

文章编号: 1000-0550(2013)04-0699-07

多元微相控深水储层预测方法

韩文明

(中国海洋石油总公司研究总院 北京 100027)

摘要 本文针对深水储层预测中的两个隐蔽而且关键的问题,即电测曲线无法识别深海一半深海泥与深水重力流沉积泥岩,以及深水重力流沉积体内部砂岩和泥岩地球物理响应特征非常接近,常规测井与地震联合预测方法无法描述深水重力流沉积体内部砂岩特征,作者提出了新的深水储层预测方法。该方法利用常规地震属性能够清楚识别和刻画深水重力流沉积体的优点,首先提出深水沉积研究面一线一点的新思路。第一步从地震资料入手,自下而上提取一系列地震属性,确定不同时期深水重力流沉积体的平面分布,建立深水沉积模式;第二步创新多元井震精确时深标定法解决了深海泥和深水重力流沉积泥无法进行电性区分的问题,即将地震剖面上深水重力流沉积体的顶底时间界面通过合成记录标到测井曲线上,进行单井相研究、沉积单元划分和不同沉积微相单元钻井砂地比的精确计算等基础工作;最后优选地震属性,拟合出不同沉积微相单元地震属性和砂地比的最佳关系公式。进而将深水重力流沉积体地震属性平面图按不同的沉积微相单元转化成该沉积体的砂地比平面图,实现对整个深水沉积体系砂体的精确预测。

关键词 深水重力流沉积体 深水沉积单元 地震属性 多元井震精确时深标定 砂地比

第一作者简介 韩文明 女 1970年出生 高级工程师 油气勘探 E-mail: hanwm@cnooc.com.cn

中图分类号 TE122.2 **文献标志码** A

0 引言

深水沉积是目前世界沉积研究的前沿和热点,一方面,由于近年来深水勘探频频发现大型油气田,而深水重力流沉积体作为油气的唯一储集体当然备受关注;另一方面,由于深水沉积机理本身与浅海、湖相和河流相等存在较大差异,难以利用现有沉积理论一一加以诠释。

深水沉积具有其特殊性,它属于重力流沉积范畴,并且呈嵌入式分布于深海和半深海泥之中,重力流沉积体包含砂岩,也包含泥岩,致使重力流沉积泥岩与深海、半深海背景泥岩在电测曲线特别是GR和SP曲线上无法区分。因此,如果深水重力流沉积体顶部和底部是泥岩,那么在测井相上就很难直接识别重力流沉积体的顶底界面,更谈不上利用测井资料进行深水重力流沉积体单井相划分、计算深水沉积体砂地比等基础工作,以及进一步展开深水沉积体与储层的空间预测。另一方面,由于重力流沉积对深海泥的强烈冲刷作用,地震资料上外形轮廓特征明显,同时,由于深海泥沉积成岩作用弱,声波速度 $1\ 700 \sim 2\ 000\ \text{m/s}$,而深水沉积体内部沉积了大量的砂岩,与深海泥沉积背景形成较大波阻抗差,振幅异常特别明

显(图1)。但由于深水沉积体的快速堆积,其内部砂岩和泥岩的岩石地球物理特征和地震响应非常接近,加之测井资料在识别深海一半深海泥与深水重力流沉积泥方面的缺陷,所以利用井和地震资料预测和描述深水砂岩储层非常困难。因此,深水砂岩储层的预测便成为深水沉积研究的真正难点,而且对深水油气

