

# 江苏省产业虚拟水出口贸易变动及其驱动因子研究

朱志强

(河海大学 公共管理学院, 江苏 南京 211100)

**摘要:** 虚拟水贸易作为解决缺水地区的水资源问题的战略受到越来越多的关注, 量化区域虚拟水贸易格局, 并分析该格局下区域虚拟水贸易量变动的驱动因素是研究虚拟水和水资源管理的新思路。本文以江苏省为例, 首先运用投入产出模型计算出 1997-2010 年江苏省虚拟水出口贸易量, 分析江苏省当前虚拟水贸易格局, 再运用 LMDI 指数分解法, 分解出影响虚拟水贸易量的驱动因素及其贡献率。研究结果表明: 江苏省工业总体虚拟水出口贸易量最大、占虚拟水出口总量比例最高, 是虚拟水出口总量变动的重要因素; 规模要素对江苏省虚拟水出口贸易量增加的贡献率逐渐下降, 技术要素对江苏省虚拟水贸易量增加的抑制贡献率逐渐上升。了解江苏省虚拟水贸易格局、实施虚拟水战略是实现水资源优化配置的重要途径之一, 能为江苏缓解用水矛盾、解决水资源短缺危机提供一个新视角。

**关键词:** 虚拟水贸易; 投入产出分析; LMDI 指数分解

中图分类号: F323.5

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2016)02-0069-07

## Research on export trade change of virtual water and its driving factors in Jiangsu Province

ZHU Zhiqiang

(School of Public Administration, Hohai University, Nanjing 211100, China)

**Abstract:** The virtual water trade as a strategy to solve the problem of water resources in dryland has been paid more and more attention. The quantization of virtual water trade patterns and the analysis of driving factors of virtual water change is a breakthrough new idea of water management. Taking Jiangsu Province for example, this paper first used input-output model to calculate the outflow of virtual water in 21 industries of Jiangsu Province from 1997 to 2010 and analyzed the current virtual water trade pattern of Jiangsu Province, and then used the method of Logarithmic Mean Divisia Index to analyze the driving factors and contribution rate of virtual water change. The results show that industrial virtual water trade of Jiangsu Province is the biggest part of the whole virtual water trade and accounts for the highest proportion of total virtual water exports, and is the important factor the whole virtual water trade change; the contribution rate of scale factor to the increase of virtual water trade has decreased gradually. The contribution rate of technology to the reduce of virtual water trade has strengthened gradually. Acknowledging the pattern of virtual water trade and implementing virtual water strategy is one of important ways to achieve optimal allocation of water resources in the region and can offer a new perspective for Jiangsu Province to ease water conflicts and solve water shortage crisis.

**Key words:** virtual water trade; input-output analysis; logarithmic mean divisia index analysis

## 1 研究背景

水资源是支撑区域经济社会发展的基础性资源之一。江苏省水资源总量约为 383 亿  $m^3$ , 人均水资源

源量约为 489  $m^3$ 。水资源区域分布不均、水质型缺水等问题制约着江苏省经济社会的可持续发展。虚拟水与虚拟水贸易作为解决缺水地区的水资源问题的战略受到越来越多的关注, 而如何量化虚拟水贸

收稿日期: 2015-11-17; 修回日期: 2016-01-11

基金项目: 国家软科学基金项目(2014GX4B047); 江苏省社会科学基金重点项目(11GLA001)

作者简介: 朱志强(1991-), 男, 江苏南京人, 硕士研究生, 研究方向: 水管理政策。

易格局,找出虚拟水变动的驱动因子,并结合区域用水现状因地制宜地进行虚拟水政策化探索成为当前虚拟水应用的新课题。Tony Allan<sup>[1]</sup>在非洲研究学院的研讨会上第一次提出了“虚拟水”的概念,并随后将其定义为生产商品或服务过程中所需要水资源的数量。Hokestra等<sup>[2]</sup>在此基础上提出“虚拟水贸易”的概念,旨在通过实物进出口贸易(开放经济条件下),将隐含在实物中的水资源从水资源丰饶的国家和地区交换至水资源匮乏的国家和地区,从而使水资源以虚拟水的形式在国际间流动,来缓解国家和区域的水资源匮乏和水资源短缺问题。

