

DOI:10.19826/j.cnki.1009-3850(2020)01-0045-08

莺歌海盆地乐东地区石英裂隙内流体包裹体特征 及其对天然气成藏制约

税蕾蕾^{1,2}, 梁茹^{3*}, 孟祥豪³, 郭来源^{1,2}, 许克伟³

(1. 中海油能源发展股份有限工程技术分公司, 天津 300452; 2. 广东省海上高温高压油气藏勘探开发企业重点实验室, 湛江 524057; 3. 油气藏地质及开发工程国家重点实验室(成都理工大学), 四川 成都 610059)

摘要:莺歌海盆地乐东地区是我国典型高温超压天然气勘探领域,其关键储层黄流组砂岩以天然气富含CO₂为特征,对其中石英颗粒内裂隙包裹体的研究能为CO₂来源和天然气成藏信息提供重要线索。本文通过对黄流组砂岩石英颗粒内包裹体进行岩相学、显微测温与激光拉曼分析,结果表明黄流组砂岩石英颗粒内正常捕获流体包裹体均一温度主要分布在155~165℃与170~180℃两个温度区间,流体包裹体成分为CO₂(气)和H₂O(液)两种或CO₂(气)和CO₂(液)、H₂O(液)三种。这些特征表明乐东地区黄流组至少经历两期富含CO₂的热液活动,记录了埋藏晚期无机CO₂在火山活动或深大断裂发育期充注成藏的信息。

关键词:流体包裹体;石英裂隙;天然气成藏;莺歌海盆地

中图分类号:TE133

文献标识码:A

莺歌海盆地是新生代著名高温超压盆地,乐东地区位于其南部,其中的黄流组砂岩以其天然气富含CO₂的特征成为近些年该盆地油气勘探重点领域^[1],而该地区天然气成藏地质问题也是一直以来的研究热点^[2-4]。前人通过研究CO₂气体的来源以及富含CO₂天然气与构造活动、泥底辟作用间的关系,来认识成藏过程^[5-8]。而流体包裹体是研究CO₂气体来源最好的载体之一,作为研究油气成藏期次时应用的最为广泛的方法,流体包裹体同时记录了良好的地史信息,可以有效记录成藏时的流体性质。莺歌海盆地乐东地区黄流组砂岩内包裹体主要赋存于石英颗粒内,所以,本文拟通过分析石英颗粒裂隙内大量赋存的包裹体成因及其组成,为富含CO₂天然气成藏过程提供线索。

1 区域地质背景

莺歌海盆地位于莺琼盆地东部,特提斯构造域

与滨太平洋构造的交汇处,是印澳-欧亚板块碰撞“挤出-逃逸构造区”和“古南海俯冲-拖曳构造区”,属于南海西北部大陆边缘、受岩石圈拉伸和红河右行走滑断裂控制形成的转换-伸展型新生代沉积盆地^[2-3]。

莺歌海盆地演化经历了先断陷、后拗陷2个不同的演化阶段,先后发育古近系渐新统崖城组、陵水组与新近系三亚组、梅山组、黄流组和莺歌海组海相地层及第四系地层。海相沉积物源主要来自于东部和西北部,从边缘到盆地中心,依次发育(扇)三角洲、滨海相、浅海相、半深海相,盆地中心发育盆地扇及滑塌体等^[3,9],岩石类型主要为砂岩,以细-中砂岩、石英砂岩为主。

中新世开始,莺歌海盆地热裂解沉降,形成巨厚快速充填深水扇海相泥岩;晚期,印度-欧亚板块碰撞加剧,红河走滑断裂由左旋演变为右旋,应力场转变促使泥底辟作用发生,盆地中央形成超两

收稿日期:2019-11-01; 改回日期:2020-02-12

作者简介:税蕾蕾(1978-),女,高级工程师,硕士学位,化学工艺专业,现主要从事地球化学实验研究工作。E-mail:shuill@cnooc.com.cn

通讯作者:梁茹(1997-),女,硕士研究生,沉积学专业,Email:liangr129@163.com

资助项目:中海油能源发展股份有限公司科技项目莺琼盆地天然气轻烃与流体包裹体实验新方法建立及应用研究(HFKJ-GJ2018-11)

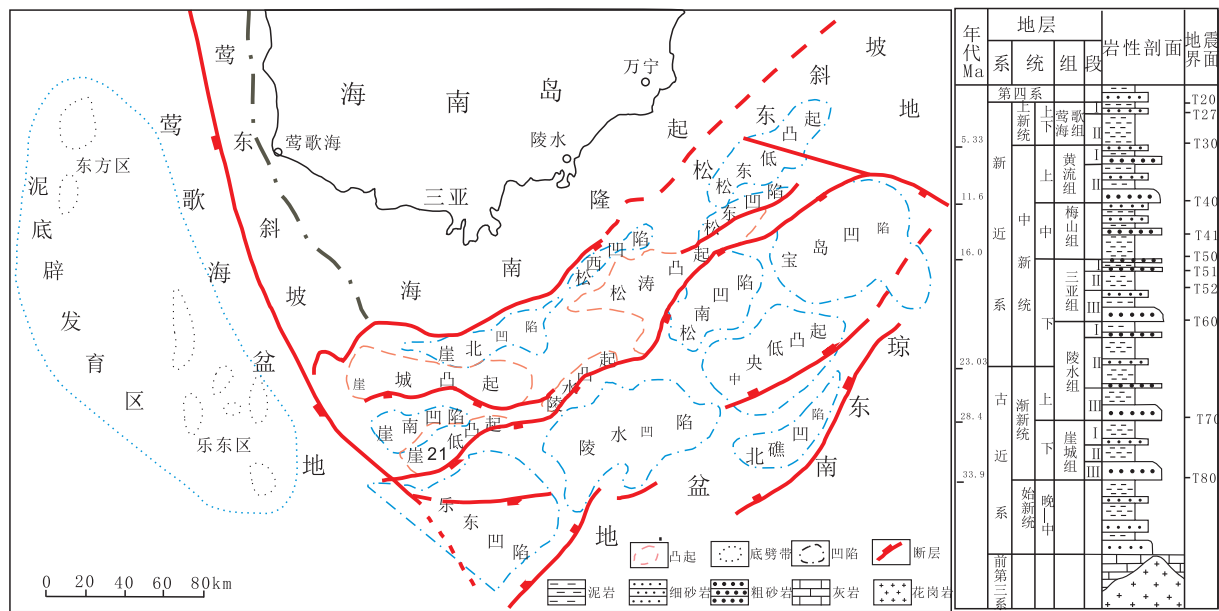


图1 莺琼盆地构造纲要图与地层综合柱状图

Fig. 1 Structural outline and Stratigraphic comprehensive histogram of Yingqiong Basin

万平方千米的中央泥底辟带^[10-11]。泥底辟和快速充填形成的超高压,造就了莺歌海盆地独特而复杂的成藏系统^[4]。盆地东方区、乐东区均处于中央泥底辟发育带,其中东方区泥底辟构造浅层已取得油气勘探突破^[10],使乐东区成为莺歌海盆地油气勘探关注焦点。

2 实验方法与条件

以成岩序列为基础,选择不同期次石英裂隙内的流体包裹体划分出流体包裹体组合(FIA),对不同流体包裹体组合及其包含包裹体分别进行编号,而后选择每个包裹体组合内5个不同大小和形状的包裹体进行显微测温。对大于 $5\mu\text{m}$ 的包裹体,均一后记录温度值,连续测两遍,若前后误差在 2°C 以内则取平均值作为实验结果,如果误差超过 5°C 则弃用该数据, $2\sim 5^\circ\text{C}$ 之内则重新测温,比较三次实验数据,求取平均值作为最终数据。对于 $2\sim 5\mu\text{m}$ 的包裹体则采用循环测温技术,根据情况升温步阶为 2°C 或 1°C ,记录所测温度,同一包裹体采用循环测温技术测试至少2次,若先后所测温度相差在 5°C ,则以第一次所测温度为实验数据。测温实验在油气藏地质及开发工程国家重点实验室完成,冷热台为英国 Linkam 公司设计制造 THMSG-600 型冷热台。

包裹体激光拉曼成分分析是在油气藏地质及

开发工程国家重点实验室完成,拉曼光谱仪为 LRS-3 型,实验条件为:单色仪入射及出射狭缝宽度为 0.15mm ;光电倍增管所加负高压档位为7或8档;扫描间隔为 0.1nm ;积分时间不小于 200ms 。在每一个包裹体组合内选取大于 $8\mu\text{m}$ 的包裹体进行激光拉曼成分分析。

3 实验结果

3.1 包裹体岩相学特征

黄流组砂岩内包裹体主要赋存于石英颗粒内,以细砂为主,颗粒漂浮在杂基内或呈点接触,分选性、磨圆度中等,杂基含量较高,胶结物少见,应为相对深水环境沉积物。石英普遍发育 $1\sim 3$ 组裂隙(图2),裂隙基本贯穿石英颗粒或者沿颗粒边缘向内歼灭,偶见再旋回石英次生加大边。

石英颗粒愈合裂隙内包裹体为 $\text{NaCl-H}_2\text{O-CO}_2$ 型包裹体,包裹体大小 $1\sim 15\mu\text{m}$,圆形、椭圆形、长条形与不规则形并存,气液比 $5\sim 20\%$ 不等,选择包裹体组合时尽可能沿同一裂隙附近选取主轴方向一致的包裹体组成一个包裹体组合(图2)。

3.2 包裹体均一温度

乐东地区黄流组钻井内径井壁取心得到7件样品,在石英颗粒内划分出30个包裹体组合,测得167个包裹体均一温度数据,每个包裹体组合内数据 $3\sim 10$ 个不等,取每组数据平均值最为包裹体组

合的均一温度。详细测量数据见表1。

包裹体均一温度数据有效性判别依照据:①包裹体组合中不同大小和形状的包裹体必须具有近似一致的气液比,需小于5;②90%的实验数据误差必须在 $10\sim 15^{\circ}\text{C}$ 之内。若同时满足这两个条件,则数据有效,可用以结合岩相学分析解释地质现象;若所测数据气液比高度不一致($>10\sim 15$),数据仅代表了高温非均一捕获地质现象;若气液比中等不一致($5\sim 10$),所测温度在 $10\sim 15^{\circ}\text{C}$ 之内则代表了高温捕获,数据仅具有参考指示价值。

按照这一判断原则,所测30组数据中,可准确代表捕获温度的有效数据17组,代表非均一捕获现象数据6组,代表高温捕获现象数据7组。从包裹体均一温度数据来看,几乎每个样品内均存在非均一捕获与高温捕获现象。17组有效数据主要分布在 $155\sim 165^{\circ}\text{C}$ 和 $170\sim 185^{\circ}\text{C}$ 两个主频温度区间,其中 $155\sim 165^{\circ}\text{C}$ 的数据占76%, $175\sim 185^{\circ}\text{C}$ 占17%,数据分布直方图见图3。

3.3 包裹体成分

乐东地区激光拉曼包裹体成分分析表明,黄流组石英颗粒内包裹体成分主要为 CO_2 和 H_2O ,呈气

(V)、液(L)两种相态,但组合形式存在纯 H_2O 气-液相、 CO_2 气相- H_2O 液相、 CO_2 气-液相- H_2O 液相三种不同组合形式(图4)。所测乐东地区4个样品,各自组分比例分别为: $V(\text{H}_2\text{O}):L(\text{H}_2\text{O})=1:9$ 、 $V(\text{H}_2\text{O}):L(\text{H}_2\text{O})=1:4$ 、 $V(\text{CO}_2):L(\text{H}_2\text{O})=1:6$ 、 $V(\text{CO}_2):L(\text{CO}_2):L(\text{H}_2\text{O})=1:2:2$ 。

4 讨论

包裹体岩相学分析认为乐东地区黄流组为深水相沉积,与吕孝威(2014)^[14]、钟泽红(2013)^[15]认为是海底扇沉积相一致,海底扇砂岩埋藏过程中受泥底辟作用影响形成超压,二者导致盆地热演化较快,成岩演化独具特色。按照吕孝威等人成岩作用及其演化研究成果,在中成岩早期莺歌海盆地就发生快速埋藏形成超压现象;到早成岩中期,超压伴随泥底辟作用,石英发生破裂,在愈合过程中捕获到包裹体^[16-17,4]。

这些包裹体显微测温数据反映出存在高温捕获和非均一捕获现象,而且同时存在于同一样品的不同包裹体组合内(见3.1)。虽然从包裹体研究的三个基本假设来看^[18-20],这些数据似乎无效,但这

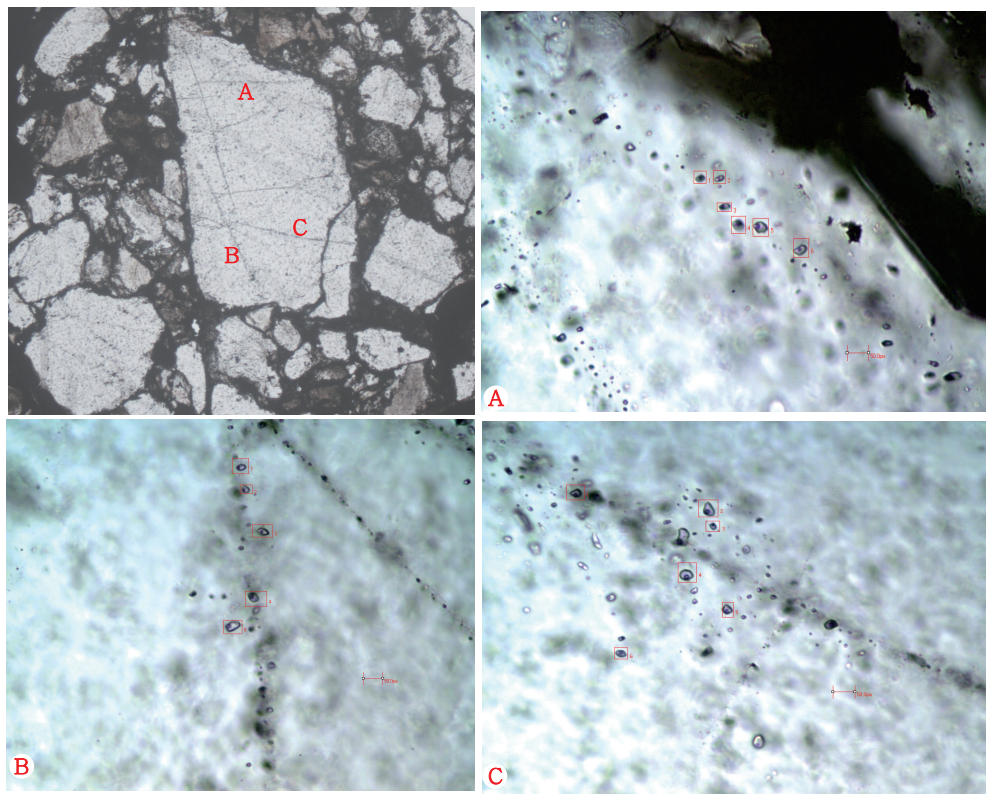


图2 莺歌海盆地乐东区黄流组石英裂隙内包裹体岩相学特征

Fig. 2 Petrographic characteristics of inclusions in quartz fractures of Huangliu Formation, Ledong District, Yinggehai Basin

表 1 莺歌海盆地东方区黄流组石英裂隙内包裹体均一温度数据表

Table 1 Data table of temperature of inclusions of Huangliu Formation in Ledong area of Yinggehai Basin

样品编号	深度 (m)	宿主 矿物	FIA	编号	产状	颜色	成因	包裹体 类型	大小 (μm)	气液比 (%)	T_h (均一)	FIA组合		
												最小	最大	均值
LD10-1	4218	石英	A-a	1	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	20	变小未消失	175	181	177
				2	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	8	177			
				3	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	5	175			
				4	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	5	175			
				5	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	8	181			
			A-b	1	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	1.5	50	163			
				2	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	20	155			
				3	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	4.5	8	154			
				4	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	10	157			
				5	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	5	157			
			A-c	2	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	10	165			
				3	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	8	变小未消失			
				4	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	4	10	163			
				5	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	5	171			
				1	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2.5	8	158			
			B-a	2	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	4	5	156			
				3	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	10	161			
				4	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	5	163			
				5	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	8	变小未消失			
				6	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	8	161			
			B-b	1	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	1.5		无变化			
				2	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	1.5		175			
				3	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	1.5	5~8	191			
				4	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2		181			
				5	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	1.5		169			
			C-a	1	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2		155			
				2	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2		155			
				3	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2		155			
				4	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2		155			
				5	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	5~10	155			
				7	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3		145			
				8	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3		155			
				9	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	4.5		155			
				10	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3		155			
				C-b	1	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	8	157		
			2		愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	5	157			
			3		愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	5	157			
			4		愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	1	5	157			
			5		愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	8	157			
			6		愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	10	157			
7	愈合裂隙	无色透明	次生		气液两相盐水	1.5	5	157						
8	愈合裂隙	无色透明	次生		气液两相盐水	2	8	154						
C-c	1	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	8	159						
	2	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	5	159						
	3	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	5	161						
	4	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	8	161						
	5	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	10	161						
	6	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	5	161						
	7	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	8	161						
	8	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	8	160						
LD10-2	4240	石英	A-a	1	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	15	165	165	165	165
				2	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	4.5	8	165			
				3	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	4	10	165			
				4	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	5	165			
				5	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	10	165			
			A-b	1	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	10	165			
				2	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	4	8	165			
				3	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	4.5	5	165			
				4	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	4.5	5	165			
				5	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	8	165			
			B-a	1	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	1	20	225			
				2	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	20	无变化			
				3	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	10	178			
				4	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	8	205			
				5	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	10	205			
LD10-3	4253	石英	A-a	1	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3.5	10	175	175	201	188.5
				2	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	5	189			
				3	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	5	189			
				4	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	10	201			
				5	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	4	20	无变化			
			A-c	1	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2.5	10	165			
				2	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	8	161			
				3	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	8	165			
				4	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	5	无变化			
				5	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	5	165			
			B-a	1	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	10	155			
				2	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	4	5	169			
				3	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	5	157			
				4	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	5	145			
				5	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	5	157			
				6	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	5	5	167			
				7	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3.5	10	170			
			B-c	1	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	5	172			
				2	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	10	172			
				3	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	8	170			
4	愈合裂隙	无色透明		次生	气液两相盐水	3	8	172						
5	愈合裂隙	无色透明		次生	气液两相盐水	4	5	164						
C-c	1	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	5	167						
	2	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	8	164						
	3	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	4	5	165						
	4	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	1	5	165						
	5	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	8	165						

续表 1

样品编号	深度 (m)	宿主 矿物	FIA	编号	产状	颜色	成因	包裹体 类型	大小	气液比	T _h (均一)	FIA组合		
									(μm)	(%)		最小	最大	均值
LD10-4	4258	石英	A-a	1	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	5	162	161	164	162.2
				2	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	10	162			
				3	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	10	164			
				4	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	15	161			
				5	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3.5	8	162			
			A-b	1	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	4	10	162	161	164	161.6
				2	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	1.5	8	161			
				3	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	10	161			
				4	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	10	161			
				5	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	15	161			
				6	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	20	164			
			B-a	1	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	8	173	173	199	193.2
				2	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	10	198			
				3	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	20	198			
				4	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	20	198			
5	愈合裂隙	无色透明		次生	气液两相盐水	2	8	199						
B-b	1	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	10	175	172	175	173.3			
	2	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	1.5	10	173						
	3	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2.5	8	173						
	4	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	8	172						
LD10-5	4275	石英 次生 加大边	B-a	1	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3.5	8	160	145	160	151.2
				2	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2.5	5	155			
				3	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	5	148			
				4	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	5	148			
				5	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2.5	10	160			
				6	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	5	148			
				7	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	5	145			
				8	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	5	148			
				9	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	5	145			
				10	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2.5	6	155			
			B-b	1	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	5	150	150	160	152.4
				2	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	5	150			
				3	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	5	150			
				4	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3.5	6	155			
				5	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	5	152			
				6	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	5	150			
				7	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	5	10	160			
			B-c	1	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	1.5	5	145	145	160	154
				2	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	5	145			
				3	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	6	160			
				4	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	6	155			
				5	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3.5	8	160			
				6	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	5	160			
				7	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	5	148			
				8	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	6	160			
			B-d	1	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	1.5	6	160	160	165	162.5
				2	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	5	160			
				3	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	8	8	164.5			
				4	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2.5	8	160			
				5	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	7	8	164.5			
6	愈合裂隙	无色透明		次生	气液两相盐水	5	10	164.5						
7	愈合裂隙	无色透明		次生	气液两相盐水	2	6	160						
8	愈合裂隙	无色透明		次生	气液两相盐水	4	8	164.5						
9	愈合裂隙	无色透明		次生	气液两相盐水	8	8	164.5						
LD10-6	4330	石英	A-a	1	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	15	199	161	207	178.6
				2	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	8	207			
				4	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	8	161			
			B-a	5	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	5	163	161	165	163.8
				6	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2.5	8	163			
				1	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	5	161			
LD10-7	4338	石英	A-a	2	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	8	163	170	207	178.5
				3	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	4	5	165			
				4	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	10	165			
				5	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	8	165			
				1	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	5	172			
				2	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	10	170			
			B-a	3	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	10	175	125	125	125
				4	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	3	10	175			
				5	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	10	172			
B-a	1	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	4	15	207	125	125	125			
	2	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	20	无变化						
	3	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	15	无变化						
B-a	1	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	8	125	125	125	125			
	2	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	8	125						
	3	愈合裂隙	无色透明	次生	气液两相盐水	2	8	125						

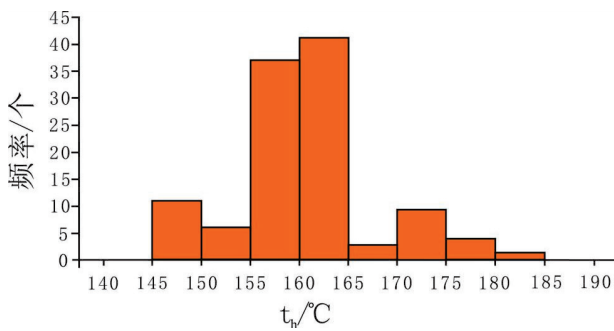


图3 莺歌海盆地乐东区包裹体均一温度分布直方图

Fig. 3 Temperature distribution histogram of inclusions in Ledong area of Yinggehai Basin

些数据表明在包裹体形成过程中存在正常捕获、高温捕获和非均一捕获三种同时共存迹象,这就说明通过石英裂隙的流体处于特殊状态下,可能为非均一流体。对包裹体成分测试表明存在 CO_2 和 H_2O 两种物质不同相态的组合,这也间接证明包裹体被捕获时地质流体可能为溶有 CO_2 非均一地层水。结合石英裂隙内包裹体组合特征、均一温度及包裹体成分特征,可认为石英裂隙内包裹体记录了高温背景下溶有 CO_2 的地层水在裂隙内运移的信息。

富集于石英颗粒愈合缝隙内包裹体组合有效数据显示乐东地区包裹体均一温度呈现出 $155 \sim 165 \text{ }^\circ\text{C}$ 及 $170 \sim 185 \text{ }^\circ\text{C}$ 两个主温度区间,这说明莺歌海盆地乐东地区黄流组内包裹体是富含 CO_2 热液活动的记录,黄流组储层至少经历两期富 CO_2 热液活动,结合盆地埋藏史(图5^[21])分析形成时期大约为 $1.8 \sim 2 \text{ Ma}$ 左右,恰好是莺歌海盆地在上新世特别是第四纪(1.9 Ma)发生晚期泥底辟热流体上侵活动、具有大量 CO_2 气生成时期^[6-8,22],从而在盆地石英颗粒裂隙内留下记录,而这一时期恰恰是盆地开始快速沉降、底辟活动与超压发育时期^[6,22],也就是说石英颗粒裂隙内包裹体记录了富含 CO_2 热液活动信息,反应出热液运移时期存在火山活动或深大断裂发育现象^[12,22]。

5 结论

(1) 乐东地区黄流组石英颗粒裂隙内流体包裹体存在均一捕获与非均一捕获情况,正常捕获流体包裹体均一温度主要分布在 $155 \sim 165 \text{ }^\circ\text{C}$ 与 $170 \sim 185 \text{ }^\circ\text{C}$ 两个温度区间,拉曼分析流体包裹体成分为 CO_2 (气)和 H_2O (液)两种或 CO_2 (气)和 CO_2 (液)、

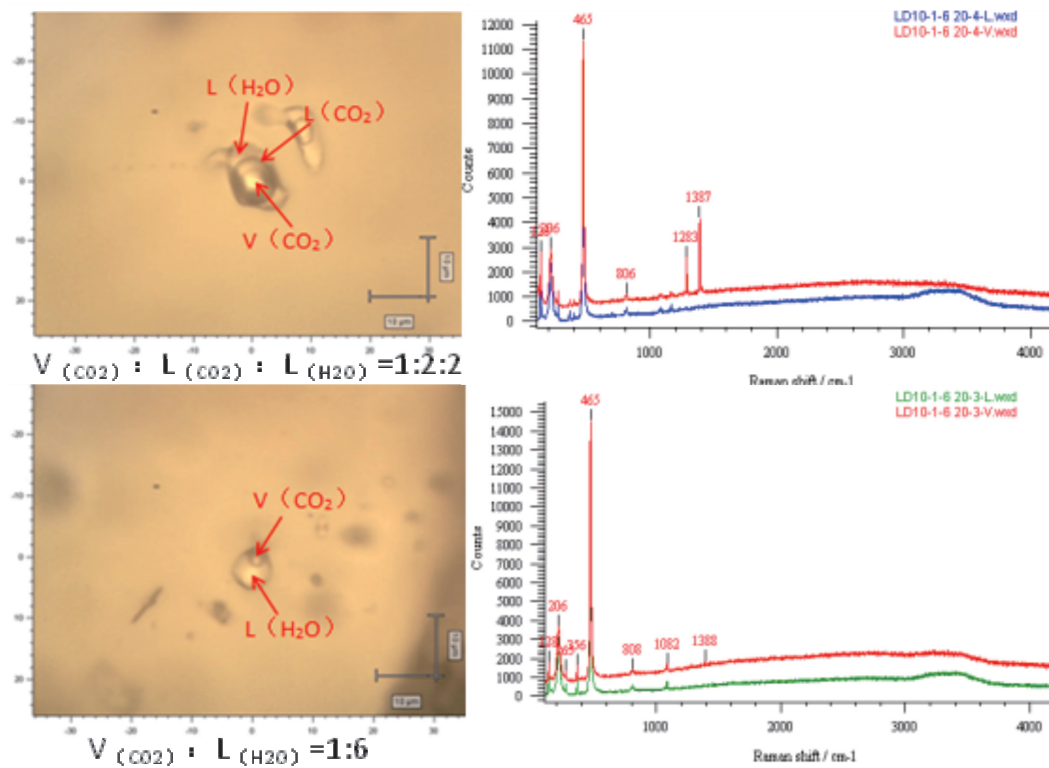


图4 莺歌海盆地东方区黄流组石英裂隙内包裹体成分拉曼图谱

Fig. 4 Raman spectra of inclusions in the quartz fractures of Huangliu formation in the east of Yinggehai Basin

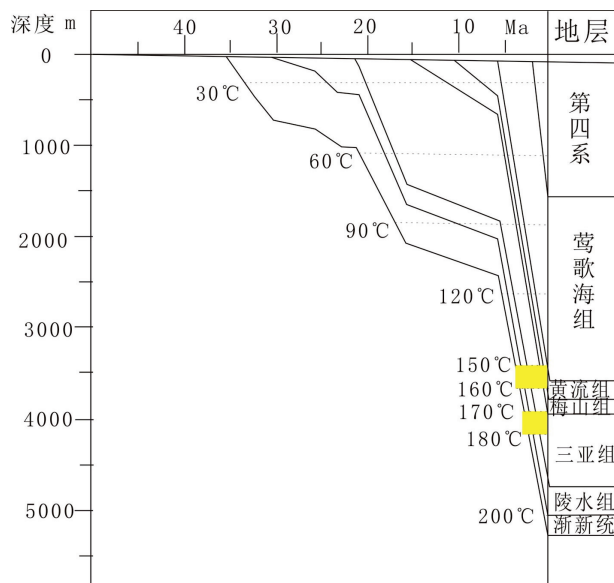


图5 莺歌海盆地埋藏史图(据黄保家,2002^[21]修改)

Figure 5 Burial history of Yinggehai Basin (after Huang Baojia, 2002^[21])

H₂O(液)三种。

(2) 流体包裹体特征说明乐东地区黄流期至少经历两期富含 CO₂ 的热液活动,是埋藏晚期火山活动或深大断裂发育期深层无机 CO₂ 充注成藏的记录。

参考文献:

- [1] 段威,罗程飞,刘建章,等. 莺歌海盆地 LD 区块地层超压对储层成岩作用的影响及其地质意义[J]. 地球科学-中国地质大学学报,2015,40(9):1517-1528.
- [2] 刘平,李绪深,唐圣明,李文龙,童传新. 琼东南盆地南部隆起带天然气水合物赋存特征分析[J]. 沉积与特提斯地质,2017,37(1):73-78.
- [3] 谢玉洪,刘平,黄志龙,等. 莺歌海盆地高温超压天然气成藏地质条件及成藏过程[J]. 天然气工业,2012,32(4):19-23.
- [4] 徐新德. 南海北部莺-琼盆地 CO₂ 成因与成藏特征及其分布规律[J]. 海洋地质前沿,2017,33(7):1-2.
- [5] 杜学斌,姜涛,王振峰,等. 莺歌海盆地 CO₂ 气富集与热流体活动的关系[J]. 海洋地质与第四纪地质,2005,25(2):109-114.
- [6] 何家雄,夏斌,刘宝明,等. 莺歌海盆地泥底辟热流体上侵活动

与天然气及 CO₂ 运聚规律剖析[J]. 石油实验地质,2004,26(4):349-358.

