

文章编号: 0253-9985(2009)03-0330-07

鄂尔多斯盆地曙光地区延长组低丰度油藏成藏机理

周文¹, 苏复义², 戴建文¹

(1. 成都理工大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059)

(2. 中国石油化工股份有限公司 华北油田分公司 勘探开发研究院, 河南 郑州 450006)

摘要: 根据油气二次运移理论对曙光地区延长组特低丰度油藏的油气运移机理进行了分析, 主力烃源岩延长组长 7 段在燕山中、晚期 (白垩纪) 大量生烃排烃, 长 6、长 8 砂体成为油气运移的疏导层。在油气的运移过程中, 由于物性的差异, 岩性变化形成局部遮挡, 使得少量石油“残留”下来, 从而形成“石油运移泄流区内的低丰度油藏”的成藏机理。该类油藏是鄂尔多斯盆地, 甚至国内其他大型盆地应该重视的主要油藏类型之一, 也应该是今后研究的主体和勘探开发的重要目标。

关键词: 运移泄流面; 成藏概念模式; 低丰度油藏; 延长组; 曙光地区; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE122.1 文献标识码: A

Accumulation mechanism of low-abundance oil reservoirs in the Yanchang Formation of Shuguang oilfield, the Ordos Basin

Zhou Wen^{1,2}, Su Fuyi², Dai Jianwen¹

(1 State Key Laboratory of Reservoir Geology and Development Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 2 Research Institute of SINOPEC North China Company, Zhengzhou, Henan 450006, China)

Abstract The mechanism of oil-gas migration of the exceptionally low-abundance oil reservoirs in the Yanchang Formation of the Shuguang oilfield, Ordos basin, is analyzed in this paper by applying the theory of secondary hydrocarbon migration. The results show that the major source rocks of the Chang-7 member (the 7th member of the Yanchang Formation) had generated and expelled large amount of hydrocarbons during the mid-late Yenshanian (Cretaceous), and the Chang-6 and Chang-8 sandbodies acted as carriers beds for hydrocarbon migration. During the migration process, small amount of hydrocarbon was ‘left behind’ because of local barriers formed by physical property contrast and lithology changes, and formed the so-called low-abundance oil reservoirs inside the migration-discharge zone. This kind of reservoir is one of the most important reservoirs that deserve much more attention not only in Ordos Basin but also in other large basins in China. It shall be regarded as an important target for future hydrocarbon exploration.

Key words migration-discharge face; conceptual accumulation mode; low-abundance oil reservoir; Yanchang Formation; Shuguang area; Ordos Basin

镇原、泾川区块大地构造位置属于鄂尔多斯盆地西南部, 构造区划属于鄂尔多斯盆地天环坳陷南段, 面积合计 2 511.15 km² (图 1)。曙光地区位于镇原、泾川区块的川口含油气带上, 已完近 70

余口井。钻井的油气显示资料分析有如下特征: 显示普遍, 但强度相对较弱, 油迹、油斑, 强度较高的显示主要集中在长 6—长 8 油层组, 单井产能普遍较低, 出现了“见油容易产油难”的局面。