国内外学者关于虚拟水贸易的研究重点集中在以下几个方面:

(1)理论拓展。在概念阐释的基础上,将虚拟水研究与资源流动与替代理论、比较优势理论等理论相结合<sup>[3-4]</sup>。一个国家或地区可以通过对外贸易的方式进口本地没有优势的产品或服务,并出口本地有相对优势的产品或服务,从而为本地带来相对多的利益<sup>[5]</sup>。

(2)量化研究。相当一部分专家和学者通过产品树法或者投入产出法,对行业间和区域间的虚拟水贸易进行实证研究,简易地呈现出了虚拟水在行业 and 地区间的复杂流动情况。Kumar<sup>[6]</sup>、Suweis<sup>[7]</sup>、Stanley<sup>[8]</sup>3人分别通过构建虚拟水贸易模型,计算了印度、美国和国际虚拟水贸易量,得出了相近结论:区域间的虚拟水的转移,并不是简单地依据比较优势理论,即从水资源富足地区转移到水资源匮乏地区,而是一种复杂的流动,受到虚拟水贸易网络里各国家和地区的经济、社会政治等多种因素影响。

(3)政策化探索。在虚拟水量化的基础上研究虚拟水政策化的可行性,将虚拟水作为一种平衡水安全、粮食安全、经济发展与生态和谐的战略方针<sup>[9-11]</sup>。

因素分解模型是一种分析资源或能源利用(或消费)变动机理的有效工具,其基本思想是通过将某一系统(经济系统、资源系统等)中某因变量的变动分解为与之相关的各独立自变量变动之和,以测度其中各个自变量变动对因变量变动贡献的大小。常见的因素分解模型主要有两种:指数分解模型(IDA)和结构分解模型(SDA)。

指数分解法最早应用在能源以及与能源相关二氧化碳排放研究是20世纪90年代。Ang等<sup>[12]</sup>在研究能源强度时提出改进的Divisia方法,不仅解决了残差剩余项的问题,还运用对数平均迪氏分解

(LMDI)的方法解决了分解中的零值和负值的问题,使对数平均迪氏分解法(LMDI)可以适用于大多数情形。国内对指数分解研究起步较晚,相关研究集中在对指数分解的应用研究上。刘兰翠<sup>[13]</sup>采用LMDI方法的时间序列分解方式实证分析了我国1999-2003年间36个工业部门能源利用的二氧化碳排放量的变动,对影响二氧化碳排放量变化的能源强度、产业结构、电力排放率等因素进行了分析和国际比较。

分析结果表明经济增长和能源强度变化是影响二氧化碳排放量变动的主要原因。孙才志等<sup>[14]</sup>基于扩展的Kaya恒等式建立因素分解模型,应用LMDI分解方法对中国1997-2007年的3次产业用水量变化进行分解分析,从时间序列上探讨其主要的因素并量化其贡献率。

研究结果表明经济发展水平和用水技术水平是导致我国产业用水量变动的决定性因素。结构分解技术,是一种比较静态分析方法,其核心思想是将经济系统中某目标变量的变动分解为有关各独立自变量各种形式变动的和以测算各自变量对目标变量变动贡献的大小,将投入产出模型(IO)与结构分解分析(SDA)技术相结合,即投入产出结构分解(IO-SDA)模型,受限于无法提供编制每年各国的统计资料,如我国的投入产出表每五年才公布一次,文献上的应用远低于指数分解模型,并且SDA在分解过程中会产生交互项问题,存在分解结果的不一致、交互影响分解难、因素权重的可比性不强等问题,而指数分解,尤其是平均迪氏指数分解法(LMDI),能够很好地克服交叉项问题,分解不产生残差,克服SDA法的弊端。

