



编者按

南海位于三大板块交界处,地质活动剧烈,解开它形成与发展的奥秘,对了解我国的蓝色国土意义重大。作为世界上最大的边缘海之一,南海“故事”也为同类海盆研究开创了先河。近日,我国首个大型深海基础研究项目“南海深海过程演变”国家自然科学基金重大研究计划画上圆满句号。

自2011年起,该项目由我国著名海洋地质学家、中国科学院院士汪品先领衔,前后共有700多位科学家和研究生投入研究,完成52个重点项目,经过3个半航次的国际大洋钻探、4个载人遥控深潜航次的艰苦努力,通过对南海深部的系统性观测和分析,获得了新的认识,并对国际传统主流观点提出了挑战。

# 为南海书写中国故事

## ——记国家自然科学基金重大研究计划“南海深海过程演变”

深海研究有什么用?

“人类的海洋开发主要是在浅海的陆坡陆架上,但理解海洋的钥匙却在深海。”中国科学院院士、同济大学海洋与地球科学学院教授汪品先这样回答。

在地形起伏比大陆还大的深海里,居然会发生“深海风暴”,水深5000米的地方有每秒30厘米的流速;海底以下还有微生物组成的“深部生物圈”,据说能占全球生物总量的1/10。

让人不禁向往,在那沉积了3300万年的南海深海底,到底记录了怎样的海流变迁历史?近日,我国首个大型深海基础研究项目“南海深海过程演变”国家自然科学基金重大研究计划(以下简称“南海深部计划”)画上圆满句号。中国科学家团队利用10年时间,历经启动布置、全面实施、深入集成3个阶段,笔笔勾勒出“南海故事”。

### 漫游“仙境”

“就像‘爱丽丝漫游仙境’,海底世界真的太美妙了!”2021年初,汪品先坐在摄像头前接受《中国科学报》采访时,谈起深潜经历,眼神中露出孩童般的兴奋与好奇。

“在甘泉海台,深水的冷水珊瑚真是仙境,竹珊瑚、扇形珊瑚、海绵、苔藓虫等一道构成的‘园林’,为游动的动物提供栖息地,就像小鸟归林。旁边的海马冷泉,在一串串气泡从海底冒上来的地方,只见层层叠叠的贝壳堆积如山,小贝壳密密麻麻地爬在大贝壳身上……”他如数家珍地描绘着那片“仙境”,兴奋地回忆那天深海珊瑚生态系统的发现。

2018年,“南海深部计划”已经进入尾声,82岁高龄的汪品先首次搭乘“深海勇士”号4500米载人深潜器,在南海完成3次1400米水深以下的下潜,实现他追寻了大半个人生的目标。

早在1978年,跟随石油科技代表团访问欧美的汪品先第一次听到国际专家谈起深海,“在地中海底,各种颜色的海百合美得令人心醉。”但是40多年前的他,根本不敢想象有一天中国也造出深潜器,自己也会潜下去看深海的奥秘。

自上世纪50年代起,我国海洋地质研究的重心都在近岸浅海,深海尚未在科学家目光所及范围内。直到2006年,这颗科学的种子仍静待发芽。尽管学术界有不少呼声,但当年编制的“国家中长期规划”中,一个深海研究项目也没有确立。此后很长一段时间里,深海研究一直被视作太过前沿的领域而难以立项,甚至有专家



“深海勇士”号在南海下潜。

认为深海项目是“后天的科学”。

但汪品先很坚定,一定要去“看”深海,他的目标在南海。“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,南海是最佳选择,而理解南海的钥匙在深海盆。”2007年,包括汪品先在内的海洋地质研究团队形成统一意见,开始大力推进国家层面的深海科学研究计划。

2011年,汪品先团队多年的愿望最终在国家自然科学基金中实现。“南海深部计划”重大研究计划启动,我国首个大型深海基础研究项目正式迈开步伐,汪品先担任指导专家组组长。

次年,党的十八大报告中明确提出“建设海洋强国”,我国深海研究迎来发展的历史机遇。对此,科研团队备受鼓舞。

在“南海深部计划”执行的8年里,项目组充分运用国际上探索深海先进的“三深”(深钻、深潜、深网)技术,成为重要的特色和亮点。“蛟龙号”“勇士号”载人深潜器相继下水南海,国际大洋钻探计划(ODP)三个半航次年内密集执行,国际上规模最大的区域海洋观测网络在南海海底得以构建。

“没登过阿尔卑斯山,就难以理解山脉的复杂构造;我不下潜,就对海底缺乏感性认识。”汪品先说,在60多年的科学生涯中,是好奇心不断引领着自己,一步步深入探索海洋与地球科学的前沿奥秘。

