

干旱区内陆河流域不同规模城镇水资源利用效率评价 ——以石羊河流域为例

张胜武¹, 石培基², 王良举¹, 李万莲¹, 胡登峰³

(1. 安徽财经大学 工商管理学院, 安徽 蚌埠 233030; 2. 西北师范大学 地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070; 3. 安徽财经大学 安徽经济社会发展研究院, 安徽 蚌埠 233030)

摘要: [目的] 对石羊河流域不同规模城镇用水效率的时空差异表现进行评价, 探讨城镇人口规模与城镇用水效率之间的关系。[方法] 采用数据包络分析(DEA)模型和 Malmquist 全要素生产力指数模型。[结果] (1) 流域用水综合效率呈“V”型波动增长曲线, 其中纯技术效率在逐步提高, 规模效率水平呈下降态势; Malmquist 指数分析结果也验证流域用水效率水平在不断提升, 这是技术进步和技术效率共同提高的结果。(2) 流域城镇人口规模与城镇用水效率二者成正相关关系。在保障规模较大城镇水资源有效供给的同时, 更要注重以产业结构的优化升级来带动用水效率提高。[结论] (1) 古浪、永昌县应增加要素投入, 而凉州、民勤、金川县应在维持现有投资规模的同时, 在用水总量控制的前提下促进经济结构调整和用水结构优化联动机制的形成。(2) 先进用水技术和高效水资源管理是未来继续提高石羊河流域水资源利用效率的有效办法。

关键词: 水资源利用效率; DEA; Malmquist 指数; 不同规模城镇; 石羊河流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)05-0262-06

中图分类号: F224, TV23

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.05.114

Utilization Efficiency of Water Resource in Different Cities in Inland River Basin in Arid Region — A Case Study in Shiyang River Basin

ZHANG Shengwu¹, SHI Peiji², WANG Liangju¹, LI Wanlian¹, HU Dengfeng³

(1. School of Business and Commerce, Anhui University of Finance & Economics, Bengbu, Anhui 233030, China; 2. College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070, China; 3. Institute of Anhui's Economic and Social Development Research, Anhui University of Finance & Economics, Bengbu, Anhui 233030, China)

Abstract: [Objective] Taking Shiyang River basin as case study, the temporal-spatial variation of water utilization efficiency among different cities was evaluated in order to understand the relationship between water resource utility efficiency and urban population scale. [Methods] Data envelope analysis (DEA) model and Malmquist total factor productivity (TFP) index were used in the study. [Results] (1) The integrated utilization efficiency of water resources presented a ‘V’ shape growth curve, with a increase trend in pure technical efficiency change (PECH) index while a decrease trend in scale efficiency change (SECH) index. Similar results were also found by the Malmquist index analysis. (2) A positive correlation was found between population scale and water resource utility efficiency. [Conclusion] (1) Gulang and Yongchang County should increase the input of elements, while other Counties of Liangzhou, Minqin and Jinchuan County should maintain the existing investment scale when improving industrial structure adjustment and the optimizing water use structure. (2) Advanced water use techniques and efficient water resources management is crucial to the improvement of water resource utility efficiency in Shiyang River basin.

Keywords: water resource utility efficiency; DEA; Malmquist index; cities with different population scale; Shiyang River basin

水资源短缺、水生态环境恶化是中国目前水资源利用面临的两大问题^[1]。对西北干旱内陆河流域而言, 水资源短缺始终是制约流域经济社会可持续发展

的主要因素^[2], 流域城镇形成发展与城市化进程受水资源影响明显^[3]。提高水资源利用效率是解决中国水资源可持续利用问题的关键方法^[1], 评价干旱区内

收稿日期: 2014-07-03

修回日期: 2014-09-02

资助项目: 国家自然科学基金项目“河西走廊经济带绿洲型城镇集群空间成长过程、机理及管治研究”(41271133)

第一作者: 张胜武(1983—), 男(汉族), 安徽省肥东县人, 博士, 讲师, 主要从事区域发展与规划管理方面的研究。E-mail: zswsky@163.com。

