

# 矿化富集的耗散结构研究

申 维

(中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学开放研究实验室, 贵州 贵阳 550002)

关 键 词: 成矿作用; 耗散结构; 逻辑斯蒂映射

中图分类号: P611:0415.3 文献标识码: A 文章编号: 1007-2802(2000)04-0416-02

耗散结构理论用以研究系统在远离平衡的条件下, 由于其内部的非线性相互作用, 发生从无序热力学分支向耗散结构分支转化, 形成一种稳定的有序结构。耗散结构定义为: 在远离平衡的条件下, 借助于外界的能流和物质流而维持的一种空间或时间的有序结构。这种结构是由于进行不可逆过程时体系发生能量耗散所致, 地质地球化学过程, 如构造活动、岩浆侵入、成矿作用或矿化富集等, 均为不可逆过程, 耗散结构可给予这些过程新的分析理论和研究方法。

地球作为一个耗散形态, 经历了多次非均匀、非线性的地质作用, 地下岩性、物性均显现出很强的非均匀、非线性特性。

成矿系统和生物系统一样是不可逆演化的自然系统, 成矿系统的自控制和自适应能力表现在充分利用和耗散环境提供的物质、能量和信息, 使得成矿物质自发相干运动或自组织作用。

矿化富集是一个非平衡的开放系统, 它不断地与外界进行成矿物质和能量的交换, 促使成矿过程(矿化富集)的形成和发展。

在地质环境中, 地质物质始终是运动着的, 元素即发生某种程度的富集或分散。我们考虑地壳中的某个区域。假设该区域元素的迁移速率和向外分散速率均为常数; 被富集的元素反过来参与自身的富集和分散。记时刻  $t$  时的该区域某元素的含量或某

矿物储量为  $X(t)$ , 初始时刻 ( $t=0$ ) 元素的含量为  $X_0$ 。由以上假设可得

$$\{[X(t+\Delta t) - X(t)]/\Delta t\}_{\text{富集}} = aAX(t) \quad (1)$$

$$\{[X(t+\Delta t) - X(t)]/\Delta t\}_{\text{分散}} = -bX(t) \quad (2)$$

式中  $a > 0$  是(迁移)富集速率,  $b > 0$  是(向外)分散速率,  $A$  (常数)是某矿物总储量,  $\Delta t$  为时间增量。

由(1)和(2)式可得

$$[X(t+\Delta t) - X(t)]/\Delta t = aAX(t) - bX(t) \quad (3)$$

根据物质守恒条件, 即  $A + X = B$  (常数), 将  $A = B - X$  代入(3)式可得

$$[X(t+\Delta t) - X(t)]/\Delta t = a[B - X(t)]X(t) - bX(t) \quad (4)$$

(4)式可改写成迭代方程形式:

$$X_{n+1} = (aB - b + 1)X_n - aX_n^2 = \mu X_n - bX_n^2 \quad (5)$$

其中  $\mu = aB - b + 1$ 。作变量代换, 令  $X = bX/\mu$ , 则(5)式化为

$$X_{n+1} = \mu X_n (1 - X_n) \quad * \quad (6)$$

(6)式事实上是逻辑斯蒂(Logistic)映射。 $\mu$  称为成矿潜能。

方程(6)的迭代结果与参数  $\mu$  都有敏感的依赖关系。在  $0 < x_n < 1$  区域内, 当  $\mu$  变化时,  $x_n$  的逐渐变化情况可综合如下:

(1) 当  $0 \leq \mu < 1$  时,  $x_n$  只简单地减少, 当  $n \rightarrow \infty$  时,  $x_n \rightarrow 0$ 。

收稿日期: 2000-06-30 收到, 09-22 改回

基金项目: 国家自然科学基金(49873027)、中国科学院重大项目(K2951-131-411)和国土资源部矿产资源定量预测及勘查评价开放研究实验室基金联合资助

作者简介: 申维(1957—), 男, 教授, 从事数学地质科研和教学。

(2) 当  $1 \leq \mu < 2$  时,  $x_n$  只简单地增加, 最后为  $x_n \rightarrow 1 - 1/\mu$ 。

(3) 当  $2 \leq \mu < 3$  时,  $x_n$  随着衰减所振动而逐渐接近  $1 - 1/\mu$ 。

(4) 当  $3 < \mu \leq 1 + \sqrt{6} = 3.449$  时,  $x_n$  逐渐接近周期 2 振动。

(5) 当  $1 + \sqrt{6} < \mu \leq 4$  时, 在区域内  $x_n$  的平衡值变化是非常复杂的。首先, 随着  $\mu$  的增加, 逐渐出现周期 4, 周期 8, …… 和周期  $2^n$ 。出现周期  $2^n$  大约为 3.569945672…。

因为元素含量不能为负数, 所以要使方程(6)有意义,  $x_n$  的取值范围  $0 < x_n < 1$ 。在此范围内,  $x_{n+1}$  的极大值出现在  $x_n = 1/2$  处, 相应地  $x_n = \mu/4$ 。由此可知, 要使  $x_{n+1}$  不大于 1, 则要求  $\mu < 4$ 。所以参数  $\mu$  的取值范围为  $0 < \mu < 4$ 。

