

塔河油田奥陶系油气成藏期次及年代学

陈红汉¹, 吴悠^{1,2}, 丰勇^{1,2}, 鲁子野¹, 胡守志¹, 云露³, 漆立新³

[1. 中国地质大学(武汉)资源学院石油与天然气工程系, 湖北武汉430074; 2. 长江大学地球科学学院, 湖北武汉432100; 3. 中国石化西北油田分公司, 新疆乌鲁木齐830011]

摘要:多旋回叠合盆地油气成藏期次和成藏时期研究对油气运聚与圈闭时空匹配关系具有十分重要的意义。文章首先综合运用原油/油包裹体分子地球化学、单个流体包裹体荧光特性和显微测温等油气成藏期次划分方法, 获得了塔河油田奥陶系发生了3期成藏的认识; 接着, 运用流体包裹体间接定年及 Re-Os 和 K-Ar 直接定年方法, 构筑了其奥陶系油气成藏年代学格架。结果表明, 塔河油田第一期成藏发生在加里东中-晚期(463.2~414.9 Ma), 第二期成藏发生在海西晚期(312.9~268.8 Ma), 第三期成藏发生在喜马拉雅期(22~4.8 Ma)。其中, 塔河主体发生了3期成藏, 而塔河外围仅发生了第一期和第2期两期成藏。深入剖析阿克库勒凸起受差异构造演化控制的成藏期次和成藏时期在空间上表现出的非均质性, 对塔里木盆地古生界其它构造带的勘探同样具有借鉴意义。

关键词:油气成藏期次; 年代学; 流体包裹体; 奥陶系; 塔河油田

中图分类号:TE122.3 **文献标识码:**A

Timing and chronology of hydrocarbon charging in the Ordovician of Tahe oilfield, Tarim Basin, NW China

Chen Honghan¹, Wu You^{1,2}, Feng Yong^{1,2}, Lu Ziyue¹, Hu Shouzhong¹, Yun Lu³, Qi Lixin³

(1. Department of Petroleum Geology & Engineering, Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China; 2. School of Geosciences, Yangtze University, Wuhan, Hubei 432100, China; 3. Northwest Oilfield Company, SINOPEC, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: It is of great significance for study of the temporal-spatial coupling of hydrocarbon migration and accumulation with trap formation to investigate the timing and chronology of hydrocarbon charging in multi-stages superimposed basins. This study, firstly, employed the analytic methods of crude oil and oil inclusion molecular geochemistry, single fluid inclusion microspectrofluorimetric and thermal maturity assessment, and microthermistry to determine the timing of hydrocarbon charging in the Ordovician strata of Tahe oilfield. The results show that the hydrocarbons in the Ordovician were charged in three periods. Secondly, the indirect dating method of aqueous inclusion and the direct dating method of stable radioactive isotope of Re-Os and K-Ar were used to establish the chronological sequence: the first charging event took place during the Middle to Late Caledonian (463.2–414.9 Ma), the second charging event happened during the Late Hercynian (312.9–268.8 Ma), and the third charging event occurred during the Himalaya (22–4.8 Ma). All the three events occurred in the main Tahe oilfield, but only the first and third events developed in the peripheral areas of Tahe oilfield, such as Aiding, Tuoputai and South Tahe areas. Obviously, a deep understanding of the heterogeneity of hydrocarbon charging events and chronology in Tahe oilfield, which were controlled by differential structure evolution, will be helpful for hydrocarbon exploration in the Ordovician of other structural belts of Tarim Basin.

Key words: timing of hydrocarbon charging, chronology, fluid inclusion, Ordovician, Tahe oilfield

塔河油田是1990—1997年发现的我国第一个古生界海相大型整装油气田^[1-4]。截止2013年底, 探明油气储量达 13.2×10^8 t; 尽管其含油气层位包括三叠

系、石炭系和奥陶系, 但奥陶系碳酸盐岩中的油气储量占其总探明储量的近90%以上^[5]。

众所周知, 塔里木盆地是一个典型多旋回叠合的

收稿日期: 2014-11-14; 修订日期: 2014-11-20。

第一作者简介: 陈红汉(1962—), 男, 教授、博士生导师, 油气成藏过程研究和流体包裹体系统分析。E-mail: hhchen@cug.edu.cn。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(2012CB214804); 国家科技重大专项(2008ZX05008-003)。

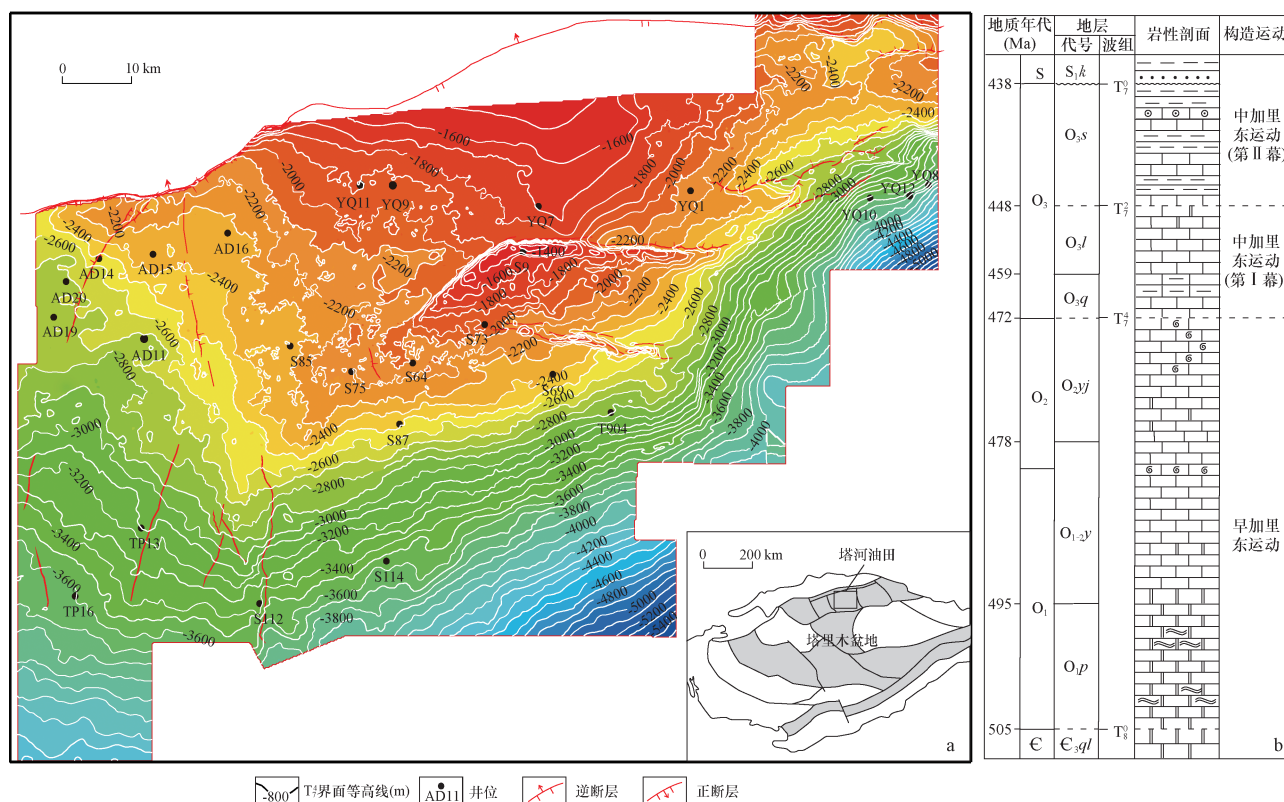


图1 塔河油田 T₄ 界面构造(a)及奥陶系岩性综合柱状图(b)

Fig. 1 T₄ structural map showing the sampling well locations(a) and the Ordovician lithological column (b) in Tahe oilfield, Tarim Basin

克拉通盆地^[6-7],而塔河油田位于塔里木盆地北部沙雅隆起阿克库勒凸起(图1),经历了5期重要的构造变革和叠加演化历史^[8],造就了“多源供烃、多期成藏、混合调整”的复杂油气成藏过程。前人对塔河大油气田形成的地质条件及主控因素^[9-11]、油气来源和充注历史^[12-16]以及油气成藏机制与富集规律^[17-19]等进行了系统总结和分析,为近年来的塔河油田外围(于奇北、艾丁、托普台和塔河南)拓展奠定了基础^[20-23]。然而,长期以来有关塔河油田奥陶系的油气成藏期次和成藏时期,许多学者基于不同的技术和方法获得了不尽一致的结论。概况起来有以下几种情况。

1) 依据C₁-O₁和O₂₊₃两套烃源岩热成熟史^[18,24],认为塔河油田可能存在加里东晚期、海西晚期、印支期-燕山期和喜马拉雅期等4期成藏^[10]。

2) 基于油藏分子地球化学分析并结合流体包裹体均一温度-埋藏史投影定年,认为塔河油田发生2期油气成藏(早期429~415 Ma,晚期8~2 Ma^[12-13,16,25])或3期(2期油、1期天然气)成藏^[26]。

3) 运用群油包裹体爆裂法^[14,27]和单个油包裹体激光剥蚀法^[28]获得的油包裹体分子地球化学参数分类,表明塔河油田发生至少两期以上或两期油气成藏。

4) 在方解石脉切割关系和裂缝、溶(孔)洞充填胶

结物成岩序次约束下,运用流体包裹体系统分析(单个油包裹体荧光颜色及显微荧光光谱、显微测温测盐、PVTx热动力学模拟)和均一温度-埋藏史投影间接定年相结合的方法^[29-30],获得塔河油田发生了加里东晚期、海西晚期和喜马拉雅期等“五幕(4幕油、1幕气)三期”油气成藏的认识^[31-38]。

