

论油气系统与油气系统动力学

吴冲龙¹ 王燮培¹ 何光玉² 李绍虎¹ 毛小平¹
杨甲明³ 吴景富³ 何大为³ 潘明太³

(1. 中国地质大学资源学院, 武汉 430074; 2. 南京大学地球科学系, 南京 210093;
3. 中国海洋石油总公司油气勘探开发研究中心, 河北高碑店 074010)

摘要:“油气系统”实际上就是油气成藏动力学系统。这个概念是石油天然气地质学与系统科学相结合的产物, 是石油地质学家从系统科学角度所看到的、研究对象与抽象模型相复合的、具有层次结构的新型地质实体。因此, 它应当适合于整个油气地质单元序列, 而不应当被局限于某一个层次的单元中。“油气系统”的研究方法, 应当是定性定量相结合的系统方法。考虑到油气成藏过程存在非线性特点, 以及当前盆地模拟和油气成藏模拟普遍存在的缺陷, 尝试引进系统动力学的思路与方法, 提出油气系统动力学的概念, 并阐述了它的基本原理, 初步建立了油气系统动力学的方法体系。系统动力学模拟的结果可提供对盆地和凹陷进行资源预测、评价的依据。

关键词: 油气系统; 系统动力学; 油气成藏动力学; 油气系统动力学; 盆地系统动力学。

中图分类号: P618.130.1 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-2383(2000)06-0604-08

作者简介: 吴冲龙, 男, 教授, 博士生导师, 1945 年生, 1982 年毕业于武汉地质学院北京研究生部, 获硕士学位, 主要从事煤及油气地质、地球探测与信息技术领域的研究和教学工作。

“油气系统(petroleum system)”的概念是油气地质学与系统科学相结合的产物, 为油气地质工作者提供了一种新的思想和方法。但是, 目前流行的“油气系统”概念是狭义的, 理论和方法是静态和定性的。为了深化对油气系统的研究, 作者采用广义的“油气系统”概念, 并且尝试引进“系统动力学(systems dynamics)”的理论与方法。在此基础上, 初步建立了“油气系统动力学(petroleum systems dynamics)”概念模型及方法体系的框架。

1 油气系统理论与方法的总结和推广

早在 20 世纪 60 年代初, 中国学者从实际出发, 已经就控制油气藏形成分布的各项必要因素的匹配关系作了深入的探讨, 提出了“有利生油区控制油气藏分布”的见解^[1], 并且率先提出了“成油系统”的概念^[2,3], 对中国油气勘探开发起了重要的推动作用。

随后, Dow^[4]于 1972 年提出“石油系统”(oil system)概念, 经过 20 多年的演变, 也发展成为理论和方法都较为完整的油气系统(petroleum system)理论。根据一般系统论, 油气系统作为石油地质学家进行油气资源预测、评价的对象和模型, 应属于自然(物质)—人造(概念)复合系统。目前油气系统的倡导者, 由于侧重点不同, 看问题的角度和视域也不同, 对油气系统理论和方法的认识有显著差别。本文作者认为, 这些认识可以在一般系统论指导下, 从广义的角度统一起来^[5]。

1.1 油气系统概念的内涵

胡朝元^[2,3]和 Magoon 等^[6,7]的定义侧重于系统的自然属性, 主要是针对研究对象的实体的, 其内涵是与油气生、排、运、聚、散有关, 且与周围环境密切联系着的若干相互作用和相互依赖的地质要素和过程的集合体。Demaison 等^[8]的定义侧重于系统的人造属性, 主要是针对研究对象的模型的概念, 其油气系统的内涵, 是为了描述油气生、排、运、聚、散过程(作用)而精心挑选出来的一组相关地质参数及其联系方式的集合体。Perrodon 等^[9~11]则先后对油气

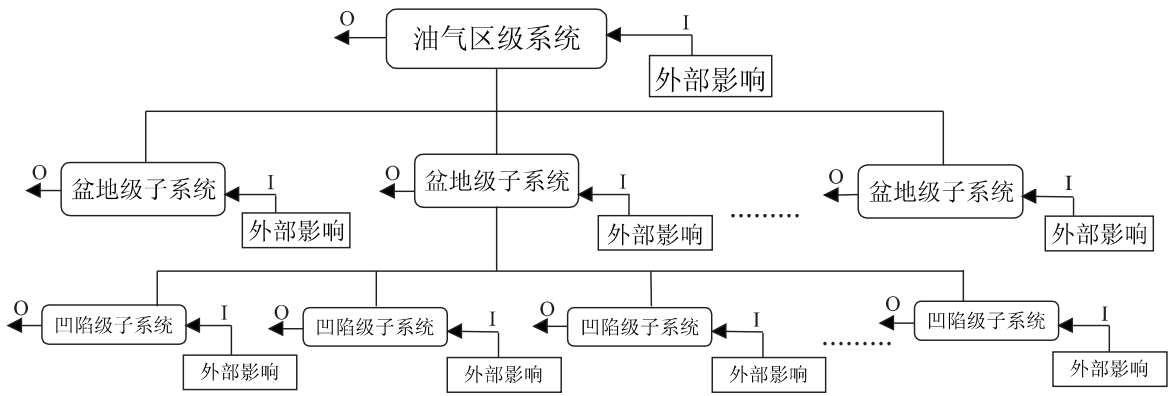


图 1 油气系统的层次结构模型(I,O为输入与输出)

