

·油气地质·

## 鄂尔多斯盆地致密油的定义

王香增<sup>1</sup>,任来义<sup>2</sup>,贺永红<sup>2</sup>,席天德<sup>2</sup>,葛云锦<sup>2</sup>,米乃哲<sup>2</sup>,邓南涛<sup>2</sup>

(1.陕西延长石油(集团)有限责任公司,陕西 西安 710075; 2.陕西延长石油(集团)有限责任公司 研究院,陕西 西安 710075)

**摘要:**致密油是继页岩气之后全球非常规油气勘探开发的又一新热点,被中国石油界广泛关注,但目前对致密油的定义还存在诸多分歧。基于鄂尔多斯盆地延长组致密油特征分析,从致密储层物性、可动流体等方面对致密油定义进行深入研究,综合勘探开发成果确定延长组致密油渗透率界限,进而探讨致密油的定义标准。研究表明,鄂尔多斯盆地延长组致密油成藏条件良好,主力层系为长6、长7、长8及长9油层组,盆地中部及南部深湖相沉积发育区是最有利的致密油勘探区。综合分析测井、物性、可动流体、主流喉道半径、启动压力梯度、原油粘度、压力系数以及试油试采等资料,提出利用致密油储层六参数法对鄂尔多斯盆地延长组储层分类标准进行调整,将延长组致密油渗透率界定为小于 $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,主要包括致密砂岩油和页岩油。其他盆地或油田应结合实际地质特征及勘探开发实践对致密油进行定义。

**关键词:**致密油 定义 渗透率 储层分类 鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE112.1

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2016)01-0001-07

## Definition of tight oil in Ordos Basin

Wang Xiangzeng<sup>1</sup>, Ren Laiyi<sup>2</sup>, He Yonghong<sup>2</sup>, Xi Tiande<sup>2</sup>, Ge Yunjin<sup>2</sup>, Mi Naizhe<sup>2</sup>, Deng Nantao<sup>2</sup>

(1. Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co., Ltd., Xi'an City, Shaanxi Province, 710075, China; 2. Research Institute, Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co., Ltd., Xi'an City, Shaanxi Province, 710075, China)

**Abstract:** After shale gas, the tight oil becomes another new target for the exploration and development of unconventional oil and gas all over the world, and it is paid more attention by domestic petroleum industry. The controversy, however, has been going on throughout the nation over the concept of the tight oil. The paper aims at defining tight oil of the Yanchang Formation in Ordos Basin, based on analysis of the tight oil in the Yanchang Formation from different perspectives including reservoir physical property and mobile fluid. The permeability boundary was determined combining with the exploration and development practice in Ordos Basin to make a discussion on the standard of definition of tight oil. The result shows that conditions for hydrocarbon reservoiring in the Yanchang Formation are good in Ordos Basin. The intervals of Chang6, Chang7, Chang8 and Chang9 are the main areas for tight oil accumulation. The central area and the south of deep lacustrine of the Yanchang Formation are most favorable for tight oil exploration in Ordos Basin. Six parameters were proposed to define the permeability boundary of tight oil based on logging, physical property, movable fluid, radius of main flow throat, threshold pressure gradient, oil viscosity, pressure coefficient and data of oil test. As a result, the classification criteria of reservoir type were modified and the upper limit of reservoir permeability of tight oil was determined as  $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , which is mainly suitable for tight sandstone oil and shale oil. Therefore, the concept of tight oil should be defined according to geological characteristics, practices of exploration and development in each basin.

**Key words:** tight oil; definition; permeability; reservoir classification; Ordos Basin

致密油是一种非常规的石油资源,近年来成为全球关注的新领域<sup>[1-6]</sup>,在石油界享有“黑金”的美

收稿日期:2015-11-11。

作者简介:王香增(1968—),男,河南滑县人,教授级高级工程师,博士,从事石油与天然气勘探开发研究。联系电话:(029)88305521, E-mail: sxycpcwxz@126.com。

基金项目:陕西省科技统筹创新项目“延长石油陆相页岩气成藏机理及资源潜力评价”(2012KTZB03-03-01-01)。

誉<sup>[5-6]</sup>。自国际天然气价格下降以来,美国逐步将重心转移至致密油领域,目前已实现致密油商业化开发,2012年美国的致密油产量约为 $9\ 690\times 10^4\ \text{t}$ <sup>[7]</sup>,对能源供应起到举足轻重的作用<sup>[8-9]</sup>。

