

# 水-能源关联下长三角地区用水量 变化因素分解研究

于娱<sup>1</sup> 叶帅<sup>2</sup> 任心如<sup>3</sup> 吴蓉<sup>41</sup>

(1. 南京审计大学 审计与评估研究院, 江苏 南京 211815;

2. 南京审计大学 信息工程学院, 江苏 南京 211815;

3. 苏州科技大学 商学院, 江苏 苏州 215009;

4. 河海大学 商学院, 江苏 南京 211100)

**【摘要】:** 当前我国水资源面临的形势十分严峻, 水资源短缺已成为制约经济社会可持续发展的主要瓶颈。以我国水资源消耗总量和强度双控目标为背景, 选取长三角地区三省一市作为研究对象, 基于水-能源关联关系视角, 使用广义迪氏指数分解法对长三角地区四个省市用水量变化影响因素进行分解, 并分析各驱动因素在用水量过程中的贡献差异, 以期识别水资源消耗总量控制的关键推动力。研究发现影响长三角地区四个省市用水量变化的因素基本一致, 但各省市间存在差别。其中区域经济发展水平, 能源消耗量, 人口规模促进地区用水量的增加, 用水强度、人均地区经济发展水平以及能源强度抑制地区用水量增加, 水-能源关联度总体上抑制地区用水量增加, 人均用水量从逐年分析来看, 对用水量变化无明显规律, 有时抑制, 有时促进用水量变化。

**【关键词】:** 用水量 因素分解 广义迪氏指数法 水-能源关联

**【中图分类号】:** X196 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2021)02-159-08

## 0 引言

水是生命之源、生产之要、生态之基, 人多水少、水资源时空分布不均是我国的基本国情和水情。当前我国水资源面临的形势十分严峻, 水资源短缺已成为制约经济社会可持续发展的主要瓶颈<sup>[1]</sup>。长三角地区是我国经济最具活力的区域之一, 2018 年长三角地区 GDP 总量超过 21 万亿元, 占到全国 GDP 总量的近 1/4, 用水总量达 1155 亿立方米, 占全国用水总量的近 1/5。因此分析我国长三角地区用水量变化的影响因素, 识别用水量变化的关键影响因素, 并根据各区域用水总量控制目标, 寻找科学合理的节水路径, 从而探讨有效的节水策略, 对解决水资源危机以及支撑经济社会发展具有重要意义。

**作者简介:** 于娱, 博士, 副教授, 研究方向为绿色创新管理与绩效评价。E-mail: yuyu0801@139.com

**基金项目:** 国家自然科学基金项目“跨界知识重混下企业颠覆性绿色创新绩效评价与提升策略研究”(71801133); 江苏省高校哲学社会科学重大项目“基于区块链的流通业组织与制度创新研究”(2020SJZDA051); 南京审计大学政府审计研究基金项目“基于政府审计视角下企业绿色创新绩效审计评价研究”(GAS171014)

目前学术界已开展了大量关于用水量变化影响因素分解研究<sup>[2-4]</sup>。根据用水变化影响因素分解方法不同,可以分为结构分解分析(structure decomposition analysis, SDA)<sup>[5-8]</sup>和指数分解分析(indexed composition analysis, IDA)<sup>[9-12]</sup>两种类型。由于结构分解分析方法严重依赖于相关部门发布的投入产出表,使得其应用受到一定的限制,而指数分解分析方法,特别是对数平均迪氏指数(logarithmic mean Divisia index, LMDI)分解法其计算简洁方便,而被广泛应用于用水量变化驱动因素分解<sup>[13]</sup>。

然而,随着指数分解法,特别是 LMDI 方法的不断应用,相关学者发现现有指数分解方法存在着一些缺陷。Vaninsky<sup>[14]</sup>指出以 Kaya 恒等式为基础的现有指数分解方法,均首先将目标变量分解成多个因素相乘的形式,使得各因素之间在形式上相互依赖,而且其分解结果也依赖于影响因素的选取,导致基于 Kaya 恒等式的不同因素分解形式可能产生相悖的分解结论。同时,根据现有的用水量变化影响因素分解研究,可以发现目前现有的指数分解法至多只能考察一个绝对量因素(如经济规模),而不能同时分析其他绝对量因素(如人口规模)的变化对用水量变化的贡献程度,并且在分解过程中难以同时充分考虑隐含的相对变量因素(如人均用水量)的变化对用水量变化的影响。为解决现有指数分解法存在的上述缺陷, Vaninsky<sup>[14]</sup>提出了一种广义的指数分解分析框架,即广义迪氏指数分解法(generalized Divisia index method, GDIM)。该方法能够更加全面准确地分析不同影响因素对目标变量变化的实际贡献,目前已被应用于不同区域、不同行业的碳排放因素研究<sup>[15-20]</sup>,但该方法还尚未被应用于对用水量变化驱动因素的研究。