Fig. 1 Hierarchy model of the petroleum system

系统下过不同的定义,有时侧重于自然属性,有时侧重于人造属性,但更多的是同时兼顾两个方面,亦即针对研究对象的实体与其概念模型的复合体,其“油气系统”的内涵,是与油气生、排、运、聚、散有关,且与周围环境密切联系着的若干相互作用和相互依赖的地质要素、过程(作用)、联系方式及其描述参数的集合体。当然, Magoon^[6]和 Demaison等^[8]有时候也改换看问题的角度和视域。根据上述的分析可知,油气系统在实质上就是油气成藏系统。

1.2 油气系统概念的外延

油气系统理论与方法的倡导者,都曾按照各自的定义,分别界定了油气系统的规模、范围和边界:或大于盆地,或小于盆地,或与盆地相当。Magoon^[6]注重系统结构的完整性,所划分的油气系统在规模上通常相当于含油气区或超大型盆地, Demaison等^[8]注重系统的油气成藏功能,他们所划分的油气系统在规模上通常相当于凹陷; Perrodon^[11]则兼顾结构与功能两方面,所划分的油气系统在规模上通常相当于盆地。油气系统概念既然是石油地质学与系统科学相结合的产物,那么它就应当适合于整个含油气地质单元序列,而不应当仅仅成为该系列的一个具体地质单元。上述 3 种油气系统的划分方案既有相对合理性又有局限性,相互之间存在明显的矛盾,而且难以面对多世代、多原型叠合盆地中多套烃源岩和多个储集层复合的复杂油气系统。然而,只要采用“广义的”油气系统概念,把它们作为油气系统的外延——研究对象及模型在垂向上的 3 个层次级别——油气区(或者超大型盆地)级油气系统、盆地(或叠合盆地)级含油气子系统、凹陷(或亚盆地)级含油气子系统(图 1),便可以化解这个矛盾。通常

一个油气区级油气系统可包含若干个相对独立的盆地级含油气子系统,而一个盆地级油气系统可包含若干个相对独立的凹陷级含油气子系统。当然,这 3 个级别的油气系统并不一定同时存在,其划分依据是油气成藏的基本要素和作用都出现且与邻区相对独立。如果着眼于油气成藏地质作用的类型及其时空结构,这 3 个级别的油气系统都可再划分出生烃、排烃、运烃、聚烃和散烃 5 个成藏动力学子系统。

1.3 油气系统的结构组成、边界及其分类

在空间结构上,侧重自然属性者强调成熟源岩及来自该源岩的油气藏的空间分布范围和界线^[6];侧重人造属性者强调运聚通道及圈闭的物性参数、几何结构及体积容量^[8];而注重双重属性者用一个完整的盆地将所有参数都包括进去了^[11]。在时间结构上,侧重自然属性者重视系统形成演化的时间段划分及其分界时刻的确定;侧重人造属性者重视事件序列的分析及其物理化学过程的预测。同样,在油气系统分类的问题上,侧重自然属性者如 Magoon等^[6,7]多从物质结构与时空结构着眼,重视物质分类;侧重人造属性者,如 Demaison等^[8]多从物理、化学动力学条件着眼,重视成因分类;而注重混合属性者如 Perrodon^[9,11]、窦立荣等^[12]和谢泰俊等^[13],则兼顾两个方面,所拟定的油气系统模型,既考虑了物质结构及时空结构,又考虑了地球动力学条件,将物质分类与成因分类融合为一体。对于油气系统的结构组成及边界的这三种认识,同样可以在广义油气系统的概念中统一起来。

根据广义油气系统的概念,3 个层次级别的油气系统的结构组成及边界可统一作如下归纳:对于研究对象的实体而言,油气系统的组成包含成熟的

烃源岩及所有已形成的各种油气藏,并包括油气藏形成时所必需的地质要素及作用,在空间上包括所有这些基本要素和作用都出现且与邻区相对独立的,或认为很可能出现且与邻区相对独立的地区,在时间上包括形成一个油气系统的持续时间和油气在该系统内的保存时间;对于抽象的概念模型而言,油气系统的组成包含油气的生烃潜力、排放与运移方式、捕集体制与保存条件,在空间上包括源岩体积、运聚通道及圈闭的物性参数,几何形态与体积容量,在时间上包括与油气生、排、运、聚、散有关的各种地质事件及其物理、化学动力学过程。对研究对象的实体—抽象模型复合体而言,则应包含上述两方面的内容。至于油气系统的分类,可根据研究目的分别选取物质分类、成因分类或复合分类。

