

引用格式:孙才志,王晨.中国水资源投入的“拥塞效应”研究[J].资源科学,2020,42(2):334-345.[Sun C Z, Wang C. Research on the “congestion effect” in China’s water resources input[J]. Resources Science, 2020, 42(2): 334-345.] DOI: 10.18402/resci.2020.02.12

中国水资源投入的“拥塞效应”研究

孙才志¹,王晨²

(1. 辽宁师范大学海洋经济与可持续发展中心,大连 116029;

2. 辽宁师范大学地理科学学院,大连 116029)

摘要:本文在全要素生产框架下,定义水资源投入拥塞的概念,基于FGL模型对2000—2016年中国31个省份(不包括港澳台)的水资源投入进行“拥塞”识别,并将水资源投入拥塞导致的无效率从全局无效率中分离出来,为明确无效率的根源,并将全局无效率分解为拥塞无效率和纯技术无效率。研究结果表明:①中国存在水资源投入拥塞效应,在考察期间各省份拥塞度经历由低到高、集聚到分散的演化过程,各省份水资源投入拥塞度在空间差异显著,其中北京、浙江、广东等省市拥有较低的拥塞度,整体来看,投入要素结构非均衡的中、西部地区较经济发展水平高的东部地区更易发生拥塞。②中国各省份全局水资源利用无效率呈现不同的变化态势,大部分省份由拥塞无效率与纯技术无效率共同驱动,从省际和区域来看,以纯技术无效率为主导,拥塞无效率也是影响全局无效率的一个重要原因。政府应该明确无效率的根源,因地制宜,适时调整投入要素结构,提出水资源利用改进方向,提高水资源利用效率,促进经济可持续发展。

关键词:全要素水资源利用效率;DEA模型;FGL模型;拥塞;中国

DOI: 10.18402/resci.2020.02.12

1 引言

水资源是人类进行生产、生活的物质基础,是实现中华民族伟大复兴的重要自然资源,是实现中华民族永续发展千年大计的重要战略资源。党在十八大报告中指出,提高水资源利用效率是建设节约型社会的基本要求;党的十九大报告也强调,必须坚持节约资源与保护环境。可见,国家对水资源重视程度逐步加深,并将水资源利用效率的提高放在突出位置^[1,2]。当前,中国水资源短缺与利用效率低下并存^[3],是中国经济可持续发展面临的明显问题。其中针对水资源利用效率的研究,可为中国水资源问题的解决提供理论指导与现实借鉴。

目前,国内外对水资源利用效率研究的评价方法,有比值分析法^[4]、指标体系法^[5]、随机前沿分析法(SFA)^[6,7]和数据包络分析法(DEA)^[8,9]。其中,数据包络分析是一种非主观赋权,无需事先设定生产函

数,在全要素框架下水资源利用效率探究中应用广泛。Chen等^[10]运用DEA模型测度中国区域全要素水资源利用效率;孙才志等^[11]运用SBM-Malmquist对中国水资源绿色效率变动进行初步探讨;李玲^[12]基于DEA模型对中国粮食生产用水效率进行测度分析;俞雅乖等^[13]利用超效率DEA-Tobit两阶段模型,对2000—2014年中国30个省(市、区)(不包括港澳台以及西藏)水资源效率、区域差异、影响因素进行评价。在上述运用DEA模型对水资源利用效率测度中,都只关注发生在经济区域的生产活动,事先假定增加水资源投入(输入)不会减少产出(输出),反之,减少水资源投入不会增加产出,而排除了生产活动发生在非经济区域的假设,忽略了水资源过度投入而导致的产出减少现象,在生产经济学中,这一现象表明非经济区域出现投入拥塞效应。

最早关注“非经济区域”生产活动的是经济学

收稿日期:2019-07-12,修订日期:2019-11-24

基金项目:国家社会科学基金重点项目(19AJY010)。

作者简介:孙才志,男,山东烟台人,教授,博士生导师,主要从事水资源经济与海洋经济研究。E-mail: suncaizhi@lnnu.edu.cn

2020年2月

家 McFadden^[14],其创新性的引入“拥塞”一词,来描述在非经济区域要素的利用状态,在投入要素的等产量图中,非经济区域为等产量线后弯的部分(拥塞发生的部分),即随着投入的增加产出反而表现为下降。“拥塞”一词最早源于交通运输行业,被认为是运输工具的数量过多,形成道路交通淤塞,最终导致其运输能力下降的现象。在农业方面,Färe等^[15]在研究玉米生长过程中,认为灌溉适宜的水量,有利于产量的增加,但如果投入过多的水资源量,可能最终产量下降。国内外学者基于DEA模型将生产活动“拥塞效应”的研究拓展到更多领域^[16-18],而从生产要素角度来说,对发生在非经济区域要素拥塞问题的探讨,集中在劳动力、资本、能源要素方面。例如:Cooper等^[19]研究表明中国纺织业可以通过消除资本拥塞使产出增加;孙巍^[20]研究中国1992—1998年经济转轨时期工业部门要素拥塞特征,结果显示工业部门拥塞具有普遍性;Wu等^[21]验证中国省域的工业部门能源要素存在拥塞。然而在实际生产活动中水资源也是重要的投入要素,国内外学者对研究水资源开发利用中的投入拥塞问题尚未给予足够重视,中国万美元GDP用水量是4749 m³,为世界平均水平的4倍,美国的9.8倍,日本的25倍^[22],那么,中国是否存在水资源投入拥塞,拥塞在时间与空间如何演变,拥塞如何影响水资源利用效率,尚待研究。

鉴于此,本文在全要素生产框架下对中国水资源投入是否存在“拥塞效应”进行实证研究。首先,对水资源投入拥塞进行概念界定;其次,基于FGL模型对2000—2016年中国31个省份(不包括港澳台,下同)的水资源投入进行“拥塞”识别,并从时空角度分析拥塞度演变特征;最后,借鉴Wu等^[23]将水资源投入拥塞导致的拥塞无效率从水资源全局无效率中分解出来,探究纯技术无效率与拥塞无效率对水资源全局无效率的驱动变化,旨在明确在水资源利用过程中无效率的根源,促进水资源合理开发利用。

2 水资源投入拥塞概念界定

关于“投入拥塞”(Input Congestion)的概念,最初被定义是指,在特定的生产条件背景下,保持作为投入生产要素之中的一个子集不变,其他投入的

增加会阻碍产出的增加^[24]。后来,随着研究的深入,不同学者对拥塞定义有所不同,但在本质上都认为“若投入的减少能使产出增加,则存在投入拥塞”。例如,Cooper等^[25]认为投入拥塞在非经济生产过程中普遍存在,定义是在不增加其他投入要素,不损害其他产出的背景下,至少一种投入要素的减少,导致至少一种输出的增加;Flegg等^[26]对拥塞的定义是基于边际报酬递减规律;Wei等^[27]认为所谓的拥塞是指,当某些要素作为投入减少时,所有输出项都会增加。

