

小波检测汽液两相流动密度波 不稳定性的分行特征

尚智薛元

(清华大学热能工程系,北京 100084)

摘要:结合小波变换和分解良好的时频局部化特性与分形理论,从非线性复杂系统出发,通过未经简化和抽象的研究对象去认识其内在规律性的非线性特性,对汽液两相流动密度波不稳定性同时进行时频分析和非线性分析,并检测脉动参数的分行特征。

关键词:汽液两相流动;密度波不稳定性;小波分析;分行特征

中图分类号: T541.7;O174.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6931(2003)01-0071-02

Detection of Fractal Characters in Density Wave Oscillation of Vapor Water Two Phase Flow With Wavelet Transform

SHANG Zhi, XUE Yuan

(Department of Thermal Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: A new research method is employed to study vapor water two phase flow. This method combines the time-frequency localization of wavelet transform and fractal theory. It studies the density wave oscillation of vapor water two phase flow based on the analysis method of nonlinear complex system. This novel method not only studies original objects directly, but also does the time-frequency and nonlinear analysis at the same time. The fractal characters of the oscillation parameters of vapor water two phase flow are detected by wavelet functions from the original experiment data.

Key words: vapor water two phase flow; density wave oscillation; wavelet transform; fractal characters

汽液两相流动的不稳定性研究是一困难且复杂的课题,因它是一非常复杂的非线性过程。两相流动不稳定性各参数的脉动曲线^[1]不仅具有时频,且存在振荡特性,具有强烈的非线性特性。因此,对这些脉动曲线的分析,必须同时进行时频和非线性分析。传统的纯时域或纯频

域分析方法只分析了脉动曲线的片面,不能全面反映两相流动不稳定性各参数的脉动曲线的实质。本文结合小波变换和分解所具有的良好时频局部化特性和现代分行方法的非线性分析特性,对两相流不稳定性进行分析和辨识。

收稿日期:2001-10-18;修回日期:2001-12-10

作者简介:尚智(1972—),男,陕西西安人,讲师,博士,热能工程专业

1 分行与小波

从小波分析的角度研究分行,可用下面的小波变换公式^[2]实现:

$$T(a, b) = \frac{1}{a^n} \int g\left(\frac{x-b}{a}\right) d\mu(x), \quad a > 0, b \in \mathbf{R} \quad (1)$$

式中: $1/a^n$ 为归一化因子; $d\mu(x)$ 为分行测度; 函数 $g[(x-b)/a]$ 为变换的小波函数。

小波变换对任一函数 $f(x)$ 的变换定义为:

$$T(a, b) = \frac{1}{a} \int g\left(\frac{x-b}{a}\right) f(x) dx, \quad a > 0, b \in \mathbf{R} \quad (2)$$

其中,小波函数应满足如下容许条件:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} g(x) dx = 0 \quad (3)$$

通过式(3),公式(2)对函数 $f(x)$ 的有效信息不但不会因小波变换而丢失^[3],还会将信号中的特性提取到小波系数(分行指数)中。

2 应用

本文中的被分析信号是一典型密度波不稳定性的流量脉动实验采集信号^[1]。图1a显示的是原始信号脉动曲线的前250s的数据;图1b为用对此信号进行小波分解后检测的小波系数绘制的“自相似指数”,即分行指数图。图1c、d是后250s的。这样做的目的是分析汽液两相流动密度波不稳定性的流量脉动曲线是否具有相似性。图1a、c中的 Q 为质量流速。

从图1b、d可见:两个小波系数的分行指数图形在很多尺度上都很相似,所有的主特征线均包围在“八”字形的两条线中间;在大尺度时,内部图形的上端均形成封闭的图形;内部图形的末端在小尺度时均有向下的分岔结构,越靠近下方,分岔越多,说明此处的信息量越丰富。因此,对该脉动信号的分析应当将此处作为重点。由上述可知:汽液两相流动密度波不稳定性的流量脉动曲线具有分行上的自相似,可用分行小波方法对它进行研究。

3 结论与展望

本工作从实验数据小波系数的分行指数图形中观察到了汽液两相流动密度波不稳定性流

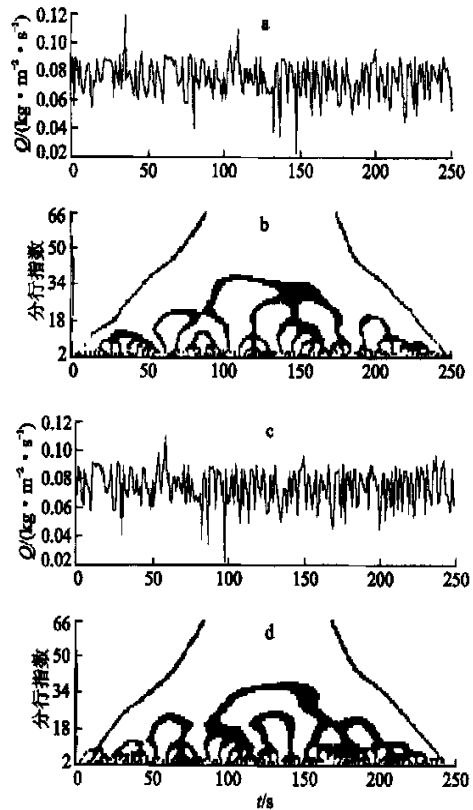


图1 前250s(a,b)和后250s(c,d)流量脉动与分行指数

Fig. 1 Oscillation of mass flux and fractal index at anterior 250 s (a,b) and posterior 250 s(c,d)

量脉动的分行分布特点,使人们可从一个崭新的新视角来认识两相流动密度波不稳定性。因受汽液两相流动密度波不稳定性实验研究数据缺乏所限,本文仅对有限的一组实验数据进行了分析。分析所获图形表征的物理意义有待进一步的探讨和分析。

参考文献:

- [1] 尚智,刘瑞兰,苏光辉,等.基于神经网络的小波分析在两相流不稳定性中的应用[J].核动力工程,2000,21(5):407~410.
- [2] Wang Yanzhen, Cavanaugh J E, Song Changyong. Self-similarity Index Estimation via Wavelets for Locally Self-similar Processes[J]. Journal of Statistical Planning and Inference, 2001, 99: 91~110.
- [3] 程正兴.小波分析算法与应用[M].西安:西安交通大学出版社,1998. 223~225.