### 解剖麻雀

“解剖麻雀”是汪品先对自己从事南海研究最形象的描述。

在海洋地质学家的眼里,作为边缘海的南海,“麻雀虽小”,但构造演化上却和大洋一样,经历了裂谷、扩张和俯冲的整个“威尔逊旋回”。研究人员将现代南海过程与地质演变相结合,就能通过“解剖一只麻雀”,得出全球海洋地质规律。

在该重大研究计划总结会上,汪品先介绍,“麻雀”的“骨架”是构造与岩浆活动,“肉”是深海沉积,“血”是生物地球化学。科研人员正是从这3个层面出发,力图揭示南海的深海过程及其演变,再造边缘海的“生命史”。

最终,南海年龄、南海深海盆张裂三阶段等科学结论得到揭示,南海“深海瀑布”和“三层结构”洋流格局成功绘制。

汪品先曾用章回体小说《南海演义》讲述了一个时间跨度达3000万年的精彩故事。

“第一回合”为“板块俯冲,海盆消亡”。3300万年前,南海海盆从东边裂开,向西南方向推进,形成楔形的南海盆,同时向东俯冲,如今正在消亡。“第二回合”为“珊瑚盛世,河系更替”。到2000余万年前,南海的珊瑚礁最为繁盛,形成了大量碳酸盐台地,有的成为如今的油田;大约1000万年前珊瑚礁开始减少,600万年前时已经是珊瑚残存期。同时南海北部曾经发育过东西向的大河。“第

三回合”为“海峡成型,水流强劲”。650万年前2600米深的巴士海峡形成,成为南海与太平洋深水的唯一通道;由此形成“深海瀑布”,到500万年前后进一步形成锰结核、锰结壳。

### 提倡“中国学派”

在持续多年的南海深部研究中,“南海深部计划”发挥了基础科学方面的引领作用。

通过亮点成果整体集成,研究团队还提出海盆形成的“板缘张裂”、气候演变的“低纬驱动”、边缘海的“洋陆相互作用”三大理论假说和学术概念,向国际传统主流观点提出了来自中国的挑战。

传统使然,海洋地质学的科学结论不可避免地带有“欧洲中心论”的色彩。长期以来,欧美科学家在地利人和的条件下对北大西洋开展了诸多研究,其研究成果被认为是海洋地质学中的“标准答案”。例如,北大西洋型的“海盆张裂”模型被推广到全球,用于解释全球海洋盆地的形成。

“南海也是这样吗?”汪品先和科研人员带着对“标准答案”的怀疑,埋头开展南海深潜。结果出乎意料:钻井取上来的是玄武岩,并不是像北大西洋底见到的长期削蚀的软岩。

这意味着,南海是西太平洋板块俯冲带的盆地,它的张裂机制和大西洋模型有着根本区别,它并不是一个“小大西洋”。据此,科研人员创造性地提出边缘海的“板缘张裂”新机制,挑战了传统的“海盆张裂”说。

2019年,来自同济大学、中科院南海海洋研究所的科研人员在《国家科学评论》上发表首篇有关“板缘张裂”模式的论文。这令全球海洋地质学界热闹了起来。

“我们的新主张在历次学术会议、论文投稿过程中,都会受到国际学者的质疑。”回忆往事,汪品先摊开一只手,“现代科学在短短几百年内迅速发展,正因为它不断修正自己。科学,贵在怀疑。”

除了“板缘张裂”,中国学者在气候演变方面也提出了全新的“低纬驱动”假说。过去,科学界认为北大西洋所在的高纬地区决定着全球气候变化。科研人员在“南海深部计划”的研究中发现,南海的记录却并不符合这种流行观点。

科研人员认为,太阳辐射主要集中在赤道附近的低纬度地区,低纬地区的水循环和碳循环,才是全球气候变化的基本因素。

“南海深部计划”研究历程中,研究团队一次次地从挑战权威中得到信心。

“我们中国的科学家,要建立敢于质疑世界

主流观点的‘中国学派’。首先,思想上要摆脱‘跟’的限制,特别是地球科学要意识到欧洲和北大西洋的局限性,不能以‘外包工’为满足。”汪品先深有体会。

### 共享科学魅力

科研之外,科普工作是汪品先和科研团队的另一项执着事业。在同济大学的《科学、文化与海洋》公共选修课上,汪品先对科学家做科普谈了自己的看法:科学发展和创新深深植根于文化的土壤,科普的目的就是培养科学文化的社会氛围,“中国科研工作者要在当代科学和华夏文化之间架桥筑梁,还自然科学以文化本色、赋传统文化以科学精神”。

“南海深部计划”自启动,指导专家组就将科普放在重要位置上,倡议项目负责人用普通人能理解的语言接受采访、汇报科研成果。同时,多数项目都分别开展形式多样的科普传播活动,如举办科普讲座、深海进中学课堂,出版科普读物。通过积极向社会传递南海深海科学知识,与公众共享科学魅力。

