

# 基于多参数的电站风机监测技术的试验研究

王松岭, 侯军虎, 安连锁

(华北电力大学 动力系, 河北 保定 071003)

**摘 要:**采用试验研究的方法,对电站通风机的性能、非稳态流动和机械振动的多参数监测技术进行了研究。基于无因次性能曲线反映出的性能参数间稳定、良好的映射规律,采用具备优良逼近特性 RBF 网络逼近风机无因次性能曲线,推导出基于参数映射的流量监测模型,实现了风机性能的在线监测。通过对 4-73 风机的吸力侧、压力侧旋转失速、进口涡流的频率特性研究,分析了三种非稳态流动的特点,给出了准确描述三种非稳态流动的联合特征参数。将通风机机械振动特征分为谐波特征、能量特征和奇异性特征,采用分频段技术、二进小波变换方法导出了谐波监测指标、能量指标和奇异性指标。

**关 键 词:**通风机; 参数监测; RBF 网络; 小波变换

中图分类号: TK223.26 文献标识码: A

## 1 引 言

现代电力生产对设备运行的安全可靠性和经济性提出了越来越高的要求。在火电厂中,通风机是大型的回转设备之一,是烟风系统的动力源,其运行状况直接关系到电厂的安全和经济运行。实施对电站风机状态监测与故障诊断,对于电站安全管理的完善以及电站设备系统安全及经济运行水平的提高都有重大意义。以往对风机状态监测与故障诊断技术的研究是以机械特性为研究主体、以 Fourier 分析为主导、以对振动信号的分析为主要内容而展开的。目前,基于多特性多参数的特性研究逐渐成为状态监测与故障诊断技术的一个新的发展方向。而对电站风机而言,综合考虑其气动性能、机械特性和非稳态流动特性的状态监测与诊断技术在国内外还没有得到系统的研究。

基于此,本文采用试验研究的方法,在实现基于参数映射的无节流流量监测的基础上,完成了对风机性能的在线监测。对于风机吸力侧旋转失速、压

力侧旋转失速和进口涡流三种非稳态流动进行了频率特性分析,提出了非稳态流动的状态识别参数。将机械振动的主要特征归结为谐波特征、能量特征和奇异性特征等三类别特征,采用分频段技术、二进小波变换方法导出了状态监测的谐波指标、能量指标和奇异性指标。

## 2 通风机性能监测

### 2.1 基于参数映射的流量监测模型

采用导流器调节的离心风机,如果能够找到可测的风机运行参数与流量之间稳定的映射关系,则可以通过测量这些运行参数,通过映射换算获得对通风机流量的测量。性能曲线是描述通风机变工况特性的主要依据,因此基于性能曲线的研究方法也就成为研究风机等流体机械性能规律的重要依据和手段。采用性能曲线的方法是基于一个基本假设:风机压力  $p$ 、功率  $N$  等随流量  $q_v$  变化特性曲线不受瞬态现象的影响,即在所有时间,风机以准定常状态运转。通过风机无因次性能曲线映射规律的探讨,最终确定出流量与差压、流量与功率在不同区域稳定、良好的映射规律,结合风机基本理论,可以得到基于参数映射的流量测量模型。

由文献[1]分析可知:风机调节性能曲线可视为  $\bar{p} = f_a(\bar{q}_v, \beta)$  及  $N = f_b(\bar{q}, \beta)$  的曲面。对于上述曲面的逼近问题,笔者提出基于最小二乘、偏最小二乘、BP 神经网络和 RBF 函数网络 4 种方法<sup>[2~3]</sup>,下面以 G4-73-11No29D 风机的无因次性能曲线为例,分别采用上述逼近方法对风机的性能曲线进行拟合,标准 BP 网络和 RBF 网络训练的期望误差均设定为  $5 \times 10^{-5}$ 。拟合结果评价参数如表 1 所示,从中可以看出, RBF 网络的各项性能参数均好于其它方法。

