

中国八大综合经济区水资源利用效率的区域差异及影响因素研究

郭炳南 唐利 张浩¹

(江苏科技大学 人文社科学院, 江苏 镇江 212100)

【摘要】: 运用 Super-SBM 模型测度了中国八大综合经济区 2004—2019 年水资源利用效率, 运用 Dagum 基尼系数分解法分析了其水资源利用效率的区域差异和差异来源, 并基于空间杜宾模型实证分析了影响八大综合经济区水资源利用效率的因素。研究发现: 2004—2019 年, 中国水资源利用效率值呈波动下降趋势, 八大综合经济区的水资源利用效率存在显著区域异质性; 区域间净差异是八大综合经济区水资源利用效率差异的主要来源, 东北、西北经济区的水资源利用效率存在 σ 收敛; 八大综合经济区的水资源利用效率存在显著空间正相关, 并呈现出北部沿海和东部沿海经济区“高一高”集聚以及东北、黄河中游、长江中游和西南经济区“低—低”集聚的分布格局; 八大综合经济区水资源利用效率的影响因素差异性显著, 并弱化了区域绿色可持续发展的空间协同性。因此, 应缩小水资源利用效率区域差异, 促进水资源利用和水环境治理的协同, 因地制宜采取差异化的政策。

【关键词】: 水资源利用效率 八大综合经济区 区域差异 Dagum 基尼系数

【中图分类号】: X196; F062.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2022)01-153-09

水资源利用效率是指单位水资源投入所带来的经济效益, 水是生命之源, 是人类社会生存和生活不可替代的自然资源^[1]。中国是一个水资源稀缺的国家, 人均水资源占有量仅为世界平均水平的四分之一, 改革开放以来, 随着经济的快速发展, 水环境污染、水资源短缺以及水资源利用效率低等问题已成为制约当前中国经济高质量发展的重要因素。中国幅员辽阔, 八大综合经济区在自然资源分布、经济发展、开放水平、产业结构、技术水平等方面存在显著差异, 由此导致各个经济区的水资源利用效率可能存在不均衡, 进而影响中国区域的协调发展。因此, 实现提升水资源利用效率, 促进水资源利用效率的区域协调均衡发展, 是中国实现区域协调发展的迫切要求, 也是新时代生态文明建设和绿色可持续发展的应用之义。

1 文献综述

水资源是人类社会发展不可或缺的重要资源。长久以来, 水资源利用效率问题一直是环境经济领域关注的焦点问题。已有文献的相关研究非常丰富, 归纳起来主要有三个维度: 第一, 水资源利用效率的测度方法。测度水资源利用效率最常用的方法有数据包络分析方法^[2,3,4,5]和随机前沿函数分析方法^[6,7,8], 部分学者还用比值法测算水资源利用效率, 如朱启荣^[9]运用比值法测算了我国工业用水资源利用效率。第二, 水资源利用效率的影响因素分析。已有文献围绕科技水平、人均 GDP、人均水资源量、工业用水量、对外开放程度、产业结构、环境规制、城镇化等影响因素进行了研究^[10,11,12]。第三, 水资源利用效率的区域差异分析。关于水资源利用效率区域差异分析的方法主要有: 指标直观比较法^[13,14,15,16]; Theil 指数法, 如邓益斌和尹庆民^[17]基于泰尔指数分解法分析了我国 2004—2013 年水资源利用效率区域差异发现, 我国水资源利用效率的泰尔指数呈逐渐上升趋势, 即区域差异在变

作者简介: 郭炳南, 博士, 副教授, 研究方向为产业发展与绿色经济。E-mail:harkin@126.com

基金项目: 国家社会科学基金一般项目“异质性环境规制对我国生态福利绩效的影响与政策设计研究”(20BJL040)

大。此外，还有聚类分析法^[18]和基尼系数法^[19]等。

综上所述，已有文献对水资源利用效率的相关研究成果较为丰硕，但尚有改进空间：第一，从研究对象来看，以往多数研究以传统三大区域、省域、城市、县域或经济带的水资源利用效率为研究对象，事实上，较之传统东中西部区域，对八大综合经济区的研究更具区域微观应用价值，本文以八大综合经济区的水资源利用效率为研究对象，一定程度上填补了该领域相关研究的空缺；第二，以往多数研究集中于农业、工业或某一特定经济区水资源利用效率的测度，或者直观比较其区域差异的异质性，缺乏对水资源利用效率差异来源的深刻剖析，本文在水资源利用效率测度的基础上，首次引入 Dagum 基尼系数分解法分析八大综合经济区水资源利用效率的差异，并深入探究其差异的来源；第三，已有多数研究忽略了水资源污染以及水资源利用可能存在的空间关联性和空间效应，本文利用空间计量模型讨论水资源利用效率影响因素的空间效应则存在重要的政策价值。

2 研究方法 with 计量模型

2.1 超效率 SBM 模型

本文基于 Tone^[20]提出的非径向、非角度的 Super-SBM 模型测算各省份的水资源利用效率，模型可表示为：

$$\min \theta^* = \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{i0}}}{\frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{s_r^g}{y_{r0}^g} + \sum_{r=1}^{s_2} \frac{s_r^u}{y_{r0}^u} \right)} \quad (1)$$

$$s.t. \quad x_0 = X\lambda + s^-, \quad y_0^g = Y^g\lambda - s^g, \quad y_0^u = Y^u\lambda + s^u$$

$$s^- \geq 0, \quad s^g \geq 0, \quad s^u \geq 0, \quad \lambda \geq 0$$

式中： s^g 表示期望产出不足； s^- 表示投入过多； s^u 表示非期望产出过度； λ 是权重向量； θ^* 表示效率值，值越大表明效率越高。投入指标包括资本、劳动力、水资源，其中资本投入借鉴张军等^[21]的研究，采用永续盘存法计算而得，劳动力投入以各省份年末城乡从业人员总数表示，水资源投入采用各省的用水量来表示。期望产出用实际 GDP 来表示，以 2004 年为基期并消除价格影响，非期望产出采用废水中化学需氧量排放量和氨氮排放量来表示。

