

冲绳海槽

古海洋学

李铁刚 常凤鸣 著

*Paleoceanography in the
Okinawa Trough*



海洋出版社

冲绳海槽古海洋学

李铁刚 常凤鸣 著

2009 年·北京

图书在版编目(CIP)数据

冲绳海槽古海洋学/李铁刚,常凤鸣 著. —北京:海洋出版社,2009.5

ISBN 978 - 7 - 5027 - 7474 - 5

I. 冲… II. ①李…②常… III. 海槽 - 古海洋学 - 研究 - 冲绳
IV. P736.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 071156 号

责任编辑:江 波

责任印制:刘志恒

海洋出版社 出版发行

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

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编:100081

北京画中画印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所经销

2009 年 5 月第 1 版 2009 年 5 月北京第 1 次印刷

开本:787mm × 1092mm 1/16 印张:17.0

字数:325 千字 定价:90.00 元

发行部:62147016 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

序

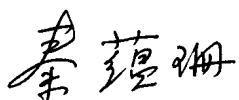
西太平洋边缘海的形成是亚洲中生代地质历史上的重大事件,它与隆升的青藏高原一起,构成了地球上独特的构造格局,改变了东亚的自然景观与资源配置。作为大陆和大洋的结合部和相互作用带,边缘海的环境演化历史不仅有其区域性的特点,同时也受全球性共同规律的制约。中国东部大陆是通过浅水陆架及环绕陆架的半深海—冲绳海槽与大洋发生相互作用的,而欧美大陆主要是通过陆架直接与深水大洋发生相互作用。冲绳海槽作为西北太平洋的一个典型的边缘海盆,它与相邻海域既是陆地气候的制约因素,又为陆地气候变化提供连续记录,其巨厚的沉积物记录了众多分辨率较高的海洋环境演变信息,是放大的地质信息库。其中包括全球海平面与气候变化、大洋环流路径与能量的变化、海陆物质的交换、岩石圈变形、洋陆间构造上的相互作用等。冲绳海槽由于位于东亚大陆气候变化的敏感地带,是研究东亚古环境演化和古陆海相互作用,探讨古大洋环流变化及对东亚季风驱动机制的最有利地区。

古长江、古黄河对冲绳海槽的影响是目前尚未完全解决的科学问题。探讨冲绳海槽及邻近陆架陆源物在间冰期、冰期和冰后期不同阶段的沉积通量,有利于探讨不同时期大陆径流状态的演化及陆源物向大洋的输送过程。低海面时,这些古河流是否影响到冲绳海槽及相邻陆架,是认识研究区古环境演化过程的重要内容,而这些课题的完成对认识过去边缘海环境的演化以及预测未来环境的发展提供出良好的模式。黑潮暖流在晚第四纪的形成与演化,是过去海洋全球变化关注的又一重要科学问题,黑潮表层及深层海水性质的变化与全球热量传输及气候演变的关系、黑潮流域海洋化学和生物活动变化与过去大气 $p\text{CO}_2$ 之间的相互作用关系、大陆气候与海洋表层和深层水特征之间的相关关系等都是备受学术界关注,且又悬而未决的重要科学问题。

同时,研究冲绳海槽晚第四纪以来的古环境演化历史,其意义远不限于解决冲绳海槽地区自身的问题,它与新生代邻近中国大陆、大洋的演化乃至全球环境气候的变化有着密切关系,可为研究东亚乃至全球环境的地质演化模式

提供非常丰富的信息,对认识大气圈、水圈、生物圈及岩石圈之间物质循环过程及各界面之间的相互作用和对未来环境与气候的预测都有重要意义。

今天,我们对冲绳海槽古海洋学的研究,不论在样品的采集,资料的积累,新科技、新方法的应用,还是在新思想、新理论的提出和认识上都有了实质性进展。为了反映该区域多年来的研究进展和取得的成果,由李铁刚研究员等撰写了《冲绳海槽古海洋学》一书,便于更好地进行学术交流,提高我们的认识和研究水平,更好地为科学发展和社会进步服务。

