

CAS 范式在南水北调东线水资源供应链管理中的应用

张玲玲¹ 张乃伟² 王宗志³

(1. 河海大学商学院, 江苏 南京 210098; 2. 南京水利科学研究院材料结构研究所, 江苏 南京 210024;
3. 合肥工业大学土木学院, 安徽 合肥 230009)

摘要 将 CAS 范式引入南水北调东线水资源供应链管理项目, 研究其复杂性、动态性和整体性, 为水资源配置与调度提供理论依据。从供应链的结构、节点企业以及外部环境等角度, 分析其复杂自适应性, 指出基于软件平台 Swarm 仿真的可行性和有效性, 从复杂性的角度提供了供应链量化建模仿真的理论基础。

关键词 CAS; 南水北调; 供应链管理; 仿真平台 Swarm

中图分类号 TV212.3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2004)06-0703-04

南水北调东线水资源系统是一个多流域、多水源、多目标的复杂水资源系统, 供水、防洪、排涝、航运并举, 涉及 5 个省(市)的众多用水部门。该系统将在如此复杂的市场经济环境中运行, 是我国水资源配置与运行管理从未遇到过的新课题, 国外也无现成经验可供借鉴。实现科学、合理、高效、便捷的东线工程水资源配置与调度, 将协调地区间、部门间的水资源需求, 实现供水区内水资源的优化配置, 保证东线工程规划目标的实现, 最大限度地发挥东线工程效益, 对黄淮海地区经济与社会可持续发展和生态环境改善具有重大意义。

在市场经济体制下, 南水北调东线水资源配置与调度系统是一个复杂巨系统。如果将其描述成网链结构模式, 以链上各个节点的供水方和需水方为主体, 涉及水利部门与多个有自主行为和自身利益及目标的中间环节的链状系统, 这一系统的典型特点是具有复杂性、动态性和整体性。很显然, 该系统符合供应链系统的诸多特点, 主链成员之间串型链接, 子链网状链接, 通过供需协议, 实现沟通与协调, 使整个水资源系统处于双赢平衡状态, 因而南水北调东线水资源供应链是一个复杂自适应系统(complex adaptive system, 简称 CAS)。

本文论述了南水北调东线水资源供应链系统的复杂性, 在分析供应链系统复杂性的基础上, 提出基于 CAS 范式下南水北调东线水资源供应链系统管理模式, 为南水北调东线水资源配置与调度问题的研究提供一个新思路。

1 南水北调东线水资源供应链

南水北调东线水资源配置与调度供应链是在一定的物流(水流)、资金流和信息流下, 供需双方之间按照一定的结构(主链链状和子链网状)进行一系列活动(提水、输水和供水), 从而实现南水北调这一既定目标, 并使成本最小、效用最大而组成的网络^[1]。

供应链管理(supply chain management, SCM)是指供应链中各环节内部的计划、设计和管理等活动, 以及各环节相互之间的协调, 如物流、信息流、资金流的管理等。供应链中各环节包括供应商、制造和组装工厂、分配中心、零售商和最终客户等组成的网络。在南水北调东线水资源配置与调度供应链中, 沟通与协调是供应链管理中活的成分, 良好的协调机制既能调动合作企业的积极性, 又能实现供应链整体动态的优化目标, 不断实现水资源的优化配置与效率^[2]。

2 南水北调东线水资源供应链管理的复杂自适应特征

2.1 CAS 范式概述及特征

Holland 教授^[3]于 1994 年在以“隐藏的秩序”(hidden order)为主题的演讲报告中正式提出 CAS 理论。该范

收稿日期: 2004-07-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(5037909)、国家社会科学基金资助项目(03BJY037)、高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20030294008)、河海大学科技基金资助项目(2004-13)

作者简介: 张玲玲(1979—), 女, 山东潍坊人, 博士研究生, 从事管理系统工程与信息技术研究。

式以 CAS 为分析工具,其基本思想就是适应性造就复杂性,强调主体与整体之间、微观与宏观之间的复杂关系。CAS 范式对于认识和解释不同领域的复杂系统提供了新的思路和视角,已经得到了不同程度的应用和验证,成为学术界与企业界关注的热点。

