

沾化凹陷三合村洼陷油气多期成藏过程研究

张 波^{1,2}, 吴智平¹, 王永诗², 刘雅利², 刘 鹏²

(1. 中国石油大学地球科学与技术学院, 山东青岛 266580; 2. 中石化胜利油田分公司勘探开发研究院, 山东东营 257015)

摘要:利用钻井、测井以及分析化验等资料,基于沉积埋藏史和生烃史研究,结合油气来源,分析沾化凹陷三合村洼陷油气成藏过程。结果显示:三合村洼陷存在 3 种原油类型,油气主要来自于渤南洼陷,油气成藏经历了东营组成藏期、馆陶组成藏期和明化镇组成藏期 3 期成藏;东营组成藏期形成的油藏原油源于沙四上亚段成熟烃源岩,此时垦西低凸起还未成型,来自渤南洼陷的油气以断裂侧向-不整合型二元输导体系沿斜坡带运移至三合村洼陷沙三段及以下地层中成藏,并在后期由于硫化作用和生物降解作用发生稠化;馆陶组成藏期形成的油藏原油源于沙四上亚段和沙三段烃源岩,此时垦西低凸起已成型,来自渤南洼陷的油气主要以网毯模式运移至沙三段以上地层中,在后期发生生物降解作用而稠化;明化镇组成藏期形成的油藏原油源于沙三段成熟烃源岩,同样以网毯模式运移至三合村洼陷,主要在新近系成藏。

关键词:成藏过程;三合村洼陷;油气来源;成藏期次

中图分类号:TE 122.1

文献标志码:A

引用格式:张波,吴智平,王永诗,等.沾化凹陷三合村洼陷油气多期成藏过程研究[J].中国石油大学学报(自然科学版),2017,41(2):39-48.

ZHANG Bo, WU Zhiping, WANG Yongshi, et al. Study on multi-period hydrocarbon accumulation process in Sanhecun subsag of Zhanhua sag[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2017, 41(2): 39-48.

Study on multi-period hydrocarbon accumulation process in Sanhecun subsag of Zhanhua sag

ZHANG Bo^{1,2}, WU Zhiping¹, WANG Yongshi², LIU Yali², LIU Peng²

(1. School of Geosciences in China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;

2. Exploration & Development Research Institute, Shengli Oilfield Branch Company,
SINOPEC, Dongying 257015, China)

Abstract: The dynamic process of hydrocarbon accumulation in Sanhecun subsag of Zhanhua sag was studied by analyzing the sedimentary burial history and hydrocarbon generation history, taking advantage of the abundant drillings and available test datum. The results show that the crude oil in Sanhecun subsag originated from Bonan subsag, and the crude oil can be classified into three different types. The three stages of evolution in the hydrocarbon accumulation include the Ed formation, the Ng formation and the Nm formation, respectively. The crude oil of reservoirs formed in the Ed formation originated from the matured source rocks of Es₄ before the formation of the Kenxi low uplift. The crude oil from Bonan subsag migrated along the slope through fault-unconformity carrier system to Sanhecun subsag and was accumulated in the Es₃ and the following strata. The reservoirs formed at this stage were thickened by curing and biodegradation in the later stage. The crude oil of reservoirs formed in the Ng formation originated from the source rocks of Es₃ and Es₄ after the formation of the Kenxi low uplift. The crude oil from Bonan subsag migrated along the meshwork-carpet system to Sanhecun subsag and accumulated above the Es₃, and the reservoirs formed at this stage were thickened by biodegradation in the later stage. The crude oil of reservoirs formed in the Ng formation originated from the source rocks of Es₃, and the crude oil also migrated through the meshwork-carpet system and accu-

收稿日期:2016-10-23

基金项目:国家科技重大专项(2016ZX05006-003);中国石油化工股份有限公司科研攻关项目(P14017, P14009, P15082, P16005)

作者简介:张波(1972-),男,高级工程师,博士研究生,研究方向为油气勘探及石油地质。E-mail:zhangbo667_slyt@sinopec.com。

mulated in the Neogene.

Keywords: accumulation process; Sanhecun subsag; oil and gas source; accumulation stage

含油气盆地斜坡带长期处于油气运移指向区,历来是油气勘探的重点地区^[1-5],然而位于沾化凹陷西南部的三合村洼陷虽处于含油气盆地的斜坡带,历经了 40 多年的勘探,并未取得突破。前人认为三合村洼陷没有勘探潜力,这一结论是基于其本身不具备生烃条件,渤南洼陷晚期生成的油气很难穿过盆缘负向构造区在浮力驱动下运移到三合村洼陷的推论。随着 2012 年于三合村洼陷部署的罗 322 井钻探成功打破了成藏不利的认识,该井于中生界、沙三段发现油气,并在沙三段测试获得工业油流,从而发现了胜利油田第 81 个油田——三合村油田。至 2016 年,在沙四段、沙三段累计上报控制、预测储量近 $5\,000\times 10^4$ t。但是三合村油田与前期中浅层发现的油田在原油性质上存在较大差异,油气来源不清,同时渤南洼陷生成的油气是如何跨越垦西低凸起运移至研究区深层中的也不清楚。笔者从沾化凹陷沉积埋藏史和生烃史分析入手,结合油气源特征

和成藏期研究,动态分析研究区油气运聚历史,明确三合村洼陷油气成藏演化过程,研究结果不仅可以指导研究区下步油气勘探,而且对其他类似探区也有一定的借鉴意义。

1 勘探概况

三合村洼陷是一个受垦西断裂控制的北断南超的箕状小洼陷,勘探面积约 300 km²(图 1),古近系烃源岩最大埋深小于 2 500 m,自身不具备生烃条件,但是它位于济阳坳陷沾化凹陷南部盆缘斜坡带,其北邻的渤南洼陷是一个富油洼陷^[6-7],构造位置处于油气运移有利区,因此油气勘探工作开始较早。自 1967 年钻探垦 11 井至今,已有近 50 年的勘探历史。截至 2010 年研究区仅在古近系东营组顶部和新近系发现规模油气,而古近系东营组以下的地层中一直没有获得勘探突破。但随着 2012 年部署钻探的罗 322 井获工业油流,掀起了三合村洼陷勘探的热潮。

