

塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层流体包裹体研究

吴 萌¹ 曾传彬¹ 黄思静²

(1. 重庆市永川区国土资源和房屋管理局, 重庆 402160;

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)

摘要: 本文在充分收集整理前人研究资料和成果的基础上, 以流体包裹体技术方法为主要研究手段, 展开对塔河油田流体包裹体研究, 结果表明: 所研究储层流体包裹体主要分为 H₂O 包裹体、有机质包裹体、有机质-H₂O 包裹体 3 类; 塔河油田奥陶系储层经历过 5 期热流体活动; 得出 3 个盐度值; 流体密度变化范围从 0.90~1.15 g/cm³; 系统阐述了塔河油田奥陶系碳酸盐岩流体包裹体在成岩环境、高温热水作用、低温多旋回、油气成熟度及油气充注等多方面的应用。

关键词: 塔河油田; 流体包裹体; 均一温度; 盐度; 油气储层

中图分类号: P588.24*5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2010)05-1360-14

1 引言

碳酸盐岩在各成岩阶段均可形成流体包裹体, 从近地表至深埋环境都有盐水包裹体分布, 有机包裹体则主要集中在晚期粗大的胶结物中, 与盐水包裹体共生, 在储层内成群成串出现^[1]。不同成岩作用和不同成岩环境中的碳酸盐岩矿物包裹体有较大的差异, 这就使应用流体包裹体研究碳酸盐岩储层成为可能。本文主要运用流体包裹体地球化学的理论和方法, 以塔河油田奥陶统碳酸盐岩中流体包裹体为基础, 探讨成岩阶段、成岩成因、成岩环境、油气成熟度、流体充注时间等几方面的问题, 通过对塔河地区奥陶系流体包裹体的类型、均一温度、盐度、密度等物理和化学性质来综合析塔河油田流体包裹体与油气储层关系及应用, 从而为本区研究碳酸盐岩油气储层研究提供依据。

本论文的实验研究所选样品都来自于孔洞缝里充填物, 包括方解石缝洞、石英脉和溶洞中白云石以及胶结物。所涉及的均一温度与冰点温度数据在成都理工大学重点实验室激光拉曼实验室完成, 所采

用的仪器为 Linkam Cooling Systems 冷热台, 型号为 THMS600。

2 地质概况

塔河油田位于天山南麓, 塔克拉玛干沙漠北缘的戈壁荒漠地区, 地处新疆维吾尔自治区的库车县和轮台县境内。构造位置位于塔里木盆地沙雅隆起阿克库勒凸起西南斜坡, 东邻草湖凹陷、南邻顺托果勒隆起和满加尔坳陷、西为哈拉哈塘凹陷、北部为雅克拉断凸(图 1)。

塔河油田先后经历了加里东期、海西期、印支—燕山期及喜马拉雅期等多次构造运动。塔河地区奥陶系自下而上共划分为 6 个岩石地层单元(组), 即奥陶系下统蓬莱坝组、下—中统鹰山组、中统一间房组、上统恰尔巴克组、良里塔格组、桑塔木组, 本次研究除奥陶系桑塔木组未涉及到以外, 其余奥陶系组均有涉及。在地层分布上, 自西向东、自南向北、西南到东北, 志留系科坪塔格组、泥盆系东河塘组、桑塔木组、良里塔格组、恰尔巴克组、一间房组等地层自上而下逐层尖灭。

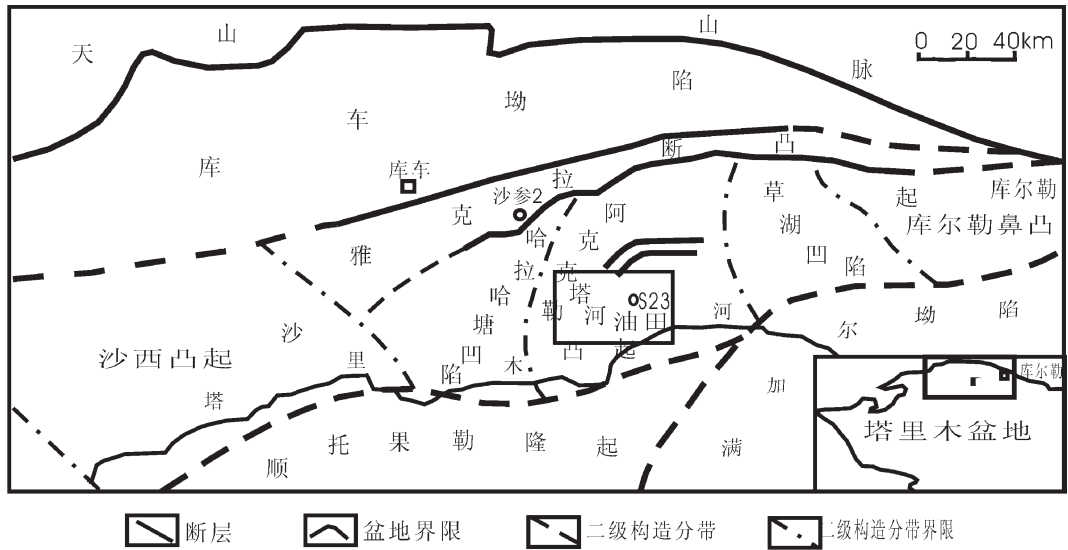


图 1 塔里木盆地塔河油田构造位置图(据康玉柱^[9])

Fig.1 Structural location of Tahe Oilfield in Tarim Basin (after Kang Yuzhu^[9])

3 流体包裹体特征

3.1 流体包裹体基本特征

塔河油田的流体包裹体中最小者 < 2 μm, 最大为 20 μm 以上。一般为 8~15 μm。按室温(25℃)下的成分相态特征将塔河油田流体包裹体主要分为 H₂O 包裹体、有机质包裹体、有机质-H₂O 包裹体三大类(表 1 和图 2)。H₂O 包裹体又分为液相水包裹体和气液水包裹体两个次级类; 液相水包裹体分布

较为普遍, 在室温下, 这类包裹体中只有一个水溶液相, 在显微镜下水溶液相无色透明, 占包裹体总数的 20%~30%; 气液水包裹体较常见, 占包裹体总数的 40%~50%, 在室温下含有气相水、液相水两相, 在显微镜下气液水包裹体无色透明。含油气包裹体分单相烃包裹体、两相烃包裹体及烃水包裹体 3 个次类: 单相烃包裹体主要在显微镜下为棕色和褐色, 占包裹体总数的 5%~10%, 两相烃包裹体或烃水包裹体较常见, 占包裹体总数的 10%~20%。在室温下其中

表 1 塔河油田包裹体类型及主要特征

Table 1 Types and main characteristics of inclusions in Ordovician strata of Tahe Oilfield

大类	亚类	包裹体特征
H ₂ O 包裹体	液相水包裹体	室温下(25℃, 以下相同)包裹体中含有单一水溶液相, 在单偏光显微镜下无色透明
	气液水包裹体	室温下包裹体中有两相: 气相水和水溶液相。气相比(气体充填度)为 3%~20%, 冷热台上加热过程中气泡逐渐缩小, 最终消失, 均一到水溶液相
有机质包裹体	纯液烃包裹体	在室温下此包裹体中仅含有液相有机质, 在单偏光显微镜下有有机液相为褐色或者黑色
	气液烃包裹体	在室温下这类包裹体中含有气相有机质和液相有机质两相, 在单偏光显微镜下有有机气相呈黑褐色, 有机液相为浅黄褐色, 加热时有机气相体积逐渐缩小, 最终消失, 均一到有机液相
有机质-H ₂ O 包裹体	烃水包裹体	在室温下这类包裹体中含有两相, 即有机气相和水溶液相。气相为黑色, 液相为无色