中国的致密油勘探开发工作稍晚于美国,整体还处于起步和探索阶段,但中国致密油资源量非常丰富,主要的含油气盆地可能都有致密油分布;如松辽盆地白垩系青山口组—泉头组、鄂尔多斯盆地三叠系延长组、准噶尔盆地二叠系芦草沟组、四川盆地中—下侏罗统等均已发现大量富集的致密油,是未来石油勘探的主要接替领域<sup>[10-13]</sup>。近年来中国各大石油公司高度重视致密油勘探开发工作,并取得了一定的成果;在鄂尔多斯盆地初步实现了致密油的规模开发,新疆昌吉油田、大庆油田等均建立了致密油开发试验区,预测储量超亿吨<sup>[9,14]</sup>。虽然中国致密油勘探开发工作取得了长足的进步,但在致密油的定义、成藏条件、评价体系、富集理论、潜力评估以及勘探目标选择等方面仍存在较多尚未解决的问题,尤其是目前中外对致密油尚无统一的定义,对致密油渗透率界定标准存在很大的争议。为此,笔者在综合分析中外致密油定义的基础上,根据储层及油藏评价的相关参数,结合延长油田致密油勘探开发实践,对鄂尔多斯盆地致密油的定义及其渗透率界定标准进行探讨,以期对致密油的基础理论研究提供借鉴。

## 1 致密油研究现状

受页岩气勘探开发成功经验的启发和天然气价格降低的影响,美国将页岩气开发的新技术和经验引入曾被认为没有商业开采价值的低渗透页岩及相关层系石油资源的勘探开发,这种石油资源被称为致密油或页岩油<sup>[15]</sup>。但目前对致密油尚未形成统一、规范且被普遍认同的定义,美国国家石油委员会研究人员在2011年9月发布的北美地区油气资源评价中有关致密油的表述为:一般来说,致密油蕴藏在那些埋藏很深,不易开采的沉积岩层中,这些岩层具有极低的渗透率(故而称其为“致密”);在有的致密油区,石油直接产自页岩层,不过大多数的致密油则是产自与作为烃源岩的页岩具有密切关系的砂岩、粉砂岩和碳酸盐岩,以美国Bakken油田为代表,致密油储层覆压基质渗透率小于 $0.1\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$ (储层渗透率小于 $1\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$ )<sup>[16]</sup>。邹才能等<sup>[17-18]</sup>认为致密油是指与生油岩层系共生的、在各类致密储层聚集的石油,油气经过短距离运

移,储层岩性主要包括致密砂岩和致密灰岩,覆压基质渗透率小于或等于 $0.1\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$ (储层渗透率小于 $1\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$ );贾承造等<sup>[8]</sup>认为致密油是指以吸附或游离状态赋存于生油岩中,或与生油岩互层、紧邻的致密砂岩、致密碳酸盐岩等储集岩中,未经过大规模长距离运移的石油聚集,储层覆压基质渗透率小于或等于 $0.1\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$ (储层渗透率小于 $1\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$ )。杨华等<sup>[14]</sup>根据长庆油田致密油勘探开发的实际情况,认为致密油赋存于油页岩及其互层共生的致密砂岩储层中(储层渗透率小于 $0.3\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$ ),未进行大规模长距离运移,主要包括致密砂岩油和页岩油。上述定义基本可将致密油的生成、运移、聚集成藏及开发特征表述清楚,但仍存在许多分歧。

从目前有关致密油的定义来看,初步已达成4点共识:①致密油与良好生油岩互生,生油岩有机碳含量高、成熟度适宜。②储层类型包括石灰岩、白云岩、砂岩等,岩石类型多样。③致密油储层与优质烃源岩紧邻或互层发育,原油运移距离较短,为原地或就近成藏。④致密油往往无自然产能,须经过压裂等储层改造措施后才能获得经济产能。

对于致密油定义的分歧主要有2点:①致密油是否包含页岩油。国外的观点一般认为致密油是产自低渗透地层(包括页岩)中的石油,中国石化及一些高校的学者与国外的观点一致,认为致密油包含页岩油<sup>[19]</sup>;中国石油的贾承造、邹才能等认为致密油不等同于页岩油,不是储存于页岩或者泥岩中的原油,而是从泥页岩油概念基础上延伸出来,主要类型有致密砂岩油和致密灰岩油<sup>[8,17]</sup>。②致密油的储层渗透率界限(笔者所指均为储层地面渗透率)。各油田及学者的定义各有不同,胜利油田将储层渗透率在 $3\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$ 以下的称为致密油;赵靖舟等将储层渗透率小于 $2\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$ 的定义为致密油<sup>[20-24]</sup>;美国Bakken组、贾承造和邹才能等将致密油储层渗透率界定为 $1\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$ 以下<sup>[8,17]</sup>;长庆油田则将致密油储层渗透率界定为 $0.3\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$ ,低于此渗透率储层中的原油称为致密油<sup>[14]</sup>。对于致密油储层渗透率下限存在较大争议的核心问题在于各标准均为仅给出结果,却未对其进行深入剖析,未结合勘探开发实践以及宏观、微观特征将致密油的定义解释清楚。

