

马里亚纳海槽海底 热液烟囱物研究

吴世迎 等 编



海洋出版社

国家自然科学基金资助项目

马里亚纳海槽海底热液 烟囱物研究

吴世迎 等著

内 容 简 介

本书是中德两次合作研究的进一步研究成果。主要论述了马里亚纳海槽区的海底热液活动与海底扩张、断裂及岩石学关系,热液产物的矿物、化学特征和矿物相形式及稳定同位素特点,海底热液喷溢的多期性和热液矿物的生成顺序以及热液产物的形成温度和时代等,提出了马里亚纳海槽热液活动性质的新认识和“热液活动幕”的新概念。文中还涉及了大洋底深部热液循环和大洋化学元素收支平衡以及与现代大洋底矿产资源紧密联系的当今海洋地质学的重大理论问题。

本书可供从事海洋地质、海底矿产资源有关的科研、教学、调查及管理人员参考。

责任编辑:王淑香

国家自然科学基金资助项目

马里亚纳海槽海底热液烟囱物研究

吴世迎 等著

*

海洋出版社出版(北京市复兴门外大街1号)

新华书店北京发行所发行 机械工业出版社印刷厂印刷

开本: $787 \times 1092^{1/16}$ 印张: 6.75 字数: 160 千字 插图: 14

1995年11月第一版 1995年11月第一次印刷

印数: 1—1000册

*

ISBN 7-5027-0813-8 / P · 339 定价: 15.00元

目 次

一、前言	(1)
(一) 本科学项目的科学依据和意义	(1)
(二) 年度进度情况	(4)
(三) 成果撰写与致谢	(6)
参考文献	(6)
二、马利亚纳海槽海底热液烟囱产生的地质条件	(8)
(一) 地质构造背景	(8)
(二) 地球物理特征	(8)
(三) 岩石学条件	(14)
参考文献	(27)
三、马利亚纳海槽海底热液烟囱矿物学和地球化学	(29)
(一) 取样及分析方法	(29)
(二) 烟囱矿物学分析	(32)
(三) 烟囱物的化学分析	(37)
(四) 烟囱类型的划分	(39)
(五) 硅质烟囱的形成	(40)
(六) 几点结论	(43)
参考文献	(43)
四、马利亚纳海槽海底热液粘土矿物学	(45)
(一) 样品描述及分析方法	(46)
(二) 绿脱石的矿物学特征	(45)
(三) 绿脱石的化学特征	(52)
(四) 绿脱石的氧同位素组成及形成温度	(54)
(五) 关于热液绿脱石的形成	(56)
(六) 几点结论	(56)
参考文献	(57)
五、热液烟囱物的稳定同位素地球化学特征及形成温度	(59)
(一) 样品和分析方法	(59)
(二) δD 、 $\delta^{18}O$ 、 $\delta^{30}Si$ 、 $\delta^{34}S$ 的测试结果	(60)
(三) 问题讨论	(60)
(四) 几点结论	(67)
参考文献	(67)
六、热液烟囱的地质时代与形成机制	(70)

(一) 烟囱的形成条件	(70)
(二) 热液来源锰的大洋堆积和锰结核中的热液组分问题	(71)
(三) 热液烟囱的地质时代	(75)
(四) 烟囱的形成机制问题	(78)
参考文献	(79)
七、大洋钻探与深海热液作用	(82)
(一) DSDP/ODP 与深海热液作用有关的重要航次和钻孔	(82)
(二) 关于深海热液循环系统中的几个重大理论问题	(89)
参考文献	(94)
八、结束语	(96)
英文摘要	(98)
图版及图版说明	(101)

一、前 言

(一) 本研究项目的科学依据和意义

海底热液烟囱物研究在国际上属前沿课题,在我国更属开创性工作。本研究项目是在中-德合作“太阳”号第57航次(马利亚纳I计划)对于马利亚纳海槽海底热液烟囱物进行初步研究的基础上设计的。海底热液烟囱物是一个既包括海底热液硫化物,又包括海底热液硅酸盐、硫酸盐及氢氧化物的统称概念。海底热液硫化物则是富含Cu、Zn、Fe、Ag等金属的一种最有经济价值的海底热液产物。它们广布于大洋中脊和断裂活动带,是一种极有远景意义的海底矿产资源。

1978年,美法联合应用法国“Cyana”号深潜器在东太平洋海隆21°N,首次发现海底热液硫化物(Hekinia等,1980,CYAMEX,1979)。次年美国“Alvin”号深潜器再度下潜发现了“黑烟囱”(CYAMEX,1983,Rise Project Group,1980)。自此以后,因其富含Cu、Zn、Ag等金属,以及便于开采和易于冶炼的特点,美、法、德、日、加、澳大利亚和前苏联等国科学家都相继开展了这方面的调查研究。调查范围已扩大到全球大洋活动带,并陆续在大西洋中脊、印度洋中脊、加利福尼亚湾扩张中心、胡安-德富卡断裂带以及夏威夷构造带、马利亚纳海槽和冲绳海槽等百余处,发现了海底热液活动和热液硫化物(Rona,1982),研究势头十分活跃。目前,这项研究已伸延至陆地上的构造断裂湖和火山口湖,如东非的坦噶尼喀湖和美国俄勒冈州马德扎玛湖底皆亦发现了热液活动和热液硫化物(Johson等,1987)。可以说,海底热液硫化物的发现和研究是当今集地球物理、海底构造、岩石学、地球化学及矿床学诸学科引人注目的最新成果之一。

