

NaCl-CaCl₂ 盐水低温拉曼光谱特征及在包裹体分析中的应用

毛 毳¹, 陈 勇^{1,2*}, 周瑶琪¹, 葛云锦¹, 周振柱¹, 王有智³

1. 中国石油大学(华东)地球资源与信息学院, 山东 东营 257061

2. 提高石油采收率国家重点实验室(中国石油勘探开发研究院), 北京 100083

3. 中国石油大庆油田勘探开发研究院 黑龙江 大庆 163000

摘 要 准确判断流体包裹体的含盐类型及盐度的定量计算一直是流体包裹体研究的重要内容。传统测试包裹体盐度的方法主要是冷冻法, 为了克服冷冻相变不易观测等缺点, 作者利用激光拉曼光谱在低温(-180 ℃)下测试了 NaCl-H₂O, CaCl₂-H₂O 及 NaCl-CaCl₂-H₂O 体系溶液图谱, 发现在低温(-180 ℃)下 NaCl·2H₂O 和 CaCl₂·6H₂O 两水合物在 3 420 和 3 432 cm⁻¹ 处峰值与冰晶的 3 092 cm⁻¹ 峰值比和盐度之间有很好的线性关系, 建立了流体包裹体盐度的工作曲线。该方法用人工合成碳酸盐岩含烃盐水包裹体进行了验证, 并在东营凹陷丰深 6 井石英盐水包裹体进行了实例分析。结果表明, 低温拉曼光谱技术不仅可识别盐的类型, 也可确定盐度, 应用效果良好。

关键词 NaCl-H₂O 体系; CaCl₂-H₂O 体系; NaCl-CaCl₂-H₂O 体系; 拉曼光谱; 流体包裹体

中图分类号: O657.3 文献标识码: A DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2010)12-3258-06

引 言

流体包裹体的盐度是了解古地质时期流体的化学性质、矿床与油气形成演化的重要参数^[1]。在各种盐类中, 以 NaCl, CaCl₂ 较为常见, 本文对 NaCl-H₂O, CaCl₂-H₂O 及 NaCl-CaCl₂-H₂O 体系进行了讨论。冷冻法是研究包裹体盐水和盐度的基本方法之一^[2-4], 但在实际应用中会出现包裹体相变过程难以观察及盐度冰点经验公式适用范围较小等缺点。自 Mernagh 和 Dubessy 等^[5-7] 提出用激光拉曼光谱技术分析流体包裹体盐度以来, 国内外许多学者也进行了大量的试验。Samson 等^[8] 利用激光拉曼光谱对 NaCl-CaCl₂-H₂O 体系进行了冷冻状态下的水合物研究, 张冀等^[9] 研究了-170 ℃钠盐溶液阴离子拉曼特征及浓度定量分析。此外, Nie, Baumgartner, Bakker, 吕新彪和陈勇等^[10-15] 也进行过大量的研究和讨论。在前人研究的基础上, 本文分析了 NaCl-H₂O, CaCl₂-H₂O 及 NaCl-CaCl₂-H₂O 体系低温下水合物特征峰, 并利用特征峰强度比值法进行盐度的定量讨论, 分析结果精度高, 解决了含烃盐水包裹体难以准确测定冰点

的问题。

1 原 理

代表水分子拉曼伸展振动的高频峰是宽大的包络线, 使水的拉曼峰强度无法精确的确定, 对于一些在常温下难以获得特征拉曼信号的离子, 可以通过低温冷冻测定冰晶和无机盐类水合物的特征拉曼峰。Dubessy^[6] 在-170 ℃下用拉曼较好地测出了各种含水氯盐在 3 090~3 536 cm⁻¹ 为尖锐的拉曼峰值而不是包络线, 这就为确定水的拉曼特征和氯盐在水中的拉曼特征提供了思路。分子拉曼光谱是由分子振动的极化率改变引起的, 在低温下拉曼信号的强度与被激发的分子数成正比, 在溶液也就是跟溶质的浓度成正比, 因此可以通过其拉曼强度的变化来判断其浓度。该方法是针对具有明显特征峰的盐溶液采用的, 可将其称为特征峰强度比值法。对 NaCl-H₂O, CaCl₂-H₂O 及 NaCl-CaCl₂-H₂O 反复降温至-180 ℃, 体系平衡后可以形成较好的冰晶和水合物, 可以建立盐溶液浓度和激光拉曼特征峰的线性关系。