当前虚拟水贸易的相关研究大多数集中在贫水国家在国际贸易中通过粮食进口虚拟水,而对国内特定区域的包含工业商品,服务出口的“泛产品与服务”虚拟水贸易研究甚少。国内关于LMDI的应用多集中在CO<sub>2</sub>排放,针对水资源研究较少,而针对虚拟水变动的分解尚未出现。本文引用虚拟水贸易的相关理论,首先运用投入产出模型计算出1997-2010年江苏21部门虚拟水进出口贸易量,再创新性运用LMDI指数分解法分解出虚拟水贸易量变化的驱动因素及其贡献率,并运用模糊C均值聚类对21部门在3个驱动因子下的驱动力分别进行聚类分析,最后对区域虚拟水管理提出相关建议,为江苏缓解用水矛盾、解决水资源短缺危机提供决策依据。

## 2 研究模型与方法

### 2.1 虚拟水贸易量计算方法

目前关于虚拟水的主流计算方法有两个:第一种是水足迹法(称产品树法),通过产品的分级,自下而上分级计算产品的虚拟水含量;另一种方法是投入产出法,依据投入产出表建立价值型-实物型水资源投入产出模型,算出产业部门完全用水量来近似替代虚拟水含量。水足迹法主要依据 FAO 组织公布的单位商品虚拟水含量(主要是农产品和部分初级工业品),但其缺乏气候等地方经济与环境特点考虑,并且无法估计大部分工业和服务业商品虚拟水含量;而投入产出法依据地方用水效率(完全用水系数)计算虚拟水含量,更贴合地方用水实际,并且可以计算农业外的工业和服务业的虚拟水含量<sup>[15]</sup>。因此,本文采用投入产出分析方法计算产业部门的虚拟水贸易量。产业部门虚拟水贸易量的计算步骤如下所示:

(1) 计算各产业部门的直接用水系数(万元产值表示)。

$$Q_i = \frac{W_i}{X_i} \quad (1)$$

式中:  $Q_i$  为  $i$  部门的直接用水系数;  $W_i$  为  $i$  部门直接用水量;  $X_i$  为  $i$  部门的总产出。

(2) 计算各产业部门的完全用水系数。

$$H_i = Q(I - A)^{-1} \quad (2)$$

式中:  $H_i$  为  $i$  部门的完全用水系数;  $I$  为单位矩阵;  $A$  为直接消耗系数矩阵。 $(I - A)^{-1}$  表示投入产出模型的 Leontief 逆矩阵。

(3) 区域产业部门的虚拟水出口贸易量的计算虚拟水输出量:

$$W_E = \sum_{i=1}^n H_i \cdot E_i \quad (3)$$

式中:  $W_E$  为虚拟水输出量,  $E_i$  代表  $i$  部门的出口贸易量。

### 2.2 虚拟水贸易量分解

考虑到 SDA 在分解过程中会产生交互项,存在分解结果的不一致的问题,本文依据 LMDI 法对虚拟水出口贸易量变动进行分解,将江苏省虚拟水出口贸易量变化的影响因素分解为出口规模效应、结构效应以及技术效应,具体分解如下。

虚拟水输出量分解:

$$W_E = \sum_{i=1}^n E \cdot \frac{E_i}{E} \cdot \frac{W_{Ei}}{E_i} \quad (4)$$

式中:  $W_E$  为虚拟水输出总量;  $W_{Ei}$  为部门  $i$  的虚拟水输出量和输入量;  $E$  为出口贸易总量;  $E_i$  为  $i$  部门的出口贸易量<sup>[16-18]</sup>。

设基期 0 年和第  $t$  年虚拟水输出量可分别表示  $W_E^0$  和  $W_E^t$ , 对上式  $t$  进行求导可得:

$$\frac{d \ln W_E}{dt} = \sum_i^n \frac{E \cdot \frac{E_i}{E} \cdot \frac{W_{Ei}}{E_i}}{W_E} \cdot \left( \frac{d \ln E}{dt} + \frac{d \ln \frac{E_i}{E}}{dt} + \frac{d \ln \frac{W_{Ei}}{E_i}}{dt} \right) \quad (5)$$

