

# 阀门泄漏故障状态与声发射信号特征 之间定量关系实验研究

高倩霞 李录平 饶洪德 杨 晶

(长沙理工大学 能源与动力工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘 要: 设计搭建了阀门泄漏故障模拟实验台以及阀门泄漏声发射信号检测系统; 通过实验研究了不同泄漏工况下, 阀门泄漏状态与泄漏所产生的声发射信号特征参数之间的定量关系。基于最小二乘法对实验数据进行分析处理, 得到了泄漏声发射信号的振铃计数、能量、幅值、均方根值和中心频率随阀门类型、阀门尺寸、进口压力和漏孔尺寸的变化规律, 建立了基于声发射信号特征的阀门泄漏故障诊断规则, 找到了表征阀门泄漏故障状态的最佳声发射信号特征参数。

关 键 词: 阀门; 泄漏; 声发射检测; 最小二乘法

中图分类号: TK229.92; TP273 文献标识码: A

## 引 言

阀门是电站系统中不可缺少的流体控制设备。由于电站高温高压阀门工作环境恶劣, 故其内部泄漏故障成为火电厂的频发故障之一。高温高压阀门一旦泄漏, 可在短时间内损坏阀门, 对设备安全构成严重威胁; 同时, 阀门泄漏还会产生能量损失, 降低火力发电机组的效率。如果能对阀门泄漏进行早期在线监测诊断, 获得阀门工作的实时数据以诊断泄漏的程度和预测发展趋势, 则一方面可以及时维修或更换损坏的阀门, 减少维修费用和改善操作性能; 另一方面, 可有效防止电厂事故的扩大、提高火电厂运行的安全性和经济性<sup>[1]</sup>。

声发射检测技术是一种动态无损检测方法, 与传统无损检测方法相比, 声发射检测具有检测方便、对阀门完整性无要求、对阀门的接近要求不高、污染少、成本低等特点<sup>[2~4]</sup>。本研究通过实验分析了阀门泄漏故障状态与声发射信号特征参数之间的定量关系, 建立了基于声发射信号特征的阀门泄漏故障的诊断规则, 为实现阀门泄漏故障在线监测诊断奠定了基础。

## 1 实验装置与检测系统

图 1 为阀门泄漏故障模拟与信号检测实验装置示意图。该装置由两个部分组成, 第一部分为阀门泄漏故障模拟系统, 由水箱、泵、管道、阀门等组成; 第二部分为泄漏信号检测系统, 包括声发射传感器、前置放大器、采集卡和计算机等, 其用途为采集并显示声发射信号。

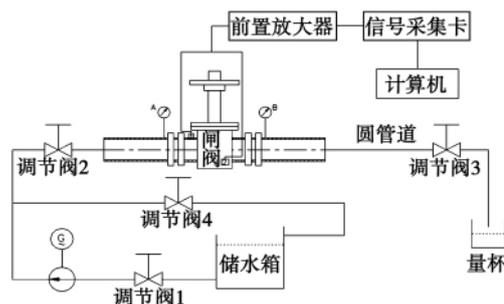


图 1 阀门泄漏故障模拟与信号检测系统示意图  
Fig. 1 Schematic drawing of a valve leakage fault simulation and signal testing system

图 2 为实验用的阀门, 公称直径分别为  $\phi 50$  mm、 $\phi 65$  mm 的闸阀与公称直径为  $\phi 50$  mm 的截止阀, 并根据阀门的线性行程以开启其不同螺纹数来模拟阀门泄漏孔的大小, 如: DN65 闸阀全开时拧出 20 个螺纹, 则实验时打开其 1 个螺纹, 阀门开度就为 5%。

本研究采用的泄漏声发射信号检测仪器为 PAC 公司生产的 PCI 型声发射检测系统, 主要包括: PAC1224 系列 R15a 声发射传感器(紧贴于阀门前后两个法兰上, 1 通道传感器贴在阀后, 2 通道传感器贴在阀前)、前置放大器、两通道 PCI-2 声发射数字采集处理卡、计算机以及数据采集分析软件

