

揭示边缘海的“生命史”

——南海深海过程演变研究

◎汪品先



编者按

国家自然科学基金委“南海深海过程演变研究”重大研究计划,已于2011年1月1日启动。这是我国海洋科学中投入最大的基础研究项目,经费预算达1.5亿人民币,为期八年,目标在于揭示南海作为边缘海的“生命史”。此项计划在2010年立项前,总共召开了5次研讨会,确定了将盆地演变、深海沉积和生物地球化学三方面过程当作南海的“骨”、“肉”、“血”,系统追踪边缘海生命史的主干思路。“南海大计划”启动不久,已经引起国内外的关注。本刊特从汪品先教授领衔撰写的立项申请书中,摘编主要内容刊出,以飨读者。

深海是地球表层最晚认识的部分,人类对于深海的知識绝大部分来自最近半个多世纪。1968年开始的深海钻探计划(DSDP),证明洋底在不断扩张;1978年开始的高能底部边界层计划(HEBBLE),证明几千米海底还有“深海风暴”;1970年代末发现大洋中脊喷出热液,支持着非光合作用的“黑暗食物链”;1990年代又发现海底以下的地壳深处还有“深部生物圈”,可能占据地球总生物量的30%。深海过程的一系列新发现,理论上为地球系统开拓了新视野,应用上为资源开发开辟了新领域。

深海过程既是当今海洋研究的前沿,又是地球系统科学的突破口。从板块边缘的“俯冲带加工厂”,到深海碳循环的关键“暗能量生物圈”,都在改变着地球表层系统运作的原有概念。如果在一个范围有限的边缘海,将现代深海过程与地质演变相结合,就有可能通过“解剖一个麻雀”,在崭新的水平上认识海洋变迁及其对海底资源和宏观环境的影响,而南海正是最佳的选区。

南海深海过程研究计划

南海面积350万平方公里,最大水深5500多米,既是全球低纬区、也是西太平洋最大的边缘海,具有深海研

究的一系列优越性。由于边缘海规模小、年代近,在南海研究深部过程的条件比大西洋优越;由于太平洋洋底沉积记录保存不佳,南海的研究能弥补西太平洋研究的不足。南海是我国管辖海域中主要的深海区,也是我国深海资源勘探和科学研究积累最为丰富的海域。南海北部陆坡,2006年发现深海天然气,2007年发现天然气水合物,成为我国深海资源开发的亮点;南海周边,1991年菲律宾火山爆发,2006年底我国台湾以南地震,突出了南海安全保障的迫切性;1999年春南海的大洋钻探,紧接着的“973计划”及基金大项目等研究,多次国际、国内的专题考察航次和研究项目,使得南海成了国际深海研究的焦点。当前,我国各部门对深海有各种的发展计划,诸如国土资源部的“海洋地质保障工程”、“油气资源战略选区调查与评价”,中海油的深海石油战略,国家科技部的深海高技术发展专项等,标志着我国对深海资源开发和深海技术的投入正在迅速增长,亟待从基础研究角度设立重大计划,与各系统的投入相结合,在国际层面实现学术上的突破和研究力量的整合。

南海深海过程研究计划的提出,是基于海盆形成、沉积响应和生物地球化学三方面的考虑。

海盆形成

影响最大的深海过程,是海底板块的生长与消减。南海海底,经历了海底扩张形成大洋壳、岩浆溢出造成火山链,以及板块俯冲消减等三大过程,其中海底扩张

汪品先,教授,中国科学院院士,同济大学海洋与地球科学学院,上海200092。

Wang Pinxian; Professor, Member of Chinese Academy of Sciences, School of Ocean and Earth Science, Tongji University, Shanghai 200092.

