

松辽盆地长岭断陷伏龙泉地区 油气源及成藏特征分析

徐文¹, 李浩², 陈延哲¹

(1. 中国石化 东北油气分公司 勘探开发研究院, 长春 130062;

2. 中国石化 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214126)

摘要: 利用天然气组成、轻烃、碳同位素和生物标志化合物等地球化学特征, 结合地质条件, 确定了松辽盆地长岭断陷伏龙泉地区油气成因及来源, 建立了研究区不同构造带的油气成藏模式。研究表明, 伏龙泉地区泉头组—登娄库组天然气以煤型气和凝析油伴生气为主, 油气源主要为下部断陷层下白垩统沙河子组烃源岩, 营城组和火石岭组烃源岩有部分贡献; 不同构造带油气成藏存在差异, 陡坡带主要为深大断裂控制下的次生油气藏成藏模式, 具有“近源、深大断裂输导、后期强烈反转调整”的成藏特征, 缓坡带主要为侧向运移的原生油气成藏模式。研究区下白垩统发育多套烃源岩、“Y”型断裂以及多个区域不整合面构成的三维网络输导体系, 油气源条件与输导条件良好, 同时嫩江组沉积末期强烈的构造反转运动形成的反转构造, 提供了较有利的圈闭条件, 具有一定的油气勘探潜力。

关键词: 天然气成因; 油气源对比; 成藏模式; 勘探潜力; 长岭断陷; 松辽盆地

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

Oil and gas source and reservoir characteristics in Fulongquan Subsag, Changling Depression, Songliao Basin

Xu Wen¹, Li Hao², Chen Yanzhe¹

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

2. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214126, China)

Abstract: Oil and gas genesis and accumulation patterns in different tectonic zones in the Fulongquan Subsag, Changling Depression, Songliao Basin, were determined according to natural gas composition, light hydrocarbon, carbon isotope, biomarker compounds and geologic conditions. The natural gas in the Quantou (K_1q) and Denglouku (K_1d) formations are mainly coal gas and condensate oil associated gas, mainly sourced from the Lower Cretaceous Shahezi Formation (K_1sh) and partially from the Yingcheng (K_1yc) and Huoshiling (K_1h) formations. There are two reservoir-forming modes: One is the reservoir formation model of secondary oil and gas reservoirs under deep fault control, and has the characteristics of “near source, deep fault transmission and strong reversal adjustment” in the steep slope zone; the other is the lateral migration oil and gas accumulation model in the gentle slope zone. In the Fulongquan area, the oil and gas source conditions and the transport conditions are favorable. The Lower Cretaceous strata include three sets of source rocks and a reticular transport system which consisted of Y-type faults and multiple regional unconformities. The strong tectonic inversion at the end of the Nenjiang Formation formed a large number of inversion structures, which provided a favorable trapping condition. Therefore, the Fulongquan area has some potential for oil and gas exploration.

Key words: natural gas origin; oil or gas-source correlation; reservoir-forming pattern; hydrocarbon exploration potential; Changling Depression; Songliao Basin

长岭断陷位于松辽盆地南部的中央坳陷区, 是一个北北东走向的断凹相间的典型断陷盆地群; 由西向东分别是苏公坨—北正镇断阶带、长岭次凹、

查干花断凸带、前神子—查干花次凹、双坨子凸起带和伏龙泉次凹陷, 总体呈现“三凸三凹”的构造格局^[1]。伏龙泉地区位于长岭断陷东部, 受控于

东部控凹断裂——伏龙泉断裂,形成东断西超的断陷结构。(图1)。研究区大致经历了5个构造演化阶段,分别是火石岭期的初始断陷期、沙河子到营城期的强烈断陷期、登娄库期的断拗转换期、泉头至姚家期的稳定拗陷期、嫩江至明水期的强烈反转隆升剥蚀期。后期遭受强烈反转隆升剥蚀以及火山岩充填作用较弱是伏龙泉地区不同于长岭断陷其他地区的两大特色。研究区发育2套成藏组合,分别是中浅层的拗陷层成藏组合和深层断陷层成藏组合,其中前者主要指登娄库组(K_1d)及其以上地层,既产气也产油,产层主要分布在泉头组(K_1q),其次为登娄库组;后者主要指营城组(K_1yc)及其以下地层,以产气为主,产气层主要为营城组。目前该地区油气来源、成藏模式尚不清楚。本文通过天然气组成、碳同位素、轻烃和生物标志化合物等地球化学特征,分析油气成因及来源,在此基础上,结合成藏条件分析,建立研究区不同构造带油气成藏模式,分析油气勘探潜力。

