

安徽省工业用水消耗的动态演绎分解

——基于细分行业视角的分析

刘晨跃, 徐一诺

(合肥工业大学经济学院, 合肥 230601)

摘要: 利用 2005—2021 年安徽省相关统计数据, 将影响工业用水消耗的原因分解为产出效应、结构效应和技术效应, 并基于用水系数和 LMDI-I(迪氏指数相关的完全分解模型) 动态演绎安徽省工业行业用水消耗。研究发现: 安徽省规模以上工业行业的用水系数在样本期内有所波动, 但耗水性质比较稳定; 在研究期间, 安徽省工业用水量总体呈现出波动中上升的态势, 其中产出效应加剧了工业用水消耗, 技术效应在多数年份能够抑制安徽省工业用水量的增加, 而结构效应则呈现出抑制和促进交替分布的规律。

关键词: 工业用水; 动态演绎; 细分行业

中图分类号: F426 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)05-0136-11

随着国家工业化、城市化进程的快速推进, 工业用水消耗的急速攀升拉动了我国用水量的持续增长, 且主要工业产品的单位用水量一直处在较高的水平, 与发达国家的耗水标准仍然存有差距。此外我国人均水资源拥有量仅为世界平均水平的 1/4, 是全球人均水资源最贫乏的国家之一, 水资源的短缺限制了经济的进一步发展。从 2010 年开始, 国家逐步制定用水程度指标, 并规划全国层面的用水总量限制。同时, “中国制造 2025” 战略的提出促使工业经济从快速发展时期步入高质量发展时期, 工业用水的需求量以及需求结构急需适应新的形势, 实现从量到质的嬗变。

21 世纪以来, 安徽省将“工业强省” 作为全省的发展战略, 并提出以全省之力助力工业化发展。2005—2021 年, 安徽省工业产值增加了 7 倍多, 平均每年增长率超过了 14%, 远高于同期的 GDP 增速。但与此同时, 也带来了一系列问题, 诸如资源消耗严重、环境污染加剧和工业用水量持续攀升等。实施工业领域碳达峰行动是实现“双碳” 目标的重要任务, 提升工业用水效率是实现工业低碳转型的关键, 将为 2030 年工业领域碳达峰奠定坚实基础。基于对现阶段工业绿色发展的“双碳” 目标的

充分考虑, 本研究对安徽省工业行业用水效率的时空演绎分解展开分析, 更好地了解工业用水结构及其效率, 帮助管理者更好地制定科学治水之策, 以为安徽省工业的绿色可持续发展提供理论依据和实践支撑。

1 文献综述

马尔萨斯在《人口原理》这本书中提出, 由于人口数量的爆炸式增长从而导致终有一天我们会面临自然资源枯竭的问题。20 世纪 90 年代后, 许多学者积极探索经济发展与自然环境的和谐共生之道。Grossman 和 Krueger^[1] 对环境质量与人均收入之间具有的线性关系做了实证研究, 得到了“当处于低收入水平时, 污染指数随着经济增长同步上升, 当处于高收入水平时, 污染指数随着经济增长反向变动” 的结论; Panayotou^[2] 则将这两者之间的关系称之为环境库兹涅茨曲线(EKC); Grossman 和 Krueger^[1] 证实了这种微妙关系的存在, 并指出随着经济增长可以改善周围环境的可能性; Park 和 Burgess^[3] 第一次提出了承载力概念; Price^[4] 在自己的著作中, 巧妙地用数学形式表达了自然环境的承受度; Millington 和 Gifford^[5] 对澳大利亚的各种自然资源对人口规模的限制做了定

收稿日期: 2023-08-15

基金项目: 安徽省哲学社会科学规划项目(JS2019AHZS0207)

作者简介: 刘晨跃(1991—), 男, 安徽太和人, 经济学博士, 讲师, 研究方向为环境经济学; 徐一诺(2003—), 女, 河北唐山人, 研究方向为环境经济学。

量的考察。

对水资源利用方面的研究较多。Kostas^[6]通过对欧洲多个国家的数据分析,指出水资源的持续利用是实现水资源高效利用的前提和基础;Tony^[7]、Martinez-Lagunes 和 Rodriguez-Tirado^[8]皆提出提高水资源的利用率是解决面临水资源不足问题的可行方法;Kaneko 等^[9]运用随机前沿函数的方法,对中国的农业用水效率进行了评价,指出中国农业用水效率较低,农业用水效率依然具有较大的提升空间;Abbott 和 Bruce^[10]又研究了衡量供水和废水行业生产力和效率水平的各种措施;Cabrera 等^[11]采用数据包络分析方法,评价了葡萄牙城市供水服务效率。上述关于水资源利用的相关研究为本文的研究指明了方向。

国内学者对用水效率的关注开始于 20 世纪 80 年代,已取得较多成果。用水效率可以定义为狭义与广义两种,仅考虑经济效益就是狭义的,综合考虑经济、生态和社会效益便是广义的^[12]。郭丰源等^[13]指出从近 20 年的发展情况来看,2001—2019 年,我国万元工业增加值用水量由 268 m³ 降到 38.4 m³,19 年年均降低 9.72%;朱启荣^[14]指出各地区之间的用水效率差异很大,涉及的原因有工业结构、资源禀赋等;贾绍凤等^[15]指出工业用水效率的提高是用水量下降的主要原因,表现在技术进步以及部门结构调整上;李珊等^[16]通过测算中国的工业用水效率,并从多方面综合分析工业用水效率影响因素的空间动态演变状况;尹庆民和朱康宁^[17]指出近年来长江经济带的工业用水效率呈波动下降趋势,不同地区效率差异明显,经济发展水平、工业化程度、技术水平、水资源禀赋和政府环境管制力度对长江经济带的工业用水效率都有一定影响,但存在地区差异;孙才志和王妍^[18]运用时空分异的研究手段,以辽宁省为例展开用水变化驱动力测度及时空分异分析;岳立和赵海涛^[19]发现技术进步对于用水量下降效果并不明显;姜蓓蕾等^[20]认为高耗水行业的占比越大,会导致用水效率越难以提升;李俊和许家伟^[21]、陈雯和王湘萍^[22]、张礼兵等^[23]均通过构建迪氏指数相关的完全分解模型(logarithmic mean Divisia index complete decomposition method, LMDI-I),分别对河南省工业用水、工业行业整体用水和安徽工业耗水的演绎情况展开系列探讨。

当前学者们的研究从不同角度论述了水资源对经济发展的影响以及两者间可能存在的关系,然

而多数研究选取我国三大地带的某一代表性省区或某一行业为研究对象,缺乏对中部省份安徽省工业用水效率的系统性分析,导致研究结果指向性不强,政策建议可操作性有限,加之研究样本间特征和规律的差异化较大,难以将既有研究成果推广使用。此外,在研究的内容上,学者们鲜少关注单一省份产业结构转型背景下的用水效率。因此,本文将传统农业大省——安徽作为研究对象,利用用水系数和 LMDI-I 模型的方法,研究细分行业视角下安徽省工业用水量变化的影响因素,并从产出效应、技术效应和结构效应 3 个层面重点揭示安徽省工业分行业用水效率的时空规律、分布模式和演化特征,弥补了前人研究的不足,为安徽实现水资源节约和经济发展的双赢提供一定的政策参考,且具有较强的实践价值。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 研究方法

