

江苏句容-黄桥地区有机包裹体形成期次和捕获温度、压力的 PVTsim 模拟计算*

刘德汉¹ 宫色¹ 刘东鹰² 曾庆辉¹ 肖贤明¹ 田辉¹ 申家贵¹ 李贤庆³

LIU DeHan¹, GONG Se¹, LIU DongYing², ZENG QingHui¹, XIAO XianMing¹, TIAN Hui¹, SHEN JiaGui¹ and LI XianQing³

1. 中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室, 广州 510640

2. 江苏油田地质科学研究院, 扬州 225009

3. 中国矿业大学教育部重点实验室, 北京 10083

1. State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

2. Jiangsu Institute of Oil Field Geological Research, Yangzhou 225009, China

3. Key Laboratory of Coal Resource, Ministry of Education, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China

2004-12-21 收稿, 2005-08-02 改回。

Liu DH, Gong S, Liu DY, Zeng QH, Xiao XM, Tian H, Shen JH, Li XQ. 2005. Investigation on the phases of organic inclusion from Gourong-Huangqiao region, Jiangsu Province, and its trapped temperature & pressure calculated by PVTsim modeling. *Acta Petrologica Sinica*, 21(5):1435-1448

Abstract Microscopic observations on fluid inclusions from Gourong-Huangqiao region, Jiangsu Province showed that there are two distinct types of oil inclusions. One is from the Triassic limestone with yellow to brown-yellow under transparent light, bright yellow under a fluorescent microscopy and relatively big in size. Another is from the Lower Permian limestone with yellow to yellowish green under a fluorescent microscopy and relatively small in size. Molecular geochemical analyses of the two groups of oil inclusion demonstrated that oil inclusion group from the Triassic limestone was characterized by low ratio of $C_1/C_{2,5}$ in the gasoline hydrocarbon and enriched in biomarkers as tricyclicterpenoids, pentacyclictriterpenoids and regular steranoids, while oil inclusion group from the Lower Permian limestone was characterized by high ratio of $C_1/C_{2,5}$ in the gasoline hydrocarbons and was non-detectable for the biomarkers. The homogenization temperature distribution of fluid inclusions from the Triassic and Lower Permian limestones suggested that multi-phases of oil inclusions occurred in the reservoir rocks. The PVTsim modeling showed that the trapped temperature and pressure of oil inclusion from the Triassic limestones in Gourong region are 107.9°C and 289bar, respectively, indicating a filling history of the Late Cretaceous (90 ~ 83Ma), while the trapped temperature and pressure of oil inclusion from the Lower Permian limestones in Gourong region are 123°C and 305.95bar, respectively, revealing another hydrocarbon-filling history with a relatively high temperature in the Late Cretaceous. Two distinct types of oil inclusions with yellow and yellowish green, respectively, was identified from the Lower Permian limestones in Huangqiao region where CO_2 gas reservoirs occurred. These two types of oil inclusions were spatially intersected with each other. The PVTsim modeling on the yellow one produced a trapped temperature of 97.3°C and a trapped pressure of 184.75bar, while the yellowish green one with a trapped temperature of 145.5°C and a trapped pressure of 220.05bar, corresponding to the migrating and filling history in the Late Cretaceous (95 ~ 90 Ma) and the end of Cretaceous (65 ~ 60 Ma), respectively. However, due to the tectonic uplifting during the Late Cretaceous to Tertiary, petroleum reservoirs were destroyed and no hydrocarbon fluids were found to be accumulated except the CO_2 filling in the Himalayan period.

Key words Fluid inclusion, Microscopic fluorescence, Homogenization temperature, PVTsim, Trapped temperature, Trapped pressure, Biomarker

摘要 据流体包裹体显微镜观测和石油包裹体群的气体色谱和全烃色谱、色谱-质谱分析结果, 句容和黄桥地区三叠系和下二叠系地层中的石油包裹体明显不同, 句容地区三叠系灰岩储层中的石油包裹体的个体较大, 在透光下为黄色-棕黄色, 荧光显微镜下发亮黄色荧光, 包裹体中气态烃的 $C_1/C_{2,5}$ 比值较低, 液态烃中三环萜烷、五环三萜烷和规则甾烷系列的生物标志

* 国家自然科学基金项目(编号:4860129), 中国石油化工股份有限公司江苏油田分公司资助项目成果之一

第一作者简介: 刘德汉, 男, 1935年生, 研究员, 从事石油和天然气地质地球化学研究, E-mail: liudh@gig.ac.cn

物化合物含量比较丰富,而句容和黄桥地区下二叠系石油包裹体比较细小,发黄色-黄绿色荧光,包裹体中气态烃的 $C_1/C_{2,5}$ 比值较高,液态烃中均难检测到甾萜烷系列的生物标志物。由流体包裹体均一温度等观测资料与捕获温度、捕获压力的 PVTsim 的模拟计算结果:句容地区三叠系储层的石油包裹体捕获温度 $T_r = 107.9^\circ\text{C}$, 捕获压力 $P_r = 289\text{bar}$, 约相当于白垩纪晚期(90 ~ 83Ma) 充注成藏。句容地区下二叠深灰色灰岩中分布的油包裹体的捕获温度 $T_r = 123^\circ\text{C}$, 捕获压力 $P_r = 305.95\text{bar}$, 反映白垩系晚期还有一期温度比较高的含烃流体充注的现象。黄桥地区在含 CO_2 气藏的下二叠系存在有交切关系的,黄色和黄绿色两种荧光性质不同的石油包裹体,前者模拟计算的捕获温度 $T_r = 97.3^\circ\text{C}$, 捕获压力 $P_r = 184.75\text{bar}$, 后者模拟计算的捕获温度 $T_r = 145.5^\circ\text{C}$, 捕获压力 $P_r = 220.05\text{bar}$, 分别相当于白垩纪晚期(95 ~ 90Ma) 和白垩纪末期(65 ~ 60 Ma) 有含烃流体运聚现象。但是,由于在白垩纪末-第三纪的抬升作用阶段,油气大量散失,因此在喜山期大量无机 CO_2 充注成藏时期,储层中已不含烃类流体。

关键词 流体包裹体; 显微荧光; 均一温度; PVTsim; 捕获温度; 捕获压力; 生物标志物

中图法分类号 P618.130.1

我国南方下扬子地区,下古生界地层存在大量加里东运动以前成因的古油藏沥青,中-古生界地层存在晚期生烃的油气显示,并且已在句容和黄桥地区三叠系和二叠系地层中分别发现有工业性的油藏和 CO_2 气藏(陈安定,刘东鹰等,2001),但是由于下扬子地区地质构造比较复杂,下古生界地层热演化程度很高,海相中、古生界地层经历了多期构造变动,成烃成藏史和油气的散失与再聚集过程均比较复杂,至今中-古生界地层的油气勘探工作尚未取得更大突破。近年来,国内外应用储层流体包裹体封存的烃类和古流体、古温度、古压力信息探讨油气的运聚成藏规律,已成为油气地质学家关心的重要问题,(陈安定,刘东鹰,王文军等,2001, Dutkiewicz, *et al.* 2004, Volk *et al.* 2003, 刘德汉等 1995, 2000, 高玉巧 2003, 吴景富, 2003)。本文在已有石油地质研究成果的基础上,比较系统地采取了江苏地区中-古生界地层中的大量样品,进行流体包裹体的综合观察研究,并应用 Aplin *et al.* 1999, PVTsim 模拟方法计算石油包裹体的组成和饱和压力和进一步用 Liu D. H. *et al.*, 2003, PVTsim 模拟计算石油包裹体和共生盐水包裹体等容方程,求取石油包裹体的捕获温度和捕获压力,为剖析本区中-古生界油气的成烃、成藏期次和地质地球化学条件提供新的依据。

1 研究地区和样品

江苏地区中-古生界地层分布比较零星,采集的研究样品主要分布在句容-常州凹陷、高邮凹陷、盐城凹陷等地有钻孔岩心的容1、2、3井,苏174井, N13井,圣科1井,古参1井,海参1井,真86井,51井,许21井,24井,许古1井,镇4井,获7井,兴参1井,兴古1井,盐参1井,盐城2井,及地表三叠系-寒武系地层剖面中有代表性的碳酸盐岩和砂岩储层样品,(详见图1、表1)。其中容1、2、3井,苏174井, N13井,盐城2井部分层段含油或存在油气显示。本区与海相中-古生界地层的油气藏类型或油气显示比较复杂,有自生自储型、古生新储型、新生古储型等,分布受构造、岩性、断层、不整合面等多种因素控制。

