

文章编号:1000-0550(2011)03-0580-07

高邮凹陷真武油田成藏期与动态成藏过程分析

刚文哲¹ 王勇² 高岗¹ 娄国泉² 沈霞³ 田志彬¹

(1. 中国石油大学油气资源与探测国家重点实验室 北京 102249;

2. 江苏油田分公司物探技术研究院 南京 210046; 3. 吉林油田分公司勘探开发研究院 吉林松原 138000)

摘要 真武油田位于苏北盆地东台拗陷高邮凹陷中南部,是苏北盆地目前已发现油田中最大的一个油田,油田开发时间长、含油面积大、油气富集程度高。该油田位于深凹带南部真2断裂下盘,邻近高邮生烃凹陷,油气主要分布在垛一段、戴二段和戴一段三个层段,阜一段也含油;储集层岩性多为细砂岩和不等粒砂岩。利用构造演化、原油特征与烃源岩演化、流体包裹体等方法分析了真武油田的成藏期次,结合各种地质要素分析了其动态成藏过程。构造演化史表明,从戴南组沉积开始到盐城组早期断层活动较为强烈,三垛末期地壳抬升,地层遭到剥蚀,先期形成的油气藏遭受破坏,盐城组早期断层仍然继续活动,油气不断进行运移,凹陷继续接受沉积,到盐城组沉积中后期,断层活动基本停止,油气运移速率减慢。后期沉积的地层厚度较大,对油气的保存有利。烃源岩演化史表明,高邮凹陷烃源岩有两期生烃,三垛晚一末期阜二段烃源岩在凹陷内部处于大量生油阶段,该时期阜四段烃源岩未达到生油高峰,只生成少量的油气,所以,应该是阜二段烃源岩主要的排油时期,但由于受到三垛晚期区域构造运动的影响,形成的油气藏多遭到破坏;盐城组沉积时期,阜二段和阜四段烃源岩二次埋深均达到生油高峰,发生二次生烃。真武油田流体包裹体特征明显,主要发育一期流体包裹体,烃类包裹体及伴生的盐水包裹体多发育在石英次生加大边中,包裹体均一温度只有一个主峰温度区间,与单井地层埋藏史结合发现,油气运移聚集的时期处于垛二段沉积时期,这与构造演化和烃源岩演化反演的成藏期有一定差异。综合各种成藏期分析方法对原油动态成藏过程进行了分析,认为真武油田的油气具有两期成藏,早期主要是阜二段烃源岩在三垛末期之前生油、运移、聚集成藏,但三垛末期的构造抬升破坏了该期形成的油藏;盐城组早中期主要是阜四段烃源岩再次埋深二次生烃,是油气运移成藏的主要时期。盐城晚期至今是油气保存的主要时期。

关键词 成藏过程 成藏期 真武油田 高邮凹陷 苏北盆地

第一作者简介 刚文哲 男 1965年出生 博士 副教授 油气地球化学油气地质 E-mail: gwz@cup.edu.cn

中图分类号 TE12 **文献标识码** A

高邮凹陷位于苏北盆地东台拗陷南缘,东西长约100 km,南北宽约25~35 km,面积约2670 km²[1]。构造单元上由南向北依次为南部断阶带、中央深洼带和北部斜坡带(图1)。地层从下到上依次发育上白垩统泰州组、古近系阜宁组(由下到上划分为阜一、二、三、四段)、戴南组(由下到上为戴一段、戴二段)、三垛组(由下到上为垛一段、垛二段)、新近系盐城组和第四系。深洼带两侧的断裂附近是油气聚集的主要部位,分布有黄珏、马家嘴、联盟庄、邵伯、真武、许庄、曹庄、富民、永安等多个油田,其中真武油田位于深凹带靠近真2断裂的下盘,西为邵伯次凹,东北为樊川次凹,是真2断层下盘上受断层、岩性控制的断块油田[2]。油气主要分布在E₂s₁、E₂d₂和E₂d₁三个层位,阜一段也含油,含油层位多;岩性多为细砂岩和不等粒砂岩。该油田的成藏模式有一定的代表性,分析其成藏期次和动态成藏过程,对于加速研究区油气

