

# 砂砾岩储层期次划分及连通模式

——以东辛油田永1断块砂砾岩油藏为例

束宁凯, 汪新文

(中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083)

**摘要:**胜利油区砂砾岩油藏储量规模大,但储层内幕复杂、连通特征不明确、注采对应关系差、开发规律不明确等一系列开发难题严重制约了该类油藏的有效动用和开发。以东辛油田永1断块砂砾岩油藏为例,综合应用多种资料明确沉积类型,进而划分砂砾岩储层期次,明确储层连通模式。研究区沙四段砂砾岩储层发育受沉积相控制,有利储层位于扇根主水道和扇中辫状水道,以细砾岩和含砾砂岩为主。通过井—震结合将砂砾岩期次划分为9个,结合储层反演结果认为沙四段1—5期次储层发育、连通体个数多、物性好,是后期开发调整的重点目标。综合应用动态和地质资料确定了有效储层连通存在同期相内连通、异期纵向连通、异期平面连通3种模式。以此为基础对永1断块合理注采井网进行了优化配置,大幅提高了老井产能,永1-55井措施后产能由4 t/d提高到12 t/d左右,有效指导了砂砾岩油藏开发。

**关键词:**砂砾岩 连通模式 期次划分 连通体 反演

中图分类号:TE112.23

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2016)04-0059-05

## Sedimentary sequence classification and connectivity pattern of conglomerate reservoir: A case study of Yong1 conglomerate reservoir in Dongxing oilfield

Shu Ningkai, Wang Xinwen

(School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing City, 100083, China)

**Abstract:** Conglomerate reservoir in Shengli Oil Region is of large scale of reserves, but a series of development difficulties, such as reservoir complexity, unclear connectivity patterns, poor correspondence between injection and production and unknown development laws, severely restrict the effective development of such reservoirs. Taking Yong1 conglomerate reservoir in Dongxin oilfield as an example, the sedimentary types in the area were determined with integrated application of multiple sources of data, by which the sedimentary sequence was classified to make reservoir connectivity patterns clear. The studied results show that conglomeratic reservoir development is controlled by sedimentary facies of the fourth member of Shahejie Formation in the study area, and the favorable reservoirs locate in the main channel at the root of the fan and the braided channel at the middle of the fan with lithology of fine conglomerate and pebbled sandstone. Nine sedimentary sequences were divided for the conglomerate in the area through seismic and drilling data. According to reservoir inversion results, it is considered that the reservoirs developed well in the 1st–5th sedimentary sequences which are characterized by good connectivity and physical properties, and they can be the later development targets. Three connectivity patterns of effective reservoirs were classified through dynamic and geologic data, which are connectivity within facies of the same sedimentary period, vertical connectivity in different sedimentary periods and horizontal connectivity in different sedimentary periods. On this basis, injection–production well patterns for Block Yong1 were optimized. As a result, the recovery capacity of old wells have been improved greatly. For example, the production capacity of Well Yong1–55 increased from 4 t/d

收稿日期:2016-04-05。

作者简介:束宁凯(1993—),女,江苏丹阳人,在读硕士研究生,从事构造地质及油气勘探综合研究。联系电话:(010)82322002, E-mail: 522345876@qq.com。

基金项目:国家科技重大专项“全球剩余油气资源研究及油气资产快速评价技术”(2011ZX05028),国家科技重大示范工程“渤海湾盆地济阳坳陷致密油开发示范工程”(2016ZX05072)。

to 12 t/d after the optimization. The conglomeratic reservoir development is guided effectively.

**Key words:** conglomerate; connectivity pattern; sequence classification; connected sand bodies; inversion

随常规油气藏动用程度越来越高,复杂隐蔽油气藏成为胜利油区勘探开发重点。截至目前,胜利油区砂砾岩油气藏探明石油地质储量为  $16\,539 \times 10^4$  t,控制石油地质储量为  $7\,904 \times 10^4$  t,砂砾岩油气藏在目前和今后相当长的时间内都是胜利油区稳产的重要储量接替。然而在勘探取得重大突破的同时,如何将这部分储量变为产量,给开发地质研究人员带来极大困难。砂砾岩油藏岩性复杂、开发难度大<sup>[1-5]</sup>,中外开发的区块不多,可借鉴的经验少。已经动用的产能差异大,开发特征不明确,连通规律认识不清,制约了后期注采井网的配置和措施调整,从而影响了砂砾岩油藏的有效开发和动用<sup>[3-6]</sup>。

