

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2021.03.016

鄂尔多斯盆地长7段源储组合特征与油气成藏模式

高岗^{1,2}, 梁晓伟^{3,4}, 朱康乐^{1,2}, 淡卫东^{3,4}, 孙明亮^{1,2}, 尤源^{3,4}, 冯胜斌^{3,4}

- (1. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249; 2. 中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249; 3. 中国石油长庆油田分公司勘探开发研究院, 陕西 西安 710018; 4. 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室, 陕西 西安 710018)

摘要:依据不同单井黑色页岩、暗色泥岩与储集层的垂向叠置特征,将鄂尔多斯盆地长7段源储组合划分为I、II、III、IV、V和VI 6种类型。不同类型源储组合的分布区域存在差异。I、II和IV型源储组合主要分布在黑色页岩发育范围之内,储集层含油性普遍较好。III、V和VI型源储组合主要分布在黑色页岩发育范围之外,储集层含油性在局部地区较好。黑色页岩分布区内的油气连续性分布较好,其中黑色页岩生成的油气主要为垂向强充注,暗色泥岩生成的油气主要为就近运移充注;在缺乏黑色页岩发育的三角洲前缘地区,油气以弱充注为主,其中暗色泥岩内的油气就近运移聚集,黑色页岩内的油气主要进行长距离侧向运移,油气在局部地区富集。

关键词:源储组合; 油气成藏模式; 黑色页岩; 长7段; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: P618.13

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2021)03-0198-08

Characteristics of Source-reservoir Assemblage and Hydrocarbon Accumulation Model of Chang 7 Member in Ordos Basin

GAO Gang^{1,2}, LIANG Xiaowei^{3,4}, ZHU Kangle^{1,2}, DAN Weidong^{3,4},
SUN Mingliang^{1,2}, YOU Yuan^{3,4}, FENG Shengbin^{3,4}

- (1. College of Geosciences, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China; 2. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China; 3. Exploration and Development Research Institute of PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an 710018, Shaanxi, China; 4. National Engineering Laboratory for Low Permeability Oil and Gas Field Exploration and Development, Xi'an 710018, Shaanxi, China)

Abstract: the source - reservoir assemblage of the Chang 7 Member in Ordos Basin is divided into six types according to the characteristics of vertical superposition of black shale, dark mudstone and reservoirs in different wells. Type I, II and IV source-reservoir assemblages are mainly distributed within the development range of black shale, with high oil and gas enrichment. Type III, V, and VI source-reservoir assemblages are mainly distributed outside the development range of black shale, in which oil and gas are only locally enriched. The continuity of oil and gas is good in

收稿日期: 2020-05-07; 修回日期: 2021-03-20

基金项目: 国家科技重大专项“鄂尔多斯盆地致密油资源潜力、甜点预测与关键技术应用”(2016ZX05046-005-002)。

作者简介: 高岗(1966-), 男, 教授, 博士, 油气地质、油气地球化学、油气成藏与分布规律及资源评价。E-mail: gaogang2819@sina.com。

the black shale distribution area. the oil and gas from the dark shale are strong charged, and that from the dark mudstone are charged from nearby areas. In the delta front area where black shale is lacking, the charging is weak. Oil and gas from the dark mudstone migrated and accumulated, while those from the black shale migrated laterally over a long distance, and concentrated locally.

Keywords: source - reservoir assemblage; hydrocarbon accumulation model; Chang 7 Member ; Ordos Basin

鄂尔多斯盆地地处中国大陆中部,位于华北地台的西部,北起阴山,南至秦岭,东抵吕梁山,西达六盘山一带,横跨陕、甘、宁、蒙、晋5省区,面积为 $37 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中盆地本部面积为 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$ (任战利,1994)。盆地主力含油层系三叠系延长组发育一套湖泊-三角洲相沉积,延长组沉积时期是鄂尔多斯盆地发育的鼎盛期,长7期湖盆面积达到最大(张文正等,2006;杨华等,2007)。烃源岩的地球化学研究表明,长7段优质油源岩形成于半深水、强还原、淡水-微咸水的陆相湖泊沉积环境(杨华等,2005),长7段优质油源岩在盆地大部分地区均已达到成熟-高成熟早期演化阶段。研究区油藏为典型的岩性油藏,储集条件较差,储层非均质性强。油藏的形成主要受优质烃源岩、有利储集砂体的控制(杨华等,2007)。

鄂尔多斯盆地延长组长7段源岩和储层的接触关系主要为垂向叠置或紧邻接触(付金华等,2005;杨华等,2010),烃源岩主要以生烃作用产生的增压为主要排烃动力(张文正等,2006),油气层具有大面积分布,含油气性的区域非均质性显著(姚泾利等,2013)。前人对长7段源岩、储层及致密油成藏机理等已进行了大量研究(李德生,2004;杨华等,2007;陈永胜等,2009;李元昊等,2010;邓秀芹等,2011;宋和平等,2011;张云霞等,2012;赵彦德等,2012;钟大康等,2013;郭凯,2017),但长7段源岩和储层有多种配置关系,不同类型储层的油气赋存机理存在差异,关于不同源储配置关系对致密油成藏的控制作用尚缺乏深入研究。因此,笔者旨在对不同源储特征进行分类,明确不同源储组合的控油气作用,以期对下一步油气勘探具有借鉴和指导作用。

