

鄂尔多斯盆地东南部延长组致密油成藏条件及主控因素

任战利¹,李文厚¹,梁宇^{1,2},吴晓青¹,于强¹,任龙¹,王维¹

(1. 西北大学 大陆动力学国家重点实验室,陕西 西安 710069; 2. 中国石油 大庆油田有限责任公司,黑龙江 大庆 163000)

摘要:鄂尔多斯盆地东南部延长组致密油成藏条件研究程度较低,致密油勘探未取得大的突破。为了评价盆地东南部延长组致密油的勘探前景,通过对沉积、储层、盖层、油气运移等方面的研究,深入分析了盆地东南部延长组致密油成藏条件。研究结果表明盆地东南部延长组长7段优质烃源岩大面积分布,延长组储层致密,源储配置好,具有形成致密油的良好地质条件。长6、长7、长8油层组是鄂尔多斯盆地东南部延长组致密油主力勘探层系。延长组致密油藏的形成和富集主要受沉积微相、优质储层的控制。通过包裹体测温、盆地热史、伊利石测年、饱和压力等多种方法确定的致密油藏主成藏期为早白垩世,致密油成藏期受中生代晚期构造热事件的控制,具有晚期成藏的特点。

关键词:致密油;成藏期;成藏条件;构造-热事件;热演化史;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE112.3 **文献标识码:**A

Tight oil reservoir formation conditions and main controlling factors of Yanchang Formation in southeastern Ordos Basin

Ren Zhanli¹, Li Wenhui¹, Liang Yu^{1,2}, Wu Xiaqing¹, Yu Qiang¹, Ren Long¹, Wang Wei¹

(1. State Key Laboratory for Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China;

2. Daqing Oil field Company Ltd., PetroChina, Daqing, Heilongjiang 163000, China)

Abstract: No breakthrough has been made in tight oil exploration of the Yanchang Formation in southeastern Ordos Basin because of the low level of research on tight oil accumulation conditions. In order to evaluate tight oil exploration prospect of the Yanchang Formation, we studied in-detail the tight oil accumulation conditions in the study area studying respects of sedimentary microfacies, reservoir rock, cap rock and hydrocarbon migration. The high quality source rocks of Chang 7 (7th Member of the Yanchang Fm) are widely developed in the southeast region of the basin. The reservoir of the Yanchang Formation is tight. The favorable source-reservoir combination provided good geological conditions for tight oil accumulation. The Chang 6, Chang 7 and Chang 8 (the 6th, 7th and 8th Members of the Yanchang Fm) intervals are the main targets for exploration of tight oil in the Yanchang Formation in the study area. Tight oil reservoir formation and enrichment are controlled by sedimentary microfacies and quality reservoirs. Based on the study of inclusions temperature, thermal history, illite dating, saturation pressure and other methods, the tight oil accumulation period in Yanchang Formation is set at the Early Cretaceous and was controlled by the Late Mesozoic tectonic thermal event, thus tight oil accumulation occurred in late stage.

Key words: tight oil, timing of petroleum accumulation, accumulation condition, tectonic-thermal event, thermal history, Ordos Basin

鄂尔多斯盆地油气资源丰富,延长组为盆地中生界最重要的烃源岩发育层位和油气产层,致密油资源丰富,其中长7、长6油层组是致密油主要分布层位。近年来延长组油气勘探有重大突破,在延长组发现了西峰、姬塬、华庆等3个低渗-超低渗(多为致密砂岩)油田,致密油的勘探开发及研究取得了重要进展^[1-10]。

研究区位于鄂尔多斯盆地东南部,北起甘泉,南至铜川,西起正宁,东至宜川,位于三叠纪延长期大型凹陷型盆地的中心部位,延长组烃源岩发育,具有形成致密油藏的良好地质条件。与盆地西南、东北部相比致密油勘探未取得大的突破,盆地东南部延长组致密油成藏条件及主控因素也缺乏深入研究。本文在充分运用研究区已有的石油地质分析资料的基础上,通过对

收稿日期:2013-12-15;修订日期:2014-02-10。

第一作者简介:任战利(1961—),男,研究员、博士生导师,盆地热演化史与油气成藏及油气评价研究。E-mail:renzhanli@nwnu.edu.cn。

基金项目:国家自然科学基金项目(41372128);西北大学大陆动力学国家重点实验室科技部专项(BJ08133-1);国家科技重大专项(2011ZX05005-004-007HZ)。

采集的沉积、储层、烃源岩、油气等样品的分析,对盆地东南部延长组致密油成藏条件进行了深入研究,探讨了延长组致密油成藏条件及主控因素,这对于油田企业的可持续发展及实现致密油勘探的新突破有重要的现实意义。

1 研究区地质构造特征

鄂尔多斯地区晚三叠世延长期为大型的内陆湖盆,湖盆向东南开口,东南部与大华北盆地相连^[11-13]。延长期末鄂尔多斯盆地整体抬升,遭受区域性剥蚀。晚侏罗世燕山旋回中期,盆地东部抬升,盆地大部分缺失晚侏罗世沉积^[11-12,14]。仅在盆地西部沉积了上侏罗统芬芳河组。早白垩世末之后,鄂尔多斯盆地整体抬升,盆地开始进入抬升剥蚀改造时期。研究区在构造区划上横跨陕北斜坡和渭北隆起,主体位于陕北斜坡东南部。研究区主要受渭北隆起和晋西挠褶带构造单元形成与演化的控制,后期抬升剥蚀幅度较大,剥蚀厚度自东而西、由南向北逐渐减小。在宜君-黄陵-富县-甘泉以东,白垩系已被剥蚀殆尽。

研究区延长组、延安组、下白垩统各构造层构造展布特征具有很好的继承性,地层向北西倾斜,向东南抬升。构造线展布方向由陕北斜坡的近南北向,到渭北隆起转为北东向,整体缺乏背、向斜构造。

2 延长组致密油成藏条件

2.1 沉积储层条件

鄂尔多斯地区在晚三叠世为大华北盆地的一部分^[15],晚三叠世为大型拗陷型盆地,鄂尔多斯盆地东南部处于华北大盆地南部的深湖区,沉积微相主要为浅湖相、三角洲前缘、浊积扇、深湖相等,暗色泥岩发育,砂岩

