

汪品先 李建如. 迎接海洋科学的新时期——为什么编写《海底观测》一书[J]. 地球科学进展, 2011, 26(12): 1341-1344. [Wang Pinxian, Li Jianru. Towards a new stage in ocean Science—Why is the book “Seafloor Observation”? [J]. Advances in Earth Science, 2011, 26(12): 1341-1344.]

编者按: 海洋科学正在从“考察”进入“观测”的新时期, 新书《海底观测——科学与技术的结合》正是在此种背景下编写的。从科学和技术结合的角度汇总了国际海底观测的发展过程与现状, 说明海底观测将为海洋各个领域开辟学科发展的新途径; 还介绍了此书的主要内容和编写的目的。

迎接海洋科学的新时期 ——为什么编写《海底观测》一书

汪品先 李建如

(上海海洋科技研究中心[筹]; 同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092)

关键词: 海洋科学; 海洋技术; 海底观测

中图分类号: P7 文献标志码: A 文章编号: 1001-8166(2011)12-1341-04

人类作为陆生生物, 认识世界、观测世界的立足平台在地面。20 世纪的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, 为人类观测地球提供了第二个平台。这场变革可以与 17 世纪从地球放眼太阳系、带来“日心说”的科学进步相比拟, 被喻为“第二次哥白尼革命”^[1]。但是遥感技术穿不过平均 3 000 多米的海水, 进入新世纪以来, 随着传感器、信息技术(IT)和深潜技术的发展, 人类已经能够在深海建设观测网, 将“气象站”和“实验室”放到海底, 连续、原位、实时地观测深海和海底以下的地球深部, 为人类观测地球建立起第三个平台。海底观测系统的建设正在改变着人类和海洋的关系, 开创着海洋科学的新阶段。有朝一日, 人类将通过观测网“常驻”海底, 把深海大洋置于人类的监测视域之内。

正是在这种科学前景的鼓舞下, 上海海洋科技研究中心(筹)和同济大学海洋地质国家重点实验室组织了十余人的队伍, 编写了这本专著《海底观测——科学与技术的结合》^[2], 从科学与技术相结合的角度对海底观测进行系统介绍。在先后 5 年时间里, 编写组对欧美国家的海底观测机构进行了现

场考察, 收集和汇总了近 600 篇文献, 编印过 2 册调查报告, 邀请海内外十余位专家审阅, 还举办了 2 次国际研讨会, 才于 2011 年 11 月由同济大学出版社正式出版。

编写《海底观测》一书的目的, 是想推动我国科学技术界尽快进入海洋科学的新阶段。长期以来, 人们都是从海洋外面(海面或者海岸)“考察”海洋, 正在创立的新阶段是进入海洋内部, “蹲”在海底长期“观测”, 向上观测海水、向下观测地球内部。此书的首要任务, 在于说明海底观测的科学意义。通过实例证明: 无论是海洋的物理、化学、生物过程, 还是沉积搬运、海底地震的地质过程, 都可以通过长期、连续的原位观测, 进入研究的新境界。

如今的物理海洋学, 已经不只是依靠船舶短暂的考察。世界上除了由 3 000 多个剖面浮标组成的 Argo 计划, 对海洋上层 2 000 m 水体进行全球观测之外, 又有大批的锚碇浮标投放在不同海区进行连续观测, 纠正了一些短暂“考察”的错误结论。以大西洋经向环流(AMOC)为例, 原先根据 1957—2004 年近半个世纪里对 25°N 横跨大西洋断面 5 次重复测量的结果, 得出了 AMOC 流量近 10 年里减少 8 Sv

收稿日期: 2011-11-25; 修回日期: 2011-11-30.

作者简介: 汪品先(1936-), 男, 江苏苏州人, 教授, 中国科学院院士, 主要从事海洋地质与古环境研究. E-mail: pxwang@tongji.edu.cn

亦即 30% 的结论^[3]。但是 2004—2005 年沿断面 50 ~ 5 000 m 投放了锚碇浮标阵列进行连续观测,发现流量随时间的变化极大(4.0 ~ 34.9 Sv),因此依靠 5 次船基测量得出的上述结论,就失去了科学根据^[4]。至于深部海水运动的动力来源,更是有待海底连续观测来破解的海洋学之谜。1999—2006 年的“夏威夷大洋混合实验(HOME)”计划,沿 3 000 m 等深线布置了 14 个观测站,发现海脊之上有高达 300 m 的内波,对应的湍流耗散是开阔大洋的 10 倍^[5],为湍流混合说提供了有力证据。

