

doi:10.3799/dqkx.2015.099

AHDEB 油田白垩系油藏油气 充注期次的流体包裹体证据

伏美燕^{1,2}, 刘 樵^{1,3}, 邓虎成^{1,2}, 黄婷婷⁴, 王 浩⁴

1. 成都理工大学能源学院, 四川成都 610059
2. 成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川成都 610059
3. 振华石油研究中心, 四川成都 610051
4. 川庆钻探工程有限公司地质勘探开发研究院, 四川成都 610213

油包裹体的显微傅立叶红外光谱

摘要: 伊拉克 AHDEB 油田油藏成藏规律对油田后期开发具有重要意义, 与埋藏史相结合的流体包裹体研究是揭示油藏油气成藏期次和时间的有效手段. 利用伊拉克 AHDEB 油田白垩系油藏储层样品对流体包裹体特征进行了分析, 并且通过流体包裹体的显微观察、荧光颜色、单一包裹体的红外光谱和均一温度测定, 结合地质背景对该油田的油充注期次进行了研究. 研究表明, 油包裹体以发绿色和黄绿色荧光为主, 少数发浅黄色和黄褐色荧光. 油包裹体的显微傅立叶红外光谱测定结果计算的 $\text{CH}_{2a}/\text{CH}_{3a}$ 、 X_{inc} 、 X_{std} 可划分油的成熟度, 表明存在两种成熟度的油. 最后, 根据均一温度测定结果, 结合埋藏史和热史, 认为该油田可能存在 4 期油充注成藏相关的流体活动: 第 1 成藏期发生在 95.0~96.5 Ma, 相当于晚白垩世早期; 第 2 成藏期为 71.0~78.5 Ma, 相当于晚白垩世晚期, 第 1 期和第 2 期烃源岩排烃规模小, 产生中—重质油, 后期遭受氧化而形成沥青; 第 3 成藏期发生在 14.0~15.0 Ma, 相当于中中新世, 处于生排烃高峰期, 为主要成藏期; 第 4 期发生在 10.0 Ma 左右, 与第 3 期为多幕连续充注.

关键词: AHDEB 油田; 白垩系; 烃类; 流体包裹体; 红外光谱; 石油地质.

中图分类号: P632

文章编号: 1000—2383(2015)07—1187—10

收稿日期: 2014—09—25

Hydrocarbon Charging Period of Cretaceous Reservoirs in AHDEB Oil Field: Evidence from Fluid Inclusion

Fu Meiyan^{1,2}, Liu Fei^{1,3}, Deng Hucheng^{1,2}, Huang Tingting⁴, Wang Hao⁴

1. College of Energy Resources, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China
2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China
3. Zhenhua Oil Research Center, Chengdu 610051, China
4. Institute of Geological Exploration and Development, Chuangqing Drilling Engineering Company Ltd., PetroChina, Chengdu 610213, China

Abstract: The uncertainty of pool-forming rule of AHDEB oilfield in Iraq has influenced the oilfield development. Combining with burial history, the study of fluid inclusion is effective to reveal the hydrocarbon charging period and time. The samples collected from Cretaceous reservoirs of AHDEB oil field in Iraq were used to study the characteristics of fluid inclusion. Based on the observation of thin sections and the fluorescence color, measurement of $\mu\text{FT-IR}$ and homogenization temperature, combining with analysis of geologic setting, the hydrocarbon charging periods were researched. The results show that the fluorescence colors of oil inclusion were mainly green and yellow-green, while minor light yellow and yellowish-brown. It is found by the measurement of $\mu\text{FT-IR}$ of oil inclusion that there are 2 types of maturity based on the value of $\text{CH}_{2a}/\text{CH}_{3a}$, X_{inc} and X_{std} . The data of burial history, thermal evolution history and the homogenization temperature indicate that there might be four terms of oil accumulation. The first term of oil charging occurred at 95.0—96.5 Ma, equivalent to early Late-Cretaceous, and

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(No.4140020605).

作者简介: 伏美燕(1982—), 女, 博士, 助理研究员, 主要从事石油地质学实验教学工作和储层地质与油气地球化学研究. E-mail: fumeiyan08@cdut.cn

引用格式: 伏美燕, 刘樵, 邓虎成, 等, 2015. AHDEB 油田白垩系油藏油气充注期次的流体包裹体证据. 地球科学——中国地质大学学报, 40(7): 1187—1196.

the second term occurred at 71.0—78.5 Ma, equivalent to late Late-Cretaceous, which were consistent with the small scale of hydrocarbon generation by producing heavy oil that in turn was oxidized to asphalt. The third term of oil charging occurred at 14.0—15.0 Ma, equivalently Middle Miocene, which was the main accumulation, being consistent with the peak of hydrocarbon generation. The forth term occurred at 10.0 Ma, which was the charging event related to the third term.

Key words: AHDEB oil field; Cretaceous; hydrocarbons; fluid inclusion; infrared spectra; petroleum geology.

AHDEB 油田位于伊拉克中部美索不达米亚盆地,主要产油层自上而下为白垩系 Khasib 组、Mishrif 组、Rumaila 组和 Maddud 组,储层岩性均为生物碎屑灰岩.Khasib 组含油区域覆盖整个油田,而下伏油层含油区域仅分布在油田东部,研究油的成藏规律对该油田的后期开发具有重要意义.据前人研究(Odisho and Othman, 1992; Abeed *et al.*, 2011; Al-Ameri and Al-Obaydi, 2011),伊拉克中部地区白垩系油藏的主力烃源岩主要分布在上侏罗一下白垩统的海相泥灰岩中.自晚白垩世以来,美索不达米亚盆地开始受阿尔卑斯运动所产生的褶皱作用影响,并随着中新世扎格罗斯逆冲推覆作用(Aqrawi *et al.*, 2010)逐步演化为前陆盆地.在此构造背景下,海相油源岩的生烃史,油的充注成藏期如何响应于构造期次是该油田油气成藏规律认识的基础.

