

Study on Driving Factors of Water Utilization Structure Evolution in Jiangsu Province

Xiaohui Li¹, Lingling Zhang^{1*}, Zongzhi Wang², Juliang Jin³

¹School of Public Administration, Hohai University, Nanjing

²Nanjing Hydraulic Research Institute, State Key Laboratory of Hydrology Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing

³Hefei University of Technology, Hefei

Email: [*llzhang007@163.com](mailto:llzhang007@163.com)

Received: Sep. 30th, 2013; revised: Nov. 20th, 2013; accepted: Nov. 26th, 2013

Copyright © 2014 Xiaohui Li et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2014 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Xiaohui Li et al. All Copyright © 2014 are guarded by law and by Hans as a guardian.

Abstract: In order to indicate the relation between social development and water resources use in Jiangsu Province, this paper analyzes the factors driving the change of water uses. Based on the statistics provided by the extended comparable I-O tables, this paper established an I-O structural decomposition model in which influence factors during four time periods from 1997-2007 of Jiangsu Province's industrial water change have been decomposed into industrial technology effect, water utilization intensity effect as well as final demand effect. In three aspects "the whole industry-three industries-every national economic sector", we analyze the three influence factors' effects of industrial water utilization structure evolution and adopt the method of fuzzy clustering to make the differentiation analysis of the three influence factors of every sector. The results show that final demand effect which pulls industrial water utilization is the most significant factor in industrial water utilization change, and that industrial technology effect and water utilization intensity effect restrain water utilization, the former of which is the key factor of water-saving. Three effects' driving direction (positive or negative) remained much same during the four periods, but effects driving strengths were different. With the passage of time, they present different development trends; in the next period of time, the pulling effect of final demand effect will become smaller and smaller while the inhibitory effect of water utilization intensity effect will become more and more obvious.

Keywords: Structural Decomposition; Water Structure; Industrial Technology Effect; Water Utilization Intensity Effect; Final Demand Effect

江苏省用水演变驱动因素研究

李晓惠¹, 张玲玲^{1*}, 王宗志², 金菊良³

¹河海大学公共管理学院, 南京

²南京水利科学研究院水文水资源与水利工程科学国家实验室, 南京

³合肥工业大学, 合肥

Email: [*llzhang007@163.com](mailto:llzhang007@163.com)

收稿日期: 2013年9月30日; 修回日期: 2013年11月20日; 录用日期: 2013年11月26日

摘要: 为正确理解江苏省社会经济发展与产业水资源利用量变化之间的关系, 对产业用水变动进行影响因素分析。以扩展型可比价投入产出序列表数据为基础, 构建投入产出结构分解模型, 将1997~2007年四个时间段江苏省产业用水变动的影响因素分解为产业技术效应、用水强度效应和最终

作者简介: 李晓惠, 女(1989-), 江苏南通人, 硕士研究生, 主要从事水资源与国民经济关系研究。

*通讯作者。

需求效应。从“产业整体-三大产业-各国民经济部门”三个层面剖析产业用水结构演变的三大影响因素的效应, 并应用模糊聚类的方法, 将各国民经济部门的三大影响因素进行分异分析。研究结果表明, 最终需求效应对产业用水变动的影响最大, 是产业用水的拉动效应, 产业技术效应和用水强度效应是产业用水的抑制效应, 其中用水强度效应是节水的关键因素; 三大效应对三产用水变动所起的正负效应方向整体一致, 但驱动强度不同, 且随着时间的推移, 呈现不同的发展态势; 在未来一定时期内, 最终需求效应对所起的拉动作用将越来越小, 而用水强度效应的抑制作用将越来越明显。

关键词: 结构分解; 用水结构; 产业技术效应; 用水强度效应; 最终需求效应

1. 引言

水资源短缺、水污染严重以及水资源过度开发和低效使用而导致的水危机已成为制约我国社会经济发展的重要因素。为应对水危机, 我国出台了一系列相关的文件和意见, 实行最严格的水资源管理制度, 建立用水总量控制、用水效率控制和水功能区限制纳污“三项制度”。在既定水资源供给约束下, 如何满足经济增长带来的水资源需求, 成为当前水资源管理中急需解决的关键问题。区域用水结构分析是基于需水管理的视角深入理解区域用水主体的用水过程, 并实现用水结构合理配置的前提和基础。用水结构与经济社会发展的适应性又是制订水资源开发利用规划的前提和基础, 对于实现流域水资源的合理配置, 乃至社会经济的协调可持续发展均具有重大意义。为了促进水资源规划向需水管理的快速转变, 迫切需要加强水资源利用变动机制的基础研究。特别是对水资源利用变动驱动因素与其驱动量、及调控措施与其调控量之间的定量关系研究^[1]。

