

文章编号: 0253-2697(2012)06-0987-09

# 南黄海盆地青岛坳陷二叠系、三叠系地震属性及其地质意义

林年添<sup>1</sup> 高登辉<sup>2</sup> 孙 剑<sup>3</sup> 魏立杰<sup>1</sup> 彭 杰<sup>1</sup>

(1. 山东省沉积成矿作用与沉积矿产重点实验室 山东科技大学地质科学与工程学院 山东青岛 266510;  
2. 山东中煤物探测量总公司 山东泰安 271021; 3. 中国地质大学地球物理与信息技术学院 北京 100083)

**摘要:**新一轮的战略性油气地质调查工作在南黄海盆地崂山隆起新近系之下发现了疑似海相地层的有效地震反射,但因针对海相地层的勘探程度低(无井、地震测线稀)等原因,其地层属性至今依然不清楚。本文利用青岛坳陷有限的钻井资料,结合新采集有限的二维地震资料,对青岛坳陷二叠系、三叠系进行了地震属性提取及分析,认为其地震属性特征为:上二叠统龙潭组和大隆组总体表现为中—强振幅、偏低频、平行—近平行较密集地震反射;下三叠统下青龙组为中振幅、中—高频、平行—近平行密集地震反射;下三叠统上青龙组则为弱振幅或空白反射、低—中频、平行—近平行地震反射。预测上二叠统及中—下三叠统主要残存分布于青岛坳陷东侧靠近崂山隆起及勿南沙隆起的部位,并据此推测在崂山隆起及勿南沙隆起区可能残存,是值得探索的勘探领域。对于钻井稀少的低勘探程度区,利用地震多属性分析及地震属性特征来识别与预测勘探目的层的分布,对于早期勘探评价具有重要现实意义。

**关键词:**南黄海盆地;青岛坳陷;二叠系;三叠系;地震属性分析;地层识别

中图分类号:P631.445

文献标识码:A

## Seismic attributes of the Permian and Triassic in Qingdao depression, South Yellow Sea Basin and their geological significance

LIN Niantian<sup>1</sup> GAO Denghui<sup>2</sup> SUN Jian<sup>3</sup> WEI Lijie<sup>1</sup> PENG Jie<sup>1</sup>

(1. College of Geological Science & Engineering, Shandong University of Science & Technology, Qingdao 266510, China;  
2. Shandong Geophysical Prospecting & Surveying Company, China National Coal Cooperation, Tai'an 271021, China;  
3. School of Geophysics & Information Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** A new round of geologic survey on oil-gas resources recently discovered effective seismic reflection from suspected marine strata beneath the Neogene of Laoshan uplift in South Yellow Sea Basin. But its stratigraphic attribute remains unknown up to now because of the low degree of exploration in marine strata (no exploration wells and lack of seismic profiles). In this paper, we make a seismic multi-attribute analysis on the Permian and Triassic in Qingdao depression using the latest seismic data combined with limited drilling data (such as the WX5-ST1 well). The result shows that these seismic attributes are characterized by the mid-strong amplitude, low frequency, parallel-subparallel and relatively dense seismic reflection for the Permian Longtan and Dalong Formations; the mid amplitude, mid-high frequency, parallel-subparallel and dense seismic reflection for the lower part of the Lower Triassic Qinglong Formation, and the weak amplitude or blank reflection, low-mid frequency, parallel-subparallel seismic reflection for the upper part of the Lower Triassic Qinglong Formation. Therefore, it was predicted that the residual Upper Permian and Middle-Lower Triassic are mainly distributed in areas near Laoshan and Wunansha uplifts in the eastern Qingdao depression, which are worthy of further exploration. As for areas with the low degree of exploration, it is of great practice significance in early exploration and evaluation to identify and predict the distribution of exploration targets by applying the seismic multi-attribute analysis and seismic attribute characteristics.

**Key words:** South Yellow Sea Basin; Qingdao depression; Permian; Triassic; seismic attribute analysis; formation identification

南黄海盆地前期的油气勘探主要以陆相中生界、新生界为目的层,有学者指出海相中生界、古生界也是具有资源潜力的目的层<sup>[1]</sup>。如南黄海盆地西南部及南部的一些钻井钻遇了海相中生界及古生界,其中的下三叠统青龙组灰岩及上二叠统大隆组、龙潭组碎屑岩分布范围较大,据地震解释推测中生界—古生界厚度可

达 6 000 m<sup>[1-2]</sup>。

近年来新一轮的油气调查发现在崂山隆起区存在疑似海相地层的有效地震反射<sup>[3-6]</sup>,南黄海盆地海相地层的油气勘探成为人们关注的热点<sup>[5-7]</sup>。由于针对海相地层的勘探程度低(无井、地震测线稀)等原因,导致对崂山隆起新发现地震反射层地层属性的确定存在困难。

基金项目:国家自然科学基金项目(No. 41174098 和 No. 40904009)与国家高科技研究发展计划(863)项目(GZH00800503)资助。

第一作者及通讯作者:林年添,男,1962年8月生,1986年获江汉石油学院学士学位,2004年获中国科学院地质与地球物理研究所理学博士学位,现为山东科技大学地质科学与工程学院教授,主要从事地震信号处理、成像方法及地质与地球物理综合研究。Email:linnt@sina.com

由于一些早期钻井缺乏声波测井资料,无法通过合成地震记录来准确地标定地震地质层位,而是选用以拗陷内陆相碎屑岩为主的区域平均地震速度来对海相地震反射层进行时深转换,由于同深度的海相地层的速度明显高于陆相地层,进而导致所标定出的海相地层比其实际地层的埋深要浅<sup>[5,7-10]</sup>,影响了对海相地层分布及其勘探前景的认识。地震多属性分析有助于丰富地震信息向地质信息转换的内容及预测沉积地层的分布<sup>[11]</sup>,但属性分析需建立在良好的地震反射层标定解释基础上,地震地质层位解释的可靠性直接影响了地震多属性分析的结果。

为克服因缺少井孔声波测井资料所带来的层位标定问题,本文利用对过井地震剖面段进行非线性速度误差校正所获得的适合于井口局部时深转换的尺子,借助于钻井分层数据,对过井新、老地震剖面进行地震地质层位标定;在此基础上,对过井剖面段的层段

