1000-0569/2006/022(07)-2009-17 *Acta Petrologica Sinica* 岩石学报

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*

徐莉[1] 孙晓明[1,2**] 翟伟[1] 梁业恒[1] 汤倩[1] 梁金龙[1] 沈昆[3]

XU Li[1], SUN XiaoMing[1,2], ZHAI Wei[1], LIANG YeHeng[1], TANG Qian[1], LIANG JinLong[1] and SHEN Kun[3]

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
3. 山东省地质科学研究院,济南 250013

1. *Earth Sciences Department of Sun Yatsen University, Guangzhou* 510275, *China*
2. *Key Laboratory of Isotope Geochronology and Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou* 510640, *China*
3. *Geological Institute of Shangdong Province, Jinan* 250013, *China*

2006-04-10 收稿,2006-05-12 改回.

Xu L, Sun XM, Zhai W, Liang YH, Tang Q, Liang JL and Shen K. 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 significances. *Acta Petrologica Sinica*, 22(7): 2009 – 2017

Abstract δD-$\delta^{18}O$ isotopic compositions of fluid inclusion in quartz veins of HP-UHP metamorphic rocks in the Chinese Continental Scientific Drilling (CCSD) Project were analysed, and the results show that the CCSD quartz veins possess relative stable hydrogen isotopic compositions ($\delta D = -97‰ \sim -69‰$) but quite low and greatly varied oxygen isotopes, and the $\delta^{18}O$ of the quartz are $-1.9‰ \sim 9.6‰$ and the corresponding $\delta^{18}O$ of the fluid inclusions are $-11.66‰$ to $0.93‰$, suggesting that the protoliths of the CCSD HP-UHP metamorphic rocks were reacted with meteoric water at surface before being subducted, and the quartz veins inherited the $\delta^{18}O$ composition of their respective hosting rocks. In the CCSD profile, with increasing depth, the $\delta^{18}O$ of the quartz veins vary greatly and are in the form of "$\sum$", which show very low values at depth of 900m to 1500m and 2700m, and high values at depth of 1770m and 4000m, implying that the water/rock interactions between the protoliths and the meteoric water before subduction were controlled by heats and contact metamorphism associated with the local magmatic intrusions. The vertical variation of the CCSD quartz veins's $\delta^{18}O$ are similar to those of the rock-forming minerals of the HP-UHP metamorphic rocks, suggesting that the quartz veins probably underwent HP, even UHP metamorphism, but most of them were formed by decompression-recrystallization and retrograde metamorphism of the CCSD HP-UHP metamorphic rocks. The great inhomogeneous distribution of the $\delta^{18}O$ of quartz veins in the CCSD and in the outcropped HP-UHP metamorphic rocks, as well as the big crystals in the Donghai County, suggests that the metamorphic fluids expelled from the HP-UHP metamorphic rocks during the exhumation were locally migrated at the grain scale. Besides, the similarities of δD-$\delta^{18}O$ compositions between the Donghai crystals and the CCSD quartz veins imply that they possess similar genesis and mainly formed during exhumation of the subducted plate in the Late Triassic Epoch.

Key words Quartz veins, Fluid inclusions, HP-UHP metamorphic rocks, δD-$\delta^{18}O$ isotopic compositions, Chinese Continental Scientific Drilling (CCSD) Project

摘 要 流体包裹体 δD-$\delta^{18}O$ 同位素测定显示 CCSD 石英脉具有较稳定的氢同位素($\delta D = -97‰ \sim -69‰$)和相对较低且变化较大的氧同位素组成,其矿物 $\delta^{18}O$ 为 $-1.9‰ \sim 9.6‰$,相应流体的 $\delta^{18}O$ 为 $-11.66‰ \sim 0.93‰$,说明其变质岩围岩在板块俯冲前曾在地表与大气降水发生过程度不同的水/岩反应,而石英脉继承了其各自寄主变质岩的 $\delta^{18}O$ 组成;在 CCSD 纵

* 本文由国家自然科学基金(编号 40399142)、国家重点基础研究发展规划项目(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(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)联合资助

第一作者简介:徐莉,女,1976 年生,在读博士生,主要从事矿床地球化学研究,E-mail:eessxm@mail.sysu.edu.cn

** 通讯联系人:孙晓明,E-mail:eessxm@mail.sysu.edu.cn

向上，石英脉的 $\delta^{18}O$ 同位素组成出现‘∑’型变化，分别在 900m ~ 1500m 和 2700m 出现极低值，而在 1770m 和 4000m 出现高正值，说明 CCSD 变质岩原岩在俯冲前与大气降水间的水/岩反应受到局部侵入的岩浆岩带来的高温和构造空间的控制；CCSD 中石英脉 $\delta^{18}O$ 在纵向上的变化基本同步于其寄主围岩变质矿物的 $\delta^{18}O$ 组成变化，说明石英脉与其他变质矿物一样，也经历了 HP，甚至 UHP 变质，但其主体应形成于板块折返过程中 HP-UHP 岩石的减压重结晶及退变质；CCSD 石英脉、东海地表石英脉或水晶矿的 δD-$\delta^{18}O$ 同位素值分布的不均一性，说明 HP-UHP 岩石在板块折返及其后退变质中释放出的流体活动范围有限，没有经历大规模的流动或迁移。东海水晶的流体包裹体 δD-$\delta^{18}O$ 组成与 CCSD 石英脉相似，显示它们的成因基本一致，主要形成于晚三叠世板块折返过程。

关键词 石英脉；流体包裹体；UP-UHP 变质岩；δD-$\delta^{18}O$ 同位素；中国大陆科学钻探(CCSD)

中图法分类号 P597.2

1 引言

中国大陆科学钻探工程(CCSD)主孔位于具有全球地学意义的大别-苏鲁高压超高压变质带南部的江苏东海县毛北村附近(图 1)。设计井深 5000 米，实际终孔 5158 米。其岩心主要由各类榴辉岩、斜长角闪岩、副片麻岩、正片麻岩以及少量的超基性岩、片岩和石英岩等所组成。同时，在钻孔样品榴辉岩、角闪岩和片麻岩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(图 2-a、2-b)。而且，东海境内

