

文章编号: 1001-4675(2009)04-0477-06

干旱区社会经济系统水循环研究初探

王勇¹, 肖洪浪¹, 佟玉凤², 王瑞芳³, 邹松兵¹, 陆明峰¹

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所 生态水文与集成流域管理研究重点实验室, 甘肃 兰州 730000;
2. 金川集团公司镍钴研究设计院, 甘肃 金川 737100; 3. 邹城市环境监测保护站, 山东 济宁 273500)

摘要: 在人文作用的驱动下, 水在社会经济系统中不是简单的流动, 而是在不同产业、区域和消费领域之间进行运移和转化。基于对资源流动理论和虚拟水概念的理解, 构建了社会经济系统中虚拟水计算的投入产出方法, 并设计了干旱区社会经济系统水循环研究的基本框架。最后以张掖市为例研究了经济生产中水的流动与转化过程、规律以及效应。结果表明: 张掖市本地经济生产难以消耗外部地区高含水量的农产品, 不能将本地生产对水资源产生的压力通过贸易的形式转移到其他富水地区, 因而缺乏应用虚拟水战略的潜力和能力。

关键词: 社会经济系统; 水循环; 资源流动; 虚拟水; 投入产出; 张掖

中图分类号: P339 **文献标识码:** A

水循环概念为人类剖析水在自然界中运动的规律性提供了一个科学的理论框架, 这一理论框架有效地推动了水文学知识和技术体系的形成, 并一直在人类开发利用水资源和防御洪涝等水灾害的过程中发挥着重要的支撑作用。然而, 长期以来, 由于人类水利活动的中心思想一直是改造和开发自然水系统, 人们只关注水在自然界中的运动过程, 而忽视了由于人类用水所造成水在社会经济系统的运动过程。直到1997年, 英国学者 Merrett 提出了与“Hydrological Cycle”相对应的术语“Hydrosocial Cycle”, 并绘制了简要的社会水循环示意图^[1]。但 Merrett 的研究几乎完全借鉴了城市水循环的概念和框架, 其中最明显的就是将排涝系统放入社会水循环过程中, 这就使得他所提出的社会水循环在内涵上与自然水循环相混淆。随后, 国内学者陈庆秋在研究城市水系统环境可持续评价及其经济调控手段时最先定义了社会水循环, 他认为社会水循环是水在人类社会经济系统的流动过程^[2]。李圭白、张杰等则认为水的社会循环是指在自然水循环过程中, 人类不断地利用其中的地下或地表水资源而产生的人为水循环^[3-4]。陈家琦等认为, 在社会经济发展过程中, 人类活动已从循环路径和循环特性两方面改变了天然状态下的水循环过程, 因此将水在社会经济系统中的运动过程看作为自然水循环的“人工侧支循环”^[5]。贾绍凤等则强调人文因子在水

循环中的作用, 认为社会经济系统水循环是社会经济系统对水资源的开发利用和各种人类活动对水循环的影响, 并指出应该从水环境、水资源安全、水资源的社会经济效用、人类活动对水循环的影响以及水资源可持续管理等方面研究社会经济系统的水循环^[6]。

由于研究的出发点不同, 所提出的与社会经济系统水循环有关的概念及其内涵也有所不同, 但它们的研究对象却局限于物理状态和水资源在取、用、排、回收4个环节及其相关水体之间的简单运动过程。不能反映水在人类社会经济系统中运动的复杂性, 更缺乏水在社会经济系统运动中的形式转化研究。贾绍凤等虽然在研究中着重考虑了人文因素, 但他的研究却局限于自然水循环的人文影响和作用, 缺乏社会经济系统水循环中结构框架、过程以及水量转化等方面的研究^[6]。然而, 从总量平衡和形式转换角度阐明资源流动过程及其规律是资源可持续利用领域的重大科学问题之一^[7]。本文在虚拟水计算与投入产出生命周期分析的基础上, 设计了干旱区社会经济系统水循环框架, 并以张掖市为例研究了经济生产中水的流动、转化过程及其效应。

1 理论基础

1.1 内涵解析

社会生活和经济生产使得资源在产业、消费链

收稿日期: 2008-06-20; 修订日期: 2008-08-18

基金项目: 国家自然科学基金“基于GIS的黑河流域典型植物潜在分布研究”(40801021); 中国科学院西部行动计划“黑河流域水循环与水资源管理研究”(KZCX2-XB2-04-03)资助

