

长江经济带居民生活用水的重心

移动与驱动效应研究

赵存学¹ 邓建高¹ 张陈俊¹ 张宗勇²¹

(1. 河海大学 商学院, 江苏 常州 236500;

2. 南方科技大学 环境科学与工程学院, 广东 深圳 518000)

【摘要】:核算居民生活用水、厘清时空格局演变动因、量化时空差异驱动效应对提高长江经济带居民生活用水的有效利用举足轻重。通过核算城乡居民生活用水,建立重心模型,并利用 LMDI 从时空上将居民生活用水分解为消费强度效应、人均消费效应、城镇化效应和人口规模效应。结果表明:(1)城乡居民生活用水分别呈增加和减少态势,前者上游较中下游少,后者上中下游较为均衡。(2)城乡居民生活用水重心向西北方向移动,分别由咸宁和岳阳移至荆州,两者的非均衡程度分别呈现增加和减小的趋势,且前者大于后者,该过程中上游和下游省市发挥作用较为明显。(3)城乡消费用水强度和人均消费水平分别是促进和抑制居民生活用水减少的主要因素,城镇化和人口增长会导致居民生活用水量的增加,城乡人口比重变化的作用具有异质性。(4)在缩小与平均水平的差异上,无论从总体视角还是城乡视角,消费用水强度和人均消费水平均呈现相反作用,城镇化具有空间异质性。据此,提出关注居民消费对居民生活用水的影响、完善用水定额等建议,并指出需要进一步减小核算误差,深入探索家庭、行为、性别等因素对居民生活用水的影响。

【关键词】:居民生活用水 时空演变 驱动效应 重心模型 LMDI

【中图分类号】:TV213.4;F127 **【文献标识码】:**A **【文章编号】:**1004-8227(2021)04-0827-12

2019年9月,《〈国家节水行动方案〉分工方案》中明确提出2022年需初步建立节水型生活方式,并进一步指出了城镇居民家庭节水和农村生活节水方面的重点工作。长江经济带作为我国具有战略意义的经济发展城市群,地跨11个省市,经济总量和人口规模超过全国的40%,经济发展取得了举世瞩目的成效,居民生活水平也在逐步提高,但伴随而来的是大量能源、水资源的消耗和污染物的排放,导致水资源短缺和水环境污染问题逐渐显现^[1],这与《国家节水行动方案》中“以水资源的可持续利用支撑经济社会持续健康发展”的倡导有所相悖。提高水资源利用效率、合理使用水资源是推进绿色发展、改善现状的有效途径^[2]。根据2017年的用水统计与核算结果,长江经济带生活用水量占其总用水量的11.08%,远大于服务业和建筑业用水量之和所占的比例(5.51%)。因此,研究长江经济带居民生活用水的时空格局动态演变和驱动效应,对建设节水型社会、形成居民生活用水与消费水平、人口和空间布局等协调发展的现代化新格局具有重要意义。

重心模型自1872年Hilgard^[3]用于研究美国人口分布变化之后,被众多学者用于研究不同领域某一属性的空间变化问题,

作者简介:赵存学(1996~),男,硕士研究生,主要研究方向为水资源核算与水资源经济.E-mail:zhaocunxue@foxmail.com
邓建高 E-mail:19971549@hhu.edu.cn

基金项目:国家自然科学基金青年项目(42001250);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)

如二氧化碳排放的重心变化^[4]、土地利用效率的分布^[5]、PM_{2.5}浓度的空间倾向^[6]、制造业空间集聚变化^[7]等，其中，Song 等^[4]在分析重心变化的基础上进一步利用贡献分解模型(CDM)探究亚洲各国对碳排放重心移动的影响。在水文水资源方面，李艳等^[8]通过该模型研究了水文序列在时空上的变异情况，并发现北江流域水文序列移动方向发生重要转折的年份分别是 1959、1967、1975 和 1983 年。程超等^[9]发现滇中城市群的水资源承载力重心相对于几何中心向南部地区偏离。通过搜寻文献发现，关于居民生活用水重心移动问题的研究目前较少。

LMDI (Logarithmic Mean Divisia Index)方法由于其具有时间可逆、因素可逆、聚合性和零值稳健等良好性质，自 Ang 等^[10,11]提出后，被广泛应用到能源^[12,13]、碳排放^[14,15]、污水排放^[16,17]等多个领域。目前，国内学者也利用该方法对工业用水^[18]、总用水量^[19]等多种类型用水的时空差异^[20]和驱动效应^[21]开展了大量研究。童玉芬等^[22]以北京市用水量为研究对象，使用 LMDI 将其分解为人口规模、家庭规模和家庭数量 3 个效应。同样，Long 等^[23]也利用该模型将 31 个省市用水量分解为 12 个驱动因素，其中也包括家庭规模和家庭数量效应。除人口学因素外，秦腾等^[24]运用向量型 LMDI 模型将用水量分解为居民消费、城镇化等 6 个效应，结果显示居民消费抑制用水量的减少。上述研究都是探究用水量在时间角度上变化的驱动效应，刘晨跃等^[25]也对分解后的驱动效应进行了空间分析，发现人口、经济水平和用水效率三大效应在东、中、西部发挥的作用存在差异，但三者空间分布上具有某种趋同性。不同于前两位学者研究空间差异的方法，张陈俊等^[26]借鉴 Ang 等^[27]提出的多区域分解模型，从生产和生活两个视角分析长江经济带地区之间用水量空间差异的驱动效应，并根据结果提出促进用水量空间均衡的有效措施。

现有研究主要集中在从时空视角探究工业用水或总用水量的多种驱动效应，但关于居民生活用水的时空格局演变与驱动效应的研究较少，该研究的边际贡献在于：(1)利用核算的城乡居民生活用水，通过重心模型探究生产和生活用水的时空格局演变以及该过程中各个省份发挥的作用；(2)探究人均消费水平和消费用水效率对生活用水的影响；(3)从时空视角分析城镇和农村居民生活用水的变化趋势及差异，探索实现空间布局平衡的途径。因此，文中使用重心模型和贡献分解模型分析两者 2005~2017 年间的重心移动情况，随后运用 LMDI 模型分析生活用水时空差异的驱动效应。一方面补充了城乡居民生活用水核算和时空聚集倾向方面的研究，另一方面也通过探究消费水平和消费用水效率对生活用水的作用丰富了用水量驱动效应的研究内容。

