基于三阶段 DEA 与 Malmquist 指数分解的长江经济带水资源利用效率研究[1]

卢曦[1,2]，许长新[1]

（1．河海大学商学院，江苏南京 210098 ；2 江苏理工学院商学院，江苏常州 213001 ）

【摘 要】长江经济带水资源的合理有效使用为经济的可持续发展提供了重要保障。以长江经济带 H 省市为研究对象，运用三阶段 DEA 模型和 Malmqtlist 对 20 10 一 2014 年 H 省市水资源的利用效率进行了静态和动态分析。研究结果表明：在剔除了外部环境因素和随机误差因素以后，纯技术效率均值和综合技术效率均值被低估，规模效率均值被高估，投入规模不足是扼制我国水资源利用效率提升的瓶颈。同时，东中西部省份的水资源利用效率差异显著，呈现“东部＞中部＞西部”的格局。通过对 Malmquist 指数分解可知，全要素生产率指数与技术变化值的演变趋势基本一致，反映了全要素生产率指数对技术变化的严重依赖。因此，扩大生产规模，加大科技投入和知识创新，优化和升级产业结构是提高水资源利用效率的重要途径。

【关键词】三阶段 DEA 模型；Malmquist 指数；综合技术效率；纯技术效率；规模效率；全要素生产率（T FP ）

【中图分类号】TV211

【文献标志码】A

【文章编号】11004 一 8227（ 2017 ）01 一 0007 一 08

【DOI】10 . 11870 / cjlyzyyhj201701002

长江经济带东起上海，西至云南，覆盖了九省二市。该经济带是长江流域最发达的区域，其人口和生产总值均超过全国的 40%，其战略性地位不言自明。2014 年，“依托黄金水道，建设长江经济带”第一次出现在政府报告中，标志着建设长江经济带俨然已成为国家一项重大区域发展战略，为黄金水道的进一步发展提供了新的发展动力。作为黄金水道，其区域经济的可持续发展势必离不开水资源的优化配置和可持续利用。在今年一月份召开的长江经济带座谈会上，习近平总书记特别强调了要科学利用水资源、优化产业布局的重要性。长江水资源总量相对丰富，但人均占有水资源量仅为世界人均的 30%，耕地亩均占有水资源量约为世界平均水平的 70%，处于较低水平[1] 。同时，水资源时空分布不均衡，粗放型用水严重浪费现象 [2] 导致水资源的短缺，水资源供需矛盾的加剧成为扼制流域经济社会可持续发展的瓶颈。因此，深入研究长江经济带水资源的利用现状，有利于寻求提高水资源利用效率的现实途径，从而为域内经济的可持续发展提供支撑和保障。水资源利用效率的问题，早已经受到了国内

[1]**收稿日期：**2016-05-18 ；
修回日期：2016-07-21
基金项目：国家自然科学基金项目（51279058 ）[National Natural science Foundation of China （ 51279058 ）]
作者简介：卢曦（1982～），女，博士研究生，讲师，主要研究方向为水资源效率和水资源环境. E-mail：sjhbabyl 104 @ 163.com

学者的广泛关注。董战峰［3］等运用数据包络分析模型（DEA）对我国 31 个省、市、区 2010 年水资源利用效率进行了分析。钱文婧［4］等利用全要素生产框架下的 DEA 模型，采用省级数据计算了我国 1998 一 2008 年的水资源利用效率，并用 Tobit 回归模型分析了影响水资源利用的影响因素。廖虎昌，董毅明[5]运用 DEA 模型和 Malmquist 指数全要素生产力(TFP）对西部 12 省的水资源利用效率进行了研究。孙爱军等［6］运用随机前沿生产函数模型（SFA）计算了我国 1953 一 2004 年间的工业水资源的利用效率。王学渊，赵连阁［7］运用 sFA 对我国农业（第一产业）用水效率进行了分析，对影响用水效率的因素采用了 Tobit 模型进行了分析。以上文献对我国水资源利用效率的研究具有非常重要的意义，然而由 1978 年 ChameS[8] 等提出的传统的 DEA 模型在对决策单元进行效率评估时，会将任何与效率前沿的偏差都看成是由管理无效率引起的，而忽略了外部环境和随机误差对效率值的影响。由 Aigner,LovellandSchmidt[9] 提出 SFA 参数法虽然考虑了环境因素和随机误差项，但它必须在假设的基础上设定生产函数，从而有可能造成设定偏误和非效率无法区分的问题［8］。即使加入了 Tobit 模型，也只能判断哪些环境因素影响了水资源利用的效率，同样对非效率是由管理无效引起的还是由外部环境因素造成的无法区分。

