

长江三角洲城市群工业用水效率评价及时空差异研究¹

孙冬营^{1,2}, 余靖雯², 刘凌燕², 王慧敏^{2,3}

(1. 江苏大学管理学院, 江苏 镇江 212013; 2. 河海大学管理科学研究所, 江苏 南京 211100; 3. 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】:在水资源约束趋紧的背景下,选取长江三角洲城市群中26个城市如05~2014年的面板数据,运用SBM模型对工业用水效率进行测算,并基于可分解的泰尔指数分析长江三角洲城市群内部工业用水效率的空间差异。结果显示:(1)长江三角洲城市群工业用水效率水平整体偏低,在不考虑与考虑非期望产出的情况下,工业用水效率10a平均值分别为0.5918和0.5197;(2)工业用水效率的地区内部差异是造成总差异的主要部分,并且有随时间递增的趋势,其中安徽省对于地区内部差异的贡献率最大,其次为浙江省,江苏省贡献率最低;(3)江苏省各城市工业用水效率虽然差异不大但整体水平较低,而上海市工业用水效率较高并处于稳步上升状态。因此,缩小地区内部差异是实现长江三角洲城市群工业用水效率整体上升的重要途径。

【关键词】:长江三角洲城市群 工业用水效率 泰尔指数 数据包络分析

【中图分类号】:TV213.4 **【文献标识码】:**A **【文章编号】:**1004-8227(2018)09-01901-08

DOI: 10.11870/cjlyzyyhj201809001

长江三角洲城市群是“一带一路”与长江经济带的重要交汇地,在我国现代化建设和全方位开放格局中具有举足轻重的战略地位。长江三角洲城市群面向海洋,依托长江而兴起,拥有城市持续发展所需的淡水资源。然而由于自然环境承载力与社会经济发展间的不平衡,导致水资源问题严峻,目前长江三角洲城市群已有部分地区和行业的发展受到水资源的制约^[1]。水资源作为工业发展的战略性基础资源为经济社会持续健康发展提供了资源保障。随着城市化进程的不断推进和城市规模的不断扩大,工农业生产和城镇居民生活对水资源的需求也稳步增加,随之而来的水资源短缺及水资源污染又加剧了水资源对工业生产活动的影响。“十三五”规划中,我国政府制定了推进资源节约集约利用相关政策,并提出了实行最严格的水资源管理制度,提出“以水定产、以水定城,建设节水型社会”。在此背景下,科学高效地利用水资源,逐步提升工业用水效率,是解决中长期工业发展受限于水资源的根本途径,也是实现长江三角洲城市群工业可持续发展的关键。因此,本文旨在对长江三角洲城市群的工业用水效率进行分析研究,从用水效率评价、时空差异分析两方面进行探讨,为长江三角洲城市群实现工业水资源高效利用和城市可持续发展提供理论借鉴。

¹收稿日期:2017-10-30;修回日期:2017-12-27

基金项目:国家重点研发计划(2017YFC0404600);国家自然科学基金项目(71704068;71704066;71603116;71433003);中国博士后科学基金(2017M621621);江苏省社会科学基金(17GLC006);江苏高校哲学社会科学基金(2017SJB1067)

作者简介:孙冬营(1986~),男,博士,讲师,研究方向为资源与环境管理及决策分析.E-mail: henansdy@ujs.edu.cn

国内外已有文献对用水效率评价模型和影响效率的因素进行了大量研究。Lilienfeld 等^[2]运用 DEA 方法建立灌溉农场用水效率评价模型,并将用水效率与过度灌溉联系起来分析灌溉系统类型、土壤类型对用水效率的影响,结果表明研究时段内近一半灌溉用水属于过度使用且灌溉系统类型对用水效率不具有明显的影响水平。Hu 等^[3]在全要素生产框架下将水资源作为投入要素并利用数据包络分析 DEA 构建生产前沿评价中国不同省份的用水效率,结果表明区域全要素水效率与人均实际收入之间具有 U 形关系。Ali 等^[4]利用投入导向和产出导向的 DEA 模型测算加拿大南阿尔伯塔省 12 个灌区的用水效率及全要素生产率指数,基于投入的 DEA 模型测算结果显示 84.3% 的灌区是技术有效的,基于产出的 DEA 模型测算结果显示在现有投入水平下灌溉面积可以增加 58.3%。石广明等^[5]利用 DEA 方法分析了我国工业用水效率,并结合 Malmquist 指数构造动态、可分解的用水效率指标,结果显示我国工业用水效率在 1999-2005 期间处于较低的水平且随着用水技术的进步用水效率并没有得到明显提高。任俊霖等^[6]利用 2011~2013 年长江经济带 11 个省会城市面板数据,采用超效率 DEA 模型和 Malmquist 指数评价不考虑非期望产出时 11 个城市用水效率并检验其影响因素,研究发现 11 个城市用水效率总体情况良好但具有波动性且城市间差异较大。佟金萍等^[7]运用超效率 DEA 模型和 Tobit 模型对长江流域农业用水效率进行了测度和影响因素的检验,其研究表明长江流域农业用水效率呈现出波段式上升态势且灌溉费、节水灌溉技术和农业对外开放度对流域农业用水效率有显著的正向效应。

