

# 区域水资源可持续利用评价理论模型与方法

陈守煜

(大连理工大学, 辽宁大连 116024)

**[摘要]** 文章在论述区域水资源可持续利用与水资源承载能力关系的前提下, 提出了区域水资源可持续利用评价的模糊模式识别理论、模型和方法。应用所建立的模型对汉中盆地水资源可持续利用的程度进行了评价, 应用实例表明, 理论模型严谨, 方法简洁, 评价结果合理可行。此方法也可用于区域社会经济可持续发展等的评价。

**[关键词]** 水资源; 可持续利用; 评价; 模式识别; 模糊性

## 1 概述

人口、资源、环境、生态是当今世界面临的四大问题。水属于一种重要的自然资源, 与其它三个问题有着密切的关系并起着不可替代的作用。过去, 水资源的开发利用在很大程度上是粗放型的, 随着生产力的发展, 愈加暴露出了这种开发模式与社会经济、环境生态的不协调性, 如河道断流、地下水漏斗加深、土壤沙化、水体污染、水资源利用率低下等。

我国是一个水旱灾害频繁、水资源分配很不均匀且面临水资源短缺、水质恶化等许多水问题挑战的发展中国家, 人均水资源仅为世界平均数的四分之一。水资源的供需矛盾已成为我国社会发展、人民生活水平提高和环境保护的“瓶颈”。据统计, 目前全国每年缺水  $360 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 因缺水造成的经济损失高达 1 800 亿元, 而且也造成了生态环境的严重恶化。以黄河流域为例, 进入 20 世纪 70 年代以来, 随着黄河流域人口的增加和工农业生产的发展, 出现“四年三断流”的局面。而且, 断流时间长: 1994 年断流 75 天, 1995 年断流 122 天, 1996 年断流超过 150 天; 断流河段的长度长;

1995 年断流河段长达 742 km, 造成胜利油田减产 30 亿元, 济南市引黄水厂停产 3 个月等。水资源可持续利用问题已成为我国当前急需解决的一个战略问题<sup>[1]</sup>。“由水资源紧张、水污染严重和洪涝灾害为特征的水危机已成为我国可持续发展的重要制约因素。”<sup>[2]</sup>

目前, 国内外水资源可持续利用的前沿研究大都还停留在概念的提供或定性分析上, 缺乏定量评价的理论和方法。只有通过定量的手段阐明可持续利用的具体方法和途径, 使可持续利用具有可衡量性和可操作性。

结合我国国情, 开展水资源可持续利用的定量评价理论的研究, 建立其理论体系和准则, 并选择示范区解决当前水资源的突出矛盾, 具有重要的科学价值, 对我国社会经济可持续发展具有重要的应用前景。

## 2 水资源可持续利用程度与地区水资源承载能力

人类社会的可持续性包括生态可持续性、经济可持续性与社会可持续性。水资源是生态和经济系统的重要组成部分, 服从生态与经济规律的支配,

**[收稿日期]** 2000-05-18; **修回日期** 2000-11-20

**[基金项目]** 国家自然科学基金资助项目 (59179376)

**[作者简介]** 陈守煜 (1930-), 男, 浙江慈溪市人, 大连理工大学教授, 博士生导师

并且为生态环境与社会经济发展服务。水资源可持续性的存在,主要由自然界的生态可持续性法则与水循环过程决定。生态可持续性法则指出,对生物资源与非生物资源(光、热、气、水、土等)的利用,只要在速度与数量上不超过其自身的恢复再生能力,再生资源就可以持续不断的利用,其持续可供利用的数量,应该以多年平均持续产量为限度。例如,地表水水资源的多年平均持续产量为该地表水流域的多年平均径流量。否则,生态可持续性就要受到损害,甚至遭受到破坏。生态环境可持续性要求人类生活生产活动所产生的废弃物,不能超过自然界的环境容量或自净能力,否则,环境将受到污染。

水资源的更新再生与可持续性的存在,就是因为自然界存在着以年为周期的水文循环过程。水文循环过程不仅提供新鲜的淡水资源,且对环境起净化作用。但是,人类非理性的生活生产活动,如废弃物超标排放,超采地下水,滥伐林木,影响水文循环过程。

