

# 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

刘长华<sup>1-3</sup>, 曾志刚<sup>1,2</sup>, 殷学博<sup>1,2</sup>, 陈镇东<sup>4</sup>

(1. 中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 现代海底热液活动实验室, 山东 青岛 266071;  
3. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 4. 台湾中山大学, 台湾 高雄 80424)

**摘要:** 龟山岛热液活动区位于冲绳海槽向西延伸的部位, 菲律宾海板块向欧亚板块下方俯冲在此隐没, 热液活动的出现为研究该地区进一步的发展提供了契机. 龟山岛热液活动产生的烟囱体高度富集自然硫, 几乎没有其它矿物结晶形成, 烟囱体本身呈现分层现象, 自然硫的含量也是从烟囱体的外层到内层依次增高, 与烟囱体颜色上表现的分层呈现良好的对应关系. 我们根据这种分层现象探讨了烟囱体的成因机制和热液流体随时间的变化特征, 同时根据等离子质谱(ICP-MS)和X射线衍射仪(XRF)的实验数据分析了自然硫烟囱体存在两种物质来源: 热液活动区基底的安山岩和地幔, 但是对于地幔物质以何种形式加入到热液流体中还需进一步研究.

**关键词:** 海洋地球化学; 龟山岛; 自然硫; 烟囱体; 安山岩

中图分类号: P736.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-8160(2006)03-0309-09

海底热液活动主要的产出形式之一是硫化物烟囱体. 1999年3月4日, 台湾中山大学陈镇东教授在台湾宜兰县头城外海发现了正在喷涌热液的自然硫烟囱体, 该烟囱体喷出大量的硫磺, 流体温度高达102℃, pH值为2.0左右, 热液活动的水深在10m左右. 他们通过潜水采集到大量的自然硫烟囱体样品, 将其中的部分样品提供给我们研究, 主要目的是评估该地区热液活动的发展是否会对台湾地区造成严重的危害.

热液活动区基底岩石是中性的安山岩<sup>[1]</sup>, 据统计, 安山岩中硫(S)的平均含量是 $1\ 000 \times 10^{-6} (m/m)$ <sup>[2]</sup>, 而在龟山岛附近海域的热液活动区采集到的烟囱体其自然硫含量非常高, 整个烟囱体从外观上看呈现亮黄色, 与工业中生产的硫磺极为相似, 目前在其他热液活动区都有众多烟囱体发现, 但是由高纯度单质硫组成的黄烟囱数量不多, 尤其是像龟山岛热液活动区在10m左右水深的海底出现纯度可以达到99%以上的黄烟囱更是少见; 我们对烟囱体样品做了X射线衍射物相分析和化学分析, 根据矿物组成和化学元素成分, 初步探讨了烟囱体的物质来源、自然硫含量变化的特征和原因, 为该区域热液活动和危害评估的进一步研究打下基础.

## 1 区域地质背景

龟山岛是一个火山岛, 主要成分是安山岩<sup>[1,3]</sup>. 其位置比较特殊, 位于台湾断层系和冲绳海槽南部裂谷系延伸交接部位, 后者是琉球岛弧系中一个正在活动的弧后裂谷凹陷区(图1),

收稿日期: 2006-01-16

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-223); 国家自然科学基金资助项目(40376020); 国家大洋重大专项课题(DY105-01-03-1); 国家重点基础研究发展规划项目课题(G2000046701)

作者简介: 刘长华(1977~), 男, 博士.

