“大洋一号”和“蛟龙号”首次在这里同时现身——

西南印度洋海底寻宝记

本报记者 鲍晓倩

直击中国大洋 第34航次科考

马达加斯加以南9000海里外的西南印度洋，远离大陆、岛屿和所有航线，水深2000至3000米，最深处可达5000米——这里，正是中国大洋34航次、35航次科考的目的地。

我国大洋科考主力船“大洋一号”执行大洋34航次任务，搭载我国首个载人深潜器“蛟龙号”的“向阳红9号”执行大洋35航次任务，2014年12月至2015年2月，两条船共同在这片海域进行科学考察，这是我国大洋科考史上首次出现的景象。

西南印度洋究竟蕴藏着什么奥秘？我国探秘深海海底，近年来又缘何频频锁定西南印度洋？

神秘的海底“黑烟囱”

热液喷口，被认为是二十世纪海洋科学最重要的发现之一。这种喷溢黑色热液的烟囱状黑色“岩石”，热液测温高达350℃至400℃。

2月9日至3月20日，中国大洋34航次第3航段，担任大洋34航次首席科学家的国家海洋局第二研究所研究员陶春辉从“向阳红9号”转到“大洋一号”工作。“搞了这么多年热液调查，亲眼在海底看见大量冒着黑烟的‘黑烟囱’，还是非常激动。”在向9船期间，陶春辉曾4次搭乘“蛟龙号”下潜至海底。

1977年，“Alvin”号深潜器在东太平洋洋中脊首次发现热液喷口，被认为是20世纪海洋科学最重要的发现之一。1979年，美国科学家利用“Alvin”深潜器再次回到东太平洋海隆拉帕格斯扩张中心，观测到正在喷溢黑色热液的烟囱状黑色“岩石”，热液测温高达350℃至400℃，这也就是人们常说的“黑烟囱”。

“黑烟囱”是如何形成的，又有什么价值？大洋34航次地质组长、多次参与我国大洋调查工作的中国地质大学教授苏新介绍，海底热液循环模式是比较公认的“黑烟囱”形成模式。由于板块运动，大洋中脊的扩张中心产生很多断裂和裂隙，低温海水在这种高渗透的岩石中下渗到较深的地壳，被加热后从周边围岩中淋滤出大量的矿物质，从而形成高温并富含多种金属组分的热液流体。热液流体受下伏岩浆物质上涌驱动或构造挤压，就会沿裂隙上升喷发，在海底表面周围与低温海水混合时，溶解在其中的金属成分就沉淀并形成多金属硫化物或硫化物烟囱。

陶春辉表示，多金属硫化物由于含有铅、锌、铜、金、银等多金属元素且富集程度高，有望成为21世纪人类即将开发的重要海底矿产资源之一。这些富含铜、锌、铅、金和银等金属元素的硫化物与陆地上发现的火山成因块状硫化物资源具有紧密联系，也激起国际采矿界极大的兴趣，一些国家开始将热液硫化物作为一种潜在的矿产资源进行调查。

热液硫化物作为海底热液活动的主要产物，按喷发时的温度和颜色可分为黑烟囱、白烟囱和低温喷口三种。一般认为黑烟囱可高达300至400℃，以金属硫化物为主；白烟囱为100℃左右，以硫酸盐、二氧化硅和闪锌矿为主；低温喷口在100℃以下，以碳酸盐和二氧化硅为主。

非常幸运的是，由“大洋一号”完成的17、19、20航次等多次环球科考，就已经几乎发现了大部分形式的海底热液区，如在东太平洋海隆和西南印度洋发现了以玄武岩为围岩的“黑烟囱”、“白烟囱”和碳酸盐岩烟囱，在西南印度洋发现了与超基性岩蛇纹石化有关的硫化物，并发现了“非活动”的硫化物。

截至2014年，近30年来全球已经有300多个热液区在全球的大洋中脊、弧后盆地和板内火山等不同构造环境中被发现，其中超过60%分布在大洋中脊地区，其中40%位于国际海底区域。

图① “大洋一号”驶离毛里求斯路易港，中国大洋34航次科考第三航段正式起航。

图② 科考队员对拖体入海进行综合异常拖曳探测测线。

图③ 科考队员指挥抓斗释放1850米深海底取回的样品。

图④ 大洋34航次海底中深钻作业顺利收官，我国首次在海底热液区获得热液活动岩心序列。 鲍晓倩摄

在洋中脊寻找硫化物

海底多金属硫化物分布于大洋中脊和弧后盆地，我国的大洋调查研究证明，超慢速洋中脊有岩浆活动，形成多个热液多金属硫化物区。

事实上，我国对西南印度洋的科学考察早在10年前就已启动。2005年4月至2006年1月，“大洋一号”船完成了我国首次环球科考暨中国大洋科考17航次，首次在印度洋发现了热液异常。2007年1月3月中国大洋19航次第I、II航段在西南印度洋发现了第一个活动热液区——龙旂热液区。