水资源可持续利用的实施;除天然的可持续性外,还需要开发、保护与科学管理,协调自然与社会关系且取得支撑。“一个共同的结论就是寻找一条水资源可持续开发的途径。”<sup>[3]</sup>水资源系统是自然与社会相互作用的动态系统,其开发利用程度随着社会经济需求的增长而不断增加,但这种增加是有限度的,以水资源的承载能力为其界限。水资源承载(能)力是在一定区域、相当的社会经济、物质生产与生活水平的条件下,水资源能够持续供给当代人与后代人需求的能力,在地区分布上有很大差异。我国长江、珠江与闽浙地区水资源比较丰富;黄河、海河、辽河地区严重不足;广大西北内陆地区极为贫乏<sup>[4]</sup>。

如果水资源的开发利用程度未超过水资源的承载力,就具备了水资源可持续利用的基本条件,它的识别,应以地区水资源承载能力的阈值为限度。下面建立评价水资源可持续利用的模糊模式识别模型。

### 3 水资源可持续利用的模糊模式识别模型

设有对水资源可持续利用 $\tilde{A}$ 作识别的  $n$  个样本集合

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}, \quad (1)$$

样本  $j$  的特性用  $m$  个指标特征值表示,

$$x_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})^T, \quad (2)$$

则样本集可用  $m \times n$  阶指标特征值矩阵

$$X = (x_{ij}) \quad (3)$$

表示。 $x_{ij}$  为样本  $j$  指标  $i$  的特征值;  $i = 1, 2, \dots, m$ ;  $j = 1, 2, \dots, n$ 。样本集依据  $m$  个指标按  $c$  个级别的指标标准特征值进行识别,则有  $m \times c$  阶指标标准特征值矩阵

$$Y = (y_{ih}), \quad (4)$$

$y_{ih}$  为级别  $h$  指标  $i$  的标准特征值;  $h = 1, 2, \dots, c$ 。

根据相对隶属函数定义<sup>[5,6]</sup>,建立对水资源可持续利用 $\tilde{A}$ 进行识别的参考连续统。确定参考连续统上关于 $\tilde{A}$ 的两个极点,然后在参考连续统上定义对 $\tilde{A}$ 的相对隶属函数。

通常有两种不同的指标类型:1) 指标标准特征值  $y_{ih}$  随级别  $h$  的增大而减小;2) 指标标准特征值  $y_{ih}$  随级别  $h$  的增大而增大。

对于第1类指标,确定小于、等于指标的  $c$  级标准特征值对 $\tilde{A}$ 的相对隶属度为0(左极点)。等于、大于指标的1级标准特征值对 $\tilde{A}$ 的相对隶属度为1(右极点)。

对于第2类指标,确定等于、大于指标的  $c$  级标准特征值对 $\tilde{A}$ 的相对隶属度为0(左极点)。小于、等于指标的1级标准特征值对 $\tilde{A}$ 的相对隶属度为1(右极点)。

对以上两类指标,其特征值介于1级与  $c$  级标准特征值之间者,对 $\tilde{A}$ 的相对隶属度按线性变化确定。则得指标对 $\tilde{A}$ 的相对隶属函数公式为

$$r_{ij} = \begin{cases} 0, & x_{ij} \leq y_{ic} \text{ 或 } x_{ij} \geq y_{i1} \\ \frac{x_{ij} - y_{ic}}{y_{i1} - y_{ic}}, & y_{i1} > x_{ij} > y_{ic} \\ \text{或 } y_{i1} < x_{ij} < y_{ic} \\ 1, & x_{ij} \geq y_{i1} \text{ 或 } x_{ij} \leq y_{i1} \end{cases} \quad (5)$$

