

基于改进 AHP 和 SVR 的油田产能建设项目综合后评价模型^①

尚福华¹, 马明梅¹, 陈效果², 杜睿山¹, 杨 慧³

¹(东北石油大学 计算机与信息技术学院, 大庆 163318)

²(东方地球物理勘探有限公司, 涿州 072750)

³(大庆金桥信息技术工程有限公司, 大庆 163318)

摘 要: 根据油田产能建设项目后评价的特点以及吉林油田的实际情况, 详细分析油田产能建设项目后评价中的评价指标、各指标间的关系以及对最终综合后评价的影响, 提出了一种基于改进层次分析法(AHP)和支持向量机回归(SVR)的综合后评价模型. 利用改进 AHP 法确定综合后评价指标体系中各个评价指标权重, 然后通过 SVR 进行综合后评价, 以提高评价结果的精确度. 该模型不仅弥补了人为主观估计权重的缺陷, 并且考虑到各评价指标对综合后评价结果的影响, 科学并客观的对产能建设项目进行综合后评价, 实验结果验证了该方法的有效性.

关键词: 油田产能建设项目; 后评价; 层次分析; 支持向量机回归

Comprehensive Post Evaluation Model for the Productive Capacity Construction Project of Oilfield Based on the Improved AHP and SVR

SHANG Fu-Hua¹, MA Ming-Mei¹, CHEN Xiao-Guo², DU Rui-Shan¹, YANG Hui³

¹(School of Computer and Information Technology, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China)

²(BGP ING., China National Petroleum Corporation., Zhuozhou 072750, China)

³(Daqing Golden Bridge Information Technology Engineering Co.Ltd., Daqing 163318, China)

Abstract: According to the characteristics of post evaluation for the productive capacity construction project of oilfield and the actual situation of Jilin Oilfield, our work detailed analyzed the evaluation index, the relationship and the impact to the Comprehensive Post Evaluation of the post evaluation for the productive capacity construction project of oilfield. This paper proposed the comprehensive post evaluation model based on the improved AHP and SVR. We used the improved AHP to determine the weights of the evaluation index. We evaluated it through the SVR, to improve the classification accuracy and precision of the results. This model not only to make up for the defects of the subjective estimation weights, but taking into account the effect, evaluating scientifically and objectively, the experimental results demonstrated the effectiveness of the method.

Key words: productive capacity construction project of oilfield; post evaluation; AHP; SVR

1 引言

油田产能建设项目因其风险高、投资大、不确定因素多等特点, 迫切需要进行科学、合理的综合后评价工作^[1].

从近年来的理论发展来看, 应用在油气田产能建设项目后评价的研究方法包括灰色聚类法、成功度评

价法、模糊综合评价法、BP 神经网络法等. 每种方法在实际应用中都取得了一定的效果, 但还都存在一定的不足之处, 成功度评价法具有很强的主观性, 不具有说服力^[2]; 灰色聚类法, 该方法通过定性定量结合比较客观地对项目进行评价, 但对于大型项目, 当成功度指标较复杂时, 在计算速度和精确度上存在不足^[3];

① 基金项目: 国家自然科学基金(61170132); 国家重大专项(2011ZX05020-007); 黑龙江省教育厅科学技术研究项目(12521055)

收稿时间: 2013-08-30; 收到修改稿时间: 2013-11-04

模糊综合评价法运用模糊数学模型进行计算评价,该方法虽然具有很强的实际意义,但也具有经验性与主观性^[4];运用 BP 神经网络进行评价,在一定程度上实现了智能化,但对输入数据的处理有一定的粗略性,并且网络结构难以确定,评价精度和评价准确度较低^[5]。

基于以上分析,本文提出了基于改进 AHP 法和 SVR 的产能建设项目综合后评价模型。该模型避免了采用传统 AHP 法构建判断矩阵时权重选择的模糊性^[6-7],克服了 BP 神经网络收敛于局部极小问题,通过求解一次型寻优而得到全局最优解,有效地解决了模型选择以及维数灾难等问题^[8-10]。从实例分析表明,该方法是一种切实可行的、更为客观准确的综合评价方法,在后评价工作中具有实际推广意义。

