进行总结,其深度和广度尚有欠缺,并且基本上都采用定性描述与分析,难以从中获得水资源配置定量研究发展历程的基本轮廓和清晰脉络。本文基于中国知网(CNKI)^[5],通过大量统计分析期刊文献来反映和透视水资源优化配置定量研究方法的变化历程和发展趋势,这是一种科学合理而又行之有效的途径,也为解析中国水资源优化配置定量研究脉络提供重要的依据。

2 总体分析

2.1 期刊篇数的时间分布

在中国知网中同时选择中国期刊全文数据库、中国博士学位论文全文数据库和中国优秀硕士学位论文全文数据库,检索项中选择“题名”,匹配中选择“精确”,检索词中依次输入“水资源”和“配置”关键词,从1979年1月1日到2011年12月31日,逐年检索反映水资源配置研究的期刊文献、核心期刊文献、博士论文和优秀硕士论文。1979年-1986年的文献和论文数为0。1987年-2011年共检索文献1293篇,其中核心期刊文献479篇,占37.05%;博士论文35篇,占2.71%;硕士论文212篇,占16.4%(图1)。通过对这些文献阅读分析发现,核心期刊文献篇数所占比例偏少,大多数非核心期刊的文献质量较差,抄袭拼凑现象严重,缺乏一定的创新性;上网博士论文始于2003年,2007年和2009年最多,达到6篇,最近两年有所减少;而上网的硕士论文较早,始于2000年,2008年最多,达到39篇。

收稿日期:2012-10-05;修订日期:2012-12-07

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:41171439);宁夏大学自然科学基金重点项目(编号:ZR1209)。

作者简介:陈太政,男,河南鲁山人,副教授,主要从事土地规划、水资源优化配置研究等。E-mail: chentzh@126.com

通讯作者:侯景伟, E-mail: houjingwei2005@yahoo.com.cn

2013年1月

从年度分布来看,中国水资源配置研究始于1987年刘昌明和杜伟发表在《自然资源学报》上的论文《农业水资源配置效果的计算分析》,此后,核心期刊文献和硕博论文数量经历了三个发展阶段,即1987年-1999年缓慢发展阶段、1999年-2008年快速增长阶段、2008年-2011年适度减少阶段(图1)。峰值出现在2007年-2008年,这主要是因为水资源配置工作日益受到各级政府部门和学术界的重视,尤其是2007年1月全国流域综合规划修编工作的全面启动,促进了水资源综合治理、优化配置和高效利用及其相应研究成果的大量涌现。2008年后发文量有所下降。不过,随着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》的实施,水资源优化配置的需求将增大,其定量研究已经也必将成为一个新的学术热点。

2.2 文献来源和类型分析

从核心期刊和论文来源分布情况来看,核心文献分布于112种期刊中,其中文献数目较多的期刊分别为:《中国水利》63篇,《人民黄河》39篇,《中国农村水利水电》33篇,《水电能源科学》31篇,《水利学报》25篇,《人民长江》24篇,《水利水电技术》22篇;博士论文分布于23所高校中,其中河海大学最多,共5篇;硕士论文分布于60所高校中,其中河海大学最多,共32篇。

从核心期刊和论文类型分布情况来看(图2),水利水电类刊物刊载257篇,占34.92%,构成发表文章的“第一阵营”,硕士论文212篇,仅次于水利水

电类刊物,占28.8%,各大学学报刊载74篇、科技经济类45篇、资源环境类38篇、博士论文35篇,农业类23篇,计算机类19篇,政治社会类15篇,水土保持类13篇,地球科学类5篇,其它类期刊则较少分布。核心期刊和论文类型的分布特点充分展现了水资源优化配置定量研究跨学科、多视角但又有所学科偏重的特点。

