

虚拟水及其对解决我国水资源短缺问题的启示

曹建廷¹ 李原园²

(水利部 水利水电规划设计总院, 博士¹; 教授² 北京 100011)

〔摘要〕 虚拟水是近年在水资源管理领域中出现的新概念。本文阐述了虚拟水产生的客观背景, 总结了虚拟水计算方法和当前虚拟水的主要贸易情况, 在此基础上揭示了虚拟水对提高水资源管理水平、缓解我国水资源短缺的重要意义。

〔关键词〕 虚拟水 水资源 农畜产品贸易 〔中图分类号〕 F3

在工农业产品的生产过程中所消耗的水被认为是嵌入在产品中的虚拟水^[1]。在全球和区域尺度上, 尤其是水资源短缺地区, 虚拟水贸易正成为水资源管理的重要组成部分。在当今这样一个开放的经济社会, 水资源的综合管理已经必须考虑虚拟水贸易对区域水资源系统、水资源管理以及社会经济的影响。虚拟水贸易及其在水资源综合管理中的作用目前在我国还没有得到充分的重视, 也没有开展这方面的研究工作。本文旨在总结国际上虚拟水及其贸易的研究背景和研究进展, 在此基础上提出了虚拟水、虚拟水贸易对我国的一些有益启示。

一、虚拟水概念产生的背景

水是短缺性的特殊的经济商品, 已基本成为共识。这对水政策制定者来说意味着水资源短缺的问题可以用经济学的方法来解决。为衡量由商品贸易而引起的水资源的隐形转移的数量, 迫切需要一种合适的概念和工具, 虚拟水概念正是为满足这种需求而产生的。

在提高全球水资源配置的效率方面, 虚拟水发挥着重要作用。在如何提高可利用水资源的经济效率方面, 存在着 3 种不同层次的决策(见图 1)。

第一层次为水资源利用终端的用户层次, 其效率可称为局地水资源利用效率。在这一层次, 水价格和利用技术发挥着关键作用。通过增强节水意识、提高水价格, 以及改进节水技术, 这一层次的局地水资源利用效率可以得到显著的提高。

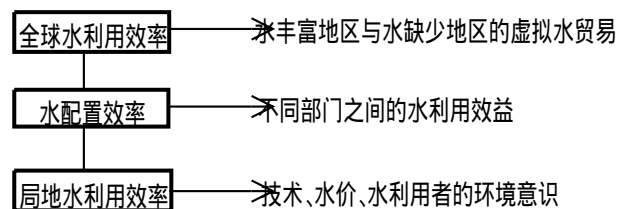


图 1 水利用效率层次示意图

第二个层次是如何高效配置可利用的水资源量到不同的经济、生态环境、公共卫生等部门。水可以用于不同的生产部门和不同的服务行业。当人们

配置一定的水来满足某一部门的使用目的时, 这通常意味着牺牲利用这部分水来满足其他部门需求的机会。这一层次的效率为水资源配置效率, 其取决于水资源应用到不同部门的效益差别。水是公共商品, 因此在国家或流域尺度上配置水资源主要是政府的任务, 问题是在水资源短缺、供水受限的情况下如何最好地满足不同部门或行业对水的需求。

在“局地水资源利用效率”和“水资源的配置效率”外, 存在着第三层次——“全球尺度的水利用效率”。在现实世界中, 水资源的分布和需求很不平衡: 一些地区水资源短缺, 而另一些地区水资源丰富; 在一些地区人类对水资源的需求低, 而在另一些地区存在着很高的需求。遗憾的是, 在水的需求和水的供给之间通常没有正相关关系。最近, 人们开始着重于分析研究如何在国家及流域尺度上利用有限的水资源量来最大限度地满足不同需求, 这种系统分析研究对提高水的利用效率、优化配置水资源非常重要, 已取得相当成果。

