

渤东凹陷南部 PL14 区 T20 界面厘定及特征

黄胜兵, 吴克强, 陈少平, 张洋

中海油研究总院, 北京 100028

摘要 渤东凹陷南部地区油气资源丰富, 但多年勘探一直未获重大发现, 其中该区新近系与古近系地层分界面 T20 的认识不清可能是制约该区油气发现的一个重要因素。本文采用区域控制、单井解析、分类对比的研究思路, 综合利用钻井、地震资料, 对研究区 T20 界面进行了重新厘定和界面特征的对比分析。从古生物、岩性组合旋回变化、地层接触关系等方面, 认为应将研究区 T20 界面整体上调至一套振幅较弱的波组之中, 钻井上该界面上古生物种群及数量发生突变, 并位于一套进积型准层序组的顶部, 地层接触关系表现为顶超特征。研究区 T20 界面地震反射特征与区域上其他地区存在明显差异, 界面上、下地层的岩性、岩相不同于邻区是造成 T20 界面地震反射特征差异的重要原因。

关键词 古生物特征; 岩性组合; 准层序组; 渤东凹陷

中图分类号 TE121

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.24.008

Determination and characterization of T20 sequence boundary in PL14 in the south of Bodong sag

HUANG Shengbing, WU Keqiang, CHEN Shaoping, ZHANG Yang

CNOOC Research Institute, Beijing 100028, China

Abstract The south of Bodong sag is abundant in oil and gas resources, but its exploration lacks significant breakthrough, which might be due to unclear understanding of T20, the interface of neogene and paleogene strata. This paper determined and characterized the T20 sequence boundary applying regional control, single well analysis, classification and comparison, combined with seismic and logging data. The results show that the T20 sequence boundary should be raised to a set of weak amplitude wave group according to ancient biological, lithologic composition and stratigraphic contact relationship. The surface boundary was characterized by toplap, and located at the top of retrogradational parasequence set; meanwhile, ancient biological population and quantity were changed between the upper and lower strata. The surface characteristics were different from that of the other areas because of the difference in lithology and lithofacies between the upper and lower strata of the T20 sequence boundary.

Keywords paleontological characteristics; lithologic composition; parasequence set; Bodong sag

PL14 三维区位于渤海湾盆地渤东凹陷南部, 夹持于渤中凹陷、渤南低凸起、庙西凸起与庙西凹陷之间, 面积约 500 km²(图 1), 区内共有钻井 5 口, 未有商业发现。该区油气资源丰富^[1,2], 但实际勘探效果并不理想, 仅在馆陶组和明化镇组发现一些油气显示, 勘探一直未获重大突破, 其中新近纪与古近纪分界面 T20 的认识不清可能是该区油气未获突破的重

要原因。

T20 界面是一个大型的构造转换界面^[3-5], 对应于渤海湾盆地古近纪末期的强烈构造变动, 地震剖面上一般表现为明显的角度不整合, 该不整合造成盆地内东营组上部地层(东一段)普遍缺失, 并使盆地性质由断陷期向坳陷期转换, 界面上下沉积体也由古近系东营组的湖泊三角洲沉积转变为

收稿日期: 2015-03-23; 修回日期: 2015-08-24

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05023-006)

作者简介: 黄胜兵, 工程师, 研究方向为构造地质及油气成藏, 电子信箱: huangshb@cnooc.com.cn

引用格式: 黄胜兵, 吴克强, 陈少平, 等. 渤东凹陷南部 PL14 区 T20 界面厘定及特征[J]. 科技导报, 2015, 33(24): 46-51.

