

doi: 10.11720/wtyht.2018.1.18

齐宇,彭俊,刘鹏,等.地震微相分析技术——以某深水油田海底扇朵叶体为例[J].物探与化探,2018,42(1):154-160.http://doi.org/10.11720/wtyht.2018.1.18

Qi Y, Peng J, Liu P, et al. Seismic microfacies analysis technique: a case study of lobes of submarine fan in a deep water oilfield[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2018, 42(1): 154-160. http://doi.org/10.11720/wtyht.2018.1.18

地震微相分析技术 ——以某深水油田海底扇朵叶体为例

齐宇¹, 彭俊², 刘鹏¹, 王存武¹, 郭广山¹, 陈思路¹

(1. 中海油研究总院有限责任公司, 北京 100028; 2. 斯伦贝谢科技服务有限公司, 北京 100015)

摘 要: 在无井或少井的深水区开展沉积微相分析, 通常面临着岩心资料少、无露头、井距过大等困难。为了解决这些问题, 需要利用井震结合的方法, 精细研究地震反射特征, 建立地震微相与沉积微相的关系, 指导沉积微相研究, 预测有利储层分布范围。以西非某深水油田海底扇朵叶体为研究对象, 通过正演模拟方法确定不同沉积微相的地震响应特征, 结合井震标定结果, 建立了海底扇朵叶体三种不同沉积微相的地震微相模式, 提出了井位部署建议。该方法对于少井深水油田朵叶体预测具有一定的指导意义。

关键词: 深水区; 地震微相; 沉积微相; 海底扇朵叶体; 正演模拟

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2018)01-0154-07

0 引言

不同沉积环境所沉积的地层岩性、组合方式等不同, 造成其地震响应特征不同。因此, 通过地震微相分析, 建立地震微相与沉积微相的关系, 可以利用地震资料预测沉积微相的特征^[1-10]。地震微相分析是根据地震反射波形、振幅、相位、结构和构型等特征变化, 结合区域地质背景和钻测井资料, 解释沉积微相类型, 并找到岩性的纵向组合特征和横向分布规律。Vail 等早在 1977 年就提出单个反射同相轴的反射特征分析^[11]。Brown 等认为单个反射同向轴的反射特征可以通过分析波形、振幅和频率等对地震相作更精细的解释^[12]。朱仕军, 黄继祥提出利用地震反射的振幅、频率、波形及连续性特征的组合关系来分析微地震相, 从宏观角度来分析地层岩性的纵向组合和横向分布^[13]。张延章等在大港滩海地区利用地震微相聚类分析、地震沿层相干分析、神经网络地震波形分类、全三维反演等多种地球物理

技术综合, 进行地震微相和沉积微相分析, 预测岩性圈闭, 获得很好的钻探效果^[14]。赵军应用振幅切片属性与波形分类属性分析等方法, 成功恢复了广北油田潜江组古河道形态, 明确了有利储层分布范围, 钻井获得成功^[15]。刘朋波等通过分析一个同相轴的振幅变化, 研究岩性和厚度对振幅的影响, 判断岩层段^[16]。罗红梅等从常规的振幅类、频率类等地震属性分析出发, 统计井点处的灰岩百分含量等沉积参数, 建立实钻井沉积参数与井旁地震属性的拟合关系, 反算多种沉积参数平面特征, 实现对沉积相带的预测^[17]。闵小刚等根据以密度反演为主的拟阻抗结果, 提取振幅和相干信息, 识别废弃河道、点坝及小断层分布^[18]。夏世强等开取一定的时窗提取多种地震属性刻画了大庆萨北开发区北二西区块目的层段河道砂体的展布特征^[19]。宋志慧等根据三维高分辨率地震资料的地震内部反射结果、构型和外部形态信息进行地震相分区, 确定研究区沉积相类型和有利砂体分布范围^[20]。夏竹等采用井震联合手段, 以地质统计学及平面插值算法为数学工具,

收稿日期: 2016-11-18; 修回日期: 2017-05-23

基金项目: 中海石油(中国)有限公司综合科研项目(YXKY-2017-ZY-10)

作者简介: 齐宇(1984-), 男, 工程师, 主要从事沉积储层研究及预测等方面的工作。Email: qiyu@enooc.com.cn

建立了砂地比预测模型,利用砂地比与沉积微相的关系,完成沉积微相研究^[21]。

通过文献调研可以看出,大部分沉积微相分析方法是提取大量的地震属性,与实钻井对比吻合度,建立地震属性与沉积微相的关系,最终确定沉积微相的展布特征,明确有利储层分布范围。但是,地震属性分析需要一定数量的钻井,在勘探程度相对高的地方适用性较好,而在海上特别是深水区由于钻井数较少且井距较大,利用地震属性分析多解性强、风险大。