勘探工作有重要指导意义。众所周知,含油气盆地的油气成藏往往不是一次完成的,而是多次、多期成藏的结果[3],成藏模式多种多样[4]。高邮凹陷是苏北盆地的主要富油区域,阜宁组上部的阜四段和下部的阜二段是主要烃源岩[5],在深凹带内埋藏深度差别较大,戴南组和三垛组是主要富油层位[6],并且靠近深凹带的深断裂附近及其构造高部位原油最为富集,那么,在地质历史中,断裂活动与原油成藏过程、成藏期之间有何联系?不同层段烃源岩在不同时期对油藏的贡献有何不同?真武油田位于深凹带南部真2断裂下盘,邻近生烃凹陷,通过对其成藏过程分析可以了解深凹带及其邻近地区的原油成藏历史,有利于有利勘探区的分析。本文将从构造演化、油气特征与烃源岩演化和流体包裹体等方面分析真武油田的成藏期次和成藏过程。

收稿日期:2010-01-11;收修改稿日期:2010-07-05

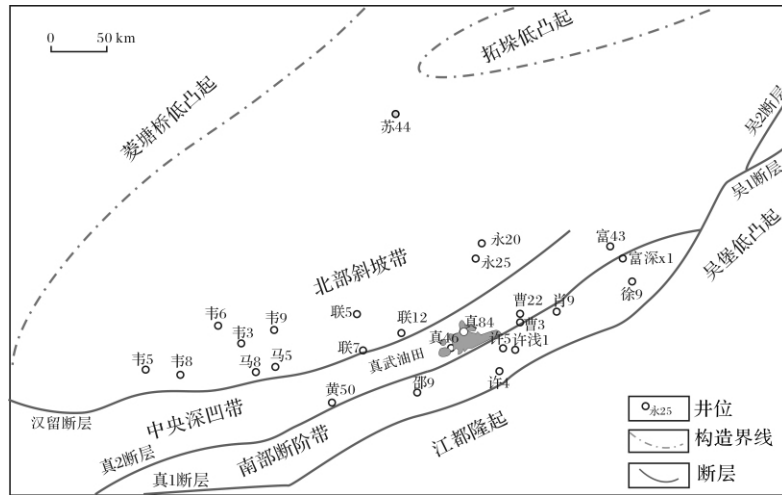


图1 苏北盆地高邮凹陷构造单元划分与真武油田位置图

Fig. 1 Structural units and Zhenwu oilfield location of Gaoyou Sag in Subei basin

1 构造演化与油气成藏期关系

油气藏的形成是油气在圈闭中聚集的结果,只有先形成了圈闭,油气才能在圈闭中聚集形成油气藏^[7]。由于圈闭的形成并不意味着立刻就有油气在其中聚集,因此根据圈闭形成时间确定的油气藏形成时间只能是最早时间—油气藏只能形成于这一时间之后^[8]。研究区的构造演化一方面表现在断层的发育过程,另一方面表现在构造的总体抬升和剥蚀过程。真武油田构造演化过程显示,戴一段沉积前,真2断裂带已经有两个大的断层,断距较大,并在以后的沉积时期不断活动。戴南组一段沉积时期基底就显示南高北低的特征,真武油田处于斜坡位置,戴一段地层南部较薄北部较厚。戴二段沉积时期地层整体下沉,真2断层断层面变得相对较缓,可能为上盘地层的压力作用所致。三垛组沉积时期,断层活动较为强烈,真2断裂带产生很多次级断层,主要形成了与断层有关的圈闭(图2),为油气的聚集提供了聚集场所。三垛末期地壳抬升,地层遭受剥蚀,先期形成的油气藏遭受破坏。盐城组早期断层仍然继续活动,油气不断进行运移,凹陷继续接受沉积,到盐城组沉积中后期,断层基本停止活动,油气运移速率减慢。后期沉积的地层厚度较大,对油气的保存有利。

