

# 中国环境保护重点城市水资源利用效率分析

王竞优, 边杨子, 聂炜, 王玥, 石磊

中国人民大学环境学院, 北京 100872

**摘要** 随着城市化进程的加快和水污染问题的增多, 水资源短缺问题进一步突出, 提高水资源利用效率是缓解供水矛盾的有效途径。本研究选取2014年113个环境保护重点城市供水总量、从业人数、固定资产投资、化学需氧量(COD)和氨氮排放量及地区生产总值数据, 采用基于决策单元规模收益可变的数据包络分析(DEA)方法, 评价113个城市的水资源利用综合效率、技术效率和规模效率, 并分析效率的空间分布。结果显示, 113个城市的水资源利用效率总体水平较高, 但仍有一定进步空间, 同时水资源利用效率空间差异显著。中国东部城市综合效率普遍偏高, 东北城市和中部城市综合效率次之, 西部城市综合效率偏低且效率分布两极化。

**关键词** 城市; 水资源; 综合效率; 数据包络分析

水是人类发展不可缺少的自然资源, 是人类和一切生物赖以生存的物质基础。由水资源缺乏和水体污染构成的水危机严重制约着世界的健康发展。中国淡水资源总量较为丰沛, 约为2.8万亿 $m^3$ , 居世界第4位; 但人均水资源占有量仅有2200  $m^3$ , 为全球平均水平的1/4, 是全球人均水资源最贫乏的国家之一<sup>[1-2]</sup>。同时, 中国水环境形势依然严峻, 根据2016年《中国环境状况公报》数据显示, 1940个地表水监测断面中水质劣于V类水体断面占32.3%。正如国务院所颁布《关于实行最严格水资源管理制度的意见》指出: 当前中国水资源面临的形势十分严峻, 水资源短缺、水污染严重、水生态环境恶化等问题日益突出, 已成为制约经济社会可持续发展的主要瓶颈。科学高效地提高水资源利用

效率已成为促进中国可持续发展的重要举措。基于此, 开展水资源利用效率评估具有重要意义。

国内外学者围绕水资源效率评估开展众多的研究。就研究方法而言, 主要集中在基尼系数、环境距离函数、Malmquist生产指数、物元可拓模型、主成分分析法结合Copula函数、随机前沿分析(SFA)及数据包络分析等方法(data envelopment analysis, DEA)<sup>[3-9]</sup>; 由于DEA模型不需要提前确定指标间的函数关系, 并且能够区分DEA有效决策单元和非DEA有效决策单元, 为决策者提供一定的参考。所以, DEA方法在研究水资源利用效率上更为广泛。从研究的视角与尺度而言, 大多数研究尺度聚焦于省级单元或某一区域<sup>[10-13]</sup>, 研究视角则主要关注于工业或农业领域<sup>[14-16]</sup>。

收稿日期: 2017-10-26; 修回日期: 2017-11-29

基金项目: 中国人民大学科学研究基金项目(15XNB006)

作者简介: 王竞优, 硕士研究生, 研究方向为资源与环境经济学, 电子信箱: 13279274098@163.com; 石磊(通信作者), 副教授, 研究方向为环境经济与管理, 电子信箱: qdshl@126.com

引用格式: 王竞优, 边杨子, 聂炜, 等. 中国环境保护重点城市水资源利用效率分析[J]. 科技导报, 2018, 36(2): 55-60; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2018.02.006

现有研究在计算水资源利用效率时,很少考虑水资源利用过程中生产活动对环境的负面影响,极少文献将水污染物作为非期望产出,而这些因素无疑对整体水环境效率产生显著的影响;且很少有研究关注城市水效率评估,特别是覆盖中国主要城市的水效率评估尚未见文献报道。基于此,本研究以中国2014年113个环境保护重点城市为研究样本,在借鉴现有研究成果的基础上,将水体主要污染物化学需氧量(COD)排放量和氨氮排放量纳入投入指标,构建了融合水资源利用与水污染排放为一体的DEA模型,以此评估这些城市水资源利用效率,以期为中国城市层面水资源效率提升和相关政策制定提供决策依据。

## 1 基于DEA方法的水资源利用效率模型构建

数据包络分析是运筹学家Charnes<sup>[17-20]</sup>等创建的以相对效率为基础的一种系统分析方法,用于评价具有相同类型的多投入、多产出的决策单元的有效性,该方法在避免主观因素、简化算法、减少误差等方面具有较大优势,已成为诸多领域中评价效率的最常用分析工具之一。

