

# 应力驱动与油气运移势场的剖面研究

冯向阳 沈淑敏 刘文英

(中国地质科学院地质力学研究所)

**摘要** 油气的生成运移和聚集是石油地质过程的主要组成部分,油气藏的形成是一个漫长的地质历史过程。本文以构造应力场是油气运移和聚集的主要驱动力为观点,对塔里木盆地北部地区的典型储油构造型式进行了剖面上运移势场的模拟计算,结果表明应力场低值区与运移场低值区相对应,并且运移势场低值区与油气藏对应很好。

**关键词** 应力驱动 运移势场 剖面

## 0 引言

油气运移主要涉及运移起因的驱动力和运移的形式这两类问题。长期以来,圈闭学说在油气勘探中占主导地位,它对石油地质和石油工业的发展做出了巨大的贡献。然而,随着勘探成果的积累,特别是大量“特殊”油气藏的发现,进一步研究油气运移和聚集的机理就日益显得必要,其中油气运移的驱动力问题长期以来一直是人们谈论的焦点。很多学者都提出了自己的论点<sup>[1,2]</sup>,特别是近年来,随着岩内流体力学的发展,油藏模拟、盆地模拟等技术的进一步完善和发展,油气运移机理的研究越来越受到人们的重视<sup>[3,4]</sup>。

在国内,沈淑敏等(1986,1989)较早地在这方面作了很多工作,并从理论上对油气运移的机理进行了探讨,先后在东海盆地和塔里木盆地的油气运移研究中取得了较好的成果<sup>[5]</sup>。其基本理论认为流体在多孔介质中流动,当其作低速渗流( $1 < R_e < 10$ )时,遵从达西定律,同样油气在储层中运移,在层流条件下,仍然遵循达西定律。因此作了3点假设:

(1) 介质处于饱和状态时,岩石骨架、油、气三相体积系数分别为  $m$ 、 $n$ 、 $s$ ,则三者有关系  $m + n + s = 1$ ;

(2) 岩石骨架作为刚性骨架,液相的压缩量相对其它变量很小,可忽略不计;

(3) 气相封闭于介质中,随介质运动。

在这3点假设的基础上推导出了岩内流体运移的一般平衡方程:

$$\frac{B}{1+e} \frac{\partial \theta}{\partial t} + \left( \beta + \frac{2A}{1+e} \right) \frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} K_x \left( \frac{\partial H}{\partial x} - i_0 \right) + \frac{\partial}{\partial y} K_y \left( \frac{\partial H}{\partial y} - i_0 \right)$$

上式表达了构造应力、流体内压与流体运移势之间的微分关系。等号右边为流体运移势,等号左边第一项表达了由于构造应力的变化所引起的流体流量的变化,第二项表达了液体和气体内压的变化对流量的贡献,即流体的运移势是由这两部分组成的。此式说明,多孔介质中

流体的内压力受地壳应力状态的控制,即应力的变化影响着液相渗流的状态。在漫长的地史时期,由于大规模的地壳运动,导致岩石变形,影响岩层中压力分布,亦影响到岩层中油气压力的分布,其中岩石的变形导致介质孔隙结构的变化,进而影响孔隙度和渗透率,从而引起渗流状态的改变,使流体发生运移和聚集。

上式将构造活动的应力场与油气运移的物质场有机地结合起来,可以看出油气的运移和聚集最主要的条件是构造应力驱动。但是以前主要是从平面上、大范围来作运移势场数值模拟,区域性运移势场考虑较多,因此,区域性特征比较明显,没有具体到某一个储油构造;再有作为平面问题,断裂在储油构造中的作用不能充分揭示出来,特别是延伸较深的断裂的各段在不同活动时期对油气运移的影响无法深入了解。

## 1 剖面运移势场的数值模拟

随着油气勘探及油田开发工作的深入,不仅要求认识区域上的油气运移储集规律,对具体构造储油能力的认识也提出了更高的要求。因此作剖面上运移势场的数值模拟,从三维角度考虑油区运移势状态就显得日益重要。