综上所述,国内关于用水效率的研究中更多地是从省际层面进行农业或工业用水效率分析,而国外文献更多地是从更加微观的灌区或农场层面考虑用水效率问题。涉及到工业用水效率的研究,更多的从相对宏观的省级或国家层面进行分析^[8~10],对特定区域工业用水效率研究较少^[11]。且较少有文献从空间差异的角度去分析被评价单元的用水效率^[8]。在用水效率评价研究中,多数文献从经济学中全要素生产率概念出发,将资源要素与传统经济分析中的投入要素劳动、资本结合作为工业生产活动的投入指标,已有研究在处理工业用水效率时也是选取上述 3 个指标作为投入指标^[3,9,12,13]。因此,本文参考已有文献,选取工业固定资产净值(资本)、工业从业人数(劳动)、工业用水量(资源)为投入指标;对于产出指标的选取,论文[3,8]中只考虑了期望产出,论文[11]在考虑期望产出 GDP 的基础上,将化学需氧量(COD)和氨氮(NH₄-N)作为非期望产出,论文[19]将废水排放量作为非期望产出。由于本文立足于考虑非期望产出的 SBM 模型,所以在期望产出(本文用工业总产值表示)之外,增加工业废水排放量作为非期望产出指标是合理的、可行的。本文同时分别利用只考虑期望产出的 SBM 模型和同时考虑期望及非期望产出的 SBM 模型测算工业用水效率。并与能够衡量被评价单元组间和组内差异的泰尔指数相结合评价长江三角洲城市群中 26 市的工业用水效率。

1 工业用水效率测算及差异分析方法

1.1 工业用水效率测算方法

1978 年,Charnes 等^[14]提出了 DEA 非参数效率评价方法,它是一种统计分析的新方法,通过处理多个输入和多个输出解决多目标决策问题,目前被广泛应用于能源和环境研究领域。2001 年,在传统的 DEA 模型如 CCR 和 BCC 模型的基础上,TOne^[15]提出了以松弛变量测度(SBM)为基础的 DEA 效率分析方法,SBM 模型以优化其松弛变量为目标通过非射线方式,同时考虑投入项与产出项的差额来估计效率值,使得效率值更加精确。随后,为了解决不考虑非期望产出分析能源效率可能导致效率得分的偏差,Zhou 等^[16]提出了包含非期望产出的 DEA 模型来评价能源效率。在工业生产活动中,水资源作为一种资源投入,就必然伴随有非期望产出,如工业废水以及废水中的氮氨排放量、化学需氧量(COD)等。因此,本文运用包含非期望产出的 SBM 模型对长江三角洲城市群的工业用水效率进行评价。

设有 N 个决策单元(Decision Making Unit, DMU),其投入集、期望产出集和非期望产出集可分别表示为

$X = [x_1, \dots, x_N] \in R_+^{m \times N}$, $Y^g = [y_1^g, \dots, y_N^g] \in R_+^{(s_1 \times N)}$ 和 $Y^b = [y_1^b, \dots, y_N^b] \in R_+^{(s_2 \times N)}$ 。可行生产技术集为:

$$P = \left\{ (x, y^g, y^b) \mid x \gg \sum_{j=1}^N \lambda_j x_j, \right. \\ 0 \leq y^g \leq \sum_{j=1}^N \lambda_j y_j^g, y^b \gg \sum_{j=1}^N \lambda_j y_j^b, \\ \left. 1 \leq e\lambda \leq \mu, \lambda \geq 0 \right\}$$

式中： $\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_N)' \in R_+^N$ 为权重向量， $e = (1, \dots, 1) \in R_+^N$ 。参数 μ 和 μ 决定对规模报酬的假设。包含非期望产出的 SBM 模型如下：

$$\rho^* = \min_{(\lambda, s^-, s^g, s^b)} \left\{ \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{i0}}}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{s_r^g}{y_{r0}^g} + \sum_{k=1}^{s_2} \frac{s_k^b}{y_{k0}^b} \right)} \right\} \quad (1)$$

$$s. t. \begin{cases} x_0 = X\lambda + s^- \\ y_0^g = Y^g \lambda - s^g \\ y_0^b = Y^b \lambda + s^b \\ s^- \geq 0, s^g \geq 0, s^b \geq 0, 1 \leq e\lambda \leq \mu, \lambda \geq 0 \end{cases}$$