因素分解法是分析能源及其资源利用变动机理的一种有效工具。目前已广泛运用于以碳排放等为代表的能源利用和能源需求变动及其因素的分析^[2-7], 在水资源利用变动分析中较少。刘云枫等(2013年)采用LMDI分解技术构建了1996~2008年北京市工业用水的影响因素分解模型^[8]; 孙才志等(2009年)构建因素分解模型对辽宁省用水变化驱动力进行分析并对各种效应进行了时间分异分析^[9]; 贾绍凤等(2004年)利用因素分解原理对北京市经济结构调整的节水效应进行了分析^[10]。可见目前基于水资源的相关研究大多仅限于宏观分析, 对区域细分产业用水结构变动分析并不多, 且没有从最终需求或产业中间技术等因素方面作深入分析。

本文在需水管理视阈下以江苏省产业用水结构演变为研究对象, 编制可比价投入产出序列表, 构建投入产出分析的结构分解模型; 将江苏省产业用水量变化影响因素分解为产业技术效应、用水强度效益和最终需求效应; 从“产业整体-三大产业-各国民经济部门”三个层面入手, 逐层深入分析产业用水变动的影响因素; 并应用模糊聚类的方法, 将各国民经济部门的三大影响因素进行分异分析。针对目前结构分解模型绝大多数分解都存在着残差项^[11,12], 本文提出一种无残缺项的投入产出结构因素分解模型, 避免了参数估计的主观性和随意性。研究对于正确理解江苏省经济发展与各经济部门水资源利用量变化之间的关系, 为调整、制定相关的产业发展政策具有一定的参考价值。

2. 模型方法

以投入产出分析为基本技术手段, 采用改进的结构分解技术来探讨产业用水的因素分解问题。假设 W 为产业部门总用水量, $(I - A)^{-1}$ 为里昂惕夫逆矩阵(简称 L), Y 为最终使用列向量, M 为流入量列向量(包括地区间流入和进口), Q 为单位产出所直接消耗的用水量(即直接用水定额)的列向量, 则有:

$$W = Q^T (I - A)^{-1} (Y - M) \quad (1)$$

式(1)表明产业部门用水总量依赖于产业单位用水量、产品中间需求和最终需求。以 0 表示基期, t 表示目标期, 则用水量增量 ΔW 为:

$$\begin{aligned} \Delta W = W_t - W_0 &= Q_t^T (I - A_t)^{-1} (Y_t - M_t) \\ &\quad - Q_0^T (I - A_0)^{-1} (Y_0 - M_0) \end{aligned} \quad (2)$$

上式的分解可以有两种形式, 其一为:

$$\begin{aligned} \Delta W = Q_t^T (L_t - L_0) (Y_t - M_t) &+ (Q_t^T - Q_0^T) L_0 (Y_t - M_t) \\ &+ Q_0^T L_0 [(Y_t - M_t) - (Y_0 - M_0)] \end{aligned} \quad (3)$$

其二为:

$$\Delta W = Q_0^T (L_t - L_0) (Y_t - M_t) + (Q_t^T - Q_0^T) L_t (Y_t - M_t) \\ + Q_0^T L_0 [(Y_t - M_t) - (Y_0 - M_0)] \quad (4)$$

将二者加权平均, 得:

$$\Delta W = 0.5 (Q_t^T + Q_0^T) (L_t - L_0) (Y_t - M_t) \\ + 0.5 (Q_t^T - Q_0^T) (L_t + L_0) (Y_t - M_t) \\ + Q_0^T L_0 [(Y_t - M_t) - (Y_0 - M_0)] \quad (5)$$