DEA应用最为广泛的是BCC模型和CCR模型,二者的区别在于前者假定当决策单元的规模增大或减小时其规模报酬会发生变化,而后者则假定规模报酬不会发生变化。由于各地区水资源利用效率的规模报酬通常为可变的,并且BCC模型给出了有效决策单元和非有效决策单元分别是规模报酬不变、递减或递增的情况,本研究中采用假定决策单元规模收益可变情况下的BCC模型。

假设在每一个时期 $T$ 内,有 $N$ 个决策单元,每个决策单元都通过 $L$ 种投入要素 $X$ 和 $S$ 种产出 $Y$ ,由此构成生产可能集。投入集向量和产出集向量分别为

$$x_i^t = (x_{1i}^t, x_{2i}^t, \dots, x_{li}^t)^T, \quad y_s^t = (y_{1i}^t, y_{2i}^t, \dots, y_{si}^t)^T$$

基于投入导向规模报酬可变的DEA模型可表示为

$$E = \min \theta \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s^- = \theta x_{i0}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s^+ = y_{r0}, \quad r = 1, 2, \dots, s \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad (4)$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

将综合效率进一步分解为

$$E = crste = vrste \times scale \quad (6)$$

式中, $vrste$ 和 $scale$ 分别为技术效率和规模效率。 $\theta$ 值为0~1,当 $\theta$ 为1, $s^- = s^+ = 0$ 时,为DEA有效;当 $\theta < 1$ 时,为DEA无效; $\theta$ 值越大,表示该决策单元效率越高。

## 2 实证分析

### 2.1 变量选择

本研究选取的投入和产出指标如表1所示。投入指标包括:113个环境保护重点城市的供水总量、从业人员数、固定资产投资额以及COD、氨氮排放量,分别表征自然资源要素投入、劳动要素投入、资本要素投入以及将环境污染考虑在内。产出指标为地区生产总值,表征经济产出。

表1 城市水资源利用效率评价指标体系

Table 1 Index system in urban water resource utilization efficiency evaluation

	指标名称	指标说明
投入指标	供水总量	反映自然资源要素投入
	从业人员人数	反映了劳动要素投入
	固定资产投资额	反映了资本要素投入
	COD、氨氮排放量	将环境污染物考虑在内
产出指标	地区生产总值	反映了直接经济产出

在投入产出指标选择中,将COD排放量和氨氮排放量纳入投入指标考虑。COD和氨氮是水体的主要污染物,过多的COD及氨氮排放量对生态环境带来负面影响,会间接降低水资源的利用效率。对污染物一般有4种处理方式:不考虑排放因素、排放变量作为投入要素、排放作为期望产出以及排放作为非期望产出。本研究是基于投入导向型的DEA模型,因此将COD和氨氮排放量纳入投入指标考虑,是因为在产出一定的情况下,投入越小,效率越高。

### 2.2 数据来源

选取2014年全国113个环境保护重点城市的水资源利用投入产出数据进行分析,评估得出各城市将环境污染考虑在内的水资源利用效率。

根据数据的可得性,COD、氨氮排放量数据来源于2014年《中国环境统计年鉴》,供水总量、从业人数、固定资产投资额和地区生产总值数据来源于2014年《中国城市统计年鉴》,变量的统计结果如表2所示。

表2 研究样本的描述性统计分析  
Table 2 Statistical description of the sample

变量	投入					产出
	供水总量/万t	固定资产投资/万元	从业人数/万人	COD排放量/t	氨氮排放量/t	地区生产总值/万元
平均值	30390.50	23138688.48	105.98	44513.77	5998.09	36514066.19
标准差	43757.49	19550422.79	138.15	36101.87	5465.97	38559754.82
最大值	319072.00	110607443.00	923.30	266022.80	39438.00	216021200.00
最小值	1654.00	2017061.00	8.90	2587.60	108.00	2520357.00

### 2.3 水资源利用效率评价

运用DEAP 2.1软件进行数据处理,得到2014年中国113个环境保护重点城市水资源利用效率,包括综合效率(*crste*)、技术效率(*vrste*)、规模效率(*scale*)和规模收益(*irs/drs*)(表3)。