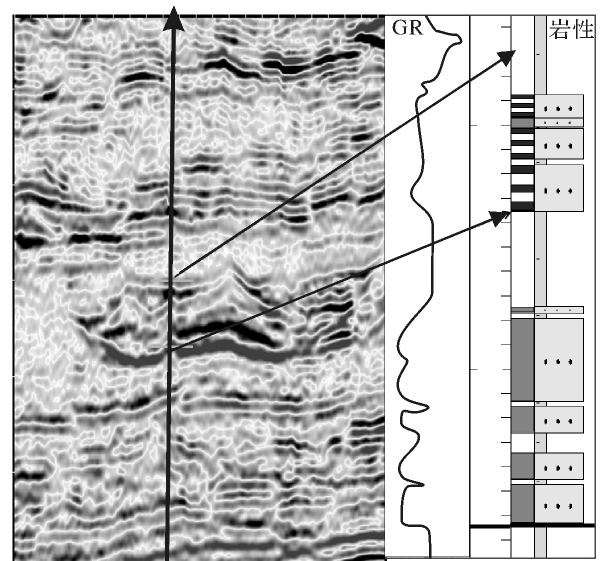


图1 深水沉积体地震与电测特征剖面

Fig. 1 Seismic and electrical profile of deep water sediments

①基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05030-004)资助
收稿日期: 2012-09-25; 收修稿日期: 2012-11-06

田的勘探开发将产生较大影响^[1-2]。对此,笔者提出了一套新的思路与方法,下面以尼日尔三角洲深水为例进行详细阐述。

1 深水研究区区域地质背景

尼日尔三角洲从早白垩世晚期的阿尔比期开始,盆地演化经历了早白垩世—晚白垩世桑顿期裂谷期(可能延伸至晚侏罗世)、晚白垩世康潘期以来的漂移期两个演化阶段。晚白垩世初,非洲陆块和南美陆块完全分离,赤道非洲地区完全进入了被动大陆边缘阶段,形成尼日尔三角洲中生代被动大陆边缘盆地,之后,构造运动相对平缓。相应地形成了裂谷阶段的湖相、海相,漂移阶段的海相和海陆交互相沉积。盆地主体是始新世以来长期海退形成的尼日尔三角洲,它包括阿卡特组、阿格巴达组和贝宁组三个岩性地层单元,阿卡特组为巨厚的前三三角洲海相塑性泥岩,阿格巴达组为三角洲前缘砂泥岩互层,贝宁组则为三角洲平原河流相砂岩地层^[3-5]。

在上述整个构造和沉积演化过程中,构造演化受控于沉积中心位移和海侵^[6],形成的重力构造受到泥岩塑性层、洋壳运动产生的斜坡和上覆沉积物卸载的控制,而沉积又受控于海平面变化,因此海平面变化间接控制重力构造变形。同时,当三角洲向洋壳上推进时,洋壳的不断沉降为新生代的前积三角洲巨厚沉积提供了更大的可容空间(图2)。

2 多元微相控深水储层预测方法

2.1 沉积模式建立

如前所述,在实际工作中发现,利用常规地震能

够比较容易的识别和刻画出深水沉积体(图1)。因此,在展开关键问题研究之前,首先根据地震剖面上沉积体的厚度确定一个时窗,沿各个沉积层提取了地震均方根振幅(图3)。从图3可以看出地震均方根振幅清楚的展示了深水重力流沉积体的平面分布和接触关系。在从浅到深提取了一系列地震属性之后,清楚可见四期深水沉积体平面分布图(图3)。在此基础上,结合相对海平面变化曲线,建立了该区水道化朵叶海底扇和水道复合体海底扇两种深水沉积模式(图4)。在11.2~7.12 Ma期间,相对海平面下降期间,沉积过程是深水重力流密度变大、沉积物粒度逐渐变粗的过程,重力流由泥质碎屑流转变为高密度浊流,相应地由在陆坡坡脚堆积泥质碎屑流沉积逐渐向陆坡前方的朵叶体复合体转变,是一个进积的沉积物堆积过程;在11.2 Ma之前,相对海平面上升期间,深水重力流密度变小,沉积物粒度变细,重力流由低密度浊流转变为泥质碎屑流,深水盆地堆积以带堤岸的水道为主的海底扇体系,其上覆盖泥质碎屑流沉积^[7-8]。

2.2 多元井震精确时深标定

通常情况下,我们在地震解释之前,首先将钻井地质分层通过合成记录标定到地震剖面上,然后对此地质层位进行地震解释。但在深水区研究中,如前所述,我们往往很难在测井曲线上准确确定深水重力流沉积体界面。相反,前文已经阐述,深水重力流沉积体在地震剖面上的顶底界面往往比较清楚(图1),根据深水重力流沉积体的这一特点,我们可以首先确定在已钻井点处每期沉积体在地震剖面上的顶、底面,然后同样利用合成记录为桥梁,将地震数据体上确定

