

中国城市供水效率时空差异及其变化特征

雒占福, 朱立祥, 常 飞, 范圆圆, 张 金

(西北师范大学 地理与环境科学学院, 兰州 730070)

摘 要:城市供水效率不仅体现单纯的经济效益,而且关系到城市生产生活正常运行的社会效益,更关系到高质量发展与高品质生活的城市化质量。利用 DEA 模型和 Malmquist 生产率指数模型方法,定量测算了 2006 年、2010 年与 2016 年中国 290 个地级及以上城市供水效率及其生产率变化。结果表明:(1) 中国城市供水效率整体处于中等水平,城市供水规模效率高于纯技术效率,已成为城市供水综合效率的主要驱动力量。(2) 中国城市间供水效率差异显著,存在高效率、中高、中等、中低与低效率等不同等级,且其效率水平随时间的推移而不断提高。(3) 中国城市供水效率变化趋势向好,形成了双驱动上升型与双滞后下降型、综合效率驱动上升型与滞后下降型、技术变化驱动上升型与滞后下降型等差异显著的不同类型的供水效率变化城市。(4) 中国城市供水效率及 Malmquist 生产率变化在三大地区基本呈现东部>中部>西部的区域差异特征,与我国区域经济发展格局基本一致,且东部地区的技术变化作用较中西部城市更为突出。(5) 中国城市供水效率及 Malmquist 生产率变化在不同规模等级城市中呈现大城市>中等城市>小城市的等级差异特征,大城市的技术变化作用较中小城市突出。

关键词:城市供水;效率;DEA 模型;Malmquist 指数;中国

中图分类号:F299.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)02-0307-08

Spatiotemporal Differences and Change Characteristics of Urban Water Supply Efficiency in China

LUO Zhanfu, ZHU Lixiang, CHANG Fei, FAN Yuanyuan, ZHANG Jin

(College of Geography and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: With respect to the efficiency of urban water supply, it not only reflects the simple economic benefits, but also is related to the social benefits of the normal operation of urban production and life. In addition, it is also related to the quality of urbanization of the high-quality development and high-quality life. The water supply efficiency and productivity of 290 cities at prefecture level in China in 2006, 2010 and 2016 were quantitatively measured by DEA model and the Malmquist productivity index model. The results show that: (1) the overall efficiency of urban water supply in China is at a medium level, and the scale efficiency of urban water supply is higher than that of pure technical efficiency, which has become the main driving force of the comprehensive efficiency; (2) the efficiencies of urban water supply among cities in China have significant differences, and can be divided into five different types such as high efficiency, medium-high efficiency, medium efficiency, medium-low efficiency and low efficiency, for all that, their efficiency level is constantly improving at every stage; (3) the change trend of urban water supply efficiency in China is upward and the role of technological change is enhanced, different types of water supply efficiency change of cities, such as double-drive ascending type and double-lag descending type, comprehensive efficiency-driven ascending type and lag descending type, technical change-driven ascending type and lag descending type have formed; (4) the change levels of urban water supply efficiency and Malmquist productivity in deferent regions in China decrease in the order: east>center>west, which are basically consistent with the regional economic development patterns in our country; furthermore, the technological changes in the eastern region are more prominent than those in the central and western cities; (5) the change level of urban water supply efficiency and Malmquist productivity in cities of different scales in China present the hierarchical difference characteris-

收稿日期:2019-06-25

修回日期:2019-07-14

资助项目:国家自然科学基金(41771130,41361032)

第一作者:雒占福(1975—),男,甘肃通渭人,博士,副教授,主要从事城市发展与规划设计研究。E-mail:luozf200@163.com

通信作者:朱立祥(1993—),男,甘肃靖远人,硕士研究生,研究方向为城市发展与规划设计。E-mail:zhulixnwnu@163.com

tics, and decrease in the order: large cities > medium cities > small cities, and the technological changes of large cities are more prominent than those of small and medium-sized cities.

Keywords: urban water supply; efficiency; DEA model; Malmquist index; China

城市供水是城市最基本的公用事业,属于公共设施的范畴,多以政府为供给主体来保障其最大程度服务社会的公共资源性与公平公正性^[1]。因而,城市供水效率不仅体现其投入产出的经济效益,而且关系到城市生产生活正常运行的社会效益,更关系到高质量发展与高品质生活的城市化质量。但外部效应的存在使得城市供水部门的私人收益与社会收益不一致,使其无法从本部门的微观效益中体现出来^[2]。城市供水作为公共物品的重要性不仅在于其对经济增长的贡献,更重要地体现在维持经济社会公平公正的可持续发展,因此,需从宏观的角度进行投入产出系统分析,以探究包含社会效益和经济效益内涵的中国城市供水效率是否与区域经济发展一样具有相似或一致的时空变化特征。21世纪以来,我国的城市供水事业发展迅速,城市供水综合生产能力与城市供水管道长度在2016年分别达到3.0亿m³/日与7.6×10⁵ km,相较10 a前2.7亿m³/日与4.3×10⁵ km的规模,年均增长率为1.11%与7.67%。然而部分城市供水投资盲目、设施(取水、净水与输配水工程)不配套、维护不足等导致供水量不足、供水漏损率高、供水保证率不稳定、水质不达标乃至企业亏损等各类供水低效率问题^[3-4]。为此,2012年国务院《关于实行最严格水资源管理制度的意见》明确提出“用水效率控制与节水型社会建设”要求;2015年“十三五”规划明确“实行最严格的水资源管理制度”等,而城市作为区域发展核心,其供水效率必然是水资源利用效率的重要组成部分。同时,随着我国新型城镇化战略的实施推进,结合我国人均水资源不足及其空间分布不平衡的现状^[5],使得我国城市供水效率具有显著的时空差异性,尤其地处我国西部干旱区的城市,年降水量较少,进行城市供水效率的研究显得尤为重要。因此,进行城市供水效率的时空差异及其变化研究,对认识我国城市供水效率的时空差异问题、加强城市供水效率管理与建设可持续高品质宜居城市提供科学参考。

