

非线性科学与地球科学

□ 中南工业大学资源环境与建筑工程学院 胡云锋 戴塔根

近 20 年来,人们发现自然界中存在的事物大量的非线性、非平衡的,自然界的这个过程从本质上讲是非线性动力学过程。地球就是一个开放的、非平衡的、非线性的复杂系统,它依赖于与宇宙星体不断的物质、能量交换以及内部的耗散过程来维持自身的运动状态以及各种层次的时空结构。因此,用非线性理论分析地球系统不同层次耗散结构、分形特征及其混沌行为是地球科学发展的自然趋势。

1. 非线性科学概述

非线性科学经过 20 多年的发展,其学科理论体系基本形成。目前,非线性科学体系中发展比较成熟的学科主要包括:(1) Prigogine (1971, 1977) 为首的布鲁塞尔学派创立的耗散结构理论;(2) Haken (1978) 创立的协同学;(3) Thom (1963) 创立的突变理论;(4) Mandelbrot (1977) 创立的分形理论;(5) Lorenz (1963) 和 Feigenbaum (1978) 创立和发展的混沌动力学理论等。

2. 耗散结构理论在地质上的应用

耗散结构指的是:开放系统被驱使到远离平衡的非线性区,当体系中某一参量变化达到某一阈值时,通过涨落机制,系统可以发生突变,由原来的无序的混乱状态转变成一种在时间和空间上保持有序结构的状态。这种新状态需要不断地与外界环境进行物质和能量的交换才能得以维持,并保持其稳定性,不因内部的涨落和外界微小扰动而打破消亡。这种在远离平衡的非线性区形成的稳定有序结构就称为耗

散结构,系统能够自行产生组织和相干的特性就称为自组织,而研究这种非平衡有序现象的理论称为耗散结构理论或自组织理论。

Merino (1984) 曾对各类岩石、矿物、矿床和构造形变中存在的环带以及带状构造罗列了 10 种自组织或自模式化现象:铁的氧化物在灰岩燧石结构中形成的环带构造,玛瑙的环带,前寒武纪含铁建造显示的条带构造,密西西比型矿床中的矿石显示的构造,灰岩、石英砂岩中的缝合线构造,大部分的区域变质岩中存在的条带构造(片理、劈理、叶理),接触变质岩(矽卡岩)中的规则条带,基性杂岩体所见到的层状构造,花岗岩中的球状构造,斜长石环带。

於崇文 (1987) 应用耗散结构理论对成矿作用与时空结构做动力学分析,阐明三者的内在联系与本质规律。他根据 Haase 等提出的“生长动力学—扩散”模型对粤北花岗岩中的斜长石振荡分带做动力学分析,查明粤北地区前燕山期和燕山期花岗岩浆处于远离平衡状态,其结晶过程具有周期性化学振荡的动力学特征,属于典型的时间耗散结构;他根据耗散结构理论对成矿远景区的形成进行了理论分析,指出:成矿远景区是囿于有界介质内的“局域化耗散结构”;涨落的协同长度则决定了成矿地球化学分区的规模和大小。应用“涨落的局域理论”对涨落进行局域分析可以阐明局域化耗散结构形成的机制和原因,从而也就阐明成矿地球化学分区的形成与发展;他还应用了耗散结构理论对该区的地球化学旋回做总体分析,深入地揭示

了上部地壳地球化学演化的动力学规律。研究证实:本区地球化学旋回因发生自催化过程和旋回之间的耦合而具有非线性特征。

目前,耗散结构的地质学应用研究正定向半定量发展,表现为:在对地质现象进行细致的地质—地球化学研究,并建立其内在的地质作用过程的地质—地球化学模型(概念模型)的基础上,应用动力学原理(流体力学、化学动力学)及相应的数学工具建立其地质过程的动力学模型(数学模型),然后对动力学模型进行动力系统分析或数值求解(计算机模型)或实验室模型(试验模型),其模型结果最终应用于解决所关注的地学问题。吴金平、王江海(1990,1996)、刘顺生、谭凯旋(1996)在这方面进行了卓有成效的研究。他们或是对矿物的自组织行为、或是对流体、或是对流动—反应过程进行了建模设计及计算机模拟或实验室研究。

3. 分形理论在地学中的应用

分形理论在地学中的应用非常广泛,尤其是在地质和地球物理学学科中,它为研究复杂的、不规则地质现象的共性和自相似性开辟了新的途径。早期的工作主要集中在证明各种地质现象具有分形结构以及分维的测算上;目前,研究者越来越把着眼点放在分维、多标度分形谱到底反映了地质现象或地质体怎样的性质以及它们的指示意义。

对于断裂系,Barton等(1985)研究了内华达山脉中Yucca山二维破裂系的分形结构,发现具有良好的自相似性。李清明(1992)系统地总结了脆性岩石破裂的分形性认为脆性岩石破裂是一种分形现象。从宏观(断层系)到微观(光学显微镜与扫描电镜尺度),在覆盖20个数量级范围内,脆性岩石破裂现象均表现为统计自相似性。在工程应用方面,利用岩体结构的多标度分形谱有可能实现岩体结构的定量分级(雷兴林,1991;Charles,1989);利用分维可以对岩体质量分类(Takayuki,1987;Takayusu,1985);分维还可以直接定义成损伤变量,建立