1.4 油气系统研究方法及其新的尝试

上述几位作者用于研究油气系统的方法,基本上都是系统方法与黑箱—灰箱方法的结合。其中, Magoon^[6]所采用的方法可称为结构图解法, Perridon^[11]所采用的方法可称为模型类比法,而 Demaison 等^[8]所采用的方法可称为成因分析法。尽管他们都力图将各自的方法推广到全部油气系统中去,但这 3 种方法实际上只分别适合于他们所定义的油气系统的评价目标,经改进后可以分别用于 3 个层次级别油气系统的资源预测与评价。这 3 种常规研究方法都偏向于静态和定性,进一步发展应当采用定性定量相结合的系统方法^[14]。然而,现有的盆地动力学模拟和油气成藏动力学模拟领域中,普遍存在着系统观念薄弱,且对盆地系统及其各子系统之间的反馈控制机理重视不够;与盆地分析脱节导致概念模型过于简化,难于反映实际油气成藏过程;数学模型单一且偏于确定性,难以具体地描述油气成藏动力学过程的非线性特征性等问题^[15]。为了解决这些问题,作者尝试着引入“系统动力学”的理论与方法,企图以此来推进油气系统及其油气成藏动力学研究。

2 油气系统动力学的原理及其结构—功能模型

系统动力学^[16]能非常方便地模拟复杂的非线性系统,并把人的主观因素考虑进去,把人的判断能力、专家的经验与严格的逻辑推导结合起来,从而把

定性与定量结合起来。它强调系统是如何构成的,行为是如何产生的,控制是怎样表达的,因果是怎样制约的,但不摒弃系统的复杂性,可以成为我们认识复杂油气系统的有力工具。

2.1 油气系统动力学原理

我们把用于描述油气成藏作用的四维时空系列的系统动力学称为“油气系统动力学”。油气系统动力学综合运用系统论、控制论、系统力学、决策理论、仿真技术和油气成藏动力学的成果,解决了油气系统模型的一致性、整体性问题,沟通了系统内部各部分、各子系统之间的联系,从层次结构上把系统联为一体,并且将系统的动态演化看成是一条川流不息的江河,采用以水位(level)方程和速率方程为主体的动力学方程组来加以描述。

2.1.1 油气系统动力学的思想 从系统论的角度看,油气系统具有如下特性:(1)整体性。可以按研究内容和性质划分出各种子系统,但它的整体并不是各个组成部分之间的简单总和,而是相互关联、相互作用的非线性综合结果,因而具有“突现规律”;(2)关联性。各子系统或各元素之间存在普遍的相互作用,任何一个子系统或元素性状的变化,都是所有元素性状变化的函数或结果,而任何一个子系统或元素性状的改变又会引起所有元素性状的变化;(3)结构性。结构是系统元素相互关系的总和,也是系统存在的组织形式,油气系统具有“结构功能同一律”。在一定的环境条件下,油气系统的功能主要取决于它的结构,而功能也会反作用于结构,并且在一定条件下导致结构的改变;(4)层次性。系统的层次性是系统中子系统与子系统之间的一种垂向结构关系,油气系统的层次性与系统的运动状态相适应,系统运动状态的改变将引起系统层次的突变,各层次之间具有向上因果律和向下因果律,即支承与控制率;(5)动态性。油气系统及其各级子系统都与外界环境进行物质、能量和信息交换,既有输入也有输出,以维持自身的稳定状态,它们都有自己的发生发展规律和方向,有很强的抗干扰能力,然而又共同服从于盆地系统的总规律、总方向;(6)反馈性。油气系统的各级子系统输出信息对输入都有显著的控制作用,在系统的发展演化过程中,普遍存在着延迟和放大,表现出信息反馈系统的基本特点;(7)组织性。油气系统是一种有序与无序的动态演化系统,其演化过程都是自组织过程,都能自动地从有序程序低的简单系统演化为有序的复杂系统,因而是一种自组织

系统。

根据上述特征,油气系统动力学认为,油气系统是一种具有结构—功能同一律的自组织反馈控制系统,油气系统的演化是它的各子系统和各组成元素相互作用的非线性动态综合结果。各子系统和各组成元素的地位和作用,总是随着时间和空间的变化而变化着的,应当进行客观的多因素动态分析而不必拘泥于固定的认识。由于油气系统是一个非线性的复杂大系统,其研究方法应当是定性定量相结合的系统分析、综合推理方法——分层次而又交叉地综合考察油气系统内部的物质流、能量流和信息流,将它们在油气成藏过程中的速率、时间、作用(功能)、转换及效应(数量、积累和位势)有机地组合成一个统一的因果反馈模型,并且逐一加以分析研究,然后以此为基础建立系统的模拟模型。该模拟模型由一系列系统动力学知识体系和方程体系组成,可用于对油气系统及其各子系统的非线性宏观过程及效应(油气的成藏效率与数量)进行计算机模拟。

2.1.2 油气系统动力学的研究内容 如前所述,油气系统整体不等于它各部分之和,联系各子系统或各组成元素之间的纽带是非线性的,因此用非线性动力学理论方法来建立油气系统各部分之间的联系模型,研究油气系统的整体运作功能,便是系统动力学的主要任务。具体地说,油气系统动力学的研究任务,不是追求对含油气的个别子系统的专门学科,如有机地球化学、油气运聚理论、圈闭理论和油气层物理学等研究得更深入,而是用非线性动力学理论方法,把构造、沉积、地热、有机质以及油气生、排、运、聚、散等子系统之间相互渗透的本质因素,按物质守恒和能量守恒原理在更高的一个层次上有机地联系起来,研究它们整体运作功能,解释油气藏形成、演化机理,进而实现对油气资源量和勘探目标的预测、评价。

