

走向深远海

中国海洋研究委员会年会论文集

Go to the Deep Blue

*Proceedings of Annual Meeting of Chinese Scientific
Committee on Oceanic Research*

中国海洋研究委员会 编



海洋出版社

走向深远海

——中国海洋研究委员会年会论文集

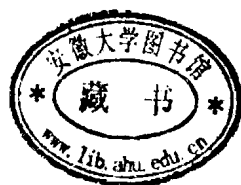
Go to the Deep Blue

*Proceedings of Annual Meeting of Chinese Scientific
Committee on Oceanic Research*

中国海洋研究委员会 编

海洋出版社

2013年·北京



图书在版编目(CIP)数据

走向深远海:中国海洋研究委员会年会论文集/中国海洋研究委员会编. —北京:海洋出版社,2013. 2
ISBN 978-7-5027-8467-6

I. ①走… II. ①中… III. ①深海—海洋开发—文集 IV. ①P72-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 309475 号

责任编辑:于秋涛 潘 峰

责任印制:赵麟苏

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

北京旺都印务有限公司印刷 新华书店北京发行所经销

2013 年 2 月第 1 版 2013 年 2 月第 1 次印刷

开本:880 mm×1230 mm 1/16 印张:15.25

字数:483 千字 定价:68.00 元

发行部:62132549 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

《走向深远海——中国海洋研究委员会年会论文集》

编委会

主编：张占海 孙 松

编委（按姓氏笔画排序）：

王	源	孙	松	孙晓霞	朱明远	乔方利	李铁刚
张占海	高	英	郑	伟	梁凤奎	戴民汉	

序

一部人类史,也可以从人与海洋的关系来解读。从海岸到远洋,从海面到海底,就是人类社会发展的踪迹。16世纪的“地理大发现”跨海越洋,在平面上扩大了经济圈,造就了一批欧洲强国;当代的海洋经济从海面拓展到海底,又在垂向上扩大了人类在海洋的活动空间,也预兆着21世纪海洋强国的出现。走向深远海,是当前的国际趋势,更是我国海洋界的新任务,是建设“海洋强国”的必由之路。

中国海洋研究委员会(中国 SCOR)是我国对应于国际海洋研究委员会成立的全国性海洋组织。成立后的近30年间,在增进我国与国际海洋界的相互交流与合作,团结全国海洋科学工作者,繁荣我国海洋科学事业等方面取得了丰硕成果。为交流与分享我国深远海科学研究成果,以深海研究为主线,2011年中国 SCOR 年会就深海环境和资源,包括生物多样性保护、气候变化与大洋的相互作用、海底矿产资源、油气资源、生物基因资源等主题展开了交流和研讨,是我国促进深远海科学研究的盛举。

回顾20世纪中叶,深海探索方兴未艾。1960年人类首次下潜一万多米到达深渊海底,1968年开始深海钻探、证实了海底扩张,1977年发现黑烟囱和热液生物群,1978年大西洋底发现“深海风暴”……。进入21世纪,深海开发的步伐更加迅猛,2004年世界石油产量已有1/3来自海底,近十年来新发现的大油气田60%在深海为主的海底,海洋油气已经超过全球海洋总产值的1/2、成为海洋开发的主体。经济的发展,又反过来驱动着深海科技的发展和海洋权益的争夺。据说世界剩下的石油1/4在北冰洋,2004年欧洲三条破冰船的冰上大洋钻探加强了这种信念,接着就是2007年俄罗斯的深潜,将国旗插到了北冰洋4000米的海底。然而认识深海不能只靠短暂的深潜,更要有长期原位的海底观测。2009年底,当前最大的海底观测网“加拿大海王星”建成启用,2014年更大的海底观测系统将由美国建成,将传感器送入海洋深处,在海底铺网作长期观测,一个海洋科学的新时期正在来临。

我国的海洋事业,正在经历着郑和下西洋以来六百年不遇的最佳时期;华夏大地的上空,也正在回旋着向深远海进军的号角声。2006年我国开始在南海找到深海油气田,2007年在南海发现可燃冰,2010年底建成“海上大庆”,现在我国的石油勘探已经进入三大洋。在国际海底的矿床方面,“大洋一号”资源勘探船多年来完成了27个考察航次,1991年我国获得了太平洋7.5万平方公里的多金属结核专属勘探区,2011年获得印度洋1万平方公里的金属硫化物专属勘探区,成为当前国际海底资源勘探最活跃的国家之一。我国的进展说明:深海探测,已经不再是发达国家的专利;远洋极地,也不再是发达国家的属地。近年来我国的“大洋一号”执行环球航次,“雪龙号”在北冰洋和南大洋游弋,2012年6月又有“蛟龙号”深潜器潜入7062米,标志着我国已经具备深海远洋探测的能力。同时,我国也通过国际计划向深远海推进。1998年中国加入国际大洋钻探计划之后不久,在我国科学家的设计和主持下,就在1999年春成功实施了南海首次大洋钻探。现在,南海的第二次国际大洋钻探,也将在2014年春举行。2002年,中国正式加入Argo国际计

划,参与全大洋剖面浮标网的实时观测,十年来已经取得重大进展。2010年,西北太平洋海洋环流与气候试验(NPOCE)国际计划启动,成为海洋领域里第一项由我国发起的大型国际合作计划。与此同时,我国设立了深海基础研究的大型计划,2011年国家基金委启动的“南海深部过程演变”重大研究计划,就是目前规模最大的一项。

国内外深远海科学研究的成绩与展望,正是2011年中国SCOR年会交流的内容。为了总结年会所取得的丰硕成果,会后成立了“走向深远海”论文集编委会,编制了2011年中国海洋研究委员会论文集。这本论文集对国际和我国深海研究的总结和展望加以综述,并归纳了我国科学家发表在《海洋学报》中、英文版上有关深远海研究方面的论文,反映了我国在深远海研究方面的部分成果和新的进展,提出了一些新的认识。欣闻论文集即将出版,借此机会向长期工作在深海研究第一线的科技人员表示祝贺和敬佩。同时也希望该论文集的出版能够进一步促进我国深海科学技术研究的发展。