收稿日期: 2010-02-26, 修订日期: 2010-05-28

基金项目: 国家(863 计划)项目(2007AA06Z210), 国家自然科学基金项目(40902040, 40772082), 中国石油科技创新基金项目(2010D-5006-0106)资助

作者简介: 毛 毳, 女, 1984 年生, 中国石油大学(华东)地球资源与信息学院博士研究生 e-mail: maocui_2008@163.com

* 通讯联系人 e-mail: yongchen@hpu.edu.cn, chyhdpu@yahoo.com.cn

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2 实验条件与实验过程

2.1 仪器及测试条件

所有实验都在石油大学地球化学与岩石圈动力学开放实验室内完成。实验中所用到的仪器是法国 Jobin Yovin LabRanr 010 的激光拉曼光谱仪, 配有 Labspec 软件, 实验前用单晶硅片对拉曼光谱仪进行校正。实验使用 5 mm 厚比色皿作为液体样品池, 50× 物镜, 氦离子激光源, 波长为 514 532 nm, 功率 100 mW, 共焦孔 1 000 μm, 狭缝 400 μm, 扫描范围 100~ 4 000 cm^{-1} , 积分时间为 20 s, 扫描次数为三次。温度控制采用英国 Linkam THMS 600 冷热台, - 196~ 100 $^{\circ}\text{C}$ 的误差为 0.1 $^{\circ}\text{C}$, 冷冻和升温的速率是 10 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

2.2 样品的选择和配置

在现今国内外对 $\text{NaCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 及 $\text{NaCl} \cdot \text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 体系的研究中一般都采用合成流体包裹体的手段来进行, 但对其合成的包裹体盐度最后还是要靠冰点法来校正。由于包裹体中冷却时容易出现浓度不均匀现象, 造成检测结果误差增大, 因此我们采用直接配置标准盐溶液方法进行实验。依次配置质量分数(盐度)分别为 5%, 10%, 15%, 20% 和 25% 的 NaCl 和 CaCl_2 盐水溶液, 以及 NaCl 和 CaCl_2 质量比为 1 : 1, 总质量分数分别为 5%, 10%, 15%, 20% 和 25% 的 $\text{NaCl} \cdot \text{CaCl}_2$ 混合溶液。

2.3 实验过程

将配置的盐水溶液, 取一小滴于样品池内, 在冷热台上冷却至 - 180 $^{\circ}\text{C}$ 时测试其拉曼光谱, 发现它们的冰晶有完美的尖峰 3 091 cm^{-1} , 但水合物的拉曼光谱尖峰不明显, 再回温至初熔温度或低共熔温度以上, 重新冷却至 - 180 $^{\circ}\text{C}$, 反复三次得到了信噪比较好的图谱, 如图 1—图 3 所示。反复冷冻的主要原因是第一次冷却时间较短, 冷却速度大于分子扩散速度, 形成的水合物不够均匀, 而经过回温再冷却, 就形成了比较均一的晶体, 这也是实际应用中测试流体包裹体盐度时要特别注意的地方。三次冷却后, 不同质量分数的盐水溶液都呈现出了明显尖峰的拉曼峰而不再是水的包络线, 冰有突出而稳定的 3 089~ 3 108 cm^{-1} 拉曼峰^[4]。

3 实验结果

3.1 $\text{NaCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$ 体系

$\text{NaCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$ 体系在 - 20.8 $^{\circ}\text{C}$ 以下固结为冰和 $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (水石盐), 因此在冷冻回温过程中, 要注意回温至 - 20.8 $^{\circ}\text{C}$ 以上。三次冷却后, - 180 $^{\circ}\text{C}$ 下 $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 在 3 403~ 3 440 cm^{-1} 之间也有三个比较稳定的拉曼峰(3 403, 3 420 和 3 433 cm^{-1}) 和末端的一个 3 536 cm^{-1} 峰, 其中以 3 420 cm^{-1} 峰值最为突出和稳定, 同时冰晶的拉曼峰值(3 091 cm^{-1}) 随着溶液浓度的增加而减弱, 这主要是因为拉曼的相对强度是与参与散射的分子数成正比而造成的(图 1)。

