

文章编号: 0253-2697(2011)06-0968-08

# 松辽盆地北部深层火山岩气藏的充注: 来自流体包裹体的证据

肖骏<sup>1,2</sup> 陈汉林<sup>1</sup> 杨树锋<sup>1</sup> 章凤奇<sup>1</sup> 林秀斌<sup>1</sup> 余星<sup>3</sup> 庞彦明<sup>4</sup> 舒萍<sup>4</sup>

(1. 浙江大学地球科学系 浙江杭州 310027; 2. 中国地质大学期刊社 湖北武汉 430074;

3. 国家海洋局第二海洋研究所 浙江杭州 310012; 4. 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院 黑龙江大庆 163712)

**摘要:**厘清松辽盆地北部徐家围子断陷营城组火山岩气藏天然气的来源和充注特征对天然气的勘探开发具有重要意义。系统研究了营城组储层中次生流体包裹体的成分和均一温度,旨在揭示天然气气藏的来源和充注特征。研究结果表明该储层中发育了富CH<sub>4</sub>和富CO<sub>2</sub>两类流体包裹体。富CH<sub>4</sub>流体包裹体均一温度出现频率最高的区间包括:160~163℃、185.2~225℃和233~243.4℃,说明存在3期含烃流体;富CO<sub>2</sub>流体包裹体均一温度为235.2~269.1℃,为1期充注。均一温度高于烃源岩沙河子组地层的最高埋深温度(230℃)的富CO<sub>2</sub>流体包裹体和高温富CH<sub>4</sub>流体包裹体内的天然气可能来源于深部。流体包裹体主要成分和气藏天然气主要成分对比表明,本区天然气充注存在3种充注方式:①一期天然气充注形成;②多期混合充注形成;③前期充注被后期天然气充注取代形成。

**关键词:**松辽盆地;流体包裹体;火山岩气藏;充注方式;幔源成因

中图分类号:TE112

文献标识码:A

## Gas charging of deep volcanic reservoirs in the northern Songliao Basin: Evidence from fluid inclusions

XIAO Jun<sup>1,2</sup> CHEN Hanlin<sup>1</sup> YANG Shufeng<sup>1</sup> ZHANG Fengqi<sup>1</sup>  
LIN Xiubin<sup>1</sup> YU Xing<sup>3</sup> PANG Yanming<sup>4</sup> SHU Ping<sup>4</sup>

(1. Department of Earth Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China; 2. Editorial Office of Journal,

China University of Geoscience, Wuhan 430074, China; 3. Second Institute of Oceanography, SOA, Hangzhou 310012, China;

4. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Daqing Oilfield Company Limited, Daqing 163712, China)

**Abstract:** Gas sources and charging models of volcanic reservoirs are of significance in gas exploration and development, the present paper examined CH<sub>4</sub>- and CO<sub>2</sub>-rich fluid inclusions discovered in the Yingcheng Formation of the Xujiaweizi fault depression, northern Songliao Basin to delineate source and charging characteristics of gas reservoirs. The result indicates that homogenization temperatures of CH<sub>4</sub>-rich fluid inclusions in various samples range from 160℃ to 243.4℃ with three most frequent intervals between 160~163℃, 185.2~225℃ and 233~243.4℃, suggesting three episodes of hydrocarbon fluid charging, while those of CO<sub>2</sub>-rich fluid inclusions vary from 235.2℃ to 269.1℃, indicating only one episode of CO<sub>2</sub>-rich fluid charging. Therefore, CH<sub>4</sub>- and CO<sub>2</sub>-rich fluid inclusions that have homogenization temperatures higher than 230℃, the highest burial temperature of Shahezi Formation source rocks, is most likely derived from deeper sources. The comparison of main components between fluid inclusions and natural gases in reservoirs indicated that three charging modes might occur in this area: (1) single episode gas charging; (2) multi-episode gas charging; and (3) replacement gas charging of the former by the latter.

**Key words:** Songliao Basin; fluid inclusion; volcanic gas reservoir; charging mode; mantle origin

松辽盆地北部徐家围子断陷深层营城组火山岩中发育CH<sub>4</sub>和CO<sub>2</sub>两类气藏,其来源(成因)和成藏模式一直是本区天然气研究的热点问题。对于本区烃类天然气的来源,前人持有众多不同意见。研究

早期,多数学者认为本区烃类天然气为下部烃源岩生烃成藏<sup>[1-2]</sup>。随着气藏中CO<sub>2</sub>含量高、碳同位素重、烷烃碳同位素普遍出现反转序列等特征的发现,越来越多的学者倾向于幔源成因<sup>[3-6]</sup>。但由于本区

基金项目:中国博士后科学基金面上项目(20070421162)资助。

第一作者:肖骏,女,1983年2月生,2011年获浙江大学理学博士学位,现为中国地质大学(武汉)期刊社编辑。E-mail: yef\_king@126.com

通讯作者:陈汉林,男,1964年12月生,1998年获中国科学院地质研究所博士学位,现为浙江大学理学院地球科学系教授,主要从事石油构造地质方面的教学及科研工作。E-mail: hlchen@zju.edu.cn

烃类天然气特征复杂,这两种观点都无法很好的解释其来源。部分学者由此认为本区烃类天然气藏是有机天然气和幔源天然气混合充注形成<sup>[7-8]</sup>。李景坤等根据实验室模拟生气并对生成的端元气进行了混合,认为徐家围子断陷深层天然气以有机成因气为主<sup>[9]</sup>。CO<sub>2</sub>气藏的来源则相对简单,多数学者认为是来自深部的流体<sup>[2,6,10-12]</sup>。这种争论可能源于两个原因,一是营城组火山岩下发育沙河子组泥岩,沙河子组可以作为营城组火山岩气藏的烃源岩;二是徐家围子断陷下部莫霍面上拱,地层减薄<sup>[12]</sup>,有利于幔源成因天然气向上运移充注成藏。天然气充注时期也有很多学者关注,邵奎政等认为泉头组沉积时期和嫩江组沉积时期都可能形成气藏,但主要形成于泉头组沉积时期<sup>[1]</sup>。冯子辉等认为主要成藏期为100~80 Ma<sup>[13]</sup>,大约是泉头组沉积—嫩江组沉积早期。Li等认为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,主要的成藏时期为嫩江组沉积早—中期<sup>[14]</sup>。胡明等认为主要充注时期为泉二段和青山口组沉积时期<sup>[15]</sup>。但是对于这些不同期次天然气的充注方式却鲜有报道。

