

考虑区域承载力的 水资源效率研究

王喜峰

摘要 在目前已有的区域水资源效率研究中,多数研究只考虑区域用水总量,忽略了区域水资源禀赋,因此,有必要将水资源承载力引入区域水资源效率的研究中。鉴于数据包络分析不能进行单个决策单元的时间序列比较,作者采用窗口 DEA 研究了 2005~2012 年中国考虑区域承载力的水资源效率,并进行了时空演变分析。研究结果表明,中国考虑区域承载力的水资源效率从 2005 年的 0.71 提高到 2012 年的 0.79。其中,辽宁、西藏、云南、北京、天津、上海、江苏、浙江、广东、四川的水资源效率较高,这些省份具有与水资源开发利用率相对应的产出水平;河南、陕西、甘肃、宁夏、新疆的水资源效率较低,这些省份具有较高的水资源开发利用程度和相对较低的水资源承载能力。从分区域的结果来看,东部沿海地区和南部沿海地区具有较高的效率,东北地区 and 北部沿海地区次之,西南地区 and 西北地区再次之,黄河中游地区和长江中游地区位居最后。因此,在政策制定上,既需要使各区域的发展符合水资源承载力的要求,又需要加强各区域间的产业合作以促进协调发展。

关键词 水资源承载力 水资源效率 窗口 DEA

[中图分类号] X22 [文献标识码] A [文章编号] 2095-851X(2018)02-0097-14

一、问题的提出

水是生命之源、生产之要、生态之基,水资源对经济社会发展的作用呈现多重属性。当前,经济发展、社会进步、人民群众日益增长的生态环境需求和生态环境保护

【基金项目】国家社会科学基金青年项目“国家安全视野下水资源管理制度体系研究”(批准号:13CGL091)。

【作者简介】王喜峰(1987-),中国社会科学院数量经济与技术经济研究所助理研究员,邮政编码:100732。

致谢:感谢审稿专家匿名评审,当然文责自负。

意识的觉醒都对水资源保障提出了更高要求。各流域、各区域对水资源的需求呈现出多元化、多样化的趋势,流域、区域内各用水户之间的竞争日益严重;水资源危机呈现出由最初量的危机发展到质的危机,再蔓延到人民群众对生态环境状况不满的社会危机的势态。因此,如何用尽量少的水资源量来最大限度地满足经济社会和生态环境的用水需求成为亟须关注和解决的问题。

经济社会的用水需求是人类社会系统实际的用水需求,生态环境的用水需求则是自然系统保持其自身稳定而对水资源的需求,后者在当今的研究和决策中占有的权重越来越高。这主要有两个方面的原因:一是客观条件方面,忽略生态环境的用水势必会对生态环境造成极大的破坏,导致自然系统不稳定,使得发展难以持续,最终给区域人类社会系统带来毁灭性的灾难;二是主观意识方面,随着经济社会的发展,人类的需求呈现多样化的趋势,不仅仅有对生态环境的需求,更有主动保护生态环境的意识。“十三五”规划指出要“实行最严格的水资源管理制度,以水定产、以水定城,建设节水型社会”。2015年国务院印发的《水污染防治行动计划》明确提出了“建立水资源、水环境承载能力监测评价体系,实行承载能力监测预警”。^①可见,水资源承载力已成为制定水资源、水环境政策和区域经济政策的决定性因素。

我国水行政主管部门是负责全国水资源统一管理和监督工作的主管部门。在水资源开发、利用、节约与保护的管理实践中,水资源规划对于指导全国、流域、区域的水资源开发与利用起主导作用。水资源评价是对区域内的水资源进行总体评价,并对区域水资源利用总量提出参考建议或依据的过程。一般来说,区域经济社会发展应该符合水资源承载力的要求,即区域经济发展的用水量应该小于扣除生态环境用水量后的区域水资源总量。然而,在实际发展过程中,部分地区的粗放式发展并未考虑水资源、水环境的承载能力,过度消耗水资源、破坏水环境,造成“代际不平等”,使得区域发展难以持续。根据《2016年中国水资源公报》,海河流域的水资源开发利用率已接近94%,造成了严重的区域水危机。^②

在水资源效率的研究中,有使用单一要素水资源效率指标和多要素水资源效率指标两种方式。例如,单位用水量的谷物产出量(Bounman, 2007)、单位水资源价值的谷物产出量、单位灌溉用水量的谷物产出量、万元GDP用水量、万元增加值用水量等都是单一投入或单一产出的指标(李世祥等, 2008)。单一指标的使用在我国的水资源管理实践中非常普遍。同时,部分学者考虑到水资源往往和其他要素或者产品一起进行生产消费,因此将其他要素和产品与水资源进行综合分析,形成了多要素的指标(高媛媛等, 2013)。在多要素的水资源效率研究中,数据包络分析(Data

① 资料来源:国务院(2015),《水污染防治行动计划》, http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-04/16/content_9613.htm [2017-05-03]。

