

长江经济带用水量时空差异的驱动效应研究

——基于生产和生活视角

张陈俊^{1, 2} 吴雨思¹ 庞庆华¹ 石常峰¹¹

(1. 河海大学 企业管理学院, 江苏 常州 213022;

2. 河海大学 商学院, 江苏 南京 211100)

【摘要】: 分解长江经济带生产用水量、生活用水量时空差异的驱动效应, 有利于用水总量控制目标的顺利实现。采用 LMDI (Logarithmic Mean Divisia Index) 方法, 兼顾生产用水和生活用水, 将用水总量时空差异分解为生产强度效应、产业结构效应、经济规模效应、生活强度效应和人口规模效应。结果显示: 生产用水量是长江经济带及各省份用水总量变化的主要来源, 生活用水量对用水总量的促增作用也逐渐增强; 生产强度效应、产业结构效应是抑制用水总量增加的主要和次要因素, 而经济规模效应、生活强度效应是促进用水总量增加的主要和次要因素, 人口规模效应对用水总量的促增作用相对较弱; 农业、工业经济增长都促进了用水总量增加, 尤其是农业, 农业、工业用水强度普遍下降及农业增加值所占比重下降, 都促进了用水总量下降; 生产用水量是各省份用水总量空间差异的主要来源, 各省份用水总量与江苏、重庆空间差异的驱动因素存在差异性。因此, 各省份应该贯彻落实高质量发展、转变经济增长方式, 重点开展生产环节节水、兼顾生活环节, 继续降低产业用水强度、优化升级产业结构, 加强生活用水定额管理、提高节水意识, 各省份可以以江苏、重庆为参考对象, 依据用水总量空间差异驱动因素, 充分挖掘可行的节水路径。

【关键词】: 生产用水量 生活用水量 时空差异 驱动效应 LMDI

【中图分类号】: F124.5 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2019)12-2805-11

全球气候变化、经济发展及人口增长加剧了水资源供需矛盾, 水危机已成为缺水地区可持续发展的主要瓶颈^[1]。在 1978~2018 年期间, 中国经济一直处于中高速增长阶段, GDP 年均实际增长率为 9.43%, 可是, 粗放式发展伴随着资源消耗和环境污染。水资源是国民经济发展的重要资源基础与生产要素, 经计算, 用水总量年均增长率达到 0.63%。随着工业化与城镇化进程加快, 水资源需求将可能在较长一段时期内持续增长, 将为中国用水量控制工作开展带来巨大压力。《国家节水行动方案》明确提出近远期有效衔接的总体控制目标, 要求到 2035 年, 全国用水总量严格控制在 7000 亿 m³ 以内, 水资源节约和循环利用达到世界先进水平。因此, 该目标的提出对于中国节水工作具有战略指导意义。显然, 精确识别用水量变化的驱动因素有利于掌握过去不同因素对用水量变化的影响情况, 将有助于制定执行具有针对性的用水总量控制政策。

学术界已经开展了大量关于用水量变化驱动因素的指数分解 (Index Decomposition Analysis, IDA) 研究, 其中, 对数均值迪

¹作者简介: 张陈俊(1987-), 男, 博士, 讲师, 研究方向为水资源经济学. E-mail: zhangchenjun1987@126.com

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金项目 (17YJC790194); 中央高校基本科研业务费项目 (2019B22914); 国家自然科学基金青年项目 (41701610)。

氏分解法(Logarithmic Mean Divisia Index, LMDI)由Ang等^[2,3]提出,被认为是指数分解法中最优的方法,广泛地运用于水资源领域。一方面,已有用水量变化驱动因素分解研究主要集中在生产领域,包括农业、工业以及产业整体。从农业来看,Zhang等^[4]将黑河流域农业用水量变化的驱动因素分解为种植规模、种植结构、灌溉定额和灌溉效率,Zou等^[5]将该流域灌溉用水量变化分解为种植规模效应、种植结构效应、气候变化效应和节水技术效应。从工业来看,刘翀等^[6]将安徽省工业用水量变化分解为行业经济规模效应、行业结构效应和行业用水定额效应,发现行业经济规模效应是工业用水量增加的主要因素,而行业结构效应和行业用水定额效应对工业用水量增加起到抑制作用,此外,张礼兵等^[7]还考察了工业节水效应对抑制安徽省工业用水量增加的贡献。Shang等^[8]将2003~2012年天津市工业用水量变化分解为产出效应、结构效应和技术进步效应。从产业整体来看,秦昌波等^[9]将陕西省生产用水量变化分解为经济规模效应、产业结构效应和用水技术效应。孙才志等^[10]考察了人口规模效应对中国产业用水量的影响,发现人口规模扩大拉动了用水量增长。张陈俊等^[11]考察了区域人口分布对中国产业用水量变化的影响,发现人口流动促进用水量增加。对生活用水量变化驱动因素的分解研究十分缺乏,现有生活用水量影响因素研究主要是对调查资料进行描述统计分析^[12,13]、回归分析^[14,15]。随着生活水平提高,1980~2017年期间中国生活用水量年均增长率为3.01%,超过了用水总量年均增长率,并且占用水总量比重由6.31%增加到13.87%,可见,生活用水量变化驱动因素的分解研究对用水总量控制工作具有重要意义。另一方面,各类用水量变化驱动因素分解研究主要从时间角度出发,而缺乏从空间角度出发分解用水量空间差异的影响因素,仅检索到3篇文献^[16~18],将省份用水量差异主要分解为强度效应、结构效应、收入效应和人口效应,而国外涉及空间差异的驱动因素分解主要集中在能源环境领域^[19,20],缺乏针对水资源领域的研究。

长江经济带作为中国综合实力最强、战略支撑作用最大的区域之一,长期高强度的经济开发使其正面临严峻的水资源问题。据统计,2017年长江经济带用水总量达到2637亿 m^3 ,占全国的比重为43.63%,同时,各省份间存在较大的差异,用水总量最大的省份(江苏,591.30亿 m^3)与最小的省份(重庆,77.40亿 m^3)相差513.90亿 m^3 。因此,该地区用水量控制将是中国用水总量控制目标顺利实现的重要组成部分。

鉴于此,本文基于LMDI方法,从时间与空间两个方面分解长江经济带及其各省份生产用水量、生活用水量变化的驱动因素,以期揭示生产用水量、生活用水量时空差异的影响机理,为用水量控制目标的顺利实现提供对策建议,同时,也将为其他区域节水政策的制定落实提供借鉴。