笔者对研究区17口钻井中营城组火山岩内的流体包裹体进行系统的温度测试和成分分析的基础上,依据流体包裹体测试数据、天然气成分测试数据分析了研究区天然气的来源和区域内不同钻井和气藏的充注方式,这些成果的取得对于研究区天然气的勘探开发有较大的指导意义。

## 1 地质概况

徐家围子断陷位于松辽盆地北部,近南北向展布,是古中央隆起带以东的东南断陷区,为目前勘探程度最高、发现天然气储量最大的深部断陷盆地。在汪家屯区、昌德区、兴城区、昌五区和丰乐区的营城组火山岩中发现了大量天然气藏(图1)。汪家屯区、兴城区和昌五区发育为烃类天然气藏,昌德区和丰乐区同时发育烃类天然气藏和CO<sub>2</sub>气藏。

徐家围子断陷从下至上发育白垩系的沙河子组、营城组、登娄库组、泉头组、青山口组、姚家组、嫩江组、四方台组和明水组,渐新统的依安组。营城组总体可划分为四段:营二段和营四段则主要为碎屑岩,而研究主体营一段和营三段为火山岩,是气藏主要的储层。营一段岩性主要为酸性火山岩,包括晶屑凝灰岩、流纹岩、凝灰质熔结角砾岩等;营三段则包括玄武岩、安山玄武岩、英安岩、安山岩、流纹岩、凝灰岩等。

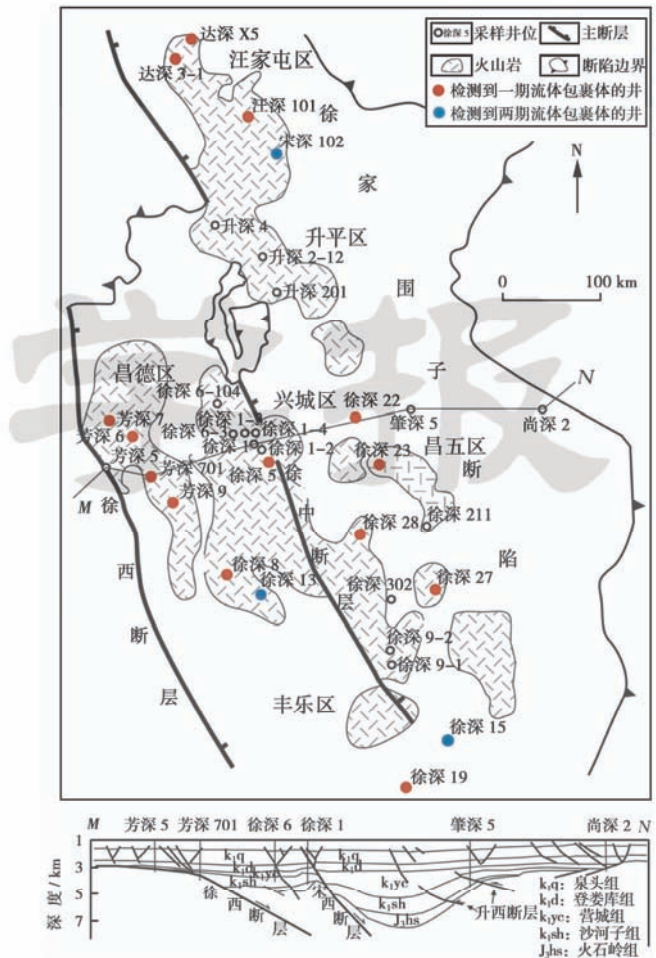


图1 徐家围子断陷流体包裹体采样井位示意图<sup>[16]</sup>

Fig. 1 Sketch map of well locations of the fluid-inclusion samples in Xujiawuzi fault depression

## 2 样品概况与测试方法

### 2.1 样品概况

徐家围子断陷营城组以CH<sub>4</sub>气藏为主,CO<sub>2</sub>气藏仅在昌德区芳深701井、芳深9井,升平—兴城区徐深28井以及丰乐区徐深19井中有所发现。为了解不同类型气藏和不同深度气层中天然气的充注规律,本着流体包裹体样采集要在横向和纵向上具有代表性的准则,系统采集了研究区内17口钻井的岩心样品。其中汪家屯区有达深X5井、达深3-1井、汪深101井和宋深102井;昌德区有芳深6井、芳深7井、芳深701井和芳深9井;兴城区有徐深5井、徐深8井和徐深13井;昌五区有徐深22井、徐深23井、徐深27井和徐深28井;丰乐区有徐深15井和徐深19井(图1)。采样位置气层内外均有分布,最浅为汪深101井3089.79 m,最深为徐深28井4363.94 m。采样层位均为营城组一段和三段的火山岩,岩性主要为含石英晶屑较多的晶



屑凝灰岩和发育方解石脉的流纹岩、英安岩和安山岩等。

## 2.2 测试方法及条件

流体包裹体测试在西安地质矿产研究所测试实验中心完成。温度测试在德国 LinKam 冷热台上进行,测温区间为  $-194\sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,测量精度为  $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。流体包裹体成分分析采用 Renishaw 公司 inVia 型激光拉曼探针,测试条件为  $\text{Ar}^+$  激光器波长为  $514.5\text{ nm}$ ;激光功率  $40\text{ mW}$ ;扫描速度  $10\text{ 秒}6\text{ 次}$ 叠加;光谱仪狭缝为  $10\text{ }\mu\text{m}$ ;温度为  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;湿度为  $65\%$ 。

如果流体包裹体薄片表面粗糙,激光束会发生漫反射,造成能量损失,影响测试精度,因此进行成分分析的流体包裹体薄片要求有较高的抛光度。成分分析应先于温度测试进行,以避免高温对流体包裹体造成破坏,影响成分分析准确性。测试前将包裹体薄片从载玻片上取下,用有机溶液洗净薄片表面胶水,供实验测试分析。