CAS 是由大量的根据各自行业规则或者模式相互作用的行为主体组成的系统,它们以适应的方式不断地进行学习和进化,具有以下基本特征^[4]:(a)主体(agent):CAS 中的成员称为具有适应性的主体;(b)模式(schema)指对一个 CAS 所受刺激进行规范化的模型是由规范系统现时运作和判断系统下一步运作的性质进而采取行动的一系列规则组成的;(c)混沌边缘(edged of chaos)指一个 CAS 运行在有序和无序中间的相变过程中出现的有界非稳定性的一种形式;(d)突现(emergence):指 CAS 中的行为主体根据各自行为规则相互作用所产生的没有事先计划但实际却发生了一种行为模式;(e)自组织(self-organization):指 CAS 系统中的行为主体在没有任何统一的目标要求它们干什么或者怎么干的情况下,根据各自的行为规则相互作用的过程;(f)自适应(adaptive):所谓自适应是主体能够与环境以及其他主体进行交流,在这种交流的过程中“学习”或“积累经验”并且根据学到的经验改变自身的结构和行为方式,适应的目的是生存或发展;(g)动态(dynamic):CAS 总是处在发生、发展、老化、突变……的过程中,整体特性有时甚至突然或神秘地改变,整体性能改变并不暗示一定有外力的作用存在。

此外,CAS 还有一些其他学科已为人熟知的特性,如非平衡态、反馈、整体大于部分之和、部分影响整体但整体也影响部分等。

2.2 南水北调东线水资源供应链管理的 CAS 特征

由上述可见,南水北调东线水资源供应链管理具有 CAS 范式的特点:

a. 结构的复杂性.南水北调东线工程从扬州市的江都抽引长江水,利用京杭大运河及与其平行的河道逐级提水北送,并连接起调蓄作用的洪泽湖、骆马湖、南四湖、东平湖,向山东等地送水,沿线涉及的城市和地区很多,受益的用水户更是不计其数.为了研究问题的方便,同时使得设计的供应链结构不失一般性,将南水北调工程线路进行概化,以调水线路上的各个调蓄湖泊作为节点企业,南水北调东线水资源配置与调度供应链的主链结构如图 1 所示。

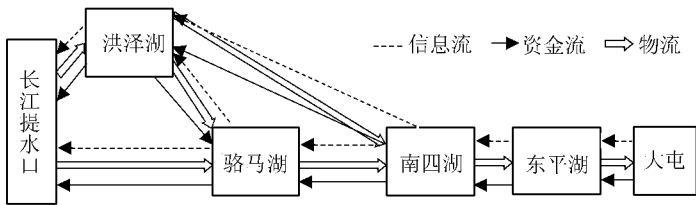


图 1 南水北调东线供应链主链结构

Fig.1 Structure of main supply chain for east route of South-to-North Water Transfer Project

在该供应链主链结构上的每一个节点湖泊周围都存在一个网状的供水系统,所以在每一个节点湖泊周围都存在一个子供应链,我们将节点湖泊看作供方,周围对用户的供水系统概化成一个需方,其单节点概化如图 2 所示^[5].其中 c 为生产成本; p 为买方价格; q 为需方订单; $W(q)$ 为需方付款; $D(p)$ 为价格敏感性市场需求。

b. 供应链的庞大性.东线工程基本任务是从长江下游调水,向黄淮海平原东部和山东半岛补充水源,与南水北调中线、西线工程一起,共同解决我国北方地区水资源紧缺问题,其主要供水目标是解决调水线路沿线和山东半岛的城市及工业用水,改善淮北部分地区的农业供水条件,并在北方需要时提供农业和部分生态环境用水.供应链的主体是由调水沿线的各个节点独立或半独立的经济实体组成,这些主体对下级属供方,对上级是需方,本身具有供需双重功用.主链的始末端点比较特殊,仅具有供或需单重功用.这些主体之间具有竞争、合作、动态等多种性质的供需关系^[6].在市场经济环境下,南水北调水资源供应链管理就是研究主链成员间、子链成员间和主子链成员间的合作与协调,从而实现水资源的合理配置与效率。

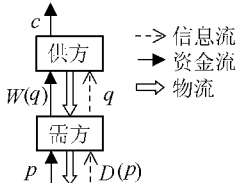


图 2 南水北调供应链中概化供需方单结点结构

Fig.2 Generalized single-node structure of supplier and demander in supply chain of South-to-North Water Transfer Project