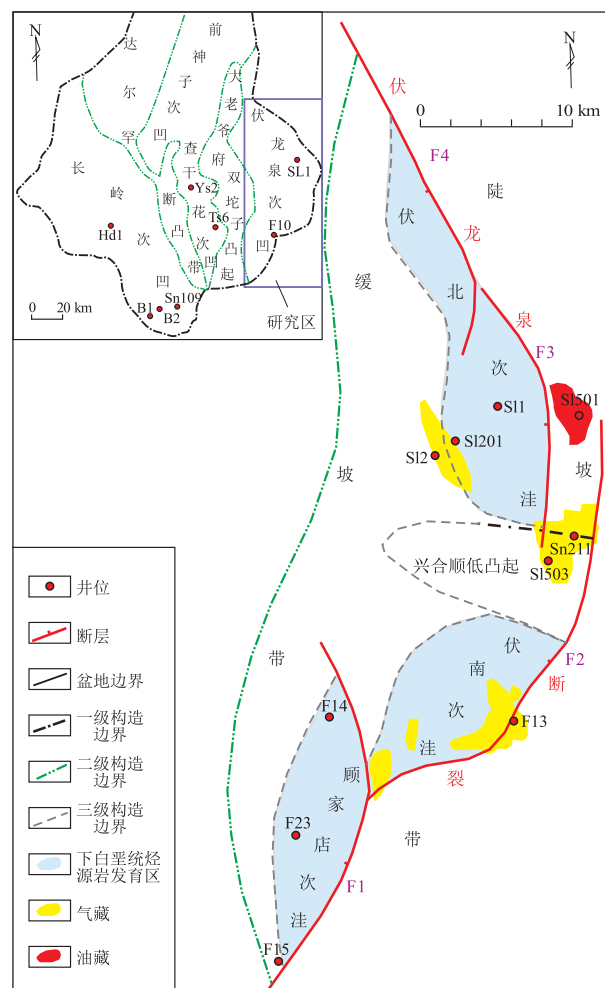


图1 松辽盆地长岭断陷伏龙泉地区构造位置

Fig.1 Tectonic location of Fulongquan area, Changling Depression, Songliao Basin

1 油(气)源条件

伏龙泉地区发育多套烃源岩,主要的烃源岩层系为沙河子组(K_1sh)和火石岭组(K_1h),其次为营城组。火石岭组多为很好烃源岩,岩性主要为黑色泥岩,有机碳含量(TOC)为0.7%~3.9%,均值2.5%,热解 S_1+S_2 为0.04~0.88 mg/g,均值0.22 mg/g,Ⅲ型,过熟烃源岩,生气为主,暗地比均值约45%,暗色泥岩厚度钻井揭示40~160 m。沙河子组基本为好及很好烃源岩,岩性主要为黑色泥岩和灰黑色泥岩,TOC均值一般大于1.5%,热解 S_1+S_2 为0.02~1.63 mg/g,均值0.34 mg/g,以Ⅲ型、高成熟—过熟为主,主要生气,而且该段烃源岩分布较广,暗地比一般大于55%,暗色泥岩厚度较大,钻井揭示暗色泥岩厚度一般在200 m以上。营城组烃源岩包括营一段、营二段和营三段,有机质丰度非均质性较强,差到好烃源岩均有发育;TOC为0.1%~3.0%,均值0.7%,热解 S_1+S_2 为0.01~0.55 mg/g,均值0.22 mg/g,Ⅲ型、高成熟为主,以生湿气和凝析油为主,钻井揭示各段暗地比45%左右,暗色泥岩厚度20~150 m之间(图2,表1)。

2 油气来源分析

2.1 天然气成因鉴定

2.1.1 天然气组分与碳同位素特征

伏龙泉气田以烃类气体为主,非烃气体含量一般小于5%,在烃类气体中天然气甲烷含量一般超过90%,泉头组天然气甲烷含量更高,多达到95%,重烃气体(C_{2+})含量较低,一般小于3%,干燥系数一般小于30,属于典型的干气(表2)。

天然气碳同位素是判定天然气成因的重要参数之一^[2-5]。伏北地区FK20-4井和FK17井泉头组天然气样品甲烷、乙烷、丙烷和丁烷的碳同位素值均为正常序列($\delta^{13}C_1 < \delta^{13}C_2 < \delta^{13}C_3 < \delta^{13}C_4$),表明为有机成因气^[6];而伏北地区SL501登娄库组天然气样品甲烷、乙烷、丙烷和丁烷的碳同位素值分别为-26.2‰, -27.7‰, -26.5‰, -25.4‰,天然气碳同位素为部分倒转序列($\delta^{13}C_1 > \delta^{13}C_2 < \delta^{13}C_3 < \delta^{13}C_4$),表明为混合成因气或混源气;伏南地区的拗陷层和断陷层气藏的气体组分碳同位素连线基本上为正常序列,反映其为有机成因(表2,图3)。

2.1.2 利用组分碳同位素判识天然气成因

天然气成因类型有多种划分方案,按照有机质类型划分为煤型气和油型气,按热演化程度划分为生物气、亚生物气、热解气和裂解气。由于有机质母质类型不同,其碳同位素组成也有所不同,同时

