

文章编号: 1000-0550(2012)05-0964-11

鄂尔多斯盆地中生界低渗透岩性油藏形成规律综述^①

刘显阳^{1 2 3} 惠 潇^{1 2} 李士祥^{1 2 3}

(1. 成都理工大学能源学院 成都 610059; 2. 中国石油长庆油田公司勘探开发研究院 西安 710018;
3. 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室 西安 710018)

摘 要 鄂尔多斯盆地中生代为典型的大型内陆拗陷湖盆,含油层系主要为三叠系延长组和侏罗系延安组。长7优质烃源岩为中生界油藏的主要源岩,异常高压为中生界低渗透储层油气大规模运移的主要动力,孔隙性砂体和裂缝系统是中生界石油运移的主要通道,多种输导体系和异常压力的有效组合控制了油藏的展布特征。利用储层成岩流体包裹体、自生伊利石测年和沥青期次等多种方法对成藏期次进行了分析,认为中生界油藏的形成成为连续充注一期成藏的特点,成藏期可分为早、中、晚三个阶段,分别对应于早白垩世早期、中期和晚期,主成藏期为早白垩世中期的中期成藏阶段。总结出鄂尔多斯盆地延长组低渗透岩性油藏的形成规律,在长7优质烃源岩欠压实作用和生烃增压共同产生异常高压生的作用下,原油通过互相叠置的相对高渗砂体向上、向下运移,在长4+5、长6、长8形成大规模岩性油藏,并通过微裂缝和前侏罗纪古河输导体系,在长2及侏罗系形成了构造—岩性油藏。

关键词 鄂尔多斯盆地 低渗透岩性油藏 成藏期次 成藏动力 输导体系 中生界

第一作者简介 刘显阳 男 1969年出生 在读博士 高级工程师 沉积学、石油地质学 E-mail: lxy3_cq@pet-rochina.com.cn

中图分类号 TE122.3+1 文献标识码 A

鄂尔多斯盆地中生代为典型的大型内陆拗陷湖盆,具有稳定沉降、湖盆宽缓、沉积范围大的特点,晚三叠世早期进入湖盆发育阶段,发育一套河流—三角洲—湖泊相碎屑岩沉积,由于物源供应充足,加之湖盆稳定回返,沉积了一套厚约千余米的湖泊—三角洲相碎屑岩建造,为油藏的形成创造了优越的储集条件。

经过半个多世纪的勘探,鄂尔多斯盆地发现了丰富的油气资源,含油层系主要发育在三叠系延长组和侏罗系延安组,在三叠系延长组长10—长1油层组、侏罗系富县组和延安组延10—延4+5油层组均发现了油藏,具有纵向上多层系复合成藏,平面上发育多个叠合含油富集区的油藏分布特征。本文通过对鄂尔多斯盆地优质烃源岩分布特征、石油运移动力、输导体系、成藏特点和油藏配置关系进行研究,以期对盆地低渗透岩性油藏形成规律进行探讨,指导下一步的石油勘探。

1 优质烃源岩是形成大型岩性油藏的物质基础

鄂尔多斯盆地中生界丰富的石油资源与上三叠统长7湖相富有机质烃源层的大规模发育有着密切

的关系。该套优质烃源岩(油页岩)的有机质丰度很高,TOC主要分布于6%~14%,最高达30%以上,分布范围大($5.0 \times 10^4 \text{ km}^2$)^[1],大部分地区油页岩段的厚度在10~50 m之间,最发育的地区累计厚度可达80 m以上,烃源岩条件优越。

晚三叠世的区域构造活动造成了长7早期的大规模湖泛,形成了长7湖泛期高强度生烃的特征^[2]。长7期也是晚三叠世湖盆演化过程中的最大湖泛期,湖盆的快速扩张形成了大范围的半深湖—深湖相沉积环境。湖盆水域的扩张和变深为浮游藻类、底栖藻类以及水生动物的大量繁殖提供了重要的基础条件。岩石学研究表明,长7富有机质优质烃源岩中显微纹层十分发育,并常见富含有机质的磷酸盐结核,表征了沉积时的高初级生产力特征。氧化—还原环境是影响有机质保存条件的关键因素,缺氧环境无疑有利于有机质的良好保存。通常某些元素特别是变价元素的地球化学行为与氧化—还原环境有着密切的关系,U、S、V、Eu等元素在缺氧环境下呈低价,易沉积富集,因此长7富有机质优质烃源岩富黄球状黄铁矿、高 S^{2-} 含量等,以及富有机质烃源岩的大范围发育充分表征了底层水和沉积物表层的缺氧特征^[3]。

长7油层组沉积早—中期是鄂尔多斯盆地晚三

^①国家科技重大专项(编号:2011ZX05044和2011ZX05001)资助。
收稿日期:2011-10-20;收修稿日期:2011-12-21

叠世陆相湖泊优质烃源岩主要发育期,在该段地层中发现了震裂岩及震裂构造、滑塌岩、凝灰岩、液化砂岩脉与泄水构造、肠状构造、重荷模与重荷构造、砂岩墙及震褶岩与柔褶构造等事件沉积物,这些地质事件,对优质烃源岩的形成具有重要的影响。

通过对长 7 优质烃源岩的研究,其发育模式可归结为区域地球动力系统活动产生的地质事件作用下的高强度生烃模式,具有高强度生烃、大面积运聚的特点,具体可表述为以下几方面的特征:晚三叠世长 7 早期,强烈的区域拉张伸展构造活动引起大规模湖泛,形成大范围的深湖—半深湖区,水体盐度较低;与区域构造活动相伴随的地震、火山喷发、海侵与湖底热水活动促进了富营养湖盆的形成,诱发了高的生物生产力;高生物生产力、湖底热水活动和火山喷发活动造成了十分有利于有机质保存的缺氧环境;湖盆中

心深湖区欠补偿沉积促进了有机质的富集。

延长组长 7 湖侵背景下形成的暗色泥岩、页岩、油页岩是中生界的主力烃源岩,丰度高、类型好、厚度大、分布广,是一套区域性的烃源岩。该套烃源岩分布稳定,具有高阻、高伽马、高时差、低密度、低电位的特征。其厚度由几米到几十米,往往由厚层深灰、灰黑色泥岩或炭质泥岩与灰绿色、深灰色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、粉、细砂岩的薄互层、韵律层组成,反映深水沉积特征,在盆地内广泛分布,西北可伸展到姬塬—马家滩以西,西南可分布到庆阳—西峰以南,东南可覆盖至铜川以南和黄龙以东(图 1)。

