

长岭断陷南部地区断陷层油气成藏机制及勘探潜力

李 浩¹, 陆建林¹, 王保华¹, 左宗鑫¹, 李瑞磊², 朱建峰², 沈志杰³

(1. 中国石化股份有限公司石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所, 江苏无锡 214126; 2. 中国石化股份有限公司东北油气分公司勘探开发研究院, 吉林长春 130062; 3. 中国石油华北油田公司第四采油厂, 河北廊坊 065000)

摘要:利用天然气组成、轻烃指纹、碳同位素和生物标志化合物以及储层流体包裹体等地球化学特征,结合地质条件以及生烃史-热史模拟研究长岭断陷南部的龙凤山地区油气成因及成藏过程,揭示其油气成藏机制。结果表明:龙凤山地区断陷层天然气属于腐殖型和腐泥型的混合气,且为裂解气和干酪根热降解气组成的混合气,油气源主要为本地的沙河子组烃源岩,原油成熟度低于天然气,为同一油源不同热演化阶段的产物,属于次生凝析气藏,成藏表现为“近源多向供烃,复合输导,早期干酪根热降解成气与晚期原油裂解成气”的多期成藏模式;长岭南部地区发育优质烃源岩、营城组末期形成的反转构造提供了圈闭条件,具备较好油气输导条件、存在多期油气充注,油气勘探潜力大。

关键词:天然气成因; 油源对比; 凝析油; 沙河子组; 长岭断陷; 松辽盆地

中图分类号:P 631.81 **文献标志码:**A

引用格式:李浩,陆建林,王保华,等.长岭断陷南部地区断陷层油气成藏机制及勘探潜力[J].中国石油大学学报(自然科学版),2016,40(3):44-54.

LI Hao, LU Jianlin, WANG Baohua, et al. Reservoir-forming mechanism and its exploration potential of Songliao Basin in the southern area of Changling Depression[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2016,40(3):44-54.

Reservoir-forming mechanism and its exploration potential of Songliao Basin in the southern area of Changling Depression

LI Hao¹, LU Jianlin¹, WANG Baohua¹, ZUO Zongxin¹, LI Ruilei², ZHU Jianfeng², SHEN Zhijie³

(1. Wuxi Petroleum Geology Research Institute of SINOPEC, Wuxi 214126, China;

2. Exploration and Development Research Institute, Northeast Oil & Gas Branch, SINOPEC, Changchun 130062, China;

3. The Fourth Oil Production Plant, PetroChina Huabei Oilfield Company, Langfang 065000, China)

Abstract: The hydrocarbon genesis and reservoir-forming of Longfengshan in the southern Changling Depression was investigated using the geochemical characteristics of natural gas composition, light hydrocarbon fingerprint, carbon isotopes and biomarker, as well as the reservoir fluid inclusion. Also the geological condition and hydrocarbon generation-thermal histories were combined to study the reservoir-forming mechanism. The results show that the genesis of gas in Longfengshan sub-sag is a gas mixture composed of humic and sapropelic gas which consists of oil cracked gas and kerogen thermal degradation gas. It is also found that the natural gas and condensate of reservoir is mainly K₁sh Formation source rock, in which the maturity of oil is lower than that of natural gas. This is the product of different thermal evolution stages of the same oil source, which belongs to the secondary condensate reservoir. The reservoir-forming exhibits the multi-stage reservoir model of "single source for hydrocarbon, multi-type carrier system and early kerogen catalyzed gas accumulation and late oil cracked gas accumulation". The developed excellent source rocks and the formed tectonic inversion in the southern Changling Depression supply trap conditions, which present good fluid transporting conditions and multi-period hydrocarbon accumulation showing great

potential for oil and gas exploration.

Keywords: natural gas origin; oil-source correlation; condensate; K₁sh Formation; Changling Depression; Songliao Basin

长岭断陷南部地区包括长岭南次凹(又称龙凤山次凹) 和东岭斜坡带。由于断陷层(登娄库组以下地层) 构造演化特征及充填模式的复杂性, 长期以来长岭南部龙凤山地区油气勘探一直处于停滞状态, 所钻 10 余口探井多为失利井。近两年来, 随着北 2 井和北 201 井的发现, 长岭南部龙凤山地区油气勘探有所突破, 但目前对其断陷层成藏研究较少, 油气成藏机制问题尚不清楚^[1-6]。笔者根据天然气组成、碳同位素、轻烃指纹和规则甾烷以及储层流体包裹体等地球化学特征, 结合长岭断陷地质背景以

及生烃史—热史模拟研究龙凤山地区的油气成因及成藏过程, 揭示其油气成藏机制和成藏模式。

1 地质背景及油气源条件

长岭断陷位于松辽盆地南部的中央凹陷区, 为一个 NNE 走向的断凹相间的典型断陷盆地(图 1 (a))。断陷层由西至东分别为苏公坨—北正镇断阶带、长岭次凹、达尔罕断凸带、前神字—查干花次凹、大老爷府—双坨子凸起带和伏龙泉次凹, 整体呈“三凸三凹”的构造格局。

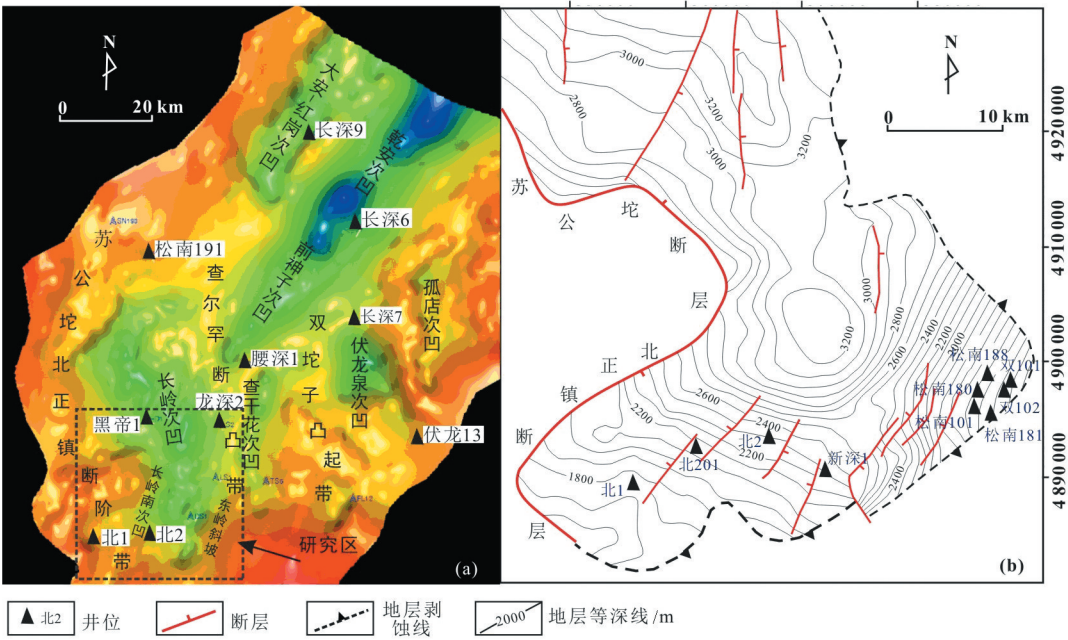


图 1 长岭南次凹构造位置及其沙河子组顶面构造等 T0 图

Fig. 1 Time structure map of K₁sh Formation in southern Changling sub-sag and show location of Changling sub-sag

