第25卷 第4期 海 洋 学 报 Vol.25, No.4
2003年7月 ACTA OCEANOLOGICA SINICA July, 2003

冲绳海槽Jade热液区块状硫化物中流体包裹体的氦、氖、氩同位素组成

曾志刚[1], 秦蕴珊[1], 翟世奎[2]

(1. 中国科学院 海洋研究所,山东 青岛 266071; 2. 中国海洋大学 海洋地球科学学院,山东 青岛 266003)

摘要: 对冲绳海槽Jade热液区块状硫化物中流体包裹体的氦、氖和氩同位素组成进行了测定,流体包裹体的$^3He/^4He$比值为(6.2～10.1)Ra,均值为7.8Ra,与大洋中脊玄武岩一致[$^3He/^4He\approx(6\sim11)$ Ra]. $^{20}Ne/^{22}Ne$比值为10.7～11.3,明显高于大气值(9.8). 而$^{40}Ar/^{36}Ar$比值的变化范围在287～334之间,接近大气值(295.5). 这些结果表明,块状硫化物中热液流体捕获的稀有气体是地幔和海水源组分混合的产物,且流体包裹体中的氦主要来自地幔,氖和氩主要来自海水.

关键词: 氦、氖、氩同位素; 海底块状硫化物; Jade热液区

中图分类号: P736.4 **文献标识码**: A **文章编号**: 0253－4193(2003)04－0036－07

1 引言

自从在太平洋深海水中首次发现^3He富集以来[1],先后在许多热液活动区也观测到了具高$^3He/^4He$比值的热液流体. 这些流体的氦同位素组成相当稳定,其$^3He/^4He$比值约是大气(1.4×10^{-6})的8倍,与当地大洋玄武岩的氦同位素组成一致,且洋中脊热液体系中喷口流体的^3He富集可高达周围海水的20 000倍[2～5]. 尽管如此,近期的研究表明,海底构造作用和/或岩浆活动等原因,可导致热液体系中氦浓度和$^3He/$热比值的相应变化[5～8]. 而了解这种变化,单靠目前对喷口流体的现场监测显然不够. 因此,热液沉积物成为人们关注的焦点,早期的研究表明,硫化物中流体包裹体可以很好地保存矿物沉淀时热液流体中稀有气体的信息,通过分析研究海底热液沉积物中流体包裹体的稀有气体同位素组成特征对解决热液流体的来源、演化和热液通量(hydrothermal flux)等问题有着重要的意义[7～12].

在Jade热液活动区,侯增谦等[13]近期报道了热液硫化物中氦同位素的研究结果,提出了流体包裹体中存在幔源氦的观点,由于给出Jade热液区下部热水成矿系统中硫化物的

收稿日期: 2001－11－26; **修订日期**: 2002－06－28.

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目课题资助项目(G2000046701);国家自然科学基金资助项目(40176020).

作者简介: 曾志刚(1968—),男,湖南省邵东县人,研究员,从事海洋地球化学研究. Email: zgzeng@ms.gdio.ac.cn.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$^3He/^4He$比值高达29.9Ra(侯增谦等将其解释为下地幔的贡献)，远远高于该区喷口流体的$^3He/^4He$比值，但在其他热液活动区，例如东太平洋海隆 21°和 13°N，大西洋中脊 23°N 以及胡安德富卡洋脊中的 Middle Valley，热液硫化物中流体包裹体的$^3He/^4He$比值变化范围并不大，均与当地喷口流体的氦同位素比值一致，具有相当的稳定性. 因此，了解造成 Jade 热液活动区与众不同的主要原因、Jade 区热液硫化物中流体包裹体捕获的其他稀有气体是否与氦一样来自深部地幔等问题具有一定的意义，它是进一步揭示该弧后盆地海底热液活动形成、演化机制的重要途径. 为此，本文报道了块状硫化物中流体包裹体的氦、氖和氩同位素组成，重点探讨了该区的稀有气体的来源问题.

