

从海底观察地球——地球系统的第三个观测平台

汪品先

中国科学院院士,同济大学海洋地质国家重点实验室,上海 200092

关键词 海底 地球系统 实时观测 深海过程

随着新世纪的到来,海洋科学界正着手建设海底观测系统的网络,以探测和理解大洋系统的物理、化学、生物和地质等过程。这是继地面/洋面和空间之后,观测地球系统的第三个平台。从海底进行连续的实时观测,将使得人类可以长期“呆”在海里,从而改变人类与海洋的关系。同时,这第三平台还将提供窗口,窥测地球的内部过程。

1 观测地球的视野和视角

人类观察世界,关键在于视野和视角。“井蛙不可以语于海”,原因是井口视野太小;“会当凌绝顶,一览众山小”,靠的是“绝顶”视野扩大。同一座山,从不同视角看去,可以“横看成岭侧成峰”;同一层云,从地面仰视看到黑云压城,飞机上看下去却见白云灿烂,云层上下的观察结果可以相反。其实社会现象亦同此理,考察一位干部有时候领导叫好、群众跳脚,很可能原因也在视角不同。

回顾人类认识世界的过程,也就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3 800 m,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。地球深处“地幔”里的水,又比地球表面的海水多许多倍^[1]。

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”。第二次突变发生在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为“牵一发动全身”的系统,导致地球系统科学的产生。和17世纪发明“显微镜”相反,这次用的遥测遥感技术是一种“显宏镜”(macroscope),通过观测对象的缩小才看到了地球整体。17世纪从地球向外看太阳系,带来哥白尼革命;20世纪从太空向内

看地球,带来的科学进步被喻为“第二次哥白尼革命”^[2]。

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20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,如此得来的测点寥若晨星,绘在图上当然只能说明海底平坦,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,能够获得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各方面的信息。

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。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。海底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。

2 深海的持续观测

作为陆生动物,人类自古以来把海底让给神怪世界。虽然相传纪元前四世纪的亚历山大大帝曾经亲自

潜入海底进行观察,文艺复兴时代的巨匠达·芬奇也确实设计过潜水服,而人类真正潜入深海还是20世纪的事。最深的记录是在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,下到了世界大洋最深处——马里亚纳海沟,在10 916 m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!

然而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”。对于静态的对象,无论是“新大陆”还是古墓葬,探险就可以发现;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。好比领导“视察”,看到的不见得有代表性,除非长期“蹲点”,否则很难发现真相。海洋上有着很好的例子。

秘鲁和厄瓜多尔的渔民,很久以来就看到几年一度的“厄尔尼诺”,但谁也不明白它的来历。1985年开始,在太平洋赤道两侧投放了将近七十多个锚系,对水文、风速、风向等连续观测十几年,终于找到原因在于赤道的东风减弱,西太平洋暖池的次表层水东侵,压住了东太平洋上升流,从此厄尔尼诺的预测就有了依据^[3]。另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海底。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海底的。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^[4]。

说了半天还都是海水里的观测,没有到海底。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,因为必须定期派船替换电池、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、天气和数据迟到等种种局限性,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、藻类

勃发、地震、海底喷发、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,是从对外对海洋作“蜻蜓点水”式的访问;从海底设站进行长期实时观测,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察网,把大洋深处呈现在我们面前^[5](图1,见封二)。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。

3 贴近地球深部的窗口

地球的半径六千多公里,而我们人类的活动空间基本上是从海面到山顶,通常局限在上下几百米、至多几千米的范围之内,只占地球半径的几千、几万分之一。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。提醒我们不能忽视深部的是火山和地震:一旦深部的物质和能量快速释放到表层,就会给人类带来毁灭性的灾害。

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、最好是海底钻井的基岩里,就可以大幅度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4 400 m,并深近300 m的海底玄武岩里,仅4个月就记录了55次远距离的地震^[6]。

海底监测地震,目的是要测得地壳微细的移动,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20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(图2,见封二)。此后的十三年里,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^[7]。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供利用,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五千米的H₂O海底地震观测站,利用的就是退役的AT&T越洋电缆。20世纪90年代末期,日本也利用本州到关岛、冲绳到关岛的退役越洋电缆,建设深水地震监测站。