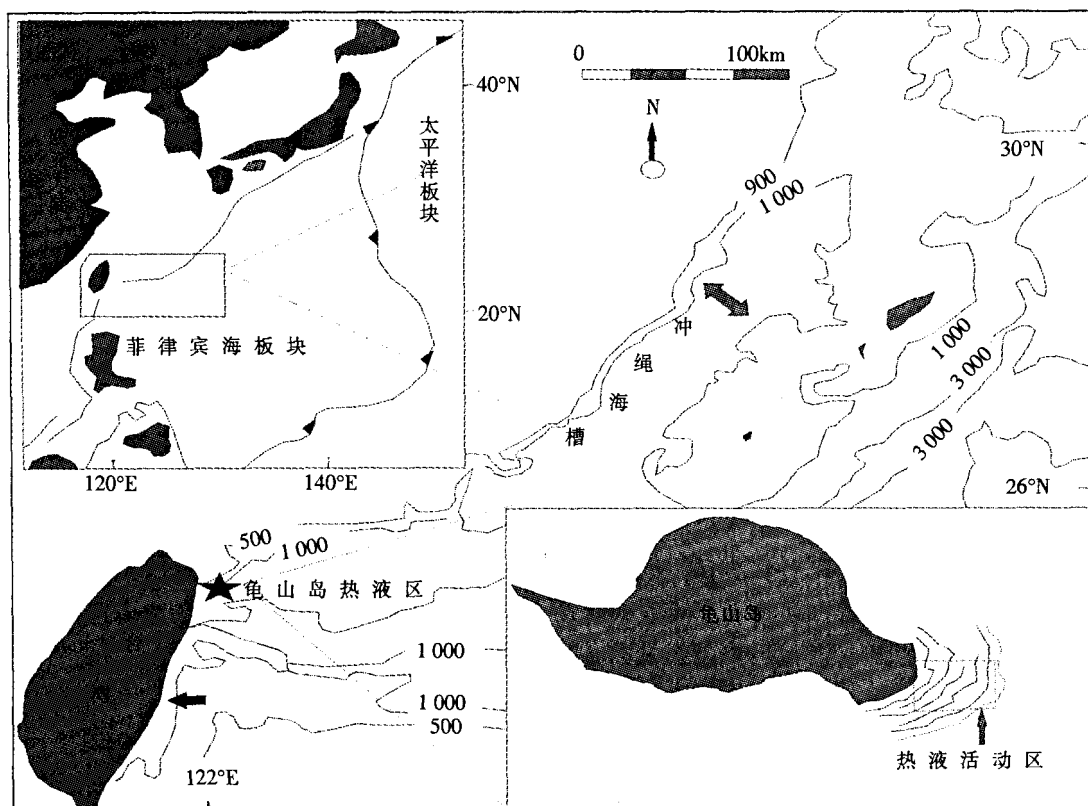


图 1 龟山岛热液活动区地质背景

Fig.1 Geological setting of Kueishantao hydrothermal activity region

该凹陷区是菲律宾海板块向欧亚大陆板块下面俯冲,造成陆壳断裂下陷后张开形成的<sup>[4-6]</sup>. 菲律宾海板块在此处的下方隐没造成弧后盆地扩张并伴随着岩浆活动. 龟山岛上的安山岩根据热释光法测定的年龄为  $7\ 000 \pm 800\text{a}$ , 由此推测龟山岛为全新世的火山岛<sup>[7]</sup>. 本文研究的自然硫烟囱体位于台湾东北部龟山岛附近海域, 在龟山岛东南崖下, 从等深线的分布来看<sup>[8]</sup> 是龟山岛向东南部海面下自然延伸部分.

## 2 样品的形态特征

样品取自龟山岛东南距该岛峭崖仅 10m 左右、水深约 10m 的浅海, 位置是  $24^{\circ}50'N$ ,  $121^{\circ}57'E$ . 样品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, 下粗上细, 高约 23cm, 上直径约为 5cm, 下直径约为 12cm; 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(图 2). 从截面观察, 内有直径约为 1.6cm 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成为亮黄色. 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 20min, 磨样用手触摸无粒度感, 颜色变为与烟囱体内层亮黄色一致. 从样品外部形态及相关物理性质初步可以判断烟囱体的纯度很高, 基本上是单质硫, 所含的杂质量极低.

