

文章编号: 1000-6788(2005)12-0118-07

基于 CAS 范式的流域水资源配置与管理及建模仿真

王慧敏¹, 佟金萍¹, 马小平², 倪建军², 牛文娟¹

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室、河海大学商学院, 江苏 南京 210098;

2. 中国矿业大学信息与电气工程学院, 江苏 徐州 221008)

摘要: 针对传统水资源配置与管理理论和方法的局限性, 借鉴和引入复杂适应系统理论, 将流域水资源系统看成是由若干个(种)相对独立的自主实体(主体)构成的一个合作共生网络体系。提出基于复杂适应系统理论的流域水资源配置与管理的新理念, 及研究框架体系。结合洪汝河流域舞钢的实际, 在 SWARM 平台上建立仿真实验系统, 提出简化的仿真模型, 仿真结果验证了理论的合理性。

关键词: 水资源配置与管理; 复杂性; 复杂适应系统; 主体建模

中图分类号: N949

文献标识码: A

Complex Adaptive System (CAS)-Based Allocation and Management of River Basin Water Resources

WANG Hui-min¹, TONG Jin-ping¹, MA Xiao-ping², NI Jian-jun², NIU Wen-juan¹

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Business School, HoHai University, Nanjing 210098, China; 2. Information and Electrical Engineering College, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: Because of disadvantages to traditional theory and methods on allocation and management of river basin water resources, This paper views the system of river basin water resources as a collaborating accretion network composed of many independent agents, and studies its complexity with the complex adaptive system (CAS) theory. Based on CAS, we propose a new framework for the allocation of river basin water resources. On the platform of SWARM, simulations were performed for the city Wugang in Hongruhe basin to verify the effectiveness of the theoretical framework.

Key words: water resources allocation and management; complexity; complex adaptive system (CAS); agent modeling

1 引言

我国社会经济的快速发展正带来日益严重的污染和资源耗竭, 水资源也不例外, 正面临着洪涝灾害严重、水资源短缺、水资源分配不合理和水环境恶化的严峻挑战。多年来, 解决水资源短缺问题往往求助于工程和技术的手段, 而越来越多的研究表明, 工程和技术的手段固然十分重要, 但水资源管理不善也是导致水资源问题的因素之一。目前, 我国水资源配置与管理存在着不足, 主要表现在: 水资源配置与管理多采用行政指令模式, 形成了较严谨的和规范化的管理程序, 造成“市场失灵”和“政府失灵”; 水资源管理中权利分散化现象严重, 造成“多龙管水”, 最终导致水资源管理和配置的低效; 水资源管理的复杂性加剧, 管理目标越来越呈现多样化, 使得传统配置与管理理论和方法的局限性日益显著。

流域水资源系统是自然系统与人工系统相结合的复合系统, 兼有物理、化学、生态和社会经济等属性, 又面临“增长极限”和可持续发展等挑战, 对于这样的复合系统, 其水资源的配置与管理是一个极其复杂的过程。20 世纪 90 年代以来, 我国在基于系统工程理论为科学基础的水资源配置与管理理论和方法上, 进行了许多有益的探讨, 以期使水资源配置和管理的理论和方法从过去解决结构化问题的硬系统工程方法

收稿日期: 2005-02-05

资助项目: 国家自然科学基金(70471083, 50379009); 高等学校博士学科点专项科研基金(20030294008)

作者简介: 王慧敏(1963 -), 女, 山西黎城人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事管理科学与工程、水资源系统工程研究。

E-mail: huiminwang63@hotmail.com.

逐步向解决半结构化或不良结构问题的所谓软系统工程方法转变^[1,2],其中具有代表的是水资源大系统递阶控制理论^[3]、水资源生态经济复合系统理论^[4]、水资源系统运行调度管理决策支持系统^[5]、流域复合系统理论^[11]、水资源复杂适应系统配置模型^[6]、面向全属性功能的水资源配置理念^[7,8]等。上述研究成果是显著的,但未能从根本上跳出传统系统工程多目标寻优的框架,未能以寻求经济意义上全系统整体的帕累托最优解(Pareto Optimum)代替数学意义上的全局最优解,未能以“对策论”代替传统的“平衡论”。且基于系统仿真的水资源开发配置和管理也是采用传统系统动力学方法仿真^[9-11]。