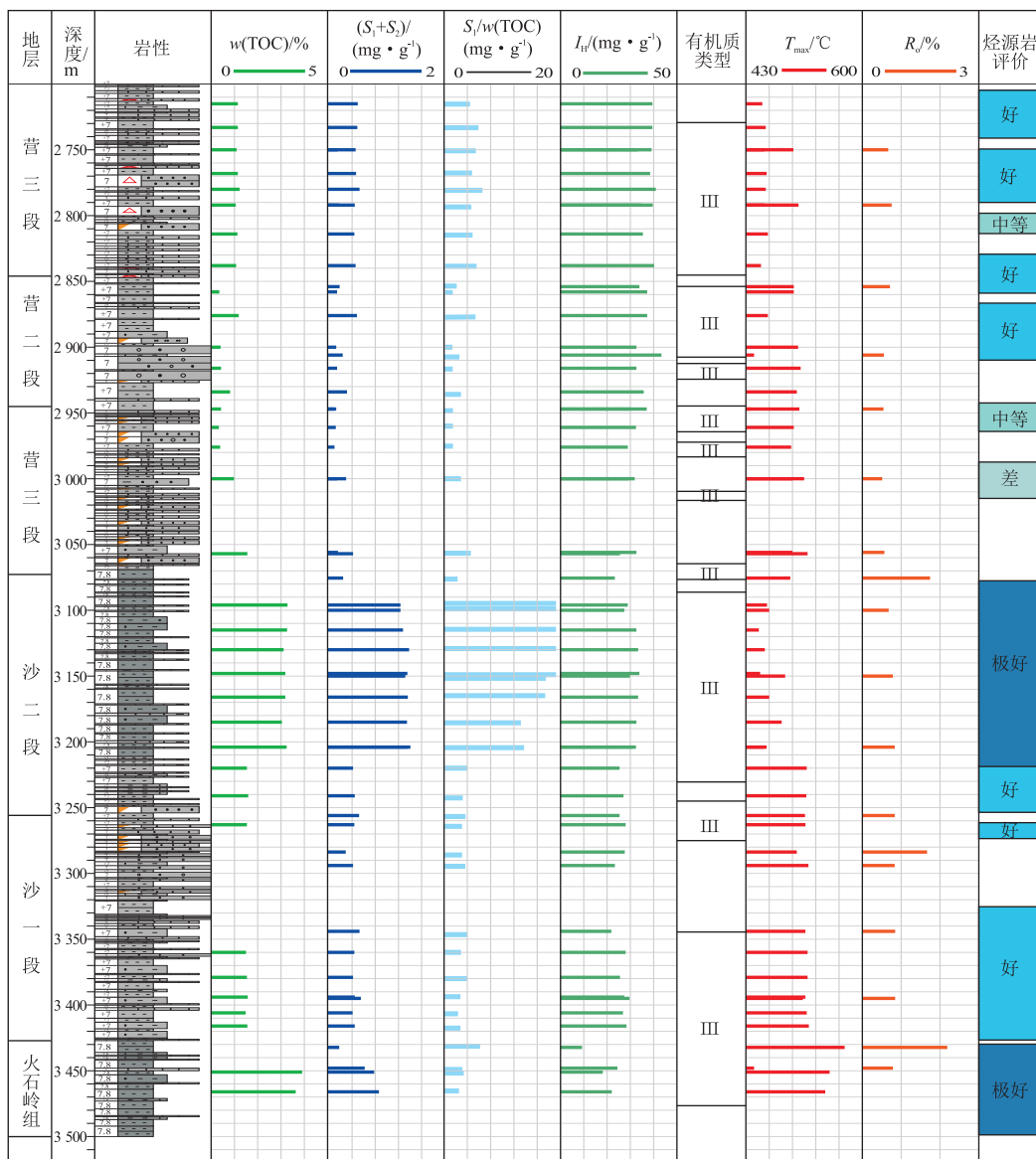


图 2 松辽盆地长岭断陷伏龙泉地区 SL3 井烃源岩综合评价

Fig.2 Comprehensive evaluation of source rocks in well SL3, Fulongquan area, Changling Depression, Songliao Basin

表 1 松辽盆地长岭断陷伏龙泉地区下白垩统烃源岩特征统计

Table 1 Characteristics of source rocks in Lower Cretaceous Fulongquan Formation, Fulongquan area, Changling Depression, Songliao Basin

层位	主要岩性	w(ToC)/%	Ro/%	类型	暗地比/%	暗泥厚度/m	分布
营三段	灰色泥岩	0.3~1.8/0.8(25)	1.2~1.7/1.5(4)	Ⅲ	44	6~150	广
营二段	深灰色泥岩	0.1~3.0/0.6(28)	1.9(1)	Ⅲ	50	20~80	广
营一段	灰色泥岩	0.3~1.6/0.7(24)	1.9(1)	Ⅲ	43	25~90	局部
沙二段	黑色泥岩	0.2~3.3/1.5(72)	1.6~2.0/1.9(10)	Ⅲ	57	100~290	广
沙一段	黑色泥岩	0.8~2.5/1.7(48)	1.3~2.5/2.0(5)	Ⅲ	50	50~150	广
火石岭组	灰黑色泥岩	0.7~3.9/2.5(19)		Ⅲ	45	40~160	局部

注:表中数字意义为“最小值~最大值/均值(样品数)”。

由于热力作用以及运移作用等导致同位素分馏,造成不同成因的天然气碳同位素组成的不同,因此天然气组成及其组分碳同位素常作为天然气成因判别的有效指标^[7-9]。

图 4 是根据甲烷碳同位素与 $C_1/(C_2+C_3)$ 的关系来判定天然气成因^[10]。由图 4 可知,伏北和伏南营城组气藏主要为煤型气或凝析油伴生气,伏南地区泉头组气藏主要为原油伴生气。

表2 松辽盆地长岭断陷伏龙泉地区天然气组分及碳同位素值数据
Table 2 Gas components and gaseous $\delta^{13}C$ of fault depression layers in Fulongquan area, Changling Depression, Songliao Basin

