

升平-兴城气田营城组火山岩储层流体包裹体研究

章凤奇¹, 陈汉林¹, 董传万¹, 厉子龙¹, 沈忠悦¹, 李纯泉², 沈中延¹

1. 浙江大学 地球科学系, 杭州 310027; 2. 中国地质大学 资源学院, 武汉 430074

摘要: 升平-兴城气田营城组火山岩储层经历多次构造活动, 具有多期天然气的充注特征。采自该气田 20 口井 45 块岩芯样品的流体包裹体系统分析揭示了该区复杂的天然气充注过程。对各期次流体包裹体的均一温度、盐水包裹体的盐度, 以及含烃盐水包裹体的荧光强度等测试的综合分析表明, 火山岩储层经历了 6 期热流体活动, 前 4 期分别对应于 4 期天然气充注过程。结合埋藏史分析可知, 4 期充注分别发生于泉头组沉积末期-青山口组沉积时期、嫩江组沉积早-中期、嫩江组沉积末期和明水组沉积早期至今。综合考虑生烃层、储层和盖层之间的组合关系, 最终确定升平-兴城气田营城组火山岩储层天然气主要的成藏时期为嫩江组沉积早-中期。

关键词: 火山岩储层; 流体包裹体; 均一温度; 天然气充注; 成藏期

中图分类号: P618.130.1 文献标识码: A 文章编号: 1007-2802(2006)01-0092-06

Fluid Inclusion Analysis of Volcanic Reservoir in the Yingcheng Formation of the Shengping-Xingcheng Gas Field

ZHANG Feng-qi¹, CHEN Han-lin¹, DONG Chuan-wan¹, LI Zi-long¹,
SHEN Zhong-yue¹, LI Chun-quan², SHEN Zhong-yan¹

1. Department of Earth Science, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

2. Faculty of Earth Resources, China University of Geoscience, Wuhan 430074, China

Abstract: Volcanic reservoir of the Yingcheng Formation in the Shengping-Xingcheng gas field experienced many tectonic activities and was characterized by multiple hydrocarbon charging. Based on 45 core samples from 20 wells of the Shengping-Xingcheng gas field, systematic analysis of fluid inclusions was employed to study the complicated hydrocarbon charging histories. The results of fluorescence observation on hydrocarbon inclusions and microthermometry of both hydrocarbon and aqueous inclusions indicated that the volcanic reservoir of the Yingcheng Formation experienced six thermal fluid activities corresponding to four times of hydrocarbon charging. Comprehensive analysis of fluid inclusion and buried history curve shows that the four times of hydrocarbon charging happened in the late Quantou age to the Qingshankou age, the early to the middle of Nenjiang age, the late of Nenjiang age and the early Mingshui age to now. The integrated information suggests that the critical moment for gas charging is from the early to the middle of Nenjiang age.

Key words: volcanic reservoir of Yingcheng Formation; fluid inclusion; homogenization temperature; gas charging; forming time of gas pool

成岩成矿中的流体包裹体是研究沉积盆地活动热流体的一种有力工具^[1]。沉积盆地的热流体活动与油气的生成、运移和聚集密切相关, 因此, 流体包

裹的研究在油气勘探与开发领域得到了广泛的应用^[2~9]。

笔者在升平-兴城气田火山岩储层岩芯中系统

采集样品 45 块,通过对流体包裹体显微测温 and 含烃包裹体荧光的观察,确定该气藏天然气的充注期次和充注历史及主要成藏期。

1 地质概况

升平-兴城气田位于松辽盆地徐家围子断陷中北部(图 1),气藏储层主体为下白垩统营城组的中酸性火山岩,包括以流纹岩、英安岩为代表的中酸性喷溢相熔岩和以凝灰岩和火山角砾岩为代表的爆发相的火山碎屑岩组成,储集空间由孔洞、裂缝双重介质互相配置组成。徐家围子断陷演化过程复杂,在原始断陷的基础上,叠加有后期的多次挤压^[10]。演化过程中,烃源岩很快就已达到高成熟-过成熟阶段,随着各次构造运动和频繁的火山喷发作用,发生深层天然气的多期充注活动。

