

南海北部开放航次海洋地质与沉积环境科学考察的进展与成果

陈忠¹, 颜文¹, 向荣¹, 田新朋², 陈木宏¹, 陆钧¹, 张兰兰¹

(1. 中国科学院边缘海地质重点实验室, 中国科学院南海海洋研究所, 广东 广州 510301; 2. 广东省海洋药物重点实验室, 中国科学院南海海洋研究所, 广东 广州 510301)

南海北部具有独特的地理位置、季风环流、沉积构造以及丰富的油气、天然气水合物资源, 但长期以来没有航线固定的考察航次进行持续观测以及逐年数据积累。自 2004 年起, 中国科学院南海海洋研究所设置了南海北部开放航次, 这对加强海洋现场数据的长期积累、促进海洋科学多学科交叉与融合、不断地发现和解决科学问题、推动重大成果产出起了积极作用。本文总结了 2004—2010 年海洋地质与沉积环境考察的进展及成果, 并展望了今后海洋地质与沉积环境考察的主要方向, 期望更多单位及科学家积极参与南海北部开放航次考察。

1 海上考察内容及成果

相对于物理海洋、海洋化学以及生物生态的年际变化而言, 海底沉积环境的年际变化较小, 因此南海北部开放航次海洋地质与沉积环境考察以沉积物采集为重点, 不同单位、课题组根据项目计划选择航次。在 2004—2010 年南海北部开放航次中, 除中国科学院南海海洋研究所外, 共有 12 个单位参加了海洋地质与沉积环境的海上考察(表 1), 其中中国科学院南海海洋研究所、中国科学院海洋研究所、同济大学充分利用开放航次平台进行样品采集和观测, 其余单位针对项目研究内容搭载特定的航次。开放航次的实施, 促进了我国海洋科学研究机构、学科的交叉与融合, 使科学家之间的合作与交流更加密切和频繁, 通过这种交叉与合作, 凝练出一些较好的科学问题并获得各部委的资金资助。

2004—2010 年的 7 个开放航次设置了 11 个方向的考察与采样(表 2)。其中 7 个航次设置了“海底沉积与冷泉、天然气水合物”、“微体生物群落现代

表 1 参加南海北部开放航次海洋地质与沉积环境考察的单位及航次

Tab. 1 Institutional units in the marine geology and sediment environment group during the open cruises in 2004–2010

序号	参加单位	参加航次年份
1	中国科学院南海海洋研究所	2004—2010
2	中国科学院海洋研究所	2004, 2007—2010
3	同济大学	2004, 2005, 2008—2010
4	国家海洋局第二海洋研究所	2004, 2005, 2008
5	中国科学院广州地球化学研究所	2006, 2008
6	中国科学院广州能源研究所	2005, 2007
7	华东师范大学	2008
8	海南省海洋开发与规划研究院	2008
9	中国海洋大学	2008
10	上海地震局	2009
11	中国地震局预测研究所	2009
12	阿伯丁大学(英国)	2009
13	国家海洋局第一海洋研究所	2010

表 2 南海北部开放航次海洋地质与沉积环境考察内容及航次

Tab. 2 Exploring items of the marine geology and sediment environment group during the open cruises in 2004–2010

序号	考察内容	设置航次年份
1	海底沉积与冷泉、天然气水合物	2004—2010
2	微体生物群落现代过程与沉积环境	2004—2010
3	沉积物中的微生物及多样性	2004—2010
4	沉积物捕获器投放	2004, 2005, 2008—2010
5	水体沉积颗粒生物标记物	2008—2010
6	海底沉积物中管线钢的腐蚀性	2004
7	深海浅地层剖面走航	2005
8	海陆相互作用的水体颗粒采样	2008
9	海底地震仪试验与投放	2009
10	沉积物声学测量	2010
11	地热探测	2010

收稿日期: 2009-12-10; 修订日期: 2010-03-23。卢冰编辑

基金项目: 中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-YW-228); 中国科学院南海海洋研究所知识创新工程前沿领域项目(LYQY200806); 国家自然科学基金(40696028); 国家科技基础性工作专项(2008FY110100)

作者简介: 陈忠(1970—), 男, 云南省石屏县人, 研究员, 博士, 主要从事海洋沉积与资源环境研究。E-mail: chzhsouth@scsio.ac.cn

过程与沉积环境”以及“沉积物中的微生物及多样性”考察内容;5个航次设置了“沉积物捕获器投放”。它们仍是今后海洋地质与沉积环境考察的主流方向,而设置“海底地震仪试验与投放”、“水体沉积颗粒生物标记物”等内容的航次较少,表明这些项目对观测的持续性和长期性的要求不高,也说明开放航次也为项目或课题的非长期性考察性任务提供搭载便利,取得了较好的影响力和公益效应。2010年,增加了“沉积物声学测量”和“地热探测”等内容,开启了海底沉积物原位测试与观测考察活动。