采用对数平均权重函数对式(5)的右侧的各积分项求解,令:

$$w_i^* = \frac{W_{Ei}^t - W_{Ei}^0}{\ln W_{Ei}^t - \ln W_{Ei}^0} \quad (6)$$

则可得公式(7)。其中,  $E$  为出口总量,记为出口规模效应,  $E_i/E$  为部门出口占总出口比重,记为结构效应,  $W_{Ei}/E_i$  为完全用水系数,记为技术效应。

$$\begin{aligned} \Delta W_E &= \sum_{i=1}^n w_i^* \cdot \ln \frac{E^t}{E^0} + \sum_{i=1}^n w_i^* \cdot \ln \frac{(E_i/E)^t}{(E_i/E)^0} + \\ &\quad \sum_{i=1}^n w_i^* \cdot \ln \frac{(W_{Ei}/E_i)^t}{(W_{Ei}/E_i)^0} \\ &= \Delta E_{effect} + \Delta \left( \frac{E_i}{E} \right)_{effect} + \Delta \left( \frac{W_{Ei}}{E_i} \right)_{effect} \end{aligned} \quad (7)$$

式(7)中:这三项因素变动效应的 LMDI 分解算式为:

$$\Delta E_{effect} = \sum_{i=1}^n \frac{W_{Ei}^t - W_{Ei}^0}{\ln W_{Ei}^t - \ln W_{Ei}^0} \cdot \ln \frac{E^t}{E^0} \quad (8)$$

$$\Delta \left( \frac{E_i}{E} \right)_{effect} = \sum_{i=1}^n \frac{W_{Ei}^t - W_{Ei}^0}{\ln W_{Ei}^t - \ln W_{Ei}^0} \cdot \ln \frac{(E_i/E)^t}{(E_i/E)^0} \quad (9)$$

$$\Delta \left( \frac{W_{Ei}}{E_i} \right)_{effect} = \sum_{i=1}^n \frac{W_{Ei}^t - W_{Ei}^0}{\ln W_{Ei}^t - \ln W_{Ei}^0} \cdot \ln \frac{(W_{Ei}/E_i)^t}{(W_{Ei}/E_i)^0} \quad (10)$$

## 3 研究区数据来源

本文从两个层面研究江苏省虚拟水贸易格局:

(1) 江苏省 1997-2010 年虚拟水贸易量,数据来源于期间 6 年的扩展型水资源可比价投入产出表(张玲玲等)<sup>[19]</sup>,将投入产出表的多部门,归入江苏省国民经济行业部门,归纳为 21 个部门(农业 1、煤炭采选业 2、石油天然气 3、其他采掘业 4、食品工业 5、纺织工业 6、森林工业 7、造纸工业 8、化学工业 9、建材工业 10、冶金工业 11、机械设备工业 12、电子

仪器 13、其他制造业 14、电力工业 15、水的生产和供应业 16、建筑业 17、运输邮电业 18、住宿餐饮业 19、批发和零售业 20、其他服务业 21), 分析 1997 - 2010 年江苏省虚拟水贸易格局。

(2) 江苏省虚拟水贸易驱动因子及其贡献率研究, 所需数据来源于江苏省 1998 - 2011 年《江苏省统计年鉴》<sup>[20]</sup> 与 1997 - 2010《江苏省水资源公报》<sup>[21]</sup>。

表 1 1997 - 2010 江苏省 21 部门虚拟水出口贸易量表

$10^6 \text{ m}^3$

部门	1997	2000	2002	2005	2007	2010
农业	3880.94	4682.66	869.65	955.15	3925.71	2779.20
煤炭采选业	18.13	17.41	5.93	22.14	4.66	1.84
石油天然气	174.90	224.91	367.94	333.85	48.66	43.54
其他采掘业	24.26	30.10	31.89	301.12	122.64	72.46
食品工业	1880.46	2237.17	1914.12	797.24	2315.17	1787.01
纺织工业	4586.90	6107.79	7735.62	6405.41	13170.53	7667.79
森林工业	267.77	314.54	305.64	453.71	1755.85	1452.45
造纸工业	535.99	600.19	546.08	493.78	1446.38	1050.50
化学工业	3397.46	3904.45	2093.51	1687.96	7047.99	5807.10
建材工业	842.64	852.83	191.14	133.28	542.03	237.94
冶金工业	2436.85	2239.33	1410.48	1532.11	4943.23	2100.57
机械设备工业	3921.25	4352.28	3316.77	9929.60	6314.17	6662.26
电子仪器	1270.24	1512.14	4451.71	4237.72	12361.41	8318.48
其他制造业	274.50	283.18	192.66	485.99	45.05	249.47
电力工业	42.13	32.01	6.85	8.72	929.75	191.51
水的生产和供应业	47.76	46.70	0.48	0.49	0.00	0.00
建筑业	263.55	248.90	432.55	416.30	570.66	464.32
运输邮电业	125.40	137.68	141.89	253.46	203.20	65.07
批发和零售业	473.52	618.51	6.47	502.09	60.97	81.59
住宿餐饮业	295.69	325.01	239.53	321.08	12.70	24.65
其他服务业	423.95	631.67	295.05	287.46	283.18	28.00

