

# 流体沸腾机制探讨及在石油地质中的可能性

——来自合成流体包裹体的证据

张振亮<sup>1)</sup>, 王秀林<sup>1)</sup>, 吕新彪<sup>2)</sup>, 饶冰<sup>3)</sup>, 张放东<sup>1)</sup>, 刘绍光<sup>1)</sup>

1) 中原油田勘探开发研究院, 河南濮阳, 457001

2) 中国地质大学(武汉)资源学院, 430074

3) 南京大学地球科学系, 210093

**内容提要:**本文通过对流体包裹体的合成实验研究,探讨了流体沸腾机制及在石油地质中的可能性。研究表明,流体沸腾作用的发生,主要跟降压或降温降压作用以后流体落入一定盐度流体气相线与 TP(H<sub>2</sub>O)-CP(H<sub>2</sub>O)-CP(NaCl-H<sub>2</sub>O)曲线的下方 L+V 或 L+V+H(石盐)相图区的温度与压力范围内有关。由于深大断裂的存在,可能使部分油气流体发生间歇性的沸腾作用,这对于加速油气运移、提高油气成熟度和促进天然气藏的形成可能具有十分重要的意义。

**关键词:**合成流体包裹体;流体沸腾包裹体;降温降压

流体包裹体的分析,是目前地质界研究的一个重要方法手段。流体包裹体的物质成分热力学性质,包含了大量能反映地质过程如成矿作用机制、流体运移途径、流体迁移过程的重要地质信息。通过对包裹体中的古流体进行定性和定量的分析,可以将所获得的数据、信息研究解释地壳及地幔中的各种地质作用过程,揭示矿床成因和成矿机理(李晓峰等, 2004; 张铭杰等, 2004; 康永尚等, 2004; Pasal Philippot, 1996; Bakker and Diamond, 2000; Kendrick et al., 2001)。

但地质界对流体包裹体的捕获机理以及被捕获以后可能发生的变化仍然存在一些疑问。另外,关于流体在适当的 *ptx* 条件下的相平衡和体积的数据仍然缺乏,对包裹体数据解释的一些假设尚有待于证明。因此,很多地质学家尝试用人工生长晶体时伴生的流体包裹体(Roedder and Kopp, 1975)或采用专门技术合成的流体包裹体研究一些相关的问题(Jeffery et al., 1994; Zhang and Frantz, 1989; Schmidt et al., 1995)。在本研究中,笔者也试图通过流体包裹体的合成实验研究,探讨流体的沸腾机制及在石油地质中的可能性和意义。

## 1 流体包裹体的合成实验

本次实验采用与 Sterner 和 Bodnar(1984)相似的方法,合成实验在南京大学内生金属成矿机制国家重点实验室进行。具体方法是:将人工合成水晶(水晶中无大于 1  $\mu\text{m}$  的包裹体)加工成直径为 4 mm,长为 10 mm 的石英柱,*c* 轴垂直于直径 4 mm 的圆面,并用超声波+去离子水反复清洗石英柱,直到干净为止。然后放入在马氟炉中于 355~375 °C 条件下加热约 45 min,取出后立即在去离子水中淬火,使石英柱产生大量的裂隙,但不散裂,并再次用超声波+去离子水反复清洗。然后将淬火清洗后的石英柱放在 120 °C 的烘箱中干燥 24 h,除去裂隙中的水分。

将处理好的石英柱样品装入直径 5 mm 的黄金管中,加入不同配比的物质和溶液。用炆氧焰焊封,称重,放入 80 °C 的烘箱中烘 24 h,再称重以检验焊封的质量。焊封合格的黄金管装入内冷淬火高压釜中进行实验。实验条件见表 1。

实验时先把高压容器的压力加到预定值(传压介质为蒸馏水),在此压力下 4 h 左右后将高压容器

注:本文为国家自然科学基金项目(编号 40072031)资助成果。

收稿日期:2006-07-13;改回日期:2007-03-30;责任编辑:周健。

作者简介:张振亮,男,1974 生,中原油田科研工作站博士后,从事石油地球化学研究。电话:13839365761;Email:liangzhen\_74@163.com 或 zzl74708@gmail.com。

