

鄂尔多斯盆地志丹地区延长组长7致密油 成藏条件与成藏特征

白玉彬^{1,2},赵靖舟^{1,2},赵子龙¹,殷悦悦¹,童姜楠¹

(1. 西安石油大学 地球科学与工程学院,陕西 西安 710065; 2. 西安石油大学 陕西省油气成藏地质学重点实验室,陕西 西安 710065)

摘要:采用地质与地球化学相结合的研究方法,通过致密油分布、物理性质、油源地球化学特征、储层特征及非均质性、圈闭条件及油水分布特征综合分析长7致密油成藏条件、主控因素与成藏特征。结果表明:长7致密油藏具备形成准连续型油气聚集的成藏地质条件和特征;长7油层组中发育优质烃源岩,主要以长7³中的张家滩页岩为最优,烃源岩分布范围控制了致密油成藏外边界,烃源岩厚度大于20 m地区为最有利成藏区;长7致密油成藏具有良好的生、储、盖组合配置,重力流砂体主要呈透镜状或条带状分布于泥岩或油源岩中,具有优先捕集油气的优势;长7致密油成藏对圈闭要求相对较低,其遮挡条件主要为岩性、物性及成岩边界,动力圈闭也是重要的圈闭类型。长7致密油富集与局部构造背景没有直接的关系,而主要取决于储集层展布及物性;高强度生、排烃及强充注造成长7储层原始含油饱和度较高;受原始物质组成及成岩强度的影响,长7储层非均质性很强,致使油、气、水在致密储层中分异差,油、水分布复杂。

关键词:成藏条件;成藏特征;致密油;延长组;志丹地区;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Accumulation conditions and characteristics of the Chang 7 tight oil reservoir of the the Yanchang Formation in Zhidan area, Ordos Basin

Bai Yubin^{1,2}, Zhao Jingzhou^{1,2}, Zhao Zilong¹, Yin Yueyue¹, Tong Jiangnan¹

(1. School of Earth Sciences and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi 710065, China;

2. Key Laboratory of Shaanxi Province for Oil and Gas Accumulation Geology, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi 710065, China)

Abstract: Through integration of geological and geochemical data, this paper comprehensively analyzed the conditions, main controlling factors and characteristics of oil accumulation in the Chang 7 tight oil reservoir from such aspects as the tight oil distribution, physical properties, geochemical features of the oil source, reservoir characteristics and heterogeneity, trap conditions, and oil and water distribution. The following results were obtained. The Chang 7 tight oil reservoirs own the geological conditions and characteristics for the formation of quasi-continuous oil and gas accumulation. The Chang 7 reservoir interval contains high-quality source rocks, of which the Zhangjiatan shale in the Chang 7³ layer is the best one. The outer boundary of the tight oil reservoirs is controlled by the distribution of the source rocks. The favorable area of hydrocarbon accumulation occur in where the thickness of hydrocarbon source rocks is over 20 m. The Chang 7 tight oil accumulation has favorable source-reservoir-seal assemblages and the gravity flow sandbodies occur in the mudstone or source rocks mainly in lenticular or stripped shapes, thus are advantageous in trapping oil and gas. The importance of trapping conditions is relatively low for the accumulation of oil in the Chang 7 tight reservoir, as the main seals are lithological, physical property and diagenesis boundaries. Dynamic trap is also an important trap type. Oil enrichment in the Chang 7 tight reservoir has no direct relationship with the local tectonic background, instead is mainly controlled by reservoir distribution and their physical properties. The high intensity of hydrocarbon generation, expulsion and charging results in the relatively high original oil saturation in the Chang 7 reservoir. Due to the influences of the origin material composition and diagenetic intensity, the Chang 7 reservoir is of strong heterogeneity, resulting in the poor differentiation of oil, gas and water, and a complicated oil-water contact in the tight reservoir.

收稿日期:2013-03-31;修订日期:2013-08-15。

第一作者简介:白玉彬(1981—),男,讲师,致密油气成藏机理及分布规律。E-mail: baiyubin@xsyu.edu.cn。

基金项目:陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目(2013JM5007);陕西省教育厅专项科研计划项目(12JK0491);国家自然科学基金项目(41272138)。

Key words: accumulation condition, accumulation characteristics, tight oil, Yanchang Formation, Zhidan area, Ordos Basin

致密油为非常规油气的一种,具有广义和狭义之分^[1],狭义致密油主要包括致密砂岩油和致密碳酸盐岩油两大类^[2-3];广义致密油包括致密砂岩、碳酸盐岩及生油岩中的石油^[4-5]。文中致密油指采用大型压裂改造等技术措施才能获得经济产量的烃源岩外油藏,储层绝对渗透率约小于 $2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ^[6]。鄂尔多斯盆地的致密油 50% 以上分布于延长组长 6 油层组中,近年来随着陇东地区长 8 油藏的大规模勘探与开发,以及长 9、长 10 油层组石油勘探的不断突破,延长组深层成为致密油增储上产的一个重要领域。前人对致密油的成藏过程、成藏特征及富集规律进行了一定的研究^[7-11],取得的认识曾有效指导了致密油的勘探。与此同时,在传统上以生油为主的长 7 油层组中石油勘探获得重大突破,长庆油田在陇东、姬塬地区对长 7 致密砂岩试油约 600 口,近 350 口井获得工业油流^[4]。延长油田在定边—吴起—志丹等所属地区长 7 致密油勘探中也发现一批工业油流井,显示出致密油广阔的勘探前景。

致密油成藏问题一直以来都是石油地质届关注的热点和难点问题。致密油最显著的分布特点是石油在平面上大面积连片分布,剖面上准连续分布,通过与国外典型连续型油藏对比发现致密油主体为准连续型油藏,并对这种油藏的成藏条件及形成机理进行了探讨^[12]。长 7 油层组为近年来石油勘探新层位,对长 7 油藏成藏条件与成藏特征并没有做过系统的研究,长 7 油藏分布规律还有待进一步明确。鉴于此,笔者以鄂尔多斯盆地中部志丹地区为例,重点对长 7 致密油成藏条件与特征进行剖析,以期对鄂尔多斯盆地长 7 致密油的勘探和后续开发提供地质依据。

