

塔里木盆地顺1走滑断裂带超深储层油气充注历史

王玉伟¹, 陈红汉¹, 郭会芳¹, 朱志辉¹, 王倩茹¹, 喻鹏², 漆立新³, 云露³

[1. 中国地质大学(武汉)资源学院 石油地质系, 湖北 武汉 430074; 2. 北部湾大学 石油与化工学院, 广西 钦州 535000;
3. 中国石化 西北油田分公司, 新疆 乌鲁木齐 830011]

摘要: 顺北地区是近期塔里木盆地超深层油气勘探获得重大突破的领域。通过顺北地区奥陶系一间房组储层原油和天然气地质特征对比,并结合荧光颜色和显微荧光光谱参数分析,认为顺北地区奥陶系经历了多期油气充注,且早期充注原油遭受一定程度的生物降解,而天然气为原油伴生气。利用类异戊二烯烃、生物标志化合物和原油轻烃对顺北地区和顺南地区原油进行对比,发现顺北地区油气来源与顺南地区一样来自于寒武系玉尔吐斯组烃源岩,通过断穿寒武系的断层向上运移至奥陶系储集层。对顺北地区采集样品进行流体包裹体测试、冷阴极发光、荧光观察等系统分析,结果表明顺北地区发生了“五幕三期”油充注和一期天然气充注,第一期为加里东晚期,第二期为海西晚期,第三期为喜马拉雅晚期,而天然气充注发生在喜马拉雅晚期。

关键词: 流体包裹体; 油气充注历史; 走滑断裂带; 超深储层; 顺北地区; 塔里木盆地

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

Hydrocarbon charging history of the ultra-deep reservoir in Shun 1 strike-slip fault zone, Tarim Basin

Wang Yuwei¹, Chen Honghan¹, Guo Huifang¹, Zhu Zhihui¹, Wang Qianru¹, Yu Peng², Qi Lixin³, Yun Lu³

[1. School of Earth Resources, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan, Hubei 430074, China;
2. School of Petroleum and Chemical Engineering, Beibu Gulf University, Qinzhou, Guangxi 535000, China;
3. Northwest Oil Company Ltd., SINOPEC, Urumqi, Xinjiang 830011, China]

Abstract: Major breakthrough in oil-gas exploration has been made in the ultra-deep strata of Shunbei area, Tarim Basin. Following the geochemistry comparison of crude oil and natural gas in the Ordovician Yijianfang Formation in Shunbei area, combined with the analysis of microscopic fluorescence spectrum parameters and fluorescence color, we put forward that the study area has undergone multi-stage hydrocarbon charging, the crude oil charged earlier has experienced biodegradation to a certain degree, while the gas is associated with the crude oil. In addition, through the comparison of crude oil in Shunbei and Shunnan areas in terms of isoprenoid parameters, biomarker compounds and light hydrocarbons in crude oils, we found that the hydrocarbon in Shunbei area is derived from the same source rocks as Shunnan area, that is, from the Cambrian Yurtusi Formation source rocks, and has migrated up to the Ordovician reservoirs along the faults cutting through the Cambrian. The samples collected in Shunbei area were analyzed systematically by fluid inclusion testing, as well as cold cathodoluminescence and fluorescent observations. The results show that there are three stages of oil charging in the late Caledonian, late Hercynian, and late Himalayan respectively, and one-stage gas charging in the late Himalayan.

Key words: fluid inclusion, hydrocarbon charging history, strike-slip fault zone, ultra-deep reservoir, Shunbei area, Tarim Basin

前人研究成果表明,塔里木盆地属于典型的叠合盆地,下古生界碳酸盐岩层系具有多旋回构造运动、多源多期成藏和古隆起-古斜坡控藏的特点^[1-3]。然而,随着油气勘探不断推进,不仅在古隆起-古斜坡超

深层稠油和沥青油藏之下钻遇新的轻质-挥发性油藏(例如,于奇西1井),而且在构造鞍部的顺北地区和顺托果勒地区超深层(>4 500 m)奥陶系走滑断裂带内获得重大突破,预计油气储量达到 17×10^8 t(其中

收稿日期:2018-05-11;修订日期:2019-06-18。

第一作者简介:王玉伟(1987—),男,博士研究生,油气成藏机理与微生物岩储层。E-mail: wangyuwei@cug.edu.cn。

通讯作者简介:陈红汉(1962—),男,教授、博士生导师,油气成藏和流体包裹体系统分析。E-mail: hhchen@cug.edu.cn。

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2012CB214804);国家科技重大专项(2008ZX05008-003-30);广西省自然科学基金项目(2016GXNSFBA380180,2017GXNSFAA198105)。

石油 12×10^8 t, 天然气为 $5\,000 \times 10^8$ m³)^[4]。由此带来两个认识上的突破:一是走滑断裂带具有控储-控藏作用^[5-6];二是构造鞍部晚期聚集的成熟-高成熟油气可能主要来自于其下伏寒武系烃源岩,通过走滑断层垂向运聚成藏,而并非来自于已经进入过成熟阶段的满加尔坳陷寒武系烃源灶。于是,近期在塔里木盆地油气勘探中掀起了一股研究走滑断裂的热潮^[7-10]。

前人对于顺北周边地区的油气勘探已经做了大量研究工作。王铁冠等通过利用天然气烃类组分及稳定碳同位素对顺南-古城地区奥陶系天然气进行气-气对比发现,该区域天然气来自于寒武系气源层^[11];刘丽芳认为塔北隆起具有海陆两相油气来源,且在加里东晚期、海西晚期和喜马拉雅期发生了三期油气充注^[12];田鹏等认为走滑断裂控制了跃参地区的油气充注,且近NW向走滑断裂带更富集油气^[9];云露等认为顺南地区油气主要来自于满加尔坳陷及顺南地区寒武系-中下奥陶统盆地-斜坡相烃源岩,而断裂带是油气富集的有利区带^[8];朱传玲等对沙雅隆起星火1井寒武系玉尔吐斯组烃源岩进行研究并与利用生物标志化合物等手段与塔河油田原油进行了油源对比,发现两者具有一定的亲缘关系^[13];朱光有等认为塔北地区

原油是中-上奥陶统和寒武系烃源岩混合的结果,并通过人工混源配比实验建立与生标参数的关系,得出塔北地区混源油中以中、上奥陶统烃源岩的贡献度最大^[14]。本文基于顺北地区顺1走滑断裂带原油和奥陶系一间房组储层岩心样品地化和流体包裹体系统分析,旨在探究顺1走滑断裂带内部油气来源与充注历史,为塔里木盆地超深层油气勘探提供参考依据。

1 地质概况

顺北地区位于塔里木盆地满加尔坳陷与阿瓦提凹陷、沙雅隆起与卡塔克隆起之间的鞍部,俗称“顺托果勒低隆起”或“阿-满古梁子^[15]”(图1)。迄今钻井揭示顺北地区奥陶系从下到上依次发育中-下奥陶统鹰山组、中奥陶统一间房组、上奥陶统恰尔巴克组、良里塔格组和桑塔木组。其中,一间房组以浅灰色砂屑泥晶灰岩、褐灰色沥青质砂屑泥晶灰岩夹黑色沥青和藻屑灰岩为主(图2)。

顺北地区奥陶系发育NW、NNE和NE向3组断裂,其中,NW向断裂局部发育;NNE向断裂贯穿全区,从卡塔克隆起,经过顺北地区,一直延伸到沙雅隆起,且对NW向断裂具有限制作用;而顺1断裂是沙雅隆

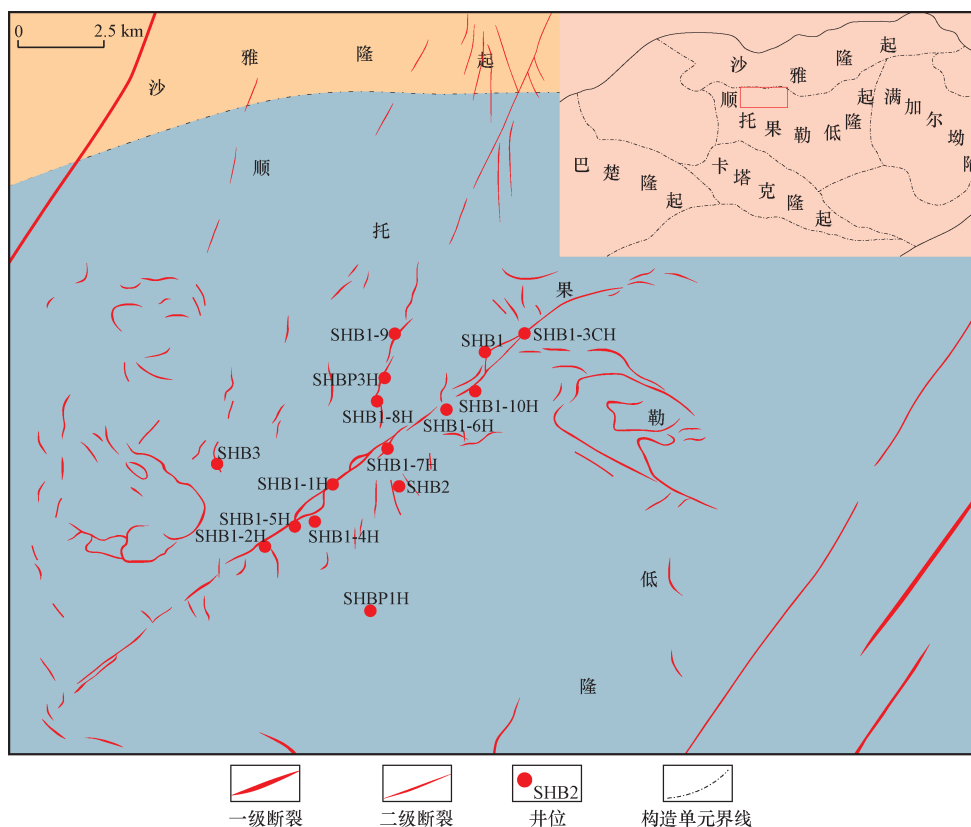


图1 塔里木盆地顺北地区T₄界面断裂和钻井分布

Fig. 1 The fault and well distribution on the T₄ interface in Shunbei area, Tarim Basin

起与卡塔克隆起之间一条 NE 向调节性走滑断裂,且切割 NNE 向断裂,表明其晚期持续活动(图 1)。

根据顺 1 工区三维地震解释,加里东中期Ⅲ幕(晚奥陶世)为其断裂体系的雏形期;加里东晚-海西早期为主要形成期;海西晚期、印支期-喜马拉雅期,NNE 和

NE 向断裂在塔河-顺北等地区继承性活动。NE 向走滑断裂表现出南早北晚、早强晚弱、断至基底、具有通源作用和分段性特点(图 1,图 3)。其中,顺 1 走滑断裂沿着走向发育正花、负花和平移状构造样式,在双重变形(压扭或张扭)的花状断裂破碎带内储集体最为发育^[10]。

