

# 济阳坳陷地层油藏成藏机制与差异性

宁方兴

(中国石化胜利油田分公司 地质科学研究院, 山东 东营 257015)

**摘要:** 通过统计分析济阳坳陷17个油田69个区块、典型解剖5个地区,明确了研究区地层油藏的成藏机制,并对地层油藏成藏差异性进行了分析。研究表明,油源断层启闭性控制油气运移方向,正向构造背景控制地层油藏的富集,不整合结构控制地层油藏类型,成藏动力控制地层圈闭含油性。济阳坳陷盆缘地层圈闭油源断层的油气输导方式以侧向、垂向为主,走向为辅;不同输导方式的地层油藏规模存在差异。不同地层油藏类型、分布层位储量规模存在差异,地层油藏以新近系馆陶组储量规模最大;油藏类型以地层超覆油藏储量规模最大。不同凹陷同类构造带、相同凹陷不同构造带地层油藏成藏均存在差异性,缓坡带地层超覆油藏和不整合遮挡油藏储量规模都较大而且两者相差无几,陡坡带以地层超覆油藏为主。

**关键词:** 地层油藏 成藏机制 差异性 输导方式 济阳坳陷

中图分类号: TE112.322

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2015)03-0052-05

## Analysis on the reservoir-forming mechanism and difference of stratigraphic reservoir in Jiyang depression

Ning Fangxing

(Geoscience Research Institute, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257015, China)

**Abstract:** The reservoir-forming mechanism was studied by analyzing 17 oilfields and 69 blocks in the Jiyang depression statistically and by anatomizing 5 blocks typically, and then the reservoir-forming difference of stratigraphic reservoir was analyzed. The results show that opening and sealing properties of oil source fault control the directions of oil and gas migration; positive tectonic background controls the stratigraphic reservoir enrichment; unconformity structure controls the stratigraphic reservoir types, and reservoir-forming dynamics controls the hydrocarbon potential of the stratigraphic trap. The migration mode along oil source fault for basin margin stratigraphic trap in Jiyang depression are mainly lateral, vertical as well as along the strike. The stratigraphic reservoirs with different mode of hydrocarbon migration are different in scales. There are also differences in reserves due to different types and entrapping horizons of stratigraphic traps. The reserves of stratigraphic reservoirs in Neogene Guantao group and the stratigraphic overlap reservoirs are the largest. There are differences found in stratigraphic reservoirs developed at the same type of structural belts in different sags or at different structures in the same sag. There are overlap reservoirs and truncation unconformity reservoirs in the gentle slope belts, the reserves scale of which are larger with little difference. In the steep slope, there are mainly overlap unconformity reservoirs.

**Key words:** stratigraphic reservoir; reservoir-forming mechanism; difference; migration mode; Jiyang depression

地层圈闭是指储层上倾方向直接与不整合面相切被封闭所形成的圈闭<sup>[1-2]</sup>。尽管地层圈闭也属于构造成因,但因其主要是强调由于储层上、下不整合接触,储层遭风化剥蚀后,又能被盖层封盖而

成,与构造油气藏是不同的;它主要分为不整合遮挡油气藏、地层超覆油气藏和潜山油气藏3类。笔者仅对济阳坳陷古近系—新近系地层超覆油藏、不整合遮挡油藏进行研究。近10 a来,地层油藏作为

收稿日期:2015-03-09。

作者简介:宁方兴(1972—),男,山东宁阳人,高级工程师,从事油气勘探及油气成藏研究。联系电话:(0546)8715536,E-mail:ningfangxing.slyt@sinopec.com。

基金项目:国家科技重大专项“济阳坳陷油气富集机制与增储领域”(2011ZX05006-003),中国石化科技攻关项目“济阳坳陷第三系不整合油气藏形成与分布规律”(P06012)。

一种重要的隐蔽油气藏,越来越引起重视,中外许多学者进行了大量研究和探索,取得了很多进展,但多集中在不整合与地层油藏的形成关系方面<sup>[3-9]</sup>。济阳坳陷地层油藏探明储量比例较小,仅占总探明储量的13%,远低于世界平均水平,而且近几年勘探效果不理想。笔者通过综合考虑油源断层、正向构造背景、不整合结构、成藏动力在地层油藏形成过程中所起的作用,分析地层油藏成藏差异性,以期该类油藏的勘探开发提供借鉴。

