

南海北部珠二坳陷超深水区断层系统分析中的高精度相干技术

赵钊¹, 汤良杰², 赵志刚¹, 杨海长¹, 杨东升¹, 黄萱¹

[1. 中海油研究总院, 北京 100028; 2. 中国石油大学(北京)盆地与油藏研究中心, 北京 102249]

摘要:超深水地质条件复杂、地震资料受扰因素多、断面多解性强, 严重影响了常规构造解释的准确性。在珠江口盆地珠二坳陷超深水区的断层研究中应用高精度沿层相干技术, 有效提高了断裂系统解释与组合的精度。高精度沿层相干技术对超深水三维资料中特定地质时期断层的空间展布具有很好的表征。基于此技术的断裂系统相干分析指示白云超深水区的构造走向受北东向区域断裂控制明显。下渐新统恩平组顶面(T_7^0)为区域不整合面与白云-荔湾凹陷的断-拗转换界面, 恩平组沉积时期白云-荔湾凹陷具有连通性, 渐新世早期断陷特征减弱, 晚期以断拗-拗陷作用为主, 对珠二坳陷超深水油气成藏具有重要的控制作用。

关键词:断层; 相干技术; 断-拗转换; 超深水; 珠二坳陷; 珠江口盆地

中图分类号: TE132.1

文献标识码: A

High-precision coherence technique in fault system analysis in ultra-deepwater area of the Zhu II Depression, northern South China Sea

Zhao Zhao¹, Tang Liangjie², Zhao Zhigang¹, Yang Haizhang¹, Yang Dongsheng¹, Huang Xuan¹

[1. CNOOC Research Institute, Beijing 100028, China; 2. Basin and Reservoir Research Center, China University of Petroleum(Beijing), Beijing 102249, China]

Abstract: The geological conditions of the ultra-deepwater area are complex, and the seismic data is disturbed by many factors. The faults have multiple interpretation solutions, so the accuracy of the structure interpretation is seriously affected. According to the fault characteristics of the 3D working area in ultra-deepwater region, the coherence technique is used for fault interpretation and fault analysis, in order to better understand and more accurately interpret the structure characteristics of the whole Baiyun Sag. It is indicated that the along-horizon coherent slice could apparently reveal the planar distribution of the fault system developed in certain periods. The top surface of Enping Formation (T_7^0) is a regional unconformity and the rift to sag transition interface of Baiyun-Liwan Sag. The faulting and rifting phase of Baiyun Sag ended in early Oligocene, then sag and depression became the dominate characteristics afterwards. The study demonstrates that the rift to sag transition interface T_7^0 of Baiyun-Liwan Sag has significant control on hydrocarbon accumulation in the ultra-deepwater area of Zhu II Depression.

Key words: fault, coherence technique, rift to sag transition, ultra-deepwater area, Zhu II Depression, Pearl River Mouth Basin

珠二坳陷超深水处于南海北部珠江口盆地中南部, 包括白云-荔湾凹陷与南部隆起带的超深水部分, 近年来作为近海勘探新区受关注程度日益提高。该区域是南海北部大陆边缘主要的深水陆

坡沉积区, 地壳厚度向泽盆方向逐渐变薄, 莫霍面埋深变浅, 地温梯度增高。珠江口盆地是一个发育在前新生界基底上的新生代沉积盆地, 整体呈 NE 向展布, 表现为南北分带、东西分块的构造格局, 基

收稿日期: 2017-06-12; 修订日期: 2017-11-17。

第一作者简介: 赵钊(1984—), 男, 工程师, 海域油气地质与勘探。E-mail: zhaozhao2@cnooc.com.cn。

基金项目: 国家自然科学基金项目(91528303); 国家科技重大专项(2016ZX05026007)。

底由前新生界变质岩和火成岩组成^[1-5]。珠二坳陷新生代受控于南海边缘海构造旋回^[6],经历过珠琼运动一幕、珠琼运动二幕、南海运动、白云运动和东沙运动等5次构造事件,存在多个海进海退旋回。早始新世发生珠琼运动一幕,形成了白云-荔湾凹陷的雏形。本文研究的珠二坳陷超深水区水深普遍为1 500~2 500 m(国际上一般将水深300 m以上的区域称为深水区,将超过1 500 m的水域称为超深水区)(图1)。由珠二坳陷已钻井和区域综合研究表明:珠江口盆地超深水区新生界主要地层界面为 T_0^0 (古近系基底), T_8^0 (文昌组顶面), T_7^0 (恩平组顶面), T_6^0 (珠海组顶面), T_5^0 (珠江组下段顶面), T_4^0 (珠江组上段顶面)和 T_3^0 (韩江组顶面)(图2)。

对于南海北部深水-超深水油气地质领域,前人在生烃特征、深水扇储层、成藏动力学与油气勘探潜力等方面展开过深入研究^[7-16],而对于珠二坳陷超深水区域的断裂体系与关键构造期缺乏系统的研究。超深水区地貌地质条件复杂,具有海水深度和坡度变化

大等特点,有强烈的多次波和鬼波干扰。这些特点导致地震资料中深层信噪比低、分辨率低、断面不清、陆坡崎岖海底区构造畸变或不成像,构造解释存在多解性。由于超深水区钻井稀少,断裂解释、结构分析乃至含油气性预测主要依靠地震资料,为降低勘探风险,对构造解释的精度提出了更高的要求。此外,珠二坳陷超深水区复杂断块、热流体底辟与多种沉积异常体均有发育,断层的精细识别成为研究区构造解释的首要难点,断层解释组合是否合理将直接影响最终构造图的精度,对有利圈闭的落实与勘探目标含油气性预测具有重要作用。近年来珠二坳陷超深水区在白云南洼与荔湾凹陷内采集并处理了精度较高的三维地震资料。本文针对信息量丰富的三维地震体开展以高精度沿层相干技术为代表的多敏感属性测试,并应用于断层与异常体的精细表征,在此基础上进行珠二坳陷超深水区断裂系统特征分析,提高了构造解释的精度与效率,指导了超深水区的油气勘探评价。