在一个封闭和保守的经济社会, 一个国家只能依靠和利用自己本国的资源来实现其发展目标。然而在一个开放的经济社会, 一个国家可以进口其他国家生产的商品(生产这种商品的资源在国内是贫乏的)、出口用本国丰富资源生产的商品, 来实现其发展战略目标。因此, 一个水资源短缺的国家, 可以通过进口在生产过程中需要消耗大量水的产品(水密集型的产品), 出口生产过程中耗水少的产品(水稀疏型产品), 来缓解本国水资源的压力。对于水资源丰富的国家, 通过虚拟水的出口同样可以获益, 增强其经济实力。因此, 国家与国家之间虚拟水交易被用作提高全球水利用效率和缺水地区获得水安全的一个重要工具。在全球的尺度上, 对虚拟水、虚拟水贸易、各国对本国自身水资源依赖程度的研究正日益受到重视。

二、国际上虚拟水的贸易状况

由于农业(大农业)是最重要的用水部门, 当前

国际间粮食贸易、畜类及相关产品的虚拟水贸易的定量研究最为深入,取得的重要成果也最多。为了评价国家间的虚拟水流,基本的方法是国际贸易量(t/a)乘以其相应的虚拟水含量。粮食、畜类的贸易资料可从联合国统计署获得。各个国家每种作物虚拟水含量,是根据联合国粮农组织气象数据库和作物需水模型(CropWat),计算出每种作物生长期间的消耗水量而得到的。

不同畜类的虚拟水含量的计算也是依据其在生长过程中所消耗的水量。畜产品的虚拟水含量取决于畜体虚拟水含量及其加工过程中的耗水量。例如,肉的虚拟水含量决定于这种动物屠宰后的畜体,而其又决定于活的动物。活体的虚拟水含量主要取决于这种动物存活期中消耗的食物和饮用水,以及相关的卫生用水。如果这种畜体皮毛存在经济价值,这种畜体活体的虚拟水含量被依据皮毛及屠宰后畜体的价值大小,分割成皮毛的虚拟水含量和屠宰后畜体本身的虚拟水含量。

表1给出一些产品的全球平均的虚拟水含量。各国同样农产品的虚拟水含量相差很大,这主要取决于气候条件;畜产品的虚拟水也与不同国家的食物不同有关。

表1 几种产品全球平均的虚拟水含量/(m³/t)
产品 马铃薯 玉米 牛奶 小麦 大豆 大米 家禽 蛋 干酪 猪肉 牛肉
虚拟水含量 160 450 900 1 200 2 300 2 700 2 800 4 700 5 300 5 900 16 000

目前,已根据每种贸易商品的虚拟水含量与贸易量计算了各国的虚拟水交易量。据估算,在1995~1999年,全球农业产品的虚拟水年平均贸易量为 $940 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{a}$,其中67%为农作物贸易,23%为畜产品贸易,10%为工业品贸易。全球用于作物生产的水量为 $5\,400 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{a}$,全球与作物和畜产品贸易相关的虚拟水贸易量占用了生产农作物消耗水量的17%。全球农产品虚拟水贸易中前10位的净进口(虚拟水总进口量减去总出口量)和净出口(虚拟水总出口量减去总进口量)的国家见表2^[2]。据统计,日本60%以上食物和80%木材来自进口。日本2000年进口虚拟水近600亿吨,有些西亚国家虚拟水进口量占其国家水资源总量的一半以上^[3]。

三、主要启示

1. 开阔了区域水资源管理和水资源配置的视野。虚拟水概念提供了新的思路,使人们注意到区域水资源短缺问题可以通过全球经济过程得到有效缓解,丰富了区域水资源管理配置的内涵,也为区域或国家水战略的制定提供了重要依据。如我国西北干旱区水资源问题突出,通过虚拟水流入可以大大缓解西北干旱、半干旱区水资源的紧张局面,

表2 1995~1999年虚拟水净进口和净出口的前10位的国家^[2]

排序	虚拟水 净出口国家	净出口量 (10 ⁹ m ³)	虚拟水净进 口国家	净进口量 (10 ⁹ m ³)
1	美国	820	斯里兰卡	418.5
2	加拿大	320.6	日本	409
3	澳大利亚	292	意大利	157
4	阿根廷	259.4	韩国	148
5	泰国	232.3	荷兰	123.7
6	印度	172.3	印度尼西亚	116.2
7	法国	110.4	中国	96.9
8	越南	89.2	埃及	92
9	新西兰	66.9	西班牙	82.7
10	巴西	60.1	德国	65.7