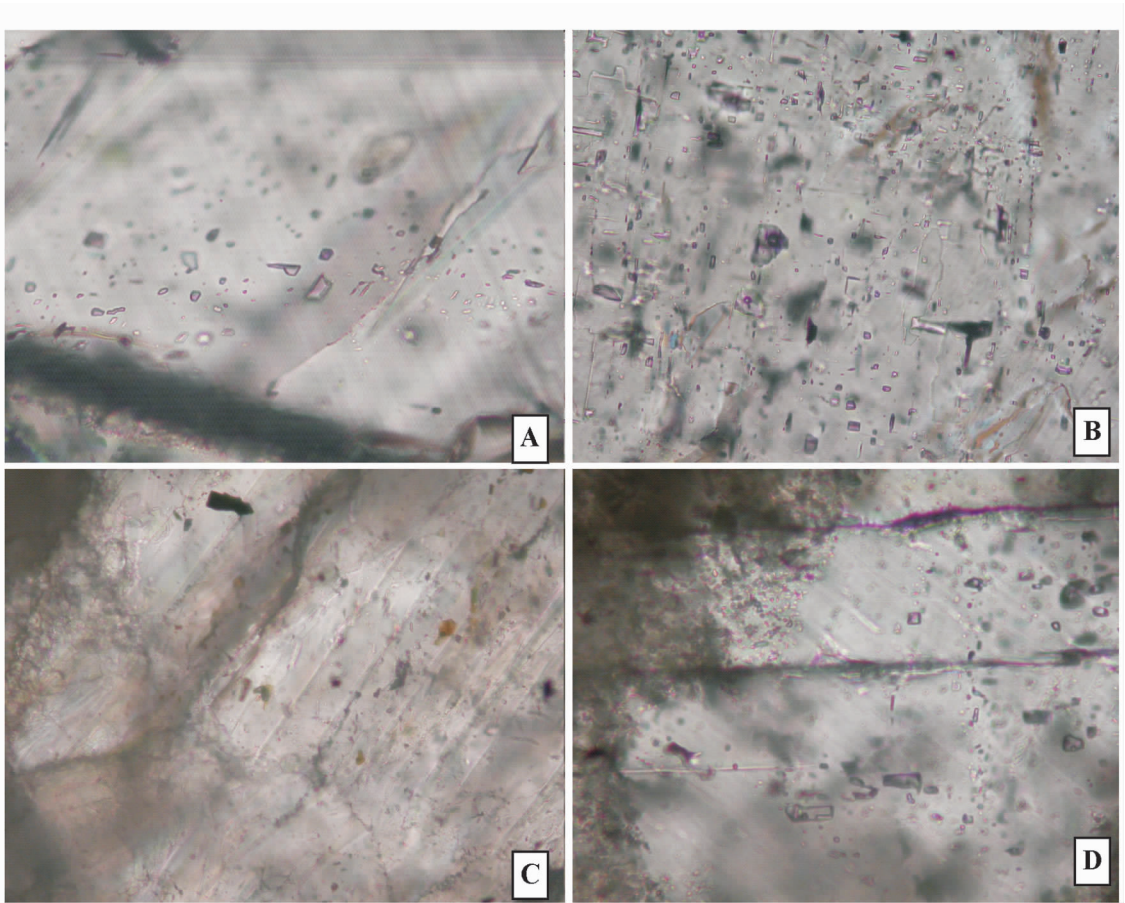


图 2 塔河油田奥陶系碳酸盐岩流体包裹体显微照片

A—单相的液相水包裹体, S65 井, 井深 5462.84 m, 鹰山组, 距不整合面距离 11.8 m, 方解石脉, 对角线长 0.262 mm; B—烃水包裹体, S86 井, 鹰山组, 井深 5812.57 m, 距不整合面距离 127.1 m, 方解石脉, 对角线长 0.375 mm; C—单相烃及气液两相烃包裹体, S65 井, 井深 5733.21 m, 鹰山组, 距不整合面距离 282.2 m, 方解石脉, 对角线长 0.375 mm; D—气液两相水包裹体, S86 井, 鹰山组, 井深 5812.57 m, 距不整合面距离 127.1 m, 方解石脉, 对角线长 0.375 mm

Fig.2 Micrographs of fluid inclusions in the Ordovician carbonate rock reservoir of Tahe Oilfield

A—Single-phase liquid water inclusions. S65 well, 5462.84 m in depth, Takayama Formation, the distance from the unconformity 11.8 m, calcite veins, diagonal length 0.262 mm; B— Hydrocarbon -water inclusions. S86 well, Takayama Formation, the distance from the unconformity 127.1 m, calcite veins, diagonal length 0.375 mm; C—Single-phase hydrocarbon and gas-liquid two-phase hydrocarbon inclusions. S65 well, 5733.21 m in depth, calcite veins, diagonal length 0.375 mm; D— Water-gas-liquid two-phase inclusions

含有气相水、液相水两相, 大小多为 $5\sim 10\ \mu\text{m}$, 大者可达 $30\ \mu\text{m}$ 以上, 气相比(气体充填度)通常为 $5\%\sim 30\%$ 。形态不一, 大小多为 $5\sim 10\ \mu\text{m}$, 大者可达 $15\ \mu\text{m}$, 气相比(气体充填度)通常小于 $5\%\sim 20\%$ 。两相气液水包裹体用于均一温度测定及盐度测定, 同时也涉及极少量的单相纯液相水包裹体。

3.2 盐度

盐度的测得主要通过冷冻法, 获取冰点温度, 通过一定的公式去求取流体盐度值。

在理论 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ 体系的最低冰点温度为

$-20.8\ ^\circ\text{C}$, 但是实验中发现一部分高于或者比 $-20.8\ ^\circ\text{C}$ 更低, 一方面解释属于亚稳定状态(一般指 $0\ ^\circ\text{C}$ 以上), 另一方面属于不同的盐水体系, 不同的低共熔温度, 有不同的盐度体系, 在计算之前必须先知道所属盐度体系。不同的盐度体系有不同的计算公式, 然后才能根据公式去计算盐度值。

(1) 根据夏日元^[9]分析塔里木盆地的化学成分特征, 溶蚀孔、缝充填矿物包裹体主要化学成分为 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 HCO_3^- , 笔者可以判断塔河油田的盐水体系。塔河油田以 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ 体系为主, 还可能

属于 NaCl-H₂O-CaCl₂ 型体系及 NaCl-NaHCO₃-H₂O 体系。

(2)根据许建华^[4]对于盐水包裹体初熔点来初步判断它主要属于哪一类盐水体系。在各种成岩环境中产生的流体都含有不止一种盐分(溶质),如 NaCl、KCl、MgCl₂、CaCl₂ 等,但多数情况下,NaCl 是流体中最主要的一种盐分。充分说明塔河油田的盐水包裹体体系主要为 NaCl-H₂O 体系。

(3)据 Potter 等^[5]的实验结果。具有相同冰点的 NaCl 溶液的性质来估算复杂的卤水体系 (Na-K-Ca-Mg-Cl-Br-SO₄-H₂O) 的 P-V-T-X 性质,其误差不超过±1%。因此最后笔者选择了 NaCl-H₂O 体系来计算其盐度值。

因此通过以上结论,笔者对塔河油田的计算主要以 NaCl-H₂O 体系来计算其盐度值。结合 Hall 等^[6]的公式: $\omega_s = -1.76958\theta - 4.2384 \times 10^{-2}\theta^2 - 5.2778 \times 10^{-4}\theta^3$,根据乌拉尔定理, potter 等人,笔者最后得出拟合公式: $\omega_s = -0.00055674682 \theta^3 - 0.04415897828\theta^2 - 1.77895316034\theta + 0.00811157631$,其中 θ 代表冰点温度; ω_s 代表盐度。

根据方解石脉、溶洞中方解石冰点温度数据得出相应的盐度值。对 40 个冰点数据进行处理,有 4

个数据超过-20.8℃,可能为 NaCl-H₂O 的亚稳定共结点(可以到-28℃),也可能是低温-高盐度 NaCl-H₂O-CaCl₂ 体系。本文以上结论均证明塔河油田 NaCl-H₂O 盐水体系,因此笔者用二元体系(NaCl-H₂O)来近似^[6]。详细的包裹体成分研究只可依靠激光拉曼探针以及等离子发射光谱仪器对阳离子与阴离子来分析。

根据对缝洞中的方解石、胶结物的盐度值进行计算,从而得出相应的盐度值分布图(图 3):从中可以看出塔河油田缝洞孔盐度范围为 0~23%。划分为低盐度(0~3.5%)、中盐度(6%~8%)、高盐度(10%以上)3 个范围。