根据海底热液烟囱形成方式和形成温度的不同,Sleep等(1983),将其分为3种类型:高温型的“黑烟囱”(形成温度350~400℃),中温型的“白烟囱”(100~300℃)及低温型的溢口(<100℃)。关于热液烟囱的成因机制,因涉及内外应力和多种作用因素,目前尚处于不成熟的模式阶段,其核心皆与海水沿地壳裂隙下渗加温后上涌有关。它们在海底断裂活动的控制下,由于介质变化,活性增强,在上涌过程中淋滤溶解了岩石中的相应元素,以温度的不同,在溢口处形成了各种类型的海底热液烟囱物。

该项研究的国际发展趋势可归纳为4个方面:

(1) 继续运用高技术海底可能出现的部位调查寻找新的海底热液烟囱,重视新的烟囱物所含矿物成分、金属含量;研制新的仪器设备,拟定远景开发计划;

(2) 在海底观测和样品采集的基础上,利用先进的仪器设备进行多种分析鉴定,以求在类型和结构上有新的发现;

(3) 加强海底热液硫化物成因机制的研究,探讨新的成矿理论,建立和完善形成模式,以新的理论观点指导陆地和海上相应矿产资料的开发;

(4) 多利用国际合作方式,一般为发达国家和所调查水域邻近国家合作。此项研究既具有深远的理论意义,又具有重要的应用价值。

马利亚纳海槽的热液活动研究始于1981年,首先由Leinen等报道了存在热液成因的沉

积物。1983年美日联合考察,首次在非洋中脊的马里亚纳海槽区找到了海底热液溢口(Horibe等,1986)。1987年,美国“Alvin”号深潜器考察获得了热液硫化物样品(Craig等,1987)。

1988年7~8月,我们执行了中-德合作“太阳”号第57航次(马里亚纳I计划,简称SO57航次)考察,获得了6站次1吨余热液烟卤物样品,数吨玄武岩样品以及丰富的地球物理、沉积和火山活动资料与样品,Botz等(1992)利用其中样品作了同位素组成研究。1990年7月,为了进一步认识马里亚纳海槽区海底热液活动的范围和特征,中、德、美三国科学家再度合作,在“太阳”号第57航次调查研究的基础上,对海槽区进行了包括沉积取样和地球物理探测在内的海洋地质联合调查(即“太阳”号第69航次,亦称马里亚纳II计划,简称SO69航次)。此次调查将研究区由 $18^{\circ}13'N$ 向南扩展到 $14^{\circ}50'N$ 附近。调查中除又一次在 $18^{\circ}N$ 附近采集到大量海底热液烟卤物以外,还在 $17^{\circ}30' \sim 14^{\circ}50'N$ 之间广大海域采集到大量沉积岩芯。两次合作调查研究,为本项目的深入研究提供了样品和资料上的保证(见图1-1,图1-2和表1-1)。

