

虚拟水

贸易

论

田贵良 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

虚拟水 贸易 论

田贵良 著

25



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书研究水资源经济学中的前沿领域——虚拟水贸易理论,建立虚拟水贸易理论的可持续发展、比较优势与经济增长三大理论假说。基于水资源投入产出分析框架构建产业虚拟水量化与区域虚拟水贸易平衡分析模型。建立指标体系评价区域实施虚拟水贸易的适宜性,运用虚拟水贸易理论指导缺水地区产业结构优化问题,选择黄河流域典型缺水地区宁夏回族自治区进行实证研究,最后从流域与产业两个角度设计相应的补偿机制。

本书可作为水资源管理、资源经济学、产业经济学等专业的在校师生学习、研究参考,亦可作为相关部门和相关研究工作者参考书。

图书在版编目(CIP)数据

虚拟水贸易论 / 田贵良著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2010. 10
ISBN 978-7-5084-8024-4

I. ①虚… II. ①田… III. ①水资源—资源经济学—研究 IV. ①F407.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第214110号

书 名	虚拟水贸易论
作 者	田贵良 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	175mm×245mm 16开本 12.5印张 267千字
版 次	2010年10月第1版 2010年10月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	28.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

|| 前言

水资源是区域经济发展的基础性自然资源和战略资源，是生态与环境的控制性要素之一。区域经济和社会发展面临的水资源缺乏问题，一方面源于可用淡水资源总量不足，另一方面源于水资源分布地区不均，如何跨区域合理有效利用水资源成为水资源研究专家和决策者致力解决的问题，在这种形式下，虚拟水的概念应运而生。1993年英国伦敦大学亚非研究院 Tony Allan 教授首次提出虚拟水（Virtual Water, VW）的概念，由于其研究视角和研究方法的新颖性，在分析、研究区域水资源安全问题上的独特阐释力和应用价值，引起了相关领域专家、学者的广泛关注和研究，Tony Allan 教授本人也因提出虚拟水的概念获得 2008 年斯德哥尔摩水奖。

虚拟水起初专指农产品生产所需要的水资源，后逐步推广到所有的商品和服务，即生产某种商品和服务所需要的水资源量被称为该商品和服务对应的“虚拟水”。如 1kg 小麦的虚拟水含量大约为 1~2t，1kg 奶酪和牛肉的虚拟水含量分别为 5~5.5t 和 16t，而重量仅为 2g 的计算机芯片，其虚拟水含量就高达 32kg。商品和服务的国际（区际）贸易也自然带动了虚拟水的国际（区际）流动，因此，虚拟水概念的重要价值主要体现在虚拟水贸易（Virtual Water Trade, VWT）上，VWT 是指缺水国家（地区）将虚拟水的思想应用于生产和贸易策略的制定，在水资源禀赋条件下设置合理的用水结构、进行恰当的贸易选择，提倡从富水国家或地区购买水资源密集型产品，并出口水资源节约型产品，从而在保障经济发展和改善人们生活的前提下，实现水资源的有效节约和高效配置，进而达到水安全的目标。

虚拟水贸易作为水资源可持续利用管理的一项新举措，将水资源问题与区域经济系统结合在一起，拓展了解决水资源短缺问题的选择范围。特别地，对于水资源短缺的地区来说，虚拟水贸易提供了一种替代供应方式，能够在不产生恶劣环境后果的前提下，有效地减轻水资源紧张的压力，缓解经济发展与资源短缺之间的矛盾。

然而，虚拟水贸易作为一种新理论与新理念，目前学术界尚缺乏对其系统性的理论研究，理论是指导虚拟水贸易实践的基础，虚拟水贸易战略的制定首先需要对区域经济系统的虚拟水进行定量测算。此外，虚拟水贸易战略的影响也是非常广泛的，同时，在实际运用过程中会受到多方面因素的制约，如大量的粮食进口可能对本区域农业和农民造成极大的冲击，如果虚拟水贸易战略下区域经济不能实现很好的转型的话，对虚拟水的支付能力也会成为虚拟水贸易战略实施的一大限制，另外，虚拟水贸易战略对区域生态环境的影响也是不确定的，等等。因此，并非每个缺水地区都适宜于实施虚拟水贸易战略的，适宜于实施虚拟水贸易战略的区域又如何利用虚拟水贸易战略指导产业结构优化和贸易结构调整，这其中，受影响的农业和农民又将如何进行补偿，这些问题都是虚拟水贸易战略实施之前必须解决的。本书针对上述问题展开研究，一方面在虚拟水贸易理论领域做一些开创性研究，另一方面更力争将虚拟水贸易理论应用于实践，尤其是我国干旱缺水的西北、华北地区，思考如何运用虚拟水贸易的方式缓解区域社会经济发展与水资源短缺和生态环境恶化之间的矛盾，以实现干旱缺水地区更为科学的发展模式和路径。