2 代表性研究成果与项目资助

2.1 代表性研究成果

通过对采获的样品和观测数据进行研究和分析,提升了对南海北部海洋地质与沉积环境的认识,并发现了一批微生物菌种。到目前为止,依托南海北部开放航次海洋地质与沉积环境考察的论文总共有29篇(含待刊),其中SCI论文15篇,EI论文3篇。这些成果主要包括:1)海底冷泉与天然气水合物;2)微体生物群落现代过程与沉积环境;3)沉积物的微生物及多样性。

2.1.1 海底冷泉活动与天然气水合物

南海北部海区古近纪断裂活动强烈,沿断裂带形成了一系列断裂、褶皱、断块等构造,为深部天然气向浅部地层运移开辟了有利通道,促使气体向上运移到水合物稳定带,形成天然气水合物,因此南海北部一直是我国天然气水合物勘探和研究的核心区域,目前在琼东南海域、西沙海槽、神狐海区、东沙西南海域、东沙东北海域以及高屏斜坡等圈定了多处天然气水合物潜在区,并在神狐海区钻取到天然气水合物^[1]。

自2004年起在南海北部开放航次中设置了与海底天然气水合物、冷泉活动有关的样品采集和现场测试内容,经过这几年的考察,取得了一些重要进展,如首次在东沙西南海域采获冷泉碳酸盐结核(2005年航次)、在西沙海槽采获冷泉碳酸盐结壳(2005年航次)、在白云凹陷海域采获生物碳酸盐岩(2008年航次),同时也在这些冷泉海域采集了表层和柱状沉积物。通过对这些样品的矿物组成、碳氧同位素、化学元素等的分析和研究,揭示出在东沙西南海域可能存在热成因甲烷的渗漏型天然气水合物,其可能发生过多次的分解和排溢,形成了多期冷泉碳酸盐岩^[2-3]。在2006年开放航次中,在水体柱中发现甲烷高含量异常^[4],表明该海域海底下

可能存在天然气水合物以及活跃冷泉、冷泉生物群落。相关成果发表在《科学通报》、《海洋学报》等期刊上,同时被《科学时报》、《中国海洋报》等报道或转载。

西沙海槽的冷泉碳酸盐岩仅发育在沉积物中,颗粒细小,可能在海底未形成碳酸盐岩地貌,柱状沉积物间隙水的 SO_4^{2-} 和 Cl^- 表明硫酸盐-甲烷转换界面较浅,暗示海底下存在天然气水合物的可能性非常大^[5]。虽然对东沙西南海域、西沙海槽海底冷泉碳酸盐岩分布及冷泉活动尚未完全了解,但它们与东沙东北海域(九龙甲烷礁)、东沙西南海域、神狐海域的冷泉碳酸盐岩一样,是南海北部天然气水合物存在的重要证据,它们的研究和发现为南海北部天然气水合物勘查与评价、冷泉活动与生物群落的寻找提供了基础资料。

2.1.2 微体生物群落现代过程与沉积环境

积累了自2004年以来的南海北部生物拖网样品,并获取了对应站位的表层沉积物样品。通过对南海北部生物拖网样品的放射虫和浮游有孔虫群落分析,获得了南海北部秋季水体中的这两种主要微体生物群落的区域分布特征,并与水体环境要素进行了对比分析。

对2005年9月南海北部秋季上层水体放射虫群落结构的研究发现^[6],南海北部秋季水体中放射虫丰度最大值一般在表层(0—75m),处于叶绿素a最大值之上且包含温跃层。通过对比*Botryocytis scutum*、*Pterocorys hertwigii*、*Collosphaera tuberosa*和*Didymocyrtis tetrathalamus tetrathalamus*在南海北部和赤道太平洋西部的相对丰度变化情况,认为在2005年9月西太平洋水还没有进入和影响南海北部,西南季风仍旧控制着南海北部的海表环境与放射虫群落组成。*Tetrapyle octacantha*和*Spongotrochus glacialis*在南海北部台湾浅滩、南部巽他陆架、南沙海槽的上升流区均具有高的相对丰度,因此认为这两种放射虫可作为热带海域上升流区变化的指标,这为放射虫在南海古海洋和沉积环境演变研究中指示作用的正确性提供了有力证据。