3.2 $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 体系

$\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 体系的初熔温度为 - 49.5 $^{\circ}\text{C}$ ^[16, 17], 低于此温度 $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 体系形成冰和 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (南极石) 两种

固相。冷冻回温至 - 49.5 $^{\circ}\text{C}$ 以上, 三次冷冻后, 在 - 180 $^{\circ}\text{C}$ 下测得水合物 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 在 3 300~ 3 440 cm^{-1} 之间, 有三个比较明显而完整的拉曼峰(3 386, 3 406 和 3 432 cm^{-1})^[6], 其中以 3 432 cm^{-1} 峰值最为突出和稳定, 随着溶液浓度的增加 3 432 cm^{-1} 峰强度明显增强(图 2)。

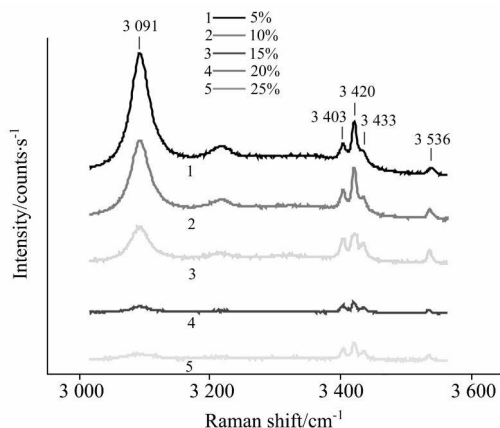


Fig 1 Comparative Raman spectra of ice crystal with various concentrations and $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ at - 180 $^{\circ}\text{C}$ by freezing three times

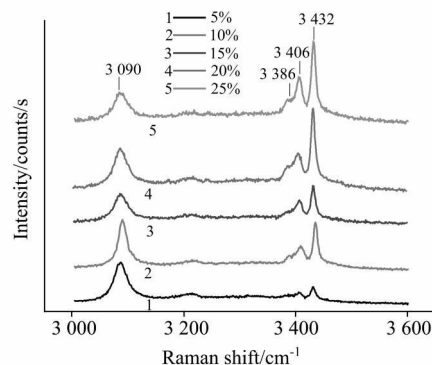


Fig 2 Comparative Raman spectra of ice crystal with various concentrations and $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ at - 180 $^{\circ}\text{C}$ by freezing three times

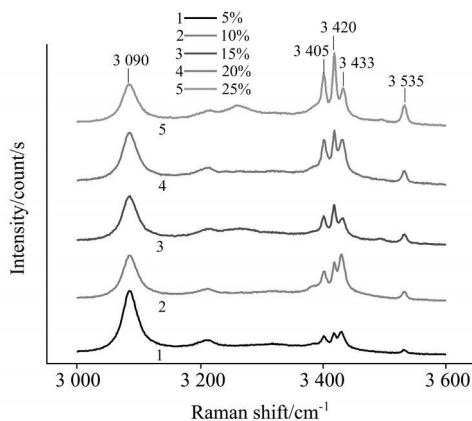


Fig 3 Comparative Raman spectra in the $\text{NaCl} \cdot \text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ system with various concentrations at - 180 $^{\circ}\text{C}$ by freezing three times

3.3 NaCl-CaCl₂-H₂O 体系

NaCl-CaCl₂-H₂O 体系的低共熔温度为 - 52 ℃^[17], NaCl-CaCl₂-H₂O 体系回温至 - 52 ℃左右, 会发生相变现象。观察到相变发生后, 即可再次冷冻。低温下, NaCl-CaCl₂-H₂O 体系主要出现的固相有冰、NaCl、NaCl·2H₂O、CaCl₂·6H₂O。NaCl-CaCl₂-H₂O 体系三次冷冻后, - 180 ℃温度下测得 NaCl·2H₂O 峰在 3 535 cm⁻¹, 而在 3 380~3 450 cm⁻¹之间, NaCl·2H₂O 的 3 403 cm⁻¹和 CaCl₂·6H₂O 的 3 406 cm⁻¹重叠在 3 405 cm⁻¹位置, 而 NaCl·2H₂O 和 CaCl₂·6H₂O 的特征峰 3 433 和 3 432 cm⁻¹合并为 3 433 cm⁻¹, 3 420 cm⁻¹是 NaCl-CaCl₂-H₂O 三种物质混合的峰,

