

冲绳海槽伊是名海洼的热水活动特征*

HYDROTHERMAL ACTIVITY IN THE IZENA HOLE, MID-OKINAWA TROUGH

高爱国 何丽娟

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

1986年日本学者在对冲绳海槽进行海底调查时,发现伊是名海洼的地形非常特殊。据伊是名海洼的地形特点及所处的构造位置,结合黑矿研究取得的新成果,推测伊是名海洼存在形成“黑矿”型矿床的地质条件,并列入到1988年日本-德国海底热水活动调查计划中^[5]。1988年6月日、德科学家利用“太阳号”在伊是名海洼发现了海底热水矿床。此后日本学者又利用“深海2000”深潜器对伊是名海洼进行了调查研究,取得了一系列的成果。1989年7月在伊是名海洼首次发现了“黑烟囱”,热水正以1m/s流速源源不断地向外喷出,测得喷出热水温度为320℃^[1]。

1 地质背景

伊是名海洼位于冲绳海槽中部(图1),为一个北北西-南南东向的矩形凹地。它长约6km,宽约3km,最大水深1665m,比周围海底深约500m(图2)。海洼地形象破火山口,但它又近似长方形,一边平行于冲绳海槽区内的正断层,另一边平行于转换断层。因此其成因有构造陷落说和破火山口说两种解释,或与两者均有某种关联。

海洼内沉积物厚度各处不一。据3.5kHz浅剖资料,在洼中部未固结的沉积物厚度至少有10~20m,而在有些地区则基岩直接出露,没有或很少有沉积物。沉积物从砾到泥均有,以泥或粉砂为主。在海底附近常可见到底栖生物孔穴或生物残骸。

洼内的岩石主要有英安岩、流纹岩、凝灰岩、凝灰角砾岩、凝灰质泥岩等。热水区以凝灰岩或泥岩为主,与有玄武岩出露的洋中脊热水区明显不同。对所采岩石样品分析表明:SiO₂:62.51~76.21%;TiO₂:0.18~0.36%;Al₂O₃:12.74~14.07%;Fe₂O₃:0.87~2.97%;MnO:0.09~0.10%;MgO:0.25~1.36%;CaO:1.75~2.25%;Na₂O:3.74~5.04%;K₂O:2.11~2.92%;P₂O₅:未检出~0.09%^[1,2]。根据岩石的化学成分可知,本区岩石

属正常系列的中酸性火山岩。

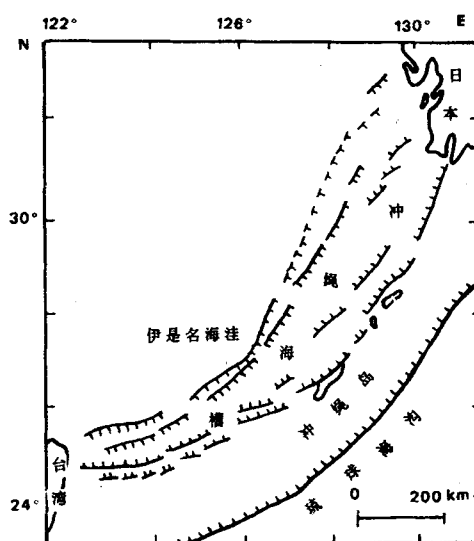


图1 伊是名海洼位置

(据木村政昭等,1989)

海洼内有明显的地热异常,在洼底中部热流值为100~800mW/m²之间,并有向北增加的趋势。在热水活动区热流值不仅高,而且变化幅度大。1989年在有热水喷出的变质带测得热流量达70000mW/m²,地热梯度80k/m;而在距该处20m远处,热流量约为30000mW/m²,地温梯度约33k/m^[3]。如此高的地热梯度及热流量为现代海底热水活动所罕见,表明下部有较强烈的热循环发生。

