

文章编号: 0253-2697(2015)01-0060-07 DOI:10.7623/syxb201501007

英买力地区中生界—新生界油气藏石油包裹体特征及成藏期次

罗 泉^{1,2,3} 姜振学^{1,2} 李 卓^{1,2} 李 峰^{1,2} 刘建良⁴ 高 甜^{1,2} 冯 洁^{1,2}

(1. 中国石油大学油气资源与探测国家重点实验室 北京 102249; 2. 中国石油大学非常规天然气研究院 北京 102249;
3. 中国石油大学盆地与油藏研究中心 北京 102249; 4. 中国石油勘探开发研究院 北京 100083)

摘要:明确油气的成藏期次及成藏演化历史是当前英买力地区中生界—新生界油气藏勘探亟待解决的关键问题。利用石油包裹体岩相学、微束荧光光谱和显微测温技术,对英买力地区中生界—新生界石油包裹体特征和油气成藏期次开展了详细研究。结果表明:样品中主要观察到发蓝色、蓝白色、亮黄色、弱黄色荧光的石油包裹体;荧光光谱的主峰波长主要集中在470~490 nm和510~540 nm,分别指示近蓝白色和近黄色2种荧光的石油包裹体组合。其中,近黄色石油包裹体的红绿商 Q 在0.48~0.65,色度指数 $CIE-X$ 和 $CIE-Y$ 值在0.345~0.360和0.358~0.375,对应盐水包裹体的均一温度主峰值在80~90℃;近蓝白色石油包裹体的红绿商 Q 在0.20~0.51,色度指数 $CIE-X$ 和 $CIE-Y$ 值在0.302~0.333和0.325~0.352,对应盐水包裹体的均一温度主峰值在120~130℃。结合埋藏史、热演化史模拟结果,明确了英买力地区中生界—新生界油气藏具有2期成藏过程:第1期在8~5 Ma,以形成常规油藏为主,成熟度相对较低,石油包裹体发近黄色荧光;第2期在3 Ma以来,以形成凝析油气藏为主,成熟度较高,石油包裹体发近蓝白色荧光。

关键词:石油包裹体;成藏期次;荧光光谱;英买力地区;中生界—新生界

中图分类号:TE122.3 文献标识码:A

The properties of petroleum inclusions and stages of hydrocarbon accumulation in Mesozoic-Cenozoic reservoirs in Yingmaili area of Tabei uplift, Tarim Basin

Luo Xiao^{1,2,3} Jiang Zhenxue^{1,2} Li Zhuo^{1,2} Li Feng^{1,2} Liu Jianliang⁴ Gao Tian^{1,2} Feng Jie^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;
2. Unconventional Natural Gas Institute, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;
3. Basin and Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;
4. Petrochina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China)

Abstract: To clarify the stages and evolution process of hydrocarbon accumulation is presently the key issue of exploring Mesozoic-Cenozoic reservoirs in Yingmaili area of Tabei uplift, Tarim Basin. A detailed study was carried out to determine the properties of petroleum inclusions and the stages of hydrocarbon accumulation in Mesozoic-Cenozoic reservoirs using rock samples from typical wells, through a combination of microscopic examination, micro-beam fluorescence spectroscopy, and micro-thermometric technique. Results showed that petroleum inclusions in reservoirs rocks mainly emitted blue, blue-white, bright yellow, and weak yellow fluorescence. Peak wavelengths of the fluorescence spectra were mainly distributed in the ranges of 470-490 nm and 510-540 nm, corresponding to blue-white and yellow fluorescence, respectively. Of these, petroleum inclusions emitting yellow fluorescence had the red-green quotient of 0.48-0.65 and the chromaticity of 0.345-0.360 ($CIE-X$) and 0.358-0.375 ($CIE-Y$), whereas the corresponding brine inclusions had the main peak of homogeneous temperatures at 80-90°C. Differently, petroleum inclusions emitting blue-white fluorescence had the red-green quotient of 0.20-0.51, $CIE-X$ of 0.302-0.333, and $CIE-Y$ of 0.325-0.352, whereas the corresponding brine inclusions had the main peak of homogeneous temperatures at 120-130°C. Combined with simulation analysis of burial history and thermal evolution history, two-stage hydrocarbon accumulation was identified in Mesozoic-Cenozoic reservoirs in Yingmaili area; in the first stage (8-5 Ma), mainly normal reservoirs were formed with relatively low maturity and petroleum inclusions emitting yellow fluorescence; and in the second stage (since 3 Ma), mainly condensate reservoirs were formed with relatively high maturity and petroleum inclusions emitting blue-white fluorescence.