### 1.1 运移势场数值模拟的基本思路

首先作应力场的有限元模拟,将模拟结果输入运移势场程序,作运移势场的数值模拟。以实测参数为依据,通过对孔隙度、渗透率等参数的调整,使其运移势低值区与现今已发现的油气藏高度相似,由此推断油气运移和储集的力学作用过程。然后,以相同的原则,对未知地区的剖面进行运移势场的数值模拟,其中的运移势低值区,即是油气最可能的停集部位。作者总结出4种在剖面上具有典型意义的储油构造型式,它们代表了塔里木盆地北部地区最基本的储油构造型式,通过它们之间的相互组合,可以形成其它各种复杂的储油构造型式,因此对它们的应力场和运移势场的研究,既有典型意义,又有普遍意义。这4种典型储油构造型式是:背冲式、对冲式、叠瓦状、“Y”字形。限于篇幅,本文仅用背冲式储油构造型式来作简要说明。需要注意的是如果有多期的构造运动影响,需作构造应力场的动态叠加。

### 1.2 运移势场模拟参数的确定

对于已知储油构造型式运移势场的模拟,随着勘探与开发工作的开展,已积累了丰富的钻井及油气资料。为较详细地模拟油气运移的规律,作者考虑两种方法:一是地层不考虑分层,即所有的地层取一个孔隙度值和渗透率值,以此突出构造的控制作用;二是根据实际的钻孔及油气资料,以实测的各时代地层的孔隙度和渗透率值为依据,考虑不同地区裂隙、裂缝及不整合面的发育程度而确定参数。裂隙密集段的孔隙度可较一般储层增加5—8倍,渗透率可增加2—3个数量级。对于断裂其裂面不单纯是一个面,而认为是具有一定宽度的一个带,单独取其孔隙度和渗透率。

### 1.3 运移势场模拟结果

在不考虑海西期地层分层时,主应力和剪应力所对应的运移势的低值区都出现在两断裂之间,低值区象背斜一样上拱,沿断裂带低势区下凹,形似向斜,说明油气沿断裂从深部往浅部运移,断裂作为油气运移的通道作用表现很明显(图1.2);考虑分层时,即取各个地层实际的孔隙度和渗透率,其运移势等值线形态发生了很大变化,沿断裂呈“V”字形展布,在“V”形内部有低值区。根据数值大小,可分为I、II两级区域。在剪应力对应的运移势图上,两个低值区明显呈层状展布(图3)。

在喜马拉雅期,剪应力的运移势低值区层状分布更加明显(图 4),低值区 I<sub>1</sub> 和 II<sub>1</sub> 大致与

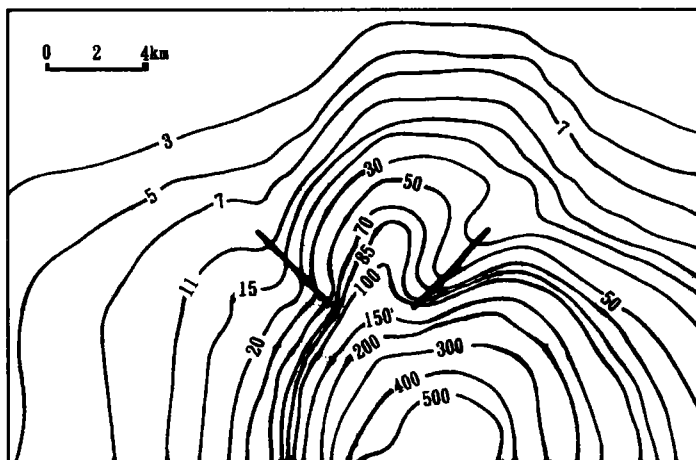


图 1 背冲式断裂组合储油构造型式海西期不分层时主应力的运移势等值线图  
Fig. 1 Isogram of migration potential field of principal stress of back thrusting style in Hercynian when the whole strata are regarded as a layer