2.2 Dagum 基尼系数分解法

本文运用 Dagum 基尼系数分解法诠释八大综合经济区水资源利用效率的区域差异，并解析其差异的主要来源。依据 Dagum^[22]提出的基尼系数分解方法，总体基尼系数(G)=区域内差异贡献(G_w)+区域间净值差异贡献(G_{nb})+超变密度贡献(G_t)，计算公式如下：

$$G = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{h=1}^k \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ij} - y_{hr}|}{2n^2 \bar{y}} \quad (2)$$

式中： $y_{ij}(y_{hr})$ 是 j(h)经济区内各省份的水资源利用效率值， $\bar{y}$ 是经济区水资源利用效率的平均值，n 是省份个数，k 是经济区个数， $n_j(n_h)$ 是 j(h)经济区内省份数。

$$G_{jj} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_j} |y_{ij} - y_{ir}|}{2n_j^2 \bar{y}} \quad (3)$$

$$G_{jh} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ij} - y_{hr}|}{2n_j n_h (\bar{y}_i + \bar{y}_h)} \quad (4)$$

$$G_w = \sum_{j=1}^k G_{jj} p_j s_j \quad (5)$$

$$G_{nb} = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} D_{jh} (p_j s_h + p_h s_j) \quad (6)$$

$$G_t = \sum_{j=2}^k \sum_{h=2}^{j-1} G_{jh} (1 - D_{jh}) (p_j s_h + p_h s_j) \quad (7)$$

$$D_{jh} = \frac{d_{jh} - p_{jh}}{d_{jh} + p_{jh}}, \quad d_{jh} = \int_0^\infty dF_i(y) \int_0^y (y-x) dF_h(x),$$

$$p_{jh} = \int_0^\infty d_h(y) \int_0^y (y-x) dF_j(x) \quad (8)$$

式(3)和式(4)分别表示第 j 个综合经济区的基尼系数和第 j 个综合经济区与第 h 个综合经济区区域间的基尼系数；式(5)、式(6)以及式(7)分别表示 G_w 、 G_{nb} 以及 G_t ；式(8)中， D_{jh} 表示经济区 j 和经济区 h 水资源利用效率的相对影响； d_{jh} 指区域间水资源利用效率的差值，表示区域 j 和 h 中满足 $y_{ji} - y_{hr} > 0$ 的数学期望； p_{jh} 为超变一阶矩，表示区域 j 和 h 之间 $y_{hr} - y_{ji} < 0$ 的数学期望， F_j (F_h) 为 j (h) 综合经济区的累积密度分布函数。

2.3 空间计量模型

水资源利用存在外部性^[23]，水污染在空间上存在依赖性，为分析八大综合经济区的区域水资源利用效率差异成因以及差异的空间效应，构建空间杜宾计量模型如下：

$$WE_{it} = \alpha_0 + \beta X + \rho W_{ij} \times WE_{it} + \theta W_{ij} X + v_i + \tau_t + \mu_{it} \quad (9)$$

式中： WE_{it} 为第 i 个地区在第 t 年的水资源利用效率； W_{ij} 是空间权重矩阵，定义为邻接权重； μ_{it} 为随机干扰项； v_i 为个体效应； τ_t 为时间效应； X 为相关影响因素。借鉴以往的研究成果，相关影响因素分别为：产业结构(IND)，用第三产业增加值占 GDP 比重表示；对外开放程度(OPEN)，用进出口总额占 GDP 比重表示；技术进步(TC)，用申请专利授权数表示；经济发展水平(PGDP)，用人均 GDP 表示；环境规制(ER)，用污染治理投资占 GDP 比重表示；城镇化水平(URBAN)，用城市人口占总人口比重表示。

本文采用 2004—2019 年中国 30 个省份(不包括西藏、港澳台地区)的省级层面数据。本文数据均来自《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国水资源公报》以及 EPS 数据库。

3 八大综合经济区水资源利用效率的区域差异及来源

3.1 八大综合经济区水资源利用效率的测算结果

本文基于 Super-SBM 效率评价模型测算得到 2004—2019 年 30 个省份水资源利用效率值，并据此计算出全国及八大综合经济区水资源利用效率值，结果如图 1 所示。从全国层面来看，水资源利用效率均值为 0.657，且呈波动下降趋势，这说明在现有资本、劳动和水资源等要素的投入下，水资源效率产出只完成了目标值的 65.7%，我国水资源利用效率有较大的提升空间。从区域层面来看，东北、北部沿海、南部沿海、长江中游以及西南经济区水资源利用效率呈波动下降趋势，年均降幅分别为 2.507%、0.008%、1.422%、0.802%、0.708%；而东部沿海、黄河中游和西北经济区水资源利用效率呈上升趋势，年均增幅分别为 0.189%、0.382%和 1.694%。从水资源利用效率的区域差异来看，北部沿海、东部沿海和西北经济区水资源利用效率显著高于其他经济区，水资源利用效率值分别为 1.095、1.003 和 0.826；南部沿海、黄河中游以及东北经济区水资源利用效率次之，水资源利用效率值分别为 0.809、0.469、0.450；西南经济区和长江中游经济区水资源利用效率最低，水资源利用效率值分别为 0.381 和 0.363。显然，除北部沿海和东部沿海经济区外，其余经济区水资源利用效率水平均未实现 DEA 有效。

