

# 区域地下水资源承载力综合评价研究

张鑫<sup>1</sup>, 王纪科<sup>1</sup>, 蔡焕杰<sup>1</sup>, 王正兴<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 山东省水利科学研究所, 山东 济南 250000)

摘要: 利用模糊综合评价法, 建立了区域地下水资源承载力的综合评价模型。并以关中平原为例, 对该区地下水资源承载力进行了分析评价, 评价结果合理、可靠。并提出了相应的开发对策。

关键词: 地下水资源; 承载力; 多因素综合评价

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2001)03-0024-04

中图分类号: TV211.12

## Comprehensive Evaluation on Resources Carrying Capacity of Regional Groundwater

ZHANG Xin<sup>1</sup>, WANG Ji-ke<sup>2</sup>, CAI Huan-jie<sup>1</sup>, WANG Zheng-xing<sup>2</sup>

(1. Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forest, Yangling 712100, Shaanxi Province, PRC;

2. Shandong Institute of Water Conservation, Jinan 250000, Shandong Province, PRC)

**Abstract:** Utilizing the Fuzzy Comprehensive Evaluation Model, a comprehensive evaluation model of the regional groundwater resources carrying capacity is established. And groundwater resources carrying capacity in Guanzhong plain area is analyzed and evaluated by the model. The evaluated results show that this method is reasonable and reliable. Additionally, the related strategies for rational development and utilization of groundwater resources are suggested.

**Keywords:** groundwater resources; carrying capacity; multifactor comprehensive evaluation

随着人口的剧增和经济的高速发展, 社会各方面对水的需求迅速增长, 水资源供需矛盾日益突出。地下水资源是区域经济发展的基础资源之一, 合理加以开发, 加强保护, 以提供更多的水量, 并做到可持续利用, 是一项重要而艰巨的任务。近年来, 由于过量开采地下水, 已造成地下水位持续下降、地下水水质恶化、地面沉降和土地荒漠化等一系列环境问题。正确评价区域地下水资源承载能力, 对该区域社会、经济的可持续发展、生态环境的良性循环和地下水资源的持续开发利用具有重要作用。目前, 关于区域水资源承载力方面的研究比较多<sup>[1-4]</sup>, 但单将地下水资源承载力作为研究对象的较少。

### 1 地下水资源承载力的概念和内涵

地下水资源承载力是指在未来不同的时间尺度上, 一定的技术经济水平和社会生产条件下, 地下水资源可最大供给工农业生产、人民生活 and 生态环境保护等用水的能力。

地下水资源承载力的涵义主要包括: (1) 地下水资源承载力的涵义必须同时兼顾社会、经济、技术和生态 4 个因素。(2) 地下水资源承载力是适度的, 具

有阈值。地下水资源承载力的阈值一方面取决于当代技术能力、经济水平, 而且呈正比例关系; 另一方面取决于生态环境对地下水资源承载力的制约, 呈反比例关系。(3) 地下水资源承载力是动态的量。一方面, 随着工程建设和开发技术的进步, 地下水资源的开发量占当地地下水资源总量的比例可逐渐增大, 从而增大地下水资源的承载力, 但这种增长具有阈值; 另一方面, 随时间的前进和节水技术的进步及节水意识的增强, 挖掘潜力、节约用水, 多方设法提高用水效率, 可提高单位水量的承载能力。但是, 如果过渡开发地下水资源或污染地下水, 引起地下淡水资源的退化, 那么地下水资源的承载力将会减小。

### 2 模糊综合评价模型<sup>[5]</sup>

设给定 2 个有限论域  $U = \{U_1, U_2, \dots, U_m\}$ ;  $V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$ , 其中  $U$  代表综合评判的因素所组成的集合,  $V$  代表评语所组成的集合, 则模糊综合评判为下列模糊变换,  $B = A \circ R$ , 式中  $A$  为  $U$  的模糊子集, 而评判结果  $B$  是  $V$  上的模糊子集, 并且可表示为  $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_m\}$ ,  $0 \leq a_j \leq 1$ , 其中  $a_i$  即为  $U$  对  $A$  的隶属度, 表示单因素  $U_i$  在评定因素中