收稿日期: 2008-09-26。

第一作者简介: 周文 (1962—), 男, 教授、博士生导师, 油气田开发地质、工程。

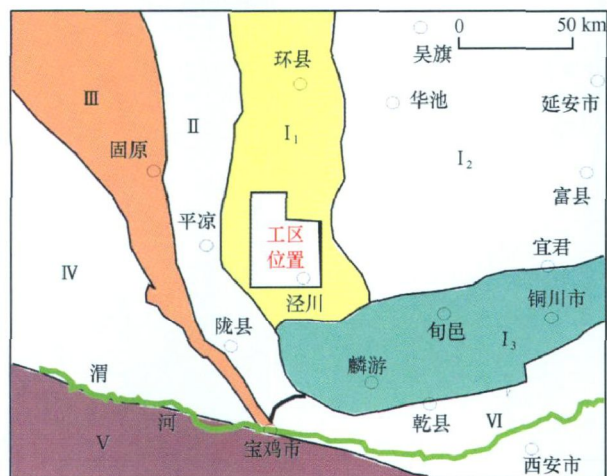


图 1 鄂南镇泾地区构造示意位置

Fig. 1 Location of structures in Zhenjing region the south of Ordos Basin

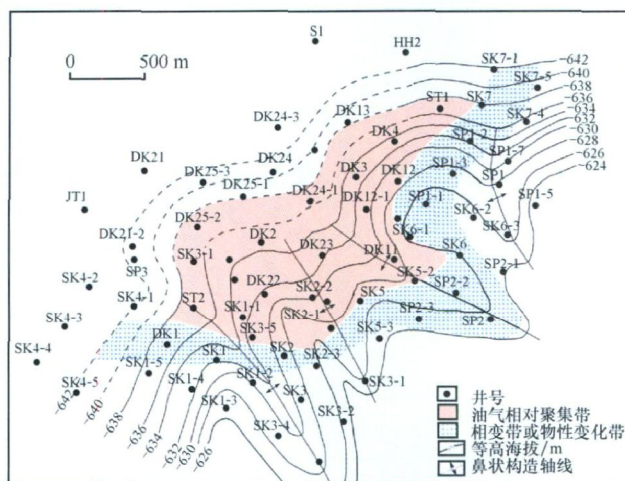
I₁. 天池-环县凹陷; I₂. 伊陕斜坡; I₃. 晋西挠褶;
II. 鄂尔多斯西缘逆冲推覆带; III. 固原断块; IV. 渭河断层
走向滑移盆地; V. 汾河张剪盆地; VI. 六盘山压剪盆地

延长组油藏石油储量丰度在 $0.1 \times 10^8 \sim 0.3 \times 10^8 \text{ t/km}^2$, 按邹才能等 (2006) 的定义, 总体上属于特低丰度油藏^[1]。开展延长组单斜油藏成藏机理研究, 建立正确的成藏模式, 对于评价该类油藏不仅有重要的理论意义, 而且对镇泾延长组的勘探开发, 甚至国内同类油藏的勘探开发具有重要指导作用。

1 基本地质特征

1.1 构造特征

盆地西南部的镇原、泾川区块构造变形相对弱一些, 主要受控于盆地西南缘的逆冲推覆作用。在晚三叠世末印支运动的影响下, 该区延长组底部与中三叠统纸坊组呈假整合接触, 长 5—长 4 油层组也有不同程度的剥蚀, 部分缺失长 3 油层组, 普遍缺失长 2 和长 1 油层组, 在其东南地区部分长 5—长 4 油层组被完全剥蚀, 甚至其下部地层也被剥蚀。从曙光地区长 6² 油层顶面的构造来看 (图 2), 整个地层在大趋势上是一个倾向为北西方向的单斜构造, 北西方向地势低而南东方向地势高, 但幅度相差不大, 最大幅度在 20 m 左右。在西北部地层构造相对更平缓, 东南地带显示地层有一定的褶皱。区内存在 4 排幅度很低的 NW—SE 方向的鼻状构造。

图 2 曙光地区长 6² 油层顶面构造及主要含油区分布Fig. 2 Top structures and distribution of major oilbearing zones in the Chang-6² in Shuguang area

1.2 烃源岩特征

镇泾地区延长组以三角洲—湖泊沉积体系为主, 三角洲平原亚相相对不发育, 主要发育三角洲前缘亚相^[2]。三叠系延长组、侏罗系均构成了河流—湖泊—河流的完整旋回。每一旋回的中部为湖盆发育的鼎盛时期, 发育了较厚的烃源岩^[3]。镇泾地区中生界烃源岩主要发育在三叠系延长组二段及三段, 其次为侏罗系延安组二段。实测镜质体反射率及煤阶分析表明, 延长组烃源岩主要为延长期湖泊还原环境下沉积的暗色泥岩、碳质泥岩及油页岩, 演化程度较高, 在区内全部达成熟阶段, 其中以长 7 的烃源岩最好^[4~6]。

长 9、长 8 油层组的烃源岩厚度小于 50 m; 长 7 油层组的烃源岩厚度为 60~80 m, 分布稳定, 是主力烃源岩; 长 6 油层组的烃源岩厚度为 20~30 m。该区有效烃源岩总厚度为 80~160 m, 中心部位厚度可达 120~160 m。其中长 7 油层组烃源岩分布广、厚度大、有机质丰度高, 有机质类型中—好且成熟度适中 (表 1), 为曙光地区延长组油藏的主力烃源岩, 也是中生界油气藏重要的物质来源基础。

1.3 储层特征

曙光地区延长组长 8 和长 6 油层组是主要储层, 主要为辫状河三角洲沉积体系, 油层组主要受控于河道砂体, 砂体类型有水下分流河道砂、河口坝砂、远砂坝砂、浅湖砂和决口扇砂体^[5]。目

表 1 镇泾区块烃源岩有机质丰度及评价

Table 1 The organic matter abundance and evaluation of source rocks in the Zhenjing block

层位			有机碳, %	沥青“A”, %	总烃, 10^{-6}	HC/C, %	厚度	储层评价
组	段	油层组						
延安组			2.14~7.32	0.053 9~0.260 0	263.2~645.6	0.81~1.44	大	差
延长组	T_{3y}^3	长 5	2.84/10	0.07/10	263.9/10	0.88/9	小	差-中
		长 6	1.37/31	0.05/31	200.9/30	1.46/30	小	差
	T_{3y}^2	长 7	2.42/16	0.15/16	828.6/16	2.56/16	大	中-好
		长 8	1.65/11	0.07/11	257.8/10	1.44/10	小	中-差
		长 9	1.92/5	0.09/5	314.2/5	1.77/5	小	差-中等
	T_{3y}^1	长 10	2.02/2	0.05/5	239.2/2	1.63/2	小	中-差