较细。延长组砂岩储层以细砂岩、极细砂岩为主。

盆地东南区距沉积物源区较远,本区砂体粒度较其它地区小,且受成岩作用的影响,胶结致密,物性较差。研究区延长组储层物性变化较大,随深度的加深,孔隙度、渗透率值逐渐减小。以长2油层组的孔隙度平均值最高(图1),长9油层组孔隙度值最低。长1、长3、长2油层组渗透率平均值较高,渗透率的分布随深度增加逐渐降低。

研究区延长组长4+5—长10储层孔隙度普遍小于10%,渗透率普遍小于 $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,延长组储层物性较盆地其它地区差。按照贾承造等对致密油的定义,储集层覆压基质渗透率小于或等于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (储层地面空气渗透率小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$),延长组长4+5—长10油层组总体以处于致密油的范围^[5,16],为致密油。

长6油层组是研究区最重要的主力产层之一,长6油层组孔隙度分布在0.2%~17.5%,平均值为8.59%,孔隙度频率峰值在8%~10%;渗透率主要分布在 $0.001 \times 10^{-3} \sim 6.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均值为 $0.41 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。渗透率频率分布呈单峰型,主峰位于 $0.1 \times 10^{-3} \sim 0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。长6储层发育研究区主要分布于塔儿湾地区、槐树庄农场、正宁等地^①,主要位于三角洲前缘水下分流河道砂体、浊积扇中。

研究区长7油层组孔隙度大部分分布在4%~10%,占整个统计样品的67.8%,渗透率频率分布为双峰型,主峰位于 $0.01 \times 10^{-3} \sim 0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 与 $0.1 \times 10^{-3} \sim 0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,这两个区间的样品占总样品数的90.8%。长7油层组储层物性整体较差,深湖区浊积扇发育,浊积扇扇中部位储层物性较好,是致密油分布的主要部位。

延长组长6段、长7段致密油分布主要分布于深湖区三角洲前缘水下分流河道及浊积扇砂体中。

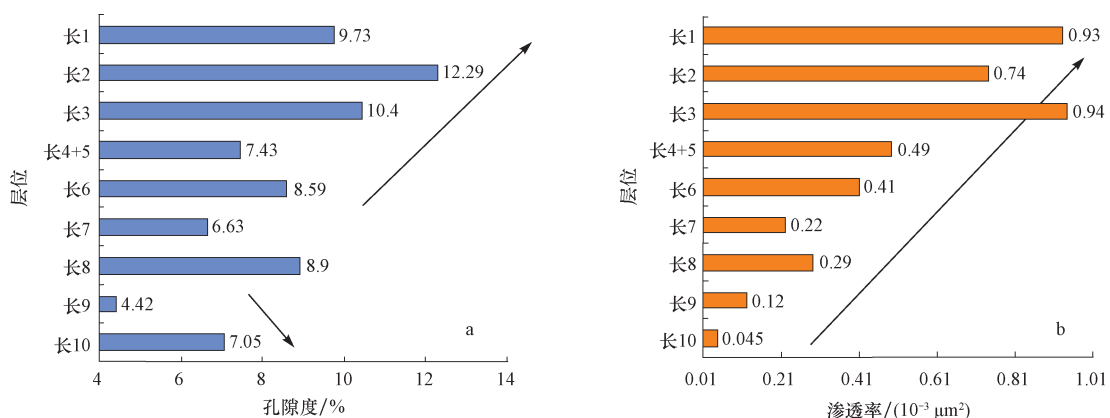


图1 鄂尔多斯盆地东南地区延长组储层物性变化对比^①

Fig. 1 Physical property variation of the Yanchang Formation in the southeastern Ordos Basin^①

① 李文厚,任战利. 鄂尔多斯盆地东南部石油成藏地质条件研究. 中国石油长庆油田公司重大科研项目研究报告,2010.

