

# 我国省域水资源利用效率评价研究

朱兆珍<sup>1,2</sup>, 梁 中<sup>2</sup>

(1. 东南大学经济管理学院, 江苏南京 211189; 2. 安徽财经大学, 安徽蚌埠 233041)

**摘 要:**水资源的高效利用是关乎我国经济社会发展的战略问题。运用因子分析法筛选指标构建水资源利用效率评价指标体系,该体系包括3个因子6个指标。采用突变级数法编制31个省域水资源利用效率指数,并对其进行聚类分析。研究结果表明:时间上,各省域水资源利用效率基本呈现逐渐上升趋势;空间上,重庆、北京、上海等6省域水资源综合用水效率最高;安徽、江西、湖北、湖南等20省域次之;宁夏、西藏、四川、黑龙江、新疆5省域水资源利用效率较低。各因子指数值表明:农业用水效率较高,工业用水效率次之,生活生态用水效率最低。

**关键词:**水资源;利用效率;突变级数法

**中图分类号:**F062.1

**文献标志码:**A

**文章编号:**1671-4970(2015)03-0072-07

## 一、引 言

水是生命之源、生产之要、生态之基<sup>[1]</sup>。水资源的利用效率问题是一个重大问题,水资源的可持续开发利用是经济社会可持续发展的保障和基础<sup>[2]</sup>。中共中央于2011年初首次以“中央一号文件”的形式,系统部署了水利改革发展全面工作的决定(《国务院关于加强水利改革发展的决定》);2012年,国务院发布了《关于实行最严格水资源管理制度的意见》,确立水资源开发利用控制、用水效率控制和水功能区限制纳污“三条红线”;2013年,国务院办公厅印发《实行最严格水资源管理制度考核办法》,31个省(自治区、直辖市)全部建立由政府主要负责人负总责的最严格水资源管理制度行政首长负责制,水利部会同发展改革委等十部门组建考核工作组。2014年,水利部联合发展改革委等十部门又印发了《实行最严格水资源管理制度考核工作实施方案》,全面启动最严格水资源管理考核问责。由于各省域自然环境不同,社会经济发展步伐及水资源管理水平 and 利用方式不同,各省域水资源利用效率可能存在明显差异。选取哪些指标评价水资源利用效率更有实际意义?采用什么方法进行评价更加有效?我国各省域水资源利用效率差异何在?如何提高各省

域水资源利用效率?探寻这些问题的答案将会对水资源管理和利用效率的提高具有一定的实践意义。同时,科学客观的评价我国各省域水资源利用效率差异问题有助于推动我国水资源利用效率研究,可以为决策部门制定适宜的用水节水政策和保障各省域最严格水资源管理制度的有效实施提供有益参考,对于节水型社会的建设及可持续发展具有重要的现实指导意义<sup>[3]</sup>。

## 二、文献回顾

国内外学者就水资源利用效率的评价问题进行了相对深入的研究。主要聚焦于农业水资源利用效率<sup>[4-6]</sup>和工业水资源利用效率<sup>[7-8]</sup>问题探讨。随着人们环保意识增强及科学技术的发展,生态与环境水资源利用效率评价问题也引起实务界与学术界广泛关注<sup>[9-12]</sup>。更多学者集中于从城市、省域或者全国层面研究水资源的综合利用效率问题<sup>[1-3,13-17]</sup>。但因为构建指标体系、采取评价方法及时间跨度不同等原因,各省域水资源利用效率评价结果仍存在差异。选择科学有效的评价方法对水资源利用效率进行评价有利于客观评估各省域水资源管理水平及其差异。

郑海霞等<sup>[18]</sup>选取降水效率、总水分生产效率、

收稿日期:2015-03-06

基金项目:国家社会科学基金项目(14CJL033);安徽财经大学重点科研项目(ACKY1318ZDB)