“当时拍摄到了正在冒‘黑烟’的硫化物烟囱体和大量硫化物和生物照片，并取得了硫化物烟囱体、玄武岩及热液生物等样品。”亲历发现过程的陶春辉表示，龙旂热液区是世界上第一个在超慢速扩张洋中脊发现的活动热液区，对于研究超慢速扩张洋脊热液活动类型、成矿作用、热液生物分布以及对大洋的热质贡献等具有重要的科学研究价值。

此后，中国大洋调查航次在西南印度洋开展了5个航次的海底热液活动调查，发现了10余处热液区。

海底多金属硫化物分布于大洋中脊和弧后盆地，热液区在太平洋、大西洋也有发现，但我国为何将西南印度洋作为研究重点？

洋中脊全长5万多公里，是全球最长、最复杂的构造体系，在洋壳增生和板块运动过程中扮演着关键角色。大西洋的洋中脊在洋盆中心，而太平洋的洋中脊偏洋盆东侧，临近美洲；印度洋的洋中脊则是人字形。“简单地理解，洋中脊就是大洋中的山脉，是地壳物质增生的地方，而海沟则是地壳物质消亡的地方。”苏新说。

“西南印度洋洋中脊属于超慢速扩张洋中脊。”苏新介绍，不同扩张速率的大洋中脊具有不同的地形地貌、构造特征和岩浆活动等，直到上世纪末，绝大部分针对洋中脊海底热液活动的调查研究集中在太平洋和大西洋的快速和中慢速扩张洋中脊，对于超慢速扩张的西南印度洋中脊(SWIR)和北冰洋的Gakkel洋中脊海底热液活动的研究程度尚十分薄弱。

过去科学家一般认为，超慢速洋中脊地壳岩浆活动不频繁，因而难以形成“黑烟囱”硫化物。“但在快速洋中脊，由于板块构造活动频繁，形成的物质会不断破坏，而慢速和超慢速洋中脊形成的硫化物不易被破坏，且地幔深部物质更容易与海水发生长周期反应，形成富含金属的流体被带上海底表层。中国的大洋调查研究也证明，超慢速洋中脊有岩浆活动，形成多个热液多金属硫化物区。”苏新说。

2011年，我国与国际海底管理局签署西南印度洋《硫化物资源勘探合同》，获得1万平方公里具有专属勘探权的多金属硫化物资源矿区。2014年11月至2015年6月进行的中国大洋34次科考，正是继大洋30航次后执行合同开展的第二个大洋调查航次，标志着我国在西南印度洋的科学考察工作从科学调查走向了勘探。

独特的热液生态系统

在此生态系统中，初级生产者是能利用海底热液流体中还原性物质合成有机物的微生物，这些化能自养微生物能为其共生的生物提供赖以生存的大分子有机物质，从而形成一个化学能量生态系统。

我国对西南印度洋深海海底的探索，意义并不仅仅在于寻找多金属硫化物。采集及研究大洋洋中脊中深海热液生态系统的生物，从而获取独特的生物基因资源，是西南印度洋科考的另一重要目的。

大洋深处被称为“地球最后的秘境”。1977年，科学家们在东太平洋洋中脊观测到海底热液口时，更意外的重大发现是在约2500米处的海底第一次发现了热液生态系统。此前人们认为深海底没有生命，因为没有光、温度低、压力大、氧气也不够，但热液喷口附近居然有众多不依赖阳光的热液生物，给当时的地学界和生物界带来了巨大震动。

“深海热液生态系统的发现，打破了以往‘万物生长靠太阳’的定论。在此生态系统中，初级生产者是能利用海底热液流体中还原性物质合成有机物的微生物，相当于光合生命系统中植物的作用。”中国大洋34航次首席科学家助理、国家海洋局第三海洋研究所副研究员董纯明告诉记者，它们能在高压高温极端条件下生存，这些化能自养微生物能为其共生的生物，如热液盲虾、热液蟹、贻贝、海蜗牛和藤壶等提供生存繁衍所必需的大分子有机物质，从而形成了一个高效物质流及能量流的化学能量生态系统。

高温、高压、黑暗、低氧浓度、剧烈变化的温度、盐度等水文因子及多种重金属以及其他毒类物质的存在，使深海热液口生态环境显得非常严酷和不稳定。但令人惊奇的是，热液区的生物量和栖息密度都很高，通常是其他深海环境的500至1000倍，这与热液口化能自养微生物的高生产力有关，有科学家估计可能是光合作用量的2至3倍。