收稿日期: 2003-10-31; 修订日期: 2004-03-06

作者简介: 王松岭(1954-),男,河北博野人,华北电力大学教授。

表 1 拟合结果评价参数表

逼近方法	最大相对误差 / %	残差平方和 (SSE)	测定系数 (R <sup>2</sup> )	网络结构
最小二乘法	-2.43	7.3449 × 10 <sup>-4</sup>	0.997 1	—
偏最小二乘法	2.825	3.9472 × 10 <sup>-4</sup>	0.998 5	—
BP 网络	-2.94	1.3148 × 10 <sup>-4</sup>	0.998 6	2-14-1
RBF 网络	-1.59	6.3291 × 10 <sup>-5</sup>	0.999 3	2-10-1

研究表明: 随着性能曲线的非线性程度不断增加, 基于最小二乘和偏最小二乘的曲面拟合方法的拟合精度大幅度下降, 其逼近性能显著低于神经网络的逼近性能<sup>[1]</sup>, 因此选取 RBF 网络作为逼近模型, 根据风机性能曲线的不同区域不同的非线性度的映射规律, 分别在大流量区域和小流量区域逼近  $\bar{p} = f_a(q_v, \beta)$  (压力系数  $\bar{p}$  与差压系数  $\Delta p$  有固定的线性函数关系) 及  $N = f_b(q_v, \beta)$  的曲面, 以大流量区域为例, 其监测模型如图 1 所示。风机流量的全程监测框图如图 2 所示。

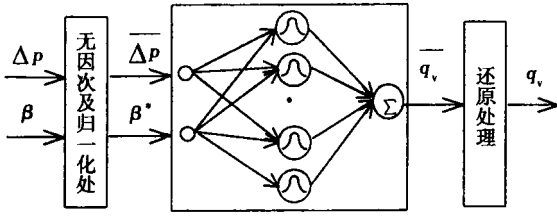


图 1 基于 RBF 网络的风机流量监测模型

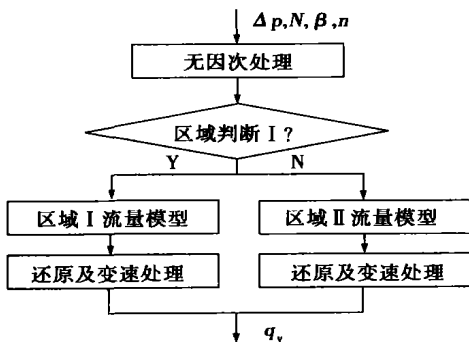


图 2 风机流量全程监测测量框图

### 2.2 通风机性能监测

全压监测模型为:

$$p = \Delta p_s + \frac{1}{2} \rho \left( \frac{1}{A_2} - \frac{1}{A_1} \right) q_v^2 \quad (1)$$

效率监测模型为(考虑包括液力耦合器传动):

$$\eta = \frac{q_v p K_p / 1000}{N_N \sqrt{\frac{I_1^2 - I_0^2}{I_N^2 - I_{0N}^2} \frac{U}{U_N} \frac{n}{n_0} i_n \eta_{m1} \eta_{m2}}} \quad (2)$$

其中:  $K_p$ — 压缩性系数;  $N_N, U_N, I_N$ — 风机额定功率、电压和电流;  $I_0, I_{0N}$ — 电动机线电压为非额定值  $U$ 、额定值  $U_N$  时的空载电流;  $i_n$ — 偶合器最高传动效率;  $n, n_0$ — 风机转速、额定转速;  $\eta_{m1}, \eta_{m2}$ — 电机与液力耦合器、液力耦合器与风机间的传动装置效率;  $I_1, U$ — 分别为电动机输入电流及线电压。

其它性能参数如电能利用率等的核算, 参见文献[4]。通风机的性能监测与电站 DCS 结合, 可以方便地形成基于 DCS 的通风机性能监测<sup>[5]</sup>。

