

鄂尔多斯盆地吴堡地区延长组长 8 致密砂岩 油藏成藏主控因素

白玉彬^{1,2} 罗静兰² 王少飞³ 杨 勇³ 唐乐平³ 付晓燕³ 郑 卉¹

(1.西安石油大学地球科学与工程学院,陕西 西安 710065;2.大陆动力学国家重点实验室,西北大学地质学系,
陕西 西安 710069;3.长庆油田分公司勘探开发研究院,陕西 西安 710021)

摘要:鄂尔多斯盆地三叠系延长组长 8 油层组为近年来发现的勘探开发新层系,勘探实践证明其成藏条件优越,勘探潜力大。本文以盆地中南部志丹县吴堡地区为例,对该区长 8 油藏成藏条件及分布规律进行了研究,结果表明:长 8 油藏油源主要来自于上覆长 7₃ 烃源岩、长 8 内部烃源岩和长 9 顶部烃源岩,具有良好的生储层组合配置;主成藏期运移动力主要为生烃增压等形成的异常高压,油气充注到长 8 致密储层后主要以近距离垂向和侧向运移为主;成岩作用加剧了储层非均质性,形成成岩遮挡型连续型油气聚集。长 8 油藏平面及层位分布主要受控于有效烃源岩展布、储层质量和有效盖层的控制,多种地质因素共同形成现今长 8 油藏分布格局。

关键词:主控因素;致密砂岩油藏;长 8 油层组;延长组;吴堡地区;鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE122 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2013)04-1159-10

油气藏分布规律是石油地质学研究的核心问题,也是提高油气藏勘探成功率的有效保障。鄂尔多斯盆地是一个既富油、又富气的含油气盆地,石油平面上主要分布在陕北斜坡一级构造单元中,纵向上主要分布在中生界延安组和延长组中,特别是延长组致密砂岩储层中石油最富集。根据岩性、古生物组合、沉积旋回和标志层特征将延长组自下而上进一步细分为 T_{3y}¹、T_{3y}²...T_{3y}⁵ 等 5 段和长 10~长 1 等 10 个油层组^[1]。各油层组均不同程度含有油气,其中以长 6 油层组石油地质储量和产量为最高,在陕北斜坡上大面积连续分布;其次为长 8、长 4+5 和长 2 油层组;其他油层组也有油气藏发现,但规模相对较小。前人对长 6、长 4+5 和长 2 油藏主控因素及分布规律进行了较系统的研究,并取得了许多重要的认识^[2-5],这些认识有效指导了延长组油藏的勘探和开

发。然而,由于长 8 油藏储层物性差,需经过压裂改造后方可获得工业油流,属于致密油藏研究范畴^[6]。其产量变化具有初期高,但基本没有稳产期,一般前 6 个月产量递减速度快,而后稳步递减,稳产后一般日产油小于 2 t/d。致密油气藏成藏机理、分布规律与常规构造、地层和岩性油藏具有显著的区别。前人对长 8 油藏的研究重点关注其沉积相和储层方面^[7-9],对长 8 油藏成藏条件、分布规律等方面的研究较少^[10-11]。前人研究区域多局限在鄂尔多斯盆地西南部和西部地区,而中南部地区长 8 油藏尚未见有公开发表的文献报导。笔者以盆地中南部志丹县吴堡地区为例,通过对研究区长 8 油藏的烃源岩特征、储盖组合特征、运移特征和成藏特征的综合分析,探讨控制本区长 8 致密油藏富集高产的主控因素及分布规律,以期为该区长 8 油藏下一步勘探提

收稿日期:2012-06-09;改回日期:2013-04-20

基金项目:国家自然科学基金(41272138)、国家重大科技专项(2011ZX05001-002-008,2011ZX05008-004-61)、陕西省教育厅专项
科研计划项目(12JK0491)及中国石油科技创新基金项目(2011D-5006-0103)联合资助。

作者简介:白玉彬,男,1981 年生,讲师,博士生,主要从事致密油气成藏机理及分布规律相关的教学和科研工作;E-mail:baiyubin@xsyu.edu.cn。

通讯作者:罗静兰,女,1957 年生,教授,从事储层沉积学、火山岩油气藏岩性与岩相学、储层特征及成岩作用研究;E-mail:jlluo@nwu.edu.cn。

供地质依据。

吴堡地区位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡中南部,东北距离志丹县城直线距离约 60 km,是长庆油田第一采油厂近年来高产高效勘探开发区块。该地区中生代地层具有多层系含油的特点,其中以延长组长 6 油层组为其主力产油层。近年来在长 8 油层组石油勘探中取得突破性进展,发现了 W215、W104 等一批工业油流井,预示着长 8 油藏良好的石油勘探前景。根据标志层和沉积旋回特征,将长 8 油层组自下而上细分为长 8₂ 和长 8₁ 两个砂层组(图 1)。然而,进一步石油勘探表明,已发现的长 8 油井产量相差悬殊,试油最高日产油可达 20 m³,最低日产油约 1 m³,还有一些井高产水,仅见油花显示,油水井平面分布比较复杂。从分布层位上看,现今发现的长 8 油

藏主要富集在长 8₁ 砂组中,而长 8₂ 砂组勘探未获得突破,仅见油花显示,是地质上不具备成藏条件?还是由于认识局限性没有找到勘探突破点? 这些问题不解决就无法对长 8 致密油进行有效勘探。由于对长 8 油藏分布主控因素认识不清,从而制约了长 8 油藏的深入勘探。本文拟从长 8 油藏形成地质条件出发,根据现今油水井分布特征剖析油藏分布主控因素和富集规律,为该区长 8 油藏深入勘探和开发提供地质依据。