由于本文只考虑投入要素中的水资源要素,其他投入要素保持不变,探讨水资源在生产过程中投入拥塞问题,所以参考Cooper等^[25]以及郭高晶^[28]对投入拥塞的定义,并结合边际收益递减规律,尝试提出水资源投入拥塞的概念:生产活动发生在非经济区域,在保证其他投入要素不变以及不损害其他产出的情况下,水资源投入的减少至少导致一种产出的增加,相反,水资源投入的增加至少导致一种产出的减少。

3 研究方法 with 数据来源

3.1 研究方法

3.1.1 拥塞测度

基于数据包络技术的拥塞测度方法有多种,例如:Färe等^[29]利用径向DEA模型,从投入角度通过强可处置与弱可处置下的效率值进行拥塞判别,该方法被称为FGL模型(以Färe、Grosskopf和Lovell名字首字母命名);Cooper等^[30]从产出角度,提出松弛测量的识别方法,允许不同的投入要素可以按照不同比例进行缩减,该模型被后来学者称为CTT模型;Tone等^[31]通过研究规模弹性提出的拥塞测量方法;Sueyoshi等^[32]提出改进的方法测量不同解决方案下的拥塞。在比较上述各模型基础上,本文采用FGL模型,首先,该模型与经济学中边际收益递减规律有关,理论基础良好;其次,该模型容易剥离出由于水资源投入拥塞而导致的水资源利用无效率部分。

假设有 n 个决策单元(DMUs),每个DMU用非水资源投入(X)和水资源投入(W)来生产产出(Y),生产技术可以被定义为:

$$T = \{(X, W, Y) : (X, W) \text{ 可以生产出}(Y)\} \quad (1)$$

因为有限的输入只能生产出有限的输出, T 在生产理论中, 满足有界性; 遵循边际收益递减规律, 满足凸性。

FGL 模型对于拥塞的识别主要是对水资源投入进行强可处置和弱可处置, 在两种不同处置下比较效率值。FGL 模型可以分为两个阶段: 第一阶段, 通过模型(2)计算水资源投入在强可处置下的效率值:

$$\begin{aligned} \theta^* &= \min \theta \\ \text{s.t.} \quad &\sum_{j=1}^n \lambda_j X_j \leq \theta X_0 \\ &\sum_{j=1}^n \lambda_j W_j \leq \theta W_0 \\ &\sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j \geq Y_0 \\ &\lambda_j \geq 0, \quad j=1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (2)$$

第二阶段, 通过模型(3)计算水资源投入在弱可处置下的效率值

$$\begin{aligned} \phi^* &= \min \phi \\ \text{s.t.} \quad &\sum_{j=1}^n \lambda_j X_j \leq \phi X_0 \\ &\sum_{j=1}^n \lambda_j W_j = \phi W_0 \\ &\sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j \geq Y_0 \\ &\lambda_j \geq 0, \quad j=1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (3)$$

式中: λ_j 表示变量之间的线性组合系数; X_j 、 W_j 、 Y_j 分别表示第 j 个 DMU 的非水资源投入向量、第 j 个 DMU 的水资源投入向量以及第 j 个 DMU 的输出向量; θ 和 ϕ 表示效率值; 上标“*”为最优解; 下标“0”的表示被观测的决策单元。

与模型 2 相比, 模型 3 最主要的区别在于水资源投入是等号, 由非紧约束变为紧约束, 通过比较模型 2 和模型 3 的最优解 θ^* 与 ϕ^* 的大小, 判断被评估的决策单元是否发生拥塞, 如果 $\theta^* = \phi^*$ 时, 说明水资源投入未出现拥塞; 如果 $\theta^* > \phi^*$ 时, 表明存在拥塞。本文参照 Färe 等^[29]重新对拥塞度进行定义, 拥塞度计算式为:

$$CE = 1 - \theta^* / \phi^* \quad (4)$$

显然 CE 在 $[0, 1)$ 内, 当 $CE=0$ 时, 拥塞程度最小, 或者未出现拥塞现象; CE 值越大, 说明水资源投入拥塞程度越大。

3.1.2 全局水资源利用无效率分解

首先, 我们需要计算全局水资源利用无效率, 借鉴 Hu 等^[33]的方法, 在全要素生产框架下, 全局水资源利用无效率包括径向无效率和松弛无效率两部分, 通过径向调整和松弛调整来寻求最优的水资源投入, 其中径向调整部分为 $(1-\theta^*)W_0$, θ^* 是模型(2)的最优解; 水资源投入松弛调整部分 s_w 通过松弛 DEA 模型(5)计算:

$$\begin{aligned} s_w^* &= \max s_w \\ \text{s.t.} \quad &\sum_{j=1}^n \lambda_j X_j \leq \theta^* X_0 \\ &\sum_{j=1}^n \lambda_j W_j + s_w = \theta^* W_0 \\ &\sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j \geq Y_0 \\ &\lambda_j \geq 0, \quad j=1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (5)$$

s_w^* 是模型(5)的最优解, 则全局水资源利用无效率可以用过径向与松弛调整值之和与实际水资源的投入量之比进行表示, 用 ω^* 表示全局水资源利用无效率, 有:

$$\omega^* = \frac{(1-\theta^*)W_0 + s_w^*}{W_0} = (1-\theta^*) + \frac{s_w^*}{W_0} \quad (6)$$

其次, 为明确水资源利用无效率的来源, 参考 Wu 等^[23]分解方法, 将由于水资源投入拥塞而导致的无效率从全局无效率中分离出来。

则, 水资源投入拥塞无效率 c^* 为:

$$c^* = \frac{\phi^* W_0 - (\theta^* - s_w^*)}{W_0} = \phi^* - \theta^* + \frac{s_w^*}{W_0} \quad (7)$$

则, 纯技术无效率 p^* 可以表示为:

$$p^* = \frac{W_0 - \phi^* W_0}{W_0} = 1 - \phi^* \quad (8)$$

模型(6)和(7)把全局水资源利用无效率分解成为两部分, 如下:

$$\omega^* = c^* + p^* \quad (9)$$

3.1.3 Kernel 密度估计

作为非参数方法的 Kernel 密度估计, 从本质上讲, 是通过对一些离散的采样点进行表面内插的方法, 用连续的密度分布曲线对离散采样点的分布形态进行描述, 具有准确性较高、连续性较好等优点, 现已成为常用的描述不均衡分布的方法^[34]。

核密度函数估计式为:

2020年2月

$$f(x) = \frac{1}{r h} \sum_{i=1}^r K\left(\frac{y_i - y}{h}\right) \quad (10)$$

式中: $f(x)$ 为根据水资源投入拥塞度在 r 个地区的值 y_1, y_2, \dots, y_r 估计得到的概率密度函数; $K(\cdot)$ 为随机的核函数,包括 Gaussian (normal) Kernel、Triangular Kernel 等; h 为窗宽(带宽),其取值大小影响核密度曲线平滑度和形状,本文选用常用的 Gaussian 核函数,并遵循积分均方误差最小的思想选择窗宽。

3.2 指标选取及其数据来源

本文使用了2000—2016年中国31个省份的水资源投入产出数据,其中包含直辖市与自治区(台湾、香港、澳门不在分析之列)。所有的数据均来源于《中国统计年鉴》^[35]、《中国环境年鉴》^[36]、各地区统计年鉴(2001—2017)以及《中国水资源公报》^[37](2000—2016),针对缺失数据依据已有年鉴数据进行综合处理所得。选取水足迹、资本存量、劳动力作为投入指标,由于本文旨在考虑水资源利用效率时水资源投入拥塞是否会影响地区经济产出,产出指标定为GDP。具体如表1所示:

4 结果与分析

4.1 中国水资源投入拥塞结果分析

本文基于2000—2016年水资源利用情况的17年面板数据,运用模型2-4,测算出中国31个省(市、区)水资源投入的拥塞度以及拥塞平均值(表2),限于版面,本文只给出部分计算结果,从表2中可以看出,中国存在水资源投入拥塞效应,各省(市、区)水资源投入拥塞程度不同。水资源投入拥塞,意味着当保持劳动力投入、资本投入不变时,过多的水资源投入,会使经济产出受到抑制,影响地区经济发展。北京、浙江、广东等省,水资源投入拥塞程度较低,说明水资源投入得到较高利用,且对地区经济

起到拉动、促进作用;相反,拥有较高拥塞得分的内蒙古、吉林、新疆等省区,水资源投入一定程度上阻碍了地区经济的发展。为进一步探究中国31个省(市、区)拥塞程度的时空演变特征以及分异过程,以下将从时间与空间两个维度进行解析。

4.1.1 时序演变特征

从时间维度来看,求解考察期间各年份水资源投入拥塞度的平均值,并按照传统东(11省份)、中(8省份)、西(12省份)区域划分的方法^[28],对不同区域拥塞度进行对比分析(图1)。①由图1走势可知,2000—2016年全国平均拥塞度呈现上升趋势,说明中国水资源拥塞程度在逐步加深,水资源存在投入过度。②通过对比东中西3个区域平均拥塞度,以2006年为界分为2个阶段,2000—2006年,东中西部呈现上升走势,而2007—2016年,东部整体呈现下降走势,相反中西部呈现波动上升,但变化幅度较小,东中西之间差距变大,东部拥塞度明显低于中西部,表明东部水资源拥塞程度出现好转,而中西部拥塞程度加深,这可能是因为东部地区在水资源设施或者三大产业对水资源的需求比例等方面优于中西部。

为继续考察各省份水资源投入拥塞度随时间演变的非均衡状态,采用非参数 Kernel 密度函数,横轴表示中国31个省份水资源投入拥塞度得分,纵轴表示核密度,选取2000年、2005年、2010年和2016年4个时点年份,3个时段进行核密度估计,绘制不同时点拥塞度分布状况图(图2),图2显示了以下特征:

(1)从形状上看,17年间总体呈现出由“瘦高型”向“矮胖型”的转化趋势,有明显单峰态势,且在第二阶段变化最为显著,第一、三阶段有所变化。

表1 水资源利用效率投入-产出体系

Table 1 Input-output system of water resource utility efficiency

指标类型	指标选取	指标说明	单位
投入指标	劳动力投入	第一、二、三产业总从业人数	万人
	资本投入	资本存量 ^② (以2000年为不变价格折算)	亿元
	水资源	水足迹 ^④	亿m ³
产出指标	经济产出	国内生产总值(GDP)(以2000年为不变价格折算)	亿元

注:②资本存量:运用“永续盘存法”估计每年各省实际资本存量,计算过程参考单豪杰^[38]的算法,针对西藏缺失数据,参考青海与新疆数据进行综合考虑得到;④水足迹:能够反映人类对水资源真实使用量,包括工业产品、农畜产品、生活和生态水足迹,计算过程参阅文献[11、39、40]。

表2 2000—2016年中国31个省份水资源投入拥塞度

Table 2 Input congestion of water resources in 31 provinces of China's mainland, 2000-2016

地区	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	平均值
北京	0.004	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
天津	0.000	0.012	0.016	0.012	0.000	0.000	0.005	0.017	0.000	0.008
河北	0.000	0.017	0.055	0.081	0.085	0.064	0.052	0.042	0.039	0.048
辽宁	0.000	0.000	0.027	0.079	0.072	0.054	0.061	0.070	0.206	0.060
上海	0.016	0.014	0.005	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005
江苏	0.000	0.000	0.002	0.033	0.024	0.015	0.009	0.028	0.051	0.016
浙江	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
福建	0.000	0.000	0.000	0.015	0.017	0.110	0.002	0.000	0.000	0.005
山东	0.000	0.000	0.000	0.017	0.028	0.026	0.019	0.012	0.023	0.013
广东	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
海南	0.000	0.000	0.000	0.004	0.026	0.043	0.040	0.021	0.014	0.016
山西	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.012	0.008	0.005	0.001	0.004
吉林	0.000	0.057	0.083	0.105	0.096	0.074	0.117	0.166	0.245	0.104
黑龙江	0.064	0.101	0.116	0.129	0.147	0.152	0.128	0.136	0.201	0.127
安徽	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.029	0.028	0.027	0.009
江西	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.033	0.048	0.047	0.042	0.020
河南	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.049	0.042	0.029	0.025	0.017
湖北	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.040	0.039	0.030	0.023	0.015
湖南	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022	0.041	0.034	0.026	0.014
内蒙古	0.000	0.044	0.160	0.247	0.260	0.313	0.384	0.412	0.370	0.241
广西	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.025	0.051	0.042	0.035	0.016
重庆	0.000	0.000	0.000	0.001	0.044	0.038	0.026	0.020	0.012	0.015
四川	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.018	0.034	0.032	0.027	0.012
贵州	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.024	0.016	0.006
云南	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.034	0.032	0.024	0.010
西藏	0.000	0.000	0.000	0.032	0.066	0.067	0.046	0.032	0.014	0.029
陕西	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.022	0.020	0.013	0.036	0.011
甘肃	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.027	0.027	0.025	0.008
青海	0.000	0.000	0.000	0.004	0.034	0.024	0.015	0.020	0.117	0.020
宁夏	0.000	0.000	0.015	0.052	0.081	0.072	0.053	0.098	0.227	0.062
新疆	0.129	0.140	0.182	0.193	0.163	0.160	0.157	0.196	0.241	0.170
全国	0.007	0.012	0.021	0.033	0.038	0.043	0.049	0.052	0.067	0.035