从表 1 可知, 农业虚拟水出口在 2000 - 2005 年出现大幅度下降, 2005 - 2010 年, 农业虚拟出口量出现较大增幅, 但当前虚拟水出口规模要小于 1997 年的水平。总体上说, 农业虚拟水出口贸易占虚拟水总出口比例的变动呈现先减少后增加的趋势。工业虚拟水出口总体呈现上升趋势, 在 2005 - 2007 年, 工业虚拟水进出口量大幅度增加, 尤其是电力行业、化学行业和森林工业等, 这和农业虚拟水贸易在这一时期类似。2007 - 2010 年, 相较于前一时间段, 除了其他制造业, 其余工业部门虚拟水出口出现下降, 总量收窄。总体来看, 工业虚拟水出口规模很大, 工业虚拟水总出口占虚拟水总出口的比例变动呈现先增加后平缓的趋势, 最终占比维持在 92% 左

## 4 计算结果与分析

### 4.1 虚拟水贸易分析

依据 1997 - 2010 年间的 6 张江苏省投入产出表, 得出 21 部门的进出口贸易额, 再根据公式(1) ~ (4) 计算江苏省 1997 - 2010 年间各部门的虚拟水出口贸易量, 计算结果见表 1 所示。

右, 占比较高。服务业各部门虚拟水出口呈现上升趋势, 只在 2007 - 2010 年间出现小幅下降, 但当前总体虚拟水出口规模要比 1997 年大不少。但是, 整个服务业虚拟水贸易占虚拟水总贸易量的比例总体呈现下降趋势, 到 2010 年达到最低值 0.51%, 不到 1997 年的十分之一, 而服务业虚拟水出口量呈现增加趋势, 服务业虚拟水出口增加的速度要远小于经济系统其他部门虚拟水出口增加的速度。

### 4.2 虚拟水贸易量变动分解

参照公式(8) ~ (10), 可以对江苏省 21 部门虚拟水出口贸易量变动进行分解, 并再此基础上计算出规模、结构和技术 3 个因素对虚拟水贸易量变动的贡献率, 具体结果见表 2, 3。

