

①
11

79-86

边界沉思^①

严广乐, 王浣尘

(上海交通大学系统工程研究所, 上海 200052)

N94

摘要:提出一种关于一类感知反应系统演化的边界研究思路和方法,其主要内容为:系统的复杂性主要是由系统与环境之间的相互作用关系产生的,因此在系统边界上聚集着关于系统演化的重要特性;系统中的捕获力和游离力之间的竞争造就了一条“色谱边界”,其中包含着极其丰富的层次性;“色谱边界”上的要素以感知反应的方式推动系统的结构重组,从而促使系统实现突现或塌陷,完成一次演化过程.

关键词:边界分析;感知反应;结构重组;系统演化

系统论, 反应系统,

分类号:N94 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-9807(2000)01-0079-08

1 边界分析:一种逆向思维

在系统研究过程中,边界是一个非常基本的概念.系统与环境之间存在着边界,子系统与整体系统之间存在着边界,一个子系统与其他子系统之间存在着边界,不同质的结构、功能或行为的集合之间也存在着边界.总之,哪里有质的差异哪里就有边界出现.边界的重要性一点也不亚于系统本身.可以这样认为,没有一条完整的边界就不会有完整的分类,就不会有完整的系统.

系统边界在系统与环境之间扮演着一个双重的角色:一方面它将系统的质与环境的质区分开来,两类不同质之间的边缘要素通过类聚过程构成一个分水岭;另一方面它又将系统和环境通过系统的输入输出方式相互联系起来,形成了系统与环境之间的各种各样的相互关系,这种关系决定了系统的结构、功能和行为的变化和发展.系统边界就好比是系统的一个“海关关口”,在这个“关口”中,如果有物质、能量和信息的流进和流出,则系统是开放的;如果“关口”内外没有物质、能量和信息的交换,则系统是封闭的.在实际过程中人们经常遇见的绝大多数系统都是开放的,封

闭系统和孤立系统比较少见,许多情况下为了分析、计算等方面的简便,它们常被设定为理想条件下的系统.对于开放系统来说系统与环境是紧密联系在一起,没有环境就没有系统的开放性;没有系统,环境也就无从说起.因此,将系统与环境结合起来作为一个整体进行考虑是开放系统研究的一种合适的处理方法.

系统与环境之间的关系是开放系统研究的一个中心问题.在此问题上历来学派林立,众说纷纭,倍受人们关注.这里根据整体性原理定义一个全系统,它是由系统、环境以及系统与环境之间的共同边界三部分组成.为了便于区分,称原系统为本体系统,并且把环境也看成是一个系统,称为环境系统.本体系统和环境系统都是全系统的一级子系统.在全系统中,本体系统完全被包容在环境系统之中,也就是说本体系统与环境系统以外的外部因素不发生任何联系.环境系统是一个非常特殊的环状系统,它是由影响本体系统生存和演化的各种不可忽视的因素及其关系所组成.因为对本体系统来说,不可能也没有必要把所有的外部因素都视为自己的环境.环境系统中存在着两种不同性质的边界:一种是他与本体系统之间的

① 收稿日期:1999-04-06.

基金项目:国家自然科学基金资助重点项目(79990580).

作者简介:严广乐,男,上海理工大学管理学院教授,上海交通大学系统工程研究所在职博士生.

共同边界,另一种是他与其他外部因素之间的共同边界.全系统的框架结构如图1所示.

