

边缘检测小波对信号奇异性的检测 在汽液两相流动中的应用

尚智, 郭玉君, 苏光辉, 贾斗南

(西安交通大学 能源与动力工程学院, 陕西 西安 710049)

摘要: 对于函数(信号)奇异性的检测方法主要是用小波变换实现的, 小波分解具有良好的空间域和频率域的局部化特性, 因此小波变换可以刻画出信号的变化规律以及对信号内奇异点的各种奇异性进行检测和分析。对汽液两相的流动工况也可以用边缘检测小波变换去进行分析, 并实现对汽液两相流动的热工数值检测。通过对汽液两相均相流动模型压力曲线的边缘检测, 证明了边缘检测小波完全可以用于对汽液两相的流动工况进行边缘检测。

关键词: 小波变换; 边缘检测; 汽液两相流

中图分类号: TP216

文献标识码: B

符号说明

z : 沿轴向的坐标, m	P : 压力, Pa
ρ_i : 两相混合物的密度, kg/m^3	g : 重力加速度, m/s^2
u_e : 两相混合物的流速, m/s	h : 焓, kJ/kg
f_i : 两相混合物的摩擦阻力系数	q_1 : 线加热热流密度, kW/m
W : 质量流量, kg/s	U_h : 加热周长, m
A : 管道截面积, m^2	D_e : 当量直径, m

1 引言

目前对于函数(信号)奇异性的检测方法主要是用小波分析实现的, 由于小波分解具有良好的空间域和频率域的局部化特性, 因此小波变换可以刻画出信号的变化规律以及对信号内奇异点的各种奇异性进行检测和分析^[1]。由小波分析理论可知^[2], 函数 $f(x)$ (信号) 的奇异特性常常反映在小波子空间内, 其在尺度空间的投影可以说是对函数 $f(x)$ 的粗略描述, 而更精细的刻画则用对此函数的小波变换来描述。小波分析对于函数(信号)奇异性的检测原理是小波变换的局部极大值完全可以反映信号的各种不同的奇异点的奇异性的变化和不同。而将小波分析的这种作用用在汽液两相流动的分析中正体现了对“传统连续介质力学的改造, 使之能对多相、非均匀、不连续的介质的变形、破坏或流动等过程的力学性质和规律, 进行多尺度、宏观观相结合的

正确刻画”的精神³。

文中是将边缘检测小波用在理论计算得到的两相流动的压降曲线的分析上。在这里得到的基于两相流动均相的理论计算的压降, 其曲线的变化特性为在从单相向两相转变处存在一个明显的转折点。在转折点附近的集中区域内, 曲线必然存在有与平滑区域不同的变化情况。本文的小波边缘检测方法就是检测并定位此转折点。

2 汽液两相均相流动模型

在汽液两相流动中, 流体的变化是随时存在, 如两相界面之间的各种物质和能量的交换, 然而在两相稳态流动时, 虽然在每一个局部两相是随时间变化的, 但其总体平均效果是不变的, 因此仍可建立其守恒方程。

质量守恒方程

$$\frac{\partial(\rho_i u_i)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

动量守恒方程

$$\frac{\partial p}{\partial z} = - \frac{\partial(W^2/\rho_i A^2)}{\partial z} - \frac{f_i W |W|}{2D_e \rho_i A^2} - \rho_i g \quad (2)$$

能量守恒方程

$$\frac{\partial(\rho_i u_i h)}{\partial z} = \frac{q_1 U_h}{A} \quad (3)$$

在建立了两相流的描述模型后, 用小波分析对其进行数值求解。

3 边缘检测小波算子

在一维信号的奇异性检测中, 极值检测和零交叉检测可以有效地表示和检测信号的特征^[1], 这种检测是基于边缘算子进行的, 即用平滑函数^[4]的一阶导数或二阶导数作为检测算子。作者选用4阶基