这对恢复干旱区的生态环境也具有积极意义。

2. 国家制订水资源战略必须充分考虑虚拟水贸易。一方面,通过计算国家虚拟水贸易情况、虚拟水贸易平衡情况,充分认识国家实际用水总量,可为制订国家水资源战略提供基础。据初步计算,在1992~2001年间,我国平均年虚拟水净进口量为 $3.1 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{a}$,占农业用水总量的8%。这显示出虚拟水已成为缓解我国水资源短缺的一个组成因素。另一方面,应考虑制订虚拟水进口战略,缓解我国水资源短缺局面。大部分粮食作物是中高度耗水、单位水价值较低的作物,而蔬菜和水果却是虚拟水含量低、单位水价值高的作物。我国具有生产蔬菜和水果的比较优势。随着人口进一步增加和城市化进程的加快,我国水资源短缺问题将进一步制约粮食产量的增长,因此农业发展战略中,应充分考虑这种比较优势。虽然粮食作为战略性资源,必须立足国内解决,但在我国加入世贸组织、国际政治经济格局总体稳定的现实下,我国仍可适当考虑通过制订和实施虚拟水进口战略,缓解我国区域水资源紧张、水环境恶化的局面。

3. 不同国家或地区间虚拟水贸易已成为影响区域水系统的主要因素,因此必须重视虚拟水及其对水系统、社会经济系统的影响。最近的研究显示,全球贸易对水系统的影响至少与全球气候变化对水系统的影响一样重要。随着全球化进程的深入,虚拟水贸易量将进一步增大,对虚拟水流入地区和流出地区的水系统(包括水资源、水环境、生态)的影响将进一步加强,因此必须重视虚拟水,认真研究其对区域的水系统、社会经济系统以及水管理系统的影响。

4. 虚拟水概念有助于增强人们的节水意识。虚拟水消耗是用水消耗的重要部分。应通过不同商品虚拟水含量的计算,并加以宣传,使人们认识到日常的工作和生活中不但消耗了真实水,还包括了虚拟水。这对增强人们的节水意识会有积极的作用。

参考文献

[1] Hoekstra A Y, Hung P Q. Virtual Water Trade, A Quar-

(下转第14页)

并在水管理部门参与下组成用户组织来管理水资源(水权市场或者水市场),也许是一种更好的更为现实的选择。

此外,在任何水资源管理制度安排中,必然遇到的是制度成本问题,也称信息问题。关于制度安排的信息收集(交易成本)问题的研究,源于诺贝尔经济学奖获得者 Coase 的杰出工作。Easter 和 Tsur (1995) 利用水的影子价值概念,研究了水的分配过程,指出除了水的价值之外,与水管理有关的还有监控、执行和信息收集(也被称为交易成本, Transaction Cost)的成本。^[5]一方面,如前所述,技术的进步和相关信息的取得需要成本,尽管持续的研究、数据收集是任何和所有成功的全流域管理所必需的信息的组成部分;另一方面,水资源管理将可能带来巨大的监督、执行成本和交易成本。制度经济学的研究表明,管理机构越大,由此得到相关信息的成本也就越大。按照国外的成功经验,可以通过在中小尺度上按照准多中心的模式来对黄河流域的水资源管理机构进行公司化,并通过充足的公众参与来减小交易成本,即把集中的决策分散,以使信息和执行的成本最小化^{[1][9][14][20]};而在大尺度,比如整个流域来讲,可以通过行政手段的分配或者建立基于黄河流域各省平等参与的民主协商,来解决交易成本问题。