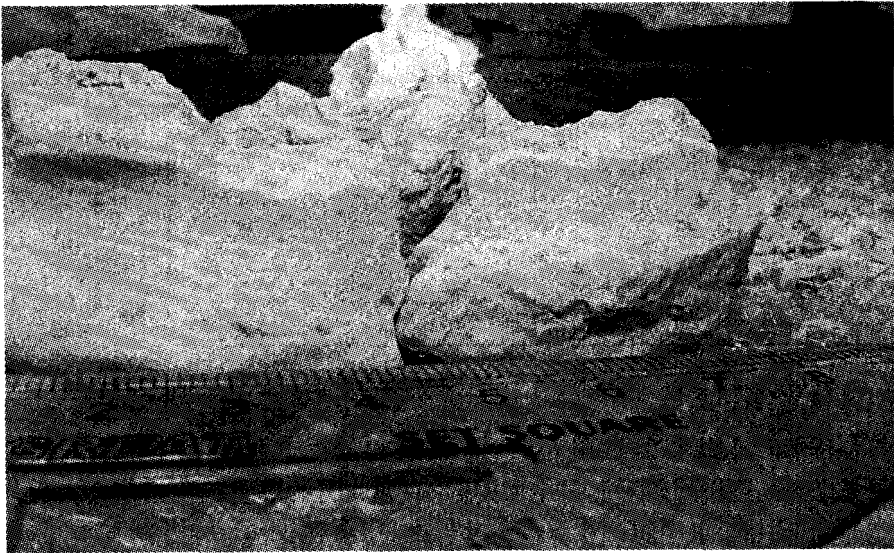


图 2 原始烟囱体碎样

Fig.2 Broken samples of rude chimneys

### 3 样品的矿物组成

将样品进行了详细的 X 射线衍射物相分析,共对 5 个样品进行了测试,3 个样品是在中国地质调查局青岛海洋地质研究所测试完成,2 个样品是在广州地球化学研究所测试分析的,使用的仪器是日本理学 D/max-1200 型 X 射线衍射仪;分析 5 个样品得到的衍射图谱大致相同(如图 3),根据衍射图谱看,只有一个非常明显尖峰,样品的其他物质含量较少,即烟囱体的主要成分是单质硫,且成分高度单一化.根据测试结果计算出单质硫的晶胞参数(结果见表 1).所测得 5 个样品晶胞参数的平均值与参考标准值基本一致,b 轴最接近,a、c 轴有些差异,偏大一点.

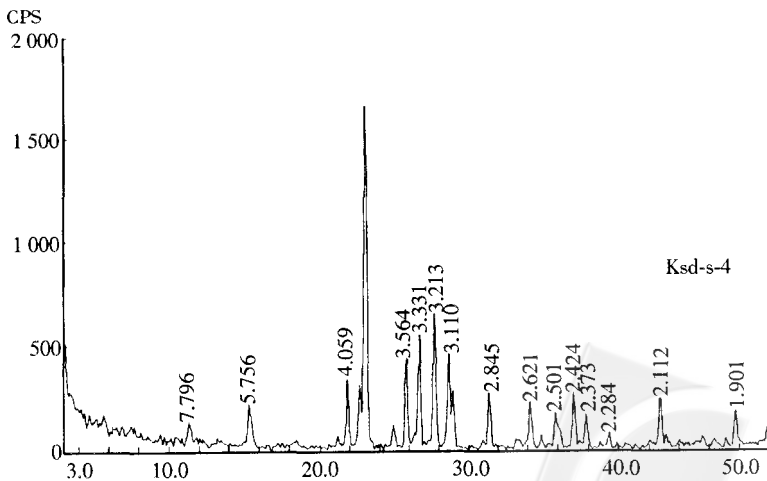


图 3 样品 X-射线衍射图谱

Fig.3 X-radial diffraction chart



表 1 样品物相及晶胞参数分析结果

Tab. 1 Analysis results from samples substance and the crystal cell parameter

样品号	物相分析	a(Å)	b(Å)	c(Å)
S-1	自然硫	10.49	12.90	24.51
S-2	自然硫	10.46	12.86	24.47
S-3	自然硫	10.58	13.01	24.57
S-4	自然硫	10.46	12.85	24.48
S-5	自然硫	10.48	12.88	24.50
平均值	-	10.49	12.90	24.51
参考标准值	-	10.43	12.84	24.37

## 4 样品的化学组成

样品具有特殊的高硫含量,这在 X 射线衍射物相分析中就可以判断出来,所以在做微量分析中必须考虑高纯度单质硫对测试结果的影响,如此高的单质硫背景值会大大降低其它微量元素精度的测量,故采取了燃烧样品的方法,把单质硫转化成二氧化硫后去除,这个方法当然会使一部分易挥发的元素散失掉,从而造成一些元素的测试结果不准确甚至测不出来,所以我们在做分析时主要侧重于不挥发元素的讨论,对于挥发性的元素如 As 和 Se 则采用 XRF 测试来分析讨论.