式中： $s^- \in R_+^m$ 和 $s^b \in R_+^{s_2}$ 投入和非期望产出过剩；表示产出损失； $s^g \in R_+^{s_1}$ 表示产出损失； s^1 和 s^2 分别期望产出和非期望产出的指标个数。模型中，下标 0 表示被评价的决策单元。 ρ^* 为最优化问题的解，其取值范围为 $0 \leq \rho^* \leq 1$ 。当 $\rho^* = 1$ ，且 $s^- = s^g = s^b = 0$ 时，说明被评价的决策单元有效，否则被评价单元需在投入或产出上进一步改善才能提高效率。

将 (1) 式通过 Charnes-Cooper 变换转化为等价的线性规划问题：

$$\tau^* = \min_{(t, \Lambda, S^-, S^g, S^b)} \left\{ t - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i^- / s_{i0} \right\}$$

$$s. t. \begin{cases} 1 = t + \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{S_r^g}{y_{r0}^g} + \sum_{k=1}^{s_2} \frac{S_k^b}{y_{k0}^b} \right) \\ x_0 t = X\Lambda + S^- \\ y_0^g t = Y^g \Lambda - S^g \\ y_0^b t = Y^b \Lambda + S^b \\ S^- \geq 0, S^g \geq 0, S^b \geq 0, \Lambda \geq 0, t \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中： $\Lambda = t\lambda$ ， $S^- = ts^-$ ， $S^g = ts^g$ ， $S^b = ts^b$ 且参数 t 是一个正数。此时，该最优化问题的解 $\tau^* = \rho^*$ 即为考虑非期望产出的 SBM 方法下测算的工业用水效率值。

1.2 效率差异测算与分解方法

为了对长江三角洲城市群的效率差异进行分析, 本文基于长江三角洲城市群的工业用水效率评价值, 利用泰尔指数作为测度效率差异的指标。泰尔指数是由亨利·泰尔 (Henri Theil) 提出的, 是基于信息理论中熵概念的指标, 属于广义熵指数 (Generalized Entropy Index) 的特殊形式, 主要用于考察收入不平等性和差异性问题, 取值越大表明差异越明显。与基尼系数、变异系数相比, 其最大的特点在于其更好的可分解性, 从而可以更直观地反映出差异的大小及来源。泰尔指数的常用计算方法如公式 (3) 所示^[17, 18]:

$$Theil = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{\bar{y}} \ln \left(\frac{y_i}{\bar{y}} \right) \quad (3)$$

式中: y_i 为第 i 个个体的变量值; $\bar{y}$ 为所研究变量的均值; n 为样本中的个体数量。

基于泰尔指数的测算结果, 可以进行基于群组的泰尔指数分解如公式 (4), 从而将泰尔指数所反映的总体差异进一步分解为群组内差异 $Theil_W$ 与群组间差异 $Theil_B$, 具体分解方法如公式 (5) 和 (6) 所示:

$$Theil = Theil_W + Theil_B \quad (4)$$

$$Theil_W = \sum_{p=1}^m \left(\frac{n_p}{n} \frac{\bar{e}_p}{\bar{e}} \right) Theil_p \quad (5)$$

$$Theil_B = \sum_{p=1}^m \left(\frac{n_p}{n} \frac{\bar{e}_p}{\bar{e}} \right) \ln \left(\frac{\bar{e}_p}{\bar{e}} \right) \quad (6)$$

式中: m 表示群组数; n_p 代表第 p 个群组所包含的城市数量; $\frac{\bar{e}_p}{\bar{e}}$ 代表第 p 个群组的指标平均值与全部城市指标平均值之比; $Theil_p$ 为反映第 p 个群组指标值差异的泰尔指数; $Theil_W$ 和 $Theil_B$, 分别为反映指标值的群组内和群组间差异的泰尔指数。

2 指标数据和变量描述

2.1 数据的来源与处理

为全面考察长江三角洲城市群工业用水效率, 本文选取 2005–2014 年期间南京、无锡、常州、苏州、南通、盐城、扬州、泰州、镇江、杭州、宁波、嘉兴、湖州、绍兴、金华、舟山、台州、合肥、芜湖、马鞍山、铜陵、安庆、滁州、池州、宣城、上海共 26 座城市的工业相关投入、期望产出以及非期望产出数据对长江三角洲城市群工业用水效率进行测算。

数据主要来源于《中国工业经济统计年鉴》、《中国城市统计年鉴》、各省、市的《统计年鉴》, 部分城市工业用水数据来源于《水资源公报》、《环境公报》。

工业从业人数在数据收集的过程中个别年份略有残缺, 个别年份只能收集到第二产业从业人数, 基于此对工业从业人数进行了估算。根据已经收集到的某些年份的工业从业人数及第二产业从业人数, 算出二者比值并且取平均值, 再乘以第二产业从业人数, 即可得到某年份残缺的工业从业人数。工业用水量在数据收集过程中个别年份也缺失, 主要通过插值法进行了估算。由于泰州统计年鉴中没有包含工业用水信息, 《泰州市水资源公报》也无法获取, 本文利用扬州市、镇江市的工业用水量进行了估算。工业固定资产净值平均和工业总产值是以 2005 年为基期, 分别利用固定资产投资价格指数和工业品出厂价格指数剔除价

