

文章编号:1001-6112(2009)03-0282-05

流体包裹体主要成分及谱学特征研究

——以塔河油区下奥陶统储层为例

殷和平¹, 钱一雄², 陈强路², 顾 忆²

(1. 铜陵学院, 安徽 铜陵 244000;

2. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151)

摘要:通过对塔河油区下奥陶统储层的流体包裹体特征以及拉曼位移和成分特征、主要成分含量(CO₂, CH₄, H₂O 等)与埋藏深度关系等研究发现:①下奥陶统储层中存在 2 大类 8 个种类及 4 种组合的流体包裹体;②下奥陶统储层流体包裹体以富含 CO₂ 与 CH₄ 烃类包裹体和 H₂O—CO₂ 盐水包裹体为主;③在单个包裹体中,甲烷拉曼特征峰随埋藏深度总体是升高趋势,而其相对含量则为先升后降;④二氧化碳拉曼特征峰、相对含量随埋藏深度同时呈下降趋势;⑤水的拉曼特征峰随埋藏深度呈一定的非线性变化趋势;⑥气相中甲烷与二氧化碳的摩尔百分含量呈消长关系;它们均可用于推测油气捕获时的成熟度指标,而水的拉曼位移随埋深变化则可间接判断其溶液介质性质。

关键词:流体包裹体;拉曼光谱;成分分析;拉曼位移;谱特征;下奥陶统;塔河油田

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

APPROACHING TO CHEMICAL COMPOSITION AND APPLICATION OF RAMAN SPECTRUM OF FLUID INCLUSION—TAKING THE LOWER ORDOVICIAN RESERVOIRS IN TAHE AS AN EXAMPLE

Yin heping¹, Qian Yixiong², Chen Qianglu², Gu Yi²

(1. Tongling University, Tongling, Anhui 244000, China;

2. Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi Jiangsu, 214151, China)

Abstract: Based on the studies of chemical composition and features of Raman spectrum (LRM), together with the relationship between the displacement values(ν) of the major chemical composition CO₂, CH₄, H₂O and the buried depth of fluid inclusion, the author has shown that: 1) It can be proposed that there are at least eight types and four assemblages inclusions occurred in the Lower Ordovician reservoirs; 2) The richness of CO₂, CH₄-hydrocarbon and H₂O—CO₂ brine inclusion are dominant in those assemblages; 3) In a single inclusion, the content of methane in gas phase increase initially but decreases at later with increasing that of depth; 4) The displacement value(ν) and content of methane simultaneously decrease with the buried depth of samples; 5) The displacement value(ν) of water presents a non-line covariance with the depth of samples; 6) The contents of methane in gas phase demonstrated a negative linear covariance of its contents carbon dioxide; and the author believed that those parameters can be used as the indicator of maturity of hydrocarbon emplacement.

Key words: fluid inclusion; Raman spectrum; chemical composition analysis; displacement value; the Lower Ordovician; Taihe Oilfield

1 概述

塔河油区位于塔北隆起上,按油藏(田)划分出塔河 1,2,3,4,6 号油藏,其中塔河 1 号、2 号主要

产层为三叠系;塔河 3,4,6 号则为下奥陶统及石炭系。顾忆等人研究表明^[1],本区油气的主要成藏期大致可划分出 4 期:①海西早期以已遭破坏的志留系古油藏为代表;②海西晚期的奥陶系重质油藏;

收稿日期:2008-10-14;修订日期:2009-04-18。

作者简介:殷和平(1962—),男,硕士,副教授,主要从事岩石学等方面的教学和研究。E-mail: yinhp@tlu.edu.cn。

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2005CB422100)和中国石化集团公司新星石油公司项目(XYK-99-46)。

③燕山期—喜马拉雅期的正常油藏为主;④喜马拉雅期晚期的轻质油和凝析气藏。其中,下奥陶统成藏过程主要受区域地质背景以及岩溶发育特征的影响,形成了古风化壳型的岩溶孔—洞—缝型储集层。

流体包裹体是研究存在于矿物和岩石包裹体中的古流体,广泛应用于矿床学、构造地质学、壳幔作用、油气勘探以及岩浆和变质演化等地质学领域^[2~15]。在储层流体包裹体研究中,作者采用了Leitx显微镜热台和Kryomat-1700冷台,完成了17口钻井中的67件包体片包裹体均一测温工作;同时,选送了11件样品16个点的包裹体进行了拉曼探针分析。成分分析是在国土资源部西安地质矿产研究所的法国J-Y公司RAMANOR-U1000型激光拉曼探针仪上进行的,实验条件是Ar⁺激光器波长514.5 nm;激光功率300 mW,双单色器狭缝450 cm⁻¹;色散率9.2 cm⁻¹/mm,光电倍增管高压1 530 V,工作温度23 ℃,湿度65%。

