

中国地级及以上城市水资源利用效率的时空格局分析

韩文艳^{1,3}, 陈兴鹏^{1,2,3}, 张子龙^{1,2,3}, 王宁飞^{1,3}, 于原浩¹

(1. 兰州大学 资源环境学院, 兰州 730000; 2. 兰州大学 西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000; 3. 兰州大学 中国西部循环经济研究中心, 兰州 730000)

摘要: 随着经济社会的快速发展,城市水资源短缺日益严重,因此加强城市水资源的高效合理利用对于人类社会的可持续发展具有重要意义。该文基于数据包络分析(DEA)模型评价了2010—2014年中国地级及以上城市水资源利用效率,并对其时空格局进行了分析。研究结果表明:(1)中国大多数城市水资源利用处于无效状态,效率总体较低,但有缓慢提高的趋势,且东部和省会城市增幅较大;(2)三大地带城市水资源利用方面,综合效率呈东部>西部>中部的格局,纯技术效率呈西部>东部>中部的态势,规模效率则为东部>中部>西部;(3)各行政级别城市水资源利用方面,综合效率和纯技术效率皆呈直辖市>地级市>省会城市的格局,规模效率则为省会城市>地级市>直辖市;(4)中国城市水资源利用效率低的原因主要是纯技术效率低,但空间上存在差异,中部和省会城市主要是纯技术无效,而西部和地级市城市则主要是规模无效;(5)中国大多数城市水资源利用效率皆处于规模报酬递增阶段,水资源利用体系仍未摆脱粗放式发展。因此,根据空间差异因地制宜,提高城市水资源利用率亟待解决。

关键词: 水资源利用效率; 城市; 数据包络分析(DEA)

中图分类号: TV213.9

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2018)02-0354-07

Analysis on Spatiotemporal Structure of Water Resources Utilization Efficiency of the Prefecture Level Cities and Beyond in China

HAN Wenyan^{1,3}, CHEN Xingpeng^{1,2,3}, ZHANG Zilong^{1,2,3}, WANG Ningfei^{1,3}, YU Yuanhao¹

(1. College of Earth Environmental Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 2. Key Laboratory of Western China's Environmental Systems (Ministry of Education) Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 3. Research Institute for Circular Economy in Western China, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: With the rapid development of economy and society, the problem on the shortage of water is increasingly becoming serious. Therefore, it has great significance for sustainable development of human society to improve the efficiency and reasonable use of water resources. Based on the data envelopment analysis, we evaluated the use efficiency of water resources of the prefecture level cities and beyond in China and analyzed spatiotemporal structure. The results show that most of China's urban water resources utilization are at an ineffective state, on the whole, the efficiency is lower than other countries, but it has a trend to improve slowly, and east and provincial capitals have a bigger increment; in terms of water resources utilization in three zones, comprehensive efficiency decreases in the order: the east > west > central section, the technical efficiency decreases in the order: west > east > central section, scale efficiency decrease in the order: east > central section and central section > west; in the view of water resources utilization in executive cities, comprehensive efficiency and technical efficiency decrease in the sequence: municipality directly under the central government > prefecture level city > provincial capital, the scale efficiency decreases in the order: provincial capital > prefecture level city > municipality directly under the central government. The reason why the cities of China have low water efficiency is the low technical efficiency, but there is difference in spacial structure. Techniques in central parts and provincial capital are useless while the west and prefecture level cities are because of scale efficiency. In most parts of China, the water use efficiencies are on the rise. And the system of water use efficiency is still under the control of extensive development. Therefore, according to region difference, the government should make policies. The problem on water resources utilization remains to be resolved.

Keywords: water use efficiency; cities; data envelopment analysis

水资源作为经济社会发展的战略资源和经济资源,是人类赖以生存和发展的基本条件,对于经济社会发展起到重要作用。水资源短缺和水生态环境恶化是目前制约中国水资源利用的两大主要问题,也是制约经济社会可持续发展的主要瓶颈^[1]。水资源领域的相关研究已经得到社会的普遍关注,及政府和专家学者的高度重视。因此,水资源利用效率的相关研究分析,对于水资源的可持续利用政策的制定具有重要参考意义。

