

文章编号: 0253-2697(2012)03-0372-07

塔北英买力低凸起奥陶系油藏充注历史的流体包裹体证据

肖 晖¹ 赵靖舟¹ 杨海军² 蔡振忠² 张丽娟² 朱永峰²

(1. 西安石油大学油气资源学院 陕西西安 710065; 2. 中国石油塔里木油田公司勘探开发研究院 新疆库尔勒 841000)

摘要:通过流体包裹体偏光—荧光镜下观察、均一温度测试、红外光谱等分析手段,结合埋藏热演化史分析,确定了塔北隆起西部英买力低凸起奥陶系油藏充注期次。奥陶系储层共发育4类烃类包裹体,根据荧光颜色对液烃包裹体进一步划分为重质油包裹体和轻质油包裹体;根据包裹体岩相学特征将烃类包裹体分为早、晚两期,均一温度峰值分别为66.7~72.5℃和86.4~95.3℃,表明主要发生过两期原油运移、充注过程。石油包裹体红外光谱特征及参数计算结果表明,早期充注原油成熟度较低,烃类包裹体主要发褐色、黄褐色荧光;晚期充注原油成熟度相对较高,烃类包裹体显示黄白—蓝绿色荧光。包裹体均一温度结合埋藏热演化史确定早、晚两期原油充注过程分别对应于晚加里东期和晚海西期。根据油藏沥青特征和现今油藏原油密度等综合因素分析认为,油藏降解过程主要发生在早海西期,而晚海西期是主成藏期。

关键词:塔里木盆地;英买力地区;流体包裹体;充注期次;红外光谱

中图分类号:TE112.31

文献标识码:A

Evidence of fluid inclusions for the hydrocarbon charging history of Ordovician reservoirs in Yingmaili low-uplift, northern Tarim Basin

XIAO Hui¹ ZHAO Jingzhou¹ YANG Haijun² CAI Zhenzhong² ZHANG Lijuan² ZHU Yongfeng²

(1. School of Petroleum Resources, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China; 2. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina Tarim Oilfield Company, Korla 841000, China)

Abstract: Combined with analysis of thermoevolutionary burial history, we determined hydrocarbon charge phases of the YM1 and YM2 Ordovician oil reservoirs in the Yingmaili low-uplift of the Tarim Basin through microscopic observations of petrography, polarized-light and fluorescence as well as measurements of homogenization temperature and Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) on fluid inclusions. The result showed that four types of hydrocarbon inclusions were recognized and liquid hydrocarbon inclusions could be further divided into two subclasses: heavy-oil inclusions and medium-light oil inclusions based on their petrographic characteristics. The generation order of hydrocarbon inclusions was determined according to the relation between mineral diagenesis and distributions of hydrocarbon inclusions and the peak distributions of homogenization temperature ranged in 66.7~72.5℃ and 86.4~95.3℃, respectively, suggesting the occurrence of two main phases for oil migration and accumulation. Characteristics of infrared spectra of oil inclusions and their calculated parameters indicated that the early charged oil with brown and yellow-brown fluorescent light had a relatively lower maturity while the late charged oil with yellow white to blue-green fluorescent light showed a relatively higher maturity. The early and late phases of hydrocarbon charge were determined to correspond to Late Caledonian and Late Hercynian, respectively, by reconstructing the thermal burial history of deposits in the Yingmaili low-uplift. Comprehensive analyses of reservoir bitumen and present oil density data implied that the reservoir degradation occurred mainly in Early Hercynian while a critical moment of the major petroleum charge emerged in Late Hercynian.

Key words: Tarim Basin; Yingmaili area; fluid inclusion; charge phase; Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)

塔北隆起为塔里木盆地最富有油气的构造单元之一,多期的构造演化控制了该地区油气藏不同时期的破坏和形成,也造就了沥青、稠油、轻质油和天然气多种类型油气藏同时存在的复杂局面^[1-3]。成藏期研究是油气藏形成及分布研究中一个重大的石油地质学问

题,不同的成藏期认识往往产生不同的勘探思路^[4]。尽管对塔里木盆地台盆区海相油气成藏的多期性早已为勘探界所认识,但不同学者对成藏期次的划分上还存在较大分歧^[5-6]。张水昌等^[7]从重大构造变革期入手,系统归纳了塔里木盆地油气成藏历史,3个构造

基金项目:国家自然科学基金项目(No. 41102082 和 No. 41002052)、国家重大科技专项(2008ZX05005-004-0814Z)资助。

第一作者及通讯作者:肖 晖,男,1980年5月生,2008年获西北大学地质学博士学位,现为西安石油大学油气资源学院讲师,主要从事盆地构造热演化史及成藏地质学研究。E-mail: xiaohui_4787@163.com

变革期(中晚加里东期、晚海西—印支期、喜马拉雅期)对油气成藏具有明显的控制作用。笔者对 YM1 与 YM2 井区奥陶系油藏流体包裹体展开荧光观察与鉴定、均一温度测试、烃类包裹体显微红外光谱分析等手段,结合埋藏热演化史分析,确定了本地区奥陶系储层的油气充注历史。

