

文章编号:1673-5005(2010)04-0038-06

基于流体包裹体的任丘油田雾迷山组成藏 期次确定与古压力恢复

李 静^{1,2}, 查 明¹

(1. 中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 青岛 266555; 2. 中国石油大学 储运与建筑工程学院, 山东 青岛 266555)

摘要:利用 Linkam THMS 600 型冷热台和 LabRam-010 型激光拉曼光谱仪,采用先进的包裹体测试技术及分析方法,对任丘油田雾迷山组地层储层流体包裹体进行了显微荧光、均一温度、冰点、拉曼光谱等分析测试,以确定雾迷山组储层油气充注时间及成藏期次,并利用数据对油气充注时古压力进行恢复。结果表明:该储层流体包裹体主要包括单相烃类包裹体、两相烃类包裹体、含饱和烃盐水包裹体及两相盐水包裹体 4 种类型;流体包裹体均一温度具有明显的双峰特征,峰值分别为 70~90 °C 和 110~120 °C,盐度数据也集中在 2 个区域;沙二段及明化镇组沉积中期是主要成藏期;油气充注时的压力总体高于正常地层压力,但是并未造成异常高压。

关键词:任丘油田;雾迷山组;方解石;流体包裹体;均一温度;成藏期次;古压力

中图分类号:TE 122.1 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1673-5005.2010.04.007

Determination of oil accumulation period and building up of paleopressure of Wumishan formation in Renqiu Oilfield by using fluid inclusion

LI Jing^{1,2}, ZHA Ming¹

(1. College of Geo-Resources and Information in China University of Petroleum, Qingdao 266555, China;

2. College of Storage & Transportation and Architectural Engineering in China University of Petroleum, Qingdao 266555, China)

Abstract: For the purpose of ascertaining the time and accumulation period of oil charging in the Wumishan formation, the microfluorometry, homogenization temperature and laser Raman spectroscopy of the fluid inclusions from this formation were tested and analyzed by using Linkam THMS 600 and LabRam-010 laser spectrum analyzer. On the basis of testing data, the paleopressure of the reservoir was builded up. The results show that the fluid inclusions of this area include single-phase and two-phase hydrocarbon inclusions, brine inclusions with highly saturated hydrocarbon and two-phase brine inclusions. The homogenization temperature of the fluid inclusions has two special peaks at 70–90 °C and 110–120 °C. The salinity of inclusions also concentrates in two areas which coincided with the homogenization temperature. The sedimentary times of member 2 of Shahejie formation and middle Minghuazhen formation are the main oil accumulation period. The pressure of oil charging period is higher than the normal pressure of reservoir, but the surpressure is not caused.

Key words: Renqiu Oilfield; Wumishan group; calcite; fluid inclusion; homogenization temperature; oil accumulation period; paleopressure

油气作为热液流体在初次、二次运移过程中均会随晶体生长或裂隙愈合而被捕获形成有机包裹体^[1],其往往被封存于碳酸盐岩和碎屑岩中的方解石脉、石英脉、石英加大次生边、石英颗粒裂缝愈合处或同期形成的萤石、硬石膏等自生矿物中^[2]。近

年来,利用激光拉曼、冷热台测温等测试技术测试油气包裹体特征参数,根据油气包裹体的测试数据及其与成岩作用之间的关系来判断油气运移的相对时间^[3-5],并运用流体包裹体的种类、丰度、分布等特征来分析油气藏的成藏特征的研究取得了很大进

收稿日期:2010-02-12

基金项目:国家自然科学基金项目(40772081);中国石油股份有限公司重点科技攻关项目(HBYT-WTY-2008-JS-1)