作者简介: 王勇(1978-), 男, 山东滨州人, 博士研究生, 主要从事生态经济方面的研究。E-mail: yongw1211@126.com

条以及不同区域之间产生运动、迁移和转化,包括资源在不同地理空间资源势作用下发生的空间位移以及在原态、加工、消费、废弃这一链环运动过程中形态、功能和价值的转化^[8]。英国学者 Allan 首先将农产品生产过程中所消耗的水量定义为虚拟水,并用于研究缺水地区商品贸易中粮食进口的替代水资源供应效用^[9-10]。之后, Hoekstra 对虚拟水概念进一步拓展,将虚拟水理解为以虚拟形式存在于产品或服务中的“嵌入水”^[11]。从科学层次上看,虚拟水概念不仅提供了研究水资源利用、迁移和储存的新手段,而且还使人们认识到在人类活动的作用下,水循环除自然途径外,还存在着另外一种运动方式或机制,即产品和服务流动中的“虚拟水流”^[12-13]。Turton 等在研究虚拟水时指出,以前所研究的水循环过程在内涵上已经不再是单纯的自然水文循环,而是增添了社会经济性质的新含义^[12]。

1.2 研究方法

社会经济系统水循环研究的前提和基础是实现社会经济系统中各种产品和服务虚拟水的量化。目前,国内外研究一般基于彭曼公式,并按生产树或逐级产品投入比例的方法来实现虚拟水的量化^[14]。然而,由于渠系渗漏、蒸发等原因,在干旱区基于彭曼公式计算的农作物虚拟水含量要远小于其实际用水量^[15]。此外,该方法仅能计算有数几种农产品的虚拟水含量,不能计算其他耗水相对较少的工业和服务业产品的虚拟水含量。因此,这种微观上的虚拟水计算方法难以完成社会经济系统水循环中虚拟水的核算。相比之下,基于投入产出模型的产品生命周期分析,则能建立产业链上各产业部门间的依存关系^[16-17]。因此,这里将国民经济行业用水量以实物形式扩展到投入产出表中,形成实物—价值型的水资源投入产出表,并在此基础上构建水资源使用的投入产出分析用于追踪社会经济系统中的“水资源流”。

在投入产出分析中,常将用水系数来表示各产业部门的用水强度。在数值上,部门 i 的直接用水系数 w_i^{d*} 等于该部门生产单位产品所需要使用的物理形态的水资源量。

$$w_i^{d*} = w_i^d / x_i \quad (1)$$

式中: w_i^d 表示部门 i 所使用的物理形态水的数量; x_i 表示部门 i 的产出量。

任何产品在生产过程中除了直接消耗一些物理形态的水外,还需要一定数量各部门的产品作为中间投入,而这些产品在生产时也需要消耗水资源。

虽然这一部分水的消耗发生于其他部门,但却是为满足该部门对中间投入的需求而产生的,所以,也应计入该部门对水资源的总使用^[16]。对于该生产部门来说,这一部分用水就是其间接用水,直接用水与间接用水之和为其完全用水。一个部门的完全用水系数等于该部门增产一单位产品所导致整个经济体系总用水量的增加量。

$$w_j^{i*} = w_j^{d*} + \sum_{i=1}^n w_i^{i*} \cdot a_{ij} \quad (2)$$

式中: w_j^{i*} 表示部门 j 的完全用水系数; a_{ij} 表示在一定技术水平下,部门 j 生产单位产品时对部门 i 产品的直接消耗量,即经济生产的技术系数。

式(2)右端第一项表示部门 j 形成单位产出时的直接用水,第二项则表示生产时引起其他各部门的用水量,即部门 j 单位产出的间接用水量。由 n 个生产部门组成的经济系统就会有 n 个类似于(2)式的数学表达式,分别表示各个产业部门的用水状况。用矩阵形式表示为:

$$W^{i*} = W^{d*} + W^{i*} \cdot A \quad (3)$$

式中: W^{i*} 和 W^{d*} 分别表示完全用水和直接用水系数的行向量; $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ 为经济生产的技术系数矩阵。去掉实体水的使用,并经简单变换,即可得到部门间的水关系矩阵 W^* :

$$W^* = \hat{W}^{d*} \cdot [(I-A)^{-1} - I] \quad (4)$$

式中: \hat{W}^{d*} 是将行向量 W^{d*} 表示成对角矩阵的形式; $(I-A)^{-1}$ 为 Leontief 逆矩阵,其元素 β_{ij} 表示部门 j 生产单位最终使用产品时,对部门 i 产品的完全需求量。

