

冲绳海槽中部南奄西海丘海底热液活动的若干特征

高爱国 何丽娟

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

提要 冲绳海槽中部南奄西海丘海底热液活动为弧后盆地型热液活动。在水深650~770m处发育有活烟囱,喷出的热液温度(270℃)临近当地沸点(275℃),热液中富含CO₂气泡。稳定同位素研究表明,热液活动与岩浆活动有关。根据热液沉积物的矿物学及化学特征可将其划分为4种类型,它们是富硅热液沉积物、富硫酸盐热液沉积物、块状富硫化物热液沉积物和碎屑状富硫化物热液沉积物。热液沉积物中至少含有27种矿物,并富集了Zn, Pb, Cu, Ag等成矿元素。

关键词 冲绳海槽,热液活动,地球化学

南奄西海丘位于28°23'N, 127°38'E处(图1),这里的几个凹地中有一处有热液活动现象。该凹

* 本文承蒙赵一阳教授指导,特此致谢。国家自然科学基金资助项目(49173172)。

收稿日期 1994年5月23日

地直径约为 1 000m,中部水深为 770m,周围水深 650m。底质为粗砂或泥质物,呈层状产出,底质颜色呈灰色,部分为黑色并有硫化氢气味。沉积物表面有英安质浮岩散布。从凹地中央平坦部到水深 700~740m 处可见到白色的蚀变带和海底生物群落。水深 700~740m 处可见到由巨砾堆积而成的碎石堆,围绕碎石堆有由浮岩和泥岩或砂岩组成的岩石露头。该处岩石除了英安质浮岩外,还有长石砂岩或石英粗面岩^[1,2]。

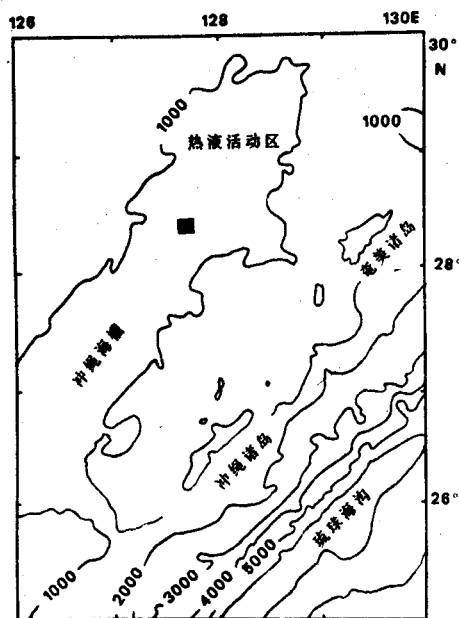


图 1 南奄西海丘的地理位置
Fig. 1 Location of the hydrothermal mounds

1986 年日本学者在这里采到了与热液活动有关的川村木通蛤的贝壳。1988 年又采到多种热液性生物,并且还发现了海底蚀变带。1989

1991 年 6 月在 28°23.5'N, 127°38.5'E 处发现了“火炬”、“箭头”、“温泉井”烟囱及其附近的烟囱群。烟囱高度为 0.5~1m。热液从这些烟囱的顶部,甚至从底部源源不断地喷出,颜色为灰色(可能含有石膏、硬石膏、硫化物矿物微粒)^[4]。对取自烟囱及其附近的热液沉积物样品的分析表明,可将南奄西海丘海底热液沉积物分成如下 4 种类型。

1.1 富硅热液沉积物(以下简称 I 型) 这类样品的特点是 SiO₂含量高,达 83%。SiO₂主要为石英,呈等粒状产出,粒径 0.05mm。矿石矿物含量较少,主要为闪锌矿(锌含量约为 5%),以及有少量黄铜矿、方铅矿和黄铁矿,其中黄铜矿正在变化成斑铜矿、辉铜矿及铜兰。此外还有少量辉锑矿、高岭石。

1.2 富硫酸盐热液沉积物(下称 II 型) 主要矿物为硬石膏和石膏。按样品颜色又可分为两部分,由纤维状硬石膏组成的浅色部分形成时间较早,而由硬石膏与石膏为主,并伴有深色的细粒硫化物(闪锌矿、黄铜矿和方铅矿等)产出的深色部分形成时间较晚。

1.3 块状富硫化物热液沉积物(下称 III 型) 样品为块状构造。金属矿物含量明显增加,硫化物含量大于 40%。矿石矿物为闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、铅矾、白铅矿、含砷矿物等,还可见少量叶腊