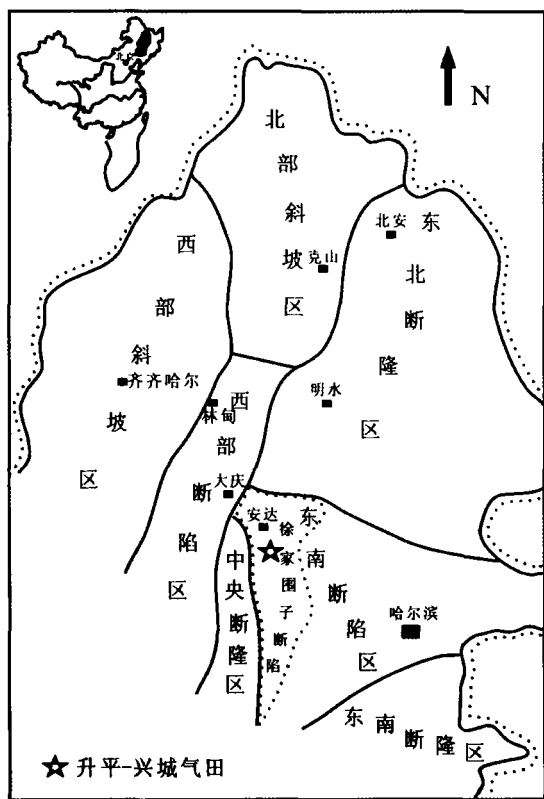


图 1 松辽盆地北部地区构造单元
及升平-兴城气田位置图

Fig. 1 Structure units of the northern Songliao basin and the location of the Shengping-Xingcheng gas field

前人对营城组研究指出,天然气的充注期次可划分出两期^[11-13],这些研究主要是根据流体包裹体

的均一温度进行的。众所周知,流体包裹体分析过程中,由于样品的采集或测试者操作以及对测试数据的解释等多方面原因,均可导致结果的不全面而影响最终结果。本文采用流体包裹体系统分析的方法,获得了与前人不同的认识。

2 流体包裹体系统分析

2.1 样品的采集和处理

样品的采集和处理是流体包裹体系统分析中非常重要的环节^[9]。升平-兴城气田营城组地层的主体为火山岩,内部裂缝和孔洞比较发育,且充填或半充填有丰富的成岩矿物,主要是石英和方解石。本文分析的 20 口井的钻孔岩芯,样品均采自裂缝和溶洞发育的区域,包含了流体包裹体宿主矿物石英和方解石。采集样品时,充分考虑了样品在平面和垂向上分布的均匀性,以确保测试结果在整个气田的代表性和有效性。

2.2 含烃流体包裹体的荧光显示

识别烃类包裹体最迅速和有效的方法是包裹体在紫外光照射下所表现出来的荧光行为^[14,15]。不同的荧光颜色表明了烃类包裹体所捕获的不同烃类成分^[16,17],指示烃类热演化程度^[18,19]。荧光颜色由红色→橙色→黄色→绿色→蓝白色的变化,体现了烃类成熟度变化。

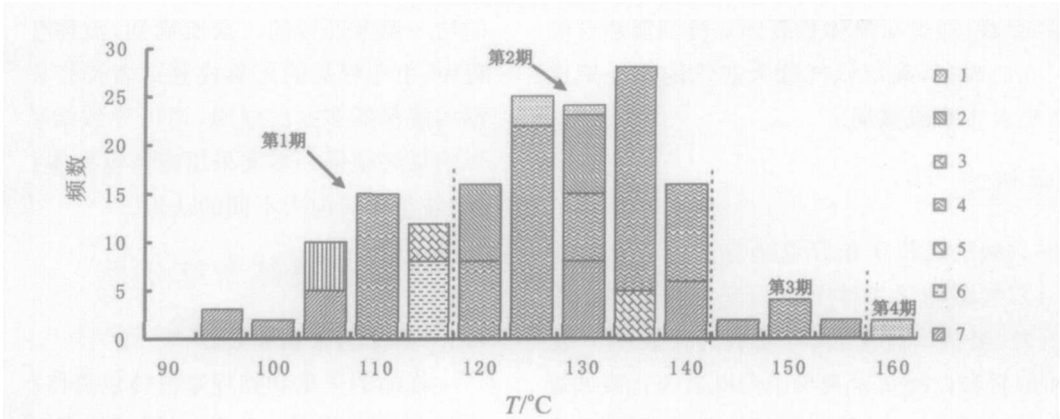
对样品的荧光观察结果表明,深层火山岩储层未捕获发任何荧光色的油包裹体,但有较多发浅蓝色荧光的包裹体,显微测温证实是含烃盐水包裹体,反映本区烃源岩已达到高成熟-过成熟阶段,同时也证实天然气充注事件的发生。