2 方法原理

2.1 改进 AHP 法

2.1.1 改进 AHP 法原理

传统的 AHP 法确定评价指标权重广泛应用 AHP 法的 1-9 标度,如表 1 所示。但在油田产能建设项目中各评价指标的影响因素很多,而 1-9 标度仅对单一准则下的排序问题比较有效,导致评价指标权重确定精度不高^[8],因此本文提出改进的层次分析法标度即 $\ln(9e/9) - \ln(17e/1)$,如表 2 所示,应用该标度权重计算结果更为科学。

表 1 传统 AHP 法相对重要性判断标度

重要性比较标度	意义
1	i 与 j 相同重要
3	i 比 j 略重要
5	i 比 j 较重要
7	i 比 j 非常重要
9	i 比 j 非常重要
2、4、6、8	中间值
倒数	$A_{ji}=1/a_{ij}$

表 2 改进 AHP 法相对重要性判断标度

标度	同样	微小	稍微	更为
$\ln(9e/9) - \ln(17e/1)$	$\ln(9e/9)$ (1)	$\ln(10e/8)$ (1.223)	$\ln(11e/7)$ (1.452)	$\ln(12e/6)$ (1.693)
明显	十分	强烈	极其	极端
$\ln(13e/5)$ (1.956)	$\ln(14e/4)$ (2.253)	$\ln(15e/3)$ (2.609)	$\ln(16e/2)$ (3.079)	$\ln(17e/1)$ (3.833)

2.1.2 改进 AHP 基本步骤

步骤 1: 建立层次分析模型,在深入分析有待研究问题的基础上,将影响问题评价指标划分为不同层次,建立多层次评价模型。

步骤 2: 构建判断矩阵 R , 设评价模型有待进行重要性比较的评价指标集 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n\}$, 其中 a_i 为第 $i(i=1, 2, \dots, i, \dots, n)$ 个需要进行比较的指标, 其中 n 为评价指标总数, 对同一层次各因子关于上一层次某一准则的重要性进行两两比较, 以确定它们的重要性, 构建两两比较判断矩阵为 R :

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nn} \end{bmatrix} \text{ 且满足条件 } \begin{cases} r_{ij} = 1, i = j \\ r_{ij} = 1/r_{ji} \end{cases} \quad (1)$$

元素 a_1, a_2, \dots, a_n 指标权重分别为 w_1, w_2, \dots, w_n , r_{ij} 表示指标 a_i 比指标 a_j 重要的隶属度, r_{ij} 越大, 说明指标 a_i 比指标 a_j 重要隶属度大, 若 $r_{ij} = 1$, 说明两指标重要隶属度相同。

步骤 3: 计算权重, 采用方根法对判断矩阵按行元素求积, 再开 n 次方, 公式(2)如下:

$$w_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}} \text{ 且满足条件 } (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

经规范化后可得权重系数 w_i :

$$w_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (3)$$

$$\text{权重向量为: } W = (w_1, w_2, \dots, w_n) \quad (4)$$

利用 MATLAB 计算判断矩阵 R 的最大特征值 λ_{\max} , 应用检验公式(5)求一致性指标 CI , 公式(6)求随机一致性比率 CR :

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (5)$$

$$CR = CI / RI \quad (6)$$

RI 为平均随机一致性指标, 当 $CR < 0.10$ 时, 判断矩阵具有满意的一致性, 反之, 调整判断矩阵。

2.2 支持向量机

支持向量机的基本思想是从结构风险最小化原则出发, 求解一次型寻优问题而得到全局最优解, 有效地解决小样本、非线性、高维数以及局部最小点等实际问题。因此提出基于支持向量机回归的油田产能建设项目综合后评价模型, 以解决油田产能建设项目综

合后评价的小样本、非线性、高维模式问题,避免评价过程中的主观性以及数据处理上的粗略性.