所起作用大小的变量,也在一定程度上代表根据单因素  $U_i$  评定等级的能力,而  $b_j$  则为等级  $V_j$  对综合评定所得模糊子集  $B$  的隶属度,表示综合评判的结果。

评判矩阵为:

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{pmatrix}$$

式中:  $r_{ij}$  ——  $U_i$  的评价等级  $V_j$  隶属度,因而矩阵  $R$  中第  $i$  行  $R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in})$  即为对第  $i$  个因素  $U_i$  评价结果。评价计算中  $A = (a_1, a_2, \dots, a_m)$  代表各个因素的综合评价重要性的权系数,因此满足  $\sum_{i=1}^m a_i = 1$ 。同时模糊变换也即退化为普通矩阵计算。即:

$$b_j = \min \left\{ 1, \sum_{i=1}^m a_i r_{ij} \right\}$$

### 3 评价指标体系及权重的确定

#### 3.1 评价指标体系的建立

影响区域地下水资源承载力的因素很多:既有供水方面的因素,又有需水方面的因素;既有直接因素,又有间接因素。根据指标体系建立的完全性原则、简洁易得性原则、相对独立性原则和客观性原则,参照全面水资源供需分析中的指标体系<sup>[6,7]</sup>和关于水资源评价指标体系的研究成果<sup>[8-11]</sup>。在充分考虑不同区域地下水资源的差异以及开发利用方式不同的基础上,选取了以下相对性评价指标:

- (1) 地下水资源耕地灌溉率  $U_1$ : 地下水资源灌溉面积/耕地面积(%)
- (2) 地下水资源利用率  $U_2$ : 现状年地下水供水量与可利用的地下水资源总量之比(%)
- (3) 地下水资源开发利用程度为  $U_3$ : 现状年地下水供水量与地下水资源总量之比(%)
- (4) 供水模数  $U_4$ : 地下水资源年供给量/土地面积( $10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ )
- (5) 需水模数  $U_5$ : 现状年需水量/土地面积( $10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ )
- (6) 重复利用率  $U_6$ : 重复用水量/总用水量(%)
- (7) 人均供水量  $U_7$ : 地下水年供给量/总人口( $\text{m}^3/\text{人}$ )
- (8) 生态环境用水率  $U_8$ : 生态环境用水量/总水量(%)。

把上述因素按对地下水资源承载力影响的程度划分为 3 个等级  $V_1, V_2$  和  $V_3$ 。其中  $V_1$  表示该区仍

有较大的承载能力,  $V_3$  表示水资源的承载力已接近饱和值,进一步开发利用的潜力较小,  $V_2$  介于  $V_1$  和  $V_3$  之间,表明该区水资源开发利用已有相当规模,但仍有一定的开发利用潜力。为了定量反映各级因素地下水资源影响程度,对  $V_1, V_2$  和  $V_3$  进行 0~1 之间评分,  $\alpha_1 = 0.95, \alpha_2 = 0.5, \alpha_3 = 0.05$ , 数值越高,表明水资源开发潜力越大。综合评定时,按上述  $\alpha_j$  的值以及  $B$  矩阵中各等级隶属度  $b_j$  的值,按下式计算地下水资源承载力分级的综合评分值:

$$a = \sum_{j=1}^3 b_j^k \cdot \alpha_j / \sum_{j=1}^3 b_j^k$$

各评价指标的分级值见表 1。

表 1 综合评价指标的分级值

评价因素	$V_1$	$V_2$	$V_3$
$U_1/\%$	< 15	15~ 50	> 50
$U_2/\%$	< 50	50~ 75	> 75
$U_3/\%$	< 30	30~ 70	> 70
$U_4, U_5/(10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2})$	< 10	10~ 15	> 15
$U_6/\%$	< 50	50~ 80	> 80
$U_7/\text{m}^3/\text{人}$	> 150	150~ 100	< 100
$U_8/\%$	> 5	5~ 2	< 2
评分值	0.95	0.50	0.05

