

# 潍北凹陷孔店组天然气成因类型及分布规律

沈 朴<sup>1</sup>, 金 强<sup>1</sup>, 张玉明<sup>2</sup>, 张善文<sup>1,2</sup>, 王 力<sup>3</sup>, 程付启<sup>2</sup>

(1. 中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061; 2. 中国石油化工股份有限公司 胜利油田分公司, 山东 东营 257000; 3. 中国石油天然气集团公司冀东油田分公司 勘探开发研究院, 河北 唐山 063004)

**摘要:** 根据天然气组分以及碳同位素和轻烃特征等资料, 运用天然气成因理论并结合天然气成因类型判识图版和成藏条件, 探讨了潍北凹陷孔店组天然气成因类型及分布规律。结果表明: 潍北凹陷天然气  $\text{CH}_4$  体积分数大, 重烃体积分数小, 非烃组分极少; 南部斜坡带的瞳 4 井天然气属生物气; 灶户鼻状构造带南部产出的天然气为混有生物气的油型伴生气; 灶户鼻状构造带中部地区属典型的油型伴生气; 北部洼陷区的东部和南缘产出的天然气具有煤型气, 并有油型气混入; 以昌 1 井为代表的北部深洼陷区是煤型气发育的有利地区。总之, 潍北凹陷天然气可以划分为生物气、混有生物气的油型伴生气、典型的油型伴生气、混有油型气的煤型气、典型的煤型气等 5 种成因类型; 孔店组天然气类型多样、分布复杂, 这些与该区的烃源岩类型、成熟度等因素有关。

**关键词:** 天然气; 地球化学; 成因类型; 分布规律; 孔店组; 潍北凹陷

**中图分类号:** TE122; P618.13 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2010)03-0252-05

## Genetic Type and Distribution Rule of Natural Gas of Kongdian Formation in Weibei Sag

SHEN Pu<sup>1</sup>, JIN Qiang<sup>1</sup>, ZHANG Yu-ming<sup>2</sup>, ZHANG Shan-wen<sup>1,2</sup>,  
WANG Li<sup>3</sup>, CHENG Fu-qi<sup>2</sup>

(1. School of Geo-resources and Information, China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong, China;

2. Shengli Oilfield Company, China Petroleum and Chemical Corporation, Dongying 257000, Shandong, China;

3. Institute of Exploration and Development, Jidong Oilfield Company, China National Petroleum Corporation, Tangshan 063004, Hebei, China)

**Abstract** Based on natural gas composition, carbon isotope and light hydrocarbon data, genetic type and distribution rule of natural gas of Kongdian Formation in Weibei Sag were discussed with the theory and discriminant diagram of natural gas genetic type and reservoir condition. The results showed that volume contents of  $\text{CH}_4$ , heavy hydrocarbon and nonhydrocarbon were high, low and extremely low for natural gas in Weibei Sag, respectively; natural gas from well Tuan-4 in southern clinoform zone was biogas; natural gas in the southern of Duhu nose tectonic zone was oil type associated gas with biogas; natural gas in the middle of Duhu nose tectonic zone was typical oil type associated gas; natural gas in southern rim and eastern of northern subsag was coal type gas with oil type gas; northern deep subsag was the prospecting area for coal type gas. In general, natural gas in Weibei Sag could be divided into five genetic types, which were biogas, oil type associated gas with biogas, typical oil type associated gas, coal type gas with oil type gas, typical coal type gas; types of natural gas in Kongdian Formation were numerous, distribution was complex, the reasons could be related to hydrocarbon source rock and maturation.

