

高邮凹陷陡坡带扇控型圈闭成藏主控因素与识别方法

马捷, 廖文婷, 夏连军, 高德群

(中国石化江苏油田分公司物探研究院, 江苏 南京 210046)

摘要: 邵伯、肖刘庄地区主要发育近岸水下扇沉积体系, 黄珏、真武、曹庄地区发育扇三角洲沉积体系, 邵伯、樊川深凹部位发育湖底扇。近岸水下扇控型圈闭成藏主要受沉积相带和储层物性控制, 内扇、中扇、外扇均可成藏。扇三角洲沉积为陡坡带最主要的沉积体系, 紧邻烃源岩, 通过大断层和不整合面沟通油源, 成藏条件优越。湖底扇圈闭在深凹带较为发育, 其成藏主要受输导体系和储层物性控制, 分析认为小断层、微裂缝是油气输导的主要通道。针对扇控型圈闭预测的两大难点——储层埋深跨度大、物性预测难, 建立了“从扇体形态描述到定量预测再到物性预测”的扇控圈闭地震识别技术模式, 识别出多个圈闭, 实施钻探了多口探井, 取得了良好的勘探效益。

关键词: 扇控型圈闭; 油气输导; 沉积体系; 成藏条件; 主控因素; 高邮凹陷陡坡带

中图分类号: TE122 **文献标志码:** A

Main controlling factors and recognition methods of the fan-controlled traps in steep slope zone of Gaoyou Sag

MA Jie, LIAO Wenting, XIA Lianjun, GAO Dequn

(Geophysical Research Institute of Jiangsu Oilfield Company, SINOPEC, Nanjing 210046, China)

Abstract: The nearshore subaqueous fan deposition systems are mainly developed in the Shaobo and Xiaoliuzhuang area, the Huangjue, Zhenwu, and Caozhuang areas have fan delta sedimentary systems, and the Shaobo and Fanchuan deep depressions have lacustrine fans. The formation of underwater fan-controlled traps in the nearshore is mainly controlled by sedimentary facies and reservoir physical properties, and the inner, middle, and outer fans can form reservoirs. Fan delta in steep slope is the main depositional system, which is close to the source rocks, communicates with the oil source through large faults and unconformities, and has the superior conditions for forming reservoirs. The lacustrine fan traps are more developed in deep depressions, their accumulations are mainly controlled by the transmission system and reservoir physical properties. The analysis results show that small faults and microfractures are the main channels for oil and gas transmission. Aiming at the two major difficulties in the prediction of fan-controlled traps, such as large depth of the lay and hard to predict physical properties, it was established a technical model of seismic identification for fan-controlled traps from the description of fan body shape to quantitative prediction to physical property prediction, which identified a number of traps, drilled some exploratory wells, and has obtained good exploration effects.

Key words: Gaoyou Sag; steep slope; the fan-controlled trap; exploration practice

近年来,高邮凹陷戴南组隐蔽油气藏勘探工作不断深入,累计探明地质储量已近3 000万吨,已发现的隐蔽油气藏主要毗邻南北控凹断层,类型以断层-岩性复合型为主^[1],而扇控型隐蔽圈闭勘探程度相对较低,因而具有较大的勘探潜力和研究意义,但因其发育的陡坡带和深凹带埋深跨度大、成藏条件复杂,制约了扇控型隐蔽油藏的勘探进展。通过对陡坡带扇控型圈闭成藏主控因素进行详细分析,并开展该类型圈闭识别技术研究,取得了不错的勘

探效果,也为下步隐蔽油藏勘探提供了有力依据。

1 区域地质概况

高邮凹陷是苏北盆地南部东台坳陷的次级凹陷,南邻通扬隆起,北接柘垛低凸起,东靠吴堡低凸

收稿日期:2019-12-26;修回日期:2020-05-14。

第一作者简介:马捷(1987—),硕士,助理研究员,主要从事油气勘探综合评价工作。E-mail:majie.jsyt@sinopec.com。

起与溱潼凹陷相连,西接菱塘桥低凸起与金湖凹陷相隔,东西长约100 km,南北宽约25~35 km,面积约2 670 km²。高邮凹陷受控于南部及东部的边界大断层,总体呈南断北超、南陡北缓、南深北浅的不对称箕状结构,按构造单元由南向北依次划分为南部断阶带、深凹带和北部斜坡带^[2-3]。

