

文章编号:0253-9985(2011)05-0698-12

陕北地区延长组长10油层组成藏特征

李士祥^{1,2}, 刘显阳^{1,2}, 韩天佑^{1,2}, 黄锦绣^{1,2}, 焦军^{1,2}

(1. 中国石油长庆油田公司勘探开发研究院, 陕西西安, 710018;

2. 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室, 陕西西安, 710018)

摘要:采用地质与地球化学相结合的方法,通过对长10原油、长7烃源岩和长9烃源岩地球化学特征对比分析,并结合长10储层流体包裹体与长7烃源岩供烃层位储层流体包裹体均一温度分布特征差异性分析,对长10油层组油源进行综合判识。在此基础上,结合沉积及储层特征,对长10油藏的控制因素进行分析。研究结果表明,长9烃源岩为长10油藏的主力烃源岩,长7烃源岩也有贡献,但作用有限。长10油藏的形成受源岩条件、沉积、成岩和微构造等多种因素的影响,成藏条件较为复杂。长9烃源岩的范围及发育程度控制着长10油藏的分布,有利的沉积相带、成岩相带和长9暗色泥岩的过剩压力高值区,为油藏发育的有利目标区。长10油藏受构造和岩性的双重控制,主要发育构造-岩性油藏、砂岩上倾方向尖灭性油藏和上倾方向岩性致密遮挡油藏3种类型。

关键词:17 α (H)-重排藿烷;流体包裹体;长10油层组;成藏控制因素;油-源对比;陕北地区;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Characteristics of hydrocarbon pooling in Chang-10 interval of the Yanchang Fm in the northern Shaanxi province

Li Shixiang^{1,2}, Liu Xianyang^{1,2}, Han Tianyou^{1,2}, Huang Jinxiu^{1,2} and Jiao Jun^{1,2}

(1. Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an, Shaanxi 710018, China;

2. National Engineering Laboratory for Exploration and Development of Low-Permeability Oil & Gas Fields,

Xi'an, Shaanxi 710018, China)

Abstract: Oil-source correlation is performed in Chang-10 interval of the Yanchang Fm through comparative analysis of the geochemical characteristics of Chang-10 crude oil, Chang-7 and Chang 9 source rocks, as well as difference analysis of fluid inclusions homogenization temperature distribution between Chang-10 reservoir and other reservoirs with hydrocarbons from Chang 7 source rocks. Moreover, the factors controlling hydrocarbon pooling in Chang-10 are also identified based on sedimentary and reservoir characteristics. The result shows that the Chang-9 is the major source rocks for the Chang-10 oil reservoir, to which the Chang-7 also contributed limited hydrocarbons. The formation of the Chang-10 oil reservoir was controlled by various factors such as quality, deposition, diagenesis and micro-structure of source rocks. The distribution of the Chang-10 oil reservoir was controlled by the distribution and development of the Chang-9 source rocks. Favorable sedimentary facies belts, diagenetic facies zones and high overpressure zones of the Chang-9 dark mudstone are the favorable target areas for discovering oil reservoirs. The Chang-10 oil reservoir is controlled by both structure and lithology. Three main reservoir types are identified, including structural-lithological reservoir, up-dip pinch-out sandstone reservoir and up-dip tight layer sealing reservoir.

Key words: 17 α (H)-diahopane, fluid inclusion, Chang-10 oil reservoir, controlling factor of hydrocarbon accumulation, oil-source correlation, northern Shaanxi province, Ordos Basin

收稿日期:2011-02-03。

第一作者简介:李士祥(1981—),男,工程师,沉积学及油气地质。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05044, 2011ZX05001)。

陕北地区石油勘探经历了早期的以寻找侏罗系构造油藏为主,中期主要以三叠系中上部大型岩性油藏为勘探对象,到现阶段的加强延长组下组合勘探力度的几个阶段。20世纪60—70年代,侏罗系一直是石油勘探的主要目标层系;80年代早期,勘探重点转向了上三叠统延长组长6及以上油层组,发现了安塞和靖安大型岩性油藏;近年来,加大了延长组下组合的勘探,于2007年在长10油层组获得重要发现,展示了长10油层组这一含油新层系良好的勘探前景。

1 地质背景

陕北地区位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡带东部,地层平缓(倾角不足 1°),沉降稳定,中生代蕴藏着丰富的石油资源(图1)。陕北地区长10油层获得发现之前,并非中生界石油勘探的目的层,因此对其地层的划分也较为笼统,只是根据其顶底界限的厘定而划分出长10油层组,地层厚度约350~380 m。