2　地质背景概况

冲绳海槽位于西北太平洋，受着菲律宾板块对欧亚大陆的俯冲作用，属构造活动的陆内弧后扩张盆地. 海底热液活动主要分布在海槽的中部，地球物理资料显示，海槽中部的陆壳厚度约为20 km，海底分布有未固结的全新世深海粉砂质黏土，其最大厚度为 20～30 m. 沉积物下分布有晚更新世的长英质火山岩，与泥质沉积物和酸性凝灰岩互层产出. 1988 年，在冲绳海槽中部 Izena Cauldron 的东北坡(27°15′N，127°04.5′E)发现了 Jade 热液活动区. 该区呈南西—北东向宽约为600 m，长为1 800 m的带状展布，水深在1 200～1 600 m左右. 区内不规则地分布着活动的和窒息的硫化物－硫酸盐烟囱体与丘状堆积体(mound)，除了部分烟囱体坍塌外，大多数烟囱体直立可高达5 m. 热液沉积物中主要的矿石矿物是闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、白铁矿、黄铜矿、黝铜矿和砷黝铜矿，而重晶石、硬石膏、隐晶质二氧化硅和铅矾是主要的脉石矿物[14].

3　样品描述和分析

所有块状硫化物样品取自冲绳海槽中部 Izena Cauldron 中 Jade 热液活动区的下部块状硫化物堆积体，为灰黑色块状硫化物，孔隙发育，主要由闪锌矿、黄铜矿、方铅矿和黄铁矿组成，其详细的矿物学特征描述见文献[14].

样品碎成 5 mm 左右的小颗粒，在真空系统中，恒温于 105 ℃并加热48 h，去除水和表面吸附气体. 然后加热到 800 ℃，熔样30 min，释放出的气体经海绵钛泵，锆－铝泵和液氮活性碳冷阱纯化，H_2，N_2，O_2，CO_2，CH_4，H_2O，有机质等活性气体均被冷冻、吸附. 氦、氖和氩同位素在中国地质科学院矿床地质研究所用乌克兰生产的 MI－120IG 惰性气体同位素质谱计测量. 首先，纯净的氦和氖进入分析管道，进行氦、氖同位素分析，氖用电子倍增器接受，^4He 和 ^3He 分别用法拉第杯和电子倍增器接受，电子倍增器的分辨率达1 200倍，足够将$^3He^+$与 $HD^+ + H_3^+$峰分开. 然后，将活性碳冷阱温度升至－80 ℃，将氩释放进入分析系统，进行氩同位素分析，氩用法拉第杯接受，分辨率为 600 倍. 所测样品均以国际通用的大气作为工作标准(STP)，即$^3He/^4He = 1.4 \times 10^{-6}$，$^{20}Ne/^{22}Ne = 9.81$，$^{40}Ar/^{36}Ar = 295.5$.

4　结果和讨论

块状硫化物样品的氦、氖和氩同位素组成见表 1. 由于现代海底热液硫化物的形成年龄较年轻，Jade 热液区中块状硫化物的铀($0.93 \times 10^{-6} \sim 5.6 \times 10^{-6}$)和钍含量($0.41 \times 10^{-6} \sim 2.16$

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$\times 10^{-6}$)较低,且喷口流体的钾含量(最高为72 mmol/kg)[14]也较低,排除了矿物中原地放射成因^{4}He和^{40}Ar给予较大贡献的可能,表明块状硫化物中流体包裹体的稀有气体基本上代表了同时代喷口流体的稀有气体同位素组成. 同时,该区的地质背景和热液沉积物硫同位素组成所反映出的成矿物源与海水、中酸性火山岩和沉积物有关的研究结果[15],以及海底块状硫化物铅同位素[16]和稀土元素组成的研究结果[17],从不同的侧面又证实了该区海底热液成矿物质具有多来源的特点. 因此,其稀有气体来源可能主要受大气,上、下地幔和陆壳四端元控制,且大气组分在本区主要来自海水是有可能的.