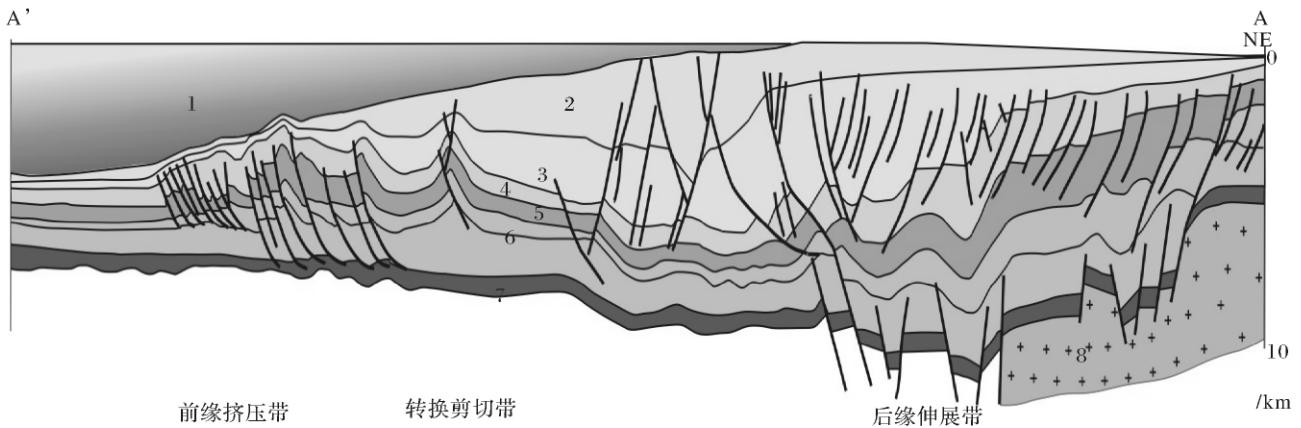


图2 尼日尔三角洲盆地区域地质剖面图(据 Corredor F. 等, 2005)

