

文章编号: 1001-6112(2007)03-0286-06

塔中西北部中 1 井区志留系油砂的地球化学特征

钱一雄¹, 马安来², 陈强路¹, 邵志兵¹, 尤东华¹

(1. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151

2. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院, 北京 830011)

摘要: 下志留统柯坪塔格组下砂岩是塔里木盆地主要勘探层系之一。对塔中西北部中 1 井区的志留系油砂抽取物中的族组成、生标化合物、碳同位素等综合研究表明: 中 1 井柯坪塔格组下砂岩中油砂抽提物中的饱和烃含量为 51.31%~60.15%, 饱芳比为 1.68~1.94; 中 13 井柯坪塔格组下砂岩中油砂抽提物中的饱和烃平均为 30%, 饱芳比平均值为 1, 正构烷烃分布为 nC_{12} — nC_{39} , 主峰碳为 nC_{17} — nC_{19} , OEP 介于 0.91~1.08, 具有一定的三、四环萜烷含量, 甾烷主要显示出 $C_{27}>C_{28}\ll C_{29}$, 族组成碳同位素组成以呈直线上升为主。中 1 井区柯坪塔格组油砂的油源主要来自于中下寒武统, 有部分上奥陶统烃源岩的贡献。

关键词: 生标化合物; 油砂; 志留系; 中 1 井区; 塔中地区; 塔里木盆地

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

GEOCHEMICAL CHARACTERISTIC OF THE LOWER SILURIAN OIL SANDSTONES IN WELL ZHONG 1 ZONE, NORTH WESTERN TAZHONG AREA

Qian Yixiong¹, Ma Anlai², Chen Qianglu¹, Shao Zibing¹, You Donghua¹

(1. Wuxi Research Institute of Petroleum geology, Research Institute
of Petroleum Exploration & Production, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China;

2. Research Institute of Petroleum Exploration & Production, SINOPEC, Beijing, 100083, China)

Abstract: The lower part of the Lower Silurian sandstones is one of the most important hydrocarbon exploration play in Tarim Basin Based on systematic analysis of the petroleum family composition, various biomarkers and distribution of isotope of petroleum family composition in the saturated fraction from extracts of the Lower Silurian oil sandstones in Well Zhong 1 zone, the results show that the contents of saturated hydrocarbon is from 51.31%~60.15%, the ratio for saturated and aromatics is from 1.68~1.94 in Well Zhong 1, in contrast, the contents of saturated hydrocarbon is 30%, the average ratio for saturated and aromatics is 1, the distribution for *n*-alkanes is nC_{12} to nC_{39} with the major contents of *n*-alkanes from nC_{17} to nC_{19} , OEP is from 0.91 to 1.08 in Well Zhong 13. Moreover, the latter is characteristic of a certain content of tricyclic and tetracyclic terpane, $C_{27}>C_{28}\ll C_{29}$ in consist of sterane and the raising line for isotope of petroleum family composition in the saturated fraction. It therefore can be inferred that the oil for the Lower Silurian oil sandstones is mostly originated from the Middle and Lower Cambrian mixing with a certain of the Upper Ordovician source rocks.

Key words: biomarkers; oil sandstones; the Lower Silurian; Well Zhong 1 zone; Tazhong area; Tarim Basin

塔中地区不同级别油气显示或油气藏分布层系多, 其中志留系以 10 号构造带油气显示较好(塔中 47, 11, 111, 117, 12, 122, 50, 35, 45 井, 中 1, 11 井), 塔中 I 号断裂带下盘的北部围斜区次之(塔中

62, 621, 622, 16, 161, 162, 168, 169, 69, 70, 71, 31, 33, 30, 36, 44 井等)(图 1)。志留系原油为稠油, 密度一般为 0.9 g/cm³ 左右, 而沥青砂岩中的抽提物饱和烃色谱图中, 正构烷烃已基本损失; 但含油砂