表1 Jade热液区海底块状硫化物的氦、氖和氩同位素组成

样 号	矿物组成	^{3}He ($\times 10^{-10}$)	$^{3}He/^{4}He$ ($\times 10^{-5}$)	R/Ra	^{20}Ne ($\times 10^{-8}$)	$^{20}Ne/^{22}Ne$	$^{21}Ne/^{22}Ne$ ($\times 10^{-2}$)	^{36}Ar ($\times 10^{-8}$)	$^{40}Ar/^{36}Ar$
HOK4-1	Sp+Py+Gn+Cp	0.002	0.87±0.26	6.2	1.0	11.0±0.20	2.9±0.1	1.12	329±3
HOK4-2	Sp+Py+Gn+Cp	0.0 076	1.42±0.05	10.1	0.5	11.3±0.06	2.7±0.1	7.38	287±3
HOK4-3	Sp+Py+Gn+Cp	0.0 043	1.01±0.11	7.2	0.5	10.7±0.08	3.0±0.3	21.4	312±1
HOK4-4	Sp+Py+Gn+Cp	0.0 045	1.09±0.27	7.8	2.7	10.8±0.02	2.8±0.02	26.5	334±1
大气端元[24,25]		0.000 14	0.14	1	3.48	9.8	2.9	6.63	295.5
海水端元[24]		0.000 63	0.138	0.98	17.4	-	-	127	295.5
大陆壳端元[24]		0.000 3~0.06	0.001~0.1	0.007~0.7	0.01~0.05	-	-	0.03~0.37	1 650~170 000
地幔柱端元[27]		0.01~0.41	2.35~3.43	16.8~25.4	0.002~0.07	10.5~12.8	2.9~3.6	0.001~0.15	505~8 340
MORB端元[23,24]		1.1~4.2	0.84~1.54	6~11	0.003~0.029	9.8~13.6	2.7~5.7	0.003 8~0.01	13 000~25 250
Loihi玄武岩端元[23,24]		0.03~0.42	2.32~5	16.5~35.7	0.005~0.08	8.4~11.7	2.6~3.4	0.007~0.14	296~2 780
上地幔端元[22,28]		1.74	1.20	8.6	0.022 6	12.5	6.5	0.027	28 000
下地幔端元[22,28]		18.6	4.20	30	4.83	12.5	3.5	0.065	5 000

Sp为闪锌矿,Py为黄铁矿,Gn为方铅矿,Cp为黄铜矿;^{4}He为^{20}Ne和^{40}Ar标准温度和压力条件下的单位为cm^{3}/g.

Jade热液区块状硫化物中流体包裹体的$^{3}He/^{4}He$比值为(6.2~10.1)Ra(表1),均值为7.8 Ra,与该区喷口流体的$^{3}He/^{4}He$比值相比略微偏高(R/Ra=5.8~6.6)[18,19],而与本区长英质火山岩(R/Ra=5.4~8.7)[13]以及不同构造背景中喷口流体的$^{3}He/^{4}He$比值(R/Ra=6.7~8.77)[20]基本吻合,并落在大洋中脊玄武岩(MORB)$^{3}He/^{4}He$比值的变化范围内(6~11Ra)[21],表明块状硫化物中流体包裹体的氦主要来自一个MORB型地幔源区. 同时Jade区块状硫化物中流体包裹体的$^{3}He/^{4}He$比值,与来自东太平洋海隆的21°N(R/Ra=5.8~8.0)[8],13°N(R/Ra=6.85~9.30)[8,12]和大西洋中脊的23°N(R/Ra=7.0~8.1)[8]中热液硫化物相比基本上一致,也间接证明了其块状硫化物中流体包裹体的氦主要来自MORB型地幔源区. 而与侯增谦等[13]给出的Jade热液区下部热水成矿系统中块状硫化物的$^{3}He/^{4}He$比值(R/Ra=10.6~17.9)相比,我们测得的块状硫化物中流体包裹体的$^{3}He/^{4}He$比值偏低,结合两者的数据看,这不仅表明该区下部块状硫化物具有相对较大的$^{3}He/^{4}He$比值变化范围,而且反映出块状硫化物中流体包裹体的氦源相对较复杂,很可能是上、下地幔和海水来源氦相互作用的结果.