1 模型构建与数据说明

1.1 居民生活用水重心模型

重心模型可用于描绘区域属性的空间变迁情况，其中，重心代表着区域内某属性的几何中心，移动方向指示了某属性的“高密度”单位，移动距离体现了某属性的非均衡程度^[28,29]。为探究长江经济带居民生活用水的重心和移动方向，参考 YanSong^[4]等的做法，构建如下模型：

$$X^t = \frac{\sum_{i=1}^n W_i^t \times x_i}{\sum_{i=1}^n W_i^t} \quad (1)$$

$$Y^t = \frac{\sum_{i=1}^n W_i^t \times y_i}{\sum_{i=1}^n W_i^t} \quad (2)$$

式中：X^t、Y^t 分别表示居民生活用水重心的经度和纬度，其反映了城镇和农村居民生活用水在空间上的分布中心，重心移动表明区域间城镇和农村居民生活用水量的不均衡变化，能够较好的表征长江经济带城镇和农村居民生活用水的区域差异；t 表示

年份, $i \in (1, 2, \dots, 11)$, 代表长江经济带 11 个省市; W_{tiit} 表示 i 省市 t 年的居民生活用水量; x_i 和 y_i 分别表示 i 地的经度和纬度。

为衡量不同时期内城镇和农村居民生活用水重心的移动距离, 即反映城镇和农村居民生活用水的非均衡程度, 参考冯宗宪等^[30]的做法, 采用以下公式:

$$D_{T-t} = C \times \sqrt{(X^T - X^t)^2 + (Y^T - Y^t)^2} \quad (3)$$

式中: D_{T-t} 表示 2 个不同时期区域重心空间移动的距离; T 表示年份; X^t 和 Y^t 分别表示 T 年城镇和农村居民生活重心的经度和纬度; C 是将地理坐标单位(经纬度)转化为平面坐标距离(km)的系数, 通常取值为常数($C=111.111$), 区域重心从 t 时期到 T 时期在经度和纬度上移动的距离分别为 $C \times (X^t - X^T)$ 和 $C \times (Y^t - Y^T)$ 。

为进一步分析居民生活用水重心移动过程中各市分别产生的作用, 参考 Song^[4]等的做法, 使用贡献分解方法对各个省市的贡献进行量化, 具体方法如下:

$$MCx_i = \Delta X(K) - \Delta X(K/\{i\}) \quad (4)$$

$$MCy_i = \Delta Y(K) - \Delta Y(K/\{i\}) \quad (5)$$

式中: MCx_i 和 MCy_i 分别代表 i 省市在经度和纬度上的贡献; $\Delta X(K)$ 代表居民生活用水在经度上的移动距离, $\Delta X(K/\{i\})$ 表示去除 i 省市后居民生活用水在经度上的移动距离, 同理, $\Delta Y(K)$ 和 $\Delta Y(K/\{i\})$ 表示纬度上的移动距离。文中规定经度方向上向东移动为正, 纬度方向上向北移动为正。此外, 将贡献方向与重心移动方向一致的省市定义为动力区域, 而贡献方向与重心移动方向相反的省市为反动力区域。

1.2 居民生活用水分解模型

根据研究目的, 参考 Ang 等^[10, 11]和张陈俊等^[26]的做法, 考虑消费和城镇化对居民生活用水的影响, 构建居民生活用水驱动效应的时空分解模型。

1.2.1 时间差异分解模型

居民生活用水 W_{DOM} 可以表示为:

$$\begin{aligned} W_{DOM} &= \sum_{j=1}^2 W_j = \sum_j \frac{W_j}{C_j} \times \frac{C_j}{P_j} \times \frac{P_j}{P} \times P \\ &= \sum_j CI_j \times PC_j \times U \times P \end{aligned} \quad (6)$$

式中: $j \in (1, 2)$, 分别表示城镇和农村; W_{DOM} 、 W_j 、 C_j 、 P_j 分别表示居民生活用水量; j 类别居民生活用水量、居民消费和人口数量; CI_j 、 PC_j 、 P_j 分别表示消费用水强度、人均消费水平和人口比重; P 代表总人口数量。

假设时间从 $t-1$ 期变化到 t 期，居民生活用水变化量为 ΔW_{DOM} ，则该变化量可以分解为 4 个效应：

$$\begin{aligned}\Delta W_{DOM} &= \sum_{j=1}^2 \Delta W_j^{t-1, t} = \sum_j W_j^t - W_j^{t-1} \\ &= \Delta W_{CI}^{t-1, t} + \Delta W_{PC}^{t-1, t} + \Delta W_U^{t-1, t} + \Delta W_P^{t-1, t}\end{aligned}\quad (7)$$

其中：

$$\Delta W_{CI}^{t-1, t} = \sum_j \frac{W_j^t - W_j^{t-1}}{\ln W_j^t - \ln W_j^{t-1}} \ln \left(\frac{CI_j^t}{CI_j^{t-1}} \right) \quad (8)$$

$$\Delta W_{PC}^{t-1, t} = \sum_j \frac{W_j^t - W_j^{t-1}}{\ln W_j^t - \ln W_j^{t-1}} \ln \left(\frac{PC_j^t}{PC_j^{t-1}} \right) \quad (9)$$

$$\Delta W_U^{t-1, t} = \sum_j \frac{W_j^t - W_j^{t-1}}{\ln W_j^t - \ln W_j^{t-1}} \ln \left(\frac{U_j^t}{U_j^{t-1}} \right) \quad (10)$$

$$\Delta W_P^{t-1, t} = \sum_j \frac{W_j^t - W_j^{t-1}}{\ln W_j^t - \ln W_j^{t-1}} \ln \left(\frac{P_j^t}{P_j^{t-1}} \right) \quad (11)$$

式中： $\Delta W_{CI}^{t-1, t}$ 、 $\Delta W_{PC}^{t-1, t}$ 、 $\Delta W_U^{t-1, t}$ 、 $\Delta W_P^{t-1, t}$ 分别表示消费强度效应、人均消费效应、城镇化效应和人口规模效应，反映了消费用水强度、人均消费水平变化、城镇化推进和人口数量变化对居民生活用水产生的影响。