收稿日期: 2006-08-20; 修订日期: 2007-05-08。

作者简介: 钱一雄(1962—), 男(汉族), 博士, 教授级高级工程师, 主要从事盆地分析研究工作。

基金项目: 中国石化科技部项目(P04025)。

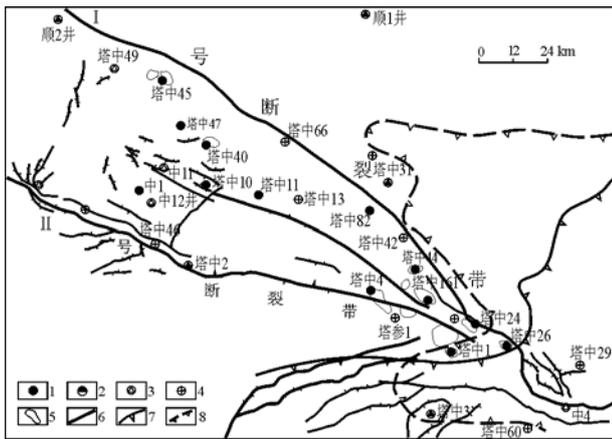


图 1 塔里木盆地塔中地区主要探井及油气(藏)分布

- 1. 油井; 2. 低产井; 3. 油气显示井; 4. 干井;
- 5. 油藏; 6. 断裂; 7. 志留系尖灭线; 8. 东河砂岩尖灭线

Fig. 1 The location for wells and oil and gas reservoirs in Tazhong area, Tarim Basin

岩有相对完整的正构烷烃分布特征(塔中 11 井原油密度为 0.79~0.84 g/cm³),其油源有 2 种不同的认识^[1~3]。中下寒武统烃源岩具有高伽马蜡烷、高三芳甲萜甾烷、高甲萜甾烷、高 24-降胆甾烷、高 C₂₈ 规则甾烷、低重排甾烷含量的特征,而上奥陶统具有与之相反的特征^[4~11]。

在塔中西北部中石化探区,已完钻了中 1、中 11、中 12 等 6 口探井。其中,中 1 井在二叠—奥陶系中发现含油气层厚度 256.6 m,已在奥陶系中获得工业油气流;在志留系等中见到不同级别油气显示(表 1)。为深入研究油气簇群、源岩对比及成藏分析,对其油浸或油斑砂岩抽取物族组分、饱和烃组成、生标化合物和碳同位素组成进行了详细研究。

表 2 塔里木盆地中 1 井区及跃南 1 和哈 1 井志留系油砂抽取物分析

Table 2 Correlation of petroleum family composition in the saturated fraction from extracts of the Lower Silurian oil sandstones in Well Zhong 1 zone and Well Ha 1 and Yuenan 1, Tarim Basin

探井	样号	埋深/m	岩性	氯仿沥青 “A”, 10 ⁻⁶	族组分, %				饱/芳比
					饱和烃	芳烃	非烃	沥青质	
中 1	中 1-67	4 959.30	角砾岩(沥青)	899.6	60.15	31.06	6.66	2.65	1.94
	中 1-69	4 962.50	角砾岩(油浸)	8 711.7	51.31	30.57	11.23	6.52	1.68
	中 1-88 ¹⁾	5 117.20	岩屑石英砂岩	49.6					
中 13	中 13-17	5 131.40	细砂岩	6 252.3	30.92	26.97	22.24	11.86	1.13
	中 13-19	5 131.90	细砂岩	9 409.0	32.74	30.72	16.35	14.43	1.15
	中 13-20	5 135.80	细砂岩	5 241.1	35.82	34.75	22.17	2.72	1.07
	中 13-22	5 137.70	细砂岩	6 493.8	29.36	32.01	15.67	12.99	1.03
跃南 1			沥青砂岩	5 643.0	29.55	26.14	17.04	26.70	1.13
			沥青砂岩	9 274.0	31.96	23.71	20.10	22.56	1.35
哈 1			沥青砂岩	34 731.0	24.89	19.08	12.72	42.20	1.30
			沥青砂岩	21 056.0	24.39	21.34	19.51	34.75	1.14
			沥青砂岩	4 043.0	36.86	21.58	28.17	13.40	1.17
			沥青砂岩	4 043.0	36.86	21.58	28.17	13.40	1.17