流体包裹体是研究油藏油气充注期次的有效手

段,与埋藏史相结合能够合理解释油气充注的时间(Burruss *et al.*, 1985; Karlsen *et al.*, 1993; Davies *et al.*, 2002; 于岚等, 2012; 斯尚华等, 2013).近年来,流体包裹体研究的相关技术发展迅速,包括利用荧光颜色和微束荧光光谱区分油的成熟度(李纯泉等, 2010)、显微傅里叶红外光谱分析单一包裹体的成分(侯启军等, 2005)、激光拉曼光谱测定流体包裹体的成分以及均一温度来划分与油气包裹体同期的盐水包裹体的期次.本文拟利用油层的油包裹体的岩相学研究、荧光特征、均一温度和单个油包裹体的显微傅里叶红外光谱分析,结合埋藏史和热演化史,对油气充注期次和时间进行研究.

1 地质背景

伊拉克可划分为两大构造区域(Al-Ameri and

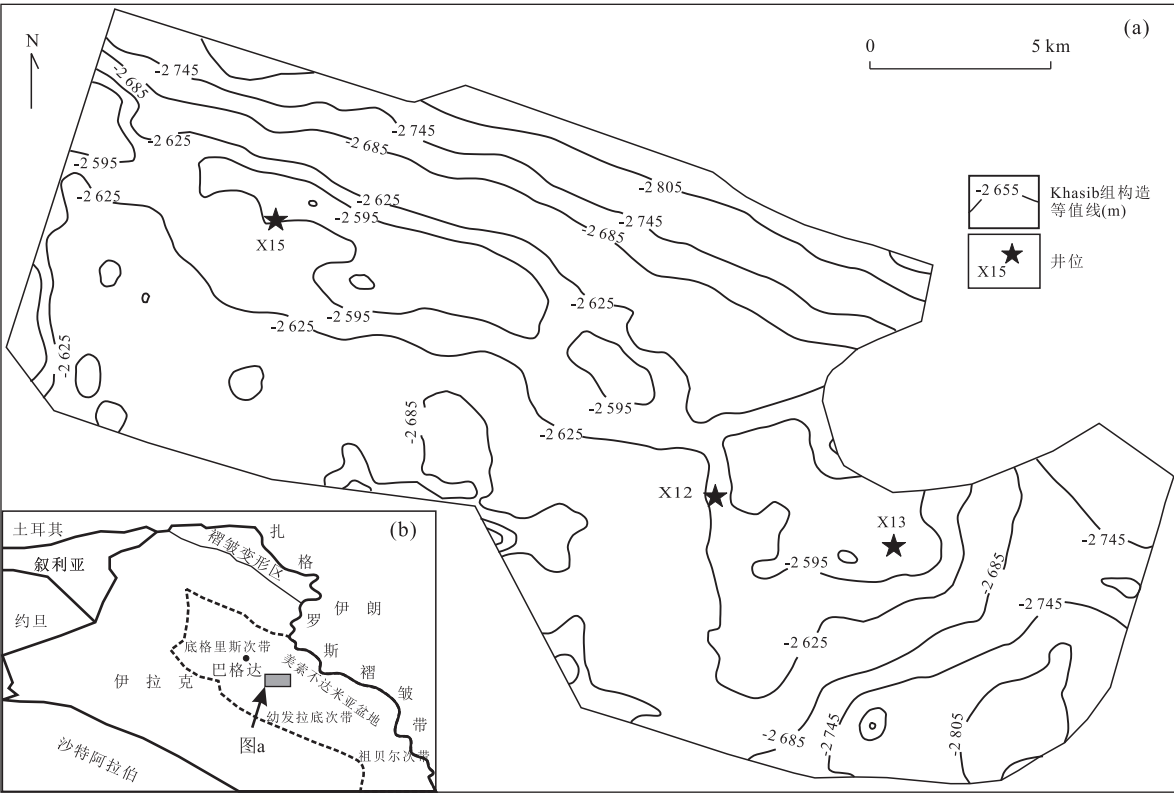


图 1 AHDEB 油田地理位置及井位

Fig.1 The location and well sites of AHDEB oil field

样,将其中原油用氯仿抽提出来后对岩心进行岩性和胶结物等岩石学特征描述,确定切片位置,再磨制双面抛光的包裹体薄片,在显微镜下观察流体包裹体宿主矿物的类型和成岩序列,对油包裹体的产状、荧光颜色进行观测.选择流体包裹体组合后,利用冷热台测定与油包裹体同期的盐水包裹体的均一温度;利用显微傅里叶变换红外光谱测定单个油包裹体有机质中的基团 CH_2 和 CH_3 吸收光度值,计算其比值来进行油的成熟度评价.

荧光显微镜型号为 Leica 4500p,冷热台型号为 Linkam THMS600G,测温时初始升温速率为 $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$,当包裹体临近均一状态时升温速率调整为 $5\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$,测定误差为 $\pm 0.1\text{ }^\circ\text{C}$.显微傅里叶红外光谱仪为 Nicolet 6700 型,检测方法依据 SY5121-86(岩石有机质及原油红外光谱分析方法).

