

塔河油田奥陶系油藏成藏期次研究

饶丹^{1,2}, 秦建中^{1,2}, 许锦^{1,2}, 施伟军^{1,2},
张志荣^{1,2}, 席斌斌^{1,2}, 陶国亮^{1,2}, 蒋宏^{1,2}

(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 214126;

2. 中国石油化工集团公司 油气成藏重点实验室, 江苏 无锡 214151)

摘要:塔河油田奥陶系油藏的成藏期次长期以来争议较大, 有两期、三期、多期之争, 对成藏期次认识上的差异必然导致对其烃源岩层位认识上的不同, 从而给油气勘探带来一定程度的不确定性。经过多年的多学科联合攻关, 采用国际上最先进的单体包裹体成分分析技术, 从不同期次单个油包裹体中提取出其地球化学特征信息, 直接获得了塔河油田东南部两期充注原油的有机成分信息, 研究表明塔河油田东南部奥陶系油藏主要为两期成藏, 第一期油包裹体以发黄色—褐色荧光、芳烃组分相对饱和烃含量高、正构烷烃分布完整($nC_{11}-nC_{30}$)、轻烃缺失等为特点, 成熟度较低, 为早期运移产物; 第二期油包裹体以发蓝色—蓝白色荧光、饱和烃组分相对芳烃含量高、正构烷烃分布较窄(nC_8-nC_{28})、轻烃完整等为特点, 成熟度较高, 为晚期轻质原油充注的特征。结合古温度、古压力模拟, 混源油比例判识研究, 对不同期次原油充注的时间以及贡献作了初步探讨, 这对塔河油田主力烃源岩的再认识以及进一步的勘探具有重要指导意义。

关键词: 单体包裹体; 混源比例; 成藏期次; 奥陶系油藏; 塔河油田

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

Accumulation periods of Ordovician reservoirs in Tahe Oil Field

Rao Dan^{1,2}, Qin Jianzhong^{1,2}, Xu Jin^{1,2}, Shi Weijun^{1,2},
Zhang Zhirong^{1,2}, Xi Binbin^{1,2}, Tao Guoliang^{1,2}, Jiang Hong^{1,2}

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

2. SINOPEC Key Laboratory of Petroleum Accumulation Mechanisms, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

Abstract: How many stages of accumulation have the Ordovician reservoirs experienced in the Tahe Oil Field, 2, 3 or even more? The debate causes different understandings of source rock location, hence leads to uncertainty in oil and gas exploration. After years of multidisciplinary joint research, using the most advanced technique of monomer inclusion component analysis, the geochemical features of single oil inclusion during different stages have been identified. The geochemical components of crude oils charged during 2 stages in the southeast of the Tahe Oil Field have been made clear. It has been concluded that the Ordovician reservoirs in the southeast of the Tahe Oil Field have experienced 2 stages of accumulation. The oil inclusions of the 1st stage are featured by yellow-brown fluorescence, higher aromatic component content than saturated hydrocarbon content, complete distribution of n -alkanes ($nC_{11}-nC_{30}$), and light hydrocarbon missing. They have lower maturity and mainly generate from early migration. The oil inclusions of the 2nd stage are featured by blue-light blue fluorescence, higher saturated hydrocarbon content than aromatic component content, narrow distribution of n -alkanes (nC_8-nC_{28}), and complete light hydrocarbon. They have higher maturity, indicating for late-stage light oil charging. Combined with the simulations of paleo-pressure and paleotemperature as well as the studies of mixed oil proportion, the charging time and contribution of crude oils of different stages have been discussed, which may guide source rock studies in the Tahe Oil Field.

Key words: monomer inclusion; mixing proportion; accumulation stage; Ordovician reservoir; Tahe Oil Field

塔河油田奥陶系为复杂类型碳酸盐岩岩溶缝洞型油藏, 储集空间以岩溶缝洞和构造裂缝为主, 是世界上少见的、极其复杂的缝洞型碳酸盐岩油

藏。长期以来, 该油藏成藏期次一直存在争议, 主要有2种不同的观点: 一种观点认为塔里木台盆区海相油气藏主要为3期成藏^[1-6], 其成藏时间也有

一些差别,基本认为是早海西期、晚海西期或印支—燕山期和喜马拉雅期;另一种观点则认为塔里木盆地海相油气藏为“多期成藏、晚期保存”,即认为早期形成的油气藏普遍已遭到破坏,目前保存下来的并且已发现的工业油气藏均是白垩纪以后晚期成藏的产物^[7]。另外还有多期成藏的认识^[8-11]。目前对气藏的成藏期认识基本上一致,即都认为喜马拉雅期是台盆区已发现气藏的形成时间^[3-13],主要分歧是对已发现油藏形成时间的确认方面。