表1 合成流体包裹体实验条件

Table 1 The experimental condition of synthetic fluid inclusion

样品编号	溶液	实验盐度 (%)	实验压力 (MPa)	实验温度 (°C)	实验时间 (d)
1	NaCl-KCl-H <sub>2</sub> O	10	100	400	7
2	NaCl-H <sub>2</sub> O	12	50	500	7
3	NaCl-H <sub>2</sub> O	1	100	600	7
4	NaCl-H <sub>2</sub> O	10	50	550	7
5	NaCl-H <sub>2</sub> O	22	50	550	7
6	NaCl-H <sub>2</sub> O	20	100	600	7

注:在 NaCl-KCl-H<sub>2</sub>O 混合溶液中,NaCl 与 KCl 的重量比为 4:1。

的温度升高到设定值,在此条件维持反应。反应完成后,在维持高压容器压力的条件下,用压缩空气使其冷却淬火,待其温度降到室温后卸掉压力打开高压容器,取出黄金管,称重,并与装入时比较,以判断反应过程中是否泄露。如无泄露则说明合成实验成功,取出石英柱,沿圆柱长度方向将其切成厚约 3 mm 的薄片,然后磨成厚约 1 mm 两面抛光的测温片进行分析。

## 2 实验结果及分析

合成的包裹体的盐度和均一温度测试在

Linkam TMS-93 型冷热台和 Laborlux D 型显微镜上进行,目镜倍数 10×,物镜倍数 50×。均一温度的测定步骤是:为节省时间,先以 20°C/min 的速率将包裹体加热至 300°C,再以 1°C/min 的速率继续加热,至包裹体接近均一时改用 0.2°C/min 的速率进行,直至包裹体均一。盐度测试视流体包裹体的类型而有所差异,气液两相包裹体的盐度测定步骤是:将包裹体以 30°C/min 的速率快速冷却至 -100°C 以下,恒温一段时间,然后用 1°C/min 的速率升温,至包裹体中的第一块冰开始融化时改用 0.1°C/min 的速率,直至包裹体中的最后一块冰融化,获得冰点;上述步骤重复 2~3 次,结果取平均值;在冷冻温度-盐度表中查出包裹体盐度(张文淮和陈紫英,1993);压力由刘斌和沈昆(1999)所提供的公式  $p = a + b \times t + c \times t^2$  求得。而含 NaCl 子矿物的多相包裹体的盐度测试步骤是:在热台上测定 NaCl 子矿物的消失(或溶解)温度,然后由饱和溶液的含盐度公式和压力公式(Bischoff, 1991)获得 NaCl 的含量和包裹体形成压力;与多相包裹体共生的气液两相包裹体由于某些参数难以确定而未参加压力计算。其测试及计算结果见表 2。

表2 合成流体包裹体的测试结果

Table 2 The measurement of synthetic fluid inclusions

样品编号	气液包裹体						含子矿物的多相包裹体							
	气液比 (%)	盐度 (%)	均一温度 (°C)	捕获温度 (°C)	流体密度 (g/cm <sup>3</sup> )	捕获压力 (×10 <sup>5</sup> Pa)	测试子矿物消失温度 (°C)	盐度 (%)	气液均一温度 (°C)	捕获温度 (°C)	捕获压力 (×10 <sup>5</sup> Pa)	流体密度 (g/cm <sup>3</sup> )	测试个数	
1	10~20	9.4~10.0	308~339	395~432	0.76~0.80	900~947	5	未见含子矿物的多相包裹体						
	15~70	4.3~15.7	399~411	399~411	0.55~0.73	246~263	11							
2	10~15	11.4~13.6	360~407	402~454	0.70~0.75	510~631	6	未见含子矿物的多相包裹体						
	20~60	5.6~10.1	489~512	489~512	0.37~0.44		13							
3	20~55	0.2~0.4	561~594	561~594	≈0		14	486~493	57.9~58.8	552~611	552~611	380~397	1.22~1.30	3
4	25~80	1.7~4.9	522~543	522~543	0.14~0.20		10	505~537	60.4~64.9	402~435	505~537	175~226	1.08~1.11	4
5	25~40	12.0~14.2	518~556	518~556	0.45~0.47		7	485~490	57.7~58.4	550~567	550~567	379~391	1.21~1.24	3
6	10~65	8.0~9.6	537~582	537~582	0.26~0.32		8	550~592	66.7~72.8	451~520	550~592	250~349	1.11~1.18	5