1. 海水; 2. 贝宁组; 3. 4. 5. 阿格巴达组; 6. 7. 阿卡特组

Fig.2 Geological profile of Niger delta area

1. Sea; 2. Benin Group; 3. 4. 5. Agabada group; 6. 7. Akata group

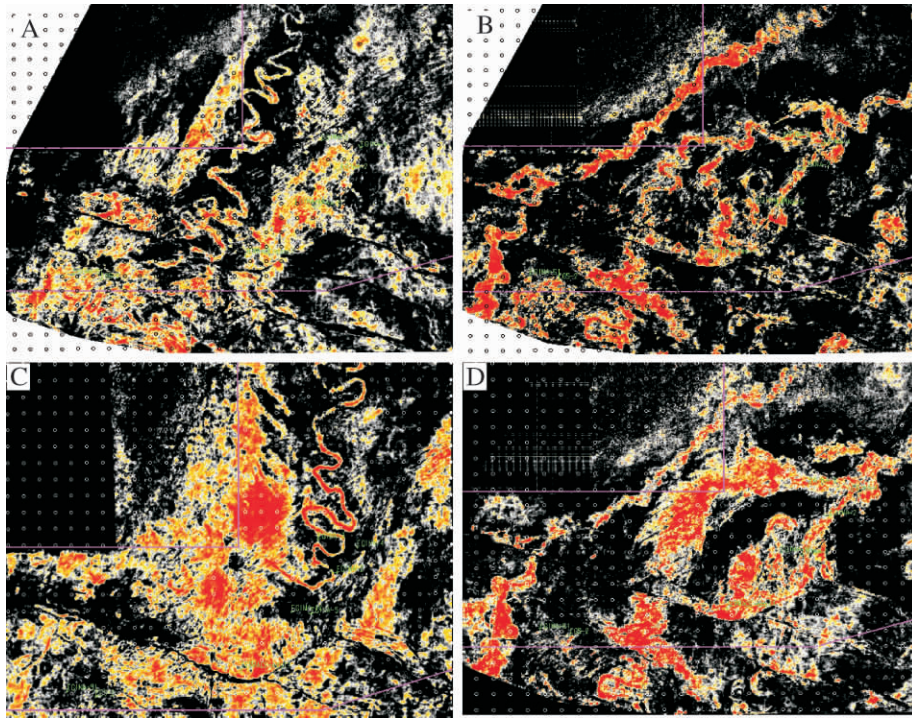


图 3 深水沉积体均方根振幅平面图 (A. 最晚期高弯曲水道; B. 晚期水道; C. 早期水道及其复合体; D. 最早期朵叶)
 Fig. 3 Seismic attribute map (A. latest curving channel; B. late channel; C. early channel complex; D. earliest lobe)

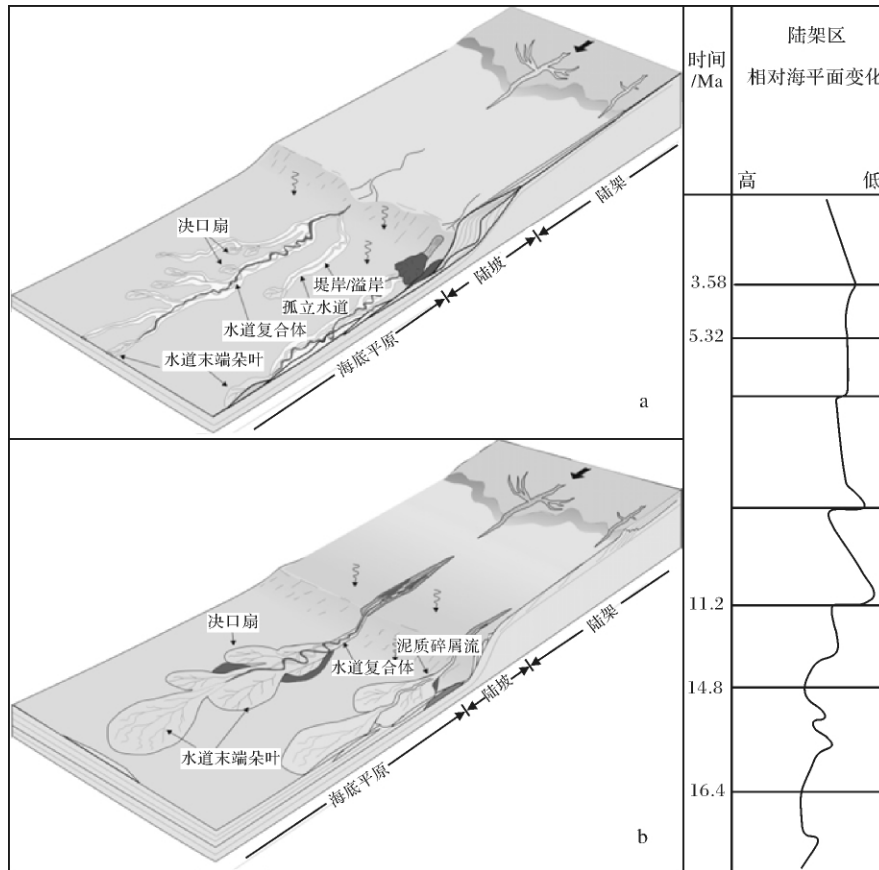


图 4 深水沉积模式与海平面曲线图 (a. 水道海底扇模式; b. 朵叶海底扇模式)
 Fig. 4 Deep water depositional model (a. channel submarine fan; b. lobe submarine fan)

