

基于空间视角的水资源经济环境效率评价

陈 磊, 吴继贵, 王应明

(福州大学经济与管理学院, 福建 福州 350116)

摘要: 基于2008~2012年中国水资源-经济-环境(WEE)系统的省际面板数据, 运用考虑非期望产出的数据包络分析(DEA)方法测算WEE系统的整体技术效率、纯技术效率、规模效率和规模收益情况; 构建基于万有引力定律的空间权重矩阵, 着重分析整体技术效率的空间分异规律。探讨3种WEE效率之间的空间相关性; 并运用空间误差模型(SEM)分别对这些效率间的空间效应进行分析。结果表明: ①提升WEE整体技术效率的瓶颈在于纯技术效率; ②区域间的3种WEE效率都存在显著的空间误差相关; ③技术创新性、外资依存度、产业结构、产权结构通过纯技术效率和规模效率, 以不同的作用形式对WEE整体技术效率产生正向影响; ④水资源禀赋和政府重视度对WEE整体技术效率产生负向影响。

关键词: 水资源-经济-环境(WEE); SBM模型; 空间相关性; 空间误差模型

中图分类号: X196 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2015)12-1568-07

近年来, 经济发展的环境效率和水资源的利用效率皆已成为国内外学者研究的热点问题。而自1989年Färe等人率先建立考虑非期望产出的数据包络分析(DEA)环境效率评价模型以来, DEA俨然成为环境效率最常用的测度方法之一^[1]。DEA衡量环境效率主要存在两种测度方法, 一是利用考虑非期望产出的CCR、BCC、SBM等DEA模型来衡量某一阶段的经济环境效率^[2]; 二是通过DEA-Malmquist指数方法来衡量某一时期内经济环境效率的动态变化^[3]。水资源效率的研究主要集中在用水效率和污水处理效率上^[4]。其中, 学者们不仅使用了LMDI^[5]、DEA^[6]等多种方法对效率进行测度, 部分研究还考虑了效率之间的空间效应^[7]。

虽然经济发展的环境效率及水资源效率研究日趋丰满, 却鲜有涉及水资源-经济-环境(WEE)系统的研究。WEE系统是个复杂的开放系统, 其效率受到外界多种因素的影响。而DEA方法虽然可以快速准确地衡量其效率, 却很难发现这种影响的存在。根据地理学第一定律: “任何事物之间总是相关的, 而距离近的事物的相关性要比距离远的事物之间大”^[8], 难免存在相互影响的空间相

关性。这种空间相关性在传统社会经济环境系统的研究中却常常被忽略。针对以上问题, 本文采用考虑非期望因素的SBM模型分别对2012年中国31个省市水资源经济环境的整体技术效率、纯技术效率、规模效率和规模收益情况进行衡量; 随后, 借助空间计量方法, 研究整体技术效率的空间分异规律, 分析空间效应、水资源禀赋、政府重视程度等因素对3种效率的影响, 最后得出提高WEE效率的方法路径。

1 研究方法

1.1 DEA方法

DEA是基于投入产出数据的决策单元(DMU)相对有效性评价的评价方法。本文结合实际问题, 采用Tone提出的考虑非期望产出的非角度非径向的松弛变量方法(SBM)模型来对WEE效率进行测度^[9]。其模型描述如下:

假设有 n 个DMU, 每个DMU具有 m 种投入 x , s_1 种期望产出 y^e , s_2 种非期望产出 y^b , 则DMU₀的整体技术效率 θ_0^{TE} 可以由式(1)表示。

收稿日期: 2014-12-25; **修订日期:** 2015-10-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71371053); 高等学校博士学科点专项科研基金(20123514110012); 教育部人文社会科学青年基金项目(14YJC630056); 福建省自然科学基金项目(2014J01264)资助。

