

济阳坳陷古近系陆相页岩油产量的影响因素

宋国奇¹,徐兴友²,李政²,王秀红²

(1. 中国石化胜利油田分公司,山东 东营 257000; 2. 中国石化胜利油田分公司地质科学研究院,山东 东营 257015)

摘要:济阳坳陷古近系沙河街组泥页岩发育段有35口井获得了工业油气流,主要产层为沙三下亚段和沙四上亚段,以产页岩油为主。利用分析测试实验、录井、试油及测井资料,分析了影响页岩出油量的地质因素。研究表明,影响陆相页岩出油量的地质因素比较复杂,“甜点”的选取需要综合考虑各种地质要素,其中高丰度有机质含量是页岩油气富集的物质基础,有机质成熟度影响了页岩油气的量和相态,高有机质丰度的纹层状泥质灰岩和灰质泥岩相是页岩油气发育的有利岩相,异常高压影响页岩油气的富集与产出,夹层的分布、裂缝发育和流体流动性是页岩油气局部性富集高产的控制因素。

关键词:有机质丰度;异常高压;页岩油;沙河街组;古近系;济阳坳陷

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Factors controlling oil production from Paleogene shale in Jiyang depression

Song Guoqi¹, Xu Xingyou², Li Zheng², Wang Xiuhong²

(1. Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying Shandong 257001, China; 2. Geology Scientific Research Institute of Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying, Shandong 257015, China)

Abstract: Industrial flow was obtained from 35 wells in Shahejie Formation of Paleogene shale in Jiyang Depression. The lower Es³ and upper Es⁴ were the major producing layers producing mostly shale oil. Lab analyzing results as well as well testing and logging data were used to study the geological factors that controlled oil production rates. It shows that factors controlling the production are complicated and a wise picking of sweet spots shall be based on various geological elements, among which high TOC content is the material base for shale oil and gas to accumulate, maturity of organic matter controlled quantity and phase of the oil and gas, lamellar muddy limestone and lime mudstone with high content of organic matter are perfect home for oil and gas to gather, abnormal high pressure affected accumulation and production of shale oil and gas, and the distribution of interlayers, fractures growth as well as fluid flowability controlled the flow rates attainable from local shale oil and gas accumulations.

Key words: organic matter richness, abnormal high pressure, shale oil, Shahejie Formation, Paleogene, Jiyang Depression

近年来随着常规油气资源探明速度的不断下降,全球对非常规油气资源给予了更多的关注^[1]。实践证明,在北美地区成功商业性开采的页岩油气是常规油气的战略接替资源^[2-6]。济阳坳陷在常规油气勘探中,已有多口井在古近系沙河街组泥页岩发育段获得工业油气流,表明该套地层具备了形成页岩油气的物质基础和储集条件^[7-9]。本文对上述获得工业油气流层段的泥页岩岩性、有机质含量、裂缝发育程度、流体压力、产层埋深以及原油性质等进行了统计分析,结合沾化凹陷L69井和东营凹陷NY1, FY1, LY1四口井的1 000 m深度系统取心的分析测试数据,探索了影响页岩油气产量的地质因素,以期对陆相盆地页岩油气的勘探开发提供借鉴。

1 地质概况

济阳坳陷位于渤海湾盆地的东南部,东侧以郯庐断裂带与鲁东隆起相隔,西北与埕宁弧形隆起毗邻,南部则以齐广断裂与鲁西隆起为界,是在华北地台基底上发育的中、新生代断陷-拗陷复合盆地^[10-12],总面积约为 $2.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。受多期构造运动的影响,形成东营、沾化、车镇及惠民四个凹陷,其间被陈家庄、义和庄、孤岛、青城、滨县、无棣等凸起分隔(图1),其中新生界古近系陆相页岩发育于4个凹陷的众多次级洼陷中,纵向上发育于沙四上亚段、沙三下亚段和沙一段(图2)。