注:分析单位为中石化石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所。

1) 中 1-88 样品抽取物太少,故无法做族组分分析。

1 油砂中氯仿沥青“ A ”、族组分和饱和烃特征

1.1 油砂中氯仿沥青“ A ”及族组分特征

从中 1 区、哈 1 和跃南 1 井^[1]志留系油砂中氯仿沥青“ A ”、族组分含量可见(表 2),中 1 井油砂饱和烃为 51.31%~60.15%,非烃+沥青质也较低(9.31%~17.75%),饱芳比为 1.68~1.94,高于中 11、哈 1 井等对应值,代表保存较好、未受生物降解的原油;中 13 井油砂的饱和烃平均值为 32.2%(29.36%~35.82%),沥青质含量平均值为 10.50%(2.72%~14.43%),饱芳比平均值为 1.09(1.03~1.15),反映了油砂组分变化相对较小,应为同源产物。

1.2 饱和烃总离子流(TIC)特征

从油砂饱和烃 GC-MS 总离子流图中可见(图 2):1)中 1 井的中 1-88 号油砂的正构烷烃呈“双峰型”分布,后峰型占优势,主峰碳为 nC₂₈,次主峰为 nC₁₇,nC₂₃ 和 nC₂₅ 具有一定的奇碳优势;2)中 1-67,69 号油砂饱和烃中正构烷烃分布为 nC₁₂-nC₃₇,主峰碳为 nC₁₉;在 C₁₇-C₂₁ 范围具有奇碳优势,大于

表 1 塔中西北部中 1 井区下志留统砂岩中油气显示层段

Table 1 The oil and gas showing in the Lower Silurian sandstones in Well Zhong 1 zone, NW of Tazhong area

钻井	显示层段/m	油浸/ m	油斑/ m	油迹/ m	荧光/ m
中 1	4 610.3~5 181.4	—	4.43	0.76	13.28
中 11	5 003.0~5 088.0	1.24	6.57	—	3.00
中 13	4 991.0~5 161.0	—	—	—	—

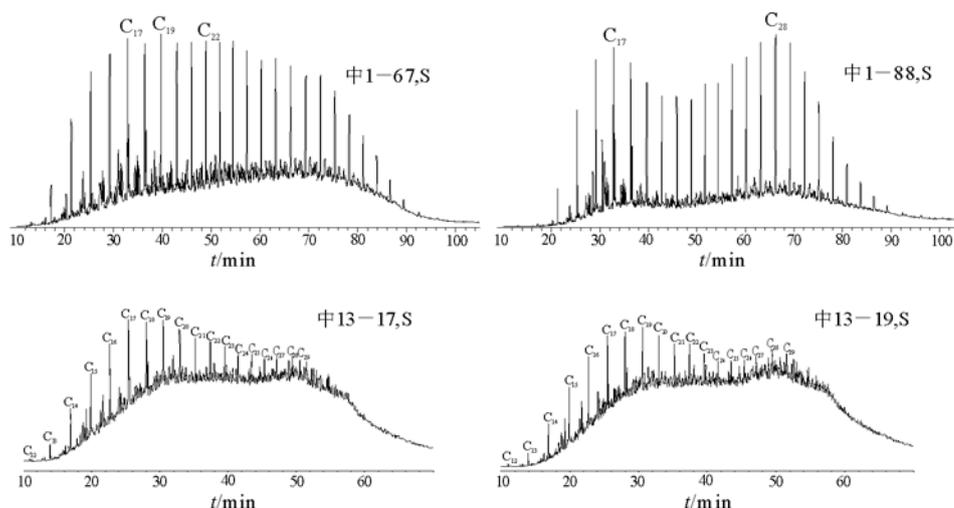


图 2 塔中西北部中 1 井区油砂饱和烃总离子流(TIC)

Fig. 2 the TIC diagram of saturated hydrocarbon fraction from extracts of the Lower Silurian oil sandstones in Well Zhong 1 zone, NW of Tazhong area

nC_{22} 正构烷烃具有较高的比例;3) 中 13 井区正构烷烃分布范围为 $nC_{17} - nC_{31}$, 主峰碳为 $nC_{17} - nC_{19}$; 大于 nC_{22} 正构烷烃的含量相对较低; 大于 nC_{19} 的正构烷烃的含量随碳数的增加而减少, 正构烷烃的基线有相当高的抬升, 它不同于中 1 井。因此, 中 1 井与中 13 井志留系油砂的油源及成熟度可能存在一定的差异。