1 成藏基本地质条件

1.1 烃源岩特征

吴堡地区位于鄂尔多斯盆地延长组沉积时期湖盆中心,发育长 6~长 9 等多套烃源岩,其中以长 9

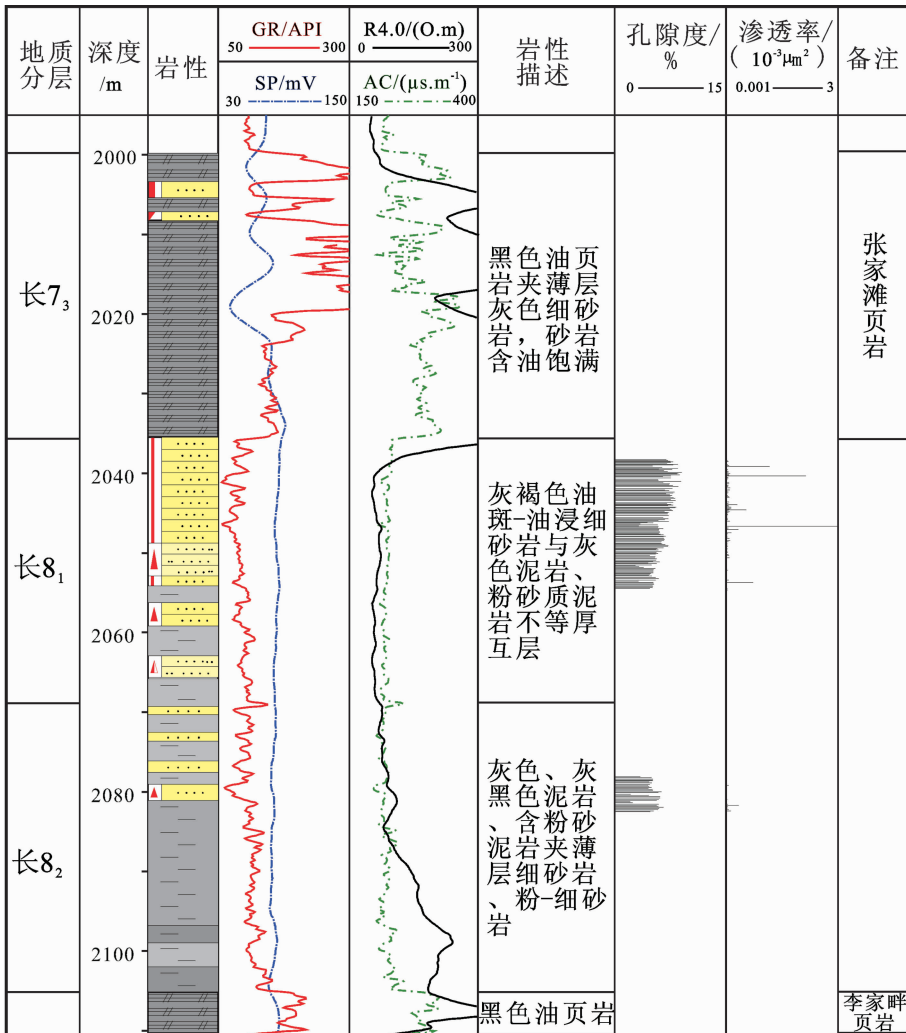


图 1 吴堡地区延长组长 8 地层综合柱状图

Fig.1 Stratigraphic column of Chang-8 member of Yanchang Formation in Wubao area

顶部(长 9₁)李家畔页岩和长 7 底部(长 7₃)张家滩页岩全区分布最稳定(图 1)。特别是长 7₃ 张家滩页岩厚度大(分布于 19.8~49.2 m, 平均为 33.8 m), 为研究区延长组油藏主力烃源岩。长 9₁ 李家畔页岩厚度分布于 0~13.2 m, 烃源岩分布区域平均厚度为 7.2 m, 可为长 8 和长 9 油藏供给油源。除此之外, 在长 8 油层组内部也发育有效烃源岩。烃源岩有机地球化学分析表明: 长 7₃ 张家滩页岩总有机碳质量分数平均为 6.99%(4.84%~10.63%), 氯仿沥青“*A*”质量分数平均为 0.458%(0.420%~0.488%), 生烃潜力(*S*₁+*S*₂) 平均为 35.73 mg/g(16.29~77.69 mg/g), 根据陆相烃源岩有机质丰度评价指标, 为最好烃源岩; 有机质类型主要为腐植-腐泥型, 部分为腐泥型和腐泥-腐植型, 生油潜力好; 实测镜质体反射率(*R*_o) 平均为 0.75%, 最高热解峰温(*T*_{max}) 平均为 450℃(447℃~455℃), 三降霍烷 *T*_s/*T*_m 平均为 3.69(3.55~3.83), 表明烃源岩已达到生油高峰阶段; 长 7 非张家滩页岩样品也具有一定的生烃潜力。W 215 井长 8₂ 烃源岩 *T*_{max} 值为 450℃, 生烃潜力为 14.76 mg/g, 仅次于长 7 烃源岩。长 9 烃源岩(非李家畔页岩) *T*_{max} 平均为 455℃(451℃~461℃), *R*_o 值平均为 0.94%(0.86%~1.01%), 演化程度高; 总有机碳质量分数平均为 5.61%(5.55%~5.67%), 生烃潜力平均为 16.06 mg/g(0.72~36.78 mg/g), 有机质类型主要为腐泥-腐植型和腐植型, 生油能力相对较弱。李家畔页岩样品本次未获得取样, 但邻区志丹地区丹 48 井、丹 49 井李家畔页岩地化分析结果 [12-13] 其有机碳含量平均为

5.03%, 氯仿沥青“*A*”平均为 0.8603%, 平均生烃潜力为 15.94 mg/g, 有机质类型以腐泥型为主, 镜质体反射率(*R*_o) 为 0.92%~1.05%, *T*_{max} 主要分布于 448~458℃, 达到生油高峰阶段, 其为仅次于张家滩页岩的另一套重要优质烃源岩, 可为长 8~长 9 油藏提供油源基础。综合分析认为, 研究区油源条件好, 具备成藏的物质基础。

1.2 储盖层特征

根据岩石颜色、沉积结构和构造、动植物化石、粒度概率曲线、测井曲线形态以及前人区域研究结果 [14], 综合分析认为本区长 8 时期主要以三角洲前缘亚相沉积为主, 水下分流河道砂体非常发育(图 2)。长 8 地层厚度平均为 70 m(56~87 m), 砂岩厚度平均为 42 m, 占地层厚度的 60%。长 8 砂岩储层基质孔隙度平均为 7.02%(0.73%~14.64%), 基质渗透率平均为 0.092×10⁻³ μm²(0.003×10⁻³~1.175×10⁻³ μm²)。虽然其储层物性较差, 但这些储层中均不同程度聚集石油。长 8 砂岩储层裂缝孔隙度平均为 8.17%(1.31%~13.66%), 裂缝渗透率平均为 2.881×10⁻³ μm²(1.065×10⁻³~8.988×10⁻³ μm²)。微裂缝虽对砂岩孔隙度影响不大, 但微裂缝平均渗透率为基质平均渗透率的 31 倍。由于微裂缝的存在, 既可以起到沟通砂岩孔隙作用, 同时也增强了流体的导流能力, 有利于油气在储层中的二次运移。

