

油气优势运移通道的类型及其物理模拟实验研究

姜振学^{1,2}, 庞雄奇^{1,2}, 曾溅辉^{1,2}, 王洪玉^{1,2}, 罗群²

1. 中国石油大学(北京)盆地与油藏研究中心, 北京 102249

2. 中国石油大学(北京)石油天然气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249

JIANG Zhen-xue^{1,2}, PANG Xiong-qi^{1,2}, ZENG Jian-hui^{1,2}, WANG Hong-yu^{1,2}, LUO Qun²

1. Basin and Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

2. Key Laboratory of Hydrocarbon Accumulation of Ministry of Education, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

JIANG Zhen-xue, PANG Xiong-qi, ZENG Jian-hui, et al. Research on types of the dominant migration pathways and their physical simulation experiments, *Earth Science Frontiers*, 2005, 12(4): 507-516

Abstract: Geological analysis and physical simulation experiments confirm that, under geological conditions, hydrocarbon tends to migrate along a path of least resistance and follow the largest buoyancy. The dominant migration pathway includes mainly five models: first, hydrocarbons tends to migrate along the pathways with high porosity and permeability, and with a large grade difference relative to surrounding rocks (grade difference predominance); second, hydrocarbon tends to migrate towards the direction opposite to excursion of caprock sedimentation center (divided trough predominance); third, hydrocarbons tends to migrate in the direction of lower fluid pressure (fluid pressure predominance); fourth, hydrocarbons tends to migrate in the direction vertical to buoyancy (flow direction predominance); last, hydrocarbons tends to migrate in the direction with a large grade reduce of liquid potential and least resistance of fault section (fault section predominance). Natural dominant pathway of most oil and gas migration could be influenced by the five modes above. The result of physical simulation experiments indicates that the migration pathway transporting the majority of hydrocarbon accounts for only 1% to 10% of the whole carrier bed. The dominant migration pathway is controlled comprehensively by physical property difference of carrier bed, excursion of sedimentation center of caprocks, fluid dynamics, fault obliquity, and form of fault section. Because the dominant migration pathway is preferred by the majority of oil and gas on actual geological condition, the research on it is very important for predicting hydrocarbon sources and favorable traps.

Key words: hydrocarbon migration; dominant migration pathway; hydrocarbon accumulation; physical simulation

摘要:地质分析和物理模拟实验证实地质条件下油气总是沿着浮力最大和阻力最小的的方向和通道运移,形成油气优势运移通道有5种基本模式:级差优势、分隔优势、流向优势、流压优势和断面优势。物理模拟实验结果表明油气运移实际通道只占输导层的1%~10%,但却运输了油气的绝大部分;输导层物性的差异、盖层沉降中心的偏移、流体动力、断层倾角及断面几何形态控制了油气运移的优势通道;实际地质条件下油气运移所形成的优势通道是上述5种模式综合作用的结果。由于优势通道是大部分油气运移的实际路径,其研究对追踪油气来源、预测有利圈闭有着十分重要的作用。

关键词:油气运移;优势运移通道;油气成藏;物理模拟

收稿日期:2005-05-01;修回日期:2005-06-15

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40472078);国家重点基础研究规划“973”项目(G1999043310)

作者简介:姜振学(1963—),男,博士,副教授,石油与天然气地质专业,科研方向为油气藏形成与分布规律研究,盆地分析与油气资源评价。E-mail: jiangzx@cup.edu.cn

中图分类号: P618.13 文献标识码: A 文章编号: 1005-2321(2005)04-0507-10

油气运移一直是石油地质学研究的难点。20 世纪 90 年代以前, 油气运移研究的焦点是初次运移的动力、相态、过程及其地球化学效应^[1~7]。20 世纪 90 年代以来, 油气在输导层中的运移行为得到更广泛的关注, 这是因为它决定了油气与岩层的接触体积和油气的运移路径^[8], 这是实现油气运移通道预测和油气藏定位的基础。国内外学者对油气的二次运移过程进行了大量物理模拟实验和数值模拟研究^[9~12]。这些研究证明, 油气二次运移只通过局限的优势通道进行, 油气运移空间可能只占据整个输导层的 1%~10%^[12~15]。

优势通道系指油气在二次运移过程中无外来干扰情况下自然优先流经的通道, 是输导系统的非均质性、能量场的非均一性和流体流动等多种因素共同作用的结果^[3,14,16]。构成油气优势运移通道的可以是断层、不整合面, 也可以是高孔渗的输导层^[9,17~22]。优势通道是油气优先选择运移的路线, 而不是趋向, 更不是流体势场所表征的油气运移的潜在倾向。从量上讲, 优势通道仅占油气输导系统的极少部分, 但它输导的油气可能占输导系统输导油气总量的绝大部分。因此, “优势通道”也可俗称为“高速公路”。处在优势通道上的圈闭容易富集油气形成油气藏, 约有 70% 的油气藏位于优势通道上^[15], 处在优势通道之外的圈闭, 即便离油气源很近也很难成藏或形成的油气藏充满足度较低。