其实,海底观测最初的应用是军事,最早进行海底观测的是美国的海军。利用低频声波能在海水中远距离传播的原理,海底设置的水听设备能够监测鲸鱼群的迁移,也能够发现并分辨出潜艇有几个螺旋桨,还是核潜艇。1962年“古巴事件”时,美国就是用1952年安置在北大西洋深海底的“声波监听系统”(SOSUS)水听设备,发现了前苏联的潜艇。“冷战”结束后,“声波监听系统”向民用开放,美国科学家利用来监听海底地震,发现比陆上监测的灵敏度高出上千倍。仅在1999~2002年间,就接收到大西洋中脊7785次地震,比陆地台站接受到的多5倍^[8],从此水听设备成为海底观测系统的重要部分。地球表面的2/3是海洋,没有海底观测网,人类对地震的理解和预警无法实现。

大洋中脊和俯冲带,是地球深部通向表层系统的窗口,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。

4 海底热液与冷泉

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”号深潜器在东太平洋下潜时,却吃惊地发现水温越来越高:原来这里的洋中脊有海底热液口,有>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,沿着全世界将近8万公里的大洋中脊,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、以管状蠕虫为代表的动物群,它们依靠地球内源能量即地热的支持,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“烟囱”和热液动物群。原来在深海的海底,沿着地球深部的“窗口”,有着另一个奇特的世界:这里的“黑烟囱”一天可以长30cm,但长得快、倒得也快;热液生物也生长神速,那里的蛤类有一尺大,管状蠕虫可以有3m长。对这些全新的成矿过程、全新

的生物群,我们完全缺乏了解。

科学家们很快又发现:海底的“黑暗食物链”和特殊矿物的形成,并不以热液为限。在大陆坡上段的海底下面,分布着一种奇怪的矿物叫做天然气水合物,或者“可燃冰”。这是甲烷分子锁在冰的晶格里,在温度低于7、压力大于50个大气压下保持稳定,而一旦升温或者减压,就会融化而释出164倍体积的甲烷。有人估计,全球“可燃冰”中的碳可能相当所有矿物燃料,包括石油、天然气和煤的总和,是新世纪潜在的能源,也是包括我国在内许多国家海上优先勘探的对象。“可燃冰”的甲烷缓慢释出时,这出口就成为海底的“冷泉”,形成碳酸盐结壳,产生不靠光合作用的“冷泉生物群”,其中包括依靠硫细菌的管状蠕虫^[9],是和热液口一样的“黑暗食物链”。其实,深海海底还会有其他种类的液体析出、有其他类型的“黑暗生物链”形成。比如在大洋中脊的侧翼,会有40~90的热液流出形成碳酸盐的烟囱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^[10]。

总之,大洋底下还有“大洋”(图3,见封二,图片来自文献[11])。洋底有不同成因、不同温度的液体流出,在那里形成这许多矿物,有的就是我们寻找的矿床;也形成了完全陌生的另一个生物世界,有待我们去认识,而这种认识只能从海底去进行,在海底的平台上去观测(图4,见封二)。北美太平洋岸外的胡安·德富卡(Juan de Fuca)区,是热液口观测最为密集的海底;日本本州的相模湾(Sagami Bay),是冷泉长期观测的地点。因此,世界的海洋生物已经从两个观测面上进行:从海面观测我们熟悉的以太阳能为基础的“有光食物链”,和从海底观测以地球内部能量为基础的“黑暗食物链”。

5 海底下的海洋与深部生物圈

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”底层的,是利用地热进行化学合成的硫细菌。上面说到热液口三米长的管状蠕虫,就是一无口腔、二无肛门,全靠有一肚子硫细菌共生,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高寿,是地球上真正的“寿星”。不过面对“水深火热”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。因此也只有在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、发生喷涌引起微生物勃发的地方。十多年来大洋钻探多次在这里钻井观测地下水,1996年2~3月其南端再次勃发时,对喷涌水样的分析发现不见于海水中的特殊微生物,证明是海底下的微生物^[12]。