**Key words:** natural gas; geochemistry; genetic type; distribution rule; Kongdian Formation; Weibei Sag

## 0 引言

潍北凹陷南部浅层和北部深层是有前景的天

然气勘探领域。据 3 次油气资源评价, 潍北凹陷天然气资源量为  $175 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 探明天然气储量为  $5.79 \times 10^8 \text{ m}^3$ <sup>[1]</sup>, 是一个具有勘探前景的凹陷。前

收稿日期: 2009-10-15

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2001CB209102)

作者简介: 沈 朴(1984), 男, 安徽六安人, 工学博士研究生, 从事石油地质研究。E-mail: shenpuhdpucn@sina.com

© 1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

人对淮北凹陷的天然气类型、烃源岩、热历史及构造演化做了一定研究<sup>[2-6]</sup>,但凹陷中烃源岩类型多样,成熟度差异比较大,导致天然气成因类型和分布规律比较复杂,不同区域的天然气特征有明显差异<sup>[2-3]</sup>,给天然气勘探带来一定困难。确定天然气成因类型,查明淮北凹陷不同成因天然气分布规律,对该区天然气勘探具有重要指导意义。

## 1 区域地质概况

淮北凹陷是昌潍拗陷东北部的一个次级凹陷,面积约 880 km<sup>2</sup>,为北断南超的箕状凹陷。该区域为北部洼陷带、瓦城断阶带、灶户鼻状构造带和南部斜坡带 4 个次级构造单元(图 1)。钻井揭示该区最老地层为白垩系,早第三纪主要沉积了孔店组和沙河街组地层,受始新世末期构造运动的影响,盆地整体抬升,遭受剥蚀,使得沙河街组地层残缺不全,仅保留了部分沙四段地层。晚第三纪随着区域性沉降,凹陷又沉积了新近系馆陶组、明化镇组和第四系。淮北凹陷烃源岩和储集岩主要为孔店组,从上到下可分为:孔一段为棕红色砂岩与紫红色泥岩不等厚互层,顶部常有膏泥岩及薄层石膏;孔二段为暗色湖相沉积,主要为灰色砂岩、含砾砂岩、油页岩、炭质泥岩及煤层组成;孔三段为厚层玄武岩夹少量泥岩<sup>[5]</sup>。凹陷烃源岩主要为孔二段,厚度大且全区分布,其岩性复杂,包括油页岩、暗色泥岩、炭质页岩及煤层。总体上说,孔二段上烃源岩属于好的烃源岩,孔二段中、下烃源岩属于中等一差的烃源岩<sup>[1]</sup>。目前淮北凹陷天然气勘探主要集中在南部浅层的柳疃地区,含气层系主要是孔一段中、下,孔二段上以及北部深层的洼陷带中,含气层系为孔二段。

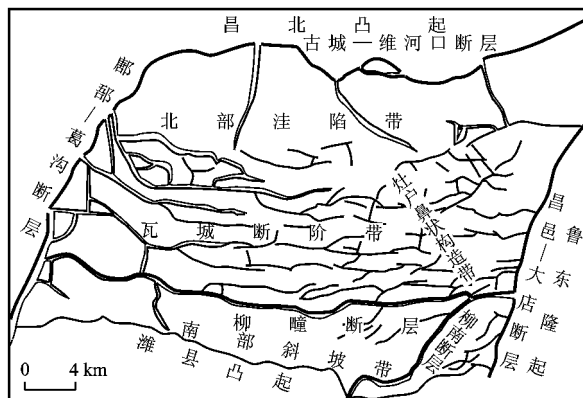


图 1 淮北凹陷区域构造

Fig. 1 Regional Structure of Weibei Sag

## 2 天然气地球化学特征

### 2.1 天然气组分和同位素特征

烃类气体组分和碳同位素值可以有效鉴别天然气成因类型<sup>[7-11]</sup>。总体上,淮北凹陷天然气中 CH<sub>4</sub> 体积分数大,重烃体积分数小,非烃组分极少。北部洼陷区 CH<sub>4</sub> 体积分数为 58.3%~97.1%,变化很大,干气、湿气均有。 $\delta^{13}C_1$  值为  $(-41.48 \sim -22.2) \times 10^{-3}$ ,平均为  $-36.2 \times 10^{-3}$ , $\delta^{13}C_2$  值为  $(-38.9 \sim -17.2) \times 10^{-3}$ ,平均为  $-24.9 \times 10^{-3}$ 。灶户鼻状构造带中部地区 CH<sub>4</sub> 体积分数为  $(52.5 \sim 81.2) \times 10^{-3}$ ,重烃体积分数较高,属于湿气。 $\delta^{13}C_1$  值为  $(-53 \sim -44.4) \times 10^{-3}$ ,平均为  $-48.6 \times 10^{-3}$ , $\delta^{13}C_2$  值在  $(-25.3 \sim -24.6) \times 10^{-3}$  之间,平均为  $-24.9 \times 10^{-3}$ 。灶户鼻状构造带南部和南部斜坡带地区 CH<sub>4</sub> 体积分数多在 95% 以上,重烃体积分数小,属于干气。 $\delta^{13}C_1$  值为  $(-60.7 \sim -50.0) \times 10^{-3}$ ,平均为  $-53.8 \times 10^{-3}$ 。 $\delta^{13}C_2$  值为  $(-46.5 \sim -28.4) \times 10^{-3}$ ,平均为  $-33.6 \times 10^{-3}$ 。