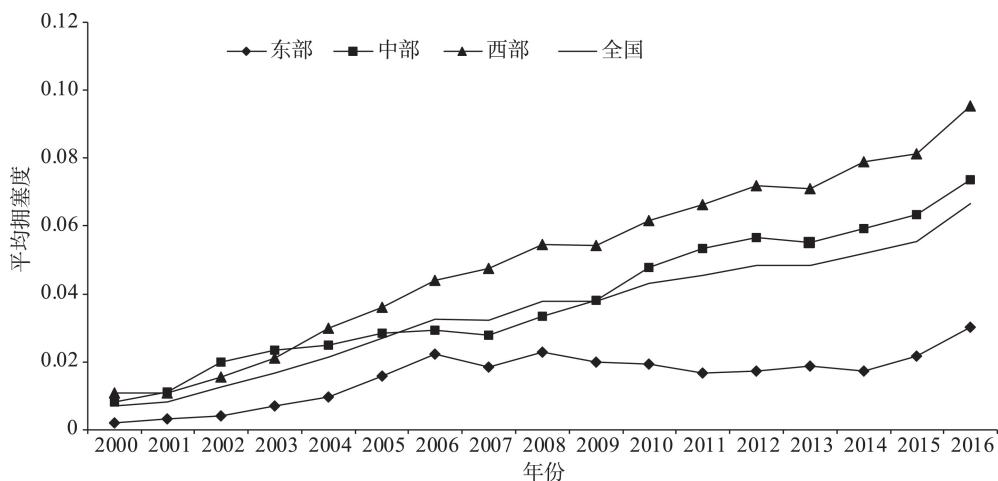


图1 2000—2016年中国水资源投入拥塞度演变趋势

Figure 1 Trend of change of water resources input congestion in China, 2000-2016

2020年2月

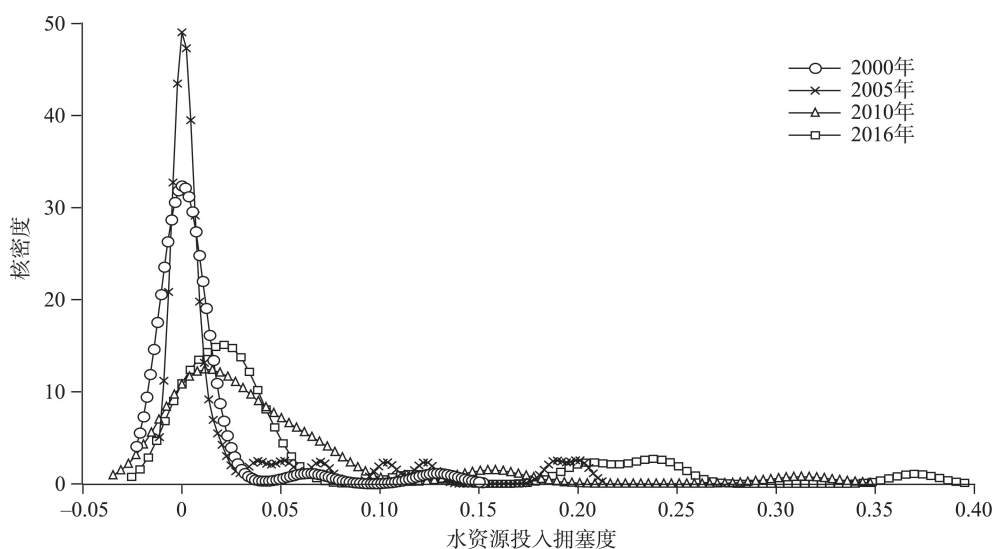


图2 中国水资源投入拥塞度的Kernel密度估计

Figure 2 Kerneldensity estimation of water resources input congestion in China

在2000—2005年,呈现明显的“瘦高型”,这说明中国各省份水资源投入拥塞在第一阶段低拥塞度集聚,较低拥塞度省份所占的比重大于较高拥塞度省份所占比重。在第二阶段,由“瘦高型”向“矮胖型”快速转变,波峰对应的拥塞度升高,而且31个省份水资源投入拥塞度趋于分散,这表明各省份水资源拥塞程度加深。第三阶段分散逐步加深。

(2)从位置上看,2000—2016年中国31个省份水资源投入拥塞度测算分布曲线呈现向右移动的趋势,拥塞得分水平跨度增大,说明各省份水资源投入拥塞得分在整体上有所提高,出现明显扩散态势。在三大时间段中,第二阶段变化明显。2000—2005年,波峰高度上升,表明较低拥塞度省份对应核密度在上升,集聚程度加强。2005—2010年,波峰高度急剧下降,核密度显著下降,说明较高拥塞度得分的省份所占比重增加,集聚程度减弱。2010—2016年,波峰继续右移,拥塞得分增加,对应核密度上升。

(3)从峰度上看,中国各省份水资源投入拥塞度分布在2000—2016年呈现出由尖峰向宽峰转变趋势。在2000年与2005年,核密度图呈现明显尖峰形态,说明较低拥塞得分的省份数量所占比重较大。2010年与2016年,高峰对应的核密度减小,峰度变缓,说明出现向较高拥塞得分集聚现象。在第二阶段出现几个微弱小波峰,波峰由低拥塞度向较高拥塞度水平变化,说明各省份间拥塞程度增加且

差异明显。同时根据核密度最大值比较左右两侧面积,明显得出在2000—2016年3个阶段,每阶段右侧面积大于左侧面积,说明中国水资源投入拥塞呈现明显的分散趋势。

4.1.2 空间格局特征

为探究空间维度,绘制了各省份均值图(图3),从整体来看,31个省份中90%以上省份出现拥塞现象,表明中国多数省份处于水资源使用过度,阻碍经济产出的状况,全国水资源利用效率有很大进步空间。

从局部来看,17年间31省份平均拥塞度值在0.000~0.241之间,不同省份水资源投入拥塞现象存在明显差异。拥塞得分排名前10的省(市、区)分别是内蒙古、新疆、黑龙江、吉林、宁夏、辽宁、河北、西藏、青海、河南,其中前七名的拥塞度得分高于全国平均水平值(0.035)。具体来说,内蒙古拥塞度处于全国最高值(0.241),拉高全国平均水平,说明内蒙古拥塞程度严重,应通过减少水资源投入量,改善经济产出水平,提高水资源利用效率。广东和浙江拥塞得分最低,为0.000,表明两省份未出现拥塞,水资源投入得到有效利用。

