

CCSD HP-UHP 变质岩石英脉和东海水晶中有机包裹体的发现及其意义

徐莉¹⁾, 孙晓明^{1,2)}, 翟伟¹⁾, 梁业恒¹⁾, 汤倩¹⁾, 梁金龙¹⁾

1) 中山大学地球科学系, 广州, 510275;

2) 中国科学院同位素年代学和地球化学实验室, 广州, 510640

内容提要: 荧光显微镜下观察、激光拉曼和显微红外测试, 首次在 CCSD HP-UHP 变质岩石英脉和东海水晶中发现了含有沥青和烃类的有机包裹体, 进一步证实大别-苏鲁超高压变质带曾经历了快速的俯冲与折返过程, 俯冲板块沉积物中的有机质未能充分地演化和成熟。俯冲板块在进变质过程中强烈脱水, 释放出含烃流体, 并被在板块抬升及其伴随的减压重结晶和退变质过程中形成的石英脉和水晶体所俘获。

关键词: 有机包裹体; 苏鲁超高压变质带; 石英脉; 东海水晶; 中国大陆科学钻探(CCSD)

位于江苏东海县毛北村的中国大陆科学钻探(CCSD)主孔深达 5158 m, 其中主要岩石单元包括各类榴辉岩、斜长角闪岩、副片麻岩、正片麻岩以及少量的超基性岩、片岩和石英岩等。同时, 在 CCSDHP-UHP 岩石中还普遍出现呈透镜状、团块状、囊状和条带状产出的石英脉。而且, 东海境内还出现大量出露地表的石英脉和水晶矿。前人在对 CCSD 及大别-苏鲁的石英脉和水晶中流体包裹体进行了一些研究(范宏瑞等, 2005; 徐莉等, 2005, 2006; 李晓峰等, 2006; Xu et al., 2006; 孙晓明等, 2006), 初步确认 CCSD 中长英质岩脉和东海水晶主要形成于俯冲板块折返过程中 HP-UHP 岩石的减压重结晶和退变质。最近, 作者等在对 CCSD 石英脉和东海水晶观察时, 发现其中存在一系列大小不等、形态各异的暗色流体包裹体, 荧光显微观察、激光拉曼光谱和显微红外测试显示它们为烃类包裹体。本文报道了这些有机包裹体的主要特征, 并初步讨论了其地质意义。

1 样品和测试方法

本次所用样品为: ①多硅白云母榴辉岩中石英脉(样品编号: B1555R10P8h, 采自 CCSD 主孔 3053.07m); ②地表黑云斜长片麻岩和二长片麻岩

中水晶(样号: 2005002, 采自 CCSD 正东约 1km); ③地表角闪岩中方解石水晶脉(样号: 2005024, 采自 CCSD 附近玉龙山泉)。

显微镜下观察, 发现上述样品的石英中, 除了正常的气液二相流体包裹体外, 还存在一类有别于一般流体包裹体的暗色包裹体, 它们多呈小群出现, 形态各异, 个体一般较大, 一般几到十几 μm , 甚至达 20~50 μm 。有的为单相(图版 1-A3), 有的为气液两相, 包裹体中气相所占比例较大, 一般在 30% 以上, 且气相形态不一, 较圆形到长条形, 但气相颜色一般呈深黑(图版 1-A1、A2、A4)。利用冷热台对其显微测温时, 降温至 -190℃ 均未见任何变化, 但在升温阶段, 达 200℃ 时, 暗色包裹体的边界渐渐模糊至边界消失, 随后又出现, 包裹体的颜色也发生变化, 液相慢慢由无色透明变为黄褐色。由于包裹体气相比比例较大, 在升温过程中这类包裹体多发生爆裂。

荧光显微镜下观察与照相在中国科学院广州地球化学研究所进行, 采用的荧光显微镜为美国的 Leica DMRX 型显微镜; 荧光灯为 100W 的汞灯; 显微相机型号为 Nikon Digital Camera DXm1200F; 单个流体包裹体的原位激光拉曼光谱测试在中山大学测试中心带 Ar 离子激光器(514nm)的