作者简介:李静(1967-),女(汉族),山东蓬莱人,副教授,博士研究生,主要从事油气成藏机理与地质工程方面的综合研究。

展。运用流体包裹体特征研究油气注入史已证明是研究油气成藏过程的一个有效途径和手段^[6-12]。近年来沉积盆地中古压力的研究已经成为盆地分析与研究中不可缺少的组成部分,在油气资源勘探与远景预测中起着越来越重要的作用。通过研究流体包裹体可以得出其成藏环境的原始古压力,它可用来研究油气运聚史及构造运动史^[13]。笔者利用包裹体激光拉曼光谱成分、显微荧光和包裹体均一温度及冰点测试结果,结合埋藏史和热史研究任丘潜山雾迷山组油层油气运移期次和油气充注时间,并对古压力进行恢复。

1 区域地质概况

任丘油田位于渤海湾盆地西部冀中坳陷饶阳凹陷北部与霸县凹陷之间的过渡地区,是一个以下古生界和中上元古界碳酸盐岩为储层、古近系沙河街组二、三段为烃源岩、沙河街组一段和东营组为盖层的古潜山油田。任丘油田为世界上大型高产古潜山油田之一,任丘古潜山南北长 30 km,东西宽 7 km,面积约 183 km²。潜山带被古近系覆盖,其地层自北向南为古生界奥陶系、寒武系、上元古界青白口系和中元古界蓟县系雾迷山组,潜山带周边被马西、任

西、河间和郑州 4 个富油洼槽所包围,发育了沙一段、沙三段和沙四段 3 套烃源层,具有 3 个供油方向,油气主要来自马西洼槽和任西洼槽,油气资源丰富。蓟县系雾迷山组是任丘潜山最重要的产油层,本文中主要对取自任丘油田任 28 井雾迷山组储层样品进行分析。

2 流体包裹体特征及测试结果

2.1 镜下特征及荧光特征

包裹体样品取自任丘油田北部任 11 区块任 28 井(3.222 97 ~ 3.382 9 km)的白云岩中,共检测 14 个样品,其中在 13 个样品中发现流体包裹体,共测定包裹体数 123 个,包裹体主要出现在方解石脉及自生石英中。

方解石脉沿裂隙分布,其中包裹体多为两相盐水包裹体,约占包裹体总数的 60%,呈不规则状或椭圆形,直径为 4 ~ 40 μm,串珠状或群体分布(图 1(a)),烃类包裹体多为单相(图 1(b),(c))。自生石英内包裹体主要沿颗粒内裂隙呈串珠状分布(图 1(d)),盐水与烃类包裹体均有出现。气液两相烃类包裹体呈不规则状或长条状成群分布,直径为 4 ~ 20 μm,液相呈浅黄色或浅红色(图 1(e),(g))。

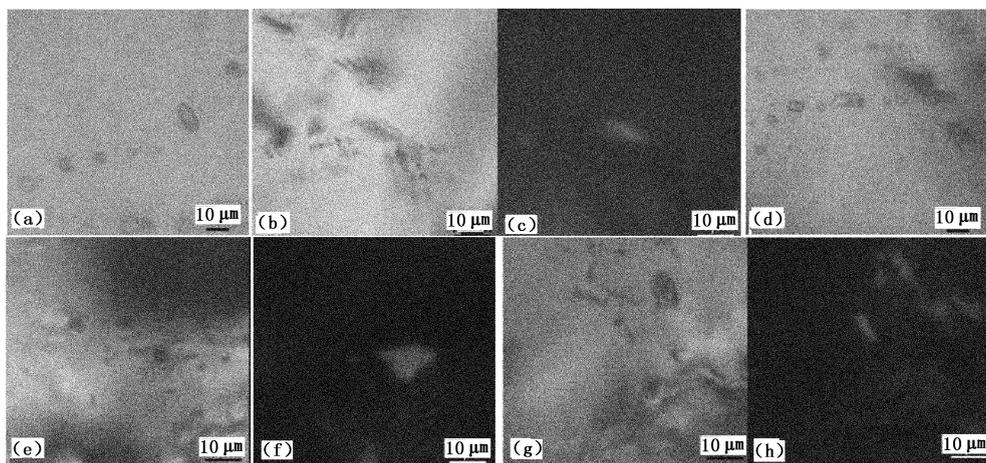


图 1 流体包裹体镜下及其荧光特征(任 28 井)