1 源储组合类型的划分

通过对长7段油藏解剖可见,其源储组合为源储一体,连续分布的致密储层与烃源岩相邻共生,为

页岩油/致密油成藏提供了有利的地质条件(邹才能等,2012)。根据沉积类型、砂体结构、厚度以及源岩发育特征,结合储集层物性、孔隙特征、裂缝发育程度、产油能力等,将鄂尔多斯盆地长7段源储配置关系分为6种类型(图1、表1)。

I型源储组合的地质特征为长7段底部发育有厚层优质黑色页岩,向上逐渐过渡为暗色泥岩和砂岩,长 7_1 和长 7_2 段发育厚层砂岩,中间夹有薄层黑色页岩和暗色泥岩,具有砂包泥的特征,烃源岩和储层质量较好,具有致密油成藏良好的地质条件。I型源储组合砂体间暗色泥岩不发育,只能靠黑色页岩供烃,储层含油性较好(图1、表1)。

III型源储组合的特征为长7段底部发育有厚层优质黑色页岩和有效暗色泥岩,生排烃能力较强,长 7_1 和长 7_2 段的砂岩厚度变薄,为中厚层砂体,中间夹有中厚层有效暗色泥岩,较有利于致密油成藏(图1、表1)。所以,II型源储组合发育厚层砂体+薄层砂体,砂体间发育暗色泥岩;与暗色泥岩临近的砂体中优先聚集来自暗色泥岩生成的烃源岩;远离暗色泥岩的厚层砂体中主要赋存来自黑色页岩生成的油气,储层含油性相对较好。

III型源储组合的特征为长 7_3 底部发育有中厚层优质黑色页岩,长 7_1 和长 7_2 段发育中厚层有效暗色泥岩,砂体较厚,油气主要来自暗色泥岩烃源岩,储层含油性较差;在暗色泥岩有效源岩供烃较差的砂体中赋存有黑色页岩生成的油气(图1、表1)。

IV型源储组合的地质特征表现为黑色页岩发育于长 7_2 段,且黑色页岩和暗色泥岩呈薄互层,长 7_1 和长 7_3 段发育中厚层砂岩夹有薄层有效泥岩,有效烃源岩的生排烃能力降低,储层质量较差。IV型源储组合黑色页岩位置上移,黑色页岩较薄,砂体也不太发育,砂体厚度较小,主要是薄层砂夹泥岩层。油气主要来自黑色页岩,暗色泥岩烃源岩供烃较少,储层含油性较差(图1、表1)。

