

台湾东北部龟山岛附近海域自然硫烟囱体的铅同位素组成及地质意义*

刘长华¹ 汪小妹^{1,2} 曾志刚¹ 姜学均³ 殷学博¹ 陈镇东⁴

(1.中国科学院海洋研究所 青岛 266071; 2.中国科学院研究生院 北京 100049;
3.国土资源部青岛海洋地质研究所 青岛 266071; 4.台湾中山大学 高雄 804)

提要 为了探讨龟山岛附近热液自然硫烟囱体的物质来源,通过测定烟囱体内铅同位素的组成特征,分析了该地区热液活动的铅元素物源。研究表明,龟山岛附近热液自然硫烟囱体中的铅同位素组成具有很小的变化范围和较均一的铅同位素组成特征,但是与其它深海热液沉积物的铅源不同,与北半球铅同位素的参考线(NHRL)相距甚远。虽然自然硫烟囱体出现在海水环境,但是海水对其不存在铅的贡献,烟囱体内的元素铅主要是陆壳来源。根据以上结果可以进一步推断,龟山岛热液活动区的下伏地层中,存在一定分布范围的陆壳,这对于研究该地区复杂的地质构造特征具有一定意义。

关键词 铅同位素组成,自然硫烟囱体,海底热液活动,龟山岛

中图分类号 P736

铅同位素的研究对于理解海底热液过程和热液沉积物中金属元素的来源十分重要,可以为热液沉积物中的铅是高温蚀变渗透洋壳来源或海水来源,甚至是海底沉积物来源提供有力的判据(Verati *et al.*, 1999)。

一般将热液沉积物中 Pb 的研究分为有沉积物覆盖的洋中脊热液系统、无沉积物覆盖的洋中脊热液系统和弧后盆地环境,如南戈达洋脊(Southern Gorda Ridge)的 Escanaba 海槽和北胡安·德富卡洋脊(Northern Juan de Fuca Ridge; NJdFR) Endeavor 段的 Middle Valley 为有沉积物覆盖的洋中脊热液系统,热液沉积物的形成与深部岩浆活动和沉积物密切相关;东太平洋海隆 21°N 和大西洋中脊 23°N 的 Snake Pit 为无沉积物覆盖的洋中脊热液系统,洋中脊玄武岩是海底热液沉积物的主要物质来源;冲绳海槽和 Lau 海盆为典型的弧后盆地环境的热液系统,其热液沉积物成矿的物质来源是沉积物和火山岩共同贡献的结果(曾志刚等, 2000)。

本文中作者所研究的台湾东北部龟山岛附近海

域出现的热液活动区位于台湾断层系和冲绳海槽南部裂谷系延伸交接部位,属于典型浅海热液活动(刘长华等, 2006a; Tarasov *et al.*, 2005),热液活动区大量产出高纯度的自然硫烟囱体,元素硫的纯度高达 99%(刘长华等, 2006b; 刘长华等, 2007)。热液活动区几乎无沉积物覆盖,基底的安山岩直接出露于海底。龟山岛属于活火山岛,该地区的热液活动近些年才被发现(Chen *et al.*, 2005),研究龟山岛附近海域热液活动沉积物的物质来源,对于判断该地区的岩浆活动具有重要意义。

1 地质背景概况

龟山岛位于台湾的东北部,距离台湾岛上的伊兰县外海岸约 1 km,热液活动区位于龟山岛的东南部峭崖下,距崖底约 10 m 处,经纬度是 121°55'E、24°50'N,在冲绳海槽的西南端(Letouzey *et al.*, 1985; Yeh *et al.*, 1989; 刘长华等, 2007)。在这一地区菲律宾板块向欧亚大陆板块下面俯冲,造成了十分复杂的地质构造特征。龟山岛本身是一个火山岛(Chen *et al.*,

* 中国科学院知识创新工程重要方向项目, KZCX2-YW-211 号, KZCX3-SW-223 号;国家自然科学基金项目, 40830849 号和国家大洋重大专项课题, DYXM-115-02-1-03 号。刘长华, 博士, E-mail: lchzh@yahoo.com.cn