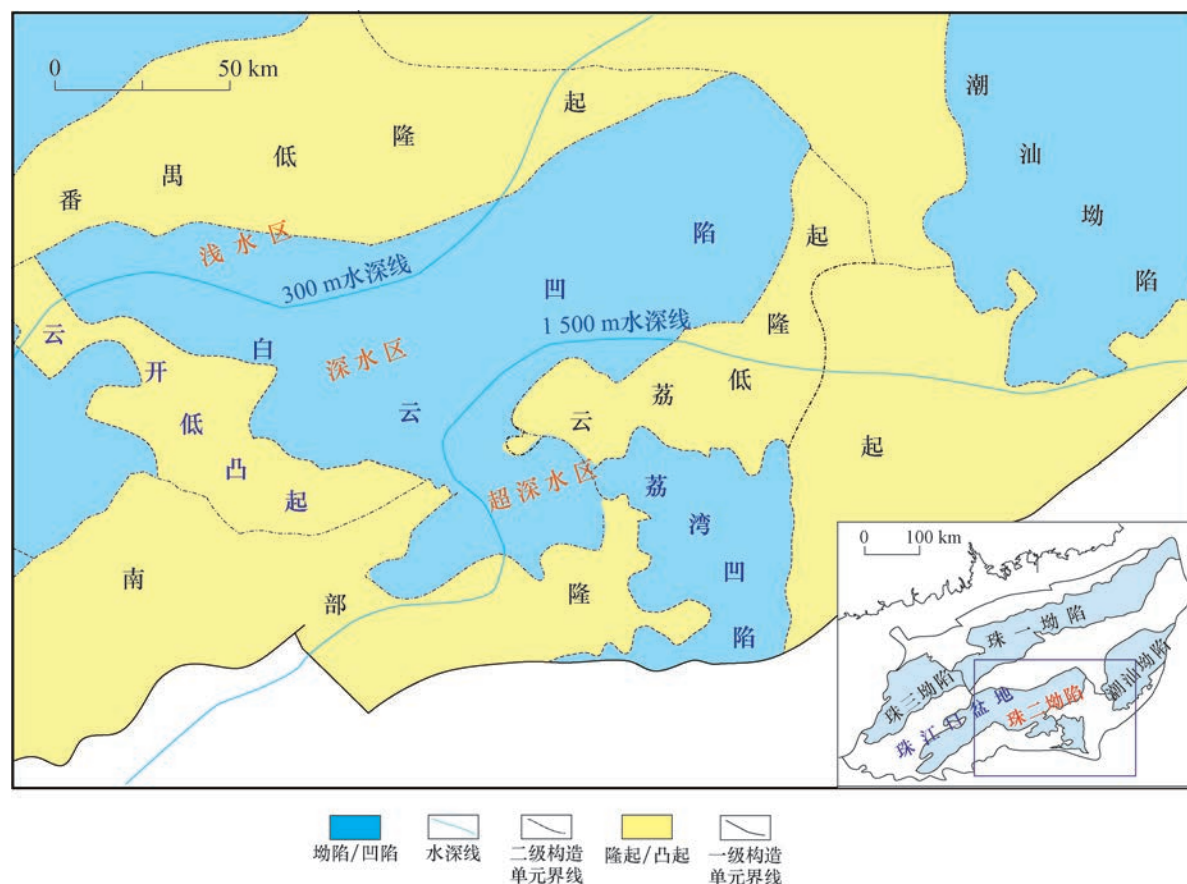


图1 珠江口盆地珠二坳陷构造区划

Fig. 1 Location of the ultra-deepwater area of Zhu II Depression, Pearl River Mouth Basin