根据表3,从总体看,2014年113个城市的水资源利用综合效率均值为0.733,总体效率水平较高,但仍有一定进步空间。水资源利用效率两级差异化现象严重,唐山、无锡、苏州、青岛、烟台、广州、深圳、三门峡、呼和浩特、包头、玉溪、延安和克拉玛依13个城市达到了DEA相对有效,即综合效率、规模效率及纯技术效率均为1,仅占113个环保重点城市的11.5%。拉萨、贵阳等城市水资源利用效率极低,综合效率仅为0.239和0.359。由此可见,水资源利用效率城市间差异较大,中国水资源利用的投入产出存在不合理。

在100个DEA相对无效的城市中,北京、天津、上海、泉州、常德、张家界、北海、铜川、金昌和石嘴山10个城市技术效率为1,是由于技术效率有效而规模效率无效导致DEA相对无效,说明其水资源利用未达到有效

的原因是投入规模的问题。其中,北京、天津、上海、泉州4个东部城市规模收益递减,应当适度减小水资源的劳动力、资金、自然资源要素投入规模,同时削减污染物排放水平。常德、张家界、北海、铜川、金昌和石嘴山6个中西部城市规模收益递增,应当加大投入规模,同时国家政策可以适度倾斜,对中西部城市的水资源利用提供一定资金支持。

根据水资源利用综合效率高将113个环保重点城市划分为最优效率城市(*crste*=1),较高效率城市( $0.8 \leq crste < 1$ )、中等效率城市( $0.6 \leq crste < 0.8$ )、较低效率城市(*crste*<0.6)(表4)。

从空间分布上看,中国城市水资源利用效率空间分布差异较大(表4)。东部城市的水资源利用综合效率普遍较高,综合效率均值为0.812,说明东部城市平均水平已经达到较高效率。东北城市和中部城市水资源利用效率次之,综合效率均值分别为0.716和0.705。西部城市综合效率偏低,综合效率均值仅为0.665,且两级化比较严重,同时存在最优效率城市和较低效率城市。

表3 113个环境保护重点城市水资源利用效率

Table 3 Water resources utilization efficiency in 113 key environmental protection cities

城市	综合效率	技术效率	规模效率	规模收益	排序	城市	综合效率	技术效率	规模效率	规模收益	排序
北京	0.979	1.000	0.979	递减	3	南通	0.804	0.815	0.987	递减	23
天津	0.786	1.000	0.786	递减	26	连云港	0.688	0.723	0.952	递增	49
石家庄	0.818	0.833	0.982	递增	21	扬州	0.748	0.756	0.989	递减	33
唐山	1.000	1.000	1.000	不变	1	镇江	0.950	0.956	0.994	递增	4
秦皇岛	0.644	0.711	0.906	递增	59	杭州	0.800	0.807	0.991	递减	24
邯郸	0.698	0.709	0.984	递增	47	宁波	0.883	0.887	0.996	递减	12
保定	0.815	0.824	0.989	递减	22	温州	0.705	0.717	0.983	递减	46
上海	0.902	1.000	0.902	递减	9	湖州	0.790	0.839	0.942	递增	25
南京	0.658	0.660	0.997	递增	56	绍兴	0.731	0.739	0.989	递减	40
无锡	1.000	1.000	1.000	不变	1	福州	0.596	0.612	0.974	递减	70
徐州	0.739	0.758	0.975	递减	37	厦门	0.657	0.713	0.921	递增	57
常州	0.932	0.955	0.976	递增	7	泉州	0.948	1.000	0.948	递减	5
苏州	1.000	1.000	1.000	不变	1	济南	0.850	0.867	0.980	递增	16

表3 113个环境保护重点城市水资源利用效率(续)

Table 3 Water resources utilization efficiency in 113 key environmental protection cities (Continued)

