

# 渤南洼陷沙一段夹层型页岩油界定 标准及富集主控因素

朱德顺<sup>1</sup>,王 勇<sup>1</sup>,朱德燕<sup>1</sup>,宁方兴<sup>1</sup>,杨万芹<sup>1</sup>,宗 邈<sup>2</sup>,银 燕<sup>1</sup>,丁桔红<sup>1</sup>

(1.中国石化胜利油田分公司 勘探开发研究院,山东 东营 257015; 2.长江大学 地球环境与水资源学院,湖北 武汉 430100)

**摘要:**渤南洼陷沙一段泥页岩中发育厚度不等的夹层,借鉴页岩气国家界定标准和中国石化页岩油厚度企业标准来确定页岩油夹层的厚度,将单个夹层厚度小于2 m、累积夹层厚度小于层组厚度的20%作为渤南洼陷夹层型页岩油的划分依据。渤南洼陷沙一段泥页岩夹层的岩性以白云岩为主,测井响应上具有明显的高阻特征,油气产出过程中含水率逐渐上升,表现为以游离态为主的油气赋存状态。通过分析夹层型页岩油富集要素与产量之间的相关性,认为夹层型页岩油富集产出主要受控于生排烃条件、夹层厚度、夹层物性、地层压力和原油物性等因素。

**关键词:**夹层 页岩油 沙一段 赋存状态 主控因素 渤南洼陷

中图分类号:TE112

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2015)05-0015-06

## Analysis on recognition criteria and enrichment factors of interlayer shale oil of Es<sub>1</sub> in Bonan subsag

Zhu Deshun<sup>1</sup>, Wang Yong<sup>1</sup>, Zhu Deyan<sup>1</sup>, Ning Fangxing<sup>1</sup>, Yang Wanqin<sup>1</sup>, Zong Miao<sup>2</sup>, Yin Yan<sup>1</sup>, Ding Juhong<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Exploration and Development, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257015, China; 2. School of Earth Environment and Water Resources, Yangtze University, Wuhan City, Hubei Province, 430100, China)

**Abstract:** Limestone interlayers with different thickness develop in thick shale formation of Es<sub>1</sub> in Bonan subsag. Learning from the national standard of shale gas and SINOPEC standard of shale oil, the thickness of interlayer that produces oil was determined. The criteria, the thickness of single interlayer is less than two meters and the cumulative thickness of interlayer is less than 20% of that of the formation, were regarded as the recognition standard for interlayer shale oil in Bonan subsag. The interlayer at the lower part of Es<sub>1</sub> mainly consists of dolomite and its log response is characterized by obvious high resistivity. The water cut is gradually increased in the process of oil and gas output, which supports the point that the shale oil from interlayer mainly exists in free state. By analyzing the correlation between production capacity and enrichment factors of interlayer shale oil, it is found that whether interlayer shale oil can effectively accumulate is mainly controlled by four factors including generation and discharge condition of hydrocarbon, thickness of interlayer, physical conditions of interlayer and formation pressure and oil properties.

**Key words:** interlayer; shale oil; Es<sub>1</sub>; existing state; main controlling factors; Bonan subsag

渤南洼陷是济阳坳陷沾化凹陷中部的一个次级洼陷,其沙一段主要为深湖—半深湖沉积环境,发育一套厚层泥页岩,平均厚度大于50 m。前期油气勘探主要将渤南洼陷沙一段厚层泥页岩作为常

规油气成藏的烃源岩进行研究,着重分析其对上、下砂岩储层油气成藏的地质意义,但从勘探效果来看,多口探井在沙一段泥页岩中获得工业油气流,最高产油量为62 t/d,产油层段岩性以厚层泥页岩含

收稿日期:2015-07-04。

作者简介:朱德顺(1987—),男,山东聊城人,助理工程师,硕士,从事油气勘探研究工作。联系电话:15263826959, E-mail: zhudeshun.slyt@sinopec.com。

基金项目:国家“973”计划“中国东部古近系陆相页岩油富集机理及分布规律”子课题“陆相页岩油富集要素与有利区预测”(2014CB239104)。

薄夹层为主。目前陆相页岩油勘探的理论与技术尚不完善,勘探成本高昂,为此,笔者从浅层泥页岩入手,研究渤南洼陷沙一段夹层型页岩油的分布规律及富集主控因素,以期降低勘探成本和高效勘探页岩油提供参考和依据。

