



国家自然科学基金委员会杰出青年科学基金资助项目

冲绳海槽的 岩浆作用与海底热液活动

◆ 翟世奎 陈丽蓉 张海启 著



海洋出版社

国家自然科学基金委员会杰出青年科学基金资助项目

冲绳海槽的岩浆作用 与海底热液活动

翟世奎 陈丽蓉 张海启 著

海洋出版社

2001年·北京

内 容 简 介

本书是作者近 20 年科研工作的总结。在大量第一手实测分析资料的基础上,系统地论述了在冲绳海槽岩浆作用与现代海底热液活动研究中所取得的新认识。各章就某一科学问题进行了深入的论述,自成体系,但各章内容之间又密切相关,体现了全书统一的学术思想。可以说,本书是目前就冲绳海槽的岩浆作用与现代海底热液活动研究中最为系统全面的学术专著。

本书虽以矿物学、岩石学、矿床学与地球化学为主要研究领域,但涉及领域广泛,结构严谨。书中所用测试分析手段先进,资料确凿翔实,基本反映了当前最新的研究方法。因此,本书不仅具有较高的学术价值,而且具有很强的实用性,适用范围较广,可作为海洋科学与地质学及其各分支学科科研与教学人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

冲绳海槽的岩浆作用与海底热液活动/翟士奎等著.
北京:海洋出版社,2001.4

ISBN 7-5027-5263-3

I. 冲… II. 翟… III. ①海槽-岩浆作用-研究
-太平洋②海底热流-研究-太平洋 IV. P737.271

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 22837 号

责任编辑:齐海峰

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

北京海洋印刷厂印刷 新华书店发行所经销

2001 年 4 月第 1 版 2001 年 4 月北京第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 15.875

字数: 400 千字 印数: 1000 册

定价: 35.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

前言

本人自 1982 初大学毕业后,师从秦蕴珊院士,先后获得硕士与博士学位,秦蕴珊院士不仅指导我打下了坚实的专业基础,而且还时常教导我怎样做一个对祖国建设和科学发展有用的人,在研究生期间,先后在中国地质大学和青岛海洋大学、国土资源部的地质科学研究所和矿床地质研究所、中国科学院的北京地质研究所和贵阳地球化学研究所等单位进修学习和从事分析实验。曾得益于孙枢院士、欧阳自远院士和谢先德院士等的指导与教诲,邓晋福教授、莫宣学教授、张保民教授、杨凤英研究员、陈尉蔚研究员、王联魁研究员、解广轰研究员、王俊文研究员、梅厚君研究员、刘顺生研究员、梁卓成研究员、王冠鑫研究员等,或教授过本人专业课程或指导过本人的实验分析工作。在中国科学院海洋研究所近 20 年的学习与工作期间,得到了海洋所各届各级领导,特别是海洋地质室各位老师和同事的热情关怀与帮助。在研究生毕业后十几年的科研与教学工作中,一直得到了国家自然科学基金委员会的经费支持,地学部及其所属海洋科学处与地球化学处的领导在我的工作中给予了许多富有建设性的指导意见。借此机会,谨向指导帮助过我的老师和同仁致以衷心的感谢。

20 世纪 70 年代产生的新全球构造论——“板块构造”学说,可与哥白尼的太阳中心说和达尔文的生物进化论相提并论,统称为自然科学史上的革命,板块构造理论的核心内容是海底扩张理论,海底岩石学的研究是验证和发展这一理论的基础,因为它涉及到下地壳及上地幔的化学成分,海底扩张及板块的新生和消亡过程及其机制等一系列的重大课题,现代海底热液活动是近十几年迅速发展起来的国际研究热点,人们之所以重视这一研究的主要原因在于:①现代海底热液活动实际上是正在进行全球成矿的重要因素之一,热液成因多金属矿床是继大洋锰结核之后所发现的又一具有开发远景的海底矿产资源;②热液流体与大洋沉积物和大洋玄武岩之间的相互作用是影响化学元素全球循环的重要因素,海底热液活动对海水化学成分的影响很可能不亚于大陆入海河流的影响;③研究热液流体的化学成分可以用来判断地下深处所发生的化学反应,进一步阐明温压条件超出我们取样能力范围的地质作用过程;④海底“热液生物”、“黑暗生物链”以及“深部生物圈”等概念的提出及研究成果已在很大程度上影响了人类对诸如生命起源这种重大科学问题的传统认识,很可能会导致新理论的建立。随着最近几年“地球系统科学”概念的产生,人们认识到 21 世纪的科学革命很可能是在地球系统变化理论上的突破。地球系统变化的外因在于银河系、太阳与太阳系的变化,而内因则包括火山活动、海底热液活动、海陆分布变化、高原的隆升与盆地的扩张和沉降,以及地球运行轨道的变化等,地球系统变化的过程及表现形式是地球系统各圈层之间的相互作用。在地球系统变化诸多内因与表现形式的研究中,我们不得不承认以往忽视了海底热液活动深入系统的研究。海底热液活动实际上是地球内部能量释放的三种主要形式(火山活动、热液循环、热传导)之一,同时也是海洋热结构不稳定的重要因素。