3.3 流体密度

溶液的密度、温度和浓度有一定关系。在一定的浓度条件下,溶液的密度与温度成反比,盐度与密度成正比。S.N.Ahamad 和 A.W.Rose 综合了 Hass (1971)和 Copeland(1953)等的资料,绘制了 NaCl-H₂O 体系的温度、盐度、密度关系图。根据前人提供的关系图,当盐度和均一温度确定以后,该溶液的密度可以在图中求得。

本文将关系图数据化以后,再拟合,把所获得将缝洞孔及深部地层的白云石的 39 个盐水包裹体的

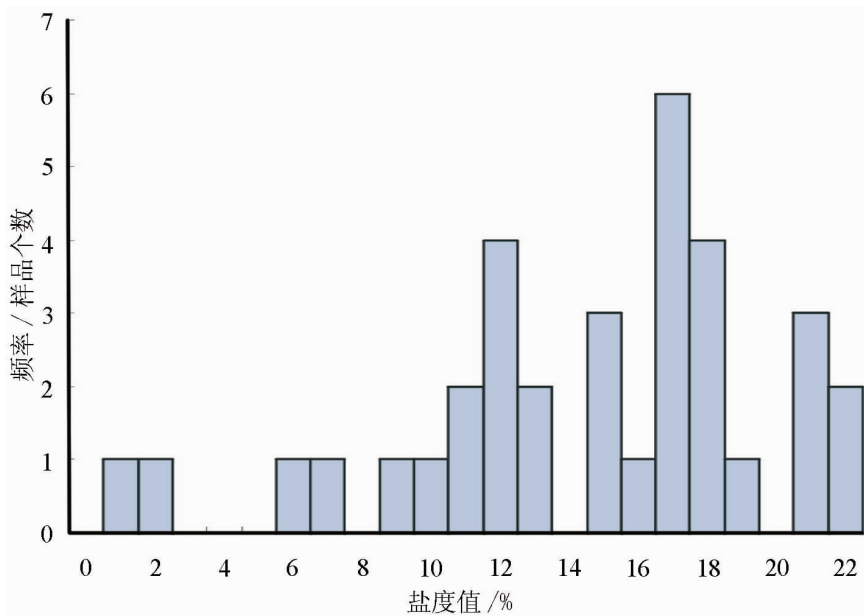


图 3 缝洞盐度分布图

Fig.3 Salinity distribution in fractures

①此处 potter 等人结论是引用成都理工大学李保华,蔡建明,刘若兰等 1991 年编制的非公开出版教材《矿物包裹体学(上、下册)》。

均一温度数据和盐度数据投点于温度-盐度-密度关系图中(图 4)。从中可以看出:流体的密度变化很大,从 $0.90\sim 1.15\text{ g/cm}^3$;塔河油田流体密度分布类型为:低温-高盐度-高密度、中温-中盐度-中密度、高温-低盐度-低密度。根据盐度与密度的相关性,说明盐度越高,密度越大,与理论依据一致。

4 流体包裹体在油气储层中的应用

经过上述数据初步处理和讨论,笔者可以把流体包裹体应用到油气储层中进行详细的讨论。塔里木盆地具有多期生排烃、多期油气运移、多期成藏、多期调整和破坏的特点^[7,8],油气藏的形成、改造、调整、再聚集和保存一般跨越多个构造期,由于烃源岩成熟早,各构造期(海西、燕山-印支、喜马拉雅运动期)都可成藏,而确定现存油气藏的成藏期是勘探评价工作必须回答的重要问题。以下主要以塔河油田奥陶系碳酸盐岩中流体包裹体为基础,来探讨其在成岩阶段、成岩成因、成岩环境、有机质热演化、流体充注时间等几方面的问题。

4.1 成岩阶段划分及成因分析

根据塔河油田显微镜观察流体包裹体特征,从单相到多相的出现过程可以大致划分为不同的成岩

阶段;盐水包裹体均一温度测定成岩温度: $50\sim 70^\circ\text{C}$ 、 $75\sim 100^\circ\text{C}$ 、 $110\sim 125^\circ\text{C}$ 、 $130\sim 160^\circ\text{C}$ 、 170°C 以上(图 5),孔洞缝充填物及结晶白云石的流体总共有 5 期,因此,根据包裹体类型及不同温度阶段,可以划分不同的成岩阶段。本文采用的成岩阶段划分方案采用中国石油天然气总公司于 2003 年发布的 SY/T5478《碳酸盐岩成岩阶段划分》划分方案:同生成岩阶段(古常温),大气淡水环境和海底环境以及混合水环境;早成岩阶段(古常温 $\sim 85^\circ\text{C}$),浅埋藏-中埋藏环境;中成岩阶段($85\sim 175^\circ\text{C}$),中埋藏-深埋藏环境;晚成岩阶段($175\sim 200^\circ\text{C}$),深埋藏环境;表生成岩阶段(古常温或常温),多次暴露及接近地表的成岩环境,发生物理、化学、生物(淋滤、溶蚀、侵蚀、剥蚀等)作用。

对照中石油天然气划分方案可以将缝洞中方解石划分为同生阶段、早成岩阶段、中成岩阶段、晚成岩阶段,表生成岩阶段(因为奥陶系经历过多期暴露)5 个阶段。这样的划分与大气淡水及埋藏深度有关,缝洞充填物涉及到从鹰山组到恰尔巴克组,经历了早成岩阶段到晚成岩阶段,中间经历多期暴露和剥蚀,因此可以认为经历了表生成岩阶段。胶结物与石英脉温度偏低,可以认为与大气淡水及浅埋藏-中深埋藏有关。所采白云石样品都位于蓬莱坝组,远离不

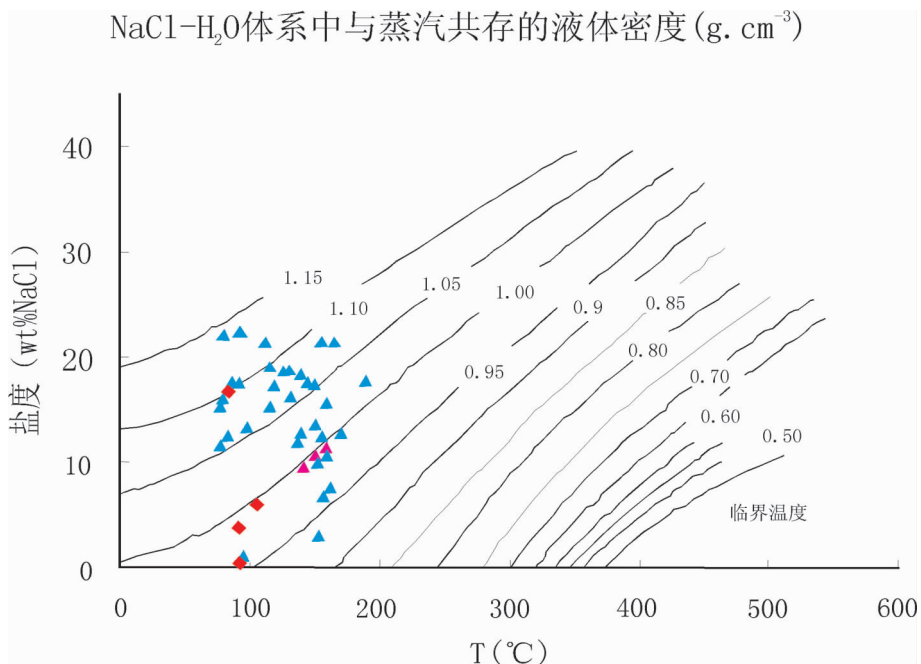


图 4 塔河油田温度-密度-盐度图(据 S.N.Ahmad 等^[9])

Fig.4 Temperature-density-salinity chart of Tahe Oilfield (after SNAhmad et al.)