* 国家自然科学基金资助项目(49173172);中国科学院海洋研究所调查研究报告2752号。

本文承蒙赵一阳教授指导,谨表谢意。

收稿日期:1995年5月19日

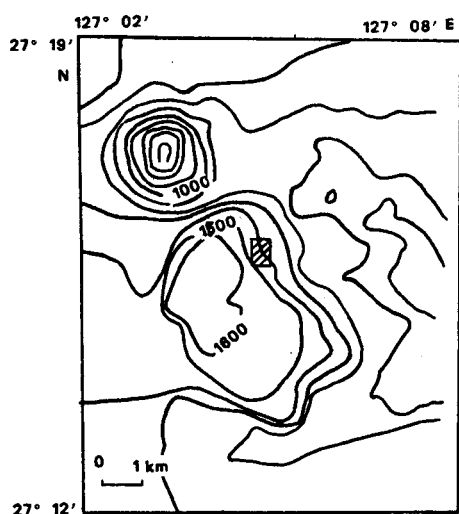


图2 伊是名海洼热水区位置
(据加藤幸弘等,1989年修改)

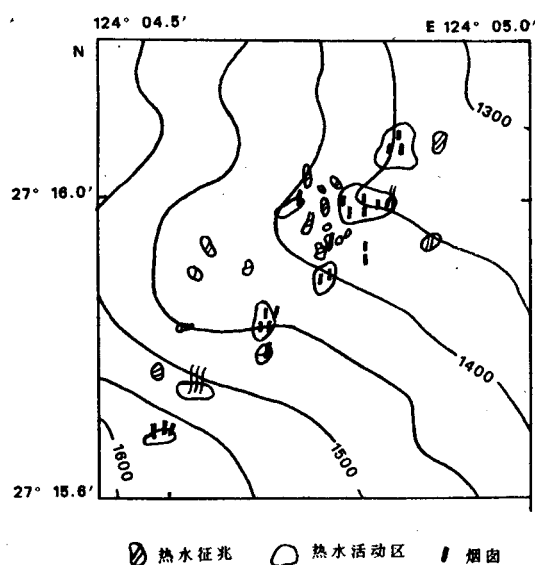


图3 伊是名海洼热水活动示意图
(据田中武男等,1990年修改)

2 热水活动特征

伊是名海洼的热水活动区位于海洼的北东坡(图2)。这里海底地形复杂,沉积物厚度不一,局部地区有凝灰岩、凝灰角砾岩出露。在沉积物上浮岩、生物残骸等时可见,并可见因火山活动而形成的火山渣广泛分

布^[2]。热水活动区以带状分布,为一北东向展布的宽约200m,长约1000m的长条地带(图3)。沿热水活动带可见热水性小墩、死的或活的烟囱。

2.1 热水的性质及成分

海底热水活动中喷出的热水性质及成分研究对于了解热水活动过程、地壳热循环及海底元素交换通量有积极意义,所以是海底热水活动研究的主要内容之一。对取自伊是名“黑烟囱”(喷出温度达320℃)及附近溢出口的热水分,结果表明热水为富含金属元素的酸性流体,其pH、碱度、 NH_4^+ 低于有厚层沉积物覆盖的瓜伊马斯海盆热水区,而高于贫沉积物的洋中脊热水区,显示出沉积物对热水性质的影响;热水中亲陆壳的元素K含量高于洋中脊热水区,表明不同来源的岩浆岩对热水成分的影响,表1列出了伊是名海洼热水活动区的热水端员与其他热水活动区的比较结果。由表中可见所有海底热水系统的热水端员中 Mg 、 SO_4^{2-} 浓度为0,这是它们的共性。

对伊是名海洼不同温度的热水研究表明,热水中Mg的含量与Cl、pH、碱度无关;与Li、 NH_4^+ 显负相关;而与 SO_4^{2-} 呈正相关^[4]。在热水气泡中 CO_2 占86~92%; H_2S 占3~5.5%; CH_4 和 H_2 等占4~11%。热水气体的同位素分析表明: $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ -4.8~-5.0PDB‰; $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ -33~-36.1PDB‰; $\delta^{34}\text{S}$ +7.2~-8.0CDT‰; $^3\text{He}/^4\text{He}$ 为5.8~6.9^[3]。显示出由岛弧酸性-中酸性海底火山活动引起的热水活动特征。