从文献内容分类来看,综述类文献179篇,占37.45%,主要反映水资源配置整体或某一侧面研究进展与趋势、定性描述水资源配置方法等。理论模型类文献174篇,占36.4%,多从不同学科和不同理论基础的角度,由早期的单纯追求经济效益最大化模型发展到后期的追求社会、经济和生态环境整体效益最大化模型。作为决策目标,理论模型的科学性和合理性直接或间接地影响到指标和参数的选取,当前由于不重视框架模型的研究而导致模型的子目标和约束条件设计差异较大,缺乏统一标准,从而使理论模型可信度和实际应用大打折扣。可操作方法类文献88篇,占18.41%,常规操作方法有线性规划^[6]、非线性规划^[7]、动态规划^[8]、大系统分解协调理论^[9]等;启发式操作方法有神经网络^[10,11]、随机优化^[12]、模糊优化^[13,14]、蚁群算法^[15,16]、遗传算法^[17,18]等,其中88.6%为案例研究。水资源优化配置需要定量研究结论为决策者提供参考,这种本质需求促使学界对水资源配置的实践性和可操作性研究越来越重视。后效评价类23篇,占4.81%,水资源配置的评价多涉及效率、公平、经济等方面,常用的评

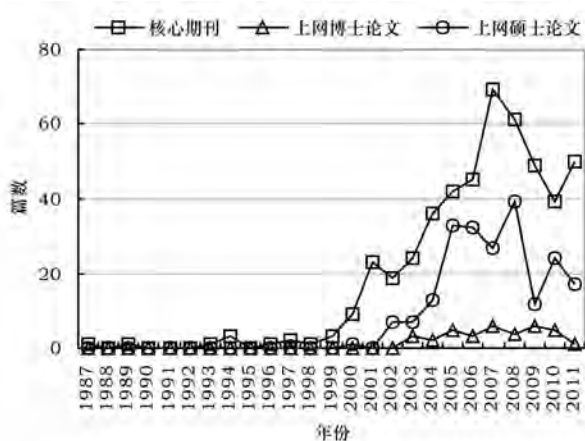


图1 期刊篇数的时间分布

Fig.1 The annual distribution of papers

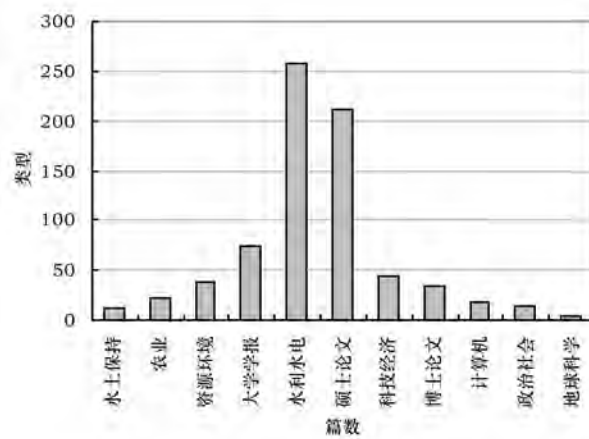


图2 期刊类型分布

Fig.2 Distribution of journal types

价方法有加权法^[19]、聚类分析^[20]、层次分析^[21]、模式识别^[22]、灰色关联度评价^[23]等。目前,水资源配置的定量评价指标体系没有真正建立起来,不能真正体现水资源配置的多层次、多目标群决策过程。系统开发类14篇,占2.93%,非空间系统开发的较多,基于GIS的系统开发较少,只有4篇;基于某种功能区的系统开发多,综合性的系统开发少。

从研究主题的不同视角来看(表1),以区域视角来研究水资源优化配置的文献最多,共102篇,占21.52%,不过研究的区域尺度差异较大,小到一个城市,一个县域,大到整个省级单元,一个大区(西北地区,南方地区等),其中基于城市视角的文献37篇,占36.27%。基于综合视角的文献82篇,占17.3%,该类主题多从理论、综述等方面进行研究。以流域为研究单元的文献63篇,占13.29%,以长江流域、黄河流域和西北地区的流域研究居多。以经济视角的文献47篇,占9.92%,此类视角以水权、水市场、水价等为切入点进行水资源优化配置研究。基于跨流域的水资源配置研究也较多,共37篇,占7.81%,大多以南水北调为研究对象,试图为国家宏观调控提出合理的建议。基于其它视角的水资源配置类型有:灌区类28篇、生态类24篇、农业类21篇、政策制度类19篇、可持续发展类18篇、河湖类17篇、空间类16篇。研究主题的不同视角反映了水资源配置研究的主流方向和多领域性,在不同经济发展时期研究视角的侧重点有所不同,体现了水资源配置必须为地区经济社会发展服务的宗旨。

