

流域比较视角的钱塘江与黑河流域 水资源问题及对策研究 ——基于水足迹核算分析

李玉文¹, 程怀文^{2*}

(1. 浙江财经大学公共管理学院, 杭州 310018; 2. 浙江财经大学经济学院, 杭州 310018)

摘要: 产品贸易及水权交易使得水资源问题“跨流域化”, 不再单纯是流域内部管理问题。本文从流域比较视角出发, 在区分蓝、绿、灰三种水足迹的基础上, 应用水足迹模型, 测算了两流域典型地区的水足迹, 进行流域水资源问题对比分析, 并分析了经济发展模式对流域水资源可持续性的影响。结果发现, 杭州市经济用水中灰色水足迹占总量的90%, 而张掖市经济用水中绿色水足迹占总量的60.8%, 说明钱塘江流域水资源问题在于质, 而黑河流域水资源问题在于量; 经济发展模式中的产业结构、水资源开发效率、工业化路径等影响流域水资源可持续利用, 同时基于GDP导向的流域间的水资源逆向配置, 更加剧了流域水资源矛盾。最后根据流域对比结果提出治理措施, 从而形成流域间协作的良性循环。

关键词 流域比较; 水资源问题; 经济发展模式; 水足迹; 灰色水足迹

中图分类号: X24; F062.2

文章编号: 1674-6252(2017)03-0089-06

文献标识码: A

DOI: 10.16868/j.cnki.1674-6252.2017.03.089

Comparison of Water Resources Problems between the Qiantang River Basin and Heihe River Basin Based on Water Footprint Evaluation

LI Yuwen¹, CHENG Huaiwen^{2*}

(1. School of Public Administration, Zhejiang University of Finance & Economics, Hangzhou 310018;

2. School of Economics, Zhejiang University of Finance & Economics, Hangzhou 310018)

Abstract: The concept of virtual water provides a new analytical framework for water resources problems. When product trade occurs, it produces water trading. So water is no longer simply regional problem of water management. Water transfer project and water rights trading make water problem "inter-basin". In this paper, firstly, the typical area water footprints of Qiantang River basin and Heihe River basin was estimated using water footprint model. Then, by contrast to water footprint and economic pattern of the two basins, source of water resources problems and its influencing factors were indicated. Finally, water resources management measures were put forward according to the comparison conclusion. The results showed that: 1) grey water footprint of economic water consumption accounted for 90% of the total water footprint in Hangzhou of Qiantang River basin. However, green water footprint of economic water consumption accounted for 60.8% of the total water footprints in Zhangye of Heihe River basin. 2) Water resources problem in Qiantang River basin is water quality deterioration, where in Heihe River basin is water shortage. 3) Industrial structure, industrialization path and water resource development in economic development model will impact sustainable use of water resources. At the same time, inter-basin water reverse configuration based on GDP oriented expands the water resources conflicts. 4) A virtuous cycle of collaboration between river basins is important for water resources management.

Keywords: comparison of basins; water resources problem; economic development model; water footprint; grey water footprint

基金项目: 国家自然科学基金面上项目“幸福导向的中国东西部流域水资源管理模式比较研究——以钱塘江与黑河为例(41371526)”；浙江省哲学社科项目“五水共治背景下浙江省水资源市场化配置价格机制研究(14SWH13YB)”；浙江省社科规划课题“多元合作模式的钱塘江流域生态治理体制及实现机制

(16JDGH085)”；浙江省教育厅项目(Y201328925)。

作者简介: 李玉文(1979—), 女, 副教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事资源环境管理、资源环境经济政策方面的研究。

* 责任作者 程怀文(1982—), 男, 讲师, 博士, 主要从事资源经济学、区域经济学方面的研究, E-mail: hw_cheng@163.com。

引言

水资源问题是流域可持续发展的瓶颈,而水资源问题本质上是人类活动导致,所以科学测度人类对水资源的消耗是分析水资源问题的基本工具。人类不但直接消耗实际的水量,同时以产品和服务为载体间接消耗水资源,被称为虚拟水^[1]。2002年阿尔杰恩·胡克斯特拉教授在虚拟水的基础上提出了一个衡量人类使用水资源量的指标——水足迹^[2],为科学测度人类对水资源的消耗和解析水资源问题提供了方法和工具。