2 油砂饱和烃的生物标志物特征

2.1 饱和烃中的姥鲛烷及植烷等生标参数

中 13 井志留系油砂中 OEP 介于 0.91~1.08 之间(平均 0.97), 表明它是处于成熟阶段; Pr/nC_{17} 为 0.334~0.432, 平均为 0.366, Ph/nC_{18} 为 0.467~0.627, Pr/Ph 为 0.564~0.951, 平均为 0.725, (表 3), 说明沥青中含大量的低碳数脂肪烃, 未经历强

烈生物降解。

另外, 在阿克苏沙井子的四石厂剖面, 志留系沥青砂岩显示了相同的 Pr/nC_{17} 和 Ph/nC_{18} 值, 不同的是 OEP 均大于 1, Pr/Ph 大于 0.95, 显示其成熟度相对较高, 镜下见到了运移态、发蓝白色荧光的油质沥青; 中 13 井上奥陶统桑塔木组的灰黑色泥灰岩以及灰质泥岩烃源岩的 Pr/nC_{17} 分别为 0.287, 0.25, Ph/nC_{18} 分别为 0.288, 0.24, Pr/Ph 分别为 1.167, 1.74, 说明中 13 井等志留系油砂与上奥陶统桑塔木组泥灰质烃源岩存在一定的差异。

2.2 三环萜烷—四环萜烷

研究表明^[2]: 中下寒武统烃源岩三环萜烷含量较高, 且分布完整($C_{19} - C_{31}$), 大于 C_{26} 的高碳数三环萜烷占有一定的比例; 上奥陶统中三环萜烷含量相对较低, 多以小于 C_{26} 的三环萜烷为主; 海相原

表 3 塔里木盆地中 1 井区、四石厂油砂及岩样的部分生标参数

Table 3 Various biomarkers of detected from the oil sandstones in Well Zhong 1 zone and Sishichang section, Tarim Basin

井/剖面	样号	岩性	深度/m	层位	生标参数			
					OEP	Pr/C ₁₇	Ph/C ₁₈	Pr/Ph
中 13	中 13-17	细砂岩	5 131.4	S ₁ k	1.076	0.334	0.568	0.731
	中 13-19	细砂岩	5 131.9	S ₁ k	0.941	0.342	0.519	0.655
	中 13-20	细砂岩	5 135.8	S ₁ k	0.966	0.432	0.467	0.951
	中 13-22	细砂岩	5 137.7	S ₁ k	0.914	0.356	0.627	0.564
	中 13-32	灰黑色泥灰岩	5 218.8	O ₃ s	1.127	0.287	0.288	1.167
	中 13-71	灰褐色白云岩	5 977.3	O ₁ g	0.992	0.131	0.168	0.749
顺 2	顺 2-3	泥岩	5 804.0	S ₁ k	1.006	0.493	0.635	1.152
	顺 2-6	泥晶灰岩	6 727.1	O ₃ l	0.942	0.559	0.747	0.643
四石厂	S-24	沥青细砂岩		S ₁ k	1.245	0.351	0.412	0.986
	S-28	沥青细砂岩		S ₁ k	1.056	0.469	0.529	0.954

油中三环萜烷的含量相对较高,碳数分布范围较宽,三环萜烷中以 C_{23} 三环萜烷为主峰。中1井下奥陶统原油中的 $C_{23}TT/C_{30}H$ 比值为 1.24,三环萜烷/藿烷比值为 1.36。

中1井的中1-67、中1-69样品以 C_{19} 三环萜烷为主峰,大于 C_{26} 三环萜烷含量相对较低;中1-88样品中的三环萜烷以 C_{23} 为主峰, C_{21} 三环萜烷为次主峰, $C_{23}TT/C_{30}H$ 比为 0.5~0.8,但其三环萜烷含量明显偏低。中13井志留系油砂中,三环萜烷的分布范围为 $C_{19}-C_{31}$,大于 C_{26} 的高碳数三环萜烷为 10.36%~15.35%,以 C_{24} 三环萜烷为主峰, $C_{21}TT$, $C_{23}TT$ 为次主峰。四石厂剖面中的沥青砂岩则显示出不同的三环萜烷含量特征,其中S-26样品中的大于 C_{23} 三环萜烷类含量相对较高,类似于中13井志留系油砂,可能来源中下寒武统烃源岩;而S-24样品中小于 C_{23} 三环萜烷类含量相对较高,推测来自于上奥陶统烃源岩(表4)。

