

基于TOPSIS法的区域水资源承载力预测评价*

——以陕西省关中地区为例

王江¹, 李靖², 魏红义¹, 田鹏¹

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100;

2. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨陵 712100)

摘要:应用多目标决策的TOPSIS法,对陕西省关中地区水资源承载力进行预测性评价,分析关中地区未来水资源开发利用的合理性及规划方案的可行性。结果表明:关中地区的水资源承载力均处于II—III级,相对较低,并趋近于III级极限值。可见,该区未来经济发展规划的期望值虽与水资源“承载力”各项指标相接近,但相对较低的水资源承载力势必给区域生态环境造成极大的压力。故在该地区未来水资源规划中,应充分考虑水资源开发、利用给生态环境带来的影响,在加大黄河过境水利用以及两江调水的基础上,更应加强节水、废污水处理和水的重复利用。该文采用TOPSIS评价模型,评价结果与模糊综合评判法基本一致。而TOPSIS法更具实用性和可操作性。

关键词:TOPSIS法; 水资源承载力; 预测性评价

中图分类号:T V213

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2008)03-0161-03

The Forecast Evaluation of Water Resources Carrying Capacity of Regional Water Resources Based on TOPSIS Model

— A Case Study of Guanzhong Region in Shaanxi Province

WANG Jiang, LI Jing, WEI Hong yi, TIAN Peng

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Water resources carrying capacity relates to the problem of water resources security closely and becomes an emphases of water resources study which has important effect on the water utilized and configured reasonably in the future. TOPSIS model was cited in this paper to make a forecast evaluation on water resources carrying capacity in Guanzhong area in Shaanxi province. The results demonstrated that the development of water resources is satisfied with the requirment in this region in the future. But rather lower resources carrying capacity will be threatd the local ecology environment. TOPSIS model adopted in this study is not only that the conclusion is similar with fuzzy comprehensive evaluation but aslo the opeartation is more easy.

Key words: TOPSIS; water resource carrying capacity; forecast evaluation

区域水资源承载力是指在可预见的技术、经济和社会生产条件下,水资源可供给工农业生产、人民生活 and 生态环境保护等用水的能力。水资源承载力分析的目的是为了揭示水资源与区域经济和人口之间的关系,应与水资源供需预测分析同步进行,以便实现水资源的合理利用和优化配置,从而确保区域自然资源和社会经济的可持续发展。我国对水资源承载力的研究始于20世纪90年代,迄今为止还尚未形成完整的理论和方法,仍处于一个不断发展和完善的阶段。本文将多目标决策的TOPSIS(technique for order preference by similarity to ideal solution)模型应用到区域水资源承载力的研究中,对陕西关中地区进行预测性评价,从“承载力”角度分析论证关中地区未来水资源开发利用的合理性以及规划方案的可行性,并将评价结果与模糊综合评判法进行

比较,评价结果基本一致,而TOPSIS法对区域水资源承载力的评价更具现实意义。

1 研究区概况

1.1 关中地区水资源特征

关中地区素有“八百里秦川”之称,是陕西省政治、经济和文化中心。该地区包括西安市和宝鸡、咸阳、铜川、渭南4个地级市,土地面积55384 km²,多年平均降水量648.6 mm,年平均地表水资源量73.7亿m³,地下水资源量53.4亿m³,扣除重复计算量,关中地区多年平均水资源量约82亿m³,占全省的18.4%;人均水资源量为400 m³,水资源利用率高达64.1%^[1],根据国际水资源丰富程度指标的划定:人均水资源量低于1000 m³、水资源利用率大于25%为紧

* 收稿日期:2007-07-25

基金项目:农业部948项目“土壤侵蚀及其环境效应评价模型”(2003-Z57)

