

虚拟水、虚拟水贸易与水资源安全新战略^{*}

张志强¹ 程国栋²

(中国科学院资源环境科学信息中心¹, 研究员 兰州 730000; 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所², 中国科学院院士、兰州分院院长 兰州 730000)

摘要 本文介绍了虚拟水和虚拟水贸易的科学概念, 综述了国际上虚拟水贸易的状况及典型国家和地区虚拟水战略的应用情况, 分析了虚拟水概念和虚拟水贸易的实用价值和启示, 提出了构筑全球化的我国水资源安全新战略的对策建议。特别指出: 若采用虚拟水战略, 就完全可以不用建设南水北调西线工程。

关键词 虚拟水 虚拟水贸易 虚拟水战略 水资源安全 水资源管理 [中图分类号] F3

我国水资源安全形势十分严峻: 全国水资源总量 28 124 亿 m^3 , 占全球水资源的 6%, 仅次于巴西、俄罗斯和加拿大, 居世界第 4 位; 但人均水资源仅为 2 200 m^3 , 是世界人均量的 1/4、美国的 1/5、加拿大的 1/50, 在世界上名列 110 位, 是全球 13 个人均水资源最贫乏的国家之一。

水资源安全是 21 世纪国家安全的关键组成部分, 水资源短缺是我国西北和北方地区 21 世纪面临的最主要的生态环境和社会经济问题之一, 成为制约区域社会经济发展和生态环境恢复、改善的瓶颈。随着国家社会经济的发展, 缺水矛盾将更加凸显出来, 维持水资源的可持续利用是我国可持续发展必须解决的一个重要战略问题。

了解虚拟水的新概念, 研究虚拟水贸易, 积极参与全球虚拟水贸易, 构建全球化的我国水资源安全新战略, 对 21 世纪我国的国家安全和经济社会发展具有重要的战略意义。

一、虚拟水与虚拟水贸易——水资源安全战略的新思路

虚拟水是国外 20 世纪 90 年代提出的新概念, 是指生产某种商品或某项服务所需要的水资源数量^[1]。例如, 研究表明: 生产 1t 小麦需要耗费 1 000t 的水资源; 1t 玉米需要耗费接近 1 200t 的水资源; 1t 稻米需要耗费 2 000t 的水资源; 生产一个 2g 重的 32 兆计算机芯片需要 32kg 水。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, 因此也被称为“嵌入水”和“外生水”, “外生水”暗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^[1]。从虚拟水的概念可以看出, 易变成了一种缓解水资源短缺的有效工具。

虚拟水贸易或虚拟水战略是指缺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 (尤其是粮食) 来获得水和粮食的安全^[1-4]。国家和地区之间的农产品贸易, 某种意义上是以虚拟水的形式在进口或出口水资源。

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问题的方案。虚拟水战略则从系统的角度出发, 运用系统思考的方法找寻与问题相关的各种各样的影响因素, 从问题发生的范围之外找寻解决区域内部问题的应对策略, 提倡出口高效益低耗水产品、进口本地没有足够水资源生产的粮食产品, 通过“虚拟水”贸易的形式来最终解决水资源短缺和粮食安全问题。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。人口、粮食和贸易之间的特殊连接关系, 为水资源短缺地方的决策者提供了在更大范围的尺度上寻求缓解水资源短缺的新途径。

二、国际虚拟水贸易状况与典型国家或地区的有关案例

1. 国际虚拟水贸易状况

国际上对国家间的全球虚拟水贸易流量已有 3 个初步计算结果^[1]: 荷兰国际水文和环境工程研究所 (IHE, 2003) 的结果是 1995~1999 年期间每年为 10 400 亿 m^3 ; 世界水资源委员会 (WWC) 和联合国粮农组织 (FAO) 的计算结果为 2000 年是 13 400 亿 m^3 ; 日本的一个研究组的计算结果为 2000 年是 11 380 亿 m^3 。

计算结果表明, 1995~1999 年期间, 国家间与粮食有关的全球虚拟水贸易量平均为 6 950 亿 m^3 /年, 而全球农业灌溉用水 1995 年约为 25 000 亿 m^3 /年, 2000 年约为 26 000 亿 m^3 /年, 再加上作物对雨水的利用, 全球农作物的水利用量估计达到 54 000 亿 m^3 /年。这意味着全球粮食生产用水的 13% 不是用于国内消费而是用于出口 (以虚拟的形式)^[2]。据计算, 全球生活用水和工业用水总量约为 12 000 亿 m^3 /年, 加上其中用于国际贸易的工业品的虚拟水含量, 人类总用水的 15% 不是用于国内消费而是用于出口 (以虚拟的形式)^[4]。