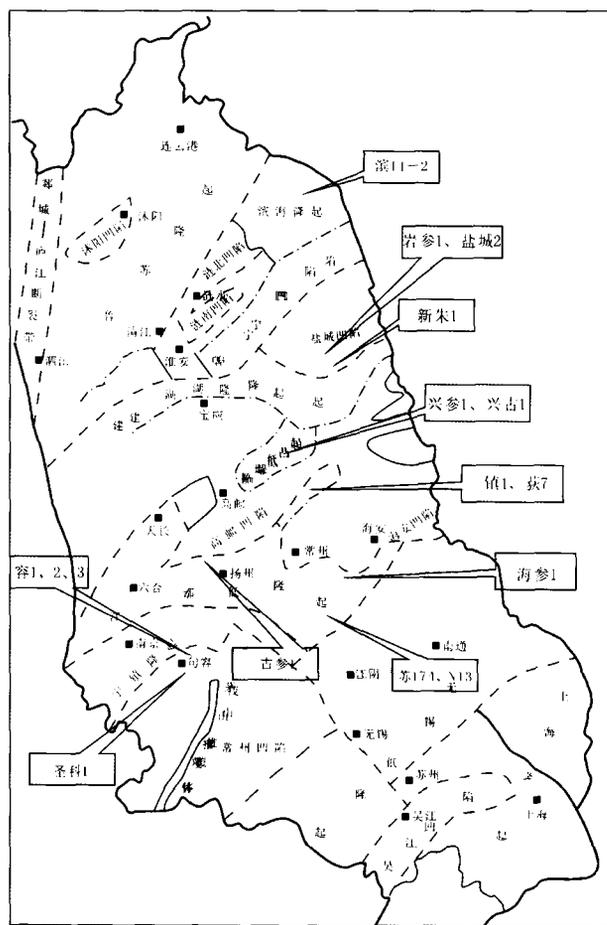


图1 江苏下扬子地区地质构造和研究样品分布

Fig. 1 Sketch map of geological structure and sample location in the Lower YANG-ZI river area in Jiangsu Province, China.

表 1 研究样品的地质特征

Table 1 Sample description with age, lithology and microscopic fluorescent

序号	实验号	井号	井段(m)	层位	岩性	荧光性
1	JS-1	古参 1	1172.49	∈ _{2p}	灰白色白云岩	
2	JS-2	古参 1	1220.95	O _{1-2t}	浅灰色白云岩	
3	JS-3	古参 1	1238.11	O _{1-2t}	深灰色灰质白云岩	
4	JS-4	古参 1	1241.7	O _{1-2t}	深灰色灰质白云岩	
5	JS-5	许古 1	2582.78	∈ _{2-3k}	灰白色白云岩	
6	JS-6	许古 1	3207.3	S _{1g}	深灰色泥岩	
7	JS-7	许 24	1406.38	∈ _{2p}	灰色白云岩	
8	JS-8	许 24	2376.6	O _{1l}	灰白色白云岩	
9	JS-9	许 21	2863.13	∈ _{2p}	灰色亮晶白云岩	
10	JS-10	兴参 1	3030.42	∈ _{2-3k}	浅灰色白云岩	
11	JS-11	兴参 1	3056.02	∈ _{2-3k}	浅灰色含灰白云岩	
12	JS-12	兴参 1	3501.96	∈ _{2-3k}	灰色灰岩	
13	JS-18	兴古 1	3099.06	∈ _{2-3k}	深灰色灰质白云岩	
14	JS-19	兴古 1	3098.40	∈ _{2-3k}	深灰色灰质白云岩	
15	JS-21	海参 1	3343.31	T _{1q}	深灰色灰岩	
17	JS-23	海参 1	3436.12	T _{1q}	深灰色泥灰岩	
18	JS-24	海参 1	3806.29	T _{1q}	深灰色灰岩	
19	JS-25	海参 1	3529.77	T _{1q}	深灰色灰岩	
20	JS-26	海参 1	3812.60	T _{1q}	深灰色灰岩	
21	JS-27	圣科 1	3771.01	S _{1g}	深灰色灰质泥岩	
23	JS-28	圣科 1	3858.41	O _{1h}	灰色灰岩	
24	JS-29	圣科 1	4088.7	∈ _{2-3k}	浅灰色白云岩	
25	JS-30	圣科 1	1284.20	T _{1q}	断层角砾岩?	
26	JS-37	容 1	696.09	P _{1-2l}	深灰色鲕粒灰岩	含荧光包裹体
27	JS-38	容 2	387.03	T _{1q}	浅灰色灰岩	含荧光包裹体
28	JS-39	容 3	1604.78	P _{1q}	深灰色泥质灰岩	含荧光包裹体
29	JS-40	真 51	4471.06	∈ _{1mu}	浅灰色白云岩	
30	JS-41	真 51	4473.33	∈ _{1mu}	深灰色灰岩	
31	JS-42	圣科 1	2694.04	D _{3w}	浅灰色石英砂岩	
32	JS-43	圣科 1	3963.06	O _{1l}	深灰色白云质灰岩	
33	JS-44	真 86	4643.52	∈ _{2-3k}	浅灰白色白云岩	
34	JS-45	真 86	4642.47	∈ _{2-3k}	浅灰色白云岩	
35	JS-46	真 86	5088.46 ~ 5090	O _{1l}	深灰色白云岩	
36	JS-47	真 86	4624.48	∈ _{2-3k}	灰白色白云岩	
37	JS-48	N13	1881.84 ~ 1882	P _{1q}	灰黑色灰岩	含荧光包裹体
38	JS-49	N13	1999.5	P _{1q}	灰黑色灰岩	含荧光包裹体
39	JS-50	苏 174	1854.35 ~ 1854	P _{1q}	灰黑色灰岩	含荧光包裹体
40	J3	宣城	地面	T _{1q}	浅灰色灰岩	含荧光包裹体
41	J11	滨 II-2	501	C _{2h}	灰色灰岩	含荧光包裹体
42	J12	滨 II-2	635	C _{2h}	灰白色中砂岩	含荧光包裹体

2 实验条件

用常规方法对磨制的流体包裹体样品进行综合观测(见 Shepherd, 1985, 卢焕章, 等, 1990, 2004), 主要实验条件如下: Leica DMR XP 透射光、反射光和荧光显微镜, Leica MZ FL III 立体荧光显微镜。有机包裹体的荧光观测条件: 激发滤光器: H₃ 波长 420 ~ 490nm, 双色反射镜 RKB510nm, 保护滤光器 515nm, 光源: 100w Hg 灯。流体包裹体气/液比测定和照相分别用 Leica DC350, QWIN STADARD 图像分析系统和 Leica 60 显微镜照相系统、Nikon 1200 数字照相系统。流体包裹体温度测定主要用 LINKAN THMS-Q600 显微冷热台和 USGS FLUID 气流冷热台, 观测用长焦距物镜: L 32 × /0.4 p, H50 × /0.5, L100 × /0.75, 石油包裹体捕获温度、捕获压力的模拟计算用 PVTsim 10.0 软件。

流体包裹体的激光拉曼光谱分析: 用 RENISHAN (R) RM-2000, Ar⁺ 激光器, 波长 514nm, 功率 25.2mw, 狭缝 20μm, 物镜 50x, 测点直径 5μm, 扫描时间 10 秒。

石油包裹体群的有机组成分析: 主要用 Leica MZ FL III 立体荧光显微镜挑选经二氯甲烷-甲醇(93:7)的混合溶剂抽提清洗颗粒样品表面的, 不同颜色的方解石和含同类荧光包裹体的方解石颗粒约 500mg ~ 1000mg, 放入不锈钢真空密封压碎装置, 压碎含包裹体的样品。分析测定中, 首先用针筒进样器从不锈钢真空密封压碎装置, 带硅橡胶顶盖的小孔抽取气体进行气相色谱分析, 然后打开顶盖, 加入二氯甲烷萃取包体中的有机质, 进行色谱和色谱-质谱分析。

包裹体气体成分分析用 Agilent HP6890N 型气相色谱仪, 色谱条件采用 paraplott Q 毛细柱(50 × 0.50mm), 初始温度为 70℃, 恒温 2min, 以 20℃/min 的升温速率升到 180℃, 然后再恒温 10 分钟, 用 N₂ 作载气, FID 检测器温度为 180℃。包裹体液态烃的全烃色谱分析用 HP5890A 型气相色谱仪, 色谱条件采用 DB-5 毛细柱(30m × 0.32mm), 初始温度为 80℃, 恒温 2 min, 以 4℃/min 的升温速率升到 290℃, 然后再恒温 30 分钟, 载气为 N₂, FID 检测器温度为 290℃。包裹体液态烃的全烃色谱-质谱分析用菲尼根公司的 GC8000TOP 色谱与 VOYAGER 质谱联用仪, 主要实验条件与色谱相同。

3 流体包裹体的产出与分布

据 40 多件流体包裹体样品的显微观察, 石油包裹体和盐水包裹体的分布有较大的不均一性, 在重结晶碳酸盐岩和细方解石脉中含量比较丰富, 在微晶碳酸盐岩和粗晶方解石脉中含量比较稀少, 样品中盐水包裹体的分布相对比较广泛, 在 T-e 地层中或多或少都能找到一些可供用作温度测定的盐水包裹体, 而与油气有关的荧光有机包裹体的分布则在主要分布在句容、黄桥、新田、滨海等地部分三叠系、下二叠系和石炭系样品中。