- [7] 何家雄,徐瑞松,刘全稳,等. 莺歌海盆地泥底辟发育演化与天然气及 CO₂ 运聚成藏规律[J]. 海洋地质与第四纪地质,2008,28(1):91-98.
- [8] 何家雄,夏斌,阎贫,等. 莺-琼盆地多源非生物 CO₂ 运聚成藏特征[J]. 天然气工业,2007,27(4):10-14.
- [9] 高煜婷. 莺歌海盆地成岩作用研究与孔隙演化[D]. 黑龙江:东北石油大学,2011.
- [10] 张伟. 南海北部主要盆地泥底辟/泥火山发育演化与油气及天然气水合物成矿成藏[D]. 广州:中国科学院研究生院(广州地球化学研究所),2016.
- [11] 尤丽. 复杂沉积成岩场有利储层评价预测技术及其在南海西部海域的应用[J]. 中国海上油气,2018,30(2):45-53.
- [12] 张瑾爱. 利用重磁资料研究莺-琼盆地构造分界及其两侧断裂特征[D]. 长安:长安大学,2013.
- [13] 刘震,朱文奇,孙强,等. 中国含油气盆地地温-低压系统[J]. 石油学报,2012,33(1):1-17.
- [14] 吕孝威. 莺歌海盆地东方区黄流组成岩作用与储层主控因素研究[D]. 成都:成都理工大学,2014.
- [15] 钟泽红,刘景环,张道军,等. 莺歌海盆地东方区大型海底扇成因及沉积储层特征[J]. 石油学报,2013,34(S2):102-111.
- [16] 苏奥,陈红汉,贺聪,等. 控制储层中异常高孔带发育的成岩作用-以琼东南盆地西部崖城区为例[J]. 中国矿业大学学报,2017,46(2):345-355.
- [17] 郇金来,漆智,杨朝强,等. 莺歌海盆地东方区黄流组一段储层成岩作用机理及孔隙演化[J]. 地质科技情报,2016,35(1):87-94.
- [18] Bodnar R J. Introduction to fluid inclusions. In: Samson I Anderson and Marshall D (eds). Fluid inclusions analysis and interpretation. Mineralogical association of Canada, Short Course Series,2003,32:1-8.
- [19] Goldstein R H and Reynolds T J. Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals. SEPMS short Course,1994,31:199.
- [20] Chi G X and Lu H Z. Validation and representation of fluid inclusion microthermometry data in the fluid inclusion assemblage (FIA) concept. Acta Petrologica Sinica, 2008,24(9):1945-1953.
- [21] 黄保家. 莺琼盆地天然气成因类型及成藏动力学研究[D]. 广州:中国科学院广州地球化学研究所,2002.
- [22] 宋瑞有,丁俊峰,韩光明,等. 莺歌海盆地泥底辟类型及侵入方式[J]. 世界地质,2017,36(4):1235-1223.

Characteristics of fluid inclusions in quartz fractures in Ledong area of Yinggehai Basin and its constraints on gas accumulation

Shui leilei^{1,2}, Liang ru³, Meng Xianghao³, Guo Laiyuan³, Xu Kewei³

(1 *CNOOC Experiment Center (Zhanjiang), Engineering Technology Branch of CNOOC Energy Development Co., Ltd. Zhanjiang 524057, China*; 2 *Engineering Technology Branch of CNOOC Energy Development Co., Ltd. Tianjin, 300452, China*; 3. *State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation (CDUT), chengdu, 610059*)

Abstract: Ledong area in Yinggehai basin is a typical field of high temperature and overpressure gas exploration in China. A large number of fluid inclusions are trapped in the quartz grains of sandstones in Huangliu Formation. Studying its characteristics and composition can analyze the information of gas accumulation in this area. According to the petrography, micro temperature measurement and laser Raman analysis of fluid inclusions, there are two types of fluid inclusions in the Huangliu formation quartz grain fracture: homogeneous and heterogeneous capture. The normally trapped fluid inclusions are mainly distributed between 155-165 °C and 170-180 °C, and the compositions of fluid inclusions are CO₂ (gas) and H₂O (liquid) or CO₂ (gas) and CO₂ (liquid) and H₂O (liquid). The characteristics of fluid inclusions indicate that the Huangliu formation in Ledong area experienced at least two periods of CO₂ rich hydrothermal activity, recording the information of inorganic CO₂ filling and reservoir formation in the late burial stage during volcanic activity or deep fault development.

Key words: fluid inclusion; quartz crack; gas Accumulation; Yinggehai basin