② 资料来源:水利部(2016):《2016年中国水资源公报》, http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/szygb/201707/t20170711_955305.html [2017-05-03]。

Envelopment Analysis, DEA) 和随机前沿函数 (Stochastic Frontier Approach, SFA) 是应用比较广泛的方法。其中, SFA 是参数方法, 要预先设定函数; DEA 是非参数方法, 避免了预先设定参数带来的不确定性。在水资源效率的研究中, 国外学者多研究微观水企业的投入产出效率 (García-Sánchez, 2006), 而国内学者更多地关注省际间的水资源相对效率 (魏楚、沈满洪, 2014)。廖虎昌和董毅明 (2011) 以全年供水量作为水资源的投入指标, 利用 DEA 和 Malmquist 指数分析了西部 12 个省份的水资源效率。马海良等 (2012) 测算了含有非合意产出的全要素水资源效率, 并采用 Tobit 模型分析了水资源效率的影响因素, 认为产业结构和政府影响力对全要素水资源效率有显著的负向影响。杨骞和刘华军 (2015) 对污染排放约束下中国各省份农业水资源效率进行测度, 并利用 Bootstrap 断尾回归模型对影响因素进行实证研究, 认为农田水利建设和环境规制对提高水资源效率有正向作用。石广明等 (2013) 在固定水资源使用的条件下, 分析了工业用水的相对效率, 并利用 Malmquist 指数构建动态水绩效指数, 并进一步分解为水使用相对效率和水使用技术进步, 认为水使用相对效率过低是水绩效低下的主要原因。

然而, 已有研究大多仅考虑了水资源的生产要素属性, 忽略了其他属性, 尤其是忽略了区域水资源的禀赋和承载能力。某一区域利用的水资源单从绝对量上看可能不多, 但是相对于该区域的水资源禀赋, 其用水量可能已远远超过当地的水资源总量。那么, 从生产要素角度来看, 该区域的水资源投入可谓十分巨大。例如, 1 亿立方米的水资源在广东与在宁夏呈现的价值完全不同。可见, 简单地将水资源总量作为生产要素应用于水资源效率研究中, 对于企业来说或许适用, 但对于区域研究来说并不合理。此外, 已有研究中, 也有部分学者错误地应用 DEA 研究水资源效率在时间上的演变。传统的 DEA 只是对某一时期各个决策单元 (Decision Making Units, DMU) 的相对效率进行计算,^① 某一 DMU 在不同时期的效率并不具有可比性。为解决这一问题, 大多数学者采用 M-L 指数 (Malmquist-Luenberger 生产率指数) 分析水资源效率的演变。但 M-L 指数不能恰当地反映技术进步的特性, 会得到有偏差的 (具有系统误差的) 效率增长指数 (Oh and Heshmati, 2010)。

为此, 本文拟从以下两方面做出改进。第一, 以考虑水资源承载力的区域水资源开发利用效率代替传统的用水量作为评价水资源效率的投入指标。^② 水资源作为自然资源、环境资源和生态资源, 其绝对量大小的投入意义不大, 一方面, 同样用水量的经济环境意义在不同区域存在很大差别; 另一方面, 同样用水量的经济环境意义在不同年份也存在很大差别。将区域水资源开发利用效率作为水资源投入要素可以反映出这种经济和环境意义的时空变化, 表征水资源承载力。第二, 采用窗口 DEA 模型计算具有时间可比性的水资源效率, 从而分析各省份水资源效率的时空演变。

① 全国尺度的研究多采用各省份作为 DMU。

② 水资源开发利用效率即区域用水总量与区域水资源总量的比值。

二、水资源效率评价模型与变量选取

(一) 窗口 DEA 模型

本文选用 DEA 模型作为基本模型,针对考虑水资源承载力的投入指标进行数据包络分析。DEA 模型的基本原理如下所述。在研究目标集 $\{A\}$ 中有 n 个决策单元,每个决策单元 (DMU_i) 有 m 种投入指标和 p 种产出指标,分别用投入变量 X 和产出变量 Y 表示。 X_{ij} 表示第 i 个决策单元的第 j 种投入,并且投入大于零。 Y_{ij} 表示第 i 个决策单元的第 j 个产出量。对于每个 DMU,其投入导向下 CCR-DEA 模型为:

$$\begin{cases} \text{Min} \{ \theta - \varepsilon (\sum_{j=1}^m s^- + \sum_{j=1}^p s^+) \} = \omega_d(\varepsilon) \\ \sum_{j=1}^n \gamma_j x_j + s^+ = \theta x_0 \\ \sum_{j=1}^n \gamma_j y_j - s^- = y_0 \\ s^+ \geq 0; s^- \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