中国大洋34航次第三航段生物组组长、国家海洋局第三海洋研究所施晓峰博士介绍，深海热液喷口周围存在多个渐变梯度带：一个是向四周渐低的温度梯度带，第二个是多种化学物质浓度向四周渐低的化学梯度带，这促使第三个梯度带的形成——以喷口为中心向四周呈环带状分布的热液生物梯度带。“在喷口附近水温为60至110℃的区域，以古细菌和嗜热细菌为主；在温度为20至40℃的区域，以嗜热的多毛类为主，代表物种为庞贝虫；在温度为2至15℃的区域，生物种类繁多。”

“截至目前，已描述的热液生物新种已近600种，这一数据还在不断刷新。在过去30年间，平均每个月，全球就有两个深海热液生物新物种被发现。”施晓峰说。

“我们在大洋26航次时，就曾经在南大西洋洋中脊抓取过热液生物。可以说海底热液活动区是天然的海底实验室，是当今科学研究前沿。”董纯明表示，对热液大型生物和微生物的基因资源研究、开发和利用，是目前国际海洋生物学研究的前沿领域和热门课题，从这些深海极端生物中开发在医学、工业、环保领域中具有特殊功能的高科技生物产品，具有巨大的发展空间和经济前景。

与此同时，热液区给从事基础研究的科学家们提供了重要启迪——“黑烟囱”周围有毒、高温、酸化的环境很像地球形成初期的环境，这为人类认识地球结构和演化、海洋环境变化、生命起源等提供了全新的窗口。

科普

一次充电，可让电动汽车行驶1000公里，充电时间却仅需几分钟——

关注“超级电池”的巨大能量

陈庆修

生活中，电池容量不足时常困扰着电动车和智能手机用户。性能稳定、价格合理的超级电池是人类多年来追寻的梦想。现阶段人们对超级电池的形象描述可概括为：一次充电，可以让电动汽车行驶1000公里，让智能手机玩一周，充电时间能控制在几分钟内，最好可无线充电。这种超级电池的市场规模不低于1万亿美元。当前，美国、中国、日本和韩国都在冲刺超级电池。

目前常用的锂离子电池1991年才开始商业化，主要有钴酸锂、磷酸铁锂和锰酸锂3种类型。钴酸锂电池能量密度最高，但高温下不稳定，其他两种能量密度不高。可充电电池的第五代产品——锂金属电池诞生于1996年，在安全性、比容量、自放电率和性能价格比方面，均优于锂离子电池。但距离超级电池的要求，还有较大差距。

石墨烯有望引发电池新突破。2004年诞生的石墨烯，其特点是具有良好的导电导热性能：作为电导体，其导电性可与金属铜媲美；作为热导体，它是现有材料中最好的，更难能可贵的是，这种材料在很薄的时候，仍有很高的硬度。石墨烯已被各大工业国列为重要材料进行深度开发。目前，石墨烯应用于电池上的研究基本上有3个方向：

一是以石墨烯形成全新体系电池。就是说以石墨烯制造一个全新体系的电池，在性能上是颠覆性的，称作“超级电池”。使用这种材料制作的电池，能量密度超过600wh/kg，是目前动力锂电池的5倍，一次充电时间只需8分钟，可行驶1000公里；电池重量只有锂离子电池的一半，体积也会大幅缩小，减轻使用该电池汽车的自身重量；电池的使用寿命更长，是传统氢化电池的4倍，锂电池的2倍；其成本将比目前锂电池降低77%。这些物理参数都符合超级电池的要求。

二是以石墨烯强化现有电池性能。将石墨烯运用到现有电池上，改进提升锂电池、太阳能电池等电池性能，力图达到超级电池的性能。对于那些已投巨资建设锂电池工厂的企业，短期内很难再投资开发一种全新电池，利用石墨烯的特性来提升现有锂电池性能，或许更为现实。就石墨烯属性来说，作为最薄、最坚硬、导电性良好且拥有强大灵活性的纳米材料，石墨烯可广泛应用于锂离子电池、超级电容器及太阳能电池等储能产品中。石墨烯的特殊结构决定其可以提升电池中的锂离子获得高速率通道的性能，可以帮助锂电池技术突破长期难以逾越的障碍。目前，以石墨烯和硅为原料研发的手机电池，每次充电仅需15分钟，便可让手机运行一周。

三是以石墨烯催化燃料电池性能。用特制的石墨烯材料替代铂作为催化剂，来制造燃料电池所需的氢燃料。燃料电池是将燃料具有的化学能直接变为电能的发电装置。与其他电池相比，具有能量转化效率高、无环境污染等优点。“质子传导薄膜”是燃料电池技术的核心部分。现有的质子薄膜上常存在燃料泄漏，因而降低了电池有效性。但质子可以较为容易地“穿越”石墨烯等二维材料，而其他物质则很难穿越，这就可以解决燃料渗透的问题，从而增强电池的性能。