作者简介:朱兆珍(1982—),女,安徽淮南人,讲师,博士研究生,从事财务理论与实践及水资源危机管理研究。

耗水生产效率等 8 个指标,运用遗传投影寻踪法对甘肃省 81 个县域单元农业水资源利用效率进行了综合评价;李世祥等<sup>[13]</sup>运用比值分析法选取万元 GDP 用水量、节水型社会发展水平指数、万元工业增加值用水量、非农业工业用水比重、农田灌溉定额用水量、单位粮食产量用水量、人均用水量、农村人均生活用水量、城镇人均生活用水量 9 个指标,采用因子分析方法构建了水资源利用效率指数,分析我国水资源利用效率的区域差异及其形成机理;廖虎昌等<sup>[2]</sup>采用地区生产总值、固定资产投资总额、全年供水量、用水人口等作为投入产出指标,先运用数据包络分析法(DEA)对西部 12 省 2007—2008 年的水资源利用效率进行分析和评价,然后运用 Malmquist 指数方法对 1999—2008 年西部 12 省域的序列数据进行了分析,研究发现,四川、陕西、新疆、内蒙古和广西的水资源利用效率要稍微高些,其他省域应参考这 5 省的经验进行调整,西藏尤其应该加大调整力度;马海良等<sup>[19]</sup>采用与文献<sup>[2]</sup>相同的方法,将 DEA 与 Malmquist 指数相结合测度了技术效率和技术进步对水资源利用效率的影响。高媛媛等<sup>[1]</sup>运用层次分析法与因子分析法对水资源利用效率指标体系进行筛选,最终选定单方水 GDP 产出量、工业用水比例、万元工业增加值用水量、人均生活用水量、水资源可持续利用指标、人均 COD 排放量和去变异化的农业用水效率 7 个指标基于投影寻踪及遗传算法模型对水资源利用效率进行了评估,发现我国省际水资源利用效率区域差异和地域特征比较明显,水资源短缺压力较大或经济较发达的地区水资源利用效率相对较高;反之亦然。买亚宗等<sup>[20]</sup>利用 DEA 分析模型,以资本、劳动力和水资源使用量为投入,其中水资源使用量具体化为农业用水比重、工业用水比重及人均水资源拥有量,以国内生产总值与废水排放量为产出,计算我国 2000—2011 年区域水资源利用效率。研究结论显示,在时间序列上,我国各省份之间的用水效率差距逐年增大;在空间上,我国的水资源利用效率存在明显的东、中、西部区域差异,这与文献<sup>[1-3]</sup><sup>[13-17]</sup>结论基本一致。国外学者对水资源利用效率综合评价指标筛选及评价方法的探讨相对较少<sup>[1]</sup>。

总体来说,在指标选取方面,运用 DEA 法的文献基本上从投入、产出两个角度确定变量,其他研究多从综合用水、工业用水、农业用水和生态与环境用水 4 个层面构建水资源利用效率评价指标体系。在评价方法上,除了上述文献运用的 DEA 法、遗传投影寻踪法及比值分析法外,还包括随机前

沿生产函数(SFA)模型<sup>[15,21]</sup>、TOPSIS 模型<sup>[22]</sup>及改进密切值法<sup>[23]</sup>等方法。随着科学技术的进步,评价方法推陈出新,但是在这些评价方法中,由于各种因素之间往往存在着复杂的关系而很难确定各因素的影响权重,导致权重的取值带有很大的主观性和随机性,影响评价的准确性<sup>[24]</sup>。而突变级数法具备无需对指标赋权、考虑了各评价指标的相对重要性和减少了主观性又不失科学性、合理性等特点<sup>[25-26]</sup>,这正好可以弥补上述不足。因此笔者拟运用此法对我国各省域水资源利用效率差异进行评价分析。

### 三、省域水资源利用效率评价指标体系构建

#### 1. 初始水资源利用效率评价指标

遵循科学性、全面性及数据可度量性等原则,参考刘志等<sup>[27]</sup>基于 CNKI 数据库对水资源利用效率评价指标选取的频率分析结果,比如他们对使用了工业用水效率这一准则层的文献进行统计发现,工业用水效率评价指标中所有的文献均选取了万元工业增加值(GDP)用水量这一指标;其次为工业用水比例,使用频率为 30.77%。在此基础上,结合我国水资源利用管理实践及其他相关文献,选取初始水资源利用效率评价指标如表 1 所示。

#### 2. 筛选水资源利用效率评价指标

本文水资源利用效率评价指标计算数值源自 2009—2013 年《中国统计年鉴》及各省《水资源公报》。截至完稿,2014 年《中国统计年鉴》尚未出版,而 2009—2013 年的统计年鉴和水资源公报数据反映的是 2008—2012 年水资源利用效率情况。所以本文研究的结果反映的是 2008—2012 年 5 年间各省域水资源利用效率高低问题。之所以将研究起点定在 2008 年,是因为最近一次土地变更调查截止时点为 2008 年 12 月 31 日,选取 2009—2013 年度水资源利用效率相关数据进行研究,既可以保证数据的新颖性,又可以保障使用水资源利用效率最底层指标的原始数据计算时口径一致。收集整理大量指标数据费时费力,且可能带来分析噪音<sup>[28]</sup>,应根据研究的需要选择最适合的指标筛选方法<sup>[29]</sup>。因此,在评价各省水资源利用效率前,首先需要对评价指标数据进行标准化处理,使数据同趋势化,在此基础上进行因子分析,采用具有 Kaiser 标准的正交旋转法,迭代 6 次后收敛,从而使各因子载荷的平方按列向 0 与 1 两级极化,使各因子具有更加明显的实际意义。