长岭断陷南部地区区域上受控于南部的苏公坨—北正镇断层等边界断层, 形成西断东超的箕状断陷结构(图 1(b)) , 大致经历了初始断陷期(火石岭期) 、强烈断陷期(沙河子期和营城期) 和断拗萎缩期(登娄库期) 。该区断陷层主力烃源岩主要分布在沙河子组顶部, 是一套湖沼相沉积的灰黑色泥岩, 该套烃源岩主要发育于沙河子组顶部, 沉积中心位于北 2 井(B2) 北部附近地区, 暗色泥岩呈东西向展布, 厚度在 100 ~ 400 m, 泥地比约 30% ~ 60% , 总

碳含量 $w(\text{TOC})$ 一般为 0.6% ~ 4.0% , 有机质类型主要为 II 型, 高熟—过成熟, 以好烃源岩为主。此外, 营城组为该区一套重要烃源岩, 钻井揭示龙凤山内斜坡暗色泥岩较发育, 厚度 170 ~ 208 m, 泥地比 35% ~ 45% , 东岭斜坡带营城组暗色泥岩相对欠发育, 厚度一般小于 200 m, 泥地比一般为 10% ~ 30% , $w(\text{TOC})$ 一般小于 1% , R_o 一般小于 1.5% , 以差—中等烃源岩为主(图 2 和表 1) 。

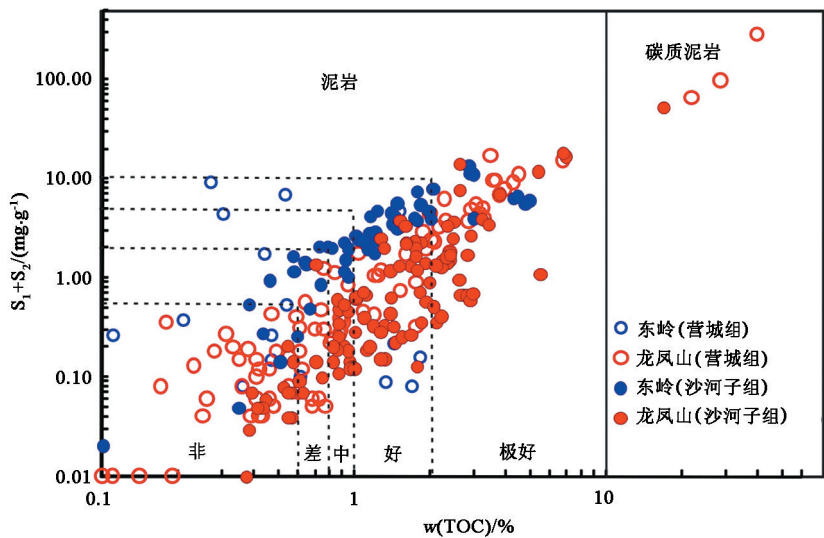


图 2 长岭次凹南部地区断陷层系烃源岩 TOC 与 S_1+S_2 关系

Fig. 2 $w(\text{TOC})-S_1+S_2$ crossplot of two major source rocks from $K_1\text{sh}$ Formation and $K_1\text{yc}$ Formation in southern area of Changling Depression

表 1 长岭断陷南部地区断陷层的烃源岩地化参数统计

Table 1 Geochemical parameters statistics of two major source rocks from $K_1\text{sh}$ Formation and $K_1\text{yc}$ Formation in southern area of Changling Depression

构造位置	井位	层位	暗泥厚度/m	暗地比/%	范围均值(个数)		有机质类型
					$w(\text{TOC})/\%$	$R_o/\%$	
龙凤山地区	北 2	沙河子组	248	62	0.9~3.0 2.1(13)	2.0~2.5 2.1(9)	Ⅱ
		营城组	184	35	0.1~1.8 0.4(13)	1.9~2.1 2.0(2)	Ⅱ ₂ -Ⅲ
	北 201	沙河子组	299	54	0.9~2.8 1.6(12)	1.3(1)	Ⅱ ₂
		营城组	349	50	0.1~1.8 0.8(33)	1.0~1.6 1.3(3)	Ⅱ ₂ -Ⅲ
	北 1	沙河子组	344	49	2.5~7.0 4.2(5)	—	Ⅲ
		营城组	177	45	1.3~3.7 2.2(9)	0.7~1.1 0.8(8)	Ⅱ
	新深 1	沙河子组	208	37	1.5~2.0 1.8(4)	2.0(4)	Ⅱ-Ⅲ
	松南 101	营城组	216	34	0.1~0.8 0.4(3)	1.3~1.6 1.5(3)	Ⅱ ₁
东岭地区	双 103	沙河子组	257	59	1.2~3.0 1.8(10)	1.2(2)	Ⅱ ₁
		营城组	70	18	0.3~1.5 0.6(12)	—	Ⅱ ₁
	松南 187	沙河子组	183	49	0.7~1.4 1.1(6)	1.6(4)	Ⅱ ₁
		营城组	75	20	0.5(1)	—	Ⅱ ₁
	松南 188	沙河子组	70	45	0.3~5.0 2.0(5)	0.7~0.8 0.8(5)	Ⅱ ₁

注: $\frac{a}{b(n)}$ 形式中, a 为范围; b 为均值; n 为个数。

2 天然气与凝析油来源分析

2.1 凝析油来源

2.1.1 利用甾烷特征判定油源

北2井沙河子组原油的甾烷原始构型(20R)化合物 $C_{27}-C_{28}-C_{29}$ 分布呈“L”形, $\alpha\alpha\alpha C_{27}$ 甾烷含量高于 C_{29} 甾烷,表明其母源有机质低等浮游生物较丰富,长岭南次洼沙河子组烃源岩规则甾烷分布多呈“L”型,少数呈“V”型(甾烷三角图中 C_{27} (20R)构型和 C_{29} (20R)构型相对含量接近),具有水生植物和高等植物混合来源,二者可对比;而该区营城组烃源岩的 C_{29} 甾烷相对比例较高,表明以高等植物输入为主,因此,从规则甾烷分布特征来看,北2井沙河子组凝析油与长岭南次洼沙河子组烃源岩表现出亲缘性,而与营城组烃源岩表现出非同源性(图3和图4)。