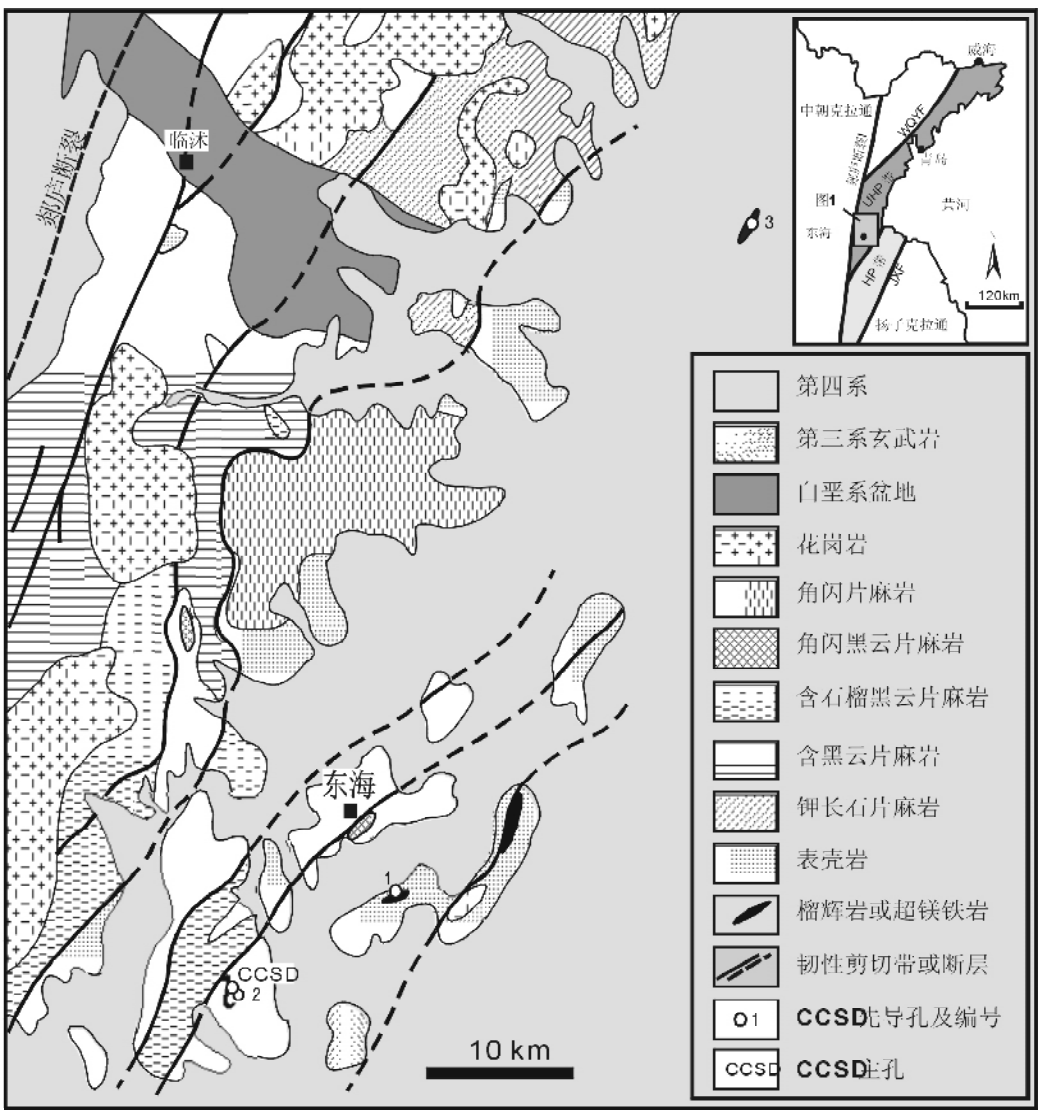


图 1 东海地区地质略图及 CCSD 所在位置

Fig. 1 Simplified geological map of Donghai area and the situation of CCSD

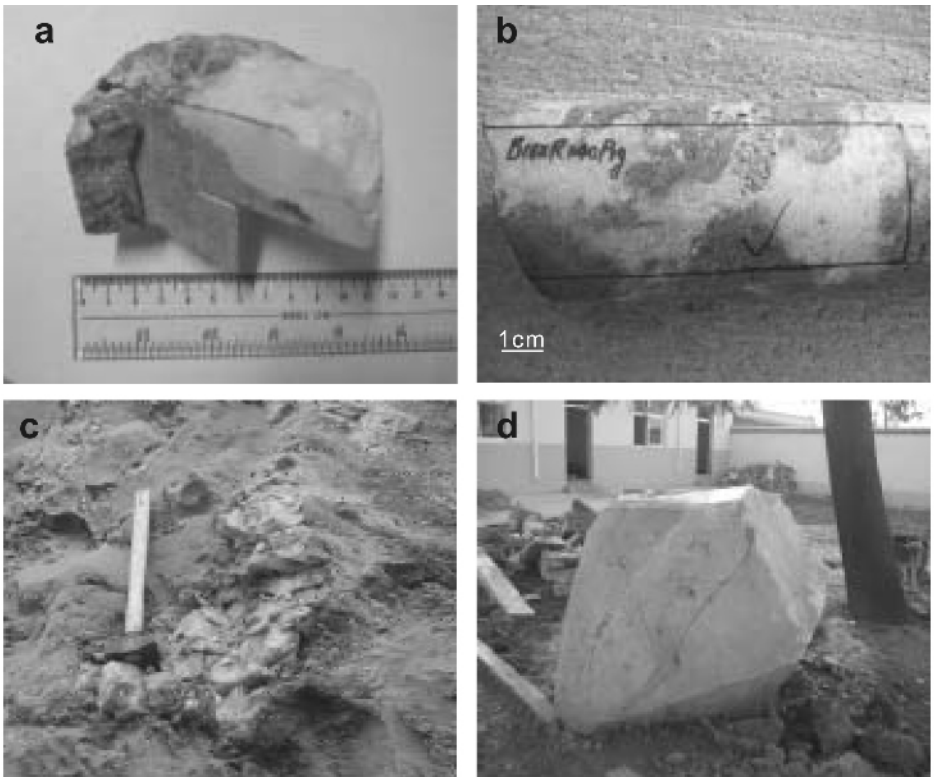


图 2　CCSD 及其附近地区地表 HP-UHP 岩石中出露的石英脉和水晶巨晶

a-钻孔石英脉样品（B1555R10P8h）；b-钻孔中石英脉样品（B162R140P1g）；c-地表出露的石英脉；d-地表出露的水晶巨晶

Fig. 2　Quartz veins and large crystals in CCSD and nearby outcropped HP-UHP rocks

a-Quartz veins in CCSD. Sample B1555R10P8h；b- Quartz veins in CCSD. Sample B162R140P1g；c-Quartz veins in the outcropped HP-UHP rocks；d- Large crystals in the outcropped HP-UHP rocks

还出现大量出露地表的石英脉和水晶矿（图 2-c、图 2-d）。前人对大别-苏鲁超高压变质带地表高压超高压变质岩的 δD-$\delta^{18}O$ 同位素进行了一些研究（Yui *et al.*，1995；郑永飞等，1997；1998；1999；2002；2003；2004；李一良等，2001；Zhang *et al.*，2005a，2005b），并对 CCSD 钻孔岩心矿物（100～2050m）进行了原位 $\delta^{18}O$ 同位素组成测定（张泽明等，2004），但对 CCSD 中石英脉的氢氧同位素研究尚罕见。这些石英脉的成因如何？与东海地表大量出露的石英脉和水晶矿之间有怎样的关联？本文分析了 CCSD 中石英脉及东海出露地表的石英脉和水晶矿的 δD-$\delta^{18}O$ 同位素组成，并籍此对石英脉和水晶成因、变质流体来源和演化以及超高压变质折返机制等问题进行了初步探讨。

2　样品和测试方法

2.1　测试样品及其中流体包裹体

限于采样要求，并综合样品显微岩相学以及流体包裹体显微测温情况，本次研究主要选择了 CCSD 主孔 100～4200m HP-UHP 变质岩中具有代表性的 14 个石英脉样品以及东海出露地表的 5 个石英脉和水晶矿样品，其各自采样位置和围岩岩性见表 1 和图 3。这些石英脉多数无色透明，宽度变化较大，介于 5mm～10cm，局部包有含大量出溶物的磷灰石等团块（汤倩等，2006a）. 岩相学、显微测温和激光拉曼光谱分析表明 CCSD HP-UHP 岩石中石英脉含有 3 种流体包裹体：盐水溶液（$NaCl$-H_2O）包裹体（I 类）、$NaCl$-$CaCl_2$-H_2O（II 类）和 N_2-CH_4 纯气相（III 类）包裹体，其中 I 类盐水溶液包裹体可进一步分为高盐度（Ia）、中等盐度（Ib）和低盐度盐水溶液包裹体（Ic）。Ia 型包裹体气-液均一温度（Th）为 166～222.6℃，冰点温度（Tm）为 -14.6～-10℃，相对应的流体盐度为 14.05～18.28 wt% NaCl eq.；Ib 型 Tm 为 -9.8～-5℃，相对应的流体盐度为 7.82～13.73wt% NaCl eq.，Th 为 135.7～209℃；Ic 型 Tm 为 -5.9～-0.1℃，相对应的流体盐度为 0.17～8.9wt% NaCl eq.，Th 变化较大，为 99～371℃；II 型 $NaCl$-$CaCl_2$-H_2O 包裹体 $CaCl_2$ 初熔温度（Teu）为 -52℃，NaCl 的 Teu 为 -37℃，Tm 为 -17.1℃～-12.8℃，故相对应的流体总盐度为 16.33～19.07 wt% NaCl eq.，而 Th 为 153～255.5℃。对比而言，CCSD UHP 岩石中石英脉流体包裹体的特征与 HP 岩石中石英脉包裹体特征相差较大，Ia、Ib、II 和 III 型包裹体均分布于前者，而后者仅见 Ic 型，且前

表 1 CCSD 钻孔及其附近地表 HP-UHP 岩石中石英脉流体包裹体 δD-$\delta^{18}O$ 同位素组成

Table 1 δD-$\delta^{18}O$ composition of fluid inclusions in quartz veins and crystal collected from CCSD and nearby HP-UHP outcropped rocks

样品号	样品及采样位置	围岩岩性	$\delta^{18}O_{QSMOW}$‰ *	δD_{SMOW}‰ **	$\delta^{18}O_{H2OSMOW}$‰ ***
2003558 (B162R140P1g)	钻孔(370.14m)石英脉	黄铁矿金红石石英榴辉岩	4.2	-91	-5.65
2003571 (B511R381P1bl)	钻孔(937.1m)石英脉	角闪岩	0.6	-97	-9.31
			0.4	-97	-9.51
			0.0	-97	-9.91
2003583 (B804R551P20b)	钻孔(1536.9m)石英脉	磁铁长英片麻岩	0.3	-81	-11.46
			0.1	-81	-11.66
2003587 (B924R612P19a)	钻孔(1775.01m)石英脉	角闪岩	8.4	-73	-4.17
			7.9	-73	-4.67
2004322 (B1118R43P6e)	钻孔(2152.89m)石英脉	含磁铁矿石英脉长英质片麻岩	4.6	-99	-3.57
2004331 (B1330R117P4)	钻孔(2661.61m)石英脉	含石榴石黑云二长片麻岩	-1.9	-89	-10.07
2004339 (B1375R126P16f)	钻孔(2737.15m)石英脉	黑云二长片麻岩	-1.4	-82	-9.57
2005036 (B1528R4P52)	钻孔(3006.25m)石英脉	二长片麻岩	2.7	-83	-5.47
2005042 (B1555R10P8h)	钻孔(3053.07m)石英脉	多硅白云母榴辉岩	3.1	-89	-10.63
2005047 (B1604R26P18)	钻孔(3202.65m)石英脉	角闪斜长片麻岩	3.1	-85	-5.07
2005059 (B1728R56P29)	钻孔(3454.46m)石英脉	片麻岩	6.7	-87	-1.47
2005066 (B2018R51P1b)	钻孔(3981.21m)石英脉	长英质片麻岩	7.9	-81	-0.27
2005067 (B2050R58P28r)	钻孔(4041.36m)石英脉	二长片麻岩	8.5	-86	0.33
2005071 (B2138R77P2a)	钻孔(4189.56m)石英脉	长英质片麻岩	9.6	-69	0.93
2005002	水晶矿(No.1)	黑云斜长片麻岩二长片麻岩	2.4	-78	-4.32
			2.3	-78	-4.42
2005011	石英脉(No.4)	含金红石榴辉岩	1.3	-91	-10.88
2005024-1	水晶矿(No.6)	角闪岩+方解石脉	-0.6	-87	-9.98
			-0.7	-87	-10.08
2005027	水晶矿(No.7)	黑云片麻岩夹角闪岩	5.3	-77	-0.95
			5.2	-77	-1.05
			4.8	-77	-1.68
2005033	石英脉(No.10)	片麻岩	4.0	-78	-6.24

* 矿物 $\delta^{18}O$(‰)组成，同一矿物几个数值者代表重复性测试结果；

** 矿物流体包裹体 δD(‰)组成；

*** 根据矿物氧同位素组成和流体包裹体均一温度，采用石英与水的氧同位素平衡公式($\Delta_{Q\text{-}H2O} = 3.38 \times 10^6/T^2 - 3.4$(Clayton,1972))计算的流体 $\delta^{18}O$(‰)组成。

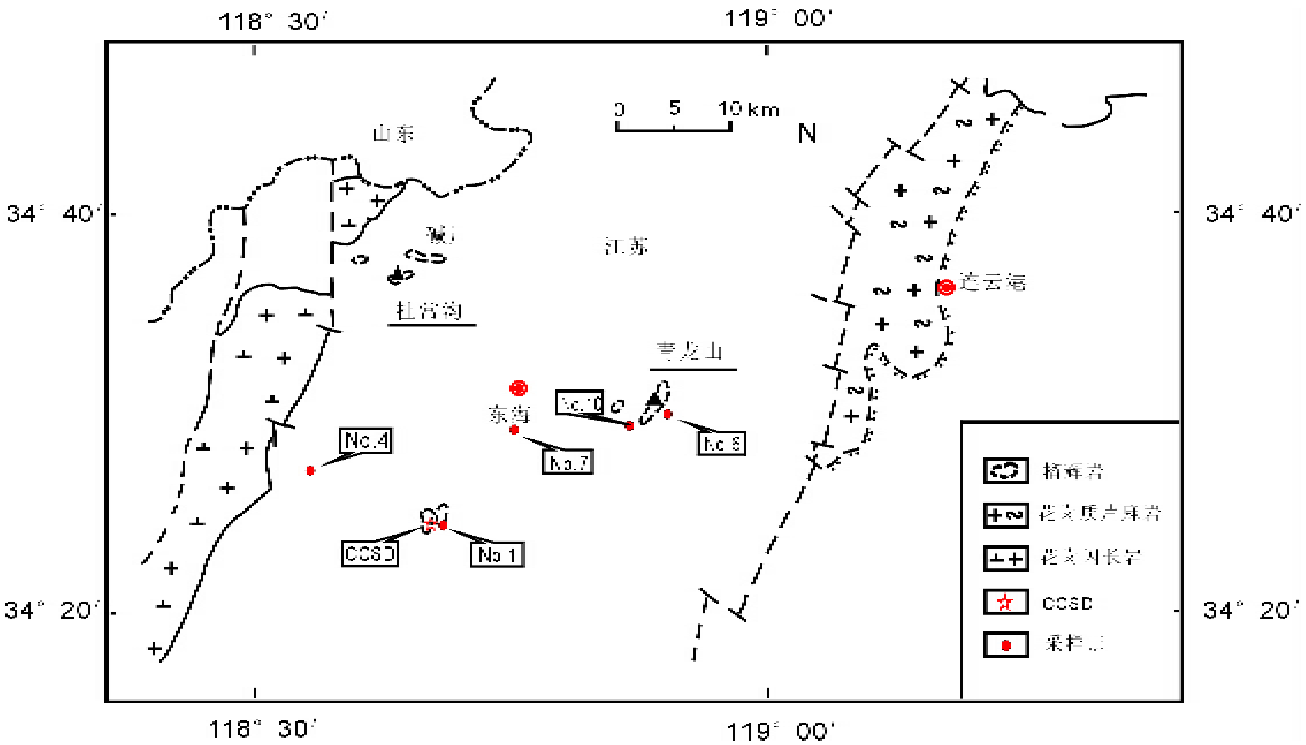


图 3　苏鲁地体东海地区地质简图及采样点位置（据郑永飞，1998 修改）

采样点围岩岩性：No. 1-黑云斜长片麻岩；No. 2-含金红石榴辉岩；No. 6-角闪岩 + 方解石脉；No. 7-黑云片麻岩 + 角闪岩；No. 10-片麻岩