在空间分布上(表2和图3),拥塞度得分较高的省份主要集中在中西部。从投入指标看,东部地区水资源投入量居于第二位,中西部分别居于第一、三位,东中部地区在17年间水资源投入总量差异不

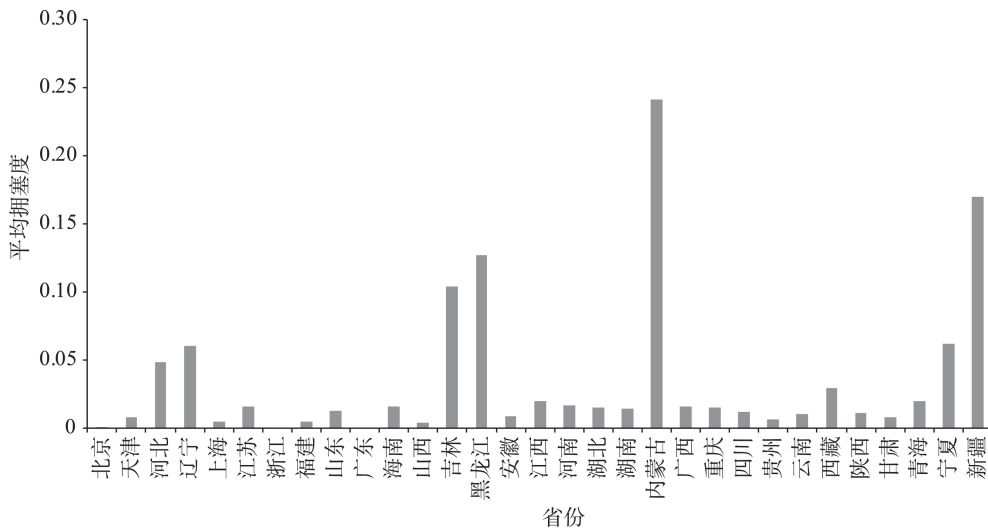


图3 中国31个省份水资源投入平均拥塞度

Figure 3 Average input congestion of water resources in 31 provinces of China's mainland

大,但中部拥有较大的拥塞度得分,说明中部水资源使用过度。拥塞本身可视为一种资源投入浪费现象,那么,中西部地区存在比较严重的水资源使用无效率状态。

生产拥塞本质是一种资源配置结构无效率的表现,本文统计各项投入要素的年平均增长率(表3),由表3可知,东部地区的水资源、劳动力、资本投入要素年平均增长率较为均衡,西部地区在三大区域中拥有最高的资本投入年平均增长率与最高的水资源投入增长率,但劳动力增长率处于三区域最低水平,同时中部地区较高的资本、水资源增长率,但劳动力增长率较低,导致投入要素结构不均衡,中西部地区更易出现水资源投入拥塞现象,可见在生产过程中,合理、均匀、平衡的投入要素结构,能够提高经济发展水平,改善地区经济条件。

4.2 全局水资源利用无效率结果分析

运用模型6-9,将全局水资源利用无效率分解为水资源投入拥塞无效率 c^* 与纯技术无效率 p^* 两部分。对比17年间两种无效率大小,探讨考察期内全

表3 三大区域各投入要素年平均增长率

Table 3 Annual average growth rate of input factors in the eastern, central, and western regions

	水资源	劳动力	资本
东部	0.012	0.019	0.147
中部	0.024	0.012	0.171
西部	0.030	0.009	0.184

局无效率的来源,将31个省份分为两大类(表4),纯技术无效率主导型以及拥塞无效率主导型,为反映各省份拥塞无效率、纯技术无效率对全局无效率的影响变化,选取部分年份进行分析,如图4所示,全国31个省份明显处在不同的状态,大部分省份由拥塞与纯技术导致的无效率共同驱动,但70%以上的省份以纯技术无效率为主导。

由表4可知,有24个省份属于纯技术无效率主导型,全局水资源利用无效率来源主要是纯技术无效率,其中包括东部的北京、天津、上海、浙江等9个省份,中部的山西、安徽、江西、河南等6个省份以及西部的广西、重庆、贵州等9省份。而拥塞无效率主导型的省份包括东部的辽宁、江苏,中部的吉林、黑龙江以及西部内蒙古、四川、新疆。就东中西而言,三大区域的全局无效率主要由纯技术无效率占主导。

如表4、图4所示,在纯技术无效率主导型的省份中,依据全局无效率的变化态势,北京、海南、广东、安徽、河南、广西等省份呈现先下降后上升趋势

表4 中国31个省份全局水资源利用无效率来源分类

Table 4 Classification of inefficiency sources of overall water resources utilization in 31 provinces of China's mainland

类型	纯技术无效率主导型	拥塞无效率主导型
东部	北京、天津、上海、浙江、河北、福建、山东、海南、广东	辽宁、江苏
中部	山西、安徽、江西、河南、湖北、湖南	吉林、黑龙江
西部	广西、重庆、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、西藏	内蒙古、四川、新疆

