

# 江苏省水资源利用相对效率时间分异与影响因素

王倩, 魏巍, 刘洁, 赵言文

(南京农业大学 资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095)

**摘要:** [目的] 全面客观地研究 2005—2014 年江苏省用水效率的时间分异性, 为江苏省更好地开展水资源可持续利用工作, 提高水资源利用效率提供有针对性地科学理论依据。[方法] 选取江苏省 2005—2014 年的相关指标数据, 运用传统数据包络分析模型及其改进模型, 计算得到江苏省的用水技术冗余率、规模冗余率及水资源相对利用效率; 并结合典型相关分析模型, 探究影响水资源利用相对效率相关因素。[结果] 规模冗余率与人均地区生产总值符合环境库兹涅茨曲线。技术冗余率与人均地区生产总值呈负相关。运用典型相关分析方法研究发现影响两种冗余率的因素也并不完全相同。[结论] 近 10 a 江苏省水资源利用效率呈现平稳增长, 其中影响技术冗余率的因素主要是万元地区生产总值用水量 and 第三产业比重; 而影响规模冗余率的因素则为水资源开发利用率和万元地区生产总值用水量。

**关键词:** 水资源利用相对效率; 数据包络分析; 典型相关分析; 江苏省

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2017)01-0308-07

**中图分类号:** TV213.4

**文献参数:** 王倩, 魏巍, 刘洁, 等. 江苏省水资源利用相对效率时间分异与影响因素[J]. 水土保持通报, 2017, 37(1): 308-314. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2017. 00. 054; Wang Qian, Wei Wei, Liu Jie, et al. Temporal change of relative efficiency of water resource use and influencing factors in Jiangsu Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(1): 308-314. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2017. 01. 054

## Temporal Change of Relative Efficiency of Water Resource Use and Influencing Factors in Jiangsu Province

WANG Qian, WEI Wei, LIU Jie, ZHAO Yanwen

(College of Resources and Environmental Science,

Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China)

**Abstract:** [Objective] To increase the water resource use efficiency in a sustainable way and Provide theoretical basis for specific management in Jiangsu Province, we studied the temporal changes in relative efficiency of water resource use in Jiangsu Province from 2005 to 2014. [Methods] We collected data on water resources from 2005 to 2014 in Jiangsu Province, and calculated the technical redundancy rate, scale redundancy rate and relative efficiency of water resource use by traditional data envelopment analysis( DEA) model and its modified version; and detected significant influencing factors of the relative efficiency of water resources use using canonical correlation analysis(CCA) model. [Results] The relationship between scale redundancy rate and per capita GDP accorded with environment Kuznets curve(EKC), and technical redundancy rate was negatively correlated with per capita gross domestic product. The factors influencing technical redundancy rate and scale redundancy rate were not exactly the same. [Conclusion] The relative efficiency of water resource use increased steadily with the time, the main factors affecting the technical redundancy rate were water consumption per unit output value of ten thousand Yuan and proportion of the tertiary industry; but the main factors influencing scale redundancy rate were exploitation and utilization ratio of water

收稿日期: 2016-05-14

修回日期: 2016-06-16

资助项目: 国家自然科学基金重点项目“农村发展中生态环境管理研究”(70833001)

第一作者: 王倩(1991—), 女(汉族), 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持、环境规划与环境影响评价。E-mail: KristenWang\_1991@163.com。

通讯作者: 赵言文(1965—), 男(汉族), 江苏省徐州市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事水土保持、环境生态学、环境影响评研。E-mail: ywzhao@njau.edu.cn。

resources and water consumption per unit output value of ten thousand Yuan.

**Keywords:** relative efficiency of water resources use; data envelopment analysis; canonical correlation analysis; Jiangsu Province

水资源作为支撑国民经济可持续发展的重要自然资源,保障了人民生活水平质量和社会发展前进。《中国可持续发展水资源战略研究》指出:“水资源如果要走可持续利用的道路,其核心在于如何提高水资源的利用效率,建设节水型社会”<sup>[1]</sup>。随着江苏省工业化、城镇化发展速度逐渐加快,以及对水资源的高强度需求与本地水资源时空分布不合理之间的矛盾愈发加剧,如何有效提高水资源利用效率,成为目前亟须解决的问题。