流域水资源配置与管理是对水资源系统中所涉及的人、过程、系统与环境的复杂、动态协调管理。随着对水资源配置与管理的深入研究,水科学领域专家提出水资源配置与管理理念应赋予时代的新特点,即由过去的“以需定供”、“技术经济寻优”向“以供控需,统一管理”、“沟通与协调”过渡和发展^[12,13],研究的方法论应该跳出传统系统工程方法论的思维模式,跳出水资源配置和管理的原有传统思路,从新的视角探索和研究普适性更高的方法与理论。

2 应用复杂适应系统理论研究流域水资源配置与管理问题

2.1 流域水资源配置与管理的复杂性

“复杂性”(complexity)是 20 世纪后半叶在自然科学和工程技术各个领域涌现出并迅速成为一种研究的新概念范式^[14]。然而,对于复杂性概念的理解,不同领域的人有着不同的认识,大体存在两种观点:一般意义的复杂概念和系统科学的复杂性概念。通常,人们将“复杂”这个名词理解为“事物的种类、头绪等多而杂乱”(引自《辞海》,上海辞书出版社,2002),与“简单”相对,即一种事物未被认识或一个问题未找到解决办法时被当作复杂的,一旦认识或找到解决方法后就成为简单的了,这种观点纯属认识论范畴^[15]。而本文所讨论的复杂性是属于系统科学范畴,特别是复杂性科学范畴。“把复杂性当作复杂性来处理”是复杂性科学的方法论。目前对复杂性还没有一个确切的、严格的科学定义,但比较权威的是由钱学森提出的,“所谓‘复杂性’实际是开放的复杂巨系统的动力学,或开放的复杂巨系统。”^[16]复杂性基本特征主要有多样性、多层次性、开放性、非线性、动态演化性、不确定性、不稳定性、不可逆性、自组织性等特性^[17]。

流域系统是一类开放的复杂巨系统^[18],从复杂性科学角度分析流域水资源配置与管理复杂性,体现在主观和客观两方面。客观复杂性源于流域水资源系统的自身属性,主要表现为:多层次性。流域水资源系统由于空间的分布、范围和距离等差异导致系统具有很强的层次性,形成一个由上到下,由点到面的多层次、多功能的空间网络体系;开放性。流域水资源系统是开放的,能与环境相互作用,不断向更好地适应环境的方向发展;非线性。流域水资源系统是由多个子系统组成,各组成之间及不同层次的组成之间相互关联、相互制约,以某种或多种方式发生复杂的非线性作用,它是系统产生复杂性的主要根源;动态性。水资源系统总是处于不断变化中的,随着时间发展,系统结构、功能和行为不断变化,通过自适应、自组织向更高级演化;不确定性。水资源系统不确定性源于系统存在大量随机的、模糊的因素,使得系统发展具有不可预见性,等等。

这些客观复杂性的存在平添了水资源配置与管理的难度,形成所谓的水资源配置与管理主观复杂性。概括如下:复杂的空间网络管理。首先,对多层次的流域水资源系统进行配置与管理本身就是一项复杂工程,再加上由于系统信息的不对称性,使得水资源配置与管理的决策和控制呈现非线性和不确定性,这在某种程度上更增添了水资源配置与管理空间域上的复杂性;复杂的主体(Agent)行为管理。流域水资源系统是由系统内不同层次中不同角色的“主体”组成,这些主体行为表现为供水、用水、水质保护等的复杂“活动”。而在水资源配置与管理中,主体活动以人为核心展开,个人理性的存在不可避免地会带来管理目标的冲突,从而发生行为的逆悖,再者由于系统多层次性导致主体行为的多维性,使得达成目标的一致性管理充满了艰辛和复杂;复杂的开放、动态管理。对开放的流域水资源系统进行配置与管理,其过程也应带有一定的开放程度。此外由于系统所具有的动态性和不确定性等因素,给系统发展带来无穷未知。一旦系统环境发生变化(如气候环境、宏观政策等变化),在波及系统整体功能的改变的同时,管理者必然要根据环境变化变换战略,调整系统结构、行为,恢复系统健康、稳定状态,增强系统预知能力。这种不断与环境适应的过程同样增添了管理的复杂性。

综上所述,流域水资源配置与管理的复杂性问题只能在复杂性科学中寻求答案,因此我们尝试性提出应用复杂适应系统理论方法。

2.2 基于复杂适应系统理论的流域水资源配置与管理

复杂适应系统(Complex Adaptive System,简称 CAS)理论^[19]核心思想是:适应性造就复杂性,即 CAS 的复杂性起源于个体的适应性。结合 CAS 特性发现,流域水资源系统配置与管理过程可以看作是一类 CAS。分析如下:

1) 主体具有主动性、适应性。流域水资源系统是由多“主体”组成,这些主体行为贯穿于从“供”到“需”的全过程。主体行为与系统进化过程如图 1 所示,主体表现为主体行为层的各个节点和群体行为层的各个群体。结合用水主体进行分析,在主体行为层中各用水节点分布在流域中不同子区域或行业中,但各个子区域不是孤立的,如果由于外部因素影响(如区域经济增长需水量增大、干旱等),则子区域的水资源可以凭借水市场等媒介进行水交易,实现水资源的优化配置,这样就使不同地区不同行业的用水节点“粘着”在一起,形成了一个“用水群体”。同样也会形成“供水群体”、“水质保护群体”等,这些群体则在更高层次上不断与环境相适应,不断地“学习”、“积累经验”,使整个系统不断完善进化,形成一个合作共生网络。

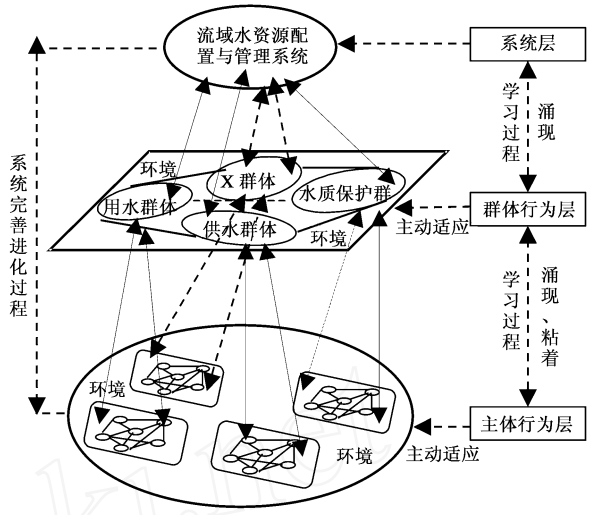


图 1 主体行为与系统进化过程

2) 流(flow)是 CAS 理论中重要的概念之一。在水资源配置与管理中,物流涉及有关水的安全及时输送,水的输送过程中水质的保护等;信息流涉及有关水的需求预测、供需信息的传递、对水质水量的监控及预警等;资金流涉及有关水市场的研究、水价的制定以及收入分配问题等。通过对水资源系统中物流、信息流进行设计规划和控制,对资金流进行分解与控制,使系统中物流、信息流等合理有序,提高配置效率,迅速、灵敏地对市场进行反应。

3) 涌现性。在系统演变过程中,个体行为规律与系统的演化规律是有机联系的,往往由于个体的细微变化导致整体系统的质的变化,这就是“涌现”特性。以水质保护分析为例(参见图 1),由于受到废弃物排放、有机物污染等影响,水质大大降低。水的流动性决定了不同地区的水环保部门必须“团结”治水,同时还必须兼顾用水、供水等部门,通过采取一定措施(如企业应具备排污设备,或征收污水排放税等)进行“协商”或“妥协”,从而改善水质,保证可供水量,使整个系统达到全局最佳,实现“多赢”。这个过程中有两处体现“涌现”:一是各地区环保部门的“团结”;二是用水、供水、水质保护等部门的“协商”或“妥协”,系统实现的“多赢”。

4) 自组织性。流域水资源配置与管理复杂性使系统在不同主体和层次间存在着错综复杂的相互作用,由于主体的主动性、适应性和智能性,这些相互作用在反馈和协同效应作用下,使系统自适应地、自组织地由无序走向有序,不断进化。

5) 非线性和动态性。系统不确定因素导致系统存在多种多样的非线性关联。在流域水资源配置与管理中,几乎每一环节都体现着非线性,使系统处于不断变化中,而变化恰恰是系统演化的动力基础。只有具备灵活性、适应性和快速反应能力的系统才能更好地对水资源合理有效地配置与管理。

2.3 基于 CAS 理论的流域水资源配置与管理研究框架

流域水资源系统配置与管理的研究框架(见图 2)大体分为:主体适应行为分析研究、系统适应管理研究、适应管理的实现研究、适应管理绩效评价研究四个模块。

主体适应行为分析研究模块是应用 CAS 理论围绕主体行为、主体与环境行为展开分析的,是系统适应管理研究模块的前提;而系统适应管理研究模块是在其基础上运用 CAS 理论对水资源系统配置与管理、系统协调演化等问题的分析,二者是相辅相成、不可分割的,是微观与宏观的关系。“行为人”(具体从事