注:表中数据为平均值/样品数。

前,具备储集能力的砂体和良好油气显示的层段均为水下分流河道砂体和河口坝砂体,河道流向为 NE 向。曙光地区目前延长组油藏主要产油层位是长 6 油层组,其中长 6² 为主力油层段。长 6² 油层底部为灰绿色的泥岩,部分井钻遇厚层砂岩,中部为灰白色的细砂岩与灰绿色的泥岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩的互层,顶部为细砂岩,夹有薄层的泥岩、泥质粉砂岩及粉砂质泥岩,岩心观察见有少量构造裂缝^[7]。

长 6² 层砂岩的孔隙度为 3.2%~23.2%,平均 12.2%,(215 个样品)。其中大于 12% 的样品数占 59.5%。在 8%~12% 之间的样品占 31.2%;渗透率为 $0.02 \times 10^{-3} \sim 4.12 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均 $0.46 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, (样品数 195)。其中大于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的样品数占 78.5%。在 $0.1 \times 10^{-3} \sim 0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间的样品占 48.7%。可见,长 6² 层为低孔低渗储层。根据毛管压力曲线形态和参数特征分析,可将曙光地区长 6 组砂岩的孔

隙结构分为 4 种类型(图 3)。I 类为好的储层;II 类为一般的储层;III 类为差储层;IV 为非储层。其中 I 和 II 类储层为主要产油层。

2 油水分布特征

通过对曙光地区已完钻的近 30 余口井油气显示资料统计和测井解释结果有如下特征:显示普遍,但强度相对较弱,主要为油迹、油斑;强度较高的显示主要集中在长 6—长 8 油层组;砂层纵向上油气显示程度下部弱,上部特别是顶部强,通常在顶部见到油层,呈“油冒”形式存在(图 4),向下过渡为油水同层或水层。横向上从长 6² 含油砂体横剖面对比图(图 5)来看,长 6² 段为一单斜构造,顶部砂体相对连续, I (少量)、II 类储层主要分布在中、上部,主力油层也分布在中、上部,中、下部砂体连续性较差,储层变差,主要以 III 类储层为主,多为油水同层或水层。

从长 6² 砂层平面的含油性分布来看(图 2),主要的含油区分布在西北部的构造底部位,其南东处于一个北东向储层相对致密带的相对遮挡带之下。

综上所述,该区的油水分布具有以下特点:1)好油层主要在砂体中上部的 II 类储层里,而顶部的 III 类储层主要为差油层。如 ST2 井—SK3 井中上部有一段纯油层;2)上部连续砂体的中下部主要为油水同层,下部不连续的砂体物性较差,主要为水层;3)石油分布受到砂层分布或砂层内部储层向上倾方向上条件变差的制约;4)在总体的构造上倾背景下,形成局部岩性和物性封堵。