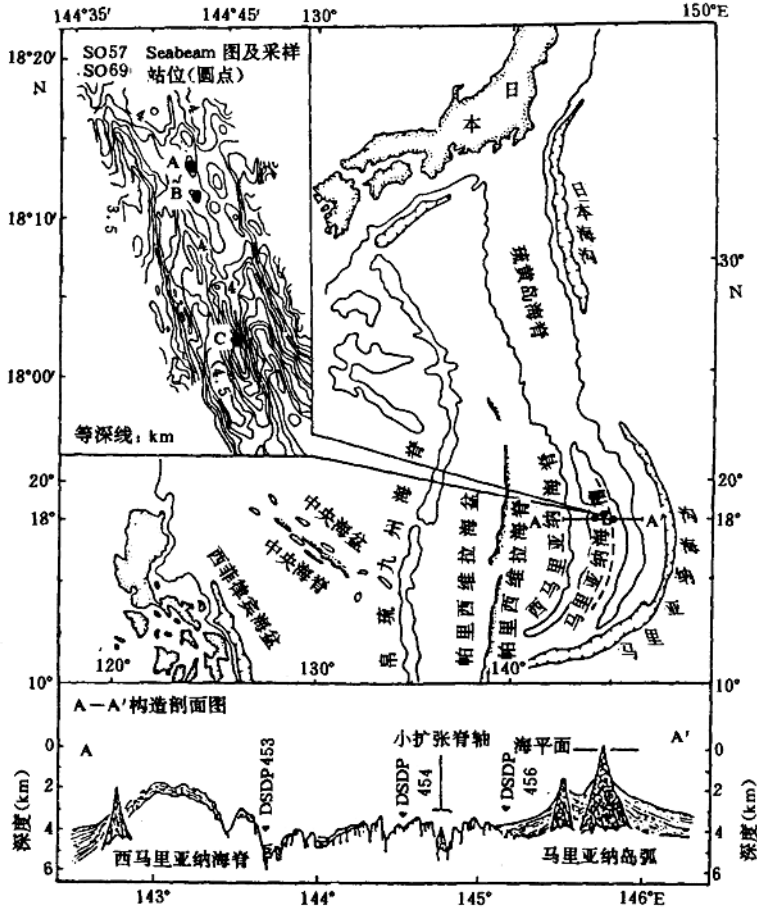


图1-1 马里亚纳海槽构造特征和海底热液烟卤物采样站图示

表 1-1 马里亚纳海槽海底热液烟囱取样位置及其主要岩性特征

航 次	站 位	位 置	水深 (m)	主 要 岩 性 特 征
SO57 (1988)	18GTV	18°12. 78' N 144°42. 51' E	3614	黄褐色较纯硅质烟囱, 以蛋白石为主, 多孔易碎, 孔洞中充填有黄褐色粘土块
	19GTV	18°12. 86' N 144°42. 46' E	3622	黄褐色硅质烟囱, 内含灰黑色块状硫化物和暗红色块状硅质物, 多孔, 表面见少量粘土块
	24GTV	18°12. 90' N 144°42. 46' E	3596	黄褐色, 疏松块状, 少有白色小粒, 吸水性 强, 易碎成土, 硅质多孔
	25GTV	18°12. 85' N 144°42. 55' E	3621	褐色硅质烟囱, 内含灰色块状硅质硫化物, 局部呈浅色硅质物, 多孔, 表面可见黄绿色 粘土斑块
	31GTV	18°13. 01' N 144°42. 68' E	3605	以棕色为主, 硅质烟囱, 含灰-浅灰硅质硫化 物, 表面有大量粘土斑块, 局部较坚硬, 多 孔
	41GTV	18°11. 21' E 144°43. 05' E	3728	棕褐色较纯的硅质烟囱, 已全部氧化, 在表 面含粘土斑块, 极易破碎, 多孔
SO69 (1990)	48GTV	18°02. 27' E 144°45. 09' E	3654	褐色较纯硅质烟囱, 含锰氧化物, 多孔, 易 碎
	51GTV	18°02. 29' N 144°45. 05' E	3654	黄褐色硅质烟囱, 含铁硫化物, 表面有大量 粘土斑块, 多孔, 易碎
	58GTV	18°12. 31' N 144°42. 41' E	3733	黄-黄褐色较纯硅质烟囱, 多孔易碎
	65GTV	18°12. 77' N 144°42. 77' E	3586	以黄褐色为主, 含有暗色硫化物的硅质烟囱 表面有黄绿色粘土斑块, 局部较硬, 多孔

根据初步研究, 我们认为: 马里亚纳海槽的热液烟囱可能存在 2 种类型: 一种是低温型的“白烟囱”硅质烟囱; 另一种可能是高温型“黑烟囱”产物转化而来的黄铁矿、白铁矿为代表的海底块状硫化物。由于所观察到的烟囱已经熄灭, 形成温度的降低和介质环境的变化, 促使重晶石以中温型矿物析出, 并参入了马里亚纳海槽海底热液烟囱的矿物学建造。两种类型的热液烟囱所包含的硅酸盐、硫化物及硫酸盐 3 种矿物相, 为深入研究和寻找正在形成的热液产物提供了重要证据 (吴世迎等, 1991)。

马里亚纳海槽是西太平洋板块边缘岛弧系中的一个活动海盆。其热液活动特点有别于洋中脊和深大断裂带, 所形成的热液烟囱物无论从规模上和结构上都具备独有的特点。它们既不同于东太平洋海隆和大西洋中脊富含多金属元素的高温型黑烟囱块状硫化物, 又不同于东太平洋加拉帕戈斯断裂带出现的低温型纯硅质烟囱物 (Herig 等, 1988)。我们的进一步研究证明它们是规模较小、介于二者之间的新型海底热液活动产物。对于该区烟囱物的深入研究, 将会从理论上丰富海底热液硫化物和硅质烟囱研究中沿用的高、中、低温类型划分和演化规律的研究。此项研究在加强物质成分和时代测试研究的同时, 所采用的多种稳定同位素示踪和古温度研究的途径, 将使在板块边缘扩张中心区的海底热液活动特点、类型、结构和成因机制等学术方面获得一些新的见解。

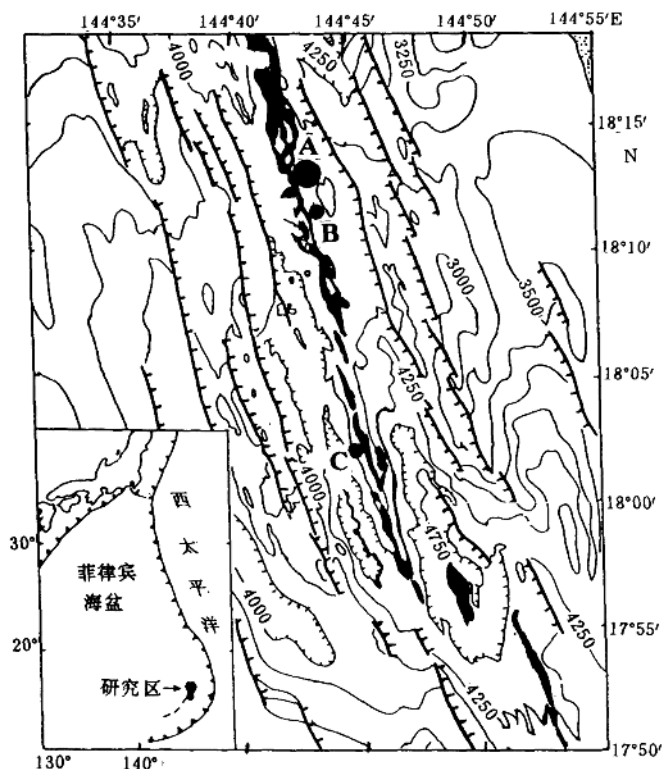


图 1-2 马里亚纳海槽海底热液烟囱物采样站位位置

(底图引自 Horibe 等, 1986)

图中A区: 18GTV、19GTV、24GTV、25GTV、31GTV、58GTV、65GTV

B区: 41GTV, C区: 48GTV、51GTV

其中编号 ≤ 41 者为 SO57 航次所获; 编号 ≥ 48 者为 SO69 航次所获

(二) 年度进度情况

1. 1991 年进度

(1) 关于地质构造和岩石学条件, 完成了以马里亚纳海槽磁力测量资料为主的地质构造解释, 撰写了“马里亚纳海槽轴部磁场分布及其地球物理解释”论文; 完成了 SO57 航次研究基础上的岩石学条件研究, 发表了“马里亚纳海槽玄武岩岩石学”论文。