作者简介: 陈 磊(1988-), 男, 福建福安人, 博士研究生, 主要研究管理系统工程。E-mail: chenlei0593@hotmail.com

通讯作者: 王应明, 博士。E-mail: msymwang@hotmail.com

$$\min \theta_0^{TE} = \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i^- / x_{i0}}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} s_r^g / y_{r0}^g + \sum_{l=1}^{s_2} s_l^b / y_{l0}^b \right)} \quad (1)$$

$$s.t. \quad x_0 = X\lambda + s^-, \quad y_0^g = Y^g\lambda - s^g,$$

$$y_0^b = Y^b\lambda + s^b, \quad s^-, s^g, s^b, \lambda \geq 0.$$

式中 s^- , s^g , s^b 分别是 x , y^g , y^b 的松弛量, λ 为权重向量, X, Y^g, Y^b 为投入产出矩阵。当 $\theta_0^{TE}=1$ 时, DMU₀ 整体技术有效; 否则即通过投入产出松弛量改进效率。整体技术效率又可拆分为纯技术效率和规模效率, 纯技术效率用于衡量技术水平、管理模式等因素对生产效率的影响, 规模效率用于反映规模因素对生产效率的影响^[10]。若令式(1)中的 λ 满足 $E\lambda=1$ 的约束条件, 即为规模收益可变的 SBM 模型, 所求目标值 θ_0^{PTE} 为 DMU₀ 的纯技术效率, 其中 E 为单位向量。规模效率可表示为 $\theta_0^{SE} = \theta_0^{TE} / \theta_0^{PTE}$ 。Cooper 等认为, 可以通过 DMU 的规模收益状态来衡量其是否具有规模效应, 即规模的增大带来经济效益的提高^[11]。其判断标准为: 若 λ^* 为式(1)中的最优权重, 则 $\sum \lambda$ 的值大于、等于、小于 1, 分别对应着 DMU 规模收益递减、不变和递增。

1.2 空间计量方法

一般来说, 空间数据基本都具有空间依赖或空间自相关的特性, 这种联系可以通过空间滞后模型 (SLM) 或空间误差模型 (SEM) 进行描述^[12]。本文采用 SEM 来进行中国 WEE 效率之间的空间效应分析, 模型表示如下:

$$Y_{it} = X_{it}\beta + \varepsilon_{it}, \varepsilon_{it} = \lambda W\varepsilon_{it} + \mu_{it}, \mu_{it} \sim N[0, \sigma^2] \quad (2)$$

式中, Y_{it} , X_{it} , β_{it} 分别表示地区 i 在时期 t 的因变量、自变量、变量系数; ε_{it} , μ_{it} 分别表示残差和随机扰动; λ , W 表示空间误差相关系数和空间权重矩阵。由于区域间环境效率的空间相关性不仅局限于拥有共同边界的地区之间, 而且还取决于区域的经济发展水平。区域的经济水平越强, 则对其他区域的吸引力越大, 空间溢出效应越明显。因此, 本文采用冯烽等使用的基于万有引力定律的空间权重设定法来确定空间权重矩阵^[13]。其方法如下:

$$w_{ij} = \begin{cases} \frac{m_i m_j}{d_{ij}^2}, & i \neq j \\ 0, & i = j \end{cases} \quad (3)$$

其中, d_{ij} 为地区 i 和地区 j 的地理距离, m_i 为地区 i 的经济发展水平, 本文以样本期内的人均 GDP 代

表。所有的 w_{ij} 共同组成空间权重矩阵 W , 并进行标准化以消除量纲影响。

2 实证分析

2.1 变量关系与数据来源

本研究以 2008~2012 年中国 31 个省市 (不含港澳台) 的 WEE 系统作为研究对象。该系统的投入变量为资本投入、劳动力投入和水资源投入, 分别用资本形成总额、三次产业就业人数和用水量来衡量; 以地区生产总值 GDP 代表期望产出; 以水污染主要的衡量指标化学需氧量 COD 排放总量为非期望产出。WEE 系统是个复杂的开放系统, 其效率指标还受到空间效应及其他因素的影响。这些因素如表 1 所示。

表 1 影响效率指标的变量

Table 1 Variables of affecting efficiency

| 影响变量 | 代表指标 |
|--------------|-----------------|
| 水资源禀赋 x_1 | 用水总量/水资源总量 |
| 技术创新性 x_2 | R&D 经费投入/GDP 总值 |
| 政府重视程度 x_3 | 废水治理投资总额/财政支出总额 |
| 外资依存度 x_4 | FDI/社会固定资产投资总量 |
| 产业结构 x_5 | 第三产业生产总值/GDP 总值 |
| 产权结构 x_6 | 国有企业生产总值/GDP 总值 |

