

文章编号: 0253-2697(2016)05-0622-09 DOI:10.7623/syxb201605006

松辽盆地梨树断陷天然气成因类型及勘探方向

宋振响 顾 忆 路清华 周卓明 李 旻

(中国石油化工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)

摘要:随着松辽盆地梨树断陷金山地区典型煤型气的发现,梨树断陷天然气来源及成因成为一个亟需研究的问题。结合梨树断陷天然气的发现情况,在天然气的组分组成、轻烃参数及组分碳同位素分析的基础上,讨论了不同地区天然气的来源及成因。研究表明梨树断陷天然气除 J2 井外,主要为有机成因气,且存在单源型和混源型 2 种类型:单源型气主体为油型气,而金山地区为典型的煤型气;梨树断陷天然气混源现象普遍,其中孤家子、后五家户和新立地区浅层主要为煤型气和油型气的混合,四五家子地区还可能有生物气的混入。母质类型较好的沙河子组二段烃源岩为梨树断陷的主力油气源岩,小宽断裂和秦家屯断裂之间为该套烃源岩的有利分布区,下一步有望获得油气突破;金山地区煤型气的发现揭示火石岭组和沙河子组一段煤系源岩具备充足的生气能力,东南斜坡带煤型气有望获得新的突破。

关键词:碳同位素;轻烃;天然气成因;勘探方向;梨树断陷

中图分类号: TE122.1 **文献标识码:** A

Genetic types of natural gas and its exploration direction in Lishu fault sag, Songliao Basin

Song Zhenxiang Gu Yi Lu Qinghua Zhou Zhuoming Li Kuang

(Wuxi Institute of Petroleum Geology, Sinopec Research Institute of Petroleum Exploration and Production, Jiangsu Wuxi 214126, China)

Abstract: With the discovery of coal-type gas in Jinshan area, it has becoming a pressing research topic to study the origin and genetic types of natural gases in Lishu fault sag. Combining with the natural gas distribution, this paper discussed the natural gas origin and genetic types in Lishu fault sag based on the analysis of gas component composition, light hydrocarbon parameters and carbon isotopic compositions. The result indicates that the natural gases in Lishu fault sag are mainly organic origin with the exception of the gas from J2 well. The gas type can be divided into two categories, monophyletic type and mixed type respectively. The monophyletic type gases are mainly oil-type gas while the gases from Jinshan area are coal-type gas. Mixed type gases are very common in Lishu fault sag, the gases from Gujiazi, Houwujiahu and Xinli are mixed with oil-type gas and coal-type gas while the gas from Siwujiazi are mixed with thermogenetic gas and biogenetic Gas. The mainly source rock formation in Lishu fault sag is $K_1 sh^2$, with the type II_1 kerogens, the region between Xiaokuan fault and Qinjiatun fault maybe a favorable distribution area for this high-quality source rocks and also a good target. The discovery of coal-type gas in Jinshan area revealed that the potential of gas generation from $K_1 h$ and $K_1 sh^1$ coaly source rocks are very huge, coal gas is expected to obtain a new breakthrough in southeast slope belt.

Key words: carbon isotope; light hydrocarbon; genesis of natural gases; exploration direction; Lishu fault sag

引用:宋振响,顾忆,路清华,周卓明,李旻. 松辽盆地梨树断陷天然气成因类型及勘探方向[J]. 石油学报, 2016, 37(5): 622-630.

Cite: Song Zhenxiang, Gu Yi, Lu Qinghua, Zhou Zhuoming, Li Kuang. Genetic types of natural gas and its exploration direction in Lishu fault sag, Songliao Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2016, 37(5): 622-630.

梨树断陷位于松辽盆地东南隆起区的西南部^[1], 是中国东北地区的勘探老区, 经过近 30 年的勘探, 已先后发现了 12 个油气田及多个含油气构造。但其天然气探明率依然很低, 截至 2014 年底, 梨树断陷探明天然气 $211.3 \times 10^8 m^3$, 和“三次资评”时期计算的天然气地质资源量^[2]比, 探明程度仅为 14.6%。随着梨树

断陷勘探程度的不断深入, 按照原有思路发现气田, 特别是大中型气田的难度越来越大, 对研究区天然气成因类型及来源认识不够全面也是制约气田发现的重要问题之一。前人围绕梨树断陷烃源岩评价及天然气成因方面开展过一系列的研究, 随着研究程度的不断提高, 逐渐认识到梨树断陷的主力烃源层为沙河子组上

基金项目: 中国石油化工有限公司科技开发部项目(P09026)资助。

第一作者及通信作者: 宋振响, 男, 1983 年 6 月生, 2006 年获山东科技大学学士学位, 2009 年获中国科学院研究生院硕士学位, 现为中国石油化工有限公司石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所工程师, 主要从事油气成烃成藏及非常规油气地质研究。Email: szhx0606@163.com

部和营城组下部^[2-4]。不同学者对梨树断陷的天然气成因及类型判别存在一定的争议^[5-10],其争论的关键问题主要存在2个方面:①梨树断陷究竟以哪种类型天然气为主?②研究区究竟有没有无机成因气的贡献?随着断陷内金山地区天然气获得突破,进一步证实了研究区煤型气及无机气的存在。基于此,有必要对梨树断陷的天然气成因及其来源做进一步的探讨。笔者在前人研究基础上,系统分析了梨树断陷不同地区、不同层位天然气的成因及其来源,旨在深入总结梨树断陷天然气的成因类型、母质来源及分布规律等,以推动研究区下一步的天然气勘探开发工作。

1 天然气分布特征

梨树断陷自1986年发现八屋气田以来,先后发现了十屋油气田、四五家子油气田、后五家户气田、孤家子气田、太平庄油田、秦家屯油气田、皮家气田、七棵树油田、双龙油田、苏家屯油气田、金山气田等12个油气田及小城子、老公林子和新立等若干个含油气构造(图1)。其中后五家户、孤家子、皮家和金山地区以气田为主;八屋为油气田;十屋、四五家子、秦家屯、七棵树、苏家屯地区以油田为主,也发现有天然气。

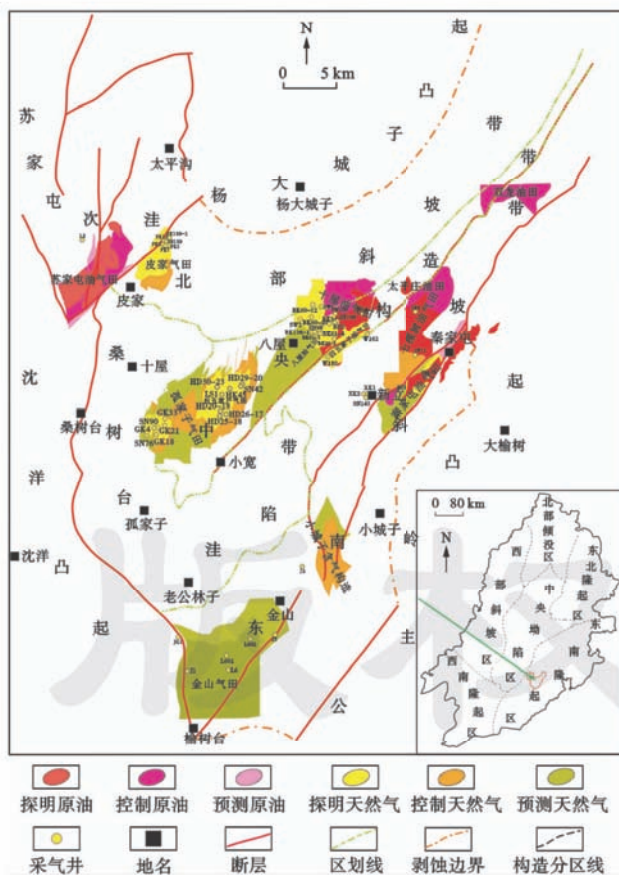


图1 梨树断陷油气田及采气井分布

Fig. 1 Distribution of oil & gas fields and gas production wells in Lishu fault sag