钻探结果揭示,顺北地区走滑断裂带内是油气富集区域。其中,NE 向走滑断裂带在平面上分为走滑-弱拉分、强挤压、拉分、挤压-走滑、弱挤压和弱挤压-拉分段(图 4),SHB1-3CH 井区位于弱挤压-拉分段,SHB1-7H 井处于挤压-走滑段,其断裂在剖面上从穿过 T_7^4 界面(恰尔巴克组与一间房组界面)并向下延伸断穿 T_8^1 界面(寒武系上统与下统界面),往下继续延伸,沟通了寒武系与奥陶系。

2 样品分析

本文采集顺北地区 SHB1-3CH 井和 SHB1-7H 井中奥陶统一间房组岩心样品,岩性主要包括泥晶灰岩、藻屑灰岩、生物碎屑灰岩和颗粒灰岩以及方解石脉等。在中国地质大学(武汉)“构造与油气资源”教育部重点实验室完成流体包裹体系统测试。其中,透射镜和荧光观察仪器为 Nikon 80I 透射光和荧光双通道

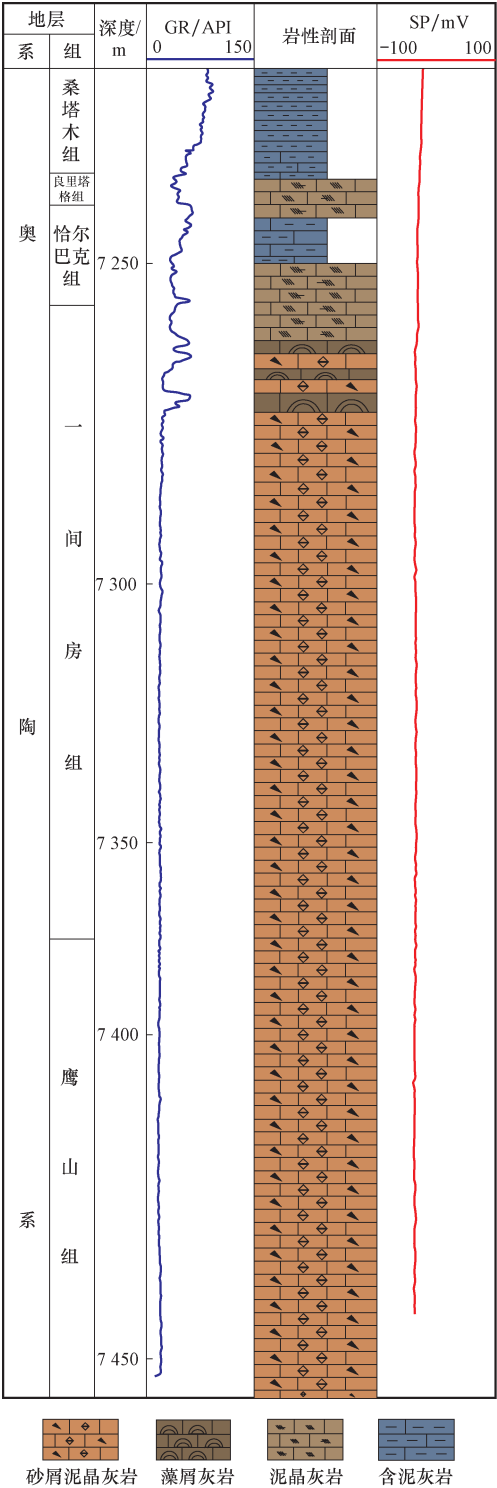


图 2 塔里木盆地顺北地区 1-3CH 井地层综合柱状图
Fig. 2 The composite stratigraphic column of Well SHB1-3CH in Shunbei area, Tarim Basin

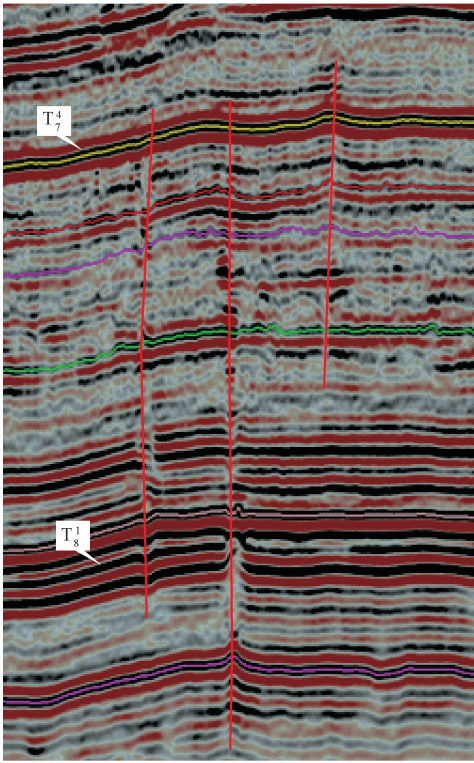
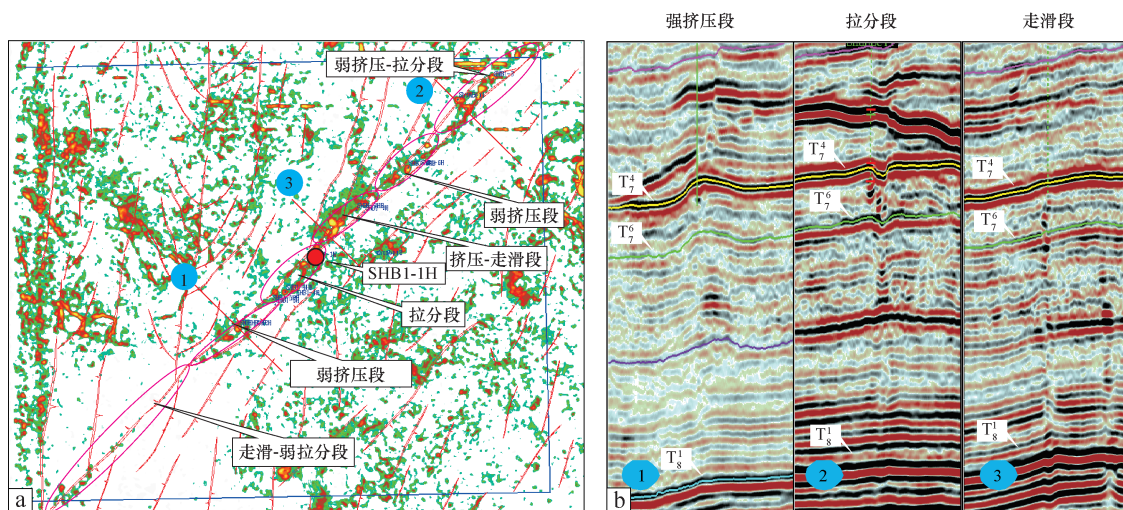


图 3 塔里木盆地顺 1 走滑断裂带 3D 地震解释剖面
Fig. 3 The profiles showing the 3D seismic interpretation of Shun1 strike-slip fault zone in Tarim Basin

图4 塔里木盆地顺北工区 T_7^4 界面断裂解释Fig. 4 A map showing faults interpreted on the T_7^4 interface in Shunbei area, Tarim Basina. T_7^4 界面断裂平面特征; b. T_7^4 界面断裂剖面特征

显微镜,流体包裹体测温仪器为 Linkam THMS G600 冷热台,阴极光观察仪器为 RELION I III CL。原油和天然气气相色谱-质谱分析在中国石化石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所实验研究中心完成。

2.1 原油地化特征

顺北地区一间房组原油密度在 20 °C 时介于 0.789 3~0.809 1 g/cm³,平均密度为 0.796 g/cm³,属于低凝固点、低粘度、低硫、含蜡的弱挥发性轻质油-挥发性原油;饱和烃含量较高,平均达 91.15%,芳烃含量较低,平均为 3.13%;非烃和沥青质含量整体不高,平均为 2.86%。

顺北 1-3CH 井奥陶系一间房组原油甾烷异构化参数 $C_{29}\alpha\alpha\alpha/20S/(20S+20R)=0.42$,以低分子量甾烷为主,规则甾烷含量较低,萜烷等无法检测;原油甲基

二苯并噻吩分布指数(MDBI)为 0.47,通过公式 $R_o = 1.33MDBI + 0.48$ ^[16] 得出其镜质体反射率为 1.11%。这些特征说明原油的成熟度较高,而 $Pr/Ph=0.96 < 1$,说明烃源岩沉积于缺氧的还原环境。

顺北 1-1H 井原油饱和和气相色谱图显示出,主峰碳为 C_{15} ,可见轻微 UCM,其正构烷烃较为完整(图 5a)。顺北 1-3CH 井原油饱和和气相色谱图同样出现了 UCM 峰,主峰碳为 C_{11} ,其正构烷烃也较为完整(图 5b)。结合储层溶孔、溶洞中出现的沥青(图 6a,b)认为顺北地区奥陶系一间房组存在多期油气充注,早期充注原油遭受了一定的生物降解作用,后期充注了高成熟原油(图 6d,f)甚至天然气(图 6c)与之混合。

2.2 天然气地化特征

顺北地区奥陶系一间房组天然气组成以 CH_4 为主,

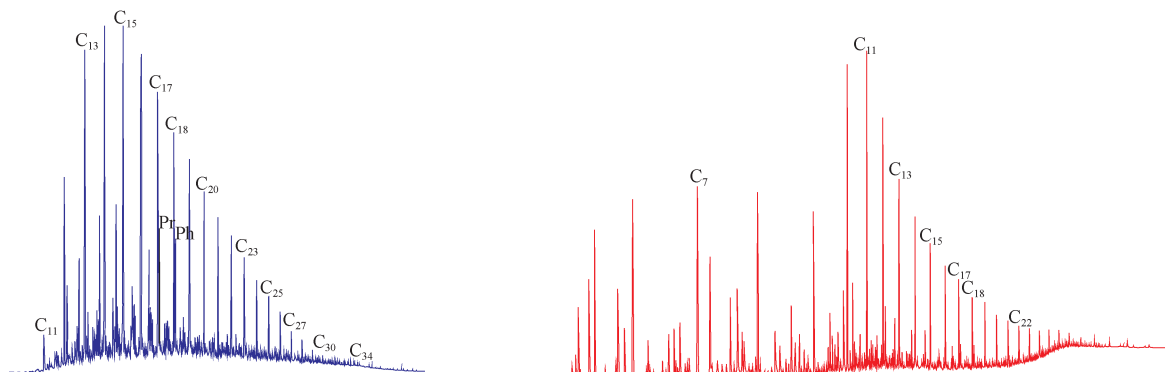


图5 塔里木盆地顺北地区原油饱和烃色谱①

Fig. 5 Gas chromatograms of saturated hydrocarbons in crude oils in Shunbei area, Tarim Basin①

a. 顺北 1-1H 井, O_2Yj , 原油, 埋深 7 458.00~7 613.05 m; b. 顺北 1-3H 井, O_2Yj , 原油, 埋深 7 255.70~7 357.89 m

① 顺北 1 井区油气地球化学特征对比. 中国石化西北油田分公司, 2017.

