

# 水资源开发利用评价的支持向量机模型

任政, 郝振纯

(河海大学 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098)

**摘要:** 针对水资源开发利用多指标不相容、评价模型精度难以控制等问题, 为提高评价等级的分辨率和模型的精度, 根据标准评价指标和等级, 随机模拟大样本数据, 运用训练数据随机交叉和回归误差控制等方法选择模型参数, 建立水资源开发利用程度综合评价的支持向量机的通用模型. 并以西安地区水资源开发利用评价为例进行验证. 结果表明, 通用模型适用性强, 与模糊评价相比较, 评价结果更加客观可靠.

**关键词:** 水资源开发利用; 综合评价; 支持向量机; 随机交叉

**中图分类号:** TV213.9:O242.1   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1009-640X(2009)01-0034-06

水资源是社会经济发展的基础资源, 是生态环境的控制因素. 水资源利用将促进经济的发展, 推动社会的进步. 但是, 不合理的水资源开发将破坏生态环境健康, 导致水资源的再生能力降低, 从而引发水资源危机. 所谓水资源开发利用程度综合评价<sup>[1]</sup> 就是根据水资源开发利用程度评价指标, 通过所建立的数学模型, 对一个地区的水资源开发利用程度进行评价, 从而全面分析水资源开发利用程度的状况, 为水资源可持续利用提供科学依据和决策支持.

由于实际水资源开发利用程度各项指标的评价结果常常是不相容的, 直接利用水资源开发利用程度评价标准表进行水资源开发利用程度等级评判缺乏实用性. 模糊综合评判法<sup>[2]</sup>、层次分析法<sup>[3]</sup>、灰色关联法<sup>[4]</sup>、多目标决策-理想点法<sup>[5]</sup>和人工神经网络法<sup>[6]</sup>等方法各有特点, 但模型精度较难控制. 20世纪90年代, 基于统计学习理论(statistical learning theory, SLT)发展起来的支持向量机<sup>[7]</sup>(support vector machines, SVM)是一种新的分类和回归工具. SVM通过惩罚经验风险值和极小化置信区间, 提高模型的泛化能力并控制模型的精度, 较好地解决了小样本、非线性、高维数、局部极小点等实际问题, 已在模式识别、信号处理、函数逼近等领域得到了应用.

本文根据水资源开发利用等级评价标准, 采用模拟技术生成足够数量的标准序列, 用SVM对样本序列进行训练, 建立水资源开发利用综合评价SVM的通用模型, 并对西安地区水资源开发利用程度进行评价, 并将评价结果与模糊评价结果进行比较, 以验证该方法的可行性和合理性.

## 1 评价等级和SVM模型

### 1.1 评价指标和等级

水资源系统是自然和社会交互的动态系统, 受自然条件和技术水平的约束, 水资源的开发利用程度随社会经济的发展而不断增加, 在整个时间进程中, 呈现出阻尼因子下的增长模式<sup>[2]</sup>. 根据这一增长模式, 本文将水资源开发利用程度分为3个等级, 相应的水资源开发利用为3个阶段.

收稿日期: 2008-05-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70471083, 40801012)

作者简介: 任政(1975-), 男, 四川蓬溪人, 博士研究生, 主要从事水文水资源研究工作. E-mail: Shzrenzheng@126.com

等级 1, 水资源开发处于初始阶段. 水资源开发利用程度低, 利用率低, 社会发展缓慢, 工农业处于用水低效型, 谈不上水资源管理, 但开发潜力巨大.

等级 2, 水资源开发处于发展阶段. 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开发逐渐向深度开发转变, 经济类型由耗水型向节水型过渡, 并开始重视水资源管理, 水资源的进一步开发仍具有较大的潜力.

等级 3, 水资源开发处于饱和阶段. 水资源开发利用程度接近极限, 进一步开发潜力小, 重视水资源的开发利用的管理, 开发方式以深度开发为主, 工农业及整个经济类型以节水型为主.

等级越高表示水资源开发利用程度越大, 开发潜力越小, 管理水平成为重点. 鉴于影响水资源开发利用程度的因素比较多, 本文研究选取如表 1 所示的指标作为水资源开发利用程度综合评价等级的依据<sup>[2]</sup>.

