·油气地质·

## 东营凹陷北部陡坡带深层砂砾岩 扇体成岩圈闭有效性评价

刘惠民1,刘鑫金1,2,贾光华1

(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.中国石化胜利油田分公司 博士后科研工作站,山东 东营 257002)

摘要: 东营凹陷北部陡坡带深层砂砾岩扇体发育扇根封堵的成岩圈闭岩性油藏,圈闭的形成受不同沉积相带沉积组构与成岩作用差异的影响,而圈闭有效性评价是预测圈闭含油气性的关键。为了有效预测成岩圈闭的含油气性,从扇根地质特征和油藏特征分析入手,剖析研究区扇根封闭机制和圈闭评价原则,在此基础上,利用不同勘探阶段的相关资料,建立适用的圈闭有效性评价方法。研究结果表明:扇根亚相泥质杂基含量高、压实与杂基重结晶作用强烈,纵向上叠置的扇根可作为侧向封堵层和局部盖层;成岩圈闭的主要封闭机制是物性封闭,扇根与扇中之间的突破压力差决定了封堵油气的高度;利用全直径取心油驱水实验数据对压汞实验测定的汞驱气突破压力进行校正,并分别利用核磁共振测井和常规物性资料建立油驱水突破半径的计算方法,进而求得油藏条件下油驱水的突破压力差,对圈闭的有效性进行评价。应用结果表明,建立的圈闭有效性评价方法合理、可行,可有效指导勘探部署。

关键词:砂砾岩扇体 成岩圈闭 圈闭有效性 评价方法 北部陡坡带 东营凹陷

中图分类号:TE112.3 文献标识码:A 文章编号:1009-9603(2015)05-0007-08

# Evaluation on trap effectiveness for deep fan diagenetic trap in the northern steep slope zone of Dongying sag

Liu Huimin<sup>1</sup>, Liu Xinjin<sup>1,2</sup>, Jia Guanghua<sup>1</sup>

(1.Research Institute of Exploration and Development, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257015, China; 2.Postdoctoral Scientific Research Workstation of Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257002, China)

Abstract: The deep fan diagenetic trap developed widely in the northern steep slope zone of the Dongying sag and the differences in sedimentary fabric and diagenesis play important role in the reservoir forming. How to evaluate the trap effectiveness is the key to exploration. By analyzing geological characteristics of root-fan and oil reservoir, the object of trap evaluation, the root-fan sealing mechanism and evaluation principle were determined to predict oil-bearing properties of diagenesis trap effectively. Based on this, according to different data at different exploration stages, the trap effectiveness evaluation methods suitable for different exploration stages were established. The results show that the root-fan developed high clay heterobase and strong compaction and heterobase recrystallization so the root-fan could be a lateral sealing seal or a local seal. The main seal mechanism of diagenetic trap was capillary sealing, the difference of displacement pressure between root-fan and mid-fan determined oil column height. Mercury injection data should be corrected by experimental data of oil displacing water in whole diameter core, and the method of calculating breakthrough radius of oil displacing water using NMR data or routine physical data were established, by which the breakthrough pressure difference under oil res-

收稿日期:2015-07-13。

作者简介:刘惠民(1969—),男,山东寿光人,教授级高级工程师,博士,从事油气勘探研究与管理工作。联系电话:(0546)8716756, E-mail:liuhm1964@126.com。

基金项目:国家科技重大专项"渤海湾盆地精细勘探关键技术"(2011ZX05006-003),中国石化科技攻关项目"东营凹陷陡坡砂砾岩体成 岩圈闭有效性评价"(P10010)。

ervoir condition can be obtained to evaluate the trap effectiveness. The analysis of the applied result shows that this evaluation method can be used to guide exploration.

Key words: glutenite fan; diagenetic trap; trap effectiveness; evaluation method; northern steep slope zone; Dongying sag

盖层的封闭机制研究是圈闭有效性评价的核 心内容。Berg在1975年提出了物性封闭的概念及 其在烃类运移和圈闭中的作用[1], Schowalter 对物性 封闭机理的作用进行了详细阐述[2],袁玉松等认为 物性封闭是盖层最普遍的封闭机理, 经浓度封闭不 具有普遍性[3],何玉光等提出物性封闭是普遍机理, 压力封闭和烃浓度封闭是特殊机理[4]。目前研究认 为封盖层封闭油气的主要机理是物性封闭、烃浓度 封闭和孔隙水压力封闭[5],周雁等提出针对油气盖 层的研究经历了5个阶段,由早期侧重于盖层物性 研究发展到变形过程及成藏过程中的盖层有效性 研究,认为尽管发现毛管物性封闭、超压封闭和毛 管多相封闭等多种封闭类型,但是毛管物理封闭作 用是最基本的封闭机制[6];董忠良等认为上倾方向 有封盖层的油气藏封盖机制是物性封闭、超压封闭 和烃浓度封闭(抑制封闭作用、替代封闭作用和延 缓作用),上倾方向没有盖层的深盆气藏的封闭机 制包括水体封闭、低渗透砂岩阻止气体上浮,以及 不断补给、散失以达到平衡的动态封闭机制[7]。曲 长伟等提出浅层埋藏小、时代新、结构松散的盖层 也存在物性封闭,并选取渗透率参数对其进行评 价,证明物性封闭的普遍性[8]。