数 B 样条函数的一阶导数来构造检测算子^[5]。

$$\psi(x) = \frac{d\theta(x)}{dx} \quad (4)$$

其相应的小波变换为:

$$\begin{aligned} W_s f(x) &= f(x) \circ \psi(x) = f \circ \left(s \frac{d\theta_s}{dx} \right) (x) \\ &= s \frac{d}{dx} (f \circ \theta_s)(x) \end{aligned} \quad (5)$$

式中 $\theta_s(x) = \frac{1}{s}\theta\left(\frac{x}{s}\right)$, 它是标准平滑函数经伸缩尺度因子 s 的伸缩而得到的。图 1 示出了边缘检测算子对一维信号的各种奇异性的模极大值检测结果, 图中 (a) 为具有各种奇异性的一维信号, 图中 (b) 为边缘检测算子对此一维信号的奇异性的多尺度检测。从图中可以看出边缘检测算子对于阶跃突跳的检测效果为一尖锐的突峰。而在汽液两相流动存在单相向两相转变工况时, 工质的压力梯度的变化就存在这种阶跃突跳的奇异性, 下面将对一具体的算例进行对压力梯度的边缘检测。

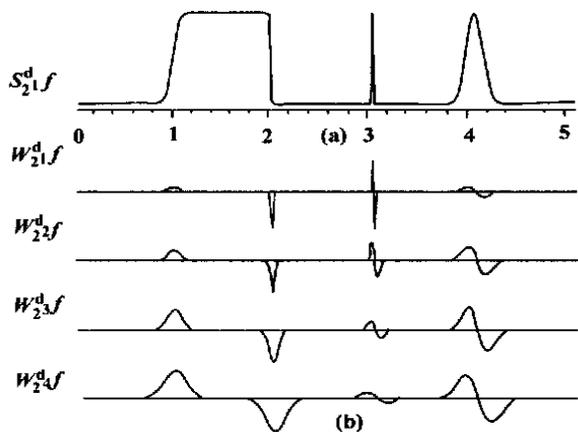


图 1 边缘检测小波变换模极大值检测

4 算例与结果分析

在本文中所采用的一维管道汽液两相流动均相流动模型的工质热工参数如下:

沿管长均匀加热, 截面功率为: 3 000 kW/m²; 工质采用轻水作为工质; 管道进口工质压力为: 17 MPa; 管道进口工质过冷度为: 15.94 °C; 管道进口工质质量流速为: 4 000 kg/(m²·s); 管径: 0.02 m; 管长: 1 m。

作者利用小波数值解法, 对压力方程进行数值求解, 并在此基础之上进一步利用边缘检测算子对其压力梯度的变化曲线进行边缘检测。试图利用小波分析的聚焦特性来检测到压力梯度曲线的大梯度

变化, 并给其以较准确的定位。图 2 表示了工质压力梯度的变化曲线; 图 3~图 7 表示了尺度 1~5 情况下边缘检测小波对压力梯度曲线在各种尺度下的分析结果。从图 3~图 7 的检测结果可以看出: 边缘检测算子不仅可以检测到曲线的大梯度的变化, 而且小波模极大值检测曲线的极值点就指示了曲线的大梯度的变化位置。