进行地震多属性分析并识别其地震属性特征,以期为研究区乃至整个南黄海盆地的海相地层识别及其分布预测提供借鉴依据。

### 1 地质概况

#### 1.1 区域地质背景

南黄海盆地位于下扬子地块东北部,为扬子地块向海域的延伸部分<sup>[12-15]</sup>。印支—燕山期,中生界-古生界海相地层产生强烈褶皱和断裂;后期由于张性断裂的改造,产生了分布局限、活动性强、呈条块状分布的中生代-新生代陆相断陷盆地;新近纪以来发生区域性沉降,形成广布全区的新近系拗陷型沉积<sup>[2,5,9,16]</sup>。综合前人研究成果<sup>[1-15]</sup>,将南黄海区域分成3个一级构造单元,即千里岩隆起区、南黄海盆地和勿南沙隆起区,南黄海盆地进一步被划分为烟台拗陷、崂山隆起及青岛拗陷(图1)。

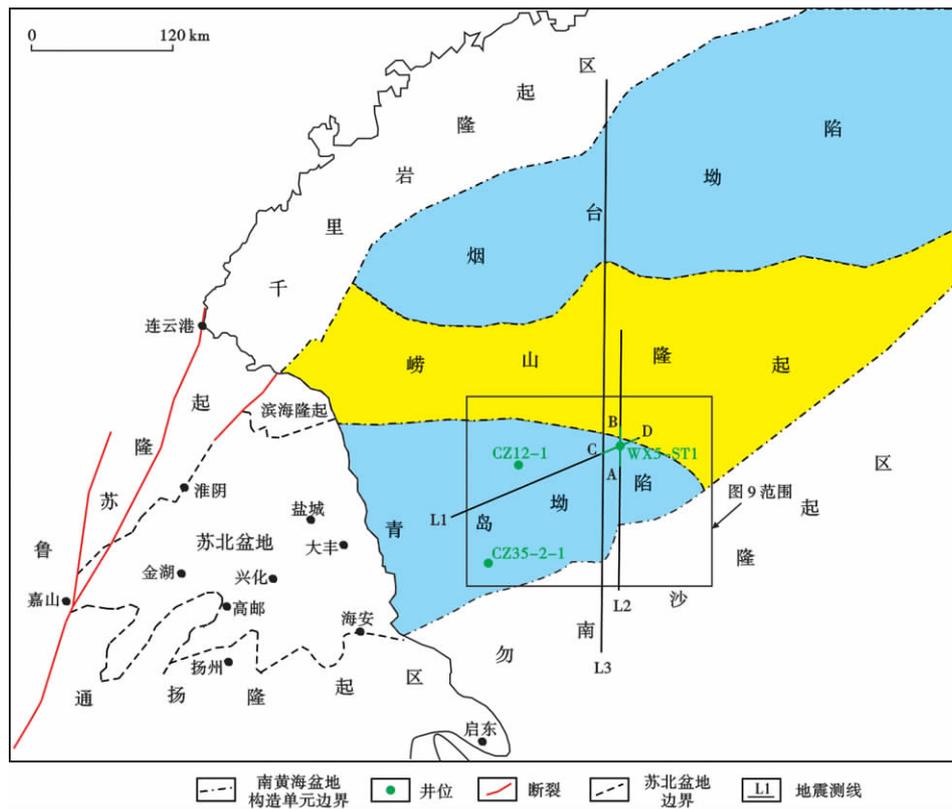


图1 南黄海盆地青岛拗陷位置(据文献[4-5]修改)

Fig. 1 Location of Qingdao depression in South Yellow Sea Basin

钻探和物探资料表明,南黄海海域中生界-古生界海相地层的沉积演化及其岩性组合特征与陆上的下扬子区相似。南黄海区自古生代至三叠纪早期,基本上处于稳定的浅海沉积环境,其原始沉积范围十分广泛,包括上述除千里岩隆起区以外的所有构造单元。本文的目的层为上二叠统龙潭组为煤系沼泽、三角洲前

缘相沉积组合,下三叠统青龙组为碳酸盐台地相和缓坡相沉积组合<sup>[2,16]</sup>,现今主要分布在南黄海青岛拗陷及勿南沙隆起区。关于二叠系及三叠系分布的认识主要基于以往资料及受传统观念影响所得出,新的勘探研究成果初步认为在崂山隆起上可能也残存了上二叠统龙潭组—下三叠统青龙组(图2)。

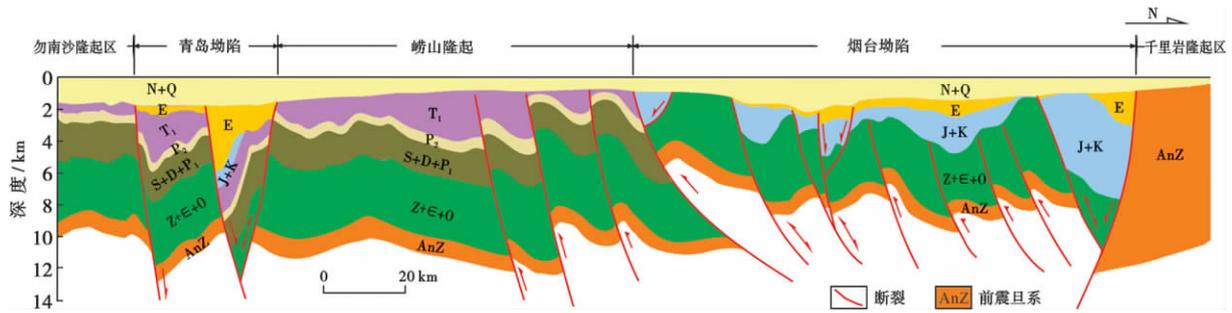


图 2 南黄海盆地 L3 区域地震地质解释剖面(剖面位置见图 1)

Fig. 2 Geological section of the seismic Line L3 in South Yellow Sea Basin(location see Fig 1)

### 1.2 研究区二叠系、三叠系沉积特征

南黄海水域迄今共有 7 口井钻遇中生界-古生界海相地层,其钻井钻遇的二叠系、三叠系地层格架如图 3<sup>[9,17]</sup>。其中有 4 口井钻遇二叠系,钻遇二叠系的井主要分布于青岛坳陷和勿南沙隆起区,二叠系的岩性组合特征为:

界	系	统	地层名称	岩性剖面	厚度/m	主要岩性描述	类别
中生界	白垩系	下统	葛村组		1350~1400	上部: 粉砂岩与泥岩互层 下部: 泥质粉砂岩夹凝灰岩	陆相层序
			周冲村组		80~100	砾岩	
	三叠系	下统	上青龙组		530~580	上部: 巨厚层状灰岩夹泥质灰岩; 下部: 致密薄层泥灰岩	海相层序
			下青龙组		800~850	上部: 泥晶灰岩与泥质灰岩互层; 中部: 泥质灰岩、白云岩; 下部: 泥岩夹石灰岩	
			大隆组		110~115	页岩、钙质页岩	
古生界	二叠系	上统	龙潭组		330	泥岩、砂质泥岩夹煤层	海相层序
			孤峰组		30~60	硅质岩	
	下统	栖霞组		200~300	灰岩、泥灰岩, 底部页岩		
		船山组		200~300	生物碎屑灰岩, 含石灰岩		
石炭系	上统	船山组		200~300	生物碎屑灰岩, 含石灰岩		

图 3 南黄海水域钻遇二叠系、三叠系地层综合柱状图 (据文献<sup>[9,17]</sup>修改)

Fig. 3 Stratigraphic column of the Permian and Triassic in South Yellow Sea Basin

下二叠统栖霞组,厚 200~300 m,主要岩性为深灰、黑色灰岩、泥灰岩,局部夹黑色页岩和炭质页岩,上部灰岩中偶含白云质和燧石结核,属于开阔台地相沉积。下二叠统孤峰组,厚 30~60 m,主要岩性为薄层硅质岩、硅质页岩夹炭质页岩,属于盆地相沉积。上二叠

统龙潭组,厚 330 m,其上段为灰白色至深灰色细砂岩、黑色泥岩,夹多层煤层;下段为灰白—深灰色粉细砂岩、粉砂岩间夹灰岩薄层;横向上岩性可变为以黑色泥岩为主夹砂岩和炭质泥岩<sup>[9]</sup>,总体属于滨海三角洲、沼泽相沉积。上二叠统大隆组,厚 110~115 m,主要岩性为页岩、钙质页岩,为盆地相沉积<sup>[2,9,16-17]</sup>。

其中有 5 口井钻遇三叠系,钻遇地层最全的井位于青岛坳陷,钻遇了完整的青龙组,厚 1410 m。青龙组以大套灰岩为特征,为碳酸盐台地相和缓坡相沉积,其主要岩性组合特征为:

下青龙组,厚 800~850 m,其上部为浅黄、灰色泥晶灰岩与泥质灰岩互层,夹红褐色泥岩、黑色泥质粉砂岩、鲕状灰岩;下部为浅灰、红褐色泥晶灰岩夹泥质灰岩、白云岩;底部为浅灰—暗灰色泥晶灰岩夹粉砂岩<sup>[9,17]</sup>。上青龙组,厚 530~580 m,上部岩性主要以灰色、深灰色巨厚层状灰岩、泥质灰岩为主,下部为绿灰、黄褐色泥灰岩,中部夹紫红色瘤状灰岩<sup>[9,17]</sup>。

## 2 地震属性分析的理论基础

针对研究区地震资料的特点,经过大量的演算、分析认为均方根振幅、平均绝对值振幅、主频、弧长、瞬时频率、瞬时相位及平均反射强度等<sup>[18]</sup>属性参数能较好地反映研究区目的层段即二叠系、三叠系的地震属性及其地质特征。有关地震属性参数及其地质意义概述如下:

- (1) 均方根振幅、平均绝对值振幅属于振幅统计类属性。均方根振幅是将振幅平方的平均值再开平方,由于振幅值在平均前平方了,因此,它对特别大的振幅非常敏感,适合于地层的砂泥岩百分比含量分析,也用于地层岩性相变分析<sup>[19]</sup>。平均绝对值振幅没有均方根振幅那样高的敏感度,它主要对特别大的振幅敏感,适于地层的岩性变化趋势分析、地震相分析,也可用于地层岩性相变分析<sup>[19-22]</sup>。
- (2) 主频、弧长属于频谱统计类属性。主频系列

是通过分析估算时窗内能量谱上最重要的几个点的低、中、高值处的主频率,主要反映频率吸收特征,与流体储量、裂缝吸收及薄层调谐现象有关。弧长是计算时窗内波形的弧线长度,这一属性相似于反射的非均质性,能够反映地震反射差异,测量反射特征横向上的变化<sup>[20-21]</sup>,主要用于区别同是高振幅特征,但有高频、低频之分的地质情况<sup>[22]</sup>。

(3) 瞬时相位、瞬时频率、反射强度属于复数道统计类属性。瞬时相位是以度或弧度表示的在所选样点上各道的相位值,主要用于增强层间弱同相轴,对噪音也有一定放大作用,其横向变化与沉积层流体含量或层内岩床特征的变化有关<sup>[23-24]</sup>。瞬时频率是相位随时间的变化率或者说是相位对时间的导数,主要用于检测频率吸收情况,在某些环境下,由于相对低密度地层吸收地震高频的作用,常常能引起与均方根振幅异常(亮点或暗点)一致的低平均瞬时频率值<sup>[25-26]</sup>。由于反射强度所参与计算的振幅信息是从相位信息中分离出来,所以平均反射强度对振幅异常更为敏感。因而,平均反射强度对于检测由岩性和地层改变而引起的时间序列振幅值的变化很有帮助<sup>[20,22]</sup>。