1 模型构建

1.1 时间差异分解模型

用水总量 W 可以由公式(1)表示:

$$\begin{aligned} W &= PW + DW = \sum_i PW_i + DW \\ &= \sum_i \frac{PW_i}{G_i} \times \frac{G_i}{G} \times G + \frac{DW}{P} \times P \end{aligned} \quad (1)$$

式中: PW 和 DW 分别表示生产用水量和生活用水量; PW_i 表示第 i 产业用水量,本文仅指农业用水量、工业用水量; G_i 表示第 i 产业增加值,即农业增加值、工业增加值; G 表示工农业增加值,满足 $G = \sum_i G_i$; P 表示人口数。

将公式(1)改写为公式(2)的形式:

$$W = \sum_i PI_i \times S_i \times G + DI \times P \quad (2)$$

式中: $PI_i = PW_i/G_i$ 表示第 i 产业用水量与增加值的比值, 反映产业用水强度情况; $S_i = G_i/G$ 表示第 i 产业增加值占工农业增加值的比重, 反映产业结构情况; $DI = DW/P$ 表示生活用水量与人口数的比值, 反映生活用水强度情况。

假定时间从 0 变化到 t (即 $0 \rightarrow t$), 用水总量的变化量 $\Delta W^{0 \rightarrow t}$ 可以分解为生产效应和生活效应, 而生产效应由生产强度效应、产业结构效应和经济规模效应构成, 生活效应由生活强度效应和人口规模效应构成, 如公式 (3) 所示。

$$\Delta W^{0 \rightarrow t} = (\Delta W_{PI}^{0 \rightarrow t} + \Delta W_S^{0 \rightarrow t} + \Delta W_G^{0 \rightarrow t}) + (\Delta W_{DI}^{0 \rightarrow t} + \Delta W_P^{0 \rightarrow t}) \quad (3)$$

其中,

$$\Delta W_{PI}^{0 \rightarrow t} = \sum_i \frac{PW_i^t - PW_i^0}{\ln PW_i^t - \ln PW_i^0} \ln \left(\frac{PI_i^t}{PI_i^0} \right) \quad (4)$$

$$\Delta W_S^{0 \rightarrow t} = \sum_i \frac{PW_i^t - PW_i^0}{\ln PW_i^t - \ln PW_i^0} \ln \left(\frac{S_i^t}{S_i^0} \right) \quad (5)$$

$$\Delta W_G^{0 \rightarrow t} = \sum_i \frac{PW_i^t - PW_i^0}{\ln PW_i^t - \ln PW_i^0} \ln \left(\frac{G^t}{G^0} \right) \quad (6)$$

$$\Delta W_{DI}^{0 \rightarrow t} = \sum_i \frac{DW^t - DW^0}{\ln DW^t - \ln DW^0} \ln \left(\frac{DI^t}{DI^0} \right) \quad (7)$$

$$\Delta W_P^{0 \rightarrow t} = \sum_i \frac{DW^t - DW^0}{\ln DW^t - \ln DW^0} \ln \left(\frac{P^t}{P^0} \right) \quad (8)$$

式中: $\Delta W_G^{0 \rightarrow t}$ 定义为生产强度效应, 反映产业用水强度变化对用水总量变化的影响; $\Delta W_S^{0 \rightarrow t}$ 定义为产业结构效应, 反映产业结构变化对用水总量变化的影响; $\Delta W_G^{0 \rightarrow t}$ 定义为经济规模效应, 反映经济增长对用水总量变化的影响; $\Delta W_G^{0 \rightarrow t}$ 定义为生活强度效应, 反映人均生活用水量变化对用水总量变化的影响; $\Delta W_G^{0 \rightarrow t}$ 定义为人口规模效应, 反映人口规模变化对用水总量变化的影响。图 1 为用水总量变化驱动因素分解的 LMDI 模型, 以年份 0 为基年。

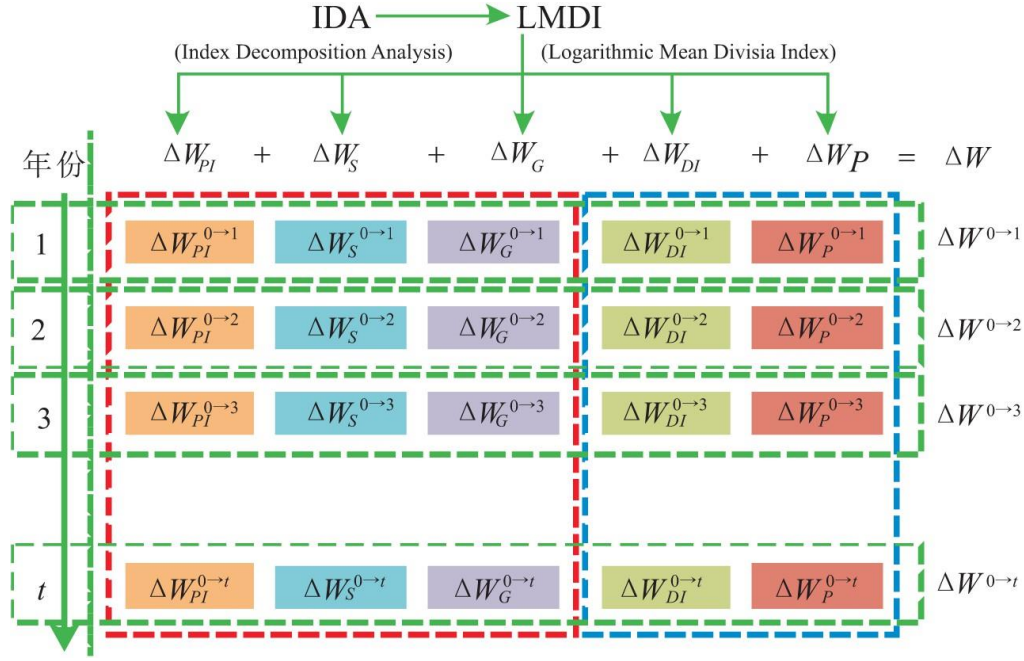


图 1 用水总量变化驱动因素分解的 LMDI 模型

1.2 空间差异分解模型

假定存在 m 和 n 两个地区,用水总量差异 ΔW^{n-m} 可以由公式 (9) 表示。

$$\begin{aligned} \Delta W^{n-m} &= W^n - W^m = (PW^n - PW^m) + (DW^n - DW^m) \\ &= \left(\sum_i PW_i^n - \sum_i PW_i^m \right) + (DW^n - DW^m) \quad (9) \end{aligned}$$

式中: W^n 、 PW^n 和 DW^n 分别表示地区 n 的用水总量、生产用水量和生活用水量; W^m 、 PW^m 和 DW^m 分别表示地区 m 的用水总量、生产用水量和生活用水量; PW_i^n 和 PW_i^m 分别表示地区 n 和 m 的第 i 产业用水量。