3 水资源配置定量研究脉络分析

政治经济学方法、生态学方法、系统学方法、规划与模糊数学方法和人工智能方法代表了国内水资源优化配置定量研究的主要脉络。这5类方法此

消彼长,每种方法内部不断分化和演化,不同方法之间通过交叉、融合和渗透,使水资源优化配置研究的深度和广度不断加大(表2)。

3.1 政治经济学方法

政治经济学方法的国内实践研究只占10.87%,多集中在水权与价格交易、博弈论和边际效益等领域。政治经济学方法试图寻求一种可实际操作的兼顾效率与公平的水资源配置机制。水资源配置主要通过行政配置、用水户协商配置和水市场三种途径促进水资源的高效平等分配^[24]。从博弈论角度研究水资源优化配置,一般通过建立博弈模型,分析人的用水行为及制度安排,建立用水激励与约束机制。水资源配置机制博弈模型一般包括水资源的完全垄断经营、放任自由使用、市场配置、国家集中配置和水权交易配置^[25]。其中,水权交易配置模式能体现用水的公平性,提高用户的节水水平和水资源的利用效率。政治经济类方法多立足中国国情,提高水资源配置的可操作性。这类方法虽然简单易行,但多以描述性为主,其配置结果难以满足综合决策和用户参与的要求,因此该方法体系需要进一步地完善和拓展。

3.2 生态学方法

生态学方法成为国内水资源优化配置研究的前沿领域。该方法国内从2002年开始研究,目前尚处于起步阶段,只占国内实践研究的3.26%,但从其发展速度和趋势看将有广阔的研究和应用空间。

生态学方法多以可持续发展思想为指导,目标函数多为社会、经济、环境的最大综合效益,约束条件多为水量、水环境等,构建多目标优化模型。生态学视角一般突出生态系统在水资源配置中的作用,具有生态偏向性,但如何准确计算与水资源配置相关的生态环境效益,目前还没有统一的标准和理论基础。生态环境效益是生态系统、经济系统和社会系统综合作用的结果,只有联合多学科的专家、学者共同对其进行深入研究,构建其理论基础,才能获得较为准确的生态环境效益^[26]。

3.3 系统学方法

系统学方法通过构建一个反映经济、社会、生态和环境耦合的指标体系,试图揭示水资源配置这一复杂系统的运行机制。该方法为水资源优化配

表1 研究视角分布

Table 1 Distribution of research perspectives (篇,%)

研究视角	核心文献	占比	研究视角	核心文献	占比
区域	102	21.5	生态	24	5.1
综合	82	17.3	农业	21	4.4
流域	63	13.3	政策制度	19	4.0
经济	47	9.9	可持续发展	18	3.8
跨流域	37	7.8	河湖	17	3.6
灌区	28	5.9	空间	16	3.4

2013年1月

表2 研究方法类核心期刊发文数明细

Table 2 The statistics of core journals classified by study methods

(篇)

