

基于遗传投影寻踪模型的陕西省 水资源利用效率评估

罗琳, 宋进喜, 梁雯

(西北大学 城市与环境学院, 陕西 西安 710127)

摘要: 分析水资源利用潜力, 提高水资源利用效率对于解决城市水资源短缺问题十分重要。本文利用基于遗传算法的投影寻踪模型, 选用万元 GDP 用水量、人均用水量、万元农业产值用水量、农田灌溉平均用水量、万元工业产值用水量为评价指标, 对 2009 年陕西省 11 个行政区水资源利用效率进行评估。结果显示万元工业产值用水量对陕西省水资源利用效率影响最大, 延安市的水资源综合利用效率最高。并针对最佳投影向量各指标权重提出了提高陕西省水资源利用效率的措施。

关键词: 遗传算法; 投影寻踪; 水资源; 利用效率

中图分类号: TV213.9

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2012)06-0066-04

Evaluation of water use efficiency based on genetic projection pursuit model in Shaanxi Province

LUO Lin, SONG Jinxi, LIANG Wen

(College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an 710127, China)

Abstract: Improving utilization efficiency of water resources is very important in solving water deficit issue in Shaanxi province. The method of projection pursuit based on genetic algorithm is used to estimate the water utilization efficiency of Shaanxi province in 2009. Some indicators for estimation of water efficiency are determined, which includes water consumption per unit GDP, per capita water consumption, agriculture water use of ten thousand yuan output, irrigation water consumption per mu, water consumption per ten thousand yuan of industrial output. On the basis of the database from 11 administrative districts in Shaanxi province of 2009, the results show that the impact of the amount of water consumption per ten thousand yuan of industrial output on water use efficiency is the largest one and the water use efficiency in Yan'an city is the highest in Shaanxi province. Moreover, some measures for improving water use efficiency in Shaanxi are proposed based on the optimal projection vector.

Key words: genetic algorithm; projection pursuit; water resources; water use efficiency

0 引言

随着经济的发展和人们生活的改善,各用水行业间的竞争日益突出,水资源供需矛盾不断加深。水资源不再是“取之不尽,用之不竭”,它已经成为制约国民经济与社会发展的“瓶颈”,水资源合理配置和高效利用问题显得尤为重要。目前,对水资源利用的研究集中在以下几个方面:①城市雨水资源利用现状及利用途径^[1-2];②洪水资源利用途径、利用风险管理、评价等^[3-4];③流域水资源利用与生态

保护^[5-6];④区域水资源利用评价;⑤农业水资源利用现状、评价及对策。

区域水资源利用评价方面,众多学者对此进行了研究:孙才志等运用数据包络分析法,从投入产出角度,选取生产用水、生活用水、从业人员、固定资产投资为投入指标,选取 GDP 为产出指标,评价了大连市 1996-2006 年水资源和社会经济复合系统的可持续发展状况^[7]。刘庆生采用因子分析法,从工业用水、农业用水、生活用水 3 个方面评价了浙江省 2000-2007 年水资源利用效率。评价结果表明,经济发展

收稿日期:2012-08-14; 修回日期:2012-09-20

基金项目:国家自然科学基金项目(50609021)

作者简介:罗琳(1987-),女,湖南衡阳人,在读硕士研究生,研究方向为水文及水资源。

水平和水资源紧缺状况是水资源利用效率最重要和最显著的影响因素^[8]。吕宝华等探讨了辽宁省的水资源承载力,得出该省水资源严重短缺;水开发利用程度高;供需矛盾突出;未来需求量将不断增大的结论^[9]。董宁等研究了济南市2001-2007年城市水资源可利用水平。通过研究,他认为济南市水资源属于波动型的可持续利用,并指出造成这一结果的主要原因-人均水资源量逐年下降、水污染严重^[10]。张晓萍等对黑龙江省水资源优势分析,认为该省水资源有效调蓄和优化配置潜力大,农业灌溉用水开发空间大,节约用水潜力大等^[11]。果丽等运用熵权法,选用生活用水量、生产用水量、人均用水量及万元GDP用水量4个指标,对哈尔滨市2000-2008年的水资源利用效率进行评估,指出哈尔滨市水资源利用效率显著提高^[12]。综上可看出,对水资源利用效率的评估已引起了广大学者的关注。