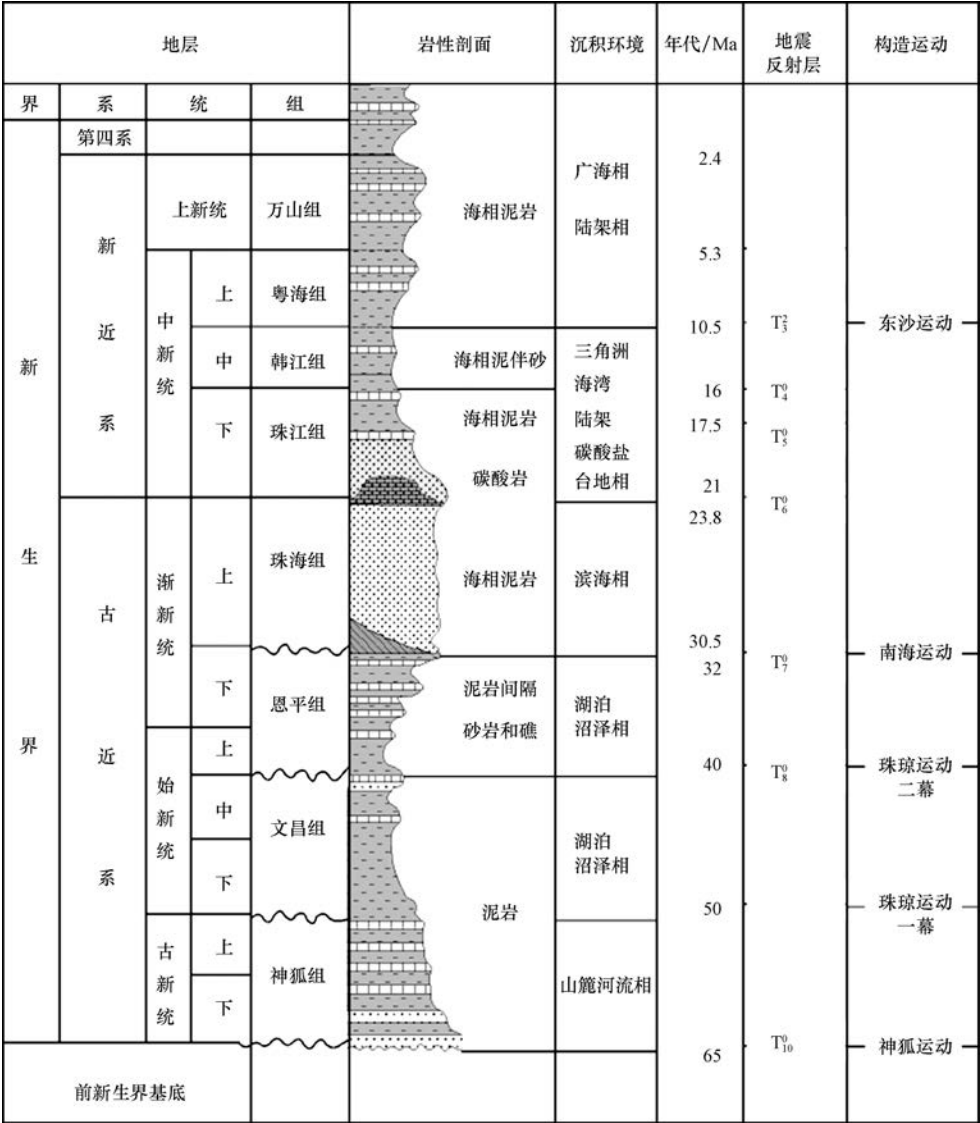


图 2 珠江口盆地深水区地层划分

Fig. 2 Stratigraphic column of deepwater area in the Pearl River Mouth Basin

1 高精度相干技术应用

1.1 地震体相干性与预处理

断层是由于岩层在构造应力的作用下发生变形，当超过了其强度后发生断裂而形成的。断层在地震剖面上的表征为同相轴的错断、不连续及突变，应力使断层两侧的岩层沿断层面位移。相干技术是对地震道间的波形相似性进行分析的一项地震资料解释技术，它采用水平或平面图的方式显示具不连续性特征的断层和地层边界^[17-18]。相干性体现在规则层位面上沿层振幅变化不大，因此对应的方差也小；而在断层附近或岩性变化带附近，振幅变化较大，振幅方差

也相应较大^[19]。

南海北部超深水区由于地貌地质条件复杂、水深和坡度变化大，地震数据体在经过去噪和偏移等处理后仍然有噪音残留，这会造成提取相干切片的切片精度和清晰度较低，对地震资料断裂解释造成困难。因此在进行相干提取前，需要对三维数据体进行构造平滑预处理，以在压制噪音干扰的基础上保护构造信息，使处理后的地震剖面的反射轴表面更平滑、更清晰，连续性更好。经过构造平滑预处理后沿层相干切片和相干体时间切片上大的断裂并没有被模糊，边缘更清楚，原来比较模糊的一些小尺度的构造细节（微小断层）也有较好的体现，能减少解释的多解性并提高解释的精度与效率。

1.2 高精度沿层相干技术

常规相干切片是指方差体的时间横切片,但是由于地层倾角的变化,实际分析中等时相干切片并不能完全表征某特定沉积地质时期的断裂展布。以过超深水地震剖面 AA' 为例,4 000 ms 等时线在剖面左侧切穿了 T_6^1 以上地层,而在剖面右侧切穿了 T_6^1 以下地层(图 3)。从研究区 4 000 ms 相干时间切片上,可见南部分布大面积的密集型断裂即多边形断层系,多边形断层在南海琼东南盆地与珠江口盆地深水区较为常见,其形成机制上被认为是珠江组泥岩在超压环境下脱水收缩形成的非构造成因断裂。南部的多边形断层系与北部的 NE 向断裂表现为两套特征迥异的断裂体系(图 4a),相干时间切片的“穿时现象”影响了珠海组沉积期断裂的识别与平面展布研究。

高精度沿层相干切片采用将构造平滑预处理后的方差数据体沿某地震界面进行层拉平,由拉平处理后的方差体提取沿层相干切片,以此来指导该反射层的断裂组合。从沿 T_6^1 层相干切片(图 4b)可见研究区内的 NE 向断裂走向等特征明确,它规避了上部珠江组广泛发育的多边形断层系对 T_6^1 层位断裂组合的干扰,能客观地反映珠海组沉积期的断裂平面展布,对于断裂的组合与系统分析有很好的指导性。在实际应用中,利用商业解释软件的属性提取工具对三维研究区内的偏移体进行相干计算,并对影响计算效果的地震道数、相关时窗大小、地层倾斜延迟时差和优势频带范围的大小等参数进行了优化。由于得出的方差体是由计算机算法完成的,不需要人工过多干预,有效避免了解释结果对解释经验的依赖性,并对于常规二维解释难以发现的次级断层具有敏感表征,提高了解释的精

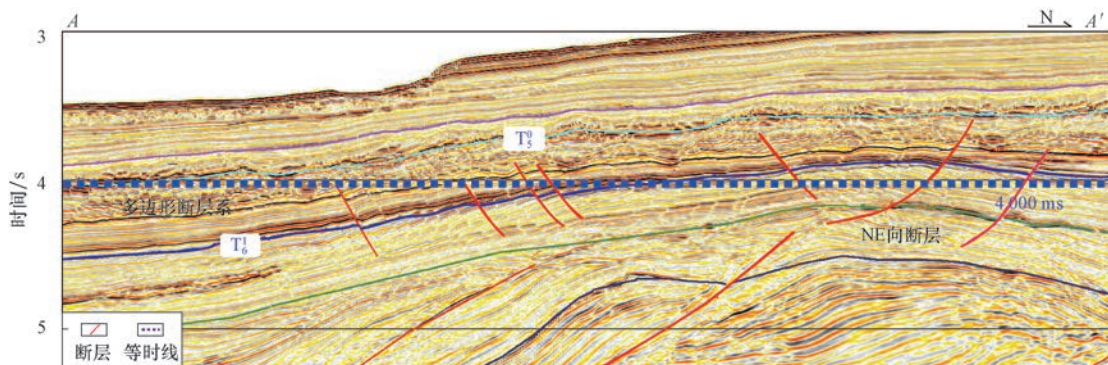


图3 珠二坳陷超深水地震剖面 AA' 示“穿时”现象

Fig. 3 Seismic profile AA' showing diachronism phenomenon in the ultra-deepwater area of Zhu II Depression

