

流体包裹体在庆深气田火山岩气藏研究中的应用

纪学雁¹, 舒萍¹, 曲延明¹, 丁新¹, 郭振华², 王璞珺²

1. 大庆油田勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712

2. 吉林大学 地球科学学院, 长春 130061

摘要: 松辽盆地北部庆深气田储层火山岩的流体包裹体均一温度为 97.1~156.7℃。根据成分的不同可将本区的次生包裹体分为盐水包裹体和含烃盐水包裹体, 其中含烃盐水包裹体所占的比例要远小于盐水包裹体。在徐家围子断陷区营城组火山岩储层中检测到 6 期活动热流体和 4 期天然气充注, 其中含烃盐水包裹体记录了 4 期天然气向储层的充注过程, 其对应的均一温度分别为 97.1~114.1℃、121.4~128.3℃、130.5~138.2℃和 140.6~156.7℃。结合本区的埋藏史分析, 认为 4 期天然气充注成藏中第三期是形成大规模天然气藏的主期, 即泉头组沉积末期至青山口组沉积中晚期。

关键词: 松辽盆地庆深气田; 火山岩气藏; 流体包裹体; 均一温度; 烃类气体充注

中图分类号: P618.13 文献标识码: A 文章编号: 1671-5888(2007)04-0739-05

Fluid Inclusion Study and Its Application to Tracing Gas-Trapping History in the Qingshen Gas Field of the Songliao Basin

JI Xue-yan¹, SHU Ping¹, QU Yan-ming¹, DING Ri-xin¹, GUO Zhen-hua², WANG Pu-jun²1. *Daqing Exploration & Development Institute, Daqing, Heilongjiang 163712, China*2. *College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China*

Abstract: Microscopic inspection, microthermometry and salinity measurement, systematic fluid inclusion studies in the Qingshen gas field of the Songliao Basin show that homogenization temperature of fluid inclusion varies from 97.1℃ to 156.7℃ in the reservoir. Through comprehensive analysis, we found that there are 6 thermal fluid activities and 4 charging periods of gas in the volcanic reservoir of the Yingcheng Formation in Xujiaweizi rift. A verage homogenization temperature ranges recorded by hydrocarbon-bearing salt-water inclusions are 97.1℃ to 114.1℃, 121.4℃ to 128.3℃, 130.5℃ to 138.2℃ and 140.6℃ to 156.7℃, respectively. Regional burial history and other factors being considered, the third thermal fluid activity, which spans the time range from late Quantou Formation to middle-late Qingshankou Formation, is considered as a major period in which massive natural gas pools was formed among all periods charging of gas in the Yingcheng Formation reservoir in Xujiaweizi rift.

Key words: Qingshen gas field of the Songliao Basin; volcanic gas pool; fluid inclusion; homogenization temperature; hydrocarbon gas infilling

流体包裹体含有丰富的成藏成矿信息, 储层包裹体中的流体保存了矿物生成时的各种物理化学信

收稿日期: 2006-10-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(40372066); 高等学校博士学科点专项科研项目(20030183042)

作者简介: 纪学雁(1976-), 女, 黑龙江大庆人, 助理工程师, 主要从事火山岩气藏开发地质工作

通讯联系人: 王璞珺(1959-), 男, 黑龙江绥滨人, 教授, 博士生导师, 主要从事油气地质和盆地火山岩研究, Tel: 0431-88502620, E-mail: wangpj@jlu.edu.cn.

息,这种信息为了解流体的运移、聚集和演化过程提供了有效途径。在成藏时期与成藏历史研究方面,流体包裹体的应用主要有 3 个方面:一是油气包裹体的形成世代,代表了油气运移充注的期次;二是烃类流体包裹体的均一温度,记录了油气运移充注时储层的古地温,通过热史和储层埋藏史的恢复即可确定包裹体形成时的埋藏深度,其对应的地层时代即是油气藏的成藏地质时期;三是油气包裹体的成分可以反映注入油气的地球化学特点和相态特点^[1]。因此,利用与油气有关的包裹体流体组成、温度和盐度等参数在恢复油气的成藏条件、估算油气的成藏期方面得到了广泛的应用。从目前的文献看,对于陆相或海相砂岩地层,利用含油气包裹体或与油气共生的盐水包裹体均一化温度,并结合储层的热演化史确定油气成藏年代见到了较好效果。