胡安·德富卡海底钻井的观测,还发现海底地下水的水压力和水温,明显地随着海面的潮汐有周期性的升降,而且各井之间的水位也相互连通。可见深海下面的地下水,宛如地下的“海洋”,其中的水也照样流动,流速至少每年30 m^[13]。从洋中脊到俯冲带,大洋地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,相当于地球深部和表层之间的“锋面”。直到今天,人类“入地”的能力仍然远逊于“上天”,深海海底已经是最贴近地球深部的去处。从海底的“第三个平台”观测,揭示的是地球深部及其与表层间“锋面”的奥秘。

海洋可以从海面往下看,也可以从海底往上看,但只有海底的观测平台才能既看到地球内部自下而上的过程,也看到地球表面自上而下的过程。如上所述,海底下面的岩浆上涌,会带来营养和能量的脉冲,造成热液活动和热液生物的爆发;海底也会感受海面上的潮汐周期,也会接受藻类勃发、鲸鱼死亡给海底带来的“天降”食物。这里的观测从学科发展讲,是地球系统科学深入的途径;从实用角度讲,首先是能源开发的新天地。深海石油的勘探开发,是海底观测的应用大户,因为未来40%的石油储量估计将来自深海。由于深海油藏大量出现在深海浊流作用形成的地层里,有效的勘探要求在海底作实地观测,了解深海沉积物的分布和运移。20世纪60年代中期起,用光学和声学的浊度仪测量海水中沉积颗粒物的浓度和粒度分布,用三脚架装上传感器在海底之上进行观测与摄像,发现海流和波浪一直在改造着海底,“海底风暴”的最大流速可以高达40 cm/s,揭示了沉积作用的真相。英国的Bathyscaph,美国的GEOPROBE等观测设备,都为取得海底沉积的真实认识立下了功勋^[14]。

6 原位分析与实时观测

地球系统的观测不仅贵在实时,而且有许多内容还必须原位进行分析。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。新的方法是倒过来: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(Flow Cytobot)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^[15]。美国Rutgers大学的LEO-15海底观测站,利用下潜流式细胞计取得了两个月的时间序列,发现微型浮游生物蓝细菌(Synechococcus)的丰度有急剧的变化^[16]。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(microbial oceanography)”新学科。

另一个例子是海水中的悬移沉积物,如果将悬移颗粒收集起来分析,脆弱的聚合体就会分解,正确的办法是用光学或声学的手段,进行原位测定。光透式浊度计,光学后散射传感器,和多功能的声学多普勒流速剖面仪,都有测量悬浮物浓度的功能。目前的发展,是用光学方法原位分析悬移物的粒度分布,例如美国的“激光原位散射与投射测量”(LISS-T-100)^[17]。原位分析的实例不胜枚举,值得一说的是此项技术的发展,也是对行星科学的贡献。比如木星的卫星Europe,可能在表面冰层下有5~10 km深的海洋,一旦行星探测器穿透冰层,只有靠原位分析才能获得这个卫星海洋的信息。

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、供电和信息传送的限制,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。海底不但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去处。来自宇宙的中微子(neutrino)穿越水层时,会因其产生的 μ 介子(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。1996年起,欧洲国家在地中海开展“中微子望远镜天文学与深海环境研究(ANTARES)”

计划^[18],取的就是地中海水深、寡养、离欧洲的实验室近。

7 正在来临的国际竞争

与20世纪以前“舰炮外交”的时期不同,现代海上的国际之争,很大程度上就是科技之争;一些属于海洋权益和军事的举措,往往也是在科学研究的旗帜下进行。进入21世纪以来,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。在这场酝酿中的海上竞争中,走在最前面的是美国。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)”,2007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·德富卡板块上,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(图5,见封二)。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个海区设站建网,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,20世纪80年代末期以来,日本在其附近海域已经建立了8个深海底地球物理监测台网,有的已经和陆地台站相联结进行地震监测;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观测站网络,用光缆连接,进行海底实时监测^[19]。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权益与安全之争。我国决不能袖手旁观,应该尽早着手,力争主动。

