

基于运聚过程的断块内油气富集层位差异原因分析 ——以南堡M断块明化镇组为例

王英彪, 黄 鹏, 徐 波

(中国石油冀东油田分公司, 河北 唐山 063200)

摘要: 为了厘定南堡M断块明化镇组油气富集层位差异的原因, 将油气成藏过程细分为油气进入圈闭、在圈闭中运移及在圈闭中聚集三个不同的运聚阶段, 分析各阶段油气运聚的动力和阻力差异, 结合断块内油气富集层位, 明确了南堡M断块明化镇组不同小层油气富集程度差异的原因。研究表明: 油气进入圈闭条件和聚集条件的差异是南堡M断块明化镇组油气富集层位差异的主要原因; 造成油气进入圈闭和在圈闭中聚集条件差异的主要原因是各小层的输导断层和遮挡断层的断—储排驱压力差; 断—储排驱压力差除了受断层断距、储层厚度的影响外, 还与相邻地层的岩性组合有关。研究认识对于断块油藏精细滚动开发具有指导意义。

关键词: 断块; 油气富集; 运聚过程; 原因分析; 断—储排驱压力差

中图分类号: TE122.1 **文献标志码:** A

Cause analysis of differences in oil and gas enrichment levels within fault block based on migration and accumulation process: A case of Minghuazhen Formation in Nanpu M Fault-block

WANG Yingbiao, HUANG Peng, XU Bo

(Jidong Oilfield Company, PetroChina, Tangshan 063200, China)

Abstract: To determine the reasons for the differences in oil and gas enrichment levels in the Minghuazhen Formation of the Nanpu M Fault-block, the process of oil and gas accumulation is subdivided into three different stages of migration and accumulation: oil and gas entering the trap, migration in the trap, and accumulation in the trap. Based on the analysis of the dynamic and resistance differences of oil and gas migration and accumulation at each stage, and combined with the oil and gas enrichment layers in the fault block, the reasons for the differences in the oil and gas enrichment degrees of different small layers in the Minghuazhen Formation of the Nanpu M Fault-block are clarified. The results show that the differences in oil and gas entering the trap and accumulation conditions is the main reasons for the difference in the oil and gas enrichment layers of the Minghuazhen Formation in the Nanpu M Fault-block. The main reasons for the difference in the conditions of oil and gas entering the trap and gathering in the trap are the fault-reservoir drainage and displacement pressure difference between the transport faults and the blocking faults in each small layer. The fault-reservoir drainage and displacement pressure difference is affected by fault distance and reservoir thickness and is related to the lithologic combination of adjacent strata. The research and understanding are significance for the fine-rolling development of fault block reservoirs.

Key words: fault block; oil and gas enrichment; migration and accumulation process; cause analysis; fault-reservoir drainage pressure difference

引用格式: 王英彪, 黄鹏, 徐波. 基于运聚过程的断块内油气富集层位差异原因分析——以南堡M断块明化镇组为例[J]. 复杂油气藏, 2024, 17(1): 70-77.

WANG Yingbiao, HUANG Peng, XU Bo. Cause analysis of differences in oil and gas enrichment levels within fault block based on migration and accumulation process: A case of Minghuazhen Formation in Nanpu M Fault-block[J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2024, 17(1): 70-77.

收稿日期: 2023-05-14; **改回日期:** 2023-08-21。

第一作者简介: 王英彪(1986—), 工程师, 主要从事开发地质研究工作。E-mail: 394588601@qq.com。

断块油藏是断陷盆地中一种重要的油气藏类型,其油气分布具有强烈的不均一性^[1],油气分布规律和主控因素一直是学术研究的前沿。断块油藏油气分布的复杂性体现在:含油层系多,沿断层呈叠瓦状分布^[2-3];断块间、断块内无统一油水界面,油水分布复杂,储量差异大^[1,4];油藏类型复杂多变,除发育构造油藏外,还广泛发育构造—岩性等复合油藏^[5]。关于形成断块油藏复杂油水分布特征的主控因素,大部分学者都认为断层对断块油藏的油气分布起着重要的作用。有学者^[6-7]强调断层地质属性、断层封闭性和断砂配制关系等因素对断块油藏油气富集程度差异的控制;更多学者^[2,8-10]认为区域地质背景、生油条件、储集条件、盖层条件、构造应力场条件、断层封闭性及断块完整程度等多因素共同控制了不同断块油藏复杂的油气分布规律。