东辛油田永1断块为扇三角洲形成的砂砾岩油藏,目的层为沙四段。经历了多年开发后,井网相对完善、资料比较丰富。该砂砾岩油藏含油面积为  $6.4\text{ km}^2$ ,石油地质储量为  $1\,782 \times 10^4$  t,属于中丰度、低渗透砂砾岩油藏。该油藏于1965年发现,1989年7月全面投入开发,1990年12月实施注水开发。历经20多年注水开发,开发效果差,注采矛盾突出,受效不均衡,截至2015年,采出程度仅为8.6%,综合含水率为53%。永1断块砂砾岩快速堆积、岩性复杂,长期以来期次划分、储层参数识别、地震识别有效储层是制约地质认识的难点<sup>[3-10]</sup>。而从开发角度看,由于开采历史长、射开井段多,油水井多层合采合注、作业措施多,注采对应关系复杂。有效储层的连通规律是连接油藏和地质研究的核心,也是实现油藏有效开发的关键,对后期井网调整、井位部署和最终提高采收率影响较大。

## 1 沉积规律

砂砾岩储层的形成受构造和沉积的共同作用,构造背景是影响砂砾岩体平面和纵向展布的重要因素,沉积背景则是储层形成和展布的物质基础,受气候、物源等因素的影响<sup>[5-11]</sup>。岩心观察和岩相分析表明研究区为扇三角洲沉积体系,由陈家庄—青坨子凸起过渡带上的永93古冲沟冲积而成(图1),受陡坡带环境限制,扇体面积小、厚度大。平面上由北向南逐渐从扇根—扇中—扇缘过渡;纵向上由下向上粒度由粗变细,电阻率变低,呈典型的正旋回沉积特征,退积特征明显,砂砾岩沉积主体逐渐由南向北退覆,反映湖盆水体逐渐变深的过程。

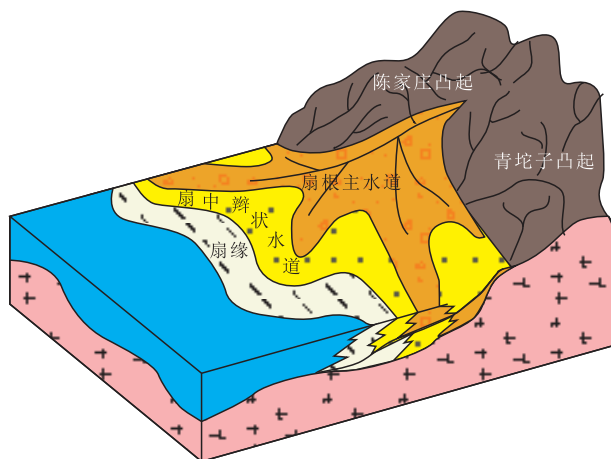


图1 永1断块砂砾岩扇三角洲沉积模式

Fig.1 Depositional model of Yong1 conglomerate fan delta

永1断块砂砾岩扇体形成早期主要在研究区东部发育,沉积物由北东向南西逐渐推进;扇体发育中期,随着湖平面逐渐上升,主水道能量明显减弱,扇体开始向西迁移;扇体发育后期,湖平面进一步上升并发生大规模的湖侵,扇体进一步向西迁移,并逐渐开始萎缩,主水道能量进一步减弱,沉积了厚层的泥岩。

研究区有利储层主要分布于扇根主水道和扇中辫状水道,在沉积早期水体较浅,不同时期的辫状水道沉积叠置交错往往形成厚层的砂砾岩储层,在平面和纵向的分布范围都很广。到沉积后期随着水体变深,研究区主要发育扇中和前三三角洲亚相,储层发育程度和规模都相对较小。由于泥岩发育,不同的辫状水道往往被泥岩层隔开,单层厚度薄,分布范围也局限在单期河道附近。因此沉积初期的连通体范围广、厚度大,而后期形成的连通体分布局限、单层薄,但个数明显增加。