2 异常高压为石油运移的主要动力

油气聚集成藏的过程是在驱动力作用下选择最有利地质储集空间的过程,驱动力性质决定着油气运

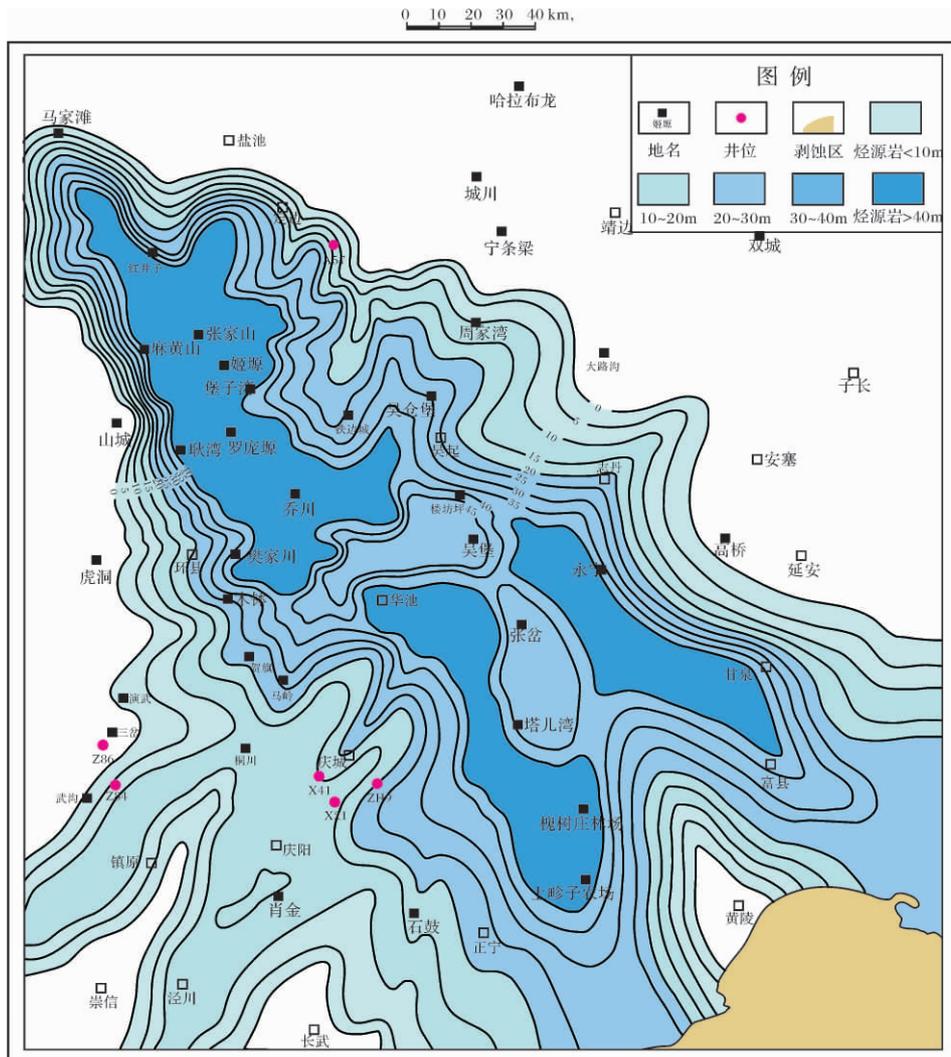


图 1 鄂尔多斯盆地延长组长 7 烃源岩分布图

Fig. 1 Distribution of Chang 7 source rocks in Yanchang Formation, Ordos Basin

移的方向和强度。鄂尔多斯盆地中生界储层主要为低渗储层,通过对不同运移动力类型及发育特点研究,发现影响油气大规模成藏的主要动力类型为由于泥岩欠压实而存在的异常高压^[4~5]。以下对异常高压这一主要动力类型的特征及对成藏的影响进行分析。

2.1 异常高压形成原因

异常高压形成的一个主要条件是沉积体中具有渗透性足够低的岩石,因而在沉积体上覆载荷增大时其内的流体流出速度相对于沉积体压力增加而言可以忽略不计,异常高压通常出现在页岩为主的层系中。由于流体排出不畅,通常应该由岩石骨架承担的压力转移给了地层流体,则出现高压流体。在连续埋

藏时上覆沉积物重量逐渐增加,总垂直应力也随之增加,岩石骨架只承担部分新增加的应力,其余部分传导给地层流体。如果埋藏的时间足够长,考虑到地层有微弱的渗透性,则这部分增加了的压力,将通过流体流出而缓慢地逐步释放。然而,由于连续埋藏,颗粒胶结更加致密,孔隙空间变小,渗透性进一步降低,地层流体的排出过程与增压过程更加不平衡,孔隙压力逐步增加而产生异常高压^[3]。

生烃增压作用也是形成异常高压的另一个重要因素。固体有机质或干酪根转化为石油或天然气可以导致孔隙流体体积明显增加。烃源岩大量生烃过程一般被认为是产生超压的重要机制,近年来在很多盆地中发现超压的分布与成熟烃源岩的生油强度分