块状硫化物中流体包裹体的$^{20}Ne/^{22}Ne$比值(10.7~11.3)比大气(9.8)高,却低于上、下地幔端元(12.5)[22],但是这些比值均落在MORB和Loihi玄武岩$^{20}Ne/^{22}Ne$比值(分别为9.8~13.6和8.4~

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

11.7)[23]的变化范围之内，并且$^{21}Ne/^{22}Ne$比值高达3.0，比大气的比值(2.9)略微高一点，也落在Loihi玄武岩的变化范围之内($^{21}Ne/^{22}Ne\approx2.6\sim3.4$)[23]. 同时，流体包裹体中$^{20}Ne$的浓度($0.5\times10^{-8}\sim2.7\times10^{-8}$ cm^3/g)与MORB($0.008\times10^{-8}\sim0.039\times10^{-8}$ cm^3/g)和Loihi玄武岩($0.005\times10^{-8}\sim0.08\times10^{-8}$ cm^3/g)[24]相比明显富集，明显低于大气(3.48×10^{-8} cm^3/g)和深海水(17.4×10^{-8} cm^3/g)[24]的氖浓度. 这些表明，流体包裹体捕获的氖并非单一的来源，块状硫化物中流体包裹体的氖同位素组成也是地幔和海水来源氖混合的结果. 从R/Ra－$^{20}Ne/^{4}He$图解中(图1)，可以反映出，块状硫化物中流体包裹体的稀有气体组成与大气和地幔端元均不一致，数据落在Loihi玄武岩和大气端元的等比例混合线的上方，不仅表明块状硫化物中流体包裹体捕获的稀有气体是大气和地幔端元的混合，且大气和地幔端元的混合作用是非等比例混合，同时反映出流体包裹体中地幔来源稀有气体组分有部分可能来自Loihi型地幔源区.