纵向上,梨树断陷主要存在2个油气富集带:①位于中浅部组合的泉头组和登娄库组,②位于深部组合的营城组、沙河子组和火石岭组。中央构造带的后五家户、八屋、四五家子地区,东南斜坡带的七棵树、秦家屯、金山地区和北部斜坡带的皮家、苏家屯地区均在深部组合的营城组和沙河子组获得工业气流;此外,金山和四五家子地区的少数钻井在火石岭组也获得工业气流。中浅部组合天然气主要分布在中央构造带的孤家子、后五家户、八屋和四五家子地区,主要是由于嫩江组沉积末期的构造反转导致早期形成的天然气及原油裂解气向上运移聚集而成,以次生气藏为主。从平面分布来看,梨树断陷已发现的油气田集中分布在主力烃源岩发育区附近,并且受桑树台大断裂和3条走滑断裂控制明显,表现为SW—NE向为气藏—油气藏—油藏的半环带状分布^[11]。

2 天然气成因类型

研究共应用了梨树断陷不同层位、不同地区的52个天然气样品的分析资料,样品包括梨树断陷现已有天然气发现的各气田和油气田(表1)。

2.1 天然气组分特征

从梨树断陷天然气组分数据(表1)来看,除J2井高含CO₂(81.34%)外,其余钻井均以烃类气体为主,含少量非烃类气体。这与前人研究结果^[5-8]较为一致。天然气组分的不同说明研究区天然气可能具有多种成因和来源^[12],天然气成藏过程也较为复杂。

从组分检测结果来看,除J2井外,梨树断陷天然气均以烃类气体为主,烃类气体含量在88.57%~99.94%。烃类气体中以甲烷为主,甲烷含量分布在79.95%~98.76%,干燥系数介于0.83~0.99。研究表明随天然气成熟度的增加,天然气组分含量也会呈现规律性的变化,一般随天然气成熟度升高,甲烷含量升高,重烃含量降低。根据这一变化规律,采用C₂₊百分含量与C₁/(C₂+C₃)含量比值关系图可以很好地区分不同成熟度的天然气(不同地区界限值不完全一样)。从甲烷含量与重烃含量关系图上可以看出(图2),秦家屯、七棵树、苏家屯地区L2井、金山地区J1井及八屋地区部分天然气以成熟伴生气为主;八屋、十屋、皮家及金山地区天然气主要以高成熟凝析气为主;新立、孤家子、后五家户气田则以过成熟裂解气为主,过成熟裂解气存在干酪根裂解和早期生成原油裂解气的可能,且以原油裂解气为主。

非烃气体主要以N₂和CO₂为主,N₂含量除少数井外均低于5%,推测研究区N₂主要为沉积有机质在成熟阶段经热氨化作用^[13]形成。CO₂含量总体较低,

除金山地区外均低于 0.5%，有些样品甚至未检测到 CO₂。金山地区 CO₂ 含量差别较大，7 口井中有 5 口井的天然气中 CO₂ 含量在 2% 以下，其他 2 口井 CO₂ 含量较高(在 5% 以上)，尤其是 J2 井 CO₂ 含量达到 81.34%，与目前松辽盆地发现的高含 CO₂ 气藏^[14] 中天然气组分相似。值得注意的是金山地区这 2 口高含

CO₂ 的井均位于大城子断裂附近，尤其是 J2 井位于大城子断裂与金山断裂的交汇部位。前人研究认为松辽盆地高含量的 CO₂ 主要为无机幔源成因^[14-16]。据此推测金 2 井高含量的 CO₂ 也可能为深部幔源 CO₂ 沿深大断裂向上运移而来，后面 CO₂ 碳同位素的数据也支持该观点。

表 1 梨树断陷不同地区天然气组分及碳同位素值分布

Table 1 Distribution of components and carbon isotopes for natural gas in Lishu fault sag