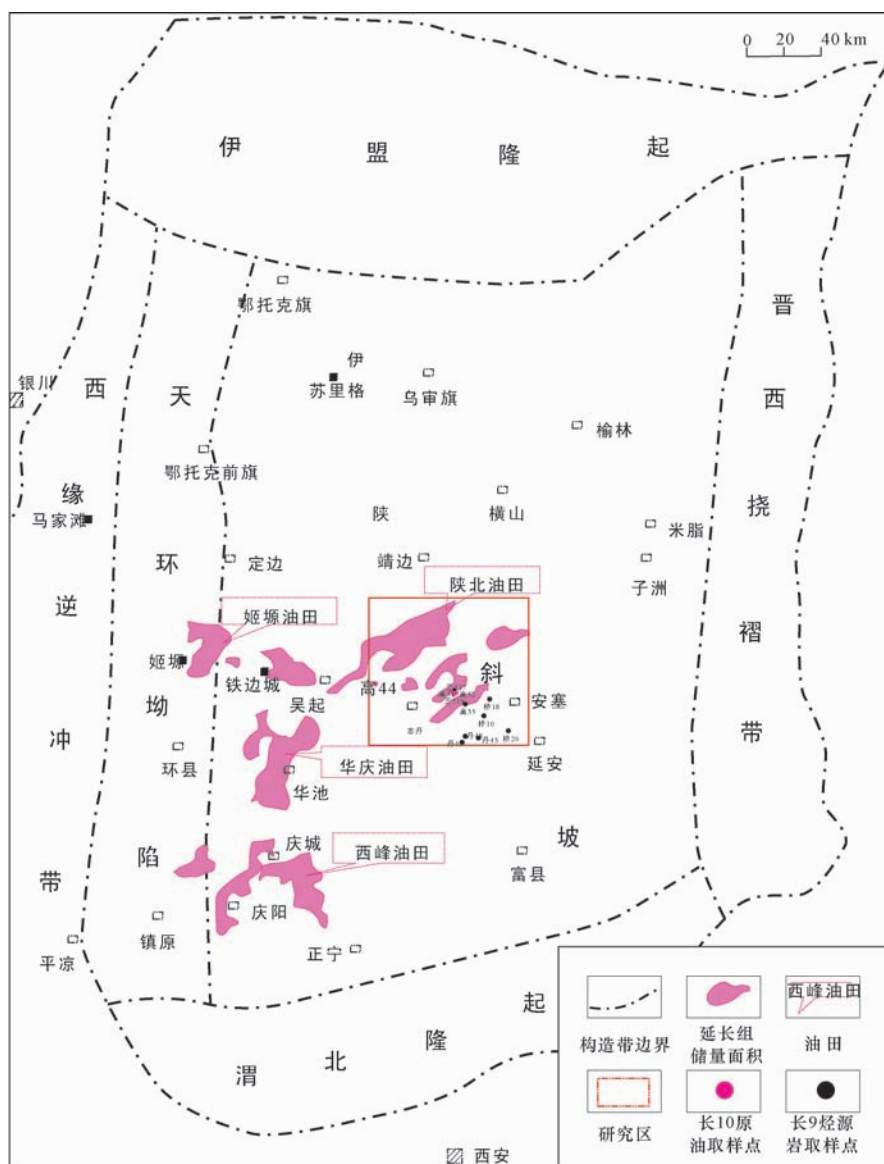


图1 鄂尔多斯盆地构造单元划分及油田分布

Fig. 1 Tectonic units and oilfield distribution in Ordos Basin

陕北地区长10油层组勘探获得发现后,为了更加精细地对长10油层组进行研究,详细解剖油藏形态,在整理钻达长10油井资料的基础上,结合研究区内气探井中生界测井资料,根据岩性、电性及沉积旋回特征将长10油层组自上而下依次划分为长10₁、长10₂和长10₃3段,其中长10₁段厚度为100~110 m。已发现的含油显示段均位于长10₁段的上部。为了精细刻画油藏形态和砂体展布规律,在对多口单井长10₁沉积旋回特征分析的基础上,发现长10₁段发育3期沉积旋回,其中上升半旋回发育,下降半旋回不发育。由此将长10₁段自上而下划分为长10₁¹、长10₁²和长10₁³3个小层(图2),每段厚30~35 m,但已发现的含油显示主要集中分布在长10₁¹。

陕北地区长10油层组缺乏好的烃源岩,因此长10油层组油源、油气运移机制、成藏控制因素、油藏类型等问题,是石油勘探开发迫切需要解决的问题。为初步弄清该问题,在研究区中南部的

志丹-安塞地区系统采集了长10原油样品4个,长9烃源岩样品9个(图1),对原油及源岩饱和烃进行色谱-质谱测试分析。结合前人对长7和长9烃源岩的研究^[1-7],利用地球化学特征对长10油层组油源进行对比与分析,并结合包裹体特征等,综合判识长10油藏的油源问题。在此基础上,根据沉积及储层特征,分析油气成藏条件及主控因素,对该区长10油层组的进一步勘探具有重要的指导意义。

2 油-源对比

陕北地区发育长7和长9两套烃源岩^[1-6],为了弄清长10油藏的油源问题,首先对长7和长9两套烃源岩地球化学特征的差异进行分析,找出可用作油源对比的特征生物标志化合物,进行油源的判识与对比,再结合长7烃源岩供烃层位储层包裹体和长10储层包裹体均一温度分布特征的差异进行油源的综合判识。

2.1 特征生标对油源的判识

鄂尔多斯盆地中生界石油资源十分丰富,大范围分布的延长组长7湖相优质烃源岩是鄂尔多斯盆地主力烃源岩^[3,5-6]。长9₁湖相黑色泥页岩的发现^[1,4],揭示了陕北地区存在长7和长9两套有规模供烃能力的烃源岩。

对陕北地区长7和长9优质烃源岩的有机地球化学特征,前人曾做过大量的研究^[1-7],由于长9₁黑色泥页岩与长7油页岩、长7黑色泥岩的有机母质性质较为相似,沉积水体均为淡水-微咸水^[3,6],运用稳定碳同位素组成指标难以准确判识烃源岩与原油之间的亲缘关系^[4]。因此,从地球化学特征方面找出长9₁黑色泥页岩与长7油页岩、长7黑色泥岩的特征差异,对厘定油-源关系具有重要的意义。

长9₁黑色泥页岩与长7油页岩、长7黑色泥岩在岩石组成、沉积和成岩的氧化-还原环境存在明显的差异^[4-5],通过对烃源岩甾烷、萜烷分布特征进行对比,发现其生物标志化合物分布特征具有明显的差异,即长9₁黑色泥页岩、长7黑色泥岩以重排藿烷丰富、重排甾烷含量较高和正常藿烷含量较低为特征。而长7油页岩以正常

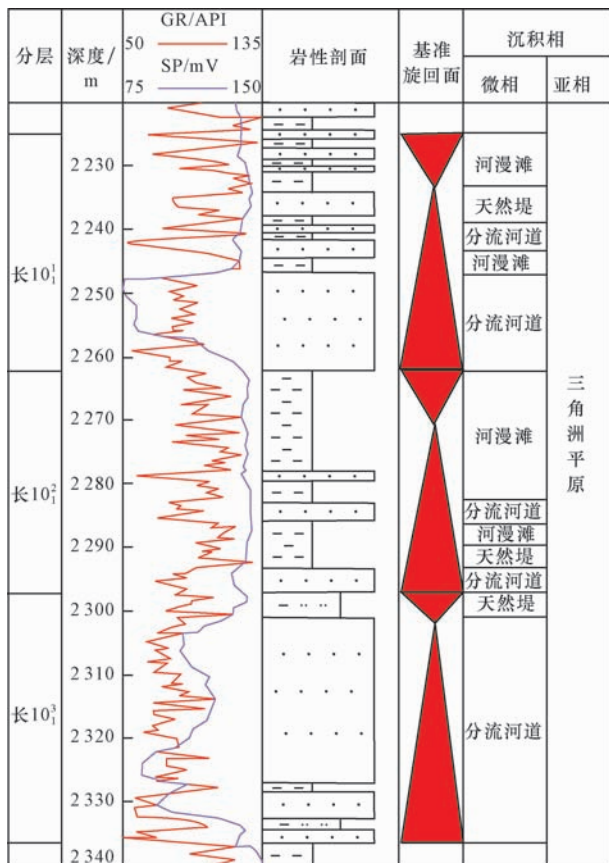


图2 陕北地区高44井长10₁单井柱状

Fig. 2 Single-well histogram of Chang-10₁ in well Gao-44 in northern Shaanxi

藿烷含量高,重排藿烷和重排甾烷含量低为特征^[4-5]。

17 α (H)-重排藿烷其前身可能是细菌藿类先质,被认为是D环上带有功能团的藿类经重排作用形成^[8],其热稳定性较强^[9]。由于在煤、陆相烃源岩和陆相原油中常可检测到17 α (H)-重排藿烷,因此也被作为一种可能的陆源生物标志化合物^[10]。17 α (H)-重排藿烷参数具有成熟度^[9]、沉积-有机质双重地球化学属性^[11]。因此,17 α (H)-重排藿烷相对丰度等被用作油-源对比^[2,12]。

