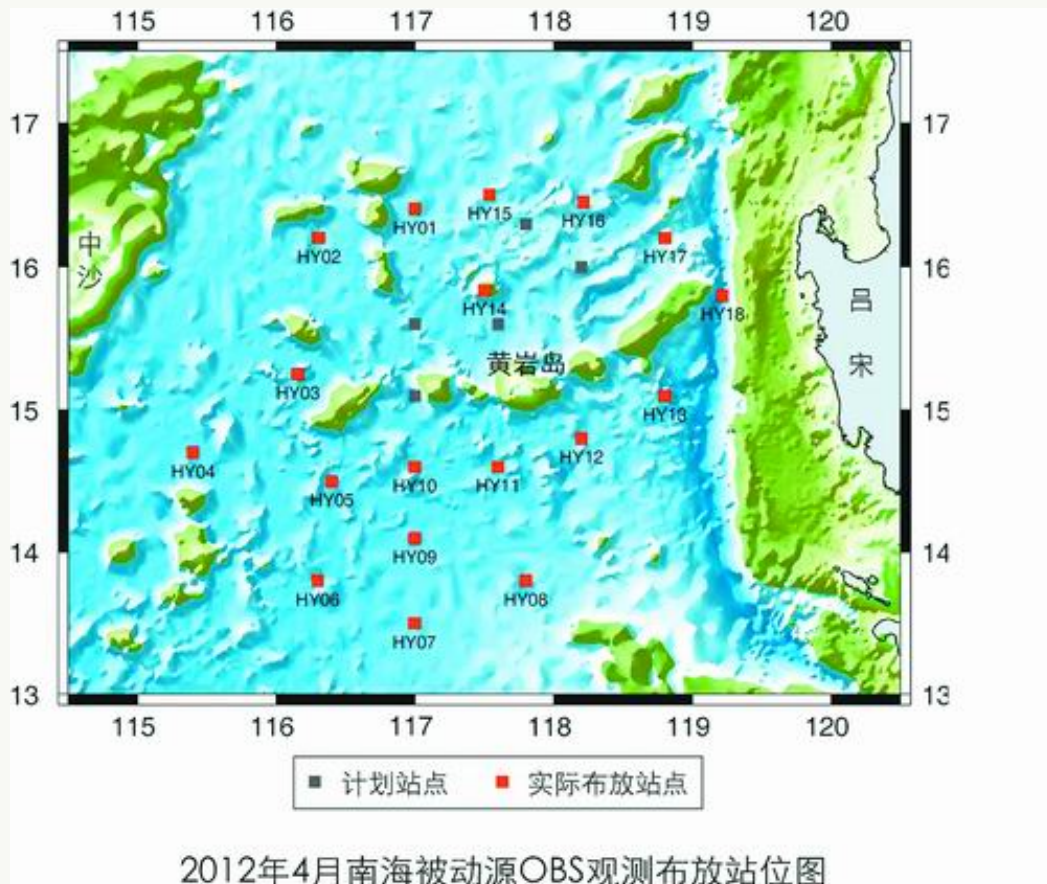


中国科学报：揭秘中国深海探测



■ 本报记者 冯丽妃 实习生 张雅琪 胡萍

16个月前的一次出海工作经历就像海上变幻莫测的风云，让杨挺等人经历了一次从波峰到波谷、从喜悦到沮丧的巨大心理落差。

杨挺是同济大学海洋与地球科学学院教授。2013年4月，他与研究组成员一起搭乘广东海洋大学的“天龙”号考察船，到南海中央海盆回收布放了一年的18台被动源海底地震仪（OBS）。

然而，整个收复过程却极具戏剧性。第一台到第七台OBS的回收工作可谓一帆风顺，正当研究人员为此行感到乐观的时候，随后的工作却急转直下。从第八台设备开始，接二连三的打捞失败让他们的心情跌入谷底。