基于 Kaya 恒等式的基本思想,将工业用水分解为 3 个影响因素,分别为产出效应、结构效应和技术效应,从这 3 个方面衡量安徽省工业经济规模扩大、工业部门结构变迁、工业用水技术进步对工业用水量演绎的贡献度。具体公式为

$$W_t = \sum_i W_{i,t} = \sum_i Y_t \frac{Y_{i,t}}{Y_t} \frac{W_{i,t}}{Y_{i,t}} = \sum_i Y_t S_{i,t} I_{i,t} \quad (1)$$

式中: W 为工业用水量; Y 为工业增加值; S 为工业用水结构; I 为工业用水强度; t 为研究的年份; i 为具体的工业行业。

将工业用水变化的驱动因素分解为产出效应 ΔW_Y 、结构效应 ΔW_S 和技术效应 ΔW_I , 并基于 LMDI-I 完全分解模型,得出产出效应、结构效应和技术效应的计算方法:

$$\Delta W = W_t - W_0 = \Delta W_Y + \Delta W_I + \Delta W_S \quad (2)$$

$$\Delta W_Y = \sum_i (W_{i,t} - W_{i,0}) / (\ln W_{i,t} - \ln W_{i,0}) \ln \frac{Y_t}{Y_0} \quad (3)$$

$$\Delta W_S = \sum_i (W_{i,t} - W_{i,0}) / (\ln W_{i,t} - \ln W_{i,0}) \ln \frac{S_{i,t}}{S_{i,0}} \quad (4)$$

$$\Delta W_I = \sum_i (W_{i,t} - W_{i,0}) / (\ln W_{i,t} - \ln W_{i,0}) \ln \frac{I_{i,t}}{I_{i,0}} \quad (5)$$

式中: ΔW 为总效应; W_0 为第一年的工业用水量。

需要说明的是,以上的各分解效应,前提必须

保证另外两个分解效应不变,只有一个指标的变动所导致的工业用水效率的变动,如 ΔW_s 表示“结构效应”,即在产出规模和技术条件保持不变的情况下,仅是工业经济结构变动所导致的工业用水量的变化。此外,用上述公式计算出的效应值,如果为正值,就表示此效应可以正向增加工业用水量需求,如果为负值,则说明此效应负向减少工业用水量需求。将产出效应、结构效应和技术效应的分解值求和,就可以得到当期跨度的工业用水量,若其值为正,则说明工业用水量在上升,若其值为负,则说明工业用水量在减少。

2.2 数据来源

研究时期为2005—2021年,其中安徽省分行业用水量和分行业工业增加值来源于历年的《安徽省统计年鉴》,部分数据由整理计算得到。此外,选用的数据是规模以上工业分行业增加值和工业取水量,工业取水量指的是新鲜水取用量,并没有计算企业的重复利用水量。

3 安徽省工业用水现状分析

3.1 工业用水规模、结构和效率概述

图1为2005—2021年安徽省规模以上企业工业用水量的历年变化情况。其中工业用水总量一直呈现出持续上升的态势,而工业取水量在2012年大幅下降,降幅高达38.3%,之后开始缓慢上升,但是取水量始终低于50亿 m^3 ,可能的原因是工业重复用水量的持续增加,客观上减少了工业企业对新鲜水资源的需求。

着眼于工业用水结构,根据分行业耗水数据计算可知,2005—2021年安徽高耗水行业用水量占规模以上工业总用水量的比重始终高于80%,可见安徽省的工业用水消耗量的行业集中度较高;同时,从纵向来看,耗水严重的行业用水量占比有所下降,表明安徽省应重点关注高耗水行业,实现精准治水。

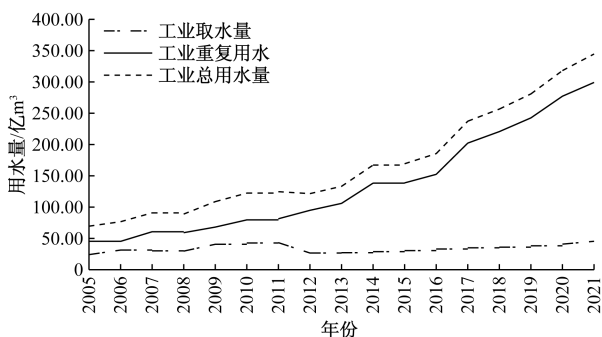


图1 2005—2021年安徽省规模以上企业工业用水量

万元工业产值耗水量可以衡量地区工业生产的用水效率,其值越低,效率越高。表1为2005—2021年安徽省工业用水量、产值、用水效率。2005—2021年,安徽省的工业产值从2005年的1483.7亿元上升到2021年的13081.7亿元,工业经济规模的上涨速度超过了工业用水量的上涨速度,从而推动了用水效率的提升。2005年,安徽省工业用水效率为162.8 m^3 /万元。2018年,安徽省工业用水效率为31.1 m^3 /万元,平均每年减少10.1 m^3 /万元。2018—2021年用水效率在波动中降低,说明效率提升达到了长期的稳定性。

表1 2005—2021年安徽省工业用水量、产值、用水效率

年份	工业用水量/亿 m^3	工业产值/亿元	用水效率/ $(m^3 \cdot 万元^{-1})$
2005	24.2	1483.7	162.8
2006	31.4	1885.6	166.6
2007	30.1	2562.7	117.6
2008	29.7	3259.3	91.2
2009	40.7	3980.6	102.2
2010	42.8	5290.6	80.8
2011	43.3	6776.0	63.8
2012	26.7	7614.1	35.0
2013	27.2	8646.0	31.5
2014	28.8	9302.8	31.0
2015	30.6	9589.2	31.9
2016	33.1	9724.9	34.0
2017	35.0	10604.8	33.0
2018	36.0	11591.3	31.1
2019	38.3	11181.7	34.3
2020	40.9	11235.5	36.4
2021	45.4	13081.7	34.7

3.2 工业用水面临的问题

2005—2020年16年间,安徽省地区生产总值由5350.17亿元增至38680.63亿元,经济总量增长了超7倍。但与此同时,安徽省水资源压力也日渐增大,近年来出现的水资源短缺不容小觑,缺水的现状已经影响到了一些地区,有的甚至达到了严重缺水的地步。

3.2.1 地区工业用水效率不高且分布不均

相关研究发现,2017—2021年安徽省工业用水效率在波动中降低,但仍未达到有效效率,用水效率不高。全省工业用水效率5年均值为33.9 m^3 /万元,合肥、淮南、马鞍山、铜陵用水效率低于省内均值,用水效率较低,亳州、宿州、阜阳用水效率高于省内均值,用水效率比较高(表2)。

表 2 2017—2021 年安徽省工业用水效率及空间分布

城市	工业用水效率均值	区域划分
合肥	41.29	皖中
淮北	33.30	皖北
亳州	17.23	皖北
宿州	18.87	皖北
蚌埠	28.10	皖北
阜阳	18.55	皖北
淮南	81.33	皖北
滁州	25.30	皖中
六安	27.96	皖中
马鞍山	45.91	皖中
芜湖	26.72	皖南
宣城	24.47	皖南
铜陵	44.15	皖南
池州	28.30	皖南
安庆	30.03	皖中
黄山	23.73	皖南