地区	井位	层位	组分含量/%					碳同位素‰				
			CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	iC ₄ H ₁₀	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	iC ₄ H ₁₀
伏龙泉 北部 地区	SL501	K ₁ d ₁	0.03	95.15	1.36	0.32	0.06	-6.8	-26.2	-27.7	-26.5	-25.4
	FK20-4	K ₁ q ₁	0.04	97.26	0.85	0.14	0.05	-9.2	-41.8	-28.4	-25.1	-23.7
	FK17	K ₁ q ₁	0	93.87	1.62	0.61	0.15		-34.3	-29.5	-27.0	-25.8
	F2-9	K ₁ q ₁	0.21	97.53	0.37	0.01	0.01		-45.8	-29.0	-19.5	
	F201	K ₁ q ₁	0	96.59	0.83	0.10	0.09		-42.1	-26.2	-21.9	-24.3
伏龙泉 南部 地区	FL11	K ₁ q ₁	0	96.61	0.24	0.01	0.01		-43.7	-29.2	-24.7	
	F2-40	K ₁ q ₁	0.04	97.26	0.85	0.14	0.05	-9.2	-41.8	-28.4	-25.1	-23.7
	F2-12	K ₁ q ₃	0.29	97.60	0.41	0.01	0.01		-45.3	-28.4		
	F18	K ₁ d ₁	0	91.46	3.23	1.14	0.25		-30.9	-26.1	-25.3	-24.5
	F14	K ₁ yc	0.01	92.10	3.03	1.05	0.23		-30.5	-27.2	-26.3	-26.8
	F235	K ₁ yc	0	89.91	2.98	1.04	0.24		-32.8	-26.0	-25.7	-23.1
	F235	K ₁ yc	0.01	90.30	2.93	0.99	0.22		-32.5	-26.0	-25.6	-22.5

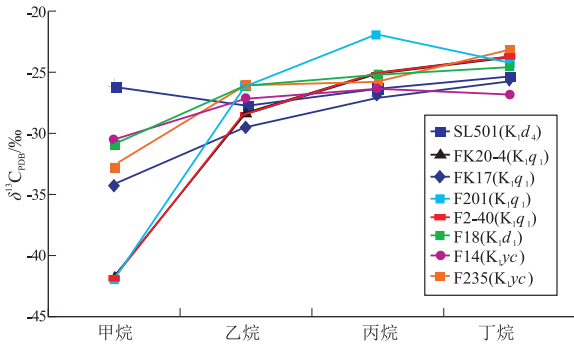


图3 松辽盆地长岭断陷伏龙泉地区天然气碳同位素系列分布

Fig.3 Gas isotope series in fault depression layers in Fulongquan area, Changling Depression, Songliao Basin

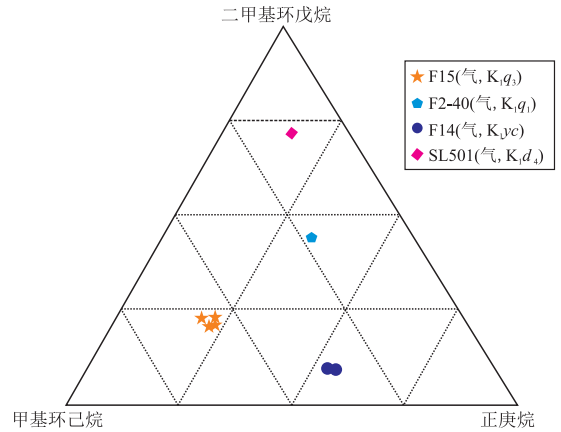


图5 松辽盆地长岭断陷伏龙泉地区天然气的MCC₆-DMCC₅-nC₇组成特征

Fig.5 MCC₆, DMCC₅ and nC₇ of gas in Fulongquan area, Changling Depression, Songliao Basin

正庚烷 (nC₇) 和各种结构的二甲基环戊烷 (DMCC₅), 常用于气源对比^[11-12]。轻烃中的甲基环己烷主要来自高等植物木质素、纤维素等, 受成熟度影响小, 常用来反映陆源母质类型, 较高含量的甲基环己烷一般是煤型气的特征。正庚烷主要来自藻类和细菌, 对成熟作用较敏感, 是反映成熟度的良好指标。各种结构的二甲基环戊烷主要来自水生生物类脂化合物, 并受成熟度影响, 它的大量出现一般是油型气的特征。因此从图5中可知, 伏龙泉地区气藏的甲基环己烷含量较高, 其相对含量大多超过50%, 以煤型气为主; 但伏北地区SL501井气样二甲基环戊烷含量较高, 这可能是由于存在混合气造成的。

2.2 油(气)源对比

主要根据油岩、气岩的轻烃特征以及饱和烃色谱图特征开展了油气源对比研究。认为本区油

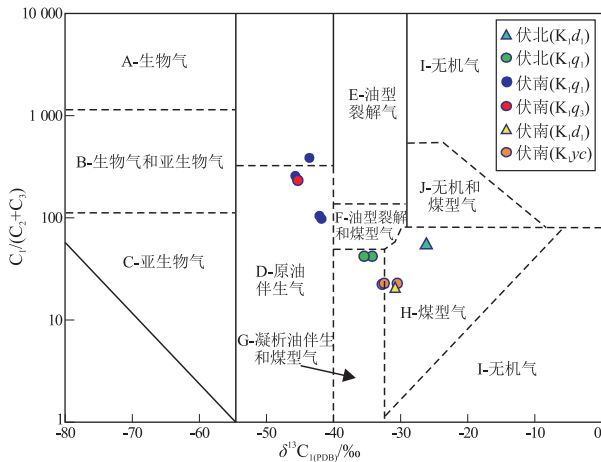


图4 松辽盆地长岭断陷伏龙泉地区天然气 $\delta^{13}C_1 - C_1/(C_2 + C_3)$ 关系图版
图版参考戴金星^[6-7]。

Fig.4 $\delta^{13}C_1$ vs. $\delta^{13}C_2$ of gas in Fulongquan area, Changling Depression, Songliao Basin