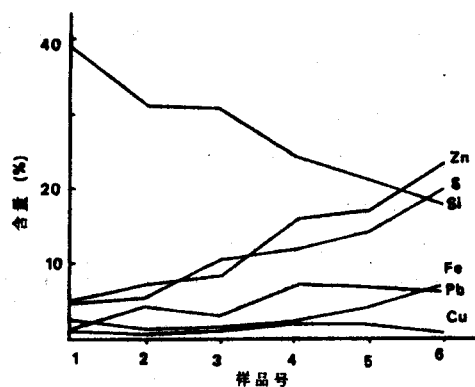


图 2 热液沉积物中化学元素含量变化
Fig. 2 The change of elements in the hydrothermal deposits

年发现水温为 15℃的热液喷出现象及热液性生物群落^[2,3]。1991 年 6 月在这里首次发现了大量热液烟囱和正在喷出热液的活烟囱,热液温度为 270℃,略低于该处的沸点(275℃)^[4]。在这些调查中对热液区的生物、热液先后进行了采样分析工作^[3,4,5]。

1 海底热液沉积物的矿物特征

石、石膏及硬石膏等。据矿物间相互关系,其生成顺序为硬石膏或石膏→方铅矿→闪锌矿→黄铜矿→铅矾→含砷矿物及叶腊石。

1.4 碎屑状富硫化物热液沉积物(下称IV型) 样品中金属元素含量高,其中含锌量最高可达23%,以富锌铅多金银为其特点,而且热液沉积物具有碎屑构造。按碎屑成分不同,可将碎屑大致分为3类。一类碎屑由闪锌矿(伴有少量纤锌矿)、方铅矿、黄铜矿、黄铁矿等硫化物组成。另一类碎屑由石英、斜长石、钛铁矿及少量金红石、假板钛矿、黄铁矿组成,其性质类似于附近的英安质浮岩或流纹岩质浮岩,所以被认为是火山碎屑物。第3类碎屑则是由热液起源的粘土矿物集合体碎屑组成。基质部分为辉锑矿、黄铁矿、雄黄、重晶石、纤硫锑铅矿、方铅矿、闪锌矿等矿物,在样品的孔隙中还可可见玉髓和自然硫产出。

以上4种类型的热液沉积物矿物组成表明,南奄西海丘海底热液沉积物有6大类(氧化物类、硫化物类、硫酸盐类、硅酸盐类、碳酸盐类、自然元素类)计27种矿物组成。

表1 热液沉积物的化学成分(%)

Tab. 1 Chemical compositions of hydrothermal deposits

元素	I型	III型	IV型				平均
Si	39.23	24.64	31.47	31.09	21.03	17.63	27.52
S	4.70	11.98	5.51	10.33	14.21	20.53	11.21
Zn	4.93	16.22	6.83	8.18	16.99	23.71	12.81
Pb	1.29	7.16	4.42	3.55	7.03	6.61	5.01
Fe	2.12	2.96	1.47	1.86	4.33	7.01	3.29
Cu	0.89	2.65	0.86	1.05	2.41	0.87	1.46
Cd	tr.	0.09	0.03	0.03	0.07	0.09	0.05
Mn	tr.	0.02	tr.	0.01	0.02	0.03	0.01
Hg	tr.	tr.	0.03	0.05	0.01	0.04	0.02
Sb	tr.	tr.	0.01	tr.	0.01	0.08	0.02
As	tr.	tr.	0.05	tr.	0.04	0.16	0.04
Ba	tr.	tr.	3.36	0.41	2.86	0.04	1.11
Au($\times 10^{-6}$)	<0.1	<0.1	2.5	1.1	1.4	9.6	2.5
Ag	54.0	38.0	56.5	42.2	239.4	113.8	90.5

2 海底热液活动的地球化学特征

对热液活动的地球化学特征的研究主要做了热液沉积物成分分析、个别矿物成分分析、稳定同位素分析等几方面的工作。

2.1 热液沉积物的化学成分特征 从样品各个有代表性的部位分别选取小块样品,混合后,作为该样品的分析样,用等离子体光谱及原子吸收光谱等进行成分分析,结果见表1。

假设硅以 SiO_2 形态存在(这是硅在热液沉积物中的主要存在形态),则I、III、IV型样品中 SiO_2 含量分别为83.9%,52.7%及37.7~67.3%。这表明在3种热液沉积物中 SiO_2 多占有较大的比重。

