

## 微处理机在光学双稳态不稳定性研究中的应用

戴建华 张洪钧

(中国科学院物理研究所)

### 一、前言

当前理论物理学一个活跃的课题,是研究流体、等离子体、非线性电路、Josephson 结、化学、光学等系统中的湍流 (chaos, turbulence) 是通过什么途径产生的. 当某一外界参数变化时,系统的行为将从有序状态(例如周期  $T$ ) 经过倍周期 (period doubling)  $2T, 4T, 8T, \dots$  发展到无序 (chaotic) 状态. 这是一种非线性现象,是非线性系统的普遍特征,不管该物理系统的内部细节如何,几乎都可以用同样的数学模型来描述.

Ikeda 在关于环形腔中非线性介质的光学双稳及其上肢不稳定性理论<sup>[1,2]</sup>里首先提出,当信号在腔内的反馈时间  $t_R \gg \tau$  或  $t_R \ll \tau$  ( $\tau$  是非线性介质的弛豫时间)时,在足够大的输入光强下,上肢是不稳定的,并且这种不稳定性将通过倍周期方式发展到 chaos (人们称为光学湍流——optical turbulence), Ikeda 的理论预言为 Gibbs<sup>[4]</sup> 在混合型光学双稳装置中的实验结果所证实. 从此,光学双稳态的不稳定性纳入了产生光学湍流的研究领域. 同时,混合型光学双稳装置由于它的参数可由微处理机随意控制,已成为研究光学湍流的有效工具.

本文介绍微处理机在以扭曲向列液晶为非线性介质的混合型光学双稳装置中的应用<sup>[5]</sup>. 并给出了双稳态上肢的不稳定性以及它随参数变化发展到 chaotic 过程的实验结果. 由于液晶的弛豫时间很长 ( $\tau \sim 350\text{ms}$ ), 因此要产生

满足  $t_R \gg \tau$  条件的反馈信号延迟,不论是光学方法或电学方法都是很难实现的. 微处理机可以完成长时间的不失真的信号延迟,在从几个毫秒到几十秒的宽范围内,它可以根据实验要求,很方便地调节延迟时间,其精度完全满足实验要求,可以进行对光学双稳态不稳定性以及光学湍流发展过程的研究. 与此同时,微处理机还可完成对实验数据的采集和处理以及数字信号的磁带记录等功能,以供进一步的数据分析处理使用.

### 二、实验装置和微处理机控制系统

这里介绍液晶光学双稳不稳定性研究的实验系统及微处理机在该系统中的作用.

#### 1. 实验装置

实验装置原理如图 1 所示. 来自 He-Ne 激光器的激光束,经起偏 Glan 棱镜 P、液晶盒 LC、检偏 Glan 棱镜 A 以后输出的光强  $I_2$  由光电元件  $D_2$  接收,经放大后送模数转换器 A/D 转换成数字信号,再经 TRS-80 微处理机处理后,由数模转换器 D/A 还原为模拟信号反馈加到液晶盒 LC 的电极上.

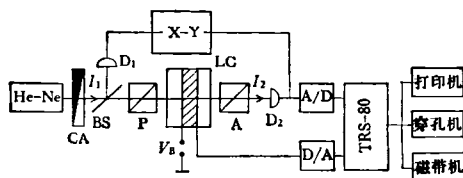


图 1 实验系统方框图  
CA 为光强衰减器; BS 为光束分束器

根据 Ikeda 理论, 当反馈系统具有时延性能时, 即输出信号经过延迟时间  $t_R$  后才加到液晶上; 当  $t_R \gg \tau$  或  $t_R \ll \tau$  时都将导致双稳态上肢从稳态  $\rightarrow$  不稳定自脉冲, 并且经过倍周期或其它途径, 发展到光学湍流。

## 2. 微处理机控制系统

图 2 是微处理机系统框图。由微处理机的地址线和控制线经译码控制器后控制 A/D 和 D/A 的工作, 输出光强  $I_s$  经光电转换元件  $D_s$  接收并由运算放大器 AMP 放大后加到 A/D 的输入, 由 A/D 转换为数字信号送入微处理机 TRS-80。另一方面, 微处理机将延迟后的信号通过数据线加到 D/A。D/A 的输出经放大后反馈加到液晶盒上。TRS-80 的外部设备有显示、打印机、盒式磁带机和纸带穿孔机。

