

# 中国工业的用水效率与决定因素

## ——资源和环境双重约束下的分析

李静 任继达

(合肥工业大学经济学院, 合肥 230601)

**【摘要】** 工业用水效率的提升已经成为我国工业协调可持续发展的必然要求。本文基于中国30个省区2005~2015年的面板数据,利用最新DEA模型——MinDS估计了各地工业的用水效率;利用Tobit模型考察了不同区域的影响因子对工业用水效率的作用。研究发现:全国总体的平均用水效率为0.75,东中西的平均用水效率分别为0.79、0.70和0.77,纯技术用水效率东部表现最好,而规模效率西部地区表现最优。另外,南方省区的工业用水效率要低于北方省市。工业化比重对工业用水效率产生正向影响,而用水规模对其产生负向影响。文章给出了加大中西部的技术引入、协调南北方省市的工业用水效率和提高东中部的环境治理能力等政策建议。

**【关键词】** 工业用水效率 MinDS模型 影响因素 区域差异 Tobit模型 污水治理

DOI:10.3969/j.issn.1004-910X.2018.01.015

〔中图分类号〕F424.1 〔文献标识码〕A

### 引言

改革开放以来,我国工业的发展十分迅速,但整体的工业用水效率却不是很高,工业的未来可持续性发展严重受制于目前工业水资源短缺以及水污染的双重约束问题。

国内外有关学者对用水效率的研究主要在农业领域,只有很少一部分学者在工业领域进行实证研究。针对我国人均水资源贫乏和工业用水效率低下的国情,本文基于DEA新模型——MinDS模型对我国东中西<sup>①</sup>三大区域30个省市的工业用水效率进行实证分析,并且引入了非期望产出COD和氨氮排放量,这两个指标更能真实的反映出我国不同区域的工业用水的环境约束状况。本文还将通过Tobit模型分析影响工业用水的相关因素,有针对性地给出一些建议,以提高我国的工业用水效率,促进工业的可持续发展。

传统的DEA模型多是径向模型,比如CCR或BCC模型,它们的特点是投入缩减或产出增加都是同比例变化的,存在着一些无法改变的松弛

性问题。Tone提出的SBM模型能最大限度地纠正径向模型可能存在的松弛性问题,得到的技术效率最大程度地识别了径向模型可能存在的松弛测度问题。但传统的SBM模型采用强有效前沿上最远的投影点存在明显的不合理之处,使得多数无效的DMU无法在短期之内达到或追赶上前沿有效的单元,现实中也“挫伤”了它们追赶的积极性,不利于整体DMU技术进步或生产效率的改善。而MinDS模型则采用与前沿面最小距离来衡量DMU的效率,不会存在“挫伤”追赶的积极性这种情况,弥补了SBM模型的缺点,有利于整体DMU技术进步或生产效率的改善,所以采用MinDS模型也是本文主要的方法创新。

### 1 文献综述

国外大多数学者对水资源利用效率的研究大多集中在农业上,很少有对工业用水效率进行研究。Karagiannis等(2003)用随机前沿技术分析了灌溉用水的技术效率<sup>[1]</sup>。Eleftheriadou(2008)通过博弈分析来化解跨界用水冲突的相关问题,

收稿日期:2017-07-20

基金项目:国家自然科学基金面上项目“资源与环境双重约束下的产业用水效率研究”(项目编号:71473068)。

作者简介:李静,合肥工业大学经济学院副教授,博士,硕士生导师。研究方向:资源与环境经济。任继达,合肥工业大学经济学院本科生。研究方向:经济学。

并且用纳什均衡分析了合作与不合作情况下的最优解<sup>[2]</sup>。Bithas (2008) 在对北欧相关国家的用水效率进行实证分析时, 认为要实现水的长期持续利用, 必须提高水资源的利用效率<sup>[3]</sup>。Allan (2011) 在分析水资源利用效率后, 也提出了与 Bithas 类似的观点<sup>[4]</sup>。