2020年2月

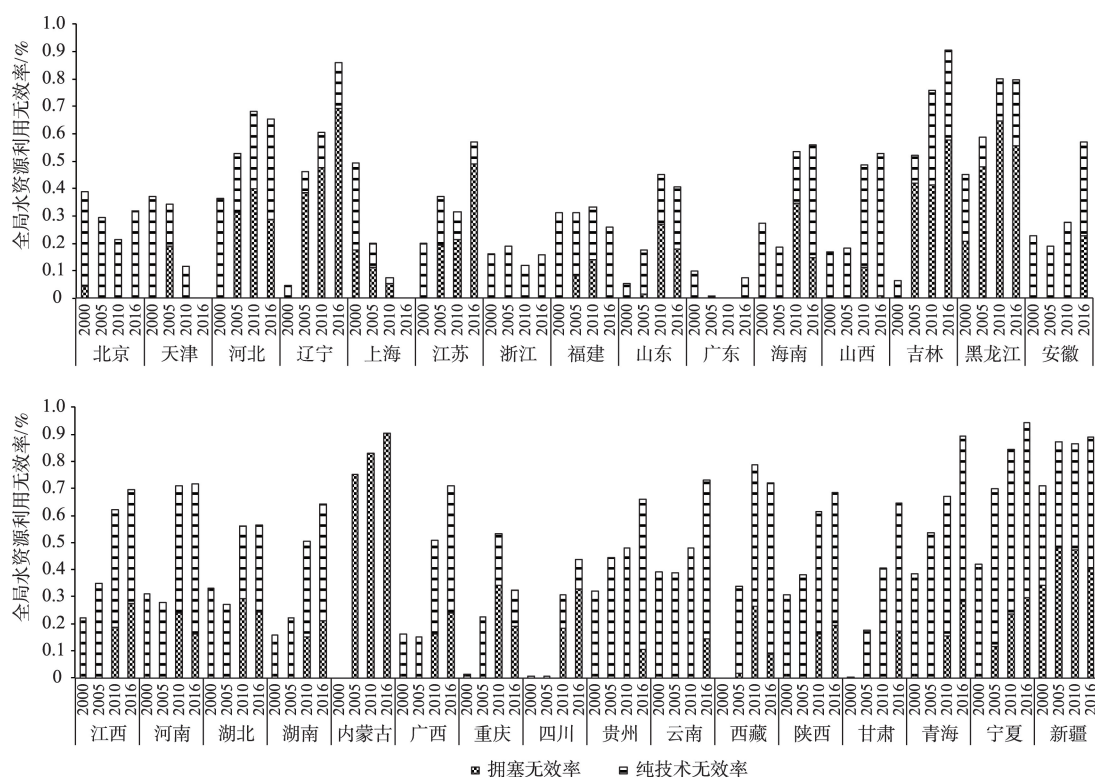


图4 2000—2016年各省份全局水资源利用无效率分解

Figure 4 Decomposition of the overall inefficiency of water resources utilization in 31 provinces, 2000-2016

势,这些省份以2005年为转折点,此后全局无效率在增加,表明2005年之后水资源使用过程中浪费严重,利用效率降低。其中海南2000—2005年无效率全部由纯技术导致,2010年拥塞驱动整体全局无效率上升,此后纯技术无效率为主要因素;广西全局无效率长期由纯技术导致,2010年与2016年拥塞导致无效率驱动全局无效率显著增加;与上述广西、海南等省份明显不同的是,广东2000—2016年未出现拥塞无效率,其全局无效率17年间全部由纯技术导致,2000—2010年技术提高驱动纯技术无效率处于下降态势,到2010年达到最低全局无效率值,为0.000,说明水资源得到充分利用,且水资源投入全部有效,对比投入指标,广东省水资源投入与非水资源投入结构处于平衡状态。浙江全局无效率全部由纯技术导致,与广西的全局无效率来源相同,17年间也未出现拥塞,其全局无效率呈现上升—下降—上升的态势,全局无效率变化差异不大,表明生产过程中技术水平相对稳定。

河北、福建、山东、重庆、西藏全局无效率呈现上升—下降态势,表明这些省份水资源利用效率在

逐步提高,其中西藏在2000年实现水资源利用全部有效,2005—2010年纯技术无效率以及拥塞无效率增加驱动全局无效率上升,2010—2016年减少水资源的投入,明显缓解拥塞现象,拥塞无效率下降,但纯技术无效率增加且占主导,致使全局无效率值较大,为0.721,改善技术条件能够大幅度提高水资源利用效率。山西、江西、湖南、贵州、云南、甘肃等9省份全局无效率一直处于上升态势,表明这些省份水资源在利用方面有待改善,其中云南2000—2010年全局无效率全部是纯技术导致,2010—2016年水资源过度投入导致拥塞产生,拥塞无效率增加促使全局无效率上升。就纯技术无效率主导型省份而言,改善技术条件,淘汰落后技术,提升生产技术水平和管理水平,能够提高水资源利用效率,促进地区经济产出的增加,实现可持续发展。

在拥塞无效率主导型的省份中,依据全局无效率的变化趋势,江苏、新疆全局无效率呈现上升—下降—上升的态势,其中江苏2000年全局无效率全部由纯技术无效率导致,随着技术改进,纯技术无效率不断下降,但拥塞无效率逐渐占主导驱动全局

无效率变化。黑龙江全局无效率呈现上升一下降的态势,其在2010年全局无效率达到最高值为0.799,2010—2016年全局无效率比较稳定,2010年以后,纯技术无效率对全局无效率的贡献增大。辽宁、吉林、内蒙古、四川全局无效率呈现上升趋势,其中辽宁、吉林、内蒙古有较高的拥塞度得分,拥塞无效率长期是造成全局无效率的主要因素。做Pearson相关性可知,在0.01显著相关水平上,拥塞程度与拥塞无效率相关系数为0.940,说明拥塞程度大的省份其拥塞无效率越大。而内蒙古全局无效率在考察期间全部由水资源投入拥塞导致,在2016年达到最高值0.903,表明合理减少水资源投入是提高水资源利用效率的有效途径。拥塞本身反映的是输入要素结构的有效性,在拥塞无效率主导型的省份中,内蒙古、新疆、黑龙江、吉林、辽宁易出现水资源投入拥塞效应,以内蒙古为例,受到以畜牧业为主农业形式的限制,导致水资源需求较多,相比投入较少的劳动力资源,易出现投入要素结构失衡,导致拥塞效应的发生;而黑龙江、吉林、辽宁,是东北老工业基地的集中区域,农业以耕作业和畜牧业为主,政府出台东北振兴老工业基地的政策刺激,使对工业投入水资源增多,而农业是较大的水资源需求来源,从原始数据来看,东三省出现人才流失现象,劳动力投入数量下降,资本投入相对较多,使得投入要素结构失衡,易出现拥塞现象。针对拥塞无效率主导型的省份,为提高水资源利用效率,在生产过程中须合理减少水资源的投入,政府可以调节水资源供给,均衡各投入要素投入的结构。

5 结论与讨论

5.1 结论

通过对2000—2016年水资源投入拥塞进行实证研究,得出以下基本结论:

(1)中国存在水资源投入拥塞效应,31个省份拥塞度存在明显差异。在时序演变方面,2000—2016年全国平均拥塞度呈现上升趋势。就东、中、西而言,三大区域之间差距变大,东部拥塞度明显低于中西部。在考察期间各省份拥塞经历由低到高、集聚到分散的演化过程。

(2)在空间格局方面,中国各省份水资源投入

拥塞度地区差异显著。广东、浙江在2000—2016年间未出现拥塞,水资源利用实现全部有效,而内蒙古、新疆等省份拉高全国拥塞度得分。拥塞度得分较高的省份多集中在中西部,投入要素结构非均衡的中、西部地区较经济发展水平高的东部地区更易发生拥塞。

(3)中国各省份全局水资源利用无效率呈现不同的变化态势,大部分省份由拥塞与纯技术导致的无效率共同驱动,但从省际和区域来看,纯技术无效率对全局无效率贡献较大,拥塞无效率也是水资源利用无效率的一个重要来源。