收稿日期:2014-03-17;修订日期:2015-04-08。

第一作者简介:宋国奇(1957—),男,博士、教授级高级工程师,石油地质与油气成藏。E-mail: songguoqi. slyt@ sinopec. com。

基金项目:国家基础发展计划(“973”计划)项目(2014CB239100);中国石化科技攻关课题(P14068)。

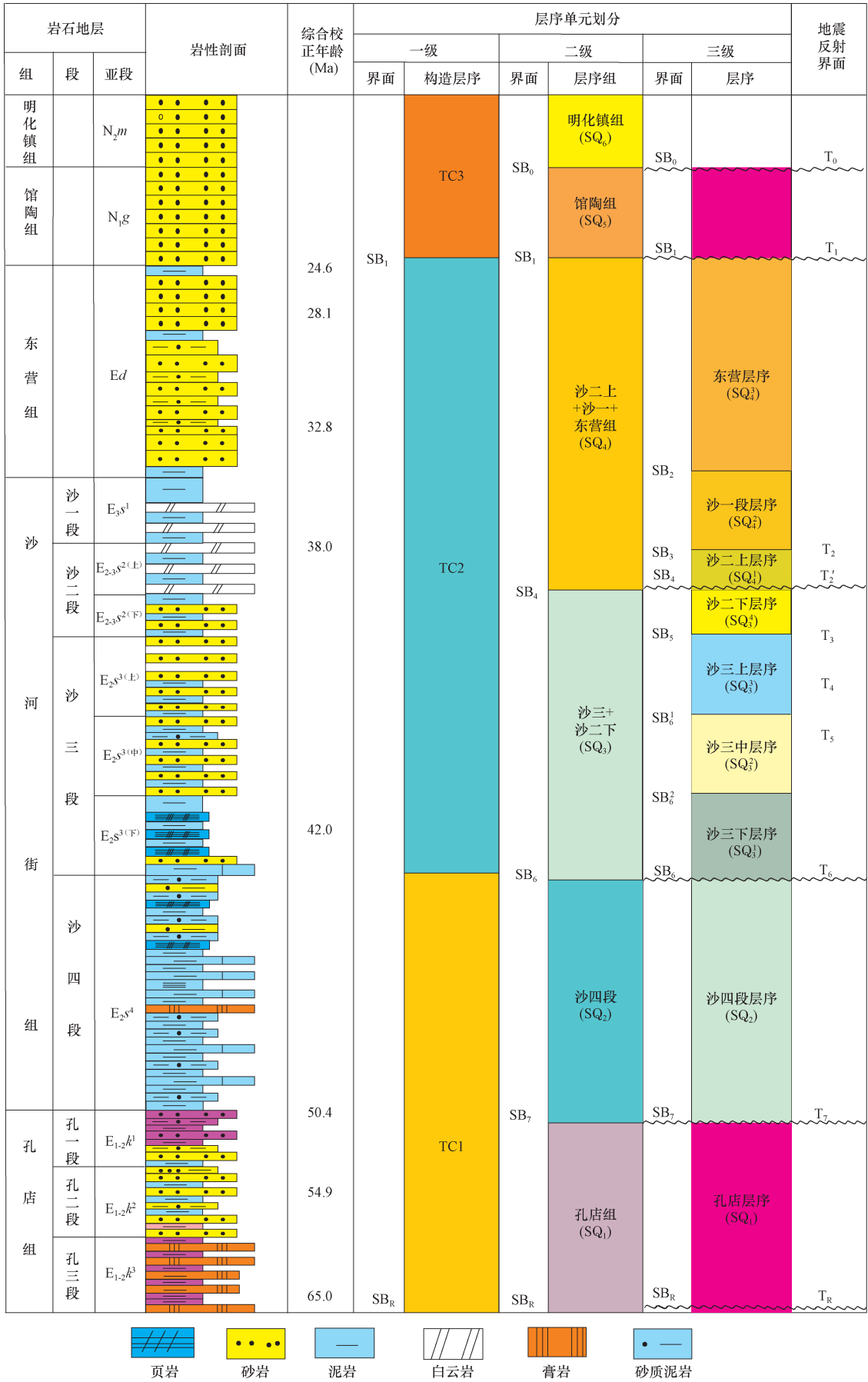


图 2 济阳坳陷古近系-新近系综合充填序列

Fig. 2 Comprehensive column of the Paleogene-Neogene formations in Jiyang Depression

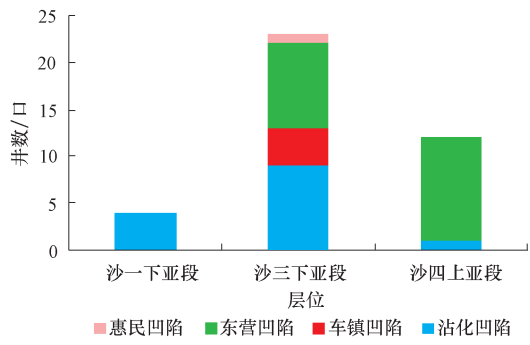


图 3 济阳坳陷页岩工业油气井层位分布

Fig. 3 Distribution of layers penetrated by commercial shale oil wells in Jiyang Depression

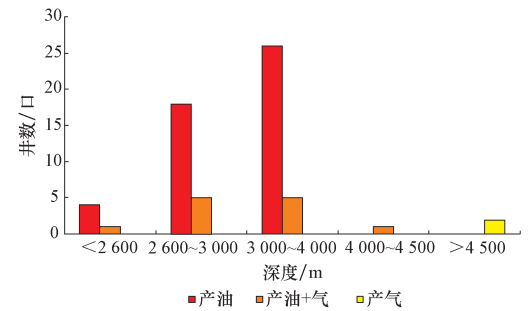


图 4 济阳坳陷页岩工业油气流埋深频率分布

Fig. 4 Depth distribution of commercial shale oil wells in Jiyang Depression

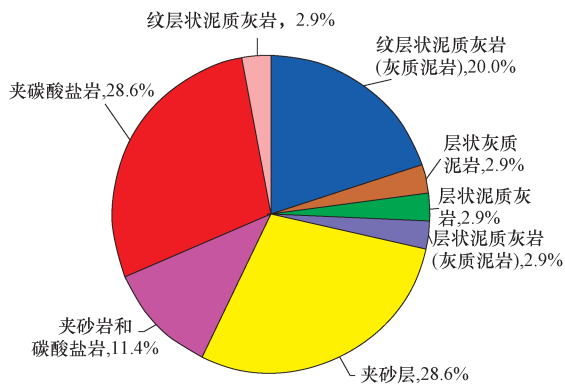


图 5 济阳坳陷页岩油气岩相分布饼状图

Fig. 5 Pie chart showing lithofacies distribution of shale oil and gas reservoirs in Jiyang Depression