为了进一步消除量纲影响, 将影响变量的数据进行最大值归一化处理。每一个 WEE 系统都可以看成是一个相对独立的 DMU, 则任意 2 个 DMU 之间的投入产出指标与影响变量之间的关系如图 1 所示。

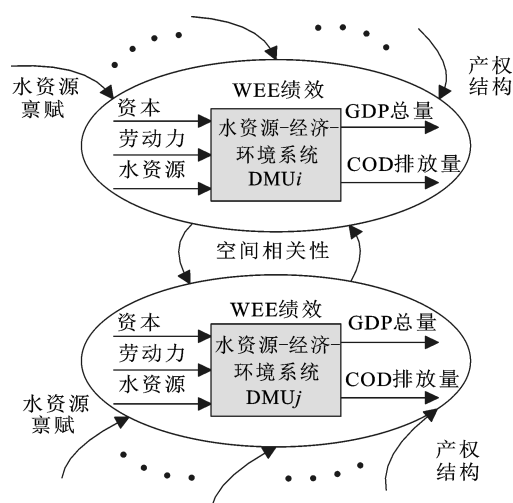


图 1 变量关系

Fig.1 Variable relationship

本研究指标数据来自《中国统计年鉴》(2009~2013年)^[14]、《中国环境统计年鉴》(2009~2013年)^[15]。需要注意的是,2008~2010年的COD排放总量不包含农业COD排放量。因此为了保证可比性,2011~2012年的COD排放总量需要除去农业排放的部分。空间权重矩阵所用的各地区空间数据来源于国家基础地理信息中心。

2.2 环境效率评价结果分析

利用DEA-Solver求解考虑非期望产出的SBM模型,通过测算,2008~2012年中国31个省市的WEE效率平均值如表2所示。

2008~2012年中国WEE效率的总体趋势如图2所示:

从图2可以看出,2008~2012年中国WEE系统无论从整体技术效率、纯技术效率,还是规模效率都逐年增长的趋势,但增长速度较慢,年均增长率仅为1.9%,1.5%和0.3%。同时可以看出,整体技术效率水平偏低的主要原因在于纯技术效率水平低下,因此,提升WEE效率的关键在于产业的优化升级、先进理念的实践应用等方面,而不是单纯的加大投资力度,靠规模来拉动效率增长。从2010年后,纯技术效率增长速率有所增加,说明随着节约用水的理念不断深入人心,WEE系统可持续发展的水平日渐提高。

从表2可以看出,中国WEE整体技术效率呈东中西部逐渐减低的状况。按照不同区域的效率评价结果,可得以下结论:①从东部地区的效率

来看,北京、上海、广州、天津等地区WEE整体技术有效。这些地区地理位置优越,经济实力,技术水平,人员素质均明显高于其他地区,且存在人口密集,水资源供应紧张的问题。这种双向压力共同导致对WEE的重视,使得其无论是技术效率、规模效率,还是规模收益状态都处于相对最优的位置,在全国范围内起到标杆的作用。当然WEE有效是相对其他地区而言,并不代表它们充分挖掘出资源的潜在价值。而海南、广西虽处东部,但仍是经济欠发达地区,技术水平与人员素质都略显不足;同时,和福建、浙江等地一样,属沿海多雨地带,具有明显的水资源禀赋优势,这些因素共同导致了它们WEE效率落后于东部其他地区。需要注意的是,虽然江苏的技术效率和规模效率都处于较高水平,然而却处于规模收益递减的状态。因此,江苏省继续加大规模投入将得不偿失,其发展更应该依靠产业结构的调整和水资源的合理利用。②从中部地区的效率来看,呈现出纯技术效率低、规模效率高、规模收益递增的效率分布。显然,随着东部地区生产成本不断升高,及中部崛起概念的持续升温,中部诸省在承接东部产业转移方面的优势日渐突显,充分发挥出整体规模效应,同时这种规模效应还具有继续加强的趋势。但其在快速发展的同时,忽视产业结构的优化升级,技术转移承接效果并不理想,且人员环保意识略有欠缺,都导致了WEE纯技术效率的低下。③从西部地区的效率来看,陕西、四川、重庆