1 地质概况

鄂尔多斯盆地是在古生代华北稳定克拉通盆地基础上发育起来的多旋回叠合盆地^[13-15]。根据盆地重磁电特征、基岩埋深、现今构造等基本地质特征,结合盆地构造演化,将盆地划分为 6 个一级构造单元^[14],总面积约 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中 80% 以上的储产量源自陕北斜坡(图 1)。陕北斜坡为一平缓的西倾单斜,地层倾角小于 1° ,发育低幅度鼻状构造,褶皱与断裂不发育。石油平面上主要分布在陕北斜坡中南部,大面积连片;层位上主要分布在上三叠统延长组。根据标志层、岩性组合等自下而上将延长组划分为 $T_3y^1-T_3y^5$ 五段、长 1—长 10 十个油层组。

志丹地区位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡中西部,面积约 $4\,000 \text{ km}^2$,具有多层系含油的特点,主力油层为长 6

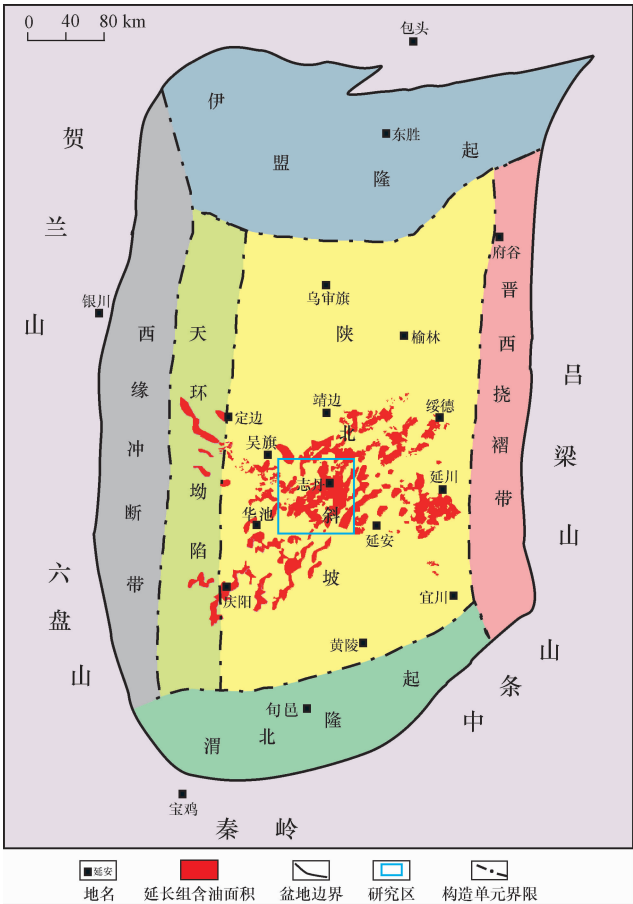


图 1 鄂尔多斯盆地致密油分布及研究区构造位置

Fig. 1 Tight oil distribution and structure location of the study area in Ordos Basin

油层组,近年在长 7 油层组石油勘探也取得进展。长 7 油层组根据标志层和沉积旋回等特征自下而上细分为长 7³、长 7² 和长 7¹ 三个油层亚组,其中长 7² 和长 7¹ 为主力产层,长 7³ 主要为生油层。长 7 油层组厚度为 110 ~ 140 m,平均为 130 m。其顶面埋藏深度自东向西由 1 200 m 逐渐增加至 2 100 m,平均深度为 1 660 m。长 7 油层埋藏深度为 1 250 ~ 2 030 m,单井油层总厚度为 5 ~ 20 m。截止 2012 年底,研究区长 7 储层共试油 127 口,其中产量大于 $10 \text{ m}^3/\text{d}$ 的 29 口井,2 ~ $10 \text{ m}^3/\text{d}$ 的 26 口井,1 ~ $2 \text{ m}^3/\text{d}$ 的 21 口井,0 ~ $1 \text{ m}^3/\text{d}$ 的 33 口井,纯产水井 18 口,平面上油水井分布复杂。

2 致密油特征

2.1 分布特征

从目前志丹地区长 7 致密油勘探现状来看(图 2),平面上长 7 致密油控制含油面积 216.85 km^2 ,主要沿着北东—南西方向呈带状分布,而远离此带油藏数量变少,油藏规模变小。长 7 油藏的这种分布可能与盆地基底断裂展布有关,其隐性活动控制了中生界古

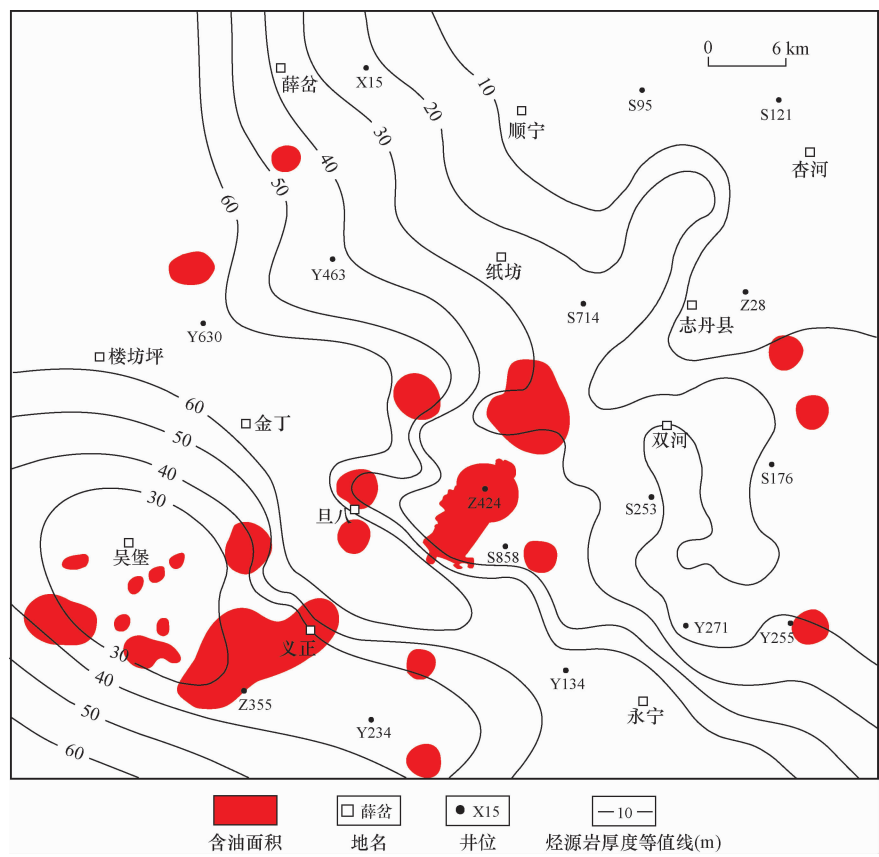


图2 志丹地区延长组长7烃源岩厚度与致密油分布

Fig. 2 Source rock thickness and tight oil distribution in the Chang 7 reservoir of the the Yanchang Formation in Zhidan area