针对以上问题，本文运用 Fried［11］等提出的三阶段 DEA 方法，综合运用 DEA 模型和 SFA 模型，将环境因素和随机误差因素对水资源利用效率的影响中予以剔除，能够对长江经济带水资源利用效率做出更准确和更客观的评估。虽然使用三阶段 DEA 模型加强了测量的精确性，但是该方法更多适用于截面数据，对比评价相同时期的评价单元效率，对多年连续变化情况无法判断，而 Malmquist 指数方法正是处理长时间序列数据的好方法阎。因此，将两种方法有效结合在一起，对长江经济带水资源的利用效率进行静态和动态的分析，以期对水资源的利用效率做出更准确的判断，从而为政府做出决策提供更可靠的依据。

1 研究方法与数据说明

1.1 三阶段 DEA

Fried 等提出的三阶段 DEA 方法，认为投入（或产出）的冗余是由管理无效，外部环境因素和随机误差共同造成的，要进行管理效率评价必须剔除环境因素和随机误差。该模型具体步骤如下：第一阶段：投入导向的 BCC 模型

在该阶段中，本文使用原始投入产出数据进行初始效率评价。本着资源节约和环境友好的前提，本文采用投入导向的规模报酬可变的 BCC 模型。由于该模型已经非常成熟，在此不再赘述。第二阶段：类似 SFA 模型

传统的 DEA 无法识别在第一阶段中决策单元出现的低效率是由管理无效率造成的，还是由于外部环境因素和随机误差造成的。因此，在第二阶段中利用类似 SFA 模型将环境和随机误差的因素剥离掉，从而得到完全由管理无效率所造成的投入松弛变量。根据 Fried 等人的想法，构造如下类似 SFA 回归函数：

$$S_{ni} = f(z_i;\beta_n) + v_{ni} + \mu_{ni};\quad i = 1,2,\cdots,I;n = 1,2,\cdots,N \qquad (1)$$

其中，Sni 是第 i 个决策单元第 n 项投入的松弛值；Si 是环境变量，βn 是环境变量的系数；Vni+μni 是混合误差项，Vni 表示随机干扰，μni 表示管理无效率。其中，v~N(0,δ_v^2）是随机误差项，表示随机干扰因素对投入松弛变量的影响；μ是管理无效率，表示管理因素对投入松弛变量的影响，假设其服从在零点截断的正态分布，即μ~N(0,δ_u^2）。为了下一阶段的投入调整，先要把随机误差项从混合误差项中分离出来，公式如下：

$$\hat{E}[v_{ni}/\mu_{ni} + v_{ni}] = S_{ni} - f(z_i;\beta_n) - \hat{E}[\mu_{ni}/\mu_{ni} + v_{ni}];\quad i = 1,2,\cdots,I;n = 1,2,\cdots,N \qquad (2)$$

特别需要提到的一点，在以往三阶段的应用文献中几乎没有提及如何计算 $\hat{E}\left[\mu_{ni}/\mu_{ni}+v_{ni}\right]$，本文根据 Jondrow[12] 等论文的思路，进行了详细的推导，计算公式如下：

$$\hat{E}\left[\mu_{ni}/\mu_{ni}+v_{ni}\right]=\sigma^{*}\left[\frac{\phi\left(\lambda\frac{\varepsilon}{\sigma}\right)}{\Phi\left(\lambda\frac{\varepsilon}{\sigma}\right)}+\lambda\frac{\varepsilon}{\sigma}\right], \qquad (3)$$

$$\text{其中 } \sigma^{*}=\frac{\sigma_{\mu}\sigma_{v}}{\sigma},\ \sigma=\sqrt{\sigma_{\mu}^{2}+\sigma_{v}^{2}},\ \lambda=\frac{\sigma_{\mu}}{\sigma_{v}},$$

$$\varepsilon=\mu_{ni}+v_{ni}\ \ i=1,2,\cdots,I;n=1,2,\cdots,N\ 。$$

该公式与罗登跃［13］、陈巍巍[13] 等人推导的公式一致。

SFA 回归的目的是剔除环境因素和随机因素对效率测度的影响，以便将所有决策单元调整于相同的外部环境中。调整公式如下：

$$X_{ni}^{A}=X_{ni}+\left[\max f\left(z_i;\hat{\beta}_n\right)-f\left(z_i;\hat{\beta}_n\right)\right]+\left[\max\left(v_{ni}\right)-v_{ni}\right],i=1,2,\cdots,I;n=1,2,\cdots,N \qquad (4)$$

其中，X_{ni}^{a} 是调整后的投入；X_{ni} 是调整前的投入；$\left[\max f\left(z_i;\hat{\beta}_n\right)-f\left(z_i;\hat{\beta}_n\right)\right]$ 是对外部环境因素进行调整；$\left[\max\left(v_{ni}\right)-v_{ni}\right]$ 是将所有决策单元至于相同运气水平下。

