

基于多区域投入产出的我国省区虚拟水流动格局研究

吴兆丹^{1,2,3}, 赵敏⁴, Upmanu LALL³

(1. 河海大学企业管理学院, 江苏常州 213022; 2. 江苏省“世界水谷”与水生态文明协同创新中心, 江苏南京 211100;
3. 哥伦比亚大学水中心, 美国纽约 10027; 4. 河海大学商学院, 江苏南京 211100)

摘要:分析省区虚拟水流动格局有利于我国特色水安全保障体系的构建。细分我国30个省区(不涉及西藏)及42个经济部门,采用多区域投入产出法分析各省区虚拟水流动的空间、部门、需求格局,指出我国在实施虚拟水战略中,应重点提高新疆、黑龙江等虚拟水流出、净流出较高省区的生产用水效率;加强改善山东等虚拟水流入、净流入较高省区的消费习惯,重点调整城镇、农村居民消费等虚拟水流动主要需求,结合虚拟水主要来源,合理调整其贸易结构。两方面调整中均应对农林牧渔业、食品制造及烟草加工业等虚拟水流动主要部门予以侧重。

关键词:虚拟水流动;虚拟水战略;用水管理;多区域投入产出分析

中图分类号:TV213

文献标志码:A

文章编号:1671-4970(2016)06-0062-08

一、引言

虚拟水及虚拟水贸易理论^[1]的提出为解决我国水资源安全问题提供了新思路,虚拟水战略是当前构建中国特色水安全保障体系的途径之一。剖析我国各地区虚拟水流动情况是构建特色水安全保障体系中实施虚拟水战略的基础,有利于识别急需调整用水的地区、部门与需求种类,可为各地区解决产业结构调整中节水问题、环境规制问题等提供依据,并可结合地区用水需求,作为跨区域实体水调配规划的依据。

当前国外对虚拟水流动的研究主要有两种:一是以地区农产品虚拟水代替地区虚拟水,该类研究采用自下而上法^[2-6];二是结合多种经济部门研究虚拟水流动,此研究多采用自上而下法^[7-8]。与国外研究类似,我国地区虚拟水流动研究也可分为上述两种研究内容:一方面,基于数据可得性,以地区农产品虚拟水代替地区虚拟水研究一般不涉及虚拟水流动的需求格局^[9-10],其中部分学者针对我国几大区域的虚拟水流动情况进行分析^[11-15],而针对省区进行农产品虚拟水流动的研究相对较少,且由于数据可得性较低,该类研究多不区分具体流

向^[16-18]。另一方面,基于方法的适用性和可行性,结合多种经济部门研究我国地区虚拟水流动的学者大都采用多区域投入产出法或区域间投入产出法,且多合并投入产出表中的经济部门^[19-20],从而在一定程度上降低了计算结果的准确性和实用性,如部分研究以区域为空间尺度^[19-20],以省区为空间尺度的研究相对较少;针对省区研究中较少有对虚拟水流出、流入、净流动的空间分布与部门结构以及虚拟水流动需求结构的系统分析^[21-22],而该系统分析可更全面展现我国省区虚拟水流动中的主要地区、主要部门及主要需求。

为此,笔者首先细分我国42个经济部门以及30个省区(由于缺乏西藏相关数据,且西藏经济规模较小,将不涉及西藏),然后采用多区域投入产出法系统分析各省区虚拟水流动的空间、部门、需求格局,试图弥补已有研究的缺陷并具有一定创新价值。

二、模型构建及数据来源

1. 我国省区虚拟水流动模型的构建

(1) 构建思路

各省区虚拟水流动包括省区间流动、出口、进口3部分^[23]。一方面,为了更为准确地反映各省区产

收稿日期:2016-04-12

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41401634);江苏高校哲学社会科学研究基金项目(2014SJD061)

作者简介:吴兆丹(1988—),女,安徽桐城人,副教授,从事水资源经济及管理研究。

品生产中实际消耗的水资源量,并使得省区间流动的虚拟水在消费地的消费量与在生产地的生产量相一致,按照产品在实际生产地而非消费地的虚拟水强度计算省区间虚拟水流量。另一方面,由于未知我国各进口产品在其各来源国的直接用水系数,且以该产品国内虚拟水强度替代其原产国虚拟水强度所得到的虚拟水量,可反映我国进口这些产品或服务而非自身生产所节约的水资源量,因此笔者采用该替代方法得到进口产品的虚拟水强度。省区虚拟水进口主要通过两条路径流入,省区虚拟水进口量为两路径流量之和:第一,从外国先流至外省区,再由外省区流至本省区;第二,从外国直接流至本省区。于是假设对于由第一条路径流入该省区的各部门进口产品,其虚拟水强度等于该外省区(即中转省区)的对应部门虚拟水强度,对于由第二条路径流入该省区的各部门进口产品,其虚拟水强度等于我国该部门虚拟水强度的平均水平。

结合上述省区虚拟水进口的两路径,两省区间的虚拟水流动包括两部分:一是基于进口—省区间流入非竞争型投入产出表省间商品流动情况所得到的不含进口部分的省间虚拟水流动;二是基于单独核算的进口商品省间流动情况所得到的进口部分省间虚拟水流动。由于第二部分的虚拟水实际上源于外国,因此将省区间虚拟水流动界定为上述省区间流动中第一部分,而第二部分则计入虚拟水进口量。