格因素对工业用水效率评价的影响。

2.2 变量描述

本文对长江三角洲城市群 26 个城市每年工业投入产出指标数据的最大值、最小值、均值和标准差进行统计。具体指标数据见表 1。

表 1 长江三角洲城市群工业投入和产出数据描述性统计（2005~2014 年）

Tab. 1 Descriptive statistics on input and output in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration

变量	投入			产出	
	工业用水量（10 ⁴ m ³ ）	工业从业人数（万人）	工业固定资产净值平均（亿元）	工业总产值（亿元）	工业废水排放量（10 ⁴ t）
均值	13.21	72.95	1 223.66	5 458.84	17 888.87
最小值	0.38	2.38	40.31	51.57	1 065.10
最大值	84.85	376.74	7 382.36	3 4692.19	85 735.00
标准差	16.03	75.35	1 462.81	6 489.96	18 682.14

3 实证分析

3.1 长江三角洲城市群工业用水效率测算

为全面考察长江三角洲城市群工业用水效率情况，本文先后建立不考虑非期望产出的 SBM 模型和考虑非期望产出的 SBM 模型，利用 MATLAB 编程来测算城市群内部 26 市的工业用水效率。在工业用水效率测算中，每个城市的年度数据作为一个决策单元（DMU），也即共有 260 个 DMU，将这些 DMU 放在一起进行评价，而不是逐年评价，目的是为了考察工业用水效率在时间维度和空间维度上的变化。考虑非期望产出的工业用水效率值如表 2 所示。通过观察可知，工业用水效率均值最高的是舟山市为 0.9659，最低的为马鞍山市为 0.2621，26 市 2005-2014 年的效率均值为 0.5197。

长江三角洲城市群作为一个地域概念，其工业用水效率可以利用内部 26 个城市的平均值表示这一群体的整体情况，图 1 中实线表示不考虑非期望产出的工业用水效率均值，虚线表示考虑非期望产出的工业用水效率均值。从图 1 可知，考虑非期望产出后的工业用水效率值低于不考虑非期望产出的效率值，这一结果充分说明，水污染也即工业废水排放造成了一定程度效率的损失。这意味着在长江三角洲城市群工业用水效率测算时不考虑非期望产出的结果存在失真现象，因此下文将重点分析考虑非期望产出的工业用水效率。

从图 1 可知，2005~2014 年间长江三角洲城市群工业用水效率水平整体呈上升的动态变化趋势，且“十二五”（2011~2014 年）期间效率增速快于“十一五”（2006~2010 年），表明最严格水资源管理制度等一系列用水政策的出台促使工业用水效率提升加速。同时，也应注意到长江三角洲城市群的工业用水效率依然整体偏低，2005 年至 2014 年效率均值一直处于 0.75 之下，平均值仅为 0.5197。

根据《长江三角洲城市群发展规划》将城市群中 26 市分为特大城市（上海市、南京市）、大城市（杭州市、合肥市、苏州市、无锡市、宁波市、南通市、常州市、绍兴市、芜湖市、盐城市、扬州市、泰州市、台州市）、中等城市（镇江市、潮州市、嘉兴市、马鞍山市、安庆市、金华市、舟山市）及小城市（铜陵市、滁州市、宣城市、池州市）。在规划中，上海是超大城市，本文为便于分析，把上海市和南京市归为一类。整体上看，4 种规模的城市工业用水效率均值都有不同程度的提升。其中，小城

市的工业用水效率均值波动性较大且部分年份出现下降趋势，中等城市的工业用水效率均值在研究时段内提升幅度最小，大城市的工业用水效率均值的变化趋势相对光滑，特大城市的工业用水效率均值在研究时段内提升幅度最大。4 种规模的城市工业用水效率均值随时间变化情况如图 2 所示。

表 2 考虑非期望产出的长江三角洲城市群工业用水效率值

Tab. 2 Efficiency value of industrial water use in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration with considering undesirable output