1 区域地质背景

英买力低凸起位于塔北隆起的西部、轮台断隆以南(图1),为晚海西期形成的古隆起^[8]。YM1、YM2 井区奥陶系油藏主要分布在一间房组到鹰山组一段碳酸盐岩内幕岩溶储集体中,以灰岩裂缝型内幕背斜油藏为主,油气分布明显受到岩溶储层和构造的控制^[9-10](图2)。油藏天然气含量低,属溶解气,原油密度在 0.85~0.95 g/cm³,略高于正常原油,生物标志化合物和同位素特征表明其为海相成因。油气地球化学证据表明,原油主要是在海相烃源岩生油窗演化阶段生成的烃类,后期没有受到明显的高成熟度油气注入的影响和次生改造^[11]。因此,英买力低凸起海相油藏的形成过程与塔北隆起塔河、轮南和轮西地区明显不同^[12-13]。

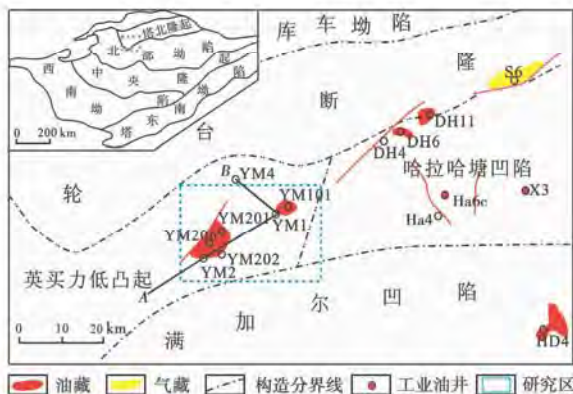


图1 塔北中西部地区海相油气藏分布

Fig. 1 Distribution of the marine oil-gas reservoirs in middle-west of the northern Taim Basin

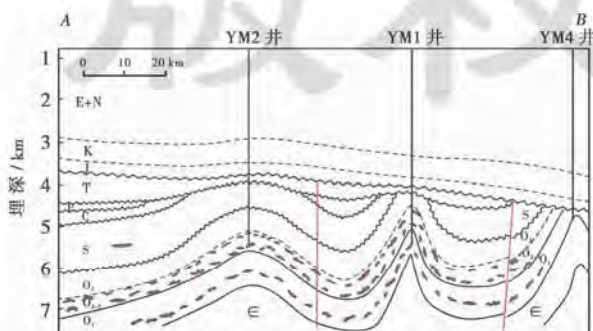


图2 YM2井、YM1井和YM4井的奥陶系油藏剖面(剖面位置见图1)

Fig. 2 The Ordovician oil accumulation section through wells YM2, YM1 and YM4

1.1 构造发育历史

英买力低凸起奥陶系内幕岩溶背斜型圈闭的形成、储层的发育均受到该地区构造演化的控制。研究表明,英买力低凸起下古生界遭受了多期构造运动的叠加作用^[14]。构造活动可以分为早加里东期(中上奥陶统沉积前)的斜坡期、中加里东期(志留系沉积前)的构造雏形期、加里东晚期—早海西期(石炭系沉积前)的构造形成期、晚海西期(三叠系沉积前)挤压抬升期、印支期(侏罗系沉积前)的构造调整和燕山期以来的稳定沉降期。

1.2 古岩溶特征

塔北地区古岩溶作为油气成藏的重要控制因素,并不局限于塔北地区东部的轮南地区,而是沿塔北隆起南翼穿越各个正负次级构造单元呈宽幅带状连片分布,构成一套大型复合古岩溶体系^[15-17]。YM1、YM2 井区奥陶系储层均见到溶蚀孔洞,并通过后期裂缝的改造,属于内幕岩溶型裂缝-孔洞体系。在 YM203 井高度仅 3 m 的岩心中见到 56 个孔洞,其中溶洞 9 个;此外,该井还见到高 7.61 m 的巨大溶洞,为巨晶方解石充填^[10]。YM2 井区三维地震资料显示,在奥陶系一间房组和鹰山组发育很多串珠状构造,这些串珠状构造反映了复杂的洞缝体系^[15]。

2 样品特征及实验方法

2.1 样品特征

流体包裹体样品取自 YM101、YM2、YM201、YM202、YM206 等 5 口井一间房组到鹰山组一段的含油岩心,岩性主要为含方解石脉的泥晶灰岩。受油藏厚度和取心段位置的控制,采样点集中在一间房组储层内,单井采样间距不超过 50 m。每一个样品均磨制了 2 套双面抛光薄片,薄片厚度为 0.1~0.5 mm,用无荧光的 502 胶粘贴,分别用于包裹体岩相学分析与烃类包裹体荧光观察以及显微成分测试与均一温度、盐度的测定。

