

· 综合研究 ·

# 甜点及其融合属性在深水储层研究中的应用

刘曾勤\*<sup>①②</sup> 王英民<sup>①②</sup> 白广臣<sup>③</sup> 龚承林<sup>①②</sup>

(<sup>①</sup>中国石油大学(北京)资源与信息学院,北京 102249; <sup>②</sup>油气资源与探测国家重点实验室(中国石油大学(北京)),北京 102249; <sup>③</sup>中国石油化工股份有限公司北京石油分公司,北京 100128)

刘曾勤,王英民,白广臣,龚承林. 甜点及其融合属性在深水储层研究中的应用. 石油地球物理勘探, 2010, 45(增刊1): 158~162

**摘要** 在当今世界深水勘探油气勘探热潮中,深水储层的研究和预测更受注目。利用多种地震属性的结合能够最大限度地提高储层预测的精度。甜点属性是利用三维地震资料识别砂体的一种新技术。甜点值是反射强度与均方根频率的比值,能有效地预测深海沉积中的孤立砂体。研究发现,甜点结合地震相波形分类、相干体技术可以预测储层的沉积类型、砂体展布特征;甜点和相干的融合属性可以清晰确定岩性类型和分布范围。

**关键词** 甜点 融合属性 相干 波形分类 深水储层

## 1 引言

近十年来许多全球石油公司在新生代被动陆缘海底扇的勘探活动剧增<sup>[1~4]</sup>,勘探重点从陆架转到超过200m的深水体系。据估计在深水浊积岩和其相关体系现已发现1200多个油气田,这些深水碎屑岩体系将是未来25年油气勘探生产的主要目标<sup>[3~5]</sup>。

深水勘探初期,由于缺乏钻测井资料,储层沉积相类型、砂体展布特征主要依赖于对地震信息的分析。众多成功的实例证明,利用多种地震属性来确定深海浊积体系的储层是一种行之有效的方法<sup>[6,7]</sup>,而其中有关地震相波形分类和相干体均属于传统的地震属性技术。地震相波形分类技术是根据波形的分类来区分地震相的类型,从而用来划分沉积相<sup>[8,9]</sup>。相干体技术是利用地震资料的横向不连续性,识别断层和圈定岩性体的边界<sup>[10,11]</sup>。甜点(sweetness)是利用三维地震资料在碎屑岩地层中识别砂体的一种新的属性技术。近几年,国外一些学者开展了甜点属性的研究<sup>[12~15]</sup>,但国内鲜有甜点属性的相关报道。笔者通过波形分类、相干体和甜点属性的结合开展深水储层的研究,同时对甜点及其和相干体的融合属性识别砂体的效果进行初步的探讨。

## 2 深水的定义及其沉积单元

关于深水的定义,有工程和地质上的两种概念。工程上定义的深水是指钻头到达海底前钻柱延续的长度超过一定标准的水深。目前公认的深水定义为500m以上的区域。不过这个深度界限会随着工程技术的进步而提高。Shanmugum<sup>[16]</sup>认为深水就是重力流、底流等沉积时古水深超过陆架坡折(200m左右)的环境。通常地质意义上的深水是海洋环境中在重力流作用下深水环境的沉积物<sup>[4]</sup>。

浊积岩体系是过去五十多年深水沉积研究的重点,因为由此形成的产物往往与石油伴生,所以有关深水沉积过程及沉积体特征受到了十分的关注。Lopez<sup>[2]</sup>根据前人的研究成果提出了深水沉积的模型。浊流在运动的过程中上下分层,密度大的砂体在底部,密度小的泥质分布在上部。浊流离开搬运的峡谷后,下部流体侵蚀下伏地层,形成水道,上部流体溢出形成堤岸沉积。Imran等<sup>[17]</sup>指出浊流的沉积和侵蚀过程同时进行:浊流离开峡谷后,从主流方向向侧翼散开,因此从中心向两翼密度和速度都降低。沉积速率与密度线性相关,侵蚀速率与速度有关。横向上,侵蚀速率比沉积速率减小得更快,所以沉积物净厚度在峡谷轴向的浊流中心最薄,在主