实践证明:拉曼分子微探针(LRM)是通过分子基因及配位体对称性信息等而获得对化合物成分的认识,可用于测定单个包裹体内气液相中各类分子相对摩尔百分比,其分辨率、灵敏度、检出限均较好,对1 μm²以上的包裹体均能进行分析。

2 储层流体包裹体的基本特征

2.1 流体包裹体类型

下奥陶统碳酸盐岩储层的成岩流体包裹体主要集中于溶孔(洞)、裂缝充填物方解石,另外,重结晶作用、硅化作用等产物中也有少量的流体包裹体。

包裹体类型:根据成分及相态,流体包裹体可划分为2大类型8个种类,即盐水流体包裹体中的单相盐水溶液包体(WL)、气态两相盐水溶液包体(WL+V)、含仔晶的盐水溶液包体(WL+V+CR);有机包裹体中的液相烃类包体(OL)、气态烃类包体(OA)、气液两相烃类包体(OL+OV)、沥青质包体(OA)、含液烃类的盐水溶液包体(OL+WL+V)。其中,气液两相盐水溶液包裹体(WL+V):无色、气泡圆而壁细;以次圆形、椭圆形、长方形、细长形为主,少数为卵形、三角形及其它不规则形为主;一般大小以10~15 μm为主,在较大的裂隙及溶孔方解石中,个体往往较大,达20~25 μm甚至出现150 μm大小。而在一些成岩、微孔隙及微裂隙充填物方解石中个体相对小一些,一般为5~10 μm之间,气液比大小可分为4组:1)5%;2)5%~10%;3)10%~15%;4)15%~20%。表1概括了本次拉曼探针成分分析中的流体包裹体的主要特征。

包裹体组合类型:根据同一世代颗粒或同一裂隙方向的包裹体发育特征的统计分析表明,本区碳酸盐岩及碎屑岩中充填物的主要组合类型是以气液两相烃、液相烃、气相烃和盐水包裹体以及含沥青的气液两相烃及气态烃为主以含石盐仔晶的盐水包裹体、气液两相烃以及液相烃和沥青质包裹体次之;而以盐水包裹体组合较少,这可能与取心及取样集中于油层或含油气层有关。

2.2 包裹体谱学特征

一般认为,由于非弹性散射,使频率(波数)发生改变称之为拉曼散射效应。而拉曼位移ν不受入射

表1 塔河油区下奥陶统储层流体包裹体基本特征与成分类型

Table 1 The chemical types of inclusion in Lower Ordovician reservoir of the Tahe Oilfield based on chemical analysis(LRM)