中国科学院院士 

2008 年 11 月

前 言

对气候环境自然演变机制的认识,既是地球系统科学的前沿课题,也是预测未来环境变化趋势的先决条件。占地球表面 71% 的海洋是调节和控制地球环境的主要因素,海洋古环境研究则是揭示海洋影响全球气候环境变化过程和机理的重要途径。冲绳海槽毗邻我国,是黑潮暖流系统的主要通道。作为太平洋西部的边界流,黑潮是世界上最强大的两个暖流系统之一。它起源于菲律宾吕宋岛以东北赤道流发生分叉作用后的一个北向分支,分叉点在近表层(0~100 m 水层),平均出现在 14.2°N 左右。在黑潮向北流动过程中有一支流通过巴士海峡进入南海北部,且尤以冬季最为明显;主干沿台湾岛东侧继续北上进入东海,往北在九州岛南部发生分支,通过吐噶喇海峡进入日本南部西北太平洋,为黑潮主体;至 35°N 附近开始成为黑潮续流。黑潮在自南向北流动过程中将低纬度大量的热量、物质、动能和水气向东亚中高纬度输送,从而对东亚的气候产生深刻的影响。黑潮作为全球海洋经向热量输送的“大洋隧道”,中国、日本和韩国等东亚地区的气候和旱涝情况与其变异密切相关。要理解和预测东亚地区的气候变化,不仅要从黑潮流域的海洋现代过程、还必须从其过去的历史和地质记录来研究。因此,在全球气候环境演变的背景下,认识西太平洋环流系统演化的过程和机制,自然成为我国经济和社会发展的重大需求。

冲绳海槽作为赤道热能向西北太平洋边缘海输送的重要通道,其古海洋环境演变很可能与热带太平洋古环境变异遥相呼应,同时也与东亚季风的演化过程密切相关,因此黑潮流域的冲绳海槽是研究西太平洋温盐环流及有关热传输演化过程、海洋-陆地-大气间的耦合作用等重要科学问题的理想靶区,其沉积物所蕴藏的古海洋环境信息很可能在理解西北太平洋及其边缘海乃至全球变化的一些重要气候和环境问题上产生重要突破,并成为全球气候环境系统演变理论中的典型范例。

本书是对 20 多年来冲绳海槽区域古海洋环境演化研究成果的系统总结

与提升,全书共分7章。第1章重点介绍了自20世纪80年代中期以来冲绳海槽古海洋学研究的一些主要进展,给出了本书利用的岩心取样站位和相关的信息。第2章简单介绍了冲绳海槽的海底地形地貌、构造环境、环流体系与水文等区域地质背景和海洋环境特征。第3章主要论述了冲绳海槽表层沉积特征与表层沉积物中的微体古生物群落组成,认为冲绳海槽的沉积物主要是来源于中国大陆的陆源物质,此外海洋生物沉积、自生化学沉积、火山碎屑沉积和宇宙物质沉积也是沉积物的重要组成部分。表层沉积物中的微体古生物群落组成特征表明,冲绳海槽表层沉积物中的微体古生物的群落组成主要受控于黑潮暖流和与之伴生的上升流、沿岸冲淡水等环流和水文要素。第4章主要阐述的是晚更新世以来冲绳海槽区域典型地层剖面的年代地层学、氧同位素地层学、生物地层学、事件地层学和磁性地层学等。第5章系统地分析了晚更新世以来冲绳海槽海洋环境的演变历史,内容涉及沉积速率、碳酸盐旋回、表层海水古温度、古气候、重要古海洋演化事件、底层水和生物群落演化等的时空分布特征及其形成机制。第6章对晚更新世以来黑潮暖流体系的演化进行了系统的论述,厘定了末次冰消期以来黄东海暖流系统的形成与演化模式。晚更新世以来,冲绳海槽作为西太平洋边缘典型的弧后盆地,接受大量的火山沉积物质。第7章主要利用这些火山活动的历史记录,探讨了冲绳海槽邻近区域晚更新世以来火山活动的演化特征,并分析了火山活动可能带来的环境效应。