上述关于断块油藏油气差异分布主控因素的研究目标大多较宏观,通过对比不同油藏生烃、运移、储集、保存等条件的差异,解释油气在不同断块间富集程度差异的形成原因。但生产情况证实,在油藏形成条件相近的同一断块中,油气分布层位、油层厚度、油藏类型和储量等方面也存在显著的不同。关于不同断块油藏形成条件差异的认识成果难以有效解释断块内油气富集程度差异的形成原因。对于断块内油气分布差异的形成原因,有学者^[11]认为是储层物性差异,即在断层输导条件下,排驱压力越小的储层含油气饱和度越高。也有学者^[12]通过物理模拟实验证实储层非均质性与断层输导能力均对油气运移有控制作用。上述观点均认为同一断块中物性越好的储层油气越容易聚集。

生产实际证实,同一断块中储层物性最好的小层往往不是含油性最好的小层,甚至不是含油小层。针对此问题,选取典型的断块圈闭,基于油气在进入圈闭—在圈闭中运移—在圈闭中聚集的运聚过程,分析不同阶段油气运聚的动力和阻力,进而综合分析造成断块内油气富集层位差异的原因,为断块油藏滚动开发和精细挖潜提供科学指导。

1 油藏基本特征

研究区南堡M断块位于南堡1号构造下降盘,被两条北倾的断层夹持,北高南低,圈闭面积0.03~0.22 km²,为典型的断块油藏(见图1)。研究区明化镇组油藏埋深1 720~2 040 m,为一套湖盆拗陷期发育的低弯度曲流河沉积,储层厚度变化较大,整

体具有高孔、高渗的特征。依据地层旋回及含油性,将明化镇组进一步细分为分为3个油组(Nm I、Nm II和Nm III),29个小层,其中以明三段(Nm III)油气最为富集。

南堡M断块明化镇组油藏类型单一,各小层中油气均沿构造低部位的输导断层(F1)运移,被构造高部位断层(F2)遮挡,油气运移条件与保存条件相近。目前明化镇组已证实的含油小层共15个,平面上各含油小层油气分布继承性较好,均集中在构造高部位,但剖面上含油小层无明显的集中发育段,油层与水层间互出现。基于油气藏形成的过程,分析油气在进入圈闭、圈闭中运移及圈闭中聚集三个不同运聚阶段的动力和阻力,分析油气运聚过程中不同阶段的影响因素,明确断块圈闭油气富集层位差异的形成原因。

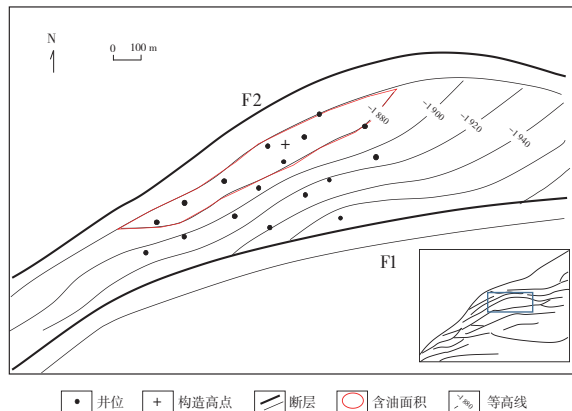


图1 南堡M断块NmIII顶构造图

2 油气运聚过程及机理

2.1 进入圈闭

南堡M断块明化镇组油藏为典型的“下生上储”远源成藏,断层是油气垂向运移的通道。油气在沿断层运移时,运移阻力为断层岩排驱压力,运移动力为由排烃超压、浮力和构造动力等多种因素构成的流体压力^[13-14]。只有当运移动力大于运移阻力时,油气才能沿断层发生垂向运移。在油气垂向运移过程中,油气经过多个沿输导断层发育的圈闭,若圈闭中储层的排驱压力大于断层岩排驱压力,油气将无法进入储层,在断层岩中继续垂向运移。当圈闭中储层物性较好,断层岩排驱压力大于储层排驱压力时,油气将逐渐进入圈闭。

2.2 在圈闭中运移

油气进入圈闭后,开始在储层中发生侧向运移。在静水条件下,油气在储层中运移的动力为浮

力,阻力为毛细管力^[13-15]。在源—储分离的断块油藏中,油气进入储层后,最先聚集于砂体底部,随着油气聚集量的增加,连续油相排替地层水的体积不断增大,油柱所受浮力不断增大。当砂体底部的油柱高度达到一定规模后,浮力大于毛细管力,油气开始垂直向砂体顶面运移,到达砂体顶面后,再沿阻力较小的孔隙空间向低势方向(即断块构造高部位)继续运移^[16]。在这一过程中,若遇到物性较差的储层,当油气所受浮力不足以克服毛细管力时,油气将沿毛细管力较小的储层运移,形成构造—岩性油气藏。

