

文章编号: 1001-8166(2011)06-0644-06

海洋科学和技术协同发展的回顾

汪品先^{1,2}

(1. 同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092 2. 上海海洋科技研究中心(筹), 上海 201306)

摘要: 简单回顾百余年来现代海洋科学的发展历程, 并用一系列的实例, 如深海取样和深海钻探, 遥测遥感和水下观测, 锚碇长期连续测量和智能水下活动平台, 深潜技术和海底观测网等, 说明科学的想像能促进技术的创新, 而工具的重大改进能导致科学理解的跃进。文章的目的是向我国学术界和管理部门说明: 科学和技术必须协同、而不是分头发展, 只有两者的结合发展才是科学技术的创新之道。

关键词: 海洋科学; 海洋技术; 协同发展; 创新

中图分类号: P7 **文献标志码:** A

1 引言

我国发展海洋事业的一大障碍, 在于科学和技术的相互分割。研究科学的追随国外的命题, 用国外买来的仪器获取数据写成论文, 希望能够在国外刊物上发表; 研究技术的模仿国外的产品, 采用国内材料加上国外部件, 目标是能够通过验收。这种无休止、无终点的“追赶”, 并没有带给我们所盼望的“创新”成果。海洋科技发展的历程告诉我们: 科学和技术需要结合起来发展^[1]。成功的技术创新, 背后都有科学家的思想; 成功的科学创新, 也往往有新技术的支撑。技术上哪怕小小的设备改装, 有时就能够开创科学研究的新方向; 而科学上哪怕虚拟的幻想, 有时也可能激起技术突破的新潮。对于全部依靠高技术的深海研究来说, 这番道理显得格外贴切。

为了说明上述意见, 本文以深海研究为重点, 对海洋科学技术发展的过程略加整理, 提供一份简单的历史回顾供同行参阅。“他山之石, 可以攻玉”, 但愿海洋界同仁能够从中悟出科学和技术相互促进、协同发展的真谛; 同时也以“野人献曝”的精神呈献给决策层, 希望也能拨冗过目、用作参考。

2 从 19 世纪的“挑战者号”到 20 世纪的“挑战者号”

人类关于海洋的知识, 绝大部分来自最近的百余年。19 世纪中叶蒸汽机推进器的出现, 使得远洋的深水探测成为可能。1872—1876 年, 英国皇家军舰“挑战者号”(H. M. S. Challenger) 的环球航行, 标志着深海研究的起步。这艘三桅蒸汽动力帆船经过一番改造, 3 年半环球航行 20 多万海里, 航次后 23 年里出版的 50 册巨著, 汇总人类首次从深海取得的知识, 包括系统采集的生物标本与沉积样品。此后的技术进步, 导致了深海科学的建立。如德国“流星号”1925—1927 年的航次里, 第一次应用回声声呐测量海水深度, 开创了 20 世纪 40 年代海底地形系统制图的新阶段, 从而发现世界大洋的中脊系统, 结果产生了海底扩张学说^[2]。

然而“海底扩张”的证实和“板块学说”的确立, 却要求从深海海底取得大洋地壳的岩芯, 这就要有深海海底钻井的新技术。石油工业在 20 世纪 50 年代末建成了第一艘深海钻井船, 1961 年试用于“莫霍钻 (Mohole) 计划”, 企图打穿地壳, 当然不能成功。随后美国科学家们调整了深海钻探的科学目标, 放弃了到今天也还未能完成的钻穿地壳的任务,

① 收稿日期: 2011-05-05 修回日期: 2011-05-28

改为重点钻探深海的沉积层。1968年美国 120 m 长的“格罗马·挑战者号 (G lomar Challenger)”深海钻探船首航墨西哥湾,开始了 15 年的“深海钻探 (DS-DP)”,用洋底深处地壳年龄的系统变化证实了“板块学说”,创立了“古海洋学”新学科,扭转了整个地球科学发展的轨迹。板块学说的流行使得“深海钻探”和“格罗马·挑战者号”名扬全球,不过这艘船与 19 世纪的“挑战者号”军舰并无关系,只是为了纪念深海探索的先驱而沿用其名。船名中“格罗马”一词是“Global Marine”公司的缩写。这是世界最大的海上钻探公司之一,建于 1973 年,到 90 年代改名为“TransOcean”公司,擅长深海钻探,“格罗马·挑战者号”就是由这家上市公司设计、建造和运作的,连今天“综合大洋钻探 (IODP)”的美国“JOIDES 决心号”,也是 TransOcean 公司的船只。