\*北京市昌平区府学路18号中国石油大学资源与信息学院物探重点实验室906,102249

本文于2010年1月6日收到,最终修改稿于2010年8月20日收到。

流中心的侧翼最厚。决口改道前,在水道—堤岸体系的周围地方沉积了块状砂。水道底部的砂体在地震资料上呈现强振幅反射。浊流的侵蚀能力增强造成堤岸内坡垮塌,沉积物溢出,最终造成堤岸决口。浊流进入了河道间的低洼处,向四周散开,形成了席状砂。决口是水道面的破坏点,均衡的状态被打破了。沿裂开点向坡上的退积侵蚀和向坡下的快速沉积建立了新的均衡面。侵蚀水道的底床主要是砂体沉积,破坏点以下的席状体也是以砂为主。席状砂在地震剖面上显示为强振幅平行反射。达到了新的均衡面以后,堤岸沿着决口点开始进积发育,浊流开始水道化。砂体沿水道轴向沉积,细粒的物质沉积在堤岸上。这种自旋回的过程形成单个水道—堤岸体系的沉积样式,并且在亚马逊扇第四系发现了这种强振幅平行相<sup>[2]</sup>。沉积过程也得到了孟加拉和多瑙河第四纪发育的水道—天然堤体系的印证<sup>[18, 19]</sup>。水道充填砂、强振幅平行席状砂和水道口末端的沉积体都是潜在的油气储层<sup>[4, 5]</sup>。

### 3 储层研究的主要地球物理方法

#### 3.1 波形分类技术

地震波波形是地震振幅、频率和相位的综合反映,地震信息的物理参数变化反映在地震波形状上的变化。如今常用的地震波波形特征分析方法是对地震波波形的分类计数。通过估算目的层内地震信号的横向变化,利用神经网络算法对地震道形状进行分类,计算出目的层段波形分类聚合体<sup>[20]</sup>。一般说来深海地层沉积相类型比较简单,主要发育深海披覆沉积、水道、堤岸和朵体,不同沉积相类型对应不同的地震相单元:深海披覆沉积通常为平行—亚平行相;下切水道呈 U 或 V 字形的下切充填相;水道—堤岸复合体呈翼状相;朵体表现为丘形相<sup>[21, 23]</sup>。因此利用波形分类特征再结合地震相特征、钻测井资料,便能有效地划分深水储层的沉积类型。

#### 3.2 甜点和相干体技术

在深海碎屑岩的地震反射特征中,泥岩地层通常都表现为弱振幅、高频率,然而被泥岩包裹的水道砂、堤岸和朵体砂表现为强振幅、低频率,这就为应用地震数据的高振幅和低频率成分解释地层的沉积特征提供了依据。

Taner 等<sup>[24]</sup>提出了反射强度和瞬时频率的概念。反射强度是独立于相位的绝对振幅。瞬时频率是相位变化的次数,取决于地震资料的带宽和地层的厚度。Radovich 等<sup>[25]</sup>利用反射强度与瞬时频率的均方根比值发现碎屑地层中的孤立砂体。后来发现利用这种方法发现的砂体都是勘探的有利区,就像一块甜点,故命名为 sweetness。其实甜点值的绝对大小从地球物理的角度很难确定,只是一个相对大小而已<sup>[15]</sup>。反射强度是振幅的绝对值,所以砂体本身的阻抗值并不重要。无论是波峰还是波谷对应砂体,都会具有高的反射强度和甜点值。也就是说利用甜点属性可以很好地区分岩性类型。Goff<sup>[13]</sup>和 Hart<sup>[15]</sup>研究发现甜点值还可以半定量地计算深水储层中浊积砂与泥岩的比值:甜点值的大小与砂地比成正比。值得注意的是,甜点属性在不具有明显波阻抗差的地层中预测岩性类型的效果较差,譬如砂泥岩互层,砂岩与周围的泥岩没有明显的波阻抗差时,甜点属性就会失效。

Bahorich 等<sup>[26]</sup>提出了相干体概念和地震相干数据的应用方法。相干体分析一般都是基于振幅的计算,利用多道相似性将三维地震数据体转化为相关系数数据体,在显示上通过强调不相关异常,提高数据体的空间视分辨率,突出复杂地质异常体的细节。Hart<sup>[15]</sup>将相干体和甜点值融合在一起,在水道边界的识别和岩性预测等方面取得了良好的效果。