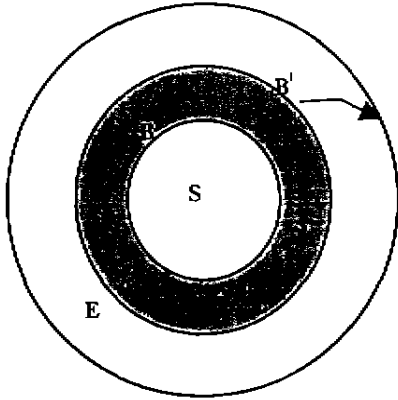


图1 全系统的框架结构

记 S 为自体系统; E 为环境系统; B 为自体系统与环境系统之间的共同边界; B' 为环境系统与其他外部因素之间的共同边界;那么全系统 W 可形式地表示成

$$W = S + E + B \quad (1)$$

需要指出的是,在全系统的表达式中包含了边界 B 而没有包含边界 B' ,这是因为考虑到了 B 和 B' 这两种边界在本质上的区别.我们知道,历来边界都被看成是没有质量,没有宽度,没有面积,不占空间的一条数学意义上的线.一位哲人有过这样一句名言叫做“边界的边界为零”,这样的一种边界观在要素的本质属性比较明确,边界内外要素之间的相互作用关系比较稳定的情况下是对边界的一个非常精美的抽象.例如全系统中的 B' .但是,对于一大类复杂系统,特别是对于不断在生长、演化着的“活”系统来说,其边界有可能会变得极其复杂.有的时候边界是模糊的,相对不确定的;有的时候边界本身也可能会有层次性,有的时候甚至还可能出现分形特征.因此,在全系统中有必要将自体系统与环境系统的边界 B 列为相对独立的一部分加以研究.后面的讨论将表明,这种处理方式会带来许多新的思路和启发.

长期以来,人们在系统研究过程中往往习惯于把注意力集中于系统的内部.如果系统是封闭的或者是孤立的,那么这种研究方式是合适的,符合有的放矢的原则.然而如果系统是开放的,系统中许多重要的行为、功能和特性的产生都是根源

于系统与环境之间的物质、能量和信息的交换,此时对边界研究就显得越来越重要,甚至是不可避免的了.因此,对于开放系统的研究,如果改换一下思路,采用一种逆向思维方式,即以边界研究为中心,兼顾系统的内部研究和环境研究,那么我们将发现前面会展现出一片宽阔而又绚丽的天空.

2 边界沉思: SAR 系统研究

在复杂系统中,有一类系统把它称之为感知反应系统^[1](sensitive and reactive system),简称为SAR系统.由于SAR的发音与中文的“沙”比较接近,而且SAR系统的某些方面的特性与沙堆模型也有许多相似之处,故取此名.

为了叙述方便先看一个例子.考虑一个绿化系统,比如种植一棵树,它就是一个自体系统,环境系统由阳光、雨露、气候、土壤、养分等因素组成.环境系统对自体系统施加影响,而自体系统对环境系统也有作用,因而系统是开放的.然而,由于自体系统对环境系统的作用与环境系统对自体系统的作用相比非常之小,在实际处理过程中通常被忽略不计.也就是说,在小系统大环境的情况下,在系统边界上穿越的流线可以近似地看成是单方向的,仅仅是由环境系统指向自体系统.在处理普通的系统问题过程中这样的近似手段几乎总是被采用并且被认可.但是问题的关键在于,现在所讨论的自体系统的主体是活的,有生命的,它能够在外部的环境条件下不断地成长壮大起来.一棵树可以成长为一片树林,继而又可发展壮大成为一大片绿洲.随着自体系统的不断成长和壮大,它对环境系统的作用力也越来越增强.当这种作用力增强到某个限度时就会引起部分环境因素的感知并产生相应的反应.反应的结果使得这部分环境因素改变了自己的状态和行为,从而也改变了下一时刻它们对自体系统的作用方式和作用强度.例如树林规模的扩展会影响、改变其周边的气候环境.气候环境的改善反过来又促使树林的更快生长,构成一个良性循环.在这种情况下,原先所假设的小系统大环境的前提条件已不复存在,自体系统对环境系统的作用也不容再被随便忽略.从因感知到系统的变化而产生反应的那部分环境因素来看,其特性和作用已无异于自体系

统的内部要素.因此,将这部分环境因素和本体系统的内部因素以及它们之间的各种关系重新聚集在一起,定义成一个新的本体系统.一般来说,新的本体系统具有与原本体系统完全不同的结构、功能和行为.从系统边界的角度来看,原本体系统转变成新的本体系统实际上就是系统边界扩张的一个结果.当然这样的过程也可能是逆向的,即原本体系统中的某些内部要素由于对环境的感知反应,结果减弱了乃至隔绝了与其他内部要素的联系,转变成新的环境系统中的一部分,形成了系统边界的收缩.系统结构的每一次重组以及系统边界的每一次改变,都意味着系统的一次演化^[5].