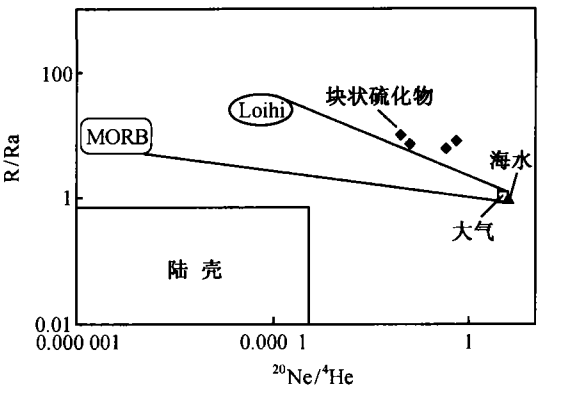


图1　Jade热液区块状硫化物中流体包裹体的$^{20}Ne/^{4}He$－R/Ra图解

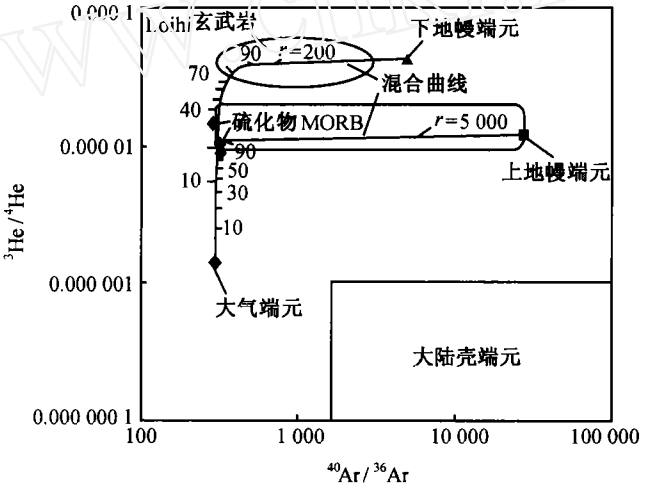


图2　Jade热液区块状硫化物中流体包裹体的$^{40}Ar/^{36}Ar$－$^{3}He/^{4}He$图解

从块状硫化物中流体包裹体的氩同位素组成看，其$^{40}Ar/^{36}Ar$比值(287～334)靠近大气值(295.5)和Loihi玄武岩比值(296～2 780)[23,25]，却远远低于MORB的$^{40}Ar/^{36}Ar$比值(13 000～25 250)[24]. 流体包裹体中^{36}Ar的浓度高达26.5×10^{-8} cm^3/g，与大气的^{36}Ar浓度(6.63×10^{-8} cm^3/g)比较接近，且高于东太平洋海隆的13°N($0.014\times10^{-8}\sim0.194\times10^{-8}$ cm^3/g)[12]，Loihi玄武岩($0.007\times10^{-8}\sim0.14\times10^{-8}$ cm^3/g)和MORB($0.003\ 8\times10^{-8}\sim0.01\times10^{-8}$ cm^3/g)[24]的氩浓度. 这表明块状硫化物中流体包裹体的氩同位素组成近似大气的. 在$^{3}He/^{4}He$－$^{40}Ar/^{36}Ar$图解上(图2)，数据落在一个有趣的范围内，可以通过Loihi型地幔组分和大气的混合来解释

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

这些数据. 根据 Langmuir 等[26]提出的二元混合模式计算方法,假设作为 Loihi 玄武岩源区的下地幔端元(LM)具有$^{40}Ar/^{36}Ar=5\ 000$和 $R/Ra=30$,可以看出下地幔端元和大气(A)的混合曲线,在决定混合曲线曲率的 $r=([^{36}Ar]/[^{4}He])_A/([^{36}Ar]/[^{4}He])_{LM}=200$ 时,可以很好地拟合所有的数据,此时,块状硫化物中流体包裹体有 18%～32%的稀有气体来自下地幔端元,而 68%～72%的稀有气体来自大气端元. 但是,我们也无法排除这些数据是大气和上地幔端元组分混合的产物,同样假设作为 MORB 源区的上地幔端元(UM)具有$^{40}Ar/^{36}Ar=28\ 000$和 $R/Ra=8.6$,可以看出上地幔端元和大气的混合曲线,在 $r=([^{36}Ar]/[^{4}He])_A/([^{36}Ar]/[^{4}He])_{UM}=5\ 000$时,能很好地拟合部分数据,此时,块状硫化物中流体包裹体有 68%～89%的稀有气体来自上地幔端元,而 11%～32%的稀有气体来自大气端元(见图 2).

表 2 块状硫化物与各端元$^{3}He/^{4}He$, $^{20}Ne/^{4}He$和$^{40}Ar/^{4}He$平均值的比较

端元	$^{3}He/^{4}He$	$^{20}Ne/^{4}He$	$^{40}Ar/^{4}He$
块状硫化物	8.7×10^{-6}～10.9×10^{-6}	0.09～0.64	160～2 110
大气[24]	1.4×10^{-6}	3.4	1 936.89
大陆壳[24]	4×10^{-8}	5.2×10^{-6}	0.52
MORB[24]	1.2×10^{-5}	7.8×10^{-6}	0.06
Loihi 玄武岩[24]	3.8×10^{-5}	8.6×10^{-4}	0.50

将块状硫化物中流体包裹体的$^{3}He/^{4}He$, $^{20}Ne/^{4}He$和$^{40}Ar/^{4}He$比值与大气、大陆壳、MORB 以及 Loihi 玄武岩进行对比(表 2),可以看出流体包裹体的^{3}He, ^{20}Ne和^{40}Ar含量介于大气和地幔端元之间,与大陆壳端元相差甚远,并且由于海水具有低^{3}He,高^{20}Ne,高^{40}Ar含量的特征,非常不同于上、下地幔具有的高^{3}He,低^{20}Ne和^{40}Ar含量的特征,再加之海水与上、下地幔相比,具有低$^{3}He/^{4}He$, $^{20}Ne/^{22}Ne$, $^{21}Ne/^{22}Ne$和$^{40}Ar/^{36}Ar$比值的特点,表明海水与地幔组分的混合作用对块状硫化物中流体捕获的稀有气体同位素组成将产生明显的影响. 因此,块状硫化物中流体包裹体的氖和氩同位素组成具有类似大气的特点可能归因于海水的稀释作用,这也是块状硫化物中流体包裹体的$^{3}He/^{4}He$比值与下地幔端元相比偏低的原因.