目前在国内水资源利用领域,水资源利用效率方面的研究相对较多,主要集中在以下几方面:一是水资源利用效率评估模型的研究,高媛媛等^[2]构建了一种基于投影寻踪及遗传算法的水资源利用效率评估模型;高雄等^[3]基于迭代修正的思路,对基于单一评价方法(熵值法、均方差法、离差法)的水资源利用效率评价模型进行了修正和应用。二是不同尺度水资源利用效率的测算评价,主要运用空间 Durbin 计量模型^[1]、DEA 和 Malmquist 指数^[4]等,评价并分析了省^[5]、市^[6]、区县^[7]等不同空间尺度的水资源利用效率。三是区域水资源利用效率影响因素的探讨,利用 SBM-DEA^[8]、DEA^[9]、Tobit 回归模型^[10]以及参考文献法^[11]等探讨分析了不同区域(三大地带、省区市)水资源利用效率的影响因素。四是不同产业水资源利用效率的研究,买亚宗等^[12]在全要素生产框架下实证研究了中国省级行政区工业水资源效率;佟金萍等^[13]将农业技术进步分解为科技进步率和技术效率,探讨了广义技术进步与农业用水效率的关系。

综上所述,国内目前关于水资源利用效率的研究主要集中在省域及县域尺度,或者工农业的水资源利用效率评价及影响因素方面,对于城市尺度的研究相对较少,尤其是全国地级市尺度水资源利用效率时空演变的研究较少。城市作为区域经济发展的增长极,其经济发展状况强烈影响着所在区域的经济增长^[14],而且城市作为区域的政治、经济、文化、人口、生产和消费的集聚中心,其水资源利用效率状况对邻近地区有重要辐射作用、对区域水资源利用有重要影响。近年来,我国水资源开发利用逼近红线,水资源短缺已经成为制约经济社会发展的重要瓶颈,因此,水资源利用效率的相关研究对于水资源环境与经济社会的和谐发展具有重要意义。本文基于 2010—2014 年中国地级及以上城市水资源利用的相关数据,运用数据包络分析(DEA)方法和 GIS 对中国城市水资源利用效率进行测度,探讨城市水资源利用效率的时空异质性规律,

分析中国城市水资源利用效率的空间差异,以期对相关研究提供基础,为区域水资源政策的制定和城市水资源利用效率的提高提供理论参考,以促进最严格水资源管理制度的落实和水生态文明建设。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 数据包络分析

数据包络分析(DEA)由美国著名运筹学家 Charnes 等于 1978 年提出^[15],是基于投入产出数据的相对有效性评价方法^[16]。DEA 主要采用线性规划模型,构建数据包络面,确定有效的生产前沿面(最优的决策单元),通过分析决策单元(DMU)与最优决策单元之间的偏离程度来对其有效性进行综合评价^[17]。DEA 的显著特点包括不需考虑投入产出之间的函数关系,不需预先估计参数,不需做任何权重假设,避免了主观因素;通过产出与投入之间加权和之比,计算决策单元的投入产出效率;DMU 的个数不宜少于输入、输出指标总数的两倍^[18]。DEA 方法建模前无须对数据进行无量纲化处理,目前已广泛应用于资源环境效率评价等多个领域。DEA 最具代表性的模型有 C²R, BC², FG, ST 等^[19]。其中 C²R 和 BC² 模型分别假设规模报酬不变和规模报酬可变,而 BC² 模型基于 C²R 模型增加了凸性假设 $\sum \lambda_j^* = 1$, 将综合效率分解为纯技术效率和规模效率两部分^[20]。本文拟通过研究中国地级及以上城市水资源利用效率,探讨水资源利用效率的时空演化规律和低效原因,以提高城市水资源利用效率、合理高效利用水资源,因此全面了解纯技术效率和规模效率以期从规模上和技术上进行改进十分必要,从而选用 BC² 模型进行分析,选取投入主导型 DEA 方法。

设有 n 个决策单元,每个决策单元有 m 项投入, x_{2j}, \dots, x_{mj} 和 s 项产出, $y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj}$ 其中 $x_{ij}, y_{ij} > 0$, λ_j 为各市投入和产出的权向量。对于投入主导型的 BC² 模型而言,每个决策单元 DMU _{j} 都有相应的效率评价指数 θ , 满足^[4]:

$$\begin{cases} \min \theta \\ \text{s. t.} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j \leq \theta x_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j \geq y_0 \\ \sum_j \lambda_j = 1 \end{cases} \quad (1)$$

式中: $\lambda \geq 0, j = 1, 2, \dots, n$ 。基于该式,每个决策单元选取 3 项投入指标:从业人员期末人数(x_1 , 万人)、供

水总量(x_2 , 万 t)、资本存量(x_3 , 万元);1 项产出指标:地区生产总值(y_1 , 万元),运用软件 DEAP 2.1,以投入为导向可计算出各城市水资源利用的综合效率、纯技术效率和规模效率值及其规模收益情况。其中,当 $\theta=1$ 时,表明该决策单元是 DEA 有效,城市的水资源利用效率同时为纯技术有效和规模有效;当 $\theta < 1$ 时,表明该决策单元不是 DEA 有效,城市的水资源利用效率可能表现为纯技术无效或规模无效。