长 8 油层组上覆地层为长 7₃ 张家滩页岩沉积, 为优质的区域盖层(图 2)。研究区长 7₃ 黑页岩厚度大, 分布稳定, 与下伏长 8 储层为顶生式生储盖组合

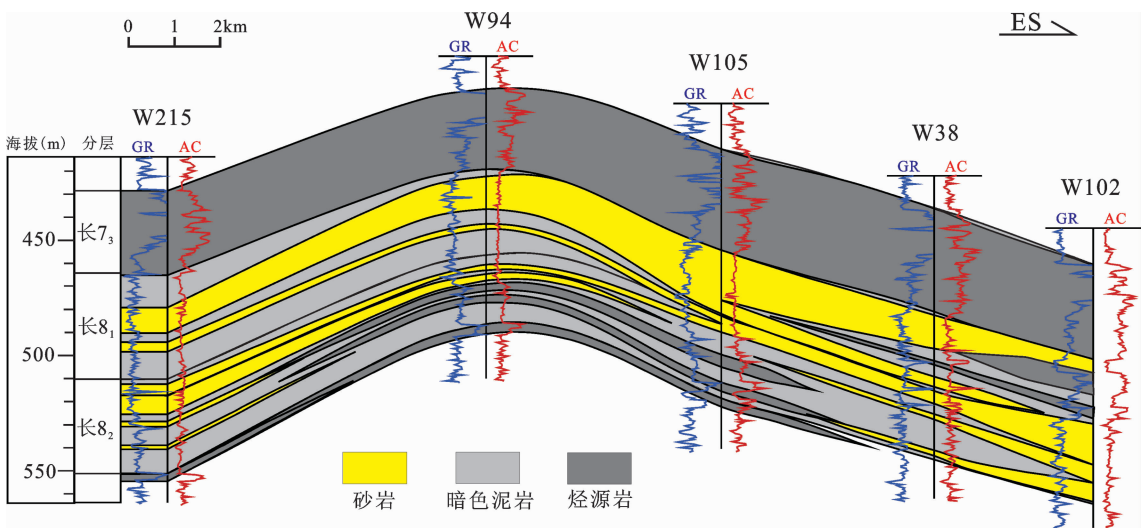


图 2 吴堡地区延长组长 8 油层组生储盖组合剖面图

Fig.2 The source-reservoir-cap profile of Chang-8 member of Yanchang Formation in Wubao area

配置,成藏条件优越。

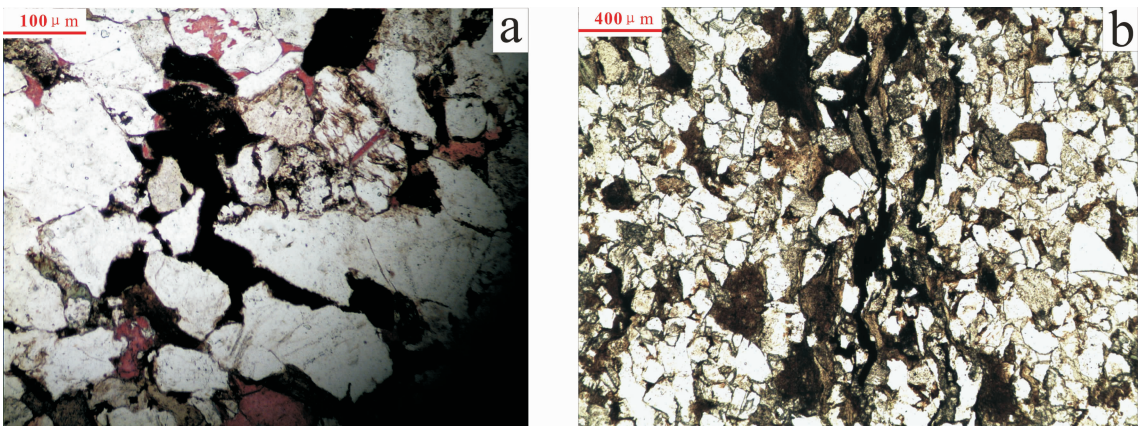
1.3 运移成藏特征

对于源下(储集体在烃源岩之下)油藏的形成必须满足两个必要的地质条件:烃源岩的超压足够大和存在连通烃源岩与下伏砂体的断层^[15],同时烃源岩具有有效的排烃强度也是一个必备条件^[16]。笔者研究认为,油气能否向下进行运移的最主要因素是上覆烃源岩和下伏储层之间是否有压力差,至于运移距离的远近主要与源储压差的大小,运移通道和储层性质以及三者有效配置有关,在适宜的地质条件下,油气倒灌是可以发生的。同时油源对比也表明^[17],长 8 油藏原油为混合原油,其油源主要为上覆长 7₃ 烃源岩、下伏长 9₁ 烃源岩和长 8 油层组内部烃源岩共同生成的油气经垂向运移和短距离侧向运移后聚集成藏。越来越多的学者注意到对于致密储层油气运移成藏的动力中浮力并不起主要作用,其运移动力主要是由于生烃作用、欠压实等作用综合形成的异常压力,源储压差的大小决定了油气运移动力的强弱。包裹体分析结合埋藏史、热演化史表明鄂尔多斯盆地延长组石油主要成藏期为侏罗纪末期—早白垩世^[18],为一期幕式连续成藏。晚侏罗世,延长组长 7₃ 烃源岩进入生烃门限,但此时储层并未致密化,原始粒间孔发育,烃源岩生成的低熟油部分向下运移至长 8₁ 储层中,此时的温度(60~70℃)适合于微生物的大量繁殖^[19],导致原油遭受强烈生物降解,形成沥青,并与后期形成的铁方解石一起使储层致密化(图 3-a)。早白垩世末期,鄂尔多斯盆地延长组地层达到最