在I、III、IV型样品中,硫主要以硫化物形式存在于矿石之中。由化学分析结果知硫与主要成矿金属元素锌、铅、铜、铁之和在3种类型的样品中含量分别为13.93%,40.97%以及19.09~59.24%。这表明在热液沉积物中硫化物含量也较高,并与硅含量呈负消长关系,即随着硅含量减少,硫、锌、铅、铁、铜等元素含量呈明显增加趋势(图2)。硅、锌、铁的含量与硫含量明显相关,其相关关系式分别为:

$$\text{Si} = 41.57 - 1.25\text{S} \quad r = -0.93$$

$$\text{Zn} = -0.62 + 1.20\text{S} \quad r = 0.96$$

$$\text{Fe} = -0.41 + 0.33\text{S} \quad r = 0.93$$

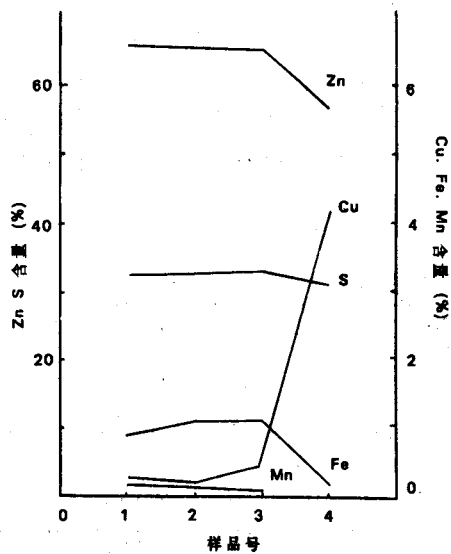


图3 闪锌矿、纤锌矿的化学组成

Fig. 3 The change of elements in sphalerite and wurtzite
1, 2为闪锌矿; 3为纤锌矿; 4为放射状闪锌矿

金属元素中以锌的含量为最高,并按锌、铅、铁、铜、镉的顺序降低。锌:铅:铜在I型、III型、IV型样品中分别为6:1.5:1, 6:2.6:1以及7:3:1~27:7.5:1。表明相对于铜,锌与铅更富集,而且含量变化也较大。

常量元素铁的含量在1.47~7.01%之间,平均为3.29%,锰的含量范围为痕迹量~0.03%。锰/铁比值在III型、IV型样品中分别为0.0068和0.0043~0.0054,表明由于铁锰两元素的地球化学性质差异,在喷口附近的热液沉积物中铁比锰容易富集。

中的闪锌矿,IV型样品中的闪锌矿、纤锌矿、放射状闪锌矿进行矿物成分分析,其含量变化见图3。

由图3可知IV型样品中闪锌矿含ZnS较高,而放射状生长的闪锌矿含ZnS最低,并伴有较多的微量元素,其总量达12.72%,其中铜、银、镉的含量尤引人注目。

黝铜矿与砷黝铜矿在IV型样品中均有出现,两者在成分上呈过渡关系(图4)。随着砷含量的减少,铜、硫、砷、铁的含量增加,矿物组成便由黝铜矿向砷黝铜矿转化,同时银的含量也逐渐减少。

2.3 稳定同位素分析 对取自热液中的气泡分析表明,气泡的主要成分是CO₂,占气泡总量的87%,其他成分为CH₄占10.6%,H₂S与H₂各占1%,N₂约占0.4%。气泡的稳定同位素分析结果见表2。显然其同位素组成较接近热液气泡来源于岩浆的东太平洋海隆(EPR)和南胡安德富卡海脊(SJFR),而与受地壳物质影响的伊平屋则差别较大,示该处热液气泡主要来源于岩浆,受地壳物质影响较小。

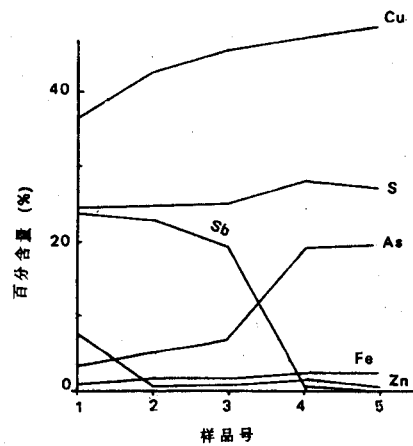


图4 黝铜矿、砷黝铜矿的化学组成

Fig. 4 The change of elements from tetrhedrite (1) to tennantite (5)

表2 热液口气泡的稳定同位素组成

Tab. 2 Isotopic compositions of bubbles in hydrothermal fluids

热液口	同位素组成		
	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$	$\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}}$	He/ ⁴ He
	‰PDB	‰CDT	R/Ra
南奄西	-5.2	3.6	7.5
伊是名	-5.0~-4.8	7.2~8.0	5.8~6.6
伊平屋	-4.4	/	3.9~4.1
EPR	-7.0~-4.1	1.3~5.5	7.5~7.8
SJFR	-9.7~-6.8	4.2~7.4	7.7~8.1

样品中金的含量较高,在IV型样品中高达 9.6×10^{-6} ,已达到金矿的品位。银的最高含量也达到了 239.4×10^{-6} 。此外IV型样品中还富集了热液活动后期的一些成矿元素,如汞、铊、砷和钡等。

