

对海洋科学的认识与实践*

孙 松^{1, 2, 3, 4}

(1. 中国科学院海洋研究所 海洋生态与环境科学重点实验室 青岛 266071; 2. 胶州湾海洋生态系统国家野外科学观测研究站 青岛 266071; 3. 中国科学院大学 北京 100049; 4. 青岛海洋科学与技术国家实验室 海洋生态与环境科学功能实验室 青岛 266071)

摘要 “热带西太平洋海洋系统物质能量交换及其影响”是中国科学院海洋领域投入最大、参加人员最多的一个海洋科学先导项目, 该项目使我们第一次有机会从海洋系统角度研究中国近海到西太平洋的一些海洋前沿问题。来自物理、化学、生物、地质和大气等不同学科的科学家们围绕共同的问题, 在同一个区域、从不同方向开展协同研究。目前, 海洋先导专项已在深海探索与研究、海洋能力建设、科考平台建设、技术队伍建设、科研与技术有机融合的体系建设和海洋前沿探索方面取得一系列突破, 为全面、综合地开展深海资源的探测与近海生态安全研究奠定了重要基础。海洋先导专项更多系统性、有影响力的成果将在未来不断涌现出来。

关键词 热带西太平洋; 深海探索与研究; 海洋装备研发; 海洋未来发展

中图分类号 P7 **doi:** 10.11693/hyh20171000260

“热带西太平洋海洋系统物质能量交换及其影响”是中国科学院海洋领域投入最大、参加人员最多的一个海洋科学先导项目, 该项目为期 5 年, 有来自中国科学院和国内相关海洋科研机构的 500 多名科学家和技术人员参与。海洋先导专项使我们第一次有机会从海洋系统角度研究中国近海到西太平洋的一些海洋前沿问题, 物理、化学、生物、地质和大气等不同学科的科学家们围绕共同的问题, 在同一个区域、从不同的方向开展协同研究, 从近海到大洋、从海洋表层到海底, 涉及到海气界面、陆海界面和海底界面, 将海洋作为一个整体开展系统研究。海洋先导专项也使我们有机会将科学探索与设备研发进行有机结合, 在科学目标驱动下, 根据需要研发海洋探测与研究的急需装备, 并且立即发挥作用。目前, 海洋先导专项在深海探索与研究、海洋能力建设、科考平台建设、技术队伍建设、科研与技术有机融合的体系建设和海洋前沿探索方面取得一系列突破, 使我们对近海的复杂性、深海的神秘性、海洋技术对海洋科学的带动作用 and 海洋科学未来发展方向等方面有了

更加深入的认识。

1 走向深海

海洋先导专项设立之初没有包括深海部分, 理由很简单, 因为我们当时不具备深海探测与研究的能力。当时“科学”号综合科学考察船正在建造之中, “科学”号建成之后能否满足深海探测与研究的要求是个很大的疑问; 另外一个非常重要的原因是由于经费预算紧张, “科学”号上没有配备开展深海研究的重要工具——深潜器, 而海洋先导专项只有 5 年的时间, 如果将深海作为海洋专项的一个重要研究内容, 我们将面临很大的风险。但从全球海洋科学发展来看, 海洋领域最大的挑战在深海, 深海探索与研究是一个国家综合国力和科技实力的象征, 没有对深海的探索与研究, 我们对海洋中的很多现象不可能真正有所了解, 作为海洋先导专项这么大的一个项目, 不包括深海显然是不合适的。如果将水深 200 米作为深海的分界线, 全球 95% 的海洋都属于深海; 如果将 1000 米作为深海的分界线, 则全球 90% 的海洋属于

* 中国科学院战略性先导科技专项(A类), XDA11020305号; 鳌山科技创新计划, 2016ASKJ02-1号。孙松, 研究员, 中国科学院海洋先导专项首席科学家, 博士生导师, E-mail: sunsong@qdio.ac.cn

收稿日期: 2017-10-13, 收修改稿日期: 2017-10-15

深海, 所以没有对深海的探索与研究, 就不可能真正对海洋有所认识。因此, 尽管存在很大的风险, 但是走向深海是我们的必然选择, 这对我们是个很大的挑战。

1.1 深海探测与研究平台建设

认识到深海探测与研究的重要意义, 并将深海作为海洋专项的重要研究内容, 首先要解决的就是深海探测装备的问题——我们需要建设现代化、国际一流的深海探测与研究平台。深潜器是深海研究的关键设施之一, 没有性能完备的深潜器, 对深海极端环境进行探索和研究是很难实现的。深潜器与科考船一样, 也是一个移动平台, 我们不仅需要一性能优良的深潜器, 更重要的是深潜器上所配备的探测与取样装置, 但是这些仪器设备、包括技术集成和操作很多是国际对我国进行严格限制的, 所以我们必须依靠自己的力量。