式中  $r_{ij}$  为样本  $j$  指标  $i$  的特征值对 $\tilde{A}$ 的相对隶属度;  $y_{i1}$ 、 $y_{ic}$  分别为指标  $i$  的1级、 $c$ 级标准值。类似地,可得级别  $h$  指标  $i$  标准值  $y_{ih}$  对水资源可持续利用 $\tilde{A}$ 的相对隶属函数公式

$$S_{ih} = \begin{cases} 0, & y_{ih} = y_{ic} \\ \frac{y_{ij} - y_{ic}}{y_{i1} - y_{ic}}, & y_{i1} > y_{ih} > y_{ic} \text{ 或 } y_{i1} < y_{ih} < y_{ic} \\ 1, & y_{ih} = y_{i1} \end{cases} \quad (6)$$

式中  $S_{ih}$  为级别  $h$  指标  $i$  的标准值对  $A$  的相对隶属度；式 (5)、(6) 称指标对水资源可持续利用  $A$  的相对隶属函数公式，简称指标相对隶属函数公式。公式是以相对隶属度、相对隶属函数的概念与定义为基础，以参考连续统上的两极及中介的线性变化作为相对统一的参照系。

用指标相对隶属函数式 (5)、(6) 把指标特征值矩阵式 (3)、指标标准特征值矩阵式 (4) 变换为对  $A$  的相应的相对隶属度矩阵

$$R = (r_{ij}), \quad (7)$$

$$S = (s_{ih}). \quad (8)$$

由矩阵  $R$  知样本  $j$  的  $m$  个指标相对隶属度

$$r_j = (r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{mj})^T, \quad (9)$$

将  $r_j$  中指标 1, 2, ...,  $m$  的相对隶属度  $r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{mj}$  分别与矩阵  $S$  中的第 1, 2, ...,  $m$  行的行向量式 (8) 逐一地进行比较，可得  $r_j$  落入矩阵  $S$  的级别下限  $a_j$  与级别上限  $b_j$ 。

设样本集对  $A$  各级别的相对隶属度矩阵为

$$U = (u_{hj}), \quad (10)$$

$u_{hj}$  为样本  $j$  对  $A$  级别  $h$  的相对隶属度，由于样本  $j$  的  $m$  个指标相对隶属度全部落入矩阵  $S$  的级别区间  $a_j, b_j$  范围内，故矩阵  $U$  应满足约束条件

$$\sum_{h=a_j}^{b_j} u_{hj} = 1, \quad (11)$$

因样本集中每个样本的级别区间不同，从样本集整体考虑，要求矩阵  $U$  满足

$$\sum_{h=1}^c u_{hj} = 1. \quad (12)$$

一般地，级别区间  $[a_j, b_j]$  有  $a_j \geq 1, b_j \leq c$  要求同时满足约束条件式 (11)、(12) 必有

$$u_{hj} = 0, \quad h < a_j \text{ 或 } h > b_j. \quad (13)$$

特殊地， $a_j = 1, b_j = c$ ，约束条件式 (11)、(12) 成为一个约束。

由矩阵  $S$  知对  $A$  级别  $h$  的  $m$  个指标标准特征值的相对隶属度

$$s_h = (s_{1h}, s_{2h}, \dots, s_{mh})^T. \quad (14)$$

根据相对隶属函数定义，参考连续统上确定的左、

右极点有

$$S_{i1} = 0, \quad S_{ic} = 1. \quad (15)$$

一般地，样本集的  $m$  个指标对模式识别的影响程度不同，故指标应具有不同的权重。设指标权向量为

$$w = (w_1, w_2, \dots, w_m), \quad (16)$$

满足

$$\sum_{i=1}^m w_i = 1. \quad (17)$$

样本  $j$  与级别  $h$  间的差异用加权距离向量

$$d_j = (d_{a,j}, d_{(a+1),j}, \dots, d_{b,j}) \quad (18)$$

表示，式中

$$d_{hj} = \left\{ \sum_{i=1}^m [w_i (r_{ij} - S_{ih})]^p \right\}^{\frac{1}{p}}, \quad h = a_j, \dots, b_j \quad (19)$$