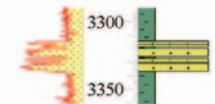
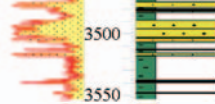
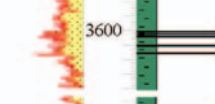
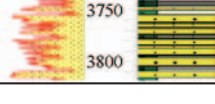
文中以某深水区海底扇朵叶体为研究对象,首先通过正演的方法构建海底扇朵叶体不同沉积微相

的地震响应特征,然后结合实际地震资料来研究海底扇朵叶体沉积微相对应的地震反射波特征,建立了海底扇朵叶体 3 种不同沉积微相的地震微相模式,提出了井位建议,具有一定的指导意义。

1 朵叶体微相正演模拟

海底扇朵叶体是海平面快速下降时期的产物。对海外某深水油田单井沉积微相分析,发现该油田朵叶体亚相可以划分为单一朵叶体、复合朵叶体、朵叶体边缘和朵叶—水道复合体 4 种沉积微相,并分别统计出各沉积微相地质参数及测井响应(表 1)。

表 1 朵叶体各沉积微相地质参数、测井响应表

沉积亚相	沉积微相	沉积厚度	砂体累计厚度	测井响应特征	典型测井响应 (GR)	备注
朵叶体	单一朵叶	15~45 m	10~35 m	箱型或齿化箱型		D 油组
	复合朵叶体	20~80 m	10~60 m	箱型+锯齿型或漏斗型		F 油组
	朵叶体边缘	10~30 m	4~8 m	微齿型		F 油组
	朵叶-水道复合体	40~80 m	30~60 m	钟型+齿化箱型		D 油组

1.1 单一朵叶体正演模拟

朵叶体是浊积水道携带的重力流沉积物由于地形坡度变缓导致能量释放卸载堆积而成。通过统计单井岩石物理参数以及对朵叶体形态的研究,发现单井上单一朵叶体沉积厚度范围从 15~45 m,砂体累计厚度从 10~35 m,地震上所识别的单一朵叶体宽度变化较大,变化范围从 200~1 200 m。朵叶体换算速度为 3 000 m/s,密度 2.3 g/cm³,陆坡泥岩速度 2 600 m/s,密度 2.4 g/cm³。地震上朵叶体形态既有“顶凸底平”型,又有“透镜体”型。

基于单井上朵叶体厚度的识别以及地震上单一朵叶形态、延伸范围的确定,文中设计 3 种不同的单一朵叶体地质模型:①模型 I,朵叶体形态为“顶凸底平”型,砂体最大累计厚度约 20 m,宽度为 1 200 m,由中间向左右两侧逐渐减薄,横向每 100 m 厚度减薄 3.3 m;②模型 II,朵叶体形态为“顶凸底平”型,砂体最大累计厚度约 25 m,宽度为 400 m,由中间向两侧逐渐减薄,横向每 100 m 厚度减薄 6.1 m;③模型 III,朵叶体形态为“透镜体”型,砂体累计厚度约