表 1 为 1995~1999 年世界农产品 (粮食、家畜、家畜产品) 虚拟水进、出口前 10 位国家^[3]。比较来看, 虚拟水的出口国都是水资源丰富的国家, 虚拟水的进口国都是水资源相对缺乏的国家。

至 2000 年, 中东和北非地区每年进口的粮食达 5 000 万 t, 相当于进口了 500 亿 m^3 的虚拟水资源, 满足了该地区最大的水资源需求——食物生产^[5]。

^{*} 国家自然科学基金重点项目 (40235053)、国家自然科学基金项目 (40201019) 资助。

世界上的食物存量在某种意义上就是虚拟水的存量。世界上的粮食储量代表了 5 000 亿 m³ 的虚拟水存量。如果将糖、肉和食用油等计算在内,则虚拟水存量可达到 8 300 亿 m³, 相当于全球实体水量的 14 %; 如果再加上牛羊等家禽动物, 则虚拟水存量达 46 000 亿 m³, 相当于全球实体水量的 77 %^[1,6]。这些虚拟水存量是世界虚拟水贸易的对象。

表 1 1995~1999 年世界农产品虚拟水进、出口前 10 位国家

净出口国	贸易量(亿m ³)			排序	净进口国	贸易量(亿m ³)		
	出口	进口	净出口			出口	进口	净进口
美国	11 068	2 868	8 200	1	斯里兰卡	190	4 375	4 185
加拿大	3 702	496	3 206	2	日本	56	4 146	4 090
澳大利亚	3 012	92	2 920	3	意大利	638	2 208	1 570
阿根廷	2 712	118	2 594	4	韩国	153	1 633	1 480
泰国	2 609	285	2 323	5	荷兰	940	2 177	1 237
印度	1 918	195	1 723	6	印度尼西亚	73	1 235	1 162
法国	2 113	1 009	1 104	7	中国	744	1 713	969
越南	909	17	892	8	埃及	50	970	920
新西兰	732	63	669	9	西班牙	546	1 373	827
巴西	1 941	134	601	10	德国	1 206	1 863	657

2 典型国家或地区虚拟水战略的实施情况

(1) 中东地区的水资源现状与虚拟水战略 中东地区淡水资源十分匮乏, 从上世纪 70 年代开始该地区就已经没有淡水资源可以满足其基本需求——缺乏进行食物生产、家庭利用和工业使用的水资源^[5]。世界上 20 个最缺水的国家有 11 个在中东地区。卡塔尔年人均水资源占有量为 346m³, 约旦为 358m³, 以色列为 360m³, 沙特阿拉伯为 432m³, 水资源丰富的埃及年人均水资源也仅有 1 090m³^[3]。这些国家的年人均水资源占有量不仅远低于世界人均水资源量, 也低于人均 1 000m³ 的水资源危机临界水平。如果仅依靠本国的水资源, 当地居民的基本生活用水都难以保障。随着工农业发展与人口增长, 中东地区的水资源危机有加剧的趋势。中东地区的土壤水严重匮乏, 在水资源平衡中的作用微乎其微。为了生产食品, 中东的很多国家都必须使用地表水和地下水资源。巨大的水资源供需矛盾使中东地区解决粮食安全问题只能另辟蹊径。

尽管水资源枯竭, 以及人口增加导致对水资源的需求增加, 但自 20 世纪 70 年代以来, 在水方面的国际关系却变得不那么紧张了。原因是水可以在国际市场上以“虚拟水”的形式得到^[5], 各国采用虚拟水的战略来保障自己的粮食安全, 通过主要食物商品如谷物的进口, 他们可以利用世界其它地方的实体水资源(以及土壤水)。中东国家每年通过贸易进口的虚拟水量已经相当于尼罗河每年流入埃及的水量(或中东地区所有可用淡水水量的 25%)^[5]。

全球贸易机制为解决中东地区的水资源短缺提供了强有力的工具。虚拟水使面临严峻水赤字的中东国家在廉价、无形之中, 不用任何政治成本就解决了缺水问题。

(2) 日本的水资源现状与虚拟水贸易 日本年平均降雨量为 1 700~1 800mm, 接近世界平均年降水量 970mm 的 2 倍, 但南北分布不均。由于人口密度高, 日本仍是一个水资源比较紧缺的国家, 人均水资源占有量为 3 323m³, 不到世界人均占有量

