

及早介入 国际竞争

海底观测系统的全面建设,即便发达国家目前也处于起步阶段,如果我们能够从长远着眼、从当前着手,立即部署、尽快行动,完全有可能在这场新的海上竞争中,争得主动。

进入21世纪以来,围绕海洋的国际之争,最令人瞩目的就是海底观测系统的竞争。建设海底的地球观测平台,通过光缆联网供电和传递信息,对海底以下的岩石、流体和微生物,对大洋水层的物理、化学与生物,以及对大气进行实时和连续的长期观测,是海洋科技的重大举措,预示着科学上的革命性变化,而同时也有军事上的重要性,必将成为海上权益之争的新手段。

在这场正在酝酿的海上竞争中,走在最前面的是美国。其实最早进行海底观测的,正是美国的海军,他们的声波监听系统既可以监听鲸鱼和地震,也可以监听潜艇。上世纪90年代起经过十多年的讨论,美国2006年6月底通过了由近海、区域、全球三大海底观测系统组成的“海洋观测计划(OOI)”,今年起建,计划使用30年。其中最为重要的是区域性海底观测网,即东北太平洋的“海王星”(NEPTUNE)计划,在整个胡安·德富卡板上,用2000多公里光纤带电缆,将上千个海底观测设备联网,由美、加两国联合投资,对水层、海底和地壳进行长期连续实时观测。美国的计划已经在欧洲和日本得到响应。2004年,欧盟英、德、法等国的研究所制定了欧洲海底观测网计划(ESONET),针对从北冰洋到黑海不同海域的科学问题,在大西洋与地中海精选10个海区建设站网,进行长期海底观测。日本长期以来特别关注板块俯冲带的震源区,上世纪80年代末期以来,日本在其附近海域已经建立了8个深海海底地球物理监测台网,有的已经和陆地台站相连接进行地震监测;2003年又提出的ARENA计划,将沿着俯冲带海沟建造跨越板块边界的海底观测站网,用光缆连接,进行海底实时监测,可以预料,海底观测网建设的国际竞争,在若干年内必将引发国际利益与安全之争。

近年来,在海洋“863”计划和地方建设的推动下,我国已经在沿海周边地区初步建立起航天、航空、海监船体等监测体系,提高了海洋环境观测监测和预报能力,但其目标还是海面的环境监测和台风、风暴潮等的预警,并未涉及海底。好在海底观测系统的全面建设,即便发达国家目前也处于起步阶段,如果我们能够从长远着眼、从当前着手,立即部署、尽快行动,完全有可能在这场新的海上竞争中,争得主动。

人们预计,21世纪的突破将在地球系统科学的领域,人类从地面、空间、海底三管齐下观测地球,将揭示地球系统“运作”之谜。当前建设中的海底观测系统,正是通向新突破的捷径,而且作为新开的领域,各国也都处在起步阶段。中国正经历着数百年不遇的良机。我国科学界应抓住时机,在这场新的突破中对人类作出应有的贡献。

新世纪伊始,一个新的科学热点正在出现:这就是海底观测系统。其功能是把深海大洋置于人类的监测视域之内,以从根本上改变人类认识海洋的途径,开创海洋科学的新阶段。

迄今为止,人类“入地”的能力仍然远逊于“上天”。海底是最贴近地球深处的去处,从海底“第三个平台”观测地球,将揭示地球系统“运作”之谜。

建设中的海底观测系统,是通向新突破的捷径,作为新开的领域,各国都处在起步阶段。中国,正经历着数百年不遇的良机。

在海底装上“眼睛”

——地球系统的第三个观测平台

汪品先

换个角度 审视地球

假如把地面与海面看作地球科学的第一个观测平台,把空中的遥测遥感看作第二个观测平台,那末新世纪在海底建立的,将是第三个观测平台。

人类认识世界的过程,是一部不断扩展视野的历史。古人没有想到海洋有这么大,15世纪重新发现的“托勒密地图”上并没有太平洋,以为欧洲航海西行到亚洲并不遥远,否则哥伦布也许不敢冒这个险。当然更不会知道海底的地形起伏,会比陆地的高山深谷还大,这要等到20世纪中期,有了声波测深技术才能发现。现在我们知道,海水比河水多百万倍,海洋的平均水深3800米。隔了厚层的水,人类对深海海底的了解,还不如月亮和火星表面。而地球深处“地幔”里的水,又比地球表面的海水多许多倍。