表2 2008~2012年中国各省市WEE效率均值

Table 2 Average WEE efficiency of regions in China from 2008 to 2012

| 东 部 | θ^{TE} | θ^{PTE} | θ^{SE} | 规模收益 | 中 部 | θ^{TE} | θ^{PTE} | θ^{SE} | 规模收益 | 西 部 | θ^{TE} | θ^{PTE} | θ^{SE} | 规模收益 |
|-----|---------------|----------------|---------------|------|-------|---------------|----------------|---------------|------|-----|---------------|----------------|---------------|------|
| 北 京 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 不变 | 山 西 | 0.50 | 0.53 | 0.94 | 递增 | 重 庆 | 0.51 | 0.56 | 0.91 | 递增 |
| 天 津 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 不变 | 内 蒙 古 | 0.55 | 0.58 | 0.94 | 递增 | 四 川 | 0.49 | 0.51 | 0.97 | 递增 |
| 河 北 | 0.64 | 0.68 | 0.94 | 递增 | 吉 林 | 0.43 | 0.44 | 0.97 | 递增 | 贵 州 | 0.40 | 0.48 | 0.82 | 递增 |
| 辽 宁 | 0.57 | 0.61 | 0.93 | 递增 | 黑 龙 江 | 0.39 | 0.40 | 0.96 | 递增 | 云 南 | 0.37 | 0.42 | 0.90 | 递增 |
| 上 海 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 不变 | 安 徽 | 0.48 | 0.49 | 0.97 | 递增 | 西 藏 | 0.28 | 1.00 | 0.28 | 递减 |
| 江 苏 | 0.90 | 1.00 | 0.90 | 递减 | 江 西 | 0.44 | 0.46 | 0.95 | 递增 | 陕 西 | 0.51 | 0.52 | 0.99 | 递增 |
| 浙 江 | 0.69 | 0.89 | 0.79 | 递增 | 河 南 | 0.52 | 0.57 | 0.91 | 递增 | 甘 肃 | 0.37 | 0.46 | 0.81 | 递增 |
| 福 建 | 0.51 | 0.52 | 0.98 | 递增 | 湖 北 | 0.47 | 0.48 | 0.97 | 递增 | 青 海 | 0.35 | 1.00 | 0.35 | 递减 |
| 山 东 | 0.86 | 1.00 | 0.86 | 递增 | 湖 南 | 0.46 | 0.47 | 0.98 | 递增 | 宁 夏 | 0.31 | 0.49 | 0.62 | 递增 |
| 广 东 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 不变 | | | | | | 新 疆 | 0.31 | 0.35 | 0.90 | 递增 |
| 广 西 | 0.35 | 0.37 | 0.96 | 递增 | | | | | | | | | | |
| 海 南 | 0.40 | 0.66 | 0.61 | 递增 | | | | | | | | | | |
| 总均值 | 0.74 | 0.81 | 0.91 | | 总均值 | 0.47 | 0.49 | 0.95 | | 总均值 | 0.39 | 0.58 | 0.75 | |

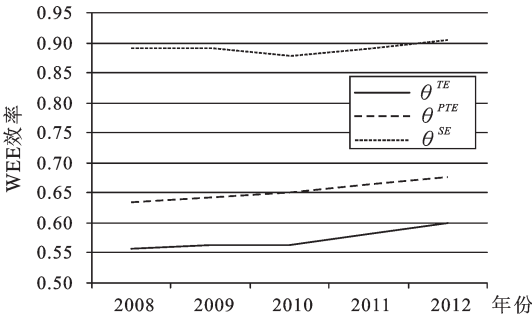


图2 中国WEE效率趋势
Fig.2 Trend of WEE efficiency in China

处于中西部结合的枢纽地区,担当承接产业转移,辐射广大西部地区的重责。此三地规模效率均大于0.9,且规模收益还在递增,说明多年来的西部大开发效果明显。然而,西部地区长期依赖政策与资源优势,承接大量劳动密集型、资源型产业,对生态环境的关注不多,致使整体纯技术效率不高。同时,西藏、青海等地,交通不便,地广人稀,自然环境略显恶劣,缺乏对资金的吸引力,导致较难形成规模效应,甚至还出现了规模收益递减的情况。因此,若单纯的继续加大投入,仍难以改变现状,只会导致水资源更加严重的浪费。因此,这些地区应该首重产业的整合,通过产业集群等方法改变发展缓慢、效益低下等现状。