实际地质条件剖析表明, 油气总是顺阻力最小和分力最大的优势通道方向运移, 概括起来有 5 种基本模式^[14]: 一是油气趋向于沿着物性较好, 且与周边围岩差别最大的通道方向运移(级差优势); 二是趋向于向上覆盖层沉降中心偏移的相反方向运移(分隔优势); 三是沿着流压较低的方向运移(流压优势); 四是趋向于顺浮力作用和垂直断面的上盘运移(流向优势); 五是沿断层面运移的油气总是沿着最大流体势梯度降低的方向运移(断面优势)。本文通过物理模拟实验揭示了上述几种基本模式下的油气运移机理。

1 级差优势通道及其物理模拟实验

(1) 地质模型: 级差优势系指输导层内孔渗性结

构分布差异形成的优势通道(图 1)。油气在这类介

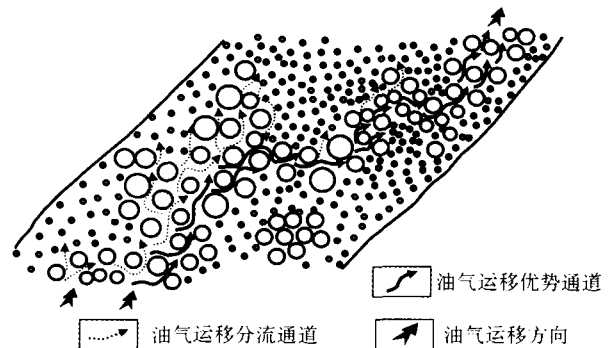


图 1 级差优势通道控油气作用地质概念模型

Fig. 1 Geological conceptual model of hydrocarbon accumulation controlled by different levels of predominant path

质中总是顺着级差优势最大的通道向前运移。这里的级差系指通道介质中的孔渗性与其周边介质中的孔渗性之差异。

(2) 实验模型: 如图 2 所示, 在一个长 50 cm、宽 30 cm、厚 2 cm 平板模型内装填有不同粒级的砂, 自 d_1 至 d_4 , 砂粒粒径逐步增大, 它们的孔渗性也不相同。在图 2 中, A、B、C、D 区均与 E 区接触, 它们之间的孔隙度和渗透率级差自 A 区至 D 区逐步增大。至 D 区时, 由于 D、E 两区的孔渗性相同, 它们之间的级差减小为零。

(3) 实验步骤: 实验开始前, 将图 2-b 中的 A、B、C、D 和 E 5 区都充满水。A、B、C、D 4 区侧向上被 2 cm 的胶带封隔, 向下与 E 区高孔渗性砂岩区接触。油从左下方入口注入, 在浮力作用下将沿 A、B、C、D 4 区与 E 区接触面(倾角为 α)向上运移。记录注油速率及进入到 A、B、C、D 4 区中的油量。油注入平板内后, 由于流体体积增加, 多余的水量将顺顶部的出口排出。

(4) 实验结果与讨论: 表 1 记录了不同注油速率条件下油运移进入到 A、B、C、D 各区的量(mL)和分流量(%), 这里的相对量系指进入某区内的量与流经该区的量之比, 它的大小代表了围岩对优势通道中油气的分流效应。分流率越大, 表明优势通道的控烃作用越弱。从表 1 结果分析研究中可以看出, 孔渗性级差较大的输导系统内容易形成优势通道。级差越大, 油气顺优势运移通道运移时被分流油气量越小, 优势通道控油气作用越强(图 3)。

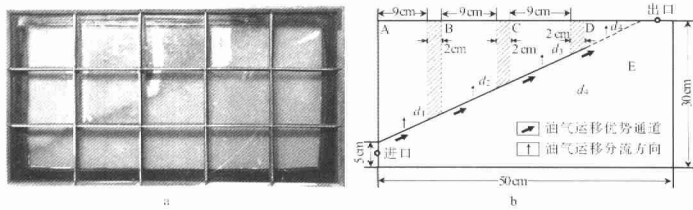


图2 级差优势通道控烃作用物理模拟实验模型
Fig.2 Physical modeling experiment of hydrocarbon accumulation controlled by differential predominant paths
a—级差优势通道控烃作用物理模拟实验装置;b—级差优势通道控烃作用物理模拟实验模型

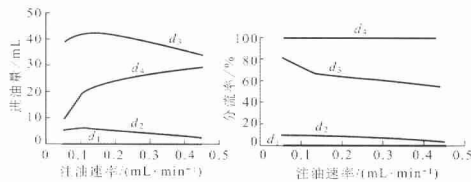


图3 级差优势通道物理模拟实验条件下控油气特征
Fig.3 Characteristics of hydrocarbon migration controlled by differential predominant paths in physical modeling experiment

表1 级差优势通道控烃特征物理模拟实验结果
Table 1 Physical modeling experiment results of characteristics of hydrocarbon migration controlled by differential predominant paths

代号	砂粒粒径/mm	不同注油速率下各层进油量与分流率					
		$v_1=0.05 \text{ mL/min}$		$v_2=0.15 \text{ mL/min}$		$v_3=0.45 \text{ mL/min}$	
		进油量/mL	分流率/%	进油量/mL	分流率/%	进油量/mL	分流率/%
A	$d_1: 0.15 \sim 0.25$	0	0	0	0	0	0
B	$d_2: 0.25 \sim 0.50$	5	9.5	6	8.6	2.5	3.8
C	$d_3: 0.39 \sim 0.45$	38.5	81.1	42	65.6	34	54
D	$d_4: 0.70 \sim 0.80$	9	100	22	100	29	100