## 2.3 流体包裹体样品选择

为确保所检测均为次生流体包裹体,主要选择孔隙和裂缝中发育后期石英和方解石的岩心样品,同时还选择了少量含有石英晶屑的岩心样品。切割磨制了 57 片(30 片中含有适合测试的流体包裹体)双面抛光的流体包裹体薄片。主要观察了后期石英和方解石中的气液两相流体包裹体,以及穿过石英颗粒的气液两相流体包裹体。由于包裹体形成时可能捕获不混溶或沸腾流体,会导致所测均一温度数据不能如实反映流体的真实温度。为保证本次流体包裹体均一温度测试结果的可靠性,确定流体包裹体样品时,选择液相充填度大、在分布上具有一定相关性且具有相同气液比的流体包裹体。

石英中的气液两相流体包裹体主要由气泡和液相两部分构成,气液比约为  $4\%\sim 5\%$ ;大小为  $4\sim 30\text{ }\mu\text{m}$  不等,呈椭圆形、长条形或不规则状;大多呈串状[图 2(a)]或面状[图 2(b),图 2(c)],分布在石英晶体微裂隙或破损部位附近或穿出石英颗粒,具有次生成因特点。

方解石中的流体包裹体主要由气泡和液相两部分构成,气液比约  $3\%\sim 5\%$ ;最大流体包裹体不超过  $30\text{ }\mu\text{m}$ ,形状为较规则的多面体或不规则状[图 2(d)];与石英中分布和成因相似,具有次生成因特点。

在相同的流体包裹体薄片里,在相同平面或条带中的流体包裹体通常具有相近的气液比和均一温度(图 2),通常认为这些流体包裹体是同期捕获的,内含流体为一期流体。

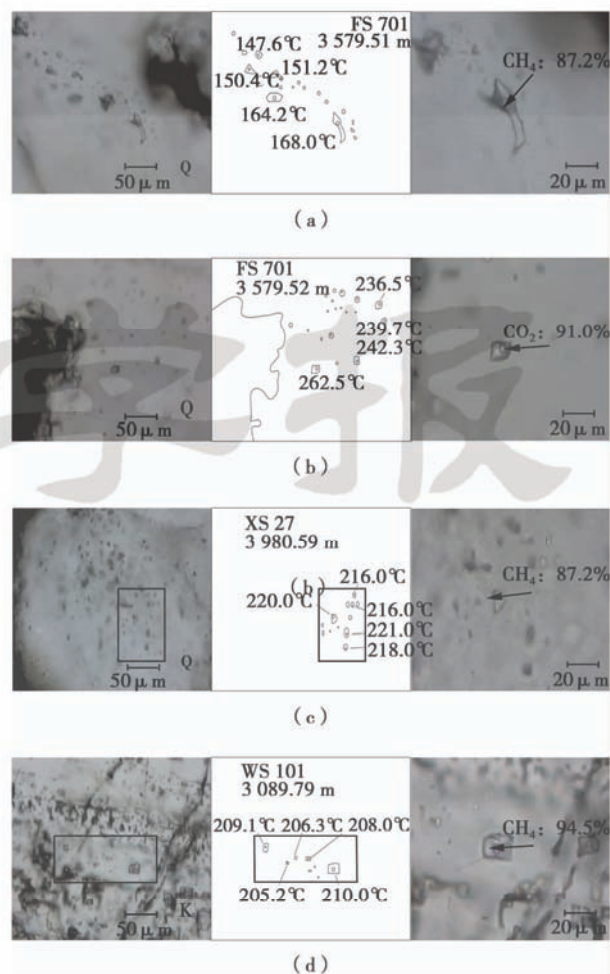


图 2 石英和方解石中流体包裹体显微照片

Fig. 2 Photomicrographs of fluid inclusions in quartz and calcite

## 3 测试结果分析

本次共对 30 块薄片中的流体包裹体样品进行了测试,测得流体包裹体气相成分、液相成分和均一温度有效数据 30 组(表 1)。

### 3.1 成分

由表 1 可见,在 30 组包裹体成分测试结果中,其液相成分主要为液相水,而笔者主要关注天然气,因此主要依据气相成分测试结果进行分析讨论。结果表明,营城组火山岩发育富  $\text{CH}_4$  和富  $\text{CO}_2$  两类流体包裹体。以流体包裹体内天然气相对摩尔浓度百分含量计算,富  $\text{CH}_4$  流体包裹体中  $\text{CH}_4$  含量为  $50\%\sim 98.1\%$ ;富  $\text{CO}_2$  流体包裹体中  $\text{CO}_2$  含量为  $61\%\sim 91\%$ 。此外还含有其他少量的  $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{C}_2\text{H}_2$ 、 $\text{C}_2\text{H}_4$  和  $\text{C}_2\text{H}_6$  等。结果见表 1。

芳深 701 井、徐深 28 井和徐深 19 井发育富  $\text{CO}_2$  流体包裹体,其他各井均发育富  $\text{CH}_4$  流体包裹体。芳深 701 井位于昌德区,流体包裹体  $\text{CO}_2$  含量  $91\%$ ;徐

表 1 流体包裹体成分和天然气样品成分体积分数  
Table 1 Components of fluid inclusions and their volume percentages of natural gas