本书的主要研究工作得到了国家自然科学基金重点项目(批准号:90411014)和国家重大基础研究与发展计划(No. 2007CB815903)以及中国科学院知识创新工程重点方向项目(批准号:KZCX-SW-233)的支持,谨此对国家自然科学基金委员会、中华人民共和国科学技术部和中国科学院表示衷心的感谢。研究中所用的大部分材料是由中国科学院海洋研究所的“科学一号”考察船获得,在此也向参与多次科学考察的船队员表示衷心的感谢。另外,在本书撰写过程中江波、蒋富清、翟滨、熊志方、唐正、路波、孙晗杰和仇晓华都起草了部分章节,付出了辛勤的劳动,苍树溪研究员通览了全稿,并提出了宝贵的意见,在此一并深表谢意。

由于研究程度所限,对于某些问题的解释与理解可能会出现偏差,甚至矛盾,希望科研与教学领域的专家学者以学术批判和争鸣的视觉审阅,共同促进

我国古海洋学这门新兴学科的发展。书中不当,甚至是错误之处,也恳请各位学长和同仁批评指正。

李铁刚

2008 年 11 月于中国科学院海洋研究所

目 次

第1章 绪论	(1)
第2章 区域地质和海洋环境	(7)
2.1 地形地貌	(7)
2.2 构造特征	(10)
2.3 区域环流体系与水文特征	(10)
2.3.1 环流体系	(10)
2.3.2 水文特征	(13)
第3章 表层沉积特征与微体生物群落	(15)
3.1 表层沉积特征	(15)
3.1.1 沉积类型及分布规律	(15)
3.1.2 矿物组成特征及分布规律	(17)
3.1.2.1 碎屑矿物分布特征	(18)
3.1.2.2 黏土矿物组合及影响因素	(19)
3.1.3 沉积物化学特征	(26)
3.1.3.1 元素组成特征	(27)
3.1.3.2 具有物源和环境指示意义的元素(组合)	(30)
3.1.4 沉积物来源及控制因素	(32)
3.2 微体生物群落与海洋环境	(34)
3.2.1 有孔虫动物群	(34)
3.2.1.1 冲绳海槽北部	(35)
3.2.1.2 冲绳海槽南部	(56)
3.2.2 放射虫动物群	(72)
3.2.2.1 冲绳海槽北部	(73)
3.2.2.2 冲绳海槽中部	(83)
3.2.2.3 冲绳海槽南部	(84)
3.2.3 钙质超微化石、硅藻及介形虫	(85)
3.2.3.1 钙质超微化石	(85)

3.2.3.2 硅藻	(87)
3.2.3.3 介形虫	(88)
3.3 表层沉积物中有孔虫壳体的氧碳同位素分布特征	(89)
3.3.1 浮游有孔虫 $\delta^{18}\text{O}$ 分布	(89)
3.3.2 浮游、底栖有孔虫 $\delta^{13}\text{C}$	(92)
第4章 冲绳海槽晚更新世地层学	(96)
4.1 年代地层	(96)
4.2 氧同位素地层	(99)
4.2.1 Z14-6 岩心氧同位素地层	(100)
4.2.2 DGKS9603 岩心氧同位素地层	(102)
4.2.3 MD012404 岩心氧同位素地层	(103)
4.3 生物地层	(104)
4.3.1 硅藻生物地层	(104)
4.3.2 放射虫生物地层	(106)
4.4 事件地层	(107)
4.4.1 火山灰事件地层	(107)
4.4.2 <i>Globigerinoides ruber</i> (pink) 灭绝事件地层	(108)
4.5 磁性地层	(110)
第5章 晚更新世以来的环境演变	(112)
5.1 沉积速率与环境	(112)
5.1.1 沉积速率的空间分布	(113)
5.1.2 沉积速率的时间变化	(114)
5.2 元素地球化学特征及其古环境意义	(118)
5.2.1 物源变化的地球化学记录	(118)
5.2.2 沉积物地球化学对环境变化的响应	(124)
5.3 CaCO_3 沉积与碳酸盐旋回	(129)
5.3.1 CaCO_3 含量的时空变化	(129)
5.3.2 碳酸盐旋回	(133)
5.4 表层海水温度的变化	(135)
5.4.1 冲绳海槽北部	(136)
5.4.2 冲绳海槽中部	(140)
5.4.3 冲绳海槽南部	(144)

