

# 中国工业用水价格弹性测算

## ——基于边际生产力模型

陈优优<sup>a</sup>,李太龙<sup>b</sup>,鲍抄抄<sup>b</sup>,李会奋<sup>b</sup>,江俊达<sup>b</sup>

(浙江理工大学, a. 理学院; b. 经济管理学院, 杭州 310018)

**摘要:** 利用除西藏外中国大陆30个省、直辖市和自治区的截面数据,测算各省份和东中西部地区的工业用水价格弹性。运用边际生产力模型计算各地工业用水边际收益、代理工业水价;应用超越对数生产函数构建计量经济模型,测算工业用水价格弹性。结果表明:各省份的工业用水边际收益在0.946~173.168元/m<sup>3</sup>之间不等,工业用水价格弹性在0.019~0.953之间波动,水价杠杆作用差异明显。工业用水的边际收益和价格弹性从东部到西部呈递减趋势,且东西部地区差距明显。该研究结果旨在为我国工业水价政策制定和水资源管理体制深化改革提供参考依据。

**关键词:** 工业用水;价格弹性;边际生产力;边际收益;工业水价

**中图分类号:** F205;F424 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-3851(2016)03-0232-06 **引用页码:** 060103

改革开放以来,我国工业经济迅速发展,工业用水需求不断攀升。近十年来,工业用水占社会总用水量的比重逐年提高,由1997年的20.1%上升至2012年的23.2%<sup>[1-3]</sup>。在工业生产中,尤其在石油、化工、煤炭、钢铁、冶金、电力、造纸等行业,工业用水发挥重要作用。然而,我国是水资源十分紧缺的国家,面对当今与日俱增的用水压力,节约用水的要求显得极为迫切。因此,研究如何合理制定工业水价、提高工业用水效率、推进工业节水是当前经济社会实现可持续发展目标必须解决的重大战略问题。

在有关工业用水与工业产出关系的国外文献中,研究成果大都集中在20世纪七八十年代的发达国家。De Rooy<sup>[4]</sup>以平均成本方式核定企业自供水价格,证明美国新泽西州化工行业的用水需求受水价影响显著。Ziegler等<sup>[5]</sup>使用截面数据研究美国阿肯色州23个用水最多的造纸和化工企业的工业

用水需求,证实水价对造纸和化工行业的用水需求有显著影响。现有文献中鲜有考察当前发展中国家工业用水问题的细致研究,针对工业用水价格弹性的测算研究更是屈指可数。相较于国外,国内学者研究用水供给与需求及其管理时,主要集中于居民生活用水和农业用水两方面,关于工业用水的研究较少<sup>[6]</sup>。尽管也有学者指出城市工业用水管理中,水价杠杆作用有效——城市工业用水随着水价提升而下降,提高工业水价有助于工业节水,但是学界尚未在工业水价弹性结果方面达成共识<sup>[7-9]</sup>。此外,我国工业经济发展具有明显的区域特征,势必影响地区工业水价弹性,这是全国各地制定有效水价政策、实现工业节水所必须考量的因素。对此,现有文献未能对此给予应有的关注。

本文应用超越对数生产函数和边际生产力方法构建计量经济模型,利用除西藏外中国大陆30个省、直辖市和自治区2012年的截面数据,测算

收稿日期:2015-10-07

基金项目:国家社会科学基金重点项目(12AJY003);浙江理工大学科研启动基金(1113835-Y);浙江理工大学521人才培养计划

作者简介:陈优优(1983-),女,浙江台州人,博士,主要从事社会统计方面的研究。

各地的工业用水价格弹性,并以此为工业水价政策制定和水资源管理体制改革的提供可能的参考依据。

## 一、方法、数据与模型

### (一)方法介绍

工业用水价格弹性是指在当前生产率水平下,水价每上升 1%,相应的工业用水需求量变化的百分比。边际生产力方法,又称边际生产力模型,是一种用于阐明生产中各种生产要素或投入资源应得报酬(或价格)的方法。一般情况下,在其它要素投入数量不变的前提下,生产过程中每增加(或减少)一单位某种生产要素所引起的产出或产值的增加(或减少),就等于一单位该生产要素应得的报酬。边际生产力模型被视为新古典经济学的理论基石,不仅在现代经济学理论研究中非常重要,更是被广泛应用于生产要素、资源配置以及要素报酬占比等方面的经验研究。