作者简介:王江(1979-),男,内蒙古乌盟人,在读硕士,主要从事水土保持方面的研究。E-mail: wangjiang0474@yahoo.com.cn

通信作者:李靖(1945-),男,陕西凤翔人,教授,博士生导师,主要从事水资源保护与利用方面的研究。E-mail: lijinglee@tom.com

缺;人均水资源量低于 500 m³、水资源利用率大于 50% 为贫乏的标准,关中地区的缺水程度为贫乏状态^[1]。

1.2 关中地区水资源开发现状及发展规划

由于水资源的贫乏短缺,兴建水工程、增加供水量成为解决关中地区水资源供需矛盾的必由之路。关中地区的水工程建设主要集中在 20 世纪八、九十年代,到目前为止,共有大小蓄水工程 2 441 座,大小引水工程 1 293 处,提水工程 3 071 处。从 1995—2000 年,关中地区修建的大中型水利工程主要有:泾惠渠渠首加闸、宝鸡峡渠首加闸、三原西郊水库、引冯济羊工程、华县涧峪水库、渭南清峪水库、冯坊水库等。从 2000—2020 年修建和拟修建的大中型水利工程主要有:金盆水库、东庄水库、铜川龙潭水库、宝鸡高泉水库、马家河水库、亭口水库、郭家庄水库、铜川李家河水库、小水河水库、石头河北干过渭工程、引红济石调水工程、洛惠渠渠首改造工程以及加强黄河过境水开发利用的东雷二期抽黄工程、甘泽坡抽黄和大柳树抽黄工程等。同时,关中地区还规划了区外调水计划,主要从两江(嘉陵江、汉江)调水,规划路线 7 条。如果以 1995 年为基准年,考虑水工程投产运行的滞后性,预计到 2010 年关中地区总可供水量将达 90.8 亿 m³;到 2020 年总可供水量可达 116.5 亿 m³^[1]。

1.3 关中地区宏观经济发展目标

根据陕西省政府编制、陕西省人大审议通过的《陕西省国民经济和社会发展“九五”计划和 2010 年远景目标纲要》、《陕西省水资源开发利用规划,2003》以及“九五”计划实际执行情况和研究成果,关中地区 2010 年工业总产值将达 6 310 亿元,国内生产总值要比 1995 年翻两番多,达到 3 428 亿元,区内有效灌溉面积达到 113.7 万 hm²,总人口达到 2 412 万;到 2020 年工业总产值将达到 13 638.8 亿元,国内生产总值在 2010 年的基础上再翻两番多,达到 8 497 亿元,有效灌溉面积达到 115.7 万 hm²,总人口达到 2 613 万。在这一经济发展目标下以及各部门用水典型调查与普查资料基础上,充分考虑科学用水、节约用水情况,预测各水平年的需水量为:2010 年达 89.4 亿 m³,2020 年将达到 104.4 亿 m³^[1]。

2 评价模型的建立

2.1 TOPSIS 法简介

TOPSIS 法是 hwang 和 yoon 于 1981 年提出的^[2],其中思想是先选定一理想解和负理想解,然后求出监测点到理想解和负理想解间的距离,利用综合评价指标贴近度完成对监测对象的评价。目前,该方法已被广泛应用在经济项目方案的择优决策上,而在区域水资源研究方面相对较少。

2.2 评价模型的建立

(1) 设有 N 个待评价的对象,每个对象有 M 个评价指标,则有评价指标特征值矩阵 A

$$A = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1m} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{nm} \end{bmatrix}$$

$(i = 1, 2, \cdots, n; j = 1, 2, \cdots, m)$

(1)

(2) 由 A 可以构成规范化的矩阵 Z' 和加权矩阵 Z ,其元素分别为 Z'_{ij} 和 Z_{ij}

$$Z'_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{N=1}^n X_{ij}^2}}$$

(2)

$$Z_{ij} = W_j Z'_{ij} \quad (i = 1, 2, \cdots, n; j = 1, 2, \cdots, m)$$

(3)

(3) 利用变异系数法求各个驱动因子的权重 W_j

①计算第 j 个驱动因子的变异系数

$$\delta_j = \frac{D}{\bar{X}_j}$$

(4)

②计算第 j 个驱动因子的权重 W_j

$$W_j = \frac{\delta_j}{\sum_{j=1}^m \delta_j}$$

(5)

其中: $D = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2}$

(6)

$$\bar{X}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{ij}$$

(7)