造成上述认识差异原因是多方面的,一是不同方法划分油气成藏期次和确定油气成藏时期的标准或“分辨率”是不一样的,而且各种方法都存在本身的局限性。譬如,油藏分子地球化学方法对于多源、多期混合原油的期次划分存在局限性;均一温度-埋藏史投影法对于多旋回埋藏史定年同样存在多解性和误差。二是由于差异构造演化导致阿克库勒凸起不同区块油气充注期次也存在非均质性。三是不同研究者分析的原油和流体包裹体样品数量、空间分布和代表性等也不尽相同,由此获得不同结论也是情理之中。四是不同学者对“成藏期”概念的厘定也不尽相同^[29]。传统上,成藏期是指油气运聚成藏的时期^[39]。然而,烃源岩生排烃期和圈闭充注期常常并不一致^[40]。因此,将油气运聚过程中在“温度(压力)、烃组分(生标)和成熟度”存在显著差异的“事件或标志”作为划分不同油气成藏时期的原则,这样才能够体现盆地构造阶段性演化对烃源岩热成熟史

的控制作用,进而控制油气成藏期次,并具有油气成藏动力学理论意义和油气运聚与圈闭时空匹配分析的实际价值^[29,39]。换句话说,油气成藏期次的划分是将“具有相同或相似成藏特征的事件归为同一期次,不同成藏特征的事件归为不同期次”。这就包含了两个方面的涵义:一是成藏期次的划分取决于划分的方法和参数,且具有一定的人为性;二是成藏期次的划分是相对的,就像一个 n 次的谐波合成的正弦曲线,同一成藏期次,只要划分准则的分辨率足够,就可以进一步划分为多个油气充注幕次。

本文在储层成岩作用研究基础上,运用油藏和油包裹体分子地球化学、单个油包裹体显微荧光成熟度、流体包裹体均一温度-埋藏史投影间接定年以及原油 $\text{Re}-\text{Os}$ 直接定年等多种技术和方法,对塔河油田奥陶系油气成藏期次和成藏时期进行进一步的厘定。

1 成岩序次

阿克库勒凸起经历了多期构造运动和近地表岩溶作用。加里东中期形成向北抬升、向南倾没的鼻状凸起锥形,全区遭受了短暂的、弱近地表岩溶作用(T_7^4 : $\text{O}_{2+3}/\text{O}_{1-2Y}$);加里东晚期由于构造抬升,区内高部位经历了 25 Ma 以上、强烈的近地表岩溶作用(T_6^0 : D/S);海西早期,受区域挤压应力作用,阿克库勒鼻状凸起再度抬升,全区遭受约 10 Ma 的大气淡水风化淋滤作用(T_5^7 : C/D),甚至下奥陶统碳酸盐岩遭受强烈溶蚀;海西晚期,阿克库勒凸起再次历经 72 Ma 的抬升,二叠系和上石炭统遭受剥蚀(T_3^0 : T/C),构造高部位下奥陶统暴露约 63 km^2 ,并直接与上覆三叠系角度不整合接触;印支期—燕山期,残留的奥陶系长期处于 2 000 m 左右的埋藏深度;至喜马拉雅晚期,阿克库勒凸起定型^[2,41](图 1)。

前人对塔河奥陶系孔洞和裂缝充填方解石成因及特征进行过深入研究^[42-43]。本研究在采集流体包裹体样品和薄片镜下观测的过程中,对样品的裂缝切割关系和胶结物的成岩序次进行了厘定。塔河油田奥陶系大量岩心观察表明,发育至少 2 组以上裂缝,早期裂缝(F1)充填方解石且发生了变形,晚期裂缝(F2)切割早期裂缝(图 2a);溶孔、溶洞全或部分充填方解石(图 2b);洞穴充填巨晶方解石(图 2d)。薄片透射光和阴极发光观察结果表明,方解石脉最多观察到 4 个世代(图 2d, d');溶洞充填方解石常见 2~3 世代(图 2e, e');交代微晶方解石的萤石(图 2f)和溶洞充填方解石的高温盐水包裹体(图 2g)。

总之,塔河油田奥陶系裂缝、溶孔、溶洞和洞穴充

填方解石胶结物不仅记录下盆地多幕(含烃)流体活动,而且反映出塔河油田奥陶系经历了“埋藏—抬升—埋藏—抬升—埋藏”的构造演化旋回以及晚期深埋藏阶段热(液)流体上升流作用。

2 油气成藏期次

2.1 原油分子地球化学分期

油气成藏的期次性归根结底受控于烃源岩热成熟演化历史。多年来研究成果揭示塔里木盆地地下古生界发育 C_1-O_1 和 O_{2+3} 两套海相烃源岩,但鉴于缺乏断代生标指纹、多源和多期混合、高成熟度(常规生标失效)以及生物降解等多因素作用,使得依据原油生标判识油源并分期仍存在困难。但塔河油田原油 $\text{GC}-\text{MS}$ 图谱上普遍显示的生物降解大鼓包(UCM)、25-降藿烷和完整的正构烷烃系列共存(图 3),以及族组成碳同位素发生倒转^[12,15]的事实,说明塔河油田至少发生两期油气成藏。

原油荧光特性(颜色、主峰波长 λ_{max} 、红绿商 Q 值和 QF_{535})可以刻画原油的成熟度^[31]。塔河油田奥陶系原油荧光光谱分析结果表明,存在 5 种不同成熟度原油(图 4)。其中①火红色荧光原油为强烈生物降解原油;②,③,④和⑤分别为黄绿色、蓝绿色、绿蓝色和亮蓝色荧光原油,代表成熟度不断增加的原油,可能为多期多源混合甚至遭受不同程度生物降解的最终结果,虽不能用来划分油气成藏期次,但至少反映了塔河油田奥陶系原油成熟度存在显著地非均质性。

2.2 油包裹体分子地球化学分期

与储层原油相比,包裹体油能够保留被捕获时的“状态”,避免了后期混合和生物降解的影响。单个油气包裹体激光拉曼探针组分分析揭示,塔河 1 区油藏可能至少存在 1 期以上的油气充注过程,塔河 2 区、3 区和 6 区则至少有 2 期以上的油气充注过程;塔河 3 区油气成熟度高于塔河 4 区^[27]。单个油包裹体激光剥蚀组分分析获得 T901 井奥陶系溶孔充填方解石中呈串珠状成群分布且发黄绿色-深黄色和蓝色-亮蓝色两种包裹体油组分,认为塔河油田东南部奥陶系油藏主要为两期成藏^[28]。遗憾的是文中未见这两种油包裹体的成岩序次约束。需要指出的是,单个油包裹体激光剥蚀组分分析虽能够有效获取不同期次包裹体油化学组分分析信息,但需要对大量样品中各种不同成岩序次中捕获的、不同荧光颜色油包裹体(譬如、黄绿色、蓝绿色等)开展分析,方能获得更加全面的认识。借助阴极发光成岩序次观

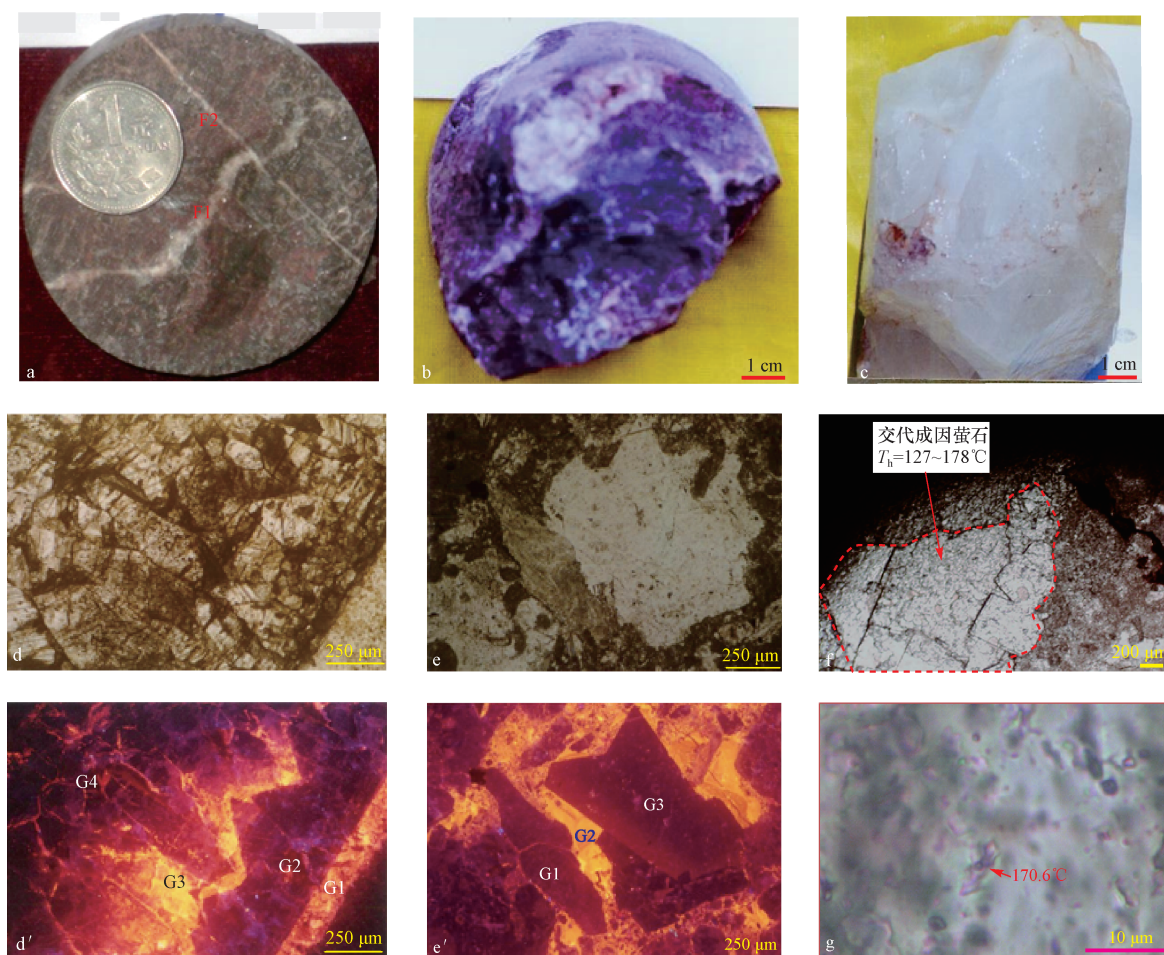


图2 塔河油田奥陶系岩心、薄片裂缝、溶孔和溶洞充填方解石胶结物成岩序次显微照片

Fig. 2 Micrograph of the Ordovician cores and thin sections showing the sequences of calcite cement filling in fractures, vugs and paleocaves in Tahe oilfield