注: 本文为国家自然科学基金重大项目(编号 40399142)、国家重点基础研究发展规划“973”项目(编号 2003CB716501)、中国科学院同位素年代学和地球化学实验室合作基金(编号 GIGIso-0504)和中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室开放基金(编号 2003015)资助的成果。

收稿日期: 2006-11-17; 改回日期: 2007-01-08; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 徐莉, 女, 1976 年生。博士后, 主要从事矿床地球化学研究。Email: xu-bluesky@126.com。通讯作者: 孙晓明, Email: eessxm@mail.sysu.edu.cn。

RENISHAW RM2000 型显微激光拉曼光谱仪上进行,测定温度为室温,功率为 5mW;显微红外测试在华南理工大学测试中心进行,仪器型号为 BRUKER VECTOR 33 红外光谱仪,显微镜型号为 HYPER10N,扫描时间为 75 次,扫描范围:600 ~ 4000cm⁻¹。

2 测试结果和讨论

2.1 荧光显微镜观察

在单偏光及荧光下对这类暗色包裹体进行了对比观察,结果见图版 1(图版 1-A 为单偏光下照片,图版 1-B 为荧光下照片)。可见在荧光显微镜下,这类包裹体显示浅绿色、绿色、黄绿色荧光(图版 1-B1、B2、B3、B4),表明其中含较多的有机质,因此它们为有机流体包裹体。烃类包裹体的荧光特征反映了其内有机质的成分特征及热演化程度,当其中有机芳烃成分较高时,其荧光光谱主峰向长波方向偏移,即“红移”,而有机包裹体形成温度越高,其中烃类热演化程度越高,因裂解导致芳烃成分减少,低分子量成分增加,由此造成荧光光谱向短波方向偏移,即“蓝移”(李荣西等,1998)。一般来说,有机质演化可以分为未成熟、低成熟、较成熟、成熟、高成熟和过成熟阶段(卢焕章等,2004)。因此,由包裹体荧光颜色为浅绿色、绿色到黄绿色来看,这类有机包裹体的成熟度中等偏上,属于相对较成熟到成熟阶段。

2.2 激光拉曼测试

激光共焦显微拉曼光谱仪是一种对单个包裹体进行非破坏性测定成分的方法。在对这类包裹体进

行激光拉曼测试时,由于大多数包裹体具有很强的荧光,激光拉曼光谱的背景值很高,因此拉曼信号被荧光所湮灭,仅在个别包裹体(图 1)中测得较明显激光拉曼峰值。根据张翥等(2000)、何谋春等(2005)、Inagaki et al. (1991)对沥青等物质所做的激光拉曼研究,显示本次所测的包裹体中含有沥青,其中 1597、1342 为沥青峰值,3500 左右为包裹体中水的峰值。其激光拉曼光谱图见图 1。

2.3 显微红外测试

红外光谱法获得的图谱是一种典型的叠加谱线,这意味着在分析中除获得有意义的包裹体光谱外,主矿物本底的光谱也很重要。在理想情况下,扣除主矿物的吸收峰即可得到包裹体成分的吸收诸峰。对于石英矿物,包裹体薄片中的石英对高于 2000cm⁻¹ 的红外辐射基本无吸收,而对低于 2000cm⁻¹ 的大部分红外辐射全吸收。主矿物石英在 2500 ~ 4000 cm⁻¹ 之间无红外吸收峰,因此它不干扰 H₂O、胺类、饱和烃、烯烃、芳香烃和 H₂S 的测定,但在 1400 ~ 2000 cm⁻¹ 之间有强吸收,它会干扰 C-O 基团的测定。

本次研究对样品 2005002 中有机包裹体进行了显微红外测试(图 2)。由于红外光谱测试的光斑束较大,不能分别精确打在气相和液相部位,因此包含了包裹体气相和液相的混合信息。

在有机包裹体中可能存在的有机成分有:饱和烃类、烯烃类、芳烃类、酸、醇、醚和酯含氧基团类、胺类等,此外还有 H₂O、H₂S、CO₂。饱和烃中的甲基(-CH₃)和亚甲基(-CH₂)的 C-H 伸缩振动吸收峰的