收稿日期: 2008-10-05, 收修改稿日期: 2009-02-14

1990, 1995), 根据热释光法测定最近的喷发年代距今约(7000±800) a, 是全新世的火山岛(Chen *et al.*, 2001)。热液活动区在地形上属于龟山岛向海面下自然延伸的部位(刘长华等, 2007), 水深 10—20 m, 活动区的面积为 0.5 km², 是典型的火山岛翼部地区。

2 样品描述和分析

样品取自龟山岛东南距该岛峭崖仅 10 m 左右、水深约 10 m 的浅海, 为几个完整的烟囱体, 呈柱状、圆锥状, 其中最大一个的烟囱体呈圆锥状, 上细下粗, 高约 23 cm, 上直径约为 5 cm, 下直径约为 12 cm; 外壁粗糙, 隐约可见油脂光泽, 颜色主要是暗黄色, 性脆, 硬度小, 用普通的小刀就可以刻划碎样(见封面图片)。从截面观察, 内有直径约为 1.6 cm 的孔隙, 颜色从外向里逐渐变浅, 由暗黄色过渡为黄色到最里层呈现亮黄色。截面上有明显的分层现象, 与颜色的变化呈现对应关系。取表面略呈暗黄色的碎样用玛瑙研钵进行研磨, 研磨过程中有硫磺气味散出, 约 20 min, 研磨样品用手触摸无粒度感, 颜色变为与烟囱体内层亮黄色一致。

共对 8 块自然硫烟囱体碎块进行了取样测试。由于样品中自然硫元素含量很高, 因此称取 2.0 g 样品, 用超净水多次清洗样品, 低温烘干后, 采用燃烧法使元素硫以二氧化硫的形式散失掉, 剩余的灰渣用王水溶解。采用 AGI×8(200—400 目)阴离子交换柱, HBr 为介质, 分离提纯 Pb。用硅胶作为发射剂, 在 VG-354 固体质谱仪上测定, 仪器状态由标样 NBS-981 监控。测试工作是在中国科学院地质与地球物理研究所同位素实验室完成, 实验室全流程本底 Pb 1ng, 该仪器测定的 NBS-981 标样平均值为 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.944 \pm 0.009$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.492 \pm 0.018$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 36.677 \pm 0.035$, 样品测试结果见表 1。

3 铅同位素组成特征

从所获得的自然硫烟囱体碎块样品的铅同位素组成结果看, 龟山岛附近海域热液活动区中热液自然硫烟囱体的铅同位素组成具有很小的变化范围特点, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.107—18.288$, 均值是 18.179, 变化率为 0.99%; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.583—15.635$, 均值是 15.609, 变化率为 0.33%; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.184—38.420$, 均值是 38.295, 变化率为 0.62%(表 1); 表明龟山岛附近热液活动区的自然硫烟囱体具有较均一的铅同位素组成特征。在 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}—^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解上(图 1), 自然硫烟囱体碎块的铅同位素组成呈现明显的线性排列, 很少分散; 在 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}—^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解上(图 1), 自然硫烟囱体的铅同位素组成虽然很少分散, 但是不呈现明显的线性, 上述两个图解反映出龟山岛附近海域自然硫烟囱体样品中铅可能是由具有少量放射成因铅的物质端元和具有放射成因铅多的物质端元混合而成, 可能是由于 Th 放射成因形成的 ^{208}Pb 比 ^{235}U 放射成因形成的 ^{207}Pb 更多, 因此该热液源区富集更多的 ^{207}Pb 。

与其它海底热液活动区中热液沉积物的铅同位素组成对比(图 1), 可以看出, 不同热液活动区中的热液沉积物具有各自特定的铅同位素组成分布范围, 并且同一热液活动区的沉积物中铅同位素组成的分布范围都较小, 比较集中, 而且北半球的热液活动区沉积物的铅同位素组成基本落在 NHRL(北半球参考线)附近(Hart, 1984), 在整体分布上, 海底热液沉积物(包括硫化物)的铅同位素组成基本构成线性排列, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}—^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解尤为明显。所不同的是, 龟山岛附近海域热液活动形成的自然硫烟囱体中铅同位素的组成完全偏离其它海底热液沉积物的铅同位素组成范围, 与 NHRL 线也相距甚远。所以龟山岛