Fig. 3　Geological sketch map of the Donghai area in Sulu and the sampling spots (modified from Zheng Y F, 1998)

Wall rocks lithologies of sampling spots: No. 1- biotite-plagioclase gneisses; No. 2- rutile eclogites; No. 6-amphibolite calcite veins; No. 7-biotite gneisses and amphibolite; No. 10-gneisses

者盐度变化较大，并多数高后者，而 Th 则相差不大，少部分 HP 岩石中石英脉流体包裹体的 Th 超过 UHP 岩石中者（徐莉等，2005）。

2.2　δD-$\delta^{18}O$ 同位素分析

将石英样品碎至 0.2 ~ 0.3mm 粒级，在双目镜下手选至纯度大于 99% 的样品 5g。同位素测试由中国国家地质测试中心同位素实验室完成。流体包裹体 H 同位素用爆裂法取水，锌法制氢；石英氧同位素用 BrF_5 法；H、O 同位素采用 MAT 251EM 质谱计测定，采用的国际标准为 SMOW，H 同位素分析精度为 ±2‰，O 同位素分析精度为 ±0.2‰。石英的 $\delta^{18}O$ 值见表 1，同一样品的验证性重复测试结果差异均 <0.6‰，说明测试方法可靠。根据石英中流体包裹体的均一温度和矿物-水氧同位素方程，计算出流体的 $\delta^{18}O_{H2O}$ 值（表 1）. 流体的均一温度为其峰值，石英与水的氧同位素平衡公式采用 $\Delta_{Q\text{-}H2O} = 3.38 \times 10^6/T^2 - 3.4$（Clayton，1972）。

2.3　流体包裹体显微测温

流体包裹体显微测温在中山大学地球科学系流体包裹体实验室 Linkam THMSG600 型冷热台上进行，仪器测定精度为 ±0.1℃，升降温速率一般≤15℃/m，相转变点附近控制在 2℃/m。测温前用纯 CO_2 包裹体（熔点为 -56.6℃）、纯水（熔点为 0℃）和重铬酸钾（熔点为 398℃）对冷热台进行了温度校正。

3　结果与讨论

本文对 CCSD 钻孔及其附近地表 HP-UHP 岩石中石英脉流体包裹体 δD-$\delta^{18}O$ 同位素组成分析结果见表 1，从中可见：（1）整个石英脉和水晶流体包裹体的 δD-$\delta^{18}O$ 组成均相对较低，其 δD 为 -97‰ ~ -69‰，而流体 $\delta^{18}O$ 变化较大，为 -11.66‰ ~ 0.93‰；（2）CCSD 各种变质岩的石英脉流体包裹体 δD 组成变化不大，而榴辉岩中石英 $\delta 18O_{H2O}$（‰）相对较低，为 -10.63‰ ~ -5.65‰，平均 -8.14‰，而角闪岩和片麻岩中石英脉 $\delta^{18}O_{H2O}$（‰）相对较高，且变化较大，前者为 -9.91‰ ~ -4.17‰，平均 -7.51‰，而后者变化于 -11.66‰ ~ 0.93‰，平均 -5.21‰；（3）比较而言，东海水晶和地表石英脉中流体包裹体的 δD-$\delta^{18}O$ 组成更接近 CCSD 片麻岩中石英脉，而与榴辉岩中者有一定的区别，其 δD 为 -87‰ ~ -78‰，而 $\delta^{18}O_{H2O}$（‰）为 -10.08‰ ~ -0.95‰，平均 -4.84‰。

3.1 δD-$\delta^{18}O$ 同位素组成

前人对大别-苏鲁地区变质岩及其中石英脉的 δD-$\delta^{18}O$ 同位素组成进行了一些研究：Yui *et al.* (1995) 在苏鲁地体西部东海县境内青龙山山顶的超高压变质榴辉岩中发现了低达 -10‰ ~ -6‰的异常低 $\delta^{18}O$ 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 $\delta^{18}O$ 的特征；郑永飞等(1998)对东海地区榴辉岩及其共生片麻岩内部石英脉氧同位素进行了研究，发现石英脉的 $\delta^{18}O$ 值为 -5.3‰ ~ -7.5‰，与寄主岩石的 -10‰ ~ -6‰相似，指示变质流体与寄主岩石保持 $\delta^{18}O$ 平衡，同时表明超高压变质作用期间或之后只存在内部缓冲的流体流动；李一良等(2001)通过对大别山榴辉岩中石英脉进行 $\delta^{18}O$ 分析，认为榴辉岩相同变质的石英脉，成脉流体来源于榴辉岩，还有部分石英脉形成于退变质作用期间。Rumble (2002), Zheng *et al.* (2003), 郑永飞等(2003, 2004), 陈道公等(2003)等对大别-苏鲁造山带超高压变质岩中锆石的 $\delta^{18}O$ 进行了系统研究，推测在华南板块北缘发育有广泛的新元古代低 ^{18}O 岩浆活动，并且与 Rodinia 超大陆裂解(Li *et al.*, 2003)和雪球事件(Hoffman *et al.*, 2002)具有准同时性，因此三者之间可能具有一定的成因联系：大别-苏鲁造山带超高压变质岩中的大规模 $\delta^{18}O$ 负异常是从其原岩新元古代的低 ^{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。

本次研究中 CCSD 及地表 HU-UHP 变质岩石英脉流体包裹体 δD-$\delta^{18}O$ 同位素分析结果显示，这些样品中流体包裹体的 δD 和 $\delta^{18}O$ 均相当亏损，δD-$\delta^{18}O$ 图上多数落在大气降水线附近(图 4)，指示其中含有大气降水的同位素信息，同时进一步证明：东海地区的 HP-UHP 变质岩原岩在近地表条件下曾与具有极低 $\delta^{18}O$ 组成的大气降水发生过不同程度的水-岩交换作用(Yui *et al.*, 1995；郑永飞等, 1998)；这种石英脉中流体包裹体的氧同位素负异常，是继承了其原岩新元古代的岩浆低的 ^{18}O 特征，早期基性岩浆沿大陆边缘裂谷构造带侵位，岩浆作为热源引起裂谷带内部地表水循环和高温热液蚀变，导致深部地壳酸性围岩的氧同位素比值发生显著降低，而水化岩石由于其熔点降低出现重熔(Wyllie, 1983)，结果产生了新元古代时期的华南板块北缘的低 ^{18}O 活动，形成了低 ^{18}O 的石英脉等矿物。同时，CCSD 中榴辉岩、角闪岩及片麻岩中石英脉流体包裹体氢氧同位素分布具有不均一性，特别是 $\delta^{18}O$ 值变化范围较大(-11.66‰ ~ 0.93‰)，可能反映了板块俯冲的速率较快，榴辉岩、角闪岩及片麻岩的原岩在近地表条件下与大气降水发生过不同程度的水/岩交换作用，随后被俯冲到地幔深度，经历了超高压变质作用之后，又快速折返并发生减压退变质重结晶作用，且期间并未出现大面积使岩石同位素均一化的弥散式流体流动，在超高压变质作用期间变质流体只存在局部的裂隙流动，它们的

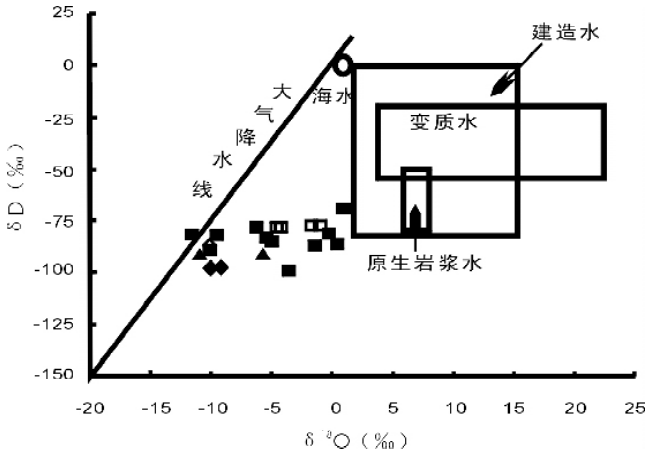


图 4 CCSD 及其附近地表 HP-UHP 岩石中石英脉和水晶矿流体 δD-$\delta^{18}O$ 同位组成图. 图中不同成因水的 δD-$\delta^{18}O$ 同位素组成 据郑永飞等(2000)

◆- 围岩为角闪岩的石英脉；■- 围岩为片麻岩的石英脉；▲- 围岩为榴辉岩的石英脉；◇- 围岩为角闪岩的水晶矿；□- 围岩为片麻岩的水晶矿

Fig. 4 δD-$\delta^{18}O$ composition of fluid inclusions compositions in quartz veins and crystals collected CCSD and the nearby outcropped HP-UHP rocks. The δD-$\delta^{18}O$ fields of various fluids from Zheng Y F *et al.* (2000)

◆- Quartz veins in amphibolite; ■- Quartz veins in gneisses; ▲- Quartz veins in eclogites; ◇- Crystals in amphibolite; □- Crystals in gneisses

δD-$\delta^{18}O$ 同位素组成被保留了下来。这与 CCSD 石英脉流体包裹体方面的研究结果(徐莉等, 2005；翟伟等, 2005；沈昆等 2005)相符。

3.2 CCSD 中石英脉 $\delta^{18}O$ 同位素组成与深度关系

根据 CCSD 岩石的空间组合及岩石化学成分特征，张泽明等(2004)将钻孔 100 ~ 2050m 井段划分成 7 个单元：第 1 单元(100 ~ 248m)，主要由含石英或多硅白云母榴辉岩组成，含有薄层状黑云母片麻岩和石榴石二云片麻岩夹层；第 2 单元(248 ~ 530m)，由 3 层含石英榴辉岩夹 2 层金红石榴辉岩组成，具有少量的黑云斜长片麻岩和二云片麻岩夹层；第 3 单元(530 ~ 600m)，由富金红石榴辉岩组成；第 4 单元(600 ~ 695m)，主要由石榴石橄榄岩组成，含少量榴辉岩薄层体或透镜体；第 5 单元(695 ~ 1160m)，由榴辉岩与副片麻岩呈互层状产出；第 6 单元(1160 ~ 1600m)，主要由正变质的长英质片麻岩组成，夹少量的榴辉岩或斜长角闪岩薄层；第 7 单元(1600 ~ 2050m)，主要由榴辉岩组成，具黑云斜长片麻岩和二长片麻岩夹层。张泽明等(2004)对 CCSD 中 HP-UHP 变质岩中矿物包括白云母、长石、黑云母、石英、角闪石、绿帘石、绿辉石、石榴石进行了原位 $\delta^{18}O$ 同位素测定，发现 $\delta^{18}O$ 同位素组成与样品深度具有“V”型分布，即 $\delta^{18}O$ 在