表 1 水资源利用效率评价指标

| 指 标                | 计算公式                                        | 影响分析                                             |
|--------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 综合人均用水量 $X_1$      | 用水总量/总人口,单位为 $\text{m}^3/\text{人}$          | 各省域一定时期内人均用水量相对稳定,受气候、地理环境和用水习惯等因素决定,省域之间差别较大    |
| 单方水 GDP 产出量 $X_2$  | GDP/用水量,单位为万元/ $\text{m}^3$                 | 它受产业结构、自然地理、社会经济等影响,能从一定程度上反映水资源综合利用效率的高低        |
| 万元工业增加值用水量 $X_3$   | 工业用水量/工业增加值,单位为 $\text{m}^3/\text{万元}$      | 工业用水在地区用水中占相当大的比例,工业用水效率的高低是决定水资源综合利用效率的重要因素     |
| 工业用水比例 $X_4$       | 工业用水量/用水总量                                  |                                                  |
| 农田灌溉定额 $X_5$       | 农田用水量/农田面积,单位为 $\text{L}/\text{m}^2$        | 衡量灌溉用水的科学性、合理性、先进性,反映灌溉技术及灌溉节水意识的强弱是农业用水管理的微观指标。 |
| 单方水粮食产量 $X_6$      | 灌溉水粮食产量/农业灌溉用水量,单位为 $\text{kg}/\text{m}^3$  |                                                  |
| 人均生活用水量 $X_7$      | 生活用水量/总人口,单位为 $\text{m}^3/\text{人}$         | 一定程度上反映一个地区的居民日常生活中节水意识的强弱                       |
| 水资源可持续利用指标 $X_8$   | (水资源可利用量-用水量)/总人口,单位为 $\text{m}^3/\text{人}$ | 反映一个地区水资源可持续利用性的高低                               |
| 人均 COD 排放量 $X_9$   | COD 排放总量/总人口,单位为 $\text{L}/\text{人}$        | 能从一定程度上反映水资源利用对生态环境产生的负面影响                       |
| 农村人均生活用水量 $X_{10}$ | 农村人口用水量/农村总人口,单位为 $\text{m}^3/\text{人}$     | 一定程度上反映一个地区的农村居民日常生活中节水意识的强弱                     |
| 城镇人均生活用水量 $X_{11}$ | 城镇人口用水量/城镇总人口,单位为 $\text{m}^3/\text{人}$     | 一定程度上反映一个地区的城镇居民日常生活中节水意识的强弱                     |

表 2 旋转成份矩阵

|                                                | 成份     |        |        |
|------------------------------------------------|--------|--------|--------|
|                                                | 1      | 2      | 3      |
| 综合人均用水量/ $\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$      | 0.472  | 0.031  | 0.073  |
| 单方水 GDP 产出量/ $\text{m}^3 \cdot \text{万元}^{-1}$ | 0.360  | -0.200 | 0.160  |
| 万元工业增加值用水量/ $\text{m}^3 \cdot \text{万元}^{-1}$  | 0.098  | 0.812  | 0.305  |
| 工业用水比例/%                                       | -0.519 | 0.791  | 0.096  |
| 农田灌溉定额/ $\text{L} \cdot \text{m}^{-2}$         | 0.917  | 0.506  | -0.109 |
| 单方水粮食产量/ $\text{kg} \cdot \text{人}^{-1}$       | -0.894 | -0.402 | -0.294 |
| 人均生活用水量/ $\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$      | 0.005  | 0.437  | 0.007  |
| 水资源可持续利用指标/ $\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$   | 0.162  | -0.242 | 0.895  |
| 人均 COD 排放量/ $\text{L} \cdot \text{人}^{-1}$     | 0.609  | -0.300 | -0.723 |
| 农村人均生活用水量/ $\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$    | 0.368  | 0.543  | 0.195  |
| 城镇人均生活用水量/ $\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$    | 0.413  | 0.217  | 0.264  |

从表 2 可以看出,每个因子只有少数指标因子载荷较大,因此可以据此进行指标分类:第一个因子与“农田灌溉定额”和“单方水粮食产量”两指标最为相关,反映的都是农业用水效率的高低,因此,可称为“农业用水效率因子”;同理,第二个因子中“万元工业增加值用水量”和“工业用水比例”载荷较大,可命名为“工业用水效率因子”;第三个因子中“水资源可持续利用指标”和“人均 COD 排放量”指标载荷都较大,反映的是各省域的水资源可持续利用程度,称为“生活生态用水效率因子”。按照 3 个因子的方差贡献率及各个指标与因子间的相关性大小排序,最终构建各省域水资源利用效率评价指标体系(表 3)。

表 3 水资源利用效率评价指标体系

| 一级指标            | 二级指标             | 三级指标                                 |
|-----------------|------------------|--------------------------------------|
| 省域水资源利用效率指标 $Z$ | 农业用水效率因子 $Y_1$   | 农田灌溉定额 $X_5$<br>单方水粮食产量 $X_6$        |
|                 | 工业用水效率因子 $Y_2$   | 万元工业增加值用水量 $X_3$<br>工业用水比例 $X_4$     |
|                 | 生活生态用水效率因子 $Y_3$ | 水资源可持续利用指标 $X_8$<br>人均 COD 排放量 $X_9$ |