新近系馆陶组的辫状河沉积^[6-8]。随勘探深入,地质工作者认识到渤海海域渤中坳陷是渐新世以来渤海湾盆地的沉积沉降中心^[9],新近纪中新世同样为湖相-三角洲相沉积,从而使该地区界面上下的沉积体系有别于渤海湾盆地陆上坳陷。前人对研究区的研究多集中于构造事件性的研究^[3-9],对T20构造界面的研究较少,使得对该地区T20界面特征认识不清,制约了研究区的油气勘探。本文以PL14区为研究重点,剖析本区T20界面特征及与周边的差异。

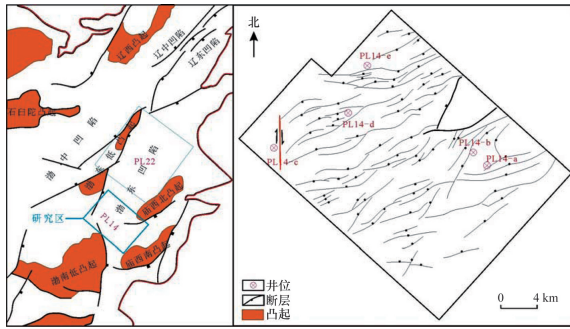


图1 PL14构造位置及断裂展布
Fig. 1 Location and fault distribution of PL14

从研究区地震解释来看,T20地震反射界面表现为低频、连续,中等振幅特征,之下为一套连续性较强的强振幅反射波组,之上为一套连续性较差的弱反射波组(图2),该界面在PL14区具有较好的连续性,特征明显,易于追踪,层位标定的结果符合T20界面作为大型构造界面所具有的特征。PL22区位于PL14区的北部,钻井较多,井震结合表明PL22区T20界面总体表现为连续的中强振幅特征。但在区域地层对比时发现,两块三维的T20界面明显不闭合,其间差出一大套地层(图2)。由此可见,两块三维区T20地震反射界面的追踪存在问题,对此,本文采用“区域控制、单井解析、分类对比”的研究思路对T20反射界面重新厘定,并对其特征进行分析。

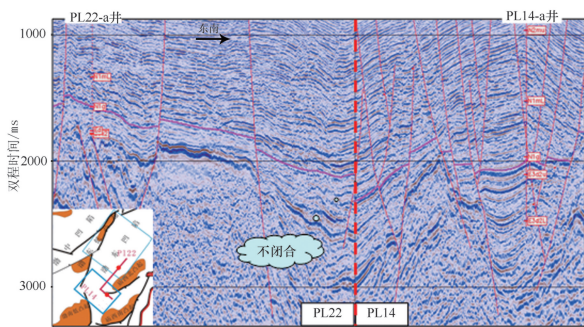


图2 PL14-a井与PL22-a井连井地震剖面
Fig. 2 Seismic profile of well PL14-a to PL22-a

1 T20界面区域对比

T20界面是渤海湾盆地一个大型的构造界面,该界面对

下伏地层具有较强的削蚀作用,致使T20地震反射界面在渤海海域大部分地区特征明显,易于追踪,区域上具有可对比性。

1) PL22三维区与辽东湾地区T20界面对比。图3是一条横跨PL22三维区以及辽东湾地区的连井地震剖面。PL22-b位于PL22三维区内,LD21-a与LD16-3a位于辽东湾地区,这3口井均有VSP时深资料。从标定结果看,辽东湾地区的T20界面为一强反射同相轴,界面具有振幅强、全区连续、区域上对比性强的特点;PL22三维区标定的T20界面与辽东湾地区的界面位置及特征一致,可跨区追踪。

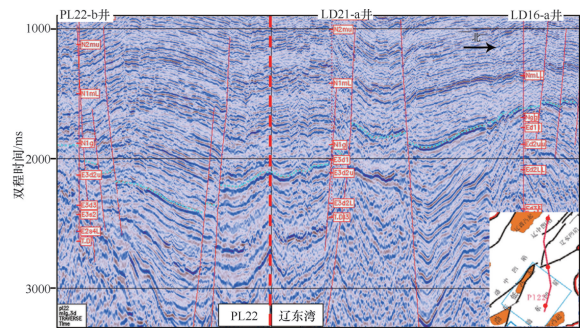


图3 PL22区与辽东湾地区的连井地震剖面
Fig. 3 Seismic profile of PL22 to Liaodongwan area

2) PL22三维区与渤中凹陷T20界面对比。利用同样的区域对比方法,将PL22三维区与渤中凹陷的T20界面进行对比。从分析结果看,渤中凹陷内的T20界面为一强反射同相轴,界面具有振幅较强、全区连续、区域上对比性强的特征,PL22三维区内的T20界面与渤中凹陷的位置、特征一致,可跨区追踪。