1.2 数据来源

根据指标选取的代表性和可获得性原则^[21],基于钱文婧^[9],董战峰^[22]等关于水资源利用效率的研究,本文选取中国 284 个地级及以上城市作为研究对象(其中拉萨、三沙、海东、铜陵、毕节、铜仁由于统计数据不全面,故不包含于研究对象内),以市辖区年总供水量、资本、劳动人口、GDP 等指标反映城市水资源利用效率。数据主要源于 2010—2014 年的《中国城市统计年鉴》,个别城市的缺失数据取前后两年的均值。城市水资源利用体系的投入、产出变量有:

(1) 资本投入。选取资本存量作为资本投入指标,参照张军等^[23]的研究成果,采用“永续盘存法”进行估算,计算公式为:

$$K_{it} = K_{it-1}(1-\delta) + I_{it} \quad (2)$$

式中: K_{it} 为基年资本存量; I_{it} 指第 t 年 i 省区市的投资; δ 为经济折旧率。

(2) 劳动力投入。选取社会各行业年从业人员总人数。

(3) 水资源投入。年供水总量是指各城市年供出的全部水量,包括各类用户实际的用水量及供用过程中的漏损水量,考虑数据的可获得性和代表性,选择各城市年供水总量表示水资源投入。

(4) 国内生产总值(GDP)。期望产出为各城市 GDP,并利用 GDP 平减指数将历年名义 GDP 以 2010 年为不变价格进行缩减。

2 中国城市水资源利用效率测算

2.1 总体特点

利用 DEAP 2.1 统计分析软件,对 2010—2014 年中国 284 个地级及以上城市水资源利用效率进行测算。由计算结果可知,总体上中国城市水资源利用效率平均水平较低,且高低交错中呈现波动上升的趋势,见图 1,由 2010 年的 0.422 增长至 2014 年的 0.497。就三大地带而言,东、中、西部城市水资源利用效率的变化趋势与全国城市平均水平的趋势一致,均呈波动上升状态西部城市水资源利用效率趋势线与全国的基本吻合。东、中、西部城市水资源利用效

率值分别由 2010 年的 0.473,0.374 与 0.419 上升到 2014 年的 0.541,0.450 与 0.500;区域城市水资源利用效率总体较低,研究期内均呈现为东部城市水资源利用效率平均水平最高,西部次之,而中部城市水资源利用效率平均值最低。

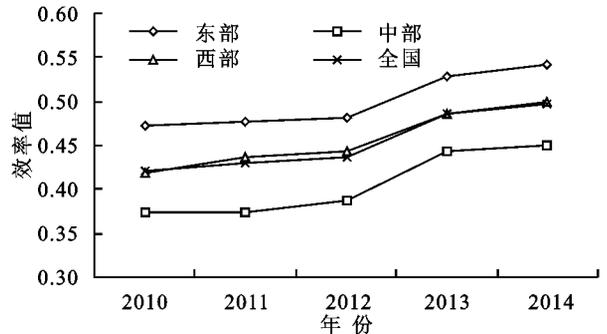


图 1 区域水资源利用效率变化趋势

图 2 显示了中国不同行政级别城市水资源利用效率的变化趋势,总体上直辖市、省会城市、地级市城市水资源利用效率的变化趋势与全国城市平均水平的趋势一致,皆呈波动上升状态,地级市城市的趋势线与全国的基本吻合,且研究期内省会城市与地级市城市水资源利用效率相对于直辖市较平稳,直辖市、省会城市、地级市城市水资源利用效率平均值分别由 2010 年的 0.544,0.395 与 0.423 上升到 2014 年的 0.618,0.499 与 0.495;各行政级别城市水资源利用效率总体较低,与 DEA 有效时的 θ 值仍有一定差距,研究期内直辖市城市水资源利用效率平均值最高,均在 0.5 以上,地级市城市次之,而省会城市水资源利用效率平均水平最低,均在 0.5 以下。