我国工业水价的制定与执行由市县地方实施,然而,由于各市县制定、调整以及执行情况大有不同,导致了各省份水价数据难以搜集且质量较低。因此,本文在模型设定中假设各地厂商追求自身利润最大化,利用边际生产力方法求出企业工业用水的边际收益,代理工业水价,克服水价弹性测算中各地水价数据不一致、不完整和质量不一的问题。

### (二)变量指标选取

本文利用除西藏外中国大陆 30 个省、直辖市和自治区 2012 年的截面数据,选取工业增加值、工业用水量、固定资产投资、劳动力和工业耗能量作为主要变量的经济指标。各指标的原始数据均来自《中国能源统计年鉴 2013》。其中,工业增加值为每年工业活动所带来的总收益去除工业活动成本支出后的余额;工业用水量为工业生产全过程中所耗费的总量,即生产、洗涤、改造、处理等基本操作过程以及生产过程中所耗费的水;固定资产投资则为包括各个工业企业部门的固定资产新建、扩建、改建、更新换代等活动的支出;劳动力是工业生产中所投入的劳动量;工业耗能量指的是工业生产中所消耗的能量,即包括煤炭、石油、天然气、电能及其它能源。

### (三)模型构建

在经济模型的实际应用中,各种投入对产出的影响不只和该投入要素有关,还与其它投入要素有

关,一般的 CD 和 CES 生产函数失去意义。而超越对数生产函数包容性强,易估计,能够比较全面的反映因变量之间的相互影响关系。因此,本文以固定资产投资、劳动力、工业用水量、工业耗能量为投入要素,以工业增加值为产出,建立超越对数生产函数模型。

假设超越对数生产函数为:

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \ln K + \beta_2 \ln L + \beta_3 \ln W + \beta_4 \ln E + \beta_5 (\ln K)^2 + \beta_6 (\ln L)^2 + \beta_7 (\ln W)^2 + \beta_8 (\ln E)^2 + \beta_9 \ln K \ln L + \beta_{10} \ln K \ln W + \beta_{11} \ln K \ln E + \beta_{12} \ln L \ln W + \beta_{13} \ln L \ln E + \beta_{14} \ln W \ln E + \epsilon \quad (1)$$

在对数意义下,对工业用水要素求偏导,得到工业用水的产出弹性为:

$$\alpha = \frac{\partial \ln Y}{\partial \ln W} = \beta_3 + \beta_7 \ln W + \beta_{10} K + \beta_{12} \ln L + \beta_{14} \ln E \quad (2)$$

根据模型设定,各地厂商追求自身利润最大化,工业用水的边际成本  $\lambda$  等于边际收益(产出) $\theta$ ,即:

$$\lambda = \theta \frac{\partial Y}{\partial W} = \frac{\partial \ln Y}{\partial \ln W} \times \frac{Y}{W} = \alpha \times \frac{Y}{W} \quad (3)$$

同理,可求出其它生产因素的边际收益。

依据边际生产力模型,工业水价  $P$  等于用水的边际成本  $\lambda$ 。因此,工业用水的价格弹性  $E_p$  为:

$$E_p = \frac{\partial \ln W}{\partial \ln p} = \frac{\partial \ln W}{\partial \ln \lambda} = - \frac{\alpha}{\alpha - \alpha^2 - \beta_7} \quad (4)$$

需要指出,由于边际生产力模型计算得到的工业用水边际收益与实际水价存在偏差,所以计算出的边际成本  $\lambda$  实为水价的代理变量,而工业用水量为实际用水量。理论上,代理水价可能高于实际水价,也可能低于实际水价;实际上,当以边际生产力模型计算得到的工业用水边际收益作为代理水价时,其价格不会低于实际水价。事实上,不管来自城市公共供水系统的工业用水还是来自企业自备供水的工业用水,都应处于水资源管理体制监管之下。如果自备供水不能得到良好的监管,就会导致工业用水边际收益被高估。所以,必须将边际生产力模型测算的工业用水价格弹性与工业用水边际收益结合起来,才能正确判断工业水价并提出合理的工业节水政策建议。