3 结果

3.1 油包裹体岩相学特征

AHDEB 油田白垩系储层中的主要流体包裹体宿主矿物为方解石,少量为石英,可见纯液体包裹体、液体包裹体、气-液包裹体和含有机质包裹体.由于样品取自油层,油包裹体丰富,可见光下多呈浅黄色、褐色,盐水包裹体数量相对偏少.盐水包裹体的直径一般为 $5\sim 8\text{ }\mu\text{m}$,油包裹体一般比同期盐水包裹体个体大,形态通常为椭圆状、近圆形、四边形、长条形或不规则形.显微观察发现,包裹体多以群体分布,多呈带状,富集在宿主矿物中.通过油包裹体的岩相学研究,能够确定宿主成岩矿物的成岩序列和期次,是划分油成藏期次最直接的依据.AHDEB 地区中上白垩

统存在 2 个不整合面(Mishrif 组顶界与 Muaddud 组顶界),但暴露时间较短,不超过 10 Ma (Harris and Frost,1984;Davies *et al.*,2002).储层灰岩的成岩变化以同生期和表生期的溶蚀和胶结作用为主.通过成岩作用的研究,该地区成岩序列为:泥晶化作用→刀刃状高镁方解石胶结→组构选择性溶蚀作用→马牙状方解石等厚环边胶结→新生变形作用→非组构选择性溶蚀→重力/新月形方解石胶结→粒状方解石胶结→白云石化→压实→表生期溶蚀→粗晶方解石胶结→压实/压溶→埋藏溶蚀作用→粗晶方解石胶结/重结晶.马牙状方解石等厚环边胶结物和粒状方解石中纯液体包裹体(单一液相包裹体)较多,捕获于低温近地表的环境.油包裹体的宿主矿物方解石的形成期次主要有 3 期,分别捕获了不同期次的油包裹体.早成岩期沉淀的粒状方解石中可见少量孤立的原生油包裹体,为第 1 期油包裹体,通常形态不规则,可见光下为深褐色,油质较重,荧光颜色为黄褐色.表生成岩期充填在先存溶洞中的粗晶方解石捕获了第 2 期原生的油包裹体,数量比第 1 期稍多,可见光下呈棕黄色,油质较重,与第 1 期类似,成群带状分布,荧光颜色为浅黄色.埋藏成岩期结晶的粗晶方解石捕获了第 3、4 期油包裹体,第 3 期捕获的油包裹体为原生包裹体,丰度高,可见光下呈淡黄色,成群分布,荧光颜色为黄绿色;第 4 期捕获的油包裹体为次生包裹体,可见光下为无色透明,沿方解石裂隙呈带状分布,荧光颜色为绿色.第 3、4 期油包裹体均为轻质油包裹体,为成熟油充注期捕获.不同期次油包裹体分布特征见表 1.根据油包裹体的岩相学研究能够识别出 4 期油的充注,从油包裹体的数量来看,第 3 期可能为主要充注期.

表 1 AHDEB 油田白垩系油藏成岩序列与油包裹体分布特征

Table 1 Diagenesis and distribution of oil inclusions in Cretaceous reservoirs in AHDEB oilfield

成岩阶段	同生期		浅埋藏期	表生期	中深埋藏期	
有机质成熟度	未熟阶段	未熟阶段	低熟阶段	低熟阶段	成熟阶段	成熟阶段
	泥晶化、溶蚀、胶结、新生变形	溶蚀、胶结	压实、胶结、白云石化	溶蚀、胶结	压实/压溶、溶蚀、胶结	破裂作用
成岩序列	泥晶化、高镁方解石胶结、淡水潜流带组构选择性溶蚀、马牙状方解石等厚环边胶结、新生变形作用	淡水渗流带非组构选择性溶蚀、重力/新月形方解石胶结	压实、粒状方解石胶结、白云石化	表生期非组构选择性溶蚀、粗晶方解石胶结	压实/压溶、埋藏溶蚀作用、粗晶方解石胶结	微裂隙、粗晶方解石裂隙/重结晶
油包裹体期次			第 1 期	第 2 期	第 3 期	第 4 期
油包裹体颜色			呈深褐色,显示黄褐色荧光	呈棕黄色,显示浅黄色荧光	呈浅黄色,显示黄绿色荧光	呈无色透明,显示绿色荧光
油包裹体丰度			偶见	少量	大量	少量
油气运聚			油生成、运移	油生成、运移	油聚集成藏	油聚集成藏

油包裹体的荧光特征反映了有机质的成分特征及其热演化程度(于岚等,2012).液态烃主要由饱和烃和芳香烃组成,荧光的产生主要取决于液态烃中的芳烃共轭 π 键体系和 $C=O$ 官能团,所以液态烃荧光特性与芳烃组成和结构相关,而与饱和烃无关.传统的实验观察结果认为,液态烃的荧光颜色可反映有机质演化程度,即随着有机质从低成熟向高成熟演化,其荧光颜色由火红色 $\rightarrow$ 橙色 $\rightarrow$ 黄色 $\rightarrow$ 绿色 $\rightarrow$ 蓝色变化(赵艳军和陈红汉,2008),荧光光谱发生蓝移,反之则红移.不同成熟度的油包裹体的荧光颜色存在区别.本研究通过岩相学特征分析,划分了4期油包裹体,其中荧光颜色是划分依据之一,主要包括绿色、蓝绿色、浅黄色和黄褐色4种荧光.根据颜色对成熟度的反映,认为这些颜色可能指示了至少4种成熟度不同的油.其中绿色成熟度最高,黄绿色其次,浅黄色和黄褐色成熟度较低(图3).其中浅黄色和黄褐色荧光的油包裹体油质较重,应为成岩早期捕获的层内或相邻烃源岩层产生的低熟重质油.因此,通过荧光颜色可推测白垩系储层可能经历了4幕油充注.需要强调的是,在3口井中均检测到不发荧光的黑色沥青质,并在岩心手标本上可见孔隙和溶洞中被沥青充填,指示了该地区可能存在早期充注的油遭受热降解等作用发生破坏.依据油包裹体荧光特征确定油充注期次可能存在多解性,单纯依靠油包裹体荧光颜色进行成熟度划分的方法并不十分可靠(George *et al.*, 2001).在本研究中采用了多种方法相互佐证,排除单纯依靠荧光颜色进行成熟度判断的局限性.