中国科学院院士 汪品先
同济大学教授
2013年2月

前 言

国际海洋研究委员会(SCOR)成立于1957年,是国际科学联合会(ICSU)属下的第一个多学科组织,也是历史最悠久,规模最大,影响也最大的国际海洋学界非政府学术组织。SCOR还是联合国教科文组织政府间海洋学委员会(UNESCO-IOC)的科学咨询机构。SCOR旨在推动和协调国际海洋科学研究,解决海洋研究中的方法学和概念性问题,SCOR强调各国科学家在自愿基础上参与其学术活动。多年来,SCOR在发起和组织大型海洋研究计划,推动海洋前沿领域研究等方面起了重要作用。

1984年10月,中国代表团参加了在法国罗斯科夫举行的SCOR大会,并成为SCOR的正式成员。中国海洋研究委员会(中国SCOR)是我国对应于国际海洋研究委员会成立的全国性海洋组织,其宗旨是增进我国海洋界与国际海洋界之间的交流与合作,团结全国海洋科学工作者,繁荣我国海洋科学事业。中国科学家苏纪兰院士、汪品先院士和洪华生教授曾先后当选国际SCOR执委和副主席,我国许多科学家参与了SCOR大型国际海洋研究计划的科学指导委员会。中国科学家有7位是国际SCOR工作组组长,彰显中国科学家在国际海洋研究中的重要作用。

我国在改革开放以后,就提出了“进军三大洋”的口号,进入新世纪以来,国家重视深海大洋研究,并将其作为海洋战略的重要组成部分,海洋局正在制定深海研究计划,我国自行设计、自主研制的“蛟龙号”载人深潜器2012年6月已能潜至水下7060米,还建立了深海研究基地管理中心。但我国对深海的探索还处于初级阶段,离发达国家尚有较大的差距。

中国SCOR2011年会以深海研究为主线,就深海环境和资源,包括生物多样性保护,气候变化与大洋的相互作用,海底矿产资源、油气资源、生物基因资源等主题展开交流和讨论。年会结束后,成立了“走向深远海”论文集编委会。着手编辑2011年中国海洋研究委员会论文集。内容包括对国际和我国深海研究总结和展望的综述和我国科学家在深远海研究方面发表在《海洋学报》中、英文版等刊物上的论文。旨在介绍我国在深远海研究上的部分成果,也为我国深海战略和总体规划提供咨询。

《走向深远海——中国海洋研究委员会年会论文集》编委会

2012年7月

目次

综述

深海生态系统研究进展 孙松, 孙晚霞 (1)

物理海洋学研究进展与分析 乔方利, 戴德君, 夏长水, 尹训强 (10)

深海大洋海洋环境预报现状与展望 王辉 (24)

深海生物多样性和深海保护区 朱明远, 郑森林 (29)

深海典型地质环境和资源概述 张训华, 李军 (37)

深海生物及其基因资源调查动态与我国现状 邵宗泽 (43)

海洋酸化及海水 pH 的测定 江宗培, 戴民汉 (48)

载人潜水器及其在深海科学考察中的应用 刘保华, 丁忠军, 史先鹏, 于凯本, 李德威, 李宝钢 (59)

西太平洋——我国深海科学研究的优先战略选区 秦蕴珊, 尹宏 (66)

论文

北冰洋西部沉积物黏土的 Sm-Nd 同位素特征及物源指示意义 陈志华, 李朝新, 孟宪伟, 石学法, 程振波 (71)

冲绳海槽中部距今近 70ka 以来的孢粉记录及物源探讨 杨士雄, 郑卓, 魏金辉, 邓韞, JEAN-PIERRE Suc, SERGE Berne, 李杰 (78)

两种热通量边界条件对热带太平洋海温模拟的影响 王璐, 周天军, 刘海龙, 邹立维 (89)

海底大型多金属硫化物矿体内的流体过程 李怀明, 翟世奎, 陶春辉, 于增慧 (99)

中太平洋海山铁锰结壳生物地层学研究 武光海, PULYAEVA I A, 刘捷红, 李雪富 (109)

马里亚纳南部弧内坡橄榄岩中的角闪石成分对于弧下地幔交待流体的指示 董彦辉, 初凤友, 朱继浩, 张平萍 (120)

Recent progress in China in the study of ocean's role in climate variation LIU Qinyu, ZHENG Xiaotong (126)

Sensitive study of the long and short surface wave-induced vertical mixing in a wave-circulation coupled model ZHAO Chang, QIAO Fangli, XIA Changshui, WANG Guansuo (134)

Historical simulation and twenty-first century prediction of oceanic CO₂ sink and pH change BAO Ying, QIAO Fangli, SONG Zhenya (144)

Spatial and temporal variability and size fractionation of chlorophyll a in the tropical and subtropical Pacific Ocean ZHANG Dongsheng, WANG Chunsheng, LIU Zhensheng, XU Xuwei, WANG Xiaogu, ZHOU Yadong (155)

The distribution of chlorophyll a in the tropical eastern Indian Ocean in austral summer HONG Lisha, WANG Chunsheng, ZHOU Yadong, CHEN Mianrun, LIU Hongbin, LIN Zhongyang, SONG Xunshu (167)

The occurrence of gold in hydrothermal sulfide at Southwest Indian Ridge 49.6°E YE Jun, SHI Xuefa, YANG Yaomin, LI Naisheng, LIU Jihua, SU Wenchao (181)

Rare earth element geochemistry of hydrothermal deposits from Southwest Indian Ridge
..... CAO Zhimin, CAO Hong, TAO Chunhui, LI Jun, YU Zenghui, SHU Liping (192)

Paleoceanographic records in the Chukchi Basin, western Arctic Ocean during the late Quaternary
..... WANG Rujian, XIAO Wenshen, SHAO Lei, CHEN Jianfang, GAO Aiguo (200)

Heat flow pattern, base of methane hydrates stability zones and BSRs in Shenhu Area, northern
South China Sea ZHANG Yi, HE Lijuan,
WANG Jiyang, XU Xing, SHA Zhibing, GONG Yuehua, WANG Hongbing, LIANG Jinqiang (212)

Distribution characteristics of seamount cobalt-rich ferromanganese crusts and the determination of
the size of areas for exploration and exploitation HE Gaowen, MA Weilin, SONG Chengbing,
YANG Shengxiong, ZHU Benduo, YAO Huiqiang, JIANG Xunxiong, CHENG Yongshou (221)