是南海形成的核心。迄今为止,南海洋盆扩张的再造几乎全部依据磁异常条带,认为南海形成于距今3200万年至1600万年前,而其依据来自30年前美国的船测资料。由于受到技术等方面的限制,其结果相当模糊,在西南海盆尤盛。后来虽经法国、德国和我国海峡两岸学者等多种补充、修改,1970年代测得的基本格局至今未变,以致南海构造研究三十年来缺乏突破性进展。1999年南海大洋钻探取得了3300万年来的沉积记录,应当涵盖了传统认识上的扩张历史,但是地层记录中最重大构造事件发生在2500万年前后,对于扩张的始末本身却缺乏明显反映。重新认识海底磁异常资料,使之和沉积记录对应起来,是揭示南海张裂真实历史的捷径。

推测与南海扩张终结相关的重要特征是沿残余洋中脊发育的火山链,可能是扩张结束时剩余岩浆活动的产物。火山活动未见于海底张裂之初,反而活跃于扩张停止之后,反映了该边缘海盆演变的特殊性,有待对火山链的形成和机制作系统研究。扩张结束后另一重要过程是菲律宾海板块的旋转和南海洋壳的向东俯冲,由此造成的马尼拉海沟,是今天南海的构造运动最活跃的海区。而深海火山在俯冲过程中的阻挡,很可能成为地震能量积聚的机制。同时,扩张后发育的断层也可能与火山活动有关。探讨南海扩张开始和终结后的岩浆活动,以及后续的俯冲作用,将为边缘海演变史建立典范。

沉积响应

南海陆缘破裂和海底扩张的结果,在陆坡和陆架形成了约40个盆地和盆地群,接受了来自陆地和岛屿的沉积物以及生物残骸,总共估计有 1.44×10^{16} 吨沉积物充填,其中包括丰富的油气盆地。对大西洋的研究已经证明,深层海流有多种沉积搬运机制,然而对于南海底层流和沉积搬运过程的认识,至今还是众说纷纭。南海的深水油藏和深海沉积体,有浊流、等深线流、河口深水扇沉积等种种解释,但是由于缺乏现代过程的观测,我国的深海沉积学还停留在袭用国外模式的阶段。然而大洋钻探和油气钻井已经揭示出海底过程的巨变:距今2500万年前南海北部大批沉积被冲刷、剥蚀,此前南海北部的陆源沉积速率最高,此后出现碳酸盐台地,很长期间南海北部和南沙海区一样以碳酸盐沉积为主;随着巴士海峡的形成,注入南海的太平洋深层水变为中层水。南海的深部海流和深海沉积过程,如何响应构造演变的历史,将构成一部边缘海的发育史,也将为深海油气勘探战略提供科学背景。

生物地球化学过程

近年来发现海底有各种流体溢出,包括热液、冷泉

和淡水,它们的来源是地层里的流体,所谓“海底下的海洋”。这些流体不仅改变着海水的成分,而且支持着地球上另一个生物圈——“暗能量生物圈”。在南海已经有海底泉水发现,“可燃冰”的产地也发现了“冷泉”和冷泉生物群,台湾附近发现有热液活动与“CO₂湖”,马尼拉海沟的俯冲带,也应当有“俯冲带工厂”的流体溢出。同时,深海水层和海底以下的微生物活动,是地球系统碳循环新发现的重要环节。海洋的生物量,90%属于微生物;海底以下的原核生物,估计占地球上生物量的30%。最近发现,病毒能杀死海底和海底以下80%的单细胞生物,析出巨量有机碳,因而是海洋碳循环研究中的重大遗漏。南海盆地形成和沉积充填,发生在海水生物地球化学的背景下;而南海又以其有限的范围和丰富的深海沉积,为研究深部生命活动与碳循环提供了理想条件。海盆的演化直接影响海底流体和海底微生物的活动,既使深海碳循环发生变化,又是烃类资源形成的重要原因,其研究将为能源勘探方向的探索开辟新视角。

“南海深海过程演变”研究计划,是从现代过程和地质记录入手,解剖一个边缘海的发育史。计划由上述三大方面组成:从海底扩张到板块俯冲的构造演化作为生命史的“骨架”,以深海沉积过程和盆地充填作为生命史的“肉”,以深海生物地球化学过程作为生命史的“血”,在岩石圈、水圈和生物圈相互作用的层面再造南海的深海盆地发育过程,以及该过程的资源环境效应。

南海深海过程研究核心科学问题

南海深海过程演变的核心科学问题有三类:一是不同观点的争论,如海底扩张时间的分歧;二是不同记录的比较,如海底磁异常与大洋钻探岩芯记录之间的矛盾;三是大洋新发现在南海如何表现,如深海微生物在碳循环中作用的问题。具体说来,有以下八大问题。

海底扩张的年代与过程

南海海底扩张究竟是西南海盆在先,还是中央海盆在先?扩张的时间是否如最初所说在3200万年至1600万年前,还是早在3700万年前已经开始,2000万年前已经结束?扩张速率的变化,与本区哪些构造变动相对应?大洋钻探揭示的2500万年前的最强烈构造运动,是对应扩张轴的跳跃,还是印支半岛的“挤出”?