四、省域水资源利用效率差异评价

1. 水资源利用效率评价指标模型确定

突变级数法是一种对评价目标进行多层次分解,然后将突变理论与模糊数学联系起来产生突变模糊隶属函数,再利用归一公式进行综合量化运算,最终归一为一个参数,从而达到对评价目标进行排序分析的一种综合评价方法。运用突变级数法之前需要确定各层指标所属突变模型。突变模型有 7 种,本文只涉及其中常见的两种:尖点突变和燕尾突变。若一个指标可分解为两个子指标,可视为尖点突变;如果一个指标能分解为 3 个子指标,可视为燕尾突变,根据指标体系结构即可确定突变模型并运用表 4 所列归一化公式逐层计算级数。突变级数法建模时需要满足“重要指标排在前面、次要指标排在后面”<sup>[30]</sup>的要求。表 3 已经按照因子分析中 3 个因子的方差贡献率及各个指标因子载荷大小排序。农业用水效率因子、工业用水效率因子和生活生态用水因子都包含两个子指标,构成尖点突变模型;省域水资源利用效率指标分解为农业用水效率因子、

工业用水效率因子和生活生态用水效率因子,因此构成燕尾突变模型。

表4 本文涉及突变模型归一公式

| 突变模型 | 势函数                             | 归一公式                                                   |
|------|---------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 尖点突变 | $V(x) = x^4 + ax^2 + bx$        | $x_a = \sqrt{a}, x_b = \sqrt[3]{b}$                    |
| 燕尾突变 | $V(x) = x^5 + ax^3 + bx^2 + cx$ | $x_a = \sqrt{a}, x_b = \sqrt[3]{b}, x_c = \sqrt[4]{c}$ |

上表中突变模型的名称得名于各模型分歧集的形状,在各势函数中, $V(x)$ 表示一个系统的一个状态变量 $x$ 的势函数; $V(x,y)$ 表示两个状态变量的势函数; $x,y$ 为状态变量;状态变量的系数 $a,b,c,d$ 表示该状态变量的控制变量。关于突变级数法的详细介绍可以参阅文献[30]。

2.数据无量纲化处理

不同评价指标往往具备不同的量纲和量纲单位。为了消除由此产生的不可通度性,在此运用极差变换法,对最底层指标数据进行无量纲化处理。具体操作如下:

对于值越大越好的正指标,如单方水粮食产量,令

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min(j)}}{x_{\max(j)} - x_{\min(j)}} \quad (1)$$

对于值越小越好的负指标,如农田灌溉定额,令

$$y_{ij} = \frac{x_{\max(j)} - x_{ij}}{x_{\max(j)} - x_{\min(j)}} \quad (2)$$

式中: $x_{ij}$ 表示 $j$ 省域的 $i$ 指标值; $y_{ij}$ 表示 $j$ 省域 $i$ 指标标准化后的值; $i=1,2,\dots,m$ ( $m$ 为指标个数); $j=1,2,\dots,31$ 。 $x_{\min(j)}$ 表示最小值, $x_{\max(j)}$ 表示最大值。

3.省域水资源利用效率差异分析

(1)各省域水资源利用效率差异分析

无量纲化处理以后,三级指标原始数据介于0—1之间,将各层处理后的指标值代入相应模型归一公式,可逐层计算出2008—2012年各省域水资源利用效率值,称为水资源利用效率指数,计算结果见表5,并按照2008—2012年5年间的水资源利用效率指数均值进行了排序(限于篇幅,表5只罗列了前5名和倒数前5名)。

突变级数法的归一公式特点导致计算结果一般较高,且同层指标级数值之间的差距一般很小,这也是指数保留3位小数的原因。总体上来看,我国2008—2012年5年间各省域水资源利用效率呈现如下时空演进特点:

首先,从时间上来看,在2008—2012年间我国31个省域中除了甘肃、云南和西藏3省域外,其他28个省份水资源利用效率基本呈现逐渐上升趋势。

2008—2012年5年间我国31个省份水资源利用效率指数平均值分别为0.840、0.817、0.865、0.867和0.868,也印证了这一发展规律。各因子效率水平在时间上的变化规律将在下一节详细分析。

表5 2008—2012年各地区水资源利用效率指数

| 名次  | 平均值   | 地区  | 31省域水资源利用效率指数 |       |       |       |       |
|-----|-------|-----|---------------|-------|-------|-------|-------|
|     |       |     | 2008年         | 2009年 | 2010年 | 2011年 | 2012年 |
| 1   | 0.931 | 重庆  | 0.941         | 0.903 | 0.934 | 0.937 | 0.937 |
| 2   | 0.911 | 北京  | 0.888         | 0.914 | 0.915 | 0.920 | 0.918 |
| 3   | 0.902 | 山西  | 0.903         | 0.875 | 0.904 | 0.911 | 0.915 |
| 4   | 0.901 | 上海  | 0.900         | 0.891 | 0.896 | 0.910 | 0.909 |
| 5   | 0.900 | 江苏  | 0.902         | 0.871 | 0.908 | 0.908 | 0.910 |
| ... | ...   | ... | ...           | ...   | ...   | ...   | ...   |
| 27  | 0.780 | 宁夏  | 0.750         | 0.664 | 0.760 | 0.862 | 0.861 |
| 28  | 0.778 | 西藏  | 0.864         | 0.834 | 0.789 | 0.593 | 0.809 |
| 29  | 0.740 | 四川  | 0.625         | 0.707 | 0.795 | 0.779 | 0.796 |
| 30  | 0.726 | 黑龙江 | 0.662         | 0.662 | 0.759 | 0.787 | 0.759 |
| 31  | 0.650 | 新疆  | 0.456         | 0.401 | 0.786 | 0.801 | 0.805 |
| 平均值 |       |     | 0.840         | 0.817 | 0.865 | 0.867 | 0.868 |