应该承认,我国历来在海洋观测方面严重落后。近十余年来虽然海洋考察船的调查相当活跃,但在长期观测上缺少举措,已经落在一些亚洲邻国之后。印度早在十年前通过国际合作,在其专属经济区水深20~4100m之间投放12个浮标;韩国2003年在东海,建成了世界上最大的无人海洋观测站。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才处于起步阶段,如果我国能够从长远着眼、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。

回顾历史,科学的发展历来具有突发性。地球科学在19世纪的突破在于生命和地球环境演变的进化论,20世纪的突破在于地球构造运动的板块学说,而突破的基础都在于新的观测,这在当时的中国无从谈起。达尔文经过“贝格尔”号船上五年的观测,才形成进化论,但当时中国正在鸦片战争前夕;“物种原始”发表的1859年正值英法联军大战大沽口,国祚垂危,遑论学问。板块学说的证明,关键在于深海钻探,测得大洋地壳的年龄离中脊越远越老,然而深海钻探开始的1968年,中国正值“文革”高峰,只闻“打倒”“砸烂”,哪有科研的余地?对于前两个世纪世界地球科学的进展,中国愧无贡献,首先是历史的原因。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,将能揭示地球系统“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。中国目前经历着数百年不遇的良机,科研投入增长之迅速令各国羡慕。因此,我国科学界应当深思:我们能不能抓住时机,在这场新的突破中对人类做出应有的贡献?国人的回答和行动,将决定历史给予我们的评分。

(2007年5月13日收到)

- 1 VAN DER MEIJDE M, MARONE F, GIARDINI D, et al. Seismic evidence for water deep in Earth's upper mantle[J]. *Science*, 2003, 300: 1556-1558.
- 2 SCHELLNHUBER H J. "Earth system" analysis and the second Copernican revolution[J]. *Nature*, 1999, 402: C19-C22.
- 3 FIELD J G, HEMPEL G, SUMMERHAYES C P. *Oceans 2020, science, trends, and the challenge of sustainability*[M]. Washington D C: Island Press, 2002:365.
- 4 HONJO S, MANGANINI S J, COLE J J. Sedimentation of biogenic matter in the deep ocean[J]. *Deep-Sea Research*, 1982, 29: 609-625.
- 5 FORNARI D. Realizing the dream of de Vinci and Verne[J]. *Oceanus*, 2004, 42 (2): 1-5.
- 6 STEPHAN R A, KASAHARA J, ACTON G D, et al. 2003. Proc ODP init rept 200[CD]. Texas A&M, College Station, TX.
- 7 BECKER K, DAVIES E E. A review of CORK designs and operations during the Ocean Drilling Program[M]// FISHER A T, URABE T, KLAUS A, et al. Proc IODP 301, Texas A&M, College Station, 2005.
- 8 SMITH D. Ears in the ocean[J]. *Oceanus*, 2004, 42(2): 1-3.
- 9 VAN DOVER C L, GERMAN C R, SPEER K G, et al. Evolution and biogeography of deep-sea vent and seep invertebrate[J]. *Science*, 2002, 295: 1253-1257.