### 3 二叠系、三叠系地震属性

#### 3.1 地震属性分析的主要内容及实现过程

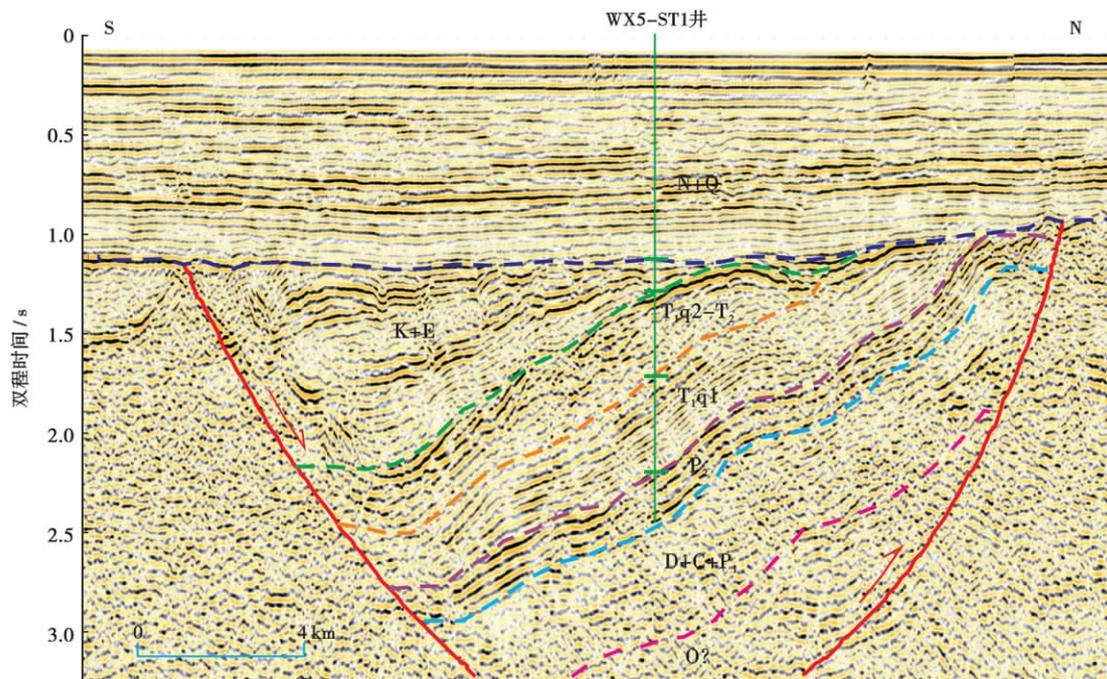
本文的地震属性分析工作主要有 2 方面内容:一

是常规的地震地质层位标定、解译;二是地震属性提取及分析。其技术实现的步骤为:①区域地质背景及地球物理特征分析;②优选地震剖面,利用非线性速度误差校正得到的时深转换尺子进行地震地质层位标定;③进行振幅、频率等地震属性提取;④对所提取的地震属性参数进行综合分析,与常规地震剖面地震反射特征进行对比分析,最后综合描述二叠系、三叠系地震属性特征并指出其地质意义。

在上述②步骤中,优选 L2 地震测线部分剖面段为演算、分析对象(图 4),其原因是:①该剖面段地震资料品质相对较高,地震波组特征较明显;②该剖面段经过钻井 WX5-ST1,可以得到可靠的地质层位标定;③该地震测线横跨了崂山隆起、青岛坳陷,并延伸至勿南沙隆起区,有利于进行地震层位追踪对比。

#### 3.2 非线性速度误差校正地震地质层位标定

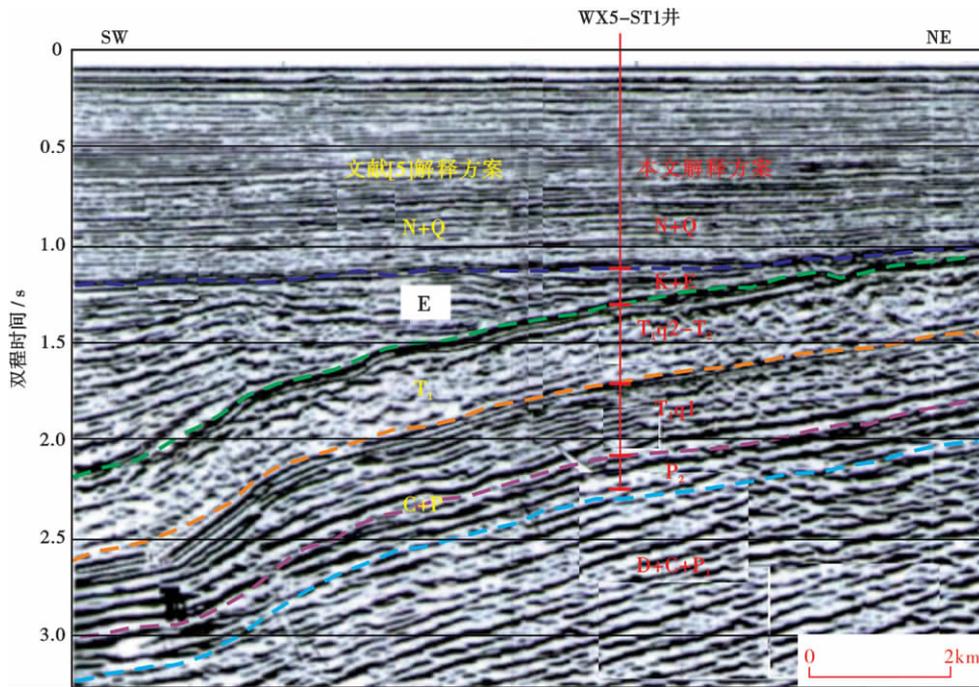
由于速度选取误差所导致的地震地质层位标定错误及其厚度计算存在较大误差,影响了对目的层分布及其勘探的相关基本问题的认识,如图 5 所示的文献<sup>[5]</sup>解释方案所标定的 WX5-ST1 井二叠系(顶、底时间分别为 1.7 s 和 2.0 s)、三叠系(顶、底时间分别为 1.4 s 和 1.7 s)地震反射层,经换算其厚度分别约为 590 m 和 560 m,其与钻井所揭示的二叠系厚度 450 m、三叠系厚度 1400 m<sup>[9]</sup>存在较大误差。



注: T<sub>1</sub>q<sub>1</sub>—下青龙组; T<sub>1</sub>q<sub>2</sub>-T<sub>2</sub>—上青龙组-中三叠统。

图 4 L2 地震测线 AB 剖面段地震地质层位标定及解释

Fig. 4 Seismic geologic horizon calibration and interpretation of section AB in seismic Line L2



注:黄色字体为文献[5]解释方案,红色字体为本文解释方案(据文献[5]修改)。

图 5 L1 地震测线 CD 剖面段的 2 种地质层位标定解释方案对比

Fig. 5 Comparison between 2 geologic horizon calibration interpretations of section CD in seismic Line L1