水流的流向、砂体展布和油藏的分布^[16]。延长组长7烃源岩展布与长7致密油分布具有密切的关系,长7致密油主要分布在烃源岩厚度大于20 m的地区,小于20 m地区仅发现3个小油藏,含油面积约17 km²,而在烃源岩厚度小于10 m的地区没有长7油藏发现。从层位上看,长7致密油主要分布在长7²和长7¹油层亚组中,其次在长7³油层亚组底部和顶部也有分布。

2.2 油、水物理性质

志丹地区长7原油颜色主要为黄绿色和黄棕色。根据14口井长7原油常规物性分析,其地面原油密度为0.743~0.863 g/m³,平均为0.832 g/m³;动力粘度(50℃)为2.93~12.63 mPa·s,平均为6.96 mPa·s;凝固点为2~31℃,平均为17.3℃。W2-3井长7原油密度为0.711 g/m³,粘度为0.73 mPa·s,油/气比为134.5 m³/t,油层温度为63.8℃,油层压力为14.34 MPa,饱和压力为11.65 MPa。

根据33口井长7地层水分析,其离子组成主要以Cl⁻(27 752 mg/L),K⁺+Na⁺(11 850 mg/L)和Ca²⁺(6 812 mg/L)为主,其次为Mg²⁺(476 mg/L)、SO₄²⁻(383 mg/L)和HCO₃⁻(211 mg/L),总矿化度为47 485 mg/L,pH值为6.39(3.72~7.97),水型为CaCl₂型。

2.3 原油地球化学特征

根据研究区W1-2和W2-1两口井长7²原油地球化学分析(表1),原油族组分具有饱和烃含量高、芳香烃含量次之、非烃和沥青质含量最低的特征。反映有机质成熟度的Ts/Tm,C₂₉ββ/(ββ+αα)和αααC₂₉20S/(20S+20R)等参数显示长7原油均已达到成熟演化阶段。长7原油三环萜烷类、孕甾烷和升孕甾烷含量均较高,指示其主要来自低等水生生物贡献;规则甾烷呈“V”字形分布(图3),也反映了原油主要为藻类源或混合源有机质的贡献。

表1 志丹地区长7原油族组分与生物标志化合物参数

Table 1 Group composition and biomarker compound parameters of crude oil from the Chang 7 reservoir in Zhidan area

井名	层位	族组分含量/%				饱/芳比	Ts /Tm	C ₂₉ ββ/ (ββ+αα)	αααC ₂₉ 20S/ (20S+20R)
		饱和烃	芳香烃	非烃	沥青质				
W1-2	长7 ²	73.24	21.30	5.16	0.31	3.44	3.38	0.65	0.60
W2-1	长7 ²	73.62	18.98	6.33	1.08	3.88	4.11	0.58	0.52

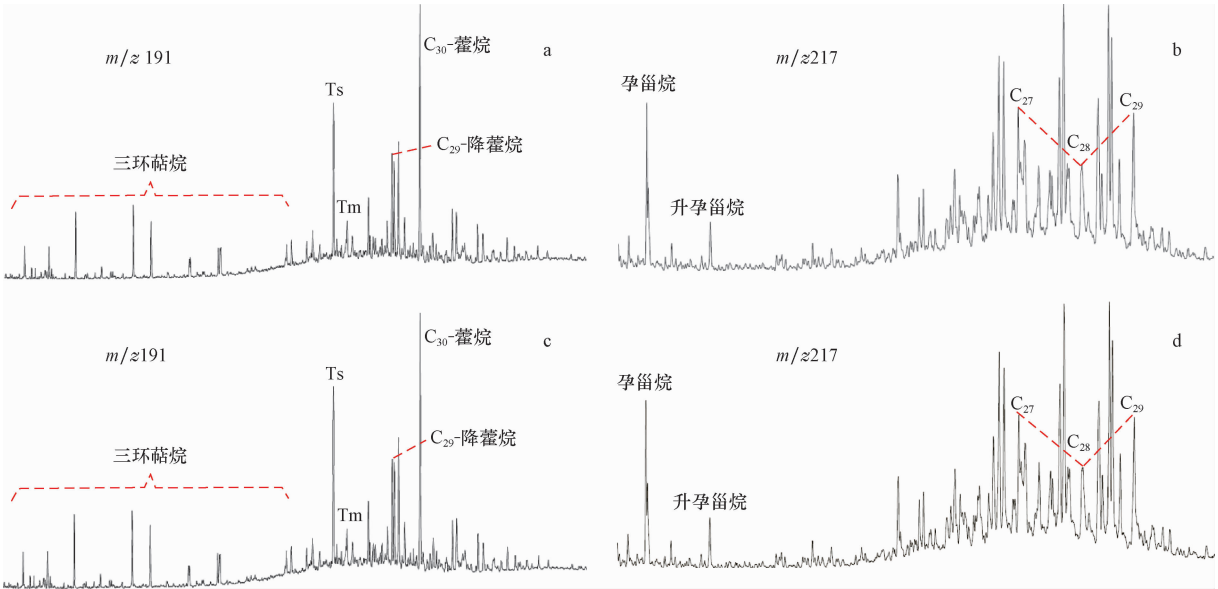


图 3 志丹地区长 7 原油饱和烃馏分质量色谱

Fig. 3 Mass chromatograms of saturated hydrocarbons from the Chang 7 crude oil in Zhidan area

a. W1 -2 井,长 7²,原油;b. W1 -2 井,长 7²,原油;c. W2 -1 井,长 7²,原油;d. W2 -1 井,长 7²,原油

3 致密油成藏条件与主控因素

3.1 优质油源岩与致密油富集

鄂尔多斯盆地延长组主力油源为长 7³ 油源岩。统计研究区钻穿长 7 的 152 口井,长 7 油源岩总厚度为 6.4 ~ 50.2 m,平均为 31.6 m,向东北部厚度逐渐变薄。层位上长 7³ 油层亚组油源岩厚度最大,平均为 28.4 m,分布稳定且连续性好;长 7² 和长 7¹ 油层亚组也发育油源岩,多呈透镜状分布,连续性差,剖面分布位置随机性强。长 7 油源岩有机碳含量为 3.34% ~ 7.84%,平均为 5.77%;氯仿沥青“*A*”含量为 0.563% ~ 1.196%,平均为 0.884%(表 2)。根据陆相油源岩有机质丰度评价指标^[17],长 7 油源岩达到极好级别。油源岩族组成总体具有烃类含量最高(饱和烃 66.16% ~ 76.96%,芳香烃 10.19% ~ 13.74%)、非烃(3.77% ~ 6.34%)和沥青质(7.33% ~ 16.21%)含量较低、饱/芳比(5.00 ~