深海生态系统研究进展

孙松¹, 孙晓霞¹

(1. 中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071)

摘要: 重点介绍国际海洋生物普查计划(Census of Marine Life, CoML)中三种典型深海生态系统——海山生态系统、深海化能合成生态系统和深渊生态系统的研究区域与内容、科学问题和研究进展,旨在提供国际深海生态系统研究的最新动态,为我国开展深海研究与决策提供参考。

关键词: 深海; 海山生态系统; 化能合成生态系统; 深渊生态系统

海洋的平均深度是 3 733 m, 90% 的区域水深大于 1 000 m。人类对 200 m 以浅的真光带了解得比较多, 而对水深超 1 000 m 的深海的了解非常少, 而深海是地球系统中非常关键的部分。当前对海洋生物多样性的了解主要集中于近海陆架及大洋表层。深海作为地球上最大的生物区系, 是地球系统中最关键、最缺乏了解的部分。深海拥有丰富的海洋资源以及世界上最大的生物圈资源。人口增长以及海洋资源消耗的增加所带来的压力, 使得深海资源成为人们迫切关注的问题。同时我们需要理解人类通过污染、资源开采以及气候变化对深海环境产生的影响, 以及深海对人类的影响。因此需要通过深海研究来提高我们对这一知之甚少的环境的了解, 反过来将促进对人类活动所引起的变化带来的影响预测, 并促使通过可持续的方式来开采海洋资源。

深海蕴藏着巨大的海洋生物多样性。从深海中采集的样品 90% 的物种为新种, 深海被认为是海洋生物多样性的巨大宝库和生物进化新理论研究的重要场所。据统计, 在过去的 25~30 年间, 平均每个月可发现两个新的物种, 极大地丰富了深海生物多样性的研究成果。深海是提高科学认知的重要领域, 是战略性资源发现与利用的新途径, 也是国家海洋科技实力展示的重要窗口。

近几十年来, 国际上针对深海生态系统开展了大量的调查研究工作, 其中一个非常重要的计划是国际海洋生物普查计划(Census of Marine Life, CoML, 2001—2010)。该计划由美国斯隆基金会

(Sloan Foundation)发起, 是国际上第一个针对全球海洋生物多样性及相关控制过程进行系统研究的大型计划。其主要目标是评估和解释海洋物种的不断变化的多样性、分布和丰度, 从而了解海洋生命的过去和现在, 并预测其未来的发展趋势。全球 80 多个国家、2 000 余名科研人员参与了该计划的研究。在 CoML 的 14 个现场研究计划中, 有半数以上的计划和深海有关。对这部分的研究工作也是近十年来 CoML 的亮点所在, 有许多新的发现, 取得了重要进展。到 2009 年, 科学家已经在光线无法到达的 200 m 以下深海确认了 17 650 个物种。其中有约 6 000 种是在 1 000 m 以下的海水中发现的。本文主要介绍深海生境中几类典型的生态系统, 即海山生态系统、深海化能合成生态系统、深渊生态系统的研究进展。

1 海山生态系统

海山是一种分布广泛的海底地形, 经常因火山活动而形成。据估计全球范围内高度超过 1 000 m 的海山数量可能达到 10 万个(见图 1)。尽管人们知道海山由来已久, 但对海山的研究很少(见图 2), 绝大部分集中在太平洋。在这些研究中, 生物学的研究非常缺乏, 许多是孤立的研究, 仅局限于海山生态系统的某一个方面。现在已知海山上支持着高度的生物多样性和独特的生物群落, 其上的物种具有高度的地方性。海山在海洋生物地理学格局中也可能发挥重要作用。海山通常被认为是高生产力的生

作者简介: 孙松, 研究员, 博导, 主要从事海洋生态学研究。E-mail: sunsong@qdio.ac.cn

态系统,并可作为鱼类、海洋哺乳动物与海洋鸟类的索饵场。但这些方面还缺乏清晰的证据,它们可能作为生物学热点区域的原因也不清楚。它们是渔业和采矿业的目標区域,因此易受海洋开发的影响。现在已经得到研究的海山数量很少,因此在全球尺度上对海山生物多样性的了解很少。我国对该领域

的研究基本处于空白状态。

对于海山生态系统的研究,重点关注以下科学问题(CenSeam,2009):

(1)在整个海山尺度上和海山内单个生境尺度上,驱动海山生物群落结构、多样性、生产力、物种地方性的关键因素是什么?

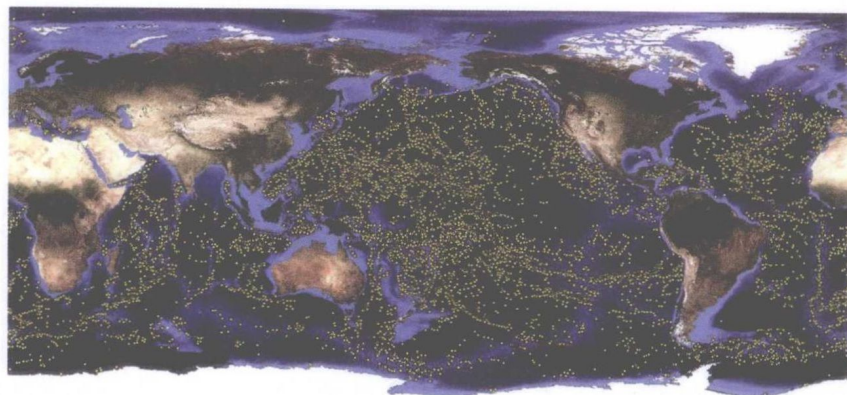


图 1 全球海山分布(CenSeam,2009)