(2) 完成了烟囱物稳定同位素测量 (12 站, 33 件样品) 和形成温度解释; 完成了烟囱物的显微构造 (10 站, 16 帧扫描电镜照片), 并撰写了“马里亚纳海槽海底热液烟囱物显微构造和形成温度研究”论文。

(3) 测定了烟囱物的 Th/U 年龄 (10 站)。

(4) 硅质烟囱的地球化学研究内容因资金分配年内无法再测定其成分, 放在 1992 年进行。

(5) 在作“马里亚纳海槽海底热液烟囱物显微构造和形成温度研究”论文时,除了依据我们自己的扫描照片和同位素温度资料外,也引证了美国“Alvin”号 1987 年下潜的研究资料,特别是美国学者 Craig (1987) 和日本学者 Kusakabe (1990) 资料,我们提出了“马里亚纳海槽热液活动的性质”的新认识,认为马里亚纳海槽小扩张脊部位海底热液活动经历了高温—中温—低温—熄灭的全过程。根据马里亚纳海槽扩张年龄仍然年轻、太平洋板块仍然活跃地向欧亚板块俯冲这种构造背景推断,新一轮热液活动和伴随着的热液产物,将在间歇之后再度发生。

2. 1992 年进度

(1) 热液烟囱产生的地质构造条件。根据“马里亚纳 II”计划 (SO69 航次) 所得到的新的磁力资料,加上原来已得到的“马里亚纳 I”计划 (SO57 航次) 资料,在本基金支持下,重新回放并计算了磁力测量资料,研究了海槽区的磁力异常和地球物理场状况,撰写了“马里亚纳海槽轴部的磁场分布特征”论文,对马里亚纳南部新获得的磁力资料做了进一步解释。

(2) 根据岩石照片、化学成分、矿物学和 Ar/K 年龄资料,撰写了“南马里亚纳海槽岩石学特征”论文。

(3) 完成了烟囱物 4 种稳定同位素 (H、O、Si、S) 的测定及解释,撰写了“马里亚纳海槽海底热液烟囱物的稳定同位素组成及其地质意义”论文。

(4) 关于“烟囱物的地球化学”中的元素地球化学含量虽已经做了分析,但因 Na 含量数值太高而难以使用,还需 1993 年另探路子。

(5) 有关的烟囱物和玄武岩的地质时代问题,年内由北京大学和国家海洋局第三海洋研究所测定,并分别提供数据。

3. 1993 年进度

(1) 年初完成了热液烟囱体扫描电镜 200 余帧照片和部分地球化学项目的再分析,连同 1991 年作好的 10 站 16 帧扫描照片及地球化学分析数据资料已在“向阳红 16”号调查船事故中沉于海底,部分原始数据的分析于 8~9 月份重新进行,浪费了资金和时间,少数热液样品已不可能再次获得 (如绿脱石样品),给基金项目的完成带来一定的损失。

(2) 完成了“马里亚纳海槽海底热液产物类型的矿物相和矿物生长顺序”,以及有关“硅质烟囱地球化学”内容的论文撰写。

(3) 在综合研究的结题过程中,完成了“海底热液烟囱的地质时代”和“烟囱的形成机制问题”研究,提出了“热液活动幕”概念,强调了马里亚纳海槽热液活动的海洋环境以及热液来源锰在大洋锰结核成矿和成因上的重要地位。

(4) 基金项目研究工作总结和研究报告的撰写。

(5) 研究报告的专家审定。

4. 有关作者已完成和发表的论文

(1) 吴世迎:关于“马里亚纳海槽海底热液烟囱物研究”课题的构思与研究前景。海洋科学消息,1991,(3),26~27。

(2) 吴世迎、白黎明:“海底热液烟囱物中氢氧稳定同位素的温度和环境意义”,第二届全国同位素水文地质方法学术讨论会论文选,“中国同位素水文地质学之进展”。天津大学出版社,1993. 7,1~4。

(3) 吴世迎:1994. 3,“马里亚纳海槽海底热液烟囱物显微构造和形成温度研究”,中

国质谱学会第六届同位素专业年会交流论文, 海洋学报, 1994, 16: (2): 82~89。

(4) 吴世迎、陈成业: 1992. 9, “马里亚纳海槽海底热液烟囱物的稳定同位素组成及其地质意义” 全国金属矿床同位素地球化学学术讨论会交流论文。

(5) 陈穗田、吴世迎、张德玉: 1992. 10, “南马里亚纳海槽岩石学特征”, 待刊。

(6) 王冠荣、梁瑞才: 1992. 10, “马里亚纳海槽轴部的磁场分布特征”, 待刊。

(7) 张德玉: 1993. 10, “马里亚纳海槽热液自生绿脱石的氧同位素组成及其形成温度”, 待刊。

(8) 张德玉: 1993. 10, “马里亚纳海槽热液硅质烟囱的显微结构构造及矿物的生成顺序”, 待刊。

(三) 成果撰写与致谢

本成果由专人分章节执笔完成, 其中第一、六、七、八章由吴世迎执笔, 第二章地质构造部分由王冠荣、梁瑞才执笔, 第二章岩石学部分由陈穗田执笔。第三、四章由张德玉执笔, 第五章由吴世迎、陈成业执笔。另外林长松、吴世炎等也参加了有关章节的撰写。全文章节安排和文稿编纂由吴世迎负责, 英文摘要和英文目录翻译张德玉, 插图清绘白黎明, 微机处理韩国忠、高仰、吴军瑞。