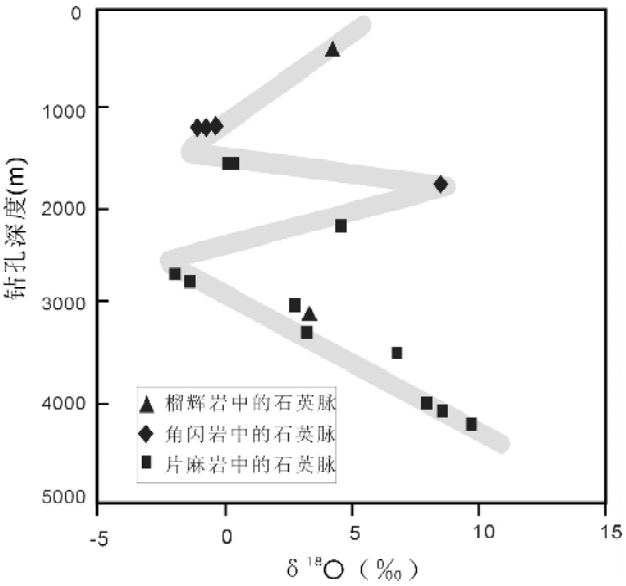


图5 CCSD 石英脉 $\delta^{18}O$ 同位素组成及样品深度关系趋势图

◆- 围岩为角闪岩的石英脉；■- 围岩为片麻岩的石英脉；

▲- 围岩为榴辉岩的石英脉

Fig. 5 Correlation of $\delta^{18}O$ isotopic composition and sampling depth of the CCSD quartz veins

◆- Quartz veins in amphibolite；■- Quartz veins in gneisses；

▲- Quartz veins in eclogites

1000m 左右深度出现最低值，认为钻孔中第 6 单元是一个形成在晚元古代的花岗岩体（刘福来等，2004），该岩体为表壳岩与大气降水之间的水-岩相互作用提供了热源，并在岩体与围岩的接触带发生了最强烈的水/岩交换作用。

本文对钻孔中 100 ~ 4200m 范围内石英脉的 $\delta^{18}O$ 同位素分析结果显示：$\delta^{18}O$ 同位素组成随着深度具有“∑”型的变化（图 5），即石英脉 $\delta^{18}O$ 同位素分别在 900 ~ 1500m 和 2700m 附近出现低值，而在 1770m 和 4000m 附近出现峰值，其上部与张泽明等（2004）对 CCSD 中 HP-UHP 变质矿物 $\delta^{18}O$ 同位素组成与样品深度（100 ~ 2050m）变化关系的研究结果相似，而下部分别特征则有待进一步的测定结果的完善和验证，但至少说明了在 CCSD 4000m 深度可能也曾存在岩浆岩侵入体，该岩体为表壳岩与大气降水间的水/岩反应提供了热源。CCSD 石英脉 $\delta^{18}O$ 同位素组成随着深度具有“∑”型的变化趋势进一步证明了 HP-UHP 变质岩原岩曾经历过板块俯冲-折返的过程：在板块俯冲前，Rodinia 超大陆裂解、雪球事件和裂谷岩浆活动等原因使得 HP-UHP 变质岩原岩具有低 ^{18}O 组成，尤其是发生水-岩反应最强烈的近地表区域，如岩浆岩侵入体的周围。当板块发生俯冲及折返后，水平方向分布的岩石单元发生大角度的倾斜，导致 CCSD HP-UHP 变质岩中矿物的 $\delta^{18}O$ 组成与随深度变化而出现明显的不均一，并使得继承了原岩 $\delta^{18}O$ 特征的石英脉 $\delta^{18}O$ 与 CCSD 深度间呈现明显的“∑”型变化关系。CCSD 中石英脉的 $\delta^{18}O$ 分布特征再次证实了石英脉来自各自的围岩，它们与其他变质矿物一样，也经历了 HP 变质，甚至 UHP 变质，但其主体应形成于板块折返的 HP-UHP 岩石的减压重结晶及退变质，且其中释放出的流体没有经过大规模的迁移。

3.3 石英脉和水晶矿的成因

δD-$\delta^{18}O$ 同位素测定为我们讨论 CCSD 和东海水晶的成因提供了新的证据．在板块俯冲折返过程中，会产生大量氢氧同位素不均一的变质流体，其主要来源有二：一是来自榴辉岩中石榴石、绿辉石、金红石等名义上无水矿物，随着压力的降低，其中的羟基溶解度会快速降低，而释放出大量的 H_2O（Lu *et al.*，1997；Withers *et al.*，1998；郑永飞，2004），这些 H_2O 继承了 UHP 变质原岩的低的氢氧同位素特征，与寄主矿物间的水/岩反应会形成 δD-$\delta^{18}O$ 同位素不均一的变质流体；二是由于压力的降低，榴辉岩中的硬柱石会分解成蓝晶石 + 黝帘石/斜黝帘石 + 石英/柯石英，或者硬柱石 + 钠长石/硬玉分解为钠云母 + 黝帘石/斜黝帘石 + 石英/柯石英（郑永飞，2004），同时可释放出大量 H_2O，与寄主矿物间的水/岩反应也会形成 δD-$\delta^{18}O$ 同位素不均一的变质流体。在此过程中，还可释放出大量 SiO_2（Grevel *et al.*，2001），这些变质流体和 SiO_2 亦继承了 UHP 变质原岩的 $\delta^{18}O$ 同位素特征。在高温高压下，退变质反应释放出的 SiO_2 主要以胶体状态溶解于变质流体中，并向着构造薄弱部位流动，在裂隙等部位因流体温压降低等原因而导致 SiO_2 胶体的沉淀，且在很短时间内重结晶而形成石英/水晶脉或集合体（Herrington *et al.*，1993）。在角闪岩相及更低的变质条件下，角闪石或斜长石等在退变质过程中也会释放出 SiO_2 胶体并重结晶形成石英/水晶脉或集合体（孙晓明等，1996），它们也相应继承了其 HP 变质原岩 $\delta^{18}O$ 同位素特征。表 1 可见，东海境内 HP-UHP 岩石中广泛分布的水晶矿无论矿物还是相应流体的 $\delta^{18}O$ 也普遍较低，说明这些水晶巨晶的成因与 CCSD 中石英脉相似，来自与大气降水发生过水岩反应的变质岩原岩在折返过程中的重结晶和退变质。石英脉中磷灰石包体独居石出溶体的化学定年结果（202 ± 28.3Ma，汤倩等，2006b）与水晶流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄（208Ma，王登红等，2003）相似，也说明了东海水晶与 CCSD 中石英脉是在同一地质事件中形成的。

4 初步结论

（1）较系统的流体包裹体 δD-$\delta^{18}O$ 同位素测定显示 CCSD 中石英脉和东海地区水晶均具有较稳定的氢同位素（δD 为 -97‰ ~ -69‰）和相对较低、变化较大氧同位素组成（矿物 $\delta^{18}O$ 为 -1.9‰ ~ 9.6‰，相应流体的 $\delta^{18}O$ 为 -11.66‰ ~ 0.93‰），说明其 HP-UHP 围岩在俯冲折返前曾与地表大气降水发生过程度不同的水/岩反应，而石英脉和水晶基本继承了围岩的的 $\delta^{18}O$ 同位素组成；

(2) CCSD 中石英脉 $\delta^{18}O$ 同位素组成随着深度增加出现'∑'型的变化，分别在 900m ~ 1500m 和 2700m 出现极低值，而在 1770m 和 4000m 出现高正值，说明 HP-UHP 岩石原岩在被俯冲前与大气降水间水/岩反应受到局部侵入的岩浆岩的控制；

(3) CCSD 石英脉 $\delta^{18}O$ 与深度的变化基本相似于 HP-UHP 变质矿物的 $\delta^{18}O$ 变化，说明 CCSD 石英脉与其他变质矿物一样，也经历了 HP 变质作用，甚至 UHP 变质作用，但其主体应形成于板块折返过程中 HP-UHP 岩石的减压重结晶及退变质；

(4) CCSD 石英脉、地表石英脉或水晶矿的 δD-$\delta^{18}O$ 同位素值分布的不均一性，说明 CCSD 中 HP-UHP 岩石在板块折返及其后退变质中释放出的流体活动范围有限，没有经历大规模的流动或迁移。

致谢 中国大陆科学钻探现场指挥部蔡慈研究员和孙立文工程师在样品的采集中给予大力的帮助，中国地质测试中心同位素室万德芳老师协助完成了氢氧同位素分析，在此一并致谢！

References

Cheng D G, Deloule E, Cheng H *et al*. 2003. Preliminary studies of the oxgen isotope characters of zircon of metamorphic rocks in Dabie-Sulu terrane: ion microprobe in-situ analysis. Chinese Science Bulletin, 48(16): 1732 – 1739

Grevel K D, Schoenitz M, Skrok V *et al*. 2001. Thermodynamic data of lawsonite and zoisite in the system CaO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O based on experimental phase equilibria and calorimetric work. Contrib. Mineral. Petrol., 142: 298 – 308

Herrington R L and Wilkinson J J. 1993. Colloidal gold and silica in mesothermal vein system. Geology, 21: 539 – 542

Hoffman P F, Schrag D P. 2002. The snowball Earth hypothesis: Testing the limits of global change. Terra Nova, 14: 129 – 155

Li Y L, Zheng Y F and Fu B. 2001. Oxygen isotope study on the quartz veins of eclogite in Dabie Mountains. Science In China (series D), 31(4): 305 – 314 (in Chinese)

Li Z X, Li X H, Kinny P D *et al*. 2003. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze craton, South China and correlations with other continents: Evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia. Precambr. Res., 122: 85 – 109

Liu F L, Xu Z Q, Yang J S *et al*. 2004. Geochemical characteristics and UHP metamorphism of granitic gneisses in the main drilling hole of Chinese Continental Scientific Drilling Project and adjacent area. Acta Petrologica Sinica, 20(1): 9 – 20 (in Chinese with English abstract)

Lu R and Keppler H. 1997. Water solubility in pyrope to 100 kbar. Contrib. Mineral. Petrol., 129: 35 – 42

Rumble D, Giorgis D, Ireland T, *et al*. 2002. Low ^{18}O zircons, U-Pb dating, and the Qinglongshan oxygen and hydrogen isotope anomaly near Donghaiin Jiangsu Province, China. Geochim. Cosmochim. Acta, 66: 2299 – 2306

