

基于效率的工业产值与废水排放量脉冲响应分析

孙爱军^{1,2},董增川²,陈康宁²,丁胜祥²

(1. 淮阴师范学院经济与管理系,江苏 淮安 223300;
2. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,江苏 南京 210098)

摘要 工业化进程导致的工业废水排放量与工业用水技术效率有关,为了量化研究工业产值、工业废水排放量与工业用水技术效率三者之间的关系,对数据检验之后,建立 VAR 模型,运用脉冲响应函数和方差分解方法进行分析.结果表明 中国工业产值、工业用水技术效率分别与工业废水排放量之间存在着互为因果的关系,工业废水排放量对工业产值的影响具有明显的时滞性,工业产值、工业用水技术效率对工业废水排放量的最大贡献度分别达到 4.93% 和 12.74% .
关键词 工业废水排放量 ;工业产值 ;工业用水技术效率 脉冲响应 方差分解
中图分类号 F407.9 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980(2007)06-0731-04

量化研究工业废水排放量、工业产值、工业用水技术效率三者相互关系,对于确定适当的发展速度,改进、提高工业用水效率,实现控制工业废水排放量的目标,是一项基础性的工作.事实上,以工业发展为重点的经济发展与环境之间的关系一直是研究热点,熊文等^[1]运用格兰杰因果与脉冲响应函数分析了中国经济增长与环境脆弱性之间的关系.朱智名^[2]利用统计数据绘制了人均水利经济收入与工业废水排放量之间的关系曲线,曹光辉^[3]研究了环境容量约束下经济增长最大化等.本文试图建立向量自回归模型,运用脉冲响应函数和预测方差分解来量化研究工业产值、工业废水排放量与工业用水技术效率之间的动态相关性,定量地分析、揭示三者之间的关系.

1 模型与方法

1.1 VAR 模型

对 2 个或 2 个以上的时间序列变量之间的互相作用,适宜用向量自回归(vector auto regression,简称 VAR)模型来研究,可构建工业废水排放量、工业产值、工业用水技术效率三者的 VAR 模型. VAR 模型用于相关时间序列系统的预测和研究随机扰动对变量系统的动态影响,它不带有任何事先约束条件,将每个变量均视为内生变量.

最一般的 VAR 模型数学表达式为

$$y_t = A_1y_{t-1} + \cdots + A_pY_{t-p} + B_1x_{t-1} + \cdots + B_r x_{t-r} + \varepsilon_t$$
 (1)

式中: y_t —— m 维内生变量向量; x_t —— d 维外生变量向量; $A_1, \cdots, A_p, B_1, \cdots, B_r$ ——待估计的参数矩阵; ε_t ——随机扰动项. 内生变量和外生变量分别有 p 和 r 阶滞后期.

1.2 脉冲响应函数

脉冲响应函数是研究一个时间序列变量的变化对另外一个影响的函数. 在建立 VAR 模型后,研究工业废水排放量、工业产值、工业用水技术效率三者之间的相互作用. 脉冲响应函数用于衡量来自随机扰动项的一个标准差冲击对内生变量当前和未来取值的影响. 以 VAR(1)模型为例:

$$X_t = \alpha_{11}X_{t-1} + \alpha_{12}Y_{t-1} + \varepsilon_{1,t}$$
 (2)

$$Y_t = \alpha_{21}X_{t-1} + \alpha_{22}Y_{t-1} + \varepsilon_{2,t}$$
 (3)

式中 X 和 Y 分别表示 2 个不同的变量,随机扰动项 ε 称为新息(innovation)^[4].

1.3 方差分解

在建立 VAR 模型后,选用方差分解方法^[5]研究工业产值、工业用水技术效率对工业废水排放量的贡献度,方差分解方法可定量地把握变量间的影响关系.由式

$$y_{it} = \sum_{j=1}^k (c_{ij}^{(0)} \varepsilon_{jt} + c_{ij}^{(1)} \varepsilon_{j,t-1} + c_{ij}^{(2)} \varepsilon_{j,t-2} + \cdots) \quad (i = 1, 2, \cdots, k; t = 1, 2, \cdots, T) \quad (4)$$

可知各个括号中的内容是第 j 个扰动项 ε_j 从无限过去到现在时点对 y_i 影响的总和.求其方差,假定 ε_j 无序列相关,则

$$E[(c_{ij}^{(0)} \varepsilon_{jt} + c_{ij}^{(1)} \varepsilon_{j,t-1} + c_{ij}^{(2)} \varepsilon_{j,t-2} + \cdots)^2] = \sum_{q=0}^{\infty} (c_{ij}^{(q)})^2 \sigma_{jj} \quad (i, j = 1, 2, \cdots, k) \quad (5)$$