3.2.2 水资源的承载力不稳定

年降雨量对安徽省的水资源储备具有很大的影响。安徽省的水资源包含雨水、地表水和地下水 3 个部分,地下水的含量比较稳定,但是降雨的年际变化则非常大,且难以预算。安徽省属于明显的过渡型气候,天气受季风影响,导致安徽省各年份降水不均匀。虽然流经安徽省的长江、淮河以及新安江为安徽省提供了大量的优质水资源,但它们的径流量同样受到了流域降水量影响,因此其提供的水资源年际波动同样很大。

董涛等^[25]构建了承载主客体耦合的评价模型,依托于承载过程,动态地评测了安徽省水资源承载力,得到了如下结论:安徽省历年总体来看处在比较稳定安全的范围,但是仍然有部分地区的承载支撑力有不足的风险,这类地区的特点是人口超过承担界限,而经济上超载的地区大多为重工业比较发达的城市,总体上来说,皖南地区的承载力要好于皖北地区。

4 安徽省工业用水行业分类和用水系数

4.1 行业分类

选取 2009—2021 年作为研究的区间,根据《安徽省统计年鉴》的相关数据可以发现,电力、热力的生产和供应业,金属冶炼加工业,石化工业和核燃料加工业,燃气、水的生产和供应业这 4 大行业用水量较高,其他行业用水量则相对来说较低。为了更好地说明问题,参考李俊和许家伟^[26]的行业分类方法,并结合安徽省具体情况,对非金属矿采选业、烟草加工业、食品制造业、纺织业等 13 个行业做了一定的调整,得到工业行业调整后分类表(表 3)。

表 3 工业行业合并后分类

行业编号	合并后行业分类	合并前后变化
1	煤炭开采和洗选业	分类不变
2	金属采选业	包括黑色金属采选业、有色金属采选业
3	非金属矿采选业	增加了开采辅助活动
4	食品制造业	增加了农副食品加工业
5	烟草加工业	增加了饮料、酒和精茶制造业
6	纺织业	增加了皮革毛皮羽毛和其制品、纺织服装、服饰业、
7	竹藤棕草和木材加工业	增加了家具制造业
8	造纸印刷品及文教等制造业	增加了印刷和记录媒介复制业
9	石化工业及核燃料加工业	包括橡胶和塑料制造业、石油加工、化学原料及制品业、炼焦及核燃料加工业、医药制造业、化学纤维制品业
10	非金属矿物制品业	分类不变
11	金属冶炼及压延加工业	包括有色金属冶炼及压延加工业、黑色金属冶炼及压延加工业
12	金属制品业	分类不变
13	通用、专用设备制造业	包括通用设备制造业以及专用设备制造业
14	交通运输设备制造业	包括航空航天其他运输设备、铁路、汽车制造业、船舶制造业
15	电气机械及器材制造业	分类不变
16	通信、计算机和其他电子设备制造业	分类基础上,增加仪器仪表制造业
17	其他制造业	包括废弃资源利用业、其他制造业、机械及设备修理业、金属制品业
18	电力、热力的生产和供应业	分类不变
19	燃气、水的生产和供应业	分类不变

4.2 耗水水平分类指标

行业间的用水程度差异较大,没有绝对的高和低,因此用用水系数来衡量。用水系数 r 的计算公式为

$$r = (W_i/W) / \left(\sum_{i=1}^n \frac{W_i}{W} \right) \quad (6)$$

式中: W_i 为分行业用水; W 为总用水量。用水系数 r 的值越高,行业耗水越严重, $r \geq 1$, 则该行业为高耗水行业; $0 < r < 1$, 则该行业为一般耗水行业。

4.3 行业用水特性分析

以下选取了 2009—2021 年规模以上分行业工业用水数据进行分析,采用式(6)进行计算,可得安徽省工业各行业分年度用水系数(表 4)。

表 4 2009—2021 年安徽工业分行业、分年度用水系数

行业编号	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	行业性质
1	0.39	0.42	0.39	0.58	0.57	0.53	0.46	0.38	0.36	0.35	0.34	0.33	0.28	一般耗水
2	0.17	0.19	0.13	0.28	0.31	0.33	0.29	0.25	0.18	0.16	0.15	0.15	0.15	一般耗水
3	0.04	0.04	0.03	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.09	一般耗水
4	0.15	0.17	0.15	0.28	0.30	0.28	0.27	0.25	0.24	0.23	0.21	0.20	0.19	一般耗水
5	0.11	0.11	0.13	0.19	0.34	0.21	0.21	0.19	0.17	0.15	0.14	0.13	0.13	一般耗水
6	0.16	0.19	0.17	0.29	0.29	0.29	0.28	0.26	0.26	0.24	0.21	0.20	0.20	一般耗水
7	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	一般耗水
8	0.14	0.15	0.16	0.26	0.27	0.25	0.28	0.28	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19	一般耗水
9	0.95	0.85	0.95	1.58	1.49	1.60	1.48	1.50	1.43	1.30	1.35	1.42	1.26	高耗水
10	0.31	0.31	0.35	0.79	0.66	0.66	0.65	0.69	0.68	0.67	0.66	0.58	0.56	一般耗水
11	0.84	1.04	1.03	1.80	1.81	1.76	1.66	1.60	1.55	1.51	1.38	1.27	1.13	高耗水
12	0.03	0.03	0.04	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	一般耗水
13	0.09	0.10	0.10	0.16	0.17	0.16	0.17	0.18	0.16	0.15	0.13	0.13	0.12	一般耗水
14	0.09	0.10	0.11	0.30	0.16	0.15	0.15	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	一般耗水
15	0.08	0.08	0.10	0.30	0.19	0.18	0.18	0.19	0.19	0.17	0.16	0.16	0.17	一般耗水
16	0.02	0.03	0.05	0.10	0.12	0.15	0.17	0.17	0.18	0.22	0.26	0.28	0.33	一般耗水
17	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	一般耗水
18	9.42	8.46	9.55	2.20	2.36	2.47	2.31	2.23	2.23	2.31	2.37	2.13	2.05	高耗水
19	5.98	6.70	5.51	9.68	9.75	9.80	10.28	10.54	10.82	10.98	11.13	11.55	11.91	高耗水