油气系统动力学研究内容主要包括:(1)研究油气系统的结构功能特征;(2)研究系统与子系统之间以及各子系统之间的联系和反馈控制机理,建立它们的反馈关系;(3)确定各子系统的时空尺度分析原则;(4)研究油气系统对大地构造、海平面升降、气候变化及地幔动态等区域背景因素的响应;(5)研究系统不稳定性的阈值条件,包括油气生、排、运、聚、散等过程的突变条件以及产生自组织行为和混沌行为的条件;(6)在一定的时空范围内建立油气系统的动力学方程组;(7)编制计算机软件,进行油气系统动

力学数值模拟;(8)以模拟结果为依据进行油气资源量及勘探目标预测评价。其中,建立油气系统动力学方程组是整个研究的核心,也是实现系统综合和系统模拟的关键。系统动力学认为,系统的行为模式与特性主要取决于其内部的动态结构与反馈机制^[17]。为了研究油气系统,首先要看清系统的结构与功能,界定系统的规模,查明系统与系统之间以及各子系统之间的联系和反馈控制机理。系统动力学模拟可以避免目前尚在争论之中的一系列化学动力学和物理动力学问题,运用一些确定的物理、化学定律,从总体上把握其中能量转换、物质转移和信息转移的规律,又可以对各种影响因素的动态变化作组合分析,如同实验室一样再现油气成藏动力学过程及其数量和效率;模拟结果将为盆地和凹陷(区带)进行资源预测、评价提供依据,这正是进行油气系统分析及系统动力学模拟的根本目的。

对油气系统进行系统动力学综合是一件复杂而艰巨的工作,这方面的研究刚刚开始,没有现成的实例可供借鉴,因此完全是探索性的,需要选择典型盆地、洼陷或区带进行解剖。可以充当这种解剖典型的应当是后期破坏微弱、油气地质条件较好、子系统之间关联密切、勘探程度高且按常规方法研究得较为深入的盆地、洼陷或区带。

3 油气系统动力学模型

作为自然(物质)—人造(概念)复合系统,油气系统是包括油气、源岩、疏导体系、圈闭、盖层等要素在内的物质结构与油气成藏功能的统一体。分析研究油气系统,必须同时考虑该系统的结构与功能。因此,油气系统动力学的建模和模拟,不同于经典动力学的单纯功能建模和功能模拟,而应当是一种统一的结构—功能建模和模拟。

3.1 油气系统的反馈回环

信息反馈系统模型的基本结构单元是反馈回环。这是一种用因果关系串联起来的有序的闭合链。链条的每一个环节,代表系统的一个构成要素,既受到前一环节的控制,又控制着下一环节的变化,也可能受到外来因素的影响。由于链条整体是闭合的,因而构成了一个完整的反馈控制关系。油气系统中存在着许许多多的因果反馈回环,其中,油气成藏回环是主导的因果正反馈回环(图2A)。主导回环的各要素都可以各自分解成为一个要素子系统,每个子系

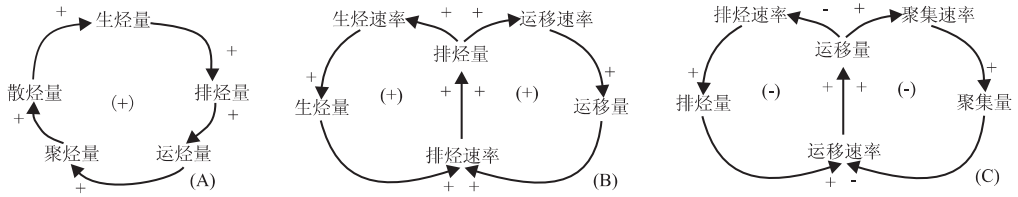


图 2 油气系统的高层次因果反馈回环

Fig. 2 Feedback circle chain of cause and effect on the high levels of the petroleum system

A. 主导因果反馈回环; B. 生烃与运移子回环之间的耦合; C. 排烃与聚集子回环的耦合

统也都有自己的主导子反馈回环,子系统之间或子反馈回环之间,通过相干变量来耦合或连接(图 2B, 2C). 反之,任何一个反馈子系统都可以是一个更复杂的反馈系统的一个组成部分.

反馈回环的分析和构造,是油气系统动力学分析的基础;而分析和构造反馈回环的前提,是合理地划分系统和子系统的边界. 我们可以将边界以内的事物看作系统的内部元素,而将边界以外的事物看作系统的外部环境条件. 例如,对于油气区(或者超大型盆地)级含油气子系统而言,大地构造背景、海平面升降、气候变化及地幔动态,是其外部环境条件;对于盆地(或叠合盆地)级含油气子系统而言,盆地构造演化及超层序的沉积演化,是其外部环境条件;而对于凹陷(或拗陷、亚盆地)级含油气子系统而言,盆地构造分异及层序的沉积演化,是其外部环境条件. 系统及子系统的边界是相对的、可变的,通常取决于研究的用途和目标. 随着一个系统用途和目标的增大,一些在时空上直接相关的子系统将被包括进去,系统的边界必然扩大;反之,随着一个系统用途和目标的缩小,一些在时空上不直接相关的子系统将被排除在外,系统的边界也就必然缩小.