由于式(3)和式(4)发生的可能性均为 0.5, 因此, 式(5)表示的是一种平均状况。又可以写成如下形式:

$$\Delta W = 0.5 (Q_t^T + Q_0^T) \Delta L (Y_t - M_t) \\ + 0.5 \Delta Q^T (L_t + L_0) (Y_t - M_t) + Q_0^T L_0 \Delta (Y - M) \quad (6)$$

ΔW 表示两个时间节点的产业用水总量的差值; $0.5 (Q_t^T + Q_0^T) \Delta L (Y_t - M_t)$ 表示在其他条件不变的情况下, 产品技术变化导致中间需求调整对产业用水总量变动的影响效应(简称为产业技术效应); $0.5 \Delta Q^T (L_t + L_0) (Y_t - M_t)$ 表示用水强度变化对产业用水总量变动的影响效应(简称为用水强度效应); $Q_0^T L_0 \Delta (Y - M)$ 表示最终需求变化对产业用水总量变动的影响效应(简称为最终需求效应)。式(6)说明, 产业部门用水变化是由各个产业的技术调整、用水强度变化和最终需求变化引起的。

同理, 若将 $Y - M$ 表示为 Y' , 可得到产业用水变动的行业分解式:

$$\Delta W = 0.5 (Q_t^T + Q_0^T) \Delta L \hat{Y}' \\ + 0.5 \Delta Q^T (L_t + L_0) \hat{Y}' + Q_0^T L_0 \Delta \hat{Y}' \quad (7)$$

(6)式与(7)式不同的就是最终需求项, \hat{Y}' 表示行业部门向量的 $n \times n$ 阶对角化矩阵。

3. 指标与数据来源

3.1. 指标选择

结合数据的可获取性和研究目标, 本文收集自 1997 年以来的(1997 年、2000 年、2002 年、2005 年和 2007 年)的江苏省投入产出表为数据基础, 选取 1997~2000 年、2000~2002 年、2002~2005 年和 2005~2007 年的四个时段来分解江苏省产业用水量变化值。用水量单位为 “ 10^8 m^3 ”, 单位产出所直接消耗

的用水量以 “ $10^8 \text{ m}^3/10^4 \text{ 元产值}$ ” 表示。

3.2. 数据来源和整理

本研究的数据主要来源于 1998 年~2008 年的《江苏统计年鉴》、《中国统计年鉴》、《江苏省水资源公报》。考虑到当前江苏省编制投入产出表都是基于当年价的价值型表, 并不能反映真实产品部门实物量之间的转移和消耗, 本文编制了考虑用水的扣除价格因素的可比价投入产出序列表。

由于江苏省投入产出表各时间节点上的部门分类不一致, 加上用水数据收集的限制, 给数据处理造成一定困扰。为解决此问题, 依据各部门的内在联系性和相关领域专家经验, 参考《国民经济行业分类》, 将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。

4. 计算结果及分析

4.1. 总体产业用水变化分解特征

根据上述分解方法和整理的数据, 分别计算了 1997~2007 年间的五个时间段的产业技术效应、用水强度效应和最终需求效应, 见图 1。

1997~2000 年间产业用水量增长 $82.59 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中, 由于产业技术效应导致产业用水量增加 $17.78 \times 10^8 \text{ m}^3$, 用水强度导致产业用水量减少 $29.68 \times 10^8 \text{ m}^3$, 最终需求效应导致产业用水量增加 $94.49 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2000~2002 年间产业用水量增长 $36.09 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中, 由于产业技术效应导致产业用水量减少 $33.19 \times 10^8 \text{ m}^3$, 用水强度导致产业用水量减少 $59.81 \times 10^8 \text{ m}^3$, 最终需求效应导致产业用水量增加 $129.09 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2002~2005 年间产业用水量增长 $34.33 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中, 由于产业技术效应导致产业用水量减少 $30.85 \times 10^8 \text{ m}^3$, 用水强度导致产业用水量减少 $206.30 \times 10^8 \text{ m}^3$, 最终需求效应导致产业用水量增加 $271.47 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2005~2007 年间产业用水量增长 $25.66 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中, 由于产业技术效应导致产业用水量减少 $2.78 \times 10^8 \text{ m}^3$,