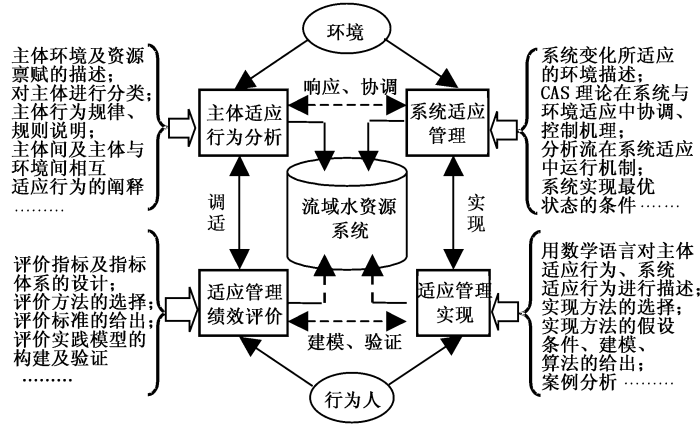


图 2 CAS 理论为科学基础的流域水资源配置与管理研究框架

水资源研究的工作人员等)的作用在于对系统适应性管理的实现进行研究,包括适应管理实现研究和管理绩效评价研究.前者是以 CAS 理论为科学基础的流域水资源系统配置与管理理论的关键,一个新的理论或方法问世必须要验证其可操作性;而后者是衡量的标准,主要针对下列问题展开的研究:水资源是否得到有效、持续利用;在水资源开发过程中,水环境是否得到很好的保护和修复;各部门能否实现“沟通与协调”等,所以需要建立一套科学的评价指标体系来对水资源配置与管理进行客观地评价.

需要说明的是,框架中四个模块是处于一个循环的系统中.以适应管理实现研究模块分析,按顺时针看,适应管理实现研究必须要有具体的研究对象,这个对象就来自系统适应管理研究模块,而适应性管理理论和方法则需要评价和监测过程来完成验证:一方面可检验方法的有效性;另一方面又会促使人们追根溯源的重新审视主体行为规律,对系统管理进行再调适,完善管理方法,如此循环下去.

3 流域水资源配置与管理主体建模

3.1 水资源系统配置与管理的层次结构

为了清晰认识流域水资源配置与管理主体建模的特性,保证实验结果具有较强的针对性、可比性和真实性,故而本文以淮河洪汝河流域舞钢县(现为平顶山市)为研究对象,以舞钢东部受水区域水资源系统的配置与管理为核心实验平台,重点分析在市场经济下,该地区的水价和用水量变化情况.

由于流域水资源配置与管理涉及众多的具有各自目标和利益的实体,为了便于水资源的配置和管理,将这些实体划分为功能主体层和单元主体层.东部受水区域的功能主体层可分为社会生产主体、社会管理主体和生态环境主体三大类.其中,社会生产主体主要包括经济生产中各个环节的个体:生产者,消费者,服务商;社会管理主体主要指政府各级管理部门;生态环境主体包括植被和水环境.舞钢东部水资源系统配置与管理的层次结构如图 3 所示.

各类主体具体说明如下:

虚拟企业主体——生产者代表.企业主体包括轻工业企业主、重工业企业主、房地产企业主和服务型企业主体,为了简化模型,将它们统一为一类虚拟企业主体.这类虚拟企业行为准则主要以获取企业的最大利润为目标.

家庭主体——消费者代表.家庭主体是模型中数量最多的主体类型,它包括城市家庭主体和农村家庭主体,这两类家庭可以以一定概率进行相互转变.对于每个家庭,其主要任务就是以获取家庭的最大效用为行为规则.

银行主体——服务商代表.模型中的银行主体完成以下 3 种功能:管理家庭的存款、提供贷款和雇佣

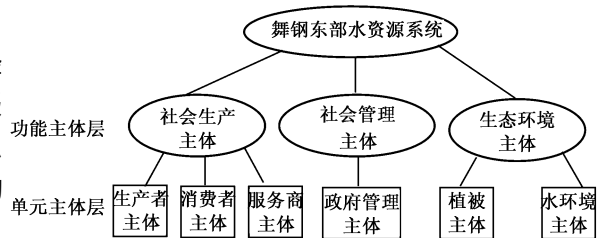


图 3 舞钢东部水资源系统配置与管理的层次结构

少量雇员,其行为也以获取最大利润为目的。

政府主体——管理者代表,它是系统的控制者,其主要任务包括征税、社会保障、公共事业建设等。它还要考察市场各种产品的供需关系、居民净收入占总产出的比例、银行的存款和贷款差额、政府收入与支出差额等等,来确定各种税率和银行缺省贷款利率,用于模拟政府的扩张性和紧缩性货币政策,并通过学习,做出各种长短期规划等。