从上述3个地区T20界面的对比结果可知,PL22三维区与辽东湾地区、渤中凹陷具有可比性,界面特征清晰,能跨区闭合。

3) PL14三维区与渤中凹陷T20界面对比。图4是过PL14三维区与渤中凹陷的连井地震剖面。BZ6-a位于渤中凹陷内,PL14-a位于PL14三维区内,2口钻井均有VSP资料。从层位标定结果看,渤中凹陷内的T20界面为一强反射同相轴,界面具有振幅较强、全区连续、区域对比性强的特

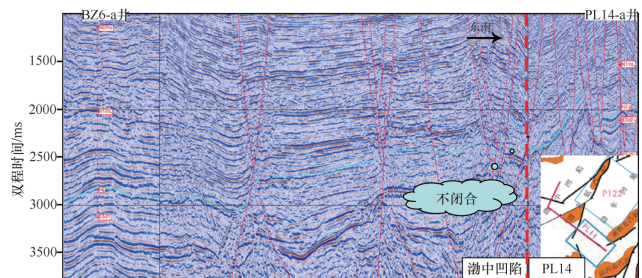


图4 PL14与渤中凹陷的连井地震剖面
Fig. 4 Seismic profile of PL14 to Bozhong sag

征; PL14 三维区内 T20 界面虽然也为一强反射同相轴, 但通过跨区连线追踪可见 PL14 三维区与渤中凹陷 T20 界面不一致, 不能闭合。

因此, PL14 三维区 T20 界面的位置存在问题, 需要对该区的 T20 界面重新厘定。

2 PL14-a 井东营组顶 T20 界面重新厘定

研究区共 5 口钻井, 其中 PL14-a 揭示地层较多, 古生物、测井资料齐全, 并具有本井 VSP 资料, 是该地区界面标定的主要参考。PL14-a 井位于 PL14 三维区的东部, 该井自下而上钻遇了沙一段、东三段、东二下亚段、东二上亚段、馆陶组和明化镇组地层, 其中东营组顶面即 T20 界面位于 2475 m 深度处。通过对 PL14-a 的古生物、岩性组合及地震等资料逐一详细分析, 认为该井东营组顶面 T20 界面的位置应从 2475 m 调整到 2246 m 处。

2.1 古生物组合特征

在层序内部, 地层是相对整合的, 生物的数量和种属也是渐变的; 但在地层顶、底边界处, 往往存在地层缺失或较长地质时间的间断, 水体深度、沉积环境也发生了较大变化, 因此必然存在生物种群和数量的突变现象^[10-12]。

渤海湾盆地地层古生物研究成果表明^[13], 馆陶组内介形类化石极少, 藻类罕见, 偶见克氏藻属和微刺藻, 下部孢粉组合类型为桦科-菱粉属, 中下部为菱粉属高含量孢粉组合类型, 上部为胡桃科-粗肋孢属-菱粉属孢粉组合类型。东二段介形类为细弯脊东营介-近三角华粉介组合; 藻类为网面球藻属-刺球藻属组合; 孢粉化石为榆粉属组合, 主要化石包括榆粉属、真胡桃粉属、山核桃粉属、雪松粉属、枫香粉属、单束松粉属、双束粉属和水龙骨单缝粉属。东三段介形化石为光亮西营介组合; 藻类常见角凸藻、锥藻属、粒面球藻属, 孢粉化石为榆粉属组合, 与东二段化石相同。