a. YQ8 井,埋深 6 696.47 m, $O_{1-2}y$, 泥晶灰岩中发育两组裂缝,其中 F1 为早期裂缝且充填方解石和变形,F2 为后期裂缝且切割 F1 和充填方解石;
b. S87 井,埋深 5 527.60 m, O_{2+3} , 泥晶灰岩溶孔、溶洞充填方解石;c. S85 井,埋深 5 963.55 m, $O_{1-2}y$, 洞穴充填巨晶方解石;d, d'. S74 井,埋深 5 494.15 m, $O_{1-2}y$, 裂缝充填方解石脉,阴极发光下识别出 G1, G2, G3 和 G4 个世代,其中 G1 和 G3 为埋藏充填,G2 和 G4 为近地表充填①;
e, e'. S74 井,埋深 5 497.52 m, $O_{1-2}y$, 溶洞充填方解石,阴极发光下识别 G1, G2 和 G3 个世代,其中 G1 为近地表充填,G2 为埋藏充填,G3 为深埋藏充填;
f. S85 井,埋深 5 872.24 m, $O_{1-2}y$, 沿着微晶灰岩裂缝带发生热液交代萤石,流体包裹体均一温度 $T_h = 127 \sim 178^\circ\text{C}$; g. YQ8 井,埋深 6 624.20 m, $O_{1-2}y$, 溶洞充填方解石,盐水包裹体均一温度 $T_h = 170.6^\circ\text{C}$

察,运用单个油包裹体显微荧光光谱分析,不仅能够进行成熟度评价,而且为选择不同成熟度包裹体成分分析提供手段^[31]。然而,受样品尺寸限制,在同一块样品中常常观察到 2 种不同荧光颜色的油包裹体,有时仅观察到 1 种荧光颜色的油包裹体,少数样品中能观察到 3 种荧光颜色的油包裹体;因此,不能依据某一块样品中只观察到 1 种或 2 种荧光颜色的油包裹体,就得出 1 期或 2 期成藏。因为需要观察不同井、不同样品中各个方解石世代或不同产状中的油包裹体,综合分析其油气成藏期次。

塔河油田奥陶系大量流体包裹体样品荧光观察结果表明,具有火红色、深黄-黄色、黄绿-蓝绿色、亮蓝色等多种颜色的油包裹体(图 5)。它们不仅具有不同的成熟度,而且其化学成分也存在差异,反映出多期成

藏。本研究选取塔河油田奥陶系油包裹体十分发育的 6 件样品(表 1),通过“微钻—过滤—研磨—离线气相色谱—2D 飞行质谱”分析流程,首先获取了这些样品同一期次油包裹体的饱和烃+芳烃气相色谱图(图 6),其次获取了 YQ8 井发亮蓝色荧光油包裹体的 2D 飞行质谱图(图 7)。

从图 6 可以看出:①部分油包裹体在捕获之前就已经发生了生物降解(图 6c, d);②YQ9 井埋深 5 755.82 m 处的黄色荧光油包裹体(图 6a)与 S75 井埋深 5 685.91 m 处的黄色荧光油包裹体(图 6b)饱和烃和芳烃成分高度相似,为同源同一期次捕获的;③YQ8 井埋深 6 629.91 m 处的亮蓝色荧光油包裹体(图 6c)在饱和烃和芳烃组成上与其他样品存在显著差异,可能为早期来源于 C_1-O_1 的烃源。

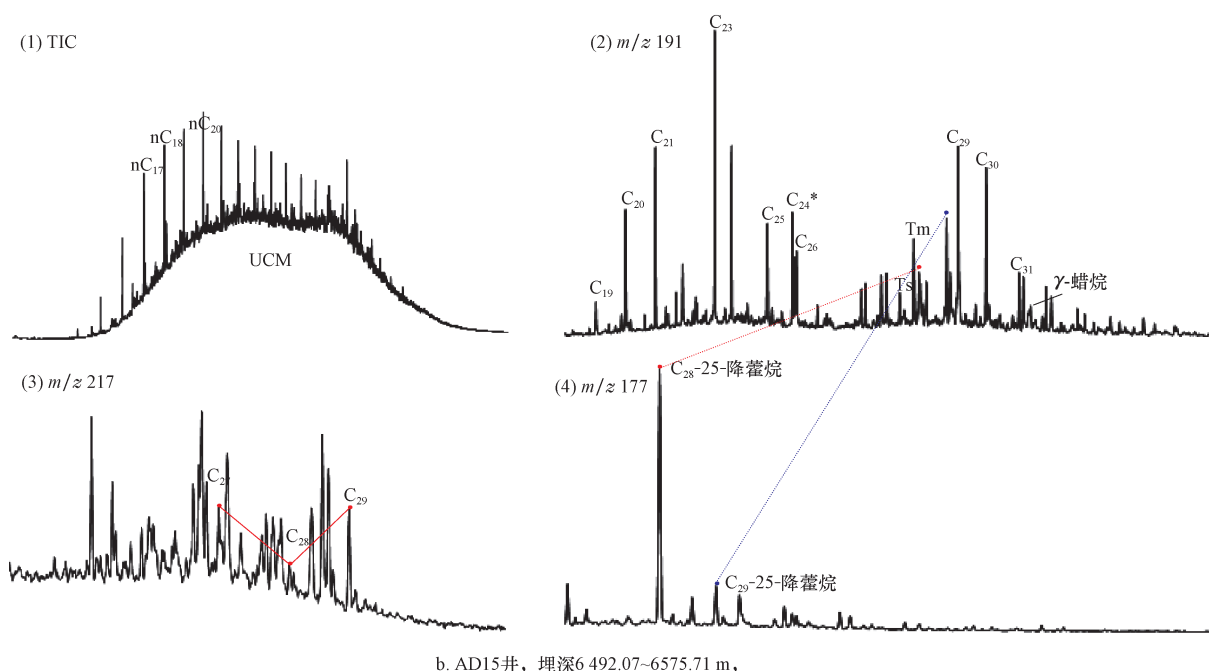
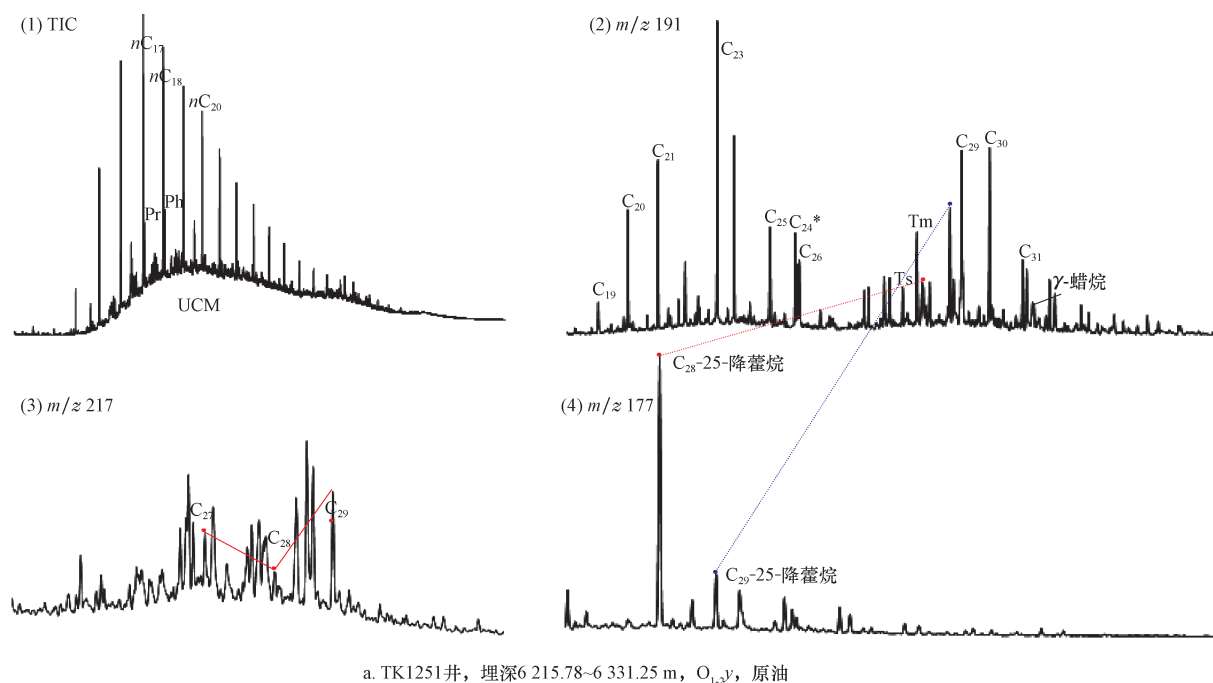


图3 塔河油田鹰山组原油 GC-MS 图谱

Fig. 3 GC-MS spectrums of crude oil in Yingshan Formation of Tahe oilfield

从图7可以看出,YQ8井埋深6 629.91 m方解石脉(图2a)中发亮蓝色荧光油包裹体(图5d)生标特征概况为,①正构烷烃和类异戊二烯烃的分布:Pr/Ph = 0.97, Pr/nC₁₇ = 0.57, Ph/nC₁₈ = 0.47, Ph/nC₁₈ - Pr/nC₁₇ = -0.1;②长链三环萜和四环萜的分布:C₂₁/C₂₃ < 1, C₂₄/C₂₆ = 0.64,指示可能存在碳酸盐岩烃源岩贡献;③25-降藿烷的检出表明包裹体油曾经发生了生物降解,指示高γ-蜡烷含量;④αααR规则甾烷分布C₂₇ > C₂₈ > C₂₉,且αααRC₂₈甾烷含量较高(37%)。由此认为,类异戊二烯烃分布、25-降藿烷和高γ-蜡烷、规则甾烷分布和高含量αααRC₂₈甾烷均指示该期