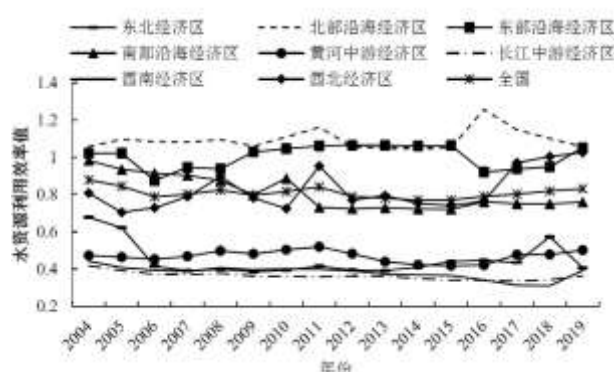


图 1 2004—2019 年全国及八大综合经济区水资源利用效率值变化趋势

3.2 八大综合经济区水资源利用效率的区域差异及其分解

3.2.1 基尼系数

如图 2 所示，从全国整体来看，2004—2019 年中国水资源利用效率基尼系数均值为 0.303，整体表现为波动上升趋势，增幅为 18.045%，基尼系数增长意味着水资源利用效率不平衡愈发严重，表明中国水资源利用效率发展不平衡以及水资源利用效率的总体协同性较弱。从区域层面来看，八大经济区水资源利用效率的区域内差异具有显著差异，东北、西北经济区的内部差异总体呈波动下降趋势，说明其水资源利用效率的协同性增加；北部沿海、东部沿海、南部沿海、黄河中游、长江中游、西南经济区的内部差异总体呈波动上升趋势，说明其水资源利用效率的不平衡有扩大趋势。

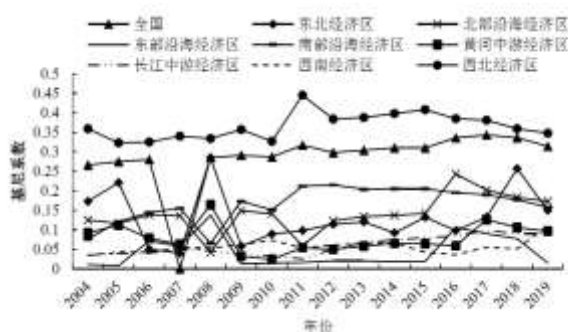


图 2 2004—2019 年全国及八大综合经济区基尼系数变化趋势

3.2.2 区域间差异

表 1 列示了八大综合经济区区域间基尼指数的年平均值，以反映水资源利用效率区域间的差异。具体而言：(1)基尼系数大于 0.3 的地区包括东北—西北、北沿—长中、北沿—西南、南沿—西北、黄中—西北、长中—西北、西南—西北 7 个，说明这 7 个区域间水资源利用效率的区域间差异较大，区域间绿色可持续发展协同性最弱，其中东北经济区与西北经济区区域间的差异最大。(2)基尼系数介于 0.2~0.3 之间的地区包括东北—北沿、东北—东沿、东北—南沿、北沿—黄中、北沿—西北、东沿—黄中、东沿—长中、东沿—西南、东沿—西北、南沿—黄中、南沿—长中、南沿—西南 12 个，表明东北、长江中游、黄河中游、西南与三大沿海经济区之间的区域间差异相对较大。(3)基尼系数介于 0.1~0.2 之间的地区包括东北—黄中、东北—长中、东北—西南、北沿—东沿、北沿—南沿、东沿—南沿、黄中—长中 7 个，表明三大沿海经济区之间水资源利用效率的差异相对较小。(4)基尼系数小于 0.1 的地区包括黄中—西南、长中—西南，其中长江中游与西南经济区之间的水资源利用效率差异最小(0.063)，表明西南经济区与长江中游经济区、黄河中游经济区区域协同性较优。综上所述，三大沿海经济区区域间的差异相对较小，西北经济区与其他各经济区区域间的差异较大，区域间绿色可持续发展弱协同性现象普遍存在。

表 1 八大综合经济区水资源利用效率区域间基尼系数年均值(2004—2019 年)

地区	基尼系数	地区	基尼系数	地区	基尼系数	地区	基尼系数
东北—北沿	0.275	北沿—东沿	0.124	东沿—黄中	0.213	南沿—西北	0.319
东北—东沿	0.225	北沿—南沿	0.184	东沿—长中	0.267	黄中—长中	0.100
东北—南沿	0.233	北沿—黄中	0.263	东沿—西南	0.260	黄中—西南	0.090
东北—黄中	0.111	北沿—长中	0.313	东沿—西北	0.285	黄中—西北	0.304
东北—长中	0.108	北沿—西南	0.308	南沿—黄中	0.254	长中—西南	0.063
东北—西南	0.101	北沿—西北	0.294	南沿—长中	0.237	长中—西北	0.340
东北—西北	0.343	东沿—南沿	0.130	南沿—西南	0.237	西南—西北	0.320

注：为使表述更加简洁，东北表示东北经济区，北沿表示北部沿海经济区，东沿表示东部沿海经济区，南沿表示南部沿海经济区，长中表示长江中游经济区，西南表示西南经济区，西北表示西北经济区，黄中表示黄河中游经济区。

3.2.3 区域差异及来源。

从图 3 可知，从差异来源大小来看，区域间净差异最大，2004—2019 年均值为 0.236，显著高于区域内差异来源和超变密度贡献，其均值分别为 0.049 和 0.019，区域间差异介于 0.2~0.264，呈现波动上升的趋势，其年均增长率为 1.125%；区域内差异介于 0.035~0.061，区域内差异来源相对较小；超变密度介于 0.015~0.025，超变密度贡献相对最小，表明区域间差异是影响总体差域的主要来源。