2.3 在圈闭中聚集

在断块圈闭中,油气在浮力的作用下运移至断块高部位,在高部位断层岩排驱压力的遮挡下,油气停止运移,开始聚集过程。随着在遮挡断层下部油气聚集数量的增多,油柱高度不断增大,油气所受浮力不断增大,浮力与遮挡断层所提供的正压力逐渐接近^[17]。当油柱高度达到某一临界值时,断层失去遮挡能力,油气突破圈闭,聚集过程结束。

3 主控因素

3.1 不同运聚阶段影响因素分析

3.1.1 进入圈闭

油气沿断层运移的过程中,若断层岩的排驱压力大于储层的排驱压力,则油气从断层中进入圈闭^[18]。故通过对比断岩层和储层排驱压力差,即可判断油气是否具备进入圈闭的条件。

关于断层岩和储层排驱压力的求取,目前多采用实测数据与地质统计学相结合的方法^[19-24],具体步骤如下:

(1)建立岩石排驱压力求取函数。利用压汞资料,结合取样点测井解释泥质含量及深度,拟合得到岩石排驱压力与泥质含量、地层埋深的函数关系式。

南堡M断块压汞资料较少,利用整个南堡1号构造相关实验数据,建立岩石排驱压力与埋深、泥质体积分数函数关系式为:

$$\begin{cases} P_d = 0.0576e^{0.000018x} \\ x = ZV_{sh} \end{cases} \quad (1)$$

式中, P_d 为岩石排驱压力,MPa; Z 为对应岩石埋深,m; V_{sh} 为岩石泥质含量,%。

(2)求取断层岩泥质含量。利用断层断距和相应断开地层的厚度、测井解释泥质含量,通过公式(2)求取与砂岩交接处的断层岩泥质含量。

$$V_{SGR} = (\sum_{i=1}^n h_i V_{sh,i})/L \quad (2)$$

式中, V_{SGR} 为断层岩泥质含量,%; h_i 为第*i*层地层厚度,m; $V_{sh,i}$ 为第*i*层泥质含量,%; L 为断层垂直断距,m。

(3)求取断层岩对应埋深。通过公式(3)将目标断层岩埋深转换为和该断层岩所受压实程度相当的正常沉积岩的地层深度。

$$Z_h = Z_f \cos \theta \quad (3)$$

式中, Z_h 为同等压力下断点对应的地层岩正常埋深,m; Z_f 为所分析断层岩实际埋深,m; θ 为断层倾角,°。

(4)求取断层岩排驱压力。将 V_{SGR} 和 Z_h 带入公式(1),求取目标断层岩排驱压力 $P_{d,1}$ 。

(5)求取目标储层排驱压力。将与断层交接处储层的测井解释储层泥质含量和埋深带入公式(1),即可求取储层排驱压力 $P_{d,2}$ 。

(6)求取输导断层的断—储排驱压力差。利用公式(4)即可求取断—储排驱压力差,进而判断油气是否具备进入不同小层的条件。

$$P_z = P_{d,1} - P_{d,2} \quad (4)$$

式中, P_z 为油气进入圈闭的阻力,MPa; $P_{d,1}$ 为断层岩排驱压力,MPa; $P_{d,2}$ 为储层排驱压力,MPa。

南堡M断块明化镇组断—储排驱压力差计算结果显示:29个小层中,有9个小层的断—储排驱压力差小于0,油气不具备进入储层的条件。20个小层的断—储排驱压力差大于0,断—储排驱压力差分布范围0.002 7~0.111 9 MPa,平均0.028 4 MPa,15个含油小层断—储排驱压力差均大于0(见图2)。输导断层断—储排驱压力差对油气富集层位差异的控制作用明显。

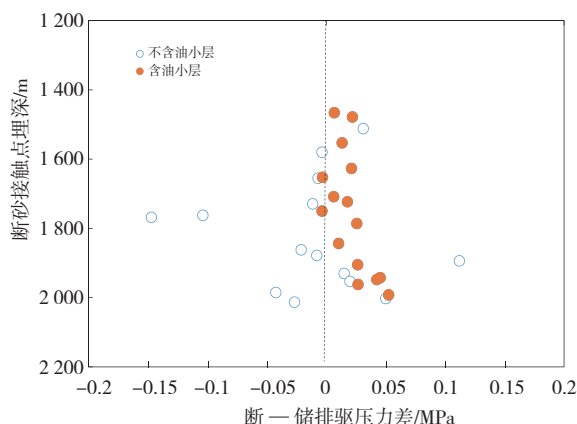


图2 南堡M断块断—储排驱压力差与埋深关系
断—储排驱压力差影响因素为储层与断层接

触点的埋深及在此位置储层和断层的泥质含量^[24]。统计显示,南堡M断块各小层断—储排驱压力差与埋深、断层岩、储层泥质含量等单因素均无明显相关性(见图2、图3),而与断层、储层泥质含量差值呈明显正相关(见图4)。即断层岩和储层任何一种单一因素都无法决定油气进入圈闭的难易,两者泥质含量的差值是油气进入圈闭难易的影响因素。