2.2 实验方法

(1) 流体包裹体偏光-荧光显微镜薄片观察,确定包裹体产状、分布、形态和荧光颜色、相态及其与成岩序列的作用关系等。

(2) 对要进行成分测试的包裹体,用碳素墨水进行圈定并编号。薄片在酒精和丙酮按 2:1 配置的溶液中浸泡 3 h,除去 502 胶,以备显微红外光谱分析。

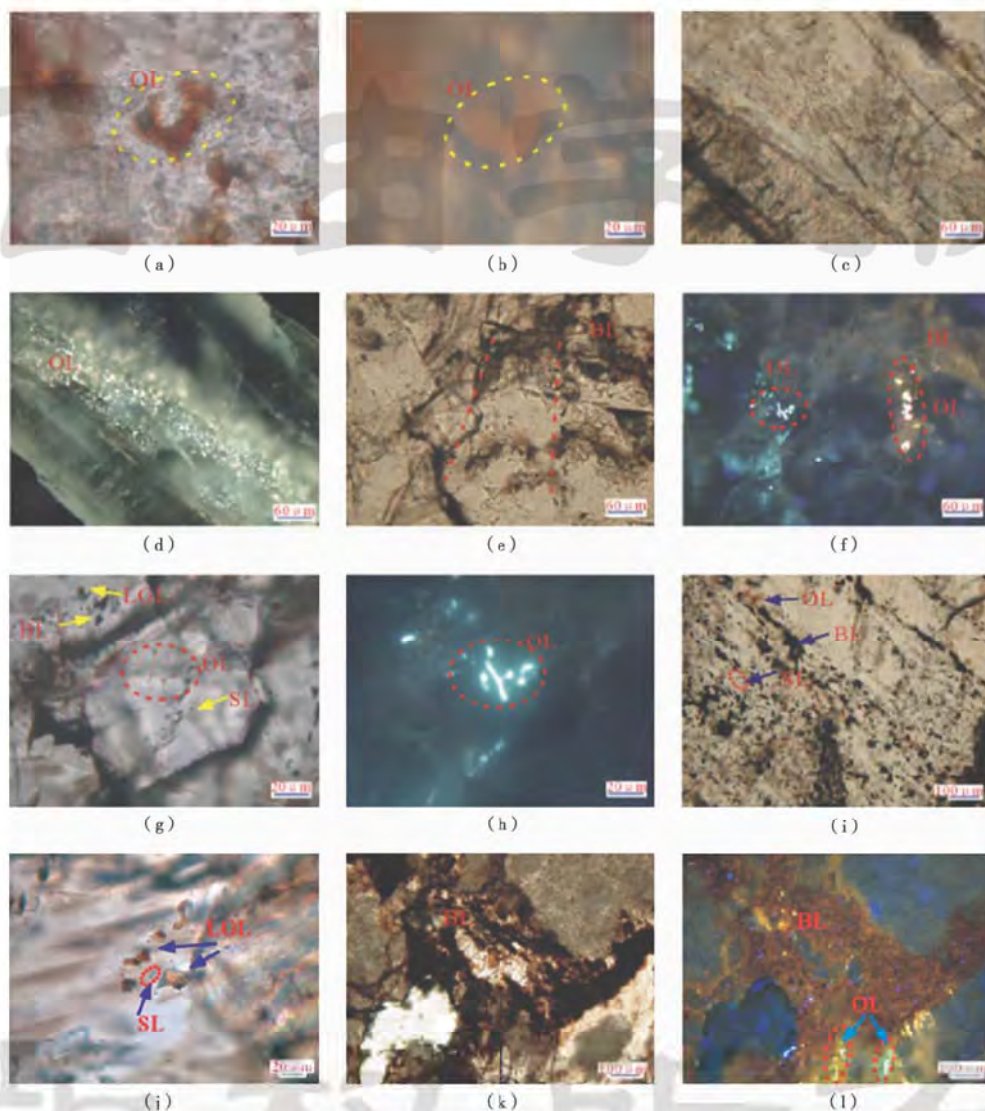
(3) 包裹体均一温度及盐度测试在 Leica DM2500P 搭配 LINKAM THMS600 型冷热台进行,均一法测温精度为 ± 1 C。

(4) 包裹体显微红外成分测试使用的是 Nicolet 公司 670 型 NEXUS Micro-FTIR 光谱仪,扫描范围为 650~4 000 cm⁻¹,扫描次数为 128 次,分辨率为 8 cm⁻¹。

3 烃类包裹体特征

英买力低凸起奥陶系储层特征研究表明^[18], 早中奥陶世鹰山组到中奥陶世一间房组沉积环境以开阔台地滩间海—开阔台地台内浅滩间夹生物点礁沉积为主, 横向展布稳定。多期次的滩体暴露形成层间不整

合岩溶孔洞层, 成岩序列主要为早期重结晶方解石→碳酸盐溶蚀作用→硅化胶结作用→方解石充填构造裂缝。按照流体包裹体类型鉴定和划分方法^[19-20], 英买力低凸起奥陶系储层主要发育液烃包裹体、气液烃包裹体、气烃包裹体和沥青包裹体 4 类烃类包裹体(图 3)。根据液烃、气液烃包裹体荧光颜色与成分成熟度对应



(a)重结晶方解石内沿微裂隙呈带状分布,呈褐色、深褐色的液烃包裹体(OL),YM101井,5710.8m,单偏光;(b)视域同a,液烃类包裹体呈强褐色、褐黄色荧光,UV激发;(c)方解石脉内呈片状分布,呈淡黄色液烃包裹体,YM101井,5710.8m,单偏光;(d)视域同c,液烃类包裹体呈强黄白色、蓝绿色荧光,UV激发;(e)缝洞充填方解石内沿不同期次微裂隙呈线状分布,呈淡黄色液烃包裹体和残余油质沥青(BL),YM2井,6050.4m,单偏光;(f)视域同e,早期液烃包裹体呈浅黄色荧光,伴生发浅黄褐色荧光的油质沥青,晚期烃类包裹体呈浅蓝绿色荧光,UV激发;(g)照片e局部放大,与液烃包裹体相伴生的盐水包裹体(SL),左上角还发育有气液烃包裹体(LGL)和沥青包裹体;(h)荧光照射下沥青包裹体不发荧光,UV激发;(i)重结晶方解石内呈带状分布,呈淡黄-灰色液烃包裹体、深褐色沥青包裹体及伴生盐水包裹体,YM206井,5908.9m,单偏光;(j)方解石脉内沿微裂隙呈线状分布,呈灰褐色气液烃包裹体及伴生盐水包裹体,YM206井,5912m,单偏光;(k)方解石晶间裂隙内分布的褐色油质沥青,YM202井,6018.9m,单偏光;(l)视域同k,沥青呈现褐色荧光,伴生发黄褐色液烃包裹体,晚期烃类包裹体发蓝绿色荧光,UV激发。