大埋深^[20],并在盆地内发生了全区性的构造热事件^[21-23],延长组烃源岩已达到生排烃高峰期,此时延长组长 6~长 8 储层虽已经致密化^[18],但生成原油体积可达岩石体积的 8%~18.7%,形成的异常高压促使长 7₃ 烃源岩以连续油相排烃^[24],油气进入长 8 储层后在异常压力驱动下克服浮力和毛细管的阻力作用,经垂向运移和短距离侧向运移后聚集成藏。之所以侧向运移距离短,是因为油气大规模运移时储层已经致密化,虽然砂体连通性好,但由于强烈的成岩作用,储层孔喉横向连通性变差,形成多个压力系统,因此,传统上研究油气运移的有效方法—流体势法,如不加以改进,对主充注期已经致密或同步致密的储层中油气运移的研究并不适用。与此同时,长 8 和长 9 有效烃源岩生成的油气向上运聚至长 8₁ 储层中,形成混源油气聚集。需要说明的是,鄂尔多斯盆地延长组储层宏观和微观裂缝均非常发育,属于构造裂缝,且以垂直裂缝或高角度斜交缝为主^[25],主要形成于燕山运动二幕和三幕时期,即侏罗纪晚期—晚白垩世^[26],与延长组油气大规模运移时期匹配良好,裂缝起到沟通孔隙以及作为油气运移通道的作用(图 3-b)。此外,长 7₃ 烃源岩中的浊积砂体中也见高角度裂缝,裂缝带含油饱满(图 4),这种区域性构造裂缝的产生也会导致长 7₃ 黑页岩中发育大量的宏观和微观裂缝,从而成为油气排烃的良好通道。

2 油气成藏主控因素

吴堡地区延长组长 8 油藏平面上大面积分布,



W102,长 8,沥青质充填孔隙,方解石胶结

W104 长 8₁,微裂缝中有油气充注

图 3 吴堡地区长 8 油层组成岩作用及石油运移

Fig.3 Diagenesis and petroleum migration of Chang-8 member in Wubao area



图 4 吴堡地区长 73 生油岩中浊积砂体裂缝分布及含油特征

Fig.4 Turbidite sand body fracture distribution and oil-bearing characteristics in source rocks of Chang-73, Wubao area

剖面上主要分布在长 8₁ 砂层组中。目前钻穿长 8 油层组共有各类井 123 口,试油 24 口井中,工业油流井 18 口,低产油流井 1 口,油花高产水井 5 口。综合区域地质背景和本区油气成藏基本条件,分析认为除有效盖层外,长 8 油藏分布还主要受烃源岩和有效砂体展布两大地质因素控制。

2.1 烃源岩控制油气分布范围

鄂尔多斯盆地陕北斜坡带延长组油藏分布与有效烃源岩展布具有密切的关系^[7],这主要与储层沉积成岩史和构造演化史有关。前述表明,吴堡地区长 6~长 9 油层组均不同程度发育优质烃源岩,对长 8 油藏分布来说,最主要的是长 7₃ 烃源岩、长 8 油层组内部烃源岩和长 9₁ 顶部的李家畔页岩。目前发现的长 8 油藏与长 8₂ 和长 9₁ 烃源岩叠合厚度图关系密切(图 5),长 8 油藏分布在有效烃源岩展布范围之内,且随着烃源岩厚度增大,油井产油量有增高的趋势;烃源岩厚度越薄,产油量减小,而产水量增大。烃源岩厚度大,生排烃量高,储层充注程度高,含油饱和度高,从而油井产量高。反之亦然。长 8 油藏分布与长 8₁ 烃源岩展布具有密切关系,但长 8 油藏不是分布在长 8₁ 烃源岩最厚的地区,而是分布在长 8₁ 烃源岩厚度最薄的地区,主要分布在长 8₁ 烃源岩厚度为 0 m 地区(图 6),说明长 8₁ 烃源岩生成的油气经过短距离(一般小于 2 km)侧向运移后遇到有效的储层聚集成藏。

2.2 砂体展布和储层物性控制油气聚集

长 8₁ 油藏分布与其砂体展布图具有密切的关系,试油产油量高的井均分布在砂体厚度较大区域,而砂体厚度较薄区域产油量减小,产水量增加,砂体厚度小于 6 m 区域为勘探禁区(图 7)。长 8₁ 油藏分布与长 8₂ 砂体展布也具有重要关系(图 8),如

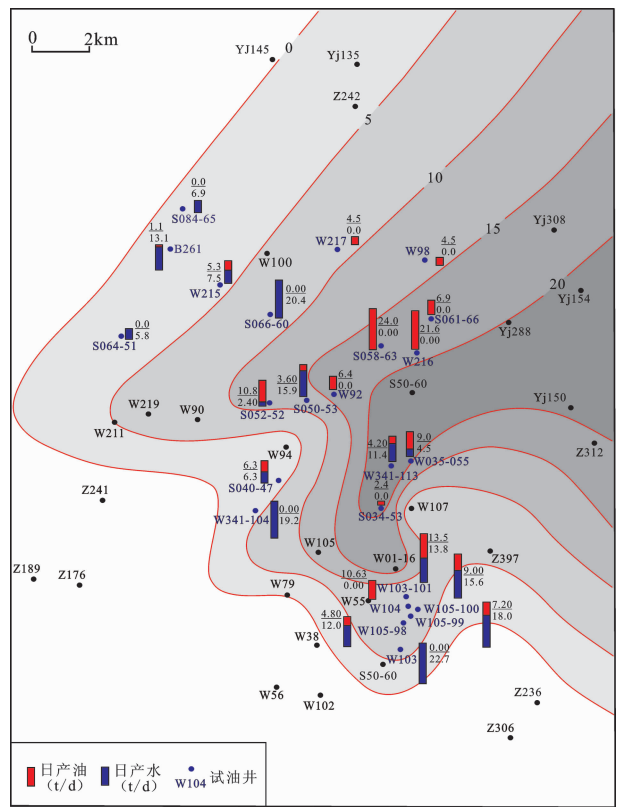


图 5 吴堡地区长 8₂、长 9₁ 烃源岩与试油产量关系图
Fig.5 Distribution of Chang-8₂, Chang-9₁ source rock and oil test yield in Wubao area

W216 井分布在砂体厚度最大区域(>12 m),由于缺少有效盖层,因此油气运移至长 8₁ 储层中聚集成藏;砂体厚度相对较小(6~9 m)区域,如 W104 井区总体上砂厚比长 8₁ 砂厚薄,且本井区长 8₂ 和长 9₁ 烃源岩总厚度小于 10 m,因此长 8₂ 未能成藏;W217、W98 井长 8₂ 和长 9₁ 烃源岩总厚度虽较大,但长 8₂ 砂体厚度比长 8₁ 砂体厚度薄,因此也未能成藏。