年份 城市	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	平均值	排名
南京市	0.256 0	0.270 4	0.314 6	0.331 7	0.339 7	0.380 4	0.460 5	0.520 7	0.571 1	0.668 8	0.411 4	23
无锡市	0.276 8	0.297 9	0.311 8	0.400 3	0.411 3	0.441 3	0.661 9	0.524 3	0.540 2	0.563 4	0.442 9	18
常州市	0.380 0	0.388 0	0.362 8	0.424 8	0.458 9	0.458 5	0.523 2	0.595 7	0.747 5	0.880 3	0.522 0	10
苏州市	0.256 3	0.297 7	0.342 4	0.393 0	0.423 1	0.464 3	0.491 1	0.514 7	0.530 7	0.536 9	0.425 0	21
南通市	0.284 2	0.343 5	0.388 3	0.404 0	0.499 5	0.494 6	0.505 1	0.582 4	0.730 7	0.803 3	0.503 6	11
盐城市	0.305 0	0.317 8	0.368 5	0.406 3	0.430 5	0.377 4	0.441 3	0.492 4	0.537 1	0.545 4	0.422 2	22
扬州市	0.283 6	0.321 6	0.311 2	0.372 1	0.447 0	0.456 8	0.501 6	0.535 9	1.000 0	1.000 0	0.492 3	12
泰州市	0.339 1	0.400 8	0.384 5	0.408 3	0.459 7	0.493 8	0.545 5	0.720 1	1.000 0	1.000 0	0.575 2	8
镇江市	0.274 2	0.299 3	0.349 5	0.390 0	0.384 2	0.403 3	0.429 7	0.498 3	0.566 9	0.655 6	0.425 1	20
杭州市	0.303 0	0.345 7	0.389 9	0.387 5	0.396 2	0.430 5	0.489 1	0.533 5	0.544 7	0.598 6	0.441 9	19
宁波市	0.432 7	0.450 6	0.536 9	0.567 1	0.516 9	0.645 3	0.723 3	0.754 3	0.844 7	1.000 0	0.647 2	5
嘉兴市	0.237 4	0.250 7	0.299 5	0.345 0	0.326 7	0.372 7	0.410 2	0.447 1	0.525 4	0.571 6	0.378 6	24
湖州市	0.320 8	0.346 8	0.311 5	0.424 0	0.430 0	0.463 6	0.494 6	0.551 9	0.605 4	0.650 7	0.467 9	16
绍兴市	0.308 8	0.317 8	0.354 6	0.385 5	0.375 3	0.442 9	0.526 4	0.602 9	0.714 9	0.754 9	0.478 4	14
金华市	0.260 2	0.269 8	0.286 9	0.337 2	0.309 4	0.331 4	0.376 8	0.403 3	0.443 4	0.507 9	0.352 6	25
舟山市	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.823 3	1.000 0	0.904 9	0.961 4	0.969 0	1.000 0	0.965 9	1
台州市	0.401 6	0.433 4	0.458 1	0.543 2	0.416 4	0.438 8	0.395 5	0.416 9	0.466 8	0.490 2	0.446 1	17
合肥市	0.311 3	0.360 8	0.398 5	0.807 9	1.000 0	0.730 7	0.653 1	0.742 9	1.000 0	1.000 0	0.700 5	4
芜湖市	0.320 7	0.361 1	0.345 2	0.354 3	0.362 1	0.419 8	1.000 0	0.886 9	0.806 4	1.000 0	0.585 7	7
马鞍山市	0.190 6	0.239 2	0.248 0	0.267 1	0.217 6	0.256 7	0.270 5	0.289 9	0.311 7	0.329 5	0.262 1	26
铜陵市	0.342 9	0.372 0	0.392 5	0.346 6	0.310 9	0.415 4	0.603 4	0.730 3	0.795 0	1.000 0	0.530 9	9
安庆市	1.000 0	0.291 7	0.290 2	0.302 5	0.300 6	0.339 5	0.501 1	0.552 0	0.664 0	0.590 0	0.483 2	13
滁州市	0.440 0	0.416 5	0.392 0	0.400 8	0.364 5	0.429 7	0.614 1	0.517 8	0.529 7	0.616 4	0.472 2	15
池州市	1.000 0	1.000 0	0.494 3	1.000 0	0.559 2	0.569 6	0.715 7	0.778 8	0.613 7	0.620 6	0.735 2	2
宣城市	0.518 4	0.464 3	0.467 8	0.458 0	0.448 7	0.496 5	1.000 0	0.672 9	0.753 1	1.000 0	0.628 0	6
上海市	0.328 3	0.378 2	0.441 9	0.500 3	0.512 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.716 1	3

3.2 长江三角洲城市群工业用水效率差异及分解

通过观察表 2 中各个城市的工业用水效率值可知，各城市间存在较为明显的差异性，因此有必要对长江三角洲城市群工业用水效率差异进行分析。按城市所属省级行政区域将城市群分为江苏（南京、无锡、常州、苏州、南通、盐城、扬州、泰州、镇江）、浙江（杭州、宁波、嘉兴、湖州、绍兴、金华、舟山、台州）、安徽（合肥、芜湖、马鞍山、铜陵、安庆、滁州、池州、宣城）以及上海。4 个地区在研究时段内每年的平均工业用水效率情况如图 3 所示。从图 3 可以看出，上海的工业用水效率从 2005～

2009 逐渐增加，在 2010 年达到 1 并保持到 2014 年；而江苏工业用水效率在保持稳步增长的同时与安徽和浙江的差距也逐步缩小；安徽的工业用水效率在 2005-2007 年出现明显下降，此后存在上升趋势。