海底热液活动的存在需要有两个基本条件,一是要有热源,二是要有热液循环或运移的

“通道”。岩浆作用不仅是常常发生在构造活动剧烈或张性断裂发育,也就是具有热液循环通道的地区,而且是海底热液活动最重要的热源。因此,在大多数情况下岩浆作用与热液活动总是同时存在,二者之间有着不可分割的成因联系。另外,最新的研究证实,岩浆作用可能不仅仅是为热液活动提供了热源,而且还是物源之一,也就是说有岩浆分异后期热液直接进入热液循环系统的可能性。正是基于上述认识,本书把岩浆作用与现代海底热液活动作为一个系统下的两种表现形式加以研究。

作为一个典型的弧后盆地,冲绳海槽和琉球岛弧以及琉球海沟一起构成了一个完整的沟弧盆体系。在构造性质上,冲绳海槽张性断裂发育,地震活动频繁,火山活动强烈,具有异常高的热流值,是一个正在扩张的边缘海盆地的雏形。因此,冲绳海槽被认为是研究现代弧后盆地早期扩张过程中岩浆作用的首选典型区域,是揭示弧后盆地发生与发展、地幔源区熔融与岩浆起源、壳幔相互作用与能量传递、洋陆转换与现代海底热液活动等地球内部动力学过程的不可多得的“窗口”。冲绳海槽特殊构造环境的表现形式之一是岩浆作用形成了复杂的火山岩组合。Kimura(1986)首先对冲绳海槽火山岩进行鉴定,认为属双峰态高铝拉斑玄武岩系列,而 Sibuet 等(1987)和 Ishikawa 等(1991)则认为属低碱岛弧型拉斑玄武岩系列,秦蕴珊等(1987)发现在冲绳海槽存在有两种性质截然不同的浮岩;Ishizuka 等(1990)认为,冲绳海槽玄武岩为岛弧型与洋中脊型之间的过渡类型,并发现中性的安山岩具有岩浆混合现象,岩浆源区可能伴随海槽扩张发生构造迁移;Honma 等(1991)首次报道了 4 个玄武岩和 1 个英安岩样品的 H, O, Sr, Nd 同位素数据,并据此对冲绳海槽岩浆源区性质及可能的地壳混染做了初步探讨;李巍然等(1997)认为,冲绳海槽内的酸性岩为钙碱性系列,而基性岩具过渡性特点,两者均为地幔 E 型玄武岩岩浆不同分离程度的产物;……自从 1984 年在冲绳海槽中部发现海底热液喷溢现象以来,在从 1986 到 2000 年期间,日本科学家利用“SHINKAI 2000”号深潜器先后组织了近百个航次针对冲绳海槽海底热液活动的调查,在热液矿产资源评价、热液沉积物组成(矿物与化学)、热液的物理化学性质、热液生物学、热液区地球物理特征等许多方面做出了重要的发现和研究成果。中国科学院与国家海洋局的下属单位在“八五”期间也对冲绳海槽海底热液活动区进行过调查与研究。冲绳海槽海底热液活动区不仅类似于大洋中脊热液活动区,形成了具有重要经济价值的多金属(例如:Cu、Pb、Zn、Ag、Cd 等)矿床,而且具有许多特殊性,例如,冲绳海槽是迄今所发现的唯一具有热液成因碳酸盐沉积的现代海底热液活动区;又如,在冲绳海槽的热液沉积物中 Au、Ag、Hg、As 的含量异常高,并且发现有单质银矿物存在(见本书第 23, 24 章)。在对冲绳海槽中部热液活动区的沉积物样品所做的分析研究中,首次发现了自然金颗粒(见本书第 27 章)。在冲绳海槽热液活动区各种沉积物中 Au 的含量都异常高,其中金属硫化物中 Au 的含量一般在 $(100 \sim 8000) \times 10^{-9}$ 之间,最高达 10700×10^{-9} , 36 个样品的平均值为 3223×10^{-9} ;火山岩中 Au 的丰度高达 203×10^{-9} ,一般砂泥质沉积物中 Au 的含量变化于 $(3.14 \sim 30.4) \times 10^{-9}$ 之间,平均值为 20.35×10^{-9} 。以上指标均达到了工业矿床标准。上述特征在其它热液活动区迄今未见有报道。

