

协同学

主讲人: 肖人彬

(人工智能与自动化学院)

rbxiao@163.com

教学重点

重点掌握几个内容:

- ✓ 协同学的研究对象、方法 和任务
- ✓几种协同现象
- ✓协同学中的自组织概念
- ✓支配原理





3.1 协同学的基本概念

- ▶ 协同学揭示复杂系统的结构在性质上发生宏观 变异的共同原理
 - 协同学(synergetics)是德国理论物理学家哈肯于 20世纪70年代提出来的
 - 许多领域存在类似的非平衡有序结构现象
- > 协同学的研究对象
 - 各种各样的复杂系统,如流体系统、化学系统、生态系统、地球系统、天体系统、经济系统、人口系统、管理系统等



- > 协同学研究方法
 - ■研究复杂系统的部分之间如何竞争与合作 以形成整体的自组织行为——从部分到整 体的综合研究方法
 - ■研究方程是非线性的,子系统间的竞争与 合作或反馈的相互作用——协同作用



> 协同学的任务

无序产生有序,或者一种有序 转变成为另一种有序

■ 探索在系统宏观状态发生质的改变的转折点附近, 支配子系统协同作用的一般性原理

与子系统性质无关

■ 目标是在千差万别的各科学领域确定系统自组织赖以进行的自然规律。分支点附近慢变量支配快变量的普遍原理——支配原理



▶ 协同学主要研究复杂系统宏观特征的质变问题,也就是达到了新的有序状态

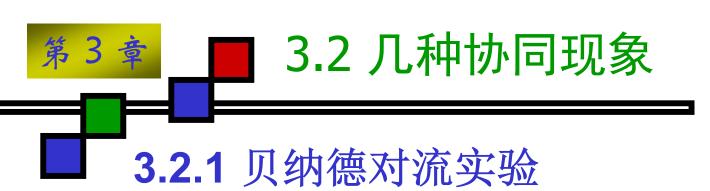
▶ 大量子系统组成的复杂系统,在一定条件 下由于子系统间相互作用和协作,会形成 具有一定功能的自组织结构

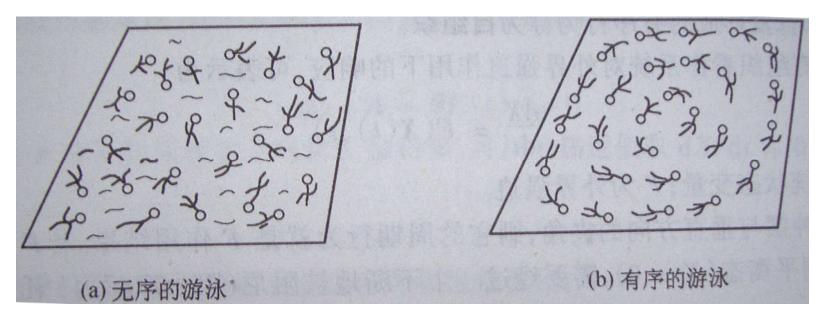
第3章 3.2 几种协同现象 3.2.1 贝纳德对流实验

- $\Delta T < \Delta T_c$ 时,在微观上,沉浮液滴随机产生和消失,它们几乎互不相干,不能形成一种集体统一行为,处于一种无序状态。
- $\Delta T > \Delta T_c$ 时,沉浮液滴的各种尝试有的可能获得成功,如果较热液滴上升特别有利,于是这种运动方式就不断增长,其周围不同集体运动方式不断进入这种运动并受其支配,其他方式在一段时间后变弱。

第3章 3.2 几种协同现象 3.2.1 贝纳德对流实验

➤ 不同集体运动方式之间的竞争行为,一种运动逐渐占支配地位,把其他方式压制下去,出现了一种完全特定的卷筒运动,这种卷筒运动起着序参量的作用,引导各部分液体的运动方式。