(4)中国31个省份根据全局无效率的来源可分为两大类:纯技术无效率主导型以及拥塞无效率主导型。纯技术无效率主导型的省份包括北京、天津、上海、浙江等24个省份,其中浙江与广东在考察期间全局无效率全部由纯技术无效率导致。拥塞导致无效率主导型的省份包括辽宁、吉林、内蒙古等省份,其中内蒙古17年间由拥塞无效率主导全局无效率。

5.2 讨论

目前,对于水资源利用效率的大量研究只是关注经济区域,而未关注发生在非经济区域的生产活动,排除了水资源过度投入产生的“拥塞效应”。非经济区域的生产活动意味着生产要素存在拥塞以及生产前沿面的后弯^[21],传统的DEA方法,无法识别出发生在非经济区域的“拥塞效应”,进而不能分析由于投入拥塞招致的效率损失。本文的贡献在于,将经济学中的“拥塞”引入到考虑发生在非经济区域生产过程的全要素水资源利用效率研究中,提出水资源投入拥塞的概念,由于非参数方法能够很好地刻画后弯的生产前沿面,应用Färe等^[29]基于投入可处置性角度,应用FGL模型,对拥塞进行识别,研究投入拥塞对效率的影响。将水资源投入拥塞导致无效率从全局无效率中分离出来,并认为过度的水资源消耗以及较低的技术水平会影响地区经济的可持续发展。

鉴于全局无效率成因不同,政府可以针对不同根源,提出提高水资源利用效率的政策,因地制宜,适时调整投入要素结构,改进生产技术,促进地区经济可持续发展。对于纯技术无效率主导型省份,

2020年2月

例如贵州、云南,可淘汰落后技术,改善技术条件,提高生产技术水平与管理水平;对于拥塞无效率主导型的省份,例如,内蒙古、吉林,在生产过程中,政府可以通过调节水资源供给,合理减少水资源的投入,提高水资源利用率。在实际中,由拥塞和纯技术无效率共同驱动的省份,同时考虑这两方面因素以改善水资源利用效率,促进地区经济产出的增加,实现可持续发展

参考文献(References):

- [1] 赵志博,赵领娣,王亚薇,等.不同情景模式下雄安新区的水资源利用效率和节水潜力分析[J].自然资源学报,2019,34(12):2629-2642. [Zhao Z B, Zhao L D, Wang Y W, et al. Analysis of water resources utilization efficiency and water saving potential in Xiong'an New Area under different scenarios[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(12): 2629-2642.]
- [2] 潘忠文,徐承红.我国水资源利用与经济增长脱钩分析[J].华南农业大学学报(社会科学版),2019,18(2):97-108. [Pan Z W, Xu C H. Decoupling analysis of water resources utilization and economic growth in China[J]. Journal of South China Agricultural University(Social Science Edition), 2019, 18(2): 97-108.]
- [3] 陈家琦,王浩,杨小柳.水资源学[M].北京:科学出版社,2013. [Chen J Q, Wang H, Yang X L. Water Resources Science[M]. Beijing: Science Press, 2013.]
- [4] 刘钢,吴蓉,王慧敏,等.水足迹视角下水资源利用效率空间分异分析:以长江经济带为例[J].软科学,2018,32(10):107-111. [Liu G, Wu R, Wang H M, et al. Spatial variability analysis of water resources utilization efficiency under water footprint perspective: Case study in Yangtze river economic belt[J]. Soft Science, 2018, 32(10): 107-111.]
- [5] 闪丽洁,张利平,李薇,等.汉江流域基于模糊物元评价和数据包络分析的水资源用水效率评价[J].长江流域资源与环境,2017,26(10):1517-1524. [Shan L J, Zhang L P, Li W, et al. Evaluation of water use efficiency based on fuzzy matter element model and DEA in Hanjiang river basin[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2017, 26(10): 1517-1524.]
- [6] Lu W C. Industrial water-use technical efficiency and potential reduction of CO₂ emissions: Evidence from industry-level data[J]. Carbon Management, 2019, 10(6): 513-522.
- [7] Murwirapachena G, Mahabir J, Mulwa R, et al. Efficiency in South African Water Utilities: A Comparison of Estimates from DEA, SFA and StoNED[R]. Working Papers 780, 2019.
- [8] Sun B Y, Yang X H. Analysis of water resources utilization efficiency in Jilin Province based on DEA method[J]. DEStech Transactions on Computer Science and Engineering, 2019, DOI: 10.12783/dtcese/iteee2019/28828.
- [9] 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. [Wang K L, Liu Y, Shi L J, et al. Yangtze River Economic Zone spatial and temporal disparities in industrial green water resource efficiency and influencing factors based on two-step analysis of EBM-Tobit model[J]. Resources Science, 2017, 39(8): 1522-1534.]
- [10] Chen Q, Ai H S, Zhang Y B, et al. Marketization and water resource utilization efficiency in China[J]. Sustainable Computing: Informatics and Systems, 2019, 22: 32-43.
- [11] 孙才志,马奇飞,赵良仕.基于SBM-Malmquist生产率指数模型的中国水资源绿色效率变动研究[J].资源科学,2018,40(5):993-1005. [Sun C Z, Ma Q F, Zhao L S. Green efficiency changes for water resources in China based on SBM-Malmquist model[J]. Resources Science, 2018, 40(5): 993-1005.]
- [12] 李玲,周玉玺.基于DEA-Malmquist模型的中国粮食生产用水效率研究[J].中国农业资源与区划,2018,39(11):192-199. [Li L, Zhou Y X. Study on water utilization efficiency of China's grain production based on DEA-Malmquist model[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2018, 39(11): 192-199.]
- [13] 俞雅乖,刘玲燕.中国水资源效率的区域差异及影响因素分析[J].经济地理,2017,37(7):12-19. [Yu Y G, Liu L Y. Regional differences and influence factors of water resource efficiency in China: Based on super efficiency DEA-Tobit[J]. Economic Geography, 2017, 37(7): 12-19.]
- [14] McFadden D. Cost Revenue, and Profit Functions[A]. Fuss M A, McFadden D. Production Economics: A Dual Approach to Theory and Applications[C]. Amsterdam: North-Holland, 1978.
- [15] Färe R, Jansson L. Joint inputs and the law of diminishing returns [J]. Journal of Economics, 1976, 36(3): 407-416.
- [16] Domenica M, Francesca S. Congestion analysis to evaluate the efficiency and appropriateness of hospitals in Sicily[J]. Health Policy, 2015, 119(3): 324-332.
- [17] 聂旭飞.中国上市券商效率的评估、分解及影响因素分析[D].济南:山东大学,2018. [Nie X F. Evaluation, Decomposition and Influencing Factors Analysis of the Efficiency of Listed Securities Companies in China[D]. Jinan: Shandong University, 2018.]
- [18] 傅才武,张伟锋.我国省域公共图书馆效率、规模收益及“拥挤”现象研究[J].中国软科学,2017,(10):72-81. [Fu C W, Zhang W F. A study on efficiency, return to scale and "Congestion" of provincial public libraries in China[J]. China Soft Science, 2017, (10): 72-81.]
- [19] Cooper W W, Deng H, Gu B, et al. Using DEA to improve the management of congestion in Chinese industries (1981-1997)[J]. So-