上述工作无疑为本书提供了重要的研究基础和参考。

本书所采用的资料主要来自作者所参与的海上调查和亲自做的实验分析,其次是蒋富清、于增慧、栾锡武等在研究生期间的工作以及曾志刚和赵广涛在博士后阶段的工作,申顺喜研究员提供了有关钓鱼岛石的资料,其余所引用的资料均注明有出处。全书绝大部分章

节由翟世奎撰写,并统一定稿,汪新教授参与了第3章撰稿、申顺喜教授参与了第5章撰稿、于增慧参与了第13、16、17章的撰稿,栾锡武参与了第20章撰稿,蒋富清参与了第21、23、24等章节的撰稿。秦蕴珊院士和陈丽蓉研究员自始至终关心指导着本书的完善与出版,陈丽蓉研究员还参与了撰稿与改稿等工作,张海启参与了最后的定稿并对本书的出版作出了重要贡献。另外,给予本书支持与帮助的还有中国科学院海洋研究所的赵一阳研究员、李安春研究员、苍树溪研究员、李铁刚研究员、李凤业研究员、阎军研究员、陈长安副研究员,青岛海洋大学的赵庆礼研究员、赵广涛教授、韩宗珠教授、李巍然教授等。姜秀兰同志参与了文字编辑及部分图形处理工作。每一项成果或工作无不是凝聚了众多人的汗水与劳动,在此对帮助和支持过本书出版的同志深表谢意。

作者相信该书的出版不仅为科研与教学提供了参考资料,而且会促进我国海底岩石学与现代海底热液活动研究的发展。当然,限于作者水平,疏漏之处在所难免,期望得到所有读者的指正,同时也希望收到对作者工作更多的指导和建议。

翟世奎

2001年3月于青岛海洋大学

目 录

第 1 章 冲绳海槽的地质调查研究简史	(1)
1.1 初期认识阶段(1968a 以前)	(2)
1.2 地球物理勘探阶段(1968 - 1975a)	(2)
1.3 综合深入研究阶段(1975a 至今)	(3)
第 2 章 区域地质概况	(4)
2.1 冲绳海槽周边的地质概况	(4)
2.1.1 东海陆架盆地	(4)
2.1.2 东海陆架边缘脊	(4)
2.1.3 琉球岛弧与琉球海沟	(4)
2.2 冲绳海槽的地形地貌	(5)
2.3 地球物理特征	(6)
2.4 火山活动	(6)
2.5 沉积作用	(7)
第 3 章 冲绳海槽的地质构造	(9)
3.1 深部构造特征	(9)
3.2 断裂作用	(10)
3.3 热流特征	(10)
3.3.1 中部高热流区	(11)
3.3.2 张裂中心高热流值	(11)
3.4 沉积地层	(11)
3.5 小结	(12)
第 4 章 火山物质的类型及其分布	(14)
4.1 样品站位	(14)
4.2 浮岩	(17)
4.2.1 浮岩的物理性质	(18)
4.2.2 浮岩在表层沉积物中的分布	(18)
4.2.3 浮岩在柱状岩芯中的分布	(18)
4.3 火山玻璃	(20)
4.3.1 火山玻璃含量在表层沉积物中的分布	(20)
4.3.2 火山玻璃含量在岩芯中的分布	(20)