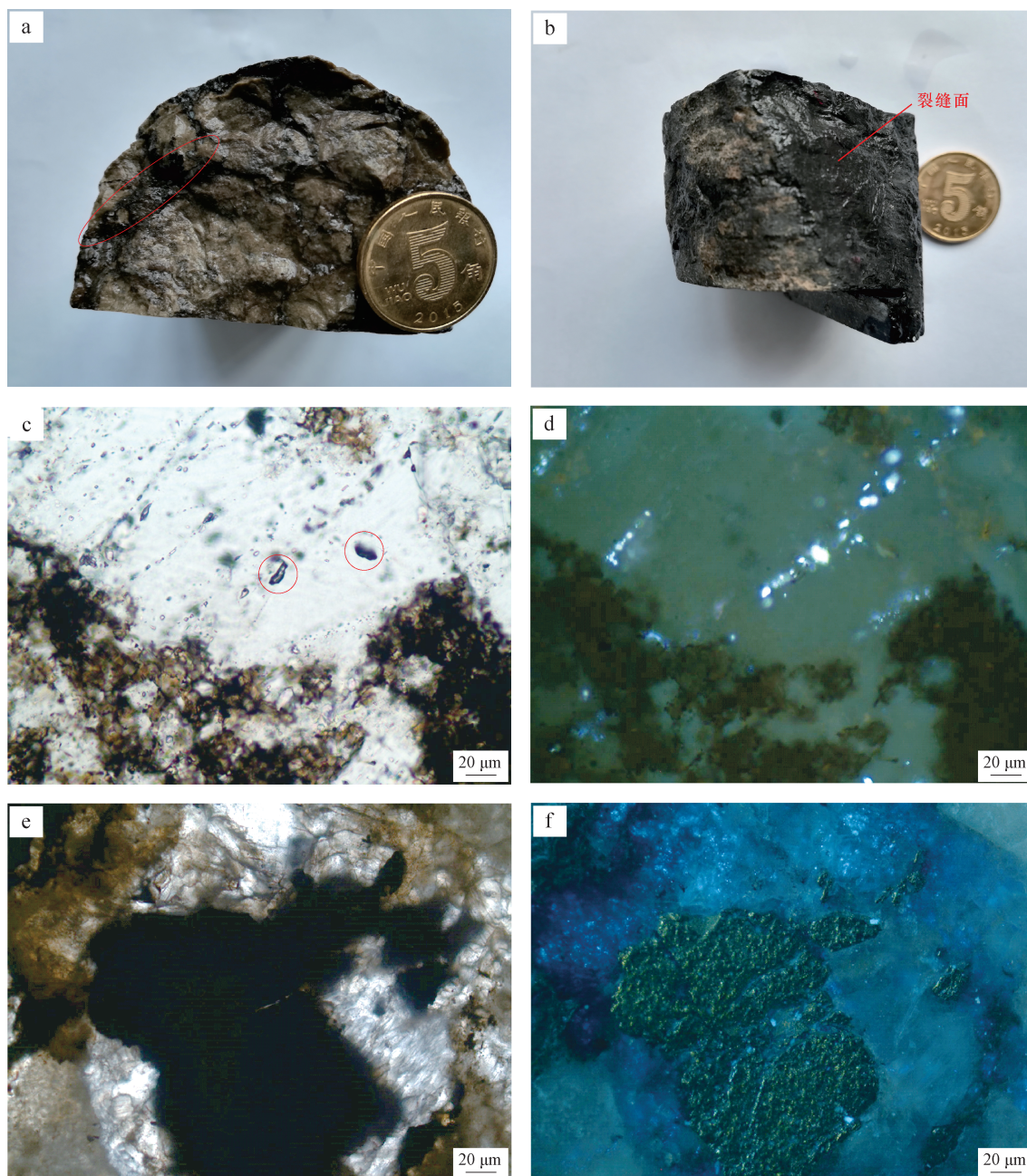


图6 塔里木盆地顺北地区奥陶系储层溶孔溶洞中的沥青、纯气相包裹体照片和裂纹中捕获高成熟度油包裹体

Fig.6 Pictures showing the bitumen and gas inclusions in the dissolved pores and cavities, and the oil inclusions of high maturity entrapped by cracks in the Ordovician reservoir in Shunbei area, Tarim Basin

a. 裂缝充填沥青, 顺北1-7H井, O_2YJ , 埋深7 356.60 m, 生物碎屑灰岩; b. 裂缝面有疑似焦沥青分布, 顺北1-3CH井, O_2YJ , 埋深7 269.10 m, 生物碎屑灰岩; c. 溶洞充填方解石有气包裹体的发育(红色圈出), 透射光, 顺北1-3CH井, O_2YJ , 埋深7 269.10 m, 生物碎屑灰岩; d. 溶洞充填方解石捕获的气包裹体发弱荧光, 荧光, 顺北1-3CH井, O_2YJ , 埋深7 269.10 m, 生物碎屑灰岩; e. 溶洞充填方解石中发育沥青, 透射光, 顺北1-7H井, O_2YJ , 埋深7 353.81 m, 生物碎屑灰岩; f. 溶洞充填方解石中发育沥青呈现蓝色荧光, 荧光, 顺北1-7H井, O_2YJ , 埋深7 353.81 m, 生物碎屑灰岩

重烃气含量较高, 均大于5%, 干燥系数均为0.87, 属于典型的湿气; 非烃类气体主要为 N_2 和 CO_2 (表1)。烃气 $\delta^{13}C_1 < -30\text{‰}$, 且碳同位素组成具有正序特征, 并含有一定量的丁烷(表2)。根据 $\delta^{13}C_1 - \delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_3$ 鉴别图版^[17]可以看出, $C_1/(C_2 + C_3)$ 大部分小于10, 且 $\delta^{13}C_1$ 介于 $-44.7\text{‰} \sim -47.0\text{‰}$ 。综上判断, 顺北

地区的天然气类型主要为原油伴生气(图7)。

2.3 流体包裹体

一间房组岩心和薄片岩石学观察结果表明, 捕获油气包裹体的胶结物主要有4个世代, 其阴极光颜色分别为暗色、暗棕色、黄色和橘黄色。早期方解石胶结

表 1 塔里木盆地顺北地区天然气组分含量
Table 1 Gas components of Shunbei area, Tarim Basin

井号	层位	天然气组分含量(mol)/%														
		H ₂	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆	iC ₄ H ₁₀	nC ₄ H ₁₀	C ₄ H ₈	iC ₅ H ₁₂	nC ₅ H ₁₂
顺北 1-1H	O ₂ yl	0.01	0	1.16	0	2.59	83.73	6.99	0	3.25	0	0.71	1.04	0	0.27	0.24
顺北 1-3CH	O ₂ yl	0	0	1.49	0	2.70	82.89	7.57	0	3.43	0	0.69	0.91	0	0.19	0.14

表 2 塔里木盆地顺北地区天然气地球化学参数
Table 2 Geochemical parameters of gas in Shunbei area, Tarim Basin

井号	深度/m	地层	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)/‰							
			CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	iC ₄ H ₁₀	nC ₄ H ₁₀	iC ₅ H ₁₂	nC ₅ H ₁₂
顺北 1-3CH	7 255.70 ~ 7 357.89	O ₂ yl	0.1	-44.7	-33.3	-30.8	-34.2	-29.0	-31.6	-28.2
顺北 1-4H	7 459.00 ~ 7 561.96	O ₂ yl	0.5	-47.0	-33.8	-31.6	-35.2	-29.4	-30.8	-28.5

物主要充填于铸模孔、溶孔、溶洞、粒间孔和早期裂缝中,其阴极光呈现暗色和暗棕色;橘黄色阴极光的方解石胶结物主要充填于溶孔溶洞和部分切割早期裂缝的晚期裂缝(图 8);晚期裂缝还切穿早期铸模孔或溶孔溶洞,其方解石胶结物呈现黄色阴极光。因此,根据阴极光颜色观察的方解石胶结物的成岩序次为暗色—暗棕色—橘黄色—黄色。油包裹体和纯气相包裹体主要分布在溶蚀孔洞和裂缝充填晚期方解石胶结物中,主要为气液两相包裹体,也有少部分呈单一液相,且油包裹体非常丰富(图 8)。

2.3.1 流体包裹体显微荧光

单个油包裹体显微荧光光谱成熟度参数分析^[18-20]

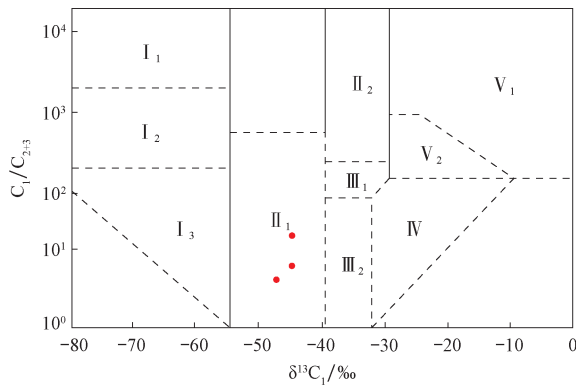


图 7 塔里木盆地顺北地区天然气 $\delta^{13}\text{C} - \text{C}_1/\text{C}_{2+3}$ 成因鉴别图版^[17]

Fig. 7 Plates for identification of the origin of $\delta^{13}\text{C}_1$ and $\text{C}_1/\text{C}_{2+3}$ in the natural gas in Shunbei area, Tarim Basin^[17]
I₁. 生物气; I₂. 生物气和亚生物气; I₃. 亚生物气; II₁. 伴生气;
II₂. 油型裂解气; III₁. 油型裂解气和煤成气; III₂. 凝析油气和煤成气;
VI. 煤成气; V₁. 无机气; V₂. 无机气和煤成气

结果表明,顺北地区奥陶系一间房组捕获了黄绿色、蓝绿色和亮蓝色三种不同颜色的油包裹体和弱白色荧光的纯气相包裹体(图 9),说明该井发生了 3 期油气充注。统计顺北地区采集样品油包裹体荧光光谱参数可以看出,顺北 1-3CH 井区可能有 3 期油充注:第一期包裹体油主要在溶洞充填方解石中捕获, λ_{max} 范围在 541 ~ 542 nm, QF535 在 1.22 ~ 1.36,为低成熟度油;第二期包裹体油主要在溶孔/洞、裂缝及铸模孔充填方解石和溶孔充填白云石中捕获, λ_{max} 在 513 ~ 540 nm, QF535 分布在 0.94 ~ 1.30,为高成熟度油;第三期包裹体油主要在溶孔/洞和裂缝充填方解石中捕获, λ_{max} 介于 465 ~ 498 nm, QF535 介于 0.71 ~ 1.17,属于过成熟度油。顺北 1-7H 井区可能有 3 期油气充注:第一期包裹体油主要在溶洞充填方解石中捕获, λ_{max} 范围为 544 nm, QF535 为 1.26;第二期包裹体油主要在溶洞充填方解石中捕获, λ_{max} 范围在 514 ~ 535 nm, QF535 在 0.89 ~ 1.23;第三期包裹体油主要在裂缝、溶孔/洞、铸模孔充填方解石及溶洞充填白云石中捕获, λ_{max} 在 472 ~ 496 nm, QF535 介于 0.76 ~ 1.15(表 3)。顺北地区油包裹体和原油 QF535 - λ_{max} 的关系图显示出,顺北地区奥陶系一间房组原油与第三期相类似(图 10)。