地区	井号	井深/m	层位	组分含量/%											$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}(\text{PDB})$					
				N ₂	CO ₂	C ₁	C ₂	C ₃	iC ₄	nC ₄	iC ₅	nC ₅	nC ₆	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	nC ₄ H ₁₀	nC ₅ H ₁₂	
秦家屯	SN105	1887.5~1996.9	K ₁ yc ¹	0	0.08	84.65	8.15	3.95	0.72	1.13	0.60	0.69	0	-10.5	-36.0	-30.2	-28.5	-28.3	-28.3	
	HS2	2083.8~2091.5	K ₁ yc ²	0.90	0.19	81.64	9.76	3.93	0.63	1.19	0.41	0.39	0.94	-35.4	-28.4	-26.8	-25.5	-24.8	-24.8	
七棵树	SW11	2592.2~2613.6	K ₁ sh ²	4.57	0.19	82.41	8.23	2.71	0.52	0.72	0.26	0.23	0.16	-41.12	-30.82	-27.51	-27.35	-27.35	-27.35	
	SW8	1927.6~1942.7	K ₁ sh ²	5.13	0	79.95	7.21	3.30	0.98	1.36	0.50	0.85	0.73	-34.8	-26.6	-25.5	-27.1	-27.1	-27.1	
十屋	SN64-1	2263	K ₁ h	11.04	0.39	82.37	4.26	1.07	0.13	0.27	0.07	0.12	0.27	-33.7	-30.8	-28.5	-27.9	-27.7	-27.7	
	SW2	2358.4~2362.0	K ₁ yc ²	0	0.08	95.77	2.96	0.62	0.14	0.16	0.12	0.14	0	-10.8	-34.3	-28.5	-27.5	-27.3	-27.3	
	SW6	2018.3~2029.0	K ₁ yc ²	0	0.16	91.27	5.91	1.52	0.32	0.34	0.22	0.25	0	-11.9	-35.6	-28.5	-27.5	-26.8	-26.8	
八屋	BD2*	1346~1356	K ₁ d	4.11	0.03	91.48	2.54	0.78	0.23	0.31	0.12	0.12	0.28	-37.7	-29.0	-27.6	-27.6	-27.6	-27.5	
	BK136-1*	2283~2314	K ₁ sh	2.94	0.49	85.92	6.43	2.58	0.50	0.80	0.11	0.10	0.13	-12.1	-37.4	-29.5	-28.4	-28.4	-28.0	
	BK20-8	2108.0~2112.2	K ₁ sh	0	0.28	86.77	7.35	2.87	0.62	0.90	0.46	0.72	0	-11.6	-37.0	-29.2	-27.2	-27.5	-28.5	
	BK34*	2245.6~2284.0	K ₁ sh	3.17	0.26	89.61	4.64	1.27	0.29	0.37	0.10	0.12	0.18	-11.1	-34.8	-29.0	-27.4	-27.6	-28.9	
	BK60-10	2099.0~2134.5	K ₁ yc	1.95	0.15	89.85	5.12	1.54	0.37	0.45	0.13	0.11	0.33	-10.6	-36.4	-28.3	-27.6	-27.1	-27.1	
	BK60-10*	2099.0~2134.5	K ₁ yc	1.95	0.15	89.85	5.12	1.54	0.37	0.45	0.13	0.11	0.33	-34.8	-28.3	-27.0	-27.3	-27.6	-27.6	
	BK60-12	2033~2053	K ₁ yc	0	0.09	92.19	5.34	1.31	0.28	0.31	0.21	0.24	0	-12.0	-36.9	-28.7	-27.3	-26.9	-26.9	
	BK61-1	2047.4~2076.5	K ₁ yc	0	0.22	92.09	5.53	1.23	0.26	0.28	0.19	0.20	0	-11.1	-36.3	-28.2	-27.1	-26.5	-26.5	
	BK61-4*	2074.2~2076.6	K ₁ yc	1.94	0.25	90.50	5.06	1.32	0.26	0.30	0.09	0.07	0.21	-9.1	-35.4	-28.4	-27.3	-27.6	-27.5	
	SN100*	1146.0~1150.6	K ₁ q	4.54	0	92.50	2.00	0.48	0.10	0.15	0.05	0.06	0.11	-39.2	-31.0	-28.8	-26.8	-27.4	-27.4	
四五家子	SN98*	1516~1520	K ₁ d	2.20	0.15	90.15	5.20	1.28	0.28	0.34	0.10	0.11	0.21	-35.8	-28.6	-27.5	-27.9	-28.6	-28.6	
	SW100*	2085.3~2088.8	K ₁ sh ²	4.22	0.54	86.20	5.78	1.87	0.39	0.54	0.13	0.13	0.19	-34.7	-29.4	-28.6	-28.8	-29.1	-29.1	
	W162*	586~590	K ₁ q ²	4.01	0	94.45	1.31	0.07	0.05	0.02	0.02	0.01	0.06	-45.6	-30.4	-25.2	-25.4	-28.4	-28.4	
	W180*	1154.0~1216.9	K ₁ q ¹	4.36	0.13	88.75	4.34	1.32	0.27	0.39	0.10	0.12	0.22	-11.7	-32.3	-29.0	-27.6	-28.0	-28.7	
	SN145*	1555.7~1558.0	K ₁ q ¹	4.88	0	91.53	2.42	0.48	0.11	0.18	0.05	0.07	0.28	-22.4	-25.2	-25.9	-27.2	-28.9	-28.9	
	XK-1*	1556.7~1559.0	K ₁ q ¹	5.18	0	91.18	2.46	0.51	0.11	0.18	0.05	0.07	0.25	-23.1	-26.0	-26.2	-26.9	-28.1	-28.1	
	XK-2*	1587~1608	K ₁ q ¹	4.93	0	91.90	2.25	0.40	0.08	0.13	0.04	0.05	0.22	-23.0	-25.4	-26.4	-27.3	-28.9	-28.9	
	HD20-18*	1205~1275	K ₁ q ¹	1.56	0	96.68	1.51	0.15	0.02	0.04	0.01	0.01	0.03	-30.9	-29.3	-29.8	-29.8	-29.4	-29.4	
	HD25-18*		K ₁ q ¹	2.61	0	95.64	1.50	0.16	0.01	0.03	0.01	0.01	0.04	-34.2	-32.5	-31.6	-29.3	-28.0	-28.0	
	HD26-17*		K ₁ q ¹	1.65	0	96.50	1.61	0.15	0.02	0.03	0.01	0.01	0.03	-28.6	-29.8	-30.2	-29.1	-29.5	-29.5	
后五家户	HD29-20	1341~1436	K ₁ q	0	0.07	98.76	1.00	0.13	0	0.04	0	0	0	-10.1	-27.9	-29.1	-29.8	-29.8	-29.8	
	HD30-23	1723.5~1743.0	K ₁ d	0.13	0.13	98.60	0.81	0.17	0	0.06	0	0.10	0	-10.6	-33.6	-28.2	-28.9	-28.9	-28.9	
	HK45	1543.7~1561.2		0	0.13	98.48	1.11	0.15	0	0.05	0	0.06	0	-7.4	-26.7	-29.0	-29.5	-29.5	-29.5	
	LS1	4299~4303	K ₁ sh ²	1.60	0.66	97.12	0.56	0.02	0	0	0	0	0	-31.74	-34.52	-31.55	-27.19	-27.19	-27.19	
	SN42	1435.8~1438.0	K ₁ q	0	0.10	98.60	1.03	0.15	0	0.05	0	0.07	0	-10.9	-26.6	-28.6	-29.3	-29.3	-29.3	
孤家子	GK18*	1697.4~1721.8	K ₁ d	5.54	0	92.90	1.48	0.06	0	0.01	0	0	0	-22.3	-26.0	-29.9	-29.9	-29.9	-29.9	
	GK21*	1406.6~1526.0	K ₁ q ¹	7.32	0	90.68	1.74	0.18	0.01	0.03	0.01	0.01	0.02	-23.0	-26.0	-28.9	-30.6	-31.0	-31.0	
	GK33	1352.5~1359.0	K ₁ d	4.83	0	93.98	0.96	0.14	0.02	0.04	0.01	0.01	0.02	-35.8	-26.1	-28.8	-31.5	-31.6	-31.6	
	GK4*	1517.4~1524.0	K ₁ q ¹	7.88	0.04	90.25	1.59	0.15	0.01	0.03	0.01	0.01	0.03	-21.8	-25.6	-27.9	-29.8	-31.0	-31.0	
	SN76	1640~1645	K ₁ d	2.49	0.16	96.34	0.94	0.07	0	0	0	0	0	-6.5	-21.8	-24.4	-26.8	-26.8	-26.8	
	SN90	1459.6~1461.6		1.62	0.10	97.01	1.13	0.14	0	0	0	0	0	-10.8	-22.8	-24.9	-27.3	-27.3	-27.3	
皮家	PK13*	2104~2221	K ₁ yc	2.54	0.08	90.60	4.28	1.28	0.23	0.40	0.10	0.15	0.36	-10.3	-34.5	-29.9	-27.6	-28.1	-28.9	-28.9
	PK139-1*	1860.6~2105.2	K ₁ yc	2.78	0.09	89.93	4.55	1.50	0.24	0.42	0.09	0.14	0.26	-33.8	-29.7	-27.7	-27.0	-28.2	-28.2	
	PK2*	2008.5~2028.0	K ₁ yc	2.45	0.17	88.90	4.96	1.87	0.32	0.57	0.14	0.19	0.44	-34.8	-30.3	-28.2	-27.8	-28.2	-28.2	
	PK3*	2125.0~2165.8	K ₁ yc	1.60	0.23	91.87	4.54	1.12	0.15	0.25	0.06	0.08	0.11	-35.1	-30.4	-28.4	-28.5	-29.0	-29.0	
	PK7*	1917.2~1961.9	K ₁ yc	2.72	0.09	90.16	4.58	1.38	0.22	0.37	0.08	0.11	0.29	-33.9	-29.8	-27.6	-27.4	-27.9	-27.9	
	SN139*	2068.8~2110.8	K ₁ yc ²	1.68	0.10	92.34	3.81	1.03	0.19	0.31	0.09	0.11	0.36	-34.1	-29.7	-27.9	-28.3	-27.2	-27.2	
苏家屯	L2	2823.2~2825.1	K ₁ yc ²	0	0.23	88.34	8.74	1.88	0.19	0.29	0.12	0.16	0	-43.1	-28.3	-26.1	-26.1	-26.1	-26.1	
	J1	2530~2545	K ₁ sh ²	0.97	0.04	84.43	10.08	3.02	0.57	0.57	0.20	0.11	0	-34.2	-24.9	-22.3	-21.1	-20.4	-20.4	
	J2	3370.1~3398.7	K ₁ h	1.20	81.34	17.08	0.21	0.06	0.01	0.01	0	0	0	-3.8	-18.3	-28.6	-29.2	-28.9	-28.9	
	J5	2080.3~2085.4	K ₁ sh	2.88	5.91	85.25	4.60	0.75	0.11	0.16	0.06	0.04	0	-31.4	-21.9	-21.7	-21.9	-21.9	-21.9	
	JG1	2184.6~2509.0	基底	0.92	1.39	89.45	6.57	1.12	0.24	0.20	0.06	0.04	0	-16.8	-29.2	-21.7	-18.6	-18.1	-17.8	
	L6	2870~2886	K ₁ sh ¹	0	0.07	92.06	6.05	1.17	0.25	0.19	0.14	0.08	0	-31.6	-23.6	-21.9	-21.9	-21.9	-21.9	
金山	L601	4333.5~4465.8	K ₁ h	1.75	1.33	91.54	4.40	0.69	0.14	0.09	0.04	0	0	-13.7	-31.1	-22.7	-23.5	-23.4	-22.1	
	L602	2739.3~2775.4	K ₁ sh ²	0.95	0.04	93.40	4.38	0.86	0.13	0.13	0.04	0.02	0	-28.9	-24.8	-23.5	-21.5	-22.5	-22.5	

