

基于 SFA 的工业用水节水潜力分析

雷贵荣¹, 胡震云¹, 韩 刚²

(1. 河海大学商学院, 江苏 南京 210098 ; 2. 徐州市水利局, 江苏 徐州 221002)

摘要 构建基于随机前沿生产函数的工业用水节水潜力计算模型, 认为节水潜力是技术充分有效、不存在任何效率损失情形下的工业最小用水量与实际用水量的差, 是用水户在现有的生产技术、用水结构、水资源管理制度、用水意识、投资能力等因素综合作用下能达到的目标。以徐州市为例进行计算分析, 指出徐州工业技术效率呈现上升趋势, 总体节水潜力为当前用水量的 22.52%。

关键词 工业用水技术效率; 节水潜力; 随机前沿生产函数

中图分类号 TU991.4 **文献标识码** A **文章编号** 1004-693X(2010)01-0066-04

Analysis of water-saving potential in industry based on stochastic frontier production function (SFA)

LEI Gui-rong¹, HU Zhen-yun¹, HAN Gang²

(1. Business School, Hohai University, Nanjing 210098, China ; 2. Xuzhou Water Conservancy Bureau, Xuzhou 221002, China)

Abstract: The industrial water-saving potential model was built based on the stochastic frontier production function (SFA). The industrial water-saving potential was considered the difference between actual water usage and the minimum industrial water consumption under the condition of effective technology and with no efficiency loss, and it is the water-saving target that could be reached with a combination of newer production technology, water use structures, water resources management systems, water use awareness, and greater investment capacity. Using Xuzhou City of Jiangsu Province as a case study to verify practicability of the built model, it was pointed out that the Xuzhou industrial effective technology appeared to have an upward trend, and industrial water-saving potential is 22.52% of the current water consumption.

Key words: technical efficiency of water consumption in industry; industrial water-saving potential; stochastic frontier production function (SFA)

我国人均淡水资源只有世界平均水平的 1/4, 是世界上人均水资源最贫乏的国家之一。目前, 我国正处于向工业化迈进的关键阶段, 随着工业的不断发展, 工业用水量呈现迅速增长的态势。我国工业用水量 1949 年为 24 亿 m³, 占用水总量的 0.23%^[1]; 1980 年为 457 亿 m³, 占用水总量的 2.7%^[2]; 2000 年为 1 139 亿 m³, 占用水总量的 20.7%^[3]; 2007 年已达 1 404 亿 m³, 占用水总量的 24.13%^[4]。因此, 大力开展工业节水, 挖掘节水潜

力是我国工业可持续发展的必然选择。

我国对工业用水节水潜力的核算主要是采用《全国水资源规划大纲》实施技术细则(2002)中的节水潜力定义, 以各部门、各行业(或作物)通过综合节水措施所达到的节水指标为参考标准, 现状用水水平与节水指标的差值即为最大可能节水数量。其中节水指标常见的有工业用水重复利用率、万元工业增加值取水量等, 这些指标值的确定方法多样: 有根据自身发展情况自定的, 如程普云^[5]以 2000 年为现

状水平年 2010 年为规划远期水平年计算了山西省各级城市换装节水型器具和降低管网漏损率所带来的节水潜力 宋长虹等^[6]以节水条件下单位增加用水量、工业综合重复利用率为标准,计算了黑龙江省工业的节水潜力 朱亮等^[7]分析了太湖流域节水潜力;有以国内水资源利用效率最高地区为基准的,如朱启荣^[8]以山东省为对比基础,计算 2005 年全国各地区的工业用水效率与节水潜力;也有以发达国家经验为借鉴的,如刘昌明等^[9]选择美国纽约市的万元 GDP 取水量 1.1 m^3 作为基准,根据人均 GDP 进行调节,计算 2030 年南水北调中线主要城市工业节水潜力;也有从微观层面具体分析工业企业内部各部门的用水水平,以用水重复利用率为指标计算节水潜力,如刘红姝等^[10]计算了汽车生产企业节水潜力;还有根据节水边际成本确定节水潜力,如李永根^[11]将节水边际成本与各类等效的开源工程边际成本相比较,当节水边际成本等于开源供水成本时,则认为节水在经济上已到合理的“阈值”,按照经济规律,节水应达到此水平,相差值即为节水潜力。