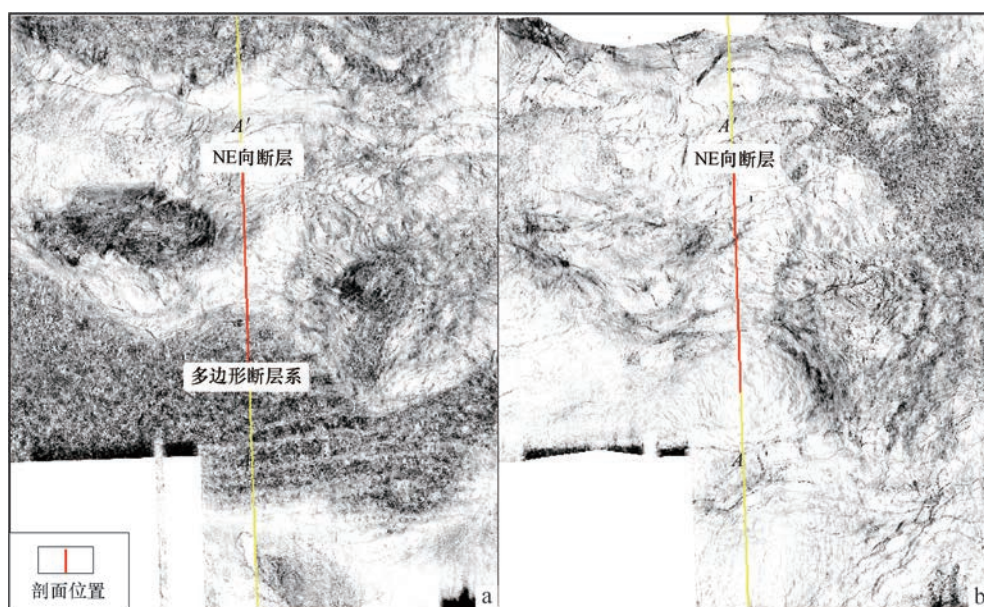


图4 珠二坳陷超深水4 000 ms 相干切片示两套断裂系统(a)与沿 T_6^1 层相干切片(b)

Fig. 4 Two sets of fault systems showing in the 4 000 ms coherence-slice (a) & coherent slice along T_6^1 horizon (b) in the ultra-deepwater area of Zhu II Depression

度和效率。因此,在对珠二坳陷超深水三维研究区各主要层位进行断裂研究时,分别对各层位方差体采用层拉平计算,以沿层相干切片的应用作为指导断裂解释的重要依据,平面上结合沿层相干切片与沿层开窗相干切片断层识别、剖面上结合方差体与偏移体断层解释的思路,以此进行断层组合可信度更高,有效地指导了研究区内断裂系统的研究。

南海超深水地质条件复杂,泥底辟、热流体底辟与三角洲等多种沉积异常体均有发育,反映在相干切片中,不相干数据异常不一定是断层,也可能存在因为岩性变化导致的地震识别陷阱与假象。图5中相干切片平面特征上疑似为多条规模较大的断层,而经研究区地震剖面 BB' 与多属性分析后认为是下渐新统恩平组多期三角洲沉积,反映典型的三角洲前积结构特征。所以在应用相干体识别断层过程中应结合地震剖面与多种地球物理属性进行具体分析,规避异常体干扰。

2 基于高精度沿层相干技术的珠二坳陷超深水区断层系统分析

基于高精度沿层相干切片的应用,对珠二坳陷白云超深水区内中新统顶面 T_4^0 ,珠江组上段顶面 T_5^0 ,上渐新统顶面 T_6^0 ,下渐新统顶面 T_7^0 ,古近系底面 T_{10}^0 等层位进行了断裂组合与精细解释并制作了各层位构造图,以下从古近系主要沉积期的断层平面特征入手展开断层系统分析。

2.1 基底断裂特征

T_{10}^0 是珠二坳陷古近系的底界面(沉积层基底),横向为变振幅特征,连续性一般,局部杂乱反射不易追踪。平面上白云超深水区的北东向大断裂是控制构造格局和地形轮廓的主体断裂,断裂的水平断距大,

延伸长,为一级断裂。该断层南部的张性断裂活动强烈,发育了一条EW向二级断层,该北倾断层平面断距大,延伸较长,控制了白云南洼的结构与沉积。在上述两条断裂之间发育一系列调节区域应力的三级断层。研究区基底断裂的平面展布在 T_{10}^0 反射层等 t_0 构造图上可见。

2.2 晚渐新世断裂特征

晚渐新世白云超深水开始接受珠海组沉积,断裂特征体现为继承性弱、分层差异明显。从沿 T_7^0 层相干切片(图6a)可以看出,研究区北部的近EW向断裂近平行展布,延伸长,在研究区中南部NW向断裂分布较分散,NE向断裂研究区内无分布,整体上看 T_7^0 层位的断裂活动强度较小(图6b)。恩平组顶面(T_7^0 界面)是珠二坳陷重要的不整合界面,其反射特征为中等连续,中低频反射。其反射波与上下反射波接触关系明显,常见上超与削截关系。下断至 T_7^0 面的断层较少, T_7^0 面以上以NW向断裂为主,地震剖面上深部NE向断层上断至 T_7^0 层位即停止活动,表明区域断陷期的结束(图7)。不整合面上下两套断裂体系表现为分层差异变形。在研究区 T_7^0 界面以下断层的构造样式表现为明显的板式结构。下渐新统顶 T_7^0 反射界面以下地层受断层活动影响,向隆起及凸起处减薄。上述特征表明 T_7^0 为白云超深水区的断-拗转换界面。

2.3 早中新世断裂特征

早中新世白云超深水开始接受珠江组沉积,断裂特征表现为分带差异与分层差异。由沿 T_6^0 层的相干切片(图8a)可以看出,该期断裂在白云主洼南部密集发育,平面以NW向与近EW向断层展布为主。珠海组顶面(T_6^0 界面)是连续性好、高频高能、能区域追踪的反射界面。研究区北部的近EW向断裂延伸长,普遍达到20 km,表现为平行断层系的组合形态,与研