例如,在国际大洋钻探航次期间,科研团队举办了多场视频直播,向公众介绍深海知识和最新的发现。2018年5月,在国家自然科学基金共享航次“ROPOS 遥控深潜航次”期间,深潜团队实现了国内首次深海海底深潜的直播,展示遥控机器人在南海海底工作画面,深受岸上连线学生的欢迎和喜爱。

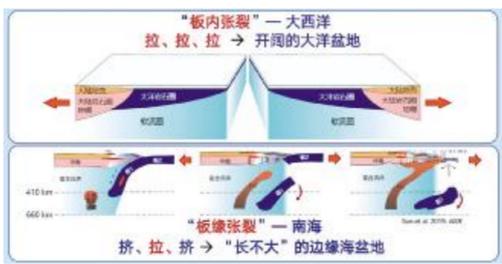
2019年8月,汪品先在面向社会举办的“亮点成果汇报大会”上,以《南海演义》的章回说书风格演绎南海的“生命史”,赢得满堂喝彩。2020年,科研团队在《科技导报》发表专科学论文15篇,努力用大众化的语言介绍科研成果。

“鲲鹏展翅飞南溟,万仞千山水底行。喜遇神州追梦日,龙宫深处探真情。”汪品先以诗载志。

将近10年里,全国300多个单位的科学家聚集在“南海深部计划”的旗帜下,同心协力、共同奋斗,使南海深部的科学认识提升到新的台阶,走到了世界边缘海深部研究的前沿。“希望我国已经形成的南海科研队伍,能够再做十年奋斗,百尺竿头,更进一步,把南海建成世界边缘海深部研究的典范,为世界海洋科学做出更大的贡献!”汪品先表示。

如今,他也有了一个新的愿望。“真希望有一天能够走出深潜器,去触摸真实的海底世界,我期待那一天。”采访最后,他告诉《中国科学报》。

## 我国科学家首提『板缘张裂』新模式



南海“板缘张裂”模式与大洋“板内张裂”的异同

本报讯 大陆如何破裂形成海洋盆地是地球动力学的基本问题。在“南海深部计划”支持下,我国科学家首次提出边缘海的“板缘张裂”新模式。

科研团队开展南海大洋钻探得到的证据表明,南海产生于新生代中期,属于超大陆瓦解后的板块碰撞期,是在西太平洋俯冲带岩石圈汇聚背景下发生的张裂,属于“板缘张裂”,不同于归属超大陆瓦解阶段形成大洋盆的“板内张裂”。

处在地球多个大板块交汇处的南海,是研究边缘海的天然实验室,其构造运动控制了东亚季风与环境演化,以及地震灾害、油气资源。长期以来,套用大洋模型解释南海成因,已经成为南海从基础研究到油气勘探共同遵守的信条。

但中国科研团队通过分析大洋钻探获得的南海岩层成分后发现,南海洋陆过渡带基底下面是砾岩和玄武岩,未发现地幔剥露,由此证明南海不是“小大西洋”。与始终在扩张的大西洋海底盆地不同,南海和众多边缘海一样,它们永远也长不大,如今已在消亡。

“在南海构造与岩浆活动的10年探索里,

我们历经三大阶段,就像打了海洋地质研究的‘三大战役’。”中科院南海海洋研究所业务副所长、特聘研究员林间告诉《中国科学报》。

关键实验阶段是最重要的“第一战役”。经过20多个航次、总计200多天的原始观测,科研人员通过首次海底深拖地磁与大地电磁实验,三个半航次国际大洋钻探以及大量地震实验的努力,得到了大量宝贵的深部地震、深拖地磁、地球化学、大洋钻探的新数据。

“第二战役”是在关键实验阶段取得的数据基础上,进行理论初步集成,归类实验、寻找亮点,进行成果大筛选。

在高度理论集成的“第三战役”阶段,团队再次提升认识,提出“板缘张裂”新概念,南海构造新故事逐渐成型。

与北大西洋扩张大背景下的扩张、全地幔对流的“板内张裂”不同,作为挤压大背景下的扩张,上地幔对流,南海的“板缘张裂”新机制是地球板块演变的又一重要模式。与此同时,通过精确确定南海年龄与扩张速率,科研人员还提出南海打开动力在东边的假说,否认了以往南海从西部或南部开始扩张的理论。

“期待‘板缘张裂’模式能够更准确地为南海勘探提供理论依据,现今进一步的任务是到南海南部深潜去,进一步验证‘板缘张裂’理论。”林间介绍道,未来科研人员计划将研究对象推进到东太平洋,并对太平洋的东、西俯冲机制进行对比研究。