### 4.1 ICP-MS 分析

在燃烧样品前,先将坩埚在马弗炉中 700℃ 条件下处理 2h,处理前坩埚称重为 44.30g,处理后称重还是 44.30g,这表明在 700℃ 下坩埚不会熔出杂质,称取样品 5.00g(采样点位置 24°50'N,121°57'E,编号 S-2)置于坩埚内,在马弗炉中以 600℃ 燃烧 2h,取出自然降温,称量灰分重为 11.30mg,把灰分在 Teflon 罐中用 HF 酸和 HNO<sub>3</sub> 酸溶解,最后上机测试,所用测试仪器是 Finingen 公司的电感耦合等离子质谱(ICP-MS),精度为 ±0.5%(2σ),测试数据见表 2.

表 2 龟山岛附近海域自然硫烟囱体的微量元素分析数据

Tab. 2 Minor element analysis data about native sulfur chimneys near Kueishantao sea area

元素	钪(Sc)	钒(V)	钴(Co)	镍(Ni)	铜(Cu)	锌(Zn)
含量	0.010	0.138	0.037	0.246	11.354	11.138
元素	铷(Rb)	锶(Sr)	锆(Zr)	钡(Ba)	铊(Tl)	铅(Pb)
含量	0.070	0.722	0.034	4.390	0.002	0.597

注:含量单位是 10<sup>-6</sup>(m/m),测试分析由新春娣老师完成

根据数据可以看出,亲硫元素的含量普遍较高,如 Cu、Zn 等金属元素,量级可以达到 10<sup>-6</sup> 的水平,推测可能有黄铜矿和闪锌矿存在,但从 X-衍射图谱并没有判断出来,估计是含量甚微所致.元素 Li、Ba 的含量相对而言也较高,达到 10<sup>-6</sup> 的量级.

### 4.2 XRF 测试分析

对于元素 Se、As 等,因为其挥发温度较低,所以测量这些元素的含量不能采用高温处理,元素硫的含量从 X 衍射图谱上看很高,但所占比例到底多大没有准确给出,所以我们采用半定量的 X 射线荧光光谱分析方法,将样品在没有任何处理的情况下制成薄片,进行测试分析,以测定一些易挥发的元素和单质硫的含量.采用的设备是飞利浦 PW2404X 射线荧光光谱仪,将样品用玛瑙研钵研至 200 目,压制成厚约 3mm 的圆形薄片,使用设备自带的内部标样作参

考标准,对样品薄片进行扫描,测试结果见表 3.

表 3 XRF 分析测试数据  
Tab.3 Analysis data by XRF

编号	S	Al	Si	P	Ca	Fe	As	Se
S-1	98.80	-	0.032	0.249	0.516	-	0.079	0.017
S-2	98.80	0.004	0.042	0.230	0.542	0.033	0.060	0.019
S-3	99.04	-	0.040	0.252	0.520	0.040	0.059	0.021
S-4	98.63	0.007	0.034	0.242	0.534	0.021	0.036	0.017
S-5	99.00	0.003	0.037	0.250	0.561	0.047	0.058	0.018
X-1-A	99.00	-	0.023	0.255	0.569	0.032	0.089	0.020
X-1-B	98.94	0.009	0.045	0.257	0.546	0.019	0.066	0.021
X-1-C	99.11	-	0.036	0.235	0.548	-	-	0.018
X-1-D	99.12	0.005	0.039	0.257	0.503	-	-	0.018
X-2-A	98.93	0.007	0.058	0.263	0.581	0.024	0.068	0.018
X-2-B	98.99	0.006	0.045	0.239	0.593	-	0.046	0.022
X-2-C	99.13	0.005	0.047	0.230	0.541	-	-	0.012
X-2-D	98.90	0.006	0.044	0.248	0.643	-	-	0.014
X-3-A	98.69	-	0.054	0.252	0.582	0.034	0.072	0.017
X-3-B	98.95	0.006	0.049	0.243	0.633	0.042	0.037	0.020
X-3-C	98.78	-	0.044	0.254	0.581	-	-	0.020
X-3-D	99.03	0.009	0.050	0.249	0.534	0.044	-	0.015

注:测试数据单位(%);-为半定量扫描未检出元素含量;由核工业北京地质研究院分析测试研究中心夏晨光分析

从所测定数据来看,单质硫的含量很高,最低 98.63%,最高 99.13%,平均值为 98.91%,其它元素的含量变化范围不大,元素 Ca 的含量位居第二,达到  $10^{-4}$  数量级,并且相对稳定,可能有少量石膏矿物存在,元素 Al 基本保持在  $10^{-6}$  水平上. 样品 X-1、X-2、X-3 系列是分别取自 3 块样品,A、B、C、D 是每 1 块样品的不同层位的取样,即 X-1-A 是烟囱体样品 X-1 的最外层,X-1-B 是次外层,X-1-C 是次内层,X-1-D 是烟囱体的最里层,其它两块样品依此类推,S-1 到 S-5 样品号同表 1 都是未分层的混合样品.

