

[文章编号] 1000-2782(1999)05-0044-06

区域水资源潜力综合评判

贾 嵘¹, 沈 冰¹, 蒋晓辉¹, 薛惠锋²

(1. 西安理工大学水电学院, 西安 710048; 2. 西北工业大学, 西安 710072)

[摘 要] 在深入分析水资源潜力内涵和水资源开发利用阶段的基础上,建立了水资源潜力模糊综合评判模型和评判指标,并将该模型应用于关中西安、咸阳、宝鸡、铜川、渭南 5 个地市的水资源潜力的评判。结果认为,西安和铜川处于水资源开发利用的发展阶段;咸阳、渭南则处于饱和阶段;宝鸡市水资源利用处于开发阶段;以宝鸡市水资源开发潜力最大。

[关键词] 区域水资源;水资源潜力;综合评判;关中水资源潜力

[中图分类号] TV 213.9

[文献标识码] A

在即将进入 21 世纪的今天,中国在沉重的人口、资源和环境压力下,为保证经济和社会可持续稳定发展,保证水资源能够持续开发利用,再也不能象过去那样毫无节制地大规模开发并不丰富的淡水资源,而必须考虑到水资源的潜力和未来发展需要,量力而行。因此,摸清一个区域的水资源开发利用潜力,对于实现区域水资源的可持续利用和制定区域社会经济发展规模至关重要。本文从水资源潜力的内涵出发,建立水资源开发利用潜力评价指标体系,通过运用模糊综合评判的数学方法,对区域水资源开发利用潜力进行综合评价,并以关中地区为例进行了实证研究,为关中地区水资源的可持续利用和水利工程规划提供科学的决策依据。

1 水资源潜力的内涵

水资源潜力是指一个地区在可以预见的期间,以水资源开发利用不引起环境退化为前提,可以开发利用的潜在水资源量。它包括开辟新的水源地所新增加的可利用水量和提高水资源利用效率所节约的水量。水资源潜力是一个动态的概念,在不同时段,由于受到自然、社会、经济及环境等因素的制约作用,水资源可以开发利用的潜力是不同的,并且是有限的。水资源潜力具有如下几个性质:① 有限性;② 动态性;③ 阶段性;④ 二重功用性。

2 水资源开发利用阶段

水资源系统是自然和社会相互作用的动态系统,其开发利用程度是随着社会需求的增长和经济技术水平的提高而不断增加的,区域水资源的开发总是在一定的自然条件和社会经济技术水平的约束下进行的,在整个时间进程,呈现出阻尼因子下的增长模式。用 LOGISTIC 模型可以表示为: $dw_t/dt = r_t \cdot W_t \cdot (1 - W_t/Q_{\max})$, 其中, W_t 为水资源在整个

[收稿日期] 1999-01-07

[基金项目] 国家“九五”科技攻关项目(96-912-05-01-04)子题“关中水资源潜力及承载力评价”

[作者简介] 贾 嵘(1971-),男,讲师,博士

开发过程中 t 时段的开发利用状态量; W_{t_0} 为水资源开发利用的起始状态量; r_t 为水资源开发利用在第 t 时段内的增长率; $Q_{\max}$ 为水资源开发利用极限

用图 1 来描述, 设 t_1, t_2 为曲线的 2 个拐点, 则 t_1, t_2 将曲线分为 $V_1 \in (t_0, t_1), V_2 \in (t_1, t_2)$ 和 $V_3 \in (t_2, \infty)$ 3 个部分。这 3 部分对应着水资源开发过程连续而递进的 3 个阶段: ① $W \in V_1$, 水资源开发尚处于初始阶段。该阶段水资源开发规模小, 开发利用程度低, 利用率低, 发展缓慢, 工农业及整个经济处于耗水型, 谈不上水资源综合管理, 但水资源开发潜力巨大。② $W \in V_2$, 水资源开发处于发展阶段。该阶段水资源开发已具有一定的规模, 开发方式由初始阶段的广度逐渐向深度开发转变, 经济类型由耗水型逐步向节水型过渡, 并开始重视水资源的综合管理, 水资源的进一步开发仍具有较大的潜力。③ $W \in V_3$, 水资源开发处于饱和阶段。该阶段水资源开发利用程度已接近极限, 进一步开发潜力小, 开发方式以深度开发为主, 利用率高, 工农业及整个经济类型以节水型为主, 并且水资源综合管理达到相当水平。