V型源储组合的地质特征表现为黑色页岩基本不发育,有效烃源岩主要是暗色泥岩,长 7_3 段主要发育厚层暗色泥岩,长 7_1 和长 7_2 段发育中厚层砂岩

夹有薄层有效暗色泥岩,有效烃源岩的生排烃能力降低,主要靠暗色泥岩供烃,储层质量较好,总体上储层的含油性较好(图1、表1)。

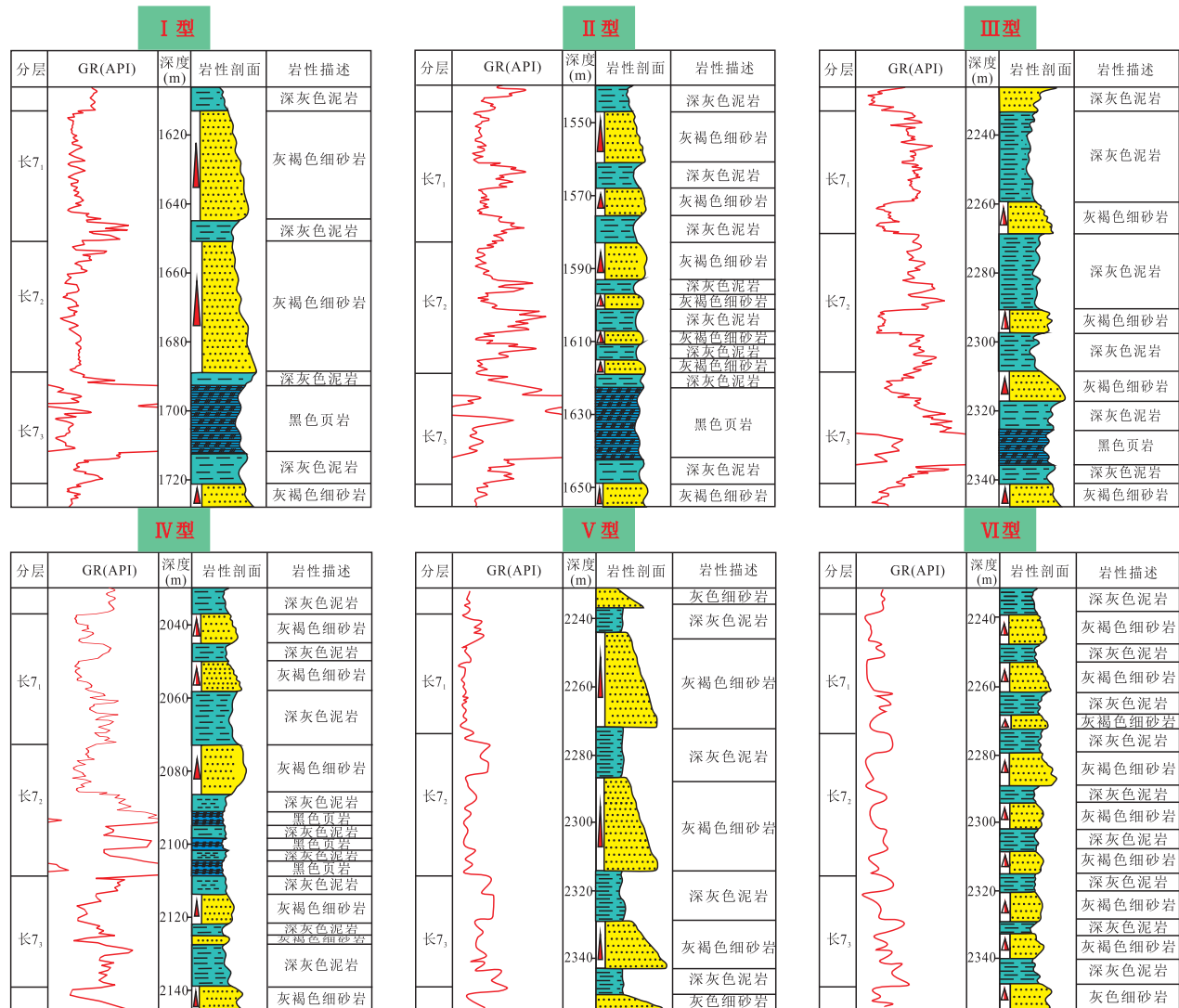


图1 鄂尔多斯盆地长7段源储组合类型

Fig. 1 Source-reservoir assemblage types of the Chang 7 Member in the Ordos Basin

表1 鄂尔多斯盆地长7段典型区块致密油源储组合特点

Tab. 1 Tight oil source-reservoir assemblage characteristics of Chang 7 typical block in Ordos Basin

源储组合类型	沉积相类型	黑色页岩相对位置	砂体厚度(m)	有效源岩厚度(m)	油层厚度(m)	单井试油日产量(t/d)
I	重力流沉积	长 7_3	>30	>20	>20	0~33(9.3)
II		长 7_3	20~30	>20	10~20	0~24.5(7.5)
III		长 7_3	<20	>20	<10	0~23.1(4.2)
IV		长 7_1 -长 7_2	<20	>20	<10	0~7.5(3.4)
V	三角洲沉积	不发育黑色页岩	>30	>20	>10	0~14(8.5)
VI		不发育黑色页岩	<30	<20	<10	0~8.3(3.6)

VI型源储组合的地质特征表现为黑色页岩极不发育甚至是无,有效烃源岩主要是暗色泥岩,长₇₃段主要发育厚层暗色泥岩,长₇₁和长₇₂段发育中薄层砂岩与中厚层有效暗色泥岩,有效烃源岩的生排烃能力较差;储层质量较差,除原地暗色泥质有效烃源岩外,黑色页岩也会侧向供给少量烃类,含油性较差(图 1、表 1)。

2 源储组合类型分布特征

长 7 段源储组合主要受控于黑色页岩与有效暗色泥岩的分布范围,其中 I—IV 类源储组合主要发育于重力流沉积区,黑色页岩为主要烃源岩;V 和 IV 类源储组合主要分布于三角洲前缘沉积区,暗色泥岩为主要烃源岩,黑色页岩也有部分贡献。根据单井分析结果和源岩分布区域来看,长 7 段源储组合以 I 型、II 型和 III 型为主(图 2)。

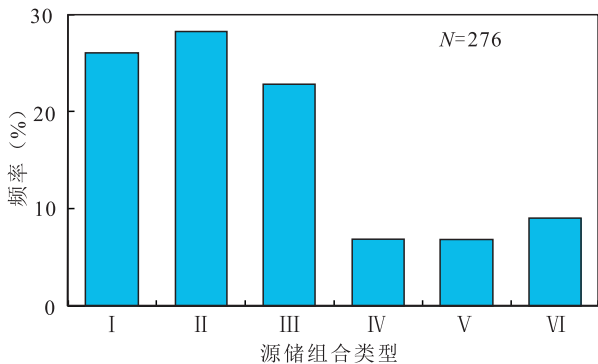


图 2 鄂尔多斯盆地长 7 段源储组合类型频率分布图

Fig. 2 Frequency distribution map of source-reservoir assemblage types in the Chang 7 Member of Ordos Basin