色谱-质谱分析结果表明,陕北地区高52井、高31井、高44井和王519井原油均具有较高含量的17 α (H)-重排藿烷和较高含量的C₃₀藿烷(图3)。也即说明长10原油既有长9黑色泥岩高17 α (H)-重排藿烷含量的特征,也有长7油页岩高C₃₀藿烷含量的特征。因此,长7和长9两套烃源岩对陕北地区长10原油均有贡献,但

其贡献大小,仍需要进一步分析并结合其它手段进行判识。

2.2 包裹体特征对油源的判识

20世纪80年代以来,流体包裹体逐渐应用于石油地质领域,目前已成为油气源对比、油气运聚、成藏期次、盆地演化等研究的重要手段之一^[13-22]。流体包裹体研究已被作为判断油气生成及运移的重要依据和指标之一,通过对长10储层中的流体包裹体和长7供烃层位的流体包裹体均一温度差异性进行研究,从而对长10油藏的油源作出判识。

本次研究在4口长10出油井的砂岩储层中采集了13块流体包裹体样品,进行了有机流体包裹体的荧光观察及荧光光谱分析,共对107个成岩流体包裹体进行了显微测温分析。长10储层初始捕获包裹体温度较高,均一温度大于70℃。均一温度峰值分布在80~130℃(图4),

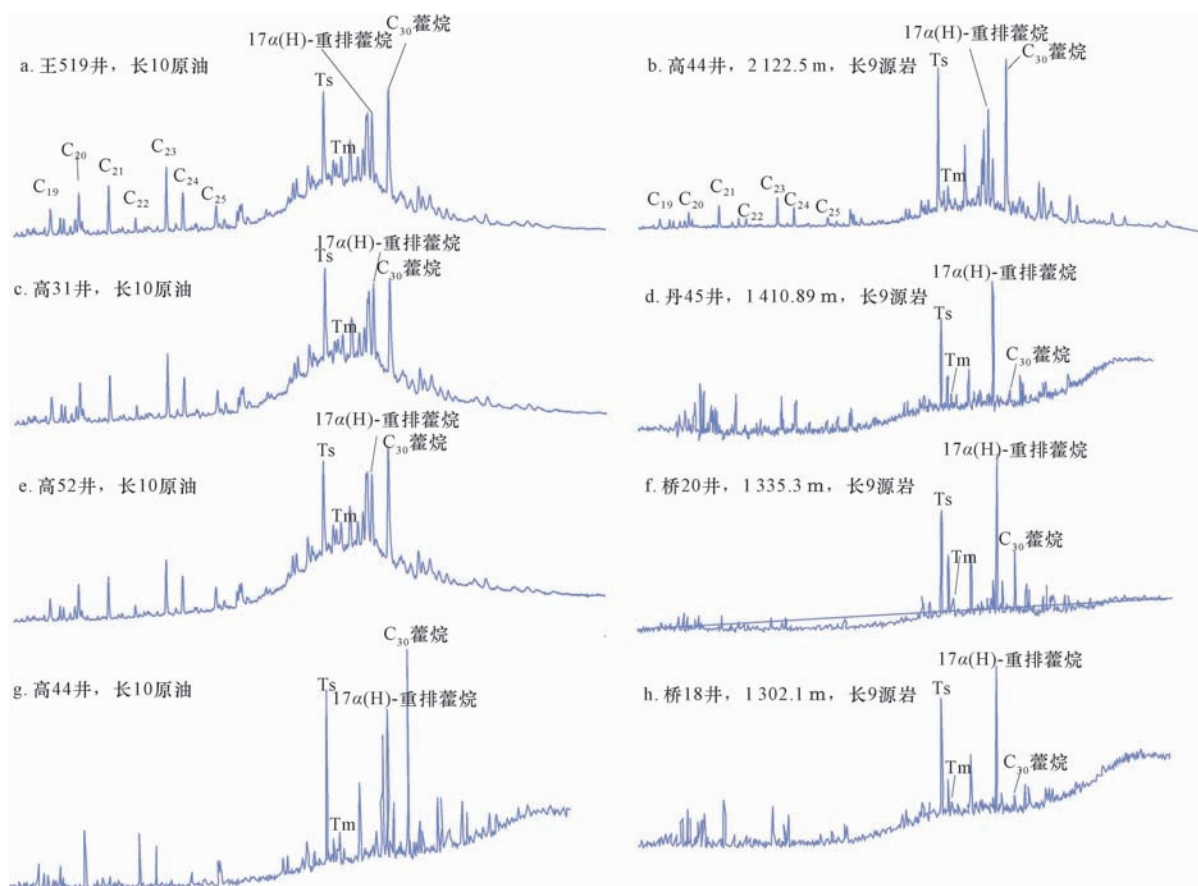


图3 陕北地区长10原油和长9烃源岩藿烷生物标志化合物分布特征(m/z 191)

Fig. 3 Distribution characteristics of terpane biomarker of Chang-10 crude oil and Chang 9 source rocks in northern Shaanxi