4.4 辉石	(23)
4.4.1 矿物组成	(23)
4.4.2 紫苏辉石	(24)
4.4.3 化学组成	(24)
4.5 斜长石	(26)
4.5.1 一般特征	(26)
4.5.2 斜长石在表层沉积物中的分布	(27)
4.5.3 斜长石在柱状岩芯中的分布	(27)
4.5.4 化学成份	(28)
4.6 石英	(30)
4.7 磁铁矿与磷灰石	(30)
第5章 火山成因新矿物—钓鱼岛石	(32)
5.1 物理性质与光学性质	(32)
5.2 化学成分	(32)
5.3 晶体结构	(33)
5.4 人工合成试验	(39)
5.5 成因探讨	(39)
第6章 表层样品中浮岩的斑晶矿物学特征	(41)
6.1 斑晶矿物组成	(41)
6.1.1 镜下工作	(41)
6.1.2 X射线分析结果	(42)
6.1.3 电子探针分析	(43)
6.2 斑晶矿物学特征及其地质意义	(44)
6.2.1 斜长石	(44)
6.2.2 辉石	(45)
6.3 小结	(46)
第7章 表层浮岩中斑晶矿物结晶的 P-T 条件	(47)
7.1 钛铁氧化物地质温度计	(47)
7.2 二辉石地质温度计	(48)
7.3 黑色浮岩中斜长石斑晶的结晶温度	(49)
7.3.1 利用斑晶中心的玻璃质包裹体求斑晶中心的结晶温度	(49)
7.3.2 利用基质求斑晶边缘的结晶温度	(49)
7.4 斑晶矿物结晶总压力的计算	(50)
7.5 小结	(51)
第8章 表层浮岩的岩石化学	(52)
8.1 分析方法	(52)
8.1.1 常量组分分析	(52)
8.1.2 微量稀土元素的分析	(52)
8.1.3 氟含量的分析	(52)

8.2	常量组分的岩石化学特性	(53)
8.3	氟含量及其在岩石成因方面的意义	(55)
8.4	微量稀土元素	(55)
8.4.1	稀土元素分布模式	(56)
8.4.2	岩浆的结晶演化	(56)
8.4.3	岩浆活动的地质构造环境	(58)
8.5	岩石化学资料的统计分析	(59)
8.6	小结	(61)
第9章	冲绳海槽早期扩张作用中岩浆活动的演化	(62)
9.1	矿物学演化	(62)
9.1.1	矿物组成	(62)
9.1.2	斜长石化学成分的演化	(69)
9.1.3	辉石化学成分的演化	(71)
9.2	岩石化学演化	(71)
9.2.1	常量元素	(71)
9.2.2	微量元素	(72)
9.3	小结	(73)
第10章	浮岩的同位素组成及年代测定	(74)
10.1	Rb、Sr 同位素及岩浆源	(74)
10.2	氧同位素组成及岩浆作用过程	(75)
10.2.1	氧同位素组成	(75)
10.2.2	同位素平衡与同位素地质温度计	(75)
10.3	U、Th 同位素及浮岩的形成年代	(77)
10.3.1	实验方法	(77)
10.3.2	浮岩年龄的测量结果	(77)
10.4	小结	(79)
第11章	浮岩的蚀变及其成因探讨	(80)
11.1	蚀变样品的矿物学特征	(80)
11.2	蚀变样品的化学成分特征	(81)
11.2.1	主要组分	(81)
11.2.2	微量元素	(83)
11.3	小结	(84)
第12章	浮岩包裹体测温试验	(85)
12.1	样品的选取及包裹体特征	(85)
12.2	实验方法及条件	(86)
12.2.1	均一法测温	(86)
12.2.2	爆裂法测温条件	(86)
12.3	斜长石斑晶中玻璃包裹体的均一法测试结果	(86)
12.3.1	均一过程	(86)

12.3.2	测量的均一温度	(86)
12.4	斜长石斑晶及玻璃基质中包裹体的爆裂法测试结果	(88)
12.5	结果讨论	(89)
第 13 章	浮岩中包裹体的岩石化学成分特征	(90)
13.1	玻璃质包裹体性质	(90)
13.2	单相玻璃质包裹体的化学成分	(91)
13.3	包裹体岩石化学成分的地学意义	(94)
13.3.1	捕后作用对岩浆包裹体的影响	(94)
13.3.2	岩浆来源及演化	(94)
13.4	斑晶中子矿物的化学成分	(97)
13.5	小结	(97)
第 14 章	浮岩岩浆活动模式分析	(98)
14.1	冲绳海槽的地下结构模式	(98)
14.2	斑晶矿物的结晶温度	(99)
14.3	岩浆的产生、存在深度和结晶分异作用	(100)
14.4	初始岩浆的化学成分和地壳物质的混染	(102)
14.5	浮岩岩浆活动的综合模式	(103)
第 15 章	冲绳海槽玄武岩的初步研究	(104)
15.1	斑晶矿物	(105)
15.1.1	镜下工作	(105)
15.1.2	部分斑晶矿物的电子探针分析	(105)
15.2	岩石化学特征	(106)
15.2.1	分类命名	(107)
15.2.2	岩系判别	(107)
15.3	稀土元素及部分微量元素	(108)
15.3.1	稀土元素	(108)
15.3.2	其他微量元素	(109)
15.4	玄武岩对构造环境的判别意义	(109)
15.5	小结	(111)
第 16 章	冲绳海槽火山岩中包裹体的气相组分	(112)
16.1	样品与分析方法	(112)
16.2	分析结果	(113)
16.3	与热液活动的关系	(114)
16.4	小结	(115)
第 17 章	火山岩热解释放气相组成	(116)
17.1	分析方法	(116)
17.2	单矿物真空热解释放气体的质谱分析结果	(117)
17.3	全岩样品的热解释放气体组成	(120)
17.3.1	酸性浮岩热解释放气体特征	(120)

