

青东5块沙四段上亚段沉积类型及 储层发育主控因素

李 丽

(中国石化胜利油田分公司 石油开发中心, 山东 东营 257015)

摘要: 由于对青东5块沙四段上亚段沉积类型及储层发育主控因素认识不清, 制约了研究区储层精细预测和投产方案制定。根据岩性、电性和古生物等特征, 将青东5块沙四段上亚段划分为3个砂组。利用钻井、测井、地震和分析化验等资料, 综合运用地质相、测井相和地震相分析, 认为青东5块沙四段上亚段沉积类型为扇三角洲相, 主要发育扇三角洲前缘亚相和前扇三角洲亚相, 扇三角洲平原亚相不发育。扇三角洲前缘亚相中的水下分流河道、河口坝、前缘席状砂微相和前扇三角洲亚相中的碎屑岩滩、坝微相和碳酸盐岩滩微相为主要储层发育区; 其中, 水下分流河道主河道中游和下游、河口坝及滨浅湖滩坝为有利储层发育区。青东5块沙四段上亚段储层发育主要受同生断层和沉积微相控制。

关键词: 地质相 测井相 地震相 储层发育 沉积微相 青东5块

中图分类号: TE111.3

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2016)03-0062-05

Study on sedimentary type and main controlling factors of reservoir development in upper Es₄ submember of Qingdong5 Block

Li Li

(Petroleum Development Center, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257015, China)

Abstract: The sedimentary microfacies and sand body distribution of the upper Es₄ submember in Qingdong5 Block is not clear, which has restricted the fine prediction of the reservoir and the development of the production plan. Based on the analysis of lithology, electrical characteristics and paleontological characteristics, the upper Es₄ submember in Qingdong5 Block were divided into three sand groups. By using drilling, logging, seismic data and test data and integrating geologic facies, logging facies and seismic facies, the results show that the upper Es₄ submember in Qingdong5 Block is fan delta deposition with well-developed fan delta front subfacies and fan prodelta subfacies and poorly-developed fan delta plain. The main reservoirs in the study area are underwater distributary channel, estuarine sand bar and front sheet sand developed in the fan delta front, clastics beach and bar and carbonate beach bar developed in the front delta, among which the midstream and downstream of the main water diversion channel, mouth sand bar and offshore beach sands are favorable reservoirs. The development of sandbodies in the upper Es₄ submember of Qingdong5 Block are controlled by contemporaneous faults and sedimentary microfacies.

Key words: geological facies; logging facies; seismic facies; reservoir development; sedimentary microfacies; Qingdong5 Block

自1979年对青东5块进行勘探以来,一直未取得显著进展;直至2009年,9口滚动井均于沙四段钻遇油层,进而发现青东5块岩性-构造油藏。前人对该区开展过构造和沉积特征等方面的研究^[1-4],但对

沙四段上亚段沉积类型和储层发育主控因素缺乏系统认识,制约了研究区进一步油气勘探开发。为此,利用地层学原理,对青东5块沙四段上亚段进行地层精细对比划分,综合运用地质相、测井相和地

收稿日期:2016-03-14。

作者简介:李丽(1982—),女,山东莱州人,工程师,硕士,从事油藏描述工作。联系电话:13793953930, E-mail:rubylily@126.com。

震相分析,明确沙四段上亚段沉积类型和储层发育主控因素,以期为研究区后期储层精细描述提供依据。

1 区域地质概况

青东5块位于山东省东营市莱州湾西部极浅海域,地势较平坦,平均水深为3.6 m。其构造位置处于济阳拗陷东部,郯庐断裂带西侧青东凹陷西斜坡,西北紧临青坨子凸起,西南为青南洼陷,面积约为20 km²。整体上表现为被断裂系统复杂化的西高东低、南高北低的斜坡,区内断层走向多为近东西向、北西西向和北东东向,其中以近东西向、北西西向断层为主(图1)。