Key words: petroleum inclusions; hydrocarbon accumulation period; fluorescence spectroscopy; Yingmaili area; Mesozoic-Cenozoic reservoirs

基金项目:国家重大科技专项(2011ZX05003-001)、国家重点基础研究发展计划(973)项目(2011CB201105)资助。

第一作者:罗 泉,男,1991年1月生,2012年获长江大学学士学位,现为中国石油大学(北京)硕士研究生,主要从事油气成藏与分布方面研究工作。
Email:aoelx1541@126.com

通信作者:姜振学,男,1963年4月生,1986年获大庆石油学院学士学位,1998年获中国地质大学(北京)博士学位,现为中国石油大学(北京)非常规天然气研究院副院长、博士生导师,主要从事含油气盆地分析、油气形成与分布方面研究工作。Email:jiangzx@cup.edu.cn

引用:罗泉,姜振学,李卓,李峰,刘建良,高甜,冯洁.英买力地区中生界—新生界油气藏石油包裹体特征及成藏期次[J].石油学报,2015,36(1):60-66.

Cite:Luo Xiao,Jiang Zhenxue,Li Zhuo,Li Feng,Liu Jianliang,Gao Tian,Feng Jie.The properties of petroleum inclusions and stages of hydrocarbon accumulation in Mesozoic-Cenozoic reservoirs in Yingmaili area of Tabei uplift, Tarim Basin[J].Acta Petroli Sinica,2015,36(1):60-66.

流体包裹体是存在于矿物和岩石包裹体中的古流体,通过对其定性或定量分析可解释地壳乃至地幔中流体参与下的各种地质作用过程^[1]。油气包裹体是其中重要的一种类型,它保留了油气运移成藏过程中的温度、压力、成分等信息^[2,3]。流体包裹体组合对恢复储集层古温度和古压力^[4,5]、确定油气的运移成藏时间和期次^[6,7]、恢复油气的成藏过程^[8,9]具有重要意义。因此近年来流体包裹体分析技术在石油地质领域得到了广泛的运用。

塔里木盆地库车前陆盆地经历了复杂的构造演化历史^[10,11],从而导致位于库车前陆斜坡带的英买力地区中生界—新生界油气成藏经历了复杂而又漫长的演化^[12,13]。明确油气的成藏期次及其演化历史是当前

英买力地区中生界—新生界油气藏勘探亟待解决的关键问题。笔者通过对英买力地区 4 口井 27 块中生界—新生界储层样品中石油包裹体显微鉴定、微束荧光光谱分析等方法对石油包裹体的特征进行了研究。运用均一温度测定分析手段,结合埋藏史、热演化史等模拟技术对油气成藏期次和时间进行了确定。

1 地质背景

英买力地区位于库车前陆盆地斜坡带西部,北临西秋里塔格构造带和拜城凹陷,南靠英买力低凸起,整体呈 NE—E 向展布,勘探面积达 10 000 km²(图 1)。地势上南高北低,是油气由凹陷向隆起运移的必经之路,具有较大的油气勘探潜力。

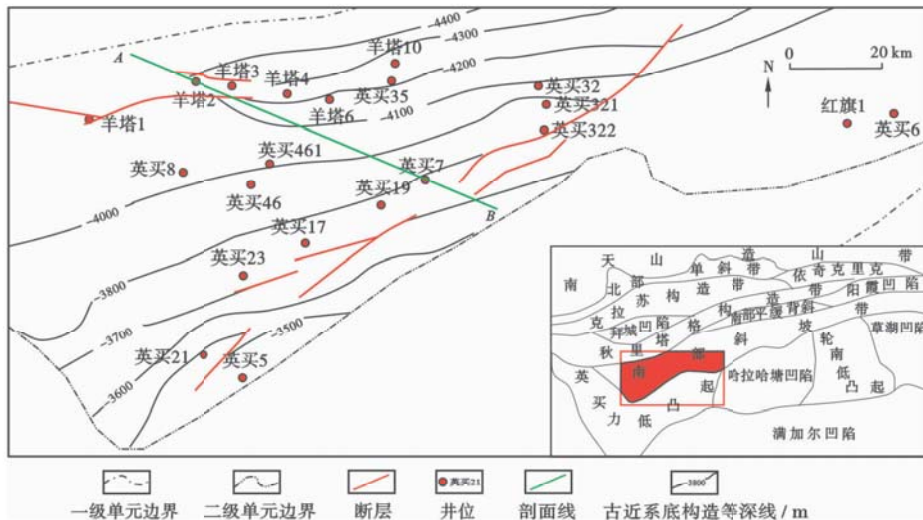
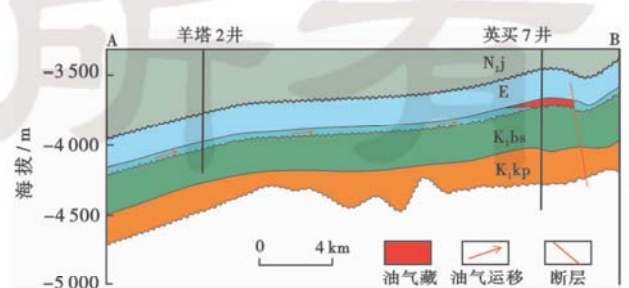


图 1 英买力地区构造位置及取样井分布

Fig. 1 Tectonic location of Yingmaili area and distribution of sampling wells in Tabei uplift, Tarim Basin