3.2 油包裹体的红外光谱分析

显微傅立叶变换红外光谱能够对单个油包裹体的成分进行分析,为油包裹体有机质成熟度的划分提供了有效途径.本次实验中油包裹体主要的宿主矿物方解石在 $3\,000\sim 2\,800\text{ cm}^{-1}$ 的红外吸收强度为中等—强,会影响有机化合物的饱和碳氢基团($-\text{CH}_2-$, $-\text{CH}_3-$)的伸缩振动吸收带判断.实验中采用差谱法来消除宿主矿物的影响,可扣除掉包裹体附近的矿物基体为背景的单光束光谱,即得到包裹体的吸收光谱.实验中少数油包裹体的宿主矿物为石英,石英基体在 $4\,000\sim 2\,500\text{ cm}^{-1}$ 范围内无吸收,不会影响石英基体中 $4\,000\sim 2\,500\text{ cm}^{-1}$ 范围内包裹体成分的吸收情况,所以不需要使用差谱法(孙青等,1998).通过红外光谱测定有机质中的基团 CH_2 和 CH_3 不对称和对称伸缩振动的吸收光度值,能够计算出3个参数来进行成熟度的评价,分别为

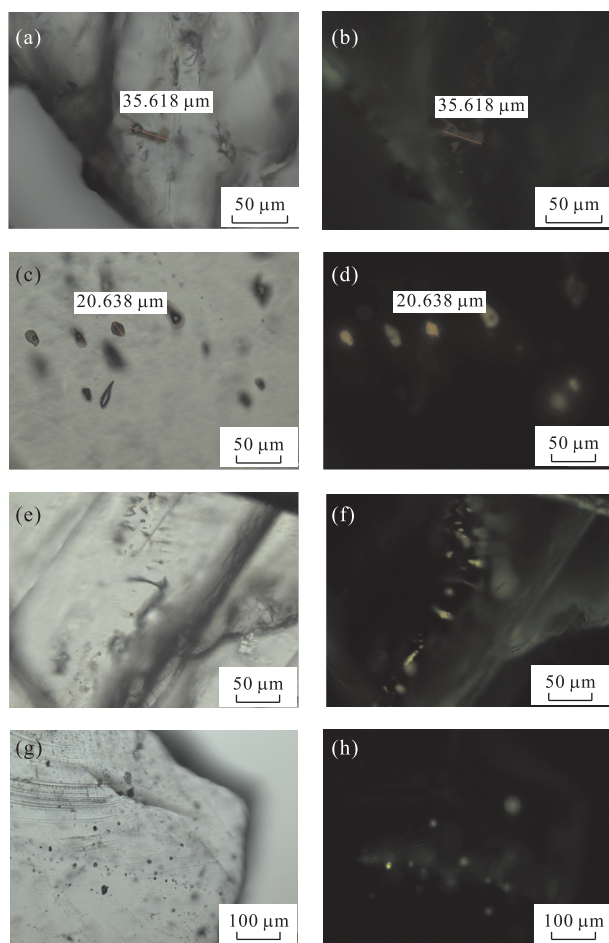


图3 不同期次油包裹体的显微照片

Fig.3 The photos of oil inclusion fluorescence with different maturity

a.第1期油包裹体单偏光照片,深褐色,X13井Ru2b层,宿主矿物为粒状方解石;b.图a的荧光照片,显示黄褐色荧光;c.第2期油包裹体单偏光照片,棕黄色,X13井Ru3层,宿主矿物为粗晶方解石;d.图c的荧光照片,显示浅黄色荧光;e.第3期油包裹体单偏光照片,浅黄色、无色透明,X13井Ma1层,宿主矿物为粗晶方解石;f.图e的荧光照片,显示黄绿色荧光;g.第4期油包裹体单偏光照片,无色透明,X13井Ru3层,宿主矿物为粗晶方解石;h.图g的荧光照片,显示绿色荧光

$\text{CH}_{2a}/\text{CH}_{3a}$ 、 X_{inc} 、 X_{std} (侯启军等,2005).不同红外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.

通过分析测试结果,认为至少可以划分为两期不同成熟度的油包裹体.表2为单个油包裹体显微傅立叶变换红外光谱测定结果,图4为两种不同成熟度油包裹体红外吸收光谱谱图.第1期形成的油包裹体的 $\text{CH}_{2a}/\text{CH}_{3a}$ 为4~6, $X_{\text{inc}} > 37$, $X_{\text{std}} > 6$,代表了有机质平均分子量相对较大,油的成熟度相对较低,为早期充注的中—重质油;第2期形成的油

表 2 油包裹体的显微傅立叶变换红外光谱测定结果

Table 2 The data of micro FT-IR of oil inclusions

井号	层位	深度(m)	油包裹体特征			AREA[$\sum\text{CH}_2$]/ AREA[$\sum\text{CH}_3$]	X_{inc}	X_{std}
			产状	单偏光颜色	荧光颜色			
AD13	Ru2a	2 915.85	方解石成群分布	无色	蓝色	2.772	21.913	10.638
	Ru2a	2 915.85	方解石成群分布	淡黄色	黄绿色	3.080	25.332	11.777
	Ru2a	2 915.85	方解石成群分布	黄色	浅黄色	4.171	37.453	15.818
	Ru3	2 990.66	沿石英微裂隙分布	无色	黄绿色	2.532	19.249	9.750
	Ru3	2 990.66	沿石英微裂隙分布	淡黄	黄绿色	3.998	35.531	15.177
	Ru3	2 990.66	沿石英微裂隙分布	淡黄	黄绿色	3.776	33.067	14.356
	Ru2b	2 960.32	方解石成带状分布	淡黄	黄绿色	2.869	22.991	10.997
	Ru2b	2 960.32	方解石成带状分布	棕黄色	浅黄色	4.484	40.930	16.977
	Ru2b	2 960.32	方解石成带状分布	褐色	黄褐色	5.211	49.006	19.669

注： $X_{\text{inc}} = (\text{AREA}\sum\text{CH}_2 / \text{AREA}\sum\text{CH}_3 - 0.8) / 0.09$ ，为包裹体有机质烷基碳原子数； $X_{\text{std}} = (\text{AREA}\sum\text{CH}_2 / \text{AREA}\sum\text{CH}_3 + 0.1) / 0.27$ ，为标准有机质烷基碳原子数。