式中: δ_j ——第 j 个驱动因子的变异系数; D ——第 j 个驱动因子特征值的均方差; \bar{X}_j ——第 j 个驱动因子特征值的均值。

(4) 确定理想解和负理想解

设 J 代表越大越优型目标集, f 代表越小越优型目标集,则:

$$\begin{aligned} Z^* &= (\max Z_{ij} \mid j \in J, \min Z_{ij} \mid j \in f) = (Z_1^*, Z_2^*, \cdots, Z_m^*) \\ Z^- &= (\min Z_{ij} \mid j \in J, \max Z_{ij} \mid j \in f) = (Z_1^-, Z_2^-, \cdots, Z_m^-) \end{aligned}$$

(8)

(5) 计算各评价对象到理想解的距离 S_i^* 和到负理想解的距离 S_i^- 。

$$\begin{aligned} S_i^* &= \sqrt{\sum_{N=1}^m (Z_{ij} - Z_j^*)^2} \\ S_i^- &= \sqrt{\sum_{N=1}^m (Z_{ij} - Z_j^-)^2} \end{aligned}$$

(9)

(6) 计算各对象接近于理想解和负理想解的贴近程度

$$c_i^* = \frac{S_i^-}{(S_i^* + S_i^-)}$$

$0 \leq c_i^* \leq 1 (i = 1, 2, \cdots, n)$

(10)

表 1 关中地区水资源承载力预测评价指标体系

评价指标	计算方法
灌溉率/%	有效灌溉面积与耕地面积之比
水资源开发程度/%	实际供水量与区域水资源可利用总量之比
供水模数/(万 m ³ ·km ⁻²)	实际供水量与土地面积之比
需水模数/(万 m ³ ·km ⁻²)	实际需水量与土地面积之比
国内生产总值模数/(万元·km ⁻²)	国内生产总值与土地面积之比
人均供水量/(m ³ ·人 ⁻¹)	实际供水量与总人口之比
生态环境用水率/%	生态环境用水总量与总需水量之比

3 模型计算

通过对区域水资源系统及各影响因素的综合分析,参照全国水资源供需分析指标体系,在充分考虑不同区域水资源

赋存量的差异以及开发利用方式不同的基础上,遵循指标选取的科学性、综合性、可操作性原则,选取 7 个相对性评价指标 $I_1 - I_7$ 作为关中地区水资源承载力预测评价因子(表 1); 关中地区基准年、预测年的原始数据及规划值见表 2; 参考国内外水资源丰富程度指标以及国内水资源承载力分级研究成果^[3-5],并结合关中地区水资源及其开发利用现状,划分关中地区水资源承载力预测评价指标分级值见表 3; 关

表 2 陕西关中地区基准年、预测年原始数据及规划值

评价年	水资源总量/ 亿 m ³	供水量/ 亿 m ³	需水量/ 亿 m ³	总人口/ 万人	国内生产总值/ 亿元	耕地面积/ 万 hm ²	有效灌溉面积/ 万 hm ²	生态用水量/ 亿 m ³
1995	126	56.54	74.28	2047	1188	176	95.2	1.05
2010	135	90.87	89.35	2412	3428	170	113.7	1.24
2020	161	111.6	104.4	2613	8497	168	115.7	3.14

注: (1) 供水保证率按 75% 计算; (2) 数据来源:《陕西省水资源利用》、《陕西省水资源开发利用规划, 2003》、《陕西省统计年鉴, 1995》、“九五”攻关课题组科研成果; (3) 水资源总量为关中地区多年平均水资源量与区域客水量以及目前和规划期内可利用的过境水量与区域调水量之和。

表 3 关中地区水资源承载力评价指标分级值

分级	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7
I 级	30	15	5	5	100	600	5
II 级	50	25	10	10	500	400	3.5
III 级	70	50	20	20	1000	200	2

注: I 级表示区域水资源有较大的承载能力; II 级表示区域水资源的承载能力已经接近于极限值; II 级介于 I 级和 II 级之间, 表示区域水资源承载能力已达相当规模, 但仍有一定的承载潜力。

表 4 关中地区水资源承载力评价基准年、预测年指标特征值

评价年	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7
1995	54.1	44.9	9.4	13.4	214.5	254.0	1.41
2010	66.9	67.3	16.4	16.1	619.0	378.0	1.39
2020	68.8	69.3	20.2	18.9	1534.2	446.0	3.01

