

文章编号:0253-9985(2010)01-0063-06

塔中 I 号带奥陶系烃包裹体荧光特征与成藏期

张 鼎¹,赵瑞华²,张蒂嘉¹,Liu Keyu³,陈延贵²,邢永亮²

(1. 中国石油天然气股份有限公司 石油勘探开发研究院,提高石油采收率国家重点实验室,北京 100083;

2. 中国地质大学,北京 100083; 3. CSIRO Petroleum, P. O. Box 1130, Bentley, WA 6102, Australia)

摘要:根据显微镜下烃包裹体的荧光特征、与方解石脉的穿插关系以及均一温度等特征,将塔中 I 号坡折带奥陶系储层中发育的烃包裹体划分为 4 个期次;结合塔中地区区域构造演化特点,研究区四期烃包裹体分别对应着 4 个油气成藏期次,即志留纪末低成熟油形成时期,海西晚期生油期,早喜马拉雅期凝析油-湿气形成期,喜马拉雅期后期干气阶段。这 4 期烃包裹体在塔中 I 号带奥陶系储层中具有明显的分带性,由东南浅埋藏油区向西北深埋油区将塔中 I 号带奥陶系储层包裹体分布情况分成 4 个区域,其中第Ⅲ、Ⅳ期烃包裹体古油对现在油气藏起决定作用。

关键词:荧光特征;成藏期次;奥陶系;烃包裹体;塔中 I 号坡折带

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Fluorescence characteristics of the Ordovician hydrocarbon inclusions in the Tazhong- I slope-break zone and the timing of hydrocarbon accumulation

Zhang Nai¹, Zhao Ruihua², Zhang Dijia¹, Liu Keyu³, Chen Yangui², and Xin Yongliang²

(1. State Key Laboratory of Enhanced Oil Recovery, PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and

Development, Beijing 100083, China; 2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

3. CSIRO Petroleum, Bentley, West Australia 6102, Australia)

Abstract: Hydrocarbon inclusions in the Ordovician in the Tazhong- I slope-break zone can be divided into four episodes of development according to their fluorescence characteristics, intercalating relationship with calcite vein, and homogeneous temperature, and so on. Based on the tectonic evolution of the area, it is believed these episodes correspond to four episodes of hydrocarbon pooling: low maturity oil accumulation at the end of Silurian, oil generation in the late Hercynian, condensate oil and wet gas accumulation in the early Himalaya, and dry gas accumulation in the late Himalayan. The distribution of these four episodes of inclusions presents clear zonation in the Ordovician reservoirs in the Tazhong- I belt. Four zones are recognized from the shallow oil reservoir in the southeast to the deep oil reservoirs in the northwest. It is suggested that the fossil oil from the episode Ⅲ and Ⅳ played a dominant role in the formation of present hydrocarbon accumulations.

Keywords: fluorescence characteristic, pooling episode, Ordovician, hydrocarbon inclusion, Tazhong- I slope-break zone

塔中 I 号坡折带位于塔里木盆地塔中古隆起北缘,呈北西-南东走向,具有东高西低的构造格局,是早奥陶世末一晚奥陶世早期形成的大型逆冲断裂带。寒武系-下奥陶统优质烃源岩、上奥陶统烃源岩以及古油藏裂解气,是形成塔中 I 号坡

折带礁滩复合体大型凝析气藏的主要烃源。通过包裹体资料研究^[1,2]塔中奥陶系油气藏的成藏期次和油源性质的文章很多,但争议也较大。

芳烃光谱技术始于 20 世纪 70 年代前苏联,我国于 20 世纪 80 年代引进芳烃光谱技术,并用

于油气样品的分析。岩石中的有机质有 3 种存在形式,即晶包有机质、包裹体有机质和吸附有机质^[3]。包裹体有机质是存在于岩石烃包裹体内的有机物质,它在烃包裹体形成之后,没有物质的带入与带出,直接反映了当初成藏流体中烃类物质的类型、丰度及演化程度等特征。烃包裹体的类型、发育程度、宿主矿物成岩序列、烃包裹体的荧光特征可以使我们在较短时间内了解该样品所代表储层的油气充注幕次和丰度、油气性质和成熟度,识别(古)含油饱和度,所以对烃包裹体荧光特征分析已成为研究油气田信息中的重要依据^[4~11]。