次包裹体油来自C₁-O₁烃源岩,但在捕获前已发生了生物降解。长链三环萜和四环萜分布特征意味着可能存在碳酸盐岩烃源岩的贡献。

由此可见,从这6个油包裹体样品气相色谱(图6)和1个油包裹体2D飞行质谱(图7)分析结果表明,尽管这些油包裹体在化学成分上多多少少都存在差异性,但可以分为4类:第一类以YQ8井埋深6 629.91 m油包裹体为代表的早期来源于C₁-O₁的源烃油气成藏(图5d,图6d),以及T904井埋深5 893.99 m亮蓝色荧光油包裹体(表1的T904-2-2);第二类为YQ9井埋深5 755.82 m(图6a)和S75

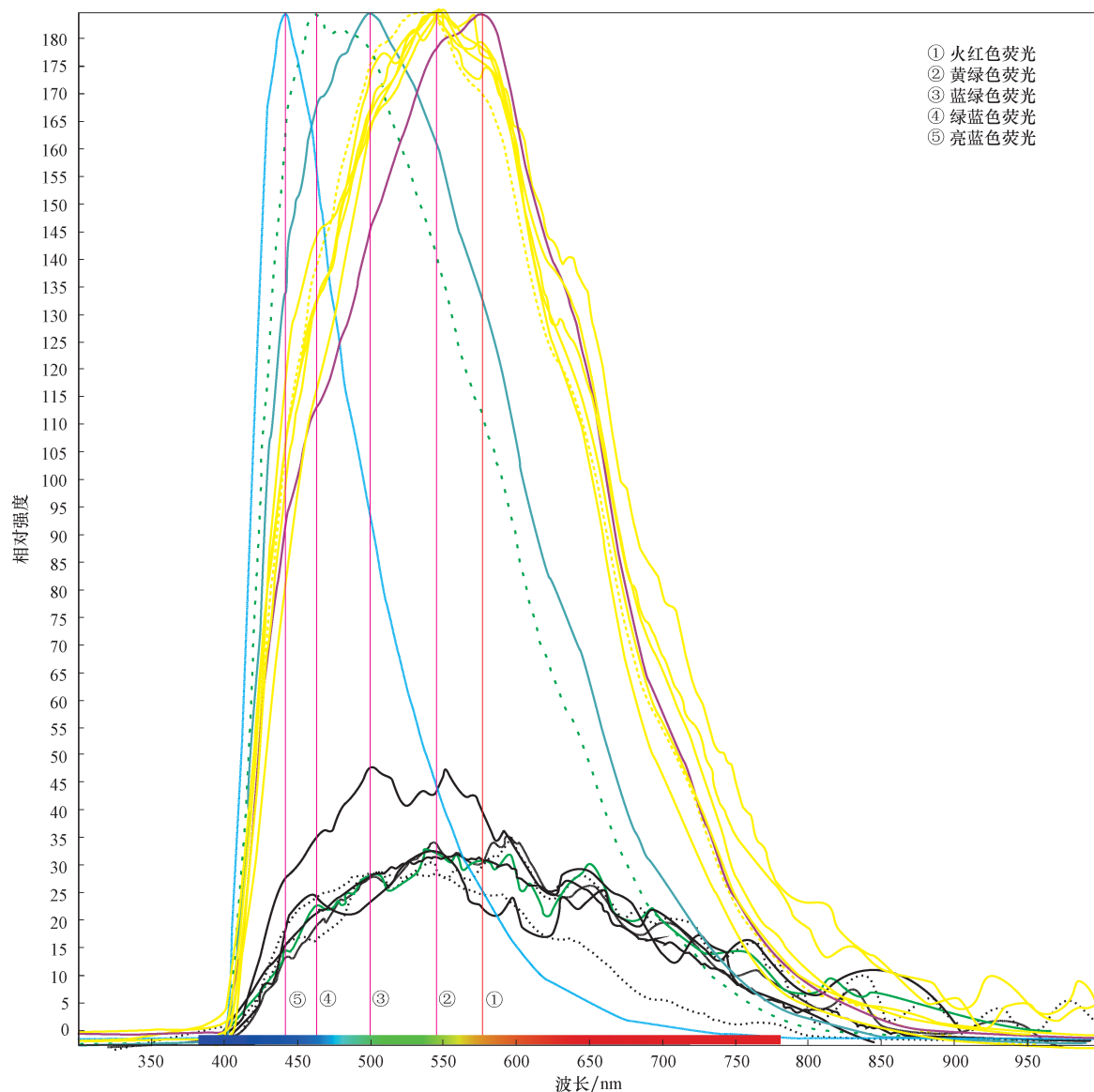


图4 塔河油田奥陶系原油荧光光谱

Fig. 4 Fluorescent spectra of crude oils in the Ordovician reservoirs of Tahe oilfield

井埋深 5 685.91 m (图 6b) 油包裹体;第三类为 T904 井埋深 5 893.99 m 蓝绿色荧光油包裹体(图 6e);第四类为 S112-1 井埋深 6 337.26 m 亮蓝色荧光油包裹体(图 6f)。

2.3 油包裹体成熟度和均一温度分期

单个油包裹体显微荧光特性及其成熟度参数和同期盐水包裹体均一温度分期具有比其他方法更高的“分辨率”,因为该技术能够对大于 $2\ \mu\text{m}$ 单个流体包裹体进行定量分析^[31]。塔河油田奥陶系大量油包裹体显微荧光分析结果表明发育 4 种成熟度的油包裹体(图 8),代表了 4 幕油气充注。与储层中的原油荧光成熟度(图 4)相比,每个幕次油包裹体成熟度相对高一些。单个油包裹体 QF_{535} —主峰波长(λ_{max})关系图同样表明,塔河油田奥陶系发育 4 幕油气充注(图 9)。

塔河油田奥陶系 500 多块流体包裹体显微测温统计结果表明,依据油包裹体和同期盐水包裹体平均均一温度,奥陶系各层系发育 4 幕油气充注(表 2)。

塔河油田奥陶系 500 多块流体包裹体显微测温统计结果表明,依据油包裹体和同期盐水包裹体平均均一温度,奥陶系各层系发育 4 幕油气充注(表 2)。

3 油气成藏年代学

由于碳酸盐岩储层本身缺乏稳定放射性直接定年的矿物,本文运用下列方法进行油气成藏定年:①与各幕次油包裹体同期的盐水包裹体均一温度—埋藏史投影间接定年;②原油 Re-Os 直接定年;③洞穴暗河沉积砂岩自生伊利石 K-Ar 法直接定年。同时参考了前人大湾沟奥陶系沥青 Rb-Sr 和 Pb-Pb 法测年数据^[44],来搭建塔河油田奥陶系油气成藏年



图 5 塔河油田奥陶系油包裹体荧光照片

Fig. 5 Fluorescent photos of oil inclusions in the Ordovician of Tahe oilfield
a. S75 井,埋深 5 685.91 m, O_1 ,洞穴充填巨晶方解石中发火红色、黄色和亮蓝色荧光原生油包裹体;b. T904 井,埋深 5 893.99 m, O_2j ,裂缝充填方解石中裂纹次生亮蓝色荧光油包裹体;c. T912 井,洞穴充填巨晶方解石中黄色原生油包裹体和裂纹次生亮蓝色荧光油包裹体;d. YQ8 井,埋深 6 629.97 m, O_1-2j ,裂缝充填方解石中亮蓝色荧光油包裹体

表 1 塔河油田奥陶系油包裹体样品分析参数

Table 1 Parameters of oil inclusion samples in the Ordovician of Tahe oilfield

井号	样品编号	层位	深度/m	油包裹体 宿主矿物	阴极发光颜色	荧光参数特征			同期盐水包裹 体均一温度/℃
						荧光颜色	$\lambda_{\max}/\text{nm}$	QF_{535}	
YQ8	YQ8-1-1	O_{1-2j}	6 629.97	裂缝充填 方解石脉	橙褐色	亮蓝色	458	0.51	109.5
YQ9	YQ9-1-1	O_{1-2j}	5 755.82	溶洞充填 方解石	暗褐色	黄色	541	1.76	95.4
S75	S75-2-1	O	5 685.91	洞穴充填 巨晶方解石	暗褐色	黄色	546	1.74	96.1
T904	T904-2-1	O_{2j}	5 893.99	裂缝充填 方解石脉	桔红色	蓝绿色	495	1.03	120.1
T904	T904-2-2	O_{2j}	5 893.99	裂缝充填 方解石脉	桔红色	亮蓝色	463	0.68	未检测到
S112-1	S112-1-1	O_3l	6 337.26	裂缝充填 方解石脉	暗褐色	亮蓝色	459	0.48	131.5