- c. 供应链系统的开放性. 南水北调水资源供应链节点企业之间都有交互作用, 同时它们与外界环境也有相互作用, 尤其是受市场变化和宏观调控的影响, 整个供应链会随着外部环境的变化而不断改善, 从本质上来说, 在整个供应链环节中体现了一种进化的趋势. 可见, 供应链是一个开放、渐进演化的系统.
- d. 供应链系统的涌现. 涌现指的是系统各组成部分之间通过非线性相互作用而产生其组成部分或部分总和没有的性质, 这是系统最重要的特性. 南水北调东线水资源供应链恰如其分地体现了整体大于部分之和的思想, 说明供应链模式是主体竞争、协同发展过程中的一种突现, 因为单个主体或部分之和无法完成南水北调这一最终目标.
- e. 供应链节点之间动态交互作用的复杂性. 供应链中所有主体之间存在复杂的信息流、物流(水流)和资金流的交互作用, 存在竞争、协同的关系. 为了实现整条供应链效用最大化, 需要主链、子链、主子链集成和信息共享, 力求达到整条供应链全局的动态最优目标.

3 仿真平台 Swarm 运用

基于 CAS 理论, 美国圣菲研究所(Santa Fe Institute, SFI) 开发出一个复杂适应系统仿真的多主体软件工具集^[7], 其仿真软件平台 Swarm 是用来帮助分析复杂适应系统, 可以用于经济、生物、生态、地理、国防等诸多领域. Swarm 的整个思想是提供一个执行环境, 在这个环境中, 大量的对象能够“生活”, 并以一种分布式的并行方式互相作用. 在 Swarm 上的很多工作并不仅仅是为了使并行性的任务易于管理, 而是建立一种机制, 使人们意识到在它们的实验装置中多个时间线程是如何互相作用的. Swarm 支持分级建模方法, 在嵌套结构中, 某个体可由其他个体的 Swarms 组成. Swarm 提供了面向对象的可重用组件库, 用来建模并进行分析, 显示以及对实验进行控制, 考察和研究系统的行为和演化规律. 在这种框架下, Swarm 的使用者不必花费精力在特定模型的实现上. Swarm 模拟的基本单位是个体, 一个个体就像系统中的一个演员, 它能够产生动作并影响自身和其他个体. 模拟包括几组交互作用的个体. 用 Swarm 软件建模的重要机制就是通过适应度来求解均衡结果. 具有适应性的主体(即局中人)通过遗传算法或其他进化算法所刻画的学习过程使得自己的策略不断向均衡解靠近. 这一策略得出过程生动地表现了主体对环境的不断学习和主动适应等特点.

一个 Swarm 包括两大部分: 模型 Swarm 和观察员 Swarm(图 3). 其中模型 Swarm 又包括两个部分: 个体和时间表. 个体定义了 Swarm 系统中的基本对象, 即模拟部件. 时间表是一个数据结构, 定义了各个对象的独立事件发生的流程, 即各个事件的执行顺序. 在 Swarm 中, 时间表通过规定特定的行为在特定的时间发生, 可以科学地解决实验对象行为的顺序性、同步性等问题, 这一点在不能实现联机模拟时尤为重要. 模型 Swarm 通常指程序部分, 而观测员 Swarm 通过图形用户界面同普通用户发生联系, 形象地说它是一个观察和测量的仪器. 一个观测员 Swarm 主要包括 3 个组成部分: 实验仪器、时间表和输入输出. 其中, 不同的仿真实验需要不同的实验仪器. 观测员中的时间表安排从模型 Swarm 中读出数据, 形成结果(通常是一些图表, 如栅格图、线性图……). 输入输出是模型同用户进行交流的桥梁, 供用户配置实验参数、生成所需要的图表, 得出实验结论.