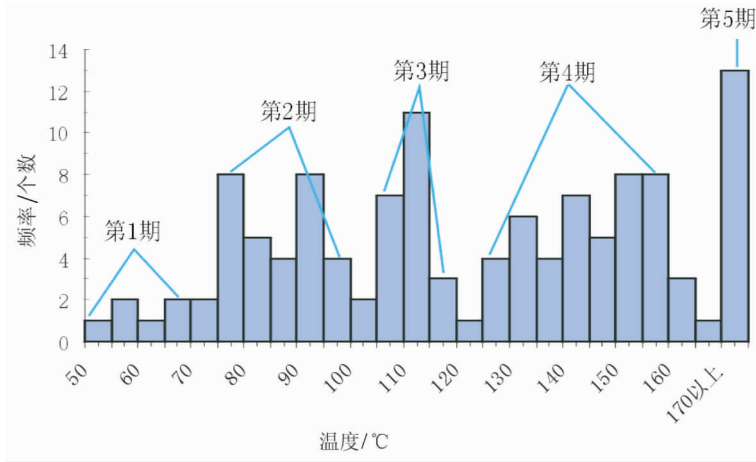


图 5 塔河油田方解石脉盐水包裹体均一温度分布图

Fig.5 Homogenization temperature distribution of calcite brine inclusions in Tahe Oilfield

整合面,因此可以认为与中-深、深埋藏成因有关。

4.2 塔河油田成岩环境分析

塔河油田的均一温度与盐度关系,可以反映不同成岩环境,以下将从不同方面来证明塔河油田从海相到陆相,多次表生作用阶段的过程。

4.2.1 成岩环境分析

塔河油田缝洞均一温度总共分为 5 期,因此认

为有 5 期不同的流体,根据 5 个阶段及成岩阶段划分,结合埋藏史(图 6)可以把低温包裹体 50~65°C 与正常浅海成岩环境、浅地表大气淡水成岩环境及混合水环境、抬升暴露表生大气淡水成岩环境相对应;65~85°C 早期浅-中深埋藏成岩环境;85~160°C 中-深埋藏成岩环境;170°C 以上可以认为属于深埋藏环境。这一结论刚好与陈强路^[9]的结论塔河油田下奥

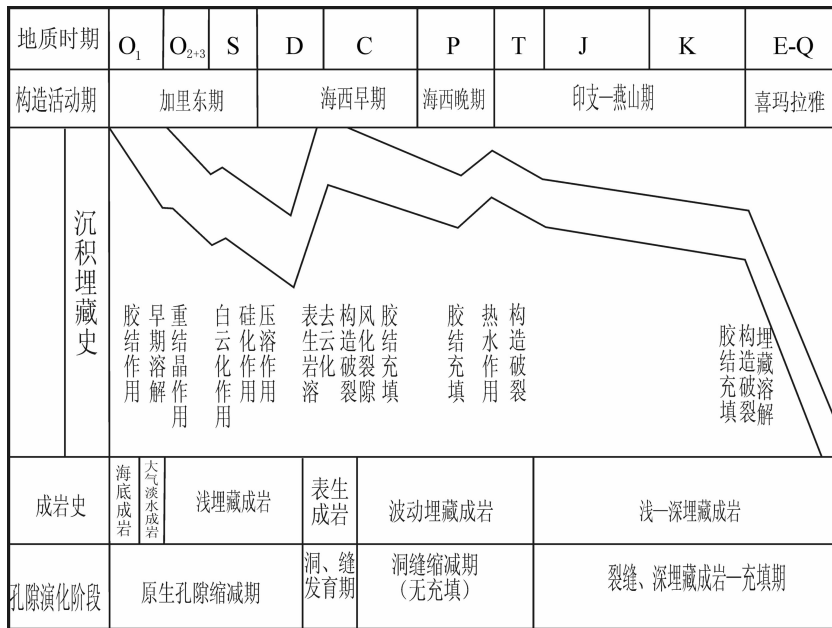


图 6 塔河油田奥陶系碳酸盐岩成岩及孔隙演化史(据陈强路^[9])

Fig.6 Ordovician carbonate rock diagenesis and pore evolution history of Tahe Oilfield (after Chen Qiang Lu)

陶统五大成岩环境对应：正常浅海成岩环境、浅地表大气淡水成岩环境、早期浅埋藏成岩环境、抬升暴露表生大气淡水成岩环境、浅-深埋藏成岩环境五大成岩环境。

根据俞仁连^[10]提出了加里东期中期奥陶系岩溶作用造成了两套碳酸盐岩缝洞系统的形成；陈强路、徐国强等^[11]认为海西早期三套洞穴形成。塔河油田缝洞里的流体包裹体五个期次的温度刚好与塔河油田五期缝洞充填有关，五期流体刚好充填了塔河油田奥陶统五套缝洞。

4.2.2 海相到陆相转换环境分析

流体包裹体的均一温度和盐度代表成岩矿物结晶温度，孔隙流体的盐度不同的盐度反映不同的成岩环境^[12]；碳酸盐岩大陆成岩环境与埋藏成岩环境最本质的差别是孔隙水性质的差异，从海底成岩环境转变为埋藏成岩环境孔隙水的变化表现为流体包裹体盐度的变化。盐水包裹体能够比较有效的应用于成岩环境解释，而成岩环境是研究储层孔洞缝演化的基础。

盐度是研究油田水性质的参数，盐水包裹体的盐度随沉积环境而异，盐度一般为0~23%（最高为23%），大于3.5%盐度值变化较大，属海水性质，也有可能是混合水，小于3.5%就可以认为属于淡水环境，这是海底环境向大陆成岩环境转变的重要标志。盐水包裹体的冰点（或盐度）能够提供不同时期成岩

流体水化学演化的信息，特别是与古岩溶有关的成岩水演化^[6]。碳酸盐岩大陆成岩环境与埋藏成岩环境最本质的差别是孔隙水性质的差异，从海底成岩环境转变为埋藏成岩环境孔隙水的变化表现为包裹体盐度的变化^[6,13,14]。均一温度-冰点关系图有时能帮助我们区别不同成岩环境捕获的盐水包裹体。

塔河油田均一温度、盐度的变化趋势为：从低到高的均一化温度，从较高到较低的盐度，且温度和盐度变化范围都很大。塔河油田方解石脉中均一温度与冰点关系图（图7），大多数点落在一定的范围内，少部分落在区外，可以大致看出缝洞分为两期，并且其盐水包裹体的盐度随着均一温度的升高而降低，根据上述流体密度的结论，水体密度逐渐降低，也能反映成岩环境的变化。而本区奥陶统部分方解石脉中包裹体的盐度分别为15.67%~11.58%NaCl（冰点为-7.9~-14.3℃）和21.75%~23.18%NaCl（冰点为-19.2~-21.8℃），都属海水性质，而盐度为1.06%~11.58%（冰点为-0.6~-7.9℃）属于淡水环境，成岩水由高-较高盐度的海水演化为低盐度的淡水，这也反映了从海相到陆相环境的变化，说明具有向淡水过渡的明显特征，表明成岩环境由海底向大陆浅埋环境过渡。

4.3 判断多期胶结-充填期次

塔河油田奥陶系碳酸盐岩经历的多期构造运动决定了裂隙（缝、洞）发育的多期性。岩心观察奥陶统

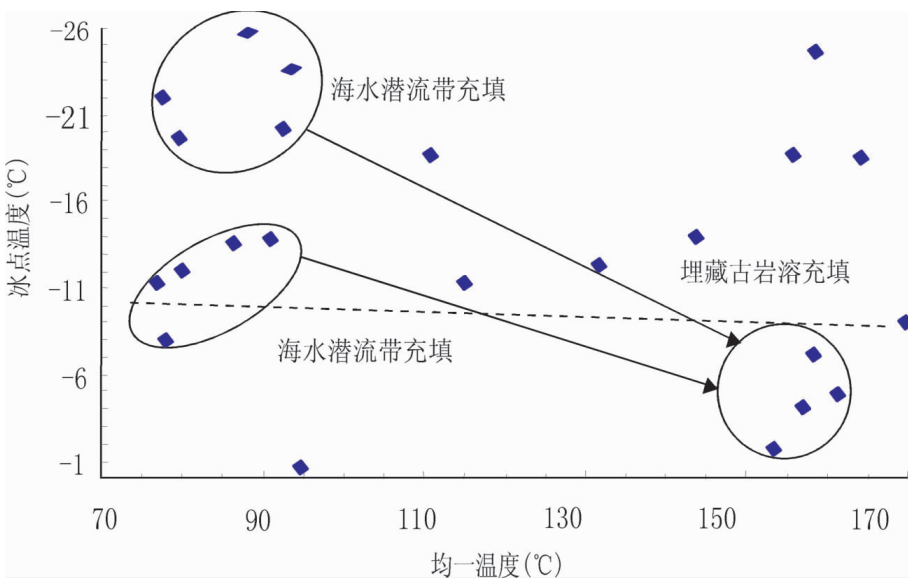


图7 塔河油田奥陶统方解石脉均一温度-冰点关系图

Fig.7 Homogenization temperature versus freezing point diagram of Ordovician calcite veins in Tahe Oilfield