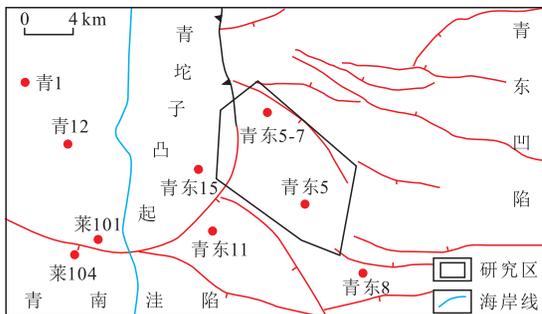


图1 青东5块区域构造位置
Fig.1 Location of Qingdong5 Block

2 地层发育特征

青东5块古近系和新近系地层自下而上依次发育孔店组、沙河街组、馆陶组、明化镇组及平原组,其中沙四段上亚段是主力含油层系,地层厚度为140~550 m。研究区沙三段底界与下伏沙四段上亚段顶界、沙四段上亚段底界与沙四段下亚段顶界均呈区域角度不整合。据岩性、电性和古生物等特征,将沙四段上亚段自上而下划分为1—3砂组。

沙四段上亚段3砂组岩性以灰色、浅灰色泥岩与粉砂岩、细砂岩互层为主,夹薄层钙质细砂岩、白云岩、含砾细砂岩、细砂岩和粉砂岩,以及少量含砾粗砂岩,底部以灰色、浅灰色泥岩和泥质粉砂岩为标志层;自然伽马曲线为箱形—指形组合,自然电位曲线上部有细微波动、中下部几乎近于直线,深、浅侧向电阻率曲线幅度差很小,基本重合。古生物主要有双壳类、介形类、腹足类化石及植物碎屑,化石保存较完整。

沙四段上亚段2砂组岩性以深灰色、灰色厚层泥岩为主,夹薄层细砂岩、粉砂岩、灰质粉砂岩、泥

质粉砂岩、灰质细砂岩和含砾细砂岩及少量浅灰色白云岩,底部以灰色泥岩为标志层;自然伽马曲线呈钟形—箱形组合,自然电位曲线近于直线,深、浅侧向电阻率曲线幅度差很小,基本重合。古生物主要有介形类化石和植物化石,均保存较完整。

沙四段上亚段1砂组岩性以灰色、浅灰色、棕红色、绿灰色泥岩与粉砂岩互层为主,夹粉砂岩、细砂岩、白云岩、油页岩、泥质粉砂岩、含砾细砂岩和灰质细砂岩,底部以灰色、棕红色泥岩为标志层;自然伽马曲线呈锯齿化指形,自然电位曲线近于直线,深、浅侧向电阻率曲线幅度差很小,基本重合。古生物主要有介形类化石,且保存较完整。

3 沉积相特征

3.1 地质相

青东5块沙四段上亚段岩性主要为黑色、灰黑色泥岩和砂岩,其次为少量的含砾粗砂岩和碳酸盐岩。其中,黑色、灰黑色泥岩反映较深水且稳定的沉积环境。岩性组合以砂泥互层为主,砂体较薄,厚度为0.5~9 m。垂向上,粒度总体表现为向上变粗的反旋回韵律,具有扇三角洲沉积特征。岩石结构成熟度和矿物成分成熟度均较低,表明研究区距物源区较近,属于快速搬运和快速沉积的特点^[5-9]。粒度概率累积曲线平缓,以三段式为主,粒度分布范围宽,反映其粒度分选较差。研究区层理构造以交错层理和波状层理为主,此外,还有同生变形构造和泄水构造;在粉砂岩和泥岩或滨浅湖的斜坡上可见多种包卷层理,在粉砂质泥岩中发现火焰状泄水构造。青东5块沙四段上亚段岩心中可见腹足类、双壳类、介形类化石和植物化石。水生动物的存在,反映了河流和浅湖的沉积环境,且浅湖区往往较河流丰度高,保存程度好。植物化石的保存程度反映搬运距离的远近,研究区较大的植物碎屑和较好的保存程度均反映了沉积物较短的搬运距离(图2)。

3.2 测井相

测井资料是判别沉积环境的相标志之一,而相标志的正确识别和研究是进行相带识别和沉积体系研究的基础。自然电位和自然伽马曲线是进行单井相分析和连井剖面对比的重要依据,其曲线形态、幅度和组合关系均反映沉积物在不同沉积时期物源供给和水动力条件等沉积环境的变化^[10-13]。单井相分析和连井剖面对比结果均表明,青东5块沙四段上亚段自然电位和自然伽马曲线形态包括钟