火山链岩浆活动时间与原因

南海扩张终结的重要特征是沿残余中脊发育的火山链。为什么南海张裂时火山活动不明显,结束时反而形成火山?它是不是扩张结束时剩余岩浆活动的产物?火山链的形成何时开始、何时结束?现代海底还有没有这类活动的踪迹?在南海洋壳向东俯冲过程中,火山链

的阻挡是不是菲律宾一带地震能量积聚的原因?

深海沉积过程对海盆演变的响应

南海大洋钻探结果表明在“扩张”之初,就有深海沉积,那么南海的深海盆何时开始?当时陆地沉积速率如此之高,源区在哪里?南海在距今 2500 万年前,陆源沉积减少、碳酸盐台地发育的变化,究竟发生在什么时候,是什么原因?哪些阶段和海区,有利于深水富烃盆地的发育?

底层海流与沉积搬运机制的变化

对于南海深海的流流,目前只有推测。现在南海的深层海流,确是逆时针方向运行的吗?滞留时间是否真的只有 30 年左右?在菲律宾海板块旋转、碰撞,以及巴士海峡出现之前,太平洋深层水是否进入南海?现在南海北部的深水堆积体,是浊流还是等深线流的产物?南海历史上浊流发育和物源改变期,是不是与海底扩张作用的变化对应?

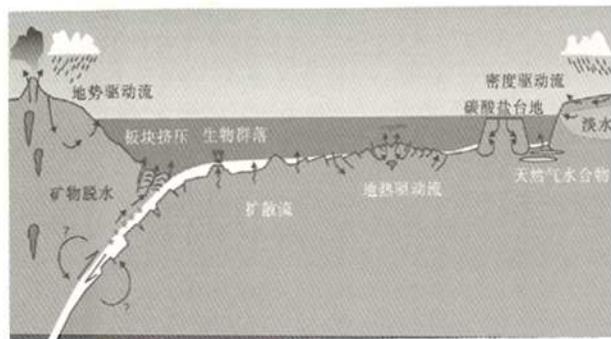
碳酸盐台地的发育过程和影响

约二千多万年前,南海开始发育珊瑚礁,逐渐形成今天岛礁林立的碳酸盐台地。我国多年来的南海海岛调查,已经积累了丰富的资料。现在需要将它们作为深海区的碳酸盐台地,将岛礁和深海坡连接起来,将珊瑚和深海碳酸盐结合起来,研究南海碳酸盐沉积的演变机制。要回答:为什么珊瑚礁在二千万年前开始形成?作为碳酸盐台地,珊瑚礁区对南海的碳循环有哪些贡献?热带太平洋的南海诸岛和亚热带大西洋的巴哈马群岛,两种碳酸盐台地有哪些异同?

海底溢流与井下流体的分布与影响

南海北陆坡已经发现冷泉溢出口及其形成的碳酸盐,台湾附近也早已发现热液与“CO₂湖”。在现代俯冲带、残留扩张脊和火山链海底,是否有更多的海底溢流分布?这些溢出的和海底以下的流体活动,对于“深海生物圈”和深海碳循环,都有哪些影响?

深海碳循环以及微生物的作用



海底地下流体系示意图

深海有机碳和微生物,是海洋碳循环研究中的重大遗漏。从南沙海区发现的大洋碳储库长周期,其成因有可能就是与深海碳循环有关。可以从分析水柱到沉积的微生物和溶解有机碳入手,研究深海海水和海底以下微生物数量分布如何?溶解有机碳的分布如何变化?进而探索南海的深海微生物,在碳循环中有何作用?