“我们一开始估计这次的回收率会达到95%以上，甚至是100%，但最终有7台地震仪丢失了，这让大家非常沮丧。”杨挺在接受《中国科学报》记者采访时说。

4个月前，他与研究组成员合作完成的一篇文章在线发表于中国科学院主办的《科学通报》，文章简

述了此次实验仪器的布放、回收状况以及所收集的海底地震记录的数据质量。

此次海底天然地震台阵观测实验是中国“南海深海过程演变”的子课题之一，这项由中国国家自然科学基金委员会资助的大型深海探测项目于2011年立项，为期8年。该项目首席科学家、中科院院士汪品先在接受《中国科学报》记者采访时，勾勒了整个中国南海深海过程演变重大研究计划（以下简称南海深部计划）的架构以及3年多来这项中国首次深海探测计划的进程与阶段性研究成果。

多位研究人员在采访中向记者表示，南海深海探测不仅有助于揭示边缘海的演变机制，提高中国在全球边缘海研究领域的地位，而且有助于中国深入探测深海资源，增强我国对南海可开发资源的利用能力；更深远的意义在于，此举将有助于以科技合作促进民间交流，增强中国在国际上对南海的话语权……

然而，总体来看，中国的深海探测才刚刚拉开序幕。

遗失的海底“听诊器”

2012年4月，利用国家自然科学基金“船时共享”计划，杨挺与研究组成员乘坐“东方红2号”科学考察船在南海中央海盆的黄岩—珍贝海山链的两侧布放了18台OBS，其中16台OBS的站位水深都超过了4000米。

参与设备投放工作的国家海洋局第一海洋研究所高级工程师裴彦良告诉《中国科学报》记者，18台OBS包含国内外两种仪器。其中，15台为英法合作生产的Guralp CMG—40T型设备，其余3台是由中科院地质与地球物理研究所自主研发的国产I-4C型设备。

“OBS是最新一代海底地震仪，它以高强度玻璃圆球做外壳，由无线电或光学指示器定位，可以在深海海底采集地震数据，并能够自动回收或者定时浮出水面。”裴彦良说，据介绍，两年前投放的两种仪器的主要技术指标类似，如布放时长均为6~7个月，最大布设水深均为6000米等。

2012年10月，在布放期满后，研究人员曾组织考察船尝试回收仪器，然而由于当年台风“格美”“派比安”“山神”等接连发生，恶劣的海况使得数次回收尝试均无功而返。去年4月，仪器布放1年后，考察队再次出海进行回收，这次18台OBS中有11台回收成功。巧合的是，未回收的7台OBS全是进口设备。

对于回收失败的原因目前仍难以确定。研究人员表示，其中2台OBS对声信号的呼叫毫无反应，而测距数据表明，尽管另外5台有回应的OBS都在上浮，但速度却仅为正常速度的1/5，并且都在8至10小时后完全失去联系。研究人员推断，这可能是仪器的密封球漏水引发浮力和上浮速度降低所导致的。

“此次海底地震观测的目标不仅是记录南海中央海山地区地震频率，还包括对南海中央海山链下面的地质构造进行探索和摸底。”杨挺说。

国产设备的惊喜

无论从仪器数目、布放时间，还是记录数据的长度来看，此次实验无疑是近年来在我国海域进行的较大规模的被动源海底观测实验。尽管仪器的回收率不甚理想，但依然在很大程度上提高了我国对海底天然地震观测的认识，并为之积累了宝贵经验。

事实上，由于技术上的瓶颈，海洋回收系统的不稳定性仍是当前OBS长期海底观测普遍存在的一个问

题。近年来，美国进行的多个试验，如MARIANA、GLIMPSE、No-Melt等都存在10%~40%的仪器丢失或故障率。尽管如此，研究人员指出，除了布放的时间超过设计时长这一客观因素之外，两年前进口的OBS仍存在较为严重的回收系统不稳定的问题。

尽管性能类似，但是进口OBS与国产OBS在设计上却存在较大差别。前者是“双球结构”，两个密封球内分别放置锂电池和数据采集系统；而国产OBS则是“单球系统”，数据采集系统、锂电池、地震计、水听器等都在同一个密封球内。