Shen K, Zhang Z M, Sun X M *et al*. 2005. Composition and evolution of ultrahigh-pressure metamorphic fluids: a fluid inclusion study of the drill core from the main hole of Chinese Continental Scientific Drilling Program. Acta Petrologica Sinica, 21(2): 489 – 504 (in Chinese with English abstract)

Sun X M, Xu K Q, Ren Q J *et al*. 1996. Fluid-rock interaction and chemical variations during ductile deformation in the Jiapigou gold belt. Mineral Deposits, 15(4): 308 – 317 (in Chinese with English abstract)

Tang Q, Sun X M, Xu L *et al*. 2006. Discovery of iron oxide, monazite and barite exsolutions in apatite veins in eclogite from the Chinese Continental Scientific Drilling (CCSD) Project and Its Significance. Acta Petrologica Sinica, 22(7): 1915 – 1920

Tang Q, Sun X M, Xu L, *et al*. 2006. U-Th-Pb Chemical dating of monazite exsolutions in apatite aggregates in quartz veins of UHP rocks from the Chinese Continental Scientific Drilling (CCSD) Project. Acta Petrologica Sinica, 22(7): 1927 – 1932

Wang D H, Xu Y, Chen Y C, *et al*. 2003. Dating on the eclogites-hosted quartz crystal and its significances for tracing the exhumation history of UHP belt in Nortnern Jiangsu Province. Acta Geologica Sinica, 77(4): 544 – 548 (in Chinese with English abstract)

Withers A C, Wood B J and Carroll M R. 1998. The OH content of pyrope at high pressure. Chemical Geology, 147: 161 – 171

Wyllie P J. 1983. Experimental studies on biotite-and muscovite-granites and some crustal magmatic processes. In: Atherton M P, Gribble C D, eds. Migmatites, Melting and Metamorphism. Cambridge: Shiva Publishing Limited, 12 – 26

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)

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

Zhai W, Sun X M, Xu L *et al*. 2005. Fluid inclusions of Qinglongshan ultrahigh pressure metamorphic ecologite and fluid evolution, north Jiangsu province, China. Acta Petrologica Sinica, 21(2): 482 – 488 (in Chinese with English abstract)

Zhang Z M, Xiao Y L, Hoefs J *et al*. 2004. The fluid-rock interaction of UHP metamorphism: Oxygen isotopic of the core rocks from the main hole (100 ~ 2050m) of the Chinese Continental Scientific Drilling Project. Acta Petrologica Et Mineralogica, 23(4): 289 – 297 (in Chinese with English abstract)

Zhang Zeming, Rumble D, Liou J, Xiao Y L, Gao Y J. 2005a. Oxygen isotope geochemistry of rocks from the Pre-Pilot Hole of the Chinese Continental Scientific Drilling Project (CCSD-PPH1). American Mineralogist, 90: 857 – 863

Zhang Zeming, Xiao YiLin, Hoefs J *et al*. 2005b. Petrogenesis of UHP metamorphic crustal and mantle rocks from the Chinese Continental Scientific Drilling Pre-Pilot Hole 1, Sulu belt, Eastern China. International Geology Review, 47: 1160 – 1177

Zheng Y F, Chen F K, Gong B *et al*. 2003. Characters of metamorphic rocks protoliths in Dabie-Sulu terrane: oxgen isotope and U-Pb dating of zircon. Chinese Science Bulletin, 48(2): 110 – 119

Zheng Y F, Fu B and Gong B. 2002. Isotope Geodynamics of the subduction and exhumation of continental plate. Geological Journal of China Universities, 8(4): 365 – 379 (in Chinese with English abstract)

Zheng Y F, Fu B, Gong B *et al*. 1998. Oxgen isotope constraints on fluid flow during eclogitization in the Su-Lu terrane. Progr. Natur. Sci., 8(4): 449 – 455 (in Chinese)

Zheng Y F, Fu B, Gong B *et al*. 2003 . Stable isotope geochemistry of ultrahigh pressure metamorphic rocks from the Dabie Sulu orogenin, China: implications for geodynamics and fluid regime. Earth Science Review, 62: 105 – 161

Zheng Y F, Fu B, Li Y L, *et al*. 1999. Hydrogen and oxygen isotope evidence for fluid-rock interactions in the pre-and post-UHP metamorphism in the Dabie Mountains. Science In China (series D), 29(2): 113 – 121 (in Chinese)

Zheng Y F, Fu B, Xiao Y L *et al*. 1997. Hydrogen and oxygen isotope compositions of eclogite in Dabie Mountains and its geodynamic implication. Science In China (series D), 29(2): 121 – 126 (in Chinese)

Zheng Y F, Gong B, Zhao Z F, *et al*. 2003. Two types of gneisses

associated with eclogite at Shuanghe in the Dabie terrane：Carbon isotope，zircon U-Pb dating and oxygen isotope. Lithos，70：321－343

Zheng Y F. 2004. Fluid activities during the exhumation of deep-subducted continental plates. Chinese Science Bulletin，49（10）：917－929（in Chinese）

附中文参考文献

陈道公，Deloule E，程昊等. 2003. 大别-苏鲁变质岩锆石微区氧同位素特征初探：离子探针原位分析. 科学通报. 48（16）：1732－1739

李一良，郑永飞，傅斌. 2001. 大别山榴辉岩中石英脉的氧同位素研究. 中国科学 D 辑，31（4）：305－314

刘福来，许志琴，杨经绥等. 2004. 中国大陆科学钻探工程主孔及周边地区花岗质片麻岩的地球化学性质和超高压变质作用标志的识别. 岩石学报，20（1）：9－20

沈昆，张泽明，孙晓明等. 2005. 超高压变质流体的组成与演化：中国大陆科学钻探工程主孔岩心的流体包裹体研究. 岩石学报，21（2）：489－504

孙晓明，徐克勤，任启江等. 1996. 夹皮沟金矿带韧性剪切变形中的水岩反应及物质组分变化规律. 矿床地质，15（4）：308－317

汤倩，孙晓明，徐莉等. 2006. 中国大陆科学钻探（CCSD）UHP 岩石石英脉中磷灰石团块独居石出溶物的 U-Th-Pb 化学定年. 岩石学报，22（7）：1915－1920

汤倩，孙晓明，徐莉等. 2006. 中国大陆科学钻探（CCSD）榴辉岩磷灰石脉体中铁的氧化物、重晶石和独居石出溶物的发现及其意义. 岩石学报，22（7）：1927－1932

王登红，徐钰，陈毓川等. 2003. 苏北榴辉岩中水晶的形成时代及其对超高压变质带折返的示踪意义. 地质学报，77：544－548

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

翟伟，孙晓明，徐莉等. 2005. 苏北青龙山超高压变质榴辉岩流体包裹体特征与流体演化. 岩石学报，21（2）：482－488

张泽明，肖益林，Hoefs J 等. 2004. 超高压变质作用过程中的流体-岩石相互作用-中国大陆科学钻探工程主孔（0～2050m）岩心的氧同位素证据. 岩石矿物学杂志，23（4）：289－297

郑永飞，陈福坤，龚冰等. 2003. 大别-苏鲁造山带变质岩原岩性质：锆石氧同位素和 U-Pb 年龄证据. 科学通报，48（2）：110－119

郑永飞，傅斌，龚冰等. 1998. 苏鲁地体榴辉岩形成过程中流体活动的氧同位素制约. 自然科学进展，8（4）：449－455

郑永飞，傅斌，龚冰. 2002. 大陆板块俯冲和折返的同位素地球动力学. 高校地质学报，8（4）：365－379

郑永飞，傅斌，李一良等. 1999. 大别山超高压变质作用期前和期后水-岩相互作用的氢氧同位素证据. 中国科学 D 辑，29（2）：113－121

郑永飞，傅斌，肖益林等. 1997. 大别山榴辉岩氢氧同位素组成及其地球动力学意义. 中国科学 D 辑，27（2）：121－126

郑永飞. 2004. 深俯冲大陆板块折返过程中的流体活动. 科学通报，49（10）：917－929

中国大陆科学钻探(CCSD)HP-UHP变质岩中石英脉流体包裹体δD-δ18O同位素组成及其意义

万方数据 WANFANG DATA 文献链接

作者： 徐莉， 孙晓明， 翟伟， 梁业恒， 汤倩， 梁金龙， 沈昆， XU Li， SUN XiaoMing， ZHAI Wei， LIANG YeHeng， TANG Qian， LIANG JinLong， SHEN Kun

作者单位： 徐莉,翟伟,梁业恒,汤倩,梁金龙,XU Li,ZHAI Wei,LIANG YeHeng,TANG Qian,LIANG JinLong(中山大学地球科学系,广州,510275)， 孙晓明,SUN XiaoMing(中山大学地球科学系,广州,510275;中国科学院同位素年代学和地球化学实验室,广州,510640)， 沈昆,SHEN Kun(山东省地质科学研究院,济南,250013)

刊名： 岩石学报 ISTIC SCI PKU

英文刊名： ACTA PETROLOGICA SINICA

年，卷(期)： 2006，22(7)

被引用次数： 8次

参考文献(47条)

1. Cheng D G. Deloule E. Cheng H Preliminary studies of the oxgen isotope characters of zircon of metamorphic rocks in Dabie-Sulu terrane:ion microprobe in-situ analysis 2003(16)

2. Grevel K D. Schoenitz M. Skrok V Thermodynamic data of lawsonite and zoisite in the system CaO-Al2O3-SiO2-H2O based on experimental phase equilibria and calorimetric work 2001

3. Herrington R L. Wilkinson J J Colloidal gold and silica in mesothermal vein system 1993

4. Hoffman P F. Schrag D P The snowball Earth hypothesis:Testing the limits of global change 2002

5. Li YL. Zheng YF. Fu B Oxygen isotope study on the quartz veins of eclogite in Dabie Mountains[期刊论文]-Science in China:Series D 2001(04)

6. Li Z X. Li X H. Kinny P D Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze craton,South China and correlations with other continents:Evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia 2003

7. Liu F L. Xu Z Q. Yang J S. Zhang Z M Xue H M and Li T F Geochemical characteristics and UHP metamorphism of granitic gneisses in the main drilling hole of Chinese Continental Scientific Drilling Project and its adjacent area[期刊论文]-Acta Petroligica Sinica 2004(01)

8. Lu R. Keppler H Water solubility in pyrope to 100 kbar 1997

9. Rumble D. Giorgis D. Ireland T Low,18O zircons,U-Pb dating,and the Qinglongshan oxygen and hydrogen isotope anomaly near Donghaiin Jiangsu Province,China 2002

10. Shen K. Zhang ZM. Sun XM Composition and evolution of ultrahigh-pressure metamorphic fluids:a fluid inclusion study of the drill core from the main hole of Chinese Continental Scientific Drilling Program[期刊论文]-Acta Petroligica Sinica 2005(02)