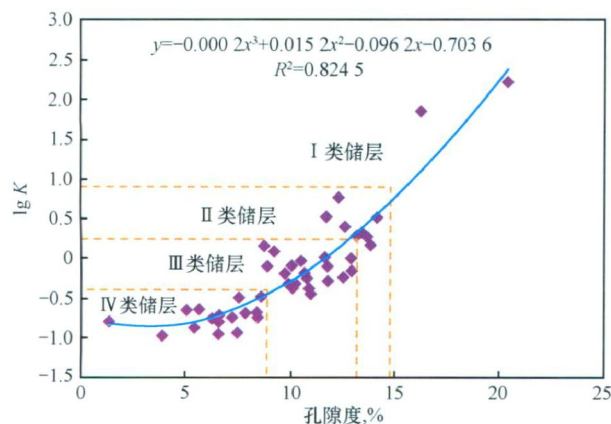


图 3 曙光地区长 6 组砂岩孔-渗关系

Fig. 3 Porosity vs permeability of the Chang-6 in Shuguang area

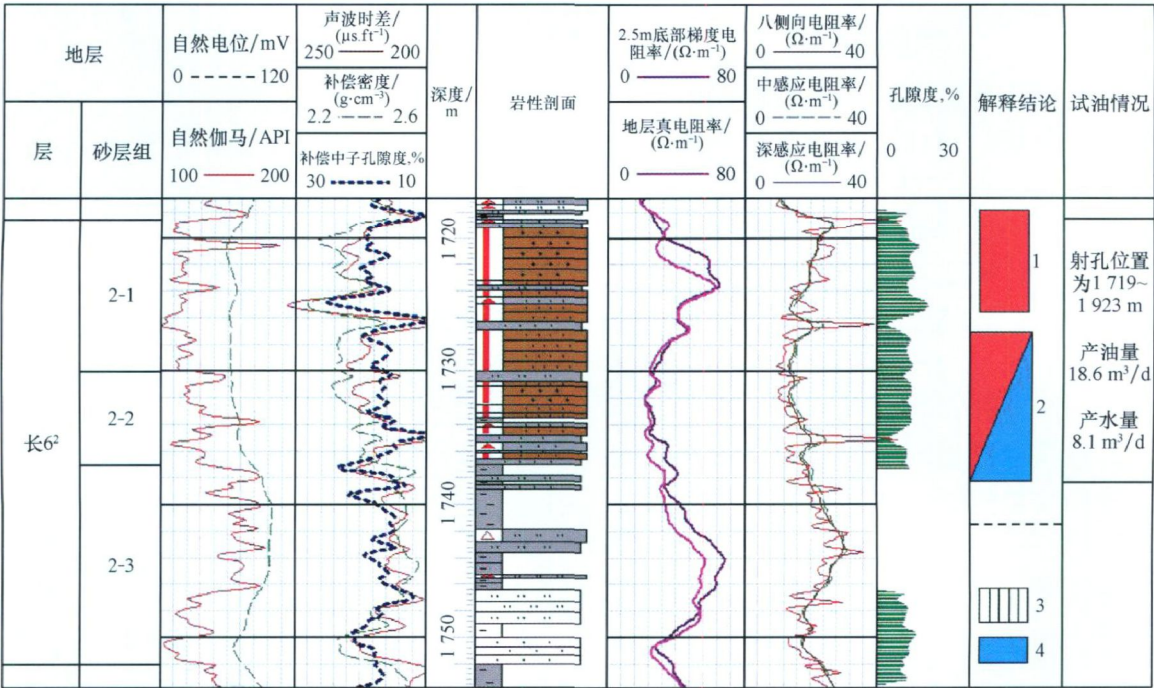


图 4 曙光地区 ST2 井长 6² 测井解释

Fig. 4 Log interpretation of Well ST2 in Chang-6², Shuguang area
1. 油层; 2. 油水同层; 3. 干层; 4. 水层

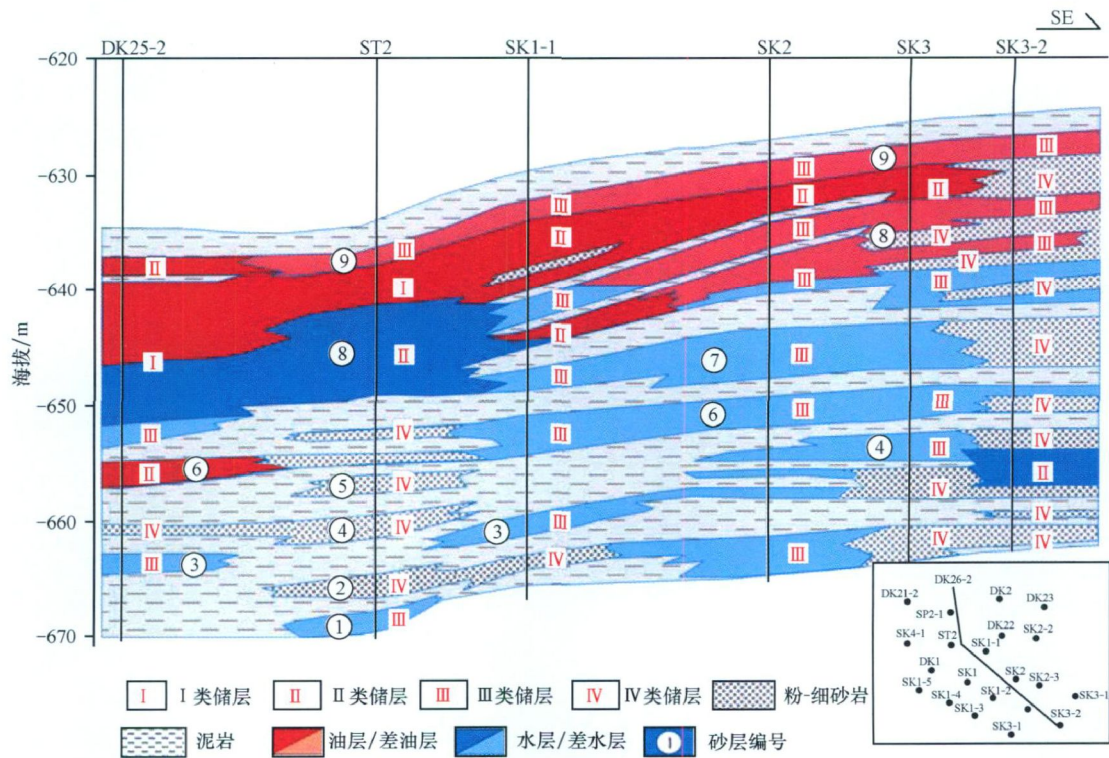


图 5 曙光地区 DK25 - 2—SK3 - 2 井长 6² 含油砂体对比剖面

Fig. 5 Correlation of the oil-bearing sandbodies of Chang-6² between Well DK25-2 and SK3-2 in Shuguang area