5 结论

Jade 热液区块状硫化物中流体包裹体的氦、氖和氩同位素组成及其浓度均介于海水和上、下地幔端元之间,证实了流体包裹体中的稀有气体是海水和地幔组分混合的产物,且热液流体捕获的地幔源稀有气体组分可能部分来自 Loihi 型地幔源区. 同时,上、下地幔与海水来源稀有气体组分不同比例的混合作用是导致 Jade 热液活动区热液硫化物中流体包裹体的稀有气体同位素组成与众不同的主要原因,使热液硫化物中流体包裹体的稀有气体同位素组成具有相对较大的变化范围,既表现出上地幔来源氦的特点,又表现出下地幔来源氦的特点,同时还体现出其热液流体捕获的氖和氩主要来自海水的特点. 确定热液硫化物中流体包裹体的地幔稀有气体中上、下地幔来源组分所占的份额,尚需进一步的研究工作.

侯增谦研究员为本研究提供了样品,吴世迎研究员和赵一阳研究员,为本文提出了建设性意见和帮助,在此一并表示深切的感谢.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

参考文献：

[1] CLARKE W P, BEG M A, CRAIG H. Excess ^{3}He in the sea: evidence for terrestrial primordial helium[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1969, 6: 213—220.

[2] JENKINS W J, EDMOND J M, CORLISS J B. Excess ^{3}He and ^{4}He in the Galapagos submarine hydrothermal waters[J]. Nature, 1978, 272: 156—158.

[3] LUPTON J E, KLINKHAMMER G P, NORMARK W R, et al. Helium-3 and manganese at the 21°N East Pacific Rise hydrothermal site[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1980, 50: 115—127.

[4] CRAIG H, HORIBE Y, FARLEY K A, et al. Hydrothermal vents in the Mariana Trough: results of the first ALVIN dives [J]. EOS, 1987, 68: 1 531.

[5] BUTTERFIELD D A, MASSOTH G J, MCDUFF R E, et al. Geochemistry of fluids from Axial Seamount hydrothermal emissions study vent field, Juan de Fuca Ridge: subseafloor boiling and subsequent fluid-rock interaction[J]. Journal of Geophysical Research, 1990, 95: 12 895—12 921.

[6] BAKER E T, LUPTON J E. Changes in submarine hydrothermal ^{3}He/heat ratios as an indicator of magmatic/tectonic activity[J]. Nature, 1990, 346: 556—558.

[7] JEAN-BAPTISTE P, FOUQUET Y. Abundance and isotopic composition of helium in hydrothermal sulfides from the East Pacific Rise at 13°N[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1996, 60: 87—93.

[8] STUART F M, TURNER G, DUCKWORTH R C, et al. Helium isotopes as tracers of trapped hydrothermal fluids in ocean-floor sulfides[J]. Geology, 1994, 22: 823—826.

[9] STUART F M, DUCKWORTH R, TURNER G, et al. Helium and sulfur isotopes in sulfide minerals from Middle Valley, Northern Juan de Fuca Ridge[J]. Proceedings of the Ocean Drilling Program(Scientific Results), 1994, 139: 387—392.

[10] TURNER G, STUART F. Helium/heat ratios and deposition temperatures of sulphides from the ocean floor[J]. Nature, 1992, 357: 581—583.

[11] ELDERFIELD H, SCHULTZ A. Mid-ocean ridge hydrothermal fluxes and the chemical composition of the ocean[C]. Annu Rev Earth Planet Sci, 1996, 24: 191—224.

[12] STUART F M, TURNER G. Mantle-derived ^{40}Ar in mid-ocean ridge hydrothermal fluids: implications for the source of volatiles and mantle degassing rates[J]. Chemical Geology, 1998, 147: 77—88.

[13] 侯增谦，李延河，艾永德，等. 冲绳海槽活动热水成矿系统的氦同位素组成：幔源氦证据[J]. 中国科学(D 辑)，1999, 29: 155—166.

[14] HALBACH P, PRACEJUS B, MARTEN A. Geology and mineralogy of massive sulfide ores from the central Okinawa Trough, Japan[J]. Economic Geology, 1993, 88: 2 210—2 225.

[15] 曾志刚，蒋富清，翟世奎，等. 冲绳海槽中部 Jade 热液活动区中海底热液沉积物的硫同位素组成及其地质意义[J]. 海洋学报，2000, 22: 74—82.