2 艘“挑战者号”标志着 2 个世纪深海探索的两大突破:远洋考察船的新技术带来了深海大洋海底以上的认识,深水钻探船的新技术带来了深海大洋海底以下的认识。后面还会看到:深海科学的建立,又会提出新的技术要求。

3 20 世纪中晚期的遥感技术与海洋连续观测

19 世纪中期“挑战者号”的环球航行,被誉为现代海洋科学确立的标志。紧接而来的是对海洋探测的兴趣大增,但是探测的手段仍然落后,因此海洋科学的第一个 100 年,被称为是“采样不足的世纪 (a century of undersampling)”^[3]。最简单的例子是温度:从船上测量表层海水的温度,只能测完一点再航行到下一个测点,因此永远不能画出一张同时间的海水温度图。科学技术在 20 世纪中期的飞跃,使人类终于摆脱地心引力、飞入太空,可以从地球外面观测地球。空间技术引出的遥测遥感,改变了许多学科原有性质,也开辟了海洋科学发展的新时期。将观测海洋的平台从海面提升到空间,其结果是极大地拓展了观测的视域、加大了测点的密度。

20 世纪 60 年代可以看作海洋科学的一个分界:此前的海洋调查单靠一些船只在海上跑,如此采到的不同数据,无从判断究竟是空间里的差别还是时间里的变化。根据当时的理解,海洋在时间里是稳定的,而在空间里却是无比复杂的。因此海洋调查的第一要义,就是决不要浪费船时去同一个站位做 2 次测量;如果 2 次测到的数据不同,就归罪于仪器不准。等到 60 年代发现了 100 天和 100 km 尺

度的中尺度“海洋天气”,这种概念发生了根本变化:原来中尺度流占据了海水运动 95% 的动能,海水在时间里充满着变化^[3]。回过头来看原来的海洋观测,真是连“走马观花”都谈不上,简直是“竹篮打水”,把海水运动的基本特点都给看漏了。从前以为海面是由稳定而缓慢的海流所控制,现在发现到处分布着中尺度涡流;从前以为海水在时间里相对稳定,现在发现海水运动在时间里变化远远超过空间里的差异。因此,我们脑子里对海流流速的概念,也从 $(10 \pm 1) \text{ cm/s}$ 变为 $(1 \pm 10) \text{ cm/s}$,就像大气科学不能只研究“气候”、还必须研究“天气”一样,海洋科学也不能只看大尺度现象,也必须研究中尺度的“天气”变化^[4]。

回顾历史,遥感技术进入海洋科学也并非一帆风顺,并不是一开始都认识其重要性。1978 年美国发射第一颗海洋卫星 SEASAT,开始提供海面动力高 (dynamic height) 的数据,但当时一位知名的海洋学家就对遥感资料不感兴趣,表示这种数据“你给了我也没法用”。恰好当时设立了一种“海洋科学最大错误奖”,据说当年就授予了这位知名学者^[4]。

遥感技术扩大了海洋观测的空间视域,同时也激发了海洋科学对时间变化的注意,迫切需提高海洋观测在时间域里的采样率。随着“全球变化”科学命题的出现,又提出了追溯海洋碳循环的新要求,这就更加突出了测量海洋过程时间序列的紧迫性,使得采用锚碇系列进行连续观测的技术迅速发展。80 年代,美国等在太平洋赤道两侧投放了近 70 个锚系,对水文、风速、风向等连续观测十几年,终于揭出厄尔尼诺的成因,提供了预报的依据^[5];也是在 80 年代,出现了“沉积捕获器”的新技术,可以对水层中的沉积物进行长期的原位测量^[6]。