由于热水活动对海底的物质输入,引起海水中化学元素含量的明显增加,在热水活动区上方水柱中形成了热水活动羽状体,在羽状体中 CH_4 含量达 $5.6 \times 10^{-6} \sim 8.8 \times 10^{-6}$,比周围海水的 $0.02 \times 10^{-6} \sim 0.05 \times 10^{-6}$ 高2个数量级;Mn含量达 $2 \times 10^{-9} \sim 3 \times 10^{-9}$,比周围海水的 $0.2 \times 10^{-9} \sim 0.3 \times 10^{-9}$ 高1个数量级,成为寻找热水活动的示踪物。

2.2 热水沉积物的类型

伊是名海洼热水沉积物按产出形态可分为4种类型。即热水性小墩、烟囱体、网脉状矿化和含硫化物沉积物。

2.2.1 热水性小墩 是由破碎的烟囱或致密块状硫化物堆积而成。按有否为后继热水活动沉淀物所胶结又可分为碎屑状和块状两个亚类。块状矿石常具砾石结构,砾石为致密块状硫化物,主要有闪锌矿、黝铜矿、方铅矿、黄铜矿及少量黄铁矿组成,基质主要为闪锌矿和重晶石。

2.2.2 烟囱体 热水中携带的矿物随着热水的喷发而逐渐沉积形成的圆锥状矿化。其成分因热水的温度

不同而不同。热水温度高达 320℃ 的烟囱主要由硫化物矿物组成的黑烟囱,而热水温度较低时往往形成以非晶质 SiO₂ 或重晶石、硬石膏等组成的白烟囱,个别情况下还形成含白云石的泥质烟囱。热水烟囱由于受到热水来源及海底动力条件影响,寿命一般在几天至十几天,经历着形成→生长→死亡这样周而复始的循环。

表 1 热水端员的化学成分比较

地区	伊是名 ^[4] 瓜伊马斯 ^[6]		东太平洋洋脊		南胡安德富 ^[9]	加拉帕	大西洋	海水
	海	注 海 盆	21°N ^[7]	11~13°N ^[8]	卡洋脊	戈斯 ^[10]	中脊 ^[11]	
pH(25℃)	4.7	5.9	3.3~3.8	3.1~3.7	3.2	/	3.7~3.9	7.8
ALK(mmol/kg)	1.9	2.8~10.6	-0.50~-0.19	-1.02~-0.28	0	0	-0.24~-0.06	2.3
K(mmol/kg)	71.9	37.1~49.2	23.2~25.8	18.7~32.9	37.3~51.6	18.8	17.0~23.9	9.79
Na(mmol/kg)	425	475~513	423~510	290~596	700~800	/	509~584	463
Ca(mmol/kg)	22.3	26.6~41.5	11.7~20.8	10.6~54.8	77.3~96.4	24.6~40.2	9.9~26.0	10.2
Mg(mmol/kg)	0	0	0	0	0	0	0	52.7
SO ₄ (mmol/kg)	0	0	0	/	0	0	/	27.9
Cl(mmol/kg)	550	581~637	489~579	338~760	896~1 090	/	559~659	540
SiO ₂ (mmol/kg)	12.9	9.3~13.8	15.6~19.5	14.3~21.9	22.7~23.3	21.9	18.2~22.0	0.18
H ₂ S(mmol/kg)	12.4	3.80~5.98	6.57~8.37	2.9~12.2	3.0~4.4	/	5.9	0
NH ₄ (mmol/kg)	5.0	10.7~15.6	<0.01	/	/	/	/	<0.01
Fe(μmol/kg)	2.8	17~180	750~2 429	1 640~10 760	10 300~18 700	/	1 640~2 180	<0.001
Mn(μmol/kg)	110	128~236	699~1 002	742~2 932	2610~4 480	360~1 140	491~1 000	<0.001
Cu(μmol/kg)	0.003	<0.02~1.1	<0.02~44	/	<2	0	10~17	0.007
Zn(μmol/kg)	7.6	0.1~40	40~106	2~105	<900	/	47~50	0.01
Ba(μmol/kg)	59	>7~>24	>7~>15	/	/	17.2~42.6	/	0.14
Sr(μmol/kg)	94	160~253	65~97	38~182	230~312	87	50~99	87
Li(μmol/kg)	2 480	630~1076	891~1 322	484~884	1 110~1 810	690~1 140	411~849	26
Al(μmol/kg)	0	0.9~7.9	4.0~5.2	12.9~20.0	1.9	/	5~5.3	0.005
Co(nmol/kg)	2.7	<5	22~227	/	/	/	/	0.03
Pb(nmol/kg)	3.6	<20~652	183~359	9~270	/	/	/	0.01

