

# 北黄海盆地东部坳陷油气成藏时间研究

刘振湖<sup>1,2</sup>, 王飞宇<sup>3</sup>, 刘金萍<sup>1,2</sup>, 胡小强<sup>1,2</sup>

(1. 广州海洋地质调查局, 广州 510760; 2. 国土资源部 海底矿产资源重点实验室, 广州 510760

3. 中国石油大学(北京), 北京 102249)

**摘要:** 东部坳陷是北黄海盆地唯一发现油流的沉积坳陷, 具有较好的油气勘探前景, 其油气藏形成时间将决定该区油气勘探思路和油气勘探方向。通过烃源岩的油气生排烃史和油层的砂岩包裹体研究, 综合分析推断了东部坳陷油气藏成藏时间。研究表明, 东部坳陷中侏罗统烃源岩的主要生烃期和排烃期为渐新世, 下白垩统和上侏罗统砂岩储层包裹体的油充注时间为早中新世。结合盆地构造演化史综合分析推断, 北黄海盆地东部坳陷的油气藏形成时间为晚渐新世至早中新世。

**关键词:** 储层包裹体; 生排烃史; 油气充注史; 成藏时间; 东部坳陷; 北黄海盆地

中图分类号: TE122.3<sup>+</sup>1

文献标识码: A

## Time of hydrocarbon accumulation in eastern depression of North Yellow Sea Basin

Liu Zhenhu<sup>1,2</sup>, Wang Feiyu<sup>3</sup>, Liu Jinping<sup>1,2</sup>, Hu Xiaoqiang<sup>1,2</sup>

(1. Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou, Guangdong 510760, China; 2. Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Ministry of Land and Resources, Guangzhou, Guangdong 510760, China; 3. China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

**Abstract:** The eastern depression is the only depression in which petroleum was found with good potential in the North Yellow Sea Basin. The time of petroleum accumulation in this depression will decide the strategy of petroleum exploration. Based on the studies of petroleum generation and expulsion history as well as sandstone inclusions in oil layers, the accumulation time for reservoirs in the eastern depression was discussed. Hydrocarbon was formed and expelled from the middle Jurassic source rocks in Oligocene, and the sandstone inclusions in the Lower Cretaceous and the Upper Jurassic reservoirs were filled by oil in the early Miocene. Combined with the tectonic evolution of the basin, it was inferred that petroleum accumulated from the Late Oligocene to the Early Miocene in the eastern depression of the North Yellow Sea Basin.

**Key words:** inclusion in reservoir; history of hydrocarbon generation and expulsion; history of hydrocarbon filling; accumulation time; eastern depression; North Yellow Sea Basin

## 1 石油地质概况

北黄海盆地是印支—燕山运动时期在华北地块东延部分的区域隆起背景之上发育的中、新生代陆内断陷盆地, 包括东部坳陷、东部隆起、中部坳陷、中西部隆起、西部坳陷和南部凹陷群等 6 个二级构造单元<sup>[1]</sup> (图 1)。盆地基底为中—深变质的太古界、元古界和低变质—未变质的古生界, 沉积盖层为中—上侏罗统、下白垩统、始新统、渐新统、中新统和第四系等地层, 厚度最大约 8 100 m。其中, 中生界厚度 5 300 m, 古近系厚度 100~3 500 m, 均为河流/冲积扇—三角洲相湖相碎屑岩系。盆地经历了燕山期和喜马拉雅期多幕构造运动。断层主要发

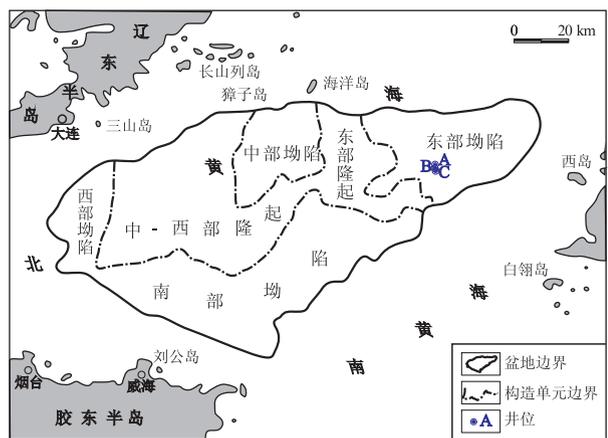


图 1 北黄海盆地构造区划

Fig.1 Structural division of North Yellow Sea Basin

收稿日期: 2013-03-13; 修订日期: 2014-07-05。

作者简介: 刘振湖 (1956—), 男, 硕士, 教授级高级工程师, 从事石油地质综合研究与油气资源评价工作。E-mail: zhenhuliu@163.com。