句容地区: 容 2 井孔深 387m 左右, 三叠系碳酸盐岩储层的方解石脉中石油包裹体十分丰富, 在透光下为黄色-棕黄色, 在荧光显微镜下为亮黄色, 各种大小和形态的荧光有机包裹体往往群体分布, 小的包裹体粒径 1μm ~ 3μm, 大者可达 50μm ~ 60μm, 主要呈浑圆状、不规则状和长方形等, 气/液比主要为 5% ~ 9%, 见图版 I-1-6。常在灰岩缝合线附近含大量的黄色荧光的有机包裹体和固体沥青见图版 II-5。在含石油包裹体的方解石矿物中也存在部分无荧光的盐水包裹体, 见图版 I-5, 6。

此外, 在句容地区容 1 井孔深 696m、容 3 井孔深 1604 m, 下二叠系深灰色-灰黑色灰岩以及砂岩中的石油包裹体也比较发育, 但与三叠系灰岩储层中的石油包裹体有明显差别, 下二叠系地层中的包裹体主要为比较细小的 1μm ~ 3μm 左右发黄绿色荧光的有机包裹体。荧光包裹体的分布没有三叠系储层多。

新田宣城地区: J-3 地表三叠系灰岩方解石脉中存在少量比较细小的浅黄色荧光的有机包裹体, 主要为源岩生烃阶段成因的烃类包裹体, 与容 2 井等碳酸盐岩储层中石油包裹体的产出和分布形态明显不同。

黄桥地区: 苏 174 井和 N13 井 1888 m ~ 1999m, 下二叠系深灰色-灰黑色灰岩中存在比较丰富的荧光包裹体, 由图 II-6 可见, 荧光的有机包裹体主要分布在早期成因的细方解石脉中, 并受后期成因的不含有机包裹体的粗方解石脉切割。同时在含荧光包裹体的方解石脉中见有两种荧光颜色的有机包裹体, 一类是沿一组方解石裂隙中大量分布的发黄色荧光的有机包裹体, 另一类是沿另一组方解石裂隙分布的发兰绿色荧光的包裹体, 后者约有交切前者现象。由图 II-8 可见, 两类荧光有机包裹体均比较细小, 主要为 1μm ~ 3μm, 呈浑圆状、点线状, 沿方解石裂隙零星分布。黄桥地区已发现有工业价值的 CO₂ 气藏, 但观测样品中很难见到 CO₂ 包裹体。

江苏北部滨海地区: 滨 II-2 井孔深 501m, 石炭系灰岩中发现含少量的黄色荧光的有机包裹体(见图版 II-7), 由于包裹体非常细小和稀少, 未作进一步研究。

对各个地层时代样品中的流体包裹体进行了广泛的显微观察和温度测定, 其中以寒武系和下二叠系碳酸盐岩中的流体包裹体比较丰富。由于江苏地区多数下古生界地层的成岩作用强烈, 热演化程度高, 早期成因的有机包裹体已受破坏, 目前样品中分布的包裹体主要是反映最大热演化阶段的盐水包裹体和少量晚期方解石中包含的盐水包裹体。

4 流体包裹体的温度测定结果

为了综合剖析本区中-古生代地层的成岩演化阶段和油气的成藏条件, 对各地层时代的盐水包裹体和三叠系、二叠系地层中的有机包裹体进行了广泛的温度测定。观测中, 砂岩样品主要选择石英加大边和石英次生裂隙愈合面上的流体包裹体测温; 对碳酸盐矿物中的流体包裹体, 主要选用形

态比较规则,完整的流体包裹体,特别是对流体包裹体群中气/液比相似的包裹体进行重点测定,以便取得比较准确的数据。由见图版 II-1,2 可见,在照片中约成方形、长方形的包裹体群不仅具有大致相似外形,而且气/液比、均一温度和冰点温度的测定结果也大致相同,说明这类包裹体群的温度测定结果比较可靠。

样品在冷-热台中的测定流程,一般先测发荧光的有机包裹体,后测不发荧光的盐水包裹体,并且先测低温组后测高温组,最后测流体包裹体冷冻过程中的共结温度、初熔温度和冰点温度。(主要研究方法见 Shepherd, T., J. 1985, 卢焕章等 1990, 2004, 刘斌,等 1999)。研究样品中,三叠系-寒武系地层流体包裹体的温度测定结果见表 2、图 2。

根据样品中含流体包裹体主宿矿物的形成世代和包裹体的组合关系,流体包裹体产出和分布往往具有多期、多组特征。例如:古参 1 井,圣科 1 井等,反映下古生界地层最大热演化程度的高温组的包裹体均一温度可达 170℃ ~ 200℃,多数古生界地层的包裹体均一温度为 130℃ ~ 160℃,低温组流体包裹体的均一温度为 95℃ ~ 120℃。

宣城地区:三叠系地层流体包裹体的均一温度(96℃ ~ 109℃)和盐度都相对较低,(盐度 0.4% ~ 1.3%)。

含有机包裹体比较丰富的句容和黄桥地区:容 1, 2, 3 井,苏 174 井, N13 井,二叠系和三叠系地层的流体包裹体也存在多组均一温度,低温组 69℃ ~ 115℃,中温组 120℃ ~ 140℃,高温组 150℃ ~ 177℃。其中,荧光有机包裹体均一温度的分布范围,三叠系为 68℃ ~ 90.5℃,下二叠系为 69.2℃ ~ 132℃。据流体包裹体的组合关系,下二叠系早期成因的流体包裹体的均一温度相对较低。由于石炭系荧光有机包裹体十分细小,未能测到实际温度范围。各种流体包裹体的均一温度见图 2 ~ 4 和表 2。

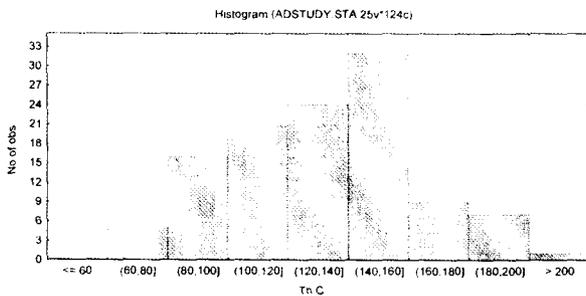


图 2 江苏地区 T-ε 地层流体包裹体均一温度分布
Fig. 2 Distribution of homogenization temperatures of fluid inclusions collected from Cambrian to Triassic strata in Jiangsu Province

由流体包裹体的冰点温度换算的盐度以石炭系和寒武系较高(10% ~ 15%),句容-黄桥地区三叠系和二叠系包裹体的盐度一般为 4% ~ 10%。

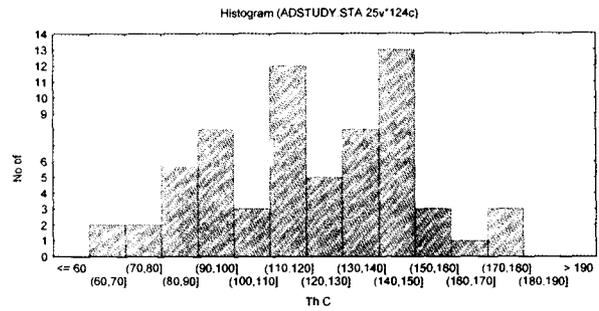


图 3 江苏句容-黄桥地区三叠系和下二叠系流体包裹体均一温度分布
Fig. 3 Distribution of homogenization temperatures of fluid inclusion collected from the Lower Permian to Triassic in Gouong-Huangqiao region in Jiangsu Province

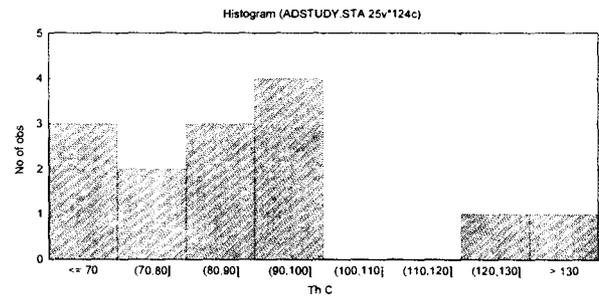


图 4 江苏句容-黄桥地区三叠系和下二叠系石油包裹体均一温度分布
Fig. 4 Distribution of homogenization temperatures of petroleum inclusions at Triassic Lower Permian in the Gouong-Huangqiao region, Jiangsu Province

5 包裹体组成的分析测定结果

样品中不发荧光的包裹体用 RENISHAN (R) RM-2000 激光拉曼仪检测,发现 N13 井 1999.5m, JS49 下二叠系灰岩中的气体包裹体含甲烷、乙烷等有机组成。由图 5 可见激光拉曼谱图中存在反映 CH₄-CH₂ 的 2916 cm⁻¹ - 2950cm⁻¹ 峰,谱图中 1085cm⁻¹ 为方解石宿矿物特征峰。

句容-黄桥地区三叠系和下二叠系荧光有机包裹体群的组成,采用上述真空密封压碎法和实验条件进行了气体色谱、全烃色谱、色谱-质谱分析,见表 3,表 4,图 6,图 7。主要分析结果表明:气体组成中句容地区三叠系包裹体中甲烷的含量相对较低,C₁/C_{2,5} 的比值为 0.56,而句容-黄桥地区下二叠系包裹体中甲烷的含量较高,C₁/C_{2,5} 的比值为 1.13 ~ 1.89,两者差别比较明显;包裹体全烃色谱分析结果,不仅反映三叠系和二叠系包裹体组成有差别,而且三叠系和下二叠系不同荧光颜色的有机包裹体色谱图也有差别,浅色方解石