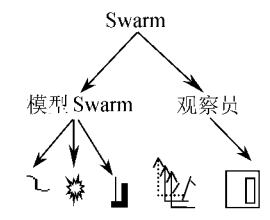


图 3 Swarm 的结构
Fig.3 Structure of Swarm

- 用 Swarm 建立南水北调东线水资源供应链仿真模型, 有以下特点:
- a. 实现南水北调东线水资源的配置与调度效用最大化是一个渐进演化完善的过程, 在以“沟通与协调”代替“技术经济寻优”思想指导下, 实现资源的相对有效配置是一个自组织学习过程, 是在不断打破旧的平衡基础上实现的. Swarm 基于非均衡论, 将微观与宏观统一起来. 传统的理论模型都重视最优化, 要求主体的行为在给定的环境下是最好的, 并且主体知道所有的信息. 这些假设都与现实存在偏差. Swarm 放弃了严格的条件假设, 使用遗传算法等进化算法做出更符合实际的决策.
- b. Swarm 依据的理论基础是非均衡论, 而且是随机变动的, 其仿真模型是非线性的, 使得系统本身具有自适应性, 模拟结果更接近真实情况.
- c. 信息不完全往往是困扰水资源复杂大系统运营的重要因素之一. Swarm 的原理是通过信号传递, 主体通过接受信号确定自己的收益, 进而调整自己的策略, 并不需要建立联立方程计算, 而是通过遗传迭代等进化算法模拟主体对环境信号的适应过程, 并且, 由于系统的环境变量将通过微观主体的自适应过程得到合理修正, 这使得 Swarm 对外生初始变量值的要求不高. 由此可见, 用 Swarm 建立南水北调东线水资源供应链仿

真模型是可行而且有效的.

4 结 语

南水北调东线水资源配置与调度供应链可以看作是一个具有适应性的、主体构成的、处于不断演化过程中的复杂系统.本文从管理学和经济学的角度分析南水北调东线水资源配置与调度,这一问题是学科交叉的有机结合点,为合理有效地找到问题的落脚点提供了更广阔的思路.运用复杂性和系统性科学理论为问题的解决提供了方法.CAS理论假定变量主体能在周围环境的状态下具有自适应、学习的主动性等功能,符合系统的实情.传统模型对主体的假设是完全理性的.CAS强调的是非理性的行为主体在不断学习过程中逐步达到理性,这使得结论更贴近现实.这一点是CAS理论对南水北调东线水资源配置与调度供应链的贴切描述,从而为南水北调东线水资源配置与调度问题的研究提供了一个新的思路.笔者认为,进一步的研究工作应综合考虑各种因素,从复杂性的角度对该供应链量化、建模仿真.

参考文献:

- [1] ZHANG Ling-ling, WANG Hui-min, LEI Gui-rong. Analysis of dispatch and allocation of water resource in South-to-North Water Transfer Project [A]. In: CHEN Jian, 2004 Service System and Management International Conference [C]. Beijing: International Academic Publisher, 2004. 576—581.
- [2] 王慧敏, 张玲玲, 王宗志. 基于供应链的南水北调东线水资源配置与调度的可行性研究综述 [J]. 水利经济, 2004, 22(3): 2—5.
- [3] Holland J H. 隐秩序 [M]. 周晓牧, 韩晖译. 上海: 上海科技教育出版社, 2000. 1—30.
- [4] STACEY RALPH D. 组织中的复杂性与创造性 [M]. 宋学锋, 曹庆仁译. 重庆: 四川人民出版社, 2000. 8—9, 252—259.
- [5] 王迎军. 供应链管理 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2001. 368.
- [6] 张涛, 孙林岩, 孙海虹, 等. 供应链的系统运作模式分析与建模——基于复杂自适应系统范式的研究 [J]. 系统工程理论与实践, 2003, 11: 8—13.
- [7] 戴汝为, 沙飞. 复杂性问题研究综述: 概念及研究方法 [J]. 自然杂志, 1995, 17(2): 73—78.

CAS paradigm applied to water resources supply chain management in the east route of South-to-North Water Transfer Project

ZHANG Ling-ling¹, ZHANG Nai-wei², WANG Zong-zhi³

(1. Business School, Hohai Univ., Nanjing 210098, China;

2. Material and Structural Engineering Department, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China;

3. College of Civil Engineering, Hefei Industry and Technology University, Hefei 230009, China)

Abstract: The Complex Adaptive System (CAS) paradigm was introduced to study the complexity, the dynamic characteristics and the integrity of the water resources supply chain management in the east route of the South-to-North Water Transfer Project, providing a theoretical basis for water resources allocation and dispatching. On the step-by-step analysis of the complex self-adaptability of the water resources supply chain from the points of its structure, the nodal enterprises, and external environment, the feasibility and effectiveness of the simulation of the water resources supply chain management for the South-to-North Water Transfer Project based on the Swarm software were analyzed. The research provides a theoretical basis for quantification and modeling of the water resources chain management from the angle of complexity.

Key words: CAS; South-to-North Water Transfer Project; supply chain management; software Swarm