Fig. 1 Characteristics of fluid inclusions and their fluorescent photos(Well Ren28)

注:(a)为石英中盐水包裹体,3.226 km;(b)为方解石中盐水包裹体,2.382 km;(c),(d)分别为方解石中单相油包裹体透光及其荧光照片,3.241 km;(e),(f)分别为石英中两相油包裹体透光及其荧光照片,3.243 km;(g),(h)分别为石英中油包裹体透光及其荧光照片,3.243 km。

自生石英往往出现在方解石脉中,靠近裂隙中间,因为方解石脉结晶是从裂隙内壁上开始向裂隙中间生长,说明石英形成晚于方解石脉。从包裹体均一温度比较发现,方解石脉内包裹体均一温度为 60 ~ 80 °C,而石英内包裹体均一温度为 110 ~ 120 °C。根据接触关系和包裹体数据可知储层内包裹体

可分为两期。

有机包裹体在受到紫外光、紫光或蓝光照射时,会在极短的时间内发射出比照射光波长更长的光,这种光称为有机包裹体的荧光^[14],所以荧光成为分辨烃类包裹体和水溶液包裹体的有效方法。本次试验包裹体荧光分析在中石化胜利油田地质科学院完

成,激发光为紫光,包裹体荧光照片如图1所示。

2.2 包裹体拉曼特征

在有机分子中,荧光的产生主要与共轭键体系和C=O官能团有关。由于饱和烃不发荧光,所以有机包裹体荧光性中起主导作用的是芳烃。这样一些不发荧光的烃类包裹体或含烃盐水包裹体就有可能被误认为是盐水包裹体,在做均一温度测试时容易将其均一温度与盐水包裹体均一温度混在一起讨论,可能会导致错误的结论,因此必须把这部分包裹体区分出来,笔者采用的是激光拉曼方法。