东营凹陷北部陡坡带深层砂砾岩扇体发育扇根封堵的成岩圈闭岩性油藏[9-10],前人对成岩圈闭的成因及主控因素等进行了深入探讨,但针对扇根封堵成岩圈闭的封闭机制及有效性评价方法却未见报道。笔者首次从扇根的地质特征分析入手,论述扇根的封闭性能及其影响因素;然后通过剖析扇根的空间分布模式以及扇根封堵成岩圈闭的成藏特征,确定成岩圈闭有效性的评价原则;最终利用不同勘探阶段的相关资料,建立适用的圈闭有效性评价方法。由典型区块成岩圈闭的有效性评价结果显示,建立的成岩圈闭有效性评价方法切实可行,对同类型油藏的勘探具有重要的指导意义。

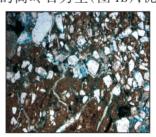
## 1 扇根的地质特征

盖层的分类很多,从岩性来看主要分为3大类,即泥页岩、蒸发岩和致密灰岩<sup>[4]</sup>;其中泥页岩的封闭性仅次于盐岩和石膏,是形成优质盖层的有利岩性<sup>[11-14]</sup>。砂砾岩扇体的扇根并非传统意义上的优质

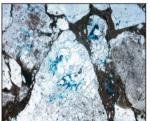
封盖层,但实践表明其能作为有效封盖层封堵油气主要取决于扇根独特的岩相特征及分布模式。

#### 1.1 岩相特征

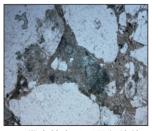
砂砾岩扇体扇根的岩相为杂基支撑砾岩相和 颗粒支撑砾岩相,以杂基支撑砾岩相为主,偶见颗 粒支撑砾岩相[9]。杂基支撑砾岩相主要由棱角状— 次棱角状的砾石组成,砾石成分复杂,以喷发岩、变 质岩为主,其次为少量的砂岩和泥岩砾,砾石直径 一般为0.5~5 cm,少量砾石直径大于10 cm,砾石呈 漂浮状,表现为一种覆模态结构,仅有直径为1~2 cm的砾石具有磨圆现象,且可见直立及定向排列的 砾石,颗粒表现为无分选,整体呈块状层理;其杂基 为泥质或粉砂质等,含量高达40%,有时为砂质杂 基。研究区盐100-3井镜下薄片观察结果显示,扇 根杂基含量较高,颗粒接触关系为点接触,泥质含 量高,可达30%~40%,呈鳞片状,大部分呈基底式 胶结碎屑颗粒(图1a),仅局部为孔隙式胶结;由于 埋藏较浅,胶结作用微弱,碳酸盐岩胶结不发育,偶 见增生石英;孔隙有粒间孔及填隙物内孔,总面孔 率较低,约为5%,其中原生孔隙与次生孔隙的面孔 率均为1%~3%,但整体孔隙不发育,连通性较差。 盐162井镜下薄片观察发现,其扇根颗粒多为次棱 角状,颗粒之间以线接触为主,泥质以星点状分布 的高岭石为主(图 1b),泥质与白云石碎屑混杂分



a—颗粒点接触,基底式胶结 (盐100-3井,1285.96 m)



b—自生高岭石 (盐162井, 2890.5 m)



c—微含铁自云石局部胶结 (盐162井, 2897 m)



d—铁方解石交代颗粒(盐162井, 2897 m)

图1 东营凹陷北部陡坡带砂砾岩扇体扇根镜下显示特征

Fig. 1 Microscopic characteristics of glutenite fan root in the northern steep slope zone of Dongving sag

布,杂基多为鳞片状结构,表明当埋深达到2700 m时,泥质杂基已开始大量发生重结晶作用,白云石、铁白云石具有显微一微晶结构,可见含铁碳酸盐岩的局部胶结(图1c),亦可见交代颗粒(图1d)或胶结长石溶解孔隙;孔隙有颗粒溶孔及残余粒间孔,连通性较差,且其总面孔率很低,多数小于1%。

#### 1.2 分布模式

东营凹陷北部陡坡带砂砾岩扇体的扇根与扇中的岩相复杂,根据岩石组构参数在垂向上的递降度可将扇根岩石组构类型划分为 II-1型和 II-2型,扇中岩石组构类型划分为 II-1型、II-2型和 II-3型。明确岩石组构类型在空间上的分布模式是开展圈闭评价的基础。综合岩屑录井、密度、中子、声波、深侧向电阻率、自然伽马等测井资料,对单井岩石组构类型进行识别,根据近岸水下扇沉积成因模式,恢复砂砾岩扇体的岩石组构分布剖面。结果