表 2 虚拟水出口贸易变动分解

10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>

部门	1997 - 2000			2000 - 2002			2002 - 2005		
编号	规模效应	结构效应	技术效应	规模效应	结构效应	技术效应	规模效应	结构效应	技术效应
1	878.23	77.15	-153.66	-334.34	-3476.07	-2.60	679.51	-547.87	-46.14
2	3.66	1.08	-5.46	-1.57	-11.83	1.92	9.17	2.61	4.43
3	40.91	63.94	-54.83	-42.90	190.55	-4.62	261.32	-247.90	-47.51
4	5.57	8.51	-8.24	-4.57	-18.52	24.88	89.37	207.27	-27.41
5	422.46	-46.29	-19.46	-305.78	-474.98	457.71	950.38	-1424.23	-643.03
6	1092.54	79.73	348.62	-1017.04	1167.63	1477.24	5254.03	-3852.21	-2732.03
7	59.76	28.66	-41.66	-45.77	61.94	-25.08	279.34	73.02	-204.29
8	116.74	14.25	-66.79	-84.54	96.15	-65.72	387.17	-193.95	-245.52
9	749.83	365.60	-608.44	-428.91	-1485.92	103.88	1403.73	-1475.04	-334.25
10	174.39	-57.48	-106.72	-65.31	-687.34	90.96	119.60	-94.09	-83.36
11	480.68	-340.92	-337.29	-264.69	-405.32	-158.84	1095.92	-696.08	-278.21
12	850.20	80.33	-499.51	-562.59	-347.86	-125.06	4494.64	5017.39	-2899.20
13	285.46	182.93	-226.50	-401.88	3545.50	-204.05	3237.43	-710.99	-2740.44
14	57.36	-59.67	10.99	-34.69	-143.79	87.97	236.28	126.13	-69.07
15	7.58	-12.35	-5.34	-2.41	-26.29	3.54	5.78	-3.94	0.03
16	9.72	-5.51	-5.26	-1.49	-53.98	9.24	0.36	-0.26	-0.09
17	52.69	-54.01	-13.34	-49.05	169.53	63.18	316.28	-245.37	-87.16
18	27.04	11.84	-26.60	-20.63	-5.11	29.94	143.33	75.95	-107.70
19	111.66	18.39	14.94	-19.81	-618.67	26.45	84.89	572.52	-161.79
20	63.79	-17.31	-17.16	-41.35	-81.49	37.36	207.43	-132.31	6.43
21	107.16	-187.35	287.90	-65.28	-77.81	-193.52	217.06	-47.96	-176.69
部门	2005 - 2007			2007 - 2010					
编号	规模效应	结构效应	技术效应	规模效应	结构效应	技术效应			
1	1159.38	1995.02	-183.85	769.06	-1955.38	39.81			
2	6.19	-24.31	0.64	0.70	-1.68	-1.85			
3	81.69	-345.53	-21.35	10.67	35.76	-51.55			
4	109.61	-310.88	22.79	22.09	-1.65	-70.63			
5	785.46	589.68	142.79	472.56	-777.68	-223.04			
6	5177.28	367.29	1220.56	2356.71	-4243.68	-3615.77			
7	530.81	76.39	694.93	370.54	13.49	-687.42			
8	488.96	258.73	204.90	286.80	-170.05	-512.63			
9	2068.86	2983.68	307.49	1484.49	42.73	-2768.10			
10	160.73	221.13	26.88	85.57	-136.05	-253.61			
11	1606.44	1772.75	31.93	769.55	-1333.20	-2279.01			
12	4405.45	-6992.92	-1027.96	1502.82	3120.25	-4274.99			
13	4186.09	5129.08	-1191.49	2364.71	64.80	-6472.44			
14	102.27	-482.26	-60.95	27.67	122.37	54.38			
15	108.82	833.96	-21.75	108.25	-566.06	-280.43			
16	0.02	-0.49	-0.02	0.00	-0.00	-0.00			
17	269.99	-75.71	-39.92	119.47	17.21	-243.01			
18	125.45	-142.62	-33.09	28.10	-35.39	-130.85			
19	115.42	-599.53	42.99	16.40	65.22	-61.00			
20	52.67	-319.45	-41.60	4.18	11.87	-4.10			
21	157.39	-130.82	-30.85	25.55	-215.92	-64.81			

表3 驱动因素贡献率统计

时段	规模效应	结构效应	技术效应	合计
1997-2000	132.79	3.60	-36.39	100
2000-2002	78.34	55.41	-33.75	100
2002-2005	389.25	-71.91	-217.34	100
2005-2007	81.74	18.09	0.16	100
2007-2010	-63.61	34.92	128.69	100

1997-2010年出口规模效应对虚拟水出口变动具有正向影响,出口规模的增加(减少)会引起虚拟水出口的增加(减少),而2007-2010年出现转折点,虚拟水出口规模增加,但是虚拟水出口总量却是减少的,说明出口规模效应对虚拟水出口增加的促进作用在减弱。技术效应对虚拟水出口量变动总体呈现负向影响,用水技术的改善减少了单位产品虚拟水含量,使得在出口规模不断扩大的贸易格局下,虚拟水出口量保持一定平衡,在2007-2010,技术效应对虚拟水出口总变动的影响(贡献率的绝对值)超过规模效应,说明技术效应对虚拟水出口变动的抑制作用在增强。结构效应对虚拟水变动的影响与技术效应类似,但是对虚拟水总出口量变动的贡献率要小得多。