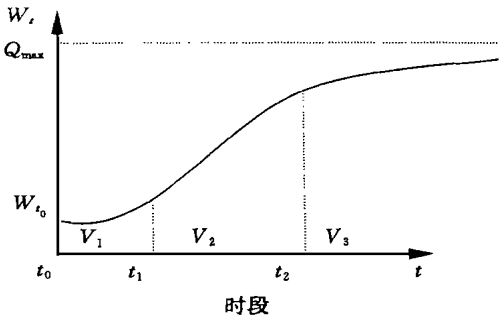


图 1 水资源利用阈值分析图

3 水资源潜力综合评判

3.1 综合评判模型^{[1][2]}

设给定 2 个有限论域 $U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_m\}$ 和 $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$, 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, 则模糊综合评判即表示下列的模糊变换 $B = A \circ R$, 式中 A 为 U 上的模糊子集, 而评判结果 B 是 V 上的模糊子集, 并且可表示为 $A = (a_1, a_2, \dots, a_m), 0 \leq a_i \leq 1; B = (b_1, b_2, \dots, b_n), 0 \leq b_j \leq 1$. 其中 a_i 表示单因素 u_i 在总评定因素中所起的作用大小的变量, 也在一定程度上代表根据单因素 u_i 评定等级的能力, b_j 则为等级 V_j 对综合评定所得模糊子集 B 的隶属度, 它表示综合评判的结果。关系矩阵 R 可表示为:

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

式中, r_{ij} 表示因素 u_i 的评价对等级 V_j 的隶属度, 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 的单因素评判结果。

在评价计算中 $A = (a_1, a_2, \dots, a_m)$ 代表了各个因素对综合评判重要性的权系数, 因此满足 $\sum a_i = 1, i = 1, 2, \dots, m$; 同时, 模糊变换 $A \circ R$ 也即退化为普通矩阵计算, 即 $b_j = \min(1, \sum a_i r_{ij}), i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$.

上述权系数的确定可通过专家评定法、德尔菲法、集值统计迭代法、层次分析法等算

法来实现,下面以层次分析法为例,说明权系数的算法

1)构造判断矩阵 判断矩阵表示针对综合评判各评判因素的重要性状况,具体构造方法是,假定 A 层元素与下一层元素 $B_1, B_2, \dots, B_n$ 有联系,则构造的判断矩阵形式为:

A	B_1	B_2	$\dots$	B_n
B_1	b_{11}	b_{12}	$\dots$	b_{1n}
B_2	b_{21}	b_{22}	$\dots$	b_{2n}
$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
B_n	b_{n1}	b_{n2}	$\dots$	b_{nn}

其中 b_{ij} 表示对 A 而言, B_i 与 B_j 相对重要性的数值表现形式 通常 b_{ij} 取 1, 3, 5, 7, 9 与它们的倒数。 $b_{ij} = 1$ 表示 B_i 与 B_j 一样重要; $b_{ij} = 3$ 表示 B_i 比 B_j 较为重要,反之则为 1/3; $b_{ij} = 5$ 表示 B_i 比 B_j 重要,反之则为 1/5; $b_{ij} = 7$ 表示 B_i 比 B_j 重要得多,反之则为 1/7; $b_{ij} = 9$ 表示 B_i 比 B_j 极为重要,反之则为 1/9.中间数 2, 4, 6, 8 表示相应二者的中间级别,这样可以表示 9 个级别。该判断矩阵有互反的性质,即 $b_{ji} = 1/b_{ij}$,因此,建立判断矩阵时,只需对矩阵的上三角或下三角部分进行赋值就可以了。

2)层次排序 就是计算出针对上层元素判断层元素的权重 W_i . 采用方根法,其步骤为:① 计算判断矩阵每行所有元素之积并开 n 次方,令其值为 x_i ,即

$$x_i = \left(\prod_{j=1}^n b_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}$$

② 求 W_i

$$W_i = x_i \sum_{i=1}^n x_i$$

③ 求判断矩阵的特征值 $\lambda_{\max}$,对原始判断矩阵进行一致性检验。

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(BW)_i}{n W_i}$$

一致性检验指标 $CR = CI / RI$,其中 $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$, RI 的值由判断矩阵阶数确定,当阶段数为 1~ 10 时, RI 分别为 0, 0, 0. 58, 0. 90, 1. 12, 1. 24, 1. 32, 1. 41, 1. 45 和 1. 53. 若 $CR < 0. 10$,认为判断矩阵有满意的一致性,算法结束,否则调整判断矩阵,重复上述步骤 最终求得的权重向量 W 即可赋给向量 A ,进行模糊评判