基金项目: 国家地质调查专项研究项目 (GZH200700410) 资助。

育EW向、NW向和NE-NNE向3组断裂,以正断层为主,局部发育逆断层。盆地经历了晚侏罗世—早白垩世断陷、古近纪叠加断陷和新近纪拗陷3个构造演化阶段<sup>[2-3]</sup>。

研究表明,东部拗陷是具有较好油气勘探前景的沉积拗陷,其主要烃源岩为中侏罗统暗色泥岩,上侏罗统暗色泥岩为次要烃源岩;高丰度优质烃源岩主要赋存在上侏罗统下部—中侏罗统上部的地层。储层主要为下白垩统和上侏罗统的低孔低渗陆相碎屑岩储层,个别层段发育有中孔中渗和高孔中渗的物性较好砂砾岩储层。下白垩统上部泥岩层段和中侏罗统为2套区域盖层。上侏罗统和下白垩统局部构造极为发育,圈闭类型以断层有关的断块圈闭和断鼻圈闭为主,圈闭主要形成于燕山四幕和喜马拉雅二幕运动。

在东部拗陷,已有多口探井在下白垩统砂岩、含砾砂岩和上侏罗统细砂岩储层中见油气显示和油气流,这表明该区具有一定的油气勘探前景。油源对比研究表明,下白垩统和上侏罗统储层的原油来源于上侏罗统下部和中侏罗统上部优质湖相烃源岩。

## 2 烃源岩生排烃主峰期分析

盆地模拟结果表明,东部拗陷中侏罗统烃源岩生、排烃量分别占其总量的95.3%和92.3%,而上侏罗统烃源岩的生、排烃量占其总量分别小于5%和7%,因此主要烃源岩中侏罗统黑色泥岩生排烃期决定了东部拗陷油气藏的形成时间。中侏罗统烃源岩在白垩世末,局部进入生烃门限,开始生成少量的油气(约占该烃源岩总生烃量的6.2%),渐新世该烃源岩处于主生烃期的生烃高峰,约占其总

生烃量的81%,并以生成液态烃为主;中新世—全新世该烃源岩继续生成一定数量的液态烃(约占总生烃量的12.8%)。因此,渐新世为北黄海盆地东部的生排烃期。

从排烃史分析(图2)可知,中侏罗统烃源岩在渐新世之前排烃量仅为总排烃量的3%,而在渐新世大量排烃,占总排烃量的91%,在新近纪其排烃量不大,约占总排烃量的6%,因此渐新世为东部拗陷中侏罗统烃源岩主排烃期。

综上所述,北黄海盆地东部的生排烃期和主排烃期都为渐新世。

## 3 油气充注期分析

由油气充注期可确定油气藏形成时间,20世纪90年代以来,油气地质学家通过自生矿物(自生石英、自生钠长石和自生钾长石)中包裹体的均一化温度、含油包裹体的油气地球化学分析,结合热史和埋藏史,综合分析油气藏的充注期次和油气来源<sup>[4-10]</sup>。油气成藏时限分析时测试对象是与烃类包裹体共生的均相捕获的盐水包裹体,其主矿物最好为石英,如主矿物为方解石或长石类矿物,应注意识别可能的流体包裹体次生变化,研究中按FIA (Fluid Inclusion Assemblage) 概念进行流体包裹体岩相分析、测温和数据解释,一个流体包裹体组合(FIA)由不同大小和形态的流体包裹体组成,其均一化温度基本一致。