5.5 古气候及环境演变事件	(148)
5.5.1 Heinrich 事件	(149)
5.5.2 Younger Dryas 事件	(157)
5.5.3 末次冰期回暖事件	(158)
5.5.4 全新世 <i>Pulleniatina obliquiloculata</i> 低值事件	(159)
5.5.5 末次冰消期表层水体的 $\delta^{13}\text{C}$ 宽幅低值事件	(160)
5.6 18 ka B. P. 以来的底层水团演化	(165)
5.6.1 底栖有孔虫特征	(166)
5.6.2 底层水营养状况与表层生产力	(169)
5.6.3 底层水含氧量与流通状况	(171)
5.7 古环境变化的孢粉记录	(172)
5.7.1 冲绳海槽北部	(173)
5.7.2 冲绳海槽中部	(180)
5.8 全新世环境演变的海洋记录	(182)
5.8.1 冲绳海槽记录的全新世气候变化	(182)
5.8.1.1 海槽北部的 $\delta^{18}\text{O}$ 记录和 SST 估计结果	(182)
5.8.1.2 全新世气候变化的总体趋势	(184)
5.8.1.3 全新世的气候波动事件	(185)
5.8.1.4 晚全新世的环境异常	(191)
5.8.1.5 全新世海槽南端的古生产力记录与 ITCZ 位移	(197)
第6章 晚更新世以来黑潮流系的演化	(204)
6.1 现代黑潮流系	(204)
6.2 晚更新世以来黑潮主流轴的位移	(205)
6.3 末次盛冰期黑潮对海槽北部的影响	(209)
6.3.1 浮游有孔虫与古水温	(209)
6.3.2 放射虫动物群	(211)
6.3.3 翼足类动物群	(211)
6.3.4 末次盛冰期黑潮影响冲绳海槽北部的可能途径	(212)
6.4 末次冰消期以来黄东海暖流系统的演化	(212)
6.4.1 有孔虫及其 $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$ 记录	(213)
6.4.2 末次冰消期黑潮影响的加强	(217)
6.4.3 早全新世的黑潮与现代对马暖流的形成	(217)

6.4.4 中晚全新世现代东黄海暖流系统的形成与演化	(219)
第7章 晚更新世以来的火山活动及其环境效应	(221)
7.1 现代火山活动对气候环境的影响	(221)
7.2 晚更新世以来的火山活动记录	(222)
7.3 近 150 ka 来火山活动的环境效应	(226)
参考文献	(232)