2 烃源岩演化与油气成藏期次

油气藏的形成是油气生成、运移、聚集的结果。只有油气生成并排出了烃源岩,油气藏才可能形成^[7]。根据高邮凹陷阜二段与阜四段烃源岩的埋藏

史、成熟演化史模拟结果(图3)。阜二段和阜四段烃源岩的演化均具有两期成藏历史,主要与三垛末期的区域构造运动有关。戴南末期阜二段和阜四段烃源岩成熟度均比较低,凹陷深部位的阜四段顶部与底部烃源岩对应 R_o 未达到0.5%,均未进入生油门限;凹陷深部位的阜二段顶部烃源岩 R_o 达到0.53%~1.25%,底部烃源岩 R_o 达到0.63%~1.65%,均已进入生油门限(图3)。而戴南末期之前是烃源岩因压实作用孔隙度急剧下降的重要时期(图4),但由于烃源岩演化程度总体低,石油生成量有限,所以,因压实作用而排出的液态石油量有限。

三垛期(E_2s ,距今地质时间从50~23.8 Ma)是烃源岩持续埋深、演化程度不断增加的主要时期(图3和图4)。三垛晚—末期(23.8 Ma)不同段烃源岩普遍进入成熟阶段,阜二段顶部烃源岩在凹陷主体进入生油门限,凹陷最深部位达到或超过了生油高峰,其顶部与底部 R_o 分别达到了0.98%和1.1%(图3和图4),其中阜二段底部烃源岩在凹陷大部分地区普遍进入生油门限,所以,这一时期阜二段烃源岩在凹陷主体部位达到大量生油阶段。该时期的阜四段顶部与底部烃源岩 R_o 在凹陷深部位分别达到0.75%和0.86%,进入成熟阶段,但未达到生油高峰。这一时期,压实作用也极为显著,由于孔隙度较快速下降(图3和图4),生成的液态石油可以大量排出,是重要的排烃时期。因阜二段烃源岩在凹陷内部处于大量生油阶段,阜四段烃源岩未达到生油高峰,所以,应该是阜二段主要的排油时期。三垛晚期由于区域构造运动,地壳抬升,各段烃源岩热演化基本停滞,同时

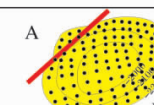
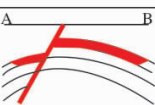
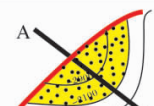





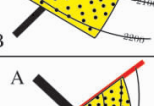

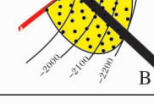
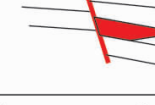
大类	亚类	类型	平面构造模型图	剖面模式图	实例
构造油气藏	背斜油气藏	微背斜油气藏			马家嘴油田 E_2d^2
	断层油气藏	断鼻油气藏			永安油田 E_2d^1
		断块油气藏			联盟庄油田 E_2d^2
非构造	岩性油气藏	岩性上倾尖灭油气藏			黄珏油田 E_2s^1
复合油气藏		岩性-断层油气藏			真武油田 E_2d^1
		断层-岩性油气藏			马家嘴油田