2.1.3 利用C₆-C₇轻烃组成特征判识天然气成因

C₇轻烃系列化合物包括甲基环己烷(MCC₆)、

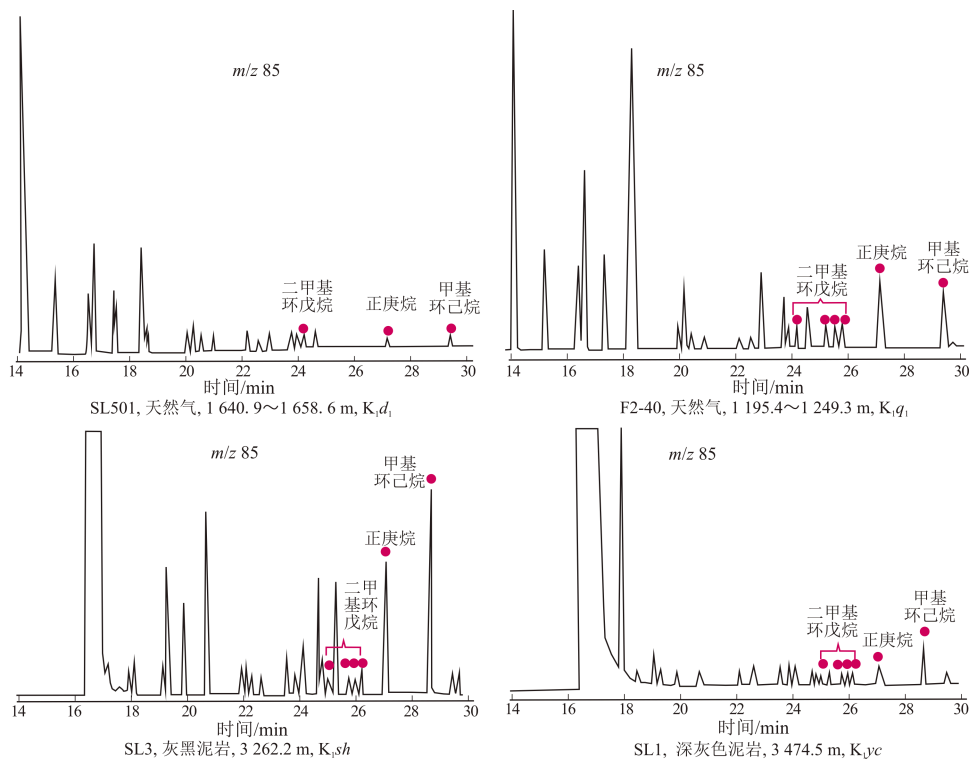


图 6 松辽盆地长岭断陷伏龙泉地区天然气与烃源岩的轻烃图谱

Fig.6 Light hydrocarbon atlas of gas and source rocks in Fulongquan area, Changling Depression, Songliao Basin

气主要来源于沙河子组烃源岩,营城组和火石岭组烃源岩有部分贡献。

2.2.1 利用 Mango 轻烃参数对比

按照 Mango 轻烃成因理论^[13-14],同一类油(气)的 K_1 值[轻烃系列($C_{6-9} + C_{6-10}$)与($C_{6-12} + C_{6-4}$)比值]基本保持不变,它主要和天然气的母质类型有关,而受成熟度影响小。因此, K_1 值是油(气)源对比的有效指标之一。FK2-40 井泉头组天然气 $K_1 = 0.94$,而 SL501 井登娄库组天然气 $K_1 = 1.05$,这表明本区不同产层气源可能有所不同。

2.2.2 “轻烃指纹”比对

气岩的轻烃指纹相似程度是气源对比的直接证据。从图 6 中气岩轻烃谱图特征可以看出,F2-40 井泉头组气样与沙河子组烃源岩相似程度高,而与营城组烃源岩相似程度相对较差,这反映该气藏气源主要来自沙河子组烃源岩,营城组烃源岩可能有部分贡献;SL501 井登娄库组气样检测到的正庚烷、甲基环己烷与二甲基环戊烷含量均较低,其中二甲基环戊烷只检测到 1,1-二甲基环戊烷,这进一步证实了其混源特征。

2.2.3 利用甾烷特征判定油源

SL5 井与 FK24 井泉头组原油的甾烷原始构型(20R)化合物 $C_{27} - C_{28} - C_{29}$ 分布均呈“L”型, $\alpha\alpha\alpha C_{27}$ 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。伏龙泉地区沙河子组烃源岩规则甾烷分布多呈“L”型,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,甾烷 $C_{27} - C_{28} - C_{29}$ 分布大致呈“V”型,这反映了研究区泉头组原油与沙河子组烃源岩表现出较好的同源性(图 7)。

综上所述,研究区坳陷层天然气以煤型气和凝

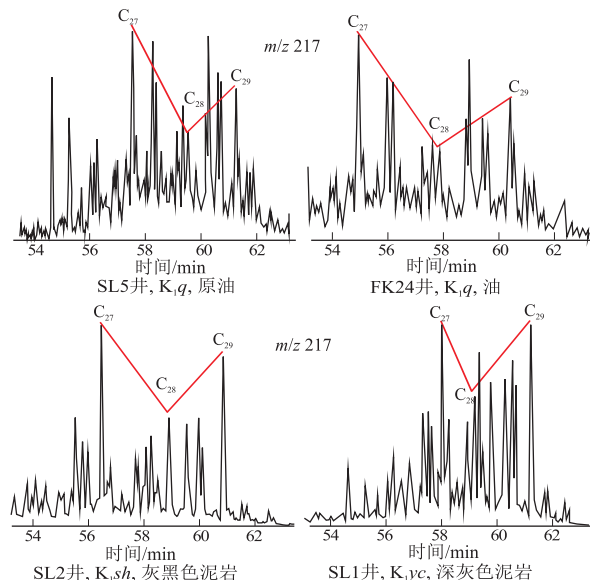


图 7 松辽盆地长岭断陷伏龙泉地区原油与烃源岩的甾烷分布特征

Fig.7 Alkane distribution of crude oil and source rocks in Fulongquan area, Changling Depression, Songliao Basin

