

文章编号: 1001-8166 (2006) 04-0331-07

地球圈层相互作用中的深海过程和深海记录(I): 研究进展与成果

汪品先, 翦知霭, 刘志飞

(同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092)

摘要: 由五大系统¹¹个实验室组成的项目组, 2000—2005年开展了以“地球圈层相互作用”为主题的深海基础研究。项目以“热带碳循环”作为核心问题, 依靠国际大洋钻探和国内“大洋专项”两大支柱, 对西太平洋暖池和南海等海区进行深海过程和深海记录的研究, 已圆满完成计划任务。一方面在南海大洋钻探的基础上, 围绕热带海洋在地球系统中的作用向纵深发展, 在“热带碳循环”研究中取得了原创性的成果; 另一方面依托国内大洋专项和国内外合作航次, 在深海研究和圈层相互作用上朝横向发展, 取得了一系列国际性成果, 在我国形成了与国际接轨的深海研究力量。对该项目的设计和进展做了简单而又全面的阐述, 对于古环境研究中取得的突破性进展将另有续篇介绍。

关键词: 深海研究 地球系统 圈层相互作用

中图分类号: P73 文献标识码: A

1 任务与设计

水深超过 2 000 m 的深海占地球表面积的 60% 是地球表面研究最弱的部分, 也是研究“地球系统”的关键所在。由深海发现为先导的重大突破, 在近几十年来的地球科学中屡见不鲜。但是, 以大陆为主体的我国地球科学受条件限制, 基本上还没有延伸到深海大洋。1999 年春南海大洋钻探 ODP184 航次的成功, 使我国进入国际深海基础研究的前沿阵地。我国的“大洋专项”在太平洋多金属结核调查等多年工作积累的基础上, 提出了推动我国地球科学发展的新增目标。这样, 我国系统地开展深海基础研究的时机, 终于来到。

正是在这种背景下, 国家重点基础研究发展计划学科前沿项目“地球圈层相互作用中的深海过程和深海记录”(简称“深海973”)经过 2000 年 10 月至 2005 年 9 月的 5 年工作, 已经圆满完成。项目的总体思路是: 在南海大洋钻探成功的基础上, 利用国

际合作计划和国内“大洋专项”两大支柱, 系统开展深海大洋国际学术前沿的基础研究, 以相对比较成熟的古海洋学作为核心, 推动多学科多领域, 包括现代和历史过程的深海研究工作, 在实测和模拟相结合、现代过程和地质记录相结合、海洋和陆地相结合的基础上开展圈层相互作用的跨学科研究。拟解决的关键科学问题有: 热带海洋在地球气候系统中的作用; 地质构造运动和气候系统演变的关系; 深海海底过程对物质循环的贡献, 其中又以问题¹为核心。

这是我国深海基础研究的首次大型计划, 由全国五大系统¹¹个实验室合作承担(表 1)。根据圈层间相互作用为主线, 项目设置了 5 个课题:

(1) “暖池”形成和演变的构造控制及其沉积证据。

(2) 水团与海流的演变及其气候环境效应。

(3) 海水与海底的物质与能量交换。

(4) 深海生物圈在物质循环中的作用。

* 收稿日期 2006-02-12; 修回日期 2006-03-08。

* 基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目“地球圈层相互作用中的深海过程和深海记录”(编号: G2000078500)资助。

作者简介: 汪品先(1936-), 男, 江苏苏州人, 教授, 中国科学院院士, 主要从事海洋地质、微体古生物学研究。

E-mail: pxwang@online.sh.cn

(5) “暖池”区碳循环的演化。

2002 年 7 月,项目经过“中评估”,专家组提出“向热带碳循环研究聚焦”的意见。经过后 3 年的认真执行,全面完成了预期目标,各课题和全项目先后于 2005 年 12 月和 2006 年 1 月通过验收。本文是项目执行情况和研究成果的一个简单总结,其中“气候变化的热带驱动与碳循环”的重要研究成果,将由本文续篇另文介绍^[1]。