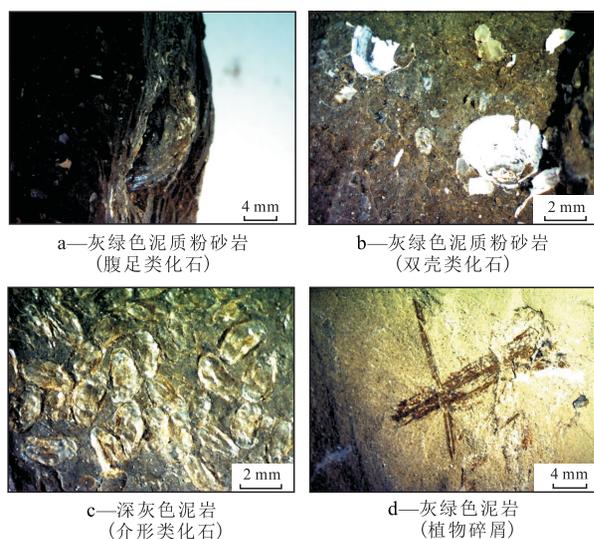


图2 青东5块岩心化石类型及特征

Fig.2 Types and characteristics of fossils in cores from Qingdong5 Block

形、漏斗形、箱形、齿形、齿化箱形和钟形—箱形共6种主要形态。根据测井曲线组合形态,认为研究区主要发育扇三角洲前缘亚相和前扇三角洲亚相,扇三角洲平原亚相不发育。扇三角洲平原亚相主要为洪泛平原,自然电位和自然伽马曲线形态一般呈平直状。扇三角洲前缘亚相主要发育水下分流河道、水下分流河道间、河口坝和前缘席状砂微相,其中水下分流河道曲线组合形态为钟形和齿形,水下分流河道间曲线组合形态为低幅齿形,河口坝曲线组合形态为漏斗形和齿化箱形。前扇三角洲亚相主要包括碎屑岩滩、坝微相和碳酸盐岩滩微相以及滨浅湖泥岩;其中滩微相曲线组合形态为钟形—基线—指形,表现为砂泥互层的特征,砂层多且薄;坝微相曲线组合形态多为上粗下细的反旋回韵律,可见少量正韵律,或者是先反后正的复合韵律;滨浅湖泥岩曲线组合形态以齿形为主。

3.3 地震相

青东5块位于青坨子凸起东部,沙河街组沉积时期青坨子凸起为其主要物源区,地震剖面上东西向呈楔状,南北向呈较平缓的丘状。由于研究区构造复杂,地震属性具有特殊的外形和内部结构,利用地震反射同相轴的振幅、连续性和频率等地震参数对青东5块沙四段上亚段的地震相进行描述^[14-17],根据振幅、连续性及结构(或外形)特征命名,认为研究区主要发育中强振幅中弱连续发散地震相,中强振幅中连续前积地震相,中强振幅中连续丘状地震相和中振幅中高连续亚平行地震相共4种地震相类型。其中,中强振幅中弱连续发散地震相的剖面形态呈楔状,顺物源方向发育,反映沉积

物沿斜坡快速堆积且高能的沉积环境,其沉降速度差异较大。中强振幅中连续前积地震相的剖面形态主要为楔状,顺物源方向分布,沉积向凹陷中心迁移,沉积环境由高能逐步向低能转换。中强振幅中连续丘状地震相由一组呈披覆状的同相轴构成,剖面上具有中间厚、两侧薄的上凸丘形特征;底界平直,与下伏地层呈平行接触,而顶界上凸并被两侧同相轴上超。中振幅中高连续亚平行地震相反映水动力能量较弱且低能的沉积环境,亚平行结构主要发育在研究区东侧坡度变缓、向凹陷中心延伸的区域。

根据地震相特征,基于单井相分析,结合区域地质相和测井相标志,建立了青东5块沙四段上亚段地震相—沉积相转化模式,确定每一种类型地震相对应的沉积亚相类型,即中强振幅中弱连续发散地震相对应扇三角洲前缘亚相,中强振幅中连续前积地震相对应扇三角洲前缘亚相,中强振幅中连续丘状地震相对应扇三角洲前缘亚相,中振幅中高连续亚平行地震相对应前扇三角洲亚相(滨浅湖)。