其中, s^+ 、 s^- 为松弛变量, θ 为 DMU 的有效值, ε 为阿基米德的无穷小量。在公式 (1) 的基础上,加入凸性约束条件,使得规模报酬可变,就是 BCC-DEA 模型,其凸性条件可以表示为 $\sum_{j=1}^n \gamma_j = 1$, $\gamma_j \geq 0$ 。根据 BCC-DEA 模型,可以得到每个 DMU 的技术效率 (Technical Efficiency, TE),技术效率又分为纯技术效率 (Pure Technical Efficiency, PTE) 和规模效率 (Scale Efficiency, SE),其中 $TE = PTE \times SE$ 。技术效率是既定投入下产出最大的能力,或者既定产出下投入最小的能力;规模效率是表示与规模有效点相比规模经济性的发挥程度;纯技术效率指的是剔除规模因素的效率。公式 (1) 中,当 $\theta = 1$ 且 s^+ 和 s^- 均为 0 时,决策单元为 DEA 有效,决策单元的经济活动同时为技术有效和规模有效;当 $\theta = 1$ 且 $s^+ \neq 0$ 或者 $s^- \neq 0$ 时,决策单元为弱 DEA 有效,决策单元的经济活动不是同时为技术效率最佳和规模最佳;当 $\theta < 1$ 时,决策单元不是 DEA 有效,既不是技术效率最佳,也不是规模最佳。

本文对 DEA 模型的基本设定是凸性约束条件,并且是规模可变的,即以上述 BCC-DEA 作为基本模型。需要说明的是,本文没有采用非期望产出的思路,主要考虑到废水是社会水循环的一部分,是水资源回归自然水体的必经之路,将其作为非期望产出并不科学。因此本文不考虑非期望产出的一些非径向假定,而是采用径向模型。

窗口 DEA 模型基于移动平均的方法而来,其基本思路是把一个 DMU 在不同时期的表现作为不同的 DMU 进行效率测算,然后通过移动平均进行综合计算。通过窗口 DEA 模型,一个 DMU 的水资源效率不但可以与同时期的其他 DMU 进行静态比较,也可以与不同时期的自身效率进行动态比较。

窗口宽度 d 是窗口模型中需要设定的参数, 根据 Charnes 等 (1994) 的研究, d 选择 3 或者 4 可以在可信度和稳定性等方面达到最优, 本文选择窗口宽度为 3。窗口模型中每次计算, 一共有 $d \times n$ 个 DMU (n 为 DMU 的数量), 计算出 $d \times n$ 个效率值。对于整个研究时期 T , 一共需要进行 T 次计算, 并且有 $T - d + 1$ 个窗口效率运算。从第一个时间节点 t 开始 ($t = 1, 2, 3, \dots, T$), 计算出 $d \times n$ 个效率值 (DMU₁ ~ DMU_n 在 $1 \sim d$ 个时期的效率值); 然后, 在第二个时间节点计算出 $d \times n$ 个效率值 (DMU₁ ~ DMU_n 在 $2 \sim d + 1$ 时期的效率值), 直到第 t 个时间节点的 $d \times n$ 个效率值; 最后, 取各个时间节点上的平均效率值, 就是每个 DMU 在不同时间节点上的效率值。其基本计算过程如表 1 所示。

表 1 窗口 DEA 模型的计算过程 (以窗口宽度 3, 时期 8 为例)

T	1	2	3	4	5	6	7	8
窗口 1	θ_{11}	θ_{12}	θ_{13}					
窗口 2		θ_{21}	θ_{22}	θ_{23}				
窗口 3			θ_{31}	θ_{32}	θ_{33}			
窗口 4				θ_{41}	θ_{42}	θ_{43}		
窗口 5					θ_{51}	θ_{52}	θ_{53}	
窗口 6						θ_{61}	θ_{62}	θ_{63}
平均效率值	θ_{11}	$(\theta_{12} + \theta_{21})/2$	$(\theta_{13} + \theta_{22} + \theta_{31})/3$	$(\theta_{23} + \theta_{32} + \theta_{41})/3$	$(\theta_{33} + \theta_{42} + \theta_{51})/3$	$(\theta_{43} + \theta_{52} + \theta_{61})/3$	$(\theta_{53} + \theta_{62})/2$	θ_{63}

资料来源: 作者整理。

(二) 变量选取及数据来源

本文采用全要素水资源效率表征水资源效率, 选取区域生产总值 (Gross Regional Product, GRP) 作为产出变量 (2005 年不变价), 选取资本存量 (1952 年不变价)、劳动力数量、水资源开发利用效率作为投入变量 (见图 1)。受数据可获得性影响, 本文的研究时段为 2005 ~ 2012 年, 研究单元为 31 个省份。^①