借鉴戴金星等<sup>[7,12]</sup>天然气成因类型识别图,根据淮北凹陷天然气资料绘制成图(图 2)。由图 2 可看出,南部斜坡带的疃 4 井天然气落在生物气区,灶户鼻状构造带的昌 4、25、66、73 井天然气落在油型伴生气区,北部洼陷区的央 5、6 以及昌 64、67 井天然气落在高熟油型气和煤型气区,北部洼陷区昌 1 井天然气落在煤型气区。

### 2.2 轻烃特征

轻烃是分子碳数为 C<sub>5</sub>~C<sub>10</sub> 的化合物,是天然气的重要组成部分,能较好地反映天然气成因类型<sup>[7-9,13-14]</sup>。由图 3a 可以看出,南部灶户鼻状构造带地区昌 61、62、72、73 井天然气主要落在油型气区,北部洼陷区昌 11、央 6 井天然气落于煤型气区。由图 3b 可以看出,南部灶户鼻状构造带地区昌 61 井天然气主要落在油型气区,北部洼陷区昌 11、央 6 井天然气落于煤型气区。C<sub>7</sub>、C<sub>6</sub> 轻烃系统三角图以及组分和同位素分析基本一致。

## 3 天然气成因类型及分布规律

根据天然气烃类气体的组分、碳同位素和轻烃特征,结合地质条件分析认为:

(1) 南部斜坡带疃 4 井产出的天然气 CH<sub>4</sub> 体积分数达 97.68%,同时含少量 CO<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub>, $\delta^{13}C_1$  为  $(-60.7 \sim -58.4) \times 10^{-3}$ ,判断疃 4 井的天然气

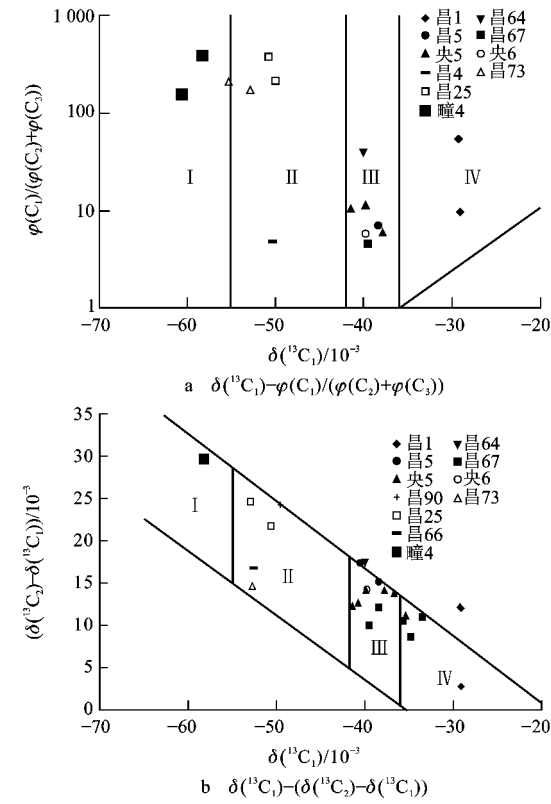


图 2 天然气成因类型识别

Fig. 2 Genetic Types of Natural Gas

属生物气<sup>[9, 15-17]</sup>。

(2) 灶户鼻状构造带南部产出的天然气  $\delta(^{13}\text{C}_1)$  小于  $-50 \times 10^{-3}$ ,  $\text{CH}_4$  体积分数多在 97% 以上, 重烃体积分数小于 2%, 干燥系数高, 天然气中  $\text{CH}_4$  体积分数大与天然气长距离运移有关<sup>[7]</sup>, 同时该区紧邻 4 井地区,  $\text{CH}_4$  体积分数大的原因也包括与生物气混合, 综合分析该区产出的天然气为混有生物气的油型伴生气。