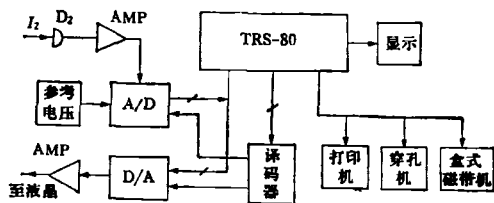


图 2 微处理机系统框图

## 3. 延迟原理

我们是利用微处理机的存储能力和输入输出功能来实现时间延迟的。将计算机的一部分存储器开辟为缓冲区, 改变缓冲区的大小即可改变延迟时间的长短。由于实验的数据量很大, 而缓冲区是有限的, 故采用了循环存数的方法, 可以用图 3 说明循环存数以实现时间延迟的原理。图 3 中的 1, 2, 3... $K-1$ ,  $K$  分别代表  $K$  个内存单元, 用作缓冲区。1 号单元为首地址,  $K$  号单元为末地址。实验一开始, 计算机运行控制程序, 首先清除整个缓冲区。考虑到实验系统需要一个初始稳定时间, 需要由微处理机自动控制, 待系统稳定后才开始数据的采集和反馈延迟控制。然后, 输入信号经 A/D 写入内存, 但不是从 1 号单元开始写入, 而是根据延迟要求从某个单元, 比如第 10 号单元开始写入, 第二个数据则存入第 11 号单元, 依次类推。当第  $K$  号单元写入数据后, 下一个数据则存放

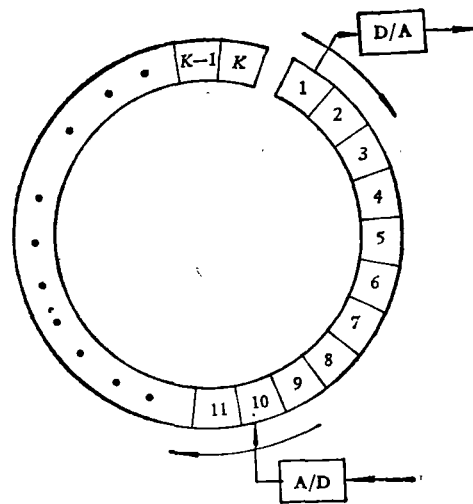


图 3 循环存数示意图

到第一单元, 如此循环不断进行数据的写入。每存入一个数据, 计算机即输出一个数据到 D/A。但第一次输出不是从第 10 单元(存入第一个数据的单元)开始, 而是从第一单元开始。这样一来, 输出到 D/A 的信号与进入 A/D 的信号之间, 相差 9 个单元。(因为起始时, 计算机已将整个缓冲区清零, 故最初的九次输出均为零, 即没有输出)。当第十次输出时, 输出是信号的第一个数据, 而此时输入信号已是第 19 个数据了, 输出与输入信号相比, 输出被延迟了采集九个数据的时间。若 A/D 采样周期(根据需要设定, 由 TRS-80 控制)为  $T$ , 则此时的延迟时间  $t_R = 9T$ 。考虑一般情况, 也可写作

$$t_R = NT, \quad (1)$$

式(1)中  $N < K$ , 改变  $N$  值就可以改变延迟时间的长短。例如, 设定  $T = 10\text{ms}$ ,  $N = 1000$  则  $t_R = 10\text{s}$  (当然, 改变采样周期  $T$ , 也可以改变延迟时间, 实验中  $T$  是固定的, 只通过改变  $N$  来改变  $t_R$ )。为了使延迟时间的改变更为精确, 在延迟控制程序中还考虑了延迟时间的细调。设  $t$  为程序设计的基本定时节拍,  $M$  为 A/D 采样周期  $T$  包含的节拍数,  $T = Mt$ 。延迟时间的一般表达式则为

$$t_R = \left( N + \frac{n}{M} \right) T, \quad (2)$$

式中  $N, M, n$  均为正整数,  $1 \leq n \leq M - 1$ , 由(2)式可知,若  $T = 10\text{ms}$ ,  $M = 10$ , 则延迟时间的调节可以精确到  $1\text{ms}$ . 如果将基本节拍时间变小, 则延迟调节的精度可以更高.