第三阶段：调整后的投入产出变量的 DEA 效率分析

将调整后的投入再次代入 BCC 模型进行运算，由于剔除了外部环境和随机误差的因素，这使得到的效率值更加客观准确。

1.2Malmquist 指数

考虑到三阶段 DEA 是对长江经济带水资源利用效率的静态分析，本文进而构建 Malmquist 指数，对全要素生产率进行动态研究。Malmquist 生产率指数是由瑞典经济学家和统计学家 StenMalmquist 在 1953 年首先提出的，但是直到 1994 年，RolfFare 等人将这一理论的一种非参数性规划法与 DEA 理论相结合，这才使得 Malmquist 指数被广泛应用。RolfFare 等构建了从 t 至 t+1 期的 Malmquist 生产率指数：

$$M\left(x^{t+1},y^{t+1},x^{t},y^{t}\right)=\sqrt{\frac{D^{t}\left(x^{t+1},y^{t+1}\right)}{D^{t}\left(x^{t},y^{t}\right)}\times\frac{D^{t+1}\left(x^{t+1},y^{t+1}\right)}{D^{t+1}\left(x^{t},y^{t}\right)}} \qquad (5)$$

若指数$M\left(x^{t+1},y^{t+1},x^{t},y^{t}\right)>1$，表明从 t 到 t+1 期，全要素护率水平提高；若指数$M\left(x^{t+1},y^{t+1},x^{t},y^{t}\right)<1$，表明从 t 到 t+1 期，全要素生产率水平下降。进一少，可以将 Malmquist 生产率指数分解成如下：

$$M\left(x^{t+1},y^{t+1},x^{t},y^{t}\right)=\frac{D^{t+1}\left(x^{t+1},y^{t+1}\right)}{D^{t}\left(x^{t},y^{t}\right)}\times\sqrt{\frac{D^{t}\left(x^{t+1},y^{t+1}\right)}{D^{t+1}\left(x^{t+1},y^{t+1}\right)}\times\frac{D^{t}\left(x^{t},y^{t}\right)}{D^{t+1}\left(x^{t},y^{t}\right)}}。\quad(6)$$

其中 $EFFCH=\frac{D^{t+1}\left(x^{t+1},y^{t+1}\right)}{D^{t}\left(x^{t},y^{t}\right)}$

$$TECHCH=\sqrt{\frac{D^{t}\left(x^{t+1},y^{t+1}\right)}{D^{t+1}\left(x^{t+1},y^{t+1}\right)}\times\frac{D^{t}\left(x^{t},y^{t}\right)}{D^{t+1}\left(x^{t},y^{t}\right)}}$$

EFFCH 为技术效率变化指数（简称 EC），主要是指决策单元对现有技术的利用情况。若 EFFCH>1 表明决策单元越接近生产前沿面，技术效率有所改善；若 EFFCH<1 表明决策单元对现有技术利用青况并不理想。技术效率指数进一步可以分解为沌技术效率变化指数(PEC）和规模效率变化指数(SEC)，即 EC=PECxSEC。TECHCH 为技术进步变化指数简称（TC），主要是指生产技术的进步对决策单元的影响。若 TC>1，表明出现了技术进步或技术创新，生产前沿面向前移动。因此，Malmquist 主产率指数可表示为 M＝ECxTC，进一步表示为 M=PECxSECxTC。

1.3 变量选取和数据来源

1.3.1 投入产出变量

影响水资源利用效率的因素是多样的，在选择指标体系中要充分反映它们之间相互影响，相互依赖的关系，同时鉴于 DEA 模型的特殊性，要尽量避免指标间的线性相关性［5］。本文在考虑了数据的可得性和参考了以往的文献［3 一，］基础上，选取了以下的投入产出指标：以地区生产总值（GDP）为产出指标，以总用水量，从业人员总数，固定资产投资为投入指标。其中总用水量是由工业用水，农业用水，生态用水和生活用水加总而得，而从业人员总数是指上一年年末就业人数与本年末就业人数的平均数。

1.3.2 环境变量

环境因素是指对水资源利用的效率产生影响且是决策单元在短期内无法控制和改变的，因此环境因素又称为外部因素。通过综合相关文献以

及数据的可得性，本文从地区经济水平，水资源享赋以及产业结构三方面来选取环境指标。（1）地区经济水平：该指标用人均 GDP 来衡量。地区经济水平决定着当地政府的财政收入和支出能力。一般来说，经济越发达的地区，对于基础设施建设的资金投入会越多并且管理水平也较高，因此水资源的利用效率也会比较高。（2）水资源享赋：该指标用人均水资源拥有量来衡量。一个地区水资源的拥有量会影响当地居民的用水方式和节水意识。一般来说，一个地区的水资源越丰富，当地居民的节水意识越薄弱，水资源利用效率反而越低。（3）产业结构：该指标用第一产业增加值在 GDP 中所占比重来衡量。产业结构越合理