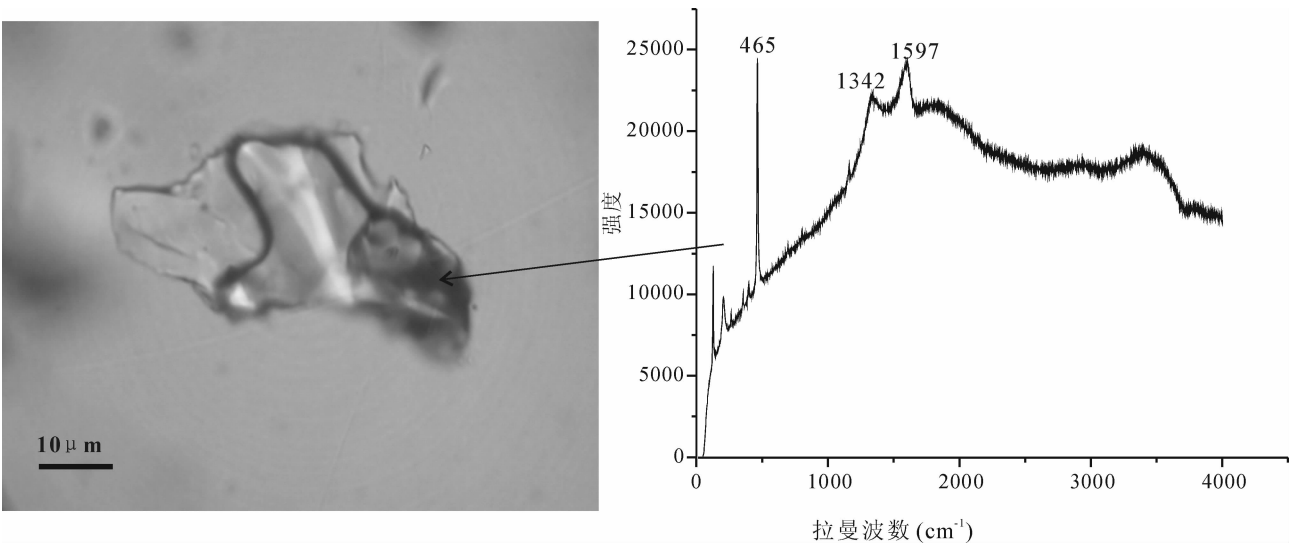


图 1 东海水晶中有机包裹体沥青及其激光拉曼光谱图(样品 2005024)

Fig. 1 Bitumen in organic fluid inclusions in Donghai crystal and its Laser Raman spectrogram (sample number: 2005024)

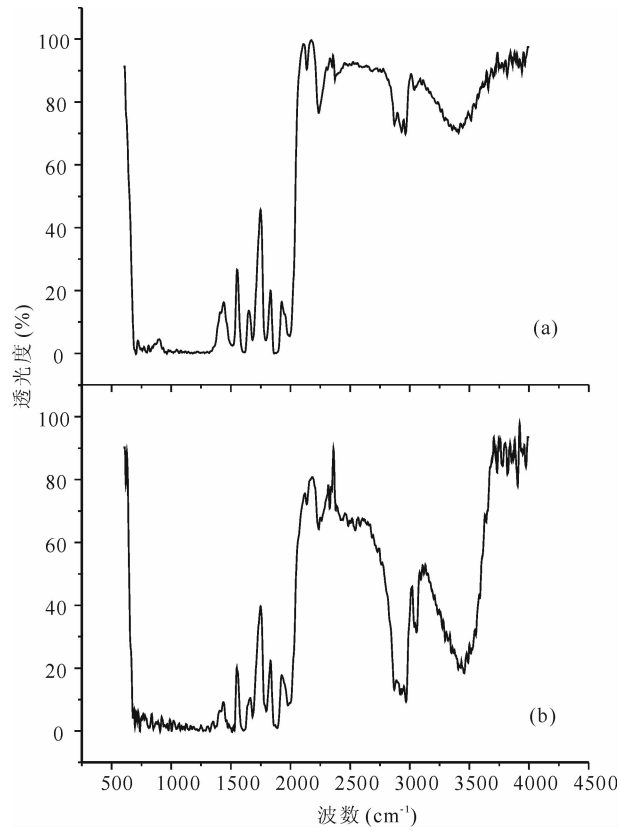


图 2 东海水晶中有机包裹体的显微红外光谱图
Fig. 2 Micro-infrared spectrogram of organic inclusions in Donghai crystals
A 和 B 分别为主矿物本底和包裹体的光谱
A and B are spectrum of host minerals and fluid inclusions, respectively