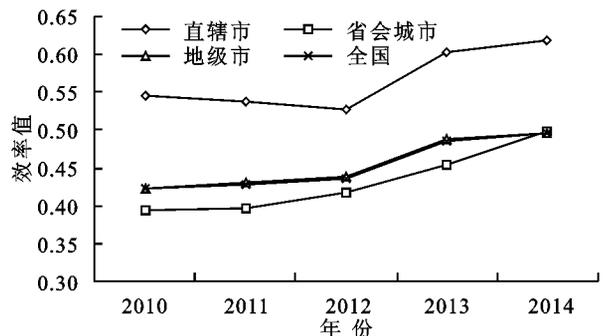


图 2 不同行政级别城市水资源利用效率变化趋势

2.2 城市水资源利用效率空间分布

将 DEAP2.1 统计分析软件测算的 2010—2014 年中国 284 个地级及以上城市水资源利用效率结果同 ArcGIS 相结合,根据 DEA 中 θ 的取值范围, $\theta=1$ 时决策单元有效, $\theta < 1$ 时决策单元无效,即 θ 值越接近于 1 效率值越高,参照陈群元^[24]、潘竞虎^[25]等关于城市发展效率的研究,基于 2010—2014 年中国城市水资源利用效率的实际值,设定 $crste/vrste/scale=1$ 为高效率,0.75 $\leq crste/vrste/scale \leq 0.999$ 为中等效

率, $0.5 \leq crste/vrste/scale \leq 0.749$ 为低效率, $crste/vrste/scale \leq 0.499$ 为无效, 2010—2014 年中国地级及以上城市水资源利用效率的空间分布见图 3。综合效率方面, 2010—2014 年全国城市综合效率平均值为 0.454, 处于无效状态, 且呈东部 > 西部 > 中部

的格局; 从综合效率值的高低来看, 高效城市有 3 个, 占比为 1.06%; 中效城市有 11 个, 占比为 3.87%; 低效城市有 70 个, 占比为 24.65%; 无效城市有 200 个, 占比为 70.42%, 这充分说明中国城市水资源利用效率远未达到理想状态。

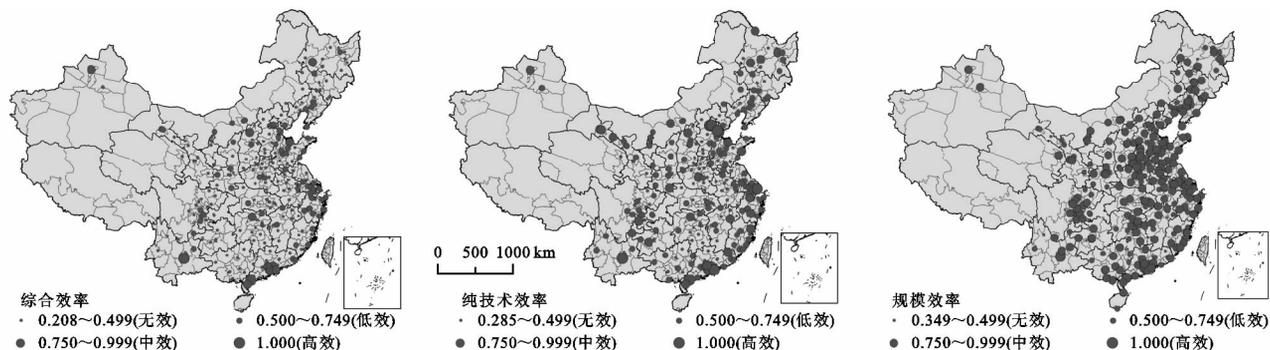


图 3 2010—2014 年中国城市水资源利用效率空间分布

纯技术效率方面, 2010—2014 年全国城市纯技术效率平均值为 0.58, 处于低效状态, 且呈西部 > 东部 > 中部的格局; 从纯技术效率值的高低来看, 高效城市有 12 个, 占比为 4.23%; 中效城市有 37 个, 占比为 13.03%; 低效城市有 121 个, 占比为 42.61%; 无效城市有 114 个, 占比为 40.14%, 说明中国大部分城市水资源利用已达到纯技术有效状态, 但效率值很低, 尚未达到理想状态。

规模效率方面, 2010—2014 年全国城市规模效率平均值为 0.8, 处于中效状态, 且与三大地带的经济发展格局相一致, 呈现“东高西低”的态势^[25]; 从规模效率值的高低来看, 高效城市有 3 个, 占比为 1.06%; 中效城市有 190 个, 占比为 66.9%; 低效城市有 73 个, 占比为 25.7%; 无效城市有 18 个, 占比为 6.34%, 说明中国地级及以上城市水资源利用基本达到规模中效状态, 但高效城市极少, 仍未达到理想状态。

总之, 中国城市水资源利用效率较低, 在空间格局上呈现东中西部的差异, 且综合效率、纯技术效率、规模效率的空间差异亦有所不同。总体上城市水资源利用效率低主要是由纯技术效率低导致的, 因此提高城市水资源利用效率还应在技术进步方面努力, 加大科技投入促进技术水平的提高, 提高水资源重复利