陆河流域不同规模城镇用水效率及其时空差异表现，对促进该地区短缺水资源在不同规模城镇间的优化配置与供给方向，提高城镇水资源利用效率具有重要意义。

从现有研究来看，目前评价水资源效率的方法主要有比值法^[4]、指标体系评价法^[5]、生产函数法^[6]、随机前沿分析法(SFA)^[7]等。其中数据包络分析法(DEA)是最为常用的^[1]，孙才志等^[8-14]利用 DEA 对不同区域的用水效率进行了多角度的时空评价分析。但是，DEA 处理数据分析时缺乏动态性^[15]。用水效率提高是经济发展、技术进步等多因素共同作用的结果，具有明显的全要素特点^[16]，因此，Malmquist 全要素生产力指数模型近年来得以更多运用^[14-17]。总体来看，现有水资源效率评价研究主要聚焦于宏观及中观尺度，对流域以及城镇单元的研究较少涉及。本文以石羊河流域为例，运用 DEA 和 Malmquist 全要素生产力指数模型对石羊河流域不同规模城镇用水效率的时空差异表现进行评价，为提高流域城镇水资源利用效率提供理论依据。

1 研究区概况

石羊河流域位于甘肃省河西走廊东部，是河西走廊 3 大内陆河流域之一。其行政区划包括武威市的民勤县、古浪县、凉州区全部及天祝县部分地区，金昌市的金川区、永昌县，以及张掖市肃南裕固族自治县部分地区。鉴于流域特殊性及其资料可获得性，本文以武威市民勤县、古浪县、凉州区和金昌市永昌县、金川

区这 5 县区为案例研究区。2010 年，研究区总人口和生产总值分别占全流域的 93.3% 和 95.1%，可代表石羊河全流域。

该流域水资源天然匮乏，同时用水结构极不合理，长期以农业灌溉为主(表 1)。流域农业用水占比过高和效益、效率低下，束缚了水资源要素向其他经济部门流动。同时，非农经济部门受农业“大用水”的制约，水资源投入有限，规模化发展受到限制^[3]。近年来，该流域城镇化进程加快。流域城镇规模增长在引导水资源集约利用的同时，对水资源总量刚性控制的挑战也在加剧。以流域武威市为例，与 2007 年相比，2010 年全市城镇人口增长 5.0%，万元 GDP 用水量减少 38.1%，万元工业增加值用水量减少 51.3%，而城镇用水量(含工业用水、城镇生活用水、城镇公共用水)增长了 0.68%。

2 研究方法 with 数据处理

2.1 DEA 模型

DEA 模型是由 Charnes 和 Cooper 等学者于 1978 年提出的一种非参数前沿效率评价方法^[15]。该方法主要通过保持决策单元(DMU, decision making units)的输入或输出不变，借助数学规划和统计数据确定相对有效的生产前沿面，将各个 DMU 投影到 DEA 的生产前沿面上，并通过比较 DMU 偏离 DEA 前沿面的程度来评价其相对有效性^[15,18]。针对非有效单元，DEA 模型能辨别指标调整方向以及程度，并能进行纵向时间比较和横向空间比较^[10]。

表 1 石羊河流域各城镇 2010 年经济社会发展情况

城镇名	总人口/ 10 ⁴ 人	GDP/ 10 ⁸ 元	人均 GDP/ 元	城镇化率/ %	总用水规模/ 10 ⁸ m ³	万元工业增加值 用水量/m ³	农业灌溉 用水比重/%
凉州区	103.64	145.0	14 438	43.36	10.22	165.7	82.1
古浪县	39.80	23.9	6 008	25.50	1.00	75.1	84.2
民勤县	24.13	32.9	10 266	26.00	3.74	46.0	88.9
金川区	21.69	170.5	78 225	91.29	3.40	57.9	66.8
永昌县	25.72	40.8	15 878	38.00	5.10	614.4	78.2