需要说明的是, 在本成果联系出版期间, 正赶上中国科学院地学部和国家自然科学基金委员会地球科学部决定联合召开“大洋钻探与中国地球科学”学术讨论会, 荣幸地被邀请出席会议, 并由中国科学院院士汪品先教授拟定大会报告题目并提供了部分资料, 我们撰写了“大洋钻探与深海热液作用”一文。本次会议强调“大洋钻探(ODP)及其前身深海钻探(DSDP), 是本世纪最大规模的国际科研协作之一, 过去已经为地球科学带来了革命性的变化, 今后还将是世纪之交地球科学的前沿阵地”。深海热液作用是近年来海洋地质学重大发现之一。本基金项目是中德马里亚纳海槽海底热液活动及其热液产物研究的继续和深入, 并期望能和国际前沿科学研究步伐趋于一致。鉴于此, 特将该文作为基金成果发表。其目的, 一方面以此补充一点原基金结题时因受地域和题目上的局限所短缺的重要内容; 同时也想以此表明, 深海热液作用在地壳演化过程研究中已成为大洋钻探的核心内容之一, 我国应抓住机遇尽早参入大洋钻探(ODP), 以图更大的发展。

在样品分析鉴定过程中, 得到北京大学、地质矿产部矿床地质研究所、地质矿产部测试技术研究所、地质矿产部山东省中心实验室、地质矿产部海洋地质研究所、青岛海洋大学、青岛医学院、中国科学院海洋研究所、国家海洋局第二海洋研究所、国家海洋局第三海洋研究所等单位大力协助和支持, 谨致以谢意。

参 考 文 献

(1) 吴世迎主编. 马里亚纳海槽海底热液烟囱和菲律宾海沉积物. 海洋出版社, 1991, 58~63

(2) Botz R. W. and P. Stoffers. Isotopic composition of hydrothermal precipitates from the Mariana Trough. *Marine Geology*, 1992, 108, 239~243

- (3) Craig H. , Y. Horibe and K. A. Farley. Hydrothermal vents in the Mariana Trough: results of the first Alvin dives. EOS. 1987, 68, 1531
- (4) CYAMEX Scientific Team. Massive deep-sea sulphide deposits discovered on the East Pacific Rise. Nature, 1979, 277, 523~528
- (5) CYAMEX Scientific Team. First manned submersible dives on the East Pacific Rise at 21°N (Project RITA): general results. Marine Geophys. Res. , 1981, 4, 345~379
- (6) Hekinian R. M. Fevrier, T. L. Bischoff, P. Picot and W. C. Shanks. Sulfide deposits from the East Pacific Rise 21°N. Science, 1980, 207, 1433~1444
- (7) Herzig P. M. , K. P. Becker, P. Stoffers, H. Backer and N. Blum. Hydrothermal silica chimney field in the Galapagos spreading center at 86°W. Earth Planet. Sci. Lett. , 1988, 89, 261~272
- (8) Horibe Y. , K. R. Kim and H. Craig. Hydrothermal methane plumes in the Mariana back-arc spreading centre. Nature, 1986, 324, 131~133
- (9) Johnson T. C. , J. D. Halfman, B. R. Rosendahl and G. S. Lister. Climatic and tectonic effects on sedimentation in a rift-valley lake: Evidence from high-resolution seismic profiles, Lake Turkana, Kenya. Geol. Soc. America Bull. . 1987, 98, 439~447
- (10) Kusakabe M. , S. Mayeda and E. Nakamura. S. O and Sr isotope systematics of active vent materials from the Mariana backarc basin spreading axis at 18°N. Earth Planet. Sci. Lett. 1990, 100, 275~282
- (11) Leinen M. and R. N. Anderson. Hydrothermal sediment from the Mariana Trough. EOS, 1981, 62, 914
- (12) Rise Project Group. East Pacific Rise: hot springs and geophysical experiments. Science, 1980, 207, 1421~1433
- (13) Rona P. A. Polymetallic sulfides at seafloor spreading centers: A Global Overview. Marine Technology Society Journal, 1982, 16 (3): 81~86
- (14) Sleep N. H. and J. L. Morton. Hydrothermal resources at Mid-Oceanic Ridge axes. Proceedings OCEANS'83, San Francisco, 1983, 782~786

二、马利亚纳海槽海底热液烟囱产生的地质条件

随着板块学说的日臻完善和海底构造活动及热液硫化物研究的不断深入,人们对于现代海洋的地质演化、成矿规律和岩石学条件已经有了较为清晰的认识。海槽轴裂谷作为热液活动的重要标志,在海底扩张中心火山热源驱使热水对流循环,使高温热液物质沿岩石裂隙上涌喷出海底。由于物理化学条件改变,在海底沉淀而形成了烟囱状的产物。这种热液物质的涌出或喷发受地质构造和岩石学条件的严格控制,形成了各种类型的热液烟囱物。

(一) 地质构造背景

马利亚纳沟—弧—盆系是太平洋西部构造的剧烈活动带,马利亚纳海槽是其三大主要构造单元之一。海槽轴部发育着一套以NS向为主的轴裂谷带,由于后期WE向深大断裂的横向切割,驱使轴裂谷发生滑动和错位偏移。马利亚纳海槽轴裂谷扩张脊中的地质构造活动,导致高温地幔物质膨胀上涌,为海底热液硫化物的产生和发展创造了较为优越的条件。海槽的东部是马利亚纳群岛火山弧,西部是不活动的西马利亚纳残留海脊,东西两边都以断层为界,总体呈一向东突出的新月型构造盆地。海槽南北长约1200km,东西最宽处约250km,平均水深约4000m。