表 1 “深海 973”项目参加单位

Table 1 Participants of the “Deep-sea 973” project

| 部 门 | 单 位 | 参与 课题 |
|-------|--------------------------|----------|
| 国家教育部 | 同济大学 海洋地质国家重点实验室 | 1, 2, 5 |
| | 厦门大学 近海海洋环境国家重点实验室 | 4 |
| 国家海洋局 | 中国海洋大学 | 3 |
| | 第二海洋研究所 海底科学重点实验室 | 3 |
| | 第三海洋研究所 海洋生物工程重点实验室 | 4 |
| 中国科学院 | 大气物理研究所 地球流体和数值模拟国家重点实验室 | 2 |
| | 广州地球化学研究所 有机地球化学国家重点实验室 | 5 |
| | 南海海洋研究所 边缘海地质重点实验室 | 2 |
| | 植物研究所 | 2 |
| 中国气象局 | 中国气象科学研究院 天气灾害国家重点实验室 | 2 |
| 国土资源部 | 广州海洋地质调查局 | 1 |

2 任务完成情况

5 年来项目组围绕“热带海洋在地球气候系统中的作用”、“地质构造运动和气候系统演变的关系”、“深海海底过程对物质循环的贡献”等 3 个关键科学问题,突出“热带碳循环”的重点,全面开展海上考察和室内研究,完成了项目研究任务,达到预期研究目标,尤其在大洋碳循环和气候变化的热带驱动等理论研究方面取得了突破性进展。完成的研究工作主要有:

2.1 组织和参加海上航次以及野外考察

在西太平洋暖池核心区(从加罗林群岛到赤道东印度洋之间的深海区)和暖池边缘区(南海)开展海上调查,包括采取沉积柱状样、箱式样、海水样以及浮游生物拖网等,取得“暖池”区一大批现场实测数据和样品。5 年来,项目组织或派人参加的海上航次有 17 次,参加百余人次。此外,针对海洋问题的研究需要,还组织了 3 次对越南红河和湄公河流域、意大利南部和山东泰山的专题陆上野外地质考察,并结合其他研究项目对青藏高原北部、长江沿线、大别山等地进行了多次野外地质工作。

2.2 全面展开方法性研究

由于多学科交叉研究的需要,新方法、新手段的

探索是本项目的重要任务。5 年内,建立了深海记录和深海过程研究的众多新方法,如采用气候箱和质谱仪研究人工饲养颗石藻的骨骼同位素对不同 CO₂ 浓度和温度的反应;利用微体化石形态、组合及壳体同位素变化,探索反映海洋上层水体垂直结构变化的替代性标志;建立有孔虫壳体 Mg/Ca 比值古温度分析技术,并与同位素相结合求取盐度变化的方法;利用岩石物性估算沉积成分,获得高分辨率记录的方法;引进低温年代学和宇宙核素等方法研究剥蚀到沉积的“从源到汇”过程;与地质记录结合,设计与调试海洋和大气数值模拟的试验方案;引进整套的频谱分析和天文调谐技术,建立深海记录的时间序列、研究轨道驱动气候周期的演变以及探索不同参数变化的相位关系等。至于深海热液与深海微生物的研究在我国属于全新领域,更建立了大量的新技术、新方法(介绍见 2.6、2.7 节)。

2.3 提取“暖池”区沉积与古环境记录

铺开了对整个“暖池”区(包括南海南部、赤道西太平洋、东印度洋海区)的古环境和沉积、构造分析。其中以南沙海区 ODP 1143 站为重点的研究区域,在第四纪气候冰期—间冰期旋回动力学机制方面取得突破性进展,而以赤道西太平洋 MD01-2386 柱状样为重点的研究,着重在提取高分辨率古海洋学信息,已揭示出千年尺度的古气候事件。