收稿日期: 2011-02-28; 修订日期: 2011-03-22

作者简介: 高倩霞(1986-), 女, 河北邢台人, 长沙理工大学硕士研究生。

AEwin 等。当阀门泄漏产生声发射信号时,此声发射信号沿阀体向四周传播,被固定于法兰上的声发射传感器接收并转换为电信号;然后该电信号被送

入信号处理单元进行放大、滤波处理;最后,此信号被声发射采集卡采集并送入计算机进行分析处理,从而实现阀门泄漏声发射信号检测。

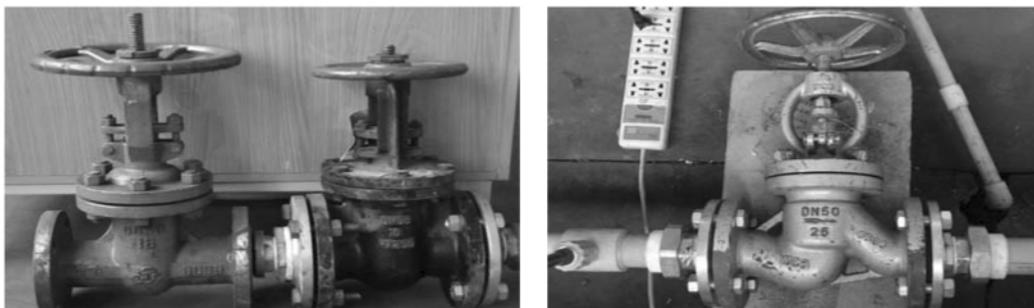


图2 实验用阀门

Fig. 2 Valves for use in tests

## 2 实验结果分析

实验前,利用仪器对环境噪声进行了捕捉测量,然后根据环境噪声等级来确定声发射信号实验门限值(设为40dB)。在设定好门限值后,实验系统未启动时各传感器未检测到信号。然后开启电动泵,将阀门完全关闭再采集声发射信号,声发射仪未检测到信号。因此,安装在阀门法兰上的声发射传感器所检测到的信号即为流体在阀门部件中流动过程所产生的声发射信号。同时也说明了这样一个事实,实验过程中所获得的声发射信号大部分是由阀门泄漏所产生的。

### 2.1 泄漏声发射信号的时域与频域特征

图3所示为实验测得DN65闸阀在2.5%开度

下、进口压力0.7 MPa时的泄漏声发射信号时域波形图及频谱图。通过对各类型、大小阀门在不同开度和进口压力下的实验信号图形分析,得出如下结论:

(1) 阀门泄漏声发射信号幅值随流体的压力变化而变化,随阀门泄漏开度大小而变化。泄漏产生的声发射信号为连续型,信号的时域波形随阀门类型、流体压力、泄漏孔大小变化而变化。

(2) 在频域上,泄漏声发射信号具有如下基本特征:①在40和150 kHz附近分别有一个峰值,分别在32~60和135~170 kHz范围内有信号分布。两峰值大小关系随阀门类型、尺寸和进口压力变化而变化但相差不大。②在200~300 kHz附近有2~3个小峰值,该峰值远小于40和150 kHz附近的峰值。