在垂向上,英买力地区可以分为 2 个大的沉积体系:古生界的碳酸盐岩沉积和中生界—新生界的碎屑岩沉积。对于中生界—新生界的前陆沉积地层,在下白垩统卡普沙良群(K₁kp)、巴什基奇克组(K₁bs)、古近系(E)和新近系中新统吉迪克组(N_{1j})均发育良好储层,岩性以细砂岩、粉砂岩为主,而广泛分布的膏岩层和泥岩则是重要的区域盖层,垂向上形成了多套储盖组合。英买力地区中生界—新生界本身并无良好的生油条件,油气主要来自北面拜城凹陷三叠系和侏罗系的烃源岩^[14-16],经历了长距离的运移到英买力地区中生界—新生界聚集成藏^[17](图 2)。根据目前的勘探成果,英买力地区中生界—新生界古近系底砂岩段的油气最为富集,因此所取的岩石样品也主要来自这一层段。



注:K₁kp—下白垩统卡普沙良群;K₁bs—下白垩统巴什基奇克组;E—古近系;N_{1j}—中新统吉迪克组。

图 2 英买力地区中生界—新生界羊塔 2 井—英买 7 井地层剖面(剖面位置见图 1)

Fig. 2 Stratigraphic section of Mesozoic-Cenozoic reservoir rocks in YT2-YM7 wells in Yingmaili area

2 样品与实验方法

本次研究在英买力地区选取了4口井(英买17井、英买19井、英买21井、英买6井)共27块岩石样品,样品井分布见图1。样品的岩性主要为粉砂岩和细砂岩,来自白垩系、古近系和新近系,其中以古近系样品为主。采样的原则是选取具有油气显示的储集层段。

实验分析方法如下:①据岩心手标本观察、描述,包括岩性、裂缝、胶结物等,以确定磨制薄片切割的部位;②磨制双面抛光的包裹体薄片,在显微镜下进行流体包裹体观察、鉴定和描述,包括包裹体的类型、宿主矿物、产状、大小、荧光颜色等,并拍照记录;③选取典型的石油包裹体进行微束荧光光谱测定,并对荧光光谱形态和结构进行分析;④选取与石油包裹体共生的盐水包裹体进行均一温度、盐度测定,并对均一温度进行统计分析,确定成藏期次,结合埋藏史、热演化史确定油气的充注时间。

流体包裹体观测采用的实验设备为 Axioplan 万

能显微镜,配备 HORIBA JOBIN YVON 微束(低于 $2\mu\text{m}$)荧光光谱分析仪,紫外激发光波长为 $330\sim 380\text{nm}$ 。流体包裹体测温使用的仪器是 Linkam-350 显微冷热台。

3 流体包裹体特征

3.1 石油包裹体岩相学特征

英买力地区中生界—新生界储层样品在显微镜下能够观察到大量的流体包裹体。根据包裹体的相态和流体成分,镜下观测有沥青包裹体、液体烃包裹体、气态烃包裹体、气液烃包裹体、含烃盐水包裹体、盐水包裹体等多种类型。各类流体包裹体大小差异较大($1\sim 15\mu\text{m}$ 不等),形态主要表现为椭圆状、近圆状等。流体包裹体主要赋存在石英颗粒内裂纹、穿石英颗粒裂纹、石英次生加大边中,呈串珠状或群体状分布(图3)。同时,根据镜下观测的包裹体宿主成岩矿物组构关系、裂缝间交切关系以及成岩作用,确定成岩序次依次为石英次生加大边、石英颗粒内裂纹、穿石英颗粒裂纹。