7 045m³ 的 1/2^[7]。

日本的水资源尽管没有紧缺到中东那样的程度, 但日本政府历来重视环境和资源的保护, 对本土自然资源的开发利用强度都不高, 对自然资源的需求一直采用进口来满足, 而将开发利用自然资源引起的负环境效应转嫁到自然资源的出口国。因而, 日本是世界上水资源开发利用率(供水量与水资源总量的比值)最低的国家之一, 仅为 16.8%。

相对土地资源而言, 日本的水资源还是比较富裕的。事实上日本最紧缺的是土地资源, 它没有足够的土地资源用于生产粮食。日本对虚拟水的进口, 事实上是对“虚拟土壤”(virtual soil) 的进口。据日本 Oki 等的研究表明, 日本每年通过工业产品进口的虚拟水为 13 亿 m³, 出口为 14 亿 m³, 出口略大于进口。与农业产品相比, 工业产品的虚拟水贸易数量较小。日本每年通过农产品进口的虚拟水量为 627 亿 m³, 这比日本每年的农作物灌溉所用水总量 590 亿 m³ 还多。进口的虚拟水主要是以玉米、牛肉、小麦和大豆等形式, 来自美国、澳大利亚等国。由于 70% 的玉米、绝大多数的大豆和一半的大麦是用于饲养家畜, 因此, 日本进口的绝大多数虚拟水主要是用于生产肉类食品, 每年的虚拟水总进口量为 640 亿 m³^[8]。

三、虚拟水概念与虚拟水贸易的实用价值与启示

1. 虚拟水贸易是保障水资源安全的有效工具

水资源贫乏的国家进口虚拟水可以减轻对本国水资源的压力, 因此, 虚拟水是一种替代水源。这种额外水源可以成为保障区域水资源安全的工具。甚至在虚拟水概念提出之初, 就有学者指出, 虚拟水贸易可以成为解决地缘政治问题乃至防止水战争的工具^[1,5]。

自虚拟水概念提出以来, 已经在水资源短缺的国家和地区如中东和南非地区得到了一定的实际运用。这些国家对粮食进口的补贴政策, 实际上是补偿本地区水资源的不足。虚拟水贸易对于那些水资源紧缺的地区来说, 本身提供了水资源的一种替代供应途径, 并且不会产生恶劣的环境后果, 能较好地减轻区域水资源紧缺的压力。当世界或地区粮食价格低于缺水地区自身的生产成本的时候, 虚拟水战略的优势就更加明显。富水地区和缺水地区之间实体水贸易由于运输距离遥远、成本高昂, 通常十分困难, 因此, 虚拟水贸易引起了缺水国家和地区政府及水资源管理部门的日益重视, 并开始在水资源战略管理中应用。虚拟水贸易非常适合作为干旱和半干旱地区的一项现实的战略措施, 即通过贸易的形式保障缺水地区水资源和粮食安全。

另外, 对那些参与虚拟水贸易的国家或地区来说, 还能增强这些国家和地区粮食安全的相互依赖性, 减轻国家或地区之间因为水或粮食问题所引起的直接冲突, 创造新的持久的合作关系。

2. 虚拟水概念及虚拟水贸易促进了水资源的有效利用

根据国际贸易理论, 国家应当出口本身具有相

对优势或者比较优势的产品,而应当进口本身具比较劣势的产品。

尽管价格和技术是提高区域水资源利用效率的工具,而且在流域尺度上水资源按照效益最大化重新配置也可以提高水资源利用效率,但是,国家间的虚拟水贸易是提高“全球水资源使用效率”的有效工具^[1]。从经济学的观点看,应当在水资源丰富的地区生产世界上需求的水密集型产品。在这些地区,水资源比较廉价,而且水资源使用的负外部性比较小,单位产品的生产所需的水量一般也较少。从水的生产效率较高的国家或地区向水的生产效率较低的国家或地区的虚拟水出口,意味着全球实体水的储备和节约。

3. 虚拟水概念提供了水资源迁移、储存和利用的新手段

最优化生产的问题不仅是一个明智选择生产地点的问题,而且是一个恰当选择生产时机的问题。水资源的合理开发利用正是这样一个最优化生产问题,涉及到空间问题和时间问题。为了克服一些时段和一些区域的水资源短缺,通常通过修建人工水利设施来调节水资源在时间和空间上分布不平衡的矛盾,这是以迁移实体水的形式来解决问题。同样,也可以以虚拟的形式储存水资源,如通过将水储存在粮食中,通过调配粮食来解决水资源在时间和空间上分配不平衡所引起的一系列问题(如旱灾缺水引起粮食减产)。调配虚拟水相对调配实体水而言,无论从经济效益和环境效益的角度来看都具有明显的优越性。