不同流域自身的水资源循环转化机制不同,会形成不同的人类活动与经济社会发展模式,水资源问题的表现及管制策略会大相径庭。而且随着以“跨流域调水工程”为代表的实体水资源重新分配,以及以虚拟水和虚拟水足迹^[2,3]形式而随产品和服务贸易流动的虚拟水贸易,使得流域水资源问题不再单纯是流域内部管理问题^[2]。流域之间的实体水和虚拟水的交易加剧了流域水资源问题的复杂性,并使得流域之间相互影响,因此忽视流域间社会资源要素的整体考虑和经济社会政策的协同支持,难以构建科学的水资源管理决策。以多流域为研究对象,对比分析不同流域水资源社会循环特征、水资源问题的表现形式,有利于系统性地解决流域水资源问题。本文从流域比较的视角,以黑河流域和钱塘江流域为分析对象,核算了各自流域内典型地区的水足迹,并以此为基础剖析了内、外流域水资源问题根源,在考虑流域间相互作用的基础上,提出针对具体水资源问题的流域政府管制策略,从而为系统地解决流域水资源管理问题提供科学的政策决策支撑。

1 基于水足迹核算的钱塘江流域和黑河流域水资源问题分析

1.1 水足迹新内涵与核算

1.1.1 水足迹新内涵

虚拟水的概念是由英国学者 Tony Allan^[3]提出的,指的是嵌入到商品和服务中的水量,即生产商品和服务过程中消耗的水量。一个国家和地区或个人消耗的所有商品和服务中所含的虚拟水量和所消耗的实体水量被称为水足迹^[4]。水足迹概念可以用来衡量地区生产消耗或个人消费消耗的实际水量,为水资源问题分析提供了新思路。起初,水足迹更多关注地下水和地表水的消耗,即蓝色水足迹。随着对雨养农业和生态需水的研究,绿水逐渐进入水足迹核算中,即绿色水足迹。无论蓝水还是绿水都是关注水量,不能体现水质。现实中,一些水量丰富地区仍处于缺水状态,是因为当地水污染造成无水可用的状态。在此背景下,2008年Hoekstra和

Chapagain提出了灰色水足迹(gray water footprint)概念,用于反映水污染状况^[5]。灰色水足迹是指用于稀释水污染而水体达到一定水环境标准而需要的淡水水量^[6,7]。

1.1.2 水足迹核算方法

一个地区内水足迹等于该地区人类所有用水过程的水足迹总和。一个地区用水过程可简单分为生产用水、生活用水及水污染过程^①,因此一个地区内水足迹可以表示为:

$$WF_{\text{地区}} = WF_{\text{产品}} + WF_{\text{生活蓝}} + WF_{\text{生活灰}} \quad (1)$$

生产用水可以通过产品水足迹核算,生活用水为生活取水量,水污染可用灰色水足迹核算。产品水足迹等于产品蓝色水足迹、绿色水足迹和灰色水足迹之和:

$$WF_{\text{产品}} = WF_{\text{蓝}} + WF_{\text{绿}} + WF_{\text{灰}} \quad (2)$$

产品蓝色水足迹是地表水和地下水消耗,主要包括以下三个部分:蒸发量、产品内的水、不能被重新利用的水量,蓝色水足迹就为这三部分之和。主要是利用单位产品直接消耗实体水量来计算:

$$WF_{k\text{蓝}} = WQ/C \quad (3)$$

式中, $WF_{k\text{蓝}}$ 为单位产品蓝色水足迹; WQ 为产品消耗水量; C 为区域产品产量。

产品绿色水足迹是生产过程中消耗的雨水量,与农业与林业产品密切相关;绿色水足迹是蒸发量和结合到产品内的绿水量。绿色水足迹主要集中于农产品,它的大小与作物需水量有关:

$$WF_{k\text{绿}} = R/C \quad (4)$$

式中, $WF_{k\text{绿}}$ 为单位产品绿色水足迹; R 为区域作物需水量; C 为区域产品产量。

产品灰色水足迹是以自然本底浓度和现有的环境标准为准,将一定污染物负荷吸收同化所需要的淡水水量,公式如下:

$$WF_{\text{灰}} = L/(c_{\text{max}} - c_{\text{nat}}) \quad (5)$$

式中, L 为污染物排放负荷,单位为 kg/a ; c_{max} 、 c_{nat} 分别为最大污染负荷浓度和自然状态下浓度,单位为 kg/m^3 。

1.2 钱塘江流域和黑河流域水足迹核算及对比分析

1.2.1 研究区概况

钱塘江流域涉及浙江省内杭州、衢州、金华、绍兴、丽水5个设区市,共20多个县(市、区),多年平均水资源总量为387亿 m^3 。钱塘江流域水资源总量丰富,但是年际变化幅度较大,时空分配不均匀。流域内各县市经济相对发达,工业比重大,水污染严重,流域水质不容乐观。杭州市位于钱塘江下游,人口规模大,经济发达,城市化率高,2010年常住人口870.54万,全年GDP为5949亿元,城市化率71%。杭州市在经济发达的同时,水资源用量比较大,水质性缺水相对突出。

① 一些水足迹研究将生态用水也算在其中。本文关注人类社会经济活动用水,因此生态用水不算在其中。林业用于消费产品的水包括在其中,而景观等生态用水没有包括在其中。

黑河流域是我国第二大内陆河流域,地处内陆,水资源量十分不足。张掖市地处黑河流域中游,降水稀少,蒸发强烈,用水主要依靠黑河过境水,水资源严重短缺。张掖市集中了全流域 95% 的耕地、91% 的人口和 80% 以上的国内生产总值,是黑河流域用水最多的区域。

1.2.2 水足迹核算数据来源

产品数量、用水指标数据来源于杭州市和张掖市发展统计年鉴(2011)、统计公报(2010);单位产品水足迹参照国际水足迹研究成果中国地区数据^[8,9]。水污染数据来源于浙江省自然资源与环境统计年鉴(2011)、张掖市 2010 年环境状况公报。生活污染是指城镇生活污水排放,污染负荷为 COD 浓度;采用我国《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)基本项目标准限值中水质分类标准数据确定污染物在水体中的环境浓度标准($C_{\max}$)。将研究区域水源定义为Ⅲ类水体^[10],研究中假设流域水体最初状态都处于水资源质量一类标准,因此 COD 本底值浓度为 2mg/L。

1.2.3 水足迹对比分析

表 1 列出了 2010 年杭州市和张掖市农产品水足迹含量。2010 年,杭州市农产品水足迹总量为 389 434.75 万 m^3 ,绿色、蓝色和灰色水足迹分别占比 72%、3% 和 25%。杭州水资源量丰富,水质问题相对突出,绿色水足迹影响较小,蓝色和灰色水足迹需要重点分析。杭州市在农业生产中,蓝色水足迹消耗并不大,仅占到 3%,灰色水足迹消耗相对较大,占 25%,其主要来源于农业化肥,尤其是蔬菜生产中的化肥使用。农产品水足迹分析表明,在水资源总量控制政策下,生态农业(消耗绿水)和经济作物种植(蓝水消耗少)对杭州市农业转型具有重要意义。

张掖市 2010 年农产品水足迹总量为 227 814.9 万 m^3 ,绿色、蓝色和灰色水足迹分别占比 57%、17% 和 26%。

从地区水足迹总量来看,张掖市农产品消耗绿水的比重最大,绿水作为土壤-植被系统耗水的主要来源,在干旱地区对于水资源开发和利用具有重要意义。干旱地区农业耗费过多绿水资源,会使得生态用水不足,危机流域生态安全。相比于杭州,张掖的蓝色水足迹比重较大,蓝色水足迹对于干旱地区水资源开发和利用也具有重要意义。张掖农业水足迹的贡献者主要来自小麦和玉米等粮食作物的生产。