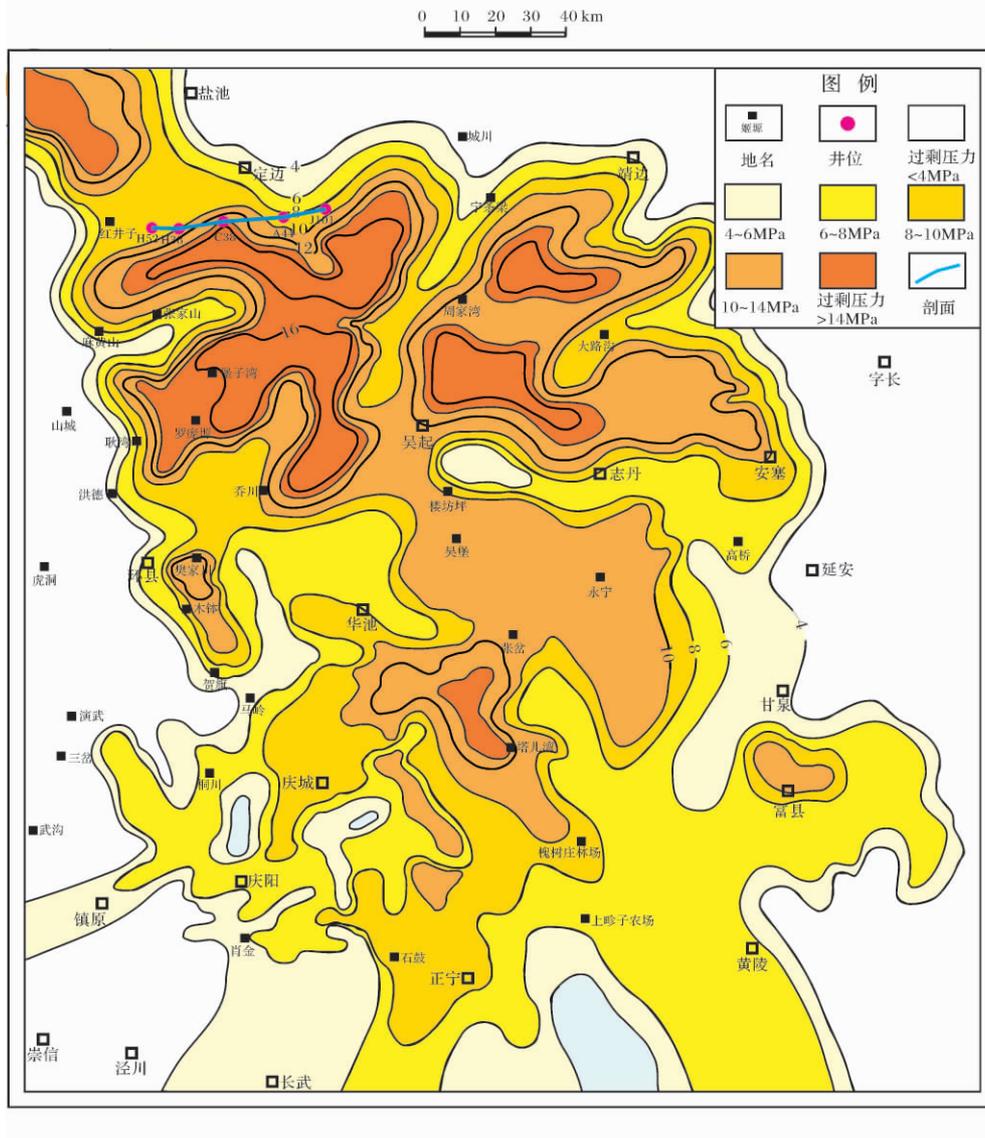


图2 鄂尔多斯盆地延长组长7 过剩压力分布特征图

Fig. 2 Overpressure distribution characteristic of Chang 7 in Yanchang Formation, Ordos Basin

布也密切相关^[6-8]。长 7 暗色泥岩是中生界的一套主要烃源岩,母质类型以腐殖-腐泥混合型生油干酪根为主,其暗色泥质烃源岩平均有机碳含量 4.74%,镜质体反射率(R_o) 平均达到 1%,正处于生油的高峰时期。根据平衡深度法求取的延长组地层异常压力值与长 7 油页岩的关系可以看出,在长 7 油页岩较厚的区域,异常压力值较高,在油页岩较薄的区域,异常压力值一般较低,但也存在局部地区,如靖边地区,油页岩不发育,但存在一定的异常压力,这是由于该区发育一定厚度的泥岩由于欠压实作用而形成的。总体上,长 7 油页岩的厚度与异常压力的分布具有较好的正相关性(图 2),延长组长 7 主力烃源岩的生烃对延长组超压的形成具有重要的影响作用。

2.2 异常高压分布特征

鄂尔多斯盆地大部分地区正常压实趋势明显,一致性较好,延长组正常压实段主要分布在长 1—长 4+5 油层组,欠压实现象普遍发育于长 6、长 7 以及下部油层组。部分地区(如姬塬)部分井长 4+5 油层段已开始出现欠压实现象,正常压实与欠压实分界线多数位于长 4+5 与长 6 之间。各单井曲线上仅在异常段的顶界埋深、层位以及异常段偏离正常压实趋势的幅度等方面存在着一定的差异,各井出现延长组最大的异常压实处的泥岩声波时差值主要分布在 300~360 $\mu\text{s}/\text{m}$ 。

从异常压力层位的分布看,全区异常压力的出现与长 7 油页岩的厚度具有较好的一致性,姬塬南部地区泥岩厚度较大,延长组沉积期间主要位于湖盆中

心,异常压力出现的层位多为延长组长 6 油层组。长 7 油层组异常压力达到最大,大部分地区过剩压力达到 12 MPa 以上(图 2)。

异常压力出现层位和深度的不同主要是差异压实的结果,总体规律是油页岩厚的地方,单井过剩压力较大,油页岩较薄的地方,单井过剩压力较小(图 2)。姬塬地区耿 73 井长 7 油页岩厚度最大达到 80 m 以上,单井最大过剩压力达到 15.17 MPa。

2.3 异常高压为石油运移的主要动力

石油运移方向主要取决于某一方向的过剩压力梯度与渗透性砂体的横向连通程度。延长组最大异常高压主要出现在长 7 油层组,在纵向上形成了较大的过剩压力梯度,延长组纵向的地层过剩压力梯度远大于横向(图 3),且在垂直裂缝发育地带的低渗透地层中纵向渗透率远远大于横向顺层渗透率,因此石油在垂直裂缝发育带中主要做垂向运移。异常高压地层在瞬时外力强烈作用时可能导致更强烈的瞬间高压并引发水力破裂,在延长组的长 6—长 4+5 特低渗地层中形成由断裂和裂缝组成的运移通道,而在上部长 3—长 2 地层中形成裂缝—砂体复合运移通道,流体沿着裂缝幕式运移。当裂缝带的剩余流体压力大于其切割的长 6—长 4+5 储集砂体的毛管阻力时,石油能够充注进入储层并聚集成藏。除此之外,异常高压可以促使长 7 生成的原油沿垂向叠置的砂体向上覆低渗的长 6、长 4+5 储层运移。长 3—长 2 油层组物性相对较好,石油运移到该油层组以后,沿着砂体进行侧向运移,在长 2 的一些低幅构造中聚集成藏。

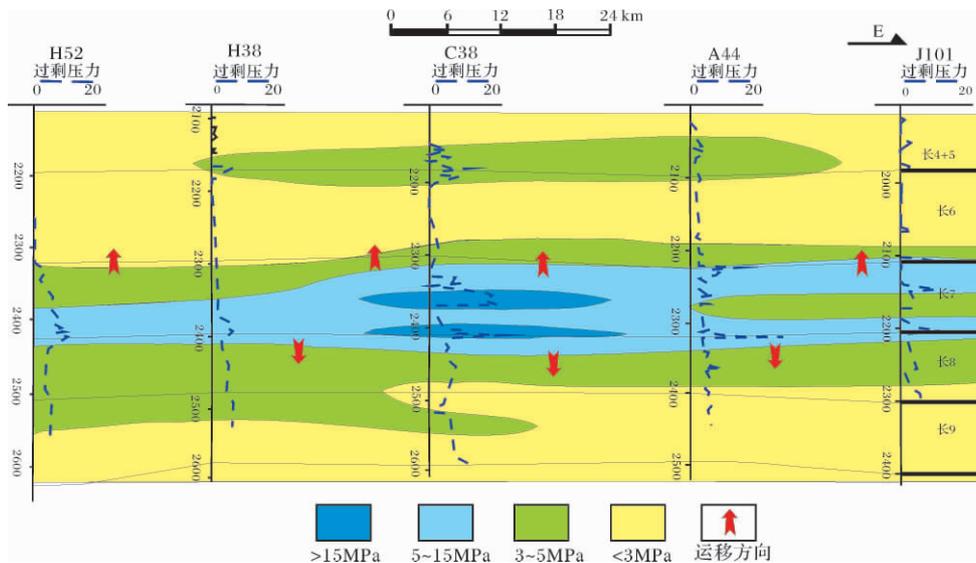


图 3 鄂尔多斯盆地黄 52 井—涧 101 井延长组过剩压力剖面图

Fig. 3 Well Huang 52—Well Jian 101 Overpressure profile of Yanchang Formation, Ordos Basin