### 4 储层特征分析

#### 4.1 沉积相展布特征

确定某一种沉积类型,仅靠波形分类是不够的,需要与剖面的反射结构特征、沉积模式和钻、测井资料相结合,才能赋予其明确的地质意义。

研究区内具有三种典型地震相:下切充填相、平行—亚平行强振幅相、弱振幅平行相(图 1a)。三种的不同的波形类型对应于三种不同的地震相特征(图 1b)。从波形特征叠合在构造图上明显可以看出:下切充填相的波形类型发育在低洼处,通常解释为下切水道;平行—亚平行强振幅相对应的波形类型,因其紧邻水道,高于周围的沉积,按照深水沉积模式(图 1d),通常解释为堤岸;弱振幅平行相对应波形分类的区域分布广泛,一般为深海披覆沉积的

地震响应(图 1c)。

### 4.2 岩性类型和展布特征

研究区内,水道的充填物和堤岸沉积体具有强振幅特征,深海披覆沉积具有弱振幅特征(图 2a)。振幅强弱与甜点值大小的成正比:强振幅对应于高甜点值,弱振幅对应于低甜点值(图 2b)。甜点值的平面分布特征清晰地显示了砂体和泥岩的分布区域(图 2c)。强振幅、高甜点值河道充填物为砂体;弱

振幅、低甜点值为泥岩。水道中甜点值的变化,说明水道中不同的位置富砂的程度不一样。

在判断岩性时,不仅要考虑甜点值的大小,还要对振幅强弱、地层的几何形态和地层的接触关系加以考虑。凝缩段的泥岩也可以形成强振幅和高甜点值的响应。但水道砂的地震同相轴连续性差,凝缩段往往形成稳定的反射界面。因此研究区内的强振幅、高甜点值解释为砂岩。

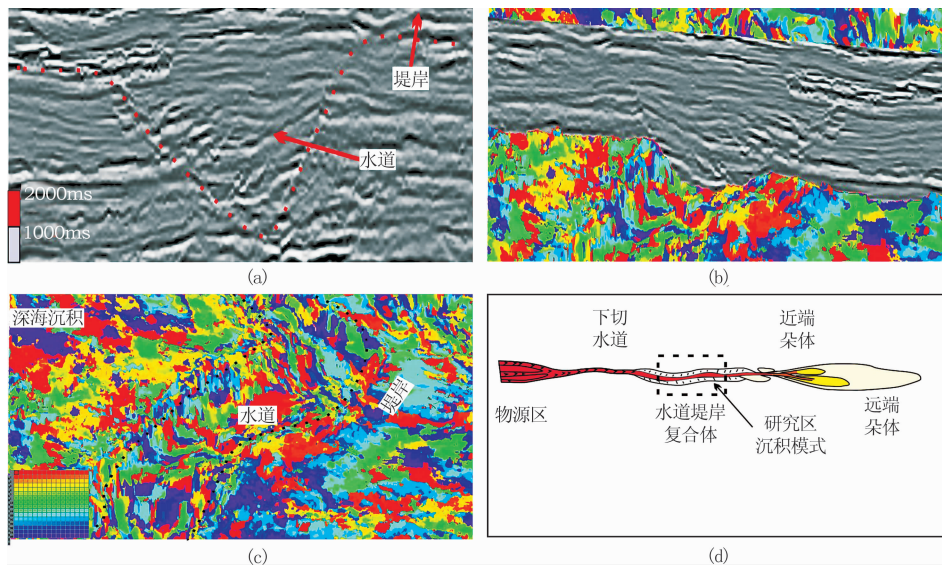


图 1 波形地震相特征分析

(a)横切水道的地震剖面;(b)地震剖面与波形分类的组合;(c)波形分类与构造的叠合;(d)深水沉积模式(据 Galloway<sup>[21]</sup>)