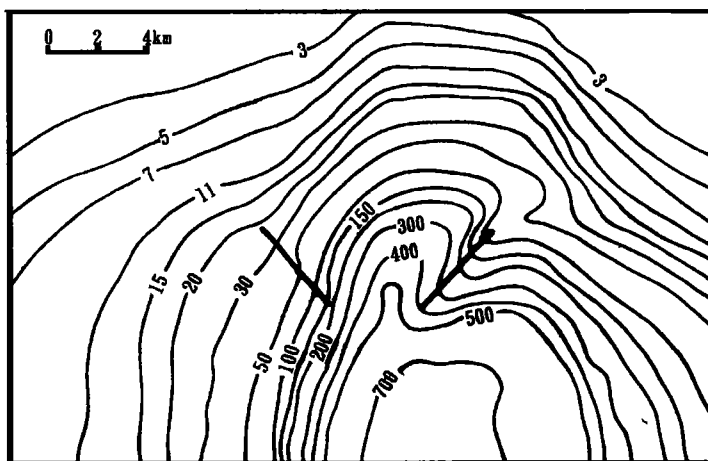


图 2 背冲式断裂组合储油构造型式海西期不分层时剪应力的运移势等值线图  
Fig. 2 Isogram of migration potential field of maximum shear stress of back thrusting style in Hercynian when the whole strata are regarded as a layer

此外的钻井在 T<sub>2</sub> 和 C<sub>1</sub> 发现的工业油气层相对应。沿断裂等值线大致绕断裂圈闭,数值上有深部大、浅部小的特点,表明油气沿断裂向上运移,最大梯度位于断裂上盘,表明油气由下盘向上盘运移。

从模拟结果看出,应力场和运移势场二者有着良好的对应关系:低应力场是形成低运移势场的必要条件;低运移势区与已发现的油气藏具有很好的对应关系;断裂在油气运移中的作用明显。一般情况下,断裂两次活动比仅有一次活动更有利于油气成藏。由此得出,构造应力不仅作用在骨架介质上,也作用于其中的流体上,驱动流体发生流动。由于构造发育的复杂性及构造活动的差异性,使得地质体中应力状态差异较大,因而流体的运移势状态也不一样,有可能形成低势区。根据能量守恒定律,流体是从高运移势向低运移势区流动,流动的最大可能方

向是运移势梯度最大的方向。因此,运移势值低的区域是流体最可能的停集部位,即形成油气

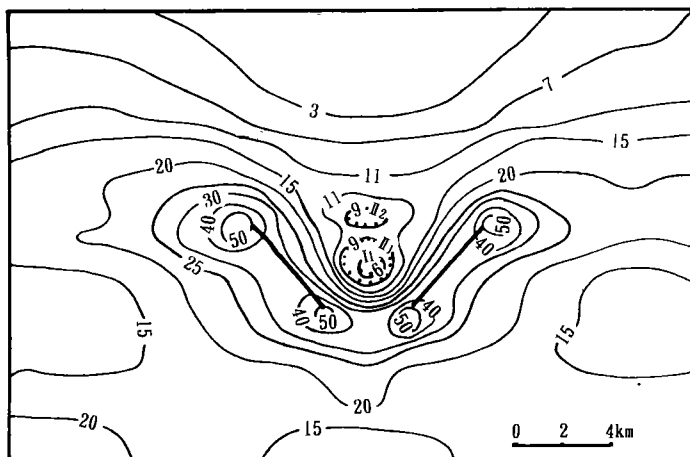


图3 背冲式断裂组合储油构造型式海西期分层时剪应力的运移势等值线图

Fig. 3 Isogram of migration potential field of maximum shear stress of back thrusting style in Hercynian