析油伴生气为主,油气主要来自深部断陷层下白垩统烃源岩,其中下白垩统沙河子组烃源岩为主力烃源岩,营城组有部分贡献。此外,由于火石岭组烃源岩样品未进行油气源对比的相关测试分析,尚不能确定火石岭组为研究区主要油气来源之一。但由于火石岭组烃源岩样品有机质丰度高,而且在地震剖面上具有连续性好的波组特征,因此推测火石岭组烃源岩也可能有部分贡献。

3 成藏模式

3.1 陡坡带深大断裂控制下的次生油气成藏模式

陡坡带油气藏主要分布在拗陷层,主力产层为泉头组和登娄库组,油气藏类型以断层—岩性油气藏为主;平面上主要沿边界断层——伏龙泉断层及其伴生断层呈带状分布。研究区拗陷层(登娄库及其以上地层)不发育烃源岩,陡坡带油气主要为断陷层下白垩统沙河子组烃源岩直接供烃或营城组油气藏调整改造后运移到拗陷层形成的,边界大断层为主要运移通道。伏龙泉断陷东部边界断层F1断层和F2断层断距大,活动时间长,断层下部沟通深部洼陷带沙河子组烃源岩,上部沟通到拗陷层反转构造带中,泉二段为区域盖层,形成了本区最有利的成藏组合。

伏龙泉地区陡坡带为断阶带拗陷层次生油气藏成藏模式,具有近源、深大断裂—反转构造双重控藏的成藏特征;主要由深洼带断陷层沙河子组烃源岩供烃,边界深大断层为主运移通道,在断阶带拗陷层登娄库组和泉头组聚集,主要形成构造—岩性复合油气藏,油气水关系复杂,低台阶—二台阶以油气同层为主,高台阶以水层为主(图8)。

3.2 缓坡带侧向运移油气成藏模式

缓坡带主要勘探目标为断陷层(营城组及其以下地层)原生油藏,主要目标层系为营城组。缓坡带油气成藏属于侧向运移成藏模式,具有以下特征:由伏龙泉深洼带的沙河子组和营城组下段烃源岩供烃,沿不整合面(包括沙河子组顶和营城组顶的不整合面)和骨架砂体构成了侧向运移通道向缓坡方向运移;油气成藏具有早期充注特征。油气藏类型以地层超覆、岩性油气藏或构造—岩性油气藏为主;油气富集主要受古构造背景和不整合面控制,但不同地区缓坡带略有差别。其中西部斜坡带构造复杂,花状构造发育,花状断层形成于断陷期,后期调整反转,挤压+走滑背景下使得缓坡带“Y”字型断裂组合进一步复杂至负花状构造,油气易散失,早期形成的原生油气藏可能遭受后期破坏,如SL1井区(图8)。而南北两翼斜坡成藏主要表现为“凹中隆”成藏特征。

4 勘探潜力分析

(1)长岭断陷伏龙泉地区断陷层发育火石岭组、沙河子组和营城组3套烃源岩,其中沙河子组为一套优质烃源岩,提供了优越的油源条件。伏龙泉地区沙河子组发育一套深湖—半深湖、前三角洲的灰黑色泥岩,SL3井揭示该套灰黑色泥岩在洼陷带厚约430m,泥地比高达75%,残留有机碳含量多大于1.5%,Ⅲ型干酪根,属于好烃源岩(图2和表1)。这套富有机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^[14]。这决定了该套富有机质烃源岩纵横分布的连续性,为伏龙泉地区油气成藏提

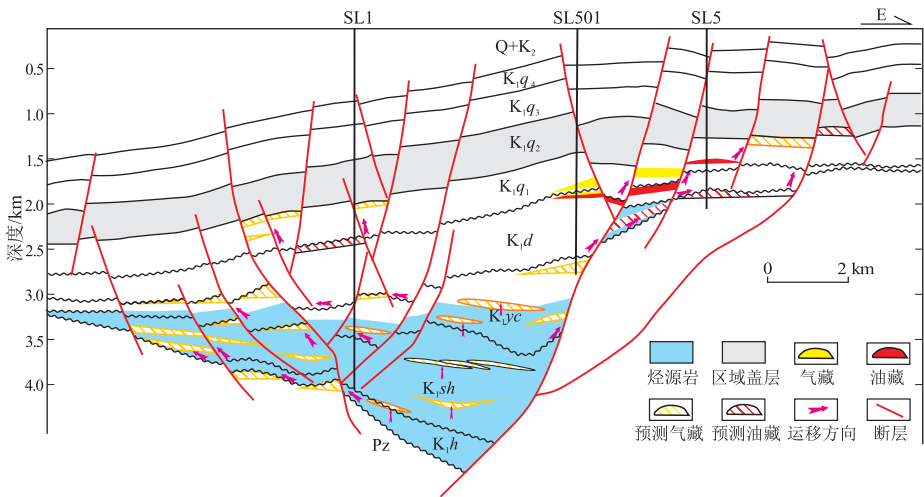


图8 松辽盆地长岭断陷伏龙泉地区油气成藏模式

Fig.8 Hydrocarbon accumulation model in Fulongquan area, Changling Depression, Songliao Basin