图2 苏北盆地高邮凹陷主要油气藏类型图

Fig. 2 Type of main oil & gas pools in Gaoyou sag of Subei basin

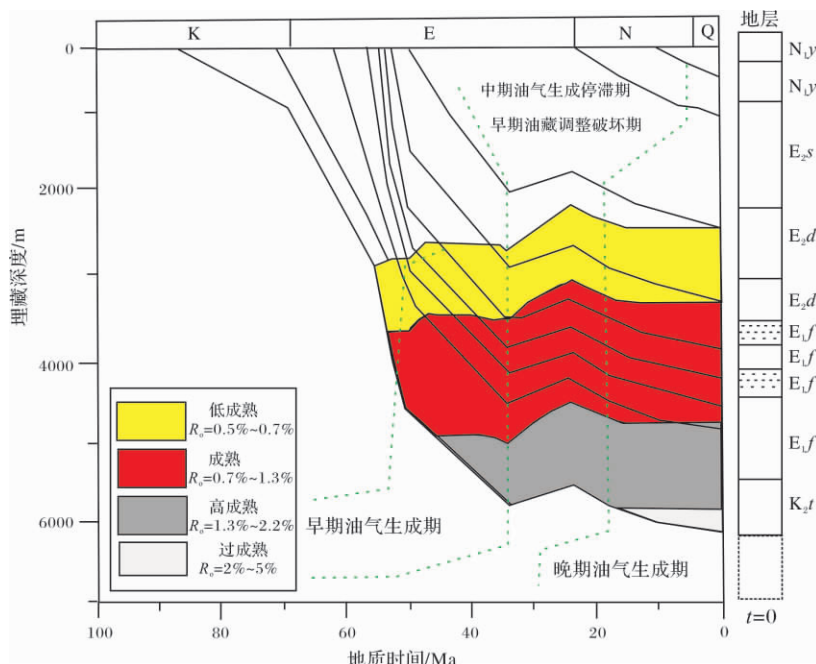


图3 苏北盆地高邮凹陷深部位烃源岩成熟演化图

Fig. 3 Maturity evolution of deep source rock in Gaoyou sag of Subei basin

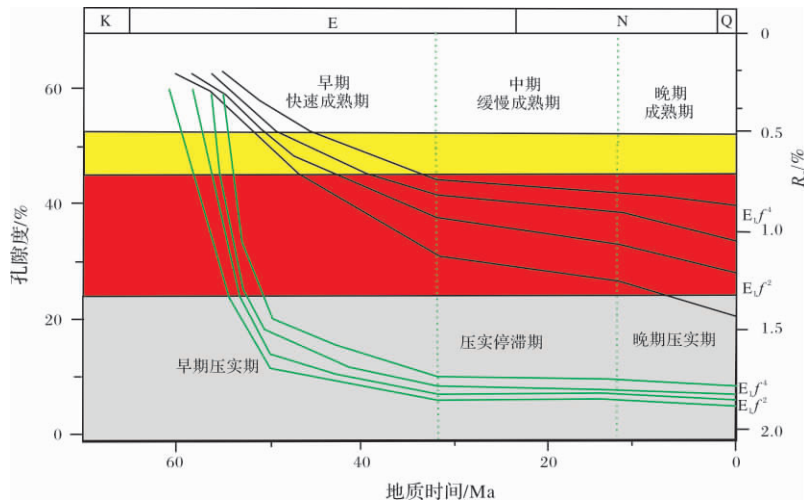


图 4 高邮凹陷烃源岩压实—成熟演化对比图

Fig. 4 Comparison of maturity evolution and source rock in Gaoyou sag of Subei basin

压实也不再进行(图 4)。已经排出并聚集的油藏由于构造运动而发生调整甚至破坏。可见,三垛晚期构造运动开始直到盐城组 [N₁y₁, 分为上(N₁y₂)、下两段(N₁y₁)]开始沉积之前是油藏破坏的主要时期。

从盐城期开始一段时间后,特别是在盐城中期后,烃源岩由于二次埋深大于第一次最大埋深,经历的温度再次高于第一次的地温,热演化进一步加深,一直持续至今(图 3)。目前,阜二段顶部与底部烃源岩普遍进入生油门限,顶部在凹陷主体部位达到生油高峰,底部烃源岩在凹陷主体部位达到成熟晚期阶段,局部达到高成熟阶段(图 3)。阜四段顶部与底部烃源岩在凹陷主体部位进入生油门限,顶部接近但未达到生油高峰,底部烃源岩在凹陷最深部位刚达到生油高峰。