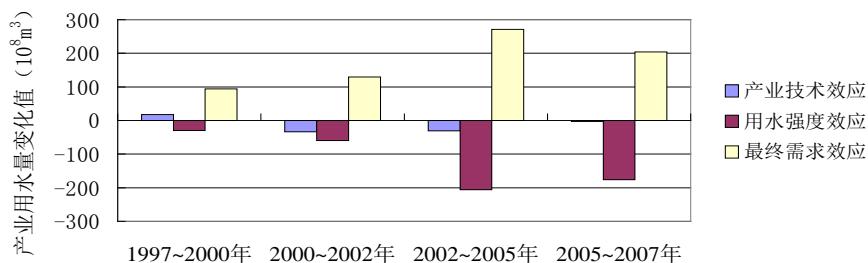


Figure 1. Factors decomposition of total water use quantity change

图1. 江苏省产业总用水变化因素分解

用水强度导致产业用水量减少 $175.69 \times 10^8 \text{ m}^3$, 最终需求效应导致产业用水量增加 $204.12 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

分解结果表明, 最终需求效应是导致江苏省产业用水增长的原因, 但自 2002 年以来其作用在逐渐减小, 而产业技术效应和用水强度效应组成的技术效应是江苏省产业用水减少的关键因素, 所占比例大幅度增加。其中, 产业技术效应所起的作用越来越小, 表明产业结构逐步完善, 未来的节水空间有限; 用水强度效应对遏制产业用水量增加所起的作用愈发显著, 表明自 1997 年~2007 年间的 4 个时间段里用水技术不断进步, 节水作用突出。以用水第一大户——农业部门节水技术为例, 2002~2005 年江苏省农田灌溉用水减少了 23.87 亿 m^3 , 也间接验证了节水技术提高导致用水强度效应的抑制作用越来越强。

4.2. 三产用水变化分解特征

为进一步了解江苏省用水结构变动, 将用水总量细分为“三产”用水量进行分析, 分别计算了第一产业、第二产业和第三产业的产业技术效应、用水强度效应和最终需求效应, 如表 1。

第一产业用水增加量呈下降趋势, 1997~2000 年间用水量增加了 $66.22 \times 10^8 \text{ m}^3$, 而 2005~2007 年间用水量增加了 $4.80 \times 10^8 \text{ m}^3$, 增幅大幅度减小。从 1997~2007 年的大区跨度看, 第一产业用水量增加的最主要的影响因素是最终需求的增加, 该因素的贡献率达到了 182.7%, 其次为产业技术效应和用水强度效应, 贡献率分别为 -64.6% 和 -17.6%。但从四个不同阶段看, 最终需求的影响在稳步降低, 产业技术效应整体呈下降趋势, 用水强度效应的变化幅度较大, 三种影响因素之间的差距在减弱。

第二产业用水增加量呈下降趋势, 由第一阶段的 $100.97 \times 10^8 \text{ m}^3$ 下降到第四阶段的 $17.40 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。从

Table 1. Factors effects of water use quantity of three industries in 1997-2007 (Unit: 10⁸ m³)
表 1. 1997~2007 年三产用水量变化因素分解效应表(单位: 10⁸ m³)

	产业技术 效应	用水强度 效应	最终需求 效应	总效应
1997~ 2007 年	第一产业	-49.74	-13.53	140.27
	第二产业	-36.62	-294.25	431.84
	第三产业	-6.51	-20.68	27.90
1997~ 2000 年	第一产业	-24.51	-0.21	91.04
	第二产业	-4.05	-30.14	45.36
	第三产业	0.56	-4.61	1.06
2000~ 2002 年	第一产业	2.08	-15.81	41.50
	第二产业	-3.92	-33.22	40.38
	第三产业	-2.33	4.33	3.07
2002~ 2005 年	第一产业	-13.92	12.70	-20.69
	第二产业	-18.49	-28.47	108.03
	第三产业	-1.49	-11.50	8.16
2005~ 2007 年	第一产业	-8.44	-10.66	23.90
	第二产业	-4.63	-76.48	98.50
	第三产业	-0.30	0.78	2.97

