

省域城市水资源综合利用效率评价及其差异分析

吴华清 黄志斌 张根文
(合肥工业大学 人文经济学院, 合肥 230009)

摘要: 数据包络分析 (DEA) 方法是进行水资源利用效率评价的有效方法。考虑城市水资源运作系统内部复杂的投入、产出关系, 运用DEA方法对国内省域城市水资源的利用效率进行了评价, 发现整体效率值偏低, 且地区间差异明显。原因在于城市未处理污水排放过量, 而工业化与城市化建设对城市水资源利用产生双重影响。文末提出相应政策建议, 以促进城市水资源综合利用与开发。

关键词: 城市水资源综合利用; 效率评价; 数据包络分析

Measurement for and Regional Difference Analyses of Inter-province Water-use Efficiency in Chinese Cities

WU Huaqing, HUANG Zhibin, ZHANG Genwen
(School of Liberal Arts and Economics, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: Data envelopment analysis (DEA) is an effective method to evaluate the water-use efficiency. In this paper it is adopted to assess inter-province water-use efficiency in Chinese cities due to the complicated relationship between inputs and outputs of the operational system of urban water resource. It is found that the whole systematical efficiency is quite low and the differences among regions are great which can be attributed to the over emission of untreated sewage, meanwhile the industrialization and urbanization exert double impacts on it. In conclusion, relevant suggestions are proposed to promote the comprehensive use and exploration of urban water resource.

Key words: comprehensive use of urban water resource; efficiency measurement; data envelopment analysis

随着工业化与城市化进程加快, 国内水资源利用与水环境管理日益陷入两难境地: 一方面是水资源紧缺形势严峻, 城市发展受到制约; 另一方面, 水资源浪费与水污染现象严重。对此问题的解决, 归根到底是需要优化现有的水资源定价机制, 确保水价能充分反映了水资源市场供求关系、水资源稀缺程度以及水环境损害成本。但由于我国长期实行优惠水价政策, 加之水资源特殊的公共物品性质, 出台与实施合理的水价改革方案并非易事^[1]。鉴于经济发展的进程势不可挡, 建立资源节约型社会的任务相当迫切, 从经济学角度研究提高水资源的综合利用效率便成为当务之急。水资源的综合利用涉及水资源合理开发、水环境的有效维护以及社会发展诸多方面, 其效率评价需要同时考虑水资源系统、水环境系统与社会经济系统等复杂系统的投入与产出关系。为此, 如何合理评价这一复杂系统的运作效率, 并据此提出促成水资源综合利用效率提升的政策建议, 具有重要的理论与现实意义。

至今已有多多种方法用于资源利用效率的评价, 包括比值分析、生产函数估计、数据包络分析、能量效率评价、

因子-能量评价、能值评价以及指标体系评价等方法。靳京等^[2]对各种方法的应用原理进行了综述, 并对其间的优缺点给予了评价。考虑到水资源利用系统的复杂性, 本文选用数据包络分析 (DEA) 方法进行相关效率评价。自DEA方法提出以后, 国外许多学者试图将此方法应用于水资源利用效率的评价。Akosa等^[3]研究表明, DEA方法对投入与产出进行综合评价, 其效率值可用于评价加纳水资源供应与污水处理项目的运作效率。Aida等^[4]运用DEA方法评价了日本神奈川 (Kanagawa) 地区108个城市水系统的运作效率, 结果表明, 该方法不仅方便计算效率值, 而且为效率审计工作提供了便利。此外, Anwandter^[5]、Sanders^[6]以及Thanassoulis^[7-9]分别对墨西哥、美国、英国等国家的水资源利用效率进行了评价。近年来, 国内学者也出现了类似研究, 如刘渝等运用DEA方法对湖北省内各市、州的水资源综合利用效率进行评价与排序。上述研究为本文提供了有益借鉴, 但由于研究角度与基点的不同, 其在指标选择与模型构建上仍然存在一些问题。为更合理地评价国内水资源综合利用效率, 本文首先对城市水资源运作系统进行了分析, 确立

基金项目: 国家社会科学基金 (05BZX017); 安徽省高校优秀青年人才基金重点项目 (2009SQRS004ZD); 合肥工业大学科研发展基金项目 (2007GDBJ035)

作者简介: 吴华清 (1976~), 男, 安徽太湖人, 博士, 讲师, 研究方向为环境经济学、决策分析; 黄志斌 (1958~), 男, 江苏如皋人, 教授, 博士生导师, 研究方向为资源经济学; 张根文 (1977~), 男, 安徽合肥人, 硕士, 讲师, 研究方向为资源经济学。

分析思路,在现有文献基础上,对评价指标与模型均进行改进,最后依据实证结论,提出提升国内水资源综合利用效率的相关政策建议。

1 问题分析

城市水资源运作系统是一个复杂巨系统,包括供水、用水、污水排放、废水处理与再利用等多个环节。分析发现,城市水资源综合利用中各环节可以归结为三个子系统:城市水资源子系统、城市水环境子系统以及社会经济子系统,如下图所示。水资源子系统包含水资源储藏、城市供水以及水资源利用等,水环境子系统则是水资源子系统运作产生的环境影响及其响应,社会经济子系统是人们利用水资源所期望达到的社会经济效果。可见,三个子系统间密切相关,水资源子系统不仅影响到社会经济子系统的产出,其本身的非期望产出(undesirable outputs)成为水环境子系统的直接投入,而水环境子系统的期望产出(desirable outputs)可以增加水资源子系统的供水能力,但非期望产出将影响到社会经济子系统的长期绩效。

要对上述复杂系统的运作效率进行合理评价,尚有难度。现有的多数研究比较注重前端用水环节,而忽略了后端综合处理。最近,杨锋等^[10]在评价循环生产系统效率时对此进行过补充,但又侧重于污水排放及废水循环利用方面。为此,需要打开复杂系统黑箱,充分考虑考虑上述三个子系统间的投入与产出关系,综合评价城市水系统整体运作效率。

2 指标选择

基于上述分析,城市水资源系统的效率评价必须同步展开,但考虑到数据的可得性,其评价指标又不可太多太复杂。新水取用量表明城市水资源储藏量及供水能力,可作为总体的投入指标。水资源综合利用产生两种产出:一是期望产出,城市总体生产总值代表总体产出效果;一是非期望产出,即城市污水排放量,可分为两种中间性产出,即污水处理量(包含污水再生利用量)以及未处理废水排放量。考虑到DEA方法的特点,需对非期望产出做相关处理,本文将非期望产出一律作为投入量进行考察。为此,城市水资源综合利用系统的投入与产出指标如表1。

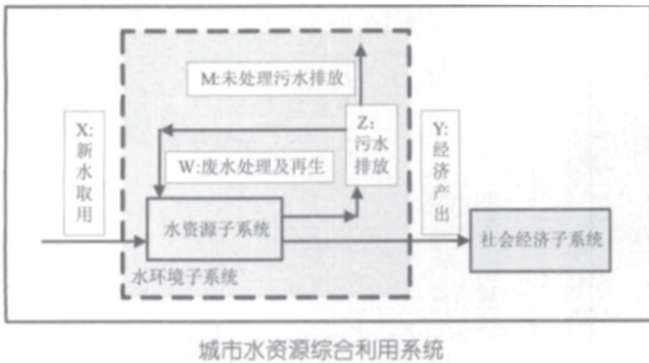


表1 城市水资源综合利用效率评价指标

投入指标	新水取用量 (NWA), 城市污水排放量 (SA), 未处理污水排放量 (UTSA)	万吨
产出指标	城市生产总值 (GCP)	亿元

3 DEA模型

数据包络分析 (data envelopment analysis, 简称DEA) 作为一种非统计、非参数的效率评价方法,非常适合于多投入、多产出决策单元间 (DMUs) 的相对效率比较。对于各决策单元,基于参考集计算综合投入产出比率,以确定有效生产前沿面 (production frontier), 依据各DMU与有效生产前沿面的距离,评价其是否DEA有效,对于非DEA有效的DMU,还可以以投影方法分析其改进方向与程度^[11]。所以,运用DEA方法不仅可以合理评价城市水资源综合利用效率,还可以对低效率水资源运作系统效率改进以及综合利用潜力的提升提供决策依据。

为方便分析,文章采用C²R模型,设评价对象为n个DMU,每个DMU都有m个投入与t个产出指标, x_{ij} 为第j个DMU的第i种投入量, y_{rj} 为第j个DMU的第r种产出量,

$$\begin{cases} \min \left[\theta - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^t s_r^+ \right) \right] \\ s.t. \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta x_{i0} \quad i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{r0} \quad r = 1, 2, \dots, t \\ s_i^- \geq 0, s_r^+ \geq 0, \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

其中, θ 为DMU的效率值, λ_j 为权向量, s^+ 与 s^- 为松弛变量, ε 为非阿基米德无穷小量 (本文取 10^{-6})。 θ 、 λ_j 、 s^+ 、 s^- 为待估计参量。对于上述模型:

- (1) 若 $\theta = 1$, 且 $s^+ = s^- = 0$, 则称该DMU DEA有效,有效DMU在投入基础上达到了最优产出,规模有效且技术有效;
- (2) 若 $\theta = 1$, 且 $s^+ \neq 0$, $s^- \neq 0$, 则DMU DEA弱有效,其中规模有效,但技术无效;
- (3) 若 $\theta < 1$, 则DMU无效。无效DMU可以通过对有效前沿面的投影来改进其效率值,即在不减少投入的情况下,增加产出或者在产出不变的情况下,使投入有所减少;

4 实证分析

为便于比较分析,文章采用文献[10]的数据,即2003年国内省域(直辖市)城市水资源综合利用相关数据,其中9省(直辖市)及港澳台地区数据不全,故共22个决策单元。运用Lingo (8.0) 软件,计算得到各决策单元CCR效率值,据此分析各DMU的DEA有效性。对于非DEA有效DMU,可依据其效率值大小进行排序,而有效DMU,可以其被非有效DMU所参考的次数来比较,参考次数越多,说明该DMU的

表2 省域城市水资源综合利用效率评价结果

序号	地区 (DMU)	效率值 (Score)	Benchmarks	{S} NWA {I}	{S} SA {I}	{S} UTSA {I}	{S} GCP {0}
1	北京	0.52	11 (0.62)	36 577.89	943.96	0	3271.9
2	河北	0.84	8 (0.36), 11 (0.37)	0	0	4 616.58	1 153.83
3	山西	0.76	11 (0.27)	33 290.79	0	1 187.37	719.46
4	内蒙古	0.73	11 (0.22)	9 183.92	0	3 204.35	653.34
5	辽宁	0.43	8 (0.49), 11 (0.76)	0	0	19 407.59	7 146.58
6	黑龙江	0.48	8 (0.17), 11 (0.46), 19 (0.84)	0	0	0	4 180.91
7	江苏	0.95	11 (1.03), 19 (0.34)	0	124 685.11	0	636.90
8	浙江	1.00	15				
9	安徽	0.52	8 (0.56), 11 (0.10), 19 (0.17)	0	0	0	2 961.15
10	福建	0.93	8 (0.44), 11 (0.10)	0	0	6 455.71	332.03
11	山东	1.00	18				
12	河南	0.65	8 (0.14), 11 (0.70)	0	0	20 725.42	3 096.92
13	湖北	0.42	8 (1.13), 11 (0.11)	0	0	20 445.66	6 411.11
14	湖南	0.46	8 (0.53), 11 (0.34)	0	0	30 832.95	4 493.25
15	广东	0.52	8 (1.93), 11 (0.66)	0	0	87 784.28	11 439.68
16	广西	0.32	8 (0.44), 11 (0.25)	0	0	17 083.41	4 471.96
17	重庆	0.77	8 (0.29)	0	5 876.09	14 227.07	568.72
18	四川	0.65	8 (0.66), 11 (0.08)	0	0	28 248.16	2 317.20
19	云南	1.00	4				
20	陕西	0.75	8 (0.30), 11 (0.02)	0	0	12 995.95	675.15
21	甘肃	0.53	8 (0.17), 11 (0.05)	0	0	4 820.16	939.53
22	新疆	0.69	8 (0.02), 11 (0.04), 19 (0.75)	0	0	0	659.95

相对有效性越明显，详见表2。

由表2可以看出：

(1) 城市水资源综合利用效率整体偏低。

除浙江 (DMU₈)、山东 (DMU₁₁) 与云南 (DMU₁₉) 3省城市水资源综合利用效率值为1，投入、产出松弛为0以外，其余19个省的效率都小于1，效率值整体偏低表明国内大多省份的城市水资源没有得到有效利用，城市水资源综合利用的技术有待大幅提升。此结果与文献[10]的分析基本一致，但因后者进一步考虑了污水再生利用，所以其效率值更低。

进一步分析可以发现，这种整体低效存在两方面原因：一是未处理污水排放过量，一是城市生产总值 (GCP) 偏低。19个无效省份中，有14个省份存在巨额未处理污水排放松弛 (S-UTSA)，意味着在现有的技术条件下，14个无效省份减少同等数量的未处理污水排放，同样能达到现有的产出水平。国内城市未处理污水排放过量，意味着水环境管理中生产末端治理的任务相当艰巨。无效省份都存在产出松弛 (S-GCP)，表明即使以现有的新水取用量，利用现有的水资源利用技术与能力 (同等污水排放及污水处理能力)，其产出 (城市生产总值) 仍有巨大的增长空间。注意到2003年的数据表明，安徽 (DMU₉) 与新疆 (DMU₂₂) 仅有产出松弛，分别为2 961.15亿元与659.95亿元，说明两省社会经济子系统相对落后；而广东 (DMU₁₅)

城市未处理污水过量排放 (87 784.28万吨) 最为严重，其产出增长空间 (11 439.68亿元) 也最大。

与整体效率偏低相对应的是，国内城市水资源综合利用潜力巨大。首先，北京 (DMU₁)、山西 (DMU₃) 以及内蒙古 (DMU₄) 的新水投入松弛 (S-NWA)，说明新用水节水空间巨大。其次，上述分析的未处理污水排放过量，意味着污水处理技术与能力有限。如果有效提升污水处理技术，不仅能减少未处理污水排放，而且增加污水再利用量，从而减少新水取用量，达到节约水资源、提升综合利用效率的目的。

(2) 城市水资源综合利用效率地区差异明显。

可将城市水资源综合利用效率分为高、中、低三档，区域分布见表3。

文献[12]研究表明，经济发达的东部地区 (如北京、辽宁、浙江、山东、广东) 水资源利用效率较高，而经济欠发达的中西部 (安徽、新疆、甘肃、广西) 较低。但从表3可以看出，我国东部与东南部省份城市水资源综合利用效率较高，其次为西部，而东北、中部以及南部省份普遍偏低。两类结果的差异，除研究方法上的不同以外，主要在于数据选取上的不一，前者口径更大，包括了城市、城镇以及农村用水情况，而本文仅考虑城市水资源运作系统。但进一步比较可以发现，安徽、湖北、湖南、广西、甘肃等省份在两类分析中水资源利用效率都较低，而这些省份的城市化与工业化

表3 省域城市水资源综合利用效率值区域分布

效率分布	高	中	低
效率值区间	(0.90, 1)	(0.60, 0.90)	(0.3, 0.60)
地区	浙江 山东 云南 江苏 福建	河北 山西 内蒙古 重庆 陕西 河南 四川 新疆	北京 辽宁 黑龙江 安徽 湖北 湖南 广东 广西 甘肃

进程同样较慢。由此可以判断,工业化和城市化进程的加快对省域水资源的综合利用产生重要影响,如能有效解决城市污水排放(生产末端治理)及循环利用问题(如浙江、山东),则利于提升综合利用效率,而单纯强调社会经济系统效益(如北京、辽宁、广东),将给水资源子系统以及水环境子系统带来灾难,最终危及社会经济系统效益。这意味着,在加快城市化与工业化的同时,必须走可持续发展的道路。此外,云南省在文献[12]中水资源利用效率较低,但在本文分析中较高,表明一省的产业政策对其资源开发利用也产生影响。

5 结论与建议

本文运用DEA方法,考虑水资源子系统、水环境子系统以及社会经济子系统之间的投入与产出关系,对国内省域城市水资源大系统的运作效率进行评价。研究表明,第一,国内省域城市水资源综合利用效率整体偏低,城市水资源综合开发的提升空间巨大;第二,国内城市水资源综合利用效率地区差异明显,中部城市与南方城市的水资源利用效率亟待提高,这除了城市化与工业化整体双向影响外,城市产业政策因素也不可忽视。

基于此,为促进国内城市水资源的合理开发与利用,提升水资源利用效率,提出以下政策建议供参考:

(1) 加强技术研发,提升污水处理能力,减少污水排放是当务之急。越是水资源丰富的地区,越要减少污水排放,这不仅关系到水环境的维护与治理,也关系到整个人类的生存环境。

(2) 加快城市化与工业化建设的同时,提升城市水资源利用综合效率。对城市水资源有效开发而言,城市化与工业化应该是机遇而非挑战。此外,采用适宜的城市发展产业政策有利于城市水环境的保护。□

参考文献:

- [1] 李蓉,赵敏,常玉苗.跨流域调水对区域生态环境影响界定及影响因素分析[J].生态经济,2009(2):155~157.
- [2] 靳京,吴绍洪,戴尔卓.农业资源利用效率评价方法及其比较[J].资源科学,2005,27(1):146~152.
- [3] Akosa G, Franceys R, Baker P, Weyman-Jones T. Efficiency of water-supply and sanitation projects in Ghana [J]. Journal of Infrastructure System, 1995(1): 56-65.
- [4] Aida K, Cooper W W, Pastor J T, Sueyoshi T. Evaluating water supply services in Japan with RAM: a range-adjusted measure of inefficiency [J]. OMEGA, 1998, 26: 207-232.
- [5] Anwandter L. Can public sector reforms improve the efficiency of public water utilities? An empirical analysis of the water sector in Mexico using data envelopment analysis [D]. College Park: University of Maryland, 2000.
- [6] Sanders S D. Data envelopment analysis for benchmarking public sector utilities operations [D]. Dallas: Southern Methodist University, 1999.
- [7] Thanassoulis E. DEA and its use in the regulation of water companies [J]. European Journal of Operational Research, 1999, 127: 1-13.
- [8] 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: 436-453.
- [9] Thanassoulis E. Comparative performance measurement in regulation: the case of English and Welsh sewerage services [J]. Journal of European Research Society, 2002, 53: 292-302.
- [10] 杨锋,梁棵,毕功兵,等.循环生产系统的DEA效率评价[J].系统工程,2007,25(11):59~64.
- [11] 盛昭瀚,朱乔,吴广谋. DEA理论、方法与应用[M].北京:科学出版社,1996.
- [12] 李世祥,成金华,吴巧生.中国水资源利用效率区域差异分析[J].中国人口·资源与环境,2008,18(3):215~220.

(上接36页)

3.3.3 衰退前期进行绿色转型

进入衰退期,资源型城市的社会矛盾开始激化,自然资源在使用过程中浪费严重,生态环境逐渐恶化,内化的生态环境保护成本显著上升。较高的成本投入为经济开始下滑的资源型城市绿色转型带来较大压力,增加了转型难度。但是此区间的资源型产业刚刚度过成熟期,已经完成了转型所需要的资本积累,有条件和实力提取绿色转型资金。虽然与成长期、成熟期相比,处于衰退前期的资源型产业将为绿色转型付出更多的代价,但是绿色转型却能够改变资源型产业及其城市迅速衰退的发展命运,在保持一定利润的基础上,延长资源型产业寿命,避免资源型城市迅速陷入“矿竭城衰”的境地,但由于可供开发利用的自

然资源已经不多,资源型产业生产经营的提升空间也相对缩小,从利润增长潜力上要明显弱于成长期、成熟期进行的绿色转型,如图3曲线C所示。□

参考文献:

- [1] 张兵生.绿色经济学探索[M].北京:中国环境科学出版社,2005:198.
- [2] 于光,周进生,董铁柱.矿业城市经济转型成本分析与始点选择[J].中国矿业,2007(10):22~24.
- [3] 路卓铭,于蕾,沈桂龙.我国资源型城市经济转型的理论时机选择与现实操作模式[J].财经理论与实践,2007(5):102~107.
- [4] 陈晶.资源型城市产业规划与可持续发展问题研究[J].生态经济,2004(11):89~90.