油藏	样品编号	室内编号	埋深/m	产状	成分类型	大小/μm	气液比,%
塔河1号	F22	S ₆₀ -C _{1b} (4)	5 352.00	裂隙	H ₂ O-CH ₄ -CO ₂ -C ₂ H ₄ -C ₂ H ₆ -H ₂ S	6×6	25
	F24	S ₆₀ -O ₁ (2)	5 440.00	中型溶孔	CO ₂ -CH ₄ -C ₃ H ₆ -C ₃ H ₈ -C ₆ H ₆	10	10
	F29	S ₆₀ -O ₁ (7)	5 519.00	中型溶孔	H ₂ O-CO ₂ -CH ₄ -C ₃ H ₆ -C ₃ H ₈	16×7	18
	F30	S ₆₀ -O ₁ (8)	5 520.65	溶孔	CO ₂ -CH ₄ -C ₃ H ₆ -C ₄ H ₆ -H ₂ S	10×5	12
塔河3号	F31(1)	S ₆₁ -O ₁ (1)	5 568.72	溶孔	H ₂ O-CH ₄ -H ₂ S-C ₂ H ₆	20×10	25
	F31(2)	S ₆₁ -O ₁ (1)	5 568.72	溶孔	H ₂ O-CH ₄ -CO ₂ -C ₂ H ₄ -C ₃ H ₈ -C ₆ H ₆	8×4	30
	F32	S ₆₁ -O ₁ (2)	5 571.12	裂隙	CO ₂ -CH ₄ -C ₂ H ₄ -C ₂ H ₆ -C ₆ H ₆ -H ₂ S	15×(1~4)	8
	F34(1)	S ₆₁ -O ₁ (4)	5 668.19	小型溶孔	H ₂ O-CH ₄ -C ₂ H ₂ -C ₃ H ₈ -C ₆ H ₆ -H ₂ S	24×9	15
	F34(2)	S ₆₁ -O ₁ (4)	5 668.19	小型溶孔	H ₂ O-CO ₂ -C ₃ H ₈ -C ₆ H ₆ -H ₂ S	10	6
	F57(1)	T ₃₀₂ -O ₁ (5)	5 590.49	裂隙	H ₂ O-CO ₂ -C ₃ H ₈ -C ₂ H ₆ -H ₂ S	12×6	20
	F57(2)	T ₃₀₂ -O ₁ (5)	5 590.49	裂隙	CO ₂ -CH ₄ -C ₂ H ₄ -C ₄ H ₆ -C ₆ H ₆ -H ₂ S	8×6	10
塔河4号	F57(3)	T ₃₀₂ -O ₁ (5)	5 590.49	裂隙	CO ₂ -C ₃ H ₈ -C ₂ H ₂ -C ₆ H ₆	8×3	
	F60	TK ₄₀₂ -O ₂ (1)	5 373.86	小型溶孔	CO ₂ -C ₂ H ₂ -SO ₂	9×4	12
塔河6号	F44	S ₆₅ -O ₁ (2)	5 476.25	小型溶孔	CO ₂ -CH ₄ -C ₂ H ₆ -C ₃ H ₈ -C ₆ H ₆	10×5	15
	F51(1)	S ₆₇ -O ₁ (2)	5 590.00	小型溶孔	CO ₂ -CH ₄ -C ₃ H ₆ -C ₄ H ₆ -SO ₂	8×4	16
	F51(2)	S ₆₇ -O ₁ (2)	5 591.00	小型溶孔	CO ₂ -H ₂ S-C ₂ H ₂ -C ₆ H ₆	16×(10~1)	

光 ν 。影响,主要受分子内部的能级及分子振动时极化率改变所决定。从光的粒子性分析:斯托克斯线或反斯托克斯线频率与入射光频率之差($\Delta\nu$)称拉曼位移峰值;而从光的波动性来看,由于电子云在交变电场诱导出电偶极距,而分子的振动及极比率改变引起拉曼散射,拉曼位移与其振动常数、折合质量有关。受键类型、原子中(离子)电子诱导作用及共振效应的影响,键类型不同,其力常数不同。一般情形下,随着原子化合价增加,以及力常数增加,拉曼位移增加;而当配位数增加时,键能级和力常数降低,由此导致了位移降低。谱学特征除了拉曼位移外,还包括拉曼散射相对强度、拉曼谱峰形态与包络线等,可采用群论来认识各种分子的结构特征及对复杂的光谱解释。

常见的基团频率主要有: ν_{OH} 为 3 650~3 000 cm^{-1} 、 ν_{C-H} 为 3 000~2 800 cm^{-1} 。由于盐水包裹体中水的极化率小,拉曼散射弱,干扰小;易于对其含溶液中元素组成进行研究。

根据 Fabre 和 Couty(1986)在校正压力值范围 0.1~300 MPa 时 CH_4 对称伸缩模式 ν 峰值呈非线性下降,在人工合成标样中,随着 ν_{CO_2} 的减少,密度(即压力)呈非线性的增加,但至一定值后,变化又不明显^[16](图 1,2)。另外,在盐水溶液中,随着浓度不同,其中的阴离子和水分子的拉曼位移峰值也呈一定的变化规律,对水分子而言,拉曼位移峰值主要呈非线性的增加,上述特征可以用于帮助解释包裹体物理—化学参数。

简单假设捕获的流体包裹体中的气液相分子的内压是随埋深而增加,按照上述实验结果推断: ν_{CH_4} 与 ν_{CO_2} 应出现非线性递减,不同深度下拉曼位移值作图可见(图 3): ν_{CH_4} 不仅不随埋深而降低,反而总体呈升高趋势。由于在液相中 CH_4 含量与其分压有关,而其拉曼位移是与溶液浓度与极性有关。因此,上述趋势可能由于:1)在含 Cl^- 和 SO_4^{2-}