2.3 基于多截面数据的空间分异规律分析

Moran 指数是分析数据之间空间分异规律的常用方法。然而对于面板数据而言,Moran 指数难以计算。所以,为了更加深入的分析效率的空间分异规律,笔者参照前人研究,通过多截面平均的方法计算整体技术效率的 Moran 指数^[7,16]。结果显示,WEE 系统整体技术效率的 Moran 值为 0.443 8,存在显著的空间关联性。在此基础上,绘制局部 LISA 空间聚集图,具体如图 3 所示。

LISA 空间聚集图中不同的颜色分别对应着不同的空间集聚效应,而灰色区域表示其空间集聚效应在 5% 的显著水平上未通过检验。从图 3 可以看出,效率分布以空间正相关为主导。其中环渤海和长江三角洲地区经济发达,技术先进,水资源利用较为充分,呈现空间上的高-高聚集;西部地区普遍存在经济发展水平不高,产业结构不合理,水资源浪费严重的问题,整体上呈现出低-低聚集的空间效应;而海南省水资源丰富,且经济发展水平与珠三角地区相差甚大,直接反映是空间

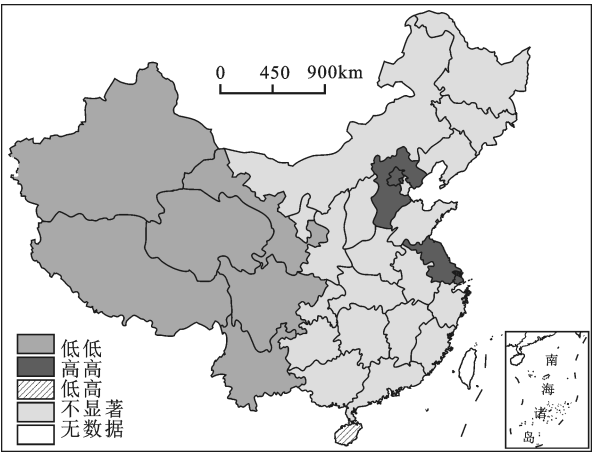


图3 整体技术效率的LISA空间聚集图
Fig.3 LISA spatial aggregation graph of technology efficiency

上的低-高聚集;其他地区的空间聚集关系不显著。

2.4 基于面板数据的空间效应分析

本文采用拉格朗日乘子(LM)检验与稳健的拉格朗日乘子(Robust LM)检验对 2008~2012 年中国 WEE 系统的省际面板数据进行分析。运用 Matlab 7.0,在基于万有引力定理的空间权重矩阵的基础上,检验结果如表 3 所示。

表3 WEE系统效率的空间相关性检验

| Table 3 Results of spatial correlation test of WEE efficiency | | | |
|---|---------------|----------------|---------------|
| 指标 | θ^{TE} | θ^{PTE} | θ^{SE} |
| $LM(Lag)$ | 1.016 | 0.258 | 2.191 |
| (P值) | (0.202) | (0.611) | (0.139) |
| $Robust\ LM(Lag)$ | 0.947 | 0.564 | 0.109 |
| (P值) | (0.314) | (0.452) | (0.411) |
| $LM(err)$ | 2.634 | 2.134 | 2.758 |
| (P值) | (0.009) | (0.014) | (0.037) |
| $Robust\ LM(err)$ | 1.628 | 2.440 | 1.68 |
| (P值) | (0.011) | (0.012) | (0.041) |