井号	深度/m	岩性	层位	气 相 / % *								均一温 度/°C	深度 /m	体积分数 / %						
				CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	Cl <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>			C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>		
达深 3-1	3 181.63	英安岩	K <sub>1</sub> yc <sub>3</sub>	88.5								212.0								
	3 214.34	安山岩		95.0								215.0								
达深 X5	3 785.05	安山岩	K <sub>1</sub> yc <sub>3</sub>	88.0	5.7			6.3		163.0	3 888.5	96.4	2.6	0.2	0	0.5	0.2	0		
	3 174.94			90.2								236.0								
宋深 102	3 174.94	凝灰岩	K <sub>1</sub> yc <sub>3</sub>	88.6	7.5			3.9		253.0	3 183.0	92.5	4.5	1	0.3	1.2	0.5	0		
	3 176.39			88.7								160.0								
汪深 101	3 089.79	流纹岩	K <sub>1</sub> yc <sub>3</sub>	94.5								198.0								
	3 094.54			15.2	80.7			4.1		198.0										
	3 094.54			85.5								215.0	92.6	1.1	0.1	0	5.4	0.8	0	
	3 096.44			22.6	77.4					214.0										
3 109.18	70.6								225.0											
芳深 6	3 415.46	晶屑凝灰岩	K <sub>1</sub> yc <sub>1</sub>	86.8	2.9			10.3		185.2	3 288.6	87	1.6	0.3	0	1.3	9.7	0		
芳深 7	3 478.04	沉凝灰岩	K <sub>1</sub> yc <sub>1</sub>	1.9 98.1								198.7	3 321.6	89.5	1.2	0.2	0	2.4	6.7	0
芳深 9	3 580.06	凝灰岩	K <sub>1</sub> yc <sub>1</sub>	63.7								210.0	3 685.0	95	0.3	0	0	1.3	3.4	0
徐深 5	3 672.64	熔结凝灰岩	K <sub>1</sub> yc <sub>1</sub>	83.8	2.8			9.7 3.7		204.2	3 611.0	91.5	2.4	0.4	0.2	1.7	3.7	0.2		
徐深 8	3 644.14	流纹岩	K <sub>1</sub> yc <sub>1</sub>	84.9								199.1	3 657.0	93	6	0	0	1	0	0
徐深 13	4 246.7	流纹岩	K <sub>1</sub> yc <sub>1</sub>	86.1	13.9					242.0	4 242.0	93.6	1.2	0.1	0	1.4	3.7	0		
	4 248.3			37.3 50.0								234.0								
徐深 15	4 007	流纹岩	K <sub>1</sub> yc <sub>1</sub>	36.2 63.8								233.0	3 464.0	85	2.9	0.5	0.6	8.3	2.2	0
	3 780.9			4.6	84.0			3		7.4	1	220.0								
徐深 22	4 117.23	凝灰岩	K <sub>1</sub> yc <sub>1</sub>	16.2	79.4			4		0.4	238.1	4 030.5	62.7	1.3	0.2	0.1	3.5	32.1	0	
徐深 23	3 722.05	流纹岩	K <sub>1</sub> yc <sub>1</sub>	88.7								243.4	3 909.0	81.2	3.2	1.1	0.3	4	10	0
徐深 27	3 980.59	流纹岩	K <sub>1</sub> yc <sub>1</sub>	87.2	1.1 0.6			11.1		220.0										
芳深 701	3 579.51	凝灰岩	K <sub>1</sub> yc <sub>1</sub>	87.2	3.4			9.4		168.0	3 589.0	66.9	0.7	0	0	4.6	27.8	0		
	3 579.52			91	4			5		262.5		3 602.0	21.8	0.3	0	0	2.8	75.1	0	
徐深 19	3 753.65	沉凝灰岩	K <sub>1</sub> yc <sub>1</sub>	77.8	0.3	20.3	0.8		0.6	0.2	235.2	3 775.5	6.5	0	0	0	0.4	93	0	
	3 794.78	流纹岩		84.1	0.9	12.7	0.9			1.4	248.2									
徐深 28	4 212.64	流纹岩	K <sub>1</sub> yc <sub>1</sub>	61.0								257.2								
	4 363.84	凝灰岩		62.6	34.7			0.2		2.1	0.4	258.6	4 271.5	10.1	0.1	0	0	1.4	88.2	0.1
4 363.94	凝灰岩	72.3								269.1										

\* 表示按摩尔分数计算的。

深 28 井位于昌五区, 流体包裹体 CO<sub>2</sub> 含量 61% ~ 72.3%; 徐深 19 井位于丰乐区, 流体包裹体 CO<sub>2</sub> 含量 77.8% ~ 84.1%。CH<sub>4</sub> 含量大于 90% 的流体包裹体都分布在汪家屯区和昌德区; 兴城区和昌五区各井流体包裹体 CH<sub>4</sub> 含量比较集中, 介于 80% ~ 90% (图 3)。

汪深 101 井 3 089.79 ~ 3 109.18 m 深度采集了 a~e 5 个流纹岩样品, 除样品 a 外, b~e 均取自天然气层内, 所检测流体包裹体皆为方解石脉中次生流体包裹体。5 个样品中所见流体包裹体小者约 5 μm, 大者可达 30 μm; 气液比大约为 5%; 主要成分均为 CH<sub>4</sub>, 含量 77.4% ~ 94.5% (图 4)。样品 a 采自 3 089.79 m, 流体包裹体为较规则的多面体, 大小约 20 μm, CH<sub>4</sub> 含量 94.5%。拉曼谱图特征为横坐标 2 913 cm<sup>-1</sup> 处有一突出峰值, 为气相 CH<sub>4</sub> 的特征峰值。在 3 094.45 m 处观察到两期不同方解石脉的穿插, 推测可能有不同期次的流体活动, 在此处采集了 b、c 两个样品。样品 b 中流体包裹体近半圆形, CH<sub>4</sub> 含量 80.7%, CO<sub>2</sub> 含量 15.2%, 拉曼谱图特征为横坐标 1 386 cm<sup>-1</sup> 和 2 913 cm<sup>-1</sup> 处

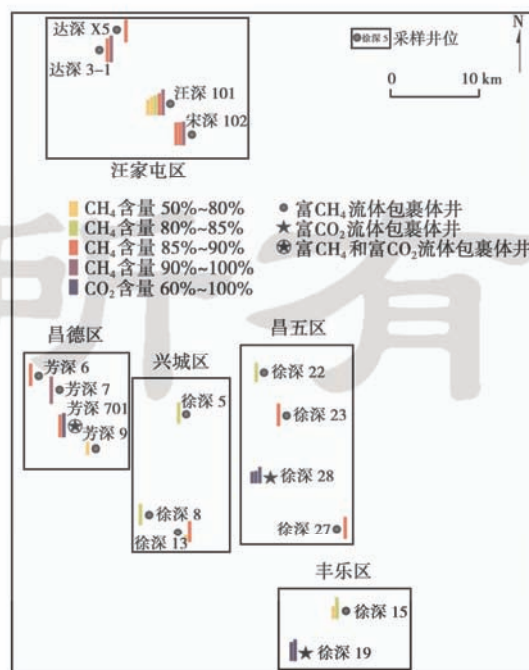


图 3 流体包裹体成分分布

Fig. 3 Component distribution of fluid inclusions



各有一突出峰值,为气相 CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 的特征峰值。样品 c 中流体包裹体为不规则多面体,CH<sub>4</sub> 含量 85.5%,拉曼谱图特征与样品 a 相同。样品 d 中流体包裹体为不规则状,CH<sub>4</sub> 含量 77.4%,CO<sub>2</sub> 含量 22.6%,拉曼谱图特征与样品 b 相同。样品 e 中流体包裹体为较规则多边形,CH<sub>4</sub> 含量 85.5%,拉曼谱图特征与样品 a、c 相同。此 5 个汪深 101 井样品主要成分相似,均一温度相近,气液比相近,被认为是捕获的同期流体(图 4)。达深 3-1 井、徐深 19 井和徐深 28 井也采集了多个样品,且流体包裹体成分和温度特征与汪深 101 井相似。