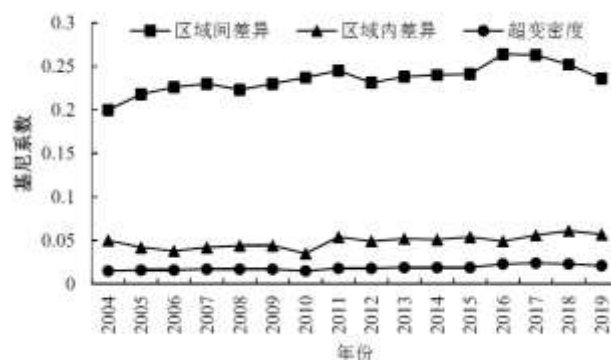


图 3 2004—2019 年八大综合经济区基尼系数分解

3.2.4 σ 收敛检验。

采用收敛性分析进一步检验八大综合经济区水资源利用效率区域差异的变化趋势。如图 4 所示，从全国层面来看，2004—2019 年， σ 收敛系数呈现波动上升趋势，这表明全国范围内水资源利用效率是发散的，即水资源利用效率的地区差异在扩大。从各综合经济区来看，2004—2019 年，东北、西北经济区 σ 收敛系数呈现波动下降趋势，表明这两个经济区水资源利用效率存在 σ 收敛，即东北和西北经济区内水资源利用效率的地区差异在缩小；2004—2019 年，北部沿海、东部沿海、南部沿海、黄河中游、长江中游以及西南经济区水资源利用效率的 σ 收敛系数呈现波动上升趋势，表明这六个综合经济区不存在 σ 收敛，进一步验证了北部沿海、东部沿海、南部沿海、黄河中游、长江中游以及西南经济区水资源利用效率区域内差异呈现波动递增的变化趋势。

4 八大综合经济区水资源利用效率的影响因素分析

由上述分析可知，八大综合经济区水资源利用效率存在显著的区域差异以及非均衡性，因此，本文进一步探讨影响各经济区水资源利用效率的因素。

4.1 空间相关性检验

由表 2 的检验结果可以看出，2004—2019 年，水资源利用效率的全局莫兰指数均为正值，指数值介于 0.081~0.363 之间，且 $P \leq 0.1$ ，说明集聚现象显著。从变化趋势来看，2004—2019 年，水资源利用效率的全局莫兰指数值处于上下波动状态，但均大于 0.08，表明我国水资源利用效率一直存在较强的空间正相关性。

表 2 2004—2019 年水资源利用效率的全局莫兰指数

年份	Moran' sI	Z 值	P 值	年份	Moran' sI	Z 值	P 值
2004	0.180	1.671	0.098	2012	0.195	1.686	0.092
2005	0.304	2.396	0.017	2013	0.180	1.693	0.087
2006	0.338	2.682	0.007	2014	0.202	1.734	0.083
2007	0.311	2.503	0.012	2015	0.188	1.665	0.099

2008	0.238	1.973	0.049	2016	0.271	2.315	0.021
2009	0.228	1.915	0.055	2017	0.149	1.678	0.089
2010	0.363	2.827	0.005	2018	0.101	1.985	0.039
2011	0.081	1.939	0.051	2019	0.092	1.686	0.091

