

文章编号: 1000-0550(2010) 03-0620-06

东营凹陷民丰洼陷深层天然气储层流体包裹体油气地质研究¹

陈 勇¹ 林承焰¹ 张善文² 宋国奇² 周振柱¹ 于雯泉¹ 郑 洁¹

(1 中国石油大学(华东)地球资源与信息学院 山东青岛 266555;

2 中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司 山东东营 257061;

3 中国石油化工股份有限公司江苏油田分公司地质科学研究院 江苏扬州 225009)

摘 要 通过流体包裹体岩相学观察,分析了民丰洼陷深层天然气储层流体包裹体的类型、形态、产状、颜色等特征。烃类包裹体镜下特征显示民丰洼陷深层天然气的油气演化程度达到高成熟度阶段,而烃类包裹体拉曼光谱分析表明民丰洼陷深层天然气成藏过程可能与富甲烷烃类流体有关。基于油—水共生包裹体体系中盐水包裹体的测温分析,结合民丰洼陷埋藏史和热史分析,认为民丰洼陷深层天然气有两个成藏期。第一期成藏主要在东营期,但贡献不大;第二期成藏时间主要集中在明化镇期。第二期成藏对最终的天然气藏具有主要贡献,成藏时间主要集中在距今 10 Ma 之后。储层包裹体拉曼光谱分析结果显示,烃类流体与二氧化碳流体共存,证实天然气成藏过程中存在酸性流体。由于酸性流体溶蚀了早期成岩形成的方解石胶结物,从而使得民丰洼陷深层储层次生孔隙发育,有利于天然气成藏。

关键词 深层天然气储层 流体包裹体 成藏期次 酸性溶蚀 民丰洼陷

第一作者简介 陈勇 男 1976 年出生 副教授 流体地球化学 E-mail yongchenzy@upc.edu.cn

中图分类号 TE122 P632 **文献标识码** A

深层油气勘探是中国东部油田勘探的重要方向之一^[1]。胜利探区中深层天然气地质储量丰富,展现了良好的勘探前景,有望成为天然气勘探和开发的重要接替领域^[2,3]。然而由于中深层储层埋深大,经历了漫长而复杂的演化过程,关于深层天然气储层的成岩条件和气藏的成藏机理有待于深入研究。而流体包裹体记录了储层成岩作用和油气的成藏过程,利用流体包裹体的分析数据可以分析判断储层成岩环境,结合埋藏史和热史分析可以了解天然气成藏的时间^[4-6]。本研究通过对东营凹陷民丰洼陷深层天然气储层的流体包裹体研究,对该区天然气的成藏期次和成藏流体性质进行了分析和讨论,为清楚认识该区深层天然气的成藏过程提供了证据。

1 研究区概况

东营凹陷深层产气井主要位于民丰洼陷,民丰洼陷位于东营凹陷东北部,是东营凹陷的 4 个次级洼陷之一(图 1)。北为陈家庄凸起,南靠营 8 断层,西靠胜北断层,东临永安镇油田,区域形态向南倾没。重点产气井有丰深 1 井、丰深 2 井、丰深 3 井和丰 8 井,

其中丰深 1 井产气量为 $11\ 834 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 丰深 2 井产气量 $26\ 436 \text{ m}^3/\text{d}$