PL14-a 井介形类测试报告显示 2246~2475 m 深度段未见介形类化石, 因此介形类化石不能作为划分该段地层归属的依据。孢粉测试报告显示, 2246 m 之上代表馆陶组特征的菱粉属在 2030~2060 m 深度段达到峰值, 数量为 40 个, 向下数量呈现急剧下降的趋势; 在 2240~2270 m 深度段没有发现菱粉属, 在 2270~2450 m 深度段见极少量菱粉属(图 5)。从 2246~2475 m 深度段孢粉组合及藻类组合统计结果看(表 1), 代表东营组的铁杉粉属、单束松粉属、山核桃粉属、胡桃粉、水龙骨单缝粉属及榆粉属在该层段占的比重很大, 另外该层段还发现了一定量的光面球藻和粒面球藻。综合上述古生物组合特征, 2246~2475 m 深度段划归东营组地层更为合理。

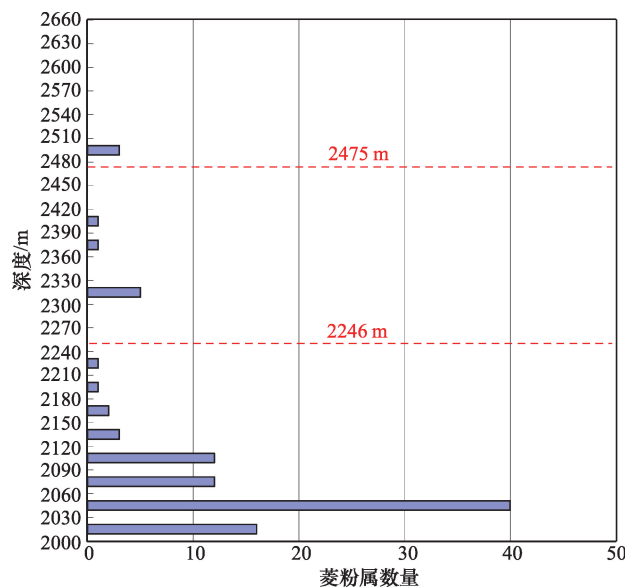


图 5 PL14-a 井 2000~2660 m 井段菱粉属纵向分布规律
Fig. 5 Vertical distribution of *Sporotrapoidites* at depths of 2000-2660 m in PL14-a

表 1 PL14-a 井 2240~2450 m 深度段孢粉组合及藻类组合类型

Table 1 Sporopollen and alga assemblage at depths of 2240-2450 m in PL14-a

层段/m	孢粉组合											藻类组合			
	桦科	菱粉属	胡桃粉属	山核桃粉属	水龙骨单缝孢属	榆粉属	单束松粉属	椴粉属	双束松粉属	铁杉粉属	雪松粉属	枫香粉属	克氏藻属	光面球藻属	粒面球藻属
2240~2270	1	0	4	9	8	3	10	1	0	14	5	0	3	1	0
2270~2300	0	0	0	0	4	0	3	0	1	3	0	0	2	1	0
2300~2330	0	5	7	16	27	5	5	1	5	8	1	2	0	2	1
2330~2360	0	0	15	6	20	1	6	6	4	7	1	1	1	0	1
2360~2390	0	1	6	4	11	7	14	2	7	10	4	1	0	1	0
2390~2420	0	1	12	7	20	10	15	3	8	19	4	1	1	2	1
2420~2450	0	0	2	3	4	3	5	0	0	2	0	0	1	0	0
合计	1	7	46	45	94	29	58	13	25	63	15	5	8	7	3

2.2 岩性组合特征

T20是一个大型构造转换面,属一级层序界面,通常可以根据测井曲线、岩心、岩性组合旋回变化等识别层序界面,本次主要采用岩性的纵向变化及准层序组来识别层序界面。

1) 泥岩原生色。泥岩的原生色可反映水深、水介质性质及沉积环境^[14-16],如具有深灰原生色的泥岩反映深水沉积的产物,而棕色泥岩则代表了暴露于地表氧化环境中的结果;层序界面因经常暴露于地表氧化环境下,其界面颜色一般具有氧化色特征。根据录井结果,PL14-a井东二上段发育一套完整的泥岩旋回,该段湖侵体系域为深灰色泥岩,代表该时期水体较深,沉积环境为还原环境,向上逐渐转变为半氧化-半还原环境的浅绿色,再向上受地表氧化环境而变为黄褐色,反映水体逐渐变浅,为一典型的水退背景所形成的退积型沉积地层。因此从泥岩原生色方面考虑,该T20界面原始分层不恰当,应当上调,若将其界面上调到2246 m处,则位于地表氧化环境层段,符合泥岩原生色划分层序界面的标准。