## 2 鄂尔多斯盆地致密油发育特征及定义

目前对鄂尔多斯盆地致密油定义存在的较大

分歧在于致密储层渗透率的界定。贾承造等界定的致密油储层渗透率为小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ <sup>[8]</sup>,但在鄂尔多斯盆地该标准可能偏高。以鄂尔多斯盆地东南部为例,其延长组长4+5—长10油层组储层的孔隙度一般低于9%,渗透率基本在 $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以下<sup>[25]</sup>,储层物性比盆地其他地区及层位差。如果以渗透率小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 来界定,盆地东南部延长组长4+5—长10油层组总体都属于致密油,界定范围过大;而且多年来鄂尔多斯盆地长庆油田和延长油田已成功开发的储层渗透率在 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以下的油藏称为特—超低渗透油藏,该标准容易将常规特—超低渗透油藏与致密油混淆,因此不适用于鄂尔多斯盆地。此外,长庆油田将致密油储层渗透率界定为小于 $0.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,但渗透率为 $0.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 是陕北地区大部分长6油层组有效厚度的下限值<sup>[26-28]</sup>,用来笼统界定致密油发育的长7和长8油层组的储层渗透率可能偏低;因为长7和长8油层组的物性普遍比长6油层组差,其物性下限应与长6油层组有所差异,所以该标准也不适用。因此,应综合鄂尔多斯盆地致密油发育特征以及不同的勘探开发成果来对致密油加以定义。

### 2.1 致密油发育特征

鄂尔多斯盆地广泛发育特—超低渗透油藏及致密油,多年的超低渗透油藏勘探开发经验和技術使得鄂尔多斯盆地致密油勘探开发走在中国的前列,并首先实现了致密油的工业化生产。随着各种先进的测井技术、压裂手段的引进和应用,在鄂尔多斯盆地姬塬、华庆、富县等地区已发现致密油的规模富集区。

纵向上,延长组长6、长7、长8和长9油层组是鄂尔多斯盆地致密油的主力发育层位,邻近湖盆中心的三角洲前缘、重力流等沉积形成的致密砂岩是延长组致密油的主力储层<sup>[29-31]</sup>;其储层厚度一般为10~90 m,物性相对较差。其中,延长组长9—长6油层组沉积时期,湖盆中心位于盆地东南部,其长6油层组砂岩的孔隙度为1%~19%,平均值为8.3%,孔隙度频率峰值分布于8%~10%;渗透率主要分布于 $0.003 \times 10^{-3} \sim 9 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,平均值为 $0.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,渗透率频率分布呈单峰型,主峰位于 $0.1 \times 10^{-3} \sim 0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ <sup>[25]</sup>。鄂尔多斯盆地中部志丹地区储层实测物性数据分析结果表明,长8油层组砂岩的平均孔隙度为6.9%,主峰位于5%~10%;渗透率分布于 $0.05 \times 10^{-3} \sim 1.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,平均值为 $0.27 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,主峰位于 $0.1 \times 10^{-3} \sim 0.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。长9油层组砂岩的平均孔隙度为7%,主峰位于5%~8%;渗透率分布

于 $0.03 \times 10^{-3} \sim 1.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,平均值为 $0.44 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,主峰位于 $0.2 \times 10^{-3} \sim 0.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。这些致密储层在横向上呈大面积分布、多层叠置,为油气提供了良好的储集空间。

鄂尔多斯盆地延长组致密油的主力烃源岩为形成于最大湖泛期的长7油层组优质烃源岩,其总有机碳含量为2%~20.5%,镜质组反射率为0.7%~1.1%,处于主力生油窗,有机质类型主要为I—II<sub>1</sub>型干酪根,综合评价为优质烃源岩,生油能力强<sup>[32]</sup>。宏观上,该套优质烃源岩大面积展布,主要分布于盆地中部及南部的定边、志丹、吴起、富县、黄陵等地区,厚度一般为30~90 m。

研究区延长组大面积展布的致密储层紧邻广覆式优质烃源岩发育,纵向叠置连片,可以在全盆地区域内形成良好的源储紧邻配置。烃源岩中生成的油气在源储压差的作用下,弥散状整体运聚,形成遍布盆地斜坡、中心的连续型致密油区<sup>[17,30]</sup>。