设样本集为: $\{(x_1, y_1), \dots, (x_l, y_l)\} \in (x \times y)$ 其中 $i=1, 2, \dots, l$, 且 $x_i \in x \subset R^n$ 为其输入向量, $y_i \in y \subset R$ 为输出向量, l 为样本个数. 用下述估计函数进行线性回归, $f(x) = \langle W \cdot X \rangle + b$ (7) 式中 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 为权重向量, 且 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$, b 为阈值. (7)式表示为最优化问题:

$$\begin{cases} \min_{w, b, \xi} \varphi(w) = \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^l (\xi_i + \xi_i^*) \\ y_i - \langle w \cdot x_i \rangle - b \leq \varepsilon + \xi_i \\ \langle w \cdot x_i \rangle + b - y_i \leq \varepsilon + \xi_i^* \\ \xi_i^* \geq 0, \xi_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, l \end{cases} \quad (8)$$

式中 ξ_i 、 ξ_i^* 为松弛变量, ε 为不敏感损失函数, C 为平衡模型复杂项和训练误差项的权重参数; C 越大表示超出 ε 的数据点惩罚越大. 应用拉格朗日乘子法求解, 该问题可以转换为以下对偶问题:

$$\begin{cases} \max_{\alpha, \alpha^*} \left\{ L = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l (\alpha_i - \alpha_i^*)(\alpha_j - \alpha_j^*) \right. \\ K \langle x_i, x_j \rangle - \varepsilon \sum_{i=1}^l (\alpha_i - \alpha_i^*) + \sum_{i=1}^l y_i (\alpha_i - \alpha_i^*) \left. \right\} \\ \sum_{i=1}^l \alpha_i = \sum_{i=1}^l \alpha_i^* \\ 0 \leq \alpha_i \leq C \\ 0 \leq \alpha_i^* \leq C \end{cases} \quad (9)$$

式中: α_i 、 α_i^* ($i=1, 2, \dots, l$) 为拉格朗日乘子, 求解上述问题, 即可得到支持向量机回归函数:

$$f(X) = \sum_{x_i \in S_v} (\alpha_i - \alpha_i^*) K \langle x_i \cdot x \rangle + b \quad (10)$$

式中 S_v 为支持向量集.

3 实验

本文对吉林油田某 11 个产能建设项目进行后评价. 依据 1.1.2 节步骤 1 中所述, 建立层次评价模型, 油田产能建设项目后评价的基本内容包括: (1)目标实现程度后评价(2)前期工作后评价(3)地质油气藏后评价(4)钻井工程后评价(5)采油(气)工程后评价(6)地面工

程后评价(7)生产运行后评价(8)投资与经济效益后评价(9)影响与持续性后评价. 因此, 构建油田产能建设项目后评价指标体系, 见表 3. 采用标度 $\ln(9e/9) - \ln(17e/1)$ 根据 1.1.2 节步骤 2 比较两两指标间的重要隶属度, 构建判断矩阵, 依据步骤 3 计算指标权重, 计算结果见表 4.

表 3 油气田产能建设项目后评价指标体系

一级指标	二级指标
目标实现程度(A ₁)	产能符合率 A ₁₁
	产量符合率 A ₁₂
前期工作(A ₂)	决策依据完整性 A ₂₁
	决策程序规范性 A ₂₂
	前期研究工作质量 A ₂₃
地质油藏工程(A ₃)	新增可采储量符合程度 A ₃₁
	油藏方案合理性 A ₃₂
	开发指标符合程度 A ₃₃
钻井工程(A ₄)	工程管理的规范性 A ₄₁
	工程质量管理程度 A ₄₂
	技术适应性 A ₄₃
采油(气)工程(A ₅)	工程管理的规范性 A ₅₁
	工程质量管理程度 A ₅₂
	技术适应性 A ₅₃
地面工程(A ₆)	可研和初步设计合理性 A ₆₁
	施工设计合理性 A ₆₂
	工程管理的规范性 A ₆₃
	工程质量管理程度 A ₆₄
	工艺技术适应性 A ₆₅
生产运行(A ₇)	生产准备 A ₇₁
	运行指标符合程度 A ₇₂
	生产运行管理 A ₇₃
	安全环保措施有效性 A ₇₄
	节能减排措施有效性 A ₇₅
投资与经济效益(A ₈)	投资控制程度 A ₈₁
	成本控制 A ₈₂
	效益指标 A ₈₃
影响与持续性(A ₉)	资源接替前景 A ₉₁
	技术创新能力 A ₉₂
	安全环保节能等政策影响 A ₉₃