1.2.2 空间差异分解模型

根据 Ang 等^[27]提出的多区域分解模型可知，在进行空间分析时，需要选择某一特定年份进行分析，而且当比较对象中包含的个体超过两个时，一般选择 M-R 模型。模型中的比较对象是长江经济带各个指标的平均水平，平均水平通过算术平均值计算得来^[27]，具体模型如下：

居民生活用水 W_{DOM} 的多区域空间分解模型可以表示为：

$$\begin{aligned}\Delta W_{DOM} &= \sum_{j=1}^2 \Delta W_j^{i, m} = \sum_j W_j^t - W_j^m \\ &= \Delta W + \Delta W_{PC}^{i, m} + \Delta W_U^{i, m} + \Delta W_P^{i, m}\end{aligned}\quad (12)$$

其中： m 表示平均水平。

$$\Delta W = \sum_j^2 \frac{W_j^i - W_j^m}{\ln W_j^i - \ln W_j^m} \ln \left(\frac{CI_j^i}{CI_j^m} \right) \quad (13)$$

$$\Delta W_{PC}^{i,m} = \sum_j^2 \frac{W_j^i - W_j^m}{\ln W_j^i - \ln W_j^m} \ln \left(\frac{PC_j^i}{PC_j^m} \right) \quad (14)$$

$$\Delta W_U^{i,m} = \sum_j^2 \frac{W_j^i - W_j^m}{\ln W_j^i - \ln W_j^m} \ln \left(\frac{U_j^i}{U_j^m} \right) \quad (15)$$

$$\Delta W_P^{i,m} = \sum_j^2 \frac{W_j^i - W_j^m}{\ln W_j^i - \ln W_j^m} \ln \left(\frac{P_j^i}{P_j^m} \right) \quad (16)$$

式中： $\Delta W_{CI}^{i,m}$ 、 $\Delta W_{PC}^{i,m}$ 、 $\Delta W_U^{i,m}$ 、 $\Delta W_P^{i,m}$ 分别表示 i 地区与平均水平 m 之间的消费强度效应、人均消费效应、城镇化效应和人口规模效应，反映了消费用水强度、人均消费水平、城镇化和人口数量对地区间居民生活用水量差异的影响。

1.3 数据来源说明

长江经济带由上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、重庆、四川、贵州和云南 11 个省市组成，文中涉及的指标主要包括该 11 个省市的居民生活用水量、第三产业就业人数、竣工面积、城镇和农村居民消费、城镇和农村人口等，各指标对应的原始数据来源于各省市的统计年鉴、国民经济和社会发展统计公报和《水资源公报》，其中，与经济、消费相关的指标均以 2005 年为基期将其转化为可比数据。考虑到长江经济带 11 个省市的《水资源公报》中未明确列出城镇和乡村居民生活用水量，且部分生活用水量中包含城镇公共用水量，因此，参考 Zhang 等^[31]的做法，并结合原始数据情况，通过以下方法核算城镇和农村居民生活用水量：

(1) 若某省份《水资源公报》中具有城镇居民生活、农村居民生活用水数据，可直接通过类别相加获得居民生活用水数据。

(2) 若某省份《水资源公报》中无法直接获得目标数据，则通过比例分配的方法^[31]进行居民生活用水核算，根据长江经济带各省市《水资源公报》中的生活用水数据可分为两种情况。

情况 1: 生活用水仅包括城镇和农村居民生活用水，两者用水量可利用公式 (17)~(18) 计算得到。

$$W_V = R_V \times W_{DOM} \quad (17)$$

$$R_V = (N_V \times I_V) / \sum_{V=1}^2 (N_V \times I_V) \quad (18)$$

$$V \in (1, 2)$$

式中： $V \in (1, 2)$ ，当 $V=1$ 时， W_V 代表城镇居民生活用水量；当 $V=2$ 时， W_V 代表农村居民生活用水量； N_V 分别代表城镇和农村人口数量； I_V 分别代表对应的用水强度； R_V 表示城镇和农村生活用水比例。其中，部分省市 I_V 通过水资源公报查找 (如湖南、重庆等)，其余省市的 I_V 使用邻近省市的 I_V 替代^[31]。

情况 2: 生活用水包括城镇公共用水和居民生活用水，则城镇和农村居民生活用水量可通过公式 (19)~(20) 计算得到。

$$W_V = R_V \times W_{DOM} \quad (19)$$

$$R_V = (N_V \times I_V) / \sum_{V=1}^4 (N_V \times I_V) \quad (20)$$

$$V \in (1, 2, 3, 4)$$

式中：当 $V=3$ 时， N_V 表示竣工面积， I_V 表示建筑业用水强度， W_V 代表建筑业用水量；当 $V=4$ 时， N_V 代表服务业就业人数， I_V 代表对应的用水强度， W_V 代表服务业用水量。其中， N_V 的获取方式同 I_V 相似。

2 结果分析

2.1 城乡居民生活用水分布情况

长江经济带各省市 2005~2017 年的城镇居民生活用水分布与各年变化情况如图 1 所示。根据城镇居民生活用水量的大小将 11 个省市分为三类，其中，高水平区域包括江苏、浙江、湖南、湖北和四川 5 个省份，其总居民生活用水量处于 170.80 和 311.66 亿 m^3 之间，主要由于这 5 个省份辖区常住人口较多、消费水平较高等。中水平区域的用水量范围是 123.42~170.79 亿 m^3 ，这一区域主要分布在中下游地区，包括上海、安徽、江西 3 个省市，而城镇居民生活用水量低于 123.42 亿 m^3 的低水平区域主要由重庆、贵州、云南 3 个省市组成，这得益于重庆市常住人口数量相对于其他省份来说较少，而贵州和云南由于经济发展水平相对较低和地形缘故使得其消费水平较低。分三类区域来看，高水平区域中，尽管江苏省任何年份的城镇居民生活用水量均大于其他 4 个省市，但由于采取了用水器具推广、开展节水活动等措施，使其 2005~2017 年间的增长率仅为 53.32%，远低于四川省同时期内 130.93% 的增长率。中水平区域中，安徽和江西两个省份城镇居民生活用水量在 2005~2017 年间以较稳定的增长率不断增加，而上海市除 2006~2007 年间的城镇居民生活用水量增加幅度较大外，其余年份增长率较小，甚至 2013~2015 年间的城镇居民生活用水量出现下降，可能得益于上海市开展节约用水宣传周、评选节约用水示范小区等活动，提高了居民节水意识。低水平区域中，2005~2017 年间，重庆和云南的城镇居民生活用水量的增长率分别为 70.06% 和 52.62%，而贵州城镇居民生活用水量的增长率仅为 8.26%，主要由于贵州省 2011 年编制并实施《贵州省行业用水定额》、启动《贵州省实施最严格的水资源管理制度总体工作方案》使得城镇居民生活用水量相对于 2010 年下降了 32.65%。总体来说，长江经济带 11 个省市的城镇居民生活用水均有所增加，但部分省市因及时颁布相关政策、采取相关措施控制了增长幅度。

