

在液氮及水中声次谐波的实验观察

王本仁 缪国庆 魏荣爵

(南京大学声学研究所)

1983年6月13日收到

提 要

在液氮及水中进行了有限振幅声波的实验,观察到了次谐波分岔现象,得出了分岔谱。

通向混沌之路,近年来已成为物理学家所普遍关注的新课题^[1]。自从 Feigenbaum^[2]发表关于倍周期分岔的迭代模型理论以来,分岔和混沌现象的实验观察不断有报道^[3,4]。正如文献[3]中所指出,非线性系统(指在物理学领域,还未包括生命科学领域)响应的研究,例如 Rayleigh-Benard 实验, Couette 流,光学双稳激光腔,声学空化噪声,电荷密度波,位错线的钉扎动力学和分立元件的非线性电子电路等。其中,在电子电路方面,分岔现象的实验观察报道较多;在声学中,对非线性参量比较小的空气介质中的 $1/2$ 次谐波分岔的实验观察,亦已有报道^[5],而在液氮及其它媒质中,空化噪声和分岔谱及湍流形成的研究,现被命名为“声学湍流”,它和“光学湍流”及超离子导体中的“固态湍流”等等,已形成一新的分支——湍流物理学。这方面的研究正逐渐开拓和揭示出自分岔通向湍流,进而通向混沌之路,以及再由混沌状态经倒分岔再次进入周期状态的可能过程。

非线性现象早为人们所了解。许多实际上的所谓线性系统,均为非线性系统在小振幅下的近似,其中非线性效应被忽略。而对非线性系统的深入研究,揭示了物理科学发展的一些新图景,譬如关于 Josephson 结的反常噪声问题,湍流形成的机制, $1/f$ 噪声问题等等,无论是理论,还是实验研究,均在蓬勃开展。本文是关于在液氮及水中进行分岔实验的初步报道。

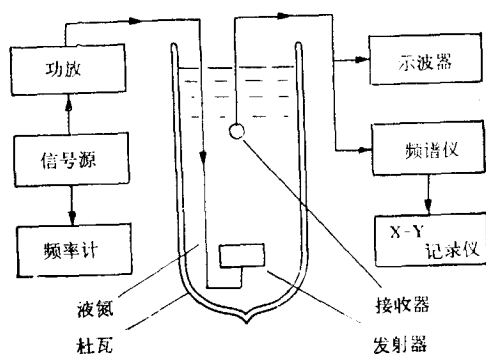


图1 测量方框图

液氮中的实验在玻璃杜瓦瓶中进行, 装置如图 1 所示. 水中的实验在水槽内进行. 发射换能器为直径 8cm 的圆板形铅钛酸铅超声换能器, 共振频率为 47.5kHz, 其方向性指数近 20dB. 因此, 发射能量比较集中, 发射信号由射频振荡器发出, 经功率放大, 再送往发射换能器. 接收换能器为球形宽带换能器, 在空间上是近乎无指向性的, 在 10—50kHz 范围内有较平坦的响应. 接收换能器接收到的信号被直接送往频谱分析仪(美国 HP3580 A 型)进行分析, 分析结果显示于频谱仪示屏上, 同时送往 X-Y 记录仪记录.

我们首先对发射信号进行了分析, 未发现其含有次谐波成分. 在接收放大系统中, 也仔细防止因过载而导致非线性.

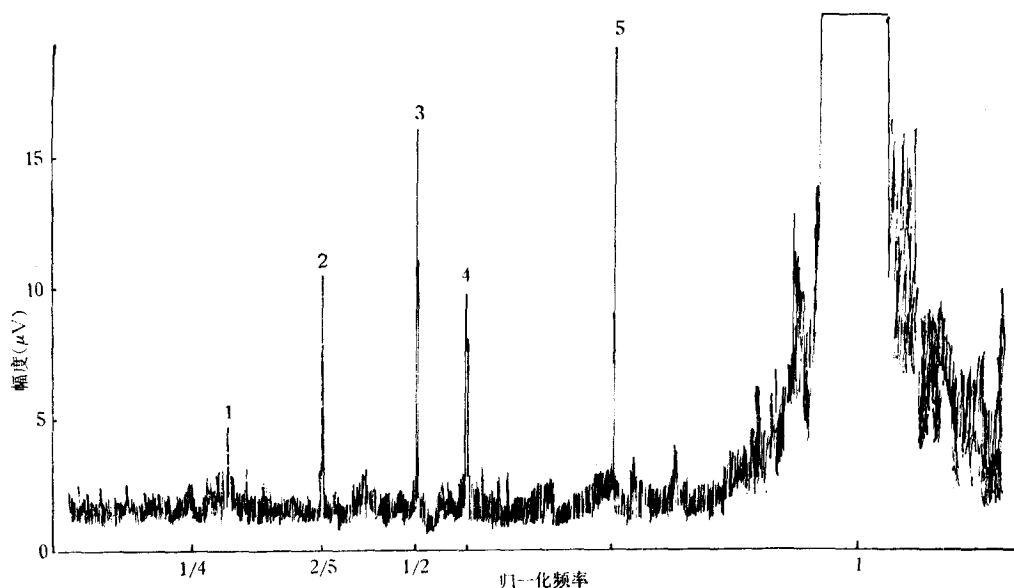


图2 液氮中的次谐波响应

$f = 47.68\text{kHz}$; $T = 77\text{K}$

液氮中实验记录的频谱如图 2 所示. 图 2 中横坐标以归一化频率标出, 纵坐标为接收信号强度(线性标度), 标以 3 的峰为 $1/2$ 次谐波, $1/4$ 分频处有一不明显的峰(如箭头所示), 这是 $f/n(n=2,4)$ 的倍周期分岔序列, 在 $2/5$ 分频处有一尖峰, 这是五分岔的二倍频. 基频信号很强(约 160dB, 参考声压为 $1\mu\text{Pa}$), 次谐波与基频信号强度之差约 60 dB.