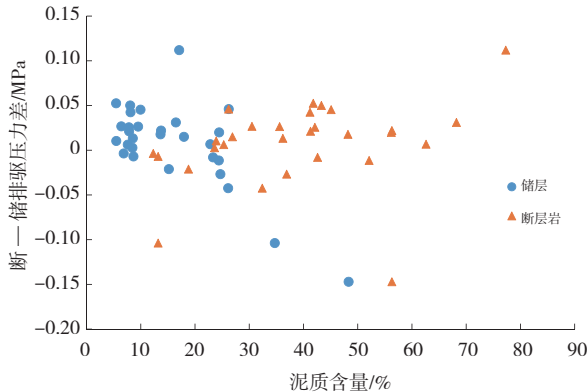


图3 南堡M断块输导断层断—储排驱压力差与岩层泥质含量关系

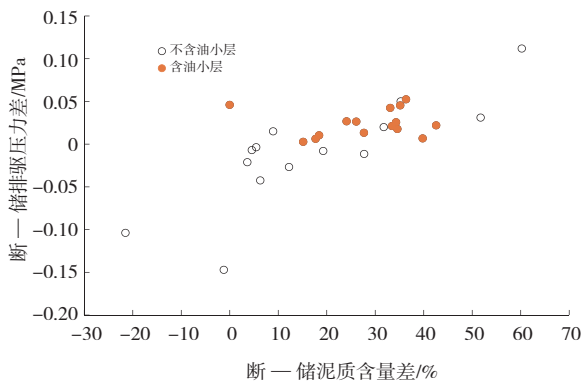


图4 南堡M断块输导断层断—储排驱压力差与断—储泥质含量差关系

3.1.2 在圈闭中运移

油气在储层中运移的动力为浮力垂直向上的分量,阻力为毛细管力,当动力大于阻力时油气才能运移^[16]。可用下式表示:

$$P_f - P_c > 0 \quad (5)$$

式中, P_f 为油柱所受浮力的垂直分量,Pa; P_c 为储层毛细管力,Pa。

公式(5)中,

$$P_f = (\rho_w - \rho_o)gh \sin \theta \quad (6)$$

式中, ρ_w 、 ρ_o 分别为地层水和原油密度, 10^3 kg/m^3 ; g 为重力加速度, N/kg ; h 为油柱高度,m; θ 为地层倾角, $(^\circ)$ 。

$$P_c = \frac{2\sigma \cos \alpha}{r} \quad (7)$$

式中, σ 为油水界面张力, N/m ; α 为润湿角, $(^\circ)$; r 为孔喉半径, 10^{-6} m 。

研究区孔喉半径测试资料少,可利用孔隙度、渗透率与孔隙半径的经验公式进行计算^[25]。

$$r = \sqrt{\frac{8K}{\phi}} \quad (8)$$

式中, K 为储层渗透率, $10^{-3} \text{ } \mu\text{m}^2$; ϕ 为孔隙度,%。

将公式(6)、(7)、(8)代入公式(5),即得油气发生运移时的临界油柱高度为:

$$h_c = \frac{2\sigma \cos \alpha}{(\rho_w - \rho_o)g \sqrt{\frac{8K}{\phi}} \sin \theta} \quad (9)$$

对于南堡M断块而言,断块内29个小层油气来源相同,油水界面张力接近,取值 0.018 N/m ;断块内各小层地层倾角无显著变化,取值 12° ;油、水性质无显著差别,地层水密度取值 $1.06 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,原油密度取值 $0.83 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$;储层表现为亲水,故取石英颗粒的水润湿角 30° 。断块内各小层渗透率、孔隙度差异是影响油气能否在各小层内发生运移的决定因素。

用断块内29个小层的孔隙度和渗透率平均值,依据公式(9)计算各小层油气发生运移时的临界油气柱高度。计算结果显示,各小层临界油柱高度最大值 3.2 m ,最小值 0.42 m ,平均 1.6 m 。南堡M断块明化镇组为曲流河沉积,储层发育,砂体平均厚度为 8.5 m ,各小层砂体厚度均大于本小层的临界油柱高度,油气均具备在砂体中运移的条件。

对比断块内各小层油气运移临界油柱高度、砂体厚度与小层含油性关系(见图5),具有如下特征:

(1)储层厚度与油气运移临界油柱高度呈明显的负相关,即储层厚度越大油气运移临界高度越小,油气越容易发生运移。

(2)虽然厚度大的储层更有利于油气运移,但小层的含油性与储层厚度并无明显相关性。南堡M断块10个储层平均厚度大于 10 m 的小层中仅3个小层含油(见图5)。油气在储层中运移条件不是南堡M断块内油气富集层位差异的主要影响因素。

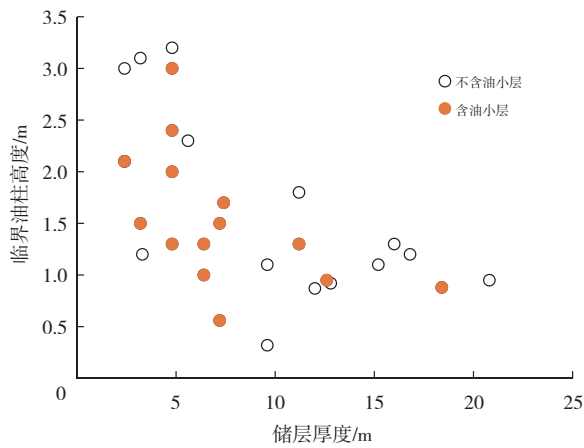


图5 储层厚度与临界油柱高度关系

3.1.3 在圈闭中聚集

当油气在浮力作用下运移至构造高部位的遮挡断层处时,若断层岩排驱压力小于储层排驱压力,断层不具备遮挡能力,油气将直接溢出圈闭。当断层岩排驱压力大于储层排驱压力时,油气在断层遮挡作用下聚集。随着油气不断聚集,油柱高度的增加,连续油相所受浮力不断增大,当油柱高度增大至临界高度时,浮力大于断一储排驱压力差,断层失去遮挡作用。当油柱高度处于临界值时,油气受力平衡,其受力情况可表达为:

$$P_f = P_{d.1} - P_{d.2} \tag{10}$$

油柱临界高度计算公式为:

$$h_c = \frac{P_{d.1} - P_{d.2}}{(\rho_w - \rho_o)g\sin\theta} \tag{11}$$

公式(11)中各项参数的求取前文已述,所不同的是此时断一储排驱压力差的求取对象为M断块高部位的断层岩和储层。

计算遮挡断层的断一储排驱压力差,29个小层中有11个小层为负值,即断层无遮挡能力,18个具备遮挡能力的小层中,断一储排驱压力差分布范围0.005 2~0.101 3 MPa,平均0.019 4 MPa。15个含油小层的断一储排驱压差都大于0,平均为0.009 3 MPa,遮挡断层的断一储压差对小层含油性也有着显著的控制作用。

与输导断层断一储排驱压力差影响因素一样,遮挡断层的断一储排驱压差也主要受断层岩泥质含量与储层泥质含量差异的影响,与埋深无明显相关性。

3.2 主控因素综合分析

基于油气从沿断层进入圈闭、在圈闭中运移、在圈闭中聚集三个运聚阶段分析,分别评价M断块中29个小层油气是否具备进入和在圈闭中运移、聚集条件,依据不同阶段的评价结果,综合评价各小层是否具备油气成藏条件。评价结果见表1。

表1 南堡油田M断块各小层油气成藏条件评价表

层号	小层含油性	进入圈闭条件(A)		在圈闭中运移条件(B)		在圈闭中聚集条件(C)		综合评价
		具备(1)	不具备(2)	具备(1)	不具备(2)	具备(1)	不具备(2)	
1	含油	√		√		√		A1B1C1
2	含油	√		√		√		A1B1C1
3	水层	√		√			√	A1B1C2
4	含油	√		√		√		A1B1C1
5	水层		√	√			√	A2B1C2
6	含油	√		√		√		A1B1C1
7	含油	√		√		√		A1B1C1
8	水层		√	√			√	A2B1C2
9	含油	√		√		√		A1B1C1
10	含油	√		√		√		A1B1C1
11	水层		√	√			√	A2B1C2
12	含油	√		√		√		A1B1C1
13	水层		√	√			√	A2B1C2
14	水层		√	√		√		A2B1C1
15	含油	√		√		√		A1B1C1
16	含油	√		√		√		A1B1C1