第1章 绪 论

冲绳海槽作为西太平洋边缘一个正在扩张的弧后盆地,与青藏高原的隆起一起构成了亚洲大陆独特的构造格局。边缘海是连接大洋和大陆的纽带,其环境控制因素比开放大洋复杂得多,这里发生着复杂的地质-气候-生物相互作用,其沉积物可提供丰富的全球环境演化信息。且海陆相互作用是全球环境演变中的一个重要环节,而边缘海既是海陆相互作用的重心,又对环境变化具有放大效应。同时,由于受陆源物质供应的影响,边缘海往往具有较高的沉积速率,能为过去的全球变化研究提供高分辨率的连续记录。与北大西洋相似,西太平洋及其边缘海在全球气候变化过程中也起着至关重要的作用。作为西太平洋边缘海系列之一的东海是中国东部大陆与海洋环境相互交接转换地带,与欧美大陆直接通过陆架与深水大洋发生相互作用不同,中国东部大陆更多地是通过半封闭的半深海盆地—冲绳海槽与大洋发生相互作用的。作为大陆和大洋的结合部及相互作用带,冲绳海槽的古环境变迁记录既有受古全球变化共同规律制约的特征,又受区域气候和海洋环境的影响,具有鲜明的区域性特色。由于其特殊的地理位置和独特的沉积环境,因而成为第四纪古海洋学研究的重要区域。

冲绳海槽位于东海陆架与琉球岛弧之间,作为我国东部边缘海和西太平洋之间的连接通道,冲绳海槽是一个能够敏感地反映海洋和陆地环境变化的区域,其沉积物同时保存着海洋和陆地环境演化,是古全球变化中海、陆记录的汇聚地。现代长江以及众多的水系为冲绳海槽及其邻近的西部陆架输送了巨量陆源沉积物的同时,也带来了丰富的大陆环境变化信息。晚更新世以来伴随着气候冷暖交替发生的中国大陆气温、降水、风化作用等环境因素的变化,而这些信息通过地表径流的传递,在冲绳海槽及陆架区的沉积物堆积速率、粒度以及矿物化学等沉积特征上体现出来。冲绳海槽也是著名的强西部边界流——黑潮流经之地,起源于北赤道流的现代暖流的存在,不仅极大塑造着该区域的物理海洋学特征、沉积环境和生物生态面貌,而且也输入了开放大洋的信息。虽然晚第四纪中的冰期旋回中,海平面大幅下降时,大片浅海陆架出露成陆,但冲绳海槽总为海水覆盖,其沉积物依然记录了海洋环境的变迁。黑潮首先从东海南部进入冲绳海槽,然后沿其北上并渗透到陆架,故海陆相互作用首先发生在冲绳海槽,然后才影响到陆架。因此,冲绳海槽蕴藏着陆地、海洋及其相互作用的丰富信息,是大陆、陆架、半深海与大洋对

比研究的重要纽带和理想区域。

冲绳海槽是黑潮主流区域。尽管对晚第四纪以来,尤其是末次盛冰期古黑潮的路径问题仍然存在着争论,但已证明了古黑潮在冰期时的存在。流量相当于 1 000 条长江的黑潮暖流对我国及东亚现代气候的影响举足轻重。黑潮在自南向北流动的过程中将低纬度大量的热量、物质、动能和水气向东亚中高纬度输送,中国、日本和韩国等东亚地区的气候和旱涝情况就与黑潮的变异密切相关。且从黑潮流域现代海洋过程来看,黑潮流系东接北赤道流、南邻西太平洋暖池,北赤道流和西太平洋暖池的变化都直接影响到黑潮。而黑潮暖流-热带西太平洋(西太平洋暖池)-北赤道流-信风-北太平洋副热带高压-北美冰盖链条之间存在着显著的响应或驱动关系。因此,黑潮流域的古海洋环境演变很可能与热带太平洋古环境变异遥相呼应,并可能是北半球太平洋区域重要的“大洋隧道”,同时也与东亚季风的演化过程密切相关。此外,进入晚第四纪以来中国大陆及其邻近海域的古环境变化主要受东亚季风和黑潮暖流的控制,冲绳海槽及其邻近大陆的环境演变与黑潮的变动息息相关。可见,黑潮流域沉积物所蕴藏的古海洋环境信息对理解晚第四纪东亚大陆、西北太平洋及其边缘海乃至全球变化的一些气候和环境问题有重要意义,而冲绳海槽的重要性将更加突出。