随着混合物浓度的增大 3 420 cm⁻¹强度也明显增强(图 3)。

3.4 拉曼光谱特征与盐类浓度的相关性

经过三次冷却得到信噪比很好的激光拉曼图谱后, 由软件 Labspec4.02 直接读出 NaCl-H₂O 体系和 CaCl₂-H₂O 体系谱图的特征峰峰强度(表 1 和表 2)。由于拉曼峰的强度受焦距、测试位置、液滴大小等多种因素的影响, 所以不能单纯依靠水合物的特征峰强度来表征溶液浓度, 可以通过水合物特征峰与冰峰的比值来说明。从表 1 和表 2 的数据可以看出, NaCl·2H₂O 和 CaCl₂·6H₂O 特征峰的峰值与冰峰的比值, 随浓度增加都有增强的趋势。

Table 1 Characteristics of Raman spectra in the systems ice crystal and NaCl·2H₂O

NaCl	I _{3 091}	I _{3 403}	I _{3 420}	I _{3 433}	I _{3 536}	I _{3 403} /I _{3 091}	I _{3 420} /I _{3 091}	I _{3 433} /I _{3 091}	I _{3 536} /I _{3 091}
5%	171 926 0	70 366 1	95 206 1	62 986 1	42 466 1	0 409 3	0 553 8	0 366 4	0 247 0
10%	124 395 5	68 555 5	92 505 5	60 865 5	46 335 5	0 551 1	0 743 7	0 489 3	0 372 5
15%	76 864 9	62 744 9	68 804 9	58 744 9	50 204 9	0 816 3	0 895 2	0 764 2	0 653 2
20%	36 223 9	38 203 9	40 763 9	35 183 9	31 903 9	1 054 6	1 125 4	0 971 3	0 880 7
25%	32 570 8	39 770 8	44 795 8	35 345 8	30 345 8	1 221 0	1 375 3	1 217 3	0 931 7

注: I 为峰强度, 单位为 Count·s⁻¹。表 2 和表 3 同表 1。

Table 2 Characteristics of Raman spectra in the systems ice crystal and CaCl₂·6H₂O

CaCl ₂	I _{3 090}	I _{3 386}	I _{3 406}	I _{3 432}	I _{3 386} /I _{3 090}	I _{3 406} /I _{3 090}	I _{3 432} /I _{3 090}
5%	272 069	96 727	107 423	137 269	0 355 5	0 394 8	0 504 5
10%	356 529	158 918	212 686	343 129	0 445 7	0 596 5	0 962 4
15%	300 627	204 714	265 469	343 427	0 681 0	0 883 0	1 142 4
20%	449 239	419 962	543 932	669 839	0 934 8	1 210 8	1 491 1
25%	458 212	353 655	423 723	739 612	0 771 8	0 924 7	1 614 1