### 3.1 流体包裹体特征

在北黄海盆地东部拗陷,具有油流和油气显示的层位主要为下白垩统和上侏罗统的含砾砂岩和砂岩储层。本研究对应用QGF技术确定为油层段的A、B、C3口探井的下白垩统和上侏罗统砂岩储

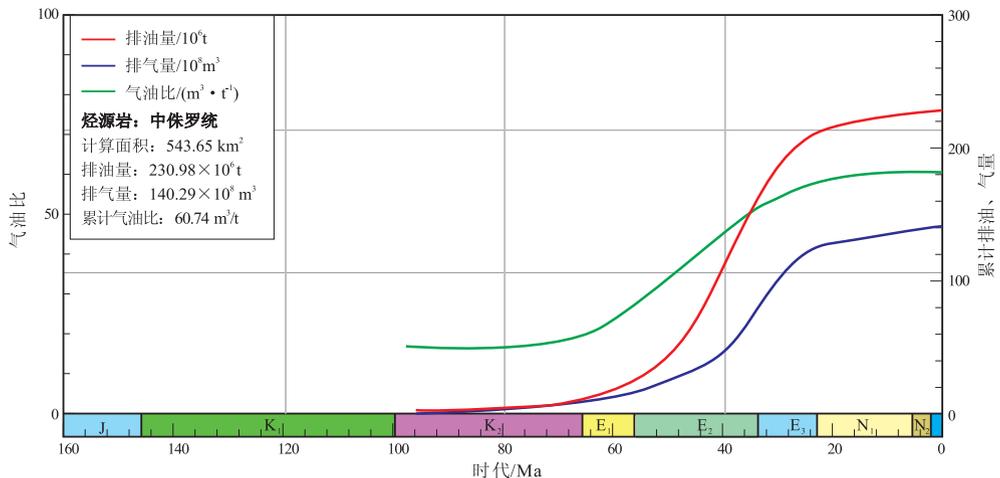
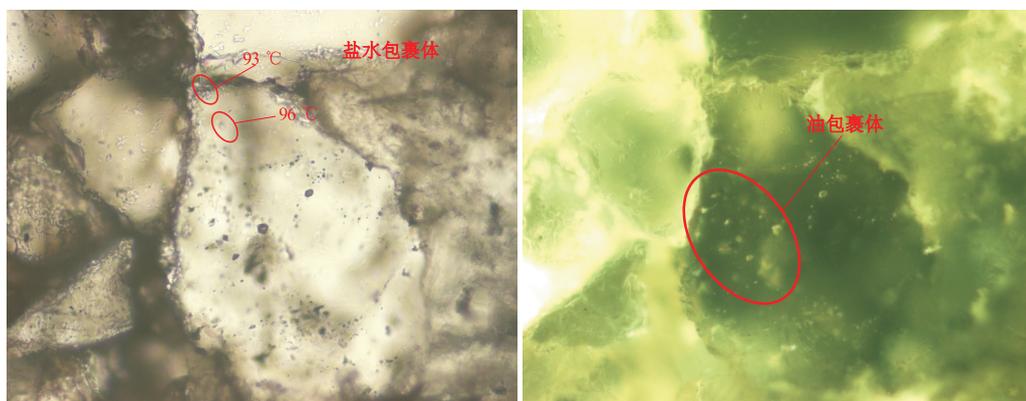


图2 北黄海盆地东部中侏罗统烃源岩排烃量随时间的变化

Fig.2 Hydrocarbon expulsion changing with time of Middle Jurassic source rocks in eastern depression, North Yellow Sea Basin



在石英颗粒边缘存在盐水包裹体, B井, 2340 m, ×200

图 3 北黄海盆地在石英颗粒内裂纹愈合带中存在油包裹体和同期生成的盐水包裹体

Fig.3 Microphotographs of oil and salt water inclusions in the healed cracks of quartz particles in North Yellow Sea Basin

层包裹体进行油气充注史研究。砂岩储层烃类流体包裹体主要赋存在石英颗粒裂隙愈合带和石英次生加大边上,主要是油包裹体,大部分油包裹体没有气泡或气泡较小(图3),气液比小于10%,大部分在5%以下,没有见到能均一为气相的天然气包裹体。