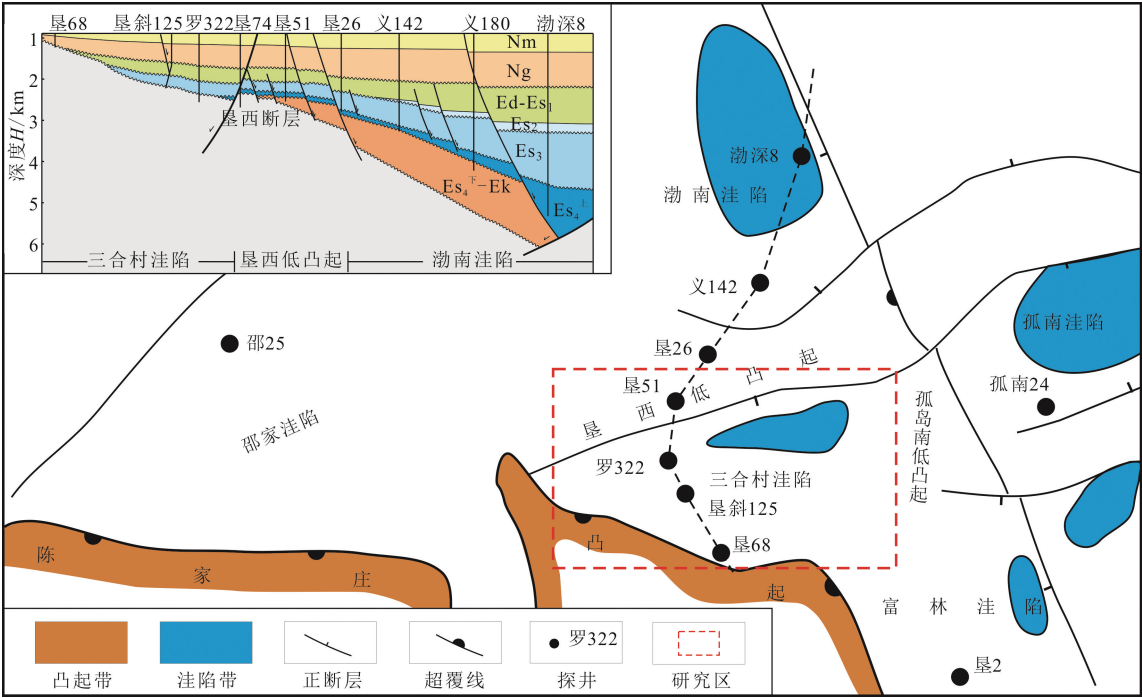


图 1 沾化凹陷构造位置图及南北向地质剖面

Fig. 1 Structural diagram and the south-north geological section of Zhanhua sag

2 原油基本特征

三合村洼陷发现的原油性质多样,各层系之间、甚至同层系不同区块之间均有较大差异(表 1),总体上可分为两类:一类是浅部馆陶组—东营组的原

油,总体具有低密度、低黏度、低凝固点、低含硫量的特征,在缓坡带有部分馆陶组油藏中的原油由于生物降解作用发生稠化,所以密度和黏度变化较大;一类是深部沙三段—中生界的原油,具有高密度、高黏度、高凝固点、高含硫量的特征。

此外原油地球化学特征也存在较大的差异性,原油族组分表现为两类特征(表 2):浅部馆陶组—东营组原油族组分总体具有高烷烃、高芳烃、低非烃、低沥青质的特点,深部沙三段—中生界原油族组分总体表现为低烷烃、低芳烃、高非烃、高沥青质的特点。原油正构烷碳数有单峰和双峰型两种类型,原油生物标志物也有较大差异。原油性质及地化特征的差异反映了三合村洼陷油气来源、成熟度以及成藏后生物降解程度的差异,这些差异与烃源岩生烃史、油气运聚史及成藏后的次生变化有着复杂的联系^[8]。

表 1 三合村洼陷原油性质

Table 1 Petroleum property in Shanhecun subsag				
地层	原油密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	50 ℃ 原油黏 度/($\text{mPa} \cdot \text{s}$)	凝固点/ ℃	硫含量/ %
馆陶组	0.9174~0.9963	51.3~14000	-15~12	1.07~1.74
东营组	0.8847~0.9289	17.6~74.6	-24~5	0.72~2.97
沙三段	1.0192~1.0746	9688~22375	19~44	6.51~10.70
中生界	1.0718~1.0751	5225~10004	25~30	9.44

表 2 三合村洼陷原油族组分

Table 2 Petroleum composition in Shanhecun subsag				
%				
地层	烷烃	芳烃	非烃	沥青质
馆陶组	28.45~32.72	26.27~32.26	26.96~32.50	3.62~8.97
东营组	29.14~34.22	28.58~39.27	22.92~29.57	3.46~5.89
沙三段	5.79~12.03	19.52~28.71	24.55~41.71	20.32~41.12
中生界	9.43~15.18	18.48~27.41	20.31~37.29	12.44~33.33

3 沉积埋藏史与烃源岩热演化史

3.1 沉积埋藏史

济阳拗陷新生代盆地演化可分为断陷期和拗陷期两个阶段,其中断陷期可划分为 4 个幕式断陷阶段^[9],幕式断陷运动和周期性气候变化决定了盆地内沉积环境的多样性和差异性,同时也决定了烃源岩生烃史具有阶段性,从而控制了油气原始特征的差异性^[8]。受幕式断陷运动的控制,渤南洼陷自沙四上亚段以来经历了多期构造抬升与沉降过程,本次研究以沉降中心的渤深 8 井为代表,在地层厚度与沉积时间测定基础上,恢复其沉积埋藏史(图 2)。

渤南洼陷沙四上亚段形成于断陷Ⅱ幕,距今约 45 Ma,沉积厚度一般为 300~700 m,沉降中心的渤深 8 井区沉积厚度可达 1000 m,这一时期为一快速沉积过程,在 3 Ma 内沉积了较厚地层,沙四上亚段沉积末期济阳拗陷经历了短暂的构造抬升,但渤深 8 这一沉降中心并未被剥蚀;从而在距今约 42 Ma 时开始沉积沙三段,沙三段形成于断陷Ⅲ幕,该时期