总体而言,如果节水指标是以先进地区的指标作为标准,则隐含着这样的假设:分析区域的工业布局与工业结构、水资源条件等与选取先进的地区相一致,而这种要求是很难满足的,从而计算的工业节水潜力仅仅是个比较粗的估算值^[12],如果节水指标是自定,则相应的测算方法比较少见,而且节水指标比较单一,如万元工业增加值取水量可以反映工业用水的宏观水平,可以纵向评价工业用水水平的变化程度,但由于万元工业产值用水量受产品结构、产业结构等因素的影响很大,所以该指标的横向可比性较差,有时难以真实地反映用水效率和科学评价合理用水程度^[13]。

节水的核心是提高水的利用效率,而工业技术效率是指一定投入下获得最大产出的能力,或者在一定产出情况下所需要的最小资源投入量的程度,其表示经济单元的实际生产活动接近前沿面的程度,能够很好地反映经济单元在已有技术下的效率情况。基于技术效率的节水潜力是指在技术充分有效、不存在任何效率损失情形下的用水量与实际用水量的差,而前沿面用水量是该用水户在现有的生产技术、用水结构、水资源管理制度、用水意识、投资能力等因素综合作用下能达到的目标,更符合实际,是用水户通过努力应该能达到的节水目标。

目前围绕技术效率来测算工业节水潜力较为少见,笔者以工业技术效率为基础,研究工业节水潜力,为节水潜力研究提供新的思路。

1 基于 SFA 的工业节水潜力测算模型

目前学术界有关技术效率的评价方法主要有两类:一类是非参数方法,以数据包络分析(DEA)为代表,另一类是参数方法,以随机前沿分析(SFA)为代表。SFA 方法是 20 世纪 70 年代末, Meeusen 等^[14]、Aigner 等^[15]与 Battese 等^[16]各自独立提出,与 DEA 相比,它考虑到随机误差对技术效率的影响。笔者选择采用基于面板数据的随机前沿生产函数最大似然估计方法,投入变量为工业从业人数(L)、固定资产净值年平均余额(K)、用水量(W),根据对 Battese 和 Coelli(1995)模型的改进构建超对数生产函数形式的随机前沿分析模型。

$$\ln Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln L_{it} + \beta_2 \ln K_{it} + \beta_3 \ln W_{it} + \frac{1}{2} (\beta_{12} \ln L_{it} \ln K_{it} + \beta_{13} \ln L_{it} \ln W_{it} + \beta_{23} \ln K_{it} \ln W_{it} + \beta_{11} (\ln L_{it})^2 + \beta_{22} (\ln K_{it})^2 + \beta_{33} (\ln W_{it})^2) + (v_{it} - u_{it}) \quad (1)$$

$$TE_{it} = \exp(- \mu_{it}) \quad (2)$$

式中: Y_{it} 为 i 区域 t 时间的工业产值, 万元; L_{it} 为 i 区域 t 时间的工业从业人数, 万人; K_{it} 为 i 区域 t 时间的固定资产净值年平均余额, 万元; W_{it} 为 i 区域 t 时间的工业用水量, 万 m^3 ; β_0 、 β_1 、 β_2 、 β_3 、 β_{12} 、 β_{13} 、 β_{23} 、 β_{11} 、 β_{22} 、 β_{33} 为待估参数; v_{it} 为服从独立半正态分布 $N(0, \sigma_v^2)$ 的随机扰动项, 其中包含了工业生产中不可控因素; u_{it} 为是管理误差项, 反映影响技术效率的随机因素, 服从独立半正态分布 $N(0, \sigma_u^2)$, 与 v_{it} 相互独立; TE_{it} 为工业技术效率; γ 为参数, 如果 γ 趋近 1, 表明生产函数的误差主要来自随机变量, 需要使用 SFA 技术。