- (a) 为无序的游泳方式
- (b) 为自组织的环游运动方式

第3章 3.2 几种协同现象 3.2.2 大陆漂移学说

- ➤ 德国地质学家Wegener提出 p.43
- ▶ 大陆漂移原因可用贝纳德对流试验结果加以解释,可把从地心到地壳的物质看作是黏性很强的液体层,从下到上存在很大的温度差,于是就有卷筒似的对流运动产生。
- 当大陆壳处于液流上升部位,就会被强大粘性的流体 拉开,而在液流下沉部位就会被挤压形成造山运动。

3.3 有组织与自组织

3.3.1 系统对外界强迫的响应

- > 一个系统在外界强迫下形成的有序行为称为有组织
- 一个系统在无外界强迫下,内部自发形成的有序行为 称为自组织
- > 系统控制方程

$$dX/dt = AX + (BF)X + C(F)$$

其中, $X=(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 为状态向量; $C=(C_1, C_2, \dots, C_n)$, C_i 是作用到第i个子系统的强迫项,它是外界强迫 $F(F_1, F_2, \dots, F_m)$ 的非线性函数;A=B是与X无关的矩阵



> 计划经济是一种有组织的行为

> 市场经济是一种自组织的行为

> 两个小贩在海滩卖冷饮

3.3 有组织与自组织 3.3.2 经济中的协同现象

- ▶商业活动中的聚集现象——服装城,小吃城, 商业一条街,零配件一条街等
- ▶国家制定宏观政策使各种产业在合理的竞争 法则下配套发展,就有可能使涨落发展为序 参量,形成布局合理的产业结构

■ 3.4 自组织与支配原理

- > 无外界强迫时,系统内部形成的有序行为称为自组织
- 》考虑只有一个子系统和一种外界强迫的情况,用 X_1 代替F,用 X_2 代替X,则由两个子系统组成的控制方程表示为:

$$\frac{dX_{1}}{dt} = -\gamma_{1}X_{1} - aX_{1}X_{2}$$

$$\frac{dX_{2}}{dt} = -\gamma_{2}X_{2} + bX_{1}^{2}$$

》假设没有子系统 X_1 时,子系统 X_2 作衰减运动,这就要求 $Y_2>0$,如果绝热近似方法在这里适用,则必须有

$$\gamma_2 >> \gamma_1$$

动力系统(钟摆运动)

$$\frac{dx}{dt} = -\gamma X + F(t)$$

V>0为阻尼系数, F为外界强迫作用 考虑自组织情况, 下也成为系统中 的一部分,所以是两个子系统组成的 系统(F看作X1,X看作X2),其方程为

$$\begin{cases} \frac{dX_1}{dt} = -\gamma_1 X_1 - \alpha X_1 X_2 \\ \frac{dX_2}{dt} = -\gamma_2 X_2 + b X_1^2 \end{cases}$$