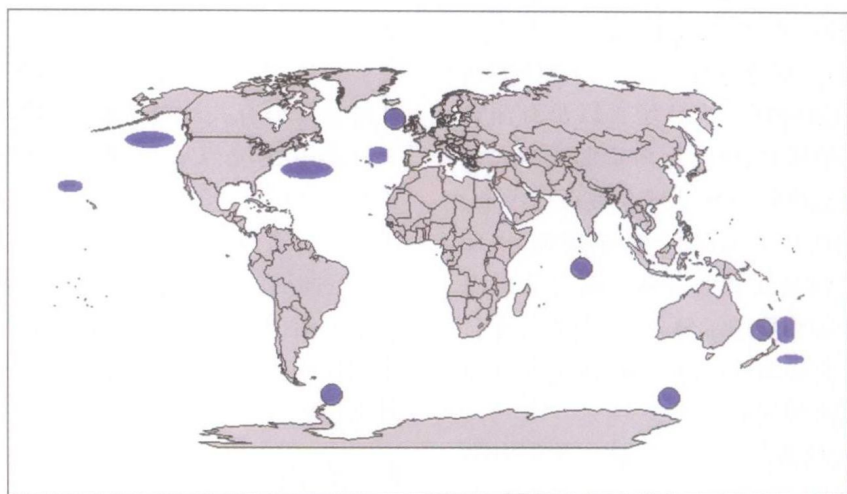


图2 进行过系统研究的海山区域(CenSeam,2009)

单个海山上的生物多样性通常很高,但是海山之间的变化很大,即使是距离很近的海山。同样,物种地方化的速率在不同海山间也有很大差别。因此应致力于识别影响海山生物多样性和群落的因素(如海山所处深度、形状和大小、位置、空间上的隔离、表层生产力、水文学、地质年代、底质类型等)。这有可能形成一种预测工具,模拟未开发海山的生物多样性水平,并在此基础上了解海山对海洋生物多样性的贡献,了解一些重要海山如何成为物种分化的场所。

(2)影响海山和非海山区域间、海山之间,以及海

山内部不同生境之间群落差异的关键过程是什么?

这一主题将聚焦于海山进化生物学,因而具有更大的空间和功能尺度。海山群落遗传隔离的程度有多大?海山动物区系的组成是否是由于有限的扩张或补充而形成的?海山与周围的深海生境之间相互作用的程度有多大?什么样的功能特征支持着海山上的高生物量?

(3)海洋开发(渔业、采矿)对海山生物群落结构和功能的影响是什么?

许多海洋渔业针对海山进行开发,但是海山开

发的位置、频率、程度等详细信息却非常缺乏。因此需要解决的关键问题是：海山已经开发的程度有多大？渔业活动对海山群落的可能影响是什么？

为了阐明上述问题，海山研究计划(CenSeam)在不同的区域开展了海山生态系统的综合研究，其中在东北大西洋的 Seldo 海山和 Seine 海山的研究(被称为 OASIS 计划)较为典型。OASIS 的目标是描述海山生态系统的功能特征，通过特定的方法，整合水文学、生物地球化学和生物学信息。基于两个海山个例研究，OASIS 希望进一步理解海山生态系统以及它们对周围大洋的影响。这些科学结果，浓缩在概念和质量平衡生态模型中，将被用来形成一种模式化的管理计划，以及专门针对海山的管理计划。OASIS 强调了 5 个方面的研究内容(Christiansen and Wolff, 2009)：

- ① 认识和描述影响海山生态系统的物理驱动机制；
- ② 评估海山上水体和表层沉积物中颗粒有机物的来源、质量和动力学；
- ③ 描述海山生物区的生物多样性和生态学，评估它们的动力学以及生产过程的维持机制；
- ④ 模拟海山生态系统的营养生态学；
- ⑤ 应用科学的知识进行实际的保护。

这一计划的研究结果表明了海山生态系统是复杂的和多变的，与我们通常所认为的海山生态系统是高生产力、高生物现存量的认识不同，这两个海山的生物量都较低。然而，这个项目的结果表明了海山生态系统在水动力学、生物地球化学和生物学方面与周围的大洋相比具有清晰的海山效应，尤其是在流场、颗粒物通量以及底栖和浮游动物的分布和组成方面受地形特征的强烈影响。主要的研究进展如下(Christiansen and Wolff, 2009)：

水动力学方面：对 Seldo 和 Seine 海山的研究结果表明，两个海山都具有非常复杂的水动力学特征，海山位于亚热带大西洋相似的生物地理学范围内，具有相似的动力学特征。两个海山都有可能接受来自上游的具有重要生物学意义的物质或营养盐的输入，围绕山顶，有典型的反气旋环流模式。对于 Seldo 海山的精细观测表明，这种环流可能受各种背景流的影响，尤其受地中海水的漩涡影响。这对于物质在海山附近的被动传输和存留具有重要意义。

呼吸代谢方面：电子传输系统在水体中的测定表明，海山上层的呼吸作用在不同季节间和不同海

山间的变化很大，亚热带 Seine 海山的值较高，但两个海山中层(200~1 000 m)的值与之类似，呼吸作用随深度呈指数降低。与距离海山较远的对照区域相比，两个海山附近的呼吸作用和沉降作用并没有显著提高，表明海山对有机物的局部聚集作用并不如较大时空尺度的物理过程重要。中层呼吸的碳有 15%~35% 来自上层颗粒物的沉降。溶解有机碳和颗粒有机物在水柱中分布的季节和空间变化表明悬浮的颗粒有机碳在全年都形成一个非常稳定的池，与沉降的颗粒有机物池形成对比。

颗粒有机物研究方面：发现悬浮的颗粒有机物具有很强的浮游植物特征，也有大量的粪便和一些浮游动物。在冬季，Seldo 海山表层水中悬浮颗粒有机物¹⁵N 同位素的值与 Seine 海山相似，但在夏季，Seldo 海山¹⁵N 同位素的值很高。对于两个海山，悬浮颗粒有机物的质量都随深度降低。Seine 海山氮同位素的值反应了有机物在水体中的异养作用、夏季的层化作用以及可能存在的有机物横向对流作用。这一结果表明，在海山上部的水体存在新鲜的、营养丰富的颗粒有机物。由于缺乏初级生产力的数据，认为这种有机物的富集机制可能是由于悬浮物质在两个研究站点的对流作用，在夏季已观测到脂类的富集作用，进一步支持同位素数据的结果。