3. 2 评判因素的选取、分级和评分

影响水资源潜力的因素有很多,根据区域水资源特征,可选取以下评价因素:① 水资源开发利用率 U_1 . 现状 75% 频率的供水量与可利用的水资源总量之比;② 灌溉率 U_2 . 灌溉面积与土地面积之比;③ 地表水控制率 U_3 . 当地地表水蓄水工程入库水量与当地地表水资源量之比;④ 重复利用率 U_4 . 重复用水量在总用水量中所占的比重;⑤ 人均占有水量 U_5 . 当地水资源量与总人口之比;⑥ 人均供水量 U_6 . 现状 75% 频率的供水量与总人口之比;⑦ 平均渠系水利用系数 U_7 . 渠系渗漏补给量与渠首引水量之比;⑧ 客水利用率 U_8 . 客水利用量与客水总量之比;⑨ 供水量模数 U_9 . 年总供水量与土地面积之比;⑩ 开发利用程度 U_{10} . 年总供水量与水资源总量之比。

把上述 V_1, V_2, V_3 3 个阶段作为 3 个等级,对 V_1, V_2, V_3 进行 0~ 1 的评分, $T_1 = 0. 95$,

$T_2=0.5, T_3=0.05$, 这样便反映各级因素对水资源潜力的影响, 数值越大, 表示水资源潜力越大, 综合评定时, 按 T_j 的值以及 B 矩阵中等级隶属度 b_j 的值, 按下式计算, 得水资源潜力的综合评分值 $T=\sum (b_j T_j) \sum T_j, j=1, 2, 3$.

3.3 模糊关系矩阵的推求计算

上述分析已经看出评价因素集 $U=(u_1, u_2, \cdots, u_m)$, 对应评语集 $V=(v_1, v_2, \cdots, v_n)$, 而评判矩阵中 n_i 即为某因素 U_i 对应等级 V_j 的隶属度, 其值可根据各评价因素的实际数值对照各因素的分级指标推求. 为了消除各等级之间数值相差不大, 即评价等级相差一级的现象, 使隶属函数在各级之间能平滑过渡. 将其进行模糊化处理, 对于 V_2 级即中间区间, 令其落在区间中点隶属度为 1, 两侧边缘点的隶属度为 0.5. 中点向两侧按线性递减处理. 对 V_1, 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, 在临界值上则属两侧等级的隶属度为 0.5, 按上述设想构造了各评价等级的隶属函数的计算式. 现令各评价因素的 V_1 和 V_2 等级的临界值为 K_1, V_2 和 V_3 的临界值为 K_3, V_2 等级区间中点值为 $K_2, K_2=(K_1+K_3)/2$. 各评价因素分级指标见表 1.

表 1 评价因素分级指标

地区	U_1 %	U_2 %	U_3 %	U_4 %	$U_5 / (m^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-1})$	$U_6 / (m^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-1})$	U_7	U_8 %	$U_9 / (万 m^3 \cdot km^{-2})$	U_{10} %
V_1	< 50	< 15	< 5	< 50	> 345	> 345	< 0.55	< 0.2	< 10	< 30
V_2	50~ 75	15~ 50	5~ 25	50~ 80	300~ 345	250~ 345	0.55~ 0.73	0.2~ 1	10~ 15	30~ 70
V_3	> 75	> 50	> 25	> 80	< 300	< 250	0.73	> 1	> 15	> 70

对于 $U_1, U_2, U_3, U_4, U_7, U_8, U_9, U_{10}$ 各评语级隶属函数计算公式分别为:

$$_{-v1}(u_i) = \begin{cases} 0.5 \left\{ 1 + \left(\frac{k_1 - u_i}{k_2 - u_i} \right) \right\} & (u_i < k_1) \\ 0.5 \left\{ 1 - \left(\frac{u_i - k_1}{k_2 - k_1} \right) \right\} & (k_1 \leq u_i < k_2) \\ 0 & (u_i \geq k_2) \end{cases}$$
$$_{-v3}(u_i) = \begin{cases} 0.5 \left\{ 1 + \left(\frac{u_i - k_3}{u_i - k_2} \right) \right\} & (k_3 \leq u_i) \\ 0.5 \left\{ 1 - \left(\frac{k_3 - u_i}{k_3 - k_2} \right) \right\} & (k_2 \leq u_i < k_3) \\ 0 & (k_2 > u_i) \end{cases}$$