由于在水的提取、净化、调度、使用、回收处理等过程中,需要消耗大量的能源,同时能源开采、生产、使用等过程中,尤其是传统的火力发电,需要使用大量的水资源进行冷却,因此水和能源之间存在错综复杂的关联关系。目前水—能源关联关系已经受到国内外学界的广泛关注<sup>[21-24]</sup>。关于用水量变化因素分解仍采用传统分析视角,而忽略水和能源之间存在的关联关系。鉴于此,本文将选取长三角地区三省一市作为研究对象,并使用 GDIM 模型,从水—能源关联视角下对长三角地区四个省市用水量变化影响因素进行分解,分析各驱动因素在用水量过程中的贡献差异,以期识别水资源消耗总量控制的关键推动力。本文可能的贡献在于:首次考虑水—能源关联关系,采用 GDIM 考察了长三角地区用水量变化的驱动因素,特别同时分析考察现有文献较少关注但不容忽视的三个强度因素,即用水强度、能源强度、水—能源关联度,从而为未来用水政策的合理制定和实施提供必要的参考依据。

## 1 研究方法 with 数据说明

### 1.1 用水量变化分解——基于广义迪氏指数分解法

广义迪氏指数分解法(generalized Divisia index method, GDIM)主要是通过 Kaya 恒等式的变形建立多维因素分解模型。目前已被广泛地应用于不同地区、不同行业的碳排放影响因素分解。Vaninsky<sup>[14]</sup>认为该方法克服了传统指数分解模型存在的两方面不足。本节将根据 GDIM 的基本原理,构建用水量变化驱动因素分解模型。

通过总结目前现有研究,发现目前影响区域用水量变化因素主要包括区域经济发展水平<sup>[9, 25-26]</sup>, 区域人口规模<sup>[10, 12]</sup>, 区域人均收入水平<sup>[10, 12]</sup>, 区域用水强度<sup>[10, 12, 27]</sup>。可以发现已有关于用水量因素分解研究均从经济和人口发展角度等直接因素分析其对用水量变化的影响,而忽视其他间接因素对用水量变化的影响。下面将基于水—能源关联关系视角,重点分析相关能源因素对用水量变化的影响。

#### (1) 区域能源使用量。

由于水—能源之间复杂的关联关系,区域能源使用量的增加,必然带来能源生产量的增加。能源开采、生产、运输、使用过程中,尤其传统的火力发电,需要使用大量的水资源进行冷却。《2014 年世界水发展报告》中指出目前能源生产消耗了全世界水摄取量的 15%,但对能源需求的增长将导致这一比例到 2035 年增长到 20%<sup>[28]</sup>。因此区域能源使用量的变化将必然带来区域用水量的变化。

(2) 区域水—能源关联度。

水—能源关联度反映区域水和能源间的耦合关系,当水—能源关联度越低时,伴随单位能源消耗的水消耗也越少。因此在给定能源消耗量下,水—能源关联度越低,则水消耗量也越低。因此区域水—能源关联度也是影响区域用水量的关键驱动因素之一。

(3) 区域能源强度。

能源强度变化反映单位能耗产值的变化,表明能源使用效率的变化。能源强度越小,则能源使用效率越高,将带来能源使用量的降低。因此区域能源强度的变化,必然驱动区域用水量的变化。

根据上述提出的用水量变化影响因素间相互关系可以构建如下表达式:

$$\begin{aligned} \text{Water} &= \frac{\text{Water}}{\text{GDP}} \times \text{GDP} = \frac{\text{Water}}{\text{Energy}} \times \text{Energy} \\ &= \frac{\text{Water}}{\text{Population}} \times \text{Population} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\frac{\text{GDP}}{\text{Population}} = \frac{\text{Water}}{\text{Population}} \Bigg/ \frac{\text{Water}}{\text{GDP}} \quad (2)$$

$$\frac{\text{Energy}}{\text{GDP}} = \frac{\text{Water}}{\text{GDP}} \Bigg/ \frac{\text{Water}}{\text{Energy}} \quad (3)$$

式中:Water 表示区域用水量,GDP 表示区域经济发展水平,Water/GDP 表示区域用水强度,Energy 表示区域能源消耗量;Water/Energy 表示区域水—能源关联度;Population 表示区域人口规模;Water/Population 表示区域人均用水量;GDP/Population 表示区域人均收入水平;Energy/GDP 表示区域能源强度。为将上述公式简化,令:

$$W = \text{Water}, X_1 = \text{GDP}, X_2 = \frac{\text{Water}}{\text{GDP}}$$

$$X_3 = \text{Energy}, X_4 = \frac{\text{Water}}{\text{Energy}}$$

$$X_5 = \text{Population}, X_6 = \frac{\text{Water}}{\text{Population}}$$

$$X_7 = \frac{\text{GDP}}{\text{Population}} = \frac{\text{Water}}{\text{Population}} \Bigg/ \frac{\text{Water}}{\text{GDP}}$$

$$X_8 = \frac{\text{Energy}}{\text{GDP}} = \frac{\text{Water}}{\text{GDP}} \Bigg/ \frac{\text{Water}}{\text{Energy}}$$