从表 2 可以看出,样品 1 和 2 中均存在一期测试结果(盐度、压力、温度)与实验条件相近的流体包裹体,且不同包裹体的形成条件(盐度、压力、温度)相似,流体密度也几乎相同,为均匀流体被捕获的结果。但第二期包裹体则有所差异:样品 1 中的这期包裹体为气液两相包裹体,气液比为 15%~70%,盐度和压力与实验条件有很大的差异;且这些包裹体沿裂隙呈定向排列,密切共生,不同气液比的包裹体的形成条件(温度、压力)相似或相同;另外,不同气液比包裹体的均一方式也有所差异,富气相包裹体均一到气相,而富液相包裹体均一到液相,因此,

这期包裹体为流体不均匀捕获的结果,但不均匀的规模并不大。而样品 2 的第二期包裹体与样品 3~6 中的包裹体比较相似,即由两类流体包裹体组成:一类为气液两相包裹体,一类为含子矿物多相包裹体。这两类包裹体密切共生、温度与压力相近;但两类包裹体的测试结果与实验条件均有较大的差别,如温度、压力均低于实验的温度和压力,气液包裹体流体的盐度小于实验盐度,而含子矿物多相包裹体则大于实验盐度;而且气液包裹体中流体的密度远远小于含子矿物多相包裹体。因此这些包裹体也为流体不均匀捕获的结果。

### 3 流体沸腾机制探讨

沸腾包裹体是不混溶包裹体的一种特殊类型,是由流体沸腾作用形成的。研究发现(张德会,1997),沸腾作用广泛发生于浅成热液矿床、斑岩铜钼矿床及多金属脉状矿床中,是引起这些矿床金属矿物形成和沉淀的重要机理之一。前人(杨巍然和张文淮,1996;徐兆文等,2005;张振亮等,2005;王登红等,2004;Spycher et al.,1989)对不同矿床和断裂中的流体沸腾现象做了不少有益的探索,提出了多种流体沸腾机制,如断裂活动、流体混合、增温沸腾等。但是,这些机制是否正确,还有待于实验的证明。

上述研究表明,不均匀捕获在本次实验反映的是流体因实验条件或外界环境影响而发生的性质变化。在本次实验中,实验流体为事先配制的单一不饱和盐水溶液,实验前不可能存在两种或多种流体共存的现象,因此不均匀流体的产生只能由沸腾作用引起。根据具体实验情况,本文将不均匀流体的形成又分为两种情况:一种为由单纯压力下降而引起的流体沸腾作用。该沸腾作用的起因是实验条件稳定以后高压釜发生缓慢泄漏(发现后被纠正),但实验温度并没有随之改变,如样品1和样品2中的第二期包裹体。由于流体压力在缓慢降低到临界线附近后被纠正,没有继续降低的动力,因此流体只能发生小规模沸腾作用。样品2中的沸腾包裹体类型之所以与样品1不同,在于样品2的沸腾包裹体形成温度要大大高于样品1,形成条件较样品1远离临界曲线(图1)。另一种为温度、压力均有一定幅度下降而引起的沸腾作用,而且下降过程一直在持续。这类作用主要发生在合成包裹体实验的退火过程中。实验关闭后,高压釜在快速冷却(即将高压釜推出高温炉膛)的过程中,压力也持续下降。但由于冷却时间很短(一般为2~7h),金管中的流体很快达到沸腾条件,形成低密度、低盐度的气相流体和高密度、高盐度的液相流体。当主矿物捕获到不同相的流体时,可形成不同类型的包裹体。捕获低密度的气相流体时,所形成的是气液两相包裹体(以纯气相包裹体和富气相的气液两相包裹体为主),包裹体中流体的盐度、密度均较小,如样品3~6中的气液两相包裹体;捕获高密度、高盐度的液相流体时,可能形成含子矿物的多相包裹体,包裹体中流体的盐度、密度均较大,如样品3~6中的含子矿物多相包裹体。含子矿物多相包裹体按照其子晶与气泡消失温度的先后,可以分为两个亚类:一为子晶先消失,气泡后消失,通过气泡的消失而使包裹体达到均