11. Sun X M. Xu K Q. Ren Q J Fluid-rock interaction and chemical variations during ductile deformation in the Jiapigou gold belt[期刊论文]-Mineral Deposits 1996(04)

12. Tang Q. Sun X M. Xu L Discovery of iron oxide,monazite and barite exsolutions in apatite veins in eclogite from the Chinese Continental Scientific Drilling (CCSD) Project and its significance 2006(07)

13. Tang Q. Sun X M. Xu L U-Th-Pb Chemical dating of monazite exsolutions in apatite aggregates in quartz veins of UHP rocks from the Chinese Continental Scientific Drilling (CCSD)Project 2006(07)

14. Wang D H. Xu Y. Chen Y C Dating on the eclogiteshosted quartz crystal and its significances for tracing the exhumation history of UHP belt in Nortnern Jiangsu Province 2003(04)

15. Withers A C. Wood B J. Carroll M R The OH content of pyrope at high pressure 1998

16. Wyllie P J Experimental studies on biotite-and muscovite-granites and some crustal magmatic processes 1983

17. Xu L. Sun X M. Zhai W. Liang J L Liang Y H Shen K Zhang Z M Tang Q Preliminary studies of fluid inclusions in quartz veins of HP-UHP metamorphic rocks,CCSD[期刊论文]-Acta Petroligica Sinica 2005(02)

18. Yui T F. Rumble D. Lo C Unusual low δ18O ultrahighpressure metamorphic rocks from Su-Lu terrane,China 1995

19. Zhai W. Sun XM. Xu L Fluid inclusions of Qinglongshan ultrahigh pressure metamorphic ecologite and fluid evolution,north Jiangsu province,China[期刊论文]-Acta Petroligica Sinica 2005(02)

20. Zhang Z M. Xiao Y L. Hoefs J The fluid-rock interaction of UHP metamorphism:Oxygen isotopic of the core rocks from the main hole (100 ～2050m) of the Chinese Continental Scientific Drilling Project [期刊论文]-Acta Petrologica et Minerologica 2004(04)

21. Zhang Zeming. Rumble D. Liou J. Xiao Y L Gao Y J Oxygen isotope geochemistry of rocks from the Pre-Pilot Hole of the Chinese Continental Scientific Drilling Project (CCSD-PPH1) 2005

22. Zhang Zeming. Xiao YiLin. Hoefs J Petrogenesis of UHP metamorphic crustal and mantle rocks from the Chinese Continental Scientific Drilling Pre-Pilot Hole,1,Sulu belt,Eastern China 2005

23. Zheng Y F. Chen F K. Gong B Characters of metamorphic rocks protoliths in Dabie-Sulu terrane:oxgen isotope and U-Pb dating of zircon 2003(02)

24. Zheng Y F. Fu B. Gong B Isotope Geodynamics of the subduction and exhumation of continental plate [期刊论文]-Geological Journal of China Universities 2002(04)

25. Zheng Y F. Fu B. Gong B Oxgen isotope constraints on fluid flow during eclogitization in the Su-Lu terrane 1998(04)

26. Zheng Y F. Fu B. Gong B Stable isotope geochemistry of ultrahigh pressure metamorphic rocks from the Dabie Sulu orogenin,China:implications for geodynamics and fluid regime 2003

27. Zheng Y F. Fu B. Li Y L Hydrogen and oxygen isotope evidence for fluid-rock interactions in the pre-and post-UHP metamorphism in the Dabie Mountains[期刊论文]-Science in China:Series D 1999(02)

28. Zheng Y F. Fu B. Xiao Y L Hydrogen and oxygen isotope compositions of eclogite in Dabie Mountains and its geodynamic implication 1997(02)

29. Zheng Y F. Gong B. Zhao Z F Two types of gneisses associated with eclogite at Shuanghe in the Dabie terrane:Carbon isotope,zircon U-Pb dating and oxygen isotope 2003

30. Zheng YF Fluid activities during the exhumation of deepsubducted continental plates 2004(10)

31. 陈道公. Deloule E. 程昊 大别-苏鲁变质岩锆石微区氧同位素特征初探:离子探针原位分析[期刊论文]-科学通报 2003(16)

32. 李一良. 郑永飞. 傅斌 大别山榴辉岩中石英脉的氧同位素研究[期刊论文]-中国科学D辑 2001(04)

33. 刘福来. 许志琴. 杨经绥. 张泽明. 薛怀民. 李天福 中国大陆科学钻探工程主孔及周边地区花岗质片麻岩的地球化学性质和超高压变质作用标志的识别[期刊论文]-岩石学报 2004(01)

34. 沈昆. 张泽明. 孙晓明. 徐莉 超高压变质流体的组成和演化:中国科学大陆钻探工程主孔岩心的流体包裹体研究[期刊论文]-岩石学报 2005(02)

35. 孙晓明. 徐克勤. 任启江 夹皮沟金矿带韧性剪切变形中的水岩反应及物质组分变化规律[期刊论文]-矿床地质 1996(04)

36. 汤倩. 孙晓明. 徐莉 中国大陆科学钻探(CCSD)UHP岩石石英脉中磷灰石团块独居石出溶物的U-Th-Pb化学定年[期刊论文]-岩石学报 2006(07)

37. 汤倩. 孙晓明. 徐莉 中国大陆科学钻探(CCSD)榴辉岩磷灰石脉体中铁的氧化物、重晶石和独居石出溶物的发现及其意义[期刊论文]-岩石学报 2006(07)

38. 王登红. 徐珏. 陈毓川. 李华芹. 余金杰 苏北榴辉岩中水晶矿的形成时代及其对超高压变质岩折返的示踪意义[期刊论文]-地质学报 2003(04)

39. 徐莉. 孙晓明. 翟伟. 梁金龙. 梁业恒. 沈昆. 张泽明. 汤倩 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[期刊论文]-岩石学报 2005(02)

40. 翟伟. 孙晓明. 徐莉. 张泽明. 梁金龙. 梁业恒. 沈昆 苏北青龙山超高压变质榴辉岩流体包裹体特征与流体演化[期刊论文]-岩石学报 2005(02)

41. 张泽明. 肖益林. Hoefs J 超高压变质作用过程中的流体-岩石相互作用-中国大陆科学钻探工程主孔(0～2050m)岩心的氧同位素证据[期刊论文]-岩石矿物学杂志 2004(04)

42. 郑永飞. 陈福坤. 龚冰. 赵子福 大别-苏鲁造山带超高压变质岩原岩性质:锆石氧同素和U-Pb年龄证据[期刊论文]-科学通报 2003(02)

43. 郑永飞. 傅斌. 龚冰. 肖益林. 魏春生. 李曙光 苏鲁地体榴辉岩形成过程中流体活动的氧同位素制约[期刊论文]-自然科学进展 1998(04)

44. 郑永飞. 傅斌. 龚冰 大陆板块俯冲和折返的同位素地球动力学[期刊论文]-高校地质学报 2002(04)

45. 郑永飞. 傅斌. 李一良 大别山超高压变质作用期前和期后水-岩相互作用的氢氧同位素证据[期刊论文]-中国科学D辑 1999(02)

46. 郑永飞. 傅斌. 肖益林 大别山榴辉岩氢氧同位素组成及其地球动力学意义 1997(02)

47. 郑永飞 深俯冲大陆板块折返过程中的流体活动[期刊论文]-科学通报 2004(10)

相似文献(10条)

1. 期刊论文 梁业恒. 孙晓明. 徐莉. 翟伟. 梁金龙. 汤倩. 李爱菊. HANG YeHeng. SUN XiaoMing. XU Li. ZHAI Wei. LIANG JinLong. TANG Qian. LI AiJu CCSD(0～5158m)HP-UHP变质岩中石英脉流体包裹体研究 -岩石学报2007,23(12)

本文对中国大陆科学钻探(CCSD)0～5158m HP-UHP变质岩石英脉中流体包裹体进行了研究,通过冷热台与拉曼光谱测定发现其中含有4种流体包裹体:(Ⅰ型)盐水溶液包裹体,并进一步分为高盐度盐水溶液包裹体(Ⅰa型)、中高盐度盐水溶液包裹体(Ⅰb型)、中等盐度盐水溶液包裹体(Ⅰc型)和低盐度盐水溶液包裹体;(Ⅱ型)N2-CH4纯气相包裹体;(Ⅲ型)含方解石子矿物的流体包裹体;(Ⅳ型)CO2-NaCl-H2O包裹体及纯CO2包裹体.其中Ⅲ和Ⅳ型流体包裹体是CCSD石英脉中首次发现.Ⅰa、Ⅰb型流体包裹体主要以原生的形式赋存在榴辉岩及片麻岩的石英脉或石英颗粒当中,它们主要是被捕获于折返早期高压变质重结晶阶段;Ⅰc和Ⅰd两类包裹体则主要以次生的形式赋存于榴辉岩及片麻岩的石英脉或石英颗粒当中.说明它们是在超高压变质岩折返过程的较晚阶段捕获的.以原生形式出现的含方解石子晶及CO2包裹体,指示部分石英脉及其围岩可能经历过超高压变质作用甚至麻粒岩相阶段.CCSD中的石英脉可能主要形成于折返早期高压变质重结晶阶段,其中的HP-UHP岩石在板块折返及其以后退变质过程中释放出的变质流体活动范围有限,没有经历大规模的流动或迁移.

2. 期刊论文 徐莉. 孙晓明. 翟伟. 梁金龙. 梁业恒. 沈昆. 张泽明. 汤倩. XU Li. SUN XiaoMing. Zhai Wei. LIANG JinLong. LIANG YeHeng. SHEN Kun. ZHANG ZeMing. Tang Qian 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2005,21(2)

初步的岩相学和冷热台显微测温表明,CCSDHP-UHP岩石中石英脉和后期碳酸盐脉中含有3种流体包裹体:盐水溶液(NaCl-H0)包裹体(Ⅰ类)、NaCl-

CaCl2-H2O(Ⅱ类)和N2-CH4纯气相(Ⅲ类)包裹体,其中Ⅰ类盐水溶液包裹体可进一步分为中高盐度盐水溶液包裹体(Ⅰa)、中等盐度盐水溶液包裹体(Ⅰb)和低盐度盐水溶液包裹体(Ⅰc),而Ⅲ类为CCSD中首次发现;Ⅰa、Ⅰb和Ⅱ型流体包裹体主要以原生或假次生形式赋存在榴辉岩的石英脉或石英颗粒中,在角闪岩相的片麻岩及其石英脉中均未观察到,显示它们可能主要被捕获于榴辉岩的减压重结晶或退变质阶段,而Ⅰc型包裹体分布广泛,表明其主体可能是在超高压变质岩折返过程的最晚阶段捕获的;N2-CH4纯气相包裹体均为原生包裹体,主要呈孤立和小群状与Ⅰa和Ⅰb类包裹体分布于榴辉岩中条带状石英脉中,可能主要是在高压-超高压榴辉岩相变质条件下被捕获的;CCSD榴辉岩中石英脉的主体形成于板块折返有关的减压重结晶和退变质,而片麻岩中石英脉则主要来源于角闪岩相及其后期退变质作用;榴辉岩和片麻岩中石英脉流体包裹体的组成和地球化学特征存在明显区别,但它们各自相似于其寄主岩石中的石英颗粒中包裹体,说明CCSD中HP-UHP岩石在板块折返过程中释放出的变质流体没有经过大规模的迁移.