1 烃包裹体荧光特征及期次

通过对 15 口井 2 980 块薄片的烃包裹体系统观察,依据含烃包裹体方解石胶结物生长关系和含烃包裹体方解石脉与愈合缝的穿插关系、烃包裹体荧光特征、烃包裹体伴生盐水包裹体温度特征,将塔中 I 号带奥陶系成藏烃包裹体可分成 4 期。

第 I 期黑色液烃包裹体:不发荧光或发极弱的灰白色荧光,是一次低成熟度油的活动。因第 I 期烃包裹体主要在早期构造成因的方解石脉体中大量存在(图 1a),在亮晶方解石中很少见到。

第 II 期极浅褐色液烃包裹体:浅褐色、小气液比、发黄色和白色两种荧光的烃包裹体共生(图 1b)。第 II 期烃包裹体普遍存在但含量不高,赋存在大溶孔内边部充填的方解石中并顺方解石结晶生长纹分布。

第 III 期灰色气液烃包裹体:褐灰色、紫外荧光下常发亮蓝色荧光、气液比 5%~25%,见有气态

烃包裹体伴生,说明油气成熟度较高。主要分布在一组共轭愈合缝中(图 1c)或在高角度构造方解石脉中。第 III 期烃包裹体最大特点是在塔中 I 号带各井下奥陶统鹰山组及中上奥陶统良里塔格组中常见且含量高,是塔中 I 号带奥陶系灰岩储层的重要成油期。

第 IV 期烃包裹体:有两种烃包裹体,一是发黄色荧光的褐色气液烃包裹体,二是黑色气烃包裹体,大量气态烃包裹体的出现说明油气运移时有天然气的直接充注。第 IV 期烃包裹体主要分布在晚期构造缝半充填的方解石中(图 1d),这些晚期剪切性构造缝与喜马拉雅期运动有关。第 IV 期烃包裹体虽然各井都有发现,但只在塔中 I 号坡折带奥陶系高部位 TZ24, TZ26, TZ62, TZ82 工业高产井中大量赋存。

2 单个烃包裹体荧光分析及意义

利用荧光显微镜观察有机包裹体的荧光颜色与明暗程度,可以大致鉴别油气演化阶段^[8]。第 I 期烃包裹体呈黑色液烃,为低成熟油特征,说明油气进入石油窗阶段。第 II 期液态烃有机包裹体发强的浅黄色荧光,表明包裹体中主要是较重烃组分,处于生油初期。第 III 期烃包裹体发强蓝色、蓝白色荧光,表明包裹体中轻组分多,处于生油晚期或凝析油—湿气阶段。第 IV 期液烃包裹体发棕色、褐黄等较强荧光,并常见含重组份的多相液烃包裹体,则处于生油高峰期,大量气烃包裹体伴生则演化程度已达干气阶段。将各期烃包裹体荧光特征、均一温度与塔中 1 号坡折带奥陶系古油藏演化程度列于表 1 中。