3 油藏成藏机理

单斜油藏的油气运移和封堵机理,国内外许多学者进行过研究。目前主要的认识是在储层中,油气运移的动力有流体势能、浮力、地层压力(不平衡压力条件下)地应力等^[8,9]。对于曙光地区,假设砂层亲水,其运移动力只考虑浮力条件下,运移阻力为石油运移方向上部地层的毛细管阻力。这时利用 Berge 的二次运移理论,可以讨论其运移聚集条件^[9]。

在石油运移的泄流区,如果上倾方向疏导的砂岩层出现相变带(或储层物性变化带),储层条件变差,油气要穿过这些疏导层运移,其运移动力(浮力)必须克服上部砂层的毛细管压力(图 6),即有:

$$(\rho_w - \rho_o)gH \geq P_d / \text{换算因子} \quad (1)$$

其中,

$$\text{换算因子} = - \frac{\sigma_{Hg} \cos \theta_{Hg}}{\sigma_{wo} \cos \theta_{wo}} \quad (2)$$

目的是将汞蒸汽毛细管压力换算成油水毛细管压力。

对应的临界连续长度 (L_0 , m):

$$L_0 = H \sin \theta \quad (3)$$

式中: σ_{Hg} 为汞的表面张力, mN/m; θ_{Hg} 为汞与岩石接触角, ($^\circ$); σ_{wo} 为油水界面张力, mN/m; θ_{wo} 为油水接触角, ($^\circ$); ρ_w 和 ρ_o 分别为水和油的密度, kg/m³; g 为重力加速度, 9.8 m/s²; H 为临界连续油柱高度, m; θ 为地层倾角, ($^\circ$); P_d 为排驱压力, Pa(取压汞实验中水银饱和度为 10% 时所对应的压力)。

定义 H_0 为上部差储层实际连续油柱高度。当 $H_0 > H$ 时,石油将突破上部差储层喉道向上运移;当 $H \leq H_0$ 时,石油将被封堵残留下来。

根据实际样品分析得知:延长组地层水和石油的密度分别为 1.0×10^3 kg/m³ 和 0.85×10^3 kg/m³, σ_{Hg} 为 480 mN/m, θ_{Hg} 为 140° , σ_{wo} 为 28 mN/m, θ_{wo} 为 39° 。长 6 顶面构造图(图 2)上地层倾角 θ 为 0.484° 。

根据公式(1)计算,得出长 6 砂体 4 类储层对应的最小油注突破高度 H_{min} 和最小连续油注长度 L_{min} 。

通过上面计算出 4 类储层孔喉结构计算结果(表 2)可以看出,不同类型的储层其临界连续高度和长度相差较大。

通过沉积相研究可知,曙光地区长 6、长 8 时期主要为三角洲前缘沉积^[5]。根据主力砂层在运移方向上不同类型储层连续长度统计结果与各类储层临界油柱长度对比,假设在生烃和排烃高峰

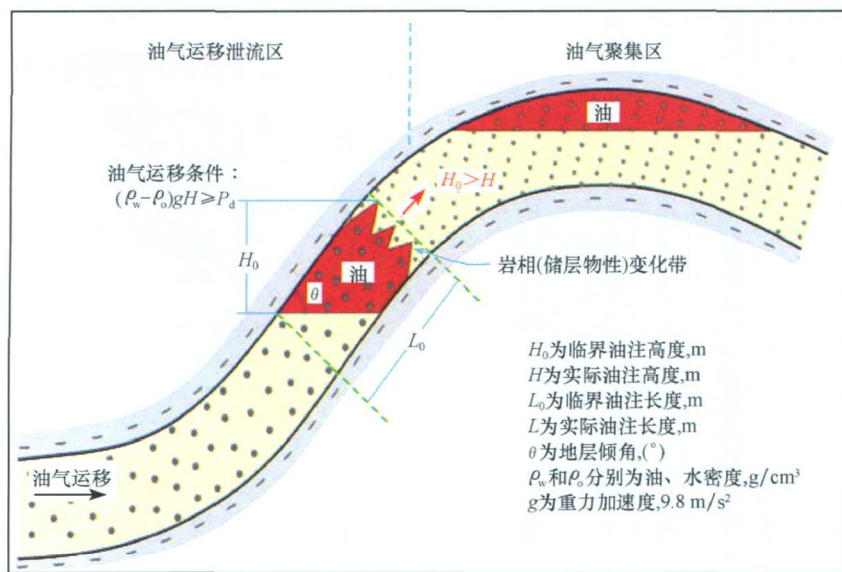


图 6 构造低部位储层中油气运聚机理解释示意图

Fig. 6 Schematic diagram showing the hydrocarbon migration and accumulation mechanisms in reservoirs at structure low