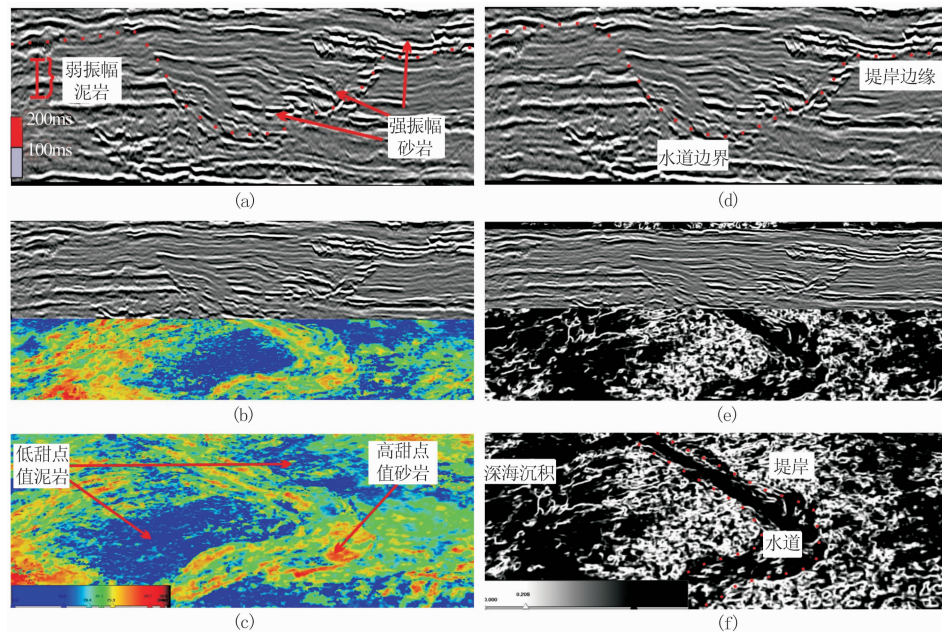


图 2 甜点和相干特征分析

(a)横切水道地震剖面;(b)地震剖面与波形分类组合;(c)甜点值分布;(d)横切水道的地震剖面;(e)地震剖面与相干属性组合;(f)相干值分布



相干体只是地震数据信息不连续的一种表征,它的形成因素很多,如断层、岩性体、构造活动。确定相干体边界的类型,需综合分析沉积、岩性、构造特征和边界形态的信息。

研究区内,地震剖面上的下切边界为水道充填沉积的边缘;紧邻水道的强振幅包络面是堤岸沉积体的边界(图 2d)。岩性体边界处对应高的相干值;内部连续性好,相干值低(图 2e)。河道充填、堤岸沉积和深海泥的分布区域在相干值平面图上清晰可见,如弯曲的水道、紧邻水道的堤岸沉积和席状的深海披覆沉积(图 2f)。

从横切水道和沿水道方向,地震剖面上沉积体和岩性的边界特征和振幅强弱关系十分清楚:水道

充填物具有下切边界和强振幅特征;紧邻水道的堤岸沉积为强振幅包络面;深海披覆沉积为弱振幅分布区(图 3a 和 3d)。横剖面和纵剖面上振幅、边界特征与甜点—相干融合属性的对应关系良好:强振幅对应于高甜点值;边界处有明显的融合属性变化特征(图 3b 和 3e)。从融合属性切片上可以清晰看到水道充填砂的范围和边界。强振幅、高甜点值对应的砂体呈条带状分布于水道中(图 3c 和 3f)。从振幅切片和融合属性体的等时切片上分析可知:地震切片上水道的位置十分模糊,但边界和岩性的变化在融合属性体切片上清晰可见(图 4a 和 4b)。毫无疑问,应用融合属性切片识别砂体类型和范围的效果优于传统的地震振幅切片。