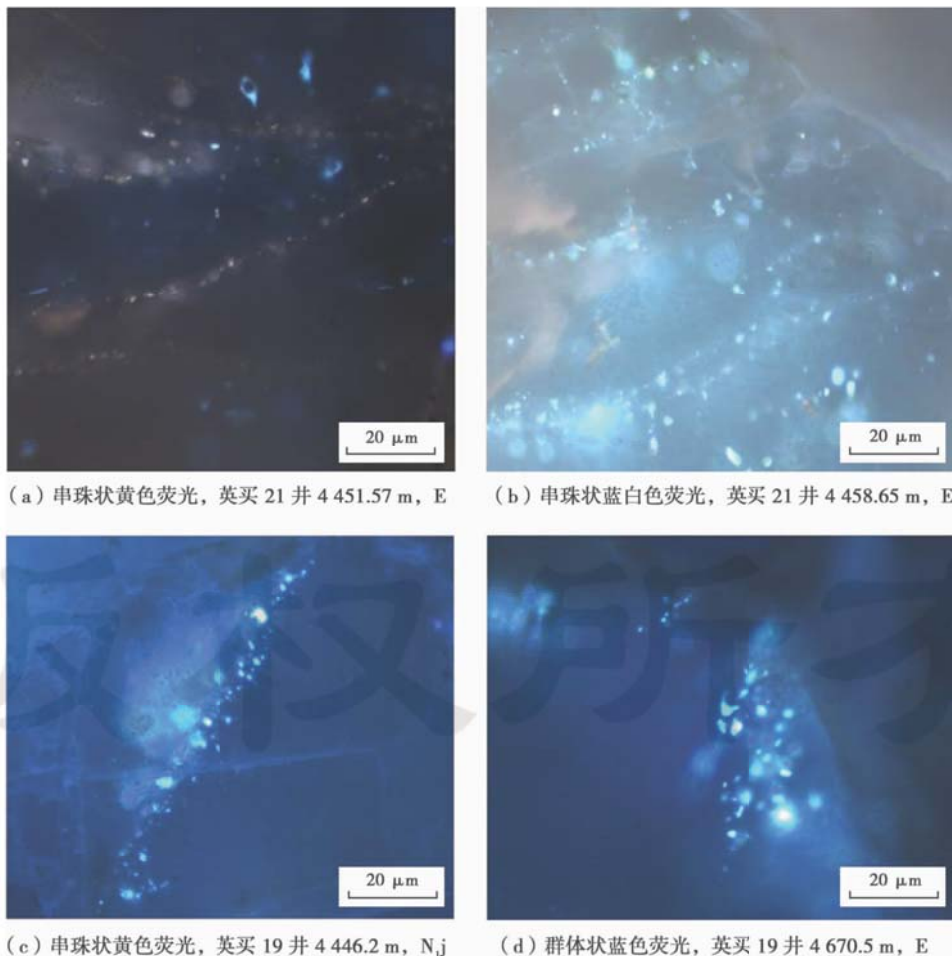


图3 英买力地区中生界—新生界样品显微荧光特征

Fig. 3 Microscopic characteristics of fluorescence emitted from Mesozoic-Cenozoic reservoir rocks in Yingmaili area

对于石油包裹体,在荧光下以发亮黄色、弱黄色[图 3(a)]、蓝白色[图 3(b)]、蓝色[图 3(c)、图 3(d)]荧光为主,大多呈串珠状分布在石英颗粒裂纹中或石英次生加大边中(图 3)。其中,近黄色荧光石油包裹体常见分布在石英次生加大边和石英颗粒内裂纹中,而近蓝白色荧光石油包裹体主要赋存在石英颗粒(包括石英颗粒内和穿石英颗粒)裂纹中。

石油包裹体之所以具有荧光性,这与其中所含的芳烃共轭 π 键体系和 C=O 官能团密切相关。随着有机质从低成熟向高成熟演化,其荧光颜色发生褐色→橘黄色→浅黄色→蓝色→蓝白色的变化^[16,18-19]。根据对英买力地区中生界—新生界储层样品石油包裹体荧光的观察结果,以及包裹体产状、宿主矿物等特征差异,可近似划分为近黄色和近蓝白色 2 种荧光类型的石油包裹体组合,这 2 类包裹体组合在形成时间和成熟度上具有明显差异。

3.2 石油包裹体荧光光谱特征

仅凭肉眼下观察的荧光颜色判断烃类的成熟度和划分成藏期次存在一定的误差。本次研究通过对单

个石油包裹体荧光光谱的测定对其荧光颜色和强度进行了更为精确的表征和分析。在显微荧光光谱图上,随着石油包裹体成熟度增加,光谱主峰波长(λ_{\max})会减少,即出现所谓的荧光“蓝移”现象;反之,石油包裹体成熟度越小,主峰波长(λ_{\max})越大,即荧光“红移”^[20-22]。

针对 4 口井 27 个包裹体薄片,利用 HORIBA JOBIN YVON 微束荧光光谱分析仪,通过 365 nm 的激发光对单个石油包裹体进行显微光谱测定,达到对荧光特征更为精确的表征。通过对比分析近蓝白色和近黄色 2 种荧光光谱图(图 4),发现同种荧光的光谱形态特征相似,近蓝白色荧光光谱曲线较窄陡,主峰波长较小,在 470~490 nm[图 4(a)],而近黄色荧光光谱曲线较为宽缓,主峰波长较大,在 510~540 nm[图 4(b)]。这 2 种完全不同的曲线形态特征暗示油气成分和成熟度的差异,表明油气具有 2 个大的充注期:早期形成的石油包裹体荧光光谱主峰波长(λ_{\max})较大,成熟度相对较小,表现为近黄色荧光的特点;随着成熟度的增加,主峰波长(λ_{\max})逐渐变小,即出现荧光“蓝移”现象,表现为近蓝白色荧光的特点。