表 1 龟山岛附近热液活动区自然硫烟囱体的铅同位素组成

Tab.1 Lead isotopic compositions of native sulfur chimney in hydrothermal area off Kueishantao Island

样品号	样品性质	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
LS-1	自然硫烟囱体碎块	18.136±0.003	15.605±0.028	38.274±0.080
LS-2	自然硫烟囱体碎块	18.237±0.005	15.635±0.031	38.398±0.072
LS-3	自然硫烟囱体碎块	18.107±0.002	15.583±0.021	38.184±0.065
LS-4	自然硫烟囱体碎块	18.171±0.005	15.583±0.017	38.219±0.043
LS-5	自然硫烟囱体碎块	18.288±0.007	15.616±0.033	38.420±0.035
LS-6	自然硫烟囱体碎块	18.152±0.002	15.616±0.019	38.278±0.053
LS-7	自然硫烟囱体碎块	18.231±0.004	15.620±0.016	38.340±0.030
LS-8	自然硫烟囱体碎块	18.109±0.006	15.612±0.013	38.248±0.036

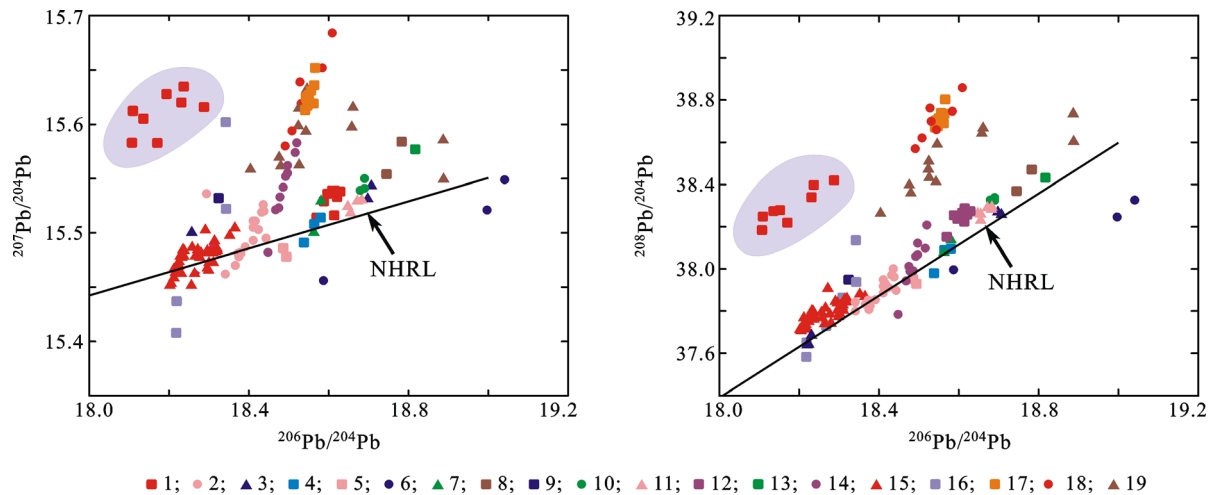


图 1 不同热液活动区热液沉积物的 Pb-Pb 图解

Fig. 1 Pb-Pb diagrams showing isotopic compositions of hydrothermal sediments from different hydrothermal fields

1. 龟山岛附近热液区(本文); 2. EPR13°N (Fouquet *et al.*, 1995); 3. EPR17°26'N; 4. EPR17°31'N; 5. EPR17°S (O'Nions *et al.*, 1978); 6. Explorer Ridge; 7. Galapagos; 8. Guaymas; 9. EPR11°30'N; 10. Hine Hina; 11. Vai Lili; 12. White Church; 13. Middle Valley; 14. Pito Seamount (Verati *et al.*, 1999); 15. TAG26°N (Andrieu *et al.*, 1998); 16. TAG26°N (曾志刚等, 2001); 17. Jade 热液区 (Halbach *et al.*, 1997); 18. Jade 热液区 (曾志刚等, 2000); 19. 塞浦路斯 Troodos 复合体 (Spooner *et al.*, 1982); 括号内为数据来源, 2、3、4、6、7、8、9、10、11、12、13 数据为同一来源, 10、11、12 都是 Lau 海盆内的热液活动区