为样本  $j$  与级别  $h$  间的广义加权距离，其中  $p$  为距离参数， $p=1$  为海明距离， $p=2$  为欧氏距离。

模糊集理论中隶属度可定义为权重，故距离  $d_{hj}$  以  $u_{hj}$  为权重更完善地描述了样本  $j$  与级别  $h$  之间的差异，有

$$D_{hj} = u_{hj} d_{hj}, \quad (20)$$

$D_{hj}$  称为样本  $j$  与级别  $h$  间的加权广义加权距离。

为求解样本  $j$  对  $A$  级别  $h$  的最优相对隶属度，建立目标函数

$$\min \left\{ F(u_{ij}) = \sum_{h=a_j}^{b_j} D_{hj}^2 \right\}. \quad (21)$$

根据目标函数式 (21)、约束式 (11) 构造拉格朗日函数，令  $\lambda_j$  为拉格朗日乘子，则

$$L(u_{hj}, \lambda_j) = \sum_{h=a_j}^{b_j} u_{hj}^2 d_{hj}^2 - \lambda_j \left( \sum_{h=a_j}^{b_j} u_{hj} - 1 \right) \quad (22)$$

解

$$\frac{\partial L(u_{hj}, \lambda_j)}{\partial u_{hj}} = 0, \quad (23)$$

得样本  $j$  对水资源可持续利用  $A$  级别  $h$  的最优相对隶属函数公式

$$u_{hj} = \left( d_{hj}^2 \sum_{k=a_j}^{b_j} d_{kj}^{-2} \right)^{-1}, \quad d_{hj} \neq 0, a_j \leq h \leq b_j. \quad (24)$$

特殊地，当  $r_{ij} = s_{ih}, i = 1, 2, \dots, m$ 。此时样本  $j$  的  $m$  个指标相对隶属度与级别  $h$  的  $m$  个指标标准值的相对隶属度全部相等，由式 (19)  $d_{hj} = 0$ ，由物理分析可知，此时样本  $j$  百分之百的隶属

于  $h$  级, 有  $u_{hj} = 1$ 。

综上所述, 可得样本  $j$  对水资源可持续利用  $A$  级别  $h$  评价的模糊模式识别模型的完整形式为

$$u_{hj} = \begin{cases} 0, & h < a_j \text{ 或 } h > b_j \\ \left( d_{hj}^2 \sum_{k=a_j}^{b_j} d_{kj}^{-2} \right)^{-1}, & d_{hj} \neq 0, a_j \leq h \leq b_j \\ 1, & d_{hj} = 0 \text{ 或 } r_{ij} = s_{ih} \end{cases} \quad (25)$$

#### 4 水资源可持续利用程度模糊模式识别评价实例

应用模型式 (25) 评价我国西部地区之一的汉中盆地水资源可持续利用的程度。一些基本资料引自文献[7, 8]。

汉中盆地平坝区包括勉县、汉中、南郑、城固与洋县汉江沿岸滩地和一、二级阶地。本区位于  $106^{\circ}35' - 107^{\circ}42' E$ ,  $32^{\circ}57' - 33^{\circ}15' N$ , 地处亚热带与暖温带的过渡地带, 属半干旱半湿润地区, 多年平均降水量 890 mm, 多年平均自产径流量  $5.1 \times 10^8 m^3$ , 地下水资源总量  $7.47 \times 10^8 m^3$ 。区内水系众多, 水利设施类型比较齐全, 大型水库 1 座, 中型水库 4 座, 小 (一) 型水库 33 座, 总库容达  $3.37 \times 10^8 m^3$ 。并有引水灌溉工程 10 处。

近些年来, 随着改革开放的逐步深入, 经济迅速发展, 人口骤增, 平坝区水资源供需矛盾日益明显, 研究地区水资源可持续利用的程度, 对进一步开发利用平坝区水资源, 缓减水资源供需矛盾具有重要意义。其水资源的有关资料列于表 1。