位置是恒定的,一般在 $2800 \sim 3000 \text{ cm}^{-1}$,饱和烃的 CH_2 弯曲振动在 1465 cm^{-1} 附近出现, CH_3 的对称弯曲振动在 1375 cm^{-1} 左右出现,烯烃和芳烃的 C-H 伸缩振动在 $3000 \sim 3100 \text{ cm}^{-1}$ 之间出现,胺类的 N-H 伸缩振动在 3300 cm^{-1} 左右出现,水的 O-H 伸缩振动在 $3200 \sim 3700 \text{ cm}^{-1}$ 之间出现宽谱带, H_2S 的 S-H 伸缩振动峰位置在 $2500 \sim 2600 \text{ cm}^{-1}$ 之间, CO_2 的吸收峰在 2350 cm^{-1} 附近,醛、酮、酸、酯和酸酐的 C-O 伸缩振动分布在 $1650 \sim 1850 \text{ cm}^{-1}$ 之间。在有机包裹体红外测定中,如果在上述对应位置出现吸收峰,应认为包裹体成分中可能存在相应的基团(卢焕章等,2004)。

对比图 2 上(a)和(b)光谱谱峰,可见包裹体相对于主矿物本底,在 $600 \sim 1600 \text{ cm}^{-1}$ 之间,主矿物石英的吸收强,掩盖了包裹体成分在此区间的吸收峰;在 $1660 \sim 2000 \text{ cm}^{-1}$ 处,显示为苯环的 $=\text{C}-\text{H}$ 面外弯曲振动泛频吸收带的特征;在 $2800 \sim 3000$

cm^{-1} 处出现振动吸收峰,因此包裹体中可能含有饱和烃中的甲基($-\text{CH}_3$)和亚甲基($-\text{CH}_2$);在 $3000 \sim 3100 \text{ cm}^{-1}$ 处出现振动吸收峰,因此包裹体中可能含有烯烃和芳烃的 C-H 基团, 3057 cm^{-1} 处显示存在不饱和 C-H 基团,可能为含苯环的有机物;在 3300 cm^{-1} 处出现振动吸收峰,因此包裹体中可能含有胺类的 N-H 基团; $3200 \sim 3700 \text{ cm}^{-1}$ 处出现振动吸收峰,因此包裹体中可能含有水的 O-H 基团。

3 地质意义

大别-苏鲁高压超高压变质带普遍经过了大规模深达地幔的板块俯冲和折返过程。张泽明等(2005)基于超高压变质岩的岩石学,特别是超高压矿物生长成分环带、扩散环带和蚀变作用研究,综合前人的岩石学和年代学研究成果,提出苏鲁造山带超高压变质作用峰期温度和压力可分别达 $1000 \sim 1100^\circ\text{C}$ 和 $6 \sim 7 \text{ GPa}$,俯冲深度相当于 200 km 。在这些经过了 UHP 变质的岩石中发现大量的有机包裹体非同寻常。

前人研究发现:大别-苏鲁地区 UHP 变质岩及其石英脉常出现很低的 $\delta^{18}\text{O}$ 同位素组成,如 Yui et al. (1995)在东海县青龙山榴辉岩中发现了低至 $-10\text{‰} \sim -6\text{‰}$ 的异常低 $\delta^{18}\text{O}$ 值,并将其解释为在 UHP 变质作用之前,榴辉岩原岩受到古大气降水的热液蚀变,榴辉岩在形成时继承了其原岩极端亏损 $\delta^{18}\text{O}$ 的特征;郑永飞等(1998)对东海地区榴辉岩及其共生片麻岩的研究中发现其石英脉的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $-5.3\text{‰} \sim -7.5\text{‰}$,与寄主岩石的 $-10\text{‰} \sim -6\text{‰}$ 相似。Zheng(2003)等对大别-苏鲁造山带超高压变质岩中的大规模 $\delta^{18}\text{O}$ 负异常进行了解释,认为是从其原岩,即新元古代的低 ^{18}O 岩浆继承过来的,其成因与 Rodinia 超大陆裂解、雪球事件和裂谷岩浆活动相耦合的高温热液蚀变有关;大别-苏鲁地区经过了快速的俯冲和抬升过程,其中释放的地质流体未能与岩石间进行充分的同位素交换。张泽明等(2005)的研究显示苏鲁地区 UHP 变质岩的折返速率可达 4 km/Ma ,折返过程导致快速的减压和缓慢的降温(8°C/km),以及大量长英质脉体的形成。