表 5 数据标准化

分级与评价年	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7
I 级	0.0171	0.0185	0.0194	0.0169	0.0120	0.0685	0.2851
II 级	0.0286	0.0308	0.0388	0.0337	0.0600	0.0457	0.1996
III 级	0.0400	0.0616	0.0775	0.0675	0.1200	0.0228	0.1141
1995	0.0309	0.0509	0.0364	0.0452	0.0257	0.0290	0.0804
2010	0.0382	0.0829	0.0636	0.0543	0.0743	0.0432	0.0793
2020	0.0393	0.0853	0.0783	0.0638	0.1841	0.0510	0.1717

表 6 关中地区水资源承载力预测评价指标权重

项目	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7
权重 W_j	0.0817	0.1478	0.1392	0.1226	0.2413	0.1123	0.1550
Z^+	0.0171	0.0185	0.0194	0.0169	0.0120	0.0685	0.2851
Z^-	0.0400	0.0853	0.0783	0.0675	0.1841	0.0228	0.0793

表 7 关中地区水资源承载力预测评价结果

评价结果	I 级	II 级	III 级	1995 年	2010 年	2020 年
c_i^*	1.0000	0.6439	0.2529	0.4411	0.3264	0.2947
a_i^*	0.9500	0.5000	0.0500	0.4241	0.3270	0.2982

注: c_i^* ——应用 TOPSIS 法得到的水资源承载力预测评价综合指标值; a_i^* ——应用模糊综合评判法得到预测评价综合指标值。

4 结 论

(1) 关中地区基准年及预测年的水资源承载力均处于 II 级—III 级之间,并趋近于 III 级极限值。

区水资源承载力预测综合评价指标的分级值和基准年、预测年评价指标的特征值见表 4; 特征值数据标准化值见表 5; 计算关中地区水资源承载力预测评价指标因子权重值见表 6; 基于篇幅有限,略去关中地区水资源承载力预测评价的模糊综合评判法模型计算步骤,只将评价结果与 TOPSIS 法的评价结果同列于表 7 进行比较,其中 a_i^* 值越大,区域水资源承载力的潜力越大。

表 2 陕西关中地区基准年、预测年原始数据及规划值

(2) 在关中地区,未来经济发展目标虽在水资源“承载力”层次上是可行的,但相对较低的水资源承载力势必给区域生态环境造成极大的压力,引发多种生态环境问题,并直接影响区域生态与经济的可持续发展。

(3) 由评价因子权重计算可知,在关中地区,影响区域水资源承载力的关键因子有: 国内生产总值模数、生态环境用水率、水资源开发程度以及供水模数,故在该地区未来水资源规划中,在加大黄河过境水利用以及两江调水的基础上,应以水的高效利用为重。

(4) 运用 TOPSIS 法对关中地区水资源承载力评价结果与模糊综合评判法评价结果基本一致,可见将该方法用于区域水资源承载力评价是可行的。与模糊综合评判法相比, TOPSIS 模型不仅消除了模糊综合评判法带来的随机性和主观性,而且这种逼近理想解与负理想解的排序评价方法更能反映区域水资源的利用现状与紧缺程度,因此,对于区域水资源承载力评价,尤其在水资源短缺地区, TOPSIS 模型的应用就更值得推荐。

参考文献:

[1] 史鉴,陈兆丰,邢大伟. 关中地区水资源合理开发利用与生态环境保护[M]. 河南: 黄河水利出版社, 2002.

[2] 门宝辉, 夏军, 刘昌明. 基于变异系数权重的 TOPSIS 法在区域水资源承载力评价中的应用[M]//周孝德, 沈冰. 水与社会经济发展的相互影响及作用. 北京: 2005: 189-191.

[3] 秦奋. 基于模糊分析法的水资源承载力综合评价[J]. 水资源与水工程学报, 2006, 17(1): 2-3.

[4] 付湘, 纪昌明. 区域水资源承载力综合评价: 主成分分析法的应用[J]. 长江流域资源与环境, 1999, 8(2): 169-171.

[5] 陈腊娇, 冯利华. 主成分分析法在水资源承载力影响因素评价中的应用[J]. 水利科技与经济, 2006, 12(6): 362-363.

[6] 陕西省发展计划委员会. 陕西省水资源开发利用规划[M]. 陕西省水利厅, 2003: 258-271.