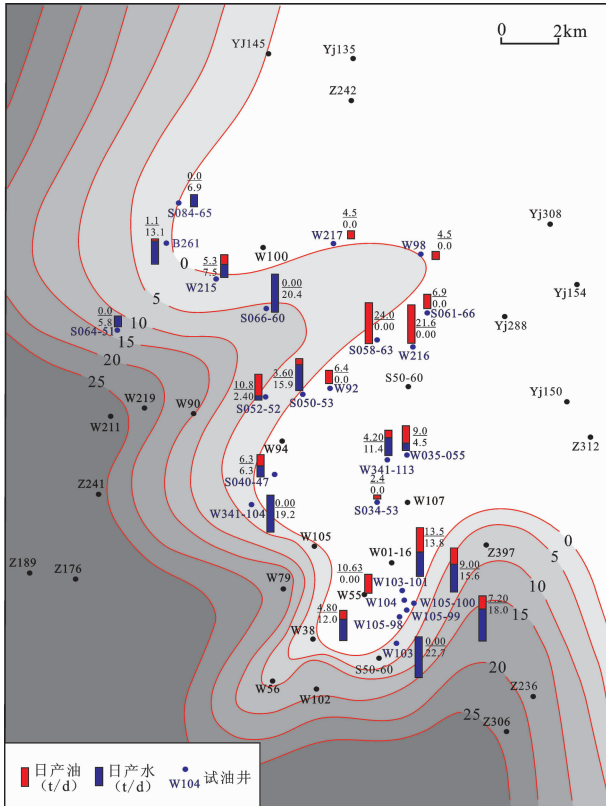


图6 吴堡地区长₈₁ 烃源岩与试油产量关系图
Fig.6 Distribution of Chang-8₁ source rock and oil test yield in Wubao area

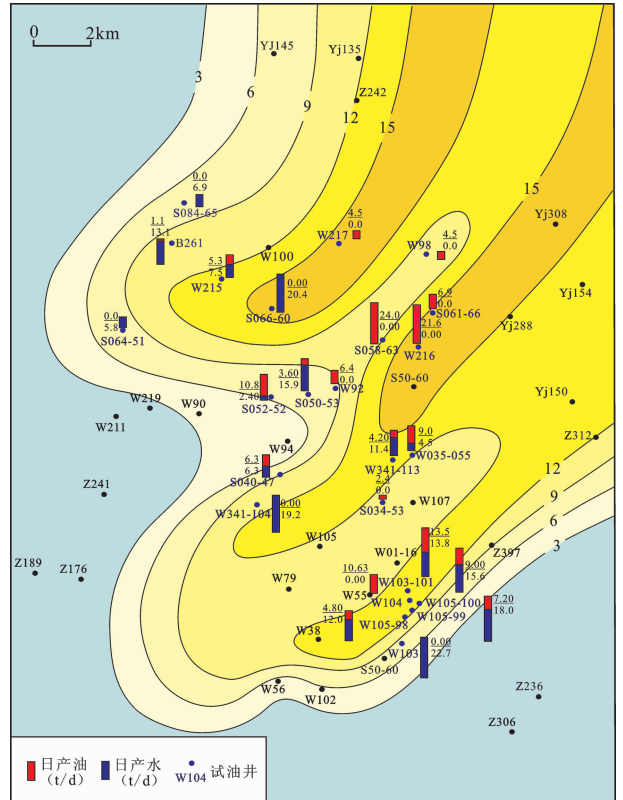


图7 吴堡地区长₈₁ 砂体厚度与试油产量叠合图
Fig.7 Distribution of sand thickness and oil test yield of Chang-8₁ member in Wubao area

从物性上来看(表2),长₈₁和长₈₂储层孔隙度平均值非常接近,但渗透率平均值和中值长₈₁储层优于长₈₂,且长₈₁储层裂缝发育,起到渗流通道的作用。因此,长₇₃烃源岩生成的油气除大部分向上运移至长₇₂等上部储层中外,由于长₇₃烃源岩厚度大,在源储压差驱动力下,紧邻长₈₁储层的烃源岩

中的油气则以连通孔隙和裂缝作为疏导层向下运移至长₈₁储层中。由于长₈₂储层物性比长₈₁差,油气向下运移距离越远动力越小而阻力越大,因此长₇₃烃源岩生成的油气向下运移至长₈₁储层后由于动力变弱而停止运移。

录井油气显示吴堡地区不同含油级别储层物性

表2 吴堡地区长₇~长₉储层物性统计
Table 2 Statistics of reservoir property of Chang-7~Chang-9 in Wubao area

层位	孔隙度/%				渗透率/(10 ⁻³ μm ²)				样数
	最大值	最小值	平均值	中值	最大值	最小值	平均值	中值	
长 ₇ ₁	12.8	0.9	7.6	7.8	11.681	0.004	0.134	0.056	575
长 ₇ ₂	16.2	1.3	8.4	8.8	8.674	0.004	0.584	0.097	205
长 ₇ ₃	8.3	2.5	6.1	6.8	0.070	0.012	0.032	0.029	19
长 ₈ ₁	14.6	1.0	7.0	7.1	8.988	0.003	0.156	0.061	721
长 ₈ ₂	12.3	0.7	7.1	7.2	1.304	0.003	0.076	0.043	213
长 ₉ ₁	16.2	0.2	6.5	6.2	10.932	0.000	0.297	0.085	769
长 ₉ ₂	12.2	0.3	6.6	7.5	12.125	0.007	0.836	0.044	133

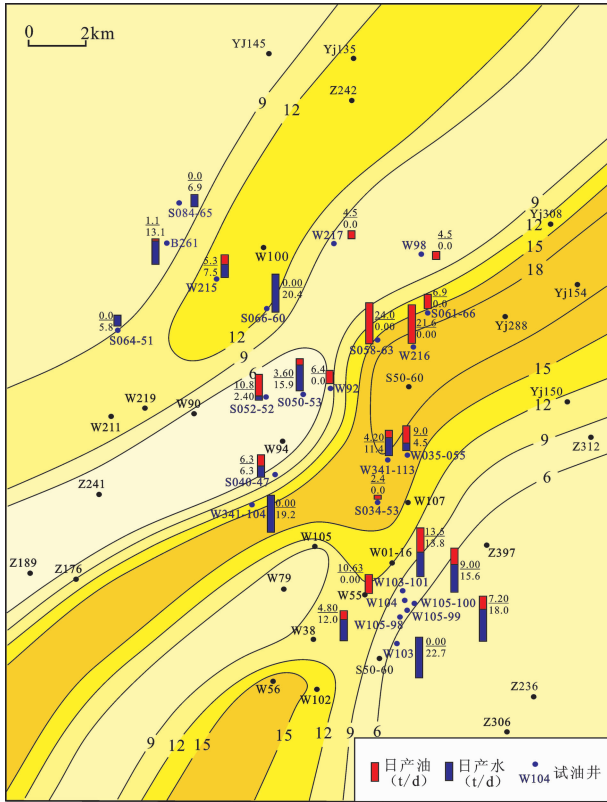


图 8 吴堡地区长 8₂ 砂体厚度与试油产量叠合图
 Fig.8 Distribution of sand thickness and oil test yield of Chang-8₂ member in Wubao area