从油藏解剖及油气来源分析来看,长₇₁段主要赋存来自黑色页岩的油气,长₇₂段赋存来源于黑色页岩和部分有效暗色泥岩的油气。源岩控藏作用明显,尤以黑色页岩控藏为主。不同源储组合含油性有较大差异,总体上砂体和源岩越发育,含油性越好。表明砂体发育程度也是控制油藏发育的一个因素。源储组合特征表明长 7 段为典型近源自生自储成藏。综合重力流与三角洲沉积区储盖组合特征差异,可以看出,重力流沉积区控制长 7 段油气成藏的主要因素是砂体的发育程度,而三角洲沉积区控制长 7 段油气成藏的主要因素是烃源岩。平面上,不同源储组合成片状、环带状分布,其中 IV 和 I 型组合分布在 II 型范围之内(图 3)。

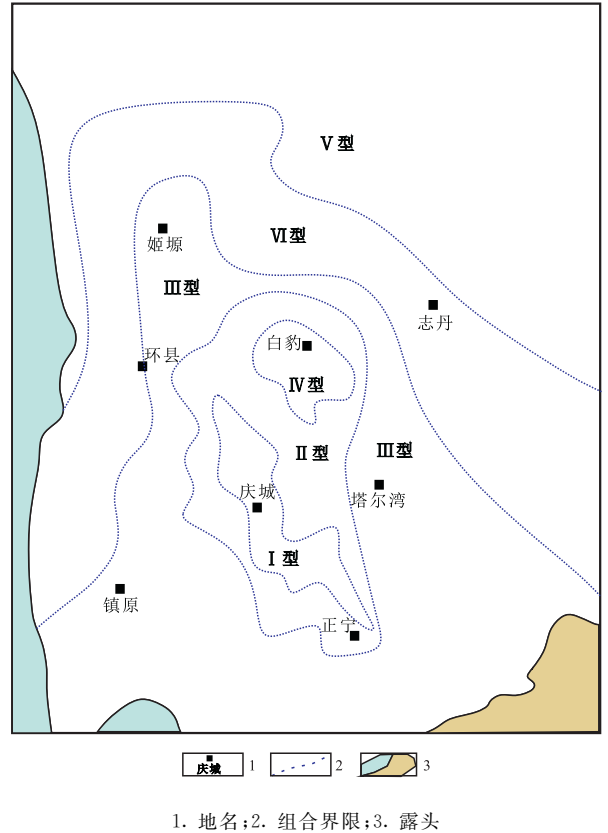


图 3 鄂尔多斯盆地长 7 段源储组合类型平面分布图
Fig. 3 Plane distribution map of the source-reservoir assemblage types of the Chang 7 Member in Ordos Basin

由于不同源储组合烃源岩与储集层发育的差异,油气产能存在一定差异。通过统计分析(图 4), I 型源储组合单井产能高的井所占比例明显要高,其次是 III 型源储组合,III 类组合产能变化较大,多数钻井产能与 IV 和 VI 型储盖组合相近,VI 型和 IV 型源储组合的单井试油产量总体较低,V 型源储组合产能总体高于 IV、VI 型和多数 III 储盖组合(图 4)。

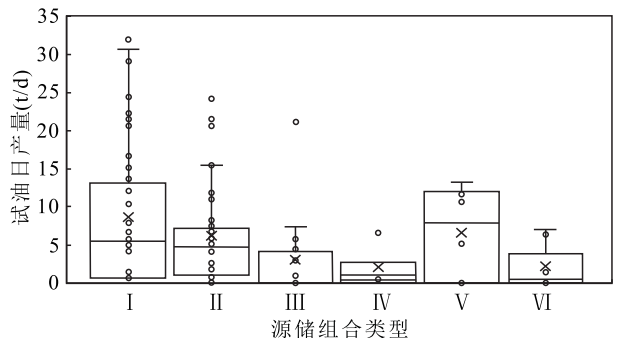


图 4 长 7 段不同源储组合类型试油产量箱状图

Fig. 4 Box diagram of oil test output of different source-reservoir assemblage types in Chang 7 section of the Ordos Basin

I型源储组合主要分布在重力流沉积区(图5)。单井试油产量结果显示,I型源储组合地区多分布产油井,长 7_1 和长 7_2 段单井试油产量最大分别超过20 t/d和30 t/d,与I型源储组合中底部发育厚层优质黑色页岩有关。III型源储组合围绕着I型和IV型储盖组合分布,为长7段沉积期的湖盆中心,沉积水体最深。单井试油产量结果显示,III型源储组合地区存在产油井和产水井,该地区长 7_1 和长 7_2 段单井最大试油产量仅为分别超过15 t/d和21 t/d。III型源储组合主要围绕III型储盖组合分布,主要属于三角洲沉积

区,产油井较少,但长 7_1 段单井日产可以达到21.51 t/d,长 7_2 段单井日产总体较低。III型源储组合发育多套中厚层有效暗色泥岩,黑色页岩发育较少,烃源岩质量相对较低,中上部发育有中厚层砂体,储层质量较好。IV型源储组合主要分布在白豹地区,存在产油井和产水井,长 7_1 段单井日产油可达13.18 t/d。V和VI型源储组合主要分布在III型外围,远离黑色页岩分布区,有暗色泥岩分布,长 7_1 段最高日产油可达12.84 t/d。总体来说,I、II和IV型源储组合范围内的含油性最好(图4、图5)。