海槽中心轴裂谷把海槽分成东西两部分,西部海底地形崎岖不平,西马利亚纳海脊边缘由陡崖组成,在18°N附近,这些陡崖水平错距达2.5km,且向南向北水平错距变小,但沉积物却越来越厚。海槽东部海底地形比较平坦,但是,在火山沉积层之下,基底起伏可达1000m。在轴裂谷以东20km的范围内,沉积物厚度一般在500m以上。由于轴裂谷东缘断块的阻挡,物质在该区快速沉积下来,其组成几乎全部是来自活动岛弧的火山岩屑物质(Bibee等,1980)。

海槽轴裂谷中断块和地堑发育,并伴生一条中央扩张脊(图2-1)。断块的陡崖面向地堑,而距地堑较远一边坡度较缓,构成了旋转断块的特征。在中德合作SO57航次调查中,曾使用电视控制抓斗和拖网等设备,成功地在这—构造部位采集到了大量的海底热液烟囱物和玄武岩样品。Karig(1983)曾推断海槽中有活动的年轻地壳正在形成,这种地壳构造特征对于海槽区海底热液硫化物的产生是具有重要意义的。

(二) 地球物理特征

马利亚纳海槽是一个仍在活动的弧后准盆地。作为板块运动体系,这个弧后准盆地实则是太平洋板块中的贝尼奥夫带冲向亚洲板块的产物,因此其地球物理特征与标准洋盆是有明显区别的。

1. 地震与火山活动

马利亚纳岛弧系东被太平洋俯冲带隔离,西被菲律宾板块分开,在两大汇聚板块之间产生了一个高压区。在应力作用下,频繁的火山活动伴随弧后扩张同时发生(Karig, 1989)。在过去的五百万年中,马利亚纳海槽最大的火山裙曾以 $10\sim 15\text{km}^3/(\text{km}^2\cdot \text{Ma})$ 的速率沿着较活动的火山弧断面快速增长。至今,海槽区仍然有许多小地震不断发生,Hussong等(1983)

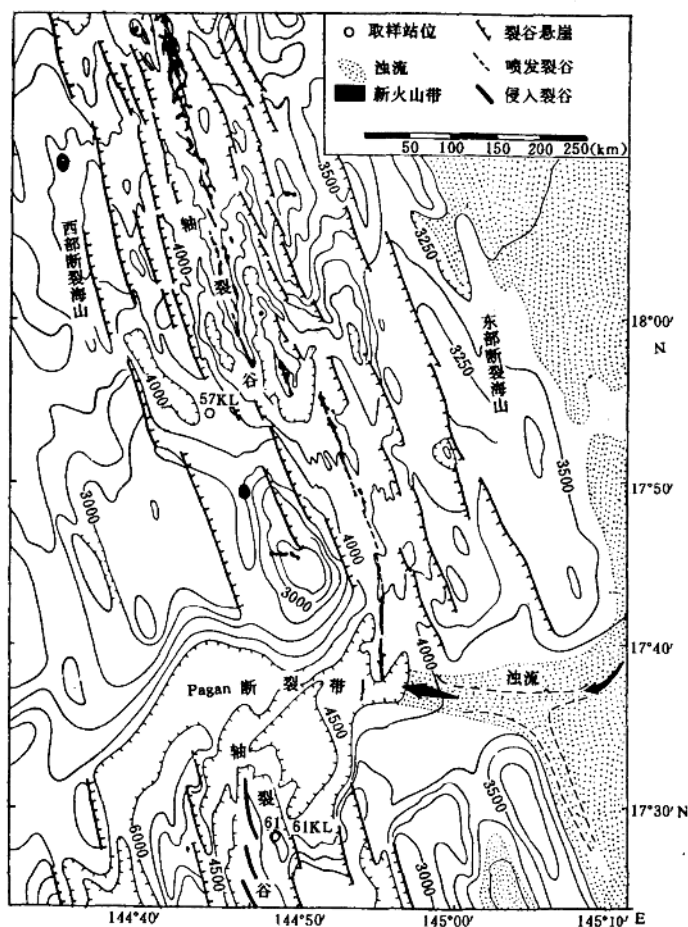


图 2-1 海槽区 18°N 附近轴裂谷构造背景图

(据 stoffers 等, 1989)

在海槽扩张脊/转换断裂带/扩张脊的交汇处, 放置了 6 个海底地震仪, 根据惯用的量级关系, 测得每天平均发生 15 次局部地震, 量级范围从 1.5 到 4.0, 低的 b 值为 0.42 或 0.61。据此, 他们确定了 300 多个震源, 其中, 群发地震位于 17°N、144°55'E 附近扩张脊和交叉断裂带交汇处相对高的基底上, 且震源集中在一条大约 15km 宽、7.5km 深的地震带上。交叉断裂带中的地震震源扩张中心或靠近扩张中心地区的震源走向, 都说明马里亚纳海槽的扩张是活动而不稳定的。

2. 海槽的重力异常

软流圈中的高温地幔物质膨胀上涌, 导致火山活动不断发生。莫氏面抬升造成这一地区质量过剩, 其均衡状态随之也遭到破坏。因此, 分布在马里亚纳海槽的重力异常、自由空间异常和布格异常均为正值, 它与标准大洋盆的重力异常组合特点有着明显的差异, 而自由空间异常显然比正常大洋盆的大。马里亚纳海槽的平均水深约 4000m, 按计算值应引起 100 多 10^{-5}m/s^2 的正异常, 但是实测结果表明, 整个海槽的平均自由空间异常大约仅为