“现在看来，国产设备已经实现了对进口设备的赶超。”裴彦良说。而两年前，由于国内设备满足不了研究组提出的技术指标，研究组不得不把目标转向国外。

“当时，国外的设备也尚未完全定型，我们相当于是他们的第一个用户。”裴彦良介绍，为了增加OBS回收的可靠性，经过此次试验，研究组制定了一套专门的工作方案：掌握布放时长与提高回收率之间的平衡，同时通过多次布放以及缩短布放时间来获取研究所需的数据量。此外，选择合理的布放时间窗口也至关重要。据了解，最好的作业时间窗口是每年的3月底到夏末，而其他时段由于受台风影响，投放和回收工作均不适合展开。

除了设备回收之外，研究人员介绍，与所有海底地震观测实验一样，实验数据的质量才是检验工作成效的关键标准。如由于与海底的耦合不好，有两台进口OBS和1台国产OBS记录的数据质量都不高，部分回收的OBS还存在明显的时钟错误。

尽管如此，科研人员对回收的11台OBS观测到的地震波形记录图进行挑选后发现，过半设备的数据质量良好，其中多半设备都记录到了六七次震级大于6.0的中强震。“设备所接收的远震和区域性地震的面波信号将可以应用在南海岩石圈的结构反演，而本地小震可以应用于马尼拉俯冲带结构的研究。”中国海洋大学地球科学学院教授、国家海洋局第一海洋研究所副研究员刘晨光告诉《中国科学报》记者。

“从分析结果看，我们发现一些海山存在‘激素异常’，这可能意味着某个地方的温度相对其他地方更高，或该地方有一些残留的岩浆，抑或是它和周边的岩层结构有些差别。”杨挺表示，目前相关研究仍在进行中。

有趣的是，研究人员还意外发现，地震记录和海洋活动之间存在很大的相关性。在OBS接收到的7个月的数据中，由于观测的时间正好与南海的台风季节重合，记录的很多台风信号可能会掩盖地震信号，但却可以用来揭示洋流活动的规律。

南海是最好的突破口

为了弥补丢失的7台设备造成的信息记录缺失，今年7月，研究组又在南海南部布置了一批OBS，刘晨光表示：“再观测半年就会出成果。”

事实上，这项大规模OBS三维地震探测研究只是南海深部计划44个项目中的1个，该计划于2010年7月正式立项，2011年启动以来已经在南海深海盆陆续投放100多台次OBS探测海底地壳以及上地幔结构并进行三维成像，以探索构造演化，从中窥探南海海底的深部结构。

“目前，在南海中央和西南盆地分别用OBS进行的三维广角地震探查已取得部分成果。同时，在西南海盆扩张中心发现基底拆离断层、洋壳严重减薄和上地幔抬升，为认识边缘海岩石圈构造和演变提供了重要信息。”汪品先说。

在他看来，中国要在深海探测方面有所作为，南海是最好的突破口。一方面，南海开展深海研究的优势在于规模小、年龄小，且沉积速率和碳酸盐含量高，正好弥补了大西洋和西太平洋的不足。另一方面，尽管南海的经济资源需求强调对其周边大陆架和陆坡的研究，但生命史揭秘的钥匙却在洋盆深水部分。

他把南海深部计划称为再造边缘海的“生命史”，该计划中的三大专题——构造与岩浆活动、沉积与古海洋学、生物地球化学，也被他比作了解南海生命体“骨”“肉”“血”的形成过程。“南海盆地是如何形成和发育的？其中的沉积物和环境经历了哪些演变历程？海水的生产力与碳循环变化之间的关系怎样？”这些都是科学家要回答的问题。

汪品先表示，OBS地震探测正是研究南海“骨架”的项目之一。除此之外，其他的南海“骨架”研究还引入了近海底深拖磁测、大洋钻探、海山浅钻等高新技术。

该计划首次运用了深拖磁测系统，对接近南海海底的地方进行高分辨率磁异常测量，确定海盆扩张时间与过程。“此前，全世界对南海水深4000米以下的深海盆的认识一直停留在三四十年前美、法用传统船测方法取得的磁异常条带的基础之上，而国外的数据是从船上测量的，海底信息到了船上就已经很弱了，现在我们比原来的分辨率提高了3个量级。”汪品先说。