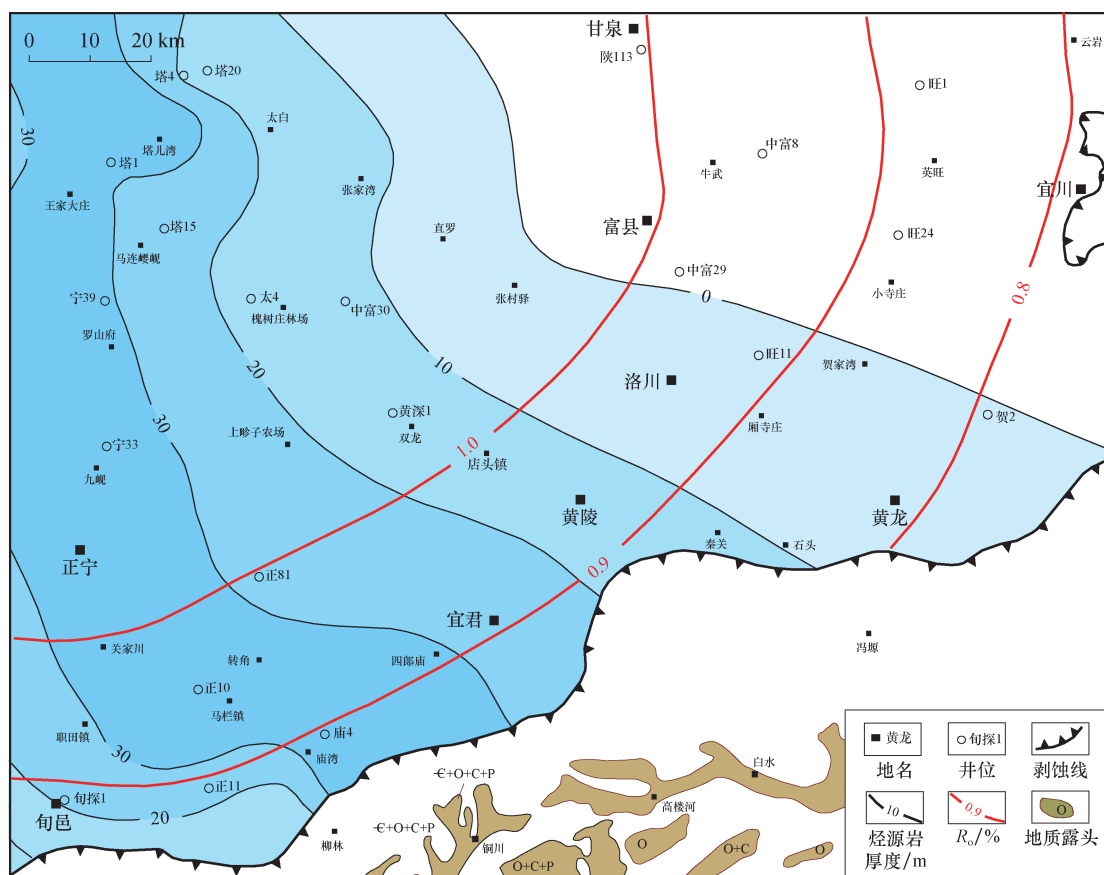


图2 鄂尔多斯盆地东南地区长7段烃源岩厚度及热演化程度平面分布

Fig. 2 Isopach of Chang 7 source rock and its thermal maturity map in the southeastern Ordos Basin

2.2 烃源岩条件

鄂尔多斯盆地中生界主力烃源岩主要发育于三叠系延长组长7段,为深湖相暗色泥岩。长7段深湖相分布面积约 $3 \times 10^4 \text{ km}^2$,有效烃源岩厚度最厚处大于30 m。长7烃源岩分布面积较广,母质类型以腐泥—混合型为主,是优质的烃源岩^[17-18]。

长9段烃源岩可细分为两套,主要分布在长9²的下部和长9¹的顶部。长9²烃源岩累计厚度一般为0~10 m,分布面积约 $8 \times 10^4 \text{ km}^2$,主要分布在定边—桥镇—黄龙一带,发育两个中心,厚度大于10 m的烃源岩面积约5 000 km^2 ^[19]。

研究区位于盆地的东南部,中生界主力烃源岩为长7段暗色泥岩,有效烃源岩呈北西—南东向条带展布,向东北—西南向依次逐渐变薄。有效烃源岩在正宁—宜君一线较厚,最厚达到30 m以上(图2)。长7烃源岩向东南开口,在铜川—白水及以南地区,由于盆地演化后期的构造抬升而剥蚀殆尽。

鄂尔多斯盆地延长组长7段残余有机碳含量主要分布于6%~14%^[17-18],长7段泥岩有机碳含量在湖盆中心相对较高,以华池、吴旗地区最高,由湖盆中心向边部有机碳含量逐渐降低。研究区长7段泥岩有机碳含量较高(图3),主峰值为5%~10%,绝大部分样

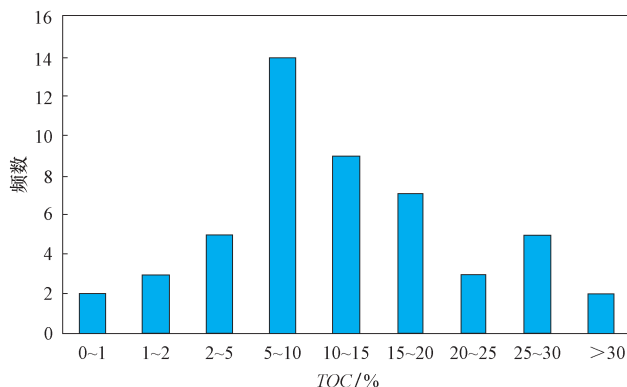


图3 鄂尔多斯盆地东南地区长7段泥岩 TOC 频率

Fig. 3 TOC frequency distribution of Chang 7 source rock in the southeastern Ordos Basin

品测得的值都大于5%,长7段泥岩为优质的烃源岩。

研究区延长组长7段有机母质类型主要为腐泥型—混合型(I—II型),干酪根富类脂组分(>90%),有较高的热解氢指数。研究区旺24井长7段烃源岩干酪根腐泥组含量高达93%以上,有机质类型为I型,类型好(表1)。在长7段烃源岩中存在较多的微裂隙,在荧光显微镜下可以见到微裂隙两侧吸附烃类具有有机质荧光特征,表明微裂隙为油气初次运移的通道,是烃源岩排烃的直接证据。

鄂尔多斯盆地延长组在吴旗—甘泉—庆阳—华池

表1 研究区旺24井干酪根组分及类型

Table 1 Kerogen composition and type of Well Wang 24 in study area

层位	井深/m	岩性	$R_o/\%$	干酪根组分含量/%				类型指数	干酪根类型
				腐泥组	壳质组	镜质组	惰质组		
长7段	593.2	黑色泥岩	1.01	96.2	0	2.8	1.0	93.1	I
长7段	595.3	黑色泥岩	1.03	94.2	0	4.4	1.4	89.5	I
长7段	598.3	黑色泥岩	1.04	93.8	0	3.6	2.6	88.5	I
长7段	602.3	黑色泥岩	1.04	95.2	0	3.6	1.2	91.3	I

一带热演化程度达到最高,镜质体反射率(R_o)达到1.0%,向周边地区 R_o 值呈环带状降低^[20-21]。研究区长7段烃源岩在西部正宁、西北部太白—槐树庄林场—东部富县、直罗一带, R_o 大于1.0%。热演化程度以研究区西部、西北部为最高,以西北部为中心向盆地东缘和南缘降低,逐渐降低到0.8%。总体来看,研究区延长组整体已进入生油门限, R_o 大于0.8%,延长组经历的最大古地温主要处于100~150℃,生油凹陷中心已处于成油高峰阶段(图2)^[20-22]。

研究区延长组处于大型坳陷型盆地深湖区,长7段烃源岩大面积分布,有机质丰度高,类型好,处于生油高峰阶段,具有形成致密油藏很好的物质基础。

2.3 盖层保存条件

鄂尔多斯盆地三叠系延长组湖相沉积旋回发育,延长组各段均发育泥岩。延长组上部主要为河流、浅湖、沼泽相沉积的砂、泥岩,暗色泥岩厚度可达80~120 m,为延长组油藏的区域盖层。长4+5—长8段主要为湖相泥岩沉积物,暗色泥岩厚度可达200 m,也是油藏内部的重要盖层。