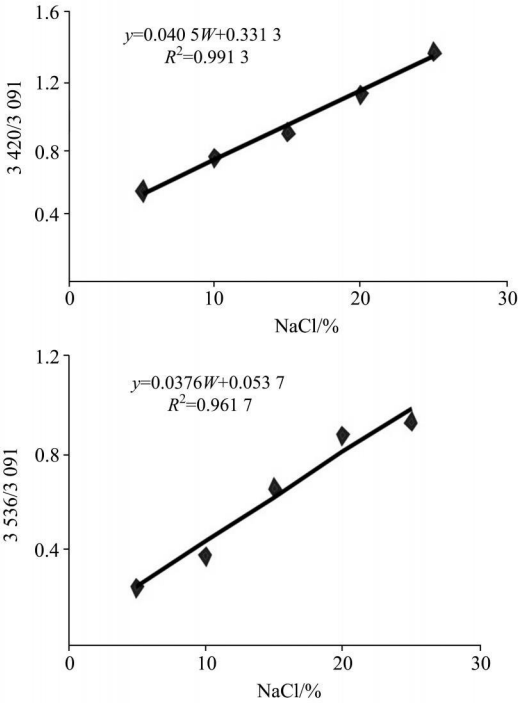
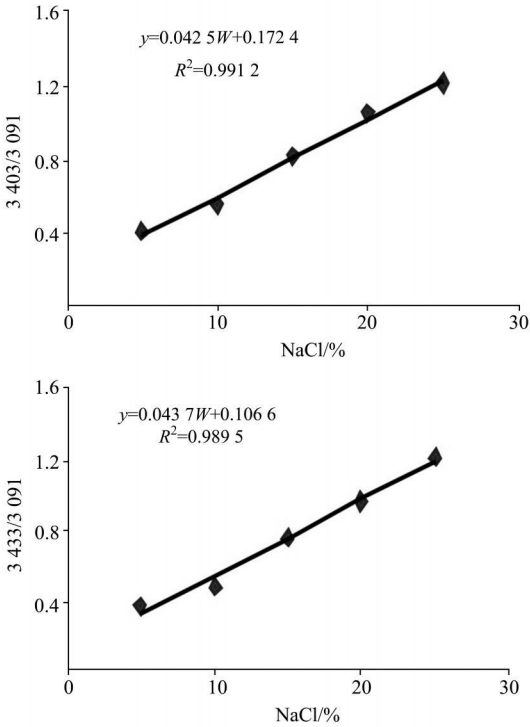


Fig 4 Correlation between Raman spectra intensity ratio of NaCl·2H₂O/ice crystal and salinity of solution

对 $\text{NaCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$ 体系的实验数据进行曲线拟合, 得到 $3\,420\text{ cm}^{-1}/3\,091\text{ cm}^{-1}$ 的比值 (Y) 与 NaCl 盐水溶液浓度 (W) 的线性关系最好, 拟合方程为 $Y=0.040\,5W+0.331\,3$, 其中, W 为浓度 (%)。

对 $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 体系的实验数据进行曲线拟合, 得到 $3\,432/3\,090\text{ cm}^{-1}$ 的比值 Y 与 CaCl_2 盐水溶液浓度 W (%) 的

线性关系最好, 拟合方程为 $Y=0.055W+0.318\,6$ 。

而对于 $\text{NaCl} \cdot \text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 体系, 当 NaCl 和 CaCl_2 等质量时, 可以直接通过谱图大致判断溶液的浓度范围。混合物的峰 $3\,420\text{ cm}^{-1}$, 随着混合物浓度的增大强度明显增强(表 3), 但是相关性的线性关系不是很好, 可以粗略的计算混合物总盐度。

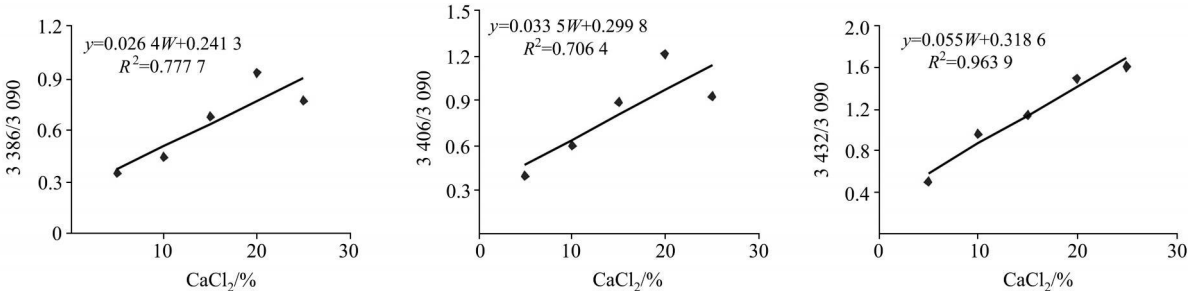


Fig 5 Correlation between Raman spectra intensity ratio of $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ / ice crystal and salinity of solution

Table 3 Characteristics of Raman spectra in $\text{NaCl} \cdot \text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ system

