

虚拟水

——中国水资源安全战略的新思路*

程国栋

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室 兰州 730000)

摘要 虚拟水是指生产商品和服务所需要的水资源数量,虚拟水战略是指贫水国家或地区通过贸易的方式从富水国家或地区购买水密集型农产品(粮食)来获得本地区水和粮食的安全。文章引入虚拟水的概念,将水资源管理分为供给管理、需求管理、内部结构性管理和社会化管理四个层次,从理论角度分析了水资源社会化管理与水资源恢复重建的关系;以我国西北干旱地区为例,初步计算了2000年西北各省(区)虚拟水消费量,表明虚拟水是不可忽视的水资源形式;探讨了虚拟水战略的政策含义,提出了实施虚拟水战略对策建议。

关键词 虚拟水,虚拟水战略,水资源安全,水资源管理,西北干旱区



水资源短缺是我国西北干旱区21世纪可持续发展面临的最主要问题之一。随着人口的增长、经济发展速度的加快和生态环境建设规模的扩大,需水量必然持续增加,缺水矛盾将更加凸显。如何维持水资源这种最关键的基础

自然资源的可持续利用是西北地区可持续发展需要解决的一个重要战略问题。

1 虚拟水与虚拟水战略

虚拟水是 Tony Allan 于 20 世纪 90 年代提出的新概念,是指生产商品和服务所需要的水资源数量^[1]。虚拟水不是真实意义上的水,而是以“虚拟”的形式包含在产品中的“看不见”的水。虚拟水同时也被称为“嵌入水”或“外生水”,特指进口虚拟水的国家或地区使用了非本国或本地区的水这一事实^[2]。

虚拟水战略是指贫水国家或地区通过贸易的

方式从富水国家或地区购买水资源密集型农产品(尤其是粮食)来获得水和粮食的安全。如果一个国家出口水密集型产品给其它的国家,实际上就是以虚拟的形式出口了水资源。事实上,当前很多国家都以虚拟水的形式来解决国内的水资源短缺问题。2001年南非向赞比亚出口了9000t玉米,从虚拟水的角度来说,就是南非出口了 $10.8 \times 10^9 \text{t}$ 的水^[3]给赞比亚,中东地区每年靠粮食补贴购买的虚拟水数量相当于整个尼罗河的年径流量^[4]。相对于国家甚至世界范围而言,水资源的短缺通常只是局部现象。传统上,人们对水和粮食安全都习惯于在问题发生的区域范围内寻求解决方案。虚拟水战略从系统的角度出发,运用系统思考的方法找寻与问题相关的不同影响因素,从问题范围之外找寻解决内部问题的应对策略,提倡出口高效益水资源商品,进口本地没有足够水资源生产的粮食产品,通过贸易的形式最终解决水资源短缺和粮食安全问题。由于人口增长是水资源短缺的最原始驱动力,粮食作为人类的生活必需品携带大量的虚拟水,是当前世界贸易中数量最大的商品,人口-粮食-贸易之间的连接关系就成为虚拟水战略分析的主线,从另一个角

度来看,也就是抓住水的社会属性这条主线来进行水资源管理^[4]。

2 虚拟水与水资源管理创新

水资源管理的目的是为了规范在水资源短缺情况下人们的生产、生活。从当前国际研究和实际应用来看,相应的管理阶段可分为四个层次:(1)供给管理,包括开辟新水源、大规模远距离调水等,其目标就是提供更多的水资源,但通常成本巨大。

南水北调是供给管理的典型例子;

(2)技术性节水管理,这是水资源需

求管理中的第一步,提高水资源的利用效益是其根本的目标,但通常技术性节水数量有限;(3)内部结构性管理,实质上是需求管理的更高层次,涉及到区域内部社会结构变化等问题,如结构性节水;(4)社会化管理,这是水资源需求管理的最高层次,充分认识到水资源的社会属性,以水资源的社会属性为主线,充分利用各种外部资源来缓解局地水资源的紧缺。在社会化管理阶段,关键的任务是辨明采用新的水资源管理适应性对策的社会瓶颈,采用的工具主要利用制度变化、经济激励和社会结构变化。