松辽盆地北部的庆深气田,目前已具千亿立方米天然气储量规模,其中火山岩储层的储量占 89.8%,成为大庆天然气开发的主要区域。研究区兴城气藏的火山岩储层火山作用具有多期喷发的特点,造成岩相变化快、物性变化大和不同期次的火山岩叠置,使得地震响应特征复杂,可追踪性差,导致有效储层的预测及气藏评价十分困难^[2-4]。因此需要开展火山岩岩性、岩相、热演化和流体充注史等地

质综合研究,用地质规律约束储层预测。本文通过对研究区提取的次生包裹体的分析,结合储层的热演化史,来分析天然气的成藏期。

1 区域地质背景

庆深气田位于黑龙江省大庆市与安达市境内,南北长约 45 km,东西宽约 10 km,区域构造上处于松辽盆地北部徐家围子断陷(图 1)。本区勘探目的层是下白垩统登娄库组一段和二段、营城组、沙河子组 and 上侏罗统火石岭组。根据钻井揭示样品的天然气-源岩对比研究表明,徐家围子断陷深层主要烃源岩是沙河子组煤系地层^[3]。庆深气田从南向北由兴城、昌德、升平、汪家屯 4 个区块构成,本次的研究区即是位于气田南部的兴城气藏。本气藏内的火山岩储层主要分布在白垩系下统的营城组一段,以酸性喷发岩为主。

2 流体包裹体的类型和特征

按成因可将本研究区块的流体包裹体分为原生包裹体和次生包裹体两种类型。原生包裹体占据主矿物结晶构造位置,与主矿物同时形成,所包含的溶液可反映矿物形成时的成分和物理化学条件,分布特点是在样品中呈现孤立的局部封闭体。次生包裹

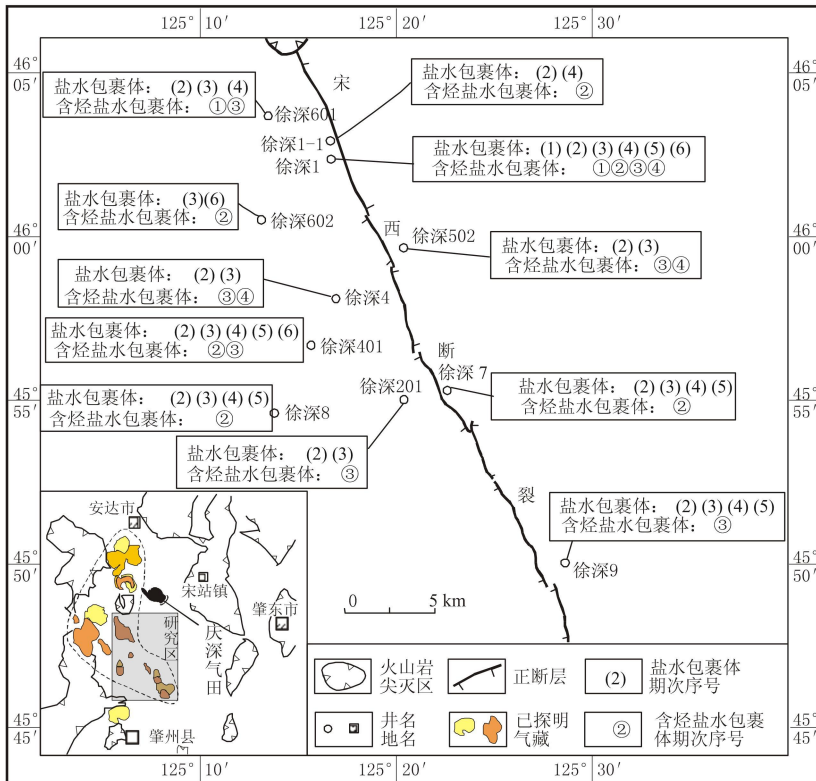


图 1 庆深气田各气藏分布及取样位置图

Fig. 1 The distribution of gas pools and sampling in Qingshen gas field

体常常沿裂隙分布,通常可见几组包裹体交叉或呈条带状分布(图2)。本次的研究对象全部挑选次生包裹体。次生包裹体形态多样,以近似菱形、长方形、椭圆形为主,部分为拉长、弯曲的不规则形状,次生包裹体通常会略大于原生包裹体,为 $2\sim 30\ \mu\text{m}$,以小于 $10\ \mu\text{m}$ 的居多。次生包裹体的气液比变化较大,为 $3\%\sim 30\%$,这可能是次生包裹体形成于不同的温压条件的反映^[9]。