2.2.3 网脉状矿化 见于受热水蚀变的流纹岩中,为热水通过裂隙时沉积而成,矿物为闪锌矿、砷黝铜矿、硫砷铜矿、方铅矿及少量黄铁矿、黄铜矿、有时可见自然硫沉淀。蚀变流纹岩主要由石英、白云母及长石组成。

2.2.4 含硫化物沉积物 沉积物柱状样分析表明,在深 80cm 处有一层厚约 10~15cm 的含硫化物沉积物,沉积物为浅灰色的未固结的细粒物质,含有大量的闪锌矿、黄铁矿和重晶石,碎屑矿物为石英、方介石、伊利石和绿泥石。

2.3 热水沉积物的化学组成

伊是名海洼热水沉积物中 SiO₂ 含量因沉积物类型不同而有较大区别,在自然硫壳和脉状矿化中 SiO₂ 含量较高,分别为 36.85% 和 49.20%。MnO 和 CaO 在各样品

中含量普遍较低,大多数<0.2%。Zn,Pb,Cu,Fe 等成矿元素在富硫化物沉积物及网脉状矿化中含量均较高。Ba 主要富集在富硫酸盐沉积物中,含量高达 46.59%,而在其余类型沉积物中无明显富集现象。As,Sb,Ag,Au,Hg 在伊是名有明显富集。伊是名海洼热水沉积物相对于其他热水沉积物而言(表 2)。含有较高的 Pb,Cu,Cd,As,Ag,Au,Sb,Hg 等元素,而 SiO₂,S,Fe,Ba 含量介于瓜伊马斯海盆与其他热水区之间,造成这种差异的原因是岩浆活动、沉积作用还是其他因素尚待进一步研究。冲绳海槽伊是名海洼热水沉积物中各元素的最大含量分别是 Zn:50.20%,Pb:25.52%,Cu:13.33%,Fe:17.1%,Mn:0.35%,Cd:0.17%,Ba:46.59%,As:10.8%,Sb:4.02%,Ag:0.85%,Au:12.8×10⁻⁶,Hg:1 070×10⁻⁶。