设工业前沿面用水量为 $\hat{W}_{it}$, 当 $0 < TE_{it} < 1$ 时, 表明工业用水没有达到有效利用状态, 有节水潜力, 因此, 最小工业用水量为:

$$\hat{W}_{it} = TE_{it} W_{it} \quad (3)$$

节水潜力为:

$$\Delta W_{it} = (1 - TE_{it}) W_{it} \quad (4)$$

2 徐州市基于 SFA 的工业节水潜力分析

徐州市境内多年平均可用水量资源量约为 35.63 亿 m^3 , 人均水资源占有量为 380 m^3 左右, 早在 20 世纪 80 年代, 徐州市就被列为全国 40 个严重缺水城市之一, 为全国首批 10 个节水型城市之一。徐州市作为南水北调东线工程的受水区, 按照“先节水后调

水、先治污后通水、先环保后用水”的“三先三后”原则,节水工作尤为重要。

2.1 徐州市工业技术效率测算结果

原始数据通过徐州市水资源年报、江苏省统计年鉴查得,利用 Froniter 4.1 软件,可获得各项参数及检验结果,如表 1 所示。徐州市工业技术效率见表 2。

表 1 中, γ 为 0.9402,反映该模型的随机误差项中有 94% 来自生产配置非效率的影响,仅 6% 源于统计误差等随机影响。

表 1 工业用水随机生产前沿参数

待估参数	估值	标准差	T 值
β_0	- 28.186 7	4.500 3	- 6.263 3 ***
β_1	9.202 6	1.408 0	6.536 1 ***
β_2	- 3.445 8	1.351 4	- 2.549 9 **
β_3	2.170 5	1.763 1	1.231 1 *
β_{12}	- 1.297 2	0.959 3	- 1.352 3 *
β_{13}	- 2.030 4	0.425 3	- 4.774 1 ***
β_{23}	1.533 8	0.195 7	7.836 7 ***
β_{11}	0.704 4	0.473 0	1.489 4 *
β_{22}	0.380 9	0.357 3	1.065 9
β_{33}	- 0.102 6	0.072 0	- 1.425 0 *
σ^2	0.129 4	0.048 5	2.670 1 **
γ	0.940 2	0.104 1	9.035 1 ***
对数似然函数 = 6.832 628 8			
LR 似然比检验 = 2.612 961			

注 : * 为在 10% 置信水平下通过对应的假设检验 ; ** 为在 5% 置信水平下通过对应的假设检验 ; *** 为在 1% 置信水平下通过对应的假设检验。

这样,工业用水随机生产前沿函数为 :

$$\ln Y_{it} = - 28.186 7 + 9.202 6 \ln L_{it} - 3.445 8 \ln K_{it} + 2.170 5 \ln W_{it} + \frac{1}{2} (- 1.297 2 \ln L_{it} \ln K_{it} - 2.030 4 \ln L_{it} \ln W_{it} + 1.533 8 \ln K_{it} \ln W_{it} + 0.704 4 (\ln L_{it})^2 + 0.380 9 (\ln K_{it})^2 - 0.102 6 (\ln W_{it})^2) + (v_{it} - u_{it}) \tag{5}$$

2.2 技术效率时空分布

从表 2 可以看出,徐州市各地区的水资源利用技术效率差别较大,高低差有近 19%,而且随着时间推移,徐州市工业技术效率从 2000 年的 60.38% 上升到了 2007 年的 83.13%,总体呈上升趋势,丰

表 2 工业技术效率测算结果

市(区)县	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	均值
丰县	0.476 7	0.873 5	0.895 7	0.864 7	0.669 8	0.914 9	0.909 4	0.833 6	0.804 8
沛县	0.436 5	0.539 1	0.653 7	0.677 5	0.830 8	0.952 1	0.877 7	0.861 3	0.728 6
铜山县	0.708 8	0.684 1	0.795 6	0.807 3	0.886 2	0.881 1	0.707 0	0.849 1	0.789 9
睢宁县	0.804 1	0.759 7	0.669 9	0.739 3	0.886 8	0.959 1	0.930 6	0.955 9	0.838 2
邳州市	0.624 8	0.880 2	0.782 3	0.918 4	0.884 0	0.929 0	0.853 8	0.707 9	0.822 6
新沂市	0.420 6	0.508 9	0.545 1	0.600 9	0.701 0	0.810 9	0.874 3	0.666 7	0.641 1
贾汪、市区	0.755 4	0.750 7	0.724 5	0.742 8	0.914 8	0.786 8	0.769 5	0.944 6	0.798 6
平均	0.603 8	0.713 7	0.723 8	0.764 4	0.824 8	0.890 5	0.846 0	0.831 3	0.774 8