一级	二级	三级
政治经济学方法(20)	交易(9) 博弈论(5) 边际效益(3) 政治经济学(2) 宏观决策(1)	价格(4)、水权交易(4)、期货交易(1) 博弈理论(4)、博弈模型(1) 边际效益均衡模型(2)、边际效益空间动态优化(1) 公共政策(1)、政治民主协商(1) 宏观决策(1)
生态学方法(6)	生态与其它方法结合(5) 低碳发展模式(1)	经济和生态结合(2)、生态、社会和经济结合(2)、生态和节水结合(1) 低碳发展模式(1)
系统学方法(49)	大系统理论与其他方法结合(15) 大系统分解协调理论(17) 层次分析法(10) 逐步法(4) 其它方法(3)	层次分析法(5)、目标逼近法(3)、遗传算法(1)、模糊决策理论(2)、灰色关联法(2)、单纯形法(1)、BP网络(1)等 系统动力学模型(2)、分解协调理论(9)、系统分析(6) 层次分析法(6)、层次分析法与其他方法的综合(4) 逐步法(2)、典型年法(1)、长系列逐月调解(1) 逆向归纳法(1)、协同学理论(1)、群组决策特征根法(1)
规划与模糊数学方法(43)	目标规划法与其它方法结合(7) 多目标动态规划(13) 线性规划(7) 二次规划法(3) 模糊数学方法(10) 模糊数学与其它方法结合(3)	包括与拉格朗日乘子法、层次分析法、自优化模拟混合模型、粒子群算法、模糊数学等的结合 多目标递阶动态规划(4)、大系统多目标规划(2)、动态规划模型(7) 线性规划(3)、多目标线性规划(3)、线性规划与其它方法结合(1) 二次规划法(3) 模糊优先模型(4)、模糊物元模型(2)、模糊识别模型(3)、模糊满意度函数(1) 模糊数学与线性规划、层次分析法和优化算法的结合(3)
人工智能方法(67)	多种方法综合运用(6) 智能软件应用(21) 遗传算法及其改进(21) 神经网络(3) 其它人工智能方法(16)	遗传算法与模拟退火算法结合(2)、粒子群算法与其它优化方法结合(2)、人工鱼群与蚁群算法结合(1)、支持向量机与偏最小二乘回归法(1) GIS软件(7)、Matlab(4)、LINGO(3)、MIKEBASIN(1)、GAMS(2)、GLPS(1)、规划系统软件(2)、支持向量机(1) 遗传算法(5)、改进遗传算法(16) 灰色神经网络(10)、模糊神经网络(1)、BP神经网络(1) 基于规则控制(1)、混沌优化算法(1)、粒子群算法(2)、文化算法(1)、灰色关联分析法(1)、混沌和声算法(1)、Mann-Kendall法(1)、人工蚁群算法(1)、其它方法(7)

置研究的主要方法之一,占国内实践研究的26.63%,早期以大系统分解协调理论作为重要研究方法,目前在大系统分解协调原理的基础上,注重动态平衡分析法^[27]和系统动力学模型方法^[27],或者通过大系统理论与其它规划方法、人工智能方法等的耦合方法求解配置模型,以解决多水源、多用户、多保证率、多目标和多约束的水资源配置问题。但是系统学方法需要准确描述水资源配置和经济、社会与生态的耦合关系,而这种关系是水资源优化配置理论发展与完善的基础,也是有待系统深入研究的一个课题。通过深入地研究,将这些耦合关系直接嵌入水资源优化配置模型之中。

系统学方法以大系统分解协调理论(图3)和层

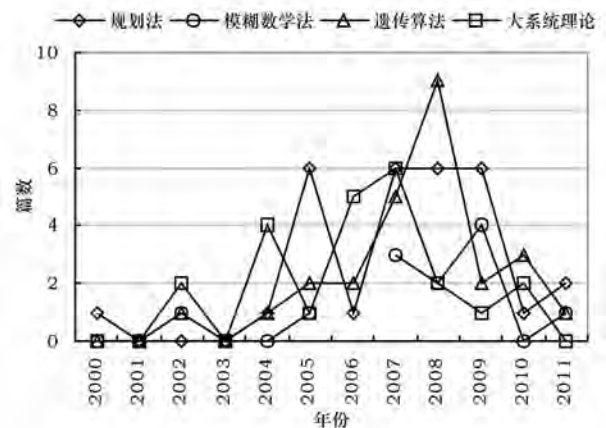


图3 四类常用方法文献年度变化

Fig.3 Annual change of papers in four methods

次分析法为主流方法,计算相对容易、配置结果直观、易于理解和实践,因而倍受学界关注。由图3可知,2007年之后,系统学方法的研究逐渐减少,这说明系统学方法的渐次成熟与普及,难以有更大的方法改进与创新,从而使学者们转而在其它学科领域探索新的方法。目前系统学方法多注重模型选取的严密性和配置结果的解释,在后效评价中,为了弥补单一模型分析的缺憾,系统学方法越来越注重人工智能方法和数学方法的交叉与融合。水资源配置的效果取决于深刻反映多目标水资源系统本质的指标体系及其权重的设置。指标体系结构确定以后,各参数的权重选取往往起决定性作用,但由于赋权方法的主观性和随机性,使得配置结果的可比性、可行性、推广性和科学性较差,从而使单纯追求水资源配置模型的精细与复杂也就失去了实践意义。