	城市	综合效率	技术效率	规模效率	规模收益	排序	城市	综合效率	技术效率	规模效率	规模收益	排序
东部城市	青岛	1.000	1.000	1.000	不变	1	广州	1.000	1.000	1.000	不变	1
	淄博	0.800	0.824	0.971	递增	24	韶关	0.611	0.647	0.944	递增	66
	枣庄	0.743	0.811	0.916	递增	35	深圳	1.000	1.000	1.000	不变	1
	烟台	1.000	1.000	1.000	不变	1	珠海	0.517	0.571	0.905	递增	85
	潍坊	0.886	0.889	0.997	递增	11	汕头	0.623	0.689	0.904	递增	64
	济宁	0.819	0.824	0.994	递增	20	湛江	0.932	0.940	0.992	递减	7
	泰安	0.935	0.965	0.969	递减	6	海口	0.501	0.619	0.809	递增	86
	日照	0.819	0.907	0.903	递增	20						
中部城市	太原	0.681	0.683	0.997	递减	50	平顶山	0.564	0.599	0.942	递增	81
	大同	0.439	0.544	0.807	递增	91	安阳	0.784	0.805	0.974	递增	27
	阳泉	0.571	0.895	0.638	递增	79	焦作	0.742	0.851	0.872	递增	36
	长治	0.601	0.669	0.899	递增	68	三门峡	1.000	1.000	1.000	不变	1
	临汾	0.852	0.868	0.982	递增	15	武汉	0.733	0.777	0.943	递减	38
	合肥	0.543	0.546	0.995	递增	82	宜昌	0.774	0.776	0.998	递增	31
	芜湖	0.729	0.759	0.960	递增	42	荆州	0.591	0.640	0.924	递增	71
	马鞍山	0.708	0.805	0.880	递增	44	长沙	0.844	0.852	0.991	递减	17
	南昌	0.499	0.508	0.983	递增	87	株洲	0.670	0.699	0.959	递增	54
	九江	0.672	0.721	0.932	递增	53	湘潭	0.657	0.744	0.883	递增	57
	郑州	0.778	0.786	0.990	递增	30	岳阳	0.763	0.795	0.960	递增	32
	开封	0.658	0.721	0.912	递增	56	常德	0.983	1.000	0.983	递增	2
洛阳	0.730	0.761	0.959	递增	41	张家界	0.763	1.000	0.763	递增	32	
西部城市	呼和浩特	1.000	1.000	1.000	不变	1	昆明	0.570	0.622	0.916	递增	80
	包头	1.000	1.000	1.000	不变	1	曲靖	0.832	0.857	0.971	递减	18
	赤峰	0.720	0.805	0.894	递增	43	玉溪	1.000	1.000	1.000	不变	1
	南宁	0.522	0.540	0.967	递增	84	拉萨	0.239	0.651	0.367	递增	93
	柳州	0.574	0.605	0.948	递增	77	西安	0.458	0.465	0.984	递减	90
	桂林	0.662	0.691	0.958	递增	55	铜川	0.584	1.000	0.584	递增	75
	北海	0.780	1.000	0.780	递增	28	宝鸡	0.732	0.778	0.941	递增	39
	重庆	0.501	0.638	0.785	递减	86	咸阳	0.600	0.649	0.925	递增	69
	成都	0.590	0.605	0.975	递减	72	渭南	0.572	0.621	0.921	递增	78
	自贡	0.858	0.931	0.922	递增	13	延安	1.000	1.000	1.000	不变	1
	攀枝花	0.596	0.704	0.847	递增	70	兰州	0.526	0.552	0.953	递增	83
	泸州	0.589	0.633	0.931	递增	73	金昌	0.478	1.000	0.478	递增	88
	德阳	0.826	0.847	0.975	递增	19	西宁	0.472	0.533	0.886	递增	89
	绵阳	0.642	0.653	0.983	递增	61	银川	0.579	0.684	0.846	递增	76
	南充	0.603	0.635	0.949	递增	67	石嘴山	0.643	1.000	0.643	递增	60
	宜宾	0.747	0.784	0.953	递增	34	乌鲁木齐	0.655	0.691	0.948	递增	58
	贵阳	0.359	0.391	0.918	递增	92	克拉玛依	1.000	1.000	1.000	不变	1
	遵义	0.779	0.807	0.965	递增	29						
东北城市	沈阳	0.903	0.904	0.999	递增	8	长春	0.706	0.710	0.994	递减	45
	大连	0.891	0.942	0.946	递减	10	吉林	0.856	0.864	0.991	递增	14
	鞍山	0.676	0.701	0.965	递增	52	哈尔滨	0.587	0.588	0.998	递增	74
	抚顺	0.637	0.699	0.911	递增	63	齐齐哈尔	0.614	0.637	0.964	递增	65
	本溪	0.638	0.703	0.908	递增	62	牡丹江	0.695	0.762	0.912	递增	48
	锦州	0.678	0.739	0.917	递增	51						
均值	0.733	0.788	0.931			均值	0.733	0.788	0.931			