对水体浮游有孔虫的研究表明,南海北部秋季浮游有孔虫以热带暖水群落为主,具有明显的区域变化特征^[7]。浮游有孔虫的丰度主要呈西北高、东南低的分布格局。研究认为南海北部秋季水体浮游有孔虫的分布主要受初级生产力和水深的共同制约,高初级生产力水平下浮游有孔虫的丰度明显要高,水深则对中层水种的分布有明显的制约作用。南

海北部秋季混合层的厚度及其温盐与有孔虫的区域分布无明显相关,但是温跃层的温盐结构对中层水种 *N. dutertrei*、*G. glutinata*、*G. calida* 和 *G. aequilateralis* 的分布有一定的影响。此外暖涡水体对浮游有孔虫的丰度和组成也有明显影响。秋季 *P. obliquiloculata* 的高含量主要出现在东北部黑潮分支影响区^[7]。与海南岛西南海域冬季浮游拖网结构比较,南海北部秋季有孔虫组成与冬季群落有明显的差异。其中在秋季主要出现在跃层次表层水体中的 *P. obliquiloculata* 和 *N. dutertrei* 在冬季成为了优势属种,主要生活在上部混合层中,反映了有孔虫群落明显的季节性差异。这些现代有孔虫生态资料的积累和认识,将为南海的季风及海洋环境演化研究提供非常重要的基础资料。

2.1.3 沉积物中微生物及多样性

南海沉积物中的微生物种类繁多、资源丰富,具有广泛的开发和利用价值。通过对开放航次采集的沉积物样品进行研究,在放线菌、细菌、真菌等的种类及其多样性等方面取得了较好成果。

从纯培养和免培养的角度,对南海北部沉积环境中放线菌的多样性及其资源分布情况进行探索和研究,共分离、保藏放线菌菌株 1100 多株。通过形态特征合并菌株后,对其中的 200 多株进行初步鉴定,发现了放线菌纲下 7 个目 13 个科的 22 个属级类群下的 80 个种,其中鉴定出新物种 14 个。同时,利用形态学、生理生化、细胞化学和分子分类等多相分类方法,对其中的 5 个菌株完成了系统学研究,发表了“南海所放线菌属(*Sciscionella*)”和海洋产孢放线菌属(*Marinactinospora*)2 个新属和 1 个新种^[8-9]。通过初步研究发现,南海北部沉积环境中, *Corynebacterineae*, *Micromonosporineae* 和 *Streptomyceae* 是 3 个最优势海洋放线菌类群。

对海洋沉积物中的微生物氮循环相关的分子生态学进行了研究,采用 16S rRNA 引物低特异性的特点,对国际上使用的厌氧氨氧化菌 16S rRNA 引物进行了评价和优化^[10],得到一对特异性更强的引物,并进一步发展 *hzo* 功能基因作为检测厌氧氨氧化菌的分子标记物,有效地提高了对环境 anammox 菌群的检测分析能力;分析了深海底部生物圈中厌氧氨氧化菌多样性和种群结构,发现了与南海特异环境相适应的 anammox 新类群。

对可培养细菌活性筛选以及活性化合物的分离鉴定,共计获得海洋可培养细菌 400 多株,其中 50 多株具有抑制细菌生长活性,对其中 4 株细菌活性

物质进行分离获得了 30 多个化合物,其中新活性化合物 6 个^[11-12]。对海底沉积物样品进行了真菌分离、鉴定与代谢产物研究,获得海洋真菌 100 余株,通过形态学观察,选择 12 株真菌进行小规模发酵(不同发酵培养基),并对其发酵产物进行了 TLC、HPLC、NMR 以及对细菌(金黄色葡萄球菌和大肠杆菌)、真菌(黑曲霉)的抗性筛选。筛选结果表明:多个菌株的发酵产物具有抗真菌活性和抗金黄色葡萄球菌活性;其中菌株 SD44 发酵产物具有很好的抗耐甲氧西林的金黄色葡萄球菌的活性,具有很好的开发前景和应用价值。对 4 株真菌等进行了大规模发酵(30L),通过各种分离手段分离纯化了 50 多个单体化合物,利用现代波谱技术(NMR、MS、IR、UV 等)鉴定了其中的 40 余个,其中新化合物 8 个。

对环境细菌多样性研究后,发现南海北部沉积物细菌多样性非常丰富,囊括了世界范围内已发现沉积物门类的 22/24。这些研究成果初步展示出南海沉积物微生物资源非常丰富,新类群生理类型独特,具有较高的研究价值和广泛的利用前景,值得深入探索和研究。

