

南水北调供应链运营管理的若干问题探讨

王慧敏^{1,2}, 胡震云^{1,2}

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学商学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 分析了供应链管理理论与方法用于南水北调运营管理的可行性, 阐述了南水北调供应链可以帕累托整体最优为管理目标。结合南水北调东线水资源系统的实际, 定义了南水北调供应链契约, 构建了南水北调供应链委托-代理契约关系模型, 提出并定义了南水北调供应链中“信息变换效应”的概念, 初步分析信息变换效应的存在、量化和控制。论文表明, 供应链管理理论与方法在水资源复杂大系统水资源配置和调度管理的理论与方法层面上具有开拓性和广泛的应用前景。

关键词: 供应链管理; 水资源配置与调度; 跨流域调水; 南水北调; 运营管理

中图分类号: P213.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-6791(2005)06-0864-06

随着时代的发展, 水资源开发、配置和调度管理的理念、体制和技术方法由过去的“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^[1,2]。从20世纪70年代开始, 欧美发达国家已认识到, 要适应水资源开发、配置与管理的新时期特征, 必须更新观念, 突破原有思想定式, 以更加广阔的眼界来考察水资源开发、配置与管理问题。对我国水资源系统运行管理现实状态的分析表明^[3,4], 我国水资源开发、配置和管理也正在经历着欧美发达国家已出现的变化。

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大系统, 供水、防洪、排涝、航运并举, 涉及五个省市和众多用水部门利益。该系统将在社会主义市场经济体制下运行, 如此复杂的系统在经济环境中运行, 是我国水资源配置与运行调度从未遇到过的新课题, 国外也未见有现成经验可供借鉴。

本文将探讨供应链管理理论与方法应用于南水北调管理的可行性, 并对其中关键问题进行分析。

1 南水北调供应链运营管理的合理性

供应链是指由原材料的供应商、制造商、分销商、零售商、顾客等成员, 通过上、下游成员的连接组成的链状结构或网络结构。在供应链中, 每个环节不同的生产过程与生产活动都创造了产品或服务的价值, 同时增加了产品或服务的成本, 在其结束时形成中间产品或服务, 是通过最终产品一齐转移到顾客手中。顾客购买产品或服务是对整个供应链的认可(不仅是最终产品)。供应链的首尾是“供”与“需”两方面, 故亦可称为供需链, 实质包含从“供”到“需”全过程的所有环节。

供应链管理强调用系统的观点, 寻求使供应链帕累托整体最优, 而不是局部最优。对其物流、信息流进行规划、设计和控制, 对成本流(即资金流)进行分解与控制, 使供应链中成员获得相应利益的一种管理理念。

本文基于以下方面的分析, 论述将供应链引入到南水北调运营管理是可行的^[5], 并且能够解决传统理论和

收稿日期: 2005-01-10; 修订日期: 2005-06-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50379009; 70471083); 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)

作者简介: 王慧敏(1963-), 女, 山西阳泉人, 河海大学教授, 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

方法难以处理的问题：

(1) 南水北调水资源系统通过上、下游子系统连接,形成一条串型的供需链状结构的供应链。对这条供应链的管理包括从“供”到“需”全过程中的所有环节的管理,这样就避免了传统的水资源配置与调度仅仅侧重供水和需水两 endpoints,对于中间环节,一般只是从技术角度研究(如输水管线的规模尺寸,工程设施,调度方法等),而在用户需求、效益成本比、服务质量等方面考虑较少。

(2) 在水资源系统供应链中,物流涉及有关水的安全及时输送和输水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,信息不完全和信息畸变往往是困扰水资源复杂大系统运营的重要因素之一;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。特别是在市场经济条件下,不确定性有可能误导决策。通过对水资源系统供应链中物流、信息流进行设计规划和控制,对资金流进行分解与控制,使水资源系统中物流、信息流等合理有序,以及改进运营管理是必要的也是可行的。

(3) 在水资源系统成员的供需关系中,供方和需方也可以定义为卖方和买方,只有当买、卖双方组成的结点间产生正常的交易时,才发生物流、信息流、资金流的流动或交换。表达这种流动或交换的方式之一就是契约关系,供应链上的成员通过建立契约关系来协调买方(需方)和卖方(供方)的利益。

(4) 供应链本身就是市场经济的产物,采用供应链研究南水北调水资源配置与调度问题,能够适应市场经济下的管理体制。在南水北调供应链中不以组织机构和行政隶属关系作为支撑,而以强调合作和签定契约作为管理职能实施的基础。通过供需“协议”,实现“沟通与协调”。

