

西昆仑山前柯东构造带侏罗系砂岩成藏古流体特征及其成藏指示意义

王祥*, 张慧芳, 段云江, 娄洪, 吕惠贤, 周思宇

中国石油塔里木油田分公司勘探开发研究院, 库尔勒 841000

* 通信作者, wxiang-tlm@petrochina.com.cn

收稿日期: 2022-04-11

国家重点研发计划(2019YFC0605505)资助

摘要 塔里木盆地西南坳陷甫沙8井在侏罗系砂岩中获得工业油流, 极大的推动了昆仑山前新层系新领域的油气勘探。本文通过流体包裹体岩相学、均一化温度及储层颗粒荧光定量等方法, 对昆仑山前柯东构造带侏罗系储层古流体特征与油气成藏期次进行了研究。结果表明, 侏罗系砂岩储层发育两期烃包裹体, 第1期为发黄色、黄绿色荧光烃包裹体, 以片状或点状分布, 为早期原油充注; 第2期为蓝白色烃类包裹体, 沿裂隙呈线性分布, 为晚期高成熟油气充注。颗粒荧光QGF指数主要介于3~7 pc, 说明早期发生过原油充注, 指示存在古油藏。QGF-E强度指数分布在9.65~73.89, 指示现今为凝析油或轻质油特征, 这一特征与蓝白色荧光的液态烃包裹体相对应。烃类共生包裹体均一温度峰值主要在95~105 °C和115~125 °C, 结合研究区埋藏史和热演化史模拟结果, 表明经历了两期油气充注, 第1期在20 Ma以来, 以成熟度较低的油气充注为主; 第2期在5 Ma以来, 主要是高成熟度油气充注。储层颗粒荧光定量分析结果表明, 侏罗系早期发育古油藏, 现今为凝析油或轻质油特征。

关键词 古流体特征; 侏罗系储层; 流体包裹体; 颗粒荧光定量; 油气成藏; 柯东构造带

Characteristics of paleo-fluid and hydrocarbon accumulation significance of the Jurassic reservoir in the Kedong structural belt in the western Kunlun Mountains

WANG Xiang, ZHANG Huifang, DUAN Yunjiang, LOU Hong, LYU Huixian, ZHOU Siyu

Research Institute of Exploration and Development, Tarim Oilfield Company of PetroChina, Korla 841000, China

Abstract Crude oil was obtained from the Jurassic reservoir in well Fusha-8 located in the Kedong structural belt. Study of this reservoir has promoted the exploration for new zones and new reservoir types in the western Kunlun Mountains. Petrography, microthermometry of fluid inclusions, homogenization temperature, quantitative grain fluorescence (QGF) and quantitative grain fluorescence on extract (QGF-E) are used to study the paleo-fluid characteristics and hydrocarbon charging periods of the Jurassic reservoir in the Kedong structural belt. Results show that there were two generations of hydrocarbon inclusions in the

引用格式: 王祥, 张慧芳, 段云江, 娄洪, 吕惠贤, 周思宇. 西昆仑山前柯东构造带侏罗系砂岩成藏古流体特征及其成藏指示意义. 石油科学通报, 2023, 01: 12-19

WANG Xiang, ZHANG Huifang, DUAN Yunjiang, LOU Hong, LYU Huixian, ZHOU Siyu. Characteristics of paleo-fluid and hydrocarbon accumulation significance of the Jurassic reservoir in the Kedong structural belt in the western Kunlun Mountains. Petroleum Science Bulletin, 2023, 01: 12-19. doi: 10.3969/j.issn.2096-1693.2023.01.002

reservoirs rocks: the first stage is hydrocarbon inclusions with yellow, yellow-green fluorescence distributed as plate-like or point, color, which indicated the filling of early oil; the second stage is hydrocarbon inclusion with blue-white fluorescence, distributed line-like along fractures, which indicated the filling of late oil. The QGF index is mainly distributed between three and seven % which showed hydrocarbon filling in early periods, and residual oil reservoirs may have existed. QGF-E indexes mainly range from 9.6 to 74, indicating characteristics of condensate oil and light oil, and their characteristics are similar to the characteristics of hydrocarbon inclusions with blue-white fluorescence. Homogenization temperatures of coeval aqueous inclusions show two peaks at 95~105 °C and 115~125 °C. Combined with simulation analysis of burial history and thermal evolution history, two stage hydrocarbon accumulation was identified. The first is the filling of oil since 20 Ma, formed with relatively low maturity hydrocarbon inclusions emitting yellow fluorescence and in the second stage (since 5 Ma) mainly formed with relatively high maturity hydrocarbon inclusions emitting blue-white fluorescence. QGF and QGF-E showed that the Jurassic paleo-oil reservoirs were formed in the early period and now existing condensate or light-oil reservoirs in the Kedong structural belt.