3.4 规划与模糊数学方法

在水资源优化配置研究中采用的规划与模糊数学方法占国内实践研究的23.37%。根据水资源配置的多目标性,规划方法采用最多的是多目标动态规划方法,其次是线性规划、二次规划,近年来,规划方法与拉格朗日乘子法、层次分析法、自优化模拟混合模型、粒子群算法、模糊数学等的结合逐步成为水资源优化配置研究的热点之一。由图3可知,规划方法在2005年-2009年的水资源配置研究中最热,2009年后逐渐被冷落,这主要是因为随着人工智能方法的兴起和快速发展,新型方法在水资源配置中越来越受到重视,其配置结果明显优于传统的规划方法(如用单纯形法求解变量较多的模型时往往计算繁琐、费时),从而使规划方法的研究者越来越少。

水资源分配过程的模糊性和随机性、水资源配置的多目标、多层次和群决策问题、区间可分配量计算的困难以及水资源优化配置方案综合评价的模糊性,都决定了模糊数学方法是求解水资源优化配置模型及其后效评价的主流方法之一。在水资源优化配置和评价中,常用的模糊数学模型主要有模糊满意度函数、模糊模式识别模型、模糊物元模型、模糊优选模型等。从模糊数学方法文献的年度分布上看(图3),2007年-2009年研究者较多,以后

逐渐减少。模糊数学方法不仅可以对各种定性和定量指标进行模糊量化处理,而且可以为配置结果提供更加丰富和灵活的评价信息,使配置和评价更贴近客观实际。模糊数学方法与线性规划、层次分析法、遗传算法等的相互渗透和耦合实现了模糊因素的定量化,但此法使所构建的隶属函数具有主观性和不确定性,从而直接影响配置结果的可用性和可靠性。模糊数学方法不能解决水资源配置模型指标信息的重复叠加问题,因此在进行模型求解和后效评价中首先要进行指标的独立性分析。

3.5 人工智能方法

人工智能方法是水资源优化配置研究的主导方法,占实践研究的35.87%。该方法需要根据水资源配置的目标函数和约束条件,经过多次迭代(训练)以获得最优配置结果,如遗传算法、神经网络、粒子群算法等。有的算法由于自身的缺陷,容易陷入局部最优解,从而难以得到水资源配置模型的全局最优解。有的算法太过复杂,需要通过经验试凑法进行参数设置,从而使模型求解精度难以得到保证,加大了模型求解的难度。各种人工智能方法与水资源优化配置研究的有机结合及其相关软件的研发是水资源优化配置研究进一步发展的瓶颈。

在所有人工智能方法中,遗传算法及其改进方法最为成熟,研究者最多,共有23篇核心期刊文献,占人工智能方法总数的34.33%。水资源优化配置问题模拟为“生存竞争、优胜劣汰、适者生存”的生物进化问题,以水量为决策变量,对其进行编码并构造多目标非劣解集,通过选择、交叉和变异判断每一代个体优化程度,经过优胜劣汰产生新一代可行解集,如此反复迭代,直至求出模型最优解。为了加强算法的全局搜索能力,提高算法收敛速度,众多学者对遗传算法进行了改进,如多目标遗传算法、开放遗传算法、加速遗传算法、自适应遗传算法、大系统总体优化遗传算法、模拟退火遗传算法等。由图3可知,采用遗传算法优化水资源配置问题,在2008年达到顶峰,共有9篇核心期刊文献,其后每年有两三篇左右,这主要是因为学者逐渐把注意力转移到一些新兴的人工智能算法,如神经网络、蚁群算法、人工免疫算法,从而使遗传算法的研究热度有所降低。