2 沉积体系

通过对陡坡带戴南组各类沉积相标志的系统研究,认为研究区邵伯、肖刘庄地区戴南组(E₂d)沉积时期发育近岸水下扇,而真武、曹庄地区为扇三角洲沉积,在近岸水下扇外扇,以及扇三角洲前缘具有坡折的地区,发育湖底扇(图1)。

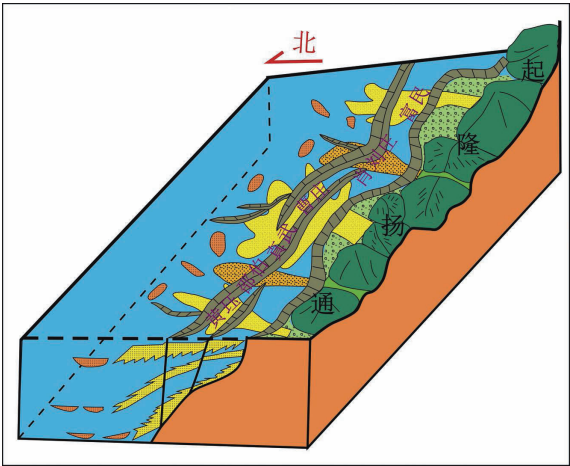


图1 高邮凹陷南部陡坡带戴南组沉积相模式

邵伯和肖刘庄地区戴南组发育单断阶的构造模式,山区河流携带的粗碎屑物质直接入湖,沉积体系完全没于水下,形成近岸水下扇。近岸水下扇沉积物中含大量砾石,岩性主要为灰色、深灰色、棕色泥岩夹杂色砂砾岩、灰色砾状砂岩、不等粒砂岩、细砂岩、灰质粉砂岩等,垂向上呈现向上变细的正旋回叠加特征。近岸水下扇在平面上呈扇形,在纵剖面上呈楔状,沉积规模较小(图2)。肖刘庄地区沉积特征与邵伯地区类似,但砾岩分布范围较小。

曹庄、真武地区为多级断阶的构造模式,在深凹带与断阶带之间有相对开阔的台地存在,河流携带的沉积物先在台地上进行堆积,形成扇三角洲平原沉积。在断层下降盘,发育扇三角洲前缘和前扇三角洲,由于坡度陡,水流能量大、惯性大,沉积规模较大。曹庄地区戴南组一段二三亚段(E₂d₁²⁺³)整体以由南向北延伸的扇三角洲沉积为主,扇三角洲前缘水下分流河道砂体发育,横向变化快,近南北向延伸的砂体迅速向北及东西两侧减薄尖灭。

湖底扇的形成需要足够的水深、足够的坡度角、充足的物源和一定的触发机制^[3]。从成因上分析,湖底扇和近岸水下扇及扇三角洲等在沉积机制方面有共同之处,而湖底扇在物源上也很可能来自于上述两种相类型,如湖底扇可形成于近岸水下扇、扇三角洲等的事件性再搬运,决定了湖底扇在沉积物堆积的位置及体积上存在明显的不同。从位置上分析,湖底扇发育于较深水-深水环境的地势较平缓处,而扇三角洲及近岸水下扇则趋于发育在湖盆边缘斜坡上,此外湖底扇的地震反射结构以平行-亚平行为主,而后两者则以帚状为特征。在邵伯地区近岸水下扇外扇,以及曹庄地区扇三角洲前端的深凹区可以形成多种成因的湖底扇沉积砂体。

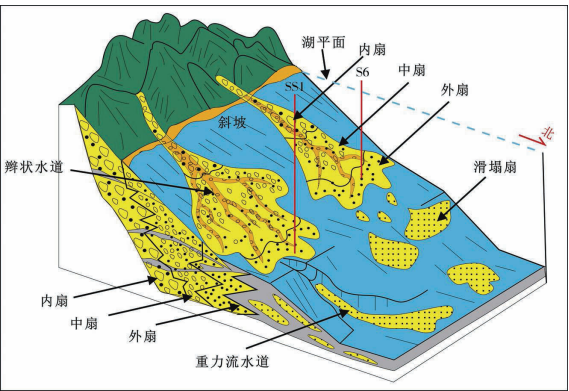


图2 高邮凹陷邵伯地区戴南组沉积相模式

3 成藏主控因素分析

陡坡带是箕状凹陷油气勘探的重要区域,构造与岩性油气藏均十分发育^[4-7]。虽然高邮凹陷南部断阶带已经取得了丰硕的勘探成果与认识,但扇控型圈闭沉积相带变化迅速、构造复杂、成藏控制因素复杂,导致勘探难度仍然较大。因此,分类型对各种扇控型圈闭成藏条件进行了研究。