Keywords paleo-fluid characteristics; Jurassic reservoir; fluid inclusion; quantitative grain fluorescence; hydrocarbon accumulation; Kedong structural belt

doi: 10.3969/j.issn.2096-1693.2023.01.002

0 引言

地下古流体贯穿于地质历史中,经历了复杂的地质作用过程,其特征与形成演化对于流体性质分析、古油藏、古油水界面确定等成藏信息研究具有重要意义^[1-3]。由于流体包裹体捕获了地质历史过程中的原始流体,可以记录古流体的特征信息,所以目前国内外对古流体信息的获取主要还是基于流体包裹体的研究。古流体特征研究已在各含油气盆地得到了很好的应用,鲁雪松等^[4]研究分析了库车克拉2气田多期油气充注的古流体证据,刘德汉^[5]、Liu等^[6]将流体包裹体、储层定量荧光技术很好的运用在含油气盆地油气成藏研究中。张亚超^[7]等根据包裹体岩相学、均一温度及颗粒荧光等技术方法,进行了库车迪北致密气藏古流体特征研究,孙克欣等^[8]深入分析了库车坳陷克深地区致密砂岩储层古流体地球化学特征,揭示了天然气充注形成期次,深化了该地区致密砂岩油气成藏机理认识。

塔里木盆地西南坳陷油气资源丰富,经历多期构造运动,油气成藏过程复杂。油气源与成藏研究也一直是国内学者研究的热点,柯克亚周缘地区主要围绕柯克亚凝析气藏、柯东1凝析气藏开展了大量的研究工作^[9-10],基于古流体的油气成藏期次研究表明,柯克亚地区白垩系、古近系存在两期成藏,新近系为一期充注成藏^[10]。随着甫沙8井在侏罗系勘探层系的突破,一个新的勘探领域就此打开,而对于侏罗系油气的成藏研究基本处于空白状态,明确油气成藏期次及其演化特征是侏罗系油气藏勘探亟待解决的关键问题。为此,笔者通过包裹体岩相学、均一温度、定量颗粒荧光等方法技术对柯克亚地区侏罗系砂岩储层成藏古

流体特征进行了研究,揭示了油气成藏期次与时间,深化油气成藏规律认识,旨在为塔西南山前油气成藏研究与勘探评价提供参考。

1 地质概况

柯东构造带位于昆仑山前冲断带的东南部,是山前第一排构造(图1)。该构造带受多期构造运动影响,自南向北划分为南部平缓区、中部复杂褶皱带和北部斜坡带。尤其是印支期以来三期构造运动控制着柯东构造带构造变形及圈闭发育^[11]。三叠纪-白垩纪,塔里木板块西南部受构造挤压整体抬升,缺失三叠系。昆仑山前普遍发育多排古生界冲断带,泥盆系-二叠系遭受不同程度剥蚀。中生界沿山前冲断带之间呈断陷-凹陷沉积。古新世-中新世,构造相对稳定,由古近纪海相膏岩、碳酸盐岩沉积,逐渐转变为陆相碎屑沉积物,各地层厚度变化不大。上新世,昆仑山急剧抬升,褶皱冲断带形成,至山向盆发育多排基底卷入断裂。柯东复式背斜开始形成。更新世以来,昆仑山进一步挤压抬升,柯东复式背斜被复杂化,背斜核部高陡甚至倒转,背斜两翼相对变形弱,保存条件好。

钻井、露头资料表明,柯东构造带内沉积盖层发育上古生界、中生界和新生界,缺失下古生界和三叠系。从岩性组合上分析,该区地层具有“两硬夹一软”的三明治特征,其中泥盆系滨岸向陆源碎屑沉积和石炭系-下二叠统浅海台地相碳酸盐岩沉积,组成下部硬地层,中上二叠统-侏罗系三角洲-湖沼相沉积,以泥质岩沉积为主,组成中部软泥岩层,白垩系及上覆地层以海陆过渡相、陆相碎屑岩沉积为主,形成上部相对硬地层。这种特殊的地层岩性组合影响着新生

代以来的构造变形,软地层叠加塑性变形,硬地层叠瓦冲断、变形强烈。

柯东地区石油地质条件优越,已发现柯东1白垩系凝析气藏,油源对比结果表明与二叠系烃源岩特征一致^[9-10]。柯东地区发育二叠系湖相泥质烃源岩,阳1井钻揭了该套烃源岩,该井二叠系深灰色泥岩厚度大于400 m,以II型有机质为主,TOC为0.37%~2.04%。白垩系砂岩层是主力勘探目的层段,储层物性相对较好,阿尔塔什组石膏岩及齐姆根组泥岩厚度大、分布稳定,可作为白垩系砂岩储层良好的区域盖层。柯东断裂构造带圈闭形成时间与油气充注期基本一致。油气充注发生在上新世末期,该时期柯克亚周缘二叠系处于生油高峰期,成熟原油进入柯东古背斜。更新世构造活动强烈,早期古背斜油藏调整,在白垩系库克拜组、克孜勒苏群砂岩中重新聚集成藏^[9-10]。

2 样品与实验条件

本次研究采集了甫沙2、柯东101井侏罗系砂岩储层的4块岩心和6份岩屑样品,用于流体包裹体和颗粒荧光系列分析。包裹体观察设备为Zeiss ImagerA1m多功能显微镜,温度测量设备:LINKAM液氮型冷热台MDSG 600型,温度测定依据SY/T6010-1994行业标准执行,测定对象包括烃包裹体和盐水包裹体。储层定量颗粒荧光分析方法主要依据SY/T 7309-2016行业标准。QGF荧光强度测定设备选取Varian荧光光度计,通过测定可获得QGF指数、最大波长(λ_{max})、半峰宽等数据。萃取液可用于QGF-E检测,测定QGF-E强度和最大波长(λ_{max})。