将公式 (9) 进一步改写为以下形式:

$$\begin{aligned} \Delta W^{n-m} &= \left(\sum_i \frac{PW_i^n}{G_i^n} \times \frac{G_i^n}{G^n} \times G^n - \sum_i \frac{PW_i^m}{G_i^m} \times \frac{G_i^m}{G^m} \times \right. \\ &\quad \left. G^m \right) + \left(\frac{DW^n}{P^n} \times P^n - \frac{DW^m}{P^m} \times P^m \right) \quad (10) \end{aligned}$$

式中: G_i^n 、 G^n 、 P^n 分别表示地区 n 的第 i 次产业增加值、地区工农业增加值、人口数; G_i^m 、 G^m 、 P^m 分别表示地区 m 的第 i 次产业增加值、地区工农业增加值、人口数,并且满足 $G^n = \sum_i G_i^n$ 、 $G^n = \sum_i G_i^n$ 和 $G^m = \sum_i G_i^m$ 、 $G^m = \sum_i G_i^m$ 。

将公式(10)改写成以下形式：

$$\Delta W^{m \rightarrow n} = \left(\sum_i PI_i^n \times S_i^n \times G^n - \sum_i PI_i^m \times S_i^m \times G^m \right) + (DI^n \times P^n - DI^m \times P^m) \quad (11)$$

式中： $PI_i^n = PW_i^n / G_i^n$ 、 $S_i^n = G_i^n / G^n$ 和 $DI^n = DW^n / P^n$ 分别表示地区 n 的第 i 产业用水量与增加值的比值、第 i 产业增加值占工农业增加值的比重、生活用水量与人口数的比值，分别反映产业用水强度、产业结构和生活用水强度。 $PI_i^m = PW_i^m / G_i^m$ 、 $S_i^m = G_i^m / G^m$ 和 $DI^m = DW^m / P^m$ 分别表示地区 m 的第 i 产业用水量与增加值的比值、第 i 产业增加值占工农业增加值的比重、生活用水量与人口数的比值。

与用水总量时间差异分解效应相同，将用水总量空间差异 $\Delta W^{m \rightarrow n}$ 分解为以下效应：

$$\Delta W^{m \rightarrow n} = (\Delta W_{PI}^{m \rightarrow n} + \Delta W_S^{m \rightarrow n} + \Delta W_G^{m \rightarrow n}) + (\Delta W_{DI}^{m \rightarrow n} + \Delta W_P^{m \rightarrow n}) \quad (12)$$

其中，

$$\Delta W_{PI}^{m \rightarrow n} = \sum_i \frac{PW_i^n - PW_i^m}{\ln PW_i^n - \ln PW_i^m} \ln \left(\frac{PI_i^n}{PI_i^m} \right) \quad (13)$$

$$\Delta W_S^{m \rightarrow n} = \sum_i \frac{PW_i^n - PW_i^m}{\ln PW_i^n - \ln PW_i^m} \ln \left(\frac{S_i^n}{S_i^m} \right) \quad (14)$$

$$\Delta W_G^{m \rightarrow n} = \sum_i \frac{PW_i^n - PW_i^m}{\ln PW_i^n - \ln PW_i^m} \ln \left(\frac{G_i^n}{G_i^m} \right) \quad (15)$$

$$\Delta W_{DI}^{m \rightarrow n} = \sum_i \frac{DW_i^n - DW_i^m}{\ln DW_i^n - \ln DW_i^m} \ln \left(\frac{DI_i^n}{DI_i^m} \right) \quad (16)$$

$$\Delta W_P^{m \rightarrow n} = \sum_i \frac{DW_i^n - DW_i^m}{\ln DW_i^n - \ln DW_i^m} \ln \left(\frac{P_i^n}{P_i^m} \right) \quad (17)$$

式中： $\Delta W_{PI}^{m \rightarrow n}$ 定义为生产强度效应，反映地区产业用水强度差异对地区用水总量差异的贡献； $\Delta W_S^{m \rightarrow n}$ 定义为产业结构效应，反映地区产业结构差异对地区用水总量差异的贡献； $\Delta W_G^{m \rightarrow n}$ 定义为经济规模效应，反映地区工农业增加值差异对地区用水总量差异的贡献； $\Delta W_{DI}^{m \rightarrow n}$ 定义为生活强度效应，反映地区人均生活用水量差异对地区用水总量差异的贡献； $\Delta W_P^{m \rightarrow n}$ 定义为人口规模效应，反映地区人口规模差异对地区用水总量差异的贡献。

2 数据来源与说明

本文选取 2000~2016 年的长江经济带 11 个省市的数据作为研究对象，数据来源于《中国统计年鉴 2001-2017》^[21]和《中国水资源公报 2000-2016》^[22]，对相关指标解释如下：

(1)产业增加值指标。为了保持统计口径一致,长江经济带各省市农业、工业增加值均按照 2000 年不变价格进行调整,以消除价格因素的影响,将调整后的农业、工业增加值合并为工农业增加值,反映经济规模状况。

(2)人口指标。考虑到大多数流动人口的户籍并未发生改变,因此,相对于户籍人口而言,常住人口能够更好地反映一个地区的人口规模状况。

(3)用水量指标。统计资料都将用水总量划分为农业用水、工业用水、生活用水和生态用水四类,本文将农业用水和工业用水合并为生产用水,生产用水与生活用水相加得到用水总量。本文对用水量指标的处理与文献[10, 18]等主要差异在于,本文的生产用水量仅包括农业、工业两类,而上述 2 篇文献将生活用水量近似作为第三产业用水量,由农业、工业和第三产业用水量三类加总得到生产用水量(或产业用水量)。

3 用水总量时间差异分解分析

3.1 长江经济带及各省份用水总量变化趋势分析

图 2 显示了 2000~2016 年长江经济带用水总量、生产用水量和生活用水量变化趋势。用水总量由 2000 年的 2232.15 亿 m^3 增加到 2016 年的 2576.60 亿 m^3 ,增加了 344.45 亿 m^3 ,年均增长率为 0.90%,其中,2003 和 2014 年都出现了较大幅度下降,与 2002 和 2013 年相比,分别下降 106.23 和 47.55 亿 m^3 ,前者的原因可能在于当年供水不足以及全国性节水型社会建设两个方面原因引起,而后者原因可能在于最严格水资源管理制度的贯彻执行。生产用水量由 2000 年的 1977.06 亿 m^3 增加到 2016 年的 2182.80 亿 m^3 ,增加了 205.74 亿 m^3 ,年均增长率为 0.62%,变化趋势与用水总量高度相似,相关系数达到 0.9913。生活用水量由 2000 年的 255.09 亿 m^3 增加到 2016 年的 393.80 亿 m^3 ,增加了 138.71 亿 m^3 ,年均增长率为 2.75%,大于用水总量和生产用水量的年均增长率。可见,生产用水量变化对用水总量变化的影响较大,而生活用水量增加潜力比较明显,对用水总量变化的影响将逐渐扩大。