沉积与古环境方面的分析达 4 万余次,是本项目最大的工作量(表 2)。

表 2 本项目 5 年期间完成的样品分析量初步统计

Table 2 Preliminary statistics of sample measurement completed by this project in five years

| 分析项目 | 完成数量 |
|---|---------|
| 氧、碳稳定同位素 | 15 596 |
| 微体古生物(有孔虫、超微化石、放射虫等) | 7 024 |
| 孢粉分析 | 2 440 |
| 沉积地球化学(碳酸盐、粒度、蛋白石分析等) | 9 725 |
| 元素地球化学(常量、微量和稀土元素,以及 Mg/Ca 等) | 1 858 |
| 有机地球化学:(a) 总有机碳 | 650 |
| (b) 有机碳同位素 | 560 |
| (c) U ₃₇ | 713 |
| (d) 陆源标志化合物(长链正构烷烃、黑碳) | 250 |
| (e) 颗石藻与硅藻标志化合物 | 250 |
| 粘土矿物 | 830 |
| AMS C-14 测年 | 46 |
| 其它(裂变径迹、U-Th/He、 ¹⁰ Be 磁化率等) | 若干 |
| 合计 | >40 000 |

2.4 开展“暖池”区现代过程观测和研究

利用“大洋一号”和“海洋四号”等科学考察船的航次对西太平洋赤道以北的暖池核心区,以及南海海洋研究所“实验三号”科学考察船的南沙和南海北部航次等对南海海区开展地质和海洋的现代过程以及生物学研究,包括释放沉积捕获器、现场提取深海微生物总 DNA、采取水文、海水化学和沉积物间隙水等样品,对各种现代深海过程进行观测、分析和研究,重点研究海水与海底的物质和能量交换。投放在南海南部海区的沉积物捕获器,为我国首次取得了“暖池”区全年的沉积记录。

2.5 进行海、气数值模拟与地质记录的直接对比

在发展一个全球高分辨率的海洋环流模式 LICOM 和相应的耦合环流模式 FGOALS 的基础上,利用数值模式研究了板块构造和地球轨道参数变化对气候变化(特别是对热带太平洋和印度洋海流)的影响,包括 14 Ma、11 Ma、6 Ma、1 Ma 的暖池区海陆格局变化对大气环流影响的数值试验^[2],印度尼西亚通道和巴拿马地峡关闭的气候效应,赤道西太平洋暖池在末次盛冰期和全新世暖期的变化规律及其对全球气候的影响等^[3]。

2.6 建立起我国深海微生物的研究体系

“深部生物圈”研究海底沉积物中的微生物,是国际深海研究的最新前沿领域。本项目为我国“深部生物圈”的研究迈出了第一步:建立起适合深海特殊环境的若干创新性技术和方法,包括深海环境样品微量 DNA 提取技术、连续培养系统以及现场观测技术和样品的采集、保存技术等;研究了“暖池”等海区水柱及沉积物中微生物类群的多样性和生物量,研究了深海沉积物中细菌与古菌参与 C1 代谢的种群并进行了半定量 PCR 分析,构建了几丁质酶等多个反应环境特征的分子生物学探针;建立了细胞膜电位等细胞动力学参数的方法以及评价细菌生理状态的方法和模型。

2.7 研究海洋微生物与碳循环的关系

颗粒小于 20 μm 的海洋微生物,不能用通常的方法检出,是浮游生物研究的新课题,而此类生物在大洋碳循环中的作用也正在揭示之中。本项目与国际上少数国家一起,开展了海洋微生物、特别是 <2 μm 的超微型浮游生物(Pico-plankton)的研究,取得了重要成果。本项目建立了一系列新技术(TIREM、MP 等^[4]),用来研究原来不能检测出的海洋微生物,研究了大洋微生物主要类群的多样性、数量分布及其与生态环境的关系。

2.8 进行热液作用研究尝试和技术准备

与国内外同行合作,对东太平洋和冲绳海槽现代海底热液活动区的沉积物进行了矿物学、地球化学等研究,取得热液活动及其间歇期、板内热液存在的沉积学证据,并进行初步的数学模型建立。特别是项目组成员参加了中美在东太平洋的首次联合深潜科学考察,取得了大量样品,利用自行研制和设计的设备成功进行海底原位热液烟囱及生物的生长实验。此外,还在海底热液探测采样技术等相关领域取得了实质性进展,构建形成了初具规模的深海极端环境探测和模拟实验研究平台。