附近热液活动的自然硫烟囱体的铅同位素来源与其它热液区是不同的。

4 讨论

龟山岛附近海域热液活动的出现在地质构造上表现出一定的意义, 是否指示该地区地壳活动的加剧? 根据台湾学者陈镇东教授等(Chen *et al.*, 2005)的研究认为, 该地区热液活动流体温度与潮汐存在一定的联系, 主要原因是由该地区热源深度较浅所致。由硫同位素的研究可知, 虽然自然硫烟囱体的基底是安山岩, 但是烟囱体的元素硫是来自于深部地幔, 岩浆脱气造成了自然硫烟囱体的硫同位素特征(Chen *et al.*, 2005)。刘长华等(2006b)通过自然硫烟囱体中的微量元素研究, 以自然硫烟囱体中的微量元素和基底安山岩中的微量元素分别用地幔物质进行标准化, 得出两者之间存在非常好的相关性, 因此作者认为龟山岛自然硫烟囱体的微量元素存在两个物源: 热液活动区基底的安山岩和地幔物质。在地质构造上, 龟山岛附近热液活动区属于冲绳海槽的西南延伸段(Yeh *et al.*, 1989), 在冲绳海槽的 Jade 深海热液活动区, 其热液沉积物的物质来源, 一般认为火山岩、沉积物和海水可能是三个主要物质端元, 陈丽蓉等(1993)和侯增谦等(1998)认为, 冲绳海槽火成岩的初始岩浆来自地幔, 并在喷出海底之前经历了较充分的结晶分异作用和地壳物质的混染。而曾志刚等(2000)通过

Jade 热液区的块状硫化物中的铅同位素研究证实, Jade 热液区硫化物的铅是该区沉积物和火成岩共同贡献的结果, 同时总结出现代海底热液活动区的热液沉积物主要有三种铅源类型: (1)以上部洋壳岩石来源铅为主的铅源, 玄武岩是主要的铅源提供者; (2)以火成岩和沉积物共同提供的混合铅为主的铅源; (3)以沉积物来源铅为主的铅源。但是龟山岛附近的热液活动区属于典型的浅海热液活动区, 在物质来源方面较深海热液活动更加复杂, 因为深海热液活动区的存在环境往往是单纯的洋壳, 地壳厚度一般较薄, 而浅海热液活动一般出现于海底火山的顶部或者翼部, 龟山岛附近热液活动区就是火山岛的翼部延伸至水下的部分, 而且从整个地质构造上判断其沉积物的物源十分复杂。

龟山岛附近热液活动基本上出露于基底的安山岩之上, 有几个热液喷口位于巨岩的岩石裂缝处, 热液喷口附近有少量的硫磺颗粒沉积物, 非常不均匀的覆盖在几个独立的热液喷口周围, 因此龟山岛附近的热液活动区基本没有沉积物。实际上龟山岛是一个年轻的火山岛, 岩浆喷出形成该岛的年龄仅有 7000 ± 800 a (Chen *et al.*, 2001), 而龟山岛位于台湾岛的东北部, 没有台湾岛上的河流在此方位入海, 并且该地区常年多为海上吹向大陆的风向为主, 所以河流和风成沉积很少到达此处, 因此龟山岛附近热液活动区很少有沉积物覆盖。沉积物来源的铅, 在龟山岛

附近热液自然硫烟囱体的研究中可以排除,但是龟山岛附近热液自然硫烟囱体的铅源还存在海水、基底安山岩、地幔、陆壳多种复杂来源的可能性。因此将龟山岛附近热液自然硫烟囱体的铅同位素与该区的火山岩、安山岩、Jade 区热液沉积物、陆壳、大洋岛弧火成岩、大陆火成岩、琉球海沟的岩石、N 型大洋中脊玄武岩(N-MORB)、亏损地幔以及能反映海水铅同位素组成的 Fe-Mn 结壳/核,进行了铅同位素的组成对比(表 2、图 1 和图 2)。