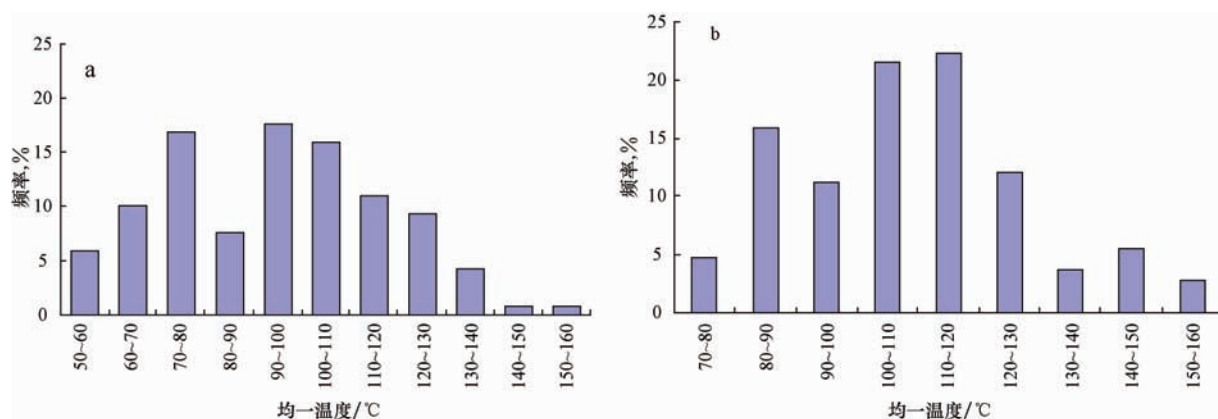


图 4 鄂尔多斯盆地延长组流体包裹体均一温度分布直方图

Fig. 4 Histogram of homogenization temperature of fluid inclusions in the Yanchang Formation in Ordos Basin

a. 长 7 烃源岩供烃层位储层包裹体; b. 长 10 储层包裹体

主要有 80 ~ 90℃ 和 100 ~ 130℃ 两个峰值区间。两峰值间隔区间 90 ~ 100℃ 捕获的包裹体数量虽有所减少,但仍占第一期高峰期所捕获包裹体数量的 70% 以上。两个高峰区间段无明显的间隔,进而表明油气发生两次连续充注,中间无间断。

在以往研究的基础上^[19,23],系统收集整理了盆地内长 7 烃源岩供烃层位储层的流体包裹体,剔除不能反映成岩信息的继承性包裹体,选择非继承性的包裹体样品 147 块共 478 个测温点,对均一温度进行统计分析。研究发现,长 7 供烃层位储层初始捕获包裹体温度较低,捕获的 50 ~ 70℃ 区间的包裹体数量占 16%。均一温度峰值分布在 60 ~ 140℃ (图 4),主要有 60 ~ 80℃ 和 90 ~ 140℃ 两个峰值区间。第一期峰值温度较长 10 储层包裹体低 10 ~ 20℃,可见长 10 储层初始捕获的流体包裹体热演化程度较高。研究区长 9 烃源岩较长 7 烃源岩埋藏较深,热演化程度较高,可见长 10 第一期峰值包裹体主要为长 9 烃类运移至长 10 储层所捕获。两峰值间隔区间 80 ~ 90℃ 捕获的包裹体数量较少,占第一期高峰期所捕获包裹体数量的 28%,两个高峰区间段有明显的间隔,显示在此温度段区间烃类生成缓慢或处于停滞状态。因而油气发生两期充注,中间有间断。第二期高峰期 90 ~ 140℃ 区间所捕获包裹体数量占 58% 以上,说明油气充注以第二期为主,这与长 7 烃源岩的厚度及规模有关。

将各期与油、气包裹体相伴生的同期盐水包裹体的均一温度作为其捕获时的最小古地温,将

之“投影”到附有古地温演化的埋藏史图中,就可以运用流体包裹体方法间接确定各期油气的成藏时期^[15-16,24-25]。鄂尔多斯盆地陇东地区长 8₁ 油藏分别于晚侏罗世、早白垩世早中期和早白垩世晚期发生 3 期石油充注^[26],结合前人的研究,通过对陕北地区长 7 和长 9 两套烃源岩的埋藏史、地热史^[27-29]及包裹体测温研究,探讨流体包裹体均一温度与长 7 和长 9 油气演化关系(图 5)。长 7 和长 9 两套烃源岩在侏罗纪末期均已达到生油门限,开始排烃。早白垩世,由于构造运动的影响,地层有所抬升,此时长 7 烃源岩由于埋深变小,未达到生油门限而停止排烃;长 9 烃源岩较长 7 烃源岩埋藏较深,仍处于生油门限而持续排烃。由

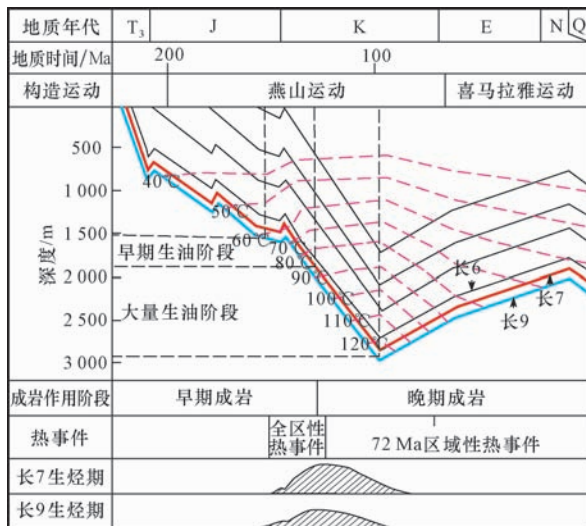


图 5 陕北地区长 7、长 9 烃源岩埋藏史及油气演化史

Fig. 5 History of burial and hydrocarbon evolution of the Chang-7 and Chang-9 source rocks in northern Shaanxi

此造成了前面所述的长7烃源岩供烃层位储层的流体包裹体均一温度两期峰值间有明显间断,而长10储层由于长9烃源岩持续供烃,其流体包裹体均一温度两期峰值间无明显间断。

白垩世中期,地层达到最大埋深,进入生排烃高峰期,开始大量排烃,因而储层中捕获了大量的包裹体。由于长7烃源岩的厚度及规模均较长9要大,因而其在生排烃高峰期有大量的烃类排出,造成了长7供烃层位的储层中流体包裹体均一温度分布频率以后期为主。而长10储层流体包裹体均一温度第二期峰值分布频率与第一期相比,优势并不大。由此可见,长7烃源岩对长10储层供烃作用有限。