此外,5年来对国内外在“暖池”及其邻区构造、地震勘探、沉积、古环境等方面的各种成果进行收集、汇编,对国际有关热带碳循环和全球深海同位素资料进行收集、整理,结合本项目产生的数以万计的数据,按地理信息系统整理成图,编制暖池区和区内的局部海区的海底地形、海底重力异常、海底热流等基础图件,建立了数据库。

3 研究成果

本项目一方面在南海大洋钻探的基础上,围绕热带海洋在地球系统中的作用向纵深发展,在“热带碳循环”研究中取得了原创性的成果,是古环境研究中的突破性进展;另一方面依托国内大洋专项和国内外合作航次,在深海研究和圈层相互作用上朝横向发展,取得了一系列国际性成果,在我国形成了与国际接轨的深海研究力量。

3.1 “热带碳循环”研究

地球轨道变化驱动冰期旋回的理论,是气候演变研究在 20 世纪的最大突破。然而以 65 M 太阳辐射量为准的传统轨道理论,从一开始就面临着一系列不能回答的“难题”,近年来学术界加深了对热带过程和大气 CO_2 浓度变化的认识,更进一步提出了重新估价低纬区和碳循环在全球气候系统中作用的问题。

本项目以“西太平洋暖池”为重点,通过地质资料 and 气候数值模拟的结合,揭示了“暖池”和东亚季风发育的阶段性,并在高分辨率分析的基础上,发现暖池海区冰消期表层水升温比北半球冰盖的融化早 2 ~ 3 ka,而与冰芯记录的大气 CO_2 浓度变化相当一致,展示了轨道尺度上热带过程在气候系统中的积极作用,而并非都由北半球高纬过程所控制。

南沙海区大洋钻探的 500 万年高分辨率地层剖面中,发现有碳同位素的 40 ~ 50 万年长周期。经过

全球对比和对意大利上新世地层的实测与分析,证明这是世界大洋碳储库对于地球运行轨道偏心率长周期的响应,并推测是通过浮游植物群改变有机碳在海洋碳沉积中的比例所致。为解释这种大洋碳储库长周期的成因,本项目提出了“低纬辐射量—季风—风化—硅供应—硅藻—碳储库”的工作假设。在 40 万年偏心率长周期上,氧、碳同位素近 3000 多万年来呈现耦合关系,但到第四纪时相互“脱钩”,其中至少 2 次大洋碳储库的急剧变化,导致第四纪冰盖的急剧增大,甚至气候转型事件,说明大洋碳储库通过热带过程能够直接响应轨道驱动,而不仅是消极追随冰盖变化的高纬过程。

大洋碳储库长周期的发现,揭示了地球表层系统变化中一种新机制;虽然目前的认识尚属初步,但可望克服气候变化轨道驱动传统理论中的若干“难题”,有助于对地球环境长期变化趋势的科学预测。

对于“深海 973 ”项目的突出成果,其具体内容将由本文的续篇“气候变化的热带驱动与碳循环”做进一步阐述^[1]。

3.2 学科前沿的深海研究

项目的另一个目标在于开展国际前沿的深海研究,形成我国与国际接轨的深海研究力量。这项目标涉及的领域多、范围宽,择要而言有:

3.2.1 “深部生物圈”的初步探索

近年来深海研究的一个新领域是深海沉积中的微生物,有人估计海底的“深部生物圈”可占全球生物量的 $1/10$,无论作为微生物基因资源,或者作

为深海的地质营力,都属于国际深海研究的前沿。通过本项目和其他项目的支持,我国已经从无到有建立了深海微生物研究实验室,并且开始取得与国际接轨的成果。本项目研究了“西太平洋暖池区”和“东太平洋深海多金属结核区”沉积物细菌和古菌的多样性和分布,利用特异性的分子生态学探针,对西太平洋暖池的深海微生物种群进行生态多样性调查,结果表明西太平洋暖池区存在着比较完整的甲烷循环、硫循环途径。相对于其它开放大洋(低甲烷含量、低氧含量、高硫酸盐含量、寡营养)环境,其代谢活动强度较高,可高出 1 个数量级,而参与 CH_4 氧化的细菌、古菌类群,只占细菌或古菌总量的 1% 左右^[5-7]。

3.2.2 海洋微型生物与碳循环

查明了具有重要生态学意义的原绿球藻在西太平洋边缘海的分布边界、变化规律及其基本影响因素,初步确立了其生态地位^[8,9],并给出了相关的 4 类超微型生物(原绿球藻、聚球藻、自养真核类、异养细菌)在太平洋中纬度剖面上的基本分布格局(表3)。如以原绿球藻($\sim 0.5 \mu m$)为代表的自养超微型生物,在东海岸占浮游生物总量的 12% ,到陆架占 43% ,到黑潮区占 69% ,而在贫养的开放大洋可占绝对优势。同时,还开拓了功能类群AAPB(好氧不产氧光合异养菌)这一个新领域的研究,建立了新的技术方法TIREM,揭示了与以往认识不同的AAPB分布规律和可能的调控机制^[4],并探讨了过去被忽视的微型生物在大洋碳循环中的作用。

表3 中国海超微型浮游植物的C生物量以及各组分的相对贡献

Table 3 The picoplanktonic C biomass in China seas and relative contribution of each component

| | | Syn | | Pro | | Euk | |
|----|------|-----------------|------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| | | C ($\mu g/L$) | 含量(%) | C ($\mu g/L$) | 含量(%) | C ($\mu g/L$) | 含量(%) |
| 东海 | 近海 | 0.4 ~4.0 | 3.4 ~31.2 | 0.0 ~1.0 | 0.0 ~8.0 | 0.9 ~12.3 | 7.5 ~96.6 |
| | 黑潮流域 | 0.5 ~2.1 | 16.5 ~64.7 | 1.2 ~2.0 | 35.8 ~61.9 | 0.6 ~0.7 | 16.7 ~21.1 |
| 南海 | 海盆 | 0.3 ~0.4 | 8.4 ~11.1 | 1.6 ~2.8 | 44.3 ~79.8 | 0.5 ~1.5 | 13.5 ~43.1 |

* Syn 聚球藻, Pro 原绿球藻, Euk 超微型真核生物

3.2.3 深海热液作用的研究

本项目成员通过参加中美联合深潜科学考察,在东太平洋海隆胡安·德富卡洋脊乘Alvin号深潜器下潜热液口,不但获取了用于地质学研究的硫化物和沉积物样品,还采集了可用于地微生物学研究的微生物和热液样品,并利用自行研制和设计的高温帽和培养篮,成功进行海底原位热液烟囱及生物的生长实验,是我国海洋界对深海热液口的首次实

地考察,为阐明生物—矿物的相互作用以及进一步的研究提供了资料。此外,还对热液烟囱体样品进行了结构和矿物地球化学研究,再造了不同烟囱体的形成环境和生长历史,对烟囱体内温度场、热通量密度场和热液过程进行数值模拟,结果表明渗透率是影响热液循环模式的最重要因素。