杭州市和张掖市单位面积水资源量分别为 1.147 万 m^3/hm^2 和 0.064 万 m^3/hm^2 ,而农产品生产的单位面积水足迹量为 0.235 万 m^3/hm^2 和 0.056 万 m^3/hm^2 ,对比可见,农业生产对杭州市水资源短缺贡献并不大,而对张掖市具有重要的影响,它几乎消耗了单位面积上的所有水资源量,农产品的生产是水资源短缺重要因素。

表 2 和表 3 列出了杭州和张掖两市所有类型水足迹与水资源对比数据。从水足迹产生来源看,杭州市工业用水是主要蓝色水足迹,占整个蓝水水足迹的 95.8%;生活用水仅 1.64 亿 m^3 ,占 1.3%;农产品蓝色水足迹也仅 1.05 亿 m^3 ,占 0.8%。从三类水足迹来看,灰色水足迹是主要水足迹部分,占总的 90%,灰色水足迹中,工业和生活用水是主要来源,特别是工业用水,占到整个灰色水足迹的 88.4%。灰色水足迹是地区水资源短缺的重要因素。杭州市 2010 年水资源量为 190.4 亿 m^3 ,大于蓝色水足迹 126.62 亿 m^3 ,与绿色和蓝色水足迹总和相当,而远小于总的水足迹量(1955.23 亿 m^3),仅占 10%。从蓝水的角度来看,杭州市水资源是足够的,但是从灰水的角度看,杭州市是严重缺水地区。

黑河流域典型地区张掖市水足迹情况与钱塘江流域典型地区杭州市的情况大不相同。从水足迹产生来源看,农产品和动物产品是蓝色水足迹的主要来源,占 88%,而绿色水足迹远大于蓝色水足迹,是其 5 倍;灰色水足迹主要来自于生活污染。2010 年张掖市水资源量为 26.5

表 1 杭州市与张掖市农产品水足迹含量

产品名称	产量/t	杭州/万 m^3			产量/t	张掖/万 m^3		
		绿水	蓝水	灰水		绿水	蓝水	灰水
稻谷	626 331	27 003.86	7 721.58	13 463.57	—	—	—	—
小麦	65 237	7 720.15	75.78	1 903.13	27.7	22 695.86	20 116.51	9 753.12
玉米	93 214	8 231.98	503.61	2 685.43	53.3	31 541.19	12 064.91	16 435.06
其他粮食	217 733	29 324.85	1 031.57	2 564.97	34.6	28 661.65	1 592.13	5 010.11
油料	86 556	11 750.16	0.00	4 040.51	5.9	18 427.99	2 202.72	3 575.42
糖料	149 231	2 393.33	209.02	434.99	4.4	690.12	0.00	564.69
棉花	929	167.90	1.80	54.94	0.4	284.41	498.88	328.62
蔬菜	3 124 381	75 439.72	624.95	41 313.97	107.7	21 638.05	1 742.83	23 222.71
水果	777 113	107 394.08	97.64	29 695.34	0.4	448.04	9.07	190.53
药材	23 306	5 277.95	4.20	966.68	2.39	4 919.91	112.39	1 087.97
其他作物	6 615	6 466.77	200.01	670.32	—	—	—	—
小计	—	281 170.74	10 470.16	97 793.85	—	129 307.22	38 339.46	60 168.23
合计	—	389 434.75			—	227 814.9		

表 2 杭州市与张掖市水足迹与水资源量

(单位: 亿 m³)

名称	杭州水足迹				杭州水资源量	张掖水足迹				张掖水资源量
	绿水	蓝水	灰水	合计		绿水	蓝水	灰水	合计	
农产品	28.12	1.05	9.78	38.95	190.40	12.54	4.62	6.80	23.96	26.5
动物产品	40.89	2.58	5.23	48.7		21.33	1.26	1.65	24.24	
工业		121.35	1 556.26	1 677.61			0.54	6.98	7.52	
生活		1.64	188.33	189.97			0.26	54.91	55.17	
合计	69.01	126.62	1 759.6	1 955.23		33.87	6.68	70.35	110.9	