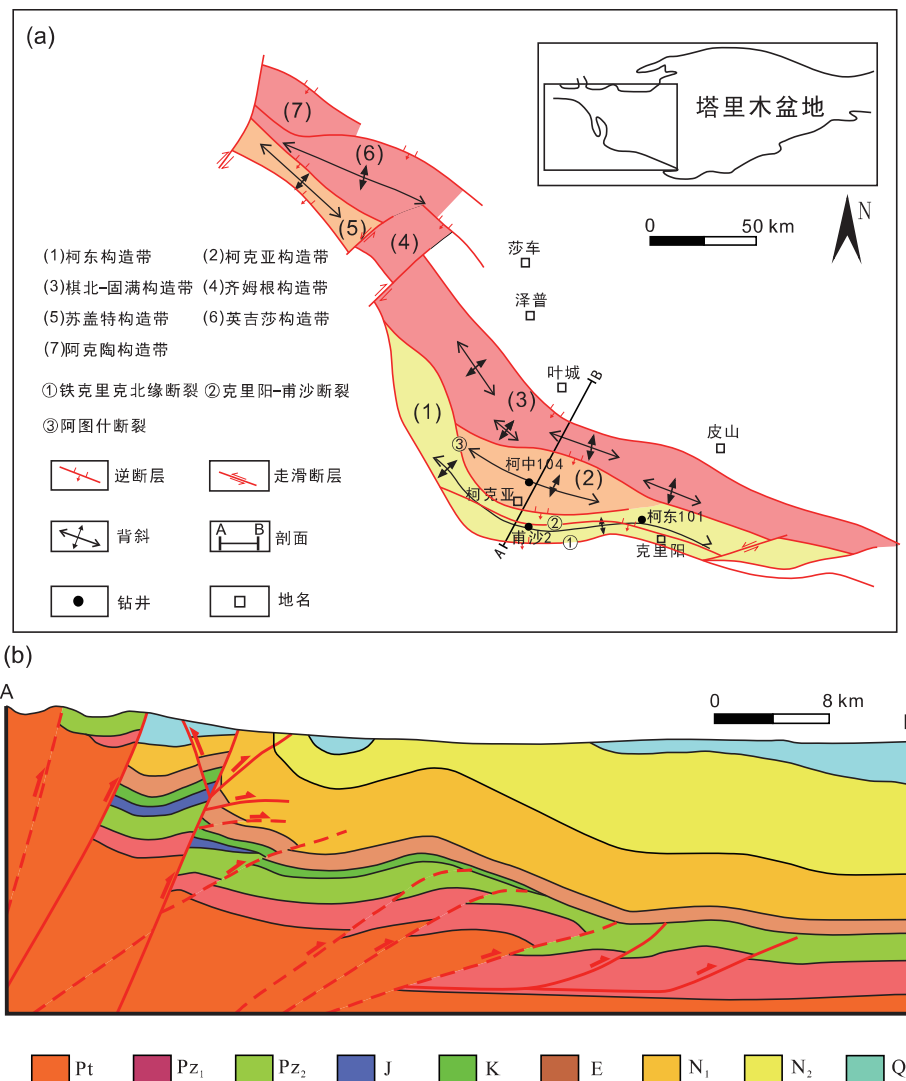


图1 西昆仑山前次级构造单元(a)及典型剖面结构模型(b)

Fig. 1 Division of tectonic units(a) and typical structural profile(b) in the front of the West Kunlun Mountains

3 实验结果与讨论

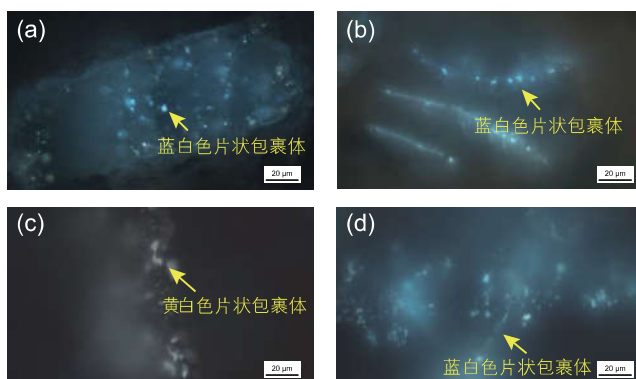
3.1 流体包裹体丰度

国内学者通常认为^[12-14], 含油包裹体丰度(GOI)值小于1%为水层, 大于5%为油层, 处于1%~5%时为油气运移通道。本文分析2口井侏罗系砂岩储层样品GOI值较高, 其中甫沙2井侏罗系4549.8 m样品GOI值为45%, 柯东101井4316.8 m样品的GOI值最大可达80%, 均表现出油层的特征, 即早期充注的原油曾在古圈闭内聚集, 暗示区域上可能存在古油藏的分布, 而且高的GOI值说明早期油气充注强, 镜下观察所捕获的包裹体也十分发育, 也说明早期形成古油藏可能性大。