这是把第 j 个扰动项对第 i 个变量从无限过去到现在时点的影响,用方差加以评价的结果. y_{it} 的方差是上述方差的 k 项简单和:

$$\text{var}(y_{it}) = \sum_{j=1}^k [\sum_{q=0}^{\infty} (c_{ij}^{(q)})^2 \sigma_{jj}] \quad (i = 1, 2, \cdots, k; t = 1, 2, \cdots, T) \quad (6)$$

各个扰动项相对于 y_{it} 的方差的贡献度 RVC 可以用式(7)近似计算:

$$RVC_{j \rightarrow i}(s) = \frac{\sum_{q=0}^{s-1} (c_{ij}^{(q)})^2 \sigma_{jj}}{\sum_{j=1}^k [\sum_{q=0}^{s-1} (c_{ij}^{(q)})^2 \sigma_{jj}]} \quad (i, j = 1, 2, \cdots, k) \quad (7)$$

2 变量与数据

根据统计年鉴,近 20 年来,我国的工业总产值年增长率在 10% ~ 12%,1990 ~ 2004 年第二产业对经济平均贡献率达 62.77% 中,其中工业占 91.78%,工业用水量由 1978 年的 78.75 亿 m^3 增加到 2005 年的 5633 亿 m^3 ,增加 71.5 倍,工业废水排放量也有所增加.

a. 工业产值为 GDP 中的工业产值,本文分析的工业产值数据来自中国工业统计年鉴(以 1978 年为基准进行平减).常用的处理方法是对数据取对数,得到工业产值时间序列数据为 Q ,结果见图 1.

b. 工业废水排放量是指经过企业厂区所有排放口排到企业外部的工业废水量,包括生产废水、外排的直接冷却水、超标排放的矿井地下水和与工业废水混排的厂区生活污水,不包括外排的间接冷却水(清污不分流的间接冷却水应计算在内).工业废水排放量数据从 1989 ~ 2005 年中国环境状况公报^[6]中获得,部分 1978 ~ 1988 年的有关数据从建设局查得.取对数,得到工业废水排放量时间序列数据为 W ,见图 2.

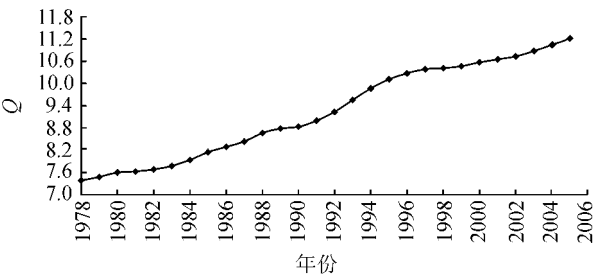


图 1 取对数后的工业产值时间序列

Fig.1 Time series of logarithmic industrial output

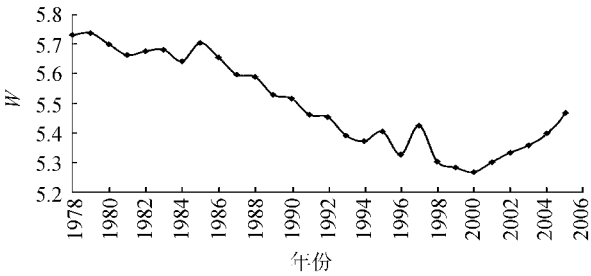


图 2 取对数后的工业废水排放量时间序列

Fig.2 Time series of logarithmic wastewater effluent

c. 工业用水技术效率是从生产函数角度,运用随机前沿分析(stochastic frontier analysis,简称 SFA)方法^[7],测度中国工业水资源利用的综合技术效率,综合考虑技术水平、管理成效、运行机制、价格因素、政策影响等各种因素.计算模型为

$$\ln y_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i \ln x_{it} + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \beta_{ij} \ln x_{it} \ln x_{jt} + v_t - u_t \quad (i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3; t = 1, 2, \cdots, T) \quad (8)$$

式中: y_t ——第 t 年 GDP 中的工业产值,万亿元; x_i —— $i = 1, 2, 3$ 分别代表资本、劳动力、工业用水量; β ——待估计的参数; v_t ——测量误差和随机因素对前沿面的影响,是经典的随机误差; u_t ——技术非效率,表示第 t 个年份工业用水非效率的随机变量. u_t 与 v_t 是相互独立的误差项.用 T 表示工业用水技术效率,第 t 年的

工业用水技术效率定义为

$$T_t = e^{-u_t} \tag{9}$$

用 FRONTIER 4.1 计算各年的 T_t ,结果如图 3 所示. $0 < T_t < 1$,1 代表完全有效,0 代表完全无效. 1978 ~ 2005 年的平均效率水平是 0.974 5,各年之间的差别是渐变的,主要是因为技术水平改进是渐进的,水价、政策、制度、管理的创新也是一个渐进的过程.