作者

2010年11月

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 选题目的与研究意义	4
1.3 国内外相关理论研究进展综述	7
1.4 基本预设	32
1.5 研究内容、技术路线和创新点	34
第2章 虚拟水贸易战略的基本理论研究	38
2.1 虚拟水与虚拟水贸易战略的界定	38
2.2 虚拟水贸易战略的经济学解释	47
2.3 虚拟水贸易战略的意义	59
2.4 本章小结	64
第3章 基于水资源投入产出分析的区域产业虚拟水量化研究	65
3.1 区域产业虚拟水量化中水资源范畴的界定	65
3.2 区域水资源投入产出分析框架	67
3.3 基于水资源投入产出分析的区域产业虚拟水含量计算	72
3.4 区域产业虚拟水贸易平衡分析	74
3.5 本章小结	78
第4章 区域实施虚拟水贸易的适宜性评价	80
4.1 虚拟水贸易实施的条件分析	80
4.2 区域实施虚拟水贸易的适宜性评价指标体系	82
4.3 区域实施虚拟水贸易适宜性的模糊综合评价	91
4.4 本章小结	101
第5章 虚拟水贸易下缺水地区产业结构优化研究	102
5.1 虚拟水贸易对缺水地区产业结构的影响	102
5.2 水价机制促进虚拟水贸易的机理分析	107
5.3 虚拟水贸易下缺水地区产业结构优化的水价机制	112

第6章 区域实施虚拟水贸易战略的补偿机制研究	119
6.1 区域实施虚拟水贸易战略的风险分析	119
6.2 虚拟水贸易战略实施的流域补偿研究	120
6.3 虚拟水贸易战略实施的产业补偿研究	128
6.4 本章小结	135
第7章 宁夏发展虚拟水贸易的实验研究	136
7.1 基于水资源投入产出分析的宁夏产业虚拟水量化	136
7.2 虚拟水贸易下宁夏产业结构优化选择	148
7.3 宁夏产业结构优化中实施虚拟水贸易的适宜性评价	152
7.4 虚拟水贸易视角下宁夏产业结构优化的水价调节机制	153
7.5 宁夏实施虚拟水贸易的补偿机制	161
7.6 本章小结	166
第8章 结论与展望	168
8.1 结论	168
8.2 展望	170
附录	171
附录1 世界各国人口、耕地、经济发展及水资源利用情况表	171
附录2 宁夏2002年6个部门投入产出流量表	175
附录3 《宁夏实施虚拟水贸易战略适宜性评价》调查问卷.....	176
参考文献	180
后记	191

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景

1.1.1 水资源短缺与用水结构性矛盾并存

水问题是 21 世纪人类面临的主要问题之一^[1]。尽管从水循环的角度看,水资源总量可以满足人类需求,但水资源分布的极端不均匀和人口分布的不平衡使得很多地区和国家都出现了严重的水资源短缺现象。随着人口的高速增长和经济的快速发展,水压力会越来越大。

20 世纪以来,全球人口从 16 亿迅速增加到 60 多亿,工业化和城市化进程加快,世界经济快速发展,在短短的 100 余年时间内,全球工业用水增加了 20 倍,农业用水增加了 7 倍,生活用水增加了 10 倍^[2]。用水量呈几何级数增长,世界年耗水量已增加到 7 万亿 m^3 。在我国,特别是新中国成立以后,人口和经济快速增长,工农业和居民生活用水也大幅度增加。1949 年全国总用水仅 1031 亿 m^3 ,而 1979 年达到 4767 亿 m^3 ,增长了 4.6 倍^[3]。其中,农业用水量增加了 4 倍,工业用水量增加了近 22 倍,城市生活用水量增加了 8.2 倍。到 2000 年,全国总用水增加到 5633 亿 m^3 ,51 年中增加了 5.4 倍。据预测,2050 年我国国民经济需水将达到峰值,为 7000 亿~8000 亿 m^3 ,已接近水资源可利用总量 (8000 亿~9500 亿 m^3)^[4]。另外,工农业生产严重挤占生态用水,形成生产用水与生态用水之争。同时,在生产领域,由于农业占据绝大部分用水,常常限制工业发展,造成整体上水资源的低效利用,很多缺水地区,水资源已成为制约国民经济发展的“瓶颈”。

水资源短缺与开发利用不当,不仅成为我国许多地区经济发展的制约因素,而且直接导致生态环境恶化,甚至威胁到了人类的生存,这在我国西北干旱区表现得尤为突出。我国西北干旱区包括新疆全境、甘肃河西走廊及内蒙古贺兰山以西的地区,地理位置介于东经 $73^\circ \sim 125^\circ$ 和北纬 $35^\circ \sim 50^\circ$ 之间,总土地面积约占全国国土面积的 24.5%^[5]。西北干旱区地形主要表现为四周高山环抱,山地与盆地相间分布,戈壁沙漠面积大,呈封闭型地形。由于该区深居内陆,具典型大陆型气候特点,光照充足、温差较大、干燥少雨,致使区内水资源具有总体水量不足,空间分布不均的特征。全区多年平均降水量山区一般为 200~700mm,盆地和走廊一般为 40~200mm,塔里木盆地仅 25~70mm,冰川和积雪是该区水资源赋存和形成的一种独特形式^[5]。全区多年平均蒸发量很大,一般在 1500~3000mm 之间,盆地中心地带高达 4000mm,是