对于因素 X, 用函数 W 表示用水量变化的贡献  $W=f(X_1, \dots, X_8)$ , 因此公式 (1)~(3) 可以表示为:

$$W=X_1X_2=X_3X_4=X_5X_6 \quad (4)$$

$$X_7=X_1/X_5 \quad (5)$$

$$X_8=X_3/X_1 \quad (6)$$

根据 GDIM 方法基本原理, 现将式 (4)~(6) 转换成如下公式:

$$W=X_1X_2 \quad (7)$$

$$X_1X_2-X_3X_4=0 \quad (8)$$

$$X_1X_2-X_5X_6=0 \quad (9)$$

$$X_1-X_5X_7=0 \quad (10)$$

$$X_3-X_1X_8=0 \quad (11)$$

由式 (7) 可以得到用水量变化的因素贡献函数梯度:

$$\nabla W(X) = (X_2, X_1, 0, 0, 0, 0, 0, 0)^T \quad (12)$$

由公式 (8)~(11) 构造一个由各影响因素组成的雅可比矩阵:

$$\Phi_X = \begin{pmatrix} X_2 & X_1 & -X_4 & -X_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ X_2 & X_1 & 0 & 0 & -X_6 & -X_5 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & -X_7 & 0 & -X_5 & 0 \\ -X_8 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -X_1 \end{pmatrix}^T \quad (13)$$

根据 GDIM 方法可知, 用水量变化可以被分解为各影响因素贡献之和, 具体见下式:

$$\Delta W[X|\Phi] = \int_L \nabla W^T (I - \Phi_X \Phi_X^+) dX \quad (14)$$

式中: I 表示单位矩阵, L 表示时间跨度。  $\Phi_X^+$  表示  $\Phi_X$  的广义逆矩阵。若雅可比矩阵  $\Phi_X$  中列向量线性无关, 则  $\Phi_X^+ = (\Phi_X^T \Phi_X)^{-1} \Phi_X^T$ 。

依据式(14), 本文将用水量变化  $\Delta W$  分解为八种因素之和, 分别为区域经济规模变化  $\Delta X_1$ 、区域能源消耗规模变化  $\Delta X_2$  和区域人口规模变化  $\Delta X_3$  三个绝对量因素, 这三个绝对量因素分别反映经济规模变化、能源消耗规模变化和人口规模变化对用水量变化的影响, 可以分别称为区域经济规模效应, 区域能源规模效应, 区域人口规模效应。另外五个相对量因素, 其中  $\Delta X_4$  反映用水强度变化对用水量变化的影响, 表示用水技术进步对用水量变化的影响, 可以称为区域用水技术效应。 $\Delta X_5$  反映水—能源关联度变化对用水量变化的影响, 可以称为区域水—能源关联效应。 $\Delta X_6$  反映人均用水量变化对用水量变化的影响, 反映人们用水习惯对用水量变化的影响, 当区域人均用水量较低时, 表明该地区人们具有良好的用水行为习惯, 因此可以称为区域用水习惯效应。 $\Delta X_7$  反映人均收入水平变化对用水量变化的影响, 一般情况下人们具有较高的收入水平时, 其往往也具有良好环境保护行为意识, 因此可以称为区域用水意识效应。 $\Delta X_8$  反映能源强度变化对用水量变化的影响, 表示能源技术进步对用水量变化的影响, 可以称为区域能源技术效应。综上, 本文将影响用水量变化效应分为规模效应、技术效应、关联效应和行为效应。

## 1.2 数据说明

考虑到随着中国于 2001 年加入 WTO, 同时城市化进程开始促进中国逐渐成为世界制造中心<sup>[29]</sup>, 用水量出现较大幅度增长。因此本文选取 2000—2016 年作为研究区间, 选取长三角地区江苏、上海、浙江、安徽四个省市的相关数据进行长三角地区用水量变化因素分析。相关直接指标说明如下:

(1) 区域用水规模, 采用地区用水总量(单位: 亿立方米) 指标表示, 用水总量指各类用水户取用的包括输水损失在内的毛水量。该数据来源于历年《中国统计年鉴》。

(2) 区域经济发展水平, 用地区生产总值或地区 GDP(单位: 亿元) 表示。地区生产总值或地区 GDP 指按市场价格计算的一个地区所有常住单位在一定时期内生产活动的最终成果。数据来源于历年《中国统计年鉴》。其中为保证数据的可比性, 国民生产总值按照 2000 年不变价格进行平减。