由表 4 可知:①超过 90%的行业用水系数的变动较为稳定,其用水性质没有发生变化。其中金属冶炼加工业,石化工业和核料加工业,电力、热力的生产和供应业,燃气、水的生产和供应业 4 个行业一直为高耗水行业,其他行业均是一般耗水行业。②只有石化工业加工业以及金属冶炼加工业用水系数发生变动,前者在 2009—2011 年是一般耗水行业,其他年份都是高耗水行业;后者只有在 2009 年是一般耗水行业,其他年份都是高耗水行业。③在一般耗水行业中,绝大多数都保持着比较稳定的用水系数,只有非金属矿物制造业以及计算机通信制造业两个行业用水系数有明显上升,前者 2009—2021 年用水系数从 0.31 增加至 0.56,后者用水系数从 0.02 上升至 0.33;食品制造业用水系数有明显下降,从峰值 0.30 减少至 0.19。④在高耗水的行业中,燃气、水的生产和供应业用水系数明显增大,从 2009 年的 5.98 增加至 2021 年的 11.91;用水系数具有明显下降趋势的行业只有电力、热力的生产和供应业,从 2009 年的 9.42 减少至 2021 年的 2.05。⑤从时间上看,2009—2011 年大多数行业用水系数基本保持稳定水平,2012 年则有较大幅度的上涨。2012—2021 年,大多数行业的用水系数又呈现普遍下降的趋势,表明党的十八大之后,安徽省工业行业用水效率持续改善。

5 安徽省工业用水消耗的动态演变与因素分解

5.1 工业用水消耗量变化的时间分解分析

利用式(2)~式(5),对安徽省工业用水总量进行逐年分解分析,分别计算出各年度的产出效应、

结构效应以及技术效应(表 5)。为了弄清楚不同行业的影响因素是如何产生作用的,进一步做了分解分析,从而使得到的结论更加明确。需要说明的是,限于数据的可得性、连贯性和匹配性,基于 LMDI-I 分解分析的研究期间为 2009—2021 年。

由表 5 可知:①产出效应一直正向加剧工业用水量的消耗。②结构效应对用水需求的影响非常不稳定,存在正向促进和逆向抑制交替出现的状况。2011—2012 年、2013—2014 年、2014—2015 年、2015—2016 年、2016—2017 年、2017—2018 年、2018—2019 年、2019—2020 年和 2020—2021 年,工业结构的变动正向促进了工业用水总量的增加;而 2009—2010 年、2010—2011 年和 2012—2013 年,结构效应的贡献为负,客观上减少了对水资源的需

表 5 2009—2021 年安徽省工业用水变化的 LMDI 分析结果

时间	产出效应/ 10 ⁶ m ³	结构效应/ 10 ⁶ m ³	技术效应/ 10 ⁶ m ³	总效应/ 10 ⁶ m ³
2009—2010 年	1 185.40	-544.92	-431.66	208.82
2010—2011 年	1 062.26	-249.01	-763.67	49.59
2011—2012 年	374.06	335.51	-2 367.41	-1 657.85
2012—2013 年	342.25	-70.54	-215.62	56.09
2013—2014 年	205.16	56.30	-101.90	159.56
2014—2015 年	90.03	27.94	56.63	174.59
2015—2016 年	44.72	45.80	161.31	251.84
2016—2017 年	30.25	43.21	85.52	158.98
2017—2018 年	28.75	40.35	-6.65	62.45
2018—2019 年	24.32	38.75	-100.25	-37.18
2019—2020 年	18.75	18.52	-96.53	-59.26
2020—2021 年	20.33	17.35	-87.52	-41.24
合计	3 426.28	-240.74	-3 867.75	-673.61

求,而总的结构效应减少了 $240.74 \times 10^6 \text{ m}^3$ 的耗水,说明工业结构优化在一定程度上可以降低工业对水资源的消耗。③技术效应明显地减少了工业用水的需求。除 2014—2015 年、2015—2016 年和 2016—2017 年的技术效应为正外,其余各年份的技术效应皆表现出反向抑制效应,技术效应总和高达 $3\,867.75 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。④总效应在大多数时期正向增加了工业对水的需求,其中 2011—2012 年、2018—2019 年、2019—2020 年以及 2020—2021 年减少了工业用水量,原因是当年的产出效应对工业用水量的影响不足,总体上小于其他两个影响因素的作用,尤其是当年的技术效应减少了很大的需求。

在实现“双碳”目标背景下,不仅要求产业结构加快转型,不断淘汰落后产能以及严格控制高耗能行业新增产能,还对水处理技术运用提出更高要求。总体来说,产出效应正向促进了工业用水量的上涨,但是随着时间推移,其作用正在明显地降低,最近两年的效应值非常低;结构效应和技术效应则是逆向减少了工业用水量的上升趋势,是工业总用水量减少的主要因素,也是双碳背景下的用水效率提升的路径之一。

5.2 工业用水消耗量变化的行业分解分析——产出效应

表 6 为 2009—2021 年安徽省工业分行业用水量变化的产出效应逐年分解值,表 7 为根据表 6 计算所得的安徽省工业分行业用水量变化的产出效应百分比。

从表 6 和表 7 可以看出:①总体上来看,产出效应一直为正,但是有明显的下降趋势,2009—2010 年曾达到 $1\,185 \times 10^6 \text{ m}^3$,但是 2019—2020 年则只有 $33 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。②从不同行业的绝对值来看,电力、热力的生产和供应业的产出效应从 2009—2010 年度 $557.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ 下降至 2019—2020 年度的 $4.2 \times 10^6 \text{ m}^3$,年均下降达到 $55.33 \times 10^6 \text{ m}^3$;燃气、水的生产和供应业的产出效应从 2009—2010 年的 $395.9 \times 10^6 \text{ m}^3$ 下降至 2019—2020 年的 $19.6 \times 10^6 \text{ m}^3$,年均下降 $37.63 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。其他行业的产出效应则变动较小,但是分行业的产出系数变化趋势相似,总体上呈现降低趋势,都在 2015—2016 年达到最小值。③从总体贡献率来看,金属冶炼加工业,石化工业加工业,电力、热力的生产和供应业,燃气、水的生产和供应业等效应均占各年度总产出效应的 80% 以上,各年的贡献度分别为 90.1%、89.7%、85.0%、80.8%、81.7%、82.5%、83.2%、84.4%、83.5%、82.9%、84.6%。④从不同行业贡献率来看,行业间的贡献率差异较大,燃气、水的生产和供应业贡献率有明显的增加趋势,其年度贡献率从 2009—2010 年的 33.4% 上涨至 2019—2020 年的 58.3%,年均上升 3.6 个百分点;电力、热力的生产和供应业的贡献率则有明显的下降趋势,占比分别从 2009—2010 年的 47.0% 降至 2019—2020 年的 10.5%,平均每年减少 3.65 个百分点,其他行业的各年度产出效应贡献率保持相对稳定。