普遍发育多组多期裂隙,以其产状的交切关系及充填状况可区分裂隙(缝、洞)发育的多期性。如同缝(孔洞)发育的多期性一样,其胶结充填也具多期性,盐水包裹体表现为同一期形成的裂隙(孔洞)经历了多期的充填,捕获的盐水包裹体均一温度表现为不同的几组^[6,12,14-16]。根据检测到的 S65 井 5744.65 m 的一组方解石脉及胶结物可以检测到 5 期流体:低温(60~70℃)饱气带-潜流带的包裹体、浅埋藏条件下的包裹体(75~90℃)和中温度(110~120℃)的中埋藏、较高温(130~160℃)中深埋藏、170℃以上为深埋藏。反映了岩溶期及其后埋深地层流体温度不断升高的多期胶结与充填的过程。

综合分析 7 口井不同溶蚀缝洞充填方解石捕获的 168 个盐水包裹体,其均一温度分布如图(图 8)。在 200℃范围内,胶结物里单相纯液相包裹体较多,同时还测出一部分 50~70℃低温低盐度的盐水包裹体,这部分包裹体说明是在渗流-潜流带捕获,进一步说明暴露岩溶期是最重要的胶结充填期。此外出现了 4 个不同主峰值的正态温度分布模式,4 个主峰值及变化区间分别为 95℃(80~100℃)、115℃(100~125℃)、147.5℃(130~160℃)、170℃以上。其中第 4 个峰值(170℃以上)捕获包裹体笔者倾向认为是受热水作用的影响。

根据刘斌^[7]的公式: $h=(t_h-t_0)/\Delta t+h_0$ 。其中 t_h 为均一温度、 Δt 为地温梯度、 t_0 为地表温度、 h_0 为地表高度。在一般情况下 h_0 取 0,因此,公式可以简化为 $h=(t_h-19)/2.3$ 。

塔河油田以 2.3℃/km 地温梯度、19℃地表温度计算,前 3 个峰值估算埋深分别为 2600~3500 m、3500~4600 m、4800~6000 m,由此分别对应于浅-深埋藏过程印支-燕山期、喜山期胶结充填。

4.4 证明热水作用的存在

根据本区 10 余口井流体包裹体测温分析表明,在塔河油田检测至少 5 期的盐水流体包裹体表明,除了 1 期近地表低温岩溶作用之外,至少存在 4~5 期热流体活动,第 5 期为高温热流体。这里所说的热水不同于深部岩浆热液,是指受深部岩浆活动期后影响而具有较高温特征的地层水溶液,因此而发生的成岩作用称热水作用。在所采样的 7 口井(S15、S88、S65、S86、S106-4、T904、S110)检测到该期高温热流体(170℃以上)(表 2),总共 16 个数据,而这 7 口井主要分布在鹰山组,只有一个样品分布在蓬莱坝组,尽管人们一直认为塔里木盆地是一个低地温梯度(与东部地区相比)的沉积盆地,但这并不意味着该盆地没有热液流体活动。

S65 井 5462.84~5733.21m 裂缝充填方解石为高热液交代,平均为 188.6℃,根据地温梯度 2.3℃^[8],地表温度 19℃,得出 S65 的最大埋深温度应该为 144.65~150.86℃,而此时的平均温度为 188.6℃。S86 井 5812 m 裂缝充填方解石为高热液交代。被交代裂缝方解石盐水包裹体均一温度 195~215.8℃,平均均一温度 204.3℃,根据地温梯度计算理论温度 152.68℃。S65 与 S86 井位于塔河油田的四区、八区,处在海西晚期-末期发生的北东向断裂^[9],综合两口

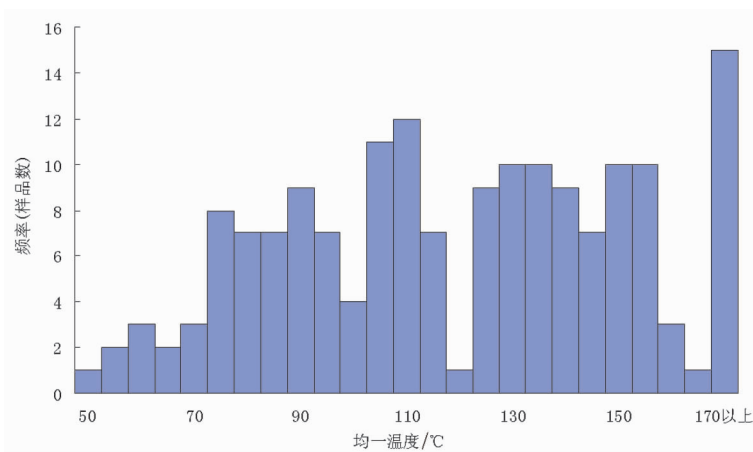


图 8 塔河地区奥陶统缝洞方解石盐水包裹体均一温度分布图
Fig.8 Homogenization temperature distribution of brine inclusions
in Ordovician fracture calcite of Tahe area

表 2 塔河油田高温流体包裹体数据
Table 2 Data of high-temperature fluid inclusions in Tahe Oilfield

井号	样品深度/m	与不整合面 之间的距离/m	样品产状	大小/ μm	气液比/%	均一温度/ $^{\circ}\text{C}$
S106-4	6010.32	25.32	方解石脉	10	10	187.5
S110	6098.30	24.80	溶洞中充填方解石	20	10	189.5
S15	5451.90		白云岩	3	20	176.1
	5462.84	11.84	方解石脉	10~20	3~20	193.1~199.8
S65	5532.79	81.79	方解石脉	14	5	173.7
	5733.21	282.21	方解石脉	10	10	185
S86	5812.57	127.07	方解石脉	5~12	3~5	195~215.8
S88	6408.79	924.79	方解石脉	8x2	5	193.6
T904	5900.25	90.86	溶洞中充填方解石	5	5	172.3

井的计算(表 3),测出的均一温度都比理论温度高,表明本区存在热水作用并且属于同时期热液流体。同时还检测到白云石的高温流体存在,而且白云岩埋藏深度较深,远离不整合面,因此可以根据均一温度数据推测有热液成因白云石的存在。

4.5 证明岩溶发育具有多期或多旋回

运用“冷冻成核”和“再循环”技术,并配合气/液比测定,可以直接观测近地表环境(古风化壳附近)的低温流体包裹体。根据本次研究测定的碳酸盐岩缝洞孔中低温包裹体,依其特征可以判别捕获环境,如

饱气带内两种流体相的非均一捕获可以形成纯液相包裹体和高度变化的气/液比的包裹体,仅有纯液相流体包裹体组合,温度低于 50~60 $^{\circ}\text{C}$ 和冷冻成核后高度一致的气/液比是位于潜水面之下的潜流带捕获流体包裹体的特征^[20]。经过以上讨论认为低温包裹体都可能是纯液相,因此本次研究把 50~65 $^{\circ}\text{C}$ 都归为潜流带的温度(表 4)。

塔河油田奥陶系 S106-4 井中发现距风化壳下 25 m 有具饱气带特征的包裹体,如 S106-4 井一间房组,6010.32 m 裂隙中充填的方解石中发育均一温

表 3 方解石脉高温包裹体的计算
Table 3 Calculation of high-temperature inclusions in calcite veins

井号	井深/m	平均温度/ $^{\circ}\text{C}$	理论温度/ $^{\circ}\text{C}$
S65	5462.84~5733.21	188.6	144.65~150.86
S86	5812.57	204.3	195~215.8