人类视域的突变发生在17世纪:用新发明的显微镜,看到了细胞,看到了微生物;用新发明的望远镜观察行星,提出了“日心说”,导致“哥白尼革命”。又一次突变发生在20世纪:航天技术使人类克服地球引力进入太空,第一次看到地球的全貌,开始将地球看作一个整体,将地球上种种现象连接为“牵一发而动全身”的系统,导致地球系统科学的产生,被喻为“第二次哥白尼革命”。

这次“革命”对地球科学的影响最大,尤其是浩瀚的大洋。人类对海洋的认识,大都是19世纪晚期以来通过航海从船上取得,这种星星点点、断断续续的观测,带来了许多错觉和误会。直到二十世纪早期,测量海底地形的办法还是用绳子系上重锤抛到海底,用绳子的长度测算水深,如此只能测点寥寥晨星,绘在图上当然只能说说明海底平坦,地形单调。再如船上用温度计测量海水表层,只能测了上一点再测下一点,永远也画不出一张同时的海洋温度图来。20世纪出现的遥测遥感技术从卫星获取地球信息,开辟了全新的对地观测系统,能够获取全球性的和动态性的图景。同时得到的不仅有海水表面的温度、风场、海流和波浪,而且有生产力、污染以至浅海地形等方面的信息。

但是遥感技术的主要观测对象在于地面与海面,缺乏深入穿透的能力。隔了千百米厚的水层,遥感技术难以达到大洋海底。现在要问:能不能换一个视角,不要老是从海面看海底?可不可以从海底看海面,把观测平台放到海底去?新世纪伊始,一个新的热点正在出现:这就是海底观测系统。

海底的观测平台的功能是把深海大洋置于人类的监测视域之内,结果将从根本上改变人类认识海洋的途径,开创海洋科学的新阶段。

持续观测 动态过程

现代地球科学要作环境预测,就只有通过过程观测才能揭示机理,不能满足于短暂的“考察”。对于动态的过程,不管是风向、海流还是火山爆发,都要求连续观测。

人类自古就开始潜水,而真的潜入深海还是20世纪的事。最深的纪录是在1960年1月23日,瑞士工程师J. Piccard和一名美国军官乘坐“Trieste”号深潜器,到了世界大洋最深处——马里亚纳海沟,在10916米深的海底呆了20分钟。但是千米水深就有上百个大气压,到深海作“探险”可以,要蹲在海底长期“观测”又谈何容易!

长期现场观测是当代地球科学的要求。当地球科学处在描述阶段,以寻找矿产资源为主要目标的时候,探险、考察大体上可以解决问题;而现代的地球科学要作环境预测,就只有通过过程观测才能揭示机理,不能满足于短暂的“考察”。对于动态的过程,不管是风向、

海流还是火山爆发,都要求连续观测,只摄取个别镜头的“考察”无济于事。一个例子是海洋沉积。深海海底的泥来自表层,长期以来总以为这是一种缓慢、均匀的过程,就像空气里的雨点那样降到底。1978年发明了“沉积捕获器”,把下面装有杯子的“漏斗”投放到海水深层,每隔几天换一杯,看沉积颗粒究竟是怎样降到底的。结果大出意外:有的杯子几乎是空的。原来海洋里的沉积作用平时微乎其微,来时如疾风暴雨,是突发性的。

但凡是在海里作连续观测都有能源供应和信息回收的限制,因为必须定期派船更换电池,取回观测记录。这种一年半载以后才能取回的记录,连续但并不及时,而海上预警要求有实时观测的信息,不是要“事后诸葛亮”的“马后炮”。海面作业更大的限制在于安全,而偏偏最不安全时候的观测最有价值,比如台风和海啸。