特别值得提出的是深海大洋的长期观测。深海的定点锚系从 20 世纪 80~90 年代开始,迄今已有 20 多年历史,主要有 4 处站点:夏威夷的 HOT 站,百慕大的 BATS 站,加利福尼亚岸外的 M 站和爱尔兰西南的 PAP 站。在 4 000~5 000 m 的深水里设立深海锚系,开创深海长期观测之先河,为海洋科学建立了历史性功勋。其中百慕大的 BATS 站,建立在世界最早的深海水文站“S”站基础之上,水深 4 500 m,1988 年启用以来有多项重大发现,比如发现溶解有机碳数量变化超过颗粒有机碳,从而首次揭示它在大洋碳循环中的重要作用^[7]。再如东北太平洋水深 4 100 m 的 M 站,1989 年开始运行后重点观测深海海底生物群,发现深海底栖生物能够响应

海面过程, 同样也有强烈的季节和年际变化^[8]。可见在海洋科学发展的长河里, 紧接着遥感技术发展之后, 又涌现出在海洋内部进行长期观测的新潮。

4 新世纪的智能水下活动平台 ALPS

从海洋表面或外面的短暂考察, 发展到进入海洋内部进行原位的连续观测, 代表着海洋科学在 21 世纪里的重大转变。1999 年和 2009 年, 先后举行了 2 次“海洋观测国际大会”(OceanObs' 99 和 OceanObs' 09) 交流海洋观测的科学和技术。第一次会议在法国的 St Raphael 召开, 30 个国家的 350 位专家参加, 会后发表了“大洋观测新时期”的报告^[9]; 第二次 2009 年在意大利威尼斯举行, 36 个国家的 600 多位专家参加, 出版了会议文集和会议总结“大洋信息为社会服务: 使利益持久, 让潜力兑现”^[10]。

2 次会议检阅了海洋观测科技的进展, 展望了发展的前景与方向。海水运动的观测平台分为 2 类: 欧拉型 (Eulerian) 或者叫固定型观测平台在固定位置上测量, 包括沿岸近海、开放大洋和海底与海底下的 3 类, 适用于长期稳定的观测^[11]; 拉格朗日型 (Lagrangian) 或者叫活动型观测平台在运动中测量, 从 Argo 水下滑翔机到动物戴载传感器的观测都属于此类, 是当前十分活跃的观测手段^[12]。

欧拉型观测平台的主干是锚系, 最有名的是赤道太平洋两侧的锚系列阵, 从当年揭示 ENSO 的秘密, 到今天检测热带海气交换, 是海洋观测的经典设施。1999 年开始全球性国际合作, 2001 年设立“全球欧拉观测系统与研究计划”(Global Eulerian Observatories Pilot Project GEO-PP), 后来 GEO 改称为“OceanSITE”, 办公室设在美国的 Woods Hole 海洋所, 将全球近 90 个锚系和观测站连接起来, 实行数据共享 (参看 OceanSITE 网: www.oceansites.org/)。

当前最活跃的全球观测系统属于拉格朗日型, 这就是 Argo 系统。但 Argo 还只是活动平台中的一种, 把水下滑翔机等都包括在内的新概念叫做 ALPS, 不过介绍 ALPS 还要从 20 多年前讲起。1989 年, H. Stommel (1920—1992) 写过一篇科学幻想小说“斯洛克姆使命 (The Slocum Mission)”, 发表在 1989 年的《海洋学》(Oceanography) 学报上。在这篇以 2020 年口气写的“小说”里, 他把自己比喻为博士后, 于 1996 年参加了为期 30 年的“世界大洋观测系统 (WOOS, 1995—2025)”计划, 用成千台叫做

“Slocum”的小型浮标, 依靠海水温差和浮力获得推进力穿越水层, 每天冒出海面 6 次, 将采集的数据通过卫星发给岛上的控制中心, 从而将海水剖面测量的效率提高数百倍, 这就是“斯洛克姆使命”。这项 20 年前的“幻想”今天已经成为现实: “Slocum”就是水下滑翔机的设想, 而“斯洛克姆使命”就是今天 Argo 计划的先声! 科学家提出的思想, 通过新技术的发展形成新计划, 从而将科学推上新台阶, 这就是科学和技术的协同发展。