$+50 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ，其原因除了受到海槽两侧岛弧构造的影响之外，还暗示了海槽下伏低密度的异常中上地幔的作用，显然它部分地补偿了较浅洋壳引起的物质盈余。海槽的重力布格异常大约为 $300 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ，布格异常的起伏可以近似地看成是莫氏面起伏的反映。根据 18°N 横穿马里亚纳海槽地震剖面的计算，其莫氏面深度大约 11km，而软流圈顶界深度大约 35km（国家海洋局第一海洋研究所，1986）。

1983 年，我们曾对包括马里亚纳岛弧系在内的西太平洋进行了重力、磁力的测量工作，测量剖面只穿过了新月型马里亚纳海槽的北端。此处海槽的拉张距离小，深部密度截面在海底引起的引力值，受两侧岛弧构造的影响叠加严重。我们曾用折射地震剖面的数据对各速度-密度层产生的引力值进行积分，使莫氏面以上的各构造层密度均被填充到上地幔，以消除各构造层密度截面起伏变化的影响。这样就获得了基本反映地幔构造特征的地幔重力异常值。再利用地幔重力异常值计算出软流圈顶界的起伏，并求出顶界起伏所产生的垂直引力值，然后对布格异常进行深部改正。利用 $\sin X/X$ 法重新计算莫氏面的深度。计算结果与地震折射结果吻合较好，得出马里亚纳海槽北部软流圈顶界深度为 45km、莫氏面深度为 16km 的结果（图 2-2）。

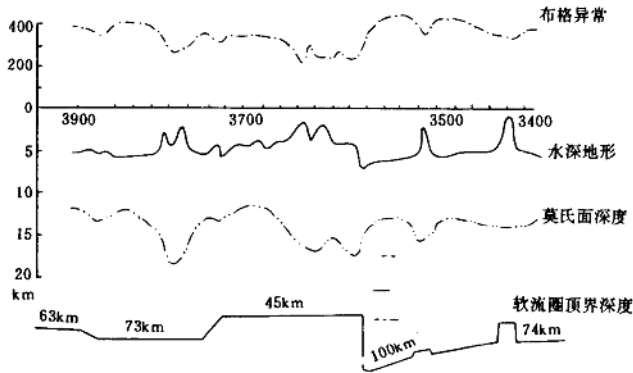


图 2-2 穿越马里亚纳海槽北部的重力异常——构造断面

3. 海槽轴部的磁场分布

在海槽轴裂谷中，地堑谷地、断崖槽壁、扩张裂谷、槽底隆脊和槽底断块十分发育，正地形与负地形之间高差达 2600m。强烈的火山作用和其他地质构造活动控制了不同地貌类型的空间分布和形态特征，导致该区地质构造，乃至“细微结构”发生变形。磁性物质源的不同空间、不同时代的分布，又决定了磁场的分布面貌和特征，表现为磁场分布复杂，异常走向和线性布局不及大洋中脊的清晰，磁场幅度较大等特点。

1990 年 7~8 月，中德再次实施了 SO69 航次马里亚纳海槽轴部海洋地质综合调查。主测区范围从 $14^\circ 50' \sim 17^\circ 30' \text{N}$ ， $144^\circ 10' \sim 144^\circ 50' \text{E}$ 。本次对马里亚纳海槽的等间距磁力测量，在国外甚少实施，在我国也属首次。航次中使用了 G801 核子磁力仪对海槽轴部进行高精度磁力走航连续观测，其主测线 24 条，测线间距为 5' 左右，走向为 EW 向，垂直于海槽扩张轴走向（图 2-3）。