目前,国外学者多采用DEA方法,以供水企业^[6]、供水行业^[7-9]、供水地区^[10]等为对象进行企业、部门或地区的供水效率研究。伴随中国快速的城市化进程和日趋严峻的水资源约束,国内学者也开始关注城市供水效率问题,在研究内容上,主要围绕城市供水行业效率^[1]、供水效率测度^[11]、用水效率^[12]、水资源利用效率^[13-15]、水资源配置效率^[16]、基础设施运营效率^[17]以及工业水资

源利用效率^[18]开展研究,但鲜有对城市供水效率的时空差异及其变化等方面开展相关研究,且研究成果少;在研究尺度上,大多以单个地级市、省域或省会城市、东部地区城市为主,对地级及以上城市的研究不足;在研究方法上,多以DEA模型方法为主,且利用了DEA模型不需预先进行估计参数和主观确定权重的优点以及数据无量纲化处理的优点^[4,11,14,16,18]。

总体来看,国内学者开始关注并重视中国城市供水效率研究,但更多选择传统方法与DEA静态模型方法,缺少DEA模型和Malmquist指数结合的动态刻画;因此,本研究利用DEA模型和Malmquist指数结合动态方法,选取中国290个地级及以上城市作为研究单元,选取能够表征社会效益和经济效益总量性指标,定量测度2006年、2010年、2016年中国城市供水效率,科学认识我国城市供水效率的时空异质性规律,旨在避免和减少城市供水设施建设的盲目性,更好地发挥城市供水对经济社会发展的服务和支撑作用。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 城市供水效率的界定

目前,学界对城市供水效率没有明确的概念界定,按照管理学定义,效率是指在特定时间内组织的各种投入与产出的比率关系,效率与投入成反比,与产出成正比。其中,公共部门的效率包括生产效率与配置效率,分别指生产或者提供服务的平均成本与组织所提供的产品或服务是否能够满足利害关系人的不同偏好^[19]。因此,根据城市供水作为最大程度服务社会的公共资源性与公平公正性的公共物品特点,本研究认为城市供水效率是指在一定的技术条件下,城市供水的各项投入满足城市生产生活用水的服务能力及其产生的经济效益。按照萨伊的生产三要素论与柯布一道格拉斯生产函数,城市供水效率的投入应包含城市供水的资本、土地与劳动力三大类投入指标,城市供水效率的产出应包含城市供水能力、服务能力及其经济效益三大类产出指标。

1.2 研究方法

1.2.1 DEA模型 数据包络分析方法(DEA)是基于被评价对象间相对比较的非参数技术效率的一种分析方法,测算出的效率为相对效率,适用于对多投入和多产出决策单元(DMU)效率进行评价^[20-21]。评价 K 个城市供水效率,设投入指标为 L 种,产出指标为 M 种,

x_{jl} 代表第 j 城市的第 l 种的投入量, y_{jm} 代表第 j 城市的第 m 种的产出量。对于第 n 个城市, 构建基于规模报酬不变的 DEA 模型, 称为 CRS 模型:

$$\begin{cases} \min [\theta - \epsilon (e_1^T s^- + e_2^T s^+)] \\ s, t \sum_{j=1}^K x_{jl} \lambda_j + s^- = \theta x_l^n & l=1, 2, \dots, L \\ \sum_{j=1}^K y_{jm} \lambda_j - s^+ = y_m^n & m=1, 2, \dots, M \\ \lambda_j \geq 0, s^-, s^+ \geq 0 & n=1, 2, \dots, K \end{cases} \quad (1)$$

式中: θ ($0 < \theta \leq 1$) 为综合效率指数, θ 值越大, 则表示城市综合效率越高, $\theta = 1$ 表明该城市投入产出水平达到了最优效率^[22]; ϵ 为非阿基米德无穷小; $e_1^T = (1, 1, \dots, 1) \in E_m$ 和 $e_2^T = (1, 1, \dots, 1) \in E_k$ 分别为 m 维和 k 维单位向量空间; s^- ($s^- \geq 0$) 为松弛变量, s^+ ($s^+ \geq 0$) 为剩余变量; λ_j ($\lambda_j \geq 0$) 为权重变量。

若式(1)中加入约束条件 $\sum_{j=1}^K \lambda_j = 1$, 可将式(1) 转化为规模报酬可变的 DEA 模型, 简称 VRS 模型^[22], 利用该模型得到纯技术效率指数 θ_b ($0 < \theta_b \leq 1$) 与规模效率 $SE = \theta / \theta_b$ ($0 < SE \leq 1$), 前者表示特定生产技术水平决定的资源要素配置水平, 而后者表示城市资源投入规模集聚效率^[23]; 若 θ_b, SE 值越接近 1, 表示城市纯技术效率与规模效率就越高。

1.2.2 Malmquist 生产率指数模型 为了揭示城市供水动态效率变化趋势, 引进由 Färe 等提出 Malmquist 生产率指数模型^[24], 分为基于规模报酬不变(CRS)与规模报酬可变(VRS)的 Malmquist 生产率变化指数模型(TFPC):

$$TFPC = CTEC(CRS) \times TC(CRS) \quad (2)$$

$$TFPC = PTEC(VRS) \times SEC(CRS, VRS) \times TC(CRS) \quad (3)$$

式中: 将 Malmquist 生产率指数分解为综合效率变化(ctec)和技术变化(tc)两部分, 式(3)进一步将 Malmquist 生产率指数分解为技术变化(tc)、纯技术效率变化(ptec)和规模效率变化(sec)^[25]。

其中: $CTEC(CRS) = \frac{D_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_c^t(x^t, y^t)}$, $PTEC(VRS) = \frac{D_v^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_v^t(x^t, y^t)}$, $SEC(CRS, VRS) = \frac{D_c^t(x^t, y^t)}{D_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{D_v^t(x^t, y^t)}{D_v^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}$ 和 $TC(CRS) = (\frac{D_c^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{D_c^t(x^t, y^t)}{D_c^{t+1}(x^t, y^t)})^{\frac{1}{2}}$ 分别为城市综合效率、纯技术效率、规模效率和技术在时间 t 和 $t+1$ 的变化指数^[23]。若 $CTEC(CRS) > 1$, 表示 t 和 $t+1$ 时期内城市综合效率上升; 若 $CTEC(CRS) = 1$, 表示相应时期内城市综合效率没有变化; 若 $CTEC(CRS) < 1$, 表