浮标为什么叫 Slocum? Joshua Slocum 是一位北美船长, 他是驾驶小船单身环球航行的第一人。Stommel 幻想中的“Slocum”, 就是小到用手臂能够抱起、能量消耗极低, 又能长时间穿越海水、采集数据, 并且定时升上海面传输数据的浮标 (float), 希望它和当年的 Slocum 船长一样能够独立航行。Argo 和水下滑翔机, 都是这种原理, 都是拉格朗日型也就是活动型平台, 其中 Argo 已经形成国际大计划, 不过只能随海水漂行、不能指定路程; 而水下滑翔机有着远大莫测的前景, 虽然目前还处在发展阶段, 也已经能续航超过 5 000 km。

重提这段往事, 是为了引出近来流行的一个新概念: “智能拉格朗日型平台与传感器 (Autonomous and Lagrangian Platforms and Sensors, ALPS)”。指的就是这种小型移动式装置, 不用缆线连接, 采用无线信号传输, 而且通常成群大量使用。ALPS 包括 4 类: 海面漂流浮标、中性浮标、水下滑翔机和自治水下机器人。2003 年春美国在 Scripps 所举行 ALPS 讨论会, 决定成立科学与技术结合的小组推进此项新技术^[14]; 并于 2008 年发表 ALPS 专辑, 全面介绍 ALPS 的发展和应^[15]。

ALPS 可以简单地说成是智能水下活动平台。为什么会出现 ALPS 热? 原因很简单: 太粗的网抓不到鱼, 原有的观测网也不能具体了解海水的流动。过去以为海水只有空间里的差别、时间里基本稳定, 所以相信依靠船只调查就可以了解海洋; 过去以为海流会像河流那样顺着河床运动, 因此也可以指望在固定的站位加以观测。而一旦明白我们面对的是充满湍流的大洋时, 固定的稀疏网点就不足以观测海水的运动, 需要用成群的“Slocum”在不断游弋中去观测海洋。已经成功的是 Argo 计划, 到 2007 年 11 月就有 3 000 个中性浮标在各大洋穿梭, 每个月可以提供 9 000 个温盐剖面^[16], 2004—2008 年, 总共测得了 436 000 个温盐剖面^[17], 如此数量的观测剖面, 依靠以往的手段是不可思议的。

然而真正符合 Stummel 幻想中“Slocum”的还不是 Argo 而是水下滑翔机和自治水下机器人 AUV, 它们与 Argo 的不同在于运行路线和时间可以遥控。2003年就出现了“Slocum 电力滑翔机”, 随着技术的改进, 2007年罗格斯大学的“Slocum 温差滑翔机”横跨大西洋, 完成了从美国东岸纽泽西到欧洲西班牙海岸的航行^[15]。不久前华盛顿大学的“Seaglider 144”水下滑翔机打破纪录, 于 2009年 6月 4日到 2010年 1月, 历经 292天航行 5 528 km, 对水深 1 000 m 以内的北太平洋海水测量温度、盐度、密度、含氧量、叶绿素和浊度, 展示出 ALPS 的光辉前景^[18]。不久前华盛顿大学 C. C. Erksen 教授在 AGU 大会的 Sverdrup 讲座中, 进一步指出了“深海滑翔机”的方向, 目标是在 6 000 m 水深连续运行 18 个月, 在 10 000 km 航程内, 以 1~10 m 的精度测温、盐和含氧量, 他把 ALPS 在当今海洋科学中的应用比喻为一场革命: 一场“智能(自治)观测革命 (Autonomous Revolution)”。

5 深潜技术与深海科学

海洋科学在 20 世纪晚期的突破性进展在于深海海底。随着 60 年代板块学说的确立, 对于深海海沟板块俯冲带和大洋中脊板块新生带的认识突飞猛进。从海沟的发震带到洋中脊的热液系统, 加上深海油气和“可燃冰”的广泛发现, 第一次使深海海底成为科学、企业和社会的共同目标, 从而极大地促进了深潜技术和深海科学的发展。