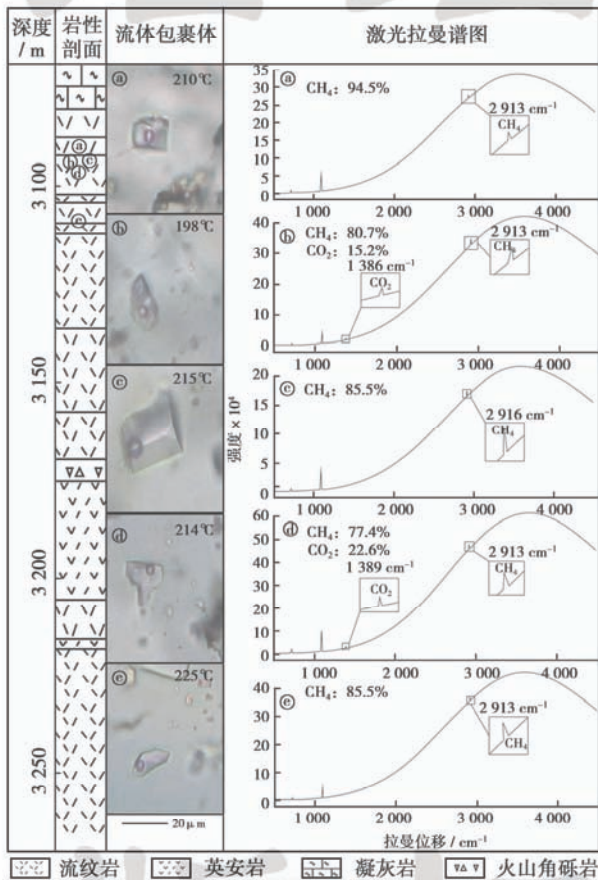


图 4 汪深 101 井流体包裹体信息综合柱状图

Fig. 4 Fluid inclusions' information in the Wangshen 101 Well

### 3.2 均一温度

富 CH<sub>4</sub> 流体包裹体均一温度在 160~253℃,富 CO<sub>2</sub> 流体包裹体均一温度在 235.2~269.1℃(表 1)。在流体包裹体均一温度散点分布图中(图 5),两类流体包裹体均一温度显示出明显的分组集中性。富 CH<sub>4</sub> 流体包裹体分为 3 组,均一温度分别为 160~168℃、185.2~225℃和 233~253℃。汪家屯区 3 个温度段的 CH<sub>4</sub> 流体包裹体均有发育,昌德区检测前两个温度段的流体包裹体,兴城区、昌五区和丰乐区检测到后两个温度段的流体包裹体。流体包裹体均一温度

代表热流体的活动温度,因此同一期捕获的流体包裹体具有相似的均一温度。所以,汪家屯区经历了 3 次富 CH<sub>4</sub> 流体的活动,而其他区各经历 2 次富 CH<sub>4</sub> 流体的活动。其中第 2 个温度段的流体包裹体出现的频率最高,分区域最广,可能为富 CH<sub>4</sub> 流体主要充注温度。仅测得富 CO<sub>2</sub> 流体包裹体一组,均一温度为 235.2~269.1℃,说明本区只有一期富 CO<sub>2</sub> 流体的活动(图 6)。

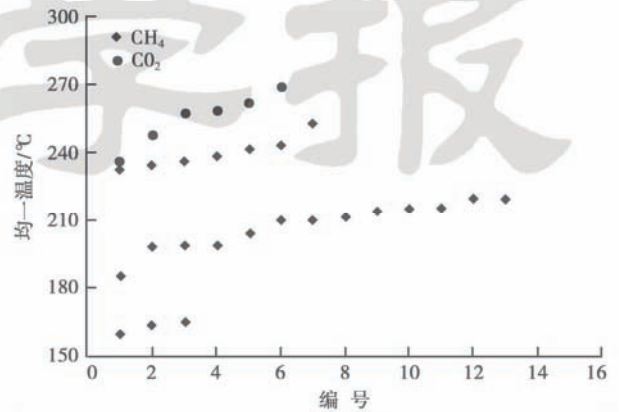


图 5 流体包裹体均一温度散点图

Fig. 5 Scatter of homogenization temperature of fluid inclusions

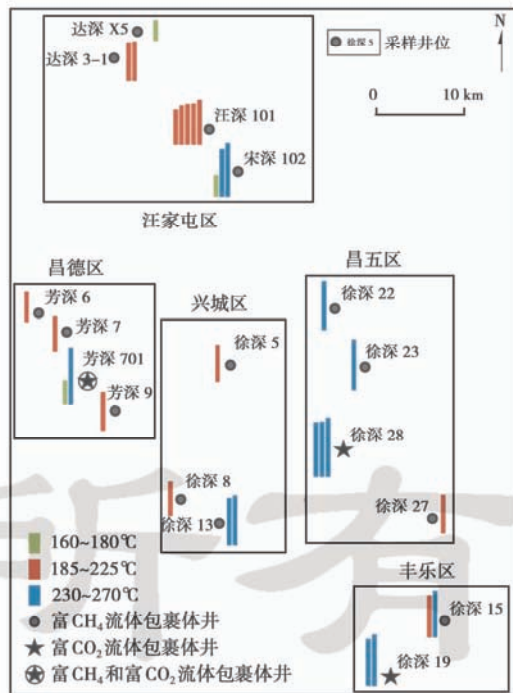


图 6 流体包裹体均一温度分布

Fig. 6 Homogenization temperature distribution of fluid inclusions

### 3.3 流体包裹体的综合分类

根据成分和均一温度的差异对徐家围子断陷内的不同钻井岩心的流体包裹体测试结果进行统计,30 块样品中的流体包裹体分为 2 类。

第 1 类:单口钻井内仅检测到一期流体包裹体。

汪深 101 井 5 个样品中流体包裹体样品气液比相似,均一温度相近,为 198~225℃;主要成分相同,均为 CH<sub>4</sub>,含量 77.4%~94.5%,被认为是捕获的同期流体(图 4)。具有相同特征的井位还有达深 3-1 等,每口钻井内各自测得的流体包裹体成分相似,均一温度在同一个温度区间内,如图 7(a)所示。