意味着资源配置越合理，从而水资源的利用效率也会更高。

2 实证分析与结果

2.1 三阶段 DEA 的实证分析

2.1.1 第一阶段传统 DEA 的实证分析

第一阶段运用 DEAP2.1 测算了长江经济带 11 省份 2010 一 2014 年综合技术效率(TE),纯技术效率(PTE),规模技术效率(SE),如表 1 所示。

表 1　第一阶段：2010~2014年11省市水资源利用综合效率均值、纯技术效率均值及规模效率均值

Tab.1　In the First Stage: The Average Value of Comprehensive Efficiency of Water Resources Utilization, the Average Value of Pure Technical Efficiency and the Average Value of Scale Efficiency Average Value in 11provinces and Cities from 2010–2014

省份	综合效率	纯技术效率	规模效率
上海	1.000 0	1.000 0	1.000 0
江苏	0.998 2	1.000 0	0.998 2
浙江	0.999 2	1.000 0	0.996 2
安徽	0.735 6	0.916 8	0.798 0
江西	0.676 2	0.919 2	0.737 2
湖北	0.767 4	0.828 2	0.921 8
湖南	0.824 2	0.880 2	0.930 4
重庆	0.822 4	1.000 0	0.822 4
四川	0.786 6	0.810 2	0.969 4
贵州	0.601 2	1.000 0	0.601 2
云南	0.610 2	0.846 2	0.717 4
东部平均值	0.999 1	1.000 0	0.998 1
中部平均值	0.750 9	0.886 1	0.846 9
西部平均值	0.705 1	0.914 1	0.777 6
平均值	0.801 9	0.927 3	0.862 9

注：资料来源：作者整理(各省市的综合效率、纯技术效率和规模效率值为2010~2014年的平均值).

由表 1 可知，在忽略外部环境和随机因素的影响下，长江经济带 11 个省市中只有上海市历年各项效率值均为 1，处于效率前沿面，其他 10 省市分别在纯技术效率和规模效率方面存在提高空间。从表一可知，东部综合效率值最高，中部次之，西部最低。此外，从纯技术效率值来看，西部纯技术效率值高于中部。表一的数据是否存在偏误呢？该偏误是由什么因素引起的呢？Fried 认为经典的 DEA 模型效率中投入（产出）松弛变量受到管理因素，环境因素和随机误差共同的影响，管理因素是内生因素，可以控制，而环境因素和随机误差是外生因素，不易控制，而经典的 DEA 模型未能有效区分这 3 种因素对效率值的影响，将所有对效率值的影响全部归结为管理无效，忽视了外部环境和随机因素的作用。事实上，各省市在经济水

表 2　第二阶段：2014年SFA回归结果

Tab.2　In the Second Stage: SFA Regression Results in 2014

自变量 \ 因变量	总用水量的松弛变量	从业人数松弛变量	固定资产投资松弛变量
常数项	32.606 4***(1.000 1)	−66.545 7 ***(1.000 2)	3 727.657 0***(1.000 0)
经济水平(人均GDP)	−0.000 4**(0.000 2)	−0.000 5*(0.000 2)	−0.051 7***(0.001 8)
水资源禀赋(人均水资源拥有量)	0.002 0(0.002 3)	−0.003 6(0.003 3)	−1.478 4***(0.028 8)
产业结构(第一产业增加值/GDP总量)	239.794 1***(1.000 0)	460.641 6***(1.000 1)	19 904.086 0***(1.000 0)
σ^2	1 011.057 2***(1.000 0)	1 045.356 6***(1.018 3)	0.112 797 68E+08***(1.000 0)
γ	0.999 9***(0.156 465 31E-04)	0.999 9***(0.155 522 75E-04)	0.999 9***(0.114 271 93E-05)
log值	−45.582 0	−48.628 8	−96.104 2
LR单边检验	5.947 2	3.686 7	7.420 4

注：括号内为相应系数的标准差，***、**、*分别代表1%、5%和10%的显著性水平.