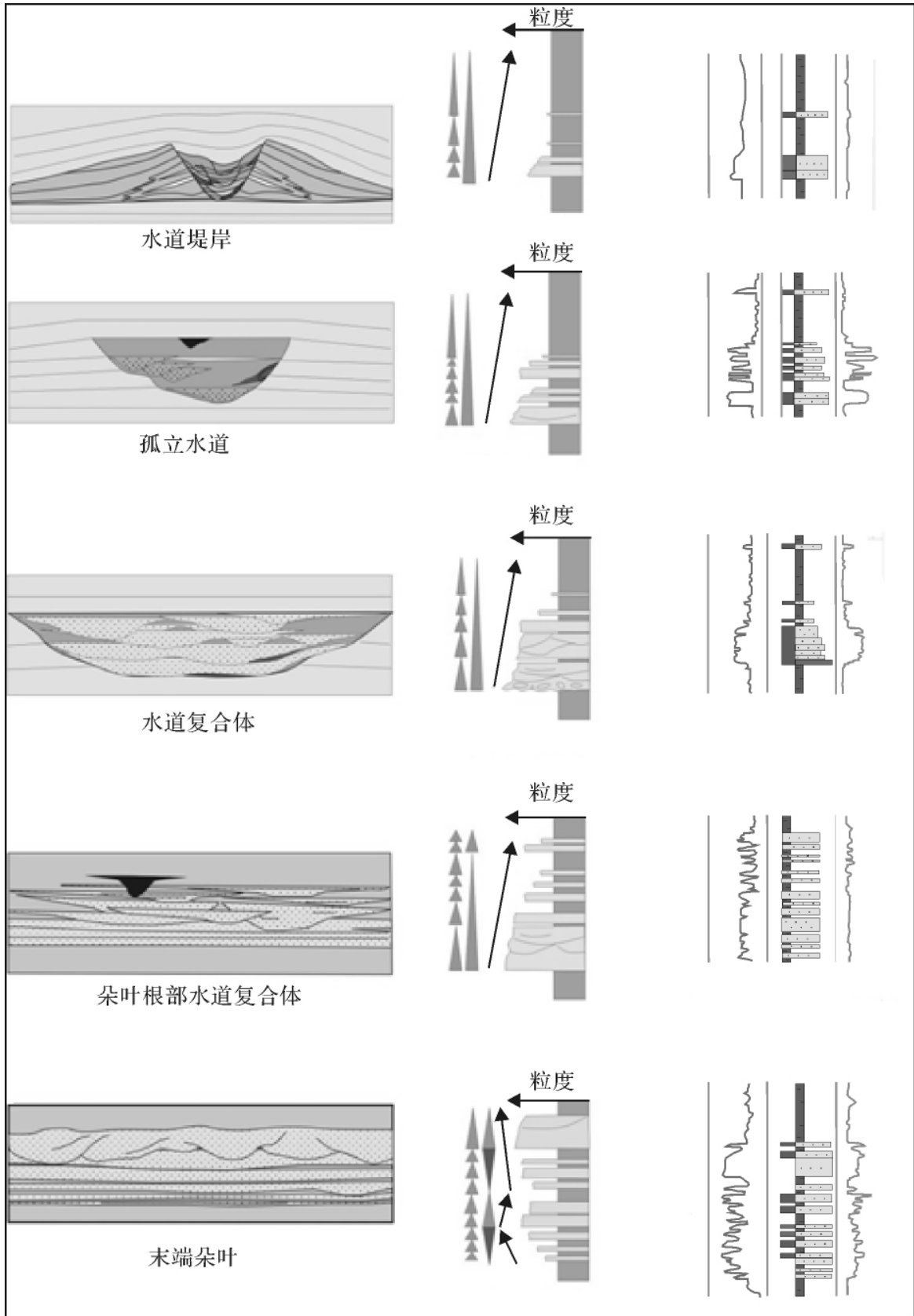


图5 深水沉积各单元剖面演化序列

Fig.5 Evolution series profile of deep water sedimentary units

的沉积体时间顶底面精确的标定到测井曲线上,得到沉积体顶底界面在钻井上的深度值,解决了深海泥与深水重力流沉积泥的测井相划分问题。本文将这一标定过程称为多元井震精确时深标定。

