

文章编号: 1000-0550 (2005) 04-0719-07

松辽盆地西部斜坡带油气运聚的动力因素探讨

向才富^{1,2} 冯志强³ 吴河勇³ 解习农⁴ 李军虹^{1,2}

1(中国石油大学资源与信息学院盆地中心 北京昌平 102249) 2(中国石油大学教育部石油与天然气成藏机理重点实验室 北京昌平 102249) 3(大庆油田勘探开发研究院 黑龙江大庆 163458) 4(中国地质大学(武汉)资源学院 武汉 430074)

摘要 松辽盆地西部斜坡带自生伊利石钾氩测年反映本区油气成藏事件在时间上表现出集中性,在空间上具有广泛性,表现出油气成藏事件的幕式性。时间上的集中性表现在油气成藏时间主要分为三期:60 Ma、58 Ma、45 Ma;空间上的广泛性表现在位于油气运移路径上相距极远(35 km 直线距离)的两点具有相同的油气成藏时间,据此限定的油气运移最小速率为 4.5 km/Ma,该油气运移速率不能由传统的油气运移动力——水动力、浮力解释,两者所造成的油气最大运移速率约为 2 km/Ma,远远小于研究区油气实际运移的最小速率,说明研究区的油气运移必须考虑构造作用的影响。中国东部古近纪近东西向的构造挤压作用对松辽盆地西部斜坡带的油气运移、聚集产生了全方位的影响。构造挤压作用强化了泥岩超压作用,并可导致油气从拉张作用所形成的泥岩裂缝中排出,因而有利于油气的初次运移。构造活动的幕式性导致了流体的幕式活动,而流体的幕式活动导致了油气的幕式运移与成藏,因此构造作用是本区油气波浪式运移、幕式成藏事件的主要动力来源。近东西向的构造挤压作用形成了本区主要的背斜型圈闭,同时导致本区 NNE、NE 向断层性质转为封闭,形成本区主要的断块型油气藏。

关键词 油气运移 成藏动力学 松辽盆地西部斜坡带

第一作者简介 向才富 男 1975 年出生 博士后 地质流体及其成矿与成藏作用

中图分类号 P618.130.2 TE122.2 **文献标识码** A

构造与流体运移的关系越来越受到了地质学家的重视^[1-5],构造活动控制和影响流体运移的方式大致可以分为两类,其一是构造应力场直接驱动流体的运移^[3,5],其二是构造活动的间接效应控制流体的运移,如构造运动产生的地形高差^[1,2,4]、构造活动导致流体运移输导层孔渗性的变化等^[6]。前人在松辽盆地流体动力场的研究中几乎忽略了构造作用对流体及油气运移的影响。松辽盆地西部斜坡带油气成藏时间揭示了本区油气幕式运移、聚集的事实,通过对油气运移动力的对比分析,本文认为构造活动是导致本区油气幕式运移、聚集的主导动力因素,并探讨了本区晚白垩世—古近纪构造活动对本区油气运聚的影响。

1 地质背景

松辽盆地西部斜坡带位于松辽盆地大庆长垣以西,构造区划上包括传统的龙虎泡阶地、泰康隆起和广大的西部超覆带(图 1)。油气藏的平面分布规律可概括为“一串一线”,“一串”为阿拉新、二店、他拉

哈、白音诺勒、新店、江桥、富拉尔基等油气田大致沿松一大剖面呈串珠状分布;“一线”指油气藏自北向南沿齐家—古龙凹陷西侧的小林克—敖古拉—他拉哈构造带呈线形分布。青山口组一段泥岩和嫩江组一段泥岩是主要的烃源岩和盖层。根据本区现今生烃门限深度 1 350 m^[7]可以限定本区成熟烃源岩的分布范围(图 1),可见本区油气资源主要来源于东部的齐家—古龙凹陷。两套烃源岩之间的中部含油气组合,特别是萨尔图油层是本区主要的储集层和勘探目标。由于研究区除了东部龙虎泡阶地的地层倾角稍陡外,广大的西部斜坡带的地层倾角小于 1°,且彼此平行整合接触^[8]。研究区不存在复杂的断裂系统,决定了西部斜坡带油气运移的主输导体是砂岩输导体。齐家—古龙凹陷的青山口组烃源岩在中白垩世末期进入生烃门限,在白垩纪末期进入生烃高峰,嫩江组一段烃源岩在白垩纪末期进入生烃门限,而在早第三纪末期进入生烃高峰,白垩纪末期(65 Ma)是本区油气运移的关键时刻^[7-8]。