(3) 灶户鼻状构造带中部地区是凹陷的主要石油产区, 该区天然气主要来自北部洼陷含有较多 II 型有机质的孔二段上烃源岩, 类型较孔二段中、下要好, 天然气大多具有油型伴生特征。如该区的昌 4 井, 甲烷体积分数为 75.74%, 干燥系数为 0.77,  $\text{CH}_4$  碳同位素值为  $-50 \times 10^{-3}$ , 属于典型的油型伴生气。

(4) 北部洼陷区的东部和南缘产出的天然气主要具有煤型气的特征, 但是有油型气混入。昌 67 井 3 540 m 深度附近产出的天然气  $\text{CH}_4$  体积分数约 77.1%, 重烃约 17.21%。央 5 井 3 840 m 深度

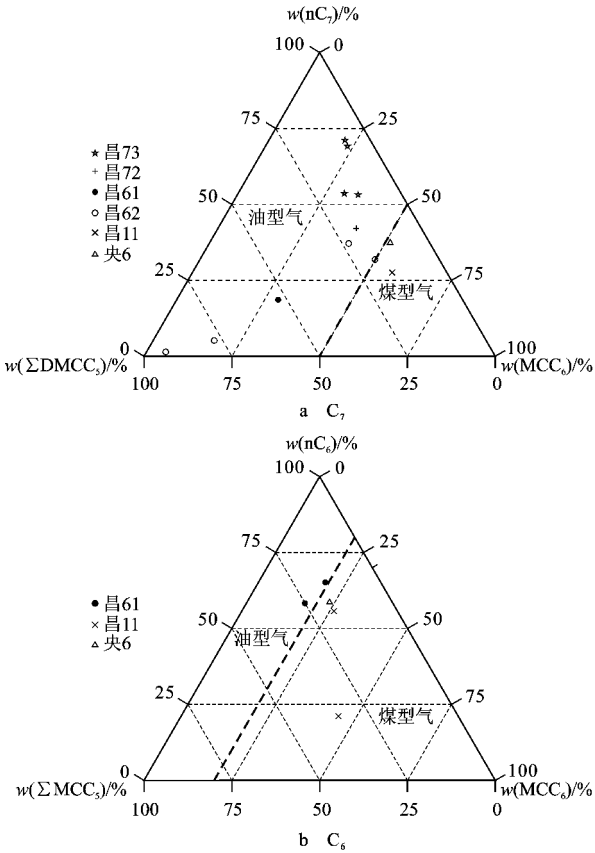


图 3  $\text{C}_7$  和  $\text{C}_6$  轻烃系统三角图

Fig. 3  $\text{C}_7$  and  $\text{C}_6$  Light Hydrocarbon Systematic Triangular Diagram

产出的天然气  $\text{CH}_4$  体积分数约 83.38%, 重烃约 11.67%。这 2 个井段气源岩类型以 II 型为主, 镜质体反射率  $R_o$  为 1.2% ~ 1.3%, 所产天然气是煤成湿气<sup>[18]</sup>。戴金星<sup>[18]</sup> 认为煤成气  $\delta(^{13}\text{C}_2) > -27.5 \times 10^{-3}$ ,  $\delta(^{13}\text{C}_3) > -25.5 \times 10^{-3}$ , 油型气  $\delta(^{13}\text{C}_2) < -29 \times 10^{-3}$ ,  $\delta(^{13}\text{C}_3) < -27 \times 10^{-3}$ 。昌 64 井和昌 5 井  $\delta(^{13}\text{C}_2)$  值为  $(-22.77 \sim -23.22) \times 10^{-3}$ ,  $\delta(^{13}\text{C}_3)$  值为  $(-22.367 \sim -21.1) \times 10^{-3}$ , 属煤型气。央 5 井在 3 350 m 深度附近  $\delta(^{13}\text{C}_2)$  为  $-29.25 \times 10^{-3}$ ,  $\delta(^{13}\text{C}_3)$  为  $-27.77 \times 10^{-3}$ , 属于油型气, 在 3 780.3 800 m 深度附近碳同位素值变重, 具有煤型气特征, 同时碳同位素发生倒转。昌 5、64、67 井也有碳同位素发生倒转现象(图 4)。有机烷烃气碳同位素系列倒转的成因有: 有机烷烃气和无机烷烃气的相混合; 煤成气和油型气的混合; 同型不同源气或同源不同期气的混合; 烷烃气中某一或某些组分被细菌氧化等<sup>[19]</sup>。结合本区地质条件判别其主要原因为央 5 井以及昌 5、64、67 井存在煤型气和油型气的混合, 以煤型气为主。