2 分隔优势通道及其物理模拟实验

(1)地质模型:分隔优势系指运载层之上区域盖层分隔槽位置相对有效源岩区不同,对油气分流量的控制作用,油气主要向区域盖层分隔槽偏离供烃源岩中心相反的方向运移。概念模型如图4所示。区域性盖层底部形成的分隔槽是最终决定油气流向的地质要素。

(2)实验模型:如图5所示,平板模型分为3段,最下一段(D₁)高5 cm,砂粒径最大($d_1 \approx 0.7 \sim 0.8$

mm)。物性最好($\varphi = 29\% \sim 31\%$, $K = 41.6 \times \mu\text{m}^2$),最上一段(D₃)砂粒粒径最小($d_3 \approx 0.05 \sim 0.1$ mm),物性最差($\varphi = 29\% \sim 31\%$, $K = 416 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)。中间一段(D₂)的砂粒粒径和物性均处于二者之间($d_2 \approx 0.15 \sim 0.25$ mm, $\varphi = 29\% \sim 31\%$, $K = 2.96 \mu\text{m}^2$)。它是由两个向上凸起的背斜构成,相对大小由两背斜之间的下凹点(a)的位置决定。

(3)实验步骤:油从下段底部中点入口注入,注油速率为0.1 mL/min。由于下段孔渗性最好,它首先被油注满。之后油在浮力等作用下,进入到下段中的油开始向上运移并在中段的两个背斜顶部富

集成藏。改变两背斜之间的下凹点(a)位置, 记录背斜 A 和 B 中聚集的油量。顶段致密层起到了封堵中段砂层中富集在两个背斜中油的作用, 由于该段最上部有出口, 注油过程中平板模型内过剩的水可以向上排出。

(4) 实验结果与讨论: 实验结果如表 2 所示。可以看出, 背斜 A、B 中的进油量大小与两者中间凹点

的位置有关。凹点向左侧偏移, 左侧背斜 A 的供油宽度减小, 富集的油量减小, 而右侧背斜 B 的供油宽度增大、富集的油量增加。这说明, 区域盖层(D₃)的分隔槽与下覆烃源岩之间的对应关系是制约两者之间储集层内各圈闭聚油气量的决定性要素之一。分隔槽偏离供烃源岩中心越远, 油气向其偏离相反方向供烃量越大。

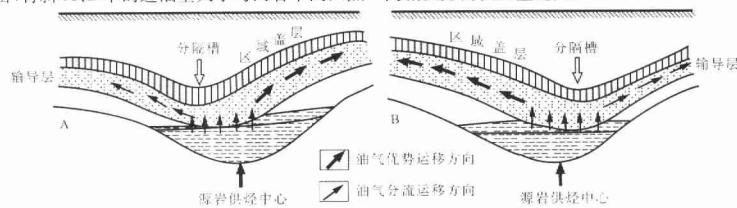


图 4 区域盖层分隔槽控制油气运移方向和优势通道地质概念模型

Fig. 4 Geological conceptual model of hydrocarbon migration direction controlled by separation trough of regional caprocks and predominant migration path
a—分隔槽向供烃中心左侧偏移, 油气趋向右侧运聚; b—分隔槽向供烃中心右侧偏移, 油气趋向于向左侧运聚

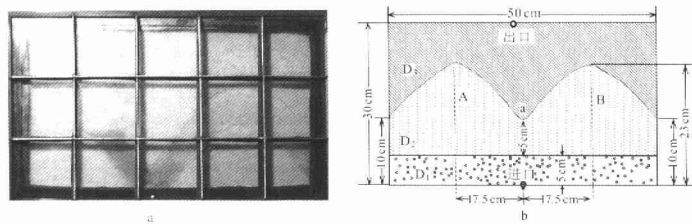


图 5 分隔优势通道控烃作用物理模拟实验模型

Fig. 5 Equipment of physical modeling experiment for hydrocarbon migration controlled by predominant paths with separation trough

a—分隔优势通道控烃作用物理模拟实验装置; b—分隔优势通道控烃作用物理模拟实验模型

表 2 分隔优势通道控烃特征物理模拟实验结果

Table 2 Physical modeling experiment results of characteristics of hydrocarbon migration controlled by predominant paths with separation trough

实验 分组	模拟指标					
	注入油量 Q_0 /mL	聚油单元	供油宽度 l /cm	聚油量 Q_a /mL	聚油相对量 $(Q_a/Q_0)/\%$	聚油效率 $(Q_a/Q_0)/\%$
1	350	A	25	98	46.6	60
		B	25	112	53.3	
2	370.33	A	20	92	39.9	62.19
		B	30	138.3	60.1	
3	351.7	A	17	69	32.9	59.57
		B	34	140.5	67.1	
4	402.09	A	13	66.2	24.8	60.26
		B	37	182.09	73.2	