2.3.2 流体包裹体显微测温

流体包裹体显微测温结果(表 4)表明,按照 15 ℃ 间隔原则^[21]结合成岩序次关系,将在溶孔、溶洞、铸模孔及裂缝充填方解石和溶孔充填白云石中检测到的流体包裹体划分为 5 个幕次:第一幕流体形成的方解石胶结物主要呈暗色阴极光,油包裹体有黄绿色、蓝绿色和亮蓝色荧光,同期盐水包裹体均一温度范围为

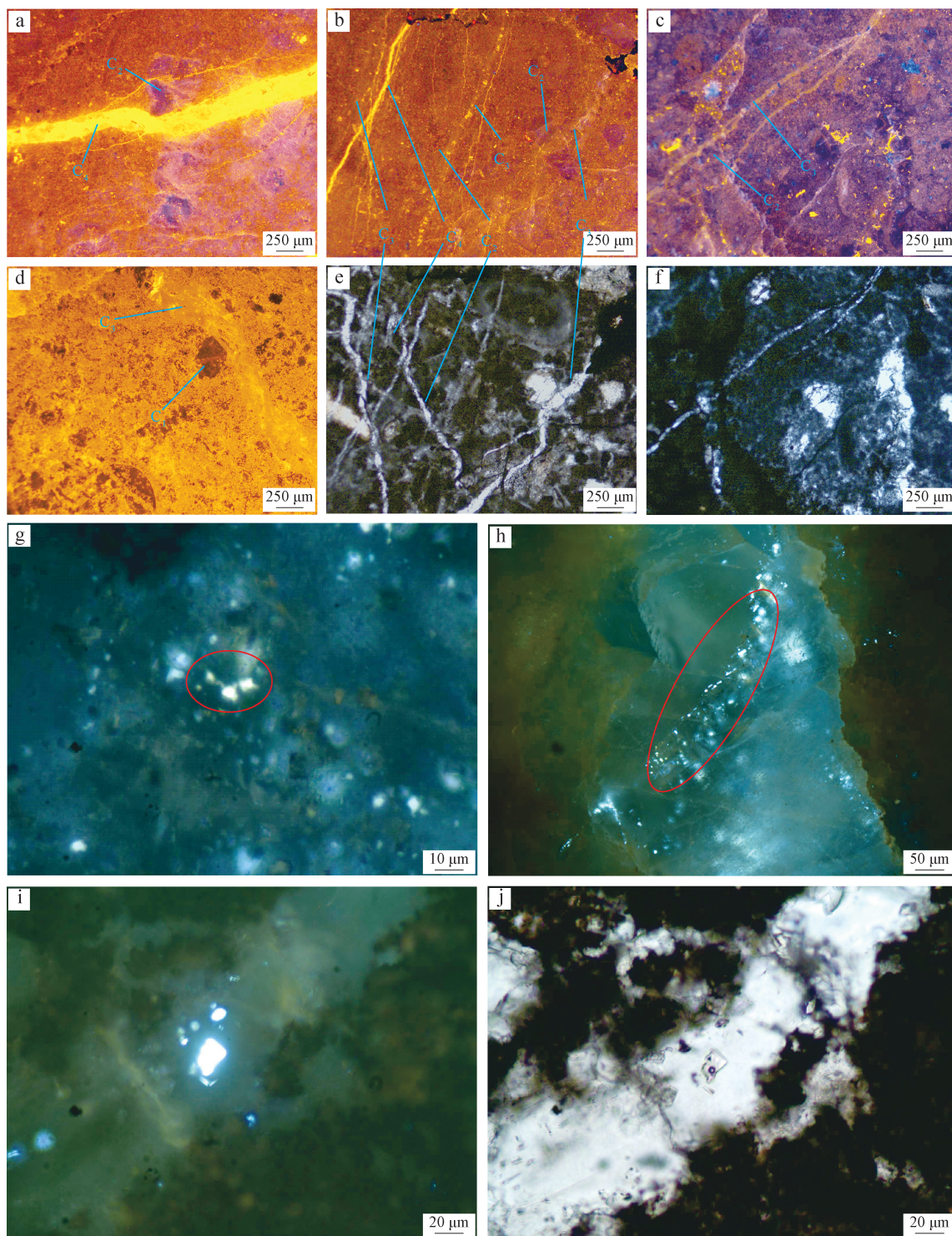


图8 塔里木盆地顺北1-3CH井一间房组储集层样品岩石学观察显微照片

Fig. 8 Photomicrographs showing the petrological observations of the sampled rocks from Yijianfang reservoirs in Well SHB1-3CH, Tarim Basin

a. 溶洞铸模孔充填方解石呈暗色阴极光(C_2),晚期裂缝切穿铸模孔,裂缝充填方解石呈黄色阴极光(C_4),阴极光, O_2yj ,埋深7 269.40 m,藻屑灰岩;
b. 早期裂缝充填方解石呈暗色阴极光(C_2),后被晚期裂缝切穿,充填方解石呈橘黄色阴极光(C_3), C_3 被 C_4 切穿,阴极光, O_2yj ,埋深7 288.00 m,颗粒灰岩;
c. 早期溶孔充填方解石呈暗色阴极光(C_2),被晚期裂缝切穿(C_3),充填方解石呈橘黄色阴极光,阴极光, O_2yj ,埋深7 279.80 m,颗粒灰岩;
d. 早期溶孔充填方解石呈暗棕色阴极光(C_1),裂缝充填方解石呈橘黄色阴极光(C_3)切穿 C_1 ,阴极光, O_2yj ,埋深7 269.10 m,生物碎屑灰岩;
e. 与图b对应,透射光, O_2yj ,埋深7 288.00 m,颗粒灰岩;
f. 与图c对应,透射光, O_2yj ,埋深7 279.80 m,颗粒灰岩;
g. 溶洞充填方解石中检测到黄绿色荧光原生油包裹体(红色圈出),荧光, O_2yj ,埋深7 269.60 m,颗粒灰岩;
h. 溶洞充填方解石中检测到蓝绿色荧光次生油包裹体(红色圈出),荧光, O_2yj ,埋深7 288.00 m,颗粒灰岩;
i. 裂缝充填方解石中检测到亮蓝色荧光原生油包裹体,荧光, O_2yj ,埋深7 269.60 m,颗粒灰岩;
j. 与图i对应,透射光, O_2yj ,埋深7 269.60 m,颗粒灰岩

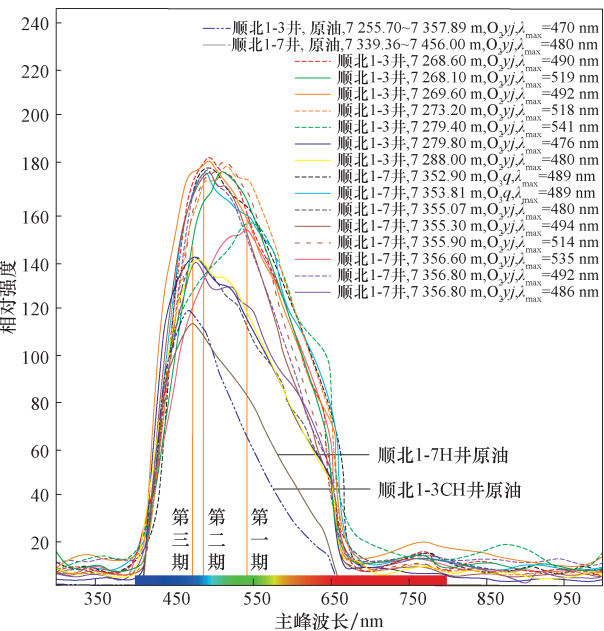


图 9 塔里木盆地顺北地区奥陶系储层油包裹体与原油显微荧光光谱

Fig. 9 Micro-fluorescent spectra of oil inclusions and crude oil in the Ordovician reservoirs in Shunbei area, Tarim Basin

表 3 塔里木盆地顺北 1-3CH 井和顺北 1-7H 井油包裹体荧光光谱参数数据

Table 3 Fluorescence spectrum parameters of oil inclusions from Wells SHB1-3CH and SHB1-7H, Tarim Basin

井号	深度/m	层位	主峰波长 ($\lambda_{\max}$)/nm	QF535	期次
顺北 1-3CH	7 268.60	O_2y_j	542	1.36	第一期
	7 269.60	O_2y_j	541	1.22	
	7 268.60	O_2y_j	513-517	1.10~1.13	第二期
	7 268.10	O_2y_j	516-519	0.94~0.98	
	7 279.40	O_2y_j	526-540	1.14~1.26	
	7 288.00	O_2y_j	517	1.30	
	7 265.50	O_2y_j	481-483	1.01~1.17	第三期
	7 269.60	O_2y_j	474-498	0.71~0.98	
	7 279.40	O_2y_j	492-494	0.88~0.89	
	7 288.00	O_2y_j	465-497	0.78~1.02	
顺北 1-7H	7 356.60	O_2y_j	544.50	1.26	第一期
	7 355.90	O_2y_j	514	0.89	第二期
	7 356.60	O_2y_j	535	1.23	
	7 352.90	O_3q	478-489	0.80~0.89	第三期
	7 353.81	O_3q	472-492	0.76~0.97	
	7 355.07	O_2y_j	480-483	0.82~1.15	
	7 356.60	O_2y_j	477-496	0.81~0.85	

89.1~99.5℃;第二幕流体形成方解石胶结物主要呈暗棕色阴极光,油包裹体有蓝绿色和亮蓝色荧光,同期盐水包裹体均一温度为100.1~127.0℃,第一幕和第二幕流体对应第一期油充注;第三幕流体形成的方解石胶结物主要呈暗棕色和橘黄色阴极光,油包裹体有蓝绿色和亮蓝色荧光,同期盐水包裹体均一温度范围为119.8~137.9℃,第三幕流体对应第二期油充注;第四幕流体形成方解石胶结物主要呈橘黄色阴极光,油包裹体有蓝绿色和亮蓝色荧光,同期盐水包裹体均一温度为132.9~158.1℃;第五幕油包裹体主要在裂缝充填方解石中检测到,阴极光呈现黄色,不仅有蓝绿色和亮蓝色荧光油包裹体,还有弱荧光的气相包裹体,其同期盐水包裹体均一温度范围为151.4~179.5℃,第四幕和第五幕对应第三期油气充注(图11,图12)。

3 讨论

3.1 油源对比

塔里木盆地古生界发育寒武系-下奥陶统和中-上奥陶系两套烃源岩^[22]。顺南地区一间房组油源对比结果认为其原油主要来自于寒武系-中下奥陶统盆地-斜坡相烃源岩^[8]。顺北地区奥陶系一间房组原油地化特征反映其来源与大多数塔中、塔河和顺南地区的类似,无本质差别。顺北地区和顺南地区原油的Pr/Ph与Ph/nC₁₈-Pr/nC₁₇关系^[23-24](图13)可看出,两个地区原油整体都落在海相原油区域,且分布较为集中,其Pr/Ph都在0.5~0.96,烃源岩均处为还原环境,原油母质均为腐泥型,这些特点表明其原油来自一个相似的生物源^[25]。