续表 1 南堡油田 M 断块各小层油气成藏条件评价表

层号	小层含油性	进入圈闭条件(A)		在圈闭中运移条件(B)		在圈闭中聚集条件(C)		综合评价
		具备(1)	不具备(2)	具备(1)	不具备(2)	具备(1)	不具备(2)	
17	水层		√	√		√		A2B1C1
18	水层		√	√			√	A2B1C2
19	水层	√		√			√	A1B1C2
20	含油	√		√		√		A1B1C1
21	水层	√		√			√	A1B1C2
22	含油	√		√		√		A1B1C1
23	含油	√		√		√		A1B1C1
24	水层		√	√			√	A2B1C2
25	水层	√		√			√	A1B1C2
26	含油	√		√		√		A1B1C1
27	含油	√		√		√		A1B1C1
28	水层	√		√			√	A1B1C2
29	水层		√	√			√	A2B1C2

南堡油田 M 断块共有 15 个含油小层,均为油气既具备进入圈闭条件,也具备运移和聚集条件的类型(A1B1C1 型)。14 个不含油小层中,有 5 个为不具备聚集条件,但具备进入圈闭和在圈闭中运移条件(A1B1C2 型);有 2 个为不具备进入条件,但具备运移和聚集条件(A2B1C1 型);有 7 个为不具备进入和聚集条件,但具备运移条件型(A2B1C2 型)。

总体上,南堡油田 M 断块明化镇组油藏由于储层物性条件较好,油气均具备在圈闭中发生运移的条件,决定断块内各小层是否含油的主控因素为油气进入圈闭和在圈闭中聚集条件的差异。南堡 M 断块的 14 个不含油小层中,因不具备进入条件(A2B1C1 型和 A2B1C2 型)而不含油的有 9 个,因不具备聚集条件而不含油(A1B1C2 型)的也有 5 个。油气进入圈闭条件和在圈闭中的聚集条件缺一不可。

断层的断一储排驱压力差的影响因素主要为断层岩与储层中泥质含量的差异(见图 4)。储层中泥岩含量主要由砂岩层岩性决定,影响因素较为简单,而断层岩中泥质含量则由断层断距和被断层错开地层的泥岩层累积厚度共同决定,所以断块圈闭中某一小层中油气能否进入、是否能聚集,并不简单取决于本小层储层的物性,还与该小层相邻地层岩性、储层物性等地质因素有关。

以 23、24 号小层为例。断块低部位输导断层与高部位遮挡断层均为北倾的正断层,断距分别为 54 m 和 45 m。断块内含油的 23 号小层砂岩较薄,物性

较差,砂岩平均厚度 4.6 m,渗透率 $212.3\times10^{-3}\text{ }\mu\text{m}^2$;不含油的 24 号小层则发育平均厚度 34.6 m 的厚层砂岩,渗透率 $536.1\times10^{-3}\text{ }\mu\text{m}^2$,为典型的高渗砂岩,物性明显好于 23 号小层。分别计算两个小层输导断层和遮挡断层的断一储排驱压力差,23 号小层的输导断层和遮挡断层的断一储排驱压力差分别为 0.042 5 MPa 和 0.010 1 MPa,油气具备进入圈闭条件也具备遮挡条件。24 号小层输导断层和遮挡断层的断一储排驱压力差分别为 0.002 3 MPa 和 -0.001 1 MPa,油气具备进入圈闭条件,但不具备聚集条件,小层不含油。造成两个小层输导断层和遮挡断层断一储排驱压力差的原因除了小层厚度差异外,23 号小层相邻地层均为砂厚泥薄的沉积组合,小层砂体储层排驱压力虽然较高,但断层岩排驱压力也高,断一储排驱压力差均为正值。而 24 号小层砂体厚度大,在输导断层和遮挡断层错断地层内的砂地比分别是 46.7% 和 54.2%,储层排驱压力较低,但断层岩中泥含量也较低,输导断层和遮挡断层的断层岩排驱压力也较低,这一特征决定了油气虽然容易进入圈闭,但也容易沿遮挡断层散失,难以聚集。

4 结论

(1) 基于油气运聚过程,可将断块油藏形成过程进一步细分为进入圈闭、在圈闭中运移和在圈闭中聚集三个阶段,各阶段油气运聚机理和条件不同,任何一个阶段不具备条件,油气藏都无法形成。

(2)南堡M断块明化镇组油藏储层物性较好,油气在各小层中均可发生运移。油气进入圈闭条件和聚集条件的差异是造成断块内油气富集层位差异的主要原因。

(3)输导断层和遮挡断层在不同小层的断一储排驱压力差是造成油气进入圈闭和在圈闭中聚集条件差异的主要原因。对于南堡M断块而言,由于断层、埋深、倾角等因素变化不大,断一储排驱压力差主要受断层岩和储层泥质含量差的影响。