末次盛冰期海峡关闭、陆架裸露、海区面积的减小以及边缘海中的半封闭海流改组,这些地理格局和海洋环境的巨幅变化,使得古气候变化信号在边缘海一定程度上被放大。同时,末次冰期特别是末次盛冰期亚洲东部最为壮观的变化是边缘海大片浅海陆架出露成陆,而冲绳海槽是末次冰期东海仅存的被海水覆盖和保存着连续海相地层的沉积盆地。由于我国大陆径流的巨大输入量,海槽从晚更新世到现在都具有较高的沉积速率,其中中段沉积速率最高可达 40 cm/ka,现在海槽内堆积的巨厚沉积物,最大可达数千米。这为研究对于人类生存具有更大现实意义的短期气候的突然变化提供了完整而分辨率高的记录。

冲绳海槽及其相邻陆架是海陆相互作用的重要地区,又有黑潮和东亚季风的影响。其高分辨率的沉积物不仅记录了东亚大陆的气候变迁,而且保存了边缘海及大洋的环境演化信息。冲绳海槽的古环境和古气候记录研究,其意义远不限于解决其自身的古海洋学问题,它也对揭示西北太平洋边缘海对全球变化的响应,认识东亚大陆环境演变及其与全球其他区域环境和气候变化之间的联系具有重要意义。

冲绳海槽作为大陆向大洋的过渡带,因其独特的沉积环境、丰富的环境信息和所处的特殊地理位置,其沉积作用和古环境的研究受到海洋地质学界的广泛关注。20 世纪 50 年代末开始的“全国海洋普查”,重点研究了东海表层沉积物的类型、分布、物质组成和海底地形,初步奠定了东海海洋地质研究的基础。70 年代初开始对东海外陆架地区的

矿物组合、分布和沉积物地球化学进行系统的研究。在此基础上,从70年代末开始,中国科学院海洋研究所在东海大陆架及冲绳海槽又进行了广泛的地质调查研究,取得了大量的第一手资料。到80年代初,东海大面积的区域性地质调查基本上告一段落。1982—1984年开始重点对东海两个关键海区——长江三角洲和冲绳海槽进行深入调查与研究。此后,有关东海陆架和冲绳海槽的沉积特征、物质来源、地质构造以及沉积环境等各方面的研究论文、报告和专著相继问世,代表性的著作包括《黄东海地质》、《东海地质》和《东海海洋地质》等。这标志着对该区域的沉积、构造特征已经有了较全面的认识,为冲绳海槽及邻近海区的海洋沉积学和古海洋学等的进一步深入研究提供了可靠的综合框架和背景资料。

冲绳海槽的古海洋学研究始于20世纪80年代中后期,并取得了丰富的成果。以微体古生物(有孔虫)作为主要手段,结合碳氧同位素研究,进行稳定同位素地层学和古气候演变的探讨,在海槽区恢复了与大洋同步变化和具有完全等时性的氧同位素变化记录,建立了可作为区域对比标准的氧同位素地层,为边缘海区地层区化和对比提供了可靠依据。发现了粉红色红拟抱球虫在地层中的出现,并确认其末现面为距今128 ka,从而确立了该种浮游有孔虫在西太平洋边缘海区可以作为精确的年代划分标准。在表层海水古温度重建上,采用当时国际上流行的有孔虫古生态转换函数,估算了晚更新世以来表层海温度的演化,发现末次盛冰期时海水冬季表层水温下降幅度远高于开阔大洋水平,称之为边缘海放大效应,同时发现这种放大效应随着纬度的降低而减弱。开展了对古黑潮150 ka以来演变及其对中国东部大陆气候相互作用和相互影响进行了系统研究,提出末次冰期时古黑潮的流动路径,指出末次冰期时古黑潮的流动格局与现代有很大差异。应用传统地球化学方法和理论,通过地层中元素含量变化追踪古气候演变规律,提出“元素地层学”这一新概念,为古海洋学研究开辟了新的途径。此外,发现西太平洋边缘海区 CaCO_3 旋回与传统理论有明显矛盾之处,即该区存在与太平洋本身 CaCO_3 旋回相反的模式,提出“西太平洋边缘海型 CaCO_3 旋回”模式,对传统 CaCO_3 旋回理论有了新的突破,为探讨世界大洋深层水循环模式提供了新的思路。90年代,出版了直接针对古海洋学的专著《西太平洋特定海域古海洋学》,这些工作为进一步开展古海洋学研究积累了宝贵的资料,打下了坚实的基础。