按计算方向，DEA 模型分为投入主导型和产出主导型。这里把石羊河流域各个县区作为决策单元，研究在产出不变情况下水资源等要素投入的减少，故这里选择投入主导型 DEA 方法。DEA 最具代表性的模型有 C²R, BC², C²W 等多个模型^[15]。C²R 模型假设规模报酬不变(constant return scale, CRS)，用以计算水资源利用的综合效率(又称技术效率，用 E_{FFCH} 表示)；BC² 模型假设规模报酬可变(variable return scale, VRS)，其在 C²R 模型基础上增加了凸性假设，用以分析水资源利用纯技术效率(用 P_{ECH} 表示)。

设有 n 个决策单元 DMU_j，每个决策单元有 m 项

投入 $x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}$ 和 s 项产出 $y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj}$ ($x_{mj} > 0, y_{sj} > 0$)， λ_j 指各县区投入和产出的权向量($\lambda_j \geq 0$)。对于投入主导型的 BC² 模型而言，每个决策单元 DMU_j 都有相应的效率评价指数，满足以下条件：

$$\begin{cases} \min \theta \\ s. t. \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j \leq \theta x_0 \\ \sum_{j=1}^n y_{ij} \lambda_j \geq y_0 \\ \sum \lambda_j = 1 \end{cases} \quad (1)$$

式(1) 计算结果是各县区水资源利用的纯技术

效率指数值,去掉凸性假设后求解结果是各县区水资源利用的综合效率指数值。综合效率可以分解为纯技术效率和规模效率(用 SECH 表示)的乘积。综合效率指数反映区域资源要素的配置、利用及规模集聚等效率,纯技术效率指数是区域水资源利用过程中各投入要素的配置和利用效率,规模效率指数反映区域用水规模集聚效率。且所有研究城镇综合效率、纯技术效率和规模效率指数值的算术平均,分别称为城市平均综合效率、纯技术效率和规模效率^[19]。

2.2 Malmquist 全要素生产力指数模型

Malmquist 全要素生产力指数模型用以分析各区域全要素水资源利用效率变化,并把这种变化原因分解为技术变化与技术效率变化^[16]。

基于 Fisher 理想指数的基本思路,Caves,Christensen 和 Diewert 构建了 Malmquist 生产率指数。

$$M_{j,t+1}(x_j^t, y_j^t, x_j^{t+1}, y_j^{t+1}) = D_j^{t+1} \frac{(x_j^{t+1}, y_j^{t+1})}{D_j^t(x_j^t, y_j^t)} \left[\frac{D_j^t(x_j^{t+1}, y_j^{t+1})}{D_j^{t+1}(x_j^{t+1}, y_j^{t+1})} \times \frac{D_j^t(x_j^t, y_j^t)}{D_j^{t+1}(x_j^t, y_j^t)} \right]^{1/2} \quad (2)$$

式中: M_j ——决策单元用水相对效率的跨期动态变化; $D_j^t(x_j^t, y_j^t)$ 和 $D_j^{t+1}(x_j^{t+1}, y_j^{t+1})$ ——以 t 期技术为参考(即以 t 期数据为参考集)时, t 期和 $t+1$ 期决策单元的距离函数; $D_j^{t+1}(x_j^t, y_j^t)$ 和 $D_j^t(x_j^{t+1}, y_j^{t+1})$ 含义类似。

Malmquist 生产力指数可以分解为技术效率变化(用 E_{FFCH} 表示)和技术变化(用 T_{ECHCH} 表示)两部分的乘积,因此,式(2)可以分解为如下 2 个部分的乘积,具体变换如下:

$$E_{FFCH_j^{t+1}} = \frac{D_j^{t+1}(x_j^{t+1}, y_j^{t+1}, u_j^{t+1})}{D_j^t(x_j^t, y_j^t, u_j^t)} \quad (3)$$

$$T_{ECHCH_j^{t+1}} = \left[\frac{D_j^t(x_j^{t+1}, y_j^{t+1}, u_j^{t+1})}{D_j^{t+1}(x_j^{t+1}, y_j^{t+1}, u_j^{t+1})} \times \frac{D_j^t(x_j^t, y_j^t, u_j^t)}{D_j^{t+1}(x_j^t, y_j^t, u_j^t)} \right]^{1/2} \quad (4)$$