示相应时期内综合效率下降。对于技术、纯技术效率、规模效率和生产率变化指数也具有同样的变化含义^[26]。

1.3 指标选取及数据来源

本研究投入产出指标的选取以获得性、可行性和不可代替为原则。对于城市供水投入的资本、土地与劳动力指标分别选择市辖区城市供水固定资产投资、支撑城市供水管网布设的城市建成区规模以及市辖区城市供水从业人员数来表征。由于城市供水固定资产投资具有波动性, 本研究选择每期前 5 a 的平均值为该期供水资本投入值。对城市供水产出指标的社会效益(城市供水能力、服务能力)及其经济效益分别选择市辖区城市供水综合生产能力、城市用水人口数与市辖区二三产业增加值来表征。为保证各变量统计范围的一致性, 除了土地投入以建成区面积外, 其余以全国 290 个地级及以上城市(含直辖市、副省级市)的市辖区为数据统计单元。上述指标的数据来自 2006 年、2010 年、2016 年《中国城市建设统计年鉴》和 2007 年、2011 年、2017 年《中国城市统计年鉴》。

本研究利用产出导向的 DEA 模型, 首先借助 MaxDEA 软件, 分别计算出中国 290 个地级市 2006 年、2010 年和 2016 年三期的城市供水综合效率、纯技术效率和规模效率。其次, 利用 Malmquist 生产率指数模型, 借助 DEAP2.1 软件测算 2006—2016 年城市供水的综合效率变化指数、技术变化指数、纯技术效率变化指数、规模效率变化指数和生产率变化指数, 定量测算城市供水效率的动态变化以展现不同时期城市供水效率和技术进步的变化趋势。

2 结果与分析

2.1 中国城市间供水效率时空差异及其变化特征分析

(1) 中国城市供水效率整体处于中等水平, 城市供水规模效率突出。根据中国 290 个地级及以上城市 2006 年、2010 年和 2016 年三期的城市供水综合效率、纯技术效率和规模效率的测算结果(图 1), 代表城市供水效率整体水平的综合效率在三期的平均效率值分别为 0.553, 0.614 与 0.592, 基本处于最优水平的 60% 左右, 表明中国城市供水效率基本属于中等水平。从影响综合效率的城市供水纯技术效率和城市供水规模效率来看, 三期的平均效率值分别为 0.590, 0.650, 0.627 与 0.941, 0.950 与 0.948, 城市供水规模效率高于纯技术效率近 35 个百分点, 表明中国城市供水规模效率是城市供水综合效率的主要驱动因素。然而由于资源要素配置和利用处于中等水平的城市供水纯技术效率拉低了城市供水综合效率, 表明未来加强城市供水的生产技术水平对提升城市

综合效率具有决定意义。

(2) 中国城市间供水效率差异显著,存在高效率、中高、中等、中低与低效率等不同效率水平的城市,且各类效率随时间不断提升。将中国 290 个地级及以上城市 2006 年、2010 年和 2016 年 3 期的城市供水综合效率、纯技术效率和规模效率按高效率、中高、中等、中低与低效率 5 个等级进行可视化与分类统计(图 2 和图 3)。由于 DEA 模型投入产出效率属于相对效率,因此本研究认为低效率值是相对高效率值而言,不应理解为无效率^[1]。