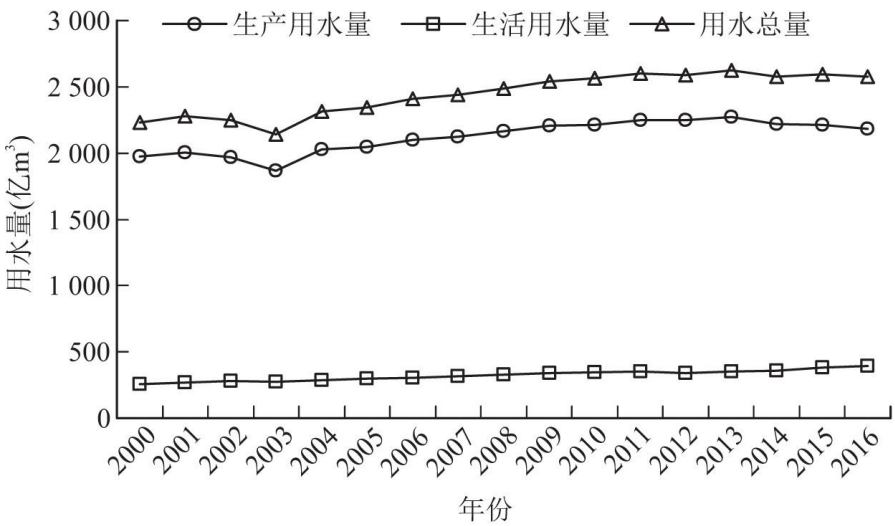


图 2 2000~2016 年长江经济带用水总量、生产用水量和生活用水量变化趋势

图 3 显示了 2000~2016 年长江经济带各省份用水总量、生产用水量和生活用水量的算术平均值。江苏用水总量、生产用水量、生活用水量都是各省份中最大的,分别为 527.55、479.45 和 48.10 亿 m^3 ,分别是三类用水量最小省份(重庆、重庆和贵州)的 7.10、8.37 和 3.03 倍,可见,长江经济带各省市各类别用水量之间存在显著的空间差异。

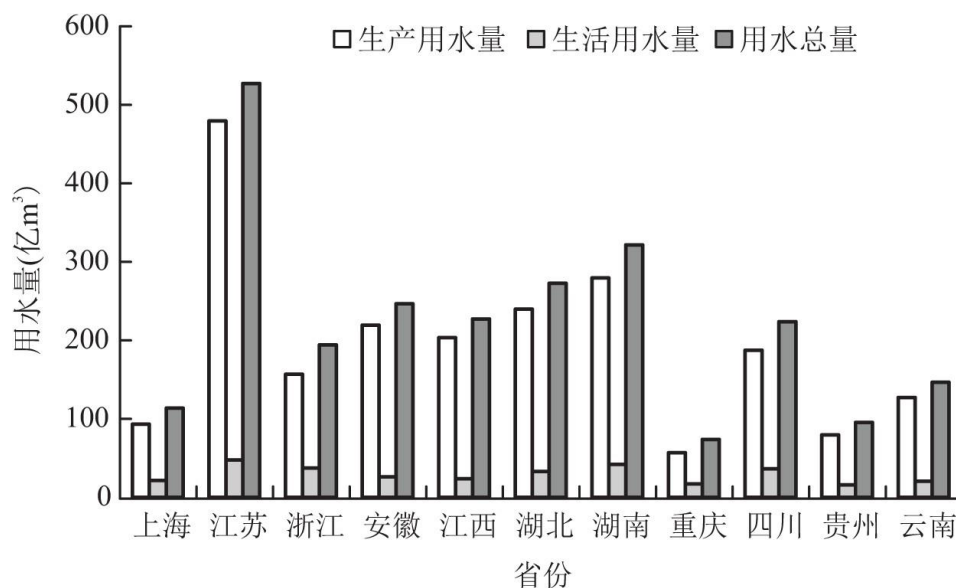


图3 2000~2016年长江经济带各省份平均用水总量、平均生产用水量和平均生活用水量

3.2 长江经济带用水总量变化驱动效应分解

(1) 用水总量变化驱动因素的累计效应

通过计算2000~2016年长江经济带用水总量变化驱动因素的累计效应值,以反映各因素对用水总量变化的动态影响。由图4可知,在2000~2016年期间,用水总量累计增加了344.45亿 m^3 ,其中,2000~2003年累计下降了90.35亿 m^3 ,2004~2013年累计增加了310.70亿 m^3 ,2014和2016年两次出现下降。生产效应变化趋势与总效应非常相似,存在增减的同步性,可见,前者是后者变化的主要来源。总体来说,生活效应呈递增趋势,说明生活用水量增加有力促进了用水总量增加,其促增作用弱于生产用水量。进一步说明,控制用水总量应该以生产环节为主,兼顾生活环节。由图5可知,在考察期内,生产强度效应、产业结构效应始终是负值,分别累计达到-2029.74和-1267.80亿 m^3 ,绝对值占总效应的比重分别为589.27%和368.07%,年均增长率分别为23.90%和23.64%,是抑制用水总量增加的主要和次要因素。

经济规模效应、生活强度效应是促进用水总量增加的首要 and 次要因素,分别累计达到3503.27和116.92亿 m^3 ,占总效应的比重分别为1017.06%和33.94%,年均增长率分别达到22.65%和14.69%。其中,随着收入增加和人民生活水平提高,对生活用水的需求将逐渐增加,长江经济带人均生活用水量由2000年的126.52L/d增加到2016年182.44L/d,累计增加了55.92L/d,增幅达到44.20%,可见,通过精心设计生活节水政策举措对用水量控制的必要性。人口规模效应对用水总量的促增作用相对较弱,累计达到21.79亿 m^3 ,占总效应的比重仅为6.33%,年均增长率为26.13%。如果以减缓经济增长速度换取用水总量下降,将不符合发展为第一要务的国情,并且将无法满 足人民日益增长的美好生活需要,同时,根据国家统计局信息,中国人口总量仍将处于相对平稳的增长期,因此,用水总量控制应该围绕生产与生活环节用水效率提高、产业结构优化升级开展。