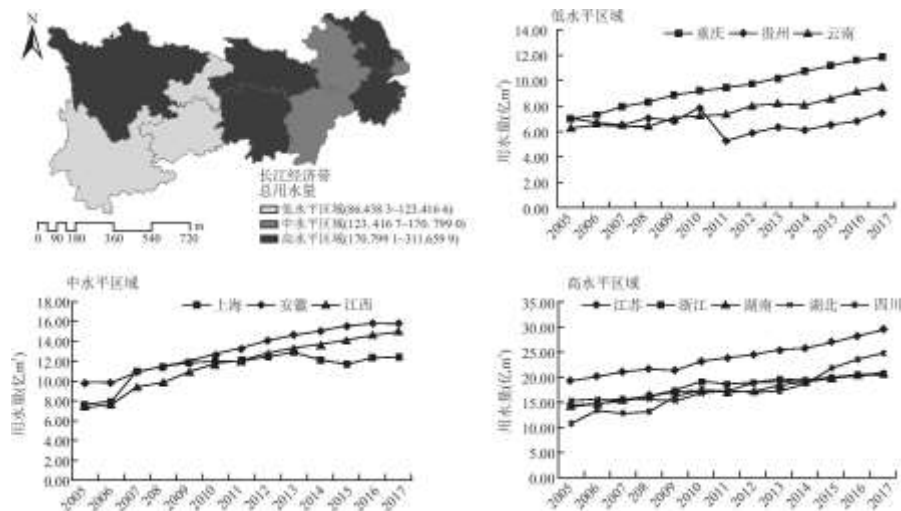


图 1 长江经济带城镇居民生活用水分布与变化

长江经济带 11 个省市的农村居民生活用水的分布与变化与城镇居民生活用水有所不同(图 2)。依然根据用水量的大小将长江经济带 11 个省市分为三类,其中,高水平区域由江苏、安徽、湖南和四川 4 个省份组成,从用水量变化折线图中可知,江苏、安徽和湖南均有所减少,而四川省随着农村人口增加和农村保障用水工作的开展,其用水量增加了 35.74%;属于中水平区域的省份有浙江、江西、湖北、贵州、云南,分别隶属于长江经济带上、中、下游,其农村居民生活用水量在 50.55~103.03 亿 m^3 之间,其中,江西、贵州、云南 3 个省份的农村居民生活用水量因其农村人口数量的大量减少而减少;由于城镇化水平较高、农村人口较少,上海和重庆两个直辖市各年的农村居民生活用水量分别小于 1 和 5 亿 m^3 ,前者 2005~2017 年间表现出增加态势,增长率为 89.30%,而后者多年间在农村人口城镇化和农村用水设施升级的刺激下不断减少,尽管 2017 年重庆农村居民生活用水量(3.35 亿 m^3)仍然大于上海(0.88 亿 m^3),但其整个研究时间段内的减少率已经达到 21.33%。由此可见,农村居民生活用水的分布较为均衡,而且大多数省市通过城镇化的推进和农村居民用水意识的提高已经实现农村居民生活用水量的减少。

2.2 居民生活用水重心移动分析

居民生活用水的重心移动展示了时空格局的演变情况(图 3)。城镇居民生活用水重心的变化范围是 $113.61^{\circ}\text{E}\sim114.07^{\circ}\text{E}$ 和 $29.94^{\circ}\text{N}\sim30.02^{\circ}\text{N}$,由咸宁市移动至荆州市,总体上向西北方向移动,移动距离为 38.36km;从经纬度方向移动的距离来看,东西方向上的移动距离为 37.78km,而南北方向上的移动距离仅为 6.67km,即城镇居民生活用水的重心主要表现为东西方向上的移动。农村居民生活用水重心的移动方向亦是如此,但其重心位置由 2005 年的湖南省岳阳市(112.48°E , 29.47°N)移动至 2017 年的湖北省荆州市(112.31°E , 29.68°N),移动距离为 30.02km,实现了跨省份的转移;与城镇居民生活用水重心在经纬度上的表现不同,农村居民生活用水重心在东西和南北方向上的移动距离分别为 18.89 和 23.33km,其移动主要体现在南北方向上。为进一步分析各时间段内居民生活用水的重心变化情况以及各省份产生的影响,利用贡献分解方法计算了各省份对重心移动的贡献情况,并列出了产生正向影响和反向影响排名前两位的省份,结果如表 1 所示。