降水量的几十倍到几百倍,西北干旱区是生态环境严重脆弱地区。从20世纪40年代开始,干旱区农耕规模飞速发展,地表水和地下水大都得到了利用,开发利用程度较高,河西走廊、准噶尔盆地和塔里木盆地等主要的平原区,水资源利用率都超过65%,远远超出世界干旱区平均水资源利用率30%的水平^[6]。虽然水资源开发利用规模的不断扩大,使区域内工农业经济得以迅速发展,但由于未能充分考虑干旱地区水资源的特点和其客观规律,水资源利用程度的提高直接引起干旱区水文状况的剧烈变化,从而引发了一系列生态环境问题:如河流断流,尾间湖干枯,泉水资源衰竭;地下水超采,地下水位持续下降;水质恶化;土壤次生盐渍化;土地沙漠化等。生态环境的严重恶化,已成为西北地区草场退化、植被死亡、耕地撂荒、地方病较为严重等的主要原因。如何采取紧急措施,协调好水资源开发与环境及国民经济可持续发展之间的关系,做到人与自然、社会经济建设发展与自然相和谐,已经成为摆在各级政府和广大科技教育工作者面前的一项紧迫任务。

由于我国目前存在的水资源问题,受人为因素的影响非常突出,所以在重视技术解决水资源问题的同时,如何采取更有效的管理办法,全方位、多层次地强化管理在合理开发、有效利用、节约和保护水资源中的作用和地位,从而实现水资源的可持续利用,是解决我国水资源问题的关键。特别是随着我国经济发展的战略重心向干旱的中西部转移,如何实现这些地区水资源对社会经济发展的支持和持续开发利用是当务之急。干旱区,特别是西部干旱的内陆河地区,水资源的开发利用程度已经很高,如果在水资源开发利用上没有大的突破,在管理上不能适应这种残酷的现实,水资源将很难支持国民经济迅速发展的需求,水资源危机将成为所有资源问题中最为严重的问题。为此,科学家们强烈呼吁,为了实现人类社会经济的可持续发展,对水资源的开发利用方式必须实施战略性转变。

1.1.2 水资源由供给管理向需求管理转变

水资源管理的最终目的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^[7]。从当前国际研究和实际应用来看,水资源管理的阶段可以分为两个阶段(图1-1^[8])。

(1) 供给管理。水资源供给管理是以需定产,采用各种技术手段(如开发深层次地下水、跨流域调水、海水淡化等)挖掘现有水资源的供给潜力,同时开辟新水源,大规模远距离调水等,其目标是满足日益增加的需求量。随着人口的增长,水资源需求不断增加,而工程供水措施(供给管理措施)也相应的增加,如图1-1中B点(需水曲线同工程供水水平的交点),随后社会进入水赤字阶段,水赤字引起社会压力的同时促进了水资源需求管理措施产生。为了解决水资源短缺的问题,我国用了几十年的时间,从供给管理的角度,建设了各种各样的供水工程,其基本意义就是增加水的供给。这种策略,无疑发挥了巨大作用,但是,单纯地增加水的供给,似乎永远赶

不上水资源需求增长的速度。目前北方大多数河流水资源开发利用已超出其承载能力,淮河、辽河、黄河流域水资源开发利用已超过或接近 60%,海河流域已超过 100%,都远远超过了国际上认定的水资源科学开发比率^[9]。因此,当前对水资源合理开发利用和配置、建设节水型社会的对策,已从供给管理、技术节水的层面,提高到关注结构性节水和社会化管理的水需求管理阶段^[10]。