在“科学”号建造的同时, 我们开始设计和建造“发现”号缆控潜器(ROV)。在深海探测体系建设中, 项目总体组提出了“下得去、看得见、拿得上、测得准、可扩展、用得起”的目标, 听起来比较简单, 但要达到这些目标, 挑战性非常大。“发现”号缆控水下机器人上配备了世界上最好的高清摄像系统, 使我们能够对海底世界“一目了然”, 能够对海底生物进行非常细致的观察, 同时配置了性能非常先进的机械臂、吸尘式生物采样装置、沉积物多管无扰动采样和岩石采样以及其他各种各样的探测与取样工具, 使我们的深潜器能够做到不仅看得见, 还能够拿得上。

深海是一个非常特殊的环境, 高压、黑暗、低温/高温, 深海热液、冷泉以及生活在这种特殊环境中的生物构成了特殊的化能生态系统, 如何探测这些特殊的环境、解析生态系统运作机制对我们来说是一个巨大的挑战。通常的做法是研发“保真取样”设备, 使获取的样品能够保持深海压力、温度和深海环境中的其他环境因素。这一方法理论上是可行的, 但实施起来非常困难。我们也部署了一些这样的设备研发项目, 但是一个现实的问题是: 样品取上来之后如何对这些样品进行分析和测定, 相关配套设施和技术非常复杂。另外, 这种方法做出来的结果能否反映深海环境中的真实情况是个很关键的问题。因此, 我们把一部分这样的研发项目及时叫停, 将重点放在能够在深海进行原位观测的设备研发上, 例如深海热液温度梯度探测装置、深海拉曼光谱、深海现场培养设施

和深海着陆器等。通过这些能够在深海进行现场实时探测、现场实验设备的研发, 使我们能够实现“测得准”的目标, 也是“将实验室搬到海底”的一个重要组成部分。我们在深潜器设计之初就特别注意标准化接口和电力、信号系统的兼容性, 所以随后很多自主研发的设备和购置的配套设备都能够与现有设备进行有机融合, 形成不断完善的探测与作业体系, 由此充分体现出“可扩展”。在深海探索与研究中, 我们没有选择载人潜器作为主要工具, 而是重点发展无人设备——缆控潜器和自控潜器。“发现”号 4500 米缆控潜器从建成到现在的 3 年多时间里已经成功下潜近 150 余次, 获得大量高清影像资料和生物、地质、化学样品, 已经成为深海研究中不可缺少的重要工具, 为深海探测与研究作出重要贡献。

1.2 深海探测与研究体系建设

开展深海研究一个很大的挑战是要形成体系。在确定“科学”号上要配置缆控潜器之后, 一个非常现实的问题就是我们没有操作这些大型设备的技术和支撑队伍。缆控深潜器的操作必须与母船进行很好的配合, 而现实问题是我们的船是新一代现代化综合科学考察船, 与过去的科考船有很大的不同, 对船的操纵本身就是一个很大的挑战。因为船载设备非常多、非常复杂, 相互间的配合非常重要, 按国际惯例, 这样的科学考察船在建成之后一般要在海上进行 1—2 年的试验和调试。但是由于我们的项目只有 5 年时间, 要求“科学”号必须立即投入使用, 否则很多任务都无法完成, 所以“科学”号在交付使用仅仅 3 个月后就开赴西太平洋进行海上考察。从 2012 年底交付使用到现在, “科学”号每年在海上作业 300 天左右, 达到国际领先水平, 充分体现出我们的“海上流动实验室”的可靠性和船舶操纵、技术队伍的优良品质。能否把“科学”号科考船与深潜器配合好, 从而实现深海极端环境和生态系统的探测, 这对我们是一个前所未有的挑战。在这个过程中, 我们曾经想过借用俄罗斯的技术人员帮助我们操纵深潜器, 但是俄罗斯科学院远东分院海洋生物研究所传来的信息说他们的技术队伍是由英国南安普顿海洋中心帮助培训的, 实际上南安普顿的深潜器在配备之后很长时间无法达到要求, 后来是美国的研究所帮助培训的, 这其中一个是非常重要的原因是: 国际发达国家禁止对中国进行这方面的技术转移。所以对我们来说, 无论请哪里的专家都是不现实的, 况且我们急需马上进行试验和作业, 如果不能获取相应的样品和资料, 我们的深海