依据改进 AHP 法对 11 个评价项目评分结果见表

5. 其中 A_{11}, A_{12}, \dots 对应的数据为该指标的评价值, 将此值作为 SVR 的输入值, 得分值 Y 作为 SVR 输出值. 项目 1-10 为训练样本, 项目 11 为测试样本, 采用 MATLAB 进行仿真测试. C 为平衡模型复杂项和训练误差项的权重参数, ε 为不敏感损失函数, 调节 ε

值大小, 经过多次仿真测试, 确定 $C = 0.05$, $\varepsilon = 0.05$, $K(x_i \cdot x) = (x_i * x + 20)^2$.

表 4 指标判断矩阵与权重

判断矩阵										权重	判断矩阵						权重	
A ₁	1.000	1.956	1.956	1.956	1.956	1.956	1.956	1.956	1.956	0.200	A ₁₁	1.000	0.818				0.450	
											A ₁₂	1.223	1.000					0.550
A ₂	0.511	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.100	A ₂₁	1.000	1.000	0.818			0.310	
											A ₂₂	1.000	1.000	0.818				0.310
												A ₂₃	1.223	1.223	1.000			
A ₃	0.511	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.100	A ₃₁	1.000	1.000	0.818			0.310	
											A ₃₂	1.000	1.000	0.818				0.310
												A ₃₃	1.223	1.223	1.000			
A ₄	0.511	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.100	A ₄₁	1.000	1.223	1.223			0.380	
											A ₄₂	0.818	1.000	1.000				0.310
												A ₄₃	0.818	1.000	1.000			
A ₅	0.511	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.100	A ₅₁	1.000	0.818	0.591			0.255	
											A ₅₂	1.223	1.000	0.689				0.307
												A ₅₃	1.693	1.452	1.000			
A ₆	0.511	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.100	A ₆₁	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.2000	
											A ₆₂	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		0.2000
											A ₆₃	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		0.2000
											A ₆₄	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		0.2000
												A ₆₅	1.000	1.000	1.000	1.000		1.000
A ₇	0.511	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.100	A ₇₁	1.000	0.689	0.818	0.818	0.818	0.162	
											A ₇₂	1.452	1.000	1.223	1.223	1.223		0.241
											A ₇₃	1.223	0.818	1.000	1.0000	1.000		0.199
											A ₇₄	1.223	0.818	1.000	1.000	1.000		0.199
												A ₇₅	1.223	0.818	1.000	1.000		1.000
A ₈	0.511	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.100	A ₈₁	1.000	1.000	0.818			0.310	
											A ₈₂	1.000	1.000	0.818				0.310
												A ₈₃	1.223	1.223	1.000			
A ₉	0.511	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.100	A ₉₁	1.000	1.000	1.452			0.372	
											A ₉₂	1.000	1.000	1.452				0.372
												A ₉₃	0.689	0.689	1.000			