图3 典型烃类包裹体偏光-荧光照片

Fig. 3 Polarized light and fluorescent microscope of typical hydrocarbon inclusions

关系^[21-22],进一步划分为稠油包裹体(发褐色、黄褐色荧光)和中质油-轻质油包裹体(发黄白色、蓝绿色荧光)两类。

根据烃类包裹体产状、发育丰度、偏光/荧光镜下特征结合宿主矿物成岩序列关系,可将奥陶系储层烃类包裹体划分为两期(表1):第1期烃类包裹体主要发育在重结晶方解石胶结物内,呈带状分布,以褐色、深褐色油包裹体为主,个体较大,直径一般为10~20 μm,紫外荧光激发下呈现褐色、黄褐色,同时还在晶间微裂

隙中发育大量油质沥青和沥青包裹体,荧光下沥青显示深褐色,为早期烃类流体运移、聚集过程中发生了色层效应与生物降解作用的产物;第2期烃类包裹体主要见于洞缝充填方解石脉中,呈片状、线状大规模分布,仍以油包裹体为主,发育丰度比第1期有所增加,个体大小一般在6~15 μm,荧光下主要显示黄白、蓝绿色荧光。晚期烃类包裹体还发育少量气液烃包裹体,气液比约为20%~50%,个别井可见到少量气烃包裹体(GL),气相成分主要为CH₄(图3)。

表1 塔北英买力低凸起奥陶系储层烃类包裹体类型划分及特征

Table 1 Classification and characteristics of hydrocarbon inclusions in the Ordovician reservoir in Yingmaili low-uplift, northern Tarim Basin

井号	井段/m	宿主矿物	不同烃类包裹体类型的丰度 ^a /%				荧光颜色	盐水包裹体均一温度均值/℃,(测点数)	期次
			OL	BL	LGL	GL			
YM101	5 715.8~5 755.5	重结晶方解石	45	55			褐色、黄褐色	72.5±1.5,(8)	第1期
		方解石脉	80	5	15		黄白色、蓝绿色	93.7±1.0,(24)	第2期
YM2	6 050.4~6 062	重结晶方解石	90	5			浅黄色	68.5±1.0,(16)	第1期
		方解石脉	80	5	15		蓝绿色	95.3±1.0,(21)	第2期
YM201	5 926~5 958	裂缝充填方解石	60	15	15	10	蓝绿色	89.2±1.0,(22)	第2期
YM202	6 012~6 019	重结晶方解石	35	45	20		浅褐色	66.7±1.5,(7)	第1期
		裂缝充填方解石	60		30	10	蓝绿色	91.4±1.0,(12)	第2期
YM206	5 908~5 912	重结晶方解石	40	45	5		黄褐色	71.2±1.5,(7)	第1期
		裂缝充填方解石	65		30	5	黄白色	86.4±1.5,(5)	第2期

^a 丰度:同期包裹体宿主矿物中同种类型烃类包裹体个数占同期宿主矿物烃类包裹体总数的百分比;OL:油包裹体;BL:沥青包裹体;LGL:气液烃包裹体;GL:气烃包裹体。

对与不同期次烃类包裹体共生的盐水包裹体进行均一温度测试。本次用于测温的包裹体气液比大于20%,形态规则,多为似圆形、椭圆形,从而避免了包裹体的不均一捕获和测温时的成分泄露^[23],保证了选用包裹体的可靠性。第1期盐水包裹体均一温度平均值为66.7~72.5℃;第2期盐水包裹体均一温度平均值为86.4~95.3℃(表1)。同时对气液两相盐水包裹体盐度进行了测定,根据图4可知,均一温度在63~

76℃的包裹体,盐度多分布在4%~12%,表明该成岩阶段地层中的流体性质差别不大;而均一温度分布在86.4~95.3℃的包裹体,盐度分布在4%~17%,比较离散,反映出多期流体充注的结果。

4 石油包裹体的显微红外光谱测定

与显微激光拉曼光谱一样,显微傅里叶红外光谱是由分子在振动能级之间的跃迁造成的,但拉曼实验中的谱带信息是分子极化率的变化造成的,而红外则是分子偶极距的变化^[21]。激光拉曼信号容易受到有机质荧光物质干扰,而石油包裹体含有较多的荧光物质,因此红外光谱技术常用于测定单个石油包裹体的有机成分^[24-25]。不同红外光谱吸收峰强度代表不同化学结构的相对丰度,这些丰度比反映有机质的结构组成特征,光谱参数结构归属于参数意义和计算方法可参考文献^[26]。 $\Sigma\text{CH}_2/\Sigma\text{CH}_3$ (亚甲基/甲基)、 X_{inc} (有机质烷链碳原子数)、 X_{nd} (有机质正烷烃直链碳原子数)值越小,表明包裹体中有机质的成熟度越高。

根据YM101井、YM2井、YM206井石油包裹体的红外光谱图(图5)和红外光谱计算结果可以看出,不同期次形成的石油包裹体具有不同的红外光谱特征。第1期油包裹体 $\Sigma\text{CH}_2/\Sigma\text{CH}_3$ 值在4.389~