表 1 评价等级标准

Tab. 1 Assessment standard

评价指标	评价等级		
	1 级	2 级	3 级
水资源开发利用率 $u_1$ (%)	<50	50-75	>75
灌溉率 $u_2$ (%)	<15	15-50	>50
地表水控制率 $u_3$ (%)	<5	5-25	>25
重复利用率 $u_4$ (%)	<50	50-80	>80
人均占有水量 $u_5$ (m <sup>3</sup> /人)	>345	300-345	<300
人均供水量 $u_6$ (m <sup>3</sup> /人)	>345	250-345	<250
平均渠系水利用系数 $u_7$	<0.55	0.55-0.73	>0.73
客水利用率 $u_8$ (%)	<0.2	0.2-1	>1
供水量模数 $u_9$ (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )	<10	10-15	>15
水利工程投资比重 $u_{10}$ (%)	<0.1	0.1-1.5	>1.5

### 1.2 SVM 模型<sup>[7]</sup>

SVM 分为 SVM 分类机和 SVM 回归机. SVM 分类机能有效处理种类是两类的分类问题, 对于两类以上的分类可以采用逐步分类, 也可以采用回归机. 关于分类机和回归机, 文献[8]从理论上证明了分类是回归的一种特殊情况. 因此, 本文针对表 1 中的 3 类分类问题, 采用 SVM 回归机进行建模.

已知训练空间  $D = (x_i, y_i), x_i \in R^n, y_i \in R, i = 1, 2, \dots, l, x_i$  为评价指标构成的向量,  $y_i$  为  $x_i$  对应的评价等级, 存在一个非线性函数  $\Phi(\cdot)$ , 将  $x_i$  映射到高维特征空间, 在高维空间进行线性回归, 回归函数为:

$$f(x_i) = \bar{\omega} \cdot \Phi(x_i) + b \tag{1}$$

式中: 参数  $\bar{\omega}$  和  $b$  分别为超平面的权值向量和偏移值;  $\Phi$  固定不变, 影响参数的有经验风险  $R_{emp}$  和  $\bar{\omega}$  高维空间平坦的  $\|\omega\|^2, R(\bar{\omega}, b) = \lambda \|\omega\|^2 + R_{emp}$  为结构风险. (1) 式的目标参数就是  $R(\bar{\omega}, b) \rightarrow \text{Min}$  时对应的参数组合.

$|y_i - f(x_i)|_\varepsilon = \max\{0, |y_i - f(x_i)| - \varepsilon\}$  为损失函数, 其中  $\varepsilon$  为不敏感损失系数, 即如果预测误差在  $\varepsilon$  内, 损失函数值为 0; 当预测误差在  $\varepsilon$  外时, 损失函数值为预测误差与  $\varepsilon$  之差. 通过引入松弛变量  $\xi_i$  和  $\xi_i^*$ , 取  $\lambda = 0.5$ , (1) 式中参数  $\bar{\omega}$  和  $b$  估计转化为以下极值问题:

$$\text{Min} F(\bar{\omega}, b, \xi, \xi^*) = 0.5 \|\bar{\omega}\|^2 + C \left( \sum_{i=1}^l \xi_i + \sum_{i=1}^l \xi_i^* \right) \tag{2}$$

$$\text{s. t } \begin{cases} y_i - f(x_i) \leq \varepsilon + \xi_i^* \\ f(x_i) - y_i \leq \varepsilon + \xi_i \\ \xi_i^* \geq 0 \quad \xi_i \geq 0 \end{cases}$$

式中:  $C$  为调节实测值与预测值超出  $\varepsilon$  的惩罚系数,  $C$  越大则对数据的拟合程度越高,  $\varepsilon$  控制支持向量机个数和泛化能力, 其值越大, 则支持向量越少, 但精度不高. 引入拉格朗日乘子  $\alpha, \alpha^*, \gamma$  和  $\gamma^*$ , 并对决策变量  $\bar{\omega}, b, \xi$  和  $\xi^*$  求最小值, 对  $\alpha, \alpha^*, \gamma$  和  $\gamma^*$  求最大值, 其对偶问题形式为凸二次规划:

$$\text{Min}W(\alpha, \alpha^*) = 0.5 \sum_{i,j=1}^l (\alpha_i - \alpha_i^*)(\alpha_j - \alpha_j^*)K(x_i, x_j) + \varepsilon \sum_{i=1}^l (\alpha_i + \alpha_i^*) - \sum_{i=1}^l y_i(\alpha_i - \alpha_i^*) \quad (3)$$

$$\text{s. t} \begin{cases} \sum_{i=1}^l (\alpha_i - \alpha_i^*) = 0 \\ \alpha_i, \alpha_i^* \in [0, C] \end{cases}$$

