

驾驭斑图(pattern)的新方法——空间微扰法*

王鹏业

(中国科学院物理研究所,中国科学院凝聚态物理中心,北京 100080)

摘要 提出了一种控制斑图(pattern)的新方法——空间微扰法. 以一个光学系统为例,用这一微扰法成功地稳定、选择和跟踪了不稳定的卷形、方形和六角形斑图. 这一具有普适性的新方法极易被应用到实际空间延展非线性系统中.

关键词 斑图,控制,空间微扰法

CONTROLLING PATTERNS BY SPATIAL PERTURBATION METHOD

Wang Pengye

(Institute of Physics, Center for Condensed Matter Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract A spatial perturbation method for controlling unstable patterns is presented. Stabilization, selection, and tracking of unstable rolls, squares, and hexagons are demonstrated through the example of an optical system. The new method, being of general relevance, can be very easily realized in practical spatially extended nonlinear systems.

Key words pattern, control, spatial perturbation method

众所周知,我们的世界时刻处于千变万化之中. 如果观察某个系统空间的一个点,它将随着时间而变化,反映出这一系统局部的动态行为,例如周期性、随机性等. 但是,系统的这一点并非孤立,它受到周边其他各点的影响. 这种空间尺度上的关联性正是造成空间斑图(pattern)产生的原因(Turing 不稳定性). 不同的系统在不同的条件下可产生各式各样的斑图. 它广泛存在,大至宇宙中的星际,天空中的云层分布,沙漠中的起伏,小到微观世界原子、分子的自组织排列. 人们日常生活中更是随处可见,例如,动物皮毛上的斑纹,土地的龟裂,液体受热的对流花样等. 因此,对斑图实现有效的控制,趋利避害,是人们的长期愿望.

在1990年,Ott, Grebogi 和 Yorke^[1] 首先提出控制混沌的思想,即通过离散反馈的方法(又称为 OGY 方法)将系统的时域动力学行为

控制到不稳定轨道上. 这一开创性的工作在科学界引起很大反响,随即被广泛地应用到物理、化学和生物系统中. 这一方法虽然具有普适性,但存在控制系统较复杂、响应时间较慢和离散时间间隔内易失控等不足之处. 随后人们又提出了时延反馈和周期扰动等方法,对动力学行为进行控制. 在某些条件下,它们更容易被应用到实际系统中. 上述的控制均局限于非线性系统中的时域动力学行为. 由于空间延展系统更广泛存在于自然界中,近来人们试图将控制扩展到时空(spatiotemporal)系统中. 在这方面已有一些理论尝试,例如,将 OGY 方法和时延反馈方法分别扩展到耦合格子和连续延展模型

* 国家自然科学基金资助项目

1998-08-27 收到初稿,1998-10-05 修回

中.但由于该方法的复杂性,实际应用十分困难,至今无实验报道.在这种前提下,我们提出了一种非反馈控制空间斑图的新方法——空间微扰法^[2].以一个非线性光学系统为例,用这一方法有效地稳定、选择和跟踪了不稳定的卷形、方形和六角形斑图.由于这一方法的易应用性和普适性,已成功地应用到大孔径激光实验系统中^[3].下面对这一方法作一简单介绍.

对一个空间延展非线性系统,设定它的控制参数为 μ ,我们将一空间微扰施加到这一控制参数中,将其写成 $\mu = \mu_0 [1 + f(r)]$. 其中 μ_0 为无微扰时的控制参数, $f(r)$ 为微扰幅度. 由于我们限定为弱微扰,因此要求 $f(r) \ll 1$, 这样微扰量将很小. $f(r)$ 是空间微扰函数,它的幅度被限定为 1, 变量 r 是空间矢量. 从这里可以看出,我们使用的微扰不随时间变化,只是空间位置的函数. 通过采用不同的函数形式 $f(r)$, 我们即可实现对斑图的控制. 典型的结果如图 1 所示. 这些斑图在没有微扰时均为不稳定的. 因此,在空间微扰的作用下,我们成功地得到了原先不稳定的卷形、方形和六角形斑图. 另外,利用我们的微扰法还可以进行斑图的局部控制,对我们所需的某一限定空间区域内的斑图进行稳定、选择和跟踪.

尽管上述结果是通过一个非线性光学系统得到的,但只要选择适当的微扰方式,这一空间微扰方法对斑图形成系统 (pattern formation system) 将普遍适应,均有望实现有效控制. 空间微扰法的一个极大优点是其易应用性,例如,在光学系统中光场的强度和相位很容易分别通过吸收和色散元件进行空间扰动. 这就是为什么我们的方法能很快地应用到大孔径激

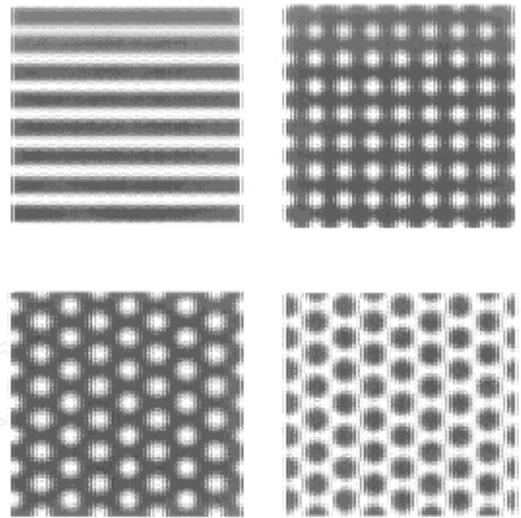


图 1 通过空间微扰得到的斑图

(a) 卷形; (b) 方形; (c) 正六角形;
(d) 负六角形(或称蜂窝形)

光器中的原因. 在那里,空间微扰由插入激光腔内具有一定排列方式的金属细丝实现^[3]. 在有些系统中,这种空间微扰甚至自然存在. 例如,在具有一定织构的基底上进行的外延生长、气相沉积等. 由于我们这一控制斑图新方法的重要性和广泛影响性,其主要结果已在《Phys. Rev. Lett.》上发表^[2]. 更深入的研究工作还在进行中.

参 考 文 献

- [1] E. Ott, C. Grebogi, J. A. Yorke, *Phys. Rev. Lett.*, **64** (1990), 1196.
- [2] Peng - Ye Wang, Ping Xie, Jian - Hua Dai et al., *Phys. Rev. Lett.*, **80**(1998), 4669.
- [3] M. Ciofini, A. Labate, R. Meucci et al., *Opt. Commun.*, **154**(1998), 307.