式中: E_{FFCH} ——决策单元从 t 到 $t+1$ 用水技术效率的变化; T_{ECHCH} ——决策单元从 t 到 $t+1$ 用水技术进步的变化。

技术效率变化(E_{FFCH})又可进一步分解为纯技术效率变化(P_{ECH})和规模效率变化(S_{ECH}),这在 DEA 模型中已介绍。

以上分析可知, M_j (用 T_{FFCH} 表示) = $E_{FFCH} \times T_{ECHCH} = P_{ECH} \times S_{ECH} \times T_{ECHCH}$ 。其中, $T_{FFCH} > 1$ 表示生产率水平提高,反之相反; $E_{FFCH} > 1$ 表示用水相对效率提高,反之相反。 $P_{ECH} > 1$ 意味着用水管理水平提高了用水效率,反之相反。 $S_{ECH} > 1$ 为 DMU 从长期来看向最优规模靠近,反之相反; $T_{ECHCH} > 1$ 表示技术进步,

反之相反^[15]。求所有被评价城镇用水全要素生产率、技术效率、纯技术效率、规模效率和技术变化指数的几何平均,可以得到所评价城镇的平均全要素生产率、技术效率、纯技术效率、规模效率和技术变化指数^[19]。

2.3 指标选取与数据处理

水资源本身并不直接带来经济效益产出,必须与土地、劳动力、资本以及其它生产要素相结合才能带来真正产出。为此,在研究用水效率时,必须采用多输入模型。在参考相关文献的基础上^[11-16],兼顾数据的可获得性,选取城镇供水总量(10^4 m^3)、城区土地面积(km^2)、城镇固定资产投资(10^4 元)、从业人员数(人)作为投入指标,选取地区生产总值(10^4 元)为产出指标。需要特别说明的是,为分析石羊河流域不同规模城镇的用水效率,考虑数据的连续性和可获性,研究区县级城镇为县城所在的城关镇。

3 基于 DEA 模型的用水效率分析

3.1 综合效率分析

从平均水平来看,2001—2010 年期间,石羊河流域城镇用水综合效率保持呈先减后增的“V”型波动增长曲线(图 1),但一直没有达到 DEA 有效的理想状态。2001 年石羊河流域城镇用水综合效率平均水平为 0.733 2,到 2005 年为 0.628 2,降幅为 14.32%;2010 年用水综合效率平均水平为 0.763 6,比 2005 年增长 21.55%。2001—2005 年,石羊河流域城镇用水综合效率呈下降态势,2006—2010 年呈增长趋势,表明石羊河流域应急项目 2006 年实施和《石羊河流域重点治理规划》2007 年颁布以来,该区域用水效率不断提高。

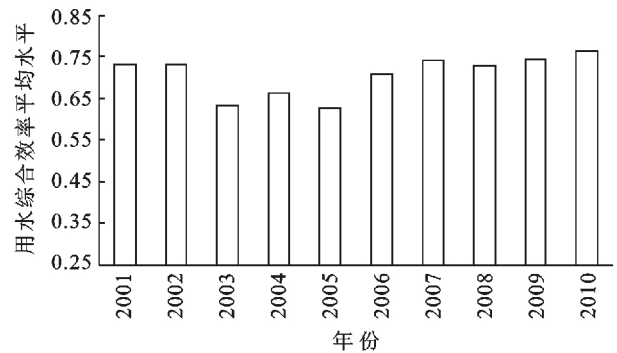


图 1 2001—2010 年石羊河流域用水综合效率平均水平

从各城镇水资源利用综合效率的 DEA 有效性看,2001 年达到 DEA 有效的仅凉州一个城镇,其投入产出均达到最优状态,技术效率和规模效率均 DEA 有效;而金川、永昌用水综合效率低于 0.5。到