7.55)较高的特点。干酪根元素组成中 H/C 原子比为 0.79 ~ 1.03, O/C 原子比为 0.03 ~ 0.09,干酪根碳同位素为 -29.21‰ ~ -28.03‰,反映长 7 油源岩主要为以生油为主的 II₁ 型有机质。镜质体反射率(*R*_o)为 0.64% ~ 1.14%,平均为 0.88%;Ts/Tm, C₂₉ββ/(ββ + αα)和 αααC₂₉20S/(20S + 20R)等参数分别为 5.22 ~ 15.72, 0.60 ~ 0.63 和 0.50 ~ 0.54,均说明长 7 油源岩已达到生油高峰阶段。油源对比证实,长 7 原油为本地长 7 油源岩贡献^[18]。热模拟实验表明^[19],长 7 段优质油源岩总有机碳累计产油率达 400 kg/t,平均排烃率达 72%,其生烃膨胀增压作用为石油初次运移提供了充足的动力。

由于沉积、成岩以及多旋回构造演化等特点,陆相沉积盆地储层非均质性均较强,如果没有大型的区域性不整合面以及垂向上大的断层,油气一般均以近距离侧向和垂向运移为主,油气分布与烃源岩展布具有密切的关系。鄂尔多斯盆地陕北斜坡延长组沉积后没有经历过大的构造变动,地层平缓且储层致密,油气主

表 2 志丹地区长 7 烃源岩族组分及生物标志化合物参数

井名		层位	深度/ m	族组分含量/%					饱/ 芳比	Ts/ Tm	C ₂₉ ββ/ (ββ + αα)	αααC ₂₉ 20S/ (20S + 20R)
				有机碳 含量	氯仿沥青“ <i>A</i> ” 含量	饱和烃	芳香烃	非烃	沥青质			
Y860	长 7 ³	1 845.52	6.09	1.196	70.88	11.10	4.68	13.34	6.39	15.72	0.60	0.54
		1 846.82	6.06	0.951	76.96	10.19	3.77	9.07	7.55	13.35	0.60	0.53
		1 848.97	5.29	0.992	66.16	12.26	5.37	16.21	5.40		0.62	0.52
		1 849.91	7.84	1.056	67.48	13.39	6.34	12.78	5.04	11.19	0.61	0.53
		1 850.26	7.14	0.795	68.69	13.74	5.86	11.72	5.00	9.15	0.63	0.52
		1 851.52	4.60	0.635	75.76	11.41	5.50	7.33	6.64	5.22	0.60	0.50
		1 852.01	3.34	0.563	74.35	11.62	5.61	8.42	6.40		0.60	0.52

要以近源运聚为主,盆内烃源岩展布的最大外边界控制了致密油的分布范围^[20]。志丹地区长 7 致密油分布受控于烃源岩的展布,烃源岩的厚度、质量及分布控制了平面上致密油富集区(图 2),如吴堡、义正、旦八地区长 7 致密油最为富集,该地区长 7 烃源岩累积厚度达到 25 m 以上;在烃源岩厚度相对较薄的纸坊、双河、杏河等地区发现长 7 致密油藏的数量和规模均变小。

3.2 生、储、盖组合有效配置与致密油分布

志丹地区长 7 致密油分布具有优越的生储盖组合配置,为正常式组合类型,长 7³ 以生油为主,长 7² 和长 7¹ 以储油为主。研究区长 7 油层组沉积时期处于半深湖 – 深湖沉积环境,发育重力流砂体,其剖面形态为透镜状或条带状,横向上连续性较差,多相变为半深湖 – 深湖相泥岩或油页岩,但不同时期的砂体纵向上频繁叠加,横向上复合连片、形成平面上累积厚度大且分布稳定的砂体群(图 4)。长 7 油层组沉积时期广泛分布湖相暗色泥岩,主要分布在长 7² 和长 7¹ 中,其单层及累积厚度均较大,稳定性较好,形成相对稳定的隔层,此外,厚层重力流砂体中也发育泥质及物性夹层,增强了长 7 储层非均质性,同时也增大了油气在长 7 储层中运移的阻力,有利于油气的聚集。

长 7 重力流砂体厚度为 25.9 ~ 61.9 m,平均为 40.6 m,砂地比为 20% ~ 40%,不同油层亚组砂体厚度具有一定的变化。长 7³ 砂体厚度为 1.1 ~ 27.3 m,平均为 12.9 m,砂地比多分布在 20% ~ 40%,砂体主要分布在长 7³ 的顶部和底部;长 7² 砂体厚度为 2.6 ~ 31.0 m,平均为 15.1 m,砂地比多分布在 25% ~ 60%;

长 7¹ 砂体厚度为 1.8 ~ 27.9 m,平均为 12.6 m,砂地比多分布在 20% ~ 50%。长 7¹ 和长 7² 均发育储集层,累积厚度和规模大,虽横向连续性较差,但这些储集体主要赋存于油源岩和暗色泥岩中,具有优先捕集油气的先天条件。

3.3 圈闭条件与致密油聚集成藏

常规油藏的形成圈闭条件至关重要,如果没有圈闭就没有油藏,常规油藏常分布在构造的高部位或坳陷的斜坡部位,油藏具有明显的边底水或以油水过渡带的形式存在。非常规油藏的形成也需要圈闭条件,与常规油藏不同的是这些非常规圈闭众多,单个圈闭的规模比较小且识别比较困难,圈闭之间很难截然分开,常常交织在一起,形成数量众多的圈闭群(图 5),这些圈闭群由于沉积环境差异、储集体连续性、成岩作用程度不同,使其捕获油气的能力差异很大,从而形成不同含油程度和规模的储油体。长 7 致密油圈闭类型有岩性圈闭、成岩 – 物性圈闭、动力圈闭和复合圈闭。