(2) 我国省区虚拟水流动估算模型

将各省区各部门的直接用水量除以该省区该部门总产出,得到该省区该部门直接用水系数,即:

$$f_i^m = \frac{WC_i^m}{X_i^m} \quad (1)$$

式中 f_i^m 表示 m 省 i 部门的直接用水系数; WC_i^m 表示 m 省 i 部门的直接用水量; X_i^m 表示 m 省 i 部门的总产出; $i = 1, 2, \dots, 42$ 。

$$A^* = \begin{bmatrix} A^1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & A^{30} \end{bmatrix}$$

$$A^m = \begin{bmatrix} a_{1,1}^m & \dots & a_{1,42}^m \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{42,1}^m & \dots & a_{42,42}^m \end{bmatrix}$$

其中 A^* 为 $(1\ 260 \times 1\ 260)$ 的矩阵; A^m 为 m 省的直接投入系数,是 (42×42) 的矩阵; $a_{i,j}^m$ 为 m 省生产单位 j 部门产品所直接消耗的 i 部门产品, $j = 1, 2, \dots, 42$ 。

m 省完全用水系数为:

$$\delta^m = f^m (I - A^m)^{-1} \quad (2)$$

式中 $f^m = [f_1^m \ f_2^m \ \dots \ f_{42}^m]$; I 是 (42×42) 的单位矩阵; f^m 与 δ^m 均为 (1×42) 的行矩阵。

$f^{1*} = [f^1 \ 0 \ \dots \ 0]$, $f^{2*} = [0 \ f^2 \ \dots \ 0]$, $\dots$, $f^{30*} = [0 \ 0 \ \dots \ f^{30}]$, 其中 0 均为 (1×42) 的行矩阵。

$$T = \begin{bmatrix} T^{1,1} & \dots & T^{1,30} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ T^{30,1} & \dots & T^{30,30} \end{bmatrix}$$

$$T^{mn} = \begin{bmatrix} t_1^{mn} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & t_{42}^{mn} \end{bmatrix}$$

其中 T 为区域间贸易系数矩阵 $(1\ 260 \times 1\ 260)$; t_i^{mn} 是 m 省流至 n 省的 i 部门流量除以 n 省 i 部门的省间流入量的值。

$$L^* = (I - TA^*)^{-1} \quad (3)$$

式中 $L^* = \begin{bmatrix} L^{1,1} & \dots & L^{1,30} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ L^{30,1} & \dots & L^{30,30} \end{bmatrix}$; I 为单位矩阵; $L^{m,n}$

表示为实现目的省 n 每单位元最终需求所需要的运输省 m 的总投入; I, L^* 均为 $(1\ 260 \times 1\ 260)$ 的矩阵, $L^{m,n}$ 为 (42×42) 的矩阵。

① m 省流至 n 省的虚拟水量

$$VWF^{m,n} = |f^{m*} L^* (R^n + U^n + G^n + FC^n + IN^n)| \quad (4)$$

式中 $R^n, U^n, G^n, FC^n, IN^n$ 分别是我国多区域投入产出表中农村居民消费支出矩阵 R 、城镇居民消费支出矩阵 U 、政府消费支出矩阵 G 、固定资本形成总额矩阵 FC 、存货增加矩阵 IN 的第 n 列,表示 n 省对应的各种国内最终需求矩阵,且均为 $(1\ 260 \times 1)$ 的矩阵。

② n 省虚拟水出口量

$$VWE^n = |\delta^n E^n| \quad (5)$$

式中 E^n 即为我国多区域投入产出表中 n 省的出口向量,为 (42×1) 的矩阵。

③ n 省虚拟水进口量

考虑各省区进口的虚拟水流入该省区的两条路径,首先估算各省区通过该两条路径流入的各部门产品进口量,然后估计这些产品中所包含的虚拟水量,进而得到各省区各部门的虚拟水进口量。构建进口产品多区域投入产出模型:第一步,构建进口产品使用矩阵,假设我国各省区进口产品的使用结构与全国平均水平相同,且均由国家信息中心编制的“2007 年中国进口产品使用结构矩阵”表示,进口产品的区域间贸易系数矩阵与国产品该矩阵相同。第二步,构建进口产品多区域投入产出模型,基于多区域投入产出原理构建模型。

接下来计算各省区虚拟水进口量。第一步,计算由外国先流至外省区再流至本省区的虚拟水进口量。由外国先流至 m 省再流至 n 省的虚拟水进口量可以表示为 $PWM^{m,n}$ ($m \neq n$):

$$PWM^{m,n} = |f^{m*} L_M^* M_{FD}^{n*}| \quad (6)$$

式中 L_M^* 为 L^* 计算公式(3)中以我国进口产品使用结构矩阵前 42 列所构成矩阵 A_M^* 代替 A^* 计算得到的矩阵; M_{FD}^{n*} 为进口产品区域间投入产出表中 n 省国内最终需求产品的省区间流入。因此,由外国先流至外省区再流至 n 省的虚拟水量为:

$$PWM^n = \sum_{m \neq n} PWM^{m,n} \quad (7)$$

第二步,计算由外国直接流至本省区的虚拟水进口量。由外国直接流至本省区的虚拟水进口量为:

$$FWM^n = |f^N(I - A^n)FI_{FD,M}^n| \quad (8)$$

式中 f^N 为全国直接用水系数; A^n 为 n 省的直接投入系数; $FI_{FD,M}^n$ 为进口产品 MRIO 表中行为中间投入的 n 省 42 经济部门,列为 n 省国内最终需求所对应矩阵的列向量之和。

第三步,计算各省区虚拟水进口量。 n 省虚拟水进口量为:

$$VWM^n = PWM^n + FWM^n \quad (9)$$

④ n 省虚拟水流量

n 省虚拟水流出量为:

$$VWO^n = \sum_{n \neq m} VWF^{n,m} + VWE^n \quad (10)$$

n 省虚拟水流入量为:

$$VWI^n = \sum_{m \neq n} VWF^{m,n} + VWM^n \quad (11)$$

n 省虚拟水净流量为:

$$VWNO^n = VWO^n - VWI^n \quad (12)$$

当 $VWNO^n > 0$ 时, n 省虚拟水呈净流出,净流出量为 $VWNO^n$; 当 $VWNO^n = 0$ 时, n 省虚拟水流出与流入平衡,净流量为 0; 当 $VWNO^n < 0$ 时, n 省虚拟水呈净流入,净流入量为 $|VWNO^n|$ 。