注: 底部高孔隙层残留油没有参与洗油。

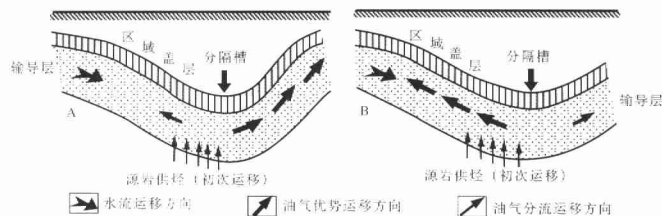


图6 流压优势通道控烃作用地质概念模型

Fig. 6 Geological conceptual model for hydrocarbon migration controlled by predominant paths with fluid pressure
a—极强的水动力条件下油气顺水流方向运移; b—较弱的水动力条件下只有部分油气顺水流方向运移

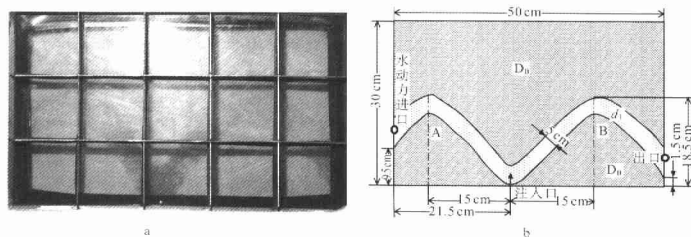


图7 流压优势通道控烃作用物理模拟实验模型

Fig. 7 Equipment of physical modeling experiment for hydrocarbon migration controlled by predominant paths with fluid pressure
a—流压优势通道控烃作用物理模拟实验装置; b—流压优势通道控烃作用物理模拟实验模型

3 流压优势通道及其物理模拟实验

(1)地质模型:流压优势指油气运移过程中流体动力作用对油气运移方向和运移量大小的控制作用(图6)。在均匀的输导层内,如果不存在水动力,则油气主要在自身浮力作用下自盆地深部向浅部运移。一旦存在水动力,则油气运移的方向和通道受浮力和水流动力的双重作用控制。在浮力与水流方向相反,并且力量相当的情况下就容易形成悬挂式油气藏;在浮力与水流方向作用方向相同时,油气将加速向前运移。

(2)实验模型:如图7所示。图中构造了两个聚油气的背斜(A、B),背斜之间的低凹点为供油(注油)点,在常规条件下,注油点注入的油气在浮力作用下可同时向背斜A和背斜B中运移,两者中富集的油量相等。平板模型的左侧和右侧分别有一个注水入口和出口,水的注入及其速率大小将改变目的层中油气的运移方向和A、B两个背斜中聚油气量的大小。

的大小。

(3)实验步骤:将油以0.1 mL/min的速率自平板模型底部入口注入,在浮力作用下油气顺目的层向上运移进入到A、B两个背斜圈闭中聚集成藏。在注油的同时,自平板模型的左侧入口以0、2.2、5和8.5 mL/min 4种不同的速率注水。记录不同注水速率条件下A、B两圈闭中的聚油气量。注油量总计为13.6 mL。

(4)实验结果与讨论:实验结果如表3所示。不难看出,无水注入时,A、B两个圈闭中的聚油量均为5 mL左右。随着左侧注水速率的增大,靠近注水一侧的圈闭(A)中聚集的油量不断减小。从注水速率为0时的5 mL减为注水速率为2.2 mL/min时的4 mL,再减至注水速率为5 mL/min时的3.5 mL,最后减至注水速率为8.5 mL/min时的2.5 mL。紧邻注油点下游的圈闭(B)中聚集的油量不断增加,在上列注水条件下,聚油量依次为5、6.5和7.5 mL。由此说明,流压作用是改变油气优势运移通道的决定性要素之一。

4 流向优势通道及其物理模拟实验

(1)地质模型:流向优势系指油气在运移过程中由于断裂倾角不同和浮力作用对油气运移方向的控制作用(图 8)。在沉积盆地内,由于孔隙介质中始终充满了地下水,油气的运移始终受到浮力的作用,正是这种最一般和最常规的动力作用,才出现有油

气自盆地中心向盆地边缘、自盆地深部向浅部运移的普遍规律。当有断裂出现时,油气运移方向和通道受浮力和断面(或储集层)倾角的控制。倾角越大,油气越易径直向上运移;倾角越小,油气越难顺断裂向上运移,它们可能在没有顺断裂面到达顶部或地面之前就已顺优势通道分流并在有关的圈闭中富集成藏。

(2)实验模型:如图 9 所示。图中构造的是一个

表 3 流压优势通道控烃特征物理模拟实验结果

Table 3 Physical modeling experiment results of characteristics of hydrocarbon migration controlled by predominant paths with fluid pressure

聚油单元		不同水力动力条件下目的层聚油量 $Q/(\text{mL} \cdot \text{min}^{-1})$				说 明
		0	2.2	5	8.5	
A	聚油量/mL	5	4	3.5	2.5	① 注油总量:13.6 mL
	聚油比/%	50	40	35	25	
B	聚油量/mL	5	6	6.5	7.5	② 注油速率:0.1 mL/min
	聚油比/%	50	60	65	75	③ A、B两圈闭洗油有损失