研究就等于是失败。最终,我们依靠自己的技术力量,首航成功,拿到了深海冷泉高清影像资料,获取了大量生物和地质样品,这对我们是个极大的鼓舞。随后又开展了一系列成功的下潜,获取大量的数据和样品,真正实现了跨越式发展,从无到有,一跃进入国际先进行列。现在我们已经建立起深潜器操作、维护、保养的技术队伍,全部都是由年轻人领衔,不仅能够使用,而且能够自行维修和改进,不断发掘新的功能、研发新的设备。利用这些先进技术我们对海山生物多样性、热液生物群、冷泉生物群落进行了综合探测,取得一系列重要发现和新的认识,在利用自己研发的拉曼光谱在世界上首次对深海热液化学物质构成进行了测定,并且首次在南海发现裸露天然气水合物;利用自己研发的温度梯度测定装置对深海热液进行温度测定;利用自行研发的着陆器对南海冷泉生物和环境进行了超过一年的连续观测;在深海1000—2000米水深进行深海热液生物和冷泉区生物进行海底培养实验,并且将深海大型生物带回实验室进行培养;利用自主研发的探针进行生物间隙水进行现场化学测定。

1.3 自主创新、大胆实践

2017年7月,我们在南海对新研制的“发现”号自主式水下机器人(AUV)进行海上测试的过程中,设计了一个前所未有的实验:让AUV在水深为1000多米的海底离地5米、在复杂的海底地形环境下沿设定好的航线航行,绘制海底地形图、拍摄海底图像、测定各种环境参数,“发现”号缆控水下机器人在“探索”号预定的航线上等待,看看能否拍摄到“探索”号在水下的作业情况。这里的挑战在于“发现”号要按既定的路线进行准确定位和航行,特别是在遇到复杂地形进行躲避后必须能够回到原来的航线上。考虑到起伏不定的海底地形和海水流动就可以想象出这其中的复杂性和技术挑战,而另外的挑战来自“发现”号缆控水下机器人。由于是缆控的,所以“科学”号科考船的定位必须非常准确,在茫茫大洋上,考虑到风和流对船舶位置的剧烈影响,要使一条5000吨的科考船准确定位在AUV将要经过的区域,不能有任何漂移,水下的“发现”号缆控机器人要在“探索”号的预定航线、离地5米的高度进行等待,任何一方的误差都会使两个深潜器错过或者撞在一起,二者都是昂贵的大型设备,马虎不得,但是我们成功了。三次互拍都很成功,我们第一次用我们自己的缆控水下机器人在水深1000多米的海底拍到了我们自己研发的自主式

水下机器人在深海的航行和工作情况,更为可贵的是,所有技术人员和研发人员都是我们自己培养的年轻人。我们的确已经建立起一支由先进技术装备、技术高超的技术人员、具有自主研发能力的科研人员和具有创新能力的科学家组成的深海探测与研究体系。AUV对海底生物和地质环境进行拍摄,对海底地形进行三维测量,对海底溶解氧、甲烷等参数进行了自动测定。现在我们已经具备在深海开展现场实验的能力。

1.4 海洋技术进步带动科学发展

海洋先导专项已经建立起一整套的深海探测与研究平台、技术队伍与科研队伍,使我国深海探测与研究进入国际发达国家的行列,在很多方面已经处于国际先进甚至是国际领先的位置,这对我国未来深海探测与研究是个重要的支撑;我们已经建立起一整套海洋系统研究的战略思维、方法体系和人才队伍,获取大量的数据并开展很多综合性的探索与研究,相关成果会在随后几年的时间里不断涌现出来。科学研究需要长时间的积累、分析和提升,海洋先导专项在这方面仅仅是个良好的开端,全国海洋普查、英国“挑战者”号全球调查等大型海洋考察计划都是经历几十年的时间才基本完成对所有资料的分析整理和相关成果的不断发表,但是都对海洋科技的发展产生了深远影响。同样地,海洋先导专项也必将对我国海洋科技发展起到重要的推动作用。

2 从海洋系统角度认识深海

我们对深海了解得太少,所以对于深海探测与研究更多的体现在认知层面上。目前我们对深海研究有一个误区,似乎深海研究就是对深海海底的探索与研究,有人甚至以为深海研究就是对深渊的探索,似乎越深越能显现出水平,从技术层面上看的确如此,但是科学研究不仅仅体现在技术层面上,更多的应该是对其科学内涵的认知。对海底的探索的确给我们带来很多前所未有的认知与发现的机会,因为对我们来说那是一个陌生的世界,对深海地质环境、化学环境和特殊生命现象的探索是地球科学的重要组成部分,对深海海底的探索也是推动海洋技术发展的一个重要因素,对深海海底探测的另一个重要的驱动力是海底油气资源、矿产资源、药物资源和基因资源的探索。但从另一方面来看,深海探测与研究远不止这些,涉及海水中的热量传递——能够到达多深的水、海洋酸化的深度范围和梯度、深海海洋食