3年来，通过深拖磁测系统，研究人员在南海中央与西南海盆4条测线成功获得1220千米的深拖磁异常记录，为南海扩张年代与速率计算提供了崭新依据。

同时，南海深部计划还积极与其他国际国内计划相结合，进行共同探索。今年3月，作为国际大洋钻探计划（IODP）新十年的首个航次，由我国科研人员占主导的IODP349航次在4000多米的深海进行钻探，采得了当年形成的南海大洋地壳，确定南海最终形成的年龄在距今1600多万年前，并且澄清了多年来的争论，确认南海东部深海盆先于西部形成。

“现在，这个航次结束才几个月，目前采集的样品都正在分析研究阶段，大概需要两年左右的研究周期。”此次大洋钻探航次负责人之一、同济大学海洋与地球科学学院教授李春峰向《中国科学报》记者透露。由于这次钻探所获得的材料都是前所未有的，未来研究人员通过钻取的沉积层和玄武岩，对南海沉积层、古环境以及扩张机理等方面进行的研究也将填补该领域的空白。

相关研究齐头并进

值得一提的是，南海深部计划还把深海浅钻和载人深潜结合起来。如2012年“蛟龙号”下潜至3000米深海的破裂火山口，发现多金属结核密集分布区，为研究深海火山形成后的沉积覆盖历史提供了新的线索。“大洋钻探和深潜让我们对南海有了更深一步的了解，在此之前，我们并不知道南海形成初期有过如此强烈的火山运动。”汪品先说。

此外，南海深部计划中“肉”与“血”的研究也齐头并进。在沉积与古海洋学研究方面，已先后在南海北部布放深层环流观测潜标计100多套，初步构建了深层环流观测网；深海潜标还在2000多米深处发现了平均流速达4.3厘米/秒的西边界流。观测还发现中尺度涡和内波在深海沉积搬运中的作用等。

深海生物地球化学研究是个新领域，南海大计划从海水化学、微型生物碳泵和冷泉溢出流体三方面入手，以碳循环为核心开展研究，仅微生物研究就集合了全国5个微生物实验室，从海水化学、微型生物碳泵和冷泉溢出流体三方面入手，以碳循环为核心，开展了卓有成效的研究，取得了大量成果。如首次

获得南海海水和沉积中微生物分布特征和群落结构的认识；深化了“微型生物碳泵”机制和储碳功能的认识，提出碳储库长周期演变的“溶解有机碳”假说等等。

“作为我国海洋领域第一个大型基础研究计划，南海深部计划用1.9亿元的总经费，整合了我国各部门、各学科的力量，它所涉及的学科、部门、领域等都是前所未有的，其意在打造共同向深海进军的合作平台。”汪品先说。

虽起步 已引领

尽管南海深部计划实施以来已经在多个领域取得成绩，但专家一致认为，当前在深海研究领域，中国仍处于起步阶段。

在杨挺看来，深海科学研究在很大程度上依赖于深海探测和调查技术的运用，南海深部计划多数需要运用相关深海高新技术，而且很多技术都是前所未有的，因此对于开拓创新的要求要高于一般的科学研究。

海洋科学的新方向是在海底进行长期原位的实时观测。以海底地震为例，如果想要做地震预警，就必须在海底连续观测并实时传送信息。如果把海底的生物或化学品搬回实验室，往往已经面目全非。

“如果我们在海底建立观测系统，把观测仪器放在海底，通过有线和无线网络向各个观测点供应能量、收集信息，就相当于把气象站、实验室搬进了海洋。”汪品先表示，这是当前海洋研究的最新技术，可以同时满足资源勘探、灾害监控、航海与军事研究以及国家海洋安全的多方面需求。

为此，2009年，汪品先带领科研团队迎难而上，建立了我国第一个小型海底观测系统——东海海底观测小衢山试验站，迈出了我国深海观测系统研究的第一步。

如今，在同济大学的实验室中，该观测系统每15秒钟就会传来海温、盐分和水压等记录信息。随后，2011年，上海市也把“海洋环境监测”列入“十二五”科技发展规划，计划投资4000万元，在5年内建立长达50公里的“东海海底观测网”。