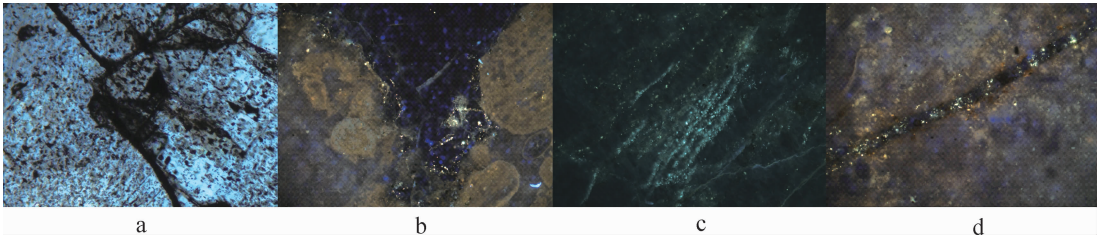


图 1 不同期次烃包裹体的特征

Fig. 1 Characteristics of hydrocarbon inclusions of different episodes

a. 方解石脉中第 I 期烃包裹体, TZ 30, 4 986. 5 m; b. 溶孔内边部充填的方解石中的第 II 期烃包裹体, 紫外荧光下, TZ62, 4 279. 2 m; c. 愈合缝中第 III 期烃包裹体, 紫外荧光下, TZ62, 4 711. 03 m; d. 第 IV 期烃包裹体, 紫外荧光下, TZ62 井, 4 714. 9 m

表 1 烃包裹体特征与油气演化程度评价参数

期次	相态	颜色	荧光	均一温度/℃	油气演化阶段
第 I 期	纯液态烃	黑色	极暗灰色	70 ~ 90	进入石油窗
第 II 期	液态烃	极浅红色	黄色	90 ~ 110	石油大量形成阶段
第 III 期	气液态烃	灰色	蓝色	100 ~ 110	凝析油湿气阶段
第 IV 期	液态烃和气烃	褐色	褐色	110 ~ 135	调整生气阶段

用徕卡 SP5 型三通道光谱型激光扫描共聚焦显微镜测试塔中奥陶系储层中第Ⅱ,Ⅲ,Ⅳ期发荧光的烃包裹体,因仪器测试波长范围在 350 ~ 720 nm,所测荧光发射谱图少了 300 ~ 350 nm 低波段,所以用高波段中心点对应的波数代替 $\lambda_{1/2} I_{\max}$ 与 $\lambda_{\max}$ 做关系图(图 2)。塔中 I 号坡折带东边 TZ24

井至 TZ822 井良里塔格组第Ⅲ期烃包裹体油质最轻(图 2a),基本属于轻质油组分,早一点形成的第Ⅱ期烃包裹体油质比第Ⅲ期略重,属中质油组分,烃源岩随时间的推移和埋深的加大成熟度变高,油气演化由重质稠油到轻质油是很正常的,故第Ⅱ期和第Ⅲ期的油气组分变轻、成熟度变高也体现了古油藏油气运移的正常演化过程。

第Ⅳ期烃包裹体从轻质组份到重质组份都有,并明显比第Ⅲ期烃包裹体油质组分变稠,这与 TZ24 井至 TZ822 井现在为凝析油气相矛盾,但第Ⅳ期烃包裹体中见大量气态烃包裹体又与现在为凝析油气相一致。油源来自目前正处于生油高峰期的塔中低凸起上的上奥陶统良里塔格组底部泥灰岩? 还是第Ⅲ期烃包裹体对应形成的古油藏进一步分解调整的产物?

在塔中 I 号带南侧的塔中 83 井区,鹰山组也发现大量的第Ⅲ期烃包裹体,荧光特征(图 2b)显示与 TZ24 井至 TZ822 井良里塔格组第Ⅲ期包裹体一样,属高成熟的轻质油,可见有相同的油性。

塔中 I 号带西端 TZ45 井区萤石中第Ⅲ期烃包裹体与 TZ24 井至 TZ822 井良里塔格组第Ⅲ期包裹体油性有区别,更显中质油性(图 2c),是否说明第Ⅲ期古油藏油来源在塔中 I 号带西端 TZ45 井区而又不同于东端 TZ24 - TZ822 区块?

3 颗粒荧光分析

澳大利亚联邦科学及工业研究组织(CSIRO)石油资源研究所设计了颗粒荧光仪^[12-17],建立了 QGF (quantitative grain fluorescence), QGF - E (quantitative grain fluorescence on extract), TSF (total scanning fluorescence solvent extracts of inclusions) 荧光定量分析技术。该分析技术能快速探测储层颗粒中油包裹体和颗粒表面吸附烃,从而反映储层中油气包裹体丰度及油气的性质,且相对经济、不破坏样品。本次测试样品使用的是一