溶液中,由于酸性较强的 Cl^- (SO_4^{2-}) 对其产生诱导作用,致使拉曼位移向高频方向移动(图 3a);2) 压力对液相中 ν_{CH_4} 影响较少;3)由于液态烃中的荧光吸收往往大大强于拉曼散射,因此,会影响其位移值变化。而从气态中 CH_4 的拉曼位移峰与埋深关系来看(图 3b),拉曼位移呈不规则变化,考虑到气态

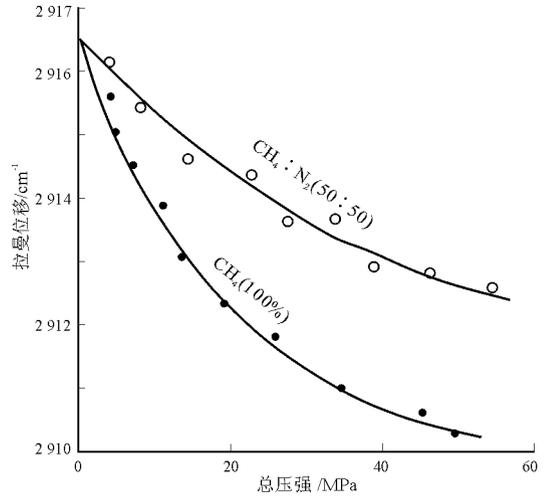


图 1 包裹体中 ν_{CH_4} 与压力之关系^[16]

Fig. 1 Diagram showing the relationship between ν_{CH_4} and pressure of inclusion

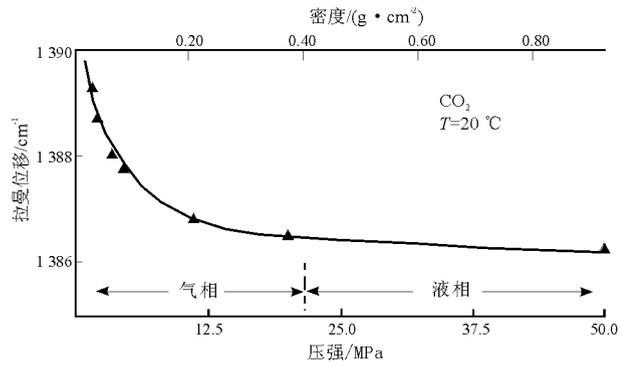


图 2 包裹体 ν_{CO_2} 与密度、压力的关系

Fig. 2 Diagram showing the relationship among ν_{CO_2} , density and pressure

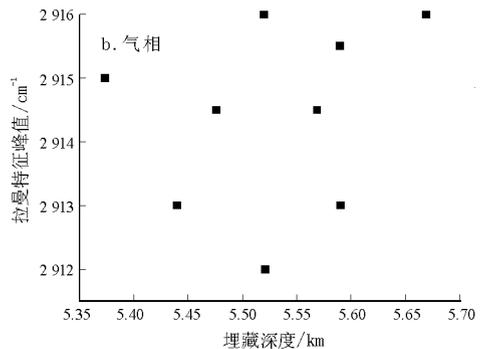
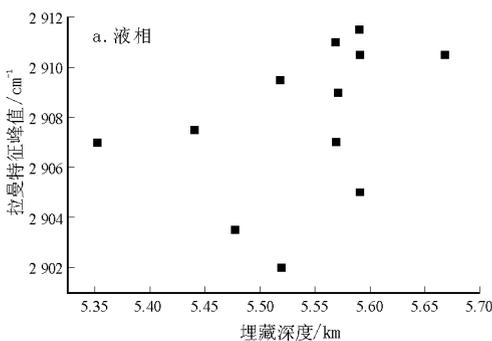