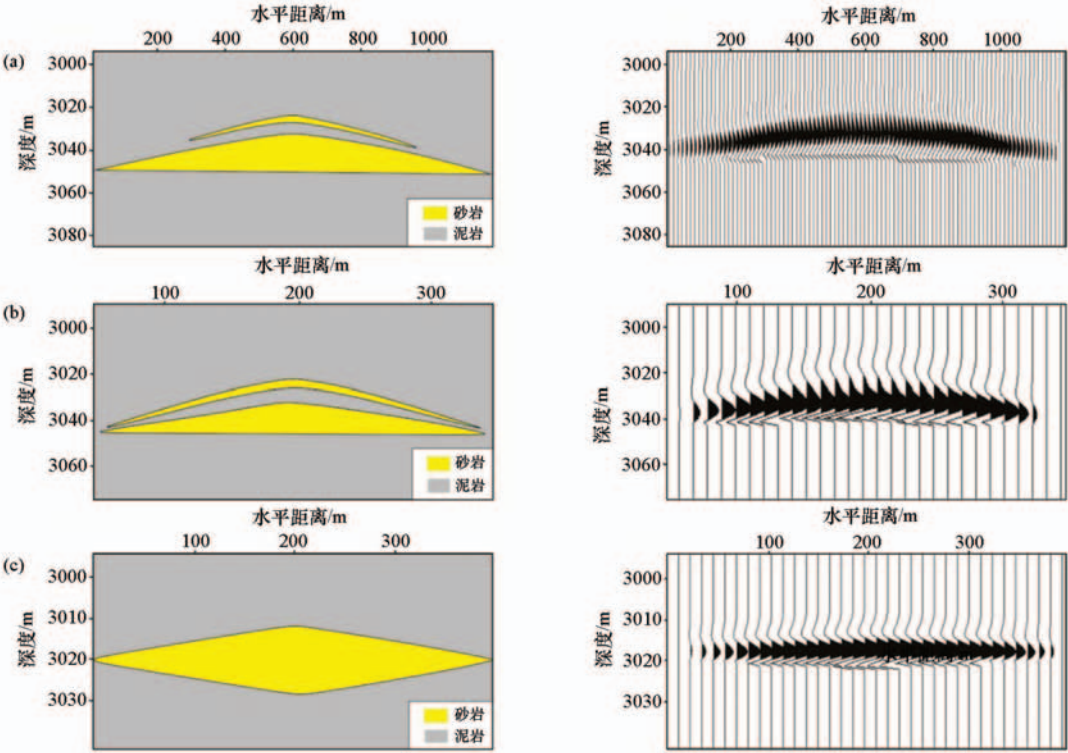
为 20 m,宽度为 400 m,由中间向两侧逐渐减薄,横向每 100 m 厚度减薄 5 m。在对实际地震资料频谱分析的基础上,采用波长为 100 ms,主频为 30 Hz 的 Richer 子波,以 3 ms 的采样率进行地震正演模拟(图 1)。可以看出,3 种模型的地震正演响应均表现为单峰波形强振幅。通过正演分析发现,决定单一朵叶体地震响应特征是朵叶体内部砂体厚度以及砂泥岩阻抗差,朵叶体的宽度和形态并不影响其地震响应特征。

1.2 复合朵叶体正演模拟

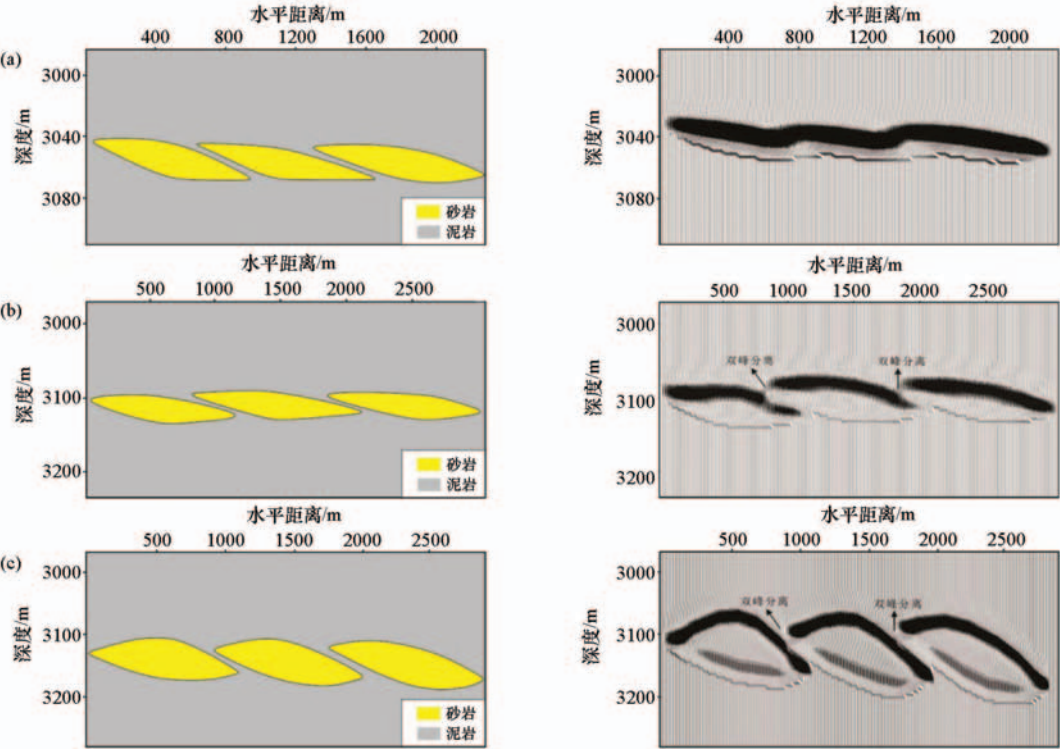
复合朵叶体是由单一朵叶在侧相上彼此叠置而形成,其沉积厚度比单一朵叶更厚,延伸范围更宽。根据某深水区复合朵叶体的地质参数(表 1),设计出 3 种不同类型的复合朵叶体地质模型:①模型 I,复合朵叶体中各单一朵叶砂体最大累计厚度达 20 m,单一朵叶厚度由中间向两侧逐渐减薄,但在叠置处复合朵叶厚度基本不变。单一朵叶宽度为 800 m,叠置区域横向上约 200 m;②模型 II,复合朵叶体中各单一朵叶砂体最大累计厚度 30 m,单一朵叶宽