晚三叠世以来研究区主要经受了印支、燕山运动的改造,其中燕山运动改造最为强烈。三叠纪末,延长组顶部遭受剥蚀的强度不大,剥蚀强度具有西强东弱的趋势,研究区整体的剥蚀量在100 m左右;中侏罗世末剥蚀事件使研究区延安组遭到严重剥蚀,在甘泉以南地区最大剥蚀量达到250 m;侏罗纪末剥蚀厚度为200~300 m;早白垩世末以来为最大的一期剥蚀事件,剥蚀厚度由西南向东逐渐增大,到甘泉以东地区达1 200 m以上^[23-24]。在盆地东南部延长组不同层位均遭到剥蚀,剥蚀较强。在铜川—白水一线以南,长7段烃源岩已剥蚀殆尽。在盆地东部延长组顶部的长1、长2油层组遭到大面积剥蚀,在宜君—黄陵—黄龙—英旺以东及旬邑—柳林—铜川以南已缺失长1段、长2段,油气的封盖能力变差。

研究区虽然经历较大剥蚀,但主体部位长4+5、长6及长7油层组泥岩分布连续,且由于长4+5段上部大套泥岩大面积连续分布,长4+5—长10油藏盖层保存条件良好。

2.4 油气运移条件

1) 油气运移动力

油气运移的驱动力有浮力、构造应力和异常流体压力,其中对油气运移起主要作用的驱动力为地层异常流体压力,即剩余压力^[7,25-26]。异常过剩地层压力控制着上三叠统延长组油气的油气初次运移,在相当程度上也影响了油气二次运移及富集成藏过程。流体运移总是遵循从高剩余压力区向低剩余压力区流动的规律。研究区在地层达到最大埋深时大部分地区位于延长组剩余压力高值区^[27]。

本文应用研究区11口深井测井资料,采用平衡深度法计算异常段的压力,对正常压实段采用静水压力梯度法计算。计算结果表明在地层达到最大埋深时剩余压力高幅度增长层段主要从长4+5段开始,到长7段达到最大,到长8段有相当一部分井剩余压力明显降低,个别井长9段也存在剩余压力。在中生代晚期早白垩世时,地温梯度高,发生构造热事件^[20-22,24],长7段烃源岩大量生烃,生烃增压作用明显,产生过剩压力,最大值达10 MPa,而长8段、长6段都不超过5 MPa,存在明显的压力差,为油气向下、向上运移提供了动力。从剩余压力与含油性的关系可以看出研究区产油层段主要分布在相邻剩余压力相对低值区和正常压力区。

2) 油气运移通道

鄂尔多斯盆地东南区延长组节理、裂缝发育^[28],黄陵地区不同观测点的统计结果显示,该区以发育北东东向(或近东西向)和近南北向两组平面X型共轭剪节理为特征。宜川地区不同观测点的统计结果显示,该区发育近东西和近南北向两组平面X型共轭剪节理。节理沟通了烃源岩与储层的联系^[29],节理与裂缝可作为油气穿层运移的通道(图4)。

研究区处于晚三叠世大型坳陷型盆地的深湖区,长7段砂岩储层与烃源岩直接接触,生成的油气可以直接进入储层,进入砂岩储层后,由于砂体叠置,可以通过砂体进行顺层运移。盆地东南部油气运移存在穿层和顺层两种方式^[30]。油气以节理、裂缝及砂体爬楼梯方式进行垂向穿层运移,进入储层后,主要沿砂体向上倾方向进行侧向运移。

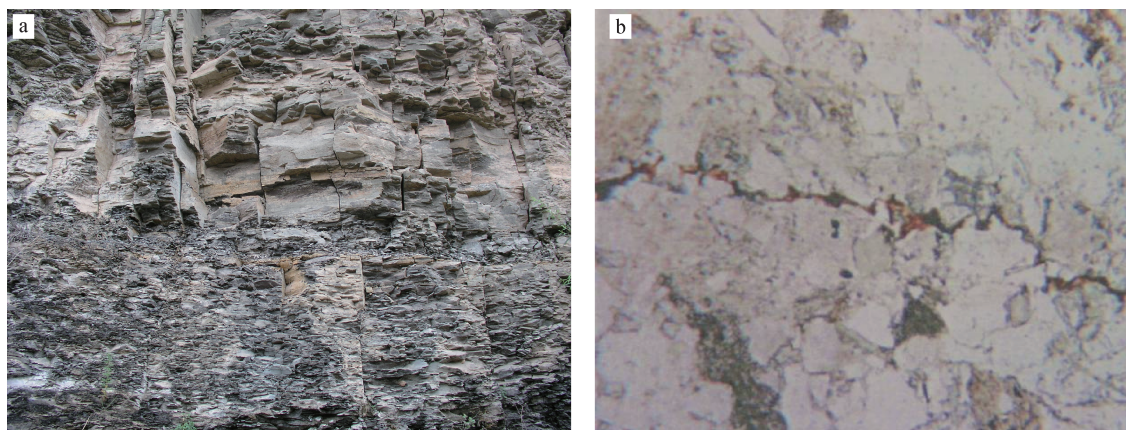


图4 鄂尔多斯盆地东南地区延长组中发育的节理及裂缝

Fig. 4 Joints and fractures of the Yanchang Formation in the southeastern Ordos Basin

a. 宜川县城旁,长7段烃源岩及发育的节理;b. 正10井,1 419.10 m,长7段,裂缝中充填沥青(单偏光)

2.5 致密油成藏期次与构造热事件关系

盆地热演化史控制着油气成藏历史及成藏时期^[31-32],在对研究区埋藏史恢复的基础上,恢复了宁39等井的热演化史。宁39井热演化史研究表明中生代早期印支期地温梯度低,中生界埋藏浅,热演化程度低,油气尚未成熟。燕山旋回,由于地层持续沉降造成的埋深及中生代晚期的构造热事件,使得地温梯度迅速升高,提高了上三叠统延长组烃源岩的成熟度,在早白垩世约140~93 Ma 延长组长7段烃源岩达到生油高峰期(图5)。鄂尔多斯盆地中生代晚期早白垩世发生了构造热事件^[20-22,24],构造热事件对油气的快速生成、排烃及成藏有重要控制作用,构造热事件发生时期也是油气重要成藏期^[9,22,32-33]。燕山旋回以后,整个研究区整体大幅度抬升,地温梯度减小,烃源岩埋深变浅,生烃作用逐渐减弱或停止。