人类最早以潜入海底为业的, 可能是古代的采珠女; 不过屏住一口气的潜水, 还不能算作科学技术。现代科学意义上的潜水技术, 应当从 17 世纪末期哈雷 (Edmund Halley) 设计的潜水钟算起。1943 年法国发明了水下呼吸器 SCUBA 之后, 单人可以在水下活动, 但是没有封闭的压力控制系统做保护, 人类只能下潜到 30 m 水深。首先出现的深潜器, 是 1930 年美国的潜水球, 在百慕大潜入水下 183 m; 到 1934 年潜入 923 m, 1949 年下潜到 1 372 m, 接连打破深潜记录。接下来的是深海潜艇 (Bathyscaphe), 1960 年瑞士工程师 J. Piccard 和美国海军军官 D. Walsh 乘“Trieste”号深海潜艇, 潜入马里亚纳海沟 10 916 m 海底, 在海底停留了 20 分钟, 永久地打破了地球上深潜的最高纪录。

当代的深潜器, 有载人与不载人 2 种, 不载人的又分为有缆与无缆 2 种^[19]。以美国 Woods Hole 海洋所的“国家深潜装备 (National Deep Submergence

Facility, NDSF)”为例, 现有的载人深潜器 (HOV) 有“Alvin 号”, 不载人而有缆的是水下机器人 (ROV) “Jason 号”, 无缆的是自治水下机器人 (AUV) “Sentry 号”。“Alvin 号”的贡献最大, 从 1964 年以来的 46 年中总共下潜 4 638 次, 曾在东太平洋首次发现深海热液, 在大西洋勘察深海沉船“泰坦尼克号”, 2012 年将由新一代的“Alvin 号”深潜器接替, 预期在几年后下潜深度可达 6 500 m, 比原来加深近 2 000 m。“Jason 号”ROV 靠遥控操作, 用 10 km 的光电缆与母船连接, 装有声呐、采水、摄像等各种设备, 有机器人手采样, 可以下潜 6 500 m, 最长下潜时间可达 100 h 从深海热液到沉船考古, “Jason 号”出色完成了各种任务。“Sentry 号”AUV 是接替 2010 年夏丢失在海里的“ABE 号”, 下潜深度 6 500 m, 装有各种探头, 尤其适于用其多波束声纳进行高分辨率海底制图和磁异常测量。

除此之外, 还可以有其他种类的深潜器, 比如说有多功能的“杂交 (hybrid)”深潜器, 包括 ROV 与 AUV 两用的深潜器^[20]。最近 Woods Hole 增添的“Nereus 号”, 就是这种有缆、无缆两用的水下机器人, 在 2009 年 5 月 31 日曾下潜到马里亚纳海沟 10 902 m 的最深海底。深潜器的发展, 是深海科学的必要条件, 从深海热液到冷泉溢口, 从“黑暗生物群”到深海成矿, 都不可能在没有深潜技术的条件下发现和观测。目前我国已经初步具有基本自制的深潜设备, 尤其是 2010 年夏“蛟龙号”在南海深潜 3 759 m 成功^[20], 吹响了我国向深海进军的号角, 也展现了我国深海科学与技术协同发展、相互促进的前景。

6 第三个地球观测平台——海底观测网

几千年来人类向来是在海洋之外, 从船上或者岸上观测海洋; 20 世纪 60 年代出现的遥感技术, 所观测到的也还是海洋的表面。然而近几十年来发现, 有许多海洋过程来自深部, 无法从表面观测。赤道太平洋近 70 个锚系的多年连续观测, 发现厄尔尼诺现象的根源在于东西太平洋次表层水的反差^[21]; 北大西洋“高能底部边界层”的 7 年观测, 发现了深海底层流有每秒数十公分的“深海风暴”^[22]。因此海洋科学要求监测深海海底的过程, 开展从海底往上、而不只是从海面往下的观测。

上面说过, 从短暂“考察”到连续“观测”, 是海洋科学发展的必由之路。但是这里还有个观测平台的问题。如果把船上和陆上当作观测地球的第一个

平台, 遥感技术从空间观测是第二个观测平台, 那么海底观测就是第三个平台。遥感技术有极大的优势, 但是缺乏深入穿透的能力, 隔了平均 3 800 m 厚的水层, 难以达到大洋海底。正在兴起的智能水下活动平台 ALPS 热, 就是进入海洋内部进行观测的一种途径, 但对象还是上层海水, 不到海底。近来正在推广建设的“海底观测网”属于另一种类型, 它用光电缆传送能量和信息, 连接各种传感器和分析设备, 在海底为海洋观测建造“气象站”和“实验室”, 这就是地球系统的第三个观测平台。