3.学位论文 徐莉 中国大陆科学钻探（CCSD）HP-UHP变质岩中石英脉的地质地球化学及成因 2006

中国大陆科学钻探工程(CCSD-ChineseContinentalScientificDrillingProject)是利用现代深部钻探高新技术，在具有全球地学意义、世界上规模最大的超高压变质带—大别—苏鲁超高压变质带实施的中国第一口5158米深的科学深钻，具有深远的科学意义。建立“超高压变质岩石形成与折返机制”的模式及研究“超高压变质作用过程中流体和岩石相互作用”，是CCSD的主要目标。

CCSD中的高压超高压(HP-UHP)变质岩石主要由各类榴辉岩、正片麻岩、副片麻岩、角闪岩，以及少量的石英岩和片岩组成。在钻孔岩芯榴辉岩、角闪岩和片麻岩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或长英质脉。而且，东海境内还出现大量出露地表的石英脉和水晶矿。这些石英脉成因是什么?它们与东海境内广泛分布而成因未明的水晶巨晶矿床间有无成因上的联系?其中是否包含与变质流体演化有关的超高压变质岩折返的地球化学信息?是许多学者关心的重要问题。

本文主要选取CCSD中各类石英脉、地表石英脉及水晶矿为研究对象，采取一系列现代分析测试方法，对其矿物学和元素地球化学、流体包裹体和流体地球化学(主要包括流体包裹体显微测温、流体包裹体的成分、氢氧同位素组成和稀有气体同位素地球化学)和地质年代学进行了较为系统的研究，并在上述工作基础上对石英脉和水晶矿的成因和成因模式进行了探讨。

本文取得了如下主要成果和认识：

1.在CCSD石英脉、地表石英脉及水晶中发现了石墨、磷灰石、金红石、绿辉石、白云母、方解石、钾长石和黄铁矿等矿物包体，其中磷灰石包体中存在四类出溶物：不规则状的磁铁矿和赤铁矿的连生体(A)、针状赤铁矿(B)、板状到菱型的独居石(C)和针状锶重晶石(D)。其中A，B和D类出溶物是在磷灰石中首次发现。四类出溶物的长轴和生长方向均基本平行于磷灰石之C轴，显示它们可能是基本同时出溶的；CCSDUHP岩石中氟磷灰石脉体的存在及其铁氧化物、磷酸盐和硫酸盐出溶体的发现，显示UHP岩石在折返的过程中，快速减压曾造成矿物的分解和大量出溶体的形成，伴随脱水和SiO2等硅酸盐熔体的出溶，还存在少量的磷酸盐熔体，同时可能曾经有铁氧化物的熔浆的加入；

2.较系统的镜下观察并结合流体包裹体显微测温及激光拉曼分析，发现石英脉和水晶中存在5类流体包裹体：（Ⅰ）盐水溶液包裹体，并进一步分为中高盐度盐水溶液包裹体(Ia)、中等盐度盐水溶液包裹体(Ib)和低盐度盐水溶液包裹体(Ic)；（Ⅱ）NaCl-CaCl2-H2O体系包裹体；（Ⅲ）N2-CH4体系包裹体；（Ⅳ）含方解石子晶的包裹体；（Ⅴ）含烃类的有机包裹体。其中Ⅲ类和Ⅴ类包裹体是CCSD钻孔中榴辉岩石英脉中首次发现；初步的岩相学和显微测温研究显示：Ia、Ib和Ⅱ型流体包裹体主要以原生或假次生的形式赋存在榴辉岩的石英脉或石英颗粒中，它们在角闪岩相的片麻岩及其石英脉中均未观察到，显示它们可能主要被捕获于榴辉岩的减压重结晶或退变质阶段，而Ic型包裹体分布广泛，表明其主体可能是在超高压变质岩折返过程的最晚阶段捕获的；榴辉岩和片麻岩中石英脉流体包裹体的组成和地球化学特征存在明显区别，但它们各自相似于其寄主岩石中的石英颗粒中包裹体，说明CCSD中HP-UHP岩石在板块折返过程中释放出的变质流体没有经过大规模的迁移；CCSD榴辉岩中石英脉的主体形成于板块折返有关的减压重结晶和退变质，而片麻岩中石英脉则主要来源于角闪岩相及其后期退变质作用；N2-CH4纯气相包裹体主要呈孤立和小群状与Ia和Ib类包裹体分布于榴辉岩中条带状石英脉中，可能主要是在高压—超高压榴辉岩相变质条件下被捕获的，说明了部分石英脉曾经历过超高压变质作用；在CCSD石英脉及地表水晶中发现含烃类有机包裹体，而且成熟度较低，表明有机质沉积物埋藏沉积成岩过程中，随着板块发生俯冲，带入地下深部，又随板块折返带回地表，板块发生了快速的俯冲和折返，有机质还未来得及成熟演化；

3.石英脉和水晶中微量元素的Rb/Sr、Nb/Ta和Zr/Hf变化较大，有的高于有的低于原始地幔相应值，说明Rb和Sr、Nb和Ta、Zr和Hf之间发生了不同程度的分异，但并未发生过广泛而强烈的水/岩反应，进一步说明石英脉及水晶形成过程中，CCSD中HP-UHP岩石在板块折返及其以后退变质过程中释放出的变质流体活动范围有限，没有经历大规模的流动或迁移，也没有发生大规模的透入性流体流动。石英脉和水晶中稀土元素(REE)具轻稀土富集的特征，反映了其壳源的成因。包裹体成分显示所有样品Na+＞K+；所有样品Cl-＞F-；说明成矿流体与岩浆水无关，属于典型的地壳变质流体；

4.流体包裹体δD-δ18O同位素测定显示CCSD石英脉具有较稳定的氢同位素(δD=-97‰～-69‰)和相对较低且变化较大的氧同位素组成，其矿物δ18O为-1.9‰～9.6‰，相应流体的δ18O为-11.66‰～0.93‰，说明其变质岩围岩在板块俯冲前曾在地表与大气降水发生过程度不同的水/岩反应，而石英脉继承了其各自寄主变质岩的δ18O组成；在CCSD纵向上，石英脉的δ18O同位素组成出现“Σ”型变化，分别在900m～1500m和2700m出现极低值，而在1770m和4000m出现高正值，说明CCSD变质岩原岩在俯冲前与大气降水间的水/岩反应受到局部侵入的岩浆岩带来的高温和构造空间的控制；

5.CCSD中石英脉δ18O在纵向上的变化基本同步于其寄主围岩变质矿物的δ18O组成变化，说明石英脉与其他变质矿物一样，也经历了HP，甚至UHP变质，但其主体应形成于板块折返过程中HP-UHP岩石的减压重结晶及退变质；CCSD石英脉、东海地表石英脉或水晶矿的δD-δ18O同位素值分布的不均一性，说明HP-UHP岩石在板块折返及其后退变质中释放出的流体活动范围有限，没有经历大规模的流动或迁移。东海水晶的流体包裹体δD-δ18O组成与CCSD石英脉相似，显示它们的成因基本一致，主要形成于晚三叠世板块折返过程；

6.利用高真空气相质谱系统分析了CCSD石英脉和东海水晶流体包裹体中惰性气体同位素组成，其He-Ar、Xe和Ne同位素体系均清楚显示它们主要由地壳变质流体和大气饱和水组成，而基本不含深源地幔流体；在CCSD900～1500m深度的石英脉流体包裹体出现40Ar/36Ar和δ18O同步下降，且与前人对CCSD中HP-UHP岩石的矿物原位δ18O测定结果变化趋势相似，说明该段原岩在板块俯冲前曾与大气降水发生较为充分的水/岩反应，石英脉继承了围岩的同位素组成特征。流体包裹体惰性气体同位素组成显示CCSD中石英脉和东海水晶可能具有相似的成因，它们均主要形成于HP-UHP岩石在板块折返到地壳中的压力降低和流体释放过程。CCSDHP-UHP岩石及其石英脉中基本不含地幔流体的原因在于本区印支期快速的俯冲和折返过程，被俯冲地壳物质无法与地幔进行充分的同位素交换。此外，退变质作用及其伴生的地壳流体也进一步减弱了HP-UHP岩石中的地幔流体信息；

7.对与石英脉共生的微斜长石样品进行Ar-Ar定年，得到微斜长石样品的坪年龄为179.27±5.78Ma，等时线年龄为182.21±15.63Ma。运用CHIME化学定年方法对CCSD中与石英脉共生的磷灰石团块中的独居石出溶物进行了年代学研究，获得其Th-Pb等时线年龄为202±28.3Ma，表明磷灰石团块形成于榴辉岩在折返过程中的重结晶和退变质，时代为晚三叠世。因此，CCSD石英脉的主要形成时代应大致为180～202Ma；

8.CCSD石英脉、地表石英脉及水晶的成因类似，均主要形成于HP-UHP岩石在板块折返到地壳中的压力降低和流体释放过程。在板块折返过程中，随着压力的降低，榴辉岩中石榴石、绿辉石、金红石等名义上无水矿物中的羟基溶解度会快速降低，从而释放出大量H2O，这些流体与寄主矿物间的水岩反应会形成盐度不等的变质流体，同时，榴辉岩中的硬柱石由于压力的降低会分解成蓝晶石+黝帘石/斜黝帘石+石英/柯石英，或者硬柱石+钠长石/硬玉分解为钠云母+黝帘石/斜黝帘石+石英/柯石英，此过程一方面可释放出大量H2O，同时可释放出大量SiO2，在高温高压下，退变质反应释放出的SiO2主要以胶体状态溶解于H2O中，这些变质流体活动范围有限，没有经历大规模的流动或迁移，也没有发生大规模的透入性流体流动，继承了围岩和UHP变质原岩的地球化学特征，主要由地壳变质流体和少量大气饱和水组成，而地幔流体比例很低，具LREE富集，低且δD-δ18O同位素不均一等特征。这些溶解了大量SiO2胶体的变质流体向构造薄弱部位流动，在裂隙等部位因流体温压降低等原因而导致SiO2胶体的沉淀，且SiO2胶体会在很短时间内重结晶而形成石英/水晶脉或集合体。

4.期刊论文 孙晓明.徐莉.翟伟.汤倩.梁业恒.梁金龙.张泽明.沈昆.SHUI XiaoMing.XU Li.ZHAI Wei.TANG Qie.LIANG YeHeng.LIANG JinLong.ZHANG ZeMing.SHEN Kun 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2006,22(7)

中国大陆科学钻探(CCSD)岩心中存在大量石英脉和长英质脉体,关于其成因目前存在板块折返过程中的减压和流体释放以及后期流体穿插等不同成因观点.本文利用高真空气相质谱系统分析了CCSD石英脉和东海水晶流体包裹体中惰性气体同位素组成,其He-Ar、Xe和Ne同位素体系均清楚显示它们主要由地壳变质流体和大气饱和水组成,而基本不含深源地幔流体.在CCSD 900～1500m深度的石英脉流体包裹体出现40Ar/36Ar和δ18O同步下降,且与前人对CCSD中HP-UHP岩石的矿物原位δ18O测定结果变化趋势相似,说明该段原岩在板块俯冲前曾与大气降水发生较为充分的水/岩反应,石英脉继承了围岩的同位素组成特征.流体包裹体惰性气体同位素组成显示CCSD中石英脉和东海水晶可能具有相似的成因,它们均主要形成于HP-UHP岩石在板块折返到地壳中的压力降低和流体释放过程.CCSD HP-UHP岩石及其石英脉中基本不含地幔流体的原因在于本区印支期快速的俯冲和折返过程,被俯冲地壳物质无法与地幔进

行充分的同位素交换.此外,退变质作用及其伴生的地壳流体也进一步减弱了HP-UHP岩石中的地幔流体信息.