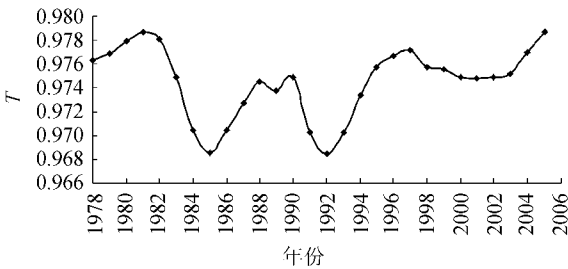


图 3 1978 ~ 2005 年的工业用水技术效率
Fig.3 Technical efficiency of industrial water utilization for 1978-2005

3 实证分析

3.1 建立 VAR 模型

对工业产值、工业废水排放量以及工业用水技术效率等 3 个时间序列做相应脉冲分析和方差分解,需要建立 VAR 模型,在建模前,要对变量的平稳性进行单位根检验和因果关系检验. 采用 ADF 检验方法对数据进行平稳性检验. 利用 EVIEWS5.0 软件,对 Q, W, T 分别进行单位根检验. 由于 Q, W, T 不是同阶单整序列,不能对其直接进行因果检验,而在进行一阶差分(用 D 表示一阶差分)后,三者都变得平稳,再对它们的一阶差分序列进行格兰杰因果分析.

对于原假设 $DQ \neq > DW$ (表示工业产值不是工业废水排放量增长的格兰杰原因)在滞后 3 期的情况下, sig 值为 0.0499,拒绝原假设,工业产值是工业废水排放量增长的格兰杰原因,说明尽管有大量的工业废水排放,但是发展经济的动力使得工业产值不断增长. 同理,在滞后 2 期的情况下,工业产值是工业废水排放量增长的格兰杰原因,工业用水技术效率是工业废水排放量增长的格兰杰原因,在滞后 5 期的情况下,工业产值是工业废水排放量增长的格兰杰原因. 除了上面的情况,原假设在其他各种滞后期数上都接受,总之,工业产值、工业用水技术效率、工业废水排放量两两之间的格兰杰因果关系受到其滞后期数的影响.

3.2 脉冲响应分析

脉冲响应分析主要考察工业产值和工业用水技术效率对工业废水排放量的影响. 脉冲响应分析结果见图 4 ~ 6,从图中可见,工业产值对工业废水排放量的影响开始就是下降,到第 2 期为最低点,然后缓慢上升,从第 3 期之后开始平稳;工业废水排放量对自身的影响开始就是大幅度下降,到第 2 期为最低点,接着上升到第 3 期又下降,到了第 4 期开始平稳;工业用水技术效率对工业废水排放量的影响一直平稳.

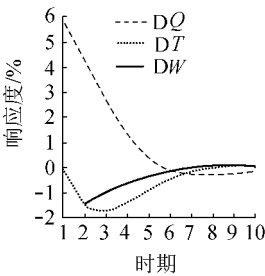


图 4 工业产值对一个标准差信息的响应
Fig.4 Response of industrial output to a standard deviation

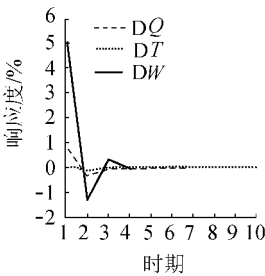


图 5 工业废水排放量对一个标准差信息的响应
Fig.5 Response of wastewater effluent to a standard deviation

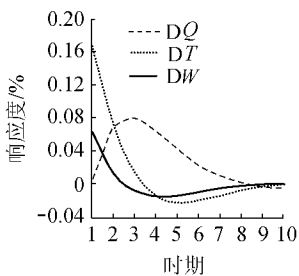


图 6 工业用水技术效率对一个标准差信息的响应
Fig.6 Response of technical efficiency of industrial water utilization to a standard deviation

3.3 方差分解

工业产值对工业废水排放量的影响,从一开始上升,在第 2 期之后呈现平稳的趋势;工业用水技术效率对工业废水排放量的影响开始时最大,当期见成效,然后逐渐趋缓,稳定在 8.57%. 不同时期的具体情形分别见表 1.