本文对塔河油田烃包裹体岩相学、热力学特征进行了分析,并通过近年来研发的成分分析技术及PVTx 分析技术^[14-15],对单体包裹体古温度和古压力进行研究,旨在提供确切证据证实塔河油田原油充注的确切期次,并结合原油混源计算研究,分析不同期次原油对现今塔河油田的贡献比例。

1 样品基本情况

奥陶系是塔河油田的主要含油气层,也是主要工业产层。本次研究采集了塔河油田及外围 27 口钻井的奥陶系碳酸盐岩储层包裹体样品(图 1),依次进行了岩相学分析,热力学分析,单体包裹体成分分析及古温度古压力分析。其中,塔河油田 T901 井两期包裹体样品最具代表性。T901 井位于塔河油田九区桑东 2 号构造北翼,所采包裹体样品位于井深 5 700 m 左右的奥陶系恰尔巴克组—一间房组碳酸盐岩储集层。

根据塔河油田原油特性,结合原油性质和空间分布特征,原油混合比例研究选取了 20 个有代表性的奥陶系原油样品,涉及塔河主体区及外围(图 1)。

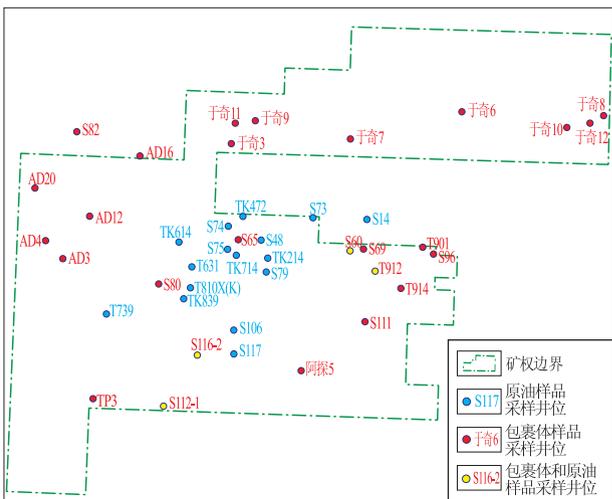


图 1 塔河油田奥陶系包裹体样品及原油样品分布示意

Fig.1 Distribution of inclusion and crude oil samples in Ordovician, Tahe Oil Field

对其饱和烃和芳烃的 50 余个化合物进行了系统的定量分析,相关分析结果是本次混源识别和混源比例计算的基本数据。

2 单体包裹体成分分析

2.1 烃包裹体岩相学及热力学特征

在偏光荧光显微镜下对塔河油田流体包裹体样品观察显示,样品中盐水包裹体的分布相对比较广泛,在各个层位的不同样品中均有发育,而与油气有关的烃包裹体的分布则相对略少。塔河油田奥陶系储层的烃包裹体主要分布在溶孔充填的石英、方解石和裂隙充填的方解石中,呈串珠状成群分布(图 2),形态大小很不规则,较大的可达 50 μm 以上,且在个别样品中较富集。偏光镜下可见 2 种烃包裹体分布:第一种主要发黄—黄绿色荧光,单偏光下呈浅褐色—无色,均一温度分布在 45.4~113.2 °C 之间(图 3),范围较广;第二种主要发蓝绿—蓝白色荧光,单偏光下无色,数量较多,均一温度比较集中,分布在 62.9~109.7 °C (图 3)。从岩相学上看,发黄—黄绿色荧光的烃包裹体切穿发蓝绿—蓝白色荧光烃包裹体(图 2),因此,可以判断第一种烃包裹体的形成时间早于第二种烃包裹体。

2.2 单体烃包裹体地球化学特征

单体包裹体激光剥蚀在线分析 T901 井两期烃包裹体,结果显示其成分和地球化学特征具有明显的差异(图 4):

(1)饱和烃峰型不同:第一期包裹体饱和烃谱图($m/z=85$ 或 $m/z=57$)呈明显的双峰型(图 4 左 b),主峰碳为 nC_{17} 和 nC_{25} ,尤其是 nC_{25} 后主峰附近 $nC_{23}-nC_{26}$ 石蜡烷烃发育,几乎缺失 nC_8-nC_{11} 轻

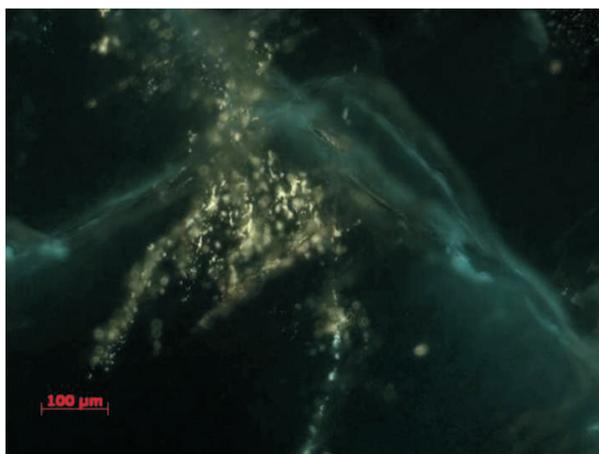


图 2 塔河油田奥陶系储层 T901 井烃包裹体产状及荧光特征

Fig.2 Occurrence and fluorescence characteristics of hydrocarbon inclusions from Ordovician reservoirs, well T901, Tahe Oil Field