另外,顺北地区和顺南地区原油的C₂₇-C₂₈-C₂₉规则甾烷分布型式一致,均呈不对称的“V”字型,且C₂₈规则甾烷所占的比例都最小,而规则甾烷含量C₂₇均小于C₂₉,整体分布相关性很好,显示了其母源类型相同(图14)^[26]。这反映其母质生源主要为高含C₂₉甾烷的菌藻类^[27-28,24]。

利用顺北地区与顺南和塔河地区的原油轻烃C₇化合物的正庚烷、二甲基环戊烷和甲基环己烷相对含量三角图,对原油成因类型进行比较可以看出,这两个地区原油二甲基环戊烷含量均小于20%,正庚烷含量主要分布在42%~70%,甲基环戊烷含量主要分布在56%~70%,可能来自于同一源岩(图15)。

总之,通过以上指标的对比认为,顺北地区与顺南地区的油源特征相似,其油气很可能也来自于寒武系

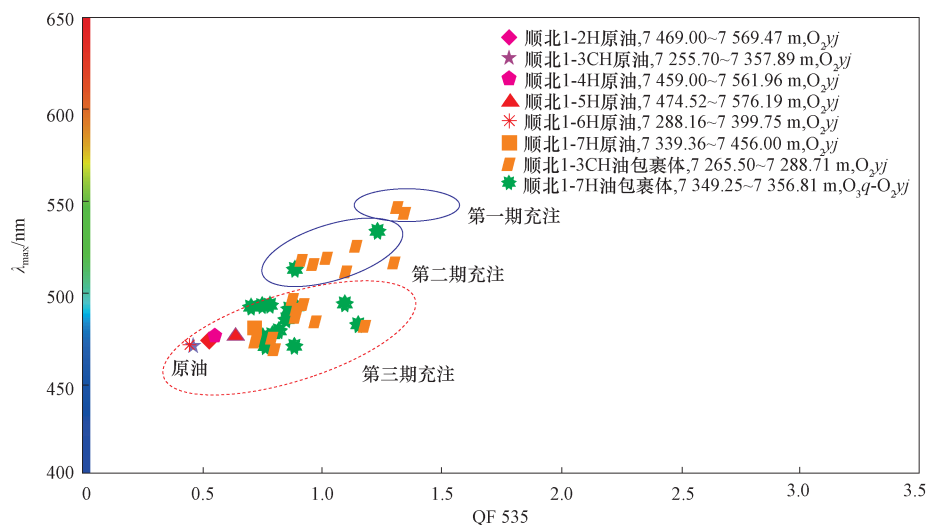


图10 塔里木盆地顺北1-3CH井和顺北1-7H井单个油包裹体QF-535与 $\lambda_{\max}$ 关系

Fig. 10 The relationship between QF-535 and $\lambda_{\max}$ of individual oil inclusions from Wells SHB1-3CH and SHB1-7H, Tarim Basin

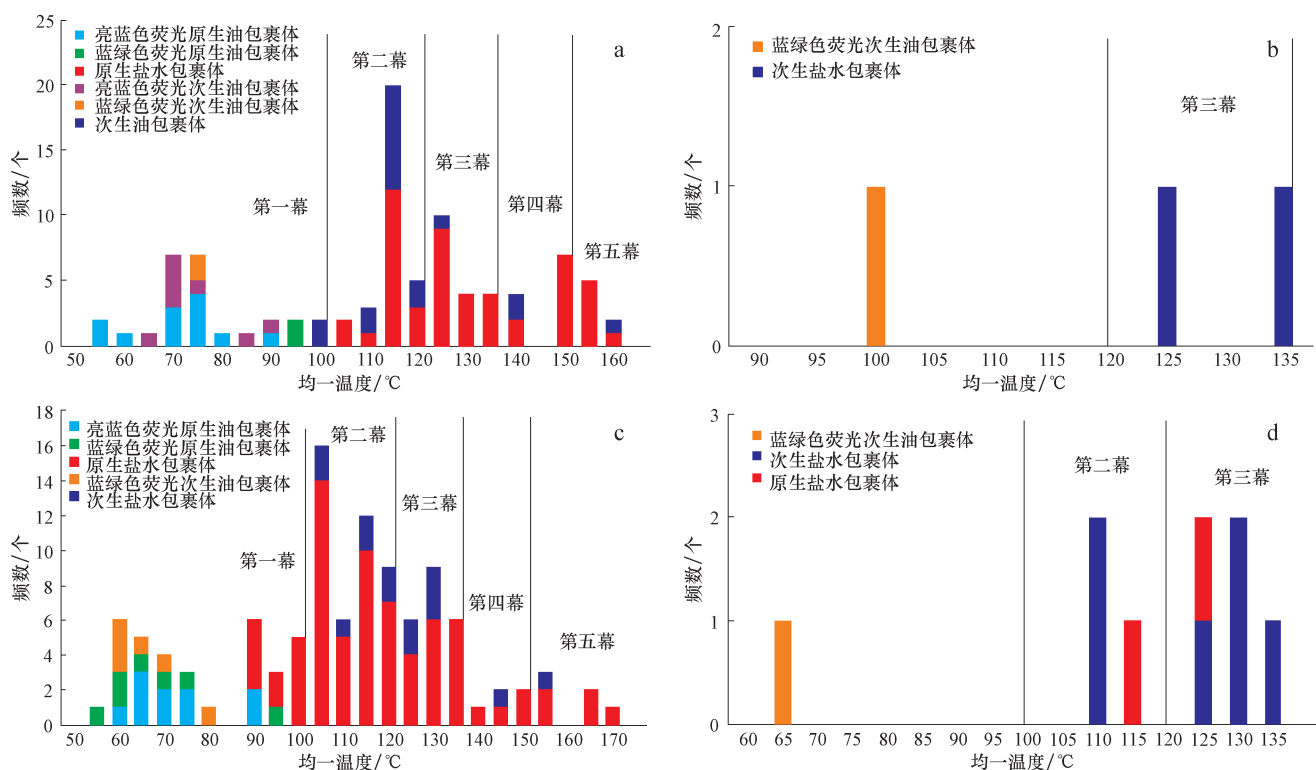


图11 塔里木盆地顺北1-3CH井一间房组油包裹体和盐水包裹体均一温度

Fig. 11 Statistics of homogenization temperatures of oil and aqueous inclusions from Well SHB1-3CH in the Yijianfang Formation, Tarim Basin

a. 裂缝充填方解石; b. 溶孔充填白云石; c. 溶孔/洞充填方解石; d. 铸模孔充填方解石

玉尔吐斯组,通过断穿寒武系的走滑断裂向上运移至奥陶系储集层中聚集(图3,图4)。

3.2 油气充注期次划分及成藏时期确定

运用与油气包裹体同期盐水包裹体均一温度-埋藏史投影方法获得各期次油气充注年龄(图16,图17),

在统一标注到消除埋藏深度影响的时间轴上,就可以进行油气成藏期次划分和成藏时期确定(图18)^[30],埋藏史图是用 BasinMod 软件通过顺北地区的地温梯度和剥蚀厚度等参数进行一维模拟获得(表5)。由此获得 SHB1-3CH 井和 SHB1-7H 井奥陶系储层存在 3 期油气充注。

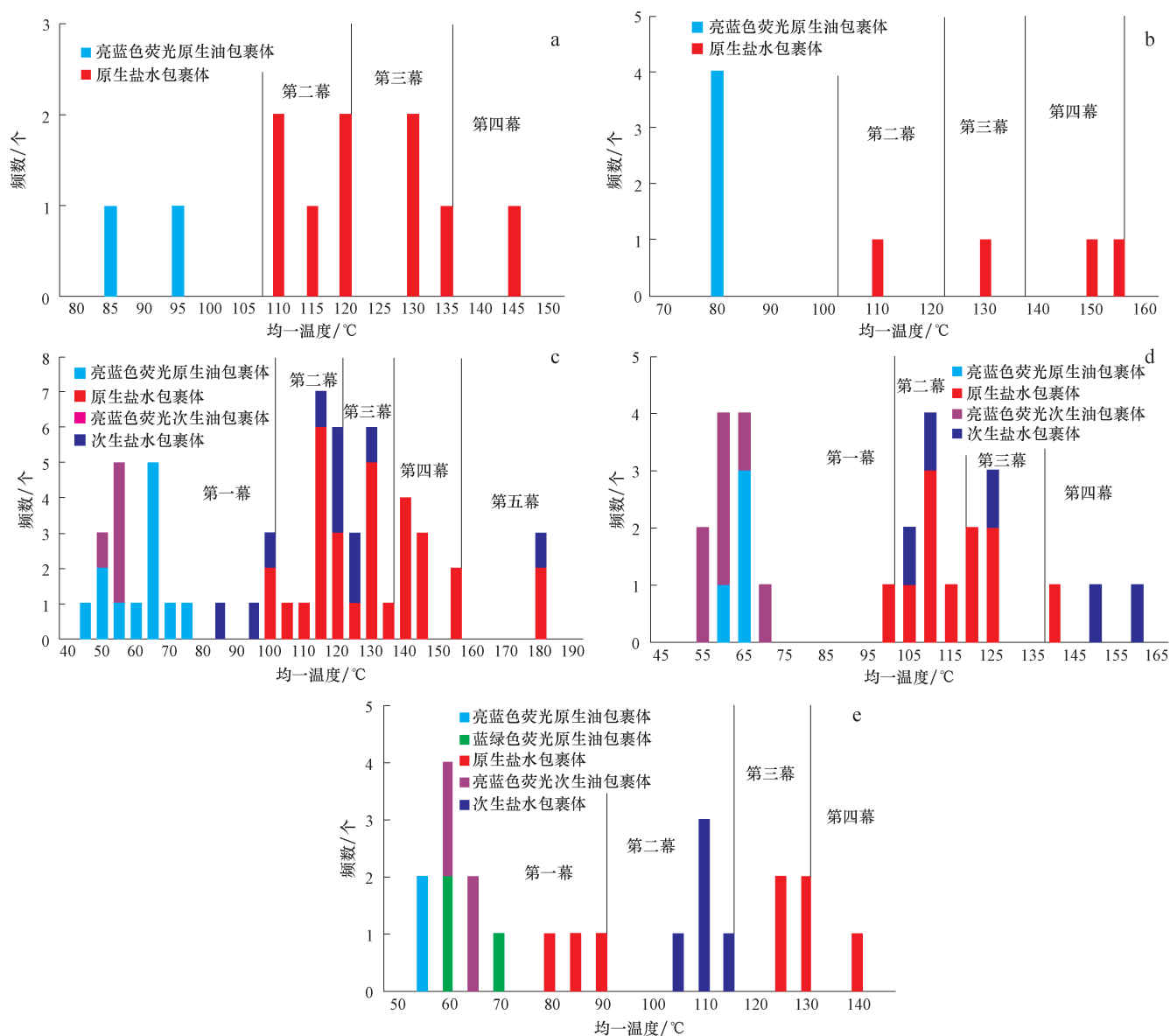


图12 塔里木盆地顺北1-7H井一间房组油包裹体和盐水包裹体均一温度

Fig. 12 Statistics of homogenization temperatures for oil and aqueous inclusions from Well SHB1-7H in the Yijianfang Formation, Tarim Basin

a. 裂缝充填方解石; b. 溶洞充填白云石; c. 溶洞充填方解石; d. 铸模孔充填方解石; e. 亮晶方解石胶结物

顺北1-3CH井第一期油充注发生于加里东晚期,主要在铸模孔、溶孔、溶洞和裂缝充填方解石及溶孔充填白云石中检测到发黄绿色、蓝绿色和亮蓝色油包裹体,其充注年龄为407.1~422.3 Ma;第二期油充注发生于海西晚期,主要在溶孔、溶洞和裂缝充填方解石中检测到蓝绿色和亮蓝色荧光油包裹体,充注年龄为264.1~297.8 Ma;第三期油气充注发生在喜马拉雅晚期,在溶孔、溶洞和裂缝充填方解石中都有检测到蓝绿色和亮蓝色荧光油包裹体及弱荧光的气包裹体,充注年龄为10.6~18.9 Ma。顺北1-7H井第一期油充注发生于加里东晚期,主要在溶孔、溶洞和铸模孔充填方解石中检测到发黄绿色、蓝绿色和亮蓝色油包裹体,其充注年龄为429.4~434.1 Ma;第二期油