一般认为,塔里木盆地中下寒武统烃源岩 $C_{24}Te/$

$C_{26}TT$ 比值明显低于上奥陶统烃源岩^[2]。分析表明:中1井的中1-67,中1-69号样品中的 $C_{24}Te/C_{26}TT$ 比值较高,为 4.84~5.33,而中1-88号样品中 $C_{24}Te/C_{26}TT$ 比值为 1,相对含量较低。

2.3 甾烷系列

中13井油砂样品中(表5),甾烷系列显示出 $C_{27} > C_{28} < C_{29}$ (图3), $C_{28}20R$ 甾烷的含量均小于 16%。中1井的中-88号样品中的甾烷分布 $C_{29} > C_{27} \approx C_{28}$, C_{28} 甾烷的含量相对较高,重排甾烷的含量相对较低, $C_{27}Dia/C_{27}Reg$ 的比值为 0.35;中-67、中-69号样品 C_{27} , C_{29} 甾烷均势, C_{28} 甾烷含量低,重排甾烷含量高, $C_{27}Dia/C_{27}Reg$ 比值为 0.54~0.66。

研究表明^[2]:中下寒武统烃源岩具有较高的 C_{28} 甾烷含量和较低的重排甾烷含量,而中1井下奥陶统原油中 C_{28} 甾烷的含量占甾烷的 20%,志留系沥青砂岩具高孕甾烷、高重排甾烷、高异胆甾烷及相对较丰富的 C_{27} 甾烷,除中1-88外,其余与上奥陶统灰黑泥灰岩规则甾烷分布有一定的类似性

表4 塔里木盆地中1井区、顺2及四石厂剖面油砂及岩样抽取物的饱和烃中三环萜烷相对含量

Table 4 The relative content of tricyclic terpanes in saturated fraction from extracts of the Lower Silurian oil sandstones in Well Zhong 1 zone and Well Shun 2 and Sishichang section, Tarim Basin

探井/ 剖面	样号	岩性	三环萜烷相对含量, %							
			C_{19}	C_{20}	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}	C_{26}	$>C_{26}$
中13	中13-17	细砂岩	1.80	4.60	6.02	2.17	11.34	12.03	4.87	15.35
	中13-19	细砂岩	1.83	4.96	6.25	2.22	11.31	17.05	4.71	10.36
	中13-20	细砂岩	2.00	5.44	6.64	2.43	12.25	18.32	5.50	10.55
	中13-22	细砂岩	1.99	5.22	6.56	2.32	12.15	18.41	4.93	10.69
	中13-32	灰黑泥灰岩	0.99	0.86	0.77	0.33	0.98	2.65	0.35	1.70
	中13-71	褐灰色白云岩	10.50	8.42	4.72	1.18	3.52	3.52	1.31	—
顺2	顺2-3	泥岩	2.71	7.13	7.33	1.62	5.88	5.17	2.06	4.10
	顺2-6	泥晶灰岩	1.65	4.93	5.52	2.29	13.28	15.50	5.90	12.85
四石厂	S-24	含沥青细砂岩	1.48	5.21	6.52	1.87	9.59	10.20	4.06	7.72
	S-26	含沥青细砂岩	0.14	0.54	2.65	2.09	13.99	16.99	7.03	11.02

表5 塔中西北部中1井区油砂及岩样的饱和烃中规则甾烷相对含量

Table 5 The relative content of regular steranes in saturated fraction from extracts of the Lower Silurian oil sandstones and rocks in Well Zhong 1 zone, NW of Tazhong area

探井/ 剖面	样号	岩性	规则甾烷含量, %			规则甾烷相对含量, %		
			C_{27}	C_{28}	C_{29}	C_{27}	C_{28}	C_{29}
中13井	中13-17	细砂岩	3.58	1.53	5.97	32.31	13.81	53.88
	中13-19	细砂岩	3.83	1.90	6.16	32.21	15.98	51.81
	中13-20	细砂岩	4.36	1.72	5.75	36.86	14.54	48.61
	中13-22	细砂岩	3.76	1.76	6.16	32.19	15.07	52.74
	中13-32	灰黑色泥灰岩	2.30	1.98	5.29	24.03	20.69	55.28
	中13-71	褐灰色白云岩	3.67	2.61	5.65	30.76	21.88	47.36
顺2	顺2-3	泥岩	5.41	4.48	9.00	28.64	23.72	47.64
	顺2-6	泥晶灰岩	2.23	1.57	5.47	24.06	16.94	59.01
四石厂	S-24	含沥青细砂岩	4.30	3.48	7.38	28.36	22.96	48.68
	S-26	含沥青细砂岩	1.84	0.42	1.77	45.66	10.42	43.92