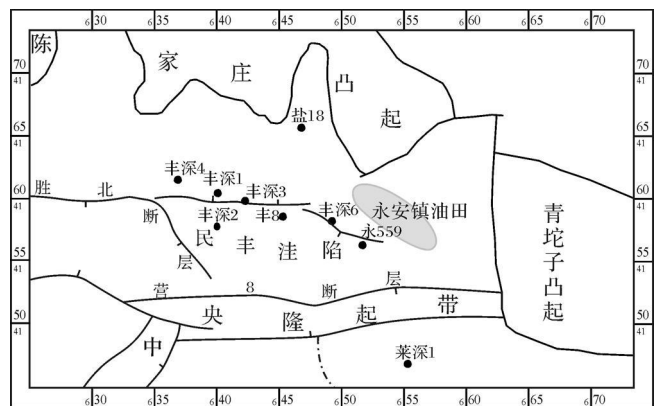


图 1 民丰洼陷构造区位置图

Fig 1 Geological location and structure outline of Minfeng sub-sag

2 储层岩石学特征

东营凹陷民丰洼陷天然气储层岩性主要为杂基含量较高的含砾中粗砂岩和砂岩,砂泥互层常见,岩石胶结比较致密,储集物性很差。砂岩、砾岩以及

¹ 国家“863”计划课题(批准号:2007AA06Z210)、国家自然科学基金项目(批准号:40772082)、中央高校基本科研业务费专项资金联合资助。

收稿日期:2009-06-08 收修改稿日期:2009-08-31

含砾砂岩以灰色和深灰色为主, 泥岩表现为黑色和灰黑色。砂岩碎屑颗粒中石英含量相对较高, 普遍大于 50%, 长石含量 10% ~ 35%, 主要有正长石、斜长石, 少量发生蚀变, 颗粒表面粘土化。砂岩分选较差或差一中等, 磨圆中等, 以次圆状一次棱角状居多。砾岩成分复杂、大小不均、分选、磨圆极差, 表现双模态或复模态。砂砾岩成分和结构成熟度都很低, 反映了砂砾岩体近距离搬运、快速沉积的特点。

3 储层包裹体特征

研究样品均来自民丰洼陷沙四下亚段储层, 主要选择砂岩中石英矿物中的流体包裹体作为分析研究对象, 重点研究了丰深 1、丰深 2、丰深 3 和丰 8 四口井的样品, 因为这四口井为该地区的重点产气井, 具有很好的代表性。

3.1 包裹体岩相学特征

岩相学观察是流体包裹体分析和研究的基础^[7], 镜下观察发现本次研究的流体包裹体主要分布在石英颗粒微裂隙中。由于储层中石英次生加大和硅质胶结作用较弱, 所以在次生加大边和硅质胶结物中的包裹体数量很少。包裹体以盐水包裹体为主, 在部分样品中可见油—水包裹体共生现象, 如图 2 所示。包裹体形状多样, 以近圆、椭圆、长条、不规则状

为主, 有少量呈矩形和三角形, 在镜下一般为无色。包裹体的大小主要在 2~ 7 μm, 个别的长度达到 25 μm, 气液比主要在 1% ~ 15% 之间, 气态烃类包裹体多数在 60% 以上。丰深 1、丰深 2、丰深 3 和丰 8 样品包裹体的镜下特征描述如表 1 所述。

3.2 包裹体类型及特征

根据包裹体镜下特征和成分分析结果, 研究区的包裹体类型可从成分上分为盐水包裹体 (包括含烃盐水包裹体) 和烃类包裹体, 下面分别对这两类包裹体特征进行论述。

3.2.1 盐水包裹体的类型及特征

盐水包裹体 (包括含烃盐水包裹体) 是最常见的包裹体类型, 记录了储层成岩作用过程和地下流体的活动历史, 是重要的研究对象。根据包裹体的相态不同, 又可分为纯液相包裹体、气液两相包裹体。

(1) 纯液相包裹体: 个体较小, 一般在 5 μm 以下, 多数在 1~ 3 μm, 基本为透明无色, 在室温下见不到气泡, 近圆、椭圆、不规则状均有出现。

(2) 气液两相包裹体: 大小在 3~ 10 μm, 个别的达到 20 μm, 一般为透明无色, 形状多样, 在室温下可见到气泡, 气液比较小, 一般小于 5%, 此类包裹体数量最多。