从以上的例子可以归纳出 SAR 系统的一些重要特点:

1) SAR 系统是一类开放系统.在这类开放系统中本体系统和环境系统之间存在着错综复杂的相互作用关系.除了传统意义上的输入输出关系之外,还存在着感知反应关系.感知反应既可以是正向的,即环境因素对本体系统行为的感知反应,也可以是逆向的,即本体系统的内部因素对环境变化的感知反应.这一点是 SAR 系统与自适应系统的根本区别;

2) SAR 系统中的本体系统的主体是活的,有生命的.它能够在一定的环境系统作用下不断地进行结构演化.这种演化既可以是进化,即使系统的有序度增加,也可以是退化,即使系统的有序度下降;

3) SAR 系统中存在着三类结构:第一类是(广义的)物质结构,第二类是信息结构,还有一类是介于两者之间的感知反应结构.其中感知反应结构具有两重性,感知与信息相对应,反应与物质相对应.实际系统中这三类结构往往是紧密结合在一起的;

4) 对应与三类结构,SAR 系统中存在着三种流:即物质流,信息流和感知反应流.同样感知反应流也具有两重性,感应对应于信息,反应对应于物质或能量.当不发生反应时它仅显示信息流的特征;

5) 感知反应流中存在着感知反应临界.当感知强度超过某个限度时要素就要产生反应,称为上临界;当感知强度低于某个限度时要素就要产

生反应,称为下临界.上临界和下临界一起决定了感知反应临界带的宽度.感知强度可以用要素的感知反应灵敏度来定义.

6) 在感知反应流的作用下,要素从无反应到有反应或者从有反应到无反应的过程通常是以突变的形式实现的;

7) 感知反应的上临界和下临界在许多情况下不是一个简单的阈值,而是一条带有滞后的回形曲线,即要素从无反应到有反应的感知临界与要素从有反应到无反应的感知临界一般不重合,具有不可逆性;

8) 感知反应临界带的存在决定了 SAR 系统中的本体系统与环境系统的边界不再是一条简单的数学意义上的线,而是对感知反应具有丰富层次的一条带,我们把它称为“色谱边界”.“色谱边界”的层次由位于其上的要素的感知反应强度决定;

9) 位于“色谱边界”上的要素的性质极其不稳定,在一些条件下可能成为本体系统中的一部分,称为捕获;在另一些条件下可能成为环境系统中的一部分,称为游离.捕获和游离都是相对于本体系统而言的;

10) 由感知反应引起的本体系统的结构重组以及系统边界的扩张或收缩是系统实现突现或塌陷的根本动力.

从 SAR 系统上述这些特点中可以发现其中蕴藏着复杂系统的整体性、层次性、活力性和演化性等许多重要特性^[4].针对这些特点给出 SAR 全系统的结构框架,见图 2.