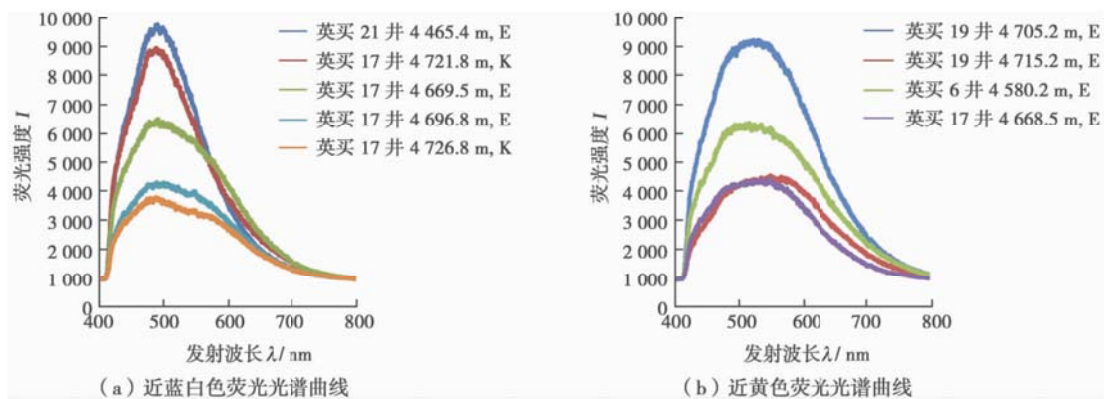


图 4 英买力地区中生界—新生界石油包裹体微束荧光光谱(部分实验曲线)

Fig. 4 Micro-beam fluorescence spectroscopy of petroleum inclusions in Mesozoic-Cenozoic reservoir rocks in Yingmaili area (part of the experimental curve is shown)

根据获得的荧光光谱曲线,对石油包裹体的荧光色度指数进行了计算。英买力地区中生界—新生界石油包裹体的 CIE-X 和 CIE-Y 值的范围在 0.302~0.360 和 0.325~0.375,整体范围较小。其中,近黄色荧光石油包裹体的 CIE-X 和 CIE-Y 值在 0.345~0.360 和 0.358~0.375,近蓝白色荧光石油包裹体的 CIE-X 和 CIE-Y 值在 0.302~0.333 和 0.325~0.352,在色度指数图上分布在不同区域(图 5)。该结果证实了英买力地区中生界—新生界石油包裹体可分为近黄色和近蓝白色 2 种荧光的石油包裹体组合,反映了 2 个不同时期油气充注的特点。同时,色度指数变化范围整体较小,说明石油的成熟度差异并不是太大,2 期油气充注的时间间隔不长。

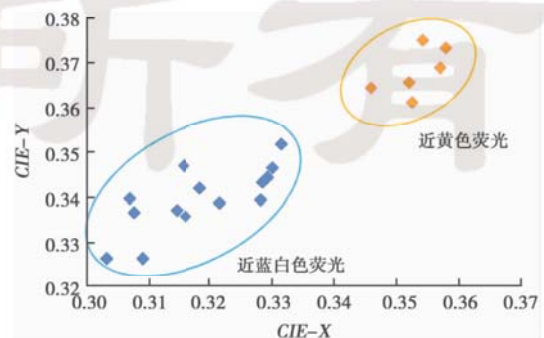


图 5 英买力地区中生界—新生界石油包裹体荧光颜色 CIE 色度指数图

Fig. 5 Chromaticity (CIE) plot showing the fluorescence colors of petroleum inclusions in Mesozoic-Cenozoic reservoir rocks in Yingmaili area

石油包裹体的荧光光谱的红绿商($Q = I_{650}/I_{500}$)是对光谱形态的定量表征,代表了荧光颜色中红色部分与绿色部分的比值,其值为波长650 nm处的荧光强度 I_{650} 与波长500 nm处的荧光强度 I_{500} 的比值^[6,23-25]。红绿商(Q)越大,代表石油包裹体中的大分子组分越多,反映石油成熟度越低;红绿商(Q)越小,代表油包裹体中的小分子组分越多,反映石油成熟度越高。通过统计分析发现,英买力地区中生界—新生界石油包裹体的红绿商(Q)与主峰波长(λ_{\max})存在着较好的相关性:近蓝白色荧光油包裹体(λ_{\max} 在460~490 nm)的红绿商(Q)相对较小,在0.20~0.51,反映其成熟度相对较高;近黄色荧光油包裹体(λ_{\max} 在510~540 nm)的红绿商(Q)相对较大,在0.48~0.65,反映其成熟度相对较低(图6)。据此,可以判定英买力地区中生界—新生界油气藏具有2期成藏的特点,随着油气成熟度的增加,发射波长 λ 和红绿商Q逐渐减小。

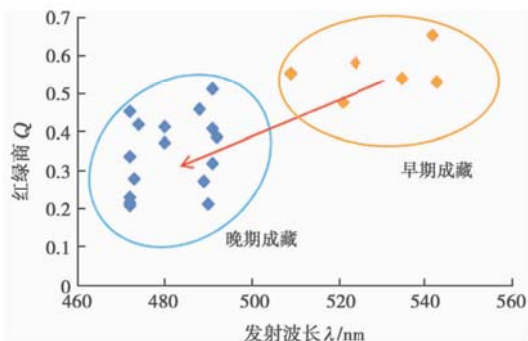


图6 英买力地区中生界—新生界荧光光谱红绿商Q与发射波长 λ 的关系

Fig. 6 Relationship between red-green quotient (Q) and emission wavelength (λ) of fluorescence spectra of petroleum inclusions in Mesozoic-Cenozoic reservoir rocks in Yingmaili area