## 5 讨论

烟囱体最外层与内层的颜色有一定差异,从同一块样品的 A、B、C、D 四个层位元素含量变化也能看出一定的关系,单质硫的含量在 X-1 与 X-3 样品中的 D 层最高(99.12%、99.03%),这与 D 层(烟囱体内壁)具有鲜亮的黄色呈显对应关系,A 层含单质硫相对低(98.69%、99.00%),这与 A 层含杂质相对较高有关系,样品 X-2 各层单质硫的变化较为复杂,含硫量最低的不是 A 层(外层),而是 D 层(内层),单质硫含量最高的不是在 D 层(最里层),而是 C 层(次内层,99.13%),并且也是所有样品中测定的单质硫含量最高的,3 块样品的单质硫含量变化从外层向内层没有相似性(图 4),X-1 样品的外层单质硫含量略高,次外层稍微低一些,接着次内层的含量上升,内层单质硫含量达到最高值;X-2 样品是外层单质硫含量低,次外层升高,次内层达到最高,而内层则含量降低,比外层的含量还低,整个直方图上呈现塔状分布;X-3 样品单质硫的含量则呈现波浪形变化,外层含量最低,次外层含量上升,次内层降低,但比外层的含量稍高,内层含量又升高并且达到最大值. 将每块样品的各层单质硫含量统计平均即把 X-1、X-2、X-3 样品的 A 层加和平均,把 B、C、D 层也分别加和平均,比较得出

D层的单质硫含量最高(99.02%),A层单质硫的含量最低(98.87%),单质硫含量由A层到D层(烟囱体的外层到内层)含量依次增高,呈现非常好的递增趋势(图5).这与我们肉眼观察到的烟囱体截面颜色分层现象相一致.

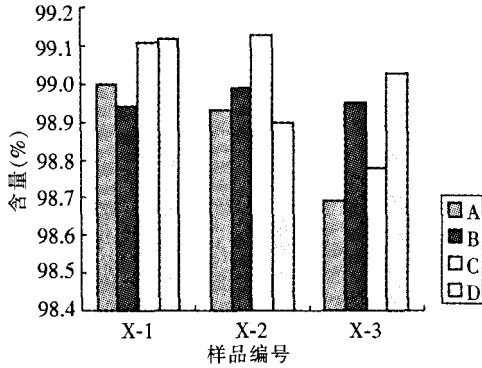


图 4 XRF 测定不同样品元素硫各层含量变化  
Fig.4 Sulfur content variable about single layer in different samples

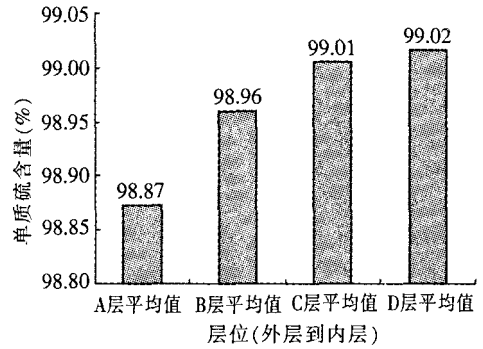


图 5 龟山岛烟囱体各层单质硫含量变化  
Fig.5 Sulfur content variable in different layers of kueishan tao chimeys