国内相关研究中,大多数学者根据中国现有国情,在农业水资源利用效率方面做出了大量研究;也有不少学者把关注点放在了省级或国家层面的水资源利用效率问题上,高媛媛等<sup>[2]</sup>通过遗传投影寻踪法对中国 31 个省级行政区水资源利用效率进行了评价;廖虎昌等<sup>[3]</sup>运用 DEA 和 Malmquist 指数法对西部 12 个省的水资源利用效率进行了研究;孙才志等<sup>[4]</sup>使用数据包络分析法对辽宁省水资源利用效率展开研究。在江苏省的水资源研究中,更多是通过不同研究方法对江苏省水环境承载能力进行评价,或者是分析江苏省水资源生态足迹,南楠<sup>[5]</sup>将灰色关联理论与 SD 模型相结合评价了江苏省水环境承载力,赵晨等<sup>[6]</sup>通过传统 DEA 模型进行了江苏省水足迹研究;但是通过一种改进的 DEA 模型并且结合典型相关分析法对江苏省水资源利用相对效率及其影响因素研究几乎没有。因此,本文拟通过将传统 DEA 模型和改进 DEA 模型相结合,全面客观地研究 2005—2014 年江苏省用水效率的时间分异性,深入挖掘用水效率与本地经济发展之间的关系;并通过典型相关分析方法探究影响其用水效率的相关因素,为该地区水资源更加有效地利用,日后更好地建设节水型社会,如何制定提高水资源效率等相关政策提供科学依据,使其具备更重要的意义。

## 1 研究区概况

江苏省处于中国东部沿海、长江及淮河下游地区,介于东经  $116^{\circ}18'$ — $121^{\circ}57'$ ,北纬  $34^{\circ}45'$ — $35^{\circ}20'$ 。地势平坦,平原、河流湖泊居多,低山丘陵极少。江苏省位于东亚季风气候区,四季分明,冬冷夏热。全省降雨时空分布不均衡,年降雨量平均值在  $704\sim 1\,250$  mm。江苏省地跨 3 个生物气候带,典型植被类型依次为落叶阔叶林、落叶常绿阔叶混交林和

常绿阔叶林。2014 年江苏省水资源公报数据显示:全省总用水量  $4.81\times 10^{10}$  m<sup>3</sup>,其中生产用水  $4.42\times 10^{10}$  m<sup>3</sup>,居民生活用水  $3.58\times 10^9$  m<sup>3</sup>,分别占总用水量的 92.0%和 7.4%;全省总用水量较上一年减少了大约 19.7%。按区域分,苏南用水量  $1.83\times 10^{10}$  m<sup>3</sup>,苏中用水量  $1.07\times 10^{10}$  m<sup>3</sup>,苏北用水量  $1.91\times 10^{10}$  m<sup>3</sup>,分别占总用水量的 38%,22.3%和 39.7%,较去年共减少  $2.48\times 10^9$  m<sup>3</sup>。

江苏省水资源特点及其存在问题主要表现在以下几个方面:

(1) 降水量丰富,但是人均水资源占有量较低。全省多年平均降水在 994.5 mm,相对丰富;但人均占有量只有 438 m<sup>3</sup>/人,为全国人均占有量的 19%。

(2) 空间分布差异大。雨量主要区别在地区分布上,由北向南逐渐递增;其次随年际变化与年内变化波动较大,就一年时长看,苏北降雨相对苏南地区更集中。

(3) 过境水量丰沛,但调蓄水量能力较差。全省多年平均过境水量保持在  $9.49\times 10^{11}$  m<sup>3</sup>,是全省水资源量的 30 倍,但多年平均引江水量只有  $1.22\times 10^{10}$  m<sup>3</sup>,只占到全省水资源量的 0.38。全省过境水量虽大,但淮河、沂河、沭河、泗河丰枯差异很大,并且丰枯时间常与苏北地区重叠,导致过境水资源难以很好地利用。

(4) 工业用水重复利用率低,水资源浪费情况存在普遍。江苏省内几个主要的工业城市,由于产业结构不合理及节水技术水平低下,工业用水的重复利用率只有 40%,而国外发达国家一般在 75%~85%。据不确定统计,全省每年在工业方面浪费的水资源可达  $1.70\times 10^8$  m<sup>3</sup>。

水资源短缺已成为社会经济发展过程中重要的制约因素,如何提高水资源利用效率、水资源如何科学高效地开发利用,已成为研究的热点问题。因此,全面客观地对江苏省水资源利用效率进行研究也迫在眉睫。