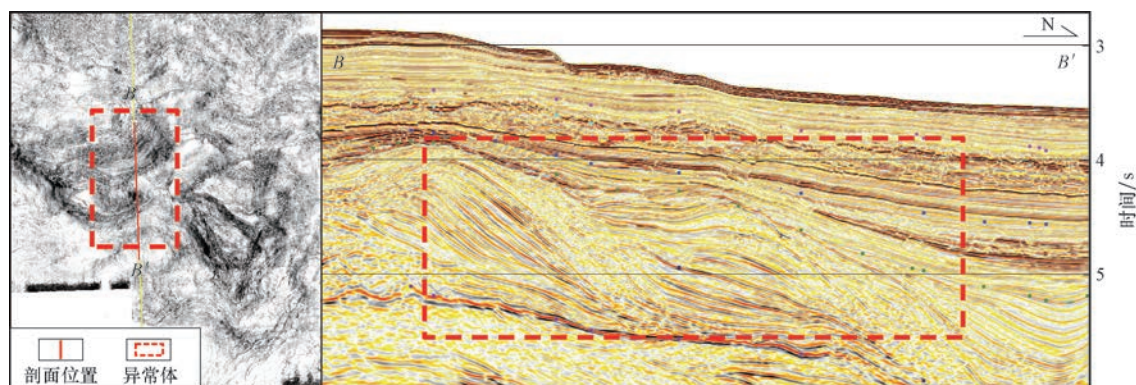


图5 示三角洲沉积的珠二坳陷超深水地震剖面 BB' 和相干切片

Fig.5 Seismic section BB' and coherence-slice showing delta deposits in the Baiyun ultra-deepwater area of Zhu II Depression

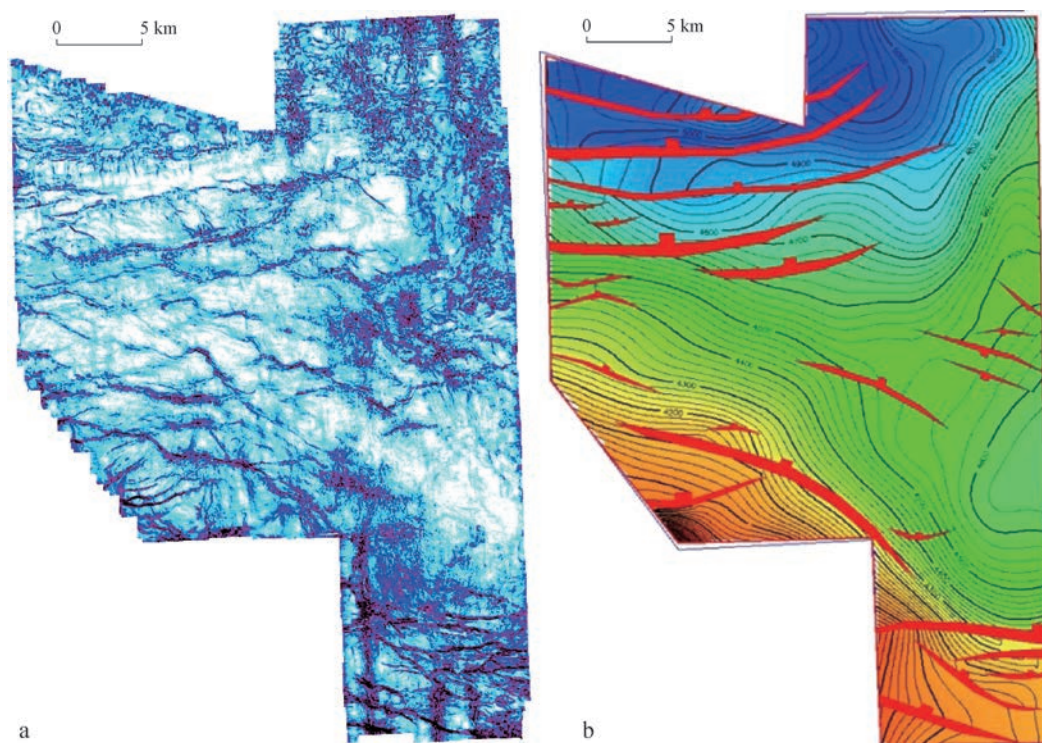


图 6 珠二坳陷白云超深水地区沿 T_7^0 层相干切片与构造

Fig. 6 Coherent slice along T_7^0 horizon and structural map in the Baiyun ultra-deepwater area of Zhu II Depression

a. 沿 T_7^0 层相干切片; b. T_7^0 反射层等 t_0 构造图

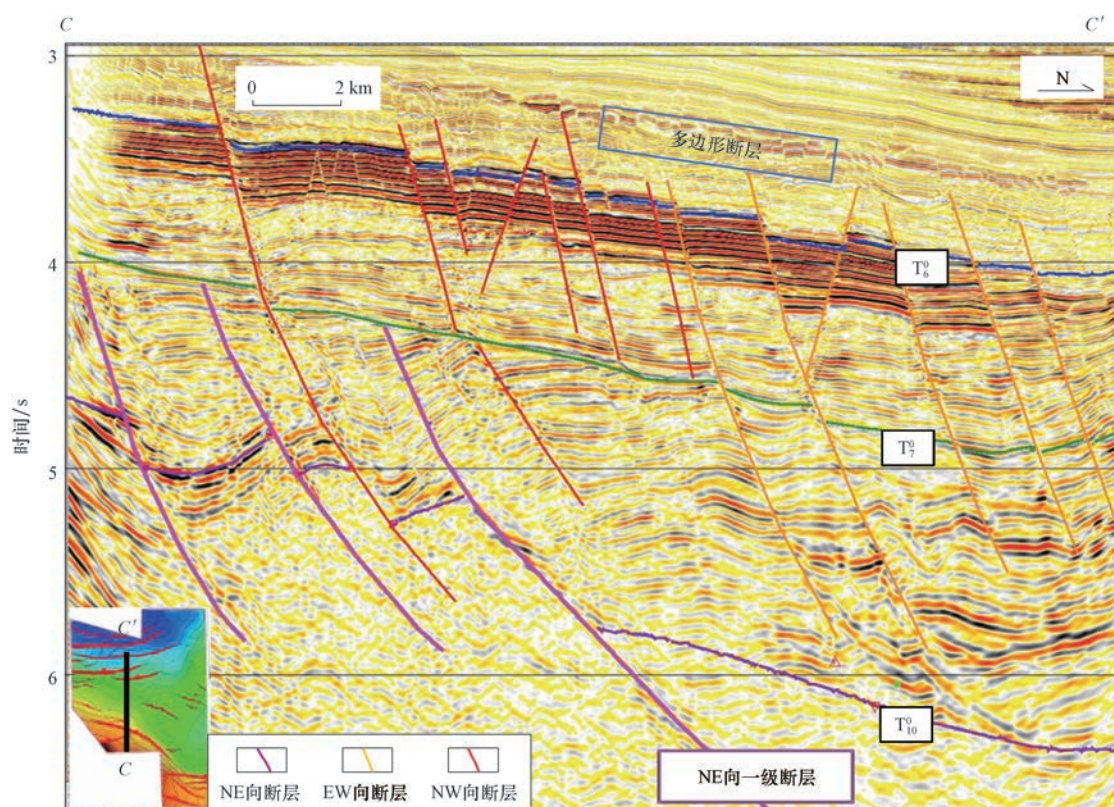


图 7 珠二坳陷白云超深水地区地震剖面 CC' 示断裂发育特征

Fig. 7 Seismic section CC' showing fault characteristics in the Baiyun ultra-deepwater area of Zhu II Depression