表 2 热水沉积物成分比较

成份	伊是名海洼 ^[1,5]		东太平洋海隆 21°N ^[12]		胡安富卡海隆 ^[12]		瓜伊马斯海盆 ^[13]		加拉帕 戈斯 断裂带 ^[12]
	范围(n=6)	均值	范围(n=5)	均值	范围(n=3)	均值	范围(n=14)	均值	
(wt%)									
SiO ₂	1.04~49.20	16.72	<0.5~19.0	5.7	1.5~11.3	5.1	12.72~81.0	28.4	<0.1
Al ₂ O ₃	0.04~4.33	0.79	0.04~0.77	0.26	0.06~0.15	0.12	/	/	<0.06
MnO	0.04~0.45	0.20	<0.01~0.07	0.03	0.01~0.27	0.13	/	/	0.02
MgO	0.03~0.17	0.09	0.02~3.15	0.66	<0.05	<0.05	/	/	<0.05
CaO	0.04~0.17	0.08	<0.01~37.9	15.7	<0.03~0.15	0.06	<0.01~37.4	9.38	<0.03
S	5.25~31.74	21.58	0.74~39.7	22.2	32.6~48.3	39.2	0.94~12.6	8.30	52.2
Zn	3.09~39.89	22.0	0.12~41.8	19.8	2.27~61.0	36.7	<0.01~3.78	0.97	0.14
Pb	5.91~25.52	14.27	<0.04~0.61	0.21	0.2~0.3	0.26	<0.01~2.13	0.37	<0.07
Cu	0.02~6.29	1.77	0.13~1.3	0.57	0.04~0.35	0.16	<0.01~0.44	0.17	4.98
Fe	1.06~13.55	7.33	0.61~26.2	12.4	2.19~41.4	19.7	0.3~12.8	5.9	44.1
Sr	0.01~0.25	0.10	0.001~0.397	0.14	<0.001~0.012	0.005	0.05~0.58	0.31	<0.001
Ba	0.02~8.65	2.81	<0.01~0.6	0.15	<0.01~0.12	0.06	<0.01~43.8	14.9	<0.01
Cd	<0.01~0.13	0.07	<0.01~0.09	0.04	<0.01~0.11	0.05	<0.001~0.011	0.003	<0.001
As	0.06~9.31	2.75	<0.01~0.08	0.03	0.02~0.04	0.04	<0.01~0.03	0.01	0.01
(×10 ⁻⁶)									
Ag	180~6 500	2 113	1.6~241	97.6	15~290	178	0.5~353	69	<10
Au	0.3~9.8	4.6	nd~0.2	<0.1	<0.1~0.13	<0.1	0.035~0.35	0.15	0.05
Sb	2 800~25 400	16 000*	1.4~52.9	23	0.7~34	18	4.6~490	107*	1.8
Hg	15~230	109*	<1~2*	1	<1~5	2	/	/	/

3 小结

1 冲绳海槽伊是名热水活动区喷出的热水为高碱度的酸性流体,富含 CO₂。

2 热水沉积物可分为热水性小墩、烟囱体、网脉状矿化和含硫化物沉积物 4 类。

3 与其他热水区比,伊是名海洼热水沉积物含有较高的 Pb, Cu, Cd, As, Au, Sb, Hg 等元素,而 SiO₂, S, Fe, Ba 含量介于富沉积物的瓜伊马期海盆和贫沉积物的洋中脊活动区之间。

参考文献

- [1] 田中武男ほか,1990。伊是名海穴の热水现象とその分布,第六回“しんかい2000”研究シンポジウム报告书 11~26。
- [2] 加藤幸弘,1990。第六回“しんかい2000”研究シンポジウム报告书 27~32。

- [3] 酒井均ほか,1990。第六回“しんかい2000”研究シンポジウム报告书 69~86。
- [4] 蒲生俊敬ほか,1990。第六回“しんかい2000”研究シンポジウム报告书 51~62。
- [5] Halbach, P. et al., 1989. *Nature* 338:496-499.
- [6] Von Damm, K. L., et al., 1985a. *Geochim. Cosmochim. Acta* 49:2 231-2 237.
- [7] Von damm, K. L., et al., 1985b. *Geochim. Cosmochim. Acta* 49:2 197-2 220.
- [8] Bowers. T. S., et al., 1988. *J. Geophys. Res.* 93:4 522-4 536.
- [9] Von Damm, K. L., and Bischoff, J. L., 1987. *J. Geophys. Res.* 92:11 334~11 346.
- [10] Edmond, J. M., et al., 1979. *Earth Planet. Sci. lett.* 46: 1-18.
- [11] Campbell, A. C., et al., 1988. *Nature* 335:514-519.
- [12] Bischoff, J. L., et al., 1983. *Econ. Geol.* 78:1 711-1 720.
- [13] Hannington, J. M., et al., 1986. *Econ. Geol.* 81:1 867-1 883.