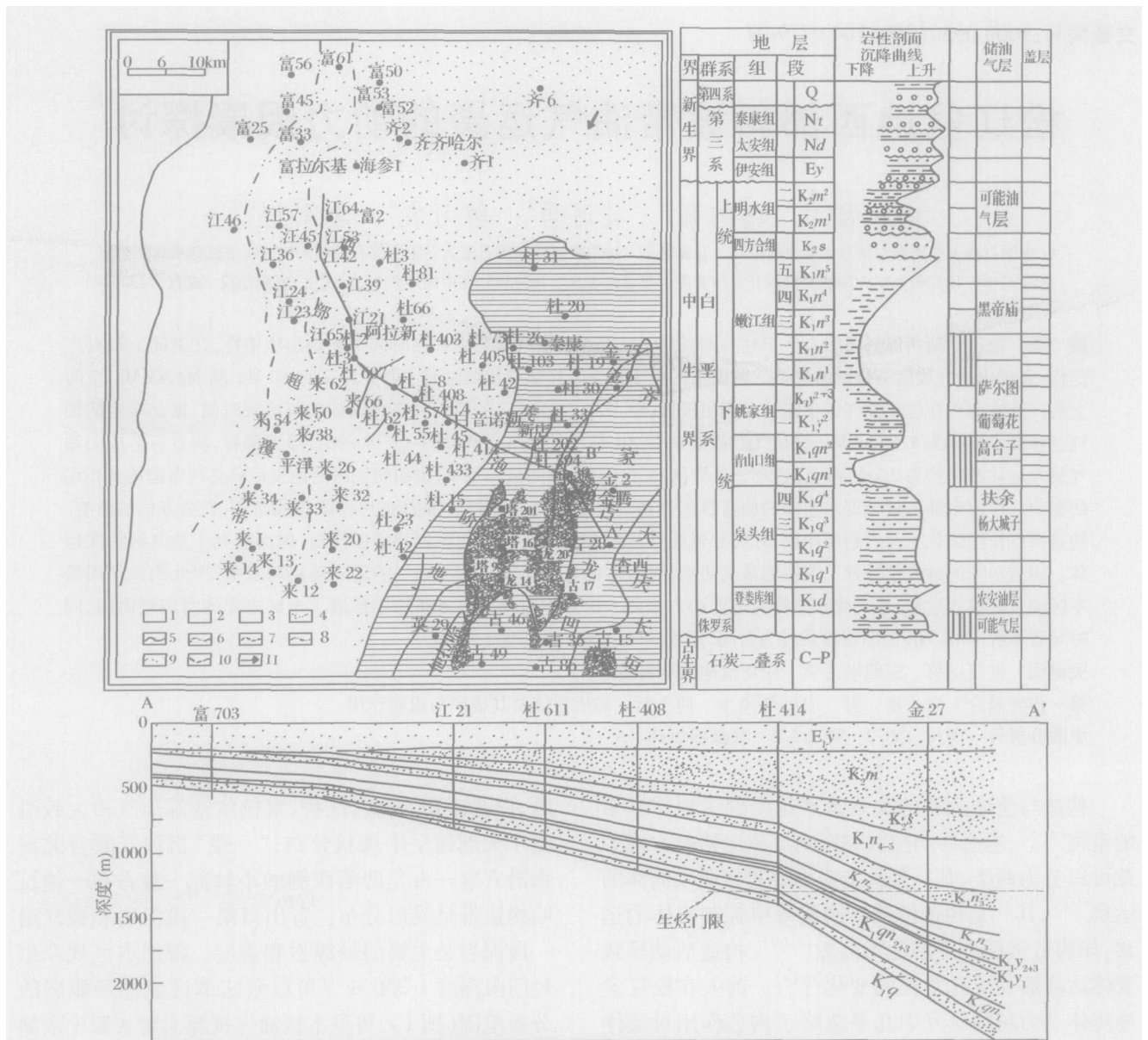


图 1 松辽盆地西部斜坡带石油地质特征

1. 生烃洼陷; 2. 油田; 3. 气田; 4. 储层; 5. 盆地边界; 6. 构造分区线; 7. 成熟烃源岩分布范围;
8. 青山口组地层分布范围; 9. 嫩江组地层分布范围; 10. 剖面位置; 11. 主物源方向

Fig 1 Petroleum geologic settings of the west slope zone, Songliao basin

1. hydrocarbon generating depression; 2. oil pool; 3. gas pool; 4. reservoir rock; 5. basin border; 6. tectonic dividing line; 7. mature source-rock;
8. border of Qing-Shankou formation; 9. border of Nenjiang formation; 10. cross section line; 11. main provenances

2 油气成藏期次

储层自生伊利石由于含有放射性元素 Ar, 因此可以用来测定年龄。而储层中自生伊利石生长的终止是由于油气代替地层水而引起的, 在众多砂岩自生矿物中是油气运移之前形成的最后成岩矿物, 所以自生伊利石 K—Ar 年龄将会记录油气注入事件的发生时间, 即油气成藏年龄^[9-10]。

测试结果显示, 松辽盆地油气运移成藏的年龄明显分为四期, 而且这四期油气成藏过程在空间上具有广泛性(图 2)。在时间上来说主要集中在古近纪的四个时间段, 特别是前三个成藏时期, 表现出时间上的高度集中性, 即 58 Ma、50 Ma 和 45 Ma, 说明在 60 Ma 和 45 Ma 左右导致了西部斜坡带几次普遍的油气成藏作用, 而最后一期成藏作用在时间上的集中性不如前三期成藏作用明显。