一,密度中等,如样品3、5;另一个亚类为气泡先消失,子晶后消失,通过子晶的消失而使包裹体达到均一,密度较高,如样品4、6。

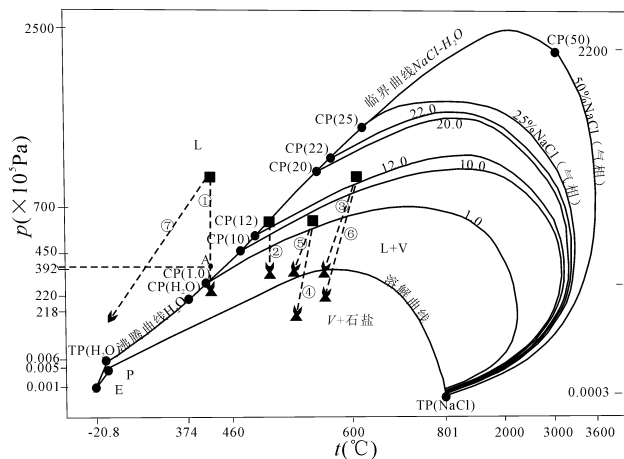


图1 流体沸腾作用示意图

Fig. 1 Boiling of fluid at the condition of different  $p-t$  CP(50)代表50%NaCl水溶液的等组成分线与临界曲线相切的点;①~⑥为实验1至实验6的沸腾作用变化趋势,⑦为实验1的虚拟变化趋势;■为各样品的实验稳定条件(温度与压力);▲为包裹体的形成条件(温度与压力) CP(50) means the tangent point of iso-constituent line of 50% NaCl solution and critical curve. ①~⑥ are the trendlines of boiling in No. 1~No. 6 experiment, and ⑦ is the fictitious trendline of No. 1 experiment. ■ is the experimental condition (temperature and pressure), and ▲ is the formation condition of the fluid inclusions in these experiments (temperature and pressure)

从图1可以看出,所有的沸腾作用都发生在一定盐度流体气相线与TP(H<sub>2</sub>O)-CP(H<sub>2</sub>O)-CP(NaCl-H<sub>2</sub>O)曲线的下方L+V或V+石盐相图区。由于沸腾作用,可导致主矿物分别捕获气相和液相或液相+H相的流体;子矿物的来源,除直接来自高温高压流体的过饱和结晶外,还可来自液相流体冷却到常温常压后(因为其盐度可能高于常温常压条件下饱和溶液的盐度)的饱和或过饱和结晶作用。必须注意,不是所有的沸腾作用都可导致含子矿物多相包裹体的产生,要视沸腾作用发生的条件(温度、压力)和沸腾作用的时间而定。温度越高、压力越低、沸腾作用时间越长,液相流体的盐度就越高,形成含子矿物多相包裹体的可能性也越大。

还需注意的是,不是所有的降温降压都可导致流体的沸腾作用。从图1可以看出,如果实验1的压力没有降低到 $250 \times 10^5$  Pa左右,而是降低到 $400 \times 10^5$  Pa左右(A点)后就不再下降,流体的沸腾作用就不可能发生。另外,如果实验1按照⑦的趋势