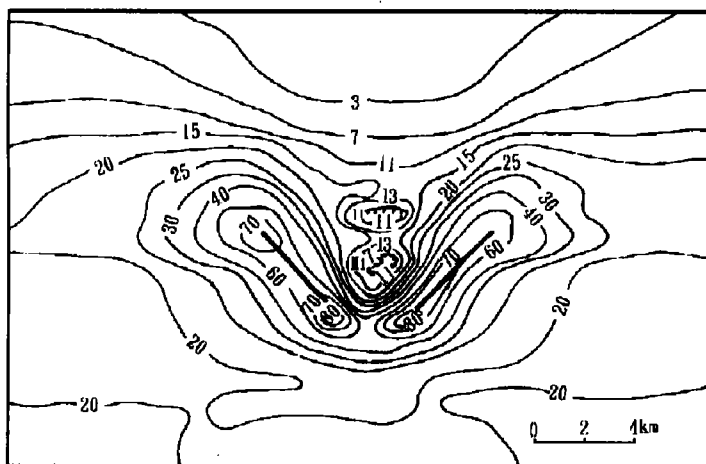


图4 背冲式断裂组合储油构造型式喜马拉雅期分层时剪应力的运移势等值线图

Fig. 4 Isogram of migration potential field of maximum shear stress of back thrusting style in Himalayan period

藏的部位。

类似的现象应该有相同的机理,根据机理相同的原则作未知地区剖面的运移势场模拟,其中的运移势低值区就是油气最可能的停集部位。应用这种方法在平面上可作区域性的油气运移趋势预测,帮助规划油气远景区;在剖面上可作具体构造部位的油气藏预测,直接为生产勘探服务。

## 2 问题与讨论

油气藏是油气、地层、构造等基本地质条件在时间和空间上配置的结果。油气无论是单相或混合相,除了自身的浮力作用外,不可能形成侧向运移的势能,因为油气的运移不仅涉及到应力场,而且涉及到地温场、界面效应、滤流多种物理过程及有机质的化学演化过程。如果能将这些因素都考虑进去,对油气运移的模拟就能更接近其真实过程。

在对运移势低值区作油气藏预测时,只有针对具体的石油地质因素,结合油源、岩相、封堵性等具体的石油地质情况,才能作出更准确的油气藏预测。

### 参 考 文 献

- 1 Ungerer P, Burrus J, Doligez, Basin evaluation by integrate two-dimensional modeling of heat transfer fluid flow, hydrocarbon generation and migration, AAPG, 1990, 74(3): 783-796.
- 2 Nakayama K, Van sicken D C. Simulation for petroleum exploration, AAPG, 1981, 65: 1230-1255.
- 3 何生、唐仲华、陶一川等,松南十屋断陷低压系统的油气水文地质特征。地球科学, 1995, 20(1)。
- 4 范士芝等,沉积盆地石油地质过程和油气运移聚集模拟系统及其应用,地球科学, 1995, 20(1)。
- 5 沈淑敏等,中国东南大陆边缘地区构造应力场特征与东海盆地油气运移规律。地质力学所所刊(12),北京:地质出版社, 1989。
- 6 康玉柱,塔里木盆地古生代海相油气田。武汉:中国地质大学出版社, 1992。
- 7 贾润霄等,中国塔里木盆地北部油气地质研究,第一辑,第二辑,第三辑。武汉:中国地质大学出版社, 1991。

## STUDY OF TECTONIC STRESS CONTROL OF OIL AND GAS MIGRATION IN SECTIONS

Feng Xiangyang    Shen Shumin    Liu Wenying  
(*Institute of Geomechanics, CAGS*)

**Abstract** The formation, migration and accumulation of oil and gas forms a most important subject in petroleum geology. The oil and gas accumulation is thought to be a long continued process in the past geologic time. It seems to the authors that the action of tectonic stress may create the most important conditions to drive the migration and accumulation of oil and gas. The states of migration potentials have been simulated and calculated for a few typical sections in the northern Tarim Basin. The results obtained show that the low stress field corresponds to the areas of low migration potentials, where oil and gas pools occur.

**Key words** tectonic stress driving, oil migration potential field, section

### 第一作者简介

冯向阳,男,1966年生,助理研究员,硕士。1992年毕业于昆明理工大学。主要从事构造运动及构造应力场、流体运移势场的分析与研究。通讯地址:北京市海淀区民族学院南路11号地质力学研究所。邮政编码:100081。