我们利用国际地磁和高空物理协会（IAGA）推荐的国际地磁参考场模式，采用了地心坐

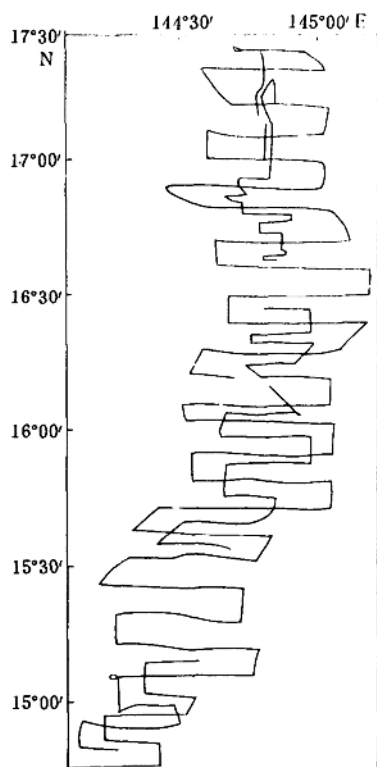


图 2-3 中德合作 SO69 航次磁测航迹图

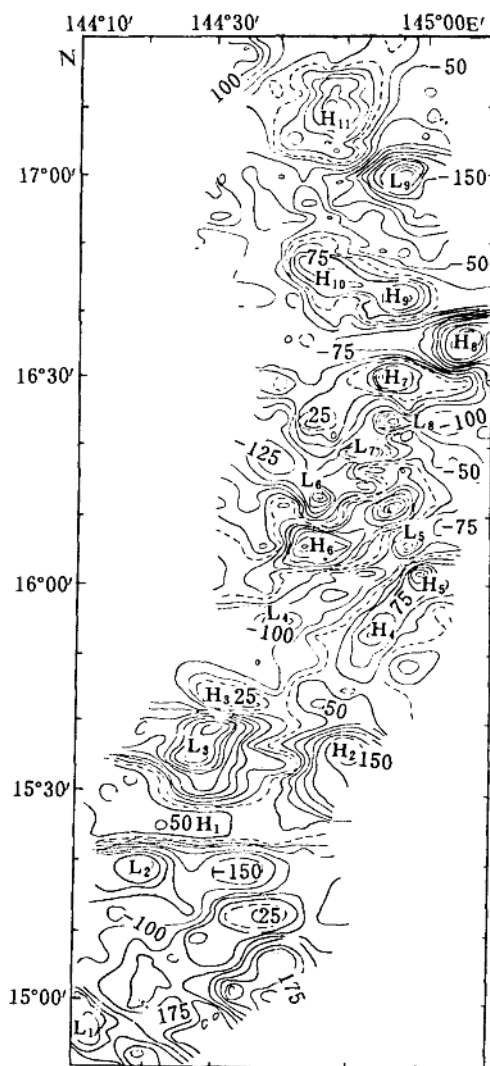


图 2-4 磁力异常等值线图

标的实型球谐级数及其导数，编制有关计算程序，求出国际地磁正常场（吕文正，1983）。磁位 U ：

$$U = a \sum_{n=1}^{10} \sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{r} \right)^{n+1} [g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda] p_n^m(\cos\theta)$$

$$X = \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial \theta} = \sum_{n=1}^{10} \sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{r} \right)^{n+2} [g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda] \frac{dn}{d\theta}(\cos\theta)$$

$$Y = \frac{-1}{r \sin\theta} \frac{\partial U}{\partial \lambda} = \sum_{n=1}^{10} \sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{r} \right)^{n+1} \frac{-m}{\sin\theta} [-g_n^m \sin m\lambda + h_n^m \cos m\lambda] p_n^m(\cos\theta)$$

$$Z = \frac{\partial u}{\partial r} = \sum_{n=1}^{10} \sum_{m=0}^n - (n+1) \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} [g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda] p_n^m(\cos\theta)$$

X 、 Y 、 Z 分别表示地心坐标地磁强度水平北向分量，东向分量和垂向分量。

a 代表参考球平均半径 (371.2km)， r 代表从参考球心算起的径向距离， θ 代表余纬， λ 为经度。

$p_n^m(\cos\theta)$ 是 n 阶 m 次施米特正交型勒让德伴随函数， g_n^m 和 h_n^m 是球谐系数。

标量地磁度 T_0 ：

$$T_0 = [X^2 + Y^2 + Z^2]^{1/2}$$

本次采用国际天文协会最近采用的国际椭圆赤道半径：

$$A = 6378.160 \text{ km}$$

极半径： $B = 6358.775 \text{ km}$ ，以及

$$\text{偏率：} f = \frac{A-B}{A} = 1/298.25$$

我们利用下式计算磁力异常 ΔT ：

$$\Delta T = T - T_0$$

T 为观测值， T_0 为正常场。

采用距离倒数法进行磁异常数据网格化处理，采用公式：

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i / (di)^2}{\sum_{i=1}^n 1 / (di)^2}$$

式中 Z_i 为相邻点的磁异常值， di 是点距， n 是 Z 元素的个数。

网格化后的正交点线距和点距皆为 $1'$ ，可以满足异常等值线图的要求。

利用网格化所得的正交点上的磁力异常值，通过 IBM 计算机控制绘图仪，绘制了等值线距为 25nT 的磁力异常平面等值线图。在图幅的局部边缘地区，因缺少足够的异常值，可能导致其异常等值线的微小畸变。平面等值线图见图 2-4。

4. 磁场分布特征

(1) 15°20'N 以南负异常区 15°20'N 以南海区呈大面积负异常，如 L_1 和 L_2 的负异常值达 -200nT。整个马里亚纳岛弧系是西太平洋板块收敛系的一部分，南部和北部分别由诸多不活动的和活动的海底火山组成。在 27GTV 站 (14°58.30'N, 144°15.14'E) 利用电视控制抓斗采集到的浅灰色火山岩块，其中含有硫化物和闪锌矿等。该区岩石主要以钙碱性火山岩为主，因岩石含铁量不多，磁性较弱，成为本区负异常出现的主要原因。

(2) 15°20'N 以北正负异常交错区 15°20'N 以北海区，正负异常沿海槽轴裂谷呈犬齿交错展布，最大正异常 H_6 为 251nT，出现在 16°12'N, 144°56'E 附近；最大负异常 L_7 为 -360nT，出现在 16°20'N, 144°53'E 附近。海槽区线性磁异常的存在或缺少，一致被认为是一个有争议的课题 (Bibee 等, 1980)。正异常 H_2 、 H_3 、 H_4 与负异常 L_4 、 L_5 ；正异常 H_6 、 H_7 与负异常 L_6 、 L_7 、 L_8 依次相间排列，呈 NNE 走向。它们与海槽轴相交，并略呈线性。在海槽轴东侧，正异常 H_2 、 H_3 、 H_4 三个高异常以 NE-SW 方向，呈阶梯状雁行排列分布，且呈东高西低的态势。本区正负异常相对高差达 275nT。此外，在 15°28'N, 15°43'N 至 15°46'N 和 16°05'N 至 16°10'N 三个区域内，自西向东各有一条正异常贯穿。本航次在 89DS 站 (15°25'N, 144°29'E) 附近，