3.2.4 深海沉积学的研究

深海在我国沉积学研究中十分薄弱,本项目以

南海为目标,开展了沉积物定量统计和源区地质的研究。首先,在 $0 \sim 24 \text{ Ma}$ 和 $104 \sim 121 \text{ Ma}$ 之间的南海海域内,共收集钻井岩芯155个,地震剖面94条以及数幅沉积等厚图资料,在此基础上构建了南海沉积学数据库。在地理信息系统支持下,分别对晚新生代6个时期(E_3 、 N_1^1 、 N_1^2 、 N_1^3 、 N_2 、 Q)以及末次冰期和冰后期的沉积量加以统计,制作了相应各时期沉积格局分布与堆积速率变化的图件,说明南海海盆自渐新世张裂以来共接受了 $1.44 \times 10^{16} \text{ t}$ 的沉积物,平均堆积速率 $12.8 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{ka})$,其中以渐新世为最高,第四纪次之,主要堆积在海盆边缘区。其次,提出了根据区域地震资料重建全球海平面变化幅度的定量模型,应用于南海巽他陆架,编制出了上新世以来的全球海平面变化曲线,包含了大约36个海平面升降变化周期,分辨率比Haq等^[10]的全球曲线高出一个数量级以上^[11]。第三,利用矿物和地球化学等多种指标,对南海深海沉积的碎屑物来源进行分析,发现北部陆坡在东沙以东的高速堆积体,物源主要在于台湾^[12],而西部陆坡中段,主要来自越南东部山区小河而不是红河等大河。

总之,本项目在海洋生物、海洋化学和海洋沉积等方面都开展了深海现代过程的前沿性研究,“深部生物圈”的研究从无到有,海洋微生物的研究挑战国际前沿问题,深海沉积学取得重要进展,深海热液口的现场研究得以实现。一支由多学科相联合的我国深海基础研究力量,已经初步形成。

4 实施效果

作为学科前沿项目,实施效果主要体现在学术论文和对学科发展的推进。5年里项目组成员在国内外核心刊物上已发表论文346篇,出版专著3部,其中第一作者的论文298篇,SCI收录的论文121篇,体现了我国深海研究的新局面。此外,还提出了综合大洋钻探(IODP)第683号航次预建议书,获得了国际评审组的高度评价和积极响应。尽管本项目的许多重要进展是在最近1~2年里取得,大量成果尚待在今后几年内陆续发表,5年中已有部分成果获得5项国家和省部级科技奖励;本项目在以下3方面对学科发展做出了贡献:

4.1 气候环境演变中一种新机制的发现

本项目研究最具有新意的学术成果在于气候演变中热带驱动的研究和大洋碳储库长周期的发现,提出碳储库在偏心率长周期的时间尺度上,可以直接对轨道周期做出响应;这种叠加在冰期旋回之上

的长周期容易遭到忽视,却是科学地预测气候环境未来变化趋势所不可缺少的环节。地球气候系统的变化,不能只用高纬区的物理过程解释,低纬区的过程,尤其是生物地球化学过程也在气候环境变化中起着关键作用,大洋碳储库的长周期就是新认识的一种。大洋碳储库长周期反映了地球系统中圈层相互作用中一种未被识别的新机理,目前尚在认识过程的早期,距离形成完整的系统和赢得学术界的公认,还有相当的路程。但南海的发现已经打开了认识新机制的途径,突破已经在望。对于此项基础研究的新成果,在本文的续篇中有具体的介绍。

4.2 建设与国际接轨的深海研究力量

本项目原定预期目标之一是“形成一支进入国际前沿领域的我国深海基础研究队伍”。经过5年的努力,依靠大洋钻探等国际计划和大洋专项等国内计划相结合的平台,一支由海洋地质、海洋生物和海洋化学等学科相联合的我国深海基础研究力量,已经活跃在国际学术界,而且正在迅速进入最新的深海研究前沿领域。具体讲,本项目在我国深海研究的能力建设上取得了重要成绩,分别在上海、厦门与广州,为深海地质与古海洋学、深海微生物学、深海化学与热液活动三方面的研究建设了实验基地。同时,我国海洋界近年来的不少亮点出自本项目的研究队伍,我国海洋界涌现的2个国家自然科学基金委员会创新群体和国家重点实验室都出自本项目的承担单位,5年内全国百篇优秀论文海洋界的3篇中有2篇出自本项目的研究队伍,参加本项目的科学家中有7位成为重点基金项目的负责人。与此同时,深海研究的国际合作也蓬勃发展。5年来项目组成员在各种国际性学术会议上作口头报告百余人次,其中国际重要学术会议大会特邀报告20余人次;通过每年举办全国性的短训班,邀请国外著名专家讲学,有效地促进了研究工作的国际接轨。作为本项目核心的古海洋学研究发展尤为迅速,主要承担单位同济大学的实验室,已成为西太平洋一个重要国际研究中心,2007年还将组织在上海举办的第九届国际古海洋学大会。