### 1 界定标准

根据页岩油在泥页岩中的赋存方式及赋存空间,将页岩油分为基质型和夹层型2种类型<sup>[1]</sup>。近年来,为了规范夹层型页岩油气的勘探开发研究,GB/T 0254—2014<sup>[2]</sup>规定,当累积夹层厚度小于层组总厚度的20%时,夹层中产出的页岩气称为夹层型页岩气。但迄今为止尚未出台夹层型页岩油的界定标准,使得对夹层型页岩油厘定存在困难,若要明确夹层型页岩油的富集主控因素,首先要确定济阳坳陷夹层型页岩油的界定标准,目前主要根据累积夹层厚度及单个夹层厚度来界定夹层型页岩油。

#### 1.1 累积夹层厚度占层组厚度比例

对济阳坳陷在泥页岩地层中获得工业油流探井钻遇的岩性进行统计,筛选出22口以夹层为主产出油气的探井,分析其累积夹层厚度占层组厚度的比例发现,纵向上累积夹层厚度占层组厚度比例大多小于40%,其中累积夹层厚度占层组厚度比例为0~20%的探井有18口,占总探井数的81.9%,借鉴夹层型页岩气划分的国家标准,确定夹层型页岩油的界定标准为累积夹层厚度占层组厚度的比例应小于20%。

#### 1.2 单个夹层厚度

根据Q/SH 0505—2013<sup>[3]</sup>,在累积夹层厚度小于

层组厚度20%的基础上,将大段泥页岩中厚度小于2 m且产出原油的夹层定义为页岩油夹层。为了准确确定夹层型页岩油中单个夹层的厚度,对济阳坳陷的单个夹层厚度进行统计,其中泥页岩中厚度为0~2 m的夹层数量占夹层总数的91.76%。另外,通过分析胜利油区探明储量单个夹层有效厚度发现,有效储层中厚度小于2 m的夹层占总有效储层数量的11%。

综合济阳坳陷页岩油工业油流井夹层厚度分布情况,将济阳坳陷大套泥页岩中单个夹层厚度小于2 m,且累积夹层厚度占层组厚度比例小于20%的夹层产出的页岩油称为夹层型页岩油。

### 2 页岩油类型及赋存状态

渤南洼陷沙一段夹层岩性主要包括砂岩、灰岩和白云岩。砂岩夹层的岩性以薄层泥质砂岩、粉砂岩和细砂岩为主,厚度为0.5~2 m,纵向上集中分布在沙一段下亚段顶部,横向上连续性差,平面上发育零星、分散,成因上砂岩夹层属于深水浊积岩沉积体系,发育在深洼处或大型扇体前端<sup>[4-5]</sup>;灰岩夹层的岩性以泥晶灰岩为主,含部分生物灰岩,纵向上集中在沙一段上亚段和沙一段下亚段顶部,受沉积水深控制,灰岩在平面上分布较广,在构造斜坡带厚度相对较大;白云岩夹层的岩性以白云岩和灰质白云岩为主,纵向上集中分布在沙一段底部,厚度稳定且横向连续性好,延伸可达2~3 km(图1),平面上集中分布在洼陷带及断裂附近<sup>[6-7]</sup>。

