

汪品先. 从海洋内部研究海洋[J]. 地球科学进展, 2013, 28(5): 517-520. [Wang Pinxian. Oceanography from inside the ocean[J]. Advances in Earth Science, 2013, 28(5): 517-520.]

从海洋内部研究海洋*

汪品先

(上海海洋科技中心(筹), 同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092)

摘要:几百年来,人类总是从海洋外面——在船上或者岸上研究海洋。随着技术的最新发展,人类现在可以从海洋内部来研究海洋。简要讨论了海底观测系统和活动观测平台为各领域的海洋研究提供的空前机遇,并指出中国发展海洋科学必须对这一新趋势给予密切注意。

关键词:海洋科学;海洋技术;深海海底;海底观测系统

中图分类号:P731.22

文献标志码:A

文章编号:1001-8166(2013)05-0517-04

1 “不入虎穴,焉得虎子”

随着技术的发展和科学的驱动,人类正以空前的规模拓展着自己的活动空间,其中 20 世纪 60 年代,更是这部探索史中的光辉时期。1960 年人类首次下潜一万多米到达深渊海底,1961 年首次克服地心引力进入太空,1968 年开始在深海海底钻探地壳,1969 年人类首次登上月球……“上天、入地、下海”的成功,开辟了科学研究的新时期:空中的遥测遥感首次提供了地球表面的全景图像,深海的海底探索揭示了地球上第二个生物圈。70 年代迎来了深海科学的突破高潮:70 年代初深海钻探证实了海底扩张和板块运动;1977 年在东太平洋的洋中脊,发现了黑烟囱和热液生物圈;1978 年在北大西洋的深海底发现了“深海风暴”……

在地球表面,深海海底是最为贴近地球内部的地方,产生板块的洋中脊和板块俯冲的深海沟,就是地球内部和表层连通的窗口。一旦进入深海海底,人类立刻为地球内部对表层系统的影响而大为惊奇。原来驱动地球表层过程的,不只是来自太阳的辐射能,还有来自地球内部的能量;地球上的生命,也不都是以光合作用为基础的有光生物圈,还有依

靠地球内热、以化学合成作用为基础的深海“黑暗生物圈”;“全球变化”的研究多年来只注目于地球的表层系统,而深海研究却发现地球深部和表层之间进行着水循环和碳循环^[1]。因此,深海研究纠正的不只是人类对于深海的无知,而且在纠正对整个地球系统的片面认识。

现在知道:巨大的深海并非是想象中寂静和停滞的死亡世界,而是在地球表层和内部过程的双向驱动下,充满着“世界奇观”和“科学难题”的陌生天地。深海的发现,不断地给地球科学和生命科学带来惊喜和难题。在深海的高压、低温环境下,不但甲烷可以结合水分子成为“可燃冰”,连二氧化碳也可以形成水合物^[2]、并且液化成为海底下的“CO₂湖”^[3]。深海的地幔橄榄岩出露海底,在海水中的风化作用不但产生低温热液、形成“白烟囱”^[4],还可能是当年地球上生命起源的摇篮^[5]。分布在海底下面的“深部生物圈”占据地球表面积的 65%、地球上活生物量的 10%,但是它们“万岁”级的高寿和千年以上的“育龄”,都给生命科学出了难题:如此超低速的新陈代谢,究竟是如何得以续而不断的呢^[6]?

所有这一切,从海洋的外面都是看不到的,只有

* 收稿日期:2013-04-07;修回日期:2013-04-24.

* 基金项目:国家自然科学基金项目“南海深海过程演变学术交流(第二阶段)”(编号:91228000)资助.

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

进入内部、深入海底方能知晓。“不入虎穴，焉得虎子”。如果把实验室里研究海洋比作动物园里看老虎，从船上研究海洋比作上山看老虎的话，那么建设海底观测网，就是进到老虎洞里看老虎，而这正标志着海洋科学研究的新阶段。

2 重新认识海洋

海洋科学近年来的突破性认识，在于海洋在时间里的变异。长期以来海洋调查重视的是空间里的变化，时间里的变化总以为是微不足道的，洋流也被看作是“没有边岸的河流”，因此海洋调查的“经验”就是尽量避免到同一个站位重复测量。海洋科学的发展澄清了这场误会，在回顾物理海洋学近百年进展的时候，国际海洋学界的 W. Munk (1917—) 批评了大洋环流固定的神话，指出洋流的动能绝大部分在于中尺度涡流，过去以为洋流的流速是“(10±1) cm/s”，现在知道应该是“(1±10) cm/s”^[7]。