式中:  $K(x_i, x_j) = \varphi(x_i)^T \cdot \varphi(x_j)$  为核函数, 满足 Mercer 定理下的任意对称函数. 由优化方程, 可以求得  $\alpha$  和  $\alpha^*$ , 水资源开发利用综合评价的决策函数表述为:

$$f(x) = \sum_{i=1}^l (\alpha_i - \alpha_i^*)K(x_i, x) + b \quad (4)$$

其中, 偏移值  $b$  可以通过 Karush-Kuhn-Tucker 条件计算获得<sup>[9]</sup>, 取两项的平均值.

$$b = \begin{cases} y_i - \sum_{j=1}^l (\alpha_j - \alpha_j^*)K(x_i, x_j) - \varepsilon \\ y_i - \sum_{j=1}^l (\alpha_j - \alpha_j^*)K(x_i, x_j) + \varepsilon \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, l$$

## 2 基于 SVM 的水资源开发利用综合评价

### 2.1 生成指标值序列和评价等级

假设等级  $k$  指标  $j$  取值的上、下限分别为  $a_j^k$  和  $b_j^k$ ,  $j=1, 2, \dots, m$ , 其中  $m$  为评价指标数目;  $y_i^k$  为其相应的评价等级值,  $i=1, 2, \dots, n_k$ , 其中  $n_k$  为评价等级  $k$  对应的指标序列的容量. 随机评价序列生成函数  $x_{ij}^k = \alpha_j^k + \text{Rand}(n_k, 1) \cdot (b_j^k - a_j^k)$ ,  $x_{ij}^k$  为等级  $k$  指标  $j$  顺序  $i$  的指标值;  $\text{Rand}(n_k, 1)$  为  $(0-1)$  区间产生的  $n_k$  个随机数, 将生成的评价指标值和等级统一记为  $(x_i, y_i)$ ,  $i=1, 2, \dots, n$ , 其中  $n = \sum_{k=1}^K n_k$  为生成的序列总容量.

将评价区水资源开发利用各项评价指标值组成 1 个向量, 代入下面训练好的决策函数, 计算结果可评价研究区水资源的开发利用等级.

### 2.2 水资源开发利用综合评价的决策函数<sup>[10]</sup>

选取  $\varepsilon$  为 0.000 1, 核函数选用径向基函数 (radial basis function, RBF), 其表达式为  $K(x_i, x) = \exp(-r\|x_i - x\|^2)$ . 本文采用剖分网格和随机交叉的方法率定参数  $C$  和  $r$ , 基本步骤为: ①根据研究对象, 拟定  $C \in [2^{-5}, 2^{11}]$  和  $r \in [2^{-9}, 2^5]$ ; ②在  $C$  和  $r$  的范围内采用剖分网格, 分别取  $C=2^{-5}, 2^{-3}, \dots, 2^{11}$  和  $r=2^5, 2^3, \dots, 2^{-9}$ , 两两配对构成 72 对组合; ③对每一组合将样本随机分成相等的 5 份, 取其中 1 份作为预测样本, 其余 4 份作为训练样本, 进行交叉 5 次计算, 获得均方误差  $E$ ; ④设定  $E$  的限定值  $E_0$ , 若  $E < E_0$  训练结束, 选择最小  $E$  对应的参数组合  $(C, r)$  和 RBF 表达式代入 (3) 式和 (4) 式, 得到相应的决策函数, 否则在上述计算得到最小  $E$  的附近, 进一步进行剖分网格, 返回 ③.