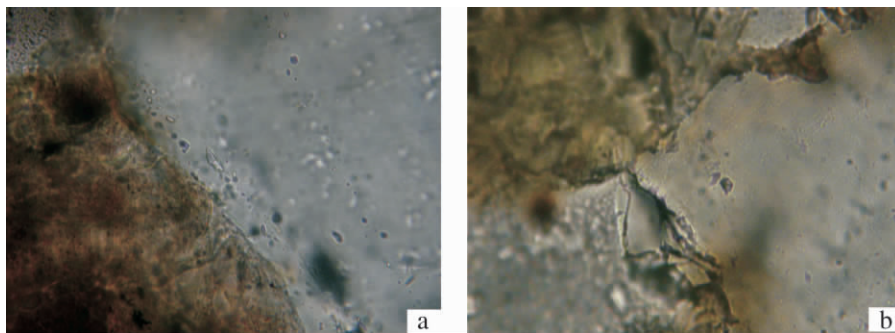
盐城期(N₁y)是烃源岩二次成烃、聚集的主要时期。这一时期,岩石进一步压实程度减弱(图 4),因压实而排出的石油有限,主要的排油应该与烃源岩欠

压实产生的剩余压力和流体热膨胀作用有关。总之,三垛期后的盐城期生排烃是成藏的有效时期。来自阜二段与阜四段烃源岩的原油母质成熟度都主要处于生油阶段,未大量生成天然气。

3 流体包裹体特征与成藏期分析

流体包裹体的研究主要包括各种物理特征与流体成分等^[8,9],一般主要将均一化温度分布特征与盆地模拟相结合研究沉积盆地的流体运移、聚集时期^[7]。

真 55 井 2 235 m 深度戴南组二段浅褐色含油细砂岩在荧光下样品发蓝白色强光,可见白色至无色烃包裹体分布粒间充填物中、蓝白色至白色、强发光,星点状不均匀分布。石英Ⅱ级至Ⅲ级加大边、局部方解石与石英呈嵌晶状胶结,胶结物内含成岩包裹体(图 5),分布不规则。液态为主气液比多在 0~10%。包裹体大小多在 0.2~15 μm,单偏光下多为无色,丰度



a. 石英次生加大边中包裹体。500 ×, 单偏光 b. 石英加大边中单相(液相)态包裹体。500 ×, 单偏光

图 5 真 55 井 2 235 m 垛二段含油细砂岩中流体包裹体特征

Fig. 5 Liquid inclusion features of fine sandstones of the second member of Sanduo Formation in the depth of 2 235 m of the Well 55

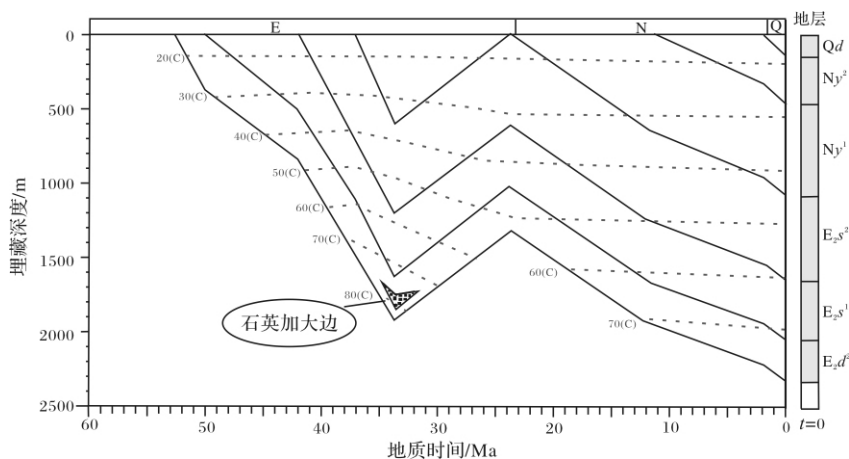


图6 真55井地层埋藏史—流体包裹体均一温度图

Fig. 6 Liquid inclusion homogenization temperature and strata burial history of the Zhen 55

中等,在加大边内侧多见气态包裹体,靠近内侧包裹体与似(假)包裹体呈线性分布,多小于 $3\ \mu\text{m}$ 。加大边Ⅱ级与Ⅲ级处多见零星状包裹体分布,在外侧Ⅲ级加大边见烃类与含烃包裹体,成岩包裹体期次难分。包裹体均一温度主要集中在 $78\sim 89^\circ\text{C}$ 之间,与地层沉积埋藏史、地温史相结合(图6)可以发现,真55井戴南组二段油气运移时间在 $32\sim 35\ \text{Ma}$ 之间,处于三垛后期的垛二段沉积时期。