(3) 区域能源消耗规模, 用能源消费标准量(单位: 万吨标准煤) 表示。能源消费标准量指能源使用单位在报告期内实际消费的按照能源标准计量单位计算的各种能源消费数量。该数据来源于历年《中国能源统计年鉴》。

(4) 区域人口规模, 用地区年末人口数(单位: 万人) 表示。年末人口数指每年 12 月 31 日 24 时的人口数。该数据来源于历年《中国统计年鉴》。

# 2 研究结果及分析

## 2.1 长三角地区用水量变化描述统计分析

为准确了解长三角地区四个省市用水量变化历年变化情况, 根据 2000—2016 年长三角地区用水量数据, 绘制得到长三角地区四省市用水量变化图(图 1)。

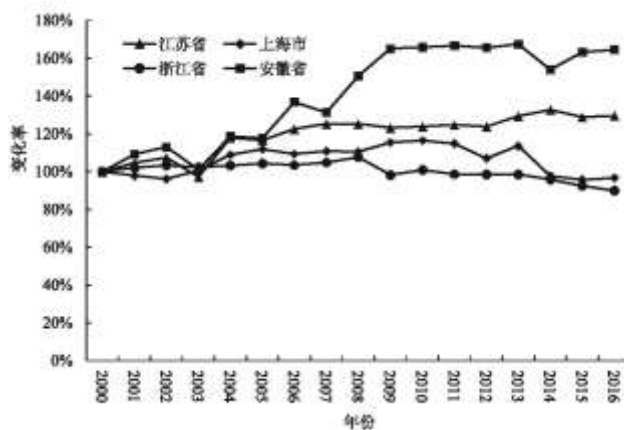


图 1 长三角地区四省市用水量变化(以 2000 年用水量为基准)

从图 1 中可以看出,长三角地区四个省市地区用水量变化各不相同,其中江苏和安徽两省用水量的变化呈现不断增加趋势。2009 年作为安徽省用水量变化的拐点,2009 年之前安徽的用水量增长迅速,但 2009 年后安徽用水量增长速度减缓,呈缓慢增加趋势。通过计算发现安徽用水量的年平均增长率在长三角地区最高,年平均增长率为 3.16%,增长率明显高于江苏省用水量年平均增长率 1.63%。上海和浙江两地用水量呈现缓慢减少的降低的趋势,浙江省用水量减少趋势高于上海市用水量减少趋势,其中上海用水量的年平均减少率为 0.21%,浙江用水量的年平均减少率为 0.65%。

## 2.2 长三角地区用水量变化逐年分解分析

为识别影响长三角地区用水量变化的关键因素,利用 R 软件计算公式(14),分析长三角地区四个省市区域经济发展、区域人口总数、区域能源消耗等八个因素对长三角地区用水量变化的贡献值,绘制长三角地区四个省市各因素对用水量变化贡献率百分比堆积图(图 2)。

从图 2 中可以看出,影响长三角地区四个省市用水量变化方向的因素基本一致,其中区域经济发展水平,能源消耗量,人口规模促进地区用水量的增加,用水强度、人均地区经济发展水平以及能源强度抑制地区用水量增加,水—能源关联度总体上抑制地区用水量增加,人均用水量从逐年分析来看,对用水量变化无明显规律,有时抑制有时促进用水量变化。下面以江苏为例对用水量变化驱动因素进行分析,其他省份分析步骤类似,在此不做赘述。

对于江苏省,从图 2 中可以看出 2000—2016 年间经济发展水平对江苏用水量变化的贡献率和贡献量始终为正值,表明江苏省经济发展水平增加将带动用水量的增加。对于用水强度,因用水强度反映了经济发展对水的依赖程度,可以发现 2000—2016 年,除去 2004 年,其余年份用水强度变化对用水量变化的贡献率和贡献量均为负值,表明江苏省用水强度的变化将抑制用水量变化。经济发展中用水强度的变化对用水量的影响,主要考察的是生产技术的改变对用水量的影响。随着科技的进步,各种节水技术开发并投入生产,使得经济发展中高耗水程度得到有效降低,因此用水强度显著下降,对江苏用水量变化起到明显的抑制作用,这说明目前用水技术进步是解决用水紧张最重要的决定性因素。能源消耗正向驱动用水量变化,说明随着江苏能源消耗的增加,由于水—能源的关联作用,使得经济和社会生活对水资源的使用也不断增加,因此能源消耗促进江苏用水量的增加。对于人均经济发展水平,可以发现人均经济发展水平对江苏用水量变化的贡献率和贡献量均为负值,因此人均经济发展水平将抑制用水量变化。我们认为随着江苏人均经济发展水平的不断提升,人民节水意识也将不断提升,从而抑制江苏用水量的增加。对于人口规模,表中显示人口规模对江苏用水量变化的贡献率均为正值,因此人口规模正向驱动用水量变化,人口规模的增加必然带来用水需求的增加。能源强度对 2000—2016 年江苏用水量变化的贡献率和贡献量均小于零,表明能耗强度将抑制用水量变化。对于人均用水量,2000—2016 年,人均用水量对江苏用水量变化的贡献率时正时负,无明显的规律。水—能源关联度变化对江苏用水量变化的贡