第 2 类:单口钻井内检测到两期流体包裹体[图 7(b)]。这种包裹体又可以分为 3 种:①成分相同,均一温度不同。如宋深 102 井为例,采集了 3 个样品。3 个样品中包裹体成分上近似,CH<sub>4</sub> 含量 88.6%~90.2%,但均一温度表现为两期流体活动被捕获的。一期均一温度为 160℃,另一期均一温度为 236~253℃。②成分不同,均一温度相近。以徐深 13 井为例,采集了两个样品,均一温度分别为 234℃和 242℃,主要成分 CH<sub>4</sub> 含量 86.1%和 50%,其中一期 H<sub>2</sub>S 含量为 0,另一期 H<sub>2</sub>S 含量为 37.3%。与徐深 13 井具有相同特征的钻井还有徐深 15。③成分不同,均一温度也不同。仅见于芳深 701 井,采集了两个样品,均一温度分别为 168.0℃和 262.5℃,主要成分前者 CH<sub>4</sub> 含量 87.2%,后者 CO<sub>2</sub> 含量 91%。

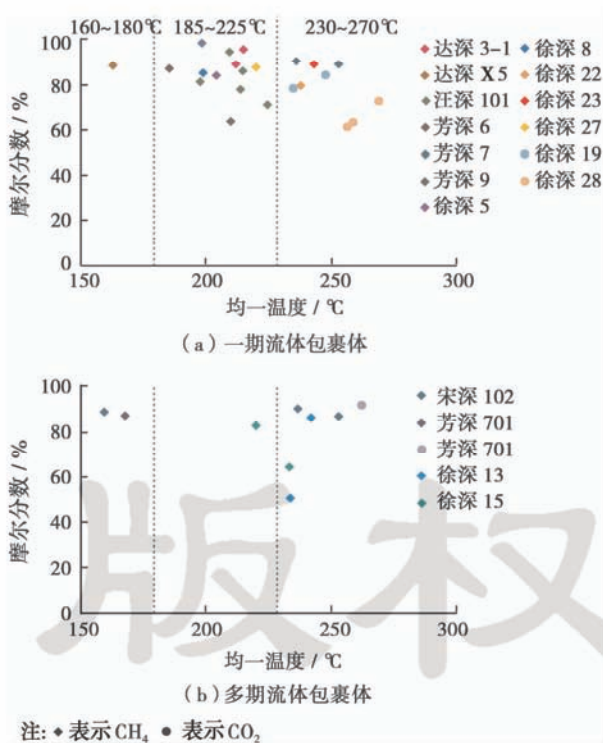


图 7 包裹体成分散点图

Fig. 7 Scatter of components of fluid inclusions

## 4 流体包裹体特征对天然气充注的启示

### 4.1 天然气来源

对徐家围子断陷乃至整个松辽盆地深层天然气的来源(成因)的认识,目前存在很大的分歧。持有有机成

因观点的学者认为营城组储层天然气主要来源于营城组下伏沙河子组有机质演化。持无机成因观点的学者认为天然气来源于深部,主要根据是盆地内 CH<sub>4</sub> 天然气藏碳同位素组成  $\delta^{13}\text{C}_1$  多大于  $-30\text{‰}$ 、碳同位素反序减小的规律 ( $\delta^{13}\text{C}_1 > \delta^{13}\text{C}_2 > \delta^{13}\text{C}_3 > \delta^{13}\text{C}_4$ ) 等特点<sup>[4,17-18]</sup>。本次研究检测到了高纯度的 CH<sub>4</sub> 和 CO<sub>2</sub> 流体包裹体,CH<sub>4</sub> 流体包裹体均一温度最高可达 253℃,CO<sub>2</sub> 流体包裹体均一温度都大于 230℃。前人研究结果表明,烃源岩沙河子组地层最高埋藏温度不超过 230℃<sup>[2]</sup>。因此,均一温度低于 230℃的流体包裹体可能主要来自沙河子组,但均一温度高于 230℃的流体包裹体则应该来自沙河子组之下更深的位置。由于王力等人在营城组流纹岩石英斑晶中发现了原生高纯度 CH<sub>4</sub> 流体包裹,证实了幔源岩浆—火山活动可以形成 CH<sub>4</sub> 气体<sup>[19]</sup>,因此本次研究中均一温度高于 230℃的流体包裹体可能来自幔源岩浆。

### 4.2 天然气充注特征

通过对比各钻井的天然气和流体包裹体成分之间的特征,表明徐家围子断陷天然气充注有 3 种可能的方式:

(1) 气藏为一期天然气充注形成。该充注方式的特点是钻井中发育一期流体包裹体,且流体包裹体主要成分和井内天然气主要成分具有良好的对应性。汪深 101 井中天然气层深度为 3094~3114 m 和 3177~3185 m,取心井段为 3089~3113 m 和 3243~3249 m。笔者在汪深 101 井 3089.79~3109.18 m 采集的 a~e 5 个流纹岩样品捕获的是同期流体,CH<sub>4</sub> 含量 70.6%~94.5%,与汪深 101 井在 3089~3113 m 深处气层中的天然气主要成分为 CH<sub>4</sub> (92.6%) 具有很好的对应性。这个现象表明汪深 101 井流体包裹体可以代表天然气充注,其所在的气藏为一期含烃热流体充注形成。具有类似汪深 101 井特征的钻井还有:达深 X5、芳深 6、芳深 7、芳深 9、徐深 5、徐深 8、徐深 22、徐深 23、徐深 19 和徐深 28 井(图 8)。