分析夹层的含油气特征发现,沙一段底部白云岩发育于具有高阻测井响应的褐色油斑、油浸泥页

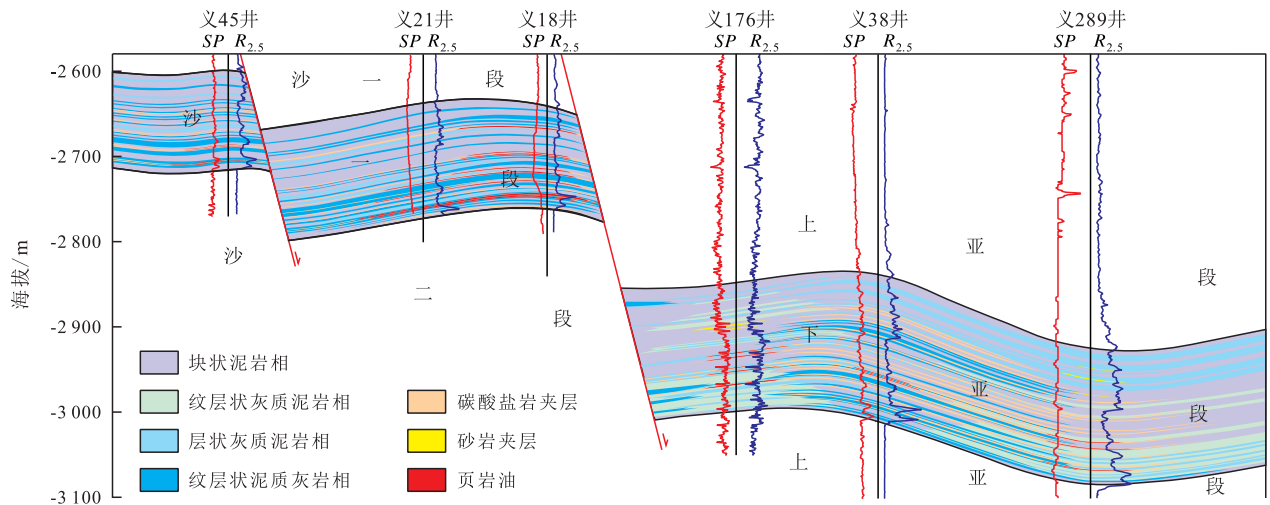


图1 渤南洼陷沙一段夹层型页岩油剖面分布示意  
Fig.1 Schematic sectional view of interlayer shale oil of Es<sub>1</sub> in Bonan subsag

岩中,探井综合油气显示良好且油气产量高,与之相比,其上部泥页岩颜色以灰色为主,油气显示较差,致使灰岩夹层及砂岩夹层的出油能力较差。另外,通过统计工业油流和低产油流段的岩性可知,渤南洼陷62.6%的夹层型页岩油产自白云岩夹层。因此,白云岩夹层对油气产出的贡献是3种岩性夹层中最大的,最有利于页岩油的富集。

渤南洼陷以义18和义21等井为夹层型页岩油典型井,属于20世纪70年代在泥页岩中钻遇的高产页岩油气井;其中义18井累积产油量为 $0.97 \times 10^4$  t,累积产气量为 $24.79 \times 10^4$  m<sup>3</sup>,义21井累积产油量为 $1.04 \times 10^4$  t,累积产气量为 $26.08 \times 10^4$  m<sup>3</sup>。夹层型页岩油与基质型页岩油的油气产出过程不同,前者随着油气的开采,含水率逐渐上升,而后者的含水率基本保持不变。结合岩心扫描电镜观察结果,认为基质型页岩油的赋存状态以油水混合态为主,部分为游离态。夹层型页岩油的赋存状态以游离态为主,部分学者认为,夹层型页岩油富集过程为泥页岩中油气短距离初次运移聚集过程,其油气性质及产出特征常介于同深度或同层位常规油气与泥页岩抽提物之间<sup>[8-9]</sup>。

### 3 富集主控因素

通过对老井的复查和实验数据的整理分析,从提高页岩油产能的角度出发,分析多个控制因素与页岩油产量的关系,结果表明,夹层型页岩油能否富集并具有有效产能,主要受控于生排烃条件、夹层厚度、夹层物性、地层压力和原油物性等因素。

#### 3.1 生排烃条件

生烃条件是页岩油生成的物质基础,生烃能力主要取决于泥页岩的性质和发育规模<sup>[10]</sup>。在沙一段下亚段沉积时期,基底开始下沉,气候逐渐潮湿,湖水扩张,为咸化、半咸化环境为主的深湖一半深湖相沉积,自下而上主要由白云岩、泥质白云岩、油页岩、灰质泥岩和暗色泥岩组成<sup>[11]</sup>。

决定烃源岩生烃能力的指标包括有机质类型、有机质含量、镜质组反射率、有效烃源岩的厚度及面积等<sup>[12]</sup>。济阳坳陷碳酸盐岩夹层型页岩油集中于沾化凹陷沙一段和东营凹陷沙三段,渤南洼陷沙一段暗色泥岩沉积厚度大,有利于页岩油的生成,其泥页岩有机质类型以I和II<sub>1</sub>型干酪根为主,有机碳含量主要为2%~7%,生烃潜量较大。将夹层型页岩油井产量与泥页岩有机碳含量进行对比,发现单井页岩油产量最高为12.1 t/d,有机碳含量为