县、沛县上升较快,市区工业比重大,用水技术效率也相对较高。表明目前徐州市工业节水工作每年都有成效,工业对水资源的有效利用程度在上升。

2.3 产出弹性分析

所谓产出弹性是指投入要素的相对变动引起的产出的相对变动,分析产出弹性可看出目前徐州工业发展对投入要素,尤其是水资源要素的需求压力。根据定义,劳动力产出弹性 ϵ_L 、资本产出弹性 ϵ_K 、水资源产出弹性 ϵ_W 分别为 :

$$\epsilon_L = \frac{\partial \ln Y_{it}}{\partial \ln L_{it}} = \beta_1 + \beta_{11} \ln L_{it} + \frac{1}{2} \beta_{12} \ln K_{it} + \frac{1}{2} \beta_{13} \ln W_{it} \tag{6}$$

$$\epsilon_K = \frac{\partial \ln Y_{it}}{\partial \ln K_{it}} = \beta_2 + \beta_{22} \ln K_{it} + \frac{1}{2} \beta_{12} \ln L_{it} + \frac{1}{2} \beta_{23} \ln W_{it} \tag{7}$$

$$\epsilon_W = \frac{\partial \ln Y_{it}}{\partial \ln W_{it}} = \beta_3 + \beta_{33} (\ln W_{it}) + \frac{1}{2} \beta_{13} \ln L_{it} + \frac{1}{2} \beta_{23} \ln K_{it} \tag{8}$$

通过计算,可得徐州市劳动力产出弹性 ϵ_L 、资本产出弹性 ϵ_K 、水资源产出弹性 ϵ_W 结果,见表 3。

表 3 徐州市投入要素产出弹性结果

年份	ϵ_L	ϵ_K	ϵ_W
2000	0.578 2	0.609 7	- 0.127 5
2001	0.926 3	0.352 3	- 0.039 6
2002	0.586 3	0.609 6	- 0.046 8
2003	0.585 8	0.591 2	0.014 5
2004	0.233 0	0.859 7	0.170 2
2005	0.307 4	0.740 7	0.097 6
2006	0.254 4	0.711 7	0.255 2
2007	0.215 7	0.705 4	0.236 2

由表 3 可知,徐州市劳动力产出弹性逐年减少,表明虽然增加劳动力投入能增加工业的产出,但其作用越来越小,资本产出弹性逐年增加,到 2007 年为劳动力产出弹性的 3 倍多,表明徐州工业要发展,迫切需要资金的投入,水资源产出弹性由负转为正,且逐年增加,表明目前徐州市增加水资源投入提高工业产出是可行的,而且水资源价值越来越高。因

表 4 徐州市历年工业用水节水潜力测算值

万 m³

市(区)县	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	均值
丰县	669.88	23.28	59.47	88.65	544.88	103.00	104.27	198.04	255.92
沛县	1791.79	1473.75	1315.92	1606.88	756.46	231.40	529.07	631.70	1190.99
铜山县	1388.99	1472.02	1094.79	1193.98	1026.61	1018.49	2143.56	1072.04	1487.21
睢宁县	235.09	173.71	495.10	273.62	219.06	71.07	108.15	70.15	235.13
邳州市	4217.30	1313.76	1689.13	657.64	543.87	314.64	511.67	914.15	1451.74
新沂市	785.62	626.59	821.05	509.59	502.24	326.78	229.80	749.27	650.14
贾汪市区	458.07	474.68	540.06	625.85	208.93	612.45	653.14	194.85	538.29
合计	9546.74	5557.80	6015.52	4956.19	3802.04	2677.83	4279.67	3830.20	5809.43

此,徐州市发展工业迫切需要增加水资源投入,工业对水资源的需求压力也越来越大,节水迫在眉睫。

2.4 节水潜力分析

从表 2 可以看出,徐州市工业技术效率平均值为 77.48%,即只需要目前所用水量的 77.48%就应该能达到目前的产出,因此徐州市的总体节水潜力为当前用水量的 22.52%。徐州市各区域工业用水节水潜力见表 4。