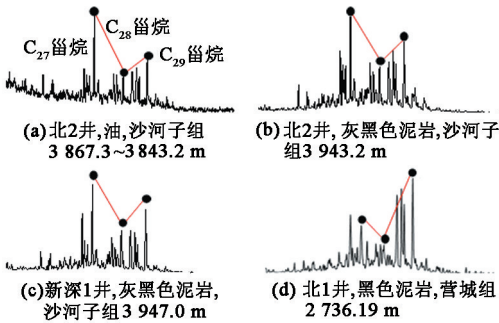


图3 长岭断陷龙凤山断陷层系原油及源岩的甾烷分布特征

Fig.3 Characteristics of the distribution of alkanes with crude oil and source rock at Longfengshan area of Changling depression

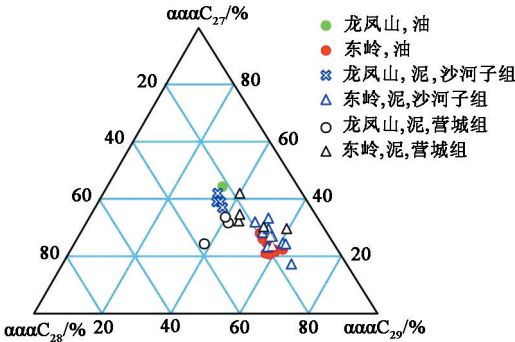


图4 长岭断陷南部地区断陷层样品的 C_{27} 、 C_{28} 和 C_{29} 三角图
Fig.4 Triangle graph among C_{27} , C_{28} and C_{29} of rock sample and oil sample in southern area of Changling Depression

2.1.2 利用沥青“A”组分碳同位素判定油源

一般而言,同源原油具有相近的沥青“A”组分

碳同位素值。图5中,龙凤山地区沙河子组原油(如B2井、B201井和B202井)与B2井沙河子组烃源岩样品的沥青“A”组分碳同位素值相差不大,而与B201井营城组烃源岩样品的沥青“A”组分碳同位素相差较大,表明龙凤山地区的断陷层凝析油与沙河子组烃源岩具有同源性,而与营城组烃源岩表现出非同源性。图中所示龙凤山地区原油饱和烃碳同位素较重,这可能与生物降解作用与成熟度影响有关。B2井原油质谱图中检测到25-降-藿烷系列(图6),表明原油受到强烈的生物降解作用,导致龙凤山地区原油饱和烃碳同位素变重。

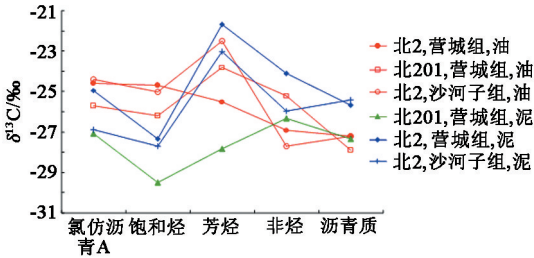


图5 长岭断陷南部龙凤山地区的油样与泥岩样的沥青“A”组分的碳同位素对比

Fig.5 Components of bitumen-A's carbon isotopes from shale samples and oil samples in Longfengshan area of Changling Depression

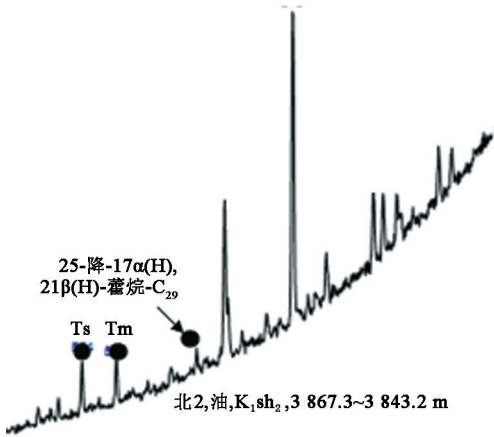


图6 北2井沙河子组原油中的25-降-藿烷分布特征
Fig.6 25-norhopanes in K_1sh Formation oil sample of well B2

与龙凤山地区凝析油相比,东岭地区断陷层系原油富集轻碳同位素,其碳同位素值偏低(图7),为 $-32.0\text{‰} \sim -28.6\text{‰}$,二者差别较大,表明龙凤山地区原油与东岭地区原油同源可能性较小。比较东岭地区原油与该区沙河子组和营城组烃源岩的沥青“A”及其组分的碳同位素连线特征,推测东岭地区原油可能为沙河子组和营城组的混源油。

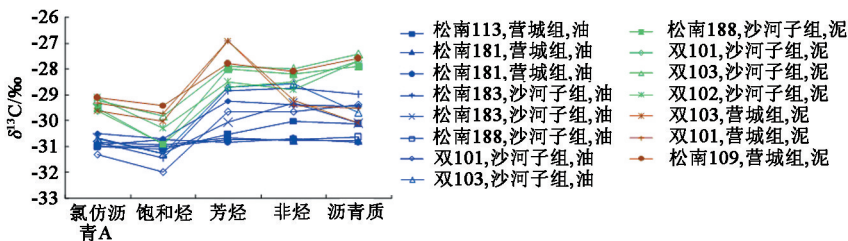


图 7 长岭断陷南部东岭地区原油及源岩的沥青“A”组分 $\delta^{13}\text{C}$ 对比

Fig. 7 Components of bitumen-A's carbon isotopes from shale samples and oil samples in Dongling area of Changling Depression

2.2 天然气成因

长岭断陷南部的龙凤山地区断陷层的天然气甲烷含量 83.4% ~ 93.3%, 均值 88.1%, 重烃气 (C_{2+}) 含量普遍较高, 一般大于 9%, CO_2 含量普遍极低, 不超过 1%, 干燥系数一般小于 15, 属于典型的湿气, 有别于查干花—腰英台地区的干气类型。烷烃

气组分及碳同位素组成是天然气成因研究的主要依据^[7-9]。龙凤山地区(以北 2 井为例)和东岭地区沙河子组天然气的有机烷烃气碳同位素系列均表现为随碳原子数的增加, 碳同位素值增加, 即 $\delta^{13}\text{C}_1 < \delta^{13}\text{C}_2 < \delta^{13}\text{C}_3 < \delta^{13}\text{C}_4$ 的正碳同位素系列(表 2 和图 8), 表明这些天然气均为有机成因气^[10]。

表 2 长岭断陷南部地区断陷层的天然气组分及碳同位素值数据

Table 2 Statistics of gas components and gaseous $\delta^{13}\text{C}$ of fault depression layers in southern area of Changling Depression