石墨烯技术的应用至今仍处于初级阶段，尤其是能让电池体积和重量大幅缩小的单层石墨烯材料，成品率低，生产成本高，成为石墨烯电池难以产业化的重要成因。因而，通过进一步创新，完善技术工艺，降低生产成本，是今后石墨烯电池发展的关键。目前，我国在石墨烯研发及应用上走在世界前列，已有多款石墨烯电池和石墨烯锂硫电池取得了突破性进展。

当然，全球在电池领域的研发不仅限于石墨烯，日本就在研发利用镁生产性能更高、成本更低的蓄电池；瑞典正在研究利用碳纤维来提高锂电池的性能。但这些新技术要真正实用化，甚至形成巨大的产业，还需要经过市场的洗礼。

总之，寻找超级电池的过程，是科技创新的过程，也是产业结构优化的过程。以石墨烯为代表的超级电池实现突破之日，将是包括电动车、手机、电脑等一切靠电力驱动设备变革之时，对多个行业将具有颠覆性意义，必将为人类生活翻开新的一页。

随船笔记

我当“大洋一号”多波束记录员

“拖体准备回收，多波束打点，多波束打点！”

“多波束收到！”

对讲机中，发生在西南印度洋“大洋一号”深拖实验室值班员与多波束实验室值班员之间的对话，是我在“大洋一号”上日常工作的一个普通片段。

在大洋34航次第三航段抵达作业区前一天，经过培训，我就正式成为“大洋一号”科考船上的多波束记录员。这可不是临时岗位，每天下午14点到晚20点，我都得在多波束-浅剖实验室、重力-ADCP实验室值班。

为什么连记者都开始干实验室工作了？一句话，人手紧张，时间宝贵。除去船员，船上一共只有42名科考队员，任务却很繁重；而“大洋一号”每航行一天成本就是40万元。每念及此，从首席科学家到普通的调查队员，都恨不得能把一天掰成两天用，把一个人当成两个人使，抓紧一切时间尽量多干点儿活才好。

“大洋一号”的工作模式是24小时昼夜不休，所有人被分为4组，4班倒，人可以休息，设备和科考工作却没有一刻停歇。而所有男科考队员，除了地球物理组、地质组、化学组、生物组、热液异常探测组、电法磁力组等专业组任务，还得在后甲板上干重体力活，比如重达数千公斤的设备入水时，要合力拉绳子固定设备，比如在风浪天爬上设备做维修。

因而，作为正式队员，除了做好报道，当记录员也是我的职责所在。“打点”即记录多波束、ADCP、浅地层剖面仪和重力仪等4台设备探测到的实时数据，包括经纬度、航速、航向、水深等基本数据，也包括摆位、压力、CROSS、LONG、CC、TC、ST、GRAVITY等专业数据。我的任务是在航渡期间，每小时记录一次；作业期间，每半个小时记录一次；而每当有其他大型探测设备如钻机、拖体、抓斗等入水、到底、离底、出水时，都要分别“打点”。

由于对仪器设备的稳定性有所要求，多波束-浅剖实验室、重力-ADCP实验室位于“大洋一号”船的最底层，这里是全船最平稳的地方。对于晕船的人来说，值多波束班，也就成了件幸福的事儿。

所谓多波束，全称“多波束海底地形地貌测量系统”，是探测海底地形的基本设备，每隔12.5秒向海底发射191个声学波束，根据时间、角度、声速等就可以计算出水深，了解探测区域的海底地形；浅地层剖面仪，能通过声学反射特征了解海底浅地层结构；ADCP，是探测海底底流和流速的仪器；而重力仪，能够反馈海底重力异常现象，有助于了解地下深部结构。

4585米，我面前的显示屏会实时显示“大洋一号”所在位置的海水深度。中国大洋34航次第三航段地球物理组组长熊威介绍，“大洋一号”船底的导流罩内安装着两个各8米长的“大方阵”：发射阵和接收阵，多波束设备采集的数据会生成地形图，实时反馈到试验室的电脑显示屏。其实，海底地形也和陆地一样，有高山，有谷地，有平原，显示屏上地形图里蓝色是海水较深的区域，相当于海底的谷地，红色是海水较浅的区域，相当于海底的高山。

对了，所有实验室使用的班报记录工具必须是铅笔。原来，地质记录一直是使用铅笔，比较圆珠笔、钢笔，铅笔笔迹保持时间最长，也不会因为遇水糊掉。

文/本报记者 鲍晓倩

我国发布全球首批量产石墨烯手机

近日，全球首批量产石墨烯手机在重庆问世。图为中科院重庆绿色智能技术研究院的科技工作者在展示可弯折的石墨烯触摸屏(右)和首批量产的石墨烯手机(左)。 新华社发

本版编辑 童娜 郎冰
联系邮箱 jjrbxzh@163.com