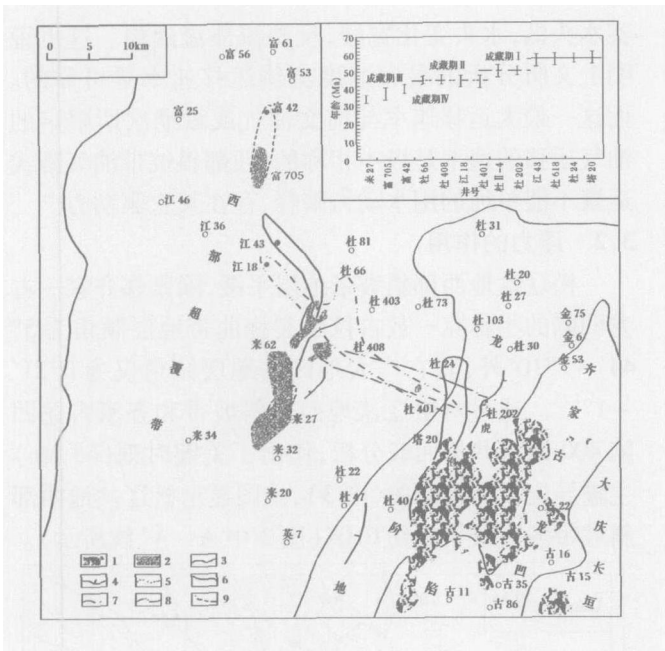


图 2 松辽盆地西部斜坡带油气成藏期次

- 1. 油田; 2. 气田; 3. 盆地边界; 4. 断层;
- 5. 构造分区线; 6~9. 第一 - 第四成藏期

Fig 2 Forming stages of the petroleum reservoir in the West Slope Zone of the Songliao Basin

- 1. oil pool; 2. gas pool; 3. basin border; 4. faults; 5. tectonic dividing line; 6~9. the first to the fourth stage of oil recharge

从测试井位平面分布图可见齐家古龙凹陷油气资源有明显向西部斜坡带运移的趋势:邻近齐家古龙凹陷的龙虎泡阶地最先成藏,成藏年龄为白垩纪末期(60 Ma),而远离齐家—古龙凹陷的西部斜坡带成藏

表 1 K—Ar 同位素测年分析数据表 (大庆勘探开发研究院提供)

Table 1 Oil recharge event defined by the K—Ar dating of the authigenic illite (from Daqing Exploration and Development Institute)

井号	深度 /m	层位	含油性	K /wt%	年龄 /Ma	伊利石 /%	伊蒙混层 /%	蒙脱石 /%	高岭石 /%	绿泥石 /%	其他矿物 /%
来 27	701	S	含油	4.46	34.5 ± 2.3	68	18	3	5	2	4
富 42	436.5	S ₂₊₃	含油	5.25	39.8 ± 2.7	63	26	0	10	0	1
富 705	449.5	S ₂₊₃	极富含油	5.18	37.8 ± 3.4	60	34	0	1	3	2
江 18	577	G	含油	4.8	44.7 ± 3.4	59	29	0	7	1	4
江 43	612	G	富含油	5.91	56.9 ± 3.4	52	25	3	10	6	4
江 26	665.3	S ₂₊₁	极富油	4.34	31.3 ± 2.6	70	22	3	0	0	5
杜 618	762	S ₂₊₃	含油	5.91	56.9 ± 3.4	57	31	0	6	3	3
杜 4	787.5	S ₁	含油	5.34	51.0 ± 3.1	55	20	6	14	1	4
杜 66	759	S	含油	4.13	45.5 ± 2.3	65	22	0	4	2	7
杜 408	889.3	S ₁	含油	4.28	45.4 ± 2.5	63	25	0	4	5	3
杜 24	1099	S	含油	5.35	57.5 ± 2.3	41	49	0	2	4	4
杜 401	1043	S ₁	富含油	5.75	44.8 ± 2.7	59	33	0	2	3	3
杜 202	1256.3	S	富含油	6.13	50.5 ± 2.3	64	18	6	5	3	4
塔 20	1176.6	S	含油	5.68	57.8 ± 3.4	67	16	4	4	4	5

年龄逐渐减小,一直持续至古近纪末期。同时任一成藏期次在空间分布上具有广泛性,表现在油气运移路径上相距极远的两点^[11],其油气成藏的时代一致,如塔 20 井、江 43 井同为萨尔图油层,成藏时间一致,均为古近纪初期(58 Ma),但是两井在油源方向上的直线距离约 35 km。若以两井成藏时间测试所显示的最大误差范围 7.7 Ma 计算(表 1,图 2),则油气向西部斜坡带运移的最小速率约为 4.5 km/Ma。齐家—古龙凹陷油气大规模生排烃的时间为白垩纪末期(~65 Ma),保证了一简单计算的误差不会太大。