(3) 我国省区分部门虚拟水流动估算

依据式(4)至(9)并将 R^n 、 U^n 、 G^n 、 FC^n 、 IN^n 、 E^n 、 M_{FD}^{n*} 、 $FI_{FD,M}^n$ 中与 i 部门对应的元素保留,其余元素均设为 0,可得到 m 省流至 n 省的 i 部门虚拟水量、 n 省 i 部门虚拟水出口量、 n 省 i 部门虚拟水进口量。将式(10)至(12)中的 m 省流至 n 省的虚拟水量、 n 省虚拟水出口量、 n 省虚拟水进口量对应换成 m 省流至 n 省的 i 部门虚拟水量、 n 省 i 部门虚拟水出口量、 n 省 i 部门虚拟水进口量,可分别得到 n 省 i 部门的虚拟水流出量、流入量及净流出量。

(4) 我国省区分需求虚拟水流动估算

m 省流至 n 省的虚拟水中,用于 n 省各种最终需求的量计算如下:

$$VWF_R^{m,n} = |f^{m*} L^* R^n| \quad (13)$$

$$VWF_U^{m,n} = |f^{m*} L^* U^n| \quad (14)$$

$$VWF_G^{m,n} = |f^{m*} L^* G^n| \quad (15)$$

$$VWF_{FC}^{m,n} = |f^{m*} L^* FC^n| \quad (16)$$

$$VWF_{IN}^{m,n} = |f^{m*} L^* IN^n| \quad (17)$$

式中 $VWF_R^{m,n}$ 、 $VWF_U^{m,n}$ 、 $VWF_G^{m,n}$ 、 $VWF_{FC}^{m,n}$ 、 $VWF_{IN}^{m,n}$ 为 m 省流至 n 省用于 n 省农村居民消费、城镇居民消费、政府消费、固定资本形成、存货增加的虚拟水量。依据式(13)至(17)并将 R^n 、 U^n 、 G^n 、 FC^n 、 IN^n 中与 i 部门对应的元素保留,其余元素均设为 0,可得到 m 省流至 n 省的虚拟水中,用于 n 省对应最终需求的 i 部门虚拟水量。

2. 数据来源说明

与多区域投入产出表年份对应,模型中其他指标值选用 2007 年对应数据,且由于地区要素禀赋变化小,部分产业技术改进尚不彻底,市场机制、金融体制仍不完善等原因,自 2007 年以来我国地区生产总值的部门结构、贸易结构以及产品生产用水量变化仍相对较小^[24-25],根据 2007 年数据所得到的省区虚拟水流动格局对当前现状仍具一定参考意义,因此其他指标将选用 2007 年对应数据。

三、模型估算结果

1. 我国省区虚拟水流动空间格局

(1) 我国总体虚拟水流动空间格局

据估算,我国 30 省区总虚拟水出口量为 1 877.43 亿 m^3 ,总虚拟水进口量为 1 703.74 亿 m^3 ,净出口 173.69 亿 m^3 。

(2) 我国省区虚拟水流量空间格局

各省区虚拟水流出量及其中出口与流向其他省区的虚拟水量、流入量及其中进口与源自其他省区的虚拟水量、虚拟水净流量情况如图 1 所示。

第一,省区虚拟水流出量空间格局。广东的虚拟水流出量最大,为 777.77 亿 m^3 ,其次是新疆和黑龙江;虚拟水流出量最小的省区有天津、北京、四川。分析各省区虚拟水流出量中的出口量和流向国内其他省区的虚拟水量,30 省区中广东、上海、江苏虚拟水出口量最高,广东对应量为 681.45 亿 m^3 ,而青海、江西、山西虚拟水出口量最低;各省区流向国内其他省区的虚拟水量中,最高的为黑龙江、新疆、宁夏,黑龙江该虚拟水量为 477.84 亿 m^3 ,最低的为北京、天津、四川。除了河北、上海、江苏、广东虚拟水出口量高于对应省区流向国内其他省区的虚拟水量外,其余各省区虚拟水流出均主要流向国内其他省区。