注：* 的样品引自文献[6]；K₁q²—泉头组二段，K₁q¹—泉头组一段，K₁q—泉头组，K₁d—登娄库组，K₁yc²—营城组二段，K₁yc¹—营城组一段，K₁yc—营城组，K₁sh²—沙河子组二段，K₁sh¹—沙河子组一段，K₁sh—沙河子组，K₁h—火石岭组。

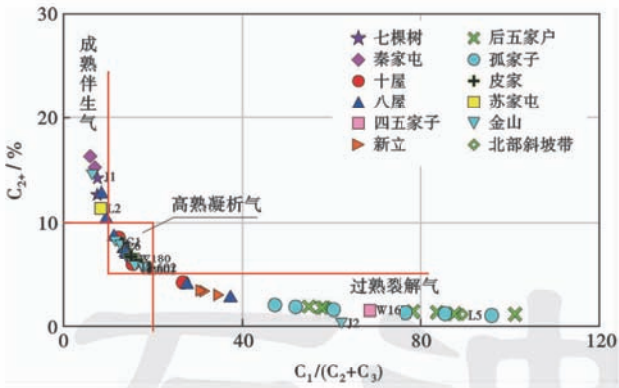


图 2 梨树断陷天然气组分成因类型划分

Fig. 2 Genetic type of natural gas composition in Lishu fault sag

2.2 天然气生烃母质特征

不同地区的天然气轻烃组成及碳同位素特征对比分析表明:梨树断陷主体区域以油型气为主;而金山地区则为典型的煤型气。除此之外,研究区还发现有多种类型的混源气。

2.2.1 C₇ 系列轻烃组成

梨树断陷不同地区天然气的 C₇ 系列化合物组成三角图(图 3)显示研究区存在 2 种不同类型的天然气:秦家屯、十屋、八屋、后五家户及皮家地区天然气均以油型气为主,这与高丽丽等^[10]研究认为的梨树断陷主体天然气类型为腐泥型母质生成的油型气较为吻合,侧面也证实了研究区过一高熟天然气主要以原油裂解气为主;除油型气外,金山地区天然气主体落在了煤型气区。

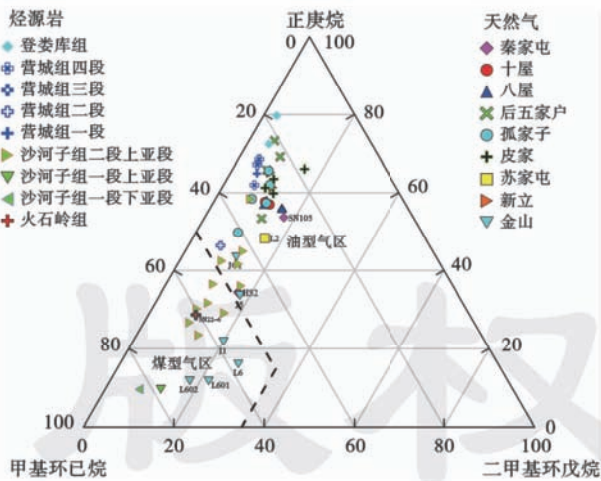


图 3 梨树断陷天然气、烃源岩轻烃 C₇ 组成对比^[17]

Fig. 3 C₇ series compounds from gases and source rocks in Lishu fault sag

2.2.2 天然气碳同位素特征

(1) CO₂ 碳同位素

梨树断陷不同地区天然气的 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 值显示金山

地区 J2 井为典型的无机成因气,其他地区均以有机成因气为主。从梨树断陷天然气的 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 值来看,21 个样品中除 3 个样品外天然气的 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 值均轻于 -10‰ ,按照戴金星^[18,19]的判别标准应该为有机成因 CO₂;其他 3 口井(J2 井、SN76 井和 HK45 井)天然气的 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 值较重,重于 -8‰ ,尤其是 J2 井天然气 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 值为 -3.8‰ (表 1),且 CO₂ 含量高达 81.34%,为典型的无机幔源成因;SN76 井和 HK45 井天然气的 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 值分别为 -6.5‰ 和 -7.4‰ ,而 CO₂ 含量很低^[8],均低于 0.2%,应主要还是以有机成因气为主。

(2) 烃类碳同位素

从甲烷、乙烷和丙烷的碳同位素值判识天然气成因类型的结果可以看出(图 4、图 5),梨树断陷孤家子、后五家户和新立地区天然气同位素值多落在了碳同位素倒转混合气区。未发生天然气碳同位素倒转的样品中,八屋、十屋、皮家、秦家屯、四五家子油气田多数天然气样品显示为油型气的特征,主要表现为较轻的 $\delta^{13}C_2$ 和 $\delta^{13}C_3$ 值: $\delta^{13}C_2$ 介于 $-31.0\text{‰} \sim -28.3\text{‰}$; $\delta^{13}C_3$ 介于 $-28.8\text{‰} \sim -27.0\text{‰}$ (表 1)。 $\delta^{13}C_1$ 值差异相对较大,八屋油气田最轻,十屋、皮家地区稍重,四五家子 W180 井最重,这应该主要表征了成熟度的差异。而同在四五家子油气田的 W162 井则具有最轻的 $\delta^{13}C_1$ 值 (-45.6‰)和最重的 $\delta^{13}C_3$ 和 $\delta^{13}C_4$ 值^[8],推测可能为浅层生物气混合所致。七棵树油气田 SW11 井 $\delta^{13}C_2$ 为 -30.82‰ , $\delta^{13}C_3$ 为 -27.51‰ ,也显示为油型气的特征。而金山地区多数井及七棵树 SW8 井天然气样品的 $\delta^{13}C_2$ 值均大于 -28‰ (表 1),显示以煤型气为主。

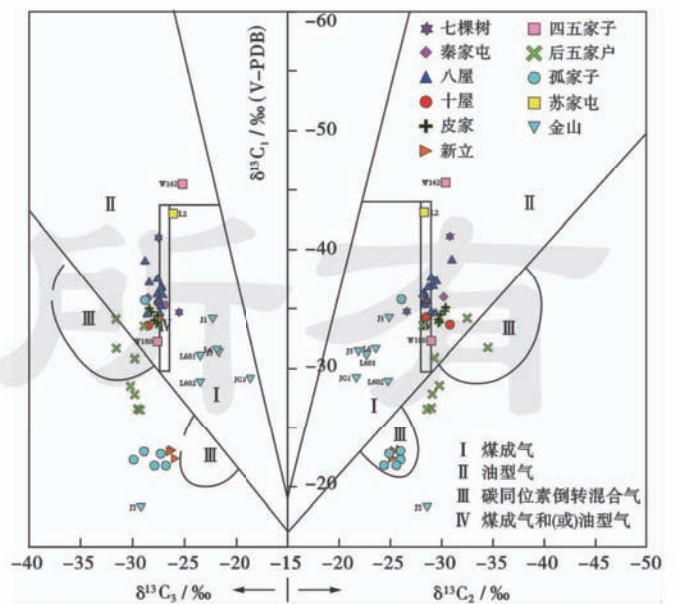


图 4 梨树断陷天然气 $\delta^{13}C_1$ - $\delta^{13}C_2$ - $\delta^{13}C_3$ 成因类型判别^[20]

Fig. 4 Gas genetic type via $\delta^{13}C_1$ - $\delta^{13}C_2$ - $\delta^{13}C_3$ in Lishu fault sag