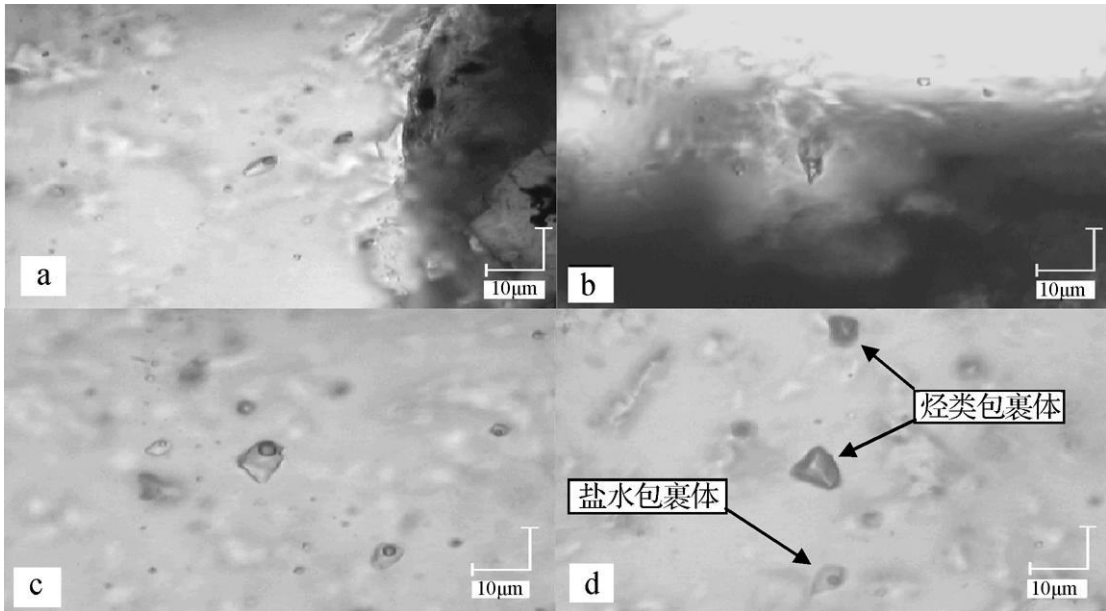


图 2 储层流体包裹体照片

(a) 微裂隙中的流体包裹体; (b) 石英加大边中的包裹体; (c) 气液两相包裹体; (d) 油—水共生包裹体

Fig 2 Occurrences of fluid inclusions in reservoirs

(a) fluid inclusions in micro-fracture (b) inclusions in overgrowth of quartz (c) gas-liquid phases inclusions (d) hydrocarbon-bearing inclusions co-exist with aqueous inclusions

表 1 盐水包裹体岩相学特征及均一温度

Table 1 Petrological characteristics and homogenization temperature of aqueous inclusions

井号	深度 /m	主矿物	期次	产状	大小 / μm	气液比 /%	均一温度范围 / $^{\circ}\text{C}$	包体个数	平均均一温度 / $^{\circ}\text{C}$
丰深 1	4324.3	石英	第一期	微裂隙	2~4	2~5	109.7~128.8	8	121.4
			第二期	微裂隙			130.1~138.3	3	133.6
丰深 1	4495.0	石英	第一期	微裂隙	2~5	1~3	121.3~134.7	11	128.6
丰深 1	4348.2	石英	第一期	微裂隙	2~7	1~10	139.1~156.4	6	146.4
			第二期	微裂隙			> 160	3	> 160
丰深 1	4323.8	石英	第一期	微裂隙	3~6	3~5	97.2	1	97.2
			第二期	微裂隙			127.0~146.9	7	141.2
			第三期	微裂隙			155.7	1	155.7
丰深 2	5545.9	石英	第一期	微裂隙	3~5	2~5	150.2~159.5	11	155.3
丰深 2	5648.1	石英	第一期	微裂隙	3~20	3~5	152.7~161.0	11	156.4
丰深 2	5544.7	石英	第一期	加大边	3~7	2~5	137.6~156.1	10	137.6
			第二期	微裂隙			> 160	1	> 160
丰深 3	3785.6	石英	第一期	胶结物	5~25	3~8	129.9~143.3	8	133.9
			第二期	微裂隙			152.2~162.6	3	155.7
丰深 3	4783.4	石英	第一期	微裂隙	2~12	2~5	135.2~148.2	9	141.1
			第二期	微裂隙			156.7~159.5	2	158.1
丰 8	4397.5	石英	第一期	加大边	1~4	1~3	103.1~123.8	6	115.0
			第二期	微裂隙			129.6~143.2	3	134.1
丰 8	4200.7	石英	第一期	胶结物	1~5	1~3	115.9~130.3	5	124.1
			第二期	微裂隙			138.5~143.7	4	141.2
丰 8	4196.2	石英	第一期	微裂隙	2~6	3~5	121.3~141.2	5	132.3
			第二期	微裂隙			145.5~153.9	2	149.7
			第三期	微裂隙			> 160	2	> 160
丰 8	4181.9	石英	第一期	微裂隙	2~7	1~5	120.1~125.2	3	123.5
			第二期	微裂隙			142.3~157.2	5	146.6
丰 8	4198.0	石英	第一期	微裂隙	2~3	1~4	137.2~153.7	9	145.4