作者等在 CCSD 及其周围地表 HP-UHP 的石英脉中发现大量有机包裹体,从一个侧面再次证实苏鲁地区的 UHP 变质带经历了大规模快速的俯冲和折返过程,俯冲板块中的沉积物虽然曾被俯冲到接近地幔深度,但由于快速折返,其中所包含的部分有机质并未能充分地演化和成熟,而转变为干酪

根甚至石墨。俯冲板块在进变质过程中强烈脱水, 释放出含烃流体, 并被在板块抬升及其伴随的减压重结晶和退变质过程中形成的石英脉和水晶体所俘获。

致谢:中国科学院广州地球化学所刘德汉研究员、中山大学测试中心张卫红工程师及华南理工测试中心江山高级工程师在本次研究的样品测试分析过程中给予了大力的支持和帮助, 在此深表谢忱!

参 考 文 献

范宏瑞, 郭敬辉, 胡芳芳, 等. 2005. 苏鲁造山带超高压变质岩的差异性折返: 流体包裹体证据. 科学通报, 50(10):1007~1015.

李荣西, 金奎励, 艾天杰. 1998. 有机包裹体研究方法简介. 地质科技情报, 17:118~120.

李晓峰, 陈振宇, 王汝成, 等. 2006. 江苏东海水晶矿床成因初探: 流体包裹体和硅氧同位素证据. 岩石学报, 22(7):2018~2028.

卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 等. 流体包裹体. 2004. 北京: 科学出版社.

孙晓明, 徐莉, 翟伟, 等. 2006. CCSD HP-UHP 变质岩中石英脉和东海水晶流体包裹体惰性气体同位素组成及其成因指示意义. 岩石学报, 22(7):1999~2008.

徐莉, 孙晓明, 翟伟, 等. 2005. 中国大陆科学钻探(CCSD)高压超高压变质岩中石英脉流体包裹体初步研究. 岩石学报, 21(2):505~512.

徐莉, 孙晓明, 翟伟, 等. 2006. 中国大陆科学钻探(CCSD)HP-UHP 变质岩中石英脉流体包裹体 δD - $\delta^{18}O$ 同位素组成及其意义, 岩石学报, 22(7): 2009~2017.

张泽明, 许志琴, 刘福来, 等. 2004. 中国大陆科学钻探主孔(0~2050m)榴辉岩岩石化学研究. 岩石学报, 20(1):27~42.

张泽明, 张金凤, 游振东, 等. 2005. 苏鲁造山带超高压变质作用及其 P-T-t 轨. 岩石学报, 21(2):257~270.

张鼎, 郭宏莉, 高志勇. 2000. 塔里木盆地克拉 2 特大型气田流体包裹体特征及油气成藏作用. 岩石学报, 16(4):665~669.

何谋春, 吕新彪, 姚书振, 等. 2005. 沉积岩中残留有机质的拉曼光谱特征. 地质科技情报, 24(3):67~79.

Fan H R, Guo J H, Hu F F, et al. 2005. Fluid inclusions evidence for differential exhumation of ultrahigh pressure metamorphic rocks in the Sulu terrane. Chinese Science Bulletin, 50(10): 1007~1015(in Chinese).

He M C, Lu X B, Yao S Z, et al. 2005. Raman spectrum of residual organic matter from sedimentary rocks. Geological Science and Technology Information, 24(3):67~79(in Chinese).

Inagaki M, Shiraishi M, Nakamizo M, Hishiyama Y. 1991. The

evaluation of graphitization degree. Technology of Charcoal, 6: 19~24.