## 2 期次划分

砂砾岩地层格架确立的难点是不同岩性混杂堆积,导致井点没有明显的旋回特征而无法细分,井间没有明确的对比标志。综合应用岩心、测井、地震、开发动态资料开展砂砾岩期次划分和对比,在等时界面的基础上确定对比标志,建立相应的对比模式。基于由大到小、逐级细分的思路开展研究区砂砾岩期次划分:①以井点资料为基础,运用地震资料开展亚段的划分,确定一级界面;②在一级界面之间运用井—震结合的方法将亚段细分,确定



二级界面;③二级界面之间运用对比标志层和岩性将砂砾岩进行期次划分。

砂砾岩体厚度变化大,很难单独利用测井资料

进行砂组的等时划分。永1断块沙四段与上覆岩层为不整合接触(图2),并且在地震剖面上特征明显,因此以此作为一级界面进行亚段的划分。

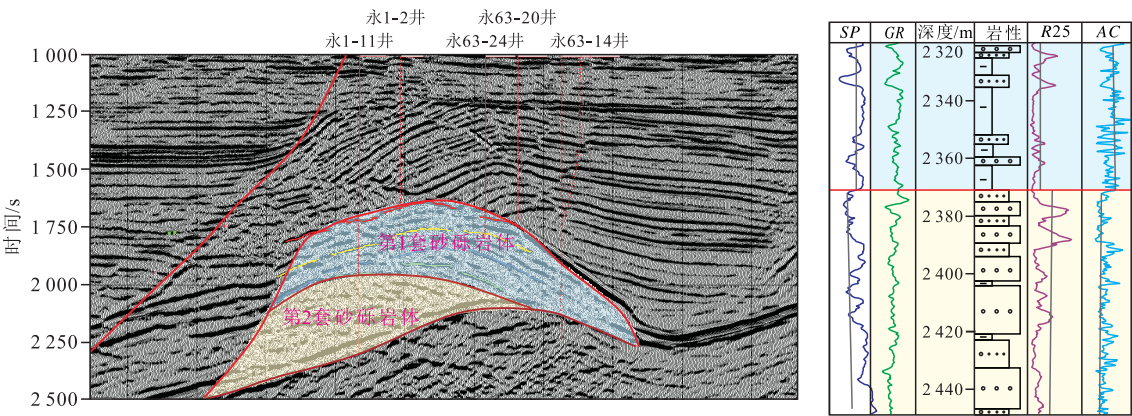


图2 永1断块过永1-11井南北向地震剖面及砂砾岩划分结果

Fig.2 SN seismic section and division results of conglomerate of Well1-11 in Block Yong1

运用井—震结合方法将亚段划分为2套砂砾岩体:第1套砂砾岩体在地震剖面上显示同向轴连续性较好,测井资料显示自然电位、自然伽马弱幅度异常,储层反应敏感,电阻率相对低,中子孔隙度最高,曲线呈高幅度锯齿状,声波时差值较大;第2套砂砾岩体在地震剖面上表现为同向轴略显杂乱,连续性较差,测井资料显示自然电位、自然伽马中等偏弱、幅度异常,对储层反应不敏感,电阻率比第1套高,声波时差较第1套小(图2)。

在2套砂砾岩体的基础上进行不同期次砂组的划分,通过地层对比,发现沙四段发育3套泥岩层段,厚度为10 m左右,分布范围广,分别为2与3期次,3与4期次及4与5期次的分界;在泥岩不发育段,划分标志和期次特征不易识别,则主要以岩性的变化来划分。在单井期次划分基础上,运用测井标定地震,以地震同相轴作为约束,进行井间对比,建立等时地层格架,将研究区砂砾岩体划分为9个

期次(图3)。受沉积作用的影响,砂砾岩体由南向西向北东逐渐迁移,沉积范围逐渐减小,砂砾岩主体部位在垂向上具有多期叠置的特点,而位于边缘的部分井仅有1—2期沉积。

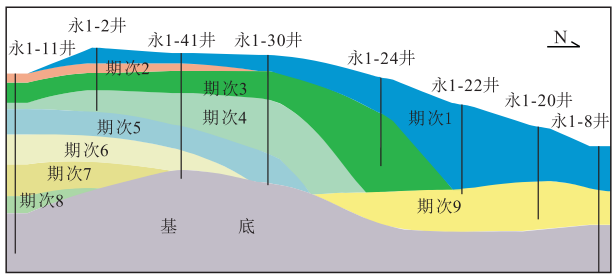


图3 永1断块砂砾岩体南北向地层对比  
Fig.3 SN strata correlation profile of conglomerate in Block Yong1