延长组长6—长2油层组以发育三角洲水下分流河道砂体为主,紧邻长7烃源岩的长6和长4+5砂体渗透率均值分别是 $0.46 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 和 $0.62 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,都不到 $1.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属于特低渗透储层,再加上长6和长4+5三角洲平原和前缘的沉积类型多样,砂体交错纵横,在横向上岩性多变,非均质性较强,因而通常情况下石油是难以进行垂向、横向运移的。延长组长7烃源岩中普遍存在异常高压,一方面异常高压是长7烃源岩中石油排出的主要动力,另一方面它引起上覆油层组水动力场的变化,形成上覆长6—长3油层组中石油二次运移的关键驱动力。石油自生油层进入储层后发生顺层和穿层运移,在地层异常压力控制下石油的侧向运移和垂向运移是同时进行的。

3 多种输导体系构成丰富的运移通道

油藏输导体系是指原油经初次运移之后,从输导层到储集层运移途径的路径网络系统。目前的认识表明输导体系包括了三类油气运移途径,即孔隙性砂体、不整合、裂缝或断裂。通过对岩性、物性、地球化学以及含油性关系的研究,认为上三叠统延长组叠合连片的孔隙型砂体是原油运移的最主要通道^[9],而成岩作用早期形成的滑塌变形裂缝是油气运移的优势通道,对油气运聚起着重要作用,构造裂缝在运移中也起一定的作用。

由于鄂尔多斯盆地延长组储层在成藏期成岩演化程度相对较低、原始孔渗条件较好^[10],中、晚白垩世盆地长7优质烃源岩生成的油源在异常高压的作用下沿微裂缝、连通砂体开始往上大量运移,对长4+5、长6进行连续式多点充注成藏。当压力较高时即使砂体连通情况较差也可发生石油运移;而随着石油运移流体压力逐渐降低,尤其在经过长6—长4+5砂体释压后,地层压力迅速降低,多数石油只能沿着微裂缝和连通情况较好的砂体运移。

3.1 孔隙性砂体

由于原油沿连通砂体的运移方向具有“向源性”的特征,因此连通砂体优势通道的展布与砂体发育带有一定的相关性^[11]。这种“向源性”在储集体大面积发育时候表现的更为突出,加上物性的控制作用,烃源岩排出的原油沿优势通道运移,在孔渗性好的地方聚集成藏,其盖层可以是泥、页岩或渗透率更低的砂体。

非均质性应是输导层的本质特征,低渗储层内部因这种非均质性很可能造成输导体内部一些孔渗性相对较好的优势通道,即一些学者^[12]在描述运移优势通

道时所划分的级差优势通道。对渗透性相对较好的输导层,运移的动力很容易克服输导层内运移通道上的毛细管阻力,因而石油在这些可能的通道中选择最容易突破的路径运移。

但对于延长组渗透性很低的输导层,就需要对此进行细致的分析:(1)优势通道的形成机理:低渗的成因大都是成岩作用的结果,起作用的已非“沉积物颗粒的级差优势”,而是“最小通道的毛细管阻力的级差优势”;(2)若优势通道在运移过程中能起作用,其最小的和最大的通道半径及其对应的毛细管力是多少;(3)这些通道的三维连通性如何在石油运移的同时把排开的水释放出系统;(4)这些通道上是否存在非低渗的储集空间。

通过研究分析认为,石油在延长组储层中沿这种优势运移通道发生运移的可能性很大。砂体低渗的成因主要是由于化学胶结成岩作用,外界流体源源不断地流过砂体,带来胶结物质,使得孔隙空间被填满。在这种情况下,流动的流体最后总要留下一些使流体能够流过的通道,这些通道往往有可能就是输导层内石油运移的路线。从油田储层物性分析结果来看,虽然储层物性的平均值相对较低,但时常可以遇到孔隙度12%~15%,渗透率 $3 \times 10^{-3} \sim 6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的岩芯样品^[13]。

沿低渗输导层内优势通道运移的石油在遇到孔渗性较好的储集空间就可以很自然的形成油藏,这样所发现的油藏就应该具有较高的孔渗性;而这些优势通道在运移过程中遇到的只是低渗储层,则石油就不可能成藏,因而从优势通道进入低渗储层石油仍然要克服巨大的毛细管阻力。

3.2 裂缝系统

鄂尔多斯盆地位于华北克拉通西部,基底断裂数量多、规模大,基底顶面表现为两个大型隆起:北部为伊盟隆起,中南部为中央古隆起。盆地基底结构对上覆沉积盖层中的岩性、岩相及其裂缝发育具明显的控制作用,从而间接影响到石油的运移与聚集。中生代不同期次的幕式构造运动导致了基底断裂复活,并在上覆盖层中形成不同的裂缝,成为延长组石油运移的优势通道。

在岩芯观察过程中发现研究区裂缝以垂直缝和高角度缝为主,利用岩芯裂缝方位古地磁定向的分析方法,对裂缝样品进行了分析,延长组主要发育北北东向、北东向和东西向三个方向的裂缝^[14]。另外大量的成像测井资料及野外剖面实测表明,盆地主要发育主

要发育东西向和南北向两组裂缝,与古地磁定向结果一致。

不过从盆地东部和北部出露地表的延长组地层内裂隙的发育状况来看,穿过储层裂隙的密度大约几十公分一条,裂隙一般仅穿过单层的砂岩层而止于泥岩。这些裂隙在一个砂体内可以形成网络,因而在一些砂体内构成石油运移的主通道。

4 具有连续充注一期成藏的特点

油气是赋存于沉积地层中的流体矿产,沉积地层的各种信息从不同程度反映了油气运移的期次。通过对油气储层中的油气包裹体、自生伊利石测年分析和储层中沥青特征分析,综合判识油气充注及成藏特点。

4.1 利用油气包裹体分析成藏期次

目前利用包裹体研究油气成藏期次的方法主要是根据油气包裹体均一温度、冰点或盐度、荧光特征和储层岩相学特征等来划分油气成藏期次^[15-17]。其中均一温度、冰点或盐度反映了包裹体形成时的环境条件。岩相学研究方法是在综合研究成岩作用和成岩矿物分析基础上,查明油气包裹体寄主的自生成岩矿物序列及油气包裹体特征,才可以确定油气包裹体期次,进而确定油气运移和聚集成藏期次^[16,18-21]。

通过对鄂尔多斯盆地中生界300余块油气包裹体岩相学特征研究,盆地主要发育三期包裹体。第一期有机包裹体分布在早期裂隙和溶蚀孔隙中,为含有机质成分的流体包裹体,该期流体包裹体并不代表油气运移成藏过程,只是一期含有机流体的成岩事件。广泛分布在钠长石、斜长石解理缝、早期裂隙和石英自生加大边内缘的第二期油气包裹体代表了早期被改造的一次油气成藏事件。钠长石加大边、钠长石重结晶、亮晶方解石胶结物、硅质胶结物中具亮黄色荧光油气包裹体,代表了本区主成藏期。分布在钠长石加大边和晚期胶结物中的第三期油气包裹体属于成岩油气包裹体,与加大边和晚期胶结物同时形成。盆地延长组主要发育第三期包裹体,代表了一次比较集中的油气成藏充注事件。