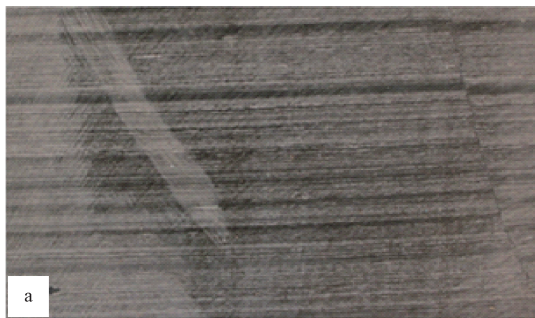


表 1 济阳坳陷主要岩相组合物性特征					
Table 1 Physical property of main lithofacies assemblages in Jiyang Depression					
井名	岩相组合	孔隙度/%		含烃体积/($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$)	
		范围	平均值	范围	平均值
L69	层状灰质泥岩	1.2 ~ 10.4	4.7	0.004 8 ~ 0.090 4	0.036 3
	层状泥质灰岩	1.3 ~ 10.3	4.5	0.002 6 ~ 0.097 2	0.033 4
	纹层状泥质灰岩	4.0 ~ 8.9	5.9	0.024 9 ~ 0.096 0	0.045 7
	块状灰质泥岩	3.9 ~ 9.6	6.9	0.021 3 ~ 0.050 1	0.034 1
FY1	层状灰质泥岩	2.9 ~ 12.4	6.4	0.010 2 ~ 0.065 6	0.026 2
	层状泥质灰岩	2.7 ~ 12.4	5.6	0.008 8 ~ 0.060 6	0.025 2
	纹层状灰质泥岩	3.6 ~ 12.4	7.7	0.015 0 ~ 0.067 3	0.037 5
	纹层状泥质灰岩	2.5 ~ 12.3	5.8	0.012 9 ~ 0.064 0	0.0371
NY1	块状灰质泥岩	1.1 ~ 12.3	4.8	0.005 63 ~ 0.051 91	0.021 61
	块状泥质灰岩	1.5 ~ 11.6	6.8	0.006 33 ~ 0.05 22	0.029 66
	层状灰质泥岩	1.4 ~ 12.2	6.8	0.008 5 ~ 0.092 35	0.050 41
	层状泥质灰岩	1.4 ~ 9.3	5.3	0.006 02 ~ 0.053 03	0.026 01
LY1	纹层状灰质泥岩	7.6 ~ 19.1	13.1	0.050 31 ~ 0.156 78	0.083 62
	纹层状泥质灰岩	9.1 ~ 15.3	12.4	0.055 78 ~ 0.123 88	0.090 84
	层状灰质泥岩	8.5 ~ 16.5	12.2	0.051 7 ~ 0.114 8	0.073 7
	纹层状灰质泥岩	10.2 ~ 17.6	12.6	0.051 2 ~ 0.151 5	0.089 8
	纹层状泥质灰岩	10.2 ~ 15.2	13.0	0.070 6 ~ 0.107 8	0.092 1

口井 1 000 m 深度泥页岩岩心样品有机碳含量、热解“S₁”值和氯仿沥青“A”含量的分析测试统计结果(表 2)

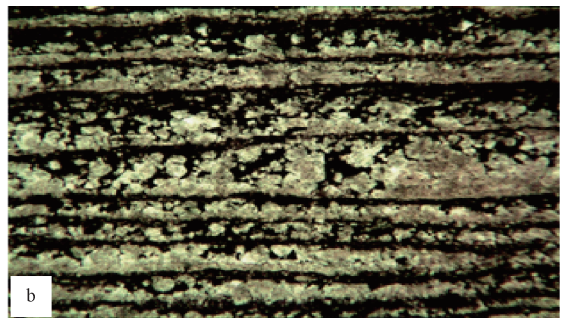


图 6 沾化凹陷 L69 井沙三下亚段纹层状泥质灰岩

Fig. 6 Lithofacies of laminated argillaceous limestone in Es³ penetrated by well Luo 69 in the Zhanhua Sag

a. 埋深 3 041.1 m, 岩心照片; b. 埋深 3 041.1 m, 岩心薄片

表2 济阳坳陷沙三段下亚段和沙四段上段页岩地球化学参数

Table 2 Geochemical parameters of shale in lower Es ³ and upper Es ⁴ of Jiyang Depression							
层段	井名	TOC/%		S ₁ /(mg·g ⁻¹)		氯仿沥青“A”含量/%	
		范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值
沙三下亚段	L69	0.85 ~ 7.52	3.01	0.03 ~ 32.63	3.13	0.25 ~ 3.03	1.06
	NY1	1.27 ~ 12.80	4.84	0.84 ~ 22.31	5.42	0.50 ~ 1.54	1.03
	FY1	1.18 ~ 13.60	2.77	1.17 ~ 9.42	2.91	0.44 ~ 1.29	0.74
	LY1	0.66 ~ 13.00	3.96	0.55 ~ 17.94	8.1	0.79 ~ 3.37	1.96
沙四上亚段	L69	0.06 ~ 1.76	0.69	0.00 ~ 5.03	0.89	0.01 ~ 0.49	0.25
	NY1	0.58 ~ 11.40	2.89	0.54 ~ 19.07	4.51	0.65 ~ 3.01	1.23
	FY1	0.51 ~ 9.05	2.13	0.02 ~ 6.04	2.31	0.03 ~ 1.03	0.54
	LY1	1.32 ~ 7.35	2.87	2.19 ~ 13.78	6.19	0.73 ~ 3.06	1.46