## 2 研究方法

近几年来,DEA 模型在针对水的研究中虽然有所涉及,但关于水资源利用效率的研究却很少。本文采用改进的 DEA 模型针对江苏省水资源利用相对效率展开研究。其改进模型具有如下性质,首先最优

决策单元得出的效率值为最大,最劣决策单元的效率值为最小;其次约束条件不仅使得公共权重唯一,而且还令权重满足决策者的偏好。

2.2.1 改进 DEA 模型 DEA 评价模型对于具有多个输入和输出决策单元的评价研究具有很大的优势。传统的 DEA 评价模型能够对各决策单元进行纵向和横向比较的有效评价,并区分有效和非有效决策单元(decision making unit, DUM);但实际应用中仍存在一些缺陷:例如不能对各 DUM 进行有效排序;传统模型的诸多假设导致应用过程常常受限,可能出现有效性评价的“公信力”不足,或者权重集中在较小范围,导致指标数量级存在很大差异等问题。

由于传统模型对有效 DUM 无法进一步区分,在前人研究的基础上,本文结合研究问题的需要,采用一种改进模型。在已有 DUM 的基础上,引入两个虚拟 DUM,即最优 DUM 与最劣 DUM,分别记为  $DUM_{n+1}, DUM_{n+2}$ ;  $DUM_{n+1}$  的输入指标值取  $n$  个实际 DUM 相应标值的最小值,输出指标值取  $n$  个实际 DUM 相应标值的最大值;  $DUM_{n+2}$  的输入指标值和输出指标值与  $DUM_{n+1}$  相反。计算公式如下:

$$\min \sum_{r=1}^s u_r y'_{n+2,r}$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} \sum_{i=1}^m v_i x'_{n+2,i} = 1 \\ \sum_{r=1}^s u_r y'_{n+1,r} - \sum_{i=1}^m v_i x'_{n+1,i} = 0 \\ \sum_{r=1}^s u_r y'_{j,r} - \sum_{i=1}^m v_i x'_{j,i} \leq 0 \quad (j \neq n+1) \\ (C_m - \lambda_m E_m) u \geq 0 \\ (B_s - \lambda_s E_s) v \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中:每一个决策单元(DUM)有  $m$  个输入指标,有  $s$  个输出指标;  $x_{ij}$  ——第  $j$  个决策单元对第  $i$  种类型输入的投入量;  $y_{ij}$  ——第  $j$  个决策单元对第  $r$  种类型输出的产出量;  $x'_{ij}$  ——标准化后的输入值,  $y'_{ij}$  ——标准化后的输出值;  $v_i$  ——对第  $i$  种类型输入的的一种度量(权);  $u_r$  ——对第  $r$  种类型输出的一种度量(权);  $\lambda_m, \lambda_s$  ——判断矩阵  $C_m, B_s$  的最大特征值;  $u_r \geq 0, r=1, 2, \dots, s; v_i \geq 0, i=1, 2, \dots, m$ 。

$$\theta_k^* = \sum_{i=1}^s u_r^* y'_{kr} / \sum_{i=1}^m v_i^* x'_{ki} \quad (2)$$

求解过程首先运用传统  $C^2R$  模型解得  $S_i^-$ , 通过

式(1)得到公共权重  $u_r^* = (r=1, 2, \dots, s), v_i^* = (i=1, 2, \dots, m)$ , 再由式(2)求出与每个 DUM 对应的相对效率值  $\theta$ , 根据式(3)求出规模冗余率  $\alpha_i$  和技术冗余率  $\beta_i$ , 进而得到水资源利用相对效率  $WURE$ 。

$$\alpha_i = (S_{i生活}^- + S_{i生产}^-) / (x_{i生活} + x_{i生产})$$

$$\beta_i = 1 - \theta$$

$$WURE_i = 1 - \alpha_i - \beta_i \quad (3)$$

由于引入了虚拟的最优和最劣决策单元,改进模型求出的相对效率值都很小,故处理数据时,把求出的实际 DUM 相对效率最高值  $\theta$  设为“1”,剩余 DUM 相对效率值与最高值对比得到。

2.2.2 典型相关分析模型 典型相关分析(canonical correlation analysis, 简称 CCA)即多元统计分析法,其研究过程不要求两组变量的个数、含义和内容完全相同。CCA 不仅展示了变量间的内在联系,更深入、透彻地表达综合变量所代表的线性组合间的相关性。综合变量之间的强弱关联程度不同,形成的典型相关对也不同,所以实际应用中,常常只需重点关注相关程度强的典型相关变量。