用率促进水资源的循环利用。此外, 还应注意改善部分城市水资源利用的规模无效状态。

2.3 技术效率和规模效率特征

如表 1 所示, 2010—2014 年中国地级及以上城市水资源利用纯技术效率平均值为 0.580, 纯技术效率高效的城市由 2010 年的 19 个增长至 2014 年的 24 个, 总体上全国城市水资源利用纯技术效率较低, 但呈波动上升的趋势。具体到三大地带而言, 东、中、西部城市的纯技术效率值均呈逐年增长状态, 分别由 2010 年的 0.555, 0.498, 0.601 增长至 2014 年的 0.629, 0.558, 0.670, 且研究期内西部 > 东部 > 中部, 东部城市与全国城市平均水平的变化趋势基本吻合。说明西部经济技术长期处于落后状态, 但近年随着经济发展与技术引进, 使得水资源利用效率的纯技术效率较佳。就各行政级别城市而言, 直辖市水资源利用纯技术效率值 2013 年前呈上升趋势, 2014 年则有所下降, 省会城市、地级市则呈上升趋势, 且省会城市变化较明显, 分别由 2010 年的 0.878, 0.442, 0.555 上升至 2014 年的 0.901, 0.570, 0.616, 反映出不同行政级别城市间的纯技术效率相差较大, 特别是直辖市纯技术效率皆在 0.87 以上, 远高于省会城市, 与综合效率相比较, 在空间上分布较为不均匀。

表 1 2010—2014 年中国城市水资源利用纯技术效率和规模效率

项目	区域	2010 年		2011 年		2012 年		2013 年		2014 年	
		纯技术效率	规模效率								
三大地带	东部	0.555	0.864	0.559	0.866	0.574	0.847	0.626	0.861	0.629	0.873
	中部	0.498	0.776	0.497	0.777	0.513	0.768	0.552	0.811	0.558	0.816
	西部	0.601	0.724	0.622	0.728	0.634	0.720	0.655	0.760	0.670	0.762
行政级别	直辖市	0.878	0.629	0.892	0.614	0.895	0.601	0.908	0.670	0.901	0.690
	省会市	0.442	0.912	0.449	0.904	0.474	0.899	0.543	0.863	0.570	0.888
	地级市	0.555	0.782	0.562	0.786	0.575	0.773	0.611	0.811	0.616	0.816
全国		0.549	0.792	0.556	0.794	0.570	0.782	0.609	0.814	0.616	0.820

从规模效率来看,2010—2014 年中国地级及以上城市水资源利用规模效率的平均值为 0.800,规模效率高效的城市由 2010 年的 8 个增长至 2014 年的 12 个,总体上全国城市规模效率平均水平要高于综合效率与纯技术效率,皆在 0.75 以上,且呈现波动上升状态。研究期内,东、中、西部城市的规模效率均呈波动上升趋势,但变化不明显;东、中、西部城市的规模效率平均值分别为 0.862,0.790,0.739,显然东部 > 中部 > 西部,与城市综合效率和纯技术效率的分布规律不同,东、中部城市主要是通过规模效率改善城市水资源利用效率,而西部城市仍然以粗放型的规模增长为主,尚未突破“规模瓶颈”,但从另一个角度来看,如果东、中部地区能够有效提高技术效率,在现有的投入水平下,将显著提高城市水资源利用效率。不同行政级别城市除省会城市外规模效率均呈逐年缓慢增长趋势,地级市与全国城市规模效率平均水平趋势线基本吻合,而省会城市则是先下降后上升状态。2010—2014 年直辖市、省会城市、地级市水资源利用规模效率平均值分别为 0.641,0.893,0.794,显然省会城市 > 地级市 > 直辖市,这与城市水资源利用综合效率和纯技术效率的分布规律亦不同,省会城市和地级市城市水资源利用的规模效率显著,而直辖市则依靠技术提高城市水资源利用效率,规模增长较粗放,这也证实了 Henderson 提到的大城市相关要素的过度集中反而可能会产生规模不经济的结论。

城市水资源利用的规模收益方面,2014 年有 14 个城市处于规模报酬不变阶段,包括 12 个规模效率有效的城市,说明该城市水资源利用投入的资源得到了合理分配利用,投入—产出比实现了帕累托最优配置原则。而非规模效率有效的 270 个城市中,城市水资源利用体系处于规模报酬递减阶段的有 68 个,占

全部城市的 23.94%,这些城市的水资源利用普遍存在规模过大的情况;处于规模报酬递增阶段的城市有 202 个,占全部城市的 71.13%,该类城市水资源利用则普遍处于规模不足状态。