针对这一问题,本文使用了非线性速度误差校正方法来标定地震地质层位。非线性速度误差校正方法的基本原理是:对于无速度信息(如 WX5-ST1 井只有井深数据)要实现时深转换,首先要识别并标定出具有区域性标志层特征的地震反射层,如图 4、图 5 中 K+E 的顶、底均是区域不整合面,前者是新近系与古近系的分界面,后者是印支-燕山运动剥蚀面,这是共识,即使无井也能较准确标定出。然后,由此读出时间剖面上的时间深度并利用井口叠加速度转换成深度,为区别于实际井深,称此深度为伪深度。如表 1,伪深度与实际井深存在差异,这是由于叠加速度大于井口实际平均速度所致,这种差异随深度增加呈非线性变化。

表 1 分层伪深度与实际钻井深度对比

Table 1 Comparison between the well depth and the depth calculated from seismic stack velocity

地震层位	时间/ms	伪深度/m	井深/m	深度差/m
N+Q 底	1128	1560	1119	441
K+E 底	1338	2004	1410	594
T 底	2226	3984	2820	1164

利用这种差异将井口叠加速度进行非线性误差校正,即可获得井口平均速度,如图 6 中蓝色曲线,依此可实现其它层位的时深转换和层位标定。

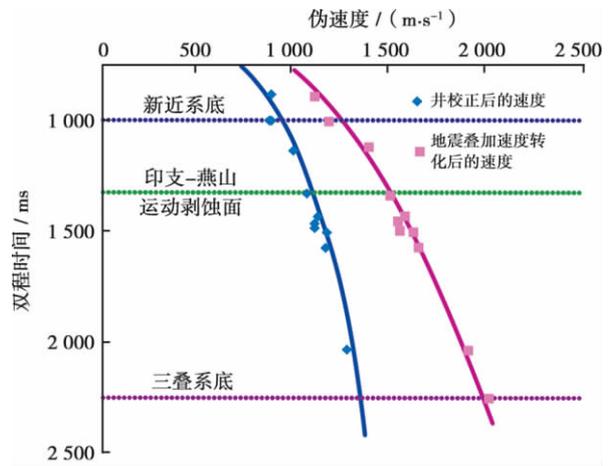


图 6 非线性速度误差校正前后井旁速度比较

Fig. 6 Comparison between the velocity before and after nonlinear error correction

根据钻井分层数据及过井非线性地震速度误差校正方法,本文对 L2 及 L1 地震测线进行了地震地质层位的重新标定(图 4、图 5)。可以看出,虽然 2 条地震剖面所采集的年代不同(前者采集于 2006 年,后者采集于 1979 年),但其地震反射组合特征基本相似。从本文标定的结果看,二叠系厚度约为 450 m(其顶、底的地震双程时间分别为 2.1 s 和 2.3 s)、三叠系厚度约为 1450 m(其顶、底的地震双程时间分别为 1.35 s 和 2.1 s),该计算厚度与实钻地层厚度基本吻合。

### 3.3 二叠系、三叠系地震属性及其成因

#### 3.3.1 常规剖面上二叠统、下三叠统地震反射特征

从常规地震剖面或地震混合属性剖面可看到(图4、图5),二叠系、三叠系具有如下地震反射特征:上青龙组总体表现为弱振幅或空白反射、低—中频、连续性差、平行—近平行密集反射,主要是因该组岩性相对单一所致,其岩性以灰色、深灰色中—薄层状泥晶灰岩为主;下青龙组总体表现为中振幅、中—高频、连续性好、平行—近平行密集反射,主要是由于泥晶灰岩与泥质灰岩互层所致;龙潭组和大隆组总体表现为中—强振幅、偏低频、连续性好、平行—近平行较密集反射,主要是因含煤层所致,煤层密度较围岩低,其高频成分易被吸收,使频率降低。

#### 3.3.2 上二叠统、下三叠统地震多属性特征

本文主要对过井地震剖面段(L2地震测线的AB剖面段)地层岩性地震特征进行纵向分析,寻找纵向上的变化规律。针对目的层段所进行的地震属性提取是在所选窗口进行的,未进行层约束,这意味着属性提取可以不受主观意识约束,即不受层位追踪准确性的影响,由此所进行的属性分析更为客观。

首先分析振幅类属性。均方根振幅对存在煤系地层的上二叠统的地震响应很敏感。在煤系发育段,反射层内部振幅常常会变强,如图7(a)黑色箭头所指地层较上覆、下伏地层的均方根振幅更高,较好地突出了该层地震属性变化特征。平均绝对振幅值[图7(b)]同样对振幅变化较敏感,箭头所指煤系地层的振幅与上覆、下伏地层的振幅存在明显差异。对有助于分析地层垂向变化规律的反射强度也显示出煤系地层与上覆、下伏地层存在差异,如图7(c)所指示的反射强度属性特征,较大的反射强度表明煤系地层与其上覆、下伏地层的岩石物理性质差异较大,这是因为岩性差异越大,振幅的变化表现越强烈。

综合振幅属性看,上二叠统龙潭组、大隆组与上覆三叠系青龙组及下伏以栖霞组为主的下二叠统(据区域地质情况推测,因WX5-ST1并未钻遇下二叠统)相比存在明显的强振幅特征。这主要源于其所含岩性以砂、泥岩夹煤层为主所致。因为该岩性组合的密度明显低于上覆青龙组的灰岩段,同样也低于下伏以栖霞组灰岩为主的下二叠统。正因为这种明显的岩性差异,产生了强波阻抗差。

其次,看频率类属性。图7(d)是主频图,不难看出,下青龙组灰岩地层主频约为23 Hz,上二叠统煤系地层的主频在18 Hz左右,说明煤系地层的频率明显低于其上覆的青龙组灰岩地层,同样也低于其下伏地层的主频。同样在该剖面段瞬时频率特征中也看到

[图7(e)],箭头所指的地层对应着较低的瞬时频率,并与上覆、下伏地层同样存在明显差异。但该层段内的主频与瞬时频率均变化不大,说明该地层岩性比较均一、横向变化不大,局部存在的差异推测为后期构造改造所致,并不说明其岩性在横向上发生了较大变化。上二叠统主频表现为中—低频率,低于其上覆、下伏地层主频,说明其与上覆、下伏地层存在着岩性差异,其相对低频特征也符合煤系地层的地震响应特征。不仅如此,同样具有反映频谱特征的弧长也显现出类似差异特征[图7(f)],即煤系地层所对应的弧长相对于上覆、下伏地层存在差异,但在其层段内弧长变化相对较小。在这里,弧长是作为地震道的波形长度来定义的,是用于高振幅高频率和高振幅低频率之间与低振幅高频率和低振幅低频率之间的区别。显然,同一时窗内,相同振幅时,频率低其弧长就小,反之就大。