来看,济阳坳陷沙三下亚段有机质含量较高,有机碳含量为0.66%~13.60%,平均值为3.65%;氯仿沥青“A”含量为0.25%~3.37%,平均为1.06%;热解“S₁”含量在0.03~32.6 mg·g⁻¹,平均为3.36 mg·g⁻¹。从四口探井沙四上亚段有机质丰度范围来看,东营凹陷有机质丰度较高,三口井有机碳含量平均值在2.0%以上,氯仿沥青“A”含量平均值在0.50%以上,热解“S₁”含量平均值超过2.0 mg·g⁻¹,相对而言沾化凹陷的L69井有机质丰度较低,有机碳含量平均值为0.69%,氯仿沥青“A”含量均值为0.25%,热解“S₁”含量均值为0.89 mg·g⁻¹,这也是东营凹陷沙四上亚段发现较多工业页岩油气流的主要原因。

针对已发现油气流的页岩发育段没有取心的现状,根据测井信息纵向分辨率高、不同有机质含量在测井曲线上有特殊响应的特点,在用L69井等4口系统取心井的分析测试数据作为刻度的基础上,建立了测井资料与页岩有机质含量的定量关系模型^[17],计算出济阳坳陷见油气流页岩发育段的有机碳和氯仿沥青“A”含量值。从计算结果与日产油量的对比结果可以看出(图7),无论有无夹层,获工业油气流(大于5 t/d)泥页岩的有机碳含量平均值均在2%以上,氯仿沥青“A”含量在0.4%以上。但并不是有机质含量越高越好,工业油气流井的有机碳含量都分布于2%~7%,氯仿沥青“A”含量1.0%~1.7%(图6)。而有机碳含量和氯仿沥青“A”含量高于此区间,大部分探井产油气页岩发育段油气产能较低,说明虽然高丰度有机质的存在是页岩油气富集高产的物质基础,但还受其他复杂因素的影响。

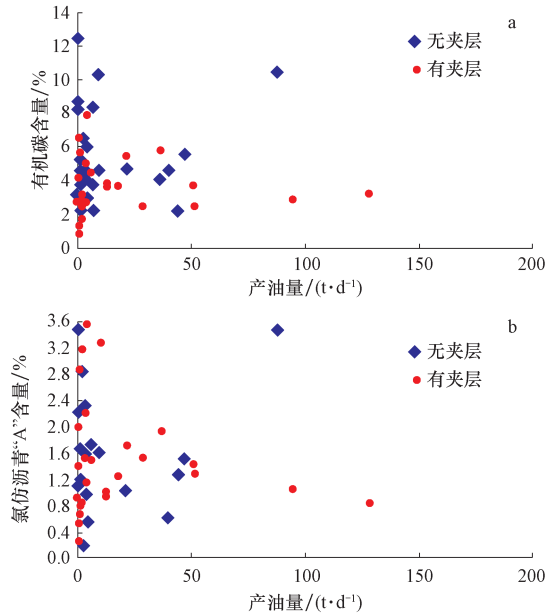


图7 济阳坳陷见油气流页岩发育段有机质含量a)、氯仿沥青“A”含量b)与试油量的关系

Fig. 7 Relations of TOC a) and chloroform bitumen A b) to daily oil output of the shale wells during well testing in Jiyang Depression

3.3 埋藏深度

从济阳坳陷泥页岩试油日产量随埋深关系(图8)可以看出,页岩工业油气流一般埋深在2 200 m以下,无夹层页岩工业油气流主要分布在2 800~4 500 m。无论有无夹层,其日产量先随着埋深的增加而增大,表明在成熟阶段之后生成油气量迅速增加^[18],利于油气的富集,且随着页岩的有机质成熟度的增加,轻烃大量产出,改善了油气的可流动性,导致产量增加。从济阳坳陷泥页岩油气的气油比随埋深的关系可以看出,气油比从2 000~3 000 m的13~97 m³/t增大到3 500 m左右的385 m³/t,增加了4~30倍;当产量达到最大值之后,又随埋深增加而减少,其原因可能是当埋深继续增大时,大量的轻烃容易散失,从而导致可动部分减少,产量减低,这与成熟演化阶段的高气油比有关。如利深101井在4 395.1~4 448.0 m的沙四上亚段页岩发育段的气油比可达10 917 m³/t(图8)。

3.4 压力体系

济阳坳陷泥页岩工业油气流井段的压力体系与日产油量的关系更为复杂(图9)。有夹层页岩在常压下即可获得工业油气流,且随压力系数的增加产量具增大的趋势。生烃增压是异常高压形成的主要因素,油气大量生成使岩石孔隙中的烃饱和度迅速增加^①;无夹层泥页岩的油气产量随压力系数的增加先增高而后降低。前半部分产量随压力的增加而增加,可能是裂缝发育导致储层改善的结果;后半部分产量随压力增加而降低的

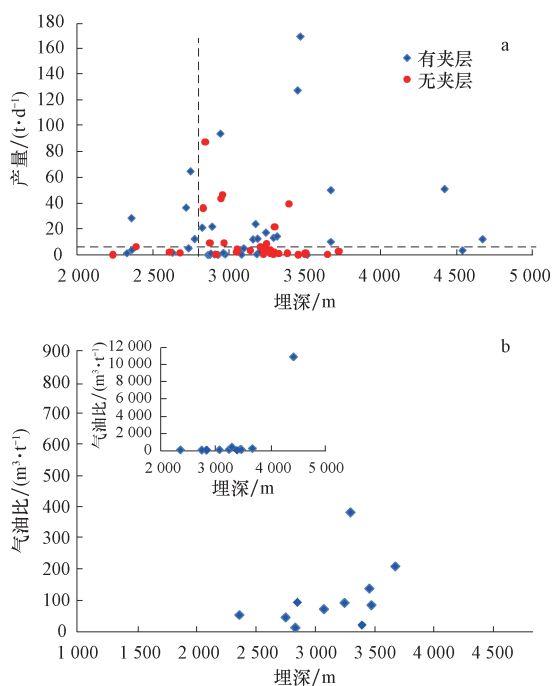


图8 济阳拗陷页岩油气产量 a)、气油比 b) 与埋深的关系

Fig. 8 Relations of daily oil output a) and oil/gas ratio b) of the shale wells to buried depth during well testing in Jiyang Depression