度为 1 000 m,叠置区域横向上约 250 m;③模型 III, 单一朵叶体砂体累计厚度达 60 m,单一朵叶宽度为 1 000 m,叠置区域横向上约 250 m。通过正演模拟发现:模型 I 朵叶体复合处表现为弯曲单峰波形强

振幅,连续性好;而模型 II 和模型 III 朵叶体复合处表现为双峰分离波形中强振幅地震响应特征,单一朵叶累计砂体厚度越大或者叠置程度越高,双峰分离程度越大(图 2)。



a—模型 I 及其正演响应;b—模型 II 及其正演响应;c—模型 III 及其正演响应
图 1 单一朵叶体地质模型及正演响应



a—模型 I 及其正演响应;b—模型 II 及其正演响应;c—模型 III 及其正演响应
图 2 复合朵叶体地质模型及正演响应

1.3 朵叶体边缘正演模拟

朵叶体边缘是指朵叶主体的两侧边缘部位,沉积厚度薄,砂体累计厚度也薄。根据某深水区朵叶体边缘的地质参数(见表1),设计出朵叶体边缘地质模型:朵叶体边缘沉积厚度10 m,砂体累计厚度5 m左右。通过模型正演发现该模型表现为弱振幅—空白地震响应特征(图3)。

1.4 朵叶—水道复合体正演模拟

朵叶—水道复合体是早期形成的朵叶被晚期的

浊积水道切割而形成的。根据某深水区朵叶—水道复合体的地质参数(见表1),设计如下地质模型:早期复合朵叶体最大沉积厚度60 m,累计砂体厚度40 m,朵叶体宽度1 800 m;晚期水道沉积最大厚度35 m,累计砂体厚度25 m,水道宽度200 m;且水道切割于朵叶体核部。经过模型正演发现朵叶体—水道复合处表现为双峰分离波形中强振幅(图4)。