系统的前述特性主要就是以系统与环境之间的关系来判断的. 从系统与外部环境的总体关系看,油气系统是一种开放系统;从系统输入与输出的总体关系看,油气系统是一种复杂的信息反馈系统. 当然,由于各要素间的因果关系不同,所构成的各种因果反馈系统的性质也不同——可能是开环系统,也可能是闭环系统;可能是闭环正反馈系统,也可能是闭环负反馈系统^[14]. 而这一切,显然又取决于研究者制定系统目标时的着眼点. 因此,一个特定的信息反馈系统的性质,需根据具体的因果关系分析来确定.

3.2 油气系统动力学流图

油气系统的因果关系,可以用系统动力学流图(图 3)来表示. 在流图中,水位(level)或称“水平”、

“水准”、“存量”、“积累”,是系统的某个指标值,如同水池一样代表系统的状态值,通常用一个长方形来表示;速率变量或称为速度变量,是系统的调节变量,如同阀门一样控制着系统的状态变化,通常用阀门的图形来表示;辅助变量表示速率变动的条件和有关信息,它们来自系统外部变量或系统内部状态变量,通常用圆来表示;常数起着切换开关的作用,例如油气成熟与死亡的 R_0 门限值、烃源岩排烃的临界含烃饱和度等等,是系统的重要参数,通常用小圆加一斜线来表示;源指物质的来源,汇指物质的去向,如同水流的源泉和流向,都是系统之外的元素,代表系统的物质输入和输出;实线箭头代表系统的物质流,它连接速率和水位,如同水流般贯穿于控制通路中;虚线箭头是信息流,它指向速率,表示根据何种信息来控制流速以及信息从何而来. 系统中的物质流或信息流从输入到输出响应,总是不可避免地要有时间上的延迟,许多影响因素改变,也往往要经过一段时间的积累才能产生效果,例如,有机质开始受热降解到开始生烃,从烃类开始生成到排出烃源岩,从进入疏导层到运至圈闭,从进入圈闭到充满圈闭,时间延迟都很显著. 延迟(delay)是一种特殊的水位变量,它反映子系统中流入速率与流出速率之间的转换过程,是信息反馈系统普遍存在的动态特点,油气系统也没有例外.

油气系统及其每一种具有因果反馈关系的子系统,都可以用一个相应的系统动力学流图来表示^[14]. 通过各子系统动力学流图,可以把油气系统因果关系回环中的元素,转变为相应的系统动力学变量,并且将系统的物质流、能量流和信息流的来龙去脉直观地展现出来,因此能清楚地指示烃类生成、排放、运移、聚集和散失的过程和机理. 在此基础上可以归纳出油气系统的整体成藏动力学流图.

3.3 油气系统动力学的方程组

油气系统动力学分析可以通过定量模拟的方式

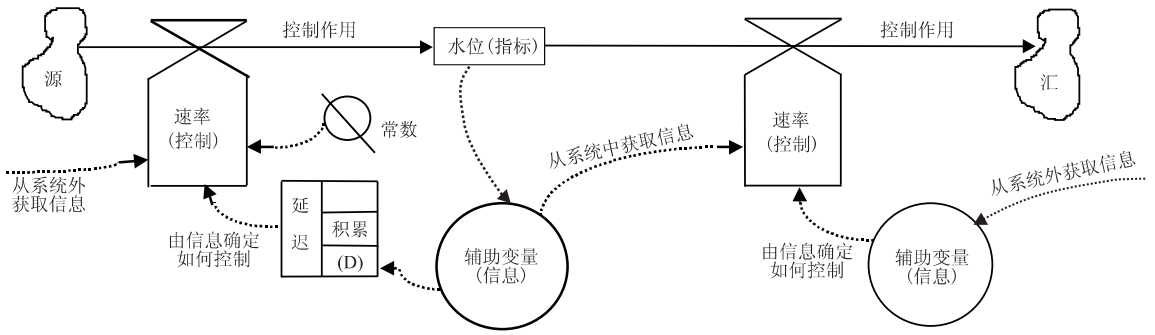


图 3 系统动力学流图及其各元素之间的反馈控制关系

Fig. 3 Flow diagram and feedback control relation between elements of system dynamics

来实现,其分析结果也应当以量化化方式来表达. 这里的关键问题是如何建立油气系统动力学方程组.

参照系统动力学方法^[16],油气系统动力学将古典流体力学原理推广到整个油气系统中,把油气系统中流动的物质、能量和信息比拟成流体力学中的流体,采用流、流速、水位、压力和延迟等概念来加以描述. 所建立的油气成藏动力学模型方程体系主要包含 6 种方程:

- 水位方程(L): $X \cdot K = X \cdot J + DT \cdot X \cdot JK$,
- 速率方程(R): $R \cdot KL = U(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$,
- 辅助方程(A): $A \cdot K = W(A_1, A_2, A_3, \dots, A_m)$,
- 初值方程(N): $X = X_0$,
- 常量方程(C): $C = A_0$,
- 表函数(T): $T = Y_1/Y_2/Y_3/\dots/Y_i$.