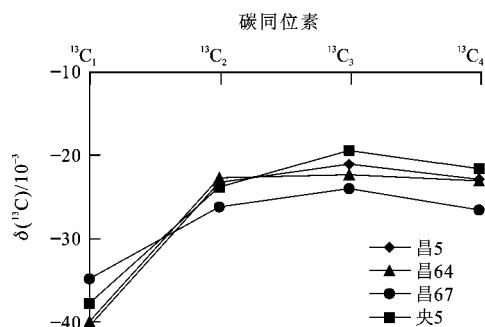


图4 淮北凹陷部分井碳同位素分布

Fig. 4 Carbonate Isotope Diagram of Some Wells in Weibei Sag

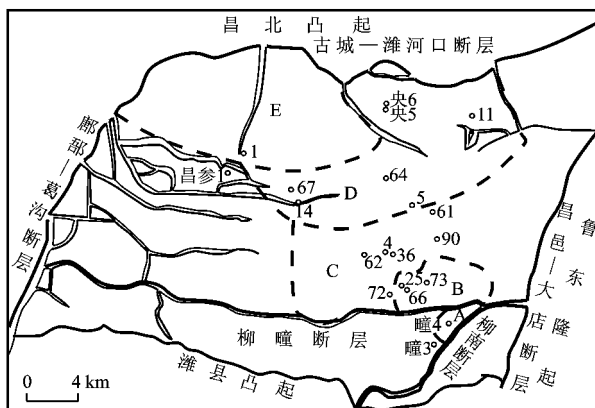
(5)北部深洼陷区昌1井在3 300~4 700 m处有机质类型主要为Ⅱ型,在4 464、4 476、4 484 m等深度附近均发育煤层及煤夹层,热演化程度较高,在3 900 m以下,所产天然气CH<sub>4</sub>体积分数大于96%, $\delta^{13}\text{C}_1$ 为 $-29.2 \times 10^{-3}$ , $\delta^{13}\text{C}_2$ 为 $-17.2 \times 10^{-3}$ ,属于煤型气。以昌1井为代表的北部深洼陷区是煤型气发育的有利地区。总体上说,北部地区天然气主要来自埋深较大、有机质类型以Ⅱ<sub>2</sub>到Ⅲ型为主的孔二段中和有机质类型以Ⅱ型为主的孔二段下烃源岩,以生成煤型气为主。

综上所述,淮北凹陷天然气划分为3种基本成因类型:生物气、油型伴生气和煤型气,同时发育两种混源气,即混有生物气的油型伴生气和混有油型气的煤型气。

淮北凹陷不同成因类型天然气在平面上分布从南部到北部呈现生物气、混有生物气的油型伴生气、典型的油型伴生气、混有油型气的煤型气和典型的煤型气的变化规律(图5)。生物气主要分布于瞳4井附近南部斜坡带部分地区(A区)。混有生物气的油型伴生气主要分布于灶户鼻状构造带南部(B区)。灶户鼻状构造带中部地区产出的天然气大多具有油型伴生气特征(C区)。混有油型气的煤型气主要分布于北部洼陷区东部和南缘(D区)。煤型气主要分布于以昌1井为代表的北部深洼陷中(E区)。由南向北呈现出由生物气向油型伴生气再向煤型气过渡的局面,在两种不同成因的天然气分布区之间均有两种天然气的混合分布区,如B和D区。