17.3.2 玄武岩热解释放气体特征·····	(123)
17.4 小结·····	(125)
第 18 章 火山沉积地球化学 ·····	(126)
18.1 表层沉积物中元素的分布·····	(126)
18.2 柱状岩芯中元素的分布特征·····	(127)
18.3 元素的相关关系·····	(135)
18.4 R 型聚类分析 ·····	(140)
18.5 Q 型聚类分析 ·····	(142)
18.6 火山沉积作用的主要地球化学指标·····	(143)
18.7 火山活动对冲绳海槽沉积作用的贡献·····	(144)
第 19 章 冲绳海槽现代海底热液活动调查研究概况 ·····	(146)
19.1 调查研究工作概况·····	(147)
19.1.1 调查研究简史·····	(147)
19.1.2 研究工作概况·····	(148)
19.2 热液活动区的分布·····	(148)
19.3 热液活动区的地质背景·····	(151)
19.3.1 沉积环境与沉积物·····	(151)
19.3.2 岩浆岩与火山活动·····	(153)
19.3.3 构造背景·····	(153)
19.4 热液沉积物的矿物学特征·····	(153)
第 20 章 热液活动区构造地球物理特征 ·····	(155)
20.1 海底热流分布特征·····	(155)
20.2 地震特征·····	(157)
20.2.1 多道地震反射剖面·····	(157)
20.2.2 气枪—OBS 组合对地壳结构的研究 ·····	(157)
20.2.3 小阵列 OBS 观测 ·····	(157)
20.3 地磁异常特征·····	(158)
20.4 小结·····	(159)
第 21 章 热液沉积物的矿物学 ·····	(161)
21.1 热液沉积物的产状和矿物组成·····	(161)
21.1.1 夏岛 84-1 海丘·····	(161)
21.1.2 伊平屋 CLAM 区 ·····	(162)
21.1.3 伊是名 JADE 区 ·····	(162)
21.1.4 南奄西海丘·····	(163)
21.2 与洋中脊热液沉积物的对比·····	(164)
第 22 章 热液流体地球化学 ·····	(166)
22.1 热液流体喷溢口·····	(166)
22.2 热液流体的元素地球化学特征·····	(166)
22.3 热液流体的同位素地球化学特征·····	(169)

22.4 海底热液活动对海水化学成分的影响·····	(170)
第 23 章 热液成矿作用 ·····	(171)
23.1 块状硫化物矿石·····	(171)
23.1.1 手标本及显微特征·····	(171)
23.1.2 X 射线衍射分析结果·····	(172)
23.1.3 扫描电镜下的特征·····	(173)
23.1.4 矿物生成顺序·····	(174)
23.2 以重晶石为主的硫酸盐矿石·····	(174)
23.2.1 手标本及显微特征·····	(174)
23.2.2 X 射线衍射分析结果·····	(175)
23.2.3 扫描电镜下的特征·····	(176)
23.2.4 矿物生成顺序·····	(177)
23.3 以硬石膏为主的硫酸盐矿石·····	(177)
23.3.1 手标本及显微镜下鉴定特征·····	(177)
23.3.2 X 射线衍射分析结果·····	(178)
23.3.3 扫描电镜下的特征·····	(178)
23.3.4 矿物生成顺序·····	(178)
23.4 小结·····	(179)
第 24 章 成矿元素的赋存状态 ·····	(180)
24.1 元素组合·····	(180)
24.2 Au 和 Ag 的赋存状态 ·····	(181)
24.2.1 Au 的赋存状态 ·····	(183)
24.2.2 Ag 的赋存状态 ·····	(183)
24.3 其他有用金属元素的赋存状态·····	(185)
第 25 章 热液沉积物的地球化学 ·····	(186)
25.1 分析研究方法·····	(186)
25.2 常量化学组分特征·····	(187)
25.3 成矿元素和微量元素地球化学特征·····	(188)
25.4 稀土元素地球化学特征·····	(189)
第 26 章 热液沉积物同位素地球化学特征 ·····	(191)
26.1 硫同位素地球化学特征·····	(191)
26.1.1 硫同位素组成·····	(191)
26.1.2 硫的同位素地球化学特征·····	(192)
26.1.3 不同海底热液活动区热液沉积物的硫同位素组成对比·····	(195)
26.1.4 影响热液沉积物硫同位素组成的因素·····	(198)
26.2 块状硫化物中流体包裹体的 He-Ne-Ar 体系 ·····	(200)
26.2.1 样品特征与分析方法·····	(200)
26.2.2 结果和讨论·····	(201)
26.3 小结·····	(202)