- cio-Economic Planning Sciences, 2001, 35(4): 227-242.
- [20] 孙巍. 转轨时期中国工业生产要素拥挤的特征分析[J]. 管理科学学报, 2004, 7(3): 38-45. [Sun W. Analysis of congestion characteristics of Chinese industrial production factors during transition period[J]. Journal of Management Sciences in China, 2004, 7(3): 38-45.]
- [21] 吴菲. 基于生产理论的全要素能源效率与能源拥挤研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2017. [Wu F. Total-factor Energy Efficiency and Energy Congestion: A Study Based on Production Theory[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2017.]
- [22] 马静, 陈涛, 申碧峰, 等. 水资源利用国内外比较与发展趋势[J]. 水利水电科技进展, 2007, 27(1): 6-10. [Ma J, Chen T, Shen B F, et al. Comparison of water resources utilization and its development at home and abroad[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2007, 27(1): 6-10.]
- [23] Wu F, Zhou P, Zhou D Q. Does there exist energy congestion? Empirical evidence from Chinese industrial sectors[J]. Energy Efficiency, 2016, 9(2): 371-384.
- [24] Färe R, Svensson L. Congestion of production factors[J]. Econometrica, 1980, 48(7): 1745-1753.
- [25] Cooper W W, Gu B S, Li S L. Comparisons and evaluations of alternative approaches to the treatment of congestion in DEA[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 132(1): 62-74.
- [26] Flegg A T, Allen D O. Congestion in the Chinese automobile and textile industries revisited[J]. Socio-Economic Planning Sciences, 2009, 43(3): 177-191.
- [27] Wei Q L, Yan H. Weak congestion in output additive data envelopment analysis[J]. Socio-Economic Planning Sciences, 2009, 43(1): 40-54.
- [28] 郭高晶. 环境约束下中国工业部门能源投入的“拥挤效应”[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2018, 20(6): 18-26. [Guo G J. Research on energy congestion effect of Chinese industrial sectors under the environmental constrains[J]. Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition), 2018, 20(6): 18-26.]
- [29] Färe R, Grosskopf S, Lovell C A K. The Measurement of Efficiency of Production[M]. Boston: Kluwer Nijhoff Publishing, 1985.
- [30] Cooper W W, Thompson R G, Thrall R M. Introduction: Extensions and new developments in DEA[J]. Annals of Operations Research, 1996, 66(1): 1-45.
- [31] Tone K, Sahoo B K. Degree of scale economies and congestion: A unified DEA approach[J]. European Journal of Operational Research, 2004, 158(3): 755-772.
- [32] Sueyoshi T, Sekitani K. DEA congestion and returns to scale under an occurrence of multiple optimal projections[J]. European Journal of Operational Research, 2009, 194(2): 592-607.
- [33] Hu J L, Wang S C. Total-factor energy efficiency of regions in China[J]. Energy Policy, 2006, 34(17): 3206-3217.
- [34] 刘华军, 乔列成, 孙淑惠. 黄河流域用水效率的空间格局及动态演进[J]. 资源科学, 2020, 42(1): 57-68. [Liu H J, Qiao L C, Sun S H. Spatial distribution and dynamic change of water use efficiency in the Yellow River Basin[J]. Resources Science, 2020, 42(1): 57-68.]
- [35] 中国国家统计局. 中国统计年鉴(2001-2017)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2001-2017. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. Statistics Yearbook of China(2001-2017) [M]. Beijing: China Statistics Publishing House, 2001-2017.]
- [36] 中国国家统计局. 中国环境统计年鉴(2001-2017)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2001-2017. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China Statistics Yearbook on Environment(2001-2017) [M]. Beijing: China Statistics Publishing House, 2001-2017.]
- [37] 中华人民共和国水利部. 中国水资源公报(2000-2016)[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000-2016. [Water Resources Department of the People's Republic of China. China Water Resources Bulletin(2000-2016)[M]. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2000-2016.]
- [38] 单豪杰. 中国资本存量K的再估算: 1952-2006年[J]. 数量经济技术经济研究, 2008, 25(10): 17-31. [Shan H J. Reestimating the capital stock of China: 1952 to 2006[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2008, 25(10): 17-31.]
- [39] 黄晶, 宋振伟, 陈卓. 北京市水足迹及农业用水结构变化特征[J]. 生态学报, 2010, 30(23): 6546-6554. [Huang J, Song Z W, Chen F. Characteristics of water foot print and agricultural water structure in Beijing[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(23): 6546-6554.]
- [40] 王新华, 徐忠民, 李应海. 甘肃省2003年的水足迹评价[J]. 自然资源学报, 2005, 20(6): 909-915. [Wang X H, Xu Z M, Li Y H. A rough estimate of water foot print of Gansu Province in 2003[J]. Journal of Natural Resources, 2005, 20(6): 909-915.]

Research on the “congestion effect” in China’s water resources input

SUN Caizhi¹, WANG Chen²

(1. Marine Economy and Sustainable Development Research Center, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China;

2. School of Geography, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China)

Abstract: Under the framework of total factor production, this study defined the concept of water resources input congestion. Based on the FGL (Färe, Grosskopf, and Lovell) model, this study identified the “congestion” of water resources input in 31 provinces of China’s mainland from 2000 to 2016, separated the inefficiency caused by water resources input congestion from the overall inefficiency and clarified the root causes of inefficiency. The results show that: (1) The congestion of water resources input is widespread in China. During the study period, the congestion degree of the provinces changed from low to high and agglomeration to dispersed, and the spatial differences of the congestion degree of water resources input among the provinces were significant. Among them, Beijing, Zhejiang, Guangdong and other provinces and cities had low congestion degree. On the whole, the central and western regions with unbalanced input structure was more prone to congestion than the eastern regions with high level of economic development. (2) The overall inefficiency of water resources utilization in Chinese provinces presented different trends. Most provinces were jointly driven by congestion inefficiency and pure technology inefficiency. From the inter-provincial and regional perspective, the ineffectiveness rate of pure technology was the dominant factor. Inefficiency of congestion was also an important factor affecting the overall inefficiency. The government should clarify the root causes of inefficiency, adjust the input factor structure in a timely manner based on local conditions, propose improvement directions for water resources utilization, and improve water use efficiency in order to promote sustainable economic development.

Key words: total-factor water efficiency; DEA model; FGL model; congestion; China