此外,对原本不能形成径流的土壤水(土壤水库),可以通过虚拟水的形式将其储集于依靠土壤水生产的产品中进行调配、转化和迁移。

4. 虚拟水概念促进了水资源管理的观念和制度创新

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和生活方式。从当前国内外的研究和实际应用来看,采用的水资源管理包括供给管理和需求管理两个方面,基本的管理途径有工程建设、终端利用效率和配置效率3种,相应的管理战略和管理阶段可分为4个层次^[9]:(1)供给管理,包括开辟新水源、大规模远距离调水等,其目标是提供更多的水资源,但通常成本巨大;(2)技术性节水管理,这是水资源需求管理的第一步,其目标是提高水资源的利用效率,但通常节水数量有限;(3)内部结构性管理,这是水资源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,即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。

水资源管理的最终目的是为了跨越水资源短缺的障碍。社会化管理阶段的出现意味着水资源管理问题域范围的扩大,管理的着眼点从克服自然资源的短缺(第一类资源短缺)转向克服社会资源的短缺(第二类资源短缺)^[9]。在这种意义上,能否调动足够的社会资源的能力(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。显然,虚拟水战略拓展了水资源研究的

问题域范围,属于水资源社会化管理层次。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有大量的虚拟水,是当前世界贸易中数量最大的商品,因此,人口—粮食—贸易之间的连接关系就成为虚拟水分析的主线;从另一个角度来看,也就是从水的社会属性这条主线来进行水资源管理。

因此,虚拟水概念将水资源管理问题从对水资源的生产领域管理引向了对水资源消费领域的管理,以水—粮食—贸易为主线的虚拟水贸易通过粮食贸易将水资源管理问题拓展到社会经济系统中,这显然增加了水资源管理的决策空间,必将引起水资源管理的观念创新和制度创新。

5. 虚拟水概念有助于增强人们的节水意识

不同产品的虚拟水含量不同^[1],知道产品的虚拟水含量可以使人们意识到生产各种产品所需要的水资源数量,也就会认识到消费产品对水资源系统的影响,进而促使人们更谨慎地利用水资源^[11]。

人们的饮食结构对水资源有着巨大的影响。随着人们生活水平的提高,将会消费更多的肉、蛋、奶,消耗更多的饲料粮。而且,从粮食向肉类的转化要比从草向肉类的转化消耗更多的能量与资源。研究表明,生产1kg猪肉需要4kg粮食,生产1kg鸡肉需要2kg粮食。因此,生产更多的畜禽产品就意味着消耗更多的饲料粮,而要生产这些饲料粮,则需要更多的水。据估计,如果目前世界上所有的人都采用西方发达国家肉食较多的饮食结构,那么食物生产所消耗的水资源将需要增加75%。由此可见,合理的饮食结构对水资源的影响也是不容忽视的,基于此,就更应加强对虚拟水概念的宣传,增强人们的节水意识。

四、构筑全球化的国家水资源安全新战略

虚拟水概念具有重要的理论与现实意义。虚拟水贸易是实现区域水资源安全、提高水资源利用效率的有用工具。我们必须运用虚拟水的新概念,创新水资源安全战略的管理体制与机制,建立全球化的国家水资源安全新战略。

1. 加强虚拟水理论和虚拟水战略研究

虚拟水与虚拟水贸易研究已经成为国际上的一个前沿研究领域。首先,需要科学地定量评价产品中的虚拟水含量,对有关计算方法予以修正、完善,使产品虚拟水的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需要评估;第四,应探讨虚拟水战略下国家(或地区)应对策略的选择,等等。因此,国家有关部门应支持对虚拟水理论与方法的科学研究,组织有关单位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的科学依据^[10]。

2. 创新水资源管理体制与机制,构筑全球化水资源安全新战略

虚拟水战略是一种全球化的水资源利用战略,要实现我国的水资源安全,就必须面向国内和国际

两种资源, 构筑我国新型全球化水资源安全战略体系。虽然我们不能把解决水资源短缺和粮食安全问题的出路全部系于国外的水资源, 但我们完全可以通过虚拟水贸易来缓解我国的水资源短缺问题, 把虚拟水战略作为缓解我国区域水资源短缺的一种重要战略措施, 积极参与国际上的虚拟水贸易, 构筑新型的全球化的水资源安全战略体系。