岩性圈闭为研究区常见的一种非常规圈闭类型,储集体为细砂岩或粉 – 细砂岩,周围被暗色泥岩或页岩等油源岩包裹,形成一个独立的储集体,这种圈闭中致密油的聚集效率高。成岩 – 物性圈闭是受成岩作用的影响而使储层物性纵横向发生变化而阻止油气的进一步运移,纵横向上常见油层、差油层、油水同层、水层等交替出现的现象。长 7 致密油聚集成藏后成岩作用仍在进行,普遍在水层出现方解石呈基底或孔隙式胶结而形成致密带,有利于油藏的后期保存。此外,动力圈闭也是致密储层中油气运聚成藏的一种重要作

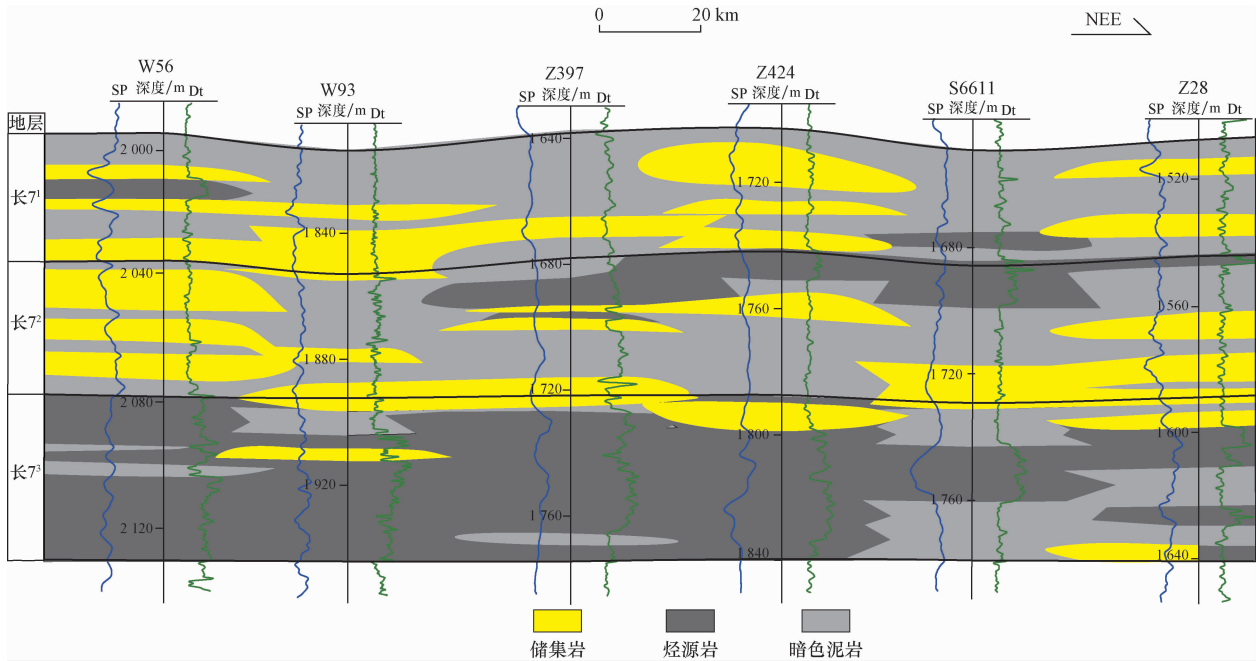


图 4 志丹地区长 7 油层组生、储、盖组合剖面

Fig. 4 Profile showing source-reservoir-cap combination in the Chang 7 oil reservoir in Zhidan area

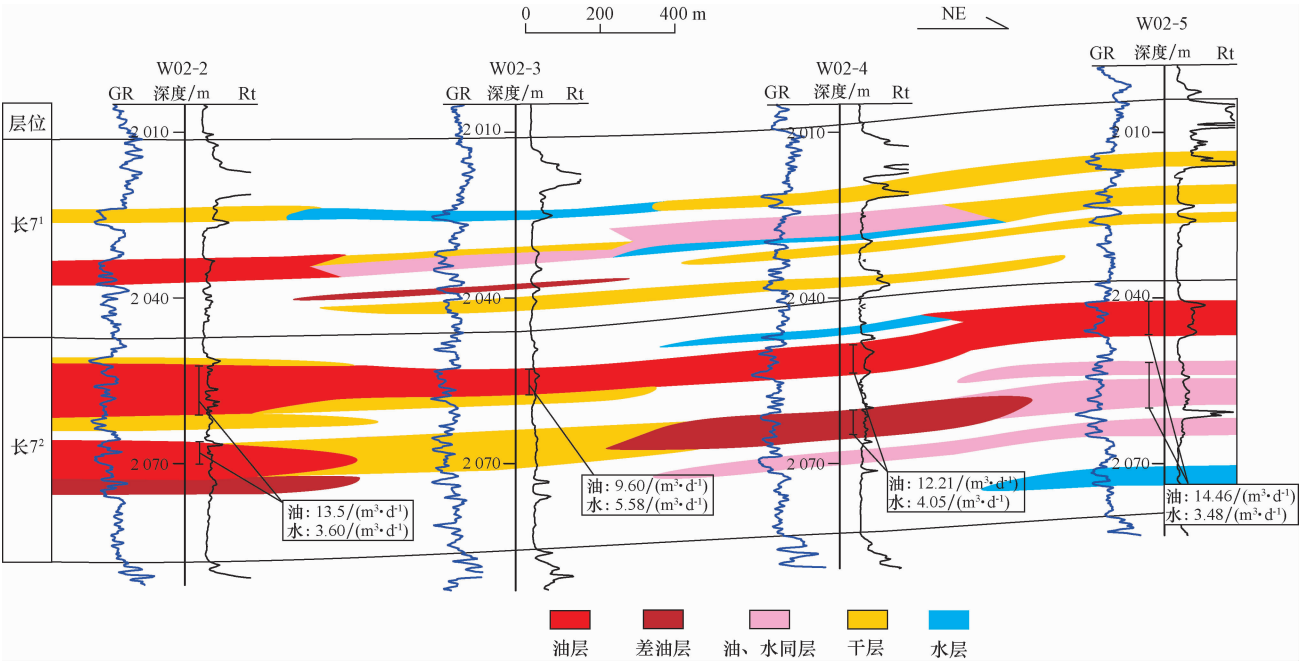


图 5 志丹地区长 7 致密油藏分布特征

Fig. 5 Distribution characteristics of the Chang 7 tight oil reservoir in Zhidan area

用^[21]。实际上,研究区长 7 致密油最常见的圈闭类型为复合圈闭,随着从细砂岩变化到泥岩,储层物性变小,油气在其中运移的阻力增大,当动力不足以克服阻力时,油气即静止下来形成聚集。