典型相关分析模型方程如下:

$$\begin{cases} \sum_{12} b - \lambda \sum_{11} a = 0 \\ \sum_{21} a - \lambda \sum_{22} b = 0 \end{cases} \quad (4)$$

求得  $a_{jk}$  和  $b_{jk}$ , 并得到各典型变量  $u_k$  和  $v_k$ 。

检验统计量:

$$Q_j = - \left| n - j - \frac{1}{2}(p + q + 1) \right| \ln \left| \prod_{i=j}^p (1 - \lambda)^2 \right| \quad (5)$$

服从  $X^2$  分布,自由度为

$$f = (p - j + 1)(q - j + 1) \quad [7]$$

### 2.3 指标选取及数据来源

2.3.1 指标标准化 各 DUM 输入、输出指标分为正向、负向指标,正向指标为效益型指标,负向指标为成本消耗型指标。通过以下公式分别对输入、输出指标进行标准化:输入指标  $x'_{ij} = x_{\min j} / x_{ij}$  (正向),  $x'_{ij} = x_{ij} / x_{\max j}$  (负向);输出指标  $y'_{ij} = y_{ij} / y_{\max j}$  (正向),  $y'_{ij} = y_{\min j} / y_{ij}$  (负向)。考虑决策者偏好,引入层次分析法,根据输入指标相对输出指标重要性大小构造输入、输出指标的判断矩阵  $C_m, B_s$ 。

2.3.2 指标选取 本文研究由水资源带来的经济效益,但水资源作为自然资源的一种,只有与其他要素结合以后,才能带来产出,因此输出指标为江苏省地区生产总值(GDP)。用水量为社会经济产出过程中不可缺少的要素,因此将其纳入输入指标中,考虑到

生产和生活是 2 个完全不同的产出过程,将用水量细化为生产用水和生活用水。同时劳动力和资本投入也是经济活动中最基本的要素,因此从业人员与固定资产也一并纳入输入指标。由于任何生产活动都不能脱离土地独立存在,土地面积也纳入输入指标中。因此输入指标为生产和生活用水量,从业人员数、固定资产和土地面积。

2.3.3 指标判断矩阵构建 由于输出指标只有一个,所以只构建输入指标的判断矩阵,根据各指标对 GDP 重要性大小构建如下判断矩阵  $C_m$  :

$$C_m = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 & 2 & 4 \\ 1 & 1 & 2 & 2 & 4 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 1 & 2 \\ 1/4 & 1/4 & 1/2 & 1/2 & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

2.3.4 数据来源 本文结合所选指标 2005—2014 年江苏省相关数据进行分析,数据主要来源于《江苏省水资源公报(2005—2014)》《江苏省统计年鉴(2006—2015)》和《中国统计年鉴(2006—2015)》等(详见表 1)。

表 1 江苏省 2005—2014 年输入输出指标

年份	生活用水/ $10^4 m^3$	生产用水/ $10^4 m^3$	从业人员/万人	固定资产投资/ 亿元	土地面积/ $10^4 km^2$	地区生产总值/ 亿元
2005	30.78	484.00	4 510.12	8 739.71	10.26	18 305.66
2006	31.57	505.60	4 564.76	10 071.42	10.26	21 645.08
2007	32.40	509.80	4 618.14	12 268.07	10.26	25 741.15
2008	32.98	513.20	4 648.89	15 060.45	10.26	30 312.61
2009	33.59	512.50	4 674.64	18 949.88	10.26	34 457.30
2010	34.00	515.00	4 754.68	23 184.28	10.26	41 425.48
2011	34.40	518.50	4 758.23	26 314.66	10.26	49 110.27
2012	34.70	514.20	4 759.53	32 087.08	10.26	54 058.22
2013	35.50	460.20	4 759.89	35 982.52	10.26	59 161.75
2014	35.80	442.20	4 760.83	41 552.75	10.72	65 088.32

### 3 结果及分析

#### 3.1 2005—2014 年江苏省水资源利用相对效率变化

地区水资源利用效率的高低,绝大部分由当地生产技术、设备先进程度、工农业高效节水措施实施水平等决定。技术冗余率反映不同时间段内该地区技术水平、管理制度等外在原因导致的投入冗余现象,规模冗余率代表的则是由于当地经济体发展规模或用水结构等自身因素导致的投入剩余现象。