是盆地发育鼎盛时期,沉积厚度约为 1000 m,这一沉积期大概经历了 5 Ma,沉积速率有所减缓;此后,在距今约 37 Ma 和 35 Ma 时期,分别开始沉积沙二段和沙一段,值得注意的是沙三段、沙二段及沙一段沉积末期区域构造都经历了不同程度的抬升剥蚀,但位于沉降中心的渤深 8 井区始终处于接受沉积的状态;距今约 33 Ma 时东营组开始沉积,这一沉积过程一直持续到距今约 25 Ma,沉积厚度可达 1000 m,但此后构造缓慢抬升遭受剥蚀,这一剥蚀过程持续了近 11 Ma,据多种剥蚀厚度计算方法可得出古近系沉积末大规模的构造隆升作用在渤深 8 井区剥蚀掉近 200 m 东营组;距今 14 Ma 时期,渤南洼陷重新沉降并接受新近系沉积,在 13 Ma 内沉积了馆陶组、明化镇组近 2000 m 地层;且在距今 1 Ma 左右沉积了近 200 m 第四系平原组。

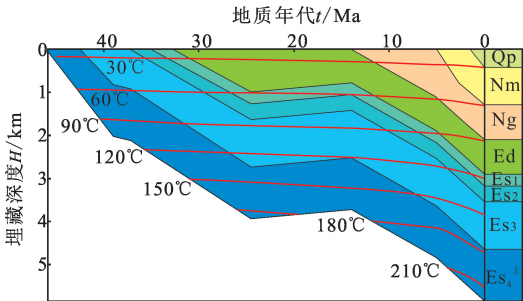


图 2 渤南洼陷渤深 8 井沉积埋藏史
Fig.2 Sedimentary burial history of Boshen8 in Bonan subsag

3.2 烃源岩热演化史

在沉积埋藏史分析基础上,结合渤南洼陷古地温梯度^[10],恢复了渤南洼陷烃源岩热演化史(图 2)。渤南洼陷共发育沙四上亚段、沙三段及沙一段 3 套烃源岩^[11-15]。沙四上亚段烃源岩在沙三段沉积末期(距今约 37 Ma)埋深达 2000 m(图 3),地层温度约 90℃,干酪根镜质体反射率达到 0.5%^[16],到达生烃门限;到沙一段末期—东营组沉积期(距今约 33 Ma)埋深到达 2800 m,地层温度超过 120℃,R_o 达到 0.75%~1.0%,进入主生烃期;至明化镇组沉积早期埋深超过 4500 m,地层温度超过 180℃,R_o 超过 1.3%,沙四上亚段烃源岩进入高成熟阶段,以生成天然气为主。沙三段有效烃源岩多形成于沙三段沉积早期,此套烃源岩在东营组沉积中早期(距今约 26 Ma)埋深大于 2800 m,R_o 大于 0.5%(图 3),达到生烃门限;馆陶组沉积中晚期(距今约 8 Ma)埋深大于 3200 m,R_o 大于 0.7%,进入主生烃期并延续至现今;沙一段烃源岩于明化镇沉积中期(距今约 3 Ma)埋深超过 2800 m,R_o 达到 0.5%(图

3),进入生烃门限,但至今仍未进入主生烃期,不是研究区主力烃源岩。渤南洼陷烃源岩热演化史分析可证实东营组沉积时期为沙四上亚段烃源岩生烃期,而馆陶组沉积时期为沙四上和沙三段共生烃期,明化镇组沉积时期至今为沙三段烃源岩生烃期^[8]。

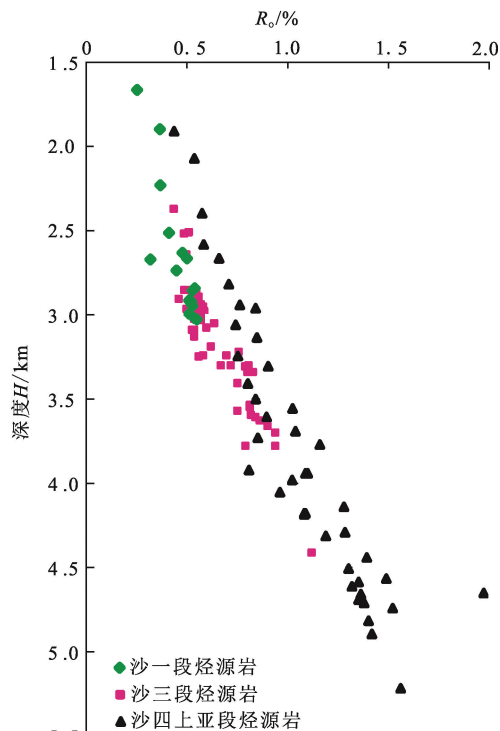


图3 渤南洼陷3套烃源岩 R_o 与埋深关系

Fig. 3 Relationship between R_o of 3 sets of source rocks and buried depth in Bonan subsag

4 三合村洼陷油气来源与成藏期次

4.1 油源对比

4.1.1 烃源岩特征

前人研究表明,渤南洼陷在幕式构造运动及周期性气候变化影响下,主要发育沙四上亚段、沙三段及沙一段3套烃源岩^[11-15],各套烃源岩受控于不同沉积期的水体环境及生物群落,具有不同的地球化学特征(图4)。其中沙四上亚段沉积期古气候干热,形成的烃源岩碳酸盐含量较高,岩性主要为灰质油泥岩、灰质泥岩、泥灰岩、泥质灰岩和石膏质泥岩,有机质类型为I和II₁型,有机碳含量0.93%~4%,生物标志化合物表现为明显的植烷优势和高伽马蜡烷含量,C35升藿烷含量明显大于C34升藿烷含量,重排甾烷不发育(图4(a))。到沙三段沉积期气候温暖潮湿,盆地水体为深湖-半深湖淡水环境,发育大套油页岩、油泥岩和暗色泥岩,烃源岩有机质类型以I型为主,有机碳含量为2%~19%,生物标志化