本区的次生包裹体根据宿主矿物和生长位置的不同可以进一步分为4种类型:①生长于穿石英颗粒的裂纹内;②限于石英颗粒内部裂纹中;③石英颗粒内;④方解石颗粒内。其中以穿石英颗粒的裂纹内部的包裹体最为常见,石英颗粒内部裂纹内的次之。对研究区深层的34块样品的荧光观察结果表明,深层储层未捕获发任何荧光色的原油包裹体,但捕获的大量盐水包裹体中存在一小部分发浅蓝色荧光(图2),表征流体中的液态有机质具有较高的成熟度。在样品显微测温过程中,发现这些发浅蓝色荧光的次生包裹体的最终熔化温度(冰点)大于零(多为 $0\sim +10\ ^\circ\text{C}$)、是均一温度偏高的盐水包裹体。根据以往研究成果和笔者在国内外诸盆地样品分析经验,认为这些盐水包裹体并非是纯的盐水包裹体,其中含溶解的轻烃,例如甲烷等。激光拉曼探针分析进一步证实了这种含烃盐水包裹体的存在,说明徐家围子断陷区深层存在天然气的充注事件。根据成分的不同即可将本区的次生包裹体分为盐水包裹体和含烃盐水包裹体,其中含烃盐水包裹体所占的比例要远小于盐水包裹体。对研究区采样测定结果的研究表明,含烃包裹体与其共生盐水包裹体相比,二者均一温度的均值往往差异明显,盐水包裹体的

均一温度范围要大于含烃盐水包裹体,并且其均一温度的均值也要大于含烃盐水包裹体。含烃盐水包裹体的均一温度范围在 $95.6\sim 157.5\ ^\circ\text{C}$,均值为 $126.55\ ^\circ\text{C}$,标准偏差通常为 $3.81\ ^\circ\text{C}$ 左右,而盐水包裹体的均一温度范围在 $115.3\sim 232.5\ ^\circ\text{C}$,均值为 $173.9\ ^\circ\text{C}$,标准偏差一般在 $6.27\ ^\circ\text{C}$ 左右。盐水包裹体的盐度变化范围较小,主要集中在 $0.0\%\sim 4.5\%$ 的范围内,其中单一样品盐度的最大变化范围是 7.55% ,最小范围是 0.16% ,平均盐度变化范围是 1.26% 。

3 流体包裹体在庆深气藏成藏史研究中的应用

天然气成藏过程是天然气注入储层,不断驱替储层中的孔隙水,最后聚集成藏^[6,7]。相应的,储层中的包裹体形成演化过程为:(1)天然气进入储层前,形成盐水包裹体;(2)天然气开始注入储层,形成含气态烃包裹体或盐水包裹体及气态烃包裹体共生;(3)气藏形成后,储层中孔隙水被驱替,一般不再形成包裹体。显然盐水包裹体与气态烃包裹体共生的情况出现于天然气成藏的过程中^[8,9]。因此,这类包裹体形成的时间代表了天然气大规模进入储层的时间,根据其共生组合和地质世代穿切关系可确定天然气成藏的地质时期^[10]。

通过对营城组的流体包裹体系统分析,综合流体包裹体的均一温度、荧光特征以及盐水包裹体的盐度等判别因素可以识别出,庆深气藏营城组储层中共捕获了6期盐水包裹体,故可知当时有6期热流体的活动,而储层中共捕获了4期含烃盐水包裹体,即可划分出4个天然气充注期,即天然气存在4



图2 徐深1井(3444.62 m)穿石英颗粒裂纹中捕获的发浅蓝色荧光的气液两相含烃盐水包裹体

Fig. 2 The cambridge blue fluorescence color, gas-liquidface, hydrocarbon-contained brine inclusion captured in cracks of penetrable quartz

A. 透射光下流体包裹体显微照片($\times 20$); B. 紫外光下流体包裹体显微照片($\times 20$); C. 透射光下流体包裹体显微照片($\times 100$)

期充注,它们分别与所检测到的 6 期热流体活动的前 4 期密切相关。

在所测试的 10 口井(图 1)中,第一期天然气充注仅在 4 口井中检测到,范围主要集中在兴城地区的徐深 1 井以北的地区;第二期天然气充注在 7 口井中检测到,范围主要在宋西断层为界以西的兴城大部分地区;第三期天然气充注在 8 口井中检测到,范围分布在兴城—丰乐的广大地区;第四期天然气充注仅在 3 口井中检测到,且范围主要集中在徐深 9 井至徐深 4 井一线紧邻宋西断层地区。可见第三期天然气充注的检测频率最高,范围最大。四期天然气充注及与之相关的多期热流体活动仅在徐深 1 井中被检测到,说明徐深 1 井区是徐家围子断陷区深层天然气发生聚集的核心位置之一。