### 3 通风机非稳态流动的参数识别

#### 3.1 频率特性

笔者通过对 4-73No8D 风机的试验研究, 首次发现了 4-73 风机存在压力侧失速现象。图 3 中给出了 1300 r/min 下吸力侧失速、压力侧失速和进口涡流的机壳动态压力信号的特征频率—流量特性曲线, 其它转速下具有相似的特性。

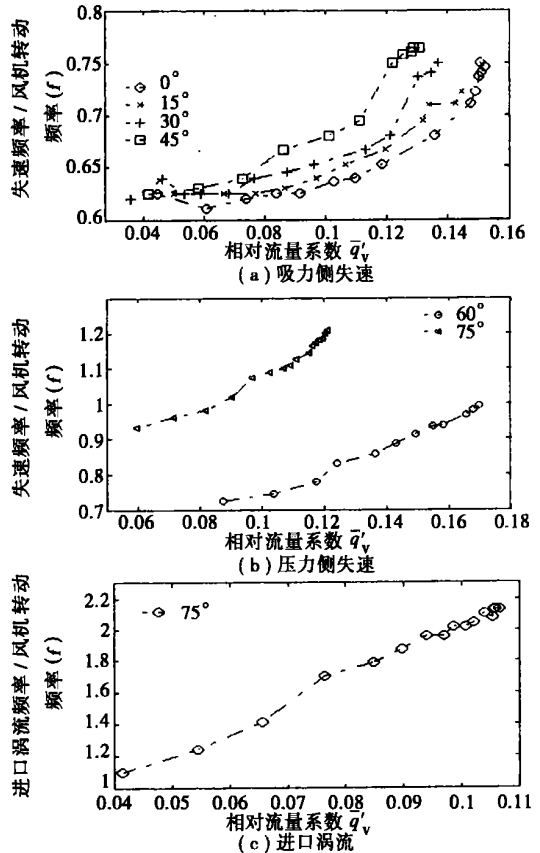


图 3 4-73 风机三种非稳态流动的特征频率—流量特性曲线

#### 3.2 离心通风机的三种非稳态流动特点

结合图 3, 总结三种非稳态流动的特点, 如表 2 所示。

表 2 三种非稳态流动状态的特点

非稳态流动状态	流量范围 ( $\bar{q}_v$ ) 及强度	频率范围 ( $\times$ RPM)	导流器调节度
吸力侧失速	贯穿小流量区域; 在大流量区域消失	0.6 ~ 0.8	较大开度 ( $0^\circ \sim 45^\circ$ )
压力侧失速	贯穿较大流量范围; 流量减小, 强度减弱; 流量进一步减小, 逐渐消失	0.6 ~ 1.2	较小开度 ( $60^\circ \sim 75^\circ$ )
进口涡流	贯穿较大流量范围; 流量减小, 强度减弱; 强度脉动较大; 流量进一步减小, 逐渐消失	1.1 ~ 1.2	小开度 ( $75^\circ$ )

由以上分析可知: 当风机在稳定转速下运转, 随着风机调节量 (导流器开度变化和管网阻力不同) 的变化, 非稳态流动故障的特征频率是变化的, 这种特性给故障诊断带来了新的问题, 即如何解决稳定转速下, 调节量变化引起的故障对应的动态压力信号特征频率的变频问题。

### 3.3 三种非稳态流动的联合特征参数

由图 3 可知, 其横坐标均为无因次流量系数, 该参数不能准确描述各导流器开度下, 风机流量所处的相对区域, 因此这里引入一个新的参数 — 相对流量系数  $\bar{q}'_v = \bar{q}_v / \bar{q}_{v0}$ , 其中,  $\bar{q}_{v0}$  为对应导流器开度下最高效率点对应的流量。引入该参数, 则图 3 可变为图 4 的形式。