结合图 1 可见,江苏省 2005—2014 年的技术冗余率和规模冗余率均在不断下降,相对地,这 10 a 间的用水相对效率在不断提高;根据图 2 可以看出技术冗余率下降速率大于规模冗余率,说明从 2005—2014 年,在生产用水及居民生活用水方面,用水技术水平、相关水资源使用管理制度、生产工艺和设备、人们的节水意识等都在不断提升;规模冗余率的数值一直小于技术冗余率,代表了江苏省近 10 a 的经济发展、产业结构设置和用水规模一直处于一种良好、健康的发展趋势。另外,趋势线表中反映出 2005—2011 年,技术冗余率和规模冗余率处于一种相对平

缓的下降状态,2011—2013 年出现少许波动,2013—2014 年有大幅下降的趋势,说明这 2 年江苏省用水效率显著提高,由于这两年水资源危机问题已不容忽视,在地区经济建设不断完善的过程中,政府已大幅度加快建立节水型社会的步伐,提高水资源开发利用的技术水平,对水资源相关管理制度增强改革手段,产业结构调整也顺应节水型社会的发展,为使江苏省水资源相对利用效率向高水平不断发展,政府已全面推进水资源的节约和保护工作。

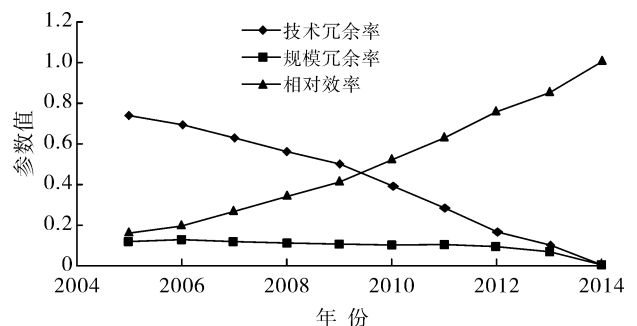


图 1 水资源相对利用效率变化趋势

#### 3.2 水资源利用相对效率与经济的关系

1995 年,美国普林斯顿大学的 Grossman 和

Krueger 等经济学家提出环境库兹涅茨曲线 (environmental Kuznets curve, EKC) 学说, 说明经济发展对环境污染程度的影响, 环境污染在相对较低收入水平时随人均地区生产总值的增加而上升, 达到较高水平时, 随人均地区生产总值增长而下降<sup>[8]</sup>, 两者之间呈倒 U 关系曲线。本文引入 EKC 理论揭示水环境利用效率和人均收入间的关系。

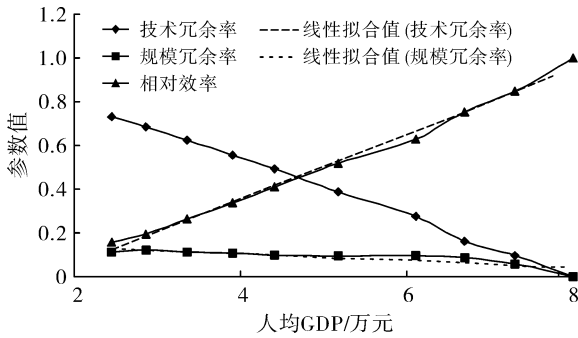


图 2 技术冗余率、规模冗余率和相对效率趋势线

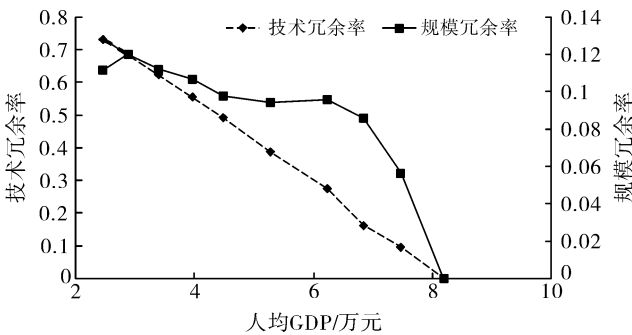


图 3 用水技术冗余率、规模冗余率与经济发展之间的关系

图 3 表明用水规模冗余率和人均地区生产总值之间的关系, 处于倒 U 曲线拐点之后, 最高点在 2006 年, 说明 2006 年处于 EKC 拐点。拐点之前, 2005—2006 年江苏省仍需依靠资源的大量消耗来带动经济发展, 经济增长模式属于粗放型, 用水机构设置、产业结构安排等都处于较差水平; 拐点之后, 2006—2014 年, 随着经济水平整体向上发展过程中, 政府着眼于水资源短缺、利用率低下等问题, 开始通过科学技术水平的提高、管理体制的改革、劳动人员素质的增长, 向一种健康、高科技发展方向不断靠近, 已不再单纯地依靠消耗大量资源获取经济的快速发展, 从而促进了水资源利用效率的有效提高。