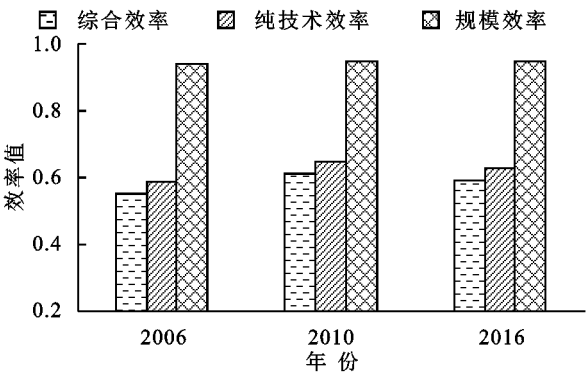


图 1 2006 年、2010 年和 2016 年中国城市供水效率值

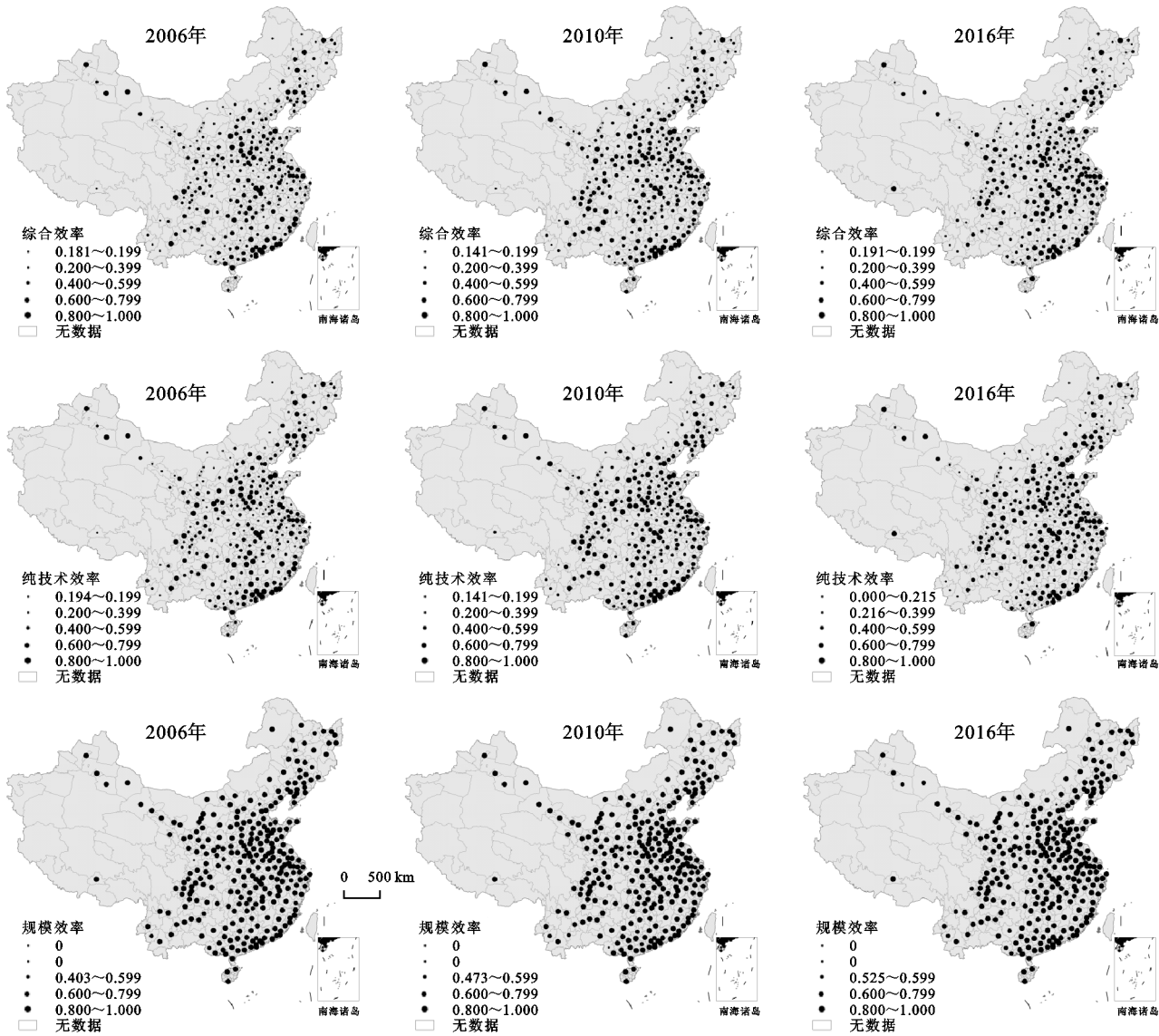


图 2 2006 年、2010 年和 2016 年中国城市供水效率空间分布

从城市供水综合效率看,高效率、中高、中等、中低与低效率的城市数量分别由 2006 年的 38, 65, 116, 67, 4 个城市发展到 2016 年的 48, 81, 103, 57, 1 个城市,其占有所有地级及以上城市的比重分别为 14%, 22%, 40%, 23%, 1% 与 17%, 28%, 35%, 20%, 0%。表明中国城市间供水综合效率差异较大,其中以中等效率水平的城市占主体,高效率、中高

效率与中低效率城市的比重相当。令人鼓舞的是中等效率以上的城市占比由 76% 上升到 80%,高效率城市增长 10 个,中高效率城市增长 16 个,中等效率城市减少 13 个,中低效率城市减少 10 个,低效率城市数较少,且由 4 个(伊春、嘉峪关、石嘴山、承德)减少到 1 个(石嘴山),也表明在中国快速城镇化进程中各城市政府非常重视城市供水设施的建设管理工作,使

得城市供水综合效率不断提升。

从城市供水纯技术效率看,高效率、中高、中等、中低与低效率的城市数量分别由 2006 年的 54,68,110,57,1 个城市发展到 2016 年的 64,84,93,49,0 个城市,其所占比重分别为 19%,23%,38%,20%,0%与 22%,29%,32%,17%,0%。该结果也表明中国城市间供水纯技术效率差异较大,其中中等效率以上的城市占比由 80%上升到 83%,高效率城市增长 3 个,中高效率城市增长 6 个,中等效率城市减少 6 个,中低效率城市减少 3 个,低效率城市由 1 个(石嘴山)减少到没有,表明中国城市间供水纯技术效率也在不断提升。

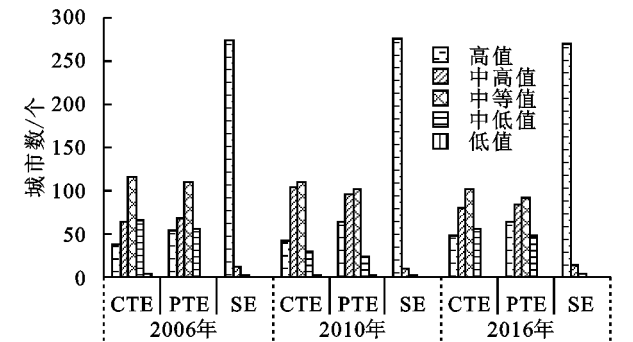


图 3 2006 年、2010 年和 2016 年中国城市供水效率差异

从城市供水规模效率看,高效率、中高、中等、中低与低效率的城市数量分别由 2006 年的 275,13,2,0,0 个城市发展到 2016 年的 271,15,4,0,0 个城市,其所占比重分别为 95%,4%,1%,0%,0%和 93%,6%,1%,0%,0%。虽然该结果表明中国城市间供水规模效率差异不显著,但整体效率高,高效率达 95%与 93%以上,没有中低效率城市和低效率城市。

(3) 中国城市供水效率变化趋势向好,技术变化作用增强,但城市间供水效率变化差异仍较大。从中国城市供水效率变化的整体来看(表 1),中国地级及以上城市供水效率的 Malmquist 生产率变化指数在 2006—2016 年的整个时间段内都大于 1,其均值为 1.027,表明研究期内中国地级及以上城市供水生产率总体上呈现增长趋势,但增长速度缓慢,仅为 2.7%。从整体的生产率变化结构看,在 2006—2016 年整个时间段内综合效率变化均值上升 6%,但技术变化均值下降了 3.1%,似乎在整个时段内技术变化或技术改进不是中国城市供水生产率增长变化的主要驱动因素,但从分时段看,Malmquist 生产率变化指数在 2010—2016 年时段要优于 2006—2010 年时段,技术变化的作用已经超过了纯技术效率变化与规模效率变化的作用,使得综合效率变化在 Malmquist 生产率变化中的贡献度降低,即由 2006—2010 年的 1.187 降低到 2010—2016 年的 1.015,而技术变化由 2006—2010 年的 0.886 上升