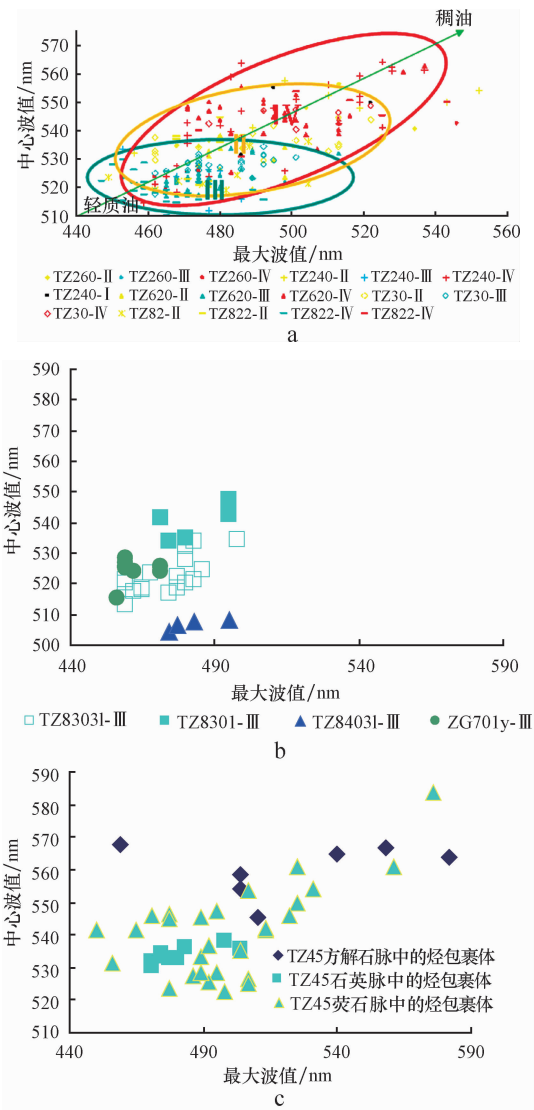


图 2 发荧光烃包裹体油性

Fig. 2 Properties of oil from hydrocarbon inclusions with fluorescence

台具灵敏度较高的 Varian Cary Eclipse 颗粒荧光仪进行的。

QGF 技术^[12,13]是使用短波长的紫外光,测量岩石颗粒内部包裹体中烃类流体发出的荧光强度来确定古油性质。塔中 I 号带奥陶系良里塔格组储层灰岩方解石胶结物内烃包裹体的 QGF 特征具明显区块性,塔中 I 号带东部的 TZ26 井—TZ62 井具双峰(410,500 nm)并以高波数峰突出(图 3a),预示高波数段稠油荧光较强显示,体现两期以上烃包裹体并有一定稠油组分,镜下观察 TZ26—TZ62 井奥陶系良里塔格组第Ⅳ期褐黄色烃包裹体含量高一致,TZ26 井—TZ62 井的奥陶系良里塔格组储层埋深浅,这 3 口井都为工业性油田,可见第Ⅳ期稠油烃包裹体对形成工业油田有贡献。沿塔中 I 号带向西 TZ30—TZ822 井区 3 口井有 TZ30 和 TZ822 两口井是显示井,QGF 也是双峰(图 3b),但低波数峰较明显,镜下观察 TZ30 和 TZ822 井奥陶系良里塔格组第Ⅲ期发蓝白色荧光烃包裹体含量高,而第Ⅳ期烃包裹体含量较低,第Ⅲ期烃包裹体形成时的大量古油并没导致高产油田。

塔中 83 区块下奥陶统鹰山组方解石中烃包裹体颗粒荧光分析结果显示(图 3c):双峰不明显、低波数峰(420 nm)更为突出,其成藏与良里塔格组有一定的区别。显微镜下 TZ83 和 TZ84 井奥陶系鹰山组第Ⅲ期发蓝白色荧光烃包裹体含量高,未见第Ⅳ期褐色烃包裹体,预示大量第Ⅲ期烃包裹体形成时的古油气在深部鹰山组得以保存。