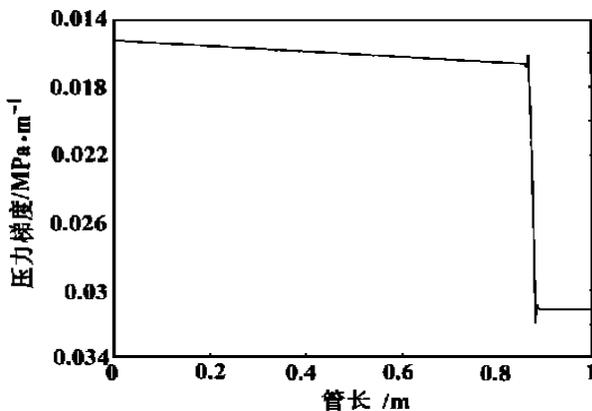


图 2 流体的压力梯度变化曲线

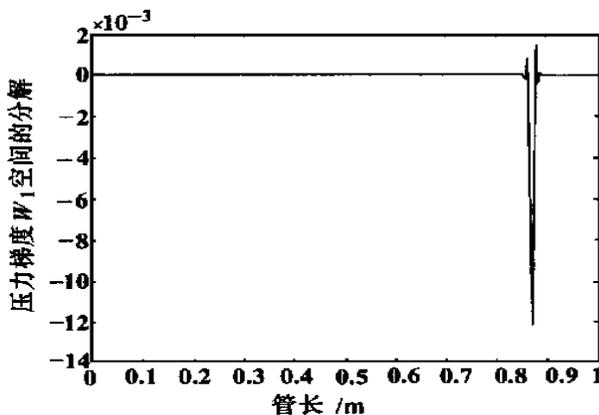


图 3 在 1 尺度情况下的小波模极大值检测

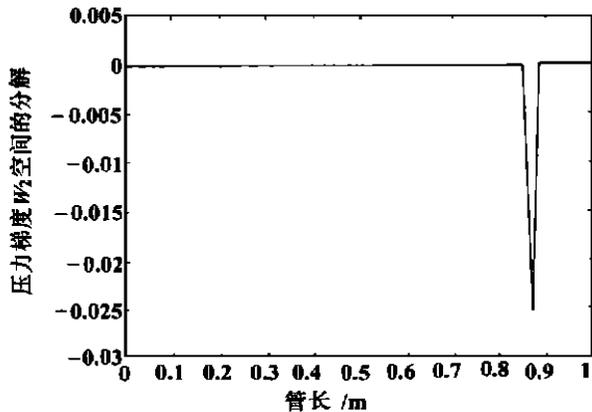


图 4 在 2 尺度情况下的小波模极大值检测

对小波的这种检测和分析特性的正误, 可以通

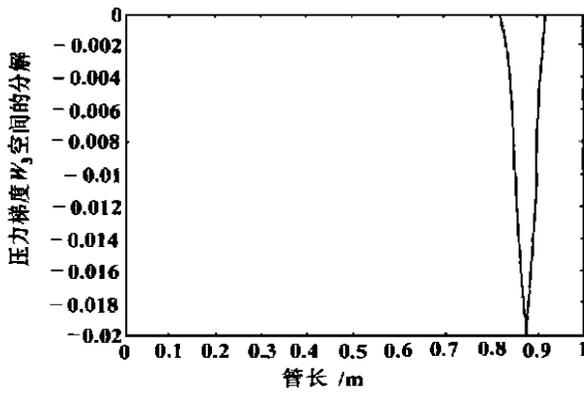


图 5 在 3 尺度情况下的小波模极大值检测

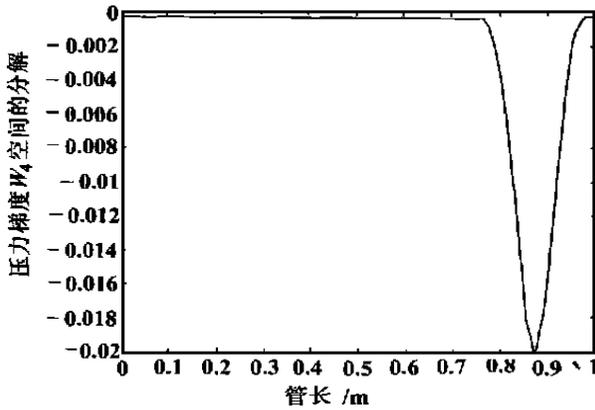


图 6 在 4 尺度情况下的小波模极大值检测

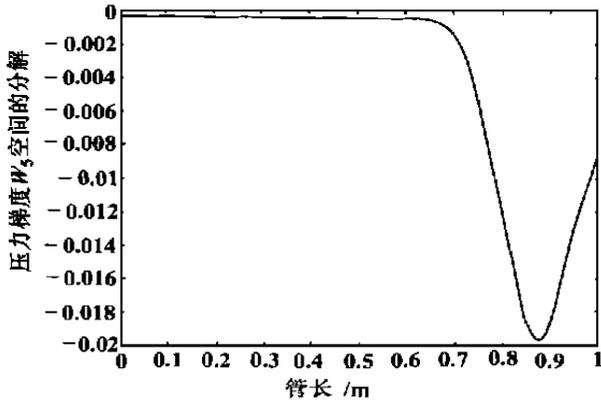


图 7 在 5 尺度情况下的小波模极大值检测

中看到确实是在小波探测到的点附近工质的状况发生了变化。

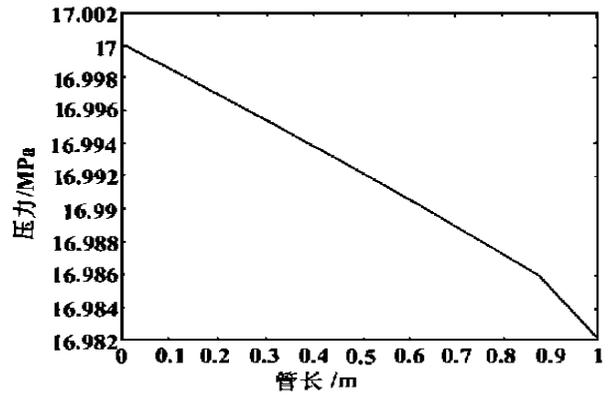


图 8 流体的压力变化曲线