环境主体。环境主体是一类特殊的主体,包括水环境、生态环境及其他经济、社会环境等,它主要负责计算各种环境参量以及评价指标值等,主体行为受环境承载能力的限制。

3.2 主体模型的抽象和简化

主体内部结构及模型借鉴美国 SANDIA 国家实验室研制的美国经济微观模拟模型——ASPEN 模型^[20]。该模型区别于传统的以量化处理或以符号语言描述系统行为规律的方法,而是以“黑箱”操作完成系统演化的。为了反映水量、水价等的变化,本文对 ASPEN 模型进行扩充,将家庭主体和企业主体的水资源消费从他们总的消费中单独拿出来加以考虑等,以更好地模拟水资源复杂适应系统。这些主体的各种行为模式在仿真模型中通过产品市场、服务市场、水市场、证券市场、劳动力市场等得以实现。

为了有效地评价各主体的运行状态,参照文献[1,2]有关水资源可持续发展的指标体系,结合本模型,选取如下几个评价指标:生活用水指标,包括城市人均用水量(吨/人年);农村人均用水量,以及人均综合用水量。经济增长指标,这里考虑人均 GDP 的发展趋势。水资源指标:水资源利用率、用水量、水价等。水环境指标:污水排放量、污水处理率等。这一过程还可以从侧面验证 CAS 理论应用于水资源配置与管理的可行性和合理性。

4 实验结果及分析

在美国 Santa Fe 研究所的 SWARM 软件平台^[21]上建立仿真实验系统,采用 JAVA 语言编程调用 Swarm2.1.1 版本中的类库进行仿真。在基于 CAS 的舞钢东部受水区域水资源系统的配置与管理仿真模型中,不同角色的主体对应于 SWARM 仿真实验系统中的一系列具有不同内部状态和行为规则的主体,不同主体之间的信息流交互对应于 SWARM 实验系统中不同主体之间的通信及消息传递,多主体模型中水流、资金流的循环过程对应于 SWARM 实验系统中离散事件仿真和时间调度所触发的主体行为。SWARM 实验系统中所有主体的行为决定系统整体行为,反映了多主体通过聚集、相互作用所产生的受水区以水价、水量为基本研究对象的水资源配置与管理的系统整体性能。

仿真实验系统在 Windows 操作系统下运行,通过人机界面的初始参数输入窗口、控制窗口以及结果显示频率设定窗口,可以方便地控制仿真实验系统的开始、暂停和退出,还可以方便地设定家庭主体、企业主体等主体的个数以及最终结果显示的频率等参数。

启动仿真系统运行后,各个主体按照事先设定好的行为时间表,进行动作和交互,而不需人为的干预。可以通过仿真系统的观察窗口,观察到水资源系统的变化情况。在实验过程中,通过调整仿真参数,一共生成 1200 个家庭主体,其中城市家庭主体与农村家庭主体的比例随机确定,50 个企业主体,1 个政府主体,2 个银行主体,1 个环境主体,初始仿真水价为 2.1 元/吨,粮食价格为 1.4 元/500 克,地区 GDP 增长率为 4%,仿真的步长为 1 个月。

仿真到 600 个步长(50 年),即到 21 世纪中叶时,得到实验结果见图 3 所示。图 3(a)是水价趋势仿真曲线图,图 3(b)是人均综合需水量趋势仿真曲线图,图 3(c)是人均生活需水量趋势仿真曲线图,图 3(d)是人均工业需水量趋势仿真曲线图,图 3(e)是市场其他消费品供需趋势仿真曲线图,图 3(f)是城市需水总量趋势仿真曲线图。

从图 3 看出,仿真曲线总的趋势是,21 世纪中叶以前,由于工业的结构调整和科学技术的进步,人均综合需水指标将呈稳中有降态势(见图 3(b)),随着居民生活水平的提高,人均生活需水指标将呈适度上升趋势(见图 3(c)),而人均工业需水指标将明显下降(见图 3(d))。