### 3.2 根据流体包裹体均一温度和埋藏史曲线确定油气充注时间

A井3个上侏罗统油层段中与油包裹体共生的盐水包裹体均一化温度( $T_h$ )和冰融点温度( $T_m$ ) (图4)说明石油充注主要为一期,所有油包裹体为同一个FIA,油气捕获温度介于90~110 °C,对比该井的埋藏热历史(图5),石油充注主要发生在20 Ma ( $N_1^1$ )以来。

B井2个下白垩统油层段中与油包裹体共生的盐水包裹体均一化温度和冰融点温度(图6)说明石油充注主要为一期,所有油包裹体为同一个FIA,

油气捕获温度介于85~100 °C,对比该井的埋藏热历史(图7),石油充注主要发生在15 Ma 以来( $N_1^2$ )。

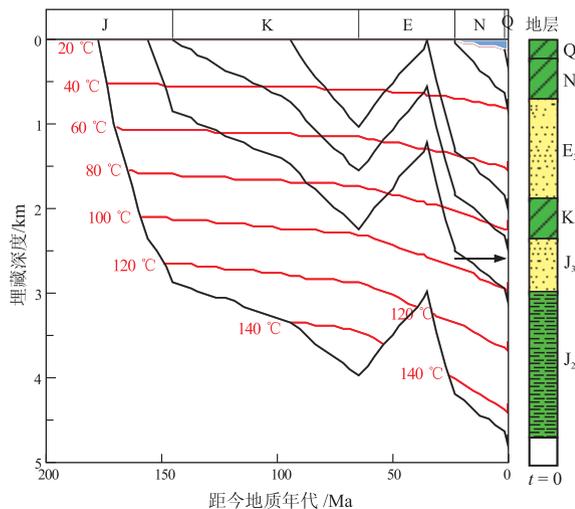


图 5 北黄海盆地 A 井埋藏热历史和石油充注期  
Fig.5 Burial history and oil filling stage in well A, North Yellow Sea Basin

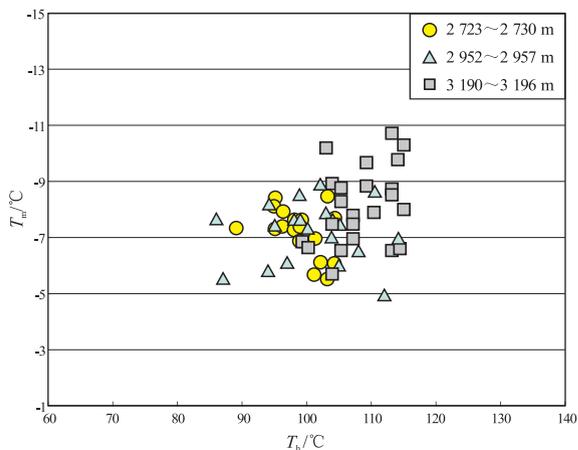


图 4 北黄海盆地 A 井油层包裹体均一化温度和冰融点温度关系

Fig.4  $T_h-T_m$  diagram of fluid inclusions from oil reservoirs in well A, North Yellow Sea Basin

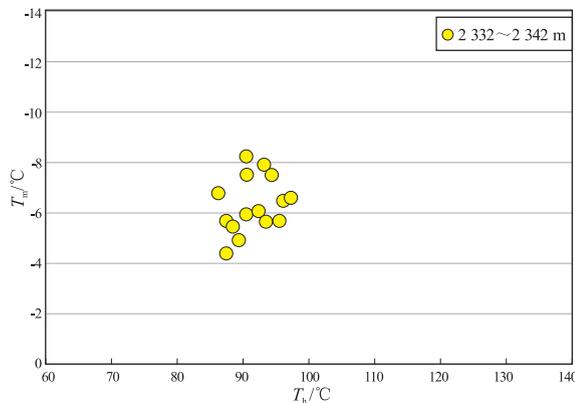


图 6 北黄海盆地 B 井油层包裹体均一化温度和冰融点温度关系

Fig.6  $T_h-T_m$  diagram of fluid inclusions from oil reservoirs in well B, North Yellow Sea Basin