3.2.2 烃类包裹体的类型及特征

显微镜下观察发现,本次研究样品中的烃类包裹体一般呈褐色或棕黑色,体积不大,与同期水溶液包裹体大小相当,多数在 3~5 μm ,基本上都为气态烃类包裹体,个别包裹体中含有沥青。拉曼光谱分析证实烃类包裹体中含有甲烷及其它复杂有机物质,如图 3 所示,2918.0 cm^{-1} 处可见明显的甲烷拉曼信号,在 1340 cm^{-1} 和 1600 cm^{-1} 附近可见明显的有机物碳骨架振动拉曼信号^[8],这暗示成藏过程存在富含甲烷烃类流体。前人研究表明^[9],随着油气演化程度不同而形成不同类型的烃类包裹体,一般的规律是:在未熟—低成熟阶段,主要形成纯液态烃包裹体及气态烃很少的液态烃包裹体;成熟阶段主要形成液态烃包裹体;凝析油—湿气(高成熟)阶段,主要形成气态烃包裹体。根据烃类包裹体特征可知,民丰洼陷深部储层成藏油气的成熟度较高,油气演化已进入高成熟阶段。而实际勘探结果显示丰深 1 井的天然气为湿气,这与包裹体中的成分类型基本一致,说明流体包裹体记录储层天然气的成藏过程。

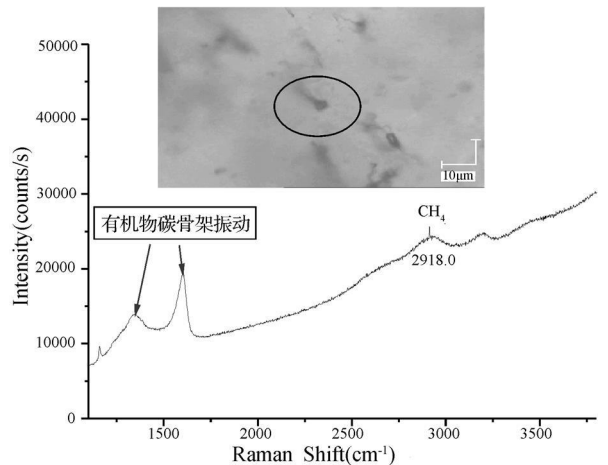


图 3 烃类包裹体及其拉曼光谱(丰深 1, 4495 m)

Fig 3 Photo and Raman spectrum of hydrocarbon-bearing inclusion in Well Fengshen 1

4 天然气成藏条件

4.1 天然气成藏期次

与烃类包裹体共生的盐水包裹体真实记录了天

然气成藏的成岩条件, 对此类包裹体进行了均一温度分析, 分析仪器为 Link m-THM S600 冷热台。通过对样品进行测试, 得到 4 口重点井的流体包裹体测温分析结果与统计数据, 如表 1 所示。均一温度分布特征如图 4 所示, 从包裹体均一温度分布图可以看出, 均一温度出现两个峰值区间: 120~130℃ 和 140~160℃, 这表明研究区存在两期天然气成藏过程。盆地模拟得到丰深 1 井的埋藏史和热史曲线, 如图 5 所示。结合包裹体均一温度分析可知: 民丰洼陷的天然气第一期成藏从东营期开始, 但受到东营运动的影响, 出现了中断或者调整; 第二期的成藏时间开始于馆陶期, 一直持续至今, 但成藏过程主要集中在明化镇期。第二期成藏对最终的天然气藏具有主要贡献, 时间主要集中在距今 10 M a 之后。