(4)储层厚度、物性等条件对断一储排驱压力差的影响是双向的,即厚度大、物性好的储层排驱压力低,同时对应的输导断层和遮挡断层泥质含量低,断层岩排驱压力也相应降低,油气也可能因不具备进入圈闭和(或)遮挡条件而无法聚集成藏。各小层油气能成藏还受到储层相邻地层岩性组合的影响。

参考文献:

- [1] 谭丽娟,刘钧.复杂断块油田油气不均一分布特征及主控因素[J].西南石油大学学报(自然科学版),2013,35(2):43-53.
Tan Lijuan, LIU Jun. Hydrocarbon heterogeneous distribution and main controlling factors of complex fault-block oilfield [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2013, 35 (2): 43-53.
- [2] 蒋有录,张煜.控制复杂断块区油气富集的主要地质因素——以渤海湾盆地东辛地区为例[J].石油勘探与开发,1999 26(5):39-42.
JIANG Youlu, ZHANG Yu. Main geological factors controlling the accumulation and distribution of oil and gas in a complicated fault-block region [J]. Petroleum Exploration and Development, 1999, 26(5):39-42.
- [3] 胡贺伟,李慧勇,许鹏,等.断裂密集带油气差异富集主控因素探讨——以歧口凹陷歧南断阶带为例[J].岩性油气藏,2020,32(5):34-45.
HU Hewei, LI Huiyong, XU Peng, et al. Main controlling factors of differential enrichment of oil and gas in fault concentrated zones: A case study from Qinan step-fault zone in Qikou Sag [J]. Lithologic Reservoirs, 2020, 32 (5):34-45.
- [4] 黄超.济阳拗陷断层聚集带划分及断块油藏分布规律[J].特种油气藏,2013,20(6):59-62.
HUANG Chao. Division of fault gathering zones and distribution of fault block reservoirs in Jiyang depression [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2013, 20(6):59-62.
- [5] 毛凤鸣,陈安定,严元锋,等.苏北盆地复杂小断块油气成藏特征及地震识别技术[J].石油与天然气地质,2006,27(6):827-840.
MAO Fengming, CHEN Anding, YAN Yuanfeng, et al. Hydrocarbon pooling features and seismic recognizing technologies of small complex fault blocks in Subei Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(6):827-840.
- [6] 杨怀宇.东营凹陷南坡断块类型及其油气封闭性研究[J].西南石油大学学报(自然科学版),2020,42(1):1-9.
YANG Huaiyu. Fault block types and their fault seals in the Southern slope of the Dongying depression [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2020, 42(1):1-9.
- [7] 付晓飞,宋宪强,王海学,等.裂陷盆地断层圈闭含油气有效性综合评价——以渤海湾盆地歧口凹陷为例[J].石油勘探与开发,2021,48(4):677-686.
FU Xiaofei, SONG Xianqiang, WANG Haixue, et al. Comprehensive evaluation on hydrocarbon-bearing availability of fault traps in a rift basin: A case study of the Qikou Sag in the Bohai Bay Basin, China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2021, 48(4):677-686.
- [8] 李亚辉,刘泽容,信荃麟.现河庄油田断块模式与油气聚集规律[J].石油大学学报(自然科学版),1998,22(2):4-7.
LI Yahui, LIU Zerong, XIN Quanlin. Fault-block model and hydrocarbon distribution of Xianhezhuang Oilfield [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 1998, 22(2):4-7.
- [9] 赵贤正,李宝刚,卢学军,等.霸县凹陷文安斜坡油气富集规律及主控因素[J].断块油气田,2011,18(6):730-734.
ZHAO Xianzheng, LI Baogang, LU Xuejun, et al. Rule and main control factor of hydrocarbon enrichment in Wen'an slope, Baxian depression [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2011, 18(6):730-734.
- [10] 赵鹏,彭光荣,吴静,等.恩平凹陷源外隆起区新近系油气成藏条件与定量评价[J].中国海上油气,2022,34(1):45-54.
ZHAO Peng, PENG Guangrong, WU Jing, et al. Accumulation conditions and quantitative evaluation of Neogene oil and gas in uplift zone outside source kitchen of Enping Sag [J]. China Offshore Oil and Gas, 2022, 34 (1):45-54.
- [11] 刘刚,张义杰,姜琳.断层输导下储集层排驱压力对油气成藏影响作用[J].地质科技情报,2015,34(1):118-122.
LIU Gang, ZHANG Yijie, JIANG Lin. Effect of displacement pressure to oil and gas reservoir forming with