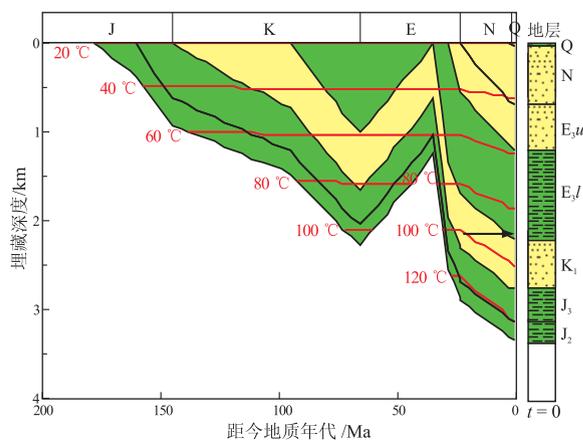


图 7 北黄海盆地 B 井埋藏热历史和石油充注期

Fig.7 Burial history and oil filling stage in well B, North Yellow Sea Basin

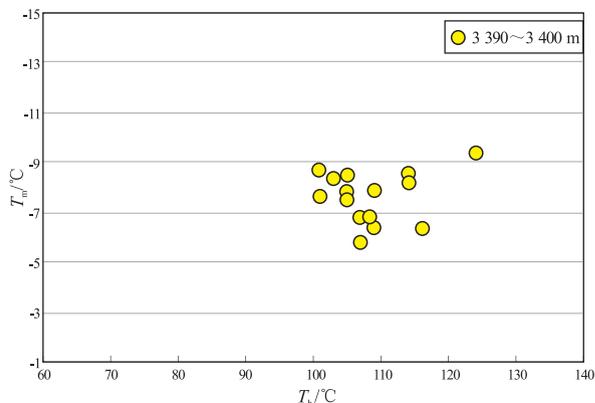


图 8 北黄海盆地 C 井油层包裹体均一化温度和冰融点温度关系

Fig.8  $T_h - T_m$  diagram of fluid inclusions from oil reservoirs in well C, North Yellow Sea Basin

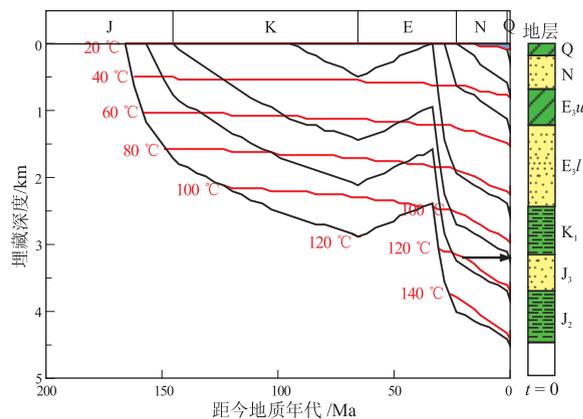


图 9 北黄海盆地 C 井埋藏热历史和石油充注期

Fig.9 Burial history and oil filling stage in well C, North Yellow Sea Basin

C 井 1 个上侏罗统油层段中与油包裹体共生的盐水包裹体均一化温度和冰融点温度(图 8)说明石油充注主要为一期,所有油包裹体为同一个

FIA, 油气捕获温度介于 103~126 °C, 对比该井的埋藏热历史(图 9), 石油充注主要发生在 20 Ma 以来( $N_1^1$ )。

### 3.2 根据流体包裹体形成条件和埋藏史曲线确定油气充注时间

根据油层段砂岩样品中油包裹体相态特征可限定充注的油气相态性质。目前观察到的油包裹体主要赋存在石英颗粒裂隙愈合带和石英次生加大边上, 主要是油包裹体, 大部分油包裹体没有气泡或气泡较小, 气液比小于 10%, 大部分在 5% 以下, 油包裹体的这一特点表明充注的石油 GOR 低, 与源岩灶特征是基本一致的, 目前凹陷部位源岩灶有机成熟度( $R_o$ ) 介于 1.0%~1.4%, 还没有进入大量生气阶段, 所形成的石油应为低油气比的石油。