到 2010—2016 年的 1.071,表明随着经济技术的发展,技术变化成为推动 Malmquist 生产率变化指数向好变化的主要驱动因素。

表 1 中国城市供水 Malmquist 生产率变化的分时段统计

时期	综合效率变化	技术变化	纯技术效率变化	规模效率变化	Malmquist 生产率变化
2006—2010 年	1.187	0.886	1.179	1.014	1.043
2010—2016 年	1.015	1.071	1.016	1.004	1.091
2006—2016 年	1.060	0.969	1.055	1.006	1.027

从中国城市供水效率变化的个体来看,中国地级及以上城市间供水效率的 Malmquist 生产率变化指数在 2006—2016 年整个时间段内的差异较大(表 2),基本分为两大类:一类是有 134 个城市(46%)的 Malmquist 生产率变化指数大于 1,城市供水效率实现了增长变化;另一类是有 156 个城市(54%)的 Malmquist 生产率变化指数小于 1,城市供水效率处于下降变化,也因而使得整体中国城市供水的 Malmquist 生产率增长速度缓慢。就其两大类的形成而言,也具有其差异性与复杂性,对于 Malmquist 生产率变化指数大于 1 的类型可分为综合效率变化与技术变化同时大于 1 的双驱动上升型,其城市仅有 52 个,占比 18%;而由综合效率变化大于 1 与带动技术变化小于 1 的综合效率驱动上升型城市有 69 个,占比 24%;而由技术变化大于 1 带动综合效率变化小于 1 的技术变化驱动上升型城市仅为 13 个,占比 4%。而对于 Malmquist 生产率变化指数小于 1 的城市亦是此 3 类情形构成。

表 2 2006—2016 年中国城市供水 Malmquist 生产率变化类型的城市数量统计

Malmquist 生产率变化 (tfpc)	综合效率变化与技术变化组合关系	城市数量/个	所占比重/%	生产率变化类型
tfpc>1	ctec>1,tc>1	52	18	双驱动上升型
	ctec>1,tc<1	69	24	综合效率驱动上升型
	ctec<1,tc>1	13	4	技术变化驱动上升型
	总计	134	46	—
tfpc<1	ctec<1,tc<1	52	18	双滞后下降型
	ctec>1,tc<1	25	9	技术变化滞后下降型
	ctec<1,tc>1	79	27	综合效率滞后下降型
	总计	156	54	—

2.2 中国三大地区间城市供水效率时空差异及其变化特征分析

(1) 中国城市供水效率呈现东部>中部>西部的区域差异特征。根据中国划分东部地区、中部地区、西部地区的三大区域经济带^[27],将三大地区各城市供水综合效率、纯技术效率和规模效率分别计算平均值(图 4),结果表明:在 2006 年,东、中、西部地区

的城市供水综合效率分别为 0.595,0.546 与 0.511, 纯技术效率和规模效率分别为 0.636,0.576,0.552 与 0.939,0.950,0.934。到 2016 年,东、中、西部地区的城市供水综合效率分别为 0.622,0.610 与 0.538,而纯技术效率和规模效率分别为 0.647,0.642,0.586 与 0.963,0.956,0.924,各效率在空间上基本呈现东部>中部>西部的地域特征,其分布格局与三大地带的区域经济发展格局相一致。

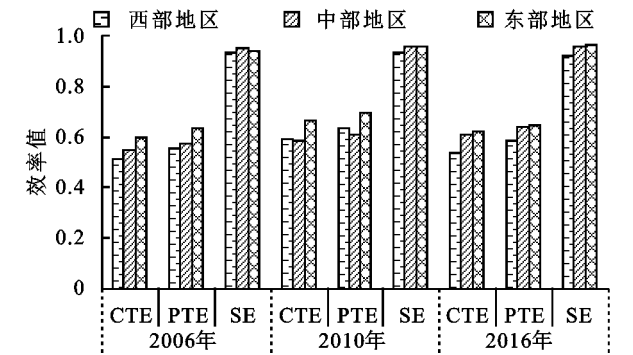


图 4 2006 年、2010 年和 2016 年中国三大地区城市供水效率统计

表 3 中国三大地区城市供水 Malmquist 生产率变化的分时段统计

时期	区域	综合效率变化	技术变化	纯技术效率变化	规模效率变化	Malmquist 生产率变化
2006—2010 年	东部地区	1.172	0.919	1.146	1.026	1.070
	中部地区	1.135	0.878	1.129	1.011	0.984
	西部地区	1.263	0.857	1.272	1.005	1.078
2010—2016 年	东部地区	0.967	1.152	0.956	1.008	1.140
	中部地区	1.092	1.015	1.092	1.003	1.107
	西部地区	0.984	1.041	0.998	1.001	1.015
2006—2016 年	东部地区	1.044	1.021	1.029	1.014	1.068
	中部地区	1.082	0.942	1.078	1.004	1.015
	西部地区	1.053	0.940	1.058	0.997	0.992

2.3 中国不同规模等级城市的供水效率时空差异及其变化特征分析

(1) 中国不同规模等级城市的供水效率基本呈现大城市>中等城市>小城市的等级差异特征。本研究根据 2014 年国务院印发《关于调整城市规模划分标准的通知》的规定,将地级及以上城市划分为大城市(100 万以上)、中等城市(50~100 万)与小城市(50 万以下)3 个等级,分别计算大、中、小城市的供水综合效率、纯技术效率和规模效率的平均值(图 5)。结果表明:在 2006 年,大、中、小城市供水综合效率和纯技术效率分别为 0.638,0.562,0.513 与 0.707,0.590,0.543,表明城市规模越大,城市供水综合效率和纯技术效率越高,但中、小城市供水规模效率较好,分别为 0.953 与 0.950,大于大城市供水规模效率的 0.905。到 2016 年,大、中、小城市供水综合效率分别为 0.674,0.592 与 0.545,而纯技术