表 2 理论计算的不同类型储层连续油柱高度、长度

Table 2 Theoretically calculated height and length of continuous oil column in different types of reservoirs				
参数	P_d /MPa	$H_{m\text{ in}}$ /m	$L_{m\text{ in}}$ /m	运移方向上河道砂岩优势连续长度统计平均值 /m
I	0.35	23.6	1 102.8	3 400
II	0.79	46.7	2 178.7	4 500
III	1.10	65.1	3 953.4	8 900
IV	8.80	520.7	31 627.2	20 000

期油源充足时,形成的连续油柱长度可能达到突破上倾主要是 I, II, III类储层, IV类非储层则不可能过油成为封堵层。如果油源不充分或连续油柱高度和长度达不到目前砂体的运移方向上的优势值,石油运移向上运移突破的能力可能更小。

因此,曙光地区长 6、长 8 砂体在燕山晚期为成藏关键时期^[6-7],此时储层已经相对致密^[7],可以成为油气运移的通道,在没有明显圈闭的条件时,成为石油运移的泄流面,只是在遇到储层变差(如 IV类储层)或遇到岩性尖灭时,不能再继续运移,油气就被封堵而残留下来;另一方面,当石油通过其运移后,当连续油柱长度(高度)小于各类储层的最小油柱长度(高度)时,运移动力不足,油柱不能继续运移,而就地残留在储层里,形成相对较差的含油层。

从长 6² 含油砂层对比剖面来看(图 5),在单斜构造背景条件下,长 6² 顶部砂体相对较连续,底部砂体连续性较差,储层物性总体向上变好。从油水分布与砂体储层类型及分布之间关系可知: 1)好油层主要在砂体中上部的 II类储层中,而顶部的 III储层因连续油柱可能高,而运移残留后形成差油层。如 ST2井—SK3—2井顶部 ⑨号砂层为 III类差油层; 2)剖面中 IV类非储层不可能成为运移通道,而无法聚集石油,都显示干层; 3)同一砂层虽然分布连续,在石油运移路径上倾方向储层横向变差带,可以形成不同程度的相对封堵作用,低部位同样可以聚集石油。造成在剖面中油水分布的复杂性,可以出现纵向上多个砂层“油层相间”、“油层关系倒置”现象,如 DK25—2井低部 ③号砂层为水层、中部 ⑥砂层为油层,上部 ⑧为油水同层。横向上同一砂层也可能出现“油水分布混乱”、“低部位产油、高部位产水”等现象,如 ⑥砂层从低部位 DK25—2井开始为油层,向上到

ST2井为干层,再到 SK1—1井, SK2井, SK3井变为水层; 4)剖面中顶部的 ⑨号 II类储层没有遮挡,只是石油在运移后而残留下来的石油,在 ST2—SK3—2井形成差油层。

4 成藏概念模式

综上所述,曙光地区长 6油藏成藏模式可概括为以下几点:

1) 镇泾区块主力烃源岩主要为长 7油层组湖相泥岩,主要位于镇原、泾川区块的西北、北部。该主力烃源岩主要的成油期为燕山中—晚期,即白垩系沉积时期,该时期是构造变形期,鼻状构造和地层中的裂缝主要形成于该时期^[7]。该时期为石油生成和运移成藏的关键时期。

2) 构造研究表明,曙光地区不存在局部构造圈闭和明显的“岩性圈闭”,为 NW 倾的单斜地层,处于石油运移的泄流区。其东南部的西 61、西 55 等井区存在构造—岩性圈闭是石油聚集区(图 7)^[10-13]。

3) 燕山成藏时期,类似于长 6和长 8的相对连续砂体是石油运移的通道,在没有明显圈闭条件时,成为石油运移的泄流面。在石油运移泄流面内,由于砂层叠置时造成横向岩性变化形成的遮挡,横向上物性的变化造成上倾方向的相对封堵。这些造成油水分布关系复杂化,砂岩中石油的富集程度不仅取决于储层质量,还与上倾方向的相对封堵层能够封堵住的油柱高度大小有关。在许多相对封堵层形成的局部“油藏”内,砂层的含油程度可能不高,造成油富集程度低、含油丰度低等特征。因此,按成因分,曙光地区长 6和长 8这类油藏应该属于单斜构造石油运移泄流区内因岩性或储层物性变化造成的局部封堵,而形成的泄流区内低丰度油藏(图 7)。