水资源管理的最终目的都是为了跨越水资源稀缺的障碍,实现 Allan 和 Karshenas 提出的‘自然资源的恢复重建’,即自然资源的提取率低于自然资源的可持续性状态^[5]。社会化管理阶段的出现,意味着水资源管理问题阈范围的扩大,管理的着眼点从克服自然资源的稀缺转向克服社会资源的稀缺。通常将自然资源稀缺称为第一类资源稀缺,为适应第一类资源稀缺的社会资源稀缺称为第二类资源稀缺。在这种意义上,能否调动足够社会资源(社会适应性能力)来克服第一类资源的短缺就成为水资源短缺问题能否解决的关键。

图 1 是关于自然资源重建的理论解析,阐述了水资源管理的四个层次以及如何应用社会资源将处于不可持续利用状态的水资源转变成可持续利用的水资源。通常水资源的可持续性状态保持定常,但是社会资源的可持续性(应用适应性对策的

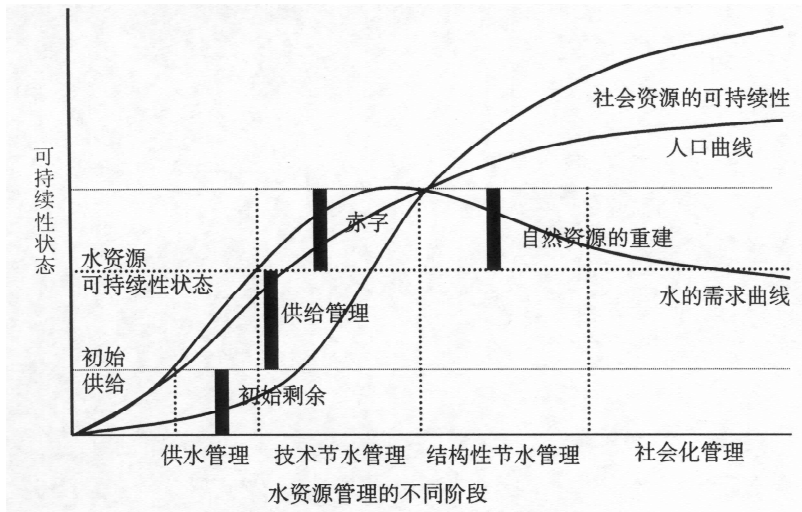


图 1 自然资源的恢复重建图

社会资源数量)在水资源管理各个阶段可以逐渐增加。在水资源出现短缺的初始阶段,供给管理(大的工程措施)可以满足人口增长和福利增加对水资源的需求,但是针对超过水资源可持续利用状态的水资源需求,需求管理就变得相当必要,首先是进行技术性节水,然后是内部结构性调整,最后是采用社会化管理来达到缓解缺水地区水资源短缺的矛盾。显然,虚拟水战略扩展了水资源研究的问题阈范围,属于水资源社会化管理层次。

3 西北五省(区)2000年虚拟水量初步测算

虚拟水的计算同生态足迹的研究一样,是尝试采用账户的方式解释水资源在社会经济系统中的迁移转换。由于工业产品中的虚拟水含量与其复杂的生产流程紧密相关,计算过于复杂,通常被忽略。农作物产品和动物产品的虚拟水含量是实证计算中最主要的部分。

(1)农作物产品的虚拟水计算。通常,作物需水的影响因素主要包括气象因素(降水、气温、水气压、日照时数和风速)、作物类型(植物生理等)、土壤条件、种植时间等。实际计算中农作物的需水仅考虑作物系数的调整,标准参考面的作物需水采用世界粮农组织推荐的标准彭曼公式计算^[6]。

(2)动物产品的虚拟水计算。计算动物产品虚拟水含量需要的数据很多,但这些数据通常难以获得,这里采用 Chapagain 和 Hoekstra 对世界 100 多个国家单位动物产品包含的虚拟水估算中中国部

表 1 西北五省(区)水资源利用及虚拟水消费量

| | 新疆 | 甘肃 | 青海 | 陕西 | 宁夏 |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|
| 全社会总用实体水量(10^8m^3) | 480.6 | 119.7 | 27.6 | 54.9 | 87.2 |
| 工业用水效益(元/ m^3) | 38.7 | 18.9 | 21.2 | 50.9 | 19.4 |
| 农业用水效益(元/ m^3) | 0.6 | 2.0 | 1.8 | 7.7 | 0.6 |
| 人均 GDP(元/人) | 7087 | 3838 | 5088 | 4607 | 4725 |
| 单位粮食虚拟水含量(m^3/kg) | 1.1 | 1.8 | 1.8 | 1.7 | * |
| 城镇居民年虚拟水消费量($\text{m}^3/\text{人}$) | 780.3 | 849.5 | 683.1 | 622.7 | * |
| 农村居民年虚拟水消费量($\text{m}^3/\text{人}$) | 683.7 | 916.3 | 729.8 | 737.9 | * |
| 社会消费总虚拟水量(10^8m^3)** | 134.6 | 183.2 | 45.8 | 204.1 | * |
| 净出口虚拟水量(10^8m^3 ***) | 52.9 | 0.3 | 0.6 | 3.8 | * |