2005 年,凉州区、民勤县城镇用水综合效率达到最优,金川区、古浪县、永昌县未达到 DEA 有效。到 2010 年,用水综合效率达到最优水平的有凉州区、民勤县、金川县 3 个城镇,古浪、永昌县未达到 DEA 有效(表 2)。总体来说,凉州区、民勤县、金川区城镇用水综合效率不断提升直至最优,而古浪、永昌县水资源综合利用效率波动下降,明显落后其他城镇。

从各城镇用水综合效率的增长情况看,2001—2010 年期间,凉州用水综合效率一直保持最优状态,

民勤县和金川区一直保持上升状态,并在 2010 年达到最优状态,其中金川区用水综合效率由 2001 年的 0.402 0 上升到 2005 年的 0.585 0,2010 年的 1.000,增幅分别为 45.5%,70.9%。古浪县用水综合效率先减后小幅增长,由 2001 年的 0.894 0 降低到 2005 年的 0.279 0,到 2010 年又小幅回升到 0.506 0。永昌县用水综合效率水平增减态势与古浪一致,先降后小幅回升,用水综合技术效率在所有城镇中最低,明显落后其他城镇(表 2)。

表 2 2001,2005 和 2010 年石羊河流域城镇用水效率

城镇名	2001 年				2005 年				2010 年			
	综合效率	纯技术效率	规模效率	规模收益	综合效率	纯技术效率	规模效率	规模收益	综合效率	纯技术效率	规模效率	规模收益
凉州区	1.000 0	1.000 0	1.000 0	—	1.000 0	1.000 0	1.000 0	—	1.000 0	1.000 0	1.000 0	—
古浪县	0.894 0	1.000 0	0.894 0	irs	0.279 0	0.875 0	0.319 0	irs	0.506 0	1.000 0	0.506 0	irs
民勤县	0.898 0	1.000 0	0.898 0	irs	1.000 0	1.000 0	1.000 0	—	1.000 0	1.000 0	1.000 0	—
金川区	0.402 0	0.481 0	0.836 0	irs	0.585 0	0.585 0	1.000 0	—	1.000 0	1.000 0	1.000 0	—
永昌县	0.472 0	1.000 0	0.472 0	irs	0.277 0	1.000 0	0.277 0	irs	0.312 0	1.000 0	0.312 0	irs
平均值	0.733 2	0.896 2	0.820 0		0.628 2	0.892 0	0.719 2		0.763 6	1.000 0	0.763 6	

注:irs(increasing returns to scale)为规模报酬递增;“—”为规模报酬不变。

3.2 纯技术效率分析

从平均水平来看,石羊河流域用水纯技术效率逐步提高,到 2010 年达到 DEA 最优水平,说明石羊河流域内部生产要素组合较好。

分城镇来看,2001 年凉州、古浪、民勤、永昌等城镇用水纯技术效率达到最优,金川纯技术效率水平低下,仅为 0.481;到 2005 年,凉州、民勤、永昌纯技术效率达到最优,古浪纯技术效率降低,金川纯技术效率略升;到 2010 年,所有城镇纯技术效率均 DEA 有效,说明重点治理规划实施后,流域各级城镇加快调整生产要素,促进了要素间最优组合搭配。

3.3 规模效率和规模收益分析

从平均水平来看,石羊河流域水资源利用规模效率先降低后小幅增长,总体呈降低趋势。2001 年规模效率平均水平为 0.820 0,到 2005 年为 0.719 2,比 2001 年降低了 12.29%,2010 年小幅回升到 0.763 6,比 2005 年增长了 6.17%,但仍比 2001 年降低 6.88%。2001 以来,尤其是石羊河流域重点治理项目启动实施以来,采取一系列的节水、控水措施,用水总量不断下降,水资源与其他生产要素的组合配置结构发生较大变化,进而导致规模效率水平总体呈下降态势。分城镇来看,2001 年仅凉州区规模效率达到 DEA 有效,说明凉州区生产要素之间已达到最优组合配置,只需在原有基础上维持不变;其余城镇均属规模效率递增,需要扩大生产规模、增加要素投入来