从上述过程来看,基于投入产出分析的部门间水关系的计算,其优势更在于能够揭示经济系统中间接用水发生的原因所在,便于从宏观上核算各产业部门单位产品的虚拟水含量,因而,更适合于社会经济系统水循环研究。

1.3 基本框架

水资源以实体水的形式参与了商品和服务的生产,又以虚拟水的形式参与了商品和服务的加工、销售和消费。图 1 展示了社会经济系统水循环的基本结构和框架,其中,实线表示实体水的流动,虚线表示虚拟水的运移和转化。一个地区社会经济系统中的水循环首先始于这个地区社会生活与经济生产从自然界中的取水和用水。各产业部门将开采的水资源作为生产要素用于产品和服务的生产,物理状态的水就会以虚拟的形式“嵌入”到各个部门的产品中。除一部分产品作为社会经济再生产的中间投入

外,其余部分产品将形成该地区的最终产出,用于本地区社会生活的消费以及参与区域间商品出口贸易。在这个过程中,“嵌入”各部门产品中的虚拟水伴随着产品在社会经济系统中的流动而形成“虚拟水流”。同时,在商品贸易中也有一部分虚拟水随着外部地区产品的输入而流入到本地区的社会生活和经济生产中,并参与本地区的社会经济系统水循环。此外,社会生活和经济生产中产生的污水则需要流入污水处理部门进行处理,其中一部分经处理后可以用于工农业生产,不能再利用的处理水则排入自然环境中。

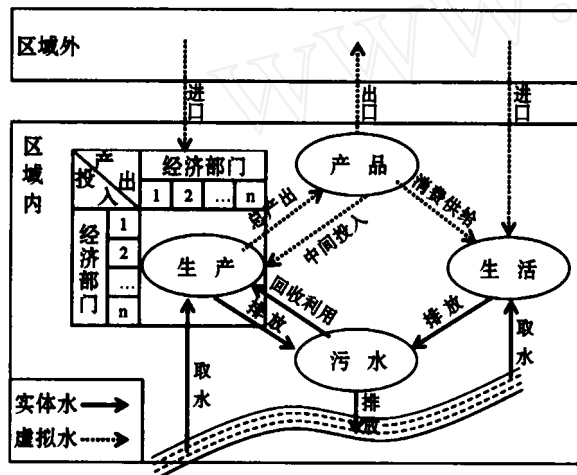


图1 社会经济系统水循环的基本框架
Fig.1 The basic framework of water cycle in socio-economic system

2 实证研究

2.1 研究区概况

张掖市地处黑河中游,总面积 $4.19 \times 10^4 \text{ km}^2$,集中了全流域 95% 的耕地、91% 的人口和 89% 的 GDP,是流域内水资源的主要利用地区。全区人均可用水量 1250 m^3 , $5.37 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,分别为全国平均水平的 57% 和 29%,属典型的资源型缺水地区^[18]。经水资源供需分析,现状平水年时,全区可用水量为 $24.50 \times 10^8 \text{ m}^3$,而国民经济需水总量却为 $26.79 \times 10^8 \text{ m}^3$,缺水 $2.29 \times 10^8 \text{ m}^3$,缺水程度为 8.50%。水资源稀缺已经成为制约该地区社会经济可持续发展的瓶颈^[19]。

2.2 数据来源

投入产出数据来源于文献[20],分部门直接用水量(表1)的原始数据以甘肃省水利厅的《甘肃2002年水资源公报》为准,并参考了2002年张掖市水利处《农田灌溉统计年报》以及环保处《2002年张

掖市环境保护统计报表》中的部分数据。

表1 张掖市2002年各产业部门的直接用水和完全用水
Tab.1 The direct and total water consumptions of the sectors in Zhangye City in 2002

部门	直接用水量 / 10^4 m^3	直接用水系数 / $(\text{m}^3 \cdot 10^{-3} \text{元}^{-1})$	完全用水量 / 10^4 m^3	完全用水系数 / $(\text{m}^3 \cdot 10^{-3} \text{元}^{-1})$
种植业	189 038.00	5 897.59	232 495.12	7 253.36
林业	10 600.25	8 542.04	12 720.96	10 250.98
畜牧业	9 328.95	898.42	32 028.86	3 084.53
渔业	1 551.95	12 942.16	2 024.69	16 884.53
采选业	401.82	54.20	4 838.74	652.68
制造业	3 752.62	92.60	66 079.65	1 630.59
电力业	1 512.74	411.78	3 205.44	872.54
建筑业	501.09	18.40	24 390.71	895.63
运输邮电业	120.81	11.50	6 597.17	628.00
服务业	605.00	17.86	15 362.76	453.58
小计	217 413.22	-	399 744.08	-