拉曼测试在中国石油大学(华东)地球化学与

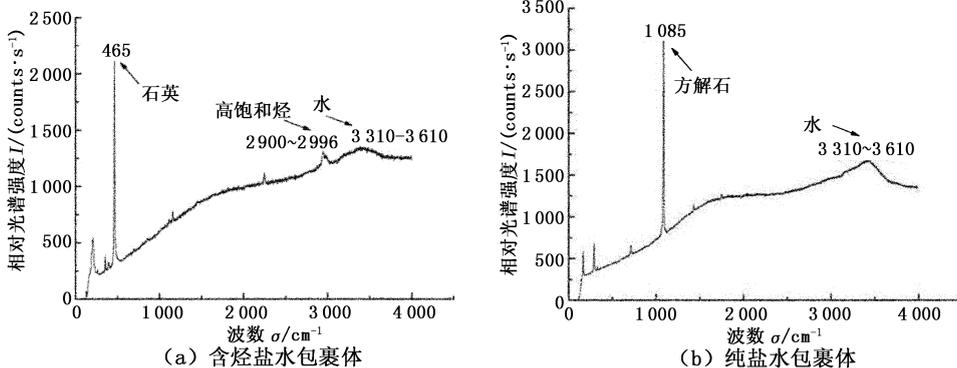


图2 流体包裹体拉曼成分分类

Fig.2 Raman compositional classification of fluid inclusions

2.3 均一温度及盐度

2.3.1 均一温度

有机包裹体由于有机质的不稳定性以及不同成分均一温度差异较大等原因,其均一温度不能反映地层温度,通常只作为研究参考;与有机包裹体同期的盐水包裹体被捕获时是均一相的,如果一直处于等容封闭体系,盐水包裹体的均一温度即为油气包裹体被捕获时(油气充注时)地层温度的下限值。因此,一般利用包裹体均一温度并结合古地温史和储集层埋藏史确定油气藏的形成时间^[15-16]。在镜下观察、荧光照片及拉曼测试的基础上,在样品中选取发荧光的包裹体、含烃盐水包裹体及一些两相盐水包裹体进行显微测温分析,使用仪器为 Linkam THMS 600 型冷热台。所测包裹体的平均均一化温度为 60~130℃,平均均一温度明显分为两个温度区间:第一个区间为方解石脉内盐水包裹体均一温度 60~82℃,13 个样品中有 2 个属于这一温度区间,共有 11 个包裹体,占包裹体总量的 9% 左右;第二个区间为石英内盐水包裹体均一温度 110~120℃,13 个样品中有 11 个属于这一温度区间,共有 87 个包裹体,占包裹体总量的 71%。石英内烃类包裹

岩石圈动力学实验室完成,采用法国 JobinYvon 公司生产的 LabRam-010 型激光拉曼光谱仪。仪器分辨率约为 1.5 cm^{-1} ,工作条件:激发光波长 514.5 nm,激光出孔功率 0.1 W,共焦孔 1 000 μm ,狭缝 400 μm ,样品扫描积分时间为每段 20 s,试验温度 20℃。包裹体典型拉曼谱图如图 2 所示。从图中可以看出:分布在自生石英中的包裹体含有高饱和烃类,属于含烃盐水包裹体(图 2(a));而图 2(b)显示的是盐水包裹体,纯盐水包裹体主要分布在方解石脉中。至于图中的若干锐线和宽大的荧光背景主要来自包裹体周围的主矿物。

体均一温度为 100~110℃,说明为一期烃类活动形成,与同期生成的盐水包裹体均一温度相比低约 10℃,这类包裹体有 25 个,占总数的 20%。均一温度结合赋存矿物生长关系说明,这些包裹体可能是在不同的地质时期形成的,对应着不同的成藏时期。

由于烃类包裹体成分比较复杂,其中含有水,在均一时会出现部分均一现象^[17],导致其均一温度低于纯盐水包裹体均一温度,所以目前一般用与其共生的盐水包裹体均一温度来进行地质研究。盐水包裹体均一温度直方图如图 3 所示。从图中可以明显看出均一温度分布存在 2 个峰值,可能对应着两个油气成藏期。

2.3.2 盐度

盐度是根据所测的盐水溶液的冰点来确定的。对于 NaCl 含量小于 23.3% 的低盐度水溶液,根据测得的冰点计算盐度的方法有多种。常用的有相图投影法、Bodnar 冷冻温度-盐度换算表法和公式法^[18]。本次研究采用公式法对样品中的流体包裹体盐度进行计算。

从图 3 中看出,储层包裹体冰点分布范围为 -19.3~0℃,其中盐水包裹体冰点明显集中在 2 个

区域,方解石中均一温度区间为60~82℃的包裹体的冰点集中在-15℃左右,石英中均一温度区间为100~120℃的盐水包裹体的冰点集中在-18℃左右。均一温度在100~110℃之间的含烃盐水包裹体其冰点数值比较离散,0℃上下均有分布。冷冻测温表明,均一温度集中在2个温度段,且其盐度差

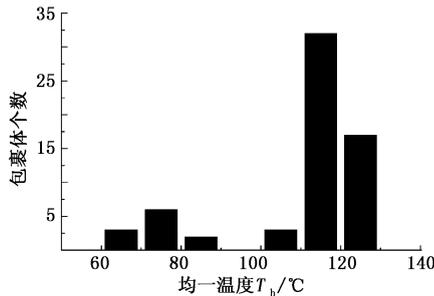


图3 盐水包裹体均一温度与冰点分布

Fig. 3 Distribution of homogenization temperature and freezing point of fluid inclusions