其中, 各省份 GRP 数据来自历年《中国统计年鉴》, 并且根据 GRP 平减指数进行处理得到各省份各年份的实际 GRP (2005 年不变价)。各省份资本存量的计算方法来源于张军和章元 (2003) 的研究, 由于该方法将四川和重庆作为一个省份进行计算, 因此本文根据四川和重庆的各年份实际 GRP 作为权重, 将其资本存量进行划分, 根据此方法得到 2005 ~ 2012 年全国 31 个省份的资本存量。劳动力投入指标来源于历年《中国统计年鉴》, 其中, 2006 年劳动力投入数据缺失, 采用 2005 年和 2007 年的数据进行插值估计。2011 年和 2012 年的劳动力投入数据根据相应年份《中国统计年

① 注: 不包括香港、澳门和台湾。

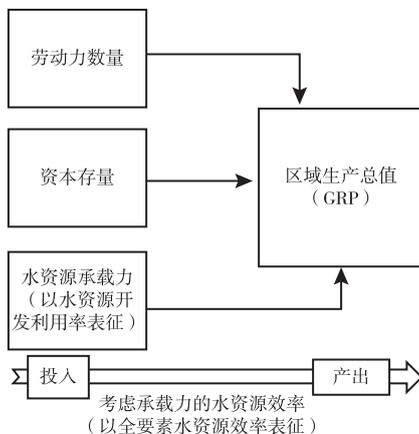


图1 投入产出指标内涵及结构

资料来源：作者绘制。

鉴》中的数据同比例估算得到。区域水资源承载力多采用水资源开发利用率来反映，水资源开发利用率为区域总用水量与区域水资源总量的比值，反映的是区域用水与水资源承载力的关系。例如，根据《2015年北京市水资源公报》，北京市用水总量为38.2亿立方米，水资源总量为26.76亿立方米，水资源开发利用率为143%。^①根据《2015年青海省水资源公报》，青海省用水总量为26.78亿立方米，本地水资源总量为589.3亿立方米，水资源开发利用率为4.5%。^②将以开发利用率表征的水资源承载力与资本存量和劳动力一起作为投入要素，能够反映“自然—经济”综合投入的关系。可以看出，考虑水资源承载力的投入比原来的水资源量的投入更科学。

各省份水资源总量和水资源开发利用总量来源于历年《中国环境统计年鉴》和《水资源公报》。在考虑承载能力的水资源投入指标选取中，本文最初拟采用线性数据转换法（马海良等，2012）来对该指标进行处理，但是在实际计算过程中，由于水资源的绝对量反映不出水资源的禀赋优势，即使对数值进行线性数据转换，仍然难以反映出水资源承载能力的情况。此外，该方法还存在一定的不确定性。因此，本文将水资源开发利用率作为各省份考虑承载力的水资源投入。承载力是区域的特性，所以不再分行业来考察。一共有31个决策单元8年的数据，其一般描述性统计如表2所示。

① 资料来源：北京市水务局（2016），《2015年北京市水资源公报》，<http://www.docin.com/p-1799686076.html>[2017-05-03]。

② 资料来源：青海省水利厅（2016），《2015年青海省水资源公报》，<http://www.qhsl.gov.cn/upload/201605/27/2015年青海省水资源公报.pdf>[2017-05-03]。

表 2 数据的描述性统计

指标	最小值	中位数	均值	最大值
GRP(亿元)	248.8	7751.4	10217.7	48207.2
资本存量(亿元)	160.6	3670.5	5913.9	29847.5
劳动力(万人)	140.4	2011.9	2389.1	6554.3
水资源利用量(亿立方米)	22.33	180.69	191.06	590.1
水资源总量(亿立方米)	8.4	559.1	862.6	4593.0
水资源开发利用率(%)	0.7	31	81	918

注：根据《水资源公报》、《中国统计年鉴》和国家统计局网站指标解释，水资源总量指当地降水形成的地表和地下水总量，即地表径流量与降水入渗补给量之和，客水不包括在内。见 http://www.stats.gov.cn/tjsj/zbj/s/201310/t20131029_449527.html[2017-05-03]。

资料来源：作者计算整理。

从表 2 可以看出，我国各省份经济发展水平差距较大，但是水资源情况差别更大。水资源开发利用率的均值为 81%，中位数为 31%，接近国际规定的开发利用率 40% 的红线。其最大值为 918%，即区域水资源利用量为区域水资源总量的 9.18 倍，该省份为宁夏。宁夏面积较小，气候干旱，降雨较少，每年水资源总量在 9 亿立方米左右（表 2 中水资源总量的最小值也为宁夏），但是其水资源利用量达 70 亿立方米，严重超过区域水资源承载能力，其超出的水量来源于黄河干流。从这个方面也可以看出本研究的必要性。

三、结果分析

（一）总体分析

根据窗口 DEA 模型计算得到 2005 ~ 2012 年各省份考虑承载力的水资源效率，结果如表 3 所示。表 3 除了展示各省份各年份的水资源效率之外，还对各年份的均值以及各省份的均值进行了计算。