4 动态成藏过程分析

由于高邮凹陷不同部位构造(深凹带、北部斜坡和南部断阶带)与烃源岩演化历史有所不同,主要成藏时期和成藏层位也有所差异。深凹带两侧断裂带部位油藏对应烃源岩埋藏深度大,演化程度高。该部位已有油气层主要为戴南组和三垛组,盖层主要为盐城组和戴南组与三垛组内部泥岩。圈闭主要为各种

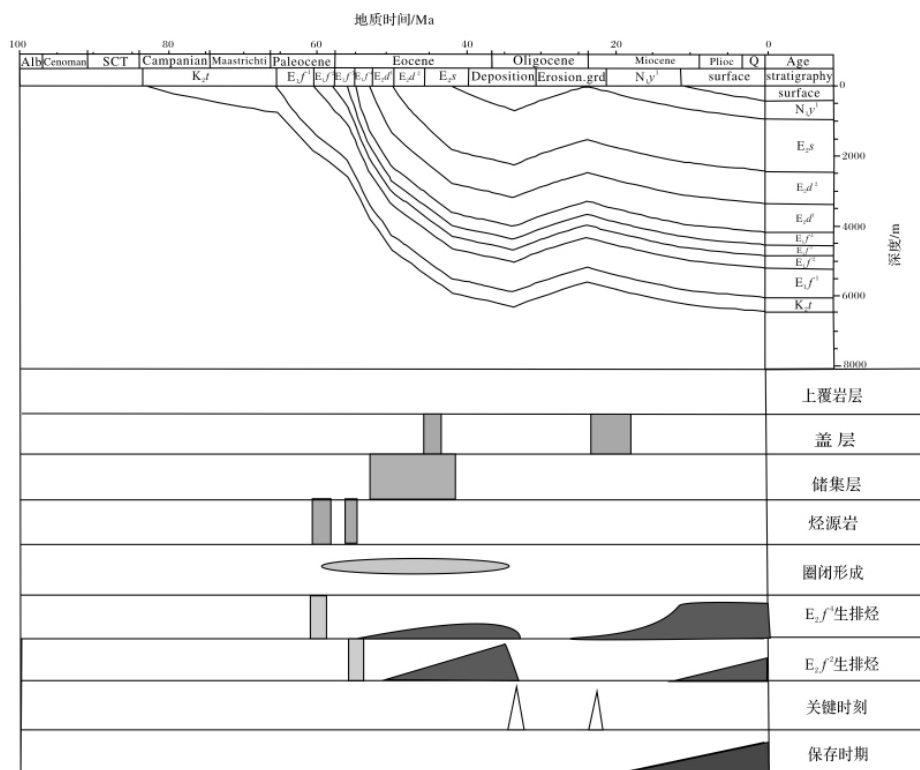


图7 高邮凹陷断裂带附近三垛组—戴南组油藏成藏过程

Fig. 7 Pool formation course of the Sanduo and the Dainan Formation nearby the fault belt of Gaoyou sag