化学海洋学观测的课题范围更广,从海底溢出的羽状流,到海水中的溶解气体和营养盐的观测,都向我们展示着技术进步带来科学发现的巨大潜力。原先只能采样回到实验室分析的项目,如今有许多可以在水下现场完成,从而揭示出前所未有的海水化学变化。比如将硝酸盐自动分析仪安装在锚系上进行连续观测,发现从中尺度的涡流到行星尺度的罗斯比波,都可以引起海水中营养盐含量大幅度的升降^[6]。再比如利用水下渗透泵 Fe 分析装置进行观测,发现深海热液口的 Fe 浓度有随半日潮起落的周期变化^[7]。近年来水下质谱仪的使用,不仅能够对各种气体和挥发性有机化合物进行原位的连续测量,还能装在水下机器人(ROV)之类的运载工具上,对深海的 O₂ 和 CO₂ 含量进行测量和制图^[8]。

生物海洋学方面,近年来一项突出的进展是微型生物体的现场研究。水下使用的自动流式细胞仪 FlowCytobot 或者遥控流式细胞仪 CytoBouy,创造了对微型生物进行原位、实时、连续定量分析的方法^[9]。最近发明的“环境样品处理系统(ESP)”,能够在水下直接检测 rRNA,原位测定有害藻类的丰度^[10],可望为赤潮的发生提供预警。与微型生物不同,海洋动物的现场观测在很大程度上依靠水下摄像并在此基础上进行现场统计。这里有种种新技术,从针对桡足动物之类的“浮游生物录像记录仪(VPR)”到海底吸引动物进入视域后摄像的“海中之眼”(eye-in-the-sea),都为研究海洋动物提供了新途径。近 20 年来深海连续观测的一大发现,是底栖生物群落与上层海洋食物供应之间的紧密关系:表层海水的藻类勃发,几天之后就引起深海底栖群落的响应;厄尔尼诺年之后 4 000 m 深处的底栖生物组成也会发生变化,从而证明了深海底栖生物群也具有响应气候变化的能力^[11]。

对于海洋地质学来说,海底观测更是沉积过程研究的主要手段。二三十年来沉积物捕集器的发明

和应用,揭示了海洋悬移物沉降作用的脉冲性质;大西洋海底沉积搬运的 7 年现场观测,发现了出人意料的“海底风暴”。近年来,零浮力沉积物捕集器和“柱状样”式捕集器的出现,拓展了沉降作用的观测范围。将浊度计等探头配置在三脚支架上,对海底边界层进行连续观测,已经成为近底过程原位观测的主要途径。比如我国台湾高屏溪河口外深水峡谷的观测记录显示,台风后的沉积物浓度上升幅度可高达一个数量级^[12]。

在地球表面,深海海底是距离地球内部最近的地方,因而海底观测是研究地球内部过程的最佳场合。其中居于首位的是地震观测,一方面通过地震观测研究地球内部结构,另一方面为地震灾害提供预警。地震仪不仅投放在海底,而且可以置入海底钻井之中,构成“大洋地震网(OSN)”。近来提出“行星循环”的概念,将地球内部和表层系统的物质与能量交换,首先是水循环和碳循环提上日程,使得海底观测的意义格外突出。在这里,海底下的“深部生物圈”和海底地下水(“海底下的海洋”)首当其冲,而这类对象的井下观测,只有在大洋钻探基础上安置“海底井塞(CORK)”才能实现。这里说的大洋钻探计划,是世界地球科学规模最大、为时最长的国际计划,在 1968 年起步时的目标在于“地球深部采样”,2013 年以后它将改名为“国际大洋发现计划(International Ocean Discovery Program)”^[13],其目标也从钻井取样拓展到海底观测,同样反映了海洋科学正在进入一个以“观测”为基础的新时期。

《海底观测》一书的第二章“海底观测科学”,就是对海洋科学的以上五大方面,分别通过实例具体介绍。其中突出的亮点在于科学与技术的结合,讨论什么样的观测手段用来解决什么样的科学问题。与我国科学和技术分家、各自追随国外、相互缺乏交流的情况不同,国际海洋界的进步恰好是在两者紧密结合的过程中取得的。此书的第三章“海底观测的若干关键技术”,就是从技术的角度出发,看观测技术是如何在科学驱动下发展起来,又是如何以自己的发展推动科学进步的。书中以海洋学泰斗 Stommel^[14] 1989 年的科幻文章如何引发今天的 Argo 计划作为引子,从水下观测的固定装置和移动装置中各选一部分进行讨论。从近岸进行生物地球化学观测的 LOBO 系统,到沿着缆绳上下的 YOYO 锚系剖面仪;从水层观测的水下自治活动平台,到观测底栖群落活动的海底车;从海底井下观测的 CORK 系统,到海底油气开发用的海底节点长期地震观测,