2.3 结果与分析

2.3.1 物理状态水资源的使用 主要包括各产业部门的用水量,这是区域水文循环与社会经济系统水循环的衔接点。从计算结果(表1)可以看出,各农业部门的用水量比较高,总量超过 $20 \times 10^8 \text{ m}^3$,相当于张掖市国民经济生产用水总量的 94.66%,远远超过工业部门与服务业部门用水量。结合部门产出,考虑到部门的用水系数后,发现在各农业部门中,渔业部门单位产出的用水量最高,达 $12 942.16 \text{ m}^3/10^4 \text{ 元}$,这与该类部门的生产特性,即对水依赖程度大有关;而直接用水量最多的种植业,虽然其用水量占到国民经济总用水的 85.01%,但是较高的部门产出使其单位产出的用水量相对较低;与此相比,一些部门,如林业,因其产出量很低,仅占社会总产值的 0.74%,造成单位产出的用水量非常高,仅次于渔业部门。此外,相对于农业部门,各工业和服务业部门单位产出的直接用水量仍然较低,低于 $100 \text{ m}^3/10^4 \text{ 元}$,说明它们的用水效率较高,这就意味着一些工业部门,如制造业,具有相对较高直接用水量的原因是其生产规模大,且拥有高的部门产出。

2.3.2 生产部门间的虚拟水流动 尽管运输邮电业、建筑业、服务业和制造业等非农业部门的用水系数不大,但是结合各部门直接和完全用水情况,发现这些部门生产所引起的整个经济系统耗水量却要远远超过其生产中的直接用水量。由表1可知,上述产业部门的间接用水系数分别为其直接用水系数的 53.61,47.68,24.39 倍和 16.61 倍,而对于种植业、林业、畜牧业和渔业等农业部门,这个比率则分别仅

为0.23,0.20,2.43和0.30。对比表明,运输邮电业、建筑业、服务业和制造业等部门具有较强的间接耗水能力。

基于公式(4)计算出的各产业部门间水关系矩阵(表2)能反映某一部门与其他各生产部门的虚拟水流动关系。矩阵各列上的数值表示某一生产部门增产单位产品时引起其他各经济部门用水的增加量,各列之和就是该部门的间接用水系数;各行仅能表示某一部门与其他各生产部门的间接水关系。

从整体看,矩阵中数量较大的数据主要集中在农业、制造业和电力业部门,其中种植业数据量最大,均在 $200\text{ m}^3/10^4$ 元以上。一方面表明各产业部门的经济生产均能间接引起种植业的大量耗水;另

一方面也说明种植业在生产过程中虽然直接消耗了大量自然形态的水,但是当这些水嵌入产品后,却随着对各经济部门的中间投入而广泛地流入到经济系统中。具体来看,对于间接耗水能力较强的建筑业、制造业、运输邮电业和服务业等来说,间接消耗的水资源主要来自于种植业、畜牧业、电力业和制造业等产品,而其中的制造业和服务业等产业部门间接消耗的水资源主要来自种植业等农业部门产品。综合以上分析,不难发现农业是张掖市整个经济生产的基础部门,而间接用水较高的工业和服务业的生产大多是依靠当地丰富的种植业和畜牧业产品的投入来发展的。因此,张掖市经济生产给水资源带来的压力最终是通过农业部门施加给水资源的。

表2 张掖市各产业部门间的水关系矩阵

Tab.2 The matrix of water relations among the sectors in Zhangye City $/(m^3 \cdot 10^{-4} \text{元}^{-1})$