Li R X, Jin K L, Ai T J. 1998. Introduction to the research methods of organic inclusions. Geological Science and Technology Information, 17:118~120(in Chinese).

Li X F, Chen Z Y, Wang R C et al. 2006. Preliminary study on the rocked quartz in Donghai, Jiangsu province: evidences from fluid inclusions and Si, O isotope. Acta Petrologica Sinica, 22(7): 2018~2028 (in Chinese with English abstract).

Lu H Z, Fan H R, Ni P et al. 2004. Fluid Inclusion. Beijing: Science Press.

Sun X M, Xu L, Zhai W, et al. 2006. Noble gases isotopic compositions of fluid inclusions in quartz veins and crystals collected from CCSD and Donghai HP-UHP metamorphic rocks. Acta Petrologica Sinica, 22(7): 1999~2008 (in Chinese with English abstract).

Xu L, Sun X M, Zhai W, et al. 2005. Preliminary studies of fluid inclusions in quartz veins of HP-UHP metamorphic rocks, CCSD. Acta Petrologica Sinica, 21(2):505~512 (in Chinese with English abstract).

Xu L, Sun X M, Zhai W, et al. 2006. δD - $\delta^{18}O$ Compositions of fluid inclusions in quartz veins of HP-UHP metamorphic rocks from the Chinese Continental Scientific Drilling (CCSD) project and its geological significance. Acta Petrologica Sinica, 22(7): 2009~2017(in Chinese with English abstract).

Xu L, Sun X M, Zhai W, et al. 2006. Fluid inclusions in quartz veins from HP-UHP metamorphic rocks, Chinese Continental Scientific Drilling (CCSD) Project. International Geology Review, 48(7): 639~649.

Zhang N, Guo H L, Gao Z Y. 2000. The characteristics of fluid inclusions and pool-forming process of oil and gas reservoirs in the Kela 2 giant gas field, Tarimbasin. Acta Petrologica Sinica, 16(4): 665~669(in Chinese with English abstract).

Zhang Z M, Xu Z Q, Liu F L, et al. 2004. Geochemistry of eclogites from the main hole (100~2050m) of the Chinese Continental Scientific Drilling Project. Acta Petrologica Sinica, 20(1): 27~42(in Chinese with English abstract).

Zhang Z M, Zhang J F, You Z D, et al. 2005. Ultrahigh-pressure metamorphic P-T-t path of the Suu orogenic belt, eastern central China, Acta Petrologica Sinica, 21(2):257~270 (in Chinese with English abstract).

Yui T F, Rumble D and Lo C. 1995. Unusual low $\delta^{18}O$ ultrahigh-pressure metamorphic rocks from Su-Lu terrane, China. Geochim. Cosmochim. Acta, 59: 2859~2864.

Discovery of Organic Inclusions in Quartz Veins in CCSD HP-UHP Metamorphic Rocks and Donghai Crystals and Its Geological Implications

XU Li¹⁾, SUN Xiaoming^{1,2)}, ZHAI Wei¹⁾, LIANG Yeheng¹⁾, TANG Qian¹⁾, LIANG Jinlong¹⁾

1) *Earth Sciences Department of Sun Yatsen University, Guangzhou, 510275*

2) *Key Laboratory of Isotope Geochronology and Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, 510640*

Abstract

Large amount of bitumen and hydrocarbon-bearing organic inclusions were recognized in quartz veins in HP-UHP metamorphic rocks from Chinese Continental Scientific Drilling(CCSD) and Donghai crystals by observation under fluoroscope and determination with Laser Raman and infrared spectroscopy, reconfirming that the Dabie-Sulu UHPM belt undergone rapid subduction and exhumation, thus the organic materials in the sediments in the subducted slab were not highly matured and transformed to kerogen or graphite. The hydrocarbon-bearing fluids were released during dehydration and prograde metamorphism, and were captured by quartz veins or crystals, which were deposited during plate exhumation and the subsequent pressure decline and retrograde metamorphism.

Key words: organic inclusions; Dabie-Sulu UHPM belt; quartz veins; Donghai crystal; Chinese Continental Scientific Drilling(CCSD)