2) 准层序组识别层序界面。准层序是以海(湖)泛面或相应界面为界,有成因联系的一套相对整合的岩层或岩层组序列,是相对准层序组低一级沉积组合。依据不同的叠置方式,准层序组可分为进积型、加积型、退积型准层序组^[17],准层序和准层序组的识别是进行单井层序地层学分析的有效手段^[18]。根据准层序的叠置样式可识别层序界面,一般在层序界面之下为进积型准层序组,界面之上为加积型准层序组或退积型准层序组^[19]。PL14-a井东二上段水侵体系域易于识别,为一套厚层的泥岩,向上过渡为高位体系域的砂泥岩互层,通过准层序及准层序组的识别和划分,认为该高位体系域发育3期三角洲沉积(图6),界面之上表现为加积型准层序

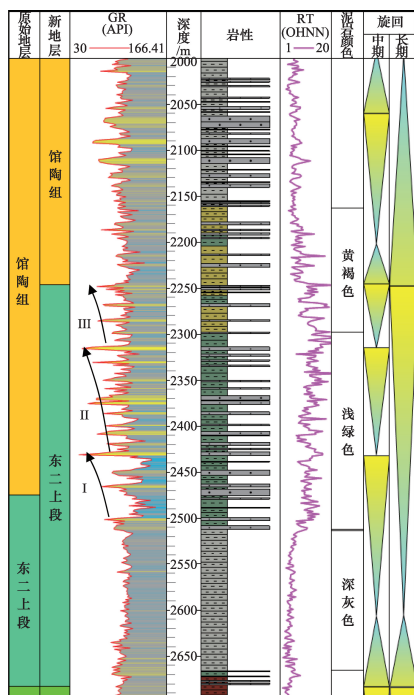


图6 PL14-a单井层序地层分析

Fig. 6 Single well sequence stratigraphic analysis of PL14-a

组特征,为上一层序的馆陶组低位体系域,所以从准层序组的叠置方式看,新分层T20界面位于进积型准层序组和加积型准层序组之间,具有合理性。而原始的T20界面的位置在2475 m处,位于一个次级反旋回的顶部,依据准层序及准层序组划分地层界面的原则,该处不符合层序界面的标准。

2.3 地震反射特征

地震剖面是地质剖面的地震响应,在地震剖面中,蕴藏有大量的地质信息。地震层序就是沉积层序在地震上的表现,沉积层序是相对整合的、在成因上有联系的、以不整合面或与之对应的整合面为界的地质单元。地震反射界面是波阻抗存在差异的界面,各种不整合界面、剥蚀面等都可构成波阻抗差异界面,因此在地震上都有所反映,这也为地震剖面上解释层序界面提供了理论依据^[20]。

地震剖面上,PL14-a井2246 m深度位置所对应的同相轴为一前积层的顶界面(图7),因此从地震地层学的角度来说,将T20界面调整到该处较为合理。而其之下连续的,强振幅的负相位同相轴则表现为东二上段湖侵期的一套稳定的泥岩沉积,可作为区域标志层。

从以上古生物、岩性组合及地震反射特征等方面的证据看,将PL14-a井T20界面的位置从2475 m调整到2246 m处更具有合理性。在此基础上,按照新的分层方案对T20界面进行追踪,追踪结果能够与北部PL22三维区闭合。