表2 江苏地区流体包裹体的显微测温数据

Table 2 Microthermometric data of fluid inclusions from Jiangsu Province

样号	井号	井段 (m)	层位	岩性	均一温度 ($^{\circ}\text{C}$)	冰点 ($^{\circ}\text{C}$)	初溶温度 ($^{\circ}\text{C}$)	气液比 (%)	备注
JS-1	古参1	1172	ϵ_{2R}	白云岩	183.5 183.3			15.2 16.1	白云石
J-3	宣城		T1y	灰岩	109.1, 98, 96	-0.7, 0.2	-10.7	14	方解石
JS-6	许古1	3207.3	S _{1R}	粉砂岩	126, 131 134, 142, 145	-7.7 - 10.1	-13 - 27	9 11 11.6	白云石
J11	滨II-2	501	C _{2n}	灰色灰岩	119, 114.6, 100.7 133 149, 151, 153 167 168 172 179 151.2	-4.0 -12.6 - 10.4, -7.1 - 14.9	-21.4 -21. - , 24. -23. - 21	7.9 13.4 10.9 12.5 12.7	方解石
J12	滨II-2	635	C _{1R}	粉砂岩	141 142				石英
JS12	兴参1	3501.96	ϵ_{2-3}	灰岩	141	-10.2		14.1 15.1	方解石
JS24	海参1	3806.29	T1q	灰岩	98, 114			7.8 10	
JS25	海参1	3529.77	T _{1q}	灰岩	89 91			11.6 13.4	石英中
JS26	海参1	3812.6	T1q	灰岩	114.1, 123, 138, 135, 141, 146			6.5 7.2 8.6 9 11 11.6	
JS29	圣科1	4088.7	ϵ_{2-3}	浅灰色 白云岩	137 135, 153.5 182 199 206	-2.1 - 4.1		16.7 17 20.1 21.6	碳酸岩 脉中
JS37	容1	696.09	P ₁₋₂	砂岩	荧光: 78.7 无荧光: 86.7, 143 86, 87 121 138 143 145	-6.4 -6.7	-10.1 -10.2	5.5 - 6 13.6 13.7 16.9 9.7, 13.	石英
JS38	容2	387.03	T _{1R}	灰岩	荧光: 68, 85.9 90.5 无荧光: 108, 110 111, 120, 128.2, 136 147.3	-1.3, -2.1 -1.3 - 4.4, -	-21 -20.1 - 20.	5.9, 6.5 7.5, 8.6, 9.0 11.0, 11, 16	方解石 脉中
JS39	容3	1604.78	P1q	泥质灰岩	荧光: 94 95 96 无荧光: 111 112 143. 6, 143. 8, 135, 142 146, 149, 153, 153 180.4	-4.2 - 7.3 -6.9		6.7 - 7.5 5.8, 4.9, 4.4 10.7, 11.1 11. . 2, 15	方解石 脉中
JS43	圣科1	3963.06	O ₁	白云质 灰岩	148.5, 181.5 , 182.5 181.8	-12.4 -6.4	-26.5 -26.8	10. 4, 12. 1 14.4 15.7	白云石
JS44	真86	4643.52	ϵ_{2-3}	白云岩	119 119, 118.5 129, 130.5, 134, 140 , 141 149, 152, 153.7, 162.7	-6.9 -7.2	-21.7 -23, -22	7.44, 8.1 11.25 12.5, 12.75, 13.7	白云石
JS47	真86	4624.48	ϵ_{2-3}	白云岩	121 1121 112, 121, 124. 6146			12, 12.9	白云石
JS48	N13	1881.84	P ₁	灰灰岩	荧光: 69.2 86			5.8 , 7	方解石
JS49	N13	1999.5	P ₁	灰黑色 灰岩	荧光: 69.3 79 无荧光: 111 112; 112, 113, 114, 144. 4, 148. 115, 160, 161, 172 , 177,	- -4.8, -6.4		13.3 10.9 15.8, 14.7 14.9, 15.9	方解石
JS52	苏174	1970.12	P ₁	灰黑色 灰岩	荧光 86, 124, 132.4 无荧光: 94, 139, 140, 124	-4 - 4.5		5 - 6 9 - 10 8.1 9.1	方解石

表 3 包裹体气体组成的色谱分析结果

Table 3 Gas composition of the group of fluid inclusions from GC analysis

样品编号	井号	C1%	C2%	C3%	iC4%	nC4%	iC5%	nC5%	$C_1/(C_2 + C_3)$	$C_1/C_{2,5}$
JS38-1-T1q	容 2	36	15	19	8	12	8	6	1.05	0.56
JS39-P1q	容 3	53	17	13	8	6	4	3	1.79	1.13
JS49-P1q	N13	65	14	10	9	4	2	1	2.71	1.89
JS52-1-P1q	苏 174	55	12	10	7	6	9	4	2.40	1.20
JS48-P1q	N13	55	4	2	2	27	11	1	10.09	1.24

表 4 包裹体液态烃色谱分析参数

Table 4 Liquid hydrocarbons of the group of fluid inclusions from GC analysis

样品编号	井号	层位	碳数范围	主峰碳	C_{21-}/C_{22+}	CPI	OEP	姥植比	Pr/nC17
JS-38-1	容 2	T1q	C11-C36	C_{16} 、 C_{25}	1.02	1.01	0.93	1.16	1.03
JS-38-2	容 2	T1q	C13-C35	C_{25} - C_{26}	0.17	1.02	0.92	0.92	1.08
JS-39	容 3	P1q	C11-C39	C_{16}	1.07	0.98	0.99	0.71	0.35
JS-49	N13	P1q	C12-C34	C_{20}	0.45	1.06	0.96	2.89	1.34
JS-52-2	苏 174	P1q	C21-C36	C_{18-19} 、 C_{22-23}	0.15	0.96	1.00		
JS-52-1	苏 174	P1q	C12-C34	C_{18}	1.25	1.00	1.01	0.99	0.49

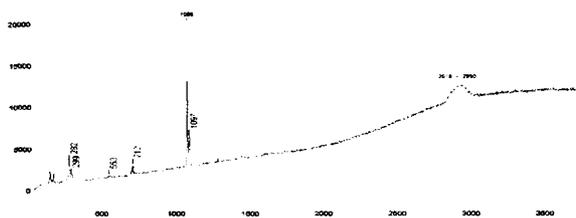


图 5 N13 井 1999.5m, JS49. 下二叠系灰岩中的气体包裹体的激光拉曼谱图

Fig. 5 Laser raman spectrum of gas inclusion from the Lower Permian limestone, well N13 1999.5m, JS49

中含黄色荧光包裹体的色谱图为单峰型,灰白色方解石含黄绿色-兰绿色荧光包裹体的色谱图为双峰型,下二叠系包裹体色谱图的主峰碳数明显比三叠系包裹体低,主峰碳数在 C_{16} - C_{20} 左右;有机包裹体色谱-质谱分析结果表明:容 3 井、苏 174 井、N13 井二叠系包裹体均难检测到甾萜烷系列的生物标志物,只有热演化较低的容 2 井三叠系的两期包裹体含有比较丰富的三环萜烷、五环三萜烷和规则甾烷系列化合物,并以 C_{30} -藿烷最丰富,见图 7。

6 石油包裹体捕获温度、捕获压力的模拟计算

石油包裹体的捕获压力是反映油气成藏深度和压力的重要依据,但难以直接测定,目前,对于捕获压力的推算,有多种 PVTX 模拟计算软件和方法。本文采用的方法,第一步是根据 Aplin, A.C. *et. al.* 1999 文献,用 PVTsim 软件模拟计算石油包裹体组成和饱和压力,第二步是根据 Liu D. H, *et. al.* 2003 文献,用 PVTsim 软件,进一步模拟计算石油包裹体和共生盐水包裹体的等容方程,求石油包裹体的捕获温度和捕获压力。本方法实施的要点和模拟计算捕获温度和捕获压力的准确性,不仅要求比较可靠的包裹体均一温度,而且一般要求用共焦显微镜 (CLSM) 测定石油包裹体的体积气/液比和选用比较适合初始石油包裹体的摩尔组成。本文在测定和模拟计算中,为了取得比较可靠的石油包裹体的体积气/液比,是在大量分布的石油包裹体中主要挑选形态比较规则的球形、椭球形或具有方解石等主宿矿物晶体的石油包裹体(如图版 I-3,4),便于采用图像分析方法测定和计算包裹体的体积气/液比;对于模拟计算中的初始石油包裹体的摩尔组成数据,主要参考本区石油组成和密度资料以及