3.1 近岸水下扇控型圈闭成藏主控因素

高邮凹陷陡坡带近岸水下扇内扇、中扇以及外扇均已发现油气藏。其中构造-岩性油气藏最为常见;近岸水下扇内扇成分混杂,埋深较大、物性差,由于差异压实作用,可形成中扇砂体储油、内扇封堵的岩性油气藏。

综合分析后建立了近岸水下扇控圈闭成藏模式(图3),阜四段(E₁f₄)烃源岩生成的油气通过油源断层以及不整合面运移到戴南组(E₂d)近岸水下扇砂体圈闭中成藏。内扇亚相中的细砂岩以及含砾不等粒砂岩具有较好的物性,可形成构造-岩性油气藏;中扇砂体物性好,可形成一定规模的油气藏;而

外扇由于埋深大,成岩作用强烈,储层物性变差,形成的油气藏一般需要改造才能获得工业油流。

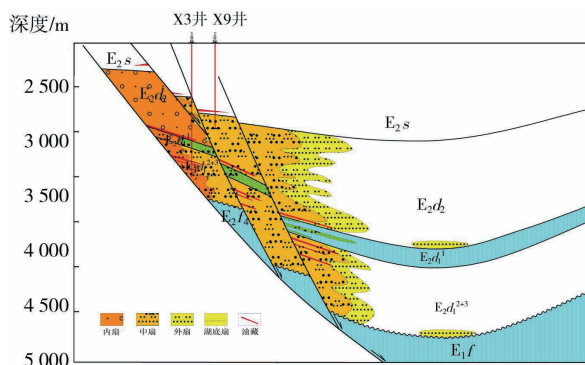
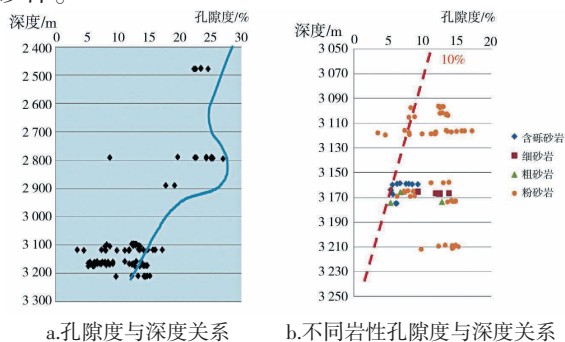


图3 肖刘庄地区近岸水下扇扇控圈闭成藏模式

邵伯、肖刘庄地区扇控型圈闭成藏的主控因素主要有两个方面,一是沉积相带控制砂体规模及圈闭形态,二是储层物性对油气成藏具有明显控制作用。该区具有“相带控砂,砂体控藏”的特征,目前已发现的油藏主要位于近岸水下扇主水道方向之上,沉积微相对油气成藏的控制作用非常明显。

由于近岸水下扇砂体具有分布范围窄、延伸远、埋深大等特点,因此储层物性是成藏的关键。以肖刘庄地区为例,通过对岩心样品实测物性数据分析发现:该区在2 900 m附近存在明显的次生孔隙带(图4a),3 000 m之下地层孔隙度普遍小于15%。进一步分析3 000 m之下样品后发现储层物性与岩性密切相关,孔隙度具有粉砂岩>细砂岩>粗砂岩>含砾砂岩的关系;同时胶结作用对储层的破坏在该区也比较明显,图4b中红色虚线表示碳酸盐含量为10%线,通过对实测物性数据进行分析发现,当碳酸盐含量大于10%时,孔隙度明显降低(红色虚线左侧),当碳酸盐含量小于10%时(红色虚线右侧),对储层物性没有影响。因此肖刘庄地区储层物性的控制因素主要有埋深、溶解作用、胶结作用、岩性、沉积微相,其中储层物性的主控因素为岩性和沉积微相,扇中辫状水道沉积的粉砂岩为该区最有利的储集砂体。