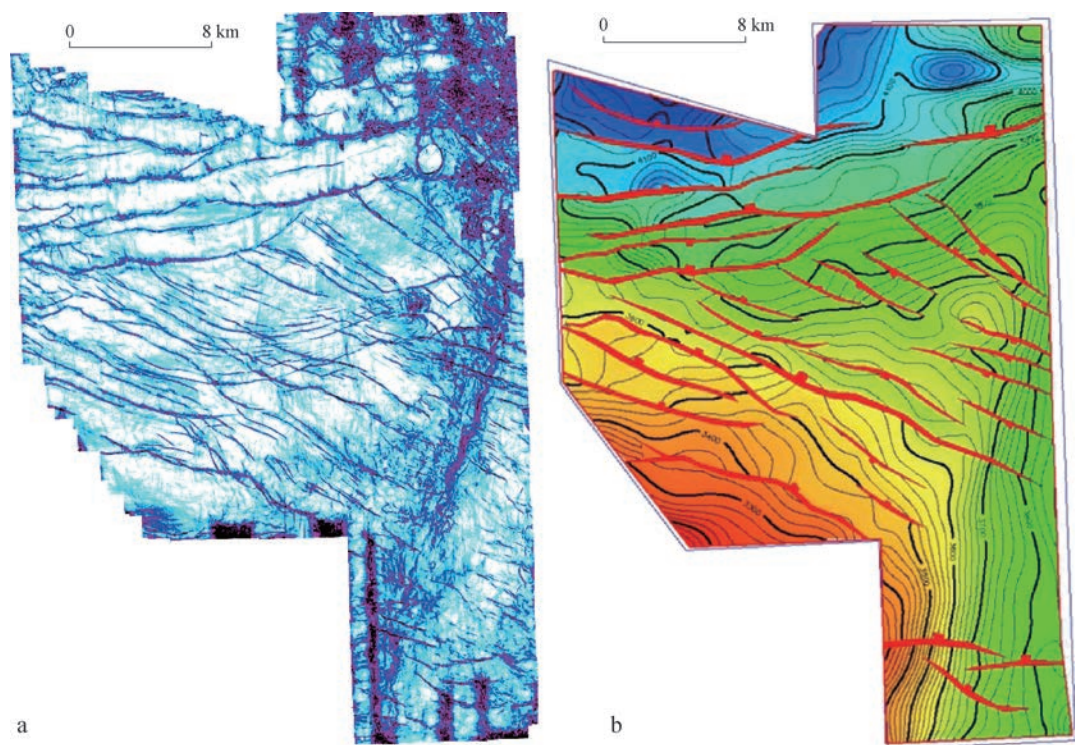


图 8 珠二坳陷白云超深水区沿 T_6^0 层相干切片与构造

Fig. 8 Coherent slice along T_6^0 horizons and structural map in the Baiyun ultra-deepwater area of Zhu II Depression

a. 沿 T_6^0 层相干切片; b. T_6^0 反射层等 t_0 构造图

究区中部的 NW 向断裂分带差异明显(图 8b)。这种分带性可能与不同区域的岩性不同有关:研究区北侧处于白云主洼内,而研究区南侧属于隆起区,两侧不同的地层厚度与岩性受到区域构造应力场作用后的应变形式表现不同,造成了两个方向断裂的分带差异。从地震剖面上 EW 向断层系断穿古近系,活动性更强,NW 向断层系落差较小,活动局限于珠江组-珠海组。

2.4 断裂系统与断-拗转换

白云超深水区断裂系统划分为三级(表 1),划分

表 1 珠二坳陷白云超深水区主要断裂要素							
Table 1 Fault characteristics of the Baiyun ultra-deepwater area of Zhu II Depression							
断层编号	断层级别	断开层位	走向	倾向	延伸长度/km	最大断距/ms	构造样式
F1	一级	$T_{10}^0 - T_7^0$	NE	NW	42.9	1 900	铲式
F2	二级	$T_{10}^0 - T_6^0$	EW	N	25.7	950	铲式
F3	三级	T_{10}^0	NE	NW	9.6	170	铲式
F4	三级	T_{10}^0	NE	NW	6.1	230	铲式
F5	三级	$T_{10}^0 - T_5^0$	EW	NE	18.6	490	铲式
F6	三级	T_{10}^0	EW	N	5.1	160	铲式
F7	三级	$T_7^0 - T_6^0$	NW	NE	12.6	150	板式
F8	三级	$T_7^0 - T_6^0$	NW	NE	8.3	130	板式
F9	三级	T_7^0	EW	N	9.1	100	板式
F10	三级	$T_7^0 - T_6^0$	NW	NE	6.4	80	板式
F11	三级	$T_7^0 - T_6^0$	NW	NE	9.4	100	铲式
F12	三级	$T_7^0 - T_6^0$	NE	SW	8.3	110	板式
F13	三级	$T_7^0 - T_6^0$	EW	N	10.4	150	铲式
F14	三级	$T_7^0 - T_5^0$	EW	N	19.1	200	铲式
F15	三级	$T_7^0 - T_5^0$	EW	N	24.2	180	铲式
F16	三级	$T_7^0 - T_5^0$	EW	N	26.5	190	铲式
F17	三级	$T_7^0 - T_5^0$	EW	N	20.6	160	铲式
F18	三级	$T_6^0 - T_5^0$	NW	NE	24.9	70	板式
F19	三级	$T_6^0 - T_5^0$	NW	SW	9.1	90	板式