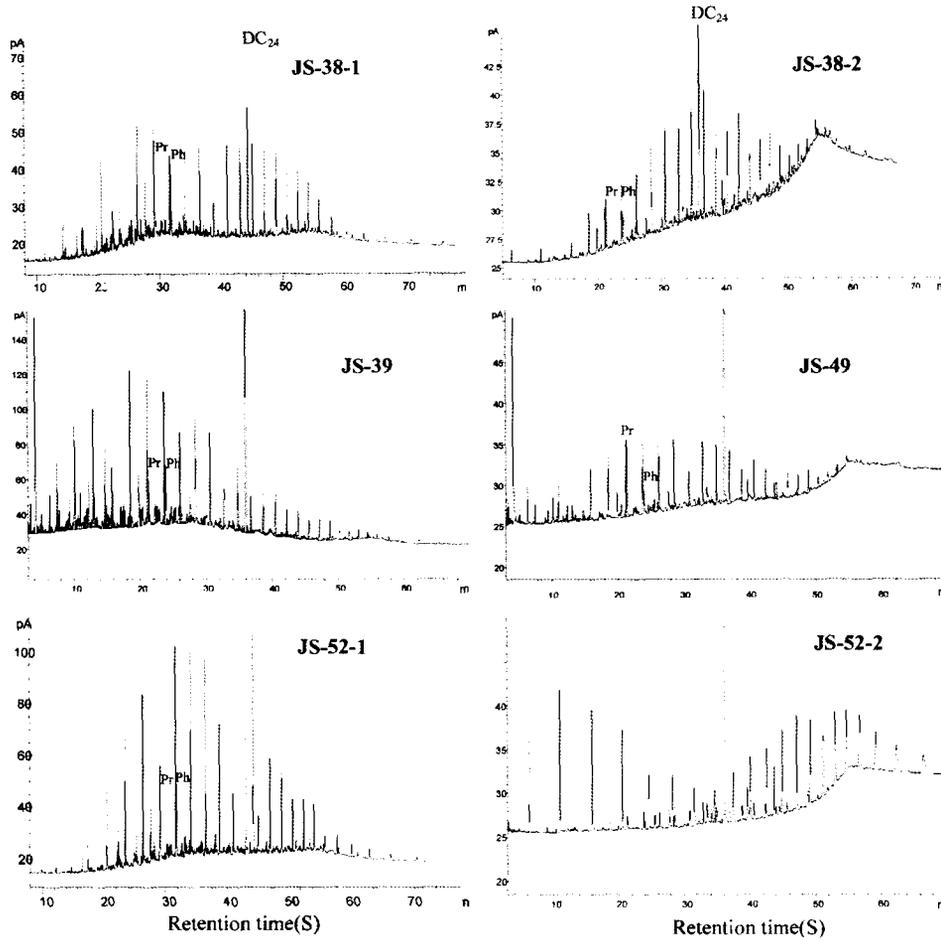


图6 三叠系和二叠系有机包裹体全烃色谱图

Fig.6 Gas chromatograms of the extracted organic matter from fluid inclusions collected from the Lower Permian-Triassic limestones

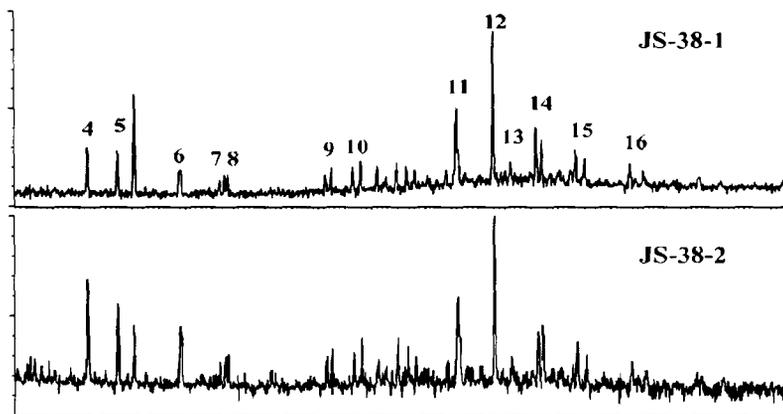


图7 容2井两期包裹体中三萜类的M/Z191质量色谱图

4-C₂₃三环萜烷; 5-C₂₄三环萜烷; 6-C₂₅三环萜烷; 7-C₂₄四环萜烷; 8-C₂₆三环萜烷; 9-C₂₈三环萜烷; 10-C₂₉三环萜烷; 11-C₂₉藿烷; 12-C₃₀藿烷; 13-C₃₀莫烷; 14-C₃₁升藿烷; 15-C₃₂二升藿烷; 16-C₃₃三升藿烷

Fig.7 The distribution of triterpenoids in the extracts of fluid inclusions with two distinct phases, as revealed by m/z 191 mass chromatograms

4-C₂₃-tricyclic terpane; 5-C₂₄-tricyclic terpane; 6-C₂₅-tricyclic terpane; 7-C₂₄-tetracyclic terpane; 8-C₂₆-tricyclic terpane; 9-C₂₈-tricyclic terpane; 10-C₂₉-tricyclic terpane; 11-C₂₉-C₃₀-hopane; 12-C₃₀-hopane; 13-C₃₀-morane; 14-C₃₁-homohopane; 15-C₃₂-bihomohopane; 16-C₃₃-trihomohopane

石油包裹体群的分析结果进行模拟；盐水包裹体等容方程的模拟计算不仅主要应用盐水包裹体的均一温度和盐度数据，而且参考盐水包裹体的气/液比与显微荧光和激光拉曼的检测结果。

应用以上原理和方法分别对句容-黄桥地区三叠系和二叠系储层中有代表性的石油包裹体的捕获温度和捕获压力进行了 PVTsim 模拟计算，为进一步探讨本区油气的成藏条件提供依据。主要结果如下：

6.1 句容地区三叠系

句容地区三叠系储层，以 JS-38 容 2 井 387.03m，亮黄色荧光的石油包裹体为代表，PVTsim 模拟计算的参数：均一温度 $T_h = 90.5^\circ\text{C}$ ，气/液比 = 6.5%，石油包裹体的摩尔组成： $N_2 = 0.647$ ， $\text{CO}_2 = 2.312$ ， $C_1 = 38.578$ ， $C_2 = 6.334$ ，

$C_3 = 4.277$ ， $iC_4 = 0.809$ ， $nC_4 = 1.967$ ， $iC_5 = 0.844$ ， $nC_5 = 1.006$ ， $C_6 = 1.537$ ， $C_7 = 3.155$ ， $C_8 = 3.768$ ， $C_9 = 2.473$ ， $C_{10}-C_{13} = 7.767$ ， $C_{14}-C_{16} = 5.213$ ， $C_{17}-C_{20} = 5.307$ ， $C_{21}-C_{23} = 3.344$ ， $C_{24}-C_{26} = 2.552$ ， $C_{27}-C_{31} = 2.984$ ， $C_{32}-C_{36} = 1.902$ ， $C_{37}-C_{46} = 1.986$ ， $>C_{46} = 1.297$ 。用 PVTsim 模拟计算求得的石油包裹体的饱和压力 $P = 204.72\text{bar}$ ，石油包裹体的等容方程：

$P = 4.8361t - 232.938 \dots A$ 。共生无荧光的盐水包裹体模拟计算的参数：均一温度 $T_h = 102^\circ\text{C}$ ，冰点温度 $T_i = -4.9^\circ\text{C}$ ，用 PVTsim 模拟计算的盐水包裹体等容方程：

$P = 1.8t - 422.6 \dots B$ 。解 A-B 二元一次方程，得石油包裹体的捕获温度 $T_{tr} = 107.9^\circ\text{C}$ ，捕获压力 $P_{tr} = 289.03\text{bar}$ ，石油包裹体的相图见图 8-A。根据句容地区地层埋藏史剖面(图 9)和石油包裹体的捕获温度、捕获压力推算，本区三叠系储层的油藏为 90Ma ~ 83Ma 的晚白垩纪形成的。

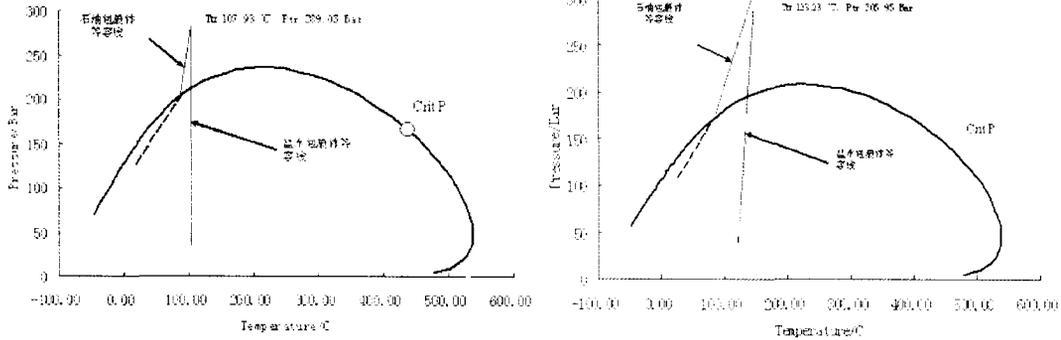


图 8 容-2 井 A、容 3 井 B 石油包裹体和同期盐水包裹体 PVTsim 计算的捕获力 (Ptr) 和捕获温度 (Ttr)