5.学位论文 黄建宝 赣南大吉山和漂塘两个石英脉型黑钨矿成矿流体的研究 2007

赣南是中国最重要的钨矿产地，石英脉型黑钨矿是中国最重要的钨矿床类型，此类钨矿床与燕山期陆壳改造型花岗岩有着密切的成因关系，矿床一般产于花岗岩的内外接触带。大吉山钨矿和漂塘钨矿就是其中的两个矿床。漂塘钨矿只有石英脉型黑钨矿，而大吉山钨矿则由石英脉型黑钨矿床、岩体浸染型钨铍钽铌矿床和稀土矿床构成。

大吉山石英脉型黑钨矿与黑钨矿伴生的石英中流体包裹体类型主要有原生含CO2两相水溶液流体包裹体Ⅰ、原生不含CO2两相水溶液流体包裹体Ⅱ、次生两相水溶液流体包裹体Ⅲ和CO2-H2O三相流体包裹体Ⅳ，盐度分别为7.1～7.7wt%NaCl equiv. 、5.8～7.0 wt%NaCl equiv. 、3.0～5.7 wt%NaCl equiv. 和1.2～5.4wt%NaCl equiv. ，对应的均一温度分别为159～280℃、141～282℃、140～168℃和260℃；黑钨矿中的流体包裹体是在红外显微镜下观察和测温的，流体包裹体主要为两相水溶液包裹体(Ⅴ)，其盐度为5.8～9.4wt%NaCl equiv. ，均一温度为235～360℃。漂塘石英脉型黑钨矿与黑钨矿伴生的石英中流体包裹体类型主要为两相水溶液流体包裹体，其次还有很少量的CO2-H2O三相包裹体和含子矿物的流体包裹体。其中两相水溶液原生及假次生流体包裹体(Ⅵ)的盐度为0.18～5.41wt%NaCl equiv，均一温度为150～300℃。由于CO2-H2O三相包裹体和含子矿物的流体包裹体数量很少，没有进行测温学研究。大吉山石英脉型黑钨矿石英脉中的原生含CO2两相水溶液流体包裹体(Ⅰ)和CO2-H2O三相流体包裹体(Ⅳ)。两者在显微镜下紧密共生，具有形成时间上的同时性。由于流体包裹体Ⅰ均一到液相，而流体包裹体Ⅳ则均一到气相，且两者的均一温度相似，可以认为大吉山石英脉型黑钨矿石英脉中的流体的发生了不混溶分离。流体的不混溶是大吉山石英脉型黑钨矿成矿的主要机制。激光拉曼光谱分析结果显示大吉山石英脉型黑钨矿石英中的流体包裹体Ⅰ、Ⅱ和Ⅳ都含有CO2、CH4和N2组成，流体包裹体Ⅲ只有水蒸气；而漂塘石英脉型黑钨矿石英中的流体包裹体Ⅵ也不含CO2、CH4和N2，只有水蒸气。

6.会议论文 徐莉.孙晓明.汤倩.翟伟.梁业恒.梁金龙 CCSD HP-UHP变质岩中石英脉及东海水晶矿流体包裹体特征及成因探讨 2007

位于江苏东海县毛北村的中国大陆科学钻探(CCSD)(图1-1)主孔深达5000余米,钻孔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(图1-2,1-3).而且,东海境内还出现大量出露地表的石英脉和水晶矿(图1-4,1-5)。前人对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(沈昆等2003;范宏瑞等，2005;徐莉等，2005,2006,2007a,2007b;李旭平等，2005 ；Xu等，2006;孙晓明等，2006a,2006b)，同时对大别—苏鲁超高压变质带地表高压超高压变质岩的同位素进行了许多的研究(Yui等，1995;郑永飞等，1997;1998;1999;2002;2003;2004;李一良等，2001，徐莉等，2006)，并对CCSD钻孔岩心矿物(100—2050 m)进行了原位同位素地球化学分析(张泽明等，2004)，但对CCSD中石英脉和东海水晶的流体包裹体及成因等方面专门的研究很少。本文利用岩相学、冷热台显微测温和激光拉曼光谱分析、显微红外等方法，对CCSD高压超高压变质岩中石英脉中流体包裹体进行了研究，并对其成矿机制进行了初步探讨。

7.期刊论文 范宏瑞.谢奕汉.赵瑞.王英兰 小秦岭含金石英脉复式成因的流体包裹体证据 -科学通报2000,45(5)

小秦岭地区太古代变质岩、燕山期花岗岩及含金石英脉中流体包裹体研究发现,区域变质热液为高温高盐度的流体,燕山期花岗岩浆期后热液为含CO2的低盐度流体,而典型金矿成矿热液也为富含CO2的低盐度流体,但在金矿区无金或贫金地段的石英脉中残留有变质热液特有的含子矿物高盐度流体包裹体,这说明石英脉可能是在早期变质作用过程中就已形成,后期又被燕山期后含金热液叠加改造并成矿.

8.学位论文 赵桂萍 东秦岭商丹缝合带石英脉及流体包裹体成因探讨 1997

9.期刊论文 吴湘滨.戴塔根.何绍勋.WU Xiang-bin.DAI Ta-gen.HE Shao-xun 湘西南石英脉型金矿矿物流体包裹体pH值和Eh值的估算 -大地构造与成矿学1999,23(3)

以湘西南石英脉型金矿床为例,研究pH、Eh估算值的结果表明利用围岩蚀变反应方程以及采用碱金属离子、卤素元素离子估算pH值是不完善的.本文根据热力学原则(相平衡、电价中和)提出了矿物流体包裹体成分体系计算pH估算值的方法,并且讨论了测试包裹体时气体成分外逸是影响pH和Eh估算值的主要因素之一.

10.期刊论文 熊德信.孙晓明.翟伟.石贵勇.王生伟.XIONG Dexing.SUN Xiaoming.ZHAI Wei.SHI Guiyong.WANG Shengwei 云南大坪韧性剪切带型金矿富CO2流体包裹体及其成矿意义 -地质学报2007,81(5)

大坪金矿成矿可分为三个成矿阶段：早期成矿阶段(白钨矿石英脉)、主成矿阶段(团块状多金属硫化物含金石英脉)和晚成矿阶段(碳酸盐石英脉).本文利用显微测温和拉曼光谱分析了大坪矿脉的流体包裹体特征，结果表明:流体包裹体基本由富液相CO2包裹体和不同CO2/H2O比例的CO2-H2O型包裹体组成,早阶段白钨矿石英脉中同时富含富气相CO2包裹体,主成矿阶段团块状多金属硫化物金矿石中富液相CO2包裹体占明显优势,只有晚成矿阶段碳酸盐石英脉中含有居次要地位的H2O溶液包裹体.流体包裹体中气相组成基本为纯CO2,早阶段者还含少量N2.早阶段CO2-H2O型包裹体的盐度为6.37%～14.64%NaCl,峰值9%～10.5%NaCl,均一温度为299.4～423.7℃，峰值320～380℃,CO2包裹体密度为0.352～0.798g/cm3，多数在0.64～0.71g/cm3;主成矿阶段的CO2-H2O型包裹体的盐度在3.70%～14.64%NaCl之间，峰值7.2%～9.0%NaCl,均一温度279.0～406.5℃之间，峰值320～360℃,CO2包裹体密度为0.591～0.843g/cm3，多数大于0.8 g/cm3;晚成矿阶段CO2-H2O型包裹体的盐度为4.80%～6.54%NaCl,均一温度为287.6～337.1℃. 计算表明早阶段成矿压力约为190～440MPa,主阶段成矿压力约为133.5～340.0 MPa，相当的成矿深度为5.1～12.9km.这些特征揭示了该矿成矿流体为近临界的高CO2(CO2≥H2O)的中低盐度的CO2-H2O-NaCl体系流体,在成矿过程中基本不存在流体混合,但发生了明显的沸腾和相分离作用. 该矿是剪切带控制下的中深中温热液金矿,成矿作用主要是减压沸腾环境下的快速沉淀.结合其它证据，作者认为该矿的成矿流体主体为深源的壳幔混合流体,而不是地壳浅部的大气降水、岩浆水或其混合流体. 金在高CO2的成矿流体中可能主要以硫氢络合物形式迁移,矿质沉淀主要与压力速降条件下发生流体的相分离作用相关.

引证文献(8条)

1.徐莉.孙晓明.汤倩.翟伟.梁业恒.梁金龙.李爱菊 CCSD HP-UHP变质岩中石英脉微量元素和稀土元素地球化学[期刊论文]-岩石学报 2007(12)

2.徐莉.孙晓明.汤倩.翟伟.梁业恒.梁金龙.李爱菊 CCSD HP-UHP变质岩中石英脉微量元素和稀土元素地球化学[期刊论文]-岩石学报 2007(12)

3.汤倩.孙晓明.梁金龙.徐莉.翟伟.梁业恒 CCSD HP-UHP变质岩中磷灰石稀土元素(REE)地球化学及其示踪意义[期刊论文]-岩石学报 2007(12)

4.汤倩.孙晓明.梁金龙.徐莉.翟伟.梁业恒 CCSD HP-UHP变质岩中磷灰石稀土元素(REE)地球化学及其示踪意义[期刊论文]-岩石学报 2007(12)

5.张泽明.沈昆.刘勇胜.游振东.石超.王金丽 南苏鲁造山带毛北超高压变质岩体的成因与成矿作用[期刊论文]-岩石学报 2007(12)

6.徐莉.孙晓明.翟伟.梁业恒.汤倩.梁金龙 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[期刊论文]-地质学报 2007(5)

7.徐莉.孙晓明.翟伟.梁业恒.汤倩.梁金龙 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[期刊论文]-地质学报 2007(5)

8.孙晓明.徐莉.翟伟.汤倩.梁业恒.梁金龙.张泽明.沈昆 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[期刊论文]-岩石学报 2006(7)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_ysxb98200607028.aspx
授权使用：西北大学(xaxbdx)，授权号：ed1418d8-6211-4f2d-9639-9dfc00a36e26

下载时间：2010年9月25日