生物学研究方面：Seldo 海山和 Seine 海山具有软底和硬底两种生境。在海山上并没有发现生物现存量增加的现象，但海山的效应在其他方面有所体现。与海山外围及周围的大洋相比，海山顶部浮游动物群落的生物量较低，平均大小较小，与海山上生产力增强的假说并不一致。在 Seldo 海山，低的浮游动物生物量与山顶上悬浮颗粒有机物质量的降低相一致。与此相对应，植食性的底栖浮游鱼类的现存量在山顶区域也较低。另一方面，长期的渔获量的数据表明，其中至少一个海山上支持着重要经济鱼类的产卵场。对于以软体动物为主的大型底栖动物多样性的研究表明，在 Seldo 海山上鉴定了 408 种，而在 Seldo 海山上仅有 54 种，两个海山的动物类群差别很大，路西塔尼亚物种和西非物种对 Seine 海山的影响较大，而 Seldo 海山与大西洋中脊的动物区系较为密切。共发现 19 个物种是科学上的新种。

营养动力学模式方面：东北大西洋海山的营养动力学模型表明，这些海山是不成熟的，处于早期发展时期的系统。模式支持了这种系统中通常缺乏充足的资源来维持大型渔场的假说，认为这类海山生

态系统主要受外来物质的支持,对于水体中初级生产和有机物的实际测定也说明了这一点。

2 深海化能合成生态系统

深海化能合成生态系统主要包括热液、冷泉和其他还原型生态系统如鲸骨生态系统等。海底热液喷口及其独特生物群落的发现是 20 世纪后期最显著的科学发现之一。海底热液群落是深海化能合成生态系统的重要组成部分。自 1977 年从加拉帕戈斯发现热液活动以来,几乎从每个海盆都可以找到海底热液喷口的证据(图 3)。大洋中脊延伸 6 万千米,但迄今为止只针对极少部分的洋脊进行了热液研究。冷泉发现于 1984 年,现在认为在活跃的和活跃的陆架边缘都存在冷泉系统(Sibuet and Olu, 1998)。在其他深海也发现了由高度还原性沉积物支持的化能合成群落。微生物通过分解死亡鲸鱼的

骨骼而释放硫化物,维持着硫化物氧化菌和以化能合成生产为基础的无脊椎动物群落(Smith et al., 1989;Smith and Baco,2003)。沉降的木材、聚集的有机物以及低氧区与陆架边缘海或海山的交错区,也会产生高度还原型生境,支持以化能合成为基础的生物群落(Levin,2003)。目前,对于化能合成系统生物地理学的了解仅局限于对少数地点的研究。在这些研究中,热液系统可能是了解最多的。热液喷口系统呈现一种线形的、全球尺度的分布,在时间和空间上是动态的、不连续的,有详细的物理和化学参数,它们的动物区系局限于以化能合成为基础的食物网。这些特征的结合使热液系统成为生物地理学研究的理想场所。冷泉和其他还原型底质是较为开放的系统,迄今为止了解较少。研究上述系统中物种功能的多样性、营养路径和进化扩散对于我们了解所有化能合成驱动群落之间的关系是非常重要的。

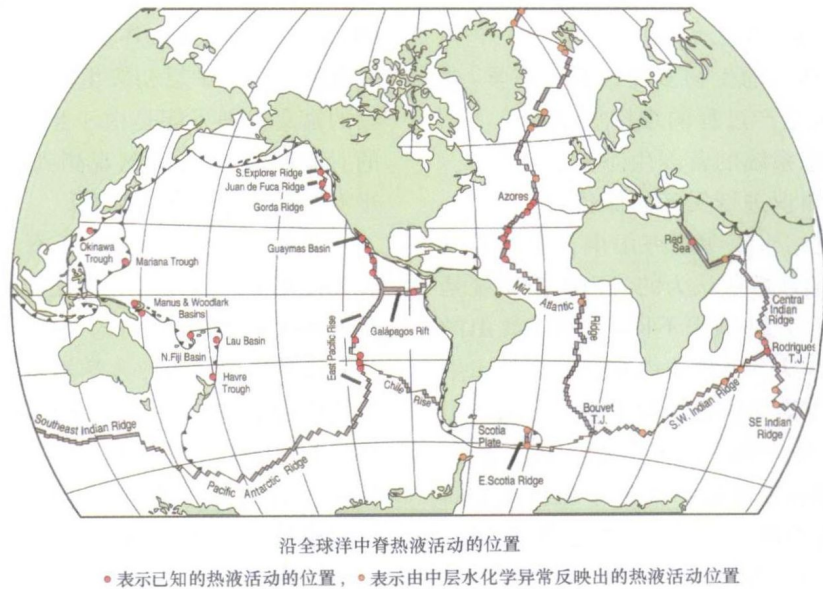


图 3 全球热液分布区(ChEss,2005)

根据不同的研究目标,ChEss 将其研究区域分为两类:组合区和具体区域(见图 4)。ChEss 对于组合区给予特别的关注,因为这些区域的研究需要高度的国际合作。每一组合区所包含的区域范围都很广,有不同的化能合成系统和大量的生态学、地质学、进化学和地形学参数可以结合。研究这些区域的主要目的是评估不同系统间动物区系的关系,了解驱动其分布格局形成的关键过程。组合区主要包

括:赤道大西洋带东、南太平洋区域、新西兰区域。具体区域是进一步研究的关键区域,已经在国家和国际水平上引起关注。每一个具体的区域对于阐明化能合成系统的生物地理学问题都很重要。具体区域主要包括:加克(Gakkel)洋中脊、挪威-格陵兰海(超)慢洋脊、冰岛和亚述尔热点区之间的北大西洋中脊、巴西陆架边缘海、东斯科舍(East Scotia)洋脊和布兰斯菲尔德(Bransfield)海峡、西南印度洋脊、

中印度洋脊(ChEss,2005)。

根据化能合成生态系统的类型,深海化能合成生态系统(ChEss)的研究内容主要包括 3 个方面:热液、冷泉和其他还原型生境的生物多样性和生物地理学。通过对不同类型化能合成生态系统的研究,有大量新的发现,包括新的物种、新的物种之间的联系、微生物的新用途以及与地球化学环境之间的不同寻常的结合。在此基础上,总结了大量的生物学规律,从自然历史到分子微生物生态学、从繁殖、寄生和种群遗传学到生理学、行为、实验生态学、生物地理学和古生态学。这些研究提高了我们对这类特殊生境的了解,清楚地阐明了化能合成生态系统的研究已经进入了实验时代和“超越化学的时代”。现在已经有可能会培养热液喷口动物和鲸骨动物,有可能在海底创造同样的鲸骨化能合成生境。我们了解到在甲烷冷渗生态系统中,双瓣类的生长