表 3 2005 ~ 2012 年各省份考虑承载力的水资源效率

省份	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	年份平均
北京	0.89	0.85	0.90	0.98	0.84	0.81	0.92	1.00	0.90
天津	0.96	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00	0.99
河北	0.52	0.54	0.58	0.57	0.54	0.57	0.58	0.60	0.56
山西	0.56	0.58	0.63	0.59	0.57	0.56	0.58	0.57	0.58
内蒙古	0.67	0.72	0.76	0.86	0.88	0.87	0.87	0.92	0.82

续表

省份	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	年份平均
辽宁	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
吉林	0.69	0.71	0.76	0.76	0.77	0.80	0.71	0.79	0.75
黑龙江	0.68	0.71	0.73	0.72	0.77	0.75	0.70	0.70	0.72
上海	0.83	0.88	0.96	0.96	0.98	1.00	0.97	1.00	0.95
江苏	0.80	0.83	0.90	0.90	0.91	0.92	0.95	1.00	0.90
浙江	0.85	0.86	0.89	0.86	0.87	0.97	0.89	1.00	0.90
安徽	0.61	0.62	0.68	0.68	0.70	0.69	0.71	0.74	0.68
福建	0.95	1.00	0.99	0.91	0.82	0.99	0.76	0.98	0.92
江西	0.39	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.44	0.49	0.44
山东	0.68	0.70	0.76	0.77	0.78	0.78	0.74	0.77	0.75
河南	0.60	0.51	0.58	0.48	0.44	0.47	0.45	0.46	0.50
湖北	0.61	0.59	0.70	0.66	0.59	0.64	0.52	0.56	0.61
湖南	0.64	0.69	0.72	0.72	0.67	0.74	0.61	0.77	0.70
广东	0.95	0.99	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99
广西	0.54	0.57	0.57	0.62	0.52	0.52	0.46	0.56	0.54
海南	0.68	0.68	0.79	0.83	0.84	0.87	0.88	0.86	0.80
重庆	0.66	0.63	0.76	0.71	0.66	0.61	0.72	0.75	0.69
四川	1.00	0.82	0.95	0.97	0.94	0.97	0.95	1.00	0.95
贵州	0.39	0.40	0.45	0.46	0.43	0.43	0.44	0.54	0.44
云南	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
西藏	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
陕西	0.48	0.45	0.50	0.51	0.55	0.57	0.58	0.79	0.56
甘肃	0.31	0.31	0.33	0.32	0.33	0.33	0.33	0.34	0.33
青海	0.71	0.72	0.75	0.77	0.80	0.80	0.79	0.86	0.78
宁夏	0.67	0.67	0.68	0.69	0.66	0.67	0.69	0.72	0.68
新疆	0.62	0.61	0.62	0.61	0.60	0.64	0.59	0.57	0.61
省份平均	0.71	0.71	0.75	0.75	0.74	0.76	0.74	0.79	0.74

资料来源：作者计算整理。

从表3可以看出,中国的省份平均水资源效率呈现缓慢上升的趋势,从2005年、2006年的0.71,上升到2012年的0.79。这不仅反映了我国经济结构不断优化、技术不断进步,而且反映了我国经济的发展与水资源承载力的适应程度不断增加。2012年是我国实行最严格水资源管理制度的第一年,水资源总量和水资源效率成为不能突

破的硬约束。此外，2012年的水资源量较正常年份多6%，水资源承载能力也因此得到一定程度的提高。

分省份来看，辽宁、云南、西藏的水资源效率最优，均达到1，每年都位于生产的最优面上。其中，云南和西藏的水资源非常丰富，单一水资源承载力相对较高。到2012年，北京、天津、上海、江苏、浙江、广东、四川的水资源效率也都达到1。可以看出，即使在考虑区域水资源承载力的情况下，东部省份的表现也比较好。其中，北京、天津、上海的水资源开发利用率都大于100%。这些省份的水资源利用量已超过区域的水资源总量，要靠外部水量来运行，但是由于其有效的产出水平，在考虑水资源承载力后依然能够达到最优面上。北京的水资源效率表现起伏相对较大，2005~2011年一直在0.9左右，其中2009年和2010年下降到0.85以下，2012年达到1。根据《2012年北京市水资源公报》，2012年北京市平均降水量达到708毫米，比2011年多28%，比多年平均多21%；水资源总量比2011年多50%左右，超过水资源利用量，河道断面出现明显的涨水过程，水资源承载力得到一定改善，这是2012年北京市水资源效率达到1的最有利因素。^①2009年和2010年，北京市水资源总量都在22亿立方米以下，水资源利用量超出水资源总量达11亿立方米，区域水资源开发利用率分别达到160%和150%。这是这两个年份北京市水资源效率降低的首要原因。这里需要说明的是，由于京津冀地处北方，水资源总量的年际变化较大，水资源承载能力的年际变化也较大，水库的年际调蓄是应对这种情况的措施，但是对水资源承载力不造成实质的影响。超采地下水是水资源承载能力不足的直接反映，华北平原地下水超采造成很多生态环境问题，地下水超采显然不能在实质上提高水资源承载力。