合物姥鲨烷含量高,伽马蜡烷含量低,重排甾烷和4-甲基甾烷含量高(图4(b))。沙一段烃源岩形成于咸化环境下,岩性主要为油页岩、灰质油泥岩和暗色泥岩,有机质类型以I型为主,有机质丰度高,成熟度处于未熟-低成熟阶段,生物标志化合物具有明显植烷优势,伽马蜡烷含量高,重排甾烷和4-甲基甾烷含量很低^[7](图4(c))。

4.1.2 原油类型及其来源

三合村洼陷原油可分为3种类型,据原油生物标志物特征分析(图5),并与渤南洼陷烃源岩生物标志物特征对比(图4),进而确定不同类型原油的来源。

第I类原油主要产自于深部沙三段—中生界中(图5(a)),此类原油生物标志化合物组成中,规则甾烷含量为 $C27 > C29 > C28$, $C29S/(S+R)$ 值为0.44, $C29\alpha\beta\beta/(\alpha\alpha\alpha+\alpha\beta\beta)$ 值为0.47,为成熟原油;具有明显的植烷优势和高伽马蜡烷含量,Pr/Ph值0.32,伽马蜡烷/C30藿烷值为0.7,显示了高盐度强还原性的沉积环境。C35升藿烷含量明显大于C34升藿烷含量,C35/C34值为3.31,重排甾烷不发育,与渤南洼陷沙四上亚段烃源岩具有明显亲缘关系。

第II类原油来源于沙四上亚段和沙三段烃源岩,主要产自于浅部馆陶组—东营组中,此类原油具有以下生物标志物特征(图5(b)):规则甾烷含量为 $C27 > C29 > C28$, $C29S/(S+R)$ 值为0.35, $C29\alpha\beta\beta/(\alpha\alpha\alpha+\alpha\beta\beta)$ 值为0.41,为成熟原油;发育重排甾烷,4-甲基甾烷含量较高,伽马蜡烷指数低,伽马蜡烷/C30藿烷值为0.12,具有沙三段烃源岩特征。同时C35升藿烷含量稍高于C34升藿烷含量,C35/C34值为1.1,为沙四段烃源岩的特征。此类原油应为渤南洼陷沙三段和沙四段烃源岩生成原油的混合。

第III类原油来源于沙三段烃源岩,主要产自于馆陶组,此类原油生物标志物特征(图5(c)):规则甾烷含量为 $C27 > C29 > C28$, $C29S/(S+R)$ 值为0.38~0.39,属于成熟原油。重排甾烷发育,4-甲基甾烷含量高,伽马蜡烷指数低,伽马蜡烷/C30藿烷值为0.12~0.13,与渤南洼陷沙三段烃源岩生物标志物相似。

4.2 油气成藏期次

油源对比显示三合村洼陷的三种原油类型分别与渤南洼陷各层段烃源岩具有亲缘关系,应是在不同的成藏期聚集成藏。关于渤南洼陷油气成藏期次问题已有多位专家开展过相关研究,运用多种方法综合得出两次充注、三次成藏过程这一结论^[8,11,17],即约距今29 Ma的东营组沉积早期第一次充注、距今8~0 Ma的馆陶组沉积末期以及明化镇组沉积期