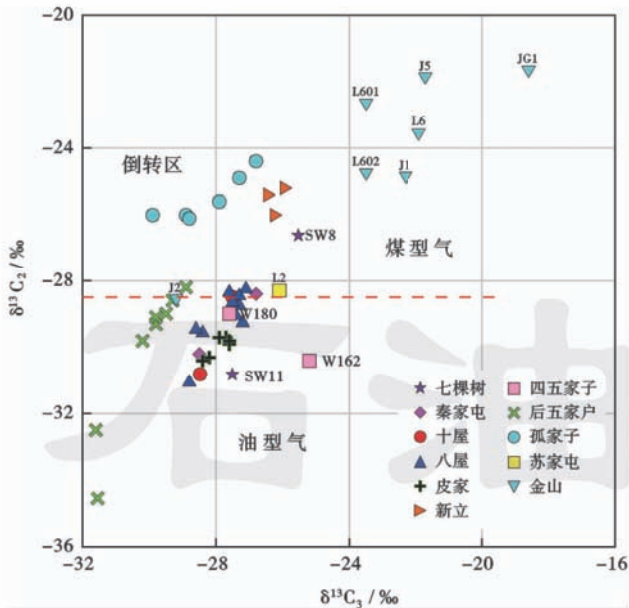


图5 梨树断陷天然气 $\delta^{13}C_2$ 与 $\delta^{13}C_3$ 分布特征

Fig. 5 Distribution of $\delta^{13}C_2$ and $\delta^{13}C_3$ from natural gases in Lishu fault sag

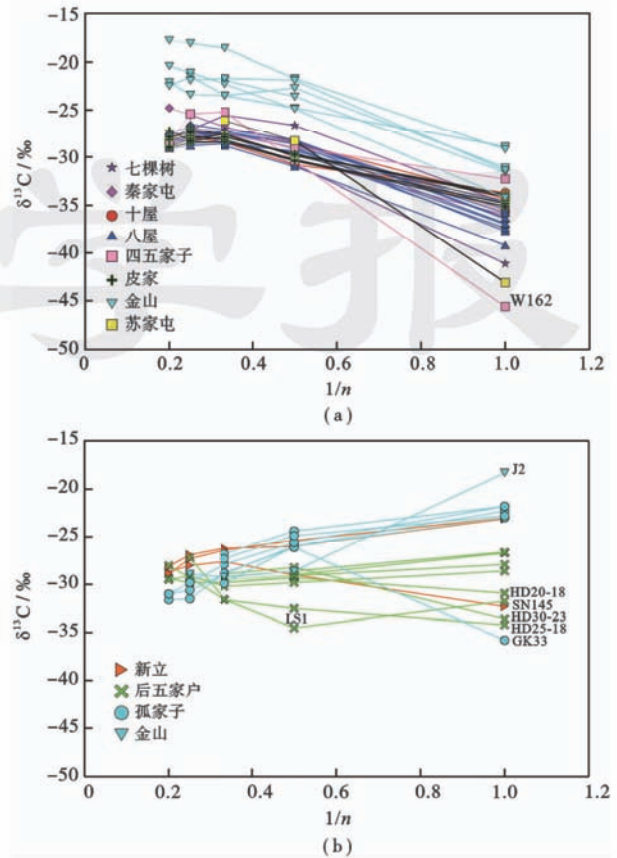
碳同位素分布序列是用来鉴别有机、无机和混合成因气的重要指标之一。一般来说,未受次生改造的有机烷烃气常显示正碳同位素分布序列,无机气则多为负碳同位素分布序列^[21],混源气则多显示为碳同位素倒转的特征。根据梨树断陷天然气烃类气体碳同位素分布特征,可以将其分成2类:①正碳同位素分布序列[图6(a)],即 $\delta^{13}C_1 < \delta^{13}C_2 < \delta^{13}C_3$,为单源成因的天然气气藏;②倒转(部分或全部)碳同位素分布序列[图6(b)],主要为混合成因天然气藏。

正碳同位素分布序列的天然气主要分布在秦家屯、七棵树、皮家、八屋、十屋、四五家子及苏家屯、金山地区(J2井除外)。从图6(a)中明显可以看出,呈正碳同位素分布序列的天然气又明显划分为2种类型:金山地区天然气碳同位素较其他地区明显偏重,为典型的煤型气;其他地区天然气碳同位素值分布较为集中,且较金山地区明显偏轻,显示为油型气。

图6(b)为梨树断陷呈倒转碳同位素分布序列的天然气类型曲线,样品主要来自孤家子、后五家户和新立气田,金山地区J2井火石岭组天然气样品也显示为负碳同位素分布序列。前人研究^[12-21-26]认为碳同位素序列倒转一般是次生气或混合气的特征。笔者之前的研究^[7]也表明梨树断陷天然气烷烃碳同位素发生倒转主要由混合作用引起。其中:J2井天然气组成以 CO_2 为主,推测主要为无机幔源气混入的贡献;孤家子、后五家户和新立地区应主要为煤型气与油型气的混源,其中孤家子和新立地区甲烷和乙烷碳同位素值较重,显示煤型气比例较高,而后五家户地区大部分天然气样品的 $\delta^{13}C_2$ 明显偏

轻,与图6(a)中正碳同位素序列的八屋、十屋地区天然气样品相似,表明其母质类型相对较好,以油型气为主。

从 $\delta^{13}C_3 - \delta^{13}C_2$ 与 $\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_1$ 相关关系图(图7)



注:n—碳数,n=1.0即 C_1 (相当于甲烷),n=0.5为乙烷,n=0.333为丙烷,n=0.25为丁烷,n=0.2为戊烷。

图6 梨树断陷天然气 C_1-C_5 碳同位素分布序列

Fig. 6 Carbon isotopic distribution patterns of C_1-C_5 from natural gas in Lishu fault sag

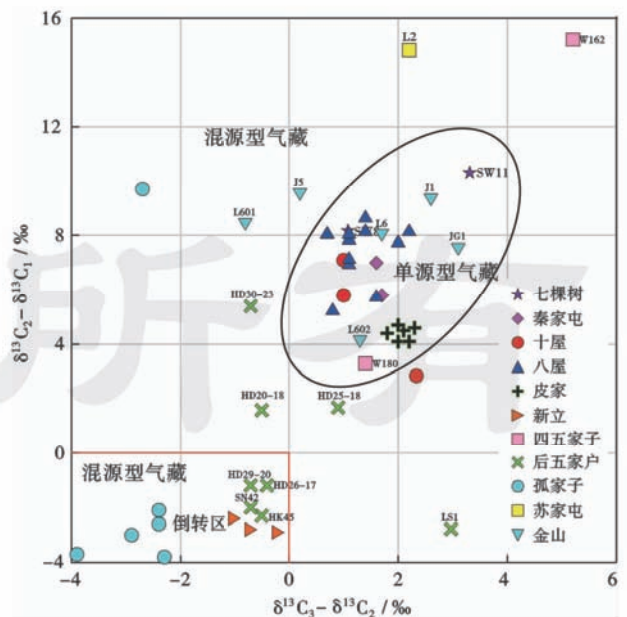


图7 梨树断陷天然气类型划分

Fig. 7 Natural gas classification in Lishu fault sag

中可以看出,梨树断陷天然气分为单源型气藏和混源型气藏 2 类。单源型气藏可分为母质类型较好,以油型气为主的气藏,如八屋、十屋、秦家屯地区;南部金山地区则主要是煤型气为主的单源型气藏,但 J5 井、L601 井可能有不同成熟度天然气的混源;七棵地区 SW11 井天然气也是以煤型气为主的单源型气藏。除单源型气藏外,研究区混源气分布广泛,主要是陆相断陷盆地的 2 类不同类型生烃母质所致。初步研究认为,断陷中部孤家子、新立及后五家户气田的天然气是煤型气与油型气的混源气。其中:孤家子和新立气田煤型气比例高;后五家户气田油型气比例高。四五家子浅层气可能有生物气输入的可能;J2 井则以无机成因幔源气为主。

3 气-源对比分析

气-源对比分析结果表明:梨树断陷油型气主要来自于沙河子组二段(沙二段)和营城组一段(营一段)部分母质类型较好源岩的贡献;东南斜坡带金山地区的煤型气主要来自火石岭组和沙河子组一段(沙一段)煤系泥岩。

烃源岩最新研究表明梨树断陷主要发育两类烃源岩^[3]。其中:I 类烃源岩母质类型主要为 II₁ 或 I 型,其干酪根碳同位素值轻于 -26‰;II 类烃源岩母质类型主要为 III 型,干酪根碳同位素值多重于 -24.5‰。天然气成因分析表明:梨树断陷单源型气主要以油型气为主;东南斜坡带则存在典型的煤型气。油型气的烷烃碳同位素值较煤型气明显偏轻,应与研究区原油来源相似,主要来自于母质类型较好的 I 类烃源岩。从