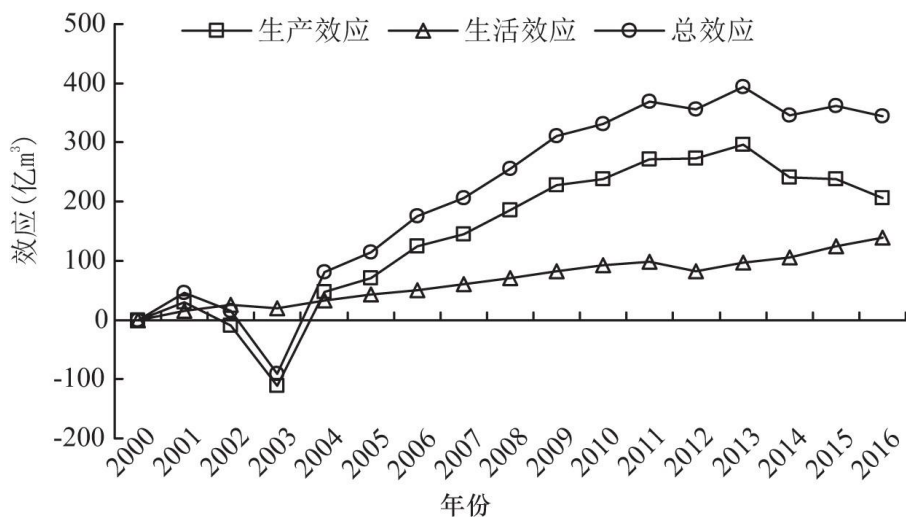


图 4 2000~2016 年长江经济带累计生产效应与累计生活效应

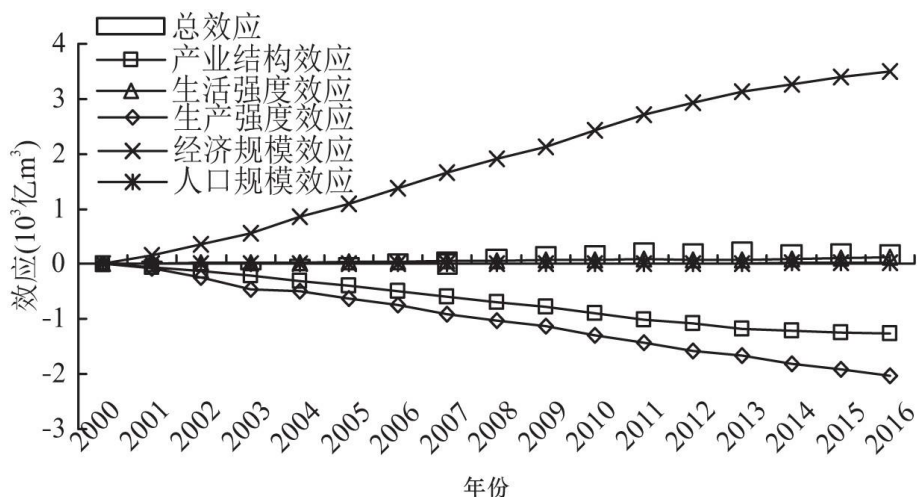


图 5 2000~2016 年长江经济带用水总量变化驱动因素的累积效应

(2) 驱动因素在农业、工业内部的差异

由于农业与工业的发展特征具有明显差异,用水总量控制策略也应根据其特征差异而有所侧重。因此,本文进一步分析生产效应子效应(生产强度效应、产业结构效应和经济规模效应)在农业、工业内部的差异,由图 6 可知,生产强度效应在农业、工业内部都是负值,且绝对值逐渐增加,说明农业、工业生产用水强度普遍下降,分别由 2000 年的 2589.16 、 $260.51\text{m}^3/\text{万元}$ 下降到 2016 年的 1055.88 、 $55.50\text{m}^3/\text{万元}$,引致用水总量累积下降 884.16 和 1145.57 亿 m^3 ,2008 年工业生产用水强度下降对用水总量下降的贡献反超农业,说明农业节水潜力有待进一步挖掘。产业结构效应在农业内部是负值,并且绝对值逐渐增加,说明农业增加值所占比重的下降显著促进了用水总量下降,长江经济带整体由 2000 年的 38.02% 下降到 2016 年的 20.76% ,在其他条件保持不变时,工业增加值所占比重上升带来用水总量增加。经济规模效应在农业、工业内部都是正值,并且逐渐增加,说明农业、工业经济增长促进了用水总量增加,农业对用水总量增加的贡献将近是工业的 2 倍,主要由于农业耗水强度远远大于工业,因此,需要努力提高农业用水效率。

3.3 各省份用水总量变化驱动效应分解 1

(1) 用水总量变化驱动因素的累计效应

在考察期内,各省份总效应存在较大差异,仅有上海、浙江最终变化为负值,而其他省份为正值,在最严格水资源管理制度约束下,用水总量增加幅度有所放缓,但并不显著,需要继续贯彻执行该项制度。各省份生产效应呈差异化的变化趋势,其中,上海、浙江、湖北、云南最终是负值,尤其是浙江,而其他省份为正值,不过增长速度明显放缓甚至负增长,除云南外,其他省份生产效应与总效应的变化趋势非常相似,相关系数都达到 90%以上,并且大于生活效应与总效应的相关性,可见,生产效应是影响总效应变化趋势的主要因素。总体来说,各省份生活效应对用水总量增加起到促进作用,且呈逐年递增趋势,虽然生活用水量占用水总量比重较小,但是其对用水总量增加的推动作用不容忽视。由于长江经济带 11 个省份在水资源条件、经济发展等方面存在较大差异,本文选择江苏、湖北和重庆分别作为下、中、上游地区的典型省份,重点分析用水总量变化的驱动因素。江苏总效应、生产效应远远大于湖北、重庆,可见,下游经济发达省份对水资源需求要大于上、中游欠发达省份;3 个省份在生活效应方面的差异较小,但是普遍呈递增趋势,可见,生活水平提高增加了生活用水需求,生活节水也将成为用水总量控制的重要环节。