3 中国城市水资源利用效率的时空演化

3.1 总体变化趋势

表 2 显示了 2010—2014 年中国地级及以上城市水资源利用效率值,5 a 间综合效率的平均值为 0.454,一直处于低效率状态,但呈现逐年上升的演变态势,2014 年达到近五年的最高值,为 0.497;其中 5 a 间水资源利用效率平均值最高的 10 个城市依次为玉溪市(1)、茂名市(1)、鄂尔多斯市(1)、朔州市(0.925)、佛山市(0.924)、中山市(0.893)、大庆市(0.880)、东莞市(0.852)、克拉玛依市(0.843)、东营市(0.836),相应的效率值最低的 10 个城市依次为黄冈市(0.204)、渭南市(0.209)、阜新市(0.229)、临沧市(0.231)、丽江市(0.231)、普洱市(0.241)、上饶市(0.242)、伊春市(0.246)、云浮市(0.261)、贵阳市(0.261)。2014 年与 2010 年相比,有多达 240 个城市的水资源利用效率有所增加,增幅最大的 3 个城市依次是西安市(+2.058)、乌海市(+0.719)和安康市(+0.71);有 35 个城市的水资源利用效率有所降低,降幅最大的 3 个城市依次为宜昌市(-0.425)、中山市(-0.332)及东莞市(-0.327);有 5 个城市的水资源利用效率保持不变,包括鄂尔多斯市、茂名市、梅州市、郴州市、玉溪市,其中除梅州市和郴州市外,其余三城市均处于水资源利用有效阶段。表明中国城市发展水资源高效利用的潜力较大,随着经济社会的发展,资源环境与经济发展的协调问题日益得到重视,资源配置逐步优化,城市水资源利用效率逐年提高,仍有较大的改善空间。

表 2 2010—2014 年中国城市水资源利用综合效率平均值

项目	区域	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	平均值
三大地带	东部	0.473	0.476	0.480	0.529	0.541	0.500
	中部	0.374	0.375	0.387	0.443	0.450	0.406
	西部	0.419	0.437	0.443	0.486	0.500	0.457
行政级别	直辖市	0.544	0.537	0.529	0.603	0.618	0.566
	省会城市	0.395	0.397	0.417	0.455	0.499	0.433
	地级市	0.423	0.431	0.437	0.487	0.495	0.455
全国		0.422	0.429	0.437	0.486	0.497	0.454

3.2 三大地带、不同行政级别城市水资源利用效率演化差异

中国三大地带方面(表 2),2010—2014 年城市水资源利用效率的分布与三大地带的经济发展格局有所不同,呈现出东、西、中递减分布的特点,体现了“东高中低”的分布态势,效率较高的城市集中于经济最

为发达的东部地区,而效率较低的城市则集中于中部。具体来看,2010—2014 年东部地区的城市水资源利用效率平均水平为 0.5;西部地区次之,为 0.457;中部地区最低,仅为 0.406。三大地带中,仅东部城市水资源利用效率均值超过全国平均水平,西部城市水资源利用效率均值与全国水平基本吻合,而中部城市水资源

利用效率则在全国平均水平以下。

如表 2 所示,2010—2014 年中国城市水资源利用效率的分布与城市行政级别格局亦不同,呈现出按直辖市、地级市、省会城市递减的分布态势。研究期内,中国直辖市、省会城市、地级市的城市水资源利用效率平均值分别为 0.566,0.433,0.455,直辖市水资源利用效率均值超过全国平均水平,地级市于 2010—2013 年亦如此,而省会城市水资源利用效率均值则一直低于全国均值。

3.3 规模报酬时空演化

2010—2014 年,中国大多数地级及以上城市水资源利用效率皆处于规模报酬递增阶段,说明中国城市水资源利用体系仍没摆脱粗放式发展,但随着经济社会发展和技术进步,城市水资源利用效率有所提高。此外,5 年间有 38 个城市一直处于规模报酬递减阶段,分别为北京市、天津市、唐山市、太原市、包头市、沈阳市、大连市、鞍山市、长春市、哈尔滨市、上海市、南京市、无锡市、常州市、苏州市、杭州市、宁波市、温州市、台州市、合肥市、福州市、厦门市、泉州市、济南市、青岛市、淄博市、郑州市、武汉市、广州市、深圳市、珠海市、汕头市、江门市、惠州市、重庆市、成都市、贵阳市、乌鲁木齐市。其中大部分城市位于东部发达地区,19 个城市为直辖市或省会城市,大多具有全国或区域中心城市的共同特征。相比于中国其他城市,这些城市的发展水平较高,拥有较多区位优势,生产要素投入增加的比率大于产出的比率。因此,该类城市应优化水资源利用体系的投入要素,从关注要素的