献总体上呈抑制作用,从图2中可以发现只有在2000—2001年、2012—2014年这两个时间段水—能源关联度变化对江苏用水量变化的贡献率为正值。水—能源关联度的下降表明单位能耗下用水量不断降低,如果用能源消耗量表示用水成本,那么当水—能源关联度下降表明用水成本不断增加,因此水—能源关联度下降使得用水成本日益增加,从而抑制江苏用水量的增加。

### 2.3 长三角地区用水量变化分解年平均分析

根据上节分析可以发现,不同年份长三角各地区用水量变化影响因素贡献率各不相同,使得难以进行不同地区对比分析,因此本节将对长三角地区用水变化分解进行年平均分析。

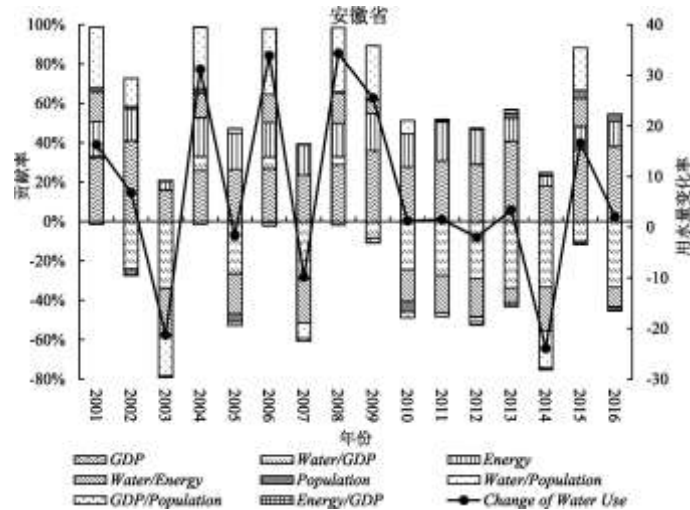


图2 长三角地区四省市用水量变化率各影响因素贡献值逐年变化

首先根据2000—2016年间长三角四个地区各影响因素的累计贡献量和2000年基期用水量,计算得到各因素累计贡献率,最后得到各影响因素对用水量变化的年平均贡献率(表1)。

表1 2000—2016年长三角地区用水量变化量各影响因素年平均贡献率

地区	GDP	Water/GDP	Energy	Water/Energy	Population	Water/Population	GDP/Population	Energy/GDP
江苏	4.53%	-3.67%	3.12%	-2.45%	0.21%	0.41%	-0.24%	-0.05%
上海	3.44%	-3.34%	1.67%	-1.75%	0.91%	-1.00%	-0.08%	-0.03%
浙江	3.54%	-3.56%	2.41%	-2.58%	0.37%	-0.60%	-0.16%	-0.04%
安徽	5.26%	-3.62%	2.78%	-1.45%	0.05%	1.34%	-0.30%	-0.03%

从表1可以发现,除了人均用水量,其他七个因素对长三角地区四个省市用水量变化的影响方向一致,但各因素对用水量变化的年平均贡献率各不相同。在江苏和安徽两省人均用水量对用水量增加起驱动作用,而在上海和浙江两地区该因素对用水量增加起到抑制作用。对于其他因素,可以发现地区经济发展水平对安徽用水量增加的驱动作用最大,而上海则最小。目前安徽地区可能仍然以要素驱动为主的粗放型经济增长方式或者经济转型缓慢,而上海的经济增长方式开始逐步转向创新驱动的经济增长方式。

对于用水强度因素,可以发现其对江苏用水量增长的抑制作用最大,说明江苏在用水效率或者节水技术使用方面在长三角地区较为领先。在长三角四个省市,能源消耗因素对江苏用水量增长的驱动作用也最大。水—能源关联程度对浙江省用水量增长的抑制作用最大。人口因素对上海地区用水量增加促进作用最大,安徽地区最小。人均经济发展水平对安徽用水量增加抑制作用最大,上海地区抑制作用最小,表明随着人均经济发展水平提升,人民的节水意识不断加强,而上海地区由于人均经济水平较高,人民已经养成良好的用水习惯,因此该因素对上海地区用水量抑制作用最小。能源强度对四个地区用水量变化的贡献率均比较小,但均对用水量增加起到抑制作用。