研究区延长组包裹体测温分析表明有两期包裹体,第一期油气包裹体均一温度主要为90~120℃,第二期主要为140~150℃。由热演化史图确定的第一期油气包裹体为早白垩世早-中期(约为110~120 Ma),代表了油气生成和运移充注的过程,第二期油气包裹体为早白垩世晚期(约为93~100 Ma),代表了油气大规模聚集成藏的过程。包裹体的两期代表了油气充注的两幕,实际上反映了一期油气连续成藏,油气主要成藏期为早白垩世^[9,22,33-34]①(图5)。在成岩晚期方解石及晚期形成的裂隙中有大量有机包裹体分布,也证明油气成藏主要为成岩晚期^[9]。

采用了伊利石测年法对研究区延长组致密储层含油砂岩进行了伊利石钾-氩测年,其结果为95.6~117.2 Ma,为早白垩世。应用研究区延长组致密储层

饱和压力资料计算的致密油藏成藏时期也为早白垩世^{①②}。

由包裹体测温、盆地热史、伊利石测年、饱和压力等多种方法确定的盆地东南部延长组致密油成藏时期具有很好的一致性,均为早白垩世^[9,22,32]。延长组致密油成藏时期受中生代晚期构造热事件的控制(图5),成藏期晚,总体是在早白垩世延长组储层已致密的背景下成藏的。

3 延长组致密油成藏主控因素

鄂尔多斯盆地大量的勘探实践表明延长组油藏的形成和分布主要受延长组生油凹陷的控制^[7],长7段优质烃源岩生成的油气可沿横向叠置的砂体及微裂缝向上、向下运移,砂体及微裂缝是石油运移的主要通道。三角洲水下分流河道、湖相浊积岩等是油气富集的重要场所^[2-3,35-36]。研究区长7段、长6段浊积砂体、三角洲前缘分流河道砂体中为主要含油部位,储层致密,物性较差,为典型的致密油。

以研究区长7油层组为例,已发现的长7油层主要分布于深湖区浊积扇中(图6)。研究区深湖区面积大,发育优质源岩,浊积扇砂体发育,储层致密^[2,7,36],源储大面积接触,源储配置关系很好,致密油为短距离运移,就近成藏。在盆地东南部长7段优质烃源岩大面积分布,源储大面积接触的背景下,长7段致密油的分布及富集主要受沉积微相及储层物性的控制。

1) 沉积微相对致密油聚集的控制作用。

研究区目前发现的长7段致密油藏为受岩性、物性控制的岩性油气藏。储层含油性受沉积微相的控制。

长7段深湖区浊积扇砂体较为发育,研究区内有

① 李文厚,任战利. 鄂尔多斯盆地东南部石油成藏地质条件研究. 中国石油长庆油田公司重大科研项目研究报告,2010.

② 任战利,梁宇. 子长采油厂资源潜力研究. 延长油田股份有限公司科研项目报告,2010.

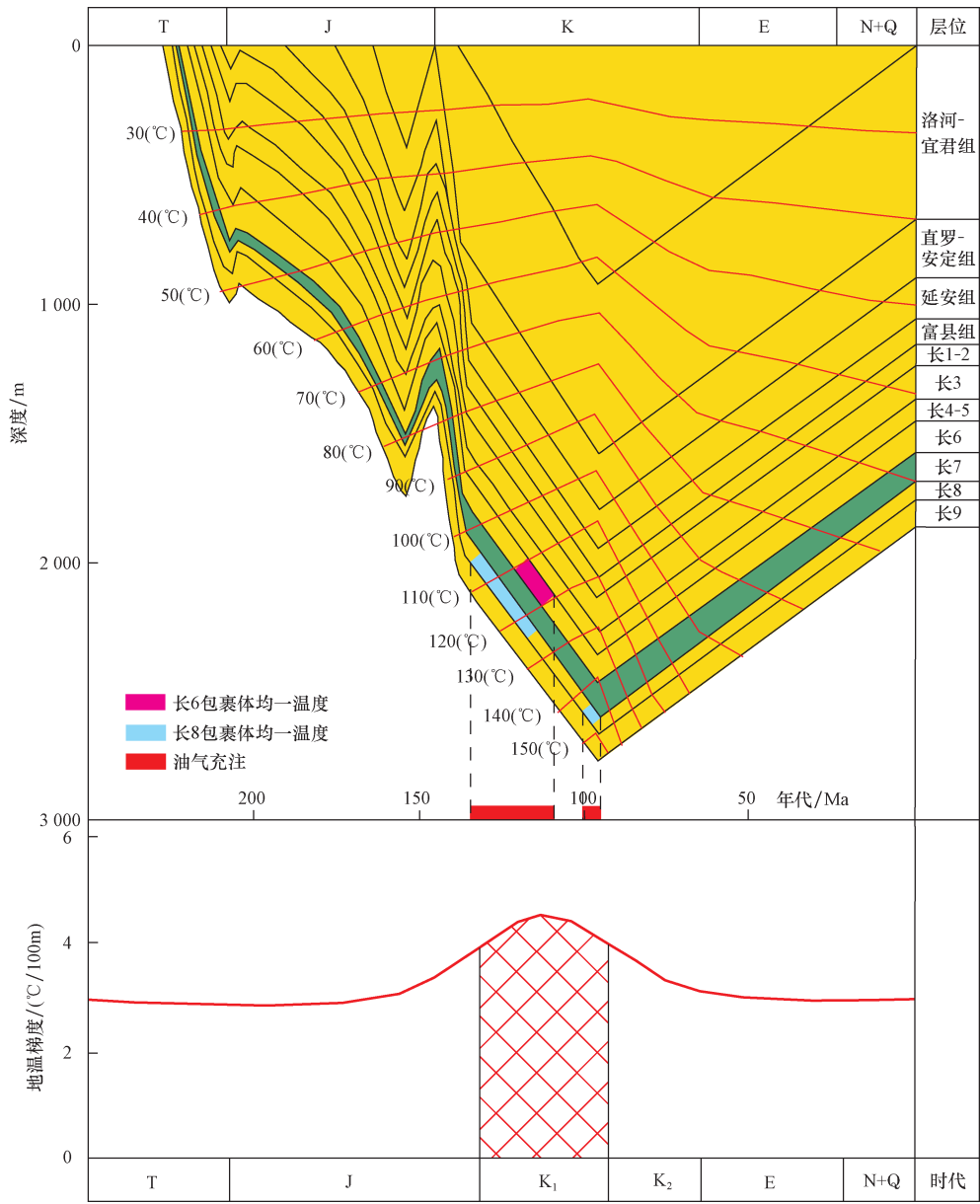


图 5 宁 39 井延长组致密油成藏期次与构造热事件对应关系

Fig. 5 Correlation of tight oil accumulation period of the Yanchang Formation with tectonic-thermal events in Well Ning 39