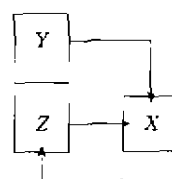


图2 SAR全系统的结构框架

图中 X 表示本体系统内部要素及其关系的集合; Y 表示在任何情况下都不考虑发生感知反应的那部分环境因素及其关系的集合; Z 表示位于“色谱边界”上的要素及其关系的集合.当不发生感知反应时,图中的虚流线断开,Z 游离到环境系统中去,这时 SAR 全系统中的本体系统为 X,环境系

统为 $Y + Z$; 当发生感知反应时, 图中的虚流线转变成实流线, Z 被本体系统捕获, 这时 SAR 全系统中的本体系统为 $X + Z$, 环境系统为 Y . SAR 全系统的动力学方程可表达为

$$\frac{dX}{dt} = F(X, Y, Z, t) \quad (2)$$

$$\frac{dY}{dt} = G(Y, Z, t) \quad (3)$$

$$\frac{dZ}{dt} =$$

$$\left. \begin{aligned} &H_1(Y, Z, t) \quad L_1 \leq K(X) \leq L_2 \\ &H_2(X, Y, Z, t), \quad K(X) < L_1 \text{ 或 } K(X) > L_2 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式中 X, Y, Z 的定义同前, t 为时间变量, $K(X)$ 为感知强度的集合, L_1 和 L_2 为感知反应的上临界和下临界的集合, F, G, H_1 和 H_2 为非线性函数, 在更一般的情况下它们还可包含空间坐标及其变化率和随机因素等.

3 边界突破: SAR 系统演化

对 SAR 系统问题的研究选择边界作为切入点是明智的和恰当的. 下面从几个不同的侧面来探讨 SAR 系统的演化问题.

3.1 沙堆模型: 捕获与游离

1987 年巴克(BAK)等人提出了自组织临界态概念. 自组织临界态是一种介于有序与无序, 混沌与非混沌之间的临界稳定状态. 它往往是复杂系统演化的一种极限状态, 但又与协同理论或耗散结构理论中的以自由度归并为特征的自组织态有着本质上的不同. 自组织临界态可以用典型的沙堆模型来实现. 把细沙以均匀的速度从上到下不断地撒在具有一定形状的底盘上, 不久就会形成一个相应的锥体. 如果底盘是圆的就形成圆锥体; 如果底盘是方的就形成四棱锥体; 如果底盘的形状非常复杂, 那么锥体的形状也非常复杂, 但却是稳定的. 沙堆由小到大的积累过程就是系统不断捕获外部要素成长壮大的过程. 位于边界上的沙粒在地心引力的作用下产生两种作用力, 一种是捕获力, 即沙堆表面的张力, 另一种是游离力, 即沿锥体表面的下滑力. 当捕获力大于游离力时系统边界渐近扩张, 反之当游离力大于捕获力时新增加的沙粒会游离出去, 形成临界稳定的系统

边界. 然而这种临界稳定性非常脆弱, 一旦受到随机扰动的影响就会使捕获力与游离力之间产生不平衡. 在系统边界的临界稳定态上这种微小的不平衡通过“蝴蝶效应”不断被放大、被传递, 以致使系统中部分要素受到感染并作出相应的连锁反应, 于是出现了系统塌陷. 这样系统就完成了—次从相对规整到对称破缺, 从相对无序到相对有序的演化过程. 注意到系统塌陷是以突发的方式产生的, 塌陷部分的边界是某种分形. 分形边界在新的系统与环境的关系中具有极其丰富的层次性, 是一种“色谱边界”. “色谱边界”上的要素对系统的捕获力和游离力的感知反应强度是不同的. 如果塌陷发生后沙粒撒落的过程继续进行, 那么对捕获力感知反应强度最大的那部分边界要素将优先被捕获, 相应部分的边界也优先得到扩张. 随着塌陷界面的渐渐修复, 系统向新的自组织临界态前进. 由此可见, SAR 系统理论为研究自组织临界态提供了一条新的途径.