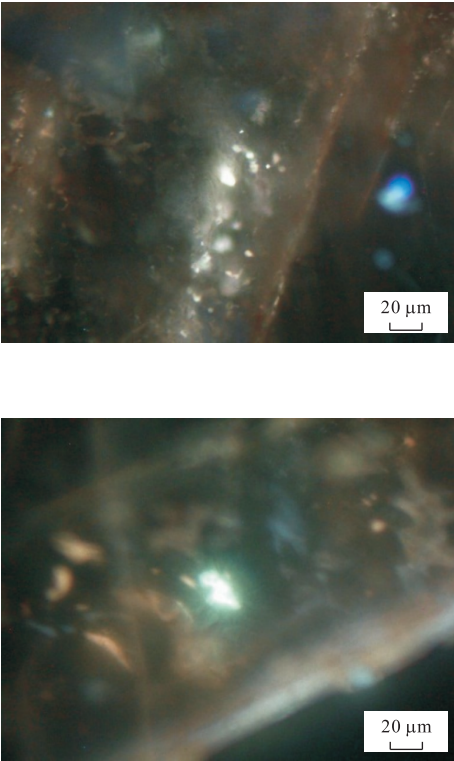
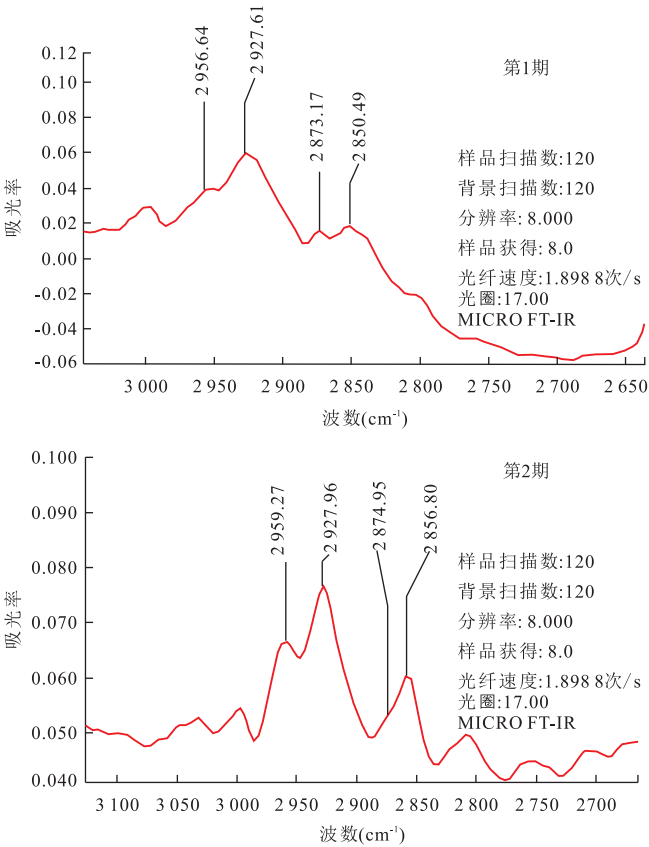


图 4 不同成熟度油包裹体的红外吸收光谱谱图

Fig.4 The spectrum of infrared spectrometer of oil inclusions with different maturity

包裹体的 $\text{CH}_{2a}/\text{CH}_{3a}$ 为 2~4, X_{in} 为 19~37, X_{std} 为 9~16, 反映有机质中甲基较丰富, 烃链短, 成熟度高, 与目前油田所含的轻质油性质相似. 通过红外光谱测定结果, 表明 AHDEB 油田至少存在两种成熟度差异较大的油的充注, 与前人研究结果一致.

3.3 流体包裹体的均一温度

与油包裹体共生的盐水包裹体均一温度是划分油气充注期次的重要依据, 代表了包裹体捕获时最

小地层温度. 结合荧光颜色和单个包裹体的显微红外光谱分析结果, 根据捕获包裹体的岩相特征, 划分了油气充注幕次.

图 5 为本研究在 Khasib 组、Mishrif 组、Ru-maila 组、Mauddud 组方解石中与油包裹体同期的盐水包裹体的均一温度分布. 根据研究, AHDEB 油田白垩系至少存在 4 幕次与油包裹体同期的盐水包裹体, 各层检测到不同幕次的盐水包裹体, 反映了流

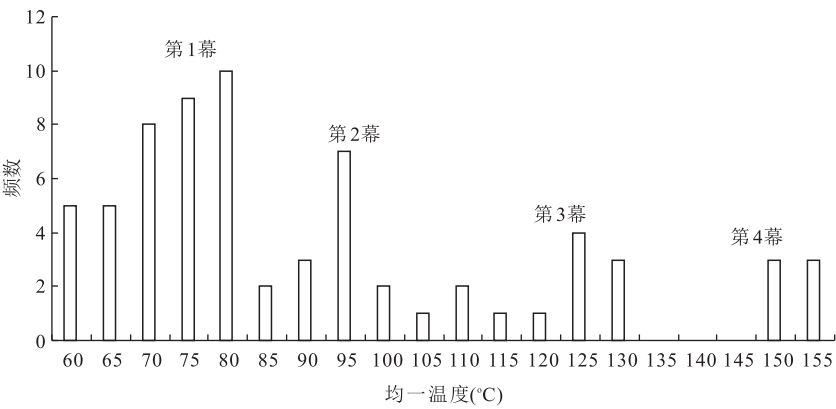


图 5 与烃类包裹体同期的盐水包裹体均一温度分布

Fig.5 The Histograms showing the distribution of homogenization temperatures of oil inclusions and their coeval aqueous fluid inclusions

体活动的不均一性。Khasib 组、Mishrif 组和 Maud-dud 组检测到 3 幕次,而 Rumaila 组检测到 4 幕次。这 3 幕流体的均一温度特征为:第 1 幕盐水包裹体与少数发黄褐色荧光的油包裹体同期,为早期低熟油的充注,均一温度为 74.0~85.0℃;第 2 幕盐水包裹体与发浅黄色荧光的油包裹体同期,仍为低成熟油的充注,均一温度为 88.6~108.9℃;第 3、4 幕盐水包裹体与发黄绿色和绿色荧光的油包裹体同期,均一温度为 119.2~132.4℃和 153.6~157.1℃。