表 4 塔河油田低温流体包裹体发育情况
Table 4 Development of low-temperature fluid inclusions in Tahe Oilfield

样号	井号	地层组	样品深度/m	与不整合面之间的 距离/m	样品产状	均一温度/ $^{\circ}\text{C}$
TH131	S65	鹰山组	5462.84	11.84	胶结物	62.3
			5733.21	282.21	方解石脉	65
THB4	S106-4	一间房组	6010.32	25.32	方解石脉	53.2
						56.4
THB51	T904	恰尔巴克组	5831.86	109.86	方解石脉	58.6
						60.2
THB8	S110	良里塔格组	6090.97	17.47	溶洞中充填方解石	60.9
						64.3

度小于 50~60℃的单一盐水包裹体;而 S65 井鹰山组 5733.21 m 离不整合面 282.21 m,因此说明纵向上至少两次岩溶多旋回或是多期古地表岩溶相互叠加。岩溶作用的发生,是近地环境下充填方解石捕获的产物;而 S110 井良里塔格组 6090.97 m 距不整合面 17.47 m 捕获的盐水包裹体仍具饱气带包体特征,904 井恰尔巴克组 5831.86 m 方解石脉距不整合面 109.86 m 指示了至少发育两次岩溶过程。综合纵向上两个不整合面都有至少两期岩溶作用发生,并且说明不同深度都有潜流水标志。

4.6 判断油气成熟度

通过显微镜观察,最后根据不同层位、不同井位、不同深度进行归类总结塔河地区的与盐水包裹体伴生的油气包裹体类型及主要特征(表 5):石英脉主要以单相水包裹体出现,孔隙中生长的胶结物也主要以单相为主,结晶白云岩里的包裹体数量少,寻找难度较大,主要挑选对象是自形而干净,雾心亮边的白云石,偶见环带现象。

表 5 主要总结的是与盐水包裹体伴生的油气包裹体,从中可以大致看出整个塔河油田随着深度的增加,有机质不断成熟演化的过程,包裹体类型从纯液相包裹体—气液两相包裹体;纯液烃包裹体—气液两相烃包裹体,而且有机包裹体主要出现在晚期成岩,与盐水包裹体伴生,刚好与刘鑫^[15]近地表至深埋环境都有盐水包裹体分布,有机包裹体则主要集中在晚期粗大的胶结物中,与盐水包裹体伴生这一结论相吻合。

本次研究的盐水包裹体与烃水包裹体伴生,因为采集样品时为断裂带中近同期的方解石、石英脉样品,进行包裹体观测,其中发育了烃有机包裹体,说明断裂形成时即发生了烃类运移。烃类包裹体伴生的盐水包裹体均一温度、盐度以及烃类包裹体均一温度,表明良里塔格组—恰尔巴克组总的变化趋势为:单相纯液水包裹体—少量两相气液水包裹体—见沥青或烃现象。一间房组、鹰山组、蓬莱坝组总的变化趋势为:单相纯液相水包裹体为主—单相纯液水包裹体、纯液烃包裹体—少量单相水包裹体;两相气液体水包裹体为主;少量单相液烃包裹体;两相烃包裹体为主—以两相气液包裹体为主;两相烃水包裹体为主。

同一层位,不同井深,包裹体分布规律大致总是从单相水—两相水包裹体、单相烃到两相烃。如从

S65 井,可以看出:单相纯液水包裹体;少量两相气液体水包裹体—单相纯液相水包裹体为主;少量的气液水包裹体;偶见烃水包裹体—单相液烃包裹体;大量的两相气液烃包裹体。S77 石英脉主要以单相为主,胶结物从单相变多相。

总的来说,随着埋藏深度增加,成岩作用不断增强、有机质不断演化。距不整合面越近单相包裹体就越多;距不整合面越远,两相包裹体越多,烃水包裹体也越多。因此可以根据显微观察,对照成岩阶段划分可以判断油气成熟度:同生成岩阶段(古常温),大气淡水环境和海底环境以及混合水环境,单相纯液相水包裹体,一般不发育烃包裹体,有机质未形成烃类;早成岩阶段(古常温~85℃),浅埋藏—中埋藏环境,单相纯液水包裹体、纯液烃包裹体、两相气液体水包裹体,是生物气形成阶段;中成岩阶段(85~175℃),中埋藏—深埋藏环境,两相烃包裹体—以两相气液包裹体为主,为原油至凝析油形成阶段;晚成岩阶段(175~200℃),深埋藏环境,以两相气液包裹体为主;两相烃水包裹体为主,为干气形成阶段。

另外,依据施继锡^[20]的研究:大量的中国碳酸盐岩生油的生油温度和最佳生油高峰主要出现在 140~160℃以及测定的盐水包裹体一般比有机包裹体均一温度高 5~10℃,笔者把所测的均一温度数据同时减去 5~10℃,本次研究中最主要的均一温度主要分布范围为 125~160℃,那么油气包裹体的均一温度范围为 105~150℃,这一数据结论可以很好地说明塔河油田是中国迄今最大的一个海相烃源大型油田。得出缝洞孔里与盐水包裹体伴生的油气包裹体温度为:50~65℃、70~95℃、105~120℃、120~140℃。这一温度与李纯泉^[21]等的研究结果塔河油田奥陶系存在 4 期油气充注入,最后一期为天然气充注,油气包裹体的均一温度范围分别划分为:55~80℃、80~105℃、105~125℃、120~140℃一致。第一期充注为低成熟度;第二期为中等成熟油;第三期为成熟油;第四期为高成熟油。以上证据充分说明:塔河油田奥陶系缝洞油气充注随着深度的增加,有机质不断演化,充注时间也是从低成熟油到高成熟油的过程。而第 5 期与盐水包裹体伴生的烃类包裹体与晚期的天然气形成有关,高温盐水包裹体与热水成因有关。

4.7 判断油气充注及主成藏期

塔河油田是中国迄今最大的一个海相烃源大型

表 5 塔河油田有机包裹体类型及现象
Table 5 Types and phenomena of organic inclusions in Tahe Oilfield

层位组	样品 编号	井号	样品深度/m	距不整合面 距离/m	包裹体特征
良里 塔格组	THB8	S110	6090.97	17.47	单相纯液水包裹体为主;少量两相气液水包裹体
恰尔 巴克组	THB51	T904	5831.86	109.86	见沥青或烃现象
一 间 房 组	THB4	S106-4	6010.32	25.32	以单相纯液相水包裹体为主
	THB17	S118	5910.40	11.40	以单相纯液相水包裹体为主
	THB55	T904	5896.90	60.40	单相液烃包裹体为主;少量两相气液烃包裹体
	THB58		5900.25	63.75	单相液烃包裹体为主;少量两相气液烃包裹体
鹰 山 组	TH117	S61	5571.59	104.1	极少量的单相水包裹体;主要为两相气液水包裹体;少量 两相烃水包裹体
	TH131	S65	5462.84	11.8	单相纯液水包裹体;少量两相气液水包裹体
	TH133		5468.25	17.3	以单相纯液水包裹体为主;含沥青
	TH137		5475.59	24.6	以单相纯液相水包裹体;少量的气液水包裹体;偶见烃水 包裹体
	TH151		5733.21	282.2	单相液烃包裹体;大量的两相气液烃包裹体
	TH155	S67	5590.39	131.4	少量单相纯液水包裹体;以气液水包裹体为主
	THB49	S77	5644.55	208.05	胶结物单相或两相气液水包裹体;石英脉单相或两相气 液水包裹体
	TH208	S86	5812.57	127.1	裂缝充填白云石;与方解石脉伴生
蓬 莱 坝 组	TH86	S15	5393.41		伴石英脉,沿石英生长线生长;石英脉中包体以单相纯液 相水包裹体为主
	TH87		5407.01		伴石英脉,沿石英生长线生长;石英脉中包体以单相纯液 相水包裹体为主
	TH90		5415.42		伴石英脉,沿石英生长线生长;石英脉中包体以单相纯液 相水包裹体为主
	TH101		5448.14		主要为两相的烃水包裹体
	TH243	S88	6408.79	924.8	白云石中少量单相纯液水包裹体;以气液水包裹体为主; 裂缝充填方解石
	TH246		6428.15	944.2	见沥青,中晶白云石