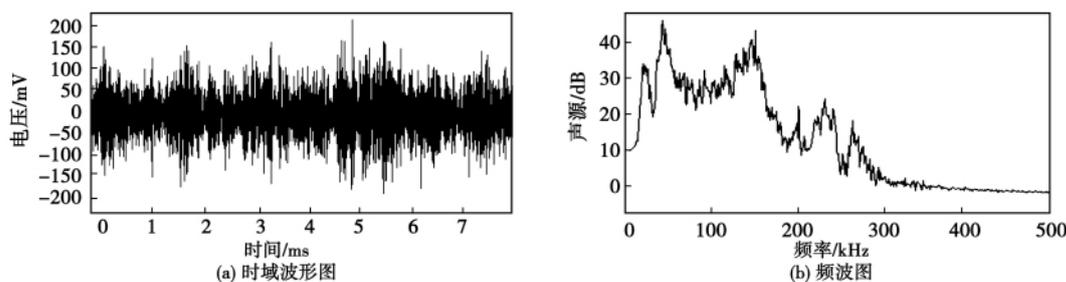


图3 DN65 闸阀开度为2.5%,入口压力为0.7 MPa时声发射信号及频谱

Fig. 3 Acoustic emission signal and frequency spectrum when the gate valve with a nominal diameter of 65 mm is in its opening degree of 2.5% and the inlet pressure is 0.7 MPa

因此,通过分析信号的时域波形及频谱分布可以初步判断阀门内部是否发生泄漏。

2.2 泄漏声发射信号特征与阀门入口压力的关系  
由上一节可知,阀门泄漏声发射信号属连续型,

而连续型声发射信号特征参数包括: 振铃计数、平均信号电平和有效值电压, 其中平均信号电平和有效值电压都是用来表征信号平均大小的, 且两者数值之比为一常数。因此选用振铃计数和信号(RMS)均方根值为主要特征参数来研究阀门泄漏声发射信号特征; 此外, 考虑到对泄漏信号频率分布范围的研究以及均方根值对信号能量和幅值大小反映准确性的验证, 还选用信号能量、信号幅值、信号频谱分布中心频率作为辅助特征参数来描述阀门泄漏声发射信号的特征。

通过对实验信号的分析提取, 获得 DN50、DN65 闸阀和 DN50 截止阀在不同开度、不同进口压力下声发射信号的特征参数。现以 DN65 闸阀在 2.5% 开度下的实验数据为例, 经广义最小二乘法拟合处理后(以后数据均采用该处理方法), 整理出上述特征参数与阀门进口压力定量关系如图 4 ~ 图 6 所示。因振铃计数和能量、幅值和中心频率具有相近的数量级, 故分别将它们和进口压力的关系列在同一图中。

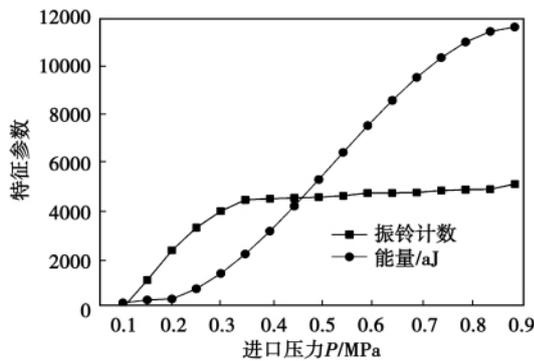


图 4 DN65 闸阀在开度为 2.5% 时振铃计数、能量随进口压力的变化曲线

Fig. 4 Curves showing a change of the bell ringing counter number and energy with pressure when the gate valve with a normal diameter of 65 mm is in its opening degree of 2.5%

从图 4 ~ 图 6 中可以看出, 当阀门进口压力增加时, 泄漏量增加, 所产生的声发射信号增多、增强, 振铃计数、能量、幅值、均方根值都会相应增大, 只是增大的幅度不同。能量值、均方根值在进口压力 0.4 MPa 左右急剧增加; 振铃计数和幅值随进口压力增加则相对较缓慢。但是总体来说, 声发射信号的振铃计数、能量、幅值和均方根值与阀门进口压力的变化成正比; 该规律同样适用于其它类型和大小阀

门在不同开度下随压力变化关系。中心频率与压力的关系则是条近似抛物曲线, 阀门大小、类型和开度不同, 中心频率随着进口压力的变化曲线略有不同, 但是中心频率始终在 80 ~ 120 kHz 之间。