大区跨度看, 第二产业用水量增加的主要影响因素是最终需求的增加, 贡献率占 42.7%, 其次为用水强度效应, 贡献率为 -291.4%。但从四个不同阶段看, 最终需求效应和用水强度效应有稳步增大的趋势, 而产业技术效应变化不大, 三者影响因素对第二产业用水量的影响贡献率差异在逐渐加大。

第三产业用水增加量呈上升趋势, 由第一阶段的 $0.70 \times 10^8 \text{ m}^3$ 上升到 $3.46 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。从大区跨度看, 第二产业用水量增加的主要影响因素是最终需求的变化, 其次为用水强度的变化。从四个不同阶段看, 最终需求效应呈先增后减的趋势, 用水强度效应在前三个阶段均为影响第三产业用水量变化的主要原

因, 其变化趋势浮动较大, 而产业技术效应由加剧用水量增加到抑制用水量增加的趋势。

4.3. 国民经济各部门用水变动分解特征

如表 2 所示, 为更好地分析技术效应和最终需求效应对江苏省产业用水利用变化产生的影响, 从国民经济各部门角度进一步进行分析, 因素分解结果见表 3。

以 1997~2007 年整个时间跨度为例, 产业技术效应对大部分国民经济部门用水起到抑制作用, 除煤炭采选业、其他采掘业、建材工业、其他制造业; 国内最终需求结构效应, 其贡献率普遍高于产业技术效应和用水强度效应, 这也是各国民经济部门用水量增加导致水资源短缺的主要原因。

更大的用水抑制作用, 除其他采掘业、水的生产与供应业、批发零售业以外, 表明用水强度效应是抑制产业用水增加的关键因素; 国内最终需求成长效应是导致各国民经济部门用水量增加的主要因素, 除煤炭采选业、其他采掘业、建材工业、其他制造业; 国内最终需求结构效应, 其贡献率普遍高于产业技术效应和用水强度效应, 这也是各国民经济部门用水量增加导致水资源短缺的主要原因。

为了便于更直观的分析, 避免对各个部门进行逐一分析的繁琐, 对三种效应采用模糊 C 均值聚类法, 将 21 个国民经济部门按强、中、弱驱动进行聚类^[13-15], 见表 3。

Table 2. Factors effects of water use quantity of national economy sectors in 1997-2007 (Unit: 10⁸ m³)
表 2. 1997~2007 年各国民经济部门用水量变化因素分解表(单位: 10⁸ m³)

部门编号	1997~2000 年			2000~2002 年			2002~2005 年			2005~2007 年		
	产业技术效应	用水强度效应	最终需求效应									
1	-24.51	-0.21	91.04	2.08	-15.81	41.50	-13.92	12.70	-20.69	-8.44	-10.66	23.90
2	-0.02	-0.06	0.11	0.01	-0.29	0.02	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.21	0.00
3	-0.14	-0.80	1.18	-0.06	-0.63	0.04	0.28	0.95	0.44	-0.55	-2.92	1.38
4	-0.04	-0.13	0.39	0.08	0.97	-0.41	0.21	-0.26	-0.17	0.19	-0.76	0.17
5	-0.15	-0.39	1.51	0.66	-4.16	-0.94	-0.84	-0.51	1.01	0.25	0.98	0.06
6	0.83	3.22	1.88	0.78	-15.02	3.84	-1.48	-2.49	3.49	0.61	1.41	1.04
7	-11.10	-0.86	12.39	-2.84	-2.66	4.69	-1.31	-0.64	1.88	0.48	-0.43	-0.10
8	-0.87	-0.16	1.88	-0.76	-4.04	1.79	-0.21	-0.27	0.52	0.06	3.28	0.21
9	-1.43	-1.24	5.71	0.17	-9.31	5.14	1.11	-1.54	2.65	-1.23	-2.10	6.39
10	1.00	-0.05	0.03	-2.86	-0.32	2.14	-2.71	-1.44	3.37	0.64	-0.41	0.17
11	-1.87	-0.49	5.51	-2.69	-8.64	8.68	-0.22	-1.35	5.47	1.51	-6.86	4.25
12	-3.45	-0.44	7.72	-5.00	-10.41	9.07	-8.08	-7.05	16.93	0.48	-8.78	5.00
13	-2.18	-0.37	3.40	-0.32	-2.98	5.06	-4.76	-9.47	16.31	-2.25	-5.01	5.99
14	0.05	0.08	0.05	0.07	-0.01	-0.26	0.02	-0.02	-0.30	-0.52	-0.46	1.20
15	49.30	-8.32	-42.83	-204.28	-5.15	234.87	45.84	-15.91	26.69	-44.64	-9.64	73.68
16	-0.20	0.09	0.93	2.89	7.16	-0.97	0.09	-0.55	-9.37	0.18	-1.48	0.20
17	0.23	-0.94	0.35	0.07	0.01	0.05	0.90	3.88	-0.01	-0.05	-5.26	0.87
18	-0.10	-0.56	0.45	0.05	0.02	-0.05	-0.15	-0.29	0.62	-0.05	0.19	0.26
19	-0.25	-1.09	0.82	-0.51	2.05	0.38	-1.27	-4.15	3.17	-0.01	0.05	0.09
20	-0.02	-0.36	0.21	-0.18	-0.21	0.51	0.17	0.08	-0.05	-0.03	1.20	0.17
21	1.22	-2.31	-1.02	-2.61	2.53	3.08	-0.14	-7.22	4.38	-0.36	-1.03	2.97