3.3 流体包裹体显微测温

流体包裹体的均一温度是指气-液两相流体变为单一均匀相流体时所需的温度,用于评价初始的单相流体被捕获时流体包裹体的温度。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^[9,26]。

通过分别对与发近蓝白色和近黄色荧光石油包裹体伴生的盐水包裹体均一温度的测定(表1)和统计分析,发现与近蓝白色荧光对应的均一温度主峰值在120~130℃,而与近黄色荧光对应的均一温度相对较低,主峰值在80~90℃(图7),这反映了油气2期成藏的特点。

表1 英买力地区中生界—新生界典型井盐水包裹体平均均一温度

Table 1 Average homogenization temperature of brine inclusions of Mesozoic-Cenozoic from typical wells in Yingmaili area

井号	深度/m	岩性	烃包裹体伴生盐水包裹体平均均一温度/℃	
			近黄色荧光	近蓝白色荧光
英买21	4451.6	黄褐色细砂岩	—	126.0
	4458.7	灰色中砂岩	85.2	134.5
	4477.9	棕红色中砂岩	92.1	110.5
	4487.2	棕红色中砂岩	—	122.4
英买17	4668.5	棕褐色细砂岩	105.4	132.8
	4696.8	棕红色粉砂岩	—	124.6
	4699.2	棕褐色细砂岩	88.9	—
	4721.8	棕红色细砂岩	66.4	108.5

注:“—”表示未观测到。

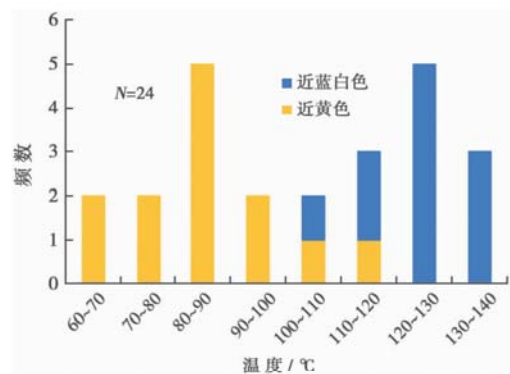


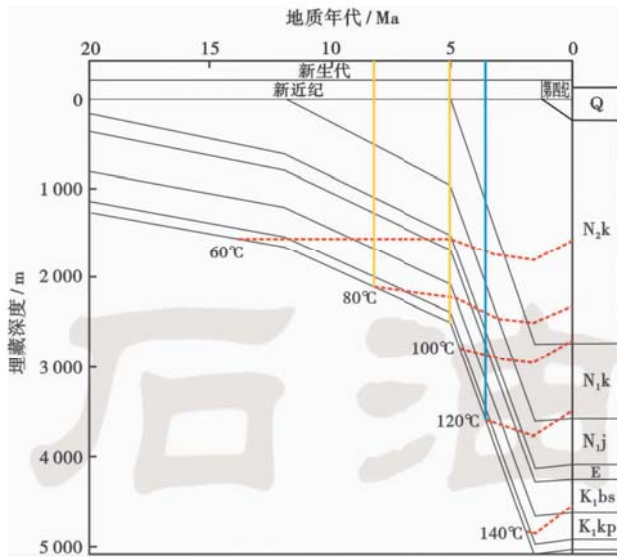
图7 英买力地区中生界—新生界均一温度统计

Fig. 7 Statistics of homogenization temperature of brine inclusions in Mesozoic-Cenozoic reservoir rocks in Yingmaili area

4 成藏期次

利用 PetroMod 盆地模拟软件对英买力地区主要探井的埋藏史、热演化史进行模拟。以英买21井为例(图8),可以发现英买力地区中生界—新生界经历了长期浅埋、短期深埋的演化历史,地层温度也是在库车组沉积以来快速上升的,这主要是受到了喜马拉雅晚期强烈构造运动的影响。

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。近黄色石油包裹体的充注时间在8~5 Ma,近蓝白色石油包裹体的充注时间主要在3 Ma以来。综合以上对石油包裹体特征的分析结果及均一温度的测定结果,可以认为,英买力地区中生界—新生界油气藏主要分为2期成藏:第1期在8~5 Ma,以形成常规油藏为主,成熟度相对较低,石油包裹体发近黄色荧光;第2期在3 Ma以来,以形成凝析油气藏为主,成熟度较高,石油包裹体发近蓝白色荧光。



注: N_1k —中新统康村组; N_2k —上新统库车组; Q —第四系。

图 8 英买 21 井中生界—新生界埋藏史-热史

Fig. 8 Burial history-thermal evolution history of Mesozoic-Cenozoic reservoir rocks in Well YM21 in Yingmaili area