(图2)表明,扇根砾岩相为块状堆积,致密均一;扇中表现为多岩相疏密相间、互层叠置的特征。单砂层中的砂砾岩扇体呈由厚减薄的楔形体,多砂层组叠置的砂砾岩扇体整体呈现出持续后退的特点;扇根的岩石组构表现为 I −1型和 I −2型叠置,其间缺少泥质隔层,常具有冲刷减薄现象,这种垂向叠置样式为侧向封堵提供了必要条件;扇根与扇中交接处表现为 I −2型与 II −1型、II −2型的垂向间互叠置,其中 I −2型与 II −1型之间的接触面可作为成岩圈闭有效性评价的封盖转换面。

综上所述,扇根具有覆模态结构特征,且泥质杂基含量高、压实与杂基重结晶等成岩作用强烈,使扇根可以成为有效封堵层;此外,扇根位于扇中有效储层的上倾方向,与扇中呈指状接触,因此纵向上叠置的、致密均一的扇根可以成为侧向封堵层和局部盖层。

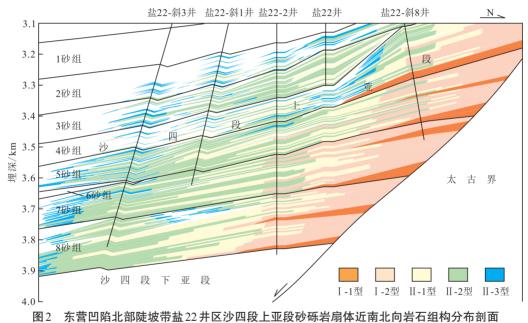


Fig. 2 Rock fabric distribution section of glutenite fan in upper Es4 of Yan22 area in the northern steep slope zone of Dongying sag

## 2 扇根的封闭机制

东营凹陷北部陡坡带深层砂砾岩扇体紧邻民丰洼陷烃源岩,成藏条件有利。前人研究结果表明,民丰洼陷沙四段和沙三段下亚段发育异常高压,沙四段下亚段发育多套膏岩层,可形成流体封存箱,产生异常压力[15-17],但与烃源岩直接接触的砂砾岩扇体岩性油藏却不属于异常压力系统。分析东营凹陷北部陡坡带盐家地区实测地层压力及压力系数与埋深的关系发现,其油藏实测地层压力与埋深具有很好的线性关系,压力系数为0.8~1.2,主

要集中于0.95~1.0,属于正常压力系统。利用盆地模拟软件恢复研究区关键油气成藏期的地层压力剖面,结果(图3)表明,挂陷带沙四段下亚段、沙四段上亚段纯下次亚段和纯上次亚段烃源岩在明化镇组沉积末期发育超压系统,其中沙四段下亚段剩余地层压力主要为15~30 MPa,沙四段上亚段纯下次亚段和纯上次亚段剩余地层压力为5~10 MPa,但是紧邻的砂砾岩扇体内部为正常压力系统,烃源岩与砂砾岩扇体之间存在一个明显的压力快速变化带。由此可见,大套砂砾岩扇体纵向叠置厚度大,宏观上自下而上为一个连通体系,缺乏稳定的泥岩隔层,难以形成稳定的超压系统,在漫长的地

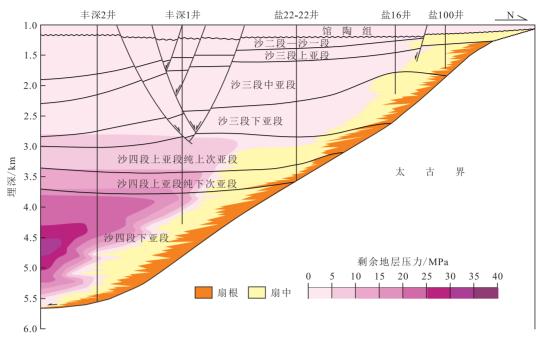


图3 东营凹陷北部陡坡带盐家地区明化镇组沉积时期地层压力分布剖面

Fig. 3 Formation pressure distribution section during Nm sedimentary period of Yanjia area in the northern steep slope zone of Dongying sag

质历史时期内,油气在砂砾岩扇体内部主要以浮力 驱动,油气聚集仅须平衡浮力;因此,成岩圈闭的主 要封闭机制是物性封闭,不存在明显的烃浓度封闭 和异常压力封闭。

## 3 圈闭有效性评价方法

针对物性封闭圈闭的评价方法有很多[18],例如 付广等认为物性封闭的主要评价参数是盖层与储 层的排替压力差,压力封闭的评价参数是盖层与储 层的压力系数差, 经浓度封闭的评价参数为是否进 入生烃门限,是否具有流体超压,流体超压是否大 于流体饱和压力,并选取盖层的岩性、单层厚度、累 积厚度、沉积环境和成岩程度等参数,利用加权平 均法对盖层的封闭能力进行评价[19]。谈玉明等选 取孔隙度、渗透率、排替压力和孔径4个参数,利用 加权平均法建立盖层评价标准[20];王欢等选取盖层 的岩性、沉积环境、最大单层厚度、累积厚度、砂岩 含量以及储层与盖层的排替压力差作为参数,分别 赋予相应的权值和权重,对泥岩盖层的封闭性进行 综合评价[11]。赵新民等利用测井方法评价盖层的 垂向封闭性和储层的侧向封堵性,探讨欠压实、超 压发育情况对储层侧向封堵性的影响[21]。