## 1 地质概况

济阳坳陷位于渤海湾盆地东南部,是渤海湾盆地的一个次级盆地。坳陷东南侧与鲁西—胶东隆起相邻,西北侧由埕宁隆起与黄骅坳陷相隔,东北侧深入渤海而过渡到渤中坳陷,西南侧则与临清坳陷相接,面积为25 510 km<sup>2</sup>,是在前古近系基础上发育起来的新生代断陷—拗陷叠合盆地。济阳坳陷由东营、惠民、沾化、车镇4个凹陷和若干分隔凹陷的凸起组成<sup>[10]</sup>。济阳坳陷频繁的构造活动形成了不同级别的不整合,包括2个一级不整合、4个二级不整合和10个三级不整合;一级不整合在全坳陷广泛发育,二级不整合分布于坳陷大部分地区,三级不整合主要分布在洼陷带。济阳坳陷各级不整合在洼陷部位主要为平行不整合,在盆缘凸起或凹陷边坡部位变为角度不整合<sup>[11-12]</sup>。

## 2 成藏机制

通过统计分析研究区17个油田69个区块,典型解剖5个地区,明确了地层油藏的成藏机制。

### 2.1 油源断层启闭性控制油气运移方向

由于陆相地层砂泥岩频繁交互出现,不整合不是油气运移的主通道,油源断层在沟通油源和地层圈闭方面起关键作用,油源断层与济阳坳陷地层油藏的形成密切相关,它控制了油气运移方向。油源断层有走向输导、垂向输导、侧向输导3种方式。

#### 2.1.1 走向输导方式

走向输导方式产生的条件包括:油源断层沿走向连接烃源岩和地层圈闭;沿断层走向发育构造脊;断层活动性由弱到强,断层侧向封闭。由断层走向输导方式形成的地层油藏比较局限,有乐安油田、陈家庄油田西部和埕东地区,以乐安油田为例进行说明。

油源对比表明,乐安油田的油源来自博兴洼陷

和牛庄洼陷沙四段上亚段烃源岩(图1)。从博兴洼陷到乐安油田没有明显的构造脊,来自博兴洼陷的油气不可能沿构造脊运移到乐安油田,因此油气有可能沿着石村断层走向运移到乐安油田。为此,沿着石村断层的走向选择垂直断层的方向从西向东切了6条剖面分析断层的启闭性。石村断层的活动性西弱东强,由断层的启闭性和连通概率可以看出断层在西部是侧向封闭的,到了乐安油田才开启,因此来自博兴洼陷的油气极有可能沿着石村断层走向运移到乐安油田(图2)。石村断层两侧油气显示情况和生物标志化合物特征也表明博兴洼陷的油气是沿石村断层走向运移到乐安油田的。

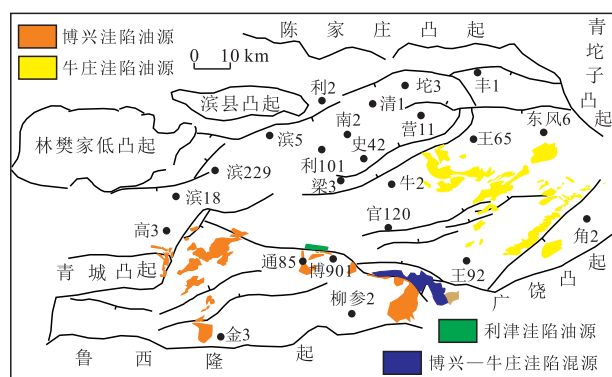


图1 东营凹陷南斜坡不同油气来源分布

Fig.1 Oil and gas origin and distribution of the south slope in Dongying sag

#### 2.1.2 垂向和侧向输导方式

油源断层的垂向、侧向输导方式是济阳坳陷地层油藏形成的主要方式。垂向、侧向输导方式产生的条件包括:油源断层背向正向构造背景;断层开启且活动性强时,断层垂向输导,断层开启且活动性弱时,断层侧向输导。

在馆上段—明化镇组沉积时期,高青断层开启且活动性强,油气在压力差的作用下从沙四段上亚段烃源岩中排出,沿断层由高势区向低势区垂向运移,在适当的圈闭中聚集成藏。在明化镇组沉积末期—第四纪,高青断层开启但活动性弱,沙四段上亚段烃源岩生成的油气首先沿伸入洼陷的砂体进行侧向运移,然后穿过高青断层进入孔店组形成不整合遮挡油藏(图3)。