代学格架。

由于不同井的埋藏史存在差异,为了便于描述,把

不同井流体包裹体均一温度汇总到同一张埋藏史图中来示意性地表示油气充注年龄(图 10)。再将各井均

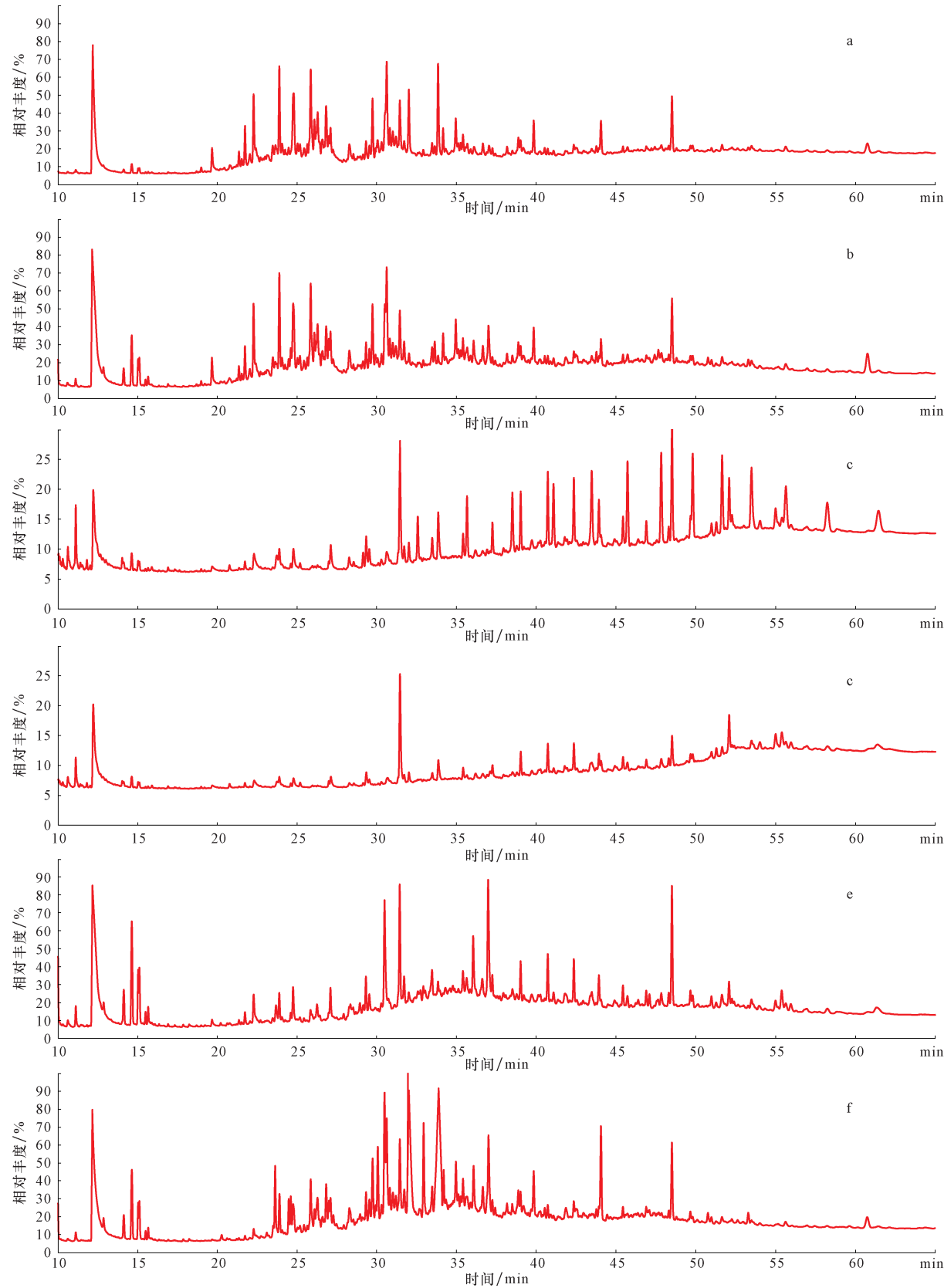


图6 塔河油田奥陶系不同荧光颜色油包裹体气相色谱

Fig. 6 Gas chromatograms of different fluorescent colors of oil inclusions in the Ordovician of Tahe oilfield

a. 样品 YQ9-1-1; b. 样品 S75-2-1; c. 样品 YQ8-1-1; d. 样品 T904-2-2;
e. 样品 T904-2-1; f. 样品 S112-1-1

一温度-埋藏史投影法获得各幕次充注年龄标注到统一的时间轴上,这样不仅可以消除样品不同深度对均

一温度在分期时的影响,而且还可以将油气充注幕次归属于油气成藏期次。为此我们获得了塔河油田奥陶

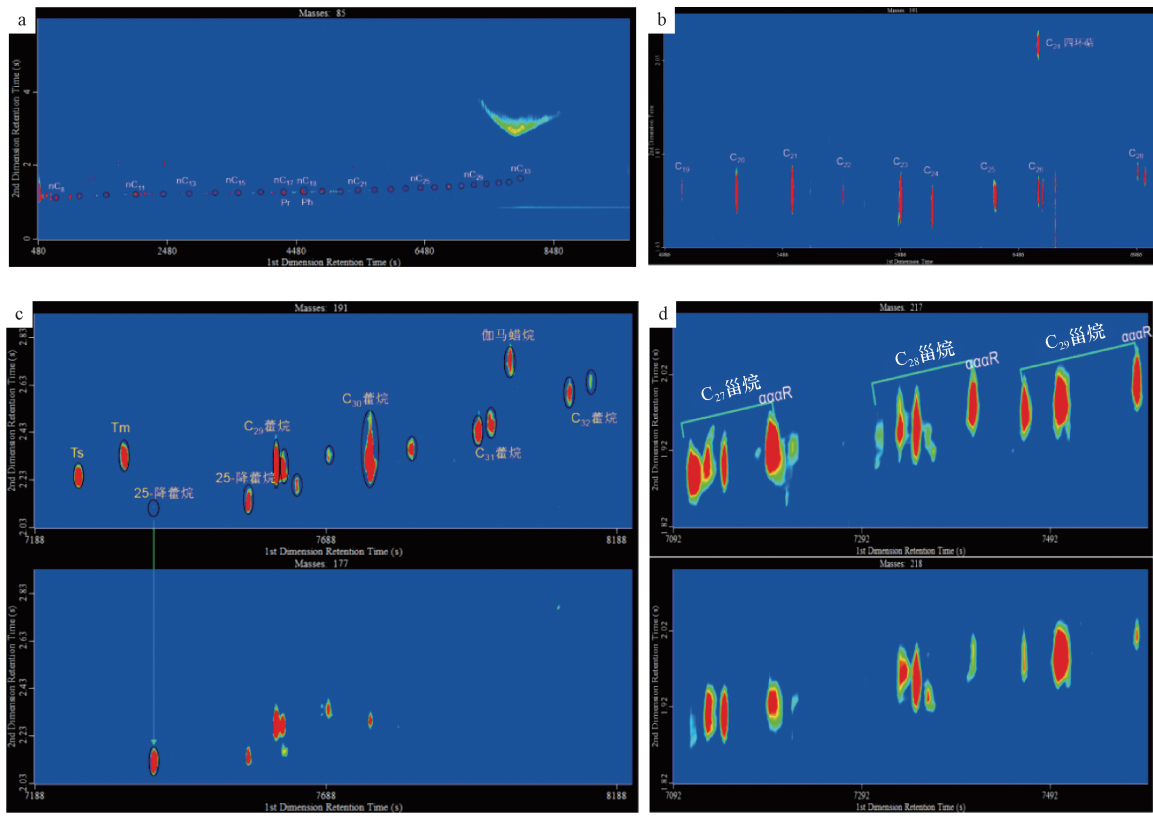


图7 塔河油田 YQ8 井埋深 6629.97m($O_{1-2}y$)方解石脉中发亮蓝色荧光油包裹体 2D 飞行质谱
Fig.7 2D flight mass spectrogram of bright blue fluorescent oil inclusions in the calcite vein of the Ordovician ($O_{1-2}y$) at 6629.97 m in Tahe oilfield.

a. 油包裹体正构烷烃和类异戊二烯烃分布;b. 油包裹体长链三环萘分布;c. 油包裹体藿烷分布;d. 油包裹体规则甾烷分布

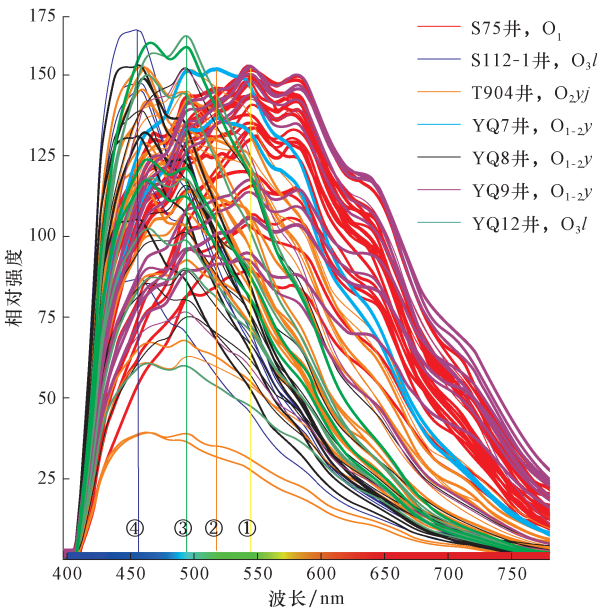


图8 塔河油田奥陶系单个油包裹体显微荧光光谱
Fig.8 Fluorescent spectra of individual oil inclusions in the Ordovician of Tahe oilfield

系“五幕(4幕油+1幕天然气)三期”油气成藏史:第一期发生于加里东中-晚期的 463.2~414.9 Ma;第二期发生于海西晚期的 312.9~268.8 Ma;第三期发生于喜马拉雅期的 22~4.8 Ma(图 11)。

根据原油 Re-Os 法(在英国杜伦大学测试)获得塔河油田第一期成藏年龄约为 459~418 Ma。这与流体包裹体方法获得的第一期成藏年龄极为吻合(图 11)。

而塔河油田奥陶系暗河沉积砂岩自生伊利石 K-Ar 获得的第一期油气成藏年龄约为 407~399 Ma,也与其他方法确定的第一期成藏年龄接近(图 11)。另外,大湾沟奥陶系沥青 Rb-Sr 和 Pb-Pb 法获得的第一期成藏年龄约 457~422 Ma,与流体包裹体方法获得的年龄几乎一致;但第二期成藏年龄约为 250 Ma,比流体包裹体方法获得年龄要晚 20 Ma 以上(图 11)。这正说明了差异构造演化会导致油气成藏的非均质性。

从塔河油田 T_4^1 界面的古构造恢复(图 12)来看,加里东中-晚期阿克库勒的古构造脊位于艾丁-托普台一带,呈北西向展布;海西早期-喜马拉雅期,古构造脊向南东方向迁移,且呈北西向展布。古构造的这种演变控制了相应期次的油气运聚,使得塔河主体部位发生了三期成藏,而塔河外围地区仅发生了第一期和第 3 期两期成藏。海西早期的构造抬升对第一期成藏的油藏破坏是极其严重的,但因构造迁移使得塔河外围地区抬升幅度比塔河主体地区要小一些,因而对