扇根侧向封堵的机理是物性封闭,因此,扇根 封盖油气的力学平衡式可以表示为

$$F_{\rm b} = \Delta p_{\rm c} S \tag{1}$$

其中

$$\Delta p_c = p_{ca} - p_{cb} \tag{2}$$

$$p_c = \frac{2\delta \cos \theta}{R} \tag{3}$$

式中:  $F_b$  为油气受到的浮力, N;  $\Delta p_c$  为扇根与扇中之间的突破压力差,  $P_a$ ; S 为单位面积,  $m^2$ ;  $p_{ca}$  为扇根的突破压力,  $P_a$ ;  $p_{cb}$  为扇中的突破压力,  $P_a$ ;  $p_{cb}$  为扇中的突破压力,  $P_a$ ;  $p_{cb}$  为突破压力,  $P_a$ ;  $p_{cb}$  为经与水之间的界面张力,  $p_{cb}$  为接触角度,  $p_{cb}$  为突破半径,  $p_{cb}$  为

封堵层封闭油柱的高度受封堵层与渗透层突 破压力差控制,突破压力是指开始进入岩样所需的 最低压力,是非润湿相开始进入岩样最大连通孔喉 而形成连续流所需的启动压力,也称为阈压或门槛 压力。在突破压力下,非润湿相能进入的孔喉半径 即岩样的最大孔喉半径。利用压汞实验求得的突 破压力是汞驱气的突破压力,而实际油气成藏是油 驱水的过程,与实验测定的汞驱气突破压力存在较 大差异。汞驱气条件下,  $\delta$  为 480 N/m,  $\theta$  为 140°,  $\cos\theta$  为 0.766; 而油藏条件下,  $\delta$  为 19.8 N/m,  $\theta$  为  $30^{\circ}$ ,  $\cos\theta$  为 0.866; 由于  $\delta$  和  $\theta$  不同,对汞驱气条件 下获得的实验数据须进行校正。油驱水突破压力 的求取是扇根封闭圈闭有效性评价的关键,为此, 笔者利用东营凹陷北部陡坡带盐家地区全直径取 心油驱水突破压力测试及小样品气驱水突破压力 测试的实验数据,对岩心常规压汞数据进行校正, 得到油驱水突破半径的计算公式,并根据不同勘探 阶段的相关资料,建立求取油驱水突破半径的方法,进而求取油藏条件下的突破压力。

#### 3.1 利用压汞实验数据求取油驱水突破半径

为了模拟实际地层温度、压力条件下的油气封堵情况,分别选取研究区16块全直径取心样品进行油驱水突破压力测试,选取32块小样品进行气驱水突破压力测试,结果表明,气驱水突破压力值偏小,因此首先需要利用油驱水突破压力测试数据校正小样品气驱水突破压力测试数据,通过拟合全直径

取心油驱水突破压力和小样品气驱水突破压力测 试数据(表1),得到油驱水突破压力的校正公式为

$$p_{\text{CYS}} = -10.323 p_{\text{CQS}}^{4} + 30.333 p_{\text{CQS}}^{3} - 25.372 p_{\text{CQS}}^{2} + 11.712 p_{\text{CQS}} + 0.32$$

$$R^{2} = 0.9966$$
(4)

式中:  $p_{\text{cvs}}$  为油驱水突破压力,  $P_{\text{a}}$ ;  $p_{\text{cos}}$  为气驱水突破压力,  $P_{\text{a}}$ 。

通过校正得到32块小样品的油驱水突破压力,

表 1 全直径取心油驱水突破压力和小样品气驱水突破压力测试数据
Table 1 Experimental data of oil displacing water in whole diameter core and of gas displacing water in small core

井 号	埋深/m	层 位	沉积亚相	含油性	气驱水突破压力/MPa	油驱水突破压力/MPa
盐16	2 004.8	沙三段下亚段	扇中	油层	0.003	0.13
盐222	3 905.38	沙四段上亚段纯上次亚段	扇中	干层	1.078	7.52
盐222	3 906.2	沙四段上亚段纯上次亚段	扇中	油层	0.46	2.81
盐222	4 161.7	沙四段上亚段纯上次亚段	扇根	干层	0.037	0.88
盐22-22	3 381.1	沙四段上亚段纯上次亚段	扇中	干层	0.053	0.84
盐22-22	3 401	沙四段上亚段纯上次亚段	扇中	油层	0.333	2.39
盐22-22	3 438.85	沙四段上亚段纯上次亚段	扇中	干层	0.507	2.97
盐22-22	3 476.9	沙四段上亚段纯上次亚段	扇中	油层	0.117	1.4
盐22-22	3 510	沙四段上亚段纯上次亚段	扇中	干层	0.025 2	0.8
永920	3 374	沙四段上亚段纯上次亚段	扇中	油层	0.096	1.04
永 920	3 586.5	沙四段上亚段纯上次亚段	扇根	干层	0.212	1.89
永 928	3 844.3	沙四段上亚段纯下次亚段	扇中	油层	0.137	1.54
永 928	4 007.1	沙四段上亚段纯下次亚段	扇根	干层	0.567	3.26
永928侧	3 945.05	沙四段上亚段纯下次亚段	扇根	干层	0.839	5.09
永930	3 755.3	沙四段上亚段纯下次亚段	扇中	干层	0.407	2.75
永930	9 332.2	沙四段上亚段纯下次亚段	扇根	油层	0.07	1.1