2.2 矿物的化学成分分析 对III型样品

热液沉积物的稳定同位素工作主要是对某些矿物进行了硫同位素测定(表3)。其 $\delta^{34}\text{S}$ 分布符合硫同位素分馏的次序。从表中可知硫及硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值均低于热液中气泡的 $\delta^{34}\text{S}$ 值,而具有初生硫的特点,表明成矿物质与岩浆有关,而硫酸盐矿物中 $\delta^{34}\text{S}$ 与海水中 $\delta^{34}\text{S}$ 较接近,示成矿物质(硫)可能来源于海水。

热液区热液性生物的稳定同位素组成见表4。其中南奄西海丘的苏阳箱蛤取样位置比深海偏顶蛤取样位置更远离喷口,受热液活动影响也较小。对于同一生物深海偏顶蛤来说,3处热液活动区因热液受岩浆活动影响的不同而不同。

表3 热液沉积物中矿物的硫同位素组成($\delta^{34}\text{S}$)

Tab. 3 Isotope compositions of sulfide and sulfate minerals from hydrothermal deposits

类型	方铅矿	自然硫	黄铜矿	闪锌矿	黄铁矿	硬石膏	石膏	重晶石
I型	/	/	/	/	/	/	/	+22.6
II型	/	/	/	/	/	+21.4	+21.6	/
III型	/	/	+1.9	+2.2	/	/	/	/
IV型	+0.3	+0.8	/	+1.3	+2.1	/	/	+21.5

注: EPR表示东太平洋海隆; SJFR表示南胡安德富卡海脊

表4 生物体的同位素组成

Tab. 4 Isotope compositions of animals

热液口	同位素组成		
	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{34}\text{S}$	$\delta^{15}\text{N}$
南奄西 ^a	-36.5~-35.4	-3.4~+1.6	+5.4~+7.5
南奄西 ^b	-26.1~-25.7	+9.8~+10.3	-7.5~-7.3
伊是名 ^b	-28.1~-28.0	+8.6~+10.2	-1.3~-0.9
伊平屋 ^b	-30.2~-30.1	+5.3~+5.6	-5.9~-5.8

a. 苏阳箱蛤 (*Calyptogena soyoe*), b. 深海偏顶蛤 (*Bathymodiolus*)

南奄西海丘海底热液活动具有水深浅、矿物种类丰富,成矿元素品位高的特点。根据热液沉积物的成分与构造可将沉积物分成4种类型富硅热液沉积物、富硫酸盐热液沉积物、块状富硫化物热液沉积物及碎屑状富硫化物热液沉积物。沉积物的化学成分以富锌、铅和金、银含量高为特点。稳定同位素则显示于岩浆有关的特征。

3 结论

参考文献

- [1] 门马大和、桥本惇、田中武男, 深海调查グループ, 1989. 海洋科学技术センター-试验研究报告 21:203~221.
- [2] 桥本惇、藤仓克则、堀田宏, 1990. 第6回しんかい2000研究シンポジウム 167~178.
- [3] 金银洙、酒井均、蒲生俊敬、桥本惇、太田秀、柳泽文孝, 1990. 第6回しんかい2000研究シンポジウム 129~137.
- [4] 根建心具、上野宏共、小坂丈予、野上健治、桥本惇、藤仓克则、三浦知之, 1992. 第8回しんかいシンポジウム报告书 95~106.
- [5] 千叶仁、酒井均、蒲生俊敬、石桥纯一郎、中岛和夫、南秀树、土桥史, 1992. 第8回しんかいシンポジウム报告书 81~87.

PROPERTIES OF THE SUBMARINE HYDROTHERMAL MOUNDS IN THE MIDDLE OKINAWA TROUGH

Gao Aiguo and He Lijuan

(Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071)

Received: May, 23, 1994

Key Words: Okinawa Trough, Hydrothermal activity, Geochemistry

Abstract

The submarine hydrothermal mounds in the Middle Okinawa Trough may be the shallowest ones in the world. There are some active smokers in the depression of Minami-Ensei, the Middle Okinawa Trough. Temperature (270°C) of the hydrothermal fluids emitted from the smokers is slightly lower than the boiling point (275°C) in situ. The bubbles emerged from the seafloor are rich in carbon, dioxide, and its stable isotopic ratios imply their magmatic origin. According to the mineralogy and geochemistry, the hydrothermal deposits, which contains at least 27 type minerals and rich in Zn, Pb, Cu, Ag, can be divided into 4 types, they are (1) the silicic one. (2) the sulfate-rich one. (3) the massive sulfide-rich one and. (4) the clastic sulfide-rich one.