上述方程中, X 是水位变量, K 表示当前时刻, J 表示前一时刻, JK 表示过去的时间段, KL 表示未来的时间段, DT 表示时间间隔值; R 是速率变量, U 是速度变量的计算因子, $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ 分别是速度的区间值; A 是辅助变量, W 是辅助变量的计算因子, $A_1, A_2, A_3, \dots, A_m$ 分别是辅助变量的各种取值; X_0 是水位变量的初值; C 是常量, A_0 是常量值; T 是表变量, $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_i$ 分别是表函数的区间值. 最基本的方程是水位方程(L)和速率方程(R). 油气系统的每一个反馈回环或子回环,都可以用水准方程和速率方程来描述,并且可以采用专门的 DYNAMO 语言来编制模拟计算程序. 模型的理论基础是能量守恒定律和物质守恒定律. 构建油气系统动力学方程组的要领是:首先抓住油气系统及其各子系统的基本状态变量和速率变量,拟定水位方程和速率方程;再引进一系列常规动力学方程、经验公式或随机模拟和智能模拟模型,作为确定

控制参数的辅助方程;然后根据油气系统分析、知识库或智能模拟结果,拟定各种常量方程、初值方程和表函数.

油气系统是一种多尺度系统. 开展油气系统动力学研究的目的是通过大尺度状态变量把微观过程参数化,建立油气系统的模拟模型,从而实现对大尺度过程的模拟和解释,至于更小时空尺度的微观过程研究,是石油天然气地质学领域各专门学科的任务. 为此,需要选择适合于不同层次和规模子系统的时空尺度. 油气系统的时空尺度选择应当遵循如下 4 条原则:(1)结构—功能原则,根据不同层次和规模的子系统之间的结构—功能差异,选择不同的时空尺度;(2)特征变量原则,使时空尺度的选择有利于揭示那些反映子系统之间本质联系的特征状态变量;(3)相干变量原则,要求该状态变量在这个子系统中是重要的,在另一个子系统中也是重要的;(4)相互作用原则,允许不同层次和规模的子系统之间有不同的相互作用尺度. 油气系统的最大时空尺度,取决于该系统的规模和演化历史,可根据前述油气系统的边界划分规则及年代地层资料具体地确定.

为了使所建立的系统动力学方程组能够反映油气系统的一般运作机制,揭示各子系统之间的相互作用本质,还应当选择在能量、物质和信息转移过程中起关键作用的因素,作为状态变量. 油气系统的状态变量选择,也必须遵循特征变量原则、相干变量原则和相互作用原则. 经初步分析,可用于描述油气系统主导反馈回环的基本状态变量大致有 42 种^[14]. 这些基本状态变量都与模型单元的时空尺度相对应,都是古位置(x, y, z)和时间 t 的函数. 状态变量值可以通过经典动力学方程求解,也可以通过人工分析、人工智能分析或随机模拟方式来获取. 在建立

了完整的有机质成熟史、生烃史、排烃史、运烃史、聚烃史和散烃史等子系统的系统动力学模型,并且采用 DYNAMO 语言编写出模拟程序之后,便可着手对一个具体的油气系统或子系统进行计算机模拟研究。当然,在开展油气系统动力学模拟之前,首先要通过对该系统的深入分析来建立其实体模型,再通过类比来抽提出概念模型,然后根据系统分析的结果来选择模拟参数,并对变量赋值——建立其模拟模型。为了具体地探索油气系统动力学模拟的方法,探讨其性能及适应性,作者选择南海北部珠三凹陷进行试验,目前已经取得了初步成功^[18]。

4 结论

阐述油气系统和油气系统动力学概念和方法目的,是宣传一种将一般系统论、系统工程学与石油地质学密切结合起来的思想。作者建议从广义的角度来看待“油气系统”的概念,并且提倡采用定性与定量相结合的非线性系统方法——系统动力学方法,来加深对油气系统的研究。油气系统动力学的概念模型和方法体系尽管还很粗浅,某些问题需要深入探讨和补充,甚至可能还有错误,但我们相信它是有发展前景的。

(1) 油气系统的概念既然是石油地质学与系统科学相结合的产物,那么它就应当适合于整个含油气地质单元序列,而不应当只成为该系列的一个具体地质单元。为了使油气系统的概念适合于多世代多原型叠合盆地的复合型油气系统,应该从广义和复合的角度把 3 种油气系统的划分方案综合起来,成为具有 3 个层次,且结构与功能较为完整的物质—概念复合系统。从广义和复合的角度看,油气系统实际上就是油气成藏动力学系统,其内涵是与油气成藏有关,且与周围环境密切联系着的若干相互作用、相互依赖的地质要素、地质过程(作用)及其描述参数和联系方式的集合体,其外延应包括分布于不同时空范围内的不同规模的同类集合体,可以按层次划分为油气区(或超大型盆地)、盆地(包括叠合盆地)、凹陷(或亚盆地)等 3 个级别。(2) 对于研究对象的实体而言,油气系统及其子系统的组成包含成熟的烃源岩及所有已形成的各种油气藏,并包括油气藏形成时所必需的地质要素及作用;在空间上包括所有这些基本要素和作用都出现且与邻区相对独立的,或认为很可能出现且与邻区相对独立的地区;