目前对陕西省水资源的研究主要为用水结构、水资源承载力、存在问题及对策等方面^[13-14],而针对陕西省各行政区水资源利用效率研究较少见。基于此,运用遗传算法的投影寻踪模型着重分析陕西省水资源利用效率,为提高利用效率及制定合理管理决策提供参考。

1 遗传投影寻踪模型简介

基于遗传算法的投影寻踪模型,其建模过程包括如下步骤^[15-16]:

(1) 评价指标值的归一化处理。设研究方案集为: $\{x^*(i, j) \mid i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, p\}$, 其中: $x^*(i, j)$ 为第 i 个方案第 j 个评价指标值; n, p 分别为方案的数目和评价指标的数目。

为消除各评价指标的量纲和统一各评价指标的变化范围,对越大越优型评价指标可采用下式进行极值归一化处理:

$$x(i, j) = \frac{x^*(i, j) - x_{\min}(j)}{x_{\max}(j) - x_{\min}(j)} \quad (1)$$

对越小越优型评价指标可采用如下进行极值归一化处理:

$$x(i, j) = \frac{x_{\max}(j) - x^*(i, j)}{x_{\max}(j) - x_{\min}(j)} \quad (2)$$

式中: $x_{\min}(j)$ 、 $x_{\max}(j)$ 分别为方案集中第 j 个评价指标的最小值和最大值。通过式(1)和式(2)得到的 $x(i, j)$ 统一为 $[0, 1]$ 区间上的评价指标。

(2) 构造投影指标函数。投影寻踪模型就是把 p 维数据 $\{x(i, j) \mid j = 1, 2, \dots, p\}$ 综合成以 $a =$

$(a(1), a(2), \dots, a(p))$ 为投影方向的一维投影值。

$$z(i) = \sum_{j=1}^p a(j)x(i, j) \quad (3)$$

接着根据 $\{z(i) \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ 的一维散布图进行方案优选,式(3)中 a 为单位长度向量。

在综合投影值时,要求投影值 $z(i)$ 的散布特征应为:局部投影点尽可能密集,最好凝聚成若干个点团;而在整体上投影点团之间尽可能散开。基于此,投影指标函数可构造为:

$$Q(a) = SzDz \quad (4)$$

式中: Sz 为投影值 $z(i)$ 的标准差, Dz 为投影值 $z(i)$ 的局部密度,即:

$$Sz = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(z(i) - Ez)^2}{n-1}} \quad (5)$$

$$Dz = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (R - r_{ij})u(R - r_{ij}) \quad (6)$$

式中: Ez 为系统 $\{z(i) \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ 的均值; R 为局部密度的窗口半径,它的选取既要使包含在窗口内的投影点的平均个数不能太少,避免滑动平均偏差太大,又不能使它随 n 的增大而增加太高, R 可以根据试验来确定,一般可取值为 αSz , α 可以为 0.1、0.01、0.001 等,依据投影点 $z(i)$ 在区域间的分布情况进行适当调整,距离 $r_{ij} = |z(i) - z(j)|$; $u(R - r_{ij})$ 为单位阶跃函数,当 $R - r_{ij} \geq 0$ 时其函数值为 1,当 $R - r_{ij} < 0$ 时其函数值为 0。

(3) 优化投影指标函数,确定最佳投影方向。当方案集给定时,投影指标函数 $Q(a)$ 只随投影方向 a 的变化而变化。不同的投影方向反映不同的数据结构特征,最佳投影方向就是最大可能暴露高维数据某类特征结构的投影方向。通过求解投影指标函数最大化问题可估计最佳投影方向,即:

最大化目标函数:

$$\max: Q(a) = SzDz \quad (7)$$

$$\text{约束条件 } s. t.: \sum_{j=1}^p a^2(j) = 1 \quad (8)$$

这是一个以 $\{a(j) \mid j = 1, 2, \dots, p\}$ 为优化变量的复杂非线性优化问题,用常规优化方法处理较困难。模拟生物优胜劣汰规则与群体内部染色体信息交换机制的加速遗传算法是一种通用的全局优化方法,用它来求解上述问题十分简便和有效。

(4) 评价。把最佳投影方向 a 代入(2)式得各样本的投影值 $z(i)$,据此可对评价样本集进行综合评价分析。

2 水资源利用效率评价指标的选取

根据代表性、独立性、易获取性等原则,借鉴许新宜等的中国水资源利用效率评估报告中对水资源利用效率评估指标体系的构建^[17],从水资源综合利用效率、农业水资源利用效率、工业用水效率这几个方面出发评估水资源利用效率,分别选用的评估指标是:万元 GDP 用水量、人均用水量、万元农业产值用水量、农田灌溉平均用水量、万元工业产值用水量。

由 2009 年陕西省水资源公报及 2010 年陕西省统计年鉴,得到陕西省 2009 年各行政区水资源数据(见表 1)。

3 结果分析

3.1 单指标水资源利用效率排序

根据表 1 农业、工业万元产值用水量(m^3 /万元)数据,不考虑各个行政区之间自然资源、产业结构的差异,对各行政区水资源利用效率排序(见图 1、2)。

从图 1、图 2 可以看出,对各个行政区水资源利用效率按万元工业产值用水量、万元农业产值用水量评价指标进行排序存在很大差异,无法得出各行政区水资源的相对综合利用效率。因此,要综合考虑各评

价指标对行政区水资源利用相对效率进行评价。

3.2 数据归一化

现考虑各个评价指标,用基于遗传算法的投影寻踪模型,根据表 1 数据对模型求解。由于所选用指标属于越小越优型,故用公式(2)将数据归一化,归一化数据见表 2。

表 1 陕西省 2009 年各行政区水资源数据

行政区	m^3 /万元, m^3/hm^2 , m^3 /人				
	万元 GDP 用水量	万元工业产值用水量	万元农业产值用水量	农田灌溉平均用水量	人均综合用水量
西安市	57.4	39.2	662.1	3618.0	186.6
铜川市	52.5	33.8	245.5	2677.5	99.6
宝鸡市	74.6	20.7	640.4	3316.5	172.1
咸阳市	128.5	51.9	424.6	2949.0	233.5
渭南市	238.8	60.3	1014.7	3694.5	275.4
杨陵区	82.1	6.8	711.6	3721.5	203.9
榆林市	56.8	16.1	733.1	4959.0	207.6
延安市	27.7	12.9	160.4	1750.5	112.6
汉中市	389.1	94.9	1630.7	10918.5	437.6
安康市	220.9	48.0	732.4	6573.0	235.4
商洛市	123.0	109.8	397.4	4092.0	109.1