## 3 实证分析

本文以西安地区为例<sup>[2]</sup>, 根据西安各区县的实际资料进行预处理后得到表 1 的各项评价指标值 (见表 2). 评价等级标准 (见表 1) 未给出等级 1 和等级 3 的下界和上界, 容易导致随机生成等级 1 和等级 3 的序列偏离实际过大或缺乏意义, 例如表 1 中给出水资源开发利用大于 75 属于 3 级, 模拟的数据如果是 200, 则缺乏实际意义, 构成的评价指标数据就会使等级属于 3 明显不合理. 因此, 需要确定等级 1 的下边界和等级 3 的上边界. 本文结合西部水资源开发利用特点<sup>[11, 12]</sup> 和各指标的物理意义, 确定上述 2 个等级的边界. 例如水资源开发利用, 根据物理意义确定等级 3 的上边界为 100; 文献<sup>[11]</sup> 给出西部水资源开发利用程度的最

低参考值为 31, 故等级 1 的下边界为 31. 又如对人均占有水资源量指标, 上界值和下界值是根据文献[12]中西安市统计 1980 年至预测 2020 年的最大、最小水资源量和最小、最大人口数计算获得. 根据以上方法, 结合表 1 获得水资源开发利用区间评价等级标准见表 3.

表 2 西安地区评价指标值

Tab. 2 Assessment index values in Xi'an region

	西安地区	市 区	长 安	户 县	周 至	高 陵	临 潼	蓝 田
$u_1$	64.29	84.6	47.79	68.33	51.8	39.16	68.55	83.33
$u_2$	23.52	44.75	24.07	30.08	13.1	65.14	43.72	7.89
$u_3$	7.3	11.56	6.42	1.41	1.83	0	52.21	5.25
$u_4$	44.4	58.3	48.6	52.7	35.4	37.1	38.2	40.5
$u_5$	411.29	145.84	520.8	640.18	783.43	1169.4	390	753.59
$u_6$	264.42	123.38	248.88	412.83	405.85	457.98	267.34	628
$u_7$	0.54	0.6	0.55	0.52	0.54	0.5	0.54	0.55
$u_8$	2.02	1.98	2.05	2.05	2.01	2.08	2	0
$u_9$	17.1692	34.5216	13.645	19.2086	8.2544	35.5172	18.931	19.221
$u_{10}$	0.48	0.45	1.82	0.17	0.12	0.17	1.32	0.01

表 3 区间评价等级标准

Tab. 3 Interval assessment standard

评 价 指 标	评 价 等 级		
	1 级	2 级	3 级
水资源开发利用率 $u_1$ (%)	[31, 50]	[50, 75]	[75, 100]
灌溉率 $u_2$ (%)	[6, 15]	[15, 50]	[50, 78]
地表水控制率 $u_3$ (%)	[0, 5]	[5, 25]	[25, 62]
重复利用率 $u_4$ (%)	[28, 50]	[50, 80]	[80, 95]
人均占有水量 $u_5$ (m <sup>3</sup> /人)	[345, 1403]	[300, 345]	[116, 300]
人均供水量 $u_6$ (m <sup>3</sup> /人)	[345, 735]	[250, 345]	[98, 250]
平均渠系水利用系数 $u_7$	[0, 0.55]	[0.55, 0.73]	[0.73, 0.97]
客水利用率 $u_8$ (%)	[0, 0.2]	[0.2, 1]	[1, 2.5]
供水量模数 $u_9$ (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )	[6, 10]	[10, 15]	[15, 42]
水利工程投资比重 $u_{10}$ (%)	[0, 0.1]	[0.1, 1.5]	[1.5, 2.18]

根据表 3, 对等级 1~3 分别生成 1 000 个样本点, 计算选用 Chang & Lin 开发的 LIBSVM 软件包, 取  $E_0 = 0.1\%$ . 将样本点作为 SVM 模型的训练数据, 按前述方法建立水资源开发利用程度综合评价决策函数. 选择最小均方误差的参数组合作为决策函数的参数值, 表 4 为不同参数组合的均方误差.

表 4 不同参数的均方误差

Tab. 4 Square mean error of different parameters

(单位: %)