从表 2 中可知单边误差的似然比检验 T 值均大于 Mixedx^{2}分布的临界值，拒绝原假设，表明模型设置合理，适宜使用 SFA 进行回归分析。其中 $\gamma = \frac{\sigma_\mu^2}{\sigma_\mu^2+\sigma_v^2}$ 趋近于 1，表明在混合误差项中管理无效率对投入松弛变量的影响占主导地位，随机因素对投入松弛变量的影响非常小。由于投入冗余可视为各省市的机会成本，当回归系数为正时，表明解释变量与投入松弛变量正相关，说明解释变量的增加不利于投入冗余的减少；当回归系数为负时，表明解释变量的增加反而使得松弛变量减少，故解释变量的增加有助于提高水资源的利用效率。由表 2 可知：

(1）经济水平对 3 个投入松弛变量的回归系数均为负，且均通过显著性检验。这是因为在经济发达的地区，产业聚集程度越高，水资源利用的规模效应越明显[14]。在经济发达地区，政府和企业在资金充足的条件下有能力减少相关资源的浪费，从而间接的提高了水资源的利用效率。

(2）水资源享赋对总用水量松弛变量的回归系数为正，且未通过显著性检验，对从业人员的松弛变量的回归系数为负，也未通过显著性检验，对固定资产投资的松弛变量的回归系数为负，通平，产业结构，水资源享赋等方面差异显著，因此，利用 SFA 模型剔除环境和随机误差的因素非常重要，接下来进入第二阶段。

2.1.2 第二阶段 SFA 回归结果

将总水用量、从业人数和固定资产投资的松弛变量作为因变量，经济水平，水资源享赋和产业结构作为自变量建立 SFA 回归模型。为了使计算更加准确，本文采用逐年截面分析的方式，共建立了 15 个回归方程，由于篇幅受限，仅列出了最近的 2014 年的回归结果，如表 2 所示。

过显著性检验。

水资源享赋对总用水量松弛变量的回归系数为正，意味着水资源越丰富，反而会使用水效率降低。这一论点与众多学者的研究结论相一致。张力小[16]等认为资源享赋对资源利用效率存在显著的逆向影响，资源的“诅咒”效应不仅作用于区域经济发展上，也同样作用于资源利用效率上。钱文婧 [4]，马海良 [14] 等都通过 Tobit 模型验证了这一结论。最典型的例子是西藏，2013 年人均水资源拥有量 142530.58m^3，位于全国之首，然而其水资源利用效率居全国倒数第二。水资源享赋对另外两个松弛变量的回归系数为负，意味着水资源丰富可以减少社会资源的浪费。现代企业投资区位的选择会考虑资源优势，市场优势，技术优势以及投资环境等。因此，水资源丰富的地区对企业会有一定的吸引力。

（3）产业结构对 3 个投入松弛变量的互归系数均为正，且均通过显著性检验。这愈诀着在经济总量中第一产业农业所占比重越大，仁月然和社会资源造成的浪费越大。这是由十找蔺灭业用水效率低下，仍旧有很多地采取串灌、．是灌等粗放型的水资源利用方式，真正被农佗扛畏、月的只是灌砚总水量的 1/3 左右 [16]，造成了大量水资源的浪费。气时，第一产业比重越大，意味着第二、第三产二比重减小。事实上，根据国家统计局数据显贡，近年来，服务业己成为对吸收就业的主要渠道：因此第二，第三产业的比重减小，不利于吸，又就业和增加社会投资。

2．1．3 第三阶段调整后的 DEA 测算结果

根据第二阶段的分析结果对原始投入变量进寸调整，得到新的投入变量，仍然以原始产出数括为产出数据，代入 DEA 的 BCC 模型中运算，进

表 3　第三阶段：2010~2014年11省市水资源利用综合效率均值、纯技术效率均值及规模效率均值

Tab.3　In the Third Stage: The Average Value of Comprehensive Efficiency of Water Resources Utilization, the Average Value of Pure Technical Efficiency and the Average Value of Scale Efficiency Average Value in 11provinces and Cities from 2010–2014

省份	综合效率	纯技术效率	规模效率
上海	1.000 0	1.000 0	1.000 0
江苏	1.000 0	1.000 0	1.000 0
浙江	1.000 0	1.000 0	1.000 0
安徽	0.741 4	0.939 4	0.787 2
江西	0.645 4	0.910 4	0.711 4
湖北	0.820 0	0.871 2	0.940 0
湖南	0.878 2	0.919 2	0.953 6
重庆	0.772 0	1.000 0	0.772 0
四川	0.846 2	0.877 4	0.964 4
贵州	0.581 6	1.000 0	0.581 6
云南	0.663 8	0.957 6	0.694 4
东部平均值	1.000 0	1.000 0	1.000 0
中部平均值	0.771 3	0.910 1	0.848 1
西部平均值	0.715 9	0.958 8	0.753 1
平均值	0.813 5	0.952 3	0.855 0

注：资料来源：作者整理(各省市的综合效率、纯技术效率和规模效率值为2010~2014年的平均值).