深海能源形成的生物地球化学背景

南海北部已经发现“可燃冰”和大型深海油气藏,而海底微生物与它们的生成直接相关。从微生物入手需要回答:微生物活动在现代甲烷等烃类的生成、氧化及演变中起何作用?既然微生物及其替代性指标可以在地层里保存,在地质时期深水油气的形成和破坏中,微生物是否有同样的作用?

上述问题牵涉的学科多,要求的工作量大,并非一个基金重大计划所能全面解决。不同问题的研究积累和成熟程度又相差悬殊,不可能同样要求。大体上要求前五个问题得出明确的答案,后三个问题取得突破性的进展,就足以建立南海生命史的模式,实现边缘海研究的跨越式发展。本此原则,提出相应研究内容和实施途径。

南海深海过程研究内容

南海已经成为国际海洋研究和我国资源开发的重点,在陆架、陆坡区积累了巨量的资料;然而解决关键科学问题的钥匙却在深海盆。因此,本计划的科学目标是:采用一系列新技术探测深海盆,揭示南海的深海过程及其演变,再造边缘海的“生命史”,从而为边缘海的演变树立起系统研究的典范。

第一是通过重新测量南海洋壳磁异常、研究深海火山链,重新认识南海海底扩张及其前后的演变史;第二是通过现代深海过程观测和深海沉积的分析,揭示南海底层流的变迁,验证海盆演化历史,以及对海平面变化的响应;第三是通过海底水文观测与各项分析,认识南海深部的生物地球化学过程及其演变;第四是在以上研究基础上,指出南海深海过程演变的资源与环境效应。

本计划的实施,还将为我国深海技术装备建设提供应用或试用的平台,并促进我国深海科学研究队伍的壮大和成长。具体研究内容将以南海北部作为重点,在三个不同时间尺度上,研究南海的深海过程。

海盆形成中的深海过程(10⁶年尺度)

这是本计划的主体,包括三个时段,其中又以“扩张过程”为重点。

(1)扩张前

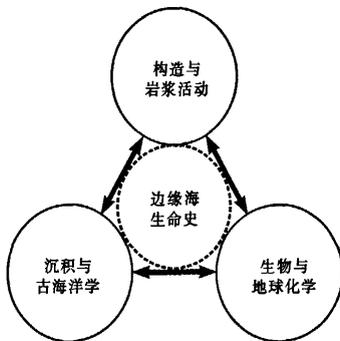
晚中生代:追踪海相侏罗系的发现,确定晚中生代“古南海”与太平洋和特提斯洋的关系,展示边缘海形成前东亚与太平洋的相互作用,确定“特提斯东延”与太平洋连接的问题。

早新生代:追踪海相始新世,回答南海北部裂谷阶段是否已经有海相盆地、海底扩张是否在海盆里发生的问题。

(2) 扩张过程

磁异常条带:采用现代技术近海底重新测定磁异常,同时采用拖网或浅钻采集洋壳的岩石,进行地球化学研究和测年,重新认识海底扩张的年代与过程,尤其要澄清西南海盆与中央海盆的关系。

火山链:对最终的残余中脊和火山链进行系统研究,包括高分辨率制图与浅钻取样,确定海底扩张的终结与火山链形成的关系,探索扩张终结的原因。



南海深部计划的构成

沉积响应:将磁异常条带得出的扩张速率,与大洋钻探钻孔揭示的深海沉积速率比较,揭示渐新世扩张初期的海盆性质、渐新世末构造事件和中新世早中期碳酸盐高值期出现的构造背景,确定南海北部深海含烃层系的沉积物源。

(3) 扩张后

海盆关闭:根据海底和海岛资料,验证菲律宾海板块旋转、形成东部屏障使南海半封闭的模式;估算南海向东俯冲速率,以及海山俯冲对地震与火山活动的影响。

海流再造:根据大洋钻探岩芯黏土矿物的源区分析与同位素标志,再造南海深层海流演变历史,从而验证深海盆演变模式,识别西太平洋洋流的整体变化,南海深部海流随海盆形态而发生的区域变化。

海面变化中的深海过程(10⁴年尺度)