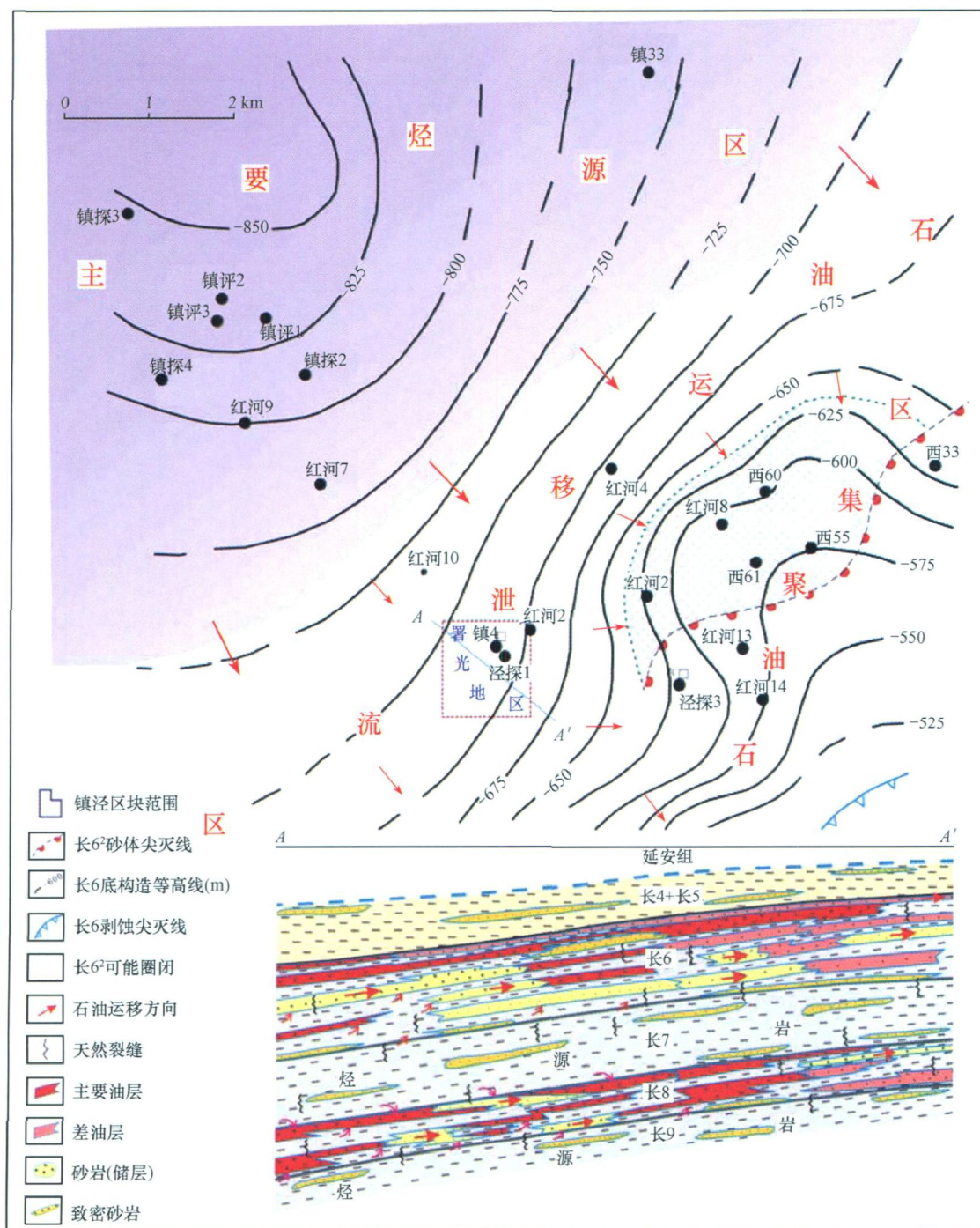


图 7 镇泾曙光地区延长组泄流面内低丰度油藏成藏模式

Fig. 7 Accumulation model of low-abundance oil reservoirs within discharge face of the Yanchang Formation in Zhenjing-Shuguang area

5 结论

曙光地区延长组烃源岩(主要为长7烃源岩)在燕山中-晚期(白垩系沉积时期)大量生烃排烃,长6和长8砂体成为石油运移的泄流面,石油通过其运移后由于主要为物性差异、岩性变化而“残留”下来,从而形成曙光地区“泄流区内的特低

丰度油藏”。因此,在这种油气运移泄流区内,因储层条件的变化,引起油水分布的变化,可能是十分常见的,特别是陆相地层中或非均质性较强储层更是如此。说明在过油带(泄流区),即使是构造低(包括向斜、单斜等)部位,在不存在明显的“岩性圈闭”、“构造圈闭”条件下,也能形成油气

(下转第 349 页)