#### 3.2 指标权重的确定

确定指标权重的方法很多,目前国内外广泛采用的方法有语言化评价法、区间打分法(即隶属频度)、特尔斐(Delphi)法及层次分析法(AHP)。本文运用层次分析法<sup>[12]</sup>计算得各指标的相对权重:

$$a_1 = 0.080, a_2 = 0.24, a_3 = 0.179, a_4 = 0.077, a_5 = 0.077, a_6 = 0.228, a_7 = 0.070, a_8 = 0.046$$

### 4 矩阵 $R$ 的计算

根据上述的分析可知,评价因素集  $U = \{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6, U_7, U_8\}$  对应着评语集  $V = \{V_1, V_2, V_3\}$ , 评价矩阵  $R$  中  $r_{ij}$  即为某因素  $U_i$  对应等级  $V_j$  的隶属函数,其值的推求可根据各评价因素的实际数值对照各因素的分级指标来分析推求。为了清除各等级之间数值相差不大,而评价等级相差一级的跳跃现象,使隶属函数在各等级之间平滑过渡,对其进行模糊化处理;对于  $V_2$  级即中间区间,令其落在区间中点隶属度为 1,而侧边缘点的隶属度为 0.5,中间点向两侧按线性递减处理。对于  $V_1$  和  $V_3$  两侧区间,则令距临界值越远属两侧区间的隶属度越大。在临界值上则属于两侧等级的隶属度各为 0.5,按上述设想,根据相对隶属函数的定义<sup>[5,13]</sup>,构造了

如下各评价等级相对隶属函数的计算公式: 对于  $U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6$  各评语级相对隶属函数的计算公式:

$$\mu_{v_1}(U_i) = \begin{cases} 0.5(1 + \frac{k_1 - U_i}{k_2 - U_i}), & U_i < k_1 \\ 0.5(1 - \frac{U_i - k_1}{k_2 - k_1}), & k_1 \leq U_i < k_2 \\ 0, & U_i \geq k_2 \end{cases}$$

$$\mu_{v_2}(U_i) = \begin{cases} 0.5(1 - \frac{k_1 - U_i}{k_2 - U_i}), & U_i < k_1 \\ 0.5(1 + \frac{U_i - k_1}{k_2 - k_1}), & k_1 \leq U_i < k_2 \\ 0.5(1 + \frac{k_3 - U_i}{k_3 - k_2}), & k_2 \leq U_i < k_3 \\ 0.5(1 - \frac{U_i - k_3}{U_i - k_2}), & U_i \geq k_3 \end{cases}$$

$$\mu_{v_3}(U_i) = \begin{cases} 0.5(1 + \frac{U_i - k_3}{U_i - k_2}), & U_i \geq k_3 \\ 0.5(1 - \frac{k_3 - U_i}{k_3 - k_2}), & k_2 \leq U_i < k_3 \\ 0, & U_i < k_2 \end{cases}$$

对于评价因素  $U_7, U_8$  计算式为

$$\mu_{v_1}(U_i) = \begin{cases} 0.5(1 + \frac{k_1 - U_i}{k_2 - U_i}), & U_i \geq k_1 \\ 0.5(1 - \frac{U_i - k_1}{k_2 - k_1}), & k_2 \leq U_i < k_1 \\ 0, & U_i < k_2 \end{cases}$$

$$\mu_{v_2}(U_i) = \begin{cases} 0.5(1 - \frac{k_1 - U_i}{k_2 - U_i}), & U_i < k_1 \\ 0.5(1 + \frac{U_i - k_1}{k_2 - k_1}), & k_2 \leq U_i < k_1 \\ 0.5(1 + \frac{k_3 - U_i}{k_3 - k_2}), & k_3 \leq U_i < k_2 \\ 0.5(1 - \frac{U_i - k_3}{U_i - k_2}), & U_i < k_3 \end{cases}$$

$$\mu_{v_3}(U_i) = \begin{cases} 0.5(1 + \frac{U_i - k_3}{U_i - k_2}), & U_i < k_3 \\ 0.5(1 - \frac{k_3 - U_i}{k_3 - k_2}), & k_3 \leq U_i < k_2 \\ 0, & U_i \geq k_2 \end{cases}$$