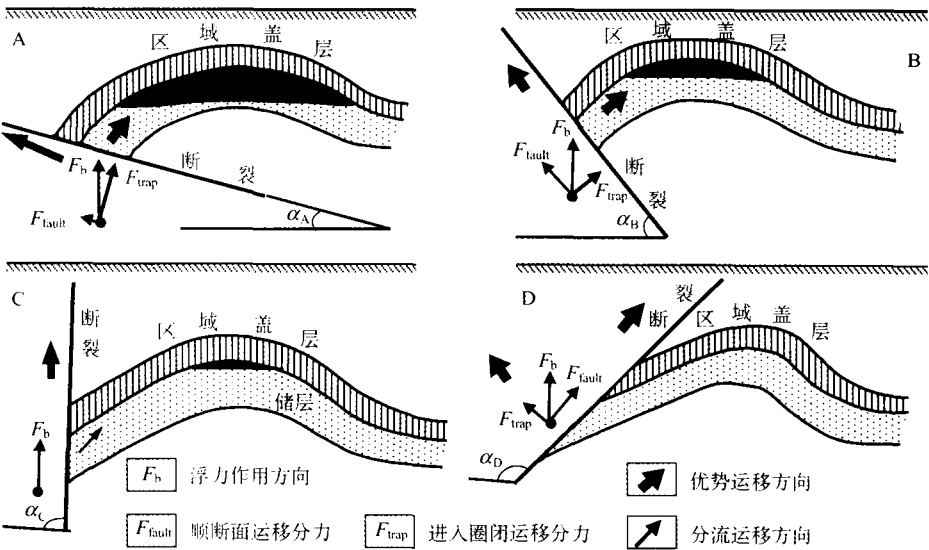


图 8 流向优势通道控油气作用地质概念模型
Fig. 8 Geological conceptual model for hydrocarbon migration controlled by predominant paths under flow direction control

表 4 流向优势通道控烃作用物理模拟实验结果

Table 4 Physical modeling experiment results of characteristics of hydrocarbon migration controlled by predominant paths under flow direction control

聚油单元名称		不同倾角条件下聚油量/mL			说明
目的层代号	渗透率/($10^{-3} \mu\text{m}^2$)	$\alpha=30^\circ$	$\alpha=60^\circ$	$\alpha=90^\circ$	
D ₀	416	0	0	0	总注油量 10.86 mL, 注油速率为 0.01 mL/min
D ₁	10 400	2	1	0	
D ₂	10 400	3.5	1.5	0	
D ₃	10 400	0.5	4	5	
D ₄	10 400	3.0	2.5	4	

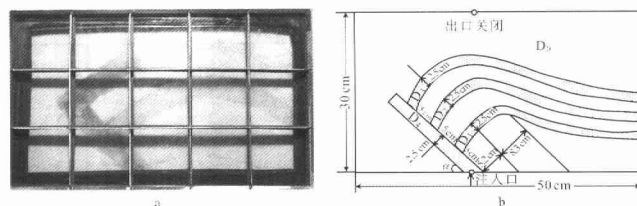


图9 流向优势控烃作用物理模拟实验模型

Fig. 9 Equipment of physical modeling experiment for hydrocarbon migration controlled by predominant paths under flow direction control

a—流向优势通道控烃作用物理模拟实验装置; b—流向优势通道控烃作用物理模拟实验模型

被倾角为 α 的断裂切开的背斜, 背斜中有 3 个目的层。目的层和断裂带分别用 D_1 、 D_2 、 D_3 和 D_4 表示, 实验模型中均用粒度为 $0.35 \sim 0.4$ mm 的砂, 其孔隙度约为 $29\% \sim 31\%$ 、渗透率为 $10.4 \mu\text{m}^2$ 。断裂带和目的层周围的围岩均由孔渗性较差的砂 (D_4) 充填, 砂粒粒度、孔隙度和渗透率分别约为 $0.05 \sim 0.1$ mm、 $29\% \sim 31\%$ 和 $0.416 \mu\text{m}^2$ 。

(3) 实验步骤: 将油从平板模型的底部入口注入到断裂带下部, 在浮力作用下油将顺着断裂向上运移。由于垂向分力的作用, 一部分油将顺着高孔渗的储集层分别自下而上进入到目的层一 (D_1)、目的层二 (D_2)、和目的层三 (D_3) 之中。由于断层倾角不

同, 分配量就不同。随着断裂带倾角的增大, D_1 和 D_2 两套目的层中的聚油量不断减小, D_3 目的层中的聚油量不断增加, 明显反映了浮力作用下的油气从下而上运移时断层倾角对油气运移的控制作用; 断裂带倾角小时, 油气顺断层运移的分力小, 进入目的层的分力大, 就地或就近成藏的概率大; 断裂带倾角大时, 油气顺断层运移的分力大, 进入到断裂带周边目的层的分力小, 运移距离远。高角度的断裂带有利于油气运移, 形成优势通道; 低角度断裂带有利于油气富集成藏, 不利于形成优势通道 (图 10)。