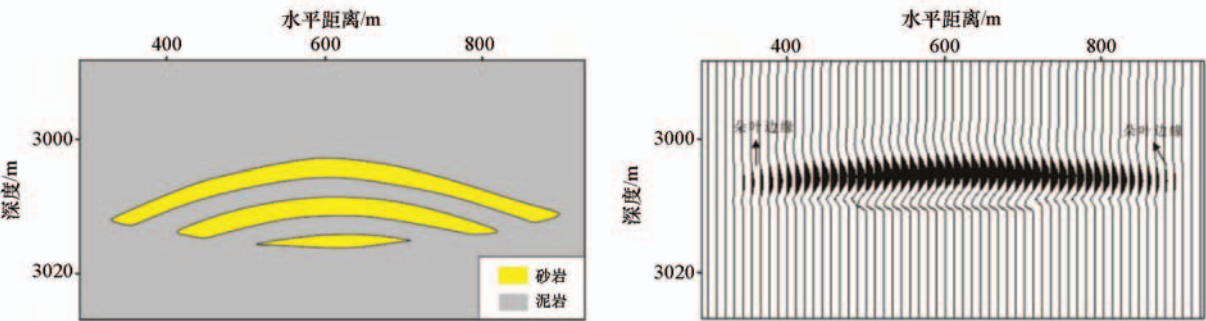


图3 朵叶体边缘地质模型及正演响应

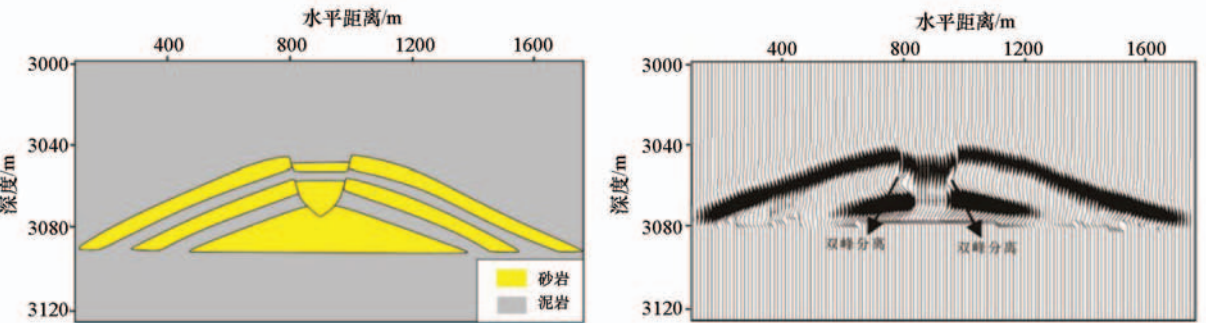


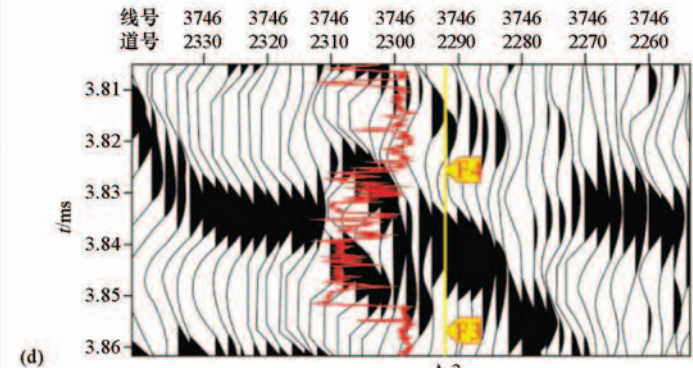
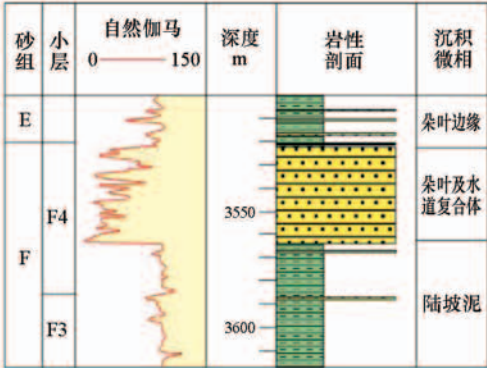
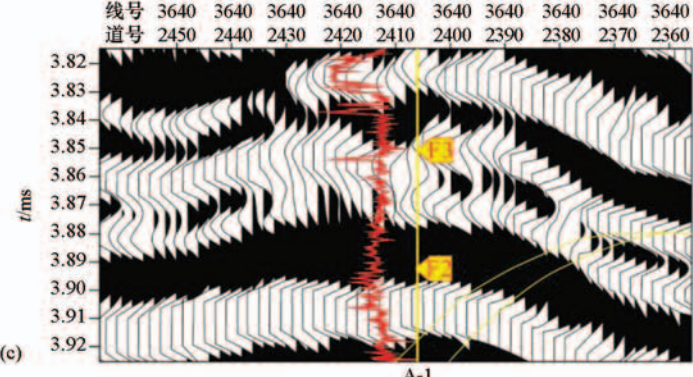
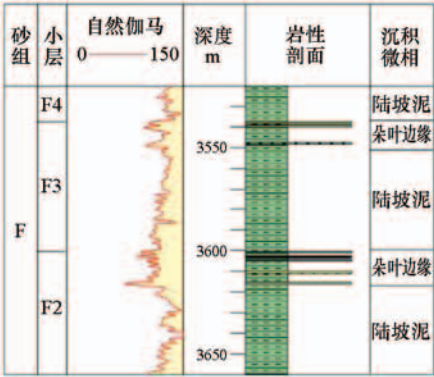
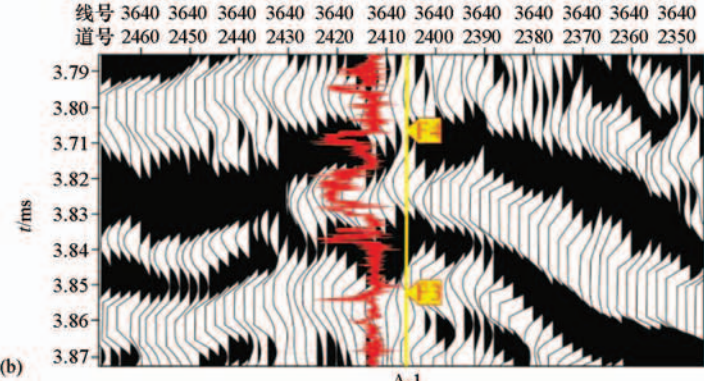
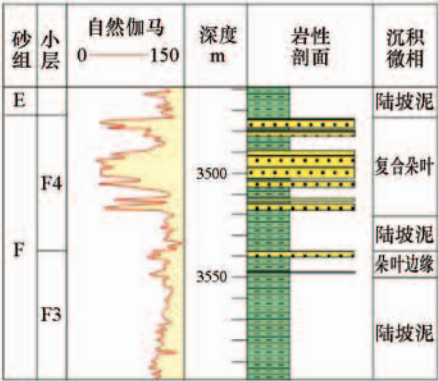
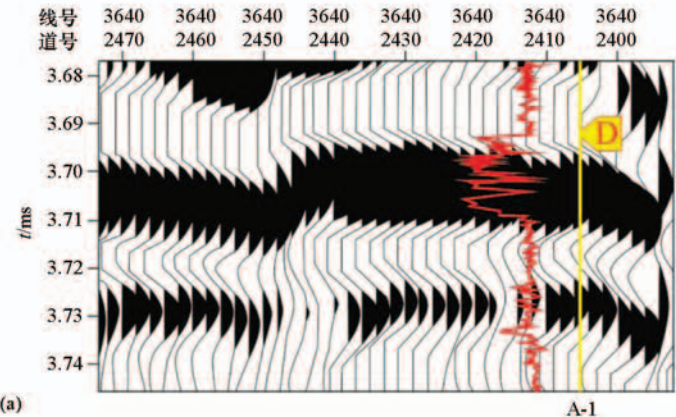
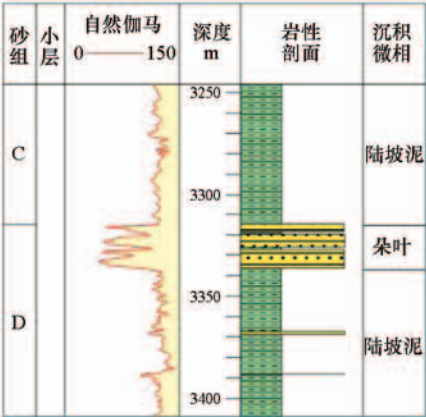
图4 朵叶—水道复合体地质模型及正演响应