从而获得48块样品的油驱水突破压力数据,并计算相对应的油驱水突破半径。结合岩心常规压汞汞驱气测试数据,建立利用压汞实验汞驱气突破半径计算油驱水突破半径的转换公式为

$$R_1 = 0.004 \, 2R_d + 0.009 \, 9$$
  $R^2 = 0.847 \, 3$  (5)  
式中:  $R_4$  为压汞实验汞驱气突破半径,  $\mu$ m。

将计算得到的油驱水突破半径代入式(3),即可获得油驱水突破压力。

#### 3.2 利用核磁共振测井资料求取油驱水突破半径

由于未取心的井段无法进行压汞实验,因此,尝试利用核磁共振测井资料来拟合压汞曲线,进而利用拟合的压汞曲线求取油驱水突破半径。核磁共振测井是目前惟一可以评价储层孔隙结构的测井方法,其利用氢原子核自身的磁性及其外加磁场的相互作用,通过测量地层岩石孔隙中氢核核磁共振弛豫信号的幅度和弛豫速率,探测与地层岩石孔隙结构和孔隙流体的相关信息。核磁共振测井提

供的原始数据是随时间衰减的自旋回波串,包含储层物性、孔隙类型、孔径、流体类型及其分布等信息。由核磁共振弛豫机理可知,在均匀磁场中测量的横向弛豫时间的表达式为

$$\frac{1}{T_2} = \frac{1}{T_{2R}} + \rho_2 \frac{s}{V} \tag{6}$$

式中:  $T_2$  为横向弛豫时间, ms;  $T_{2B}$  为流体的体积(自由)弛豫时间, ms;  $\rho_2$  为岩石横向表面弛豫率,  $\mu$ m/ms, 是表征岩石物理性质的参数; s 为孔隙表面积,  $\mu$ m<sup>2</sup>; V 为孔隙体积,  $\mu$ m<sup>3</sup>。

地层流体的  $T_{2B}$  值通常大于 2 000 ms,而实际测量岩石骨架的  $T_2$  值通常为 50 ~ 200 ms,地层流体的  $T_{2B}$  值远大于岩石骨架的  $T_2$  值,因此式(6)可以表示为

$$\frac{1}{T_2} \approx \rho_2 \frac{s}{V} \tag{7}$$

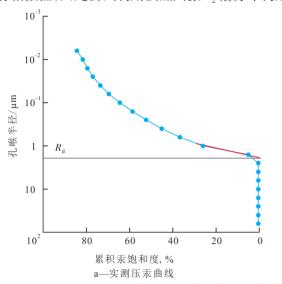
式(7)中 $\frac{s}{V}$ 为孔隙的比表面,与孔隙的大小和

几何形状有关,可以综合反映岩石的孔隙结构特征<sup>[9]</sup>。 $T_2$ 与孔隙的比表面成反比关系,与孔喉半径具有近似的正比关系,因此孔喉半径可以表示为

$$r = CT_{2} \tag{8}$$

式中:r为孔喉半径, $\mu$ m;C为比例系数,其值可由孔隙结构分析资料确定<sup>[8]</sup>。

由于核磁共振 T<sub>2</sub> 谱分布与压汞孔喉半径分布 具有相似性,因此尝试利用核磁共振 T<sub>2</sub> 谱分布构建



压汞曲线。首先以累积汞饱和度为横坐标、孔喉半径为对数纵坐标,调整压汞曲线;然后提取核磁共振  $T_2$  值,以核磁共振  $T_2$  谱累积幅度为横坐标、 $T_2$  值为对数纵坐标,构建与压汞曲线类似的拟合压汞曲线。汞驱气突破半径为压汞曲线的平台切线对应的孔喉半径,利用核磁共振  $T_2$  谱分布构建的拟合压汞曲线的平台切线对应的  $T_2$  值来拟合汞驱气突破半径(图4)。

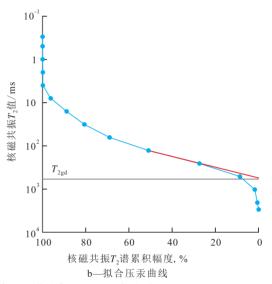


图 4  $\pm$  22-22 井核磁共振  $T_2$  谱分布构建的拟合压汞曲线与实测压汞曲线对比

Fig. 4 Diagrams showing contrast between measured mercury injection curve and the one fitted by NMR T<sub>2</sub> spectra of Well Yan22-22