热液活动早期活动剧烈,热液流体所携带的元素含量多而复杂,地层岩石中的热液通道畅通,形成烟囱体的外壁,随着热液活动强度的减弱,热液流体中携带的元素含量降低并且成分趋向简单化,同时烟囱体的内通道由于先期元素的沉淀而渐渐变得狭窄,并且沉淀成分也越来越单一化(这与热液流体与所经过地层岩石的反应程度降低有关);当热液流体的流速与热液中元素的沉淀基本上达到一个动态平衡的时候,热液烟囱体内层与热液流体的作用过程变的与热液流经深部地层的过程类似(开始形成时也与深部过程类似,只不过沉淀结晶过程是主体),能够将烟囱体中容易渗滤出来的元素溶解析滴出来,同时有些元素也沉淀下来,溶解和沉淀的过程是一个动态平衡过程,以保持烟囱体内通道的畅通性.最后烟囱体中容易渗滤出来的元素又经过多次溶解、析滴,而迁出先期沉淀的位置,这样就为元素硫让出了空间,使单质硫含量逐渐提高,元素迁移的多少与快慢与热液流体反应程度有关,这样就造成了烟囱体内层距热液最近,反应最剧烈,次内层差一些,次外层更弱,外层最弱,海水与烟囱体中的某些元素也可以发生交换,但是相比较热液流体与烟囱体中元素的交换来说是不占主导作用的,因此以上两种过程的最终结果造成了单质硫含量从外层向内层依次递增的趋势.从一些元素的相关关系也可以看出元素硫取代其它元素的变化,单质硫的含量增高时,元素 Si、P 等含量就相应的降低,呈现良好的负相关关系.

火山成因的硫一般含有少量的 As、Se、Te 和 Tl<sup>[9]</sup>,Se 的类质同象混入物可以达到 1.0% ~ 5.2%<sup>[2]</sup>,从我们的 XRF 数据中看 Te 和 Tl 的含量没有被检出,ICP-MS 中测得的只是 Tl 含量并且很低为  $2.177 \times 10^{-9}$ ,XRF 测出的 Se 的含量只有 0.018 3% (平均值),远低于 1.0% 的含量,如果考虑到 As 的含量也占了 Se 的含量,那么把 As (平均值 0.058 5%) 和 Se 的含量加和得到结果是 0.076 8%,仍然远低于 1.0%.在劳海盆的海底热液活动硫化物烟囱体中 As 和 Se 的含量分别为  $(473 \sim 4586) \times 10^{-6}$  和  $(0 \sim 22) \times 10^{-6}$ <sup>[10]</sup>,两者同为弧后盆地热液活动区,在构造背景上具有一定的相似性,但是包括 As、Se 在内的多种微量元素不具有相似性,海底热液

活动区东太平洋海隆(EPR)13°N 的热液硫化物中 As 和 Se 的含量分别为  $154 \times 10^{-6}$  和  $163 \times 10^{-6}$  [11], 对比其它几个热液活动区热液硫化物的化学组份也都与龟山岛自然硫烟囱体不同(表4). 龟山岛上安山岩的微量元素含量普遍比自然硫烟囱体的微量元素含量高, 两者似乎没有关系, 但是通过将自然硫样品和安山岩样品分别用上地幔岩浆的成分标准化, 然后投到对数图上(图6), 可以发现两者有很好的相似性, 曲线的上升下降趋势吻合得非常好, 而将自然硫样品和安山岩样品分别用陆壳总体来标准化, 再投到对数图上就没有很好的对应关系(图7); 安山岩层厚度不大, 少于 15km [5,15], 因此海水下渗深度小, 基本上经过的岩层是安山岩层, 热液流体中的硅离子浓度很低说明海水下渗到喷出的时间较短 [8], 龟山岛下面存在一个明显的地震波低速区, 可能有岩浆活动存在 [15], 热液气泡中的  $^3\text{He}/^4\text{He}$  同位素偏高, 暗示气体可能来自于地幔 [8], 岩浆作为热源能够很快的使下渗的海水加热, 从而使海水在经历较短的距离就能上升喷出. 因此可以推断烟囱体自然硫的物质来源可能是基底安山岩和地幔两个端元, 至于这两个端元各自所占的比重有多大以及是否有其它端元的物质来源, 还需要进一步研究.

表 4 几个典型热液活动区岩石中微量元素含量的比较

Tab.4 Comparison of rock minor element contents from several modern hydrothermal activity area