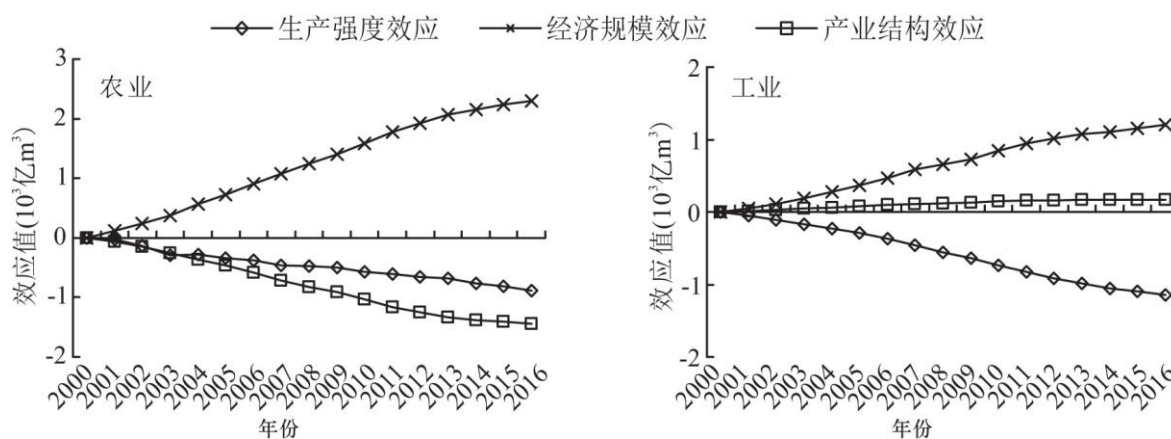


图 6 2000~2016 年长江经济带用水总量变化驱动因素在工农业内部的累积效应

在用水总量的促减因素中,除安徽 2001~2002 年和贵州 2001 年外,各省份生产强度效应都是负值,说明生产用水强度普遍下降对用水总量增加起到抑制作用,其中,贡献最大的省份是江苏,累计达到 -396.49 亿 m^3 ,湖北和重庆分别为 -292.84 、 -69.17 亿 m^3 ,随着灌溉基础设施建设、工业节水设备采用等,工农业用水效率普遍提高,3 个省份生产用水强度分别由 2000 年的 824.67、1275.7 和 475.59 m^3 /万元下降到 2016 年的 181.67、213.84 和 74.93 m^3 /万元,可见,下降幅度非常明显。各省份产业结构效应都是负值,产业结构优化升级普遍抑制了用水总量增加,仅有安徽产业结构调整对用水总量增加的抑制作用强于生产强度效应。随着时间推移,江苏、湖北和重庆的产业结构效应对用水总量增加的抑制作用增强,可见,产业结构调整的节水效果逐渐凸显。

在用水总量的促增因素中,经济规模效应是促进各省份用水总量增加的首要因素,其他条件保持不变时,经济增长会增加对水资源的需求。当前,中国经济正处于中高速增长,对水资源的大量需求将持续一段时间,而经济增长是社会发展与进步的原动力,因此,以放缓经济增长速度为代价的节水策略并不符合现实需求,应该转变经济增长方式,追求高质量发展,降低对水资源的需求。除上海(17.43%)和浙江(19.07%)外,其他省份经济规模效应年均增长率全部达到 20%以上,其中,江苏、湖北和重庆经济规模效应年均增长率分别为 22.53%、23.18%和 24.91%,可见,经济增长对用水总量的促增作用非常显著,作为长江三角洲地区的省份,江苏经济发达水平要远远领先于湖北、重庆,2016 年江苏工农业增加值分别是湖北、重庆的 2.67、3.81 倍。除江苏 2003~2005 年,安徽 2001~2002 年,贵州 2001~2004 年、2012 年外,各省份生活强度效应都是正值,说明生活用水强度普遍提高促进了用水总量增加,虽然促增作用远远弱于经济规模效应,但是不可忽视。随着城镇化进程加快以及生活水平提高,人民群众对水资源的需

求增加,人均生活用水量将增加,以江苏为例,人均生活用水量由 2000 年的 57.01m^3 (可以折合成 156.19L/d)增加到 2016 年的 70.13m^3 (192.14L/d),增加了 13.12m^3 (35.95L/d),《江苏省工业、服务业和生活用水定额(2014 年修订)》所规定城镇、农村居民生活用水定额分别为 $120\sim 150\text{L/d}$ 和 $80\sim 100\text{L/d}$,就算扣除生活用水量指标中的第三产业和建筑业用水量,当前人均生活用水量也将超过或接近用水定额的上限,因此,需要进一步加强生活用水定额管理以提高生活用水效率,否则,将影响用水总量控制目标的顺利实现,同时,为了满足生活用水需求,可能将挤占农业、工业等生产环节用水以及生态环境用水,最终将不利于经济发展以及生态文明建设。各省份人口规模效应对用水总量变化的影响具有差异性。除四川和贵州最终变化为负值外,其他省份都为正值。江苏、湖北和重庆 3 个省份人口规模分别由 2000 年的 7327、5646 和 2849 万增加到 2016 年的 7999、5885 和 3048 万,都带来了用水总量增加,但是促增作用远远小于经济规模效应和生活强度效应,由于人口规模仍将处于相对平稳的增长期,同时,人均生活用水量也呈增加趋势,所以人口规模对用水总量的促增作用需要引起重视。

(2) 驱动因素在农业、工业内部的差异

各省份农业、工业经济增长都促进了用水总量增加,仅有上海、重庆工业经济增长对用水总量的促增作用大于农业,江苏、湖北等省份都相反。除上海农业用水强度在 2004 年有所上升外,江苏、湖北、重庆等省份农业、工业用水强度最终都呈下降趋势,引致用水总量下降,并且工业生产强度效应大于农业,可见,需要大力挖掘农业节水潜力。各省份产业结构效应在农业内部都是负值,并且绝对值呈递增趋势,说明农业增加值所占比重持续下降,引致用水总量下降,因此,各省份在保证粮食安全前提下,继续由耗水强度大的农业向耗水强度小的非农产业转移。作为上中游的重庆、湖北等省份,需要积极承接下游长三角省份的产业转移,促进产业转型升级,从而减少用水总量。