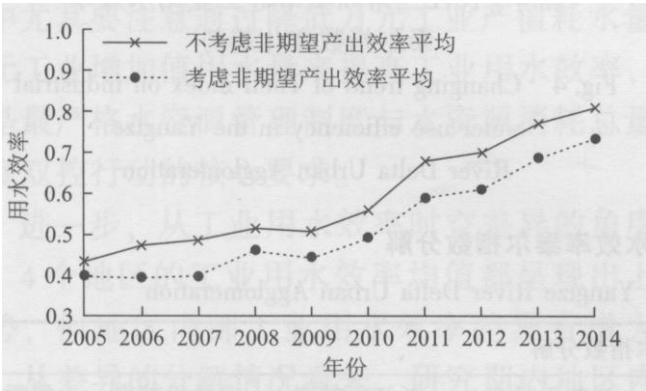


图 1 考虑与不考虑非期望产出时长三角城市群工业用水效率平均值

Fig. 1 Average efficiency of industrial water use in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration with/without undesirable output

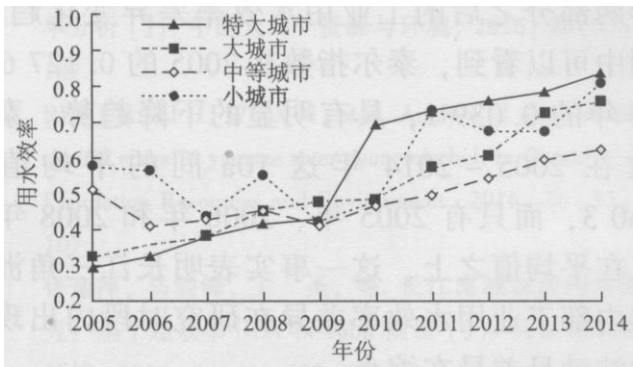


图 2 长三角城市群中 4 种城市规模的城市工业用水效率平均值

Fig. 2 Average efficiency of industrial water use of four urban scale in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration

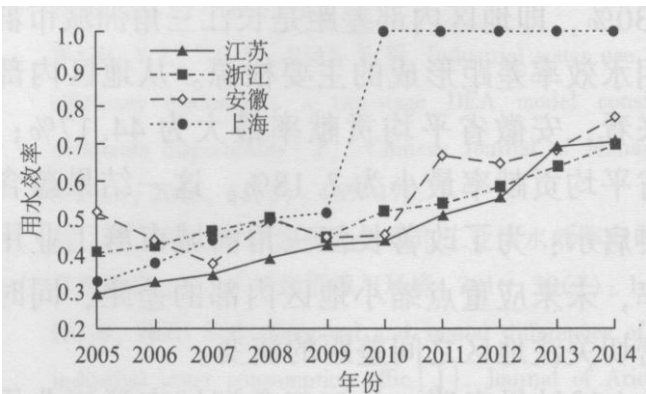


图 3 地区工业用水效率均值

Fig. 3 Average efficiency of industrial water use in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration

为了更加详细地考察长江三角洲城市群内部的工业用水效率差异问题，利用泰尔指数进行测算并进行分解。图 4 展示了将长江三角洲城市群工业用水效率总差异分解为地区内差异与地区间差异两部分之后的工业用水效率差异变化趋势。从图中可以看到，泰尔指数从 2005 的 0.1276 到 2014 年的 0.0391，具有明显的下降趋势。泰尔指数在 2005~2014 年这 10a 间的平均值为 0.0603，而只有 2005 年、2006 年和 2008 年的取值在平均值之上，这一事实表明长江三角洲城市群内部工业用水效率差异在研究时段内出现较大的波动且差异在缩小。

表 3 长江三角洲城市群工业用水效率泰尔指数分解

Tab. 3 Decomposition of the overall Theil index in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration

年份	泰尔指数分解					
	地区之间差距的贡献率 (%)	地区内部差距的贡献率 (%)	江苏贡献率 (%)	浙江贡献率 (%)	安徽贡献率 (%)	上海贡献率 (%)
2005	20.10	79.90	1.63	31.44	15.10	0
2006	9.95	90.05	2.65	44.87	24.34	0
2007	15.89	84.11	2.18	68.61	23.92	0
2008	8.65	91.35	0.94	35.66	33.17	0
2009	1.26	98.74	3.37	29.77	82.34	0
2010	34.83	65.17	2.65	39.77	32.28	0
2011	29.14	70.86	4.58	25.27	65.71	0
2012	23.95	76.05	5.93	34.47	52.14	0
2013	10.83	89.17	29.06	26.47	58.16	0
2014	8.42	91.58	18.86	27.02	54.50	0
平均	16.30	83.70	7.18	36.34	44.17	0