元素	龟山岛附近海域 烟囱体 <sup>①</sup>	龟山岛安山岩	冲绳海槽南部铁 镁质岩 <sup>②</sup>	台湾北部火山岩	(EPR)13°N 硫化物	劳海盆硫化物* <sup>③</sup>
Cu	11.35	-	-	39	7.83	3.32(wt)%
Zn	111.37	-	-	110	8.17	11.17(wt)%
Ba	4.39	378	149	137	0.08	20.84(wt)%
Pb	0.60	-	2.9	2.24	0.05	0.23(wt)%
Sc	0.01	22	43.6	21.5	-	-
V	0.14	162	301	170	-	-
Co	0.04	19	41	42	960	2
Ni	0.25	13	49	138	-	2
Rb	0.07	74	15.2	15.6	-	-
Sr	0.72	308	329	187	498	3 166
Zr	0.03	142	-	-	-	-
Se	183	-	-	-	163	2
As	585	-	-	-	154	473
数据来源	本文	文献[12]	文献[13]	文献[14]	文献[11]	文献[10]

注:①As, Se 是 XRF 测定, 其它为 ICP-MS 测定; ②样品位置 124°34'E, 25°12'N; ③劳海盆 White Church 热液活动区的样品数据; 微量元素含量单位为  $10^{-6}(m/m)$

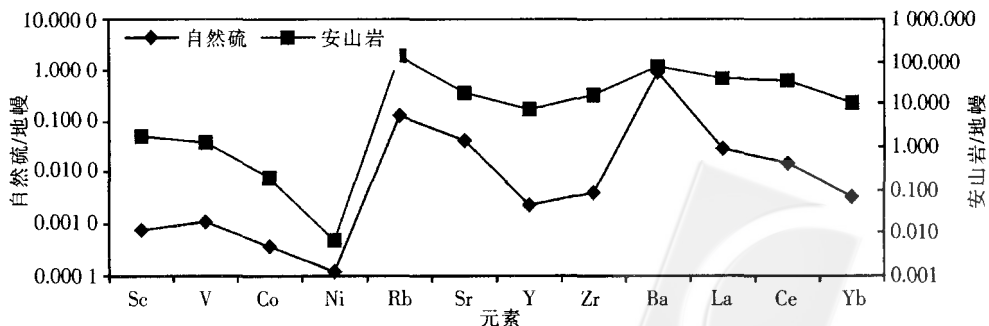


图 6 龟山岛自然硫和安山岩标准化图解—对地幔

Fig.6 Normal diagrammatize to mantle about Kueishantao native sulfur and andesite

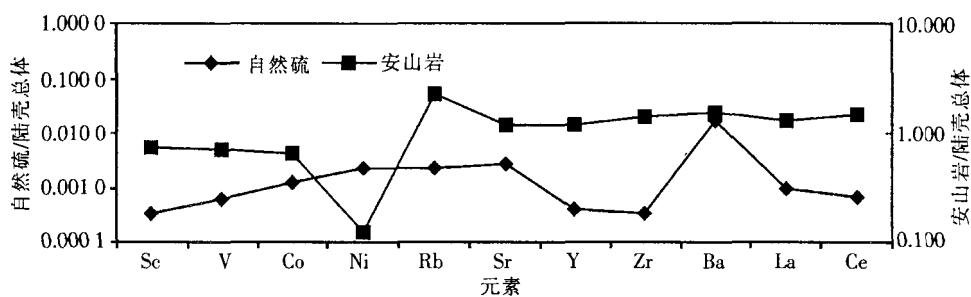


图 7 龟山岛自然硫和安山岩标准化图解—对陆壳

Fig.7 Normal diagrammatize to continental crust of Kueishantao native sulfur and andesite

## 6 结论

(1) 龟山岛附近海域自然硫烟囱体的单质硫含量很高, 可以达到 99.13%, 几乎没有矿物结晶体存在, 从烟囱体的各层中的颜色可以判断单质硫从外层向内层单质硫含量依次增高, 通过 XRF 测得的单质硫的含量变化数据对这一现象作出了详细的解释, 将每块样品的 A(外层)、B(次外层)、C(次内层)、D(内层) 各自加和平均得出烟囱体的单质硫含量从外层向内层呈现良好的递增趋势, 烟囱体形成的过程和热液流体携带的元素含量随时间的变化都促使单质硫含量随烟囱体层位而呈现有规律变化, 同时这也可能为研究各个热液活动区烟囱体的形成机制提供了一种新的思路。

(2) 龟山岛海底热液活动的自然硫来源基本上存在两个端元: 热液活动区基底的安山岩和地幔。热液流体从下渗到喷出经历的时间较短, 经过的岩层基本上都是基底的安山岩, 地幔物质的加入形式尚需进一步研究。

