

基于超效率 DEA 的江苏省用水效率研究

沈欣媛¹;赵敏^{1,2}

(1. 河海大学商学院,江苏 南京 211100; 2. 江苏省水资源与可持续发展研究中心,江苏 南京 210098)

摘要:运用超效率 DEA 方法,结合江苏省水利现代化目标的要求建立指标体系,并将水利投入对地区生产总值的贡献率作为输出指标加以运用,对江苏省 13 个省辖市 2011 年的用水效率进行排序和评价,分析省辖市 DEA 有效或无效的原因,并提出相应的对策和建议。

关键词:超效率 DEA;用水效率;江苏省

中图分类号:F407.9

文献标识码:A

文章编号:1003-9511(2015)01-0009-05

当前,水资源匮乏已成为全球性问题。我国水资源十分紧缺,人均占有量为 2200 m³ 左右,约占世界平均水平的 1/4,被联合国列为水资源紧缺国家之一。面对日益严峻的形势,2011 年中央 1 号文件和中央水利工作会议要求实行最严格的水资源管理制度。为了更好地落实中央精神,2012 年 2 月国务院颁发了《关于实行最严格水资源管理制度的意见》,明确了用水总量控制、用水效率控制和水功能区限制纳污 3 条红线,以实现水资源可持续利用,维护河湖生态健康,优化配置和节约保护水资源。江苏省 2011 年水资源总量为 492.4 亿 m³^[1],人均用水量为 625 m³,属于严重缺水地区。为保障经济社会的可持续发展,江苏省提出力争用 5 年左右的时间,初步建成现代化的水利综合保障体系,因此,研究全省各省辖市用水结构的现状,寻求最佳节水增效的途径,既是实现水利现代化的要求,更是经济社会发展的客观需求。

用水效率反映了一定区域内水资源利用状况,与该区域的社会经济发展水平密切相关。与发达国家相比,我国对水资源的管理尚有一定的差距,大部分地区用水效率较低,且各个省份、各个地区的用水效率差异明显。用水效率的重要性已成为学术界和社会关注的焦点。同时,如何提高水资源利用的效率水平,也是各国水资源政策制定者重视的问题。我国《水法》也针对农业用水效率、工业用水效率和生活用水效率的提高制定了相关的政策,在目前水资源有限的前提下,提高用水效率是缓解水危机的

有效途径之一。随着我国经济社会的持续发展和 2020 年江苏省建成现代化水利保障系统总目标的实现,对用水效率的研究在全省水资源紧缺的前提下呈现出更加紧迫和重要的态势。

1 文献综述

国内很多专家学者对用水效率进行了研究,如李红新^[2]运用 DEA 方法对辽宁省 14 个城市 1999—2005 年的用水效率进行了研究,通过对结果的分析,提出了“规模冗余度”和“技术冗余度”两个概念;陆蕾^[3]通过建立影响工业用水效率因素的模型,分析了这些因素对浙江省工业用水效率影响的程度,并对浙江省工业用水效率进行了打分;姜楠^[4]运用改进的 DEA 方法,计算出各指标冗余率从而得到用水相对效率,通过得到的相对效率对我国用水在时空上的差异特征进行研究,并分析了存在差异的原因;薛川燕^[5]在研究中结合黑河流域张掖段的实际,按县计算出工业、农业等用水效率,与各县地区生产总值相比较,发现技术变动对用水效率的提高非常敏感,用水量与用水效率负相关,地区生产总值、第二产业所占比重与用水效率正相关;刘渝等^[6]运用 DEA 的方法,测算出湖北省水资源利用效率,并对这些地区进行了排序,通过计算效率、生态效率分析了 17 个市水资源利用效率及效率低下的原因,并提出了相应的建议 and 对策。笔者借鉴相关的研究成果,运用数据包络法对江苏省 13 个省辖市的用水效率进行分析探讨,为江苏省各省辖市水资

基金项目:江苏省南水北调工程科技创新项目(KJXC201203);中央高校基本科研业务费专项(2011B13114)