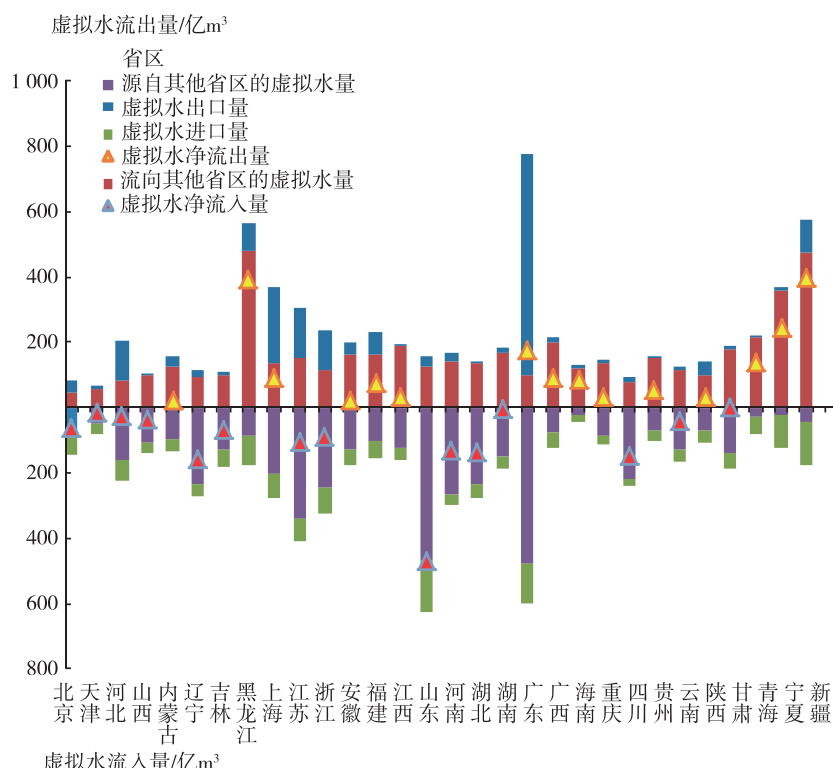


图1 2007年我国省区虚拟水流量空间格局

第二,省区虚拟水流入量空间格局。山东的虚拟水流入量最大(628.47 亿 m^3),其次是广东和江苏;海南、宁夏、北京虚拟水流入量最小,海南对应值仅为山东的 6.96%。估算各省区虚拟水流入中的进口量和源自国内其他省区的虚拟水流入量,其中山东、新疆、广东虚拟水进口量高于其他省区;四川、海南、重庆虚拟水进口量则在 30 省区对应值中最低,四川对应值是山东的 13.08%;各省区源自国内其他省区的虚拟水流入中,广东、山东、江苏对应值最高;海南、宁夏、青海该流入量最低,青海对应值仅为山东的 5.62%。海南、青海、宁夏、新疆虚拟水进口量高于对应省区流向国内其他省区的虚拟水量,其余 26 省区虚拟水流入均主要源自国内其他省区,其中四川、河南、辽宁源自国内其他省区的虚拟水流入量在虚拟水流入中占比高于其他省区

第三,省区虚拟水净流量空间格局。30 省区中有 15 个省区的虚拟水呈净流出,其中新疆、黑龙江、宁夏的虚拟水净流出量最高,新疆对应值为 398.72 亿 m^3 ,是该 15 省区虚拟水净流出最低值(内蒙古)的 20.03 倍;北京、天津、河北等省区虚拟水呈净流入,其中山东虚拟水净流入量最大,为 471.21 亿 m^3 ,是仅次于的辽宁对应净流入量的 2.97 倍。甘肃虚拟水流入量与流出量差异非常小,净流入量仅为 0.25 亿 m^3 ;湖南虚拟水净流入量仅高于甘肃,为 5.38 亿 m^3 。

(3) 我国省区虚拟水流向空间格局

据估算结果可得我国 30 省区两两间虚拟水双向流动情况,结合省区虚拟水进出口情况,比较各省区的外国及国内其他各省区共 30 种去向和来源分别对应的虚拟水流量,可列出各省区虚拟水主要去向及来源(表 1)。

第一,省区虚拟水主要去向。除山西、江西、湖北、广西、贵州、云南、甘肃、青海、宁夏等 9 省区外,其他省区虚拟水出口量均在其 30 种去向对应虚拟水流量中位居前 4。山东、广东也是大多数省区虚拟水流出的主要去向,其中甘肃、青海、宁夏等 3 省区流至山东的虚拟水量在其虚拟水流出中占比高于其他去向虚拟水量对应比重。广东则是福建、海南虚拟水流出的最主要去向,是江西、甘肃、青海、宁夏虚拟水流出的第二大去向。

第二,省区虚拟水主要来源。进口是各省区虚拟水流入的主要来源,且仅有辽宁、四川的虚拟水进口量在其 30 种来源对应虚拟水流入量中位居第 2,其他省区均以虚拟水进口量位居第 1。新疆是除内蒙古、河南、云南外其他 27 省区虚拟水流入的前 4 大来源地之一,且上海、湖南、甘肃、青海、宁夏、新疆等 6 省区源自新疆的虚拟水流量在对应省区虚拟水流入中占比最高。此外,黑龙江也是北京、天津等 20 省区虚拟水流入主要来源地,辽宁虚拟水流入以源自黑龙江的部分占比最高(33.78%),北京、天