### 2.2 正向构造背景控制地层油藏的富集

已探明的地层油藏储量90%以上主要位于凸起或斜坡大型鼻状构造带附近,正向构造背景控制了地层油藏的富集。这是因为地层油藏处于常压开放系统,成藏动力主要为浮力,在古地形背景下发育的大型鼻状构造发育构造脊,是油气运移的有利指向,油气在运移过程中进入盆缘地层圈闭就能

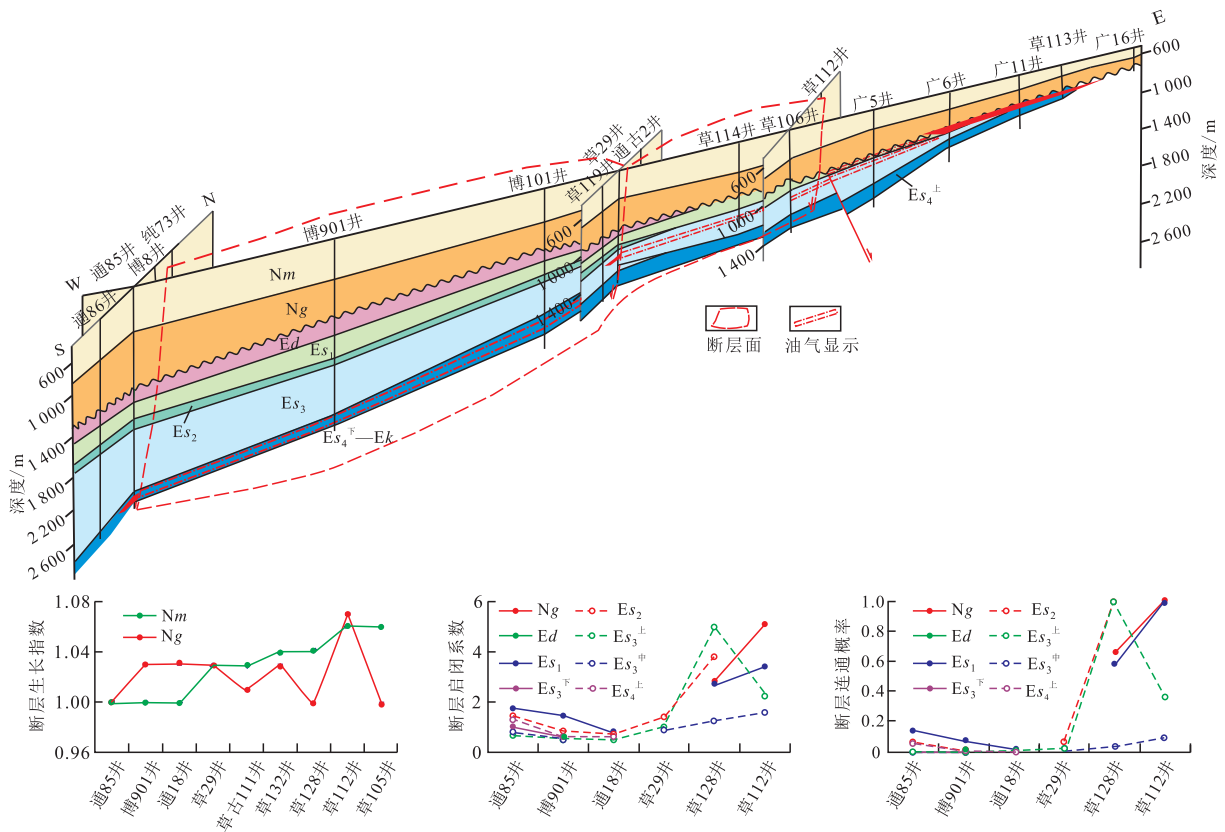


图2 济阳拗陷石村断层油气输导方式

Fig.2 Migration modes of petroleum along Shicun fault in Jiyang depression

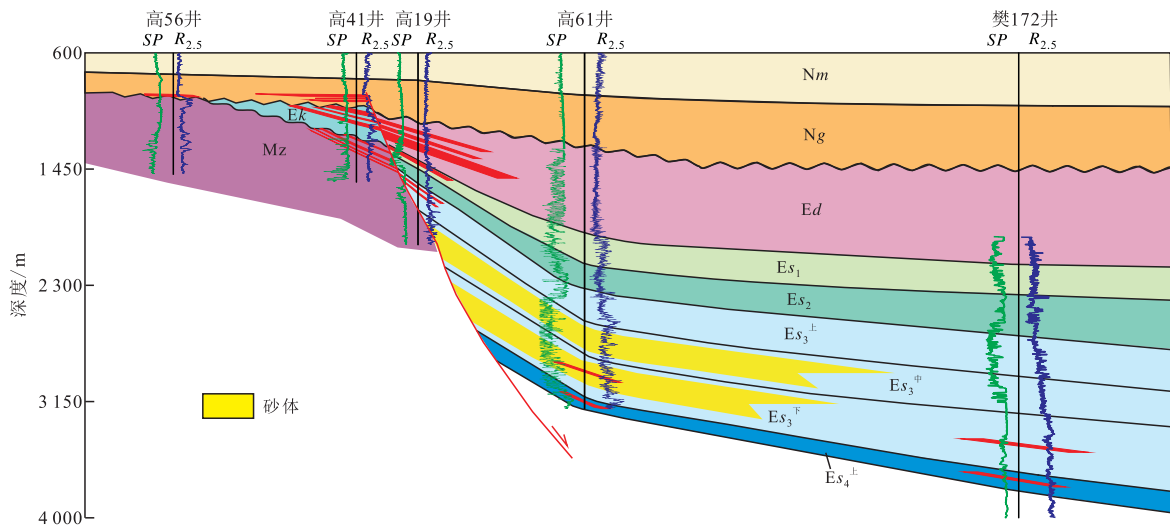


图3 济阳拗陷高青断层油气输导方式

Fig.3 Migration modes of petroleum along Gaoqing fault in Jiyang depression

聚集成藏。如乐安地区在中晚渐新世断—拗期存在着东、西2个构造高点,即广饶潜山和草桥—纯化鼻状构造,成为油气运移的主要指向。

2.3 不整合结构控制地层油藏类型

一个完整的不整合具有3层结构:不整合面之上的顶板岩石、不整合面之下的风化粘土层和半风化岩石。济阳拗陷的不整合一般缺失风化粘土层

而具有2层结构。由于陆相断陷盆地岩性变化较快,不整合结构层主要由砂泥岩组成并交互出现。不整合结构垂向上可形成砂/砂、砂/泥、泥/砂、泥/泥4种岩石组合形式。在凹陷内部多形成泥/泥组合,凹陷边坡地区多形成砂/砂、泥/砂以及砂/泥组合。这是因为凹陷内部多为湖相泥岩沉积,凹陷边部接近物源区,多为砂、砾岩。从渗透性角度来看,不整