综合以上分析认为,青东5块沙四段上亚段沉积类型为扇三角洲相,主要发育扇三角洲前缘亚相和前扇三角洲亚相,扇三角洲平原亚相不发育。扇三角洲前缘亚相中的水下分流河道、河口坝和前缘席状砂微相以及前扇三角洲亚相中的碎屑岩滩、坝微相和碳酸盐岩滩微相为主要储层发育区,其中水下分流河道主河道中游和下游、河口坝及滨浅湖滩坝为有利储层发育区。

4 储层发育主控因素

4.1 同生断层

青东5块构造形成与发育主要受控于郯庐断裂带强烈的走滑运动,自东向西随着走滑应力场的减弱,构造格局特别是断裂系统也随之发生相应的变化,研究区内发育有较多的北西走向的同生断层,断层面的两侧沉积厚度具有明显的变化。其中,沙四段地层开始沉积时,发育一条近东西向的同生断层F2,该断层控制了沙四段上亚段地层的沉积,导致断层上、下盘地层沉积厚度差异较大。

构造特征演化分析结果表明,同生断层F2对青东5块沙四段上亚段3个砂组的储层发育具有一定的控制作用,主要控制水下分流河道微相的展布。3砂组沉积时期,水下分流河道微相分布范围较1砂组小,F2断层活动较弱,其北侧与南侧储层发育且连通性较好。F2断层对2砂组储层发育的控制作用

最为明显,水下分流河道微相发育范围最小,该断层北侧储层基本不发育。F2断层在1砂组沉积时期活动减弱,对1砂组储层发育的控制作用最弱,水下分流河道微相广泛发育,断层北侧储层发育,可见河口坝、滨浅湖砂坝沉积;其中,该断层北侧的青东5-3-斜5井区附近储层厚度较大。综上所述,同生断层F2对研究区沙四段上亚段3个砂组储层发育的控制作用依次表现为1砂组最弱,2砂组强,3砂

组弱。

4.2 沉积微相

横向上,通过单井相分析和连井剖面对比,认为青东5块沙四段上亚段有利储层主要发育在水下分流河道、河口坝和滨浅湖滩、坝微相,另外,水下分流河道间微相也有少量储层发育(图3)。其中,砂地比大于20%的地区基本上与水下分流河道、河口坝和滨浅湖滩坝微相的分布范围一致,有利储层

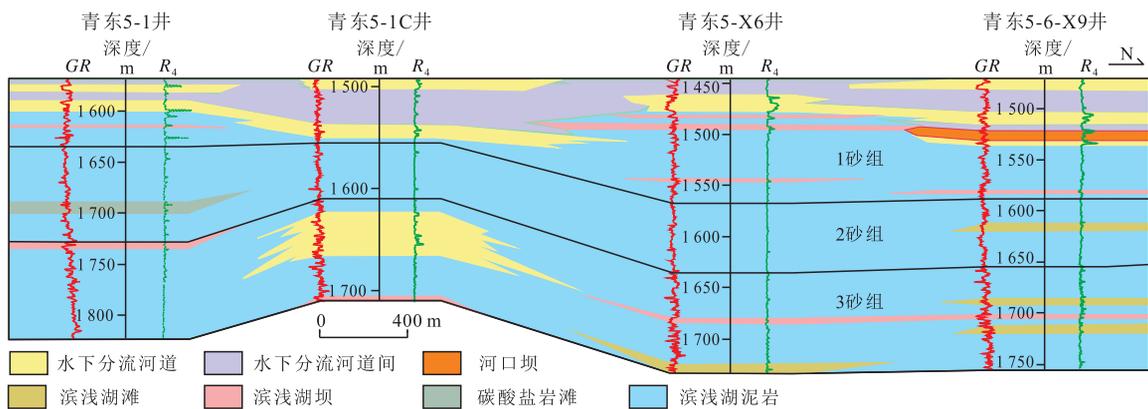


图3 青东5块沙四段上亚段有利储层剖面展布

Fig.3 Profile of favorable reservoir distribution of the upper Es₄ in Qingdong5 Block

主要分布在水下分流河道主河道中游和下游、河口坝及滨浅湖滩坝微相发育区。纵向上,由于研究区沙四段上亚段沉积时期发育水退形成的扇三角洲沉积体系,因此,起初发育程度自下而上逐渐变好,且储层主要发育于1砂组。