表 3 杭州市与张掖市三种水足迹比例

名称	杭州水足迹比例				张掖水足迹比例			
	绿水	蓝水	灰水	合计	绿水	蓝水	灰水	合计
农产品比例	72.20%	2.70%	25.11%	1.99%	52.34%	19.28%	28.38%	21.61%
动物产品比例	83.96%	5.30%	10.74%	2.49%	88.00%	5.20%	6.81%	21.86%
工业比例	0%	7.23%	92.77%	85.80%	0%	7.18%	92.82%	6.78%
生活比例	0%	0.86%	99.14%	9.72%	0%	0.47%	99.53%	49.75%
总比例	3.53%	6.48%	89.99%	100%	30.54%	6.02%	63.44%	100%

亿 m³, 远小于绿色和蓝色水足迹之和, 由此可见, 张掖市水资源数量严重不足。张掖市蓝绿色水足迹主要是经济用水产生, 经济用水中绿色水足迹占总量的 60.8%。张掖市水资源问题主要突出表现在水资源量的缺乏上。

1.3 钱塘江流域与黑河流域水资源问题对比分析

根据以上计算结果可知, 钱塘江流域和黑河流域水资源分布不同、耗水产业不同、耗水方式不同, 因此产生的水资源问题也不同。下面针对每个流域进行分析。

1.3.1 钱塘江流域工业造成水质性短缺

钱塘江流域典型地区蓝色水足迹为 126.62 亿 m³, 地区水资源消耗在水资源量 (190.4 亿 m³) 的范围内, 仅蓝水消耗并不会导致水资源危机。但灰色水足迹高达 1759.6 亿 m³, 远超地区的水资源量。表 3 列出了两个地区三种水足迹的比重, 可以清晰地看出两地在用水模式上的差别。

杭州市工业产品水足迹比例最大, 占到 85.8%, 工业用水占绝大部分; 农产品水足迹比例仅占 1.99%, 动物产品水足迹比例为 2.49%, 生活用水占 9.72%, 表明工业用水是钱塘江流域水资源问题的根源。从不同类型的水足迹来看, 绿色足迹比例最高的是动物产品, 其次是农业产品。而蓝色水足迹比例都比较小, 说明当地对于地表和地下等实体水的消耗并不是特别明显, 也不是水资源问题的主要来源。灰色水足迹比例最高, 生活用水占到 99.14%, 工业用水占到 92.77%。灰色水足迹是钱塘江流域主要的水资源问题来源。整体来看, 工业产品水足迹所占比重最大, 而工业产品的三种水足迹中, 灰色水足迹比例最大。这说明区域水资源问题主要来源于工业用水过程中产生的灰色水足迹。

综上, 灰色水足迹造成了流域水资源短缺^[11]。灰色水足迹是消除某种化学物质而使用的水量, 是反映水体

环境的指标。灰色水足迹的存在并不说明水环境受到威胁, 自然状态下存在的灰色水足迹量很小, 并不影响水体环境。但当人类活动逐渐增强, 产生的灰色水足迹大于水资源总量时, 就没有足够的水量来消纳此种化学物质, 这种化学物质就以污染物的身份存在, 使水环境受到威胁。此时灰色水足迹就是反映水体污染程度的指标, 它产生了质的变化。同时会因为大量的灰色水足迹存在而使得水体环境达不到环境标准, 水体水质恶化, 真正可用水量减少, 从而产生水质性水短缺。

1.3.2 黑河流域水量短缺

由黑河流域典型地区水足迹核算结果可知, 仅绿色水足迹就超过了总水资源量, 在水资源总量不足的情况下, 用水结构不合理更加剧了水量短缺问题。张掖市水资源利用结构中, 农业用水占到绝大部分, 农业、工业、生活、生态用水比例为 85 : 2.5 : 2.5 : 10, 形成了农业用水的比重、耗水多、产出低的用水结构。这种用水结构不但效益低, 而且效率低, 造成巨大的水资源浪费, 很多水资源在灌溉过程中散失。同时生态用水不足, 导致生态恶化、水量减少的恶性循环。