油气在时间和空间上分布规律显示出油气运移与成藏作用的幕式性。这与最近的流体研究热点——超压流体的幕式运移吻合^[12],但是这种机制只能使油气从烃源岩向输导体运移,而很难在两个输导体之间发生,主要是由于储层中所聚集的传导超压很难达到使上覆岩石发生破裂的程度。更重要的是本区油气运移成藏时段(65~32.5 Ma)的松辽盆地不具有世界上典型欠压实盆地“高地温梯度、快速沉积”的地质背景特征(莺歌海盆地),主要表现在以下几点:

(1) 松辽盆地的油气运移、聚集主要发生在松辽盆地整体抬升,盆地萎缩褶皱阶段,特别是 65~45 Ma。一般认为盆地的抬升剥蚀对异常压力的保持,特别是异常高压流体的保存极为不利^[13];

(2) 松辽盆地的地温梯度,大地热流值在地质历史中不断变小,大地热流值由 1.92 降低至 1.75^[7],盆地的冷却,导致流体的收缩,对异常超压的发育及

为不利。因此研究区油气幕式运移、聚集的动力因素值得进一步探讨。

3 动力因素探讨

油气运移的动力主要为水动力、浮力和构造作用力。现通过三者的综合分析,探讨关键时刻油气向西部斜坡带运聚的主要动力来源。

3.1 水动力

水动力分析一般遵循达西定律,即:

$$= gz + P/\rho + q^2/2$$

式中 gz 为水动力, gz 为势能, P/ρ 为压能, 而 $q^2/2$ 为动能。由于地下水的流速一般很小,在实际应用中一般忽略动能的影响。由于西部斜坡带地层总体向东倾斜,构造势能对盆地流体向西运移起阻碍的作用,故分析水动力对油气运移作用的影响主要考虑压能的作用。

对压实作用所导致的流体运移速率可以作以下简单的推断^[14]:假设沉积盆地沉积速率为 R , 沉积物的孔隙度为 ϕ , 则盆地中面积 A 在时间 T 内所堆积的沉积物为: $R \times A \times T$, 所沉积的流体量为 $R \times A \times T \times \phi$ 。假设该时期所沉积的流体全部被排出,则流体运移的最大 darcy 流体速度为 $R \times A \times T \times \phi / T / A = R \phi$ 。即流体运移的速率与岩石的沉积速率成正比。假设沉积物的孔隙度最大值为 50%, 则压实流所能导致的最大流体速率为 $0.5R$ 。齐家古龙凹陷关键时刻的最大沉积速率为 80 m/Ma 。据此可以推断压实流体的 darcy 流体运移速率最大值为 40 m/Ma 。

由于 Darcy 流速深受孔隙度的限制:

$$v_x = q_x / \phi \quad \text{与} \quad v_z = q_z / \phi$$

其中, v_x 、 v_z 是油气在 X、Z 方向上的运移速度, q_x 、 q_z 为油气在 X、Z 方向上的 darcy 运移速度, ϕ 为运移路径上的孔隙度。假设松辽盆地所有运移路径上岩石最小不可压缩孔隙度为 5%, 同时假设所有压出流体均向西部斜坡带运移, 则由此可以推测的油气向西部斜坡带运移的最大速度为 800 m/Ma , 这一油气运移最大速率已经接近于典型前陆盆地的流体向斜坡带运移的速率^[14], 因而具有较大的可靠性。

压实水头是常用的分析古流体动力场的方法, 虽然该方法未进行古构造高差影响的校正, 但仍然是分析流体运移一般规律所不可替代的方法。松辽盆地中部含油气组合在关键时刻的压实流体水头分布图(图 3)显示在齐家古龙凹陷压实水头高, 水头变化梯度快, 反映流体运移速度快, 而广大的西部斜坡带压

实水头低, 水头变化宽缓, 反映流体流速慢。这也说明上文所分析的最大速度流体运移速率是可靠的。而这一最大运移速率与前文油气成藏期次所限定的油气运移的速率是极不相称的, 西部斜坡带油气幕式运聚不能单纯的用水动力解释, 存在其它驱动力。

3.2 浮力的作用

松辽盆地西部斜坡带地层平缓, 除紧邻齐家—古龙凹陷的小林克—敖古拉断裂挠曲带地层倾角为 $5^\circ \sim 7^\circ$ 外, 其它广大地区的地层倾角仅为 $0.21^\circ \sim 1.67^\circ$ 。通过对松辽盆地西部斜坡带和齐家古龙凹陷 400 余口井的回溯分析, 作出了关键时刻 (65 Ma) 主输导层顶部构造图(图 3), 该图显示松辽盆地西部斜坡带坡度最大值约 0.04 (图 3 中 A-A 线所示)。