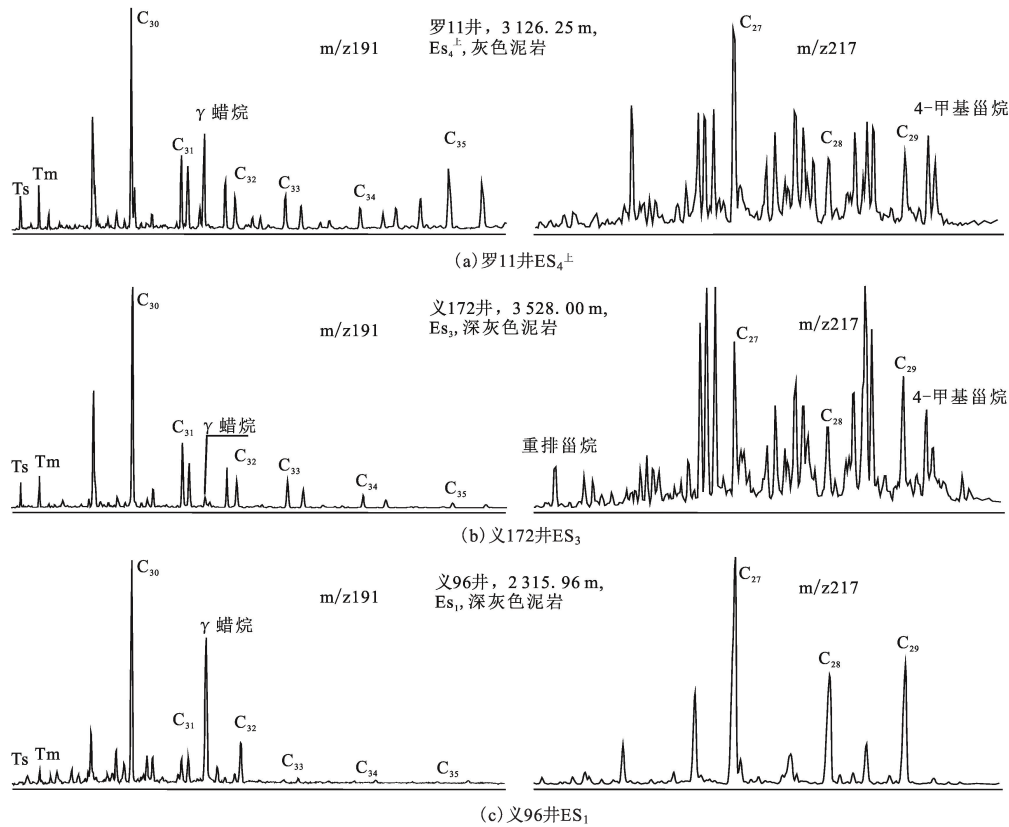


图 4 渤南洼陷不同层系烃源岩生物标志物特征

Fig. 4 Biomarker characteristics of different source rocks in Bonan subsag

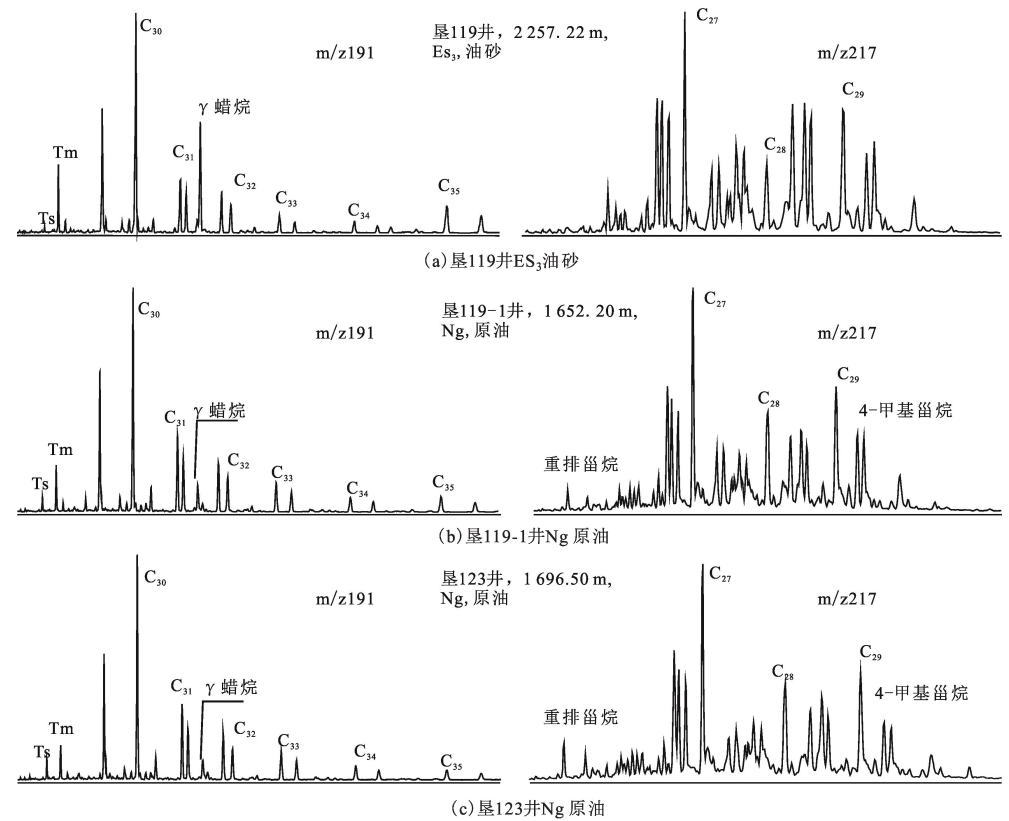


图 5 三合村洼陷各类原油生物标志物特征

Fig. 5 Biomarker characteristics of all types of crude oil in Sanhecun subsag

分别为第二次充注的早期和晚期。渤南洼陷烃源岩生排油气造成的中、晚期成藏可波及三合村洼陷已得到广大学者认可^[11,13,17],但渤南洼陷沙四上亚段烃源岩生排油气形成的早期成藏是否可影响到三合村洼陷还存在一定争议,由此本文中主要选取与渤南洼陷沙四上亚段烃源岩层系对接的三合村洼陷沙三段,对其取心井段与烃类包裹体相伴生的盐水包裹体进行均一温度测定。

罗322沙三段流体包裹体均一温度峰值为80~90℃(图6(b)),结合三合村洼陷罗322井的沉积埋藏史发现均一温度较低的区间80~90℃对应了东营组沉积中早期和馆陶组沉积晚期两个时期(图6(a)),成藏期次具有多解性。但这两个时期沙四段

生烃灶埋深差异较大,分别为3100和3700m,虽生成的都为成熟油,但不同生烃灶埋深情况下形成的原油成熟度差异明显,因此对均一温度区间80~90℃样品点的原油成熟度进行了分析。最终发现:温度区间80~90℃的样品原油 T_s/T_m 比值较低,姥植比 Pr/Ph 也较低,此外其他反映原油成熟度的指标如石蜡指数、庚烷值等都相对较低^[13],总体反映出成熟度普遍偏低的特点。因此,均一温度区间80~90℃的样品点原油应为东营组沉积中早期形成,证实了渤南洼陷早期生成的油气可波及至盆缘的三合村洼陷,三合村洼陷存在早期成藏。综上所述,三合村洼陷存在东营组成藏期、馆陶组成藏期和明化镇组成藏期3次成藏过程。

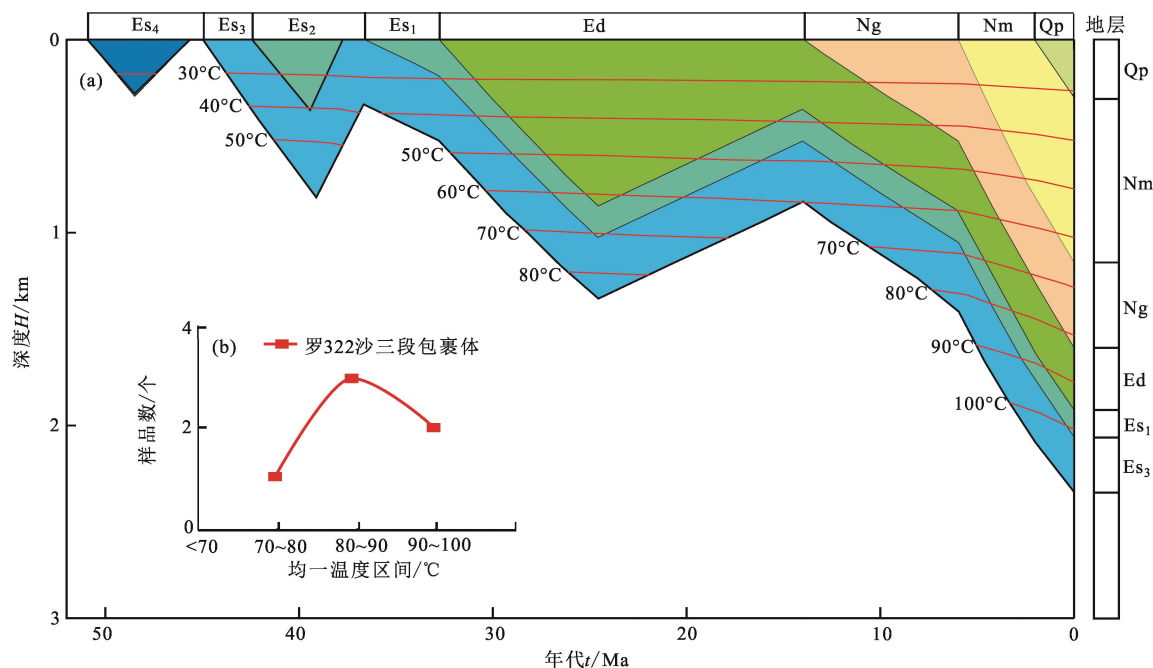


图6 渤南洼陷罗家地区与三合村洼陷成藏期次分析

Fig. 6 Analysis on reservoir forming period of LuoJia area in Bonan sag and Sanhecun sag