### 2.2 致密油定义的依据

#### 2.2.1 勘探实践

以鄂尔多斯盆地东南部富县地区长8油层组为例,其储层岩性以细粒长石砂岩为主,填隙物以绿泥石为主,分选较好,储集空间以粒间孔为主;孔隙度主要分布于7%~13%,渗透率主要分布于 $0.1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。储层上覆长7油层组优质烃源岩,厚度约为70 m,源储配置较好,为致密油有利发育区。根据研究区四性关系建立的含油性与电性图版(图1)显示,长8油层组储层物性下限对应的声波时差约为220  $\mu\text{s}/\text{m}$ 。通过建立的测井声波时差与岩心孔隙度交会图可知,研究区长8油层组储层物性下限对应的孔隙度为9%。从大量岩心实测数据建立的孔隙度与渗透率交会图版(图2)可以看出,储层孔隙度为9%时,对应的渗透率约为 $0.48 \times 10^{-3}$

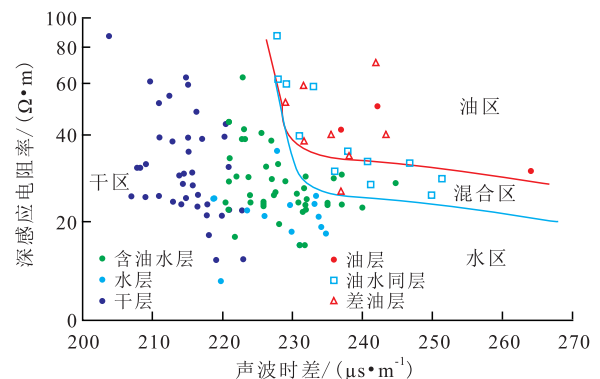


图1 鄂尔多斯盆地富县地区长8油层组含油性与电性的关系

Fig.1 Relationship between oil-bearing property and resistivity of Chang8 in Fu County, Ordos Basin

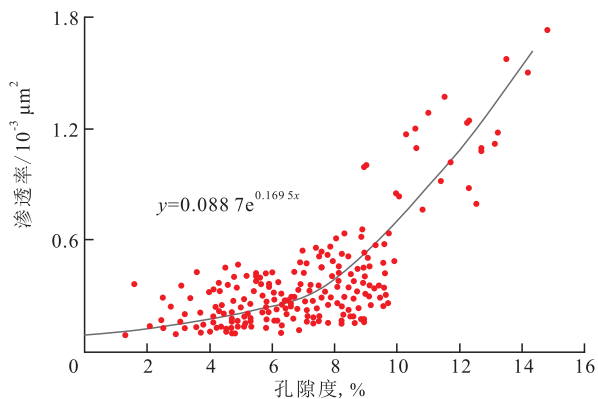


图2 鄂尔多斯盆地富县地区孔隙度与渗透率的关系

Fig.2 Relationship between permeability and porosity of Fu County, Ordos Basin

$\mu\text{m}^2$ , 为此, 将常规储层物性下限界定为渗透率为  $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 渗透率低于该值的储层中赋存的原油称为致密油。

统计分析2013年富县、黄陵、旬邑地区13口井的试油资料发现, 这些井的试油井段均分布于长6—长9油层组, 声波时差为215~222  $\mu\text{s}/\text{m}$ , 深感应电阻率为21~62  $\Omega \cdot \text{m}$ , 录井含油显示均较好。采用常规压裂手段进行试油, 仅有1口井1层获得工业油气流, 且产液量较低, 表明目前常规勘探开发手段对渗透率在  $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  以下致密油层的动用比较困难, 不易开采, 应将其归属于非常规致密油。

### 2.2.2 开发实践

前人研究<sup>[33]</sup>表明, 储层平均喉道半径和可动流体百分数与油藏的开发效果成正相关关系, 即平均喉道半径越大或可动流体百分数越高, 开发效果越好; 启动压力梯度、原油粘度和粘土矿物成分与研究区的开发效果成负相关关系, 即启动压力梯度越高、原油粘度越高或者粘土矿物含量越高, 研究区开发效果越差。张仲宏等<sup>[33]</sup>据此提出五元分析法及储层综合分类系数的概念, 在单因素分析的基础上, 对储层平均喉道半径、可动流体百分数、启动压力梯度、原油粘度和粘土矿物成分5个参数进行归一化处理, 得到储层综合分类系数; 并计算出中国多个低渗透油田的储层综合分类系数, 进而对储层进行分类。通过延长油田大量的实例研究, 综合特—超低渗透油藏、致密油藏的开发实践经验发现, 油藏的开发效果除了与上述5个参数密切相关之外, 储层压力系数也是油藏开发效果的关键影响因素。美国致密油勘探开发过程中就将储盖组合和储层压力系数作为目标选择的首要影响因素, 因此, 在理论计算与开发实践的基础上, 笔者认为应将五元分析法改为六参数法, 在计算公式中加入重要的储层压力影响因素。储层综合分类系数的表