2 南水北调供应链运营管理的目标——帕累托最优(Pareto Optimum)

根据《南水北调东线工程规划》,南水北调东线工程将分三期进行建设。根据《规划》中制定的管理体制及运作方式,一期工程划分为三个子系统,即江苏水资源系统、南四湖水资源系统和山东水资源系统,各系统之间以协议规定的供水过程图(供水负荷图或称供水网络图)相连接(见图1)。

一期工程三个子系统之间通过上、下游供需各方联结而成串行链状结构。各子系统是南水北调东线供应链中的成员。每个子系统内部,又可分为若干个子成员,且又构成水资源子系统供应链。一期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,并连接在输路线中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。在供应链的主链结构上,以调水线路上的各个调蓄湖泊作为节点地区,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又都存在一个子供应链。

南水北调供应链上的节点成员通过建立契约关系协调需方和供方的利益,并以实现帕累托整体最优作为管理目标。即使供应链达不到最佳,也可能存在帕累托最优解(任何形式的资源重新配置,都不可能使至少有一人受益而同时又不使其他任何人受损害的资源配置状态),以保证每一方的利益至少不比原来差。

帕累托最优^[6,7]是由意大利经济学家帕累托(V. Pareto)提出的一个经济学概念,即在某种既定的资源配置状态,任何改变都不可能使至少一个人的状况变好,而又不使任何人的状况变坏。而这个“最优的状态”,就被人们称为“帕累托最优”。通俗的解释就是在资源配置过程中,经济活动的各个方面,不但没有任何一方受到损害,而且社会福利要尽可能实现最大化,社会发展要达到最佳状态。

南水北调供应链帕累托最优原则,是有利于水资源的统一管理和合理配置,使南水北调供应链的整体效率达到最优。如果南水北调供应链上的某个节点成员为了自身利益制定了供需水计划,可能得到了局部最优解,但损害了供应链的整体利益,其结果会由于整体供应链运作绩效的下降,而导致该节点成员的自身利益也实际下降。供应链管理强调的是帕累托最优,即整体最优,而不是局部最优。