从表 3 可知,中国 WEE 整体技术效率、纯技术效率、规模效率均未通过 SLM 的 LM 检验和 Robust LM 检验,这表明区域间的效率值不存在显著的空间滞后相关性;而 3 种效率值均在 5% 的显著水平上通过 SEM 的检验,表明以 θ^{TE} 、 θ^{PTE} 和 θ^{SE} 为被解释变量的模型误差项之间存在显著的空间相关性,应该选用 SEM 来分析其空间效应。

为了进一步验证中国 WEE 系统效率的空间相关性,利用 SEM 分别对整体技术效率、纯技术

效率、规模效率进行分析,所得结果如表4所示。

表4显示,3种效率SEM中的空间误差相关系数 λ 分别为0.706、0.912和1,且均在1%的显著水平上拒绝空间误差不相关的原假设,说明区域间的WEE效率存在明显的空间效应。因此,可以认为周边区域WEE效率的提高将通过误差冲击对本区域的WEE效率水平产生正向影响。

从变量系数来看,水资源禀赋对WEE效率皆具有的负向影响,且均在10%的水平下显著,表明水资源的紧缺有利于提高水资源的利用率,更加注重水资源的保护。技术创新对提高整体技术效率和纯技术效率都存在着显著的正向影响,然而却与WEE规模效率呈负向关系。这表明,随着技术的进步,企业更加关注核心竞争力,而将非核心、污染重的产业转移到其他生产成本低、环境监管力度弱的地区,致使规模效益下降,该现象符合发展中国家成为发达国家“污染避难所”假说的原理。产业结构的优化和产权的国有化对WEE整体技术效率的提高有促进作用,但是这些作用都不明显。这是因第三产业有助与提高纯技术效率,但由于第三产业本身准入门槛低,容易导致数量多,规模小的特点,使得很难形成规模效应;国有产业正好相反,多重视规模的扩充,对与技术创新的重视程度往往不足。

与笔者事先设想不一致的有:首先,政府重视程度对整体技术效率存在负向影响,虽然该影响并不明显,即政府对废水治理投资的费用越多,WEE效率越低。导致这种现象的原因可能是:①长期“先污染,后治理”的行为,形成污染物

排放量越高,政府的重视越高的这种本末倒置的治理思路;②从国家层面上看,经济发展仍旧处于库茨涅茨曲线的左半段,许多地区废水治理投资的增长还赶不上其污染物排放及GDP增长的速度,从而导致污染治理效果不佳的假象;③水治理投资资金去向监管不严、企业自身缺乏治理废水的积极性,出现数据失真、效率低下等问题。其次,外资依存度对无论对WEE纯技术效率,还是规模效率,均存在正向的影响,但对纯技术效率的影响微弱,仅为0.094。一直以来,关于FDI与环境污染关系的研究主要分为两种观点,一是“污染避难所”假说^[17];二是FDI不仅不会恶化东道国的环境,反而对环境改善有促进作用^[18]。就其对WEE效率影响而言,本文研究在一定程度上支持第二种观点,但这种改善更大程度上来源于FDI生产活动中显著的规模效益特征。FDI确实带来是先进的技术设备和管理理念,而与之并存的是一些对水体污染严重的产业转移,因此,对WEE纯技术效率而言,外资依存度的影响并不明显。

3 结论与启示

根据实证分析结果,可以得出以下启示:

1) 提高中国WEE系统整体技术效率的瓶颈在于纯技术效率,而不在于规模效率。目前,许多地方的经济发展仍然处于“重规模,轻质量”的要素驱动型增长模式。盲目的扩大规模,忽视淘汰落后产能,推动产业升级的重要性,必将导致水资源的保护与社会经济增长之间的冲突愈演愈烈,严重妨碍可持续发展战略的实践。地方经济增长