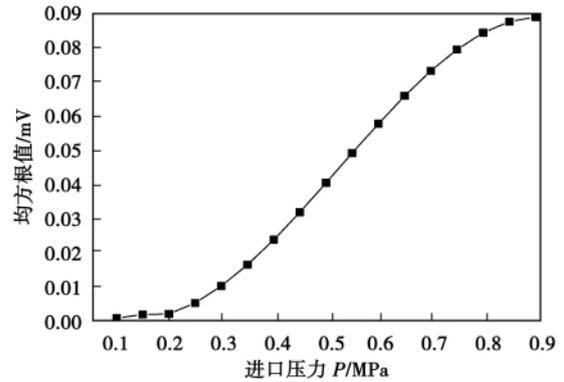


图 5 DN65 闸阀在开度为 2.5% 时均方根值随进口压力的变化曲线

Fig. 5 Curves showing a change of the mean square root with pressure when the gate valve with a normal diameter of 65 mm is in its opening degree of 2.5%

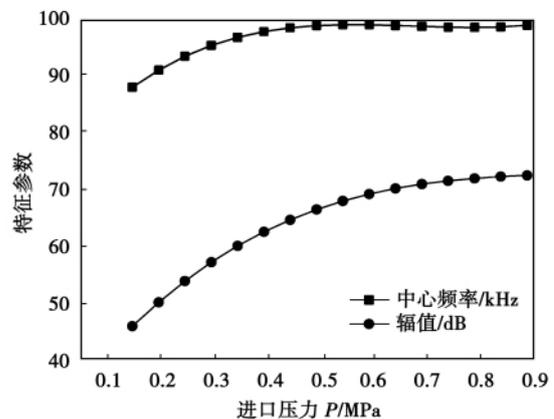


图 6 DN65 闸阀在开度为 2.5% 时幅值、中心频率随进口压力的变化曲线

Fig. 6 Curves showing a change of the amplitude and center frequency with pressure when the gate valve with a normal diameter of 65 mm is in its opening degree of 2.5%

从图 5 可以看出, 声发射信号的均方值(反映信号的能量大小)与阀门前的压力具有很好的对应关系, 且这种关系为高次方关系。

### 2.3 泄漏声发射信号特征与阀门类型的关系

本实验对象分别是 DN50、65 mm 的闸阀、DN50

mm 的截止阀,所以要分析泄漏声发射信号特征与阀门类型的关系,需要处理 DN50 mm 闸阀和 DN50 mm 截止阀在相同进口压力、相同漏孔尺寸时声发射信号特征参数随阀门类型变化关系。但是由于阀门类型不同,做实验时很难真正做到用相同开度来模拟相同泄漏孔,所以在分析这组数据时,选择了在相同进口压力下具有相同泄漏率量级的实验数据来分析泄漏声发射信号特征与阀门类型的关系。