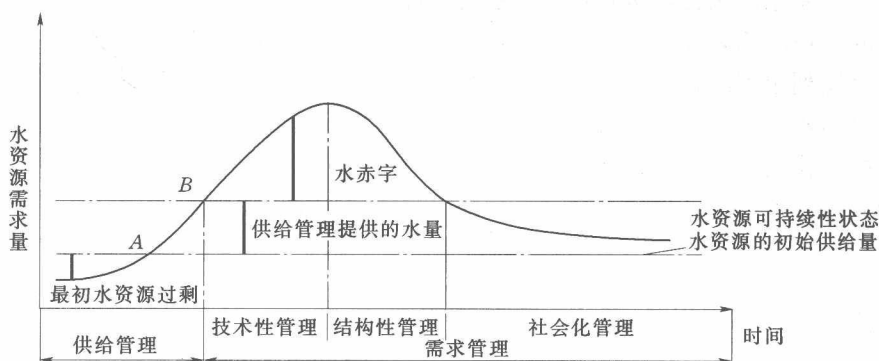


图 1-1 水资源的管理阶段图

(2) 水资源需求管理。水资源需求管理(WDM)^[11-12]是在有限的水资源条件下,以水资源高效利用和可持续利用为原则,综合运用法律、行政、经济、技术、宣传等一系列手段,由水行政管理者、水经营者和用水户三大群体共同协力提高终端用水效率,改变用水方式,为减少水消耗和水需求所进行的管理活动。其包括 3 个方面:①技术性节水管理,努力提高水的利用效率(提高单方水的产出率),可以通过采用先进的灌溉技术、优良品种、改善农艺等措施来实现;②内部结构性管理,涉及到区域社会结构变化等问题,主要指水资源在不同产业部门之间的重新配置以提高单方水的效益,就目前来看主要表现在“农转非”,工业和第三产业的用水价值可达到农业用水价值的 1~1000 倍,这样,利益驱动力会使水资源向经济效益更高的部门转移;③社会化管理,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,以社会属性为主线,充分利用各种外部资源来缓解局部水资源紧缺。社会化管理阶段的出现,意味着水资源管理问题范围的扩大,管理的立脚点从克服自然资源稀缺转向克服社会资源的稀缺,在这种意义上,能否调动足够社会资源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。

1.1.3 虚拟水贸易战略成为水资源需求管理的创新领域

传统的水资源管理,一般研究真实水资源的自身特征、运动规律及相关关系,对“看不见”的虚拟水毫无了解。虚拟水理论给水资源需求管理研究提供了创新领域,如传统水资源需求管理研究与粮食安全研究是分离的,虚拟水理论使两者有了切入点,给从事水资源学研究的人员提供更加广阔的研究空间。

虚拟水贸易战略作为一项新举措,将水资源问题引入社会经济系统中的对外贸易领域,拓展了解决水资源短缺问题的选择范围,开辟了循环经济中的对外贸易研究领域。对虚拟水贸易量的定量统计将有助于认清我国水资源多方位的利用情况,对如何更好地运用两个市场、两种资源起到积极的指导作用。对于水资源紧缺的地区来说,虚拟水贸易提供了一种替代供应方式,能够在不产生恶劣环境后果的前提下,有效地减轻水资源紧张的压力,缓解经济发展与资源短缺之间的矛盾。

同时应该看到,虚拟水贸易战略涉及许多方面,应用起来比较复杂,在实际运用过程中会受到很多因素的影响。此外,也不能否认,虚拟水贸易尽管可以从宏观角度有效地平衡水赤字,但也有可能引起粮食安全等问题。因此,在实际操作时,必须结合具体情况作出缜密的可行性分析,如果没有采取合适的应对措施,虚拟水贸易战略的应用反而有可能给经济社会带来新的环境压力。因此,开展虚拟水和虚拟水贸易战略理论、方法及其实际应用的探讨十分必要。

1.2 选题目的与研究意义

1.2.1 选题目的

虚拟水贸易战略倡导水资源短缺的国家和地区减少水资源密集型产品和服务的生产,转向从别的国家和地区进口这些产品和服务以应对当地水资源短缺问题,从而提高本国(地区)水资源的利用效益。虚拟水贸易战略的提出改变了传统的水资源管理思维方式,它是一种新的水资源观,要求水利工作者从原有的以水为中心的观念转变为在水之外寻找解决水资源分配和管理的途径,运用“大水利”的系统理念和方法找寻与水问题相关的各种影响因素。因此,虚拟水贸易论旨在解决虚拟水贸易战略理论研究和实践中的以下问题:

(1) 分析虚拟水贸易战略的经济学理论支撑。虚拟水贸易战略是从水资源需求管理角度提出的解决水短缺问题的创新理念和思路,然而虚拟水理论和实际应用的研究是一项跨学科、跨专业的研究,它不仅涉及到工农业生产问题、水利问题,还涉及到国际贸易、国内区域经济以及国家宏观政策、产业调整等许多方面的问题。因此,首先应从经济学角度分析虚拟水贸易战略的经济内涵,得出虚拟水贸易战略实施的条件和客观环境,为正确实施虚拟水贸易战略提供理论支撑。

(2) 提出客观、合理且具可操作性的虚拟水量化模型。目前,社会产品虚拟水的量化是针对农业产品与工业产品分别计算的,农业产品虚拟水量化多采用彭曼公式,而工业产品多根据生产过程采用生产树的计算方法。这两种方法都存在着较大的误差,且操作较为困难和复杂,尤其是工业产品生产往往是一个复杂的工程,难以全面考虑。同时,中间计算过程难免设置过多的假设条件,从而致使计算结果不准确。水资源投入产出方法是一种全面考虑生产全过程消耗关系的方法,利用水资源投入产出方法计算工农业产品虚拟水含量将使计算过程考虑得更全面,计算结果

更准确。

(3) 建立区域实施虚拟水贸易战略适宜性评价的指标体系和评价方法。虚拟水贸易战略的实施涉及资源、经济、社会、环境、技术和基础设施等多方面因素,一个区域是否适合实施虚拟水贸易战略,需要从上述几方面建立评价指标体系进行全面评价,从而为水资源管理部门和宏观经济管理部门提供决策支持。