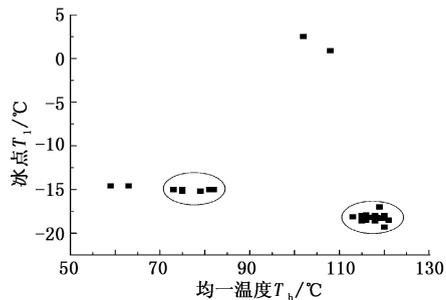
3 成藏期次确定及古压力恢复

3.1 成藏期次

目前较流行的方法是利用流体包裹体均一温度结合埋藏史热史来判断油气充注期次,但是根据流体包裹体研究的基本理论,均一温度仅仅是捕获温度的最低估计值。对形成在一定围压条件下的自然界包裹体,显微测温得到的均一温度不能简单等同于包裹体形成的温度,如果直接用其进行成藏期次研究就可能得到错误的结论。为了获得形成时的温度,必须对形成在一定围压条件下的自然界包裹体进行压力校正。笔者结合陈勇等^[19]根据人工合成烃类包裹体所作的盐水包裹体均一温度校正曲线对包裹体均一温度进行校正:对60~82℃区间内的包裹体平均温度75℃进行校正,得到捕获温度为82℃;对区间为110~120℃的包裹体平均温度进行校正,得到捕获温度132℃(校正曲线将另文讨论)。根据捕获温度结合埋藏史热史推断任28井油藏的成藏期如图4所示。从图中可以看出任28井雾迷山组可能有沙二段沉积期、东营组沉积早期和明化镇组沉积中期3个油气成藏期。

冀中拗陷潜山圈闭类型复杂多样,以地层和构造圈闭居多,潜山内圈闭所在地层均形成于前第三纪,潜山圈闭形成时间一般早于烃源岩生排烃时间。研究区域发育多套烃源层,沙一下亚段、沙三上段、沙四段—孔店组都为有效烃源岩。沙四—孔店组烃源岩的生烃期一般都比较早,在沙四末—明化镇组时期;沙三段烃源层的生烃期大多在馆陶组—明化镇组沉积期。东营末—馆陶沉积期的强烈构造运动

别很大,表明不是同一系统流体活动,说明存在2期流体活动。含烃盐水包裹体的冰点数值离散比较大,还有少数存在无法冷冻的现象,这些特征可与包裹体拉曼光谱综合讨论,才能更准确地应用流体包裹体研究含油气盆地流体活动。



一方面促使了油气运移,另一方面使东营早期生油气过程中断,并且对早期形成的油气藏保存不利或起破坏作用。其后再次沉降开始生烃,明化镇中期达到高峰。所以,沙二段及明化镇中期应为主要的成藏期。

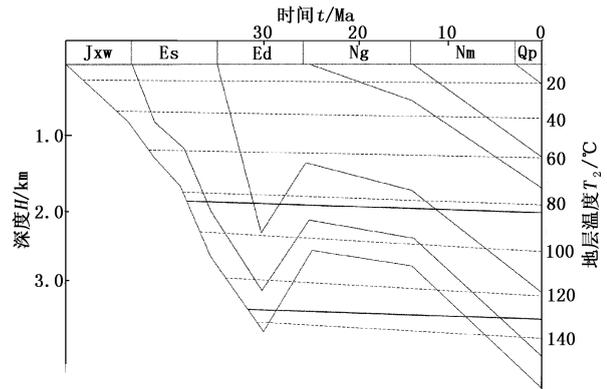


图4 任28井埋藏史曲线

Fig. 4 Burial history curve of well Ren 28

3.2 古压力恢复

应用流体包裹体恢复古压力的方法现在有很多,各具有不同的适用条件及范围^[19-21],主要包括CO₂容度法、均一温度—盐度法、流体包裹体模拟方法、利用NaCl-H₂O溶液包裹体的密度式和等容式法、不混溶流体包裹体法和CO₂拉曼光谱法。笔者根据任28井包裹体均一温度和盐度测试结果(表1),利用均一温度—盐度法分析包裹体形成时的古压力。