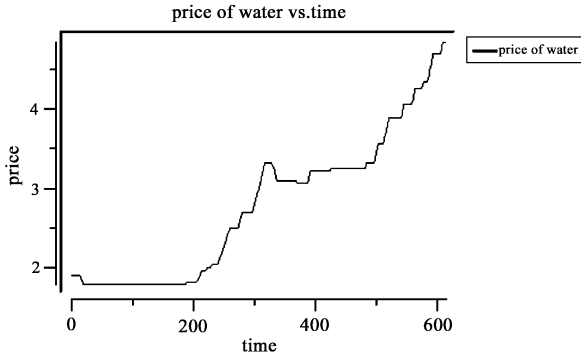


图 3(a) 水价趋势图仿真曲线

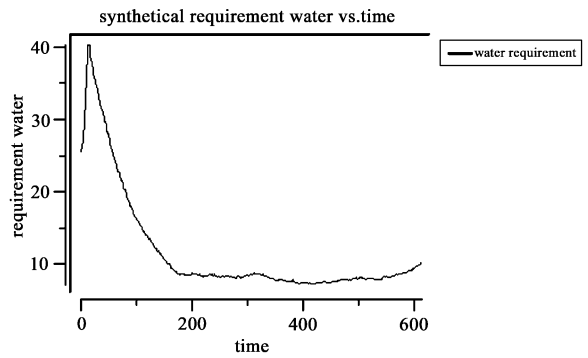


图 3(b) 人均综合需水量趋势仿真曲线

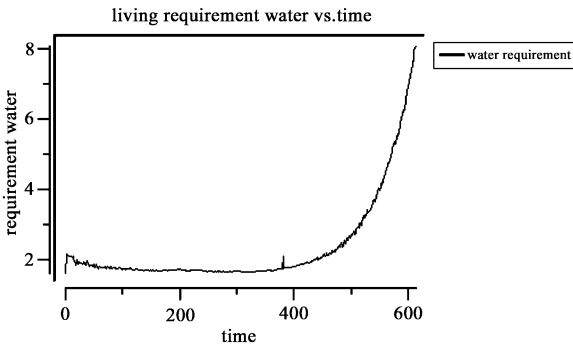


图 3(c) 人均生活需水量趋势仿真曲线

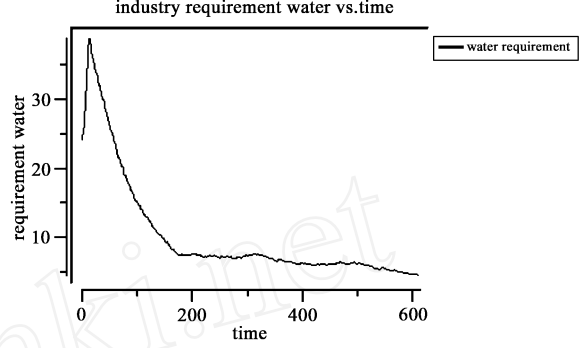


图 3(d) 人均工业需水量趋势仿真曲线

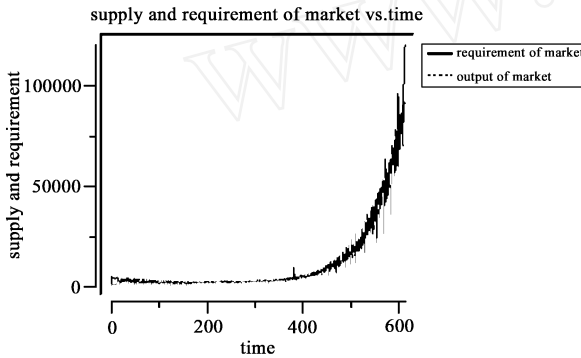


图 3(e) 市场其他消费品供需趋势仿真曲线

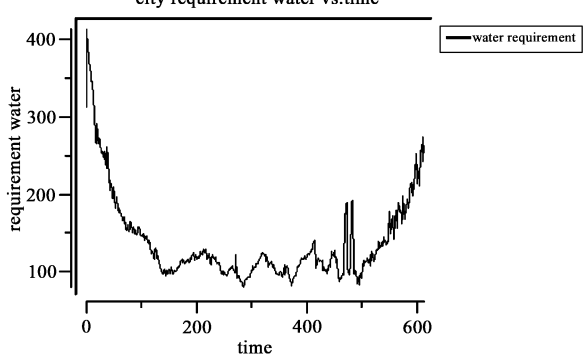


图 3(f) 城市需水总量趋势仿真曲线

由于经济的总体发展和水资源的短缺,水价总体呈上升趋势,开始阶段,水价波动较大,但随着仿真的进行,政府、家庭、企业等各类主体之间进行交互、协调、学习,各自根据市场供需情况进行行为调整,水价波动变小,呈稳中有升的态势(见图 3(a)). 这里需要说明两个问题:一是市场参与水资源配置与管理过程,水资源除具有自然属性,又赋予经济属性,故水资源遵循一定的市场规律,水价呈现上升趋势;二是水价并不是一直持上升趋势的,当水市场逐渐趋于规范和成熟时,水价则在一定范围内进行波动,是有界的.