5 三合村洼陷多期成藏过程

通过渤南洼陷沉积埋藏史与热演化史和三合村洼陷油气源对比及成藏期次研究,匹配沾化凹陷构造演化史分析,可将三合村洼陷成藏演化划分为3个阶段(图7),即东营组成藏期、馆陶组成藏期和明化镇组成藏期。

东营组成藏期:该成藏时期(图7(c))三合村洼陷控注断层——垦西断层在沙四上亚段和沙三段处的断距约为30m,垦西低凸起还未成型,在地质结构上渤南洼陷至三合村洼陷表现为一个逐渐抬起的斜坡。而研究区沙四上亚段和沙三下亚段底部连续发育大套扇三角洲砂体^[18-20],厚度大、延伸远、分

布广,钻遇井厚度一般为80m,最大可达120m,延伸距离超过10km,最远到达垦西低凸起罗36井区,分布面积超过200km²,垦西断层不足以断开大套扇三角洲砂体。此时期沙四段烃源岩已经达到主要排烃期^[17],在上覆沙三下亚段厚层泥页岩的封盖作用下油气主要以断层和不整合构成的二元输导体体系运移为主,渤南洼陷沙四上亚段生成的油气沿沙四下亚段与沙四上亚段和沙四上亚段与沙三段之间的不整合面横向运移,运移至垦西低凸起沙三、沙四段扇三角洲砂体后,沿扇三角洲砂体和不整合面继续向高部位运移,至垦西断层处,油气通过垦西断层两盘对接的扇三角洲砂体继续运移至三合村洼陷聚集成藏。

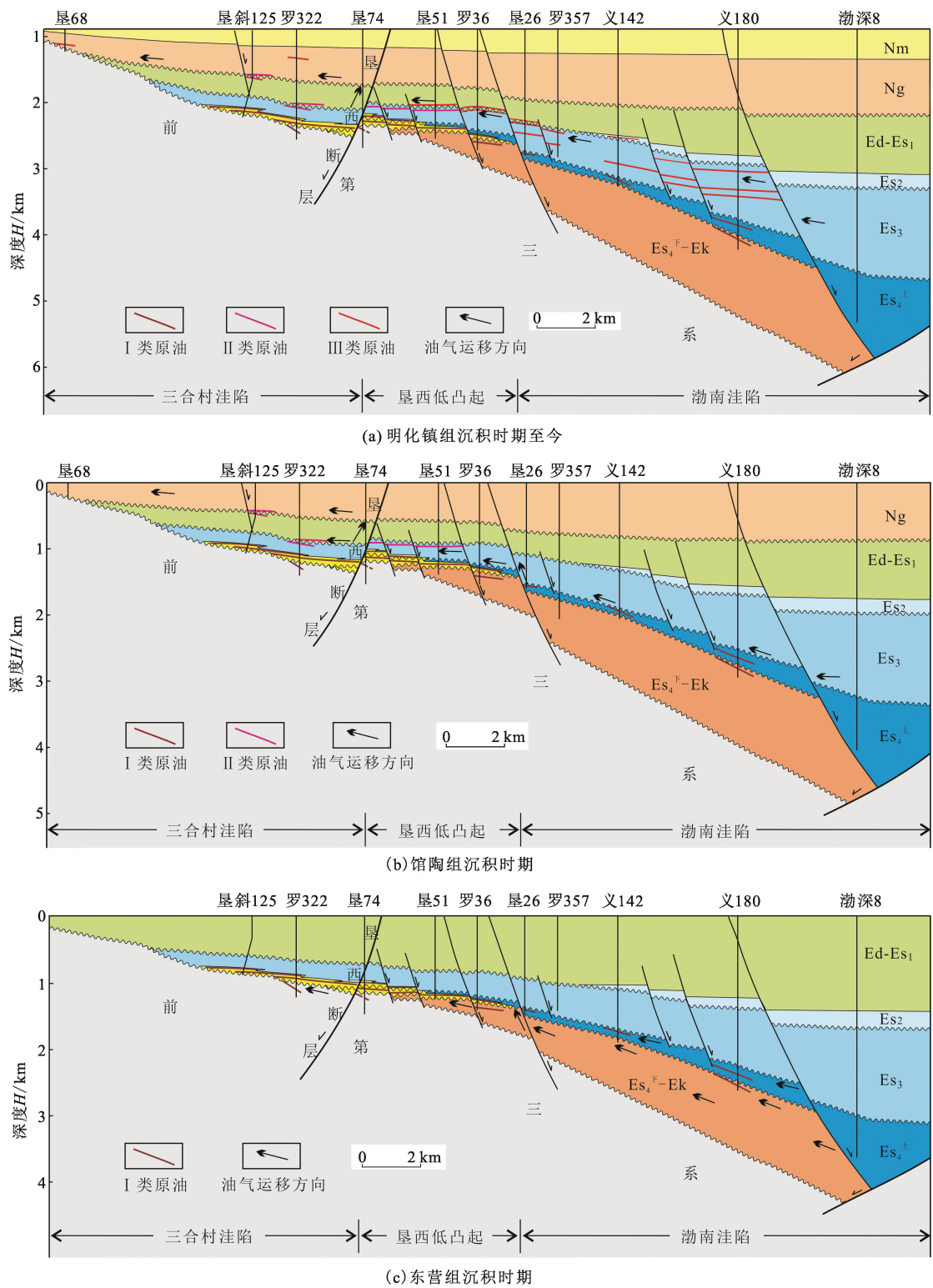


图 7 三合村洼陷油气成藏过程

Fig.7 Reservoir forming process of Sanhecun subsag

馆陶组成藏期:该成藏时期(图 7(b)),由于垦西断层的持续活动,垦西低凸起构造幅度不断加大,垦西断层两侧先期形成的沙三下亚段底部和沙四段上亚段油藏逐渐断开,同时油藏在硫化作用和生物降解作用下不断稠化^[8]。该时期沙三段与沙四段生成的成熟油气也达到主生烃期,沙三段与沙四段生成的成熟油气主要由断裂、不整合、骨架砂体组成的三元立体型输导体系运移为主,油气沿盆倾断层进行纵向运移,沿沙