根据流体包裹体实测数据, 应用 Duan (1992) 建立的 NaCl-H<sub>2</sub>O-CH<sub>4</sub> 状态方程实现了盐水包裹体 PVT 模拟计算, 应用 VTFlinC 或 PIT 软件可实现 PVT 重构, 估算油气藏油气充注的压力, 结合压力梯度资料和储层埋藏史估算油气藏形成时的油气充注时间<sup>[11-12]</sup>。水溶液和石油在地表或地下条件下是不混溶的, 但它们以水相和油相包裹体形式被同时捕获, 共生的水相和油相包裹体两种体系的相图的叠合则可提供有关捕获 P-T 条件和流体中天然气饱和度的准确信息。虽然烃类流体包裹体中流体的成分不能准确知道, 但根据目前流体包裹体中的 GOR 可大致推测烃类流体的类型, 在 VT-FlinC 实现 PVTX 计算。A 井 3 190~3 196 m 的油层中, 与油包裹体共生的盐水包裹体均一化温度为 95~110 °C, 平均为 103 °C, 油包裹体均一化温度为 77~84 °C, 平均为 80 °C, 油包裹体 GOR 为 3%~10%, 平均 8%。如果按黑油模型计算, 油包裹体捕获压力为 19.8 MPa, 如按挥发油模型计算, 油包裹体捕获压力为 24.7 MPa, 我们认为油包裹体形成时充注的烃类流体为黑油, 油包裹体捕获压力约为 19.8 MPa(图 10); 如果是正常压力体系, 油包裹体形成时埋深约为 2 000 m, 对比 A 井埋藏热历史, 指示油充注发生在 20 Ma( $N_1$ )。

综上所述, 在北黄海盆地东部坳陷, 下白垩统和上侏罗统的油包裹体, 其油充注时间均为 20~15 Ma 之间。

## 4 结束语

根据烃源岩生排烃史, 北黄海盆地东部坳陷中侏罗统烃源岩的主要生烃期和主要排烃期为渐新世, 而下白垩统和上侏罗统砂岩储层包裹体研究表

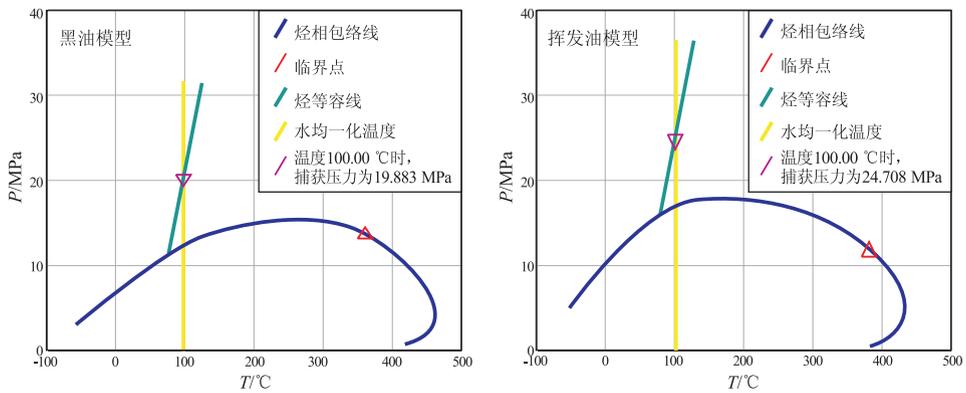


图10 北黄海盆地A井3190~3196 m 流体包裹体形成条件PVTX计算

Fig.10 PVTX calculation of formation condition of fluid inclusions in 3190~3196 m in well A, North Yellow Sea Basin