(4) 提出虚拟水贸易战略下区域产业结构优化方向。对于缺水地区来说,产业发展既要充分考虑经济利益,又不能超出水资源承载力,因此,需要综合考虑产业关联测度和产业用水指标,这里探索虚拟水贸易战略下缺水地区产业结构优化方向,并探讨提升水价在产业结构优化过程中的作用机理。

(5) 设计虚拟水贸易战略实施中的补偿机制。虚拟水贸易战略的实施能够有效节约水资源、改善生态环境,这样,实施虚拟水的地区将给其他地区带来正的外部性,同时,农业节水也为工业发展提供充足的水资源。如果缺乏有效的激励机制,无论是一个地区或是高耗水的产业都将缺乏足够的积极性参与虚拟水贸易战略,这就需要设计行之有效的补偿机制,如地区间的生态补偿和产业间补偿机制等。

1.2.2 研究意义

(1) 建立和完善虚拟水贸易战略理论体系。虚拟水贸易战略的提出以来一直处于概念和设想层面,并伴随若干质疑与争议,原因在于缺乏对虚拟水贸易战略理论的系统研究。虚拟水贸易战略的实施受诸多因素的影响,不同的国家或地区,其市场机会和竞争环境不同,甚至存在很大差别;经济背景也不同,并往往会成为虚拟水贸易顺利实施的制约因素。另外,水资源不仅是一个生态环境问题,也是一个经济问题、社会问题和政治问题,直接关系到国家和地区的安全。因此,在评价一个国家或地区的产品和贸易机会的时候,必须要考虑这个国家或地区的土地、劳动力和资金情况;在进行虚拟水贸易时,要综合考虑本地区的土地与水资源状况、经济发展水平等,这里从比较优势理论和经济系统理论角度权衡各种影响因素,分析虚拟水战略的实施环境,建立虚拟水量化模型,探讨虚拟水贸易战略下区域产业结构优化问题,设计虚拟水贸易战略实施中的补偿机制,从而完善虚拟水贸易战略理论体系。

(2) 促进缺水地区水资源管理的观念和制度创新。当前,全球有 26 个国家约有 2.32 亿人面临着缺水问题,大约 4 亿人的用水速度超过水资源的更新速度,约有 1/5 的人利用卫生不达标的淡水资源。未来 30 年,中国水资源短缺对粮食生产的制约作用会日趋显著,我国要在 30 年左右的时间增加 1.5 亿 t 粮食生产能力才能满足粮食需求^[13]。传统上,人们对水和粮食习惯于在问题发生的区域范围内寻找解决问题的方案,而虚拟水则从系统的角度出发,运用系统思考的方法寻找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寻找解决问题的应对策略^[14]。

虚拟水贸易战略研究是从经济方面而不仅是从资源和环境方面来解决缺水问题,

从缺水问题范围之外而不仅是从缺水问题本身寻求解决途径，从宏观政策方面而不仅是从技术方面解决缺水问题。

(3) 实现经济增长与保障水安全的双赢。Karshenas 模型是用来阐述自然资源利用同经济发展之间关系的模型，反映一个国家（地区）尤其是欠发达国家（地区）为了促进经济增长而如何利用其有限资源（如水资源），如图 1-2^[15-16]所示。图 1-2 右上部分表明资源利用、经济发展是可持续的，左边和下边区域反映资源利用的不可持续性，接近坐标轴的地带分别为生态灾难和马尔萨斯灾难，即不仅生态环境恶化而且经济萧条衰退、停止、甚至倒退。通常情况下，在经济发展的起步阶段，自然资源作为促进经济增长的要素投入，经济的增长是以资源的巨大耗费为代价的，从而短期可能超过资源的可持续利用状态（轨迹 A）。随着经济多元化的发展和新技术、新政策的引入和实施，国家（地区）足以限制破坏环境的行为活动，并且能更多从资源的可持续利用中获得收入，这个阶段叫预防性发展阶段（轨迹 B）。国家的目标是实现社会的可持续发展，要实现这个目标，则需要国家进入自然资源重建阶段即自然资源的提取率低于自然资源的可持续性状态^[16]（轨迹 C）。Karshenas 模型的积极意义在于把技术、经济、政府及其制定的政策等社会因素看成是决定一个国家水资源丰亏更为重要的因素，从而强调通过发展社会资源来克服自然资源不足，最终达到自然资源重建的目的。