津、吉林、黑龙江 4 省区源自黑龙江的虚拟水流入量 仅次于其虚拟水进口量。

表 1 2007 年我国省区虚拟水主要去向及来源

省区	主要去向地区及对应流量在省区虚拟水流出量中占比/%	主要来源地区及对应流量在省区虚拟水流入量中占比/%
北京	外国(44.67), 山东(7.86), 广东(4.55), 江苏(3.59)	外国(35.67), 黑龙江(8.58), 新疆(6.23), 宁夏(4.72)
天津	外国(12.70), 山东(11.40), 广东(7.96), 北京(7.61)	外国(40.58), 黑龙江(7.77), 新疆(5.88), 宁夏(4.46)
河北	外国(58.39), 山东(8.26), 江苏(5.49), 广东(2.94)	外国(28.77), 山东(10.85), 黑龙江(6.37), 新疆(5.78)
山西	湖北(14.04), 河南(11.18), 广东(8.56), 山东(7.84)	外国(22.47), 江西(11.31), 新疆(7.61), 湖南(7.60)
内蒙古	外国(18.66), 山东(9.30), 广东(7.33), 甘肃(6.00)	外国(28.34), 陕西(14.61), 甘肃(8.38), 黑龙江(5.74)
辽宁	外国(19.17), 山东(10.25), 广东(8.42), 吉林(7.72)	黑龙江(33.78), 外国(13.79), 吉林(8.28), 新疆(4.72)
吉林	辽宁(20.40), 外国(10.53), 黑龙江(9.19), 山东(8.64)	外国(28.95), 黑龙江(25.10), 新疆(4.73), 宁夏(3.57)
黑龙江	辽宁(16.18), 外国(15.61), 吉林(8.01), 山东(7.99)	外国(49.74), 吉林(5.81), 新疆(4.74), 宁夏(3.58)
上海	外国(63.15), 山东(4.97), 江苏(4.22), 浙江(4.00)	外国(26.42), 新疆(10.27), 宁夏(7.88), 黑龙江(6.25)
江苏	外国(50.42), 山东(8.10), 浙江(4.56), 广东(3.88)	外国(17.28), 浙江(11.24), 新疆(7.99), 黑龙江(7.31)
浙江	外国(50.34), 江苏(19.50), 上海(5.60), 山东(3.65)	外国(23.69), 新疆(9.45), 宁夏(7.24), 黑龙江(6.75)
安徽	外国(19.12), 湖北(12.29), 河南(11.06), 江苏(6.12)	外国(25.55), 湖北(6.91), 黑龙江(6.47), 新疆(6.05)
福建	广东(32.79), 外国(29.36), 山东(4.60), 江苏(3.21)	外国(35.08), 新疆(7.47), 黑龙江(6.75), 宁夏(5.64)
江西	湖北(10.76), 广东(9.13), 山东(8.26), 河南(8.26)	外国(23.43), 安徽(6.74), 新疆(6.66), 黑龙江(6.49)
山东	河北(31.75), 外国(19.93), 湖南(7.12), 广东(5.15)	外国(25.62), 新疆(8.90), 黑龙江(7.20), 宁夏(6.79)
河南	外国(16.50), 湖北(12.50), 江西(7.33), 山东(6.43)	外国(11.19), 湖北(7.58), 安徽(7.35), 黑龙江(7.16)
湖北	河南(16.00), 安徽(8.57), 湖南(8.34), 山东(7.83)	外国(15.68), 安徽(8.80), 江西(7.50), 新疆(7.18)
湖南	湖北(10.11), 河南(9.25), 广东(8.14), 外国(7.82)	外国(18.90), 新疆(6.79), 黑龙江(6.61), 湖北(6.31)
广东	外国(87.62), 山东(2.26), 河南(0.87), 江苏(0.83)	外国(20.08), 福建(12.54), 新疆(8.35), 海南(6.76)
广西	四川(15.84), 云南(10.81), 广东(7.86), 山东(7.12)	外国(36.75), 新疆(5.88), 黑龙江(5.69), 重庆(4.71)
海南	广东(31.41), 山东(6.22), 外国(6.04), 福建(5.32)	外国(50.33), 福建(8.45), 新疆(5.73), 宁夏(4.38)
重庆	四川(10.15), 外国(8.81), 广东(7.75), 山东(7.53)	外国(23.49), 广西(8.68), 贵州(8.52), 新疆(6.76)
四川	外国(13.89), 云南(10.71), 广东(8.49), 山东(7.29)	广西(14.29), 外国(8.84), 云南(7.94%), 黑龙江(7.06)
贵州	云南(11.29), 四川(9.03), 广东(8.96), 山东(7.49)	外国(30.27), 广西(9.55), 云南(7.34), 新疆(7.04)
云南	四川(15.31), 广东(8.79), 山东(7.90), 外国(6.30)	外国(22.21), 广西(14.07), 贵州(10.68), 四川(5.94)
陕西	外国(29.49), 内蒙古(14.36), 山东(7.13), 江苏(3.89)	外国(33.07), 黑龙江(6.56), 内蒙古(5.63), 新疆(5.47)
甘肃	山东(10.89), 广东(9.32), 江苏(6.80), 内蒙古(6.06)	外国(26.57), 新疆(24.09), 宁夏(18.68), 青海(10.03)
青海	山东(10.98), 广东(10.22), 甘肃(8.74), 江苏(6.84)	外国(66.76), 新疆(10.79), 宁夏(8.43), 甘肃(3.34)
宁夏	山东(11.56), 广东(10.38), 甘肃(9.56), 江苏(6.68)	外国(82.01), 新疆(6.15), 青海(2.68), 甘肃(1.93)
新疆	外国(17.20), 山东(9.76), 广东(8.74), 甘肃(7.95)	外国(75.74), 陕西(2.62), 黑龙江(2.35), 宁夏(2.02)

2. 我国省区虚拟水流动部门格局

(1)我国总体虚拟水流动部门格局

第一,我国虚拟水出口部门格局。30 省区虚拟水出口主要由石油加工、炼焦及核燃料加工业、化学工业、通信设备、计算机及其他电子设备制造业等部门虚拟水出口组成,该三大主要部门虚拟水出口量在 30 省区总虚拟水出口量中占比分别为 10.72%、9.81%、9.65%。第二,我国虚拟水进口部门格局。30 省区分部门虚拟水进口量中,农林牧渔业、通信设备、计算机及其他电子设备制造业、食品制造及烟草加工业虚拟水进口量高于其他部门,42 经济部门虚拟水进口量差异程度远远高于虚拟水出口量差异程度,农林牧渔业虚拟水进口量在总虚拟水进口量中占比为 60.36%。第三,我国虚拟水净流动部门格局。30 省区农林牧渔业、食品制造及烟草加工业、通信设备、计算机及其他电子设备制造业、建筑业、卫生、社会保障和社会福利业、公共管理和社会组织呈现虚拟水净进口,前 4 个部门虚拟水净进口

量为 870.57 亿 m³、14.12 亿 m³、33.16 亿 m³、8.73 亿 m³,后两部门虚拟水净进口量则很小,分别为 0.21 亿 m³、0.10 亿 m³,其余部门呈虚拟水净出口,其中石油加工、炼焦及核燃料加工业、金属冶炼及压延加工业、纺织业、电气机械及器材制造业及交通运输及仓储业等部门虚拟水净出口量高于其他部门,前 3 大部门虚拟水净出口量分别为 198.78 亿 m³、140.96 亿 m³、108.23 亿 m³。