塔中 I 号带西端 TZ45 井区上奥陶统良里塔格组萤石中的烃包裹体颗粒荧光强度大、单峰(图 3d),表现出有一期烃包裹体占主份量,但颗粒荧光波峰高峰波数在 470 nm,与前面几口井的第Ⅲ期烃包裹体颗粒荧光特征有区别。显微镜下 TZ45 萤石中的含有大量发蓝白色荧光第Ⅲ期烃包裹体,第Ⅲ期古油藏被很好地保存至今,但在油源上可能与塔中 I 号坡折带其它井第Ⅲ期古油有区别。

塔中 I 号带烃包裹体油气的三维扫描荧光图(TSF)也具有明显的区块性,奥陶系良里塔格组高产井 TZ26,TZ24,TZ62,TZ82 具有相近的图形(图 4a),多中心、重稠油;奥陶系良里塔格组显示井

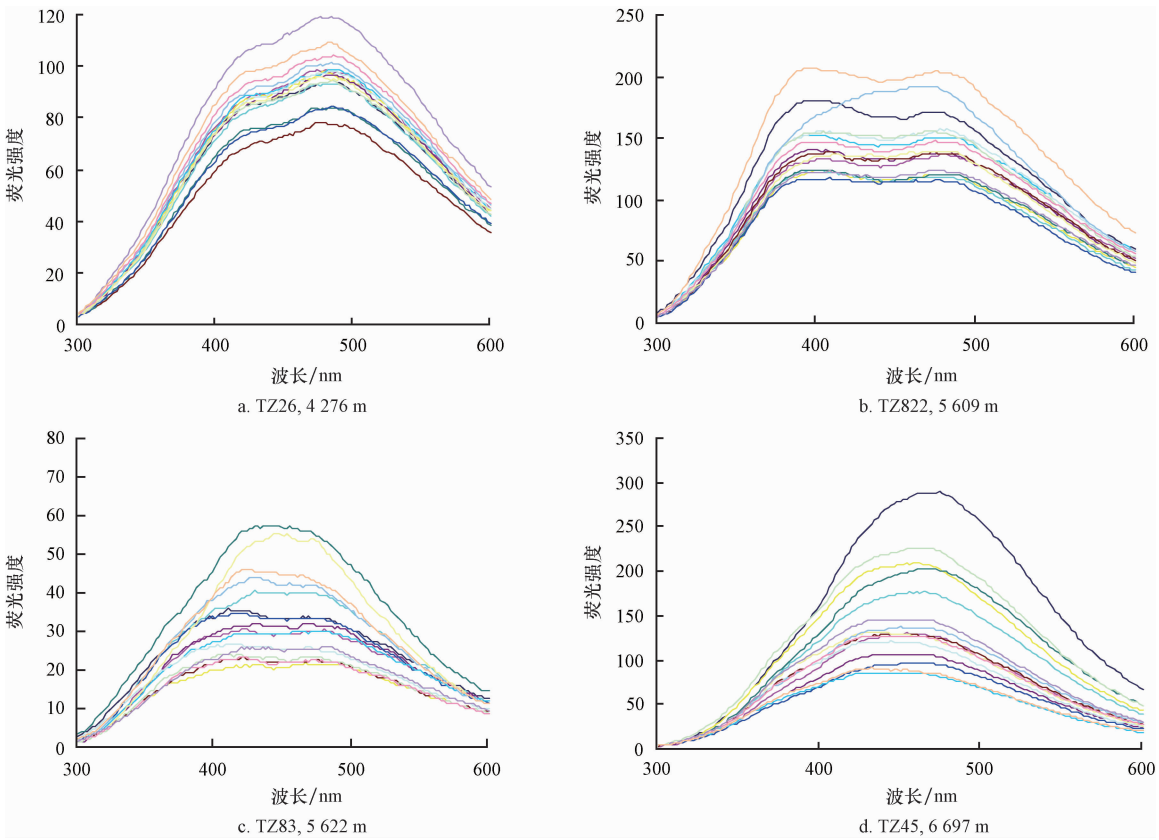


图 3 塔中奥陶系灰岩储层中方解石胶结物内包裹体的 QGF

Fig. 3 The QGF of inclusions in calcite cements of the Ordovician limestone reservoirs in Tazhong area