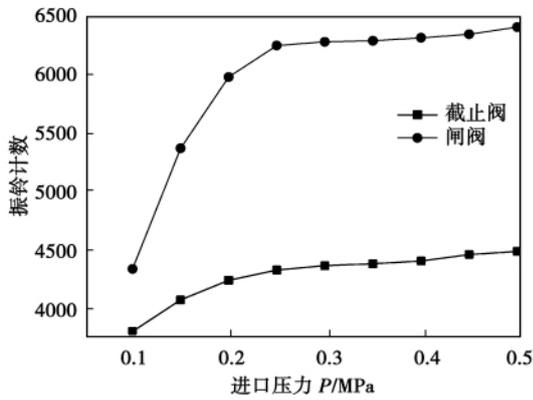


图 7 阀门类型对振铃计数的影响

Fig. 7 Influence of the valve type on the bell ringing counter number

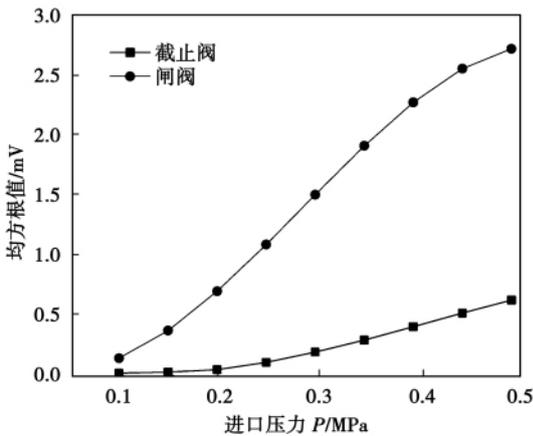


图 8 阀门类型对均方根的影响

Fig. 8 Influence of the valve type on the mean square root

如图 7、图 8 所示,在相同公称直径、相同进口压力和相同泄漏率量级情况下,闸阀泄漏所产生声发射信号的振铃计数和均方根值明显大于截止阀的,且闸阀均方根值随压力增大急剧增加,曲线斜率远大于截止阀的。这是由于不同的阀门,流体在流过启闭件时的流场分布具有较大差异,流体相互产生

的剪切作用不相同,产生的声发射信号肯定存在差异。在泄漏率相同的情况下,闸阀泄漏所产生的声发射信号均方根值比截止阀泄漏产生的要大。这种现象从理论上可以这样解释,因为闸阀的阻尼孔系数比截止阀的要小,而阀门阻尼孔系数与阀门泄漏所产生的声发射信号均方根值成反比。

### 2.4 泄漏声发射信号特征与阀门尺寸的关系

分析 DN50 mm 闸阀和 DN65 mm 闸阀在相同进口压力、相同漏孔尺寸下的声发射信号特征参数,可以得到泄漏声发射信号特征与阀门尺寸的关系。下面就选取它们在相同泄漏率大小时的声发射信号特征进行分析。

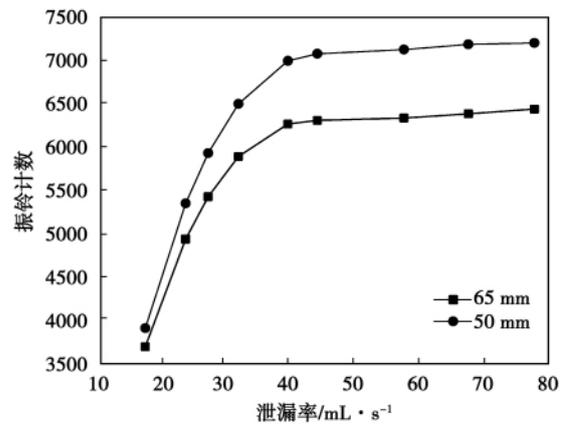


图 9 不同尺寸闸阀振铃计数随泄漏率变化曲线

Fig. 9 Curves showing a change of the bell ringing counter number of a gate valve at different sizes with its leakage rate

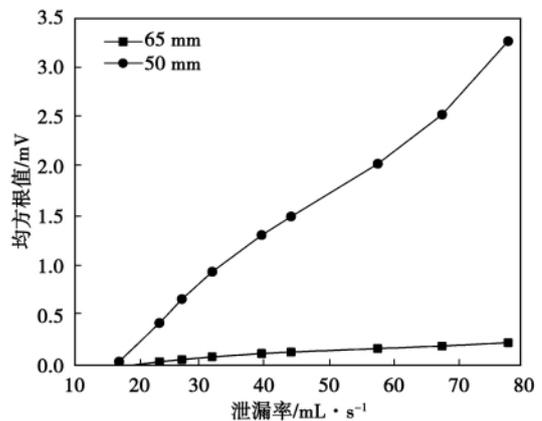


图 10 不同尺寸闸阀均方根值随泄漏率变化曲线

Fig. 10 Curves showing a change of the mean square root of a gate valve at different sizes with its leakage rate

因为实验室条件有限,只有两个同类型不同尺寸的阀门,所以只对所得数据作简要归纳总结。从图9、图10可以看出,阀门泄漏所产生声发射信号的振铃计数和均方根值均随公称直径的增大而减小,但减小幅度有所不同。从而说明阀门泄漏声发射信号的大小与阀门尺寸成反比。此外,由图10可知50 mm 闸阀的均方根值曲线斜率明显大于65mm 闸阀的,即:小泄漏率下,公称直径较小时,阀门泄漏声发射信号均方根值随泄漏率增大而增加的速度更快,说明阀门大小亦会影响特征参数随泄漏率变化的变化速率。