a.孔隙度与深度关系 b.不同岩性孔隙度与深度关系
图4 肖刘庄地区样品实测孔隙度与深度交汇

3.2 扇三角洲控型圈闭成藏主控因素

曹庄地区成藏条件优越,在扇三角前缘发育构造-岩性、砂岩尖灭等多种类型隐蔽油气藏,已发现的油藏均位于水下分流河道主河道方向上,分析认为断层是沟通油源的主要途径;砂体发育程度影响油藏类型,而曹庄地区扇三角洲控制隐蔽圈闭成藏的主控因素为沉积相带。

3.3 湖底扇型圈闭成藏主控因素

在综合分析的基础上建立了高邮凹陷湖底扇成藏模式如图5,对于紧邻烃源岩层的湖底扇(主要层系为 $E_2d_1^3$ 下和 $E_2d_1^2$ 上以及 $E_2d_2^5$),阜四段泥岩以及五高段泥岩 $E_2d_1^1$ 生成的油气可以直接运移进入湖底扇保存下来,从而形成湖底扇油气藏,对于上述层系以外远离烃源岩的湖底扇圈闭,油气输导主要通过垂直或近似垂直的微断层、微裂隙等通道来完成,较难形成具一定规模的大型湖底扇油气藏。

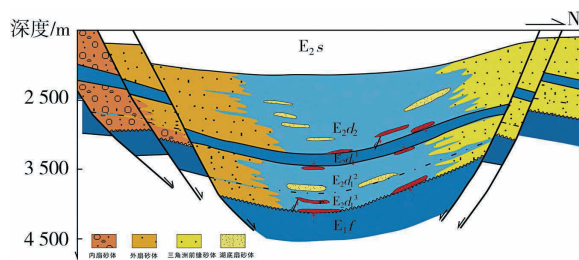


图5 高邮凹陷湖底扇成藏模式

4 扇控型圈闭识别及应用效果

根据扇控型隐蔽圈闭的主要特征,建立了从扇体形态描述到定量预测再到物性预测的扇控型隐蔽圈闭识别思路;并结合不同区块实际地质、地震资料条件,建立了针对不同类型扇体的隐蔽圈闭识别方法和手段。

4.1 近岸水下扇控型圈闭识别

近岸水下扇控型隐蔽圈闭识别的关键是有效砂体的预测,本次研究建立了以有效砂体解释技术为核心、单地震属性分析、多属性综合研究的识别方法来准确识别圈闭。

近岸水下扇发育的邵伯、肖刘庄地区砾岩发育,利用砂砾岩波阻抗大于 $9.2 \times 10^6 \text{ Kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 而围岩波阻抗小于 $9.2 \times 10^6 \text{ Kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 这一砂砾岩高阻抗的特征,采用多地震属性分析的方法,准确刻画近岸水下扇内扇砾岩分布范围,在此基础上开展有效砂体的预测。详细分析研究区储层物性,建立纵波阻抗与孔隙度量版(图6),最终实现厚度约为10 m的有效储集砂体的精细刻画。