## 二、各省份工业水价弹性测算

### (一)描述性统计

表 1 给出 2012 年除西藏外中国大陆 30 个省、直辖市和自治区的工业用水量、固定资产投资额、劳动力及工业耗能量等四个投入要素的统计描述。

表1 投入要素的描述性统计

投入要素	平均值(对数)	标准差(对数)
工业用水量 / 万 m <sup>3</sup>	12.58	1.13
固定资产投资额 / 万元	17.11	1.05
劳动力 / 万人	4.52	1.03
工业耗能量 / 万 t	3.78	0.33

注:数据来源于中国能源统计年鉴 2013。

## (二) 回归分析

根据式(1)设定的计量回归方程估算各因变量系数,软件环境为 Eviews7.0。各因变量回归系数结果见表 2。

表2 因变量回归系数

变量	回归系数
C	17.297840***
LNK	-0.948923*
LNL	4.981242***
LNW	-0.969385*
LNE	-0.613645
1/2LNK <sup>2</sup>	0.097740*
1/2LNL <sup>2</sup>	0.160088**
1/2LNW <sup>2</sup>	-0.147277**
1/2LNE <sup>2</sup>	-2.439361*
LNKLNL	-0.561407***
LNKLNW	0.116123**
LNKLNE	0.177241*
LNLLNW	0.003861
LNLLNE	1.146275**
LNWLNE	0.192846
Adj R <sup>2</sup>	0.971
Std Err	0.161
F statistic	71.543

注:显著性水平: \*  $p < 0.1$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*\*\*  $p < 0.01$ 。

表 2 结果显示,调整后的拟合优度为 0.971,标准误差为 0.161, F 检验值为 71.543,模型拟合效果良好。把表 2 中的回归系数代入(1)式得到回归方程:

$$\begin{aligned} \ln Y = & 17.298 - 0.949 \ln K + 4.981 \ln L \\ & - 0.969 \ln W - 0.614 \ln E + 0.0098 (\ln K)^2 + 0.16 (\ln L)^2 \\ & - 0.147 (\ln W)^2 - 2.439 (\ln E)^2 - 0.561 \ln K \ln L \\ & + 0.116 \ln K \ln W + 0.177 \ln K \ln E + 0.004 \ln L \ln W \\ & + 1.146 \ln L \ln E + 0.193 \ln W \ln E \end{aligned} \quad (5)$$

## (三) 各省份的工业水价弹性测算

根据式(2)、式(3)和式(4)计算 2012 年除西藏外中国大陆 30 个省、直辖市和自治区的产出弹性、边际收益和水价弹性,结果见表 3。

表3 30 个省份工业用水产出弹性、边际收益和水价弹性

省级行政区	工业用水的产出弹性 $\alpha$	工业用水边际收益 $\lambda / (\text{元}/\text{m}^3)$	工业用水价格弹性 $E_p$
上海	0.359	34.990	-0.953
海南	0.283	38.813	-0.809
贵州	0.264	14.753	-0.774
山东	0.213	173.168	-0.678
福建	0.183	20.688	-0.618
云南	0.178	22.041	-0.606
湖南	0.167	15.574	-0.584
重庆	0.164	20.759	-0.578
河北	0.163	80.747	-0.574
北京	0.162	108.915	-0.573
甘肃	0.161	21.168	-0.570
广东	0.160	33.972	-0.569
安徽	0.158	12.804	-0.565
广西	0.155	15.870	-0.557
黑龙江	0.153	19.171	-0.552
湖北	0.141	11.251	-0.525
江西	0.135	13.386	-0.511
辽宁	0.130	65.834	-0.501
天津	0.114	136.846	-0.460
浙江	0.082	20.665	-0.368
江苏	0.081	10.050	-0.366
宁夏	0.073	13.010	-0.339
四川	0.072	13.820	-0.336
青海	0.038	13.534	-0.206
新疆	0.028	6.544	-0.163
吉林	0.026	5.304	-0.150
河南	0.018	4.396	-0.108
陕西	0.009	4.384	-0.055
山西	0.005	1.872	-0.032
内蒙古	0.003	0.946	-0.019