上述公式中  $k_1$  为  $V_1$  和  $V_2$  等级的临界值;  $k_2$  为  $V_2$  等级区间中点值,  $k_2 = (k_1 + k_3)/2$ ;  $k_3$  为  $V_2$  和  $V_3$  等级的临界值。

## 5 关中平原区地下水资源承载力的综合评价

以关中平原区为例,应用本文的评价模型和计算方法进行地下水资源承载力的综合评价。

### 5.1 关中平原及其各分区评价因素的指标数值

关中平原地下水资源利用主要集中在城区及井灌或渠井双灌农业区。为了更好地分析本区地下水资源承载力的情况,将平原区分为西安、咸阳、宝鸡和渭南 4 个小区,首先按小区进行地下水资源承载力的综合分析,然后再全区综合评价。这样可使评价结果更加客观和全面地反映平原区地下水资源承载力的实际情况。根据关中平原区水资源的统计资料<sup>[14-16]</sup>,选取 1995 年为现状年,可计算关中平原区及其各分区评价因素的指标数值,见表 2。

表 2 关中平原及各分区评价因素的指标数值

评价因素	西安	咸阳	宝鸡	渭南	关中平原
$U_1 / \%$	53.79	22.09	16.17	20.52	26.15
$U_2 / \%$	92.00	88.24	67.18	79.94	82.53
$U_3 / \%$	89.00	80.76	22.75	62.61	60.12
$U_4 / (10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2})$	13.94	6.32	2.12	5.52	6.12
$U_5 / (10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2})$	17.52	8.37	3.37	6.30	7.61
$U_6 / \%$	44.40	44.10	41.60	29.60	41.00
$U_7 / (\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1})$	20.45	139.13	113.52	143.30	157.47
$U_8 / \%$	2	2	2	2	2

### 5.2 综合评价结果分析

利用模糊综合评价模型对关中平原区地下水资源承载力进行综合评价,结果见表 3。

表 3 关中平原区地下水资源承载力综合评价结果

分区	$V_1$	$V_2$	$V_3$	综合评分
西安	0.204	0.319	0.477	0.377
咸阳	0.308	0.358	0.328	0.488
宝鸡	0.440	0.475	0.084	0.660
渭南	0.359	0.406	0.235	0.556
关中平原	0.320	0.536	0.144	0.579

由表 3 可知,关中平原区水资源承载力综合评价成果  $b_j$  值对  $V_1$  和  $V_2$  两级隶属度较大,而对  $V_3$  的隶属度在 0.15 以下,并且综合评价分值达 0.58,表明本区地下水资源开发利用已达相当的规模,但仍具有一定的开发潜力。各小区中,西安小区的地下水资源开发利用已接近其开发容量,对  $V_3$  的隶属度高达 0.48,综合评分值仅为 0.38。地下水资源开发潜力的减小,加剧了该区水资源的供需矛盾。必须加强水资源管理,提高水的重复利用率,增强节水意识,充分利用地表水,在水量不增加的情况下,最大限度地提高水资源的承载力。咸阳小区,对  $V_1, V_2, V_3$  的隶属度分别为 0.31, 0.36, 0.33,综合评分值为 0.49。该区地下水资源的开发利用已处于迅速增长阶段,地下水资

源开发的潜力已相对较少,节水是保证经济发展的重要途径。宝鸡小区对  $V_1$  和  $V_2$  的隶属度均在0.44以上,对  $V_3$  的隶属度仅为0.08,综合评分值也高达0.66,表明本小区地下水可为今后经济发展,环境保护提供一定的水资源保障。渭南小区和咸阳小区的情况相近,地下水资源开发利用的潜力已相对较小。