2 朵叶体地震微相模式划分

单一朵叶体具有单层砂体较厚、粒度较粗、泥岩夹层较薄的沉积特点,经过标定表现为单峰波形中强振幅的响应特征,连续性好(图5a);复合朵叶体由于叠置作用导致砂体累计厚度变大,经过标定表现为双峰分离波形强振幅地震响应,上下波峰振幅强度相似,连续性好(图5b);朵叶体边缘由于位于朵叶体核部两侧边缘处,单砂体以及累计砂体厚度均较薄,常规剖面不能分辨,其地震响应均淹没于厚层泥岩中,表现为空白响应特征(图5c);朵叶—水道复合体是在晚期浊积水道切割早期沉积的朵叶条件下形成的,朵叶与水道复合体沉积厚度一般较大,累计砂体厚度较厚,经过井震标定,朵叶—水道复合

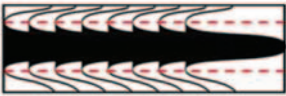
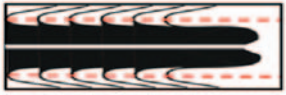
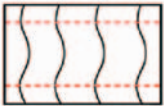
体沉积表现为双峰分离波形中强振幅,波形连续性较好(图5d)。

综上所述,单峰波形中强振幅地震微相是单一朵叶体沉积微相的地震响应,这种沉积微相单砂层厚度较大,粒度较粗,可以定性预测盆底扇朵叶体砂体分布位置;弱振幅—空白地震微相是朵叶体边缘沉积微相的地震响应,该沉积微相由于与厚层陆坡泥岩的地震响应特征相似,需要综合应用其它方法才能进行预测;双峰分离波形中强振幅则与复合朵叶体以及朵叶—水道复合体相对应,多解性强。因此,该深水区盆底扇朵叶体具有3种地震微相模式(表2):①单峰波形中强振幅地震微相模式;②双峰分离波形中强振幅地震微相模式;③弱振幅—空白地震微相模式。其中,单峰波形中强振幅地震微相与单一朵叶体唯一对应,而双峰分离波形中强振幅



a—单一朵叶体;b—复合朵叶体;c—朵叶体边缘;d—朵叶与水道复合体
图 5 某深水区盆地扇朵叶体不同沉积微相的地震响应特征

表 2 盆底扇朵叶体地震微相模式

地震微相	地震微相模式	沉积微相
单峰波形中强振幅		单一朵叶(较厚砂层)
双峰分离波形中强振幅		复合朵叶体、朵叶—水道复合体(多解)
弱振幅—空白		朵叶体边缘(薄单砂层,较厚泥岩)、陆坡泥