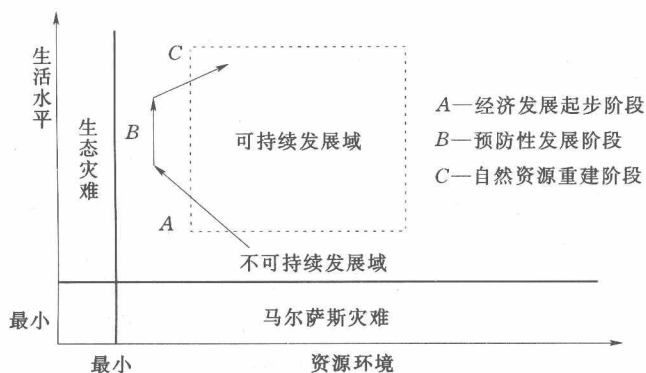


图 1-2 Karshenas 模型中自然资源利用与经济发展关系

虚拟水贸易战略并非简单地指贫水国家或地区通过从富水国家或地区进口水资源密集型产品来保障其水资源安全，而是从水资源利用的机会成本角度，比较区域间生产的比较优势，实现经济系统内产业生产的分工，从而实现分工专业化效应，促进区域经济增长。同时，虚拟水贸易战略突出强调水资源在经济生产过程的重要地位，在虚拟水贸易战略下，一个水资源十分贫乏的国家即使在其他要素具有绝对优势，其发展也必须重新审视水资源禀赋条件，产业发展量水而行，从而保障区域水资源安全。

1.3 国内外相关理论研究进展综述

1.3.1 生态足迹与水足迹研究综述

1.3.1.1 生态足迹研究综述

加拿大学者 Wackernagel 和 Rees 给出了生态足迹的概念,用以描述人类的影响及其对生态系统的消耗。“生态足迹是指能为一个特定生活标准的人群提供所需的资源、吸纳其废弃物的地球上的相应的生物生产性土地面积(包括陆地和水域)。生态足迹是用生态性生产土地面积表达特定的经济系统和人口对自然资源的消费量,并与该地区实际的生态供给能力相比较,可以判断该地区的发展是否处于生态承载力的安全范围之内,即衡量该地区的可持续发展程度^[17]。”

Hoekstra 和 Chanpagain 将生态足迹简单地定义为:在确定的区域内,特定的物质生活条件下,一个丰富的陆地生态系统和水生态系统所需要产生的资源和吸收的废物^[18]。

为确定生态足迹,建立了一种计算方法,用以计算一定数量的人群在其消费习惯下需要多少能源、食品、水资源和建筑材料等。这个模型主要起到说明个人或国家对生态系统和生产可持续发展的影响,根据 Venetoulis、Chazan 和 Gaudet 2004 年出版的《国家生态足迹》,美国人均生态足迹为 9.57hm^2 ,而孟加拉国人均每天的生态足迹仅为 0.5hm^2 。

产品的国际贸易使得个人和国家不仅消费本国资源,同时也影响着别国的生态系统。例如,Partzsch 和 Schepelmann 利用“生态包袱(area rucksack)”这一比喻帮助证明了由于欧洲出口粮食产品,那么区域的资源和环境也随之发生了流动。他们提出在世界最贫穷的国家由于世界人口增长从而人均耕地面积在减少,但欧盟利用的耕地却在增加。

1.3.1.2 水足迹研究综述

类似于生态足迹,UNESCO-IHE(联合国教科文组织——国际基础设施、水利及环境工程学院)的 Hoekstra 和 Hung 提出了水足迹的概念,用以说明人类活动对全球水资源的影响。水足迹指任何已知人口(一个国家、一个地区或一个人)在一定时间内消费的所有产品和服务所需要的水资源数量。可见,水足迹也包括在世界其他地方所利用的水资源量,水足迹不仅揭示了一个国家的虚拟水贸易平衡关系,更成为反映该国在全球范围内对水资源的依存程度的一个重要指标,因此,在计算水足迹时,需要量化一个国家或个人消费的虚拟水量。水足迹等于一个国家(个人)总用水量减去出口的虚拟水量加上进口的虚拟水量,即水足迹总量为国内用水量(WU)和虚拟水净进口量(NVWI)之和,其公式为

水足迹 = 总用水量 + 虚拟水净进口量 = 国内用水量 + 虚拟水净进口量 = $WU + NVWI$ ^[19]

如同生态足迹一样,水足迹旨在揭示一个国家或个人每天利用的水资源量,从而说明人们所利用的物品的虚拟水含量。这也同时说明了潜在的有效节水途径,目的是将节约的水资源用于收益更大、效率更高的用途。