辽宁一直位于生产前沿面上，这有赖于其较低的资本存量和合理的水资源承载力投入以及较高的产出。统计数据显示，辽宁的水资源开发利用率在50%左右，在北方气候条件相似的省份中表现最好。河北和山西的水资源效率在0.58左右，不同的是河北出现缓慢增长，山西则较平稳，从水资源承载力来看，河北逐步下降，山西则相对稳定。内蒙古则从2005年的0.67逐步上升到2012年的0.92，从数据来看，快速增加的产出和水资源总量是其效率上升的主要原因。江西的水资源开发利用率在0.2以内，其水资源效率较低主要与其相对较大的资本存量和劳动力投入有关。

黑龙江的水资源效率在2009年开始有短暂的下降，与2009年开始实施的《全国新增1000亿斤粮食生产能力规划（2009~2020年）》有一定关系，根据这一规划，“东北区承担新增粮食产能任务150.5亿公斤，占全国新增产能的30.1%。适度新建水源工程，增加灌溉供水，扩大灌溉面积，加快防洪排涝体系建设，加大现有灌区续

^① 资料来源：北京市水务局（2013），《2012年北京市水资源公报》，<https://wenku.baidu.com/view/a5f0f611482fb4daa58d4bd9.html> [2017-05-03]。

建配套及节水改造力度,完善灌溉设施,提高灌溉保证率和排涝标准。”^①安徽、江西、河南、湖北、湖南、广西和贵州的水资源效率基本在0.7以下。其中,江西、贵州、河南的水资源效率基本在0.5以下,表现为相对无效率。江西和贵州是由于产出的原因,河南则是由于水资源承载力与产出不匹配,导致无效率。山东、海南、青海的水资源效率均在0.8左右,山东虽然产出较高,但是水资源承载力的高投入限制了其总体效率;而海南和青海则是较小的水资源承载力投入促进了其总体效率的提高,这“一升一降”使经济效率较高的山东与经济效率较低的海南和青海的水资源效率数值相当。陕西、甘肃、宁夏、新疆的水资源效率表现基本较差。其中,甘肃效率最低,其水资源开发利用率基本在60%以上,表现出西北干旱区水资源承载能力较弱的问题。水资源开发利用率达到918%的宁夏,水资源效率稳定在0.68左右,体现出黄河干流分水方案对宁夏的分水取得良好效果。

(二) 分区域分析

从上述总体分析和分省份分析可以看出,各省份的水资源效率存在很大的差别,但是也存在一定的区域规律。从我国传统的东、中、西区域划分来看,东部地区水资源效率平均达到0.88,中部地区为0.62,西部地区为0.70。^②水资源效率具有东部>西部>中部的特点。这是由经济效率和水资源效率共同决定的,中部地区效率最低与其承担较多保障国家安全任务有很大关系,中部地区的8个省份都是粮食主产区,而农业是用水最多,但用水效率、单方水产出都非常低的产业,因此其考虑水资源承载力的水资源效率低于西部也是合理的。

由于西部地区面积广袤,水资源、土地和经济社会形势都有很大的区别,因此本文进一步参考李善同和侯永志(2004)提出的分区模式,该模式既考虑了自然禀赋的差别,又考虑了经济社会发展的协同和联系,包括八大区域。其中,东北地区包括辽宁、吉林、黑龙江,为重型装备和设备制造业基地、能源原材料制造业基地以及全国性的专业化农产品生产基地;北部沿海地区包括北京、天津、河北、山东,为最有力的高新技术研发和制造中心之一;东部沿海地区包括上海、江苏、浙江,为最具影响力的多功能的制造业中心;南部沿海地区包括福建、广东、海南,为最重要的外向型经济发展的基地、消化国外先进技术的基地、高档耐用消费品和非耐用消费品生产基地,也是高新技术产品制造中心;黄河中游地区包括陕西、山西、河南、内蒙古,为最大的煤炭开采和煤炭深加工基地、天然气和水能开发基地、钢铁工业基地、有色金属工业基地、奶业基地;长江中游地区包括湖北、湖南、江西、安徽,是以水稻和棉花为主的农业地区专业化生产基地及相关深加工工业基地、以钢铁和有色冶金

^① 资料来源:国务院(2009),《全国新增1000亿斤粮食生产能力规划(2009~2020年)》, http://www.gov.cn/gzdt/2009-11/03/content_1455493.htm[2017-05-03]。

^② 其中,东部地区包括辽宁、河北、北京、天津、山东、江苏、上海、浙江、福建、广东、海南11个省份;中部地区包括黑龙江、吉林、山西、河南、安徽、湖北、湖南、江西8个省份;西部地区包括内蒙古、陕西、宁夏、甘肃、新疆、青海、西藏、四川、重庆、云南、贵州、广西12个省份。