而得到更客观的各地区的综合技术效率，纯技术效率和规模效率。结果如表 3 所示。
通过表 1 和表 3 的对比，在剔除了环境因素和随机误差因素以后，多省市的综合技术效率，纯技术效率，规模效率存在较大的变动，表明有必要对投入变量进行合理的调整，调整后的结果也更加客观准确。

在剔除了环境因素和随机影响因素以后，上海、江苏和浙江都达到了技术效率前沿面。全国综合技术效率平均值由 0.8019 上升至 0.8135，纯技术效率平均值由 0.9273 上升至 0.9523，而规模效率平均值由 0.8629 下降至 0.8550。

从各省市来看，各省市第三阶段水资源利用效率相对第一阶段变化比较大。其中江苏、浙江、安徽、湖北、湖南、四川和云南因为纯技术效率的上升导致综合技术效率的上升，这说明它们之前较低的技术效率水平是由较差的外部环境和不好的运气造成的，并没有反映出它们真实的管理水平。第三阶段综合技术效率下降的省市有江西、重庆和贵州，均是由于规模效率下降

所致，表明它们在第一阶段的较高效率与有利的环境和较好的运气有关，高估了它们真实的管理水平。值得注意的是，安徽、江西、重庆、四川、贵州和云南的规模效率较第一阶段都有所下降，表明了规模效率不高严重影响了水资源的利用效率。

从区域来看，东部省市的水资源利用效率最高，3 个效率均值均高于总平均值，中西部的效率均值略低于总平均值。综合效率均值呈现“东部＞中部＞西部”的格局。东部地区凭借其得天独厚的地理条件，经济实力雄厚，产业结构高度已达到一定水平 [17]，资源投入正逐步向集约型转变。中部省份由于规模效率均值较高造成综合效率均值略高于西部的省份，但是不容忽视的是中部纯技术效率均值明显低于西部。这是由于中部地区有很多省份的支柱产业是高耗能的重工业[18]，以武汉城市圈为例，重工业都明显高于轻工业，钢铁、汽车、冶金、石化、建材等是各地经济的支柱产业[17]，显然，产业结构中高物耗行业的比重越大，相应的水资源的利用效率会越低。在 2010 年，党中央又提出了新一轮西部大开发战略，特别强调了西部地区在发展经济的同时要加强对生态环境的保护和建设。近些年来，西部地区在保护和治理生态环境方面的确作出了巨大的努力，对水资源的有效利用起到了很大的促进作用。

2.2 基于 Malmquist 生产力指数的水资源利用效率分析

上述提到的三阶段 DEA 模型对水资源利用效率的研究基本处于静态的比较，为了进一步研究长江经济带水资源利用效率的动态变化，本文引入 Malmquist 指数模型，深入分析全要素生产率的变动主要是由技术进步还是由技术效率的变动引起的。本文参考了曹飞[19]，华坚[20]等的论文，利用 DEAP2.1 软件将剔除了外部环境和随机因素的各投入变量和初始产出变量代入 Malmqulst 指数模型计算，测出的结果更加符合实际情况。具体测算结果如下表 4 所示。
从各省份来看，2010 一 2014 年间，上海、江苏、浙江和贵州的水资源利用效率出现了衰退趋势，TFP 指数均小于 1，其他省市 TFP 指数虽然大于 1，利用效率最高的安徽省也仅仅到达了 3.6%的

表 4　2010~2014年11省份水资源TFP指数及分解

Tab.4　TFP Index and Decomposition of Water Resources in 11 Provinces of 2010-2014

省份	技术效率变化指数	技术进步变化指数	纯技术效率变化指数	规模效率变化指数	全要素生产率变化指数
上海	1.000	0.969	1.000	1.000	0.969
江苏	1.000	0.974	1.000	1.000	0.974
浙江	1.045	0.936	0.98	1.067	0.979
安徽	1.082	0.957	1.023	1.057	1.036
江西	1.047	0.968	0.988	1.06	1.013
湖北	1.069	0.939	1.046	1.022	1.004
湖南	1.086	0.937	1.064	1.021	1.017
重庆	1.051	0.964	0.985	1.067	1.013
四川	1.077	0.958	1.049	1.027	1.032
贵州	1.045	0.926	1.000	1.045	0.968
云南	1.078	0.944	1.027	1.05	1.018
均值	1.052	0.952	1.014	1.038	1.002

增长，说明在这五年间长江经济带 11 省市的水资源利用效率普遍偏低。从表 4 中不难发现，全要素生产力深受技术进步变化的制约，技术进步变化的均值仅为 0.952，严重影响了水资源的利用效率。由图 1 可以看出，2010 一 2014 年间，技术效率变化相对比较平缓，而技术进步变化和全要素生产率的演变比较剧烈，起伏比较大，且两者的变化趋势基本保持一致，再次说明了全要素生产率的指数主要依赖于技术变化。