表4 空间误差模型分析结果

Table 4 Analysis results of SEM

| 参数 | 整体技术效率 | | 纯技术效率 | | 规模效率 | |
|-----------|--------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | 系数估计值 | P值 | 系数估计值 | P值 | 系数估计值 | P值 |
| Constant | -0.074 | 0.053 | 0.058 | 0.079 | 0.574 | 0.002 |
| x_1 | -0.099 | 0.008 | -0.138 | 0.034 | -0.122 | 0.063 |
| x_2 | 0.398 | 0.000 | 0.603 | 0.000 | -0.298 | 0.010 |
| x_3 | -0.044 | 0.051 | -0.117 | 0.028 | 0.126 | 0.026 |
| x_4 | 0.484 | 0.000 | 0.094 | 0.020 | 0.997 | 0.000 |
| x_5 | 0.282 | 0.012 | 1.270 | 0.000 | -1.056 | 0.000 |
| x_6 | 0.198 | 0.007 | -0.515 | 0.000 | 0.766 | 0.000 |
| λ | 0.706 | 0.000 | 0.912 | 0.000 | 1.000 | 0.000 |
| R^2 | 0.981 | | 0.966 | | 0.946 | |
| Log-L | 289.52 | | 138.201 | | 120.225 | |

应该建立在不断调整产业结构,引进先进设备和管理理念的基础上。特别是中西部地区,在承接东部产业转移的同时,需要注意加大技术转移的承接力度,广泛宣传节水理念,建立水资源循环利用体系以提高用水效率,改变传统高消耗、高排放的“粗放式”生产模式。

2) 中国区域 WEE 效率不仅与自身的投入产出要素相关,还受到其他地区 WEE 效率的影响,它们之间存在显著的空间误差正相关。这表明,树立效率标杆,可以令标杆地区的 WEE 高效率通过误差项扩散至其周边区域。特别是对于经济发展水平高的区域。这些地区对其他地区的影响力巨大,应该格外注意环境监管,重视水资源循环经济体系的构建,以辐射周边区域,带动整体 WEE 效率的提高。

3) 技术创新性、外资依存度、产业结构、产权结构都能对 WEE 整体技术效率产生正向的影响。然而,不断提高生产中的技术创新水平,大力发展第三产业的同时,还有应该注意先进技术的推广应用,重视对第三产业的整合集成,不断加强核心竞争力,形成特色鲜明的产业集群,集中处理水资源污染物,发挥出应有的规模效应。而国有产业应不断调整组织结构,推行技术改革,提高水资源的使用效率。

4) 水资源禀赋和政府重视度对 WEE 整体技术效率产生负向影响。中国应当加大宣传教育力度,使人们充分认识到水资源的重要性以及当前水资源与环境间的重重矛盾,走出“先污染,后治理”的发展困境。政府在加大水资源治理投资力度的同时,要加强资金的监管与落实,优先推行和完善水资源循环利用体系,积极借鉴和探索水资源保护方法,引导社会尽快越过库茨涅茨曲线的污染拐点,构建 WEE 系统各要素协同并进的科学发展模式。

参考文献:

- [1] Färe R, Grosskopf S, Lovell C A K, et al.. Multilateral productivity comparisons when some outputs are undesirable: A non-parametric approach [J]. The Review of Economics and Statistics, 1989, **71**(1): 90-98.
- [2] Hwang S N, Chen C, Chen Y, et al. Sustainable design performance evaluation with applications in the automobile industry: Focusing on inefficiency by undesirable factors [J]. Omega, 2013, **41**:553-558.
- [3] Sueyoshi T, Goto M. DEA environmental assessment in a time horizon: Malmquist index on fuel mix, electricity and CO₂ of industrial nations [J]. Energy Economics, 2013, **40**: 370-382.
- [4] Cruz N F, Carcalho P, Marques R C. Disentangling the cost efficiency of jointly provided water and wastewater services[J]. Utilities Policy, 2013, **24**(5): 70-77.
- [5] 孙才志, 谢巍, 邹玮. 中国水资源利用效率驱动效用测度及空间驱动类型分析[J]. 地理科学, 2011, **31**(10): 1213~1221.
- [6] Bian Y W, Yan S, Xu H. Efficiency evaluation for regional urban water use and wastewater decontamination systems in China: a DEA approach[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2014, **83**(5): 15-23.
- [7] 赵良仕, 孙才志, 郑德凤. 中国省级水资源利用效率与空间溢出效用测度[J]. 地理学报, 2014, **09**(1): 121~133.
- [8] 程开明, 庄燕杰. 城市体系位序-规模特征的空间计量分析——以中部地区地级以上城市为例[J]. 地理科学, 2012, **32**(8): 903~912.
- [9] Tone K. Dealing with undesirable outputs in DEA: A slacks-based measure (SBM) approach [R]. GRIPS Research Report Seires, 2003-2005.
- [10] 汪克亮, 杨力, 杨宝臣, 等. 能源经济效率、能源环境绩效与区域经济增长[J]. 管理科学, 2013, **26**(3):86~99.
- [11] Cooper W W, Huang Z M, Li S X, et al. Efficiency Aggregation with Enhanced Russell Measures in Data Envelopment Analysis [J], Socio-Economic Planning Sciences, 2007, **41**(1): 1-21.
- [12] 姜磊, 季民河. 基于 STIRPAT 模型的中国能源压力分析——基于空间计量经济学模型的视角[J]. 地理科学, 2011, **31**(9): 1072~1077.
- [13] 冯烽, 叶阿忠. 技术溢出视角小技术进步对能源消费的回弹效应研究[J]. 财经研究, 2012, **38**(9): 123~133.
- [14] 国家统计局. 中国统计年鉴 2009~2013[M]. 北京: 中国统计出版社, 2009~2013.
- [15] 国家统计局. 中国环境统计年鉴 2009~2013[M]. 北京: 中国统计出版社, 2009~2013.
- [16] 苏桔芳, 胡日东. 中国 FDI 区域分布决定因素的动态演变与地理溢出程度——基于空间面板数据的实证研究[J]. 经济地理, 2008, **28**(1): 16~20.
- [17] 张可云, 傅帅雄, 张文彬. 基于改进生态足迹模型的中国 31 个省级区域生态承载力实证研究[J]. 地理科学, 2011, **31**(9): 1084~1089.
- [18] 许和连, 邓玉萍. 外商直接投资导致了中国的环境污染吗? ——基于中国省级面板数据的空间计量研究[J]. 管理世界, 2012, (2): 30~43.

Efficiency Evaluation of Water Resource-economic-environment System Based on Spatial Perspective

CHEN Lei , WU Ji-gui, WANG Ying-ming

(School of Economics & Management, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350116, China)

Abstract: In recent years, the environmental efficiency of economic development and the utilization efficiency of water resource have become important research issues worldwide. However, the study about Water Resource-Economy-Environment (WEE) system is very rare. In addition, the spatial correlation between regions is usually ignored in traditional study. In this article, we thus introduce the data envelopment analysis (DEA) method and spatial econometrics method to analyze the efficiency evaluation problem of WEE system in China. Based on provincial panel data from 2008 to 2012, the technical efficiency, pure technical efficiency, scale efficiency and return to scale of WEE system are gained by slack based measure (SBM) model, which is one of traditional DEA models. And some conclusions are summarized as follows. First, all kinds of efficiencies are increasing year by year, but the growth rate are small. Second, the key to prove technical efficiency of WEE system lies in pure technical efficiency. Third, the technology efficiency of WEE system is gradually reduced from eastern China to western China, and it is caused by that the population quality, economic strength, technical level, and investment power are different between these areas. For analyzing the spatial differentiation of efficiency distribution, the Moran index of technology efficiency is calculated, and the result shows that there has significant spatial correlation in the efficiency distribution. In order to further analysis this spatial differentiation, LISA space aggregation graph is drawn. We then use the Lagrange multiplier (LM) test and robust LM test to analyze the provincial panel data of Chinese WEE system based on the spatial weight matrix determined by the law of universal gravitation. The results of text show that three kinds of efficiency values are verified by the spatial error model (SEM) at 5% significant level. We thus use SEM to analyze the space effect of technology efficiency of Chinese WEE system. The results show that the technical creativity, the industrial structure and the property right structure have positive correlations with WEE system technical efficiency by different acting forms on pure technical efficiency and scale efficiency, while the water resource endowment have negative correlation. There are some phenomena that inconsistent with our assumptions. First, the government attention has negative correlation with WEE system technical efficiency, and some reasons are summarized. Second, the utilization of foreign investment has positive correlation with the technical efficiency of WEE system, but this correlation is not obvious.

Key words: Water resource-Economic-Environment (WEE); SBM model; spatial correlation; spatial error model (SEM)