充注发生于海西晚期,主要在溶孔、溶洞、裂缝充填方解石和亮晶方解石胶结物中检测到发蓝绿色和亮蓝色荧光油包裹体,充注年龄为246.3~254.1 Ma;第三期油气充注发生于喜马拉雅晚期,主要在溶孔、溶洞和铸模孔充填方解石中检测到发蓝绿色和亮蓝色荧光油包裹体及弱荧光的气包裹体,充注年龄为3.2~14.6 Ma(表6)。

由于油易于在构造活动阶段发生充注,顺北1-3CH井和顺北1-7H井第一期和第三期油气充注均发生在构造沉降阶段。而在第二期油充注过程中,由于顺北1-3CH井位于弱挤压-拉分段,因此发生于构造沉降阶段;顺北1-7H井位于挤压-走滑段,第二期油充注主要发生于构造抬升阶段(图4)。

续表 4

样品编号	深度/m	宿主矿物	荧光 颜色	均一温度(Th)/℃												与纯气同期 盐水包裹体	充注年龄/ Ma
				油包裹体					盐水包裹体								
				Th ₁	Th ₂	Th ₃	Th ₄	Th ₅	Th ₁	Th ₂	Th ₃	Th ₄	Th ₅	Th			
SHB1-3-9	7 279.8	裂缝充填方解石	亮蓝色			69.8 ~ 70.5			63.4 ~ 67.1			129.4 ~ 137.9		158.1		10.6, 265.1	
SHB1-3-10	7 288.0	溶孔/洞充填方解石	蓝绿色	57.6							100.8 ~ 114.9					410.9	
		裂缝充填方解石	亮蓝色		73.2	88.1 ~ 88.3					107.6 ~ 124.2	135.4 ~ 136.9	132.9 ~ 147.1			264.7, 418.1	
SHB1-7-2	7 350.40	溶孔充填方解石									103.0 ~ 110.9						
SHB1-7-3	7 351.00	溶孔充填方解石											136.4 ~ 152.5				
		铸模孔充填方解石											139.6				
SHB1-7-4	7 352.9	溶孔/洞充填方解石	亮蓝色		77.7 ~ 77.8				47.4		108.2 ~ 127.3			175.3		3.2, 249.8	
SHB1-7-5	7 353.81	溶洞充填方解石	亮蓝色				51.7						150.8			12.9	
		溶洞充填白云石	亮蓝色				75.3 ~ 77.3						148.3 ~ 152.8			12.3	
		铸模孔充填方解石	亮蓝色				50.4 ~ 64.8						147.1 ~ 157.2			13.1	
SHB1-7-6	7 355.07	溶孔/洞充填方解石	亮蓝色			43.5						125.6 ~ 126.8				246.7	
		铸模孔充填方解石	亮蓝色			68.5						122.0				248.1	
		亮晶方解石胶结物							77.4 ~ 86.6								
SHB1-7-7	7 355.18	裂缝充填方解石									107.1 ~ 117.9						
		溶洞充填方解石									110.4						

续表4

样品编号	深度/m	宿主矿物	荧光 颜色	均一温度(T_h)/℃												与纯气同期 盐水包裹体	充注年龄/ Ma
				油包裹体					盐水包裹体								
				T_{h_1}	T_{h_2}	T_{h_3}	T_{h_4}	T_{h_5}	T_{h_1}	T_{h_2}	T_{h_3}	T_{h_4}	T_{h_5}	T_h			
SHB1-7-8	7 355.3	溶洞充填方解石													177.8 ~ 179.5	4.2	
		溶洞充填方解石	亮蓝色				61.5 ~ 64.0							136.5 ~ 139.9	177.8 ~ 179.5		254.1
		亮晶方解石胶 结物	亮蓝色			51.2 ~ 53.5							120.1		247.2		
		铸模孔充填方 解石	亮蓝色		61.1 ~ 63.7						112.7 ~ 116.2			429.4			
SHB1-7-9	7 355.9	溶洞充填方解石	亮蓝色		67.2 ~ 72.9											428.2	
		溶洞充填方解石	蓝绿色		非均一											248.6	
		裂缝充填方解石	亮蓝色			84.4 ~ 93.2							119.8 ~ 131.7		250.1		
		亮晶方解石胶 结物	蓝绿色			57.4 ~ 69.2							125.7 ~ 136.1		254.1		
SHB1-7-10	7 356.6	亮晶方解石胶 结物	蓝绿色			单液相									120.8 ~ 129.0	246.5	
		亮晶方解石胶 结物	亮蓝色		58.6 ~ 61.5							102.7 ~ 113.3			430.2		
		铸模孔充填方 解石	亮蓝色		54.3 ~ 57.9				95.7			102.3 ~ 105.7			431.5		
		溶孔充填方解石	黄绿色	非均一								113.6 ~ 118.6			431.2		
SHB1-7-11	7 356.8	溶洞充填方解石	亮蓝色		49.2 ~ 64.5								126.9	144.5	14.6, 247.5		
		溶洞充填方解石	亮蓝色		54.2 ~ 54.3							116.6 ~ 124.1			249.7		

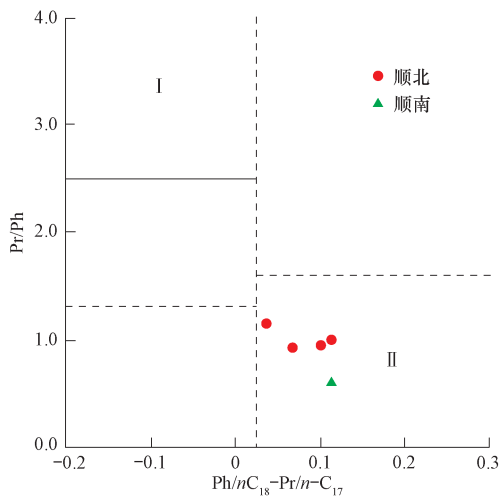


图 13 塔里木盆地顺北与顺南地区 Pr/Ph 与 $\text{Ph}/n\text{C}_{18} - \text{Pr}/n\text{C}_{17}$ 油 - 油对比关系

Fig. 13 The oil-oil correlation of Shunbei and Shunnan areas in terms of Pr/Ph and $\text{Ph}/n\text{C}_{18} - \text{Pr}/n\text{C}_{17}$, Tarim Basin
I. 陆相油; II. 海相油

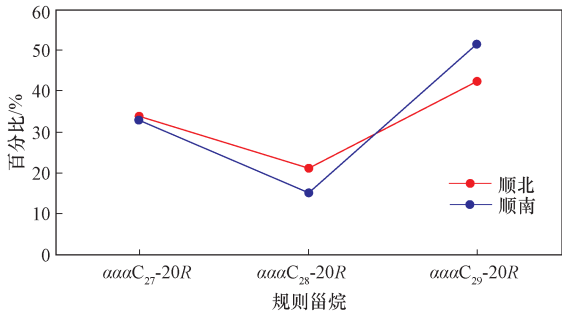


图 14 塔里木盆地顺北与顺南地区 $\text{C}_{27} - \text{C}_{28} - \text{C}_{29}$ 规则甾烷油 - 油对比关系

Fig. 14 The oil-oil correlation of Shunbei and Shunnan areas in terms of regular sterane C_{27} , C_{28} and C_{29} , Tarim Basin

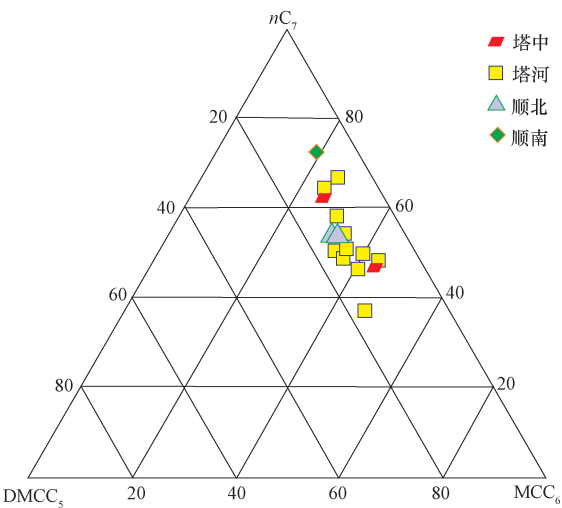


图 15 塔里木盆地顺北地区与顺南地区原油轻烃油 - 油对比关系^[29]

Fig. 15 The oil-oil correlation of Shunbei and Shunnan areas in terms of light hydrocarbon, Tarim Basin^[29]

4 结论

1) 顺北地区奥陶系一间房组储层原油成熟度较高,并遭受了轻微程度的生物降解作用,由于多期成藏,晚期又充注了正常原油,使得正构烷烃较为完整,来源与顺南地区相同,都主要来自于寒武系玉尔吐斯组烃源岩,主要通过断穿寒武系的断层向上运移至奥陶系储集层聚集。天然气属于典型的湿气,成因类型属于原油伴生气。

2) 顺北地区经历了“五幕三期”油充注和一期天然气充注:第一期为加里东晚期,包括两幕油的充注,

表 5 塔里木盆地顺北地区 SHB1-3CH 井和 SHB1-7H 井埋藏史恢复参数

Fig. 5 Parameters showing the restoration of the burial history in Wells SHB1-3CH and SHB1-7H in Shunbei area, Tarim Basin

井号	地层	类型	开始时间/Ma	顶深/m	当前厚度/m	剥蚀厚度/m	地温梯度/ ($^{\circ}\text{C}/\text{km}$)
SHB1-3CH	N + Q	沉积地层	23	0	2 726		22
	E	沉积地层	65.5	2 726	74.5		26
	K ₂	剥蚀地层	82.5			- 220	
	K ₂ '	曾经沉积地层	99.6			220	28
	K ₁	沉积地层	145.5	2 800.5	870		
	J ₂	剥蚀地层	154.7			- 75	
	J ₂ '	曾经沉积地层	164			75	30
	J	沉积地层	199.6	3 670.5	61		
	T ₁	剥蚀地层	210			- 415	
	T ₂	曾经沉积地层	220			415	30
	T	沉积地层	251	3 731.5	782		