迅速,而管状蠕虫的生长则非常缓慢。动物生理学的研究揭示了对金属和硫化物毒性的新的适应策略,也发现了能够生活在几乎完全缺氧环境中的生物群落或者从木材中得到营养的生物群落。在热液喷口,共生的现象非常普遍,有许多新奇的发现:如第一个原生动-细菌共生体、管状蠕虫体内的多重共生等。根据脂类和稳定同位素标记的研究,动物对热液和冷泉化能合成食物来源的利用非常复杂,具有多种途径。对化石记录的研究发现了管状蠕虫的特殊种群分化、桡足类特殊的繁殖模式、双瓣类系统发生方面的局限性,并将继续发现鲸骨等化能合成生态系统中心的物种和适应对策。这些研究涵盖了北太平洋、西太平洋和东太平洋,以及大西洋和黑海(Levin et al.,2007)。近年来,这一学科在全球范围内高度协作,但仍需不断加深对不同化能合成生态系统生态和进化间相互作用的了解。

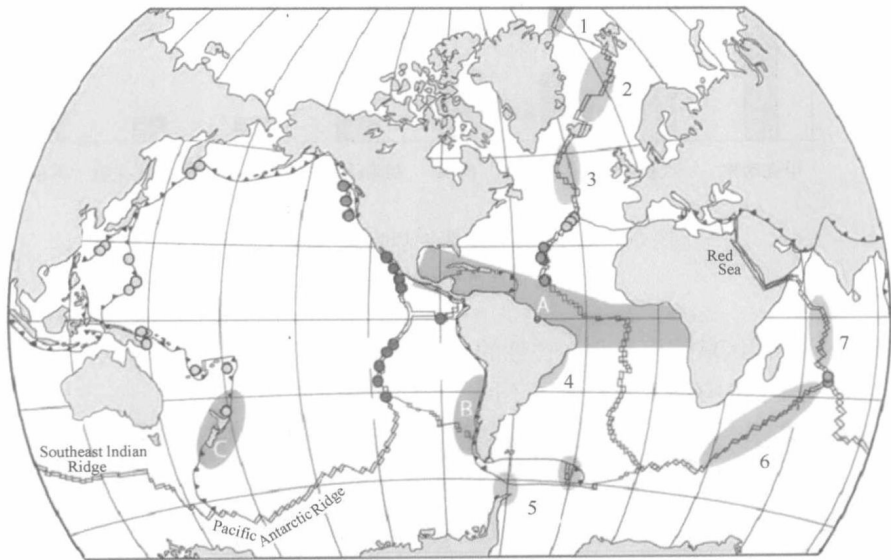


图 4 ChEss 现场研究的关键区域(ChEss,2005)

第 I 类:组合区,A—赤道大西洋带,B—东南太平洋区域,C—新西兰区域;第 II 类:具体区域,1—冰层覆盖的加克(Gakkel)洋中脊,2—挪威—格陵兰海(超)慢洋脊,3—冰岛和亚述尔热点区之间的北大西洋中脊,4—巴西陆架边缘海,5—东斯科舍(East Scotia)洋脊和布兰斯菲尔德(Bransfield)海峡,6—西南印度洋脊,7—中印度洋脊

概括深海化能合成生态系统(ChEss)主要研究成果,可归纳为 3 部分:(1)新物种的发现:自 2002 年以来,从热液、冷泉和鲸骨生态系统中发现了大约 200 个新种,25 个新属和 2 个新科;(2)深海化能合成生态系统全球生物地理格局;(3)幼虫生态学,由于化能合成生境的斑块分布以及短暂的特征,幼虫的适应性对这些物种的存活具有显著的影响(Baker

and Ramirez-Llodra,2010)。

3 深渊生态系统

地球上 50%的面积被深度超过 3 000 m 的深海所覆盖。与原来的认识不同,现在我们已经知道,深海平原的特点是生物的丰度和生物量很低,但物种的丰富度却很高,从深海中采集的样品 90%的物种

为新种。因此,深海被认为是海洋生物多样性的巨大宝库和生物进化新理论研究的重要场所,但关于深海物种分布、丰度以及控制因素的了解非常缺乏。CoML 深渊生物多样性研究计划(CeDAMar)的目标是:记录深海平原真实的物种多样性,为全球变化研究、为更好地了解调控深海生物多样性的历史原因和生态因子奠定基础。深渊生物多样性研究最关注的两个方面是:(1)深海有多少物种?它们是如何分布的?每一个物种所栖息的面积有多大?这些信息对于我们估计全球海洋中物种的丰富度的作

用?(2)这些新的物种在成千上万平方公里看似均一的环境中是如何进化的?是否存在其他重要的方面(Ebbe et al.,2010)?

为解决上述问题,CoML 深渊生物多样性研究计划针对大西洋、太平洋、印度洋、南大洋、地中海等典型区域开展大量的现场调查和研究,对深海动物分布格局及其生物学方面获得了很多新的认识。同时,也发现、鉴定和描述了大量新的物种。从 2000 年至 2009 年年间,所发现的物种数目已达到 414 种。目前估计深海中的物种数量在 5 千万至 1 亿个之间变动。