达式为

$$F = \ln \frac{k \frac{S_o}{S_{\text{ostad}}} \times \frac{r_m}{r_{\text{mstad}}}}{\frac{\lambda}{\lambda_{\text{stad}}} \times \frac{m}{m_{\text{stad}}} \times \frac{\mu}{\mu_{\text{stad}}}} \quad (1)$$

式中:  $F$  为储层综合分类系数;  $k$  为储层压力系数;  $S_o$  为可动流体百分数, %;  $S_{\text{ostad}}$  为五元分析法的标准可动流体百分数, %;  $r_m$  为平均喉道半径,  $\mu\text{m}$ ;  $r_{\text{mstad}}$  为五元分析法的标准平均喉道半径,  $\mu\text{m}$ ;  $\lambda$  为拟启动压力梯度,  $\text{MPa}/\text{m}$ ;  $\lambda_{\text{stad}}$  为五元分析法的标准拟启动压力梯度,  $\text{MPa}/\text{m}$ ;  $m$  为粘土矿物含量, %;  $m_{\text{stad}}$  为五元分析法的标准粘土矿物含量, %;  $\mu$  为地面原油粘度,  $\text{mPa} \cdot \text{s}$ ;  $\mu_{\text{stad}}$  为五元分析法的标准地面原油粘度,  $\text{mPa} \cdot \text{s}$ 。

应用六参数法对研究区储层分类标准进行调整, 根据储层综合分类系数将储层划分为4类; 其中,  $F > 5$  为 I 类储层,  $2 < F \leq 5$  为 II 类储层,  $1 < F \leq 2$  为 III 类储层,  $F \leq 1$  为 IV 类储层。综合鄂尔多斯盆地油藏渗透率与储层综合分类系数的对应关系, 建立鄂尔多斯盆地低渗透油区储层分类的渗透率划分标准; 储层渗透率大于  $1.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  为 I 类储层, 储层渗透率为  $0.5 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  为 II 类储层, 储层渗透率为  $0.2 \times 10^{-3} \sim 0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  为 III 类储层, 储层渗透率为  $0.1 \times 10^{-3} \sim 0.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  为 IV 类储层。

根据鄂尔多斯盆地延长及长庆油田低渗透油藏的采油强度认为, I 类和 II 类储层在目前常规开发技术条件下可以达到经济开发, III 类储层的开发虽然存在一定困难, 但通过技术攻关可以达到有效动用, IV 类储层在目前开发技术条件下难以达到经济开发, 暂时不宜强行动用。由于中国低渗透油田低渗透储层的渗透率分级和目标不同, 因此应结合储层参数和开发实践进行评价; 例如, 根据六参数法评价结果, 长庆油田和延长油田渗透率在  $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  以下的低渗透储层与大庆油田渗透率在  $2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  以下的低渗透储层的开发效果基本相当, 因此目前长庆油田和延长油田需要攻关的主力储层(致密储层)的渗透率界限为小于  $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 大庆油田需要攻关的主力低渗透储层的渗透率为  $1.0 \times 10^{-3} \sim 2.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

以鄂尔多斯盆地富县和吴起地区长7、长8油层组油藏为例, 利用恒速压汞、核磁共振、非线性渗流测试、X衍射粘土测试技术等实验方法测定油藏的主流喉道半径、粘土矿物含量、可动流体百分数、拟启动压力梯度以及原油粘度等参数, 运用六参数法对储层进行分类评价。从研究区长7和长8油层组

储层综合评价结果(表1)可以看出,其储层分类、产油量与利用六参数法建立的长庆油田和延长油田低渗透储层的渗透率界定标准较为一致。对于鄂尔多斯盆地的Ⅱ类储层,利用目前常规开发技术即可以得到有效开发,如吴仓堡区块Ⅱ类储层常规水平井开发单井产油量为6 t/d;Ⅲ类储层须进行技术攻关才可以有效动用,如大东沟和钳二区块长7、长8油层组油藏常规水平井开发单井产油量小于3 t/

d,而利用致密油长水平段水平井及大规模缝网压裂技术,其水平井产油量达到7 t/d,为常规水平井开发产油量的2倍以上。理论分析及延长油田开发实践表明,鄂尔多斯盆地延长组渗透率为 $0.2 \times 10^{-3} \sim 0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 以下的储层为Ⅲ类储层,是目前须通过技术攻关才可以达到经济有效开发的储层,因此鄂尔多斯盆地致密油储层渗透率界定为小于 $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 应较为合理。

表1 鄂尔多斯盆地富县和吴起地区长7-长9油层组储层综合评价结果  
Table1 Reservoir evaluation of Chang7-Chang9 in Fu County and Wuqi Area in Ordos Basin