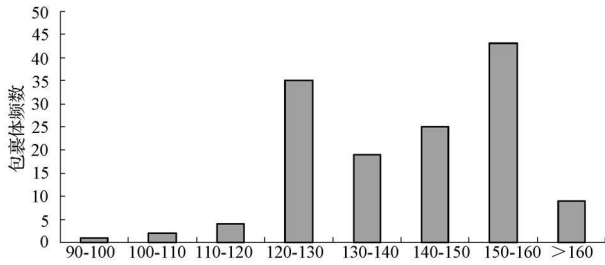


图 4 均一温度分布直方图

Fig 4 Histograms of homogenization temperatures of fluid inclusions

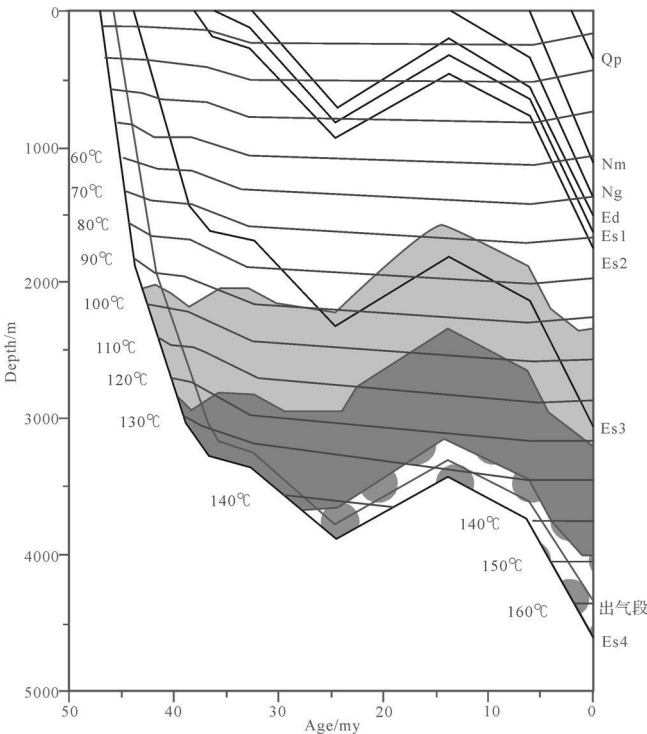


图 5 丰深 1 井埋藏史和热史曲线

Fig 5 The curve of burial and thermal history of Well Fengshen 1

4 2 成岩成藏流体性质分析

济阳拗陷深部储层的成因及成岩作用一直是石油地质学家们所关心的问题。钱铮等^[9]对济阳拗陷深层天然气储层研究认为: 存在某种流体作用使得储层发生溶蚀作用, 从而增大了储集空间。蔡进功等^[11]、李军亮^[12]对济阳拗陷深部储层研究都指出了酸性流体溶蚀作用的存在, 但没有给出直接证据。对成藏流体性质分析可以更加清楚地了解油气成藏的过程和机理, 而流体包裹体记录了储层的成岩条件^[13], 通过对储层包裹体分析可以了解有关天然气成藏的流体性质。激光拉曼光谱技术是目前获取流体包裹体成分的最有效方法之一, 采用拉曼光谱技术对民丰洼陷天然气储层包裹体成分进行了分析。分析结果显示, 在丰深 1、丰深 3 和丰深 8 井的储层包裹体中均发现烃类流体与二氧化碳流体共存现象。以丰深 1 井为例, 如图 6 所示, 1 390 cm^{-1} 和 1 287 cm^{-1} 处的拉曼光谱信号是 CO_2 的费米共振双峰, 1 600 cm^{-1} 和 2 950 cm^{-1} 附近的波带分别代表了烃类物质碳骨架振动和 C-H 键振动的拉曼光谱信号^[8]。 CO_2 的存在指示了天然气成藏过程中存在酸性流体, 其出现的深度主要对应产气层储层, 丰深 1 主要分布在 4 300~4 350 m, 丰深 3 主要分布在 4 780~4 870 m, 丰深 8 井主要分布在 4 170~4 190 m。对储层岩石薄片观察发现, 部分储层岩石样品中存在方解石胶结物, 但可见明显的溶蚀现象。这暗示早期成岩的碱性胶结物被晚期成藏的酸性流体溶蚀, 而这一过程有利于产生更多的储层孔隙, 从而有利于天然气成藏。储层流体包裹体的拉曼光谱数据为深层储层酸性溶蚀现象提供了直接证据, CO_2 含量随深度的变化及其与

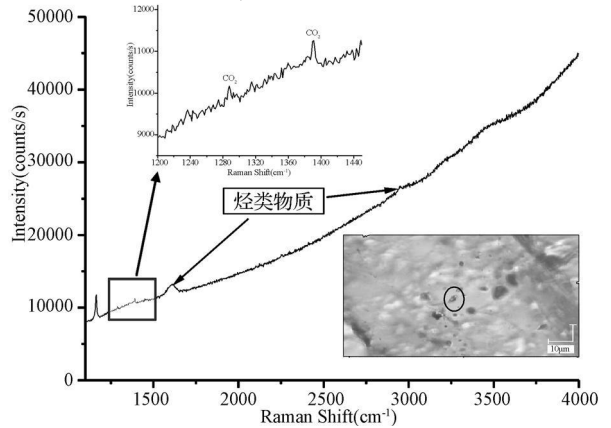


图 6 烃类包裹体中 CO_2 的拉曼光谱信号

(丰深 1, 4 323.2 m)