其次,依据突变级数法计算结果,采用Ward聚类法对我国2008—2012年5年间31个省域水资源利用效率进行聚类分析,得到3个经验等级,各等级对应省域见表6。

表6 基于谱系聚类图的各省域经验等级

| 经验等级 | 地区                                                           |
|------|--------------------------------------------------------------|
| 第一等级 | 重庆、北京、山西、上海、江苏、天津                                            |
| 第二等级 | 广东、云南、山东、安徽、湖北、河北、湖南、河南、浙江、江西、天津、福建、甘肃、青海、陕西、内蒙古、广西、海南、辽宁、贵州 |
| 第三等级 | 宁夏、西藏、四川、黑龙江、新疆                                              |

重庆、北京、山西、江苏、上海、天津6省域水资源利用效率指数均值达到0.9以上,各年水资源利用效率指数除了个别年份低于0.9,绝大部分年份指数值都高于0.9。位居榜首的重庆市水资源利用效率指数达到0.931。重庆市辖区内主要河流有长江、嘉陵江、乌江、涪江、綦江、大宁河等,水资源总量丰富,1999—2011年,重庆市用水效率呈现逐年提高的趋势<sup>[31]</sup>,这与近年来重庆市按照国家、市区域发展总体战略,针对流域和区域实际,合理布局,突出重点,加强水资源及其利用的薄弱环节建设,提高重庆水资源支撑与保障能力,逐步形成与经济社会发展相适应的水资源利用和发展格局是密不可分的;宁夏、西藏、四川、黑龙江、新疆5省域用水效率处于最低层,水资源利用效率指数均值在0.80以下;广东、云南、山东等其他20个省域水资源利用效率指数处于0.80~0.90之间。很明显,31个省域水资源利用效率呈

现非均衡发展的三层异化结果,并遵循两极小、中间大的“橄榄式”分布规律。

从地理格局的角度来看,我国东、中、西部省域水资源利用效率区域差异比较明显,基本呈现东部最高,中部次之,西部最低的趋势,这一研究结果也得到许多学者的验证<sup>[1,13-16,21]</sup>。北京、上海、江苏、天津等东部省域经济发达但是水资源使用压力较大,较高的单方水粮食产量、万元工业增加值用水量、工业用水比例以及较低的农田灌溉定额提升了水资源利用效率,但是水资源可持续利用指标较低,水资源可持续利用性较差,人均 COD 排放量相对较高,不利于生态环境用水效率的提高。西部如西藏、四川和新疆等省域,经济欠发达或者受自然条件限制较大<sup>[1]</sup>,受资源与环境双重约束,单方水粮食产量、万元工业增加值用水量和工业用水比例基本低于全国各省域平均水平。农田灌溉定额却高于全国平均定额;人均 COD 排放量除了西藏远远低于全国平均水平,其他 4 省人均 COD 排放量均高于各省域平均值;而西藏水资源可持续利用指标值位居全国之首,四川和新疆两省域该指标值却低于全国均值。中部省份各指标值在均值上下浮动,水资源利用效率指数也处于中等水平。

(2) 水资源利用效率影响因素分析

采用突变级数法不仅可以综合评价各省域水资源利用效率,而且可以通过各因子指数值探索各影响因子的效率水平。下文以 2012 年数据为例分析各影响因子的效率水平,其他年度同理分析。表 7 列出了 2012 年各省域水资源利用效率指数及各因子指数值。表 8 对 2008—2012 年度农业用水效率指数、工业用水效率指数、生活生态用水效率指数和水资源利用效率指数进行了简要描述。

从表 8 可以看出,2008—2012 年 5 年间我国各省域水资源利用效率指数及各因子效率指数值基本呈现逐渐上升趋势。从各因子效率指数均值来看,我国 31 个省域农业用水效率指数均值相对较高,除了 2009 年均值为 0.567,其他年份均值都高于 0.7。这可能是因为农业是我国用水大户,据 2012 年全国水利发展统计,截至 2012 年底,农业用水占全国总用水量 63.6%。随着我国经济快速发展和农业现代化的不断推进,农业用水效率得以改善<sup>[32]</sup>;工业用水效率稍逊,各年均值略低于农业用水效率指数。生活生态用水效率指数均值最低,基本在 0.4~0.5 之间。近几十年来以粮为纲促使毁林垦荒、填海种植、围湖造田、毁牧开垦及废水、废气、废渣未经有效治理大肆排放等行为严重影响生态环境,导致我国生态环境用水效率低下。