3.2 流体包裹体岩相学特征

本次分析的侏罗系砂岩储层样品在镜下可以观察到大量的液态烃包裹体、气液烃包裹体及盐水包裹体(图2)。各类包裹体大小差异较大, 在2~6 μm 之间, 平均3~4 μm , 整体包裹体十分发育, GOI可达29%。形态主要表现为椭圆状、近圆状等, 呈线状、带状、串珠状、孤立或成群分布, 主要发育在石英内裂隙、穿石英裂隙、石英次生加大边中。

对于烃类包裹体, 在荧光下以发黄色、黄绿色、蓝白色两种颜色为主(图2), 其中发黄色、黄绿色包裹体中基本见不到气泡, 少量蓝白色包裹体中可见零



(a)甫沙2井, 4549.8 m, $J_{1-2}yr$, 灰色粉砂岩, 片状发育黄绿色、蓝白色烃包裹体;(b)甫沙2井, 4549.8 m, $J_{1-2}yr$, 灰色粉砂岩, 沿裂隙发育黄绿色、蓝白色烃包裹体;(c)柯东101井, 4316.8 m, J_{1s} , 灰色细砂岩, 片状发育黄色、黄白色烃包裹体;(d)柯东101井, 4318.3 m, J_{1s} , 灰色细砂岩, 沿裂隙发育蓝白色烃包裹体

图2 侏罗系储层流体包裹体岩相学特征

Fig. 2 The characteristics of fluid inclusion under the condition of transmittance and fluorescence in Jurassic sandstone

星气泡。宿主矿物为石英, 粒内包裹体较发育, 也可见沿裂隙发育或者呈点片状分布。根据烃包裹体的颜色、产状、宿主矿物等特征可将砂岩中烃包裹体划分为两期, 指示曾经历过两期油气充注, 第一期包裹体为黄色、黄绿色、黄白色烃包裹体, 主要沿石英内裂隙分布, 单片光下呈浅棕色, 指示出第一期成熟度较低的油气充注, 第二期烃包裹体主要为蓝白色包裹体, 单片光下为无色透明, 主要沿石英次生加大边微裂隙或穿石英裂隙分布, 指示经历过晚期高成熟度油气充注。

3.3 储层颗粒荧光定量特征

储层颗粒荧光定量分析技术用于检测岩石颗粒内部的包裹烃, 根据荧光强度与光谱特征可判断烃类流体性质、识别古油层^[15]。数据统计表明^[16-17], 古油层和现今油层具有非常强的光谱, 在375~475 nm间出现谱峰, 而大多数水层样品的荧光光谱在这个范围内则比较平缓且近于基线。古油层和现今油层QGF指数通常大于4, 而水层QGF指数很少超过6。残余油层和现今油层具有很强的光谱, QGF-E强度通常超过20, 而水层的QGF-E强度很少超过40。

研究区侏罗系砂岩储层QGF指数分布在3~14.11之间, 平均值为5.46, 主要介于3~7之间(表1), 可以看出QGF指数整体偏高, 储层内部烃类包裹体较发育, 这与样品GOI值分析结果相近。甫沙2井侏罗系储层样品QGF指数大于4, 表明侏罗系该储层段为古油层存在区域。QGF光谱 λ_{max} 值分布在360~430 nm之间, 各储层样品的QGF波长谱图特征较为一致, 呈对称分布形态, 说明不同层段的油质应较为相似, 主峰值在425 nm左右。Liu等^[6]研究认为, 凝析油波长主峰值为375 nm和400 nm, 轻质油波长主峰值为375 nm和400 nm, 因此甫沙2井QGF光谱特征反映出高成熟度轻质油为主的特征, 这与包裹体岩相学特征分析结果相吻合。柯东101井侏罗系储层样品QGF指数呈现出上下分段性, 4315 m以上样品QGF指数均大于4, 说明该层段之上发育古油层, 而层段之下QGF指数相对较低, 降至4左右, 可能是油层过渡到水层的标志。值得注意的是, 两口井的样品荧光谱图均存在500 nm以上的次主峰分布, 表现为沥青质的特征, 暗示存在早期原油充注现象, 镜下所观察的黄色包裹体也印证了这一点。

另外, 储层QGF-E强度指数分布在9.65~73.89(表1), 平均值为40.19。甫沙2井储层2个样品QGF-E值较低, 分别为42.14 pc和9.65 pc, 指示现

今含油气性差, 表现为残余油层和水层特征。从该井 QGF-E 荧光光谱图(图 3)上可以看出, 5005.5 m 样品的荧光光谱在 370 nm 处出现明显的荧光峰, 反映出可能处于残余油层。柯东 101 井储层样品 QGF-E 强度指数分布在 17.5~73.89 pc 之间, 分段特征明显, 其中上部的 3 个样品 QGF-E 强度指数较低, 指示处于水层或油水过渡层。下部 4315 m 以下样品 QGF-E 强度指数较高, 大部分在 40 pc 以上, 反映现今较好的含油

气性, 为残余油层。该井 QGF-E 荧光光谱图上可以看出, 6 个样品荧光光谱分布形态相似, 在 370 nm 处出现明显的荧光峰, 指示现今为凝析油或轻质油特征, 这一特征与蓝白色荧光的液态烃包裹体相对应。