2.3 沉积微相单元划分与砂地比精确计算

综合沉积体平面特征(图 3),确定了本区 5 个深水重力流沉积单元,分别为孤立水道、水道复合体、水道堤岸、朵叶和朵叶边缘(图 4)。整个深水重力流沉积体系在演化过程中,基本由上述五个单元组成。根据第 2 节多元标定,在井上确定深水重力流沉积体,结合测井和钻井取芯,对上述 5 个深水重力流沉积结构单元纵向特征进行了研究,建立各单元的单井相和剖面沉积演化模式(图 5)。在此基础上,得到深水重力流沉积体不同沉积单元的精确钻井砂地比数据。这些数据是分析深水沉积规律和地球物理储层预测必不可少的基础,并且其精确度决定了储层预测的精度,进而影响到资源与储量计算的准确度。

2.4 地震属性与深水重力流沉积体多元关系建立

按照不同沉积单元分类,计算井钻遇的不同类沉积单元在井点处的各种地震属性值。然后计算井点处不同类型沉积单元的砂地比和各种地震属性的相关性,优选相关性较好的地震属性,建立不同沉积单元砂地比和地震属性间的关系式。

针对划分的 5 个沉积单元即孤立水道、复合水道、朵叶、堤岸,选取了 7 种地震属性即平均绝对振幅、平均振幅、平均反射强度、振幅方差、弧线长度、平均瞬时频率、有效带宽,分别进行统计及拟合公式。通过关系式及其相关系数可见,在一般情况下沉积单

元砂地比与均方根振幅相关性最好(图 6)。

当然,我们不难看出,对于每一种沉积单元,钻井越多,拟合公式将越准确,优选出的地震属性越能反映深水沉积的实际储层发育情况。

2.5 储层空间预测

我们利用第 1 节中在地震资料上追踪的沉积体顶底面以及沿层提取的沉积体均方根振幅(图 7),结合剖面特征划分的沉积单元,将图 7 深水重力流沉积体平面上划分出两种沉积单元,即堤岸和水道复合体。虽然图 7 深水重力流沉积体受到多条断层破坏,但水道复合体和堤岸的地震相特征仍然比较明显。同时根据深水重力流沉积体地震解释的时间厚度求出沉积体的厚度。然后利用已确定的地震属性和沉积体砂地比之间的关系式,将图 7 深水重力流沉积体均方根属性按堤岸和水道复合体两个单元地震属性和沉积体砂地比之间的关系式分别换算成砂地比平面图,然后再组合形成整个沉积体砂地比平面图,实现多元控制。最后将沉积体厚度与其砂地比相乘得到储层的厚度分布,实现了对图 7 整个深水重力流沉积体砂岩的预测。

