

ODP 与冲绳海槽海底热水活动研究*

高爱国

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

提要 本文简要介绍了 ODP 与海底热水活动研究、冲绳海槽中部现代海底热水活动区热水活动研究简况及其热水活动特征;就冲绳海槽中部热水活动研究中存在的问题与 ODP 在冲绳海槽热水区钻探的科学目标进行了讨论。

关键词 ODP, 冲绳海槽, 海底热水活动

1 ODP 与海底热水活动研究

作为与海底扩张、火山活动、地幔物质上涌有关的海底热水活动,既与研究壳幔相互作用有关,又与研究地壳中的液体循环和全球地球化学平衡有关。因而成为大洋钻探计划的核心内容之一。

从 DSDP 到 ODP 的大量钻探结果表明,在位于板块增生边缘的洋中脊(如东太平洋海隆、大西洋中脊、印度洋中脊以及红海)和板块的汇聚边缘(如西太平洋沟弧盆体系构造区)的钻孔常常遇到热水作用踪迹或热水产物。而这些钻探结果对于了解海底热水活动的时空特征及其与海底扩张、火山活动、地幔物质上涌、洋壳热平衡等的关系极有帮助,对了解海水下渗、海底岩石的热蚀变、水-岩反应特征、热水的演化、热水中成矿元素的物质来源、热水活动中元素的收支平衡、热水沉积物的成岩变化等也大有裨益,从而成为研究海底热水活动的重要途径。

海底热水活动研究是 70 年代以来海洋地质研究的热点之一。根据海底沉积物调查、深潜器现场调查及 DSDP 与 ODP 的钻探结果,目前已发现了 100 余处海底热水活动区。它们主要分布在板块增生边缘的洋中脊处、汇聚边缘的岛弧附近以及板块内的地幔热点处。众多的研究表明,由于板块扩张速率不同,热水活动特征也不同。而对处于不同板块边缘的两类热水活动(洋中脊型与岛弧型)之间有何差别,尚无定论。从研究的手段上看,大多数研究主要侧重于洋底表面的热水沉积物研究,研究范围仅为表层几米,尚不能满足研究海底热水活动成因机制的需要。显然通过在岛弧附近热水区打钻,获取更长的岩芯进行科学研究,结合实验地球化学研究成果、及其他有关海洋地质研究成果(诸如岩石学、地球物理等),有助于较全面地了解海底热水活动的成因机制及其他相关问题,加深对壳幔相互作用、地壳中的液体循环和全球地球化学平衡的认识,因此可以说海底热水活动研究是 ODP 学术目标的具体实施,而 ODP 又是研究海底热水活动的重要手段。

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 2899 号。

收稿日期:1996 年 3 月 10 日

2 冲绳海槽中部现代海底热水活动研究

2.1 研究简况

冲绳海槽位于东海大陆架与琉球弧之间,为一弧后扩张中心,具有发生海底热水活动的有利条件。自1986年7月在伊平屋海洼的夏岛84-海丘顶部首次发现热水温度达42℃的热水性小墩以来^[6],在冲绳海槽中部已经先后发现了伊是名海洼(JADE)、伊平屋海洼(CLAM区)、南奄西海丘等4个现代海底热水活动区。其中尤须指出的是1988年6月在伊是名海洼发现了类似于日本“黑矿”的海底热水硫化物矿床^[5]。1988年9月在伊平屋海洼CLAM区发现海底热水活动所少见的碳酸盐烟囱^[4]。1989年6月在伊是名海洼发现黑烟囱和喷出富CO₂的液泡^[3],7月又在该处采得热水温度高达320℃(当地沸点为330℃)的热水端员样品。冲绳海槽海底热水活动区分布见图1^[1]。

1992年6月和1994年3月中科院海洋研究所两次组队前往该地进行热水区沉积物地球化学调查,进行了沉积物岩石化学全分析、元素分析(36个元素)、稳定同位素、元素赋存形态测定等研究,取得了一些初步成果^①。

2.2 主要研究成果

通过大量野外调查和实验室研究,初步查明冲绳海槽中部现代海底热水活动区有如下特点:

2.2.1 热水沉积物

冲绳海槽中部现代海底热水活动区热水沉积物中出现的矿物有硫化物、硫酸盐、氧化物和氢氧化物、碳酸盐、硅酸盐及自然元素6大类,包括闪锌矿、纤锌矿、方铅矿、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、黝铜矿、砷黝铜矿、硫砷铜矿、硫锰矿、辉银矿、辉铋矿、雄黄、雌黄、辰砂、重晶石、硬石膏、石膏、铅矾、赤铁矿、针铁矿、褐铁矿、水锰矿、钠水锰矿、钡镁锰矿、非晶质SiO₂、方解石、锰方解石、锰白云石、菱锰矿、蒙脱石、铁蒙脱石、高岭石、绿泥石、自然硫等35种矿物^[2]。

热水沉积物的化学成分特征为:夏岛84-1海丘以富Fe、Mn氧化物、氢氧化物为特征;伊平屋海洼以富热水成因的碳酸盐为特征;而伊是名海洼与南奄西海丘热水沉积物中Zn、Cu、Pb等硫化物含量较高,与洋中脊海底热水沉积物相比,虽然SiO₂、Fe、Mn、Zn、Cu含量各地都有高低变化,但差别不是太大,而最引人注目的是冲绳海槽中部热水沉积物中的Pb、Hg、Au、Ag含量较高。

2.2.2 热水化学成分特征

对热水成分分析表明,随着温度的增高,热水的pH值降低,热水中金属元素的浓度增高,但是Mg的含量趋向于零,SO₄²⁻的含量也趋向于零,这与洋中脊热水区的情况基本相似。表明在热水形成期间,温度升高,初始热水溶液对海底岩石、沉积物的蚀变能量加强,逐渐演变为高温、酸性的还原性含矿溶液。此外冲绳海槽热水相对于洋中脊热水而言,具有较高的碱度、pH值、NH₄⁺等,其测定值介于富沉积物的瓜伊马斯海盆与贫沉积物的东太平洋海隆21°N热水区沉积物之间,而且热水中CO₂、K、Li含量及⁸⁷Sr/⁸⁶Sr比值也较高。

2.2.3 海底沉积物的地球化学特征

在冲绳海槽中部热水区表层沉积物中,与热水活动有关的常量组分Fe、MnO、MgO、P₂O₅均高于非热水区,大多数微量元素在热水区沉积物中含量大于非热水区沉积物中含量,热水区富集的元素组合为Mn、Mo、Sb、Hg、As、Pb、Bi、W、Cd、Cu等,其中Mn、Pb、Cu等受热水活动影响较大,通过与非热水区、洋中脊热水区的对比可知冲绳海槽热水区的特征元素为Mn与Pb,在热水区富集的元素