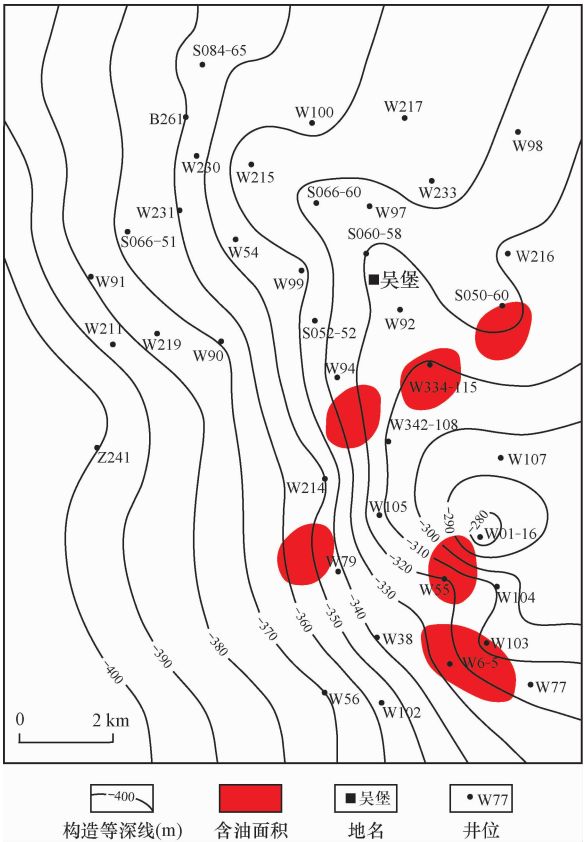
4 致密油成藏特征

4.1 油藏分布受现今构造控制不明显

以志丹县吴堡地区为例进行说明。吴堡地区长 7 顶面现今构造特征整体为一西倾单斜构造形态,长 7³、长 7² 和长 7¹ 油层亚组顶面构造形态具有相似性和继承性,研究区北部和南部各存在一个鼻状构造(图 6)。北部鼻状构造幅度约 20 m,鼻宽约 3~5 km,鼻长约 8 km,面积约 46 km²,其轴向近北西-南东向分布;南部鼻状构造幅度约 5 m,但展布规模较大,鼻宽约 4 km,鼻长约 6 km,面积约 35 km²,其轴向近北东东向分布。研究区东南部发育 1 个小型的穹隆构造,其闭合高度约 17 m,闭合面积推测约 7 km²。目前发现的长 7¹ 油藏集中分布在研究区东南部,主要分布在鼻状构造的斜坡部位,在鼻状构造高部位发现油藏的规模和数量较少。因此,构造对研究区长 7 致密油藏的分布基本不起作用。

4.2 致密油藏原始含油饱和度高

采用密闭取心资料通过分析致密储层孔隙度和含油饱和度之间的关系,计算出鄂尔多斯盆地长 7 致密油原始含油饱和度平均为 73%^[4]。研究区未有密闭取心分析数据,对于致密储层来讲,水基泥浆取心虽然受到泥浆的强烈冲刷,但由于油层渗透率极低,泥浆水



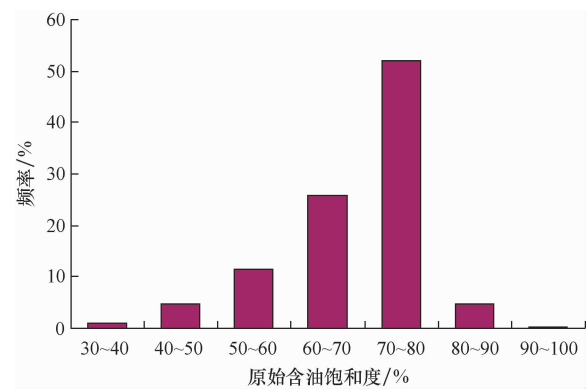


图 7 志丹地区长 7 储层原始含油饱和度分布
Fig. 7 Initial oil saturation of the Chang 7 reservoir in Zhidan area

度和与原始含油饱和度差异大的原因主要是岩心从井底提升至井口过程中,由于压力降低,石油中的溶解气释放会带出部分原油^[22],而由于蜡封作用,岩心含水饱和度变化较小,故分析的含水饱和度近似等于原始含水饱和度。长 7 油藏高的原始含油饱和度主要与油气运移充注强度有关^[23],长 7 油源岩高强度生、排烃使储层中的自由水绝大部分被驱替,残留下来的主要以束缚水为主,使原始含油饱和度增大。

4.3 储层物性差且非均质性强,油、水分布复杂

志丹地区长 7 储层现今基质孔隙度主要为 6% ~

10%,基质渗透率主要为 $0.01 \times 10^{-3} \sim 0.30 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。裂缝样品对孔隙度基本没有影响,但对储层渗透率影响很大,据 7 块裂缝样品渗透率测定结果,其值为 $0.847 \times 10^{-3} \sim 11.680 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $4.555 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。长 7 储层主要储集空间为各种溶蚀孔隙,残余原生粒间孔较少,溶蚀孔以长石粒间和粒内溶孔最为常见,偶见板状长石铸模孔。铸体薄片下长 7 储层总面孔率平均约为 3%,受显微镜分辨率的限制,微孔及其以下级别的孔隙几乎无法识别,这是造成实测面孔率值与孔隙度值差异很大的主因。核磁共振测试表明,长 7 储层孔径分布范围宽,并且发育微孔($0.5 \sim 2 \mu\text{m}$)和纳米孔($<0.5 \mu\text{m}$)^[24]。

研究表明,原始物质组成是造成长 7 储层物性差的根本原因^[25-27]。长 7 储层砂岩组分长石含量为 21% ~ 54%,石英含量为 17% ~ 39%,岩屑含量为 10% ~ 35%,塑性矿物中以云母类矿物最为发育,且多已经发生泥化,凡是云母类矿物发育的位置基本上不发育孔隙。由于原始组构成分成熟度低,埋藏成岩作用强烈,特别是压实作用使储层物性急剧变差,油气充注成藏后期的方解石胶结作用进一步破坏各种孔隙。由于沉积、成岩的非均质性,加剧了储层的非均质性,纵向上储层物性变化频繁(图 8),油气水在储层中不能很好的分异,从而形成复杂的油水分布格局。