图 3 可以看出技术冗余率和人均地区生产总值呈反比关系, 保持较低的技术冗余率说明科学技术的提高依赖于经济的迅速发展, 也证明了经济发展和资源供需之间矛盾的根本解决途径是科技的进步, 管理的发展。资源从富裕到稀缺, 人们对资源在量 (quan-

tity) 和质 (quality) 方面的不断需求, 使得科学技术为满足人类发展而不断改进、更新升级; 而资源自身在此过程中也为能够可持续地利用、发展更全面地实现自身价值。实际上放眼远观人类历史发展历程, 可以发现这段历程就是科学技术从出现向更高水平发展, 对原始资源从粗放到精细开发利用的一段历程; 而完善的管理制度能够确保技术水平在水资源利用效率提高的过程中发挥稳定持久的作用力。

### 3.3 相关影响因素研究

由于水资源利用相对效率与自然条件、经济发展水平、科学技术、人口素质等因素紧密相连, 因此我们选取以下指标构建典型相关分析方法的指标体系: 自变量组指标包括, 固定资产占地区生产总值的比重  $x_1$ , 人均地区生产总值  $x_2$ , 人均水资源量  $x_3$ , 水资源开发利用效率  $x_4$ , 万元国内生产总值用水量  $x_5$ , 固定资产投资  $x_6$ , 人均教育费用支出  $x_7$ , 第三产业比重  $x_8$ ; 因变量组包括, 用水技术冗余率  $y_1$  和规模冗余率  $y_2$ 。

第一对典型变量如下:

$$U_1 = 0.0124x_1 + 0.7482x_2 - 0.2213x_3 + 0.0203x_4 - 0.6941x_5 + 0.7388x_6 + 0.7808x_7 - 0.4294x_8$$

$$V_1 = -0.9384y_1 - 0.1383y_2$$

第二对典型变量如下:

$$U_2 = -0.0787x_1 - 0.2532x_2 + 0.0068x_3 - 0.5292x_4 - 0.9271x_5 + 0.0022x_6 + 0.1114x_7 - 0.3347x_8$$

$$V_2 = 0.0685y_1 - 0.9547y_2$$

表 3 典型相关分析模型检验结果

典型变量	典型相关系数	自由度	显著水平
第 1 对	0.9615	18	0.0001
第 2 对	0.6632	7	0.0001

表 3 可以看出, 提出的两对典型相关变量显著水平均为 0.0001, 0.0001, 说明相应典型变量之间具有强相关性, 并且分别有 96.15% 和 66.32% 的信息可以通过相应自变量进行诠释。

将第一对典型变量中自变量组的人均地区生产总值、万元地区生产总值用水量、固定资产投资、人均教育费用和第三产业比重提取出来, 因变量组中的技术冗余率提取出来, 与它呈正相关关系的是万元地区生产总值用水量和第三产业比重, 说明 2005—2014 年江苏省整体依旧有资源投入剩余现象的存在。江苏省共有 13 个省辖市, 但其中较发达地区只占 1/3 左右, 说明整体生产技术水平仍不够先进, 管理方面

存在漏洞,第三产业发展水平较低;一般以高新技术产业、科技服务、软件及信息化产业等第三产业为主的地区,其万元国内生产总值用水量较以重工业和农业发展为主地区少。与技术冗余率呈负相关关系的是人均地区生产总值、固定资产投资和人均教育费用,人均地区生产总值和技术冗余率的关系前文已分析过,此处不再赘述;固定资产投资和人均教育费用的有效投入,代表着江苏省在近十年的经济发展中,通过加强人才教育,加大科学技术发展强度,巩固基础设施建设等措施的实施,生产技术水平不断提高,通过对老旧设备更新改造,说明通过降低用水技术冗余率来提高水资源利用相对效率是十分可行的一项手段。