$\text{NaCl} \cdot \text{CaCl}_2$	$I_{3\,090}$	$I_{3\,420}$	$I_{3\,420}/I_{3\,090}$
5%	740 680 7	313 936 8	0 423 8
10%	607 594 5	539 236 7	0 887 5
15%	712 710 3	621 232 3	0 871 6
20%	853 103 0	879 746 8	1 031 2
25%	650 507 6	967 922 8	1 488 0

4 应用实例

根据建立的标准曲线, 可以将未知浓度的盐溶液多次冷冻至 $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后测其典型拉曼峰, 判断含盐类型, 并算出特

征峰与冰峰的比值, 代入相应盐体系的拟合公式中得到其相应的溶液浓度。本文以人工合成含烃盐水包裹体及东营凹陷丰深 6 井 3844.25 m 砂砾岩储层中的盐水包裹体为例, 对包裹体冰点计算出的盐度与拟合公式计算出的盐度进行对比(表 4)。如图 6 所示, $158, 285, 710$ 和 $1\,084\text{ cm}^{-1}$ 为主矿物方解石的拉曼峰, $1\,120\text{ cm}^{-1}$ 是日光灯产生的干扰峰, 466 为主矿物石英的拉曼峰, 在 $3\,000 \sim 3\,600\text{ cm}^{-1}$ 冰晶和水合物的拉曼峰位置可以判断两种包裹体的含盐类型均为 NaCl 盐水。合成包裹体冰点计算盐度与合成包裹体盐水的实际盐度的相对误差为 2.35%, 而低温拉曼拟合公式计算盐度与合成包裹体盐水的实际盐度的相对误差为 1.6%, 低温拉曼拟合公式计算盐度更接近真实值, 说明低温拉曼光谱定量分析包裹体的盐度是可靠的。

Table 4 Calculation of salinity contrast congeal with fitting formula for low temperature Raman

包裹体	主矿物	冰点/ $^{\circ}\text{C}$	$I_{3\,420}/I_{3\,091}$ ($I_{3\,092}$)	冰点计算盐度/%	低温拉曼拟合公式计算盐度/%	合成包裹体溶液盐度/%	拟合公式与实际盐度相对误差/%
合成包裹体	方解石	16.1	1.128 2	19.53	19.68	20	1.60
天然盐水包裹体	石英	12.8	1.020 0	16.71	17.01	—	—

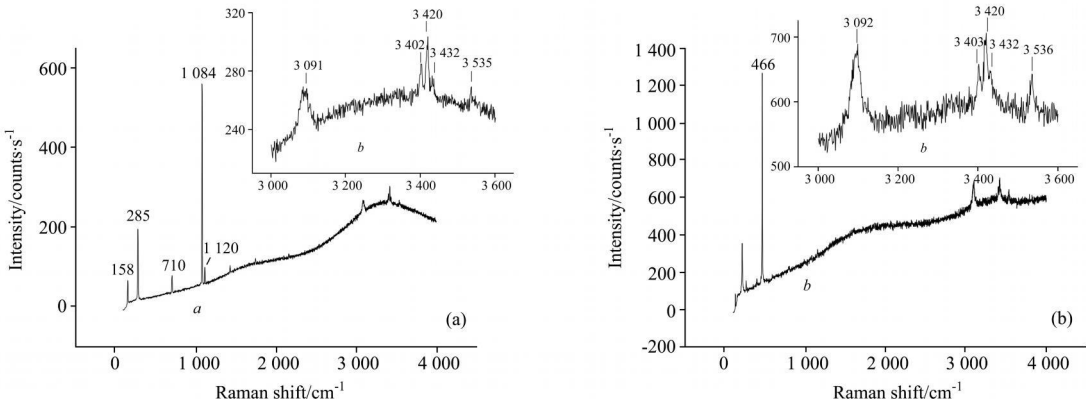


Fig 6 Raman spectra of synthetic hydrocarbon bearing aqueous inclusions by freezing three times (a); Raman spectra of aqueous inclusions of well Fengshen 6 in Dongying Sag by freezing three times (b)