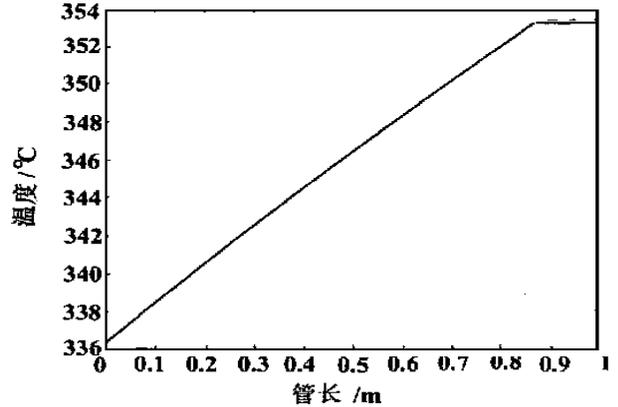


图 9 流体的温度变化曲线

过工质的压力和温度变化曲线得到验证, 因为当工质在管道内的流动进入水的饱和沸腾阶段后, 流体的温度应为在相应的管道横截面压力下的水的饱和温度, 这样就能在温度的变化曲线上观察到一个温度的转折, 这个转折点就对应了压力梯度曲线的大梯度处。同样在压力变化曲线上也能观察到这一点的迹象。图 8 是工质的压力变化曲线; 图 9 是工质的温度变化曲线, 用于对小波检测结果的验证, 从图

5 结论与展望

汽液两相流动的情况是很复杂的, 一般在所有的存在汽液两相流动和传热的设备中, 并且在加热的实际流动工况的情况下, 都存在工质从单相液体向汽液两相混合物的转变。本文中所基于的理论计算, 只是对两相流动的简单的均相流动模型的数值模拟计算, 其压力梯度的变化有一个大的梯度的变化, 这是由于在理论计算时对两相摩擦压降倍增因子的简单理论处理造成的^[9]。在实际的两相流动中, 由于存在单相到两相的过渡区间, 因此压力梯度的变化从单相到两相的变化可能不会象理论计算那样剧烈的变化。但这并不影响本文采用的边缘检测小波对信号的奇异性的检测功能和此方法在汽液两相流动中的应用。