以晚第四纪最近50万年为主,利用南海半封闭海盆对冰期旋回中海平面变化的敏感性,研究海陆相互

作用、浅水与深海相互作用,建立冰期旋回中边缘海的环境演变史。

(1) 深层海流的演变

将地层记录与数值模拟相结合,揭示南海半封闭盆地的三维空间海流格局对冰期旋回的响应,通过地层记录探索大陆与大洋的影响在冰期旋回中的消长,建立边缘海环境响应冰期旋回的模式。

(2) 沉积格局的演变

分析沉积物的源区地质与底层流的替代性标志,结合浅地层剖面和碳酸盐台地的沉积变化,再造若干时期的南海沉积分布与运输途径。

(3) 生物地球化学的演变

深海地层中微生物的分布可以反映上层海水生产力的演变。通过沉积层中微生物以及生物标志物,研究海底下深海生物圈与表层浮游生物变化的关系,及其对深海碳循环的可能贡献。

现代观测中的深海过程(100年尺度)

以上地质时间尺度上深海过程的变化,要求理解现代过程作为基础。为此,需要在三方面做相应的长期与短期观测。

(1) 深层海水环流

针对南海的半封闭性质,在巴士海峡对南海深层水与太平洋水的交换(所谓吕宋“深水瀑布”)、在南海中北部对深层环流(“气旋式环流”)进行多年连续观测,认识其性质与季节变化。

(2) 海底沉积运动

针对南海北部陆坡的底质搬运性质的争论,对沉降颗粒位移与海底“雾状层”进行观测,并结合浅地层剖面,认识现代海底沉积地形的成因。

(3) 海底生物地球化学过程

通过羽状流的探测,选择海底流体溢出口,研究近海底微生物的分布;并争取采用井下密封技术,实现深部生物圈及其生物地球化学作用的观测。

南海深海过程研究方案

由于南海深部、尤其是4000米以深的中央海盆十分缺乏调查,具体的研究方案只能随计划进程逐步制定、及时调整。现在根据目前的资料,提出以下三阶段实施的方案。

第一是重点航次阶段(第1—2年)。以两次“南海深部基金航次”为主体,开展以洋壳演化和现代深海过程为目标的突破性研究。这将是南海深水区(大于3500米)有史以来第一次的专题探测,在原有工作积累基础上,选择重点的剖面 and 海区,采用深海新技术对磁异常条带、火山链和海底流体溢出进行探测;在深海

盆开展断面调查和布放锚定浮标,同时进行多学科海上工作。所取得突破性的结果将为后面大规模开展工作铺设路径。

第二是全面研究阶段(第3—5年)。在上述扩张年代成果与选区深水过程基础上,结合大洋钻探和深水勘探资料,以及海底观测、海山钻探等,全面开展南海古、今深海过程的研究。同时组织有规模的国际合作。

第三是深入与总结阶段(第6—8年)。在前五年基础上整合、提高,一方面聚焦到少量理论问题深入探索,另一方面从全球视角得出边缘海深海过程的规律性认识。

采用的研究手段,除了深海常用的古海洋学方法和常规的地质地球物理、水文和生物学等方法外,还有以下几方面的新技术。

基底的地质、地球物理研究

洋壳的磁异常测量:使用深拖或水下机器人搭载磁力仪的方法,贴近海底(可距海底以上5米)作近底测量,精度可以提高两个数量级,揭示的细节可用于计算扩张速率。

残余中脊和火山链:采用深拖或用水下机器人搭载多波束测深,对特选的海区进行高分辨率地形制图;在海山上用硬岩钻井技术打浅钻采样。

沉积的地质与地球化学研究

深海沉积搬运:采用锚系和海底三脚架观测技术,进行深部海流的连续观测,研究底层海流在沉积搬运中的作用;结合高分辨率地震与浅地层剖面,解释现代海底沉积堆积体的形成机制。

源区与深层海流:根据不同流域碎屑物的矿物与铀同位素等标志,求取南海沉积格局的时空变化;利用铀、碳13和底栖化石等分析方法,结合沉积波分布等宏观特征,再造深层海流。

高分辨率沉积记录:通过X射线荧光光谱岩芯扫描(XRF)和地层微电阻率扫描成像测井(FMS),以及这两种新技术的结合,探测深海沉积结构与古环境的高分辨率变化。

水文与生物地球化学研究

长期水文观测:在1000米以深的关键部位投放若干锚定深水浮标,对深部海流进行3~5年的连续观测,并伴以适量的生物化学和悬浮体观测。

微生物海洋学:对深海水体中微生物和溶解有机碳的分布进行动态观测,对微生物生态过程开展现场实验;与沉积物中指示不同生物的脂类标志化合物及其同位素的分析相结合,探索深海碳循环。