3.4 均一化温度与成藏期次

通过测定与石油包裹体伴生的盐水包裹体的均一温度, 可以确定油气被捕获时的古地温, 从而确定油

表 1 储层样品 QGF 和 QGF-E 主要参数

Table 1 Main parameters of QGF and QGF-E from Jurassic reservoir samples

样品号	深度/m	QGF 参数			QGF-E 参数	
		指数	强度/pc	λ_{\max}/nm	强度/pc	λ_{\max}/nm
甫沙 2-1	5005.5	5.27	1.10	416	42.14	367
甫沙 2-2	5006.5	14.11	2.06	424	9.65	359
柯东 101-1	4192.0	5.35	1.08	398	25.43	372
柯东 101-2	4315.0	6.78	0.49	395	31.95	374
柯东 101-3	4316.0	3.60	0.80	367	44.10	369
柯东 101-4	4317.0	3.46	0.42	375	68.07	371
柯东 101-5	4318.0	3.57	0.46	367	73.89	369
柯东 101-6	4319.0	3.00	0.44	370	56.88	368

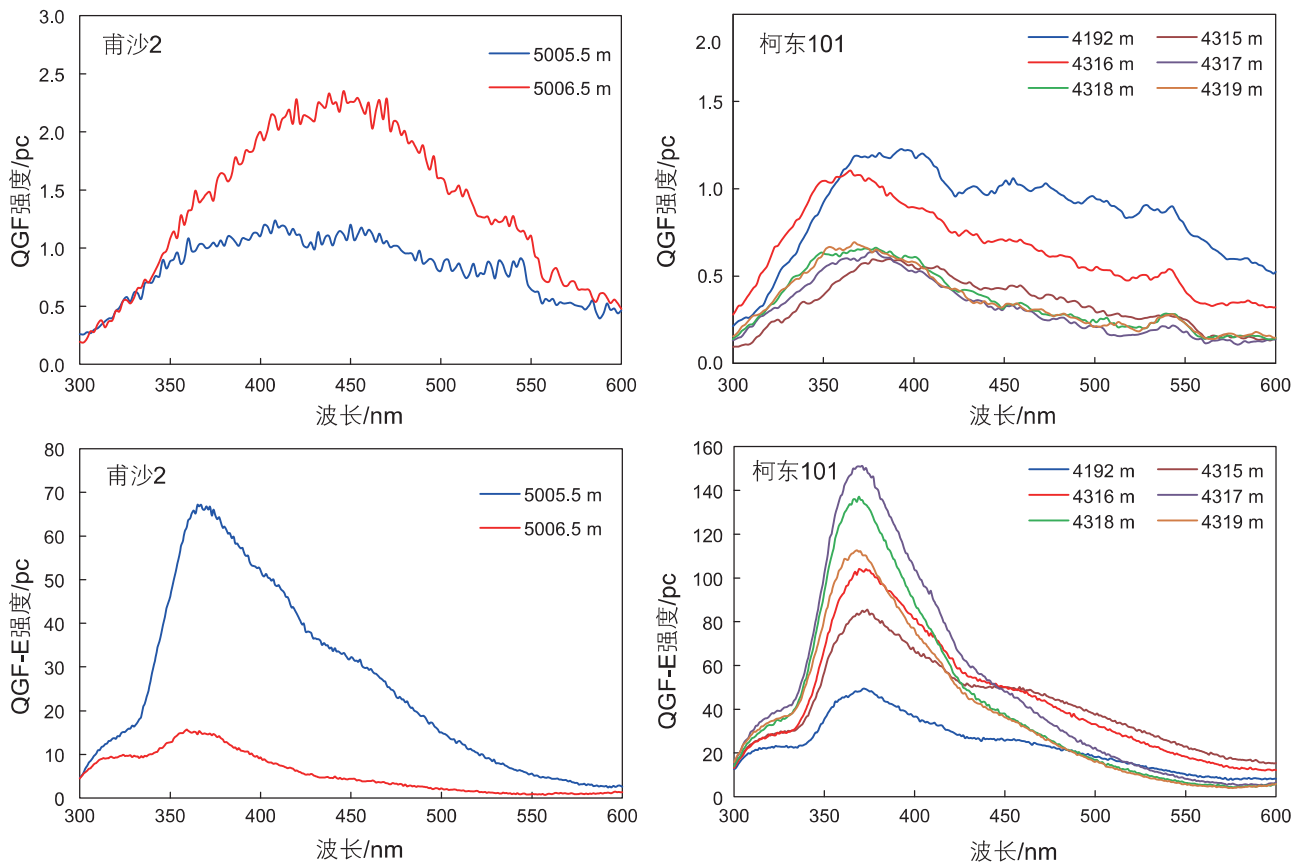


图 3 侏罗系储层样品颗粒荧光光谱图

Fig. 3 Quantitative grain fluorescence in Jurassic reservoir samples

气成藏期次^[4-5]。本次研究对甫沙2井侏罗系砂岩储层中烃类共生盐水包裹体进行了测温,可以看出所测样品的均一温度分布在95~145℃(表2),本次统计以10℃为间隔,绘制出烃类共生盐水包裹体均一温度分布直方图(图4)。从图中可以看出,烃类共生包裹体均一温度峰值主要在95~105℃和115~125℃之间,反映了油气两期成藏的特点。