2.3 流体包裹体显微测温

本次研究测定了均一温度与盐水包裹体的冰点。

2.3.1 含烃盐水包裹体 荧光分析表明,所测流体包裹体为部分发浅蓝色荧光的含烃盐水包裹体。从图 2 可以看出,本区有 4 期含烃盐水包裹体,其平均均一温度分别为 97.1~114.1℃、121.4~138.2℃、140.6~156.7℃和 161~167.1℃。其中第 2 期在所有检测到的含烃盐水包裹体中占了绝对数量,表明营城组火山岩储层的主要的天然气充注过程。

2.3.2 盐水包裹体 相态特征显微观察表明,营城组火山岩储层中捕获有大量的包裹体,包括纯天然



1. 方解石中的含烃盐水包裹体; 2. 溶洞充填石英晶体中的含烃盐水包裹体; 3. 石英颗粒中的含烃盐水包裹体; 4. 穿石英颗粒裂纹中含烃盐水包裹体; 5. 气孔充填、石英颗粒中的含烃盐水包裹体; 6. 溶洞充填方解石晶体中的含烃盐水包裹体; 7. 石英颗粒内裂纹中含烃盐水包裹体

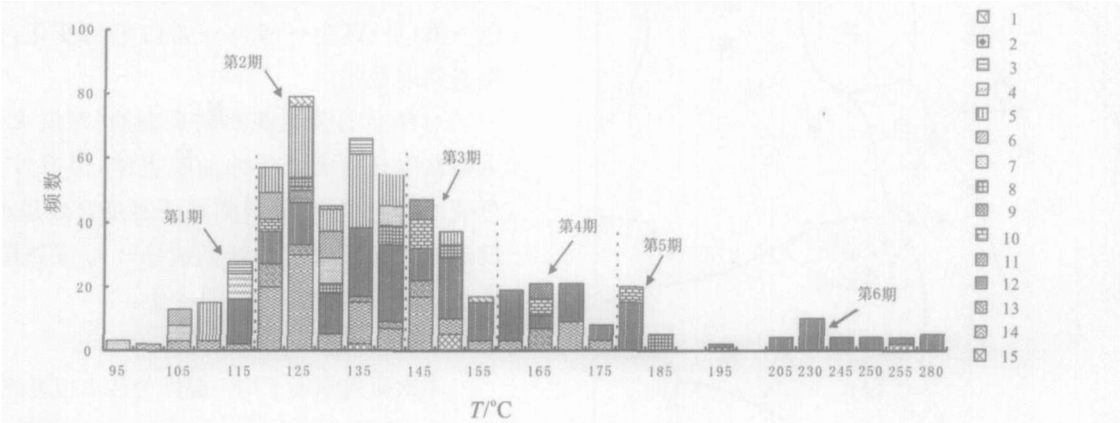
图 2 升平-兴城气田营城组火山岩中含烃盐水包裹体均一温度统计

Fig. 2 Homogenization temperature histogram of hydrocarbon fluid inclusions in the volcanic reservoir of the Yingcheng Formation in the Shengping-Xingcheng gas field

气单相包裹体、盐水单相包裹体、盐水两相包裹体、含烃盐水两相包裹体与高温热液盐水两相包裹体。我们仅测定了后三类盐水包裹体。

由图 3 可知, 本区有 6 期盐水包裹体, 均一温度分别为 99. 4~ 118. 6℃、120. 2~ 139. 0℃、140. 0~ 158. 9℃、160. 3~ 178. 7℃、180. 7~ 231. 1℃和 238. 9~ 281. 3℃。它们反映了营城组火山岩储层曾经经

历了 6 期热流体活动。其中第 1 期至第 4 期与前面 4 期含烃盐水包裹体相对应; 第 2 期和第 3 期检测到的频数占有显著优势。第 1 期至第 2 期均检测到同期共生的 4 期含烃盐水包裹体(图 2)。均一温度大于 170℃的盐水包裹体, 其气/液比普遍大于 15%, 表明是近地表非均匀捕获的结果, 均一温度没有实际地质意义^[20, 9]。