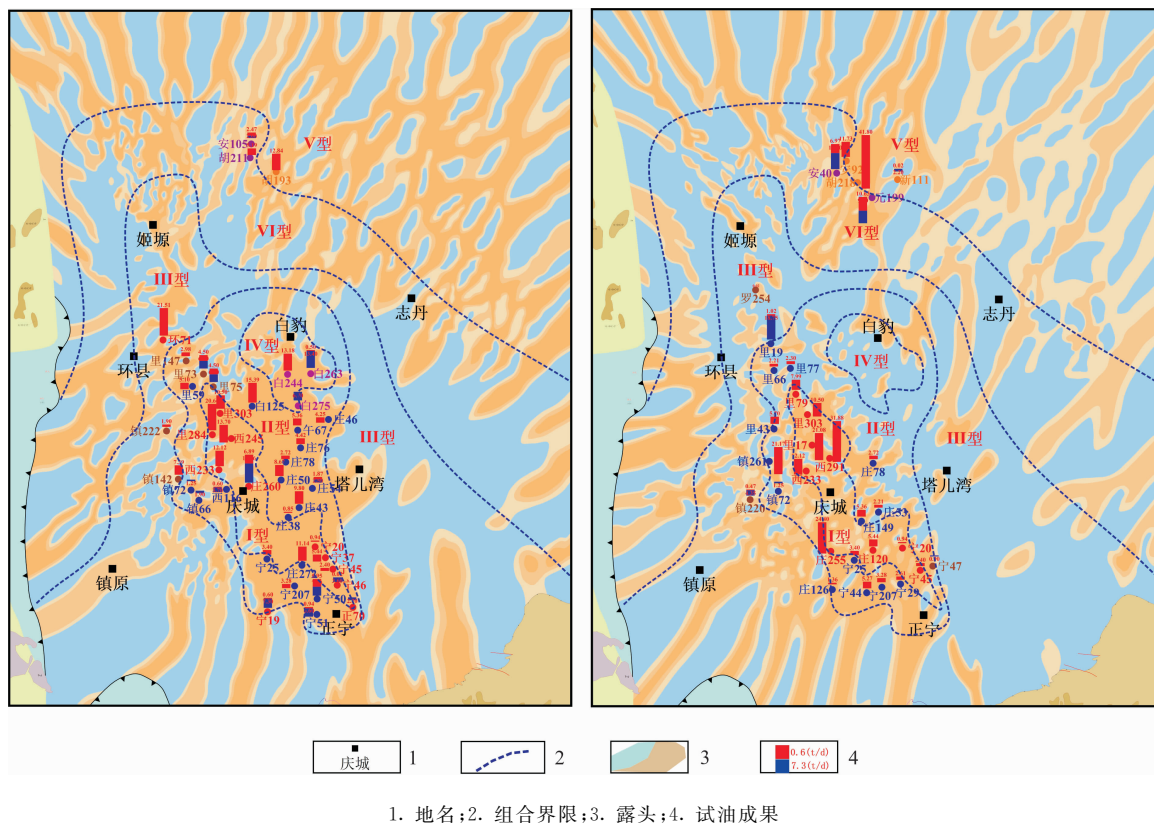


图5 鄂尔多斯盆地长 7_1 (左)和长 7_2 段(右)试油产量与源储组合叠合图

Fig. 5 Overlapping diagram of oil test production and source - reservoir assemblage of Chang 7_1 (left) and Chang 7_2 members (right) in Ordos Basin