4 讨 论

在低温下通过激光拉曼光谱对两种常见盐类及其混合物的标准溶液进行测试,突破了以往只是钠盐氯化物的定量分析,实现了 $\text{CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ 体系的定量以及 $\text{NaCl-CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ 体系的半定量分析。在实验分析的基础上得到以下认识:

(1) 水能以一种无定形的固体存在^[18, 19], 在 $-180\text{ }^\circ\text{C}$ 下在 $3\,091\text{ cm}^{-1}$ 附近有完美的冰晶尖峰。 $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ 体系可形成冰晶和 $\text{NaCl}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 水合物的拉曼峰位置为 $3\,403$,

$3\,420$, $3\,433$ 和 $3\,536\text{ cm}^{-1}$; $\text{CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ 体系可形成冰晶和 $\text{CaCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 其拉曼峰位置为 $3\,386$, $3\,406$ 和 $3\,432\text{ cm}^{-1}$ 。原位低温拉曼光谱分析是鉴别流体含盐类型的重要手段。

(2) $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ 和 $\text{CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ 体系中 $3\,420$ 和 $3\,432\text{ cm}^{-1}$ 处的峰强度与冰晶峰强度的比值与溶液浓度有较好的线性关系, 可以通过拟合公式确定溶液的盐度。通过人工合成碳酸盐岩含烃盐水包裹体及东营凹陷丰深 6 井石英盐水包裹体两个实例分析, 证明了低温拉曼光谱定量分析包裹体盐度是准确可靠的。

参 考 文 献

- [1] Roedder E. Mineralogical Society of America, 1984, 12: 644.
- [2] LU Huan zhang, FAN Hong-rui, NI Pei, et al(卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 等). Fluid Inclusion(流体包裹体). Beijing: Science Press(北京: 科学出版社), 2004. 11.
- [3] Roedder E. Geological Survey Professional Paper, 1972, 440 JJ: 164.
- [4] Hall D L, Sterner S M, Bodnar R J. Econ. Geol., 1988, 83: 197.
- [5] Mernagh T P, Wilde A R. Geochim. Cosmochim. Acta, 1989, 53(4): 765.
- [6] Dubessy J, Audeoud D, Wilkins R, et al. Chem. Geol., 1982, 37(1/2): 137.
- [7] Dubessy J, Boiron M C, Moissette A, et al. Eur. J. Mineral., 1992, 4(5): 885.
- [8] Samson I M, Walker R T. The Canadian Mineralogist, 2000, 38: 35.
- [9] ZHANG Nai, ZHANG Da-jiang, ZHANG Shui-chang, et al(张 薊, 张大江, 张水昌, 等). Science in China(中国科学), 2005, 35(12): 1165.
- [10] Ni Pei, Ding Junying, Rao Bing. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(1): 108.
- [11] Baumgartner M, Bakker R J. Chemical Geology, 2009, 265: 335.
- [12] Bakker R J. The Canadian Mineralogist, 2004, 42: 1283.
- [13] LÜ Xir-biao, YAO Shu-zhen, HE Mou-chun(吕新彪, 姚书振, 何谋春). Earth Science Frontiers(地学前缘), 2001, 8(1): 429.
- [14] CHEN Yong, LIN Cheng-yan, YU Wei-quan, et al(陈 勇, 林承焰, 于雯泉, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2010, 30(1): 95.
- [15] CHEN Yong, ZHOU Ya-qí, ZHA Ming, et al(陈 勇, 周瑶琪, 查明, 等). Geochimica(地球化学), 2008, 37(1): 22.
- [16] Borisenko A S. Soviet Geol. & Geophys., 1977, 18: 11.
- [17] Crawford M L. Short Course Handbook, 1981, 6: 75.
- [18] Handa Y P, Mishima O, Whalley E. J. Chem. Phys., 1986, 84: 2766.
- [19] Tulk C A, Klug D G, Barnederhorst R. et al. J. Chem. Phys., 1998, 109: 8478.