将第二对典型变量中自变量组的水资源开发利用率、万元地区生产总值用水量提取出来,因变量组中的规模冗余率提取出来,这两项指标均与规模冗余率呈正相关关系,说明水资源开发利用率和万元地区生产总值用水量均是阻碍水资源利用效率提高的因素。江苏省三分之二地区经济发展以重工业和农业为主,万元地区生产总值用水量不可能很少,所以其用水规模冗余率也相对较高,在日后经济发展的过程中,通过增加第三产业比重,合理调整第一、第二产业结构,降低万元地区生产总值用水量,从而减小用水规模冗余发生;水资源开发利用率说明江苏省目前对自身占有量的开发处于一种相对过度的状态,为建设节水型社会,更好地迈向水资源可持续利用的战略之路,通过各项行政、技术手段控制水资源开发程度,合理利用水资源,才能更好地开展水资源利用相对效率有效提高的工作。

各典型变量的解释能力如表 4 所示,由该表可以看出:第 1 组典型变量  $U_1$  对实测变量  $x_1 - x_8$  的贡献率为 75.71%,  $V_1$  对实测变量  $y_1 - y_2$  的贡献率为 88.01%;第 2 组典型变量  $U_2$  可解释组内 2.40% 的变异,并解释 2.28% 的另一组变异;  $V_2$  可解释组内 11.99% 的变异,并解释另一组 11.44% 的变异。 $U_1$ ,  $V_1$  和  $U_2$ ,  $V_2$  两组典型变量之间,互相解释能力很强,也反映出应用典型相关分析法探究影响水资源利用效率的因素是可行且有根据的。

## 4 结论及政策建议

### 4.1 结论

(1) 本文成功运用改进 DEA 模型,不仅能够判断各决策单元是否有效,还能够对决策单元进行排序,有效地对其进行划分,综合评价每个决策单元用水相对效率变化规律。评价过程中将传统 DEA 模

型与改进模型相结合,通过对 2005—2014 年的指标数据进行分析,江苏省近 10 a 间水资源利用相对效率处于一种平稳上升的趋势;运算过程中利用层次分析法设定判断矩阵,充分考虑了决策者的偏好,并将其影响引入水资源利用相对效率与社会经济发展的关系中,进一步说明水资源利用状况与经济发展水平正处于相互协调并相互促进的阶段,江苏省水资源可持续利用相关工作已步入正轨。

表 4 典型变量解释能力

典型变量数	比例	累计比例	$R^2$	比例	累计比例
$U_1$	0.757 1	0.757 1	1	0.757 1	0.757 1
$U_2$	0.024 0	0.781 1	0.951 8	0.022 8	0.779 9
$V_1$	0.880 1	0.880 1	1	0.880 1	0.880 1
$V_2$	0.119 9	1	0.951 8	0.114 1	0.994 2

(2) 通过探究水资源相对利用效率和经济发展的关系,发现规模冗余率与人均 GDP 的关系呈倒 U 曲线,正好吻合环境库兹涅茨曲线。2006 年之前的粗放式经济和之后依靠先进的技术和管理水平,向技术进步、人才培养、循环利用等方面转化的经济发展方式形成鲜明对比,也很好证明技术冗余率和人均地区生产总值呈负相关关系。

(3) 应用典型相关分析方法,实证分析得知影响用水技术冗余率和规模冗余率的因素并不完全相同,其中影响技术冗余率的因素主要为万元地区生产总值用水量和第三产业比重,而影响规模冗余率的因素主要为水资源开发利用率和万元地区生产总值用水量。根据影响因素的不同,采取相应地应对或改进措施,使之更有效地提高水资源利用水平,为今后相关部门制定相关政策时提供科学的理论依据。

(4) 本文研究了江苏省水资源利用相对效率在时间上的变化,缺乏对空间变化上的研究,收集指标数据过程中频频遇到数据不全或同一指标有两种数据的问题,在今后的研究中,需注重研究水资源利用相对效率的空间分异格局。

### 4.2 政策建议

(1) 响应国家号召,建立节水型社会。节水型社会的建设是解决江苏省目前直面的水资源缺乏、水环境污染和水生态退化等水问题的最基本途径,也是执行可持续发展观、全面建设生产发展、生活富裕、生态良好社会的首要支撑工程,具有迫切而紧要的现实价值。综合性地学习吸收国外和国内先进的水资源管理技术和节水经验,以当地资源、社会经济、技术进步等实际情况为前提,规划适配江苏省的节水型社会建