为落实砂砾岩有效储层展布,对各期次开展均方根振幅、最大振幅、平均振幅、平均能量、弧长等地震属性的分析,并在沉积模式指导下基于测井解释成果开展地质统计学反演。反演结果(图4)表

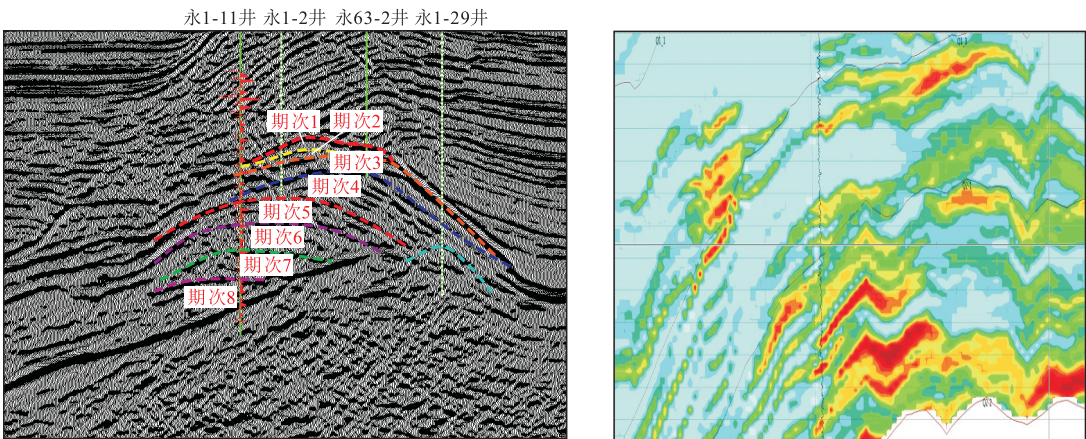


图4 永1断块砂砾岩体不同期次划分及储层反演结果

Fig.4 Sedimentary sequence division and reservoir inversion of conglomerate in Block Yong1

明,1—5期次同向轴清晰,识别特征较为明显,整体沉积物较细,储层呈不连片分布,隔夹层相对发育,渗透率一般为 $30 \times 10^{-3} \sim 98 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ;6—9期次响应特征杂乱,不同期次的储层发育程度均较好,叠合厚度大,但整体沉积粒度较粗,物性差,渗透率一般不到 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。开发效果也表明第2套砂砾岩体产能效果明显不好,自下而上储层物性逐渐变好,产能也相应地提高,因此1—5期次将是后期开发调整的重点。

### 3 连通模式

沉积相带影响有利储层的分布,扇根主水道和扇中辫状水道是储层最为发育的相带。储层孔隙度为 $8\% \sim 23\%$ ,渗透率为 $1 \times 10^{-3} \sim 500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,其中

含油性较好、厚度所占比例较高的细砾岩和含砾砂岩孔隙度为 $11\% \sim 20\%$ ,渗透率为 $5 \times 10^{-3} \sim 100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,是易于连片、形成连通体的岩石类型。

基于井点电性特征对比和储层反演的结果,可以确定储层连通的3种模式(图5)。模式1为同期相内连通模式,均为同一期次扇中辫状水道内的优势相带,储层物性好,顺物源方向呈条带状分布,在局部均可形成较好的连通关系;模式2为异期平面连通模式,在时间单元上属于不同沉积期次形成的单独水道,由于平面上相互搭界,且2期砂体物性相近、没有隔层,可以形成局部连通;模式3为异期纵向连通模式,在时间单元上属于不同沉积期次形成的单独水道,但由于纵向上存在叠置关系,当物性接近、砂体间又没有明显隔夹层发育的条件下可以形成局部连通。