与弱振幅—空白地震微相所对应的沉积微相多解性较强。海底扇朵叶体地震微相模式与正演模拟的结果基本一致,进一步说明该模式划分的准确性。

3 地震微相模式在勘探开发中的应用

图 6 为某深水区油田 A-1 井与 A-2 井之间的任意测线,其中 A-1 井与 A-2 井均在 D 油组钻遇单一朵叶体。D 油组内可见双峰分离波形中强振幅地震

微相,同相轴连续性高,反映朵叶体在侧向上的叠置关系。该剖面反映了 3 期单一朵叶体在空间上彼此叠置形成朵叶复合体。因此,风险钻探分析时可考虑朵叶体彼此之间的叠置关系,设计分支井钻探复合朵叶体的叠置部位,或者直接设计新井钻探单一朵叶体的主体部位。在开发过程中必须充分考虑朵叶体叠置处的泥岩隔夹层,进行单一朵叶体内注采配置。

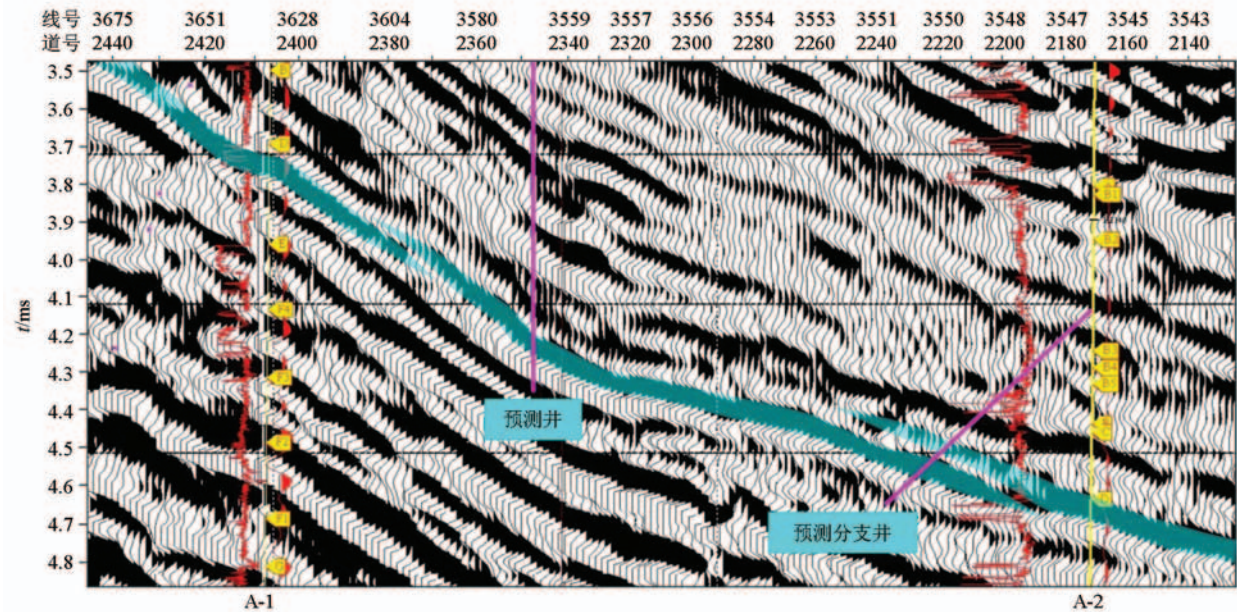


图 6 复合朵叶体预测

4 结论

本文通过正演的方法构建了海底扇朵叶体不同沉积微相的地震响应特征,然后结合井震标定结果,建立了某深水区海底扇朵叶体内部不同沉积微相的地震微相模式,该模式可对盆地扇朵叶体沉积微相预测提供依据,同时还可以有效地指导勘探开发,为

勘探井位设计以及开发调整挖潜提供依据,对深水少井或无井区具有一定的指导意义。

参考文献:

[1] Sangree J B,Widmier J M.Interpretation of depositional facies from seismic data[J].Geophysics,1979,44(2):131-160.
[2] Sheriff R E.Structural interpretation of seismic data[J].AAPG Bulletin,1982,23:73.
[3] 徐怀大.地震地层学在沉积学研究中的意义——从中国东部盆

地下第三系地震地层及沉积学研究中得到的某些新认识[J].地球科学,1986,11(3):259-264.