流体包裹体系统分析与埋藏史研究和热史研究的成果相结合,可以有效地确定出所检测到的各期次天然气充注发生的时间。流体包裹体测试结果表明,徐家围子断陷区营城组储层中捕获的 4 期含烃盐水包裹体的平均均一温度分别为 97.1 ~ 114.1 °C、121.4 ~ 128.3 °C、130.5 ~ 138.2 °C 和 140.6

水包裹体的均一温度作为捕获时的最小古温度,投影到附有古地温演化的埋藏史图中即可间接的得出各期次天然气充注的时间(图 4)。从图中可以看出,徐家围子断陷区营城组发生的第一次天然气充注成藏是在泉头组沉积的早期;第二次天然气充注成藏发生在泉头组沉积的中期;第三次天然气充注成藏发生在泉头组沉积末期—青山口组沉积中晚期;第四次天然气充注成藏发生在姚家组—嫩江组沉积时期。从时间上看,这四次天然气充注发生在 102 ~ 80 Ma 的 Albian—Companion, 各次充注的持续时间一般都小于 5 Ma。

结合生储盖组合进一步分析可知,在第一期天然气发生充注的时期,泉头组这一区域性盖层刚刚开始沉积,因此,该期天然气充注由于封盖条件不成熟而不能形成有效的气藏;在第二期天然气发生充注的时期,泉头组已经沉积了一定的厚度,具有一定的封盖能力,已经可以形成气藏,但此时能封盖住的天然气量很有限;在第三期天然气发生充注的时期,青山口组已沉积一定厚度,此时区域性盖层分布广,其封盖能力基本上已经完全形成,能够大量的封盖由烃源岩生成排出的天然气形成有效的天然气藏;在第四期天然气发生充注的时期,虽然封盖能力等均已存在,但由于已处于烃源岩排气高峰期末,因此也不能形成大规模的天然气藏。

故徐家围子断陷区营城组的 4 期天然气充注成藏中,第三期是形成大规模天然气藏的重要成藏期,且流体包裹体系统分析也表明,第三期含烃盐水包裹体在检测频率统计中最高。因此,可以通过以上各种因素综合判定,徐家围子断陷区深层天然气成藏的主成藏期为第三期天然气充注期,即泉头组沉积末期—青山口组沉积中晚期。

4 结 论

(1)流体包裹体系统分析在徐家围子断陷区营城组火山岩储层中检测到 6 期活动热流体和 4 期天然气充注。流体包裹体记录所表征的 6 期活动热流体的盐水包裹体均一温度分别为 113.0 ~ 118.6 °C、120.2 ~ 139.0 °C、140.0 ~ 158.9 °C、160.3 ~ 178.7 °C、180.7 ~ 231.1 °C 和 238.9 ~ 281.3 °C;流体包裹体记录所表征的 4 期天然气充注的含烃盐水包裹体均一温度分别为 97.1 ~ 114.1 °C、121.4 ~ 128.3 °C、130.5 ~ 138.2 °C 和 140.6 ~ 156.7 °C。

(2)表征天然气充注的 4 期含烃盐水包裹体对

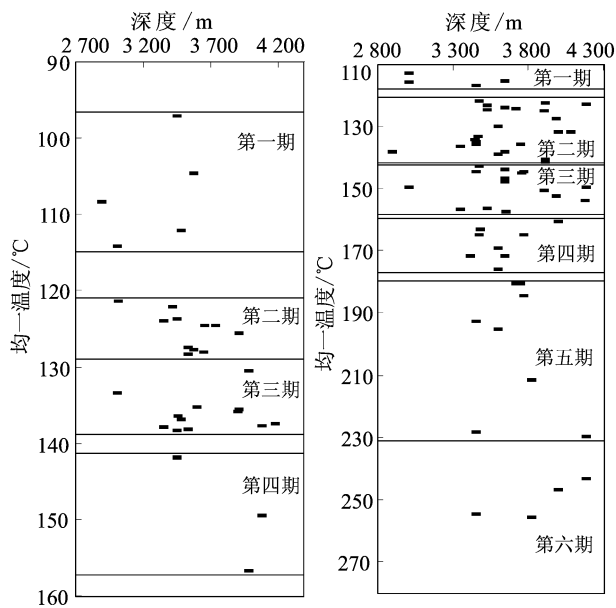


图 3 兴城气藏部分井包裹体均一温度分布图

Fig. 3 The even temperatures of some wells' inclusion in Xingcheng gas pool

~156.7 °C, 而从均一温度统计图(图 3)中可知,与之对应的同期盐水包裹体的均一温度分别集中于 110 ~ 120 °C、125 ~ 140 °C、140 ~ 155 °C 和 160 ~ 180 °C。将各期次含烃盐水包裹体所对应的同期盐