3.9%,随着有机碳含量的增大,页岩油产量增大,两者成正相关关系(图2a),在洼陷带中央区域,泥页岩的生烃强度最高达 $450 \times 10^6$  t/km<sup>2</sup>,页岩油高产井主要集中分布在生烃强度大于 $300 \times 10^6$  t/km<sup>2</sup>的地区。另外,沙一段烃源岩镜质组反射率为0.29%~1.16%,有机质演化程度较低,以生油为主,生成的页岩油为低成熟油—成熟油。

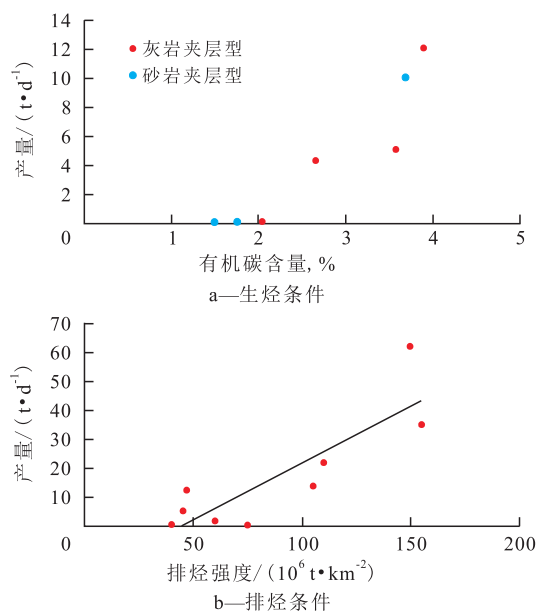


图2 夹层型页岩油产量与生排烃条件的关系

Fig.2 Relationship between production capacity of interlayer shale oil and hydrocarbon generation and expulsion conditions

除优质的生烃条件外,排烃条件对夹层型页岩油产量同样具有重要意义。分析位于洼陷内构造低部位的义21和义26井岩心样品的排烃实验数据可知,其排烃强度最高达 $158 \times 10^6$  t/km<sup>2</sup>,页岩油高产井集中分布在排烃强度中心区域。在此基础上,将获取的排烃强度与夹层型页岩油井产量进行交会分析,发现两者之间成明显的正相关关系,排烃强度越大,页岩油的产量越高,相关系数为0.723(图2b)。因此,从油气的生排烃角度来看,生烃条件越好、排烃强度越大,越有利于夹层型页岩油产量的提高。

#### 3.2 夹层厚度

夹层是夹层型页岩油储存并富集的载体,是油气存在的物质基础,为了明确碳酸盐岩类夹层对页岩油产出的贡献,将研究区沙一段碳酸盐岩累积厚度等值线图、白云岩累积厚度等值线图分别与夹层型页岩油井平面分布图进行叠合,结果表明,高产井与白云岩夹层关系密切,具有油气显示的井主要分布在碳酸盐岩厚度大于10 m,或白云岩厚度大于5 m的区域;页岩油工业油流井主要集中分布在碳



酸盐岩厚度为10~20 m,或白云岩厚度为5~15 m的区域;碳酸盐岩厚度大于20 m或白云岩厚度大于15 m的区域,页岩油的产量并没有明显提高,义8井碳酸盐岩累积厚度达31 m(图3),但油气显示以油斑为主,测井综合解释为干层。