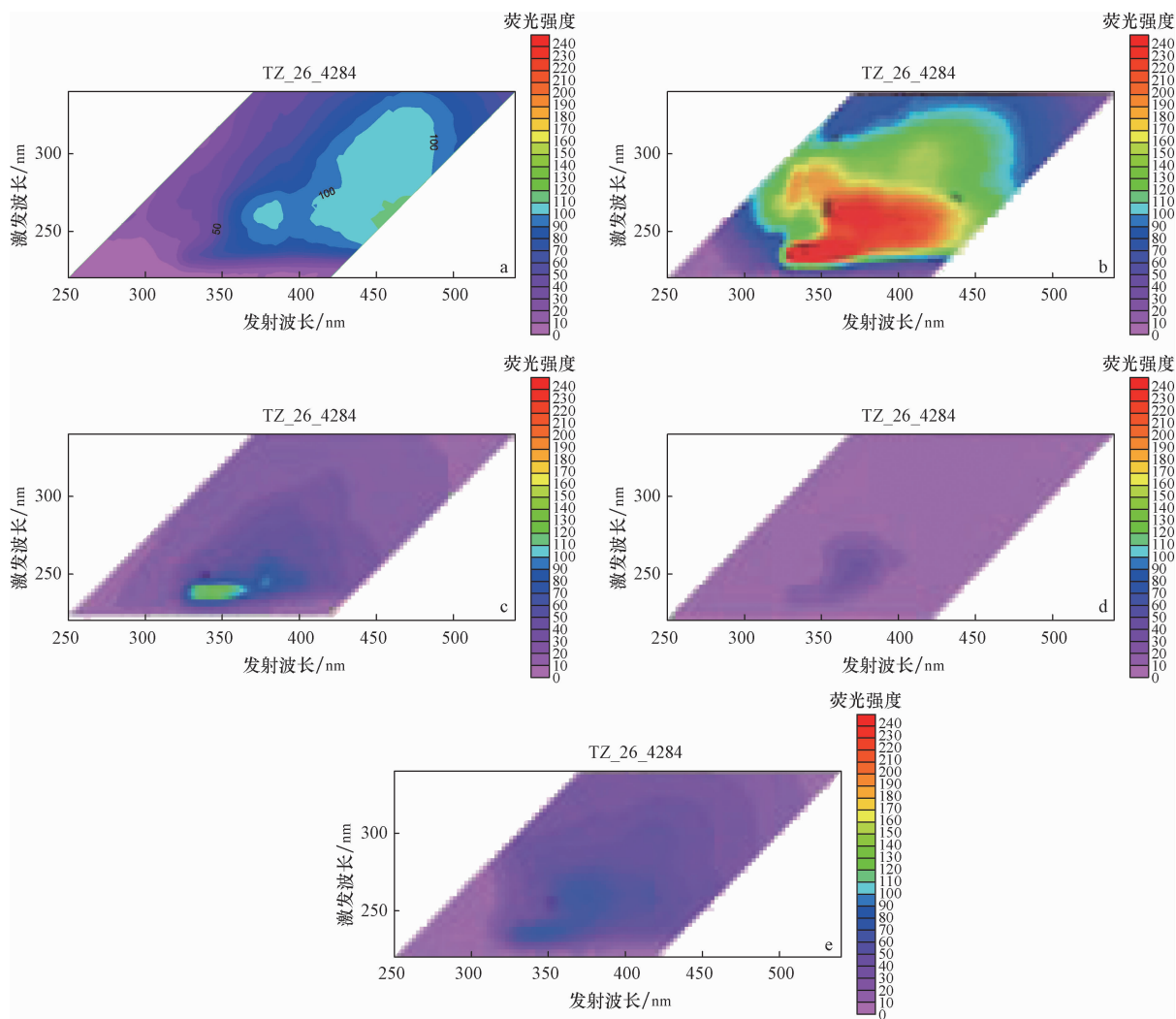


图4 塔中 I 号带烃包裹体 TSF 图

Fig. 4 The TSF graph of hydrocarbon inclusions from the Tazhong- I break-slope zone