作者简介:沈欣媛(1989—),女,江苏南京人,硕士研究生,主要从事技术经济及管理研究。E-mail:yuan1989@126.com

2 研究方法

数据包络分析法(Data Envelopment Analysis, 简称 DEA)是一种非参数方法中的效率评价方法,它是由美国运筹学家查尼斯(A. Charnes)和库柏(W. W. Cooper)等学者于1978年以“相对效率评价”作为基础发展起来的^[7]。DEA由于不需要预先估计参数,因而在避免主观因素和简化算法、减少误差等方面有着巨大的优越性。鉴于影响用水效率的因素较多,为了客观评价各省辖市用水效率的相对有效性,反映各省辖市水资源消耗与经济效益之间的关系,减少相对误差,笔者选用DEA作为研究方法。

传统的DEA模型采用C²R和BC²模型,这两种模型的主要区别在于规模报酬是否可变,使用此类模型可以判别各城市用水效率是否有效,并对无效城市进行排序。但对于用水效率完全有效的城市,C²R模型与BC²模型并不能区别此类城市用水效率的差异。因此,为弥补传统DEA模型的不足,本文借鉴岳立^[8]构建的超效率DEA模型(super-efficiency-DEA, SE-DEA),该模型可以在传统模型的基础上对城市用水效率的差异进行对比分析,并对用水效率有效的城市做进一步排序。

超效率DEA模型公式如下:

$$\begin{cases} \min \sigma \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j + s_i^- = \sigma x_0 & j = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j - s_r^+ = y_0 & r = 1, 2, \dots, s \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 & \lambda_j \geq 0 \quad s_r^+ \geq 0 \\ s_i^- \geq 0 & j = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

式中: m 和 s 分别为输入和输出指标的个数; s_i^- 与 s_r^+ 为松弛变量(slacks); x_j 与 y_j 分别为某个城市的投入和产出指标。当 $\theta=1$ 且 $s_i^- = s_r^+ = 0$ 时,则表示该城市为DEA有效即该城市用水效率有效;当 $\theta \neq 1$ 且 $s_i^- \neq 0$ 或 $s_r^+ \neq 0$ 时,则表示该城市为非DEA有效即该城市用水效率无效。

运用超效率DEA模型进行评价的基本思路是:在评估第 n 个有效的决策单元DMU _{n} (某省辖市)时,用其他DMU的输入输出代替DMU _{n} 的输入输出,将DMU _{n} 排除在DMU整体集合之外。在超效率DEA模型中,若 $\theta \neq 1$,则该城市的超效率值与C²R模型中的综合效率值一致;若 $\theta = 1$,则该城市DEA有效,其效率值大于1的部分即为可等比增加的输入值。超效率值显示出DEA有效的城市中,输入可

3 指标选取

对区域用水效率进行综合评价,首先要确定一套评价指标。影响用水效率的因素很多,包括自然因素、技术因素、制度因素等,因此,指标的设置应立足于客观实际,选择具有代表性的可量化指标。

社会主要用水分为3个方面:农业用水、工业用水和生活用水。在我国,这三者的比例长期维持在7:2:1。因此,研究全省各省辖市的用水效率必须考虑这三方面。笔者根据江苏各省辖市具体实际,选取了4个输入指标和一个输出指标。输入指标包括:各省辖市水利基建投资、农业用水、工业用水和居民生活用水;输出指标为各省辖市水利投入贡献率。

水利现代化的实现需要合理的水利投入机制以及强大的资金和政策作为保障,而资金的投入更是各水利工程和水利项目顺利实施的基础。水利资金投入作为基本生产要素,其投入是否到位,资金是否充分利用是实现水利现代化和提高用水效率的关键因素之一。水利基建投资作为水利工程项目的资金来源,通过固定资产投资的形式形成水利固定资产,并发挥相应的社会 and 经济效益。因此,为考察江苏省用水效率,笔者选取水利基建项目本年完成投资作为输入指标,用 X_1 表示,该项指标包含中央政府投资和地方政府投资。

据2011年江苏水资源公报数据显示,全省总用水量550多亿 m^3 中,生产用水占93.2%(生产用水量=农业用水量+工业用水量+服务业用水量),居民生活用水占6.2%,而生态用水只占0.6%。