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伏龙泉地区油气运移提供了良好的输导条件。断陷期,在边界断裂——伏龙泉断裂强烈活动下,形成了众多的 NW 倾向的伴生断层,构成“Y”型断裂输导系统,并沟通沙河子组优质烃源岩,同时沙河子期末和营城期末构造运动形成了 T_4^1 和 T_4 区域不整合面。“Y”型断裂和多个区域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) 多幕构造反转运动形成的反转构造为伏龙泉地区油气成藏提供了较有利的圈闭条件。研究区至少发生了沙末、营末、嫩末、明末 4 次构造反转运动,多幕构造反转在断陷层和坳陷层都形成了大量的反转背斜、断鼻构造。其中,发生于嫩末的构造反转运动具有区域性,而且在本区反转抬升幅度大,恢复嫩江组—明水组地层剥蚀厚度在 1 000 m 左右。强烈的构造反转对研究区油气成藏具有双重作用,一方面强烈的构造反转有利于较大幅度背斜的形成,同时还有利于发生规模性的油气运移;另一方面,构造反转对研究区坳陷层油气成藏起着调整、改造作用,局部反转幅度过大,地层遭受强烈剥蚀的地区,可能因区域盖层破坏导致油气漏失。

(4) 泉二段作为区域性盖层提供了良好的保存条件。泉头组二段泥岩盖层厚度大、分布范围较广,且受断裂破坏程度小,泉二段排替压力较高、封气能力强,封盖条件好,控制着天然气的区域聚集与分布,是长岭断陷深层天然气最重要的区域性盖层。

5 结论

(1) 伏龙泉地区坳陷层天然气以煤型气和凝析油伴生气为主,油气主要来自深部断陷层下白垩统烃源岩,其中下白垩统沙河子组烃源岩为主力烃源岩,营城组有部分贡献,火石岭组烃源岩有机质丰度高,可能为重要烃源岩。

(2) 伏龙泉地区存在 2 种油气成藏模式,其中陡坡带主要为深大断裂控制下的次生油气藏成藏模式,具有“近源、深大断裂输导、后期强烈反转调整”的成藏特征;缓坡带主要为原生气藏侧向运移的油气成藏模式。

(3) 伏龙泉地区下白垩统发育多套烃源岩,“Y”型断裂和多个区域不整合面构成的三维网络输导体系,多幕构造反转运动形成的反转构造提供了较有利的圈闭条件,泉二段作为区域性盖层提供了良好的保存条件,该区具备一定的油气勘探潜力。

参考文献:

- [1] 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 Sciences),2016,40(3):44-54.
- [2] Sun Shengli,Chen Jianfa,Zheng Jianjing, et al.The noble gas isotope geochemical composition of chert at the bottom of Cambrian in Tarim Basin,China[J].Science in China Series D:Earth Sciences,2009,52(S I):115-119.
- [3] 沈平,徐永昌.中国陆相成因天然气同位素组成特征[J].地球化学,1991,20(2):144-152.
Shen Ping,Xu Yongchang.The isotopic composition of natural gases from continental sediments in China [J]. Geochimica, 1991, 20(2):144-152.
- [4] 黄海平,许晓宏.天然气同位素特征及作用[J].石油与天然气地质,1997,18(2):136-139.
Huang Haiping, Xu Xiaohong.Isotopic properties of natural gas and its effect[J].Oil & Gas Geology,1997,18(2):136-139.
- [5] 肖芝华,谢增业,李志生,等.川中—川南地区须家河组天然气同位素组成特征[J].地球化学,2008,37(3):245-250.
Xiao Zhihua,Xie Zengye,Li Zhisheng, et al.Isotopic characteristics of natural gas of Xujiahe Formation in southern and middle of Sichuan Basin [J].Geochimica,2008,37(3):245-250.
- [6] 戴金星.各类烷烃气的鉴别[J].中国科学(B辑),1992,22(2):185-193.
Dai Jinxing.Identification of various alkane gases[J].Science in China, Series B,1992,35(10):1246-1257.
- [7] 戴金星.天然气碳氢同位素特征和各类天然气鉴别[J].天然气地球科学,1993,4(2/3):1-40.
Dai Jinxing.Characteristics of carbon-hydrogen isotopes of natural gases and natural gas type identification [J].Natural Gas Geoscience,1993,4(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.Carbon isotope composition of acidolysis hydrocarbons and its application to gas-source correlation in Ordos Basin, China [J]. Chinese Science Bulletin,1996,41(9):754-758.
- [9] 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.
Dai Jinxing, Xia Xinyu, Qin Shengfei, et al.Causation of partly reversed orders of $\delta^{13}C$ in biogenic alkane gas in China [J]. Oil & Gas Geology,2003,24(1):1-6.
- [10] 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.
Hou Dujie,Zhang Linye.Illustrated handbook of practical oil-gas geochemistry [M].Beijing:Petroleum Industry Press,2003.

[18] 伍新和,张丽,王成善,等.西藏羌塘盆地中生界海相烃源岩特征[J].石油与天然气地质,2008,29(3):348-354.
Wu Xinhe,Zhang Li,Wang Chengshan, et al.Characteristics of the Mesozoic marine source rocks in the Qiangtang Basin,Tibet[J].Oil & Gas Geology,2008,29(3):348-354.