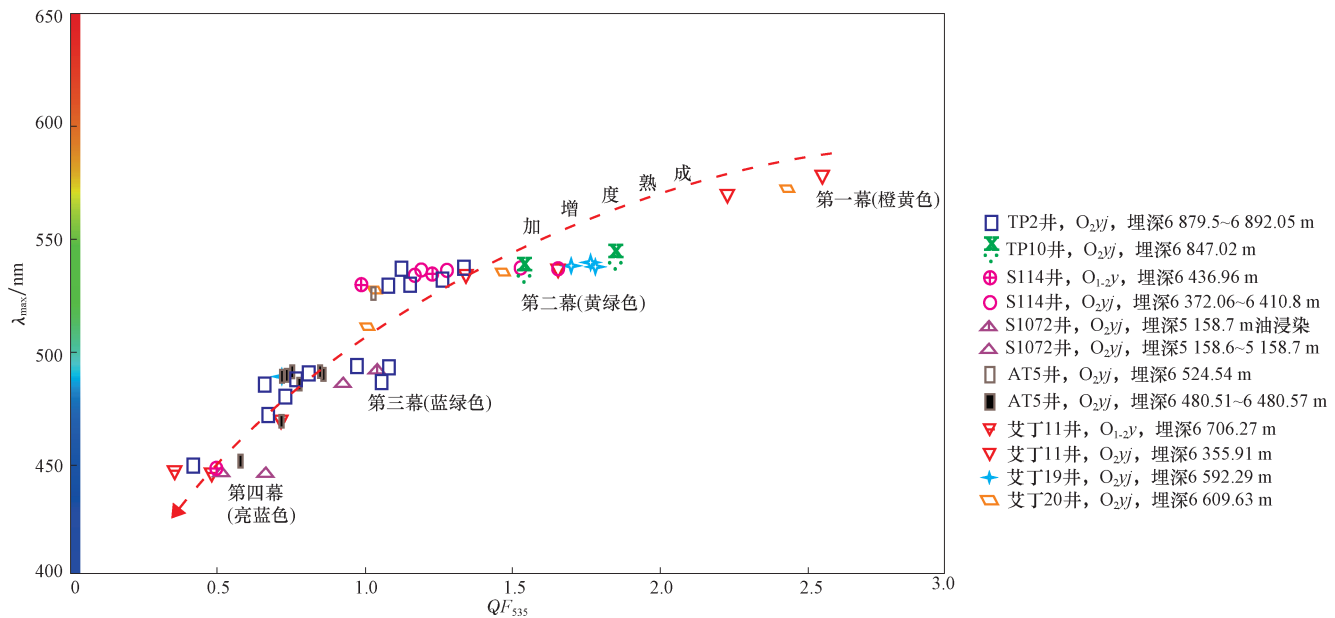


图 9 塔河油田单个油包裹体显微荧光 QF_{535} - 主峰波长($\lambda_{\max}$)关系

Fig. 9 Plot of relationship between QF_{535} and $\lambda_{\max}$ of individual oil inclusion in the Ordovician of Tahe oilfield

表 2 塔河油田奥陶系流体包裹体平均均一温度分幕数据

Table 2 Data of averaged homogenization temperatures of fluid inclusions in the Ordovician of Tahe oilfield				
层位	分幕	油包裹体平均均一温度/℃	同期盐水包裹体均一温度/℃	划分幕次
O_{1-2Y}	第一幕	55.3 ~ 65.8	51.0 ~ 90.8	4 幕油充注
	第二幕	73.9 ~ 102.5	72.7 ~ 111.6	
	第三幕	120.9 ~ 131.0	100.8 ~ 149.3	
	第四幕	166.6 ~ 169.3	161.8 ~ 170.6	
O_{2YJ}	第一幕	52.1 ~ 71.1	74.2 ~ 103.7	4 幕油充注
	第二幕	67.1 ~ 89.8	105.2 ~ 116.0	
	第三幕	90.2 ~ 105.2	114.9 ~ 133.0	
	第四幕	116.2 ~ 121.2	142.7 ~ 160.2	
O_{3q}	第一幕	61.5		4 幕油充注
	第二幕	74.1		
	第三幕	86.5		
	第四幕	106.6		

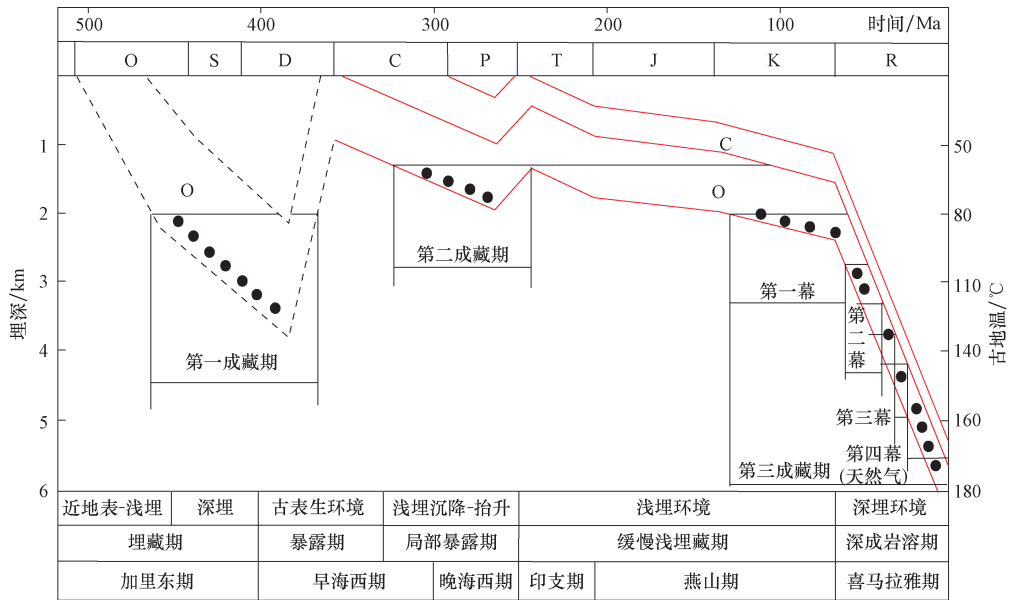


图 10 塔河油田奥陶系流体包裹体均一温度 - 埋藏史投影示意图

Fig. 10 Schematic diagram of burial curve projected with homogenization temperatures of fluid inclusions in the Ordovician of Tahe Oilfield

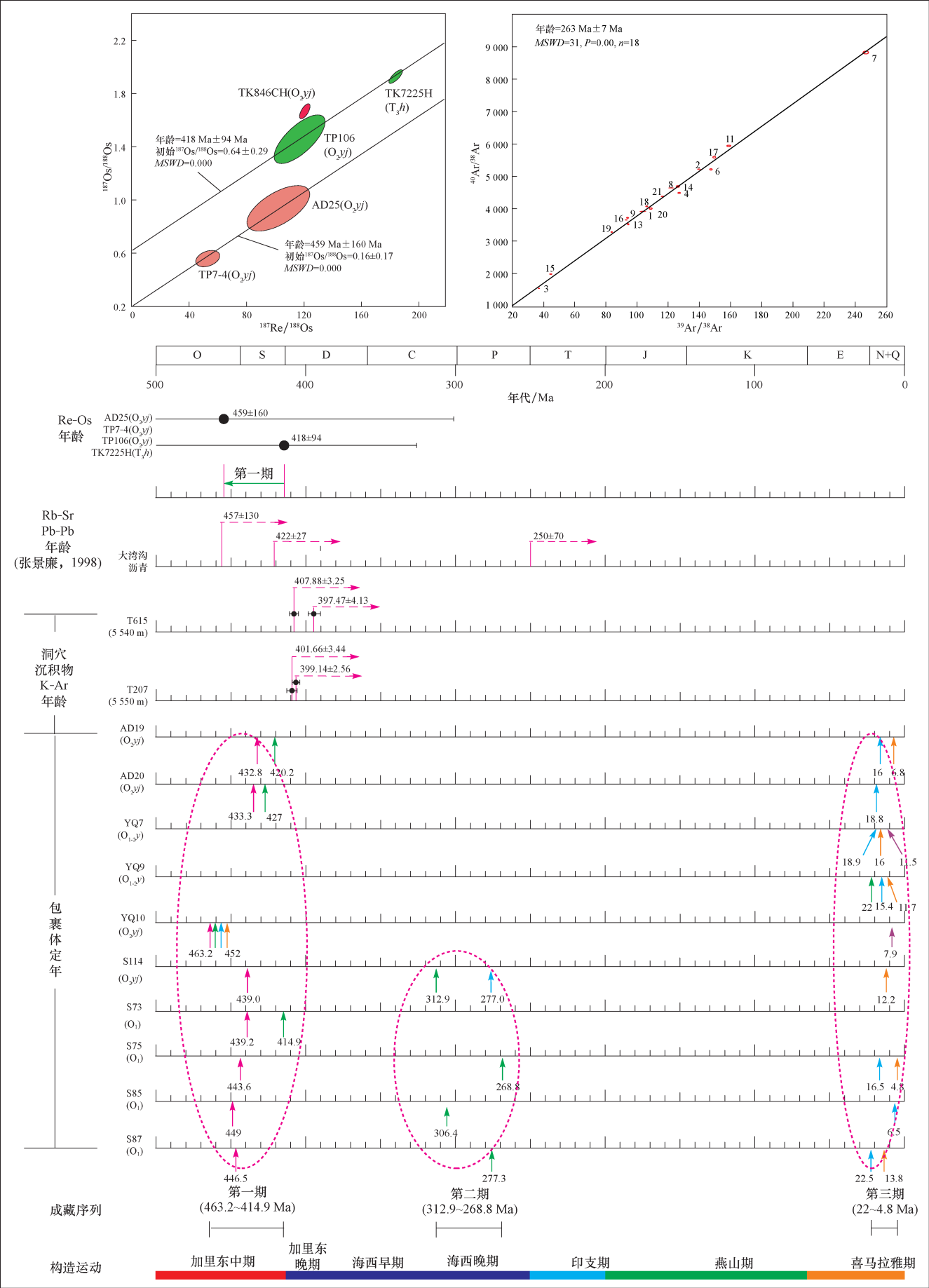
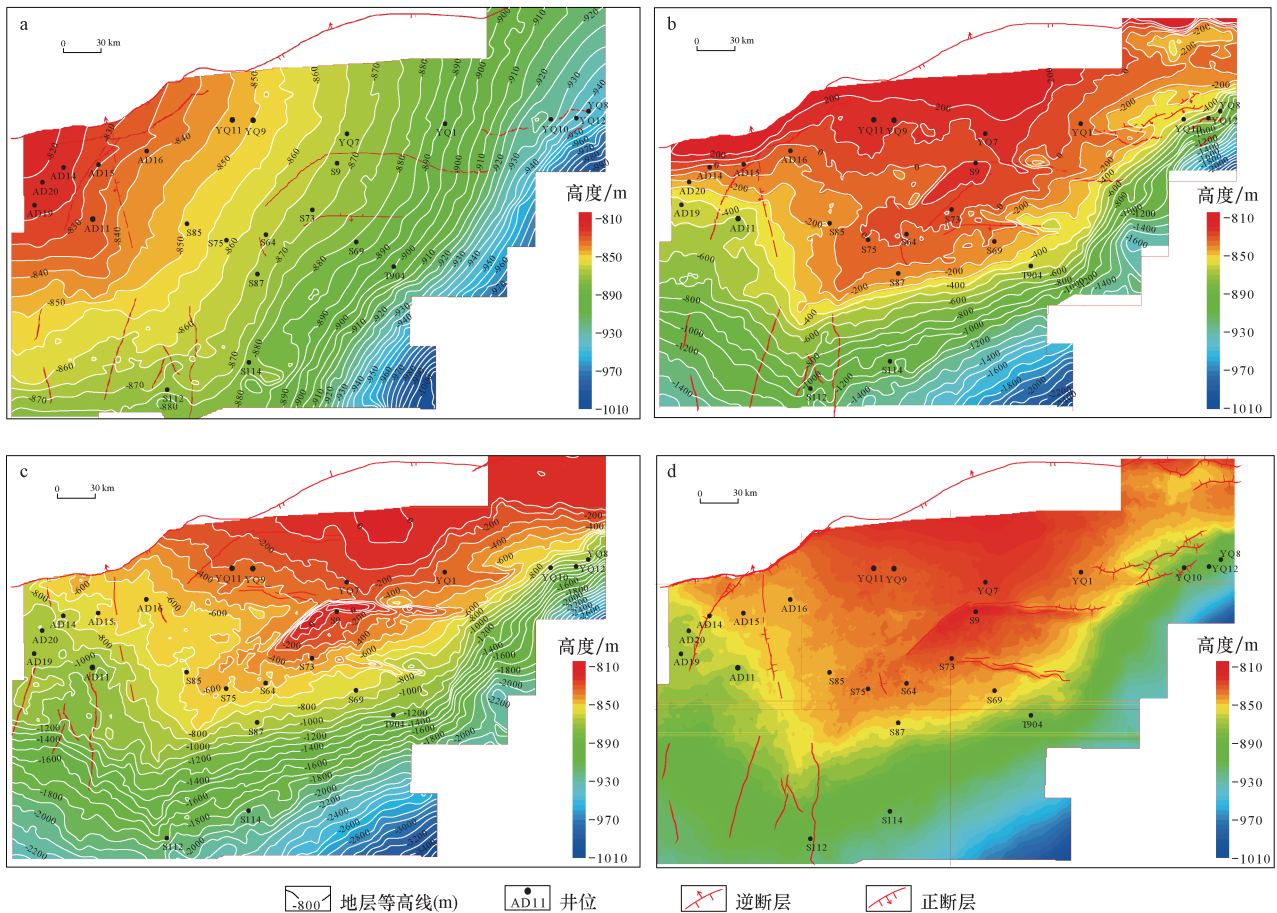