表4 各区域城市水资源利用效率

Table 4 Water resources utilization efficiency among cities in various region

	东部城市	中部城市	西部城市	东北城市		东部城市	中部城市	西部城市	东北城市
最优效率城市	唐山,无锡,苏州,青岛,烟台,广州,深圳	三门峡	呼和浩特,包头,玉溪,延安,克拉玛依	无	较高效率城市	北京,镇江,泉州,泰安,常州,湛江,上海,潍坊,宁波,济南,济宁,日照,石家庄,保定,南通,杭州,淄博	常德,临汾,长沙	自贡,曲靖,德阳	沈阳,大连,吉林
中等效率城市	湖州,天津,扬州,枣庄,徐州,绍兴,温州,邯郸,连云港,南京,厦门,秦皇岛,汕头,韶关	安阳,郑州,宜昌,岳阳,张家界,焦作,武汉,洛阳,芜湖,马鞍山,太原,九江,株洲,开封,湘潭,长治	北海,遵义,宜宾,宝鸡,赤峰,桂林,乌鲁木齐,石嘴山,绵阳,南充,咸阳	长春,牡丹江,锦州,鞍山,本溪,抚顺,齐齐哈尔	较低效率城市	福州,珠海,海口	荆州,阳泉,平顶山,合肥,南昌,大同	攀枝花,成都,泸州,铜川,银川,柳州,渭南,昆明,兰州,南宁,重庆,金昌,西宁,西安,贵阳,拉萨	哈尔滨
均值	0.812	0.705	0.665	0.716	均值	0.812	0.705	0.665	0.716

### 3 结论

2014年113个城市的水资源利用综合效率均值为0.733,总体效率水平较高,但仍有一定进步空间。DEA有效城市占总城市数量的11.5%。

唐山、无锡、苏州、青岛、烟台、广州、深圳、三门峡、呼和浩特、包头、玉溪、延安和克拉玛依为最优效率城市。北京、天津、上海和泉州市规模效率无效导致DEA相对无效,规模收益递减,应当减小投入规模。常德、张家界、北海、铜川、金昌和石嘴山市规模效率无效导致DEA相对无效,规模收益递增,应当加大投入规模。

水资源利用效率空间差异显著。东部城市综合效率普遍偏高,东北城市和中部城市综合效率次之,西部城市综合效率偏低且效率分布两极化。

#### 参考文献 (References)

[1] Shen X B, Lin B Q. The shadow prices and demand elasticities of agricultural water in China: A StoNED-based analysis[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2017, 127: 21-28.

[2] Huang Q, Rozelle S, Howitt R, et al. Irrigation water demand implications for water pricing policy in rural China[J]. Environment & Development Economics, 2010, 15(3): 293-319.

[3] 朱启荣. 中国工业用水效率与节水潜力实证研究[J]. 工业技术经济, 2007, 26(9): 48-51.

Zhu Qirong. Empirical study on industrial water efficiency and

water saving potential in China[J]. Industrial Technology Economy, 2007, 26(9): 48-51.

[4] 岳立, 赵海涛. 环境约束下的中国工业用水效率研究——基于中国13个典型工业省区2003—2009年数据[J]. 资源科学, 2011, 33(11): 2071-2079.

Yue Li, Zhao Haitao. China's water use efficiency of industry under environmental constraints: Based on data of 13 industrial regions during the period 2003 to 2009[J]. Resources Science, 2011, 33(11): 2071-2079.

[5] 胡妍, 李巍. 区域用水环境经济综合效率及其影响因素——基于DEA和Malmquist指数模型[J]. 中国环境科学, 2016, 36(4): 1275-1280.

Hu Yan, Li Wei. A study of water environment-economy integrated efficiency and its driving factors for regional water use: Based on a combination of DEA and Malmquist index[J]. China Environmental Science, 2016, 36(4): 1275-1280.

[6] 王晓琳, 吴凯, 许怡. 基于物元可拓模型的区域用水效率控制综合评价[J]. 水电能源科学, 2017, 35(3): 30-34.

Wang Xiaolin, Wu Kai, Xu Yi. Comprehensive evaluation of regional water use efficiency control based on Matter-element model[J]. Water Resources and Power, 2017, 35(3): 30-34.

[7] 李晓鑫, 邵东, 国尹希, 等. 基于主成分分析和Copula函数的灌溉用水效率评价方法[J]. 农业工程学报, 2015, 31(11): 96-102.

Li Haoxin, Shao Dong, Guo Yixi, et al. Evaluation method for irrigation-water use efficiency based on principle component analysis and Copula function[J]. Transactions of the Chinese So-

- ciety of Agricultural Engineering, 2015, 31(11): 96-102.
- [8] 谭雪, 石磊, 王学军, 等. 新丝绸之路经济带水效率评估与差异研究[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(1): 1-6.  
Tan Xue, Shi Lei, Wang Xuejun, et al. Regional water efficiency evaluation and deconstruction analysis of the New Silk Road Economic Belt[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2016, 30(1): 1-6.
- [9] Ananda J. Evaluating the performance of urban water utilities: Robust non-parametric approach[J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2014, 140 (9): 431-439.
- [10] 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.
- [11] Ma H L, Shi C L, Chou N T. China's water utilization efficiency: An analysis with environmental considerations[J]. Sustainability, 2016, 8(6): 516-531.
- [12] Zhao L S, Sun C Z, Zheng D F. Water resource utilization efficiency and its spatial spillover effects measure in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(1): 121-133.
- [13] 耿芳, 董增川, 管西柯. 基于耦合协调度模型的南京市用水效率与经济发展关系[J]. 水利经济, 2017, 35(1): 21-26.  
Geng Fan, Dong Zengchuan, Guan Xike. Dynamic relationship economic development between water use efficiency and in Nanjing based on coupling coordination model[J]. Journal of Economic of Water Resources, 2017, 35(1): 21-26.
- [14] 雷玉桃, 黄丽萍, 张恒. 中国工业用水效率的动态演进及驱动因素研究[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(2): 159-170.  
Lei Yutao, Huang Liping, Zhang Heng. Research on the dynamic evolution and the driving factors of industrial water consumption efficiency in China[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2017, 26(2): 159-170.
- [15] 赵姜, 孟鹤, 龚晶. 京津冀地区农业全要素用水效率及影响因素分析[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(3): 76-84.  
Zhao Jiang, Meng He, Gong Jing. Measurement of total factor agricultural water efficiency and analysis of influential factors in Jing-Jin-Ji area[J]. Journal of China Agricultural University, 2017, 22(3): 76-84.
- [16] 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 Biao, Hou Shaobo. Temporal and spatial differences of urban industrial water consumption efficiency in Jing-Jin-Ji region[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2016, 30(7): 1-7.
- [17] 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.
- [18] Veetil P C, Speelman S, Huylenbroeck G V. Estimating the impact of water pricing on water use efficiency in semi-arid cropping system: An application of probabilistically constrained nonparametric efficiency analysis[J]. Water Resources Management, 2013, 27(1): 55-73.
- [19] 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.
- [20] Deng G Y, Li L, Song Y N. Provincial water use efficiency measurement and factor analysis in China: Based on SBM-DEA model[J]. Ecological Indicators, 2016, 69: 12-18.

## Water resources utilization efficiency in key environmental protection cities in China

WANG Jingyou, BIAN Yangzi, NIE Wei, WANG Yue, SHI Lei

School of Environment and Natural Resources, Renmin University of China, Beijing 100872, China

**Abstract** Along with the accelerating process of the urbanization and the growing population, the urban water supply becomes more and more a serious issue in China. Improving the water use efficiency is an effective way to alleviate the water supply problem. This paper analyzes the data of the total amount of water supply, the number of employees, the fixed-asset investment, the COD and ammonia emissions and the regional GDP of 113 key environmental protection cities in 2014, to evaluate the comprehensive efficiency, the technical efficiency and the scale efficiency of water utilization of the 113 cities, and to obtain the spatial distribution of the efficiency. It is shown that the overall water resource utilization efficiency of the 113 cities is relatively high, but there is still room for improvement. The spatial difference of the water use efficiency is significant. The comprehensive efficiency of the eastern cities is generally high, followed by the northeastern cities and the central cities. The efficiency of the western cities is low, which shows the polarization of the efficiency distribution.

**Keywords** cities; water resource; comprehensive efficiency; data envelopment analysis ●



(责任编辑 傅雪)