在时间上包括形成一个油气系统的持续时间和油气在该系统内的保存时间。对于抽象的概念模型而言,油气系统的组成包含油气的生烃潜力、排放与运移方式、捕集体制与保存条件;在空间上包括源岩体积、输导体系及圈闭的物性参数、几何形态与体积容量;在时间上包括与油气生成、排放、运移、聚集、散失等有关的各种地质事件及其物理、化学动力学过程。对研究对象的实体—抽象模型复合体而言,则应同时包含上述两方面的全部内容。(3) 油气系统的研究方法,应当是定性与定量相结合的系统方法。Magoon 等^[7]的结构图解法、Perrodon^[11]的模型类比法和 Demaison 等^[8]的成因分析法,各有特色也有缺陷,经改进后,可以分别用于 3 个级别油气系统的资源预测与评价。由于这 3 种方法偏于静态和定性,进一步的研究可考虑与盆地模拟、成藏模拟和目标模拟结合起来。考虑到油气地质过程存在非线性特点,引进系统动力学的思路与方法,建立油气系统动力学的方法体系,有助于油气系统研究的深入发展。(4) 与常规盆地模拟和油气成藏模拟相比较,油气系统动力学模拟具有如下显著优点:(1) 可以避开目前尚在争论之中的化学和物理动力学问题,运用一些确定的物理、化学定律,从总体上把握其中能量转换、物质转移和信息转移的规律;(2) 能够描述油气系统内油气生、排、运、聚、散等作用之间的反馈控制关系,还可以动态地考察参数间的相互关系及多种因素的相互作用过程;(3) 既吸收了经典动力学模拟的合理成果,又反映了地质参数的非线性特征,还体现了智能模拟的思想与方法,使定量模拟与定性分析结合得更加紧密;(4) 降低了模型的模拟难度,从而使求解过程变得容易,精度大大提高,并且加快了运算速度。总之,系统动力学模拟无论是从其理论基础来看,还是从其分析问题、解决问题的方法来看,都较为适合于油气系统的研究,是一种值得探究的系统工程学方法。

参考文献:

- [1] 胡见义. 含油气地质单元序列划分及其意义[A]. 见:胡见义,编. 中国油气系统的应用与进展[C]. 北京:石油工业出版社,1997. 3~8.
- [2] 胡朝元,廖曦. 成油系统概念在中国的提出及其应用[J]. 石油学报,1996, 17(1): 10~16.
- [3] 胡朝元. 关于成油系统划分原则与方法的若干意见[A]. 见:胡见义,编. 中国油气系统的应用与进展[C]. 北京:石油工业出版社,1997. 60~62.

- [4] Dow W G. Application of oil correlation and source rock data to exploration in Willston basin [J]. AAPG Bulletin, 1974, 56: 1253~1262.
- [5] 吴冲龙,王燮培,周江羽,等. 油气系统概念与研究方法[J]. 地质科技情报, 1997, 16(2): 43~50.
- [6] Magoon L B. The petroleum system — status as research and methods [J]. USGS Bulletin, 1992: 2007.
- [7] Magoon L B, Dow W G. The petroleum system [A]. In: Magoon L B, Dow W G, eds. The petroleum system from source to trap [C]. AAPG Memoir, 1994, 60: 1~35.
- [8] Demaison G, Huizinga B J. Genetic classification of petroleum system [J]. AAPG Bulletin, 1991, 75(10): 1626~1643.
- [9] Perrodon A. Geodynamique petroliere [A]. Genese et repartition des gisements d'hydrocarbures [C]. Paris: Masson-Eifaquitane, 1980. 381.
- [10] Perrodon A, Masse P. Subsidence sedimentation and petroleum systems [J]. Journal of Petroleum Geology, 1984, 7(1): 5~26.
- [11] Perrodon A. Petroleum systems models and applications [J]. Journal of Petroleum Geology, 1992, 15(3): 319~326.
- [12] 窦立荣,李伟,方向. 中国陆相油气系统的成因类型及分布特征[J]. 石油学报, 1996, 23(1): 1~6.
- [13] 谢泰俊,张群英,杨学昌. 油气系统若干问题的探讨 [A]. 见:胡见义,编. 中国油气系统的应用与进展[C]. 北京:石油工业出版社, 1997. 285~293.
- [14] 吴冲龙,王燮培,毛小平,等. 油气系统动力学的概念模型与方法原理[J]. 石油实验地质, 1998, 20(4): 319~327.
- [15] 吴冲龙,张洪年,周江羽. 盆地模拟的系统观和方法论 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1993, 18(6): 741~747.
- [16] Forrester J W. 系统原理[M]. 王洪斌,译. 北京:清华大学出版社, 1986.
- [17] 王其藩. 系统动力学理论与方法的新进展[J]. 系统工程理论方法应用, 1995, 4(2): 612.
- [18] 何光玉. 南海珠三拗陷油气系统动力学研究[D]. 武汉:中国地质大学, 1998.