利用PetroMod盆地模拟软件对研究区重点探井的埋藏史、热演化史进行了模拟(图5)。模拟计算所运用的成熟度演化模型是Easy $R_o\%$ 模型,剥蚀开始与结束时间主要是参考前人研究成果进行确定^[18],古地温梯度演化主要依据前人对塔西南地区热流、古地温梯度演化结果^[19],与实测温度、 R_o 值进行拟合调整最佳热流演化路径。可以看出,侏罗系储层经历

了早期缓慢沉降,晚期快速深埋的演化过程。将测定的盐水包裹体均一温度的主峰值投影到埋藏史中,即可确定各期次油气的充注时间。综合烃包裹体岩相学特征和均一化温度统计结果,研究区侏罗系砂岩储层主要经历两期油气充注,第一期在20 Ma以来,以成熟度较低的油气充注为主,烃包裹体发黄绿色、黄绿色荧光;第二期在5 Ma以来,主要是高成熟度油气充注,烃包裹体发蓝白色荧光。前人研究表明^[9],二叠系烃源岩是研究区主要的油气来源。热演化史分析表明,晚期二叠系、侏罗系烃源岩持续埋深,现今二叠系烃源岩处于生油高峰阶段,甫沙2井实测镜质体反射率 R_o 在0.9%~1.1%之间,侏罗系烃源岩实测 R_o 值在0.63%~0.8%之间,整体处于低成熟阶段。二叠系烃源岩热演化与包裹体均一温度判断的烃类流体充注时间

表2 甫沙2井与盐水共生烃类包裹体均一化温度表

Table 2 Fluid inclusion homogenization temperature of Jurassic reservoir samples from FS2 well

井号	深度/m	宿主矿物	分布特征	包裹体荧光特征	均一化温度/°C
甫沙2	4549.8	石英	颗粒内裂纹	黄色-黄绿色	98.6
甫沙2	4549.8	石英	颗粒内裂纹	黄色-黄绿色	95.1
甫沙2	4549.8	石英	颗粒内裂纹	黄色-黄绿色	105.8
甫沙2	4549.8	石英	颗粒内裂纹	蓝白色	142.4
甫沙2	4549.8	石英	颗粒内裂纹	蓝白色	120.1
甫沙2	4549.8	石英	颗粒内裂纹	蓝白色	134.2
甫沙2	4549.8	石英	颗粒内裂纹	蓝白色	130.4
甫沙2	4549.8	石英	颗粒内裂纹	黄色-黄绿色	99.5
甫沙2	4549.8	石英	颗粒内裂纹	黄色-黄绿色	106.2
甫沙2	4549.8	石英	颗粒内裂纹	黄色-黄绿色	104.3
甫沙2	4549.8	石英	颗粒内裂纹	蓝白色	120.3
甫沙2	4549.8	石英	颗粒内裂纹	蓝白色	123.6
甫沙2	4549.8	石英	颗粒内裂纹	蓝白色	122.5

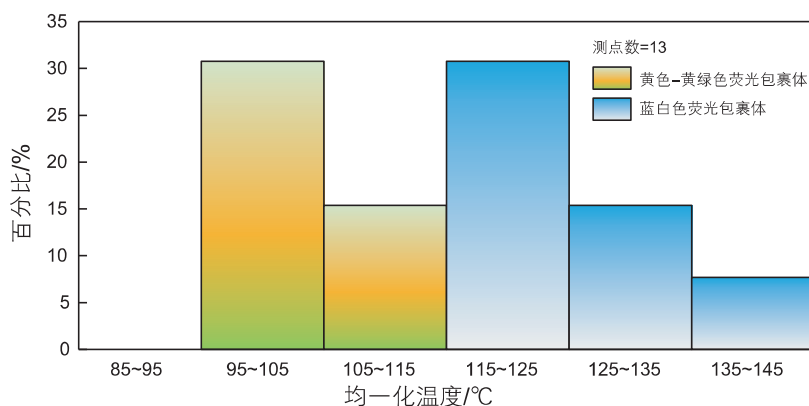


图4 侏罗系储层盐水包裹体均一温度分布直方图

Fig. 4 Fluid inclusion homogenization temperature histograms of Jurassic reservoirs