这就提出了长期原位观测的必要性，短暂的访问不能正确认识多变的海洋。厄尔尼诺成因的发现，就是靠布放在太平洋赤道两侧的 70 个锚碇浮标，经过 10 年连续观测而取得的成果^[8]。这类锚碇浮标长期连续观测的可贵，就在于能够纠正船上短暂考察得出的错误结论。横跨大西洋的 25°N 断面，半个世纪以来总共有过 5 次船上的重复测量，拿来比较就发现大西洋经向环流在近 10 年里流量减少了 8 Sv 也就是 30%，于是发出了“大西洋热传送减慢”、墨西哥湾流“流系崩溃”的警告^[9]。但是 2004—2005 年锚碇浮标的连续观测，却发现流量的年内变化极大，幅度从 4.0 Sv 到 34.9 Sv，再回过来看这 5 次船基测量得出的结论，显然就失去了科学根据^[10]。

对于深海过程来说，长期原位观测当然更为迫切。观测发现：深海热液活动就是不稳定的，尤其是大型羽状流的喷发，往往呈事件性出现^[11]。连热液口 Fe 的浓度，也是随着半日潮的起落呈现出周期性变化^[12]。同时，也只有通过长期的原位观测，才能发现海面与深海过程的联系，突出的一例是深海底栖生物与浮游生物，纵然上下相隔几千米，居然还存在着耦合关系。深海连续观测的结果，发现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。东太平洋近 4 000 m 水深的底栖动物群，有一种小个体的海参在 1997—1998 厄尔尼诺年的时候急剧增多，然后又恢复原状。由此可见，深海底栖生物群也具有响应气候变化的能力^[13]。

总之，无所不在的时空变化，要求我们重新认识海洋。不仅要求改变我们的海洋概念，更要改变我们研究海洋的方式：人类只从海洋外面研究海洋的历史，应当告一段落；新时期的海洋科学，要求不仅从船上、岸上或者空间观测海洋，还需要深入海洋，从海洋内部研究海洋。

3 建设海底“气象站”和“实验室”

进入海洋内部研究海洋，打先锋的是深潜；至于长期的原位观测，就要依靠专门的设备。著名 IT 企业“惠普公司”的 2 位创始人之一 David Pickard 后来当过美国的国防部副部长，卸任之后在 1987 年创办了私人海洋研究所——蒙特瑞湾海洋研究所 (Monterey Bay Aquarium Research Institute, MBARI)，将科学和技术结合起来研究深海。他的办所理念很特别：把设备而不是人投送到深海，要让设备将信息传回来而不是把样品采上岸来分析。这就是海洋的原位观测：不是从海洋采样送进实验室，而是把实验室送到海里去；不但在陆地上建站观测大气，而且要到海里建站观测海洋。

建设海底科学观测网，成了新世纪国际海洋科技的头号任务。2009 年底，世界上第一个大型海底科学观测系统“加拿大海王星 (NEPTUNE-Canada)”开始运行，在水深 2 000 m 内的海域，用 800 km 长的光电缆连接六大节点、100 多个传感器，针对地震过程和大地构造、海底地下流体、海洋生物与气候变化、深海生态系统、工程和信息科学等五大领域开展观测^[14]。同时，更大规模的海底观测系统——美国的大洋观测计划 (Ocean Observation Initiative, OOI)，在经过十几年的设计、筹备后，终于在 2009 年正式启动。该系统由区域网、近岸网和全球网三部分组成，2014 年建成后将成为世界最大的海底观测系统^[15]。

建设海底观测网已经成为发达国家的共识。日本在其南岸外的深海，建造预警地震的 DONET 海底观测网^[16]，已于 2011 年完成启用。然而当年 3 月的大地震大海啸发生在日本的东北，于是日本政府又决定在东岸外另建一个海底联缆观测系统覆盖整个大陆坡、大陆架和日本海沟，预警地震与海啸。在欧洲，地中海和西欧岸外的海底观测网，也正在欧洲共同体的框架下逐步推进^[17]。