表 3 结果表明,各地工业用水的边际收益相差很大,处于 0.946~173.168 元/m<sup>3</sup> 之间,边际收益最大的是山东省,最小的是内蒙古自治区,全国平均水平为 31.84 元/m<sup>3</sup>。这说明,一方面,全国的工业用水定价可在现有水平上较大幅度的提高;另一方面,各地经济发展差异明显,工业用水定价不能搞“一刀切”。

具体来看,山东、河北、北京、天津、辽宁五省市地域相连,地处缺水或严重缺水地区<sup>[10]</sup>,但它们工业发达,生产力水平较高,工业用水效率普遍很高,工业用水边际收益远高于其它地区。上海、广东、海南三省市,尽管地处水资源丰富区或脆弱区,但产业布局中服务业发展迅速(如 2014 年海南服务业占全省 GDP 的比重达 51.9%),工业产品附加值相对较

高,工业用水的边际收益大。而河南、山西、陕西、内蒙古、吉林、新疆六省工业用水边际收益最低,主因是它们多以煤炭、石油、天然气、冶金等高耗水、粗放型、低附加值行业为主导产业。同时,这些省份虽地处缺水或严重缺水,但担负着向邻近工业发达地区输送生产资源与能源的重任,导致产业结构调整受限,工业用水边际收益很低。其它十六个省份多属水资源丰富区和脆弱区,尽管主导产业和产业结构各有不同,但其水资源紧缺程度相对较低,因此工业用水边际收益不高。

测算结果还表明,全国各地的工业用水价格弹性基本分布在0.019~0.953之间,上下浮动较大。尽管理论上水价弹性高意味着水价杠杆作用强,但是由于边际生产力模型所依赖的特殊测算方式——以工业用水边际收益代理工业水价,因此,必须将弹性测算结果和工业用水边际收益情况结合起来,才能得到对水价杠杆作用的正确判断。实际上,当工业用水边际收益很高时,代理水价被大大高估,现行水价难以达到相应水平,水价的杠杆作用已然较弱。此时单纯提高工业水价并不能获得良好的节水效果,反而可能损害工业经济发展,这类省市主要包括山东、河北、北京、天津、辽宁以及上海、广东、海南等地。

相反,对工业用水边际收益不高的地区,代理水价与实际水价相近,如果此时水价弹性高,那么水价杠杆作用必然有效,例如贵州、福建、云南、湖南、重庆、甘肃、安徽、广西、黑龙江、湖北、江西、浙江、江苏、宁夏、四川、青海、新疆、吉林、河南、山西、陕西、内蒙古等省份。其中,对地处水资源丰富区和脆弱区的省份,上调工业水价充分发挥水价杠杆作用的空间大,节水潜力也大。这类地区主要包括贵州、福建、云南、广西、湖南、湖北、重庆、四川、安徽、江西、浙江、新疆等省份。而对地处缺水或严重缺水区的省份,例如甘肃、黑龙江、江苏、宁夏、青海、吉林、河南、山西、陕西、内蒙古等地,一方面上调工业水价促进节水势在必行,另一方面大力推进产业转型、淘汰高耗水行业、推动企业清洁用水与节水更是迫在眉睫。事实上,上述地区往往低端粗放产业和高耗水行业较多,例如青海的资源开采及初加工行业<sup>[11]</sup>,甘肃的石化、有色、电力、冶金等传统行业<sup>[12]</sup>,黑龙江以采掘业为主的重化工行业<sup>[13]</sup>,宁夏的造纸业,河南的有色金属、煤化工和石油化工、纺织等支柱产业,山西和内蒙古的煤炭行业,陕西的化工行业<sup>[14]</sup>都是极具代表性的需要进行清洁用水和节水技术升级的地方主导行业。

### 三、东中西部地区水价弹性测算

根据中国的区域划分和国家政策,本节进一步回归分析东、中、西部三个地区的工业用水情况并测算它们的工业用水价格弹性。

表4列出了我国东、中、西部地区的工业增加值和工业用水量情况。我国工业增加值和工业用水量从东到西呈递减趋势,而且东西部差距很大,东部几乎是西部的3倍。

表4 东中西部地区工业用水量和工业增加值

地区	工业增加值/亿元	工业用水量/亿 m <sup>3</sup>
东部	137549.79	614.1
中部	72327.71	546.0
西部	40020.81	261.9
均值	83299.44	474.0