由于3个驱动因素对各部门虚拟水贸易变动的驱动力缺乏明确的界限,为了更好的将驱动因素对各部门驱动效果进行分类,本文引入模糊C均值聚类法(具体方法见参考文献[20]),将21个国民经济部门按强、一般、弱驱动进行聚类,具体见表4。

规模效应对农业、食品、化学、冶金虚拟水出口变动具有强驱动效应,对纺织、机械、电子仪器具有弱驱动效应,对占绝大多数的其他部门驱动效果一般。结构效应只对农业、纺织、化学、电子仪器虚拟水出口变动有强驱动力,其它行业不明显。技术要素除了对机械和电子行业驱动力弱,对剩下大部分行业驱动力较强,说明改善技术水平对绝大多数行业虚拟水出口减少有重要作用。其中,规模、结构和技术3个要素对农业虚拟水贸易变动都有很强的驱动力,说明减少农业贸易出口规模,优化农业虚拟水贸易结构,改进农业用水技术都能大大减少农业虚拟水的出口量。而规模、结构和技术对机械和电子行业的虚拟水出口变动驱动力都较弱,说明其虚拟水出口量具有高度的稳定性,不是部门虚拟水出口优化的重心。其他行业,如化学、冶金和食品,虚拟水出口量较大,对3个要素也较敏感适当减少其出口规模改善其用水效率有利于虚拟水总出口量的减少。

表4 21部门虚拟水出口变动驱动力聚类表

驱动因子	驱动强弱	部门
规模效应	强驱动	农业、食品、化学、冶金
	一般驱动	煤炭采选业、石油天然气、其他采掘业、森林工业、造纸工业、建材工业、其他制造业、电力工业、水的生产和供应业、建筑业、运输邮电业、批发和零售业、住宿餐饮业、其他服务业
结构效应	弱驱动	纺织、机械、电子仪器
	强驱动	农业、纺织、化学、电子仪器
技术效应	一般驱动	食品、建材、冶金、其他服务业
	弱驱动	森林工业、造纸工业、机械、其他制造业、电力工业、水的生产和供应业、建筑业、运输邮电业、批发和零售业、住宿餐饮业
技术效应	强驱动	农业、煤炭采选业、石油天然气、其他采掘业、造纸工业、建材工业、其他制造业、电力工业、水的生产和供应业、建筑业、运输邮电业、批发和零售业、住宿餐饮业、其他服务业
	一般驱动	食品、纺织、森林、化学、冶金
	弱驱动	机械、电子仪器

## 5 结论

本文通过投入产出法,计算出江苏省行业虚拟水出口贸易量,创造性运用LMDI对江苏省虚拟水出口变动进行分解,并针对分解的各个驱动因素下,21部门驱动力大小进行模糊C均值聚类分析,得出以下几点启示:

(1)工业总体虚拟水出口量最大、占比最高,对虚拟水出口总量起决定性作用,因此,减少虚拟水出口的关键之一就是优化各工业部门用水,将虚拟水从高耗水、低产出的行业向低耗水、高产出的产业转移。农业虚拟水出口量次之,但是农业虚拟水出口贸易总体呈下降趋势,在保障粮食安全的前提下,江苏省在区域内通过农产品进口有效缓解了本地农业用水压力。整个服务业对水资源直接依赖较小,因此服务业虚拟水贸易出口量最小,考虑到服务业整体用水效率与效益高于其他行业,从产业结构优化和用水效率改善双重角度,江苏应投入更多精力发展服务业,将部门高耗水的工业资源适当移到服务业上。反映在虚拟水战略上,应该是加大服务业虚

拟水净出口,提高其在虚拟水出口总量中的比重,这样才能使得工业与服务业产业结构更加合理,用水效率与效益更高。

(2)从虚拟水贸易量变动的驱动因素分析可得,结构要素对虚拟水贸易的变动影响逐渐变小,趋于 0,说明江苏省进出口贸易结构的相对稳定性。规模因素对虚拟水出口增加的贡献率逐渐下降,反映出江苏省出口规模在经历快速发展后趋于平稳,对虚拟水贸易的变动影响逐渐变小。技术因素对虚拟水出口增加的抑制贡献率逐渐上升,逐渐超过规模因素的增加贡献率,体现江苏用水效率改善对虚拟水贸易量减少的正向影响,这有利于在满足不断增长的用水需求前提下,控制虚拟水出口总量,这是最严格水资源制度实施的重要保障。