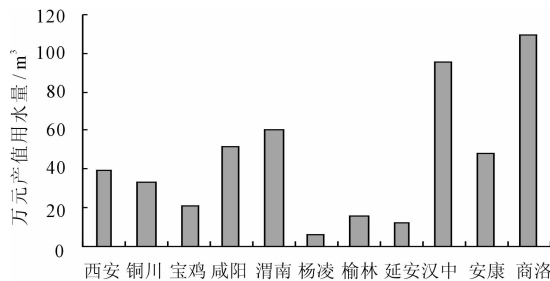


图 1 万元工业产值用水量

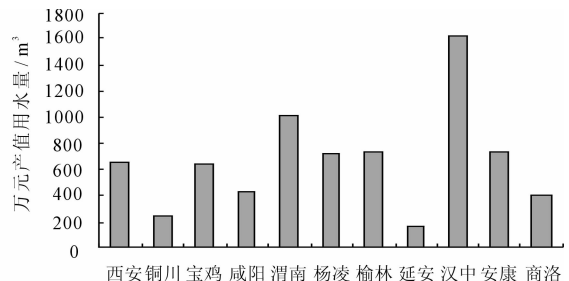


图 2 万元农业产值用水量

表 2 各水资源数据归一化 m^3 /万元, m^3/hm^2 , m^3 /人

行政区	万元 GDP 用水量	万元工业产值用水量	万元农业产值用水量	农田灌溉平均用水量	人均综合用水量
西安市	0.9178	0.6854	0.6588	11.9445	0.7426
铜川市	0.9314	0.7379	0.9421	13.4835	1.0000
宝鸡市	0.8702	0.8650	0.6735	12.4380	0.7855
咸阳市	0.7211	0.5621	0.8203	13.0395	0.6038
渭南市	0.4159	0.4806	0.4190	11.8200	0.4799
杨陵区	0.8495	1.0000	0.6251	11.7750	0.6914
榆林市	0.9195	0.9097	0.6105	9.7500	0.6805
延安市	1.0000	0.9408	1.0000	15.0000	0.9615
汉中市	0.0000	0.1447	0.0000	0	0.0000
安康市	0.4654	0.6000	0.6110	7.1100	0.5982
商洛市	0.7363	0.0000	0.8388	11.1690	0.9719

3.3 最佳投影向量及投影值

用 Matlab 加速遗传算法,取 $\alpha = 0.01$,即 $R = 0.01Sz$,计算得到最佳投影向量: $a = (0.3589 \ 0.6880 \ 0.1053 \ 0.5145 \ 0.3493)$ 。

最佳投影方向各分量值代表了相应指标对总体评价目标贡献的大小和方向,各分量所代表的指标顺序依次为:万元 GDP 用水量、万元工业产值用水量、万元农业产值用水量、农田灌溉平均用水量、人均综合用水量。

从最佳投影向量 a 值可以看出,各评价指标 $a(j)$ 均为正值,说明各评价指标投影方向一致。 $a(2)$ 即万元工业产值用水量投影分量最大,认为万元工业产值用水量对陕西省水资源利用效率影响最

大,其次为农田灌溉每公顷平均用水量、万元 GDP 用水量、人均综合用水量,万元农业产值用水量对陕西省水资源利用效率影响最小。

把最佳投影方向代入式(3)可以得到 11 个行政区的投影值 $Z(j)$:

$$Z = (1.5394 \ 1.7529 \ 1.6794 \ 1.3901 \ 1.0971 \ 1.7041 \ 1.5923 \ 1.9618 \ 0.0996 \ 1.0970 \ 1.0752)$$

投影值越大表示水资源综合利用效率越高,由 $Z(j)$ 可知,延安市的水资源综合利用效率最高,其后依次为铜川、杨凌、宝鸡、榆林、西安、咸阳、渭南、安康、商洛、汉中。

4 结 语

通过遗传算法的投影寻踪方法对陕西省 11 个行政区 2009 年水资源利用效率进行了综合评估,利用指标投影值 $Z(j)$ 对 11 个行政区水资源综合利用效率进行了排序。结论如下:

(1) 利用最佳投影方向可以科学地确定各评价指标的权重,给出了各评价指标投影的方向和大小,客观的反映了各评价指标的重要性和方向性。由最佳投影向量: $a = (0.3589 \ 0.6880 \ 0.1053 \ 0.5145 \ 0.3493)$ 可知:万元工业产值用水量对陕西省水资源利用效率影响最大,其次为农田灌溉平均用水量、万元 GDP 用水量、人均综合用水量,万元农业产值用水量对陕西省水资源利用效率影响最小,这与实际水资源利用效率相符。