图 3 CH_4 拉曼特征位移峰与埋深的关系

Fig. 3. Correlation of ν_{CH_4} with the buried depth of inclusions

的 CH_4 是一个典型的非极性化合物,分子间相互作用很小,而内压对其影响也较小,几乎可近似地视为游离分子,按静压计算的埋深相隔 0.3 km 的静压力差约为 4.5 MPa,不足引起 CH_4 的键长缩小,键角的改变(经 sp 杂化 sp_3 键长为 109 pm,键角 $109^\circ 28'$),从而改变 ν 值;从图 4 中也看出,在垂向上,包裹体捕获时并不属于同一体系。将包裹体中甲烷的摩尔相对百分比含量与其埋深进行作图发现(图 4):液相中甲烷的摩尔相对含量,总体均呈“先升后降”的非线性变化;而气相中变化不规则,甲烷含量最高为 34%,一般均在 5%~10%左右,这表明在晚成岩作用期,地层流体存在烃类及其它气体,应为一种不同相态的不混溶流体。同时,流体包裹体可以捕获不同期次、不同成熟度运移的烃类流体,这种认识可从成岩后期多期次的构造裂隙、表生岩溶作用产生具有孔洞缝网络结构的储集体系得到佐证。而液相中“先升后降”总体服从随压力增加,甲烷含量升高的变化趋势,但到一定埋藏深度,在表生潜流带以下,受储集空间发育条件所限而降低。这种情形是否代表运移效应,抑或是油藏储层非均质、烃源岩成熟度差异,有待于

深入研究。

对 CO_2 拉曼位移数据与埋深进行图解表明(图 5),随着埋深增加,包裹体中液相的 ν_{CO_2} 呈下降趋势,推测可能它主要对应于密度的升高和压力的增加,键能级和力常数降低,导致位移降低,这与图 1 的人工实验结果基本对应。但气相中 ν_{CO_2} 变化不明显,但在埋深 5 570~5 580 m 左右,其位移特征峰呈急剧性跳跃变化。同样,随着埋深增大(图 6),即地层压力增大,包裹体液相中的 CO_2 摩尔相对百分比含量反而总体呈下降趋势,而包裹体对应气相中呈“先升后降”,而在埋深 5 570~5 590 m 呈急剧跳跃变化,这与甲烷随埋深呈“镜像”映射,这可能受相同的地质过程制约,主要受烃类热演化程度影响。

从 $\nu_{\text{H}_2\text{O}}$ 随埋深变化可见(表 2):①即使位于同样深度,如 F31(1)、(2)和 F34(1)、(2)中,同一岩样的不同包裹体,由于其溶液介质成分或浓度差异,也导致了对应的 $\nu_{\text{H}_2\text{O}}$ 存在较大差异, $\nu_{\text{H}_2\text{O}}$ 相差分别达 45 cm^{-1} 和 20 cm^{-1} ;②由于介质中的阴离子成分不同,造成不同阴离子以及不同介质浓度中的水分子的拉曼光谱值呈不同的特征。本次分析表明:包裹

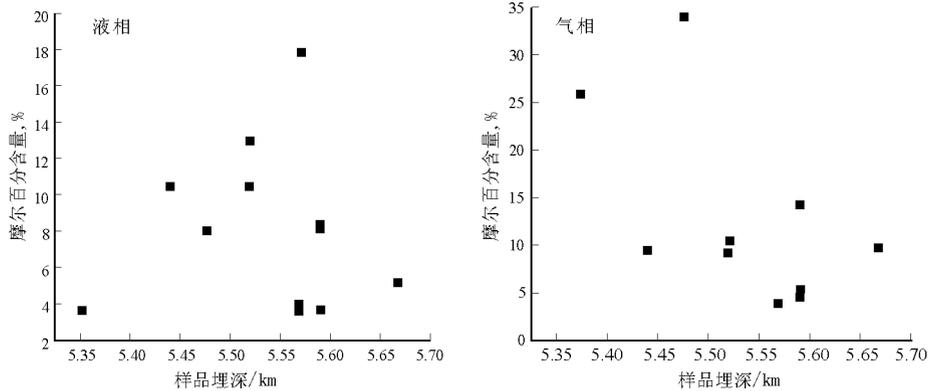


图 4 包裹体中甲烷的相对摩尔百分比含量随埋深变化

Fig. 4 Correlation of the relative molecular fraction of methane with the buried depth of inclusions