随着经济的发展,市场的需求和供应总体呈上升趋势,并且市场的供应总能围绕市场需求上下波动,这符合市场经济的发展规律(见图 3(e)).

由于城市用水量与城市用水人口有着高度的相关性. 随着城市化进程的加快,将有大量农村人口和乡镇人口转入城市. 另外,在用水结构中,工业用水比例逐步下降,而生活用水比例则稳步上升,因此,城市需水总量的发展趋势是先逐步下降,然后,随着生活用水水平的提高和用水比例的上升,开始逐步回升(见图 3(f)).

结合舞钢水资源实际情况^[22],上述结论与我们的预期基本相符,证明了本文所建模型的准确性、合理

性,说明采用CAS理论分析水资源配置与管理是可行的。

5 结语

跳出现有的思维模式,从新的视角考虑,借鉴和引入CAS理论方法,提出基于CAS理论的流域水资源配置与管理新理念,及研究框架,并以此为系统仿真基础,结合洪汝河流域舞钢的实际,在SWARM软件平台上进行仿真实验,仿真结果验证了其可行性和合理性。

本文的研究内容对于在水资源系统配置与管理的理论与方法层面上具有开拓性和广泛的应用前景。但研究成果仅仅是初步的。

参考文献

- [1] 王慧敏. 流域可持续发展系统理论与方法[M]. 南京:河海大学出版社,2000.
Wang Huimin. Theory and Method on Sustainable Development System of River Basin[M]. Nanjing: HoHai University Press,2000.
- [2] 王慧敏,等. 都江堰灌区可持续发展评价体系[J]. 水利学报,1999(5):13-18.
Wang Huimin, et al. Evaluation system of sustainable development in dujiangyan irrigation area[J]. Journal of Hydraulic Engineering,1999(5):13-18.
- [3] 冯尚友. 水资源系统工程[M]. 武汉:湖北科学技术出版社,1991.
Feng Shangyou. Systems Engineering in Water Resources[M]. Wuhan:Hubei Science and Technology Press,1991.
- [4] 冯尚友. 水资源持续利用与管理导论[M]. 北京:科学出版社,2000.
Feng Shangyou. Water Resources Sustainable Utilization and Management[M]. Beijing:Science Press,2000.
- [5] 刘国纬. 跨流域调水运行管理——南水北调东线工程实例研究[M]. 北京:中国水利水电出版社,1995.
Liu Guowei. Operation and Management for Interbasin Water Transfer - the Case Study on South-to-North Water Transfer (Eastern route of China) [M]. Beijing:China Water Resources and Hydropower Press,1995.
- [6] 赵建世,等. 水资源复杂适应系统配置的理论与模型[J]. 地理学报,2002,57(6):639-647.
Zhao Jianshi, et al. Theory and model of water resources complex adaptive allocation system[J]. Acta Geographica Sinica,2002,57(6):639-647.
- [7] 王浩,秦大庸,等. “十五”国家科技攻关计划重大项目:基于流域水循环的黑河水资源合理配置研究报告[R]. 中国水利水电科学研究院,黄委会黑河流域管理局,2003,12.
Wang Hao, Qin Dayong, et al. Report on Water Cycle of River Basin-Based Water Resources Rational Allocation in Heihe River Basin[R]. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Heihe River Basin Management Bureau of Yellow River Conservancy Commission,2003,12.
- [8] 王浩,等. 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, et al. Research advances and direction on the theory and practice of reasonable water resources allocation[J]. Advances in Water Science,2004,15(1):123-128.
- [9] 王慧敏,刘新仁,等. 流域可持续发展的系统动力学预警方法研究[J]. 系统工程,2001,19(3):61-68.
Wang Huimin, Liu Xinren, et al. Study on early warning methods of system dynamics of river basin sustainable development[J]. System Engineering,2001,19(3):61-68.
- [10] 杨方廷,赖纯洁. 南水北调工程仿真系统[J]. 系统仿真学报,2002,14(12):1563-1567.
Yang Fangting, Lai Chunjie. The simulation system of south-to-north water transfer project[J]. Journal of System Simulation,2002,14(12):1563-1567.
- [11] 赵勇,解建仓,等. 基于系统仿真的南水北调东线水量调度[J]. 水利学报,2002(11):38-43.
Zhao Yong, Xie Jiancang, et al. Water dispatch of east-route of south-to-north water transfer project based on system simulation method[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2002(11):38-43.
- [12] Whipple W, Jr. Water Resources: A New Era for Coordination[M]. ASCE Press, Reston, Virginia, 1998.