线演化,即使温度与压力都降低,沸腾作用也不可能发生。

由此可见,流体沸腾作用主要跟流体的降压作用或降温降压作用有关。但是,不是所有的降压作用或降温降压作用都能使流体沸腾,流体的沸腾作用只发生在一定盐度流体气相线与 TP(H<sub>2</sub>O)-CP(H<sub>2</sub>O)-CP(NaCl-H<sub>2</sub>O)曲线下方 L+V 或 L+V+H(石盐)相图区的温度与压力范围内。

#### 4 流体沸腾作用在石油地质中存在的可能性和意义

流体沸腾作用是流体发生相变的一个前提,也是流体性质改变的真实体现。近年来,虽然在石油领域相继有沸腾包裹体的报道(邱楠生等,2001;李善鹏等,2004),但报道流体所具有的低温(NaCl-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O体系或 NaCl-H<sub>2</sub>O体系流体,包裹体均一温度 110~173℃)、中高压(包裹体均一瞬间压力 29~35MPa)、中一中高盐度(包裹体盐度 8.1%~20.1%)特征,使笔者对沸腾流体的存在表示怀疑。这个观点,也得到了卢焕章教授(2006,私人通讯)的认同。而油气流体或含油气流体的沸腾现象是否真的存在,还需要更多的证据来说明。在这里,笔者以合成流体包裹体研究为基础,粗略探讨流体沸腾作用在石油地质中的可能性,借以抛砖引玉,使更多的研究人员参与到这项研究中来。

合成流体包裹体的研究表明,降压作用或降温降压作用可使流体发生沸腾。因此,要使具有一定的温度(100~200℃)、压力(30~120 MPa)和盐度(5%~15% NaCl)的含油气流体发生沸腾,必须使压力降低。笔者经过估算后认为,发生沸腾作用的流体压力应该为 5~10 MPa 左右甚至更低。这样的条件,只有一定规模和特征的断裂带才能满足,即断裂带必须具备深(能与油气连通或距离油气运移通道较近)、大(体积大,能够容纳流体的快速涌入)、距离地表较近(压力小)的特征。这个条件,也与天然气的聚集受控于深大断裂的展布相一致(朱岳年和吴新年,1994;戴金星等,1997;林松辉,2005)。

必须注意,具备了上述条件也不一定使含油气流体发生沸腾作用,这是因为:石油是一种粘稠度比较高的流体,流动性和热的传导性都较差。断裂开启后,盐水溶液要先于油气主体而流动,而失去大部分盐水溶液的油气流体能否在原有压力驱使下快速流动就值得怀疑。而且,盐水溶液及部分油气流体进入断裂后,由于断裂带内不是真空体系,其内的气体或液体必然与油气流体迅速混合,形成新的  $p-t$  体系,混合后的体系压力必然大于原来断裂带的压

力。因此,即使是最早进入断裂体系的盐水溶液及部分油气流体发生了沸腾作用,但由于不能快速流动,后续油气流体能否在新的  $p-t$  体系下沸腾就值得怀疑。这在合成包裹体的实验 1 中得到了较好的验证。在实验 1 中,尽管流体在 25 MPa 左右可发生沸腾作用,但压力上升到 40 MPa (A 点)后就不再沸腾。

但不可否认,我们无法排除最早进入断裂体系的盐水溶液和部分油气流体发生沸腾作用的可能性。果真如此的话,则断裂的多次开启与闭合,将使油气流体的沸腾作用间歇性地发生,这对于油气演化具有重要的意义。一方面,沸腾作用带来的热能可促使一部分油气物质发生热裂解作用形成轻烃,提高油气的成熟度;另一方面,沸腾作用还可使油气的部分烷烃类物质以气态形式进行迁移,同时热裂解作用也可产生部分气态物质,使流体中气态物质的含量增多,这大大加快了油气运移的速度。另外,在断裂的开启和关闭反复进行(即脉动式开启)的前提下,热裂解产生的轻烃和因部分沸腾而产生的气态物质在适当的条件下圈闭成藏,可形成天然气气藏,如鄂尔多斯盆地的深盆气藏(施继锡和余孝颖,2002)。