能够反映有机质类型,且受成熟度影响较小的干酪根碳同位素值和有机元素这 2 项指标来看,这类源岩主要分布在沙二段的四五家子、太平庄、秦家屯和双龙地区,营一段在八屋、苏家屯局部地区也有 I 类烃源岩的分布。而东南斜坡带金山地区分布的煤型气应主要来自金山及附近地区火石岭组和沙一段发育的煤系泥岩。

轻烃指纹分析技术^[27]的完善为油-气-源对比提供了直接的证据。从天然气、烃源岩轻烃 C₇ 系列化合物三角图(图 3)可以明显看出:研究区天然气主要为油型气,应主要来源于 II₁ 型、I 型母质烃源岩,与 SN17 井沙二段烃源岩及局部地区的营城组烃源岩可比性较好,都显示为较高的正庚烷含量;东南斜坡带金山地区天然气为典型的煤型气,图 3 显示金山地区天然气与秦家屯、四五家子及双龙地区沙一段和火石岭组烃源岩具有较大的相似性,均显示出很高的甲基环己烷含量,推测金山地区火石岭组和沙一段煤系泥岩也应该具有类似的特征。

按照刘文汇等^[28]煤型气的二阶演化模式,由天然气的 δ¹³C₁ 值计算得到金山地区煤型气的等效 R_o 为 1.06%~1.83%。其中:J1 井天然气成熟度相对较低,等效 R_o 为 1.06%,为源岩成熟阶段的产物;其他井天然气成熟度等效 R_o 值均大于 1.3%,为高成熟阶段的产物,这与金山地区火石岭组和沙一段煤系烃源岩主体成熟度(R_o 为 1.3%~2.0%)也是吻合的。从金山气田成藏模式(图 8)可以看出,金山地区产层主要分布在火石岭组和沙河子组,基底、营城组和上部的

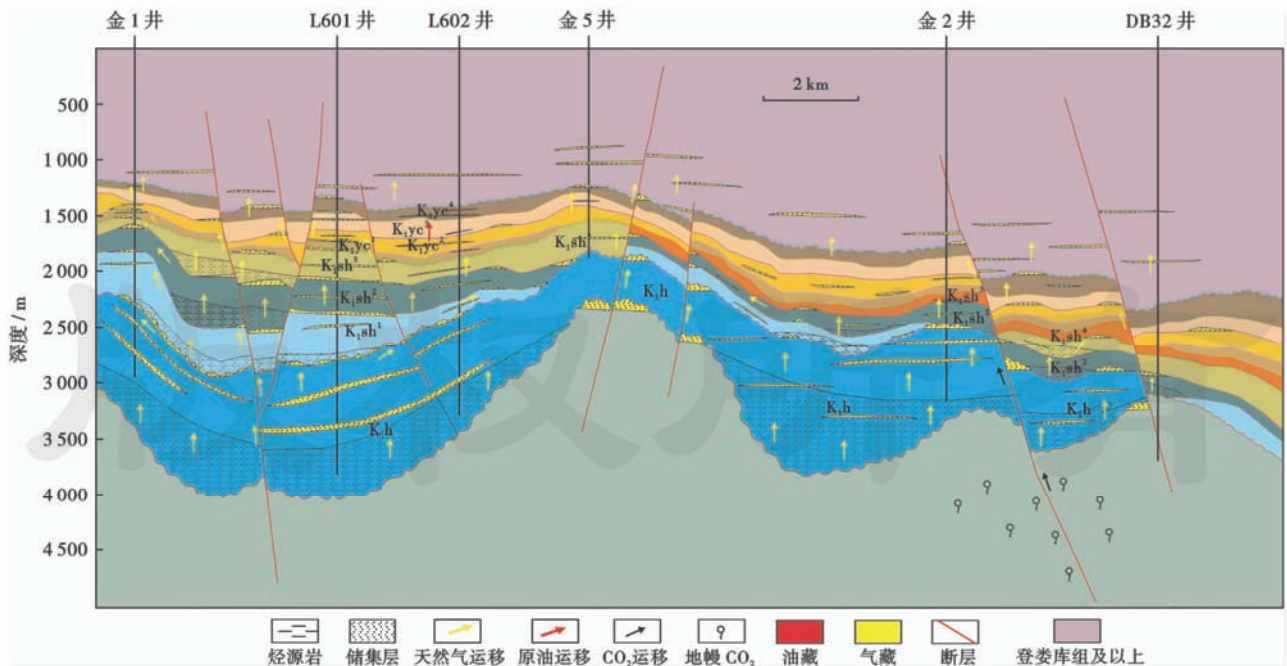


图 8 梨树断陷金山气田成藏模式

Fig. 8 Hydrocarbon accumulation model in Jinshan area, Lishu fault sag

登娄库组、泉头组也有气层分布。泉头组沉积期之后,随火石岭组源岩成熟度不断升高,生成的气态烃沿断裂不断向上运移,主要在火石岭组、沙河子组顶部不整合面附近、有利断块、断鼻及透镜砂体内聚集成藏。J2井烷烃气的成藏过程与金山地区其他有机成因气相似,只是除了有火石岭组源岩的贡献外,由于J2井北部靠近新鲜洼陷,洼陷内沙二段类型较好的烃源岩对其可能也有贡献,这主要反映在J2井天然气较其他井具有较轻的重烃碳同位素值,反映母质类型相对较好,母质类型较差的火石岭组煤系源岩生成的天然气和沙二段类型较好烃源岩生成的油型气发生了混合,造成该井天然气组分碳同位素值发生了倒转,加上嫩江组沉积末期大城子断裂的强烈活动,深部无机地幔CO₂沿大城子断裂向上运移,与之前聚集的有机气发生混合,随着CO₂不断向上运移,排替掉了之前形成的烷烃气,形成了现今J2井以无机CO₂气为主的局面。

4 勘探方向

4.1 小宽断裂及秦家屯断裂之间油型气

梨树断陷天然气具有复杂的成因及成藏过程,但总体显示以油型气为主。如八屋、十屋、皮家、七棵树和秦家屯地区均以油型气为主;即便是发生混源的天然气中,油型气也占了较大的比例,如后五家户和四五家子地区。这与梨树断陷大部分原油主要来自于沙河子组Ⅱ₁型母质^[3]是吻合的。然而,前人研究普遍认为研究区烃源岩干酪根类型以Ⅱ₂和Ⅲ型为主,仅个别井在沙二段和营一段见到少量母质较好烃源岩的分布。从油-气-源分析对比的结果来看,尽管目前发现的母质类型较好的烃源岩还比较少,这类烃源岩对油气生成的贡献更大,无论对油还是气,均应为全区的主力烃源岩。

分析结果表明,母质类型较好的烃源岩主要分布在四五家子、八屋、太平庄、七棵树、秦家屯地区的沙二段,苏家屯地区营一段和双龙次洼沙二段在局部地区也有发育。仅靠这么小范围优质烃源岩的供烃,显然不足以提供梨树断陷已发现油气田的主体油气源。目前,一个现实问题就是这类母质类型较好烃源岩的分布情况不落实,这严重制约了梨树断陷下一步的油气勘探。勘探表明,在小宽断裂带和秦家屯断裂带之间的四五家子、七棵树和秦家屯地区沙二段均见到该类优质烃源岩的分布,而2条断裂之间地层沉积相对稳定,连续性较好,据此推测2条断裂之间西南段(新鲜洼陷)在沙二段可能发育该类优质烃源岩(图9)。若该套母质类型较好的主力烃源岩得以落实,该区域就有望获得新的油气突破。