(下转第137页)

库、人工智能和数据统计。

6 结束语

随着数据库技术的不断发展,作为其重要应用领域之一的城市交通信息服务系统也将会得到进一步的完善与加强。本文在借鉴国外成型的信息服务系统的同时,着重探讨了面向移动对象的数据库应用技术,以及面向公用服务信息平台的数据仓库技术,当然数据库技术在 ITS 领域的应用远不止这些,可以说数据库技术贯穿了整个 ITS。因此,本文仅仅是希望起到一个抛砖引玉的作用,希望今天的以及未来的 ITS 研究,伴随着信息技术的最新发展,例如:数据库技术,尽可能地与实际应用相结合,加快城市交通现代化的进程。21 世纪是信息的世纪,21 世纪也是创新的时代。我们坚信,秉承“创新永无止境”的理念,现代城市交通就一定可以赢得一个精彩的未来。

参考文献:

- [1] 陆化普,史其信. ITS——新一代道路交通系统[J]. 公路交通科技,1997,14(4):42-47.
LU Huapu, SHI Qixin. ITS——new era traffic system[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 1997, 14(4): 42-47.
- [2] 陆化普. 智能运输系统[M]. 北京:人民交通出版社,2002.
LU Huapu. Intelligent Transportation System[M]. Beijing: China Communications Press, 2002.
- [3] 钱大琳,朱茵,关瑞北. 基于数据仓库技术的城市交通共用信息服务平台[J]. 中国公路学报,2002,15(1):103-106.
QIAN Dalin, ZHU Yin, GUAN Ruibei. Shared information platform of urban traffic based on data Warehouse[J]. China Journal of Highway and Transport, 2002, 15(1): 103-106.

(上接第 124 页)

- [13] 朱元生. 水资源开发与管理的时代特性[J]. 科技导报,2002,12:55-59.
Zhu Yuansheng. A new era for water resources development and management[J]. Science and Technology Review, 2002, 12: 55-59.
- [14] 吴彤. 复杂性概念研究及其意义[J]. 中国人民大学学报,2004(5):2-9.
Wu Tong. On concepts of complexities and its meaning in research[J]. Journal of Renmin University of China, 2004(5): 2-9.
- [15] 苗东升. 论复杂性[J]. 自然辩证法通讯,2000,22(130):87-92.
Miao Dongsheng. Analysis on complexity[J]. Journal of Dialectics of Nature, 2000, 22(130): 87-92.
- [16] 戴汝为. 复杂巨系统科学——一门 21 世纪的科学[J]. 自然杂志,1997,19(4):187-192.
Dai Ruwei. Complex giant system science - A 21 century science[J]. Journal of Nature, 1997, 19(4): 187-192.
- [17] 秦书生. 复杂性技术观[M]. 北京:中国社会科学出版社,2004.
Qin Shusheng. Complex Technology[M]. Beijing: China Social Science Press, 2004.
- [18] 吴季松. 现代水资源管理概论[M]. 北京:中国水利水电出版社,2002.
Wu Jisong. Modern Water Resources Management Methodology[M]. Beijing: China Water Resources and Hydropower Press, 2002.
- [19] Holland J H. Hidden Order[M]. Addison Wesley, Reading, MA, 1995.
- [20] Basu N, Pryor R J, Quint T, Arnold T. Aspen: An Microsimulation Model of the Economy[R]. Sandia National Laboratories, Albuquerque, 1996, 9:96-245.
- [21] Swarm Development Group. Swarm 2.1.1 Reference Guide[EB/OL]. <http://www.swarm.org>. Mar 28, 2000.
- [22] 河南省水利网[EB/OL]. <http://www.hnsl.gov.cn/szygz/index>, 2003-05-27/2003-05-28/2004-09-07/2004-09-08.
Henan Water[EB/OL]. <http://www.hnsl.gov.cn/szygz/index>, 2003-05-27/2003-05-28/2004-09-07/2004-09-08.