3 结论

(1) 在深入分析深水沉积特点的基础上,本文提出了深水沉积研究面一线一点的新思路,即平面地震属性、地震剖面特征到单井分析。

(2) 创新提出多元井震精确时深标定方法,解决了深水重力流沉积体顶底界面的测井精确划分问题,实现实钻井砂地比的准确求取,避免了单井上沉积单

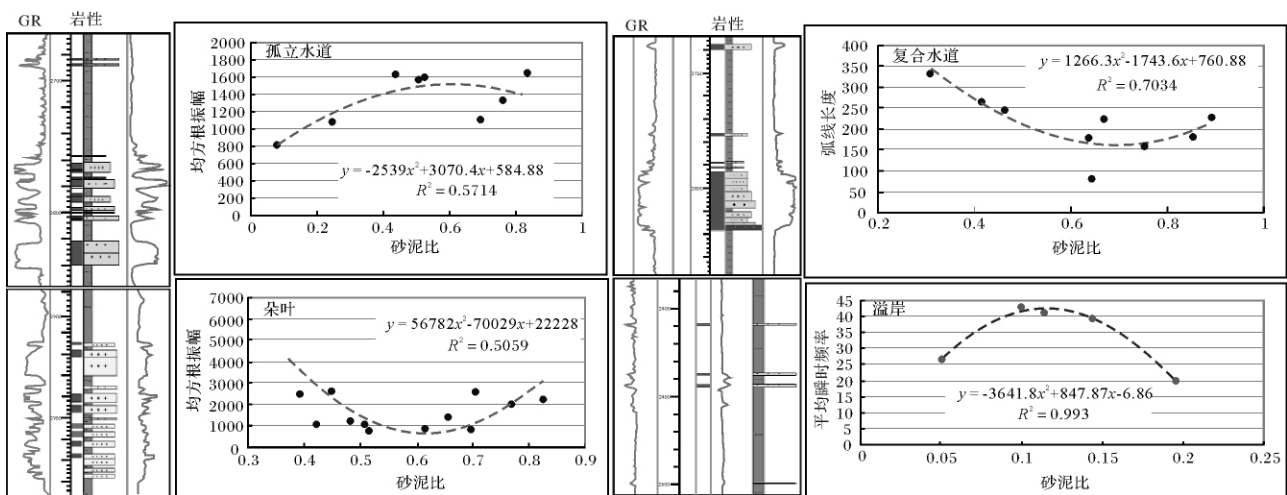


图 6 深水沉积单元钻井砂地比与地震属性统计关系

Fig. 6 NTG and seismic attribute regression of deep water sedimentary units

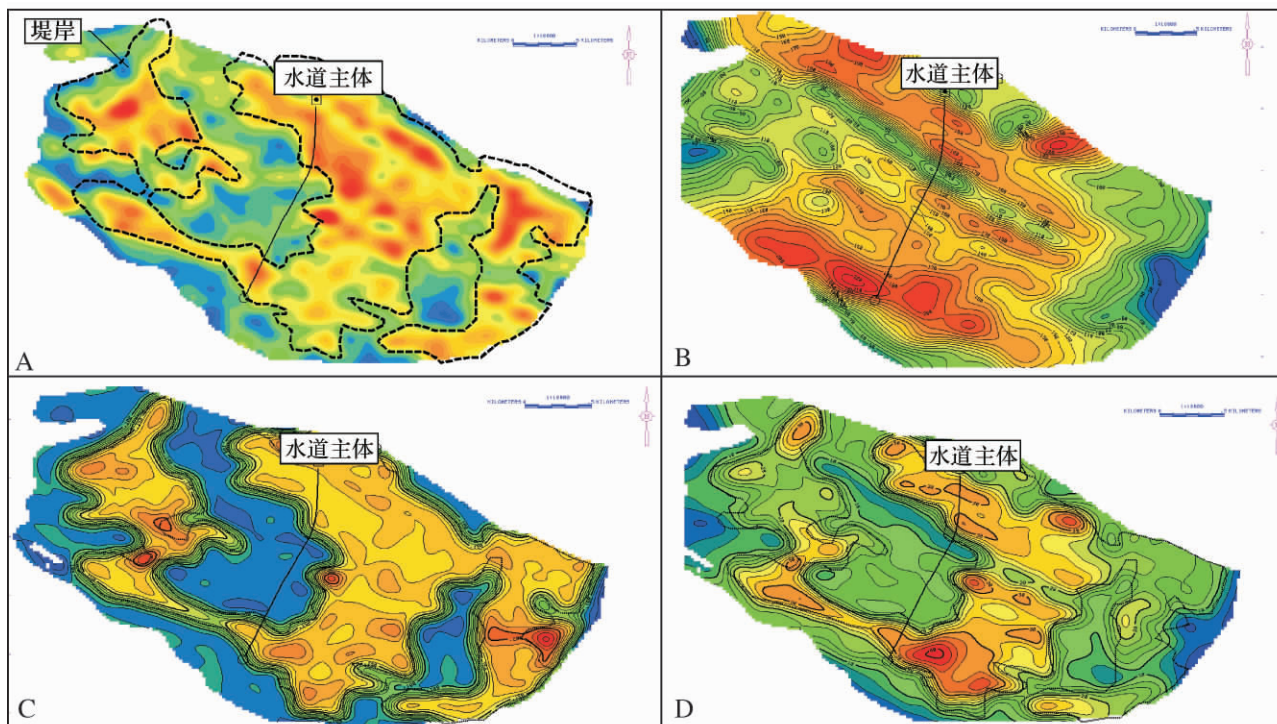


图7 深水砂体预测平面图

A. 深水沉积体(局部)地震均方根振幅平面图; B. 深水沉积体(局部)厚度平面图; C. 深水沉积体(局部)砂地比平面图; D. 砂体(局部)厚度平面图

Fig. 7 Deep water sandstone detection map

A. Seismic RMS amplitude map; B. Deep water sedimentary body isopach map; C. NTG map; D. sandstone isopach map

元划分的主观性。

(3) 利用多属性统计优选地震属性与深水沉积单元砂地比之间的关系,成为实际工作中快捷有效的储层定量预测方法的关键。

(4) 同时又将深水沉积多单元砂地比组合在一起形成整个深水沉积体系的砂地比平面图,实现储层预测过程中的多元控制作用,这是本方法针对深水沉积体平面与结构特征进行储层预测所取得的重要突破。