4 结 论

a. 我国工业产值、工业用水技术效率与工业废水排放量之间存在着互为因果的关系,但不是同期的互为

表 1 工业产值、工业用水技术效率对工业废水排放量的贡献度

Table 1 Contribution of industrial output and technical efficiency of water utilization to wastewater effluent

滞后 期数	工业产值对工业废水 排放量的贡献度		工业用水技术效率对 工业废水排放量的贡献度		滞后 期数	工业产值对工业废水 排放量的贡献度		工业用水技术效率对 工业废水排放量的贡献度	
	DQ 标准差	DW	DT 标准差	DW		DQ 标准差	DW	DT 标准差	DW
1	0.054 2	0	0.001 8	12.740	6	0.056 2	4.928	0.002 4	8.555
2	0.056 0	3.688	0.002 1	9.989	7	0.056 2	4.921	0.002 4	8.573
3	0.056 2	4.420	0.002 2	8.791	8	0.056 2	4.919	0.002 4	8.574
4	0.056 2	4.823	0.002 3	8.512	9	0.056 2	4.920	0.002 4	8.571
5	0.056 2	4.920	0.002 4	8.515	10	0.056 2	4.920	0.002 4	8.569

因果关系,这种因果关系受到时滞的影响.工业产值对工业废水排放量增长的脉冲响应当期产生,第 2 期时达到最大,在滞后 7 期上是工业废水排放量的格兰杰原因;工业废水排放量在滞后 2 期上是工业产值增长的格兰杰原因,对工业产值增长的负向影响在第 2 期时最大,然后逐渐减缓至第 7 期为零,工业废水排放量对工业产值增长的影响是逐步的、渐进的,但长期的积累形成的冲击导致环境不断恶化,破坏工业经济持续发展.

b. 方差分解结果表明,工业产值对工业废水排放量的影响当期产生,达到 3.69%,呈增加的趋势,逐步稳定在 4.93%;工业用水技术效率对工业废水排放量的贡献度达到 12.74%,由于技术扩散,逐步稳定在 8.57%,所以,不仅要注意调整产业结构,控制城市工业污水排放总量,而且要依靠科学技术的进步,提高工业用水水技术效率.

c. 废水污染对工业经济增长的反作用往往被追求经济发展的动力掩盖,要建立有效、完善的排污市场和交易机制,提高用水技术效率,制定合适的工业经济发展速度,支持耗水低、污水少的产业发展,在不超过承载力的前提下,保持发展的张力,推进工业化进程.

参考文献：

[1] 熊文,吴玉鸣.中国经济增长与环境脆弱性的因果及冲击响应分析[J].资源科学,2006,28(5):17-23.
[2] 朱智名.库兹涅茨曲线在中国水环境分析中的应用[J].河海大学学报:自然科学版,2004,32(4):388-391.
[3] 曹光辉.环境容量约束下经济增长最大化的政策与手段研究[D].重庆:重庆大学,2006.
[4] 高铁梅.计量经济分析方法与建模[M].北京:清华大学出版社,2001:287-296.
[5] 王群勇.广义预测误差方差分解及其在证券市场冲击传递性研究中的应用[J].数理统计与管理,2005,25(4):60-65.
[6] 国家环境保护总局.中国环境状况公报:1989~2005[EB/OL].[2006-10-15].http://www.sepa.gov.cn/plan/zkgb/.
[7] BATTESE G E, COELLI T J. A Model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data[J]. Empirical Economics,1995(2):325-332.

Efficiency-based impulse response analysis between industrial output and wastewater effluent

SUN Ai-jun^{1,2}, DONG Zeng-chuan², CHEN Kang-ning², DING Sheng-xiang²

- (1. Department of Economics and Management, Huaiyin Teachers College, Huaian 223300, China ;
2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract : The wastewater effluent resulted from industrialization is related to the technical efficiency of industrial water utilization. Based on Granger Causal test and ADF test, a VAR model was developed and the impulse response function and variance decomposition method were employed for quantitative study of the relationships between the industrial output, industrial wastewater effluent, and technical efficiency of industrial water utilization. Research shows that both the industrial output and technical efficiency of industrial water utilization are closely related to wastewater effluent, that the industrial wastewater effluent is of obvious time lagging effect on the industrial output, and that the maximum contributions of industrial output and technical efficiency of industrial water utilization to the industrial wastewater effluent reach 4.93% and 12.74% respectively.

Key words : industrial wastewater effluent ; industrial output ; technical efficiency of industrial water utilization ; impulse response ; variance decomposition