合顶板砾岩、半风化砂岩等具有较好的物性,可作为渗透层,而不整合顶板泥岩、风化粘土层、半风化泥岩等物性差,一般作为非渗透层。不整合结构砂泥组合形式实际上可看作是渗透层与非渗透层的对接组合形式,这些组合形式控制着地层油藏类型。油气受不整合底板风化粘土层、半风化岩石顶部硬壳或泥岩的侧向遮挡而形成地层超覆油藏,受不整合顶板泥岩的遮挡易形成不整合遮挡油藏。

#### 2.4 成藏动力控制地层圈闭含油性

地层油藏大多分布在常压开放系统中,离油源较远,油气离开生油洼陷进入常压系统进行运聚成藏时,运移动力主要为浮力,阻力主要为储层和盖层的毛管压力。一般地,油气运移动力(浮力)越大,盖层和储层毛管压力差越大,地层圈闭越容易成藏,圈闭含油性越好;相反,圈闭则越不易成藏,含油性越差<sup>[13-14]</sup>。因此成藏动力控制了地层圈闭的含油性。根据成藏动力的表征参数,建立了成藏动力与地层圈闭含油性的关系模型<sup>[14]</sup>,用该模型进行钻前预测取得了较好的勘探效果,说明成藏动力是地层圈闭含油性的主要控制因素。

### 3 成藏差异性

#### 3.1 不同输导方式的地层油藏规模存在差异

济阳拗陷盆缘地层圈闭油源断层的油气输导方式以侧向、垂向为主,走向为辅。断层侧向、垂向输导方式形成的地层油藏分别占46.7%和41.5%。仅陈家庄地区、乐安地区和埕东地区存在走向输导方式。