通过以上对均一温度分布特征、长7、长9烃源岩埋藏史、热史及油气演化特征对比,认为长10油藏的油源主要为长9烃源岩,长7烃源岩的供烃作用有限。

综合以上地球化学特征、包裹体特征等对油源的综合判识,认为长10油藏供烃源岩为长9和长7两套烃源岩,但其贡献作用存在差异。由于长9烃源岩紧邻长10油层组,排出烃类较易运移到下伏物性较好的长10油层组,因此对长10油藏的分布起控制性作用。长7烃源岩距离长10油层组在纵向上有将近200 m的距离,要向下排烃至长10油层组需要有异常高的运移动力和充足的油源,并要有良好的运移通道,如此多的条件限制了长7烃源岩向长10油层组大规模排烃。陕北地区长10油藏的油源主要为长9烃源岩,长7烃源岩的供烃作用有限。

3 成藏主控因素

油气成藏的过程,就是在各种因素的作用下,油气从分散到集中的转化过程,主要取决于是否具备良好的生油层、储集层、盖层、运移、圈闭和保存条件的配置^[30]。已有学者根据其成藏条件的不同配置关系,将鄂尔多斯盆地镇泾地区油藏成藏动力学机制划分为自源高压封闭成藏动力学系统、自源“低压”半封闭成藏动力学系统和远源常压开放成藏动力学系统3种^[31]。陕北地区长10油藏的形成主要受沉积作用、成岩作用、微构造等多种因素的影响,成藏条件较为复杂。通过对陕北地区长10油源的分析,结合区内石油地质条件

的综合研究,认为陕北地区长10油层组成藏主控因素主要有以下几个方面。

3.1 烃源岩控制着油气的分布

油源对比分析表明,长10油藏的原油主要来自于长9烃源岩,长7烃源岩也有贡献,但作用有限。长9黑色泥、页岩的总有机碳含量分布于1.19%~8.64%,平均为5.03%,有机质丰度高,生烃潜力较高,具有优质烃源岩的属性,且各种成熟度参数反映出长9优质烃源岩已达到生油高峰演化阶段^[1],因此长9较厚的黑色泥页岩具有较好的生烃能力。陕北地区长9黑色泥页岩主要分布在志丹—甘泉—富县一带,呈北西—南东向展布,最厚处泥页岩厚度达20多米,主要分布在志丹—甘泉一带。长9烃源岩的范围及发育规模控制着长10油藏的分布,长9烃源岩发育区为下一步寻找长10油藏的有利目标区。

陕北地区高52井区长10油层顶构造主要分布在-350~-280 m,位于研究区西南部湖盆中部的长7烃源岩构造主要分布在-500~-800 m。可见陕北地区部分井长10顶的现今构造比湖盆中部长7烃源岩段构造还高。陕北地区位于伊陕斜坡带的上倾方向,湖盆中部长7烃源岩发育区排出的烃类,通过叠置砂体和裂缝沟通,在异常高压的驱动下,油气能重新分配并运移至长10油层组。

3.2 储层相带、物性差异影响着油气的聚集与成藏

对于延长组长10的勘探,以往曾在西缘断裂带马家滩地区探明 159×10^4 t石油地质储量,而盆地内部构造相对稳定,在陕北地区长10油藏获得发现之前一直未曾引起关注。主要原因是长10沉积期为晚三叠世大型坳陷湖盆开始发育的时期,主要为一套河流相厚层细—中粒砂岩,储层条件好,缺少区域性的泥质盖层,不利于圈闭的形成。同时,由于早期对长9烃源岩供烃能力认识的不足,认为长7是供烃源岩,因其资源量及运移动力的限制,向长10供烃的几率较小,认为长10成藏条件差。2007年陕北长10油藏获得新发现后,加强了勘探和研究,研究发现长10主要为三角洲平原沉积,储集层主要为分支河道和河口坝砂体。通过对陕北地区钻达长10的35口含油显示井共526块岩心样品实测物性统计分析,长10

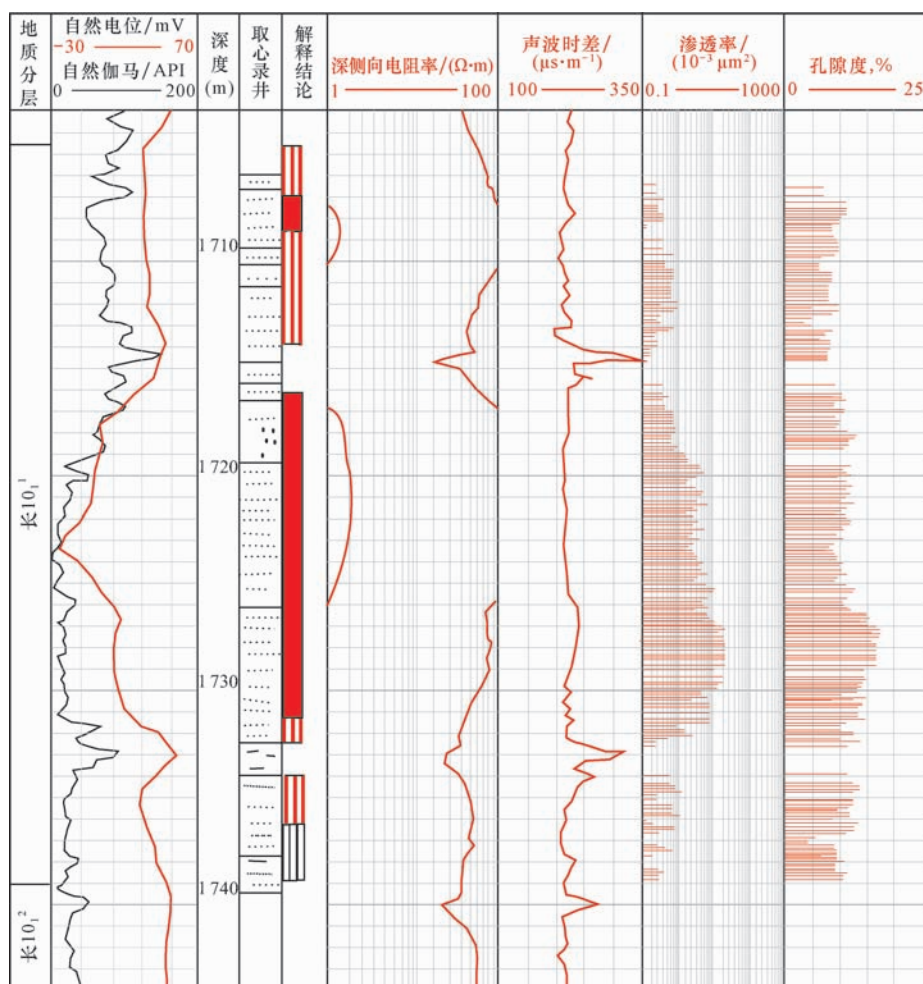


图 6 陕北地区王 519 井长 10 储层物性纵向分布特征

Fig. 6 Vertical distribution characteristics of the Chang-10 reservoir property in well Wang 519 in northern Shaanxi