4.3 地球系统科学的研究实例

本项目以“地球圈层相互作用”为主题,以“深海过程和深海记录”为依托,属于典型的地球系统科学,在执行中,也相应突出了全球视野和学科交叉,对于我国地球系统的研究具有一定的示范价值。这一方面体现在研究问题的全球视野,另一方面表现为贯穿整个项目的学科交叉。以“气候的热带驱

动”和“大洋碳循环长周期”为例 这都是立足本区、放眼全球的科学问题。研究中先从南沙海区的地层记录中发现碳同位素长周期,通过全大洋资料对比确定其全球性 再选择地中海的季风记录为对象的检验假说 从西西里岛上新世国际层型剖面获得证明,得出全大洋碳储库长周期的结论。在“暖池”气候效应的研究中,依靠大气科学与地质科学的交叉,通过海洋大气数值模拟与地质记录的直接对比,对西太平洋暖池地质构造演化的气候效应,以及暖池和印度尼西亚穿越流对于冰期旋回的响应,取得了新的认识。在探索全大洋碳储库长周期的机理时,依靠生物学与地质学的结合,利用人工气候箱,模拟了颗石藻和硅藻对全球 CO_2 浓度升高的生理响应,为进一步推断浮游植物与碳储库的关系提供依据。

5 结 语

5 年来的进展表明,本项目的设立与完成是我国深海基础研究的一项重要举措。成果的取得不仅依靠绝大多数成员的全心投入和精诚合作,也靠着有关各系统的大力支持。由于受经费和条件的限制,本项目的海上工作基本上只能依靠和国际、国内其他项目的合作,利用“大洋专项”和南海海洋研究所的开放航次等国内机会,或者依靠中法合作的“马可波罗”航次等国际机会,才得以实现。海上工作是深海研究的基础,如何保障自主组织专题航次的机会,是我国进一步开展深海基础研究的关键问题。

本项目的研究对象——深海,是我国地球科学中最缺乏基础的部分,而研究主题——圈层相互作用,属于典型的多学科交叉,又是我国学术界相对比较陌生的方面。尽管有了重要进展,但对于基础问题的研究来讲只能说仅迈出了第一步。如对深海海底和水层中微生物的研究有了很好的开端,也在向主题“碳循环”研究靠拢,但真的要將微生物对碳循环的贡献用到大洋碳探储库的计算,还有相当距离。因此,深海研究的学科交叉,要求有较长时期的积累才能有重要的突破。

作为我国深海基础研究的首次“973”项目,本次研究采用“圈层先相互作用”的题目,包容较宽的内容是必要的,但是进一步的工作要求聚焦。随着新世纪的到来,深海研究的范围和重要性愈益增大,发达国家的投入也显著增加,我国采取对应措施已经迫在眉睫。无论深海油气和水合物的勘探,或者深海观测网和深潜设备的建设,都要求有基础研究的支撑和先导。根据我国实际,选择有利的切入点,

开展更为深入的深海基础研究,是我国发展海洋事业和地球科学的当务之急。

参考文献(References):