从海洋内部观测海洋，既有固定装置、又有活动平台，并不局限于联缆海底观测网。最大规模的剖面浮标观测，是 2000 年开始的国际深海探测 Argo

计划,全球用3 000多个零浮力浮标在各大洋穿梭,每个月可以提供从海面到2 000 m水深的温盐剖面9 000个^[18]。另一种途径就是自主水下航行器,包括有螺旋桨驱动的AUV和不用螺旋桨驱动的水下滑翔机^[19]。其中单靠浮力控制装置的水下滑翔机,已经能够长期“服役”,最高纪录属于美国华盛顿大学的“Seaglider 144”,曾经连续292天航行5 528 km,在水深1 000 m以内的北太平洋,测量海水的温度、盐度、密度、含氧量、叶绿素和浊度,展现出自主水下航行器的诱人前景^[20]。

到海洋内部观测海洋,并不只是科学研究的需要,还是新世纪开发海洋的必要条件。多少年来,海洋的开发利用讲的都是“渔盐之利,舟楫之便”,都是在海面。现在海面的渔业、航运等产业仍极为重要,而且也都开辟了许多新途径;然而海洋产业最大的变化,在于从海面拓展到了海底。随着技术进步和油价飙升,石油业逐步从陆地向浅海、再向深海推进。2004年海洋的石油产量已经占全球总产量的1/3,预计到2015年将接近2/5。21世纪头10年发现的大油气田,40%是在水深超过400 m的深海,20%在浅海,陆地已经退居第二位。与此相应,海洋油气已经占据全球海洋经济总值的1/2以上,成为海洋开发的主体。深海海底资源的开发充满着技术的挑战和风险,2010年墨西哥湾深海漏油事件的教训,使得海底过程的监测突然变为燃眉之急。可以预料,随着深海开发而来的海底观测,必将成为海洋科技今后突出的新命题。

4 迎接科技挑战,建设海洋强国

近年来我国已经出现进入海洋内部观测海洋的新趋势。2002年,中国正式加入国际Argo计划,10年来已经取得重大进展。在海底观测方面,2009年建成我国第一套海底小型观测试验网——小衢山试验站,2011年我国深海海底观测的组网核心设备,与美国加州MARS海底观测网络在近900 m深处并网运行成功,在技术上积累了经验。在科学层面,我国2008年以来接连举办2次国际研讨会和多次的国内研讨会,2012年11月全国第一届海底观测科学大会隆重举行,这都为建设全国规模的海底观测系统准备着条件。2012年,“国家海底长期科学观测系统”正式列入“十二五”大科学工程,分布在东海和南海的海底观测系统,即将在几年内建成。

对于海洋科学各个分支来说,海底观测系统的出现标志着科学研究的新方向、新途径。观测系统

为研究提供了技术条件,而其科学应用则因地制宜,有待研究者根据海区的特点和需求逐一提出。从事各个领域海洋研究的人员,都会面对长期原位观测带来的巨变。迎接这场巨变的海洋科学家,有必要尽早认识这场技术变更的科学涵义。为了阐明观测系统在科学应用中的潜力,10余位科学家在5年时间里经过实际考察并汇总近600篇文献,编写了《海底观测——科学与技术的结合》专著^[21],用国际实例说明海底观测系统的建设历程和在不同学科领域里的应用途径。

海底观测系统的发展,标志着人类与海洋关系的新阶段。直到20世纪中期,人类只是从地面观测地球,只能从岸边或者海面考察海洋,地球系统只有一个观测平台。1970年代人类进入太空,开辟了从空间对地球的第二个观测平台。新世纪的方向是建立第三个观测平台,从海底深部向上观测海水、向下观测地球内部^[22]。人类一旦真的能够长期连续地从海洋内部观测海洋,其结果必将改变整个海洋科学的发展走向,开拓一系列海洋科学的新方向,进入一个海洋科学和海洋技术紧密结合、携手并进的新时期。正在建设海洋强国的中国,能不能抓住新机遇,尽早进入海洋科技发展的新轨道,将决定我国海洋事业能否迎头赶上、问鼎国际前沿的发展前景^[23]。

参考文献(References):