续表 5

井号	地层	类型	开始时间/Ma	顶深/m	当前厚度/m	剥蚀厚度/m	地温梯度/ (℃/km)
顺北 1-3CH	P ₂	剥蚀地层	258			- 1 400	
	P ₂ [']	曾经沉积地层	265			1 400	32
	P	沉积地层	299	4 513. 5	449		
	C	沉积地层	359	4 962. 5	324		32
	D	沉积地层	385. 3	5 286. 5	91		
	D ₂	剥蚀地层	400. 5			- 900	31
	D ₂ [']	曾经沉积地层	416			900	
	Sk ³	沉积地层	430	5 377. 5	836		
	Sk ¹⁻²	沉积地层	443. 7	6 213. 5	268		31
	O _{3s} ¹	剥蚀地层	444. 2			- 600	
	O _{3s} ²	曾经沉积地层	445			600	
	O _{3s}	沉积地层	447. 7	6 481. 5	754. 5		34
	O _{3l} + O _{3q}	沉积地层	460. 9	7 236	19. 05		
	O _{2yj} + O _{1-2y}	沉积地层	485	7 255. 05	216. 95		
	Є						34
	Z						34
顺北 1-7H	N + Q	沉积地层	23	0	2 705. 5		22
	E	沉积地层	65. 5	2 705. 5	106		26
	K ₂	剥蚀地层	82. 5			- 212	
	K ₂ [']	曾经沉积地层	99. 6			212	28
	K	沉积地层	145. 5	2 811. 5	801		
	J ₂	剥蚀地层	160			- 78	
	J ₂ [']	曾经沉积地层	176			78	30
	J	沉积地层	199. 6	3 612. 5	45		
	T ₁	剥蚀地层	205			- 430	
	T ₂	曾经沉积地层	210			430	30
	T ₂ [']	沉积地层	251	3 657. 5	793. 5		
	P ₂	剥蚀地层	256			- 1 375	
	P ₂ [']	曾经沉积地层	260			1 375	32
	P	沉积地层	299	4 451	558		
	C	沉积地层	359	5 009	333		32
	D	沉积地层	385. 3	5 342	72		
	D ₂	剥蚀地层	401			- 800	31
	D ₂ [']	曾经沉积地层	416			800	
	Sk ³ + Sk ²	沉积地层	430	6 172	214. 5		
	Sk ¹	沉积地层	443. 7	6 386. 5	126		31
	O _{3s}	沉积地层	447. 7	6 512. 5	805		
	O _{3s} ¹	剥蚀地层	449			- 600	
	O _{3s} ^{1'}	曾经沉积地层	452			600	
	Ol	沉积地层	455	7 317. 5	7. 5		34
	O _{3q}	沉积地层	460. 9	7 325	27		
	O _{2yj}	沉积地层	468. 5	7 947. 21	595. 21		
	Є						34
	Z						34

表 6 塔里木盆地顺北地区顺北 1-3CH 井和顺北 1-7H 井一间房组油气成藏期次和成藏时期

Table 6 Hydrocarbon accumulation stages and timing of the Yijianfang Formation in Wells SHB1-3CH and SHB1-7H in Shunbei area, Tarim Basin

井号	成藏期次	成藏时期/Ma	宿主矿物	荧光颜色	构造阶段
顺北 1-3CH	第一期油	407. 1 ~ 422. 3	溶孔/洞、铸模孔、裂缝充填方解石,溶孔充填白云石	黄绿色,蓝绿色,亮蓝色	加里东晚期
	第二期油	264. 1 ~ 297. 8	溶孔/洞、裂缝充填方解石	蓝绿色,亮蓝色	海西晚期
	第三期油气	10. 6 ~ 18. 9	溶孔/洞、裂缝充填方解石	蓝绿色,亮蓝色	喜马拉雅晚期

续表 6

井号	成藏期次	成藏时期/Ma	宿主矿物	荧光颜色	构造阶段
顺北 1-7H	第一期油	429.4~434.1	溶孔/洞、铸模孔充填方	黄绿色,蓝绿色,亮蓝色	加里东晚期
	第二期油	246.3~254.1	溶孔/洞、裂缝充填方解石,亮晶方解石胶结物	蓝绿色,亮蓝色	海西晚期
	第三期油气	3.2~14.6	溶孔/洞、铸模孔充填方解石	蓝绿色,亮蓝色	喜马拉雅晚期

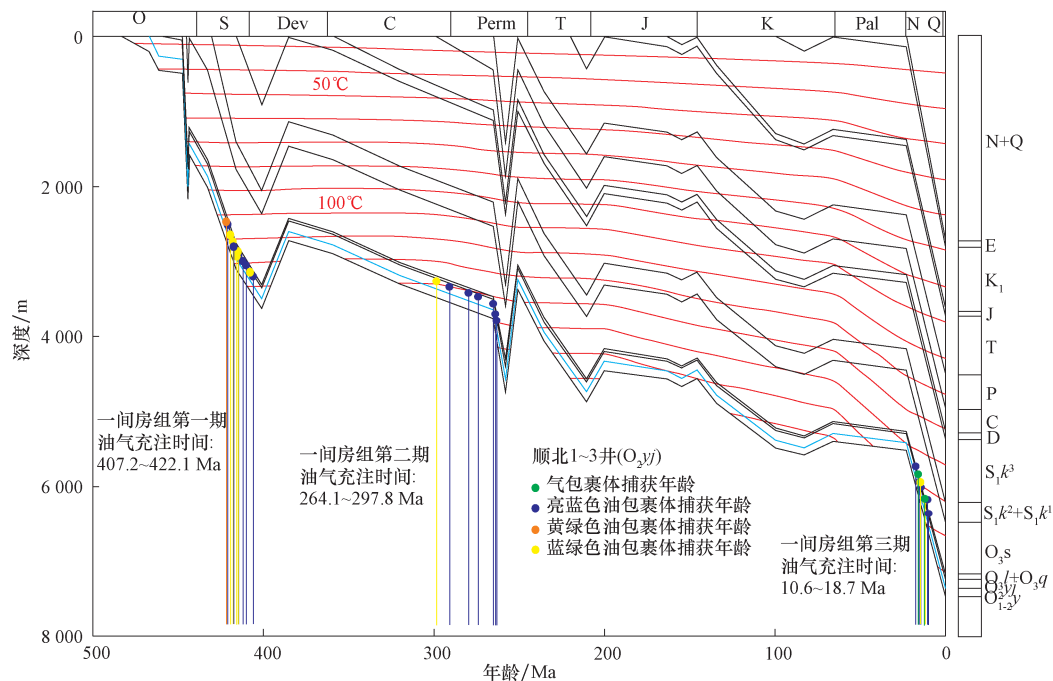


图 16 塔里木盆地顺北 1-3CH 井奥陶系一间房组盐水包裹体均一温度-埋藏史

Fig. 16 The aqueous inclusion homogenization temperature -burial history of the Ordovician Yijianfang Formation in Well SHB1-3CH, Tarim Basin

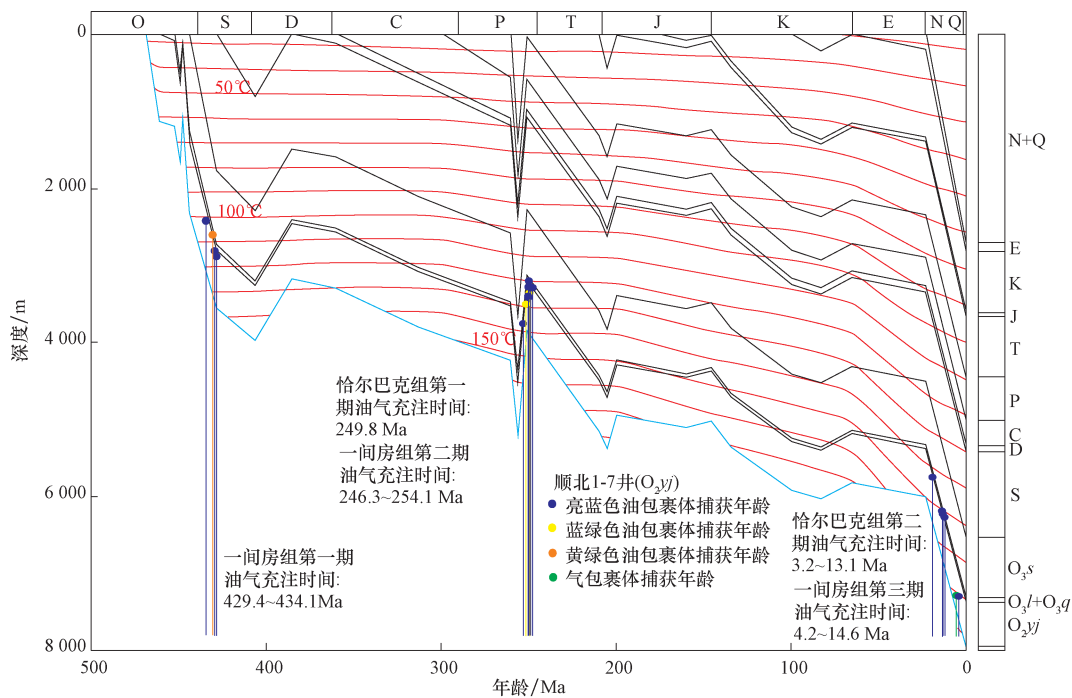


图 17 塔里木盆地顺北 1-7H 井奥陶系一间房组盐水包裹体均一温度 - 埋藏史关系

Fig. 17 The aqueous inclusion homogenization temperature -burial history of the Ordovician Yijianfang Formation in Well SHB1-7H, Tarim Basin

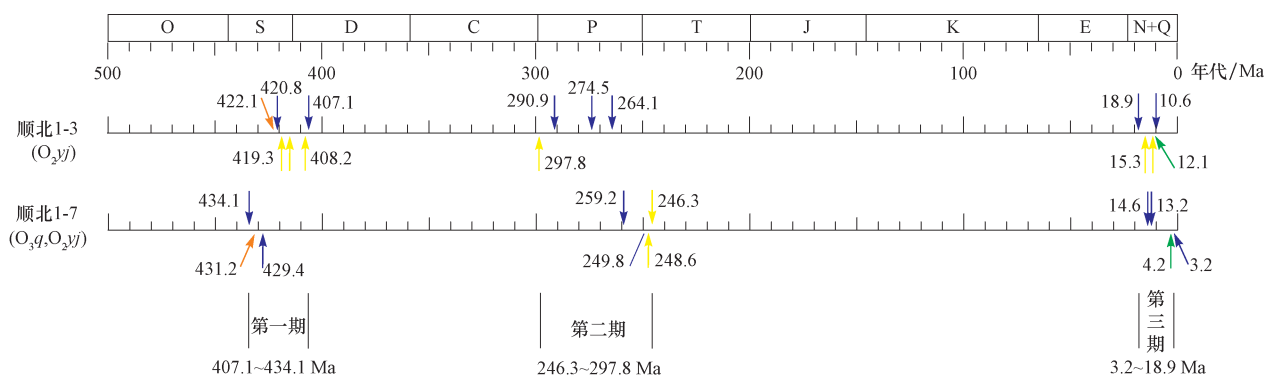


图 18 塔里木盆地顺北地区奥陶系一间房组油气成藏期次划分与成藏时期

Fig. 18 Oil-gas accumulation stages and reservoir periods of the Yijianfang Formation of Shunbei area, Tarim Basin