由于上海作为一个独立的决策单元，所以其地区内差异为 0，只考虑它与另外 3 个地区的地区间差异对总差异所造成的影响。2005-2014 年间，长江三角洲城市群工业用水效率差异分解结果如图 4 和表 3 所示。

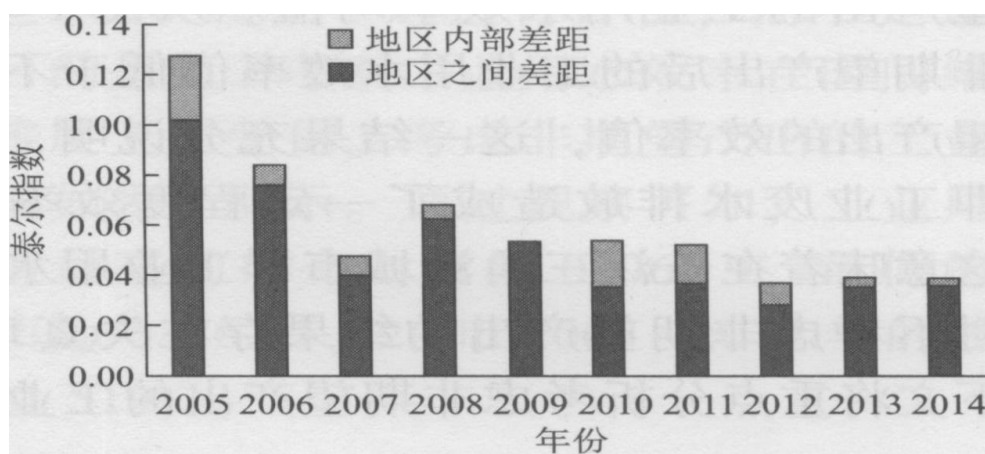


图 4 长江三角洲城市群工业用水效率泰尔指数变化趋势

Fig. 4 Changing trend of Theil index on industrial water use efficiency in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration

从表 3 可以看出,根据泰尔指数的分解结果,平均来说,地区内部差距对泰尔指数贡献率较高,达到 83.70%,而地区间差距贡献率为 16.30%,即地区内部差距是长江三角洲城市群工业用水效率差距形成的主要根源。从地区内部差距来看,安徽省平均贡献率最大为 44.17%;江苏省平均贡献率最小为 7.18%。这一结果蕴含了重要启示:为了改善长江三角洲城市群工业用水效率,未来应重点缩小地区内部的差距,同时也应密切关注地区之间差距的演变。

上述结果表明,长江三角洲城市群工业用水效率在时间维度和空间维度上具有明显的变化,也即时空差异。具体而言,在时间维度上工业用水效率具有上升趋势,但城市群内部不同城市间的上升趋势并不一致,这种不一致性在地区层面能够更好的显示(图 3)。在空间维度上,差异性首先体现在城市间工业用水效率的差别,其次是工业用水效率在地区层面的差异,而泰尔指数能够很好地表示这种空间差异。同时,泰尔指数的动态变化能够表示工业用水效率在时间和空间两个维度上差异:研究时段内,长江三角洲城市群内部工业用水效率差异在缩小,而江苏与安徽对地区内部差异的贡献率出现上升趋势,且地区间差异相对于地区内部差异贡献率一直处于低位。

4 结论与建议

本研究基于考虑非期望产出的 SBM 模型,对 2005~2014 年间长江三角洲城市群 26 个城市的工业用水效率进行测算,并应用泰尔指数对工业用水效率差异进行了计算和分解,可得到以下结论和相应建议。

考虑非期望产出的 SBM 模型,所测度的工业用水效率明显低于不考虑非期望产出 SBM 模型所测度的值。26 个城市的工业用水效率整体偏低,其中舟山市工业用水效率均值最高,马鞍山市工业用水效率均值最低,不同规模城市的工业用水效率均值存在差别。在生态文明建设的时代背景下,城市发展要遵循“以水定产、以水定城”的基本原则,量水而行。长江三角洲城市群在今后发展中尤其要注意通过降低万元工业产值耗水量和万元工业增加值用水量来提高工业用水效率,这也是最严格水资源管理制度与水资源消耗总量和强度双控行动的核心要求。

进一步,从工业用水效率时空差异的角度来看,4 个地区的工业用水效率均值都呈现出上升趋势,但地区内部工业用水效率差异有增大趋势。从差异的分解情况看来,研究期内地区内部差异对总差异的平均贡献远高于地区间差异,即地区内部差异是造成长江三角洲城市群工业用水效率差异的主要原因。从 4 个地区对长江三角洲城市群工业用水效率差异的贡献率来看:安徽>浙江>江苏>上海。考虑到这种时空差异,减少 4 个地区内部各个城市之间的效率差异是提升城市群工业用水效率的关键。长江三角洲城市群工业基础较好,城市间工业用水效率的“协调共升”也有助于实现区域工业的绿色发展和协同发展。

参考文献:

[1] 刘惠敏. 长江三角洲城市群综合承载力的时空分异研究 [J]. 中国软科学, 2011(10): 114-122.