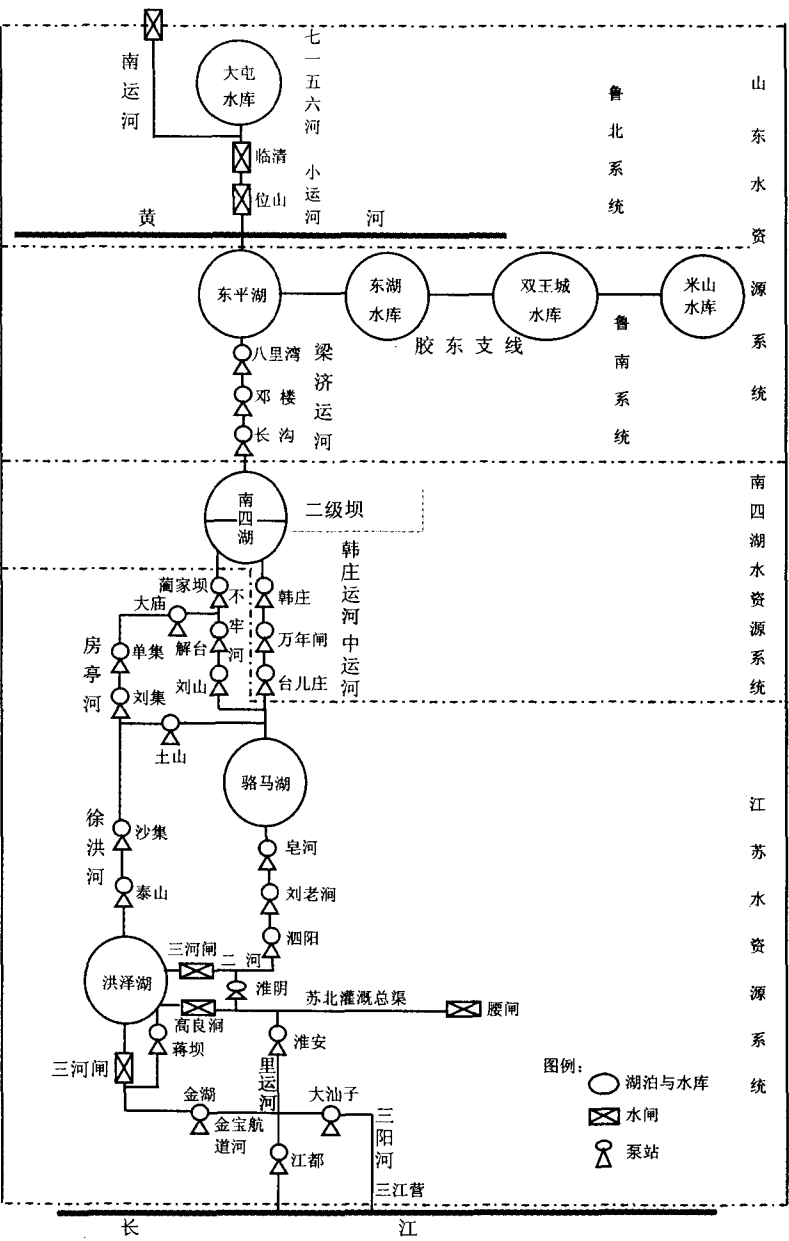


图 1 南水北调东线一期工程水资源系统构成图

Fig.1 Structure of water resource system on eastern route project of south-north water transfer project

3 南水北调供应链运营管理中的契约

3.1 南水北调供应链契约的定义

定义南水北调供应链契约如下：

南水北调供应链契约是指通过提供合适的信息和激励措施，保证水资源的买卖双方协调，优化水资源配置效率的有关条款，即使供应链达不到最好的协调，也可能存在帕累托最优解，以保证每一方的利益至少不比原来差或者水资源的配置效率得到一定程度的提高。

南水北调供应链各个节点地区之间订立的契约条款的基本内容包括：① 用水定价，② 水质要求，③ 水量的时间分配，④ 最少输水量限制，⑤ 随机需求，⑥ 水量损失，⑦ 输水提前期的确定，⑧ 违规行为约束等。

3.2 南水北调供应链委托-代理契约关系模型

信息经济学中的委托-代理理论主要研究在涉及非对称信息的交易中，委托人确保代理人按委托人意志行事的能力问题。本文引入委托-代理理论构建南水北调供应链契约关系模型。

在南水北调供应链中供水和需水方进行博弈，供水方占主导地位，一般由它来对所属的整个节点子网进行组织、协调和控制。供水方拥有对水商品的信息优势，而需水方对水商品的信息拥有处于劣势。供水方出于自身利益最大化的动机来最大化节点子网或整个供应链的利益时，需要需水方的配合与协作。而需水方只能通过契约来约束供水方的行为。供、需双方在设计激励和约束契约条款时，必须兼顾双方的利益。

根据信息经济学，给出关于南水北调供应链委托-代理契约以下定义：

非对称信息：在博弈中，南水北调供应链中的供需方所掌握的信息存在不对称，对水资源商品来说，供水方拥有需水方所不拥有的信息。

委托方：从信息经济学角度分析，需水方对水商品的成本、水质等信息不了解，处于信息劣势，因此需水方是委托方。

代理方：相应于委托方而言，供水方了解水商品的成本、水质等信息，具有信息优势，因此，供水方是代理方。

南水北调供应链中的成员一方面是其下游的供水方，同时又是上游的用水方，这就承担了对上是委托方，对下是代理方的多重角色。例如，在东线一期工程供应链中的主链和子链上分别构成了多层的委托代理关系。主链上的南四湖，对其上一级湖泊骆马湖是委托方，对下级东平湖是代理方，本身承担了代理-委托的双重身份。同理在子链上，南四湖对水商品处于信息优势，是代理方，用水地区处于信息劣势，是委托方。

南水北调东线供应链委托-代理契约关系模型中的参数符号的意义表示如下：

A 表示代理(供)方所有可选择的行动的组，这里的行动主要是指水质和价格的选择； $a \in A$ 表示代理方的一个特定行动； θ 为不受代理(供)方和委托(需)方控制的外生随机变量(自然状态)； $G(\theta)$ 和 $g(\theta)$ 为假设委托方认为 θ 在 Θ 上的分布函数和分布密度， Θ 是 θ 的取值范围； $F(\theta)$ 和 $f(\theta)$ 为代理方认为 θ 在 Θ 上的分布函数和分布密度； $\pi(a, \theta)$ 为 a 和 θ 共同决定一个可观测的结果，在这里为了分析的方便直接用 $\pi(a, \theta)$ 来表示委托方的用水支出； $v(\pi - s(x))$ 和 $u(s(\pi)) - c(a)$ 分别为委托方和代理方的效用函数； $s(\pi)$ 为委托方为使代理方提高水质或降低价格而设计的激励合同； $c(a)$ 为代理方合作提高水质或降低价格的货币化成本。