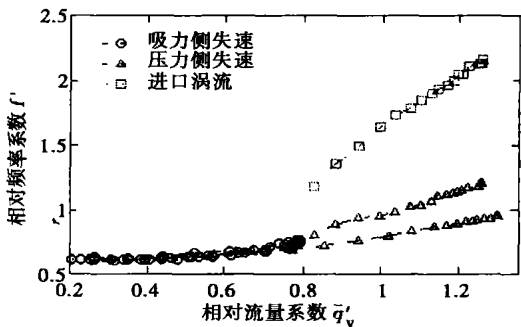


图 4 非稳态流动在调整的频率—流量平面上的曲线

三类非稳态流动有如下的区别: 动态压力信号特征频率差异、流量区域差异和调节量差异。因此基于以上考虑, 需将相对流量系数  $\bar{q}'_v$ 、频率系数  $f'$  (非稳态流动频率 / 风机转动频率) 和调节量系数  $\beta^*$  (与导流器开度有关) 三参数作为三类非稳态流动状态识别的特征参数, 根据试验结果, 可建立如下映射关系:

$$\begin{cases} \text{Condition}_1 = f_1(\bar{q}'_v, f', \beta^*) \\ \text{Condition}_2 = f_2(\bar{q}'_v, f', \beta^*) \\ \text{Condition}_3 = f_3(\bar{q}'_v, f', \beta^*) \end{cases} \quad (3)$$

采用特征频率、流量和调节量三个参数联合进行风机非稳态流动状态识别较两参数或单参数的效果要好, 这也是流体机械中非稳态流动的特点决定的。因此, 非稳态流动的在线识别特征可以表述为  $(f', \bar{q}'_v, \beta^*)$ 。

## 4 通风机机械振动识别参数

由于旋转机械振动信号整体特征具有周期性的特点, 可以将振动信号看作由各次谐波和信号的奇异点及噪声组成<sup>[9]</sup>, 因此从这意义上说, 可以把旋转机械的机械故障的主要特征归结为三个类别: 谐波特征、能量特征和奇异性特征。

### 4.1 基于傅里叶变换的谐波成份特征

傅里叶变换是将复杂信号分解为有限或无限个频率的简谐分量之和。根据经典故障诊断理论, 转子的不平衡、不对中、松动等故障均会出现与转速对应频率及其谐波的频谱成份, 而滚动轴承体和部件的特征频率及其谐波成份又可以准确地反映出轴承的状态。因此对应于滚动轴承支撑的通风机, 特定频率 (转子的转频谐波成份以及轴承的特征频率) 的谱峰值可以形成以 Fourier 分析为基础的故障诊断特征。

以谱频带振动电平报警法为核心的分频段技术通常分为峰值带谱和能量带谱两种, 峰值带谱通过选取对应频带内谱成份的峰值来进行状态监测和诊断。文献[7] 中给出了该方法应用于多数回转机械指导标准, 现以通风机为例, 其指导标准如表 3。

表 3 中, 频带 1 ~ 3 主要检测的与风机轴相关的故障, 4 ~ 6 频带主要检测滚动轴承及其部件的故障。参考表 3, 对于电站风机振动信号的状态监测取 6 个参数:  $OA_{\max}^{1\sim6}$ , 分别对应于上述六频带中的最大谱峰值。表中所给出的频带划分准则有一定的通用性和指导意义, 但还要在运行中根据机组的实际情况进行调整, 尤其是对于频带报警值的确定, 是与具体设备生产型号、安装、检修状况、运行状况、测点的位置和监测参数等密切相关的。本文采用标准谱的方法<sup>[8]</sup> 建立相对标准的频带报警值 (阈值)。