从表 2 中可以看出,龟山岛附近热液活动自然硫烟囱体的铅同位素组成特征分布范围基本落在陆壳、大洋及岛弧火成岩和大陆火成岩的分布范围之内,而明显地在火山岩、Jade 区热液沉积物、代表海水值的 Fe-Mn 结壳/核的铅同位素分布范围之外, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 的上述特征尤为明显,在均值方面龟山岛附近热液自然硫烟囱体的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 同位素特征与陆壳、亏损地幔和 N 型大洋中脊玄武岩较为接近, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 只与陆壳的均值接近。

表 2 KSD 自然硫烟囱体与其它岩石等物质之间的铅同位素对比

Tab.2 Comparison of lead isotopic compositions between native sulfur in KSD hydrothermal field and other matters

样品类型	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$		$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	
	范围	均值	范围	均值	范围	均值
KSD 自然硫烟囱体(8) ¹⁾	18.107—18.288	18.179	15.583—15.635	15.609	38.184—38.420	38.295
Jade 区热液沉积物(19) ²⁾	18.491—18.609	18.548	15.580—15.684	15.624	38.570—38.859	38.705
新鲜火山岩(4) ³⁾	18.397—18.473	18.447	15.575—15.600	15.590	38.492—38.596	38.550
蚀变火山岩(6) ³⁾	18.480—18.575	18.543	15.605—15.652	15.630	38.616—38.804	38.727
Fe-Mn 结壳/核(49) ⁴⁾	18.593—19.260	18.825	15.599—15.725	15.651	38.598—39.453	38.868
陆壳 ⁵⁾	17.790—18.780	18.380	15.450—15.690	15.603	37.570—39.010	38.355
大洋及岛弧火成岩(103) ⁶⁾	17.710—20.980		15.480—15.950		37.520—40.780	
大陆火成岩(163) ⁶⁾	15.120—20.220		14.900—16.190		30.130—40.140	
琉球海沟 ⁷⁾		18.604		15.664		38.722
安山岩 ⁷⁾		18.944		15.623		38.631
N-MORB ⁸⁾		18.300		15.486		37.891
亏损地幔 ⁹⁾		18.000		15.430		37.700

资料来源: 1)本文, 括号内数字为样品数, 以下类同; 2)曾志刚等,2000; Halbach *et al*,1997; 3)Halbach *et al*,1997; 4)Mills *et al*,1993; Ben Othman *et al*,1989; Von Blanckenburg *et al*,1996; 5)Rudnick *et al*, 1990; 6)刘英俊等, 1984; 7)Plank *et al*,1998; 8)N 型洋中脊玄武岩, Hart *et al*,1999; 9)Rehkamper *et al*,1997