促进水资源、土地资源、资金、劳动力等要素的合理利用配置,推动产出增长。到 2005 年和 2010 年,民勤县、金川区规模效率达到 DEA 有效,古浪和永昌县规模效率未达到最优,需要在原有基础上扩大投入规模,以促进水资源利用规模效率得到更大提升。

3.4 用水效率与城镇规模关系分析

由表 3 分析得出,城镇人口规模越大,城镇用水效率就越高。凉州区是石羊河流域城镇人口规模最大城镇,其用水综合效率一直保持 DEA 有效水平。古浪和永昌县城镇人口规模较小,其用水综合效率也相对最低。与其他城镇相比,古浪、永昌县水资源短缺问题相对较小,但因其自身产业结构不合理、用水技术和管理水平落后,需要继续提升经济发展质量,加速推广用水新技术与管理手段,不断提高用水效率。

相对而言,金川区和民勤县城镇人口规模与用水效率的正相关性较不明显。金川城镇规模明显大于民勤,但民勤用水效率一直维持在高水平上,金川区用水效率在 2006 年之后才提升到高水平上。民勤县尽管水资源短缺严重,但民勤县的城关镇尚处于工业发展初期阶段,第二产业以农产品初加工业为主,水资源消费量相对较小,水资源与资金、土地、劳动力等生产要素组合状况较优,其水资源利用的综合效率也相对较高;而金川工业经济发达,工业以资源—加工混合型为主,耗水量较大,城乡之间、工农业之间争水

现象突出,水资源与土地、劳动力等其他生产要素的综合效率也是在逐步提高。从表 1 可以得知,民勤县合理配备需要经过不断调整的一个过程,其城镇用水城镇工业用水效率优于金川区,这也同样验证如此。

表 3 2001—2010 年石羊河流域不同城镇人口规模与用水效率

年份	凉州区		古浪县		民勤县		金川区		永昌县	
	城镇人口	用水综合效率	城镇人口	用水综合效率	城镇人口	用水综合效率	城镇人口	用水综合效率	城镇人口	用水综合效率
2001	29.00	1.00	1.29	0.89	3.40	0.90	18.00	0.40	2.31	0.472
2002	33.00	1.00	1.72	1.00	3.45	1.00	18.54	0.39	2.33	0.269
2003	35.17	1.00	1.85	0.46	3.42	1.00	18.05	0.44	2.35	0.258
2004	37.30	1.00	2.13	0.58	3.58	1.00	18.85	0.46	2.37	0.276
2005	37.97	1.00	2.31	0.28	3.71	1.00	18.94	0.59	2.39	0.277
2006	42.93	1.00	2.49	0.61	4.01	1.00	19.04	0.71	2.97	0.223
2007	44.30	1.00	2.69	0.47	4.24	1.00	19.45	1.00	2.99	0.242
2008	44.48	1.00	2.87	0.41	4.47	1.00	19.57	0.98	3.01	0.256
2009	44.97	1.00	3.06	0.49	4.61	1.00	19.72	1.00	3.03	0.231
2010	45.04	1.00	3.27	0.51	4.75	1.00	19.80	1.00	3.06	0.312

4 基于 Malmquist 指数的用水效率分析

运用 Deap 2.1 软件对石羊河流域 2001—2010 年的时间序列数据进行 malmquist 生产力指数分析,得到该流域分年和分城镇的水资源利用全要素生产率及其分解结果(表 4—5)。

表 4 石羊河流域分年水资源利用效率 T_{FPCH} 指数及其分解

年份	E_{FFCH}	T_{ECHCH}	P_{ECH}	S_{ECH}	T_{FPCH}
2002	0.928	1.271	0.990	0.938	1.180
2003	0.871	1.147	1.021	0.854	1.000
2004	1.073	1.205	0.998	1.075	1.293
2005	0.904	1.412	1.005	0.900	1.277
2006	1.163	0.911	1.143	1.017	1.059
2007	1.036	1.059	1.000	1.036	1.096
2008	0.976	1.020	1.000	0.976	0.995
2009	1.022	0.887	1.000	1.022	0.907
2010	1.069	0.957	1.000	1.069	1.023
平均水平	1.001	1.084	1.017	0.985	1.085