本文利用小波分析可以根据研究对象的不同的频率成份自动调节在空域上的取样步长, 将信号分解成交织在一起的多尺度成份, 并针对不同的尺度

采用相应粗细的取样步长,并可以聚焦到对象的任何细节,同时在空域和频域上具有良好的局部化特性的优良特性对一维管道汽液两相流动的压力梯度变化特性曲线进行了小波边缘检测。并从数值检测结果可以看出,压力梯度变化曲线的小波变换结果在大梯度变化点附近的区间存在一个模极大峰值,其覆盖区间随着分解尺度的增加而增大,这说明随着小波分解尺度的增加,小波空间中所含有的原始信息量也在逐渐减少,但其峰值位置不变。根据边缘检测算子理论知道,小波子空间内的模极大值即为函数(信号)有奇异性存在的地方,在此就是压力梯度变化曲线的大梯度变化点。这一点可以从工质的压力和温度变化曲线得到验证,为实际的工程分析提供了思路和方法。

本文所介绍的小波边缘检测方法,从理论上可以完全推广到汽液两相流动的其他地方。例如汽液两相流动的 ONB、CHF 和 T_{\min} 等特性点的变化曲线形式是每一位从事汽液两相流动所熟知的,尽管在本文中并没有另加介绍。包含这些特性点的热流密度和温度曲线的变化在 ONB、CHF 和 T_{\min} 等特性点的曲线转折情况同本文中流体的压力变化曲线在单相

向两相变化时的转折点具有完全类似的性质,即在此点附近曲线的梯度要发生变化,因此本文的边缘检测小波对信号奇异性的检测,仅从信号分析的角度看完全可以推广到对汽液两相流动的 ONB、CHF 和 T_{\min} 等特性点的检测、定位和定量分析上。

参考文献:

- [1] STEPHANE MALLAT, SIFEN ZHONG. Characterization of signals from multiscale edges[J]. *IEEE Transactions on Patters Analysis and Machine Intellgence*. 1992 14(7): 710-732.
- [2] STEPHANE MALLAT, WEN LIANG HWANG. Singularity detection and processing with wavelets[J]. *IEEE Transactions Theory*. 1992, 38(2): 617-643.
- [3] 国家自然科学基金委员会. 2000 年度国家自然科学基金项目指南[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.
- [4] CHUI C K. An introduction to wavelets[M]. USA, Boston: Academic Press, 1992.
- [5] 刘曙光. B 样条小波研究及其在仪表盘图象处理中的应用[R]. 西安: 西安交通大学博士学位论文, 1996.
- [6] 于平安, 朱瑞安, 喻真焯, 等. 核反应堆热工分析[M]. 北京: 原子能出版社, 1986.

(孙显辉 编辑)

新技术

涡轮机械的气体热力喷涂法

据《Энергетик》2000 年 2 月号报道,在涡轮机装置运行过程中,滑动轴承、转子的轴颈和密封区、工作叶片和导向叶片进口边缘的工作表面均被磨损。这导致降低了动力装置的可靠性和技术经济指标。为了延长涡轮机零部件的寿命,应用各种表面强化和保护方法。

利用抗磨合金、钢和金属陶瓷材料粉末在动力装置各种零件修理和制造过程中对其工作表面进行气体热力(等离子和气体等离子)喷涂的方法,目前在许多国家得到广泛的应用。

气体热力喷涂的原理是在气体介质(氩气或氧乙炔气)中顺序地把尺寸为 40~70 μm 的熔化和半熔化微粒以 100~150 m/s 的速度喷涂在专门准备并预先加热到 80~100 $^{\circ}\text{C}$ 的零件表面上。

气体热力喷涂方法的优点如下:

可以在钢、生铁、青铜等母材上涂敷厚度为 0.3~6 mm 的各种各样抗磨合金;

保证镀层喷涂的均匀性,不受零件面积、结构和外形尺寸的限制;

由于其表面不大的加热(不大于 150 $^{\circ}\text{C}$),喷涂时零件没有热变形;

可以完成厚度不大于 10 mm 的具有保护或抗磨性质的高强度多层涂层;

在消除零件各种局部缺陷(裂纹,砂眼,压伤,剥落等)时喷涂的有效性和灵活性;