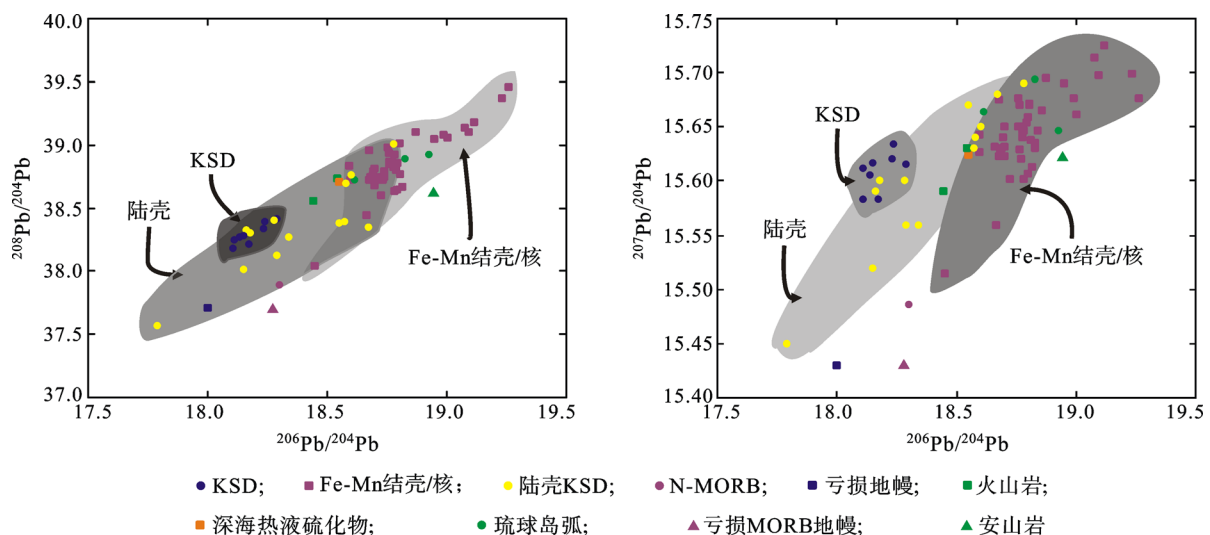


图 2 龟山岛附近热液活动区(KSD)自然硫的铅同位素组成与部分端元的比较

Fig.2 Comparison of lead isotopic composition between native sulfur chimneys from Kueishantao Island (KSD) and other end-members

在 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 的图解上(图 2), 明显可以看出, 龟山岛附近热液自然硫烟囱体的铅同位素基本分布于陆壳的范围之内, 虽然热液自然硫烟囱体出露于海水中, 但是其铅同位素组成特征与代表海水中铅同位素特征的 Fe-Mn 结壳/核的铅同位素分布范围相距甚远, 没有交汇部分, 因此龟山岛附近热液自然硫烟囱体的铅不存在海水来源。而来自陆壳源的铅同位素组成分布范围无论是在 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解上还是 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解上, 都表现出包含着龟山岛附近热液自然硫烟囱体的铅同位素分布范围, 可见该热液区自然硫烟囱体内的铅大部分是来自陆壳源。

所以可以初步知道, 龟山岛附近的热液活动出现是深部地幔物质经过了陆壳, 携带了陆壳中的铅, 而后岩浆脱气形成大量的自然硫(Chen *et al*, 2005), 在热液流体经过龟山岛热液活动区基底的安山岩时, 也同样淅沥出其中的部分微量元素(刘长华等, 2006b), 但是铅同位素却只是表现出陆壳的特征, 这可能是不同热液流体在不同的温压条件下淅沥元素能力的差异所致。实质上, 上述过程与该地区特殊的地质构造即菲律宾板块向欧亚大陆板块下面俯冲并在该热液活动区下部隐没的特征密切相关。

由图 3 可以简单地说明龟山岛附近热液自然硫烟囱体中所包含铅的来源, 同时结合龟山岛附近地区的地质构造特征阐述该地区热液活动的演化。

深部地幔的岩浆物质沿着俯冲板块的裂隙上涌, 通过覆盖在其上的陆壳时, 由于压力、温度、酸碱度

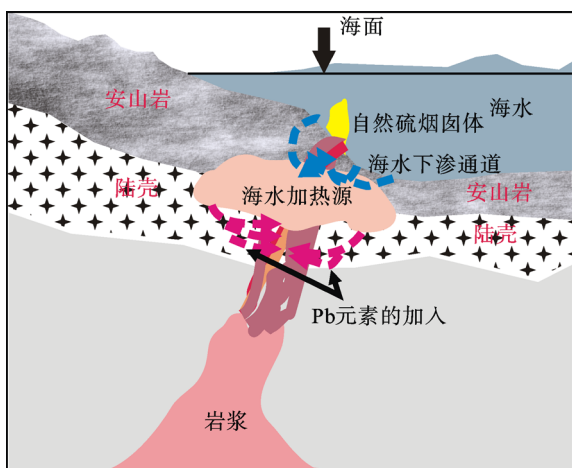


图 3 龟山岛附近热液活动区元素铅的来源示意图

Fig.3 The sketch map of lead source of the hydrothermal field nearby Kueishantao Island

等相关物理化学条件的适合, 将陆壳中的元素 Pb 淅沥出来, 随岩浆物质一起向上运移, 在较浅的深度范围内(安山岩层), 遇到下渗的海水, 同时岩浆物质发生脱气, 海水被加热后和岩浆残余物质混合, 形成新的热液流体一起上涌, 向上运移较小的一段距离后, 到达海底表面, 由于物理化学条件的迅速改变, 形成包含有代表陆壳铅同位素特征的自然硫烟囱体, 而海水加入时间和距离较短, 所以沉淀形成的自然硫烟囱体中并没有海水来源的铅。