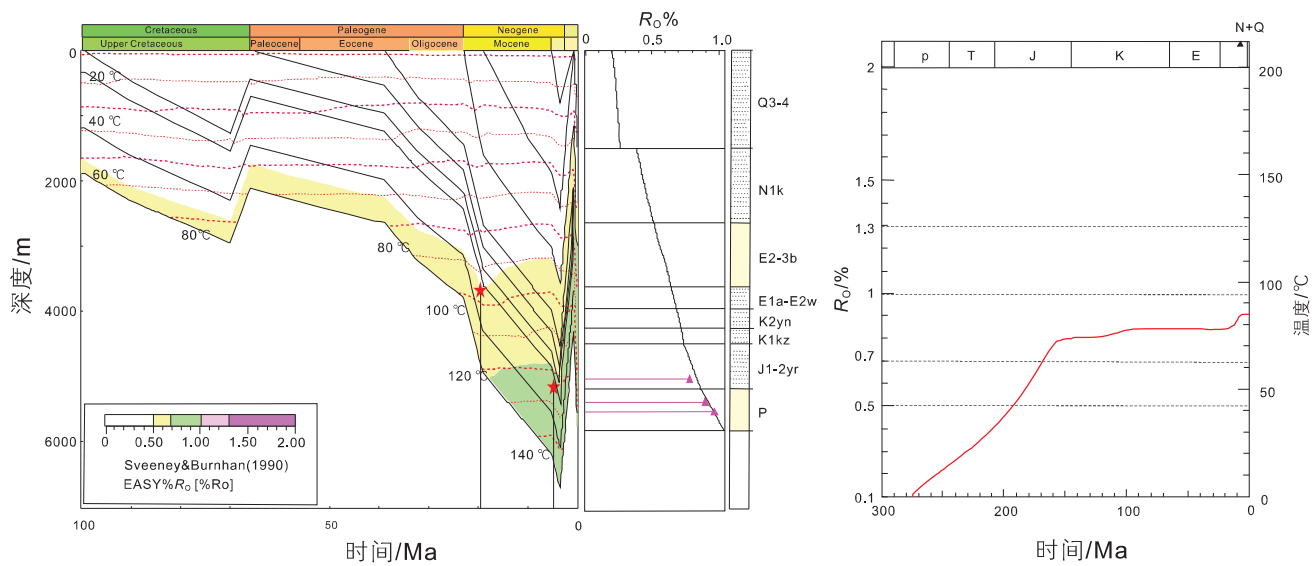


图5 甫沙2井埋藏热演化史图

Fig. 5 Burial history-thermal evolution history of FS2 well

相符，也印证了油气充注的时间。

4 结论

(1) 侏罗系储层中主要发育大量烃类包裹体，以发黄色、黄绿色、蓝白色荧光为主，结合赋存状态、产状等特征差异，可划分为两期。第一期为发黄色、黄绿色荧光烃包裹体，以片状或点状分布；第二期为蓝白色烃类包裹体，沿裂隙呈线性分布。这两类包裹体组合在形成时间和成熟度上具有明显差异，暗示存在两期充注成藏特点。

(2) 侏罗系砂岩储层含油包裹体丰度较高，QGF指数整体较高，主要介于3~7 pc，说明早期发生过原油充注，可能存在古油藏。QGF-E强度指数指示现今为凝析油或轻质油特征，这一特征与蓝白色荧光的液态烃包裹体相对应，部分储层表现为水层。

(3) 烃类共生包裹体均一温度峰值主要在95~105 °C和115~125 °C，结合研究区埋藏史和热演化史模拟结果，可确定两期成藏，第一期在20 Ma以来，以成熟度较低的油气充注为主，烃包裹体发黄色、黄绿色荧光；第二期在5 Ma以来，主要是高成熟度油气充注，烃包裹体发蓝白色荧光。

参考文献

- [1] 王飞宇, 庞雄奇, 曾花森, 等. 古油层识别技术及其在石油勘探中的应用[J]. 新疆石油地质, 2005, 26(5): 565-569. [WANG F Y, PANG X Q, ZENG H S, et al. Paleo-oil leg recognition and its application to petroleum exploration[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2005, 26(5): 565-569.]
- [2] 陈瑞银, 赵文智, 王红军. 塔中地区奥陶系油气充注期次的流体包裹体证据[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(5): 537-542. [CHEN R Y, ZHAO W Z, WANG H J. Fluid inclusion evidence for charge stages of hydrocarbon in the Ordovician traps of Tazhong area, Tarim Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(5): 537-542.]
- [3] 斯尚华, 陈汉汉, 丰勇, 等. 塔里木盆地沙雅隆起下白垩统双源三幕油气充注成藏的流体包裹体证据[J]. 石油学报, 2013, 34(1): 12-21. [SI S H, CHEN H H, FENG Y, et al. Two sources and three charging events of hydrocarbons in Lower Cretaceous reservoirs in Shaya uplift, Tarim Basin: Evidence from fluid inclusion analysis[J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(1): 12-21.]
- [4] 李朝阳, 魏琳, 刁慧, 等. 西湖凹陷孔雀亭构造平湖组油气来源及充注特征[J]. 石油科学通报, 2021, 6(2): 196-208. [LI C Y, WEI L, DIAO H, et al. Hydrocarbon source and charging characteristics of the Pinghu Formation in the Kongqueing structure, Xihu depression[J]. Petroleum Science Bulletin, 2021, 6(2): 196-208.]
- [5] 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 D H, XIAO X M, TIAN H, et al. Fluid inclusion types and their geological significance in petroliferous basins[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(4): 491-501.]