TZ30, TZ822 图形相近(图 4b), 多中心、强荧光; TZ45 井萤石中的烃包裹体以单中心为主(图 4c), 这与颗粒荧光结论非常吻合。

TZ83 井区下奥陶统鹰山组的 TSF(图 4d)与奥陶系良里塔格组的 TSF(图 4e)相同, TZ83 井区良里塔格组和鹰山组中的烃包裹体均以第Ⅲ期烃包裹体为主, 可见二者的古油气演化史是一致的。

三维扫描荧光得出 $\lambda_{\max}$ 和 $\lambda_{1/2} I_{\max}$ 等荧光参数由油性决定^[18], 原油 $\lambda_{\max}$ 与 $\lambda_{1/2} I_{\max}$ 数据变大, 原油从凝析油变成稠油。塔中 I 号带中含第Ⅲ期烃包裹为主的 TZ83 井、TZ822 井落在凝析油区(图 5); 而含较多第Ⅳ期烃包裹体的 TZ24, TZ26, TZ62 主要落在中质-稠油区; TZ45 区块表现出凝析-轻质油特色。

4 结论

结合塔中区域构造演化与奥陶系储层中烃包裹体荧光特征, 4 期烃包裹体对应 4 个成藏期: 志留期末低成熟油沿奥陶系灰岩构造裂缝运移, 并在碳酸盐岩中储集, 形成了第 I 期黑色液烃包裹体; 海西晚期塔中地区烃源岩进入生油期, 第 II 期极浅褐色液烃包裹体可能是正常油活动在塔中奥陶系灰岩的痕迹; 第 III 期气液烃包裹体最大特点是在塔中 I 号带各井下奥陶统鹰山组及中、上奥陶统良里塔格组中均常见且含量高, 又因多赋存在晚期方解石脉中, 可能是早喜马拉雅期在塔中 I 号带奥陶系灰岩储层中的一次重要凝析油-湿气形成期; 第 IV 期烃包裹体大量气烃包裹体伴生则