由表 3 可以看出, 张掖市水资源问题主要有以下几个特点:

第一, 在经济用水中, 种植业和畜牧业是主要用水来源。农产品和动物产品水足迹总量 (包括畜牧业) 占 43.47%。而对于地区最重要的蓝水来说, 农产品水足迹占整个蓝水水足迹的 70%。农业是主要耗水来源。

第二, 对于地区水资源重要的绿水来说, 所占比例也是比较多的, 占整个水足迹的 30% 以上。在内陆河流域, 气候干旱, 绿水是影响地区水资源的重要因素。如果过多消耗, 会使区域生态环境恶化。

第三, 工业产品水足迹比例最小, 而生活水足迹比例最大, 生活水足迹中灰色水足迹比例较大, 说明此地

区人口增长对于水资源压力非常大。

由以上论述可以看出,张掖市水资源压力来自农业和人口,水资源量的短缺是主要的水资源问题。

2 经济发展模式对流域水资源可持续利用的影响

2.1 钱塘江流域末端治理的工业化路径的水资源影响

浙江经济模式在经济增长意义上是比较成功的,但是从经济增长—水足迹的联系来看,情况可能就不太相同。考虑到经济增长的资源环境约束条件,浙江省的多样性指标是处于持续下降状态的,从1990年的1.3551下降到2006年的1.1617^[12]。钱塘江流域民营经济发达,企业规模较小,污水排放系数大,大量的中小企业都是以消耗资源为代价,特别是浙江一些传统的印染、化工等企业,消耗大量水资源。同时由于规模小、治污成本高,污水一般是简单处理就排放。这种粗放式经济增长方式引起了水资源污染问题。

改革开放以来,浙江省经济一直走在全国前列,但GDP发展模式,导致经济增长过程中重视资本要素而忽略资源环境要素,企业通过对资源环境要素的过度使用而创造利润。由于资源环境要素的公共物品性质,在我国缺乏产权制度保护的情况下,容易形成末端治理型工业化路径,水资源面临“需求量大”、“污染严重”双重压力。

2.2 黑河流域灌溉农业的水资源影响

黑河流域属于干旱半干旱气候,水资源非常短缺。但是由于历史的原因,流域中游张掖市一直是我国重要的粮食基地,新中国成立后进行农田水利设施的大量修建,绿洲农业快速发展。这些水利设施的建设和农业的发展,有利于当时居民生活水平的提高,奠定了地区以农业为主的产业结构。但是灌溉农业为主、灌溉技术水平低及经济的水资源依赖成为当地水资源短缺的重要因素。

黑河是典型的内陆河,水资源成为生活生产的依赖因素,即有水才有绿洲和居民。产业发展的水资源约束度非常高,经济发展对水资源依赖程度大,也就意味着经济规模和水资源规模必须相互匹配。而在当前重视资本要素而忽略资源环境要素的发展模式下,流域经济发展往往以消耗水资源为代价。产业结构、技术水平和自然资源条件共同导致了黑河流域的水资源短缺。

2.3 GDP 导向的水资源配置逆向选择是流域水问题根源所在

比较优势理论是经济学中的重要理论,它描述了地区间贸易形成的原因。当一个地区生产某种商品的成本高于其他区域时,可以通过贸易形式解决地区商品需求;而生产成本相对低的产品与其他区域进行贸易。在GDP导向的经济发展模式下,这种理论对于解释区域分工合作及基于要素禀赋的区域贸易是非常有效的。但当