表 1 平坝区及其分区水资源有关资料

Table 1 water resources data for Pingba field and its sub-fields

分区	人口/ $10^4$ 人	土地面积/ $km^2$	灌溉面积/ $km^2$	供水量/ $10^4 m^3$	利用水量/ $10^4 m^3$	需水量/ $10^4 m^3$	水资源总量/ $10^4 m^3$
勉县	23.05	243	94.91	23 201.7	11 994.9	11 173	53 380
汉中	35.80	322	20.98	31 689.0	16 837.3	16 329	63 020
南郑	25.43	292	117.80	1 171.5	16 112.3	15 730	63 000
城固	30.72	443	138.83	33 872.0	18 067.3	16 244	70 000
洋县	19.83	215	70.26	20 478.0	11 152.3	8 102	38 630
平坝区	134.83	1515	542.78	140 412.7	74 163.8	67 578	288 030

根据文献 [7] 对平坝区水资源影响因素的综合分析, 并参照全国水资源供需分析中的指标体系, 所选取的评价指标体系为:

- 灌溉率  $x_1/\%$ : 灌溉面积/土地面积
- 水资源利用率  $x_2/\%$ : 取 75% 代表年利用率
- 水资源开发程度  $x_3/\%$ : 取 75% 代表年开发程度
- 需水模数  $x_4/m^3 \cdot km^{-2}$ : 需水量/土地面积
- 供水模数  $x_5/m^3 \cdot km^{-2}$ : 75% 年供给量/土地面积
- 人均供水量  $x_6/m^3$ : 75% 年供给量/总人口
- 生态环境用水率  $x_7/\%$ : 生态环境用水量/总水量

根据表 1 得到平坝区及其各分区水资源系统的指标特征值见表 2。

参照文献 [7] 关于上述 7 项指标的 3 级指标标准值, 本文给定 7 项指标的 4 级指标标准值见表 3。

表 2 平坝区及各分区水资源指标特征值

Table 2 characteristic value of water resources indexes in Pingba field and its sub-fields

评价指标	勉县	汉中	南郑	城固	洋县	平坝区
灌溉率 $x_1/\%$	39.1	37.6	40.3	31.3	32.7	35.8
水资源利用率 $x_2/\%$	22.5	26.7	25.6	25.8	28.9	25.7
水资源开发程度 $x_3/\%$	43.5	50.3	49.5	48.4	53.0	48.7
供水模数 $x_4/10^4 m^3 \cdot km^{-2}$	95.5	98.4	106.8	76.5	95.2	92.7
需水模数 $x_5/10^4 m^3 \cdot km^{-2}$	46.0	50.7	53.9	36.7	37.7	44.6
人均供水量 $x_6/m^3$	1006.6	885.2	1225.8	1102.6	1032.7	1041.4
生态用水量 $x_7/\%$	2	2	2	2	2	2

表 3 评价指标 4 级标准值  
Table 3 four grade standard values of estimate indexes

评价指标	指标标准值			
	1 级 (高级)	2 级 (中级)	3 级 (低级)	4 级 (极低级)
灌溉率/%	≥60	45	35	≤20
水资源利用率/%	≥60	45	35	≤20
水资源开发程度/%	≥70	55	45	≤30
供水模数/10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> ·km <sup>-2</sup>	≥100	80	60	≤40
需水模数/10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> ·km <sup>-2</sup>	≥100	80	60	≤40
人均供水量/m <sup>3</sup>	≤1 000	1 750	2 250	≥3 000
生态环境用水率/%	≤2	3	4	≥5

根据表 2、3 可得汉中地区水资源可持续利用程度的现状指标特征值与指标标准值矩阵：

$$X = \begin{bmatrix} 39.1 & 37.6 & 40.3 & 31.3 & 32.7 & 35.8 \\ 22.5 & 26.7 & 25.6 & 25.8 & 28.9 & 25.7 \\ 43.5 & 50.3 & 49.5 & 48.4 & 53.0 & 48.7 \\ 95.5 & 98.4 & 106.8 & 76.5 & 95.2 & 92.7 \\ 46.0 & 50.7 & 53.9 & 36.7 & 37.7 & 44.6 \\ 1006.6 & 885.2 & 1225.8 & 1102.6 & 1032.7 & 1041.4 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 \end{bmatrix} = (x_{ij})$$

$$Y = \begin{bmatrix} 60 & 45 & 35 & 20 \\ 60 & 45 & 35 & 20 \\ 70 & 55 & 45 & 30 \\ 100 & 80 & 60 & 40 \\ 100 & 80 & 60 & 40 \\ 1\ 000 & 1\ 750 & 2\ 250 & 3\ 000 \\ 2 & 3 & 4 & 5 \end{bmatrix} = (y_{ih})$$