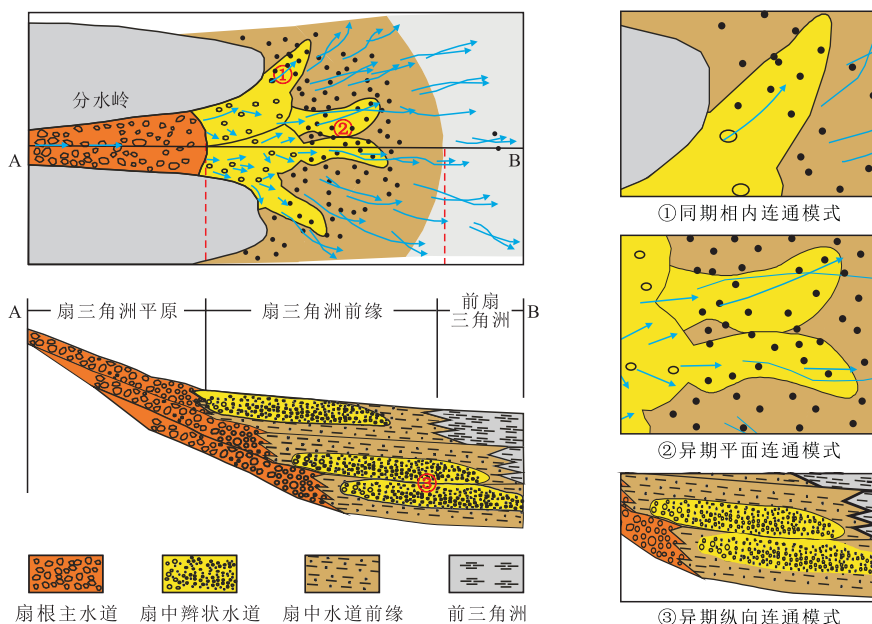


图5 永1断块砂砾岩有效储层连通模式

Fig.5 Connectivity patterns of effective conglomerate reservoir in Block Yong1

### 4 成果应用

以地质研究成果为基础,结合井间动态连通特征,明确了永1断块砂砾岩油藏有效连通体为扇根主水道或扇中辫状水道中发育的细砾岩和含砾砂岩。同时以期次划分的结果为约束,结合射孔层段开展了井点连通体的识别和对比。相带控制连通体分布,顺物源方向呈条带状、垂直物源方向呈透镜状。扇根连通体单层厚度大,扇中连通体的整体产能效果好。

综合工艺技术、经济效益,对永1断块合理注采

井网进行了优化配置。通过砂砾岩期次划分和异期纵向连通模式分析,沙四段1—2期次一套层系开发,3—4期次一套层系开发,并且考虑物源和主应力方向完善注采井网(图6)。投产新井以压裂改造为主,提高产能效果。针对老井则开展径向射孔,建立注采压差实现有效驱替,如永1-55井,措施后产能由 $4 \text{ t/d}$ 提高到 $12 \text{ t/d}$ 左右,而且产能在相当一段时间内维持稳定。适配后的注采井网相对完善,由于平面分区、纵向细分层系,解决了措施前井间注采不对应的难题,达到了油藏稳产的目标。通过一系列优化措施,实现了永1断块砂砾岩油藏经济有效动用。



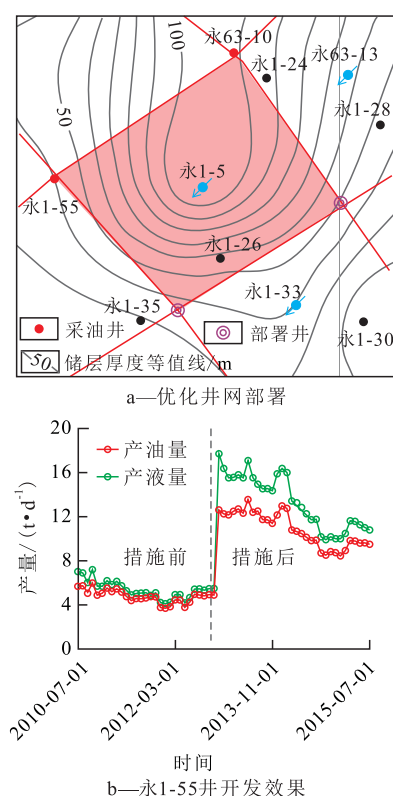


图6 永1断块优化井网部署及永1-55井开发效果

Fig.6 Optimized well deployment and development effect of Well 1-55 in Block Yong1