表 7 2012 年各省域水资源利用效率指数

| 地区  | 农业用水效率指数 | 工业用水效率指数 | 生活生态用水效率指数 | 水资源利用效率指数 |
|-----|----------|----------|------------|-----------|
| 重庆  | 0.982    | 0.887    | 0.547      | 0.937     |
| 北京  | 0.926    | 0.921    | 0.481      | 0.918     |
| 山西  | 0.910    | 0.823    | 0.534      | 0.915     |
| 江苏  | 0.875    | 0.772    | 0.584      | 0.910     |
| 上海  | 0.874    | 0.808    | 0.555      | 0.909     |
| 天津  | 0.726    | 0.845    | 0.514      | 0.905     |
| 辽宁  | 0.847    | 0.49     | 0.336      | 0.904     |
| 安徽  | 0.799    | 0.796    | 0.528      | 0.901     |
| 河北  | 0.831    | 0.771    | 0.499      | 0.899     |
| 广东  | 0.867    | 0.79     | 0.536      | 0.893     |
| 山东  | 0.854    | 0.776    | 0.489      | 0.891     |
| 湖北  | 0.793    | 0.817    | 0.507      | 0.890     |
| 湖南  | 0.785    | 0.793    | 0.524      | 0.890     |
| 江西  | 0.759    | 0.773    | 0.558      | 0.887     |
| 河南  | 0.762    | 0.782    | 0.557      | 0.886     |
| 吉林  | 0.951    | 0.802    | 0.425      | 0.884     |
| 浙江  | 0.704    | 0.861    | 0.553      | 0.884     |
| 陕西  | 0.637    | 0.836    | 0.527      | 0.879     |
| 福建  | 0.695    | 0.847    | 0.544      | 0.877     |
| 内蒙古 | 0.857    | 0.76     | 0.322      | 0.871     |
| 甘肃  | 0.782    | 0.718    | 0.528      | 0.864     |
| 广西  | 0.674    | 0.731    | 0.553      | 0.864     |
| 宁夏  | 0.64     | 0.675    | 0.294      | 0.861     |
| 贵州  | 0.402    | 0.84     | 0.517      | 0.855     |
| 青海  | 0.685    | 0.727    | 0.616      | 0.823     |
| 西藏  | 0.652    | 0.197    | 1          | 0.809     |
| 新疆  | 0.453    | 0.527    | 0.404      | 0.805     |
| 四川  | 0.239    | 0.905    | 0.545      | 0.796     |
| 海南  | 0.711    | 0.675    | 0.51       | 0.772     |
| 云南  | 0.833    | 0.757    | 0.579      | 0.761     |
| 黑龙江 | 0.828    | 0.696    | 0.056      | 0.759     |

注:限于篇幅,2008—2011 年度农业用水效率指数、工业用水效率指数和生活生态用水效率指数并未列出。

表 8 描述统计表

| 项目名称        | 年度   | 极小值   | 极大值   | 均值    | 全距    |
|-------------|------|-------|-------|-------|-------|
| 农业用水效率指数    | 2008 | 0.124 | 0.963 | 0.737 | 0.839 |
|             | 2009 | 0.116 | 0.949 | 0.567 | 0.833 |
|             | 2010 | 0.276 | 0.986 | 0.749 | 0.710 |
|             | 2011 | 0.110 | 0.999 | 0.754 | 0.889 |
|             | 2012 | 0.239 | 0.982 | 0.753 | 0.743 |
| 工业用水效率指数    | 2008 | 0.142 | 1.000 | 0.681 | 0.858 |
|             | 2009 | 0.169 | 0.904 | 0.530 | 0.735 |
|             | 2010 | 0.163 | 0.900 | 0.737 | 0.737 |
|             | 2011 | 0.163 | 0.879 | 0.733 | 0.716 |
|             | 2012 | 0.197 | 0.905 | 0.752 | 0.708 |
| 生活生态用水效率指数  | 2008 | 0     | 1.000 | 0.493 | 1.000 |
|             | 2009 | 0     | 1.000 | 0.490 | 1.000 |
|             | 2010 | 0.084 | 0.941 | 0.498 | 0.857 |
|             | 2011 | 0.056 | 1.000 | 0.497 | 0.944 |
|             | 2012 | 0.056 | 1.000 | 0.508 | 0.944 |
| 水资源利用效率指数   | 2008 | 0.291 | 0.994 | 0.828 | 0.702 |
|             | 2009 | 0.401 | 0.910 | 0.807 | 0.508 |
|             | 2010 | 0.759 | 0.934 | 0.865 | 0.175 |
|             | 2011 | 0.593 | 0.937 | 0.859 | 0.344 |
|             | 2012 | 0.759 | 0.937 | 0.867 | 0.178 |
| 有效的 N(列表状态) |      | 31    |       |       |       |

高的水资源利用效率指数并不代表高的用水效率,但水资源利用效率指数偏低一定意味着用水效率很低。因本文的研究目的是对各省域水资源利用效率进行差异比较分析,对于突变级数法来说,最终的综合评价价值——水资源利用效率指数的大小并没有绝对意义上的“优”、“劣”含义<sup>[33]</sup>,不影响排序结果,在此没有进一步对水资源利用效率指数进行调整。