图 11 塔河油田奥陶系油气成藏年代学格架

Fig. 11 Schematic diagram of chronology of hydrocarbon charging in the Ordovician of Tahe oilfield

图 12 塔河油田 T_4 界面构造演化Fig. 12 T_4 structural maps in different stages of Tahe oilfield

a. 加里东中期; b. 海西早期; c. 海西晚期; d. 喜马拉雅期

第一期成藏的油气保存相对的好得多。近年来塔河外围奥陶系勘探成果也证实了这一点。

4 结论

多旋回叠合盆地油气成藏过程是极其复杂的。本文运用多种技术和方法,在大量样品分析测试成果的基础上对塔河油田奥陶系油气成藏期次进行了厘定,对其油气成藏时期进行了确定,并获得以下主要认识。

1) 尽管划分油气成藏期次的方法不同,获得的结果存在差异,但综合烃源岩热成熟史、原油和包裹体油分子地球化学特征以及单个油包裹体荧光特性、成熟度和显微测温等结果,认为塔河油田奥陶系发生了“五幕三期”油气成藏。

2) 间接定年和直接定年相结合的方法获得塔河油田奥陶系第一期成藏发生在加里东中-晚期(463.2 ~ 414.9 Ma);第二期成藏发生在海西晚期(312.9 ~ 268.8 Ma);第三期成藏发生在喜马拉雅期(22 ~ 4.8 Ma)。

3) 受差异构造演化控制,塔河油田奥陶系的油气成藏期次和成藏时期在空间上表现出非均质性。其中塔河油田主体发生了3期成藏,但以第一期和第三期为主;塔河外围仅发生了第一期和第三期成藏。因此,仅仅根据局部的信息来断定塔河油田整体成藏期次是不全面的。

参 考 文 献

- [1] 康玉柱,黄有元,张忠先,等. 塔里木盆地古生代海相油气田[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1992.
Kang Yuzhu, Huang Youyuan, Zhang Zhongxian, et al. Paleozoic oil and gas field in Tarim basin[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1992.
- [2] 周玉琦,黎玉战,侯鸿斌. 塔里木盆地塔河油田的勘探实践与认识[J]. 石油实验地质, 2001, 23(4): 363-367.
Zhou Yuqi, Li Yuzhan, Hou Hongbin. The exploration and development in Tahe oilfield, Tarim basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2001, 23(4): 363-367.
- [3] 康玉柱. 海相成油新理论与塔河大油田的发现[J]. 地质力学学报, 2002, 8(3): 201-206.
Kang Yuzhu. New theory of marine oil formation and discover of Tahe oilfield, northern Tarim basin[J]. Journal of Geomechanics, 2002, 8(3): 201-206.

- [4] 黎玉战,徐传会.塔里木盆地塔河油田发现历程及其意义[J].石油实验地质,2004,26(2):180-186.
Li Yuzhan,Xu Chuanhui. Significance and discovery history of Tahe oilfield of the Tarim basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2004,26(2):180-186.
- [5] 张抗.塔河油田性质和塔里木碳酸盐岩油气勘探方向[J].石油学报,2001,22(4):1-6.
Zhang Kang. The characteristics of Tahe Oilfield and the oil-gas exploration direction in the carbonates of Tarim basin[J]. Acta Petrolei Sinica,2001,22(4):1-6.
- [6] 贾承造.中国塔里木盆地构造特征与油气[M].北京:石油工业出版社,1997.
Jia Chengzao. The structural characteristics and oil resources in Tarim basin, China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press,1997.
- [7] 金之钧,蔡立国.中国海相油气勘探前景、主要问题与对策[J].石油与天然气地质,2006,27(6):722-730.
Jin Zhijun,Cai Ligu. Exploration prospects problems and strategies of marine oil and gas in China[J]. Oil & Gas Geology,2006,27(6):722-730.
- [8] 汤良杰,邱海峻,云露,等.塔里木盆地多期改造-晚期定型复合构造与油气战略选区[J].吉林大学学报:地球科学版,2014,44(1):1-14.
Tang Liangjie, Qiu Junhai, Yun Lu, et al. Poly-phase reform-late-stage finalization composit tectonics and strategic area selection of oil and gas resources in Tarim basin, NW China[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2014,44(1):1-14.
- [9] 周永昌,王新维,杨国龙.塔里木盆地阿克库勒地区奥陶系碳酸盐岩成藏条件及勘探前景[J].石油与天然气地质,2000,21(4):104-109.
Zhou Yongchang, Wang Xinwei, Yang Guolong. Oil and gas pool forming condition and exploration prospects of Ordovician carbonate rocks in Akekulé region, Tarim basin[J]. Oil & Gas Geology, 2000,21(4):104-109.
- [10] 康玉柱.塔里木盆地塔河大油田形成的地质条件及前景展望[J].中国地质,2003,30(3):315-319.
Kang Yuzhu. Geological characteristics of the formation of the large Tahe oilfield in the Tarim basin and its prospects[J]. Geology in China,2003,30(3):315-319.
- [11] 翟晓先.塔河大油田新领域的勘探实践[J].石油与天然气地质,2006,27(6):751-761.
Zhai Xiaoxian. Exploration practices in frontiers of Tahe oilfield[J]. Oil & Gas Geology,2006,27(6):751-761.
- [12] 王传刚,王铁冠,何发岐,等.塔河油田原油稳定碳同位素特征及其成藏意义[J].新疆石油地质,2005,26(2):155-157.
Wang Chuangang, Wang Tieguan, He Faqi, et al. Stable carbon isotope and its significance in hydrocarbon accumulation in Tahe oilfield, Tarim basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2005,26(2):155-157.
- [13] 王传刚,王铁冠,张卫彪,等.塔里木盆地北部塔河油田原油分子地球化学特征及成因类型划分[J].沉积学报,2006,24(6):901-909.
Wang Chuangang, Wang Tieguan, Zhang Weibiao, et al. Molecular geochemistry and classifications of genetic types of petroleum from Tahe oilfield of the northern Tarim basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica,2006,24(6):901-909.
- [14] Gong S, George S C, Volk H, et al. Petroleum charge history in the Lunnan Low Uplift, Tarim Basin, China - Evidence from oil-bearing fluid inclusions [J]. Organic Geochemistry, 2007, 38: 1341-1355.
- [15] Wang T G, He F Q, Wang C J, et al. Oil filling history of the Ordovician oil reservoir in the major part of the Tahe Oilfield, Tarim Basin, NW China[J]. Organic Geochemistry, 2008,39:1637-1646.
- [16] Yu S, Pan C C, Wang J J, et al. Molecular correlation of crude oils and oil components from reservoir rocks in the Tazhong and Tabei uplifts of the Tarim Basin, China[J]. Organic Geochemistry, 2011,42: 1241-1262.
- [17] 顾忆.塔里木盆地北部塔河油田油气藏成藏机制[J].石油实验地质,2000,22(4):307-312.
Gu Yi. Forming mechanism of hydrocarbon pools in Tahe oilfield of the northern Tarim basin[J]. Petroleum Geology & Experimental, 2000,22(4):307-312.
- [18] 闫相宾,张涛.塔河油田碳酸盐岩大型隐蔽油藏成藏机理探讨[J].地质论评,2004,50(4):370-376.
Yan Xiangbin, Zhang Tao. Discussion of forming mechanism of the large-scale carbonate rock subtle reservoir in the Tahe oilfield[J]. Geological Review, 2004,50(4):370-376.
- [19] 云露,蒋华山.塔河油田成藏条件与富集规律[J].石油与天然气地质,2007,28(6):768-775.
Yun Lu, Jiang Huashan. Hydrocarbon accumulation conditions and enrichment rules in Tahe oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2007,28(6):768-775.
- [20] 杨迎春,杨延东,王超.塔河油田托甫台地区奥陶系油气成藏特征及控制因素[J].新疆石油天然气,2011,7(1):6-11.
Yang Yinchun, Yang Yandong, Wang Chao. Characteristics and major controlling factors of Ordovician carbonates oil and gas reservoir in Tuofutai oilfield[J]. Xinjiang Oil & Gas, 2011,7(1):6-11.
- [21] 丁勇,彭守涛,夏东领.塔河油田艾丁地区奥陶系油气藏特征与成藏期[J].新疆石油地质,2013,34(3):262-264.
Ding Yong, Peng Shoutao, Xia Dongling. The reservoir characteristics and hydrocarbon accumulation stages of Ordovician in Aiding area of Tahe oilfield, Tarim basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2013,34(3):262-264.
- [22] 袁玉玲,皇甫红英.塔里木盆地塔河南地区良里塔格组成岩环境及油气成藏期次[J].石油实验地质,2008,30(6):580-584.
Yuan Yuling, Huangpu Hongying. Diagenetic environment and oil and gas accumulation period of Lianglitage formation in the south areas of Tahe oilfield of the Tarim basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2008,30(6):580-584.
- [23] Cui J W, Wang T G, Wang C J, et al. Quantitative assessment and significance of gas washing of oil in Block 9 of the Tahe Oilfield, Tarim Basin, NW China [J]. Chinese Journal of Geochemistry, 2012, 31:165-173.
- [24] 冯乔.塔里木盆地满加尔凹陷地层埋藏史与有机质成熟演化[J].沉积学报,1997,15(1):172-176.
Feng Qiao. Burial history of stratigraphy and maturity evolution of organic matter in Manjiaer depression, Tarim basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997,15(1):172-176.
- [25] 王铁冠,王春江,何发岐,等.塔河油田奥陶系油藏两期成藏原油充注比率测算方法[J].石油实验地质,2004,26(1):74-79.
Wang Tieguan, Wang Chunjiang, He Faqi, et al. Determination of