油田。受塔里木盆地多幕构造运动制约,塔河油田发生多期油气运聚,具有极为复杂的油气成藏历史。然而,传统的有机地球化学和流体势方法难以有效地研究多源混合、多期生排烃和多期成藏复杂盆地的

油气运移问题。流体包裹体是成岩矿物结晶过程中捕获于晶体缺陷中的成岩成矿流体,记录了油气运聚成藏复杂信息。由此可见,由系统检测有机/无机流体包裹体的温、压、组分参数和荧光特征而发展起

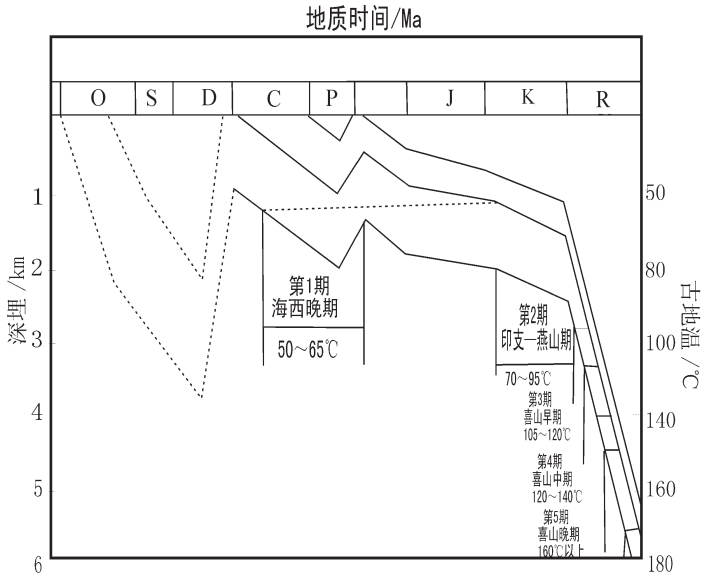


图 9 塔河油田奥陶系储层油气充注时期划分 (据叶德胜^[24])

Fig.9 Division of Ordovician reservoir gas injection periods (after Ye Desheng^[24])

来的“流体包裹体地层学”技术将成为油气成藏动力学研究的强大工具^[23]。

烃类包裹体的存在是油气运聚过程发生过程的直接证据。本文在塔里木盆地塔河油田下古生界奥陶系碳酸盐岩系统磨制 31 块样品,在详细的宏微观岩石学、裂缝发育期次和古岩溶期次特征描述的基础上,在 10 口井的样品测试过程中检测到大量与盐水包裹体伴生的油气包裹体以及纯液相包裹体,这些充分证实了塔河油田奥陶系储层曾发生过的油气充注过程。塔河油田缝洞中的盐水包裹体均一温度数据显示,有 5 期流体的充注,而这 5 期盐水包裹体都与油气包裹体伴生。因此,可以认为同样有 5 期次的油气充注。这与前面讨论的流体充注的 5 期构造有关,即海西晚期、印支—燕山、喜山早期和喜山中期,最后一期发生在喜山晚期。这一结论与叶德胜 (图 9)^[24] 4 期油气充注分别发生在海西晚期、印支—燕山、喜山早期和喜山中期,天然气充注发生在喜山晚期相对应。

塔河油田奥陶系储层测试成果展示的的油藏原油化学组成、密度、粘度等分布特征表明,其主体低成熟度的油组成^[25]。根据李纯泉(2005)^[22]由荧光观察获得的信息表明,第 1 期油包裹体所捕获的原油为低成熟油,对流体包裹体系统分析的各项测试结果也表明,第 1 期油充注在奥陶系储层的整个充注历

史中占据了绝对优势。综合各种因素可以判定,塔河油田的主体为第 1 期油包裹体所捕获的原油,也就是说塔河油田奥陶系储层的主成藏期应为第 1 期油的充注时期,即海西晚期。

5 结论

塔河油田奥陶系储层经历了多期构造运动的改造,期间发生过多期油气充注过程。利用流体包裹体这一古流体原始样品的测试资料,笔者通过 215 个均一温度数据和 57 个盐度数据综合分析,对塔河油田流体包裹体得出如下结论:主要分为 H₂O 包裹体、有机质包裹体、有机质-H₂O 包裹体三大类;低、中、高 3 个盐度范围;密度范围为 0.90~1.15 g/cm³;经过均一温度测试,塔河油田缝洞里充填了 5 期方解石;缝洞中方解石经历了 5 个阶段:同生阶段、早成岩阶段、中成岩阶段、晚成岩阶段,晚成岩阶段表生成岩阶段(因为奥陶系经历过多期暴露)并同时经历了五大成岩环境:正常浅海成岩环境、浅地表大气淡水成岩环境、早期浅埋藏成岩环境、抬升暴露表生大气淡水成岩环境、浅-深埋藏成岩环境;解释了塔河油田奥陶系多期胶结与多期充填;证明研究区热液流体的存在;很好地解释了多期岩溶作用现象;判断了塔河油田的油气成熟度;得出了油气充注发生在海西晚期、印支—燕山、喜山早期和喜山中期,天

然气充注发生在喜山晚期,主成藏期发生在海西晚期。

参考文献 (References):