① 高爱国,1995.冲绳海槽中部热水区沉积物的地球化学研究(博士论文)。1~99。

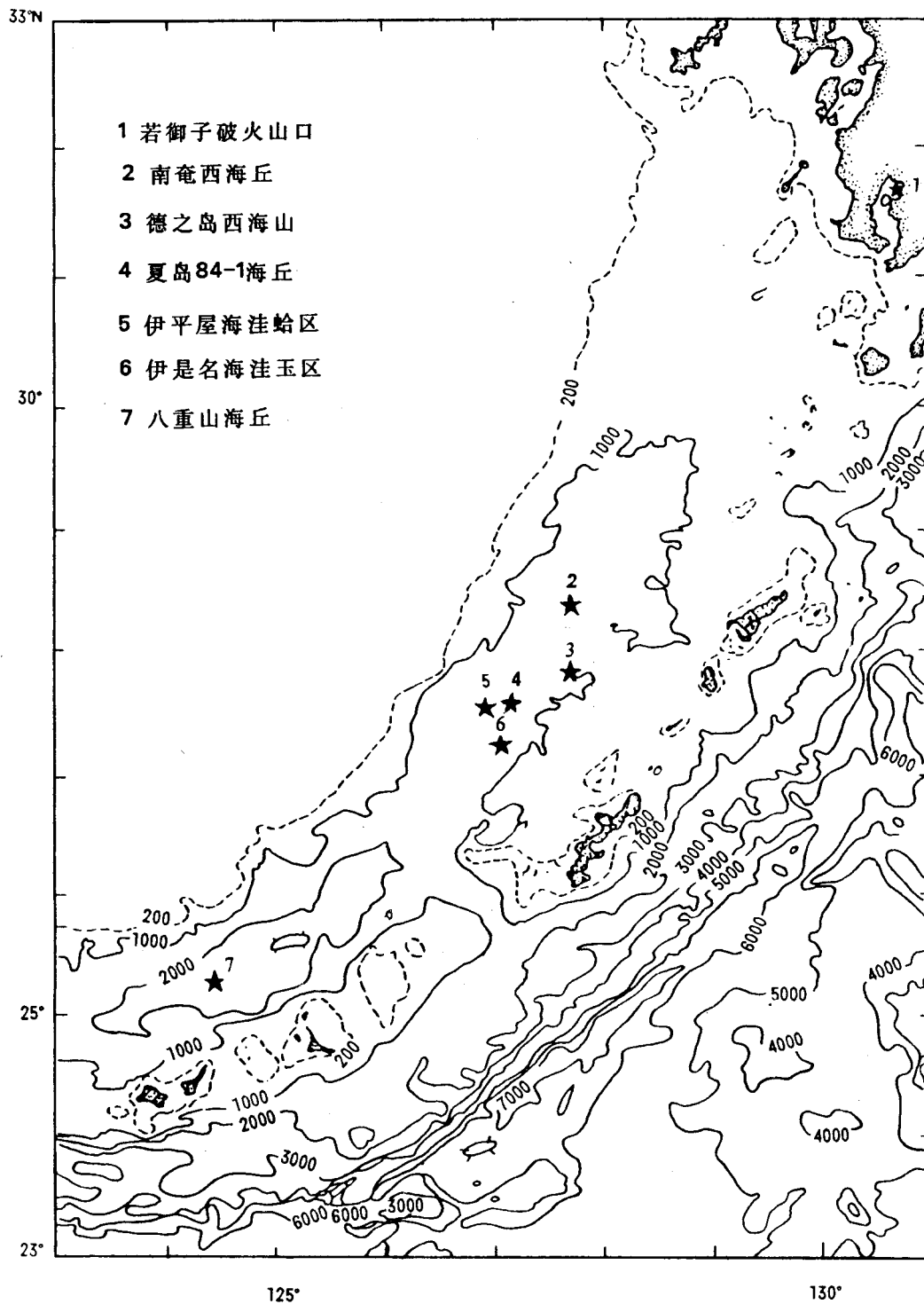


图1 冲绳海槽热水活动区分布

Fig. 1 Distribution of hydrothermal activity in the Middle Okinawa Trough

主要赋存在非硅酸盐的碎屑态中(包括可交换态—碳酸盐态、铁锰氧化物态、硫化物—有机物态),而在硅酸盐碎屑态中所占比例明显减少。

2.3 存在问题

2.3.1 冲绳海槽中部4个正在活动的热水区之间存在着较大的差异,如:伊是名海洼与南奄西海丘的热水温度较高,接近于当地的沸点,且存在着各自的热端组分;而夏岛84-1海丘与伊平屋海洼的热水温度较低,不存在一个统一的热端组分。又如伊是名海洼与南奄西海丘热水沉积物以富硫化物为特征,而伊平屋海洼以富锰碳酸盐为特色,夏岛84-1海丘则为铁锰氧化物型等。凡此种说明冲绳海槽中部热水活动的区域性变化较大,造成这种差别的原因是什么?

2.3.2 研究表明,沉积物对冲绳海槽中部的热水活动有影响,沉积物分布的区域性差异与热水活动的区域性变化有何关系?据报道,由于受物质来源、构造活动及火山活动的不同影响,海槽沉积物从厚达数公里到火山岩直接裸露;从富陆源物质到以生源物质为主或以火山物质为主。沉积速率变化较大,各家报道的结果竟差几个数量级。沉积物的这种变化对热水在形成、迁移、演化过程中的地球化学性质有何影响?热水活动对沉积物组成及沉积速率又有什么影响?

2.3.3 海槽内火山岩的成分复杂多变,从酸性的流纹岩到基性的玄武岩均有产出,表现出本区构造活动与火山活动的复杂性,这些不同成分的火山物质是来源于俯冲板块的重熔还是来源于深部地幔,它们对本区海底热水沉积物的组成有何影响?另一方面岩浆体的规模及埋藏深度将直接影响岩浆体与下渗海水、岩浆体与沉积物间的物质交换,从而对热水成分、热水活动特征产生不同的影响,本区岩浆体的产状又是如何?