四下亚段与沙四上亚段和沙四上亚段与沙三段之间的不整合面以及沙三中亚段三角洲砂体横向运移,油气运移至垦西断层后,以网毯运移模式向沙三段以上地层中运移^[21-25],遇到合适的圈闭聚集成藏。目前已经在三合村洼陷的沙三段顶部、沙一段、东营组和馆陶组底部发现沙三、沙四段混源原油。

明化镇组成藏期:该成藏时期(图7(a)),垦西断层活动逐渐减弱,三合村洼陷沙三下亚段以下油藏已经与垦西低凸起油藏完全分割开,并且继续稠化;而馆陶组成藏期形成的油藏也开始降解稠化。该成藏时期,沙四上亚段烃源岩已经达到过成熟阶段,沙三段烃源岩为主要生烃期,沙三段烃源岩生成的油气运移方式与馆陶组成藏期的油气运移方式类似,只是目前以沙三段为主要油源的油藏仅在三合村洼陷馆陶组以上地层中有所发现。

通过以上3个阶段的油气成藏演化过程,形成了现今三合村洼陷多油源类型、原油性质复杂多变的油藏共存的油藏特征。

6 结 论

(1)三合村洼陷主要有3种类型原油:第Ⅰ类原油来源于渤南洼陷沙四段成熟烃源岩;第Ⅱ类原油来源于渤南洼陷沙三段及沙四段烃源岩;第Ⅲ类原油来源于渤南洼陷沙三段成熟烃源岩。

(2)三合村洼陷油气成藏主要经历东营组成藏期、馆陶组成藏期和明化镇组成藏期3个阶段,形成了现今多油源类型、原油性质复杂多样的油藏特征。

(3)东营组成藏期形成第Ⅰ类原油油藏,此类油藏在馆陶组成藏期和明化镇组成藏期因硫化作用和生物降解作用发生稠化。馆陶组成藏期形成第Ⅱ类原油油藏,此类油藏在明化镇组成藏期发生生物降解作用而稠化。明化镇组成藏期形成第Ⅲ类原油油藏。

参考文献:

- [1] 沈扬,贾东,宋国奇,等. 源外地区油气成藏特征、主控因素及地质评价:以准噶尔盆地西缘车排子凸起春光油田为例[J]. 地质论评,2010,56(1):51-59.
SHEN Yang, JIA Dong, SONG Guoqi, et al. Reservoir-forming characters, key control factors and geological evaluation in the area outside oil source: take the Chunguang Oilfield in Chepaizi Uplift in Western Junggar Basin as an example[J]. Geological Review, 2010, 56(1): 51-59.
- [2] 潘树新,卫平生,袁剑英,等. 论油气运移的“高速公

路”及源外找油思想[J]. 沉积学报,2011,29(3):599-604.

PAN Shuxin, WEI Pingsheng, YUAN Jianying, et al. Expressway of hydrocarbon migration and the thought to find the reservoirs beyond the region of source rock[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2011, 29(3): 599-604.

- [3] 伍松柏,王学军,杨万芹,等. 济阳坳陷盆缘地层目标勘探评价方法[J]. 中国石油勘探,2013,18(2):13-20.
WU Songbai, WANG Xuejun, YANG Wanqin, et al. Assessment method for exploration of basin peripheral formation target in Jiyang Depression[J]. China Petroleum Exploration, 2013, 18(2): 13-20.
- [4] 隋风贵,宋国奇,赵乐强,等. 济阳坳陷陆相断陷盆地不整合的油气输导方式及性能[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2010,34(4):44-48.
SUI Fenggui, SONG Guoqi, ZHAO Leqiang, et al. Oil and gas transportation way and ability of unconformity of continental rifted-basin in Jiyang depression[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2010, 34(4): 44-48.
- [5] ZHAO J Z, IHASAN S A. New insights into petroleum migration-accumulation dynamic systems and their division within petroleum systems[J]. Journal of Earth Science, 2012, 23(5): 744-756.
- [6] 朱光有,金强,张水昌,等. 济阳坳陷生烃洼陷的成因类型及生烃潜力比较[J]. 天然气工业,2005,25(11):17-20.
ZHU Guangyou, JIN Qiang, ZHANG Shuichang, et al. Research on the genetic type and hydrocarbon generation potential of the hydrocarbon generation sag in Jiyang depression[J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(11): 17-20.
- [7] 朱光有,金强,高志卫,等. 沾化凹陷复式生烃系统及其对油气成藏的控制作用[J]. 海洋地质与第四纪地质,2004,24(1):105-111.
ZHU Guangyou, JIN Qiang, GAO Zhiwei, et al. Multiplex hydrocarbon generation system and its controlling on reservoir formation in Zhanhua depression[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2004, 24(1): 105-111.
- [8] 王永诗,常国贞,彭传圣,等. 从成藏演化论稠油形成机理:以济阳坳陷罗家地区为例[J]. 特种油气藏,2004,11(4):26-29.
WANG Yongshi, CHANG Guozhen, PENG Chuansheng, et al. Study of heavy oil generation mechanism from reservoir evolution: a case study of Luoia area, Jiyang depression[J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2004, 11(4): 26-29.
- [9] 薛雁,吴智平,李伟,等. 东营凹陷新生代盆地结构特征及其控藏作用[J]. 大地构造与成矿学,2013,37