不过，这些都是实验性的网络，现在研究人员正在推进建设国家的海底观测网。作为“十二五”期间的大科学工程，该项目已在2011年通过立项。“它可以观测到东海的浅水和南海的深水。如果将来我国的观测网建成了，就可以用来实时观测南海的‘血’和‘肉’。”汪品先说。

“海底观测网并非只是中国处于起步阶段，该领域对全球很多国家来说都还是一片空白。”杨挺表示，从全球范围看，加拿大的观测进展较大，其“海王星”计划在全球海底地震观测中算是较为成功的案例，是目前最大的海底观测网。本来最大、最好的应当是在美国，但是美国“OOI”海洋观测计划十多年来几经周折，今年才有望建成。

“目前我国的势头不错，一旦建成，南海深部的研究又将迈上一个台阶。”汪品先说。事实上，在南海深部计划实施3年以来，南海科学研究成为国际海洋研究的新热点。如《自然》和《科学》先后对中国“南海深部计划”进行了专题报道，在2012年于上海举行的揭示南海张裂过程的国际讨论会上，关于南海大洋钻探航次的学术研讨，吸引了来自15个国家的构造学研究权威。

瓶颈犹存 合作至上

“海洋是一门观测科学，海洋科学研究有数据才有话语权，只有不断投入资金、时间、设备和人力

资源，才能获得可靠的数据，才能了解这个区域的科学问题。”刘晨光说。

然而在科学家看来，当前我国深海研究的投入问题依然存在瓶颈。由于深海研究的海上作业费用昂贵，不但要大量投入高技术仪器设备，而且高风险的深海作业常造成设备损失，研究人员表示，单靠每项平均二三百万元的单独基金资助很难完成既定科研计划。

有一次为了节省资金，杨挺和研究组出海回收OBS只雇了一艘小船出海，由于海上风浪很大，很多成员不仅严重晕船，还差点造成不必要的危险。刘晨光介绍，由于海洋深部探测极耗财力，南海深部计划中500万元的设备经费可谓捉襟见肘，研究组在很多情况下不得不自筹经费。“现在，国家的投入在不断加大，但还是不能满足研究需要。”

“深海研究全部是高科技，我们的项目都属于学科前沿。如何在有限的基金经费投入下获得事半功倍的效果，我们采取的措施是合理布局立项，尽可能紧密合作、联合出海、提高效率。”汪品先表示。

“认识南海，中国应该走在前面。”汪品先同时强调，中国南海研究不仅要证明南海的奥秘主要是由中国科学家解开的，而且由我国主持、周边国家参加的南海国际科研合作促进南海各国之间的相互了解、共同开发。“在建立与西方科学家合作关系的同时，保持与南海周边国家和地区的友好往来，在搭建国际合作平台的同时，还可以增强我国在南海科学研究上的主导地位。”

采访过程中，多位专家向记者表示，南海深部计划的成功必须进行多方位的国际合作。因为把南海作为边缘海研究的典范，本身就是一个国际性的学术命题。而且，南海深海研究要求相邻地区的配合，构造演变、沉积充填等科学命题都离不开周边陆地地质特征和沉积来源的研究。

据了解，目前，南海深部计划涉及43个单位、370余名研究人员和研究生参加，这些力量大大充实了我国深海研究的实力。但是，汪品先同时指出，由于南海深部计划的研究对象在空间上绵延数百万平方公里，时间上跨越数千万年，所跨的领域又十分宽泛，如果没有明确的科学主线加以限制，很容易变成一个项目“大口袋”或者“永恒的课题”。

“我们要做好立项把关，不能为探索机理服务的现象描述概不纳入本计划。同时，抓住‘边缘海生命史’的主线，尽早展开集成研讨，还原南海的生命故事。”他表示，从今年开始，该计划已进入集成研究阶段，集成研究分两步进行：2014~2016年先分三个组进行专题集成，2016~2018年在此基础上进行整体集成。



《中国科学报》（2014-08-08 第4版 深度）