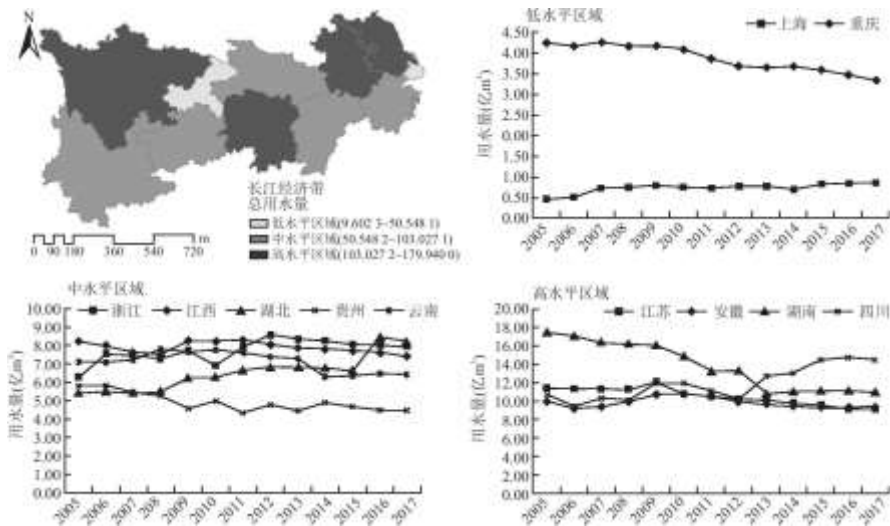


图 2 长江经济带农村居民生活用水分布与变化

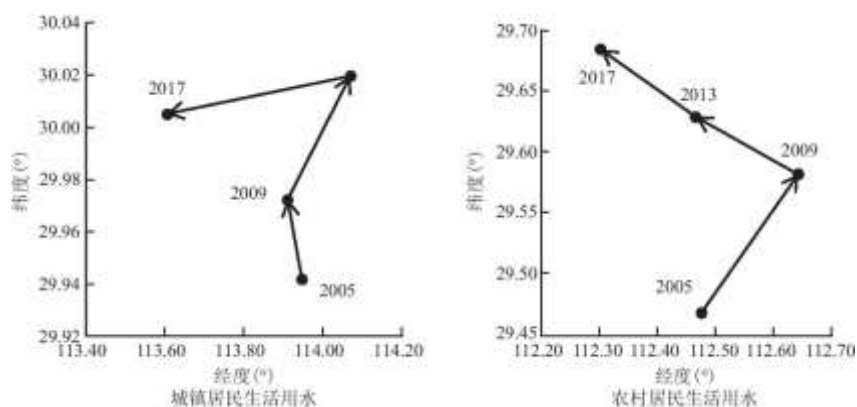


图 3 2005~2017 年长江经济带城镇和农村居民生活用水重心移动路径

表 1 2005~2017 年长江经济带居民生活用水重心移动及贡献排序

时间段	城镇居民生活用水					农村居民生活用水				
	移动方向	动力区域		反动力区域		移动方向	动力区域		反动力区域	
2005~2009	西	上海	贵州	四川	江苏	东	浙江	贵州	四川	云南
	北	上海	贵州	湖北	江苏	北	贵州	湖南	云南	江西
2009~2013	东	四川	贵州	上海	浙江	西	浙江	湖北	四川	江苏
	北	贵州	安徽	江西	四川	北	湖南	四川	江苏	云南
2013~2017	西	江苏	湖南	四川	上海	西	云南	湖北	四川	江苏
	南	四川	江苏	上海	安徽	北	云南	四川	江苏	安徽

2005~2009 年间,城镇居民生活用水重心向西北方向移动,移动距离较小(5.56km),对经度方向上的变化而言,上海和贵州是动力区域中作用位居前两位的省份,而反动力区域中作用排名靠前的两个省份是四川和江苏。对于纬度方向上的变化来说,动力区域中排名前两位的依然是上海和贵州,但反动力区域中湖北替代四川,与江苏共同成为作用较大的前两个省份。与城镇居民生活用水重心移动方向不同,农村居民生活用水的重心向东北方向移动,移动距离达到 21.57km,但在动力区域和反动力区域中作用较大的两个省份有所不同,经度方向上分别是浙江、贵州和四川、云南,纬度方向上分别是贵州、湖南和云南、江西。

与 2005~2009 年间城镇居民生活用水重心变化情况不同,2009~2013 年间的城镇居民生活用水重心向东北方向移动,移动距离较上一时间段内有所增加,达到 18.63km,但依然位于咸宁市内。在此过程中,促进城镇居民生活用水重心向东移动的主要省份是四川和贵州,而产生抑制作用的是上海和浙江两个省份。在重心向北移动过程中,贵州和安徽发挥的作用在动力区域中名列一二,而江西和四川体现的作用在反动力区域中的排名属于前两位。该时间段内,农村居民生活用水重心也改变移动方向沿西北方向移动,移动距离为 19.69km,在岳阳市内的变化范围是 112.64° E 到 112.47° E 和 29.58° N 到 29.63° N,浙江和湖北在动力区域中以其较强的推拉作用促进居民生活用水重心向西移动,与此同时,四川和江苏以对重心西移产生的阻碍作用在反动力区域中位居前两位。对比各省份在纬度方向上的贡献可知,湖南和四川是推动居民生活用水重心向北移动的重要省份,而在阻碍重心北移的省份中,江苏和云南发挥的作用大于上海、浙江、安徽、重庆等省市。

2013~2017 年间,城镇居民生活用水重心继续向西南方向移动,由咸宁市(114.07° E, 30.02° N)移动到荆州市(113.16° 9E, 30.00° N),移动距离达到 3 个时间段内的最大值(51.16km),而该段时间内农村居民生活用水重心保持既有方向,继续向西北移动(移动距离为 18.63km),已由岳阳市(112.47° E 和 29.63° N)移至荆州市(112.31° E 和 29.68° N)。对城镇居民生活用水重心移动的影响省份来说,动力区域中经度方向上影响最大的两个省份是江苏和湖南,纬度方向上是四川和江苏。反动力区域中四川、上海和安徽分别是经度和纬度方向上产生抑制作用的重要省份。在农村居民生活用水重心移动过程中,云南和湖北在经度方向上发挥的作用在动力区域中较大,而四川和江苏在反动力区域中较大。但是在纬度方向上,动力区域中排名前两位的省份分别是云南和四川,反动力区域中的是江苏和安徽。

2.3 长江经济带居民生活用水时间差异的分解

2.3.1 居民生活用水的驱动效应分析

利用公式(8)~(11)将 2005~2017 年间长江经济带居民生活用水分解为消费强度效应、人均消费效应、城镇化效应和人口规模效应四大效应,各个效应的变化情况如图 4 所示。可以看出,2005~2017 年间居民生活用水以较大的增长率不断增加,2017 年居民生活用水(271.49 亿 m³)相对于 2005 年(206.75 亿 m³)增加了 31.31%。