Fig. 8 Determination on the trapped pressure (Ptr) and trapped temperature (Ttr) of Petroleum inclusions using PVTsim

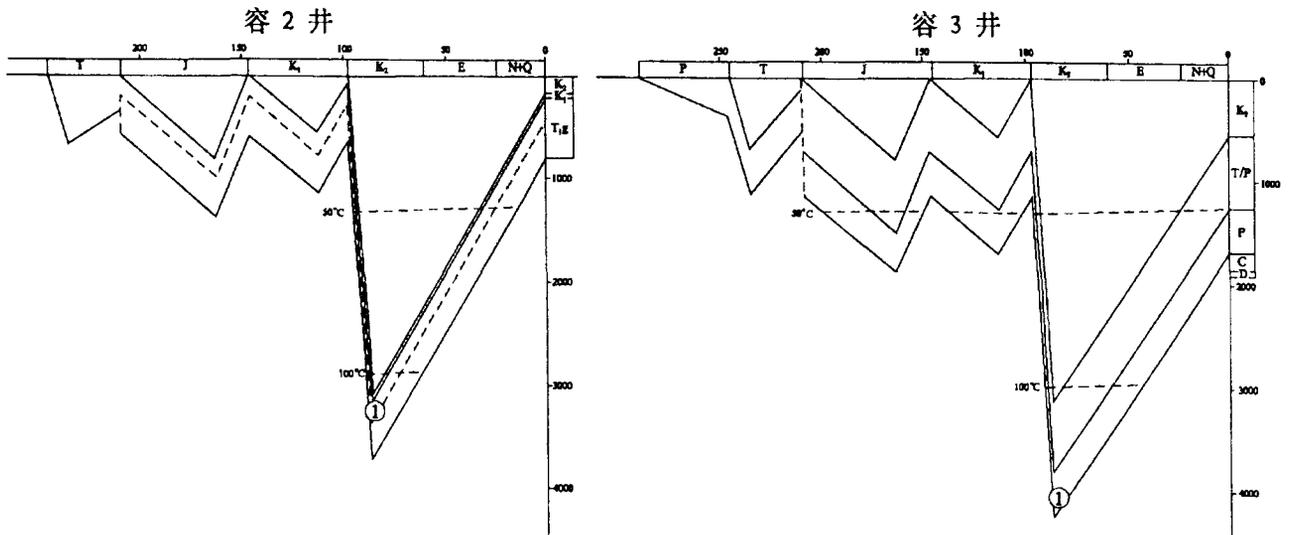


图 9 句容地区容 2 井、容 3 井地层埋藏史剖面图

Fig. 9 Burial history of well Rong-2 and Rong-3 in the GouRong region

6.2 句容地区二叠系

句容地区下二叠系含烃碳酸盐岩中的包裹体,以容3井1604.78m,灰岩方解石脉中分布的一些比较细小的黄绿色荧光包裹体为代表,PVTsim模拟计算的参数如下:石油包裹体均一温度 $T_h = 96.5^\circ\text{C}$,气/液比=6.7%,石油包裹体的摩尔组成:

($N_2 = 0.689$, $\text{CO}_2 = 2.485$, $C_1 = 33.987$, $C_2 = 6.807$, $C_3 = 4.596$, $iC_4 = 0.870$, $nC_4 = 2.050$, $iC_5 = 0.907$, $nC_5 = 1.081$, $C_6 = 1.652$, $C_7 = 3.391$, $C_8 = 4.050$, $C_9 = 2.658$, $C_{10}-C_{13} = 8.348$, $C_{14}-C_{16} = 5.602$, $C_{17}-C_{20} = 5.703$, $C_{21}-C_{23} = 3.593$, $C_{24}-C_{26} = 2.743$, $C_{27}-C_{31} = 3.207$, $C_{32}-C_{36} = 2.045$, $C_{37}-C_{46} = 2.135$, $>C_{46} = 1.394$)。

用PVTsim软件模拟求得的石油包裹体饱和压力 $P = 178.62\text{bar}$,石油包裹体的等容方程: $P = 4.676t - 270.276 \dots A$ 。共生无荧光的盐水包裹体的均一温度 $T_h = 112^\circ\text{C}$,冰点温度 $T_i = -4.2^\circ\text{C}$,盐水包裹体的等容方程 $P = 23.5t - 2590 \dots B$ 。解A-B方程求得石油包裹体的捕获温度 $T_{tr} = 123^\circ\text{C}$,捕获压力 $P_{tr} = 305.947\text{bar}$ 。石油包裹体的相图见图8-B。

根据句容地区地层埋藏史剖面图9,容3井1604.78m,下二叠系灰岩方解石脉中分布的烃类为白垩系晚期捕获的。

6.3 黄桥地区下二叠系

黄桥地区二叠系,目前仅发现了无机成因的 CO_2 气藏,但是在下二叠系灰岩的方解石细脉中存在两组荧光性不同的石油包裹体,一组为比较细小的星点状发黄色荧光的石油包裹体,另一组为小星点状发黄绿色荧光的石油包裹体。其中,黄色荧光包裹体以JS-52苏174井,1970.12m,样品为代表,PVTsim模拟计算的参数如下:石油包裹体的均一温度 $T_h = 86^\circ\text{C}$,气/液比为5~6%,模拟计算中石油包裹体的摩尔组成:

$N_2 = 0.781$, $\text{CO}_2 = 2.971$, $C_1 = 25.853$, $C_2 = 7.646$, $C_3 = 5.316$, $iC_4 = 0.977$, $nC_4 = 2.302$, $iC_5 = 1.019$, $nC_5 = 1.214$, $C_6 = 1.856$, $C_7 = 3.809$, $C_8 = 4.549$, $C_9 = 2.986$, $C_{10}-C_{13} = 9.376$, $C_{14}-C_{16} = 6.293$, $C_{17}-C_{20} = 6.604$, $C_{21}-C_{23} = 4.036$, $C_{24}-C_{26} = 3.081$, $C_{27}-C_{31} = 3.602$, $C_{32}-C_{36} = 2.296$, $C_{37}-C_{46} = 2.398$, $>C_{46} = 1.565$ 。用PVTsim方程模拟求得的石油包裹体饱和压力 $P = 129.28\text{bar}$ 石油包裹体的等容方程 $P = 4.9004t - 292.46 \dots A$,共生盐水包裹体的均一温度 $T_h = 94^\circ\text{C}$,冰点温度 $T_i = -5.5^\circ\text{C}$,盐水包裹体等容方程: $P = 42.68t - 3968.32 \dots B$ 。解A-B方程得石油包裹体捕获温度 $T_{tr} = 97.3^\circ\text{C}$,捕获压力 $P_{tr} = 184.75\text{bar}$,石油包裹体的相演化图见图10-A。

根据黄桥地区埋藏史剖面图11:下二叠系灰岩的方解石细脉中分布相对较广的第一期亮黄色荧光有机包裹体是在白垩系晚期(95Ma~90Ma),捕获的。

黄桥地区,苏-174井1970.12m下二叠系灰岩的方解石细脉中分布的另一组黄绿色荧光有机包裹体的测定结果:均一温度 $T_h = 132.4^\circ\text{C}$,气/液10.12%,用PVTsim模拟计算求得石油包裹体的饱和压力 $P = 177.2\text{bar}$ 。石油包裹体的等容方程 $P = 3.98t - 350.04 \dots (A)$ 共生的同期盐水包裹体均一温度 $T_h = 139^\circ\text{C}$,冰点(T_i) = -5°C ,用PVTsim模拟计算求得盐水包裹体等容方程: $P = 28.58t - 3936.52 \dots (B)$ 解(A)(B)方程求得本期石油包裹体的捕获温度: $T_{tr} = 145.5^\circ\text{C}$,捕获压力: $P_{tr} = 229.05\text{bar}$,石油包裹体的相演化图10-B。

根据结果和苏-174井的埋藏史剖面图11,表明第二组黄绿色荧光的有机包裹体是在白垩纪晚期(65Ma~60Ma),较高的热流体温度条件下(145.5°C)捕获的。但是黄桥地区下二叠系灰岩中充注的两期含烃类流体,其后在白垩系末-第三纪的抬升阶段已经散失,最后在喜山期形成的无机 CO_2 气藏中已不含烃类流体。目前储层中仅保留了早期烃类充注成因的荧光有机包裹体信息。