	种植业	林业	畜牧业	渔业	采掘业	制造业	电力业	建筑业	运输邮电业	服务业
种植业	1 201.80	275.76	2 092.64	3 121.45	352.91	1 307.38	233.86	647.55	453.76	277.31
林业	9.34	1377.36	7.65	48.38	7.32	10.68	3.31	6.37	6.70	12.75
畜牧业	90.94	8.49	40.21	44.99	14.66	55.89	9.89	26.47	19.15	12.06
渔业	4.28	6.44	4.72	658.37	15.03	12.92	8.34	11.83	14.75	55.22
采掘业	1.11	0.99	0.90	1.41	13.26	5.19	6.87	7.31	2.89	1.93
制造业	20.33	18.00	19.63	26.41	35.69	52.08	24.64	66.41	43.85	25.06
电力业	25.13	18.29	17.52	36.93	149.84	85.69	167.55	101.72	63.75	42.27
建筑业	0.75	0.53	0.52	0.81	1.81	1.61	2.18	3.44	3.23	3.18
运输邮电业	0.36	0.45	0.40	0.67	1.83	1.27	0.71	1.31	2.40	1.29
服务业	1.74	2.63	1.92	2.95	6.13	5.27	3.40	4.82	6.02	4.65
合计	1 355.77	1 708.94	2 186.11	3 942.37	598.48	1 537.99	460.76	877.23	616.50	435.72

表3 张掖市2002年商品贸易与虚拟水流动

Tab.3 The commodity trade and virtual water flow in Zhangye City in 2002

部门	商品/ 10^4 元			虚拟水/ 10^4 m^3		
	输出量	输入量	净输出量	输出量	输入量	净输出量
种植业	117 984.60	1 205.00	116 779.60	85 578.52	874.03	84 704.49
林业	2 275.80	3 817.65	-1 541.85	2 332.92	3 913.47	-1 580.55
畜牧业	38 096.43	9 315.71	28 780.72	11 750.97	2 873.46	8 877.51
渔业	540.00	7 739.81	-7 199.81	911.76	13 068.30	-12 156.54
采掘业	21 014.59	13 958.20	7 056.39	1 371.59	911.03	460.56
制造业	28 516.00	164 230.00	-135 714.00	4 649.78	26 779.11	-22 129.33
电力业	0.00	87 716.99	-87 716.99	0.00	7 653.63	-7 653.63
建筑业	86 890.68	98 282.86	-11 392.18	7 782.20	8 802.51	-1 020.32
运输邮电业	25 135.13	11 163.25	13 971.88	1 578.49	701.06	877.44
服务业	54 979.23	87 677.52	-32 698.29	2 493.73	3 976.85	-1 483.12
合计	375 432.46	485 106.99	-109 674.53	118 449.96	69 553.45	48 896.51

2.3.3 地区间的虚拟水贸易 区域贸易使得一个地区商品的生产和消费相分离。因此,间接耗水既可以发生在本地经济系统中,也可以通过进口(产

品输入)转移到外地经济系统中。通过对各产业部门间水关系矩阵的分析来看,张掖市发达的种植业与畜牧业通过水资源这种干旱区最重要的生产要素

与工业和服务业建立了较强的联系,使得外地农产品难以进入张掖市,从而造成张掖市难以从外地输入高含水农产品的条件和潜力,也就不能将经济生产对水资源产生的压力通过贸易的形式转嫁到其他富水地区。相反,作为甘肃省重要的商品粮生产基地,张掖市输出的主要是种植业、畜牧业等直接和完全耗水强度大的产品,相当数量水资源随商品以虚拟水的形式进入全国市场,但是输入的则主要是制造业、电力业、服务业和建筑业等虚拟水含量相对较少的产品。

表3给出了张掖市2002年各产业部门商品的输入、输出以及根据完全用水系数计算出的商品贸易中虚拟水的流动情况。从表3可以看出,虽然是商品净输入地区,但因特殊的贸易结构,张掖市2002年的虚拟水净输出量为 $48\ 896.51 \times 10^4 \text{ m}^3$,其数量巨大而且通常难以为人们所认识。对于水资源本来就十分短缺的张掖市,大量水资源密集型农产品的输出必然进一步加剧其水资源的稀缺程度。

对于以上计算结果,需要说明的是在这里采用了张掖市各产业部门的完全用水系数估算了进口商品的虚拟水含量。尽管本地区可能并不生产该产品或服务,甚至由于其他条件的制约根本无法生产,但对考虑采用进口替代和解决区域水资源短缺问题的决策者来说,该种计算方法非常重要,因为采用进口替代能节约水资源的数量并能缓解本地区水资源短缺的程度。