#### 5 结论

综上所述,可以得出如下结论:

(1)在开展研究的 6 个实验中,流体均不同程度地发生了沸腾作用,其中实验 1、2 的沸腾作用由单纯的降压作用引起,实验 3~6 是由流体的降温降压作用引起。

(2)降压或降温降压作用只是流体沸腾作用发生的外因,要使流体发生沸腾作用,必须使流体的温度与压力条件落入一定盐度流体气相线与 TP(H<sub>2</sub>O)-CP(H<sub>2</sub>O)-CP(NaCl-H<sub>2</sub>O)曲线的下方 L+V 或 V+石盐相图区内。

(3)在油气运移或储集的过程中,可能存在流体的沸腾作用,这对于加速油气运移、提高油气成熟度和促进天然气藏的形成具有十分重要的意义。

#### 参 考 文 献

- 戴金星,宋岩,戴春森,等. 1997. 中国东部无机成因气及其气藏形成条件. 北京: 科学出版社.
- Pasal Philippot. 1996. 高压流体(1~3GPa)的化学组成: 自然观察与实验对比. 地学前缘, 3(3): 39~48.
- 康永尚,邱楠生,刘洛夫,等. 2004. 流体动力系统对流体包裹体均一温度的影响及其意义——以准噶尔盆地陆东地区为例. 地质学报, 78(5): 704~709.
- 李善鹏,邱楠生,曾溅辉. 2004. 利用流体包裹体分析东营凹陷古压