重复考虑资源要素时,会发现这一理论很难解释要素禀赋比较优势,同时会损害区域间经济社会发展协调。

考虑资源禀赋比较优势,水资源缺乏的地区应该通过购买耗水产品来缓解地区水资源问题,这被称为“虚拟水贸易”^[1]。基于此理论,黑河流域应该是粮食输入区,而钱塘江流域应该是农产品输出区。但实际上虚拟水是倒流的,据统计,2005年甘肃省约44%的农产品是输出的,而浙江省农产品自给率仅43.7%,形成了流域间水资源的“逆向配置”^[13]。这主要是由于在GDP导向的经济发展模式下,资源要素交易不公平,仅基于经济利益比较下形成的水资源逆向配置现象。这种水资源配置模式,更加加剧了流域的水资源问题。缺水地区的大量耗水产品的输入,加剧了当地水资源缺水矛盾,而同时多水地区大量工业占用了雨养农业用的资源,改变了自然水循环过程,使得水生态环境恶化,加剧了当地水生态问题。

3 关于钱塘江流域和黑河流域的水资源管理对策建议

3.1 钱塘江流域水资源管理建议

水质控制。钱塘江流域主要水资源问题是水质性水短缺,进行水质控制是水资源管理的关键。首先应建立一整套的水质监测体系,从排污口到断面水质控制,实施动态化监测管理。特别是对于工业用水的监测,严格遵守污水排放标准。其次是重视污水处理工作,将生活污水集中纳管,进行集中处理。最后是加强水质管理工作,在水资源配置过程中考虑不同水质用途,在排水过程中考虑雨水和污水分离,同时强化再生水的循环利用。

实施产权制度。钱塘江流域在经济发展过程中,重视资本要素而忽略资源环境要素,造成水资源污染问题。只有实施产权制度,在产权明晰的情况下,才能让水资源环境要素进入生产要素,从而达到保护水资源环境要素,避免走末端治理的道路。

资源市场化。首先,在区域内开放水资源交易市场,包括水权交易和排污权交易。鼓励将节约用水者行为的人将结余的水权“水量”投放市场,优化配置水权。排污权方面则鼓励政府回收,从而减少污染。其次,建立完善的资源市场化平台。政府将水权和排污权交易推行市场之后,必须建立起交易平台,出台相关的政策法规,让交易在正常、公平的竞争环境下进行。最后,规定水权和排污权交易细则,保障交易在公平、公正的情况下进行。我国市场机制和国外相比并不十分完善,需要在政府的协助下,规定细则,杜绝出现不合理的价格垄断和买卖垄断等行为。

3.2 黑河流域水资源管理建议

总量控制。黑河流域水资源总量不足是不争的事实,要实现流域可持续发展,必须走总量控制的道路。首先,

在流域层面,根据国家配水方案,不但要实行上、中、下游的总量分水,而且要根据流域生态环境情况,对三生用水量进行总量控制。严格限制高耗水、重污染项目建设,核定工业用水指标和效率指标,建立起用水效率控制体系和水功能区限制纳污体系。

产业结构调整。积极发展节水产业如高新技术产业和第三产业,减少耗水型产业,扩大经济作物或果林等种植面积,减少耗水量大的粮食种植面积。黑河流域大部分水资源都用于农业,而农业产值却是“三产”业中最低的,因此,应通过积极的产业结构调整,使得水流向更高效率的产业,并把节约出来的水用来改善生态环境,引入旅游等清洁产业投资,从而促进经济发展,形成良性循环。

改进节水技术。农业上,除调整种植结构之后,为解决灌溉用水短缺的问题,应大力推广节水型农业。

3.3 改变流域间的虚拟水战略导向

当前的流域水资源管理主要以GDP为导向,致使其在“虚拟水贸易”中显现出较大的战略失误——“虚拟水”由贫水区大量流向了富水区。在经济利益驱使下,南方水资源丰富地区大面积放弃水稻种植而改种经济收益较高的旱作经济作物,致使其水系持续退化;而相对缺水的地区却有大量的虚拟水输出。浙江粮食产量由1979年的1611.30万t下降到2011年的不足600万t,“鱼米之乡”由粮食主产区变成粮食主销区;2007年甘肃省的虚拟水净出口高达24.5亿m³,主要为农产品虚拟水净出口^[14]。可见在这期间,干旱的黑河流域虚拟水生产量的增加远大于虚拟水消费量的增加,而“多出来”的部分则以贸易的形式输送到区外。