整体上来看,造成居民生活用水不断增加的效应分别是人均消费效应、城镇化效应和人口规模效应,其中,人均消费效应远大于城镇化效应和人口规模效应,而消费强度效应是唯一一个促进居民生活用水减少的效应。具体而言,2005~2009 年间,居民生活用水增加了 28.45 亿 m³,其中,人均消费效应、城镇化效应和人口规模效应的贡献率分别为 263.13%、25.38%和 13.85%,消费强度效应的贡献率为-202.39%(负号不表示大小,仅表示方向)。而在 2009~2013 年间,居民生活用水的变化量(12.63 亿 m³)中有 737.29%来自人均消费效应的贡献,与此同时,消费强度效应对居民生活用水变化的贡献依然与人均消费效应的贡献作用相反,并在绝对值上达到 744.34%,说明在人们生活水平提高的过程中,各种消费用水技术也在不断提高,使得消费所带来的用水效率提高,抵消了人们消费水平提高所造成的居民生活用水增加。对比可发现,城镇化效应相对于上一阶段增加了 28.15%,主要因为 2009~2013 年间城镇化水平变化(6.63%)大于 2005~2009 年间城镇化水平变化(5.09%),即该时间段内较多农村人口转变为城市人口,但由于节水意识不强,使得城镇化带来的用水量增加。2013~2017 年间,人均消费效应、城镇化效应和消费强度效应相对于 2009~2013 年间均有所减小,但人口规模效应相对增加。

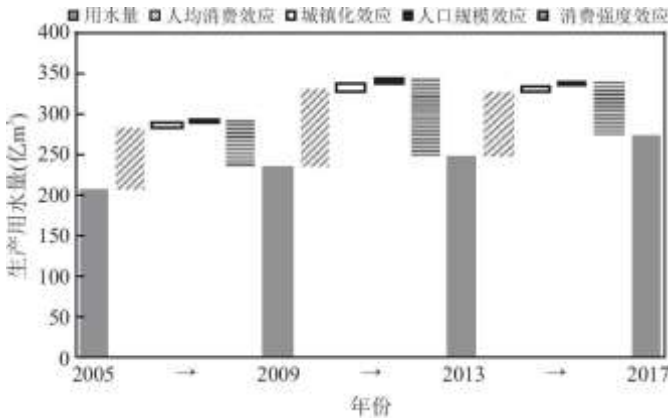


图 4 2005~2017 年长江经济带居民生活用水分解结果

2.3.2 居民生活用水驱动效应的城乡差异

图 5 显示了长江经济带 2005~2017 年间居民生活用水驱动效应在城乡之间的差异。观察消费强度效应在城镇和农村的分布

可知，城镇和农村居民消费用水强度引起的用水变化在各时间段内均小于 0，即两者的消费用水强度在节约居民生活用水方面发挥了正向作用。从变化角度来看，城镇和农村居民消费强度效应都呈现出先增大后减小的变化态势，结合两者在节水方面的作用可知，在今后居民生活用水管理中，需要多加注重消费用水强度，力争降低城镇和农村居民的消费用水强度。

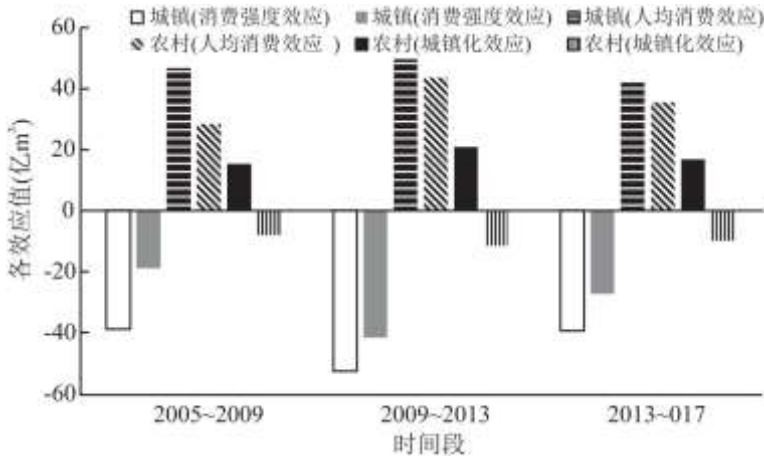


图 5 2005~2017 年长江经济带居民生活用水驱动效应的城乡差异

对于人均消费效应而言，无论是在城市还是在农村，在 3 个时期内均大于零，说明两者全部造成了水资源消耗的增加。就两者作用效果而言，城镇人均消费带来的水资源消耗量一直大于农村。从 3 个时期内城镇和农村人均消费效应的变化可知，两者均表现出先增大再减小的变化趋势，并在 2009~2013 年间达到最大值。具体来说，城镇人均消费效应在 3 个时期内的变化率分别是 6.52%和-15.47%，而农村人均消费效应的变化率分别是 53.80%和-18.44%，对比可知农村人均消费效应变化大于城镇人均消费效应变化，这在图中也表现的较为明显。

与消费强度效应和人均消费效应在城镇和农村的表现不同，城镇化效应在城镇和农村上的表现一正一负，且城镇上的表现程度大于农村上的表现程度，说明前者会造成用水量的增加，而后者对抑制居民生活用水量的增加起到一定正向作用，出现这种现象的原因可能是城镇化进程中生活习惯不同和节水意识较低，此外，还有可能是城镇化前后用水与供水统计情况不同。尽管城镇化效应在城镇上的表现会造成居民生活用水量的增加，但考虑到城镇化效应在城镇和农村上的分布呈现出先增大后减小的变化趋势，两者是否会产生与目前作用相反的影响尚不能给出定论。另外，城镇化在经济发展和人民生活水平提高中也发挥着重要作用，通过降低城镇化率或停止进程城镇化以期达到节约用水量的做法是不可取的。

2.4 各省市居民生活用水空间差异的分解分析

2.4.1 居民生活用水的驱动效应

利用多区域模型将长江经济带 11 个省市的用水量与平均用水量进行分解，得到各省市与平均水平之间存在差异的驱动效应，考虑到篇幅问题，只列出 2005 年和 2017 年居民生活用水的分解结果(图 6)。

图 6 显示了长江经济带 2005 年和 2017 年居民生活用水空间差异的驱动效应。从图 6 中可知，上海、江苏、浙江和四川的消费强度效应小于 0，其中，上海的消费强度效应为-11.15 亿 m³，在对居民生活用水相对于平均水平减少的作用方面，上海大于江苏、浙江和四川。但在 2017 年各省市的消费强度效应中，四川转为正值(10.55 亿 m³)，说明随着人们生活水平的提高，四川的消费用水强度逐渐高于长江经济带平均水平。同时，在推动相对减少作用上，江苏以-13.40 亿 m³的作用强度反超上海，位居第一。除这四个省市外，安徽、江西等省市的消费强度效应有所变动，但均大于零，说明这些省市的消费用水强度大于平均水平，