都作了简要介绍。

编写此书的另一项重要任务,是对国内外海底观测的发展和现状进行综述与回顾。第四章“海底观测系统的现状与趋势”,从 1980 年代在“全球变化”推动下建立的四大深海观测站入手,对北美、西欧和日本现有的海底观测系统逐一介绍,然后又分别阐述美洲、欧洲与亚洲海底观测系统的建设计划,其中既包括编写组现场考察与参加合作所得的认识,也包括文献和网上资料的汇总。将各国情况做比较,美国和加拿大的观测系统最为丰富多样,既有罗格斯大学 LEO-45 那种只有十几米水深的近岸观测站,又有维多利亚大学“加拿大海王星(NEP-TUNE-Canada)”那种水深近 3 000 m、缆线长 800 km 的深水观测系统。而 2009 年开始的美国“大洋观测计划(OOI)”,包括区域、近海和全球三大部分,是当前世界上最大规模的海底观测计划。欧洲的海底观测在地中海和大西洋海区进行,不仅有以地震和海洋学为目标的观测站,还有为高能物理学服务的“中微子望远镜(ANTARES)”计划,利用地中海水深、寡养的优势,在 2 000 多米海底布设检测器阵列。欧盟指定的 EMSO 计划将要建设 11 个海底观测系统^[15],由于海洋特点和科学目标不同,11 个系统各具特色,书中对此作了逐一介绍。与欧美相反,日本的海底观测几乎都以地震观测为目标,而且早在 1970 年代就已经开始。现在的 DONET 计划是建在四国以南的日本“南海海槽(Nankai Trough)”,将在大洋钻探深钻的基础上,建设世界最深的井下地震观测系统。

《海底观测》一书的最后,对于我国建设海底观测系统提出了一些建议,其中包括东海与南海的海洋特点和科学问题的分析,也包括国际经验给予我们的启发。与发达国家相比,我国的海洋科学起步较晚,海洋观测基础薄弱,急需采取非常规步骤迎头赶上。但是回顾国际历史,各国的发展无不是先易后难、由浅入深、逐步发展的。无论美国、欧洲,还是日本,都是经过学术界多年研讨,科学目标和技术手段相结合制定方案,在科学论证的基础上逐步实施的。同时,海底观测又是多学科、多工种的系统工程,采用的手段既有连缆的固定平台,又有各种活动平台,并不都是单一的连缆观测网。因此,我国在海底观测系统的建设中,务必以科学发展观为指导,切忌“大跃进”式的一拥而上,或者缺乏科学设计的盲目建设。

编写组在 5 年时间里一边现场调研,一边在我

国东海建设小型试验站^[16]、在美国 MARS 站对观测设备进行深海试验^[17],其目的在于为我国海底观测系统的建设进行准备。《海底观测》一书的编写,也尽量以通俗的语言和大量的图片加强可读性,这本总共 272 页的书,插图就有 271 幅,其中彩图 219 幅。海底观测建立的是地球系统的第三个观测平台,带来的将是海洋科学发展的新时期,相信此书的出版不仅为我国建设海底观测系统提供科学知识,还将为新时期海洋科学的教学和研究,提供崭新的视角和入门的参考。我们希望同行对书中的不足提出批评和补充,并且希望此书的出版能够唤起地球科学界对于深海研究的兴趣,激发起海洋科学和技术相互结合的愿望。

参考文献(References):