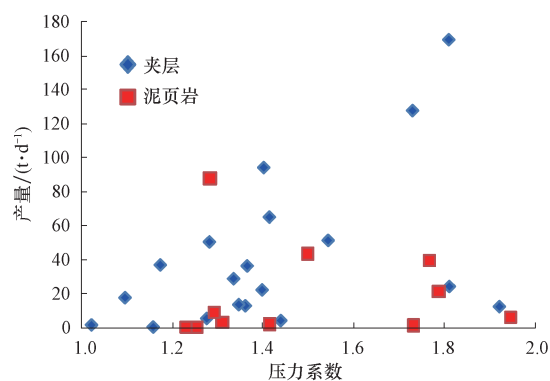


图9 济阳拗陷页岩油气产量与压力系数的关系

Fig. 9 Relationship between pressure factor and daily oil output of the shale wells in Jiyang Depression

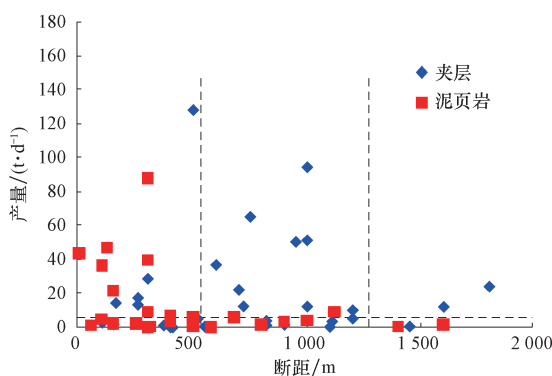


图10 济阳拗陷页岩油气产量与断距的关系

Fig. 10 Relationship between fault throw and daily oil output of the shale wells in Jiyang Depression

原因可能是随着裂缝的进一步发育,轻烃部分散失,油气的可流动性降低,进而影响油气产量。从图9可以看出,相同压力系数下,有夹层的页岩油气产量更高。

3.5 断裂发育程度

页岩中裂缝生成的原因可分为两种,一种是构造(地应力)形成的裂缝,裂缝规模不等,且呈规律分布;另一种是受物理和化学作用形成的,主要包括溶蚀裂缝、缝合线、超压裂缝、热收缩裂缝、干燥裂缝、脱水收缩裂缝、矿物相变裂缝和风化裂缝,这类裂缝一般形状不规则,发育规模变化大,纵向切割不深,大多缝面粗糙、不平整,有弯曲。上述这两种裂缝不仅是储集空间,也是流体的渗流通道。从济阳拗陷页岩油气产量与井口到断层距离(该参数可近似反映裂缝发育程度)的关系(图10)来看,无夹层页岩的油气产量随到断层距离的增加而降低,例如沾化凹陷罗42井位于北西向和北东向断裂的交汇处,断距为300 m左右,其微裂缝发育,未经压裂即获得了较高的产能,页岩工业油气流主要分布在距断裂距离不超过600 m范围内,表明裂缝为油气提供了聚集空间和运移通道,有助于页岩总含油气量的增加。而对于有夹层的泥页岩,其油气产量随到断层距离的增大而先增大后减小,造成这种现象的原因可能是距离断裂太近,裂缝规模过大,油气易于散失^[19-20]。距断层一定距离(500~1200 m),裂缝发育适中,可有效改善储层的物性;距离断层太远,储层物性变差,油气产能降低。

3.6 油气物性

济阳拗陷已发现页岩油气的地面原油密度在0.735 4~0.958 1 g/cm³,地面粘度为0.7~556 mPa·s,其中工业油气流地面原油密度在0.735 4~0.949 6 g/cm³,地面粘度为0.7~371 mPa·s(图11),分布范围较宽,既有轻质油,中质油,同时也有重质油的产出。与常规油气一样,页岩油气也是由地下深处的干酪根(生烃母

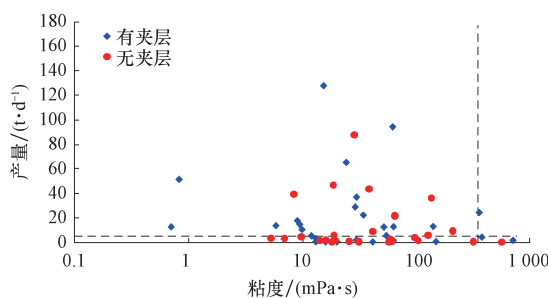


图11 济阳拗陷页岩油气产量与粘度的关系

Fig. 11 Relationship between crude viscosity and daily oil output of the shale wells in Jiyang Depression

① 张善文,隋风贵,张林晔,等. 济阳拗陷隐蔽油气藏成藏动力学研究与预测. 胜利油田地质科学研究院,2006.