第 27 章 冲绳海槽 Au 的富集成矿作用	(204)
27.1 样品及研究方法.....	(204)
27.2 自然金晶体.....	(205)
27.3 不同沉积物中 Au 的丰度	(205)
27.3.1 浮岩中 Au 的丰度	(205)
27.3.2 热液沉积硫化物中 Au 的含量	(206)
27.3.3 Au 在非火山沉积物中的分布	(206)
27.4 Au 在热液沉积硫化物中的分布	(208)
27.5 小结.....	(208)
第 28 章 冲绳海槽热液活动区的生物群	(210)
28.1 生物种属.....	(211)
28.2 热液生物的分布.....	(212)
28.3 热液生物的生态习性.....	(213)
28.4 化学合成细菌.....	(214)
28.5 热液生物的 C、N 和 S 同位素	(214)
28.6 冲绳海槽北部两个可能的现代海底热液喷溢点.....	(215)
28.7 海底热液生物的调查与研究展望.....	(217)
参考文献.....	(230)

第 1 章 冲绳海槽的地质调查研究简史

作为一个典型的弧后盆地,冲绳海槽和琉球岛弧以及琉球海沟一起构成了一个完整的沟弧盆体系。在构造性质上,冲绳海槽张性断裂发育,地震活动频繁,火山活动强烈,具有异常高的热流值,是一个正在扩张的边缘海盆地的雏形。在沉积学上,海槽区既有陆源沉积物,又有海底火山喷发物,再加上生物和自生沉积物,以及海底热液沉积物的加入,形成了一套特有的多源一体的沉积物组合。地震和火山活动又诱发了浊流的产生,使海槽区的沉积作用更加复杂化。

上述得天独厚的条件使冲绳海槽在海洋地质研究中占有极为重要的地位,吸引了国内外大批的地球物理学家、沉积学家、岩石学家和矿物学家和地球化学家。图 1 是根据不完全统计资料(论文篇数根据计算机检索资料,调查次数根据收集资料和文献中提及资料)绘制的。可以看出,目前人们对冲绳海槽的研究正处于方兴未艾的时期。在 70 年代主要是日本、美国、苏联、我国台湾省等国家和地区参与了对冲绳海槽的调查研究。在 80 年代到 90 年代则主要是我国和日本对该地区做了大量的调查和更深入细致的研究,其中尤以日本使用“深海 2000”号深潜器对海槽区海底热液活动及其沉积物的调查和我国从 1990 年到现在的冲绳海槽地质地球物理调查的规模最为宏大。

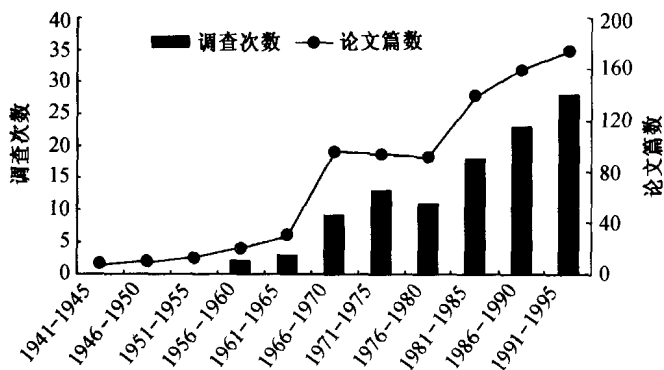


图 1 对冲绳海槽的调查次数及有关论文篇数的统计

岩浆活动是构造运动的产物,提供了惟来自地下深部的实物样品,同时又为沉积作用增添了新的内容。所以,研究冲绳海槽的岩浆活动无论对于判断海槽区的构造性质,进而解释其成因演化,还是建立海槽区的沉积作用模式都具有重要的意义。日本海洋科技中心的“深海 2000”号深潜器分别于 1984 年和 1986 年在冲绳海槽中段的轴部裂谷发现了海底热液堆积体和伴生的烟囱状热液喷口系统。自此,冲绳海槽现代海底热液活动及其热液沉积特征的研究引起了广泛地关注。日本几乎每年都要组织深潜调查,中国也分别于 1992 年和