由于核磁共振测井获得的是全井段数据,因此可以利用核磁共振测井资料拟合相对应深度点的压汞曲线,确定利用核磁共振  $T_2$  谱分布构建的拟合压汞曲线的平台切线对应的  $T_2$  值,进而建立该值与压汞实验汞驱气突破半径之间的关系式为

$$R_{\rm d} = 0.005 \ 3T_{\rm 2gd} - 0.309 \tag{9}$$

式中:  $T_{2gd}$  为利用核磁共振  $T_2$  谱分布构建的拟合压汞曲线的平台切线对应的  $T_3$  值, ms。

将计算得到的压汞实验汞驱气突破半径代人式(5),即可得到油驱水突破半径,进而计算油驱水突破压力。

#### 3.3 利用渗透率与孔隙度比值求取油驱水突破半 径

针对研究区大量没有压汞实验数据和核磁共振测井资料的区块,上述2种方法均不适用。前人研究表明,渗孔比(渗透率与孔隙度的比值)与储层的孔喉半径之间存在定量关系<sup>[22]</sup>,张程恩等将渗孔比的开方定义为储层品质指数,认为该指数可以综合反映储层孔隙结构的品质<sup>[23]</sup>。因此,可以建立油驱水突破半径与储层品质指数的关系式为

$$R_{1} = 0.096 6RQI - 0.004 5 \tag{10}$$

其中  $RQI = \boxed{\frac{K}{\phi}} \tag{11}$ 

式中: RQI 为储层品质指数, $\mu$ m; K 为渗透率, $10^{-3} \mu m^2$ ;  $\phi$  为孔隙度,%。

进而根据计算得到的油驱水突破半径,利用常规物性资料计算得到油驱水突破压力。

#### 4 圈闭有效性评价结果

根据实测常规物性及核磁共振测井资料可以 计算各种岩相的油驱水突破压力,构建对应岩相的 油驱水突破压力与埋深的关系曲线,获得任意岩相 组合不同埋深的油驱水突破压力差,定量评价扇根 的封闭能力,进而根据实际地质剖面上某一圈闭封 堵油气的岩相组合类型,对成岩圈闭的有效性进行 评价。

由东营凹陷北部陡坡带盐家地区砂砾岩扇体岩石组构分布模式可知(图2),垂向上控制油气封堵的岩相组合主要为 I-2型砾岩和 II-1型含砾砂

岩、Ⅰ-2型砾岩和Ⅱ-2型砂岩,侧向上控制油气封 堵的岩相组合主要为 Ⅰ-2型砾岩和 Ⅱ-1型含砾砂 岩,真正决定封闭能力的是突破压力差最小的 I-2 型砾岩和Ⅱ-1型含砾砂岩。根据木桶原理,选取突 破压力差最小的 I-2型砾岩和 II-1型含砾砂岩岩 相组合进行成岩圈闭有效性评价。结果表明,埋深 为2800 m处 I-2型砾岩和 Ⅱ-1型含砾砂岩之间的 突破压力差约为0.15~0.2 MPa, 取原油密度为0.8 g/cm³, 封堵油柱高度约为80~120 m; 埋深为3200 m处 I-2型砾岩和 II-1型含砾砂岩之间的突破压 力差约为0.3~0.4 MPa, 封堵油柱高度约为180~ 200 m; 埋深为 3 600 m处 I -2型砾岩和 II -1型含砾 砂岩之间的突破压力差约为0.45~0.55 MPa, 封堵 油柱高度约为230~250 m;因此,储盖转换面之间 的突破压力差均随着埋深的增加而增大,成岩圈闭 的封闭能力逐步增强。在定量计算成岩圈闭封堵 油柱高度的基础上,根据砂砾岩扇体油藏顶面倾 角,可以计算油藏的平面宽度。以盐22块沙四段下 亚段5砂组为例,计算含油高度为213 m,实测含油 高度为197 m,相对误差为7.68%;计算油藏平面宽 度为2144 m,实测油藏平面宽度为2010 m,相对误 差为6.67%;因此评价结果与勘探实践结果相吻合, 证明该评价方法是合理、可行的。