Cryogenic Raman Spectroscopic Characteristics of $\text{NaCl-H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ and $\text{NaCl-CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$: Application to Analysis of Fluid Inclusions

MAO Cui¹, CHEN Yong^{1,2*}, ZHOU Ya-qí¹, GE Yur-jin¹, ZHOU Zhe-r-zhu¹, WANG You-zhi³

1. College of Geo Resource and Information, China University of Petroleum, Dongying 257061, China

2. State Key Laboratory of Enhanced Oil Recovery, PetroChina Exploration and Development Research Institute, Beijing 100083, China

3. Exploration and Development Research Institute of PetroChina Daqing Oilfield Company, Daqing 163000, China

Abstract Accurately diagnosing the types of the salt and calculating the salinity quantitatively are the significant content of fluid inclusions. The traditional method of testing fluid inclusions salinity is cooling. To overcome the difficulty for observing freezing phase transition, the authors tested the spectrum of $\text{NaCl-H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ and $\text{NaCl-CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ systems at $-180\text{ }^\circ\text{C}$ by laser Raman spectroscopy. The result demonstrates that the ratio of peak values has linear relationship with salinity. Calibration curves were established by typical ratio of hydro halite at $3\,420\text{ cm}^{-1}$ to the ice at $3\,092\text{ cm}^{-1}$, and the ratio of antarctite at

3 432 cm^{-1} to the ice at 3 092 cm^{-1} . The calibration curves have very high correlation coefficient. This method is verified by synthetic hydrocarbon bearing aqueous fluid inclusions and quartz aqueous fluid inclusions of well Fengshen 6 in Dongying sag. The results of the authors' experiments show that cryogenic Raman spectroscopy can not only identify the types of the salts but also determine the salinity effectively in fluid inclusions.

Keywords NaCl-H₂O system; CaCl₂-H₂O system; NaCl-CaCl₂-H₂O system; Raman spectrum; Fluid inclusions

(Received Feb. 26, 2010; accepted May 28, 2010)

* Corresponding author

《光谱学与光谱分析》2011 年征订启事

欢迎投稿 欢迎订阅

《光谱学与光谱分析》1981 年创刊, 国内统一刊号: CN 11-2200/O4, 国际标准刊号: ISSN 1000-0593, CODEN 码: GYGFED, 国内外公开发行, 大 16 开本, 288 页, 月刊; 是中国科协主管, 中国光学学会主办, 钢铁研究总院、中国科学院物理研究所、北京大学、清华大学共同承办的学术性刊物。北京大学出版社出版, 每期售价 40.00 元, 全年 480 元; 国内邮发代码 82-68, 国外发行代码 M905。刊登主要内容: 激光光谱测量、红外、拉曼、紫外、可见光谱、发射光谱、吸收光谱、X 射线荧光光谱、激光显微光谱、光谱化学分析、国内外光谱化学分析领域内的最新研究成果、开创性研究论文、学科发展前沿和最新进展、综合评述、研究简报、问题讨论、书刊评述。

《光谱学与光谱分析》适用于冶金、地质、机械、环境保护、国防、天文、医药、农林、化学化工、商检等各领域的科学研究单位、高等院校、制造厂家、从事光谱学与光谱分析的研究人员、高校有关专业的师生、管理干部。

《光谱学与光谱分析》为我国首批自然科学核心期刊, 中国科协优秀科技期刊, 中国科协择优支持基础性、高科技学术期刊, 中国科技论文统计源刊, “中国科学引文数据库”, “中国物理文摘”, “中国学术期刊文摘”, 同时被国内外的 CSCD, SCI, AA, CA, Ei, P&S, MEDLINE 等文献机构收录。根据国家科技部信息研究所发布信息, 中国科技期刊物理类影响因子及引文量《光谱学与光谱分析》都居前几位。欢迎国内外厂商在《光谱学与光谱分析》发布广告 (广告经营许可证: 京海工商广字第 8094 号)。

《光谱学与光谱分析》的主编为黄本立院士。

欢迎新老客户到全国各地邮局订阅, 若有漏订者可直接与光谱学与光谱分析期刊社联系。

联系地址: 北京市海淀区学院南路 76 号, 光谱学与光谱分析期刊社 邮政编码: 100081

联系电话: 010-62181070, 62182998

电子信箱: chngpxygpfx@vip.sina.com; 修改稿专用邮箱: gp2008@vip.sina.com

网 址: <http://www.gpxygpfx.com>