2013年1月

从2003年起,各种智能软件在水资源配置研究中得到越来越多学者的推崇。GIS软件、Matlab、LINGO、MIKEBASIN、GAMS、GLPS、规划软件、支持向量机(SVM)等软件出炉(表2),以其强大的数据管理、处理、分析、显示等功能,使复杂的模型求解程序化,使复杂的空间优化可视化,这在一定程度上解决了研究者在优化和模型求解方面的绊脚石,从而使学术论文质量更具规范性,使数据来源更具明晰化,使优化结果更具精确性,使配置方案更具可比性。这些软件为水资源配置研究提供了强大的技术支撑,从而使得水资源优化配置研究有了突飞猛进的发展。

利用GIS软件进行水资源优化配置研究的比重最大,占所用优化软件的1/3。总体来说,GIS的实践水平不高,发展缓慢,且多集中在系统二次开发方面,在指标的空间化和多维时空模拟方面研究不够。GIS本身的难度使大多水资源领域学者望而却步,而国内GIS的普及和研发滞后也限制GIS在水资源优化配置研究中的应用深度。今后,GIS应从时空数据库与模型构建、多元信息复合分析、过程模拟、动态预测、方案动态评价等方面为水资源配置、监测、调控、规划与管理提供全方位技术支持。

目前,利用Matlab软件进行水资源优化配置研究占所使用软件的19.05%(表2)。利用Matlab优化工具箱中的函数或工具(如Linprog、Fgoalattain、Excellink、GAOT)求解水资源配置多目标模型,可以根据决策者的不同意愿给出不同的非劣解集和不同的优化配置方案。Matlab的不足之处在于其不能很好地表达空间问题,可视化能力很弱,另外对于非线性约束条件的优化问题需要进一步研究。

4 结论

1987年-2011年的中国知网核心期刊、博士论文和硕士论文文献统计分析表明,作为跨学科的水资源优化配置研究,近年来已取得了丰硕的成果,其学术论文数量增长很快,质量和规范性有了较大进步,研究队伍逐渐壮大,研究内容更加深入,学科交叉更加广泛,从而加快了水资源优化配置研究的前进步伐。研究方法的多来源、多维度、多类型、多视角、多内容特性体现了水资源配置的复杂性特征

和跨学科特色。各学科最新、最前沿的理论和方法应用于水资源优化配置研究中,不仅对水资源配置中存在的各种复杂问题提出合理的解决方法,而且还丰富着水资源优化配置研究的理论方法体系。

4.1 水资源优化配置定量研究的发展特点

水资源配置对象由单水源、单用水部门发展到复杂的多水源、多用水部门;配置内容由单纯的水量配置发展到水量、水质统一调配,由地表水配置调度发展到地表水、地下水、雨洪水、外调水等的联合调度;配置目标由单目标发展到多目标,并且在新的优化理论、技术和算法下使多目标的问题求解变得非常简单;配置规模由最初灌区、水库等工程控制单元发展到不同规模的流域、区域和跨流域调水;配置模型由单一数学规划模型发展到数学规划与向量优化理论、模拟技术等多种方法的混合模型;配置技术由数学规划技术发展数学规划、模拟优化、人工智能、空间技术等的应用^[26]。

4.2 方法体系由简单走向智能,但有过分依赖模型的趋势

25a来,政治经济学方法、生态学方法、规划与模糊数学方法、系统学方法和人工智能方法均有所发展,但发展程度差异较大。博弈论、生态-经济-社会协调发展、规划-模糊数学、大系统分解协调理论和遗传算法分别为以上5种方法的代表。人工智能方法是主流研究方法,其进一步的发展需要深刻认识复杂水资源系统及其协调关系,更需要引入和耦合新的人工智能方法。政治经济学方法的研究队伍和相对地位有所下降,需要通过融合其它方法有望焕发勃勃生机。生态学方法是今后水资源优化配置研究的新生力量,实现经济、社会和生态和谐可持续发展是其探索方向。规划与模糊数学方法需要借鉴最新的数学理论、方法和技术,拓宽数学模型构建的思路,实现配置模型的地域性与标准化的结合和时态性与空间性的结合。系统学方法也是今后发展的一个主要方向,系统指标的科学选定、目标权值的合理确定、大系统理论与其他方法的结合是系统学方法继续深入的必然之路。