注: Malmquist 模型各指数均是与上一年的相对比值,故没有 2001 年数据。

表 5 2001—2010 年石羊河流域各城镇水资源利用效率 T_{FPCH} 指数及其分解

城镇名	E_{FFCH}	T_{ECHCH}	P_{ECH}	S_{ECH}	T_{FPCH}
凉州区	1.000	1.037	1.000	1.000	1.037
古浪县	0.939	1.124	1.000	0.939	1.055
民勤县	1.012	1.128	1.000	1.012	1.142
金川区	1.107	1.049	1.085	1.020	1.161
永昌县	0.955	1.086	1.000	0.955	1.037

4.1 时间序列分析

4.1.1 全要素生产率变化 2001—2010 年,石羊河流域水资源利用的 T_{FPCH} 指数平均水平为 1.085,用

水效率呈增长趋势,流域整体水资源利用效率在提升。分年度看,这 10 a 间,除 2008,2009 年,其余年份的 T_{FPCH} 指数均大于 1。

4.1.2 技术效率变化 水技术效率保持增长趋势。同时,在不同时期其增减态势差异明显。2001—2005 年 E_{FFCH} 指数多数年份呈下降态势,2006—2010 年 E_{FFCH} 指数多数年份呈增长态势。

对技术效率进行再分解,纯技术效率平均水平为 1.017,呈不断增长态势,说明石羊河流域近 10 a 来水资源统筹管理水平得到进一步提高;而规模效率平均水平为 0.985,整体呈下降态势,但 2006 年以来,其下降态势有所缓和。

4.1.3 技术进步变化 技术进步变化指数平均水平大于 1,整体水平在不断增长。这反映出石羊河流域近年来用水技术水平不断提高,先进用水技术水平得到更多运用。需要注意的是, T_{ECHCH} 指数的增长趋势在 2009,2010 年未能延续,需要继续加大人才培养和技术创新力度,加快高效用水产业的承接转移和吸收发展。

4.2 空间分析

4.2.1 全要素生产率变化 各城镇 T_{FPCH} 指数均大于 1,说明 10 a 间各城镇水资源利用全要素生产率均不断增长,用水效率普遍提高。其中,金川区、民勤县用水效率提升最为明显。

4.2.2 技术效率变化 金川、民勤、凉州 3 个城镇 E_{FFCH} 指数均大于或等于 1,说明 10 a 间这 3 个城镇的用水技术效率不断提高。分解来看,金川区 E_{FFCH} 指数的增长是纯技术效率 P_{ECH} 和规模效率 S_{ECH} 共同增长的结果,民勤县 E_{FFCH} 指数的增长主要是规模效率 S_{ECH} 不断提高的结果。

永昌、古浪县 E_{FFCH} 指数均小于 1,其原因均归结于规模效率 S_{ECH} 指数 10 a 间呈下降态势。一方面说明这 2 城镇需要继续加大要素投入的必要性,另一方面也反映了二城镇经济发展对水资源等资源要素的长期依赖性,经济增长方式仍然粗放,需要进一步加大产业结构调整,促进用水效率提高。表 1 可以得知,永昌县万元工业增加值用水最多、古浪县农业灌溉用水比重较高,也验证了 2 城镇用水结构不优、用水效率不高。

4.2.3 技术进步变化 各级城镇 T_{ECHCH} 指数均大于 1,说明 10 a 间石羊河流域各级城镇在节水、用水先进技术的引用和应用力度不断加大。用水技术进步对石羊河流域各级城镇水资源利用的全要素生产率在 10 a 间的增长态势保持做出了主要贡献。