事实上,当在富水的钱塘江流域与杭嘉湖地区大量进口粮食,进行虚拟水输入时,钱塘江流域的水田因持续旱作种植而逐渐旱地化,极不利于富水流域水、气、土、田、塘资源涵养,导致目前钱塘江水资源稀缺与水质性稀缺并重发生。同时,在当前比较经济利益导向的水资源管理模式下进行的虚拟水贸易,不仅加剧了干旱流域省份的水资源稀缺性危机,而且使水资源丰富流域因水田大面积减少、池塘废弃而致水土保持系统均衡破坏而产生环境退化,从而导致东西部流域水生态一起恶化。这就是经济增长(GDP)中心导向下的全局性的“双逆向选择”的恶性水管理结果,致使我国东西部流域、富水与缺水区域同时陷入水资源极度稀缺并相互加剧恶化的窘境。

基于此,为解决水资源问题,我国内外流域的虚拟水贸易战略应该是富水地区流向贫水地区。在钱塘江流域以一、二、三次产业并举方式涵养、净化水土,以有利于“鱼米之乡”水、气、土资源系统的整体协调,而黑河干旱区则通过规划最大可能地减少粮食等虚拟水输出,内化水资源培养,提高干旱区水土保持能力,进而向有利于整个国家宏观水土资源协调的方向发展,以有

效解决生态环境退化问题,并通过财政转移支付与价格补助等配套政策来解决其中的利益协调问题^[14]。

参考文献

- [1] 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[J]. 地理学报, 2003, 58(6): 861-869.
- [2] 程国栋. 虚拟水——中国水资源安全战略的新思路[J]. 中国科学院院刊, 2003(4): 260-265.
- [3] ALLAN J A. Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible[C]//Priorities for Water Resources Allocation and Management. London: ODA, 1993.
- [4] HOEKSTRA A Y. Virtual water: an introduction[C]//Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. Values of Water Research Report Series No 12. Delft: IHE, 2003.
- [5] FRANKE N A, BOYACIOGLU H, HOEKSTRA A Y. Grey water footprint accounting: tier 1 supporting guidelines[R]. Value of Water Research Report Series No 65. Delft: UNESCO-IHE Institute for Water Education, 2013.
- [6] HOEKSTRA A Y, CHAPAGAIN A K, ALDAYA M M, et al. Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard[M]. London, UK, Washington, DC, USA: Earthscan, 2011.
- [7] 李玉文, 程怀文, 鲍海君. 浙江省社会经济水循环及水资源管理创新研究[J]. 生态经济, 2013(8): 59-63.
- [8] MEKONNEN M M, HOEKSTRA A Y. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products[R/OL]. Value of Water Research Report Series No. 47. Delft, the Netherlands: UNESCO-IHE, 2010. <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report47-WaterFootprintCrops-Vol1.pdf>.
- [9] MEKONNEN M M, HOEKSTRA A Y. The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products[R]. Value of Water Research Report Series No. 48. Delft, the Netherlands: UNESCO-IHE, 2010.
- [10] 曾昭, 刘俊国. 北京市灰水足迹评价[J]. 自然资源学报, 2013, 28(7): 1169-1178.
- [11] JU X T, XING G X, CHEN X P, et al. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems[J]. Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America, 2009, 106(9): 3041-3046.
- [12] 陈惠雄, 鲍海君. 经济增长、生态足迹与可持续发展能力: 基于浙江省的实证研究[J]. 中国工业经济, 2008(8): 5-14.
- [13] 陈惠雄. 工业化过程中的人地关系演化与生态悖论[J]. 中国工业经济, 2009(8): 26-36.
- [14] 程国栋, 徐中民, 徐进祥. 建立中国国民幸福生活核算体系的构想[J]. 地理学报, 2005, 60(6): 883-893.