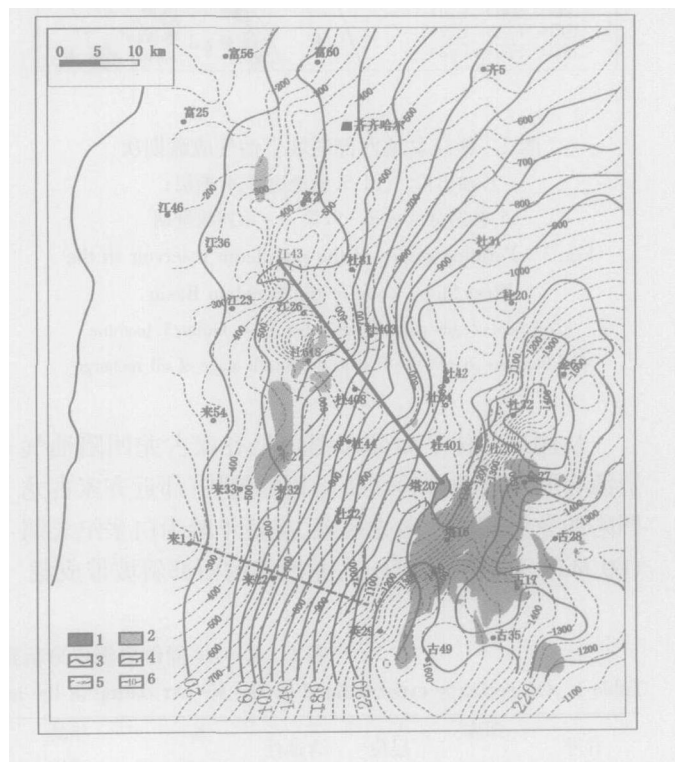


图 3 松辽盆地西部斜坡带压实流体势与浮力所产生的油气运移势对比

1~4 同图 1; 5. 白垩纪末构造等高线; 6. 白垩纪末压实流体势图

Fig. 3 Potential comparison driven by the compression fluid and the density difference between hydrocarbon and the formation water

1~4 was the same as figure 1; 5. Paleotectonic line at the end of Cretaceous; 6. Head of the compressional fluid

浮力所导致的油气的运移速率可以对比任意两点间浮力所产生的势梯度和水动力势梯度(图 3)作出定性的估算。浮力所产生的油气向西部斜坡带运

移的流体势为^[15]:

$$Ex = - (w - \rho) g \frac{\partial z}{\partial x}$$

式中 w 、 ρ 分别为地层水和油气的密度, g 为重力加速度, 最后一项代表坡度。假设油气的密度为 0.8 g/cm^3 , 地层水密度为 1.0 g/cm^3 。通过简单计算即可算出盆地任意两点间的势梯度, 通过与图 3 中相应两点间水动力梯度的对比即可估算浮力导致油气运移速率的大小。如图 3 中 A-A 线的浮力势差约 $0.2 \times (-150 - (-1150)) = 200 \text{ m}$, 即浮力势差相当于 200 m 水柱势差。这一势差与两点间的水动力势差大致相似。而沿江 43—塔 20 井的浮力势差 (100 m 水柱高差) 小于两点间的水动力势差 (160 m 水柱高差)。

松辽盆地西部斜坡带水动力势差与浮力势差大致相似说明由浮力和由水动力所产生的油气向西部斜坡带运移的速率大致相似, 两者的综合效应是油气向西部斜坡带最大的运移速率小于 2 km/Ma , 不能在西部斜坡带造成大规模的油气聚集事件, 特别是 $60 \sim 45 \text{ Ma}$ 的油气成藏事件。油气二次运移的动力主要有浮力、水动力和构造运动力。当浮力、压实流流体动力仍不能解释松辽盆地西部斜坡带的油气运移聚集事实时, 有必要进一步探讨构造作用对油气向西部斜坡带运聚的作用。

3.3 构造作用的影响

中国东部古近纪 ($65 \sim 23.5 \text{ Ma}$) 的构造演变受喜马拉雅构造域与环太平洋构造域的联合控制, 印度板块与欧亚板块由晚白垩纪的软碰撞逐渐转变为硬碰撞, 印度板块向北运移的速度进一步减小至 $5 \sim 6 \text{ cm/a}$ 。与此同时, 东亚大陆东部遭受到太平洋板块第一次比较强烈的向西俯冲、挤压, 日本、琉球、台湾和菲律宾等岛屿变成岛弧, 中国大陆普遍发生了近东西向的缩短和近南北向伸展的构造变形^[16]。近东西向地挤压作用对油气向西部斜坡带

的运移产生了重要的影响:

3.3.1 构造挤压对初次运移的影响

中部含水系统在四方台组至明水组所发生的反转作用为正反转构造, 即早期为郯庐断裂左旋产生的拉张应力, 后期为太平洋板块俯冲产生的挤压应力。早期拉张应力产生的微裂隙在后期构造挤压作用中趋向于关闭, 有利于流体自微裂隙中排出, 产生如图 4 所示的效应, 这对油气的初次运移是非常有利的^[17]。