3 长7段油气成藏模式

综合考虑到长7段重力流沉积区与三角洲沉积区黑色页岩与暗色泥岩有效烃源岩发育、储盖组合类型、油气运移特征的差异,将长7段的致密油成藏模式归纳为2种。

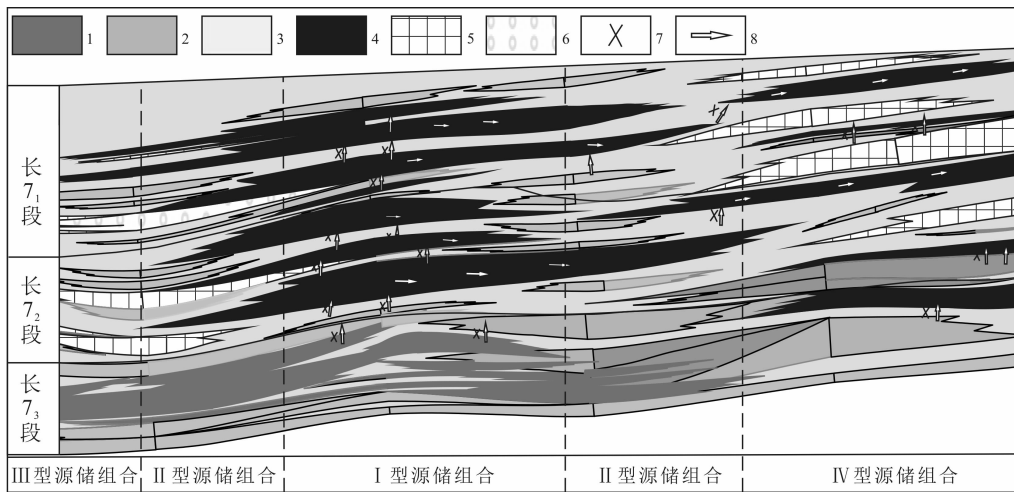
第一种为重力流沉积区的强充注致密油成藏

模式(图6)。该成藏模式中,油气主要来自黑色页岩,其次为暗色页岩。暗色泥岩生成的油气运移到临近的砂层中聚集,主要为近距离运移;黑色页岩生成的油气可以聚集在临近及其上部的不同砂层中,即可近距离运移,也可长距离运移(图6)。总体上油源充足,充注能力强,含油范围广,连片性好。

第二种为三角洲沉积区弱充注致密油成藏模式

(图7)。该成藏模式中,油气主要来自该区暗色页岩,其次为侧向上分布的黑色页岩。暗色泥岩生成的油气运移到临近的砂层中聚集,主要为近距离运

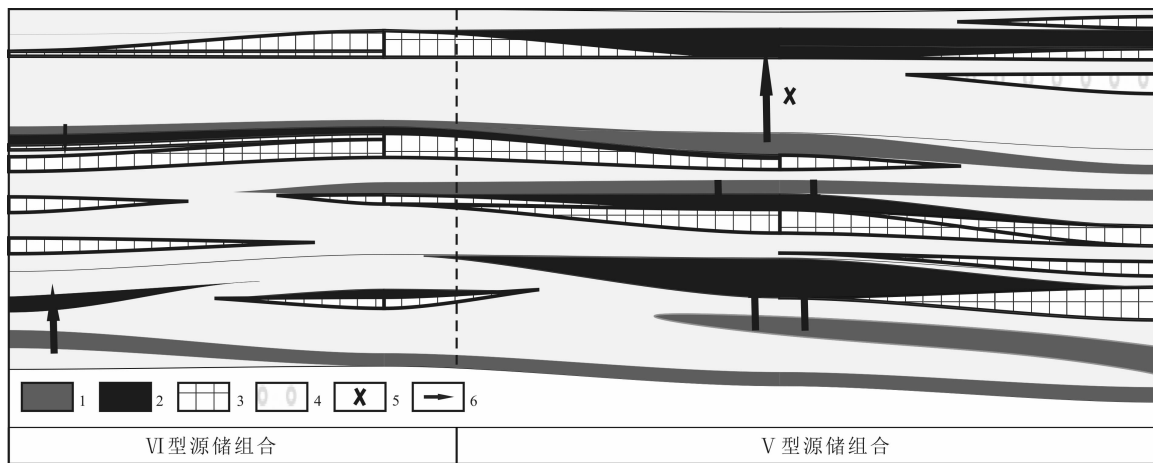
移;黑色页岩生成的油气主要经过相对较长距离运移聚集(图7)。总体上油源不如重力流区充足,充注动力稍弱,含油范围连片性较差。



1. 黑色页岩;2. 有效泥岩;3. 无效泥岩;4. 油层;5. 干层;6. 水层;7. 裂缝;8. 运移方向

图6 鄂尔多斯盆地长7段重力流沉积区强充注致密油成藏模式

Fig. 6 Accumulation model of tight oil with strong charging in gravity flow deposition area of Chang 7 Member in Ordos Basin



1. 暗色泥岩;2. 油层;3. 干层;4. 水层;5. 裂缝;6. 运移方向

图7 鄂尔多斯盆地长7段三角洲前缘沉积区弱充注致密油成藏模式

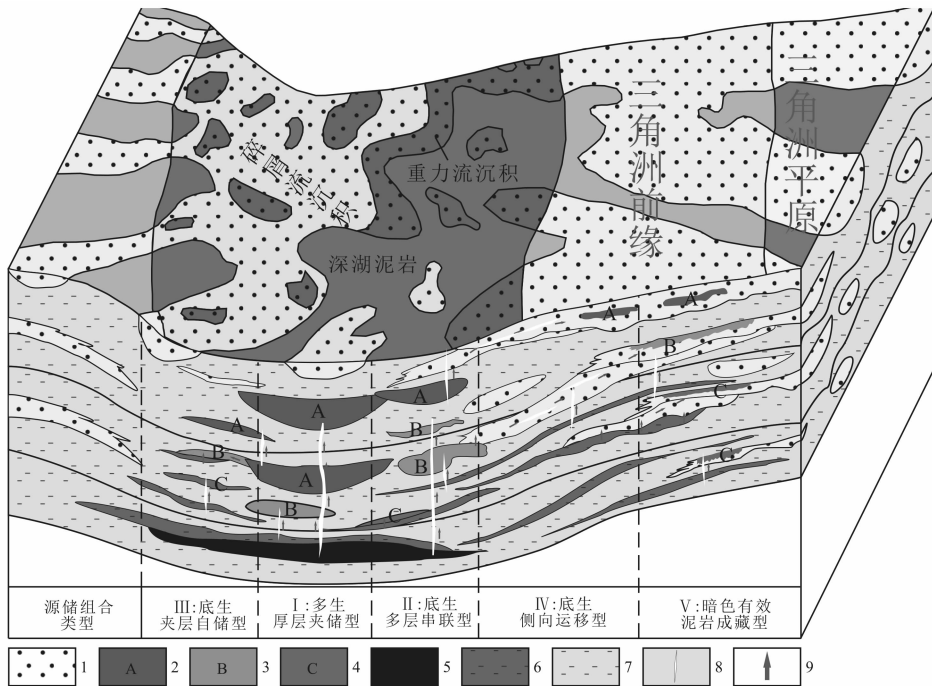
Fig. 7 Accumulation model of weakly charged tight oil in the delta front sedimentary zone of the Chang 7 Member of the Ordos Basin