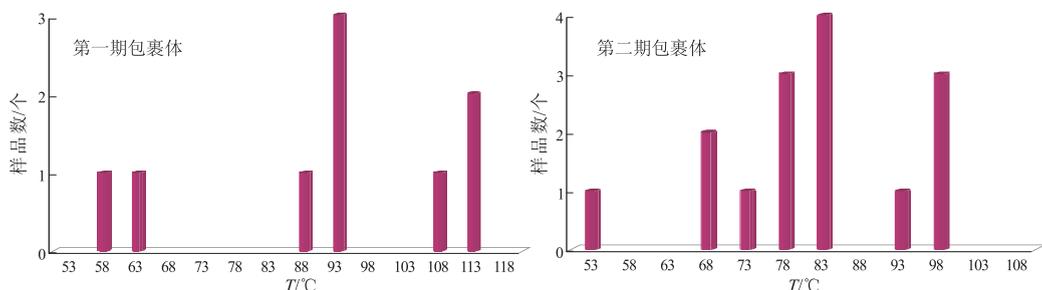


图3 塔河油田奥陶系样品烃包裹体均一温度分布

Fig.3 Distribution of homogenization temperatures of hydrocarbon inclusions in Ordovician samples from Tahe Oil Field

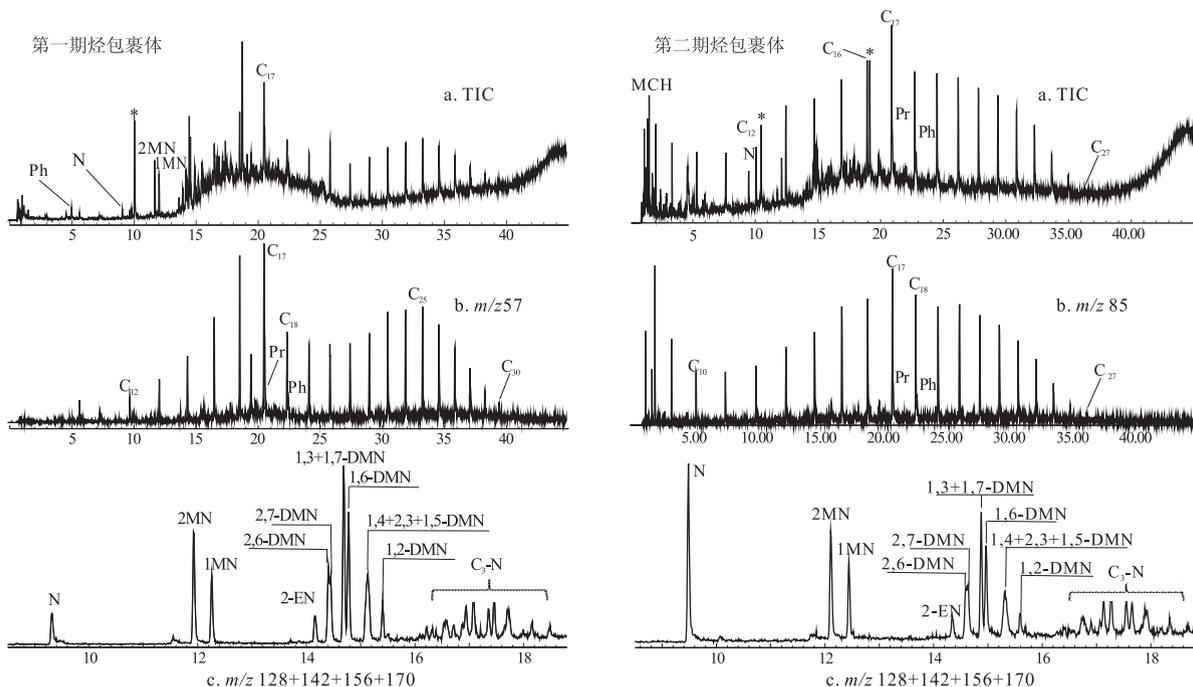


图4 塔河油田 T901 井 2 期烃包裹体 193 nm 准分子激光剥蚀 GCMS 分析结果

*. 背景峰; C_n . 链烷烃碳数; Pr. 姥鲛烷; Ph. 植烷; N. 萘; MN. 甲基萘; DMN. 二甲基萘; EN. 乙基萘

Fig.4 GCMS analysis using 193 nm excimer laser ablation of hydrocarbon inclusions of 2 stages, well T901, Tahe Oil Field