物网与海洋酸化之间的相互关系、深海中溶解氧的变化、表层海洋与深层海洋之间的物质能量交换等各个方面的问题。对深海的探测与研究更多地体现在我们对整个海洋运作机制的了解,这对于气候变化、防灾减灾、海洋环境安全、资源开发利用和海洋保护等都至关重要。

由于全球海洋 90%以上的区域都是深海,所以如何开展对广袤海洋的观测是个非常重要的挑战。对大范围的海洋进行观测的最有效手段是卫星遥感观测,但这仅仅是对表层海洋的观测;Argo 浮标的应用使我们有能力对 0—2000 米水深范围内的海洋进行长期连续观测,现在看来这也是远远不够的,4000 米和 6000 米深海 Argo 的研制成功意味着我们将对更深的海洋进行长期有效观测。从某种意义上来说,Argo 浮标对海洋的观测相当于卫星对全球的观测,在海洋观测领域是个巨大的进步和最重要的观测手段。大洋滑翔器(Ocean Glider)的使用是对海洋长期观测的有效补充,自主式水下机器人(AUV)的使用使我们有能力对一些特殊的海洋环境进行自动观测。未来将是由卫星遥感、Argo 浮标、大洋滑翔器、潜标、浮标、海底观测网、科学考察船共同组成的深海观测体系协同工作,在大量自动观测设备长期工作获取大量数据的基础上,配合科学考察船的现场探索与实验,我们将对广袤的深海和大洋的运作机制有一个比较全面的认识,从而使人类能够真正了解、开发、利用和保护海洋、保护地球生命保障系统的安全。深海探索与研究任重而道远,现在只是刚刚开始。2016 年我们与俄罗斯科学院远东分院海洋生物研究所等单位共同发起一个国际研讨会,题目是“深海探索与研究,为我们的后代着想”,我想这比较能够贴切地反映出我们对深海探测与研究意义的认识。

3 近海是一个非常复杂的综合体

近海是一个非常复杂的综合体,既有自然变化的因素也有人类活动的影响,陆海相互作用、海底与水体之间的相互作用、近海与大洋之间的相互交换、人类活动对近海环境与生态系统的影响等使近海生态系统倍加复杂。对海洋生态系统变动起到重要驱动作用的关键因子进行固定站位、固定断面、敏感区域的长期立体观测是解决近海资源环境复杂问题、实现可持续发展的必由之路。现实问题是观测的碎片化、不连续、不标准和不成体系。这与近海生态系统本身的复杂性、人类活动的强烈干扰和观测技术的落后密

切相关。与深海相比,在近海建立潜标网极其困难:首先是渔业活动的影响;其次是海水的浑浊使很多图像系统难以有效发挥作用;第三是生物附着的问题;另外通过卫星遥感开展近海监测也存在很多困难,目前近海观测在很大程度上还是依靠浮标和基于科学考察船的断面观测,耗费大量的人力和物力,对于海洋化学和海洋生物的观测更加困难,因为缺少这方面的自动观测手段。新方法、新思维、新的技术手段的发展将是近海长期观测体系建设的重要内容,重点应该是针对特殊生态系统和敏感区的观测。在应对浒苔暴发项目中,我们对浒苔发源地——苏北浅滩动用多种观测手段进行综合立体连续观测,取得了很好的效果。在前期大量科学研究的基础上,通过对卫星遥感资料的分析、无人机的现场观测、海上作业船只对现场样品的采集和科学考察海上现场调查、现场实验、延时相机的长时间记录、结合分子生物学等综合手段的有效结合,现在能够准确预报浒苔出现的时间、规模和漂浮路径,为制定合理的打捞时间、最佳区域和相应的防控措施提供系统方案。未来的发展方向应该用最少的参数、观测项目和站位达到最佳的观测效果,关键取决于我们对这其中的关键过程、关键因子和关键区域的认知与把握。浒苔暴发的预测预警与防控体系的建立,为其他海洋生态现象和渔业资源的观测、评估与应对提供了一个范例。海洋研究中最复杂、最困难的区域莫过于对海岸带和近海的研究,需要多学科交叉、长期积累、陆海结合、科技与经济社会发展结合。对近海研究最大的挑战是能够取得实效、真正解决问题,对蓝色经济发展起到科技支撑作用,决不是撰写几篇文章那么简单的事情。