油层组储层并非以往所认识的储层物性好,而是物性较一般,平均渗透率为 $5.25 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,且储层在纵向上也存在较大差异(图 6),主要为成岩作用的差异造成的,可见有利的沉积相带和成岩相带为寻找油藏的有利目标区。

3.3 异常高压控制着油气的运移

异常高压不仅是油气运聚的重要动力来源^[32],而且在一定背景下是控制油气分布的重要因素^[33]。运用平衡深度法^[32]对陕北地区长 9 油层组过剩压力进行计算^①,过剩压力的高值区主要分布在五谷城—顺宁—双河—下寺湾一带(图 7),大部分地区过剩压力可达 10 MPa 以上,这为长 9 烃源岩向下排烃的动力基础,长 9 过剩

压力高值区为下一步寻找长 10 油藏的有利目标区。

3.4 微构造、盖层条件影响着圈闭成藏

随着勘探程度的不断提高,越来越多的学者^[34-37]注意到在鄂尔多斯盆地的一些地区三叠系延长组隆起构造,特别是低幅度的鼻状隆起构造比较发育,且对三叠系油藏的形成与富集具有明显的控制作用。结合陕北地区长 10 油藏的开发井资料,对油藏进行精细刻画,对长 10_1 下部含油段单砂体进行解剖,刻画单砂体的展布形态,砂体主要为三角洲平原分流河道砂体,再结合砂体顶部构造,可以看出已有的出油井点大部分位于构造高部位(图 8),得出长 10 油藏受构造

① 邓秀芹,李士祥. 鄂尔多斯盆地湖盆中部复合油藏成藏特征研究. 长庆油田勘探开发研究院, 2007.

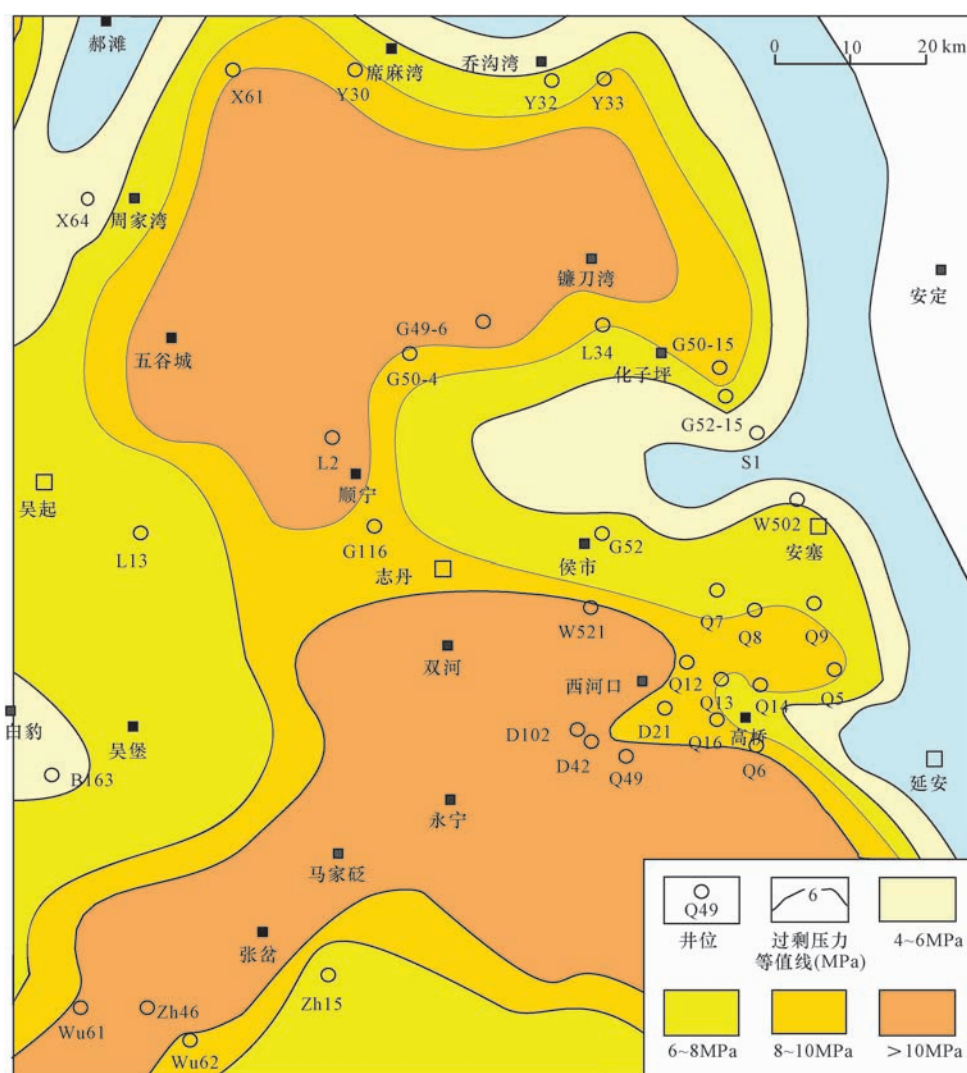


图7 陕北地区长9过剩压力平面分布

Fig. 7 Overpressure distribution of the Chang-9 in northern Shaanxi

和岩性的双重控制,主要发育构造-岩性油藏、砂岩上倾方向尖灭性油藏和上倾方向岩性致密遮挡油藏三种类型。

长9油层组沉积期,陕北地区位于湖盆中心,沉积物颗粒较细,砂体不发育且物性较差,发育大套的泥质沉积,形成了较为有利的盖层条件,与下伏长10的有机结合,形成了长10油藏有利的成藏配置。

4 结论

1) 根据沉积特征及电性特征,将长10油层组进一步划分为长 10_1 、长 10_2 和长 10_3 3段,其中长

10_1 段厚95~110 m。对主要含油显示段长 10_1 进一步细分为长 10_1^1 、长 10_1^2 和长 10_1^3 3段,每段厚30~35 m,已发现的油藏集中分布在长 10_1^1 段。