较好油显示的井位大部分分布在浊积扇中部位,已发现的油层分布主要分布在研究区西部深湖区厚浊积扇砂体中(图 6),其中长 7¹、长 7² 段都有油气显示,且以长 7¹ 更优。西部深湖区的塔儿湾区长 7 段厚浊积砂体区是致密油的富集区。随着油气勘探工作及研究工作的深入,会在深湖区浊积扇砂体中发现更多的致密油藏。

2) 储层物性是影响致密油富集的关键因素。

储层物性对致密油的富集起最主要控制作用,通常砂体的空间展布与储层物性的平面展布具有一致性,通常在砂体连片、厚度大、分布广的区域,也是储层孔隙度较大、渗透率值较高的区域,其含油性也普遍较好(图 6)。

研究区长 7 油层组以极细砂、细砂岩为主,孔隙类型为粒间溶孔及剩余粒间孔。在深湖区的宁 33 井、塔

1 井长 7 段浊积扇砂体中试油见高产工业油流,试油产量分别为 30.6 t/d 及 23.63 t/d,储层平均孔隙度均小于 9%,渗透率为 $0.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,为低孔、特低渗储层,属典型的致密油。

研究区长 7 段致密油藏形态多呈透镜体状,油藏的分布平面上明显受砂体展布的控制。在生烃凹陷生成的油气向周围砂体运移过程中,当遇到砂层侧向相变以及储层物性变差时即聚集成藏。储层物性条件较好的层段是致密油富集的主要部位,以长 7 油层为例,研究区西部浊积砂体发育,储层物性较好,源储大面积接触、配置关系很好,是致密油富集的主要场所。纵向上长 7¹ 亚段储层更为发育,储层物性较好,因此 7¹ 段是致密油发育的主要层段。

裂缝对弥补储层物性差,促进油气运移及聚集有着重要意义^[7,37]。在盆地东南部储层物性普遍较差的

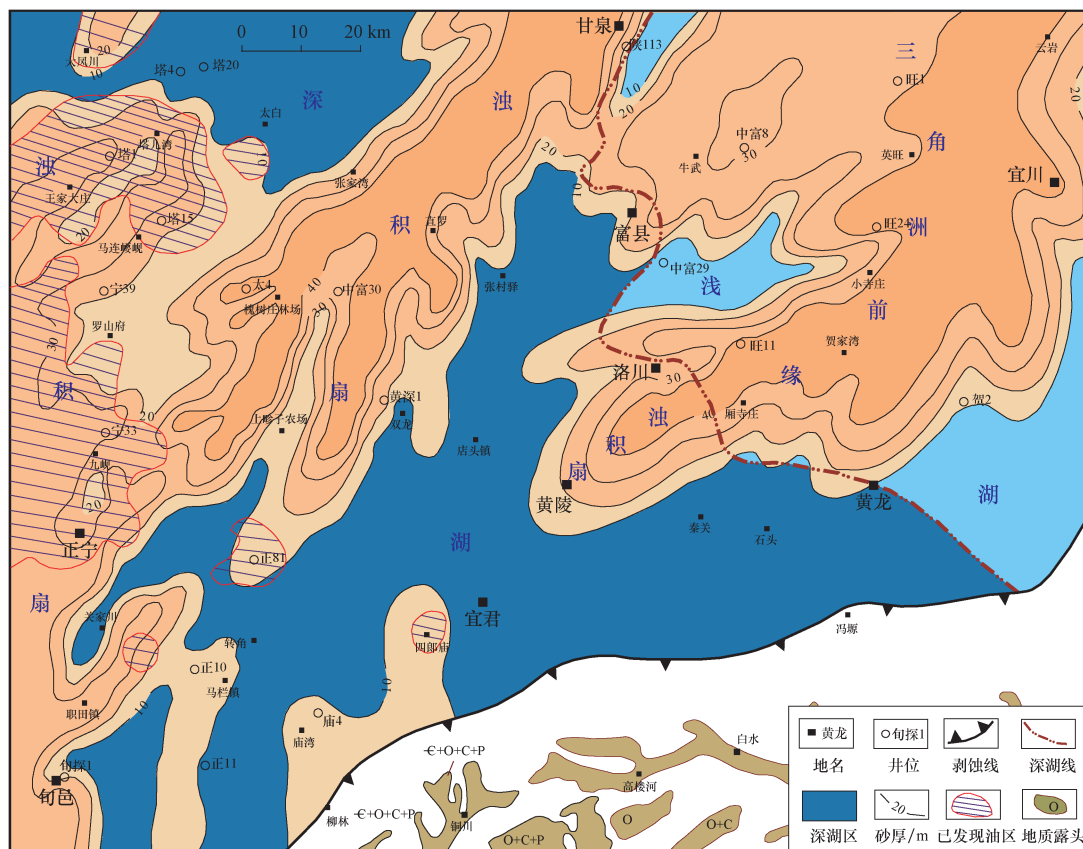


图6 鄂尔多斯盆地东南地区长7段砂体厚度、沉积微相与油层分布关系

Fig. 6 Distribution map of sandbody thickness, sedimentary microfacies and tight oil reservoir of Chang7 in the southeastern Ordos Basin

背景下,延长组长6段、长7段裂缝发育段试油井产量普遍很高,如塔1井、塔15井、宁33井长7段裂缝发育段,试油日产油量可达20.74~30.6 t/d,表明裂缝改善了储层物性,裂缝对致密油的富集有重要影响。