4 科学需要长期积累

走向深海、建立国际一流的探测与研究平台、取得国际一流的科研成果一直是我们的梦想,现在梦想正在逐步变成现实,但是我们也面临前所未有的挑战。海洋先导专项是一个短时间的任务,尽管在短时间内我们取得了很多技术和科学上的突破,建立起一整套的研究战略、研究方法和技术体系,但是海洋专项所建立起的一切也像是一个复杂的热气球或者是一个结构复杂、具备很多功能、色彩缤纷的巨大充气气球,其生命力取决于持续的热量供给或者不断地充气,也就是需要能量输入;海洋专项所建立起的一整套体系也需要不断地进行经费、人力和资源的

投入, 否则都将偃旗息鼓。我们所建立起的以科学考察船、深潜器、船载大型探测与取样设备、船载实验室、年轻的技术队伍和专业的科学家队伍以及熟练的支撑队伍是我国开展深海探索与研究的中坚力量之一, 对于我国海洋科技的发展具有重要意义。同时我们也必须清醒地认识到, 海洋科学、特别是深海科学具备高投入、高风险、长周期的特点, 在世界上也只有少数几个国家具备这样的能力, 如何获得持续的经费支持维持这样一支高水平的科技队伍与世界先进的技术平台是我们所面临的一个艰巨任务。没有大的科研项目的支持、长期的经费投入, 就不可能维持这样一支多学科交叉的科技队伍, 由海洋先导专项所建立起的这样一个海洋科技平台和技术体系很快就会消失, 很难发挥所谓的“先导”作用, 这对国家来说将是一个极大的浪费。海洋专项所建立起来的从中国近海到西太平洋、印尼通道到东印度洋海洋综合观测网在构成上主要是潜标、浮标和依靠科学考察船的断面观测, 这一切所依靠的也是每年的出海调查、仪器回收与重新布防, 没有持续的经费支持就不可能维护一个观测网进行长期有效的观测, 那么我们所建立起来的观测网也将失去其科学意义和战略意义。

海洋探测与研究涉及到一个国家的长期战略, 如果没有一个具有前瞻部署、持续支持、持之以恒的科学体系, 海洋科技强国梦就只能是一个梦想, 很难变成现实。令我们非常欣喜的是国家对海洋的重视、海洋科研投入的不断增加、海洋意识不断增强、海洋科研项目不断增多, 我们正处于海洋科技大发展的黄金时期, 所以海洋先导专项所进行的前瞻探索和实践将会发挥越来越重要的作用, 其科学意义和影响力将在未来不断展现出来。

海洋装备与技术研发能够对海洋科学的发展起到重要的带动作用, 也比较容易在短时间内取得突破性的进展, 尽管十分重要、甚至是非常关键, 但是毕竟这只是一种手段, 真正对其科学内涵的认识、发现、造福人类才是关键, 而这方面需要长期积累, 甚至是几代人的不懈努力, 所以我们既要看到眼前的成就, 更要注重未来发展, 进行长期潜心研究, 不断探索与实践才能取得重要和重大科学突破, 海洋科学尤其如此。海洋专项已经有一些科学突破, 也发表了一些 Nature、Science 等高端文章, 但是很多都是长期积累的结果, 海洋专项更多系统性、有影响力的成果也将在未来不断涌现出来。

COGNITION AND PRACTICE ON MARINE SCIENCES

SUN Song^{1, 2, 3, 4}

(1. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Science, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Jiaozhou Bay Marine Ecosystem Research Station, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. Laboratory for Marine Ecology and Environmental Science, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China)

Abstract The five-year project WPOS (Western Pacific Ocean System: Structure, Dynamics and Consequences) is so far the biggest project in marine science and technology undertaken by the Chinese Academy of Sciences. WPOS offered a good opportunity to research into the Western Pacific systematically. It is the first time for us to organize more than 500 scientists and technologists from multiple fields involving physics, chemistry, biology, and geology on the same research vessel and in the same ocean areas. WPOS project covered regions from the coastal zones of Chinese seas to the tropical Western Pacific and beyond. The implementation of WPOS allowed us to better comprehend the complexity of the coastal ecosystem and the mystery of the deep sea, and the vital roles of the equipment, platforms, and technologies for ocean exploring and research. WPOS has achieved greatly, especially in the deep-sea research, laying a foundation for the comprehensive and multidiscipline exploitation for the deep-sea resources and coastal ecosystem safety. However, more challenges remain in the future.

Key words Western Pacific; deep-sea exploring and research; marine equipment; marine ecosystem safety