2) 长10原油的地球化学分析表明,长10原油的主要供烃源岩为长9烃源岩,长7烃源岩有一定贡献,但作用有限。

3) 长10油藏的形成受源岩条件、沉积、成岩和微构造等多种因素的影响,主要发育构造-岩性油藏、砂岩上倾方向尖灭性油藏和上倾方向岩性致密遮挡油藏3种类型。长9烃源岩的范围及发育程度控制着油藏的分布,有利的沉积相带、成岩相带和长9暗色泥岩的过剩压力高值区,为寻找油藏的有力目标区。

- (supplement I): 33–38.
- [2] 张文正, 杨华, 侯林慧, 等. 鄂尔多斯盆地延长组不同烃源岩 $17\alpha(\text{H})$ -藿烷的分布及其地质意义[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2009, 39(10): 1438–1445.
- Zhang Wenzheng, Yang Hua, Hou Linhui, et al. Distribution and geological significance of $17\alpha(\text{H})$ -diahopanes from different hydrocarbon source rocks of Yanchang Formation in Ordos Basin[J]. Science in China(Series D: Earth Sciences), 2009, 39(10): 1438–1445.
- [3] 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.
- [4] 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(5): 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(5): 557–562.
- [5] 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]. Geochimica, 2008, 37(1): 59–64.
- [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(2): 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]. Geochemical, 2005, 34(2): 147–154.
- [7] 王传远, 段毅, 车桂美, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组原油地球化学特征及油源分析[J]. 高校地质学报, 2009, 15(3): 380–386.
- Wang Chuanyuan, Duan Yi, Che Guimei, et al. Geochemical characteristics and oil-source analysis of crude oils in the Yanchang formation of upper Triassic from Ordos Basin[J]. Geological Journal of China Universities, 2009, 15(3): 380–386.
- [8] Peters K E, Moldowan J M. The Biomarker Guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments[M]. New Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1993.
- [9] 黄海平, 卢松年, 袁佩兰. 古代沉积物中新检出的重排藿烷及其在油气勘探上的意义[J]. 天然气地球科学, 1994, 5(23): 23–28.
- Huang Haiping, Lu Songnian, Yuan Peilan. Detected diahopanes in ancient sediment and its significance in petroleum exploration[J]. Natural Gas Geoscience, 1994, 5(23): 23–28.
- [10] Philip R P, Gilbert T D. Biomarker distribution in oils predominantly derived from terrigenous source material [C] // Leythaeuser D, Rullkotter J, eds. Advances in Organic Geochemistry 1985. Oxford: Pergamon Press, 1986, 73–84.
- [11] 王春江, 傅家谟, 盛国英, 等. $18\alpha(\text{H})$ -新藿烷及 $17\alpha(\text{H})$ -重排藿烷类化合物的地球化学属性与应用[J]. 科学通报, 2000, 45(13): 1366–1372.
- Wang Chunjiang, Fu Jiamo, Sheng Guoying, et al. Chemical attributes and application of $18\alpha(\text{H})$ -new hopanoid and $17\alpha(\text{H})$ -diahopanes compounds[J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45(13): 1366–1372.
- [12] 肖中尧, 黄光辉, 卢玉红, 等. 库车坳陷却勒1井原油的重排藿烷系列及其油源对比[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(2): 35–37.
- Xiao Zhongyao, Huang Guanghui, Lu Yuhong, et al. Rearranged hopanes in oils from the Quele 1 Well, Tarim Basin, and the significance for oil correlation[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(2): 35–37.
- [13] 刘德良, 谈迎, 孙先如, 等. 鄂尔多斯古生界流体包裹体特征及其与油气演化关系[J]. 沉积学报, 2002, 20(4): 695–704.
- Liu Deliang, Tan Ying, Sun Xianru, et al. Characteristics of earth fluid inclusions and their relationship with oil-gas evolution in Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(4): 695–704.
- [14] 刘建章, 陈红汉, 李剑, 等. 运用流体包裹体确定鄂尔多斯盆地上古生界油气成藏期次和时期[J]. 地质科技情报, 2005, 24(4): 60–66.
- Liu Jianzhang, Chen Honghan, Li Jian, et al. Using fluid inclusion of reservoir to determine hydrocarbon charging orders and times in the upper paleozoic of Ordos Basin[J]. Geological Science and Technology Information, 2005, 24(4): 60–66.
- [15] 刘德汉, 肖贤明, 田辉, 等. 含油气盆地中流体包裹体类型及其地质意义[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(4): 491–501.
- Liu Dehan, Xiao Xianming, Tian Hui, et al. Fluid inclusion types and their geological significance in petroliferous basins [J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(4): 491–501.
- [16] 肖贤明, 刘祖发, 刘德汉, 等. 应用储层流体包裹体信息研究天然气气藏的成藏时间[J]. 科学通报, 2002, 47(12): 957–960.
- Xiao Xianming, Liu Zufa, Liu Dehan, et al. Applying fluid