## 5 结论

东营凹陷北部陡坡带深层砂砾岩扇体发育扇 根封堵的成岩圈闭岩性油藏。扇根具有覆模态的 结构特征,泥质杂基含量高,压实与杂基重结晶等 成岩作用强烈,使扇根可以作为有效封堵层。扇根 位于扇中有效储层的上倾方向,与扇中呈指状接 触,纵向上叠置且致密均一的扇根可以作为侧向封 堵层和局部盖层;砂砾岩扇体内部为正常压力系 统, 经源岩与砂砾岩扇体之间存在明显的压力快速 变化带,因此,油气在砂砾岩扇体内部主要以浮力 驱动,油气的聚集亦仅需平衡浮力,成岩圈闭的主 要封闭机制是物性封闭。扇根与扇中之间的突破 压力差决定了封堵油气的高度,通常利用压汞实验 求得的突破压力是汞驱气的突破压力,实际油气成 藏是油驱水的过程,与压汞实验测定的汞驱气突破 压力存在较大差异,利用全直径取心油驱水实验数 据对压汞实验获得的汞驱气突破压力进行校正,并 建立利用核磁共振测井和常规物性资料求取的油 驱水突破半径的计算方法,进而得到油藏条件下的 油驱水突破压力差。利用上述评价方法对东营凹 陷北部陡坡带砂砾岩扇体成岩圈闭的含油性进行预测,取得了较好的应用效果,于坨128-10块上报探明石油地质储量为1789.22×10<sup>4</sup>t。研究结果表明,建立的成岩圈闭有效性评价方法适用于对正常压力系统砂砾岩扇体成岩圈闭进行有效性评价,对东营凹陷北部陡坡带以及埕南断裂带的砂砾岩扇体勘探具有重要的指导意义;但对于发育异常压力系统的砂砾岩扇体成岩圈闭,还须考虑异常压力系统对圈闭封闭能力的影响。

#### 参考文献:

- [1] Berg R R.Capillary pressures in stratigraphic traps[J].AAPG Bulletin, 1975, 59(6); 939–956.
- [2] Schowalter T T.Mechanics of secondary hydrocarbon migration and entrapment[J].AAPG Bulletin, 1979, 63(5):723-760.
- [3] 袁玉松,范明,刘伟新,等.盖层封闭性研究中的几个问题[J]. 石油实验地质,2011,33(4):336-340,347. Yuan Yusong, Fan Ming, Liu Weixin, et al. Several discussions of sealing capacity studies of caprock [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(4):336-340,347.
- [4] 何光玉,张卫华.盖层研究现状及发展趋势[J].世界地质, 1997,16(2):28-33. He Guangyu, Zhang Weihua.Review on study and tendency of caprocks[J].World Geology,1997,16(2):28-33.
- [5] 林春明,王彦周,黄志诚,等.中国东南沿海平原晚第四纪超浅层生物气藏盖层研究[J].高校地质学报,1999,5(1):92-99. Lin Chunming, Wang Yanzhou, Huang Zhicheng, et al.Study on cap beds of shallow biogenic gas pools in Late Quaternary deposits of Southeast China coastal plain[J].Geological Journal of China Universities,1999,5(1):92-99.
- [6] 周雁,金之钧,朱东亚,等.油气盖层研究现状与认识进展[J]. 石油实验地质,2012,34(3):234-244. Zhou Yan, Jin Zhijun, Zhu Dongya, et al.Current status and progress in research of hydrocarbon cap rocks [J].Petroleum Geology & Experiment, 2012,34(3):234-244.
- [7] 董忠良,张金功,王永诗,等.油气藏封盖机制研究现状[J].兰州大学学报:自然科学版,2008,44(专辑):49-53.

  Dong Zhongliang, Zhang Jingong, Wang Yongshi, et al.Review on study of seal mechanism[J].Journal of Lanzhou University: Natural Sciences, 2008,44(Supplement):49-53.
- [8] 曲长伟,张霞,林春明,等.杭州湾地区晚第四纪浅层生物气藏盖层物性封闭特征[J].地球科学进展,2013,28(2):209-220. Qu Changwei, Zhang Xia, Lin Chunming, et al. Characteristics of capillary sealing mechanism of Late Quaternary shallow biogenic gas in the Hangzhou Bay area [J]. Advances in Earth Science, 2013,28(2):209-220.
- [9] 宋国奇,刘鑫金,刘惠民.东营凹陷北部陡坡带砂砾岩体成岩圈 闭成因及主控因素[J].油气地质与采收率,2012,19(6):37-41

Song Guoqi, Liu Xinjin, Liu Huimin.Study on genetic mechanism and controlling factors of conglomerate diagenesis trap in north-

