

文章编号:1000-582X(2002)02-0093-03

深部储层动力学刍议

吴富强¹, 李后蜀², 周勇², 胡雪²

(1.重庆大学资源及环境科学学院博士后流动站,重庆 400044;2.重庆市地质矿产勘查开发总公司,重庆 400039)

摘要:随着非线性科学的发展及其在地学中的应用,人们逐渐认识到深部储层并非是一封闭、孤立的系统,而是一典型的耗散系统,其含油气性受深部壳幔结构控制。借助非线性动力学思想,尝试提出“深部储层动力学”这一全新的概念及它的基本研究内容和解决问题的方法。

关键词:非线性动力学;耗散系统;壳幔结构;储层动力学

中图分类号:P 618.130.2

文献标识码:A

地质作用是一种巨大而复杂的物理、化学和生物作用的综合反应,它不能以常规的实验来模拟反应的全过程,它要求地质学家超越专业和学科的界线,采用各种先进理论和技术进行多方位的综合研究。

1 非线性理论简介

60年代 I. Prigogine 创立了耗散结构理论,70年代 H. Haken 创立了协同学,80年代以来,自组织研究得到迅速的发展,如储层研究中的地球化学自组织作用,强调在盆地范围内成岩作用的自行有序的排列和组建,即成岩物质的自行再分配。下面重点介绍耗散结构理论。

耗散结构理论是60年代比利时化学物理学家普利高津(I. Prigogine)及其研究集体经过长达20年的研究结果。他们把系统分为孤立的系统(与外界既无物质又无能量交换的系统)、封闭的系统(与外界仅有能量的交换而无物质交换的系统)和开放系统(与外界既有物质又有能量交换的系统);指出只有开放的、远离平衡态的、非线性动力学机制的、随机涨落的系统才能从无序向有序状态演化,产生耗散结构。

Fractals 是当代法国数学家 Mandelbrot 创造的,指具有自相似性(Self-Similarity)或膨胀对称性的几何现象。所谓自相似性就是局部与整体在形态、功能和信息等方面具有统计意义上的相似性,可适当放大或缩小,整个结构并不改变,即标度(Scaling)不变性,分形

就像一座无穷嵌套的迷宫。自组织临界性的实质是地球化学系统处于一种临界状态,在这种状态下,众多子系统之间强烈耦合,致使局部的微小扰动将以多米诺效应的方式传播并放大而遍及整个系统,即某一子系统的微小变化(振动或噪声)可能引起邻近子系统大的响应,进一步触发后者邻近子系统更大的响应,直至波及整个系统;从而小事件触发大事件,而且大小事件彼此相似,而具有“自相似性”。

虽然存在许多非平衡现象,但并不是说平衡态热力学原理就完全不适用了。因为平衡结构和远离平衡结构是相对较少的,而近平衡结构才是广泛的^[1-3]。

2 深部储层具备产生耗散结构的一切条件

随着各种地球物理技术的改进、深部储层的勘探以及盆地动力学的研究,越来越多的野外观察、实验、理论研究表明深部储层并非以前人们所想象的封闭系统、孤立系统,相反为一动态开放的、非平衡的复杂系统,许多作用是复杂的非线性动力学过程。在作者博士论文^[4]“深部热流体厘定”一节中论述了盆地深部地壳呈断块结构,深大断裂是深部热流体运移的通道,深部热流体的物质和能量参与了盆地内的一系列反应,由此可见深部储层不断地与深部热流体进行着物质和能量的交换,必定为一复杂的开放系统;由于成岩作用中不断地进行着物质的输运(化学扩散、热扩散、渗流和流动),能量的传递和耗散(热传导或能量转化)