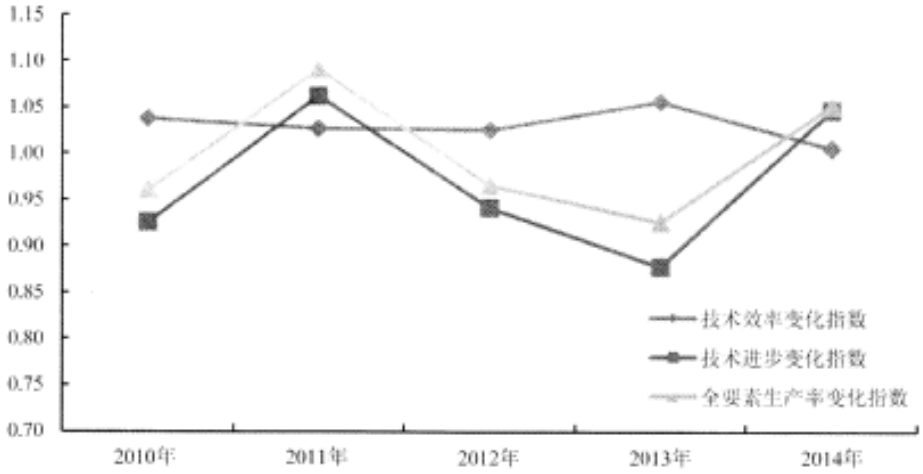

图 1　2010~2014年11省市Malmquist生产率指数均值及其分解指标

Fig.1　Mean Value of Malmquist Productivity Index and Its Decomposition Index in 11 Provinces and Cities in 2010-2014

3 研究结论与政策建议

本文运用三阶段 DEA 和 Malmquist 指数对 2010 一 2014 年长江经济带 11 省市的水资源利用效率进行了静态和动态的分析研究。从各省市来看，在剔除了外部环境因素和随机因素后，各省市的水资源利用效率值发生了较大的变化，综合技术效率均值和纯技术效率均值被低估，规模效率均值被高估。可见，外部环境因素和随机误差因素

需要注意的是，技术进步变化值和全要素生产率指数在 2011 年达到峰值，从 2012 年开始大幅下降，到 2013 年达到低谷，到 2014 年开始显著回升。

这种变化趋势可能源于两方面的原因：一方面，2010 年底发布的“中央一号文件”，颁布了最严格的水资源管理制度，文中特别指出了全面加快水利基础设施建设和建立水利投入稳定增长机制。该文件的颁布和实施促进了科技和资金的投入，从而促进了 2011 年技术进步变化值的大幅增长，从而带动了全要素生产率指数的大幅提升。同时该文件中也提到了严格限制水资源不足地区建设高耗水型项目，要求尽快淘汰不符合节水标准的设备，工艺和产品。因此，淘汰旧设备，引入新设备到投入使用有一个时间差，形成了投资效益的滞后效应，造成了 2012 一 2013 年的技进步变化值的下降。另一方面，2011 年以来世界经济增长放缓，中国受其影响经济增速也势必放缓，再加上新一届政府决心转变经济发展方式，由粗放型经济增长方式向集约型转变，多种因素造成投资增速的进一步下滑，从而造成技术进步变化值的下降。

对水资源利用效率的影响很大，因此，采用三阶段 DEA 模型来分析 H 省市的水资源利用效率是合理必要的。从区域来看，长江经济带 11 省市水资源利用效率地区差异明显，东部地区省份水资源综合技术效率均值最高，中部省份次之，西部省份最低。值得注意的是西部省份的纯技术效率均值明显高于中部。从反映动态变化的全要素生产率指数来看，全要素生产率指数对技术进步变化值依赖很明显，技术成为制约长江经济带 11 省市的水资源利用效率的主要因素。

基于以上实证结果，本文提出以下两点建议：

第一，国家和地区应进一步扩大 11 省市的生立规模，尤其是安徽、江西、重庆、四川、贵州和云南的生产规模，发挥规模效应。同时大力推进科技创新和知识创新，提倡科学用水，促进治水和管水模式的科学化。农业方面，必须改变传统的灌溉模式，依靠节水技术和引进先进的灌溉没备来提高农业用水效率；在工业方面，充分发挥市场作用，淘汰产业链落后，高耗低效的的生立企业。依靠技术和管理的进步来实现水资源的可持续利用。

第二，出现水资源利用综合效率均值呈现“东邻＞中部＞西部”的格局，与流域内产业结构存在较大差异有着密切的关系。因此依托“黄金水道”，加强地区间的技术交流，发达地区带动和帮扶技术相对落后的地区，形成区域间产业良性互动，实现长江经济带整体发展和各区域特色发展协同共进。东部地区要以上海为龙头，苏浙为两翼［’71,大力发展第三产业，壮大现代服务业；长江中部地区是我国传统农业产区，在促进产业结构升级的同时，要进一步发挥自身优势，大力发展农业新型业态，推进农村一二三产业融合发展；长江西部地区土地广裹并且资源丰富，要积极做好产业转移的承接和努力开拓新的发展道路。在长江经济带内要统筹开展水资源综合规划，强化水资源统一管理。同时在长江经济带内坚持走节水型经济发展道路，充分利用有限的水资源。