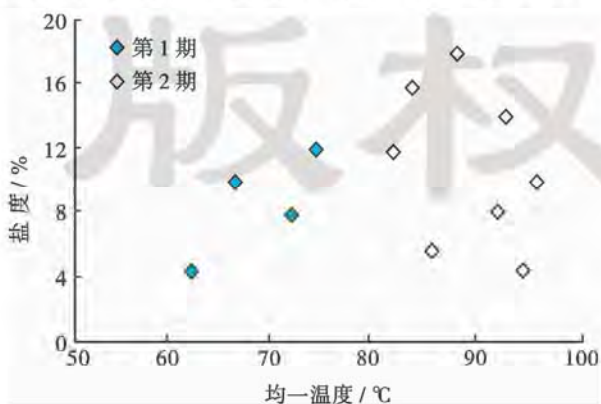
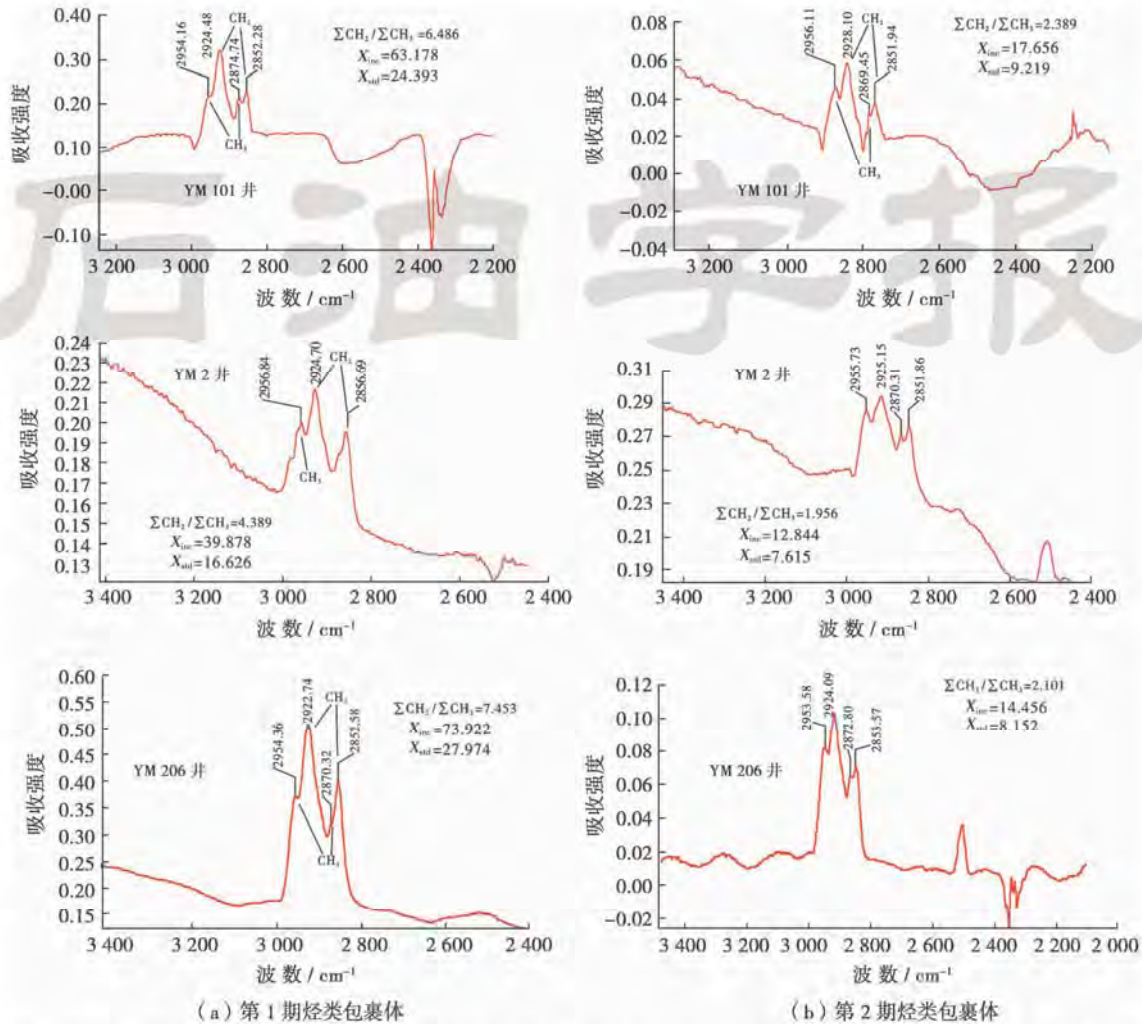


图4 塔北英买力低凸起奥陶系储层包裹体均一温度及盐度分布
Fig. 4 Homogenization temperature and salinity distribution of fluid inclusions from the Ordovician oil-bearing reservoir of Yingmaili low-uplift, northern Tarim Basin

7.453, X_{inc} 、 X_{std} 分别介于39.878~73.922和16.626~27.974,表明成熟度较低,长链烷烃含量相对较高,与早期发褐色、黄褐荧光的油包裹体特征一致;第2期中-轻质油包裹体 $\Sigma CH_2/\Sigma CH_3$ 值在1.956~

2.389, X_{inc} 、 X_{std} 分别介于12.844~17.656和7.615~9.219,表明甲基相对富集,烷烃链短,成熟度相对第1期油包裹体高,与晚期发黄白-蓝绿色荧光特征相符。