式中： $i = 1, 2, \dots, 7$  为指标号； $j = 1, 2, \dots, 6$  为地区号； $h = 1, 2, 3, 4$  为级别编号。

应用式 (5)、式 (6) 将  $X$ 、 $Y$  变换为水资源 1 级可持续利用的指标相对隶属度与指标标准值相对隶属度矩阵：

$$R = \begin{bmatrix} 0.478 & 0.440 & 0.508 & 0.283 & 0.318 & 0.395 \\ 0.063 & 0.168 & 0.140 & 0.145 & 0.223 & 0.143 \\ 0.338 & 0.508 & 0.488 & 0.460 & 0.575 & 0.468 \\ 0.925 & 0.973 & 1 & 0.608 & 0.920 & 0.878 \\ 0.100 & 0.178 & 0.232 & 0 & 0 & 0.077 \\ 0.997 & 1 & 0.887 & 0.949 & 0.984 & 0.979 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} = (r_{ih})$$

$$S = \begin{bmatrix} 1 & 0.625 & 0.375 & 0 \\ 1 & 0.625 & 0.375 & 0 \\ 1 & 0.625 & 0.375 & 0 \\ 1 & 0.667 & 0.333 & 0 \\ 1 & 0.667 & 0.333 & 0 \\ 1 & 0.625 & 0.375 & 0 \\ 1 & 0.667 & 0.333 & 0 \end{bmatrix} = (s_{ih})$$

为确定 7 项评价指标的权向量，应用文献 [5] 提出的确定指标重要性排序一致性定理，得到通过检验的 7 项指标重要性排序一致性标度矩阵

$$F = \begin{matrix} & & & & & & & \text{排序} \\ \begin{matrix} 0.5 & 0 & 1 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 1 \\ 1 & 0.5 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0.5 \\ 0.5 & 0 & 1 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 1 \\ 0.5 & 0 & 1 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 1 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0.5 \end{matrix} & \begin{matrix} \textcircled{2} \\ \textcircled{1} \\ \textcircled{6} \\ \textcircled{2} \\ \textcircled{2} \\ \textcircled{6} \end{matrix} \end{matrix}$$

按矩阵  $F$  关于重要性的排序，运用经验知识，以排序①的指标  $x_2$  逐一地与排序为②、⑥的指标，作出关于重要性程度的二元比较判断如下：

指标  $x_2$  与指标  $x_1, x_4, x_5, x_6$  相比，处于“稍稍”与“略为”重要之间；指标  $x_2$  与指标  $x_3, x_7$  相比，处于“较为”与“明显”重要之间。应用文献 [9] 中语气算子与相对隶属度之间的关系表可得 7 项评价指标的非归一化权向量为  $W' = (0.739, 1, 0.481, 0.739, 0.739, 0.739, 0.481)$ ，则指标的归一化权向量

$$W = (0.150, 0.204, 0.098, 0.150, 0.150, 0.150, 0.098)$$

应用模糊模式识别模型式 (25) 求解汉中地区平坝区对各个级别水资源可持续利用程度的相对隶属度。现以平坝区 ( $j = 6$ ) 为例对求解作一说明。

由矩阵  $R$  得  $j = 6$  的指标相对隶属度向量为

$$r_6 = (0.395, 0.143, 0.468, 0.878, 0.077, 0.979, 1)^T$$

将  $r_{16} = 0.395$  与矩阵  $S$  的第 1 行元素值或行向量  $s_1 = (1, 0.625, 0.375, 0)$  作比较后，有  $0.625 > 0.395 > 0.375$ ，即  $r_{16}$  介于 2、3 级之间，记以  $a_{16} = 2, b_{16} = 3$ 。类似地，由  $r_{26} = 0.143, a_{26} = 3, b_{26} = 4$ ；由  $r_{46} = 0.878, a_{46} = 1, b_{46} = 2$  可得

$$a_6 = \min a_{i6} = 1,$$

$$b_6 = \max b_{i6} = 4。$$

取距离参数  $p=2$ , 当  $j=6$  时, 模糊模式识别模型式 (25) 可表示为

$$u_{h6} = 1 / \left( \sum_{i=1}^7 [w_i (r_{i6} - s_{ih})]^2 \cdot \sum_{i=1}^4 1 / \sum_{i=1}^7 [w_i (r_{i6} - s_{ik})]^2 \right)。$$