构造挤压对泥岩超压有强化作用, 使超压带孔隙压力进一步提高, 其效果与垂向负载的增加一样, 只是方向为水平的。这种构造应力也许是超压流体幕式活动的触发器, 直接导致了油气自烃源岩向储层的运移。盆地模拟结果显示盆地中相同厚度的沉积物堆积, 在挤压背景条件所产生的异常流体压力比拉张背景下所产生的异常流体压力高 30% ^[18], 充分说明了构造挤压背景极大的强化了泥岩超压作用, 有利于油气的初次运移。

3.3.2 构造挤压对油气二次运移的影响

前人系统分析了构造挤压作用对油气二次运移的影响, 主要是认为构造挤压导致了油气的垂向与横向运移。松辽盆地黑帝庙油层的油气可能来自于中部含水系统的嫩江组或青山口组生油岩^[7], 而油气的这种运移聚集必须穿过上覆嫩江组泥岩。近 EW 向构造挤压作用一方面可以使岩石发生剪切破裂导致油气的垂向运移, 另一方面可以使先存的 NW 向断裂张开, 导致油气的横向运移^[19]。

本文认为构造挤压作用正是本区油气幕式二次运移的主导动力因素。构造应力对流体运移的影响在地震研究中早已经注意到^[5], 并形成了完整的地震流体力学, 在全国范围内建立了地震地下流体检测台网。在地震前期, 地下流体活动表现出规律性的异常, 主要为流体水位、水温的异常和水中溶解气体的系统异常。这种异常的表现形式是周期性的, 如水位表现为震前的跃升与震后的阶降。这说明构造应力导致的流体运

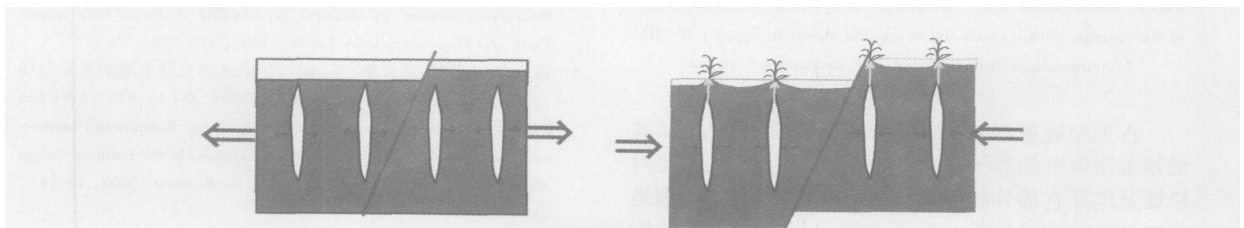


图 4 正反转构造导致流体从先存微裂隙中排出 (据 Wood, 1994 修改)

Fig 4 Fluid expulsion from microfracture due to tectonic inversion from extension to compaction (Modified from Wood, 1994)

移是波浪式的、幕式的,区别于压实流体运移的连续性和稳定性。这种幕式流体运移对油气的聚集来说无疑是最有效的,减少了油气在运移过程中的损失。流体每一个波状运移均与构造活动密切相关,构造活动的幕式性和瞬时性是流体波浪式运移的最基本的动力因素。

3.3.3 构造挤压作用对圈闭的影响

松辽盆地的所有圈闭基本上均定型于松辽盆地的构造反转期,最著名的如松辽盆地的大庆长垣,西部斜坡带临近生油凹陷的龙虎泡构造也形成于松辽盆地的构造反转期。构造挤压导致的地层褶皱是形成松辽盆地特殊的背斜层状油藏的关键。同时,近 EW 向的挤压应力场导致了先存的 NNE 及近 SN 向断层由开启变为封闭,阻碍了油气向浅层散失及向西部斜坡带进一步运移,形成许多断鼻或断块油气藏,在西部斜坡带最明显的是新店气田(图 5)。

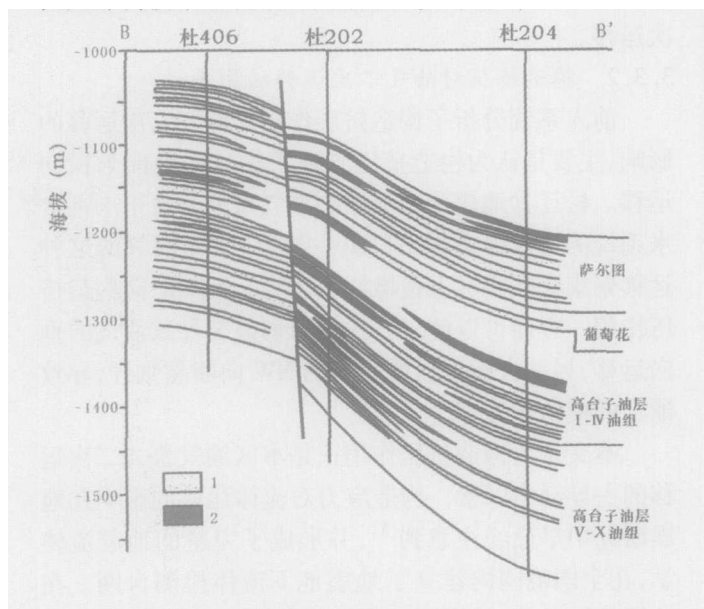


图 5 松辽盆地西部斜坡带新店油田油藏剖面图

(剖面位置见图 1 中 B - B')