综上所述可以看出鄂尔多斯东南部致密油的分布主要受沉积微相和储层物性控制,其中储层物性是最关键的控制因素,裂缝对储层物性的改善有重要的影响。

盆地东南区致密油主要分布于长6³、长7¹、长8¹油层亚组,其次为长6¹、长6²和长7²油层亚组。长6段、长7段、长8段是鄂尔多斯盆地东南部延长组的主力勘探层系,也是油致密油的主要勘探层位。综合研究区三叠系延长组致密油成藏条件、源储配置关系及致密油富集控制因素,认为盆地东南部延长组长6段、长7段、长8段致密油具有广阔勘探前景,致密油主要分布于深湖相浊积砂体、三角洲前缘分流河道砂体中。

4 结论

1) 鄂尔多斯盆地东南部研究区中生界各构造层构造展布特征具有很好的继承性,表现为平缓的斜坡,缺乏背、向斜构造。盆地东南缘燕山期构造运动最为强烈,早白垩世之后,盆地大幅抬升剥蚀,对油气保存不利。

2) 鄂尔多斯盆地东南部延长组具有形成致密油的良好地质条件,延长组长7段沉积时期处于大型坳陷型盆地的沉积中心部位,为深湖相沉积,发育优质烃源岩,延长组长6段—长8砂体普遍较细,储层物性较差,源储大面积接触,源储配置关系好。

3) 通过包裹体测温、盆地热史、伊利石测年等多种方法确定了盆地东南部延长组致密油藏成藏时期主要为早白垩世(93~120 Ma),致密油成藏期受构造热事件控制,成藏期晚,延长组致密油藏总体是在储层致密的背景下成藏的。

4) 东南部长7段优质烃源岩大面积分布,致密油的分布主要受沉积微相、储层物性的控制。其中储层物性是三叠系延长组致密油富集、高产的关键。长6、长7、长8油层组是盆地东南部延长组致密油的主力勘探层系。

参 考 文 献

- [1] 贾承造,郑民,张永峰. 中国非常规油气资源与勘探开发前景[J]. 石油勘探与开发,2012,39(2):129-135.
Jia Chengzao, Zheng Min, Zhang Yongfeng. Unconventional hydrocarbon resources in China and the prospect of exploration and development[J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(2): 129-136.
- [2] 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.
- [3] 杨华, 付金华, 何海清, 等. 鄂尔多斯华庆地区低渗透岩性大油区形成与分布[J]. *石油勘探与开发*, 2012, 39(6): 641–648.
- Yang Hua, Fu Jinhua, He Haiqing, et al. Formation and distribution of large low-permeability lithologic oil regions in Huaqing, Ordos Basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2012, 39(6): 641–648.
- [4] 郭彦如, 刘俊榜, 杨华, 等. 鄂尔多斯盆地延长组低渗透致密岩性油藏成藏机理[J]. *石油勘探与开发*, 2012, 39(4): 417–424.
- Guo Yanru, Liu Junbang, Yang Hua, et al. Hydrocarbon accumulation mechanism of low permeable tight lithologic oil reservoirs in the Yanchang Formation, Ordos Basin, China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2012, 39(4): 417–424.
- [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): 333–350.
- [6] 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): 173–185.
- 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): 173–185.
- [7] 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(3): 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(3): 1–6.
- [8] 牛小兵, 冯胜斌, 刘飞, 等. 低渗透致密砂岩储层中石油微观赋存状态与油源关系——以鄂尔多斯盆地三叠系延长组为例[J]. *石油与天然气地质*, 2013, 34(3): 288–293.
- Niu Xiaobing, Feng Shengbin, Liu Fei, et al. Microscopic occurrence of oil in tight sandstones and its relation with oil sources—a case study from the Upper Triassic Yanchang Formation, Ordos Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2013, 34(3): 288–293.
- [9] 梁宇, 任战利, 史政, 等. 鄂尔多斯盆地富县—正宁地区延长组油气成藏期次[J]. *石油学报*, 2011, 32(5): 741–748.
- Liang Yu, Ren Zhanli, Shi Zheng, et al. Classification of hydrocarbon accumulation phases of the Yanchang Formation in the Fuxian-Zhengning area, Ordos Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2011, 32(5): 741–748.
- [10] 邓秀芹, 刘新社, 李士祥. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组超低渗透储层致密史与油藏成藏史[J]. *石油与天然气地质*, 2009, 30(2): 156–161.
- Deng Xiuqin, Liu Xinshe, Li Shixiang. The relationship between compacting history and hydrocarbon accumulating history of the super-low permeability reservoirs in the Triassic Yanchang Formation in the Ordos Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2009, 30(2): 156–161.
- [11] 杨俊杰. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002.
- Yang Junjie. Tectonic evolution and hydrocarbon distribution of Ordos Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002.
- [12] 赵重远, 刘池洋. 华北克拉通沉积盆地形成与演化及其油气赋存[M]. 西安: 西北大学出版社, 1990.
- Zhao Chongyuan, Liu Chiyang. The formation, evolution of the basin and the oil-gas reservoir in the North China craton [M]. Xi'an: Northwest University Press, 1990.
- [13] 李文厚, 庞军刚, 曹红霞, 等. 鄂尔多斯盆地晚三叠世延长组沉积体系及岩相古地理演化[J]. *西北大学学报*, 2009, 39(3): 501–506.
- Li Wenhui, 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*, 2009, 39(3): 501–506.
- [14] 高山林, 韩庆军, 杨华, 等. 鄂尔多斯盆地燕山运动及其与油气关系[J]. *长春科技大学学报*, 2000, 30(4): 353–358.
- Gao Shanlin, Han Qingjun, Yang Hua, et al. Yanshanina movement in Ordos basin and its relationship with distribution of oil and gas [J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 2000, 30(4): 353–358.
- [15] 刘绍龙. 华北地区大型三叠纪原始沉积盆地的存在[J]. *地质学报*, 1986, 66(2): 128–138.
- Liu Shaolong. The existence of a large-scale triassic sedimentary basin in north China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1986, 66(2): 128–138.
- [16] 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, 570.
- Zhou Qingfan, Yang Guofeng. Definition and application of tight oil and shale oil terms [J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33(4): 541–544, 570.
- [17] 张文正, 杨华, 杨奕华, 等. 鄂尔多斯盆地长7优质烃源岩的岩石学、元素地球化学特征及发育环境[J]. *地球化学*, 2008, 37(1): 59–64.
- Zhang Wenzheng, Yang Hua, Yang Yihua, et al. Petrology and element geochemistry and development environment of Yanchang Formation Chang-7 high quality source rocks in Ordos Basin [J]. *Geochemica*, 2008, 37(1): 59–64.
- [18] 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.
- [19] 周进高, 姚根顺, 邓红婴, 等. 鄂尔多斯盆地延长组长9油层组勘探潜力分析[J]. *石油勘探与开发*, 2008, 35(3): 289–293.
- Zhou Jingao, Yao Genshun, Deng Hongying, et al. Exploration potential of Chang 9 member, Yanchang Formation, Ordos Basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2008, 35(3): 289–293.
- [20] 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 Chongyuan, Zhang Jun, et al. Research on paleotemperature in the Ordos basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1994, 12(1): 56–65.