本次研究共采集了延长组包裹体样品300余块,样品主要来自于姬塬长8、长4+5油层组,陕北长6油层组,西峰及镇北长8油层组,华庆长6、长8油层组,合水长6、长7油层组,盆地东南长9油层组,测温点达1500多个。考虑到石英裂隙中呈串珠状分布的包裹体是沉积有机质演化过程中形成的有机酸流体发生成岩反应的产物,不反映石油成藏事件,所以本次包裹体

均一温度分析排除了这一部分资料,主要应用矿物自生加大边、长石解理缝和胶结物中的包裹体进行测温。通过对鄂尔多斯盆地延长组包裹体均一温度进行分析(图4),可以看出延长组包裹体均一温度50℃~150℃呈无间断连续分布,代表了石油呈连续充注一期成藏。整个盆地延长组主成藏期比较集中,均一温度主要分布在80℃~120℃,对应于早白垩世中期,相当于中期成藏;一部分包裹体均一温度分布在60℃~80℃,对应于早白垩世早期,属于早期成藏;还有一部分包裹体均一温度分布在120℃~140℃,对应于早白垩世晚期,属于晚期成藏。可见,鄂尔多斯盆地中生界油藏的形成成为连续充注一期成藏的特点,成藏期可分为早、中和晚三期,分别对应于早白垩世早、中、晚期,主成藏期发生在早白垩世中期。

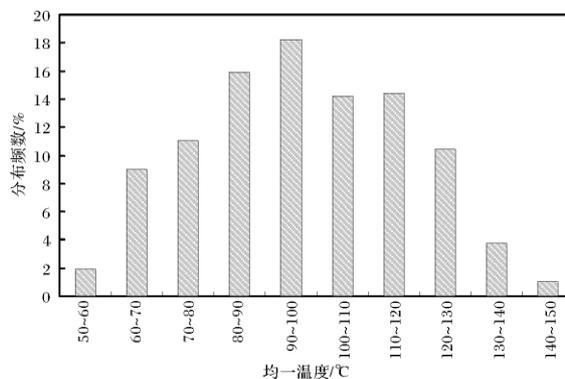


图4 鄂尔多斯盆地延长组包裹体均一温度分布直方图

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

4.2 利用自生伊利石测年分析成藏期

伊利石 K—Ar 时钟是一个封闭体系,可有效地用于确定沉积岩的成岩作用时代^[22]。一般认为,油气开始大规模向储层充注时,进入储层的油气抑制了储层中的自生伊利石的生长,自生伊利石的形成时间相当于石油开始进入储层的时间(即充注的最早时间),亦即油气藏开始成藏的时间。自生伊利石 K—Ar 测年所确定的时间,实际上是油气充注过程发生之前所生成的自生伊利石的平均年龄,严格地讲,该年龄肯定大于油气向储集层充注的地质年龄,但考虑到自生伊利石形成的温度范围比较窄,其形成的延续时间也不大,可以将这一平均年龄大致地看作大规模油气充注发生的绝对年龄。

本次研究选取位于盆地北部的 A57 井(位置见图1)深度为 2103.4 m 的长 6₁ 细砂岩样品,通过 X 射线衍射所测粘土矿物中伊/蒙混层含量较低,为 22%,

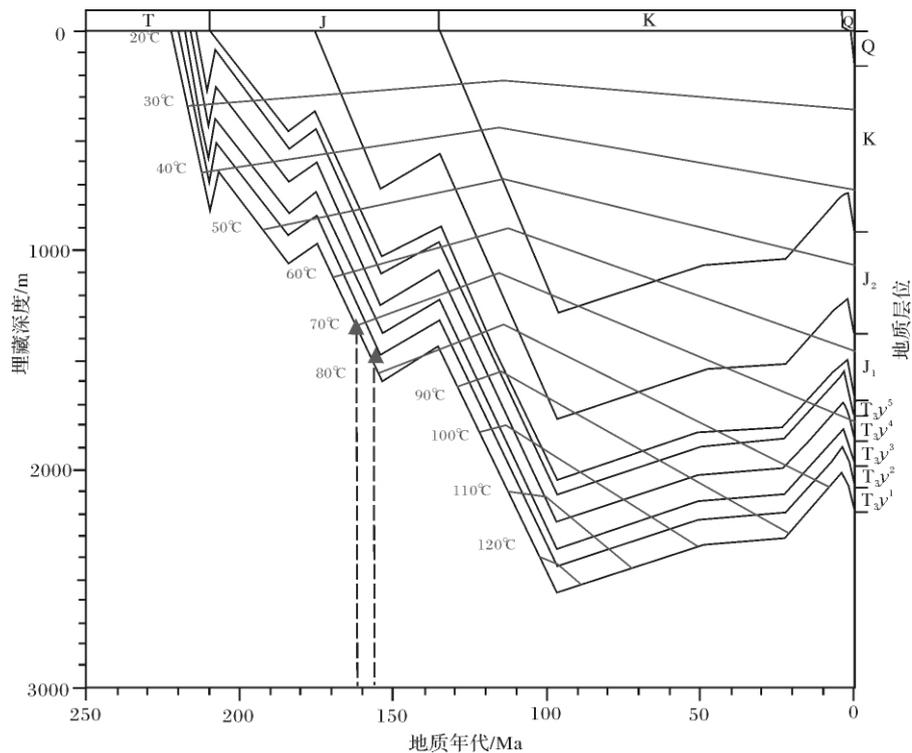


图5 鄂尔多斯盆地 A57 井埋藏史图

Fig. 5 Burial history of Well A57, Ordos Basin

伊/蒙混层中蒙皂石的比例较低达到 20% ,基本达到了测年样品要求。扫描电镜下观察,该样品较致密,粒间孔隙 30 ~ 50 μm 之间,连通性较差。镜下粒间有丝片状伊/蒙混层和针状叶绿泥石,颗粒表面溶孔中有片状高岭石,整个样品基本达到自生伊利石测年的要求。实验室自生伊利石 K—Ar 同位素测年结果为 159.28 ± 1.40 Ma 和 165.26 ± 1.90 Ma。从安 57 井单井埋藏史看(图 5),所测年龄为晚侏罗世,长 7 烃源岩开始进入生烃门限的深度,长 6 油层组古地温为 80 $^{\circ}\text{C}$ 左右,深度为 1 500 m 左右。这一结果正好与本文根据流体包裹体推测的油气首次充注的年龄一致,并符合鄂尔多斯盆地整体的成藏背景和成岩背景,可信度较高,代表了油气开始注入储集层的绝对地质年龄。

4.3 利用储层中沥青特征分析成藏期次

石油是一种液态的以碳氢化合物为主的复杂混合物,石油中除轻质汽油和石蜡不发光外,大部分石油都具有荧光性。石油主要组分中的油质沥青、胶质沥青、沥青质沥青发荧光,发光性质取决于它的化学成分。油质沥青为烃类化合物,包括饱和烃、环烷烃、芳香烃;胶质沥青为含 O、N、S 的碳氧化合物,是石油中较固定的组分,含量不低于 1%;沥青质沥青为不溶于石油醚的馏分。