(2) 把多维评价指标综合成一维投影指标,利用投影指标值 $Z(j)$ 的大小可以对水资源利用效率进行统一评价。由 11 个行政区的投影值 $Z = (1.5394 \ 1.7529 \ 1.6794 \ 1.3901 \ 1.0971 \ 1.7041 \ 1.5923 \ 1.9618 \ 0.0996 \ 1.0970 \ 1.0752)$ 可知:延安市的水资源综合利用效率最高,其后依次为铜川、杨凌、宝鸡、榆林、西安、咸阳、渭南、安康、商洛、汉中。由此可发现,陕北及关中地区的水资源综合利用效率高于陕南地区,陕南地区相较而言,汉中水资源综合利用效率最低。

(3) 由最佳投影向量中万元工业产值用水量这一指标权重最大,其次为农田灌溉亩均用水量。可知要提高陕西省水资源利用效率,可以从以下几个方面着手:①调整工业结构,使工业布局向合理的方向发展。在立项建设、招商引资等方面,限制高耗水、高污染项目。②加强污水处理回用。目前工业用水的回

用率在 35% 以下,大量的工业废水排入河道,造成河流的严重污染,影响河流水体使用功能。因此,必须加强水污染治理,减少工业废水污染源。③依靠节水技术,新建和改造农田节水灌溉。如:采用控制灌水技术、先进的灌溉设施。④加强雨水利用,可在陕北黄土高原丘陵沟壑区发展集水农业。

参考文献:

- [1] 刘新有,黄英,史正涛. 城市雨水资源利用对水安全的作用及其利用途径[J]. 中国水土保持,2009,27(7):39-41.
- [2] 宋进喜,李怀恩,王伯铎,等. 西安市雨水资源化及其利用的探索[J]. 水土保持学报,2002,16(3):102-105.
- [3] 胡庆芳,王银堂. 海河流域洪水资源利用评价研究[J]. 水文,2009,29(5):6-11.
- [4] 方红远,王银堂,胡庆芳. 区域洪水资源利用综合风险评价[J]. 水科学进展,2009,20(5):726-731.
- [5] 胡文俊. 石羊河流域水资源利用和生态环境保护对策[J]. 干旱区地理,2007,30(6):969-973.
- [6] 叶茂,徐海量,宋郁东. 塔里木河流域水资源利用及其变化趋势分析[J]. 科学通报,2006,51(z1):14-20.
- [7] 孙才志,闫冬. 基于 DEA 模型的大连市水资源-社会经济可持续发展评价[J]. 水利经济,2008,26(4):1-4.
- [8] 刘庆生. 浙江省水资源利用效率研究[J]. 水利经济,2010,28(2):28-30.
- [9] 吕宝华,郭纯一,高世斌,等. 辽宁省水资源承载能力的探讨分析[J]. 地下水,2008,30(1):109-111.
- [10] 董宁,田爱民,姜丰,等. 基于可持续发展的水资源综合评价研究[J]. 环境工程,2010,28(Z):444-447.
- [11] 张晓萍,李春红,孙立群. 黑龙江省水资源优势分析[J]. 水利科技与经济,2009(8):704-705.
- [12] 果丽,郭天华. 哈尔滨市水资源利用效率变化分析[J]. 黑龙江科技信息,2011(23):272+236.
- [13] 陈爱侠. 陕西省水资源利用效率及其影响因素分析[J]. 西北林学院学报,2007,22(1):178-182.
- [14] 邵金花,刘贤赵. 区域水资源承载力的主成分分析法及应用——以陕西省西安市为例[J]. 安徽农业科学,2006,34(19):5017-5018,5021.
- [15] 王暄. 基于投影寻踪模型的水质综合评价[J]. 地下水,2011,33(4):5-6.
- [16] 封志明,郑海霞,刘宝勤. 基于遗传投影寻踪模型的农业水资源利用效率综合评价[J]. 农业工程学报,2005,21(3):66-70.
- [17] 许新宜,王红瑞,刘海军. 中国水资源利用效率评估报告[M]. 北京:北京师范大学出版社,2010,10.