国内的一些学者在我国工业用水的节水潜力方面做了相关的研究。雷玉桃等 (2015) 选用 SFA 模型, 对 13 个主要工业省区 1999~2013 年的面板数据进行实证研究<sup>[5]</sup>。朱启荣 (2007) 对各地区的节水潜力进行了分析测算<sup>[6]</sup>。还有一些学者研究了具体地区的工业用水效率问题, 如王莹 (2014) 运用 DEA 中的 BCC 模型对江苏省 2002~2012 年的工业用水效率进行实证分析<sup>[7]</sup>。胡彪等 (2016) 运用 SBM 模型对京津冀地区 2004~2013 年的城市工业用水效率进行实证分析<sup>[8]</sup>。还有相关学者进行了地区工业用水资源利用效率的预测分析, 如曹思齐 (2014) 基于 DEA 窗口分析方法, 对泛长三角区域工业用水效率进行预测<sup>[9]</sup>。

国内外学者多数使用 SFA 或传统 DEA 方法研究了用水效率问题, SFA 受制于单一产出的问题, 而传统 DEA 要么未考虑松弛性问题, 要么过度考虑松弛性问题, 导致对非有效的单元进一步改善用水效率产生消极影响。而且国内有关学者在工业用水效率方面的相关研究, 主要集中在特定区域内或者城市内的工业用水效率或者节水潜力, 对我国不同地区的工业用水效率研究比较少, 所以有必要对我国不同地区的工业用水效率进行再探讨。

## 2 方法与数据情况

### 2.1 MinDS 模型

鉴于 MinDS 的优势, 本文采用其作为用水效率的测算方法, 求解 MinDS 模型的大致有 2 种方法:

方法 1: 找到前沿的所有支撑面 (以线性函数表示), 分别计算无效 DMU 至各个支撑面的最小距离, 最后确定其中最小的距离。Tone 以非导向模型为例介绍了 MinDS 模型的计算方法:

(1) 假设有  $n$  个 DMU, 其中经 SBM 模型判

定为有效的  $k$  个 DMU 的集合记为  $E = \{j | \rho_j = 1\}$  (这  $k$  个 DMU 是前沿所有支撑面的顶点)。

(2) 罗列出集合  $E$  的所有非空子集。用一个子集中的所有 DMU 通过线性组合构建出一个新的 DMU (线性组合系数  $\lambda > 0$ )。例如, 如果子集  $E_1 = \{A, B\}$ , 则新的 DMU 可以为  $0.5A + 0.5B$ 。将这个新的 DMU 放入原数据中, 并用 SBM 模型检验是否为有效 DMU。如果这个新的 DMU 有效, 则称该子集为集合  $E$  的一个有效子集。有效子集内的 DMU 位于前沿的同一支撑面上。重复上述过程找出集合  $E$  的所有有效子集。

(3) 用集合  $E$  的一个有效子集  $E_z$  作为参考集, 求解模型 (1), 获得效率值  $\rho_z$ 。模型 (1) 的参考集为集合  $E$  的一个有效子集。

$$\begin{aligned} \max \rho &= \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i^- / x_{ik}}{1 + \frac{1}{q} \sum_{r=1}^q s_r^+ / y_{rk} - \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n s_t^- / z_{tk}} \\ \text{s.t. } \sum_{j \in E_z} \lambda_j x_{ij} + s_i^- &= x_{ik} \\ \sum_{j \in E_z} \lambda_j y_{rj} - s_r^+ &= y_{rk} \quad \sum_{j \in E_z} \lambda_j z_{tj} + s_t^- = z_{tk} \lambda, \\ s_i^-, s_r^+, s_t^- &\geq 0 \end{aligned} \tag{1}$$

重复这一过程, 遍历所有有效子集, MinDS 模型的效率值为:

$$\rho^{\max} = \max \{ \rho_z \}, z = 1, 2, \dots \tag{2}$$

当有效 DMU 数量很多时, 通过这种方法求解最小距离的计算过程会非常繁复。因而这种方法仅适用于有效 DMU 数量较少的情况。

方法 2: 相对于 Tone 的方法, Aparicio 等人 (2007) 设计的方法不需要确定所有前沿的超平面, 而是通过增加约束条件, 将被评价 DMU 的参考标杆限制在同一超平面内。在通过 SBM 模型确定有效 DMU 之后, 无论有效 DMU 数量是多少, Aparicio 提出的方法都只须一个规划模型, 即可求解 MinDS 模型。Aparicio 的方法如下:

(1) 假设有  $n$  个 DMU, 其中经 SBM 模型判定为有效的 DMU 的集合为  $E$ ;

(2) 求解以下混合整数线性规划, 获得 MinDS 效率值:

$$\max \rho_k = \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (1 - s_i^- / x_{ik})}{\frac{1}{q} \sum_{r=1}^q (1 + s_r^+ / y_{rk}) + \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (1 + s_t^- / z_{tk})}$$

$$s.t. \sum_{j \in E} x_{ij} \lambda_j + s_i^- = x_{ik}, i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j \in E} y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = y_{rk}, r = 1, 2, \dots, q$$

$$\sum_{j \in E} z_{tj} \lambda_j + s_t^- = z_{tk}, t = 1, 2, \dots, n$$

$$s_i^- \geq 0, i = 1, 2, \dots, m$$

$$s_r^+ \geq 0, r = 1, 2, \dots, q$$

$$s_t^- \geq 0, t = 1, 2, \dots, n$$

$$\lambda_j \geq 0, j \in E$$

$$- \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \sum_{r=1}^q \mu_r y_{rj} - \sum_{t=1}^n \beta_t z_{tj} + d_j = 0, j \in E$$

$$v_i \geq 1, i = 1, 2, \dots, m$$

$$\mu_r \geq 1, r = 1, 2, \dots, q$$

$$\beta_t \geq 1, t = 1, 2, \dots, n$$

$$d_j \leq M b_j, j \in E$$

$$\lambda_j \leq M(1 - b_j), j \in E$$

$$b_j \in \{0, 1\}, j \in E$$

$$d_j \geq 0, j \in E \quad (3)$$

其中  $M$  是一个足够大的整数, 而且只有松弛变量都为 0, 那些被评价的 DMU 才会最优。最重要的是 MinDS 模型可以对非期望产出指标进行分

析且能使投入产出指标能以最小的代价达到最有效率的期望目标。

利用 MinDS 模型计算的最优用水量, 即是各年度相对于工业生产前沿用水的最优使用量  $W^*$ , 用其与实际用水量  $W$  的比值  $W^*/W$  即为各省区工业用水效率。与 CCR 和 BCC 模型类似, MinDS 模型也可以用于规模报酬不变 CRS 和可变 VRS 的求解, 前者求解的用水效率是总体用水效率  $W_C$ , 后者为纯技术用水效率  $W_V$ , 两者的差别为用水规模效率  $W_S$ , 他们的关系表示为  $W_C = W_V * W_S$ 。

## 2.2 变量选取和数据来源

### 2.2.1 变量选取

本文选取了 2005~2015 年我国东中西 3 个区域 30 个省市相关的投入和产出指标来分析不同地区的工业用水效率的差异。选取的工业从业人员、工业净资产、工业用水量投入指标和期望产出工业增加值、非期望产出工业 COD 排放量和氨氮排放量产出指标的相关数据来自于 2005~2016 年《中国统计年鉴》和《中国环境统计年鉴》。其中工业增加值和工业净资产值均平减为 2004 年不变价格。

## 3 实证结果分析

根据 2005~2015 年的投入产出指标, 计算出我国 30 个省份的工业用水效率, 结果如下:

表 1 2005~2015 年全国 30 个省份工业用水效率

	东部地区											
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	均值
北京	1	1	1	0.83	0.84	1	1	1	1	0.86	1	0.96
天津	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.00
河北	1	1	1	1	1	0.94	1	1	1	0.79	1	0.98
辽宁	1	1	1	1	1	0.98	1	1	1	0.81	1	0.98
上海	1	0.14	0.12	0.1	0.3	0.16	1	1	0.07	0.08	0.08	0.37
江苏	0.17	0.1	0.1	0.31	0.2	0.4	0.68	0.63	0.18	0.16	0.11	0.28
浙江	1	0.26	0.26	0.63	0.7	1	1	1	1	0.98	0.9	0.79
福建	0.29	0.3	0.16	0.21	0.42	0.32	0.63	0.65	0.66	0.64	0.49	0.43
山东	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.00
广东	1	0.19	0.29	0.79	0.86	0.74	1	1	1	1	1	0.81
海南	0.65	1	1	1	0.59	1	1	1	1	1	0.18	0.86
均值	0.83	0.64	0.63	0.72	0.72	0.78	0.94	0.93	0.81	0.76	0.71	0.77