3.2 支配原理: 感知反应预期

支配原理是协同理论中三大原理之一. 1971 年哈肯(Haken)发表了“协同学: 一门协作的学说”一文, 提出了著名的研究复杂系统演化的支配原理. 支配原理是在物理学中绝热消去法的启发下形成的, 其主要目的在于通过合理地约简一个复杂系统的规模来研究系统演化的自组织问题. 它的主要思想是: 在一定的环境因素作用下, 系统内部各组分由于它们阻尼性质的不同对环境作用的响应存在着差异. 当系统逼近临界状态时这种差异会被放大, 从而区分出快变量和慢变量这两类不同的变化模式, 其中快变量数量多但却是短寿命的, 不会左右系统的演化进程. 而慢变量虽然数量少但却支配着系统的有序结构的形成和演化^[5].

从边界分析的角度来看, 系统中快变量和慢变量的界限是客观存在的, 当系统远离临界点时, 两类变量之间的斥力不显著, 所以它们之间的边界是模糊的; 而当系统逼近临界点时, 两类不同类型变量之间的竞争愈演愈烈. 快变量模态寿命短, 很快稳定下来并从本体系统中游离出去, 成为新的环境系统中的一部分. 留下的慢变量模态主宰着本体系统长期演化. 于是随着系统不断向临界点运动快变量模态和慢变量模态之间的界线从模

糊不清渐渐地变得越来越明晰,经过系统的结构重组最终演变成新的本体系统的边界.由此可见,支配原理从本质上来看就是慢变量模态对快变量模态预期形态的感知反应,可把它称为感知反应预期.考虑感知反应的哈肯方程

$$\frac{dq_1}{dt} = \left(\frac{1}{k_1}\right)q_1 - aq_1q_2 \quad (5)$$

$$\frac{dq_2}{dt} = -\left(\frac{1}{k_2}\right)q_2 + bq_1^2 \begin{cases} = 0 & k_2 < \beta k_1 \\ \neq 0 & k_2 \geq \beta k_1 \end{cases} \quad (6)$$

其中 q_1, q_2 为系统的状态变量; k_1, k_2, a, b 为参数; β 为感知反应临界的比例系数;进一步若满足条件

$$0 < k_2 \ll k_1 \text{ 使得 } k_2 < \beta k_1 \quad (7)$$

则 q_1 为慢变量, q_2 为快变量,预期经过一定时间以后 q_2 将趋于稳定,即

$$\frac{dq_2}{dt} = 0 \text{ 或 } q_2 = k_2 bq_1^2 \quad (8)$$

代入慢变量方程可得慢变量的感知反应方程为

$$\frac{dq_1}{dt} = -\frac{1}{k_1}q_1 - abk_2q_1^3 \quad (9)$$

这就是 Pitch - fork 分叉的运动方程.于是,慢变量根据对快变量的预期进行感知反应,结果使系统边界得以收缩,即系统得到了约简,快变量 q_2 从本体系统中游离出去成为新的环境变量.

3.3 自组织与他组织:感知反应超临界

通常认为,系统在获得空间的、时间的或功能的结构过程中,如果没有外界的特定干预就称系统是自组织的;如果存在外界的特定干预就称系统是他组织的.自组织与他组织的根本区别就在于系统的组织力是来自系统的外部还是系统的内部.这个问题如果用 SAR 系统理论进行讨论将会得到更广泛、更深刻的理解.

系统的自组织和他组织问题涉及到系统的运动变化是完全不从属于还是完全从属于环境因素的变化.实际上这就是感知反应的两个极端情况:要么完全不感知反应,要么完全感知反应,不存在感知反应临界带.这样的情形可称它为感知反应超临界.当系统对环境的变化完全感知并完全从属其反应时,系统是他组织的;当系统对环境的变化完全不感知并完全不从属其反应时,系统就是自组织的.考虑感知反应的郎之万(Langevin)方程

$$\frac{dq(F,t)}{dt} = -rq + F \begin{cases} = 0, & r > \beta s \\ \neq 0, & r \leq \beta s \end{cases} \quad (10)$$

$$\frac{dF(t)}{dt} = -sF \begin{cases} = 0, & r < \frac{s}{\beta} \\ \neq 0, & r \geq \frac{s}{\beta} \end{cases} \quad (11)$$