注: $\Sigma CH_2/\Sigma CH_3$ 为亚甲基/甲基峰形面积比值; X_{inc} 为有机质链烷碳原子数; X_{std} 为有机质正烷烃直链碳原子数。

图5 不同期次典型液烃包裹体显微-红外光谱

Fig. 5 Micro-infrared spectrum of the hydrocarbon inclusions of various stages

5 奥陶系油藏充注期次

流体包裹体的均一温度代表了古流体被捕获时的最小温度^[27],采用均一温度投影埋藏热演化史法可确定油气成藏时间。利用 BasinMod1D 软件模拟出 YM2 井埋藏热演化史代表英买力低凸起区埋藏受热历史。埋藏史恢复所需的地层剥蚀数据根据地层厚度趋势法得到,奥陶系顶面剥蚀厚度取 100 m,志留纪末到三叠纪沉积前累积地层缺失厚度 1200 m 左右,其中早海西期 300 m,晚海西期 900 m。古地温梯度数据引自参考文献^[28],将早、晚两期包裹体温度峰值区段投影到埋藏-热演化史图上(图 6)可以看出,66.7~72.5℃与 86.4~95.3℃均一温度段对应油充注时间分

别发生在晚加里东期和晚海西期。

以往研究表明,英买力低凸起地区海相油气具有一期成藏特征^[29,30],其理论依据主要为 YM1、YM2 井区油藏背斜圈闭的形成是在晚海西期,该时期源自满加尔坳陷内部寒武系-奥陶系烃源岩生成的原油向圈闭内充注成藏。根据研究区降解原油的地球化学特征^[11],认为原油降解的时间只可能发生在原油大量充注之后的海西期末。本次研究表明,本地区在加里东晚期也存在一次重要的油气运移充注过程。中加里东期中奥陶统一间房组层间岩溶储层发育^[10,16],加里东末期油藏在溶蚀孔洞中大面积聚集,形成受地层控制的岩性油藏。晚海西期 YM1、YM2 井区背斜圈闭形成,晚海西期油向背斜顶部运移聚集,形成现今背斜油藏(图 2)。

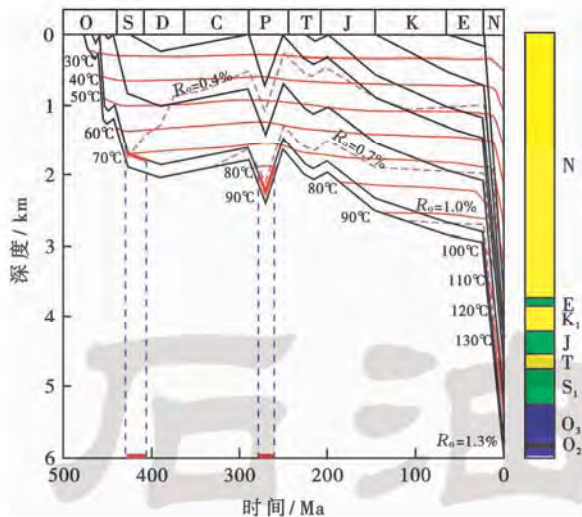


图6 塔北低凸起埋藏热演化史及油气充注期次

Fig. 6 Burial-thermal history and oil accumulation stages of Yingmaili low-uplift, northern Tarim Basin

原油降解发生的时间主要是在早海西期,而非海西末期。这是根据早期原油成藏过程中相伴生大量油质沥青及沥青包裹体,并且和早期烃类包裹体具有相近的荧光颜色特征(图3),说明是早期油藏形成后构造抬升降解的产物。从现今YM1、YM2井区奥陶系原油密度来看,主体属于正常成熟度原油范围,降解程度低。结合烃类包裹体镜下特征综合分析认为,晚海西期为本地区关键成藏时期。

6 结论

(1) 英买力低凸起YM1、YM2井区奥陶系储层共捕获4类烃类包裹体,其中以液烃包裹体为主。根据荧光特征进一步将液烃包裹体划分为重质油包裹体和中-轻质油包裹体两种类型,结合包裹体岩相学特征,将烃类包裹体划分为早、晚两期。

(2) 重质油包裹体主要赋存在重结晶方解石中,包裹体均一温度峰值为66.7~72.5℃;中-轻质油包裹体主要赋存在洞缝充填方解石及方解石脉中,包裹体均一温度峰值为86.4~95.3℃,表明奥陶系储层主要发生过两期主要石油运移、充注过程。

(3) 包裹体红外光谱分析及参数计算表明,早期充注油成熟度较低,与发褐色、黄褐荧光的油包裹体特征一致;晚期充注原油成熟度相对较高,与发黄白—蓝绿色荧光特征相符。

(4) 利用包裹体测试资料,结合埋藏热演化史确定,英买力低凸起奥陶系油藏主要成藏期有两期:晚加里东期和晚海西期。早期原油在早海西期发生降解过程,而晚海西期是成藏关键时期,两期充注原油混合形

成现今YM1、YM2油藏正常偏重的原油密度特征。

致谢 感谢塔里木油田公司勘探开发研究院张丽娟、林永峰高工等在研究过程中给予的指导和帮助,感谢北京核工业地质分析测试研究中心欧光习研究员、张剑锋博士在样品测试过程中给予的帮助。