(2) 多期混合充注形成。钻井中发育多期流体包裹体,钻井内天然气主要成分不与其中任何一期流体包裹体主要成分具有对应性,而是具有多期天然气混合形成的特征。如芳深 701 井在不同深度的气层中天然气主要成分也不同,3589 m 处天然气主要成分为 CH<sub>4</sub> (66.9%),3602 m 处天然气主要成分为 CO<sub>2</sub> (75.1%) (表 1)。分别于该井 3579.51 m 和 3579.52 m 处各采集了 1 个流体包裹体样品,主要成分分别为 CH<sub>4</sub> (87.2%) 和 CO<sub>2</sub> (91%) (表 1)。各层天然气主要成分和流体包裹体主要成分均不对应,表明芳深 701 井可能为两期天然气不均匀混合充注形成(图 8)。



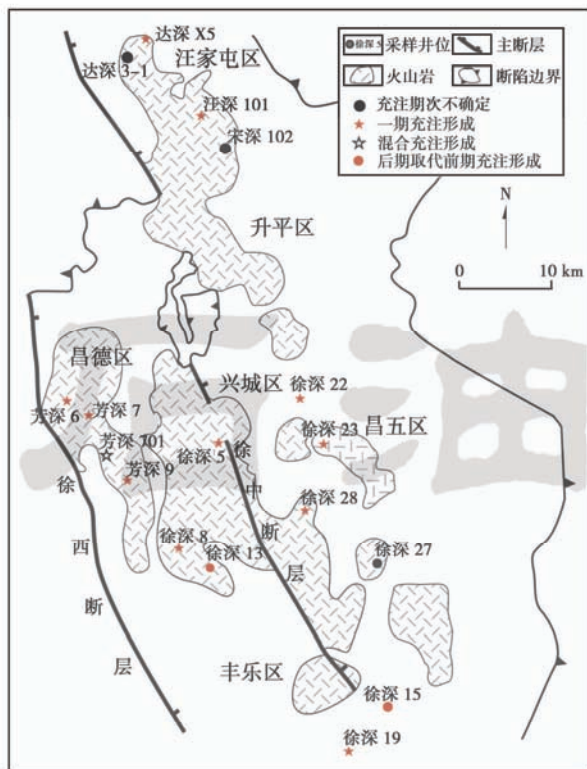


图8 徐家围子断陷各井天然气充注方式示意图

Fig. 8 Charging model distributions in the Xujiaweizi fault depression

(3) 前期充注被后期天然气充注取代形成(徐深13井和徐深15井)。徐深13井气层天然气主要成分为 $\text{CH}_4$ (93.6%)(表1)。该井采集了2个流体包裹体样品,流体包裹体主要成分为 $\text{CH}_4$ (86.1%和50%)(表1)。流体包裹体成分表明徐深13井存在两期流体包裹体,其中一期主要成分与气层天然气主要成分对应。这可能表明徐深13井之前发生过天然气充注,天然气主要成分 $\text{CH}_4$ 含量为50%。后期又有 $\text{CH}_4$ 含量高(86.1%)的天然气充注,导致之前充注的天然气被替代(表1)。与徐深13井类似,徐深15井气层天然气主要成分为 $\text{CH}_4$ (85%)(表1),但该井采集的2个流体包裹体的主要成分为 $\text{CH}_4$ (84%和63.8%)(表1)。流体包裹体成分表明徐深15井存在两期流体包裹体,其中一期主要成分与气层天然气主要成分对应。这可能表明徐深15井之前发生过天然气充注,前期天然气主要成分 $\text{CH}_4$ 含量为63.8%,后期又有 $\text{CH}_4$ 含量高(84%)的天然气充注(表1),导致之前充注的天然气被替代(图8)。

另外宋深102井气层天然气主要成分为 $\text{CH}_4$ (92.5%)(表1)。该井共采集3个流体包裹体样品,均在气层之外。流体包裹体主要成分均为 $\text{CH}_4$ ,含量88.6%~90.2%,但是均一温度显示它们是两个不同期次的流体包裹体(表1)。因此,无法确定宋深102

井所在气藏的充注为其中一期充注形成或是由两期天然气混和充注形成。

#### 4.3 天然气充注形式的区域性

汪家屯区所测4口钻井中达深X5和汪深101井为一期充注形成,宋深102井可能一期充注形成也可能为两期充注形成,达深3-1井天然气成分未测,充注方式不明。昌德区芳深701为多期天然气混合充注,其余各井均为一期天然气充注形成。兴城区除徐深13外,其余各井均为一期天然气充注形成;徐深13井为后期充注天然气取代前期充注天然气形成。昌五区徐深27井天然气成分不明,无法确定充注方式,其余各井均为一期天然气充注形成。丰乐区充注特点类似兴城区,徐深19井为一期天然气充注形成,而徐深15井与徐深13井相同,为后期充注天然气取代前期充注天然气形成。

因此,本区已知天然气充注方式的井位中,离徐中断裂最远的汪家屯区和昌五区各井均为一期天然气充注形成;兴城区和丰乐区充注特点类似,分立与徐中断裂南段两侧;昌德区靠近徐西断层,天然气充注特点为部分井一期充注形成,部分为混合充注形成。研究区天然气充注方式的分区性和区域内的断裂分布有关,可能表明天然气充注与断裂活动具有一定的相关性。

## 5 结论

(1) 徐家围子断陷火山岩储层内检测到了两类流体包裹体,富 $\text{CH}_4$ 包裹体和富 $\text{CO}_2$ 包裹体。富 $\text{CH}_4$ 包裹体有两种来源,分别源于沙河子组沉积地层和地壳深部。富 $\text{CO}_2$ 包裹体来自地壳深部。

(2) 研究区天然气充注与断层息息相关,具有区域性特征:①徐中断层以东,距断层较远的汪家屯区和昌五区的天然气充注方式为一期天然气充注形成;②分立徐中断裂两侧附近的兴城区和丰乐区的天然气充注方式包括一期天然气充注形成和前期充注被后期天然气充注取代形成;③徐中断层以西,靠近徐西断层昌德区充注方式为部分井一期充注形成,部分为多期天然气混合充注形成。