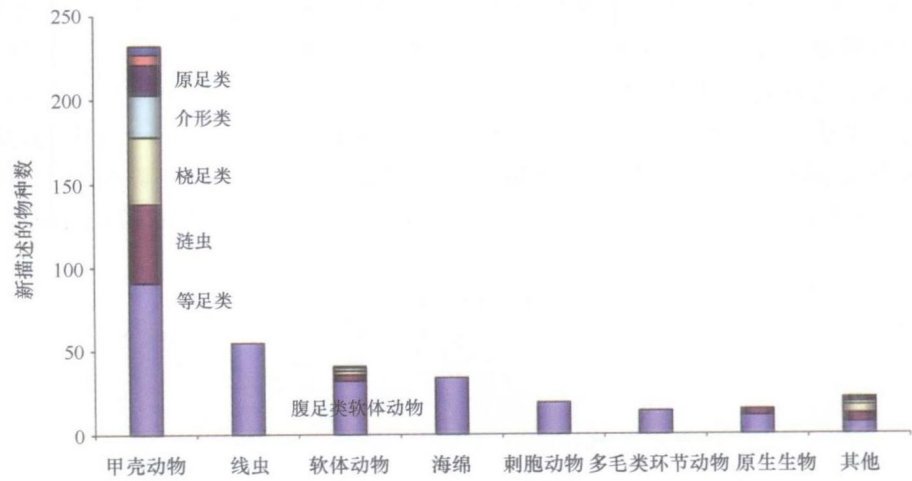


图 5 深渊生态系统研究项目新描述的物种
(引自:Ebbe et al.,2010)

为了更好地了解全球不同区域深海生物多样性的特点,CoML 深渊计划针对不同的区域特点设置了不同

的研究项目(CeDAMar,2010)。主要包括 9 个项目(图 6),分述如下:

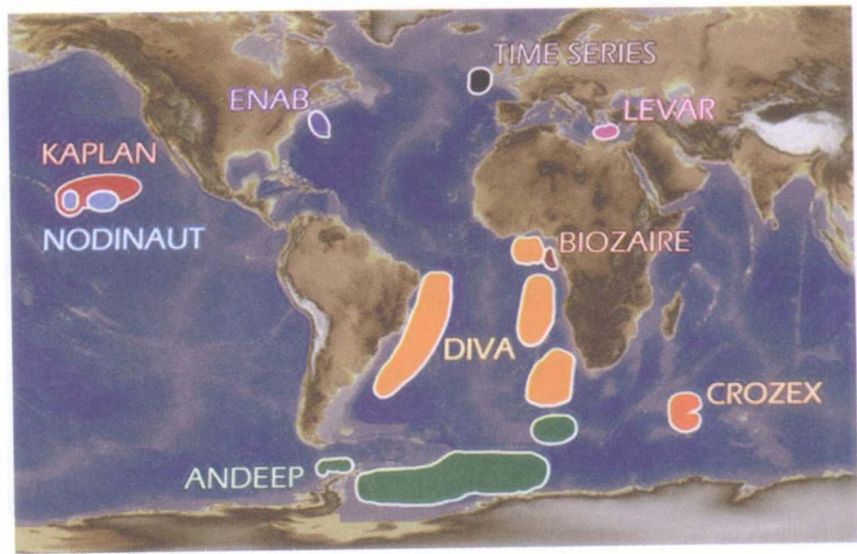


图 6 深渊生态系统重点研究区域
(引自:Ebbe et al.,2010)

ANDEEP 计划——南极底栖深海生物多样性：集群的历史与近期的群落格局

南大洋是地球上最遥远的海域，在 ANDEEP 计划之前，对这一区域几乎没有研究。ANDEEP 计划主要研究：(1)与当前生物多样性及其分布格局有关的进化过程和海洋学变化；(2)与地质年代史上海底地理学变化有关的深海动物区系的集群和交换过程；(3)海底生境的多样性对物种和遗传多样性的影响；(4)南极地区作为其他大洋深海底栖生物门类可能发源地的重要性。目前的研究结果可以证明在南半球从赤道到极地，生物多样性不存在纬度梯度。该计划分别从深度和地理分布两个角度研究生物多样性的分布格局。南极陆架向下延伸至 800 m，与其他大洋相比要深很多。可能与陆架较深的底边界有关，陆架动物区系向深海物种转变的深度明显深于其他已知的海域，约为 2 500~3 000 m。广深性水生生物和地方性物种的水平随生物门类而不同。地方性物种的分布与不同生物的繁殖生物学有关，特别是与幼体是否存在扩散阶段有关。在 ANDEEP 计划之后会跟进 SYSTCO 计划，进行系统的耦合，并研究大气、水体和深海海底之间如何联系在一起。预期这一计划的结果将有助于预测全球气候变化如何对深海底栖动物造成影响。

BIOZAIRE 计划——扎伊尔峡谷(现称之为刚果峡谷)对深海底栖生物群落的影响研究

该计划主要研究西非几内亚湾的底栖生物群落以及主要的环境物理、化学特征。该研究区域的特点是其环境状况主要受全球最大、最活跃的海底峡谷所影响。受剧烈的混浊流的影响，刚果峡谷传送大量来自陆地的颗粒物。在 4 000 m 深处，最活跃的混浊流能够通过向海底输送大量的陆源有机物，对周围数千米范围内的生境造成影响。BIOZAIRE 计划的目标是了解能量输入的动力学、来源、及其对底栖生物群落多样性的影响。对于两个不同位置(分别选在受刚果峡谷影响和不受刚果峡谷影响两个区域)的研究结果表明，群落结构中 3 个主要级别的动物(巨型动物、大型动物和小型动物)差异显著。巨型动物似乎受刚果峡谷有机输入的影响较大，而大型动物和小型动物的密度主要受其他要素的影响，在两个研究位置比较均衡。几内亚湾深海底栖群落的多样性和复杂性可能与不同的环境参数有关，如有机物的来源、数量和营养输入的机制，以及相关的扰动。

CROZEX 计划——Crozet 地区自然的铁丰富与输出实验

深海底栖动物的丰度和多样性与表层有机物的输入密切相关，但是，通常很难将表层生产力对底栖生态系统的影响从其他的环境因子中区分开来。为了进一步了解海底有机物的通量和过程，Crozet 计划在 Crozet 高原附近选取了两个生产力机制不同的区域(约 4 200 m 水深)，研究底栖生态系统对不同生产力响应的变化。其中一个区域位于 Crozet 岛东部，经常受表层持续的季节性浮游植物藻华的影响，另一个区域位于南部的高营养盐低叶绿素区(HNLC)。两个区域所有其他的环境因子都是相似的。初步的研究结果表明，两个区域底栖动物的优势种类相差很大，似乎与不同的有机输入有关。尤其值得注意的是，北部富营养区域的海参(占巨型动物生物量的 90%)与相距 16 000 km 远的东北大西洋的海参表现出很大的相似性，而与距离 460 km 远的南部 HNLC 区域相似性较低。两个区域其他环境要素如叶绿素、总有机碳的差别也很显著，但总氮的含量是相似的。研究结果进一步证实了藻华区域向海底输送的有机物通量更高。这在活的和死的底栖有孔虫的丰度和多样性中都能够得到体现。