- [1] Wang Pinxian, Jian Zhimin, Liu Zhifei. Interactions between the Earth spheres: Deep-sea processes and records (): tropical forcing of climate changes and carbon cycling [J]. *Advances in Earth Science*, 2006, 21(4): 338-345. [汪品先, 煎知霖, 刘志飞. 地球圈层相互作用中的深海过程和深海记录 (): 气候变化的热带驱动与碳循环 [J]. *地球科学进展*, 2006, 21(4): 338-345.]
- [2] Yu Yongqiang, Zhou Zuyi, Zhang Xuehong. Impact of the closure of Indonesian seaway on climate: A numerical modeling study [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 48(suppl.): 88-93. [俞永强, 周祖翼, 张学洪. 印度尼西亚海道关闭对气候的影响: 一个数值模拟研究 [J]. *科学通报*, 2004, 48(增刊 2): 60-64.]
- [3] Zhao P, Zhou X, Jian Z, et al. Modeling the tropical climate and the impact of the western Pacific SST at the last glacial maximum [J]. *Journal of Geophysical Research-Atmosphere*, 2004, 109, D08105, doi:10.1029/2003JD004095.
- [4] Jiao N Z, Zhang Y, Chen Y. Time series observation based Intra-Red Epi-fluorescence Microscopic (TIREM) approach for accurate enumeration of bacteriochlorophyll-containing microbes in marine environments [J]. *Journal of Microbiological Methods*, 2005, 63(10): 1-11.
- [5] Wang F, Wang P, Chen M, et al. Isolation of extremophiles with the detection and retrieval of *Shewanella* strains in deep-sea sediments from the west Pacific [J]. *Extremophiles*, 2004, 8: 165-168.
- [6] Wang Peng, Wang F, Xu M, et al. Molecular phylogeny of methylophilic bacteria in a deep-sea sediment from tropical west Pacific warm pool [J]. *FEMS Microbial Ecology*, 2004, 47: 77-84.
- [7] Zeng X, Xiao X, Wang P, et al. Screening and characterization of psychrotrophic, lipolytic bacteria from deep sea sediments [J]. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2004, 14(5): 952-958.
- [8] Jiao N, Yang Y, Koshikawa H, et al. Influence of hydrographic conditions on picoplankton distribution in the East China Sea [J]. *Aquatic Microbial Ecology*, 2002, 30: 37-48.
- [9] Ma Y, Jiao N, Zeng Y. Natural community structure of cyanobacteria in the South China sea as revealed by rpoC1 gene sequence analysis [J]. *Letters in Applied Microbiology*, 2004, 39(4): 353-358.
- [10] Haq B U. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic [J]. *Science*, 1987, 235: 1156-1167.
- [11] Zhang G, Geng J, Wang H K, et al. A semi-quantitative method for the reconstruction of eustatic sea level history from seismic profiles and its application to the southern south China sea [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2004, 223: 443-459.
- [12] Shao Lei, Li Xianhua, Wei Gangjian, et al. Provenance of a prominent sediment drit on the northern slope of the south China Sea [J]. *Science in China (Series D)*, 2001, 44(10): 919-925. [邵磊, 李献华, 韦刚健, 等. 南海陆坡高速沉积体的物质来源 [J]. *中国科学 D 辑*, 2001, 31: 828-833.]

Interactions Between the Earth Spheres : Deep-sea Processes and Records (I) Research Progress and Achivem ent

W ANG Pin-xian , JIAN Zhi-min , LIU Zhi-fei

(State Key Laboratory of Marine Geology , Tongji University , Shanghai 200092 , China)

Abstract : A deep-sea basic research project was conducted with successes from 2000 to 2005 under the title " Interactions between the Earth spheres : Deep-sea processes and records " , involving 11 laboratories from 5 administration systems in China. With the " carbon cycling in the tropics " as its core subject , the project was implemented on the basis of ODP (Ocean Drilling Program) and COMRA (China Ocean Mineral Resources R & D Association) offshore activities , and resulted in a number of notable achievements. Following the primary results from the ODP leg to the south China sea , the new discoveries of the project significantly contributed to our understanding of the role played by the tropical ocean in the Earth system . With the use of domestic and international cruises , remarkable progress has been made in the broad spectrum of deep-sea research and interactions between the Earth spheres. For the first time , research teams have been established in China to work on deep-sea subjects within the international community . The present paper briefly describes the design and results of the project , while the major progress in paleoenvironmental studies will be reviewed in the following-up of this paper.

Key words : Deep-sea research ; Earth system ; Interactions between the Earth spheres.