表 6 2009—2021 年安徽省分行业、分年度工业用水量变化的产出效应绝对值

行业编号	产出效应绝对值/ 10^6 m^3											
	2009— 2010 年	2010— 2011 年	2011— 2012 年	2012— 2013 年	2013— 2014 年	2014— 2015 年	2015— 2016 年	2016— 2017 年	2017— 2018 年	2018— 2019 年	2019— 2020 年	2020— 2021 年
1	25.3	22.6	9.9	10.4	5.9	2.3	1.0	0.9	1.5	0.8	1.1	0.9
2	11.5	8.9	4.0	5.4	3.5	1.5	0.6	0.4	0.2	0.6	0.7	0.8
3	2.4	1.9	0.8	0.9	0.5	0.2	0.1	0.2	0.08	0.1	0.07	0.09
4	9.9	8.9	4.3	5.3	3.2	1.3	0.6	0.8	1.0	0.7	0.6	0.5
5	6.7	6.7	3.3	4.7	2.9	1.0	0.5	0.4	0.3	0.3	0.4	0.6
6	10.8	10.1	4.7	5.3	3.1	1.3	0.6	0.7	0.5	0.3	0.4	0.3
7	1.3	1.2	0.7	1.0	0.6	0.2	0.1	0.2	0.1	0.04	0.07	0.06
8	9.1	8.7	4.2	4.8	2.8	1.3	0.7	1.1	0.8	0.6	0.4	0.3
9	56.1	50.6	25.6	27.7	16.7	7.3	3.5	3.2	2.8	2.6	1.7	1.6
10	19.5	18.6	11.1	13.0	7.2	3.1	1.6	1.3	1.2	1.1	0.8	0.9
11	58.4	57.9	28.4	32.5	19.3	8.1	3.8	3.2	2.8	2.5	1.8	1.9
12	1.8	1.8	1.2	1.5	0.8	0.3	0.1	0.1	0.08	0.06	0.1	0.1
13	6.0	5.8	2.7	2.9	1.8	0.8	0.4	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4
14	6.1	6.0	3.8	3.9	1.7	0.7	0.3	0.5	0.4	0.6	0.2	0.3
15	5.0	5.1	3.6	4.3	2.0	0.8	0.4	0.4	0.3	0.4	0.2	0.3
16	1.5	2.3	1.6	2.0	1.5	0.8	0.4	0.3	0.2	0.1	0.3	0.3
17	0.5	0.6	0.3	0.3	0.2	0.1	0.0	0.05	0.1	0.0	0.07	0.08
18	557.5	503.9	111.6	41.2	26.1	11.3	5.3	5.1	4.8	5.9	4.2	3.8
19	395.9	340.7	152.3	175.3	105.6	47.6	24.5	21.2	22.6	20.5	19.6	19.2
合计	1 185	1 062	374	342	205	90	45	40	40	37	33	32

5.3 工业用水消耗量变化的行业分解分析——结构效应

表8为2009—2021年安徽省工业分行业用水

量变化的结构效应逐年分解值,表9为根据表8计算所得的安徽省工业分行业用水量变化的结构效应占比。

表7 2009—2021年安徽省分行业、分年度工业用水量变化的产出效应百分比

行业编号	产出效应百分比/%											
	2009—2010年	2010—2011年	2011—2012年	2012—2013年	2013—2014年	2014—2015年	2015—2016年	2016—2017年	2017—2018年	2018—2019年	2019—2020年	2020—2021年
1	2.1	2.1	2.6	3.0	2.9	2.6	2.2	2.0	2.1	1.9	1.6	1.5
2	1.0	0.8	1.1	1.6	1.7	1.6	1.4	1.3	1.4	1.5	1.1	1.0
3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1
4	0.8	0.8	1.2	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.5	1.2	1.3
5	0.6	0.6	0.9	1.4	1.4	1.1	1.0	1.0	1.2	1.1	1.2	1.1
6	0.9	1.0	1.3	1.5	1.5	1.5	1.4	1.3	1.4	1.5	1.2	1.1
7	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	0.1
8	0.8	0.8	1.1	1.4	1.4	1.4	1.5	1.3	1.4	1.4	1.4	1.3
9	4.7	4.8	6.8	8.1	8.1	8.1	7.8	7.2	8.1	7.6	7.4	7.3
10	1.6	1.8	3.0	3.8	3.5	3.5	3.5	3.2	3.4	3.5	3.4	3.4
11	4.9	5.5	7.6	9.5	9.4	9.0	8.6	8.4	8.2	8.5	8.4	8.3
12	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.2	0.3	0.3
13	0.5	0.5	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.9	0.8	0.7
14	0.5	0.6	1.0	1.2	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0	0.8	0.7
15	0.4	0.5	1.0	1.3	1.0	0.9	1.0	0.9	0.8	1.0	0.8	0.3
16	0.1	0.2	0.4	0.6	0.7	0.9	0.9	0.8	1.0	1.1	1.2	1.3
17	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.2
18	47.0	47.4	29.8	12.0	12.7	12.6	11.9	10.8	13.4	12.1	10.5	9.9
19	33.4	32.1	40.7	51.2	51.5	52.9	54.8	58	53.8	54.7	58.3	60.1
合计	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

表8 2009—2021年安徽省分行业、分年度工业用水量变化的结构效应绝对值

行业编号	结构效应绝对值/ $10^6 m^3$											
	2009—2010年	2010—2011年	2011—2012年	2012—2013年	2013—2014年	2014—2015年	2015—2016年	2016—2017年	2017—2018年	2018—2019年	2019—2020年	2020—2021年
1	-6.0	-8.4	-15.3	-18.6	-29.7	-22.1	-3.2	-3.0	-2.8	-2.7	-3.0	-3.7
2	19.7	1.0	1.7	4.6	-6.0	-10.9	1.5	1.2	-2.2	1.6	-1.7	-2.1
3	0.6	-1.4	0.6	1.8	0.6	-0.1	-1.5	0.4	-1.3	1.3	0.4	0.3
4	-1.3	-0.9	3.2	3.3	1.7	0.2	-1.6	-1.2	1.3	2.6	1.2	1.1
5	-2.0	-1.3	2.2	-2.3	0.5	-0.1	-3.1	-1.5	-0.8	-1.3	0.2	-1.1
6	1.6	3.4	1.9	2.1	2.7	1.7	-1.2	1.5	-1.3	2.1	1.8	1.9
7	0.4	0.2	0.4	1.2	0.8	0.4	-0.2	0.7	0.8	1.1	-0.3	-0.6
8	-4.2	1.4	9.8	5.5	3.0	2.5	-1.0	2.2	2.1	1.8	2.0	1.9
9	-1.5	-10.7	-4.3	9.3	12.9	9.8	20.8	18.7	17.6	18.2	10.2	9.8
10	6.4	16.6	-6.7	2.6	7.9	-3.6	-2.1	3.5	4.2	-2.6	-1.2	-1.5
11	2.4	-33.9	-17.8	-9.0	-1.0	-37.3	-11.7	-18.3	-15.8	-12.6	-9.3	-9.1
12	-0.6	1.2	1.2	0.2	-0.5	-0.2	0.3	-0.1	-0.3	0.4	-0.1	-0.3
13	2.1	0.8	0.6	1.0	0.3	1.7	-0.3	-0.3	-0.4	1.2	0.1	0.2
14	0.2	-2.3	-4.7	-1.5	-0.5	1.9	-0.4	-1.2	-3.5	-2.6	1.0	1.2
15	-0.3	3.2	0.9	0.0	-0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	0.8	0.6	0.7
16	0.6	2.5	1.9	2.1	5.1	3.0	2.5	3.2	2.8	2.6	1.9	2.2
17	1.0	0.1	0.0	0.3	-0.2	0.0	0.1	0.8	0.2	-0.1	0.6	0.8
18	-337.7	-141	93.3	-41.5	-42.5	15.6	-17.5	-21.3	-22.6	-14.2	-13.8	-12.9
19	-226.3	-79.2	266.5	-31.3	101.4	64.9	63.4	58.2	60.1	42.3	38.5	27.6
合计	-545	-249	336	-71	56	28	46	44	39	40	29	16