区块	油层组	渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	主流喉道 半径/ $\mu\text{m}$	可动流体 百分数, %	启动压力梯度/ ( $\text{MPa} \cdot \text{m}^{-1}$ )	粘土矿物 含量, %	储层综合 分类系数	储层 分类	单井产油 量/( $\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$ )
钳二	长7	0.24	0.46	46.42	0.64	17.4	1.04	Ⅲ	2.5
大东沟	长8	0.32	0.5	49.27	0.5	15.55	1.55	Ⅲ	2.8
吴仓堡	长9	0.94	0.66	59.93	0.15	16.75	3.05	Ⅱ	6

### 2.2.3 致密油与页岩油的关系

目前关于致密油是否包含页岩油的认识尚未统一,笔者认为页岩油应包含于致密油的概念之中。从油气勘探的角度来看,页岩油与致密油处于同一个含油气系统,砂岩以层状或指状交叉分布于页岩中或紧邻页岩发育,其宏观沉积背景基本一致;根据“油气有序聚集理论”,页岩油本身就是油气聚集体的一部分,而早期的常规油气勘探理论将其忽略;且致密油和页岩油的首要勘探目标均为寻找优质页岩发育区,两者的勘探思路和方针大体相同<sup>[34]</sup>。从油气开发的角度而言,致密油和页岩油的储层均具有岩性致密、孔渗条件差的特点,利用常规开发手段难以动用或动用效果较差,须采用大型缝网压裂技术才能获得经济动用,其开发的主要工艺技术基本一致<sup>[35]</sup>。从微观角度来看,以鄂尔多斯盆地延长组为例,致密砂岩的主要孔喉直径为50~200 nm<sup>[14]</sup>,延长组长7和长9油层组页岩的主要孔喉直径为8~100 nm<sup>[36-38]</sup>,大多数连通的孔喉直径大于临界孔喉直径,受烃源岩生烃增压、欠压实等排烃压力控制,满足油气运移条件,其油气微观聚集机理相似。因此,页岩油应包含于致密油的概念之中。

### 2.3 致密油定义

综上所述,鄂尔多斯盆地致密油的定义为:赋存于油页岩及与其互层共生的致密砂岩储层中(储层渗透率小于 $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ),未经过大规模长距离运移,利用目前常规开发技术无法动用或动用效果较差,须通过技术攻关才可以有效开发的原油称为致密油,包括致密砂岩油和页岩油2大类。该定义的渗透率界限仅适用于鄂尔多斯盆地致密油,其他

盆地或油田的致密油则须根据实际地质和油藏条件,综合勘探开发实践进行定义。

## 3 结论

鄂尔多斯盆地延长组致密油主要发育于半深湖—深湖沉积区,纵向上主要赋存于紧邻优质烃源岩的长6、长7、长8和长9油层组的致密储层中,具有烃源岩条件优越、储层分布范围广但物性差、源储配置好的特点。基于鄂尔多斯盆地实际地质条件,对致密储层的物性、可动流体等参数进行深入分析,结合研究区延长组致密油勘探开发实践,提出六参数法,对鄂尔多斯盆地致密油进行定义。赋存于油页岩及与其互层共生的致密砂岩储层中(储层渗透率小于 $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ),未经过大规模长距离运移,利用常规开发技术无法动用或动用效果较差的原油称为致密油,包括致密砂岩油和页岩油2大类。致密油是一个系统的概念,包含勘探、开发、工程等多个方面,各油田应基于实际地质条件,综合勘探开发实践,进行综合、系统的定义,进而明确当前技术条件下攻关的目标,推动致密油勘探开发工作的进展。

### 参考文献:

- [1] 邹才能,陶士振,侯连华,等.非常规油气地质学[M].北京:地质出版社,2011:1-310.  
Zou Caineng, Tao Shizhen, Hou Lianhua, et al. Unconventional petroleum geology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011: 1-310.
- [2] 孙赞东,贾承造,李相方,等.非常规油气勘探与开发(上册)[M].北京:石油工业出版社,2011:1-150.