3 结 语

目前工业用水节水潜力测算方法一般采用工业用水重复利用率、万元工业增加值取水量等为参照标准,指标较单一,估算比较粗,横向可比性较差,有时难以真实地反映用水效率和科学评价合理用水程度。笔者提出基于 SFA 的节水潜力测算方法,考察在产出水平已经确定的情形下,可能的工业最小用水量与实际用水量之比,考虑了技术水平、资源条件、组织程度、管理水平等多个方面的因素,能够更好地反映用水的动态变化特征,更好地刻画出不同单元、不同时间点的节水水平。

笔者应用随机生产前沿生产函数,构建了基于 SFA 的节水潜力测算模型,并以徐州市为例进行了计算分析,指出徐州市增加资本、劳动力、水资源投入提高工业产出是可行的,徐州的工业技术效率呈现上升趋势,总体节水潜力为当前用水量的 22.52%,最后给出了徐州市各区域工业用水节水潜力。

参考文献:

[1] 全国节约用水办公室.全国节水规划纲要及其研究[M]. 南京:河海大学出版社,2003.

[2] 水利部南京水文水资源研究所,中国水利水电科学研究院水资源研究所.21 世纪中国水供求[M].北京:水利电力出版社,1999.

[3] 中华人民共和国水利部.中国水资源公报(2000)[M].北京:中国水利水电出版社,2001.

[4] 中华人民共和国水利部.中国水资源公报(2007)[M].北京:中国水利水电出版社,2008.

[5] 程普云.山西省城镇生活节水潜力分析[J].水利水电科技进展,2004,24(6):41-43.

[6] 宋长虹,高淑红,胡志亮.节水潜力的计算方法与应用[J].黑龙江水利科技,2008,36(1):18.

[7] 朱亮,刘明祥,阮晓红,等.太湖流域节水潜力与措施[J].水资源保护,2007,23(2):77-80.

[8] 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.

[9] 刘昌明,左建兵.南水北调中线主要城市节水潜力分析与对策[J].南水北调与水利科技,2009,7(1):1-7.

[10] 刘红姝,王宝庆,刘东方,等.汽车生产企业节水潜力研究[J].给水排水,2009,35(8):64-66.

[11] 李永根.运用经济标准分析工业节水潜力[J].河北水利水电技术,2003(6):21-23.

[12] 郑在洲,耿雷华,常本春,徐澎波.工业节水潜力计算方法探讨[J].水利水电技术,2004,35(1):71-74.

[13] 张晓洁,汪家权.城市工业节水效率评价研究[J].安徽建筑工业学院学报:自然科学版,2002,10(1):42-45.

[14] MEEUSEN W, Van Den BROECK J. Efficiency estimation from cobb-douglas production functions with composed error[J]. International Economic Review, 1977, 18(2):435-444.

[15] AIGNER D J, LOVELL C A K, SCHMIDT P. Formulation and estimation of stochastic frontier production functions models[J]. Journal of Econometrics, 1977, 3(1):21-37.

[16] BATTESE G E, CORRA G S. Estimation of a production frontier model: With application to the pastoral zone of Eastern Australia[J]. Australian Journal of Agricultural Economics, 1977, 21(3):169-179.

(收稿日期:2009-10-30 编辑:高渭文)

+++++

(上接第 62 页)

[53] MACKAY D, HICKIE B. Mass balance model of source apportionment, transport and fate of PAHs in LacSaint Louis Quebec[J]. Chemosphere, 2000, 41:681-692.

[54] WARREN C S, MACKAY D, BAHADUR N P, et al. A suite of multisegment fugacity models describing the fate of organic contaminants in aquatic systems: application to the Rihand Reservoir, India[J]. Water Res, 2002, 36:4343-4355.

[55] MACLEOD M, MACKAY D. An assessment of the environmental fate and exposure of benzene and the chlorobenzenes in Canada[J]. Chemosphere, 1999, 38:1777-1796.

[56] 张丽,戴树桂.多介质环境逸度模型进展[J].环境污染与防治,2005,28(1):97-99.

(收稿日期:2009-05-13 编辑:高渭文)