Zhang等^[21]认为,流体包裹体均一温度、形成温度、盐度和形成压力等4个参数之间存在着一定的函数关系。其中的均一温度和盐度可以测得,通过一定的方法确定出包裹体的形成温度就可以得到其

形成压力。流体包裹体的形成压力可以用下面的公式得到:

$$p = A_1 + A_2 T. \quad (1)$$

其中

$$A_1 = 6.100 \times 10^3 + (0.2383 - a_1) T_h -$$

$$(2.855 \times 10^{-3} + a_2) T_h^2 - (a_3 T_h + a_4 T_h^2) M,$$

$$A_2 = a_1 + a_2 T_h + 9.888 \times 10^{-6} T_h^2 + (a_3 + a_4 T_h) M.$$

式中, p 为古压力, MPa; M 为包裹体的盐度的质量摩尔浓度, mol/kg; T_h 为包裹体均一温度; T 为包裹体捕获温度, 用陈勇等^[19]根据人工合成烃类包裹体所做的盐水包裹体均一温度校正曲线对包裹体均一温度进行校正获得的包裹体的捕获温度进行计算; a_1 ,

a_2, a_3, a_4 为常数, 在体系假定为 NaCl-H₂O 体系时数值分别为 2.873×10^{-1} , -6.477×10^{-2} , -2.009×10^{-1} , 3.186×10^{-3} 。

表 1 是对包裹体捕获压力的计算结果。古埋深是在单井埋藏史及热史恢复的基础上结合包裹体捕获温度值得到的, 古压力系数是地层压力与静水压力的比值, 数学表达式为 $p/\rho g z$ 。其中 ρ 为地层水密度, 近似认为是 1000 kg/m^3 ; g 为重力加速度, 9.8 m/s^2 ; z 为地层深度, m。从计算的结果可以看出, 油气充注(包裹体被捕获)时压力总体高于正常静水压力, 这可能跟油气充注有关, 但是压力系数为 $1.01 \sim 1.09$, 油气充注并没有造成异常压力。

表 1 流体包裹体计算古压力结果

Table 1 Paleopressure calculated result by fluid inclusion

样品编号	深度 H/km	均一温度 $T_h/^\circ\text{C}$	盐度/%	捕获温度 $T/^\circ\text{C}$	捕获压力 p/MPa	古埋深 H_1/km	古压力系数
B003	3.22297	120.0	21.89	134.5	36.53	3.41428	1.09
B004	3.22620	122.0	19.86	137.6	34.67	3.50285	1.01
B005[1]	3.22820	115.0	20.97	128.5	34.52	3.24285	1.09
B005[2]	3.22820	118.0	21.19	132.0	35.44	3.34285	1.08
B005[3]	3.22820	118.4	21.11	132.4	35.58	3.35428	1.08
B008	3.24325	116.0	21.33	129.8	35.18	3.28000	1.09
B026[1]	3.38290	119.0	20.22	133.0	35.31	3.37143	1.07
B026[2]	3.38290	118.0	20.97	132.0	35.47	3.34286	1.08
B026[3]	3.38290	75.0	18.80	82.0	20.10	1.91428	1.07

4 结 论

(1) 任丘潜山雾迷山组储层共捕获了 4 种流体包裹体, 赋存矿物的产状主要有 2 种。两相烃类包裹体和含高饱和烃盐水包裹体及纯盐水包裹体是该地区流体包裹体的主要类型。

(2) 包裹体均一温度显示从 $60 \sim 120 \text{ }^\circ\text{C}$ 均有烃类流体活动, 均一温度具有明显的双峰特征, 第一峰值为 $60 \sim 80 \text{ }^\circ\text{C}$, 第二峰值为 $110 \sim 120 \text{ }^\circ\text{C}$ 。推断任丘油田雾迷山组储层主成藏期为沙二段沉积期及明化镇组沉积中期。