3 结语

水资源是干旱区社会生活和经济生产中最重要基本要素和战略资源^[19]。研究干旱区社会经济系统水循环不仅是为了量化社会经济系统中水的流动和转化过程,更是为了揭示一定时空范围内水资源和社会经济之间相互作用的内在机理,找到干旱区水资源利用环节中的症结所在。由于污水数据的限制,这里仅以张掖市为例研究了经济生产中水的使用、流动、转化过程和效应。结果表明,研究区部门间的水关系以及与外部地区的商品贸易,决定了当地经济生产对水资源产生的压力,不仅难以通过贸易的形式转移到其他富水地区,反而使得大量水资源以虚拟水的形式随商品流向外地,这直接加剧了该地区水资源的短缺。因此,尽管虚拟水战略为解决干旱区水资源短缺问题提供了新的思路,但并不是所有的缺水地区都有应用虚拟水战略的机会和

能力^[14]。

作为甘肃省重要的商品粮生产基地,张掖应充分考虑利用当地粮食库存较多的有利条件,对退耕还林(草)地区的农民给予一定的钱粮补贴,以加强退耕还林(草)工程建设,降低粮食生产水平,并推动经济结构的转型和优化。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,降低生产用水以储备生态用水^[10]。对于干旱地区而言,这实际上就是虚拟水战略的运用。

参考文献(References):

- [1] 陈庆秋,陈晓宏. 基于社会水循环概念的水资源管理理论探讨[J]. 地域研究与开发, 2004, 23(3): 109 - 113. [Chen Qingqiu, Chen Xiaohong. Study on the theory of water resources governance in the light of the concept of social water cycle[J]. Areal Research and Development, 2004, 23(3): 109 - 113.]
- [2] 陈庆秋. 面向二十一世纪的中国水战略[J/OL]. http://www.cws.net.cn/cwsnews/r_w_c/991201-CQQ.html. 1999. [Chen Qingqiu. Considering Chinese water strategy facing the 21st century[J/OL]. http://www.cws.net.cn/cwsnews/r_w_c/991201-CQQ.html. 1999.]
- [3] 李圭白,李星. 水的良性社会循环与城市水资源[J]. 中国工程科学, 2001, 3(6): 37 - 40. [Li Guibai, Li Xing. The good social cycle of water and the city water resource[J]. Engineering Science, 2001, 3(6): 37 - 40.]
- [4] 张杰,熊必永. 城市水系统健康循环的实施策略[J]. 北京工业大学学报, 2004, 30(2): 185 - 189. [Zhang Jie, Xiong Biyong. The implementation strategy for urban healthy water cycle[J]. Journal of Beijing Polytechnic University, 2004, 30(2): 185 - 189.]
- [5] 陈家琦,王浩,杨小柳. 水资源学[M]. 北京:科学出版社, 2002. [Chen Jiaqi, Wang Hao, Yang Xiaoliu. Water Resources[M]. Beijing: Science Press, 2002.]
- [6] 贾绍凤,王国,夏军,等. 社会经济系统水循环研究进展[J]. 地理学报, 2003, 58(2): 255 - 262. [Jia Shaofeng, Wang Guo, Xia Jun, et al. Research progress in socio-economic water cycle[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(2): 255 - 262.]
- [7] 成升魁,沈镛,闵庆文,等. 资源科学研究的新视角——自然资源流动过程的研究[J]. 资源科学, 2006, 28(2): 199 - 200. [Cheng Shengkui, Shen Lei, Min Qingwen, et al. A new perspective of resources research—Processes study of resources flow[J]. Resources Science, 2006, 28(2): 199 - 200.]
- [8] Suh S. Theory of materials and energy flow analysis in ecology and economics[J]. Ecological Modelling, 2005(4), 189: 251 - 269.
- [9] Allan J A, Olmsted J C. Politics, economics and (virtual) water: A discursive analysis of water policies in the Middle East and North Africa[J]. Research in Middle East Economics, 2003, 5: 53 - 78.
- [10] 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, 18(4): 260 - 265. [Cheng Guodong. Virtual water—A strategic instrument to achieve water security[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2003, 18(4): 260 - 265.]