综上所述, 利用微处理机不仅可以获得宽范围, 高精度的时间延迟, 而且调节灵活方便, 只需改变程序中的几个参数即可. 这对于探索性研究, 对于需要在较大范围内改变延迟时间的实验来说, 利用微处理机或许是唯一可行的方案.

#### 4. 数据的采集和处理

微处理机除控制信号的时间延迟外, 还控制 A/D 转换器工作, 即控制数据的采集, 并将实验中采集得到的数据存入内存的数据区. 每次实验得到的数据量大于  $4\text{K}$ .

本实验的数据分析处理, 除了直接观察双稳态上肢随延迟时间的变化而产生的振荡波形外, 还需要对这些信号利用 FFT (快速傅里叶变换) 进行频谱分析. 然而我们使用的微处理机, 目前还不具有这样的能力. 所以需待实验结束后, 微处理机对存于内存中的实验数据进行初步处理, 用盒式磁带机记录, 然后打印输出并穿成纸带送 NOVA 计算机, 对采集到的实验数据利用 FFT 作频谱分析, 再进一步对实

验结果作理论分析. 程序流程图如图 4 所示.

### 三、实验结果

我们在图 1 所示的装置上观察到了双稳态上肢不稳定性所产生的振荡波形, 以及随着参量的变化发展到 chaotic 的过程.

图 5 是一组典型的实验结果, 固定延迟时间  $t_R$ , 改变输入光强  $I_1$ , 观察相应的输出光强  $I_2$  的变化, 此时加在液晶上的直流偏压  $V_B = 3.5\text{V}$ . 图 5(a) 为  $t_R = 2\text{ms}$  时的曲线, 是标准光学双稳态曲线, 有稳定的上肢. 图 5(b) 为反馈信号延迟增加到  $t_R = 44\text{ms}$  时的曲线, 此时上肢出现不稳定性. 图 5(c) 是继续增加延迟时间至  $t_R = 334\text{ms}$ , 上肢不稳定性已发展到 chaos.

实际上, 我们更感兴趣的是不稳定性的波

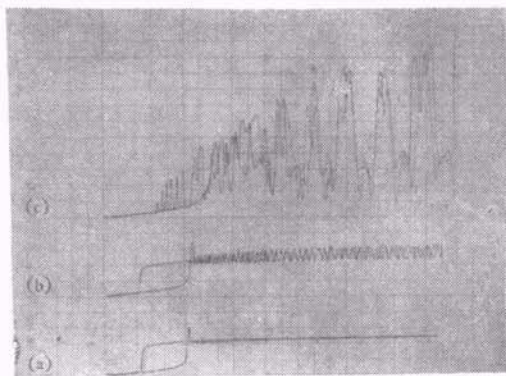


图 5 不同延迟时间  $t_R$  的  $I_2-I_1$  关系曲线  
(a)  $t_R = 2\text{ms}$ ; (b)  $t_R = 44\text{ms}$ ;  
(c)  $t_R = 334\text{ms}$

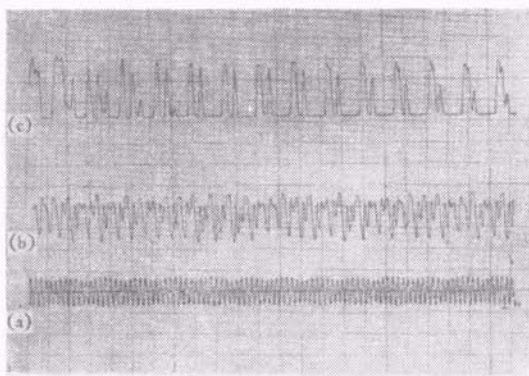


图 6 固定输入光强  $I_1$ , 改变  $t_R$  的  $I_2-t$  关系曲线  
(a)  $t_R = 72\text{ms}$ ; (b)  $t_R = 155\text{ms}$ ; (c)  $t_R = 1545\text{ms}$