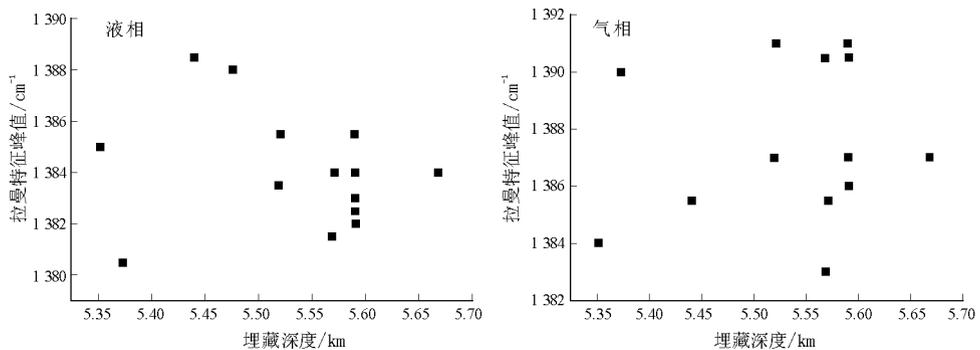


图 5 ν_{CO_2} 与埋深的关系

Fig. 5 Correlation of ν_{CO_2} with the buried depth of inclusions

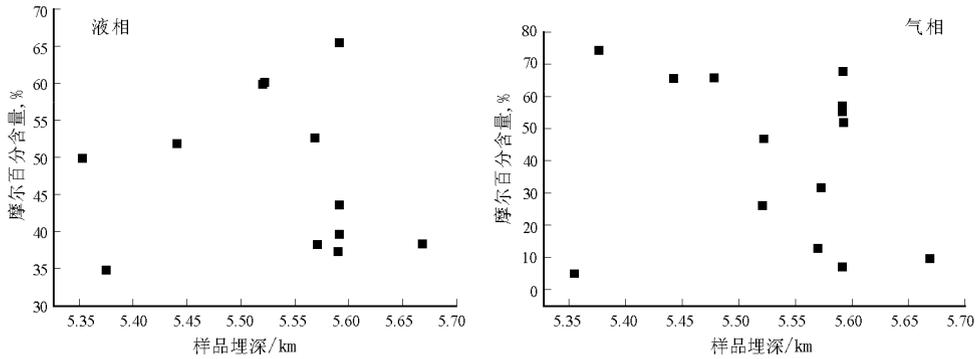


图 6 包裹体中 CO₂ 的相对摩尔百分含量随埋深变化

Fig. 6 Correlation of the relative molecular fraction with the variation of buried depth in inclusions

表 2 包裹体中 CO₂ 和 CH₄ 的拉曼特征峰值

Table 2 The distinctive displacement values for CO₂ and CH₄ in inclusions

样品编号	室内编号	埋深/m	气相		液相			阴离子浓度/%
			$\nu_{\text{CO}_2}/\text{cm}^{-1}$	$\nu_{\text{CH}_4}/\text{cm}^{-1}$	$\nu_{\text{CO}_2}/\text{cm}^{-1}$	$\nu_{\text{CH}_4}/\text{cm}^{-1}$	$\nu_{\text{H}_2\text{O}}/\text{cm}^{-1}$	
F57(1)	T ₃₀₂ -O ₁ (5)	5 590.49	1 386.0	2 913.0	1 363.0	2 910.5	3 370.0	0.12
F57(2)	T ₃₀₂ -O ₁ (5)	5 590.49	1 387.0		1 382.5	2 905.0		2.79
F57(3)	T ₃₀₂ -O ₁ (5)	5 590.49			1 384.0			
F60	TK ₄₀₂ -O ₂ (1)	5 373.86	1 390.0	2 915.0	1 380.5			7.92
F22	S ₆₀ -C _{1b} (4)	5 352.00	1 384.0		1 385.0	2 907.0	3 270.0	
F24	S ₆₀ -O ₁ (2)	5 440.00	1 385.5	2 913.0	1 388.5	2 907.5		0.07
F29	S ₆₀ -O ₁ (7)	5 519.00	1 387.0	2 916.0	1 383.5	2 909.5	3 285.0	2.26
F30	S ₆₀ -O ₁ (8)	5 520.65	1 391.0	2 912.0	1 385.5	2 902.0		
F31(1)	S ₆₁ -O ₁ (1)	5 568.72	1 390.5			2 907.0	3 365.0	0.15
F31(2)	S ₆₁ -O ₁ (1)	5 568.72	1 383.0	2 914.5	1 381.5	2 911.0	3 320.0	2.28
F32	S ₆₁ -O ₁ (2)	5 571.12	1 385.5		1 384.0	2 909.0		0.44
F34(1)	S ₆₁ -O ₁ (4)	5 668.19	1 387.0	2 916.0		2 910.5	3 315.0	0.19
F34(2)	S ₆₁ -O ₁ (4)	5 668.19			1 384.0		3 335.0	4.29
F44	S ₆₅ -O ₁ (2)	5 476.25		2 914.5	1 388.0	2 903.5		18.80
F51(1)	S ₆₇ -O ₁ (2)	5 590.00	1 391.0	2 915.5	1 385.5	2 911.5		0.30
F51(2)	S ₆₇ -O ₁ (2)	5 591.00	1 390.5	2 913.0	1 382.0			