综合频率属性看,上二叠统龙潭组、大隆组与上覆三叠系青龙组及下伏以栖霞组为主的下二叠统相比存在明显的低频特征。这也主要源于其所含岩性以砂、泥岩夹煤层为主所致。因为该岩性组合的密度明显低于上覆青龙组灰岩段,同样也低于下伏以栖霞组灰岩为主的地层。正因为这种明显的低密度岩性的存在,相比于较高密度的上覆、下伏地层更容易吸收高频成分地震波,进而在该层段产生低频地震响应。

地震反射的连续性往往能反映岩性的横向稳定性及变化情况。瞬时相位主要用于增强层间弱同相轴。如图8所示,在同一地震反射层内,同相轴有较好的连续性,尤其在煤系地层和下青龙组中所指示的总体相位特征明显、连续性好,说明上二叠统及下青龙组的岩性组合特征在横向上较为稳定、变化不大。

综上所述,常规地震剖面的定性地震属性分析与地震多属性(由多个单属性剖面组成)中的定量地震属性分析结果有良好的对应关系。亦即,定量的地震多属性分析印证了定性的地震属性分析。

## 4 上二叠统、三叠系分布预测

根据前述地震属性分析识别有关地层的地震属性特征并追踪,对比解释了南黄海盆地青岛坳陷有限的二维地震资料,分别编制了青岛坳陷东部上二叠统及中—下三叠统地层分布图(图9)。从图9中看到,不论是上二叠统还是中—下三叠统,在青岛坳陷的主体及坳陷深部是缺失的,它们主要分布于坳陷东侧靠近崂山隆起及勿南沙隆起的部位。分析造成如此残存地层分布特征的原因是,印支期特别是燕山期构造挤压冲断抬升运动造成了当时冲断层上盘三叠系—二叠系的强