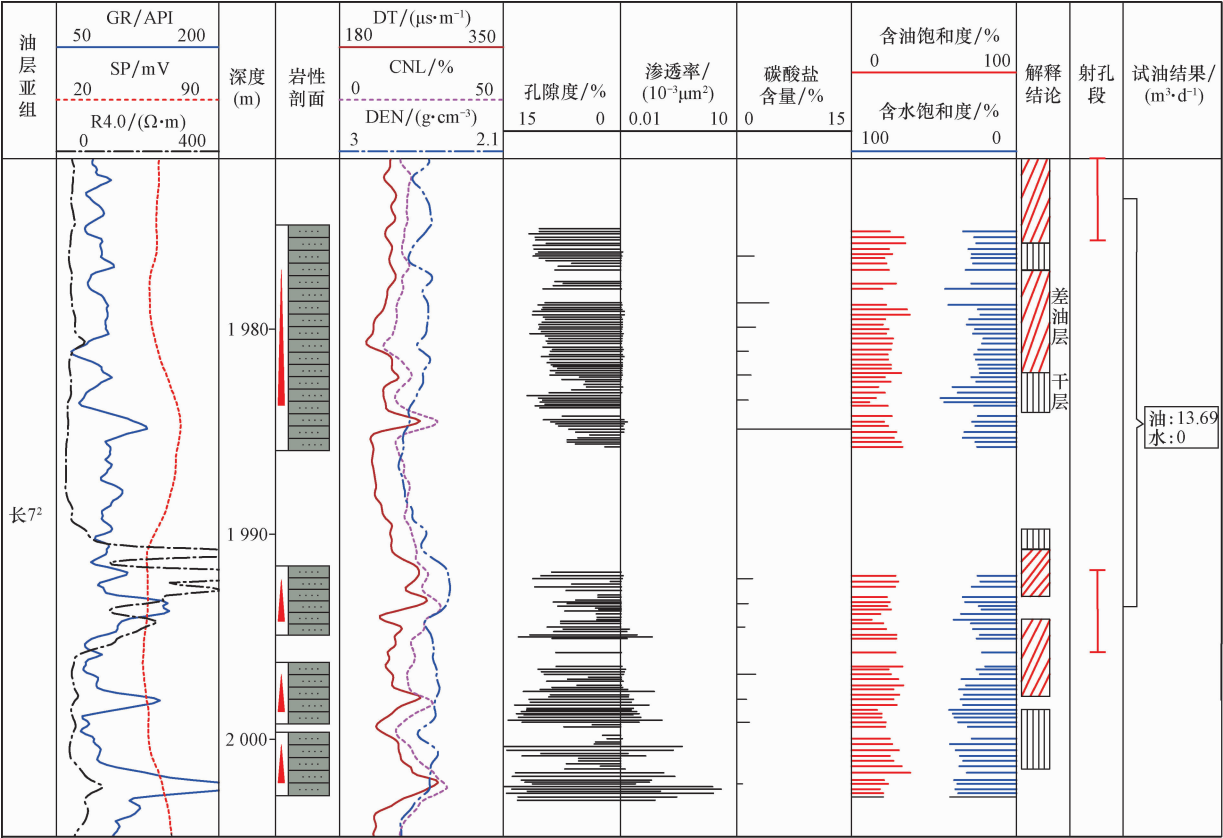


图 8 志丹地区 W219 井长 7²油层亚组岩性、电性、物性及含油性关系
Fig. 8 Relations among lithology, electrical properties, physical properties and oil-bearing properties of the Chang 7² oil layer in Well W219 in Zhidan area

4.4 具备形成准连续型油气聚集的地质条件

研究认为,长 7 致密油具备形成准连续型油藏的地质条件:大面积连续分布的优质油源岩、广泛分布的致密重力流砂体、源储一体或紧邻。但其分布范围、规模远不及上部长 6 致密油,原因是长 6 时期三角洲分流河道砂体盆地南部广泛发育且物性较好,而长 7 重力流砂体单个规模较小,连续性差,物性也极差。长 7 致密油成藏可能更加复杂,剖面中油层、差油层、油水同层、水层及干层交替出现,储集体连续且均质性好则油藏的连续性也变好。现今长 7 致密油平面分布主要呈斑块状,主要与其勘探程度低有关,实际上在含油面积之外的部分并在录井过程中均见到好的油气显示,随着勘探的不断深入,相信必然会迎来长 7 致密油大面积连续或准连续分布的场面。

5 结论

1) 志丹地区长 7 致密油主要分布在长 7² 和长 7¹ 油层亚组中,具备优越的成藏地质条件。主力烃源岩为长 7³ 中的张家滩页岩,厚度大,生排烃效率高,其地球化学指标显示为优质的油源岩。长 7 致密油主要分布于油源岩厚度大于 20 m 地区。

2) 长 7 油层组中多期重力流砂体沉积纵向上叠置,横向上复合连片,形成平面上连续分布的致密储集体,石油主要赋存于重力流砂体中物性好的、上覆及四周具有隔夹层等遮挡条件的圈闭中。其圈闭类型有岩性圈闭、成岩-物性圈闭、动力圈闭和复合圈闭。

3) 长 7 致密油成藏特点表现为:油藏分布与构造关系不大;油气充注动力强,虽然储层物性很差,但油藏原始含油饱和度仍很高;砂岩成分和结构成熟度均较低,强烈的压实和胶结作用加剧了储层非均质性,形成复杂的油水分布格局;具备形成准连续型油气聚集的地质条件。

参 考 文 献

[1] 周庆凡,杨国丰.致密油与页岩油的概念与应用[J].石油与天然气地质,2012,33(4):541-544.
Zhou Qingfan, Yang Guofeng. Definition and application of tight oil and shale oil terms[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(4): 541-544.

[2] 赵靖舟.非常规油气有关概念、分类及资源潜力[J].天然气地球科学,2012,23(3):393-406.
Zhao Jingzhou. Conception, classification and resource potential of unconventional hydrocarbons[J]. Natural Gas Geoscience, 2012, 23(3): 393-406.

[3] 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(2):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(2): 173-187.

[4] 杨华,李士祥,刘显阳.鄂尔多斯盆地致密油、页岩油特征及资源潜力[J].石油学报,2013,34(1):1-11.
Yang Hua, Li Shixiang, Liu Xianyang. Characteristics and resource prospects of tight oil and shale oil in Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(1): 1-11.

[5] 贾承造,邹才能,李建忠,等.中国致密油评价标准、主要类型、基本特征及资源前景[J].石油学报,2012,33(3):343-350.
Jia Chengzao, Zou Caineng, Li Jianzhong, et al. Assessment criteria, main types, basic features and resource prospects of the tight oil in China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(3): 343-350.