[16] 曾志刚，蒋富清，翟世奎，等. 冲绳海槽 Jade 热液活动区块状硫化物的铅同位素组成及其地质意义[J]. 地球化学，2000, 29: 239—245.

[17] 曾志刚，蒋富清，秦蕴珊，等. 冲绳海槽中部 Jade 热液活动区中块状硫化物的稀土元素地球化学特征[J]. 地质学报，2001, 75: 244—249.

[18] SAKAI H, GAMO T, KIM E-S, et al. Venting of carbon dioxide-rich fluid and hydrate formation in Mid-Okinawa Trough backarc basin[J]. Science, 1990, 248: 1 093—1 096.

[19] SAKAI H, GAMO T, KIM E-S, et al. Unique chemistry of the hydrothermal solution in the Mid-Okinawa Trough backarc basin[J]. Geophysical Research Letters, 1990, 17: 2 133—2 136.

[20] JEAN-BAPTISTE P, CHARLOU J L, STIEVENARD M, et al. Helium and methane measurements in hydrothermal fluids from the Mid-Atlantic Ridge: the Snake Pit site at 23°N[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1991, 106: 17—28.

[21] KURZ M D, JENKINS W J, SCHILLING J G, et al. Helium isotopic variations in the mantle beneath the central North Atlantic Ocean[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1982, 58: 1—14.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[22] O'NIONS R K, TOLSTIKHIN I N. Behaviour and residence times of lithophile and rare gas tracers in the upper mantle [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1994, 124: 131—138.

[23] HIYAGON H, OZIMA M, MARTY B, et al. Noble gases in submarine glasses from mid-oceanic ridges and Loihi seamount: constraints on the early history of the earth[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1992, 56: 1 301—1 316.

[24] ALLEGRE C J, STAUDACHER T, SARDA P. Rare gas systematics: formation of the atmosphere, evolution and structure of the earth's mantle[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1986/87, 81: 127—150.

[25] SARDA P, STAUDACHER T, ALLEGRE C J. Neon isotopes in submarine basalts[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1988, 91: 73—88.

[26] LANGMUIR C H, VOCKE R D JR, HANSON G N, et al. A general mixing equation with applications to Icelandic basalts [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1978, 37: 380—392.

[27] TRIELOFF M, KUNZ J, CLAGUE D A, et al. The nature of pristine noble gases in mantle plumes[J]. Science, 2000, 288: 1 036—1 038.

[28] STAUDACHER T H, SARDA P, RICHARDSON S H, et al. Noble gases in basalt glasses from a Mid-Atlantic Ridge topographic high at 14°N: geodynamic consequences[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1989, 96: 119—133.

He, Ne and Ar isotope compositions of fluid inclusions in massive sulfides from the Jade hydrothermal field, Okinawa Trough

ZENG Zhi-gang[1], QIN Yun-shan[1], ZHAI Shi-kui[2]

(1. *Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao* 266071, *China*; 2. *College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao* 266003, *China*)

Abstract: Helium, neon and argon isotope compositions of fluid inclusions have been measured in massive sulfide samples from the Jade hydrothermal field at the central Okinawa Trough. Fluid-inclusion $^{3}He/^{4}He$ ratios are between 6.2 and 10.1 times the air value (Ra), and with a mean of 7.8 Ra, which are consistent with the mid-ocean ridge basalt values [$^{3}He/^{4}He \approx (6 \sim 11)Ra$]. Values for $^{20}Ne/^{22}Ne$ are from 10.7 to 11.3, which are significantly higher than the atmospheric ratio (9.8). And fluid-inclusion $^{40}Ar/^{36}Ar$ ratios range from 287 to 334, which are close to the atmosperic values (295.5). These results indicate that the noble gases of trapped hydrothermal fluids in massive sulfides are a mixture of mantle-and seawater-derived components, and the helium of fluid inclusions is major from mantle, the Ne and Ar isotope compositions are major from seawater.

Key words: He－Ne－Ar isotopes; seafloor massive sulfides; Jade hydrothermal field

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net