式中 q 为本体系统内部变量, F 为环境系统变量, $r > 0$ 及 $s > 0$ 分别为相应的增长率系数; $\beta > 1$ 为感知反应临界的比例系数.当 $r \gg s$, 使得 $r > \beta s$ 时,则 q 为快变量, F 为慢变量,慢变量对快变量的预期进行感知反应有

$$\frac{dq(F,t)}{dt} = 0 \text{ 或 } q(F,t) = \frac{1}{r}F(t) \quad (12)$$

也就是说本体系统的内部变量完全感知到并完全从属于环境变量的变化,因而系统是他组织的.反之当 $s \gg r$, 使得 $r < s/\beta$ 时,则 F 为快变量, q 为慢变量,慢变量对快变量的预期进行感知反应有

$$\frac{dF(t)}{dt} = 0 \text{ 或 } \frac{dq(0,t)}{dt} = -rq \quad (13)$$

即本体系统的内部变量完全不感知并完全不从属于环境变量的变化,系统是自组织的.由此可见,用 SAR 系统理论能很清晰地描述自组织和他组织问题.

3.4 突变之源:感知反应临界

突变理论所研究的是系统对外界条件的连续光滑变化所产生的不连续的、非光滑的响应.其实在 SAR 系统中还可以找到突变理论更广泛的应用领域.在那里不仅会有系统对连续光滑外界作用的突变响应,而且也会存在某些环境因素因感知到连续光滑的系统作用而产生的突变反应.这种反应的结果会导致系统边界的张弛,从而进一步促使系统结构的重组.造成这种结果的最本质的原因就在于 SAR 系统中的感知反应临界.

突变理论认为,突变具有多稳态,不可达性,突跳,滞后和发散五大基本特征^[5],而所有这些特征都可以在 SAR 系统的感知反应临界上找到.

现在来考察一个扩展的 IS-LM 感知反应模型

$$\begin{aligned} \frac{dD(t)}{dt} &= f(P) \\ \frac{dS(t)}{dt} &= g(P) \\ \frac{dP(t)}{dt} &= \begin{cases} 0 & |1 - S/D| < \lambda \\ c(D - S) & |1 - S/D| \geq \lambda \end{cases} \end{aligned} \quad (14)$$

式中 D 为商品需求; S 为商品供给; P 为商品价格; f 和 g 为关于价格的连续函数.

当超额需求的绝对值较小时往往难以促使价格即时调整,此时价格相当于供求系统的外生变量,只有当超额需求的绝对值超过一定的界限时,即超过价格的感知反应临界时价格才会被系统捕获,以相当于内生变量的性质变化适应,价格变量的这种性质上的两重性是由产品生产的不可分割性和价格的适应成本等原因造成的,价格的感知反应和不感知反应形成了系统的两种稳定状态(多模态),当感知反应强度恰好达到感知反应临界时,价格即可趋于反应也可趋于不反应,系统呈现不确定状态(不可达性),感知反应强度一旦超过某个限度价格就要调整,不管是往高调整还是往低调整都是以突变的方式完成的(突跳),感知反应临界通常不是一个简单的阈值,而是一条可变的回形曲线,由于刚性作用,价格由低向高调整和由高向低调整的临界值一般是不相重的(滞后),在感知反应临界点上感知反应发生与否不是由系统的确定性决定的,而是由随机涨落来选择,一个极其偶然的因素将决定价格是调整还是不调整(发散),由此可见,SAR系统中的感知反应临界是突变产生的一个根源。