1. 干层或水层; 2. 气层或气水同层

Fig 5 Crosssection of the Xindian oil reservoir in the West Slope of the Songliao Basin (Crosssection position shown in figure 1 B - B')

1. stratigraphy without hydrocarbon; 2. stratigraphy with gas

古近纪近东西向的构造挤压作用虽然对松辽盆地西部斜坡带的油气成藏产生了积极的影响,但是对松辽盆地其它部分的油气成藏是极端不利的,特别是松辽盆地东部斜坡带。松辽盆地自嫩江期之后的构造反转作用导致松辽盆地东南部地区大规模剥蚀,造

成已形成油气藏的破坏,因此在盆地的东部和西部形成了不同的含油气组合特征,东部以下部含油气组合为主,向西部逐渐过渡为以中上部含油气组合为主。

4 结论

通过上述分析得出如下结论:

(1) 通过本区油气运移主要动力(压实作用、浮力和构造应力)的对比分析,结合盆地流体动力场模拟和油气成藏时间的分析说明古近纪近东西向的构造挤压应力是油气向西部斜坡带运移、聚集的主要动力来源。

(2) 构造挤压对松辽盆地西部斜坡带的油气运移、聚集产生了全方位的影响。构造挤压作用可以强化了泥岩超压作用,并可导致油气从拉张作用所形成的泥岩裂缝中排出,因而有利于油气的初次运移。构造活动的幕式性导致了流体的幕式活动,而流体的幕式活动导致了油气的幕式运移与成藏,因此构造作用是本区油气波浪式运移、幕式成藏事件的主要动力来源。构造挤压作用导致本区 NNE、NE 向断层性质的改变,形成研究区主要的断块型油气藏。

参考文献 (References)

- 1 Ferket H (Leuven KU), Roure F, Swennen R, Ortuno S Fluid migration placed into the deformation history of fold-and-thrust belts: an example from the Veracruz basin (Mexico). *Journal of Geochemical Exploration*, 2000, 69: 275 ~ 279
- 2 Trave A, Clavet F, Sans M. Fluid history related to the Alpine compression at the margin of the south-Pyrenean Forland basin: the El Guix anticline. *Tectonophysics*, 2000, 321: 73 ~ 102
- 3 Tan C, Jin Z, Zhang M, *et al*. An approach to the present-day three-dimensional (3D) stress field and its application in hydrocarbon migration and accumulation in the Zhangqiang depression, Liaohe field, China. *Marine and Petroleum Geology*, 2001, 18: 983 ~ 994
- 4 Verweij J M, Simmelink H J. Geodynamic and hydrodynamic evolution of the Broad Fourteens Basin (The Netherlands) in relation to its petroleum systems. *Marine and Petroleum Geology*, 2002, 19: 339 ~ 359
- 5 Stanislavsky E, Garven G. A theoretical model for reverse water-level fluctuations induced by transient permeability in thrust fault zones. *Earth and Planetary Science Letters*, 2003, 210: 579 ~ 586
- 6 魏忠文,熊保贤,葛云龙,等. 南堡凹陷北部东营末期构造应力场与油气运移关系的探讨. *现代地质*, 2000, 14 (4): 435 ~ 439 [Wei Zhongwen, Xiong Baoxian, Ge Yunlong, *et al*. Relationship between structural stress field and hydrocarbon migration in the northern Nanpu depression at the late stage of Dongying. *Geoscience*, 2000, 14 (4): 435 ~ 439]
- 7 杨万里,高瑞祺,郭庆福,等. 松辽盆地陆相油气生成、运移和聚集. 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社, 1985. 200 ~ 208 [Yang Wan-