- Sun Zandong, Jia Chengzao, Li Xiangfang, et al. Unconventional oil & gas exploration and development (Volume one) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2011: 1-150.
- [3] 梁狄刚, 冉隆辉, 戴弹申, 等. 四川盆地中北部侏罗系大面积非常规石油勘探潜力的再认识[J]. 石油学报, 2011, 32(1): 8-17.
- Liang Digang, Ran Longhui, Dai Danshen, et al. A re-recognition of the prospecting potential of Jurassic large-area and non-conventional oils in the central-northern Sichuan Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(1): 8-17.
- [4] 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): 129-136.
- 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.
- [5] Bruce Johnstone. Bakken black gold [N]. Leader-Poster, 2007-12-10(6).
- [6] Daniel A, Brain B, Bobbi J C, et al. Evaluating implication of hydraulic fracturing in shale gas reservoirs [R]. SPE 121038, 2009.
- [7] EIA. Outlook for shale gas and tight oil development in the U.S. [EB/OL]. [2013-05-14] <http://www.Eia.gov/pressroom/presentations>.
- [8] 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.
- [9] 杜金虎, 何海清, 杨涛, 等. 中国致密油勘探进展及面临的挑战[J]. 中国石油勘探, 2014, 19(1): 1-9.
- Du Jinhu, He Haiqing, Yang Tao, et al. Progress in China's tight oil exploration and challenges [J]. China Petroleum Exploration, 2014, 19(1): 1-9.
- [10] 昌燕, 刘人和, 拜文华, 等. 鄂尔多斯盆地南部三叠系油页岩地质特征及富集规律[J]. 中国石油勘探, 2012, 17(2): 74-78.
- Chang Yan, Liu Renhe, Bai Wenhua, et al. Geologic characteristic and regular pattern of Triassic oil shale south of Ordos Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2012, 17(2): 74-78.
- [11] 邹才能, 张国生, 杨智, 等. 非常规油气概念、特征、潜力及技术——兼论非常规油气地质学[J]. 石油勘探与开发, 2013, 40(4): 385-399, 454.
- Zou Caineng, Zhang Guosheng, Yang Zhi, et al. Geological concepts, characteristics, resource potential and key techniques of unconventional hydrocarbon: On unconventional petroleum geology [J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40(4): 385-399, 454.
- [12] 崔俊, 周莉, 张小波, 等. 柴达木盆地乌南油田致密砂岩储层特征[J]. 中国石油勘探, 2013, 18(1): 22-28.
- Cui Jun, Zhou Li, Zhang Xiaobo, et al. Characteristics of compact rock reservoir of Wunan Oil Field in Qaidamu Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2013, 18(1): 22-28.
- [13] 郭秋麟, 陈宁生, 吴晓智, 等. 致密油资源评价方法研究[J]. 中国石油勘探, 2013, 18(2): 67-76.
- Guo Qiulin, Chen Ningsheng, Wu Xiaozhi, et al. Method for assessment of tight oil resources [J]. China Petroleum Exploration, 2013, 18(2): 67-76.
- [14] 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.
- [15] 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): 540-544.
- Zhou Qingfan, Yang Guofeng. Definition and application of tight oil and shale oil terms [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(4): 540-544.
- [16] 林森虎, 邹才能, 袁选俊, 等. 美国致密油开发现状及启示[J]. 岩性油气藏, 2011, 23(4): 25-30.
- Lin Senhu, Zou Caineng, Yuan Xuanjun, et al. Status quo of tight oil exploitation in the United States and its implication [J]. Lithologic Reservoirs, 2011, 23(4): 25-30.
- [17] 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.
- [18] 邹才能, 杨智, 陶士振, 等. 纳米油气与源储共生型油气聚集[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(1): 13-26.
- Zou Caineng, Yang Zhi, Tao Shizhen, et al. Nano-hydrocarbon and the accumulation in coexisting source and reservoir [J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(1): 13-26.
- [19] 张威, 刘新, 张玉玮. 世界致密油及其勘探开发现状[J]. 石油科技论坛, 2013, 32(1): 41-44.
- Zhang Wei, Liu Xin, Zhang Yuwei. Worldwide tight oil and its current exploration & development conditions [J]. Oil Forum, 2013, 32(1): 41-44.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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 Chang6 oil-bearing formation, Ordos Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(1): 65-71.
- [23] 白玉彬, 赵靖舟, 赵子龙, 等. 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[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34