油质沥青发黄、兰白色荧光,胶质沥青以橙色为主,沥青质沥青以褐色为主,炭质沥青不发光。油质沥青反映的是原油的特征,胶质沥青、沥青质沥青,特别是炭质沥青一般而言充当填隙物,对储层物性产生负面影响。鄂尔多斯盆地延长组,主要发育黄白色荧光沥青、兰白色荧光沥青、暗黄褐色荧光沥青、暗绿褐色荧光沥青以及炭质沥青(所采样品井位位置见图 1),共计五种类型(图 6)。其中,暗绿褐色荧光沥青的含量较少,只在个别样品中见到,含量很低。单偏光下为一大块棕黑色沥青,在紫外光的照射下即有发黄白色荧光的沥青,也有荧光分布不是很均匀的发暗黄褐色荧光沥青(图 6c),沿边缘和微裂隙比较强,可能是黄白色荧光沥青对炭质沥青改造所造成的。暗黄褐色荧光沥青的荧光强度比较均匀(图 6d),还伴有溶蚀现象,表明后期注入的原油对其浸泡比较充分;暗黄褐色荧光沥青右侧另一孔隙中的炭质沥青中裂缝不发育,其周缘也没有较多的油质沥青。图 6g 进一步表明了黄白色荧光沥青对炭质沥青的溶蚀,发兰白色荧光沥青充填在孔隙之中,并渗入粘土薄膜。从产状看,粘土薄膜形成于发黄白色荧光沥青之后,兰白色荧光沥青充注之前。兰白色荧光沥青沿裂缝穿过炭质沥青,使得炭质沥青发暗绿褐色荧光(图 6e)。

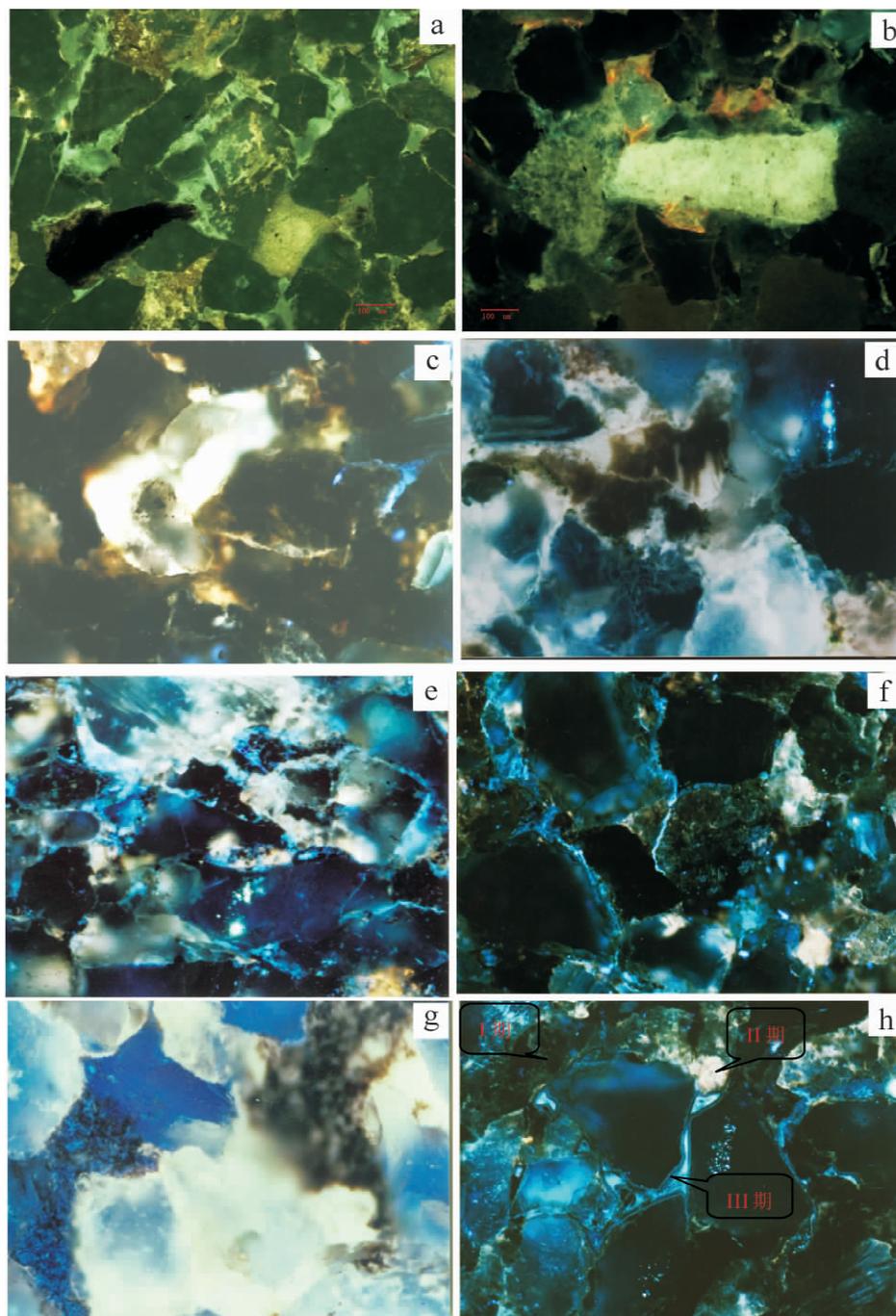


图 6 鄂尔多斯盆地延长组烃类沥青特征

a. Z84 井 2 202.30 m ,长 3 粒间孔和粒内溶孔的沥青充填 ,发中亮的黄色—绿蓝色荧光; b. Z86 井 2 036.30 m ,长 2 残余粒间孔内液烃沥青的两期充填 ,黄橙色和黄—绿蓝色荧光; c. X21 井 2 039.2 m ,长 8 ,10 × 10(Y) 荧光分布不是很均匀的暗黄褐色荧光沥青; d. X41 井 ,1 990.88 m ,长 8 20 × 10(Y) 。暗黄褐色荧光沥青的荧光强度比较均匀 ,还伴有溶蚀现象; e. ZH9 井 ,1 709.64 m ,长 8 ,10 × 10(Y) 兰白色荧光沥青沿裂缝穿过碳质沥青 ,使炭质沥青发暗绿褐色荧光; f. X41 井 ,1 997.2 m ,长 8 20 × 10(Y) 不同类型的油质沥青在孔隙中没有发生充分的混溶; g. X41 井 ,1 992.29 m ,长 8 20 × 10(Y) 黄白色荧光沥青对炭质沥青的溶蚀; h. ZH9 井 ,1 704.64 m ,长 8 ,10 × 10(Y) III 期原油充注 ,I 期已转化为碳质沥青 ,II 期为黄白色荧光沥青 ,III 期为兰白色荧光沥青