- 10 KELLEY D S, KARSON J A, FRU H-G G L, et al. A serpentine-hosted ecosystem: The lost city hydrothermal field [J]. *Science*, 2005, 307: 1428-1434.
- 11 IODP 科学规划委员会. 地球, 海洋与生命, IODP 初始科学计划 2003-2013 [M]. 同济大学海洋地质重点实验室译. 上海: 同济大学出版社, 2003: 96.
- 12 SUMMIT M, BARROS J A. Thermophilic seafloor microorganisms from the 1996 North Gorda Ridge eruption [J]. *Deep-Sea Res II*, 1998, 45: 2751-2766.
- 13 DAVIS E E, BECKER K. Observations of natural-state fluid pressures and temperatures in young oceanic crust and inferences regarding hydrothermal circulation [J]. *Earth Planet Sci Lett*, 2002, 204: 231-248.
- 14 CACCHIONE D A, STRENBEG R W, OGDON A S. Bottom instrumented tripods: history, applications, and impacts [J]. *Continental Shelf Research*, 2006, 26: 2319-2334.
- 15 OLSEN R J, SHALAPYONOK A, SOSIK H M. An automated submersible flow cytometer for analyzing picor and nanophytoplankton [J]. *Flow Cytobot Deep Sea Research I*, 2003, 50: 301-315.
- 16 SOSIK H M, OLSON R J, NEUBERT M G, et al. Growth rates of coastal phytoplankton from time-series measurements with a submersible flow cytometer [J]. *Limnol Oceanogr*, 2003, 48: 1756-1765.
- 17 GARTNER J W, CHENG R T, WANG P F, et al. Laboratory and field evaluations of the LISS-T-100 instrument for suspended particle size determinations [J]. *Marine Geology*, 2001, 175: 199-219.
- 18 FAVALI P, BERANZOLI L. Seefloor observatory science: a review [J]. *Annals of Geophysics*, 2006, 49 (2/3): 515-567.
- 19 同济大学海洋地质实验室. 国际海底观测系统调查报告 [R]. 上海: 同济大学, 2006: 148.

Seafloor Observatories: The Third Platform for Earth System Observation

WANG Pin-xian

CAS Member, State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092

Abstract Entering the new millennium, the ocean science community begins to establish a seafloor observatory network to explore and understand the temporal variability of ocean system including its physical, chemical, biological and geological processes. This will be the third platform of Earth system observation after the first one from the land and ocean surface, and the second from the space. The real-time continuous observations from the sea floor will establish a long-term presence in the ocean and, hence, fundamentally change the relationship between human and ocean. In addition, the third platform will open a window for a close-up view to the processes in the Earth's interior.

Key words sea floor, earth system, real-time observation, deep-sea processes

(责任编辑: 方守狮)

自然信息

弦网液态: 一个新发现的物态

1998年, 当美国斯坦福大学的 Robert Laughlin 获得诺贝尔物理学奖之后, 曾被问到带分数电荷的粒子 (现在称为准粒子) 将会怎样影响人们的生活, 他说, “应该不会有什么影响, 除非大家关心宇宙是怎么运转的”。大家当然关心这个问题。美国麻省理工学院的文晓钢和哈佛大学的 Michael Levin 沿着 Laughlin 的思路继续开拓, 预测出了一种新的物质形态, 该物态甚至与时-空本身的属性有关。2007年3月初在加利福尼亚大学举行的拓扑量子计算 (Topological Quantum Computing) 会议上, Levin 把他们的工作成果公之于众。

文晓钢说: 可能存在新物质形态最初的线索出现于 1982 年进行的一项实

验。在此实验中, 由于在两个半导体界面上移动的时候, 其行为就好像是带有分数电荷的粒子。这种被称做分数量子霍尔效应 (fractional quantum hall effect, 简称 FQHE) 的现象暗示电子可能根本不是最基本的粒子。然而, 科学家们很快就弄清楚, 在一定的条件下电子可以通过某种方式聚集在一起, 形成带有分数电荷的错觉。对于这一现象的解释, 使 Robert Laughlin, Horst Störmer 和崔琦共同赢得了 1998 年的诺贝尔物理学奖。

文晓钢猜想这种效应很可能是一种新型物态的例子。不同的物态是由原子间不同的组合方式决定的。例如, 液态物质中的原子是随机分布的, 而在固态中, 原子是严格地限制在晶格内。在 FQHE 系统中原子的位置虽非常地随机, 有点像是液态, 不过和液态不一样的是, 电子之间的距离始终保持在一个非常明确的范围之内。看起来, 电子像是

互相纠缠着的。现在, 物理学家用纠缠 (entanglement) 这一术语来描述在量子力学中的一个特性: 粒子可以相互链接不论它们之间有多远的距离。文晓钢推测 FQHE 系统代表了一种物质状态, 纠缠是其一个内在属性, 这种物质中所有的粒子以复杂的方式互相链接着。