注:数据来源于中国能源统计年鉴2013。

按照与前一节相同的方法可以测算东、中、西部的工业用水边际收益及水价弹性,测算结果见表5。

表5 东中西部地区工业用水产出弹性、边际收益和水价弹性

地区	工业用水的产出弹性 $\alpha$	工业用水边际收益 $\lambda$ /(元/m <sup>3</sup> )	工业用水价格弹性 $E_p$
东部	0.180	65.880	-0.590
中部	0.190	19.412	-0.438
西部	0.114	14.588	-0.418
全国	0.129	31.842	-0.457

结果表明,总体上,东部地区工业用水的边际收益最高,西部地区工业用水的边际收益最低,仅为东部地区的22%,中部地区则为东部地区的29%。边际收益与工业生产水平有关。上述结果反映出,相较于中西部地区,东部地区产业布局中高耗水行业的发展受到较大抑制,工业用水效率高,生产中清洁用水与节水技术较为先进。中西部地区工业用水的边际收益相差不大,在水资源短缺压力较为缓和的条件下,其企业的生产用水效率不高,节水潜力很大。

从表5的测算结果可以看出,东部地区的工业用水价格弹性高出中西部地区40%左右。然而,考虑到边际生产力模型用于水价弹性测算时所可能导致的偏差,东部地区的弹性可能被高估,中西部地区的弹性则较为可信。仅对中西部地区而言,0.42左右的工业用水价格弹性足以表明水价杠杆作用强劲有效。结合中西部地区工业用水边际收益较低的情况,借助价格杠杆力量提升工业水价进而促进工业节水,应作为主要的水价政策。同时,东部地区与中

西部地区的差异还表明,中西部地区在承接东部地区产业转移时应有所选择,在优化自身产业布局、推进产业转型升级、改进工业企业清洁用水与节水技术方面应向东部地区学习,做到工业经济发展有所为有所不为。

#### 四、结论与建议

本文利用2012年中国大陆30个省、直辖市和自治区(除西藏外)的统计数据测算各地工业用水的价格弹性。测算结果表明,全国工业用水边际收益平均水平为31.84元/m<sup>3</sup>。这一水平普遍高于各地工业水价标准(2012年各地工业水价基本维持在1~20元/m<sup>3</sup>之间),因此提高工业水价的空间还是比较可观的。

同时,我国工业水价的制定与执行由地方政府实施,各地制定、调整以及执行情况较大不同,这导致地方水价数据难以搜集且质量较低,所以本文运用边际生产力模型计算工业用水边际收益作为代理水价,从而利用超对数生产函数模型测算工业用水价格弹性。结果表明:各地工业用水价格弹性在0.019~0.953之间,东、中、西部地区分别为0.590、0.438、0.418,全国均值为0.457。这说明工业用水对水价富有弹性,提升工业水价能够有效控制用水量,实现节约用水。

无论从东、中、西部地区划分,还是从各省份情况来看,工业用水的地区差异明显。工业用水边际收益高的地区主要集中在东部,且从东到西陡减。鉴于我国工业经济发达的地区和缺水及严重缺水的地区也主要集中在东部,依据工业用水的价格弹性测算结果,本文提出以下建议:

a) 提升工业水价是促进我国工业节水的有效政策措施,是工业经济快速发展但水资源供需矛盾日益突出情况下的必须选择。

b) 水价政策的制定应紧密结合各地实际,实现与产业布局调整转型、行业淘汰更新、生产技术节水化改造之间的联动。一方面,我国东部地区工业经济较为发达,工业用水效率显著高于全国水平,但水资源紧缺压力大。因此,东部地区的水价提升不能过快过急,应稳步提升,在不影响工业经济发展整体态势的基础上,最大可能地实现工业节水与产业转型升级双赢。另一方面,我国中西部地区产业结构落后,工业用水效率低,具有可观的水价提升空间。因此,西部地区应充分发挥水价杠杆作用,大幅提高工业水价,借此淘汰高耗水、粗放型、低附加值行业,