4 讨论

4.1 埋藏史与热史

AHDEB 油田取心资料较少,仅有 3 口直井目的层的岩心资料,且未钻遇至下部烃源岩,上部地层厚度和地层缺失情况资料欠缺,也缺乏镜质体反射率剖面,因而该地区难以通过模型计算恢复埋藏史和热史。但该地区的典型井埋藏史和热史可借鉴临近地区的井资料。本研究参考了距离该油田 100 多千米的东巴格达油田 EB-1 井的埋藏史和热史。根据 Al-Ameri and Al-Obaydi(2011)所报道的东巴格达油田的埋藏史和热史图(图 6)(一维模型),伊拉克中部地区晚白垩世早期有一次较快的沉降,Chia Gara 组地温达到 80℃,之后在晚白垩世晚期再次发生沉降,烃源岩地温达到 100℃,这之后直至中新世该地区一直处于缓慢沉降期。受扎格斯逆冲推覆作用影响,中中新世一晚中新世盆地快速沉降。此时,主力烃源岩 Chia Gara 组古地温达到 120~150℃,上覆多套烃源岩也逐步进入生油窗。烃源岩的有机质也从早期的低成熟状态快速进入生烃高峰

期。因此,由埋藏史控制的有机质热演化史决定了东巴格达地区 Chia Gara 组生烃期次主要发生在晚白垩世和中中新世一晚中新世。

结合油包裹体荧光特征、单个油包裹体的显微红外光谱及其同期的盐水包裹体的均一温度测定结果,综合研究认为研究区白垩系碳酸盐岩油藏中存在 4 幕油气充注,第 1 幕和第 2 幕油成熟度较低,具有相似的红外光谱特征, CH_{2a}/CH_{3a} 为 4~6, $X_{inc} > 37$, $X_{std} > 16$,为中一重质油,烃源岩排烃规模小。第 3 幕和第 4 幕油成熟度高,具有相似的红外光谱特征, CH_{2a}/CH_{3a} 为 2~4, X_{in} 为 19~37, X_{std} 为 9~16,为轻质油,处于烃源岩的大规模排烃时期。这一结果与 AHDEB 油田临近地区埋藏史控制的两次大的生烃期一致。目前充注在油藏中的油为晚期成熟的轻质油。早期充注的中一重质油在后期构造运动产生的富氧地层水倒灌中被氧化,而形成残余沥青(图 7)。早期充注的油来源于当时有机质热成熟度较低的 Chia Gara 组,该套烃源岩为海相泥灰岩,为 II 型干酪根,在晚白垩纪到古近纪早期期间生烃(Mohialdeen *et al.*, 2013),早期生成的油质较重。

4.2 油成藏年代的确定

根据包裹体均一温度对油充注期次的划分,将与油包裹体共生的盐水包裹体的均一温度投影到 AHDEB 油田临近地区埋藏史—热史图上,可得到不同油气成藏期大致的地质时间。图 8 中时间轴上的年龄代表了油气充注的年龄。根据年龄分布和埋藏史,能够较准确地划分 AHDEB 油田油成藏的期次,并确定主成藏期。