续 表

中部地区												
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	均值
山西	1	1	1	1	1	1	1	0.63	0.66	0.66	1	0.90
吉林	1	0.81	0.85	0.78	1	1	1	0.6	0.54	0.82	0.91	0.85
黑龙江	0.59	0.31	0.72	0.94	0.75	0.57	0.6	0.48	0.56	0.95	0.89	0.67
安徽	0.45	0.27	0.44	0.58	0.49	0.5	0.53	0.44	0.47	0.63	0.53	0.48
江西	0.35	0.31	0.47	0.8	0.9	0.8	0.63	0.69	0.69	0.77	0.72	0.65
河南	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.6	0.65	0.93
湖南	1	0.29	1	0.91	0.6	0.57	0.51	0.45	0.48	0.67	0.53	0.64
湖北	0.6	0.37	0.53	0.6	0.46	0.4	0.4	0.36	0.52	0.75	0.65	0.51
均值	0.75	0.55	0.75	0.83	0.78	0.73	0.71	0.58	0.62	0.73	0.74	0.70
西部地区												
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	均值
广西	0.59	0.18	0.3	0.7	0.75	0.83	0.64	0.73	0.69	0.6	0.48	0.59
内蒙古	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.46	0.42	0.90
重庆	0.44	0.23	0.36	1	1	1	1	1	1	1	1	0.82
四川	0.62	0.54	0.58	1	1	1	1	1	1	1	1	0.89
贵州	0.27	0.31	0.38	0.76	0.7	0.71	0.74	0.55	0.81	0.74	0.68	0.60
云南	0.35	0.4	0.41	0.43	1	1	0.82	0.41	0.46	0.41	0.59	0.57
陕西	0.71	0.77	1	1	1	1	1	0.82	0.81	0.78	1	0.90
甘肃	0.76	0.54	1	0.9	1	1	0.94	0.52	0.63	0.53	0.93	0.80
青海	0.37	0.4	0.52	0.48	1	1	1	0.92	0.82	0.75	1	0.75
宁夏	0.94	1	1	1	1	1	1	0.93	0.93	0.59	0.7	0.92
新疆	1	1	1	1	1	1	0.96	1	1	0.61	1	0.96
均值	0.64	0.58	0.69	0.84	0.95	0.96	0.92	0.81	0.83	0.68	0.80	0.79

从表1中可以明显的看出,中国各省区的工业用水效率存在明显的差异,总体来看东部区域和西部区域的工业用水效率要高于中部区域,与之前的工业用水现状基本相同。中部地区的工业用水效率最低,主要是因为没有先进的技术和人才作为支撑,而且近年来它率先承接了东部大量的产业转移,也对环境产生了较大污染,导致它的总体工业用水效率最低。而西部地区虽然没有技术和人才的优势,但是它的生态环境和污染处理是3个地区做的最好的,所以这部分的优势弥补了它在经济发展方面的不足。东部地区本身就是最发达的地区,具有先进的人才和技术,即使环境和污染排放这方面做的不是很好,但最后总

的工业用水效率也较为可观。

我国的工业用水效率除了东中西之间的总体差异之外,各个区域的内部也存在着显著的差异。例如东部地区的天津和山东的工业用水效率最高,这10年间的工业用水效率平均值为1,河北、辽宁和北京的工业用水效率也较为显著,平均效率值均在0.95以上,而江苏的工业用水效率平均值仅为0.28,上海为0.37,即在东部地区呈现出北方城市的工业用水效率要大于南方城市,中西部地区也有类似情况,例如:山西、吉林的工业用水效率明显高于湖南和湖北的工业用水效率;内蒙古和新疆的工业用水效率明显高于云南和贵州的工业用水效率。出现这种情况的主要原因是北

方城市在缺水的环境下会投入资金和引进技术来提高用水效率,而南方城市因为水资源丰富,所以就会形成粗放型工业用水倾向,导致用水效率不高。

从时间梯度来看,东部地区的工业用水效率呈现先增加后减少的趋势,从2006年的0.64增加到2011年的0.94之后又降低到2015年的

0.71。中部地区近5年则呈现基本平稳的态势,大体效率维持在0.74左右。西部地区总体呈现先增加后下降的趋势,从2006年的0.58到2010年的0.96,最后又到2015年的0.8。基本上3个地区近3年的用水效率维持在0.6~0.85之间,且没有较大的趋势变动,即用水效率趋向稳定,但还有一定的提升空间。

表2 2005~2015年中国工业用水效率平均值

东 部	CRS 用 水效率	VRS 用 水效率	用水规 模效率	中 部	CRS 用 水效率	VRS 用 水效率	用水规 模效率	西 部	CRS 用 水效率	VRS 用 水效率	用水规 模效率
北 京	0.9573	0.9900	0.9664	山 西	0.9045	0.9827	0.9182	广 西	0.5900	0.6945	0.8545
天 津	1.0000	1.0000	1.0000	吉 林	0.8464	0.9791	0.8664	内 蒙 古	0.8982	0.8936	1.0118
河 北	0.9755	1.0000	0.9755	黑 龙 江	0.6691	0.8282	0.8164	重 庆	0.8209	0.8982	0.8973
辽 宁	0.9809	1.0000	0.9809	安 徽	0.4845	0.5491	0.8809	四 川	0.8855	0.9200	0.9664
上 海	0.3682	0.7045	0.6000	江 西	0.6482	0.8500	0.7791	贵 州	0.6045	0.7209	0.8336
江 苏	0.2764	0.9200	0.3464	河 南	0.9318	0.9373	0.9909	云 南	0.5709	0.7373	0.7991
浙 江	0.7936	1.0000	0.7936	湖 南	0.6373	0.7991	0.8264	陕 西	0.8991	0.9782	0.9173
福 建	0.4336	0.4627	0.9345	湖 北	0.5127	0.5827	0.8882	甘 肃	0.7955	0.9127	0.8745
山 东	1.0000	1.0000	1.0000					青 海	0.7509	1.0000	0.7509
广 东	0.8064	1.0000	0.8064					宁 夏	0.9173	0.9755	0.9400
海 南	0.8564	1.0000	0.8555					新 疆	0.9609	0.9991	0.9618
均 值	0.7680	0.9161	0.8417	均 值	0.7043	0.8135	0.8708	均 值	0.7903	0.8845	0.8916

由表2可知:在CRS用水效率中,只有天津市和山东省这两个地区为1,其他地区小于1。其中江苏最低,仅为0.2764。从中国东中西3个区域来看,西部的CRS用水效率最高,为0.7903,东部次之为0.7680,中部最低仅为0.7043。说明总体来看西部的工业用水综合效率最高,从表中可以看出即使西部的纯技术用水效率不是很高,但它的用水规模效率最高,表明西部地区对水资源和污水排放的管理水平是3个地区中最好的,且在这方面的优势远远的弥补了在技术方面的不足。在VRS用水效率中,东部最高为0.9161,西部次之为0.8845,中部最低为0.8135。因为东部地区是全国最发达的地区,所以具有人才和资金的优势,因此在纯技术用水效率方面排名第一。在用水规模效率方面,西部地区最高为0.8916,中部地区次之为0.8708,东部地区最低为

0.8417。说明在工业用水管理和污水处理方面东部地区最差,所以东部地区应在保证高纯技术用水效率的基础上提高用水规模效率。总体而言,在纯技术用水效率方面东部地区表现最好,在用水规模效率方面西部地区表现最好,而中部地区则应该在这两方面都要加强,主要是因为中部地区是以依赖能源和原料为核心的重工业区,所以污染特别严重,而且这种粗放型的工业技术水平也不是很高。

#### 4 中国工业用水效率影响因素分析

##### 4.1 影响因素选取

本文从自然地理因素、经济发展水平、用水状况和产业结构这4个方面进行选取。

##### 4.1.1 自然地理因素( $X_1$ )

各个地区的人均水资源差异明显对工业用水效率有一定的影响,本文选取各地区的人均水资

源量来代表不同地区的自然地理环境。

#### 4.1.2 经济发展水平 ( $X_2$ )

不同地区的经济发展水平差异会导致各地区的技术水平的异质性,自然会影响到工业的用水效率。而各个地区的人均GDP能很好的反映各个地区的经济发展水平,本文选取不同地区的人均GDP代表不同地区的经济发展程度来分析对工业用水效率的影响。各个地区的人均GDP均平减为2004年的不变价格。

#### 4.1.3 产业结构 ( $X_3$ )

各个地区的产业结构会对用水的规模及效率产生不同程度的影响,如果一个地区的工业发展程度高,会通过规模效应和技术效率对该地区的工业用水效率产生影响,本文选择第二产业比重指标表示该影响因素。

#### 4.1.4 用水状况 ( $X_4$ )

各个地区的工业用水状况存在很大差异,且粗放型工业模式下的工业用水量会很大,会导致用水效率很低;相反,则呈现正向作用。本文选择工业用水量比重指标表示该影响因素。

### 4.2 模型建立

由于工业用水效率值最高为1,所以就要使用左右两端可以截尾的特殊因变量模型——Tobit模型。因为工业用水效率处理后的数据为100以内的数值,所以右端的值应取100。因为利用固定效应Tobit模型去操作面板数据被证明是有偏的,同时也存在条件性限制等问题,所以本文使用随机效应Tobit模型<sup>[10]</sup>:

$$e_{it}^* = \eta + E'_{it}\delta + v_i + \varepsilon_{it}$$

$$e_{it} = \begin{cases} e_{it}^* & 0 < e_{it}^* \leq 100 \\ 0 & e_{it}^* < 0 \\ 100 & e_{it}^* > 100 \end{cases} \quad (4)$$

其中: $e_{it}^*$ 是潜在变量, $e_{it}$ 是被观察到的变量; $E'_{it}$ 是解释变量向量, $v_i$ 是不随时间变化但随个体变化而变化的随机变量, $\varepsilon_{it}$ 是随个体和时间而独立变化的随机变量,这两种随机效应独立且均服从正态分布; $\delta$ 是参数向量, $\eta$ 是常数。

结合上面Tobit模型的基本形式和本文所选取的4个影响因素变量,我们构建了工业用水效率及其影响因素的计量模型:

$$Y_{it} = C + \partial_1 X_{1it} + \partial_2 X_{2it} + \partial_3 X_{3it} + \partial_4 X_{4it} + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

式中, $Y_{it}$ 表示中国工业第*i*个省区第*t*年的工业用水效率, $C$ 表示常数项, $X_{1it}$ 、 $X_{2it}$ 、 $X_{3it}$ 和 $X_{4it}$ 分别代表人均水资源量、人均GDP、第二产业比重和工业用水比重, $\varepsilon_{it}$ 是随机误差项。在构建了中国工业用水效率影响因素的回归分析模型的基础上,本文使用Stata13.1软件进行数据的处理和回归。

本文选取我国30个省市的面板数据,时间跨度为2005~2015年,各省市的工业用水效率值为前面用MinDS模型计算出的数值。

### 4.3 影响因素分析

采用Tobit模型对我国东中西部及全国地区的面板数据进行回归分析,结果如下:

表3 Tobit 面板数据回归结果

变量	全国	东部地区	中部地区	西部地区
常数项	116.3286***	152.8918**	180.1809***	-28.6295
$X_1$	-8.3708**	-9.2701	-13.0515***	-5.3976
$X_2$	8.1149*	22.3172*	-10.7659	11.6949
$X_3$	1.3888***	1.1917	0.9545*	3.4147***
$X_4$	-1.7897***	-2.9527***	-2.1081***	-0.3721

注:\*, \*\*, \*\*\* 分别表示在10%, 5%, 1%的显著性水平下通过检验。

从表3中可以看出,全国范围内第二产业比重和工业用水比重的系数的显著性水平都在1%

以下,第二产业的系数为1.3888,说明在全国范围内,某地区的第二产业所占的权重越大,越能

发挥该地区的第二产业的规模效应,即规模经济对工业用水效率会产生正向影响。而工业用水比重的系数为-1.7897,说明在全国范围内,工业用水比重会对工业用水效率产生负向影响,工业用水比重每提高1%,工业用水效率就会下降1.7897%。人均水资源的系数的显著性水平在5%以下,其系数为-8.3708,说明在全国范围内,人均水资源会对工业用水效率产生负向影响。人均GDP的系数是在显著性水平10%以下勉强通过检验,虽然显著性程度稍低,但也在一定程度上说明了经济发展会对工业用水效率产生正向影响。

分地区观察,东部地区,只有人均GDP和工业用水比重的系数通过了显著性检验,其中工业用水比重的系数的显著性水平在1%以下,且工业用水比重系数为-2.9527,说明在东部地区,工业用水比重每提高1%,工业用水效率就会下降2.9527%。而东部地区的人均GDP的系数是在显著性水平10%以下勉强通过检验,与全国的趋势相同,都在一定程度上说明了发展水平对工业用水效率的正向影响。

中部地区的人均水资源和工业用水比重的系数都通过了1%的显著性检验,且人均水资源的系数为-13.0515,即水资源每提高1%,工业用水效率就会减少13.0515%。工业用水比重的系数为-2.1081,即工业用水比重会对工业用水效率产生负向影响。中部地区第二产业比重系数在显著性水平10%以下通过检验且为正,也在一定程度上说明了第二产业的规模效应对工业用水效率的正向影响。

西部地区只有第二产业比重的系数通过了显著性检验,且显著水平在1%以下,系数为3.4147,即第二产业的比重每提高1%,西部地区的工业用水效率就会提高3.4147%,与全国和中部地区的趋势相同,都是产生正向影响。即在西部地区应该注重发挥第二产业的规模效应。

## 5 结论和政策含义

### 5.1 结论

本文使用较新的非参数方法MinDS模型,考虑了工业水资源和环境双重约束下各省区工业用水的效率,并使用Tobit模型分析了影响因素。主

要研究结论如下:

(1) 利用MinDS模型和我国30个省市2005~2015年的投入和产出指标计算出我国不同省市的工业用水效率,发现在纯技术用水效率方面东部地区要远远高于中西部地区,而用水规模效率方面西部地区表现较佳。而中部地区在上述两方面表现都较为欠缺,它的综合用水效率最低,这种现象主要是因为中部地区是以依赖能源和原料为主的重工业区,且承接了东部地区逐步转移的一些粗放型产业,环境质量不高,而且这种粗放型的工业技术水平也导致中部地区的整体用水效率偏低。

(2) 工业用水效率除了区域间的差异外,各个地区内部也存在着明显的差异。总体来看各个区域内部的北方省区的工业用水效率要高于南方省区。原因是南方省市本身水资源丰富,所以其工业发展模式大多为粗放型发展模式,导致水资源的利用效率不高。

(3) 对影响因素的面板数据进行Tobit分析,发现在全国范围内第二产业通过规模效应会提高工业用水效率,工业用水比重过大的地区会降低工业用水效率。人均水资源会对工业用水效率产生负向影响,人均GDP也有正向影响的趋势。在东部地区主要应该关注各地区的工业用水比重问题,在中部地区工业用水比重和人均水资源会对工业用水效率产生负面影响,西部地区则应该注意第二产业的可持续发展。

### 5.2 政策含义

(1) 提高工业的绿色技术进步,摒弃传统的粗放式工业发展模式。政府可以出台一些相关的优惠政策,用来吸引东部地区先进的技术流向中西部,尽快把那些粗放型工业转型为集约型工业,这样才能有效的提高中西部的纯技术用水效率。