(3)通过聚类分析总体看,出口规模效应对大部分行业虚拟水出口变动的驱动力一般,结构效应对大部分行业驱动力弱,技术对大部分行业驱动力较强。这样的驱动力格局可以看出,随着时间推移技术的抑制驱动力影响会和规模的促进影响达到均衡,实现出口规模增加虚拟水含量不增加的局面。从行业细分上看,农业和化学业在 3 种要素下驱动力都很强,说明这两个行业虚拟水出口大,并且用水效率有很大的改善空间,通过虚拟水战略引入,以部分进口代替部分本地生产的同时,发挥技术效应的驱动力,减少单位产品虚拟水含量,有利于把区域外农业等行业的用水相对优势发挥出来,弥补江苏在这两个行业用水的相对劣势,同时将本地有限水资源投入到自身相对优势的产业,实现区域外和产业内双赢。

## 参考文献:

[1] Tony Allan. Virtual Water: A long term solution for water short middle eastern economics [M]. London, UK: University of Leeds, 1997, 154 - 163.

[2] Hokestra. Virtual water trade proceeding of the international expert meeting on virtual water trade [M]. Delft: The Netherlands, 2003, 13 - 23.

[3] 李 锋,王春月. 虚拟水贸易研究综述[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2013, 15(2): 57 - 62.

[4] 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.

[5] Wichelns D. The policy relevance of virtual water enhanced by considering comparative advantages [J]. Agricultural Water Management, 2004, 66(1): 49 - 63.

[6] Kumar Vijay. Export and import of virtual water from different states of India through food grain trades [J]. Hydrology Research, 2011, 42(3): 229 - 238.

[7] Suweis S. Structure and controls of the global virtual water trade network [J]. Geophysical Research Letters, 2011, 38(10): 415 - 421.

[8] Stanley T. Agricultural Virtual Water Trade and Water Footprint of U. S. States [J]. Annals of the Association of American Geographers, 2013, 103(2): 385 - 396.

[9] Sherwood. Water Shortage Food Security and Virtual Water in China [J]. Environmental Practice, 2013, 15(3): 253 - 261.

[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(4): 260 - 265.

[11] 马 静,汪党献. 虚拟水贸易在我国粮食安全问题中的应用[J]. 水科学进展, 2006, 17(1): 102 - 107.

[12] Ang B W, Ki - Hong Choi. Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: A refined dividia index method [J]. The Energy Journal, 1997, 18(3): 59 - 73.

[13] 刘兰翠. 我国二氧化碳减排问题的政策建模与实证研究[D]. 安徽: 中国科学技术大学, 2006: 1 - 168.

[14] 孙才志,谢 巍. 中国产业用水变化驱动效应测度及空间分异[J]. 经济地理, 2011, 31(4): 666 - 672.

[15] 蒋 璐. 基于投入产出分析的中国虚拟水贸易研究[D]. 广东: 华南理工大学, 2012: 11 - 17.

[16] 张陈俊,章恒全,龚雅云. 中国结构升级、技术进步与水资源消耗——基于改进的 LMDI 方法[J]. 资源科学, 2014, 36(10): 1993 - 2002.

[17] 刘 翀,柏明国. 安徽省工业行业用水消耗变化分析——基于 LMDI 分解法[J]. 资源科学, 2012, 34(12): 2299 - 2305.

[18] 秦昌波,葛察忠,贾仰文,等. 陕西省生产用水变动的驱动机制分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(5): 131 - 136.

[19] 张玲玲,李晓惠,王宗志. 考虑用水与排污的可比价投入产出表的编制[J]. 统计与决策, 2014(17): 18 - 21.

[20] 江苏省统计局. 1998 - 2011 年江苏省统计年鉴[M]. 南京: 江苏省统计局, 1998 - 2011.

[21] 江苏省水利厅. 1997 - 2010 年江苏省水资源公报[M]. 南京: 江苏省水利厅, 1997 - 2010.