近来的动向,就是把观测点放到海底去:在海底布设观测网,用电缆或光纤供应能量、收集信息,多年连续作自动化观测,随时提供实时观测信息。其优点在于摆脱了电池寿命、船时与舱位、天气和数据迟滞等种种局限性,科学家可以从陆上通过网络实时监测自己的深海实验,命令自己的实验设备冒着风险去监测风暴、地震、藻类勃发、海底喷发和滑坡等各种突发事件。在海底建立观测地球系统的第三个平台,将从根本上改变人类认识海洋的途径,是地球科学又一次来自海洋的革命。如果说,从船上或岸上进行观测,是从外面对海洋作“蜻蜓点水”式的访问;从海底设站进行长期实时观测,就是深入到海洋内部作“蹲点调查”,是把深海大洋置于人类的监测视域之内。500年前达·芬奇设计潜水服,130年前凡尔纳写“海底两万里”,在当时都只是科学幻想。今天,不仅人类可以下潜到洋底深渊,机器人可以游弋海底火山,而且正在海底铺设观测网,把大洋深处呈现在我们面前。可以设想,未来的人们可以打开家里的电视屏幕,像看足球赛那样观赏海底火山喷发的现场直播。

海底井塞 由表及里

我们生活中接触的大气、海洋以致地壳,属于地球的表层系统;而真的要了解地球系统还必须“由表及里”,不能忽视地球的主体——深部的地幔和地核。

地球的外壳薄厚不匀,山越高,底下的“根”就越深,深海海底的地壳倒是最薄,离地球的深部也最近。世界各大洋的中央,蜿蜒着八万公里长的山脊,新的大洋地球就在这里生成,使大洋中脊以每年1-20厘米的速度向两边分开,到板块的边缘向地球深部俯冲下去。世界上80%的火山爆发和地震发生在海底,而且主要沿着地壳的边界:新生地壳形成的大洋中脊,和地壳消亡的大洋俯冲带。因此海底观测最早的主题就是地震,将地震仪放到海底,最好是海底钻井将基岩里,就可以大为提高监测地震的灵敏度和信噪比。1991年开始建设的“大洋地震网”,就是在大洋钻探(ODP)的钻孔中设置地震仪,第一个设在夏威夷西南水深4400米,并深近300米的海底玄武岩里,仅4个月就记录了55次远距离的地震。

海底监测地震,目的是要测得地壳微小的移动,而对此最为敏感的是地壳里的液体。因而在海底钻井里监测地震中,发展了一项关键技术叫“海底井塞(CORK)”。这种上世纪90年代发明的装置安在井口,防止地层水从井口逸出,或者海水从井口侵入。安装“井塞”,是监测海底地下水的“绝招”,既能测定岩石中流体的温度、压力,还可以取样分析。此后的13年里,大洋钻探在18个井口安装了“海底井塞”,大大推进了“大洋地震网”计划。海底地震观测网的另一项技术,是用光纤电缆与岸上连接以输送能源和信息,如果有退役的海底电信缆线可利用,就能大幅度降低成本。1998年美国在夏威夷和加利福尼亚之间建成水深5000米的H₂O海底地震观测站,利用的就是退役的AT&T越洋电缆。上世纪90年代末期,日本也利用本州到关岛的洋中脊分别发现了不同类型的“烟窗”和热液动物群。”原来在深海水地震监测站。

长期蹲点 原位分析

从海底“向上看”,可以摆脱从海面“向下看”所受到的海况、供电和信息传送等限制,可以进行长期实时的观测。其实海底观测系统的应用前景,并不限于地球科学。

地球系统的观测不仅贵在实时,而且有许多内容还必须在原位进行分析。到野外进行现场采样,回室内开展实验分析,这是多少年来地球科学的传统。但是,有许多现象是不能“采样”分析的:热液的温度、pH值,采回来就变了;深海的许多生物,取上来也就死了;甚至沉积物颗粒,本来的团粒,一经采样也就散了,“分析”的结果都不是水层里的真实情况。新的方向是倒过来:不是把样品从海里采回实验室做分析,而是把实验室的仪器投到海里去分析样品。

例如浮游生物,通常使用浮游网采集,取上后在显微镜下观测鉴定。但是,对细菌之类小于2微米的“微型”浮游生物,要依靠激光原理用流式细胞计才能统计。近来发明的下潜流式细胞计更进一步,可以不必取上水样,而是直接投入海中作自动的连续测量。再进一步的发展,一是“水下显微镜”,使下潜的细胞计具有呈像功能,依靠光纤将水里的生物图像发回,全面鉴定统计从硅藻到细菌各种不同大小的浮游生物;二是“DNA探针”,放到海里原位测量生物的基因,在分子水平上测定各种浮游生物的丰度,从而发展“微生物海洋学”新学科。