#### 3.2 不同地层油藏类型、分布层位储量规模存在差异

济阳拗陷地层油藏以地层超覆油藏储量规模最大,占地层油藏储量的81%。济阳拗陷古近系、新近系都有地层油藏分布,以新近系馆陶组地层油藏储量规模最大(图4)。

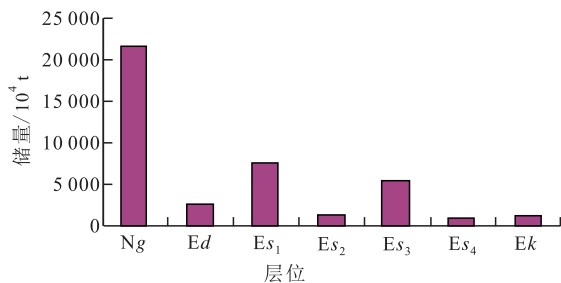


图4 济阳拗陷不同层位地层油藏储量对比

Fig.4 Comparison of reserves in different layers of stratigraphic reservoir in Jiyang depression

#### 3.3 不同凹陷同类构造带地层油藏成藏存在差异

不同凹陷缓坡带地层油藏成藏存在差异性,以东营凹陷南斜坡和沾化凹陷南斜坡为例进行说明。东营凹陷南斜坡地层油藏油源来自博兴洼陷和牛庄洼陷的沙三段下亚段、沙四段上亚段烃源岩;沾化凹陷南斜坡地层油藏油源来自渤南洼陷和四扣洼陷的烃源岩;两者都距油源较远。东营凹陷南斜坡输导方式有断层垂向、侧向和走向3种,以断层垂向和侧向为主;沾化凹陷南斜坡有断层垂向和走向2种输导方式,以断层垂向为主。东营凹陷南斜坡不整合结构有渗透/非渗透、非渗透/渗透、渗透/渗透3种组合;沾化凹陷南斜坡以渗透/非渗透组合为主。这造成东营凹陷南斜坡地层超覆油藏和不整合遮挡油藏储量规模都较大且两者相差无几,沾化凹陷南斜坡以地层超覆油藏为主,东营凹陷南斜坡的储量规模远大于沾化凹陷南斜坡。

不同凹陷凸起带地层油藏成藏也存在差异性,以东营凹陷的高青油田和沾化凹陷的太平油田为例。高青油田位于青城凸起,油源来自博兴洼陷沙四段上亚段烃源岩;太平油田位于义和庄凸起,油源来自四扣洼陷沙四段上亚段和沙三段下亚段烃源岩;两者都距油源较近,油源断层输导方式也相近,以断层垂向和侧向为主。高青油田的不整合结构以非渗透/渗透组合为主,太平油田以渗透/非渗透和渗透/渗透组合为主。这造成了高青油田油藏类型以不整合遮挡油藏为主,太平油田以地层超覆油藏为主;太平油田的储量规模远大于高青油田。

#### 3.4 相同凹陷不同构造带地层油藏成藏存在差异

相同凹陷不同构造带地层油藏成藏存在差异性。以东营凹陷南斜坡和北部陡坡带为例。东营凹陷北部陡坡带地层油藏的油源来自利津洼陷沙四段上亚段、沙三段下亚段烃源岩,离油源较近,且利津洼陷的生油能力远强于博兴洼陷和牛庄洼陷。这造成了北部陡坡带的储量规模远大于南斜坡。北部陡坡带有断层垂向、侧向2种输导方式,以垂向为主,不整合结构有渗透/非渗透、非渗透/渗透2种组合。这造成了北部陡坡带以地层超覆油藏为主。

### 4 结论

济阳拗陷地层油藏的成藏机制包括:油源断层启闭性控制油气运移方向,正向构造背景控制地层油藏的富集,不整合结构控制地层油藏类型,成藏动力控制地层圈闭含油性。不同输导方式、不同类

型、不同凹陷、不同构造带的地层油藏成藏均存在差异性。

济阳拗陷具有形成地层油藏的有利条件,拥有广阔的勘探前景。随着对地层油藏成藏机制和分布规律认识的深入,通过分析地层油藏的成藏差异性,可以更加有的放矢的寻找地层油藏。如在陡坡带以寻找地层超覆油藏为主,在缓坡带地层超覆油藏和不整合遮挡油藏并重,特别注意考虑断层走向输导方式的地层油藏。