体盐水溶液中的主要阴离子包括 SO₄²⁻, CO₃²⁻, Cl⁻ 等,其摩尔浓度 SO₄²⁻ 为 0.1~0.4 mol/L, HCO₃⁻ 为 0.1~0.2 mol/L, Cl⁻ 为 0~2.6 mol/L. 3 种主要组成代表了不同时期不同介质流体包裹体。

进一步研究还表明(图 7):包裹体中的甲烷,尤其是气相中的甲烷的摩尔相对含量与二氧化碳的摩尔相对含量往往呈消长关系。在未成熟阶段,其成分以含 H₂O 及 CO₂ 为主;低成熟阶段 H₂O 消失,开始出现 CH₄;演化程度愈高,CH₄ 含量愈高,而 CO₂ 含量逐渐减少直至消失。

3 讨论与结论

1)下奥陶统储层中存在 2 大类 8 个种类的流体包裹体,以富含 CO₂ 与 CH₄ 烃类包裹体和 H₂O-CO₂ 盐水包裹体为主。

2)液相中,甲烷拉曼特征峰随埋藏深度增加总体是升高趋势,而其相对含量则为先升后降。

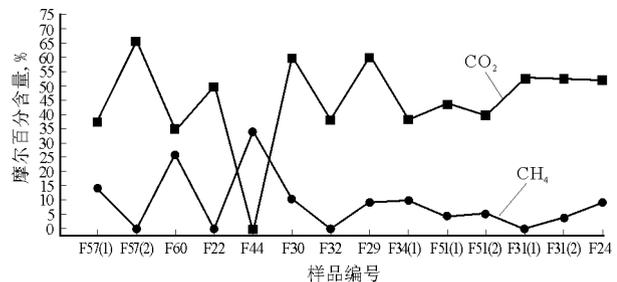


图 7 单个包裹体中气相中 CH₄ 与 CO₂ 的摩尔百分含量间的消长关系
样品编号同表 2。

Fig. 7 The negative correlation of the relative molecular fraction CH₄ and that of CO₂ in gas phase of single inclusion

3)二氧化碳拉曼特征峰、相对含量随埋藏深度增加同时呈下降趋势。

4)水的拉曼特征峰随埋藏深度增加呈一定的
(下转第 291 页)

参考文献:

1 刘崇禧. 石油与天然气地表地球化学勘探技术规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997. 1~2

2 Requejo A G, Sassen R, MSdonild T, et al. Polynuclear aromatic hydrocarbons(PAH)as indicators of the source and maturity of marine crude oils[J]. *Organic Geochem*, 1996, 25(11): 10~17

3 陈致林, 李素娟, 王 忠. 低一中成熟演化阶段芳烃成熟度指标的研究[J]. *沉积学报*, 1997, 15(2): 192~197

4 Rubio S. Analytical application of synchronous fluorescence spectroscopy[J]. *Talanta*, 1986, 33(8): 633~640

5 汤玉平, 唐艳玲, 胡 斌等. 荧光光谱在垂向微运移研究中的应用[J]. *石油与天然气地质*, 2000, 21(4): 370~371

6 王国建, 程同锦, 卢丽等. 烃类垂向微渗漏近地表显示与运移通道的关系[J]. *石油实验地质*, 2008, 30(3): 302~306

7 汤玉平, 刘运黎. 烃类垂向微运移的地球化学效应及其机理讨论[J]. *石油实验地质*, 2002, 24(5): 431~435

8 李广之, 程同锦, 汤玉平等. 物理吸附气的油气指示意义[J]. *石油实验地质*, 2006, 28(5): 485~488

9 程同锦, 李广之, 陈银节. 吸附烃提取新技术及其在地表油气化探中的应用[J]. *石油实验地质*, 2007, 29(2): 116~119

10 李广之, 程同锦, 汤玉平等. 地表土壤中物理吸附轻烃的石油地质意义[J]. *石油与天然气地质*, 2006, 27(5): 689~695

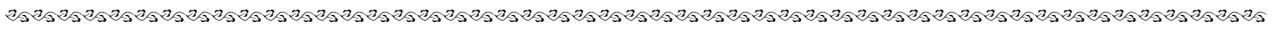
11 李广之, 胡 斌, 邓天龙等. 不同赋存状态轻烃的分析及石油地质意义[J]. *天然气地球科学*, 2007, 18(1): 111~116