## 全球气候演变新机制获揭示

本报讯 气候演变的驱动机制,是地球历史研究的基本问题之一。在“南海深部计划”支持下,我国科学家基于季风记录中显著的2万年岁差周期,提出气候变化“低纬驱动”新机制。

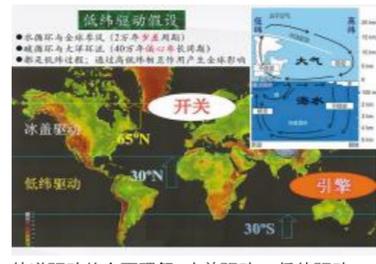
同济大学海洋与地球科学学院教授曹晋介绍,南海深海沉积的同位素分析发现了偏心率长周期,说明太阳辐射通过驱动以季风降水为代表的低纬过程带动水循环,又通过风化作用和营养输入导致海洋有机碳的变化,从而驱动大洋碳库的长周期。在现代气候中,气候演变存在“低纬过程”驱动机制。

近300万年前地球南北两极都形成了冰盖,2万年前全球1/3大陆压在冰盖下,这就是大冰期。20世纪发现冰期是地球轨道周期性变化造成的,而且是北纬65度的辐射量决定冰期

旋回,通过北大西洋深层水驱动大洋环流,改变全球气候,这就是气候演变的“高纬驱动”学说。多年来,全球气候演变的研究始终跟随欧美于北大西洋建立起来的主流模型,认为北极冰盖和北大西洋深层水主宰着全球的气候变化,但是受到了近年来石笋、冰芯等新资料的挑战。

南海的发现又从海洋记录提出了挑战。南海有孔虫—同位素等各种化学分析的结果,得出了周期性变化,反映出季风影响下低纬水循环的特色。通过水蒸气和溶解有机碳所反映的水循环和碳循环,中国科学家提出了“低纬驱动”的新观点,这更加符合气候演变的规律。

地球表面能量来自太阳,而辐射量集中在低纬区,由低纬通过大气与海洋向高纬传递。地球历史上极期有冰盖的时间只占少数,而全球



轨道驱动的全面理解:冰盖驱动+低纬驱动

季风却始终存在。因此,两极都有冰盖的近300万年是地球历史上的特殊时期,由此建立的“高纬驱动”气候演变机制只反映了部分现象,不能代表地球的整体。从地球系统的高度看,低纬过程驱动的水循环和碳循环才是地质历史上气候演变的基本模式。

## 三维空间的洋陆作用研究框架构筑

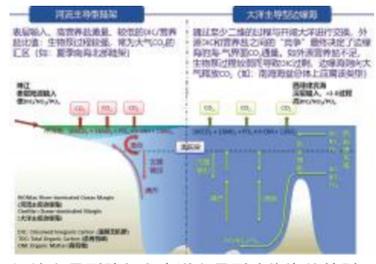
本报讯 “洋陆相互作用”是大洋深部水与大陆水在深海盆里发生的相互作用。作为世界上最大大洋和大陆之间的最大边缘海,南海深海盆的洋陆相互作用研究对全球环境演变有着重要的意义,但长期以来缺乏理论框架。

“南海深部计划”科研团队在南海观测中揭示了一种“强混合”驱动的大洋深部水模式,大洋深部水进入边缘海,改造以后返回大洋影响北太平洋中层水,同时在南海上翻从而改变南海的上层水体,其碳循环特征和等深流主导的深海物质搬运过程,凸显了大洋主控型边缘海特有的洋陆相互作用。

中国科学院院士、厦门大学近海海洋环境科

学家重点实验室教授戴民汉指出,相较于冰期时期,现代南海深水交换快、通风良好,表层与底层水的年龄差在南海北部大、南部小。在洋陆相互作用形成的“深海瀑布”中,太平洋深层水从巴士海峡入侵携带太平洋洋性溶解有机物进入南海,为南海的细菌进行降解,同时产生的NH<sub>4</sub><sup>+</sup>刺激南海北部硝化速率,从而提高生产力。与此同时,大量二氧化碳涌入带来的外源无机碳与营养盐对南海上层海水光合作用作出较大贡献。

而在南海研究之前,研究程度较高的边缘海,比如墨西哥湾流穿越尤卡坦通道和佛罗里达海峡形成环流,对湾流产生影响;地中海有高于36.5%的高盐水流穿越直布罗陀海峡进入北大



河流主导型陆架和大洋主导型边缘海的差别

西洋,影响着北大西洋的水文,但这两者都只是海洋上层的水流交换,不涉及深部。科研人员认为,三维立体洋陆相互作用属于有待大力开展的研究领域。

(本版图片均由研究团队提供,文字由本报记者甘晓、实习生蒋程撰写)