## 五、结论、建议与展望

### 1. 结论

将因子分析法、聚类分析法与突变级数法相结合对我国 31 个省域水资源利用效率进行评价,可以得出如下结论:

首先,通过文献研读备选一系列水资源利用效率评价指标,再运用因子分析法对备选指标进行筛选,构建我国省域水资源利用评价指标体系包括 3 个因子 6 个指标。3 个因子也即是二级指标分别是农业用水效率因子、工业用水效率因子和生活生态用水效率因子;6 个指标也即是三级指标分别是农田灌溉定额、单方水粮食产量、万元工业增加值用水量、工业用水比例、水资源可持续利用指标和人均 COD 排放量。

其次,采用突变级数法对进行无量纲化处理后的各指标数据进行逐层演算,得到我国 31 个省域 2008—2012 年 5 年间水资源利用效率指数。水资源利用效率指数是一个正指标,突变级数法的归一公式特点导致其值偏大,但并不影响评价结果。5 个年度我国 31 省域水资源利用效率指数均值分别是 0.840、0.817、0.865、0.867 和 0.868。时间上各省域水资源利用效率基本呈现比较明显的上升趋势,聚类分析结果显示,空间上我国东部省域,如北京、上海、江苏、天津等水资源综合用水效率最高;安徽、湖北、湖南等中部省域水资源综合用水效率次之;宁夏、西藏、四川、新疆等省域水资源综合用水效率最低。这一研究结论与众多学者研究结果基本一致。

最后,以 2012 年各省域水资源利用效率评价指标数据为例,较详细地分析了各因子对水资源利用效率的影响程度。总体上我国各省域农业用水效率最优、工业用水效率稍逊、生活生态用水效率堪忧。

### 2. 政策建议

我国各省域水资源利用效率存在的客观差异,促使各省域在分解最严格水资源管理制度目标时,要制定有针对性的区域节水用水目标和政策措施,不能一刀切,而且必须兼顾水资源的利用价值及可持续性。东部省域经济相对发达,节水技术水平较高,应加强节水设施基础建设,推广工业用水重复利

用技术,以此促进经济发展,但是同时应该注意维护水资源环境,保障水资源良性循环,提高水资源可持续利用性;对于水资源利用效率处于中等水平但是占比很高的中部省份来说,应高度重视少数特殊省份水资源管理问题。如河南省的水资源总量和人均用水量远远低于全国平均水平,是典型的贫水大省;黑龙江省水资源相对丰富,但是污染严重,水资源可持续利用性较差。针对中部省份是全国农业与重工业的积聚地等特点,应将水资源管理重点放在农业节水和防治工业污染等项目上;水资源利用效率最低的西部省域,应全面落实国家西部大开发战略,充分发挥自身优势,加快发展民生水利,着力提高水资源合理配置和高效利用能力,加强低耗水产业发展,减少高耗水项目建设,积极优化产业结构,逐步缩小与中东部省域的差距。针对我国各省域农业用水效率最优、工业用水效率稍逊、生活生态用水效率堪忧问题,概括地说应当继续关注农业用水效率的提高问题,加强工业用水重复利用技术及可持续用水效率的提高,高度重视生活生态用水管理工作。

### 3. 研究展望

运用突变级数法演算各省域水资源利用效率指数及各因子效率指数,不仅可以避免数据包络法、遗传投影寻踪法等存在主观赋权的缺陷,而且计算的各因子效率指数值有助于较为系统地分析导致综合评价结果的本质原因。因归一公式本身特点使各层指数值偏大,未来的研究如果涉及各省域具有绝对意义的实际情况,应该运用数学、统计知识或计算机软件进行转换使之更加接近实际值。本文仅提供一种思路,尝试运用一种新的方法编制水资源利用效率指数和各因子效率指数,以客观评价各省域水资源利用效率水平,探寻水资源利用效率的影响因素。未来期间研究亦可同理进行。

## 参考文献:

- [1] 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):776-784.
- [2] 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.
- [3] 赵良仕.中国省际水资源利用效率测度、收敛机制与空间溢出效应研究[D].沈阳:辽宁师范大学,2014:12.
- [4] 伍伟星,张可.广西农村水环境污染模式及其治理对策[J].水利经济,2015,33(2):37-42.
- [5] FULLER B W. Surprising cooperation despite apparently irreconcilable differences: agricultural water use efficiency and called[J]. Environmental Science & Policy, 2009, 12