5 断面优势通道

作为油气运移的重要通道, 任何一条断层实际上是一个具有长、宽、高 (厚) 三维空间中的不规则的板状地质体, 油气在其中的运移是在一个三维空间体中进行。但由于这个地质体的厚度远远小于它的长度和宽度, 为了便于地质研究, 在进行宏观地质条件分析时, 可将其看成一个平面 (断层面), 即使如此, 油气在这样的断层面的运移过程也是非常复杂的, 因为这个面常常是个极不规则的复杂曲面。将断层对油气的运移控制作用的分析从 1 条剖面 (一维视角) 拿到平面上 (断层面的二维视角) 进行, 可以更全面、客观地研究油气沿断层面的运移路径和过程, 为勘探选区带和目标优选提供更可靠的科学依据。

不难理解, 油气在断层带中的运移不可能是均一的, 断裂带物质的非均一性、断裂带几何形态的不规则等都是导致油气在断裂带上不均一运移的重要因素。另一方面, 油气在断裂带中的运移也应具有

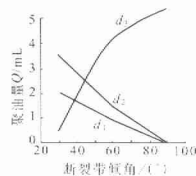


图10 流向优势控烃作用物理模拟实验结果统计图

Fig. 10 Physical modeling experiment results of hydrocarbon migration controlled by predominant paths under flow direction control

同, 3 套目的层的位置不同, 因而进入到它们之中的油量不同。改变断裂带倾角 (α), 记录不同倾角条件下进入到各目的层中的油量, 研究它们之间的变化规律和制约关系。每次实验注油总量和注油速率不变, 分别为 10.86 mL 和 0.01 mL/min。

(4) 实验结果与讨论: 共开展了 3 组不同倾角条件下的物理模拟实验, 详细结果见表 4, 从中可以看出, 输导油气的断层倾角不同, 油气在 3 套目的层中

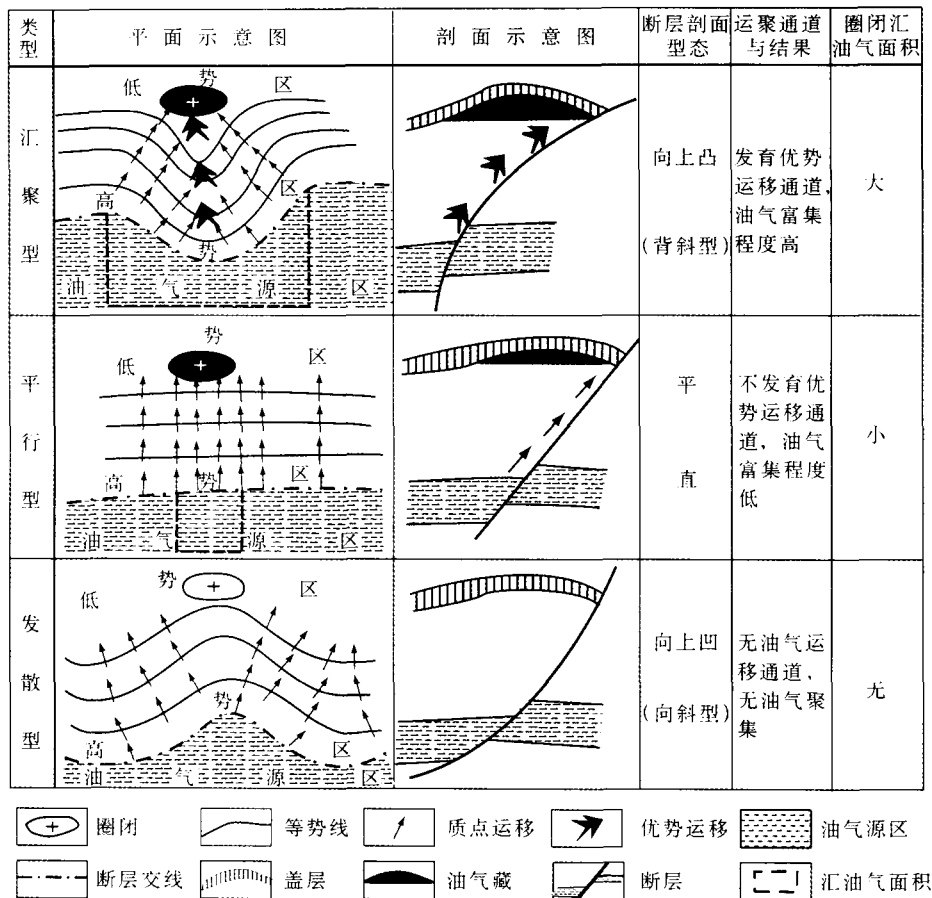


图 11 断面流体势场类型及聚烃原理

Fig. 11 Liquid potential field type and principle of hydrocarbon accumulation at fault section

优势通道^[23~26], 油气运移遵循沿着最大流体势降低方向和最小阻力的路径上运移, 这个通道称之为断面优势运移通道(图 11)。

6 油气优势运移通道研究的地质意义

(1) 追踪油气来源: 如前所述, 优势通道是油气运移优先流经的路径, 而且它输送了油气藏中的大部分油气, 那么就可以用它进行油源对比。当对运移的优势通道有一定的研究了解之后, 通过它逆推可以找到为油气藏供油的主要凹陷, 这样, 当一个油田有多个可能的油气来源时, 利用运移优势通道就可以找到真正的供油凹陷, 并利用其他一些手段(如地化)进行验证即可确定油源。