- (2):206-212.
- XUE Yan, WU Zhiping, LI Wei, et al. Cenozoic basin structure in the Dongying sag and its control over reservoir [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2013, 37 (2): 206-212.
- [10] 苏向光,邱楠生,柳忠泉,等. 沾化凹陷构造-热演化研究[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2006, 21 (5):9-12.
- SU Xiangguang, QIU Nansheng, LIU Zhongquan, et al. Tectonic-thermal evolution of Zhanhua sag[J]. *Journal of Xi'an Shiyu University (Natural Science Edition)*, 2006, 21 (5):9-12.
- [11] 宋国奇,刘华,蒋有录,等. 沾化凹陷渤南洼陷沙河街组原油成因类型及分布特征[J]. 石油实验地质, 2014, 36(1):33-38, 45.
- SONG Guoqi, LIU Hua, JIANG Youlu, et al. Genetic types and distribution characteristics of crude oils from Shahejie formation in Bonan subsag, Zhanhua sag, Jiyang Depression [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2014, 36(1):33-38, 45.
- [12] 陈建渝,牛瑞卿. 断陷盆地多次运移成藏的有机地球化学研究[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(3):253-259.
- CHEN Jianyu, NIU Ruiqing. Organic geochemistry research into multi-phase petroleum migration and accumulation in rift-subsidence basin[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2000, 25 (3):253-259.
- [13] 王秀红,张守春,李政,等. 沾化凹陷三合村地区油气来源及运移方向[J]. 油气地质与采收率, 2015, 22 (1):47-51.
- WANG Xiuhong, ZHANG Shouchun, LI Zheng, et al. Study on hydrocarbon sources and migration pathways in Sanhecun area of Zhanhua sag [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2015, 22(1):47-51.
- [14] 蒋有录,刘培,刘华,等. 渤海湾盆地不同凹陷新近系油气成藏条件差异性及其聚集模式[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2014, 38(1):14-21.
- JIANG Youlu, LIU Pei, LIU Hua, et al. Difference of reservoir forming conditions of different depressions and accumulation models of Neogene hydrocarbon in Bohai Bay Basin[J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2014, 38(1):14-21.
- [15] 孙耀庭,徐守余,张世奇,等. 沾化凹陷多元供烃成藏特征及成藏模式[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2015, 39(6):42-49.
- SUN Yaoting, XU Shouyu, ZHANG Shiqi, et al. Reservoir characteristics and reservoir-forming model of multi-element hydrocarbon supply in Zhanhua sag[J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2015, 39(6):42-49.
- [16] 李胜利,于兴河,陈建阳,等. 沾化凹陷 R_o 分布规律及影响有机质成熟度的因素[J]. 地质力学学报, 2005, 11(1):90-96.
- LI Shengli, YU Xinghe, CHEN Jianyang, et al. Distribution characteristics of R_o and factors influencing the organic maturity in the Zhanhua depression[J]. *Journal of Geomechanics*, 2005, 11(1):90-96.
- [17] 卢浩,蒋有录,刘华,等. 沾化凹陷渤南洼陷油气成藏期分析[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(2):5-8, 111.
- LU Hao, JIANG Youlu, LIU Hua, et al. Study on formation stages of oil-gas reservoirs in Bonan subsag, Zhanhua sag [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2012, 19(2):5-8, 111.
- [18] 范振峰. 缓坡带成藏模式研究:以陈家庄地区为例[J]. 新疆石油天然气, 2005, 1(1):39-42.
- FAN Zhenfeng. The hydrocarbon reservoir forming model of the gentle slope: taking Chenjiazhuang area as an example[J]. *Xinjiang Oil & Gas*, 2005, 1(1):39-42.
- [19] 任怀强,郭元岭,赵乐强,等. 陈家庄凸起东段北斜坡带沉积特征及有利砂体预测[J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(3):16-18.
- REN Huaiqiang, GUO Yuanling, ZHAO Leqiang, et al. Sedimentary characteristics and prediction of favorable sandbodies in northern slope belt of eastern Chenjiazhuang Uplift[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2006, 13(3):16-18.
- [20] 彭传圣. 陈家庄凸起及北坡油气成藏差异性[J]. 油气地质与采收率, 2011, 18(2):16-20.
- PENG Chuansheng. Differentiation of mechanisms and models of hydrocarbon accumulation in Chenjiazhuang uplift and its north slope [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2011, 18(2):16-20.
- [21] 张善文,王永诗,石砥石,等. 网毯式油气成藏体系:以济阳坳陷新近系为例[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(1):1-10.
- ZHANG Shanwen, WANG Yongshi, SHI Dishu, et al. Meshwork-carpet type oil and gas pool-forming system: taking Neogene of Jiyang depression as an example[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2003, 30(1):1-10.
- [22] 张善文,王永诗,姜素华,等. 网毯式油气成藏体系仓储层运移机理研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2009, 39(3):476-482.
- ZHANG Shanwen, WANG Yongshi, JIANG Suhua, et

- al. Study on oil migration mechanism in storage layer of meshwork-carpet type hydrocarbon reservoir system[J]. Periodical of Ocean University of China, 2009, 39(3): 476-482.
- [23] 姜素华, 查明, 张善文. 网毯式油气成藏体系的动态平衡研究[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2004, 28(4): 16-20.
- JIANG Suhua, ZHA Ming, ZHANG Shanwen. Dynamic balance analysis of meshwork-carpet type oil and gas pool-forming system[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2004, 28(4): 16-20.
- [24] 张善文, 王永诗, 彭传圣, 等. 网毯式油气成藏体系在勘探中的应用[J]. 石油学报, 2008, 29(6): 791-796.
- ZHANG Shanwen, WANG Yongshi, PENG Chuansheng, et al. Application of fault-fracture mesh petroleum plays in exploration[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(6): 791-796.
- [25] 刘桢颖, 徐怀民, 张健, 等. 网毯式成藏体系结构与油气成藏特征[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2010, 34(2): 19-23, 30.
- LIU Yaying, XU Huaimin, ZHANG Jian, et al. Configuration of fault-fracture mesh petroleum plays and oil-gas accumulation character[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2010, 34(2): 19-23, 30.

(编辑 徐会永)