3.5 “色谱边界”:SAR系统演化的结构根源

耗散系统理论认为,系统有序结构的演化至少要有四个必要条件,即开放性、不可逆性、远离平衡态和非线性相干,在SAR系统中的色谱边界上所有这些条件都能够很自然地得到体现,“色谱边界”是为研究本体系统和环境系统之间物质、能量和信息的相互作用关系而定义的,因而显然能够满足系统的开放性条件,不可逆性则可以在“色谱边界”上要素的感知反应临界上反映出来,如前所述,在许多情况下感知反应临界是一条可变的回形曲线,变量从不感知反应到感知反应与从感知反应到不感知反应所走的路径是不重合的,从边界的角度来看,本体系统边界的扩张与收缩遵循着不同的轨迹,是不可逆的,“色谱边界”上的要素在不同的条件下既有可能被本体系统捕获,也有可能从本体系统中游离出去,无论是捕获还是游离都是系统在远离平衡态的情况下结构重组的过程,都是对旧系统自稳性的降伏,不摆脱旧系统平衡态的束缚就不可能有新系统的建立和发展,“色谱边界”上各要素的感知反应灵敏度决定了它们的感知反应临界带的结构及其分布,这种

结构和分布完全超越了线性系统的叠加性和比例性的形式范畴,以极其复杂的非线性方式组织在一起,形成了“色谱边界”丰富的层次性,因此可以这样认为,“色谱边界”是SAR系统演化的结构根源。

4 边界竞技:比较、借鉴与拓展

SAR系统是复杂系统的一个分支,它借用了生物系统中的许多重要概念,比如感知,反应,捕获,游离等来研究一类复杂系统的演化问题,它与同样是借用生物学概念建立起来的复杂适应系统(CAS)相比既有共同之处,也有不少本质上的区别,CAS是美国桑塔费研究所(SFI)作为重点研究的一类系统对象,以霍兰德(John Holland)为代表的一批研究人员经过十多年的精心努力发展了一套新颖的研究思路与方法,并设计出独特遗传算法,建立了“回声模型”用于CAS的模拟研究,CAS理论认为,系统的复杂性起源于其中个体的适应性,正是这些个体在与环境以及其它个体的相互作用下,不断地改变着它们自身,也改变着环境,SAR系统理论与CAS理论存在着一些共性之处,主要表现在以下几个方面:

1) 两者都认为系统的复杂性是由系统与环

境之间的相互作用产生的;

2) 两者都认为系统与环境的相互作用可以改变系统,反过来也会改变环境,是系统演化的主要动力;

3) 两者都认为系统中的主体是主动的、有活力的,因此可用于用传统方法难以处理的一大类复杂系统问题的研究;

4) 正因为如此,在研究思想中两者都引进了生物学上的一些重要概念;

5) 两者都认为系统中存在着多样性和层次性;

6) 两者都认为在一定的条件下,随机因素对系统的演化起着重要作用。

但是,SAR系统理论和CAS理论都有着各自的鲜明特色,在某些方面还存在着不少差异,主要体现为以下几点:

1) 尽管两者都摆脱了传统研究方法中把注意力集中于系统内部属性上的思维框架,但是

CAS理论把重点移到系统与环境的相互关系上;而SAR系统理论则是以边界研究为中心,牵动本体系统研究和环境系统研究;

2) CAS系统理论所讨论的层次性主要是在系统内部,而SAR系统理论所讨论的层次性不仅是存在于本体系统内部,而且还在存在于环境系统之中,更重要的是存在于“色谱边界”之中;

3) CAS理论认为,在一定的条件下系统中的个体可以通过“粘合”聚集成一个新的个体——聚集体;而SAR系统理论认为,边界两边的要素在一定的条件下可以相互捕获或游离,当捕获或游离行为发生在本体系统内各子系统之间时就相当于个体的聚集或分散,当发生在本体系统与环境系统之间时就是本体系统边界的扩张或收缩,当发生在不同质的两类要素之间时(如快变量与慢变量等)就能刻画它们之间的竞争与争夺;

4) CAS理论从适应的角度讨论系统的演化问题,而SAR系统理论则主要从由感知反应引起的系统结构重组的角度讨论系统的演化问题;

5) 在对系统的演化规则进行选择方面CAS理论采用的是信用确认机制,而SAR系统理论采用的是感知反应机制;