表 3 滚动轴承支撑的大型通风机推荐的报警频带

$$F_{\max} = 40 \times \text{RPM}, \text{OA 报警} = 7.62 \text{ mm/s}$$

频带	频带 1	频带 2	频带 3	频带 4	频带 5	频带 6
频带低频	1% $F_{\max}$	1.2 × RPM	2.2 × RPM	3.2 × RPM	12.2 × RPM	50% $F_{\max}$
频带高频	1.2 × RPM	2.2 × RPM	3.2 × RPM	12.2 RPM	50% $F_{\max}$	100% $F_{\max}$
频带报警	90%OA 报警	50%OA 报警	40%OA 报警	3.175 mm/s	2.286 mm/s	1.778 mm/s

### 4.2 基于小波变换的能量特征

在  $L^2(R)$  上的连续小波变换定义为<sup>[9]</sup>:

$$(W_{\Psi}f)(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \overline{\Psi\left(\frac{t-b}{a}\right)} dt \quad (4)$$

其中:  $\Psi(t) \in L^2(R)$  是满足允许性条件的母小波,  $a$  称为尺度参数,  $b$  称为平移参数。变换结果反映了  $f(t)$  在尺度  $a$  (频率) 和平移  $b$  (时间) 的状态。

若取尺度  $a = 2^j, j \in Z$ , 则相应的小波变换称为二进小波变换。设有振动信号  $f(t)$  的离散采样序列  $f(n), n = 1, 2, \dots, N$ , 当尺度足够小时, 尺度函数可近似为一个  $\delta$  函数, 所以当采样频率大于 Nyquist 速率时采样数据在该尺度上可以很好的近似原始函数。在多数应用中, 直接以  $f(n)$  表示信号在尺度  $j = 0$  时的近似值, 记为  $c_{0,n} = f(n)$ , 则  $f(t)$  的离散二进小波变换可由下式确定:

$$\begin{cases} c_{j+1,n} = \sum_{k \in Z} h(k-2n)c_{j,k} \\ d_{j+1,n} = \sum_{k \in Z} g(k-2n)c_{j,k} \end{cases} \quad (5)$$

式中:  $h$  和  $g$  是由小波函数  $\Psi(t)$  和尺度函数  $\varphi(t)$  确定的一对互补的共轭滤波器。  $c_j$  和  $d_j$  分别称为信号在尺度  $j$  的近似部分和细节部分。按照式(5), 可对定长采样序列  $f(n)$  进行  $M$  尺度分解得到序列  $d_1, d_2, \dots, d_M$ 。

把不同的分解尺度上的能量信息求出来, 可以按照尺度顺序形成诊断的能量谱特征向量。基于频谱分析的能量特征只考虑了正弦振动的能量, 而能量监测应能记及各频带里信号的全部能量<sup>[10]</sup>, 包括非平稳、非线性振动能量(如摩擦、松动等), 因此小波能量谱具有更广泛的通用性。能量特征可以通过同一尺度下对所有小波系数的运算从而生成原始小波能量特征向量  $E = (e_1, e_2, \dots, e_M, e_{M+1})$ 。

$$e_m = \begin{cases} \|d_m\|^2 = \sum_k d_{j,k}^2, m = 1, 2, \dots, M \\ \|c_M\|^2 = \sum_k c_{M,k}^2, m = M+1 \end{cases} \quad (6)$$

### 4.3 基于小波变换的奇异性特征

对于离散二进小波变换,  $Lip$  指数近似计算方法<sup>[11]</sup>

$$\alpha = \log_2 M_{j+1} - \log_2 M_j \quad (7)$$

其中:  $M_j = |(W_{\Psi}f)(2^j, t_k)|$  是尺度  $j$  上  $t_k$  处的极大值。由式(7)可算出几个尺度上的  $\alpha$ , 然后求平均。