- [1] Schellnhuber H J. Earth system analysis and the second Copernican revolution [J]. *Nature*, 1999, 402: C19-C22.
- [2] Shanghai Center of Marine Science & Technology, State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University. China Seafloor Observation—Science and Technology [M]. Shanghai: Tongji University Press, 2011. [上海海洋科技研究中心(筹),海洋地质国家重点实验室(同济大学). 海底观测——科学和技术的结合 [M]. 上海: 同济大学出版社, 2011.]
- [3] Bryden H L, Longworth H R, Cunningham S A. Slowing of the Atlantic meridional overturning circulation at 25° N [J]. *Nature*, 2005, 438: 655-657.
- [4] Cunningham S A, Kanzow T, Rayner D, et al. Temporal variability of the Atlantic meridional overturning circulation at 26.5° N [J]. *Science* 2007, 317: 935-938.
- [5] Rudnick D L, Boyd T J, Brainard R E, et al. From tides to mixing along the Hawaiian Ridge [J]. *Science* 2003, 301: 355-357.
- [6] Johnson K S, Needoba J A, Riser S C, et al. Chemical sensor networks for the aquatic environment [J]. *Chemical Reviews*, 2007, 107: 623-640.
- [7] Chapin T P, Jannasch H W, Johnson K S, et al. In situ osmotic analyzer for the year-long continuous determination of Fe in hydrothermal systems [J]. *Analytica Chimica Acta*, 2002, 463: 265-274.
- [8] Wenner P G, Bell R J, van Amerom F H W, et al. Environmental chemical mapping using an underwater mass spectrometer [J]. *Trends in Analytical Chemistry*, 2004, 23: 288-295.
- [9] Olson R J, Shalapyonok A, Sosik H M. An automated submersible flow cytometer for analyzing pico- and nanophytoplankton: FlowCytobot [J]. *Deep-Sea Research I* 2003, 50: 301-315.
- [10] Scholin C, Doucette G, Jensen S, et al. Remote detection of marine microbes, small invertebrates, harmful algae, and biotoxins using the Environmental Sample Processor (ESP) [J]. *Oceanography*, 2009, 22(2): 158-167.
- [11] Smith K L Jr, Ruhl H A, Bett B J, et al. Climate, carbon cyc-

- ling, and deep-ocean ecosystems [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, 106: 19 211-19 218.
- [12] Liu J Y, Lin H L, Hung J J. A submarine canyon conduit under typhoon conditions off southern Taiwan [J]. *Deep-Sea Research I*, 2006, 53: 223-240.
- [13] IODP. Illuminating Earth's Past, Present, and Future. The International Ocean Discovery Program, Science Plan for 2013-2023 [M]. Washington DC: IODP-MI 2011: 1-84.
- [14] Stommel H. The Slocum mission [J]. *Oceanography*, 1989, 2 (1): 22-25.
- [15] Ruhl H A, André M, Beranzoli L, et al. Societal need for improved understanding of climate change, anthropogenic impacts, and geo-hazard warning drive development of ocean observatories in European Seas [J]. *Progress in Oceanography*, 2011, 91: 1-33.
- [16] Xu Huiping, Zhang Yanwei, Xu Changwei, et al. Coastal sea-floor observatory at Xiaoqushan in the East China Sea [J]. *Chinese Science Bulletin* 2011, 56(26): 1 839-1 845. [许惠平 张艳伟 徐昌伟 等. 东海海底观测小衢山试验站[J]. 科学通报 2011, 56(22): 1 839-1 845.]
- [17] Peng Xiaotong, Zhou Huaiyang, Wu Bangchun, et al. Test China node on Monterey Accelerate Research System (MARS) [J]. *Advances in Earth Science*, 2011, 26(9): 991-996. [彭晓彤 周怀阳, 吴邦春, 等. 美国 MARS 海底观测网络中国节点试验[J]. 地球科学进展 2011 26(9): 991-996.]

《地球科学进展》“973 项目研究进展”专栏公告

为了配合宣传国家重点基础研究发展规划对我国基础研究发展所取得的辉煌成就,进一步展示资源环境领域“973”项目的原创性研究成果,扩大交流,提升项目的科学价值,《地球科学进展》编辑部自 2005 年第 11 期开辟“973 项目研究进展”专栏,我们希望继续不断得到广大“973”项目首席科学家的大力支持和踊跃投稿,扩大刊登“973”项目中有关资源环境和全球变化方面的项目介绍、最新研究成果和进展。该专栏文章可包括以下几方面内容:

(1) 对已结题的项目,主要围绕该项目取得的研究成果及其应用价值、发展前景、与国际水平的差距等内容。

(2) 对正在进行的项目,主要就项目研究的现状、进展、新成果及发展前景等内容。

(3) 对刚申请批准的项目,围绕该项目研究的目的、意义、关键科学问题及其要达到的目标等内容。

凡是无项目首席科学家署名的来稿,最好经首席科学家的同意和认可,并签署意见。撰写的文章要求客观、公正、实事求是,内容完整,数据翔实,应有必要的文献、英文文摘等内容。具体格式要求参阅《地球科学进展》的投稿须知。

投稿时请注明“973 项目研究进展”栏目,栏目稿件经审核达到发表要求的将尽快刊出,免收审稿费,酌收一定的版面费并致稿酬,同时免费赠送全年期刊一套(1~12 期)。

欢迎从事“973”项目研究的科学家、学者赐稿。谢谢对我们工作的支持和帮助。

《地球科学进展》编辑部