### 参考文献:

- [1] Chen C H, Shieh Y N, Lee T, *et al.* Nd-Sr-O isotopic evidence for source contamination and unusual mantle component under Luzon Arc[J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1990, 54: 2 473 ~ 2 484.
- [2] 刘英俊, 曹励明, 李兆麟, 等. 元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1984. 462.
- [3] Chen C H, Lee T, Shieh Y N, *et al.* Magmatism at the onset of back-arc basin spreading in the Okinawa Trough[J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 1995, 69: 313 ~ 322.
- [4] Letouzey J, Kimura M. Okinawa Trough genesis: structure and evolution of a back arc basin developed in a continent [J]. *Mar Pet Geol*, 1985, 2: 111 ~ 130.
- [5] Lee T Q. Formal mechanism solution and their tectonic implications in Taiwan region [J]. *Bull Inst Earth Sci, Acad Sin*, 1983, 3: 37 ~ 54.
- [6] Teng L S. Extensional collapse of the northern Taiwan mountain belt[J]. *Geology*, 1996, 24: 949 ~ 952.
- [7] Chen Y G, Wu W S, Chen C H, *et al.* A date for volcanic eruption inferred from a siltstone xenolith[J]. *Quaternary Science Reviews*, 2001, 20: 869 ~ 873.
- [8] 郭富雯. 龟山岛海底热液活动初步调查[D]. 台北: 台湾中山大学, 2001. 26.
- [9] 赵伦山, 张本仁. 地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1988. 78.
- [10] Fouquet Y, Von S U, Charlou J L, *et al.* Hydrothermal activity and metallogenesis in the Lau back-arc basin [J]. *Nature*, 1991, 349: 778 ~ 781.
- [11] Fouquet Y, Auclair G, Cambon P, *et al.* Geological setting and mineralogical and geochemical investigations



- on sulfide deposits near 13°N on the East Pacific Rise[J]. *Marine Geology*, 1988,84: 145 ~ 178.
- [12] Chang M D, Chen J C. Geochemistry of andesites from Kueishantao[J]. *Acta Oceanogr Taiwan*, 1979,9: 39 ~ 49.
- [13] Shinjo R, Chung S L, Kato Y, *et al.* Geochemical and Sr-Nd isotopic characteristics of volcanic rocks from the Okinawa Trough and Ryukyu Arc: implications for the evolution of a young, intra-continental backarc basin[J]. *J Geophys Res*, 1999,104(B5): 10 591 ~ 10 608.
- [14] Wang K L, Chung S L, Chen C H, *et al.* Post-collisional magmatism around northern Taiwan and its relation with opening of the Okinawa Trough[J]. *Tectonophysics*, 1999,308: 363 ~ 376.
- [15] Yeh Y H, Lin C H, Roecker S W. A study of upper crustal structures beneath northeastern Taiwan: possible evidence of the western extension of Okinawa Trough[J]. *Proc Geol Soc China*, 1989,32: 139 ~ 156.

## Basic characters of native sulfur chimneys near the sea off Kueishantao from the Northeastern Taiwan

LIU Chang-hua<sup>1-3</sup>, ZENG Zhi-gang<sup>1,2</sup>, YIN Xue-bo<sup>1,2</sup>, CHEN Zhen-dong<sup>4</sup>

(1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China;

2. The Laboratory of Seafloor Hydrothermal Activity, Qingdao 266071, China;

3. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

4. Taiwan Zhongshan University, Kaohsiung 80424, China)

**Abstract:** Kueishantao hydrothermal activity zone locates in the west extended part of the Okinawa Trough, where Philippine Sea Plate is subducted under the Eurasia Plate. The occurrence of hydrothermal activity gives a chance for exploring the development of the zone. One of the products of Kueishantao island hydrothermal activity are native sulfur chimneys which comprise few minerals, however there are clear layers in the chimney bodies according to the colors. On the other hand thus the native sulfur concentration ascending from outside to inside is coincided with the colored layers. According to the facts as mentioned above, we have discussed the formation of chimneys and the changes about hydrothermal fluid with time. At the same time we have concluded the materials resource on the base of data from ICP-MS and XRF. It suggests both the andesites of the hydrothermal activity zone and mantle are the materials resources; however, it is not clear how mantle materials contaminate the hydrothermal fluid.

**Key words:** ocean geochemistry; Kueishantao; native sulfur; chimney; andesite

(责任编辑:霍湘娟)