- 力. 东华理工学院学报, 27(3):209~212.
- 李晓峰,毛景文,王登红,等. 2004. 四川大渡河金矿田成矿流体来源的氦氩硫氢氧同位素示踪. 地质学报,78(2):203~210.
- 刘斌,沈昆. 1995. 流体包裹体的氧逸度计算公式及其应用. 矿物学报,15(3):291~302.
- 刘斌,沈昆. 1999. 流体包裹体热力学. 北京:地质出版社,119~140.
- 林松辉. 2005. 断裂及岩浆活动对 CO<sub>2</sub>气藏的作用——以济阳拗陷为例. 地球科学—中国地质大学学报,30(4):473~479.
- 邱楠生,张善文,金之钧. 2001. 东营凹陷油气流体运移模式探讨——来自沸腾包裹体的证据. 石油实验地质,23(4):403~407.
- 施继锡,余孝颖. 2002. 深盆气藏地质特征与研究意义——以鄂尔多斯盆地为例. 矿物岩石地球化学通报,21(3):171~173.
- 王登红,陈毓川,陈文,等. 2004. 广西南丹大厂超大型锡多金属矿床的成矿时代. 地质学报,78(1):132~139.
- 徐兆文,黄顺生,倪培,等. 2005. 铜陵冬瓜山铜矿成矿流体特征和演化. 地质论评,51(1):36~41.
- 杨巍然,张文淮. 1996. 断裂性质与流体包裹体组合特征. 地球科学—中国地质大学学报,21(3):285~290.
- 张德会. 1997. 流体的沸腾和混合在热液成矿中的意义. 地球科学进展,12(6):546~552.
- 张铭杰,唐俊红,张同伟,等. 2004. 流体包裹体在油气地质地球化学中的应用. 地质论评,50(4):397~406.
- 张文淮和陈紫英,1993,流体包裹体地质学. 武汉:中国地质大学出版社,108~122.
- 张振亮,黄智龙,饶冰,等. 2005. 会泽铅锌矿床成矿流体浓缩机制探讨. 地球科学—中国地质大学学报,30(4):443~450.
- 朱岳年,吴新年. 1994. 二氧化碳地质研究. 兰州:兰州大学出版社.
- Bakker R J, Diamond L W. 2000. Determination of the composition and molar volume of H<sub>2</sub>O—CO<sub>2</sub> fluid inclusions by microthermometry. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64(10): 1753~1764.
- Bischoff J L. 1991. Densities of liquids and vapors in boiling NaCl-H<sub>2</sub>O solutions: A PVTX summary from 300°C to 500°C. *Amer. J. Sci.*, 291: 309~338.
- Dai J X, Song Y, Dai C S, et al. 1997. Formational Conditions of Abiogenic Origin Gas and Its Pools in Eastern China. Beijing: Science Press (in Chinese with English abstract).
- Jeffery C S, James G B, David B J, et al. 1994. Volumetric properties CO<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>-N<sub>2</sub> fluids at 200°C and 100 MPa: A comparison of equations of state and experimental data. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58(3): 1065~1071.
- Kang Yongshang, Qiu Nansheng, Liu Luofu, et al. 2004. Influence of Fluid Dynamic Systems on Homogenization Temperatures of Fluid Inclusions and Its Significance——An Application Example from the Ludong Area of the Junggar Basin, Northwestern China. *Acta Geologica Sinica*. 78(5): 704~709.
- Kendrick M A, Burgess R, Pattrich A D, et al. 2001. Fluid inclusion noble gas and halogen evidence on the origin of Cu-Porphry mineralizing fluids. *Geochimica et Cosmochimica Acta*,65(16): 2651~2668.
- Li Shanpeng, Qiu Nansheng, Zeng Jianhui. 2004. analyzing paleopressure of Dongying sag by using fluid inclusion. *Journal of East China Institute of Technology*, 27(3): 209~212 (in Chinese with English abstract).
- Li Xiaofeng, Mao Jingwen, Wang Dengrong, et al. 2004. Helium and Argon Isotope Systematics in Fluid Inclusion of the Gold Deposits along the Daduhe River, Sichuan province, Southwestern China. *Acta Geologica Sinica*. 78(2): 203~210.
- Lin Songhui. 2005. Fault and magmatic activity as control of mantle source CO<sub>2</sub> gas accumulation: A case study of Jiyang depression. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 330(4): 473~479 (in Chinese with English abstract).
- Liu Bing, Shen Kun. 1995. Formulae for calculating oxygen fugacities of fluid inclusions and their applications. *Acta Mineralogica Sinica*, 15(3): 291~302 (in Chinese with English abstract).
- Liu Bing, Shen Kun. 1999. Thermodynamics of Fluid Inclusion. Beijing: Geology Press, 119~140 (in Chinese with English abstract).
- Pasal Philippot. 1996. The chemistry of high-pressure fluids (1 to 3 GPa): Natural observations VS experimental Constraints. *Earth Sciences Frontiers*, 3(3): 39~48 (in Chinese with English abstract).
- Qiu Nansheng, Zhang Shanwen, Jin Zhijun. 2001. Migration models of hydrocarbon fluids in the Dongying depression——vidences from boiling fluid inclusions. *Petroleum Geology and Experiment*, 23(4): 403~407 (in Chinese with English abstract).
- Roedder E, Kopp O C. 1975. A Check on the Validity of the Pressure Correction in Inclusion Geothermometry, Using Hydrothermally Grown Quartz *Fortschr Mineral. Fortschr Mineral*, 52: 431.
- Schmidt C, Rosso K M, Bodnar R J. 1995. Synthetic fluid inclusions: XIII. Experimental determination of the PVT properties in the system H<sub>2</sub>O + 40% NaCl + 5mol% CO<sub>2</sub> at elevated temperature and pressure. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59: 3953~3959.
- Shi Jixi, Yu Xiaoying. 2002. Geological characteristics of deep basin gas traps and their research significance erdos basin example. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 21(3): 171~173 (in Chinese with English abstract).
- Spycher N F, Reed M H. 1989. Evolution of a Broad lands-Type epithermal ore fluid along alternative P-T paths; implications for the transport and deposition of base, precious, and volatile metals. *Econ. Geol.*, 84: 328~359.
- Sternner, S M, Bodnar R J. 1984. Synthetic fluid inclusions in natural quartz. I. Compositional types synthesized and applications to experimental geochemistry. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48: 2659~2668.
- Wang Denghong, Chen Yuchuan, Chen Wen, et al. 2004. Dating the Dachang giant tin-polymetallic deposit in Nandan, Guangxi. *Acta Geologica Sinica*, 78(1): 132~139 (in Chinese).
- Xu Zhaowen, Huang Shunsheng, Ni Pei, et al. 2005. Characteristics and evolution of ore fluids in Dongguashan copper deposit, Anhui Province, China. *Geological Review*, 51(1): 36~41 (in Chinese).
- Yang Weiran, Zhang Wenhui. 1996. Character of fault property and combination of fluid inclusions. *Earth Science- Journal of*