水足迹可以分为两类:一类是内部水足迹,另一类是外部水足迹。内部水足迹是本国水资源的水利用量;外部水足迹是国家进口的产品和服务中所需要的来自其他国家的用水量。A. K. Chapagain 等对棉花消费的水足迹进行了计算,研究范围涵盖整个棉花消费过程,包括棉花原料消费和棉花产品消费,从而量化棉花消费对水质和水量的影响^[20]。通过对国家水足迹的量化,Chapagain 和 Hoekstra 逐步完善了水足迹的概念,也分别计算了内部水足迹和外部水足迹,发现有 4 个因素会直接影响国家的水足迹,分别是消费量、消费形式、气候条件和农业方式。除气候、水资源利用水平等因素外,不同消费模式对水足迹大小也具有重要的影响^[18]。如美国人均水足迹高的部分原因就在于其较高的肉类消费和工业产品消费^[21]。Chapagain 和 Hoekstra 对饮茶和喝咖啡两种不同的生活习惯的水足迹进行了对比,一杯咖啡的虚拟水含量约为 140L,而一杯茶的虚拟水含量仅为 34L,也就是说,选择喝咖啡产生的水足迹是选择喝茶的 4 倍之多^[22]。根据 Chapagain 和 Hoekstra 的研究结果,全球水足迹约为 74500 亿 m^3/a ,人均水足迹为 $1240\text{m}^3/\text{a}$ 。从国家水足迹来看,印度是世界上水足迹最大的国家,总水足迹达到 $9870 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$,但从个人水足迹来看,美国以人均水足迹 $2480\text{m}^3/\text{a}$ 位居第一,其次是南欧的一些国家如希腊、意大利、西班牙等,人均水足迹约在 $2300 \sim 2400\text{m}^3/\text{a}$ 。中国人均水足迹则相对较小,仅为 $700\text{m}^3/\text{a}$ ^[21]。

以往对于水资源的评价都是从生产角度出发的,而水足迹是从消费角度进行的^[20],它是从各国对水资源消费的来源来评价水资源的可持续性和利用效率。很多缺水国家缓解水压力的措施就是将水资源外部化,即增加外部水足迹。同时,水足迹也是评价国家水资源独立性的指标,从外部水足迹和内部水足迹方面,每个国家都从国际贸易中获得或支出了虚拟水,在水资源方面各个国家都对其他国家有不同程度的依赖,体现出建立健康、公平的国际市场的重要性。

国内的学者也对水生态足迹进行了研究,龙爱华等总结了水生态足迹的概念和计算方法,核算并分析了甘肃省 2000 年的虚拟水消费和水资源足迹。结果表明,2000 年甘肃省全社会的水资源足迹为 221.231 亿 m^3 ,人均水足迹 $865.24\text{m}^3/\text{a}$ 和 $2371\text{L}/(\text{人} \cdot \text{d})$,大大高于统计的水资源利用量^[23]。此外,龙爱华和徐中民还计算了 2000 年西北 4 省(自治区)的水足迹,结果表明,2000 年西北 4 省(自治区)总的水足迹是为 613.3 亿 m^3/a ,人均水足迹为 $712.3\text{m}^3/\text{a}$,除新疆外,其余 3 省的水足迹均高于统计的水资源利用量。还有学者利用水足迹和虚拟水的概念,计算了我国及各区域主要农产品的虚拟水含量,通过分析区域的农产品生产和消费关系,计算了我国国际和国内区域间的虚拟水流量,以及相应的水足迹和水的自给率,并进行了相关分析。计算结果表明,中国是一个水资源高度自给的国家,但区域间差别较大^[24]。绿水在我国国内总用水中占据了较大份额,对于我国农业生产意义重大^[25]。

1.3.2 虚拟水基本理论研究综述

1.3.2.1 虚拟水的提出与发展

全球经济和社会发展面临的水资源缺乏问题一方面源于可用淡水资源总量不足,另一方面更为严重的是水资源分布不均匀,如何跨区域合理有效利用水资源成为水资源研究专家和决策者致力解决的问题,在这种形式下,虚拟水与虚拟水贸易的概念应运而生。虚拟水(Virtual Water, VW)的概念起源于 Fishelson 提出的农业生产中“嵌入水”(Embedded Water),Fishelson 是在评价以色列农业生产和贸易时提出上述概念的,他认为出口大量水资源密集型农业产品对以色列来说是不可持续的^[26]。Haddadin 也使用过与“嵌入水”相类似的外生水(exogenous water)概念。McCalla 提出过水、粮食、贸易结合体(water food and trade nexus)的概念来表达与虚拟水相似的含义,这些学者为虚拟水的提出做出各自的铺垫研究工作^[27]。相应的实证研究主要集中在中东、北非地区(Middle East and North Africa, MENA),因为中东、北非地区是世界上最干旱的地区,最初的虚拟水的研究就是为解决中东地区的缺水而提出的一种解决方法,但当时这一思想并没有引起水资源管理部门和学术界的充分重视。1993 年英国伦敦大学非洲和东亚研究学院的 J. Anthony Allan 教授首次将这一思想概念化,并冠以形象的比喻式提法“虚拟水”^[28]。起初虚拟水专指国际贸易市场上粮食产品在生产过程中所需要的水资源量,因而常与粮食安全问题联系起来,Allan 教授认为水资源短缺的国家可在国际市场上购买一部分粮食产品替代本国生产,以节约本国有限的水资源。尤其当国际市场上粮价低于水资源缺乏国家的粮食生产成本时,这一战略则更显现其价值所在。这样,虚拟水的概念被用作缓解一国经济发展中水资源短缺问题的有效经济工具^[29],众多学者(例如 Warner^[30]、Hoekstra 和 Hung^[31]、Chapagain 和 Hoekstra^[32])赞同 Allan 教授的观点,认为水资源短缺的地区可以通过进口水资源密集型的产品并出口水资源节约型的产品,从而提高全球用水效率。有观点认为,粮食进口时反映经济所面临水赤字程度的一个有力指标,此外,在全球水危机的相关讨论中,越来越多人认为那些面临严峻水形势的经济体可以从水资源丰富国家进口粮食从而满足自己的需求(Allan^[29]、Warner^[30])。上述观点在中东、北非一些水资源严重短缺的国家得到了验证,以中东地区为例,事实上国际市场上多年持续的粮食低价刺激中东地区国家进口虚拟水从而缓解了国内严峻的水资源短缺局面^[33]。