将向量  $r_6$ ,  $w$  与矩阵  $S$  中的有关数据, 代入上式得  $u_{16}=0.137$ 。

类似地, 得到  $j=6$ ,  $h=1, 2, 3, 4$  水资源可持续利用程度的相对隶属度向量

$$u_6 = (0.137, 0.348, 0.363, 0.152)。$$

应用笔者的级别特征值公式<sup>[5]</sup>, 得到平坝区水资源可持续利用程度的级别特征值

$$H_6 = (1, 2, 3, 4) \cdot (0.137, 0.348, 0.363, 0.152)^T = 2.530。$$

对  $j=1, 2, \dots, 5$  进行类似的解算, 得到汉中地区平坝区及其各分区水资源可持续利用程度的级别特征值向量

$H = (2.533, 2.439, 2.441, 2.667, 2.506, 2.530)$ , 由此得到汉中地区平坝区及其各分区水资源可持续利用程度的评价结果列于表 4。

表 4 水资源可持续利用程度评价结果

Table 4 assessment results of sustainable utilization degree for water resources

分区	勉县	汉中	南郑	城固	洋县	平坝区
级别特征值	2.533	2.439	2.441	2.667	2.506	2.530

由表 4 可见, 汉中地区平坝区及其各分区的水资源可持续利用程度处于 2、3 级之间, 即处于中、

低级水资源可持续利用的程度, 因此还有很大的开发潜力。

## 5 结语

笔者提出的模糊模式识别模型式 (25), 同样可用于区域社会经济可持续发展的评价与识别。因为可持续发展、可持续利用等概念均属于模糊概念。但相应参数应换作区域社会经济可持续发展的指标体系与指标标准值。

### 参考文献

- [1] 国务院. 中国 21 世纪议程——中国 21 世纪人口、环境与发展白皮书 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1994
- [2] 中国工程院“21 世纪中国可持续发展水资源战略研究”项目组. 中国可持续发展水资源战略研究综合报告 [J]. 中国工程科学, 2000 (8): 1~11
- [3] 陈家琦. 全球变化和水资源的可持续开发 [J]. 水科学进展, 1996, 7 (3): 187~192
- [4] 冯尚友, 刘国全. 水资源持续利用的框架 [J]. 水科学进展, 1997, 8 (4): 301~307
- [5] 陈守煜. 工程模糊集理论与应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1998
- [6] 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
- [7] 高彦春, 刘昌明. 区域水资源开发利用的阈限分析 [J]. 水利学报, 1997, (8): 73~79
- [8] 高彦春, 惠泱河. 汉中盆地平坝区水资源分析评价 [J]. 西北大学学报, 1996, 26 (1): 43~46
- [9] 陈守煜. 防洪调度多目标决策理论与模型 [J]. 中国工程科学, 2000, (2): 47~52

## Theory Model and a Method for Qualitative Assessment of Sustainable Development of Regional Water Resources

Chen Shouyu

(Dalian University of Technology, Dalian, Liaoning 116024, China)

[Abstract] Based on analysis of the relationship between sustainable development and bearing capacity of regional water resources, this paper presents a fuzzy pattern recognition model and a method for qualitative assessment of sustainable development of regional water resources, which are applied to assess the sustainable development of water resources of Hanzhong Basin. The case study proves that the model and method are reliable and that results are reasonable and practicable. They can also be applied to the assessment of the sustainable development of social economies.

[Key words] water resources; sustainable development; assessment; pattern recognition; fuzzy