在  $Lip$  指数计算中, 考虑到: (1) 奇异点的尺度传递性, 这在式(7)中已体现; (2) 奇异点的周期重复性,  $Lip$  指数的计算在每个回转周期内分别进行; (3) 小波基函数的消失矩数对于极大值传递性的影响, 采用适于分析突变信号的消失矩较低, 紧支撑并具有一定正则性<sup>[12]</sup> 的 Daub3 小波; (4) 由于噪声对于高频尺度的影响, 需要确定反映奇异特性的小波系数阈值, 对于阈值确定, 采用“3 $\sigma$ ”原则。

由式(7)计算得到的多周期的  $Lip$  指数最小值为碰摩故障的定性描述特征, 但不能准确的描述碰摩严重程度。因此, 要描述碰摩的严重程度, 还需引进其它特征量。对于带有奇异信息的小波系数, 选取与冲击成份的能量相关的二阶矩以及对冲击类故障敏感的三阶绝对矩。对某一尺度:

$$Feature_1 = \left[ \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K |c'_{j,k}|^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

$$Feature_2 = \left[ \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K |c'_{j,k}|^3 \right]^{\frac{1}{3}} \quad (9)$$

其中:  $c'_{j,k}$  是经过阈值处理后对应尺度下的小波系数。因此, 综合考虑到  $Lip$  指数对于碰摩故障与其它故障定性区分的有效性、矩特性对于碰摩故障定量描述的准确性, 碰摩故障的特征指标最终确定为:

$$\begin{cases} Index_1 = \begin{cases} Feature_1, & Lip_{\min} \leq Lip_{th} \\ 0, & Lip_{\min} \geq Lip_{th} \end{cases} \\ Index_2 = \begin{cases} Feature_2, & Lip_{\min} \leq Lip_{th} \\ 0, & Lip_{\min} \geq Lip_{th} \end{cases} \end{cases} \quad (10)$$

其中:  $Feature_i$  为高频三尺度的均值,  $Lip_{\min}$  为多周期内最小  $Lip$  指数,  $Lip_{th}$  为  $Lip$  指数阈值。以对 4-73 风机碰摩故障试验模拟获取碰摩故障样本, 对应着不同严重程度碰摩故障的特征指标如图 5 所示。

由图可见, 综合碰摩故障定性和定量特征的特征指标  $Index_1, Index_2$  可以准确的描述不同程度的碰摩故障, 同时实现与其它故障的状态区分。

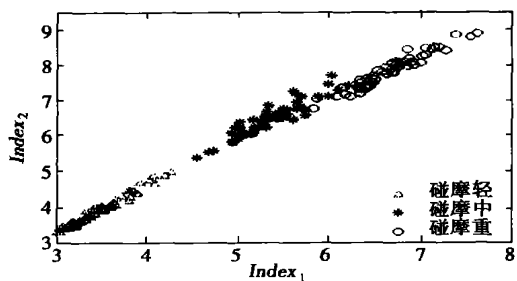


图 5 特征指标描述不同程度碰摩故障示意图

## 5 结 论

采用试验研究的方法,对电站通风机的多特性诊断技术所涉及的性能监测、非稳态流动和机械振动参数识别问题进行了研究。

(1) 在对 4 种逼近方法综合比较的基础上,采用具备优良逼近特性的 RBF 网络逼近风机无因次性能曲线的参数映射规律,推导出基于参数映射的流量监测模型,在此基础上,实现了对风机性能的监测。这种方法也可适用于轴流风机或其它相似的流体机械。

(2) 通过对 4—73 风机的吸力侧、压力侧旋转失速、进口涡流的频率特性研究,分析了三种非稳态流动的特点,给出了联合特征参数。由于压力侧旋转失速被首次发现存在于 4—73 风机,应引起重视。失速的出现会引起风机的机壳、叶片等和连接管道的非稳态空气动力激振,由于系统参数变化而出现的剧烈振动与现场风机存在的内在联系有待进一步研究。

(3) 将通风机机械振动特征分为谐波特征、能量特征和奇异性特征,采用分频段技术给出了频域

监测指标,采用二进小波变换方法对能量特征和奇异性特征提取进行了研究。上述指标经实验数据检验,可以准确的实现风机机械故障的参数识别。

## 参考文献:

[1] 侯军虎,王松岭,安连锁,等.基于参数映射的通风机流量全程测量的实验研究[J].中国电机工程学报,2003,23(10):209-214.