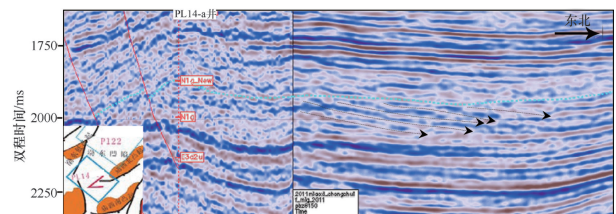


图7 PL14-a井新标定T20界面特征

Fig. 7 Characteristics of newly calibrated T20 interface in PL14-a

3 T20地震反射界面特征差异性分析

通过调整PL14-a井T20的分层,解决了PL14三维区与PL22三维区不闭合的问题。研究区T20界面与周边地区特征不同,研究区界面处于一套弱振幅之中,连续性中等,部分地区可见较为明显的顶超特征,因此可以根据顶超地层接触关系及钻井来确定研究区内T20界面的位置。

从不同地区T20界面特征可见,研究区与其他地区存在明显差异,同为新近系与古近系的分界面,其差异原因值得进一步探讨。研究认为,界面上、下的岩性、岩相特征不同是造成这种现象的重要原因。

LD16-1a、BZ6-a、PL14-a和BZ36-a分别是辽东湾地区、渤中凹陷、PL14三维区和莱北低凸起的代表井(图8)。从图8中可见,辽东湾地区、渤中凹陷、莱北低凸起界面之上均发

育一套厚层砂岩,之下为泥岩沉积,界面上下岩性差异明显,表现为强振幅、连续性好的特征。而PL14-a井界面上下均发育泥岩夹薄层砂岩,岩性差异小,表现为弱振幅、连续性中等的特征。因此,T20界面上、下的岩性差异导致了T20界面反射特征的差异。而岩性的差别究其原因还是沉积体不同造成的。辽东湾地区、渤中凹陷及莱北低凸起等地区界面之上馆陶组发育河流相沉积体系,界面之下东营组发育湖泊、三角

洲相沉积体系,两种不同类型的沉积体系其界面必然具有明显的波阻抗差,导致地震反射表现出强振幅、连续性好的特征。而研究区钻井揭示馆陶组同样表现为湖相沉积,与界面之下的东营组沉积体系相同,因而界面上下未形成明显的波阻抗差,导致地震反射表现出弱振幅特征。T20界面上、下地层岩相的差异决定了地震反射特征的差异性。

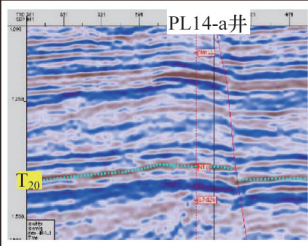
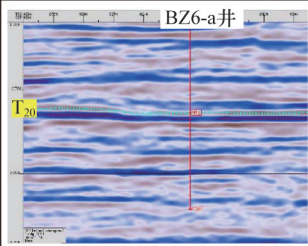
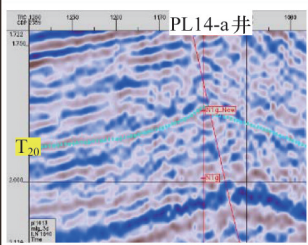
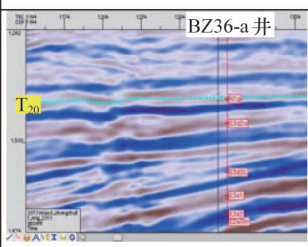
地区	井名	岩性组合	岩相组合	地震反射特征
辽东湾地区	LD16-1a	GR RILD 界面之上为一套厚88 m的粗砂岩,之下为一套厚8 m的泥岩沉积	界面之上为辫状河相,之下为湖泊、三角洲相	
渤中凹陷	BZ6-a	GR RT 界面之上为一套厚33 m的含砾粗砂岩,之下为厚15 m的泥岩沉积	界面之上为辫状河相,之下为湖泊、三角洲相	
PL14三维区	PL14-a	GR SP 界面上下岩性组合均为泥岩夹薄层砂岩	界面之上为浅湖相,界面之下为三角洲相	
莱北低凸起	BZ36-a	GR SP 界面之上为含砾粗砂岩夹薄层泥岩,之下为泥岩夹薄层砂岩	界面之上为辫状河相,之下为湖泊、三角洲相	

图8 4口代表钻井岩性、岩相组合及地震反射特征对比分析

Fig. 8 Comparative analysis of the lithological, lithofacies and seismic reflection characteristics of the four wells

