

# 现代海底热水活动调查研究在中国\*

## STUDY ON MODERN SUBMARINE HYDROTHERMAL ACTIVITY IN CHINA

赵一阳

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

现代海底热水(又称热液、热泉)活动的调查研究,是当代海洋科学、地质学及地球化学等学科共同面临的重负使命,已成为国际上重大前沿理论课题之一,其主要意义有:(1)现代海底热水多金属硫化物的发现是继海洋铁锰结核之后又新发现的一种具有明显潜在经济价值的矿物资源,迄今已发现矿化点 100 多处。(2)海底热水的成因与海底扩张和板块构造有着内在的联系,它

可为板块构造理论提供新的佐证。(3)海底热水是海洋一个新的不可忽视的物质来源,它对海洋物质的收支有重大贡献。(4)现代热水成矿的研究无疑对大陆某些古代海底热水矿床的研究和评价可提供科学依据,特别是

---

\* 国家自然科学基金资助项目。

中国科学院海洋研究所调查报告第 2630 号。

对国内外若干超大型矿床的统计研究表明,海底热水沉积成矿作用是超大型矿床形成的主要成矿方式之一。(5)热水活动区在高达 300℃ 以上的环境里竟有活着的热热水生物群落,对这一“奇迹”的研究有可能在生物学领域取得新的突破。

海底热水是 60 年代海洋调查的一大发现,首次发现于红海,70 年代在东太平洋海岭发现了热水块状多金属硫化物矿产,因此引起了美、法、英、苏、日、德等国极大的重视,曾多次组织了对东太平洋海岭、大西洋中脊的调查,80 年代热水调查更加广泛,结果发现,海底热水不仅大洋中脊有,而且边缘海弧后盆地也有,如冲绳海槽和马里亚纳海槽均有发现。

80 年代日本数次开展冲绳海槽中部的热水调查,1988 年及 1990 年德国组织了马里亚纳海槽热水调查(SO57 航次及 SO69 航次)。

我国对海底热水活动的调查起步较晚。1988 年 7~8 月中德合作,国家海洋局第一研究所派人乘德“太阳号”参加了马里亚纳海槽的热水活动调查(SO57 航次)<sup>[1]</sup>;1988 年 9 月~1989 年 1 月中苏合作,中国科学院海洋研究所派人乘苏“维诺格拉多夫号”参加太平洋调查时,在东太平洋海岭附近采得热水沉积物样品,从此开创了我国现代海底热水活动的研究。1992 年 6 月在国家基金委的资助下,由中国科学院海洋研究所和地球化学所合作乘我国“科学一号”开展了冲绳海槽的热水活动调查<sup>[2,3]</sup>,这是我国首次独自组织进行的热水活动调查,揭开了中国现代海底热水活动调查研究的新篇章。

根据马里亚纳海槽所采的热水沉积的硅质“烟囱”,系统地从事产状、矿物和化学成分进行了研究,探讨了硅质烟囱的成因,并深入研究了热水自生的粘土矿物——绿脱石<sup>[1,4,5,6]</sup>。

近年,中国科学院海洋研究所利用英国剑桥大学采自大西洋中脊 TAG 热水区的样品,从成因矿物学的角度研究了黄铁矿等硫化物的标型特征及其与热水活动的关系,划分了成矿期和成矿阶段,指出主要成矿阶段是在热水活动的晚期<sup>①②</sup>。

我国首次独立进行的冲绳海槽热水沉积调查,采得了热水区沉积物的表层样和岩芯样、岩石样(浮岩和玄武岩)以及水样。为了比较研究,同时还在海槽北部非热水区采集了样品。室内通过中子活化、X 射线荧光、原子吸收以及电子探针等分析,测定了 60 余种化学元素,其中重点测定了许多微量元素及稀土元素,此外还进行了碳、氧同位素及<sup>210</sup>Pb 分析,为了查明元素的可能来源还对沉积物中元素的不同形态进行了分析。基于这些第一

手资料,突出研究了热水活动区沉积物的元素丰度特征、富集的典型元素组合、冲绳海槽与大洋中脊热水区沉积物的化学差异、热水区玄武岩的矿物和岩石化学特征、热水区沉积物的混合作用以及沟弧盆系热水沉积成矿作用的模式。

主要研究成果可简要归纳如下:

(1) 提出了海底沉积物汞异常可作为现代海底热水效应的一个地球化学“指示剂”<sup>[7]</sup>。

依据冲绳海槽沉积物 60 余种化学元素的丰度,无论与东海大陆架沉积物比较,或与西太平洋褐色粘土比较,均发现汞呈现明显的正异常,汞的富集系数  $K > 4$ ,“过剩汞”系源自海底热水,因此汞异常可作为海底热水效应的“指示剂”。

(2) 查明了热水区沉积物富集的典型元素组合为 Mn、Zn、Pb、Cu、Au、Ag、Hg 等<sup>③</sup>。

热水区与非热水区对照研究表明,热水区明显富集 Mn、Zn、Pb、Cu、Au、Ag、Hg 等,这个富集的元素组合绝非陆源、生物源和自生沉积所致,而是由海底热水作用的贡献。