海水中的原位观测,只要将传感器与海底的节点连接,就成了海底观测系统的一部分。这样从海底“向上看”,可以摆脱从海面“向下看”所受到的海况、供电和信息传送等限制,可以进行长期实时的观测。其实海底观测系统的应用前景,并不限于地球科学。海底不仅是探测生命起源和极端环境生物学的理想场所,甚至于还是高能物理探测基本粒子的所在。来自宇宙的中微子(neutrino)穿越水层时,会因其产生的μ子(muon)留下光学效应,从而可以在深海追踪中微子在宇宙中的来源。科学家可以把海洋当作“天文台”,在海底架起“望远镜”进行追踪。当然这海水必须深于千米,而且透明度要高、颗粒物要少。

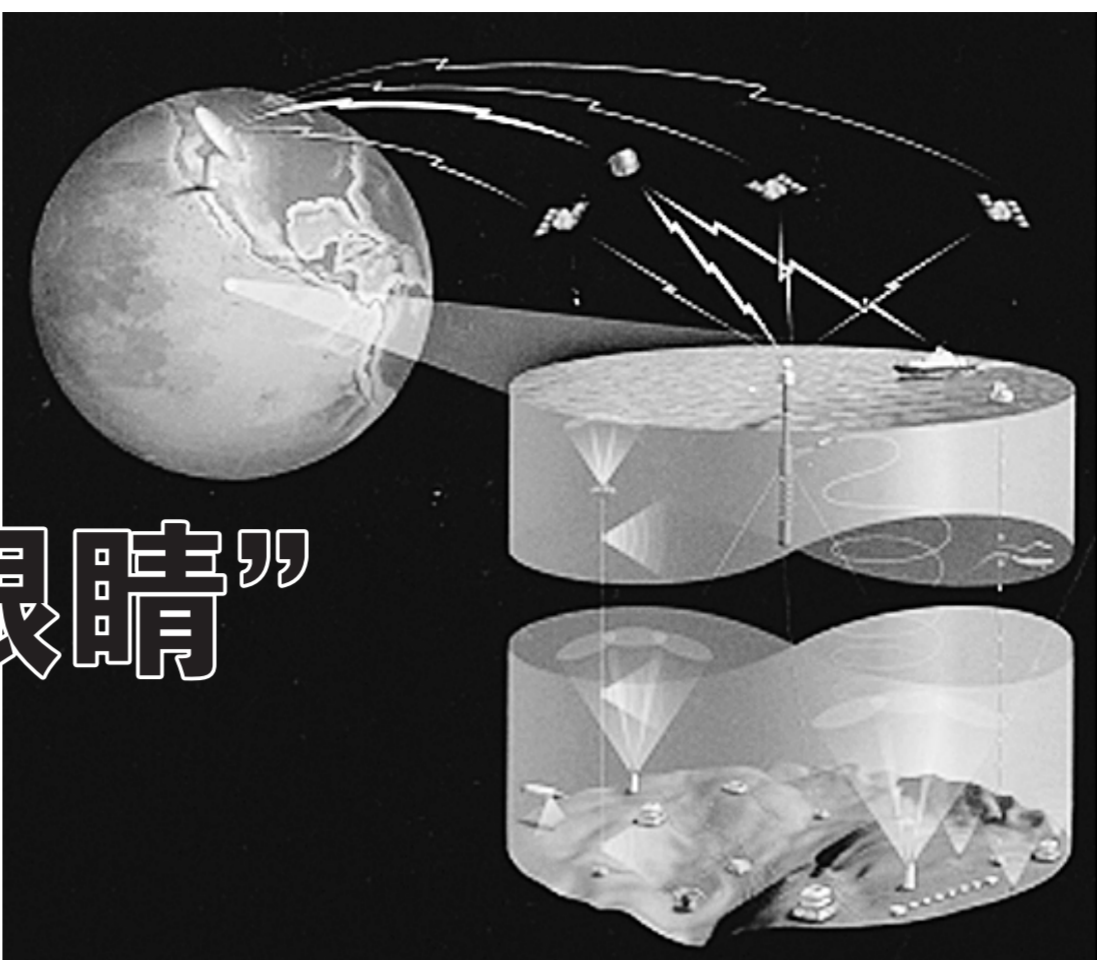
大洋底下还有“海洋”