5 结论

通过地质相、测井相和地震相综合分析,认为青东5块沙四段上亚段沉积类型为扇三角洲相,主要发育扇三角洲前缘亚相和前扇三角洲亚相,扇三角洲平原亚相不发育。扇三角洲前缘亚相中的水下分流河道、河口坝和前缘席状砂微相以及前扇三角洲亚相中的碎屑岩滩、坝微相和碳酸盐岩滩微相为主要储层发育区,其中水下分流河道主河道中游和下游、河口坝及滨浅湖滩坝为有利储层发育区。研究区沙四段上亚段储层发育主要受同生断层和沉积微相控制。

参考文献:

[1] 石砥石,杨贵丽,张盛.青东凹陷北西向断层成因分析[J].合肥工业大学学报:自然科学版,2012,35(5):681-686.
Shi Dishishi, Yang Guili, Zhang Sheng. Analysis of formation mecha-

nism of NW-striking faults in Qingdong Sag [J]. Journal of Hefei University of Technology: Natural Science, 2012, 35 (5) : 681-686.
[2] 时丕同,方旭庆,陈涛,等.青东凹陷石油地质特征和勘探方向分析[J].西南石油大学学报:自然科学版,2009,31(5):43-48.
Shi Pitong, Fang Xuqing, Chen Tao, et al. Petroleum geologic characteristic and prospecting target in Qingdong Sag [J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2009, 31(5):43-48.
[3] 马立驰.济阳拗陷青东凹陷油藏特征及分布规律[J].石油实验地质,2014,36(1):39-45.
Ma Lichi. Characteristics and distribution of reservoirs in Qingdong Sag, Jiyang Depression [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(1):39-45.
[4] 杨贵丽.青东凹陷走滑构造对油气成藏的控制作用[J].油气地质与采收率,2014,21(5):18-21,26.
Yang Guili. The strike slip structure and its influences on the formation of petroleum reservoir in Qingdong sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(5):18-21,26.
[5] 赵澄林.沉积学原理[M].北京:石油工业出版社,2001:88-94.
Zhao Chenglin. Principles of sedimentology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001:88-94.
[6] 陈灏.青东凹陷古近系沙河街组高分辨率层序地层及沉积相研究[D].成都:成都理工大学,2012:31-43.
Chen Hao. The research on high-resolution sequence stratigraphy and sedimentary facies of the Shahejie Formation of the Paleogene of the Qing dong Depression [D]. Chengdu: Chengdu Univer-