倒逼企业进行清洁用水和节水技术改造。

c) 产业结构升级是实现工业节水的必须途径。因此,在部分以煤炭、冶金、造纸、钢铁、石化、纺织等高耗水产业为主导的省份,应实施最严格的水价政策和用水需求管理,充分发挥工业水价在清洁化用水、循环用水和节约用水方面的杠杆作用,用强有力的水价政策推动当地产业结构的升级。

d) 深化水资源管理体制,合理的水价政策,实现工业用水在全国层面的合理调度与配置。全国水资源“一盘棋”,各地合理上调水价,推动工业用水从边际收益低的省份向边际收益高的省份流动,从丰富区和脆弱区向缺水区和严重缺水区调度,从部分中西部地区向东部地区配置。工业水价的提升既能正确反映水资源的经济价值,又有助于对输出水资源的省份或地区进行足额、按时补偿,更利于水资源丰富区和脆弱区淘汰落后产业。

#### 参考文献:

- [1] 《中国统计年鉴》编委会. 中国统计年鉴 1998[M]. 北京: 中国统计出版社, 1998.
- [2] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2013[M]. 北京: 中国统计出版社, 2013.
- [3] 中华人民共和国水利部. 中国水资源公报 2013[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014.
- [4] DE ROOY J. Price responsiveness of the industrial demand for water[J]. Water Resources Research, 1974, 10(3): 403-406.
- [5] ZIEGLER J A, BELL S E. Estimating the demand for intake water by self-supplied firms[J]. Water Resources Research, 1984, 20(1): 4-8.
- [6] 李眺. 我国城市供水需求侧管理与水价体系研究[J]. 中国工业经济, 2007(2): 43-51.
- [7] 左建兵, 陈远生. 北京市工业用水分析与对策[J]. 地理与地理信息科学, 2005, 21(2): 86-90.
- [8] 毛春梅. 工业用水量的价格弹性计算[J]. 工业用水与废水, 2005, 36(3): 1-4.
- [9] 刘昕, 李继伟, 朱崇辉, 等. 工业用水量的价格弹性分析[J]. 节水灌溉, 2009(10): 68-70.
- [10] 王晓青. 中国水资源短缺地域差异研究[J]. 自然资源学报, 2001, 16(6): 516-520.
- [11] 张渭平, 张宏研. 青海省主导产业选择探析[J]. 中国经贸导刊, 2012(11): 45-46.
- [12] 牛永红. 甘肃省产业体系现状及产业体系的调整分析[J]. 长春工业大学学报, 2014, 26(2): 45-48.
- [13] 范海燕, 李洪山. 主导产业对黑龙江省经济增长的影响[J]. 学习与探索, 2004(4): 90-93.

- [14] 魏敏. 区域主导产业选择方法及其应用研究:一个关于陕西省主导产业选择的案例[J]. 科学学研究, 2004, 22(1): 47-52.
- [15] 黄磊,周一勇. 基于超越对数生产函数的能源产出及替代弹性分析 [J]. 河海大学学报, 2008, 36(1): 134-138.

## Measurement of Price Elasticity on China's Industrial Water: Based on Marginal Productivity Model

CHEN Youyou<sup>a</sup>, LI Tailong<sup>b</sup>, BAO Chaochao<sup>b</sup>, LI Hui fen<sup>b</sup>, JIANG Junda<sup>b</sup>

(a. School of Science; b. School of Economics and Management, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** This paper measures price elasticity of industrial water in various provinces, central and western regions according to cross-section data of 30 provinces, municipalities and autonomous regions in Mainland China except Tibet. On the one hand, the paper uses marginal productivity model to calculate marginal revenue from industrial water in various palces and agent industrial water; On the other hand, the paper applies translog production function model to set up econometric model, in order to measure price elasticity of industrial water. The result shows that the marginal revenue of industrial water in various provinces is between 0.946 yuan /m<sup>3</sup> and 173.168 yuan / m<sup>3</sup>, and the price elasticity of industrial water fluctuates between 0.019 and 0.953; differences of water price leverage are apparent. Marginal revenue and price elasticity of industrial water show a decreasing trend from east to west, and the gap between eastern and western regions is obvious. This study aims to provide reference in policy-making of China's industrial water and reforms of water resource management system.

**Key words:** industrial water; price elasticity; marginal productivity; marginal revenue; industrial water price

(责任编辑: 陈和榜)