具有较明显的差异,油斑级储层样品物性总体好于油迹级,而不含油储层样品物性整体最差。但不同含油级别储层样品物性没有一个截然的界线,现今实测含油砂岩储层物性下限孔隙度为 1.0%,渗透率为 $0.004 \times 10^{-3} \mu m^2$,远低于陕北地区延长组致密油储量计算有效储层下限标准(起算标准为:孔隙度 >

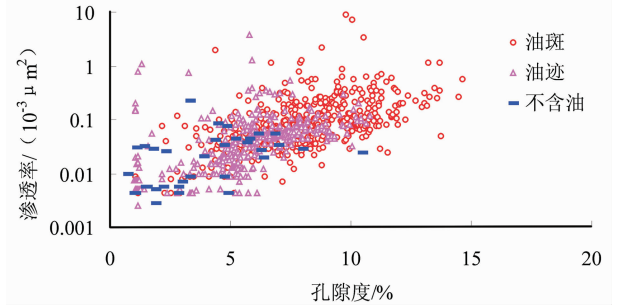


图 9 吴堡地区长 8 储层含油显示砂岩孔隙度-渗透率关系图
 Fig.9 The relationship between porosity and permeability for sandstones with hydrocarbon shows of Chang-8 in Wubao area

8.0%;渗透率 $> 0.2 \times 10^{-3} \mu m^2$) (图 9),由此可见,计算的地质储量明显偏小,储量起算有效厚度标准同时也要降低。长 8 储层孔隙度和渗透率具有明显的正相关关系,但总体上数据点比较分散,说明影响储层物性的因素除沉积因素外,其他地质因素如成岩作用也具有十分重要的作用。特别是本区长 8 储层中大量分布的晚期形成的铁方解石胶结物,是造成储层致密的最重要因素之一,随着碳酸盐含量越低,储层物性总体越好,最终孔隙度主体定位在 5%~10%,渗透率主体定位在 $(0.02 \sim 0.12) \times 10^{-3} \mu m^2$ (图 10),铁方解石胶结物的大量形成,不仅使储层物性变差,而且是造成储层强非均质性的的重要因素,这也是油气在储层中不能进行长距离运移的重要原因之一,从而形成成岩遮挡油气藏。碳酸盐含量相对较低(小于 10%)时,部分样品储层孔隙度小于 4.5%,渗透率小于 $0.01 \times 10^{-3} \mu m^2$,说明影响储层物性的因素比较复杂,储层物性好坏还受其他成岩矿物和沉积因素

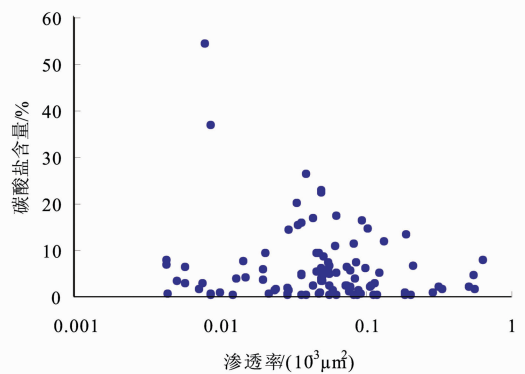
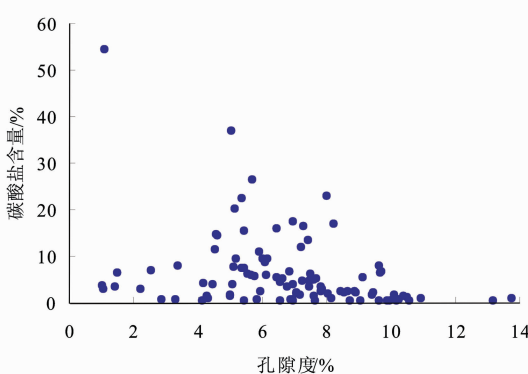


图 10 吴堡地区长 8 储层物性与碳酸盐体积分数关系图

Fig.10 The relationship between physical property and carbonate cement of Chang-8 in Wubao area

影响。孔隙度较低而渗透率很高的数据点明显受到微裂缝影响,一定程度上也增强了储层的非均质性。

3 结 论

(1)鄂尔多斯盆地吴堡地区长 8 油藏具有良好的成藏条件。其油源主要为上覆长 7₃、长 8 内部和长 9 顶部烃源岩,生储盖组合配置好;油气运移动力主要为生烃等作用形成的异常压力,主充注成藏期长 8 储层虽已经致密化,通过连通孔隙和微裂缝的开启使长 7₃ 烃源岩中的油气向下倒灌入长 8 储层;强烈的成岩作用使储层纵横向非均质性均很强,油气垂向及侧向运移距离较短。

(2)长 8 油藏分布主要受烃源岩分布和储层质量控制。长 7₃ 张家滩页岩为长 8 油藏形成提供丰富的油源,长 8 内部有效烃源岩与长 9 有效烃源岩与油气分布具有密切关系,长 8 油藏主要分布于有效烃源岩展布范围内;长 8 油藏主要分布于长 8₁ 储层段是因为长 8₂ 砂层组缺少有效盖层遮挡,长 8₁ 储层物性总体好于长 8₂ 储层,油气更容易向长 8₁ 储层进行运聚。

参考文献 (References):