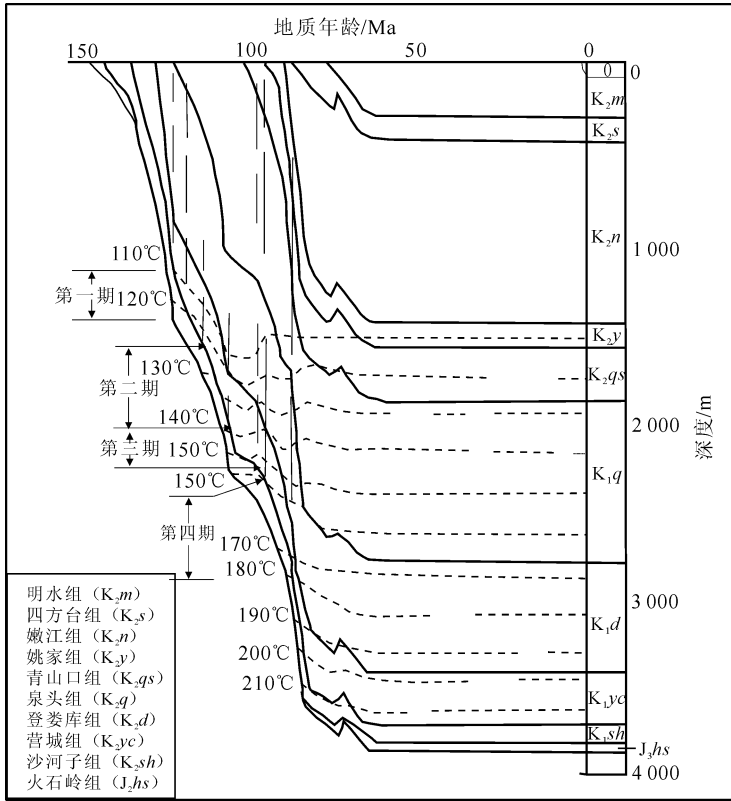


图 4 徐家围子断陷区兴城气藏营城组天然气充注时期分布图

Fig. 4 The gas infilling periods of Xingcheng gas pool in Xujiaweizi depression

应的同期盐水包裹体的均一温度范围分别集中在 110 ~ 120 °C、125 ~ 140 °C、140 ~ 155 °C 和 160 ~ 180 °C。结合附有古地温演化的埋藏史图, 确定出徐家围子断陷区深层的 4 期天然气充注发生在 102 ~ 80 Ma, 分别处于泉头组沉积早期、泉头组沉积中期、泉头组沉积末期—青山口组沉积中晚期和姚家组—嫩江组沉积时期, 各期天然气充注的持续时间一般都小于 5 Ma。

(3) 将流体包裹体系统分析中检测到的原生包裹体和次生包裹体的均一温度主要存在范围与生储盖发育等多种因素相结合, 综合分析认为, 徐家围子断陷区深层天然气运聚成藏的主成藏期为所检测到的第三期天然气充注, 即为泉头组沉积末期—青山口组沉积中晚期。

参考文献 (References):

[1] 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—89.

ZHAO Jing-zhou. Hydrocarbon inclusion analysis: Application in geochronological study of hydrocarbon accumulation[J]. Geology Geochemistry, 2002, 30(2): 83—89.

[2] 冯子辉, 任延广, 王成, 等. 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—441.

FENG Zi-hui, REN Yan-guang, WANG Cheng et al. 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—441.

[3] 王璞璐, 迟元林, 刘万洙, 等. 松辽盆地火山岩相: 类型、特征和储层意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2003, 33(4): 449—456.

WANG Pu-lu, CHI Yuan-lin, LIU Wan-zhu et al. Volcanic facies of the Songliao Basin: classification, characteristics and reservoir significance[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2003, 33(4): 449—456.