水资源配置模型的构建得到较多的重视,促进了其量化研究的进程。但模型的经济、社会和生

态子目标以及各种约束条件的建立缺乏统一的标准和依据。同时,当前的水资源配置研究有夸大其模型作用的趋势。配置模型的科学性、可行性和合理性取决于对水资源系统本质及其与其它系统关系的深度剖析,需要相关理论与方法的指导。因此,在水资源配置中,过分依赖配置模型以及过分精细复杂的模型可能背离水资源优化配置的初衷,难以真正实现水资源配置的“优化”。

4.3 评价体系多元化、综合化,但评价指标及其权值有待深入研究

水资源优化配置的后效评价主要有层次评判、神经网络评价、模糊物元评价、模糊优选评价等,体现了其评价体系多元化和综合化的特点。但评价指标体系的多层复杂结构为构建合理的指标评价体系增大了难度;方案评价的模糊性和不确定性为评价指标权重带来了不确定性。因此,构建一个涵盖经济合理性、社会合理性、生态合理性、资源合理性等因素的方案评价指标体系和客观的权重分配方案是今后一段时间重点研究的问题之一。公平性评价、协调性评价等处于较薄弱的实验研究阶段,而评价指标和方法的多元化导致一些研究结果产生较大偏差。

水资源优化配置定量研究方兴未艾,其定量研究方法的创新需要水资源优化配置理论的进一步突破和水资源系统结构与关系的深度挖掘,需要基于不同视角的方法融合,综合利用政治经济学、系统科学、规划与模糊数学、生态学和人工智能等理论与方法以促进水资源优化配置定量研究的深度发展。“3S”技术以及各种优化算法及其软件的发展将催生水资源优化配置研究新方法的产生与深化。

参考文献(References):

[1] 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.
[2] 王浩,游进军. 水资源合理配置研究历程与进展[J]. 水利学报, 2008, 39(10): 1168-1175.
[3] 李玉河. 水资源水质水量优化配置研究进展[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(3): 103-106.
[4] 吴泽宁,索丽生. 水资源优化配置研究进展[J]. 灌溉排水学报, 2004, 23(2): 1-5.