5 结 论

(1) 英买力地区中生界—新生界储层中石油包裹体以发蓝色、蓝白色、亮黄色、弱黄色荧光为主,结合包裹体产状、宿主矿物等特征差异,可划分为近蓝白色和近黄色 2 种荧光类型的石油包裹体组合。这 2 类包裹体组合在形成时间和成熟度上具有明显差异。

(2) 近黄色石油包裹体的红绿商 Q 在 0.48~0.65,色度指数 $CIE-X$ 和 $CIE-Y$ 值在 0.345~0.360 和 0.358~0.375;近蓝白色石油包裹体的红绿商 Q 在 0.20~0.51,色度指数 $CIE-X$ 和 $CIE-Y$ 值在 0.302~0.333 和 0.325~0.352。反映出前者的成熟度要明显低于后者,据此可明确划分出 2 期油气成藏。

(3) 与发近蓝白色和近黄色荧光石油包裹体伴生的盐水包裹体均一温度的主峰值分别在 120~130°C 和 80~90°C。结合英买力地区埋藏史和热演化史模拟结果,确定了 2 个成藏期次:第 1 期在 8~5 Ma,以形成常规油藏为主,石油包裹体发近黄色荧光;第 2 期在 3 Ma 以来,以形成凝析油气藏为主,石油包裹体发近蓝白色荧光。

参 考 文 献

[1] 卢焕章,范宏瑞,倪培,等. 流体包裹体[M]. 北京:科学出版社,2004.
Lu Huanzhang, Fan Hongrui, Ni Pei, et al. Fluid inclusions[M]. Beijing: Science Press, 2004.

[2] Parnell J. Potential of palaeofluid analysis for understanding oil charge history[J]. *Geofluids*, 2010, 10(1): 73-82.

[3] 卓勤功,宋岩,倪培,等. 油气藏研究中流体包裹体应用的几点体会[J]. *天然气地球科学*, 2011, 22(1): 130-136.
Zhuo Qingong, Song Yan, Ni Pei, et al. Experiences on application of fluid inclusion in research of reservoir [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2011, 22(1): 130-136.

[4] 平宏伟,陈红汉,Thiery R. 石油包裹体热动力学模拟古压力改进:饱和和压力预测和体积校正[J]. *地球科学:中国地质大学学报*, 2013, 38(1): 147-159.
Ping Hongwei, Chen Honghan, Thiery R. Improvement on paleo-pressure prediction using petroleum inclusions Thermodynamic modeling: Saturaitcn pressure prediction and volume calibration [J]. *Earth Science: China University of Geosciences*, 2013, 38(1): 147-159.

[5] Aplin A C, Larter S R, Bigge M A, et al. Pvtx history of the North Sea's Judy oilfield [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2000, 69-70: 641-644.

[6] 于岚,李文涛,陈红汉,等. 临清拗陷东部石炭—二叠系流体包裹体特征及油气充注期次研究[J]. *中国石油大学学报:自然科学版*, 2012, 36(6): 32-38.
Yu Lan, Li Wentao, Chen Honghan, et al. Characteristics of fluid inclusions and hydrocarbon charging period of Carboniferous-Permian reservoirs in the eastern Linqing depression [J]. *Journal of China University of Petroleum*, 2012, 36(6): 32-38.

[7] 斯尚华,陈红汉,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 Shanghua, Chen Honghan, Feng Yong, 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.

[8] 张水昌,张宝民,李本亮,等. 中国海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.

[9] 刘可禹, Bourdet J, 张宝收, 等. 应用流体包裹体研究油气成藏——以塔中奥陶系储集层为例[J]. *石油勘探与开发*, 2013, 40(2): 171-180.
Liu Keyu, Bourdet J, Zhang Baoshou, et al. Hydrocarbon charge history of the Tazhong Ordovician reservoirs, Tarim Basin as revealed from an integrated fluid inclusion study [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2013, 40(2): 171-180.

[10] 田作基,宋建国. 塔里木库车新生代前陆盆地构造特征及形成演化[J]. *石油学报*, 1999, 20(4): 7-13.
Tian Zuoji, Song Jianguo. Tertiary structure characteristics and evolution of kuche foreland basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1999, 20(4): 7-13.