虽然冲绳海槽古海洋学的初期研究取得了丰硕的成果,但关于晚更新世以来各海洋环境因素演变的认识尚不全面深入,所使用的替代指标也比较少,缺乏较高分辨率的记录。近年来,随着调查研究的深入、分析测试技术的提高以及多种古环境替代指标的建立,大大促进了冲绳海槽的古海洋学研究。目前,不论在样品的采集(图1-1,表1-1),资料的积累,新科技、新方法的应用,还是在新思想、新理论的提出和认识上都有了实质

性进展。特别是近年来在认识到西北太平洋及其边缘海可以为理解过去地球环境变迁和预测未来气候变化提供关键材料后,国际上也开始重视对该区的研究。IMAGES 分别于 1998 年、2001 年先后两次实施了冲绳海槽的海底取芯工作,大洋钻探计划(ODP)也于 2001 年在海槽南端完成了钻探取芯工作。冲绳海槽的古海洋学研究无论在广度和深度上都有了飞跃式的进步,因此有必要在新资料和新问题的基础上对冲绳海槽古海洋学的几个重要方面的研究现状进行综合和探讨,以期反映该领域的新进展;并为认识 and 解决当前人类所面临的全球性气候和环境恶化问题,提供科学依据和思路,促进该领域学术交流和研究水平的提高。

表 1-1 冲绳海槽沉积岩心信息

岩心	位置		水深 /m	岩心长 /cm	文献
	经度	纬度			
DOC024	128°59.61'E	30°49.25'N	740	350	常凤鸣,2004;李凤业等,1999
DOC080	127°37.89'E	29°20.67'N	1 051	210	李凤业等,1999
DOC082	128°08.53'E	29°13.93'N	1 136	520	Chang et al. ,2008;常凤鸣等,2008
DOC086	128°40.3'E	28°53.3'N	974	555	李铁刚等,1996;李凤业等,1999
96	127°28.5'E	28°32.4'N	1 100	570	程振波等,1998
155	126°10.5'E	27°02.2'N	950	369	程振波等,1998;吴世迎等,2001
170	125°48'E	26°38'N	1 480	360	李保华等,1997
180	127°32.5'E	28°14.4'N	1 044	305	李萍等,2008;刘焱光等,2003
255	123°07.0'E	25°12.0'N	1 575	655	Li et al. ,1997;Jian et al. ,2000
262	127°12.0'E	27°13.8'N	1 061	220	吴世迎等,2001
A	127°30.99'E	29°00.72'N	1 041	312	蓝东兆等,2003
A7	126°58.7'E	27°49.2'N	1 264	450	李军,2007;Sun et al. ,2005
B	127°54.16'E	28°24.11'N	1 010	305	李超等,2004
B-3GC	128°31.14'E	31°29.37'N	555	218	Jian et al. ,2000
CSH1	128°43.5'E	31°13.7'N	703	1 936	李铁刚等,2006;吴永华等,2004
DGKS9602	127°22.138'E	28°07.491'N	988	931	邓韞等,2005
DGKS9603	127°16.238'E	28°08.869'N	1 100	592	Li et al. ,2001
DGKS9604	127°01.43'E	28°16.64'N	766	1 076	Yu et al. ,2008
DOC042	128°20.9'E	30°18.64'N	389	190	向荣等,2005
E017	126°01.38'E	26°34.45'N	1 826	298	向荣等,2003,2005;蒋富清等,2002
HD12	128°53'E	31°16.26'N	710	426	李凤业等,1999