2.5 泄漏声发射信号特征与阀门漏孔尺寸的关系

本实验中以阀门开度大小模拟泄漏孔的大小,下面以65 mm 闸阀的实验数据为例,分析泄漏声发射信号特征与阀门漏孔尺寸的关系。声发射信号能量与漏孔尺寸关系图如图11所示,声发射信号均方根值与漏孔尺寸关系图如图12所示。

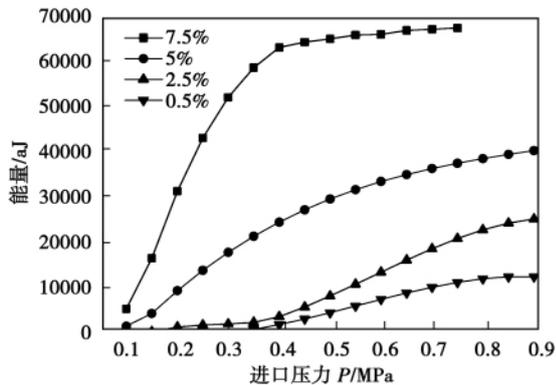


图 11 不同进口压力下能量值随漏孔尺寸的变化曲线

Fig. 11 Curves showing a change of the energy value at different inlet pressures with the size of a leaking hole

从图11和图12中可以得出如下结论:小开度时,在相同进口压力下,阀门泄漏声发射信号能量值和均方根值均随着漏孔尺寸的增大而增大。当阀门开度小于等于5%(此数值因阀门类型和大小而变化)时,阀门泄漏声发射信号特征参数随阀门开度增大而增大、随进口压力增大而增大,但均增加缓慢;然而随着漏孔尺寸的继续增大,超过上述临界开度后,以上特征参数会迅速增加,远远大于未超过临界开度时的值,且其随进口压力增加的变化速率亦远大于未超过临界值时的。

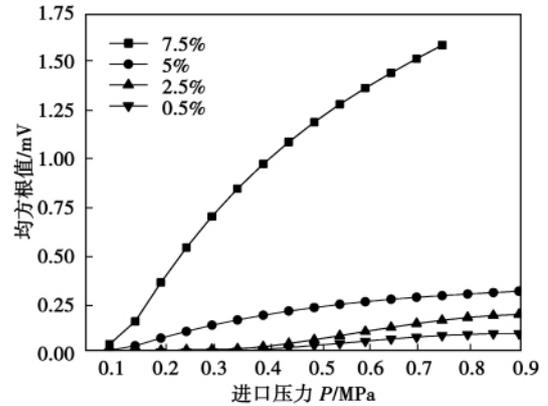


图 12 不同进口压力下声发射均方根值随漏孔尺寸的变化曲线

Fig. 12 Curves showing a change of the mean square root of the acoustic emission at different inlet pressures with the size of a leaking hole

3 结论

通过试验研究,得出如下结论:

(1) 阀门泄漏声发射信号幅值随流体的压力变化而变化,随阀门泄漏开度大小而变化。泄漏产生的声发射信号为连续型,信号的时域波形随阀门类型、流体压力、泄漏孔大小变化而变化。

(2) 在频域上,泄漏声发射信号具有如下基本特征:①在40和150 kHz附近分别有一个峰值,分别在32~60和135~170 kHz范围内有信号分布。两峰值大小关系随阀门类型、尺寸和进口压力变化而变化但相差不大。②在200~300 kHz附近有2~3个小峰值,该峰值远小于40和150 kHz附近的峰值。

(3) 随着阀门入口流体压力的增大,泄漏所激发声发射信号的振铃计数、能量值、幅值和均方根值均呈正比例上升趋势,且均方值与之成高次方关系;在一般情况下,阀门泄漏所产生的声发射信号的频率分布变化较小。