5 结论

通过龟山岛附近热液自然硫烟囱体的铅同位素研究表明:

(1) 龟山岛附近热液自然硫烟囱体中的铅同位素组成具有很小的变化范围和较均一的铅同位素组成特征。

(2) 龟山岛附近海域热液活动形成的自然硫烟囱体中铅同位素的组成完全偏离其它海底热液沉积物的铅同位素组成范围, 与 NHRL 线也相距甚远。龟山岛附近热液活动的自然硫烟囱体的铅同位素来源与其它热液区是不同的。

(3) 该地区自然硫烟囱体虽然出现在海水环境中, 海水在热液流体中也占有一定比例, 但是烟囱体内的铅同位素特征显示, 海水对自然硫烟囱体的形成不存在铅的贡献。

(4) 龟山岛附近热液自然硫烟囱体内所包含的铅主要是陆壳物质来源。

(5) 由该地区自然硫烟囱体铅的陆壳来源可以推断, 在龟山岛地区的下伏地层中, 存在一定分布范围的陆壳层。这对于研究该地区复杂的地质构造特征具有一定的意义。

参 考 文 献

- 陈丽蓉, 翟世奎, 申顺喜, 1993. 冲绳海槽浮岩的同位素特征及年代测定. 中国科学(B 辑), 23(3): 324—329
- 侯增谦, 张琦玲, 1998. 冲绳海槽海底活动热水区 CO_2 -烃类流体: 流体包裹体证据. 中国科学, 18(2): 142—148
- 刘长华, 曾志刚, 2007. 龟山岛附近海底热液自然硫烟囱体的硫同位素研究. 海洋与湖沼, 38(2): 118—123
- 刘长华, 殷学博, 2006a. 关于现代浅海型海底热液活动的研究进展. 地球科学进展, 21(9): 918—924
- 刘长华, 曾志刚, 殷学博等, 2006b. 台湾岛东北部龟山岛附近海域自然硫烟囱体的基本特征研究. 台湾海峡, 25(3): 309—317
- 刘英俊, 曹励明, 李兆麟等, 1984. 元素地球化学. 北京: 科学