烃;而第二期包裹体饱和烃谱图(图4右b)呈单峰型,主峰碳为 nC_{17} ,在 nC_8 附近存在一个次高峰, nC_{10} 出现低谷,这与第一期包裹体明显不同。

(2) Pr/Ph 等异构烷烃差别明显(表1):第一期烃包裹体原油 Pr/Ph = 2.31, Pr/ nC_{17} = 0.43, Ph/ nC_{18} = 0.32, 而第二期烃包裹体原油 Pr/Ph = 1.46, Pr/ nC_{17} = 0.25, Ph/ nC_{18} = 0.24, 均低于前者(第一期烃包裹体)。预示着它们的沉积环境存在差异,尽管均为弱还原—还原环境,后者较前者沉积环境更偏还原一些。

(3) 芳烃含量明显不同(表1):第一期烃包裹体原油中芳烃含量很高,饱/芳比值为 0.75 (饱和烃以 m/z 85 计算),芳烃明显高于饱和烃,尤其是二甲基萘峰(1,3+1,7-DMN,1,6-DMN)和甲基萘峰(2-MN)还高于饱和烃主峰 nC_{17} 和 nC_{25} (图4左c,表1)。此

外,萘系列出现二甲基萘峰高于甲基萘峰高于萘峰;而第二期烃包裹体原油中含更多的轻质烷烃,芳烃含量相对较低,饱/芳比值为 2.02 (饱和烃以 m/z 85 计算),饱和烃明显高于芳烃,二甲基萘峰和甲基萘峰远低于饱和烃主峰 nC_{17} ,萘系列出现萘峰高于甲基萘峰高于二甲基萘峰(图4右c),与第一期烃包裹体正相反。

饱和烃中正构烷烃的峰型及分布、Pr/Ph 等异构烷烃差别及芳烃含量分布的不同等预示着两期包裹体中油气的来源、成烃生物及沉积环境存在明显差异。第一期烃包裹体可能与近岸海相线叶植物或底栖藻类等成烃生物为主有关,第二期烃包裹体可能与海相碳酸盐台凹或台洼浮游藻类等成烃生物有关,沉积环境更偏还原一些。

(4) 成熟度不同,第一期烃包裹体烃 nC_{21} -/ nC_{22}

表 1 塔河油田 T901 井烃包裹体激光剥蚀分析地球化学参数
Table 1 Geochemical parameters of laser ablation analysis of hydrocarbon inclusions from well T901, Tahe Oil Field

参数	第一期烃包裹体	第二期烃包裹体
饱/芳比	0.75	2.02
Pr/Ph	2.31	1.46
Pr/ nC_{17}	0.43	0.25
Ph/ nC_{18}	0.32	0.24
MNR	1.67	1.49
DNR-x	0.98	1.10
TNR	0.56	0.69
MPI1	0.32	0.58
Re1/%	0.59	0.75
MPI2	1.72	1.93
Re2/%	1.17	1.22
OEP	1.06	0.98

注:饱/芳比以 m/z 85 计算饱和烃;MNR 为甲基萘指数, $MNR = (2-MN/1-MN)$;DNR-x 为二甲萘指数, $DNR-x = (26+27)/16-DMN$;TNR 为三甲萘指数, $TNR = 236/(146+135)-TMN$;MPI 为甲基菲指数, $MPI1 = 1.5(3-MP+2-MP)/(P+9-MP+1-MP)$, $MPI2 = 2-MP/1-MP$;Re 为计算出的成熟度参数, $Re1 = 0.6MPI1-1+0.4$, $Re2 = 0.99+\ln MPI2+0.94$;OEP 以 C_{23} 计算。

比值为 1.1, 甲基菲指数 (MPI) 只有 0.32, 若换算成等效镜质体反射率 (VR_0), 仅为 0.59%, 参考 MPI 值, 其等效 VR_0 约在 0.6%~0.8% 之间;再联系其捕获温度 (80 °C 左右), 整体反映早期注入的石油成熟度较低;而第二期烃包裹体中 nC_{21}/nC_{22} 比值为 5.66, $MPI=0.58$, 换算的等效 $VR_0 > 0.75%$ (按甲基菲比值推算 VR_0 为 1.22%), 可能相当于充注的为等效 VR_0 约在 0.8%~1.0% 之间的成熟中晚期原油, 加上其捕获温度 (155 °C 左右), 表明捕获时原油成熟度相对较高 (相当于等效 VR_0 变化在 0.8%~1.0% 之间的成熟中后期), 但未达到成熟晚期原油开始大量热裂解阶段。