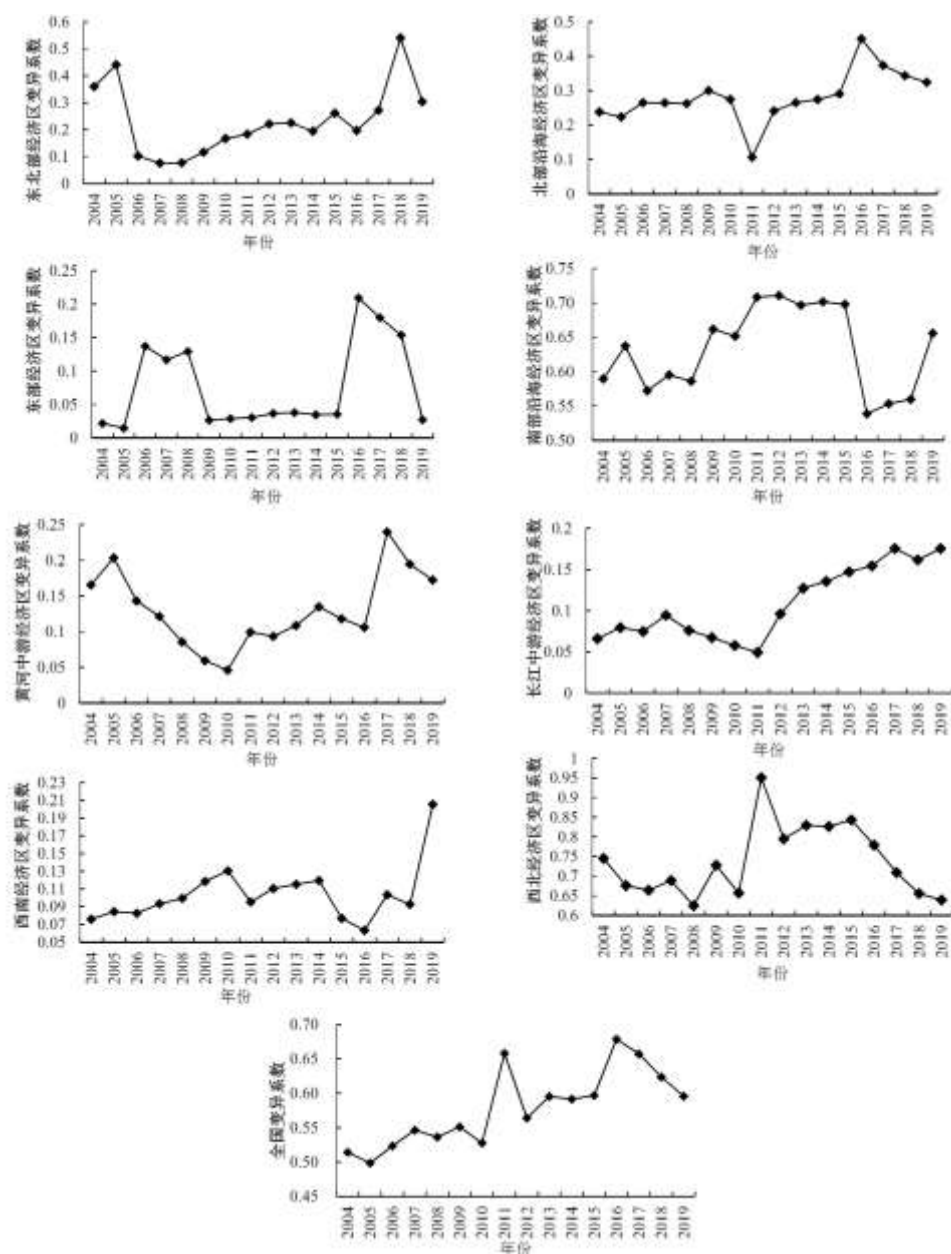


图 4 八大综合经济区水资源利用效率的 σ 收敛检验(2004—2019 年)

全局莫兰指数反映了相邻区域水资源利用效率存在集聚效应，但不能反映空间集聚的局部形式，因此本文绘制了 30 个省份

水资源利用效率 2004 年、2010 年和 2019 年的局部莫兰散点图来反映水资源利用效率的局部集聚情况，如图 5~图 7 所示。从图 5~图 7 可以看出，多数省份位于 H-H 象限(第一象限)和 L-L 象限(第三象限)。2004 年，北京、天津、山东、上海、江苏、浙江、福建、广东、海南 9 个省份位于 H-H 象限；2010 年，福建由 H-H 象限转向 L-H 象限(第二象限)；2019 年，海南由 H-H 象限转向 L-H 象限，广东由 H-H 象限转向 H-L 象限(第四象限)，总体上形成了以北部沿海和东部沿海经济区为主的水资源利用效率高水平区域。2004 年，辽宁、陕西、山西、河南、内蒙古、湖北、湖南、云南、重庆、贵州、广西、宁夏等 12 个省份位于 L-L 象限；2010 年，黑龙江由 H-L 象限转向 L-L 象限，江西和吉林由 L-H 象限转向 L-L 象限；2019 年位于 L-L 象限的省份未发生变化，基本上形成了以东北经济区、黄河中游经济区、长江中游经济区以及西南经济区为主的水资源利用效率低水平区域。局部莫兰散点图表明：水资源利用效率的局部空间集聚模式相对稳定，存在显著的正向空间相关性。

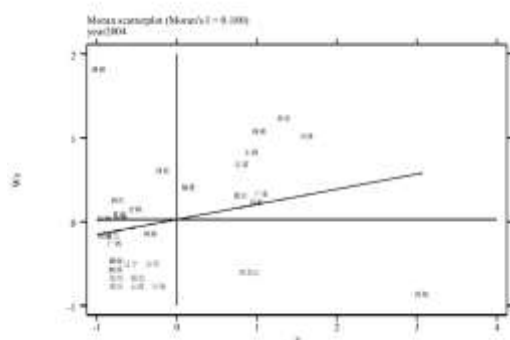


图 5 2004 年局部莫兰散点图

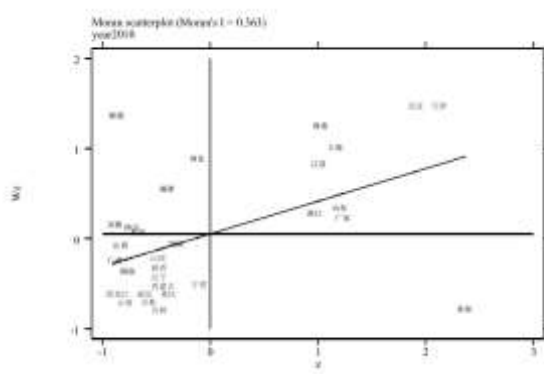


图 6 2010 年局部莫兰散点图

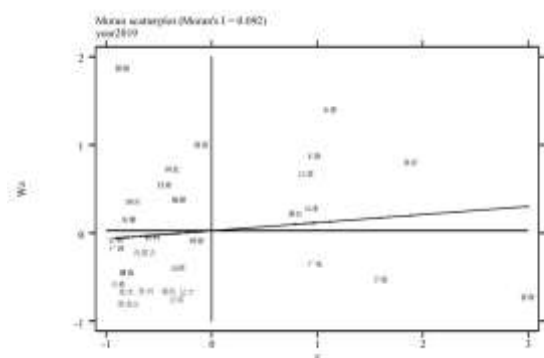


图 7 2019 年局部莫兰散点图

4.2 水资源利用效率的影响因素分析

表 3 为 SDM 模型分析结果。从全国总体来看：产业结构对水资源利用效率的影响显著为负，说明第三产业占比提升不利于水资源利用效率的提升，这可能是由于第三产业占比增加所带来的技术进步污染减排效应弱于第二产业占比减少而导致的技术进步弱化效应，从而抑制了水资源利用效率的提升；对外开放程度对水资源利用效率的影响显著为负，表明出口商品贸易中的隐含能源消耗量较大，增加了当地污染物排放，阻碍了水资源利用效率的提升；技术水平对水资源利用效率的影响显著为正，表明随着技术的不断进步和创新，有利于企业从事清洁生产，从而降低了水污染排放，促进了水资源利用效率提升，即技术进步存在一定程度的水资源利用回弹效应^[24]；经济发展水平对水资源利用效率的影响显著为负，表明当前经济增长还处于粗放式阶段，经济增长不利于水资源利用效率。