- fault transportation [J]. Geological Science and Technology Information, 2015, 34(1):118-122.
- [12] 郭凯, 曾溅辉, 卢学军, 等. 断层纵向输导与储层非均质性耦合控运模拟实验研究[J]. 现代地质, 2010, 24(6):1164-1170.
- GUO Kai, ZENG Jianhui, LU Xuejun, et al. An experimental study of oil migration controlled by vertical conduction of faults and reservoir heterogeneity [J]. Geoscience, 2010, 24(6):1164-1170.
- [13] 徐波, 杜岳松, 杨志博, 等. 油气二次运移研究现状及发展趋势[J]. 特种油气藏, 2011, 18(1):1-6.
- XU Bo, DU Yuesong, YANG Zhibo, et al. Current situation and development trend of the study on secondary hydrocarbon migration [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2011, 18(1):1-6.
- [14] 林景晔, 李兴伟, 张金友. 石油与天然气运移聚集过程探讨[J]. 大庆石油地质与开发, 2017, 36(5):20-25.
- LIN Jingye, LI Xingwei, ZHANG Jinyou. Discussion on the hydrocarbon migration and accumulation [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2017, 36(5):20-25.
- [15] 张发强, 罗晓容, 苗盛, 等. 石油二次运移的模式及其影响因素[J]. 石油实验地质, 2003, 25(1):69-75.
- ZHANG Faqiang, LUO Xiaorong, MIAO Sheng, et al. The patterns and its effect factors of secondary hydrocarbon migration [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2003, 25(1):69-75.
- [16] 罗晓容, 张立强, 张立宽, 等. 碎屑岩输导层非均质性与油气运聚成藏[J]. 石油学报, 2020, 41(3):253-272.
- LUO Xiaorong, ZHANG Liqiang, ZHANG Likuan, et al. Heterogeneity of clastic carrier bed and hydrocarbon migration and accumulation [J]. Acta Petrolei Sinica, 2020, 41(3):253-272.
- [17] 李强, 田晓平, 何京, 等. 断层封闭性定量表征及对油气富集的控制作用[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2018, 40(4):40-50.
- LI Qiang, TIAN Xiaoping, HE Jing, et al. Quantitative characterization of fault sealing and its control on hydrocarbon accumulation [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2018, 40(4):40-50.
- [18] 孙同文, 付广, 吕延防, 等. 断裂输导流体的机制及输导形式探讨[J]. 地质评论, 2012, 58(6):1081-1090.
- SUN Tongwen, FU Guang, LYU Yanfan, et al. A discussion on fault conduit fluid mechanism and fault conduit form [J]. Geological Review, 2012, 58(6):1081-1090.
- [19] 付晓飞, 李文龙, 吕延防, 等. 断层侧向封闭性及对断圈油水关系的控制[J]. 地质论评, 2011, 57(3):387-397.
- FU Xiaofei, LI Wenlong, LYU Yanfang, et al. Quantitative estimation of lateral fault seal and application in hydrocarbon exploration [J]. Geological Review, 2011, 57(3):387-397.
- [20] 付广, 史集建, 吕延防. 断层侧向封闭性定量研究方法的改进[J]. 石油学报, 2012, 33(3):414-418.
- FU Guang, SHI Jijian, LYU Yanfang. An improvement in quantitatively studying lateral seal of faults [J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(3):414-418.
- [21] 付广, 孙同文, 吕延防, 等. 南堡凹陷断-砂配置侧向输导油气能力评价方法[J]. 中国矿业大学学报, 2014, 43(1):79-87.
- FU Guang, SUN Tongwen, LYU Yanfang, et al. An evaluation method of oil-gas lateral transporting ability of fault-sandstone configuration in Nanpu depression [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2014, 43(1):79-87.
- [22] 付广, 王超, 历娜, 等. 断-砂配置中油气运移方向的判别方法及其应用[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2016, 40(5):51-58.
- FU Guang, WANG Chao, LI Na, et al. Discriminatory method and its application of oil-gas migrating direction in fault-sand-body configuration [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2016, 40(5):51-58.
- [23] 刘刚, 石书缘. 储层排驱压力求取方法研究进展及展望[J]. 科学技术与工程, 2013, 13(29):8697-8704, 8714.
- LIU Gang, SHI Shuyuan. Research progress and prospect in reservoir displacement pressure calculation methods [J]. Science Technology and Engineering, 2013, 13(29):8697-8704, 8714.
- [24] 吴碧波, 邹明生, 陆江, 等. 涪西南凹陷TY油田断层封闭性定量评价[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2019, 41(4):74-80.
- WU Bibo, ZOU Mingsheng, LU Jiang, et al. A quantitative evaluation of fault sealing of the TY Oilfield in the Weixinan Sag [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2019, 41(4):74-80.
- [25] 张厚福. 石油地质学[M]. 北京:石油工业出版社, 1999.
- ZHANG Houfu. Petroleum Geology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999.

(编辑 卞 炜)