AHDEB 油田白垩系灰岩储层中总共存在 4 期油的充注。第 1 期油充注可能发生在 95.0~96.5 Ma

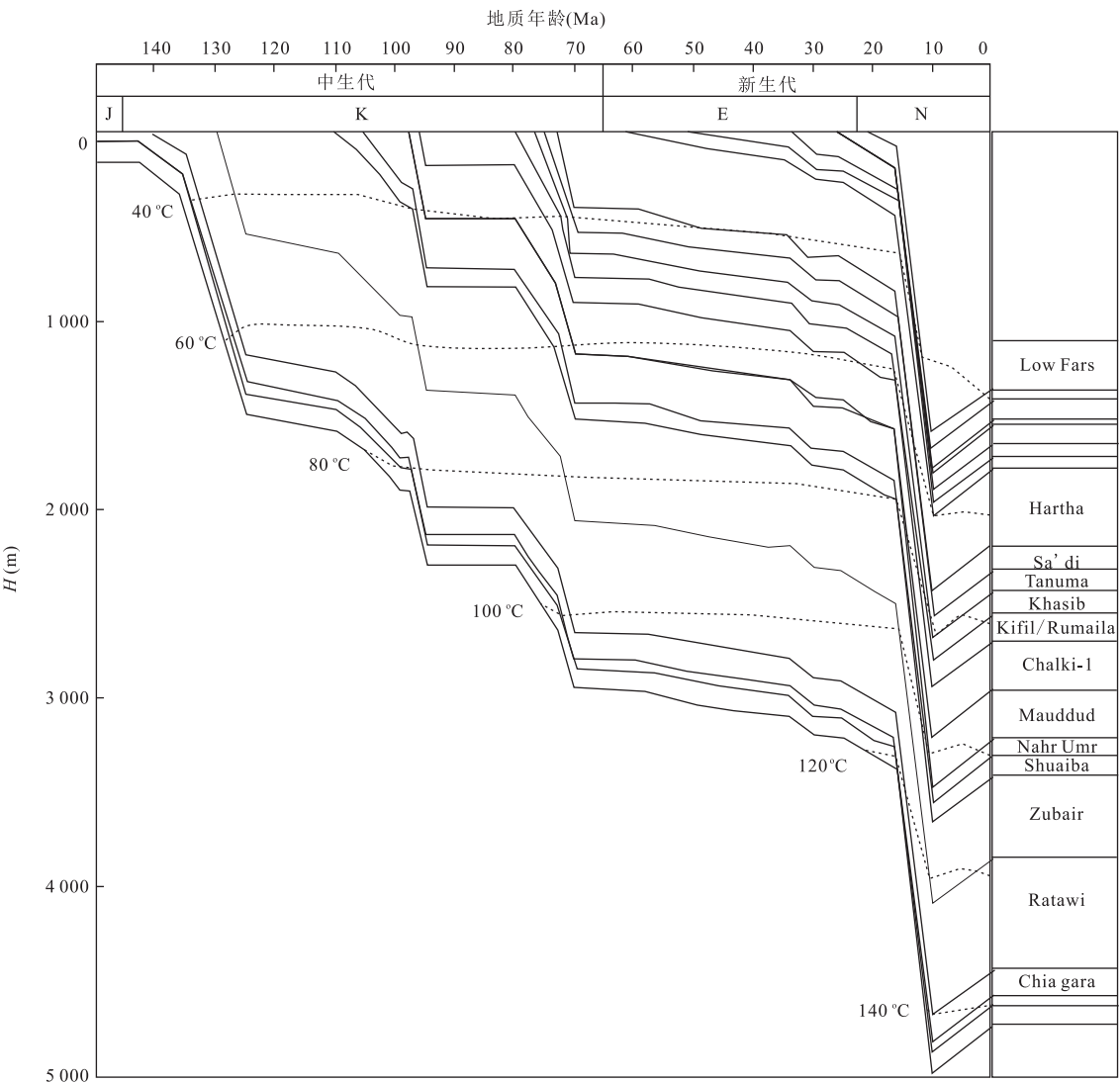


图 6 东巴格达油田的埋藏史和热史
Fig.6 The burial history and thermal history in East Baghdad
据 Al-Ameri and Al-Obaydi(2011)



图 7 AHDEB 油田白垩系油藏钻遇的沥青
Fig.7 The asphalt in Cretaceous reservoirs of AHDEB oil field

白垩世晚期,此时盆地再次沉降,但仍处于烃源岩小规模排烃期.第 3 期和第 4 期油充注可能发生在中中新世 14.0~15.0 Ma 和晚中新世 10.0 Ma,为两个连续的充注幕,此时盆地快速沉降,伊拉克西部烃源岩迅速进入大规模生烃期,油充注与盆地持续沉降过程中有机质多幕排烃有关,结束于构造抬升期.这两期油的成熟度比第 1 期和第 2 期明显较高,油质较轻,这期充注也是最主要的成藏期.

5 结论

(1)通过油包裹体宿主矿物的岩相学特征研究,确定了 4 个不同成岩期的方解石胶结或重结晶事件,不同时期方解石胶结物捕获了不同期次的油包

左右,相当于晚白垩世早期,油源岩为下伏低成熟的海相泥灰岩,排烃规模较小,原油比重较大.第 2 期油充注可能发生在 71.0~78.5 Ma 左右,相当于晚

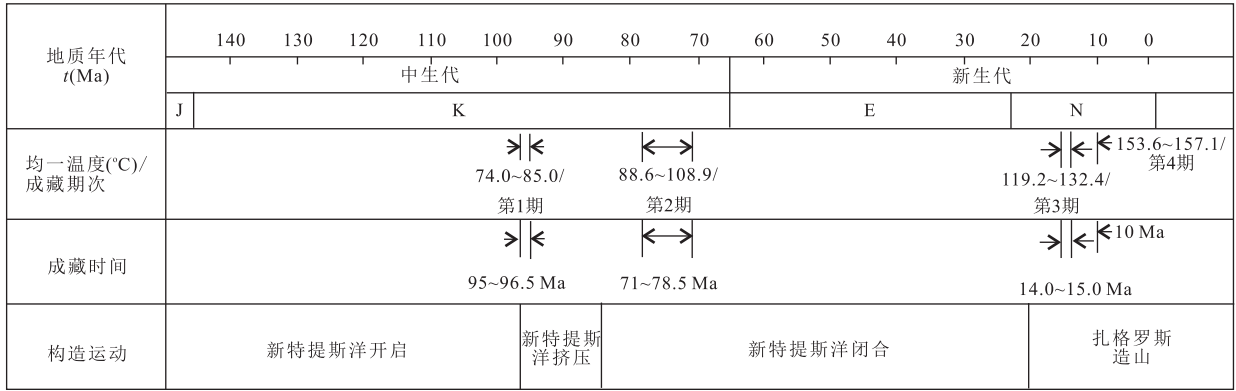


图 8 AHDEB 油田白垩系油藏成藏期次划分

Fig.8 The hydrocarbon charging period of Carboniferous reservoirs in AHDEB oil field

裹体.根据油包裹体的颜色、产状、丰度和原/次生性,认为存在 4 期油包裹体的捕获.

(2)该油田的油包裹体荧光特征可分为 4 种:黄褐色、浅黄色、黄绿色和绿色,其中以发黄绿色和绿色光的包裹体为主.依据单个油包裹体的显微红外光谱测定结果计算的 CH_{2a}/CH_{3a} 、 X_{inc} 、 X_{std} 的值,油的成熟度至少可划分为两种.

(3)根据油包裹体同期的盐水包裹体的均一温度的频数分布,划分出 4 幕油充注.

(4)根据埋藏史控制下的生烃期,以流体包裹体划分的期次为主要证据,考虑到早期油氧化而形成的沥青的存在,将该油田的油充注划分为 4 期,其中主充注期发生在第 3 期,地质时间为 14.0~15.0 Ma 左右的中中新世.