2.3.4 从热水沉积物的 $\delta^{14}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{34}\text{S}$ 、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 等同位素资料分析可知,冲绳海槽热水沉积物的物质来源有幔源物质、下渗海水及沉积物3个端元。那么对于Mn、Pb、Hg、Au、Ag等元素而言,其物质主要来源于哪一端元?是否存在着相应的矿源层或含矿岩体?对于伊平屋海洼的碳酸盐,真是来自幔源吗?其地质意义如何?

2.3.5 在伊是名海洼与南奄西海丘曾发现有碎屑状热水成因硫化物产出,根据同位素温度及包裹体温度测定知,矿物的形成温度高于当地沸点。结合其产状推测它们是早期形成于海底之下,尔后由于爆炸而被带到海底表面,这表明热水沉积物不仅仅存在于海底表面,而且也可能存在于海底之下较深处。那么热水沉积物从海底之下多深处开始沉积?深部爆炸的机理怎样?热水沉积物的储量又有多少?

2.3.6 伊是名海洼热水沉积物具有与黑矿相类似的化学成分特征。Halbach曾将其比作现代黑矿,然而进一步的研究表明,两者在矿物结构与构造上有一定差别。如伊是名海洼热水沉积物中所常见的树枝状结构,在黑矿中就没有;而黑矿中常见的胶粒结构在伊是名海洼也少见,这是两处成矿条件的不同、还是取样层位不同所致?此外黑矿在垂直方向上具有独特的垂直分带性,伊是名海洼热水沉积物是否也有类似的分带现象?伊是名海洼热水沉积物研究在黑矿研究中及海底矿产资源调查中具有什么意义?

3 冲绳海槽中部热水区 ODP 钻探的科学目标

冲绳海槽中部热水区 ODP 钻探的科学目标是:针对冲绳海槽中部热水活动研究中存在的问题,进行合理的井位设计,以求取得较全面的资料,进而研究沉积物、火山物质或岩浆活动与热水活动的相互关系,热水及其热水物质的形成、迁移、沉积的物理化学条件,搞清其区域性分布差异的原

因及本区热水活动的成因机理,此外还可以通过与其他热水区的研究资料对比,探讨下列问题:

3.1 研究岛弧区热水活动与洋中脊热水活动的差别

与洋中脊海底热水沉积物相比,冲绳海槽中部热水沉积物中的 Pb、Hg、Au、Ag 含量较高,热水中 K、Li,含量明显偏高。

由于板块增生边缘与汇聚边缘的性质不同,岩浆活动的性质也不同,造成与之相关的水活动产物也不同。在板块增生边缘的岩浆活动主要为基性程度较高的洋中脊拉斑玄武岩,其⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 比值较低,K、Li、Cs、Ba、Th、Nb、Ta、U、Pb、Rb 及轻稀土等高度不相容元素的含量较低。而作为板块汇聚边缘的岩浆活动,常与钙碱性火山岩(包括玄武岩、安山岩、英安岩、粗面岩、流纹岩等)有关。由于受陆壳及俯冲洋壳部分熔融的影响,常以富集一些不相容元素及有较高的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 比值为特征。以 K 为例,从 K 在海水中居留时间看,为 1.2×10^7 a,为保守型元素,可以认为它在海水中是近似均匀分布的。而从岩浆岩中含量看,K 趋向于在中酸性岩中富集,并显示出在汇聚边缘附近的钙碱性火山岩中含量高于洋中脊拉斑玄武岩的趋势,洋中脊玄武岩 K₂O 平均含量为 0.12~0.22%,而冲绳海槽浮岩中 K₂O 含量为 2.24~2.95%(2)。

与其他热水区相比,冲绳海槽无论是在热水沉积物中还是海底沉积物中均有较高的铅含量,且铅主要赋存在与热水活动有关的非硅酸盐碎屑态中。从铅的地球化学性质看,铅的离子半径与钾相近,在岩浆作用中常常被含钾矿物所捕获,铅的含量变化与钾长石含量变化呈明显的正相关,因此铅的富集主要与中酸性岩浆活动有关,而与基性岩有关的硫化物中几乎不存在铅,从而使铅成为冲绳海槽热水活动区的特征元素。