质)热演化而成^[21-24],岩石中有机质进入生油阶段后,随着热演化程度的增加,干酪根有机大分子不断发生化学键断裂,从而导致分子量不断减小,故随着热演化程度提高,所形成原油的分子量逐渐减小,对应所生成原油的物性也发生相应变化,从高粘度、高密度的重质油逐渐转变为低粘度、低密度的轻质油。但是,页岩油气地面原油粘度与试油产量的关系要复杂得多。无论有无夹层,产量随原油地面粘度的增加先升高而后降低,其分界大致在原油粘度为 40~60 mPa·s。造成这种现象的原因是地面粘度大于 50 mPa·s,原油流动性差,影响油气产量;在地面粘度小于 40~60 mPa·s 时,由于原油粘度的较低,原油流动性增加,有利于页岩油的富集高产,当原油粘度更低时(低于 10mPa·s),页岩油气的日产量不增反降,这可能与轻烃部分散失及液态成分降低有关。

4 济阳拗陷页岩油类型

目前所指页岩油气是以游离、溶解及吸附状态赋存于有效生烃页岩层系中,经过钻井、压裂等手段能够直接获取的液态烃。油气赋存方式理论上可分为三种:一种是在基质孔隙中赋存,第二种是在裂缝中赋存,第三种是在薄夹层中赋存。在现实含油气盆地页岩油气富集评价中,不同盆地、不同地区、不同地质背景下页岩油气三种赋存方式相互叠置、交叉,又可分为不同的复合类型^[5]。在对济阳拗陷陆相页岩油产量影响因素分析的基础上,结合沙三下、沙四上亚段断裂体系与原油地下粘度分布特征,将济阳拗陷页岩油气富集方式划分为四种相互叠置的类型(表 3)。

4.1 基质孔隙与微裂缝型页岩油气

此种类型页岩油气主要分布于深洼带的纹层状泥质灰岩和灰质泥岩中,页岩油气以密度小、粘度较小的

轻质油为主,油在页岩中的流动性强。济阳拗陷埋深大于 3 000 m 以下,压力系数随埋深的增加而增大,导致在洼陷普遍有微裂缝的存在。这种微裂缝尺度相对较小,大者镜下观察可见,小者尺度与基质颗粒相当,而无法检测。由于有机质生烃作用对压力的贡献较大,因此这种微裂缝一般以成熟的有机质为中心,向不同方向开启。富含有机质的页岩由于微裂缝的大量存在而与基质孔隙连通,具有较好的连通性,且原油流动性强,需要启动压力梯度较低,易于流动从而呈现出由基质孔隙向微裂缝密集区富集的特征。此类页岩油主要赋存在页岩基质中的有机质、粘土矿物粒间、粒内、溶蚀等各类微孔隙、微裂缝中,页岩的含油性、富集程度与有机质丰度、类型、成熟度等因素密切相关。这种类型页岩油气目前发现较少,应主要发育于埋藏较深的沙四上亚段页岩中,微裂缝的发育规模和页岩流动性对页岩油气富集具有较大影响,如利页 1 井在沙三下亚段 3 632~3 665 m 页岩段试油,未见产能,累产 0.17 t,该井距断裂距离 1 600 m,周边次级断裂较少,计算原油地下粘度为 1.50 mPa·s,未见产能可能与原油流动性相关。

4.2 薄夹层与微裂缝型页岩油气

此种类型页岩油气主要发育于洼陷中部地区的不同类型页岩岩相中,同样以密度小、粘度较小的轻质油为主。上下邻层页岩有机质含量高,生油窗内的富有机质页岩生油能力强,所生成的原油只需经过极短距离的运移即可进入夹层聚集。页岩油主要赋存在页岩基质中的有机质、粘土矿物粒间、粒内、溶蚀等各类微孔隙、微裂缝及薄夹层中。同时,夹层的岩性较脆且易于进行储层改造,从而形成页岩油气流,因此,夹层是原油赋存富集的有利场所。层数多、厚度薄、物性好、脆性强的夹层是页岩油勘探开发的有利目标,如利深 101 井,在沙四上亚段 4 395.1~4 448.0 m 处夹薄层砂岩页岩发育

表 3 济阳拗陷页岩油类型
Table 3 Types of shale oil in Jiyang Depression

序号	页岩油气类型	关键因素	分布	页岩油特征	分布层位	典型
1	大尺度裂缝、薄夹层复合型	裂缝的发育规模薄夹层分布,原油可流动性影响相对较小	断裂相对发育的中央背斜、南部缓坡及北部陡坡带	以密度、粘度相对较大的中质油或重质油为主	沙四上、沙三下亚段	河 54
2	大尺度裂缝、微裂缝型	构造裂缝的发育规模,原油可流动性影响相对较小	中央背斜、南部缓坡及北部陡坡带	以密度、粘度相对较大的重质油或重质油为主	沙四上、沙三下亚段	永 54 罗 42
3	薄夹层、微裂缝型	页岩油流动性和夹层分布	利津洼陷深埋	以密度、粘度较小的轻质油为主	沙四上亚段	利深 101
4	基质孔隙、微裂缝型	页岩油流动性	利津洼陷深埋	以密度、粘度较小的轻质油为主	沙四上亚段	尚无

段,试油日产油 4.29 t,日产气 $4.68 \times 10^4 \text{ m}^3$,该井距离主干断裂 1 000 m,周边次级断裂相对较少,计算原油地下粘度为 $0.11 \text{ mPa} \cdot \text{s}$,可流动性强,页岩的含油性及其原油的富集程度与有机质丰度、类型、成熟度、薄夹层的分布及原油流动性等因素密切相关。