[2] HOU JUNHU, WANG SONGLING, AN LIANSUO, et al. Study of on-line performance monitoring for the centrifugal fans based on DCS in power plants[R]. Proceedings of IECEC' 01, Georgia, USA, ASME Press, 2001: 789-793.

[3] 侯军虎,王松岭,安连锁,等.基于神经网络的通风机性能监测组合建模[J].风机技术,2002(3):29-32.

[4] GB/T13466-92.北京:中国标准出版社,1992.

[5] 侯军虎,王松岭,王强,等.电站离心风机性能在线监测的研究及其在DCS中的实现[J].动力工程,2003,23(1):2224-2227.

[6] 徐敏强,张嘉钟,张国斌,等.基于小波变换的旋转机械振动信号数据压缩方法的研究[J].振动工程学报,2000,13(4):531-536.

[7] BERRY J E. How to specify machinery vibration spectral alarm bands [J]. *Sound and Vibration*, 1990, 9: 16-28.

[8] 谭青.风机故障诊断与自动平衡技术研究[D].长沙:中南工业大学,1996.

[9] 崔锦泰.小波分析导论[M].程正兴译.西安:西安交通大学出版社,1995.

[10] 何正嘉,曹艳阳,张周锁.大型机械设备变工况非平稳动态分析与监测诊断关键技术[J].中国机械工程,1999,10(9):978-981.

[11] MALLAT S, HWANG W L. Singularity detection and processing with wavelets [J]. *IEEE Transactions on Information Theory*, 1992, 38(2): 617-643.

[12] 谭善文,秦树人,汤宝平.小波基时频特性及其在分析突变信号中的应用[J].重庆大学学报(自然科学版),2001,24(2):12-17.

(上接第 371 页)

[4] 沈光林.膜法富氧的应用进展[J].现代化工,1997(12):10-12.

[5] BELTRAME A, PORSHNEV P. Soot and NO formation in methane-oxygen enriched diffusion flames [J]. *Combustion and Flame*, 2001, 124: 295-310.

[6] ZHAO D, YAMASHITA H. A numerical study on flame structure and NO<sub>x</sub> formation of oxygen-enriched air/methane counterflow diffusion flame [A]. *Proceedings of 3rd International Symposium on Advanced Energy Conversion Systems and Related Technologies* [C], Japan, 2001. 300-308.

[7] TSUJI H. Counterflow diffusion flames [J]. *Prog Ener Combust Sci*, 1992, 8: 93-119.

[8] YAMASHITA H. Numerical study on NO<sub>x</sub> production of transitional

fuel jet diffusion flame [J]. *Transactions of the JSME*, 1999, 65: 630-635.

[9] KEE R J, RUPLEY F M, MILELLER J A. CHEMKIN-II: A fortran chemical package for the analysis of gas-phase chemical kinetics [R]. San Diego: Sandia National Lab, Report No. SAND89-8009, 1989.

[10] SMOOKE M D. Reduced Kinetic Mechanisms and asymptotic approximations for methane-air flames [M]. Germany, Berlin: Springer Verlag, 1991.

[11] GRI. [http://www.me.berkeley.edu/gri\\_mech/version30/text30.html](http://www.me.berkeley.edu/gri_mech/version30/text30.html).