[5] 张金萍,秦耀辰,张二勋. 中国区域可持续发展定量研究进展[J]. 生态学报, 2009, 29(12): 6702-6711.
[6] 姚进忠,牛最荣,黄维东. 引大入秦工程水资源优化配置研究[J]. 干旱区地理, 2005, 28(3): 295-299.
[7] 孙志林,夏珊珊,许丹,等. 区域水资源的优化配置模型[J]. 浙江大学学报(工学版), 2009, 43(2): 344-348.
[8] 王瑞年,董洁,付意成. 龙口市农业水资源优化配置模型探讨[J]. 水电能源科学, 2009, 27(2): 36-39.
[9] 常福宣,张洲英,陈进. 适合长江流域的水资源合理配置模型研究[J]. 人民长江, 2010, 41(7): 5-9.
[10] 张冰,张卫兵. 基于模糊优选模型的水资源配置方案评价[J]. 节水灌溉, 2009, (6): 29-32.
[11] 史银军,栗晓玲,徐万林,等. 基于水资源转化模拟的石羊河流域水资源优化配置[J]. 自然资源学报, 2011, 26(8): 1423-1434.
[12] 顾文权,邵东国,黄显峰,等. 水资源优化配置多目标风险分析方法研究[J]. 水利学报, 2008, 39(3): 339-345.
[13] 高波,徐建新,班培莉. 基于模糊优选模型的水资源配置方案评价[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(6): 58-60.
[14] 余建星,蒋旭光,练继建. 水资源优化配置方案综合评价的模糊熵模型[J]. 水利学报, 2009, 40(6): 729-735.
[15] 白继中,师彪,冯民权,等. 自适应人工蚁群算法在水资源优化配置中的应用[J]. 沈阳农业大学学报, 2011, 42(4): 454-459.
[16] 侯景伟,孔云峰,孙九林. 基于多目标鱼群-蚁群算法的水资源优化配置[J]. 资源科学, 2011, 33(12): 2255-2261.
[17] 何俊仕,陆超,胡春媛. 浑河流域水资源合理配置研究[J]. 水电能源科学, 2010, 28(3): 17-19.
[18] 张永永,黄强,姜瑾,等. 陕西省引汉济渭工程受水区水资源优化配置研究[J]. 西安理工大学学报, 2011, 27(2): 165-170.
[19] 孙立堂,张世伟,于孝清,等. 有序加权平均算法在区域水资源配置中的应用[J]. 水电能源科学, 2006, 24(1): 94-96.
[20] 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.
[21] 周明华,朱晓颖,陈敏玲,等. 浙江省水资源优化配置研究[J]. 浙江工业大学学报, 2010, 38(4): 438-442.
[22] 姚荣,唐德善,张娜. 基于模糊理论的水资源合理配置研究[J]. 水电能源科学, 2005, 23(6): 5-8, 41.
[23] 赵奥,武春友. 中国水资源消耗配置的灰色关联度与适宜度测算[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(9): 65-69.
[24] 徐方军. 水资源配置的方法及建立水市场应注意的一些问题[J]. 水利水电技术, 2001, 32(8): 6-8.
[25] 王为人,屠梅曾,刘华. 水资源配置机制比较分析[J]. 上海交通大学学报, 2005, 39(10): 1660-1663.
[26] 侯景伟. ACA与RS、GIS耦合的水资源空间优化配置[D]. 开封: 河南大学, 2012.
[27] 张兵,何俊仕,李崇. 大石桥市水资源优化配置研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2006, 37(1): 82-85.
[28] 王艳芳,崔远来,顾世祥. 系统动力学在水资源优化配置中的应用[J]. 水电能源科学, 2006, 24(5): 8-11.

Quantitative Studies of the Optimization Allocation of Water Resources in China – A Review

CHEN Taizheng¹, HOU Jingwei², CHEN Zhun¹

(1. College of Environment & Planning, Henan University, Kaifeng 475004, China;

2. School of Resouce and Environment, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: In order to obtain a basic outline of the development of quantitative studies of water resource allocation, journal articles from Chinese HowNet (CNKI) were reviewed. First, core journals, Master's and doctoral dissertations about quantitative study on optimization allocation for water resources were downloaded from CNKI. Second, statistical analysis of these papers was done according to their publication time and type, literature source and content, and research topics. After that, methods from political economy, ecology, planning and fuzzy mathematics, systematics and artificial intelligence were used to obtain the evolution and development trend of the quantitative study on optimization allocation for water resources. The main solutions for the above five methods were game theory, ecological-economic-social development, planning-fuzzy mathematics, decomposition and coordination theory of large-scale system and genetic algorithms. Crossover, fusion and penetration between the five methods increased the depth and breadth of the optimization allocation study of water resources. There were more paper counts, better quality and standardization, more research teams, more in-depth content and more extensive cross-disciplines in recent years. Content and model of water resources allocation were used monotonously to comprehensively. Technology of water resources allocation was employed traditionally to intelligently. Diverse and integrated evaluation methods for allocation results were employed. Multi-source, multi-dimensional, multi-type, multi-angle and multi-content study methods reflect the complex and interdisciplinary characteristics of water resources allocation. The most cutting-edge theories and methods from various disciplines were used for optimization allocation study for water resources. These theories and methods not only provided reasonable solutions to a variety of complex issues that exist in water resources allocation, but also enriched the theory of optimization allocation for water resources. The quantitative study of optimization allocation for water resources will be developed and improved if interdisciplinary and integrated methods, 3S technology, and a variety of optimization algorithms and software are applied.

Key words: Water resources; Optimization; Allocation; Quantitative study; Review