参考文献

- [1] 陈践发,苗忠英,张晨,等.塔里木盆地塔北隆起天然气轻烃地球化学特征及应用[J].石油与天然气地质,2010,31(3):271-277.
Chen Jianfa, Miao Zhongying, Zhang Chen, et al. Geochemical characteristics of light hydrocarbons in natural gas in the Tabei Uplift of the Tarim Basin and their implications[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(3): 271-277.
- [2] 廖泽文,张绿惠,杨楚鹏,等.塔里木盆地哈拉哈塘凹陷东西两侧海相稠油地球化学特征——以LG7井和DH1-6-9井稠油为例[J].地球化学,2010,39(2):149-153.
Liao Zewen, Zhang Lühui, Yang Chupeng, et al. Geochemical characteristics of heavy oils from the east and west sides of Hala-hatang Depression, Tarim Basin, China; exemplified by oils of LG7 and DH1-6-9[J]. Geochemica, 2010, 39(2): 149-153.
- [3] 郭汝泰,肖贤明,王建宝,等.塔里木盆地轮南下奥陶统沥青的发现及其意义[J].新疆石油地质,2002,23(1):21-25.
Guo Rutai, Xiao Xianming, Wang Jianbao, et al. The discovery of Lower Ordovician bitumen in Lunnan low uplift of Tarim Basin and its geologic significance[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2002, 23(1): 21-25.
- [4] 赵靖舟,李启明.塔里木盆地克拉通区海相油气成藏期与成藏史[J].科学通报,2002,47(增刊):116-121.
Zhao Jingzhou, Li Qiming. Accumulation stages and accumulation process of marine hydrocarbon pools in the cratonic areas of Tarim Basin[J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(Suppl.): 116-121.
- [5] Liu Dehan, Xiao Xianming, Mi Jinghui, et al. Determination of trapping pressure and temperature of petroleum inclusions using PVT simulation software: a case study of Lower Ordovician carbonates from the Lunnan Low Uplift, Tarim Basin[J]. Marine and Petroleum Geology, 2003, 20(1): 29-43.
- [6] Tian Hui, Xiao Xianming, Ronald W T, et al. Formation and evolution of Silurian paleo-oil pools in the Tarim Basin, NW China[J]. Organic Geochemistry, 2008, 39(9): 1281-1293.
- [7] 张水昌,张宝民,李本亮,等.中国海相盆地跨重大构造期油气成藏历史——以塔里木盆地为例[J].石油勘探与开发,2011,38(1):1-15.
Zhang Shuichang, Zhang Baomin, Li Benliang, et al. History of hydrocarbon accumulations spanning important tectonic phases in marine sedimentary basins of China; taking the Tarim Basin as an example[J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(1): 1-15.
- [8] 安海亭,李海银,王建忠,等.塔北地区构造和演化特征及其对油气成藏的控制[J].大地构造与成矿学,2009,33(1):142-147.
An Haiying, Li Haiyin, Wang Jianzhong, et al. Tectonic evolution and its controlling on oil and gas accumulation in the northern Tarim Basin[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2009, 33(1): 142-147.
- [9] 倪新锋,杨海军,沈安江,等.塔北地区奥陶系灰岩段裂缝特征及其对岩溶储层的控制[J].石油学报,2010,31(6):933-940.
Ni Xinfeng, Yang Haijun, Shen Anjiang, et al. Characteristics of Ordovician limestone fractures in the northern Tarim Basin and