生活、生态以及生产用水的恰当分配将是 21 世纪的主要挑战之一(Zehnder 和 Reller^[34]),考虑到世界各国水资源禀赋条件的不同,当前水危机以及水资源重新分配已经吸引了水资源管理专家的注意。由于粮食生产所需水资源比生活用水要大得多(Zehnder and Reller^[34]),因此,越来越多的人将粮食产品贸易看做是水资源重新分配的一种有效机制,可以为粮食产品进口国节约大量的水资源(Delgado^[35]、Parveen 和 Faisal undated^[36])。

后来,虚拟水泛指生产所有商品和服务所需要的水资源量,而非指产品本身所含有的水资源,产品本身所包含的水资源只占生产过程所需水资源中很少的一部分。商品和服务的国际贸易带动了虚拟水的国际流动,例如,Chapagain 和 Hoekstra 的计算结果表明,全球的虚拟水贸易流占到全球水资源利用总量的 16%^[21]。Allan 教授致力于研究水资源短缺国家如何在国际经济合作中通过虚拟水的方式减轻本国水资源压力^[37]。他认为虚拟水是解决水资源短缺问题的经济上无形、政治上无声的战略措施^[38]。

近年来,国外对虚拟水与虚拟水贸易的研究兴趣持续增强,发表了大量的学术论文,围绕虚拟水与虚拟水贸易的专题学术会议陆续召开。联合国教科文组织在水资源和环境工程领域的专业教育机构(UNESCO-IHE)于2002年12月在荷兰Delft召开了虚拟水的国际专家会议,这次会议的目的在于交流与虚拟水贸易主题相关的科学知识,回顾这一领域的发展,深层次讨论和该主题相关的各个方面,并由A. Y. Hoekstra教授主编了此次会议的论文集^[19]。2003年3月在日本召开的“第三届世界水论坛”上对虚拟水贸易进行了专题讨论,会议的议题是虚拟水贸易与地缘政治学;会议涉及虚拟水、世界范围的虚拟水贸易及地区间的虚拟水贸易、水足迹、水管理政策以及日本虚拟水研究案例^[39]。这次会议引起了各方的关注,但是由于时间有限,虚拟水贸易的影响以及很多问题更广泛的讨论都没有详细展开。2003年4月世界水论坛组织了虚拟水贸易与地缘政治学电子会议,会议目的在于继续论坛未完成的讨论,加强对虚拟水贸易的影响、潜能不同观点的理解;会议主要针对4个问题展开——虚拟水贸易是否对改进水的可得性有作用,虚拟水贸易是否对依赖于贸易的国家产生影响,虚拟水贸易、水足迹怎样对水资源的消费产生影响,虚拟水概念的推广使用条件^[40]。2004年8月,Chapagain、Hoekstra对荷兰茶、咖啡的水需求进行计算,其潜在目的在于提醒人们消费方式对自然资源使用的影响,是虚拟水理论的进一步研究。2004年及2005年间,美国斯坦福大学(Stanford University, USA)建立两个研究增加肉类消费对全球环境的影响的工作站。2005年9月,德国发展学会[German Development Institute (GDI)]建立了虚拟水贸易工作站。2005年,Chapagain、Hoekstra等人对通过全球贸易而产生的水节约进行研究,对由此产生的全球水节约以及各国水资源节约的计算方法进行研究,并对以绿水资源的损失为代价换来的蓝水节约的计算、实证作出研究^[41]。2006年7月,社会生态学研究所[Institute for Social-Ecological Research (ISOE) Frankfurt]建立了虚拟水贸易工作站。2006年3月,第四次世界水论坛在墨西哥举行,会议的主题是阿拉伯地区的虚拟水,这次会议的目的在于积极推动论坛各方的参与,确定当地面临的水管理、实施的挑战,寻求解除当地行动障碍的途径等;会议重申了水资源的重要性以及为达到水资源综合管理而达成的协议,并强调在面临全球挑战面前地方行动的重要性。2006年8月21~26日,世界水资源周在瑞典首都斯德哥尔摩举行,本次水资源周活动的主题是分享河水以外的利益和责任,强调能力建设、促进合作以及对国际水资源和发展项目执行情况