- [1] IODP. Illuminating Earth's Past, Present, and Future. IODP Science Plan for 2013-2023 [M]. Washington DC: IODP MI, 2011:84. [国际大洋发现计划. 照亮地球:过去、现在与未来. IODP 2013—2023 科学计划 [M]. 上海:同济大学出版社, 2013:84.]
- [2] Brewer P G, Friederich G, Peltzer E T, et al. Direct experiments on the ocean disposal of fossil fuel CO₂ [J]. *Science*, 1999, 284: 943-945.
- [3] Inagaki F, Kuypers M M M, Tsunogai U, et al. Microbial community in a sediment-hosted CO₂ lake of the southern Okinawa Trough hydrothermal system [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 2006, 103(38): 14 164-14 169.
- [4] Kelley D S, Karson J A, Früh-Green G L, et al. A serpentinite-hosted ecosystem: The Lost City hydrothermal field [J]. *Science*, 2005, 307: 1 428.
- [5] Sleep N H, Bird D K, Pope E C. Serpentine and the dawn of life [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 2011, 366: 2 857-2 869.
- [6] D'Hondt S, Spivack A J, Pockalny R, et al. Subseafloor sedimentary life in the South Pacific Gyre [J]. *Proceedings of the National Academy Sciences of the USA*, 2009, 106(28): 11 651-

- 11 656.
- [7] Munk W. The evolution of physical oceanography in the last hundred years[J]. *Oceanography*,2002, 15(1): 135-141.
- [8] McPhaden M J, Busalacch A J, Cheney R, *et al.* The Tropical Ocean-Global atmosphere observing system: A decade of progress [J]. *Journal of Geophysical Research*,1998, 103 (C7): 14 169-14 240.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Kelley D S, Baross J A, Delaney J R. Volcanoes, fluids, and life at midocean ridge spreading centers[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*,2002, 30: 385-491.
- [12] 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.
- [13] Smith K L Jr, Ruhl H A, Bett B J, *et al.* Climate, carbon cycling, and deep-ocean ecosystems[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*,2009, 106: 19 211-19 218.
- [14] Wang Kelin, Moran K. NEPTUNE Canada: Science, operation, and management[J]. *Advances in Earth Science*, 2013,28(5): 521-528. [王克林, Moran K. 加拿大海王星网:科学、运行、管理[J]. 地球科学进展,2013,28(5):521-528.]
- [15] OOI. Ocean Observatories Initiative Final Network Design. Consortium for Ocean Leadership[R]. Washington DC, 2010:167.
- [16] Kawaguchi K, Kaneda Y, Araki E. The DONET: A real-time seafloor research infrastructure for the precise earthquake and tsunami monitoring [C] // Proceedings of OCEANS/TECHNO-O-CEAN 08. Kobe, 2008.
- [17] Favali P, Beranzoli L. EMSO: European multidisciplinary seafloor observatory [J]. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 2009, 602: 21-27.
- [18] Roemmich D, Gilson J. The 2004-2008 mean and annual cycle of temperature, salinity, and steric height in the global ocean from the Argo Program[J]. *Progress in Oceanography*,2009,82: 81-100.
- [19] Zhang Yanwu. Adaptive ocean observation [J]. *Advances in Earth Science*,2013, 28(5):537-541. [张燕武,自适应海洋观测[J]. 地球科学进展,2013,28(5):537-541.]
- [20] Wang Pinxian. Coupled development in marine science and technology: A retrospect [J]. *Advances in Earth Science*,2011, 26(6): 644-649. [汪品先. 海洋科学技术协同发展的回顾[J]. 地球科学进展,2011,26(6): 644-649.]
- [21] Shanghai Center of Marine Science & Technology(Preparatory Office), State Key Laboratory of Marine Geology of Tongji University. 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——科学与技术的结合[M].上海:同济大学出版社,2011.]
- [22] Wang Pinxian. Seafloor observatories: The third platform for Earth system observation[J]. *Chinese Journal of Nature*, 2007, 29(3): 125-130. [汪品先. 从海底观察地球——地球系统的第三个观测平台[J]. 自然杂志,2007,29(3):125-130.]
- [23] National Natural Science Foundation of China, Chinese Academy of Sciences. Science Development Strategy of China in the Next Decade · Marine Science[M]. Beijing: Science Press, 2012. [国家自然科学基金委员会,中国科学院.未来10年中国科技发展战略·海洋科学[M].北京:科学出版社,2012.]

Oceanography from Inside the Ocean

Wang Pinxian

(Shanghai Centre of Marine Science and Technology (Preparatory Office), State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Over centuries, the ocean has been studied from outside, either on the coast or on board. The latest development in marine technology has enabled long-term observations inside the ocean. The paper briefly discusses how the systems of sea-floor observatories and mobile observing platforms offer unprecedented opportunities for all fields of ocean researchers. To this new trend, China has to pay its closest attention to the course of developing ocean science in the country.

Key words: Marine science; Marine technology; Deep water seabed; Seafloor observation system.