迭代方程(6)有二个稳定不动点,  $x_* = 0$  或  $x_* = 1 - 1/\mu$ 。在稳定不动点  $x_* = 1 - 1/\mu$  处, 当  $1 < \mu \leq 3$  时是稳定的, 当  $\mu > 3$  时是不稳定的。当  $3 < \mu < 3.5699\dots$  时, 迭代过程出现倍周期分叉现象, 即形成周期为  $T = 2^n$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) 的振荡。当  $\mu \geq 3.5699\dots$  时, 倍周期分叉现象突然中断, 迭代过程出现混沌状态, 即体系进入混沌区域, 出现无限长周期振荡。因此, 适当调整控制参数  $\mu$  是十分重要的。

以上模型可以解释矿化富集的形成和发展特征。当  $\mu \leq 1$  时, 迭代方程(6)稳定不动点为 0, 非成矿区, 代表均匀无序的封闭系统。此时成矿过程成矿空间太小, 对成矿不利。因此, 称该阶段系统处于平衡参考。这个阶段往往是断裂开始形成或开始活动的阶段, 规模不大, 裂隙不发育, 地下水活动不活跃, 与外界相对处于封闭状态。

当  $1 < \mu < 4$  时, 成矿区, 属非均一有序的开放系统, 具有非线性特征。其中当  $1 < \mu \leq 2$  时, 由于潜能低, 稳定不动点也低, 代表含矿岩或含矿石的形成条件。由于成矿空间的进一步发展, 在有利的成矿地质环境下, 开始进入了成矿的阶段。在成矿物质来源充分、地下水活动以及适合的温度压力等环境下, 成矿物质开始沉淀, 与外界开始有物质和能量的交换, 系统开始向非平衡态转变。

当  $2 < \mu \leq 3$  时, 由于稳定不动点增高, 是重要的成矿阶段, 代表层控型矿床的形成。由于成矿地质环境继续向有利成矿的方向发展, 即系统由非平

衡态向远离平衡态推进, 在适宜的条件下成矿物质的矿量迅速增加, 矿量逐渐趋向稳定, 此时成矿的耗散结构形成, 系统进入了一个新的稳定有序状态, 并保持相对稳定的状态。

当  $3 < \mu < 4$  时, 由于非线性增强, 具有周期性稳定轨道, 矿床空间含矿率变化大, 代表热液交代和风化成矿特点, 是极其重要的成矿条件。当矿体形成以后, 如果成矿环境有利于成矿发生, 则系统仍维持远离平衡态。当地下水中溶液的成矿物质成分一旦改变或掺杂其它矿物质, 成矿进入演替阶段, 溶液变成了多相态, 即我们常常看到的矿体中从共生元素到成矿的分带性。该阶段的最大特点, 即存在过渡关系, 成矿作用不间断, 由一种成矿物质经过新成分的共生加入新成分的完全替代。成矿演替实质上是一种向上分支的现象。如果系统一直维持远离平衡态, 成矿演替会继续下去, 并且可能进入混沌区。当成矿条件受到破坏而结束时(称之为耗散结构失稳), 成矿系统由非平衡态向平衡参考态退缩, 系统回到平衡参考态。当新的成矿环境产生时, 又形成了新的成矿作用(可以是原来的成矿物质, 也可以是新的成矿物质), 这个过程称为取代。成矿过程的取代实质上是一种向下分支的现象。

根据耗散结构理论, 成矿作用的发生实质上就是无矿的非平衡定态失稳并转变为耗散结构(成矿状态)的条件与机制问题。

上述矿化富集的耗散结构分析, 对特定的矿体和地质成矿环境、地质过程的模拟可以在计算机中进行, 确定成矿过程的各种参数, 从而再现成矿的地质过程, 对修正或建立新的成矿理论, 找矿勘探工作均有指导意义。

#### 参考文献:

- [1] Turcotte D L. Fractals and chaos in geology and geophysics[M]. Cambridge University Press, 1997. 398.
- [2] 於崇文. 固体地球系统的复杂性与自组织临界性[J]. 地学前沿, 1998, 5(3, 4): 159 - 182, 347 - 368.
- [3] 关广岳. 混沌与成矿——论成矿系统的节律[J]. 东北工学院学报, 1993, 86(5): 429 - 432.
- [4] 李长江, 麻士华, 胡永和, 等. 快速逼近潜在超大型矿床的新理论和新方法[J]. 矿床地质, 1998, 17(增刊): 855 - 860.
- [5] 於崇文. 大型矿床和成矿区(带)在混沌边缘[J]. 地学前沿, 1999, 6(1, 2): 85 - 102, 195 - 230.
- [6] 王京贵. 铀矿成矿过程的耗散结构分析[J]. 华东地质学院学报, 1993, 16(1): 1 - 6.
- [7] 仪重祥. 非线性科学及其在地质中的应用[M]. 北京: 气象出版社, 1995. 273.