#### 参考文献:

- [1] 李丕龙,庞雄奇,张善文,等.陆相断陷盆地隐藏油气藏的形成——以济阳拗陷为例[M].北京:石油工业出版社,2004.  
Li Pilong, Pang Xiongqi, Zhang Shanwen, et al. Formation of subtle oil and gas reservoirs in the continental rift basin: taking Jiyang Depression as an example [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004.
- [2] 徐桂华.济阳拗陷地层圈闭成藏地质风险评价方法[J].油气地质与采收率,2013,20(6):38-41.  
Xu Guihua. Reservoir risk assessment methods on stratigraphic traps, Jiyang depression [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(6): 38-41.
- [3] 孙永壮.东营凹陷南斜坡地层油藏成藏规律[J].油气地质与采收率,2006,13(4):52-54.  
Sun Yongzhuang. Reservoir forming regularity of stratigraphic oil pool in the south slope of Dongying Sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2006, 13(4): 52-54.
- [4] 刘军锸,尚墨翰,董宁芳,等.陈家庄凸起北坡稠油地层油藏扇体侧向封堵性分析[J].油气地质与采收率,2014,21(4):19-22.  
Liu June, Shang Mohan, Dong Ningfang, et al. Analysis on lateral blockage of the fans in heavy oil stratigraphic reservoirs at north slope of Chenjiazhuang uplift [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(4): 19-22.
- [5] 张建林.地层不整合对油气运移和封堵的作用[J].油气地质与采收率,2005,12(2):26-29.  
Zhang Jianlin. The function of stratigraphic unconformity to the oil-gas migration and seal [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2005, 12(2): 26-29.
- [6] 曹剑,胡文暄,张义杰,等.准噶尔盆地油气沿不整合运移的主控因素分析[J].沉积学报,2006,24(3):399-406.  
Cao Jian, Hu Wenxuan, Zhang Yijie, et al. The main factor controlling petroleum migration along unconformity in the Junggar Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(3): 399-406.
- [7] 隋风贵,赵乐强.济阳拗陷不整合结构类型及控藏作用[J].大地构造与成矿学,2006,30(2):161-167.  
Sui Fenggui, Zhao Leqiang. The unconformity configuration type and its reservoir forming control in Jiyang depression [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2006, 30(2): 161-167.
- [8] 宋国奇,陈涛,蒋有录,等.济阳拗陷第三系不整合结构矿物学与元素地球化学特征[J].中国石油大学学报:自然科学版,2008,32(5):7-11.  
Song Guoqi, Chen Tao, Jiang Youlu, et al. Mineralogical and element geochemical characteristics of unconformity structures of Tertiary in Jiyang depression [J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2008, 32(5): 7-11.
- [9] 高长海,查明.不整合运移通道类型及输导油气特征[J].地质学报,2008,82(8):1113-1120.  
Gao Changhai, Zha Ming. The types of unconformity migration passages and characteristics of hydrocarbon transport [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(8): 1113-1120.
- [10] 宋国奇,王永诗,程付启,等.济阳拗陷古近系二级层序界面厘定及其石油地质意义[J].油气地质与采收率,2014,21(5):1-7.  
Song Guoqi, Wang Yongshi, Cheng Fuqi, et al. Ascertaining secondary-order sequence of Palaeogene in Jiyang depression and its petroleum geological significance [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(5): 1-7.
- [11] 隋风贵,宋国奇,赵乐强,等.济阳拗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.
- [12] 宁方兴.乐安油田地层油藏运聚过程研究[J].断块油气田,2011,18(1):121-128.  
Ning Fangxing. Study on hydrocarbon migration and accumulation process of stratigraphic reservoir in Lean Oilfield [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2011, 18(1): 121-128.
- [13] 宁方兴.济阳拗陷地层油气藏油柱高度主控因素及定量计算[J].油气地质与采收率,2008,15(3):9-11.  
Ning Fangxing. Main controlling factors and quantitative calculation of oil column height of the stratigraphic hydrocarbon reservoir in Jiyang Depression [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2008, 15(3): 9-11.
- [14] 王学军,宁方兴,向立宏.断陷盆地盆缘地层圈闭含油性定量预测模型——以济阳拗陷古近系—新近系为例[J].油气地质与采收率,2011,18(1):4-6.  
Wang Xuejun, Ning Fangxing, Xiang Lihong. A quantitative prediction model on oil-bearing property of stratigraphic traps, rift-subsidence basin margin—Taking Paleogene in Jiyang depression as an example [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2011, 18(1): 4-6.