在严格遵循喷涂工艺条件下,涂层与母材粘接的可靠性;

高的生产率和经济性。

(思娟 供稿)

cillation method

边缘检测小波对信号奇异性的检测在汽液两相流动中的应用 = **The Use of Edge Detection of Wavelets for Signal Singularity Detection in a Gas-liquid Two-phase Flow** [刊, 汉] / SHANG Zhi, GUO Yu-jun, SU Guang-hui, et al (Energy and Power Engineering Institute under the Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(4). — 421 ~ 424

Currently, function (signal) singularity detection method is mainly realized through the use of wavelet transformation. As the dissociation of wavelets is characterized by a fairly good localized feature of space and frequency domain, the wavelet transformation can delineate the variation law of signals and perform the detection and analysis of various singular properties of singular points in signals. It is also possible to analyze a gas-liquid two-phase flow condition through an edge detection of wavelet transformation and detect thermodynamic data in a gas-liquid two-phase flow. The edge detection of pressure curves of a gas-liquid two-phase uniform-phase flow model shows that the edge detection of wavelets can be fully utilized to perform the edge detection of the gas-liquid two-phase flow conditions. **Key words:** wavelet transformation, edge detection, gas-liquid two-phase flow

减振算法研究及其在轴流压缩机叶片中应用 = **A Study of Vibration Damping Algorithm and Its Application on Compressor Blades** [刊, 汉] / XUE Guo-xin, XIAO Li-chuan (Jiangsu Provincial Petrochemical Institute, Changzhou, Jiangsu Province, China, Post Code: 213016) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(4). — 425 ~ 427

The use of viscous-elastic materials has been considered as one of the effective means for coping with vibrations in major mechanical devices of power engineering units. The calculation of vibration eigenvalues, though rather complicated, is of crucial importance. In view of the possibility of a wide-range variation of damping characteristics of mechanical devices the authors have proposed a high-order perturbation model. The latter has a unified calculation scheme and can be employed to perform a reliable analysis of the eigenvalues of the relevant devices. A study of its use on compressor blades has shown that the model gives reliable results, lends itself to be easily programmed by a computer and can be readily popularized for general use. **Key words:** vibration damping, analysis of eigenvalues, perturbation method, compressor blade

汽轮机循环水系统的稳态仿真数学建模 = **Mathematical Modeling for the Simulation of the Circulating Water System of a Steam Turbine** [刊, 汉] / LIU Hai-feng, SHI Xiao-ping, YAO Yu (Simulation Center under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(4). — 428 ~ 430

The circulating water system of a steam turbine represents a heat exchange system of cooling water and high-temperature steam. The mathematical model based on the mechanism of the cooling water and water pressure is very complicated and not suited for a computer-based real-time simulation system. By the use of the measured data of a power plant and with the help of a hyper-curvature fitting method set up was a mathematical model for the simulation of the water temperature and water pressure of the circulating water system. The recommended model involves a relatively small computation load and features a high precision as certified by the simulation results. **Key words:** mathematical modeling, simulation, super-curvature fitting

一种电站热工流体系统故障诊断的方法 = **A Fault Diagnosis Method for the Thermodynamic Fluid System of a Power plant** [刊, 汉] / YAN Shui-ping, HUANG Shu-hong, GAO Wei (Power Engineering Department, Central China University of Science & Technology, Wuhan, China, Post Code: 430074) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(4). — 431 ~ 433, 443

Presented is a strategy of system division designed to conduct fault diagnoses for a complicated system. With the condensate system of a power plant serving as an example described are the system simulation method and its related model. Explored is a method of fault identification and diagnosis through the use of a real-time system simulation model and failure model. The recommended method can not only make a diagnosis of the common faults (for example, pipe leakage and clogging) of the system but also solve the residuals-caused difficult problems in a complicated system. This has laid the foundation for the use of autonomous type of fault diagnosis system in power plants. **Key words:** fault diagnosis, system