为主的原材料基地、汽车生产基地；西北地区包括甘肃、青海、宁夏、新疆，是重要的能源战略接替基地和最大的综合性优质棉、果、粮、畜产品深加工基地；西南地区包括云南、贵州、四川、重庆、广西、西藏，由以重庆为中心的重化工业和以成都为中心的轻纺工业两大组团构成。^①

从八大区域水资源效率的变化趋势可以看出，2005～2012年，水资源效率总体上呈现上升趋势（见表4）。

表4 八大区域考虑水资源承载能力的水资源效率

区域	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	平均
东部沿海地区	0.83	0.86	0.92	0.91	0.92	0.96	0.94	1.00	0.92
南部沿海地区	0.86	0.89	0.92	0.91	0.88	0.95	0.88	0.95	0.91
东北地区	0.79	0.81	0.83	0.83	0.85	0.85	0.80	0.83	0.82
北部沿海地区	0.76	0.77	0.81	0.83	0.79	0.79	0.81	0.84	0.80
西南地区	0.76	0.74	0.79	0.79	0.76	0.76	0.76	0.81	0.77
西北地区	0.66	0.66	0.68	0.68	0.68	0.69	0.68	0.70	0.68
黄河中游地区	0.58	0.56	0.62	0.61	0.61	0.62	0.62	0.69	0.61
长江中游地区	0.56	0.58	0.63	0.62	0.60	0.64	0.57	0.64	0.61

资料来源：作者计算整理。

其中，南部沿海地区和东部沿海地区位于0.9～1的区间，是经济效率最好、水资源承载能力最强的区域。在2008年之前南部沿海地区的水资源效率略高于东部沿海经济区，而2009年开始，东部沿海地区的水资源效率要高于南部沿海地区。在2012年，东部沿海地区的水资源效率达到1，整体位于生产前沿面上。从区域的功能来看，这两个区域都是制造业中心，是生产附加值较高的基地，体现了较高的经济效率和水资源承载能力。

东北地区与北部沿海地区的水资源效率相差不大，在0.8左右，体现了经济效率与水资源承载力相匹配的态势。但是在北部沿海地区内部，河北考虑水资源承载能力的水资源效率与区域内其他省份相差较大。2005～2012年，这两个区域的水资源效率不断小幅提升，其中北部沿海地区提升幅度稍大，体现了其正在寻找符合区域水资源承载力的经济发展方式。

西北地区和西南地区的水资源效率基本位于0.7～0.8的区间，西南地区略高于西北地区。虽然西南地区具有较高的水资源承载力，但是其发展水平相对较低，影响了水资源效率。西北地区是水资源较为短缺的区域之一，同时也是能源资源丰富的区

^① 注：李善同和侯永志（2004）的研究将西藏划入大西北地区，而本文将其划入西南地区。

域,而能源的开采和加工是耗费水资源较多的行业;此外,西北地区还是优质棉、果、粮、畜产品的重要生产基地,这些产业同样需要消耗大量的水资源。

黄河中游地区和长江中游地区是水资源效率最低的两个区域,多年平均效率值都仅为0.61。这种低效率主要与其区域内的产业安排有很大关系,这两个区域都是我国重要的粮食主产区以及能源和原材料基地。一方面,粮食生产消耗大量的水资源,农业灌溉用水是我国用水的第一大户,农业用水占比虽然逐步降低,但仍保持在60%以上;另一方面,能源、钢铁和原材料加工等行业是用水最多的工业行业,并且这些行业相对于沿海地区的其他制造业产出较低,属于上游产业。综合以上分析可以看出,长江中游地区和黄河中游地区的经济效率和水资源承载能力都没有达到最优。

四、结论和政策启示

鉴于已有水资源效率研究缺乏对水资源承载力的考虑,本文将水资源开发利用效率作为水资源承载力的投入指标进行了水资源效率分析。在传统的DEA模型难以进行时间序列比较的情况下,本文引入窗口DEA模型,根据我国31个省份2005~2012年的实际GRP(2005年不变价)、资本存量(1952年不变价)、劳动力投入和水资源承载力投入,计算得到2005~2012年各省份考虑水资源承载力的水资源效率,并进行了总体分析和分区域分析。研究结果表明,2005~2012年,我国考虑水资源承载力的水资源效率有所提升,从2005年的0.71提高到2012年的0.79。2012年是实施最严格水资源管理制度的第一年,其水资源效率也较2011年有大幅的提升。辽宁、西藏、云南、北京、天津、上海、江苏、浙江、广东、四川的水资源效率较高,其中辽宁、北京、天津、上海、江苏、浙江、广东在经济效率上具有优势,并且能够匹配这些区域水资源开发利用程度高的态势;云南、四川、西藏区域内水资源总量丰富,具有较高的水资源承载能力。河南、陕西、甘肃、宁夏、新疆的水资源效率较低,基本反映了其较高的水资源开发利用程度以及较低的水资源承载力。从分区域结果来看,东部沿海地区和南部沿海地区具有较高的水资源效率,东北地区和北部沿海地区次之,西南地区和西北地区再次之,黄河中游地区和长江中游地区位居最后。