依据是断层的发育规模及对构造与沉积控制作用的大小。从白云超深水区基底等时构造图上可见(图 9),该区的构造格局和主要断裂的空间展布。其中发育 1 条一级控凹断裂,该断层位于白云主洼与白云南洼的交界地带,与白云凹陷结构走向一致为 NE 向。作为控制白云凹陷南部边界的断层,断层发育早,延伸长,水平断距大,活动强度大,但活动时间相对短,继承性不强。从珠二坳陷断-拗转换期(早渐新世末)古地貌图可见,该 NE 向断层对白云-荔湾凹陷恩平组沉积时期的连通性起到了重要的控制作用(图 10)。研究区的二级断裂是一条位于白云凹陷南端的近 EW 向断层,该断层水平断距大,延伸较长,控制了白云南洼

的构造形态。三级断裂为 NE 向、NW 与近 EW 向展布的断层。三级断裂数量虽多,对凹陷的构造格局影响小,但对局部构造圈闭的形成发育具有控制作用。除主控断裂,大部分 NE 向断层在渐新统沉积前结束活动,个别继续活动的断层在渐新世结束后活动明显减弱。

区域上来看,白云凹陷南翼的 NE 向断裂活动控制了始新世-渐新世珠二坳陷超深水凹陷和隆起的形成与分布。这与珠江口盆地各个坳陷和隆起带均呈 NE 向分布相吻合,它们均受北东向区域断裂控制。结合前人对白云凹陷主洼的断裂研究^[20]认为,NE 向大断裂的活动期短造成了白云-荔湾凹陷的断陷期相对较短并结束于渐新世早期,为长期以断拗-拗陷作用



图 9 珠二坳陷白云超深水主要断裂系统

Fig. 9 Main fault system in the Baiyun ultra-deepwater area of Zhu II Depression

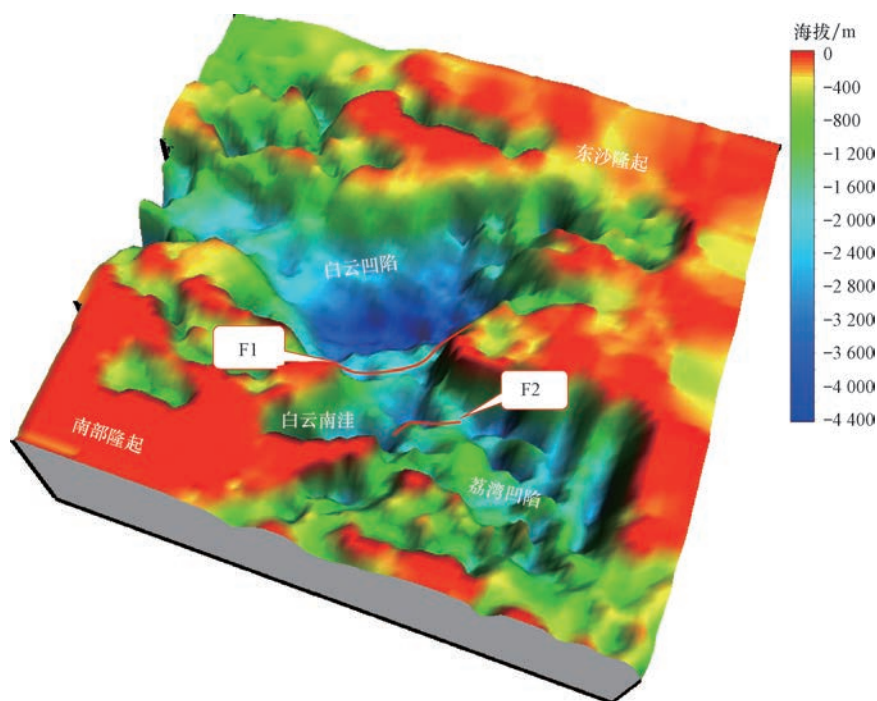


图10 珠二坳陷断-拗转换期(早渐新世末)古地貌

Fig. 10 Palaeogeomorphology of rift to sag transition period in Zhu II Depression(Early Oligocene)

F1. NE向一级断层;F2. EW向二级断层

为主的凹陷。受渐新世开始的新南海构造旋回的渐进式扩张作用影响,研究区内的断-拗转换界面下渐新统顶 T_7^0 为区域不整合面,不整合面上、下两套断裂体系的分层差异变形明显,并对超深水区断拗转换期的油气成藏具有重要控制作用。

3 结论

1) 在珠二坳陷超深水区的断层研究中应用高精度沿层相干技术,有效提高了断裂系统解释与组合的精度,高精度沿层相干技术改善了超深水区内复杂断块、陡倾地层与沉积异常体的影响,对超深水三维资料中特定地质时期断层的空间展布具有敏感表征。

2) 基于此技术的断裂系统相干分析指示,白云超深水区的构造走向受北东向区域断裂控制明显。白云超深水具三级断裂系统,下渐新统恩平组顶面(T_7^0)为超深水区域不整合面,不整合面上、下两套断裂体系的分层差异变形明显,北东向一级断层F1控制了恩平组时期白云-荔湾凹陷的连通性;珠二坳陷超深水早期断陷特征减弱,之后以断拗-拗陷作用为主,下渐新统顶面是白云-荔湾凹陷的断-拗转换界面,对珠二坳陷超深水油气成藏具有重要的控制作用。

参 考 文 献

- [1] 张功成,米立军,吴时国,等. 深水区——南海北部大陆边缘盆地油气勘探新领域[J]. 石油学报,2007,28(2):15-21.
Zhang Gongcheng, Mi Lijun, Wu Shiguo, et al. Deepwater area—the new prospecting targets of northern continental margin of South China Sea[J]. Acta Petroli Sinica, 2007, 28(2): 15-21.
- [2] 陈长民,施和生,许仕策,等. 珠江口盆地(东部)第三系油气藏形成条件[M]. 北京:科学出版社,2003:1-121.
Chen Changmin, Shi Hesheng, Xu Shice, et al. The conditions of hydrocarbon accumulation of the Tertiary petroleum system in the Pearl River Mouth Basin[M]. Beijing: Science Press, 2003: 1-121.
- [3] 张功成,杨海长,陈莹,等. 白云凹陷—珠江口盆地深水区一个巨大的富生气凹陷[J]. 天然气工业,2014,34(11):11-25.
Zhang Gongcheng, Yang Haizhang, Chen Ying, et al. The Baiyun Sag: A giant rich gas-generation sag in the deepwater area of the Pearl River Mouth Basin[J]. Natural Gas Industry, 2014, 34(11): 11-25.
- [4] 胡阳,吴智平,钟志洪,等. 珠江口盆地珠一坳陷始新世中-晚期构造变革特征及成因[J]. 石油与天然气地质,2016,37(5):779-785.
Hu Yang, Wu Zhiping, Zhong Zhihong, et al. Characterization and genesis of the Middle and Late Eocene tectonic changes in Zhu 1 Depression of Pearl River Mouth Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2016, 37(5): 779-785.
- [5] Franke D, Savva D, Pubellier M, et al. The final rifting evolution in the South China Sea[J]. Marine and Petroleum Geology, 2014, 58: 704-720.