- their controlling effects on karst reservoirs[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2010, 31(6): 933-940.
- [10] 张朝军, 贾承造, 李本亮, 等. 塔北隆起中西部地区古岩溶与油气聚集[J]. *石油勘探与开发*, 2010, 37(3): 263-269.
Zhang Chaojun, Jia Chengzao, Li Benliang, et al. Ancient karsts and hydrocarbon accumulation in the middle and western parts of the North Tarim uplift, NW China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2010, 37(3): 263-269.
- [11] 卢玉红, 肖中尧, 顾乔元, 等. 塔里木盆地环哈拉哈塘海相油气地球化学特征与成藏[J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2007, 37(增刊 II): 167-176.
Lu Yuhong, Xiao Zhongyao, Gu Qiaoyuan, et al. Geochemical characteristics and accumulation of marine oil and gas around Halahatang depression, Tarim Basin, China[J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2008, 51(zk1): 195-206.
- [12] 王建宝, 郭汝泰, 肖贤明, 等. 塔里木盆地轮南低隆起早古生代油气藏形成的期次与时间研究[J]. *沉积学报*, 2002, 20(2): 320-325.
Wang Jianbao, Guo Ruitai, Xiao Xianming, et al. Timing and phases of hydrocarbon migration and accumulation of the formation of oil and gas pools in Lunan Low Uplift of Tarim Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(2): 320-325.
- [13] 赵孟军, 潘文庆, 韩剑发, 等. 塔里木盆地轮西地区奥陶系潜山油藏成藏过程及聚集模式[J]. *科学通报*, 2007, 52(增刊 I): 174-184.
Zhao Mengjun, Pan Wenqing, Han Jianfa, et al. Accumulation process and pattern of the Ordovician buried hill oil reservoir in Lunxi area of Tarim Basin[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(Suppl. I): 174-184.
- [14] 李小地, 张光亚, 田作基, 等. 塔里木盆地油气系统与油气分布规律[M]. 北京: 地质出版社, 2000.
Li Xiaodi, Zhang Guangya, Tian Zuji, et al. Petroleum system and distribution in the Tarim Basin[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000.
- [15] 崔海峰, 郑多明, 李得滋. 英买力地区碳酸盐岩内幕油气藏特征及勘探方向[J]. *石油地球物理勘探*, 2010, 45(增刊 1): 196-201.
Cui Haifeng, Zheng Duoming, Li Dezi. Reservoir characteristics and exploration trend for carbonate inner reservoir in Yingmali Area[J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2010, 45(Supplement 1): 196-201.
- [16] 刘玉魁, 郑多明, 王建宁, 等. 塔里木盆地英买力低凸起奥陶系碳酸盐岩储层特征及其成岩作用[J]. *天然气地球科学*, 2005, 16(5): 587-591.
Liu Yukui, Zheng Duoming, Wang Jianning, et al. The Ordovician carbonic reservoir characteristics and mineralization in Yingmali low heave of Tarim basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2005, 16(5): 587-591.
- [17] 李阳, 范智慧. 塔河奥陶系碳酸盐岩油藏缝洞系统发育模式与分布规律[J]. *石油学报*, 2011, 32(1): 101-106.
Li Yang, Fan Zhihui. Developmental pattern and distribution rule of the fracture-cavity system of Ordovician carbonate reservoirs in the Tahe oilfield[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2011, 32(1): 101-106.
- [18] 倪新锋, 张丽娟, 沈安江, 等. 塔里木盆地英买力—哈拉哈塘地区奥陶系岩溶储集层成岩作用及孔隙演化[J]. *古地理学报*, 2010, 4(8): 467-479.
Ni Xinfeng, Zhang Lijuan, Shen Anjiang, et al. Diagenesis and pore evolution of the Ordovician karst reservoir in Yingmali-halahatang region of Tarim Basin[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2010, 4(8): 467-479.
- [19] 刘德汉. 包裹体研究——盆地流体追踪的有力工具[J]. *地学前缘*, 1995, 2(3/4): 149-154.
Liu Dehan. Fluid inclusion studies: an effective means for basin fluid investigation[J]. *Earth Science Frontiers*, 1995, 2(3/4): 149-154.
- [20] 刘德汉, 肖贤明, 田辉, 等. 含油气盆地中流体包裹体类型及其地质意义[J]. *石油与天然气地质*, 2008, 29(4): 491-501.
Liu Dehan, Xiao Xianming, Tian Hui, et al. Fluid inclusion types and their geological significance in petroliferous basins[J]. *Oil & Gas Geology*, 2008, 29(4): 491-501.
- [21] 欧光习, 李林强, 孙玉梅. 沉积盆地流体包裹体研究的理论与实践[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2006, 25(1): 1-11.
Ou Guangxi, Li Linqiang, Sun Yumei, et al. Theory and application of the fluid inclusion research on the sedimentary basin[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2006, 25(1): 1-11.
- [22] 李纯泉, 陈红汉, 张希明, 等. 塔河油田奥陶系储层流体包裹体研究[J]. *石油学报*, 2005, 26(1): 42-46.
Li Chunquan, Chen Honghan, Zhang Ximing, et al. Fluid inclusions analysis of the Ordovician reservoir in Tahe oilfield[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2005, 26(1): 42-46.
- [23] Van den Kerkhof A M, Hein U F. Fluid inclusion petrography[J]. *Lithos.*, 2001, 55: 27-47.
- [24] 李荣西, 金奎励, 廖永胜. 有机包裹体显微傅里叶红外光谱和荧光光谱测定及其意义[J]. *地球化学*, 1998, 27(3): 244-251.
Li Rongxi, Jin Kuili, Liao Yongsheng. Analysis of organic inclusions using Micro-FTIR and fluorescence microscopy and its significance[J]. *Geochimica*, 1998, 27(3): 244-251.
- [25] 邹育良, 霍秋立, 俞莹. 油气包裹体的显微红外光谱测试技术及应用[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2006, 25(1): 105-108.
Zou Yuliang, Huo Qiuli, Yu Xuan. The analytical technique of the micro infrared spectra of the hydrocarbon inclusions and its application[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2006, 25(1): 105-108.
- [26] 刘德汉, 卢焕章, 肖贤明. 油气包裹体及其在石油勘探开发中的应用[M]. 广州: 广东科技出版社, 2007: 147-149.
Liu Dehan, Lu Huanzhang, Xiao Xianming. Hydrocarbon inclusions and its application on the petroleum exploration and development[M]. Guangzhou: Guangdong Technology Press, 2007: 147-149.
- [27] Goldstein R H. Fluid inclusions in sedimentary and diagenetic systems[J]. *Lithos.*, 2001, 55: 159-192.
- [28] 李慧莉, 邱楠生, 金之钧, 等. 塔里木盆地的热史[J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(5): 613-617.
Li HuiLi, Qiu Nansheng, Jin Zhijun, et al. Geothermal history of Tarim Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2005, 26(5): 613-617.
- [29] 崔海峰, 郑多明. 英买力—牙哈地区复式油气藏油气分布规律[J]. *石油地球物理勘探*, 2009, 44(4): 445-450.
Cui Haifeng, Zheng Duoming. Hydrocarbon distribution rule of complex reservoir in Yingmali-Yaha area[J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2009, 44(4): 445-450.
- [30] 朱光有, 张水昌, 张斌, 等. 中国中西部地区海相碳酸盐岩油气藏类型与成藏模式[J]. *石油学报*, 2010, 31(6): 871-878.
Zhu Guangyou, Zhang Shuichang, Zhang Bin, et al. Reservoir types of marine carbonates and their accumulation model in western and central China[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2010, 31(6): 871-878.