第 3 章

▮ 3.4 自组织与支配原理

 \triangleright 设 γ_1 可正、可负,利用绝热近似,令d X_2 /d $t\approx 0$,得到

$$X_2(t) = \gamma_2^{-1} b X_1^2(t)$$

带入到前面的方程中,得

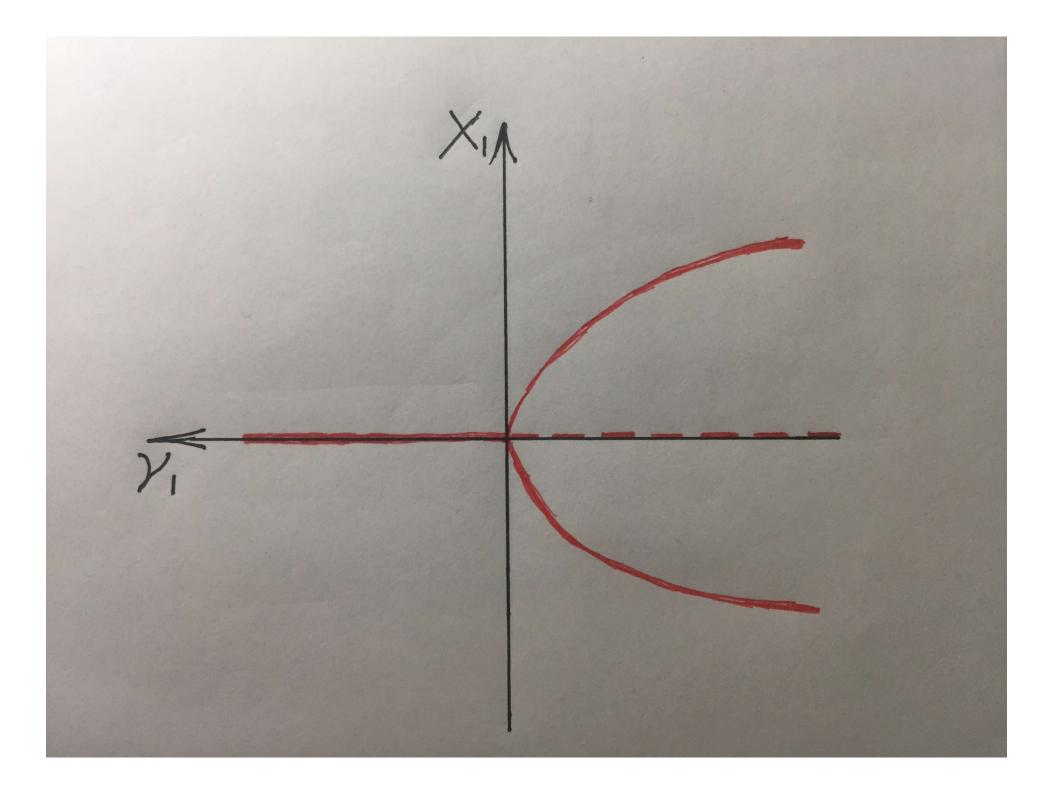
$$\frac{\mathrm{d}X_1}{\mathrm{d}t} = -\gamma_1 X_1 - (\frac{ab}{\gamma_2}) X_1^3$$

由此方程得到定态解

$$(1)$$
当 $\gamma_1 > 0$ 时, $X_{10} = 0$ 为渐近稳定

$$(2)$$
当 γ_1 < 0时, X_{10} = 0为不稳定

$$(3)$$
当 $\gamma_1 < 0$ 时, $X_1 = \pm \sqrt{-\gamma_1 \gamma_2 / ab}$ 为渐近稳定



第 3 章

__■ 3.4 自组织与支配原理

▶上述两个子系统可以推广到*n*个子系统的情况。可用下述方程组描述为

$$\begin{cases} dX_{1} / dt = -\gamma_{1}X_{1} + g_{1}(X_{1}, X_{2}, ..., X_{n}) \\ \vdots \\ dX_{n} / dt = -\gamma_{n}X_{n} + g_{n}(X_{1}, X_{2}, ..., X_{n}) \end{cases}$$

其中, $g_j(j=1,...,n)$ 是 $|X_i|$ 的非线性函数

3.5 协同学基本概念的哲学分析

> 协同

协同是统一性的表现,不同系统在相变时具有共同规律说明了事物之间的统一性,协同学的结论为物质世界统一性提供了新的证明。

> 有序度和序参量

可用不同的物理量来描述系统宏观的有序度, 在耗散结构论中用熵来度量;在协同学中,使用 序参量概念来代表一个系统的有序度,用序参量 的变化来描述系统内有序和无序之间的转化。

3.5 协同学基本概念的哲学分析

> 慢变量和快变量

协同学分析了不同参数的不同作用,区分了本质的因素和非本质的因素、暂时起作用的因素和长远起作用的因素、偶然的因素和必然的因素。慢变量是通过与快变量的竞争并最终战胜快变量而成为序参量。

> 类比法是协同学采用的一种主要研究方法

相似是类比的基础,不同运动形式、不同系统之间存在着相似性是世界统一性的一种表现。协同学主要从两个方面进行类比。



➤协同学对大学生心理健康水平的理论探索,自然辩证法研究,2013年,第
29卷,第7期