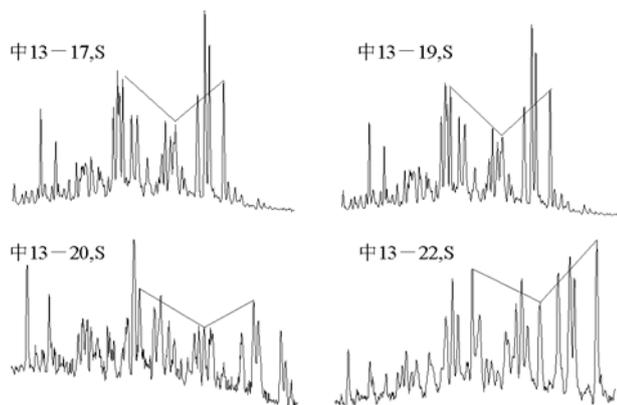


图 3 塔中西北部中 13 井油砂 m/z 217 质量色谱图

Fig. 3 M/Z 217 mass chromatograms of the Lower Silurian oil sandstones in Well Zhong 13, NW of Tazhong area

(表 5, 图 3)。

综上所述,在甾烷组成上,中 1 井的中 1-88 样品与中下寒武统烃源岩相类似,但萜烷组成与其有明显差异,正构烷烃呈双峰分布,至少经历了 2 期以上的烃类注入;中 1-67、中 1-69 号可能与中下寒武统烃源岩具有成因联系。中 13 井等志留系油砂不同于具有较高的 C_{28} 甾烷含量、较低的重排甾烷含量、较高大于 C_{26} 的高碳数三环萜烷的中下寒武统烃源岩,与上奥陶统灰黑泥灰岩及主垒带的低 C_{28} 、低三芳甲藻甾烷的原油类似(O_3),具有一定的成因联系。

3 油砂馏分中的碳同位素组成特征

从碳同位素值分布分析(表 6):1)以中 1 井志留系(中 1-67、中 1-69 和中 1-88 号)为代表的碳同位素组成呈直线上升,表现为最规则的变化;2)除

了四石厂中一个样品具有典型的直线上碳同位素组成外,中 13、跃南 1、哈 1 井均具有相似的上升式碳同位素组成,反映其源区、成熟度可能有一定的相似性;3)中 13 井样品具有相对于烷烃、芳烃而言,其非烃或沥青质碳同位素偏负的异常分布样式,推测是非烃、沥青馏分的碳同位素组成基本上代表了早期充注原油的碳同位素组成,而后期以饱和烃为主的相对高成熟的充注使得混合原油中烃类馏分的碳同位素组成展示了偏正的特征,因此,可能是 2 期充注的烃类,是同源而具有不同成熟度。

4 结论

1)中 1 井油砂饱和烃为 51.31%~60.15%,非烃+沥青质也较低(9.31%~17.89%),饱芳比为 1.68~1.94;中 13 井等志留系油砂中饱和烃平均为 30%左右,饱芳比平均值为 1, OEP 值介于 0.91~1.08 之间,平均为 0.97,前者代表保存较好、未受生物降解的原油;后者为受生物降解的原油。

2)中 1 井的中 1-88 样品抽取物的正构烷烃呈“双峰型”分布,以后峰型占优势;但其它样品中的正构烷烃分布为 $nC_{12} - nC_{39}$,主峰碳为 $nC_{17} - nC_{19}$, OEP 值介于 0.91~1.08 之间,平均为 0.97, Pr/ nC_{17} , Ph/ nC_{18} 和 Pr/Ph 比值表明处于成熟阶段。