## 5 结束语

永1断块砂砾岩油藏储层受沉积相控制,扇根主水道和扇中辫状水道为优势的相带,以细砾岩和含砾砂岩为主。井—震结合确定了砂砾岩期次,共划分为9个期次,结合储层反演结果认为1—5期次储层发育、连通体个数多、物性好,是后期开发调整的重点目标。有效储层存在同期相内连通、异期纵向连通和异期平面连通3种连通模式。基于砂砾岩期次划分和异期纵向连通模式的认识,开展储层改造完井适配注采井网的优化配置,有效指导了后期注采调整开发工作。

### 参考文献:

- [1] 刘惠民,刘鑫金,贾光华.东营凹陷北部陡坡带深层砂砾岩扇体成岩圈闭有效性评价[J].油气地质与采收率,2015,22(5):7-14.  
Liu Huimin, Liu Xinjin, Jia Guanghua. Evaluation on trap effectiveness for deep fan diagenetic trap in the northern steep slope zone of Dongying sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(5): 7-14.
- [2] 赵明宸,徐赋海,姜亦栋,等.东辛油田盐227块致密砂砾岩油藏井工厂开发技术[J].油气地质与采收率,2014,21(1):103-106.

Zhao Mingchen, Xu Fuhai, Jiang Yidong, et al. Study and application on development technique for tight conglomerate reservoir, Yan227 block [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(1): 103-106.

- [3] Sang L, Datta-Gupta A. Electrofacies characterization and permeability predictions in carbonate reservoirs: Role of multivariate analysis and nonparametric regression [J]. SPE Reservoir Evaluation & Engineering, 2002, 6(3): 237-248.
- [4] Daniel J M, Kenneth A E. Sequence stratigraphy of upper Mississippian strata in the central Appalachians: A record of glacioeustasy and tectonoceustasy in a foreland basin setting [J]. AAPG Bulletin, 2000, 84(2): 210-233.
- [5] 王蓬,王艳忠,操应长,等.东营凹陷盐家地区沙四段上亚段砂砾岩体岩石结构特征[J].油气地质与采收率,2015,22(3):34-41.  
Wang Peng, Wang Yanzhong, Cao Yingchang, et al. Rock texture characteristics of sandy conglomerate in the upper fourth member of Shahejie Formation in Yanjia area, Dongying sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(3): 34-41.
- [6] 赵澄林,张善文,袁静,等.胜利油区沉积储层与油气[M].北京:石油工业出版社,1999:46-53.  
Zhao Chenglin, Zhang Shanwen, Yuan Jing, et al. Sedimentary reservoir and hydrocarbon accumulation in Shengli Oil Region [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999: 46-53.
- [7] 付建伟,李洪楠,孙中春,等.玛北地区砂砾岩储层地应力方向测井识别及主控因素[J].石油与天然气地质,2015,36(4):605-611.  
Fu Jianwei, Li Hongnan, Sun Zhongchun, et al. Logging identification and controlling factors of present stress orientations of the coarse-grained clastic reservoirs in Mabei region, Juggar Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(4): 605-611.
- [8] 郭兴伟,施小斌,丘学林,等.济阳拗陷新生代构造沉降特征[J].中国石油大学学报:自然科学版,2006,30(3):6-10.  
Guo Xingwei, Shi Xiaobin, Qiu Xuelin, et al. Characteristics of Cenozoic tectonic subsidence in Jiyang depression [J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2006, 30(3): 6-10.
- [9] 周伟建,施小荣,王贵文,等.红浅1井区砂砾岩稠油储层特征与主控因素[J].特种油气藏,2015,22(4):65-68.  
Zhou Weijian, Shi Xiaorong, Wang Guiwen, et al. Features and major controlling factors of glutinite heavy oil reservoirs in the HQ-1 well block [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2015, 22(4): 65-68.
- [10] Dixon J F, Steel R J, Olariu C, et al. A model for cutting and healing of deltaic mouth bars at the shelf edge: Mechanism for basin-margin accretion [J]. Journal of Sedimentary Research, 2013, 83(3): 284-299.
- [11] 顾家裕,郭彬程,张兴阳.中国陆相盆地层序地层格架及模式[J].石油勘探与开发,2005,32(5):11-15.  
Gu Jiayu, Guo Bincheng, Zhang Xingyang. Sequence stratigraphic framework and model of the continental basins in China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(5): 11-15.

编辑 经雅丽