表 5 项目评分表

指标	项目 1	项目 2	项目 3	项目 4	项目 5
A ₁₁	0.67	0.75	0.89	0.81	0.72
A ₁₂	0.69	0.72	0.86	0.75	0.62
A ₂₁	0.72	0.62	0.83	0.64	0.63
A ₂₂	0.76	0.68	0.78	0.73	0.61
A ₂₃	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00
A ₃₁	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00
A ₃₂	0.82	0.79	0.86	0.62	0.52
A ₃₃	0.54	0.60	0.79	0.76	0.66
A ₄₁	0.62	0.54	0.68	0.61	0.52
A ₄₂	0.87	0.75	0.82	0.69	0.56
A ₄₃	0.79	0.63	0.76	0.64	0.52
A ₅₁	0.84	0.71	0.89	0.72	0.59
A ₅₂	0.84	0.74	0.92	0.76	0.64
A ₅₃	0.76	0.69	0.93	0.74	0.61
A ₆₁	0.91	0.87	0.96	0.71	0.60
A ₆₂	0.89	0.79	0.90	0.70	0.61
A ₆₃	0.87	0.81	0.96	0.72	0.60
A ₆₄	0.89	0.84	0.98	0.77	0.60
A ₆₅	0.90	0.83	0.94	0.96	0.84
A ₇₁	0.47	0.46	0.94	0.68	0.68
A ₇₂	0.48	0.41	0.96	0.96	0.67
A ₇₃	0.49	0.47	0.94	0.89	0.78
A ₇₄	0.82	0.62	0.75	0.75	0.75
A ₇₅	0.84	0.74	0.89	0.89	0.77
A ₈₁	0.81	0.82	0.87	0.86	0.79
A ₈₂	0.34	0.32	0.62	0.62	0.62
A ₈₃	0.94	1.00	1.00	1.00	1.00
A ₉₁	0.72	0.69	0.75	0.75	0.69
A ₉₂	0.84	0.82	0.87	0.87	0.77
A ₉₃	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00
Y	0.7550	0.7294	0.8715	0.7851	0.6960
项目 6	项目 7	项目 8	项目 9	项目 10	项目 11
0.85	0.92	0.56	0.76	0.77	0.78
0.72	0.83	0.51	0.78	0.79	0.78
0.81	0.89	0.62	0.81	0.83	0.81
0.76	0.72	0.72	0.84	0.87	0.80
1.00	1.00	0.98	1.00	0.95	1.00
1.00	1.00	0.84	1.00	0.98	1.00

0.77	0.85	0.52	0.91	0.93	0.83
0.82	0.92	0.62	0.62	0.63	0.64
0.76	0.82	0.61	0.78	0.78	0.73
0.64	0.74	0.55	1.00	0.93	0.98
0.67	0.72	0.72	0.84	0.87	0.81
0.72	0.72	0.82	0.89	0.86	0.92
0.78	0.69	0.69	0.92	0.92	0.92
0.89	0.94	0.64	0.84	0.69	0.79
0.92	0.81	0.61	1.00	0.96	0.95
0.83	0.73	0.52	0.98	0.93	0.95
0.94	0.94	0.63	0.97	0.89	0.95
0.82	0.73	0.50	0.96	0.89	0.95
0.84	0.95	0.65	0.98	0.93	0.95
0.78	0.88	0.58	0.64	0.67	0.58
0.62	0.77	0.57	0.63	0.59	0.58
0.72	0.85	0.51	0.66	0.59	0.58
0.89	0.98	0.67	0.89	0.81	0.90
0.84	0.86	0.63	0.92	0.97	0.90
0.78	0.73	0.73	1.00	0.92	0.95
0.69	0.74	0.74	0.74	0.67	0.42
1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	1.00
0.78	0.87	0.77	0.87	0.89	0.80
0.98	0.91	0.61	0.93	0.91	0.90
1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	1.00
0.8173	0.8566	0.6617	0.8577	0.8352	0.8294

图 1 为某个项目调节 ε 值大小所对应 Y 输出结果, 红色曲线对应 Y 值为训练结果, 蓝色曲线对应 Y 值为期望输出, 由图可以看, 当训练结果与期望输出最为接近时取得 $\varepsilon = 0.05$. 然后将 10 个样本进行仿真训练, 图 2 为训练结果与期望输出对比图, 由图中可以看出, 训练结果与期望输出基本一致, 说明该评价模型可行. 表 6 为相对误差表. 由表 6 可以看出训练结果与期望输出相对误差较小, 说明 SVR 对于训练样本具有较强的拟合能力. 同样测试结果与期望输出相对误差也较小, 说明 SVR 方法具有较强的泛化能力.