### 5.3 评价精度分析

为检验该评价结果与实际情况是否一致,将传统的评价地下水资源承载潜力的方法和本文的方法作对比分析(以1995年作为现状年),见图1。

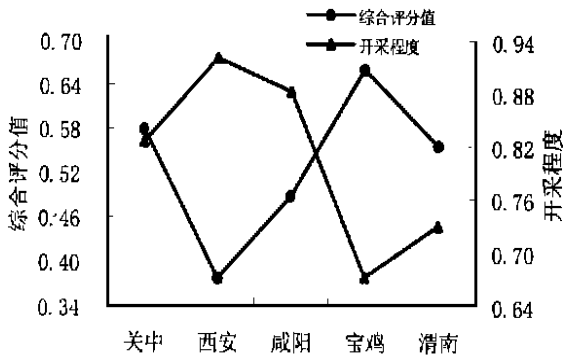


图1 关中平原区地下水资源承载力潜力对比分析

图1中表明本文的评价结果与单因素分析结果趋势完全一致,开采程度越大承载力综合分值得越小,开采程度越小承载力综合分值得越大。但本文的方法是多因素综合评价,不仅考虑到地下水资源的规模开发,而且也考虑到地下水资源的“深度”开发。尽管单从地下水资源的开采程度上看,似乎地下水资源的承载力已接近阈限,但经过综合分析评价,结果并非完全如此,这是因为地下水资源的承载力是一个动态的概念,它不仅包含地下水资源开采量本身的承载能力,而且还包含该部分水量经“深度”开发而形成的承载能力,如节约用水,提高水的重复利用率等均可提高地下水资源的承载能力。因此本文的评价结果是合理的、科学的。

## 6 结论

本文重点探讨了区域地下水资源承载力综合

评价的方法,分析建立了多因素综合评价模型与评价指标体系。并以关中平原区为例,在对该区地下水资源特征及开发利用等对承载能力影响的主要因素分析基础上,应用评价模型对该区地下水资源承载能力进行了分析评价,评价结果合理,评价精度较高,基本可以满足实际工作的需要。从而为该区地下水资源的进一步开发利用提供了参考依据。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 许有鹏. 干旱区水资源承载力综合评价研究[J]. 自然资源学报, 1993, 8(3): 229—237.
- [2] 阮本清, 沈晋. 区域水资源适度承载力计算模型研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(3): 57—61.
- [3] 傅湘, 纪昌明. 区域水资源承载力综合评价[J]. 长江流域资源与环境, 1999, 8(2): 168—172.
- [4] 陈冰, 李丽娟, 郭怀成, 等. 柴达木盆地水资源承载力方案分析[J]. 环境科学, 2000, 21(3): 16—21.
- [5] 楼世博. 模糊数学[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [6] 施嘉炀. 水资源综合利用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1995.
- [7] 水利电力部水文局. 中国水资源评价[M]. 北京: 水利电力出版社, 1987.
- [8] 潘理中, 金懋高. 中国水资源与世界各国水资源统计指标的比较[J]. 水科学进展, 1996, 7(4): 376—380.
- [9] 左东启, 戴树声, 袁汝华, 等. 水资源评价指标体系研究[J]. 水科学进展, 1996, 7(4): 367—373.
- [10] 黑龙江省水文总站编. 区域水资源分析计算方法[M]. 北京: 水利电力出版社, 1987.
- [11] 金光炎. 平原地下水资源评价[M]. 北京: 水利出版社, 1992.
- [12] 王莲芬, 许树柏. 层次分析法引论[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1990.
- [13] 陈守煜. 系统模糊决策理论与应用[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 1994.
- [14] 陕西水资源管理办公室. 一九九五年陕西省水资源公报[R]. 1996.
- [15] 汤宝澍, 王德让. 解决关中地区水源短缺的远景工程意见[J]. 陕西水利水电技术, 1997(1): 1—6.
- [16] 陕西省计划委员会, 水利厅. 陕西省水中长期供求计划报告[R]. 1996.