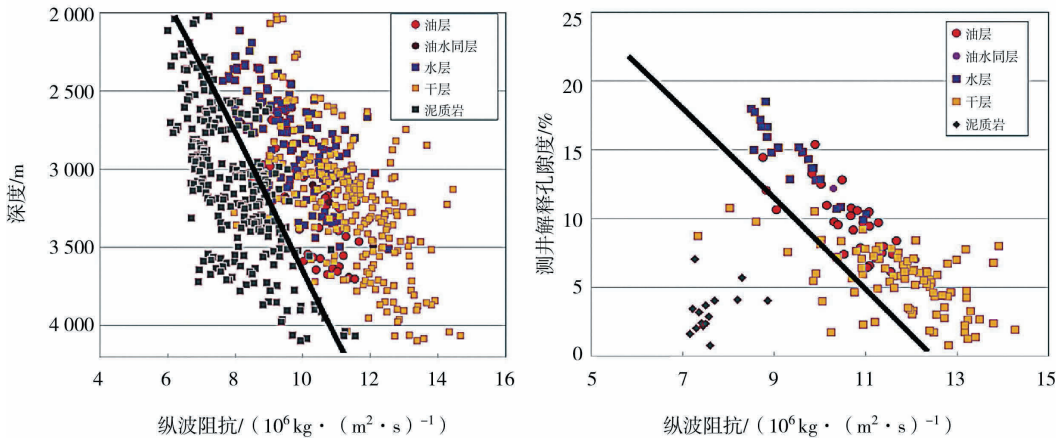


图6 纵波阻抗与孔隙度解释量版

4.2 扇三角洲控型圈闭识别

扇三角洲控型隐蔽圈闭的识别关键是寻找主河道,本次研究主要以地质模式为指导结合有效砂体预测的方法来实现主河道的准确预测。

曹庄地区钻井资料极其丰富,本次研究充分利用钻井资料,细分小层研究沉积微相,明确曹庄地区扇三角洲前缘水下分流河道展布规律,较好地把握扇体特征,细分砂层组研究物性与波阻抗的关系,最终建立了不同亚段纵波阻抗与孔隙度关系量版,从而开展精细反演,准确刻画隐蔽圈闭。

4.3 湖底扇圈闭识别

研究区湖底扇的识别,主要采取从成因机制入手,纵向上细分研究单元,在成藏较为有利的 $E_2d_1^{3下}$ 、 $E_2d_1^{2上}$ 以及 $E_2d_2^5$ 等目的层段开展湖底扇识别。在地震剖面上,湖底扇外部形态主要呈楔状、丘状;内部反射结构为平行-亚平行、中强振幅、中低频、中连续的反射。

4.4 扇控型圈闭勘探实践

基于不同类型扇体控制的隐蔽圈闭成藏主控因素分析以及有效砂体解释技术的应用,在近岸水下扇发育的肖刘庄地区成功钻探了XX14井、XX15井,两口井均获得了成功,表明建立的圈闭识别方法是有效的;在扇三角洲发育的曹庄地区成功钻探了CX65井,表明该区戴南组扇控型隐蔽油藏具有巨大的勘探潜力。

5 结论

(1)近岸水下扇控型圈闭成藏主要受沉积相带和储层物性控制,内扇、中扇、外扇均可成藏,扇三角洲沉积为陡坡带最主要的沉积体系,紧邻烃源

岩,通过大断层和不整合面沟通油源,成藏条件优越,主要以断层-岩性油气藏为主;湖底扇圈闭在高邮凹陷普遍发育,其成藏主控因素主要为输导体系和储层物性,分析认为小断层、微裂缝等是油气输导的主要通道。

(2)针对扇控型圈闭预测的两个关键问题,即埋深跨度大、物性变化快,建立了有效砂体解释技术,将地质统计、岩石物理、时间变量、按层序分段等思路或理念融入储层预测中,实现可跨构造带、巨厚层段的薄砂层物性定量预测。

参考文献:

[1] 邱旭明,钱诗友,于雯泉,等.苏北盆地“十二五”油气勘探主要成果、新认识和技术进展 [J]. 中国石油勘探, 2016,21(3):62-73.

[2] 邱旭明.苏北盆地高邮凹陷油气输导特征及油气分布 [J].石油与天然气地质,2008,29(4):437-443.

[3] 李亚辉,徐健.高邮凹陷构造转换带控油机制研究与实践[J].石油天然气学报,2006,28(5):21-23.

[4] 姜在兴.沉积岩石学[M].北京:石油工业出版社,2003: 357-374.

[5] 杨波,徐长贵,牛成民.墙角型陡坡带岩性圈闭油气成藏条件研究——以渤海湾盆地石南陡坡带中段BZ3区古近系东营组为例[J].古地理学报,2011,13(4):432-442.

[6] 苏明军,周立宏,王西文,等.斜坡区岩性地层圈闭识别技术与应用——以歧口凹陷滨海地区东部为例 [J].吉林大学学报(地球科学版),2011,41(3):673-679.

[7] 武恒志,孟闲龙,杨江峰.准噶尔盆地腹部车-莫古隆起区隐蔽油气藏形成条件与勘探技术[J].石油与天然气地质,2006,27(6):779-785.

(编辑 杨芝文)