1. 方解石中的含烃盐水包裹体; 2. 石英颗粒中的含烃盐水包裹体; 3. 气孔充填石英颗粒中的含烃盐水包裹体; 4. 溶洞充填方解石晶体中的含烃盐水包裹体; 5. 穿石英颗粒裂纹中含烃盐水包裹体; 6. 溶洞充填石英晶体中的含烃盐水包裹体; 7. 石英颗粒内裂纹中含烃盐水包裹体; 8. 方解石中的盐水包裹体; 9. 方解石脉中的盐水包裹体; 10. 石英颗粒中的盐水包裹体; 11. 气孔充填石英颗粒中的盐水包裹体; 12. 穿石英颗粒裂纹中的盐水包裹体; 13. 溶洞充填方解石晶体中的盐水包裹体; 14. 溶洞充填石英晶体中的盐水包裹体; 15. 石英颗粒内裂纹中的盐水包裹体

图 3 升平-兴城气田营城组火山岩中各类盐水包裹体均一温度统计

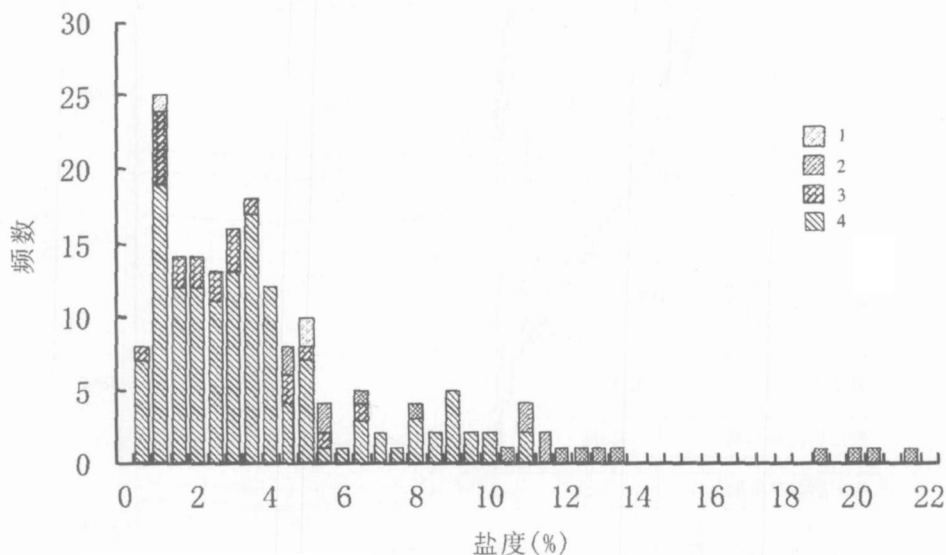
Fig. 3 Homogenization temperature histogram of all sorts of aqueous fluid inclusions in the volcanic reservoir of the Yingcheng Formation in the Shengping-Xingcheng gas field

图 4 为盐水包裹体盐度统计图(盐度可由冰点值换算获得^[8])。从图 4 可知, 本区各期盐水包裹体

的盐度值主要集中在 1. 0% ~ 5. 0% wt. NaCl。从各期盐度的平均值(图 5)来看, 不同期次热流体的

盐度有所差异。平均盐度值最大的是第4期(大于5.0% wt. NaCl); 其次是第5期(大于4.0% wt. NaCl); 第2期和第3期盐度为1.0%~4.0% wt.

NaCl; 最低的是第6期。综合盐度统计可以反映出, 本区以第1期至第3期热流体活动占绝对优势。



1. 石英颗粒内裂纹中的盐水包裹体; 2. 石英颗粒中的盐水包裹体; 3. 方解石中的盐水包裹体; 4. 穿石英颗粒裂纹中的盐水包裹体

图4 升平-兴城气田营城组火山岩中各类盐水包裹体盐度统计图

Fig. 4 Salinity of all sorts of aqueous fluid inclusions in the volcanic reservoir of the Yingcheng Formation in the Shengping-Xingcheng gas field