水中的实验结果如图 3 所示. 由图 3 中明显看到 $1/2$ 及 $1/4$ 次谐波. 各信号强度与在液氮中相似.

无论在液氮还是在水中的实验中, 我们都发现, 在固定的声发射强度(30W)下, 频谱中除了上述分岔谱外, 有时还不稳定地出现一些新的峰, 例如图 2 中第 4、第 5 峰. 初步分析认为, 这可能是由于液体中存在的气泡的运动以及在蒸发过程中液面的涨落等现象所致.

在实验上对更高次分岔的观察, 依赖于进一步提高发射强度及接收系统的检测灵敏度.

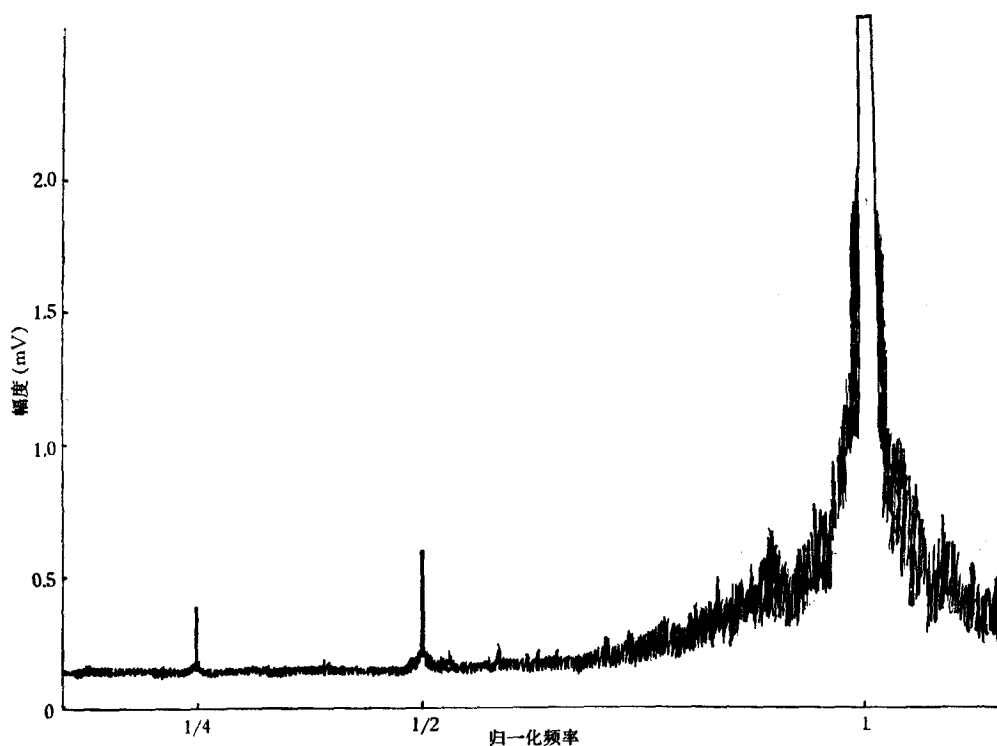


图3 水中的次谐波响应

 $f = 47.696\text{kHz}$; T 为室温

在有限的容器中,能否进一步从分岔通向混沌,这应该是肯定的,因为这是稳态激励的情形.而对分岔阈值的确定,应和相应的检测设备的检测阈值相联系.

进一步的工作仍在继续进行.

参 考 文 献

- [1] 郝柏林,分岔、混沌、奇怪吸引子、湍流及其它——关于确定论系统中的内在随机性,待发表.
- [2] M. J. Feigenbaum, *J. Stat. Phys.*, **19**(1978), 25; **21**(1979), 665; *Phys. Lett. A*, **74**(1979), 375; *Commun. Math. Phys.*, **77**(1980), 65; *Universal Behavior in Nonlinear Systems*, Los Alamos Science/Summer, (1980), pp. 4—27.
- [3] Charles W. Smith, Manu J. Teiwani and Dale A. Farris, *Phys. Rev. Lett.*, **48**(1982), 492.
- [4] W. Lauterborn and Eckehart Cramer, *Phys. Rev. Lett.*, **47**(1981), 1445.
- [5] V. N. Bindal, T. K. Saksena and Gurmukh Singh, *Acoustics Letters*, **4**(1980), 89.

EXPERIMENTAL OBSERVATION OF SUBHARMONIC IN LIQUID NITROGEN AND WATER

WANG BEN-REN MIAO GUO-QING WEI RONG-JUE

(Acoustics Institute, Nanjing University)

ABSTRACT

The phenomenon of subharmonic bifurcation is observed in experiments of sound wave of finite amplitude, which are performed in liquid nitrogen and water, respectively. The power spectrum is obtained.