- [6] LIU K, EADINGTON P. Quantitative fluorescence techniques for detecting residual oils and reconstructing hydrocarbon charge history[J]. *Organic Geochemistry*, 2005, 36 (7): 1023–1036.
- [7] 张亚超, 李贤庆, 魏强, 等. 库车坳陷迪北气藏侏罗系储层古流体特征与油气充注史[J]. *矿业科学学报*, 2020, 5 (4): 353–363. [ZHANG Y C, LI X Q, WEI Q, et al. Characteristics of paleo-fluid and hydrocarbon charge history of Jurassic reservoir in Dibeig gas field, Kuqa depression[J]. *Journal of Mining Science and Technology*, 2020, 5(4): 353–363.]
- [8] 孙可欣, 李贤庆, 魏强, 等. 库车坳陷克深大气田白垩系致密砂岩储层古流体地球化学特征研究[J]. *现代地质*, 2019, 33(6): 1220–1228. [SUN K X, LI X Q, WEI Q, et al. Geochemical characteristics of Paleo-fluid in tight sandstone from Cretaceous reservoir in Keshen large gas field, Kuqa depression[J]. *Geoscience*, 2019, 33(6): 1220–1228.]
- [9] 王强, 彭平安, 曾建, 等. 叶城凹陷柯东 1 井凝析油及柯克亚原油的油源分析[J]. *地球化学*, 2014, 43(5): 469–476. [WANG Q, PENG P A, ZENG J, et al. Oil source of condensates from well Kedong 1 and crude oil from Kekeya in Yecheng depression[J]. *GeoChimica*, 2014, 43(5): 469–476.]
- [10] 莫午零, 临潼, 张英, 等. 西昆仑山前柯东-柯克亚构造带油气来源及成藏模式[J]. *石油实验地质*, 2013, 35(4): 364–371. [MO W L, LIN T, ZHANG Y, et al. Hydrocarbon origin and accumulation model of Kedong-Kekeya tectonic belt in piedmont of West Kunlun Mountain [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2013, 35(4): 364–371.]
- [11] 程晓敢, 吴鸿翔, 李勇, 等. 西昆仑山前印支运动期构造对后期构造和沉积的影响[J]. *新疆石油地质*, 2019, 40(1): 27–33. [CHENG X G, WU H X, LI Y, et al. Influences of Indosinian structures on later structural deformation and sedimentation in piedmont of Western Kunlun Mountains[J]. *Xinjian Petroleum Geology*, 2019, 40(1): 27–33.]
- [12] 姜福杰, 姜振学, 庞雄奇, 等. 含油包裹体丰度指数确定油气运聚范围及应用[J]. *西南石油学院学报*, 2006, 28(5): 1–18. [JIANG F J, JIANG Z X, PANG X Q, et al. Method for determining hydrocarbon migration by oil-wrapping method and its application[J]. *Journal of Southwest Petroleum Institute*, 2006, 28(5): 1–18.]
- [13] 谢小敏, 曹剑, 胡文璋, 等. 叠合盆地储层油气包裹体 GOI 成因与应用探讨—以准噶尔盆地莫索湾地区为例[J]. *地质学报*, 2007, 81(6): 834–842. [XIE X M, CAO J, HU W X, et al. Origin and application of GOI data of oil inclusions in structurally complex basins: A case study in the Mosuowan area of the Junggar Basin NWChina[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(6): 834–842.]
- [14] 宋明水. 含烃流体包裹体丰度法追溯古油水界面的局限性[J]. *油气地质与采收率*, 2007, 14(3): 5–8. [SONG M S. Limitation of restoring the paleohydrocarbon-water contact by GOI[J]. *Petroleum Geology and Recovery*, 2007, 14(3): 5–8.]
- [15] 范俊佳, 潘懋, 周海民, 等. 库车坳陷依南 2 气藏油气运移路径及充注特征[J]. *北京大学学报: 自然科学版*, 2014, 50(3): 507–514. [FAN J J, PAN M, ZHOU H M, et al. Hydrocarbon migration pathway and charging characterization of Yinan-2 gas reservoir in Kuqa depression[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinesis*, 2014, 50(3): 507–514.]
- [16] 刘可禹, 鲁雪松, 桂丽黎, 等. 储层定量荧光技术及其在油气成藏研究中的应用[J]. *地球科学*, 2016, 41(3): 373–384. [LIU K Y, LU X S, GUI L L, et al. Quantitative fluorescence techniques and their application in hydrocarbon accumulation studies[J]. *Earth Science*, 2016, 41(3): 373–384.]
- [17] 李素梅, 庞雄奇, 刘可禹, 等. 一种快速检测油包裹体的新方法—颗粒包裹烃定量荧光分析技术及其初步应用[J]. *石油实验地质*, 2006, 28(4): 386–390. [LI S M, PANG X Q, LIU K Y, et al. A new approach to discriminate oil fluid inclusions quickly-quantitative grain fluorescence (QGF) techniques and its application[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2006, 28(4): 386–390.]
- [18] 常健, 邱楠生, 刘一锋, 等. 塔里木盆地石炭系烃源岩成熟演化研究[J]. *地质科学*, 2014, 49(3): 823–841. [CHANG J, QIU N S, LIU Y F et al. Maturity evolution of the Carboniferous source rocks(CSR)in the Tarim Basin [J]. *Chinese Journal of Geology(Scientia Geologica Sinica)*, 2014, 49(3): 823–841.]
- [19] 邱楠生. 沉积盆地热历史恢复方法及其在油气勘探中的应用[J]. *海相油气地质*, 2005, 10(2): 45–51. [QIU N S. Methods of thermal history reconstruction of sedimentary basins and their application in oil and gas exploration[J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2005, 10(2): 45–51.]

(编辑 付娟娟)