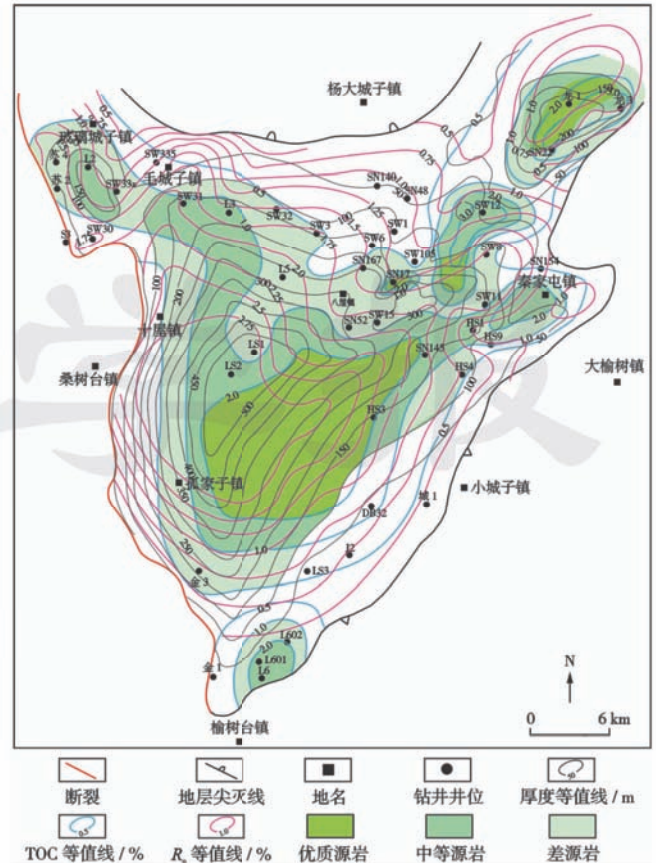


图9 梨树断陷沙二段烃源岩综合评价

Fig. 9 Comprehensive assessment of source rocks for K₁sh² in Lishu fault sag

4.2 东南斜坡带煤型气

梨树断陷主体以油型气为主,但也不乏煤型气的分布,东南斜坡带金山地区即为典型的煤型气(J2井除外),孤家子和新立地区混源气也以煤型气为主。气-源分析表明煤型气主要来自于金山地区及其附近的火石岭组和沙一段煤系泥岩。源岩分析表明火石岭组在东南斜坡带的金山、金岗和秦家屯地区发育3个次洼(图10),次洼内暗色泥岩厚度均较大(>200 m),且有机质丰度高。金山和金岗次洼烃源岩TOC多达到2.0%以上,为优质烃源岩;秦家屯次洼烃源岩TOC也大于1.0%,达到中等烃源岩的标准。火石岭组源岩R₁普遍达到1.0%以上,已进入大量生烃期。除火石岭组源岩外,沙一段在东南斜坡带的金山和秦家屯地区也发育一定规模高丰度的煤系源岩,且进入大量生气阶段,也可以提供充足的气源。

东南斜坡带火石岭组和沙一段煤系源岩提供了充足的气源;而沙二段、营城组和登娄库组在东南斜坡带主要发育辫状河三角洲平原和三角洲前缘沉积,有利储层相带发育,若上部发育良好的盖层则有利于形成“下生上储”的油气藏。目前,金山地区已获得煤型气

的突破,下一步需要详细解剖金山气田成藏条件及成藏过程,重点在金岗、小城子和秦家屯油气田以南地区开展工作。在圈闭及封盖条件有利的条件下,东南斜坡带有望获得煤型气的新突破。

(3) 沙二段及营一段发育母质类型较好的 II₁ 型烃源岩为梨树断陷的主力油气源岩,预测小宽断裂及秦家屯断裂之间为该类母质类型较好源岩的有利分布区,有望获得新的油气突破;此外,金山气田煤型气的发现揭示了火石岭组和沙一段煤系源岩可以提供充足的气源,东南斜坡带煤型气有望获得新突破。

参 考 文 献

[1] Wang Dehai, Kang Haiping, Zhao Yanwei, et al. A study on accumulation and distribution of gas in southern Songliao Basin[J]. Global Geology, 2013, 16(1): 35-42.

[2] 张玺,宋振响,徐文,等. 松辽盆地梨树断陷油气资源动态评价[J]. 石油实验地质, 2013, 35(2): 224-230.

Zhang Xi, Song Zhenxiang, Xu Wen, et al. Dynamic evaluation of oil-and-gas resources in of Lishu fault depression in Songliao Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(2): 224-230.

[3] 顾忆,秦都,路清华,等. 梨树断陷主力烃源岩与油源对比[J]. 石油实验地质, 2013, 35(6): 662-667.

Gu Yi, Qin Du, Lu Qinghua, et al. Correlation of major source rocks and oil sources in Lishu fault depression[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(6): 662-667.

[4] 宋振响,周卓明. 梨树断陷主力烃源岩判定及其地球化学特征[J]. 石油实验地质, 2013, 35(4): 438-444.

Song Zhenxiang, Zhou Zhuoming. Identification of chief hydrocarbon source rocks in Lishu fault depression and their geochemical characteristics[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(4): 438-444.

[5] 陈孔全,徐言岗,唐黎明,等. 松辽盆地十屋断陷油气成藏条件[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(4): 337-342.

Chen Kongquan, Xu Yangang, Tang Liming, et al. Hydrocarbon pool forming condition of Shiwu fault-depression in Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 1995, 16(4): 337-342.

[6] 喻顺,吕修祥,柳广弟,等. 松辽盆地十屋断陷天然气来源及成藏分析[J]. 地质科技情报, 2011, 30(1): 90-95.

Yu Shun, Lü Xiuxiang, Liu Guangdi, et al. Natural gas resource and accumulation in the Shiwu fault depression, Songliao Basin[J]. Geological Science and Technology Information, 2011, 30(1): 90-95.

[7] 宋振响,郝建军,周卓明. 十屋断陷天然气成因类型初探[J]. 天然气地球科学, 2012, 23(1): 167-174.

Song Zhenxiang, Gao Jianjun, Zhou Zhuoming. Preliminary study on genetic types of natural gas in Shiwu fault depression[J]. Natural Gas Geoscience, 2012, 23(1): 167-174.

[8] 张俊,赵红静,张敏. 松辽盆地梨树断陷天然气地球化学特征及成因探讨[J]. 石油实验地质, 2012, 34(4): 417-421.

Zhang Jun, Zhao Hongjing, Zhang Min. Geochemical characteristics and origin of natural gas in Lishu fault depression, Songliao Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(4): 417-421.

[9] 赵红静,张敏,张俊. 松辽盆地梨树断陷负碳同位素系列天然气成因探讨[J]. 石油天然气学报, 2012, 34(8): 1-5.

Zhao Hongjing, Zhang Min, Zhang Jun. On the generation of gas with reverse $\delta^{13}C$ order in Lishu depression of Songliao Basin [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2012, 34(8): 1-5.

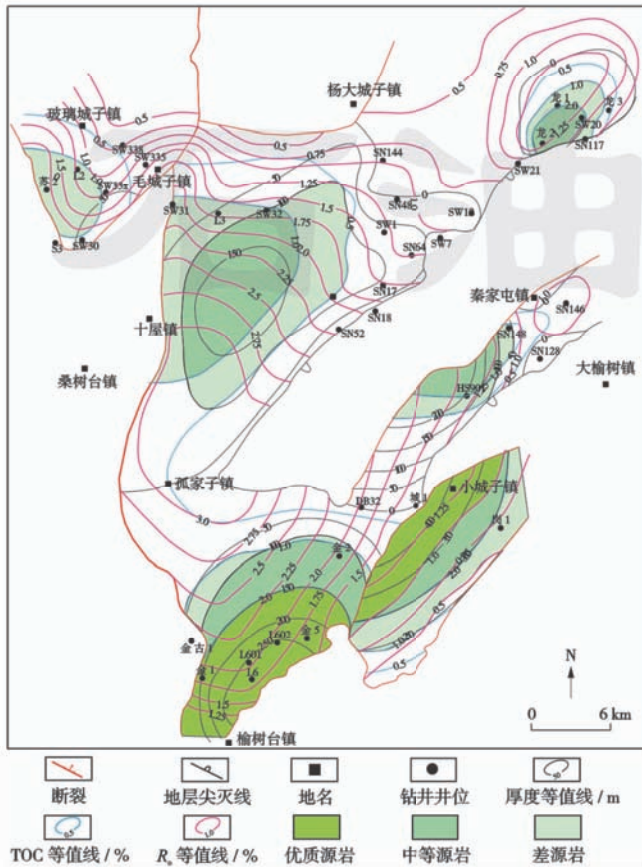


图 10 梨树断陷火石岭组烃源岩综合评价

Fig. 10 Comprehensive assessment of source rocks for K_{1h} in Lishu fault sag

5 结 论

(1) 梨树断陷纵向上主要存在深部和中浅部 2 个油气富集带,其中深部主要为原生油气藏,中浅部多为次生气藏;平面上油气田集中分布在主力烃源岩发育区附近,并且受桑树台大断裂及 3 条走滑断裂控制明显,表现为从 SW 到 NE 的半环带状分布。