(下转 792 页)

3 结 论

试验结果表明,将厌氧反应器设计成异波折板穿孔旋流式,可加强微生物与基质的传质效率,提高厌氧反应效率。向异波折板厌氧反应器第 3 格和第 8 格加入碳酸钠溶液调节 pH 值,并向第 6、7 格内接种酸化菌(取自第 2 格),形成多段两相厌氧运行方式,可大大提高系统处理效率。当原水 COD 仍然控制在 450 mg/L 左右,进水 pH 值为中性条件下,温度 25℃,HRT 为 10 h 时,COD 去除率可达 94%,且该厌氧反应器采用多段两相厌氧的运行方式时,去除效果受温度影响不是很大。上述试验条件下,HRT 为 10 h 时,当系统温度从 25℃下降到 10℃时,COD 去除率仍能达到 75.8% 以上。这是因为本试验能够很好地把新型高效厌氧反应器与两相厌氧工艺有机结合,创造了良好的水力条件和微生物生理生化条件,充分发挥各类厌氧微生物的活性,在很大程度上补偿或缓冲了温度的影响。

参考文献(References):

[1] 许保玖,龙腾锐.当代给水与废水处理原理[M].北京:

(上接 743 页)

[4] 王璞珺,吴河勇,庞颜明,等.松辽盆地火山岩相:相序、相模式与储层物性的定量关系[J].吉林大学学报(地球科学版),2006,36(5):805—812.
WANG Pu-jun, WU He-yong, PANG Yan-ming, et al. Volcanic facies of Songliao Basin: Sequence, mode and the Quantitative relationship with porosity & permeability of volcanic reservoir[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2006, 36(5): 805—812.

[5] 王强,徐志明,付晓文,等.有机包裹体分析方法进展及其问题和思考[J].大庆石油地质与开发,2005,24(5):27—29.
WANG Qiang, XU Zhi-ming, FU Xiao-wen, et al. Development, problems and thinking about organic enclosure analysis method[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2005, 24(5): 27—29.

[6] 任延广,朱德丰,万传彪,等.松辽盆地徐家围子断陷天然气聚集规律与下步勘探方向[J].大庆石油地质与开发,2004,23(5):26—29.
REN Yan-guang, ZHU De-feng, WAN Chuan-biao, et al. Natural gas accumulation rule of Xujiawazi Depression in Songliao Basin and future exploration target

高等教育出版社,2000:15—21.

XU Bao-jiu, LONG Teng-rui. Contemporary principles of water and wastewater treatment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 15—21.

[2] 邵丕红,高南飞,崔志新.废水高效水解酸化试验研究[J].长春工程学院学报,2004,5(1):15—18.
SHAO Pi-hong, GAO Nan-fei, CUI Zhi-xin, et al. Experimental research on high-efficiency hydrolysis-acidogenesis test[J]. Journal of Changchun Institute of Technology, 2004, 5(1): 15—18.

[3] 李刚,欧阳峰,杨立中,等.两相厌氧消化工艺的研究与进展[J].中国沼气,2001,19(2):25—29.
LI Gang, OUYANG Feng, YANG Li-zhong, et al. Two-phase anaerobic digestion and its development [J]. China Biogas, 2001, 19(2): 25—29.

[4] 任南琪,王爱杰.厌氧生物技术原理与应用[M].北京:化学工业出版社,2004:73—75.
REN Nan-qi, WANG Ai-jie. Principles of anaerobic microbial technology and wastewater treatment[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004: 73—75.

[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2004, 23(5): 26—29.

[7] 刘启,舒萍,李松光.松辽盆地北部深层火山岩气藏综合描述技术[J].大庆石油地质与开发,2005,24(3):21—23.
LIU Qi, SHU Ping, LI Song-guang. Integrated description technique for deep volcanic gas reservoir in northern Songliao Basin[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2005, 24(3): 21—23.

[8] Murray R C. Hydrocarbon fluid inclusion in quartz [J]. AAPG, 1957, 41(6):950—952.

[9] Tilley B J, Nesbitt B E, Longstaffe F J. Thermal history of Alberta Deep Basin: Comparative study of fluid inclusion and vitrinite reflectance data[J]. AAPG, 1989, 73(10): 1206—1222.

[10] 肖贤明,刘祖发,刘德汉,等.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 Xian-ming, LIU Zu-fa, LIU De-han, et al. Application of reservoir fluid inclusion in the study of forming period of gas reservoir[J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(12): 957—960.