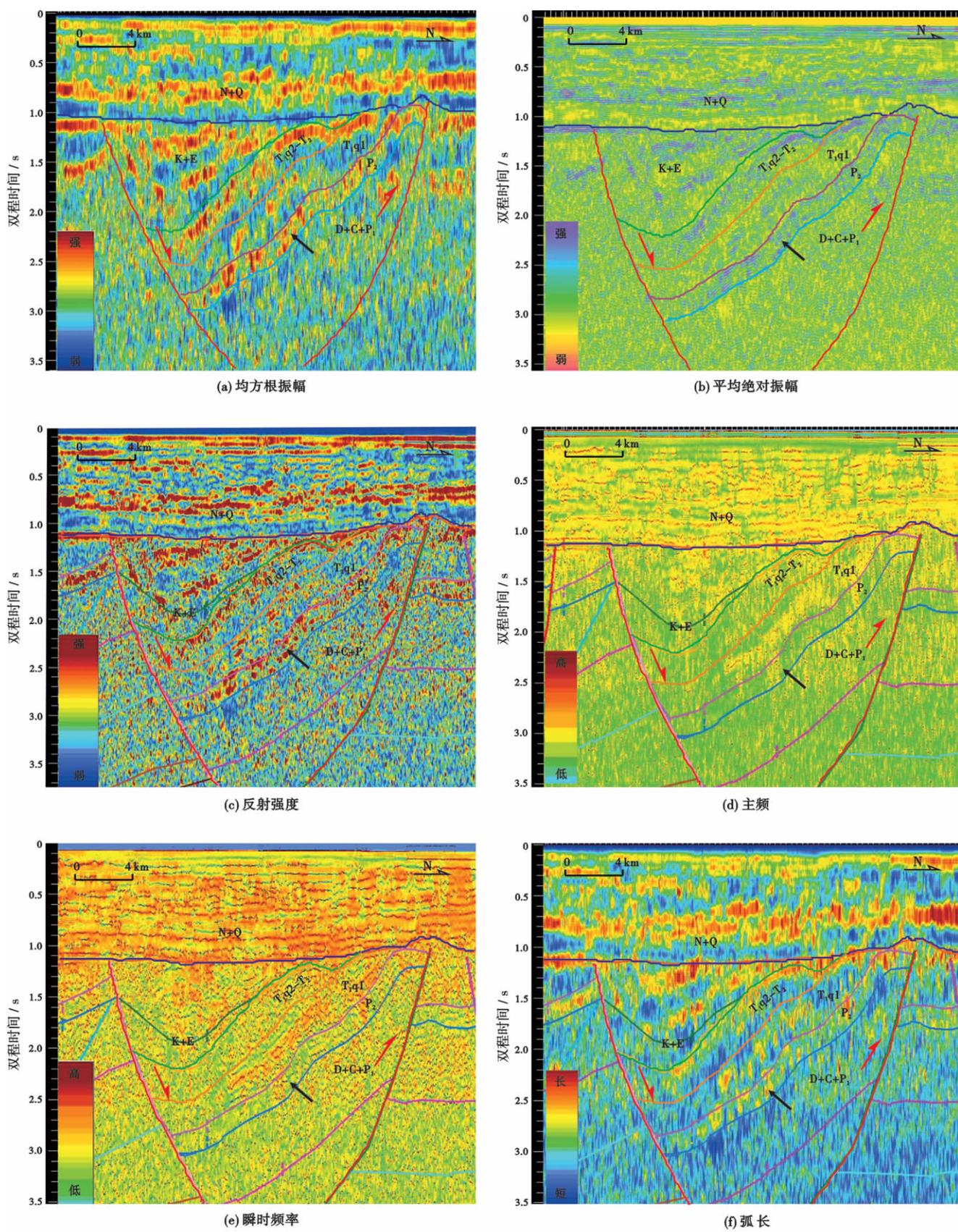


图 7 L2 地震测线 AB 剖面段不同地震属性特征

Fig. 7 Different seismic attributes of section AB in seismic Line L2

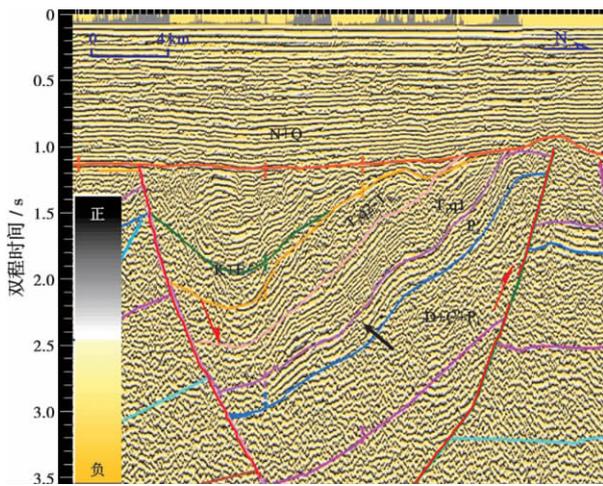


图8 L2地震测线AB剖面段瞬时相位特征

Fig. 8 Average instantaneous phase of section AB in seismic line L2

烈剥蚀减薄以及其下盘地层得以保存,喜马拉雅期特别是古近纪的构造反转即沿早期逆冲断裂的拉张正断活动控制形成了现今所见的古近系断陷盆地即青岛坳陷,印支—燕山期冲断越高、剥蚀中生界—古生界越多的部位(冲断裂上盘),在古近纪反转拉张正断成为古近系沉积最厚的部位,也就是说,现今青岛坳陷的主体或坳陷深部是印支—燕山期冲断较高、中生界—古生界被剥蚀较多、古近纪反转正断活动沉积较厚的部位,其靠近崂山隆起及勿南沙隆起的部位在印支—燕山期冲断不高甚至可能是当时的逆冲断裂下盘,使得其中生界—古生界被剥蚀较少及保存更多。由此推断,在崂山隆起及勿南沙隆起区可能残存了较厚的二叠系甚至三叠系,特别是以上二叠统龙潭组煤系为主的优质烃源岩的存在,成为南黄海盆地潜在的油气勘探领域,值得进一步探索与重视。

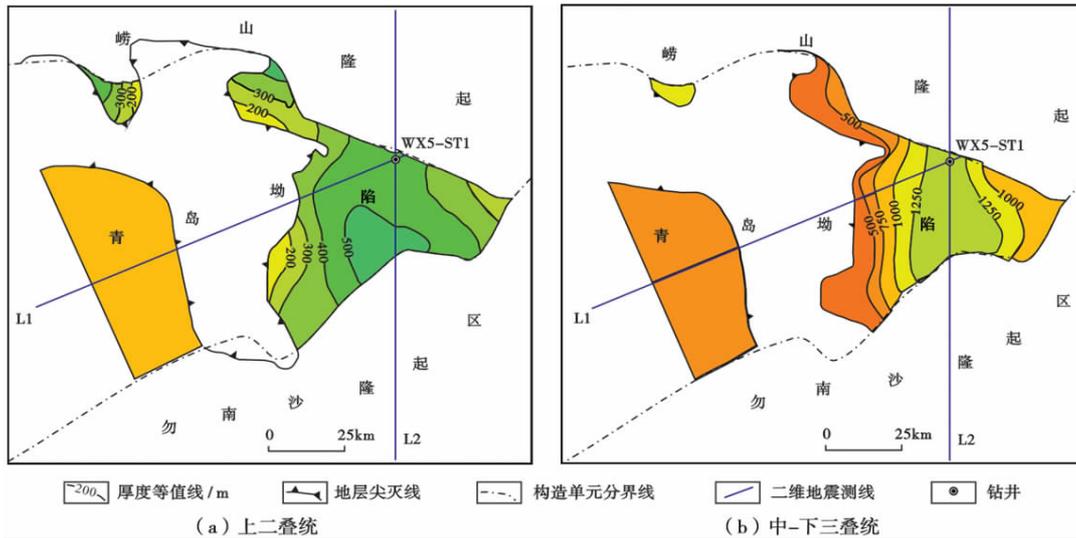


图9 南黄海盆地青岛坳陷东部上二叠统及中-下三叠统分布预测

Fig. 9 Distribution prediction of Upper Permian and Lower-Middle Triassic in eastern Qingdao depression of South Yellow Sea Basin

### 5 结论及意义

借助于有限的钻井及二维地震资料,通过对研究区二叠系、三叠系进行地震地质层位的重新标定、地震多属性提取、分析及地震追踪对比解释,获得如下主要认识:

(1) 青岛坳陷上二叠统龙潭组和大隆组地震反射特征表现为中—强振幅、偏低频(频率约 18 Hz 左右)、平行—近平行较密集反射,主要是含煤层所致,煤层密度比围岩低,其高频成分易被吸收,使频率降低。下三叠统下青龙组地震反射特征表现为中振幅、中—高频(频率约 23 Hz 左右)、平行—近平行密集反射,主要是泥晶灰岩与泥质灰岩互层所致;下三叠统上青龙组地震反射特征表现为弱振幅或空白反射、低—中频(频率约 20 Hz 左右)、平行—近平行密集反射,主要是因该组岩

性相对单一所致,该组以中—薄层状泥晶灰岩为主。

(2) 上二叠统及中-下三叠统主要残存分布于青岛坳陷东侧靠近崂山隆起及勿南沙隆起的部位,在其坳陷深部及主体被剥蚀,据此推测在崂山隆起及勿南沙隆起区可能残存,是值得探索的勘探领域。

(3) 在诸如南黄海盆地等低勘探程度地区,因钻井稀少,充分利用地震多属性分析及地震属性特征,来识别与追踪地震地质层位,预测勘探目的层的分布,对于早期勘探评价具有重要现实意义。

致谢 论文在完成过程中,得到了青岛海洋地质研究所有关领导和专家的大力支持和帮助,金兴、贾凌云、柴辉婵、汤健健、王晓东、郝继杰、王焕军、刘建龙、任晓芳、宁旋旋、王守进等同志参与了部分研究工作,在此深表感谢!