“海底观测网”之所以成为可能, 依靠的是新技术的集成, 不但使多年连续自动化观测成为可能, 而且能随时提供实时观测信息; 另一方面的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。最早用缆线连接的海底观测网, 是 20 世纪 90 年代中期美国的 2 个站: 一个是罗格斯大学的 LEO-15 近岸站, 虽然水深不过 15 m, 缆线只有 15 km 长, 却开创了海洋生态学长期实时观测之先河^[23]; 另一个是夏威夷大学的 HUGO 站, 虽然建立 5 年后就因缆线短路被毁, 却是原位实时观测海底火山的创举^[24]。

现在, 海底观测网建设方兴未艾。美国的 OOI 计划经过十几年的设计、筹备, 终于在 2009 年正式启动, 由区域网、近岸网和全球网 3 部分组成, 将成为世界最大规模的海底观测系统。日本针对太平洋板块俯冲的发震带, 正结合 IODP 大洋钻探深井, 建立 DONET 海底观测网。2009 年底, “加拿大海王星”计划完成, 用 800 km 长的光电缆连接六大节点, 对水深 2 000 m 以内的海域进行多学科观测, 是世界上第一个建成的区域深海海底观测网^[25]。对此本期还有另文专门介绍, 此处不再赘述。可喜的是我国海底观测网的建设, 也已经在积极筹备、进入起步阶段。

总之, 当代的海洋观测正在向两头发展: 一边用数以千计的小型浮标穿梭海水, 建立活动的观测“网”; 一边用几百公里光电缆连接起来的传感器, 构筑固定的观测网。两者各不相同, 但又可以结合使用, 美国 OOI 计划里就有 AUV 等活动平台在固定站位之间穿梭。海洋新型观测系统的出现, 预兆着海洋科学新时期的来临。从本文简短的历史回顾里, 处处可以看到科学与技术之间的互动: “打穿地

壳”的科学命题, 促进了深海钻探; 虽然地壳还没能打穿, 深海钻探的新技术却改变了地球科学的进程。“全球变化”碳循环的科学命题, 促进了海水的长期观测; 锚碇观测的新技术, 又发现了海水高密度的时空变化。这种互动正在将海洋科技推向前进: 中尺度涡的发现使得科学家产生了“Subcm”的想像, 促进了 ALPS 智能水下活动平台的发展; 深潜技术的发展, 发现了深海海底向上的能量流和物质流。一旦科学与技术的这种互动能够在中国发生, 我们盼望的创新型时代就会降临。

当然, 我们的任务不是伸长脖子去等候创新型时代的降临, 而是在实践中促进科学和技术的结合。比如说, 我们需要建设海洋科学和技术能够在同一个单位发展的研究基地, 或者两者结合的联合体; 海洋科学和海洋技术的发展计划应该相互结合起来共同制定、共同执行, 而不是各行其道; 海洋科学和海洋技术的人才培养, 也需要有所结合, 而不是像现在这样截然划分。今天, 中国的海洋事业正在经历着前所未有的黄金时期, 但是投入的加强并不等于成效的保证, 其中一个重要环节就是本文的主题: 海洋科学和技术的协同发展。

参考文献 (References):

- [1] Curtin T B, Bekker E O. Innovation in oceanographic instrumentation [J]. *Oceanography*, 2008, 21(3): 44-53.
- [2] Gross M G. *Oceanography: A View of the Earth* [M]. Prentice-Hall, 4th Edition 1987: 406
- [3] Munk W. Oceanography before and after the advent of satellites [C] // Hapem D, ed. *Satellites, Oceanography and Society*. Elsevier, 2000: 1-4
- [4] Munk W. The evolution of physical oceanography in the last hundred years [J]. *Oceanography*, 2002, 15(1): 135-141.
- [5] Field J G, Hampel G, Summerhayes C P. Oceans 2020. Science Trends and the Challenge of Sustainability [M]. Washington DC: Island Press, 2002: 365
- [6] Honjo S, Manganini S J, Cole J J. Sedimentation of biogenic matter in the deep ocean [J]. *Deep-Sea Research*, 1982, 29: 609-625
- [7] Carlson C A, Ducklow H W, Michaels A F. Annual flux of dissolved organic carbon from the euphotic zone in the northwestern Sargasso Sea [J]. *Nature*, 1994, 371: 405-408
- [8] Smith K L Jr, Kaufmann D S. Long-term discrepancy between food supply and demand in the deep Eastern North Pacific [J]. *Science*, 1999, 284: 1174-1177.
- [9] OceanObs'99. A New Era for Ocean Observation: Report of the OceanObs'99 Conference [R]. Saint Raphael, France: 18-22 October, 1999
- [10] Fischer A S, Hall J, Harrison D E, et al. Ocean Information for society: Sustaining the Benefits, Realizing the Potential [R].