参考文献(References)

- 1 韩文明,杜向东,于水. 尼日尔三角洲深水底辟—逆冲构造带找油找气快速应对地球物理三步法[C]. CPS/SEG, 2009 [Han Wenming, Du Xiangdong, Yu Shui. Fast Geophysical Three Step Method for Exploratory Target Evaluation in the Diapirism-Thrust Tectonic Zone of Nigeria Delta Deep Water Area[C]. CPS/SEG, 2009]
- 2 韩文明,邓运华,于水,等. 尼日尔三角洲深水勘探研究面临的挑战及其对策[J]. 地质学报, 2012, 86(4): 671-678 [Han Wenming, Deng Yunhua, Yu Shui, et al. Challenges faced with deep water exploration and research in Niger delta and its strategies[J]. Acta Geologica

Sinica, 2012, 86(4): 671-678]

- 3 Ekweozor C M, Daukoru E M. Northern delta depobelt portion of the Akata-Agbada petroleum system, Niger Delta, Nigeria [C]. // Magoon L B, and Dow W G., eds. The Petroleum System: From Source to Trap. AAPG Memoir, 1994, 60: 599-614
- 4 Evamy B D, Haremboure J, Kamerling P, et al. Hydrocarbon habitat of Tertiary Niger Delta [J]. AAPG Bulletin, 1978, 62(1): 1-39
- 5 Whiteman A. Nigeria—Its Petroleum Geology, Resources, and Potential [C]. London, Graham and Trotman, 1982: 394
- 6 Petters S W. Regional Geology of Africa [M]. Springer-Verlag, 1991
- 7 韩文明,于水,刘阳,等. 复杂深水重力构造勘探研究新方法——以尼日尔三角洲深水A构造为例[J]. 中国海上油气, 2012, 24: 13-16 [Han Wenming, Yu Shui, Liu Yang, et al. A new method to research complex gravity structures in deep water: a case of structure A in deep-water Niger Delta [J]. China Offshore Oil and Gas, 2012, 24(1): 13-16]
- 8 Haq B U 著,韩林,李健,译. 层序地层学、海平面变化及其对深海的意义的意义[J]. 海洋地质译丛, 1992, 12(6): 43-52 [Haq B U, ed. Translated by Han Lin, Li Jian. Sequence stratigraphy, sea-level change, and significance for the deep sea [J]. Haiyang Dizhi Yicong (Offshore Oil), 1992, 12(6): 43-52]

Multi-Units Micro-facies Controlling Reservoir Prediction New Method in Deep Water Area

HAN Wen-ming

(Research Center , CNOOC , Beijing 100027)

Abstract: The new method was created to solve the two concealing and key problems about reservoir prediction in deep water area , which are electricity log defect in recognizing deep water gravity flow sediments(DW fan) , especially claystone , and seismic data hard to be used to delineate the thin interbedded sandstone and claystone within DW fan. Firstly , according to obvious seismic reflective characteristics , put forward plane-line-point study method for DW fan. First step , based on the seismic attributes , build DW fan deposition model; second step , create reversed seismic to well tie to identify the top and bottom of DW fan on the well log section , research sedimentary micro-face , classify DW fan into five kind of sedimentary units , accurately calculate the net to gross (NTG) of five kind of units of DW fan. Then choose the appropriate seismic attributes to build their correlation with NTG , and transfer the seismic attribute map into the NTG map and sandstone thickness map with different sedimentary unit seismic attribute and NTG correlation formula.

Key words: deep water gravity flow sedimentary body; deep water sedimentary unit; seismic attribute; reversed seismic to well tie; NTG