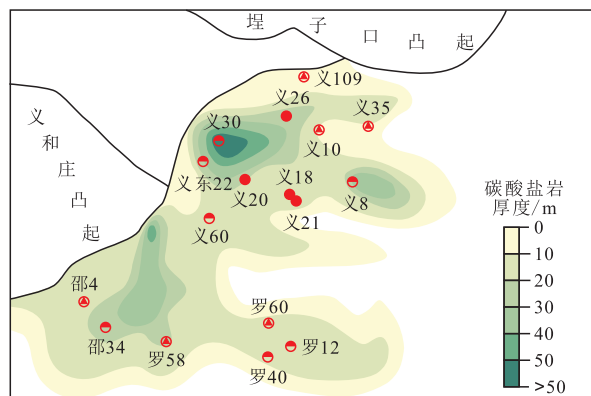


图3 渤南洼陷沙一段碳酸盐岩厚度等值线

Fig.3 Contour map of carbonate rock thickness of Es<sub>1</sub> in Bonan subsag

为了进一步明确夹层厚度与产量的关系,对单井的夹层厚度进行分析。当累积夹层厚度占泥页岩厚度的比例小于7%时,页岩油的产量较高;平均夹层厚度与页岩油的产量也存在一定正相关关系,对于厚度小于2 m的单个夹层,平均夹层厚度越大,页岩油的产量越大。从生储配置分析,若累积夹层厚度过大,泥页岩厚度相对较小,则烃源岩生烃潜力有限;累积夹层厚度过小,会使页岩油气的排烃通道和储集空间相对局限。在厚层泥页岩中,单个夹层厚度越大,越有利于页岩油的输导富集。从工程的角度来讲,现今技术条件下难以保证对较薄夹层地质录井工作和射孔作业的精度,在一定程度上也会影响油气的采出程度。因此,厚层暗色泥页岩与碳酸盐岩夹层在空间上的合理配置关系对页岩油产量的提高具有重要意义,当累积夹层厚度与泥页岩厚度比例小于7%时,单个夹层的厚度越大,越有利于夹层型页岩油的富集和油气产量的提高。

### 3.3 夹层物性

夹层物性是影响页岩油产量的关键因素,与基质型页岩油相比,夹层的发育可改善泥页岩地层的孔渗性,使页岩油聚集并富集成藏。当泥页岩夹砂质条带或砂岩夹层时,砂质颗粒对泥页岩具有一定的支撑作用,使岩石的渗透性得以改善。济阳坳陷东风1、利深101和滨172等产量大于1 t/d的砂岩夹层型页岩油井的岩心镜下观察结果显示,岩屑、长石等颗粒之间的孔隙发育且有油气赋存,但在研究区工业油气流井中,钻遇泥页岩夹砂质条带的探井

在平面上分布分散且所占比例较低<sup>[13]</sup>。当泥页岩夹碳酸盐岩条带时,碳酸盐成分对改变储层物性主要起2方面作用:一是碳酸盐岩的重结晶作用、白云岩化作用有利于产生晶间溶孔和晶间孔等,使地层具有更好的孔隙性和渗透性;二是增加了岩石的脆性,使地层更容易产生裂缝<sup>[14]</sup>。

碳酸盐岩储层结构具有明显的不均一特征,其储集空间的大小、形态和连通性的变化很大,溶蚀空间、裂缝的规模、发育程度的变化更大,由小至微米级,到大至厘米级以上。研究区70%左右的碳酸盐岩夹层型页岩油与白云岩有关,渤南洼陷夹层型页岩油的夹层岩性以白云岩为主,白云石与方解石相比,白云石的脆性更大,因而在白云岩中构造裂缝相对较发育。对于泥页岩中的白云岩夹层,构造裂缝为重要的页岩油储集空间,在薄片及电镜下均能见到,其裂缝宽度平均约为0.03 mm,部分被方解石、泥质充填,裂缝两端有油迹,且电镜下放电现象明显。岩心观察发现,厚层暗色泥页岩中偶尔会见到浅色的白云岩夹层,其中浅色的白云岩较破碎,且含油性好,除构造裂缝外,浅色白云岩微裂缝大量发育,见错断层理,且延伸长度、宽度较大,而暗色泥页岩微裂缝相对较少且错断较小。

白云岩化作用对碳酸盐岩储层物性的影响还包括白云岩化过程中的溶蚀作用、等摩尔交代、等体积交代、过白云岩化和提高渗透率5个方面<sup>[15]</sup>。通过扫描电镜发现,白云石的晶间孔十分发育,尤其是在自形程度较高的白云石所构成的白云岩中,晶间孔更丰富,多数直径约为0.003 mm的晶间微孔,但是晶间微孔的孔隙度太小,且多为毛细管孔隙,因此在沙一段白云岩储层中,真正具有页岩油储集能力的是由后期溶蚀作用所产生的溶蚀孔隙,通过扫描电镜可以清晰发现,溶蚀孔隙多表现为形态与大小各异的特点<sup>[16-18]</sup>。

通过建立测井模型恢复了渤南洼陷夹层型页岩油探井单井纵向的孔隙度参数,白云岩、泥质白云岩、泥灰岩的物性要好于与其上、下相邻的泥岩、油页岩,油斑及以上油气显示集中分布在碳酸盐岩夹层,部分夹层饱含油。单井夹层型页岩油产量与夹层孔隙度的相关性分析结果(图4)表明,页岩油的产量与夹层孔隙度相关系数为0.917 6,表现为孔隙性越好,油气的产量越高,两者之间呈现明显的正相关关系。