(3) 包裹体形成时地层压力总体高于正常地层压力, 但是并未造成异常高压。

参考文献:

- [1] 潘长春, 周仲毅, 解启来. 油气和含油气包裹体及其在油气地质和地球化学研究中的意义[J]. 沉积学报, 1996, 14(4): 15-23.
PAN Chang-chun, ZHOU Zhong-yi, XIE Qi-lai. Hydrocarbon inclusions: implications to petroleum geology and geochemistry[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14(4): 15-23.
- [2] 刘超英, 闫相宾, 徐旭辉, 等. 应用流体包裹体研究惠民凹陷南斜坡油气充注史[J]. 石油与天然气地质,

2008, 29(4): 507-510.

LIU Chao-ying, YAN Xiang-bin, XU Xu-hui, et al. Application of fluid inclusion to the study of hydrocarbon charge history of the south slope in Huimin sag[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(4): 507-510.

- [3] 周雯雯. 珠三坳陷有机包裹体特征及其在油源和油气运移分析中的应用[J]. 中国海上油气: 地质, 2000, 14(5): 324-331.

ZHOU Wen-wen. Organic inclusions and its application to analysis of oil sources and hydrocarbon migration in Zhu III depression[J]. China Offshore Oil and Gas(Geology), 2000, 14(5): 324-331.

- [4] 赵靖舟. 油气包裹体在成藏年代学研究中的应用实例分析[J]. 地质地球化学, 2002, 30(2): 83-88.

ZHAO Jing-zhou. Hydrocarbon inclusion analysis: application in geochronological study of hydrocarbon accumulation[J]. Geology-Geochemistry, 2002, 30(2): 83-88.

- [5] 孙玉梅, 席小应, 黄正吉. 流体包裹体分析技术在渤中 25-1 油田油气充注史研究中的应用[J]. 中国海上油气: 地质, 2002, 16(4): 238-244.

SUN Yu-mei, XI Xiao-ying, HUANG Zheng-ji. Studying hydrocarbon charge history in Bozhong25-1 Oilfield by fluid inclusion technique[J]. China Offshore Oil and Gas(Geology), 2002, 16(4): 238-244.