PETROLEUM SYSTEM AND PETROLEUM SYSTEM DYNAMICS

Wu Chonglong¹ Wang Xiepei¹ He Guangyu² Li Shaohu¹ Mao Xiaoping¹ Yang Jiaming³
Wu Jingfu³ He Dawei³ Pan Mingtai³

(1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 3. Exploration Development Research Center, China National Offshore Oil Corporation, Gaobeidian 074010, China)

Abstract: The petroleum system, actually a petroleum pool-forming dynamic system, is a product of the combination of petroleum-natural gas geology and system science, and a new-type hierarchical geological entity, a composite between the research objective and abstract model, if it is viewed from the system science by the petroleum geologists. Therefore, the petroleum system should be appropriate to the whole petroleum-gas geological unit sequence instead of only to a certain unit in a certain structural layer. The research method for the petroleum system is defined to be a systematic method characterized by the qualitative and quantitative processes. In view of the nonlinear feature of the petroleum pool-forming process and also of the defects that are present in many current basin simulations and petroleum pool-forming simulations, the authors attempt to introduce the logical reasoning and method for the system dynamics, to propose the concept of petroleum system dynamics and to reiterate their basic principle, and to establish a primary methodological system for the petroleum-gas system dynamics. The result of the system dynamic simulation can be used to forecast and evaluate the petroleum resources in the basins and depressions.

Key words: petroleum system; system dynamics; petroleum pool-forming dynamics; petroleum system dynamics; basin system dynamics.

论做好高校国际交流与合作工作

邵学民

(中国地质大学外事处, 武汉 430074)

当今世界各国经济、社会的发展日益依赖于智力资源的开发和有效利用, 国与国之间的开放度越来越高, 相互依存度越来越大。作为高科技成果和高层次人才集中的高校, 其开放意识与其他行业相比较, 有着明显的优势。实践证明, 做好高校的教育外事工作, 可以有力地推动学校教学科研以及其他各项事业的全面发展, 而做好教育外事工作的关键在于如何把国外智力, 包括先进技术和管理经验引进来, 这是我国实行改革开放的重要形势和内容, 是加速有中国特色社会主义现代化建设和实现科教兴国战略的必要措施。此外, 还要建立一套行之有效的管理机制。可以说, 外事管理是高校管理的一个重要窗口和组成部分, 对外开放工作在高校工作中具有重要的意义。

1 以学校发展战略目标为中心, 系统规划学校教育外事工作

高校的智力引进, 即面临着国际日益剧烈的对全球人才、智力资源进行竞争的开发形势, 也面临着我国进一步加大对外开放力度和加快社会主义现代化建设步伐的机遇。从国外引进的专家学者, 是促进和支撑高校发展的重要人才资源, 同时对推动我国经济发展, 促进社会进步有着极其重要的作用。结合高校的教育外事工作实践, 应该清醒地看到: 中国的经济发展离不开国际经济这个大环境。在国际间经济、科技交流不断扩大的今天, 各国的资本、技术以及人才在全球范围内加速流动, 对高校引进国外智力创造了良好的环境。但从另一个角度来看, 发达国家凭借强大的经济实力和新技术革命中的领先地位, 采取笼络收买人才策略, 又构成对发展中国家的威胁, 而发展中国家也意识到知识和人才在经济发展中的作用, 这就要求发展中国家调整促进本国经济、科技发展的引智、引资政策, 增加教育经费投入。

因此, 围绕着学校的发展战略目标, 如何规划和制定好本校的教育外事工作计划, 有着举足轻重的地位和作用。怎样做好教育外事工作规划呢? 首先必须保证高校智力引进工作规划与国家有关国际人才、教育交流方针政策、目标相吻合。这是由我国的对外交流方针和高校的特点决定的。第二, 引进国外智力规划, 应与学校的发展战略目标保持一致, 应有利于学校总体目标和任务的实现。第三, 规划引进国外智力工作, 必须要以社会的人才需求趋势和高校人才配备特点为基础和前提, 注重扬长避短, 培养出适合社会需求的各类人才。此外, 规划要具体、全面和系统, 并应具有较强的可操作性。

2 制约教育外事工作存在的几个主要问题

(1) 在当前国际、国内新形势下, 我们从事教育外事工作的同志和主管领导对教育外事工作的地位和作用缺乏深刻的认识, 缺乏足够的重视; (2) 外事工作发展不够, 发展规划较小, 未能充分利用自身的条件, 发挥出优势。外事工作在本单位的发展也存在着不平衡现象, 尤其是在对外交流的渠道、领域、层次、规模、效益等多方面, 学校与学校, 开放地区与沿海开放地区相比较, 存在着较大的差距, 有一些院系无论是在工作思路, 还是工作方式上还停留在以前的水平上。 (3) 在教育国际交流方面, 资金投入不足, 有些院系仅仅是依靠上级主管部门的少量拨款来维持外事工作的运转, 没有从院系的建设、教学科研的发展和对外交流的需要来统筹考虑资金的投入问题, 有的甚至把外事经费挪作他用。 (4) 对外交流效益不高, 在组团出国访问, 选派人员出国学习, 聘请外国专家讲学等方面, 缺乏计划性和实效性, 取得的效果不显著。

针对以上在教育外事工作中存在的这些问题, 都需要我们从上至下各个方面通过不断的努力, 就如何进一步深入教育外事工作的改革, 如何积极探

(下转 623 页)