表9 2009—2021年安徽省分行业、分年度工业用水量变化的结构效应百分比

行业编号	结构效应百分比/%											
	2009— 2010年	2010— 2011年	2011— 2012年	2012— 2013年	2013— 2014年	2014— 2015年	2015— 2016年	2016— 2017年	2017— 2018年	2018— 2019年	2019— 2020年	2020— 2021年
1	1.1	3.4	-4.6	26.4	-52.7	-79.0	-7.1	-6.8	-7.0	-6.9	-5.8	-5.7
2	-3.6	-0.4	0.5	-6.6	-10.7	-39.2	3.3	3.1	3.0	3.5	3.1	3.2
3	-0.1	0.6	0.2	-2.5	1.1	-0.5	-3.2	-3.5	-3.1	-2.9	-3.0	-3.1
4	0.2	0.4	1.0	-4.6	3.1	0.7	-3.5	-4.1	-3.9	-3.7	-3.8	-3.7
5	0.4	0.5	0.6	3.2	0.8	-0.2	-6.7	-7.1	-6.7	-6.9	-5.1	-5.2
6	-0.3	-1.4	0.6	-2.9	4.8	6.1	-2.5	-3.1	-2.8	-2.9	-2.4	-2.5
7	-0.1	-0.1	0.1	-1.7	1.5	1.3	-0.3	0.1	-0.4	-0.5	-0.1	-0.2
8	0.8	-0.6	2.9	-7.8	5.4	9.1	-2.1	-1.9	-1.8	-2.0	-1.4	-1.5
9	0.3	4.3	-1.3	-13.1	23.0	35.0	45.3	42.3	40.0	38.7	35.1	35.0
10	-1.2	-6.7	-2.0	-3.6	14.0	-12.7	-4.5	-3.8	-4.0	-3.4	-4.0	-3.9
11	-0.4	13.6	-5.3	12.8	-1.8	-133.7	-25.6	-22.4	-23.4	-18.7	-19.6	-19.7
12	0.1	-0.5	0.4	-0.2	-0.8	-0.8	0.6	0.4	0.5	0.3	0.6	0.6
13	-0.4	-0.3	0.2	-1.5	0.6	6.0	-0.6	-0.4	-0.5	-0.4	-0.6	-0.7
14	0.0	0.9	-1.4	2.2	-0.8	6.9	-0.8	-0.7	0.8	-0.6	-0.7	-0.6
15	0.1	-1.3	0.3	0.0	-0.6	2.4	1.8	1.8	1.7	1.6	1.4	1.3
16	-0.1	-1.0	0.6	-2.9	9.0	10.7	5.4	4.8	5.0	4.8	4.6	4.9
17	-0.2	0.0	0.0	-0.4	-0.3	-0.1	0.2	0.3	0.5	0.1	0.4	0.3
18	62.0	56.6	27.8	58.9	-75.6	55.8	-38.2	-35.4	-32.6	-34.7	-37.9	-38.9
19	41.5	31.8	79.4	44.3	180.2	232.3	138.5	136.4	134.7	134.6	139.2	140.4
合计	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

由表8和表9可知,总体上,结构效应的变动幅度和变动频率较大。①部分行业的结构效应变动影响了整个行业的耗水走势,其中,电力、热力的生产和供应业以及燃气、水的生产和供应业的结构效应对总体结构效应的贡献率始终在85%以上,不同年份贡献率分别为103.5%、88.4%、107.2%、103.2%、104.6%、288.1%、100.3%、101%、102.1%、99.9%、101.3%。②对于不同的行业,其“结构效应”时而加剧耗水,时而抑制耗水。以金属冶炼及压延加工业为例,该行业在2010—2011年、2012—2013年的结构效应均为正,而其余年份则为负,又能够抑制工业用水量的消耗。③部分行业的结构效应值变化十分剧烈。电力、热力的生产和供应业从62.0%下降至-37.9%。此外,2011—2012年,有5个行业的结构效应值小于零,该年度工业结构总效应达到了为 $336 \times 10^6 \text{ m}^3$,而2012—2013年,有6个行业的效应值为负值,但是行业结构效应的总和却骤然下降为 $-71 \times 10^6 \text{ m}^3$,体现出工业结构优化可以有效减少水资源的使用。④结构效应为负值的行业数的增加,并不一定可以带来用水总量的下降。2010—2011年,有9个行业的结构效应小于零,工业用水量的总结构效应为 $-249 \times 10^6 \text{ m}^3$,而2015—2016年工业分行业效应值为负值的行业数增加到12个,但是该年度的工业用水量的总结构效应却为 $29 \times 10^6 \text{ m}^3$,反而增加了对工业用水的

需求。

5.4 工业用水消耗量变化的行业分解分析——技术效应

表10为2009—2012年安徽省工业分行业用水量变化的技术效应逐年分解值,表11为根据表10计算所得的安徽省工业分行业用水量变化的技术效应占比。

由表10和表11可知:①从总体上看,技术效应值为负,只有2014—2015年、2015—2016年和2016—2017年为正,分别为 $57 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、 $161 \times 10^6 \text{ m}^3$ 和 $129.2 \times 10^6 \text{ m}^3$,其他年份的技术效应均为负值,能够显著抑制工业用水量的增加。②分行业来看,所有行业的技术效应皆不稳定,正负交替出现。其中,燃气、水的生产和供应业以及电力、热力的生产和供应业的技术效应波动幅度最大。例如,电力、热力的生产和供应业2011—2012年的技术效应为 $-2070.7 \times 10^6 \text{ m}^3$,而2012—2013年的技术效应上升为 $29.2 \times 10^6 \text{ m}^3$,上升幅度高达101.4%;燃气、水的生产和供应业2009—2010年技术效应为 $57.3 \times 10^6 \text{ m}^3$,2010—2011年则为 $-516.2 \times 10^6 \text{ m}^3$,跌幅达到-800%。③从时间演绎态势来看,技术效应呈现先上升再下降的倒“S”形走势,表现为从2009—2010年的 $-432 \times 10^6 \text{ m}^3$ 降低到最低峰2012年的 $-2367 \times 10^6 \text{ m}^3$,降幅达到7800%,随后增加至2016—2017年的 $161 \times 10^6 \text{ m}^3$,然后又下