(5) 运移距离不同:第一期烃包裹体正构烷烃碳数分布 $nC_{11}-nC_{32}$, nC_{13} 之前的化合物含量很低, nC_5-nC_{11} 之间轻烃甚微, 但是它们之间的苯和萘等轻芳烃含量仍较高, 并非水溶损失, 可能反映了与运移距离相对较远、轻烃微渗漏散失时间较长等有关, 这与它们是早期形成、捕获时间长一致;而第二期烃包裹体原油正构烷烃和轻烃碳数 nC_5-nC_{28} 分布齐全, nC_{13} 之前的化合物含量相对丰富, 甚至 nC_8 附近存在一个次峰, nC_{11} 出现低谷, 表明原油尚未开始大量热裂解, 保持了成熟中后期原油原始面貌, 运移距离较近或时间短, 这与它们是晚期形成、捕获时间短相一致。

2.3 原油充注期次分析

综上所述, 两期烃包裹体在烃类物质的化学组成、成熟度及其捕获的原油沉积环境上均存在不同

程度的差异。其中, 第一期烃包裹体主要发黄色—褐色荧光, 以均一温度分布范围较广、芳烃组分相对饱和烃组分含量高、正构烷烃完整 ($nC_{11}-nC_{30}$)、部分轻烃缺失、成熟度参数呈现出的低演化程度特征, 推断其属早期运移的产物。第二期烃包裹体主要呈蓝色—蓝白色荧光, 以均一温度较高且集中、饱和烃组分相对芳烃含量较高、正构烷烃分布较窄 (nC_8-nC_{28}), 轻烃完整, 成熟度参数显示出较高演化程度等特点, 并且保持了运移距离较近或时间较短就被捕获的特征, 呈现出晚期轻质原油充注特征。

结合埋藏史与热演化史, 利用流体包裹体 PVTx 模拟古温度古压力分析技术结果显示:第一期烃包裹体捕获深度约为 2 218~2 453 m, 捕获时间为海西中期 (322~327 Ma); 第二期烃包裹体捕获深度约为 5 659~5 998 m, 捕获时间为喜马拉雅晚期 (2~6 Ma)^[16]。

3 两期原油的不同特征及贡献比例

塔河油田现今油藏是两期原油混合充注的结果^[3,17-18], 各期原油在现今油藏中的贡献比例多少, 不少学者对此进行过研究^[19-22]。本文通过多元数理统计学软件 Pirouette 4.0, 利用 Peters 等^[23] 生标浓度的变通最小二乘法 (ALS-C), 计算塔河油田原油混合物中各端元组分的相对含量, 进而推断各期原油的贡献比例。

3.1 端元数的确定

软件统计结果表明, 当端元数大于 3 后, 方差基本都接近零, 即各生标定量参数已经能满足变通最小二乘法的基本数学关系^[21]。结合塔河油田生烃史和成藏史等地质背景综合分析, 认为 3 个不同生标特征的端元就能较合理的解释塔河油田实际地质情况, 分别是 S74、S14 及 S116-2 井原油。

3.2 端元油的地球化学特征

S74、S14 及 S116-2 井原油生物标志物特征见表 2。其中, S74 井端元油主要代表了早期原油特征, S116-2 井和 S14 井端元油分别代表了来自南部和东部的晚期原油特征。

3.3 两期原油的贡献比例预测

图 5 表示了塔河油田 3 个端元油 (S71、S14、S116-2) 在 20 个样品的贡献比例。据此推测, 在塔河主体区 (4、6、7、2 区) 内, 来自南部轻质油贡献至少 10%~40%, 东部轻质油贡献至少 5%~15%, 早期原油贡献不会大于 50%~80%。其中, 由于主体区的早期原油 (S74 井端元油) 具有明显的混合特征, 故计算结果可能会低估后期注入原油的贡

表 2 塔河油田可能端元组分原油生标特征及母源特征预测

Table 2 Biomarker characteristics and potential maternal oil characteristics of end member samples, Tahe Oil Field

m/z	化合物或比值	端元油		
		S74	S14	S116-2
177	二降藿烷 (BNH)	丰富	无—微量	无—微量
	25-降藿烷	丰富	无—微量	无—微量
191	C ₂₉ H/C ₃₀ H	1±	低	低
	17α(H)升藿烷 (C ₃₁ -C ₃₅)	C ₃₅ 优势	受三环萜影响显示很弱	正常梯状级数分布
	三环萜烷/五环萜烷	低	高	低
	Ts/Tm	很低 (<1)	高 (>1)	低 (<1)
205	伽马蜡烷	高 (33.7 μg/g)	低 (1.4 μg/g)	低 (16.8 μg/g)
217	三甲基藿烷	丰富		
	C ₂₇ -C ₂₈ -C ₂₉ 甾烷	反 L 型	V 字型	V 字型
217	重排/规则甾烷	低 (0.27)	高 (0.8)	低 (0.44)
	孕甾烷/长链甾烷	低	高	低
	规则甾烷/藿烷	低 (0.5)	高 (1.3)	低 (0.3)
184, 178	二苯并噻吩/菲	<1 (0.55)	<1 (0.52)	<1 (0.71)
134, 92	类异戊二烯苯/烷基苯	高	低	高
	烷基萘/烷基菲	低	高	高
源岩特征推测		水体分层, 缺氧, 局限台地, II-S 型干酪根, 生烃活化能低, 成熟度低	富黏土, 开阔环境, 富含藻类, 生烃活化能高, 成熟度高	贫黏土, 还原, 有机质类型好, 生烃活化能低, 成熟度高
成烃期推测		海西中期	喜马拉雅晚期	喜马拉雅晚期