不失一般性，我们认为 π 是 a 的严格递增的凹函数， π 是 θ 的严格增函数，其中： $v' > 0$ ， $v'' \leq 0$ ； $u' > 0$ ， $u'' \leq 0$ ； $c' > 0$ ； $c'' > 0$ 。即委托方和代理方都是风险厌恶者或风险中性者，代理方的提高水质和降低价格的负效用和边际负效用是递增的。

委托(需水)方的问题就是选择 a 和 $s(\pi)$ 以最大化其期望效用，数学表示为

$$\max_{a, s(x)} \int v(\pi(a, \theta) - s(x(a, \theta))) g(\theta) d\theta \quad (1)$$

但是契约中必须要考虑代理(供水)方的利益，所以委托(需水)方要面临来自代理方的两个约束，即个人理性约束和激励相容约束。个人理性约束(IR)是指代理方从接受合同中得到的期望效用不能小于不接受合同时能得到的最大期望效用，这一最大期望效用是由代理方面临的其它市场机会选择，在东线一期工程主链上，面临是供给下一级节点湖泊，还是其子供应链的供水系统；在子链上，面临的是多个用水单位之间的选择，可以称为保留效用，用 \bar{u} 表示。

个人理性约束(IR)可以表示为

$$\int u(s(x(a, \theta))) g(\theta) d\theta - c(a) \geq \bar{u} \quad (2)$$

委托(需水)方的激励约束(IC)是指任何委托方希望的行动都只能通过理性的代理(供水)方的效用最大化行为实现。表示如下：

$$\int u(s(x(a, \theta)))g(\theta)d\theta - c(a) \geq \int u(s(x(a', \theta)))g(\theta)d\theta - c(a'), \forall a' \in A \quad (3)$$

显然委托-代理模型就可以化为一个最优化问题,式(1)为目标函数,式(2)和式(3)代表约束条件,满足式(1)~式(3)的解是稳定解。

委托(需水)方的期望效用 v 依赖于代理(供水)方的行动 a ,由于 a 的不同,导致需水方效用值的不同。需水方从自身利益出发,在供水方参与约束和激励约束条件下,达到代理(供)委托(需)双方的帕累托最优,实现水资源的有效配置。由于参与约束的存在,委托方必须对代理方提供足够的激励 s 。代理方为最大化自身的效用,倾向于放松水质要求从而降低成本。作为委托方而言,必须重视供方的变化,设计合理的价格激励机制,提高合作的积极性。代理和委托方的合作实际上是一种实现水资源配置和调度的博弈过程。

4 南水北调供应链运营管理的信 息变换效应

水资源复杂大系统的配置与调度,不确定性的因素很多,从本质上讲这种不确定性主要来源于需求预测信息的准确度和决策信息的可获得性、透明性及可靠性。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,特别是在市场经济条件下,不确定性有可能误导错误决策。

在供应链中,下游节点需水量或供水量发生波动时,这种波动信息在向上游节点地区和节点湖泊传递的过程中,会逐级发生扭曲和畸变。对于这种现象,本文定义为“信息变换效应”。

与一般的供应链中的“牛鞭效应”^[8]不同,在南水北调供应链中的这种信息变换效应不仅指链中传送的信息会逐级发生扭曲放大现象,而且存在链中传送的信息会逐级发生扭曲缩小现象。“信息变换效应”的存在可能会使得调水系统的上游输出水量大于(小于)甚至是远大于(小于)下游节点的需(供)水量,从而造成水资源的浪费和成本的增加,难以实现水资源的优化配置。因此控制或抑制信息变换效应的能力是南水北调供应链最为重要的性能指标,也是南水北调运营中最为重要的绩效指标。

以南水北调东线为例,在供应链中,“信息变换效应”现象形成的原因主要有以下几个方面:

(1) 用水部门和地区的需水量预测 以洪泽湖为例,该湖泊向下游东平湖输送的水量主要是根据上游骆马湖对它的输入量、洪泽湖周边地区的用水量以及下游湖泊各个用水部门和地区的需水量等作为输出水量预测的依据。利用下游节点需水量来预测需求是导致该供应链中“信息变换效应”产生的主要原因之一。

(2) 输水线路长度 输水线路的长度直接影响到调水时间以及各个调蓄湖泊要相应地增加库存水量。在输水线路较长的用水地区,一旦出现用水部门水量需求的变动,则要重新计算各种参数,从而增加了整个系统的不确定性。

(3) 水价波动及当地降水情况 一般某一节点地区的水价不会经常发生变化,但是如果水价进行调整,则许多用水部门的用水量会发生一定程度的变化,并且有时这种变化比较剧烈。同时,该地区的降水情况也会影响南水北调工程水量的需求情况。对于整个调水系统来说,这些需水量的变化会加大系统的不确定性。