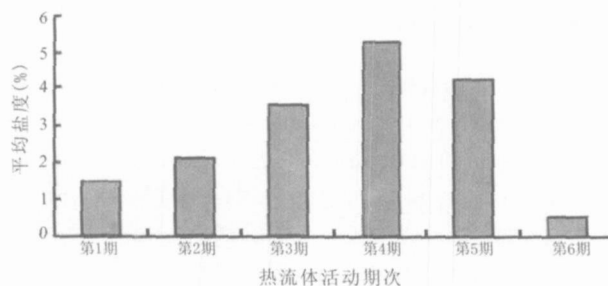


图5 不同热流体活动期次的盐水包裹体平均盐度统计

Fig. 5 Average salinity in aqueous fluid inclusions of different thermal fluid activities

综上所述, 第2期流体活动在本区热流体活动过程中占有重要地位, 这与前面揭示的天然气主要充注过程相一致。

3 天然气充注期次及主成藏期

含烃流体包裹体的存在是发生油气运聚的直接证据。45块样品中有近60%可以检测到含烃盐水包裹体, 充分证实本区曾发生过天然气的充注。综合前述的含烃盐水包裹体均一温度、荧光颜色及与之伴生的同期盐水包裹体均一温度、盐度等的判别,

可以确定储层总体上发生过4期天然气充注。

从图4、5可知, 与四期含烃盐水包裹体相对应的同期盐水包裹体的均一温度分别集中于110~120℃、125~140℃、140~155℃和160~170℃。将各期次含烃盐水包裹体所对应的同期盐水包裹体的均一温度作为捕获时的最小古温度, 投影到附有古地温的埋藏史图中即可间接得出各期次天然气充注的时间。从图6可知, 4期天然气充注分别发生在泉头组沉积末期-青山口组沉积时期、嫩江组沉积早-中期、嫩江组沉积末期、明水组沉积早期至今。

本气田气藏的区域性盖层分别是登娄库组二段和泉头组一、二段泥岩, 其分布面积远远超过了烃源岩的分布范围, 可最大限度地封盖由烃源岩生成排出的天然气。从图6可知, 4期天然气充注时, 登娄库组二段和泉头组一、二段泥岩盖层都已基本形成, 对4期天然气都能起到有效的封盖作用。考虑到本区烃源岩的排烃高峰介为90~70 Ma, 所以第1期天然气充注时, 由于刚刚进入生烃阶段, 生烃量一般, 形成天然气藏规模有限, 而第4期充注时, 烃源岩的排气高峰已接近末期, 这一时期封盖住的天然