设重点方向和内容。

(2) 大力推广、实行节水措施,缓和供需矛盾。从农艺、工程与管理 3 个方面实现农业节水;工业节水的关键在于通过节水工艺减少水资源的消耗和通过多重利用增强水的重复利用。无论农业还是工业,节水工艺的运用,才能从源头上真正高层次地提高水资源利用效率及有效控制用水量。

(3) 加大节约用水宣传力度,加强公民节水观念。经分析水资源总量与其利用效率成反比,总量越大时水资源利用效率反而较低,说明人们节约用水的观念与水量是否充足有一定的关系。通过增强人们的节水意识,让人们明白节约用水的重要性,号召广大公民培养良好节水习惯,将节水行动渗透到平时生活中。

本文将传统 DEA 模型与其改进模型相结合,针对江苏省成功开展其水资源利用相对效率时间分异及影响因素的研究。但研究过程仍有部分不足,探究影响因素时,指标选取考虑得不够全面,日后应进行完善。运用数据包络分析法能对水资源利用效率进行很好地评价,未来的研究中应考虑开展对江苏省水资源利用效率空间分异的研究,将苏南苏北分开评

价,更符合客观实际。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 钱正英,张光斗.中国可持续发展水资源战略研究综合报告及各专题报告[M].北京:中国水利水电出版社,2001:1-61.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 孙才志,李红新.辽宁省水资源利用相对效率的时空分异[J].资源科学,2008,30(10):1442-1447.
- [5] 南楠.基于灰色关联理论与 SD 模型的江苏省水环境承载力研究[D].南京:南京大学,2012.
- [6] 赵晨,王远,谷学明,等.基于数据包络分析的江苏省水资源利用效率[J].生态学报,2013,33(5):1636-1644.
- [7] Dillon W R, Goldstein M. Multivariate Analysis Methods and Applications[M]. New York: Wiley & Sons, 1984:337-359
- [8] Grossman G M, Krueger A B. Environmental impacts of a North American free trade agreement[R]. National Bureau of Economic Research, 1991.
- [9] 科学出版社,2004.
- [10] 刘增文,李雅素.黄土残塬区侵蚀沟道分类研究[J].中国水土保持,2003(9):28-30.
- [11] 付明胜,任兆选,白平良.地貌几何数学模型在黄土高原沟道分级和坝系规划中的应用[J].中国水土保持科学,2003,1(4):25-27.
- [12] 许晓鸿,隋媛媛,张瑜,等.东北丘陵区沟蚀发展现状及影响因素分析[J].土壤学报,2014,51(4):699-708.
- [13] 顾广贺,王岩松,钟云飞,等.东北漫川漫岗区侵蚀沟发育特征研究[J].水土保持研究,2015,22(2):47-51.
- [14] 闫业超,张树文,李晓燕,等.黑龙江克拜黑土区 50 多年来侵蚀沟时空变化[J].地理学报,2005,60(6):137-142.
- [15] 王丽洁,李永明,陈瑾.定西市黄土丘陵沟壑区第 V 副区侵蚀沟道分级分类研究[J].中国水土保持,2015(3):43-45.

(上接第 307 页)

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 伍永秋,刘宝元.切沟、切沟侵蚀与预报[J].应用基础与工程科学学报,2000,8(2):134-142.
- [2] 王文娟,张树文,李颖,等.东北黑土区近 40 a 沟谷侵蚀动态及影响因素分析[J].水土保持学报,2009,23(5):51-55.
- [3] 郑粉莉,武敏,张玉斌,等.黄土陡坡裸露坡耕地浅沟发育过程研究[J].地理科学,2006,26(4):4438-4442.
- [4] 孟令钦,李勇.东北黑土区坡耕地侵蚀沟发育机理初探[J].水土保持学报,2009,23(1):7-11.
- [5] 王文娟,邓荣鑫,张树文.东北典型黑土区 40 a 来沟蚀空间格局变化及地形分异规律[J].地理与地理信息科学,2012,28(3):68-71.
- [6] 陈顺礼.新疆水土流失现状及变化趋势分析[J].中国水土保持科学,2013,11(S1):93-97.
- [7] 唐克丽,史立人,史德明,等.中国水土保持[M].北京: