

基于LS-SVM的气液两相流含气率软测量

刘泽华, 高亚奎

(中航工业第一飞机设计研究院, 陕西 西安 710089)

摘要: 采用多圈环形管用于气液两相流参数的测量, 对环形管上升段水平方向内外侧差压波动信号进行了分析, 采用无因次分析方法获得与差压波动信号均方根相关的特征量, 得到了此特征量与容积含气率的关系模型, 并在此基础上进行了实验。利用支持向量机优良的非线性映射和强大的泛化能力, 建立了一个基于最小二乘法支持向量机的含气率软测量模型, 给出了相应的系统结构和算法, 针对LS-SVM方法参数选取困难的特点, 采用遗传算法进行优化, 以提高软测量的精度。仿真和实际运行结果表明, 基于LS-SVM的气液两相流含气率软测量模型具有较高的估算精度与泛化能力, 为气液两相流含气率的测量提供了一种简单、可靠的新方法。

关键词: 软测量; 最小二乘法支持向量机; 遗传算法; 两相流; 差压波动信号; 含气率

中图分类号: TB935; TP216

文献标识码: A

引言

气液两相流的含气率和含水率是两相流研究中的重要参数, 目前国内外对两相流相含率的测量多采用射线衰减法、电容法、电导法、微波法、光纤探针及电导探针法等^[1~5]。

在设备运行中, 由于受检测元件、工艺和技术等方面的限制, 使得气液两相流含气率难以在线检测, 给设备过程监测和控制带来很大困难。软测量技术是解决这类变量估计问题的有效方法, 它克服人工分析和使用在线分析仪表的许多不足, 是实现监测和控制的前提和基础。近年发展起来以有限样本统计学理论为基础的支持向量机 Support Vector Machine(SVM)方法较为多用^[6], 其坚实的理论基础, 良好的泛化性能, 能有效地解决非线性、过学习、局部极值等一系列难题, 受到广泛关注。在SVM基础上, Suykens提出了一种扩展SVM的新方法—最小二乘支持向量机方法(Least Square Support Vector

Machine, LS-SVM)^[7]。LS-SVM通过求解线性方程组得出模型参数, 避免了传统SVM中求解二次规划问题的复杂性^[8~10]。

本研究针对传统环形管流量计的不足^[11], 采用多圈环形管, 通过分析环形管上升段水平方向气液两相流动态差压信号, 获得了与差压波动信号方差相关的无因次特征量, 得出了该特征量与气液两相流容积含气率之间的一种函数关系。利用支持向量机优良的非线性映射和强大的泛化能力, 建立了一个基于最小二乘支持向量机的含气率软测量模型, 给出了相应的系统结构和算法。针对LS-SVM方法参数选取困难的特性, 采用遗传算法进行优化, 以提高软测量的在线监测精度。仿真和实际运行结果表明, 基于LS-SVM的气液两相流含气率软测量模型具有较高的估算精度与泛化能力, 为气液两相流含气率的测量提供了一种简单、可靠的新方法。

1 两相流理论模型

根据强制涡流理论推得环形管内外管壁差压与流体体积流量的关系可以表示为^[11]:

$$q_v = C \sqrt{\frac{R}{2D}} \left(\frac{\pi}{4} D^2 \right) \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_m}} \quad (1)$$

式中: q_v —流体体积流量; C —流量修正系数; R —环形管半径; D —管道内径; Δp —内外差压; ρ_m —流体混合密度。

对于气液两相流, 流体混合密度 ρ_m 可以表示为:

$$\rho_m = \rho_g \alpha + \rho_l (1 - \alpha) \quad (2)$$

式中: ρ_g —气体密度; ρ_l —液体密度; α —空隙率。

将式(2)代入式(1)可以得到气液两相流总流量测量模型:

$$q_v = C \sqrt{\frac{R}{2D}} \left(\frac{\pi}{4} D^2 \right) \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_g \alpha + \rho_l (1 - \alpha)}} \quad (3)$$

收稿日期: 2010-01-25; 修订日期: 2010-03-25

基金项目: 航空科学基金资助项目(2008ZC03005)

作者简介: 刘泽华(1981-), 男, 湖北监利人, 中航工业第一飞机设计研究院硕士研究生。

空隙率 α 、容积含气率 β 和滑移比 S 具有如下关系:

$$\alpha = \frac{1}{1 + S(1/\beta - 1)} \quad (4)$$

对于均相流模型,认为 $S = 1, \alpha = \beta$, 则简化式 (3) 可得:

$$\Delta p / q_v^2 = k\beta + b \quad (5)$$

其中, $k = (\rho_g - \rho_l) / \left[C \sqrt{\frac{R}{2D}} \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \right]^2$,

$$b = \rho_l / \left[C \sqrt{\frac{R}{2D}} \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \right]^2$$

式中: $\Delta p, q_v, \beta$ —时间平均值,而和不仅与环形管的结构参数有关,还和气相、液相密度有关,利用相关结论,可认为气液两相流的瞬时差压 Δp_i 、瞬时容积含气率 β_i 和流量 q_v 也符合时间平均值的关系式,可以得到:

$$\Delta p_i / q_v^2 = k\beta_i + b \quad (6)$$

由于差压的瞬时值和差压的时均值之差为差压的脉动振幅,则此脉动振幅的均方根可以表示为:

$$\delta = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta p_i)^2 - \Delta p^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

式中: n —差压瞬时值采样个数; δ —差压信号的脉动振幅。

把式 (5) 和式 (6) 代入式 (7) 可以得到:

$$\frac{\delta}{q_v^2} = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (k\beta_i + b)^2 - (k\beta + b)^2 \right]^{1/2} \quad (8)$$

令:

$$I = \frac{\delta}{\Delta p} \\ = \left[\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (k\beta_i + b)^2 - (k\beta + b)^2 \right]^{1/2} / (k\beta + b) \\ = f(\beta) \quad (9)$$

由式 (9) 可以看出,无因次量 I 可以表示为 β 的一个单值函数。

2 LS-SVM 估计算法

2.1 LS-SVM 估计算法

设样本为 n 维向量,某区域的 l 个样本表示为 $(x_1, y_1), \dots, (x_l, y_l) \in R^n \times R$ 。首先用一非线性映射 $\Psi(\cdot)$ 把样本从原空间 R^n 映射到特征空间 $\Psi(x) = (\varphi(x_1), \varphi(x_2), \dots, \varphi(x_l))$ 。在这个高维特征空间中构造最优决策函数 $y(x) = w \cdot \varphi(x) + b$ 。这样非线性估计函数转化为高维特征空间中的线性估计函数。利用结构风险最小化原则,寻找 w, b 就

是最小化 $R = \frac{1}{2} \cdot \|w\|^2 + c \cdot R_{\text{emp}}$, 其中 $\|w\|^2$ —

控制模型的复杂度, c —正规化参数(称为误差惩罚参数)。 R_{emp} 为误差控制函数,也即 ε 不敏感损失函数。常用的损失函数有线性 ε 损失函数,二次 ε 损失函数,Huber 损失函数。选取了不同的损失函数,可构造不同形式的支持向量机。最小二乘法支持向量机在优化目标中的损失函数为误差 ξ_i 的二次项。故优化问题为:

$$\min J(w, \xi) = \frac{1}{2} w \cdot w + c \sum_{i=1}^l \xi_i^2 \quad (10)$$

式中: $y_i = \varphi(x_i) \cdot w + b + \xi_i; i = 1, 2, \dots, l$ 。

用拉格朗日法求解这个优化问题:

$$L(w, b, \xi, a, \gamma) = \frac{1}{2} w \cdot w + c \sum_{i=1}^l \xi_i^2 -$$

$$\sum_{i=1}^l a_i (w \cdot \varphi(x_i) + b + \xi_i - y_i) \quad (11)$$

式中: $a_i, i = 1, 2, \dots, l$, 是拉格朗日乘子。

根据优化条件:

$$\frac{\partial L}{\partial w} = 0, \frac{\partial L}{\partial b} = 0, \frac{\partial L}{\partial \xi} = 0, \frac{\partial L}{\partial a} = 0 \quad (12)$$

可得:

$$w = \sum_{i=1}^l a_i \varphi(x_i), \sum_{i=1}^l a_i = 0, a_i = c \xi_i,$$

$$w \cdot \varphi(x_i) + b + \xi_i - y_i = 0 \quad (13)$$

定义核函数 $K(x_i, x_j) = \varphi(x_i) \cdot \varphi(x_j)$, 它满足 Mercer 条件的对称函数。根据式 (13), 优化问题转化为求解线性方程:

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & \cdots & 1 \\ 1 & K(x_1, x_1) + 1/c & \cdots & K(x_1, x_l) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & K(x_l, x_1) & \cdots & K(x_l, x_l) + 1/c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b \\ a_1 \\ \vdots \\ a_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ y_1 \\ \vdots \\ y_l \end{bmatrix} \quad (14)$$

最后得到非线性模型:

$$f(x) = \sum_{i=1}^l a_i K(x, x_i) + b \quad (15)$$

2.2 核函数选取

采用不同的内积函数,将导致不同的支持向量机算法。目前,研究内积函数最常用的核函数如下:

(1) 线性核函数: $K(x, x_i) = (x \cdot x_i)$

(2) 多项式核函数: $K(x, x_i) = [1 + (x \cdot x_i)]^d$

(3) 径向基核函数: $K(x, x_i) = \exp\left\{-\frac{|x - x_i|^2}{\sigma^2}\right\}$

(4) 感知器核函数: $K(x, x_i) = \tanh(\beta(x \cdot x_i) + b)$

其中,线性核函数是适合于数据线性可分的情况下成立,而在数据线性不可分的情况下,后3种核函数的分类效果较好。而且,核函数的参数应仔细选取,因为它控制了最终解的复杂性。本研究选用径向基核函数。

2.3 基于遗传优化的 LS-SVM

在选定核函数后,还要选择合适的核参数 σ^2 和误差惩罚参数 c 。最小二乘支持向量机中的参数对算法性能有很大影响^[8],但没有成熟的参数选取方法。如误差惩罚参数 c ,若 c 取得小,则对样本数据的惩罚就小,使训练误差变大,算法的泛化能力变好; c 取得大,相应地 $\|w\|$ 的权重就小,算法的泛化能力变差。同样, σ^2 值太小,会对样本数据造成过学习现象, σ^2 值太大,会对样本数据造成欠学习现象。

本研究采用遗传算法对 LS-SVM 的核参数 σ^2 和误差惩罚参数 c 进行二进制编码,以十重交叉验证的均方差(MSE)为指标实现参数优化。算法实现的具体步骤为:

步骤1是对待优化参数进行编码,并建立初始种群。其方法为对核参数 σ^2 和误差惩罚参数 c 进行二进制编码,根据精度要求设定编码长度及种群数量;

步骤2是计算种群中个体的适应度。根据步骤1中编码的定义,对各种群个体进行译码,以译码后得到的值为 LS-SVM 参数,利用学习样本对 LS-SVM 进行训练,以学习样本的十重交叉验证均方差的倒数为个体的适应度;

步骤3是选择。从当前种群中选择适应度高的优良个体直接进入下一代中去;

步骤4是交叉。根据交叉概率,并按照某种规律选择两个个体,将它们的部分二进制编码进行交换,产生新的个体并添加到新的种群中;

步骤5是变异。随机地改变一些个体的编码,产生新的个体并添加到新的种群中;

步骤6是以种群最大适应度收敛或以指定进化代数作为结束,反复执行步骤2~步骤5,最佳个体译码后得到的结果即为最优的 LS-SVM 参数。

3 实验装置及方法

3.1 实验装置

多圈环形管如图1所示,在环形管上的水平位

置安装有测量压差的环形管流量计,所设计多圈环形管的圈数为4,环形管半径为220 mm,内径为40 mm,试验中测量 Δp_1 、 Δp_2 的值并进行分析计算。

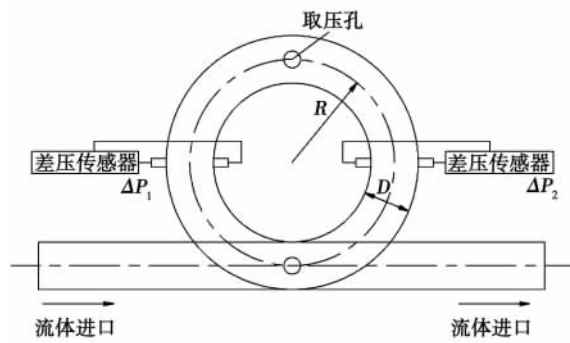


图1 多圈环形管水平方向测压图

系统实验是在多相流实验装置上进行,实验装置结构如图2所示。整个实验装置由动力部分、实验管路和信号拆机系统3部分组成。水经过稳压罐之后,通过电磁流量计测得体积流量,然后进入混相器;空气经过稳压罐后,用气体涡街流量计测得体积流量并用压力表和温度计测出当地压力和气体温度,然后进入混相器。两相流在进入多圈环形管装置之前需经过4 m的直管道,在 Δp_1 、 Δp_2 的取压口安装有差压变送器,测量数据经过数据采集卡进入计算机。

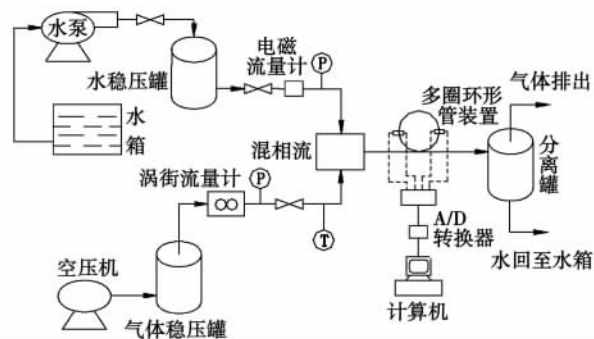


图2 两相流实验装置图

实验中,先调节气相调节阀,把气流量控制在一个流量点,再通过调节混相前的水流量调节阀来调节通过环形管的总流量和容积含气率,然后重新调节一个气流量点,重复上述实验。

3.2 含气率软测量模型及建模步骤

软测量的建模就是根据某种最优准则,选择一组与被估计变量(主变量)相关的一组辅助变量,并建立可在线测量的关系模型(数学模型)。因此,软测量建模的关键技术之一是辅助变量的选择,确定

适当的辅助变量才能保证软测量模型建立在合理的输入输出关系上,进而实现对主导变量的正确预估。根据第1章的理论模型,确立的软测量模型结构如图3所示。

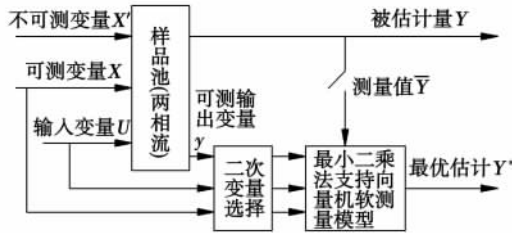


图3 LS-SVM 软测量模型结构框图

基于 LS-SVM 软测量建模步骤描述如下:

- (1) 确定实际问题的主导变量和辅助变量;
- (2) 获取样本数据(包括训练集和预测集),并对样本数据进行归一化处理:将选取的过程变量首先经过归一化处理以消除量纲不同带来的不合理影响,归一化公式为:

$$\bar{x}_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (16)$$

式中: x_i —样本数据; $x_{\min}$ —样本数据的最小值; $x_{\max}$ —样本数据的最大值; $\bar{x}_i$ —归一化后的新值。

- (3) 按照 2.3 节所述遗传算法确定惩罚参数 c 和核函数参数 σ^2 ;
- (4) 建立 LS-SVM 软测量模型,并用建立好的模型进行预估。

4 仿真研究

4.1 评判性能指标

在仿真研究中,为了能够较好地分析和评价各软测量模型的学习及泛化性能,采用以下4个性能指标进行评判:(1) 泛化均方根相对误差(RMSE);(2) 学习均方相对误差(LMSE);(3) 泛化均方相对误差(GMSE);(4) 最大泛化绝对值相对误差(MAXE)。其定义为:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{\hat{y}_i} \right)^2} / n \quad (17)$$

$$GMSE = \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{\hat{y}_i} \right)^2 / n \quad (18)$$

$$MAXE = \max_{i=1}^n \left(\left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{\hat{y}_i} \right| \right) \quad (19)$$

式中: n —测试样本数目; y_i 、 $\hat{y}_i$ —实际值和估计值。

LMSE 与 GMSE 数学表达式相同,不同的是其检验数据集为训练样本。

4.2 仿真及结果分析

采用 Matlab 仿真平台对建立的软测量模型进行仿真,仿真中的 LS-SVM 算法采用 Matlab 中的 SVM Toolbox 工具箱^[12],仿真样本数据取自某两相流实验台含气率离线分析及对应时刻过程变量采样值。在剔除病态数据和异常工况数据后,共选取了5组具有代表性的实际工况数据,其中每组200个数据,从第1组中抽出60个数据作为学习样本建立模型;余下140个作为测试样本来检验模型的泛化能力,然后依次在每组中多选20个数据作为学习样本,剩余的数据作为测试样本。采用本方法进行仿真计算,仿真结果如表1所示,图4是以学习样本为100个,测试样本也为100个得到的曲线,图4为 LS-SVM 软测量模型学习性能曲线,图5为泛化性能曲线。

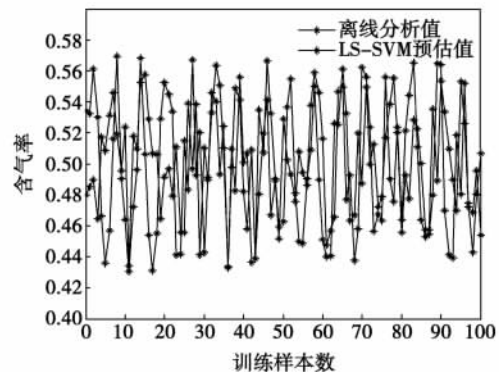


图4 学习性能曲线

从图4和图5可以看出,最小二乘支持向量机软测量器的估计值与实际分析值吻合得较好,估计结果的精度较高,较好的跟踪了两相流中含气率的变化趋势。仿真结果显示该模型有较强地学习和泛化能力,表明了基于 LS-SVM 的软测量模型对含气率估算的有效性。

在采用本方法进行含气率预估过程中,其预估结果和实测结果的差异主要来源于以下两个方面:(1) 来自气液两相流本身特性方面。气液两相流是一种随机性较大的流动,即使容积含气率不变,而其它任何流动参数的变化都可能引起 δ 的变化,从而引起容积含气率测量的误差;(2) 软测量精度及训练样本数。采用遗传算法进行核参数 σ^2 和误差惩罚参数 c 优化过程中会存在误差,利用 LS-SVM 进行软测量的学习时,训练样本数的多少对预估值会

产生误差。

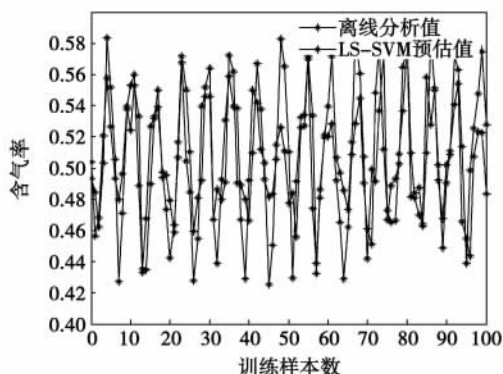


图5 泛化性能曲线

表1 LS-SVM 软测量模型性能

样本数/个	测试数/个	LMSE/%	GMSE/%	RMSE/%	MAXE/%
60	140	0.444	1.231	1.222	2.056
80	120	0.400	1.134	1.009	1.899
100	100	0.351	0.990	0.939	1.791
120	80	0.329	0.931	0.925	1.817
140	60	0.312	0.925	0.920	1.668

5 结 论

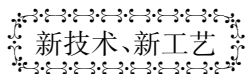
最小二乘支持向量机将低维非线性的输入映射到高维线性输出,并将优化问题转化为求解一线性方程,求解速度快,具有很好的应用前景。本研究利用最小二乘支持向量机进行软测量建模。并将基于遗传优化算法的最小二乘支持向量机软测量技术应用于气液两相流含气率在线预估。仿真结果表明:该方法具有学习速度快、跟踪性能好、泛化能力强等

优点,较好地跟踪了两相流含气率的变化趋势,估算精度高,是一种软测量建模的有效方法。

参考文献:

- [1] 孙 斌,黄胜全,周云龙,等.一种基于经验模式分解的气液两相流型识别方法[J].仪器仪表学报,2008,29(5):1011-1015.
- [2] 王 芳,梁国伟,谢代梁.基于环形管差压波动信号测量气液两相流气相含率的研究[J].传感技术学报,2007,20(3):628-631.
- [3] 陈德运,黄家定,吴瑞芬,等.基于电容层析成像技术的气液两相流可视化测量仪器[J].传感技术学报,2007,20(5):1047-1052.
- [4] HUANG ZHIYAO, WANG BAOLIANG, LI HAIQING. Application of electrical capacitance tomography to the void fraction measurement of two-phase flow[J]. IEEE Transactions on Instrum Meas, 2003, 52(1): 7-12.
- [5] 李强伟,黄志尧,王保良,等.基于ECT和蚂蚁算法的油气两相流空隙率在线测量[J].化工学报,2007,58(1):61-66.
- [6] VAPNIK V. An overview of statistical learning theory[J]. IEEE Trans Neural Networks, 1999, 10(5):988-999.
- [7] SUYKENS J A K, VANDEWALLE J. Least squares support vector machine classifiers[J]. Neural Processing Letters, 1999, 9(3):293-300.
- [8] 吴德会.基于LS-SVM的特征提取及在凝点软测量中的应用[J].系统仿真学报,2008,20(4):917-920.
- [9] TATJANA EITRICH, BRUNO LANG. Efficient optimization of support vector machine learning parameters for unbalanced datasets[J]. Journal of Computational and Applied Mathematics (S0377-0427), 2006, 196(3):425-436.
- [10] SUYKENS J A K, VANDEWALLE J. Least squares support vector machine classifiers[J]. Neural Processing Letters (S1370-4621), 1999, 9(3):293-300.
- [11] 梁国伟,蔡武昌.流量测量技术及仪表[M].北京:机械工业出版社,2002.
- [12] 黄忠霖.控制系统MATLAB计算及仿真[M].北京:国防工业出版社,2001.

(编辑 陈 滨)



新技术、新工艺

船舶燃气轮机设计规范

《Gas Turbine World》2010 年年度手册报道了世界各国燃气轮机公司的各型船舶燃气轮机产品,对产品的性能规范进行了说明,其中包括在 ISO 条件下额定连续功率及其耗油率是多少、在 ISO 条件下额定最大功率及其耗油率是多少、压气机压比、空气质量流量、涡轮转速、排气温度,以及燃气轮机的重量和尺寸等并说明了首台可供应用的年份。

Siemens Energy 的 SGT-500(以前曾用名 GT35) 可使用的燃料类型包括重油、船用柴油、天然气和混合燃料。

Vericor 的 TF40、ETF40B 和 TF50A 的双联机组可供市场应用。

Zorya-Mashproekt 的 UGT3000R、UGT6000R、UGT6000R+、UGT15000R 和 UGT16000R 燃气轮机具有直接倒车功能。

(吉桂明 摘译)

Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. – 2011, 26(1). – 48 ~ 52

By employing a flow boiling-based heat transfer test platform, studied were the flow boiling-based heat transfer characteristics of an iron-base sintering type perforated vertical tube. By using the basic theory and formula of flow boiling-based heat transfer, the heat flux, boiling heat transfer coefficient and related parameters were calculated and the influence of the superheated degree and flow speed on the flow boiling-based heat transfer performance of the perforated tube was investigated. The research results show that the flow boiling-based heat transfer capacity of the sintering type surface perforated tube is superior to that of a bare tube under the same condition and the inner surface boiling heat transfer coefficient is about 1.6 times of that of a bare tube in the same size. The surface wall superheated degree required for attaining the boiling is about 5 °C lower than that of the bare tube. Moreover, to increase the superheated degree and flow speed can both increase the boiling heat transfer coefficient of the perforated tube. In the meantime, the cause that the heat transfer performance of the surface perforated tube is better than that of the bare tube was also analyzed. **Key words:** sintering, perforated tube, flow boiling, heat transfer

适用于废热回收的相变蓄热装置数值模拟与实验研究 = **Numerical Simulation and Experimental Study of a Phase Change Heat Accumulation Device Applicable for Waste Heat Recovery** [刊, 汉] WU Bin, XING Yu-ming (College of Aeronautical Science and Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing, China, Post Code: 100191) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. – 2011, 26(1). – 53 ~ 57

Solid-liquid phase change latent heat accumulation technology constitutes an industrial waste heat recovery mode, which has extremely good prospects. Through a shell and tube heat exchanger, the phase change latent heat stored in the phase change material (PCM) by absorbing industrial waste heat was used for heating water, thereby realizing an industrial waste heat recovery and utilization. A two dimensional mathematical model for the shell and tube latent heat storage unit (LHSU) intensified by filling with high conductivity porous matrix was established and a phase change heat storage test was conducted simultaneously of a heat storage vessel being filled and one not filled with the porous matrix. The test results show that filling with the porous matrix can effectively improve the heat transfer performance of the PCM. The test data were in relatively good agreement with the calculated ones, having proved the validity of the calculation model. By making use of the model in question, a numerical calculation was performed of a heat storage system using three kinds of PCM (paraffin P116, stearic acid and palmitic acid) . It has been found that the heat storage system using palmitic acid has the best thermal performance and can meet very well the design requirements for supplying daily used domestic hot water. The foregoing research findings can offer a definite guide for the design and performance optimization of heat storage systems. **Key words:** latent heat accumulation, waste heat recovery, porous matrix, phase change material, phase change heat accumulation system

基于 LS-SVM 的气液两相流含气率软测量 = **Least Square Supportive Vector Machine(LS-SVM) -based Soft Measurement of the Gas Content in a Gas-liquid Two-phase Flow** [刊, 汉] LIU Ze-hua, GAO Ya-kui (First Aircraft Designing and Research Institute, Aviation Industry Corporation of China (AVIC) , Xi'an, China, Post Code: 710089) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. – 2011, 26(1). – 58 ~ 62

A multi-turn annulus tube was used for measuring the parameters of a gas-liquid two-phase flow, and the pressure difference fluctuation signals at both inside and outside of the riser section of the annulus tube along the horizontal direction were analyzed. A non-dimensional analytic method was used to obtain the characteristic value related to the mean square root of the pressure difference fluctuation signals and a model governing the relationship between the characteristic value in question and the volumetric gas content. On this basis, an experiment was performed. By making use of the excellent nonlinear mapping and strong generalization capacity of a supportive vector machine, a model for softly measuring the gas content was established based on the least square supportive vector machine and corresponding systematic configuration and algorithm were given. In the light of the specific feature that it is difficult to choose parameters by using the LS-SVM method, the genetic algorithm was used to perform optimization to enhance the precision of the soft measurement. The simulation and practical operation results show that the model for soft measurement of the gas content in a gas-liquid two-phase flow based on the LS-SVM has a relatively high estimation precision and generalization capacity, thus providing a new simple and reliable method for measuring a gas content in a gas-liquid two-phase flow. **Key words:** soft measurement, least square supportive vector machine, genetic algorithm, two phase flow, pressure difference fluctuation signal, gas content

加热器内部泄漏故障的实验研究 = **Experimental Study of Inner Leakage Accidents of a Heater** [刊, 汉] ZHANG Xiao, LI Lu-ping, RAO Hong-de (College of Energy Source and Power Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha, China, Post Code: 410076) , CHEN La-min (Zhuzhou Huayin Thermal Power Generation Co. Ltd. , Zhuzhou, China, Post Code: 412005) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2011, 26(1) . - 63 ~ 66

Inner leakage accidents in HP heaters constitute the main accidents occurring to the recuperation system of a thermal power plant. An experimental study was performed of the leakage accidents of a heater and a HP heater leakage simulation test stand was designed and set up. Through an experimental study and data processing, the law governing the variation of three parameters, namely, the maximum energy value, maximum frequency value and average frequency of the leakage sound transmission signals under different operating conditions, was identified when any leakage accident occurs in hopes of accurately providing relevant parameter characteristics of the leakage. This will be helpful for the early diagnosis and elimination of the above-mentioned accidents. **Key words:** HP heater, leakage accident, sound transmission technology, HP heater simulation test stand

截短过热器分隔屏治理再热汽欠温的数值模拟 = **Numerical Simulation of a Remedy of an Excessively Low Reheated Steam Temperature by Cutting Short the Partition Platens of a Superheater** [刊, 汉] YAN Lin-bo, HE Bo-shu, PEI Xiao-hui, et al(College of Electromechanical Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing, China, Post Code: 100044) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2011, 26(1) . - 67 ~ 72

During the actual operation of No. 1 pulverized coal-fired boiler in the first phase of a power plant (2 × 600 MW) , the following problems existed for a long time, namely, an excessively low secondary steam (reheated steam) temperature, an excessively large amount of superheater desuperheating water and an excessively large steam temperature deviation between the left and right side of the horizontal flue gas duct at the inlet. These problems brought a-