- [21] 任战利,张盛,高胜利,等.鄂尔多斯盆地热演化程度异常分布区及形成时期探讨[J].地质学报,2006,80(5):674-684.
Ren Zhanli, Zhang Sheng, Gao Shengli, et al. Research on region of maturation anomaly and formation time in Ordos basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(5): 674-684.
- [22] 任战利,张盛,高胜利,等.鄂尔多斯盆地构造热演化史及其成藏成矿意义[J].中国科学(D辑地球科学),2007,37卷增刊I:23-32.
Ren Zhanli, Zhang Sheng, Gao Shengli, et al. Tectonic thermal history and its significance on the formation of oil and gas accumulation and mineral deposit in Ordos Basin[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2007, 37(Supplement I): 23-32.
- [23] 陈瑞银,罗晓容,陈占坤,等.鄂尔多斯盆地中生代地层剥蚀量估算及其地质意义[J].地质学报,2006,80(5):685-693.
Chen Ruiyin, Luo Xiaorong, Chen Zhankun, et al. Estimation of denudation thickness of Mesozoic strata in the Ordos basin and its geological significance[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(5): 685-693.
- [24] 任战利.利用磷灰石裂变径迹法研究鄂尔多斯盆地地热史[J].地球物理学报,1995,38(3):339-349.
Ren Zhanli. Thermal history of Ordos basin assessed by apatite fission track analysis[J]. Acta Geophysica Sinica, 1995, 38(3): 339-349.
- [25] 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 form accumulations in low permeability tight reservoir[J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(5): 718-722.
- [26] 赵文智,邹才能,谷志东,等.砂岩透镜体油气成藏机理初探[J].石油勘探与开发,2007,34(3):273-284.
Zhao Wenzhi, Zou Caineng, Gu Zhidong, et al. Preliminary discussion on accumulation mechanism of sand lens reservoirs[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(3): 273-284.
- [27] 席胜利,刘新社,王涛.鄂尔多斯盆地中生界石油运移特征分析[J].石油实验地质,2004,26(3):229-235.
Xi Shengli, Liu Xinshe, Wang Tao. Analysis on the migration characteristics of the Mesozoic petroleum in the Ordos Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2004, 26(3): 229-235.
- [28] 田亚铭,施泽进,宋江海,等.鄂尔多斯盆地东南缘延长组砂岩储集层裂缝特征研究[J].地质力学学报,2009,15(3):281-289.
Tian Yaming, Shi Zejin, Song Jianghai, et al. Characteristics of fractures in sandstone reservoirs of Yanchang Formation in southeastern Ordos basin[J]. Journal of Geomechanics, 2009, 15(3): 281-289.
- [29] 张金功,袁政文.泥质岩裂缝油气藏的成藏条件及资源潜力[J].石油与天然气地质,2002,23(4):336-338,347.
Zhang Jingong, Yuan Zhengwen. Formation and potential of fractured mudstone reservoirs[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(4): 336-338, 347.
- [30] 席胜利,刘新社.鄂尔多斯盆地中生界石油二次运移通道研究[J].西北大学学报(自然科学版)2005,35(5):138-142.
Xi Shengli, Liu Xinshe. Petroleum secondary migration pathway in Mesozoic period, Ordos Basin[J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 2005, 35(5): 138-142.
- [31] 任战利,刘丽,崔军平,等.盆地构造热演化史在油气成藏期次研究中的应用[J].石油与天然气地质,2008,29(4):502-506.
Ren Zhanli, Liu Li, Cui Junping, et al. Application of tectonic-thermal evolution history to hydrocarbon accumulation timing in sedimentary basins[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(4): 502-506.
- [32] 任战利.中国北方沉积盆地构造热演化史研究[M].北京:石油工业出版社,1999.
Ren Zhanli. Research on tectonic-thermal evolution history in sedimentary basins of north China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999.
- [33] 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.
- [34] 黄志龙,江青春,席胜利,等.鄂尔多斯盆地陕北斜坡带三叠系延长组和侏罗系油气成藏期研究[J].西安石油大学学报(自然科学版),2009,24(1):21-25.
Huang Zhilong, Jiang Qingchun, Xi Shengli, et al. Study on oil and gas accumulation period of Yanchang Formation of Triassic and Jurassic in North Shaanxi slope zone, Ordos Basin[J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2009, 24(1): 21-25.
- [35] 喻建,宋江海,向惠.鄂尔多斯盆地中生界隐蔽性油气藏成藏规律[J].天然气工业,2004,24(12):35-37.
Yu Jian, Song Jianghai, Xiang Hui. Subtle reservoir formation law of mesozoic in Ordos basin[J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(12): 35-37.
- [36] 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.
- [37] 张峭楠,丁晓琪.鄂尔多斯盆地南部延长组致密砂岩储层特征及其成因[J].成都理工大学学报(自然科学版).2010,37(4):386-393.
Zhang Shaonan, Ding Xiaoqi. Characters and causes of tight sandstones of Yanchang Formation in southern Ordos Basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2010, 37(4): 386-393.

(编辑 张亚雄)