Fig. 6 Characteristics of Yanchang Formation hydrocarbon bitumen ,Ordos Basin

不同类型的油质沥青在孔隙中没有发生充分的混溶(图 6b f h) 其原因之一可能是储层的渗透率很低。

在裂缝之中,混溶的程度有所增加(图 6e、g),其中炭质沥青明显地起到了阻隔的作用。

镜下沥青特征反映本区至少经历了油气充注期三个主要阶段:第一阶段以炭质沥青为代表,第二阶段为黄白色荧光沥青,第三阶段为兰白色荧光沥青。在第二阶段和第三阶段油气充注之间,有无机流体的活动,形成了粘土薄膜。暗黄褐色和暗绿褐色荧光沥青是炭质沥青被油质沥青浸染所造成的,其主体还属于炭质沥青,但其可溶性明显增加。炭质沥青应是第一阶段油气充注后油气遭到破坏而残留下来的物质,它们对油气生产可能已不具意义,但它们对储层的润湿性应该产生了重要影响,形成有利于第二和第三阶段油气注入储层的动力条件,促进了低渗透储层中烃类富集,这有可能是一个十分有利的成藏因素。

5 有利的成藏配置是形成大型复合油藏的重要因素

5.1 湖盆振荡升降构建了多套有利储盖组合

湖盆演化决定沉积相序组合及相带平面分布。鄂尔多斯湖盆经历了多次湖盆震荡,致使湖平面发生周期性升降,在此沉积背景下,随着湖盆的振荡运动,湖平面产生周期性湖进、湖退,沉积发育了多套砂-泥岩互层的有利储盖组合,其中砂岩是油气储集的良好场所,而泥岩则是很好的盖层,为多油层复合含油富集区

的形成奠定了基础。

鄂尔多斯盆地长 8 沉积末期延长湖盆迅速沉降,长 7 沉积期湖盆迅速扩张,水深加大,湖盆中部地区沉积了一套有机质丰富的暗色泥岩,质纯,含藻类及介形虫化石,干酪根类型以腐泥型、腐植腐泥型为主,有机质丰度高,为中生界提供了充足的油源。长 6 沉积期为持续湖退过程,发生了大规模的三角洲砂体进积,并且受湖盆底形、沉积相及火山活动等突发地质事件的控制,在鄂尔多斯湖盆中部地区形成了东西宽 15~80 km,南北长约 150 km,厚度分布稳定的、沿半深湖、深湖斜坡地区发育的大型复合油积砂带,在华庆地区长 6 形成巨厚层的储集砂体。到了长 4+5 沉积期,又是一次小范围的湖侵期,沉积岩以泥质岩类为主,形成了一套良好的区域性盖层,对长 6 油层组油气的保存及延长组油气的富集均具有十分重要的意义。纵向上良好的生储盖配置关系形成了华庆地区长 7—长 6 的下生上储式大型油藏。

5.2 生储盖的有机配置是形成大规模含油富集区的重要因素

鄂尔多斯盆地多个地区在湖盆振荡的环境下形成了有利的生储盖组合,华庆地区位于中生界湖盆中心,以该区长 8、长 7 和长 6 油层组的有机配置而形成的有利含油富集区为例对形成大规模含油富集区的因素予以说明。华庆地区延长组长 6 期主要为湖相和三角洲

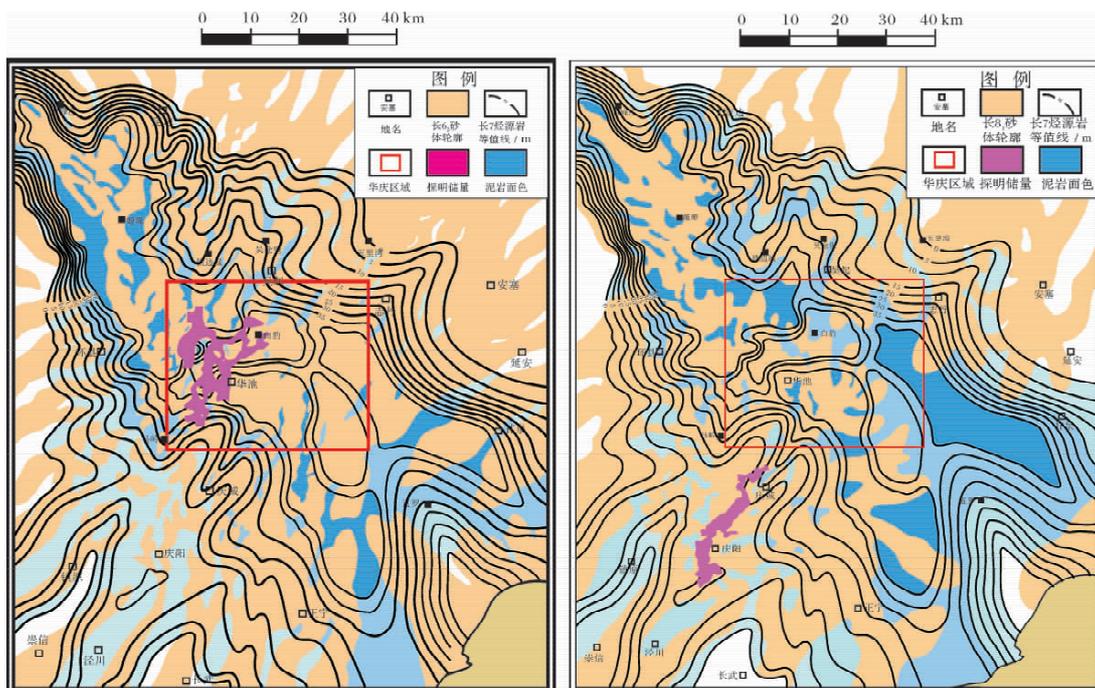


图 7 华庆地区长 6、长 8 砂体与长 7 烃源岩配置关系图

Fig. 7 Matching relationship between Chang 7 source rocks and Chang 6 and Chang 8 sandstone in Huaqing area

相沉积区内砂体展布形态和方向受湖盆演化及底形控制,该区西南部因位于湖盆陡坡带,在火山活动、风暴等作用下发育大型浊积砂岩,平行于湖岸线展布,而东北部受东北沉积体系控制,主要发育三角洲前缘水下分流河道和河口坝砂体;而该区长8期主要受东北沉积体系的三角洲前缘亚相控制,发育退积型三角洲前缘水下分流河道和河口坝砂体,这两套不同成因类型的砂岩各自在纵向多期叠置、横向复合交错连片、厚度大、分布稳定的大型复合储集体(图7)。而且这套大型复合储集体无论纵向、横向都紧邻长7优质烃源岩,具有优先捕获油气的得天独厚的优势,平面上形成了较好的配置。另外,长7优质烃源岩(TOC > 5%)有机质丰度高,具有主动性排烃的能力,室内实验研究表明其平均排烃率高达82%,大量生烃增压为石油运移提供了强大的动力条件,使得长7源油通过垂向上、下运移,在长6、长8有利储集砂体形成大规模含油富集区。

6 结论

(1) 异常高压为中生界低渗透储层油气大规模运移的主要动力,孔隙性砂体和裂缝系统是中生界石油运移的主要通道,多种输导体系和异常压力的有效组合控制了油藏的展布特征。