4 用水总量空间差异分解分析

选择用水总量最大的江苏和最小的重庆作为比较对象,由于篇幅限制,仅列示 2016 年各省份用水总量空间差异的因素分解结果,如表 1 所示。

(1) 用水总量最大省份(江苏)为比较对象

将江苏(575.40亿 m^3)作为比较对象,长江经济带各省份总效应都是负值,即用水总量小于江苏,同时,生产用水量和生活用水量也都小于江苏,其中,生产用水量是用水总量空间差异的主要来源,各省份贡献率都超过 90%,最高的是湖北(98.74%),可见,江苏应该重点控制生产用水量,以缩小用水总量的空间差异。除上海和江西外,其他省份生产强度效应都是负值,说明产业用水强度小于江苏,对用水总量小于江苏起到促进作用,其中,浙江对用水总量的促减作用最为显著,农业、工业用水强度分别比江苏低 704.45 和 $60.06\text{m}^3/\text{万元}$,上海和江西应该努力提高产业用水效率以进一步减少用水总量。除上海外,其他省份产业结构效应都是正值,说明产业结构水平没有江苏高级,不利于促进用水总量小于江苏,其中,浙江产业结构与江苏比较相似,仅仅引致用水总量高于江苏 2.08亿 m^3 。各省份经济规模效应都是负值,说明经济增长规模(工农业增加值)小于江苏,对用水总量小于江苏起到促进作用。上海、浙江、湖北 3 个省份生活强度效应都是正值,人均生活用水量比江苏分别多 92.01 、 34.77 和 51.80L/d ,而其他省份生活强度效应都是负值,说明人均生活用水量小于江苏,对用水总量小于江苏起到促进作用,因此,以上 3 个省份需要关注生活用水定额管理以提高生活用水效率,尤其是上海,从而在满足人民群众生活用水需求下,减少生活用水量以控制用水总量。除四川外,其他省份人口规模效应都是负值,说明人口规模小于江苏,对用水总量小于江苏起到促进作用,四川人口比江苏多 263 万。

(2) 用水总量最小省份(重庆)为比较对象

将重庆(76.40亿 m^3)作为比较对象,长江经济带各省份总效应都是正值,说明重庆是长江经济带用水总量最小的省份,同时,各省份生产用水量也都大于重庆,是用水总量空间差异的主要来源,除贵州外,其他省份生活用水量也都大于重庆,可见,各省份要兼顾生产、生活两个环节,采取有力措施控制用水总量增加。各省份生产强度效应都是正值,说明产业用水强度高于重庆,因此,

各省份要努力提高产业用水强度,减少用水总量。长江三角洲地区产业结构效应为负值,说明产业结构比重较高级,引致用水总量减少,而其他省份产业结构比较低级,要优化升级产业结构以降低用水总量。江西、贵州和云南经济增长规模小于重庆,引致用水总量较小。长江三角洲地区及湖北生活强度效应为正值,表明人均生活用水量大于重庆,对用水总量大于重庆起到促进作用,因此,需要做好生活用水定额管理。除上海人口规模效应为负值外,其他省份都是正值,主要因为上海人口规模比重比重庆少 628 万。

表 1 2016 年长江经济带各省份用水总量空间差异的因素分解结果

	驱动效应	上海	江苏	浙江	安徽	江西	湖北	湖南	重庆	四川	贵州	云南
江 苏	生产效应	-440.40		-389.90	-267.60	-304.60	-290.90	-235.20	-463.10	-307.60	-437.20	-393.00
	生产强度效应	35.72		-225.90	-7.01	14.40	-70.43	-24.49	-203.29	-205.15	-36.54	-110.40
	农业	51.52		-98.58	-41.50	0.64	-78.90	-38.39	-126.19	-121.99	-58.60	-62.95
	工业	-15.80		-127.32	34.49	13.76	8.46	13.90	-77.10	-83.15	22.06	-47.45
	产业结构效应	-186.76		2.08	150.58	164.46	127.06	183.55	18.22	155.06	146.09	194.23
	农业	-194.66		2.20	163.62	177.08	138.18	198.38	19.68	166.05	162.35	209.72
	工业	7.90		-0.12	-13.04	-12.61	-11.11	-14.83	-1.46	-10.99	-16.26	-15.49
	经济规模效应	-289.36		-166.08	-411.17	-483.46	-347.53	-394.26	-278.03	-257.52	-546.76	-476.83
	农业	-113.16		-93.42	-234.32	-294.31	-193.08	-235.69	-138.80	-158.96	-318.15	-312.37
	工业	-176.20		-72.66	-176.85	-189.15	-154.45	-158.57	-139.24	-98.55	-228.61	-164.46
	生活效应	-31.00		-9.80	-22.70	-27.60	-3.70	-12.60	-35.90	-6.30	-38.70	-35.00
	生活强度效应	15.08		8.49	-11.52	-4.98	12.94	-4.72	-1.99	-8.01	-11.89	-16.50
	人口规模效应	-46.08		-18.29	-11.18	-22.62	-16.64	-7.88	-33.91	1.71	-26.81	-18.50
	总效应	-471.40		-399.70	-290.30	-332.20	-294.60	-247.80	-499.00	-313.90	-475.90	-428.00
重 庆	生产效应	22.70	463.10	73.20	195.50	158.50	172.20	227.90		155.50	25.90	70.10
	生产强度效应	63.55	203.29	16.57	127.99	124.2	98.14	132.89		49.34	57.76	53.92
	农业	35.15	126.19	28.26	74.10	87.14	53.96	87.45		45.32	30.62	48.14
	工业	28.40	77.10	-11.69	53.89	37.06	44.18	45.45		4.02	27.14	5.78

产业结构效应	-43.74	-18.22	-7.92	39.17	44.06	30.94	51.35		40.83	34.61	52.74
农业	-47.01	-19.68	-8.43	43.01	47.60	34.09	55.81		43.82	38.87	56.68
工业	3.28	1.46	0.51	-3.84	-3.55	-3.15	-4.46		-2.99	-4.26	-3.94
经济规模效应	2.89	278.03	64.55	28.34	-9.76	43.12	43.65		65.34	-66.46	-36.55
农业	0.87	138.80	35.67	15.99	-6.05	23.45	26.34		41.27	-38.59	-25.12
工业	2.02	139.24	28.88	12.35	-3.71	19.67	17.31		24.07	-27.88	-11.43
生活效应	4.90	35.90	26.10	13.20	8.30	32.20	23.30		29.60	-2.80	0.90
生活强度效应	10.11	1.99	7.02	-5.42	-1.58	9.98	-1.17		-3.11	-5.69	-8.35
人口规模效应	-5.21	33.91	19.08	18.62	9.88	22.22	24.47		32.71	2.89	9.25
总效应	27.60	499.00	99.30	208.70	166.80	204.40	251.20		185.10	23.10	71.00