这就使文晓钢和 Levin 产生了下列想法: 也许还有另一种物质存在的方式。也可能电子并不是基本粒子, 而是在其他长“弦”式的基本粒子之末端形成的? 他们构想出一个模型, 在此模型中弦线可以像一大锅汤里的面条一样自由地移动, 且缠绕在一起形成巨大的“弦网” (string-net)。

两人进行模拟来验证他们的弦网能否催生出常规的粒子和带分数电荷的准粒子, 他们做到了。而且还发现更有趣的事情: 当弦网振动时, 产生了按照麦克斯韦方程组所规范的相似的波, 而麦克斯

(下转第 151 页)



图1 深海海底观测系统示意图，图示海底信息通过卫星实时送上陆地

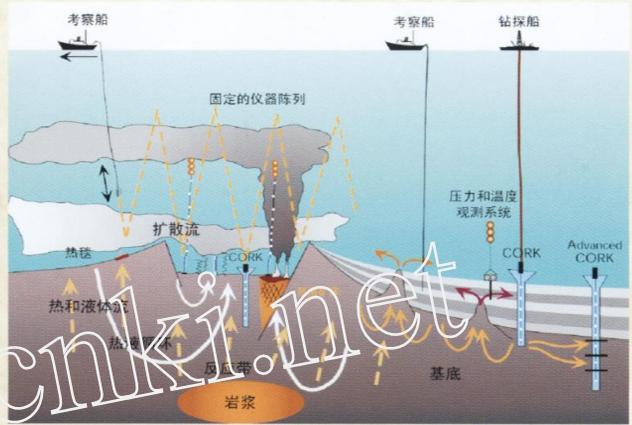


图2 深海观测系统的组成：海底、井下、船上观测设备的结合（CORK为“海底井塞”）

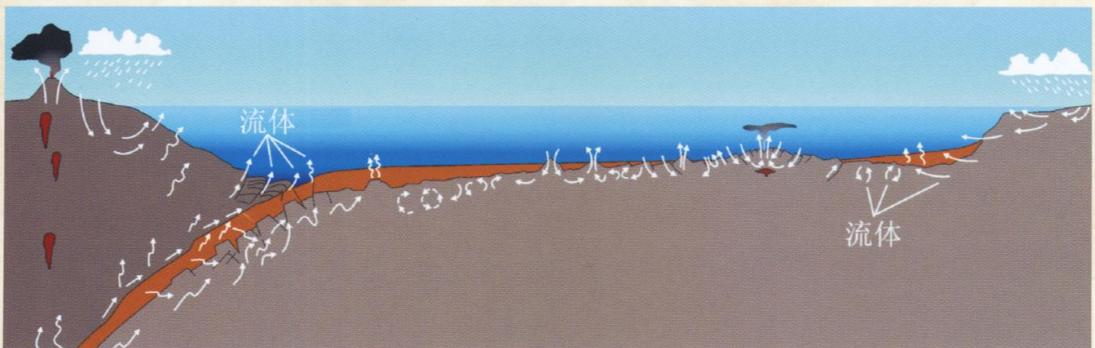


图3 洋底下的海洋示意图



图4 美国对海底热液口的原位长期观测、采样和试验设备

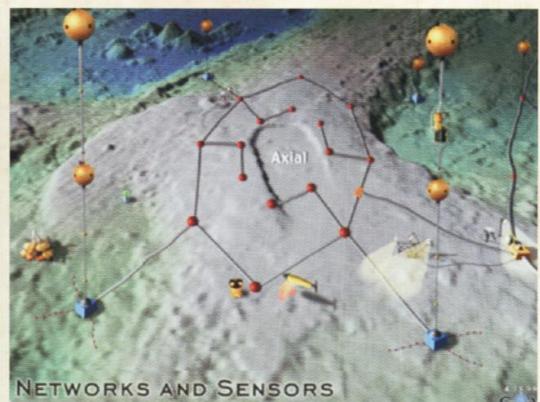


图5 美国—加拿大“海王星”计划的海底传感器及其联网

参见本期“从海底观察地球——地球系统的第三个观测平台”一文