1994 年两次组织了针对热液活动的调查采样与研究。

根据研究深度和广度的不同,可以把对冲绳海槽的调查研究划分为下述三个阶段。

1.1 初期认识阶段 (1968a 以前)

在 20 世纪中期,人们还没有把冲绳海槽从东海中孤立出来予以重视,而是根据海槽周围的地质情况加以推测。Hess(1948),田山(1952)首先对冲绳海槽及其邻区的地形特点进行了填图。小林(1956)把东海看做是大陆造山带的延续。斋藤(1960)报道了冲绳海槽东南边缘的第四纪火山活动。Niino 和 Emery(1961)以及秦蕴珊(1963)的工作则奠定了东海表层沉积物研究的基础。小西(1965)总结了前人的工作,首先提出了琉球群岛的岩石可能是从西面和西北面老的地质构造上裂离出来的,这可能是东海(冲绳海槽)最早的扩张成因意识。据迄今所查到的资料,对冲绳海槽最早的海上地球物理调查是美国哥伦比亚大学拉蒙特地质研究所和日本深海地震探测组在对菲律宾海区进行双船式探测时进行的,有一条测线横穿过冲绳海槽。

1.2 地球物理勘探阶段 (1968 - 1975a)

随着板块构造理论的建立和发展,人们开始重视沿太平洋西部边缘分布的沟弧盆体系,同时也揭开了大规模调查冲绳海槽的序幕。首先是美国海军海洋局“亨特”号调查船于 1968 年 10~11 月所进行的反射地震和地磁及测深调查(Wageman 等 1970)。这次调查基本上掌握了东海的全貌及海底的地质构造格局,奠定了后来调查研究的基础。进入 70 年代,对冲绳海槽的调查次数迅速增加,出现了图 1 中的第一个高峰期。在这期间,先后有 20 多个航次的地球物理调查,主要涉及美国、苏联、日本和我国台湾省的海洋地质研究单位。

随着大规模地球物理调查的进行,一些重要的成果相继而出。例如:Katsumata 和 Sykes(1969)指出冲绳海槽及其邻区的地震活动集中在一个向西北倾斜的平面上,该倾斜面从琉球岛弧和冲绳海槽下面延伸到大陆架以下 200~300km 深处;Yasui 等(1970)报道了冲绳海槽异常高的热流值(0.36~5.68 HFU),并且认为热流极高值是现代的浅层岩浆侵入作用造成的;Wageman(1970)总结了“亨特”号 1968 年的调查结果,指出冲绳海槽的成因是断裂,并且发现在海槽的边缘受到正断层的切割;Karig(1971)认为冲绳海槽是位于岛弧后面的目前正在扩张的年轻地带;苏联 Ю. А. ПаблЮБ 等(1975)编制了琉球岛弧及附近海区的重力异常图,并且根据重力计算得出冲绳海槽的地壳厚度变化于 21~24km;Bowin 和 Reynolds(1975)根据琉球岛弧的放射性年龄测量结果,认为冲绳海槽是在最近 1200 万年内发育的。

尽管在本阶段中做了大量的工作,得出了上述许多有益的结论,但是关于冲绳海槽底质样品的采集和研究工作却很少,并且缺乏资料的综合。

1.3 综合深入研究阶段(1975a 至今)

本阶段的典型特征之一是综合性的调查研究(包括地球物理、底质沉积物、沉积动力学和海底岩石学)普遍展开。另一个突出特征是中国开始重视对冲绳海槽的调查与研究。中国科学院海洋研究所、国家海洋局和地质矿产部的下属海洋调查与研究单位先后共有 40 多个航次的调查采样,从而出现了图 1 中冲绳海槽调查研究的又一个高潮。仅中国科学院海洋研究所在冲绳海槽的取样站位就达 300 多个,最长的柱状岩芯近 10m。