DIVA——大西洋深海生物多样性的纬度梯度研究

这一项目的目标是研究东南大西洋深海盆地的生物多样性，从而有助于揭示南北两极之间底栖动物的分布、起源和关系。到目前为止，已经沿非洲西海岸进行了两个航次的研究。动物学家发现了许多新的、奇特的甲壳类和蠕虫新种。

ENAB——北美海盆进化研究

该项目主要在北大西洋西部沿从马萨诸塞到百慕大的断面采集半深海和深海动物。目标是定量研究深海软体动物遗传变化模式，验证几个与此生态系统相关的进化假说。主要强调几个关键问题：(1)新物种形成的地理尺度和深度尺度；(2)隔离屏障的性质和规模；(3)进化在造成生物地理分布和深度分布格局中所起的作用；(4)大西洋深部生物集群的方向与速度。这些结果将为深海生物多样性的进化提供新的见解。

KAPLAN——太平洋深海矿结核区的生物多样性、物种范围和基因流：预测和管理深海底采矿的影响

该项目主要研究太平洋锰结核采矿区的生物多样性、物种分布范围和基因流动。在几个主要航次

中,首次结合分子和形态学研究,使用一种专门的“DNA 友好技术”进行热带深海大洋生物多样性的研究。研究结果以有孔虫为例,表明太平洋深海区存在高的物种多样性。例如,仅在一个采样站位就识别了 250 多个形态种,其中只有 17 个种与其他两个站位相同。此外,隐藏种非常普遍。对于多毛类,分子异质性和隐藏物种分化比预期要高,在形态学相似但地理隔离的种群间没有发现高水平基因流动的证据。尽管深海多毛类形态学特征的进化可能较慢,但仍然存在物种分化与隔离。

LEVAR——地中海东部海盆生物多样性变化研究

地中海深海环境非常特殊,即使是在深渊区,水温也可以达到 13°C,这是由于地中海与大西洋之间的狭窄通路所引起的。LEVAR 项目的目标是发现造成这个极端寡营养区深海底生物多样性格局形成的最重要的因子。估计浮游生产(表层海水中的藻类,以海洋雪的形式沉降到海底)和横向传输(沉积物中的营养盐通过陆坡流向深海海盆)的相对重要性是本项目的主要目标。

NODINAUT——太平洋中部锰结核区生物多样性研究

该计划的目标是获得太平洋中部锰结核区底栖生物群落自然状态、栖息地特征的基础知识,作为锰结核开发的影响研究基线。进行了底栖群落结构和环境参数的研究,以验证栖息地特征对底栖群落空间变化的影响,研究范围涵盖了从微型生物到巨型动物的所有动物粒级。通过研究我们了解了该区域底栖群落结构区域尺度上的分布格局以及驱动这种格局形成的环境参数。在结核区和表层沉积物中,巨型动物和大型动物的群落结构随食物的质量和可利用性以及理化环境的异质性而不同。进一步的研究表明,结核区为底内动物群落提供了一种独特的生境,大型和较小型动物的丰度与是否存在结核有关。

PAP——Porcupine 深海平原

Porcupine 深海平原位于东北大西洋爱尔兰的西南沿海,在 140 年前是著名的深海动物捕捞区。PAP 时间序列项目是为数极少的深海海底长期研究项目,该项目的数据对于研究全球气候变化及人类活动对深海的影响提供了非常宝贵的信息。PAP 项目的一个重要发现是所谓的 Amperima 事件,1996 年海参 *Amperima rosea* 的丰度显著增加了 100 倍,后来证明是群落生物的短期暴发引起的。

造成这一变化的最可能的原因是沉降至海底的颗粒物的质量发生了变化。最值得关注的是,食物质量的变化可能很小,但海底大型动物的组成却发生了巨大的变化。

通过对深渊生态系统的研究,从根本上改变了原来人类对深渊生态系统的认知。这一改变可归纳为两个方面,即原来认为的极端环境中的生物在深渊生态系统中是极为正常的,原来认为的稀有物种在深渊生态系统中是非常普通的。主要研究成果聚焦在如下几个方面:(1)深渊底栖生物多样性,具体包括:全球海洋初级生产力的时空变化及其对深渊生物群落的影响;大西洋生物多样性的纬度/深度梯度变化;南极深海动物区系生物多样性与生物地理学;地中海—温带深海多样性格局;深渊多样性热点区域;(2)深渊底栖生物丰度;(3)深渊底栖生物分布格局;(4)深渊生物进化和物种分化。下一步将重点针对深渊生物的自然历史及影响深渊生物群落结构的环境因子、深渊物种分化、深渊物种的数量和分类学开展研究。

4 未来发展趋势与建议

综上所述,国际上深海大洋研究的未来发展趋势表现为:(1)研究重点趋向于全球深海大洋中的不同生境,包括海山生态系统、深海化能合成生态系统、深渊生态系统、洋中脊生态系统等,注重不同深海生态系统之间的关系研究。(2)研究内容和方法趋向多学科交叉、渗透和综合,包括物理海洋学、化学海洋学、地球物理、生态过程、生物多样性与资源潜力。(3)研究方式趋向全球化和国际化。深海研究技术难度大,基础薄弱,深海大洋各种过程错综复杂,不从全球化的观点和高度,不用国际合作的方式去组织研究、开展综合调查实验,不管从人力物力,还是技术势力来说,都是非常困难的。(4)研究手段不断采用高新技术,并向全覆盖、立体化、自动化和信息化方向发展。

随着我国国力的提高和国家海洋战略的改变,开展深海研究与探索的时机已经成熟。技术与装备水平的提高,如新型综合科学考察船的建造使我们具备了深海大洋综合探测与研究的能力。思想认识上的提高,使我们意识到海洋强国的重要标志之一是具有深海研究与探索的能力,而且近几十年海洋上的重大发现大部分出现在深海。深海研究同时也是科学与技术有机结合的良好体现,对技术发展具