井号	深度/ m	层位	组分含量/%					碳同位素含量/‰				干燥 系数	类型
			CO_2	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	$n\text{C}_4\text{H}_{10}$	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	$n\text{C}_4\text{H}_{10}$		
北 2	3 867.3 ~ 3 843.2	K_1sh	0.92	83.42	5.68	1.71	0.46	-32.4	-21.4	-21.2	-19.8	8.9	湿气
北 201	3 379.0 ~ 3 419.0	K_1yc	0.04	79.64	11.76	3.69	0.74	-37.5	-26.5	-23.8	-24.7	4.7	湿气
北 201	3 141.0 ~ 3 167.0	K_1yc	0.06	79.91	10.00	3.93	1.80	-38.8	-27.8	-24.2	-25.7	4.6	湿气
松南 180	1 878.0 ~ 1 886.0	K_1d	0.29	90.91	5.59	1.71	0.44	-34.6	-27.9	-26.5	-25.6	10.3	湿气
松南 101	2 223.2 ~ 2 230.2	K_1sh	0.69	89.83	6.06	1.82	0.47	-35.3	-27.5	-26.7	-25.9	9.5	湿气
松南 116	2 506.0 ~ 2 519.0	K_1sh	0.28	93.27	3.90	1.28	0.36	-33.2	-26.2	-25.4	-24.9	14.8	湿气
松南 184	2 546.0 ~ 2 552.0	K_1sh	0.52	86.69	7.26	2.73	0.91	-36.8	-27.9	-27.2	-27.0	6.8	湿气
松南 187	2 346.0 ~ 2 438.0	K_1sh	0.12	89.40	6.80	1.78	0.46	-36.5	-28.2	-26.3	-26.9	8.5	湿气

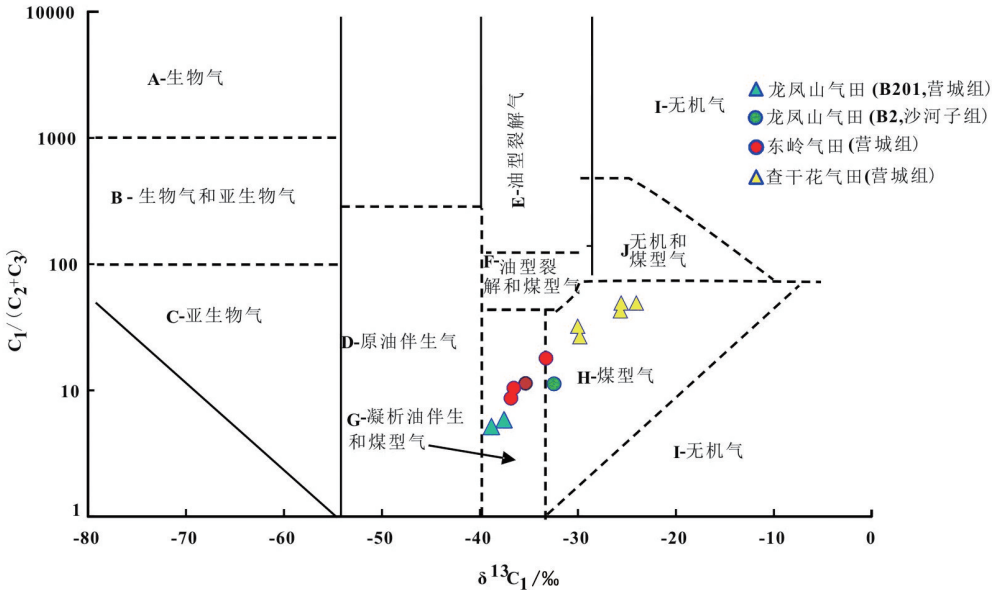


图 8 长岭断陷天然气 $\delta^{13}\text{C}_1 - \text{C}_1/(\text{C}_2 + \text{C}_3)$ 关系图版(戴金星图版)

Fig. 8 "Dai jinxing" graph about $\delta^{13}\text{C}_1 \sim \delta^{13}\text{C}_2$ of gas in Changling Depression

一般而言,腐殖型天然气的烷烃气碳同位素值高于腐泥型天然气。根据戴金星的天然气 $\delta^{13}\text{C}_1 \sim \delta^{13}\text{C}_2$ 关系图版^[11],龙凤山天然气样品主要为凝析油伴生气和腐殖型气(图 8)。Lorant 通过研究 II 型干酪根在无水封闭体系下的动力学模型,应用乙烷和丙烷的同位素差值与乙烷和丙烷体积分数差值的关系研究天然气是干酪根热解成因还是油裂解成因^[12-13]。长岭断陷南部地区的沙河子组烃源岩干酪根类型以 II 型为主,因此“Lorant”图版适用于本区的天然气成因分析。从图 9 中可以看出北 2 井落在裂解气和干酪根降解气交界区域,因此,龙凤山地区的沙河子组天然气可能为裂解气和干酪根热降解气组成的混合气,而东岭地区以裂解气为主。

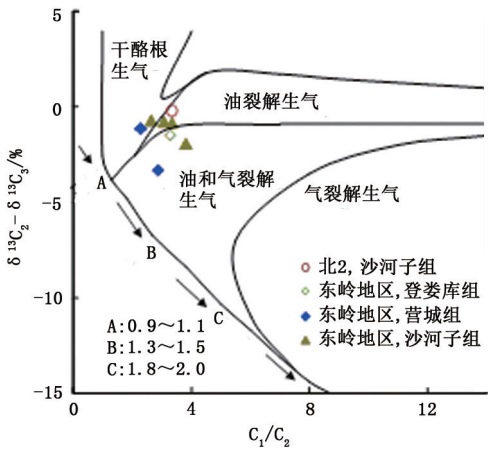


图 9 长岭断陷南部地区断陷层天然气同位素和组分的“Lorant”图版

Fig. 9 "Lorant" graph about isotope and component of gas in fault depression layers, southern area of Changling Depression

2.3 天然气来源

2.3.1 利用烷烃气碳同位素判定气源

由图 10 看出,东岭地区天然气中的烷烃气碳同位素值相近,分别为 $-41.1\text{‰} \sim -33.2\text{‰}$ 、 $-30.8\text{‰} \sim -26.2\text{‰}$ 、 $-27.5\text{‰} \sim -25.4\text{‰}$ 和 $-27.4\text{‰} \sim -24.9\text{‰}$;北 2 井天然气的 $\delta^{13}\text{C}_1$ 为 -32.4‰ 、 $\delta^{13}\text{C}_2$ 为 -21.4‰ 、 $\delta^{13}\text{C}_3$ 为 -21.2‰ 、 $\delta^{13}\text{C}_4$ 为 -19.8‰ 。整体上,同一烷烃气的碳同位素值北 2 井的天然气较东岭地区的重,因此北 2 井沙河子组的天然气与东岭地区的天然气可能非同源,也可能是同源不同演化阶段的产物。

2.3.2 利用轻烃指纹判定气源

轻烃中的 C_7 系列常用于气源对比。轻烃中的甲基环己烷热力学性质相对稳定,主要来源于陆源

的高等植物,二甲基环戊烷主要来自于水生生物,正庚烷主要来自藻类和细菌,对成熟度作用十分敏感,是良好的成熟度指标。北 2 井天然气和凝析油具有相似的轻烃指纹,均具有较高相对含量的甲基环己烷和低相对含量的正庚烷,与东岭地区的油气有所不同(图 11 和图 12)。这表明北 2 井沙河子组天然气和凝析油同源,均来自本地沙河子组烃源岩,而与东岭地区油气表现一定的差异。