## 参 考 文 献

- [1] 陈建文. 南黄海盆地油气勘探战略选区[J]. 海洋地质动态, 2002, 18(11): 28-29.  
Chen Jianwen. Selected strategic areas for petroleum exploration in South Yellow Sea Basin[J]. Marine Geology Letters, 2002, 18(11): 28-29.
- [2] 戴春山, 李刚, 蔡峰, 等. 黄海前第三系及油气勘探方向[J]. 中国海上油气(地质), 2003, 17(4): 225-231.  
Dai Chunshan, Li Gang, Cai Feng, et al. The pretertiary and its hydrocarbon exploration targets in Yellow Sea[J]. China Off-shore Oil and Gas (Geology), 2003, 17(4): 225-231.
- [3] 姚永坚, 冯志强, 郝天桃, 等. 对南黄海盆地构造层特征及含油气性的新认识[J]. 地学前缘, 2008, 15(6): 232-240.  
Yao Yongjian, Feng Zhiqiang, Hao Tianyao, et al. A new understanding of the structural layers in the South Yellow Sea Basin and their hydrocarbon-bearing characteristics[J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(6): 232-240.
- [4] Zhang Minghua, Xu Deshu, Chen Jianwen. Geological structure of the Yellow Sea area from regional gravity and magnetic interpretation[J]. Applied Geophysics, 2007, 4(2): 75-83.
- [5] 张海敏, 陈建文, 李刚, 等. 地震调查在南黄海崂山隆起的发现及其石油地质意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, 29(3): 107-113.  
Zhang Haiqi, Chen Jianwen, Li Gang, et al. Discovery from seismic survey in Laoshan uplift of the South Yellow Sea and the significance[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2009, 29(3): 107-113.
- [6] 王丰, 李慧君, 张银国. 南黄海崂山隆起地层属性及油气地质[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2010, 30(2): 95-102.  
Wang Feng, Li Huijun, Zhang Yinguo. Stratigraphic geologic attribute and hydrocarbon geology in Laoshan uplift of South Yellow Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2010, 30(2): 95-102.
- [7] 李刚, 陈建文, 肖国林, 等. 南黄海海域的海相中—古生界油气远景[J]. 海洋地质动态, 2003, 19(8): 12-16.  
Li Gang, Chen Jianwen, Xiao Guolin, et al. Petroleum prospect of marine paleozoic in the South Yellow Sea[J]. Marine Geology Letters, 2003, 19(8): 12-16.
- [8] 陈建文, 肖国林, 刘守全, 等. 中国海域油气资源勘查战略研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(4): 77-82.  
Chen Jianwen, Xiao Guolin, Liu Shouquan, et al. Strategy of oil and gas resources explorations in China seas[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2003, 23(4): 77-82.
- [9] 蔡乾忠. 中国海域油气地质学[M]. 北京: 海洋出版社, 2005.  
Cai Qianzhong. Oil and gas geology in China seas[M]. Beijing: Ocean Press, 2005.
- [10] 欧阳凯, 张训华, 李刚. 南黄海中部隆起地层分布特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, 29(1): 59-66.  
Ouyang Kai, Zhang Xunhua, Li Gang. Characteristics of stratigraphic distribution in the middle uplift of South Yellow Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2009, 29(1): 59-66.
- [11] 吴淑玉, 刘俊, 肖国林, 等. 地震多属性预测技术在南黄海二叠系至三叠系沉积分析中的应用[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2011, 31(5): 109-116.  
Wu Shuyu, Liu Jun, Xiao Guolin, et al. Application of seismic attribute analysis to the Permian-Triassic deposits in the South Yellow Sea [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2011, 31(5): 109-116.
- [12] 蔡乾忠. 中国东部与朝鲜大地构造单元对应划分[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1995, 15(1): 7-24.  
Cai Qianzhong. Corresponding division of geotectonic units of eastern China and Korea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1995, 15(1): 7-24.
- [13] 任纪舜. 从全球看中国大地构造——中国及邻区大地构造图简要说明[M]. 北京: 地质出版社, 1999.  
Ren Jishun. Tectonic map of China and its adjacent areas[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999.
- [14] 郭玉贵, 李延成, 许东禹, 等. 黄东海大陆架及邻域大地构造演化史[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1997, 17(1): 1-12.  
Guo Yugui, Li Yancheng, Xu Dongyu, et al. Tectonic evolution of Yellow Sea, East China Sea and continental shelf and adjacent areas [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1997, 17(1): 1-12.
- [15] Wu Shiguo, Ni Xiangnong, Cai Feng. Petroleum geological framework and hydrocarbon potential in the Yellow Sea[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2008, 26(1): 23-34.
- [16] 蔡峰, 熊斌辉. 南黄海海域与下扬子地区海相中-古生界地层对比及烃源岩评价[J]. 海洋地质动态, 2007, 23(6): 1-6.  
Cai Feng, Xiong Binhui. Comparison of marine Mesozoic-Paleozoic strata and hydrocarbon source rocks in the South Yellow Sea and lower Yangtze area[J]. Marine Geology Letters, 2007, 23(6): 1-6.
- [17] 杨艳秋. 南黄海南部二叠系上统—三叠系下统的分布特征及油气勘探的意义[D]. 长春: 吉林大学硕士学位论文, 2004.  
Yang Yanqiu. Distribution characteristics of Upper Permian - Lower Triassic and hydrocarbon exploration in the southern of South Yellow Sea[D]. Changchun: The master degree thesis of Jilin University, 2004.
- [18] Brown A R. Seismic attribute and their classification[J]. The Leading Edge, 1996, 15(10): 1090.
- [19] Brown A R. The value of seismic amplitude[J]. The Leading Edge, 1987, 6(30): 30-33.
- [20] Chen Quincy, Steve Sidney. Seismic attribute technology for reservoir forecasting and monitoring[J]. The Leading Edge, 1997, 16(5): 445-456.
- [21] Sigit Sukmono. Application of multi-attribute analysis in mapping lithology and porosity in the Pematang-Sihapas groups of central Sumatra Basin, Indonesia[J]. The leading Edge, 2007, 26(2): 126-131.
- [22] Mahapatra S N, Imhof M G. Seismic attribute analysis and geobody visualization changes our perception about a century old highly heterogeneous field[J]. The Leading Edge, 2008, 27(3): 368-374.
- [23] Claerbout J F. Fundamentals of geophysical data processing[M]. New York: McGraw-Hill, 1976: 346-350.
- [24] Bahorich M S, Bridges S R. Seismic sequence attribute map (SSAM) [J]. SEG Expanded Abstracts 11, 1992: 227-230.
- [25] Barnes A E. Instantaneous frequency and amplitude at the envelope peak of a constant-phase wavelet (short note)[J]. Geophysics, 1991, 56(7): 1058-1060.
- [26] Barnes A E. The calculation of instantaneous frequency and instantaneous bandwidth (short note) [J]. Geophysics, 1992, 57(11): 1520-1524.

(收稿日期 2012-07-11 改回日期 2012-10-08 责任编辑 赵宗举)