从区域层面看：(1)从东北经济区来看，技术进步、经济发展水平和城镇化水平能显著提升东北经济区水资源利用效率，这可能是因为技术进步推动了东北老工业基地正在向技术密集型的节能环保行业转型，降低了工业污染，减少了水污染排放；东北作为最早的老工业基地，其污染最为严重，在 2007 年开始东北振兴计划以后，其经济发展一直以保护环境为基础，因此水环境随着经济发展不断优化；此外，东北经济区城镇化发展迅速，城镇化进程中吸纳了大量的劳动力、资本和技术等生产要素的集聚，通过知识扩散效应和技术溢出效应推进了绿色技术创新，从而有利于水资源利用效率的提升；产业结构对东北经济区水资源利用效率存在显著的负向影响，表明在东北经济区第三产业比重增加所带来的污染减排效应小于第二产业占比减少所带来的技术弱化效应，从而不利于水资源利用效率的提升。

(2)从北部沿海经济区来看，经济发展水平对北部沿海经济区水资源利用效率的影响显著为正，说明经济发展水平有利于水资源利用效率的提高，这可能是北部沿海经济区经济发展质量较高，经济发展减少了水环境污染；城镇化对水资源利用效率的影响显著为负，这可能是因为城镇化速度过快，资源消耗快速上升，增加了水资源消耗，人口规模的过快集聚也造成了一定的水资源利用的负面压力，从而不利于水资源利用效率的提升。

(3)从东部沿海经济区来看，经济发展水平对东部沿海经济区水资源利用效率的影响显著为负，说明经济发展水平不利于其水资源利用效率的提升，这可能是因为东部沿海经济区经济增长的规模效应强于经济增长的质量效应，导致对水资源利用规模提升和污染排放增加；城镇化水平对水资源利用效率的影响显著为正，这可能是因为东部沿海的城镇化质量较高，有助于节水和水污染控制技术的外溢，从而提高水资源利用效率。

(4)从南部沿海经济区来看，对外开放对南部沿海经济区水资源利用效率的影响显著为负，说明对外开放程度不利于其水资源利用效率的提升，这可能是因为在该区域自身经济结构与产业结构条件下，出口商品中隐含能源和排放量带来的环境负向影响强于其资源节约效应，因此会阻碍水资源利用效率的提升；经济发展水平和环境规制对水资源利用效率的影响显著为正，说明经济发展水平和环境规制有利于其水资源利用效率的提升，这可能是因为南部沿海经济区的经济发展质量较高，积累了大量的技术经验，为环境治理提供了技术支撑和经济支撑，表明在南部沿海经济区存在“波特假说”。

表 3 八大综合经济区水资源利用效率影响因素分析

变量	全国	东北	北部沿海	东部沿海	南部沿海	黄河中游	长江中游	西南	西北
IND	-0.338** (-2.19)	-1.075*** (-6.13)	1.033 (1.38)	-2.168 (-1.05)	-0.510 (-0.71)	-0.169 (-0.45)	0.027 (0.20)	0.329 (1.55)	-2.165*** (-2.94)
OPEN	-1.715***	0.981	2.371	-4.446	-10.591**	4.922	-2.839	-0.103	6.162**

	(-2.94)	(1.09)	(1.13)	(-1.08)	(-2.42)	(1.33)	(-1.33)	(-0.08)	(2.15)
lnTC	0.054** (2.26)	0.661*** (4.88)	0.256 (1.57)	-0.378 (-0.32)	-0.169** (-2.46)	-0.118** (-2.22)	-0.003 (-0.26)	0.033 (1.18)	0.441*** (6.71)
lnPGDP	-0.109** (-2.34)	0.991** (2.28)	0.989*** (2.69)	-1.052* (-1.85)	0.897*** (2.75)	0.252*** (2.84)	0.253*** (4.21)	0.751 (1.08)	-0.535* (-1.74)
ER	-7.259 (-1.24)	-21.868 (-0.71)	3.992 (1.27)	4.145 (0.75)	2.343* (1.80)	13.279 (1.10)	-16.637*** (-2.87)	-10.919 (-1.03)	-3.064*** (-2.64)
URBAN	0.187 (0.54)	4.945*** (3.98)	-2.886*** (-4.21)	6.152* (1.71)	-1.885 (-0.51)	-0.580 (-0.54)	-1.886*** (-3.52)	-1.540* (-1.78)	6.597*** (3.11)
ρ	-0.044 (-0.76)	0.601 (0.25)	-0.928*** (-5.66)	-1.259*** (-4.35)	-0.242 (-0.45)	-1.696 (-5.20)	-1.680*** (-4.33)	-0.960*** (-4.21)	-0.521** (-2.14)
R ²	0.198	0.052	0.509	0.082	0.445	0.024	0.202	0.271	0.006
log-L	393.555	69.915	75.078	88.054	96.280	128.310	212.379	180.061	64.447

注：上角标*、**和***分别代表在 10%、5%和 1%的水平上显著，括号内为 t 值。

(5)从黄河中游经济区来看，技术水平对黄河中游经济区水资源利用效率的影响显著为负，说明对技术水平不利于其水资源利用效率的提升，这可能是因为技术进步带动东部地区高污染、高能耗产业的转移，污染型产业不断向黄河中游经济区转移，使得该经济区环境污染加剧^[25]，阻碍了黄河中游经济区水资源利用效率的提升；经济发展对黄河中游经济区水资源利用效率具有积极影响。

(6)从长江中游经济区来看，经济发展对长江中游经济区水资源利用效率的影响显著为正；环境规制和城镇化水平对其水资源利用效率的影响显著为负，这可能是因为环境规制通过扩大其隐性经济规模从而加剧了环境污染，从而不利于水资源利用效率的提升；此外，长江中游经济区处于中等城镇化水平，城镇化发展伴随着生产方式粗放、城镇人口扩张，导致城镇化建设硬件设施投入盲目扩张，引发环境污染加剧、资源消耗加剧等一系列连锁反应，从而抑制了水资源利用效率的提升。