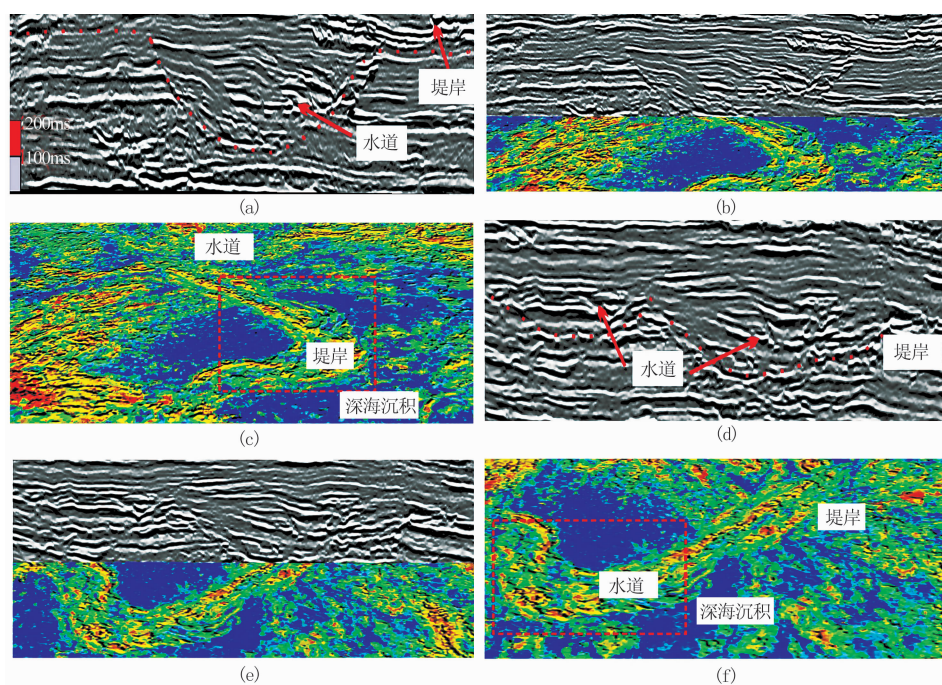


图 3 甜点—相干融合属性特征分析

(a)横切水道的地震剖面;(b)甜点—相干融合属性与地震剖面的组合;(c)融合属性的分布;(d)沿水道的地震剖面;(e)甜点—相干融合属性与地震剖面的组合;(f)融合属性的分布

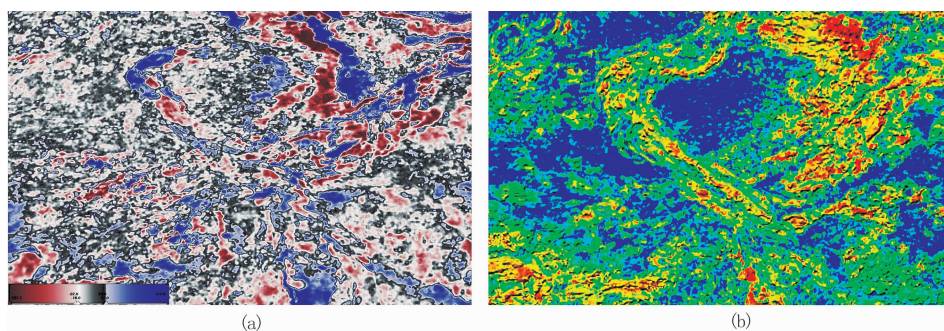


图 4 振幅切片(a)与等时融合属性切片(b)对比

## 5 结论

根据甜点及其相干的融合属性研究,可知:

(1)深水浊流形成的水道—堤岸体系可以作为潜在的优质储层。

(2)深水储层中的水道和堤岸沉积的砂体具有强振幅、高甜点值响应。应用甜点属性识别岩性类型的效果明显,应用甜点与相干性的融合属性更有利于刻画岩性展布特征和边界。

(3)应用地震相波形分类、相干体和甜点属性结合技术可以识别对深水储层的沉积类型、砂体分布范围。至于此方法能否在碳酸盐岩储层中预测中取得良好的效果,有待于深入研究。