* 缺计算数据资料; ** 2000 年新疆、青海、甘肃、陕西城镇人口和农村人口分别为 651 万、180 万、615 万、1 163 万和 1 274 万、338 万、1 947 万、2 442 万; *** 由于缺统计数据,虚拟水贸易计算中没有考虑省际的调剂补给

分的估算结果^[7]。

西北各省(区)城乡居民一年主要消费品的虚拟水含量及实体水资源利用效益统计计算结果见表 1。

计算结果表明,2000 年新疆、甘肃、青海、陕西四省(区)全社会全年日常生活消费的虚拟水数量分别为 $134.6 \times 10^8\text{m}^3$ 、 $183.2 \times 10^8\text{m}^3$ 、 $45.8 \times 10^8\text{m}^3$ 、 $204.1 \times 10^8\text{m}^3$, 分别为各省(区)实际总用水量的 0.28、1.53、1.66、3.72 倍。该计算结果需要说明的是:(1)虚拟水含量的计算由于影响因素很多,本身只是一种粗略的估计;(2)动物产品有储水功能,2000 年消费的动物产品虚拟水包含动物若干年消耗的实体水量;(3)虚拟水消费计算中包含了不形成径流的土壤水和降雨,但其中部分被作物利用的并没有统计在农业利用量中。如陕西省降水相对丰富,作物直接利用的土壤水和降水较多而农业灌溉用水较少,加上人口数量的影响,使日常消费的虚拟水量大大高于总用水统计量(3.72 倍);青海、甘肃日常消费的虚拟水量高于实际总用水量(分别为 1.53 倍、1.66 倍)与这些省份相当部分农业生产区缺乏灌溉条件、旱地较多的实际情况相符;(4)新疆是我国重要的商品棉、糖料、畜牧等农产品生产基地,相当部分产品通过贸易进入全国消费市场,因此区内日常消费的总虚拟水量相对农业用水较小。从表 1 可以得到的最重要结果是,除宁夏外的四省

(区)社会经济系统中存在着 $567.7 \times 10^8\text{m}^3$ 的虚拟水资源,其数量巨大而且通常难以为人们所认识,更重要的是这部分虚拟水资源是可以通过贸易流通的,这一点显然为水资源管理的决策增加了新的内容。

4 西北地区虚拟水战略的政策涵义分析

4.1 与粮食安全的关系

虚拟水战略中水资源的社会属性通过人口-粮食-贸易得到充分的体现,显然虚拟水战略与粮食安全问题紧密相连。经过近 10 多年的发展,2000 年中国的粮食综合生产能力达到 $4.62 \times 10^8\text{t}$ 的水平,1998 年和 1999 年更是跃上了 $5 \times 10^8\text{t}$ 的水平,目前的自给率为 99%左右,而且近年来一直保持着 200 多亿元以上的贸易顺差,有从国际市场上购买粮食食品的外汇支付能力。从国家角度出发,我国粮食安全应该靠自给,但是区域内部地区的粮食安全则没有必要完全自给。目前全国粮食供求的基本平衡状况能够满足西北缺粮省(区)的粮食调入,运用虚拟水战略,从国内粮食生产富足的省份调运粮食,实现地区间粮食供给平衡,可以更好地保证农业生产条件较好地区的粮食生产,缓解缺水地区自身水资源的短缺压力和生态压力,实现区域水资源的可持续利用,保障西北地区乃至全国的生态安全。

4.2 与产业结构调整的关系

能否采用虚拟水战略的关键取决于区域的经济实力,即是否具备购买能力。从五省(区)的人均 GDP 来看(表 1),除新疆外,其它四省(区)的经济实力都低于全国平均水平,属于我国最不发达省份,采用虚拟水战略的潜力较小。但是,目前这些省(区)(除新疆以外)大多数农业产业在国内外市场都失去了竞争力,近期内与国内平均水平的差距将进一步拉大。在这种情况下,只有实行竞争优势导向的跨越式发展战略才有出路,这要求西北地区以开放型的姿态融入经济一体化的浪潮中。尽管平均