(2) 2006—2016 年中国城市供水效率的变化指数也呈现东部>中部>西部的区域差异特征,东部地区的技术变化作用较为突出。根据 Malmquist 生产率指数模型测算的结果来看(表 3),在 2006—2016 年的整个时间段内,三大地带东、中、西部地区城市供水效率的 Malmquist 生产率变化指数分别为 1.068,1.015 与 0.992,除了西部地区外,东部与中部地区指数都大于 1,表明研究期内东部与中部地区城市供水生产率总体呈现增长态势,增长速度分别为 6.8%与 1.5%,而西部地区则下降了 0.8%。从分时段看,Malmquist 生产率变化指数在 2010—2016 年时段要远高于 2006—2010 年时段,东、中、西部地区城市供水效率的技术变化作用已经超过了纯技术效率变化与规模效率变化的作用,及其引致的综合效率变化在 Malmquist 生产率变化中的贡献度,表明随着经济技术的发展,技术变化成为东部城市创新引领与西部城市后发优势推动 Malmquist 生产率变化指数向好变化的主要驱动因素。因此,技术变化或技术改进在未来城市供水效率增长变化中的地位作用将不断增强。

效率和规模效率分别为 0.697,0.609,0.600 与 0.969,0.973,0.918,各类效率基本呈现大城市>中等城市>小城市的等级差异特征,即表明城市供水投入产出具有规模集聚效应,城市规模越大,则城市用水需求越大,必然对城市供水设施的配套、维护、管理等的要求越高,使得供水设施的综合生产能力、供水保证率、漏损率都有所增强与改善,从而使得城市供水的规模集聚效应越明显,城市供水效率就越高,也表明大城市在供水资源要素配置、利用、技术和规模集聚上具有很强的优势,中等城市次之,小城市最弱。

(2) 2006—2016 年中国不同规模等级城市的供水效率变化指数呈现大城市>小城市>中等城市的等级差异特征,大城市的技术变化作用突出。根据 Malmquist 生产率指数模型测算的结果看(表 4),在 2006—2016 年的整个时间段内,大、中、小城市供水效率

的 Malmquist 生产率变化指数分别为 1.103,0.987 与 1.014,除了中等城市外,大城市与小城市指数都大于 1,表明研究期内大城市与小城市供水生产率总体呈现增长态势,增长速度分别为 10.3%与 1.4%,而中等城市供水生产率下降了 1.3%。从分时段看,Malmquist 生产率变化在 2010—2016 年时段要远高于 2006—2010 年时段。从大、中、小城市的生产率变化结构看,在 2006—2016 年整个时间段内综合效率变化均值均大于 1,技术变化只在大城市发挥积极作用,但在 2010—2016 年时段,大、中、小城市的供水技术变化都大于 1,表明当前城市供水设施建设中更加重视技术变化或技术改进,其已经成为推动 Malmquist 生产率变化指数

向好发展的主要驱动因素。

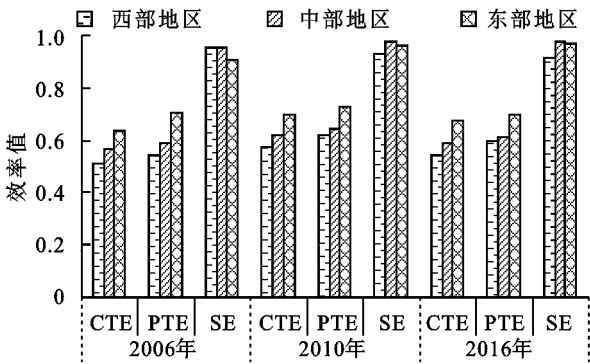


图5 2006年、2010年和2016年中国不同规模等级城市供水效率统计图

表4 中国不同规模等级城市供水 Malmquist 生产率变化的分时段统计

时期	城市类型	综合效率变化	技术变化	纯技术效率变化	规模效率变化	Malmquist 生产率变化
2006—2010 年	大城市	1.169	0.939	1.103	1.065	1.087
	中等城市	1.156	0.876	1.126	1.028	1.005
	小城市	1.211	0.871	1.238	0.986	1.046
2010—2016 年	大城市	1.013	1.168	0.999	1.011	1.230
	中等城市	0.969	1.031	0.971	1.001	0.991
	小城市	1.044	1.056	1.050	1.003	1.095
2006—2016 年	大城市	1.066	1.032	1.030	1.035	1.103
	中等城市	1.050	0.943	1.041	1.008	0.987
	小城市	1.064	0.953	1.080	0.986	1.014

3 讨论与结论

3.1 讨论

本研究从生产投入的三要素(资本、土地、人力)与产出的社会效益和经济效益进行城市供水效率的指标选取,尽可能考虑城市供水效率投入产出的共性指标。与以往相关研究相比^[1,4,11],在研究角度、方法以及研究的系统性有了一定的改进,包含社会效益和经济效益内涵的城市供水效率研究结果表明其与区域经济发展存在显著的正相关关系,比较符合我国当前城市供水的现状。但部分城市的供水效率仍然存在偏差,从而使得部分城市供水效率与实际感知有一定的出入,如嘉峪关、承德等城市供水效率水平低的结论,表明城市供水效率研究除了加强共性因素外,也要考虑城市水源特性(地下水与地表水、水量、水质、输水距离)、城市空间形态(团块状、条带状、组团状)、城市性质与规模(产业耗水性、安全级别)以及城市用水管理等城市个体因素。同时由于我国城市供水服务的公共资源性与政府保障性,为了城市整体的社会效益,一定程度上支持了水价不合理、经营亏损而仍运营的供水企业,这些综合起来导致了我国城市供水效率的复杂性,因而只有较好把握共性因素,才