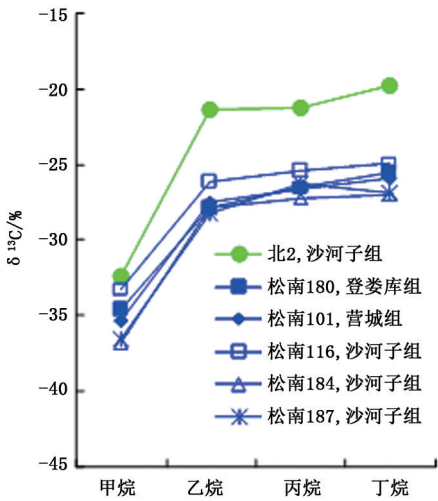


图 10 长岭断陷南部地区断陷层天然气碳同位素连线

Fig. 10 Gas isotope series connection diagram in fault depression layers, southern area of Changling Depression

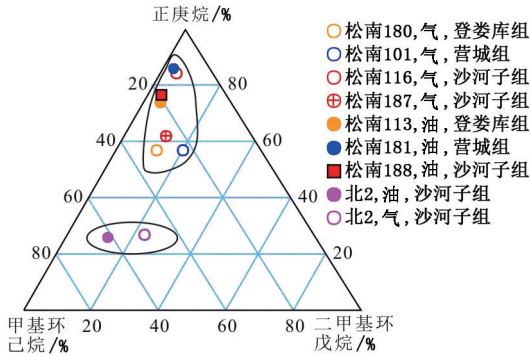


图 11 长岭南次凹与东岭地区沙河子组凝析油与天然气的轻烃 C_7 系列组成特征

Fig. 11 Triangle graph among C_{27} , C_{28} and C_{29} of rock sample and oil sample of K_1sh Formation in southern area of Changling Depression and Dongling area

轻烃参数能反映凝析油和天然气的成熟度。一般而言,成熟度越高,甲基环己烷的含量越低,庚烷值越高。随着成熟度增加,甲基环己烷向正庚烷或甲基环戊烷转变,导致甲基环己烷指数变小、石蜡指数增大^[14]。从图 13 可知,考虑到组分分馏平衡的影响,龙凤山地区断陷层原油的成熟度可能低于天

然气的成熟度。

前已述及北 2 凝析气为腐殖型和腐泥型混合气。根据刘光耀(1989)所建的松辽盆地腐泥型气和腐殖型气的 $\delta^{13}\text{C}_1-R_o$ 关系方程,按腐泥型气和腐殖型气分别计算所得其成熟度 R_o 各为 1.8% 和

0.9%,因此北 2 井天然气成熟度在 0.9% ~ 1.8%。由于北 2 井原油的 $\text{C}_{20}\text{S}/(\text{20S} + \text{20R})$ 比值为 0.49,换算成对应 R_o 为 0.9%,由此认为北 2 井天然气和原油是同一油源不同热演化阶段的产物,属于次生凝析气藏^[15]。

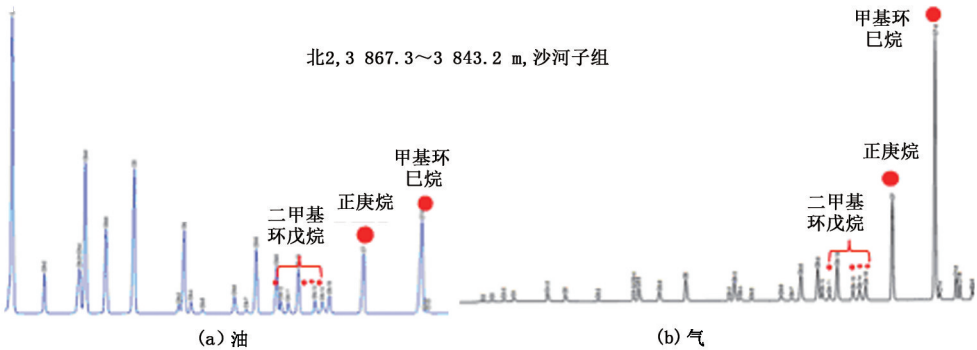


图 12 北 2 井沙河子组凝析油与天然气的轻烃图谱

Fig. 12 Light hydrocarbon atlas of K₁sh Formation condensate oil sample and gas samples from well B2 in southern area of Changling Depression

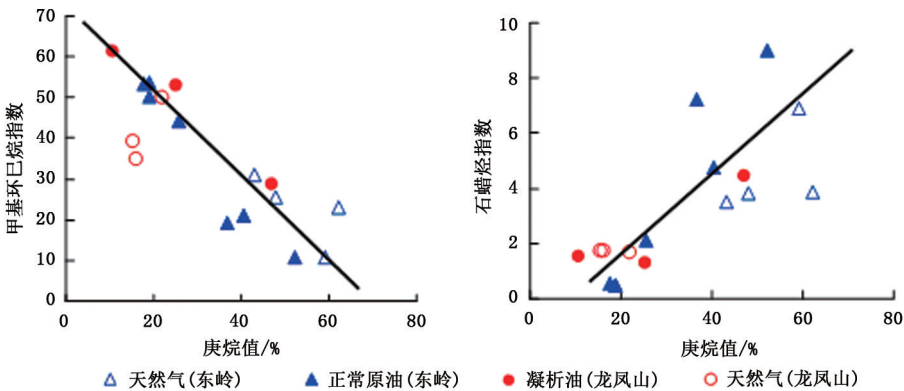


图 13 长岭断陷南部地区凝析油和天然气中甲基环己烷指数和石蜡指数与庚烷值的关系

Fig. 13 Relationship between methylcyclohexane indexes, paraffin indexes and the heptane values of condensate oil and gas samples from southern area of Changling Depression

3 凝析油气藏的成因机制探讨

(1)高成熟演化阶段中的偏腐泥型的陆源有机质有利于生成大量的天然气和轻质油,为凝析油气藏的形成提供充分的物质基础。油源对比表明长岭南次凹沙河子组为北 2 井凝析气藏的主要烃源层。该区沙河子组为偏腐泥型干酪根,有机质丰度较高,实测镜质体反射率 R_o 为 1.6% ~ 2.2%,北 2 井生烃史模拟表明(图 14),龙凤山地区沙河子组的偏腐泥型烃源岩在距今 98 ~ 88 Ma 时(R_o 为 1.2 % ~ 1.6%),处于干酪根裂解生湿气阶段;在 88 Ma 至今,对应 R_o 为 1.6 % ~ 2.2%,主要处于原油裂解生湿气阶段,后期以生甲烷为主。高成熟演化阶段中