(2) 追踪油气藏: 利用优势通道原理逆推可以找到其油源, 正推也可以研究油气藏。油气运移本来可以有多种路径, 可以沿不整合面, 可以沿断层, 也可以沿高渗透性输导层, 这样, 在油源一定的情况下, 在每个不同的运移路径上, 只要有合适的圈闭存

在, 就有可能形成油气藏, 这就为油气藏的研究带来了极大的麻烦。而利用优势通道理论确定了油气优先运移的方向之后, 就可以将主要研究精力放在对优势通道范围内的圈闭研究之上, 这样就可以极大地节约成本, 提高勘探效率。

7 结论

(1) 油气运移实际通道只占输导层的 1%~10%, 但却运输了绝大部分的油气, 这就是优势通道, 它是油气在二次运移过程中无外来干扰情况下自然优先流经的通道。许多实例和实验模拟证明存在着油气运移的优势通道。

(2) 经物理模拟实验证明, 输导层储层物性的差异、输导层之上盖层沉降中心的偏移、水动力的流动、断层倾角及断面几何形态的不同形成了级差、分隔、流压、流向及断面优势运移通道。

(3) 研究优势通道对于追踪油气的来源和寻找有利勘探目标具有重要意义。

References:

- [1] SANDVILC E I, MERCER J N. Primary migration by bulk hydrocarbon flow [J]. *Organic Geochemistry*, 1990, 16(1): 83-89.
- [2] STAINFORTH J G, REINDERS J E A. Primary migration of hydrocarbons by diffusion through organic matter networks, and its effect on oil and gas generation [J]. *Organic Geochemistry*, 1990, 16(1): 61-74.
- [3] LI Mingcheng. An overview of hydrocarbon migration research[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2000, 27(4): 1-10(in Chinese).
- [4] LI Mingcheng. Reconsideration on some concepts in research of hydrocarbon migration and accumulation[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2002, 29(2): 13-16(in Chinese).
- [5] LUO Xiaorong. Review of hydrocarbon migration and accumulation dynamics [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2003, 14(5): 337-346(in Chinese).
- [6] HUA Baoqin, LIN Xixiang, YANG Xiaomei. The research of second migration and accumulation of natural gas[J]. *Natural Gas Geoscience*, 1994, 5(4): 1-31(in Chinese).
- [7] HAO Fang, ZOU Huayao, JIANG Jianqun. Dynamics of petroleum accumulation and its advances [J]. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(3): 11-21(in Chinese).
- [8] HIRSCH L M, THOMPSON A H. Minimum saturations and buoyancy in secondary migration [J]. *AAPG Bulletin*, 1995, 79(4): 696-710.
- [9] DEMBICKI H Jr, ANDERSON M J. Secondary migration of oil: Experiments supporting efficient movement of separate, buoyant oil phase along limited conduits[J]. *AAPG Bulletin*, 1989, 73(8): 1018-1021.
- [10] CATALAN L, XIAOWEN F, CHATZIS I, et al. An experimental study of secondary oil migration [J]. *AAPG Bulletin*, 1992, 76(4): 638-650.
- [11] THOMAS M M, CLOUSE J A. Scaled physical model of secondary migration [J]. *AAPG Bulletin*, 1995, 79(1): 19-59.
- [12] HINDLE A D. Petroleum migration pathways and charge concentration: A three-dimensional model [J]. *AAPG Bulletin*, 1997, 81(9): 1451-1481.
- [13] LI Mingcheng, LI Wei, CAI Feng, et al. Integrative study of preservation conditions of oil and gas pools[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1997, 18(2): 41-48(in Chinese).
- [14] PANG Xiongqi, JIN Zhijun, JIANG Zhenxue. *Quantitative Models of Hydrocarbon Accumulation* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003: 123-145(in Chinese).
- [15] LI Mingcheng. Basic principles of migration and hydrocarbon exploration[J]. *Earth Science*, 2004, 29(4): 379-383(in Chinese).
- [16] WANG Zhenliang, CHEN Heli. Preliminary approach to the definition and confirmation of effective pathways for migration and accumulation[J]. *Experimental Petroleum Geology*, 1999, 21(1): 71-75(in Chinese).
- [17] DEMBICKI H J, ANDERSON M J. Secondary migration of oil: Experiments supporting efficient movement of separate, buoyant oil phase along limited conduits[J]. *AAPG Bulletin*, 1989, 73(8): 1018-1021.
- [18] TOKUNAGA T, IMOJI K, MATSUBARA O, et al. Buoyancy and interfacial force effects on two-phase displacement patterns: An experimental study[J]. *AAPG Bulletin*, 2000, 84(1): 65-74.
- [19] ZENG Jianhui, JIN Zhijun. *Oil and Gas Secondary Migration and Accumulation Physical Model* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000: 207-210(in Chinese).
- [20] JIANG Zhenxue, FU Guang. Oil-gas migration type and supplying unit characteristics of Fuyu oil layer in Sanzhao area [J]. *Natural Gas Industry*, 1994, 14(6): 24-27(in Chinese).
- [21] HINDLE A D. Petroleum migration pathways and charge concentration: A three-dimensional model[J]. *AAPG Bulletin*, 1997, 81: 1451-1481.
- [22] ZHENG Youye, LI Xiaoju, MA Lijuan, et al. Application status of organic inclusion in their search on oil generating basin[J]. *Earth Science Frontiers*, 1998, 5(1-2): 325-331(in Chinese).
- [23] YIN Wei, WU Shenghe, WANG Ziyu, et al. A discussion on the mechanism of petroleum differential pumping function—A case study of the biyang depression [J]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10(4): 619-628(in Chinese).
- [24] ALLAN U S. Model for hydrocarbon migration and entrapment within faulted structures[J]. *AAPG Bulletin*, 1989, 73: 803-811.
- [25] ANDERSON R P, FLEMINGS D L, AUSTIN J, et al. Gulf of Mexico growth fault drilled, seen as oil, gas migration pathway[J]. *Oil & Gas Journal*, 1994, 94(3): 97-102.
- [26] HOOPER E. Fluid migration along growth faults in compacting sediments[J]. *Journal of Petroleum Geology*, 1991, 14(2): 161-180.
- [27] LUO Qun, BAI Xinhua. *Fault Controlling Hydrocarbon Theory and Practice—Study of Fault Action and Hydrocarbon Accumulation* [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1998: 61-75(in Chinese).