Table 3. Clustering of driving strength of factors effects of sectors
表 3. 各国民经济部门三种效应驱动强度聚类表

分解效应	驱动强度	部门编号
产业技术效应	强驱动	1
	中驱动	2~14, 16~21
	弱驱动	15
用水强度效应	强驱动	1, 6, 11, 12, 15
	中驱动	3, 9, 13, 17, 21
	弱驱动	2, 4, 5, 7, 8, 10, 14, 16, 18~20
最终需求效应	强驱动	15
	中驱动	1, 7, 9, 11~13, 21
	弱驱动	2~6, 8, 10, 14, 16~20

在产业技术效应中, 农业部门是强驱动的部门, 这也表明近年来农业科技进步和发展取得良好的成果, 投入产出率大大提高, 对用水的需求量起到关键的抑制作用; 电力行业是弱驱动部门, 由于其行业的特殊性, 加上其用水需求量大, 该部门的中间产品技术改变对用水量的增加起促进作用; 除农业和电力行业以外的 19 个部门为中驱动部门, 随着产业技术的不断提高, 对应部门用水量的增加在一定程度上起到了抑制作用。

在用水强度效应中, 农业、纺织工业、冶金工业、机械设备工业、电力工业为强驱动部门, 部门的节水技术对用水量增加起到了关键的抑制作用, 特别是农业、纺织业等高耗水行业, 节水技术的改进尤为重要; 石油天然气、化学工业、电子仪器、建筑业、其他服务业为中驱动部门, 节水技术的进步对用水量起到主要的抑制作用; 而其他的行业为弱驱动部门, 用水强度效应对该部门用水量的增加起到了一定的抑制作用。

在最终需求效应中, 电力行业是强驱动部门, 最终需求的变化对电力行业用水量增加起到了关键的拉动作用, 是电力行业用水量增加的最主要原因; 农业、森林工业、化学工业、冶金工业、机械设备工业、电子仪器、其他服务业是中驱动部门, 最终需求效应对部门用水量增加主要的拉动效应; 其他行业为弱驱动部门, 最终需求效应对部门用水起到一定的拉动作用。

5. 结论

本文运用投入产出分析的结构分解方法, 对江苏省产业用水变动机理进行分析, 结果表明:

1) 最终需求效应对产业用水变动的影响最大, 是产业用水的拉动效应, 产业技术效应和用水强度效应是产业用水的抑制效应, 其中用水强度效应是节水的关键因素。

2) 产业技术效应、用水强度效应、最终需求效应对三产用水变动所起的正负效应方向整体一致, 但驱动强度不同, 且随着时间的推移, 呈现不同的发展态势。

3) 在各国民经济部门中, 除农业和电力工业以外的其他部门都为产业技术效应中驱动部门, 表明产业技术效应对大多部门用水起到一般的抑制作用; 用水强度效应中强驱动和中驱动部门占总部门的一半, 表明用水强度效应所起抑制作用越来越大; 最终需求效应中只有电力部门为强驱动部门, 而大部分部门为弱驱动部门, 表明最终需求效应所起的拉动作用越来越小。

致谢

感谢国家自然科学基金项目、江苏省社会科学基金重点项目和水利部公益性行业科研专项经费项目的支持, 感谢第十一届中国水论坛推荐!