- (5):631-639.  
Bai Yubin, Zhao Jingzhou, Zhao Zilong, et al. Accumulation conditions and characteristics of the Chang7 tight oil reservoir of the Yanchang Formation in Zhidan area, Ordos Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2013, 34(5):631-639.
- [24] 薛永超, 田斌丰. 鄂尔多斯盆地长7致密油藏特征[J]. *特种油气藏*, 2014, 21(3):111-115.  
Xue Yongchao, Tian Xiaofeng. Characteristics of Chang-7 tight oil reservoir, Ordos basin [J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2014, 21(3):111-115.
- [25] 任战利, 李文厚, 梁宇, 等. 鄂尔多斯盆地东南部延长组致密油成藏条件及主控因素[J]. *石油与天然气地质*, 2014, 35(2):190-198.  
Ren Zhanli, Li Wenhui, Liang Yu, et al. Tight oil reservoir formation conditions and main controlling factors of Yanchang Formation in southeastern Ordos Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2014, 35(2):190-198.
- [26] 赵靖舟, 吴少波, 武富礼. 论低渗透储层的分类与评价标准——以鄂尔多斯盆地为例[J]. *岩性油气藏*, 2007, 19(3):28-31.  
Zhao Jingzhou, Wu Shaobo, Wu Fuli. The classification and evaluation criterion of low permeability reservoir—An example from Ordos Basin [J]. *Lithologic Reservoirs*, 2007, 19(3):28-31.
- [27] 司马立强, 吴思仪, 袁龙, 等. 致密砂岩油藏有效厚度的确定方法——以苏北盆地阜宁组和戴一段为例[J]. *油气地质与采收率*, 2014, 21(5):57-60, 72.  
Sima Liqiang, Wu Siyi, Yuan Long, et al. Determination and application of effective thickness of tight sandstone reservoirs: an example from Funing Formation and Daiyi Member in Subei basin [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2014, 21(5):57-60, 72.
- [28] 岳绍飞, 刘杰, 马丽娜, 等. 福山凹陷流沙港组三段储层四性关系及有效厚度下限标准[J]. *油气地质与采收率*, 2013, 20(4):42-45.  
Yue Shaofei, Liu Jie, Ma Lina, et al. Study on reservoir four-property relations and effective thickness lower limit in third member of Liushagang formation, Fushan sag [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2013, 20(4):42-45.
- [29] 邹才能, 赵文智, 张兴阳, 等. 大型敞流坳陷湖盆浅水三角洲与湖盆中心砂体的形成与分布[J]. *地质学报*, 2008, 82(6):813-825.  
Zou Caineng, Zhao Wenzhi, Zhang Xingyang, et al. Formation and distribution of shallow-water deltas and central-basin sandbodies in large open depression lake basins [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(6):813-825.
- [30] 邹才能, 陶士振, 袁选俊, 等. 连续型油气藏形成条件与分布特征[J]. *石油学报*, 2009, 30(3):324-332.  
Zou Caineng, Tao Shizhen, Yuan Xuanjun, et al. The formation conditions and distribution characteristics of continuous petroleum accumulations [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2009, 30(3):324-332.
- [31] 邹才能, 赵政璋, 杨华, 等. 陆相湖盆深水砂质碎屑流成因机制与分布特征——以鄂尔多斯盆地为例[J]. *沉积学报*, 2009, 27(6):1065-1075.  
Zou Caineng, Zhao Zhengzhang, Yang Hua, et al. Genetic mechanism and distribution of sandy debris flows in terrestrial lacustrine basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(6):1065-1075.
- [32] 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):59-65.  
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):59-65.
- [33] 张仲宏, 杨正明, 刘先贵, 等. 低渗透油藏储层分级评价方法及应用[J]. *石油学报*, 2012, 33(3):437-441.  
Zhang Zhonghong, Yang Zhengming, Liu Xiangui, et al. A grading evaluation method for low-permeability reservoirs and its application [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2012, 33(3):437-441.
- [34] 邹才能, 杨智, 崔景伟, 等. 页岩油形成机制、地质特征及发展对策[J]. *石油勘探与开发*, 2013, 40(1):14-26.  
Zou Caineng, Yang Zhi, Cui Jingwei, et al. Formation mechanism, geological characteristics and development strategy of nonmarine shale oil in China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2013, 40(1):14-26.
- [35] 魏海峰, 凡哲元, 袁向春. 致密油藏开发技术研究进展[J]. *油气地质与采收率*, 2013, 20(2):62-66.  
Wei Haifeng, Fan Zheyuan, Yuan Xiangchun. Review on new advances in foreign tight oil development technology and their enlightenment [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2013, 20(2):62-66.
- [36] 王香增, 高胜利, 高潮. 鄂尔多斯盆地南部中生界陆相页岩气地质特征[J]. *石油勘探与开发*, 2014, 41(3):294-304.  
Wang Xiangzeng, Gao Shengli, Gao Chao. Geological features of Mesozoic continental shale gas in south of Ordos Basin, NW China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2014, 41(3):294-304.
- [37] 杨超, 张金川, 唐玄. 鄂尔多斯盆地陆相页岩微观孔隙类型及对页岩气储渗的影响[J]. *地学前缘*, 2013, 20(4):240-250.  
Yang Chao, Zhang Jinchuan, Tang Xuan. Microscopic pore types and its impact on the storage and permeability of continental shale gas, Ordos Basin [J]. *Earth Science Frontiers*, 2013, 20(4):240-250.
- [38] 邱隆伟, 周涌沂, 高青松, 等. 大牛地气田石炭系一二叠系致密砂岩储层孔隙结构特征及其影响因素[J]. *油气地质与采收率*, 2013, 20(6):15-18, 22.  
Qiu Longwei, Zhou Yongyi, Gao Qingsong, et al. Study of porosity structure and its influences on Carboniferous and Permian tight sand reservoir rock in Danniu di gasfield, Ordos basin [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2013, 20(6):15-18, 22.