参考文献:

- [3] 李明诚. 石油与天然气运移研究综述[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(4): 3-10.
- [4] 李明诚. 对油气运聚研究中一些概念的再思考[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(2): 13-16.
- [5] 罗晓容. 油气运聚动力学研究进展及存在问题[J]. 天然气地球科学, 2003, 14(5): 337-346.

- [6] 华保钦, 林锡祥, 杨小梅. 天然气二次运移和聚集研究[J]. 天然气地球科学, 1994, 5(4): 1-31.
- [7] 郝芳, 邹华耀, 姜建群. 油气成藏动力学及其研究进展[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 11-21.
- [13] 李明诚, 李伟, 蔡峰, 等. 油气成藏保存条件的综合研究[J]. 石油学报, 1997, 18(2): 41-48.
- [14] 庞雄奇, 金之钧, 姜振学. 油气成藏定量模式[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 123-145.
- [15] 李明诚. 油气运移基础理论与油气勘探[J]. 地球科学, 2004, 29(4): 379-383.
- [16] 王震亮, 陈荷立. 有效运聚通道的提出与确定初探[J]. 石油实验地质, 1999, 21(1): 71-75.
- [19] 曾溅辉, 金之钧. 油气二次运移和聚集物理模拟[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000: 207-210.
- [20] 姜振学, 付广. 三肇地区扶余油层油气运移形式及供油气单元特征[J]. 天然气工业, 1994, 14(6): 24-27.
- [22] 郑有业, 李晓菊, 马丽娟, 等. 有机包裹体在生油盆地研究中的应用[J]. 地学前缘, 1998, 5(1-2): 325-331.
- [23] 尹伟, 吴胜和, 王子煌, 等. 油气差异泵吸作用机理探讨——以泌阳凹陷为例[J]. 地学前缘, 2003, 10(4): 619-628.
- [27] 罗群, 白新华. 断裂控烃理论与实践——断裂活动与油气聚集研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1998: 61-75.

《地学前缘》主题设置调整改革 三个主题 一年一轮回

从2006年开始《地学前缘》从季刊改为双月刊出版。2006年各主题内容因改刊期作过渡性调整。从2007年开始《地学前缘》从以往的10个主题5年一轮回改为三个主题一年一轮回:

每年年初的两期基本固定为“地球物质科学”主题;

每年年中的两期基本固定为“地球结构、构造与动力学”主题;

每年年末的两期基本固定为“地球表层科学”主题。

各期仍将保留“非主题来稿选登”。

各主题详细内容说明如下:

(1)“地球物质科学”主题: 主要研究地球物质的组成(元素、矿物、岩石、矿床、流体等)及其特征。本刊重点征集岩石学、矿床学、矿物学、结晶学、地球化学等方面的国内外前缘研究成果和发展态势的学术论文。

(2)“地球结构、构造与动力学”主题: 主要研究地球的结构、变形、变位及动力学。本刊重点征集构造地质学、大地构造学、板块构造学、大陆动力学、宇宙地质学、地球物理学、地球化学、高温高压岩石试验等方面的国内外前缘研究成果和发展态势的学术论文及相关的课题论文。

(3)“地球表层科学”主题: 主要探讨地壳、水圈、生物圈、大气圈之间的相互关系, 突出以人类的生存和人与地球协调发展为主线, 因而包含了大部分地球应用科学及其相关学科。本刊重点征集环境地质学与全球变化、灾害地质学、水文与工程地质学、地貌与第四纪地质学、找矿勘探学、能源地质学、应用地球化学、应用地球物理学、地层古生物学等方面的国内外前缘研究成果和发展态势的学术论文。