#### 2.4 长三角地区用水量变化阶段分解分析

由于我国均采用五年规划对国民经济和社会发展进行规划,同时为了方便不同时间段之间对比,本文将上一五年规划的末年作为下一个五年规划的基期,因此可将2000—2016年分为三个时间段,分别为2000—2005年,2005—2010年,2010—2016年三个阶段。本节将对长三角地区四个省市用水量变化进行阶段性分析。分别将三个阶段的基期和末期代入模型,分析2000—2005年,2005—2010年,2010—2016年,2000—2016年四个阶段,各因素对长三角地区四个省市用水量变化贡献率,并绘制各因素对用水量变化贡献率百分比堆积图(图3)。可以发现,“十五”至“十三五”期间,经济规模变化对江苏用水量变化的驱动作用不断增加,能源使用规模变化对江苏用水量变化的驱动作用则不断减小。但用水强度变化对江苏用水量变化的抑制作用不断增加,水—能源关联度对江苏用水量变化的抑制作用不断减小。对于上海用水量变化,可以发现“十一五”至“十二五”期间经济规模变化对上海用水量变化的驱动作用不断增加,但“十二五”至“十三五”期间,经济规模变化对上海用水量变化的驱动作用基本不变。能源使用规模变化对上海用水量变化在“十三五”期间的驱动作用很小,总体上看对用水量变量的影响基本消失。用水强度变化对上海用水量变化的抑制作用不断增加,水—能源关联度对上海用水量变化的抑制作用呈增加趋势,但增速较小。对于浙江用水量变化,经济规模变化对浙江用水量变化的驱动作用基本保持不变,能源使用规模变化对浙江用水量变化的驱动作用则不断减小。但用水强度变化对浙江用水量变化的抑制作用不断增加,水—能源关联度对浙江用水量变化的抑制作用也基本保持不变。对于安徽用水量变化,经济规模变化对浙江用水量变化的驱动作用呈增加趋势,但“十三五”期间基本保持不变。能源使用规模变化对安徽用水量变化的驱动作用则不断减小。用水强度变化对安徽用水量变化的抑制作用呈先减少后增加的倒“U”型。水—能源关联度对浙江用水量变化的抑制作用也呈先减少后增加的倒“U”型。从总体上看,长三角地区四个地区,用水强度变化对用水量增加的抑制作用不断增加,表明长三角地区正不断通过节水技术使用等技术创新来驱动用水总量和用水强度的双降。

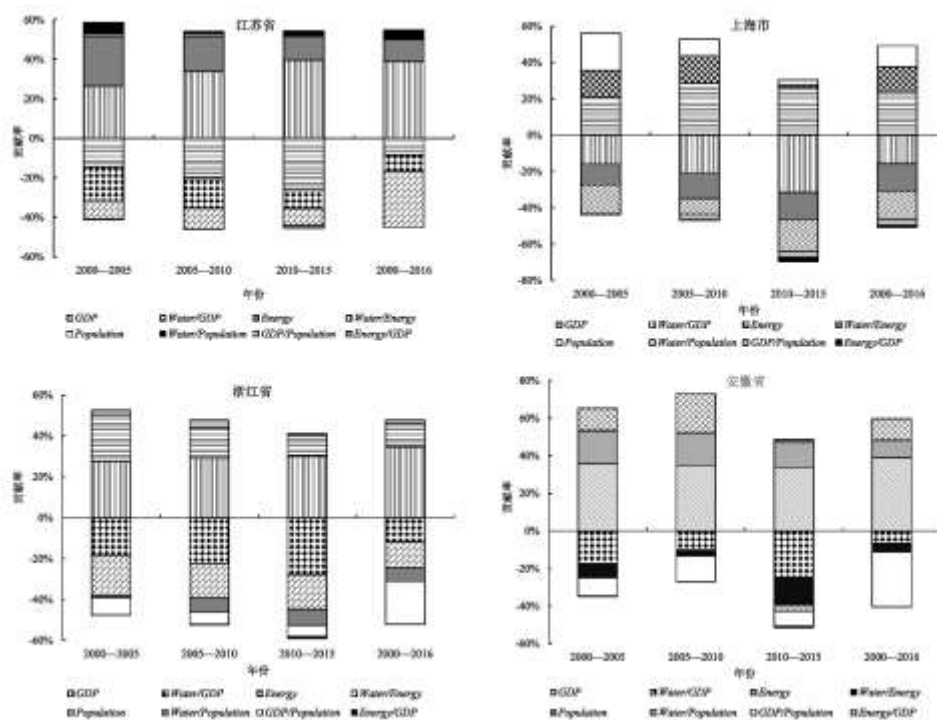


图 3 长三角地区四省市用水量变化率各影响因素贡献率阶段变化

### 3 结论与建议

#### 3.1 研究结论

本文基于水—能源关联关系视角,采用 GDIM 方法对长三角地区用水量变化驱动效应分解为强度效应、规模效应和行为效应,得到如下结论:

(1)“十五”至“十三五”期间的阶段分析发现,区域经济规模,能源使用规模以及人口规模是推动长三角地区四个省市用水量总量上升的三大因素。其中区域经济规模的驱动效应最大,人口规模的驱动效应最小。用水技术进步,能源技术进步和水—能源关联强度分别是抑制长三角地区用水量上升的三大因素。人均收入水平和人均用水量对用变量变化的作用各不相同,虽然从总体上看,人们用水行为效应能抑制用水量的增加,但目前长三角地区抑制作用仍比较小。

(2)2000—2016 年,区域经济增长是江苏用水量增加的主要驱动因素。能源使用量的增加、能源使用规模增加成为促进江苏用水量增加的原因。用水技术进步、水—能源关联程度降低以及人均收入增加成为抑制江苏省用水量增加的主要因素。

(3)2000—2016 年,上海用水量降低,用水技术进步是驱动上海用水量减少的首要因素,用水行为习惯培养以及水—能源强度降低分别成为驱动上海用水量减少的第二和第三核心要素。区域经济增长和能源使用规模增加成为促进用水量增加的两大影响因素,但由于抑制作用大于促进作用,上海的用水量在减少。

(4)2010—2016 年,浙江用水量减少,人均收入增加即人们节水意识提升成为抑制浙江用水量增加的首要因素,水—能源关联度降低以及用水技术进步作为抑制浙江省用水量的第二和第三要素。人均用水量降低也是抑制浙江用水量增加因素之一。经济水平提升以及能源使用规模增加是促进浙江省用水量增加的主要驱动因素。

(5)2000—2016 年,安徽用水量总体上不断增加,经济发展水平提升成为驱动安徽用水量增加的首要因素。而人均用水量增加和能源使用规模增加分别成为驱动安徽用水量增加的第二和第三驱动因素。而人均收入水平提升即节水意识提升成为抑制安徽用水量增加的首要因素,节水技术进步和水—能源关联程度降低成为促进安徽用水量降低重要因素。但由于因素的抑制效应小于驱动效应,导致安徽用水量增加。

#### 3.2 政策建议

基于上述对八种用水量变化影响因素分析的研究结论,考虑到发展经济作为新时代中国特色社会主义发展诉求,因此以牺牲经济发展为代价的用水策略显然不符合新时代中国特色社会主义发展诉求,因此,长三角地区用水量控制应该围绕提高用水效率和能源效率,降低能源使用量、水—能源关联度以及人均用水量等策略予以实施,为此本文给出如下政策建议:

(1)目前长三角地区用水效率仍具有很大提升空间,需大力提高用水效率,降低用水总量。相关政府管理部门应强化用水科技支撑,加强节水技术与工艺使用,提高用水效率,同时通过关停并停采的方式加速淘汰化工纺织等高耗水行业落后产能,并大力推行合同用水管理<sup>[30]</sup>等市场化节水机制,加快推进用水方式由粗放向节约集约转变,提高用水效率,降低用水强度,从而降低用水量。

(2)长三角地区需加快产业结构转型升级,改变传统的能源依赖性产业结构,降低产业发展对能源的依赖程度,通过加强节能技术的使用,降低能源强度,提高能源利用效率。通过降低能源使用量和能源技术进步,实现能源生产和使用过程中降低用水量,

---

最终达到降低用水总量的目标。

(3) 大力发展相关非化石型能源,如太阳能、风能等,促进能源结构逐步向非化石能源过渡,以降低水—能源关联度,从而降低能源生产过程中用水量,最终抑制用水量增加。

(4) 进一步加强节水意识宣传,对于用水量较多的企事业单位,应推动安装节水器具。在城乡大力普及推广使用节水器具,创造良好节水条件,降低城乡居民家庭用水量,培养人们节水意识,养成良好的用水习惯,降低人均用水量。

(5) 坚持最严格的水资源管理制度<sup>[31]</sup>,实施企业用水定额制度,建立用水奖励和惩罚有机结合的节水政策。一方面对节水效果显著的企业给予一定的税收减免、财政补贴等奖励<sup>[32-33]</sup>,实用水定额交易<sup>[34]</sup>,运用经济手段激励企业开展节水管理。另一方面加强对高耗水企业用水监管监察,加强执法力度,强化惩处力度,对违反节水条例<sup>[35]</sup>等有关政策法规的企业进行处罚,倒逼企业主动履行节水义务,承担企业社会责任,将节水管理纳入其企业战略决策规划,以实现以水资源的可持续利用支撑经济社会持续健康发展。