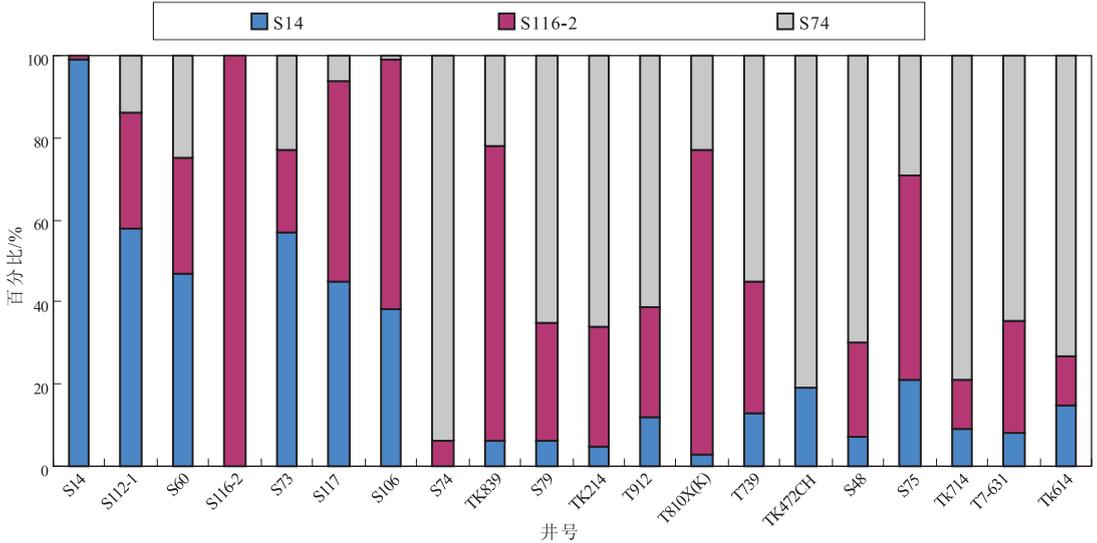


图 5 塔河油田三端元油混合比例计算及贡献程度预测

Fig.5 Mixing proportion and contribution degree prediction of three end members in Tahe Oil Field

献。同时, 结合源岩和充注期的对比分析, 认为塔河油田主体区以早期重质油为主, 有主要来自南部的晚期轻质油混入; 在塔河油田南部评价二区以及东部评价 1 区, 主要聚集晚期轻质油。

4 结论

(1) 单体油气包裹体激光微区在线分析新技术的应用证实了塔河油田东南部奥陶系储层存在

两期不同性质和来源的烃包裹体, 其包裹体岩相学、热力学及有机地球化学特征等方面均具有明显的差别, 由此推断塔河油田奥陶系东南部油藏经历了两期原油充注, 结合古温度古压力研究认为, 其充注时间为海西中期和喜马拉雅晚期。

(2) 塔河主体区内, 主要是早期原油的贡献, 并且混入了晚期轻质原油, 早期原油贡献约 50%~80%, 晚期轻质原油主要分布在塔河油田东部和南

部,其中来自南部轻质油贡献约 10%~40%,东部轻质油贡献约 5%~15%。

参考文献:

- [1] 康玉柱.塔里木盆地油气藏(田)特征[J].石油实验地质,2000,22(2):115-120.
Kang Yuzhu.Some characteristics of oil fields in the Tarim Basin[J].Experimental Petroleum Geology,2000,22(2):115-120.
- [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 of 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.
- [3] 高波,刘文汇,范明,等.塔河油田成藏期次的地球化学示踪研究[J].石油实验地质,2006,28(3):276-280.
Gao Bo, Liu Wenhui, Fan Ming, et al. Study on geochemical tracking for the periods of reservoir-forming of oil and gas in the Tahe Oilfield[J].Petroleum Geology & Experiment,2006,28(3):276-280.
- [4] 顾忆,邵志兵,陈强路,等.塔河油田油气运移与聚集规律[J].石油实验地质,2007,29(3):224-230.
Gu Yi, Shao Zhibing, Chen Qianglu, et al. Oil migration and accumulation pattern in the Tahe Oilfield[J].Petroleum Geology & Experiment,2007,29(3):224-230.
- [5] 段毅,王传远,郑朝阳,等.塔里木盆地塔河油田原油中双金刚烷分布特征与油气运移[J].天然气地球科学,2007,18(5):693-696.
Duan Yi, Wang Chuanyuan, Zheng Chaoyang, et al. Distribution of double diamantane hydrocarbons in crude oils from Tahe oilfield of Tarim Basin and its implication for oil and gas migration[J].Natural Gas Geoscience,2007,18(5):693-696.
- [6] 杨宁,吕修祥,陈梅涛.塔里木盆地塔河油田奥陶系碳酸盐岩油气成藏特征[J].西安石油大学学报:自然科学版,2008,23(3):1-5.
Yang Ning, Lu Xiuxiang, Chen Meitao. Study on the hydrocarbon reservoir forming characteristics of the ordovician carbonate rock in Tahe Oilfield, Tarim Basin[J].Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition,2008,23(3):1-5.
- [7] 梁狄刚.塔里木盆地油气勘探若干地质问题[J].新疆石油地质,1999,20(3):184-188.
Liang Digang. Several geologic problems of oil and gas exploration in Tarim Basin[J].Xinjiang Petroleum Geology,1999,20(3):184-188.
- [8] 王敦则,黎玉战,俞仁连.塔里木盆地塔河油田下奥陶统油藏特征及成藏条件分析[J].石油实验地质,2003,25(2):122-128.
Wang Dunze, Li Yuzhan, Yu Renlian. Characteristics and pool-forming conditions of the lower ordovician reservoirs in Tahe Oilfield, the Tarim Basin[J].Petroleum Geology & Experiment,2003,25(2):122-128.
- [9] 陈红汉,李纯泉,张希明,等.运用流体包裹体确定塔河油田油气成藏期次及主成藏期[J].地质前缘:中国地质大学学报,2003,10(1):190.
Chen Honghan, Li Chunquan, Zhang Ximing, et al. Determine accumulation period and the main reservoir in Tahe Oilfield by using fluid inclusions[J].Earth Science Frontiers,2003,10(1):190.
- [10] 王传刚,王铁冠,何发歧,等.塔河油田原油稳定碳同位素特征及其成藏意义[J].新疆石油地质,2005,26(2):155-157.
Wang Chuangang, Wang Tieguan, He Faqi, et al. Stable carbon isotope and its significance in hydrocarbon accumulation in Tahe Oilfield, Tarim Basin[J].Xinjiang Petroleum Geology,2005,26(2):155-157.
- [11] 云露,蒋华山.塔河油田成藏条件与富集规律[J].石油与天然气地质,2007,28(6):768-775.
Yun Lu, Jiang Huashan. Hydrocarbon accumulation conditions and enrichment rules in Tahe Oilfield[J].Oil & Gas Geology,2007,28(6):768-775.
- [12] Wang J, Liu W H, Qin J Z, et al. Migration, filling history and geochemical characteristics of Ordovician natural gases in the Tahe Oilfield, Tarim Basin, Northwest China[J].Chinese Journal of Geochemistry,2009,28(3):299-307.
- [13] 顾忆.塔里木盆地北部塔河油田油气藏成藏机制[J].石油实验地质,2000,2(4):307-312.
Gu Yi. Forming mechanism of hydrocarbon pools in tahe oilfield of the northern Tarim Basin[J].Experimental Petroleum Geology,2000,2(4):307-312.
- [14] Zhang Z R, Greenwood P, Zhang Q, et al. Laser ablation GC-MS analysis of oil-bearing fluid inclusions in petroleum reservoir rocks[J].Organic Geochemistry,2012,43:20-25.
- [15] 施伟军,蒋宏,席斌斌.应用储层流体包裹体 PVTX 模拟研究油气成藏期次:以塔里木盆地托甫台地区为例[J].高校地质学报,2012,18(1):125-132.
Shi Weijun, Jiang Hong, Xi Binbin. Application of the PVTX simulation of reservoir fluid inclusions to estimate petroleum charge stages: a case study in the Tuoputai Area of Tarim Basin[J].Geological Journal of China Universities,2012,18(1):125-132.
- [16] 秦建中.油气包裹体学科前沿技术调研报告[R].无锡:无锡石油地质研究所,2013.
Qin Jianzhong. Petroleum inclusions frontier technology research report[R].Wuxi: Wuxi Research Institute of Petroleum Geology,2013.
- [17] 陶国亮,秦建中,腾格尔,等.塔河油田混源油地球化学及多元数理统计学对比研究[J].高校地质学报,2010,16(4):527-538.
Tao Guoliang, Qin Jianzhong, Tenger, et al. Comparative study of geochemistry and multivariate data analysis on mixed oils accumulated in ordovician reservoir in Tahe Oilfield, Tarim Basin, NW China[J].Geological Journal of China Universities,2010,16(4):527-538.
- [18] 郑朝阳,段毅,张学军,等.塔河油田奥陶系原油有机地球化学特征及其油藏成因[J].沉积学报,2011,29(3):605-612.
Zheng Chaoyang, Duan Yi, Zhang Xuejun, et al. Characteristics of molecular geochemistry and genesis of crude oils from Tahe Oilfield of Tarim Basin[J].Acta Sedimentologica Sinica,2011,29(3):605-612.

palaeogeography of the Middle Permian Qixia Formation in Sichuan Basin[J].Journal of Palaeogeography,2010,12(5):515-526.