[11] 卢华复,陈楚铭,刘志宏,等. 库车再生前陆逆冲带的构造特征与

- 成因[J]. 石油学报, 2000, 21(3): 18-24.
- Lu HuaFu, Chen Chuming, Liu Zhihong, et al. The structural features and origin of the Kuqa rejuvenation foreland thrust belt [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2000, 21(3): 18-24.
- [12] 贾承造, 宋岩, 魏国齐, 等. 中国中西部前陆盆地的地质特征及油气聚集[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 3-13.
- Jia Chengzao, Song Yan, Wei Guoqi, et al. Geological features and petroleum accumulation in the foreland basins in central and western China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2005, 12(3): 3-13.
- [13] 赵孟军, 宋岩, 秦胜飞, 等. 中国中西部前陆盆地多期成藏、晚期聚气的成藏特征[J]. 地学前缘, 2005, 12(4): 525-533.
- Zhao Mengjun, Song Yan, Qin Shengfei, et al. The multi stage formation of oil gas pools and late stage accumulation of gas in the foreland basins in central and western China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2005, 12(4): 525-533.
- [14] 张斌, 崔洁, 顾乔元, 等. 塔北隆起西部复式油气区原油成因与成藏意义[J]. 石油学报, 2010, 31(1): 55-60.
- Zhang Bin, Cui Jie, Gu Qiaoyuan, et al. Oil origin classification in composite hydrocarbon accumulation play in the western Tabei Uplift and its geological significance [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2010, 31(1): 55-60.
- [15] 赵孟军, 王招明, 张水昌, 等. 库车前陆盆地天然气成藏过程及聚集特征[J]. 地质学报, 2005, 79(3): 414-422.
- Zhao Mengjun, Wang Zhaoming, Zhang Shuichang, et al. Accumulation and features of natural gas in the Kuqa Foreland Basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2005, 79(3): 414-422.
- [16] 杨树春, 卢庆治, 宋传真, 等. 库车前陆盆地中生界烃源岩有机质成熟度演化及影响因素[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(6): 770-777.
- Yang Shuchun, Lu Qingzhi, Song Chuazhen, et al. Evolution of Mesozoic source rock's organic maturation in Kuqa foreland basin and its influence factors [J]. *Oil & Gas Geology*, 2005, 26(6): 770-777.
- [17] 朱光有, 杨海军, 张斌, 等. 油气超长运移距离[J]. 岩石学报, 2013, 29(9): 3192-3212.
- Zhu Guangyou, Yang Haijun, Zhang Bin, et al. Ultra-long distance migration of hydrocarbon [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(9): 3192-3212.
- [18] 郝雪峰, 陈红汉, 高秋丽, 等. 东营凹陷牛庄砂岩透镜体油气藏微观充注机理[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2006, 31(2): 182-190.
- Hao Xuefeng, Chen Honghan, Gao Qiuli, et al. Micro charging processes of hydrocarbon in the Niuzhuang lentoid sandy reservoirs, Dongying depression [J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 2006, 31(2): 182-190.
- [19] 赵艳军, 陈红汉. 油包裹体荧光颜色及其成熟度关系[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2008, 33(1): 91-96.
- Zhao Yanjun, Chen Honghan. The relationship between fluorescence colors of oil inclusions and their maturities [J]. *Earth Science: Journal of China University of Geosciences*, 2008, 33(1): 91-96.
- [20] Dumke I, Teschner M. Application of fluorescence spectroscopy to geochemical correlation problems [J]. *Organic Geochemistry*, 1988, 13(4/6): 1067-1072.
- [21] 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.
- [22] 平宏伟, 陈红汉, 宋国奇, 等. 东营凹陷北带民丰洼陷深层凝析油藏成藏史及其勘探意义[J]. 石油学报, 2012, 33(6): 970-977.
- Ping Hongwei, Chen Honghan, Song Guoqi, et al. Accumulation history of the deeply buried condensate reservoir in Minfeng sag of the northern Dongying depression and its exploration significance [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2012, 33(6): 970-977.
- [23] 赵艳军, 陈红汉, 李华明. 显微荧光光谱技术在油包裹体研究中的应用——以三塘湖盆地石炭—二叠系火山岩油气藏为例[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2010, 40(6): 31-37.
- Zhao Yanjun, Chen Honghan, Li Huaming. Application of fluorescence spectra to oil inclusion study: take the carboniferous Permian volcanic reservoir of Santanghu basin for example [J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2010, 40(6): 31-37.
- [24] 李纯泉, 陈红汉, 刘惠民. 利用油包裹体微束荧光光谱识别油气充注期次[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2010, 35(4): 155-160.
- Li Chunquan, Chen Honghan, Liu Huimin. Identification of hydrocarbon charging events by using micro-beam fluorescence spectra of petroleum inclusions [J]. *Earth Science: Journal of China University of Geosciences*, 2010, 35(4): 155-160.
- [25] 方欣欣, 甘华军, 姜华, 等. 利用石油包裹体微束荧光光谱判别塔北碳酸盐岩油气藏油气充注期次[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2012, 37(3): 194-200.
- Fang Xinxin, Gan Huajun, Jiang Hua, et al. Analyzing hydrocarbon-charging periods of carbonate reservoir in north Tarim by micro fluorescence spectrum of petroleum inclusions [J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 2012, 37(3): 194-200.
- [26] 陶士振, 秦胜飞. 塔里木盆地克依构造带包裹体油气地质研究[J]. 石油学报, 2001, 22(5): 16-22.
- Tao Shizhen, Qin Shengfei. Study on oil-gas geology of inclusions in Keyi structural zone in Tarim basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2001, 22(5): 16-22.

(收稿日期 2014-06-01 改回日期 2014-09-20 责任编辑 张怡)