在大规模的调查基础上,仅国内就有 200 多篇关于冲绳海槽的论文发表。例如,陈丽蓉等(1979)首先讨论了东海(包括冲绳海槽)沉积物的矿物组合及其分布特征,并且于 1981 年和 1986 年更加详细地论述了各矿物区的特征及其与动力沉积环境和物质来源之间的相互关系。本座荣一(1975)首先介绍了在冲绳海槽所采到的火成岩类型:主要是安山岩,但也有辉橄玄武岩和紫苏流纹岩,并且在 13 个站位中取到了大量的浮岩。后来 Herman 等(1978)报道曾从一地堑的刺穿构造上挖取到比较新鲜的枕状玄武岩;张明书(1982)则在国内首次报道了在冲绳海槽采到了玄武岩样品。浮岩是冲绳海槽分布最为广泛的火成岩,国内已发表多篇关于浮岩的矿物学和岩石化学方面的论文(郑开云等 1982;孙嘉诗等 1982;地质矿产部上海海洋地质调查局 1985;陈建林等 1983)。在前人工作的基础上,作者自 1982 年以来对冲绳海槽的岩浆岩做了大量的分析研究工作(翟世奎等 1986, 1987, 1994;秦蕴珊等 1987, 1988)。

关于冲绳海槽的构造成因及演化直到现在众说不一。金翔龙等(1981, 1983, 1986, 1987)提出冲绳海槽是一个经历了拱顶—裂陷—扩张三个阶段的新生边缘海盆地;而路应贤(1981)则认为冲绳海槽是在菲律宾板块俯冲挤压下经历了拗陷、断陷和扩张发育而成的;李全兴(1982)撰文指出冲绳海槽是在地幔造成的极大不平衡状态下逐渐发育的弧后盆地;金兴春(1984)则强调在冲绳海槽之下存在着低密度的异常地幔。

该阶段研究工作的另一突出特征是在冲绳海槽中部发现了现代海底热液活动,从而引起人们的重视,开始了对弧后盆地现代海底热液活动及其成矿作用的研究。

第2章 区域地质概况

2.1 冲绳海槽周边的地质概况

冲绳海槽是东海的一个组成部分,又与岛弧和海沟相毗邻(图2)。自西向东,可以将东海划分为五个大的地质单元:东海陆架盆地、东海陆架边缘脊、冲绳海槽、琉球岛弧和琉球海沟。无论构造性质,现代沉积作用,还是基底岩石类型,在它们之间都有着不可分割的联系。

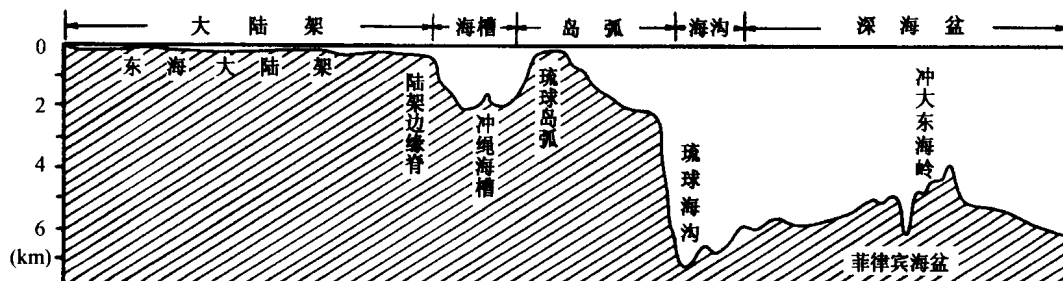


图2 冲绳海槽的地理位置图

2.1.1 东海陆架盆地

东海陆架盆地是一新生代大型断陷盆地,基底由古生代变质岩和中生代火成岩组成,新生代沉积一般厚2km。表层沉积物以分选良好的细砂沉积为主,在西部出现泥质沉积带(秦蕴珊等 1982)。矿物组合为石英、长石、普通角闪石与绿帘石(陈丽蓉等 1982)。

2.1.2 东海陆架边缘脊

陆架边缘脊整体呈一没于水下并被上千米新生代沉积层覆盖的潜伏隆起褶皱带,只有少数岛屿出露水面。基底由古生代—中生代的变质岩系构成,夹有火成侵入岩或火山喷发岩。该脊的东翼发育有一系列高角度正断层。作为东海陆架盆地的天然屏障,它阻碍了部分大陆物质进入冲绳海槽。表层沉积物仍以砂质沉积为主。矿物组合基本上与外陆架盆地相同,只是在该脊靠冲绳海槽一侧出现了部分火山物质,有浮岩砾石和少量火山成因的辉石、磁铁矿及火山玻璃等,说明沉积作用已受到海槽区火山活动的影响。

2.1.3 琉球岛弧与琉球海沟

琉球岛弧露出水面的部分称为琉球群岛,其上分布着古生代、中生代和新生代的沉积岩、火山岩和火成侵入岩。火山岩以玄武岩和安山岩为主,其次有粗面岩,主要分布在弧的内侧。侵入岩以花岗岩为主,部分地区分布有古生代和中生代的变质岩。该岛弧曾发生过