的偏腐泥型的陆源有机质有利于生成大量的天然气和轻质油。

(2)具有“早期热降解成气与晚期原油裂解成气”的多阶成藏模式。北 201 井 3 397.84 m 处流体包裹体镜下特征显示沙河子组储层中发育较丰富的成岩流体包裹体(图 15,样品取自北 201 井,灰色荧光细砂岩,沙河子组,样品点深度 3 397.84 m),以气液两相盐水包裹体、气液两相烃包裹体和纯气相烃包裹体为主,其中与烃类包裹体共生的盐水包裹体主要沿两组石英颗粒次生裂隙呈带状分布,测得其均一温度分别为 110.2 ~ 120.5 ℃ 和 129.5 ~ 130.8 ℃ 两组,同时测得其对应的流体密度也有两组,分别为 0.951 ~ 0.984 和 0.934 g/cm³。从包裹体产状、

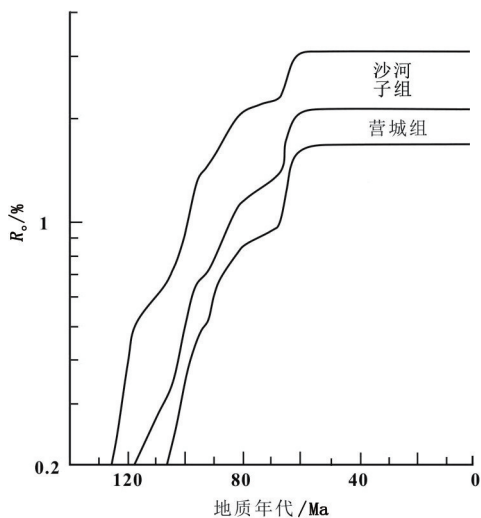


图 14 北 2 井沙河子组和营城组烃源岩的成熟度演化模拟曲线

Fig. 14 Maturity evolution history curves of two major source rocks from K_{1sh} Formation and K_{1yc} Formation of well B2 in southern area of Changling Depression

均一温度和流体密度分布来看,长岭断陷南部的龙凤山地区油气充注至少存在早晚两期。将测得的两组均一温度投点到北 201 井单井埋藏史——热史图上可知其成藏期为距今 94 ~ 92 Ma 和 84 Ma,分别对

应于泉头组沉积期和嫩江组末期(图 16 和图 17)。结合生烃史模拟结果,龙凤山地区凝析油成藏具有有早期热解成气与晚期原油裂解成气”的多阶成藏模式。

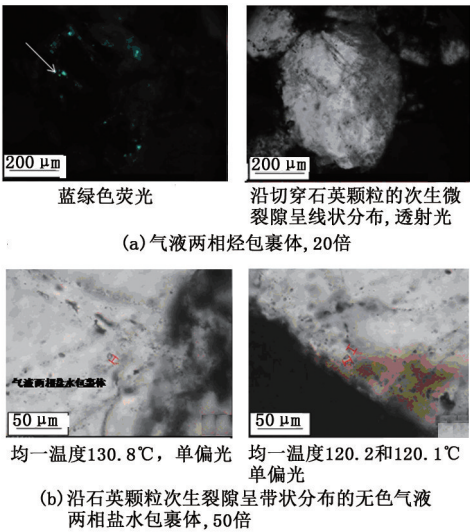


图 15 长岭次凹南部北 201 井沙河子组储层流体包裹体镜下特征

Fig. 15 Characteristic of reservoir fluid inclusion enclaves from well B201 in southern area of Changling depression

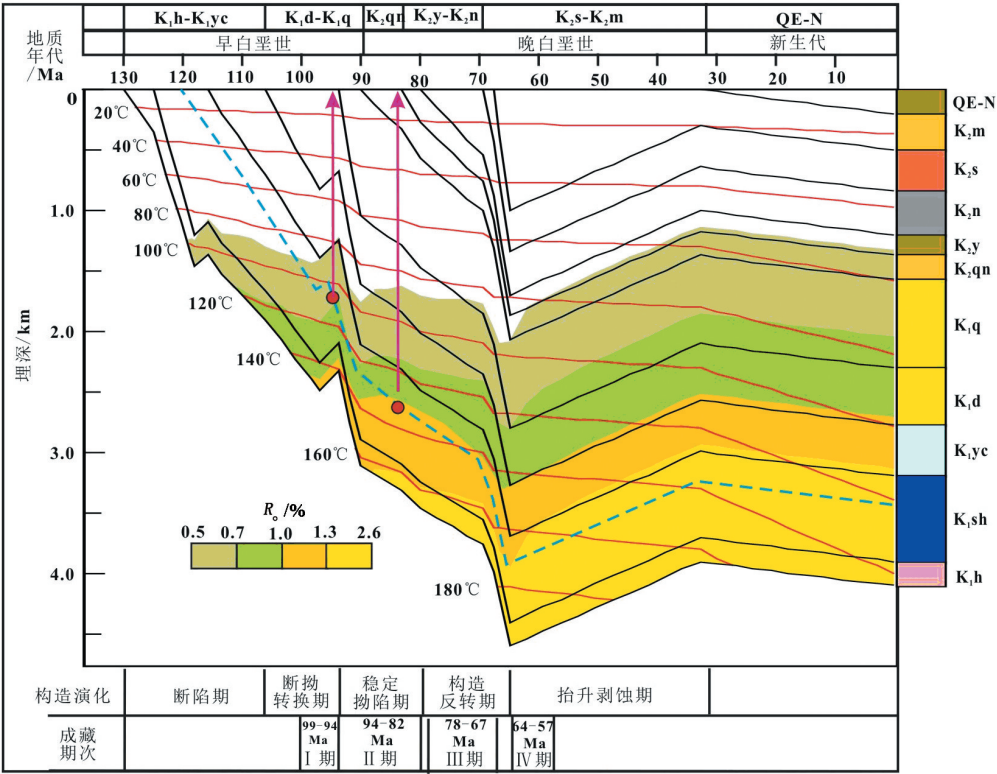


图 16 利用包裹体均一温度在 B201 井单井埋藏史图上确定成藏期

Fig. 16 Using homogeneous temperature of fluid inclusions to determine the reservoir-forming period from burial history graph of single well B201

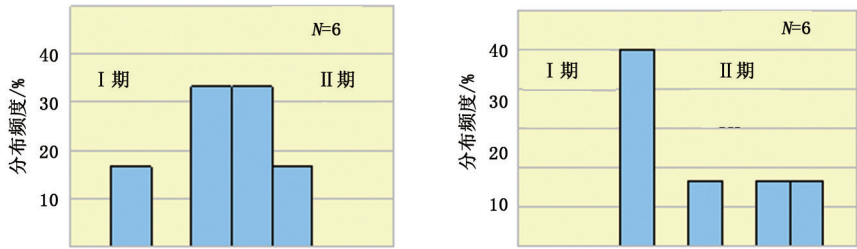


图 17 北 2 井沙河子组储层盐水包裹体均一温度与密度分布频率

Fig. 17 Frequency histograms of homogenization temperature and density of fluid inclusion from well B2