顺北1-3CH井充注时间为407.1~422.3 Ma,顺北1-7H井充注时间为429.4~434.1 Ma;第二期为海西晚期,该时期只有一幕油的充注,顺北1-3CH井充注时间为264.1~297.8 Ma,顺北1-7H井充注时间为246.3~254.1 Ma;第三期为喜马拉雅晚期,包括两幕油气的充注,顺北1-3CH井油气充注时间分别为10.6~18.9 Ma,顺北1-7H井油气充注时间为3.2~14.6 Ma。

参 考 文 献

- [1] 金之钧,王清晨. 中国典型叠合盆地与油气成藏研究新进展——以塔里木盆地为例[J]. 中国科学(D辑:地球科学),2004,31: 1-12.
Jin Zhijun, Wang Qingchen. New progresses in research in China's typical superimposed basins and reservoiring of hydrocarbons; taking Tarim basin as an example [J]. Science in China Ser. D Earth Sciences, 2004, 31: 1-12.
- [2] 金之钧. 中国典型叠合盆地油气成藏研究新进展(之二)——以塔里木盆地为例[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3): 281-288.
Jin Zhijun. New progresses in research in China's typical superimposed basins and reservoiring of hydrocarbons (Part II): taking Tarim basin as an example [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(3): 281-288 + 294.
- [3] 庞雄奇,周新源,鄢盛华,等. 中国叠合盆地油气成藏研究进展与发展方向——以塔里木盆地为例[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(6): 649-656.
Pang Xiongqi, Zhou Xinyuan, Yan Shenghua, et al. Research advances and direction of hydrocarbon accumulation in the superimposed basins, China; Take the Tarim Basin as an example [J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(6): 649-656.
- [4] 漆立新. 塔里木盆地顺托果勒隆起奥陶系碳酸盐岩超深层油气突破及其意义[J]. 中国石油勘探, 2016, 21(3): 38-51.
Qi Lixin. Oil and gas breakthrough in ultra-deep Ordovician carbonate formations in Shuntuoguole uplift, Tarim Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2016, 21(3): 38-51.
- [5] 陈红汉,鲁子野,曹自成,等. 塔里木盆地塔中地区北坡奥陶系热液蚀变作用[J]. 石油学报, 2016, 37(1): 43-63.
Chen Honghan, Lu Ziyue, Cao Zicheng, et al. Hydrothermal alteration of Ordovician reservoir in northeastern slope of Tazhonguplift [J]. Tarim Basin. Acta Petrolei Sinica, 2016, 37(1): 43-63.
- [6] 陈红汉,吴悠,朱红涛,等. 塔中地区北坡中一下奥陶统早成岩岩溶作用及储层形成模式[J]. 石油学报, 2016, 37(10): 1231-1246.
Chen Honghan, Wu You, Zhu Hongtao, et al. Eogenetic karstification and reservoir formation model of the Middle-Lower Ordovician on the northeast slope of Tazhong uplift, Tarim Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2016, 37(10): 1231-1246.
- [7] 黄太柱. 塔里木盆地塔中北坡构造解析与油气勘探方向[J]. 石油实验地质, 2014, 36(3): 257-267.
Huang Taizhu. Structural interpretation and petroleum exploration targets in northern slope of middle Tarim basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(3): 257-267.
- [8] 云露,曹自成. 塔里木盆地顺南地区奥陶系油气富集与勘探潜力[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(6): 788-797.
Yun Lu, Cao Zicheng. Hydrocarbon enrichment pattern and exploration potential of the Ordovician in Shunnan area [J]. Tarim Basin. Oil & Gas Geology, 2014, 35(6): 788-797.
- [9] 田鹏,马庆佑,吕海涛. 塔里木盆地北部跃参区块走滑断裂对油气成藏的控制[J]. 石油实验地质, 2016, 38(2): 156-161.
Tian Peng, Ma Qingyou, Lv Haitao. Strike-slip faults and their controls on hydrocarbon reservoirs in the Yuecan block of the Northern Tarim Uplift, Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(2): 156-161.
- [10] 吕海涛,张哨楠,马庆佑. 塔里木盆地中北部断裂体系划分及形成机制探讨[J]. 石油实验地质, 2017, 39(4): 444-452.
Lü Haitao, Zhang Shaonan, Ma Qingyou. Classification and formation mechanism of fault systems in the central and northern Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2017, 39(4): 444-452.
- [11] 王铁冠,宋到福,李美俊,等. 塔里木盆地顺南-古城地区奥陶系鹰山组天然气气源与深层天然气勘探前景[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(6): 753-762.
Wang Tieguan, Song Daofu, Li Meijun, et al. Natural gas source and deep gas exploration potential of the Ordovician Yingshan Formation in the Shunnan-Gucheng region, Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(6): 753-762.
- [12] 刘丽芳. 塔北隆起油气成藏体系研究[D]. 北京: 中国地质大学

- (北京),2006.
- Liu Lifang. Study on Petroleum Accumulation Systems in TabeiUplift [D]. Beijing:China University of Geosciences(Beijing),2006.
- [13] 朱传玲,闫华,云露,等.塔里木盆地沙雅隆起星火1井寒武系烃源岩特征[J].石油实验地质,2014,36(5):626-632.
- Zhu Chuanling,Yan Hua,Yun Lu,et al.Characteristics of Cambrian source rocks in well XH1,Shaya Uplift,Tarim Basin[J].Petroleum Geology & Experiment,2014,36(5):626-632.
- [14] 朱光有,崔洁,杨海军,等.塔里木盆地塔北地区具有寒武系特征原油的分布及其成因[J].岩石学报,2011,27(8):2435-2446.
- Zhu Guangyou,Cui Jie,Yang Haijun,et al.The distribution and origin of Cambrian crude oil in North TarimBasin[J].Acta Petrologica Sinica,2011,27(8):2435-2446.
- [15] 何登发,周新源,杨海军,等.塔里木盆地克拉通内古隆起的成因机制与构造类型[J].地学前缘(中国地质大学(北京);北京大学),2008,15(2):207-221.
- He Dengfa,Zhou Xinyuan,YangHaijun,et al.Formation mechanism and tectonic types of intracratonicpaleo-uplifts in the Tarimbasin [J].Earth Science Frontiers,2008,15(2):207-221.
- [16] 魏志彬,张大江,张传禄,等.甲基二苯并噻吩分布指数(MDBI)作为烃源岩成熟度标尺的探讨[J].地球化学,2001,30(3):242-247.
- Wei Zhibin,Zhang Dajiang,Zhang Chuanlu,et al.Methyldibenzothio-phenes distribution index as a tool for maturity assessments of source rocks[J].Geochimica,2001,30(3):242-247.
- [17] 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.
- [18] 仰云峰.川东南志留系龙马溪组页岩沥青反射率和笔石反射率的应用[J].石油实验地质,2016,38(4):466-472.
- Yang Yunfeng.Application of bitumen and graptolite reflectance in the Silurian Longmaxi shale,southeastern Sichuan Basin[J].Petroleum Geology & Experiment,2016,38(4):466-472.
- [19] MunzI A.Petroleum inclusions in sedimentary basins:systematics, analytical methods and applications[J].Lithos,2001,55:195-212.
- [20] 陈红汉.单个油包裹体显微荧光特性与热成熟度评价[J].石油学报,2014,35(3):584-590.
- Chen Honghan.Microspectrofluorimetric characterization and thermal maturity assessment of individual oil inclusion[J].ActaPetroleiSinica,2014,35(3):584-590.
- [21] Goldstein R H,Reynolds T J.Systematics of fluid inclusion in diageneticminerals[M].SEPM Short Course,1994:1-198.
- [22] 张水昌,王飞宇,张保民,等.塔里木盆地中上奥陶统油源层地球化学研究[J].石油学报,2000,21(6):23-28.
- Zhang Shuichang,Wang feiyu,Zhang Baomin,et al.Middle-upper Ordovician source rock geochemistry of the Tarimbasin[J].ActaPetroleiSinica,2000,21(6):23-28.
- [23] Connan J,Cassou MA.Properties of gases and petroleum liquids derived from terrestrial kerogen at various maturation levels[J].GeochimicaetCosmochimicaActa,1980,44(1):1-23.
- [24] 季长军,伊海生,陈志勇,等.西藏羌塘盆地羌D2井原油类型及其勘探意义[J].石油学报,2013,34(6):1070-1076.
- Ji Changjun,Yi Haisheng,Chen Zhiyong,et al.Crude oil types of the Well Qiang D-2 in Qiangtang Basin,Tibet and its exploration significance[J].ActaPetroleiSinica,2013,34(6):1070-1076.
- [25] 段毅,于文修,郑朝阳,等.塔里木盆地塔河油田原油与源岩对比研究[J].沉积学报,2009,27(1):164-171.
- DuanYi,Yu Wenxiu,Zheng Zhaoyang,et al.Study of Oil-Source Correlation for Tahe Oilfield of TarimBasin[J].ActaSedimentologicaSinica,2009,27(1):164-171.
- [26] 刘士林,李原,郭利果,等.渤海洼陷沙三段原油地球化学特征及油源对比[J].大庆石油地质与开发,2006,25(4):1-3.
- Liu Shilin,Li Yuan,GuoLiguo,et al.Geochemical feature and oil source correlation of Sha3 Member in Bonan Sag[J].Petroleum Geology & Oil Field Development in Daqing,2006,25(4):1-3,119.
- [27] Volkman J K.A review of sterol markers for marine and terrigenous organic matter[J].Organic Geochemistry,1986,2(9):83-99.
- [28] Peters E K,Moldowan M J.Guideline for the application of biological markers.Englewood Cliffs[M],New Jersey:Prentice HallInc,1993.
- [29] Hu Shouzhil,Wilkes H,Horsfield B,et al.On theorigin,mixing and alteration of crude oils in the Tarim Basin[J].Organic Geochemistry,2016,97(2016):17-34.
- [30] 熊万林,陈红汉,云露,等.塔中隆起北坡顺托果勒区块志留系储层油气充注历史——以顺9井流体包裹体分析为例[J].石油学报,2013,34(2):239-246.
- Xiong Wanlin,Chen Honghan,Yun Lu,et al.Hydrocarbon charging history for Silurian reservoirs of Shuntuoguole block in the north slope of Tazhong uplift,Tarim Basin:constraints from fluid inclusion of Well Shun 9[J].Acta Petrolei Sinica,2013,34(2):239-246.

(编辑 董立)