- [1] 长庆油田石油地质志编写组.中国石油地质志:卷十二:长庆油田[M].北京:石油工业出版社,1992.
Petroleum Geological Annals Compile Group of Changqing Oil Field.Petroleum Geological Annals:Vol.12:Changqing Oil Field[M].Beijing:Petroleum Industry Press,1992(in Chinese).
- [2] 赵靖舟,武富礼,闫世可,等.陕北斜坡东部三叠系油气富集规律研究[J].石油学报,2006,27(5):24-27.
Zhao Jingzhou, Wu Fuli, Yan Shike, et al. Regularity of Triassic petroleum accumulation and distribution in the east part of North Shaanxi Slope [J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27 (5):24-27 (in Chinese with English abstract).
- [3] 赵靖舟,王永东,孟祥振,等.鄂尔多斯盆地陕北斜坡东部三叠系长 2 油藏分布规律[J].石油勘探与开发,2007,34(1):23-27.
Zhao Jingzhou, Wang Yongdong, Meng Xiangzhen, et al. Law of petroleum accumulation and distribution in Triassic Chang 2 oil-bearing Formation in eastern North Shaanxi Slope, Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34 (1):23-27 (in Chinese with English abstract).
- [4] 白玉彬,赵靖舟,章爱成,等.蟠龙油田三叠系长 2 油组油气富集规律[J].西南石油大学学报(自然科学版),2010,32(4):67-71.
Bai Yubin, Zhao Jingzhou, Zhang Aicheng, et al. Petroleum accumulation and distribution law of Chang-2 formation in Panlong Oilfield Ordos Basin [J]. Journal of Southwest Petroleum University(Science & Technology Edition), 2010, 32(4):67-71 (in Chinese with English abstract).
- [5] 白玉彬,赵靖舟,罗静兰,等.陕北斜坡东部蟠龙油田长 6 油藏形成条件及勘探方向[J].新疆石油地质,2011,32(6):594-596.
Bai Yubin, Zhao Jingzhou, Luo Jinglan, et al. Forming conditions and explorative targets of Chang-6 reservoir in Panlong Oilfield in eastern north Shaanxi Slope,Ordos Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2011, 32(6):594-596(in Chinese with English abstract).
- [6] 白玉彬,赵靖舟,方朝强,等.鄂尔多斯盆地长 6 油层组准连续型致密砂岩油藏形成机理[J].石油实验地质,2013,35(1):65-71.
Bai Yubin, Zhao Jingzhou, Fang Zhaoqiang, et al. Forming mechanism of quasi-continuous tight sandstone reservoir of Chang 6 oil-bearing formation, Ordos Basin [J]. Petroleum Geology and Experiment, 2013, 35(1):65-71 (in Chinese with English abstract).
- [7] 杨友运,张蓬勃,张忠义.鄂尔多斯盆地西峰油田长 8 油组辫状河三角洲沉积特征与层序演化 [J].地质科技情报,2005,24(1):45-48.
Yang Youyun, Zhang Pengbo, Zhang Zhongyi. Sedimentary features and sequence evolution of braided river delta of Chang 8 oil formation of Xifeng Oilfield in Ordos Basin [J]. Geological Science and Technology Information, 2005, 24(1):45-48 (in Chinese with English abstract).
- [8] 窦伟坦,田景春,徐小蓉,等.陇东地区延长组长 6-长 8 油层组成岩相研究[J].成都理工大学学报(自然科学版),2005,32(2):129-132.
Dou Weitan, Tian Jingchun, Xu Xiaorong, et al. Diagenetic facies study on Chang6-8 oil formation of Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin,China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2005, 32 (2):129-132 (in Chinese with English abstract).
- [9] 刘小洪,罗静兰,刘新菊,等.西峰油田长 8 和长 6 储层物性影响因素分析[J].西北大学学报(自然科学版),2009,39(1):102-108.
Liu Xiaohong, Luo Jinglan, Liu Xinju, et al. Analysis of influence factors on sandstone reservoirs of the Chang 8 and Chang 6 members in Xifeng Oilfield, southwestern Ordos Basin[J]. Journal of Northwest University(Natural Science Edition), 2009, 39(1):102-108 (in Chinese with English abstract).
- [10] 朱振道,陈绵琨.鄂尔多斯盆地南部长武地区长 8₁ 砂组油气成藏条件及勘探方向探讨[J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),2008,30(5):52-55.
Zhu Zhendao, Chen Miankun. Reservoir forming conditions and exploration directions of Chang 8₁ sand formation of Changwu region in Southern Ordos Basin[J]. Journal of Oil and Gas Technology(JJPI), 2008, 30(5):52-55 (in Chinese with English abstract).
- [11] 罗晓容,张刘平,杨华,等.鄂尔多斯盆地陇东地区长 8₁ 段低渗油藏成藏过程[J].石油与天然气地质,2010,31(6):770-778.
Luo Xiaorong, Zhang Liuping, Yang Hua, et al. Oil accumulation process in the low-permeability Chang-8₁ member of Longdong area,Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(6):770-778 (in Chinese with English abstract).
- [12] 张文正,杨华,傅锁堂,等.鄂尔多斯盆地长 9₁ 湖相优质烃源岩