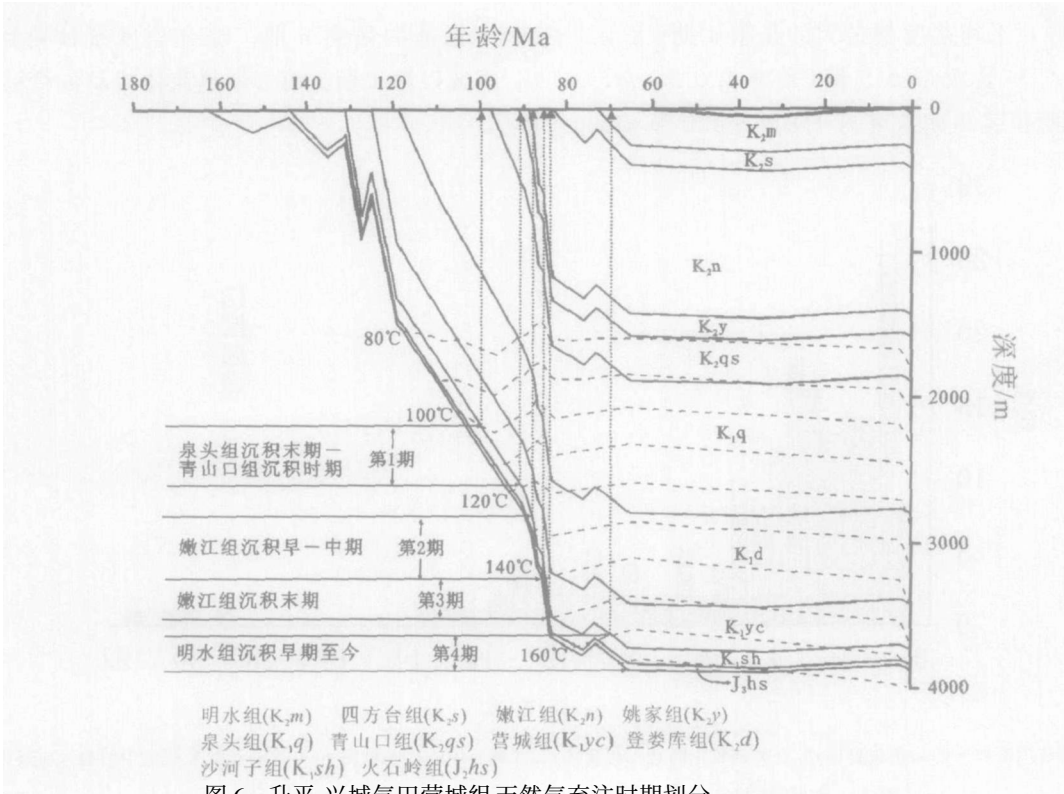


图 6 升平-兴城气田营城组天然气充注时期划分

Fig. 6 Classification of hydrocarbon-charging times for the Yingcheng Formation of the Shengping-Xingcheng gas field

气量也不大;第3期含烃流体包裹体的检测频率很低,说明这个时期烃类聚集成藏量也十分有限。综合分析,四期天然气的充注事件中,第2期是形成大规模天然气藏的重要时期,流体包裹体的系统分析也表明,它所对应的含烃盐水包裹体在检测频率统计中也最高。因此,本区主成藏期为第2期天然气充注时期,即嫩江组沉积早-中期。

4 结 论

升平-兴城气田营城组经历了多期构造运动的改造,期间发生过多期天然气的充注。利用流体包裹体资料综合分析可知,储层共捕获6期盐水包裹体和4期含烃盐水包裹体,发生过4期天然气充注,分别是泉头组沉积末期-青山口组沉积时期、嫩江组沉积早-中期、嫩江组沉积末期及明水组沉积早期至今,嫩江组沉积早-中期是主成藏期。

致谢:感谢大庆油田有限责任公司勘探开发研究院庞彦明总工程师、天然气研究室舒萍高级工程师、卞新工程师在研究过程中给予的帮助和支持。

参考文献(References):

[1] 刘德汉. 包裹体研究——盆地流体追踪的有力工具[J]. 地学前缘, 1995, 2(4): 149-154.
Liu Dehan. Fluid inclusion studies: An effective means for basin fluid investigation [J]. Earth Science Frontiers, 1995, 2(4): 149-154. (in Chinese with English abstract)

[2] 程本合, 汪集旻, 熊亮平. 莺琼盆地流体包裹体对热液活动及油气运聚的示踪作用[J]. 岩石学报, 2000, 16(4): 695-699.
Cheng Benhe, Wang Jiyang, Xiong Liangping. Fluid inclusion: A tracer of hydrocarbon and thermal fluid migration in Yingqiong basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2000, 16(4): 695-699. (in Chinese with English abstract)

[3] Hall D, Shentwu W, Sterner M, Paul D. Wagner. Using fluid inclusions to explore for oil and gas [J]. Hart's Petroleum Engineer International, 1997, 11: 29-34.

[4] 肖贤明, 刘祖发, 刘德汉. 应用储层流体包裹体信息研究天然气气藏的成藏时间[J]. 科学通报, 2002, 47(12): 957-960.
Xiao Xianming, Liu Zufa, Liu Dehan. Applications of fluid inclusions in the reservoir to the studies of gas pool forming time [J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(12): 957-960. (in Chinese)

[5] 谈迎, 刘德良, 杨晓勇, 方国庆, 张交东, 李振生. 应用流体包裹体研究古流体势及油气运移[J]. 中国科学技术大学学报, 2002, 32(4): 470-480.