4.3 大尺度裂缝与微裂缝型页岩油气

此种类型页岩油气以密度和粘度相对较大的中质油或重质油为主,发育于断裂相对发育的中央背斜、南部缓坡及北部陡坡带。由于断裂发育,页岩中不仅发育成岩裂缝,还发育大量构造微裂缝,且断裂周边均为泥质岩,泥质岩对断层的涂抹作用明显,易于页岩油气的保存。该类页岩油的富集受控于裂缝及裂缝体系的发育,当富有机质页岩层系的脆性条件较好时,易于形成按一定规律发育的构造裂缝,构造裂缝带主要发育在构造挠曲、褶皱轴部及构造转折端等断裂带系统中,裂缝是页岩油的主要甜点类型,但由于断裂带的发育范围通常有限,故裂缝富集型页岩油的高产区分布也相对有限。如永 54 井,在沙四上亚段 2 933.8 ~ 2 981 页岩段试油,日产油 46.5 t,投产后累产油 17 222 t,具有较好的产能。该井距主干断裂距离 120 m,周边发育多条次级小断裂,计算原油地下粘度为 $2.91 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 。页岩油主要赋存在页岩基质中的有机质、粘土矿物粒间、粒内、溶蚀等各类微孔隙、微裂缝及大尺度构造裂缝中,页岩的含油性及其富集程度与有机质丰度、类型、成熟度、构造裂缝的发育规模等因素密切相关,原油可流动性影响相对较小。该类页岩油气是目前在不同地区无夹层页岩中发现的主要页岩油气类型,如中央隆起的河 88、河 132 井、博兴洼陷樊家地区的樊 41 等。

4.4 大尺度裂缝和薄夹层复合型页岩油气

此种页岩油以密度和粘度相对较大的中质油或重质油为主,发育于断裂相对发育的中央背斜、南部缓坡及北部陡坡带,页岩油气富集条件较为复杂。如果断裂开启后被上部泥质岩涂抹而无法运移出去,则可较好的原地富集。如河 54 井,在沙三下亚段 2 928 ~ 2 964.4 m 夹薄层砂岩条带页岩段试油,日产油 91.3 t,日产气 $4.68 \times 10^4 \text{ m}^3$,投产后累产油 17 222 t,该井位于中央隆起带,是断裂发育的地区,统计距断裂距离 1 000 m,周边发育多条次级小断裂,计算原油地下粘度为 $10.05 \text{ mPa} \cdot \text{s}$,相对流动性较差。但如果断裂开启后未被封堵,页岩油气可初次运移至薄夹层中,顺断裂运移发生散失。此类页岩油气主要赋存在页岩基质中的有机质、粘土矿物粒间、粒内、溶

蚀等各类微孔隙、微裂缝、构造裂缝及薄夹层中。页岩的含油性及其富集程度与有机质丰度、类型、成熟度、构造裂缝、薄夹层的发育规模等因素密切相关。此类页岩油气是济阳凹陷所要勘探最主要的页岩油气类型。目前已在多地区见到此类页岩油气,如樊 119、樊 120、王 76、高 7、樊 140 等。

从济阳坳陷页岩发育段中页岩油气产能来看,大尺度裂缝与微裂缝型、大尺度裂缝和薄夹层复合型页岩油气是高产的页岩油气类型,页岩中具有可观的油气质,在不需要进行改造的情况下,构造裂缝及夹层的存在利于油气的产出。基质孔隙与微裂缝型、微裂缝与薄夹层型页岩油气发现较少,但页岩中同样含有可观的油气质,如果在页岩中进行人工造缝和添加合适的支撑剂,应具有良好的勘探开发前景。

5 结论

1) 济阳坳陷页岩油气主要分布于沙三下亚段和沙四上亚段,以产页岩油为主,不同演化阶段生成的油气均可形成工业页岩油气流。

2) 陆相页岩油气富集控制因素复杂。高丰度有机质含量是页岩油气富集可采的物质基础,高有机质丰度的纹层状泥质灰(灰质泥)岩相、夹砂岩、碳酸盐岩薄层是页岩油气富集可采的有利岩相,埋深影响了页岩油气的量和相态,异常高压控制了页岩油气的富集与产出,裂缝发育和流体流动性对页岩油气富集可采具有一定的影响。

3) 高有机质丰度、适中的有机质成熟度、纹层状泥质灰岩和灰质页岩相、异常高压是页岩油气区域性存在的主要控制因素;而裂缝的发育、夹层的分布、页岩油的流动性决定了页岩油气局部富集高产。