参考文献

- [1] Blomquist W. Institutions for managing groundwater basins in southern California. In: Water Quantity/ Quality Management and Conflict Resolution: Institutions, Processes, and Economic Analyses, eds. Dinar A, Loehman E T. London, UK: Praeger, 1995, 43 - 59
- [2] Dinar A, Rosegrant M W, Dick R M. Water Allocation Mechanisms: Principles and Examples. World Bank policy research working paper WPS 1779. Washington D C, USA: The World Bank, 1997
- [3] Dixon J A, Easter K W. Integrated watershed management: an approach to resource management. In: Watershed Resources Management: an Integrated Framework with Studies from Asia and the Pacific, eds. Easter K W, Dixon J A, Hufschmidt M M. Singapore: Institute of Southeast Asian Studies, 1991, 3 - 15
- [4] Easter K W, Dixon J A. Implications for integrated watershed management. In: Watershed Resources Management: an Integrated Framework with Studies from Asia and the Pacific, eds. Easter K W, Dixon J A, Hufschmidt M M. Singapore: Institute of Southeast Asian Studies, 1991, 205 - 213
- [5] Easter K W, Tsur Y. The design of institutional arrangements for water allocation. In: Water Quantity/ Quality Management and Conflict Resolution: Institutions, Processes, and Economic Analyses, eds. Dinar A, Loehman E T. London, UK: Praeger, 1995, 107 - 117
- [6] Kneese A V, Bower B T. Managing Water Quality: Economy, Technology and Institutions. Washington, D C, USA: Johns Hopkins University Press, 1984
- [7] Lundqvist J. Rules and Roles in water policy and management: need for clarification of rights and obligations. Water International, 2000, 25(2): 194 - 201
- [8] Ostrom E. Crafting institutions for Self-governing Irrigation Systems. San Francisco, USA: Institute for Contemporary Studies Press, 1992
- [9] Ostrom V A. Water and Politics: a Study of Water Policies and Administration in the Development of Los Angeles. Los Angeles, USA: The Haynes Foundation, 1953
- [10] Ostrom V A. Polycentricity. Presented at Workshop on Metropolitan Governance, American Political Science Association Meeting, Washington D C, USA, September, 1972, 5 - 8
- [11] Spulber N, Sabbaghi A. Economics of Water Resources: from Regulation to Privatization. Boston, USA: Kluwer Academic Publishers, 1998
- [12] White G F. The river as a system: a geographer's view of promising approaches. Water International, 1997, 22(2): 79 - 81
- [13] World Bank. Clear Water, Blue Skies: China's Environment in the New Century. Washington D C, USA: The World Bank, 1997
- [14] 埃莉诺·奥斯特罗姆. 公共事物的治理之道. 余逊达, 陈旭东翻译. 上海: 三联书店, 2000
- [15] 埃莉诺·奥斯特罗姆, 拉里·施罗德, 苏珊·温. 制度激励与可持续发展. 见: 基础设施政策透视. 毛寿龙翻译. 上海: 三联书店, 2000
- [16] 常云昆. 黄河断流与黄河水权制度研究. 北京: 中国社会科学出版社, 2001
- [17] 何大伟, 陈静生. 我国大河流域水资源与水环境综合管理模式探讨: 机构、法律、制度. 科技导报, 2001, (1): 44 - 47
- [18] 胡鞍钢, 王亚华. 转型期水资源配置的公共政策: 准市场和政治民主协商. 见: 中国水情分析研究报告. 水规总院水利规划与战略研究中心出版, 2000, (16)
- [19] 理查德·伊利. 土地经济管理. 北京: 商务印书馆, 1982
- [20] 迈克尔·麦金尼斯. 多中心治道与发展. 毛寿龙翻译. 上海: 三联书店, 2000
- [21] 毛寿龙. 黄河断流问题的制度分析. 2000; <http://www.wiapp.org/duanping/duanping27.html>. 2000
- [22] 诺曼·尼科尔森. 制度分析与发展现状. 见: V·奥斯特罗姆, D·菲尼, H·皮希特编. 制度分析与发展中的反思问题与抉择. 王诚等译. 北京: 商务印书馆, 1992
- [23] 《中国 21 世纪议程》编写组. 中国 21 世纪议程. 北京: 中国环境科学出版社, 1994, 116 - 119

(责任编辑 王宏章)

(上接第 16 页)

- tification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Technical Report Virtual Water Research Report Series No. 11, IHE Delft, 2002
- [2] Chapagain A K, Hoekstra A Y. Virtual water trade: a qualification of virtual water flows between nations in relation to international trade of livestock and livestock products. In: A Hoekstra A Y Edited. Virtual Water Trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade.

Value of Water Research Report Series No 12. Delft, The Netherlands, 2003. 49 - 76

- [3] Oki T, Sato M, Kawamura A, Miyake M, Kanae S, Musiake K. Virtual water trade to Japan and in the world. In: Hoekstra A Y Edited. Virtual Water Trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. Value of Water Research Report Series No 12. Delft, The Netherlands, 2003. 221 - 235

(责任编辑 邱夜明)