3)中 1 井的中 1-67、中 1-69 和中 13 井中均有一定三、四环萜烷含量。中 1 井的中 1-88 样品中的三环萜烷含量明显偏低,且 $C_{24}Te/C_{26}TT$ 比值较低;中 1-67、中 1-69 中大于 C_{23} 三环萜烷类相对较低,但 $C_{24}Te/C_{26}TT$ 比值较高,既有中下寒武统烃源岩(中 13 井和中 1-88)又有上奥陶统烃源岩特征(中 1-67 和中 1-69)。

表 6 塔里木盆地中 1 井区、顺 2、哈 1、跃南 1 井等油砂及岩样族组分碳同位素分析

Table 6 Date of carbon isotope of petroleum family composition in the saturated fraction from extracts of the Lower Silurian oil sandstones in Well Zhong 1 zone, well Shun 2, Ha 1 and Yuenan 1, NW of Tazhong area

样号	岩性	深度/m	层位	$\delta^{13}C_{PDB}, \%$			
				饱和烃	芳烃	非烃	沥青质
中 13-17	细砂岩	5 131.4	S_1k	-33.22	-32.54	-32.70	-32.79
中 13-19	细砂岩	5 131.9	S_1k	-33.20	-32.45	-32.88	-32.52
中 13-20	细砂岩	5 135.8	S_1k	-32.89	-32.31	-32.85	-32.48
中 13-22	细砂岩	5 137.7	S_1k	-33.00	-32.55	-32.54	-32.98
中 1-67	角砾岩	4 959.3	S_1k	-33.54	-32.22	-31.74	-31.54
中 1-69	角砾岩	4 962.5	S_1k	-33.79	-32.14	-31.37	-31.52
中 1-88	岩屑砂岩	5 117.2	S_1k	-32.50	-32.31	-32.12	-31.54
顺 2-3	泥岩	5 804.0	S_1k	-31.42	-34.23	-34.16	-33.73
中 13-32	灰黑泥灰岩	5 218.8	O_3s	-30.06	-28.99	-29.43	-29.19
顺 2-6	泥晶灰岩	6 727.1	O_3l	-35.35	-33.78	-33.25	-32.71
中 13-71	褐灰色白云岩	5 977.3	O_1g	-30.08	-29.14	-29.39	-28.93
跃南 1	沥青砂岩	5 806.4	S	-33.21	-31.35	-32.74	-32.97
哈 1	沥青砂岩	6 086~6 102	S	-32.41	-32.67	-32.93	-31.68

4)中1井的中1-88样品中具有较高的 C_{28} 甾烷含量、较低的重排甾烷含量、大于 C_{26} 的高碳数三环萜烷高,与中下寒武统烃源岩相类似;中13井、中1井的中1-67、中1-69样品中 $C_{27} > C_{28} \ll C_{29}$,与上奥陶统泥灰岩及塔中主垒带的低 C_{28} 、低三芳甲基甾烷的原油有一定成因联系和相似性。

5)中1井油砂族组成的碳同位素组成呈规则碳同位素分布曲线的变化;中13井中的非烃及沥青质碳同位素相对偏负,可能反映了多期油气充注的特征。

6)塔中地区西北部中1井区志留系油砂(及沥青砂岩)的油源主要来自于中下寒武统烃源岩^[12],同时也有后期(晚期)的上奥陶统烃源岩的烃类充注叠加^[3~5]。

参考文献:

- 刘大锰,金奎励,王凌志. 塔里木盆地志留系沥青砂岩的特性及其成因[J]. 现代地质,1999,13(2):169~175
- 刘洛夫,赵建章,张水昌等. 塔里木盆地志留系沥青砂岩的形成期次及演化[J]. 沉积学报,2000,18(3):475~479
- 肖中尧,卢玉红,桑红等. 一个典型的寒武系油藏:塔里木盆地塔中62井油藏成因分析[J]. 地球化学,2005,34(2):155~160
- 赵孟军,张宝民,肖中尧等. 塔里木盆地奥陶系偏腐殖型烃源岩的发现[J]. 天然气工业,1998,18(5):32~38
- 王大锐,宋力生. 论我国海相中上奥陶统烃源岩的形成条件:以塔里木盆地为例[J]. 石油学报,2002,23(1):31~34
- 张水昌,张宝民,王飞宇等. 塔里木盆地两套海相有效烃源层: I. 有机质性质、发育环境及控制因素[J]. 自然科学进展,2001,11(3):261~267
- 王飞宇,刘长伟,朱雷等. 塔里木盆地台盆区寒武系烃源岩有机成熟度[J]. 新疆石油地质,2002,23(5):372~375
- 王飞宇,张水昌,张宝民等. 塔里木盆地寒武系海相烃源岩有机成熟度及演化史[J]. 地球化学,2003,32(5):461~467
- 杨威,魏国齐,王清华等. 塔里木盆地寒武系两类优质烃源岩及其形成的含油气系统[J]. 石油与天然气地质,2004,25(3):263~267
- 于炳松, Dong Hailiang, 陈建强等. 塔里木盆地寒武统底部高熟海相烃源岩中的有机质的赋存状态[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2004,29(2):198~202
- 赵宗举,周新源,郑兴平等. 塔里木盆地主力烃源岩的诸多证据[J]. 石油学报,2005,26(3):10~15
- 罗宪婴,赵宗举,孟元林. 正构烷烃奇偶优势在油源对比中应用:以塔里木盆地古生界为例[J]. 石油实验地质,2007,29(1):74~77

(上接 285 页)

参考文献:

- 道格拉斯 兰尼尔. 重油:21世纪的重要能源[J]. 中国能源,1999,(6):29~30
- 黄第藩,张大江,王培荣等. 中国未成熟石油成因机制和成藏条件[M]. 北京:石油工业出版社,2003. 前言,137~176,428~456
- 谢增业,田世澄,魏国齐等. 川东北飞仙关组储层沥青与古油藏研究[J]. 天然气地球科学,2005,16(3):283~288
- 张林,魏国齐,吴世祥等. 四川盆地地震旦系:下古生界沥青产烃潜力及分布特征[J]. 石油实验地质,2005,27(3):276~280
- 马力,陈焕疆,甘克文等. 中国南方大地构造和海相油气地质[M]. 北京:地质出版社,2004. 1~867
- 马永生. 中国海相碳酸盐岩油气资源、勘探重大科技问题及对策[J]. 海相油气地质,2000,5(1-2):15
- 秦建中. 青藏高原羌塘盆地海相烃源层的沉积形成环境[J]. 石油实验地质,2006,28(1):8~14
- 秦建中. 青藏高原羌塘盆地中生界主要烃源层分布特征[J]. 石油实验地质,2006,28(2):134~141
- 赵政璋,秦建中,许怀先等. 青藏高原海相烃源岩的油气生成[M]. 北京:科学出版社,2000. 1~63
- 秦建中. 青藏高原羌塘盆地有机相展布与成烃模式[J]. 石油实验地质,2006,28(3):264~273
- 秦建中. 羌塘盆地有机质热演化与成烃史研究[J]. 石油实验地质,2006,28(4):350~358
- 秦建中. 中国烃源岩[M]. 北京:科学出版社,2005. 111~251,368~437
- 秦建中. 青藏高原羌塘盆地油源及运移过程[J]. 石油实验地质,2006,28(5):450~457
- 秦建中. 青藏高原羌塘盆地油气资源潜力分析[J]. 石油实验地质,2006,28(6):566~573
- 刘宝泉,蔡冰,方杰. 上元古界下马岭组页岩干酪根的油气生成模拟实验[J]. 石油实验地质,1990,12(2):147~160
- 秦建中,刘井旺,刘宝泉等. 加温时间、加水量对模拟实验油气产率及地化参数的影响[J]. 石油实验地质,2002,24(2):152~157
- Tissot B P, Welte D H. Petroleum formation and occurrence: a new approach to oil and gas [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1978. 1~486
- Jones R W. Comparison of carbonate and shale source rocks [A]. In: Palacas J G ed. Petroleum geochemistry and source rock potential of carbonate rocks: AAPG Studies in Geology [M]. Tulsa: AAPG, 1984. 163~180
- 秦建中. 海相不同类型烃源岩生排烃模式研究[J]. 石油实验地质,2005,27(1):74~80
- 秦建中,刘宝泉,郑伦举等. 海相碳酸盐岩生排烃能力研究[J]. 石油与天然气地质,2006,27(3):348~355
- 秦建中,金聚畅,刘宝泉. 海相不同类型烃源岩有机质丰度热演化规律[J]. 石油与天然气地质,2005,26(2):177~184