明其油充注时间为早中新世,因此综合生排烃史和储层油气充注史研究结果,可以推断北黄海盆地东部的油气藏形成时间为晚渐新世至早中新世。

#### 参考文献:

- [1] 刘振湖,高红芳,胡小强,等.北黄海盆地东部坳陷中生界含油气系统研究[J].中国海上油气,2007,19(4):229-233.  
Liu Zhenhu, Gao Hongfang, Hu Xiaoqiang, et al. A Study on the Mesozoic petroleum system in East depression, North Yellow Sea basin [J]. China Offshore Oil and Gas, 2007, 19(4): 229-233.
- [2] 陈亮,金庆焕,刘振湖,等.太阳盆地中生代断裂特征及成因机制[J].海洋地质与第四纪地质,2008,28(2):53-60.  
Chen Liang, Jin Qinshuan, Liu Zhenhu, et al. Features and genetic mechanism of faults in the Sun Basin in Mesozoic and Cenozoic times [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2008, 28(2): 53-60.
- [3] 陈亮,刘振湖,金庆焕,等.北黄海盆地东部坳陷中生代构造演化[J].大地构造与成矿学,2008,32(3):308-316.  
Chen Liang, Liu Zhenhu, Jin Qinshuan, et al. Meso-Cenozoic tectonic evolution of the east depression of North Yellow Sea [J]. Geotectonic et Metalogenia, 2008, 32(3): 308-316.
- [4] 卢焕章,范宏瑞,倪培,等.流体包裹体[M].北京:科学出版社,2004.  
Lu Huanzhang, Fan Hongrui, Ni Pei, et al. Fluid inclusion [M]. Beijing: Science Press, 2004.
- [5] 柳少波,顾家裕.包裹体在石油地质研究中的应用与问题讨论[J].石油与天然气地质,1997,18(4):326-331.  
Liu Shaobo, Gu Jiayu. Application of fluid inclusions to petroleum geological study and discussion [J]. Oil & Gas Geology, 1997, 18(4): 326-331.
- [6] 肖贤明,刘祖发,刘德汉,等.应用储层流体包裹体信息研究天然气气藏的成藏时间[J].科学通报,2002,47(12):957-960.  
Xiao Xianming, Liu Zufa, Liu Dehan, et al. Dating formation of natural gas pools using fluid inclusion data from reservoirs [J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(12): 957-960.
- [7] 冯松宝,徐文明,顿亚鹏.库车坳陷克拉苏构造带超高压大气田储层流体包裹体特征及成藏信息[J].石油实验地质,

2014, 36(2):211-217.

Feng Songbao, Xu Wenming, Dun Yapeng. Fluid inclusion characteristics of reservoirs in Kelasu tectonic zone of Kuqa Depression and its accumulation information [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(2): 211-217.

- [8] 时保宏,张艳,张雷,等.鄂尔多斯盆地延长组长7致密储层流体包裹体特征与成藏期次[J].石油实验地质,2012,34(6):599-603.  
Shi Baohong, Zhang Yan, Zhang Lei, et al. Hydrocarbon accumulation dating by fluid inclusion characteristics in Chang7 tight sandstone reservoirs of Yanchang formation in Ordos Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(6): 599-603.
- [9] 赵孟为.鄂尔多斯盆地油气形成与运移时间和运移方向的确定与勘探方向[J].石油实验地质,1996,18(4):341-347.  
Zhao Mengwei. Timing of hydrocarbon generation and migration and determination of migration direction as well as exploration direction in the Ordos Basin [J]. Experimental Petroleum Geology, 1996, 18(4): 341-347.
- [10] 邢恩袁,庞雄奇,肖中尧,等.利用颗粒荧光定量分析技术研究塔里木盆地库车坳陷大北1气藏充注史[J].石油实验地质,2012,34(4):432-437.  
Xing Enyuan, Pang Xiongqi, Xiao Zhongyao, et al. Application of quantitative grain fluorescence techniques in analysis of hydrocarbon charge history in Dabe1 gas reservoir, Kuqa Depression, Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(4): 432-437.
- [11] Aplin A C, Larter S R, Bigge M A, et al. Confocal microscopy of fluid inclusions reveals fluid-pressure histories of sediments and an unexpected origin of gas condensate [J]. Geology, 2000, 28(11): 1047-1050.
- [12] 米敬奎,肖贤明,刘德汉,等.鄂尔多斯盆地上古生界储层中包裹体最小捕获压力的PVTsim模拟[J].地球化学,2002,31(4):402-406.  
Mi Jingkui, Xiao Xianming, Liu Dehan, et al. Simulation for minimum trapping pressure of inclusions occurring in Upper Paleozoic sandstone reservoir of Ordos Basin using PVTsim [J]. Geochemistry, 2002, 31(4): 402-406.

(编辑 徐文明)