12 宋继梅, 程 桂, 伍大俊. 原油样品芳烃同步荧光光谱测定技术[J]. *石油勘探与开发*, 1998, 25(4): 20~21

13 宋继梅, 王凌峰. 油气样品的固定波长同步荧光光谱特征研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2002, 22(5): 803~805

14 雍克岚. 三维荧光光谱指纹技术及其在石油地球化学勘探中的应用[J]. *石油实验地质*, 2000, 21(4): 370~371

(编辑 徐文明)



(上接第 286 页)

非线性趋势。

5)在单个包裹体中,气相中甲烷与二氧化碳的摩尔百分含量呈消长关系,由此认为,单个包裹体中的甲烷含量和二氧化碳含量均可用作推测代表捕获油气的成熟度指标;而 ν_{H_2O} 随埋深变化则可以间接判断其溶液介质性质;若与油田水相比较研究,可帮助了解油气藏运移与保存条件的变化;而 ν_{CH_4} 、 ν_{CO_2} 随埋深的非线性变化表明:流体包裹体捕获时还受运移通道、不同期次、流体性质等因素影响。

必须指出,由于用于拉曼探针包裹体标准样品缺乏,在不同物理化学条件下,拉曼位移峰值变化规律还不十分清楚;同时,除与成分及其含量有关外,拉曼散射强度、位移量还与包裹体大小、形状、嵌入深度、主矿物的折射性等性质有关,尤其是受介质溶液产生诱导作用以及荧光效应影响较强,因此,上述一些认识仍是初步的,有待于进一步深入研究。

参考文献:

1 顾 忆. 塔里木盆地北部塔河油田油气藏成藏机制[J]. *石油实验地质*, 2000, 22(4): 307~312

2 秦建中, 饶 丹, 蒋 宏等. 高演化海相碳酸盐岩层系古温标的直接指标——包裹体均一温度[J]. *石油实验地质*, 2008, 30(5): 494~498

3 杨惠民. 包裹体类型和成分特征在油气运移研究和油气储层评价中的应用[J]. *海相油气地质*, 1997, 2(3): 16~21

4 谢奕汉, 范宏瑞, 王英兰. 石油包裹体与石油成熟度及油气演化[J]. *海相油气地质*, 1999, 4(3): 32~35

5 肖 晖, 任战利, 崔军平. 塔里木盆地孔雀 1 井志留系含气储层成藏期次研究[J]. *石油实验地质*, 2008, 30(4): 357~361

6 赵力彬, 黄志龙, 高 岗等. 关于用包裹体研究油气成藏期次问题的探讨[J]. *油气地质与采收率*, 2005, 12(6): 6~9

7 李荣西, 席胜利, 邸领军. 用储层油气包裹体岩相学确定油气成藏期次——以鄂尔多斯盆地陇东油田为例[J]. *石油与天然气地质*, 2006, 27(2): 194~199

8 官 色, 彭平安, 刘东鹰. 江苏地区句容凹陷油气充注史研究[J]. *石油实验地质*, 2007, 29(5): 500~505

9 张 莉, 柳广弟, 谢增业等. 川西前陆盆地南部储层流体包裹体特征及其在天然气成藏研究中的应用[J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(6): 800~807

10 李传华. 东营凹陷王庄—宁海地区流体包裹体分析与流体充注研究[J]. *油气地质与采收率*, 2006, 13(1): 34~36

11 冯 乔, 马硕鹏, 樊爱萍. 鄂尔多斯盆地上古生界储层流体包裹体特征及其地质意义[J]. *石油与天然气地质*, 2006, 27(1): 27~32

12 欧光习, 李林强, 孙玉梅. 沉积盆地流体包裹体研究的理论与实践[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2006, 25(1): 1~11

13 张金亮, 杨子成. 流体包裹体分析方法在惠民凹陷油气成藏研究中的应用[J]. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 2008, 32(6): 33~38

14 袁玉玲, 皇甫红英. 塔里木盆地塔河南地区良里塔格组成岩环境及油气成藏期次[J]. *石油实验地质*, 2008, 30(6): 580~584

15 宗国洪, 卓勤功, 郝雪峰等. 利用有机包裹体恢复油藏油气充注史及应用实例[J]. *油气地质与采收率*, 2002, 9(3): 49~51

16 徐培苍, 李如璧, 王永强. 地学中的拉曼光谱[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1996. 78~114

(编辑 徐文明)