(4) 每一个节点地区运用优化行为的结果 在南水北调的每一个节点地区的运作都是由理性的成员所组成,他们为了保证自己的利益最大化,可能隐瞒一些相对比较敏感的信息,同时为了能够尽量满足本地区用水户的用水要求,也可能夸大顾客的需水量,这样就人为的导致了信息的失真,造成供应链运行效率的下降。

(5) 用水量短缺时的博弈 下游用水地区或用水户在预期水量的供应可能发生短缺,而上游节点地区给下游地区供应的水量只能是下游地区提出的供水量的一个百分比,这时下游地区为了获得更多的供水量,就会故意夸大需水的预测值,导致水量需求信息的扭曲和变动。

(6) 供应链复杂的多层次结构 南水北调水资源供应链结构的层次比较多,每一个节点地区为了避免水量短缺都会设置自己的安全库存存量,层次越多,对用水户需求的变动反映越迟钝,“信息变换效应”就越显著。

在南水北调供应链管理中产生的信息风险是由于各个节点的理性管理成员运用的优化行为的结果。每一个成员都是理性的,为了保证自己节点地区的利益最大化,都会隐藏一些敏感的信息,而为了满足消费者的用水

需求,就会夸大一些公用的信息,使得信息失真,造成信息风险,从而影响供应链成员之间的契约的有效执行。因此,如何减弱和控制“信息变换效应”是南水北调供应链管理研究中的重要方面。借鉴一般供应链中“牛鞭效应”的研究成果,南水北调供应链“信息变换效应”的减弱和控制策略可以设计有3种方式,即物流渠道设计、信息方法设计和决策控制设计等。

5 结 论

南水北调供应链实际上是一种基于“竞争—合作—协调”机制的、以各个节点成员的作业协调和集成为保证的一种新的水资源系统运营模式。南水北调供应链管理强调的是用系统的观点,寻求使供应链帕累托整体最优,而不是局部节点地区最优,以提高供应链上供需各方合作伙伴关系的整体运作绩效,达到水资源配置与调度的目的。南水北调供应链上的节点成员通过建立契约关系来协调需方和供方的利益。供应链契约是保障这种“竞争—合作—协调”机制运营的有效策略之一。信息变换效应是南水北调供应链管理中的重要理论研究和实际应用问题,进一步的研究应该集中在信息变换效应的结构系统性问题、信息变换效应的存在、量化以及控制等方面。本文提出的南水北调供应链管理的理论方法仅是初步的,尚有大量的研究工作要做。

参考文献:

- [1] Whipple W, Jr. Water Resources: A New Era for Coordination[M]. Reston, ASCE Press, 1998.45-49.
- [2] Leon S Lasdon. Optimization theory for Large Systems[M]. New York: Dover Publication, Inc, 1970.10-15.
- [3] 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.
- [4] 中国工程院中国可持续发展水资源项目组著. Comprehensive Report of Strategy on Water Resources for China's Sustainable Development[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2002.32-38.
- [5] 王慧敏, 张玲玲, 王宗志, 等. 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.
- [6] 布莱克. 牛津经济学词典[M]. 上海:上海外语教育出版社, 1999.
- [7] Cachon G. The allocation of inventory risk in a supply chain: push, pull, and advance-purchase discount contracts[J]. Management Science, 2004, 50(2):222-238.
- [8] Lee n, Padmanahan S, Whang S. Information distortion in a supply Chain: the bullwhip effect[J]. Management Science, 1997, 43(4):546-558.

Several issues on South-to-North Water Transfer Project supply chain operations management

WANG Hui-min^{1,2}, HU Zhen-yun^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resource and Hydraulic Engineering, Nanjing 210098, China;

2. Business School, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: We analyze the feasibility of application of the supply chain management to the South-to-North Water Transfer Project (SNWTP) supply chain management, and validate the Pareto Optimization as the objective of SNWTP supply chain management. Combining with real experience, the corresponding contracts are designed based on the principle-agent model, which are immediately implementable in the East-Route water resources system of SNWTP. In addition, the concept of “Information Transformation Effect” in the SNWTP supply chain is defined; the existence, quantification and control of “Information Transformation Effect” are analyzed. The results of this paper suggest that it has significant development and implementation potentials to apply the theories and methodologies of the supply chain management in the complex water resources system and water resources allocation and dispatching.

Key words: supply chain management; water resources allocation and operation; water resources dispatching across regions; South-to-North Water Transfer Project; operation management