- [1] 刘鑫. 碳酸盐岩矿流体包裹体主要特征和类型及其与成岩作用关系探讨[J]. 石油勘探与开发, 1991, 18(增刊):42-49.
Liu Xin. Carbonate mineral inclusions in the main features and types and their relationship of the diagenesis[J]. Petroleum Exploration and Development, 1991, 8 (supp.):42-49 (in Chinese with English abstract).
- [2] 康玉柱. 中国海相油气田勘探实例之四塔里木盆地塔河油田的发现与勘探[J]. 海相油气地质, 2005, 10(4):31-38.
Kang Yuzhu. Chinese marine oil and gas exploration and the four of examples of discovery and exploration in Tahe Oilfield, Tarim Basin [J]. Marine Petroleum Geology, 2005, 10 (4):31-38 (in Chinese with English abstract).
- [3] 夏日元, 唐建生, 邹胜章, 等. 塔里木盆地北缘古岩溶充填物包裹体特征[J]. 中国岩溶, 2006, 25(3):246-249.
Xia Riyuan, Tang Jiansheng, Zou Shengzhang, et al. The northern margin of the Tarim Basin Paleokarst filling characteristics of fluid inclusions [J]. China Karst, 2006, 25 (3):246-249(in Chinese with English abstract).
- [4] 许建汉, 侯中昊, 王金友, 等. 羌塘盆地流体包裹体特征及其在储层成岩研究中的应用[J]. 石油实验地质, 2003, 25(1):81-86.
Xu Jianhua, Hou Zhongyu, Wang Jinyou, et al. Qiangtang Basin characteristics of fluid inclusions in reservoir diagenetic research[J]. Petroleum Experiment Geology, 2003, 25 (1):81-86 (in Chinese with English abstract).
- [5] 刘德汉, 卢焕章, 肖贤明. 流体包裹体在油气勘探研究中的应用[M]. 广州:广东科技出版社, 2007:9-19.
Liu Dehan, Lu Huanzhang, Xiao Xianming. The Application of Fluid Inclusions in Oil and Gas Exploration Research [M]. Guangzhou:Guangdong Science and Technology Press, 2007:9-19 (in Chinese with English abstract).
- [6] 陈丽华, 王家华, 李应暹, 等. 油气储层研究技术[M]. 北京:石油工业出版社, 2000:176-197.
Chen Lihua, Wang Jiahua, Li Yingzhai, et al. Reservoir Research and Technology [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2000:176-197 (in Chinese with English abstract).
- [7] 康玉柱. 中国塔里木盆地石油地质特征及资源评价[M]. 北京:地质出版社, 1996.
Kang Yuzhu. China's Tarim Basin, Petroleum Geology and Resource Evaluation [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1996(in Chinese with English abstract).
- [8] 康志宏, 汤良杰, 秦德余. 塔里木盆地的原型结构与叠加控油作用[C]//张功成, 徐宏. 中国古油气盆地构造. 北京:石油工业出版社, 1999:233-260.
Kang Zhihong, Tang Liangjie, Qin Deyu. Tarim Basin, the prototype structure and the role of superimposed oil control [C]// Zhang Gongcheng, Xu Hong. Ancient Chinese Oil and Gas Basin. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999:233-260 (in Chinese with English abstract).
- [9] 陈强路, 钱一雄, 马红强, 等. 塔里木盆地塔河油田奥陶系碳酸盐岩成岩作用与孔隙演化[J]. 石油实验地质, 2003, 25(6):729-734.
Chen Qianglu, Qian Yixiong, Ma Hongqiang, et al. Tahe Oilfield in Tarim Basin the Ordovician carbonate rock diagenesis and porosity evolution [J]. Petroleum experimental geology, 2003, 25 (6):729-734(in Chinese with English abstract).
- [10] 俞仁连. 塔里木盆地塔河油田加里东期古岩溶特征及其意义[J]. 石油实验地质, 2005, 27(5):468-478.
Yu Renlian. Tahe Oilfield in Tarim Basin karst features of the ancient Caledonian and its significance [J]. Petroleum Geology Experiment, 2005, 27 (5):468-478 (in Chinese with English abstract).
- [11] 徐国强, 李国蓉, 刘树根, 等. 塔里木盆地早海西期多期次风化壳岩溶洞穴层[J]. 地质学报, 2005, 79(4):557-567.
Xu Guoqiang, Li Guorong, Liu Shugen, et al. Tarim Basin Multi-period Early Hercynian karst cave floor weathering crust [J]. Geological Journal, 2005, 79 (4):557-567(in Chinese with English abstract).
- [12] 王铁冠, 金振奎, 王大锐, 等. 无机地球化学在石油地质学中的应用[M]. 北京:石油工业出版社, 1999.
Wang Tieguan, Jin Zhenkui, Wang Darui, et al. Inorganic Geochemistry in the Application of Petroleum Geology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999 (in Chinese with English abstract).
- [13] 张德全, 张慧, 丰友成, 等. 柴北缘——东昆仑地区造山型金矿床的流体包裹体研究[J]. 中国地质, 2007, 34(5):843-854.
Zhang Dequan, Zhang Hui, Feng Youcheng, et al. Fluid inclusions in orogenic gold deposits in the northern Qaidam margin-East Kunlun region [J]. Geology in China, 2007, 34 (5):843-854 (in Chinese with English abstract).
- [14] 陈荣林, 等. 川北侏罗系大安寨段介屑灰岩成岩作用与流体包裹体研究[J]. 石油实验地质, 1991, 13(2):158-159.
Chen Ronglin, et al. Kawakita Jurassic limestone debris Da Zhai Jie Duan Diagenesis and fluid inclusions [J]. Experimental Petroleum Geology, 1991, 13(2):158-159(in Chinese with English abstract).
- [15] 刘鑫. 碳酸盐岩矿流体包裹体的主要研究方法及其应用[J]. 石油实验地质, 1991, 13(4):399-401.
Liu Xin. Carbonate rock and mineral inclusions in logistics the main body of research method and its application [J]. Experimental Petroleum Geology, 1991, 13(4):399-401(in Chinese with English abstract).
- [16] 刘鑫. 百色盆地上法地区兰木组矿流体包裹体特征与油气关系[J]. 天然气工业, 1990, 10(1):57-58.
Liu Xin. Baise Basin France region wooden Orchid Group fluid inclusions characteristics and the relationship between oil and gas[J]. Natural Gas Industry, 1990, 10(1):57-58(in Chinese with English abstract).

- [17] 刘斌. 烃类包裹体热动力学 [P]. 中国, ISBN7-03-015080-5. 2005.
Liu Bin. Thermodynamics of hydrocarbon inclusions [P]. China, ISBN7-03-015080, 2005(in Chinese with English abstract).
- [18] 王恕一, 陈强路, 马红强. 塔里木盆地塔河油田下奥陶统碳酸盐岩的深埋溶蚀作用及其对储集体的影响 [J]. 石油实验地质, 2003, 11(25):560.
Wang Shuyi, Chen Qianglu, Ma Hongqiang. Tahe Oilfield in Tarim Basin Lower Ordovician carbonate rocks buried deep corrosion and its impact on the reservoir [J]. Experimental Petroleum Geology, 2003, 11(25):560(in Chinese with English abstract).
- [19] 陈胜. 塔河油田奥陶系古岩溶及储层特征研究 [D]. 成都理工大学, 2007:11.
Chen Sheng. Tahe Oilfield Ordovician Karst and Reservoir Characteristics of [D]. Chengdu University of Technology, 2007: 11(in Chinese with English abstract).
- [20] 陈红汉, 龚再升. 碎屑石英颗粒继承性裂纹和空隙胶结物中同生流体包裹体——获取古环境温度和盐度又一途径[J]. 天然气工业, 2002, 22(1):9-14.
Chen Honghan, Gong Zaisheng. Detrital quartz grains inherited cement cracks and gaps in the fluid inclusions in the same——to obtain ancient environment of temperature and salinity is another new approach [J]. Natural Gas Industry, 2002, 22 (1):9-14(in Chinese with English abstract).
- [21] 施继锡, 余孝颖. 碳酸盐岩中包裹体有机质与非常规油气评价 [J]. 矿物学报, 1999, 16(2)103-108.
Shi Jixi, Yu Xiaoying. Carbonate inclusions in organic matter and unconventional oil and gas assessment [J]. Mineral Journal, 1999, 16 (2):103-108(in Chinese with English abstract).
- [22] 李纯泉, 陈红汉, 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, et al. Tahe Oilfield Ordovician reservoir fluid inclusions [J]. Oil Journal, 2005, 26 (1):42-46(in Chinese with English abstract).
- [23] 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):256-270.
Chen Honghan, Li Chunquan, Zhang Ximing, et al. The use of fluid inclusions to determine Tahe oil and gas accumulation periods and the main accumulation period [J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(1):265-270 (in Chinese with English abstract).
- [24] 叶德胜, 王根长, 林忠民, 等. 塔里木盆地北部寒武—奥陶系碳酸盐岩特征及油气远景[M]. 成都: 四川大学出版社, 2000.
Ye Desheng, Wang Genchang, Lin Zhongmin, et al. The northern Tarim basin Cambrian-Ordovician carbonate rock characteristics and hydrocarbon potential [M]. Chengdu: Sichuan University Press, 2000(in Chinese with English abstract).
- [25] 张希明. 新疆塔河油田下奥陶统碳酸盐岩缝洞型油气藏特征[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(5):17-22.
Zhang Ximing. Tahe Oilfield in Xinjiang Lower Ordovician carbonate chimney cavity reservoir characteristics [J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(5):17-22(in Chinese with English abstract).

Fluid inclusion study of the Ordovician carbonate rock reservoir in the Tahe Oilfield

WU Meng¹, ZENG Chuan-bin¹, HUANG Si-jing²

(1. Yongchuan District Land Resources and Housing Administration of Chongqing City Chongqing 402160, China; 2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: This paper studied the characteristics of fluid inclusions, based on technical methods of fluid inclusions and a lot of information and previous results obtained in the Tahe Oilfield. The results show that the fluid inclusions can be broadly divided into H₂O inclusions, organic matter inclusions, and organic matter-H₂O inclusions. The Ordovician reservoir of the Tahe Oilfield experienced five times of thermal fluid activities corresponding to four times of petroleum charging and one time of gas charging; three different salinity values were obtained; fluid density varies in the range of 0.90~1.15 g/cm³. This paper systematically elaborated fluid inclusions in Ordovician carbonate rocks of the Tahe Oilfield, pointing out the application of fluid inclusions in such aspects as the diagenetic environment, the function of high-temperature hot water, the low temperature multi-cycles, the oil gas maturity and the oil gas charge.

Key words: Tahe Oilfield; fluid inclusion; homogenization temperature; salinity; oil and gas reservoir

About the first author: WU Meng, female, born in 1982, mainly engages in the administration of geology and mineral resources; E-mail: wunanyan_2@163.com.