从整个长7段来看,黑色页岩主要发育于沉积区中心重力流地带,暗色泥岩在沉积区中心和边缘三角洲前缘地带均有分布。所以,沉积中心重力流沉积区的黑色页岩之上油气来源充足,黑色页岩生成的油气以垂向较长距离运移为主,暗色泥岩主要就近运移进入临近砂岩储集层中,总体成藏条件优越,含油连片性好(图8)。三角洲前缘沉积区缺乏

黑色页岩,有暗色泥岩分布。暗色泥岩仍以就近运移聚集为主,由于生烃量充足,黑色页岩生成的油气可以长距离侧向运移至该区聚集成藏(图8)。

4 结论与认识

(1)根据沉积类型、砂体结构、厚度以及源岩发



1. 砂体; 2. A类油藏; 3. B类油藏; 4. C类油藏; 5. 黑色页岩; 6. 暗色有效泥岩; 7. 泥岩; 8. 裂缝; 9. 运移方向;
 A. 黑色岩生成的油气; B. 暗色泥岩与黑色页岩生成的油气的混源油; C. 暗色泥岩生成的油气

图8 鄂尔多斯盆地长7段致密油成藏模式图

Fig. 8 Accumulation model of the tight oil in the Chang 7 Member of the Ordos Basin

育特征,将鄂尔多斯盆地长7段源储组合划分为6种类型,Ⅰ、Ⅱ和Ⅳ型储盖组合范围内的含油性较好,Ⅲ、Ⅴ和Ⅵ型源储组合含油性在局部地区较好。长7段主要发育Ⅰ型、Ⅲ型和Ⅴ型源储组合。

(2)不同类型源储组合的分布呈现明显的差异性,其中Ⅰ—Ⅳ类源储组合主要发育于重力流沉积区,黑色页岩为主要烃源岩;Ⅴ和Ⅵ类源储组合主要分布于三角洲前缘沉积区,暗色泥岩为主要烃源岩。

(3)长7段致密油成藏模式可划分为2种类型,即重力流沉积区的强充注致密油成藏模式和三角洲沉积区弱充注致密油成藏模式。第一种模式油气主要来自黑色页岩,其次为暗色泥岩。总体上油源充足,充注能力强,含油范围广,连片性好;第二种模式油气主要来自该区暗色泥岩就近运移聚集,其次为侧向上分布的黑色页岩长距离运移聚集。

参考文献(References):

任战利,赵重远,张军,等. 鄂尔多斯盆地古地温研究[J]. 沉积学报,1994,12(01):56-65.

REN Zhanli, ZHAO Chongyuan, ZHANG Jun, et al. Research on Paleo-Geotemperature in Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1994, 12(01): 56-65.

张文正,杨华,李剑锋,等. 论鄂尔多斯盆地长7段优质油源岩在低渗透油气成藏富集中的主导作用——强生排烃特征及机理分析[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(03): 289-293.

ZHANG Wenzheng, YANG Hua, LI Jianfeng, et al. Leading effect of high-class source rock of Chang7 in Ordos basin on enrichment of low permeability oil gas accumulation—hydrocarbon generation and expulsion mechanism [J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(03): 289-293.

杨华,刘显阳,张才利,等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组低渗透岩性油藏主控因素及其分布规律[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(03): 1-6.

YANG Hua, LIU Xianyang, ZHANG Caili, et al. The main controlling factors and distribution of low permeability lithologic reservoirs of Triassic Yanchang formation in Ordos basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(03): 1-6.

杨华,张文正. 论鄂尔多斯盆地长7段优质油源岩在低渗透油气成藏富集中的主导作用:地质地球化学特征[J]. 地球化学, 2005, 34(02): 147-154.