(2) 梨树断陷发现的天然气成因类型及赋存方式多样。断陷主体以油型气为主,主要来自于母质类型较好的沙二段和营一段源岩;东南斜坡带金山地区为典型的煤型气,主要来自于火石岭组和沙一段发育的类型较差源岩。孤家子、后五家户、新立、四五家子地区浅层和金山地区 J2 井主要为混源气藏。其中:金山地区 J2 井以高含 CO₂ 无机幔源成因气为主;孤家子、新立及后五家户气田为煤型气与油型气的混合;四五家子地区浅层可能有生物气的混入。

- [10] 高丽丽,张敏,赵红静. 松辽盆地南部梨树断陷天然气轻烃地球化学研究[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(4): 709-714.
Gao Lili, Zhang Min, Zhao Hongjing. Geochemical characteristics of light hydrocarbon in natural gas from Lishu fault depression in Songliao Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2011, 22(4): 709-714.
- [11] 周卓明,宋振响,湛小红. 梨树断陷油气藏分布特征与成藏模式[J]. 吉林大学学报:地球科学版, 2012, 42(增刊2): 131-140.
Zhou Zhuoming, Song Zhenxiang, Zhan Xiaohong. Distribution characteristics and accumulation model of oil and gas reservoirs in Lishu fault depression[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2012, 42(Supplement 2): 131-140.
- [12] 刘文汇,刘全有,徐永昌,等. 天然气地球化学数据的获取及应用[J]. 天然气地球科学, 2003, 14(1): 21-29.
Liu Wenhui, Liu Quanyou, Xu Yongchang, et al. The gaining and applying of data in natural gas geochemistry study[J]. Natural Gas Geoscience, 2003, 14(1): 21-29.
- [13] 朱岳年. 天然气中分子氮成因及判识[J]. 石油大学学报:自然科学版, 1999, 23(2): 22-26.
Zhu Yuenian. Origins of molecular nitrogen in natural gases and their identification[J]. Journal of the University of Petroleum, China: Edition of Natural Science, 1999, 23(2): 22-26.
- [14] 鲁雪松,王兆宏,魏立春,等. 松辽盆地二氧化碳成因判识与分布规律[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(1): 97-101.
Lu Xuesong, Wang Zhaohong, Wei Lichun, et al. Origin and distribution patterns of carbon dioxide in the Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(1): 97-101.
- [15] Li Zian, Guo Zhanqian, Bai Zhenguo, et al. Geochemistry and tectonic environment and reservoir formation of mantle-derived natural gas in the Songliao Basin, Northeastern China[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2004, 28(2): 168-182.
- [16] 李谨,李志生,工东良,等. 天然气中 CO₂ 氧同位素在线检测技术与应用[J]. 石油学报, 2014, 35(1): 68-75.
Li Jin, Li Zhiseng, Wang Dongliang, et al. On-line detection of oxygen isotope of CO₂ in natural gases and its application[J]. Acta Petrolei Sinica, 2014, 35(1): 68-75.
- [17] 胡国艺,李剑,李谨,等. 判识天然气成因的轻烃指标探讨[J]. 中国科学 D 辑:地球科学, 2007, 37(增刊2): 111-117.
Hu Guoyi, Li Jian, Li Jin, et al. Preliminary study on the origin identification of natural gas by parameters of light hydrocarbon[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2008, 51(Supplement 1): 131-139.
- [18] 戴金星. 各类天然气的成因鉴别[J]. 中国海上油气(地质), 1992, 6(1): 11-19.
Dai Jinxing. Identification of various genetic natural gases[J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1992, 6(1): 11-19.
- [19] 戴金星,戴春森,宋岩,等. 中国东部无机成因的二氧化碳气藏及其特征[J]. 中国海相油气(地质), 1994, 8(4): 215-222.
Dai Jinxing, Dai Chunsen, Song Yan, et al. Inorganic genetic carbon dioxide gas accumulations and their characteristics in East part of China[J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1994, 8(4): 215-222.
- [20] 戴金星,于聪,黄士鹏,等. 中国大气田的地质和地球化学若干特征[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(1): 1-13.
Dai Jinxing, Yu Cong, Huang Shipeng, et al. Geological and geochemical characteristics of large gas fields in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(1): 1-13.
- [21] 戴金星,邹才能,张水昌,等. 无机成因和有机成因烷烃气的鉴别[J]. 中国科学 D 辑:地球科学, 2008, 38(11): 1329-1341.
Dai Jinxing, Zhou Caineng, Zhang Shuichang, et al. Discrimination of abiogenic and biogenic alkane gases[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2008, 51(12): 1737-1749.
- [22] 缪卫东,罗霞,王延斌,等. 松辽盆地无机成因气碳同位素判识指标探讨[J]. 天然气工业, 2010, 30(3): 27-30.
Miu Weidong, Luo Xia, Wang Yanbin, et al. A discussion on the identification of abiogenic gas in the Songliao Basin according to its carbon isotope compositions[J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(3): 27-30.
- [23] 李景坤,方伟,曾花森,等. 徐家围子断陷烷烃气碳同位素反序机制[J]. 石油学报, 2011, 32(1): 54-61.
Li Jingkun, Fang Wei, Zeng Huasen, et al. Possible origins for inverse stable carbon isotopes of gaseous alkanes from the Xujiaweizi fault depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(1): 54-61.
- [24] 孟凡超. 松辽盆地深层天然气碳同位素反序及形成机理探讨[J]. 特种油气藏, 2013, 20(2): 25-28.
Meng Fanchao. Discussion on the reverse order of carbon isotope series of the deep gas in Songliao Basin and its mechanism[J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2013, 20(2): 25-28.
- [25] 黄海平. 松辽盆地徐家围子断陷深层天然气同位素倒转现象研究[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(6): 617-623.
Huang Haiping. Isotopic reversal in natural gas: an example of deep strata gases from Xujiaweizi depression, Songliao Basin[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2000, 25(6): 617-623.
- [26] Yang Chun, Luo Xia, Li Jian, et al. Geochemical characteristics of pyrolysis gas from epimetamorphic rocks in the northern basement of Songliao Basin, Northeast China[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2008, 51(Supplement 1): 140-147.
- [27] 蒋启贵,张志荣,宋晓莹,等. 轻烃指纹分析及其应用[J]. 地质科技情报, 2005, 24(1): 61-64.
Jiang Qigui, Zhang Zhirong, Song Xiaoying, et al. Analysis of light hydrocarbon fingerprints and its application[J]. Geological Science and Technology Information, 2005, 24(1): 61-64.
- [28] 刘文汇,徐永昌. 煤型气碳同位素演化二阶段分馏模式及机理[J]. 地球化学, 1999, 28(4): 359-366.
Liu Wenhui, Xu Yongchang. A two-stage model of carbon isotopic fractionation in coal-gas[J]. Geochimica, 1999, 28(4): 359-366.

(收稿日期 2015-10-26 改回日期 2016-02-23 编辑 王培玺)