(2) 利用储层成岩流体包裹体、自生伊利石测年和沥青期次等多种方法对成藏期次进行了分析,总结出延长组油藏的形成成为连续充注一期成藏的特点,成藏期可分为早、中、晚三个阶段,分别对应于早白垩世早期、中期和晚期,主成藏期为早白垩世中期的中期成藏阶段。

(3) 总结出鄂尔多斯盆地延长组低渗透岩性油藏的形成规律,在长7优质烃源岩欠压实作用和生烃增压共同产生的异常高压的作用下,原油通过互相叠置的相对高渗砂体向上、向下运移,在长4+5、长6、长8形成大规模岩性油藏,并通过微裂缝和前侏罗纪古河的输导体系,在长2及侏罗系形成了构造—岩性油藏。

参考文献(References)

- 1 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-permeability oil-gas accumulation: Geology and geochemistry[J]. Geochimica, 2005, 34(02): 147-154]
- 2 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]
- 3 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]
- 4 张克银. 鄂尔多斯盆地南部中生界成藏动力学系统分析[J]. 地质力学学报, 2005, 2(1): 25-32 [Zhang Keyin. Analysis of the Mesozoic accumulation-forming dynamic system in the southern Ordos Basin[J]. Journal of Geomechanics, 2005, 2(1): 25-32]
- 5 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]
- 6 王震亮,张立宽,施立志,等. 塔里木盆地克拉2气田异常高压的成因分析及其定量评价[J]. 地质论评, 2005, 51(1): 55-63 [Wang Zhenliang, Zhang Likuan, Shi Lizhi, et al. Genesis analysis and quantitative evaluation on abnormal high fluid pressure in the Kela-2 Gas Field, Kuqa Depression, Tarim Basin[J]. Geological Review, 2005, 51(1): 55-63]
- 7 郭泽清,钟建华,刘卫红,等. 柴达木盆地西部第三系异常高压与油气成藏[J]. 石油学报, 2004, 25(4): 13-18 [Guo Zeqing, Zhong Jianhua, Liu Weihong, et al. Relationship between abnormal overpressure and reservoir formation in the Tertiary of the Western Qaidam Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(4): 13-18]
- 8 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]
- 9 姚泽利,王克,宋江海,等. 鄂尔多斯盆地姬塬地区延长组石油运移规律研究[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(3): 32-37 [Yao Jingli, Wang Ke, Song Jianghai, et al. Petroleum migration and accumulation of Yanchang Formation in Jiuyan area, Ordos Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(3): 32-37]
- 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 and Gas Geology, 2009, 30(2): 156-161]
- 11 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): 628-632 [Xi Shengli, Liu Xinshe. Petroleum secondary migration pathway in Mesozoic period, Ordos Basin[J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 2005, 35(5): 628-632]
- 12 金之钧,张金川. 天然气成藏的二元机理模式[J]. 石油学报, 2003, 24(4): 13-16 [Jin Zhijun, Zhang Jinchuan. Two typical types of mechanisms and models for gas accumulations[J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(4): 13-16]
- 13 何自新. 鄂尔多斯盆地演化与油气[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003 [He Zixin. Evolution and Petroleum of Ordos Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003]
- 14 李士祥,邓秀芹,庞锦莲,等. 鄂尔多斯盆地中生界油气成藏与构

- 造运动的关系[J]. 沉积学报, 2010, 28(4): 798-807 [Li Shixiang, Deng Xiuqin, Pang Jinlian, *et al.* Relationship between petroleum accumulation of Mesozoic and tectonic movement in Ordos Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 28(4): 798-807]
- 15 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[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]
- 16 王传远, 段毅, 杜建国, 等. 鄂尔多斯盆地长9油层组流体包裹体特征与油气成藏期次分析[J]. 地质科技情报, 2009, 28(4): 47-50 [Wang Chuanyuan, Duan Yi, Du Jianguo, *et al.* Geochemical characteristics and oil-source analysis of crude oils in the Yanchang Formation of the upper Triassic from Ordos Basin [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2009, 15(3): 380-386]
- 17 李明诚, 单秀琴, 马成华, 等. 油气成藏期探讨[J]. 新疆石油地质, 2005, 26(5): 587-591 [Li Mingcheng, Shan Xiuqin, Ma Chenghua, *et al.* An approach to hydrocarbon accumulation period [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2005, 26(5): 587-591]
- 18 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]
- 19 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 Ziufa, 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]
- 20 Dutkiewicz A, Rasmussen B, Buick R. Oil preserved in fluid inclusions in Archaean sandstones [J]. *Nature*, 1997, 395(6705): 885-888
- 21 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
- 22 赵孟为, 汉斯·阿伦特, 克劳斯·魏玛. 鄂尔多斯盆地伊利石 K-Ar 等时线图解与年龄[J]. 沉积学报, 1997, 15(4): 148-151 [Zhao Mengwei, Hans Ahrendt, Klaus Wemmer. The K-Ar isochron diagram and ages of illites from the Ordos Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1997, 15(4): 148-151]

Summary of Formation Rule for Low Permeability Lithologic Reservoir of Mesozoic in Ordos Basin

LIU Xian-yang^{1,2} HUI Xiao^{1,2} LI Shi-xiang^{1,2}

(1. College of Energy Resources, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059;

2. Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an 710018;

3. Exploration and Development National Project Laboratory of Low Permeability Oil and Gas Fields, Xi'an 710018)

Abstract: Ordos Basin is the typical inland depression lake basin of Mesozoic. Yanchang Formation of Upper Triassic and Yan'an Formation of Jurassic are the main oil-bearing strata. Chang 7 high quality source rocks are the principal source rocks of Mesozoic oil reservoir, abnormal high pressure is the principal migration force of Mesozoic low permeability reservoir, porosity sandstone and fracture system are the main migration pathway of mesozoic hydrocarbon, the effective combination of several carrier system and abnormal high pressure controlled the reservoir distribution. By using the methods of the diagenetic fluid inclusion of reservoirs, authigenic illite dating and bitumen with different periods, analysis of the petroleum accumulation period, considered that the formation of Mesozoic oil reservoir is oil migration and accumulation. The accumulation period can be divided into early stage, middle stage and late stage, respectively corresponded to early period, middle period and late period of early cretaceous, The main accumulation stage is the middle stage of accumulation period in middle period of early Cretaceous. The formation rule for low permeability lithologic reservoir of Mesozoic in Ordos Basin has been summarized. Under the effect of abnormal high pressure which was generated by low compaction and hydrocarbon-generating pressurization of Chang 7 source rocks, hydrocarbon migrated up and down by overlying high permeability sandstone, formed large-scale lithologic reservoir in Chang 4 + 5, Chang 6 and Chang 8, and by the passage system of micro fracture and anterior Jurassic paleo-river sand, formed structural lithologic reservoir in Chang 2 and Jurassic reservoir.

Key words: Ordos Basin; low permeability lithologic reservoir; hydrocarbon accumulation period; petroleum accumulation force; carrier system; Mesozoic