$$_{-v2}(u_i) = \begin{cases} 0.5 \left\{ 1 - \left(\frac{k_1 - u_i}{k_2 - u_i} \right) \right\} & (u_i < k_1) \\ 0.5 \left\{ 1 + \left(\frac{u_i - k_1}{k_2 - k_1} \right) \right\} & (k_1 \leq u_i < k_2) \\ 0.5 \left\{ 1 + \left(\frac{k_3 - u_i}{k_3 - k_2} \right) \right\} & (k_2 \leq u_i < k_3) \\ 0.5 \left\{ 1 - \left(\frac{u_i - k_3}{u_i - k_2} \right) \right\} & (k_3 \leq u_i) \end{cases}$$

对于 U_5, U_6 各评语级隶属函数计算公式分别为:

$$_{-v1}(u_i) = \begin{cases} 0.5 \left\{ 1 + \left(\frac{k_1 - u_i}{k_2 - u_i} \right) \right\} & (u_i \geq k_1) \\ 0.5 \left\{ 1 - \left(\frac{u_i - k_1}{k_2 - k_1} \right) \right\} & (k_2 \leq u_i < k_1) \\ 0 & (u_i < k_2) \end{cases}$$
$$_{-v2}(u_i) = \begin{cases} 0.5 \left\{ 1 - \left(\frac{k_1 - u_i}{k_2 - k_1} \right) \right\} & (u_i \geq k_1) \\ 0.5 \left\{ 1 + \left(\frac{u_i - k_1}{k_2 - k_1} \right) \right\} & (k_2 \leq u_i < k_1) \\ 0.5 \left\{ 1 + \left(\frac{k_3 - u_i}{k_3 - k_2} \right) \right\} & (k_3 \leq u_i < k_2) \\ 0.5 \left\{ 1 - \left(\frac{u_i - k_3}{u_i - k_2} \right) \right\} & (u_i \leq k_3) \end{cases}$$

$$_{v3}(u_i)=\begin{cases}0&1+\left(\frac{u_i-k_3}{u_i-k_2}\right)\left(u_i\leqslant k_3\right)\\0&1-\left(\frac{k_3-u_i}{k_3-k_2}\right)\left(k_3\leqslant u_i<k_2\right)\\0&\left(u_i\geqslant k_2\right)\end{cases}$$

4 实例研究—— 关中水资源潜力综合评判

1)关中基本情况^[3] 根据关中各地、市自然、社会经济概况以及水资源开发利用情况,构造关中地区及各地市的初始数据集如表 2所示。

表 2 关中地区初始数据集

地区	人口 / 万人	土地面积 / 万 km ²	灌溉面积 / 万 hm ²	水资源总量 / 亿 m ³	过境客水量 / 亿 m ³	客水利用量 / 亿 m ³	地表水入库量 / 亿 m ³	渠系有效利用系数	利用水量 / 亿 m ³	重复利用率 %
关中	2047.9	5.538	99.8	93.3	120.2	3.78	8.50	0.56	52.06	41.0
西安	684.2	0.998	22.5	31.36	12.8	0.98	1.65	0.6	18.47	44.4
铜川	80.4	0.388	1.31	1.14	1.68	0.16	0.45	0.42	0.94	21.8
宝鸡	346.2	1.817	17.97	32.66	81.2	1.71	3.79	0.5	7.54	41.6
咸阳	463.6	1.021	25.45	12.63	11.31	0.41	0.84	0.57	11.36	44.1
渭南	509.5	1.313	32.6	15.51	13.21	0.52	1.77	0.56	13.76	29.6

2)由上表数据计算得关中及各地市评价因素指标数值集如表 3。

表 3 关中地区水资源潜力评价因素指标数值集

地区	U_1 %	U_2 %	U_3 %	U_4 %	$\frac{U_5}{(\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1})}$	$\frac{U_6}{(\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1})}$	U_7	U_8 %	$\frac{U_9}{(\text{万 m}^3 \cdot \text{km}^{-2})}$	U_{10} %
关中	59.2	18.0	11.4	41.0	438.0	254.2	0.53	3.1	9.400	63
西安	58.9	22.6	18.4	44.4	458.3	270.0	0.60	7.7	18.501	72
铜川	82.5	3.4	39.7	21.8	141.8	116.9	0.42	9.5	116.915	82
宝鸡	23.1	9.9	34.4	41.6	943.4	217.8	0.50	2.1	4.149	32
咸阳	87.6	24.9	24.8	44.1	272.4	245.0	0.57	3.6	11.123	52
渭南	88.1	24.8	39.7	29.6	304.4	270.1	0.56	3.9	10.477	90