参 考 文 献

- [1] 方朝合,刘洪林,郑德温,等.非常规油气实验室建设的必要性[J].现代科学仪器,2009,4(4):149-152.
Fang Chaohe, Liu Honglin, Zheng Dewen, et al. Necessity of unconventional oil and gas Laboratory construction[J]. Modern Scientific Instruments, 2009, 4(4): 149-152.
- [2] Hill R J, Jarvie D M, Zumberge J, et al. Oil and gas geochemistry and petroleum systems of the Fort Worth Basin[J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 445-473.
- [3] Bustin R M. Gas shale tapped for big pay[J]. AAPG Explorer, 2005, 26(2): 5-7.
- [4] Curtis J B. Fractured shale-gas systems[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(11): 1921-1938.
- [5] 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.
- [6] Sonnenberg S A, Pramudito A. Petroleum geology of the giant Elm Coulee field, Williston Basin [J]. AAPG Bulletin, 2009, 93 (9): 1127 – 1153.
- [7] 张林晔, 李政, 朱日房, 等. 济阳坳陷古近系存在页岩气资源的可能性[J]. 天然气工业, 2008, 28 (12): 26 – 29.
- Zhang Linye, Li Zheng, Zhu Rifang, et al. Resource potential of shale gas in paleogene in Jiyang Depression [J]. Natural Gas Industry, 2008, 28 (12): 26 – 29.
- [8] 张善文, 张林晔, 李政, 等. 济阳坳陷古近系页岩油气形成条件[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19 (6): 1 – 5.
- Zhang Shanwen, Zhang Linye, Li Zheng, et al. Formation conditions of Paleogene shale oil and gas in Jiyang depression [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19 (6): 1 – 5.
- [9] 张林晔, 李政, 李钜源, 等. 东营凹陷古近系泥页岩中存在可供开采的油气资源[J]. 天然气地球科学, 2012, 23 (1): 1 – 13.
- Zhang Linye, Li Zheng, Li Juyuan, et al. Feasibility analysis of existing recoverable oil and gas resource in the Palaeogene shale of Dongying Depression [J]. Natural Gas Geoscience, 2012, 23 (1): 1 – 13.
- [10] 王秉海, 钱凯. 胜利油区地质研究与勘探实践 [M]. 东营: 石油大学出版社, 1992.
- Wang Binghai, Qian Kai. Geological study and exploration practice in Shengli oil field [M]. Dongying: Petroleum University Publishing House, 1992.
- [11] 王颖, 赵锡奎, 高博禹. 济阳坳陷构造演化特征 [J]. 成都理工大学学报, 2002, 29 (2): 181 – 187.
- Wang Ying, Zhao Xikui, Gao Boyu. Characters of tectonic evolution of the Jiyang Depression [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2002, 29 (2): 181 – 187.
- [12] 李丕龙, 庞雄奇. 陆相断陷盆地隐蔽油气藏形成 – 以济阳坳陷为例 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2004.
- Li Pilong, Pang Xiongqi. Subtle reservoir formation in continental fault-depression basin-taking Jiyang Depression as an example [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004.
- [13] 刘惠民, 张守鹏, 王朴, 等. 沾化凹陷罗家地区沙三段下亚段页岩岩石学特征 [J]. 油气地质与采收率, 2012, 19 (6): 11 – 15, 111 – 112.
- Liu Huimin, Zhang Shoupeng, Wang Piao, et al. Lithologic characteristics of Lower Es³ shale in Luoia area, Zhanhua sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19 (6): 11 – 15, 111 – 112.
- [14] 张善文, 王永诗, 张林晔, 等. 济阳坳陷渤南洼陷页岩油气形成条件研究 [J]. 中国工程科学, 2012, 14 (6): 49 – 55, 63.
- Zhang Shanwen, Wang Yongshi, Zhang Linye, et al. Formation conditions of shale oil and gas in Bonan sub – sag, Jiyang Depression [J]. Engineering Science, 2012, 14 (6): 49 – 55, 63.
- [15] 尚慧芸. 有机地球化学和荧光显微镜技术 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1990: 49 – 80.
- Shang Huiyun. Organic geochemistry and fluorescence microscopy [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004.
- [16] 卢双舫, 黄文彪, 陈方文, 等. 页岩油气资源分级评价标准探讨 [J]. 石油勘探与开发, 2012, 39 (2): 249 – 256.
- Lu Shuangfang, Huang Wenbiao, Chen Fangwen, et al. Classification and evaluation criteria of shale oil and gas resources: discussion and application [J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39 (2): 249 – 256.
- [17] 张晋言, 孙建孟. 利用测井资料评价泥页岩油气“五性”指标 [J]. 测井技术, 2012, 36 (2): 146 – 153.
- Zhang Jinyan, Sun Jianmeng. Log evaluation on shale hydrocarbon reservoir [J]. Well Logging Technology, 2012, 36 (2): 146 – 153.
- [18] 张林晔, 孔祥星, 张春荣, 等. 济阳坳陷下第三系优质烃源岩的发育及其意义 [J]. 地球化学, 2003, 32 (1): 35 – 42.
- Zhang Linye, Kong Xiangxing, Zhang Chunrong, et al. High-quality oil-prone source rocks in Jiyang Depression [J]. Geochimica, 2003, 32 (1): 35 – 42.
- [19] 陈祥, 王敏, 严永新, 等. 泌阳凹陷陆相页岩油气成藏条件 [J]. 石油与天然气地质, 2011, 32 (4): 568 – 576.
- Chen Xiang, Wang Min, Yan Yongxin, et al. Accumulation conditions for continental shale oil and gas in the Biyang Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32 (4): 568 – 576.
- [20] Bowker K A. Barnett shale gas production, Fort Worth basin: issues and discussion [J]. AAPG Bulletin, 2007, 91 (4): 523 – 533.
- [21] Tissot B, Welte D H. Petroleum formation and occurrence [M]. Berlin Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1987.
- [22] 王启军, 陈建渝. 油气地球化学 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1988.
- Wang Qijun, Chen Jianyu. Petroleum Geochemistry [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1988.
- [23] 马立驰. 济阳坳陷青东凹陷油藏特征及分布规律 [J]. 石油实验地质, 2014, 36 (1): 39 – 45.
- Ma Lichi. Characteristics and distribution of reservoirs in Qingdong Sag, Jiyang Depression [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36 (1): 39 – 45.
- [24] 霍志鹏, 庞雄奇, 范凯, 等. 济阳坳陷典型岩性油气藏相 – 势耦合控藏作用解剖及应用 [J]. 石油实验地质, 2014, 36 (5): 574 – 582.
- Huo Zhipeng, Pang Xiongqi, Fan Kai, et al. Anatomy and application of facies-potential coupling on hydrocarbon accumulation in typical lithologic reservoirs in Jiyang Depression [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36 (5): 574 – 582.

(编辑 董立)