C	r							
	2 <sup>5</sup>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>-1</sup>	2 <sup>-3</sup>	2 <sup>-5</sup>	2 <sup>-7</sup>	2 <sup>-9</sup>
2 <sup>-5</sup>	246.9040	7.4671	1.3457	5.5327	7.4053	10.1013	31.8128	413.399
2 <sup>-3</sup>	36.8853	1.5365	0.3204	3.3956	6.6720	8.7781	10.6412	30.4775
2 <sup>-1</sup>	15.7729	0.4626	0.1570	1.5506	5.9889	8.0504	9.5238	10.8021
2 <sup>1</sup>	15.3297	0.3683	0.1039	0.9616	4.9962	6.9843	9.2276	9.7680
2 <sup>3</sup>	15.3308	0.3889	0.0732	0.5831	3.7640	6.2575	8.4410	9.4717
2 <sup>5</sup>	15.3308	0.3908	0.0645	0.3853	2.4989	5.4458	7.1737	9.5624
2 <sup>7</sup>	15.3308	0.3908	0.0762	0.2637	1.6841	4.3613	6.5058	8.5756
2 <sup>9</sup>	15.3308	0.3908	0.1001	0.2039	1.2330	3.7971	5.8175	7.2392
2 <sup>11</sup>	15.3308	0.3908	0.1079	0.1745	0.9585	2.9371	5.0192	6.5878

相同训练数据不同的参数组合下,SVM 具有不同的学习能力.实验表明,均方误差以  $r=2$  为中心向四周扩散,随着增加而减小,逐渐趋于一个稳定值,选取  $(C,r)=(32,2)$  作为参数,将表 2 的数据代入训练的决策函数,计算西安市各地区的水资源开发利用程度综合评价等级,结果见表 5.

表 5 水资源开发利用程度综合评价等级

Tab. 5 Integrated assessment grade of water resources exploitation and utilization

	西安地区	市 区	长 安	户 县	周 至	高 陵	临 潼	蓝 田
等级值	2.025	2.144	2.089	1.985	1.771	2.065	2.157	1.320
开发阶段	2-3	2-3	2-3	1-2	1-2	2-3	2-3	1-2
模糊评价 <sup>[2]</sup>	0.447	0.598	0.458	0.429	0.319	0.315	0.589	0.377

西安地区评价等级值为 2.025,这表明整体水资源开发处于发展阶段,开发已具有一定的规模,经济增长逐渐向节水型过渡,并开始重视水资源综合管理,但水资源开发还具有一定的潜力.在各区县中,市区、长安、临潼和高陵的等级超过 2,表明水资源开发由发展阶段向饱和阶段过渡,水资源的开发已具有相当的规模,开发潜力逐渐减小,应重视水资源管理;户县、周至和蓝田的等级低于 2,表明水资源开发由初级阶段向发展阶段过渡,经济类型正由用水低效益初步向高效型转化,水资源的进一步开发具有很大的潜力.

上述 SVM 评价结果比模糊评判方法相应的结果更为合理.例如高陵、蓝田和周至,按照表 1 的等级评价标准,3 个地区指标 4~7 均属于 1 级,且绝对数据差别并不大,模糊评判的等级排序为蓝田>周至>高陵,而 SVM 评判的等级大小为高陵>周至>蓝田.结合 3 个地区的经济发展和水资源开发利用实际,SVM 的评价结果更趋合理.

与此同时,SVM 不仅可直接判断水资源开发所处的阶段,而且可以判断出处于同一开发阶段不同区域的水资源开发利用程度的相对大小,而模糊综合判断方法只能用等级分值来评价水资源开发利用程度的大小,对于水资源开发利用程度所处阶段的判断较为模糊.

## 4 结 语

(1) SVM 解决了各项评价指标的不相容问题,评价精度高. SVM 将指标之间的相关性融入为一个集成的向量作为模型的输入,模型的输出直观地给出评价等级,根据给定的评价标准区间信息,各等级随机抽取等量的 1 000 个样本点,通过选取的不敏感系数和均方误差,提高了训练模型的精度;

(2) SVM 简便、客观. SVM 根据评价等级标准,由拟定样本数据驱动,建立水资源开发利用程度综合评价的通用数学模型,既克服了模糊综合评价等函数模式类评价方法构造评价指标集与评价等级之间的函数关系的困难,又解决了不同专家组成确定的指标权重不一致问题;实验表明,基于 SVM 的评价方法比模糊评判方法结果更趋合理,结果显示更加直观;

(3) 模型通用性强. 基于 SVM 的评价方法不仅适用于水资源开发利用的等级评价,同样也适用于已知评价标准表的其他系统评价.