海底溢出流:采用物理和化学的方法(包括氧、镭同位素等)调查来自海底的羽状流;采用海底观测、争

取用井塞(CORK)技术检测海底下的流体活动及其中的微生物。

南海深海过程研究 预期结果及研究意义

深海研究属于迅速发展中的新兴领域,南海的深海研究需要国家级的投入。在本计划框架内达到的预期目标,是在理解深部过程的基础上建立边缘海“生命史”模式,具体包括:在最新技术基础上,重新测定深海盆扩张年龄与扩张速率变化;在地球物理与沉积记录结合的基础上,验证南海边缘海盆地的演变模式;将海底过程观测与地质调查相结合,在我国开创一系列的深海研究领域(深海沉积学、海底水文学等);在南海海底流体和微生物研究的基础上,对深海碳循环过程得出具有突破性的新认识;确立我国在南海研究中的主导地位,形成我国具有国际竞争力的深海基础研究力量。

“南海深部计划”的实施,将是我国海洋领域第一个大型的基础研究计划,也是国内各系统的投入在海洋科学层面上的整合;在国际上,将有助于建立我国在南海科学研究中的主导作用。具体有三方面的意义。

一是实现科学研究和学科建设上的突破。本计划的实施,将是一个边缘海生命史完整的解剖。在西太平洋的大型边缘海中,南海是唯一能够提供环境演变高分辨率记录的海区。从深部研究南海“生命史”,不仅为边缘海解剖提供典范,促成我国深海学科的跨越式发展,而且还将因此而推动我国地球科学的整体进展。

二是为南海资源的进一步开发提供科学依据。洋盆发育和沉积充填历史的再认识,将在战略层面上为南海深水油气勘探提供新思路;南海现代深水过程的研究,又将为深海油气开发的工程安全提供基础信息。同时,深部过程的研究又为南海从天然气水合物到生物基因资源的新资源勘探开发提供学术基础。

三是从科学层面为捍卫南海主权做出贡献。我国在南海的主权面临挑战。我国传统海疆面积的70%属于国际争议区,几乎包括了南海南部全部最有利的油气区。近年来世界各国的权益之争,往往用科学考察的形式出现。本计划的执行必然带动海峡两岸的合作和以我国为主的南海国际科研合作计划,势必在客观上增强我国在该海区的主导地位。

(此篇是集休成果,在“南海深海过程演变研究”项目立项过程通过多次研讨形成,由汪品先执笔成稿。)

关键词:南海 深海 海盆 深海过程 □

揭示边缘海的“生命史”——南海深海过程演变研究

作者: [汪品先, Wang Pingzhi](#)
作者单位: [同济大学海洋与地球科学学院, 上海, 200092](#)
刊名: [科学 \(上海\)](#)
英文刊名: [SCIENCE](#)
年, 卷(期): 2011, 63 (3)

本文读者也读过(3条)

1. [吴振利, 阮爱国, 李家彪, 牛雄伟, 李细兵, 刘宏扬, WU Zhen-li, RUAN Ai-guo, LI Jia-biao, NIU Xiong-wei, LI Xi-bing, LIU Hong-yang](#) 南海南部海底地震仪试验及初步结果[期刊论文]-海洋学研究2010, 28(1)
2. [吴振利, 阮爱国, 李家彪, 丁巍伟, 李湘云, 丘学林, 赵明辉, 郭兴伟, WU Zhenli, RUAN Aiguo, LI Jiabiao, DING Weiwei, LI Xiangyun, QIU Xuelin, ZHAO Minghui, GUO Xingwei](#) 南海中北部地壳深部结构探测新进展[期刊论文]-华南地震2008, 28(1)
3. [杜靖, 刘金梅, Du Jing, Liu Jinmei](#) 中国古人类学“多地区连续进化说”的产生与发展[期刊论文]-科学(上海)2011, 63(2)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_kx201103004.aspx