经济能力不满足虚拟水战略发展的条件,但满足应用条件的局部地区(如西安、兰州等大中城市)可以率先实行虚拟水战略,利用贸易逐步缓解水资源压力。据此,我们分不同的情景初步测算了一下采用虚拟水战略的效益。情景 A:调运 2000 年粮食总产量的 1/3;情景 B:城镇居民消耗粮食总量的 1/2 调运;情景 C:城镇居民消耗粮食全部调运;三种情景都假设节约下来的水资源用于工业的生产。模拟结果表明,采用虚拟水战略对经济增长的促进作用明显(表 2),由此可见,虚拟水战略在西北地区具有广阔的应用前景。

表 2 采用虚拟水战略不同情景下的节水量和经济贡献率

| 情景 | 节水、效益 | 新疆 | 甘肃 | 青海 | 陕西 |
|------|--------------------------|-------|------|------|------|
| 情景 A | 节约水量(10^8m^3) | 125.0 | 29.7 | 6.7 | 10.6 |
| | GDP 增加比例(%) | 346.4 | 47.8 | 47.7 | 24.6 |
| 情景 B | 节约水量(10^8m^3) | 18.5 | 4.3 | 2.9 | 2.0 |
| | GDP 增加比例(%) | 51.3 | 7.1 | 20.9 | 4.7 |
| 情景 C | 节约水量(10^8m^3) | 40 | 8.6 | 5.8 | 3.9 |
| | GDP 增加比例(%) | 102.7 | 14.1 | 41.7 | 9.5 |

注: GDP 增加比例为调运粮食节水所增加的效益与 2000 年 GDP 的比率,增加效益部分的计算方法为将调运粮食节约的水资源用于工业生产所产生的效益减调运粮食成本和放弃该部分农业用水的农业增加值,假定调运粮食的单价为 1.3 元/kg

4.3 与生态恢复与生态建设的关系

为改善我国西北甚至西部地区的生态环境,国家以退耕还林(草)工程为核心的生态环境建设作为西部大开发的切入点,推动西部地区经济的转型,同时利用粮食库存较多的有利条件,对退耕还林(草)地区的农民给予了一定的钱粮补贴,对西北干旱地区而言,这实际上就是虚拟水战略的运用。退耕还林(草)工程本身就是将生态建设作为西部大开发的一种战略储备,实质上就是退实体水给林(草),战略储备生态用水;从西北地区当前的经济实力来看,采用虚拟水战略的潜力不大,正好以国家的粮食补贴政策(或者未来的生态环境补偿政策)为契机,促进区域经济结构的战略性调整,培育自身实施虚拟水战略的经济实力,通过虚拟水贸易实现西北地区生态建设的良性循环和粮食安全。

5 实行虚拟水战略的对策建议

实行虚拟水战略需要解决的问题很多,需要从科学理论、区域政策体系和水资源管理层面上进行深入研究。

5.1 加强虚拟水理论和虚拟水战略研究

首先,需要科学地定量评价产品中的虚拟水含量,对有关计算方法进行完善修正,使产品虚拟水量化更符合区域生产实际;其次,社会资源的适应性能力是能否成功运用虚拟水战略的关键,需要加强研究;第三,虚拟水战略对国家或地区的水资源、生态、经济和社会文化的影响;第四,虚拟水战略下国家(或地区)应对策略选择,等等。因此,建议国家大力加强虚拟水战略研究力度,认真探讨虚拟水相关理论问题及应用问题,为国家决策提供准确坚实的

的科学依据。

5.2 建立基于虚拟水战略的区域政策保障体系

西北地区成功应用虚拟水战略需要在有关政策和管理体制上进行大力完善和改革。首先,必须改革流通体制,放开市场准入,塑造多元化的经营主体,打破国有粮食企业垄断经营局面,深化国有粮食企业改革,同时对西北地区粮食调运给予一定的政策补贴;其次,加大财政转移支付力度,建立健全社会保障体系。在产业结构战略性调整与转型、退耕还林(草)等生态环境建设造成农民收益下滑的阶段内,需要国家加大对西北地区的财政转移支付力度,设立专项基金用于补贴采用虚拟水战略后的粮食调运,同时针对采用虚拟水战略后对区内粮食需求降低导致的农村剩余劳动力增加,需要建立对应的社会保障体系。