(7)从西南经济区来看，城镇化水平对西南经济区水资源利用效率的影响显著为负，表明城镇化不利于其水资源利用效率的提升，这可能是因为西南经济区城镇化水平较低，处于城镇化的起步阶段，重规模轻质量的城镇化模式加剧了水环境污染，进而阻碍水资源利用效率改善。

(8)从西北经济区来看，产业结构、经济发展水平和环境规制对西北经济区水资源利用效率的影响显著为负，说明产业结构、经济发展水平和环境规制不利于水资源利用效率的提升。这可能是西北经济区由西北部欠发达省份组成，承接了部分来自东部发达地区的高污染、高能耗的产业，对水环境造成了污染；西北经济区环境规制阻碍了绿色技术创新，增加了企业创新成本，进而验证了环境规制在西北经济区显现“遵循成本效应”；对外开放程度、技术进步和城镇化水平对其水资源利用效率的影响显著为正，说明对外开放程度、技术进步和城镇化水平有利于其水资源利用效率的提升。

综上，由于经济发展、技术水平、对外开放程度、环境规制等存在差异，导致影响八大综合经济区水资源利用效率的因素作用存在区域异质性，因此，应综合考虑八大综合经济区的区域差异，制定有针对性的政策。

5 结论与建议

5.1 结论

本文运用 Super-SBM 模型测算出 2004—2019 年八大综合经济区水资源利用效率值，采用 Dagum 基尼系数分解法测算出八大综合经济区水资源利用效率区域差异及差异的来源，运用变异系数法检验了水资源利用效率的 σ 收敛性，在此基础上运用空间计量模型实证分析了影响各综合经济区水资源利用效率的因素。研究结论如下：

(1) 2004—2019 年，中国水资源利用效率均值为 0.657，且呈波动下降趋势；北部沿海、东部沿海和西北经济区水资源利用效率显著高于其他经济区，水资源利用效率值分别为 1.095、1.003 和 0.826；南部沿海、黄河中游和东北经济区水资源利用效率次之；西南和长江中游经济区水资源利用效率最低。

(2) 2004—2019 年，中国水资源利用效率基尼系数均值为 0.303，整体表现出波动上升趋势，增幅为 18.045%；八大经济区水资源利用效率的区域内差异具有显著的差异，东北、西北经济区的内部差异总体呈波动下降趋势；北部沿海、东部沿海、南部沿海、黄河中游、长江中游、西南经济区的内部差异总体呈波动上升趋势。从区域差异及来源来看，区域间净差异最大，显著高于区域内差异和超变密度贡献。

(3) 三个沿海经济区区域间的差异相对较小，西北经济区与其他各经济区区域间的差异基本较大；区域间水资源利用效率的差异显著，表明区域间绿色可持续发展弱协同性现象普遍存在。从 σ 收敛来看，东北经济区、西北经济区水资源利用效率存在 σ 收敛；全国以及北部沿海、东部沿海、南部沿海、黄河中游、长江中游以及西南经济区水资源利用效率不存在 σ 收敛。

(4) 八大综合经济区水资源利用效率存在显著的空间正相关，并呈现出北部沿海和东部沿海经济区“高一高”集聚以及以东北、黄河中游、长江中游和西南经济区为主的“低—低”集聚的分布格局；各影响因素对八大综合经济区水资源利用效率的作用差异显著，这在很大程度上弱化了区域绿色可持续发展的空间协同性。具体而言：产业结构对全国以及东北、西北经济区的水资源利用效率存在显著负向影响；对外开放程度对全国和南部沿海经济区的水资源利用效率存在显著负向影响，对西北经济区的水资源利用效率存在显著正向影响；技术进步促进全国以及东北和西北经济区水资源利用效率的提升，而对南部沿海经济区和黄河中游经济区则表现为不利于其水资源利用效率的提升；经济发展水平对东北、北部沿海、南部沿海、黄河中游以及长江中游经济区水资源利用效率的提升起促进作用，不利于全国以及东部沿海经济、西北经济区水资源利用效率的提升；环境规制仅能促进南部沿海经济区水资源利用效率的提升，对长江中游和西北经济区水资源利用效率则表现为显著的负向作用；城镇化水平对东北、东部沿海以及西北经济区的水资源利用效率具有显著的正向作用，对北部沿海、黄河中游以及长江中游的水资源利用效率则表现为显著负向作用。

5.2 建议

(1) 着力缩减水资源利用效率的区域差异。

本文的研究表明，区域间差距是八大综合经济区水资源利用效率区域差异的主要来源。为此，一要缩小区域内水资源利用效率的差距，重点缩小西北、南部沿海、北部沿海以及东北经济区区域内水资源利用效率的省际差异，提高低水平省份要素投入效率，降低低水平省份的水污染排放，鼓励绿色技术创新，推动生态产业发展；二要缩小区域间差距，重点缩小西北与东北、南部沿海、黄河中游以及西南经济区，北部沿海经济区与长江中游和西南经济区的区域间差异。

(2) 促进水资源利用与水环境治理的协同。

由于八大综合经济区的水资源利用效率存在显著的空间溢出效应，为此，一要打破行政壁垒，限制各省份进行逐底竞争和以邻为壑的行为，构建高水平经济区（东部沿海、北部沿海）与低水平经济区（西南、长江中游）间水环境保护和水资源有效利用的合作机制，有效发挥北部沿海、东部沿海经济区的示范作用；二要立足区域优势，实现要素自由流动，实现资源与技术的交流和共享，充分发挥北部沿海经济区和东部沿海经济区经济发展水平、外资利用、技术进步等要素的外溢效应，引导资源要素向东北、西南、西北经济区的合理流动。