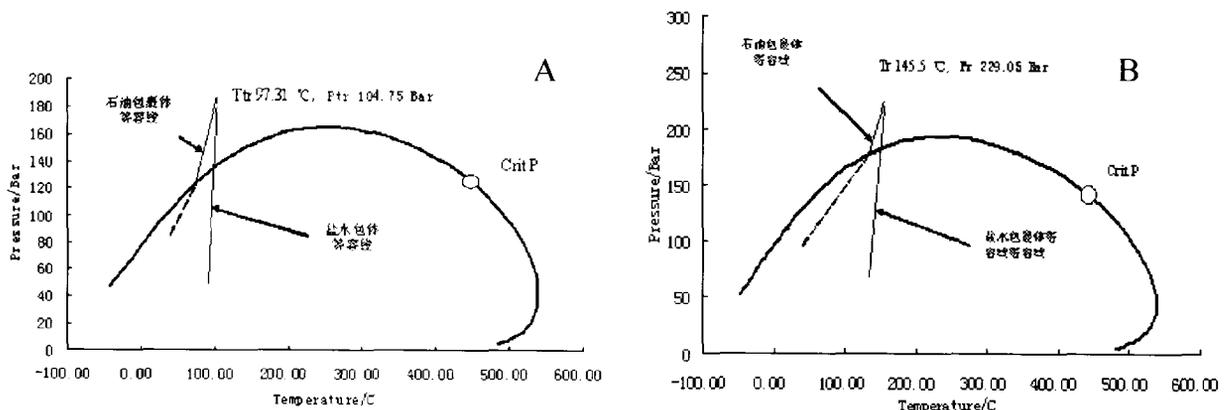


图10 苏-174下二叠系灰岩石油包裹体和同期盐水包裹体PVTsim计算的捕获压力(P_{tr})和捕获温度(T_{tr})

Fig. 10 Determination on the trapped pressure (P_{tr}) and trapped temperature (T_{tr}) of Petroleum inclusion using PVTsim

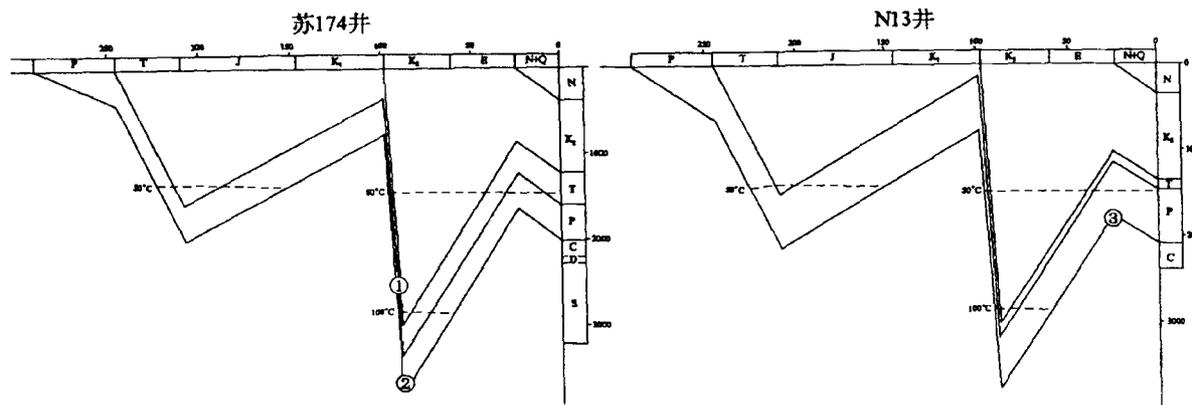


图 11 黄桥地区苏-174 井、N13 井地层埋藏史剖面图

Fig. 11 Burial history of well SU-174 and N13 in HuangQiao region

7 结论

根据江苏地区中-古生界样品的流体包裹体的观测分析资料和流体包裹体均一温与石油包裹体捕获温度、捕获压力的 PVTsim 模拟计算结果表明：句容-黄桥地区三叠系、下二叠系和石炭系，保存有与油气生成运聚有关的多期石油包裹体信息，其中以句容地区的三叠系灰岩发黄绿色荧光的石油包裹体比较丰富，包裹体中气态烃的 C_1/C_{2-5} 比值较低，液态烃中三环萜烷、五环三萜烷和规则甾烷系列的生物标志物化合物含量比较丰富；据本地区地层埋藏史剖面和石油包裹体模拟计算的捕获温度 $T_r = 107.9^\circ\text{C}$ ，捕获压力 $P_r = 289.03\text{bar}$ ，约相当于白垩纪晚期(90-83Ma)，有烃类流体充注的成藏事件。此外，句容地区下二叠系还存在另一组比较细小和发黄绿色荧光的石油包裹体，包裹体中气态烃的 C_1/C_{2-5} 比值较高，液态烃中难检测到甾萜烷系列的生物标志物，据捕获温度 $T_r = 123^\circ\text{C}$ ，捕获压力 $P_r = 3059.47\text{m}$ ，反映白垩纪晚期还有一期温度压力较高的含烃流体充注的信息。

黄桥地区含无机 CO_2 气藏的下二叠系碳酸盐储层，发现两组形态和荧光性质不同的石油包裹体，据下二叠系石油包裹体群的气体色谱和色谱-质谱分析，与句容地区三叠系石油包裹体不同，包裹体中气态烃的 C_1/C_{2-5} 比值较高，液态烃中也未检测到甾萜烷系列的生物标志物；样品中数量较多的第一期发亮黄色荧光的石油包裹体，其捕获温度 $T_r = 97.3^\circ\text{C}$ ，捕获压力 $P_r = 184.75\text{bar}$ ，相当于白垩纪晚期(95~90Ma)有含烃流体充注。第二期发黄绿色荧光的石油包裹体，其捕获温度 $T_r = 145.5^\circ\text{C}$ ，捕获压 $P_r = 229.05\text{bar}$ ，约相当于白垩纪末期(65~60 Ma)有含烃流体的运聚现象。但是，由于在白垩纪末到第三纪的抬升作用阶段的油气大量散失，在喜山期大量无机 CO_2 充注成藏的储层中已不含烃类流体。

References

- Aplin AC, Larter SR, Bigge MA, Macleod G, Swanbrick RE, Grunberger D. 2000. PVTX history of the north sea's Judy oilfield. *Journal of Geochemical Exploration*, 69-70: 641 - 644
- Aplin AC, Macleod G, Larter SR, Pederson KS, Sorensen H, Booth T. 1999. Combined use of confocal scanning microscopy and PVT simulation for estimating the composition and physical properties of petroleum in fluid inclusion. *Marine and Petroleum Geology*, 16: 97 - 110
- Chen Anding, Liu Dongying, Liuziman, et al. 2001. Demonstration and quantification analysis of hydrocarbon generation of Mesozoic-Paleozoic marine source rock in the lower Yangzi sedimentary region. *Marine Origin Petroleum Geology*, 6(4): 27 - 33 (in Chinese with English abstract)
- Chen Anding, Wan Wenjun, Yue Kegong, et al. 2001. Gas source of Zhujiadun gas field Yancheng basin and its discovery significance. *Petroleum Exploration and Development*, 28(6): 45 - 49
- Chi Guoxiang, CHOU I-Ming, Lu Huanzhang. 2003. An overview on current fluid-inclusion research and applications. *Acta Petrologica Sinica*, 19(2): 201 - 202 (in Chinese with English abstract)
- Dutkiewicz A, Volk H, Ridley J, George SC. 2004. Geochemistry of oil in fluid inclusions in a Middle Proterozoic igneous intrusion; implications for the source of hydrocarbons in crystalline rocks. *Organic Geochemistry*, 35: 937 - 957
- Gao YQ, Ou GX, Tan SQ, Liu L. 2003. Research on the charge times and stages of oil gas reser in Lower Es, of at west slope in Baishuitun structure at west slope in Qikon depression. *Acta Petrologica Sinica*, 19(2): 539 - 565 (in Chinese with English abstract)
- Hou Jianguo, Chen Anding, Xiao Qiusheng, et al. 2001. Geologic features of YACHENG natural gas accumulation and their significance to exploration. *Petroleum Geology & Experiment*, 23(2): 183 - 185
- Liu Bin, Shen Kun. 1999. Thermodynamics of Fluid inclusion. Beijing: Geological Publishing House, 12 - 16 (in Chinese)
- Liu Dehan, Xiao Xiamiug, Jia Rongfen, et al. 2000. Observation of hydrocarbon generation and migration of highly-matured carbonate by means of laser-induced fluorescence microscopy. *Chinese Science Bulletin*, 45(Supplement): 16 - 20
- Liu DH, Xiao XM, Mi JK, Li XQ, Shen JG, Song ZG, Peng PA. 2003. Determination of trapping pressure and temperature of petroleum