(3) 查明了冲绳海槽热水区与大洋中脊的化学差异在于 Pb、Zn、Au、Ag 等的含量高为特征。

冲绳海槽属典型的弧后扩张盆地,其热水沉积与大洋中脊相比有着鲜明的特征,即沉积物中 Pb、Zn、Au、Ag 等元素的含量较高,这个特征与日本中新世海底火山活动喷气——热水成因的“黑矿”有极其相似之处。

(4) 深入研究了热水区玄武岩的矿物及岩石化学特征。

冲绳海槽过去曾有发现玄武岩的报道,但未见关于玄武岩矿物学及岩石化学的研究,本次在热水区采到的新鲜玄武岩,做了斑晶矿物学和岩石化学研究,结果表明玄武岩的斑晶矿物主要由橄榄石、单斜辉石、斜方辉石和斜长石组成,副矿物有铬铁尖晶石和磁铁矿,因而定名为橄榄玄武岩。同大洋中脊玄武岩相比,该玄武岩明显具有 E 型洋脊玄武岩的特点,这是海底扩张作用的有力证据,说明初始岩浆可能来自于海槽扩张而隆起的地幔<sup>④</sup>。

① 初凤友、陈丽蓉,1994. 大西洋中脊黄铁矿标型特征与热液演化。

② 初凤友、陈丽蓉,1994. 大西洋中脊热液区黄铜矿和内锌矿的矿物学研究。

③ 高爱国、何丽娟,1994. 冲绳海槽热液活动区沉积物地球化学。

④ 翟世奎等,1994. 冲绳海槽海底热液活动区玄武岩的矿物学和岩石化学特征及其地质意义。

(5) 依据 $^{210}\text{Pb}$ 研究了热水区的混合速率并纠正了日本学者利用 $^{210}\text{Pb}$ 计算沉积速率的错误。

日本学者利用 $^{210}\text{Pb}$ 曾报道冲绳海槽热水区的沉积速率为 $0.16\sim 0.25\text{cm/a}$ 。实际上根据我们以往的研究,海槽的沉积速率平均为 $3.5\text{cm/ka}$ ,这个数量级的沉积速率是不能用 $^{210}\text{Pb}$ 计算的,因 $^{210}\text{Pb}$ 的半衰期,仅为22.3年,该区 $^{210}\text{Pb}$ 随岩芯深度的降低并非衰变的结果而是混合作用所致,因此只能计算其混合速率,据此测得热水区的混合速率为 $6.88\text{cm}^2/\text{a}$ ,混合深度达13cm,而非热水区混合速率为 $1.53\text{cm}^2/\text{a}$ ,混合深度为9cm,足见热水区的混合作用强于非热水区<sup>①</sup>。

(6) 提出了沟弧盆系热水沉积成矿作用的模式。

基于冲绳海槽的研究,结合有关文献资料,已知沟弧盆系热水成矿与板块的消减过程密切相关,大体分4个阶段:(1)板块俯冲,消减沉积物快速脱水脱气,在海沟形成泥火山;(2)消减板块基岩开始脱水,造浆作用出现,在海底形成蛇纹岩海山与玻古安山岩;(3)消减粘土及蚀变洋壳脱水,在低水/岩比条件下造浆,生成低温铁锰氧化物结壳;(4)弧后盆地地壳裂开,加剧岩浆与热水活动,形成多种高温热水沉积矿床。弧后盆地热水成矿作用是整个沟弧盆系热水沉积成矿作用的最后阶段<sup>②</sup>。

有关冲绳海槽热水沉积调查研究的成果,曾分别在第7届国际日本海及中国海学术讨论会、第3届国际黄海海洋科学讨论会、国际矿床成因协会第9届学术讨论会上交流,并在第5届全国矿物岩石地球化学学术讨论会上作大会特邀报告。

我国与先进国家的差距,主要在于目前我国尚无深潜器,它对采得热水样和块状多金属硫化物矿石至关重要,

我国当尽早解决这一技术设备问题,以便使研究发生新的飞跃。

顺便指出的是,现代海底“热水”一词,有称“热液”,但由于在大陆古代岩浆演化过程有“热液”活动阶段,该“热液”是专指岩浆活动后期分异作用所形成的热水溶液;而海底热水,常是以“加热了的海水”为主体,尽管有时也有岩浆热液的加入。所以当前在我国大陆地质研究中为了与岩浆热液有所区别,多数学者已将海底的热水溶液称为“热水”。当热水的矿化达到一定程度时,又称“热卤水”,如见于红海的热卤水。

#### 参考文献

- [1] 吴世迎主编,1991.马里亚纳海槽海底热液烟卤和非律宾海沉积物.海洋出版社,1~193.
- [2] 赵一阳、翟世奎、李永植、高爱国、何丽娟、王中刚、朱笑青,1994.中国矿物岩石地球化学研究新进展.兰州大学出版社,390~391.
- [3] 朱笑青、王中刚,1994.矿床地球化学研究.地震出版社,108~112.
- [4] 吴世迎,陈穗田、张德玉、王冠荣,1991.中国科学(B辑)(2):198~204.
- [5] 张德玉、陈穗田、王冠荣、吴世迎,1992.海洋学报 14(4):61~68.
- [6] 吴世迎,1994.海洋学报 18(2):78~85.
- [7] 赵一阳、鄯明才,1994.地球化学 23(2):132~139.

① 李凤业等,1994.冲绳海槽热水区沉积物混合速率的研究。

② 李永植,1994.论现代岛弧、海沟及弧后盆地体系的热液沉积成矿作用。