- (6):663-673.
- [ 6 ] CHRISTIAN-SMITH J, COOLEY H, GLEICK P H. Potential water savings associated with agricultural water efficiency improvements: a case study of California [ J ]. Water Policy, 2012, 14 ( 2 ):194-213.
- [ 7 ] BINDRA S P, MUNTASSER M, EI KHWELDI M, et al. Water use efficiency for industrial development in Libya [ J ]. European Conference on Desalination and the Environment, MALTA, 2003:167-178.
- [ 8 ] 姜蓓蕾,耿雷华,卞锦宇,等.中国工业用水效率水平驱动因素分析及区划研究 [ J ].资源科学,2014,36 ( 11 ): 2231-2239.
- [ 9 ] TONE K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis [ J ]. European Journal of Operational Research, 2001, 130 ( 3 ): 498-509.
- [ 10 ] TONE K. Dealing with undesirable outputs in DEA: a slacks-based measure ( SBM ) approach. GRIPS research report series [ R ]. National Graduate Institute for Policy Studies,2003:44-45.
- [ 11 ] 范丹,王维国.中国区域全要素能源效率及节能减排潜力分析 [ J ].数学实践与认识,2013, 43 ( 7 ):12-21.
- [ 12 ] 播丹,应瑞瑶.中国农业生态效率评价方法与实证 [ J ].生态学报,2013, 33 ( 12 ): 3837-3888.
- [ 13 ] 刘丽萍,唐德善.脆弱性视角下水资源社会化管理多维阐述 [ J ].河海大学学报:哲学社会科学版,2014,16 ( 2 ):55-61.
- [ 14 ] 孙才志,谢巍,姜楠,等.我国水资源利用相对效率的时空分异与影响因素 [ J ].经济地理,2010,30 ( 11 ): 1878-1884.
- [ 15 ] 孙爱军,方先明.中国省际水资源利用效率的空间分布格局及决定因素 [ J ].中国人口·资源与环境,2010,20 ( 5 ):139-145.
- [ 16 ] 王惠敏,傅涛.不同城市水环境污染与经济增长关系的差异性:基于苏州、无锡、常州的实证分析 [ J ].武汉理工大学学报,社会科学版,2015,28 ( 2 ):215-219.
- [ 17 ] JIN -LI HU, SHIH-CHUAN Wang , FANG-YU Yeh . Total-factor water efficiency of regions in China [ J ]. Resources Policy,2006,31 ( 4 ):217-230.
- [ 18 ] 郑海霞,封志明,张陆彪,等.甘肃县域农业资源利用效率综合评价:基于遗传投影寻踪方法 [ J ].经济地理,2006,26 ( 4 ):632-635.
- [ 19 ] 马海良,黄德春,张继国,等.中国近年来水资源利用效率的省际差异:技术进步还是技术效率 [ J ].资源科学,2012,34 ( 5 ):794-801.
- [ 20 ] 买亚宗,孙福丽,黄泉泉,等.中国水资源利用效率评估及区域差异研究 [ J ].环境保护科学,2014,40 ( 5 ):1-7.
- [ 21 ] 王学渊,赵连阁.中国农业用水效率及影响因素:基于1997—2006年省区面板数据的SFA分析 [ J ].农业经济问题,2008,29 ( 3 ):10-18.
- [ 22 ] 陈杰,朱丽倩,吴向炜.改进TOPSIS在区域水资源可持续利用综合评价中的应用研究 [ J ].武汉大学学报:工学版,2008 ( S1 ):303-306.
- [ 23 ] 杨国华,赵国浩,郭淑芬,等.改进密切值法及其在水资源可持续利用评价中的应用 [ J ].数学的实践与认识,2009,39 ( 23 ):43-47.
- [ 24 ] 邵东国,陈会,李浩鑫.基于改进突变理论评价法的农业用水效率评价 [ J ].人民长江,2012,43 ( 20 ):5-7.
- [ 25 ] WU Q, XIE K F, CHEN Z Y. A catastrophe model on the evaluation and classification of mine disaster rescue measures [ J ]. Systems Engineering Procedia, 2012 ( 4 ): 484-489.
- [ 26 ] ZHANG L X, LIU X, LI D L, et al. Evaluation of the rural informatization level in four Chinese regions: a methodology based on catastrophe theory [ J ].Mathematical and Computer Modeling, 2013 ( 58 ):868-876.
- [ 27 ] 刘志,罗朝晖,陈丹,等.基于CNKI数据库的水资源利用效率评价研究进展 [ J ].三峡大学学报:自然科学版,2014,36 ( 3 ):32-36.
- [ 28 ] 宋鹏,梁吉业,曹付元.基于邻域粗糙集的企业财务危机预警指标选择 [ J ].经济管理,2009 ( 8 ):130-135.
- [ 29 ] 李小琳,葛金鑫,钟余.财务预警的指标筛选问题研究 [ J ].统计与决策,2013 ( 18 ):145-147.
- [ 30 ] 桑博德. 突变理论入门 [ M ].凌复华,译. 上海:上海科学技术文献出版社,1988:123.
- [ 31 ] 刘亚丽,陈治刚.重庆市水资源规划利用战略研究 [ C ]//重庆:第二届山地城镇可持续发展专家论坛,2013:402-412.
- [ 32 ] 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.
- [ 33 ] 施玉群,刘亚莲,何金平.关于突变评价法几个问题的进一步研究 [ J ].武汉大学学报:工学版,2003,36 ( 4 ): 132-136.