### 参考文献

- [1] Kolla V, Bourges R, Urruty J M and et al. Evolution of deep-water Tertiary sinuous channels offshore Angola (west Africa) and implications for reservoir architecture. *AAPG Bulletin*, 2001, 85(8):1373~1405
- [2] Lopez M. Architecture and depositional pattern of the Quaternary deep-sea fan of the Amazon. *Marine and Petroleum Geology*, 2001, 18(4):479~486
- [3] Stow D V and Mayall M. Deep-water sedimentary systems: New models for the 21st century. *Marine and Petroleum Geology*, 2000, 17(1-2):125~135
- [4] Weimer P and Slatt M. Introduction to the petroleum geology of deepwater settings. *AAPG Studies in Geology*, 2007
- [5] Pettingill H S and Weimer P. Worldwide deep water exploration and production: Past, present and future. *The Leading Edge*, 2002, 21(4), 1~22
- [6] 赵政璋, 赵贤正, 李景明等. 国外海洋深水油气勘探发展趋势及启示. *中国石油勘探*, 2005, 10(6):71~76
- [7] 吕福亮, 贺训云, 武金云等. 世界深水油气勘探现状、发展趋势及对我国深水勘探的启示. *中国石油勘探*, 2007, 12(6): 28~31
- [8] 赵力民, 郎晓玲, 金凤鸣等. 波形分类技术在隐蔽油藏预测中的应用. *石油勘探与开发*, 2001, 28(6):53~55
- [9] 邓传伟, 李莉华, 金银姬等. 波形分类技术在储层沉积微相预测中的应用. *石油物探*, 2008, 47(3):262~265
- [10] 张延章, 韩品龙, 池永红等. 地震相干技术的应用及效果分析. *中国海上油气(地质)*, 2003, 17(3):215~217
- [11] 王大伟, 刘震, 陈小宏等. 地震相干技术的进展及其在油气勘探中的应用. *地质科技情报*, 2005, 24(2): 71~76
- [12] Hart B S. Stratigraphically significant attributes. *The Leading Edge*, 2008, 27(3): 320~324
- [13] Goff D. Estimating net:gross from data histograms: Examples from deep-water turbidites; [http://www.searchanddiscovery.net/documents/abstracts/2004/regional\\_west\\_africa/abstracts/goff.htm](http://www.searchanddiscovery.net/documents/abstracts/2004/regional_west_africa/abstracts/goff.htm). 2004
- [14] Choo C K, M Rosenquist, E Rollett and et al. Detecting hydrocarbon reservoir with Seabed Logging™ in deepwater Sabah, Malaysia. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 2006, 25: 714~718
- [15] Hart B S. Channel detection in 3-D seismic data using sweetness. *AAPG Bulletin*, 2008, 92(6): 733~742
- [16] Shanmugam G. 50 years of the turbidite paradigm (1950s—1990s): deep-water processes and facies models—a critical perspective. *Marine and Petroleum Geology*, 2000, 17(1-2):285~342
- [17] Imran J, Parker G, and Katopodes N. A numerical model of channel interception on submarine fans. *Journal of Geophysical Research*, 103(C1): 1219~1238
- [18] Popescu I, Lericolais G, Panin N, and et al. Late Quaternary channel avulsions on the Danube deep-sea fan, Black Sea. *Marine Geology*, 2001, 179(1-2), 25~37
- [19] Curray J R, Emmel F J, and Moore D G. The Bengal Fan: morphology, geometry, stratigraphy, history and processes. *Marine and Petroleum Geology*, 2003, 19(10):1191~1223
- [20] McCormack M D. Neural computing geophysics. *The Leading Edge*, 1991, 10(1): 11~15
- [21] Galloway W E. Siliciclastic slope and base-of-slope depositional systems, component facies, stratigraphic architecture, and classification. *AAPG Bulletin*, 1998, 82(4): 569~595
- [22] Richards M, Bowman M, and Reading H G. Submarine-fan systems I: Characterization and stratigraphic prediction. *Marine and Petroleum Geology*, 1998, 15(7):687~717
- [23] Posamentier H W and V Kolla. Seismic geomorphology and stratigraphy of depositional elements in deep-water settings. *Journal of Sedimentary Research*, 2003, 73(3): 367~388
- [24] Taner M T and R E Sheriff. Application of amplitude, frequency, and other attributes to stratigraphic and hydrocarbon exploration, in Payton C E, *Seismic stratigraphy—Applications to hydrocarbon exploration. AAPG Memoir*, 1977, 26: 301~327
- [25] Radovich B J and R B Oliveros. 3-D sequence interpretation of seismic instantaneous attributes from the Gorgon field. *The Leading Edge*, 1998, 17(9): 1286~1293
- [26] Bahorich M and Farmer S. 3-D Seismic Discontinuity for Faults and Stratigraphic Features: The Coherence Cube. *The Leading Edge*, 1995, 14(10):1053~1058

(本文编辑:张亚中)