2.2 获得的资助项目

海洋观测数据和研究样品是获取各类科研项目、不断地发现和解决科学问题的重要保障。目前海洋地质与沉积环境科学家以南海北部航次中获得的大量数据及样品为研究材料,共获得了国家自然科学基金 20 余项、中国科学知识创新工程 6 项、广东省自然科学基金 2 项目、上海市青年科技启明星计划 1 项、中国科学院南海海洋研究所知识创新工程前沿领域项目 4 项以及其它重点实验室基金项目若干项(具体项目略),总经费达 1800 余万元。通过对这些项目的实施,不仅丰富了海洋天然气水合物分解与演变、冷泉活动及沉积物作用、现代微体生物群落及古环境意义、沉积物中微生物的新类群及其多样性等研究内容,也为深入深海油气/水合物、海底沉积环境演变研究以及微生物资源的开发与利用提供了重要基础资料。

3 展望与结语

我国是一个海洋大国,但还不是海洋强国。面对新世纪在陆地、海洋、太空全面展开的科技和资源之争,我国需要不断地观测海洋、了解海洋和开发海洋,因此凝练科学问题、强化南海北部开放航次的持续性和目标性,仍是海洋科学研究的重要基础。

实施了 7 年的开放航次,承载着管理者的心血,

液凝结着科学家的汗水。在认识深海、进军大洋的海洋战略背景下, 继续开展南海北部开放航次调查, 是我国认识南海北部海洋环境、开发油气与水合物资源、微生物资源的重要技术支持, 同时也是确保实现我国海洋科技强国战略的基本保障之一。在今后的南海北部开放航次考察中, “海底沉积与冷泉、天然气水合物”、“微体生物群落现代过程与沉积环

境”、“沉积物中的微生物及多样性”仍是海洋地质与沉积环境考察的主要方向, 而记录深海过程的“沉积物捕获器投放”、“浮游藻类脂类标志物及其生态响应”、“地热探测”等也应设置为持续长期的考察和观测内容。此外, 仍欢迎阶段性或特殊性调查项目参与到开放航次中, 共同促进南海北部海洋科学的发展以及海洋资源的合理利用。

参考文献

- [1] ZHANG H, YANG S, WU N, et al. Successful and surprising results for China's first gas hydrate drilling expedition[J]. Fire in the Ice Newsletter, Fall 2007: 6–9.
- [2] 陈忠, 颜文, 陈木宏, 等. 南海北部陆坡冷泉碳酸盐结核的发现: 海底天然气渗漏的新证据[J]. 科学通报, 2006, 51(9): 1065–1072.
- [3] 陈忠, 杨华平, 黄奇瑜, 等. 东沙西南海区冷泉碳酸盐沉积的成岩环境及其意义[J]. 现代地质, 2008, 22(3): 382–389.
- [4] 尹希杰, 周怀阳, 杨群慧等. 南海北部甲烷渗漏活动存在的证据: 近底层海水甲烷高浓度异常[J]. 海洋学报, 2008, 30(6): 69–75.
- [5] 陈忠, 黄奇瑜, 颜文, 等. 南海西沙海槽的碳酸盐结壳及其对甲烷冷泉活动的指示意义[J]. 热带海洋学报, 2007, 26(2): 26–33.
- [6] ZHANG L, CHEN M, XIANG R, et al. Distribution of polycystine radiolarians in the northern South China Sea in September 2005[J]. Marine Micropaleontology, 2009, 70: 20–38.
- [7] 向荣, 陈木宏, 张兰兰, 等. 南海北部秋季活体浮游有孔虫的组成与分布特征[J]. 地球科学, 2010, 35(1): 1–10.
- [8] TIAN X, TANG S, DONG J, et al. *Marinactinospora thermotolerans* gen. nov., sp. nov., a novel marine actinomycete isolated from a sediment in the northern South China Sea[J]. Int J Syst Evol Microbiol, 2009, 59: 948–952.
- [9] TIAN X, ZHI X, QIU Y, et al. *Sciscionella marina* gen. nov., sp. nov., a novel marine actinomycete isolated from a sediment in the northern South China Sea[J]. Int J Syst Evol Microbiol, 2009, 59: 222–228.
- [10] 洪义国, 李猛, 顾继东. 海洋氮循环中的细菌厌氧氨氧化[J]. 微生物学报, 2009, 49(3): 281–286.
- [11] WANG G, DONG J, LI X, et al. The bacteria diversity in surface sediments from South China Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2010, 29(4): 98–105.
- [12] 孙慧敏, 戴世坤, 王广华, 等. 南海北部巴士海峡深海沉积物中细菌多样性分析[J]. 热带海洋学报, 2010, 29(3): 41–46.