LIU H M. Global factor analysis and spatial differentiation study on comprehensive carrying capacity of urban agglomeration in the Yangtze River Delta [J]. China Soft Science, 2011 (10): 114-122.

[2] LILIENTFELD A, ASMILD M. Estimation of excess water use in irrigated agriculture: a data envelopment analysis approach [J]. Agricultural Water Management, 2007, 94(1): 73-82.

-
- [3] HU J L, WANG S C, YEH F Y. Total-factor water efficiency of regions in China [J] • Resources Policy, 2006, 31(4): 217-230.
- [4] ALI M K, KLEIN K K. Water use efficiency and productivity of the irrigation districts in Southern Alberta [J] • Water Resources Management, 2014, 28(10) : 2751-2766.
- [5] 石广明, 王金南, 毕军. 基于莫氏指数的中国动态工业 用水绩效分析[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(12): 3237-3242. SHI G M, WANG J N, BI J. Dynamic performance analysis of China' s industrial water use based on the malmquist index[J]. Systems Engineering —Theory & Practice, 2013, 33(12): 3237-3242.
- [6] 任俊霖, 李浩, 伍新木, 等. 长江经济带省会城市用水效率分析[J]. 中国人口 • 资源与环境, 2016, 26(5): 101-107. REN J H, LI H, WU X M, et al. Analysis of water efficiency of capital cities in yangtze river economic belt in China[J]. China Population Resources and Environment, 2016, 26(5): 101 -107.
- [7] 佟金萍, 马剑锋, 王圣, 等. 长江流域农业用水效率研究: 基于超效率 DEA 和 Tobit 模型[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(4) : 603-608. TONG J P, MA J F, WANG S. Research on agricultural water use efficiency in Yangtze River Basin based on Super-efficiency DEA and Tobitmodel [J] • Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015, 24(4) : 603-608.
- [8] 汪克亮, 刘悦, 史利娟, 等. 长江经济带工业绿色水资源 效率的时空分异与影响因素——基于 EBM-Tobit 模型的两 阶段分析[J] • 资源科学, 2017, 39(8) : 1522-1534. WANG K L, LIU Y, SHI L J, et al. Yangtze river economic zone spatial and temporal disparities in industrial green water resource efficiency and influencing factors based on two-step analysis of EBM-Tobit Model [J]. Resources Science, 2017, 39(8) : 1522-1534.
- [9] 雷玉桃, 黄丽萍. 中国工业用水效率及其影响因素的区域 差异研究——基于 SFA 的省际面板数据[J]. 中国软科学, 2015(4) : 155-164. LEI Y T, HUANG L P. Regional differences in industrial water consumption efficiency and its influencing factors for China ' s major industrial provinces: a study of provincial panel data based on SFA[J]. China Soft Science, 2015(4) : 155-164.
- [10] 王有森, 许皓, 卞亦文. 工业用水系统效率评价: 考虑 污染物可处理特性的两阶段 DEA [J]. 中国管理科学, 2016, 24(3) : 169-176. WANG Y L, XU H, B I A N Y W. Industrial water use system efficiency evaluation: a two-stage DEA model considering pollutants disposability [J] • Chinese Journal of Management Science, 2016, 24(3) : 169-176.
- [11] 胡彪, 侯绍波. 京津冀地区城市工业用水效率的时空差 异性研究[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(7): 1-7. HU B, HOU S B. Temporal and spatial differences of urban industrial water consumption effic [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2016, 30(7) : 1-7
- [12] WANG Y, B I A N Y, XU H. Water use efficiency and related pollutants' abatement costs of regional industrial systems in China: a slacks-based measure approach [J]. Journal of CleanerProduction, 2015, 101: 301 -310.
- [13] DENG G, LI L, SONG Y. Provincial water use efficiency measurement and factor analysis in China: Based on SBM-DEA model [J] • Ecological Indicators, 2016, 69: 12-18.
- [14] CHARNES A, COOPER W W, RHODES E. Measuring the efficiency of decision making units [J]. European Journal of

Operational Research, 1978, 2(6): 429-444.

[15] TONE K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis [J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3) : 498-509.

[16] ZHOU P, ANG B W, P O H K L. Measuring environmental performance under different environmental DEA technologies [J] • Energy Economics, 2008, 30(1) : 1-14.

[17] CLARKE-SATHER A, QU J, WANG Q, et al. Carbon inequality at the sub-national scale: a case study of provincial-level inequality in CO₂ emissions in China 1997-2007 [J]. Energy Policy, 2011, 39(9) : 5420-5428.

[18] DURO J A, PADILLA E. International inequalities in per capita CO₂ emissions: a decomposition methodology by Kaya factors [J] • Energy Economics, 2006, 28(2) : 170-187.