基金项目

国家自然科学基金(51109055, 51279223), 江苏省社会科学基金重点项目(11GLA001), 水利部公益性行业科研专项经费项目(201301003, 201201022)。

参考文献 (References)

- [1] 张强, 王本德, 曹明亮. 基于因素分解模型的水资源利用变动分析[J]. 自然资源学报, 2011, 26(7): 1219-1226.
 ZHANG Qiang, WANG Bende and CHAO Mingliang. Analysis of water resource utilization change based on factor decomposition model. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(7): 1219-1226.
- [2] RICHARD, F. G., MUN, S. H. and DALE, W. J. Why has the energy-output ratio fallen in China? *The Energy Journal*, 1999, 20(3), 63-92.
- [3] MA, C. B., STERN, D. I. China's changing energy intensity trend: A decomposition analysis. *Energy Economics*, 2008, 30 (3): 1037-1053.
- [4] 夏炎, 杨翠红, 陈锡康, 等. 基于可比价投入产出表分解我国

- 能源强度影响因素[J]. 系统工程理论与实践, 2009, 29(10): 21-27.
- XIA Yan, YANG Cuihong, CHEN Xikang, et al. Analysis on determining factors of energy intensity in China based on comparable price input-output table. *Systems Engineering-Theory*, 2009, 29(10): 21-27.
- [5] 梁进社, 郑蔚, 蔡建明. 中国能源消费增长的分解——基于投入产出方法[J]. 自然资源学报, 2007, 22(6): 853-864.
- LIANG Jinshan, ZHENG Wei and CAI Jianming. The decomposition of energyconsumption growth in China: Based on input-output model. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(6): 853-864.
- [6] ANG, B. W., LEE, S. Y. Decomposition of industrial energy consumption: Some methodological and application issues. *Energy Economics*, 1994, 16(2), 83-92.
- [7] Sun, J. W. Energy demand in the Fifteen European Union Countries by 2010: A Forecasting model based on the decomposition approach. *Energy*, 2001, 26(6): 549-560.
- [8] 刘云枫, 孔伟. 基于因素分解模型的北京市工业用水变化分析[J]. 水电能源科学, 2013, 31(4): 26-29.
- LIU Yunfeng, KONG Wei. Analysis of industry water utilization Chang in Beijing based on factor decomposition model. *Water Resources and Power*, 2013, 31(4): 26-29.
- [9] 孙才志, 王妍. 基于因素分解模型的辽宁省用水变化驱动力测度及时空分异[J]. 干旱区地理, 2009, 32(6): 850-858.
- SUN Caizhi, WANG Yan. Driving force measurement of water utilization change in Liaoning Province and analysis of their spatial-temporal difference based on factor decomposition model. *Arid Land Geography*, 2009, 32(6): 850-858.
- [10] 贾绍凤, 张士锋, 夏军, 等. 经济结构调整的节水效应[J]. 水利学报, 2004, 3: 111-116.
- JIA Shaofeng, ZHANG Shifeng, XIA Jun, et al. Effect of Economic Structure Adjustment on Water Saving. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2004, 3: 111-116.
- [11] ANG, B. W., ZHANG, F. Q. A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies. *Energy*, 2000, 25(12): 1149-1176.
- [12] Boyd, G. A., Roop, J. M. A note on the fisher ideal index decomposition for structural change in energy intensity. *Energy*, 2004, 25(1): 87-101.
- [13] 方开泰. 聚类分析[M]. 北京: 地质出版社, 1982.
- FANG Kaitai. Cluster analysis. Beijing: Geological Publishing House, 1982.
- [14] 杨虎, 钟波, 刘琼荪. 应用数理统计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- YANG Hu, ZHONG Bo and LIU Qiongsun. Application mathematical statistic study. Beijing: Tsinghua University Press, 2006.
- [15] 谢中华. MATLAB统计分析与应用: 40个案例分析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010.
- XIE Zhonghua. Analysis and application of statistics by MATLAB: Based on 40 cases. Beijing: Beihang University Press, 2010.