4 结论

- 1) PL14三维区T20界面区域上存在不闭合的现象,从古生物的分布特征、岩性组合特征及地层顶超接触关系3个方面认为应将PL14-a井的T20界面从2475 m上调到2246 m处;
- 2) 研究区T20界面具有与周边地区不同的地震反射特

征,研究区表现出弱振幅、中等连续性特征,而周边地区表现出强振幅、连续性好的特征。针对研究区T20界面的特征,可采用顶超面与钻井相结合的方法进行追踪;

- 3) T20界面上下沉积体的差异是导致T20界面地震反射特征差异的主要原因。

参考文献 (References)

- [1] 文志刚, 何文祥, 米立军, 等. 利用盆地模拟技术评价渤东凹陷下第三系油气勘探潜力[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(4): 379-382.
Wen Zhigang, He Wenxiang, Mi Lijun, et al. Evaluating on hydrocarbon exploration potential of lower tertiary in Bodong depression by basin modelling technique[J]. Natural Gas Geoscience, 2004, 15(4): 379-382.
- [2] 何文祥, 米立军, 文志刚, 等. 渤东凹陷烃源岩生烃潜力研究[J]. 天然气工业, 2005, 25(5): 14-17.
He Wenxiang, Mi Lijun, Wen Zhigang, et al. Hydrocarbon generation potential of the source rocks in Bodong seg[J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(5): 14-17.
- [3] 黄雷, 周心怀, 刘池洋, 等. 渤海海域新生代盆地演化的重要转折期—证据及区域动力学分析[J]. 中国科学: 地球科学, 2012, 42(6): 893-904.
Huang Lei, Zhou Xinhuai, Liu Chiyang, et al. The important turning points during evolution of Cenozoic basin offshore the Bohai Sea: Evidence and regional dynamics analysis[J]. Science China Earth Science, 2012, 42(6): 893-904.
- [4] 吴智平, 韩文功. 济阳拗陷早晚第三纪沉积间断地层剥蚀量研究[J]. 中国海上油气(地质), 2000, 14(5): 320-323.
Wu Zhiping, Han Wengong. Erosiveness under the hiatus between paleogene and neogene in Jiyang depression[J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2000, 14(5): 320-323.
- [5] 吴智平, 史卜庆, 周瑶琪, 等. 济阳拗陷新老第三纪地层间断面研究[J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(4): 313-317.
Wu Zhiping, Shi Buqing, Zhou Yaoqi, et al. A study on hiatus surface of Neogene-Eogene in Jiyang depression[J]. Oil & Gas Geology, 1998, 19(4): 313-317.
- [6] 何仕斌, 李丽霞, 李建红. 渤中拗陷及其邻区第三系沉积特征和油气勘探潜力分析[J]. 中国海上油气(地质), 2001, 15(1): 61-71.
He Shibin, Li Lixia, Li Jianhong. Tertiary sedimentology and Hydrocarbon potential in Bozhong depression and its adjacent area[J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2001, 15(1): 61-71.
- [7] 何仕斌, 朱伟林, 李丽霞. 渤中拗陷沉积演化 and 上第三系储盖组合分析[J]. 石油学报, 2001, 22(2): 38-43.
He Shibin, Zhu Weilin, Li Lixia. Sedimentary evolution and Neogene reservoir-seal assemblage analysis of Bozhong depression[J]. ACTA Petrolei Sinica, 2001, 22(2): 38-43.
- [8] 吴磊, 徐怀民, 季汉成. 渤海湾盆地渤中凹陷古近系沉积体系演化及物源分析[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26(1): 81-87.
Wu Lei, Xu Huaimin, Ji Hancheng. Evolution of sedimentary system and analysis of sedimentary source in paleogene of Bozhong sag, Bohai Bay[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2006, 26(1): 81-87.
- [9] 龚再升, 王国纯, 贺清. 上第三系是渤中拗陷及其周围油气勘探的主要领域[J]. 中国海上油气(地质), 2000, 14(3): 145-156.
Gong Zaisheng, Wang Guochun, He Qing. The Neogene: A main realm of hydrocarbon exploration in Bozhong sag and its surrounding areas[J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2000, 14(3): 145-156.
- [10] 林春明, 冯志强, 张顺, 等. 松辽盆地北部白垩纪超层序特征[J]. 古地理学报, 2007, 9(6): 619-632.