(2) 适度提高水资源的价格水平,通过水资源的价格机制引导工业节水。南方省市整体的水资源较丰富,导致用水效率不是很高,在该地区适度提高水资源的价格水平,会使那些粗放型工业自觉的减少工业用水量,进而提高其工业用水效率。而北方省市因为水资源稀缺,解决缺水问

题的同时,应更多地通过价格机制来引导水资源的保护。

(3) 注重工业的水污染治理,提高工业用水的循环利用。提高东部和中部地区的工业污水处理能力,因为目前来看只有西部地区的用水规模效率最高,且COD和氨氮排放量最少,东中部地区在这方面有很大的提升空间。政府应该引导企业引进先进的国外废水处理设备,充分吸收国外先进工艺精髓,逐步淘汰陈旧的工业生产设备,来提高我国工业的废水处理能力,而且通过其他经济或行政手段严格规范和执行水环境的治理,达到工业的可持续性发展。

注释:

①东部:北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南,中部:山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖南、湖北,西部:广西、内蒙古、重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆(西藏数据缺失,未纳入样本)。

#### 参 考 文 献

[1] Karagiannis, G. Tzouvelekas, V. & Xepapadeas, A. Measuring Irrigation Water Efficiency with a Stochastic Production Frontier [J]. *Environmental and Resource Economics*, 2003, 26: 57~

72.

- [2] Eleftheriadou, E & Mylopoulos, Y. Game Theoretical Approach to Conflict Resolution in Transboundary Water Resources Management [J]. *Journal of Water Resources Planning & Management*, 2008, 134 (5): 466~473.
- [3] Kostas Bithas. The Sustainable Residential Water Use: Sustainability, Efficiency and Social Equity: The European Experience [J]. *Ecological Economics*, 2008, 68 (2): 221~229.
- [4] Tony Allan. Virtual Water: Tackling the Threat to Our Planet's Most Precious Resource [M]. I. B. Tauris, 2011.
- [5] 雷玉桃, 黄丽萍. 基于SFA的中国主要工业省区工业用水效率及节水潜力分析: 1999~2013年 [J]. *工业技术经济*, 2015, (3): 49~57.
- [6] 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, 26 (9): 48~51.
- [7] 王莹. 基于DEA的江苏省工业水资源利用效率研究 [J]. *水利经济*, 2014, 32 (5): 19~22.
- [8] 胡彪, 侯绍波. 京津冀地区城市工业用水效率的时空差异性研究 [J]. *干旱区资源与环境*, 2016, 30 (7): 1~7.
- [9] 曹思齐. 最严格水资源管理制度下的区域工业用水效率预测研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2014.
- [10] 李静, 马潇琛. 资源与环境双重约束下的工业用水效率 [J]. *自然资源学报*, 2014, 29 (6): 920~933.

## Study on Efficiency of Industrial Water Use in China Based on MinDS Model ——An Empirical Analysis Under the Dual Restrictions of Resources and Environment

Li Jing Ren Jida

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

[Abstract] Improving the efficiency of industrial water use has become an inevitable requirement for the coordinated and sustainable development of China's industry. Based on the panel data of China's 30 provinces and cities in 2005-2015, the latest DEA model —MinDS was used to estimate the water efficiency of industrial. Then this paper uses Tobit model to investigate the effects of different regional factors on industrial water use efficiency. The results show that the average water use efficiency is 0.75 in the whole country, and the average water use efficiency in the east, the middle and the west are 0.79, 0.70 and 0.77 respectively, and the pure tech of water use efficiency is the best in the east, but the scale of water use efficiency is the best in the western region. In addition, the efficiency of industrial water use in the southern provinces is lower than that in the northern provinces. The proportion of industrialization has a positive impact on the efficiency of industrial water use, and the scale of water consumption has a negative impact on it. The article gives suggestions such as increasing the introduction of tech in the central and western regions, coordinating the industrial water use efficiency between the southern and northern provinces and improving the sewage treatment capacity in the eastern and central regions.

[Key words] industrial water efficiency; MinDS model; influencing factors; regional differences; Tobit model; sewage treatment

(责任编辑:史琳)