## 4 结语

(1)总体来看,淮北凹陷天然气中CH<sub>4</sub>体积分



昌36井位未注明汉字的均为“昌”号井; A—生物气区; B—混有生物气的油型伴生气区; C—典型的油型伴生气区; D—混有油型气的煤型气区; E—典型的煤型气区

图5 淮北凹陷不同成因类型天然气分布

Fig. 5 Distribution of Different Genetic Types of Natural Gas in Weibei Sag

数大,重烃体积分数小,非烃组份极少。北部以湿气为主,南部以干气为主。北部地区CH<sub>4</sub>碳同位素值明显比南部地区偏重。

(2)南部斜坡带的瞳4井天然气属生物气;灶户鼻状构造带南部产出的天然气为混有生物气的油型伴生气;灶户鼻状构造带中部地区产出的天然气属典型的油型伴生气;北部洼陷区的东部和南缘产出的天然气为煤型气,并有油型气混入;以昌1井为代表的北部深洼陷区是煤型气发育的有利地区。

(3)由于烃源岩类型、成熟度等因素影响,该区由南到北可以划分为5种成因类型:生物气、混有生物气的油型伴生气、典型的油型伴生气、混有油型气的煤型气、典型的煤型气。

## 参考文献:

- [1] 杨显成,李文涛,刘 华,等.精细研究,精细勘探,努力开创天然气和外围地区勘探新局面[R].山东东营:中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司地质科学研究院,2007.
- [2] 汪泽成,李晓清,程有义,等.淮北盆地天然气分布规律[J].石油实验地质,2002,24(2):130-135.
- [3] 李晓清.淮北走滑盆地形成演化与含油气系统[D].北京:中国科学院研究生院,2002.
- [4] 宋一涛,廖永胜,王 忠.淮北凹陷孔店组烃源岩评价及油源分析[J].石油与天然气地质,2005,26(6):487-493.
- [5] 邱楠生,蔡进功,李善鹏,等.昌潍拗陷淮北凹陷热历史和油气成藏期次[J].地质科学,2003,38(3):413-424.
- [6] 程有义,李晓清,汪泽成,等.淮北拉分盆地形成演化及其对成油气条件的控制[J].石油勘探与开发,2004,31(6):32-35.

- [ 7 ] 戴金星, 裴锡古, 戚厚发. 中国天然气地质学(卷一)[ M ]. 北京: 石油工业出版社, 1992.
- [ 8 ] 戴金星. 天然气碳氢同位素特征和各类天然气鉴别[ C ] //戴金星. 天然气地质和地球化学论文集(卷二). 北京: 石油工业出版社, 2000: 190-228.
- [ 9 ] 宋 岩, 徐永昌. 天然气成因类型及其鉴别[ J ]. 石油勘探与开发, 2005, 32(4): 24-29.
- [ 10 ] 宋 岩, 陈孟晋, 秦胜飞, 等. 中国天然气地质理论进展[ J ]. 石油勘探与开发, 2004, 31(1): 8-11.
- [ 11 ] Berner U, Faber E. Empirical Carbon Isotope/maturity Relationships for Gases from Algal Kerogens and Terrigenous Organic Matter, Based on Dry, Open-system Pyrolysis[ J ]. Organic Geochemistry, 1996, 24(10/11): 947-955.
- [ 12 ] 侯读杰, 张林畔. 实用油气地球化学图鉴[ M ]. 北京: 石油工业出版社, 2003.
- [ 13 ] 胡惕麟, 戈葆雄, 张义纲, 等. 源岩吸附烃和天然气轻烃指纹参数的开发和应用[ J ]. 石油实验地质, 1990, 12(4): 375-394.
- [ 14 ] Snowden L R, Powell T G. Immature Oil and Condensate: Modification of Hydrocarbon Generation Model for Terrestrial Organic Matter[ J ]. AAPG Bulletin, 1982, 66(6): 775-788.
- [ 15 ] 张义纲, 陈焕疆. 论生物气的生成和聚集[ J ]. 石油与天然气地质, 1983, 4(2): 160-170.
- [ 16 ] 陈 英, 戴金星, 戚厚发. 关于生物气研究中几个理论及方法问题的研究[ J ]. 石油实验地质, 1994, 16(3): 209-219.
- [ 17 ] 薛 会, 张金川, 刘丽芳, 等. 天然气机理类型及其分布[ J ]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(2): 53-57.
- [ 18 ] 戴金星. 中国煤成气研究二十年的重大进展[ J ]. 石油勘探与开发, 1999, 26(3): 1-10.
- [ 19 ] 戴金星, 夏新宇, 秦胜飞, 等. 中国有机烷烃气碳同位素系列倒转的成因[ J ]. 石油与天然气地质, 2003, 24(1): 1-6.