能整体上认识我国城市供水效率的时空分布规律。城市是动态发展的,城市供水设施作为城市基本的市政设施之一,与城市社会经济发展一样表现为鲜明的阶段性特点。本研究以供水技术一致为假设前提,力求通过每期前 5 a 供水资本投入的平均值以弱化城市供水设施建设的动态性与阶段性,力求通过 Malmquist 生产率变化指数揭示不同时期城市供水效率和技术进步的变化趋势,其所展现的城市供水效率东部>中部>西部与大城市>中等城市>小城市的差异结果实际上揭示了我国城市发展的阶段性差异,即处于发达地区的城市供水效率整体高于欠发达地区的城市供水效率。就我国城市供水效率与国外城市供水效率相比较,也符合这一阶段性差异特征:(1) 与日本等发达国家的城市供水效率相比较,我国城市供水效率偏低。吴育华等分别选取了中国和日本具有代表性的北京、上海、重庆与东京、大阪、横滨进行比较研究,城市供水效率东京>横滨>上海^[28]。这是因为我国城市供水系统建设起步较晚,供水自动化技术与水价管理体系落后于发达国家,使得城市供水效率偏低;(2) 与澳大利亚等发达国家的城市供水效率相比较,我国城市供水效率也具有其自身的特征。Joel 等选取了澳大利亚的维多利亚州和新南威

尔州进行研究发现其规模效率高于纯技术效率是综合效率的主要驱动因素,技术变化对全要素生产率变化的贡献却呈现下降的趋势^[29],而我国城市供水效率技术变化对全要素生产率变化的贡献却在增大;(3)与印度等发展中国家相比较,我国城市供水效率具有相似特征。Mukul 等选取了印度 20 个中心城市研究发现城市供水效率普遍偏低,大城市供水效率同样高于小城市^[30]。究其原因是印度城市供水的自动化技术比较落后,投入人力多而产出低。因此,进行城市供水效率研究不能脱离其城市的发展阶段,不能脱离所在的区域乃至国家的发展阶段。

3.2 结论

(1) 中国城市供水效率整体处于中等水平,基本处于最优水平的 60%左右,其中城市供水规模效率高于纯技术效率近 35 个百分点,是城市供水综合效率的主要驱动力量。2006—2016 年中国城市间供水效率差异显著,存在高效率、中高、中等、中低与低效率等不同效率水平的城市,且其数量分别由 2006 年的 38,65,116,67,4 个城市发展到 2016 年的 48,81,103,57,1 个城市,并随时间的推移效率水平不断提高。

(2) 中国城市供水的 Malmquist 生产率变化指数都大于 1,总体上呈现增长趋势,但增长速度缓慢,仅为 2.7%,其中技术变化的作用不断增强,由 2006—2010 年的 0.886 上升到 2010—2016 年的 1.071,成为推动 Malmquist 生产率变化指数向好变化的主要驱动力量。

(3) 中国城市供水的 Malmquist 生产率变化类型不同,差异较大,基本形成由综合效率变化与技术变化不同作用程度 6 类生产率变化类型,即 Malmquist 生产率变化指数大于 1 的双驱动上升型、综合效率驱动上升型与技术变化驱动上升型,以及 Malmquist 生产率变化指数小于 1 的双滞后下降型、技术变化滞后下降型与综合效率滞后下降型。

(4) 中国城市供水效率及其 Malmquist 生产率变化在三大地区基本呈现东部>中部>西部的区域差异特征,即与我国区域经济发展格局基本一致,呈东中西阶梯式递减的格局,且东部地区的技术变化作用较中西部城市更为突出。中国城市供水效率及其 Malmquist 生产率变化在不同规模等级城市中呈现大城市>中等城市>小城市的等级差异特征,大城市的 技术变化作用较中小城市突出。

参考文献:

- [1] 张悦.中国城市供水行业效率研究[D].沈阳:东北财经大学,2016.
- [2] 王坤岩.城市公共基础设施效益三维度评价研究[D].天津:天津大学,2016.
- [3] 王立国.政府投资项目科学决策问题研究[J].财经问题研究,2008(12):50-55.
- [4] 许煦.各地区城市供水效率比较分析[J].中华建设,2006(8):71-72.
- [5] 俞雅乖,刘玲燕.中国水资源效率的区域差异及影响因素分析[J].经济地理,2017,37(7):12-19.
- [6] Thanassoulis E. The use of data envelopment analysis in the regulation of UK water utilities: Water distribution [J]. European Journal of Operational Research, 2000, 126(2):436-453.
- [7] Woodbury K, Dollery B. Efficiency measurement in Australian local government: The Case of New South Wales Municipal Water Services[J]. Review of Policy Research, 2010,21(5):615-636.
- [8] Lannier A L, Porcher S. Efficiency in the public and private French water utilities: prospects for benchmarking [J]. Social Science Electronic Publishing, 2014,46(5):556-572.
- [9] Pointon C, Matthews K. Dynamic efficiency in the English and Welsh water and sewerage industry [J]. Omega, 2016,60:98-108.
- [10] Choi K H, Cho J K. Case study on the Jeollabuk-do local water supply efficiency by using DEA and Malmquist Index [J]. Journal of Digital Convergence, 2014,12(12):571-580.
- [11] 邱林,田景环,段春青,等.数据包络分析在城市供水效率评价中的应用[J].人民黄河,2005(7):33-34,39.
- [12] 钟磊,吴成国,金菊良,等.数据包络分析法和 Malmquist 指数在山东省用水效率分析中的应用[J].水电能源科学,2016,34(5):20-24.
- [13] 钟磊.基于 DEA 和 Malmquist 指数的区域水资源利用效率动态变化解析[D].合肥:合肥工业大学,2016.
- [14] 廖虎昌,董毅明.基于 DEA 和 Malmquist 指数的西部 12 省水资源利用效率研究[J].资源科学,2011,33(2):273-279.
- [15] 宋国君,何伟.中国城市水资源利用效率标杆研究[J].资源科学,2014,36(12):2569-2577.
- [16] 蒙古军,汪疆玮,尤南山,等.基于 DEA 的黑河中游灌区水资源配置效率时空分异[J].水土保持研究,2017,24(1):173-180.
- [17] 张蕾,韩江.我国东部省市供水基础设施运营效率研究[J].城市,2016(4):45-48.
- [18] 买亚宗,孙福丽,石磊,等.基于 DEA 的中国工业水资源利用效率评价研究[J].干旱区资源与环境,2014,28(11):42-47.
- [19] 王贺封,石忆邵,尹昌应.基于 DEA 模型和 Malmquist 生产率指数的上海市开发区用地效率及其变化[J].地理研究,2014,33(9):1636-1646.
- [20] 吴得文,毛汉英,张小雷,等.中国城市土地利用效率评价[J].地理学报,2011,66(8):1111-1121.