6) 在系统运行规则的发现手段方面,CAS理论采用在已有规则的基础上融入经验进行新规则的制定,而SAR系统理论则是通过设计和改变有关要素的感知反应临界来创造新规则、新机制。

基于SAR系统的这些特色,它可用于处理一大类复杂系统问题,其中在社会经济系统方面可归纳出以下几个主要的应用领域:

1) 系统结构重组问题,通过改变本体系统捕获力和游离力的强度对比可研究诸如企业兼并、联合,共建,剥离,破产等问题;

2) 系统运行机制的设计和改革问题,通过设计和改变有关要素的感知反应临界,选择或创造出新的系统运行机制或体制,如计划经济对应着较宽的感知反应临界带,而市场经济则对应着较窄的感知反应临界带;

3) 杠杆要素的合理调控问题,通过适当地设计杠杆变量的感知反应灵敏度以完善系统的调控机制,如价格,利率,汇率等杠杆变量只对较大的超额需求作出反应,而对较小的超额需求则无动于衷;

4) 风险控制与防范问题,通过增大有关要素的感知反应临界带以及减小其感知反应强度可应付较大的系统风险和过度的市场波动;反之通过减小有关要素的感知反应临界带以及增大其感知反应强度可提高系统的活力;

5) 环境改善与可持续发展问题,通过分析、调整环境系统对本体系统变化的感知反应强度研究环境保护问题和资源的合理配置问题,如绿化工程问题,废物再生工程问题,各类系统的稳定、和谐、持久发展问题等;

6) 其它有关的复杂系统问题。

5 结束语

SAR系统理论认为,开放系统的复杂性是由系统与环境之间的相互作用关系产生的,而这种相互作用关系最集中地体现在系统边界上,因此必须把系统、环境以及边界三者一起放到一个更广泛的全系统中进行处理,并且必须以边界研究为中心,在全系统中由于本体系统与环境系统之间会产生各种各样非常复杂的相互作用关系,因而本体系统的边界就成了一个具有丰富层次的“色谱边界”。“色谱边界”上的要素在本体系统的捕获力和游离力的作用下有可能产生感知反应,反应的结果导致了系统边界的扩张或收缩,促使系统结构重组,从而实现系统的实现或塌陷,感知反应存在着临界,要素以突变的不可逆的方式在临界点附近变化,“色谱边界”的层次性由有关要素的感知反应强度决定,感知反应临界带不同宽度的分布及其组合确定了系统的演化方向和演化道路。

参考文献:

- [1] 王浣尘. 系统的基本特征[J]. 系统工程理论与实践, 1986, 6(2)
- [2] 湛恩华. 系统科学的哲学系统[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1995

- [3] Kornai J. Anti-equilibrium on economic systems theory and the task of research[M]. North-Holland Publishing Company, 1971.
- [4] 尼科里斯, 普利高津. 探索复杂性[M]. 成都: 四川教育出版社, 1987
- [5] Haken H. Advanced synergetics[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1983
- [6] Arnold V I. Catastrophe theory[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1986
- [7] 沃尔德罗普 M. 复杂——诞生于秩序与混沌边缘的学科[M]. 北京: 三联书店, 1997

Boundary thinking

YAN Guang-le, WANG Huan-chen

Institute of Systems Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200052

Abstract: In this paper a new approach about boundary study is developed by which the evolution of a kind of so-called sensitive and reactive system can be dealt with. The new approach involves that the interactive relationship between a system and its environment leads to complexity. So a lot of important characteristics about system evolution collect to the boundary. The competition between the captive force and the repellent force in a system brings up a "bend boundary" which involves varied gradations. The factors on the "bend boundary" promote the system to restructure itself in a sensitive and reactive way. As a result the system can realize its emergence or collapse and then complete one evolution.

Keywords: boundary analysis; sensitive and reactive; reconstruction; system evolution