- [6] 高先志, 陈发景. 应用流体包裹体研究油气成藏期

- 次——以柴达木盆地南八仙油田第三系储层为例[J]. 地学前缘,2000,7(4):548-554.
- GAO Xian-zhi, CHEN Fa-jing. Application of fluid inclusions to determination of the times and stage of hydrocarbon reservoir filling: a case study of Nanbaxian Oilfield in the Qaidam Basin[J]. Earth Science Frontiers,2000,7(4):548-554.
- [7] 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):140-150.
- CHEN Hong-han. New advance of geochronology of petroleum accumulation[J]. Oil & Gas Geology,2007,28(2):140-150.
- [8] 李荣西,席胜利,邸领军. 用储层油气包裹体岩相学确定油气成藏期次——以鄂尔多斯盆地陇东油田为例[J]. 石油与天然气地质,2006,27(2):194-199.
- LI Rong-xi, XI Sheng-li, DI Ling-jun. Oil/gas reservoiring phases determined through petrographic analysis of hydrocarbon inclusions in reservoirs: taking Longdong Oilfield, Ordos Basin, as an example[J]. Oil & Gas Geology,2006,27(2):194-199.
- [9] SIMON C G, MANZUR A, KEYU L, et al. The analysis of oil trapped during secondary migration[J]. Organic Geochemistry,2004(1):1-20.
- [10] 刘超英,周瑶琪,杜玉民,等. 碳酸盐岩流体包裹体(NaCl-H₂O)的合成及捕获机理分析[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2007,31(2):25-29.
- LIU Chao-ying, ZHOU Yao-qi, DU Yu-min, et al. Synthetics and trapping mechanism of carbonate fluid inclusion(NaCl-H₂O)[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science),2007,31(2):25-29.
- [11] 张金亮,杨子成. 流体包裹体分析方法在惠民凹陷油气成藏研究中的应用[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2008,32(6):33-39.
- ZHANG Jin-liang, YANG Zi-cheng. Application of fluid inclusion analysis to hydrocarbon accumulation research in Huimin depression[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science),2008,32(6):33-39.
- [12] 姜振学,庞雄奇,黄志龙. 吐哈盆地鄯善油田油气运聚期次及成藏过程研究[J]. 石油大学学报:自然科学版,2000,24(4):104-107.
- JIANG Zhen-xue, PANG Xiong-qi, HUANG Zhi-long. Oil and gas migration periods and accumulation process in Shanshan Oilfield of Turpan-Hami Basin[J]. Journal of the University of Petroleum, China(Edition of Natural Science),2000,24(4):104-107.
- [13] 李善鹏,邱楠生,曾溅辉. 利用流体包裹体分析东营凹陷古压力[J]. 东华理工学院学报,2004,27(3):209-212.
- LI Shan-peng, QIU Nan-sheng, ZENG Jian-hui. Analyzing paleopressure of Dongying sag by using fluid inclusion[J]. Journal of East China Institute of Technology,2004,27(3):209-212.
- [14] 叶松,张文淮,张志坚. 有机包裹体荧光显微分析技术简介[J]. 地质科技情报,1998,17(2):76-80.
- YE Song, ZHANG Wen-huai, ZHANG Zhi-jian. Microfluorescence analysis technology of organic inclusions and its application in petroleum geology[J]. Geological Science and Technology Information,1998,17(2):76-80.
- [15] 侯启军,冯子辉,邹玉良. 松辽盆地齐家-古龙凹陷油气成藏期次研究[J]. 石油实验地质,2005,27(4):390-394.
- HOU Qi-jun, FENG Zi-hui, ZOU Yu-liang. Study on the pool-forming periods of oil and gas in Qijia-Gulong sag in Songliao Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment,2005,27(4):390-394.
- [16] 徐良,杨光,夏淑华. 流体包裹体技术在油气成藏期次研究中的应用——以黑帝庙地区为例[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2006,36(增刊):29-32.
- XU Liang, YANG Guang, XIA Shu-hua. Application of fluid inclusions in study of the times and stages of hydrocarbon reservoir filling: a case study of Heidimiao area in south Songliao Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition),2006,36(sup):29-32.
- [17] 孟凡巍,倪培,丁俊英,等. 人工合成烃类流体包裹体测温数据对石油地质的指示[J]. 岩石学报,2008,24(9):1975-1980.
- MENG Fan-wei, NI Pei, DING Jun-ying, et al. Homogenization temperatures from synthetic fluid inclusions: implications for oil and gas geology[J]. Acta Petrologica Sinica,2008,24(9):1975-1980.
- [18] 刘斌,沈昆. 流体包裹体热力学[M]. 北京:地质出版社,1999:44-48.
- [19] 陈勇,周瑶琪,倪培. 一种获取包裹体内压的新方法——二氧化碳拉曼光谱法[J]. 岩矿测试,2006,25(3):211-214.
- CHEN Yong, ZHOU Yao-qi, NI Pei. A new method for measurement of internal pressure of inclusions: CO₂-Raman spectrometry[J]. Rock and Mineral Analysis,2006,25(3):211-214.
- [20] 李昌存,韩秀丽,邹继兴. 栾木场金矿石英流体包裹体及成矿预测[J]. 矿物岩石,1999,19(1):55-57.
- LI Chang-cun, HAN Xiu-li, ZOU Ji-xing. Study on fluid inclusion of Luanmuchang gold deposit[J]. Mineral Petrol,1999,19(1):55-57.
- [21] ZHANG Y G, FRANTZ J D. Determination of the homogenization temperature and densities of supercritical fluids in the system NaCl-KCl-CaCl₂-H₂O using synthetic fluid inclusions[J]. Chemical Geology,1987,64:335-350.