岩体损伤力学模型(李功伯,1991)。

在成矿预测和矿床资源评估中,D.L.Turcotte(1993)对矿石品位和矿床累计储量的研究表明:两者之间存在分形结构。秦长兴、翟裕生(1992)认为金属矿床的空间位置、矿化的空间分布、矿田的构造形迹(矿脉)具有自相似性。沈步明等(1993)认为矿石品位的分维D值可以确定矿化类型,确定勘探网度和矿床经济评价的参数。

地质数据本身也存在分形结构。地质上的数据是时—空中的数据,对于坐标图上的数据,可以视为一定的时间范围内某种地质事件在三维空间的复杂函数。依其空间序列数据建立相空间,可求出在不同相空间的关联维数。孟宪国、赵鹏大等(1991)以云南西部一幅1:5万图幅的Cu、Pb水系沉积物地球化学数据为例,参照时间序列法,根据关联函数探讨了地质数据的分形结构,鉴别了空间吸引子的存在,并给出了其分形维数。

4. 混沌动力学在地学中的应用

混沌是在确定性动力系统中出现的貌似无规的运动。这里的系统指的是非线性动力系统,通常可以用常微分方程、偏微分方程或迭代方程来描述。混沌即有有序的周期结构,又有准周期的无序特点。它是非线性动力系统内在随机性的表现。混沌最早是被气象学家Lorenz(1963)发现的,经过Feigenbaum等人的发展,混沌动力学已研究的比较深入。当前,混沌理论主要研究混沌的特点、无序混沌中包含的有序规律以及通往混沌的途径等。

涡流是常见的混沌例子。地壳中的流体流动产生了磁场。这种流动可能是涡流而具有的混沌行为。Kaluc在研究了岩石圈的非线性特征后,认为岩石圈演化确实具有混沌行为。地磁场的不规则倒转也是混沌行为的例子。

滑块模型可以作为断层的一种简单模型。通过一个弹簧拖着滑块沿着一个界面滑行,界面和滑块间的摩擦力会造成断(下转第12页)

努力降低单位产值的资源消耗,力争用几年的时间使单位产值的矿产资源消耗水平接近或低于世界平均水平。通过提高矿产资源的利用率和降低单位产值的资源消耗,来缓解矿产资源紧缺的矛盾。

五、大力开拓两个市场,充分利用两种资源

要立足省内,在用好本省矿产资源的基础上,坚持利用两个市场、两种资源的方针。走出省门、国门,积极扩大矿产资源领域的省际、国际间的合作与交流,充分利用国内、国际两个市场、两种资源。要根据《矿产资源法》及有关法律、法规,制定和实施有效利用省外、国外矿产资源和开拓省外、国外矿产品市场的战略措施,要加强对国内、外矿产品供需市场和资源供需形势分析,积极引导和协助矿业权人到省外、国外进行风险勘探、开发矿产资源。

六、大力加强地质环境监督管理,努力促进矿业开发与地质环境的协调发展

要高度重视矿业活动对环境带来的负面影响,采取积极有效的措施,严格控制因矿产开发利用造成的污染,降低矿产资源开发利用的环境代价。要抓好矿山地质环境、大中型供水水源地质环境的调查及其地质灾害监测、预报

和预警工作。认真贯彻《水法》确立的关于地下水资源实行分级分部门管理相结合的制度,发挥地矿部门在地下水勘查、开发及监督管理中的优势和作用,加强地下水的开发监督与保护。要把好开办矿山审批关,没有矿山环境影响评价报告的国有、集体所有矿山的开办申请一律不予批准,个体采矿也必须具备矿山环境保护措施的实施计划方可批准;有关部门要定期检查矿山开采中环境保护措施的落实情况。要坚持“谁开发谁保护、谁闭坑谁复垦、谁破坏谁治理”和“污染者付费,利用者补偿,开发者保护,破坏者恢复”的原则,重视环境的地方性法规建设,组织制订矿山环境保护地方性法规和规范性文件,依法实施矿山开发过程的环境管理;制订保护恢复计划,鼓励推广矿产资源开发废弃物最小量化和清洁生产技术,积极推进矿山“三废”资源化和矿产开采对周围环境影响的无害化工作;制定和实施收取矿产资源开发环境治理补偿费、复垦保证金政策,减少矿产资源开发的环境代价。通过立法、严格执法等各种有效措施,提高监管力度,实现矿产开发与环境保护、治理的协调发展。

(山东省地矿厅)

(上接第36页)层特有的粘-滑运动。可以证明,一个滑块所表现出的滑动行为也是一种混沌行为。这就表明,与位移有关的地壳变形是一种混沌行为。

5. 结束语

在所有上述理论中,远离平衡条件下的非线性动力学机制是它们的内蕴特性。因此,要真正了解地球科学,就必须阐明地球系统的动力学机制。在这一意义上说,耗散结构理论、系统学和突变理论是研究地球科学的普遍适应性的统一原理,而非线性动力学及其相应的数学学科“动力系统”则是揭示复杂现象的动力学机

制的主要方法——它既是描述非线性系统动态行为的理论基础,也是解释和预测这些行为的钥匙。

可以预料,研究地球系统的非线性因素、特征及其动态演化历程,进而建立非线性热、动力学概念和数理模型,解释地球系统的复杂性、宏观有序性和混沌行为,预测地球系统的未来演化趋势,将是地球科学发展所面临的长期的、富有挑战性的任务。

参考文献(略)