- China University of Geosciences, 21(3): 285~290(in Chinese with English abstract).
- Zhang Yi-Gang, Frantz J D. 1989. Experimental determination of the compositional limits of immiscibility in the system  $\text{CaCl}_2\text{-H}_2\text{O-CO}_2$  at high temperatures and pressures using synthetic fluid inclusions. *Chemical Geology*, 74:289~308.
- Zhang Dehui. 1997. Some new advances in ore-forming fluid geochemistry on boiling and mixing of fluids during the processes of hydrothermal deposits. *Advance in Earth Sciences*, 12(6): 546~552(in Chinese with English abstract).
- Zhang Mingjie, Tang Junhong, Zhang Tongwei, et al. 2004. Applications of Fluid Inclusions to Petroleum and Natural Gas Geology and Geochemistry. *Geological Review*, 50(4): 397~406.
- Zhang Wenhui, Chen Ziyang. 1993. *Geology of Fluid inclusion*. Wuhan: Press of China University of Geosciences, 108~112(in Chinese).
- Zhang Zhenliang, Huang Zhilong, Rao Bing, et al. 2005. Concentration mechanism of ore-forming fluid in huize lead-zinc deposits, Yunnan Province. *Earth Science- Journal of China University of Geosciences*, 30(4): 443~450(in Chinese with English abstract).
- Zhu Yaonian, Wu Xinnian. 1994. *Geological Study of  $\text{CO}_2$* . Lanzhou: Lanzhou University Press (in Chinese with English abstract).

## **Boiling Mechanism of Fluid and Its Possibility in Petroleum Geology -Evidences from Synthetic Fluid Inclusions**

ZHANG Zhenliang<sup>1)</sup>, WANG Xiulin<sup>1)</sup>, LÜ Xinbiao<sup>2)</sup>, RAO Bing<sup>3)</sup>, ZHANG Fangdong<sup>1)</sup>, LIU Shaoguang<sup>1)</sup>

- 1) *Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Zhongyuan Petroleum Administrative Bureau, Puyang, Henan, 457001;* 2) *Faculty of Resources, China University of Geosciences, Wuhan, 430074;*  
3) *Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, 210093*

### **Abstract**

Boiling mechanism of fluid and the possibility of its occurrence in petroleum geology were discussed by studying on synthetic fluid inclusion. The results showed that the occurrences of boiling fluid was mainly in relation to the position of its p-T locus in p-T phase diagram of  $\text{NaCl-H}_2\text{O}$  system, where it was located in L+V or L+V+H zone below the TP( $\text{H}_2\text{O}$ )-CP( $\text{H}_2\text{O}$ )-CP( $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ ) curve and vapor curve of fluid with a certain salinity. Because of the occurrence of deep fault, it was possible that boiling of some oil-gas fluid and  $\text{NaCl-H}_2\text{O}$  solution intermittently occurred. This was very beneficial to raising the migration velocity and the maturity of oil-gas fluid and forming natural gas accumulations.

**Key words:** synthetic fluid inclusion; boiling fluid inclusion; falling of temperature and relief of pressure