大洋中脊和俯冲带,是地球深部的窗口,也是多少亿年来地球内部能量向外释放的通道。将对地观测系统直接放到海底这些通道口上,就是为揭示深部与表层的相互作用铺路架桥;而海底的“热液”活动,正是这种相互作用的重要表现。

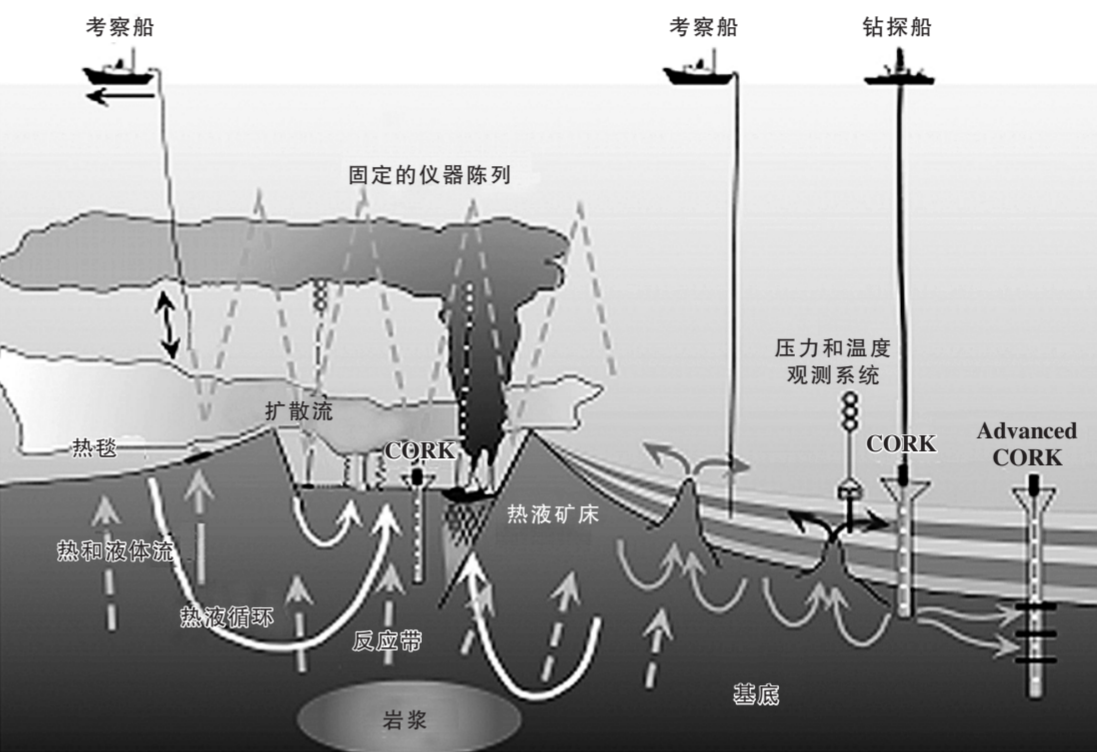
海底“黑烟囱” 一天可长30厘米

海底的水密度最大,因此深海的水温总是向下变冷。但是1977年,美国“Alvin”号深潜器在东北太平洋下潜时,却吃惊地发现水温越来越高;这里这里的洋中脊有海底热液口,有大于300℃富含硫化物的高温热液如“黑烟”状喷出,冷却后形成“黑烟囱”耸立海底。这次发现打开了人们的眼界:原来海底是“漏”的!