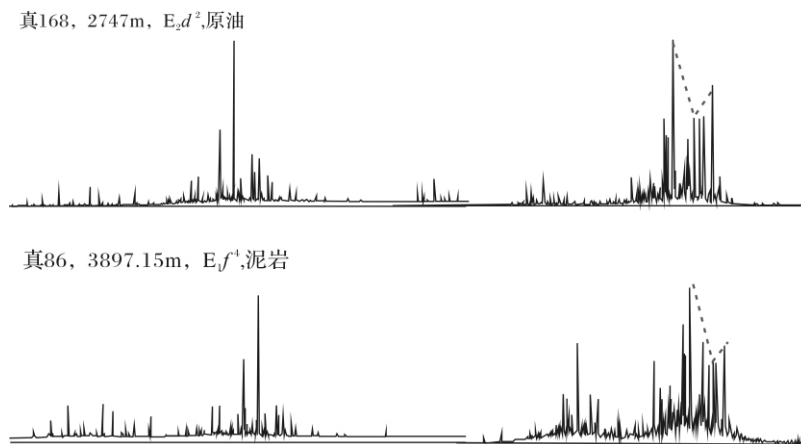


图8 原油—烃源岩甾、萜烷分布对比图

Fig. 8 Contrast of steranes and terpanes between crude oils and source rocks

断层、断层—岩性和岩性—断层型,断层主要为同沉积断层,圈闭形成早(图7)。三垛末期之前凹陷带烃源岩已达到了一定演化程度,其中阜二段演化程度高于阜四段,在三垛末期之前已大量生油并聚集于圈闭中,阜四段烃源岩生油相对较少。三垛晚期构造抬升时期,烃源岩生烃停止,构造运动使得阜二段早期运移形成的油气藏以破坏为主。从盐城组开始沉积之后,烃源岩埋深逐渐增大,演化程度升高,阜四段进入大量生油阶段,阜二段烃源岩由于早期已经生成和排出了大量石油,晚期生油量减少,主要是阜四段烃源岩生成的石油向深凹陷断裂带附近的戴南组和三垛组运移聚集,阜二段烃源岩生成的油气向上运移较少,可能只有在深部位成藏。从盐城组开始沉积后直到现今是油气保存的主要时期,主要由阜四段烃源岩生烃并运聚成藏,这可以有关油源对比结果作为依据(图8)。

5 结论与认识

真武油田的油气具有两次大的相对连续成藏期,早期主要是阜二段烃源岩在三垛组末期之前生油运移聚集成藏,三垛末期的构造运动破坏了先期形成的油藏,但在许庄和富民油田保存有其破坏后的残余原油。盐城早中期主要是阜四段烃源岩再次埋深二次生烃、油气运移成藏的主要时期。盐城晚期至今是油气保存的主要时期。深凹带两侧断裂附近的不同油气藏与真武油田具有相近的成藏期次和演化历史。

参考文献 (References)

1 徐健,曹冰,罗龙玉.高邮凹陷深大断裂与氧气的关系[J].江汉

石油学院学报,2003,25(增下):27-28 [Xu Jian, Cao Bing, Luo Longyu. Relation of deep big faults with petroleum in Gaoyou sag [J]. Journal of Jiangnan Petroleum Institute, 2003, 25 (Suppl. latter section): 27-28]

2 朱平.油田油气藏基本特征及其分类[J].断块油气田,2001,8(5):12-15 [Zhu Ping. Basic features and its type division of petroleum pool in Jiangsu oilfield [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2001, 8 (5): 12-15]

3 高岗,黄志龙.油气成藏期次研究进展[J].天然气地球科学,2007,18(5):667-672 [Gao Gang, Huang Zhilong. Research advance of time of oil pool formation [J]. Geochemistry of Natural Gas, 2007, 18(5): 667-672]

4 刘宏宇.苏北盆地上白垩统典型油气藏与成藏模式预测[J].海洋石油,2006,26(1):11-16 [Liu Hongyu. Typical petroleum pool and its formation model prediction of the upper Cretaceous system in Jiangsu basin [J]. Marine Petroleum, 2006, 26(1): 11-16]

5 唐建伟,陈莉琼.高邮凹陷油气成藏体系划分及资源潜力分析[J].石油天然气学报,2008,(30)5:56-60 [Tang Jianwei, Chen Liqiong. Division of hydrocarbon accumulation system and analysis on its resource potential in Gaoyou Sag [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2008, (30) 5: 56-60]

6 钱基.苏北盆地油气田形成与分布[J].石油学报,2001,22(3):12-18 [Qian Ji. Formation and distribution of oil field in Jiangsu Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(3): 12-18]

7 张厚福,方朝亮,张枝焕,等.石油地质学[M].北京:石油工业出版社,1999 [Zhang Houfu, Fang Chaoliang, Zhang Zhihuan, et al. Petroleum Geology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999]