- 的发育机制探讨[J]. 中国科学(D辑), 2007, 37(增刊1):33-38.
- Zhang Wenzheng, Yang Hua, Fu Suotang, et al. On the development mechanism of the lacustrine high-grade hydrocarbon source rocks of Chang 9₁ member in Ordos Basin [J]. Science in China (Series D), 2007, 50 (supp.1):39-46 (in Chinese with English abstract).
- [13] 张文正, 杨华, 李善鹏. 鄂尔多斯盆地长9₁湖相优质烃源岩成藏意义[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(3):557-562.
- Zhang Wenzheng, Yang Hua, Li Shanpeng. Hydrocarbon accumulation significance of Chang9₁ high-quality lacustrine source rocks of Yanchang Formation, Ordos Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(3):557-562 (in Chinese with English abstract).
- [14] 李文厚, 庞军刚, 曹红霞, 等. 鄂尔多斯盆地晚三叠世延长期沉积体系及岩相古地理演化 [J]. 西北大学学报(自然科学版), 2009, 39(3):501-506.
- Li Wenhou, Pang Jungang, Cao Hongxia, et al. Depositional system and paleogeographic evolution of the late Triassic Yanchang Stage in Ordos Basin [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2009, 39(3):501-506 (in Chinese with English abstract).
- [15] 邹才能, 贾承造, 赵文智, 等. 松辽盆地南部岩性-地层油气藏成藏动力和分布规律[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(4):125-130.
- Zou Caineng, Jia Chengzao, Zhao Wenzhi, et al. Accumulation dynamics and distribution of litho-stratigraphic reservoirs in South Songliao Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(4):125-130 (in Chinese with English abstract).
- [16] 张雷, 卢双舫, 张学娟, 等. 松辽盆地三肇地区扶杨油层油气成藏过程主控因素及成藏模式 [J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2010, 40(3):491-502.
- Zhang Lei, Lu Shuangfang, Zhang Xuejuan, et al. Controlling factors and accumulation model of hydrocarbon accumulation of the Fuyang oil units in Sanzhao region of the Songliao Basin [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2010, 40(3):491-502 (in Chinese with English abstract).
- [17] 白玉彬, 罗静兰, 刘新菊, 等. 鄂尔多斯盆地吴堡地区上三叠统延长组原油地球化学特征及油源对比 [J]. 沉积学报, 2013, 31(2):374-383.
- Bai Yubin, Luo Jinglan, Liu Xinju, et al. Geochemical characteristics of crude oil and oil-source correlation in Yanchang Formation (Upper Triassic) in Wubao area, Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2013, 31(2):374-383 (in Chinese with English abstract).
- [18] 王学军, 王志欣, 陈杰, 等. 鄂尔多斯盆地镇北油田延长组石油运聚机理[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(3):299-306.
- Wang Xuejun, Wang Zhixin, Chen Jie, et al. Petroleum migration and accumulation of the Yanchang Formation in the Zhenbei Oilfield, Ordos Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(3):299-306 (in Chinese with English abstract).
- [19] Pallasser R J. Recognising biodegradation in gas/oil accumulations through the $\delta^{13}\text{C}$ compositions of gas components [J]. Organic Geochemistry, 2000, 31:363-373.
- [20] 陈瑞银, 罗晓容, 陈占坤, 等. 鄂尔多斯盆地埋藏演化史恢复[J]. 石油学报, 2006, 27(2):43-47.
- Chen Ruiyin, Luo Xiaorong, Chen Zhankun, et al. Restoration of burial history of four periods in Ordos Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(2):43-47 (in Chinese with English abstract).
- [21] 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(1):56-65.
- Ren Zhanli, Zhao Zhongyuan, Zhang Jun, et al. Research on plaeotemperature in the Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1994, 12(1):56-65 (in Chinese with English abstract).
- [22] 任战利. 鄂尔多斯盆地热演化史与油气关系的研究 [J]. 石油学报, 1996, 17(1):17-24.
- Ren Zhanli. Research on the relations between geothermal history and oil-gas accumulation in the Ordos Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 1996, 17(1):17-24 (in Chinese with English abstract).
- [23] 孙少华, 李小明, 龚革联. 鄂尔多斯盆地构造热事件研究 [J]. 科学通报, 1997, 42(3):306-309.
- Sun Shaohua, Li Xiaoming, Gong Gelian. Tectono-thermal events in Ordos Basin, China [J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42(3):306-309 (in Chinese).
- [24] 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(3):289-293.
- Zhang Wenzheng, Yang Hua, Li Jianfeng, et al. Leading effect of high class source rock of Chang 7 in Ordos Basin on enrichment of low permeability oil-gas accumulation: Hydrocarbon generation and expulsion mechanism [J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(3):289-293 (in Chinese with English abstract).
- [25] 白玉彬, 赵靖舟, 陈孝平, 等. 蟠龙油田长2储层裂缝分布及油气地质意义[J]. 断块油气田, 2012, 19(1):61-64.
- Bai Yubin, Zhao Jingzhou, Chen Xiaoping, et al. Fracture distribution and geological significance of Chang 2 reservoir in Panlong Oilfield [J]. Fault-block Oil & Gas Field, 2012, 19(1):61-64 (in Chinese with English abstract).
- [26] 邓虎成, 周文, 姜文利, 等. 鄂尔多斯盆地麻黄山西区块延长、延安组裂缝成因及期次[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2009, 39(5):811-817.
- Deng Hucheng, Zhou Wen, Jiang Wenli, et al. Genetic mechanism and development periods of fracture in Yanchang and Yan'an Foramtion of Western Mahuangshan Block in Ordos Basin [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2009, 39(5):811-817 (in Chinese with English abstract).
- [27] 白玉彬, 赵靖舟, 方朝强, 等. 优质烃源岩对鄂尔多斯盆地延长组石油聚集的控制作用 [J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2012, 27(2):1-5.
- Bai Yubin, Zhao Jingzhou, Fang Chaoqiang, et al. Control effect of high-quality source rocks on petroleum accumulation in Yanchang Formation, Ordos Basin [J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2012, 27(2):1-5 (in Chinese with English abstract).

The distribution of Chang-8 tight sandstone oil reservoir of Yanchang Formation in Wubao area, central-south of Ordos Basin

BAI Yu-bin^{1,2}, LUO Jing-lan², WANG Shao-fei³,
YANG Yong³, TANG Le-ping³, FU Xiao-yan³, ZHENG Hui¹

(1. School of Earth Sciences and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, Shaanxi, China; 2. Geological Department, State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China; 3. Institute of Exploration, Development and Research of PetroChina Co., Ltd., Changqing Oilfield Branch, Xi'an 710021, Shaanxi, China)

Abstract: Chang-8 oil-bearing bed of Yanchang Formation was found in recent years in the exploration and development of new Triassic reservoirs in Ordos Basin. Exploration practice has proved that it has good accumulation conditions and favorable exploration potential. With Wubao area in Zhidan County in the central south part of the basin as an example, the authors studied the conditions and distribution regularity of Chang-8 reservoir, and the results show that the Chang-8 oil source mainly came from the overlying Chang-7₃ source rocks, Chang-8 internal hydrocarbon source rocks and Chnag-9 top hydrocarbon source rocks, thus having a good oil-generating and oil-accumulating reservoir configuration. The migration force of main reservoir-producing stage resulted mainly from hydrocarbon generation pressurization and abnormal high pressure, and the injection of oil and gas into Chang-8 tight reservoir was mainly caused by nearly vertical and lateral migration. Diagenesis exacerbated the reservoir heterogeneity and resulted in the formation of diagenetic occlusion type and quasi-continuous type oil gas accumulations. Chang-8 reservoir plane and horizontal distribution are mainly controlled by the effective hydrocarbon source rocks, reservoir quality and the effective cover layer, and hence various geological factors have resulted in the present Chang-8 reservoir distribution pattern.

Key words: main controlling factor; tight sandstone oil reservoir; Chang-8 member; Yanchang Formation; Wubao area; Ordos Basin

About the first author: BAI Yu-bin, male, born in 1981, lecturer, doctor candidate, mainly engages in the teaching and study of formation mechanism and distribution rules of hydrocarbon accumulations; E-mail: baiyubin@xsyu.edu.cn.

About the corresponding author: LUO Jing-lan, female, born in 1957, professor, engages in the study of reservoir sedimentology, lithology and lithofacies in volcanic rock reservoir, reservoir characteristics and diagenesis; E-mail: jlluo@nwu.edu.cn.