本文的不足之处是 Malmquist 指数方法一般需要对较长时间序列数据进行分析，本文选择的时间序列数据为五年，时间跨度较短，可能造成分析结果的局限性。

参考文献：

［ 1 ］马建华. 建设长江经济带的水利支撑与保障［J ］. 人民长江，2014 ， 45 （ 5 ）：1 一6 .

［ 2 ］桑连海，陈进. 长江流域的节水形势及发展方向［J ］. 长江流域资源与环境，2006 ， 15 （ 1 ）：10 一1 3 .

［ 3 ］董战峰，喻恩源，裘浪，等. 基于 DEA 模型的中国省级地区水资源效率评价［J ］. 生态经济，2012 （ 10 ）：43 -47 .

［ 4 ］钱文婧，贺灿飞. 中国水资源利用效率区域差异及影响因素研究［ J ］. 中国人口• 资源与环境，2011 ， 21 （ 2 ）：54 一60 .

［ 5 ］廖虎昌，董毅明. 基于 DEA 和 Malmqulst 指数的西部 12 省水资源利用效率研究［J ］. 资源科学，20 11 ， 33 （ 2 ）：273 一279 .

［ 6 ］孙爱军，董增川，王德智. 基于时序的工业用水效率测算与耗水量预测［J ］. 中国矿业大学学报，2007 ， 36 （ 4 ）：547 一553 .

［ 7 ］王学渊，赵连阁. 中国农业用水效率及影响因素一一基于 1997 一 2006 年省区面板数据的 SFA 分析［J 〕 . 农业经济问题，2008 ， 29 （ 3 ）：10 一1 8 .

［ 8 ］CHARNESA , COOPER WW , RHODES E . Measuring the efficiency of decision making units｛ J 」. European Journal of Operational Research , 1 978 , 2 （ 6 ）：429 一44 .

［ 9 」AIGNERD , LOVELL C AK , SCHMIDT P . Formulation and estimation of stochastic frontier production function models［ J ］. Journal of Econometrics , 1 977 , 6 （ 1 ）：21 一37 .

［ 10 ］郭亚军. 基于二阶段 DEA 模型的工业生产效率研究［J ］. 科研管理，20 12 ， 33 （ 11 ）：16 一23 .

[11] FRIED HO , LOVELL C AK , SchmidtS , et al . Accounting for environmental effects and statistical noise in data envelopment analysislJ ） . Journal of Productivity Analysis , 2002 , 17 （ l / 2 ）: 157 一1 74 .

[12] JONDROW J . LOVELL C AK , MATEROV I 5 . et al . On the e stimation of tecllnical inefficienc 、, in the stochastic frontier production function , 二odel 「J 」. Journal of Econometrics , 1982 , 19 （ 2 / 3 ）: 233 一238 .

[13] 罗登跃. 二阶段 DEA 模型管理无效率估计注记 [J]. 统计研究，2012 , 29 （ 4 ）: 104 一107 .

[14] 陈巍巍，张雷，马铁虎，等. 关于三阶段 DEA 模型的几点研究 [J]. 系统工程，20 14 , 32 （ 9 ）: 1 44 一1 49 .

[15] 马海良，黄德春，张继国. 考虑非合意产出的水资源利用效率及影响因素研究 [J] . 中国人口• 资源与环境，2012 , 22 （ 10 ）: 35 -42 .

[16] 张力小，梁竞. 区域资源察赋对资源利用效率影响研究 [J]. 白然资源学报，20 10 , 25 （ 8 ）: 1237 一1247 .

[17]孙孝文. 长江流域产业结构分析与思考「J1 . 西北农林科技大学学报（社会科学版）, 2009 , 9 （ 4 ）: 41 书5 .

[18]马勇，黄猛. 长江经济带开发对中部崛起的影响与对策 [J] . 经济地理，2005 , 25 （ 3 ）: 298 一301 .

[19] 曹飞. 基于三阶段 DEA 一 Malmquist 模型的中国省域城镇化效率测度及其收敛分析 [J1 . 青岛科技大学学报（社会科学版）, 20 巧，31 （ 4 ）: 18 一22 .

[20] 华坚，李政霖，吴祠金. 基于三阶段 DEA 一 Malmquist 模型的我国农业全要素生产率增长研究 [J] . 江西农业学报，2015 , 27 （ 10 ）: 134 一141 .