数量向要素的质量转变,合理分配利用投入资源,优化产业结构,提高技术水平和劳动力素质,加强节水意识,以提高城市水资源利用效率。

研究期间,有 3 个城市(鄂尔多斯市、茂名市和玉溪市)水资源利用综合效率一直有效(效率值为 1)且始终处于规模收益不变阶段,这 3 个城市均已达到技术和规模有效,其投入的资源得到合理分配利用,投入—产出比实现了帕累托最优配置。其中鄂尔多斯市和玉溪市为经济比较单一的资源型城市,而茂名市作为滨海城市具有较强经济实力,是中国南方重要的石化生产出口基地和广东省的能源基地。

3.4 城市水资源利用效率的空间演化

图 4 显示了 2010 年与 2014 年中国地级及以上城市水资源利用效率的时空特征。显然,总体上 2014 年城市水资源利用效率相较 2010 年有所提高,且东部地区的城市水资源利用效率一直高于中西部地区。三大地带方面,2010 年与 2014 年城市水资源利用效率的格局均为东部>西部>中部;2014 年与 2010 年城市水资源利用效率相比,增长幅度由大到小依次为中部(+0.203)、西部(+0.193)、东部(+0.144)。城市行政级别方面,2010 年城市水资源利用效率的格局为直辖市>地级市>省会城市,而 2014 年城市水资源利用效率的格局为直辖市>省会城市>地级市;2014 年与 2010 年城市水资源利用效率相比,增长幅度由大到小依次为省会城市(+0.263)、地级市(+0.170)、直辖市(+0.136),这与空间格局的变化相一致,说明近 5 年省会城市水资源利用效率水平有较大提升。

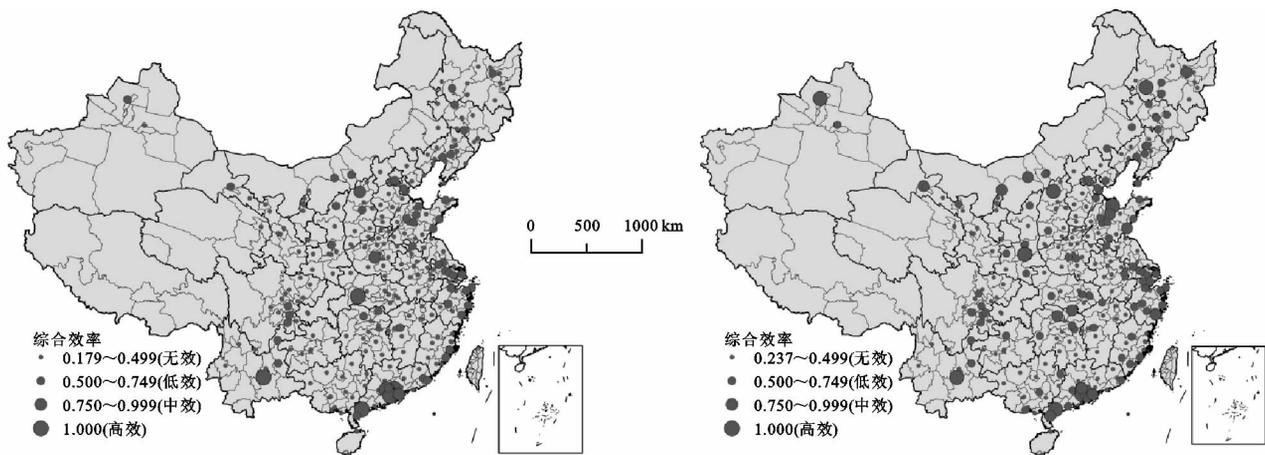


图 4 2010 年与 2014 年中国城市水资源利用效率空间分布

4 结论

(1) 中国城市水资源利用效率总体较低,大多处于无效状态,但近五年有缓慢提高的趋势,且东部城市和省会城市增幅较大;(2) 三大地带方面,2010—2014 年城市水资源利用综合效率呈现东部>西部>

中部的格局,纯技术效率呈西部>东部>中部的态势,规模效率则为东部>中部>西部;(3) 城市行政级别方面,2010—2014 年城市水资源利用综合效率和纯技术效率皆呈直辖市>地级市>省会城市,规模效率则为省会城市>地级市>直辖市;(4) 中国城市水资源利用效率低总体上是由纯技术效率低导