- tin of the Chinese Academy of Sciences, 2003, 18(4): 260 - 265.]
- [11] Hoekstra A Y. Virtual water trade: Proceedings of the international expert meeting on virtual water trade. Value of Water Research Report Series No. 12[R]. Netherlands: IHE Delft, 2003.
- [12] 刘宝勤, 封志明, 姚治君. 虚拟水研究的理论、方法及其主要进展[J]. 资源科学, 2006, 28(1): 120 - 127. [Liu Baoqin, Feng Zhiming, Yao Zhijun. Theory, method and progress on virtual water research[J]. Resources Science, 2006, 28(1): 120 - 127.]
- [13] 龙爱华, 徐中民, 张志强. 虚拟水理论方法与西北4省(区)虚拟水实证研究[J]. 地球科学进展, 2004, 19(4): 577 - 584. [Long Aihua, Xu Zhongmin, Zhang Zhiqiang. Theory and method of virtual water: a case study of Northwest China[J]. Advance in Earth Sciences, 2004, 19(4): 577 - 584.]
- [14] 龙爱华. 水资源帐户与社会化管理研究——以黑河流域张掖市为例[D]. 兰州: 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 2004. [Long Aihua. Study on water resource accounting and socialization management—Take Zhangye prefecture in Heihe Watershed as a case[D]. Lanzhou: Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, 2004.]
- [15] 黄晓荣, 裴源生, 梁川. 宁夏虚拟水贸易计算的投入产出方法[J]. 水科学进展, 2005, 27(3): 135 - 139. [Huang Xiaorong, Pei Yuansheng, Liang Chuan. Input-output method for calculating the virtual water trading in Ningxia[J]. Advances in Water Science, 2005, 27(3): 135 - 139.]
- [16] Velázquez E. An input-output model of water consumption: Analysing intersectoral water relationships in Andalusia[J]. Ecological Economics, 2005, 56(2): 226 - 240.
- [17] Tomohiro O, Masataka W, Xu Kaiqin. Analysis of water demand and water pollutant discharge using a regional input-output table: An application to the city of Chongqing, upstream of the three Gorges Dam in China[J]. Ecological Economics, 2006, 5(2): 221 - 237.
- [18] 刘洪兰, 张俊国, 董安祥, 等. 张掖市水资源利用现状及未来趋势预测[J]. 干旱区研究, 2008, 25(1): 35 - 40. [Liu Honglan, Zhang Junguo, Dong Anxiang, et al. Analysis on the actuality of water resources utilization and its future prediction in Zhangye City, Gansu Province[J]. Arid Zone Research, 2008, 25(1): 35 - 40.]
- [19] 肖洪浪, 程国栋. 黑河流域水问题与水管理的初步研究[J]. 中国沙漠, 2006, 26(1): 1 - 5. [Xiao Honglang, Cheng Guodong. Water issue and management at basin level in Heihe River, Northwestern China[J]. Journal of Desert Research, 2006, 26(1): 1 - 5.]
- [20] 陈东景. 环境经济综合核算的理论与实践[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2005. [Chen Dongjing. The Theory and Practice of the System of Integrated Environmental and Economic Accounting [M]. Zhengzhou: Yellow River Water Conservation Publication, 2005.]

Preliminary Study on Socio-economic Water Cycle at Arid Regions

WANG Yong¹, XIAO Hong-lang¹, TONG Yu-feng², WANG Rui-fang³, ZOU Song-bing¹, LU Ming-feng¹

(1. Key Laboratory of Ecohydrology and Integrated River Basin Science, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;
2. Jinchuan Ni&Go Research and Engineering Institute, Jinchuan 737100, China;
3. Zoucheng Environmental Monition and Protection Station, Jining 273500, China)

Abstract: Driven by human activities, the water movement in socioeconomic system is not a simple flow in physical sense, but water is transferred and transformed with products and services among different industries, regions and consumers in virtual sense. Based on understanding the resources flow theory and virtual water concept, in this paper an extended input-output model is developed to calculate the volume of virtual water in the water cycle in socioeconomic system, and a basic framework of water cycle in socioeconomic system at drainage-basin scale is designed. The method is applied to analyze the processes and effects of water transferring and conversion in the economic system in Zhangye City. The results show that it is difficult to get external water resources for producing framing products in Zhangye City although this city suffers from a serious shortage of water, that means the high pressure of shortage of water resources in Zhangye City can not be transferred through merchandise trade with the external regions where water resources are abundant, so it is short of potential and capability in Zhangye City to utilize virtual water. As an important base for commercial food production in Gansu Province, the grain reserves in Zhangye City are high. Therefore, it is suggested to strengthen the construction of the project of returning land for farming to afforesting and grass-plot, reduce the crop-growing area, and optimize the economic structure in Zhangye City.

Key words: socioeconomic system; water cycle; resources flow; virtual water; input and output.