• 收稿日期:2001-10-16

作者简介:吴富强(1964-),男,河南西峡人,理学博士,在读博士后。主要研究方向:盆地动力学。

及一系列过程(化学反应),且这些过程是不可逆的,故它必定是一非平衡热力学和动力学体系。深部储层也是一个十分复杂的非线性动力学系统,存在着有机与无机、力-化学反应、流动与反应、胶结与溶解、扩散与对流、外部流体与自生流体、构造与岩浆、岩石圈与软流圈等偶合作用,其显著特点是该系统的众多子系统之间强烈相互耦合、协同作用,自发的产生某种空间上、时间上或功能上的有序结构,如成岩的阶段性和压溶作用、破劈理、碳酸盐胶结物的环带结构等。

3 深部壳幔结构决定了深部储层含油气性

尽管地温场不直接构成含油气系统的基本要素,但其主要研究内容—烃源岩的演化、埋藏史、关键时刻、油气藏的形成等与地温场息息相关。因此地温场,这一决定油气形成演化及油气系统划分的边界条件,在含油气系统中所起的作用不言而喻。

大量证据表明盆地含油气性受深部壳幔结构控制。据邵学钟研究成果^[5]可知,在盆地富油气区,莫霍面局部上隆,无论盆地基底形状是凹陷状(正镜像关系)还是隆起状(同步关系),盆地内都可能含有油气资源,但前者对油气富集更有利;凡是莫霍面分布平缓,或呈斜坡状或下凹状的盆地,油气储量都很少或没有。

究其原因,笔者认为可能是由于软流圈不对称上涌对流导致岩石圈底界向软流圈发生拆离作用(detachment),而不是拆沉作用(delamination),致使莫霍面上隆,岩石圈减薄,地温场增高,使有机质较早进入生油窗,成烃演化快、时间短;另一方面原因是地幔隆起区,岩石圈断裂、地壳断裂系统发育,促使无机油气形成。而在低地温场背景下,由于烃源岩处于低温环境,成烃演化时间长,不利于烃源岩的成熟演化和含油气系统的形成。如济阳拗陷早第三纪伸展运动期间,深部岩石圈向软流圈拆离,致使岩石圈逐渐减薄、软流圈上涌,产生的热不断地向地表输送,形成较高地温场,其热流值高于全球平均热流值几倍到几十倍,盆地地温场较高,导致其镜质体 R_o 在 0.4% 即可进入生油期; R_o 介于 0.5%~0.9% 之间即为大量生油期; R_o 大于 1% 就进入生气阶段,从而使生油门限变浅,加速了有机质演化速度。另外地幔脱气,形成了济阳拗陷第三系特有的整装二氧化碳气田。

这种机制较好地解释了为什么中国东部大部分侏罗系不生油气,而西北侏罗系却发现了工业性油气藏;

为什么中国东部第三系发现了众多油气田,而西北第三系发现油气藏却较少。笔者初步认为这是由于中国东部、西部自身构成一个动力学、热力学循环系统,且二者互补、互为消减、耦合,即中生代中国西部地幔隆起、地温场高,形成了西北侏罗系含油气盆地群;而新生代却相反,中国东部地幔上隆、地温场增高,形成了新生代渤海湾早第三纪富油断陷盆地群^[6-8]。

4 储层动力学的提出

储层动力学:储层的形成是个小概率事件,它是在特定的地质背景和物理化学条件下形成的;至于在什么样的地质背景和物化条件下才能出现,即影响储层形成的因素(elements)、作用(processes)及其动力学机制(mechanisms)是储层动力学研究的核心所在。由于控制储层的主要参数在很大程度上都受沉积盆地的时空演化控制,与盆地性质和构造演化息息相关,因而应将深部储层的研究纳入沉积盆地动力学的综合研究范畴,即将储层的形成作用置于整个盆地的发展演化过程中,开展储层动力学研究。