(3) 多期构造运动产生的断裂和不整合面为油气运移提供了良好输导层,上覆营城组中基性火山岩可作为良好的盖层。沙河子期——营城期为盆地断陷期,断陷期长岭断陷南部地区经历了多期构造运动,形成了系列 NNW 倾向的断层,它们沟通了长岭南次凹深部的沙河子组烃源岩;同时,沙河子组末期构造运动形成的 T_4^1 (沙河子组顶面) 不整合面也为油气提供了长距离侧向运移通道。泉头组沉积期,长岭南次洼沙河子组 II 型干酪根生成的油气一方面沿 T_4^1 不整合面侧向运移,一方面沿系列 NNW

倾向的断层垂向运移,多路油气运至北 2 断鼻高部位汇聚成藏;嫩江组末期部分液态原油发生裂解成气。上覆大套营一段安山岩,作为良好的盖层,有利于油气保存。

综上所述,长岭断陷南部的龙凤山地区断陷层凝析气藏属于“近源多向供烃,复合输导,早期热降解成气与晚期原油裂解成气”的多期成藏模式;而东岭地区断陷层的天然气成熟度高,主要为晚期原油裂解成气藏模式(图 18)。

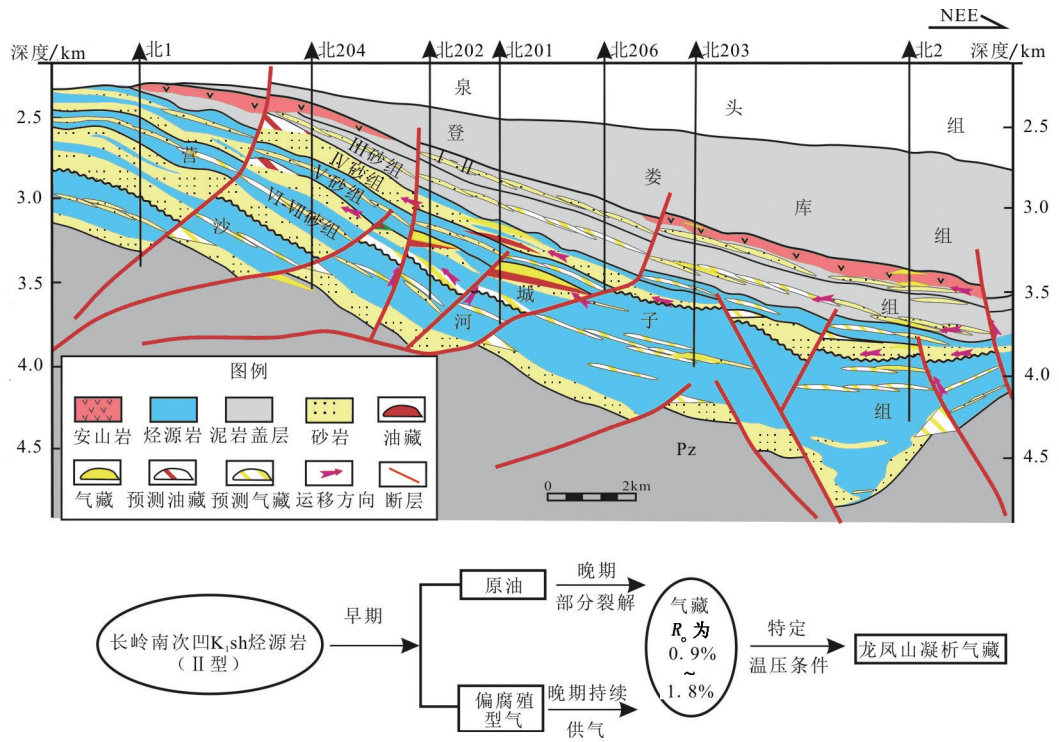


图 18 长岭断陷南部龙凤山地区油气成藏模式

Fig. 18 Hydrocarbon accumulation model in southern area of Changling Depression

4 勘探潜力分析

(1) 沙河子组顶部发育一套优质烃源岩,提供了优越的油源条件。长岭南部的龙凤山地区沙河子

组顶部发育一套辫状河三角洲和湖相的灰黑色泥岩夹煤层,北 2 井揭示该套黑色泥岩厚约 250 m,残留有机质丰度 w (TOC) 多大于 1%,有机质类型以 II 型为主,属于好烃源岩(图 2 与表 1)。这套优质烃

源岩发育于原始生产力中等、潮湿气候、低盐度、沉积速率较低的湖侵体系域和高位体系域早期,决定了这套优质烃源岩纵横分布的连续性,为长岭南部地区油气成藏提供了优越的油源条件。

(2)断裂、不整合面构成的三维网络输导体系为油气运移提供了良好的输导条件。断陷期,在边界断裂龙凤山—北正镇断裂强烈活动下,形成了众多的 NNW 倾向的伴生断层,并沟通沙河子组顶部的优质烃源岩,同时沙河子组末期构造运动形成了 T_4^1 不整合面。NNW 向的油源断层和 T_4^1 不整合面

构成的三维网络输导体系为本区油气运移提供了良好的输导条件。

(3)营城组末期时期形成的反转构造提供了圈闭条件。营城组沉积的末期存在一个短暂的挤压反转事件,造成部分剖面长度的缩短和长岭断陷南部局部地区的沙河子组地层发生挤压抬升剥蚀,营城组之前活动的同沉积正断层龙凤山断裂此时受到挤压而逆向活动形成负花转构造及反转背斜(图 19),为本区油气成藏提供了良好的圈闭条件。

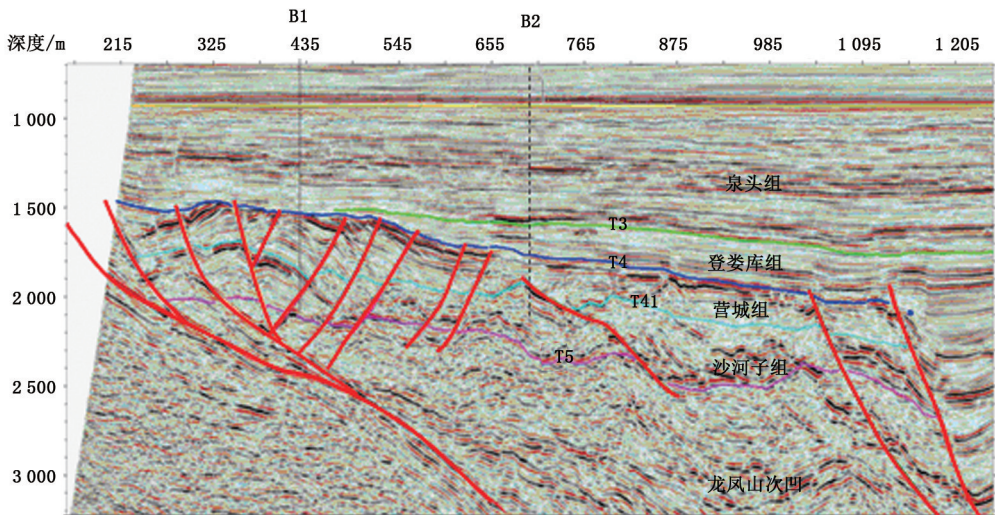


图 19 长岭断陷南部龙凤山地区测线 L396 地震解释剖面

Fig. 19 Profile interpretation of fractures in southern area of Changling Depression(Line396)