[12] TAKENO T, NISHIOKA M. Conservation and emission indices for flames described by similarity solutions [J]. *Combustion and Flame*, 1993, 92: 465-468.

length, condensing section length, heat dissipation conditions and their layout location. It was found that when the heat-pipe fins are horizontally placed and allowed to dissipate heat in a natural environment, then due to the influence of a non-condensing gas, there could appear an excessively low temperature at the end portion of the heat-pipe fin condensing section. If the evaporating section is excessively long, there will emerge overheating points with a simultaneous occurrence of temperature rise. If the condensing section of the heat-pipe fin is allowed to dissipate heat in a finite space, the temperature rise phenomenon will disappear. If placed in an inclined position, the heat-pipe fins will attain an optimum performance. **Key words:** heat pipe, heat-pipe fin, shaped high-temperature heat-pipe fin.

脉动热管运行可视化及传热与流动特性的实验研究 = **Experimental Investigation of the Visualization of Pulsating Heat-pipe Operation as well as Heat Transfer and Flow Characteristics** [刊, 汉] / CAO Xiao-lin, XI Zhan-li (Institute of energy and Power Engineering under the Zhongnan University, Changsha, China, Post Code: 410083), ZHOU Jin, YAN Gang (Department of Refrigeration and Cryogenics Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(4). — 411 ~ 415. A visualization experiment is conducted with respect to the operation of pulsating heat pipes. Under different conditions of filling rate, inclination angles, section shape and heating rate, tests are conducted on the operation of the pulsating heat pipes. The results of the tests indicate that the pulsating heat pipes represent a kind of very effective heat dissipation technology. There exists a heat transfer limit for the pulsating heat pipes. During operations at an optimum filling rate (50%) and an optimum inclination angle (50°), the pulsating heat pipes have a maximum heat transfer limit with a minimum heat transfer resistance under a high heat flux density. In the case of a relatively small heat flux density the pulsating heat pipe with a triangular channel will be superior to that with a square-shaped channel. However, when the heat flux density is relatively great, the shape of the channel will not have any significant influence on heat resistance and unit section heat-transfer limit. The size of the channel exercises a very small influence on the thermal performance of the heat pipes. **Key words:** pulsating heat pipe, visualization, operation mechanism.

基于多参数的电站风机监测技术的试验研究 = **Experimental Investigation of Multiple Parameter-based Monitoring Technology for a Power Plant Air Blower** [刊, 汉] / WANG Shong-ling, HOU Jun-hu, AN Lian-suo (Power Engineering Department, North China Electric Power University, Baoding, China, Post Code: 071003) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(4). — 416 ~ 420.

By using a experimental study method an investigation was conducted of a multiple parameter-based monitoring technology involving the performance, non-steady state flow and mechanical vibrations of a power station air blower. On the basis of the stable and good mapping mechanism existing among the performance parameters as reflected by non-dimensional performance curves, a RBF (Radial Basis Function) network featuring excellent approximation characteristics was employed to approximate the non-dimensional performance curves of the air blower. As a result, a parameter mapping-based flow-monitoring model was derived, thereby realizing the on-line monitoring of the air blower performance. Through a study of the rotating stall at the 4-73 air blower suction and pressure side and the frequency characteristics of inlet vortex flow and an analysis of three kinds of non-steady flow specific features given are combined eigen parameters capable of accurately describing three kinds of non-steady state flows. Mechanical vibration characteristics of the air blower are divided into harmonic, energy and singularity characteristics. By using frequency-division section technology and a binary small-wave transformation method derived are harmonic monitoring indexes, energy and singularity indexes. **Key words:** air blower, parameter monitoring, RBF network, small wave transformation, experimental study.

900 MW 锅炉水冷壁鳍片超宽问题分析及处理 = **Analysis and Treatment of the Problem Relating to Excessive Width of Water Wall Fins in a 900 MW Boiler** [刊, 汉] / FENG Wei-zhong (Shanghai Waigaoqiao No. 2 Power Generation Co. Ltd., Shanghai, China, Post Code: 200137) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2004, 19(4). — 421 ~ 423.

Described is the problem relating to the excessive fin width in some parts of the boiler water wall used in a Shanghai