### 3.4 地层压力和原油物性

泥页岩型页岩油产出地层普遍具有异常高压,与之相比,夹层型页岩油产出地层同样具有一定的

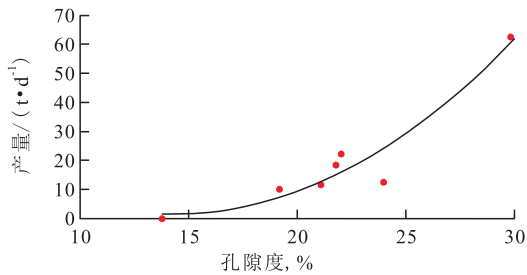


图4 夹层型页岩油产量与夹层孔隙度的关系

Fig.4 Relationship between daily production and porosity of interlayer shale oil

高压特点,分析地层高压产生原因认为,烃源岩生烃是地层高压形成的主要机制,烃源岩开始生烃的深度与地层出现高压的深度具有较好的吻合性,也表明生烃作用是超压形成的主要机制<sup>[19]</sup>。地层高压间接反映了泥页岩的生烃能力,高压可导致烃源岩破裂,有利于裂缝的发育和油气的产出<sup>[20]</sup>。分析试油井段实测的压力和产量特征发现,夹层型页岩油产量随着压力系数的增大而增大,两者具有较好的正相关关系(图5)。

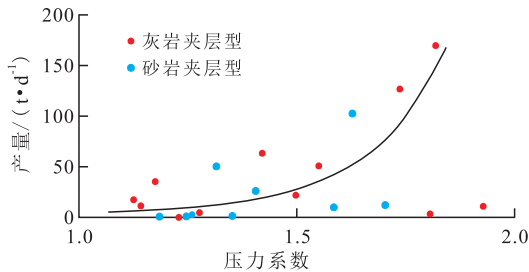


图5 夹层型页岩油单井产量与压力系数的关系

Fig.5 Relationship between daily production per well and pressure coefficient of interlayer shale oil

除地层压力外,原油物性也是影响页岩油开采的重要因素之一。美国 Eagleford 等页岩油高产地区地面原油密度约为  $0.82 \text{ g/cm}^3$ ,而渤南洼陷页岩油地面密度主要为  $0.88 \text{ g/cm}^3$ ,对于较致密的泥页岩地层,高密度、高粘度的原油更难被采出。研究发现影响原油物性的因素主要有2方面:一是原油中的沥青质、胶质含量,原油在从烃源岩中排出进入夹层的初次运移过程中会发生组分分馏,使烃类组分更多地被排出,而沥青质和胶质则主要残留在泥页岩中,渤南洼陷沙一段夹层型页岩油高产井地面原油密度为  $0.86 \sim 0.87 \text{ g/cm}^3$ ,地面原油粘度为  $24 \sim 33.9 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ ,原油性质介于同深度泥页岩抽提物与常规原油之间;二是原油中溶解的天然气的量,页岩油高产井产出过程中通常伴随着较多的天然气产出,如义18井沙一段初期产气量为  $2862 \text{ m}^3/\text{d}$ ,义21井产气量为  $1680 \text{ m}^3/\text{d}$ ,气体的产出量直接影响着页岩油的产能,东营凹陷樊页1井试油初期,气体优先

产出并伴随着少量轻质原油,随着地层压力迅速下降,产出原油量下降并且原油密度和粘度增大,天然气的脱溶会导致原油粘度增大,从而不利于页岩油的产出,最终导致页岩油产量下降。因此,生产过程中应尽量保持地层高压能量,延缓储层压力的降低,使页岩气更多地以溶解态产出,而不是游离态,从而达到提高页岩油采收率的目的<sup>[21]</sup>。

## 4 结论

渤南洼陷沙一段夹层型页岩油资源潜力丰富,夹层的岩性以白云岩为主,部分单井产量较高,结合镜下资料及油水产出规律认为,夹层型页岩油的赋存状态以游离态为主。夹层型页岩油的富集主要受控于生排烃条件、夹层厚度、夹层物性、地层压力和原油物性等因素。单井页岩油产量与有机质含量、排烃强度、夹层的孔隙度以及压力系数等参数之间的正相关关系明显,且当累积夹层厚度占泥页岩厚度的比例小于7%时,单个夹层的平均厚度越大,页岩油的产量越高。原油中含天然气对改善页岩油可动性具有积极意义,开采过程中应尽量延缓地层压力降低,保证天然气以溶解态产出,从而延长页岩油的产出时间并提高采收率。