表 10 2009—2021 年安徽省分行业、分年度工业用水量变化的技术效应绝对值

行业编号	技术效应绝对值/ 10^6m^3											
	2009— 2010年	2010— 2011年	2011— 2012年	2012— 2013年	2013— 2014年	2014— 2015年	2015— 2016年	2016— 2017年	2017— 2018年	2018— 2019年	2019— 2020年	2020— 2021年
1	-9.2	-20.1	-0.9	7.7	22.3	13.3	-5.7	-4.8	-4.9	-4.7	-4.6	-4.7
2	-24.9	-24.2	4.9	-4.6	7.2	6.6	-5.8	-6.8	-7.6	-8.2	-2.4	-2.3
3	-2.5	-2.9	-0.8	-1.9	-3.3	0.5	1.6	2.1	1.8	1.7	1.6	1.4
4	-4.3	-10.1	-3.3	-4.0	-5.8	-1.0	1.6	-3.2	-2.4	1.0	-1.6	-1.8
5	-2.8	-0.1	-8.4	20.0	-20.5	0.1	2.6	2.4	3.2	-2.6	3.4	3.3
6	-3.7	-16.5	-4.6	-7.1	-3.4	-1.9	1.0	-5.4	-3.6	-2.6	-2.6	-3.9
7	-1.8	-1.1	1.5	-2.0	-0.7	-0.9	-2.7	-3.2	-1.9	-6.2	-1.5	-2.6
8	-1.2	-8.0	-13.9	-7.5	-6.8	3.5	3.0	2.8	2.1	-2.1	1.6	1.8
9	-65.3	-14.1	-16.8	-45.0	-0.8	-21.4	-2.0	-3.2	-3.6	-3.8	-2.1	-2.6
10	-22.7	-24.5	25.2	-30.7	-10.1	4.9	16.2	14.2	13.2	10.2	-8.6	-9.0
11	-7.3	-22.3	6.7	-16.5	-9.7	28.8	18.8	16.5	14.3	17.2	10.2	9.8
12	-0.8	-1.5	1.9	-3.0	-0.6	-0.8	0.7	0.6	0.5	0.7	0.4	0.5
13	-3.3	-6.4	-4.8	-1.7	-1.7	-0.4	4.2	-0.6	-0.6	-0.7	0.6	0.9
14	-3.4	-1.1	16.7	-21.5	-0.9	-1.8	2.0	1.8	1.7	2.0	-3.5	-4.0
15	-2.2	-4.5	14.4	-19.0	-1.6	0.6	3.6	2.9	2.6	-16.0	-21.0	-22.1
16	0.2	1.1	-1.5	-1.6	0.0	1.0	-0.8	-1.6	-2.1	-8.2	-2.6	-2.7
17	-0.2	-0.4	-0.5	-1.0	-0.2	0.6	0.3	-0.9	-0.6	-0.4	0.1	0.2
18	-333.4	-90.8	-2 070.7	29.2	53.1	-30.7	30.3	28.4	25.1	-20.7	-19.2	-19.6
19	57.3	-516.2	-312.4	-105.3	-118.4	55.7	92.4	87.2	-57.3	-10.6	21.2	18.1
合计	-432	-764	-2 367	-216	-102	57	161	129.2	-20.1	-54	-30.6	-39.3

表 11 2009—2021 年安徽省分行业、分年度工业用水量变化的技术效应百分比

行业编号	技术效应百分比/%											
	2009— 2010年	2010— 2011年	2011— 2012年	2012— 2013年	2013— 2014年	2014— 2015年	2015— 2016年	2016— 2017年	2017— 2018年	2018— 2019年	2019— 2020年	2020— 2021年
1	2.1	2.6	0.0	-3.6	-21.9	23.4	-3.5	-3.2	-3.1	-3.6	-2.5	-2.4
2	5.8	3.2	-0.2	2.2	-7.1	11.7	-3.6	-3.6	-3.0	-2.9	-2.7	-2.8
3	0.6	0.4	0.0	0.9	3.2	0.9	1.0	1.5	1.6	1.7	1.4	1.5
4	1.0	1.3	0.1	1.9	5.7	-1.7	1.0	1.2	1.3	0.9	1.4	1.4
5	0.6	0.0	0.4	-9.3	20.1	0.2	1.6	1.7	1.6	1.5	1.4	1.4
6	0.8	2.2	0.2	3.3	3.4	-3.3	0.6	0.7	0.6	0.5	0.7	0.8
7	0.4	0.1	-0.1	0.9	0.7	-1.6	-1.7	-1.6	-1.2	-1.3	-1.6	-1.7
8	0.3	1.1	0.6	3.5	6.7	6.2	1.9	1.7	1.6	1.8	1.5	1.6
9	15.1	1.8	0.7	20.9	0.8	-37.7	-1.2	-2.6	-3.2	-3.8	-1.8	-1.8
10	5.3	3.2	-1.1	14.2	9.9	8.6	10.1	8.9	7.9	9.3	8.0	8.2
11	1.7	2.9	-0.3	7.6	9.5	50.8	11.6	12.6	13.4	10.6	11.1	11.2
12	0.2	0.2	-0.1	1.4	0.6	-1.4	0.4	0.5	0.6	0.4	0.3	0.4
13	0.8	0.8	0.2	0.8	1.6	-0.7	2.6	2.4	2.3	2.6	2.0	2.2
14	0.8	0.1	-0.7	9.9	0.9	-3.3	1.3	1.4	1.5	1.6	1.1	1.2
15	0.5	0.6	-0.6	8.8	1.5	1.0	2.2	2.1	2.3	2.4	2.5	2.4
16	-0.1	-0.1	0.1	0.7	0.0	1.7	-0.5	-0.6	1.2	1.0	0.6	0.7
17	0.1	0.0	0.0	0.5	0.2	1.0	0.2	0.4	0.3	0.6	0.2	0.3
18	77.2	11.9	87.5	-13.5	-52.1	-54.2	18.8	17.4	18.6	14.2	12.4	12.5
19	-13.3	67.6	13.2	48.9	116.2	98.3	57.3	59.1	63.6	61.2	64.0	62.9
合计	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

降至 2020—2021 年的 -39.3%，节水效果呈现先上升再下降又上升的趋势，且 2014—2017 年技术效应为正，表明一定时期内技术效应对增加工业用水需求还会有逆向加强作用。

6 结论与政策建议

6.1 结论

利用用水系数和 LMDI-I 分解法对安徽省工业行业用水变化进行分析，得出如下结论。

(1)安徽省规模以上工业行业的用水系数在样本期间内有所波动,但行业整体的耗水性质比较稳定。仅石化工业及核燃料加工业在2009年由高耗水行业变为一般耗水行业,随后又在2012年回到高耗水行业,其他工业分行业耗水性质均保持不变。

(2)在研究期间,总效应在绝大多数时期为正数,安徽省工业用水量总体上呈现出波动中上升的态势。其中产出效应加剧了工业用水消耗,技术效应在多数年份能够抑制安徽省工业用水量的增加,而结构效应对于工业用水量的影响不稳定,具有抑制和促进交替分布的规律。

(3)具体而言,产出效应在研究期间一直保持正值,然而其值呈现不断下降的态势。其中石化工业及核燃料加工业,电力、热力的生产和供应业,金属冶炼加工业和燃气,水的生产和供应业4个行业的产出效应占整体效应的八成还多。此外,产出效应表现出明显的行业差异性,与行业类别有很大的联系。

(4)结构效应的方向不稳定,波动较为剧烈,且经常发生逆转性变化。电力、热力的生产和供应业和燃气、水的生产和供应业的结构效应对总体结构效应的贡献率始终在85%以上,决定了结构效应对整体工业行业耗水的变化方向。此外不同年度的结构效应对行业用水量的作用方向也不稳定。