沿着全世界大洋中脊,分布着一些地球深部的窗口,海水下渗到海底以下两、三千米和岩浆相互作用,将金属元素带上形成富含硫化物的黑色热液从海底喷出。更为有趣的是热液区以硫细菌为基础,以管状蠕虫为代表动物的支持,它们依靠地球内部能量即地热的支持,在深海黑暗和高温的环境下,通过化学合成生产有机质,构成“黑暗食物链”。以后的调查,又在各大洋的洋中脊分别发现了不同类型的“烟窗”和热液动物群。”原来在深海水地震监测站。



深海海底观测系统示意图,示海底信息通过卫星实时送上陆地



深海观测系统的组成:海底、井下、船上观测设备的结合(CORK为“海底井塞”)



美国对海底热液口的原位长期观测、采样和试验设备

总之,大洋底下还有“大洋”。洋底有不同成因、不同温度的液体流出,在那里形成着许多矿物,有的就是我们寻找的矿床;也形成了完全陌生的生物世界,有待我们去认识。而这种认识只能到海底去取得,在海底的平台上去观测。

深海地下水 流速至少每年30米

无论热液还是冷泉,无论海底的矿物还是生物群的形成,基础都是微生物的活动。处在“黑暗食物链”底层,是利用地热进行化学合成的硫细菌。上面说到热液口3米长的管状蠕虫,就是一无口腔、二无肛门,全靠一肚子硫细菌共生,提供营养的。实际上,更多的微生物生活在海底之下的岩层中,构成所谓的“深部生物圈”。这些原核生物个体极为细小,却有极大的数量,有人估计其生物量相当全球地表生物总量的1/10,占全球微生物总量的2/3。它们早已埋在地下,有的已经享有数百万年以上的寿命,是地球上真正的“寿星”。不过面对“水深水热”的环境,在暗无天日的岩石狭窄孔隙中长期“休眠”,其生活质量恐怕不值得羡慕。只有一旦岩浆活动带来热量与挥发物,才会突然活跃起来重返“青春”,甚至从热液口喷出,造成海底微生物的“雪花”奇观。因此,深海海底还会有其他种类的动物群,它们依靠地球内部能量即地热的支持,在深海黑暗和高温的环境下,通过化学合成生产有机质,构成“黑暗食物链”。以后的调查,又在各大洋的“烟窗”和特殊的低温热液生物,依靠的是橄榄岩变为蛇绿岩时放出的能量。

执行中国大洋科考第19航次任务的“大洋一号”日前顺利返回。在这次科考活动中,研究人员在西南印度洋中脊成功发现了4个新的海底“黑烟囱”——富含硫化物的高温热液活动区,并取回了珍贵样本。这是全球首次在西南印度洋发现热液喷口。至此,全球“可能存在的热液硫化物”位置,由原来的93个改写为97个。



执行中国大洋科考第19航次任务的“大洋一号”日前顺利返回。在这次科考活动中,研究人员在西南印度洋中脊成功发现了4个新的海底“黑烟囱”——富含硫化物的高温热液活动区,并取回了珍贵样本。这是全球首次在西南印度洋发现热液喷口。至此,全球“可能存在的热液硫化物”位置,由原来的93个改写为97个。

也只有海底火山口附近设站长期观测,才能捕获这类事件。

东太平洋胡安·德富卡中脊就是经常发生岩浆沿岩脉上升,发生喷涌引起“水深水热”的环境,在暗无天日的岩石狭窄孔隙中长期“休眠”,其生活质量恐怕不值得羡慕。只有一旦岩浆活动带来热量与挥发物,才会突然活跃起来重返“青春”,甚至从热液口喷出,造成海底微生物的“雪花”奇观。因此,深海海底还会有其他种类的动物群,它们依靠地球内部能量即地热的支持,在深海黑暗和高温的环境下,通过化学合成生产有机质,构成“黑暗食物链”。以后的调查,又在各大洋的“烟窗”和特殊的低温热液生物,依靠的是橄榄岩变为蛇绿岩时放出的能量。

发现海底地下水的压力和水温,明显地随着海面的潮汐周期性地升降,而且各井之间的水位也相互连通。可见深海底下的地下水,宛如地下的“海洋”,其中的水也照样流动,流速至少每年30米。从洋中脊到俯冲带,大洋底下都有水流在岩层中流动,都存在着“洋底下的海洋”。这里是“深部生物圈”生活的天地,也是海底以上“黑暗食物链”的根基。