- inclusion of reservoir to research reservoir forming time of gas reservoir[J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(12): 957-960.
- [17] Dutkiewicz A, Rasmussen B, Buick R. Oil preserved in fluid inclusions in Archean sandstones[J]. Nature, 1998, 395: 885-888.
- [18] Rogers K M, Savard M M. Geochemistry of oil inclusions in sulfide related calcites fingerprinting the source of the sulfate reducing hydrocarbons of the Pb Zn carbonates hosted Jubilee deposit of Nova Scotia, Canada[J]. Applied Geochemistry, 2002, 17(2): 69-77.
- [19] 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.
- [20] 陶士振. 包裹体应用于油气地质研究的前提条件和关键问题[J]. 地质科学, 2006, 39(1): 77-91.
- Tao Shizhen. Premise conditions and key problems of applied study of inclusion in oil-gas geology[J]. Chinese Journal of Geology, 2006, 39(1): 77-91.
- [21] 谢奕汉, 范宏瑞, 王英兰. 流体包裹体与盆地油气的生成和演化[J]. 地质科技情报, 1998, 17(增刊): 100-104.
- Xie Yiham, Fan Hongrui, Wang Yinglan. Fluid inclusions and their relation to the formation and evolution of oil gas in a basin[J]. Geological Science and Technology Information, 1998, 17(supplement): 100-104.
- [22] 梁宇, 任战利, 王彦龙, 等. 鄂尔多斯盆地子长地区延长组流体包裹体特征与油气成藏期次[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(2): 182-191.
- Liang Yu, Ren Zhanli, Wang Yanlong, et al. Characteristics of fluid inclusions and reservoiring phases in the Yanchang Formation of Zichang area, the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 30(2): 182-191.
- [23] 段毅, 于文修, 刘显阳, 等. 鄂尔多斯盆地长9油层组石油运聚规律研究[J]. 地质学报, 2009, 83(6): 854-860.
- Duan Yi, Yu Wenxiu, Liu Xianyang, et al. Oil migration and accumulation rules of Chang-9 oil-bearing formation in the Ordos Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(6): 854-860.
- [24] 张金亮. 利用流体包裹体研究油藏注入史[J]. 西安石油学院学报, 1998, 13(4): 1-4.
- Zhang Jinliang. Application of fluid inclusions to the study of oil reservoir filling history[J]. Journal of Xi'an Petroleum Institute, 1998, 13(4): 1-4.
- [25] 高先志, 陈发景. 应用流体包裹体研究油气成藏期次—以柴达木盆地南八仙油田第三系储层为例[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 548-554.
- Gao Xianzhi, Chen Fajing. Application of fluid inclusions to determination of the times and stages of hydrocarbon reservoir filling: a case study of Nanbaxian oilfield in the Qaidam Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(4): 548-554.
- [26] 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, 837.
- 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 & Gas Geology, 2010, 31(6): 770-778, 837.
- [27] 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 palaeotemperature in the Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1994, 12(1): 56-65.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] 蒋有录. 石油天然气地质与勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 2006.
- Jiang Youlu. Oil and gas geology and exploration[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2006.
- [31] 丁晓琪, 张峭楠, 谢世文, 等. 鄂尔多斯盆地镇泾地区中生界成藏系统[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(2): 157-164.
- Ding Xiaoqi, Zhang Shaonan, Xie Shiwen, et al. Hydrocarbon accumulation system of the Mesozoic in Zhenjing oilfield, the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 30(2): 157-164.
- [32] 英亚歌, 王震亮, 范昌育. 鄂尔多斯盆地陇东地区延长组流体动力作用下的石油运移与聚集特征[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(1): 118-123.
- Ying Yage, Wang Zhenliang, Fan Changyu. Oil migration and accumulation under the influence of fluid dynamics in the Yanchang Formation, eastern Gansu Province, the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(1): 118-123.
- [33] 查明, 曲江秀, 张卫海. 异常高压与油气成藏机理[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(1): 19-23.
- Zha Ming, Qu Jiangxiu, Zhang Weihai. The relationship between overpressure and reservoir forming mechanism[J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(1): 19-23.
- [34] 王仲应, 庞正宽, 李春玉. 鄂尔多斯盆地东南部中生界油

- 气成藏条件分析[J]. 断块油气田, 1996, 3(4): 9-14.
Wang Zhongying, Pang Zhengkuan, Li Chunyu. The analysis of Mesozoic hydrocarbon reservoir-forming condition in south-east Ordos Basin[J]. Fault-block Oil & Gas Field, 1996, 3(4): 9-14.
- [35] 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.
- [36] 牟泽辉, 朱宏权, 张克银, 等. 鄂尔多斯盆地南部中生界成油体系[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001.
Mou Zehui, Zhu Hongquan, Zhang Keyin, et al. Petroleum system of Mesozoic in southern Ordos Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001.
- [37] 赵靖舟, 杨县超, 武富礼, 等. 论隆起背景对鄂尔多斯盆地陕北斜坡区三叠系油藏形成和分布的控制作用[J]. 地质学报, 2006, 80(5): 648-655.
Zhao Jingzhou, Yang Xianchao, Wu Fuli, et al. Controlling of uplifts on the triassic petroleum accumulation and distribution in North Shaanxi Slope, Ordos Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(5): 648-655.

(编辑 张亚雄)

(上接第697页)

- [9] 郭少斌. 陆相断陷盆地层序地层模式[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(5): 548-552.
Guo Shaobin. Sequence stratigraphy pattern of the terrestrial rifted basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(5): 548-552.
- [10] 刘新颖, 邓宏文, 邸永香, 等. 海拉尔盆地乌尔逊凹陷南屯组优质烃源岩发育特征[J]. 石油实验地质, 2009, 31(1): 68-73.
Liu Xinying, Deng Hongwen, Di Yongxiang, et al. High quality source rocks of nantun formation in Wuerxun depression, The Hailaer Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2009, 31(1): 68-73.
- [11] 谢忱, 胡纯心. 松辽盆地长岭断陷南部天然气成藏与富集特征[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(3): 381-385.
Xie Chen, Hu Chunxin. Gas accumulations and distribution features in the south of the Changling fault depression in the Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(3): 381-385.
- [12] 姜雪, 邹华耀, 庄新, 等. 辽东湾地区烃源岩特征及其主控因素[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2010, 34(2): 31-37.
Jiang Xue, Zou Huayao, Zhuang Xin, et al. Characteristics of hydrocarbon source rocks in Liaodong Bay area and its main controlling factors[J]. Journal of China University of Petroleum (Natural Science Edition), 2010, 34(2): 31-37.
- [13] Passey Q R, Creaney S, Kulla J B. A practical model for organic richness from porosity and resistivity logs [J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(5): 1777-1794.
- [14] 朱振宇, 刘洪, 李幼铭. $\Delta\log R$ 技术在烃源岩识别中的应用与分析[J]. 地球物理学进展, 2003, 18(4): 647-649.
Zhu Zhenyu, Liu Hong, Li Youming. The analysis and application of $\Delta\log R$ method in the source rocks identification [J]. Progress in Geophysics, 2003, 18(4): 647-649.
- [15] 王贵文, 朱振宇, 朱广宇, 等. 烃源岩测井识别与评价方法研究[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(4): 50-52.
Wang Guiwen, Zhu Zhenyu, Zhu Guangyu, et al. Logging identification and evaluation of Cambrian-Ordovician source rocks in syncline of Tarim basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(4): 50-52.
- [16] 彭文绪, 孙和风, 张如才, 等. 渤海海域黄河口凹陷近源晚期优势成藏模式[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 510-518.
Peng Wenxu, Sun Hefeng, Zhang Rucai, et al. Late-stage near-source preponderant hydrocarbon pooling pattern in the Huanghekou Sag of the Bohai Sea waters [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(4): 510-518.
- [17] 苏永进, 唐跃刚, 张世华, 等. 川西坳陷上三叠统天然气成藏主控因素及形成模式[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(1): 107-113.
Su Yongjin, Tang Yuegang, Zhang Shihua, et al. Main controlling factors and patterns of gas accumulation in the Upper Triassic of the western Sichuan Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(1): 107-113.

(编辑 董立)