[6] 赵靖舟,白玉彬,曹青,等.鄂尔多斯盆地准连续型低渗透-致密砂岩大油田成藏模式[J].石油与天然气地质,2012,33(6):811-827.
Zhao Jingzhou, Bai Yubin, Cao Qing, et al. Quasi-continuous hydrocarbon accumulation: a new pattern for large tight sand oilfields in the Ordos Basin[J]. Oil and Gas Geology, 2012, 33(6): 811-827.

[7] 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(2):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.

[8] 陈占坤,吴亚生,罗晓容,等.鄂尔多斯盆地陇东地区长 8 段古输导格架恢复[J].地质学报,2006,80(5):718-722.
Chen Zhankun, Wu Yasheng, Luo Xiaorong, et al. Reconstruction of paleo-passage system of Chang 8 Formation in Longdong Area, Ordos Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(5): 718-722.

[9] 罗晓容,张刘平,杨华,等.鄂尔多斯盆地陇东地区长 8¹ 段低渗透油藏成藏过程[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, the Ordos Basin[J]. Oil and Gas Geology, 2010, 31(6): 770-778.

[10] 陈朝兵,朱玉双,谢辉,等.姬塬油田红井子地区延长组长 9 油层组石油富集规律[J].石油与天然气地质,2012,33(5):758-765.
Chen Zhaobing, Zhu Yushuang, Xie Hui, et al. Accumulation patterns of the Chang-9 oil reservoir in the Yanchang Formation of Hongjingzi area in Jiyuan oilfield[J]. Oil and Gas Geology, 2012, 33(5): 758-765.

[11] 李士祥,刘显阳,韩天佑,等.陕北地区延长组长 10 油层组成藏特征[J].石油与天然气地质,2011,32(5):698-709.
Li Shixiang, Liu Xianyang, Han Tianyou, et al. Characteristics of hydrocarbon pooling in Chang-10 interval of the Yanchang Fm in the northern Shaanxi province[J]. Oil and Gas Geology, 2011, 32(5): 698-709.

[12] 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 Chaoqiang, 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.

[13] 孙肇才,谢秋元.叠合盆地的发展特征及其含油气性—以鄂尔多斯盆地为例[J].石油实验地质,1980,6(1):13-21.
Sun Zhaocai,Xie Qiuyuan. Evolutional characteristics of complex basins and their hydrocarbon potentials:the Ordos Basin as an example [J]. Petroleum Geology and Experiment,1980,6(1):13-21.

[14] 杨俊杰,李克勤,张东生,等.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.
Yang Junjie,Li Keqing,Zhang Dongsheng,et al. Petroleum geological annals, Vol 12: Changqing oilfield [M]. Beijing: Petroleum Industry Press,1992.

[15] 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(1):1-7.
Li Desheng. Return to petroleum geology of Ordos Basin [J]. Petroleum Geology and Experiment,2004,31(1):1-7.

[16] 赵文智,胡素云,汪泽成,等.鄂尔多斯盆地基底断裂在上三叠统延长组石油聚集的控制作用[J].石油勘探与开发,2003,30(5):1-5.
Zhan Wenzhi,Hu Suyun,Wang Zecheng,et al. Key role of basement fault control on oil accumulation of Yanchang Formation, Upper Triassic, Ordos Basin [J]. Petroleum Exploration and Development,2003,30(5):1-5.

[17] 陆相烃源岩地球化学评价方法,SY/T5735-1995 [P].北京:中国石油天然气总公司,1996.
Geochemical analysis for hydrocarbon source rocks of continental facies, SY/T5735-1995 [P]. Beijing: China National Petroleum Corporation,1996.

[18] 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.

[19] 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 [J]. Petroleum Exploration and Development,2006,33(3):289-293.

[20] 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.

[21] 李明诚,李剑.“动力圈闭”——低渗透致密储层中油气充注成藏的主要作用[J].石油学报,2010,31(5):718-722.
Li Mingcheng,Li Jian. “Dynamic trap”: a main action of hydrocarbon charging to from accumulations in low permeability-tight reservoir [J]. Acta Petrolei Sinica,2010,31(5):718-722.

[22] 杨通佑,范尚炯,陈元千,等.石油及天然气储量计算方法[M].北京:石油工业出版社,1990.
Yang Tongyou,Fan Shangjiong,Chen Yuanqian,et al. Reserve calculation of oil and gas [M]. Beijing: Petroleum Industry Press,1990.

[23] 时保宏,张艳,张雷,等.鄂尔多斯盆地延长组长7致密储层流体包裹体特征与成藏期次[J].石油实验地质,2012,34(6):599-603.
Shi Baohong,Zhang Yan,Zhang Lei, et al. Hydrocarbon accumulation dating by fluid inclusion characteristics in Chang7 tight sandstone reservoirs of Yanchang Formation in Ordos Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment,2012,34(6):599-603.

[24] 冯胜斌,牛小兵,刘飞,等.鄂尔多斯盆地长7致密油储层储集空间特征及其意义探讨[J].低渗透油气田,2012,17(3):26-30.
Feng Shengbin,Niu Xiaobing,Liu Fei,et al. Exploring the characteristics and significance of reservoir space of Chang-7 tight oil reservoirs in Ordos Basin [J]. Low Permeability Oil and Gas Fields,2012,17(3):26-30.

[25] 康立明,苏道敏,曹林川.鄂尔多斯盆地元城地区储层微观孔隙结构特征[J].断块油气田,2011,18(3):338-341.
Kang Liming,Su Daomin,Cao Linchuan. Characteristics of reservoir microscopic pore structure in Yuancheng Area of Ordos Basin [J]. Fault-Block Oil & Gas Field,2011,18(3):338-341.

[26] 时保宏,姚泾利,张艳,等.鄂尔多斯盆地延长组长9油层组成藏地质条件[J].石油与天然气地质,2013,34(3):294-300.
Shi Baohong,Yao Jingli,Zhang Yan, et al. Geologic conditions for hydrocarbon accumulation in Chang-9 oil reservoir of the Yanchang Formation, Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2013,34(3):294-300.

[27] 姚泾利,陈世加,路俊刚等.鄂尔多斯盆地胡尖山地区长7储层特征及影响因素[J].石油实验地质,2013,35(2):162-166,173.
Yao Jingli,Chen Shijia,Lu Jungang et al. Features and influencing factors of Chang 7 reservoir of Yanchang Formation in Hujianshan area, Ordos Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment,2013,35(2):162-166,173.

(编辑 张亚雄)