3. 研究虚拟水战略与区域水资源配置的管理战略

实施虚拟水战略, 通过压缩不适宜进行大规模农业生产的地区的农业生产规模、调整高耗水低效益的农业产业结构, 可以大大节约水资源的耗用、缓解区域性的水资源紧缺压力。对传统的经济发展思路下形成的通过调水来维持乃至扩大高耗水农业产业的区域水资源配置的管理战略, 就应当予以重新审视。对于区域水资源合理配置而言, 如果采取虚拟水的新型战略, 一些一次性投资巨大, 而且需要长期维持性投资的大型骨干跨流域调水工程, 其必要性就需要重新研究。例如南水北调西线工程十分艰巨、成本巨大, 对生态环境有不利的影响, 工程建成后的维护工作十分繁重, 若采用虚拟水战略, 就完全可以不用建设南水北调西线工程。最好是将解决水资源短缺问题的“实体”调水工程变为虚拟水贸易的“虚拟”调水工程, 将调水工程的巨大投资和维护性投资, 转为实施虚拟水战略的财政补贴。

4. 实施虚拟水战略, 逐步试点, 推进西部生态建设与经济结构的战略性调整

实施虚拟水战略管理, 对西部地区特别是西北干旱区域的生态环境建设具有重要意义。一个地区是否适宜大规模发展耗水巨大的农业生产, 应当根据区域的水土资源特别是水资源状况来确定。区域的资源禀赋不一样, 经济发展战略和产业结构就不应一样。应树立全国一盘棋的思想, 建立依托区域资源禀赋的、产业结构互补的全国经济发展模式。

西北干旱区域水资源短缺, 不适宜建设商品粮基地, 应当压缩高耗水的农业产业, 大力节约实体水资源, 将节约下来的宝贵水资源用于区域的生态恢复和建设, 即“退实体水给林草”, 而区域的粮食安全可以通过虚拟水贸易来解决。但这不是西部地区自身可以解决的问题, 需要站在国家全局的高度, 在国家的层面上予以解决。

为此, 需要创新国家的区域水资源配置的管理体制与机制, 通过试点, 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; 从维护全国生态安全的高度, 以适当的生态补偿措施促进水资源在生态环境与经济发展方面的合理配置; 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增强其创收能力; 通过虚拟水贸易向市场要效益的方式间接“养水”, 使水资源管理事业走向良性循环的轨道。

5. 建立基于虚拟水战略的区域发展政策和社会保障体系

在西部地区的生态环境建设中, 国家对农民予以一定的钱粮补贴, 这实际上就是虚拟水战略的运用。西部地区本身缺乏实施虚拟水战略的经济实

力, 而且西部地区生态建设的受益者是全国, 国家理应对西部地区的生态建设予以补偿。

西北地区要成功地应用虚拟水战略, 需要在有关政策和机制上予以改革和完善, 并建立健全社会保障体系, 加大财政转移支付力度。在退耕还林(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进口; 针对采用虚拟水战略后区内粮食种植业减少导致的农村剩余劳动力增加, 需要建立相应的社会保障体系; 同时要抓好区域产业结构的调整与转型, 建立新的区域产业结构体系和收入保障体系, 增强区域的经济实力。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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, the Netherlands. 2003. 49 - 76
- [4] Hoekstra A Y. Virtual water trade between nations: a global mechanism affecting regional water systems. IGBP Newsletter, 2003, (54): 2 - 4
- [5] Allan J A. Virtual water eliminates water wars? A case study from the Middle East. 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, the Netherlands. 2003. 137 - 145
- [6] Renault D. Value of virtual water in food: Principles and virtues. 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, the Netherlands. 2003. 77 - 91
- [7] 林家彬. 日本水资源管理体系考察及借鉴. 水资源保护, 2002, (4): 55 - 59
- [8] Oki T, Sato M, Kawamura A, et al. 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 No12. IHE Delft, the Netherlands. 2003. 221 - 236
- [9] Ohlsson L, Turton A R. The turning of the screw. Social resource scarcity as a bottle-neck in adaptation to water scarcity. Stockholm Waterfront, 2000, (1): 1 - 11
- [10] 程国栋. 虚拟水——水资源安全战略的新思路. 中国科学院院刊, 2003, (4): 260 - 265
- [11] 徐中民, 龙爱华, 张志强. 虚拟水的理论方法及在甘肃省的应用. 地理学报, 2003, 58(6): 861 - 869

(责任编辑 邱夜明)