Lin Chunmin, Feng Zhiqiang, Zhang Shun, et al. Characteristics of the Cretaceous supersequences in northern Songliao Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2007, 9(6): 619-632.
- [11] 梁江平, 辛仁臣, 王树恒, 等. 松辽盆地中部含油层序地层格架及介形类特征的响应[J]. 地层学杂志, 2005, 29(4): 405-409.
Liang Jiangping, Xin Renchen, Wang Shuheng, et al. Sequence-stratigraphic framework and its response to cyclicity of the middle oil-bearing beds of the Songliao basin[J]. Journal of Stratigraphy, 2005, 29(4): 405-409.
- [12] 王振奇, 张昌民, 张尚峰, 等. 油气储层的层次划分和对比技术[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 70-75.
Wang Zhenqi, Zhang Changmin, Zhang Shangfeng, et al. Correlation technique and Hierarchy division of oil-gas reservoirs[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(1): 70-75.
- [13] 邓运华, 李建平. 浅层油气藏的形成机理——以渤海油区为例[M]. 石油工业出版社, 2008: 72-86.
Deng Yunhua, Li Jianping. Forming mechanism of shallow layer oil and gas reservoir: As an example from Bohai sea oil region[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008: 72-86.
- [14] 吴俊红. 巴喀油田八道湾组致密砂岩储层沉积特征[J]. 特种油气藏, 2013, 20(1): 39-43.
Wu Junhong. Sedimentary characteristics of tight sand reservoirs of Badaowan formation of Baka oilfield[J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2013, 20(1): 39-43.
- [15] 郑荣才, 王昌勇, 王海红, 等. 鄂尔多斯盆地史家湾地区长6油层组层序-岩相古地理[J]. 矿物岩石, 2009, 29(4): 16-24.
Zheng Rongcai, Wang Changyong, Wang Haihong, et al. Sequence-based lithofacies and palaeogeographic characteristics of 6th oil-bearing member of the yanchang formation of upper Triassic in the Shijiawan area, ordos basin[J]. Journal of mineralogy and Petrology, 2009, 29(4): 16-24.
- [16] 朱述坤, 李中超, 吴亚生, 等. 濮卫环洼带东翼层序地层学研究[J]. 断块油气田, 2005, 12(4): 8-11.
Zhu Shukun, Li Zhongchao, Wu Yasheng, et al. Research of sequence stratigraphy in east of puwei area[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2005, 12(4): 8-11.
- [17] 纪友亮, 张世奇. 陆相断陷湖盆层序地层学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996: 1-56.
Ji Youliang, Zhang Shiqi. Sequence model of lacustrine fault basins [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996: 1-56.
- [18] 崔金栋, 郭建华, 李群. 准噶尔盆地莫西庄地区侏罗系三工河组层序地层学研究[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2012, 43(6): 2222-2230.
Cui Jindong, Guo Jianhua, Li Qun. Sequence stratigraphy of Jurassic Sangonghe formation in Moxizhuang Area, Junggar Basin[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2012, 43(6): 2222-2230.
- [19] 王华, 陆永潮, 任建业, 等. 层序地层学基本原理、方法与应用[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2008: 36-54.
Wang Hua, Lu Yongchao, Ren Jianye, et al. Basic ideas, methodology and application of sequence stratigraphy[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2008: 36-54.
- [20] 郝天璠, 魏蕾. 地层学的进展对盆地研究的意义[J]. 地球物理学进展, 1992, 7(1): 45-55.
Hao Tianfao, Wei Lei. The significance of progress in stratigraphy for comprehensive research in sedimentary basin[J]. Progress in Geophysics, 1992, 7(1): 45-55.

(责任编辑 王媛媛)