3)按因素对综合评判的相对重要性构造判断矩阵见表 4。

表 4 根据因素的相对重要性构造的判断矩阵

A	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8	U_9	U_{10}
U_1	1	7	3	3	7	5	3	3	6	1
U_2	1/2	1	1/5	1/6	1	1	1/6	1/7	1	1/7
U_3	1/3	5	1	1	5	5	1	1	6	1
U_4	1/3	6	1	1	6	6	1	1	5	1
U_5	1/7	1	1/5	1/6	1	1	1/5	1/6	1	1/7
U_6	1/5	1	1/5	1/6	1	1	1/5	1/6	1	1/7
U_7	1/3	6	1	1	5	5	1	1	5	1/3
U_8	1/3	7	1	1	6	6	1	1	5	1/3
U_9	1/6	1	1/6	1/5	1	1	1/5	1/5	1	1/7
U_{10}	1	1	7	1	1	7	7	3	3	7

4)关中各地市水资源潜力综合评分值 评语集 V 的模糊子集 $B=AO R=(b_1, b_2, b_3)$,其中 A, R 分别为前述过程得到的因素权重集和模糊关系矩阵, $b_i=\min(1, \sum (a_i \circ$

$n_j))$, $j= 1, 2, 3$,最后在此基础上利用公式 $U=\sum (b_j \circ U_j) \sum b_j$ (其中 $j= 1, 2, 3, U_1= 0.95, U_2= 0.5, U_3= 0.05$) 求出潜力综合分值。 最终结果见表 5。

表 5 关中各地市水资源潜力综合评分值

分区	V_1	V_2	V_3	综合评分值	分区	V_1	V_2	V_3	综合评分值
关中	0.26	0.57	0.17	0.532	宝鸡	0.50	0.28	0.21	0.631
西安	0.19	0.56	0.24	0.475	渭南	0.16	0.29	0.54	0.330
咸阳	0.13	0.47	0.38	0.389	铜川	0.21	0.21	0.57	0.337

5)结果分析 由综合评判计算结果可以看出,根据最大隶属原则,整个关中地区的水资源开发利用已处于发展阶段 V_2 ,水资源开发利用仍保持上升势头,潜力综合分值较大,达到 0.532,说明就关中整体而言,水资源的进一步开发利用仍有较大潜力。就 5 个地市情况而言,西安、铜川处于水资源开发利用的发展阶段 V_2 ,宝鸡处于水资源开发利用的初级阶段 V_1 ,咸阳、渭南处于水资源开发利用过程的饱和阶段 V_3 。潜力综合分值宝鸡市最高,为 0.631,渭南市最低为 0.330,表明 5 个地市中,宝鸡市水资源进一步开发的潜力最大,而渭南水资源潜力最小。

[参考文献]

[1] 张 跃著.模糊数学方法及其应用[M].北京:煤炭工业出版社,1992.55~100.
[2] 薛惠锋,贾 嵘,薛小杰,等著.水资源可持续利用的理论与实践[M].西安:西安地图出版社,1998.40~46.
[3] 西安市统计局编.西安统计年鉴—1996[M].北京:中国统计出版社,1996.1~58.

Regional water resource potentiality
analyses and evaluation

JIA Rong¹, SHEN Bing¹, JIANG Xiao-hui¹, XUE Hui-feng²

(1. Xi'an University of Technology, Xi'an, 710048, China;

2. North west Industry University, Xi'an, 710072, China)

Abstract Based on the deep analyses of the period of utilization and the potentiality of water resource, the paper puts foreword the index system and the comprehensive appraisal model of fuzzy system. And then the model has practically applied to assess the potentiality of water resource in Xi'an, Xianyang, Baoji, Tongchuan and Weinan prefectures. The result shows that water resource exploitation and utilization in Xi'an and Tongchuan is in developing stage. Xianyang and Weinan are in saturated stage. Baoji is in original stage with a great potential for tapping.

Key words regional water resource; potentiality of water resource; comprehensive assessment; potentiality of water resource in Guanzhong