- YANG Hua, ZHANG Wenzheng. Leading effect of the Seventh Member high-quality source rock of Yanchang Formation in Ordos Basin during the enrichment of low-penetrating oil-gas accumulation: Geology and geochemistry[J]. *Geochimica*, 2005, 34(02): 147-154.
- 付金华, 郭正权, 邓秀芹. 鄂尔多斯盆地西南地区上三叠统延长组沉积相及石油地质意义[J]. *古地理学报*, 2005, 07(01): 34-44.
- FU Jinhua, GUO Zhengquan, DENG Xiuqin. Sedimentary facies of the Yanchang Formation of Upper Triassic and petroleum geological implication in southwestern Ordos Basin[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2005, 07(01): 34-44.
- 杨华, 窦伟坦, 刘显阳, 等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组长7沉积相分析[J]. *沉积学报*, 2010, 28(02): 254-263.
- YANG Hua, DOU Weitan, LIU Xianyang, et al. Analysis on sedimentary facies of Member 7 in Yanchang Formation of Triassic in Ordos Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 28(02): 254-263.
- 姚泾利, 邓秀芹, 赵彦德, 等. 鄂尔多斯盆地延长组致密油特征[J]. *石油勘探与开发*, 2013, 40(02): 150-158.
- YAO Jingli, DENG Xiuqin, ZHAO Yande, et al. Characteristics of tight oil in Triassic Yanchang Formation, Ordos Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2013, 40(2): 150-158.
- 李德生. 重新认识鄂尔多斯盆地油气地质学[J]. *石油勘探与开发*, 2004, 31(6): 1-7.
- LI Desheng. Return to petroleum geology of Ordos Basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2004, 31(6): 1-7.
- 陈永胜, 赵虹, 郑小杰, 等. 鄂尔多斯盆地志丹探区延长组储层特征研究及评价[J]. *西北地质*, 2009, 42(02): 83-88.
- CHEN Yongsheng, ZHAO Hong, ZHENG Xiaojie, et al. Reservoirs Characteristics and Evaluation of Yanchang Formation in Zhidan Area, Ordos Basin [J]. *Northwestern Geology*, 2009, 42(02): 83-88.
- 李元昊, 张铭记, 王秀娟, 等. 鄂尔多斯盆地西北部上三叠统延长组复合油藏成藏机理[J]. *岩性油气藏*, 2010, 22(02): 32-36.
- LI Yuanhao, ZHANG Mingji, WANG Xiujuan, et al. Accumulation mechanism of composite reservoir of Upper Triassic Yanchang formation in northwestern Ordos basin [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2010, 22(02): 32-36.
- 邓秀芹, 姚泾利, 胡喜锋, 等. 鄂尔多斯盆地延长组超低渗透岩性油藏成藏流体动力系统特征及其意义[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2011, 41(06): 1044-1050.
- DENG Xiuqin, YAO Jingli, HU Xifeng, et al. Characteristics and geological significance of hydrodynamic system on ultra-low permeability reservoir of Yanchang Formation in Ordos Basin [J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2011, 41(06): 1044-1050.
- 宋和平, 张炜. 鄂尔多斯盆地地下寺湾地区三叠系下组合地层石油地质特征及勘探方向[J]. *西北地质*, 2011, 44(04): 122-131.
- SONG Heping, ZHANG Wei. Oil Geological Characteristics and Exploration Trend of Triassic Lower Group in Xiashiwan Area of Ordos Basin [J]. *Northwestern Geology*, 2011, 44(04): 122-131.
- 张云霞, 陈纯芳, 宋艳波, 等. 鄂尔多斯盆地南部中生界烃源岩特征及油源对比[J]. *石油实验地质*, 2012, 34(02): 173-177.
- ZHANG Yunxia, CHEN Chunfang, SONG Yanbo, et al. Features of Mesozoic source rocks and oil-source correlation in southern Ordos Basin [J]. *Petroleum Geology and Experiment*, 2012, 34(2): 173-177.
- 赵彦德, 罗安湘, 孙柏年, 等. 鄂尔多斯盆地西南缘三叠系烃源岩评价及油源对比[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2012, 48(03): 1-6+13.
- ZHAO Yande, LUO Anxiang, SUN Bainian, et al. Hydrocarbon source evaluation and oil source contrast of the triassic system in southwest margin, Ordos basin [J]. *Journal of Lanzhou University(Natural Sciences)*, 2012, 48(03): 1-6+13.
- 钟大康, 周立建, 孙海涛, 等. 鄂尔多斯盆地陇东地区延长组砂岩储层岩石学特征[J]. *地学前缘*, 2013, 20(02): 52-60.
- ZHONG Dakang, ZHOU Lijian, SUN Haitao, et al. Petrology of sandstone reservoirs in Longdong Area, Ordos Basin [J]. *Earth Science Frontiers*, 2013, 20(02): 52-60.
- 郭凯. 鄂尔多斯盆地陇东地区长7段有效烃源岩及生排烃研究[J]. *石油实验地质*, 2017, 39(01): 15-23.
- GUO Kai. Active source rocks of Chang 7 Member and hydrocarbon generation and expulsion characteristics in Longdong area, Ordos Basin [J]. *Petroleum Experimental Geology*, 2017, 39(01): 15-23.
- 邹才能, 朱如凯, 吴松涛, 等. 常规与非常规油气聚集类型、特征、机理及展望——以中国致密油和致密气为例[J]. *石油学报*, 2012, 33(02): 173-187.
- ZOU Caineng, ZHU Rukai, WU Songtao, et al. Types, characteristics, genesis and prospects of conventional and unconventional hydrocarbon accumulations: Taking tight oil and tight gas in China as an instance [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2012, 33(02): 173-187.