(5)技术效应对安徽省工业行业耗水量增加的抑制效果较为明显,但是其抑制效应的强度却在不断下降,且2014—2017年不具有抑制性。所有分行业的技术效应均不稳定,正负值交替出现。安徽省技术进步节水效应可持续性不足,存在回弹效应的可能性,且部分行业变动幅度较大。

6.2 政策建议

安徽省正处于产业结构变革的关键时期,制造业在产业结构调整中逐渐变为领军产业,其对于水资源的影响也在日益加强。努力提高工业用水效率,破解经济增长与水资源消耗的两难困境,促使安徽省工业经济走向绿色可持续发展之路。结合结论,提出以下建议。

(1)合理规划工业结构,推动高耗水行业的布局优化和节水降耗。不同行业的耗水系数具有保持相对稳定的性质,但是行业的结构效应对工业用水量变化的影响并不稳定,且波动性比较强。不断完善和优化工业结构,提升节水型行业占比,合理优化一般耗水产业的空间布局,在保持工业产出稳步增长的前提下,减少对水资源的消耗和浪费。

(2)推动节水型技术进步的创新。技术效应是促使安徽省工业用水量减少的主要原因,尽管近年来技术效应的抑制强度在下降,然而这正说明发展节水型技术的重要性,技术进步的重心在于推动技术进步向节水型方向发展,杜绝回弹效应的发生。

(3)产业结构调整要抓重点。由于电力、热力的生产和供应业以及燃气的生产和供应业决定了结构效应对整体工业行业耗水的变化方向,因此,改善耗水重点行业和企业的用水效率,可以大幅度改善整体的用水情况。

(4)推动“双碳”目标如期实现。作为长江经济带下游地区,要做好统领工业领域减污降碳和水资源高效利用工作,对传统行业进行绿色化改造,带动长江经济带整体实现工业领域碳达峰目标,实现工业绿色发展的总体目标。

参考文献

- [1] GROSSMAN G M, KRUEGER A B. Environmental impacts of a North American free trade agreement[J]. National Bureau of Economic Research, 1991, 3(6): 16-17.
- [2] PANAYOTOU T. Environment degradation at different stages of economic development live hoods in the third world[M]. London: Macmillan Press, 1995.
- [3] PARK R E, BURGESS E W. Introduction to the science of sociology: including an index to basic sociological concepts[M]. Chicago: University of Chicago Press, 1970.
- [4] PRICE D. Carrying capacity reconsidered[J]. Population and Environment, 1999, 21(1): 5-26.
- [5] MILLINGTON R, GIFFORD R. Energy and how we live [C]//Australian UNESCO Seminar. Paris: Committee for Man and Biosphere, 1973: 1-7.
- [6] KOSTAS B. The sustainable residential water use: sustainability, efficiency and social equity, the European experience[J]. Ecological Economics, 2008, 68: 221-229.
- [7] TONY A. Productive efficiency and allocative efficiency: why better water management may not solve the problem [J]. Agricultural Water Management, 1999, 40(1): 71-75.
- [8] MARTINEZ-LAGUNES R, RODRIGUEZ-TIRADO J. Water policies in Mexico[J]. Water Policy, 1998, 1(1): 103-114.
- [9] KANEKO S, TANAKA K, TOYOTA T, et al. Water efficiency of agricultural production in China: regional comparison from 1999 to 2002[J]. International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology, 2004, 3(3/4): 231-251.
- [10] ABBOTT M, BRUCE C. Productivity and efficiency in the water industry[J]. Utilities Policy, 2009, 17(3): 233-244.

- [11] CABRERA E, ESTRUCH-JUAN E, MOLINOS-SENANTE M. Adequacy of DEA as a regulatory tool in the water sector; the impact of data uncertainty[J]. *Environmental Science & Policy*, 2018, 85: 155-162.
- [12] 余维, 汪奎, 赵远翔. 我国工业用水效率研究进展[J]. *人民长江*, 2012(S2): 70-74.
- [13] 郭丰源, 徐剑锋, 徐敏, 等. 我国工业用水现状、问题与节水对策[J]. *环境保护*, 2022, 50(6): 58-63.
- [14] 朱启荣. 中国工业用水效率与节水潜力实证研究[J]. *工业技术经济*, 2007(9): 48-51.
- [15] 贾绍凤, 张士锋, 杨红, 等. 工业用水与经济发展的关系: 用水库兹涅茨曲线[J]. *自然资源学报*, 2004(3): 279-284.
- [16] 李珊, 张玲玲, 丁雪丽, 等. 中国各省区工业用水效率影响因素的空间分异[J]. *长江流域资源与环境*, 2019, 28(11): 2539-2552.
- [17] 尹庆民, 朱康宁. 基于EBM模型的长江经济带工业用水效率时空差异及影响因素分析[J]. *中国环境管理*, 2020, 12(6): 103-109.
- [18] 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.
- [19] 岳立, 赵海涛. 环境约束下的中国工业用水效率研究: 基于中国13个典型工业省区2003年-2009年数据[J]. *资源科学*, 2011, 33(11): 2071-2079.
- [20] 姜蓓蕾, 耿雷华, 卞锦宇, 等. 中国工业用水效率水平驱动因素分析及区划研究[J]. *资源科学*, 2014, 36(11): 2231-2239.
- [21] 李俊, 许家伟. 河南省工业用水效率的动态演变与分解效应: 基于LMDI模型视角[J]. *经济地理*, 2018, 38(11): 183-190.
- [22] 陈雯, 王湘潭. 我国工业行业的技术进步、结构变迁与水资源消耗: 基于LMDI方法的实证分析[J]. *湖南大学学报(社会科学版)*, 2011, 25(2): 68-72.
- [23] 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.
- [24] 李奎. 安徽省工业用水效率及其影响因素研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2017.
- [25] 董涛, 金菊良, 吴成国, 等. 基于承载过程的安徽省水资源承载力动态评价[J]. *水电能源科学*, 2018, 36(7): 17-21.
- [26] 李俊, 许家伟. 安徽省工业用水效率的动态演变与分解效应: 基于LMDI模型视角[J]. *经济地理*, 2018, 38(11): 183-190.

Dynamic Deductive Decomposition of Industrial Water Consumption in Anhui Province: Analysis Based on the Perspective of Industry Segmentation

LIU Chenyue, XU Yinuo

(School of Economic, Hefei University of Technology, Hefei 230601, China)

Abstract: Based on the relevant statistical data of Anhui Province from 2005 to 2018, the influencing factors of industrial water consumption are decomposed into output effect, structural effect and technical effect. Based on the water consumption coefficient and LMDI-I (logarithmic mean Divisia index complete decomposition method), the dynamic deduction of industrial water consumption in Anhui Province is analyzed. It is found that the water consumption coefficient of industrial industries above designated size in Anhui province fluctuates during the sample period. However, the water consumption of the whole industry is relatively stable. During the study period, the total effect was positive in most periods, and the industrial water consumption in Anhui Province showed an upward trend in fluctuation. Among them, the output effect intensifies the industrial water consumption, the technical effect can restrain the increase of industrial water consumption in most years, while the influence of structural effect on industrial water consumption is unstable, showing the law of restraining and promoting alternate distribution.

Keywords: industrial water use; dynamic deduction; industry segmentation