- [6] 张功成,王璞珺,吴景富,等. 边缘海构造旋回——南海演化的新模式[J]. 地学前缘,2015,22(3):1-11.
Zhang Gongcheng, Wang Pujun, Wu Jingfu, et al. Tectonic cycle of marginal oceanic basin: A new evolution model of the South China Sea[J]. Earth Science Frontiers, 2015, 22(3):1-11.
- [7] 施和生,柳保军,颜承志,等. 珠江口盆地白云-荔湾深水区油气成藏条件与勘探潜力[J]. 中国海上油气,2010,22(6):369-374.
Shi Hesheng, Liu Baojun, Yan Chengzhi, et al. Hydrocarbon accumulation conditions and exploration potential in Baiyun-Liwan deepwater area, Pearl River Mouth Basin [J]. China Offshore Oil and Gas, 2010, 22(6):369-374.
- [8] 高岗,刚文哲,张功成,等. 珠江口盆地荔湾3-1深水气田成藏模拟实验[J]. 天然气工业,2014,34(11):26-35.
Gao Gang, Gang Wenzhe, Zhang Gongcheng, et al. Geological features and gas accumulation simulation experiments of the Liwan 3-1 Gas Field in the Baiyun Sag, Pearl River Mouth Basin [J]. Natural Gas Industry. 2014, 34(11):26-35.
- [9] 赵钊,赵志刚,沈怀磊,等. 南海北部超深水区双峰盆地构造演化与油气地质条件[J]. 石油学报,2016,37(s1):47-57.
Zhao Zhao, Zhao Zhigang, Shen Huailei, et al. Tectonic evolution and hydrocarbon geological conditions of Shuangfeng Basin in the ultra-deep water area of the northern South China Sea [J]. Acta Petrolei Sinica, 2016, 37(s1):47-57.
- [10] Gong Chenglin, Wang Yingmin, Zhu Weilin, et al. Upper Miocene to Quaternary unidirectionally migrating deep-water channels in the Pearl River Mouth Basin, northern South China Sea [J]. AAPG Bulletin, 2013, 97(2):285-308.
- [11] 张功成,屈红军,刘世翔,等. 边缘海构造旋回控制南海深水区油气成藏[J]. 石油学报,2015,36(5):533-545.
Zhang Gongcheng, Li Yochuan, Liu Shixiang, et al. Tectonic cycle of marginal sea controlled the hydrocarbon accumulation in deep-water areas of South China Sea [J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(5):533-545.
- [12] 徐强,王英民,吕明,等. 陆架边缘三角洲在层序地层格架中的识别及其意义——以南海白云凹陷为例 [J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(54):733-742.
Xu Qiang, Wang Yingmin, Lv Ming, et al. Identification of the shelf margin delta in sequence stratigraphic frameworks and its significance: A case study of the Baiyun Sag, South China Sea [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(54):733-742.
- [13] Chen W. Status and challenges of Chinese deepwater oil and gas development [J]. Petroleum Science, 2011, 8(4):477-484.
- [14] 邓运华. 试论中国近海两个坳陷带油气地质差异性 [J]. 石油学报, 2009, 30(1):1-8.
Deng Yunhua. Analysis on differences of petroleum type and geological conditions between two depression belts in China offshore [J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(1):1-8.
- [15] 朱俊章,施和生,庞雄,等. 利用流体包裹体方法分析白云凹陷 LW3-1-1 井油气充注期次和时间 [J]. 中国石油勘探, 2010, 01:52-58.
Zhu Junzhang, Shi Hesheng, Pang Xiong, et al. Hydrocarbon fluid inclusion in studies of periods and times of hydrocarbon charging in Well LW3-1-1, Pearl River Mouth Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2010, 01:52-58.
- [16] 庞雄,陈长民,陈红汉,等. 白云深水区油气成藏动力条件研究 [J]. 中国海上油气, 2008, 20(1):9-14.
Pang Xiong, Chen Changmin, Chen Honghan, et al. A study on hydrocarbon accumulation dynamics in Baiyun deepwater area, Pearl River Mouth Basin [J]. China Offshore Oil and Gas, 2008, 20(1):9-14.
- [17] 余德平,曹辉,郭全仕. 断裂系统解释与储层预测中的三维相干技术 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(1):100-105.
She Deping, Cao Hui, Guo Quanshi. 3D coherence technique in fault system interpretation and reservoir prediction [J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(1):100-105.
- [18] 吴永平,王超. 三维相干体技术在三维精细构造解释中的应用 [J]. 断块油气藏, 2008, 15(2):27-29.
Wu Yongping, Wang Chao. Application of 3D coherence cube technique in 3D seismic fine structural interpretation [J]. Fault-block Oil & Gas Field, 2008, 15(2):27-29.
- [19] 王振升,丁一萍,王照华,等. 利用三维可视化技术解释复杂断裂构造 [J]. 天然气地球科学, 2008, 19(6):844-848.
Wang Zhengsheng, Ding Yiping, Wang Zhaozhua, et al. Using 3D visualization technology to interpret complicated fault structures in Dagang area [J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(6):844-848.
- [20] 米立军,张功成,沈怀磊,等. 珠江口盆地深水区白云凹陷始新统一渐新统沉积特征 [J]. 石油学报, 2008, 29(1):29-34.
Mi Lijun, Zhang Gongcheng, Shen Huailei, et al. Eocene-Lower Oligocene sedimentation characteristics of Baiyun Sag in the deep water area of Pearl River Mouth Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(1):29-34.

(编辑 张玉银)