5.3 创新水资源管理体制,对西北地区逐步实施虚拟水战略管理

西北地区生态环境脆弱,生态保护对全国生态安全具有重要的战略意义。2000年西北五省(区)总用水量 $770 \times 10^8 \text{m}^3$,除青海省外,水资源的开发利用都在43%以上,已超过国际上公认的水资源合理开发利用不超过40%的警戒线,水资源开发利用的难度越来越大。因此需要创新国家的区域水资源管理体制与机制,逐步应用虚拟水战略解决区域粮食和农产品供应,平衡区域水资源利用赤字,促进全国生态安全体系建设。将节约下来的有限实体水转向生态环境恢复保护以及低耗水高效益产业,增加农民收入渠道和经济能力,通过贸易向市场要效益的方式间接养水,使水资源管理事业走上良性循环的轨道。

主要参考文献

- Allan J A. Virtual water: A long term solution for water short Middle Eastern economies? 1997 British Association Festival of Science, University of Leeds, September 1997.
- Hoekstra A Y. Virtual water trade: an introduction. In: Hoekstra A Y edited. Virtual Water Trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. Value of Water Research Report Series No12. IHE DELFT, 2003,13-23.
- Ohlsson L. The turning of a screw: Social resource scarcity as a bottle-neck in adaptation to water scarcity. Stockholm water front. 2000,1:10-11.
- Turton A R, Moodley S, Goldblatt M et al. An analysis of the role of virtual water in Southern Africa in meeting water scarcity: an applied research and capacity building project. Group for Environmental Monitoring(GEM) and IUCN (NETCAB). Johannesburg. 2000, 2-8.
- Allan, J A, Karshenas et al. Managing Environmental Capital: The Case of Water in Israel, Jordan, the West Bank and Gaza, 1947 to 1995. in Allan, J A & Court, J H (eds.) 1996. Water, Peace and the Middle East: Negotiating Resources in the Jordan Basin, London:I.B.Taurus Publishers.
- Hoekstra A Y, Hung P Q. Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. In: Hoekstra A Y edited. Virtual Water Trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. Value of Water Research Report Series No12. IHE DELFT, 2003, 25-47.
- Chapagain A K, Hoekstra A Y. Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international trade of livestock and livestock products. In: Hoekstra A Y edited. Virtual Water Trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. Value of Water Research Report Series No12. IHE DELFT, 2003.

1 Allan J A. Virtual water: A long term solution for water

Virtual Water—A Strategic Instrument to Achieve Water Security

Cheng Guodong

(State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering,

Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, 730000 Lanzhou)

Virtual water is the water used in the production process of goods and services, and virtual water strategy means countries or regions whose water is scarce achieve their water security and food security by importing water-intensive products from those whose water is abundant. As an attractive instrument to water scarce countries, virtual water has received more and more attention and been applied to relieve the pressure on the nation's own water resource and solve food scarcity. The paper first introduced the concept of virtual water, and classified the water management into supply management, demand management, inter-structure management and socialization management, and the relationship of water management and natural resource reconstruction was analyzed in theory. The consumptions of virtual water in the very four provinces in northwest China has been calculated and analyzed as a pilot case study, which showed that virtual water should be an important component of water resource. The last section discussed the implication of virtual water strategy for the northwest arid zones in China, and several suggestions have been put forward as the end of the paper.

Keywords virtual water, virtual water strategy, water security, water management, northwest arid zones of China

程国栋 中国科学院院士,中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室主任,兰州分院院长,中国西部资源环境科学研究中心首席科学家。1934年出生于上海市。1965年毕业于北京地质学院水工专业,1984—1986年任美国陆军寒区与工程实验室特聘名誉研究员。主要从事水资源、水文地质和工程地质方面的研究。长期从事寒区旱区环境、工程与生态经济方面的研究工作。

在青藏高原铁路、公路和矿山冻土问题研究中,创造性地提出了厚层地下冰形成的重复分凝机制和冻土三维地带性规律;系统地解决了路基冻害原理、工程措施、养护方法等理论和技术问题,所著《冻土路基工程》已成为我国该领域的经典著作,被誉为“程氏假说”的地下成冰理论为发展冻融土物理学这一新兴领域起到了极大的推动作用。近年来,针对我国内陆河问题,以流域水科学和应用生态研究为主线,以生态水文和生态经济为突破点,在流域水生态经济系统综合研究的理论和实践中取得了明显进展;建立起我国内陆河流域尺度的野外观测和实验系统,初步构建了我国数据量最大的内陆河流域数据平台——数字黑河。