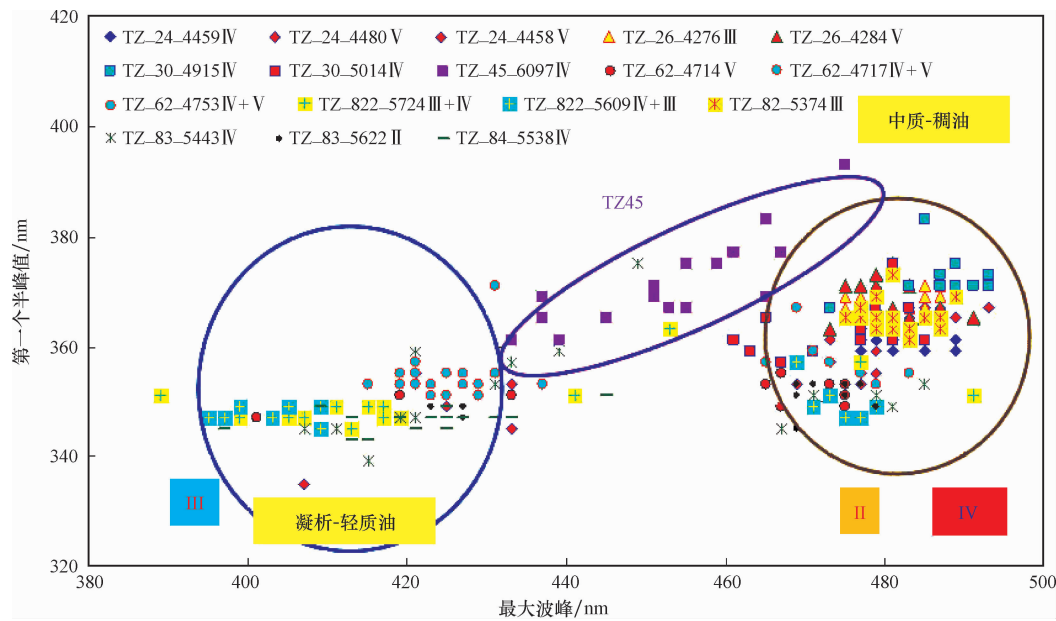


图 5 塔中 I 号带油田古油分布

Fig. 5 Fossil oil distribution in oilfields in the Tazhong- I break-slope zone

说明演化程度已达干气阶段,这是喜马拉雅期后期在高部位油气充注调整的结果。

这 4 期烃包裹体在塔中 I 号带奥陶系储层中具有明显的分带性,由东南浅埋藏油区向西北深埋油区将塔中 I 号带奥陶系储层包裹体分布情况分成 4 个区域。

第一个区域为东南浅层第Ⅲ期和第Ⅳ期成藏区,塔中 I 号带东南 TZ24,TZ26,TZ62 等奥陶系储层高产井以含大量第Ⅲ、Ⅳ期烃包裹体为特征,古油藏轻质油、稠油共有,第Ⅳ期稠油烃包裹体和气态烃包裹体的共生,说明现在凝析油藏可能为早期古油藏调整而成。

第二个区域为中间第Ⅲ期成藏和第Ⅳ期调整失利区,塔中 I 号带中区 TZ30,TZ822 等显示井以含大量第Ⅲ期烃包裹为特征,古油藏轻质油为主,未形成高产油可能与后期油调整移出有关。

第三个区域为西北第Ⅱ,Ⅲ期成藏区,塔中 I 号带西北区 TZ45 井第Ⅲ期烃包裹体对 TZ45 井油气起决定性作用,TZ45 井区第Ⅲ期烃包裹体与其它井的第Ⅲ期烃包裹体虽都发蓝白色荧光,但荧光指数不同,前者油性显中质,TZ45 井现在原油也与其它井不同,前者是挥发性油气藏,后者是凝析油气藏,说明 TZ45 井第Ⅲ期烃包裹体的成因上与其他井是有区别的。

第四个区域为内带第Ⅲ期成藏区,塔中 I 号

带 TZ83 井区的良里塔格组和鹰山组烃包裹体特征相同,以第Ⅲ期烃包裹体为主,第Ⅳ期烃包裹体极少,在 TZ83 井发现的高产油可能主要与第Ⅲ期轻质油有关。

参 考 文 献

1 庞雄奇,高剑波,吕修祥.塔里木盆地“多元复合—过程叠加”成藏模式及其应用[J].石油学报,2008,29(2):159~172
2 杨海军,韩剑发,陈利新.塔中古隆起下古生界碳酸盐岩油气复式成藏特征及模式[J].石油与天然气地质,2007,28(6):784~787
3 秦建中,金聚畅,刘宝泉.海相不同类型烃源岩有机质丰度热演化规律[J].石油与天然气地质,2005,26(2):177~184
4 赵力彬,黄志龙,高岗,等.关于用包裹体研究油气成藏期次问题的探讨[J].油气地质与采收率,2005,12(6):6~9,18
5 陶士振.塔里木盆地克拉工气藏流体包裹体与油气充注运移期次[J].石油实验地质,2002,24(5):437~440
6 朱桂海,Brooks J M.三维全扫描荧光光谱在海洋石油勘探中的应用[J].石油实验地质,1987,3(4):240~248
7 邹伟.三维荧光分析技术在东濮凹陷西斜坡油源分析中的应用[J].石油与天然气地质,2008,29(4):511~516
8 宋继梅,王凌峰.油气样品的固定波长同步荧光光谱特征研究[J].光谱学与光谱分析,2002,22(5):803~805
9 王郁,李咏梅.黄浦江底泥对多环芳烃吸附机理的研究[J].环境化学,1997,16(1):15~22
10 刘洛夫,王篮竺,徐新德.塔里木盆地群 5 井原油芳烃地球化学研究[J].沉积学报,1996,14(2):47~55