- Tan Ying, Li Deliang, Yang Xiaoyong, Fang Guoqing, Zhang Jiaodong, Li Zhensheng. Research on Paleofluid potential and migration of oil and gas by use of inclusions in sedimentary rocks [J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2002, 32(4): 470–480. (in Chinese with English abstract)
- [6] 王红军, 蔡迎春. 流体包裹体常规特征在油气藏研究中的应用[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(5): 50–52.
- Wang Hongjun, Cai Yingchun. Applications of general characteristics of fluid inclusions to the study of oil and gas pool formation[J]. Petroleum Exploration and Development, 2000, 27(5): 50–52. (in Chinese with English abstract)
- [7] 陶士振, 秦胜飞. 塔里木盆地克拉2气藏流体包裹体与油气充注运移期次[J]. 石油实验地质, 2002, 24(5): 437–440.
- Tao Shizhen, Qin Shengfei. Fluid inclusions and phases of petroleum infilling and migration in Kela2-gas pool, Tarim basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2002, 24(5): 437–440. (in Chinese with English abstract)
- [8] 李纯泉, 陈红汉, 陈汉林. 塔里木油田奥陶系热流体活动期次的流体包裹体证据[J]. 浙江大学学报(理学版), 2005, 32(2): 231–235.
- Li Chunquan, Chen Honghan, Chen Hanlin. Fluid inclusion evidences for the orders of thermal fluid activities in the Ordovician of Tahe oil field[J]. Journal of Zhejiang University (Science Edition), 2005, 32(2): 231–235. (in Chinese with English abstract)
- [9] 李纯泉, 陈红汉, 张希明, 陈汉林. 塔里木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, Chen Hanlin. Fluid inclusions analysis of the Ordovician reservoir in Tahe oil field[J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(1): 42–46. (in Chinese with English abstract)
- [10] 殷进垠, 刘和甫, 迟海江. 松辽盆地徐家围子断陷构造演化[J]. 石油学报, 2002, 23(2): 26–29.
- Ying Jinying, Liu Hefu, Chi Haijiang. Tectonic evolution of Xujiawazi downfaulted depression in Songliao basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2002, 23(2): 26–29. (in Chinese with English abstract)
- [11] 邵奎政, 梁晓东. 徐家围子地区天然气成藏期次及其模式[J]. 大庆石油地质与开发, 2002, 21(6): 4–5.
- Shao Kuizheng, Liang Xiaodong. Gas pool forming times and its model in Xujiawazi area[J]. Petroleum Geology and Oil-field Development in Daqing, 2002, 21(6): 4–5. (in Chinese with English abstract)
- [12] 冯子辉, 任延广, 王成, 李景坤, 王雪, 关秋华. 松辽盆地深层火山岩储层包裹体及天然气成藏期研究[J]. 天然气地球科学, 2003, 14(6): 436–442.
- Feng Zihui, Ren Yanguang, Wang Cheng, Li Jingkun, Wang Xue, Guan Qihua. Study on inclusion of deep buried igneous reservoir and forming period of gas pool in Songliao basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2003, 14(6): 436–442. (in Chinese with English abstract)
- [13] 付广, 吕延防, 孟庆芬. 松辽盆地北部深层火山岩气藏形成时期及成藏模式研究[J]. 中国海上油气(地质), 2003, 17(4): 236–239.
- Fu Guang, Lü Yanfang, Meng Qingfen. Forming time and forming model of gas pool in deep igneous reservoir in north of Songliao basin[J]. China Offshore Oil and Gas (geology), 2003, 17(4): 236–239. (in Chinese with English abstract)
- [14] Munz I. A. Petroleum inclusions in sedimentary basins: Systematics, analytical methods and application[J]. Lithos, 2001, 55: 195–21.
- [15] Goldstein R H. Fluid inclusions in sedimentary diagenetic systems[J]. Lithos, 2001, 55: 159–193.
- [16] Burruss R C. Hydrocarbon fluid inclusions in studies of sedimentary diagenesis[A]. Hollister L S, Crawford M L, eds. Fluid inclusions: Applications to petrology[C]. Mineralogical Association of Canada Short Course Notes, 1981, 6: 138–156.
- [17] Stasiuk L D, Snowdon L R. Fluorescence microspectrometry of synthetic and natural hydrocarbon fluid inclusions: Crude oil chemistry, density and application to petroleum migration[J]. Applied Geochemistry, 1997, 12: 229–241.
- [18] Burruss R C. Practical aspects of fluorescence microscopy of petroleum inclusions[A]. Barker C E, Kopp O C, eds. Luminescence microscopy: Quantitative and qualitative Aspects[Z]. USA: SEPM, 1991. 1–7.
- [19] 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, 17(增刊): 100–104.
- Xie Yihan, Fan Hongrui, Wang Yinglan. Fluid inclusion and hydrocarbon generation and evolution in basin[J]. Geological Science and Technology Information. 1998, 17(suppl.): 100–104. (in Chinese with English abstract)
- [20] Goldstein R H. Fluid inclusions in sedimentary diagenetic systems[J]. Lithos, 2001, 55(1–4): 159–193.