- li, Gao Ruiqi, Guo Qingfu, *et al* Generation and Accumulation of non-marine petroleum in the Songliao Basin. Haerbin: Heilongjiang Science and Technology Press, 1985. 200 ~ 208]
- 8 Zhou Y S, Littke R. Numerical simulation of the thermal maturation, oil generation and migration in the Songliao Basin, Northeastern China. *Marine and Petroleum Geology*, 1999, 16: 771 ~ 792
- 9 白国平. 伊利石 K-Ar 测年在确定油气成藏期中的应用. *石油大学学报(自然科学版)*, 2000, 24(4): 100 ~ 105 [Bai Guoping. Application of K-Ar dating technique to determination of timing of oil/gas entrapment. *Journal of the University of Petroleum*, 2000, 24(4): 100 ~ 103]
- 10 Lee M, Aronson J L, and Savin S M. K-Ar dating of time of gas emplacement in Rotliegendes sandstone, Netherlands. *AAPG Bulletin*, 1985, 69: 1381 ~ 1385
- 11 向才富, 夏斌, 解习农, 等. 松辽盆地西部斜坡带油气运移主导通道分析. *石油与天然气地质*, 2004, 25(2): 204 ~ 208 [Xiang Caifu, Xia Bin, Xie Xinong, *et al*. The main hydrocarbon migration pathway systems case study on the West Slope Zone of the Songliao basin, Northeast China. *Oil and Gas Geology*, 2004, 25(2): 204 ~ 208]
- 12 郝芳, 李思田, 龚再升, 杨甲明. 莺歌海盆地底辟发育机理与流体幕式充注. *中国科学(D辑)*, 2001, 31(6): 471 ~ 476 [Hao Fang, Li Sitian, Gong Zaisheng, *et al*. Mechanism of the underplating developed in the Yinggehai basin and its episodic fluid migration and entrapment. *Science in China (Series D)*, 2001, 31(6): 471 ~ 476]
- 13 Bethke C M. A numerical model of compaction driven groundwater flow and heat transfer and its application to the paleohydrology of intracratonic sedimentary basin. *Journal of Geophysical Research*, 1985, 90(B8): 6817 ~ 6828
- 14 Deming D. Regional permeability estimates from investigations of coupled heat and groundwater flow, north slope of Alaska. *Journal of Geophysical Research*, 1993, 98: 16271 ~ 16286
- 15 Bethke C M, Reed J D, Oltz D F. Long-range petroleum migration in the Illinois basin. *AAPG Bulletin*, 1991, 75(5): 925 ~ 945
- 16 万天丰, 朱鸿. 中国大陆及邻区中生代—新生代大地构造与环境变迁. *现代地质*, 2002, 16(2): 107 ~ 120 [Wan Tianfeng, Zhu Hong. Tectonics and environment change of Meso-cenozoic in China continent and its adjacent areas. *Geoscience*, 2002, 16(2): 107 ~ 120]
- 17 Wood R M. Earthquakes, strain-cycling and the mobilization of fluids. In *geofluids: origin, migration and evolution of fluids in sedimentary basins*. Edited by John Parnell, Published by the Geological Society, London. 1994, 85 ~ 98
- 18 Balen R V, and Clotting S. Tectonic control of the sedimentary record and stress-induced fluid flow: constraints from basin modeling in geofluids: origin, migration and evolution of fluids in sedimentary basins. Edited by John Parnell, 1994. published by the geological society, London. 1994. 5 ~ 26
- 19 华保钦. 构造应力场、地震泵和油气运移. *沉积学报*, 1995, 13(2): 77 ~ 86 [Hua Baoqin. Stress field, seismic pumping and oil-gas migration. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1995, 13(2): 77 ~ 86]

Discussion on the Dynamic Factors Controlling Hydrocarbon Migration from Depression to West Slope Zone of the Songliao Basin, Northeast China

XIANG Cai-fu^{1,2} FENG Zhi-qiang³ WU He-yong³ XIE Xi-nong⁴ LI Jun-hong^{1,2}

1(Basin and Reservoir Research Center of China University of Petroleum, Changping, Beijing 102249) 2(Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation Mechanism, China University of Petroleum, Ministry of Education, Changping Beijing 102249)
3(Prospecting and Exploration Institute of Daqing Oil Field, Daqing Heilongjiang 163458)
4(Resource Faculty of China University of Geosciences(Wuhan), Wuhan 430074)

Abstract The oil recharge event defined by the K-Ar dating of the authigenic illite proved to be episodic indicated by the following two factors. First, the recharge time is clustered in the following four periods, 60Ma, 58Ma, 45Ma, and 45-32Ma. Second, the first 3 stages of oil recharge are widely spread in the whole west slope zone of the Songliao basin. The oil-recharge event happened in two different places far away from each other (35km linearly) linked by the hydrocarbon migration pathway systems. According to the oil recharge time, the minimum hydrocarbon migration velocity is estimated to be greater than 4.5km/Ma, which cannot be explained by water dynamics and density difference between formation water and hydrocarbon. The velocity driven by the late two factors are estimated to be less than 2km/Ma, far less than the actual hydrocarbon migration velocity. This means that there exist other factors that driven the hydrocarbon to migrate westward. It is suggested here that the hydrocarbon migration and concentration was mainly controlled by the tectonic compression during the Paleogene. First, tectonic compression has promoted the initial migration of the hydrocarbon by strengthening the overpressure generated in the mudrock and driven the hydrocarbon out of the microfissures generated during the basin extension. Second, the episodic movement of the tectonic compression will result in the episodic movement of the formation fluid, which will drive the hydrocarbon migration and concentration episodically. This is what we found in the west slope zone of the Songliao basin. Finally, tectonic compression in an E-W direction has generated many anticlines in the basin, which is the most important trap in the Songliao basin. Tectonic compression has changed the characters of the faults that striking NNE, NE, which resulted in the forming of many fault-sealed oil reservoirs in the study area.

Key words hydrocarbon migration, hydrocarbon accumulation dynamics, west slope zone of Songliao basin