(2)我国省区虚拟水流出部门格局

各省区虚拟水流出主要部门组成如图 2 所示。除上海、江苏与广东外,其余 27 省区农林牧渔业虚拟水流出在其分部门虚拟水流出中均位居前 3,其中天津、重庆该部门虚拟水流出对应位居第 2,北京、福建该流出对应位居第 3,其余省区分部门虚拟水流出均以农林牧渔业虚拟水流出为最高。山东、新疆、内蒙古农林牧渔业虚拟水流出在对应省区虚拟水流出中占比甚至高达 48.02%、40.55%、38.78%。食品制造及烟草加工业是各省区虚拟水

流出的前3大主要部门之一,其中天津、宁夏、青海该部门虚拟水流出在省区虚拟水流出中占比高于其他省区。此外,建筑业、住宿和餐饮业虚拟水流出也是大多数省区虚拟水流出的主要组成部分,陕西建筑业虚拟水流出在该省区虚拟水流出中的比重(18.70%)高于其他省区,北京住宿和餐饮业虚拟水流出对应比重在30省区中最高,为7.26%。

(3) 我国省区虚拟水流入部门格局

各省区虚拟水流入主要部门组成如图2所示,与省区虚拟水流出部门结构类似,广东农林牧渔业虚拟水流入量在该省区分部门虚拟水流入量中位居第9,上海、江苏该部门虚拟水流入量对应位居第2,其他27省区农林牧渔业虚拟水流入量均高于其他部门对应值,其中山东农林牧渔业虚拟水流入量在该省区虚拟水流入量中占比77.10%,高于其他省区对应比重;河北、新疆该比重仅次于之但差异较

大。各省区,食品制造及烟草加工业虚拟水流入在其分部门虚拟水流入中也均位居前3,其中上海、江苏对应位居第1;黑龙江、福建、重庆对应位居第3;其余省区食品制造及烟草加工业虚拟水流入在对应省区分部门虚拟水流入中均位居第2,其中天津、宁夏、甘肃该部门虚拟水流入在省区虚拟水流入中占比高于其他省区,均约为22.00%。此外,建筑业也是各省区分部门虚拟水流入的前5大部门之一,其中福建、重庆、黑龙江建筑业虚拟水流入在省区虚拟水流入中占比最高。通用、专用设备制造业、住宿和餐饮业虚拟水流入也是我国大多数省区虚拟水流入的主要组成部分,通信设备、计算机及其他电子设备制造业是北京、黑龙江、上海等9省区分部门虚拟水流入的前5大部门之一。