- inclusion using PVT simulation inclusion of lower ordevician carbonates from the lunnan low oplift. Tarim Basin. Marine and Petroleum Geology, 20: 29-43
- Liu Dhan. 1995. Study on inclusion a kind of useful tool to trace basin fluid. Earth Science Frontiee, 2(3): 149-153 (in Chinese with English abstract)
- Lu Huanzhang, Li Dinglun, et al. 1990. Fluid inclusion Geochimica. Beijing: Geological Press, 61-115 (in Chinese).
- Lu Huanzhang, Fan Hongrui, Ni Pei, et al. 2004. Fluid Inclusion. Beijing: Science Publishing House, 172-202 (in Chinese)
- Shepherd TJA. 1985. A Practical Guide to Fluid Inclusion Study. Blackie: Chapman & Hall
- Volk H, Dutkiewicz A, George SC, Ridley J. 2003. Oil migration in the Middle Proterozoic Roper Superbasin, Australia; Evidence from fluid inclusions and their geochemistries. Journal of Geochemical Exploration, 78:437-441
- Wu Jingfu, Sun Yumei, XiaoYing, et al. 2003. Practical methodology for study petroleum accumulation Biomarker analysis of petroleum within fluid inclusion; A case for southeast Shaleitian structure zone. Acta Petrologica Sinica, 19(2): 348-354 (in Chinese with English abstract)
- 陈安定, 王文军, 岳克功等. 2001. 苏北盆地盐城朱家墩气田气源及发现意义. 石油勘探与开发, 28(6): 45-49
- 池国祥, 周文明, 卢焕章. 2003. 当前流体包裹体研究和应用概况. 岩石学报, 19(2): 201-212
- 高玉巧, 欧光席, 谭守强, 刘立. 2003. 岐口凹陷西坡白水头构造沙一段下部油气成藏期次研究. 岩石学报, 19(2): 359-365
- 侯建国, 陈安定, 肖秋生等. 2001. 盐城天然气地质特征及其勘探意义. 石油实验地质, 23(2): 183-185
- 刘斌, 沈昆. 1999. 流体包裹体热力学. 北京: 地质出版社, 12-16
- 刘德汉, 肖贤明, 贾容芬等. 2000. 高成熟碳酸盐岩地层烃类生成和运移的激光诱导荧光显微观测与评价. 科学通报, 45: 16-20
- 刘德汉. 1995. 包裹体研究——盆地流体追踪的有力工具. 地学前缘, 4(4): 149-153
- 卢焕章, 范宏瑞, 倪培等. 2004. 流体包裹体, 北京: 科学出版社, 17-202
- 卢焕章, 李鼎伦等. 1990. 包裹体地球化学. 北京: 地质出版社, 61-115
- 吴景富, 孙玉梅, 席小应等. 2003. 一种有效的油气成藏——有机包裹体生物标志物分析: 以渤海中部沙东南构造带为例. 岩石学报, 19(2): 348-354
- 附中文参考文献
- 陈安定, 刘东鹰, 刘子满等. 2001. 江苏下扬子区海相中、古生界烃源岩晚期生烃的论证与定量研究. 海相油气地质, 6(4): 27-33

图 版 说 明

图版 I 石油包裹体和盐水包裹体显微照片

- 1, 2. 容2井, 387.03 m, T_{1q}浅灰色灰岩方的解石中包含的大量黄色石油包裹体 1)透射光, 2) 落射荧光
- 3, 4. 容2井, 387.03 m, T_{1q}浅灰色灰岩方解石中分布的黄色荧光的有机包裹体 3)透射光, 4)落射荧光
- 5, 6. 容2井, 387.03 m, T_{1q}浅灰色灰岩方解石中的黄色有机包裹体和和无荧光的盐水包裹体 5)透射光, 6)落射荧光
- 7, 8. 容3井, 1609.7 m, P₁深灰色灰岩方解石脉中含大量黄色和黄绿色的荧光有机包裹体 7)透射光, 8)落射荧光

Plate I Photomicrographs of petroleum and aqueous inclusion

- 1, 2. Rong 2 well, 387.03m, a lot of yellow oil inclusion in the calcite of light gray T_{1q} limestone. 1) transmitted light, 2) incident fluorescence.
- 3, 4. Rong 2 well, 387.03m, a lot of organic inclusions in the calcite of light gray T_{1q} limestone. 3) transmitted light, 4) incident fluorescence.
- 5, 6. Rong 2 well, 387.03m, a lot of yellow organic inclusion and non-fluorescence saltwater inclusions in the calcite of light gray T_{1q} limestone. 5) transmitted light, 6) incident fluorescence.
- 7, 8. Rong 3 well, 1609.7m, a lot of yellow and green-yellow fluorescence inclusions in the calcite vein of deep gray P₁ limestone. 7) transmitted light, 8) incident fluorescence

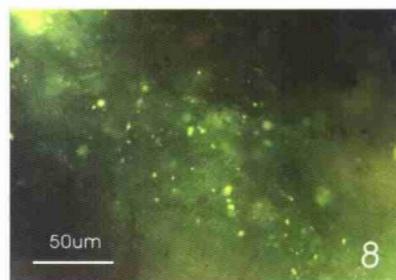
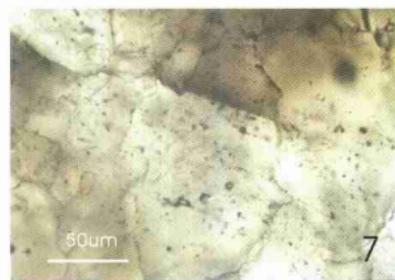
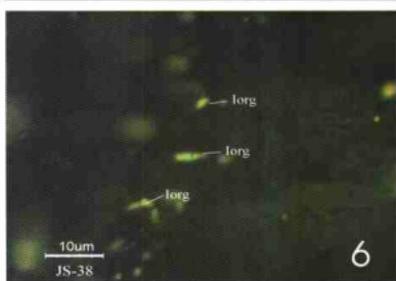
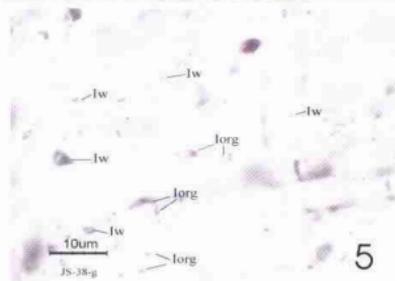
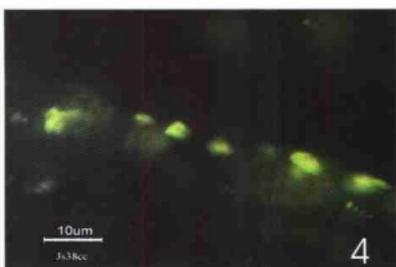
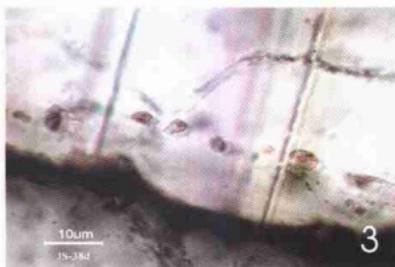
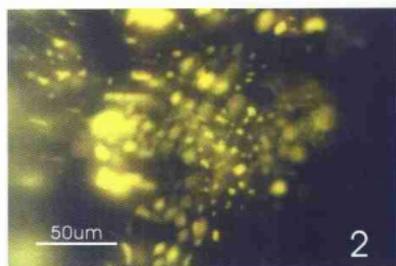
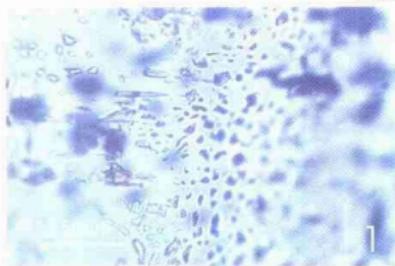
图版 II 盐水包裹体和石油包裹体显微照片

- 1, 2. 真86井 4624.48m, $\epsilon_{2,3}$ 白云石中含大量形态规则和气/液比相似盐水包裹体群, 透射光
- 3, 4. 容2井, JS-38, T_{1q}灰岩方解石脉中含形态规则和气/液比相似的黄色石油包裹体 3)透射光, 4)落射荧光
5. 容2井, 387.03m, T_{1q}, 灰岩缝合线附近含大量的黄色荧光的石油包裹体, 落射荧光
6. N13井, 1990m P₁, 灰岩中含黄绿色荧光小有机包裹体的细方解石脉被晚期不含包裹体的粗方解石切割, 落射荧光
7. 滨II - 2501m, C₂, 灰岩中含少量黄绿色荧光的有机包裹体, 落射荧光
8. 苏174井, 1854m, P₁, 深灰色灰岩方解石脉中含大量黄色和黄绿色的荧光有机包裹体, 落射荧光

Plate II Photomicrographs of petroleum and aqueous inclusion

- 1, 2. Zhen 86 well, 4624.48m, $\epsilon_{2,3}$ a lot of regular and the approximate same ratio of gas/liquid saltwater inclusion group in the dolomite, transmitted light.
- 3, 4. Rong 2 well, JS-38, T_{1q}, a lot of yellow regular and the approximate same ratio of gas/liquid oil inclusion in the calcite vein of limestone, 3) transmitted light, 4) incident fluorescence.
5. Rong 2 well, 387.03m, T_{1q}, a lot of yellow fluorescence oil inclusion near the suture of limestone, incident fluorescence.
6. N13 well, 1990m, P₁, the thin calcite veins containing the small green-yellow fluorescence organic inclusion in limestone are incised by the wide calcite containing no inclusion, incident fluorescence.
7. Bing II - 2501m, C₂, a few of green-yellow fluorescence organic inclusion, incident fluorescence in limestone.
8. Su 174 well, 1854m, P₁, a lot of yellow and green-yellow fluorescence inclusion in the calcite vein of deep gray T_{1q} limestone, incident fluorescence

图版 I Plate I



图版 II Plate II