- Proceedings OceanObs'09 Venice, Italy, 21-25 September 2009-2010.
- [11] Lan pit R S, Favali P, Bames C R, *et al*. In Situ Sustained Eulerian Observatories [R]. Proceedings OceanObs'09, Venice, Italy, 21-25 September 2009-2010.
- [12] Roemmich D, Boehme L, Claustre H, *et al*. Integrating the Ocean Observing System: Mobile Platforms [R]. Proceedings OceanObs'09 Venice Italy, 21-25 September 2009-2010.
- [13] Stommel H. The Slocum mission [J]. *Oceanography*, 1989, April 1989: 22-25.
- [14] Rudnick D L, Perry M J eds. ALPS: Autonomous and Lagrangian Platforms and Sensors [R]. Workshop Report 2003.
- [15] Dickey T D, Itseire E C, Moline M A, *et al*. Introduction to the Limnology and Oceanography Special Issue on Autonomous and Lagrangian Platforms and Sensors (ALPS) [J]. *Limnology and Oceanography*, 2008, 53(5, part 2): 2 057-2 061.
- [16] Roemmich D, the Argo Steering Team. Argo—The challenge of continuing 10 years of progress [J]. *Oceanography*, 2009, 22(3): 46-55.
- [17] 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.
- [18] Report *Marine Technology Reporter*, 2010, 53(4): 10-11.
- [19] McFarlane J R. Tethered and Untethered Vehicles: The Future is in the Past [R]. OCEANS 15-18 Sept. 2008. Quebec City 2008: 4.
- [20] Liu F, Cui W C, Li X Y. China's first deep manned submersible, JIAOLONG [J]. *Science China (Series D)*, 2010, 53(10): 1 407-1 410.
- [21] Wang C, Picaut J. Understanding ENSO physics—A review [C] // Wang C, Xie S P, Carton JA, eds. *Earth's Climate: The Ocean-Atmosphere Interaction*. AGU Geophysical Monograph Series, 2004, 147: 21-48.
- [22] McCave IN, Chandler R C, Swift S A, *et al*. Contourites of the Nova Scotian continental rise and the HEBBLE area [C] // Stow D A V, *et al*, eds. *Deep-Water Contourite Systems: Modern Drifts and Ancient Series*. Seismic and Sedimentary Characteristics. Geological Society, London, Memoirs, 2002, 22: 21-38.
- [23] 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]. *Limnology and Oceanography*, 2003, 48: 1 756-1 765.
- [24] Favali P, Beranzoli L. Seafloor observatory science: A review [J]. *Annals of Geophysics*, 2006, 49(2/3): 515-567.
- [25] Bames C, Best M, Johnson F, *et al*. Transforming the ocean sciences through cabled observatories [J]. *Marine Technology*, 2008, (10): 30-36.

Coupled Development in Marine Science and Technology: A Retrospect

Wang Pinxian^{1, 2}

(1 State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2 Shanghai Centre of Marine Science and Technology (Preparatory Office), Shanghai 201306, China)

Abstract This paper is a brief review of the development of marine science and technology over the past century. A number of examples including the deep-water sampling and deep-sea drilling, remote sensing and underwater monitoring, moored long-term continuous observation and “Autonomous and Lagrangian Platforms and Sensors”, deep-water diving and sea-floor cabled observation network, are discussed to show how scientific imagination stimulates new technological innovation, and how major improvements in tool capabilities lead to leaps in scientific understanding. The paper is an attempt to convince the Chinese research community and administration that marine science and technology have to develop in a coupled way, not in separation, and their close coupling is prerequisite to science and technology innovation.

Key words Marine Science; Marine technology; Coupled Innovation development