#### 参考文献:

- [1]王梦依,高波.中国经济发展面临水危机[J].生态经济,2018(5):9-12.
- [2]Shang Y Z,Lu S B,Shang L,et al.Decomposition of industrial water use from 2003 to 2012 in Tianjin,China[J].Technological Forecasting and Social Change,2017,116:53-61.
- [3]Shang Y Z,Lu S B,Shang L,et al.Decomposition methods for analyzing changes of industrial water use[J].Journal of Hydrology,2016,543:808-817.
- [4]Zhang S L,Su X L,Singh V P,et al.Logarithmic mean Divisia index (LMDI) decomposition analysis of changes in agricultural water use:a case study of the middle reaches of the Heihe River basin,China[J].Agricultural Water Management,2018,208(30):422-430.
- [5]杨中文,许新宜,陈午,等.用水变化动态结构分解分析模型研究II:应用[J].水利学报,2015(7):802-810.
- [6]杨中文,许新宜,王红瑞,等.用水变化动态结构分解分析模型研究I:建模[J].水利学报,2015(6):658-667.
- [7]王苗苗,马忠,惠翔翔.基于SDA法的水资源管理评价——以黑河流域张掖市为例[J].管理评论,2018(5):158-164.
- [8]张标,刘秀丽.我国用水量变动影响因素的结构分解分析[J].管理评论,2015(5):3-8,18.
- [9]张陈俊,许静茹,张丽娜,等.长江经济带水资源消耗时空差异驱动效应研究[J].资源科学,2018(11):2247-2259.
- [10]张陈俊,章恒全,陈其勇,等.中国用水量变化的影响因素分析——基于LMDI方法[J].资源科学,2016(7):1308-1322.
- [11]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(10):1993-2002.

- 
- [12]张陈俊,赵存学,林琳,等.长江三角洲地区用水量时空差异的驱动效应研究[J].资源科学,2018(1):89-103.
- [13]Zhang C J, Wu Y S, Yu Y. Spatial decomposition analysis of water intensity in China[J]. Socio-Economic Planning Sciences, 2019. DOI:10.1016/j.seps.2019.01.002.
- [14]Vaninsky A. Factorial decomposition of CO<sub>2</sub> emissions: A generalized Divisia index approach[J]. Energy Economics, 2014, 45:389-400.
- [15]Shao S, Liu J H, Geng Y, et al. Uncovering driving factors of carbon emissions from China's mining sector[J]. Applied Energy, 2016, 166:220-238.
- [16]Yan Q Y, Wang Y X, Baležentis T, et al. Analysis of China's regional thermal electricity generation and CO<sub>2</sub> emissions: Decomposition based on the generalized Divisia index[J]. Science of The Total Environment, 2019, 682:737-755.
- [17]Yan Q Y, Wang Y X, Li Z Y, et al. Coordinated development of thermal power generation in Beijing-Tianjin-Hebei region: Evidence from decomposition and scenario analysis for carbon dioxide emission[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 232:1402-1417.
- [18]Yan Q Y, Yin J T, Baležentis T, et al. Energy-related GHG emission in agriculture of the European countries: An application of the generalized Divisia index[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 164:686-694.
- [19]邵帅,张曦,赵兴荣.中国制造业碳排放的经验分解与达峰路径——广义迪氏指数分解和动态情景分析[J].中国工业经济,2017(3):44-63.
- [20]马晓君,陈瑞敏,董碧滢,等.中国工业碳排放的因素分解与脱钩效应[J].中国环境科学,2019(8):3549-3557.
- [21]Dai J Y, Wu S Q, Han G Y, et al. Water-energy nexus: A review of methods and tools for macro-assessment[J]. Applied Energy, 2018, 210:393-408.
- [22]Hamiche A M, Stambouli A B, Flazi S. A review of the water-energy nexus[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 65:319-331.
- [23]王春艳,田磊,俞敏,等.电力行业水-能耦合关系研究综述[J].中国环境科学,2018(12):4742-4748.
- [24]顾阿伦,姜冬梅,张月.能源-水关系研究现状及对我国的启示[J].生态经济,2016(7):20-23,28.
- [25]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(12):2299-2305.
- [26]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(5):131-136.
- [27]张礼兵,徐勇俊,金菊良,等.安徽省工业用水量变化影响因素分析[J].水利学报,2014(7):837-843.

- 
- [28]WWAP.The United Nations world water development report 2014:Water and energy[R]. Paris:UNESCO, 2014.
- [29]Wang H K, Lu X, Deng Y, et al. China' s CO2 peak before 2030 implied from characteristics and growth of cities[J]. Nature Sustainability, 2019, 2(8) :748-754.
- [30]郭晖, 陈向东, 董增川, 等. 基于合同节水管理的水权交易构建方法[J]. 水资源保护, 2019(3) :33-38.
- [31]何艳梅. 最严格水资源管理制度的落实与《水法》的修订[J]. 生态经济, 2017(9) :180-183, 236.
- [32]王敏, 李薇. 欧盟水资源税(费)政策对中国的启示[J]. 财政研究, 2012(3) :57-60.
- [33]张德勇. 关于进一步推进水资源税改革的思考[J]. 税务研究, 2019(7) :28-32.
- [34]袁志彬, 王占生. 从排污权交易到用水定额交易[J]. 中国人口·资源与环境, 2001(4) :63-64.
- [35]万点滴. 我国将推进节水立法[J]. 生态经济, 2019(5) :9-12.