- sity of Technology, 2012:31-43.
- [7] 肖莉. 罗家地区水下冲积扇与垦西地区扇三角洲沉积特征及沉积模式对比[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(3):36-40.
Xiao Li. Comparison of sedimentary characteristics and sedimentary model between subaqueous alluvial fan and fan delta in Luojia and Kenxi area [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(3):36-40.
- [8] 王俊辉, 姜在兴, 张元福, 等. 三角洲沉积的物理模拟[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(6):758-764.
Wang Junhui, Jiang Zaixing, Zhang Yuanfu, et al. Physical simulation of deltaic deposits [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(6):758-764.
- [9] 冯荣昌, 吴因业, 陶士振, 等. 四川盆地侏罗统大安寨段沉积微相特征及对储层的控制[J]. 石油实验地质, 2015, 37(3):320-327.
Feng Rongchang, Wu Yinye, Tao Shizhen, et al. Sedimentary microfacies characteristics and their control on reservoirs in Daanzhai Member, Lower Jurassic, Sichuan Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2015, 37(3):320-327.
- [10] 余继峰, 付文钊, 袁学旭, 等. 测井沉积学研究进展[J]. 山东科技大学学报: 自然科学版, 2010, 29(6):1-8.
Yu Jifeng, Fu Wenzhao, Yuan Xuexu, et al. Research progress of logging sedimentology [J]. Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science, 2010, 29(6):1-8.
- [11] 宋秋强, 张占松, 张冲, 等. 测井相-岩相分析技术在复杂岩性中的应用[J]. 石油天然气学报, 2013, 35(7):78-81.
Song Qiuqiang, Zhang Zhansong, Zhang Chong, et al. Application of logging facies-lithofacies analysis in complex lithology [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2013, 35(7):78-81.
- [12] 马小刚, 李子峰, 张春梅. 测井相分析在岩相油气藏储层预测中的应用[J]. 勘探地球物理进展, 2010, 33(1):58-63.
Ma Xiaogang, Li Zifeng, Zhang Chunmei. Application of log facies analysis in lithologic hydrocarbon reservoir prediction [J]. Progress in Exploration Geophysics, 2010, 33(1):58-63.
- [13] 常兴浩, 田景春, 李良, 等. 大牛地气田下石盒子组岩性-测井相与砂体储集关系及其平面分布的油气意义[J]. 成都理工大学学报, 2013, 40(4):417-423.
Chang Xinghao, Tian Jingchun, Li Liang, et al. Relationships between lithofacies-logging facies and sandbody reservoir properties and the petroleum geological significance of lithofacies-logging facies horizontal distribution of Xiashihezi Formation in Daniudi gas field, Ordos Basin, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2013, 40(4):417-423.
- [14] 董艳蕾, 朱筱敏, 李德江, 等. 渤海湾盆地辽东湾地区古近系地震相研究[J]. 沉积学报, 2007, 25(4):554-563.
Dong Yanlei, Zhu Xiaomin, Li Dejiang, et al. Seismic facies of Paleogene in Liaodong Bay, Bohai Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(4):554-563.
- [15] 林正良, 王华, 李红敬, 等. 地震沉积学研究现状及进展综述[J]. 地质科技情报, 2009, 28(5):131-136.
Lin Zhengliang, Wang Hua, Li Hongjing, et al. Current status and progress of seismic sedimentology [J]. Geological Science and Technology Information, 2009, 28(5):131-136.
- [16] 王会丽, 王伟锋, 王新. 青东凹陷古近系地震相与沉积相初探[J]. 石油天然气学报, 2009, 31(5):250-254.
Wang Huili, Wang Weifeng, Wang Xin. Study on the seismic facies and sedimentary facies of Qingdong Depression [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2009, 31(5):250-254.
- [17] 朱超, 刘占国, 宫清顺, 等. 地震沉积学在浊积砂体识别中的应用[J]. 特种油气藏, 2014, 21(4):58-62.
Zhu Chao, Liu Zhanguo, Gong Qingshun, et al. Application of seismic sedimentology in identification of turbidite sand body [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2014, 21(4):58-62.

编辑 单体珍

(上接第13页)

- [14] 谭先锋, 蒋艳霞, 田景春, 等. 济阳拗陷古近系孔店组层序界面特征及时空属性[J]. 石油实验地质, 2014, 36(2):136-143.
Tan Xianfeng, Jiang Yanxia, Tian Jingchun, et al. Sequence interface characteristics and spatial and temporal properties of Kongdian Formation of Paleogene in Jiyang Depression [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(2):136-143.
- [15] 房煦. 非近海河流相层序地层学探讨——以济阳拗陷新近系为例[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(6):10-14.
Fang Xu. Discussion on non-coastal fluvial facies sequence stratigraphy: an example from the Neogene in Jiyang depression [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(6):10-14.
- [16] 樊奇, 朱爱国, 田继军, 等. 准噶尔盆地滴南凸起白垩系清水河组层序地层划分及沉积特征[J]. 油气地质与采收率, 2015, 22(4):38-43.
Fan Qi, Zhu Aiguo, Tian Jijun, et al. Sequence stratigraphic classification and sedimentary characteristics of Cretaceous Qingshuihe Formation in the Dinan uplift of Junggar Basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(4):38-43.
- [17] 孔玉华, 鲍海娟, 李振华, 等. 准噶尔盆地中拐凸起佳木河组层序地层模式[J]. 特种油气藏, 2014, 21(5):60-64.
Kong Yuhua, Bao Haijuan, Li Zhenhua, et al. Sequence stratigraphic mode of Jiamuhe Formation in Zhongguai Bulge, Junggar Basin [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2014, 21(5):60-64.
- [18] 吴俊, 樊太亮, 刘慧盈, 等. 辽河西部凹陷曙一区杜84块I组高分辨率层序地层[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(3):429-436.
Wu Jun, Fan Tailiang, Liu Huiying, et al. High resolution sequence stratigraphy of Xing I Formation in the Du84 Block, Shu1 area, Western Sag of Liaohe Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(3):429-436.

编辑 经雅丽