(上接第 251 页)

- [ 7 ] 李宏伟, 朱怡翔, 李胜利, 等. 辽河西部凹陷北部地区隐蔽油气藏预测与成藏机制分析[ J ]. 石油勘探与开发, 2003, 30(1): 44-46.
- [ 8 ] 于福生, 吉珍娃, 杨 雪, 等. 辽河盆地西部凹陷北部地区新生代断裂特征与圈闭类型[ J ]. 地球科学与环境学报, 2007, 29(2): 149-153.
- [ 9 ] 张凤奇, 庞雄奇, 冷济高, 等. 辽河西部凹陷构造圈闭含油性定量预测模型[ J ]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2009, 31(2): 27-30.
- [ 10 ] 陈金龙, 张庆龙, 于兰兄, 等. 断层对辽河盆地杜 229 断块超稠油成藏与生产的影响[ J ]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(3): 48-52.
- [ 11 ] 许 坤, 潘耀丽, 彭 峰. 辽河盆地下第三系层序分析[ J ]. 地层学杂志, 1997, 21(4): 267-274.
- [ 12 ] 沈守文, 彭大钧, 颜其彬, 等. 层序地层学预测隐蔽油气藏的原理和方法[ J ]. 地球学报, 2000, 21(3): 300-305.
- [ 13 ] 徐怀大. 层序地层学理论用于我国断陷盆地分析中的问题[ J ]. 石油与天然气地质, 1991, 12(1): 52-57.
- [ 14 ] 郝雪峰. 陆相断陷盆地层序地层与成藏单元类比分析——以济阳拗陷为例[ J ]. 油气地质与采收率, 2007, 14(2): 16-18.
- [ 15 ] 邱桂强. 陆相断陷盆地高精度层序地层研究现状与思路[ J ]. 油气地质与采收率, 2005, 12(3): 1-4.
- [ 16 ] 樊太亮, 李卫东. 层序地层应用于陆相油藏预测的成功实例[ J ]. 石油学报, 1999, 20(2): 12-17.
- [ 17 ] 廖兴明, 姚继峰, 于天庆, 等. 辽河盆地构造演化与油气[ M ]. 北京: 石油工业出版社, 1996.
- [ 18 ] 高先志, 李敬生, 李晓光, 等. 辽河西部凹陷兴隆台—马圈子地区沙三段层序地层研究[ C ] //匡立春, 顾家裕, 吕焕通, 等. 油气层序地层学新进展. 北京: 石油工业出版社, 2006: 68-69.
- [ 19 ] 袁 波, 陈世悦, 袁文芳, 等. 辽西凹陷欢喜岭地区沙河街组层序格架的建立[ J ]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2008, 30(2): 27-30.
- [ 20 ] 李德江, 朱筱敏, 董艳蕾, 等. 辽东湾拗陷古近系沙河街组层序地层分析[ J ]. 石油勘探与开发, 2007, 34(6): 669-676.
- [ 21 ] 鞠俊成, 张凤莲, 喻国凡, 等. 辽河盆地西部凹陷南部沙三段储层沉积特征及含油气性分析[ J ]. 古地理学报, 2001, 3(1): 63-70.
- [ 22 ] 林会喜, 鄢继华, 袁文芳, 等. 渤海湾盆地东营凹陷古近系沙河街组三段沉积相类型及平面分布特征[ J ]. 石油实验地质, 2005, 27(1): 55-61.