续表

岩心	位置		水深 /m	岩心长 /cm	文献
	经度	纬度			
KH82-4-14	129°02.10'E	31°44.40'N	740	1 035	Xu and Oda, 1999
KL18 + KL22	128°28.0'E	30°48.0'N	787	700	蓝东兆等, 2000
MD012404	125°48.75'E	26°38.84'N,	1 397	4 367	Chang et al., 2005
MD05-2908	122°29.35'E	24°48.04'N	1 276	3 416	南青云等, 2008
MD982193	126°16.3'E	27°23.7'N	1 314	3 747	Ujiié and Ujiié 1999; Ujiié et al., 2003
MD982194	127°22'E	28°07'N	989	2 978	邓韞等, 2007
MD982195	128°56.63'E	31°38.33'N	746	3 365	Ijiri et al., 2005
ODP1202	122°30'E	24°48.24'N	1 274		Chang et al., 2005; Zhao et al., 2005
OR281-12P	123°14.99'E	25°14.61'N	1 733		Shieh et al., 1997
PC-1	128°08.53'E	29°13.93'N	590	812	常凤鸣, 2004
RN80-PC3	127°22.60'E	29°04.10'N	830	434	Xu and Oda, 1999; Ujiié and Ujiié, 1999
RN88-PC5	125°09.5'E	25°15.5'N	2 051	451	Ujiié et al., 2003; Ujiié and Ujiié, 1999
RN92-PC3	130°40.1'E	28°52.8'N	2 510	318	Ujiié et al., 2003
RN92-PC4	128°43.1'E	31°40.2'N	710	548	Ujiié et al., 2003; Ujiié and Ujiié, 1999
RN93-PC1	127°12.8'E	28°34.4'N	1 022	512	Ujiié et al., 2003; Ujiié and Ujiié, 1999
RN93-PC12	124°25.9'E	24°01.3'N	2 160	393	Ujiié et al., 2003; Ujiié and Ujiié, 1999
RN93-PC3	126°25.5'E	27°41.5'N	1 292	402	Ujiié and Ujiié 1999; Ujiié et al., 2003
RN93-PC4	125°40.4'E	26°33.4'N	1 440	414	Ujiié et al., 2003; Ujiié and Ujiié, 1999
RN93-PC5	124°50.60'E	26°09.10'N	1 464	423	Ujiié and Ujiié, 1999
RN93-PC6	124°22.3'E	25°41.3'N	1 849	496	Ujiié et al., 2003; Ujiié and Ujiié, 1999
RN93-PC8	123°44.9'E	24°33.6'N	1 561	372	Ujiié et al., 2003; Ujiié and Ujiié, 1999
RN94-PC3	131°51.1'E	30°55.7'N	1 536	409	Ujiié and Ujiié, 1999
RN94-PC6	131°26.0'E	29°45.0'N	3 031	346	Ujiié and Ujiié, 2003
RN95-PC1	128°59.7'E	32°04.8'N	676	470	Ujiié et al., 2003; Ujiié and Ujiié, 1999
RN95-PC3	128°10.1'E	30°49.8'N	500	437	Ujiié et al., 2003
RN96-PC1	122°56.1'E	24°58.5'N	1 676	486	Ujiié et al., 2003; Ujiié and Ujiié, 1999
Y127	128°18.26'E	30°32.97'N	739	422	蒋富清等, 2008
YSDP102	125°45.099'E	33°49.496'N	62	6 065	李铁刚等, 2008
Z14-6	127°27'E	27°07'N	739	896	阎军等, 1990; 苍树溪和阎军, 1992