(3) 驱动因素在农业、工业内部的差异

表 1 也列示了生产强度效应、产业结构效应和经济规模效应在农业、工业内部的差异。当江苏为比较对象时, 仅有上海、江西农业生产强度效应为正值, 说明农业用水强度高于江苏, 引致用水总量增加, 而其他省份农业生产强度效应都是负值, 江苏自身也应该努力降低农业用水强度; 安徽、江西、湖北、湖南和贵州工业生产强度效应为正值, 说明工业用水强度高于江苏, 引致用水总量增加, 其他省份工业生产强度效应都是负值。仅有上海农业产业结构效应是负值, 说明上海农业增加值所占比重小于江苏, 产业结构比江苏更加高级, 对用水总量小于江苏起到促进作用, 而其他省份都是正值, 说明产业结构比江苏低级, 因此, 这些省份应该进一步优化升级产业结构。所有省份农业、工业经济规模效应都是负值, 说明经济增长规模小于江苏, 对用水总量小于江苏起到促进作用。当重庆为比较对象时, 仅有浙江工业生产强度效应为负值, 说明浙江工业用水强度低于重庆, 对用水总量大于重庆起到抑制作用, 而其他省份农业、工业用水强度都大于重庆, 因此, 各省份应该可以参考借鉴重庆在农业、工业领域的节水举措。仅有长江三角洲地区农业产业结构效应为负值, 说明农业增加值所占比重小于重庆, 对用水总量大于重庆起到抑制作用, 而其他省份都是正值, 重庆可以向长江三角洲地区积极学习借鉴产业结构优化升级方面的先进经验。江西、贵州和云南农业、工业经济规模效应是负值, 说明经济增长规模小于重庆, 对用水总量大于重庆起到抑制作用, 而其他省份都是正值, 农业、工业经济增长规模都大于重庆。

5 结论与建议

本文采用 LMDI 方法, 基于时间与空间、生产与生活视角, 分解长江经济带及其各省份用水量变化的驱动效应, 得出如下主要结论:

(1) 长江经济带生产效应是总效应变化的主要来源, 并且两者具有增减的同步性, 另外, 生活效应也有力促进了用水总量增加。生产强度效应、产业结构效应是抑制用水总量增加的主要和次要因素, 而经济规模效应、生活强度效应是促进用水总量增加

的主要和次要因素,人口规模效应对用水总量的促增作用相对较弱。农业、工业生产用水强度普遍下降,引致用水总量下降,工业的促减作用于2008年反超农业。产业结构调整对用水总量增加的抑制作用主要来源于农业比重的下降。农业、工业经济增长都促进了用水总量增加,且农业的促增作用是工业的2倍。

(2)长江经济带各省份生产效应是总效应变化且存在差异的主要影响因素,同时,生活效应对用水总量的促增作用逐渐增强。绝大部分省份生产用水强度下降和产业结构调整抑制了用水总量增加,除安徽外,前者的促减作用更加显著。经济增长是促进用水总量增加的主要因素,人均生活用水量增加是促进用水总量增加的次要因素。各省份人口规模变化对用水总量的影响存在差异性。除上海农业用水强度于2004年有所上升外,其他省份农业、工业用水强度最终都呈下降趋势,引致用水总量下降。各省份农业所占比重都下降,促进了用水总量下降。农业、工业经济增长都促进用水总量增加,其中,上海、重庆工业的促增作用强于农业。

(3)本文以江苏、重庆为比较对象,生产用水量是各省份用水总量空间差异的主要来源。通过空间差异驱动效应分解分析,发现各省份用水总量与江苏、重庆差异的驱动因素,同时,得到生产效应在农业、工业内部的差异。

基于上述研究结论,提出如下政策建议:

(1)如果以减缓经济增长速度换取用水总量下降,将不符合发展为第一要务的国情,并且将无法满足不同省份人民日益增长的美好生活需要。因此,长江经济带各省份应该贯彻落实高质量发展,转变经济增长方式等路径,以控制用水总量。

(2)各省份重点开展生产环节节水工作,例如提高农业灌溉水有效利用系数、工业用水重复利用率等,同时,需要重视生活环节节水,将对用水总量控制起到重要作用。

(3)继续降低产业用水强度,尤其是农业;优化升级产业结构,在保证粮食安全前提下,由耗水强度大的农业转移到耗水强度小的工业。

(4)人均生活用水量增加是促进用水总量增加的因素,因此,各省份需要强化生活用水定额管理,充分发挥阶梯式水价这一经济手段的节水作用,加强节水的宣传教育以引导居民建立节水的生活习惯和消费观念,完善生活用水管网建设以降低漏损率,扩大节水器具的普及与运用。

(5)各省份可以以江苏、重庆为参考对象,从用水总量空间差异驱动因素方面挖掘可行的节水路径,控制自身的用水总量。

由于数据可得性限制了本文的深入研究,例如服务业用水量数据、城乡生活用水量数据、工业分部门分行业用水量数据等。

参考文献:

[1]WANG J X,LI Y R,HUANG J K,et al.Growing water scarcity,food security and government responses in China [J].Global Food Security,2017,14:9-17.

[2]ANG B W.Decomposition analysis for policymaking in energy:Which is the preferred method?[J].Energy Policy,2004,32(9):1131-1139.

[3]ANG B W.The LMDI approach to decomposition analysis:A practical guide [J].Energy Policy,2005,33(7):867-871.

[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, 208:422-430.

[5] ZOU M Z, KANG S Z, NIU J, et al. A new technique to estimate regional irrigation water demand and driving factor effects using an improved SWAT model with LMDI factor decomposition in an arid basin [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 185:814-828.

[6] 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.

[7] 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, 45(7):837-843.

[8] 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.

[9] 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.

[10] 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.

[11] 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, 38(7):1308-1322.

[12] 杨晓英, 李纪华, 田壮, 等. 城镇化进程中的农民生活用水研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2013, 22(7):880-886.

[13] 宋邦国, 赵彤彤, 陈远生. 西藏农牧区家庭生活用水特征及其影响因素[J]. *地理研究*, 2016, 35(10):1879-1886.

[14] 王新娜. 我国城镇化进程中城市居民生活用水“浪费”的根源研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2015, 29(11):49-54.

[15] 李闰慧, 岳金桂, 韦诚, 等. 江苏省农村居民生活用水需求影响因素实证研究[J]. *水利经济*, 2014, 32(2):12-14.

[16] 张陈俊, 董娟娟, 林琳, 等. 区域水资源消耗差异的影响因素分析——LMDI 模型的新应用[J]. *水利经济*, 2017, 35(6):71-75.

[17] 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, 40(1):89-103.

[18] 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, 40(11):2247-2259.

[19] ANG B W, SU B, WANG H. A spatial-temporal decomposition approach to performance assessment in energy and emissions [J]. *Energy Economics*, 2016, 60:112-121.

[20] ROMAN-COLLADO R, MORALES-CARRION A V. Towards a sustainable growth in Latin America:A multiregional spatial decomposition analysis of the driving forces behind CO2 emissions changes [J]. *Energy Policy*, 2018, 115:273-280.

[21] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社, 2001-2017.

[22] 中华人民共和国水利部. 中国水资源公报[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2000-2016.

注释:

1①由于篇幅限制, 本文不再列示各省份用水量变化驱动因素的累积贡献, 如读者需要, 可向作者索要.