(4)优越的保存条件以及多期油气充注,有利于油气富集。本区营城组发育大套中基性火山岩,岩性主要为安山岩和玄武岩,厚约 40 ~ 150 m,锆石年龄为 110 ~ 116 Ma。同时成藏期研究表明本区存在至少两期油气充注,镜下见丰富的烃类包裹体也表明龙凤山地区发生过规模油气充注。优越的保存条件以及多期油气充注,为龙凤山地区油气富集创造了有利条件。

总之,长岭南部地区邻近优质烃源岩区、具备“断裂-不整合”复合型油气输导体系、较发育的反转构造圈闭和存在多期油气充注,油气勘探潜力大,将是重要的油气增储地区。

5 结 论

(1)长岭断陷南部的龙凤山地区断陷层天然气主要为腐殖型气,部分为腐泥型气,表现为油裂解气和干酪根热降解气组成的混合,主要来自本地的沙河子组烃源岩,为同一油源不同热演化阶段的产物,属于次生凝析气藏,其成藏表现为“近源多向供烃,

复合输导,早期热降解成气与晚期原油裂解成气”的多期成藏模式。

(2)发育优质烃源岩、营城组末期发生的构造反转运动形成的反转构造提供了圈闭条件,具备较好油气输导条件、存在多期油气充注,表明长岭南部地区油气勘探潜力大。

参考文献:

[1] 胥灵,张枝焕,黄军平,等. 松辽盆地长岭断陷天然气地球化学特征及气源分析[J]. 天然气地球化学, 2010,21(2):331-337.
ZAN Ling, ZHANG Zhihuan, HUANG Junping, et al. Geochemical characteristics of natural gas and its origin in Changling Fault Depression of Songliao Basin, Northeastern China[J]. Natural Gas Geoscience, 2010,21(2): 331-337.
[2] 杨光,张梦林,王建强. 长岭断陷有机烃类气成因[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2011,41(增1):40-46.
YANG Guang, ZHANG Menglin, WANG Jianqiang, et al. Origin of deep-seated organic hydrocarbon gas in

- Changling Fault Depression[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2011, 41(sup1): 40-46.
- [3] 吴聿元, 咎灵, 黄军平, 等. 松辽盆地长岭断陷老英台——达尔罕凸起 CO₂ 分布特征及成因分析[J]. 石油实验地质, 2009, 31(3): 237-243.
- WU Yuyuan, ZAN Ling, HUANG Junping, et al. Distribution characteristics and genesis of CO₂ in the Laoyingtai-daerhan uplift, the Changling Fault Sag, the Songliao Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2009, 31(3): 237-243.
- [4] 李晓锋, 彭仕宓, 邵明礼, 等. 松辽盆地深层天然气成因分析及气源对比——以长岭断陷长深 1 区块营城组气藏为例[J]. 天然气工业, 2009, 29(11): 5-8.
- LI Xiaofeng, PENG Shimi, SHAO Mingli, et al. Origin and gas-source correlation of the deep gas in the Songliao Basin: a case study of the Yingcheng Formation gas reservoir in Changshen-1 Block of Changling Fault Depression[J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(11): 5-8.
- [5] 周荔青, 雷一心, 王红燕. 松辽盆地长岭断陷无机与有机油气共生成藏组合类型及分布规律[J]. 石油实验地质, 2009, 31(4): 324-328.
- ZHOU Liqing, LEI Yixin, WANG Hongyan. Play types and distribution features of coexistence of organic and abiogenic hydrocarbon in the Changling Faulted Depression of Songliao Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2009, 31(4): 324-328.
- [6] 谢忱, 胡纯心. 松辽盆地长岭断陷南部天然气成藏与富集特征[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(3): 381-385.
- XIE Chen, HU Chunxin. Gas accumulations and distribution features in the south of the Changling Fault Depression in the Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(3): 381-385.
- [7] 戴金星. 天然气碳氢同位素特征和各类型天然气类型鉴别[J]. 天然气地球科学, 1993(2/3): 1-40.
- DAI Jinxing. Characteristics of carbon-hydrogen isotopes of natural gases gas and natural gas type identification[J]. Natural Gas Geoscience, 1993(2/3): 1-40.
- [8] 张同伟, 王先彬, 陈践发, 等. 鄂尔多斯盆地酸解烃碳同位素组成与气源对比[J]. 科学通报, 1996, 41(3): 242-244.
- ZHANG Tongwei, WANG Xianbin, CHEN Jianfa, et al. Characteristics of carbon isotope composition from acidolysis hydrocarbon and natural gas and correlation of gas source rocks in Ordos Basin[J]. Chinese Science Bulletin, 1996, 41(3): 242-244.
- [9] 戴金星, 夏新宇, 秦胜飞, 等. 中国有机烷烃气碳同位素系列转的成因[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(1): 1-6.
- DAI Jinxing, XIA Xinyu, QIN Shengfei, et al. Causation of partly reversed orders of $\delta^{13}\text{C}$ in biogenic alkane gas in China[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(1): 1-6.
- [10] 戴金星. 各类烷烃气的鉴别[J]. 中国科学(B 辑), 1992(2): 187-193.
- DAI Jinxing. Identification of various types of alkane gases[J]. Science in China(ser B), 1992(2): 187-193.
- [11] 侯读杰, 张林晔. 实用油气地球化学图鉴[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003.
- [12] LORANT F, PRINZHOFER A, BEHAR F, et al. Carbon isotopic and molecular constraints on the formation and the expulsion of thermogenic hydrocarbon gases[J]. Chemical Geology, 1998, 147(3/4): 249-264.
- [13] PRINZHOFER A, EUGENIO V, BATTANI A. Coupled use of carbon isotopes and noble gas isotopes in the Potiguar basin(Brazil): fluids migration and mantle influence[J]. Marine and Petroleum Geology, 2010, 27(6): 1273-1284.
- [14] 张云献, 沈忠民, 王英, 等. 成熟凝析油色-质谱分析及在石油地质中的应用[J]. 石油实验地质, 2007, 29(5): 516-521.
- ZHANG Yunxian, SHEN Zhongmin, WANG Ying, et al. Gc-ms analysis of mature condensate oil and its application in petroleum geology[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2007, 29(5): 516-21.
- [15] 李小地. 凝析气藏的成因类型与成藏模式[J]. 地质论评, 1998, 44(2): 200-206.
- LI Xiaodi. Genetical types and formation model of condensate gas pools[J]. Geological Review, 1998, 44(2): 200-206.

(编辑 刘为清)