- ern Dongying sag[J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012,19(6):37-41.
- [10] 刘鑫金,宋国奇,刘惠民,等.东营凹陷北部陡坡带砂砾岩油藏 类型及序列模式[J].油气地质与采收率,2012,19(5):20-23. Liu Xinjin, Song Guoqi, Liu Huimin, et al. Study of conglomerate reservoir types and distribution in north slope zone, Dongying depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2012,19 (5):20-23.
- [11] 王欢,王琪,张功成,等.琼东南盆地梅山组泥岩盖层封闭性综合评价[J].地球科学与环境学报,2011,33(2):152-157.
  Wang Huan, Wang Qi, Zhang Gongcheng, et al.Comprehensive evaluation on the sealing ability of mudstone caprock in Meishan Formation of Qiongdongnan Basin[J].Journal of Earth Sciences and Environment, 2011,33(2):152-157.
- [12] 石鸿翠,江晨曦,孙美静,等.鄂尔多斯盆地南部上古生界泥岩盖层封闭性能评价[J].油气地质与采收率,2015,22(2):9-16. Shi Hongcui, Jiang Chenxi, Sun Meijing, et al. Sealing capability assessment of mudstone caprock in the Upper Paleozoic, south Ordos basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(2):9-16.
- [13] 刘军锷,尚墨翰,董宁芳,等.陈家庄凸起北坡稠油地层油藏扇体侧向封堵性分析[J].油气地质与采收率,2014,21(4):19-22.
  - Liu Jun'e, Shang Mohan, Dong Ningfang, et al. Analysis on lateral blockage of the fans in heavy oil stratigraphic reservoirs at north slope of Chenjiazhuang uplift [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(4):19–22.
- [14] 马中远,黄苇,张黎,等.塔中北坡柯坪塔格组泥岩盖层特征及控油作用[J].特种油气藏,2014,21(1):64-67.
  - Ma Zhongyuan, Huang Wei, Zhang Li, et al.Features of the Kepingtage Formation mudstone cap rock and its oil controlling in Tazhong north slope[J].Special Oil & Gas Reservoirs, 2014, 21 (1):64-67.
- [15] 刘士林,郑和荣,林舸,等.渤海湾盆地东营凹陷异常压力分布 和演化特征及与油气成藏关系[J].石油实验地质,2010,32 (3):233-237,241.
  - Liu Shilin, Zheng Herong, Lin Ge, et al.Distribution and evolution characteristics of abnormal pressure and its relationship with hydrocarbon accumulation in the Dongying Sag of Bohai Bay Basin [J].Petroleum Geology & Experiment, 2010, 32(3):233-237, 241.
- [16] 李星,黄文娟,孙旭东,等.东营凹陷地层异常压力的成因机制与动态模拟[J].地质科技情报,2012,31(6):28-33.
  - Li Xing, Huang Wenjuan, Sun Xudong, et al.Formation mechanism and dynamic simulation of abnormal formation pressure of Dongying Depression [J].Geological Science and Technology In-

- formation, 2012, 31(6): 28-33.
- [17] 张守春,张林晔,查明,等.东营凹陷压力系统发育对油气成藏的控制[J].石油勘探与开发,2010,37(3):289-295.

  Zhang Shouchun, Zhang Linye, Zha Ming, et al.Control of pressure system development on reservoir formation in the Dongying Sag, Shengli Oilfield, East China [J].Petroleum Exploration and Development,2010,37(3):289-295.
- [18] 朱伟, 米茂生, 曹子剑. 基于模糊数学的湘中凹陷圈闭评价[J]. 特种油气藏, 2014, 21(6):1-5.
  - Zhu Wei, Mi Maosheng, Cao Zijian.Trap evaluation for the Central Hunan Depression based on fuzzy mathematics [J].Special Oil & Gas Reservoirs, 2014, 21(6):1-5.
- [19] 付广,陈章明,万龙贵.塔中地区石炭系泥岩盖层封闭性能研究 [J].新疆石油地质,1996,17(4):380-384. Fu Guang, Chen Zhangming, Wan Longgui.Study on sealing capacity of shale caprock of Carboniferous in central Tarim basin [J].Xinjiang Petroleum Geology,1996,17(4):380-384.
- [20] 谈玉明,任来义,张洪安,等.深层气泥岩盖层封闭能力的综合评价——以东濮凹陷杜桥白地区沙河街组三段泥岩盖层为例 [J].石油与天然气地质,2003,24(2):191-195.
  - Tan Yuming, Ren Laiyi, Zhang Hong' an, et al.Comprehensive evaluation of sealing capacity of claystone in deep gas reservoir—an example of Es<sub>3</sub> claystone caprock in Duqiaobai area in Dongpu depression[J].Oil & Gas Geology, 2003, 24(2):191–195.
- [21] 赵新民,李国平,石强,等.泥岩盖层纵向封闭性及砂岩储层侧向封堵性测井分析[J].油气井测试,2003,12(4):17-19.

  Zhao Xinmin, Li Guoping, Shi Qiang, et al. The logging analysis of the portrait seal of caprock for mudstone and the crossrange blockage for sandstone reservoir[J].Well Testing,2003,12(4):17-19.
- [22] 高永进, 王永诗, 于永利, 等. 东营凹陷南坡成藏期油气运移动力与阻力耦合关系: 以金8一滨188 剖面为例[J]. 现代地质, 2010, 24(6): 1148-1156.
  - Gao Yongjin, Wang Yongshi, Yu Yongli, et al. Coupling of driving force and resistance for the migration of oil and gas at the periods of hydrocarbon accumulation in southern slope of Dongying sag: taking the Jin 8-Bin 188 section as an example [J]. Geoscience, 2010, 24(6):1148-1156.
- [23] 张程恩,潘保芝,刘倩茹.储层品质因子RQI结合聚类算法进行储层分类评价研究[J].国外测井技术,2012,(4):11-13.
  - Zhang Chengen, Pan Baozhi, Liu Qianru.Reservoir classification evaluation research with combination of reservoir quality factor RQI and clustering algorithm [J].World Well Logging Technology, 2012, (4):11-13.

编辑 邹潋滟