#### 参考文献

- [1] 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 accumulation period and models in Xujiaweizi region[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2002, 21(6): 4-5.
- [2] 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. A study on formation pe-

- riods and accumulation models of the deep volcanic gas pools in the northern Songliao Basin[J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 2003, 17(4): 236-239.
- [3] 陶士振,刘德良,杨晓勇,等.无机成因天然气藏形成条件分析[J]. *天然气地球科学*, 2000, 12(1): 10-18.  
Tao Shizhen, Liu Deliang, Yang Xiaoyong, et al. Analysis of forming conditions of inorganic gas pool[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2000, 12(1): 10-18.
- [4] 王先彬,郭占谦,妥进才,等.中国松辽盆地商业天然气的非生物成因烷烃气体[J]. *中国科学 D 辑:地球科学*, 2009, 39(5): 602-614.  
Wang Xianbin, Guo Zhanqian, Tuo Jincan, et al. Abiogenic hydrocarbons in commercial gases from the Songliao Basin, China[J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2009, 52(2): 213-226.
- [5] 魏志平,张景廉,方乐华,等.松辽盆地天然气成因探讨[J]. *新疆石油地质*, 2009, 30(7): 537-542.  
Wei Zhiping, Zhang Jinglian, Fang Lehua, et al. Controversy of the Origins of Natural Gas in Songliao Basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2009, 30(7): 537-542.
- [6] 周荔青,金之钧.松辽盆地无机成因气藏形成分布特征及勘探方向[J]. *石油实验地质*, 2009, 31(1): 12-18.  
Zhou Liqing, Jin Zhijun. Formation and distribution features of the abiogenic gas pools and their exploration strategies in the Songliao Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2009, 31(1): 12-18.
- [7] 杨春,刘全有,周庆华,等.松辽盆地庆深气田天然气成因类型鉴别[J]. *地球科学(中国地质大学学报)*, 2009, 34(5): 792-798.  
Yang Chun, Liu Quanyou, Zhou Qinghua, et al. Genetic identification of natural gases in Qingshen gas field, Songliao Basin[J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 2009, 34(5): 792-798.
- [8] 张居和,方伟,李景坤,等.松辽盆地徐家围子断陷深层天然气成因类型及各种成因气贡献[J]. *地质学报*, 2009, 83(4): 579-589.  
Zhang Juhe, Fang Wei, Li Jingkun, et al. Deep gases and their genetic types of the Xujiaweizi fault depression zone, Songliao Basin and their contribution[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83(4): 579-589.
- [9] 李景坤,方伟,曾花森,等.徐家围子断陷烷烃气碳同位素反序机制[J]. *石油学报*, 2011, 32(1): 54-61.  
Li Jingkun, Fang Wei, Zeng Huasen, et al. Possible origins for inverse stable carbon isotopes of gaseous alkanes from the Xujiaweizi fault depression[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2011, 32(1): 54-61.
- [10] 杨春,刘全有,米敬奎,等.松辽盆地大庆长垣伴生气中二氧化碳成因讨论[J]. *天然气地球科学*, 2008, 19(2): 244-249.  
Yang Chun, Liu Quanyou, Mi Jingui, et al. Discussion about the CO<sub>2</sub> origin in associated gas from Daqing Placanticline, Songliao Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2008, 19(2): 244-249.
- [11] 鲁雪松,宋岩,柳少波,等.松辽盆地幔源 CO<sub>2</sub> 分布规律与运聚成藏机制[J]. *石油学报*, 2009(05): 661-666.  
Lu Xuesong, Song Yan, Liu Shaobo, et al. Distribution and migration-accumulation mechanism of mantle-derived CO<sub>2</sub> in Songliao Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2009, 30(5): 661-666.
- [12] 杨映涛,陈恭洋,王连桥,等.松辽盆地深层 CO<sub>2</sub> 气成藏主控因素分析[J]. *石油天然气学报*, 2009, 31(4): 54-57.  
Yang Yingtao, Chen Gongyang, Wang Lianqiao, et al. Study of main control factors of deep CO<sub>2</sub> gas accumulation in Songliao Basin[J]. *Institute of Petroleum Exploration and Development*, 2009, 31(4): 54-57.
- [13] 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): 436-442.  
Feng Zihui, Ren Yanguang, 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): 436-442.
- [14] Li C Q, Pang Y M, Chen H L, et al. Gas charging history of the Yingcheng Formation igneous reservoir in the Xujiaweizi Rift, Songliao Basin, China[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2006, 89: 210-213.
- [15] 胡明,付广,吕延防,等.松辽盆地徐家围子断陷断裂活动时期及其与深层气成藏关系分析[J]. *地质论评*, 2010, 56(5): 710-718.  
Hu Ming, Fu Guang, Lü Yanfang, et al. The fault activity period and its relationship to deep gas accumulation in the Xujiaweizi Depression, Songliao Basin[J]. *Geological Review*, 2010, 56(5): 710-718.
- [16] 章凤奇.松辽盆地北部早白垩世火山事件与地球动力学[D].浙江大学, 2007.  
Zhang Fengqi. Early cretaceous volcanic event in the northern Songliao Basin and its geodynamics [D]. Zhejiang University, 2007.
- [17] 郭占谦,王连生,刘立,等.大庆长垣伴生气中二氧化碳的成因研究[J]. *天然气地球科学*, 2006, 17(1): 48-50.  
Guo Zhanqian, Wang Liansheng, Liu Li, et al. The research of the origin of carbon dioxide in associated gas of Daqing Placanticline [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2006, 17(1): 48-50.
- [18] 王先彬,郭占谦,妥进才,等.非生物成因天然气形成机制与资源前景[J]. *中国基础科学*, 2006, 8(4): 12-20.  
Wang Xianbin, Guo Zhanqian, Tuo Jincan, et al. Formation mechanism and resources prospect of the abiogenic gas[J]. *China Basic Science*, 2006, 8(4): 12-20.
- [19] 王力,王可勇,葛文春,等.松辽盆地深层火山岩储层中的 CH<sub>4</sub> 包裹体:产状特征及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2008, 24(9): 2171-2178.  
Wang Li, Wang Keyong, Ge Wenchun, et al. Methane fluid inclusions in deep level volcanic reservoir rocks in Songliao basin; Characteristics of occurrence and geological implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(9): 2171-2178.