需要在生活水平提高的同时,重视消费用水强度的降低。与消费强度效应不同的是,上海、江苏、浙江的人均消费效应在 2005 年和 2017 年均大于零,其他省市的这一效应在 2005 年和 2017 年均小于零,说明人均消费在长江经济带下游地区是造成居民生活用水具有空间差异的重要因素,对于中下游地区来说,人均消费所带来的影响有助于推动居民生活用水相对于平均水平的减少。

由于城镇化进程在不同省份之间存在差异,所以长江经济带各省市的城镇化对用水量的影响存在较大差异。2005 年,上海、江苏、浙江、湖北、重庆的城镇化效应均大于零,表明这五个省市的城镇化导致了居民生活用水量相对于平均水平的增加,而安徽、江西等 6 个省份的城镇化作用恰好相反,这一状态在 2017 年依然存在。相对于城镇化效应在空间差异中的作用,人口规模效应发挥的作用强度更大(浙江除外)。上海、江西、重庆、贵州、云南 5 省市由于人口相对较少或外流较多,使得人口规模效应在 2005 年和 2017 年均推动了居民生活用水相对于平均水平向更低水平变化,而江苏、安徽等省份的人口规模效应却发挥了相反作用。值得注意的是,浙江的人口规模效应由 2005 年的-0.43 亿 m^3 变为 2017 年的 1.19 亿 m^3 ,说明近年来外来人口的大量流入,导致了人口规模效应在浙江居民生活用水量相对于平均水平的变化上产生的作用发生了变化。

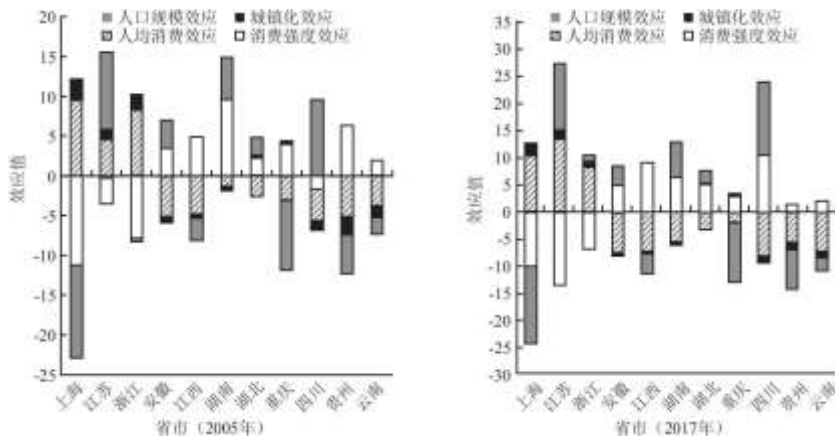


图 6 2005 年和 2017 年各省市居民生活用水空间差异的驱动效应

2.4.2 居民生活用水驱动效应的城乡差异

显示了 2005 和 2017 年长江经济带各省市的消费强度效应、人均消费效应和城镇化效应在城镇和农村上的表现。从表中可知,除上海、江苏、浙江 3 个省市外,其余省市 2017 年的消费强度效应在城镇和农村的表现值均大于零,说明其余省市的消费用水强度均高于平均水平,不利于缩小居民生活用水的空间差异。而对于人均消费效应而言,上海、江苏、浙江 3 个省市在城镇和农村上的表现值均大于零,其他省市均小于零,表明上海、江苏、浙江 3 个省市的人均消费高于平均值,不利于推动居民生活用水与平均水平之间差异的缩小。对比 2005 年的数据可知,上海、江苏、浙江消费强度效应在城镇上的促减作用有所增大,而人均消费效应在城镇上的促增作用也有所增大,这主要因为城镇居民生活用水技术的提高和消费水平的攀升。

2017 年,上海、江苏、浙江、湖北、重庆的城镇化效应在城镇上的表现大于零,说明这 5 个省市的城镇人口比重大于平均水平,不利于推动其城镇化效应与平均水平之间差距的缩小。除此之外,其余省份的城镇化效应在城镇上的表现均小于零,发挥的作用恰恰相反。观察城镇化效应在农村上的表现可知,其表现与在城镇上的表现刚好相反。结合 2005 年的数据分析发现,在各省市城镇化效应中,城镇和农村的促增作用或促减作用具有相同的变化方向(安徽和贵州除外)。

3 讨论与结论

3.1 讨论

(1) 较多省市缺少明确的城镇和农村居民生活用水数据, 故文中首先结合城镇、农村居民人均居民生活用水量通过一定方法核算了城镇和农村居民生活用水数据。由于部分省市缺少某年份的人均居民生活用水量, 核算过程中使用前一年份的人均居民生活用水量进行替代, 因此, 部分数据的可控性误差需要进一步减小。

(2) 居民生活用水重心向西北方向的移动表征着长江经济带上游地区居民生活用水量发生了较大变化, 考虑研究区域外部的地区, 我国西北地区居民生活用水的变化也对重心移动产生了影响, 在经济和生活水平提高过程中, 需要进一步关注用水问题。

(3) 关注居民生活用水变化, 认识消费对居民生活用水的重要影响。进一步贯彻落实居民生活用水定额条例、完善水价改革, 借鉴新加坡居民生活用水节约措施和水效标签制度提高我国居民生活用水器具的用水效率, 建立较为准确的用水核算制度。同时, 注重提高城镇和农村与消费相关的用水技术, 强化人们生活中的节水意识。此外, 在城镇化进程中, 要注意城镇化水平变化与水资源消耗之间的关系, 不能盲目追求城镇化水平。

(4) 随着水资源短缺、水环境恶化和居民生活用水不断增多等问题的出现, 有效管控居民生活用水迫在眉睫, 结合现有的大规模问卷调查数据, 可进一步研究家庭、行为、性别等对居民生活用水的影响

3.2 结论

基于核算的 2005~2017 年城镇和农村居民生活用水数据, 通过重心模型和 LMDI 模型, 分析了长江经济带城镇和农村居民生活用水的重心移动与时空差异的驱动效应问题, 得到以下结论:

(1) 城镇居民生活用水呈现增加态势, 且该态势在长江经济带中下游表现的比上游更为明显, 而较多省市的农村居民生活用水逐渐减少, 在整个经济带中分布也较为均衡; 其中, 江苏、湖南、四川 3 个省份的居民生活用水量需要多加管控。

(2) 城镇和农村居民生活用水重心向西北方向移动, 前者由咸宁移至荆州, 后者由岳阳移至荆州, 荆州成为居民生活用水重心, 两者的非均衡程度分别具有增大和减小的趋势, 且前者大于后者, 该过程中, 长江经济带上游和下游省市产生的影响值得关注。

(3) 城乡消费用水效率和人均消费水平的提高分别是促进和抑制居民生活用水减少的主要因素, 城镇化的推进和人口的增长在一定程度上会导致居民生活用水量的增加, 从城乡视角来看, 城镇人口比重的变大抑制居民生活用水减少, 而农村人口比重变小具有相反作用。

(4) 居民生活用水相对于平均水平的变化中, 消费用水效率与人均消费水平发挥相反的作用, 从城乡分析视角该结论依然成立。城镇化发挥的作用具有空间异质性, 浙江的人口数量变化引发的用水量变化尤其突出。

参考文献:

[1] 汪克亮, 刘悦, 史利娟, 等. 长江经济带工业绿色水资源效率的时空分异与影响因素——基于 EBM-Tobit 模型的两阶段分析[J]. 资源科学, 2017, 39(8):1522-1534.

[2] 杨高升, 谢秋皓. 长江经济带绿色水资源效率时空分异研究——基于 SE-SBM 与 ML 指数法[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(2):349-358.

-
- [3]HILGARD J E.The advance of population in the united states[J].Scribner' s Monthly,1872:4-214.
- [4]SONG Y,ZHANG M.Research on the gravity movement and mitigation potential of Asia' s carbon dioxide emissions [J].Energy,2019,170:31-39.
- [5]李璐,董捷,张俊峰.长江经济带城市土地利用效率地区差异及形成机理[J].长江流域资源与环境,2018,27(8):1665-1675.
- [6]欧维新,张振,陶宇.长三角城市土地利用格局与PM_{2.5}浓度的多尺度关联分析[J].中国人口·资源与环境,2019,29(7):11-18.
- [7]王国霞,李曼.省际人口迁移与制造业转移空间交互响应研究[J].地理科学,2019,39(2):183-194.
- [8]李艳,陈晓宏,张鹏飞.北江流域水文特征变异研究[J].自然资源学报,2013,28(5):822-831.
- [9]程超,童绍玉,彭海英,等.滇中城市群水资源生态承载力的平衡性研究[J].资源科学,2016,38(8):1561-1571.
- [10]ANG B W.Decomposition analysis for policymaking in energy:[J].Energy Policy,2004,32(9):1131-1139.
- [11]ANG B W.The LMDI approach to decomposition analysis:A practical guide[J].Energy Policy,2005,33(7):867-871.
- [12]LU Y,CUI P,LI D.Which activities contribute most to building energy consumption in China?A hybrid LMDI decomposition analysis from year 2007 to 2015[J].Energy and Buildings,2018,165:259-269.
- [13]杨良杰,吴威,苏勤,等.江苏省交通运输业能源消费碳排放及脱钩效应[J].长江流域资源与环境,2014,23(10):1383-1390.
- [14]MOUTINHO V,MADALENO M,INGLESI-LOTZ R,et al.Factors affecting CO₂ emissions in top countries on renewable energies:A LMDI decomposition application[J].Renewable and Sustainable Energy Reviews,2018,90:605-622.
- [15]傅智宏.基于投入产出表的隐含问题计算方法辨析——以中国增加值出口隐含国内碳排放强度计算为例[J].数量经济技术经济研究,2018,35(6):132-148.
- [16]GENG Y,WANG M,SARKIS J,et al.Spatial-temporal patterns and driving factors for industrial wastewater emission in China[J].Journal of Cleaner Production,2014,76:116-124.
- [17]陈昆仑,郭宇琪,刘小琼,等.长江经济带工业废水排放的时空格局演化及驱动因素[J].地理科学,2017,37(11):1668-1677.
- [18]SHANG Y,LU S,SHANG L,et al.Decomposition methods for analyzing changes of industrial water use[J].Journal of Hydrology,2016,543:808-817.
- [19]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.

-
- [20]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.
- [21]YAO L, XU J, ZHANG L, et al. Temporal-spatial decomposition computing of regional water intensity for Yangtze River Economic Zone in China based on LMDI model[J]. Sustainable Computing: Informatics and Systems, 2019, 21:119-128.
- [22]童玉芬, 李铮. 人口因素在北京市水资源压力中的驱动作用分析[J]. 人口学刊, 2012(5):30-38.
- [23]LONG H, LIN B, OU Y, et al. Spatio-temporal analysis of driving factors of water resources consumption in China[J]. Science of the Total Environment, 2019, 690:1321-1330.
- [24]秦腾, 章恒全, 佟金萍, 等. 城镇化进程中居民消费对水资源消耗的影响效应研究[J]. 软科学, 2016, 30(12):29-33.
- [25]刘晨跃, 徐盈之, 孙文远. 中国三次产业生产用水消耗的时空演绎分解——基于 LMDI-I 模型的经验分析[J]. 当代经济科学, 2017, 39(2):95-108.
- [26]张陈俊, 吴雨思, 庞庆华, 等. 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[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(12):2806-2816.
- [27]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.
- [28]曹芳东, 黄震方, 余凤龙, 等. 国家级风景名胜区旅游效率空间格局动态演化及其驱动机制[J]. 地理研究, 2014, 33(6):1151-1166.
- [29]李秀彬. 地区均衡性的可视化测度[J]. 地理科学, 1999(3):255-256.
- [30]冯宗宪, 黄建山. 1978-2003 年中国经济重心与产业重心的动态轨迹及其对比研究[J]. 经济地理, 2006(2):249-254, 269.
- [31]ZHANG Z Y, LIU J G, CAI B F, et al. City-level water withdrawal in China: Accounting methodology and applications [J]. Journal of Industrial Ecology, 2020:1-14.