- double filling ratio of mixed crude oils in the Ordovician oil reservoir, Tahe oilfield [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2004, 26 (1): 74–79.
- [26] 高波, 刘文汇, 范明, 等. 塔河油田成藏期次的地球化学示踪研究 [J]. *石油实验地质*, 2006, 28 (3): 276–280.
- Gao Bo, Liu Wenhui, Fan Ming, et al. Study on geochemical tracking for the periods of reservoir forming of oil and gas in the Tahe oilfield [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2006, 28 (3): 276–280.
- [27] 钱一雄. 塔河油田下奥陶统储层中流体包裹体成份 [J]. *地质科学*, 2002, 37 (增刊): 22–28.
- Qian Yixiong. Chemical composition of fluid inclusions from the lower Ordovician reservoirs in the Tahe oilfield [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2002, 37 (S): 22–28.
- [28] 饶丹, 秦建中, 许锦, 等. 塔河油田奥陶系油藏成藏期次研究 [J]. *石油实验地质*, 2014, 36 (1): 83–88.
- Rao Dan, Qin Jianzhong, Xu Jing, et al. Accumulation periods of Ordovician reservoirs in Tahe oil field [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2014, 36 (1): 83–88.
- [29] 陈红汉. 油气成藏年代学研究进展 [J]. *石油与天然气地质*, 2007, 28 (2): 143–150.
- Chen Honghan. Advances in geochronology of hydrocarbon accumulation [J]. *Oil & Gas Geology*, 2007, 28 (2): 143–150.
- [30] 殷和平, 钱一雄, 陈强路, 等. 流体包裹体主要成分及谱学特征研究——以塔河油田下奥陶统储层为例 [J]. *石油实验地质*, 2009, 31 (3): 282–286.
- Yin Heping, Qian Yixiong, Chen Qianglu, et al. Approaching to chemical composition and application of raman spectrum of fluid inclusion – taking the lower Ordovician reservoirs in Tahe as an example [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2009, 31 (3): 282–286.
- [31] 陈红汉. 单个油包裹体显微荧光特性与热成熟度评价 [J]. *石油学报*, 2014, 35 (3): 584–590.
- Chen Honghan. Microspectrofluorimetric characterization and thermal maturity assessment of individual oil inclusion [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2014, 35 (3): 584–590.
- [32] 陈红汉, 李纯泉, 张希明, 等. 运用流体包裹体确定塔河油田油气成藏期次及主成藏期 [J]. *地学前缘*, 2003, 10 (1): 190.
- Chen Honghan, Li Chunquan, Zhang Ximing, et al. Determine accumulation period and the main reservoir in Tahe oilfield by using fluid inclusions [J]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10 (1): 190.
- [33] 李纯泉, 陈红汉, 陈汉林. 塔河油田奥陶系有机包裹体的油气指示意义 [J]. *天然气工业*, 2004, 24 (10): 24–26.
- Li Chunquan, Chen Honghan, Chen Hanlin. Organic inclusions in the Ordovician reservoir in Tahe oil field [J]. *Natural Gas Industry*, 2004, 24 (10): 24–26.
- [34] 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 Petrologica Sinica*, 2005, 26 (1): 42–46.
- [35] 顾忆, 邵志兵, 陈强路, 等. 塔河油田油气运移与聚集规律 [J]. *石油实验地质*, 2007, 29 (34): 224–230.
- Gu Yi, Shao Zhibing, Chen Qianglu, et al. Oil migration and accumulation pattern in the Tahe oilfield [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2007, 29 (34): 224–230.
- [36] 吴萌, 曾传彬, 黄思静. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层流体包裹体研究 [J]. *中国地质*, 2010, 37 (5): 1360–1373.
- Wu Meng, Zeng Chuanbin, Huang Sijing. Fluid inclusion study of the Ordovician carbonate rock reservoir in the Tahe oilfield [J]. *Geology in China*, 2010, 37 (5): 1360–1373.
- [37] 施伟军, 蒋宏, 席斌斌. 应用储层流体包裹体 PVTX 模拟研究油气成藏期次——以塔里木盆地托甫台地区为例 [J]. *高校地质学报*, 2012, 18 (1): 125–132.
- Shi Weijun, Jiang Hong, Xi Binbin. Application of the PVTX simulation of reservoir fluid inclusions to estimate petroleum charge stage: a case study in the Tuoputai area of Tarim basin [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2012, 18 (1): 125–132.
- [38] 范昱, 何新明, 汪彦, 等. 塔河油田主体区奥陶系流体包裹体特征及油气成藏研究 [J]. *新疆地质*, 2013, 31 (增刊): 116–121.
- Fan Yu, He Xinming, Wang Yan, et al. The characteristics of fluid inclusion and oil and gas accumulation of Ordovician in main area, Tahe oilfield [J]. *Xinjiang Geology*, 2013, 31 (S): 116–121.
- [39] 李明诚, 单秀琴, 马成华, 等. 油气成藏期探讨 [J]. *新疆石油地质*, 2005, 26 (5): 587–291.
- Li Mingcheng, Shan Xiuqin, Ma Chenghua, et al. An approach to hydrocarbon accumulation period [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2005, 26 (5): 587–291.
- [40] Mark D F, Parnell J, Kelley S P, et al. Dating of multistage fluid flow in sandstones [J]. *Science*, 2005, 309: 2048–2051.
- [41] 陈强路, 王恕一, 钱一雄, 等. 塔里木盆地阿克库勒地区下奥陶统古岩溶及油气分布 [J]. *沉积学报*, 2002, 20 (4): 633–638.
- Chen Qianglu, Wang Shuyi, Qian Yixiong, et al. Paleo-karst and distribution of oil and gas of lower Ordovician in Akekule area, Tarim basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20 (4): 633–638.
- [42] Li K K, Cai C F, He H, et al. Origin of palaeo-waters in the Ordovician carbonates in Tahe oilfield, Tarim Basin: constraints from fluid inclusions and Sr, C and O isotopes [J]. *Geofluids*, 2011, 11 (1): 71–86.
- [43] 金之钧, 朱东亚, 孟庆强, 等. 塔里木盆地热液流体活动及其对油气运移的影响 [J]. *岩石学报*, 2013, 29 (3): 1048–1058.
- Jin Zhijun, Zhu Dongya, Meng Qingqiang, et al. Hydrothermal activities and influences on migration of oil and gas in Tarim basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29 (3): 1048–1058.
- [44] 张景廉, 朱炳泉, 张平中, 等. 塔里木盆地北部沥青、干酪根 Pb-Sr-Nd 同位素体系及成因演化 [J]. *地质科学*, 1998, 33 (3): 310–317.
- Zhang Jinglian, Zhu Binqian, Zhang Pingzhong, et al. Pb-Sr-Nd isotope systematics of kerogen and bitumen in the Tarim basin and their implications for its origin and evolution [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1998, 33 (3): 310–317.

(编辑 董立)