- 出版社, 297
- 曾志刚, 蒋富清, 翟世奎等, 2000. 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. *地球化学*, 29(3): 239—245
- 曾志刚, 秦蕴珊, 翟世奎, 2001. 大西洋中脊海底表层热液沉积物的铅同位素组成及其地质意义. *青岛海洋大学学报*, 31(1): 103—109
- Andrieu A S, Honnorez J J, Lancelot J, 1998. Lead isotope compositions of the TAG mineralization, Mid-Atlantic Ridge, 26°08'N. *Proc ODP, Sci Results, Texas: College Station*, 158: 101—109
- Ben Othman D, White W M, Patchett J, 1989. The geochemistry of marine sediments, island arc magma genesis and crust-mantle recycling. *Earth Planet Sci Lett*, 94: 1—21
- Chen C H, Lee T, Shieh Y N *et al*, 1995. Magmatism at the onset of back-arc basin spreading in the Okinawa Trough. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 69: 313—322
- Chen C H, Shieh Y N, Lee T *et al*, 1990. Nd-Sr-O isotopic evidence for source contamination and unusual mantle component under Luzon Arc. *Geochim Cosmochim Acta*, 54: 2473—2484
- Chen C T, Zeng Z G, Kuo F W *et al*, 2005. Tide-influenced acidic hydrothermal system offshore NE Taiwan. *Chem Geol*, 224: 69—81
- Chen Y G, Wu W S, Chen C H *et al*, 2001. A date for volcanic eruption inferred from a siltstone xenolith. *Quaternary Science Reviews*, 20: 869—873
- Fouquet Y, Marcoux E, 1995. Lead isotope systematics in Pacific hydrothermal sulfide deposits. *J Geophys Res*, 100: 6025—6040
- Halbach P, Hansmann W, Koppel V *et al*, 1997. Whole-rock and sulfide lead-isotope data from the hydrothermal JADE field in the Okinawa back-arc trough. *Mineralium Deposita*, 32: 70—78
- Hart S R, 1984. A large-scale isotope anomaly in the Southern Hemisphere mantle. *Nature*, 309: 753—757
- Hart S R, Blusztajn J, Dick H J B *et al*, 1999. The fingerprint of seawater circulation in a 500-meter section of ocean crust gabbros. *Geochim Cosmochim Acta*, 63: 4059—4080
- Letouzey J, Kimura M, 1985. Okinawa Trough genesis: structure and evolution of a back arc basin developed in a continent. *Mar Pet Geol*, 2: 111—130
- Mills R, Elderfield H, Thompson J, 1993. A dual origin for the hydrothermal component in a metalliferous sediment core from the Mid-Atlantic Ridge. *J Geophys Res*, 98: 9671—9681
- O'Nions R K, Carter S R, Cohen R S *et al*, 1978. Pb, Nd, and Sr isotopes in oceanic ferro-manganese deposits and ocean floor basalts. *Nature*, 273: 435—438
- Plank T, Langmuir C H, 1998. The geochemical composition of subducting sediment and its consequences for the crust and mantle. *Chem Geol*, 145: 325—394
- Rehkamper M, Hofmann A W, 1997. Recycled ocean crust and sediment in Indian Ocean MORB. *Earth Planet Sci Lett*, 147(1—4): 93—106
- Rudnick R L, Goldstein S L, 1990. The Pb isotopic composition of lower crustal xenoliths and the evolution of lower crustal Pb. *Earth Planet Sci Lett*, 98: 192—207
- Spooner E T C, Gale N H, 1982. Pb isotopic composition of ophiolitic volcanogenic sulphide deposits, Troodos Complex, Cyprus. *Nature*, 296: 239—242
- Tarasov V G, Gebruk A V, Mironov A N *et al*, 2005. Deep-sea and shallow-water hydrothermal vent communities: Two different phenomena? *Chem Geol*, 224: 5—39
- Von Blanckenburg F, O'Nions R K, Hein J R, 1996. Distribution and sources of pre-anthropogenic lead isotopes in deep ocean water from Fe-Mn crusts. *Geochim Cosmochim Acta*, 60: 4957—4963
- Verati C, Lancelot J, Hekinian R, 1999. Pb isotope study of black-smokers and basalts from Pito Seamount site (Easter microplate). *Chem Geol*, 155: 45—63
- Yeh Y H, Lin C H, Roecker S W, 1989. A study of upper crustal structures beneath northeastern Taiwan: possible evidence of the western extension of Okinawa trough. *Proc Geol Soc China*, 2: 139—156

LEAD ISOTOPIC COMPOSITIONS OF NATIVE SULFUR CHIMNEYS FROM NEARBY KUEISHANTAO ISLAND IN NORTHEAST OF TAIWAN AND ITS GEOLOGICAL IMPLICATIONS

LIU Chang-Hua¹, WANG Xiao-Mei^{1,2}, ZENG Zhi-Gang¹, JIANG Xue-Jun³, YIN Xue-Bo¹, CHEN Chen-tung A⁴
(1. *Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071, China*; 2. *Graduate School, The Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049, China*; 3. *Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao, 266071, China*; 4. *Institute of Marine Geology and Chemistry, National Sun Yat-Sen University, Kaohsiung, Taiwan, 804, China*)

Abstract For determining the origin of the hydrothermal native sulfur chimney nearby Kueishantao Island, off the northeast Taiwan, geochemistry of lead isotope of native sulfur in the chimneys was studied. The result indicates that the lead isotopic composition is very homogeneous, indicative of a small field of the origin. However, the source of lead is different from those in deeper hydrothermal deposits. Moreover, the lead isotopic scope does not match with the Northern Hemisphere lead isotopic reference line (NHRL). Although the native sulfur chimney was from seawater, the seawater did not contribute the lead isotopics to the chimney-bearing lead but the continental crust did. Therefore, the continental crust beneath the island must have played an important role in material transfer and exchange during the formation of the chimney in the past geological history, which bears implication for understanding the regional complex geological structure and tectonic evolution.

Key words Lead isotopic composition, Native sulfur chimney, Seafloor hydrothermal activity, Kueishantao Island