(4) 我国省区虚拟水净流动部门格局分析

虚拟水呈净流出的15个省区净流出主要部门差异较大。纺织业虚拟水净流出是黑龙江、福建、陕

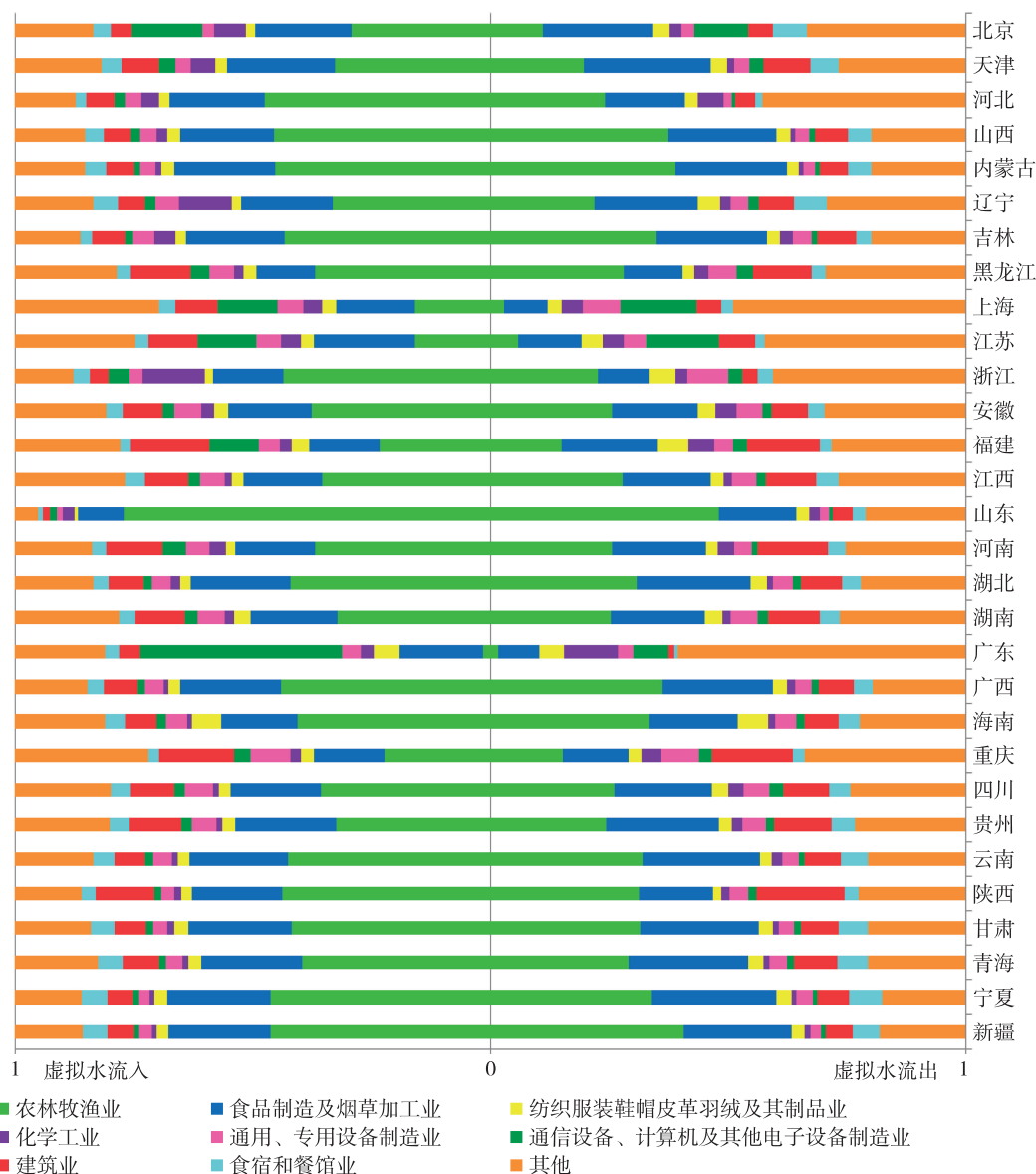


图2 2007年我国省区虚拟水流动部门格局

西等省区虚拟水净流出的主要组成部分,且在黑龙江虚拟水净流出中占比高于其他省区;黑龙江、福建、广东等省区分部门虚拟水净流出中,化学工业对应净流出占比较高;电气机械及器材制造业、通用、专用设备制造业在上海、广东等多数省区均是虚拟水净流出的主要组成部门;福建食品制造及烟草加工业虚拟水净流出量相对其他部门较高。

虚拟水呈净流入的 15 个省区中,除河北外,其余省区虚拟水净流入均主要由农林牧渔业虚拟水净流入构成,且该 14 省区农林牧渔业虚拟水净流入量在对应省区虚拟水净流入量中占比均高于 60.00%,其中山东、湖南、甘肃、四川等省区对应占比甚至高于 80.00%。除北京、河北外,食品制造及烟草加工业是其余各省区虚拟水净流入的前 5 大主要组成部门之一。四川、云南化学工业虚拟水呈净流出,与该省区虚拟水净流出方向相反,其余 13 省区该部门虚拟水净流入是其虚拟水净流入的主要组成部分,辽宁化学工业虚拟水净流入在省区虚拟水净流入中占比高于其他省区,为 38.44%。通用、专用设备制造业是辽宁、吉林、河南、湖北、湖南等 8 省区虚拟水净流入的主要组成部门。

3. 我国省区虚拟水流动需求格局分析

由模型估算可得各省区虚拟水流出至国内其他省区的需求结构及各省区虚拟水流入在本地的需求结构。可以看到,各省区流出至国内其他省区的虚拟水量均主要用于目的省区的城镇居民消费,其次是农村居民消费,而用于存货增加的虚拟水量最小;北京、天津等多数省区虚拟水流入主要用于当地城镇居民消费,其余省区用于农村居民消费的虚拟水流入高于其他各种用途对应值。由于新疆的虚拟水净流出量最高,了解其虚拟水流动的需求格局具有一定代表性,这里分析省区虚拟水流动需求格局将以该省为例。新疆流至其他省区的虚拟水流出中有 47.27% 用于城镇居民消费,高出用于农村居民消费的部分;新疆源自国内的虚拟水流入主要用于当地城镇居民消费,用于农村居民消费的国内虚拟水流入量与用于固定资产形成的部分差别较小。

四、结论及政策建议

1. 研究结论

笔者细分 42 经济部门及 30 省区,基于多区域投入产出法分析了我国省区虚拟水流动的空间、部门及需求格局,得到如下结论。

①基于虚拟水流动空间格局分析,得到广东、新疆和黑龙江虚拟水流出最大,山东、广东和江苏的虚拟水流入量最大;新疆、黑龙江、宁夏的虚拟水净流

出量最高,山东、辽宁虚拟水净流入量最大;山东、广东是大多数省区虚拟水主要去向,进口是各省区虚拟水的前 4 大主要来源,新疆、黑龙江是大多数省区虚拟水的主要来源地。

②基于虚拟水流动部门格局分析,得到农林牧渔业是除上海、江苏与广东外的 27 省区虚拟水流出及流入的主要部门;食品制造及烟草加工业是各省区虚拟水流出及流入的主要部门。虚拟水呈净流出的 15 个省区净流出主要部门差异较大,农林牧渔业、食品制造及烟草加工业及化学工业虚拟水净流入是多数省区虚拟水净流入的主要组成部分。

③基于虚拟水流动需求格局分析,得到各省区流出至国内其他省区的虚拟水量均主要用于目的省区的城镇居民消费,其次是农村居民消费,而用于存货增加的虚拟水量最小;北京、天津等多数省区虚拟水流入主要用于当地城镇居民消费,其余省区对应主要用于农村居民消费。

2. 政策建议

我国在实施虚拟水战略构建中国特色水安全保障体系中,应加强虚拟水流动主要省区生产、贸易和消费中的用水调整,并对虚拟水流动主要部门、主要需求予以侧重,以提高用水管理的有效性及效率。

①在我国虚拟水战略实施中应侧重提高虚拟水流出、净流出较高省区生产中的用水效率,合理调整贸易结构,尤其应重视虚拟水流出、净流出主要生产用水效率及在贸易中的比重。虚拟水流出、净流出较高省区包括广东、新疆和黑龙江等虚拟水流出量较高省区,广东、上海、江苏等虚拟水出口量较高省区,黑龙江、新疆、宁夏等流向国内其他省区的虚拟水量较高省区,大多数省区虚拟水流入的主要来源地为新疆、黑龙江等,以及新疆、黑龙江、宁夏等虚拟水净流出较高省区。