基于以上研究,本文得出以下政策启示。第一,将水资源承载力作为区域发展的重要因素,深入贯彻“以水定城、以水定地、以水定人、以水定产”的原则,对于严重超出水资源承载力的地区,考虑疏解人口、疏解产业等综合措施。第二,加强各区域之间的优势互补,特别是西北地区与西南地区在水资源和能源上的优势互补:一是在西南地区水电能源基地的基础上,研究并规划形成火电基地以及研究西南地区向西北地区的“调水”方案;二是考虑西北地区的煤炭向西南地区运输,在资源环境允许的情况下在西南地区建设能源基地。第三,为长江中游地区和黄河中游地区

“减负”。由于国家层面的粮食安全、能源安全以及经济安全的考量，这两个区域的水资源效率长期呈现较低水平，应该对这两个区域进行适当“减负”，提高效率，形成活力。

参考文献

高媛媛、许新宜、王红瑞等（2013）：《中国水资源利用效率评估模型构建及应用》，《系统工程理论与实践》第3期，第74~79页。

李善同、侯永志（2004）：《中国大陆：划分8大社会经济区域》，《理论参考》第7期，第10~12、22页。

李世祥、成金华、吴巧生（2008）：《中国水资源利用效率区域差异分析》，《中国人口·资源与环境》第3期，第215~220页。

廖虎昌、董毅明（2011）：《基于DEA和Malmquist指数的西部12省水资源利用效率研究》，《资源科学》第2期，第273~279页。

马海良、黄德春、张继国（2012）：《考虑非合意产出的水资源利用效率及影响因素研究》，《中国人口·资源与环境》第10期，第35~42页。

石广明、王金南、毕军（2013）：《基于莫氏指数的中国动态工业用水绩效分析》，《系统工程理论与实践》第12期，第3237~3242页。

魏楚、沈满洪（2014）：《水资源效率的测度及影响因素：基于文献的述评》，《长江流域资源与环境》第2期，第197~204页。

杨骞、刘华军（2015）：《污染排放约束下中国农业水资源效率的区域差异与影响因素》，《数量经济技术经济研究》第1期，第114~158页。

张军、章元（2003）：《对中国资本存量K的再估计》，《经济研究》第7期，第35~43页。

Bouman, B. (2007), "A Conceptual Framework for the Improvement of Crop Water Productivity at Different Spatial Scales", *Agricultural Systems*, 93 (1-3), pp. 43-60.

Charnes, A., W. W. Cooper and A. Y. Lewin, et al. (1994), *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Application*, Norwell, Massachusetts: Kluwer Academic Publishers.

García-Sánchez, I. M. (2006), "Efficiency Measurement in Spanish Local Government: The Case of Municipal Water Services", *Review of Policy Research*, 23 (2), pp. 355-372.

Oh, D. and A. Heshmati (2010), "A Sequential Malmquist-Luenberger Productivity Index: Environmentally Sensitive Productivity Growth Considering the Progressive Nature of Technology", *Energy Economics*, 32 (6), pp. 1345-1355.

Study of Water Resources Efficiency by Considering the Regional Water Carrying Capacity

WANG Xi-feng

(Institute of Quantitative & Technical Economics,

Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732, China)

Abstract: In the current research of the regional water resources efficiency, most

studies only considered total regional water consumption as the input factor, ignoring the regional water carrying capacity. Therefore, it is essential to introduce the regional water resources carrying capacity into the research of regional water resources efficiency. Since the Data Envelopment Analysis (DEA) method is not applicable for the time series comparison of a single Decision Making Units (DMU), the authors adapt the DEA-windows method to study the regional water resources efficiency considering the water carrying capacity during 2005 ~ 2012 in China, and also analyze its spatial and temporal evolution. Results show that China's average regional water resources efficiency considering the water carrying capacity increased from 0.71 in 2005 to 0.79 in 2012. Liaoning, Tibet, Yunnan, Beijing, Tianjin, Shanghai, Jiangsu, Zhejiang, Guangdong and Sichuan, had higher water resources efficiency, which reflected the output levels corresponding to the water resources utilization rate. Henan, Shaanxi, Gansu, Ningxia and Xinjiang, had lower water resources efficiency, basically reflecting the higher level of water resources utilization and the relatively low water carrying capacity. From the economic regional results, the eastern coastal and southern coastal areas had highest water resources efficiency, the northeast and the northern coast ranked secondly, northwest and southwest areas ranked thirdly, and the midstream areas of the Yellow River and the midstream areas of the Yangtze River ranked last. As a result, it is important for the policy makers to make the regional development conform to the water resources carrying capacity level and also enhance the industrial cooperation to promote the coordinated development among different regions.

Key Words: water resources carrying capacity; water resources efficiency; data envelopment analysis; DEA-windows

特邀编辑: 庄贵阳