4 结语

通过分析产能建设项目综合后评价指标以及各指标间关系, 针对指标权重确定应用领域知识, 利用

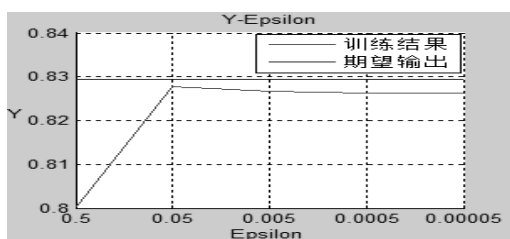


图1 不敏感损失确定图

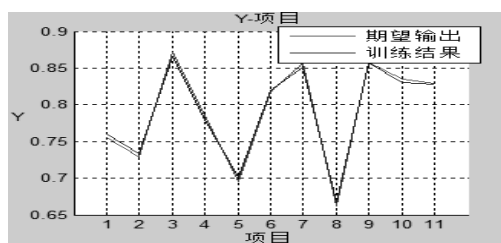


图2 仿真训练结果与期望输出对比图

表6 SVR 仿真训练结果与测试结果

	项目 1	项目 2	项目 3	项目 4	项目 5	项目 6	项目 7	项目 8	项目 9	项目 10	项目 11
期望输出	0.7550	0.7294	0.8715	0.7851	0.6960	0.8173	0.8566	0.6617	0.8577	0.8352	0.8294
SVR 训练结果	0.7602	0.734	0.8663	0.7799	0.7012	0.8196	0.8514	0.6669	0.857	0.83	0.8277
SVR 相对误(%)	0.6846	0.6238	0.5992	0.6603	0.7488	0.2788	0.6030	0.7891	0.0848	0.6234	0.2050
BP 训练结果	0.7622	0.7365	0.8623	0.7776	0.704	0.8246	0.8486	0.6682	0.8469	0.8246	0.8207
BP 相对误差(%)	0.9495	0.9665	1.0582	0.9533	1.1511	0.8906	0.9299	0.9855	1.2623	1.2699	1.0450

层次分析方法, 对其标度进行重新确定, 计算各指标权重. 并在此基础上, 提出基于 SVR 的综合后评价模型. 实验证明该模型能精确的输出综合评价结果, 该模型能在有限样本的情况下实现期望风险最小, 是比较精确的非线性模型. 训练好的 SVR, 模拟专家对产能建设项目进行评价, 避免了主观因素和不确定性因素的影响, 具有很强的通用性. 通过实验结果可以看出, 该模型具有较好的计算精度和泛化能力. 但需说明的是, 若想实现更好的泛化能力, 需研究如何选择更合理的损失函数等其它参数.

参考文献

- 冯红霞, 牛连峰, 王敏. 后评价在油田产能建设投资项目中的应用. 内蒙古石油化工, 2010, 4: 25-27.
- 王兆弘, 吕薇, 刘建伟. 成功度法在产能建设项目后评价中的应用. 油气地面工程, 2007, 26(7): 58-59.
- 张慧颖. 基于灰色变权聚类的公路建设项目成功度评价.

公路, 2006(8): 141-145.

- 汪华, 罗东坤. 基于神经网络的油气产能建设项目评价模型研究. 石油天然气学报, 2005, 27(6): 900-901.
- 黄元生, 刘庆超, 邱自龙. 基于模糊神经网络的电厂建设项目成功度后评价实证研究. 技术经济, 2009, 28(3): 58-61.
- 郭金玉, 张忠彬, 孙庆云. 层次分析法的研究与应用. 中国安全科学学报, 2008, 05(2): 271-274.
- 杨帆, 苏木标, 李青宁. 采用层次分析法的不同标度计算铁路混凝土梁桥的部件权重. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2013, 45(2): 222-227.
- 张明光, 阎威武, 李战明. 基于支持向量机的非线性系统辨识研究. 计算机应用研究, 2006, 5: 47-49.
- 丁世飞, 齐丙娟, 谭红艳. 支持向量机理论与算法研究综述. 电子科技大学学报, 2011, 40(1): 795-798.
- 夏国恩, 邵赔基. 基于支持向量积的商务智能系统综合评价研究. 计算机应用研究, 2009, 26(5): 1789-1791.

(上接第 115 页)

GB/T 28181 的业务需求, 具有通用、高效、易扩展、接口清晰等特点.

参考文献

- GBT 28181-2011. 安全防范视频监控联网系统信息传输、交换、控制技术要求.

- 斯瑜彬. 平安城市多级视频监控联网平台关键技术及应用. 中国公共安全(综合版), 2012, (18): 180-182.
- Rosenberg J, Schulzrinne H, Camarillo G. IETF. RFC3261, SIP: Session Initiation Protocol. Jun 2002.
- 陈亮, 朱晓民. 基于 OSGi 的 IMS 客户端中 SIPAgent 的设计与实现. 计算机系统应用, 2010, 19(9): 69-72.