References

Abeed, Q., Alkhafaji, A., Littk, R., 2011. Source Rock Potential of the Upper Jurassic-Lower Cretaceous Succession in the Southern Mesopotamian Basin, Southern Iraq. *Journal of Petroleum Geology*, 34(2): 117–134. doi: 10.1111/j.1747–5457.2011.00497.x

Al-Ameri, T. K., Al-Musawi, F. A., 2009. Hydrocarbon Generation Potential of the Uppermost Jurassic—Basal Cretaceous Sulaiy Formation, South Iraq. *Arab Journal of Geosciences*, 4(1–2): 53–58. doi: 10.1007/s12517–009–0064–y

Al-Ameri, T. K., Al-Obaydi, R. Y., 2011. Cretaceous Petroleum System of the Khasib and Tannuma Oil Reservoir, East Baghdad Oil Field, Iraq. *Arab Journal of Geosciences*, 4: 915–932. doi: 10.1007/s12517–009–0115–4

Al-Dabbas, M., Al-Jassim, J., Al-Jumaily, S., 2010. Depositional Environments and Porosity Distribution in Regressive Limestone Reservoirs of the Mishrif Forma-

tion, Southern Iraq. *Arab Journal of Geosciences*, 3(1): 67–78. doi: 10.1007/s12517–009–0057–x

Aqrawi, A. A. M., Goff, J. C., Horbury, A. D., et al., 2010. The Petroleum Geology of Iraq. Scientific Press, Beaconsfield.

Burruss, R. C., Cercone, K. R., Harris, P. M., 1985. Timing of Hydrocarbon Migration: Evidence from Inclusions in Calcite Cements, Tectonic and Burial History. *Carbonate Cements SEPMS Pec. Publ.*, 26: 277–289.

Davies, R. B., Casey, D. M., Horbury, A. D., et al., 2002. Early to Mid-Cretaceous Mixed Carbonate-Siliciclastic Shelfal Systems: Examples, Issues and Models from the Arabian Plate. *GeoArabia*, 7(3): 541–598.

George, S. C., Ruble, T. E., Dutkiewicz, A., et al., 2001. Assessing the Maturity of Oil Trapped in Fluid Inclusions Using Molecular Geochemistry Data and Visually-Determined Fluorescence Colours. *Applied Geochemistry*, 16: 451–473.

Harris, P. M., Frost, S., 1984. Middle Cretaceous Carbonate Reservoirs, Fahud Field and NW Oman. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 68(5): 649–658.

Hou, Q. J., Feng, Z. H., Zou, Y. L., 2005. Study on the Pool-Forming Periods of Oil and Gas in Qijia-Gulong Sag in Songliao Basin. *Petroleum Geology & Experiment*, 27(4): 390–394 (in Chinese with English abstract).

Karlsen, D. A., Nedkvitne, T., Larter, S. R., et al., 1993. Hydrocarbon Composition of Authigenic Inclusions Application to Elucidation of Petroleum Reservoir Filling History. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57: 3641–3659.

Li, C. Q., Chen, H. H., Liu, H. M., 2010. Identification of Hydrocarbon Charging Events by Using Micro-Beam Fluorescence Spectra of Petroleum Inclusions. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 35(4): 657–662 (in Chinese with English abstract).

doi:10.3799/dqkx.2010.080

- Mohialdeen, I. M. J., Mohammed, H. H., Al-Beyati, F. M., 2013. Geochemical and Petrographic Characterization of Late Jurassic-Early Cretaceous Chia Gara Formation in Northern Iraq: Palaeoenvironment and Oil-Generation Potential. *Marine and Petroleum Geology*, 43: 166 — 177. doi:org/10.1016/j.marpetgeo.2013.02.010
- Odisho, K. Y., Othman, R. S., 1992. Preliminary Geochemical Evaluation of Hydrocarbon Source Rocks in Northern Parts of Iraq. *Iraq Geological Journal*, 25: 136—153.
- Pitman, J. K., Steinshouer, D., Lewan, M. D., 2004. Petroleum Generation and Migration in the Mesopotamian Basin and Zagros Fold Belt of Iraq: Results from a Basin-Modeling Study. *GeoArabia*, 9: 41—72.
- Si, S. H., Chen, H. H., Feng, Y., et al., 2013. Two Sources and Three Charging Events of Hydrocarbons in Lower Cretaceous Reservoirs in Shaya Uplift, Tarim Basin: Evidence from Fluid Inclusion Analysis. *Acta Petrolei Sinica*, 34(1): 12—21 (in Chinese with English abstract). doi:10.7623/syxb201301002
- Sun, Q., Weng, S. F., Zhang, X., 1998. μ FTIR Microanalysis Limits of Hydrocarbon Fluid Inclusions: Matrix Minerals Absorption. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 23(3): 248—252 (in Chinese with English abstract).
- Yu, L., Li, W. T., Chen, H. H., et al., 2012. Characteristics of Fluid Inclusions and Hydrocarbon Charging Period of Carboniferous-Permian Reservoirs in the Eastern Lin-

qing Depression. *Journal of China University of Petroleum (Natural Science Edition)*, 36(6): 26—32 (in Chinese with English abstract). doi: 10.3969/j.issn.1673—5005.2012.06.005

Zhao, Y. J., Chen, H. H., 2008. The Relationship between Fluorescence Colors of Oil Inclusions and Their Maturities. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 33(1): 91—96 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 侯启军, 冯子辉, 邹玉良, 2005. 松辽盆地齐家—古龙凹陷油气成藏期次研究. *石油实验地质*, 27(4): 390—394.
- 李纯泉, 陈红汉, 刘惠民, 2010. 利用油包裹体微束荧光光谱判识油气充注期次. *地球科学——中国地质大学学报*, 35(4): 657—662.
- 斯尚华, 陈红汉, 丰勇, 等, 2013. 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. *石油学报*, 34(1): 12—21.
- 孙青, 翁诗甫, 张煦, 1998. 傅立叶变换红外光谱分析矿物有机包裹体的限制——基体吸收问题初探. *地球科学——中国地质大学学报*, 23(3): 248—252.
- 于岚, 李文涛, 陈红汉, 等, 2012. 临清坳陷东部石炭—二叠系流体包裹体特征及油气充注期次研究. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 36(6): 26—32.
- 赵艳军, 陈红汉, 2008. 油包裹体荧光颜色及其成熟度关系. *地球科学——中国地质大学学报*, 33(1): 91—96.