[18] 田雨,张兴阳,何幼斌,等.四川盆地晚二叠世吴家坪期相古地理[J].古地学报,2010,12(2):164-176.

Tian Yu,Zhang Xingyang,He Youbin,et al.Lithofacies palaeogeography of the Late Permian Wujiaping Age of Sichuan Basin[J].Journal of Palaeogeography,2010,12(2):164-176.

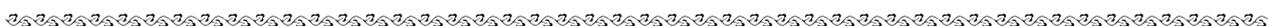
[19] Mazumdar A, Banerjee D M, Schidlowski M, et al. Rare-earth

elements and stable isotope geochemistry of early Cambrian chert-phosphorite assemblages from the Lower Tal Formation of the Krol Belt (Lesser Himalaya, India) [J].Chemical Geology, 1999,156(1-4):275-297.

[20] 陈建芳.古海洋研究中的地球化学新指标[J].地球科学进展,2002,17(3):402-409.

Chen Jianfang.New geochemical Proxies in paleoceanography studies[J].Advances in Earth Sciences,2002,17(3):402-409.

(编辑 徐文明)



(上接第 88 页)

[19] 王铁冠,王春江,何发岐,等.塔河油田奥陶系油藏两期成藏原油充注比率测算方法[J].石油实验地质,2004,26(1):74-79.

Wang Tieguan, Wang Chunjiang, He Faqi, et al.Determination of double filling ratio of mixed crude oils in the ordovician oil reservoir, Tahe oilfield [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2004,26(1):74-79.

[20] 张敏,黄光辉,赵红静,等.塔里木盆地海相混源油定量识别模式及其意义[J].石油天然气学报,2007,29(4):34-39.

Zhang Min, Huang Guanghui, Zhao Hongjin, et al.Quantitative identification pattern and its significance of marine mixed oils in Tarim Basin [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2007, 29(4):34-39.

[21] 张美珍,腾格尔,张渠,等.海相油气生物标志化合物定量技

术及应用研究[R].无锡:无锡石油地质研究所,2009.

Zhang Meizhen, Tenger, Zhang Qu, et al.Biomarker quantification in marine oil and gas technology and applied research[R]. Wuxi;Wuxi Research Institute of Petroleum Geology,2009.

[22] 陶国亮,秦建中,腾格尔,等.混源油定量判别方法研究新进展[J].石油实验地质,2010,32(4):377-381,386.

Tao Guoliang, Qin Jianzhong, Teng er, et al.Advancements in quantifying mixed oils [J].Petroleum Geology & Experiment, 2010,32(4):377-381,386.

[23] Peters K E, Ramos L S, Zumberge J E, et al.De-convoluting mixed crude oil in Prudhoe Bay Field, North Slope, Alaska[J]. Organic Geochemistry,2008,39(6):623-645.

(编辑 黄娟)



(上接第 94 页)

[13] 窦立荣,黎茂稳.高酸值油藏的形成与分布[M].北京:地质出版社,2010.

Dou Lirong, Li Maowen.Origin and distribution of high acidity oils[M].Beijing:Geological Publishing House,2010.

[14] Kendrick E A.Mass Scale Based on CH₂ = 14.0000 for High Resolution Mass Spectrometry of Organic Compounds[J].Analytical Chemistry,1963,35(13):2146-2154.

[15] Hughey C A, Hendrickson C L, Rodgers R P, et al.Kendrick Mass Defect Spectrum:A Compact Visual Analysis for Ultrahigh-Resolution Broadband Mass Spectra [J]. Analytical Chemistry, 2001,73(19):4676-4681.

[16] Liu P, Xu C, Shi Q, et al.Characterization of Sulfide Compounds in Petroleum;Selective Oxidation Followed by Positive-Ion Electro-

pray Fourier Transform Ion Cyclotron Resonance Mass Spectrometry[J].Analytical Chemistry,2010,82(15):6601-6606.

[17] Shi Quan, Pan Na, Long Haiyan, et al.Characterization of Middle-Temperature Gasification Coal Tar.Part 3:Molecular Composition of Acidic Compounds[J].Energy Fuels 2013,27(1):108-117.

[18] Peters K E, Walters C C, Moldowan J M.The biomarker guide, biomarkers and isotopes in petroleum exploration and earth history[M].2nd ed.Cambridge University press, New York, 2005.

[19] Huang Haiping, Bowler B F, Zhang Zhanwen. et al.Influence of biodegradation on carbazole and benzocarbazole distributions in oil columns from the Liaohe basin, NE China[J].Organic Geochemistry,2003,34(7):951-969.

(编辑 黄娟)