致的,但空间上存在差异,中部和省会城市主要是纯技术无效,而西部和地级市城市则主要是规模无效;(5)2010—2014年中国大多数地级及以上城市水资源利用效率皆处于规模报酬递增阶段,水资源利用体系仍未摆脱粗放式发展。因此,提高城市水资源利用效率,应根据三大地带及不同行政级别城市的空间差异,在水资源利用技术进步和合理优化配置投入要素等方面采取相应措施,构建集约节约的水资源利用体系,提高水资源重复利用率,促进水资源循环利用。与已有研究相比,本文得出中国绝大多数地区水资源利用没达到DEA有效,但近年来水资源利用效率呈缓慢上升趋势,总体上由东向西依次递减,这与已有研究结果一致。同时从城市层面,对城市行政级别和规模报酬进行了分析,探讨了中国水资源利用效率的时空格局,为水资源利用与城镇化、经济协调可持续发展区域政策制定提供了参考,有一定的应用价值。此外,由于数据可获得性等局限,本文的研究对象未包含中国所有地级及以上城市,仅探讨了2010—2014年中国284个地级及以上城市水资源利用效率的时空格局,对其时空差异仅有初步的理解与判断,而对造成其演变的原因并未进行深入分析,还需进一步探讨,且仅选取劳动力、供水总量、资本存量、生产总值作为DEA模型的输入输出参量,可能会在一定程度上影响水资源效率分析精度,这亦需在以后的研究中进一步深化。

参考文献:

- [1] 赵良仕,孙才志,郑德凤. 中国省际水资源利用效率与空间溢出效应测度[J]. 地理学报,2014,69(1):121-133.
- [2] 高媛媛,许新宜,王红瑞,等. 中国水资源利用效率评估模型构建及应用[J]. 系统工程理论与实践,2013,33(3):776-783.
- [3] 高雄,王红瑞,高媛媛,等. 基于迭代修正的水资源利用效率评价模型及其应用[J]. 水利学报,2013,44(4):478-488.
- [4] 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.
- [5] 赵晨,王远,谷学明,等. 基于数据包络分析的江苏省水资源利用效率[J]. 生态学报,2013,33(5):1636-1644.
- [6] Ren C, Guo P, Yang G, et al. Spatial and temporal analyses of water resources use efficiency based on data envelope analysis and malmquist index: Case study in Gansu Province, China[J]. Journal of Water Resources Planning & Management, 2016,142(12):04016066.
- [7] 窦燕. 乌鲁木齐市各区县水资源利用效率研究[J]. 干旱区资源与环境,2014,28(10):164-168.
- [8] 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.
- [9] 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):54-60.
- [10] 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.
- [11] 魏楚,沈满洪. 水资源效率的测度及影响因素:基于文献的述评[J]. 长江流域资源与环境,2014,23(2):197-204.
- [12] 买亚宗,孙福丽,石磊. 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.
- [13] 佟金萍,马剑锋,王慧敏,等. 农业用水效率与技术进步:基于中国农业面板数据的实证研究[J]. 资源科学,2014,36(9):1765-1772.
- [14] 戴永安. 中国城市效率差异及其影响因素:基于地级及以上城市面板数据的研究[J]. 上海经济研究,2010(12):12-19.
- [15] 贺正楚,吴艳,周震虹. 中国各省市农业投入与产出的效率评价[J]. 经济地理,2011,31(6):999-1002.
- [16] Charnes A, Cooper W W, Rhdes E L. Measuring the efficiency of dicision makingunits[J]. European Journal of Operational Research, 1978,2(6):429-444.
- [17] 刘文菊. 基于DEA的区域水资源利用效率研究[D]. 沈阳:辽宁大学,2015.
- [18] 沈满洪,陈庆能. 水资源经济学[M]. 北京:中国环境科学出版社,2008.
- [19] 吴文斌,刘燕妮,胡峥. 基于DEA模型的省际水资源利用效益比较[J]. 中国新技术新产品,2008(8):190-191.
- [20] 张娇,殷群. 我国企业孵化器运行效率差异研究:基于DEA及聚类分析方法[J]. 科学与科学技术管理,2010(5):171-177.
- [21] 黄洁,吝涛,胡灯进. 基于网络分析的生态建设评估指标体系定量选取:以福建省为例[J]. 生态学报,2015,35(3):686-695.
- [22] 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.
- [23] 张军,吴桂英,张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算:1952—2000[J]. 经济研究,2004(10):35-44.
- [24] 陈群元,宋玉祥. 城市群空间范围的综合界定方法研究:以长株潭城市群为例[J]. 地理科学,2010,30(5):660-666.
- [25] 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.