(4) 声发射信号特征值随阀门尺寸的增大而减小;在高压下,当阀门漏孔尺寸比较小时,声发射信号特征参数随漏孔尺寸的增加而增大。

(5) 阀门泄漏声发射信号特征值因阀门类型变化而变化,阀门结构所造成压损越大,阀门阻尼孔系数就越大,声发射信号特征值就越小。

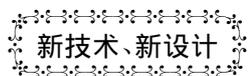
(6) 基于经广义最小二乘法拟合后的特征参数

随阀门类型、大小、入口压力及泄漏孔尺寸的变化关系,可以看出 振铃计数、能量及均方根值可以很好的反映阀门泄漏故障状态。

#### 参考文献:

- [1] 王璋奇,丁祝顺,彭震中. 电站阀门面临的问题及对策探讨[J]. 华北电力技术, 2005(5): 39-40.  
WANG Zhang qi, DING Zhu-shun, PENG Zhen-zhong. Problems facing by the valves used in power plants and exploratory study of countermeasures [J]. North China Electric Power Technology, 2005. 5, 39-40.
- [2] 方学锋,梁华,夏志敏,等. 基于声发射技术的阀门泄漏在线检测方法[J]. 化工机械, 2007, 34(1): 52-54, 58.  
FANG Xue-feng, LIANG Hua, XIA Zhi-min, et al. Methods for on-line inspection and measurement of valve leakage based on the acoustic emission technology [J]. Chemical Machinery, 2007, 34(1): 52-54, 58
- [3] 耿荣生. 声发射技术发展现状[J]. 无损检测, 1998, 6: 151-158.  
GENG Rong-sheng. Status quo concerning the development of acoustic emission technologies [J]. Nondestructive Inspection, 1998 6: 151-158.
- [4] 杨瑞峰,马铁华. 声发射技术研究及应用进展[J]. 中北大学学报, 2006, 27(5): 456-460.  
YANG Rui-feng, MA Tie-hua. Advances in the study of the acoustic emission technologies and their applications [J]. Journal of North University of China (Natural Science Edition), 2006, 27(5): 456-460.
- [5] KAEW WAEWNOI W, PRATEEPASEN A, KAEW TRAKULPONG P. Investigation of the relationship between internal fluid leakage through a valve and the acoustic emission generated from the leakage [J]. Measurement, 2010, 43(2): 274-282.
- [6] ALF PÜTTMER, VIJAYEKUMAR RAJARAMAN. Acoustic emission based online valve leak detection and testing [C]//IEEE Ultrasonics Symposium, 2007: 1854-1857.
- [7] LYONS J L, ASKLAND C L. Lyons' encyclopedia of valves [M]. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1975.
- [8] 戴光,王新颖,张颖,等. 承压阀门内漏声学检测方法[J]. 大庆石油学院学报, 2003, 27(3): 70-73.  
DAI Guang, WANG Xin-ying, ZHANG Ying, et al. Method for acoustic testing the leakage inside a pressure valve [J]. Journal of Daqing Petroleum College, 2003, 27(3): 70-73.
- [9] MORSE P M, INGARD K U. Theoretical acoustics [M]. New York: McGraw Hill, 1968.

(陈滨 编辑)



新技术、新设计

## 一种新型催化供暖装置

该催化供暖装置在燃烧过程中采用了催化剂,使燃料完全燃烧,温度降为 700℃,使有害物质的排放降低。催化剂颗粒同时也是热载体,保证了较高的散热系数,提高了热效率,锅炉的尺寸和重量大幅度减小,粉尘及有害物质的排放大约为通常锅炉的 1/10,锅炉容积减小为通常锅炉的 1/10。已实现产业化,目前已有 30 多套催化供暖锅炉在正常运转。

煤为燃料时,催化供暖锅炉与常规层式炉相比,热效率由 70% 左右提高到 90%,锅炉容积减小为 1/10,有害物质的排放:

氮氧化物: 从 2 000 mg/m<sup>3</sup> 降低到 50-150 mg/m<sup>3</sup>

一氧化碳: 从 1 000 mg/m<sup>3</sup> 降低到 50-100 mg/m<sup>3</sup>

硫氧化物: 从 500 mg/m<sup>3</sup> 降低到 1-50 mg/m<sup>3</sup>

燃烧固体废弃物时,催化供暖锅炉与沙流化床炉相比,热效率提高一倍,装置重量为 1/10,有害物质的排放:

氮氧化物: 800 mg/m<sup>3</sup> 降为 50 mg/m<sup>3</sup>

一氧化碳: 1 500 mg/m<sup>3</sup> 降为 60 mg/m<sup>3</sup>

硫氧化物: 1 000 mg/m<sup>3</sup> 降为 5 mg/m<sup>3</sup>

用途及性能: 用于生产新型锅炉,燃烧温度低,热效率高,锅炉容积小,有害气体减少。

摘自黑龙江省中俄科技合作信息中心提供的俄罗斯新技术信息

阀门泄漏故障状态与声发射信号特征之间定量关系实验研究 = **Experimental Study of the Quantitative Relationship Between the Valve Leakage Fault State and Leakage Sound-emitted Signal Characteristics** [刊, 汉] GAO Qian-xia, LI Lu-ping, RAO Hong-de, YANG Jing ( College of Energy Source and Power Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha, China, Post Code: 410114) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2011, 26(5). - 582 ~ 587

Designed and set up were a valve leakage fault simulation test rig and a valve leakage acoustic emission signal testing system. The quantitative relationship between the valve leakage state and leakage-produced sound emitted signal characteristic parameters under different leakage operating conditions was experimentally studied. The test data were analyzed and processed according to the least square method and the variation law of the bell ringing counting number, energy, magnitude, least square root value and central frequency of the leakage sound emitted signals with valve type, sizes, inlet pressure and leakage hole dimensions was obtained. Furthermore, the principles for diagnosing the valve leakage based on the sound-emitted signal characteristics were formulated and the optimum sound-emitted signal characteristic parameters representing the leakage fault state of a valve were identified. **Key words:** valve, leakage, acoustic emission testing, least square method

船用离心泵汽蚀性能数值模拟与试验研究 = **Numerical Simulation and Experimental Study of the Cavitation Performance of a Marine Centrifugal Pump** [刊, 汉] WANG Xiu-li ( Research Center for Fluid Mechanical Engineering Technologies, Jiangsu University, Zhenjiang, China, Post Code: 212013), JIANG Da-lian, YU Zhi-jun, DAI Lu ( Jiangsu Zhenhua Pump Industry Manufacturing Co. Ltd., Taizhou, China, Post Code: 225500) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2011, 26(5). - 588 ~ 592

By using a CFD ( computational fluid dynamics) numerical simulation method, studied was the law governing the pressure and gas-liquid two phase distribution inside the impeller of a marine centrifugal pump at various cavitation allowances. It has been found that the numerical simulation results share an identical variation tendency with the test results and the average absolute error is approximately 0.15 m. In the stealth cavitation stage, the air bubbles are only produced and burst in a very small local area on the back at the inlet of the blades and no relatively big cavitation destruction to the impeller is caused. In the partial vortex cavitation stage, a low speed vortex zone exists on the back of the blades close to the outlet of the impeller and its size and distribution law is relating to the transversal section of the volute. In the vortex cavitation stage, a hollow cavity exists in the passage between the low speed vortex zone and the volute. The existence of the low speed vortex zone and hollow cavity may influence the stability of the flow speed inside the volute, producing a very big pressure pulsation and furthermore causing a relatively big noise and vibration to the marine centrifugal pump. **Key words:** marine centrifugal pump, vibration, noise, cavitation, numerical simulation, test

预测水冷壁管道温度分布的新方法 = **New Method for Predicting the Temperature Distribution of Water-**