## 参 考 文 献:

- [1] 杨晓华, 杨志峰, 郦建强, 等. 区域水资源开发利用程度综合评价的最佳逼近模型[J]. 系统工程理论与实践, 2004, 24(6): 120-125. (YANG Xiao-hua, YANG Zhi-feng, LI Jian-qiang, et al. An optimal approximation model for comprehensive assessment of regional water resources utilization[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2004, 24(6): 120-125. (in Chinese))
- [2] 贾 嵘, 薛小杰, 薛惠锋, 等. 区域水资源开发利用程度综合评价[J]. 中国农村水利水电, 1999, 27(11): 22-25. (JIA Rong, XUE Xiao-jie, XUE Hui-feng, et al. Comprehensive evaluation of development level of regional water resources

- [J]. **China Rural Water and Hydropower**, 1999, 27(11): 22-25. (in Chinese))
- [3] 杨奇勇, 李景保, 冯发林. 通过层次分析综合评价湖南省水资源开发利用程度[J]. 水资源研究, 2007, 21(1): 8-10. (YANG Qi-yong, LI Jing-bao, FENG Fa-lin. Comprehensive evaluation of water resources utilization of Hunan Province based on AHP[J]. **Water Resources Research**, 2007, 21(1): 8-10. (in Chinese))
- [4] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 2002. (DENG Ju-long. Grey System Theory Course[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2002. (in Chinese))
- [5] 陈 武, 李凡修, 梅 平. 应用多目标决策-理想点法综合评价水环境质量[J]. 环境工程, 2002, 20(3): 64-65. (CHEN Wu, LI Fan-xiu, MEI Ping. Comprehensive assessment of water environment quality based on multiple-goal decision-making and ideal point method[J]. **Environmental Engineering**, 2002, 20(3): 64-65. (in Chinese))
- [6] 宋松柏, 蔡焕杰. 区域水资源可持续利用评价的人工神经网络模型[J]. 农业工程学报, 2004, 20(6): 89-92. (SONG Song-bai, CAI Huan-jie. Artificial neural network model for assessing the sustainable utilization of regional water resources[J]. **Transactions of Chinese Society of Agricultural Engineering**, 2004, 20(6): 89-92. (in Chinese))
- [7] Vladimir NVapnik. 张学工译. 统计学习理论的本质[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000. (Vladimir NVapnik. The Nature of Statistical Learning Theory[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2000. (in Chinese))
- [8] 孙德山. 支持向量机分类与回归算法的关系研究[J]. 计算机应用与软件, 2008, 25(2): 84-85. (SUN De-shan. Research on the relationship between support vector machine classification and regression algorithm[J]. **Computer Applications and Software**, 2008, 25(2): 84-85. (in Chinese))
- [9] 梁 华, 李应红, 尉询楷, 等. 基于混沌和支持向量机的预测模型分析与应用[J]. 弹箭与制导学报, 2006, 26(1): 479-482. (LIANG Hua, LI Ying-hong, WEI Xun-kai, et al. Analysis and applications of forecasting model based on chaos theory and support vector machines[J]. **Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance**, 2006, 26(1): 479-482. (in Chinese))
- [10] Jae H Min, Young-Chan Lee. Bankruptcy prediction using support vector machine with optimal choice of kernel function parameters[J]. **Expert Systems with Applications**, 2005, 28:603-614.
- [11] 张宗祜, 卢耀如. 中国西部地区水资源开发利用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002. (ZHANG Zong-hu, LU Yao-ru. Water Resources Exploitation and Utilization of China Western Region[M]. Beijing: China Water Power Press, 2002. (in Chinese))
- [12] 史 鉴, 陈兆丰, 邢大韦, 等. 关中地区水资源合理开发利用与生态环境保护[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002. (SHI Jian, CHEN Zhao-feng, XING Da-wei, et al. Water Resources Reasonable Exploitation and Utilization of Guanzhong Regions[M]. Zhengzhou: Yellow River Conservancy Press, 2002. (in Chinese))

## Support vector machine model for assessment of water resources exploitation and utilization

REN Zheng, HAO Zhen-chun

(State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** In view of the multi-index incompatibility and low precision of the assessment model of water resources exploitation and utilization, and in order to improve standard divisive power and model precision, the following work has been finished. Firstly, a mass of sample data is simulated according to assessment index and standard. Secondly, the assessment model of support vector machine is built; and random cross and regression error control methods are utilized to select model parameters. The experiment on water resources exploitation and utilization of Xi'an city shows the above universal model has better application than fuzzy judgment model.

**Key words:** water resources exploitation and utilization; comprehensive assessment; support vector machine; random cross