在生产用水中,按产业结构划分,农业用水占生产用水的57.19%,工业用水占生产用水的38.59%,服务业用水仅占生产用水的4.2%。由此可见,农业用水是生产用水的绝对大户,其对用水效率的影响非常大,必须加强农村供水与灌溉管理,实施以节水为中心的灌溉技术改造,以水利现代化促进农村现代化。江苏省是经济大省,同时也是工业大省,虽然万元工业增加值用水量与全国平均水平相比较为先进,但仍落后于发达国家。落实最严格的水资源管理制度,需要规范用水定额用水管理,有效控制工业用水总量的增长,减少用水浪费。因此,笔者选取农业用水量和工业用水量为输入指标,分别用 X_2 和 X_3 表示;由于服务业用水量占比较小,且根据服务业用水的特点而将其并入工业用水考虑。

在2011年全省总用水量中,居民生活用水为34.4亿 m^3 ,占全省总用水量的6.2%。虽然生活用

水相较于农业、工业用水而言总量较小,但以节流的理想提出的提高生活用水的效率却是十分必要的。基本实现水利现代化的主要目标要求实现水资源的可持续利用,建立水资源配置网络提高水资源利用效率,优先满足城乡居民生活用水要求,使居民生活用水预期供水量能够得到充分满足的概率达到97%。因此,将居民生活用水作为输入指标,用 X_4 表示。由于生态用水量占比较小,且根据生态用水的特点而将其并入居民生活用水考虑。

通过查阅大量文献可以发现,在以往对用水效率的研究中,较多学者采用地区生产总值作为输出指标。但由于该指标数值较大覆盖面较广,在对用水效率的研究中并不能直接、准确地反映水利投入所产生的直接社会经济效益,从而使得研究结果的准确性受到一定的影响。因此,笔者选取各省辖市水利投入贡献率作为输出指标,用 Y 表示。

综上所述,得到输入和输出指标见表1所示。

表1 输入和输出指标

输入指标	输出指标
X_1 —水利基建项目投资/万元	y —各省辖市水利投入贡献率/%
X_2 —农业用水/亿 m^3	
X_3 —工业用水/亿 m^3	
X_4 —居民生活用水/亿 m^3	

借鉴康丹玉等^[9]运用的计算方法,通过定量分析各行业固定资产投资与劳动投入对国民经济产出的贡献大小,得到水利行业对GDP增长的贡献率,该贡献率反映了水利投入的单位变化对地区经济产生的影响,能较为准确地表现出水利投入所带来的直接社会经济效益。由于各行业的投入与地区经济增长有着密切的关系,出于研究的需要以及数据的可获得性,笔者将农林牧渔业、采矿业、制造业、建筑业、水利行业作为五大基础行业列出计算。由于各省辖市统计年鉴的限制,不能获取单独的水利行业固定资产投入和劳动投入,因此以水利、环境和公共设施管理业的固定资产和劳动投入作为代替。

笔者选取江苏各省辖市2007—2011年各行业投资额(含各行业固定资产投入与各行业劳动力投入)与相应的地区生产总值进行计算,获得各省辖市2011年水利投入对国民经济的贡献率如表2所示。

示。从表2可知,2011年江苏各省辖市水利投入对地区生产总值的贡献总体较大,对拉动各省辖市的国民经济发展起到了重大作用。

表2 江苏省13个省辖市2011年水利行业贡献率%

城市	南京	无锡	徐州	常州	苏州	南通	连云港
贡献率	15.31	12.75	10.16	8.17	24.354	15.015	3.831
城市	淮安	盐城	扬州	镇江	泰州	宿迁	
贡献率	5.715	5.684	10.896	8.03	13.42	3.29	

4 实证分析

本文数据来源于江苏省13个省辖市2011年的地方统计年鉴、水资源公报、水利普查公报、《江苏水利年鉴》和《江苏统计年鉴》,经搜集整理选取各省辖市所需数据,利用deap2.1和ems1.3软件进行计算分析,实证结果见表3和表4。

表3 2011年各省辖市用水综合效率及超效率排名

城市	综合效率	超效率	排名
南京	0.8746	0.8746	11
无锡	1	1.1950	4
徐州	1	1.7925	1
常州	1	1.1502	5
苏州	1	1.1971	3
南通	1	1.1059	7
连云港	0.8755	0.8755	10
淮安	0.9425	0.9425	9
盐城	0.6297	0.6297	13
扬州	0.9931	0.9931	8
镇江	1	1.1366	6
泰州	1	1.7865	2
宿迁	0.8258	0.8258	12