(3) 采取差异化的措施。

由于不同因素对八大综合经济区水资源利用效率的作用差异显著，因此，要因地制宜地制定水资源利用效率提升政策：一应稳步推进产业结构优化。沿海经济区应继续推进科技创新，大力发展绿色新兴产业；东北经济区则是要继续推进东北振兴，淘汰落后产能，促进传统污染型产业转型，发展新兴产业；西北、西南等西部经济区应充分响应西部大开发政策，引进技术密集型产业；长江中游、黄河中游等地区应当提升环境标准，适度承接产业转移。二应提升进出口贸易质量。沿海经济区应当进一步扩大开放，提升出口商品复杂度，改善出口贸易品质，降低出口贸易隐含能源消耗；东北经济区、长江中游、黄河中游等中部地区应加强引进低耗能、低污染产业，充分利用外资企业先进的节能减排技术，优化贸易结构；西南、西北等西部地区经济发展和技术水平相对落后，应加大环保型和高技术产品进口，实现节约资源和降低排放的目的，从而提升水资源利用效率。三应引导新型城镇化建设。沿海经济区城镇化水平较高，要加快推动城镇化进程中政治、经济、文化、社会和生态文明协同发展，减少“摊大饼”式的城镇化；东北经济区应提升城镇化质量，优先促进先进技术和资本要素的集聚；西南和西北经济区城镇化水平较低，城镇化发展带来了人口规模效应、经济规模效应和投资拉动效应等效应大于城镇化进程中所带来的环境污染等负外部效应，应保证城镇化建设质量的同时加快城镇化建设的速度；黄河中游和长江中游的城镇化不利于其水资源利用效率的提升，要摒弃低水平的城镇化发展模式，降低城镇化对资源的消耗，提升城镇化的效率和效益。四应制定适宜的环境治理政策，充分挖掘各经济区污染减排潜力。对能源依赖型地区（西南、西北、长江中游、黄河中游、东北经济区）的环境污染治理，要加强强制性规范和治理投资；对经济发展与环境脱钩地区（东部沿海、南部沿海、北部沿海），要强化自愿型环境保护意识，同时推动清洁产能与节能减排技术的发展和 innovation，以促进区域经济绿色发展，从而促进水资源利用效率的提升。

参考文献：

[1]赵晨，王远，谷学明. 基于数据包络分析的江苏省水资源利用效率[J]. 生态学报，2013(5)：1636-1644.

[2]Kaneko S, Anaka K, Toyota T. 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.

[3]André F J, Herrero I, Riesgo L. A modified DEA model to estimate the importance of objectives with an application to agricultural economics[J]. Omega, 2010, 38(5) :371-382.

[4]钱文婧，贺灿飞. 中国水资源利用效率区域差异及影响因素研究[J]. 中国人口·资源与环境，2011(2)：54-60.

[5]佟金萍，马剑锋. 中国农业全要素用水效率及其影响因素分析[J]. 经济问题，2014(6)：101-106.

[6]孙爱军，董增川. 基于时序的工业用水效率测算与耗水量预测[J]. 中国矿业大学学报，2007(4)：547-553.

[7]许朗，黄莺. 农业灌溉用水效率及其影响因素分析——基于安徽省蒙城县的实地调查[J]. 资源科学，2012(1)：105-113.

[8]雷玉桃，黄丽萍. 中国工业用水效率及其影响因素的区域差异研究——基于 SFA 的省际面板数据[J]. 中国软科学，2015(4)：

- [9]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.
- [10]李静, 马潇璨. 资源与环境双重约束下的工业用水效率——基于 SBM-Undesirable 和 Meta-frontier 模型的实证研究[J]. 自然资源学报, 2014(6): 920-933.
- [11]赵良仕, 孙才志, 刘凤朝. 环境约束下中国省际水资源两阶段效率及影响因素研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2017(5): 27-36.
- [12]丁绪辉, 高素惠. 环境规制、FDI 集聚与长江经济带用水效率的空间溢出效应研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019(8): 148-155.
- [13]廖虎昌, 董毅明. 基于 DEA 和 Malmquist 指数的西部 12 省水资源利用效率研究[J]. 资源科学, 2011(2): 273-279.
- [14]买亚宗, 孙福丽, 石磊, 等. 基于 DEA 的中国工业水资源利用效率评价研究[J]. 干旱区资源与环境, 2014(11): 42-47.
- [15]王昕, 陆迁. 中国农业水资源利用效率区域差异及趋同性检验实证分析[J]. 软科学, 2014(11): 133-137.
- [16]卢曦, 许长新. 基于三阶段 DEA 与 Malmquist 指数分解的长江经济带水资源利用效率研究[J]. 长江流域资源与环境, 2017(1): 7-14.
- [17]邓益斌, 尹庆民. 中国水资源利用效率区域差异的时空特性和动力因素分析[J]. 水利经济, 2015(3): 19-23, 76.
- [18]李世祥, 成金华, 吴巧生. 中国水资源利用效率区域差异分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2008(3): 215-220.
- [19]孙才志, 白天骄, 韩琴. 基于基尼系数的中国灰水足迹区域与结构均衡性分析[J]. 自然资源学报, 2016(12): 2047-2059.
- [20]Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3): 498-509.
- [21]张军, 吴桂英, 张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算: 1952—2000[J]. 经济研究, 2004(10): 35-44.
- [22]Dagum C. A new approach to the decomposition of the Gini income inequality ratio[J]. Empirical Economics, 1997, 22(4): 515-531.
- [23]Costantini V, Mazzanti M, Montini A. Environmental performance, innovation and spillovers: Evidence from a regional Namea[J]. Ecological Economics, 2013(89): 101-114.
- [24]阚大学, 吕连菊. 城镇化对水资源安全影响的实证分析——基于空间纠正系统 GMM 法[J]. 产业组织评论, 2018(2): 152-167.
- [25]胡志强, 苗长虹. 中国污染产业转移的时空格局及其与污染转移的关系[J]. 软科学, 2018(7): 39-43.