通过对比研究可搞清影响岛弧区热水活动与洋中脊热水活动的差别的主要原因,建立区分两类不同边缘处热水活动的指标,这对古海底热水活动研究及古海洋研究也有积极意义。

3.2 沉积物对热水活动的影响

在瓜伊马斯海底热水活动研究中人们曾注意到由于瓜伊马斯热水区存在着巨厚的沉积,热水在形成或上升过程中,由于受沉积物的影响而具有与贫沉积物的洋中脊热水区明显不同的特点,表现为高碱度,高 CO₂ 含量等特点,从而认识到热水活动并非只有玄武岩与海水两个端员,而且还涉及到沉积物这一个端员。冲绳海槽热水相对于洋中脊热水而言,具有较高的碱度、pH、NH₄⁺ 等,其测定值介于富沉积物的瓜伊马斯海盆与贫沉积物的东太平洋海隆 21°N 热水区沉积物之间,并有较多的 CO₂ 含量,显然这些成分的变化与沉积物的参与是分不开的。

冲绳海槽热水中⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 的比值高于大洋水中⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 的比值,也高于冲绳海槽火山岩中⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 比值、冲绳海槽浮岩中的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 值,而低于沉积物中的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 测定值。显然只有海底沉积物参与同位素交换才能使热水具有高于海水的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 比值。这一特点又使它区别于瓜伊马斯海盆,通过这两区的对比研究有助于了解地壳中流体的循环以及沉积物在热水形成过程中的作用。

3.3 壳幔相互作用研究

伊平屋碳酸盐来源问题,经同位素分析表明: $\delta^{13}\text{C} = -6.6 \sim -4.6\text{‰PDB}$; $\delta^{18}\text{O} = 8.7 \sim 10.9\text{‰SMOW}$ 。与标准海水($\delta^{13}\text{C} = \pm 2 \sim \pm 1\text{‰PDB}$; $\delta^{18}\text{O} = 0\text{‰SMOW}$)、生物成因碳酸盐($\delta^{13}\text{C} < -24\text{‰PDB}$)、沉积成因碳酸盐($\delta^{13}\text{C} = 0\text{‰PDB}$)、海相碳酸钙($\delta^{18}\text{O} = 29 \pm \text{‰SWOM}$)明显不同,而与岩浆成因的碳酸盐岩($\delta^{13}\text{C} = -5.3 \sim -7.0\text{‰PDB}$; $\delta^{18}\text{O} = 6 \sim 10\text{‰SMOW}$)相近,故推测其为来自幔源的热水产物。

对伊是名海洼与南奄西海丘热水沉积物中进行硫、氧、碳等同位素测定,结果表明也具有幔源特征。

因此有必要了解这些来自幔源的物质在运移过程中是如何变化的,据此反演幔源成分,并结合

洋中脊热水区壳幔相互作用研究成果,搞清不同板块边缘热水活动区壳幔相互作用的异同。

主要参考文献

- [1] 高爱国,1995。冲绳海槽地热(李乃胜主编)。青岛出版社,95~138。
- [2] 高爱国、何丽娟,1995。资源、环境与持续发展战略。中国环境科学出版社,98~100。
- [3] 中村光一ほか,1990。第6回 しんかい2000 研究シンポジウム报告书,33~50。
- [4] 蒲生俊敬ほか,1991。第7回 しんかい2000 研究シンポジウム报告书,163~184。
- [5] Halbach,P. *et al.* , 1989. *Nature* **338**(6 215):496-499.
- [6] Kimura,M. *et al.* ,1988. *Tectonophysics* (Japan) 145:319-324.

ODP AND STUDY ON THE HYDROTHERMAL ACTIVITY IN THE MIDDLE OKINAWA TROUGH

Gao Aiguo

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

Received: Mar. 13, 1996

Key Words: ODP, Hydrothermal Activity, Middle Okinawa Trough

Abstract

There are four modern seafloor hydrothermal activity area in the Middle Okinawa Trough. The hydrothermal activity of those area are different from each other, and also different from those in the Mid-Ocean Ridge. What is the main control factor and how it influence the hydrothermal activity are unknown. ODP's drilling in the Middle Okinawa Trough may be give the best explanation.