Fig 6 Raman spectrum of carbon dioxide in hydrocarbon-bearing inclusions

储层物性的关系还有待于更加深入细致的研究。

5 认识

通过对民丰洼陷深层天然气储层流体包裹体显微观察、显微测温 and 拉曼光谱分析,描述了民丰洼陷深部天然气储层流体包裹体的类型、形态、产状、颜色和成分等特征;根据包裹体分析结果,结合埋藏史和热史分析,讨论了天然气的成藏期次和成藏流体性质,得到以下几点认识:

(1) 烃类包裹体镜下特征显示民丰洼陷深层天然气的油气演化程度达到高成熟度阶段。烃类包裹体成分分析暗示研究区天然气成藏过程与富甲烷烃类流体有关。

(2) 通过油—水共生包裹体体系中的盐水包裹体测温分析,结合民丰洼陷埋藏史和热史,分析认为民丰洼陷深层天然气有两期成藏。第一期成藏主要在东营期,但受东营运动的影响而贡献不大;第二期成藏时间开始于馆陶期,一直持续至今,但成藏过程主要集中在明化镇期。第二期成藏对最终的天然气藏具有主要贡献,时间主要集中在距今 10 Ma 之后。

(3) 采用拉曼光谱技术对民丰洼陷天然气储层包裹体成分分析结果显示,烃类流体与二氧化碳流体共存,证实天然气成藏过程中存在酸性流体。由于早期成岩的方解石胶结物被晚期成藏的酸性流体溶蚀,从而使得储层次生孔隙发育,所以酸性流体促进了民丰洼陷的天然气成藏。本次研究为深层储层的酸性溶蚀作用给出了直接证据,这暗示酸性溶蚀作用形成的次生孔隙发育带是未来深层油气勘探的重要目标之一。

参考文献 (References)