## 参考文献:

- [1] 张金川,林腊梅,李玉喜,等.页岩油分类与评价[J].地学前缘,2012,19(5):322-331.  
Zhang Jinchuan, Lin Lamei, Li Yuxi, et al. Classification and evaluation of shale oil[J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(5): 322-331.
- [2] 陈永武,王少波,韩征,等.GB/T 0254—2014页岩气资源/储量计算与评价技术规范[S].北京:中国标准出版社,2014.  
Chen Yongwu, Wang Shaobo, Han Zheng, et al. GB/T 0254—2014 Regulation of shale gas resources/reserves estimation[S]. Beijing: China Standard Press, 2014.
- [3] 刘超英,徐旭辉,刘翠荣,等.Q/SH 0505—2013页岩油勘探选区评价方法[S].北京:中国石化出版社,2013.  
Liu Chaoying, Xu Xuhui, Liu Cuirong, et al. Q/SH 0505—2013 Evaluation of shale oil exploration and constituency[S]. Beijing: China Petrochemical Press, 2013.
- [4] 王庆华.渤南洼陷沙三段浊积岩储层预测技术[J].油气地质与采收率,2014,21(3):48-51.  
Wang Qinghua. Turbidite reservoir prediction techniques in Sha III formation of Bonan depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(3): 48-51.
- [5] 郝志伟,朱定蓉,高秋菊,等.济阳坳陷渤南地区沙三段浊积扇体油藏综合描述[J].油气地球物理,2008,6(3):40-43.  
Hao Zhiwei, Zhu Dingrong, Gao Qiuju, et al. Integrative descrip-