5 结论

(1) DEA 分析表明,2001—2010 年石羊河流域用水综合效率呈“V”型波动增长曲线,但一直未达到 DEA 有效。其中,流域纯技术效率的逐步提高说明流域内部生产要素组合较好,而用水量规模下降、要素组合配置结构变化导致规模效率水平总体呈下降态势。Malmquist 指数分析结果也验证了流域用水效率水平在不断提升,这是技术进步和技术效率共同提高的结果。

(2) 就流域内部不同规模城镇而言,针对城镇用水规模效率低下的古浪和永昌县,国家和地方都应扩大投资、增加要素投入,促进当地和流域整体用水效率提高;凉州区、民勤县和金川区应在维持现有投资规模的同时,在用水总量控制的前提下促进经济结构调整和用水结构优化联动机制形成,继续推进水资源的合理高效利用。

(3) 流域城镇人口规模越大,城镇用水效率越高,二者成正相关关系。这种关系在金川区、民勤县的表现性不强,这归结于两地城镇用水保障程度和工业化进程不同。未来伴随流域城镇化的加快推进,水资源对城镇发展的资源约束将更加凸显^[3]。因此,在引导水资源要素适度流向规模较大城镇、保障其水资源有效供给、发挥其规模效应的同时,各级城镇关键在于加快发展高效用水产业,以产业结构的优化升级来带动流域用水效率的整体提高。

(4) 用水技术进步和高效水资源管理是未来提高石羊河流域水资源利用效率的有效办法。在未来一段时间,石羊河流域应继续注重科学用水、科学管水,利用技术进步和高效水资源管理来推动短缺水资源的高效利用。

[参 考 文 献]

- [1] 赵良仕,孙才志,郑德凤. 中国省际水资源利用效率与空间溢出效应测度[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 121-133.
- [2] 张胜武,石培基,王祖醇. 干旱区内陆河流域城镇化与水资源环境系统耦合分析:以石羊河流域为例[J]. 经济地理, 2012, 32(8): 142-148.
- [3] 简雪芹,方创琳. 水资源硬约束下的武威城市化过程与节水型城市建设[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(1): 117-124.
- [4] 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.
- [5] 盖美,王宇飞,马国栋,等. 辽宁沿海地区用水效率与经济的耦合协调发展评价[J]. 自然资源学报, 2013, 28(12): 2081-2094.
- [6] 邓红兵,刘天星,熊晓波,等. 基于生产函数的中国水资源利用效率探讨[J]. 水利水电科技进展, 2010, 30(5): 116-119.
- [7] 陈关聚,白永秀. 基于随机前沿的区域工业全要素水资源效率研究[J]. 资源科学, 2013, 35(8): 1593-1600.
- [8] J. A. Rodriguez-Díaz, E. Camacho-Poyato, R. López-Luque. Application of data envelopment analysis to studies of irrigation efficiency in Andalusia[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2004, 130(3): 175-183.
- [9] Hu Jinli, Wang Shichuan, Yeh Fangyu. Total-factor water efficiency of regions in China [J]. Resources Policy, 2006, 31(4): 217-230.
- [10] 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): 1442-1448.
- [11] 孙才志,刘玉玉. 基于 DEA-ESDA 的中国水资源利用相对效率的时空格局分析[J]. 资源科学, 2009, 31(10): 1696-1703.
- [12] 孙才志,谢巍,姜楠,陈丽新. 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.
- [13] 钱文婧,贺灿飞. 中国水资源利用效率区域差异及影响因素研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(2): 54-60.
- [14] 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.
- [15] 董毅明,廖虎昌. 基于 DEA 的西部省会城市水资源利用效率研究[J]. 水土保持通报, 2011, 3(4): 134-139.
- [16] 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.
- [17] 赵良仕,孙才志. 基于 Global-Malmquist-Luenberger 指数的中国水资源全要素生产率增长评价[J]. 资源科学, 2013, 35(6): 1229-1237.
- [18] 魏权龄. 数据包络分析[M]. 北京:科学出版社, 2004.
- [19] 郭腾云,徐勇,王志强. 基于 DEA 的中国特大城市资源效率及其变化[J]. 地理学报, 2009, 64(4): 408-416.