从表3数据可以看出,在贡献率不变的情况下,无锡、徐州、常州、苏州、南通、镇江和泰州的效率值均达到1,表明这几个城市用水综合效率达到有效,用水结构达到最优。其余城市DEA综合效率均不为1,表明这些城市在用水效率方面存在不合理结构,仍有可以改进和提升的空间。

4.1 用水综合效率有效的原因分析

在2011年DEA有效的7个城市中,徐州市的超效率值最高,用水效率排名第1。徐州市是江苏省唯一全国首批节水型城市,并且经历多年复查均保持了“全国节水型城市”荣誉。该市在水资源相

表4 2011年各省辖市水利投入调整值

城市	x_1		x_2		x_3		x_4	
	调整值	原始值	调整值	原始值	调整值	原始值	调整值	原始值
南京	27613.814	220280.93	1.990	16.04	3.410	27.38	0.801	6.43
连云港	7446.338	59819	2.574	27.79	0.203	2.19	0.171	1.85
淮安	12122.421	210722	2.820	30.32	0.458	4.92	0.173	1.86
盐城	17609.069	128585.78	18.930	48.80	1.724	7.02	0.694	2.82
扬州	645.822	94212	5.274	27.12	2.516	12.94	0.650	3.34
宿迁	1062.123	60993	4.120	23.66	0.686	2.77	0.530	2.05

对匮乏、全年缺水近 10 亿 m^3 的情势下,坚持节水常抓不懈,成果显著。近年来,在非常规水利用、工业用水重复利用等方面也颇有建树。因此,从对 2011 年江苏省 13 个省辖市的用水效率分析来看,徐州市的用水效率最高。

其他 6 个 DEA 有效的城市中苏南占 4 个,苏中占 2 个,苏南地区的苏州、无锡、常州、镇江排名分别为 3、4、5、6 名,4 个城市地处江南地区,与苏北地区相比水资源较为丰富,是用水效率较高的城市。其中,无锡市 2009 年、苏州市 2010 年均获国家节水型城市称号。苏中地区的泰州市排名第 2,这与泰州市在江苏省内率先发展节水型城市密不可分。泰州市于 2007 年全面启动节水型社会示范市创建工作,加大了节水减排项目的扶持力度,并出台了一系列管理制度以提高水资源利用效率,建立节水型社会。经过多年努力,在用水总量控制、节水载体建设、循环用水、水生态修复与保护、非传统水利用等方面取得了显著的成效。因此,从对 2011 年江苏省 13 个省辖市的用水效率分析来看,泰州市的用水效率是较高的。南通市用水效率排名全省第 7,该市用水效率较高主要是由于较早地探索了经济较发达地区的节水路径,特别是在“零排放”认定、污水处理费减免、“冬灌夏用”节水技术推广、水平衡测试实践、分类水价等方面走在了全省的前列。南通市于 2011 年以“优秀”等次通过国家级节水型社会建设试点中期评估。

4.2 用水综合效率无效的原因分析

除以上 7 个用水效率完全有效的城市外,其余城市均为用水效率无效。由于各城市气候、地域、发展程度等存在不同程度的差异,因此用水效率不高的原因也各不相同。

地处苏南地区的南京市 2011 年用水效率并未达到有效水平,在 13 个省辖市中仅排名第 11,用水效率并不高。从表 4 可以看出,南京市各项输入指标均出现冗余,存在可以改进和提高的空间。结合实际情况具体分析,从工业用水方面看,南京重化工产业发达,辖区内石化、电力、冶金、纺织等高耗水、高污染企业众多,2011 年南京市工业用水占到用水总量的 54.92%,但当年工业用水重复利用率为 89.3%,与国内先进水平相比尚存差距。从农业用水方面看,该市 2011 年农田灌溉每 hm^2 用水量为 8460 m^3 ,显著高于 6915 m^3 的全省平均水平。从居民生活用水方面看,由于南京属于省会城市,人口密度大,人均年用水量为 110.99 m^3 ,为全省最高。综上所述,南京市虽然在 2009 年获得国家节水型城市称号,2007—2011 年水利投入对地区经济的贡献率

尚可,水利基建资金投入也较高,但面对日益突出的水质型缺水压力,该市的用水效率还有待提高。因此,为提升南京市的用水效率,工业用水应采用先进技术、工艺和设备,推广循环水利用,实行废水改造,提高工业用水重复利用率。水利基建项目投资可适当向小型农田水利工程和大型灌区改造工程倾斜。同时,还应提倡节约用水,并在必要时采用调整水价等措施调节居民生活用水量。

扬州市地处苏中属于丰水型地区,虽然也是国家节水型城市,但因为水资源时空分布不均,存在水质性缺水等结构性矛盾,过境水是扬州水资源的重要组成部分。由于多方因素的影响,扬州市 2011 年的用水效率排名全省第 8,并未达到有效水平。由表 4 可以看出,该市的输入指标均存在少量冗余,同时其水利行业贡献率也偏低。因此,首先应加大该市的水利建设资金投入,提高水利行业对国民经济的贡献度。其次,该市的农田灌溉亩均用水量较高,农业用水占当年经济社会年度用水量的比例较大。因此,该市可以将加大农业节水灌溉技术的资金投入和技术推广作为提高扬州农业用水效率的主要途径。

宿迁市地处淮河流域,本地水资源量少,主要利用过境水弥补不足,水资源利用较粗放。由于该市经济基础较为薄弱,地区生产总值较低,对水利行业投入相对较少,其农业节水灌溉技术和工业节水设备改造技术的发展在很大程度上受到了制约,严重影响了水资源利用效率。2011 年该市万元工业增加值用水量 38 m^3 ,居全省最高,农业灌溉每 hm^2 用水量 7860 m^3 ,也远高于全省平均值。工业与农业用水量过大,直接影响了宿迁市的用水效率,使得该市 2011 年用水效率全省排名第 12。

淮安市有“洪水走廊”之称,属于严重缺水地区,由于洪泽湖水质污染,该市自身工业污染,以及船舶每日排放的油污等原因,淮安市缺水更多表现为水质性缺水。由于该市水资源时空分布不均,拦蓄能力低,人均水资源占有量低,农村生产力比较低,科技水平相对落后,在原本缺水状态下,加上水利投入不足,节水技术很难落实到农业、工业和生活用水上,导致淮安市的用水效率偏低。基于该市的实际情况,其经济发展水平偏低和水利投入不足是用水效率不高的主要原因所在。因此,应通过加大水利资金投入力度,保持良好水质,改善目前现状。

盐城市 2011 年用水效率最低,仅为 0.6297,全省综合排名最后。该市多年平均降水量南多北少,无论是旱灾还是洪灾,对本来就不发达的盐城都会造成较大影响。由于该市调蓄能力差,水资源时空分布不均,常年水质较差,使其在水资源利用的客观条件上受到较大的局限。同时,盐城市整体社会经

济基础比较薄弱,部分城镇并未建成生活污水处理厂,工业高耗水、高污染型产业比重占整个工业产值的50%。因此,在客观条件和主观因素的共同作用下,该市用水效率未达到有效。

连云港市2011年用水效率全省排名第10,也是用水效率较低的省辖市。从地理位置上看,该市地处沂沭泗流域的最下游,过境水量充沛但不易被利用,多为汛期过境洪水,其人均水资源占有量仅为全国平均水平的1/5,属于水资源严重短缺城市。2011年该市农田灌溉每 hm^2 用水量 $8\,190\text{ m}^3$,高出全省平均水平 $1\,275\text{ m}^3$,在大多数统计年份中,连云港农业用水量要占到全市用水量的70%左右,2011年全市农业用水占比达87%。因此,农业用水效率较低是影响该市综合用水效率水平的主要原因。

5 结论和建议

徐州、泰州、苏州、无锡、常州、镇江和南通7个省辖市2011年用水综合效率在江苏省处于较高水平,与这7个城市的地理位置绝大部分都处于丰水区,经济较发达,多年坚持水资源科学管理有关。

苏北地区的淮安、盐城、宿迁、连云港4个省辖市用水综合效率属全省较低水平,均位于全省比较严重的缺水地区,其中淮安、连云港素有“洪水走廊”之称,水资源多为过境水,不易拦蓄也不易利用。4个城市多以农业生产为主,自然气候影响明显,如2011年上半年的特大干旱,仅宿迁市为增加灌溉用水就增加农业成本1.5亿元。由于地区经济欠发达,地方政府节水建设投资受到限制,原有的工业中纺织、化工等高耗水、高污染企业很难得到治理和转型。结合这几个省辖市的经济发展的实际情况,其用水效率的提高并不能以贡献率不变来调整用水量,而是应当通过增加水利投入来提高水利贡献率,从而实现用水效率的改善和提高。在实施最严格的水资源管理制度下,中央和省级的水资源投资应重点扶持此类水资源紧缺且经济基础薄弱的城市。在政府资金和政策扶持下,这类城市要大力发展高效节水灌溉技术,逐步提高农田灌溉水有效利用系数,改进农业耕作方式,调整农业产业结构,把提高农业用水效率作为水资源开发和利用的主要目标。工业方面应大力推广工业节水新技术,加快高耗水行业节水技术改造,逐步淘汰落后的且水耗较高的工艺,促进产业结构调整,推进清洁生产战略,提高污水、废水的重复利用率,重点解决用水大户和污染大户存在的问题。

2011年南京和扬州两个省辖市用水综合效率在江苏省处于中等水平。南京和扬州都属相对缺水地区,人均占有水资源量低。由于地处长江下游,过

境水资源丰富,这两个城市长期以来都是依靠过境水资源来弥补不足,但水质型缺水压力一直存在。随着南水北调工程的实施,这两个城市的过境水资源或多或少都会受到影响。此类水资源相对短缺、经济较发达的城市要提高用水效率,应当将节约用水作为主要目标,把建设节水型社会作为一个长期任务来推行。此类城市应大力开展城市配套建设和节水改造技术,积极培育节水增效示范区;完善污水处理系统和泵站建设,提高城市污水处理能力;坚持对高污染企业的整治和改造,将清洁生产的要求落实到实际生产活动中。或通过经济手段,采用适当调整水价等措施,将经济手段与技术手段相结合,共同作用于用水效率的提高。同时,还可以采用多种形式,加大对水资源保护、节约用水的宣传教育,如南京市采用“以奖代补”形式进行节水创建,鼓励用水户参与其中,将水资源保护的理念融入社会生活的各个方面。

建设节水型社会是一个长期的任务,落实最严格的水资源管理制度,提高用水效率,保障江苏社会经济可持续发展,任重而道远。

参考文献:

- [1] 江苏省水利厅. 江苏水利年鉴2012[M]. 南京: 凤凰出版社, 2012.
- [2] 李红新. 辽宁省用水效率的时空变化分析及影响因素研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2008.
- [3] 陆蕾. 浙江省工业水资源利用效率研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
- [4] 姜楠. 我国水资源利用相对效率的时空分异与影响因素研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2009.
- [5] 薛川燕. 黑河流域张掖段用水效率研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2013.
- [6] 刘渝, 杜江, 张俊飏. 湖北省农业水资源利用效率评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2007(6): 60-65.
- [7] 段永瑞. 数据包络分析法: 理论和应用[M]. 上海: 上海科学普及出版社, 2006.
- [8] 岳立, 白婧, 郭山宁. 基于超效率的中国工业用水效率分析[J]. 石家庄经济学院学报, 2013(12): 51-55.
- [9] 康丹玉, 葛久研. 江苏省水利投入对经济增长的拉动作用[J]. 水利经济, 2010, 28(4): 30-33.
- [10] 杨丽英, 许新宜, 贾香香. 水资源效率评价指标体系探讨[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2009(21): 642-646.
- [11] 朱玉仙, 王丽杰. 水资源利用效益的投入产出分析[J]. 气象水文海洋仪器, 2002(2): 46-50.
- [12] 吉亚辉, 张浩文, 姜玲. 基于数据包络分析的兰州市水资源效率评价[J]. 资源与产业, 2012(1): 49-52.

(收稿日期: 2014-08-04 编辑: 陈玉国)