- 康竹林. 中国深层天然气勘探前景 [J]. 天然气工业, 2000, 20(5): 1-4 [Kang Zhulin. The exploration prospect of deep gas in China [J]. Natural Gas Industry, 2000, 20(5): 1-4]
- 刘文汇, 张殿伟. 中国深层天然气形成及保存条件探讨 [J]. 中国地质, 2006, 33(5): 937-943 [Liu Wenhui, Zhang Dianwei. Generation and preservation conditions of deep-seated gas in China [J]. Geology in China, 2006, 33(5): 937-943]
- 王明明, 冉启贵, 赵庆波, 等. 中国东部主要盆地天然气富集带形成及分布规律 [J]. 石油学报, 2001, 22(3): 6-11 [Wang Mingming, Ran Qigui, Zhao Qingbo, et al. Formation and distribution of natural gas enriching belts in eastern China oilbearing areas [J]. Acta Petrologica Sinica, 2001, 22(3): 6-11]
- 陶士振, 秦胜飞. 塔里木盆地克依构造带流体包裹体油气地质研究 [J]. 石油学报, 2001, 22(5): 16-22 [Tao Shizhen, Qin Shengfei. Study on oil-gas geology of inclusions in Keyi structural zone in Tarim Basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2001, 22(5): 16-22]
- 郑有业, 李晓菊, 马丽娟, 等. 有机包裹体在生油盆地研究中的应用 [J]. 地质前缘, 1998, 5(1-2): 325-331 [Zheng Youye, Li Xiaoju, Ma Lijuan, et al. Application status of organic inclusions in the research on oil generating basin [J]. Earth Science Frontiers, 1998, 5(1-2): 325-331]
- 谢奕汉, 范宏瑞, 王英兰. 流体包裹体与盆地油气的生成和演化 [J]. 地质科技情报, 1998, 6(增刊): 100-104 [Xie Yihan, Fan Hongrui, Wang Yinglan. Fluid inclusions and their relation to the formation and evolution of oil-gas in a basin [J]. Geological Science and Technology Information, 1998, 6(Suppl): 100-104]
- 陶世振. 包裹体应用于油气地质研究的前提条件和关键问题 [J]. 地质科学, 2004, 39(1): 77-91 [Tao Shizhen. Premise conditions and key problems of applied study of inclusion in oil-gas geology [J]. Chinese Journal of Geology, 2004, 39(1): 77-91]
- 朱自莹, 顾仁敖, 陆天虹. 拉曼光谱在化学中的应用 [M]. 沈阳: 东北大学出版社, 1998: 295-301 [Zhu Ziyang, Gu Ren'ao, Lu Tianhong. Application of Raman Spectroscopy in Chemistry Field [M]. Shenyang: Dongbei University Publishing House, 1998: 295-301]
- 施继锡, 李本超, 傅家谟, 等. 有机包裹体及其与油气的关系 [J]. 中国科学: B 辑, 1987, 17(3): 318-325 [Shi Jixi, Li Benchao, Fu Jianqiang, et al. Organic inclusion and its relationship with hydrocarbon [J]. Science in China Series B, 1987, 17(3): 318-325]
- 钱铮, 赵澄林, 刘孟慧. 济阳拗陷深层天然气致密砂岩储集空间成因 [J]. 石油大学学报: 自然科学版, 1994, 18(6): 21-25 [Qian Zheng, Zhao Chenglin, Liu Menghui. Generation of reserve space in deep natural gas sandstone reservoirs in Jiyang depression [J]. Journal of the University of Petroleum, China, 1994, 18(6): 21-25]
- 蔡进功, 谢忠怀, 田芳, 等. 济阳拗陷深层砂岩成岩作用及孔隙演化 [J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 84-88 [Cai Jingong, Xie Zhonghuai, Tian Fang, et al. Diagenesis and pore evolution of deep sandstones in Jiyang depression [J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(1): 84-88]
- 李军亮. 民丰洼陷盐下深层天然气储层特征 [J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(4): 48-49 [Li Junliang. Reservoir characteristics of deep-seated gas under gypsum-salt in Minfeng sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2007, 14(4): 48-49]
- 高福红, 于均民. 流体包裹体在成岩作用中的应用 [J]. 世界地质, 2000, 19(4): 320-323 [Gao Fuhong, Yu Junmin. The application of the studying fluid inclusions in the diagenesis [J]. World Geology, 2000, 19(4): 320-323]

Study on Fluid Inclusions in Deep Natural Gas Reservoirs in Minfeng Sub-Sag, Dongying Sag

CHEN Yong¹ LIN Cheng-yan¹ ZHANG Shan-wen² SONG Guo-q¹

ZHOU Zhen-zhu¹ YU Wen-quan³ ZHENG Jie¹

(1. College of Geo-resources and Information, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong 266555

2. Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying, Shandong 257064;

3. Research Institute of Geoscience, Jiangsu Oil Field Company, SINOPEC, Yangzhou, Jiangsu 225009)

Abstract Through observation of petrological characteristics of fluid inclusions under microscope, the types, shapes, occurrence and colors of fluid inclusions in deep natural gas reservoirs in Minfeng sub-sag, Dongying sag were described in this paper. The characteristics of hydrocarbon-bearing inclusions indicate that evolution of oil and gas in Minfeng area reached high maturity stage. The Raman spectra of hydrocarbon-bearing inclusions imply that the accumulation of deep natural gas in Minfeng sub-sag may be relative to methane-rich hydrocarbon fluids. Based on the micro-thermometry analysis of aqueous inclusions which co-exist with hydrocarbon-bearing inclusions and reconstruction of burial and thermal history, there were two oil/gas entrapment stages were divided in Minfeng sub-sag. The first stage mainly occurred during Oligocene Dongying Period, but having not too much contribution. The second accumulation mainly occurred in Pliocene Minghuazhen Period. The latter is the main accumulation period, and mostly occurred smaller than 10 Ma. The analysis of Raman spectroscopy show that hydrocarbon-bearing fluids co-exist with carbon dioxide in fluid inclusions in deep natural gas reservoirs, confirming that there were acid fluids existed during the accumulation of natural gas. Acid fluids can dissolve calcite cement formed in early diagenesis, consequently improving the growth of induced porosity in deep reservoirs and favor the accumulation of natural gas.

Key words deep natural gas reservoirs, fluid inclusions, oil/gas entrapment stage, acidic dissolution, Minfeng sub-sag