- tion on turbidity sand body of Es<sub>3</sub> in Bonan oilfield, Jiyang Depression[J]. *Petroleum Geophysics*, 2008, 6(3): 40-43.
- [6] 曹立迎, 孙建芳, 徐婷, 等. 碳酸盐岩油藏岩石润湿性评价实验研究[J]. *油气地质与采收率*, 2014, 21(4): 89-92.
- Cao Liying, Sun Jianfang, Xu Ting, et al. Experimental study of wettability evaluation on carbonate reservoir rock [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2014, 21(4): 89-92.
- [7] 张金亮, 司学强. 断陷湖盆碳酸盐与陆源碎屑混合沉积——以东营凹陷金家地区古近系沙河街组第四段上亚段为例[J]. *地质论评*, 2007, 53(4): 448-453.
- Zhang Jinliang, Si Xueqiang. Mixed siliciclastic-carbonate sediment in rift lacustrine basin—a case on the upper part of the fourth member of the Eocene Shahejie Formation in Jinjia area, Dongying depression[J]. *Geological Review*, 2007, 53(4): 448-453.
- [8] 马永生, 冯建辉, 牟泽辉, 等. 中国石化非常规油气资源潜力及勘探进展[J]. *中国工程科学*, 2012, 14(6): 22-29.
- Ma Yongsheng, Feng Jianhui, Mu Zehui, et al. The potential and exploring progress of unconventional hydrocarbon resources in SINOPEC[J]. *Engineering Sciences*, 2012, 14(6): 22-29.
- [9] 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.
- [10] 李海, 汤达祯, 许浩, 等. 柴达木盆地狮子沟油田古近系油气成藏期次[J]. *油气地质与采收率*, 2013, 20(3): 30-32, 36.
- Li Hai, Tang Dazhen, Xu Hao, et al. Analysis of hydrocarbon accumulation period in Paleogene reservoirs, Shizigou oilfield of Qaidam basin [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2013, 20(3): 30-32, 36.
- [11] 王宗家, 林树喜, 刘建军, 等. 渤海地区沙一段泥页岩储层叠后属性预测[J]. *油气地球物理*, 2013, 11(3): 12-15.
- Wang Zongjia, Lin Shuxi, Liu Jianjun, et al. Prediction of the post-stack attribute of the mud shale reservoir of the Es<sub>1</sub> in Bonan area [J]. *Petroleum Geophysics*, 2013, 11(3): 12-15.
- [12] 蔡希源. 成熟探区油气精细勘探理论与实践[M]. 北京: 地质出版社, 2014: 95-102.
- Cai Xiyuan. The theory and practice of fine exploration in mature exploration areas [M]. Beijing: Geological Press, 2014: 95-102.
- [13] 周勇, 纪友亮, 张善文, 等. 胶莱盆地莱阳凹陷莱阳组低渗透砂岩储层特征及物性控制因素[J]. *石油学报*, 2011, 32(4): 611-620.
- Zhou Yong, Ji Youliang, Zhang Shanwen, et al. Characteristics and controlling factors on physical properties of low-permeability sandstones of the Laiyang Formation in the Laiyang Sag, Jiaolai Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2011, 32(4): 611-620.
- [14] 蔡玥, 赵乐, 肖淑萍, 等. 基于恒速压汞的特低—超低渗透储层孔隙结构特征——以鄂尔多斯盆地富县探区长3油层组为例[J]. *油气地质与采收率*, 2013, 20(1): 32-35.
- Cai Yue, Zhao Le, Xiao Shuping, et al. Study on pore structure characteristics of super-low permeability and ultra-low permeability reservoirs by means of constant-speed mercury intrusion technique—case of oil layers of Chang3 of the Yanchang Formation in Fuxian exploration area of the Ordos Basin [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2013, 20(1): 32-35.
- [15] 李红, 柳益群, 朱玉双. 新疆三塘湖盆地二叠系湖相白云岩形成机理初探[J]. *沉积学报*, 2007, 25(1): 78-81.
- Li Hong, Liu Yiqun, Zhu Yushuang. Primary study on the origin of lacustrine dolostones of Permian, Sangtanghu Basin, Xinjiang [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2007, 25(1): 78-81.
- [16] 张学丰, 刘波, 蔡忠贤, 等. 白云岩化作用与碳酸盐岩储层物性[J]. *地质科技情报*, 2010, 29(3): 79-85.
- Zhang Xuefeng, Liu Bo, Cai Zhongxian, et al. Dolomitization and carbonate reservoir formation [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2010, 29(3): 79-85.
- [17] 张江江, 黄鹏, 冯学谦, 等. 歧口凹陷沙一下亚段白云岩储集空间特征研究[J]. *科技导报*, 2011, 29(17): 39-44.
- Zhang Jiangjiang, Huang Peng, Feng Xueqian, et al. Analysis of reservoir space characteristics of dolomite reservoirs in Sha1 lower sub-interval in Qikou depression [J]. *Science & Technology Review*, 2011, 29(17): 39-44.
- [18] 王文勇, 黄文辉, 唐鑫萍. 沾化凹陷邵54井湖相白云岩沉积特征分析[J]. *石油天然气学报*, 2012, 34(6): 17-21.
- Wang Wenyong, Huang Wenhui, Tang Xiping. Sedimentary characteristics of lacustrine dolomite in Well Shao54 of Zhanhua Sag [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2012, 34(6): 17-21.
- [19] 鲜本忠, 吴采西, 余源琦. 山东东营车镇凹陷古近系流体异常高压及其对深层碎屑岩储集层的影响[J]. *古地理学报*, 2011, 13(3): 309-316.
- Xian Benzong, Wu Caixi, She Yuanqi. Fluid abnormal overpressure and its influence on deep clastic reservoir of the Paleogene in Chezhen Sag of Dongying, Shandong Province [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2011, 13(3): 309-316.
- [20] 张奎华. 密度投影技术在页岩裂缝储层预测中的应用——以渤南洼陷罗家地区沙三段下亚段为例[J]. *油气地质与采收率*, 2013, 20(3): 46-48.
- Zhang Kuihua. Application of density projection in prediction of fractured shale reservoirs—case study of lower Es<sub>3</sub>, LuoJia region of Bonan sag [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2013, 20(3): 46-48.
- [21] 李吉君, 史颖琳, 章新文, 等. 页岩油富集可采主控因素分析: 以泌阳凹陷为例[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2014, 39(7): 848-857.
- Li Jijun, Shi Yinglin, Zhang Xinwen, et al. Control factors of enrichment and producibility of shale oil: a case study of Biyang Depression [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2014, 39(7): 848-857.

编辑 常迎梅