- 构造学意义 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2): 237~241
- 8 赵澄林, 李儒峰, 周劲松. 华北中新元古界油气地质与沉积学 [M]. 北京: 地质出版社, 1997. 29, 120~122
- 9 孟祥化, 葛铭. 中朝板块层序·事件·演化 [M]. 北京: 科学出版社, 2004. 60~100
- 10 Veizer J, Demovic R. Environmental and climatic controlled fractionation of elements in mesozoic carbonate sequences of the western Carpathians [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1973, 43(1): 258~271
- 11 Veizer J, Demovic R. Strontium as a tool for facies analysis [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1974, 44(1): 93~115
- 12 牟保磊. 元素地球化学 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1999. 30~34, 174~177, 205~210
- 13 谢建成, 杜建国, 许卫, 等. 安徽贵池地区含锰岩系地质地球化学特征 [J]. 地质论评, 2006, 52(3): 396~408
- 14 刘文均. 湖南泥盆系碳酸盐岩中锶的分布及其沉积环境 [J]. 沉积学报, 1989, 7(2): 15~19
- 15 胡明毅. 塔北柯坪奥陶系碳酸盐岩地球化学特征及环境意义 [J]. 石油与天然气地质, 1994, 15(2): 158~163
- 16 邵龙义. 湘中早石炭世沉积学和层序地层学 [M]. 北京: 中国矿业大学出版社, 1997. 79~87

(编辑 高 岩)

(上接第 336 页)

的相对集聚, 成为具有开采价值的“油藏”, 不过这类油藏的油气聚集丰度可能相对较低。这些区域分布应该是广泛的, 在中国东、西部许多盆地都应该存在, 是沉积盆地中除常规石油圈闭油藏以外的主要油藏类型, 也应该是今后研究的主体和勘探的重要目标。

参 考 文 献

- 1 邹才能, 陶士振, 谷志东. 中国低丰度大型岩性油气田形成条件和分布规律 [J]. 地质学报, 2006, 80(11): 1739~1751
- 2 刘自亮, 王峰, 李树, 等. 陕甘宁盆地西峰油田主要产层储油砂体沉积微相组合及特征 [J]. 沉积学报, 2005, 23(2): 248~254
- 3 周兴熙. 成藏要素的时空结构与油气富集——兼论近源富集成藏 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(6): 711~716
- 4 张克银. 鄂尔多斯盆地南部中生界成藏动力学系统分析 [J]. 地质力学学报, 2005, 11(1): 18~21
- 5 张哨楠, 胡江泰, 沙文武, 等. 鄂尔多斯盆地南部镇泾地区延长组的沉积特征 [J]. 矿物岩石, 2000, 20(10): 248~254
- 6 温爱琴, 范久霄. 鄂尔多斯盆地镇泾地区三叠系烃源岩地化特征及勘探前景 [J]. 河南石油, 2003, 17(2): 7~10
- 7 唐民安, 孙宝岭. 鄂尔多斯盆地泾川地区中生界油气富集受控因素及勘探方向 [J]. 河南石油, 2004, 14(4): 4~6
- 8 高帮飞, 邓军, 王庆飞, 等. 构造体制转换与成藏作用——以鄂尔多斯盆地为例 [J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(3): 9~12
- 9 周文, 黄辉, 王世泽, 等. 盖层及断层带的封堵作用评价 [M]. 四川成都: 四川科学技术出版, 2000. 56~76
- 10 周文, 刘飞, 戴建文, 等. 镇泾地区中生界油气成藏影响因素 [J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(2): 5~12
- 11 宋国奇. 成藏理论研究中的系统论——从“含油气系统”谈起 [J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(2): 111~115
- 12 丁晓琪, 张哨楠, 周文, 等. 鄂尔多斯盆地北部上古生界致密砂岩储层特征及其成因探讨 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(4): 491~496
- 13 宁宁, 陈孟晋, 孙粉锦, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系风化壳古油藏的确定及其意义 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(2): 280~286

(编辑 高 岩)

(上接第 342 页)

- 14 North F K. Petroleum Geology [M]. London, UK: Chapman Hill, 1985
- 15 Ronov A B. Organic Carbon in sedimentary rocks [J]. Geochemistry, 1985, (5): 510~536
- 16 何自新. 鄂尔多斯盆地演化与油气 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2003
- 17 黄第藩, 李晋超, 张大江. 陆源有机质的演化和成烃机理 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1984
- 18 李贤庆, 候读杰, 胡国艺, 等. 鄂尔多斯盆地中部气田地层流体特征与天然气成藏 [M]. 北京: 地质出版社, 2005
- 19 夏新宇. 碳酸盐岩生烃与长庆气田气源 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2000
- 20 夏新宇, 洪峰, 赵林. 烃源岩生烃潜力的恢复探讨——以鄂尔多斯盆地奥陶统碳酸盐岩为例 [J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(4): 307~312
- 21 包建平, 王铁冠, 王金渝, 等. 下扬子地区海相中、古生界有机地球化学 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1996
- 22 邵建军, 李明宅. 我国海相碳酸盐岩的有机相及其生油气潜力 [A]. 石油与天然气文集 (第四集) [C]. 北京: 地质出版社, 1995. 65~77

(编辑 高 岩)