由轻度转向中度,呈现恶化趋势,需单独关注。

(3) 2017—2026 年河南省除郑州和三门峡人口超载外,其余地市的土地资源承载力均呈现逐年上升的趋势,粮食盈余类型区的地市数量稳定,且盈余级别不断优化,表明区域土地承载力逐步增强,在未来相当长一段时间内仍满足经济发展需要和具备向省内外人口超载区域大量输出粮食的条件和基础。

参考文献:

- [1] 王大本,刘兵.京津冀区域土地资源承载力评价研究[J].经济与管理,2019,33(2):9-14.
- [2] 卢青,胡守庚,叶菁,等.县域资源环境承载力评价研究:以湖北省团风县为例[J].中国农业资源与区划,2019,40(1):103-109.
- [3] 韩燕.承载力理论文献述评[J].经济研究导刊,2013(32):12-13.
- [4] 赵伟,卢锐,姜长军.基于 AHP 模型的淮河流域五省区土地资源承载力分析[J].湖北民族学院学报:自然科学版,2018,36(4):468-474.
- [5] Sleeser M. Enhancement of Carrying Capacity Options [M].London: The Resource Use Institute,1990.
- [6] Cheng K, Fu Q, Cui S, et al. Evaluation of the land carrying capacity of major grain-producing areas and the identification of risk factors[J]. Natural Hazards, 2016, 86(1):1-18.
- [7] 封志明,杨艳昭,张晶.中国基于人粮关系的土地资源承载力研究:从分县到全国[J].自然资源学报,2008,23(5):865-875.
- [8] 董思,任志远,魏倩倩.生态脆弱区土地综合承载力时空差异分析:以榆林市为例[J].水土保持研究,2017,24(6):286-291,299.
- [9] 卫思夷,居祥,荀文会.区域国土开发强度与资源环境承载力时空耦合关系研究:以沈阳经济区为例[J].中国土地科学,2018,32(7):58-65.
- [10] 祝秀芝,李宪文,贾克敬,等.上海市土地综合承载力的系统动力学研究[J].中国土地科学,2014,28(2):90-96.
- [11] 吕添贵,吴次芳,李洪义,等.基于生态足迹的水资源承载力评价研究:以喀斯特地区为例[J].中国国土资源经济,2017,30(5):42-47.
- [12] 杨瑾,左坤,崔斌,等.西安市土地资源承载力时空变化研究[J].西北师范大学学报:自然科学版,2019,55(1):121-128.
- [13] 孙钰,李新刚.基于空间回归分析的城市土地综合承载力研究:以环渤海地区城市群为例[J].地域研究与开发,2013,32(5):128-132,137.
- [14] 祝秀芝.土地综合承载力评价及预测研究[D].山东泰安:山东农业大学,2013.
- [15] 朱小娟,刘普幸,赵敏丽,等.甘肃省土地资源承载力格局的时空演变分析[J].土壤,2013,45(2):1346-1354.
- [16] 魏媛,吴长勇,曾昉,等.喀斯贫困山区土地资源承载力动态分析与预测[J].水土保持研究,2016,23(6):322-326.
- [17] 施开放,刁承泰.重庆市粮食生产发展特征及土地资源承载力空间格局研究[J].水土保持研究,2012,19(4):168-171.
- [18] 封志明,杨艳昭,游珍.中国人口分布的土地资源限制性和限制制度研究[J].地理研究,2014,33(8):1395-1405.
- [19] 刘思峰.灰色系统理论及其应用[M].北京:科学出版社,2010.
- [20] 84(1):66-83.
- [21] 韩文艳,陈兴鹏,张子龙,等.中国地级及以上城市水资源利用效率的时空格局分析[J].水土保持研究,2018,25(2):354-360.
- [22] 魏权龄.数据包络分析[J].科学通报,2000,45(17):1793-1808.
- [23] 孙威,董冠鹏.基于 DEA 模型的中国资源型城市效率及其变化[J].地理研究,2010,29(12):2155-2165.
- [24] Färe R, Grosskopf S, Lindgren B, et al. Productivity changes in Swedish pharmacies 1980—1989: A Non-Parametric Malmquist Approach[J]. Journal of Productivity Analysis, 1992,3:85-101.
- [25] Färe R, Grosskopf S, Norris M. Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries[J]. American Economic Review, 1994, 84(1):66-83.
- [26] 郭腾云,徐勇,王志强.基于 DEA 的中国特大城市资源效率及其变化[J].地理学报,2009,64(4):408-416.
- [27] 潘竟虎,尹君.中国地级及以上城市发展效率差异的 DEA-ESDA 测度[J].经济地理,2012,32(12):53-60.
- [28] 吴育华,杨顺元,孙旭.中日城市供水系统静态效率的对比研究[J].西安电子科技大学学报:社会科学版,2008(2):85-88.
- [29] Joel B, Lin C, Brian D, et al. The relative economic efficiency of urban water utilities in regional New South Wales and Victoria[J]. Resource and Energy Economics, 2010,32(3):443-455.
- [30] Mukul K, Amit V. Efficiency evaluation of urban water supply services in an Indian state[J]. Water Policy, 2013,15:134-152.

(上接第 314 页)