储层动力学是一个十分复杂的非线性动力学系统,由于成岩作用中不断地进行着物质的运输、能量的传递耗散等一系列过程,故它必定是一复杂的、开放的、非平衡热力学和动力学体系。其显著特点是众多子系统之间强烈相互耦合,并存在着一种非线形的反馈作用机理,其特征量的空间展布属分性,特征量的时间演化具 f^{-1} 谱结构。因此在储层动力学研究中,应引入非线性科学理论(自组织、耗散结构、协同学、混沌、分形理论等),强调在盆地范围内成岩作用的自行有序排列和组建,即成岩物质的自形再分配以及多相流体在孔隙或裂隙中渗流、扩散与化学反应耦合的动力学过程,以期解决深部储层的形成演化机理,尤其是泥岩裂缝、火成岩、变质岩、致密砂岩、粉砂岩等特殊岩性储层。

5 储层动力学研究深部储层的技术路线、方法

5.1 技术思维

借助非线性动力学思想,采用新技术、新方法,从不同尺度、不同层次,以全新的视角,剖析深部储层动力学形成机理。

5.2 技术路线和方法

1) 从构造-沉积角度出发,研究盆地构造-沉积演化史;从盆地动力学角度出发,厘定盆地性质、探讨

盆地形成机制。

2) 依据岩芯观察、钻井资料、薄片分析及地震资料和测井资料,从层序地层学角度进行单井相分析,研究盆地沉积微相。

3) 依据铸体薄片、扫描电镜、能谱分析、X 衍射、阴极发光、包裹体测试等技术研究深部储层岩石学特征,储集层空间特征及成岩演化史;系统剖析影响深部储层次生孔隙发育的因素、作用。

4) 借助非线性动力学思想,从盆地动力学角度出发,采用碳、氧、锶同位素、能谱分析、元素光谱分析等方法技术,探讨深部储层热流体耗散结构机理。

5) 从油气“二元论”角度出发,即有机早、晚生烃和无机成烃论,剖析深部储层含油气系统。

总之,深部储层动力学是一门边缘性综合科学,它要求宏观上从盆地动力学角度出发,研究影响深部储层的因素、作用;微观上从非线性动力学思想出发,探讨深部储层热流体耗散结构机理。当然深部储层动力学也象其他新生事物一样,需要在实践中不断加以修

改、完善。

参考文献:

- [1] 於崇文. 固体地球系统的复杂性与自组织临界性[J]. 地学前缘, 1998, 15(3): 159 - 361.
- [2] 於崇文, 岑况, 鲍征宇等. 成矿作用动力学[M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [3] 梁卫. 地学研究中的新思维 - 油气储层中的地球化学自组织[J]. 南海东部石油, 1998, (2): 42 - 47.
- [4] 吴富强. 胜利油区渤南洼陷深部储层形成演化机理及含油气系统[D]. 成都: 成都理工学院, 2001.
- [5] 邵学钟, 张家茹, 殷秀华. 油气勘探与地壳深部研究[J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(2): 11 - 14.
- [6] 吴富强. 焉耆中生代原型盆地性质及形成机制[J]. 新疆石油地质, 1999, (4): 298 - 301.
- [7] 吴富强. 拆离滑脱构造对含油气盆地的控制作用[J]. 新疆石油地质, 2001, (3): 199 - 201.
- [8] 吴富强. 沉积盆地动力学与油气[J]. 成都理工学院学报, 2000, 27(4): 368 - 371.

Preliminary Discussion on Reservoir Dynamics

WU Fu-qiang¹, LI Hou-shu², ZHOU Yong², HU Xue²

(1. College of Resources and Environment & Science, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. Chongqing General Corporation of Geology and Mineral, Exploration and Development, Chongqing 400039, China)

Abstract: Due to the development and application of nonlinear dynamical systems in geology, it is recognized that deep reservoir is not a close or isolated systems, but typical dissipative systems. "Deep Reservoir Dynamics" has been put forward as well as its theory and technical methods by means of the theory of nonlinear dynamical systems.

Key words: nonlinear dynamical systems; dissipative systems; structure of crust and mantle; reservoir dynamics

(责任编辑 姚 飞)