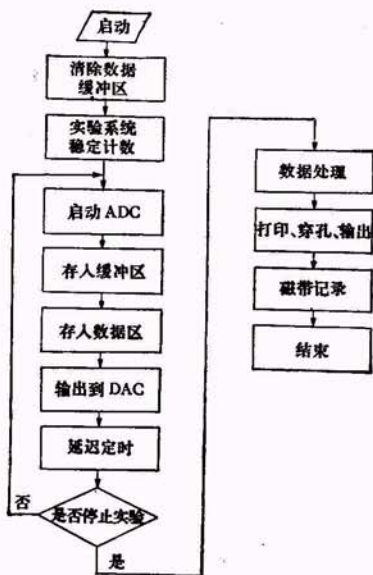


图 4 程序流程图



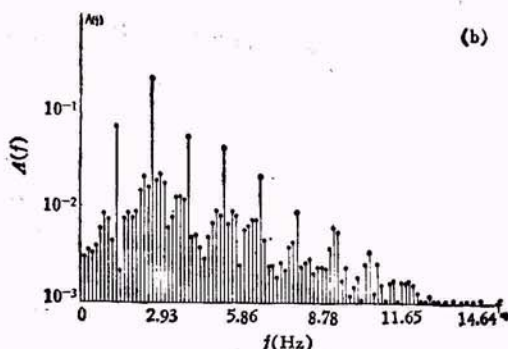
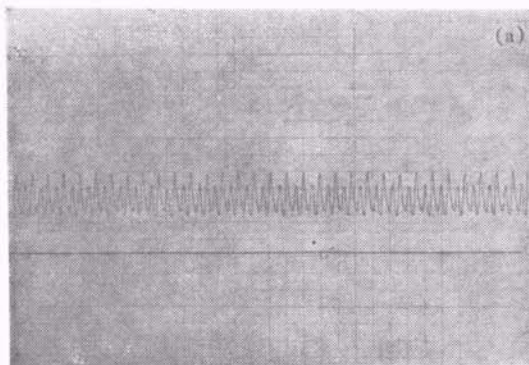


图7 振荡波形及相应的频谱  
(a) 振荡波形; (b) 相应的频谱

形,即输出光强  $I_2$  随时间的变化. 图6为固定输入光强  $I_1$ , 改变延迟时间  $t_R$  得到的不同振荡波形. 由图可见,随着  $t_R$  的增加,振荡从周期振荡发展到 chaos.

为了定量分析各种振荡模式中的频率成分,从而仔细研究发展到光学湍流的过程,必须对波形进行频谱分析. 图7为对振荡波形进行 FFT 得到的结果. 7(a)为振荡波形,7(b)为相

应的振幅谱.

### 参 考 文 献

- [1] K. Ikeda, *Opt. Commun.*, **30** (1979), 257.
- [2] K. Ikeda et al., *Phys. Rev. Lett.*, **45** (1980), 709.
- [3] K. Ikeda et al., *Phys. Rev. Lett.*, **48** (1982), 617.
- [4] H. M. Gibbs et al., *Phys. Rev. Lett.*, **46** (1981), 474.
- [5] 张洪钧等, *物理学报*, **30**(1981), 810.

## 《中国物理学会五十年》一文的增补与订正

根据同志们对1982年第8期《物理》上拙著“中国物理学会五十年”一文的反映,现作增补与订正如下:

1. 第454页左栏倒1行介绍我国物理学家成就的一段内增加“余瑞璜关于X射线强度的统计研究”。

2. 按照李珩同志来信,第451页右栏倒9行介绍1941年后物理学报出版情况的一段内,“李珩却积极主动一人”应为“李珩及曾泽培等却积极主动”。

3. 第449页左栏第11行中,“大厦大学”应为“大夏大学”。

4. 第454页左栏16行《中国物理》(Chinese Physics)“编辑委员会十人委员中有杨振宁等六人是美籍华裔物理学家”应为“编辑委员会12—13人委员(出刊过程中稍有变化)中有外籍华裔物理学家杨振宁等八人和我国物理学会金星南、王之江二人”。

谨向关心拙著的同志们表示深切的感谢。

(钱临照)