[4] 徐怀大,王世凤,陈开远.地震地层学解释基础[M].武汉:中国地质大学出版社,1990:33-60.

[5] 李丕龙,庞雄奇.隐蔽油气藏形成机理与勘探实践[M].北京:石油工业出版社,2004:26-38.

[6] 邓传伟.利用波形建立地震相[J].石油地球物理勘探,2004,39(5):539-542.

[7] 乐靖,田楠,蔡文涛,等.地震属性分析在深水浊积水道刻画中的应用[J].物探化探计算技术,2016,38(5):686-691.

[8] 付彦辉,吕福亮,袁圣强,等.琼东南盆地陆坡区深水浊积水道的地震相特征[J].热带海洋学报,2009,28(4):87-92.

[9] 林煜,吴胜和,王星,等.深水浊积水道体系构型模式研究——以西非尼日尔三角洲盆地某深水研究区为例[J].地质论评,2013,59(3):510-520.

[10] 赵卫平.井震联合属性分析技术在深水浊积岩储层预测中的应用[J].工程地球物理学报,2016,13(2):213-220.

[11] Vail P R, Mitchum R M, Thompson S, et al. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 5: chronostratigraphic significance of seismic reflections[J]. AAPG Memoir, 1977, 26: 99-116.

[12] Brown I F, Fisher W L. Seismic stratigraphic interpretation of depositional systems[J]. AAPG memoir, 1977, 26: 213-248.

[13] 朱仕军,黄继祥.微地震相分析在沉积相研究中的应用[J].西南石油学院学报,1995,17(4):14-19.

[14] 张廷章,廖前进,范军侠,等.地震微相分析技术在大港滩海探区的应用[J].石油勘探与开发,2003,30(4):58-60.

[15] 赵军.地震属性技术在沉积相研究中的应用[J].石油物探,2004,43(s1):67-69.

[16] 刘朋波,蒲仁海,刘娟霞.十屋断陷火石岭组—营城组沉积微相研究与储层识别[J].石油地球物理勘探,2009,44(3):347-353.

[17] 罗红梅,朱毅秀,穆星,等.渤海湾渤南洼陷深层湖相滩坝储集层沉积微相预测[J].石油勘探与开发,2011,38(2):182-190.

[18] 闵小刚,陈开远,范廷恩.井震结合进行河流相储层非均质性表征——以渤海湾盆地黄河口凹陷渤中 263 油田为例[J].石油与天然气地质,2011,32(1):375-381.

[19] 夏世强,刘景彦,邓纪梅,等.井间河道砂体的井震结合精细解剖刻画[J].西南石油大学学报:自然科学版,2013,35(4):60-68.

[20] 宋志慧,王居峰,王红军,等.辽河海南洼陷沙一二段地震相精细研究[J].东北石油大学学报,2016,40(4):64-72.

[21] 夏竹,李中超,贾瑞忠,等.井震辽河薄储层沉积微相表征实例研究[J].石油地球物理勘探,2016,51(5):1002-1011.

Seismic microfacies analysis technique: A case study of lobes of submarine fan in a deep water oilfield

QI Yu¹, PENG Jun², LIU Peng¹, WANG Cun-Wu¹, GUO Guang-Shan¹, CHEN Si-Lu¹
(1.CNOOC Research Institute Ltd., Beijing 100028, China; 2.Schlumberger Co., Ltd., Beijing 100015, China)

Abstract: The sedimentary microfacies analysis in the deep water with no or less wells is often confronted with the difficulty of low core data, no outcrop, and excessive well spacing. In order to solve these problems, it is necessary to use well-log and seismic data method and detailed seismic reflection characteristics and establish the relationship between seismic microfacies and sedimentary microfacies so as to guide sedimentary microfacies study and predict favorable reservoir distribution. Based on lobes of submarine fan in a deep water oilfield of West Africa, the authors established a microfacies model of three different sedimentary microfacies of the lobes of submarine fan by using the forward method of the seismic response characteristics of the different sedimentary microfacies. The well location suggestion is put forward, and this method is proved to have guiding significance for prediction of lobes of submarine fan in deep water oilfield with less wells.

Key words: deep water area; seismic microfacies; sedimentary microfacies; lobes of submarine fan; forward modeling

(本文编辑:叶佩)