[19] 金玮,王成善,伍新和,等.羌塘盆地托纳木地区上侏罗统索瓦组烃源岩特征[J].油气地质与采收率,2006,13(6):40-42.
Jin Wei,Wang Chengshan,Wu Xinhe, et al.Characteristics of hydrocarbon source rocks in the Upper Jurassic Suowa Formation in Tuonamuregion,Qiangtang Basin[J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2006,13(6):40-42.

[20] 陈文西,王剑.藏北羌塘盆地晚三叠世地层特征与对比[J].中国地质,2009,36(4):809-818.
Chen Wenxi,Wang Jian.Correlation of Upper Triassic strata in Qiangtang Basin,northern Tibet[J].Geology in China,2009,36(4):809-818.

[21] 黄继钧.藏北羌塘盆地构造特征及演化[J].中国区域地质,2001,20(2):178-186.
Huang Jijun.Tectonic characteristics and evolution of the Qiangtang Basin[J].Regional geology of China,2001,20(2):178-186.

[22] 杜佰伟,陈明.羌塘盆地上侏罗统索瓦组烃源岩分布特征及远景分析[J].石油实验地质,2008,30(2):174-178.
Du Baiwei,Chen Ming.Characteristics of Upper Jurassic Suowa Formation source rock in the Qiangtang Basin of northern Tibet[J].Petroleum Geology & Experiment,2008,30(2):174-178.

[23] 胡明毅,龚文平,文志刚,等.羌塘盆地三叠系、侏罗系石油地质特征和含油远景评价[J].石油实验地质,2000,22(3):245-249.
Hu Mingyi,Gong Wenping,Wen Zhigang, et al.Petroleum geological characteristics and oil-prospect evaluation of the Triassic and the Jurassic in the Qiangtang Basin,Tibet[J].Experimental Petroleum Geology,2000,22(3):245-249.

[24] 李忠雄,杜佰伟,汪正江,等.藏北羌塘盆地中侏罗统石油地质特征[J].石油学报,2008,29(6):797-803.
Li Zhongxiong,Du Baiwei,Wang Zhengjiang, et al.Petroleum geologic characteristics of the Middle Jurassic strata in Qiangtang Basin of northern Xizang area[J].Acta Petrolei Sinica,2008,29(6):797-803.

[25] 付修根,王剑,汪正江,等.藏北羌塘盆地海相油页岩沉积环境[J].新疆石油地质,2007,28(5):529-533.
Fu Xiugen,Wang Jian,Wang Zhengjiang, et al.Marine oil shale depositional environment of Qiangtang Basin in northern Tibet[J].Xinjiang Petroleum Geology,2007,28(5):529-533.

[26] 王剑,丁俊,王成善,等.青藏高原油气资源战略选区调查与评价[M].北京:地质出版社,2009:227-310.
Wang Jian,Ding Jun,Wang Chengshan, et al.Investigation and evaluation of Qinghai-Tibet Plateau oil-gas resource strategic electoral district[M].Beijing:Geological Publishing House,2009:227-310.

[27] Philipp C T.The influence of marine and terrestrial source material on the composition of petroleum[J].Geochimica et Cosmochimica Acta,1974,38(6):947-966.

[28] Hunt J.Petroleum geochemistry and geology[M].2nd ed.New York;W.H. Freeman and Company,1996:743.

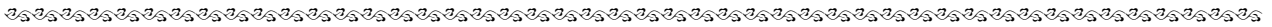
[29] Hao Fang,Zhou Xinhuai,Zhu Yangming, et al.Mechanisms of petroleum accumulation in the Bozhong sub-basin,Bohai Bay Basin,China.Part 1:Origin and occurrence of crude oils[J].Marine and Petroleum Geology,2009,26(8):1528-1542.

[30] Peters K E,Walters C C,Moldowan J M.The biomarker guide,volume 2:Biomarkers and isotopes in petroleum exploration and earth history[M].Cambridge:Cambridge University Press,2005:566-567.

[31] Peters K E,Moldowan J M.The biomarker guide[M].Englewood Cliffs,New Jersey:Prentice Hall,1993:363.

[32] Huang W Y,Meinschein W G.Sterols as ecological indicators[J].Geochimica et Cosmochimica Acta,1979,43(5):739-745.

(编辑 徐文明)



(上接第 340 页)

[11] 王培荣,徐冠军,肖廷荣,等.用 C₇轻烃参数判别烃源岩沉积环境的探索[J].石油勘探与开发,2007,34(2):156-159.
Wang Peirong,Xu Guanjun,Xiao Tingrong, et al.Application of C₇ light hydrocarbon parameters in identifying source rock depositional environment[J].Petroleum Exploration and development,2007,34(2):156-159.

[12] 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.
Hu Tilin,Ge Baoxiong,Zhang Yigang, et al.The development and application of fingerprint parameters for hydrocarbons absorbed by source rocks and light hydrocarbons in natural gas[J].Experimental Petroleum Geology,1990,12(4):375-394.

[13] Mango F D.The origin of light hydrocarbons in petroleum:A kinetic test of the steady-state catalytic hypothesis[J].Geochimica et Cosmochimica Acta,1990,54(5):1315-1323.

[14] Mango F D.The light hydrocarbons in petroleum:A critical review[J].Organic Geochemistry,1997,26(7/8):417-440.

[15] 李浩,陆建林,左宗鑫,等.长岭断陷南部断陷层湖相优质烃源岩发育控制因素[J].石油与天然气地质,2015,36(2):209-218.
Li Hao,Lu Jianlin,Zuo Zongxin, et al.Controlling factors of high-quality lacustrine hydrocarbon source rocks in southern Changling Depression[J].Oil & Gas Geology,2015,36(2):209-218.

(编辑 徐文明)