8 陈建平.有机包裹体在油气运移研究中的应用综述[J].地质科技情报,2000,19(1):61-64 [Chen Jianping. Overview of organic inclusions application to petroleum migration research [J]. Science and Technology Information of Geology, 2000, 19(1): 61-64]

9 唐焰,陈安定,冯武军.包裹体测温资料在苏北盆地高邮、金湖凹陷油气成藏期研究中的应用[J].石油天然气学报,2005,27(1):19-20 [Tang Yan, Chan Anding, Feng Wujun. Application of inclusion temperature information to formation time of oil pool in Gaoyou and Jin-

Accumulation Period and Dynamic Accumulation Process Analysis of Zhenwu Oilfield in Gaoyou Sag

GANG Wen-zhe¹ WANG Yong² GAO Gang¹ LOU Guo-quan² SHEN Xia² TIAN Zhi-bin¹

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting , China University of Petroleum , Beijing 102249;

2. Institute of Exploration & Development of Jilin Oilfield Company , Songyuan , Jilin , 138000)

Abstract Zhenwu oilfield , located at the mid-southern part of Gaoyou Sag of Subei basin , is the largest oil field that has been discovered in Subei basin , which has the characteristics of developed long , large oil-bearing area and high enriching-oil degree. The oilfield is located at the downthrow block of Zhen 2 fault in the southern part of the deep sag , and it is to hydrocarbon generating sags. The oil mainly distributes in three layers including the first member of the Sanduo Formation , the first & second member of the Dainan Formation. Some petroleum also distributed in the first member of the Funing Formation. Reservoir rocks are mostly fine sandstone and anisometric sandstone. Combining with various geological features , the authors analyse accumulation period and the dynamic accumulation process of Zhenwu oil field by ways of structural evolution , crude oil features and fluid inclusion. The structural evolution history shows that fault activity is strong from Dainan Formation deposition to early Yancheng Deposition. Earth crust uplifted and formation eroded resulted in serious destruction of oil reservoir at the late of Sanduo Formation , then fault continued activity and petroleum migration. The sag continued to accept deposition and fault activity stops at the late of Yancheng Formation deposition , and the petroleum migration rate slowed down. It is favorable for petroleum reservation when the formation thickness was big at the late deposition.

From the source rock evolution history , there are two times of petroleum generation during which the source rock of the second member of the Funing Formation enter the sag is at a great quantity of petroleum generation at the late and last stage of Sanduo Formation when the source rock of the fourth member of the Funing Formation had not reached oil threshold and only generated a little petroleum , so it was the oil mainly generated by the source rock of the second member of the Funing Formation. But most of the reservoirs were damaged by the influence of the regional tectonic activities at the late of Sanduo period. When the Yancheng Formation was depositing , the source rock of second & fourth member of the Funing Formation again reached maturation which result in secondary hydrocarbon generation.

Meantime , the characteristics of fluid inclusions in Zhenwu oil field show that it mainly developed one phase of fluid inclusion which organic inclusion and its associated brine inclusion mostly develop at the quartz secondary outgrowth cementation and there is only one peak temperature area. Associated with burial history of individual well , the authors find that the time of petroleum migration and accumulation was the time of the second member of Sanduo Formation deposition which had a certain difference with accumulation time inverted by structural evolution and source rock evolution. At last , with the analysis of petroleum dynamic accumulation process by ways of accumulation periods , the authors reach conclusion that there were two accumulation periods in Zhenwu oilfield , firstly , the second member of the Funing Formation generated , migrated and accumulated before the late of Sanduo Formation , but the next structural uplift at the late of Sanduo Formation damaged the early oil reservoirs. At the Early-Middle of Yancheng Formation , it mainly is the time of the fourth member of the Funing Formation reburied and secondary oil generation , which is the essential period of petroleum migration and accumulation. From the the late of Yancheng Formation on , it is the essential period of petroleum preservation.

Key words accumulation process; accumulation period; Zhenwu oilfield; Gaoyou sag; Subei basin