②我国大多数省区虚拟水流出均主要流向国内其他省区,多数省区的虚拟水流入也均主要源自国内其他省区,因此应加强虚拟水流入、净流入较高省区的虚拟水理念宣传及节水消费意识,改善消费习惯,并对虚拟水流入、净流入主要部门产品的消费予以侧重,重点加强虚拟水流动主要需求的调整,将有利于我国节水的实现,促进中国特色水安全保障体系的构建。虚拟水流入、净流入较高省区包括广东、山东、江苏等源自国内其他省区的虚拟水流入量较高省区,大多数省区虚拟水流出主要去向如山东、广东等,以及虚拟水净流入量较高省区;侧重于这些省区虚拟水流入的主要部门如农林牧渔业、食品制造及烟草加工业、建筑业等,以及净流入主要部门如化学工业产品的节约消费;同时加强各省区城镇居民

消费与农村居民消费的调整,在北京、天津等多数省区尤其应加强当地城镇居民消费节水力度,这也为这些地区城镇化建设工作提出了新的内容。此外,由于进口是我国各省区虚拟水流入的前4大主要来源之一,加强我国尤其是其中山东、新疆、广东等虚拟水进口量较高省区的虚拟水战略宣传及节水消费意识,可在一定程度上促进全球水资源节约。

参考文献:

- [1] ALLAN J A. Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible [C]//ALLAN T. Proceedings of the conference on priorities for water resources allocation and management. London: School of Oriented and African Studies, 1993: 444-513.
- [2] DALIN C, KONAR M, HANASAKI N. Evolution of the global virtual water trade network[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2012, 109 (16): 5989-5994.
- [3] YOO S H, KIM T. Estimation of the international virtual water flow of grain crop products in Korea[J]. Paddy and Water Environment, 2012, 10(2): 83-93.
- [4] CARR J A. On the temporal variability of the virtual water network[J]. Geophysical Research Letters, 2012, 39(6): 102-111.
- [5] KONAR M, DANG Q, LIN X. Agricultural virtual water flows in the USA[J]. AGU Fall Meeting Abstracts, 2014 (12): 1-21.
- [6] WEI J, MARGGRAF R. Bilateral virtual water trade in agricultural products: a case study of Germany and China [J]. Water International, 2015(1): 1-16.
- [7] STANLEY M, LAHIRI S, LANT C. Input-output analysis of virtual water transfers; case study of California and Illinois [J]. Ecological Economics, 2013, 93(6): 230-238.
- [8] CHEN Z M, CHEN G Q. Virtual water accounting for the globalized world economy: national water footprint and international virtual water trade[J]. Ecological Indicators, 2013, 28(5): 142-149.
- [9] 张蕾. 中国虚拟水和水足迹区域差异研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2009.
- [10] 刘宝勤. 我国粮食虚拟水流动空间格局及其调控政策[J]. 水利发展研究, 2010, 10(2): 16-26.
- [11] 孙才志, 韩雪, 秦晓楠. 中国区际间主要农产品虚拟水流动格局稳定性[J]. 地理研究, 2014, 33(3): 478-489.
- [12] 陈丽新, 孙才志. 中国农产品虚拟水流动格局的形成机理与维持机制研究[J]. 中国软科学, 2010(11): 44-53.
- [13] 韩雪. 我国农产品虚拟水流动格局分析及其应用[J]. 水利经济, 2012, 30(6): 1-6.
- [14] WANG Y B, WU P T, ZHAO X N, et al. Virtual water flows of grain within China and its impact on water resource and grain security in 2010 [J]. Ecological Engineering, 2014(69): 255-264.
- [15] 马超. 粮食生产重心北移进程中的“虚拟水”流动效应分析[J]. 水利发展研究, 2014, 14(4): 21-27.
- [16] 李红伟. 中国省级间农产品虚拟水土资源流动合理性评价[D]. 武汉: 华中师范大学, 2012.
- [17] 王连芬, 张敏. 虚拟水流动差异测算与贸易策略选择: 基于长江中下游五省的数据[J]. 财经理论与实践, 2012, 33(1): 114-118.
- [18] 邹君, 李红伟, 杨玉蓉, 等. 中国省际间农畜产品虚拟水流动合理性评价与调控研究[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(10): 1299-1306.
- [19] FENG K S, SIU Y L, GUAN D B, et al. Assessing regional virtual water flows and water footprints in the Yellow River Basin, China: a consumption based approach[J]. Applied Geography, 2012, 32(2): 691-701.
- [20] ZHANG C, ANADON L D. A multi-regional input-output analysis of domestic virtual water trade and provincial water footprint in China[J]. Ecological Economics, 2014, 100(2): 159-172.
- [21] DONG H J, GENG Y, FUJITA T, et al. Uncovering regional disparity of China's water footprint and inter-provincial virtual water flows[J]. Science of the Total Environment, 2014(500-501): 120-130.
- [22] JIANG Y K, CAI W J, DU P F, et al. Virtual water in interprovincial trade with implications for China's water policy[J]. Journal of Cleaner Production, 2015, 87(1): 655-665.
- [23] 吴兆丹, UPMANU L, 王张琪, 等. 基于生产视角的中国水足迹地区间差异: “总量—结构—效率”分析框架[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(12): 85-94.
- [24] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴: 2008[M]. 北京: 中国统计出版社, 2008.
- [25] 河南省水利厅. 2008 河南省水资源公报[EB/OL]. [2010-01-19]. [http://www. hnsl. gov. cn/viewCmsCac/ff8080812c342e13012c348c155b01fb](http://www.hnsl.gov.cn/viewCmsCac/ff8080812c342e13012c348c155b01fb).

(责任编辑:高虹)