

海洋科学新动向

二、海洋水文物理学正在经历着巨大的转变

毛 汉 礼

(中国科学院海洋研究所)

海洋水文物理学是海洋科学的一门重要的分支学科，它是以研究海洋里水文现象的物理过程为对象，研究海水的各种运动为重点，研究海洋环流结构为核心的一门科学。就其性质和研究对象及任务来说，这门科学同其最亲近的姊妹科学——大气物理学十分类似。然而就它们发展的速度和当前的水平来说，这两门科学之间却存在着相当大的差距。这当然有多方面的原因。但无可否认，海洋物理的观测方式和观测手段的长期处于落后状态，也是其中的主要原因之一。

近二、三十年以来，大气物理在观测方式和观测手段方面，有了很大进展。这主要是因为：一方面，观测台站的大量增加，甚至在荒无人烟的高山之颠、戈壁滩上、荒岛之上等自然条件极其困难的地方，都建立了气象观测站，有气象工作者常年地在那里收集气象资料。据文献报导，目前全世界陆地上的气象台站总数在8,000个以上。这为分析大气中的各种物理现象提供了大量的同步观测资料。另一方面，由于采用了多种新技术，改进了观测手段，还进行了高空、远程、以及某些特殊的大气现象（如台风、雷、雹等等）的观测。根据这两方面的观测结果，气象学家们拥有大量、同步、立体化、以及用新技术观测到的高精度资料，可以对不同区域同一时刻的各种大气现象进行分析研究，从而认识这些大气现象的物理过程，掌握其变化规律，及时地作出比较准确的天气预报。

而海洋水文物理获得资料的方式和手段，则与此截然不同。以观测台站的数量来说，据文献报导，在面积比陆地大一倍半的汪洋大海里，目前总共大约只有一百五十个海洋水文气象观测站；其中有一百三十几个是在大洋的岛屿上，真正在海洋里的固定的观测站（天气船），全世界只有十几处，在浩瀚的太平洋里，只有三、四艘天气船常年进行海洋水文的观测工作。这确实是一个惊人的对比。

向来，海洋水文观测资料的来源，除了岸边寥寥可数的验潮站和水文气象台站的观测资料以外，几乎完全是依靠“单船走航”方式来获得的。一般情况是：沿海的一些国家和地区，为了某些特殊的需要（如渔捞、航海和军事上的需要等等），对其毗邻海区以及一些有特殊意义的海域，进行一些定期的或不定期的（以后者为主）包括海洋水文观测项目在内的海洋综合调查。每次调查结束以后，对该次调查资料进行分析研究时均认为：这些观测资料（不管每次调查持续时间多久）是同时值；即假定这些资料是在同一时刻取得的。记得十几年前，美国有一位颇负盛名的海

本文承管秉贤、甘子钧、丁宗信三同志提供资料和热情帮助，谨致谢忱。

洋学家曾经说过大意是这样的话：以单船走航方式来获得海洋水文资料，就好象用“流动气象站”来获取大气资料。气象学家们对“流动气象站”获取的大气资料，当然是不值一顾的。但可怜的海洋学家们，却以能取得单船走航方式获取的观测资料为满足了。这是一个带讽刺性的、但又是千真万确的写照。

有人在本世纪六十年代初作过统计，他写道：截止本世纪五十年代为止，海洋调查基本上都是以单船走航方式进行的。现有文献或资料可查考的，这种以单船走航方式进行的海洋调查，十八世纪仅有8次，十九世纪共有133次，二十世纪前半叶共有166次。如果这一统计数字大体上可靠，则从十八世纪到本世纪前半叶这一、二百年的时间内，全世界一共进行了三百次左右以单船走航方式进行的海洋调查。虽然这三百次左右的海洋调查的目的要求（任务）、调查范围、调查内容、时间长短等，都很不相同，但总的说来，每次调查的范围都不大，观测项目也不多（但一般都进行水文观测），调查持续时间也不长；而且，观测手段都十分落后。比如，本世纪五十年代海洋调查所使用的观测手段，同七、八十年前“挑战者号”调查(Challenger Expedition)（详后）所用的相差无几。这三百次左右海洋调查绝大部分都是在沿岸水域里进行的。而且有相当大部分只集中于少数几个海区，如毗邻欧洲的北海，波罗的海和地中海；北美洲东岸的（墨西哥）湾流区域，西岸的加利福尼亚流区域；以及亚洲东岸的黑潮（暖流）区域和日本近海等。到本世纪五十年代前期为止，对世界大洋一共只进行了屈指可数的几次大洋湾流区域，西岸的加利福尼亚流区域；以及亚洲东岸的黑潮（暖流）考察（大洋调查），其中最负盛名的几次是：

1873—1876年英国（由皇家学会组织与主持）进行的“挑战者号”调查。这次调查历时三年位半，航程68,900海里，遍及世界三大洋，共做了362个深水水文站。其调查资料和标本，由七十科学家从事整理和分析研究，历时二十年（1884—1895年最集中）写出了调查报告50卷。西方的海洋科学家们称誉这次调查为“近代海洋学的奠基性调查”。

1925—1927年（其后又于1937—1938年）德国的“流星号”调查(Meteor Expedition)。1925—1927年主要在大西洋南部（20°N—65°S）进行14个断面的水文观测；1937—1938年在大西洋北部（20°N以北）进行7个断面的补充观测，前后共做了21个断面、310多个水文站。这次调查以物理海洋学为主，以观测精度高著称。其所获资料，一向被海洋学界认为是“海洋调查的代表性资料”。

1947—1948年瑞典的“信天翁号”调查(Albatross Expedition)。这次调查被誉为“近代海洋综合调查的典型”。重点进行了三大洋赤道无风带的海洋观测，以补充“挑战者号”调查的三桅调查船当时无法在无风带区域进行观测的空白。这次调查历时15个月。航程70,000海里。

1950—1952年英国的“挑战者Ⅱ号”调查(Challenger-Ⅱ Expedition)。这次调查的航线和站位，悉同于1873—1876年的第一次“挑战者号”调查。其目的在于用英国当时最新的仪器设备检验七、八十年前第一次“挑战者号”调查的结果。

此外，海洋科学文献中常提到的大洋调查有：从1909年开始到1931年结束，间断进行达二十余年的美国的“卡那基号”调查(Carnegie Expedition)；从1921年开始到1935年结束，间断进行达十五年之久的丹麦“台娜Ⅰ号”调查和“台娜Ⅱ号”调查(Dana-Ⅰ Expedition、Dana-Ⅱ Expedition)；1950年丹麦的“加拉蒂亚号”调查(Galathea Expedition)等。

从十九世纪七十年代初到本世纪五十年代初，整整八十年，知名的大洋调查只有这么几次；而一次调查花一、两年到三、四年时间，只能做几百个水文站，大洋水文资料的缺乏由是可知。很显然，同气象科学家们有大量的同步观测资料可以对大气现象进行天气分析相比，海洋水文学家们确实是可怜的。他们只能把不同时间调查所得的资料取作同时值，对海洋水文物理现象的平均状态进行“气候学分析”。到本世纪五十年代初，对于世界大洋以及一些主要海区的主要水文

物理现象——温度和盐度的分布概况及其主要特点，已有了一个轮廓性的了解，并根据温盐关系确定了海洋里大型水团（相当于大气里的气团）的属性和分布。可以这么说：初步认识世界大洋里温、盐度分布和水团属性是本世纪五十年代以前大约三百次海洋调查的主要收获。

海洋里的海流相当于大气里的风，它对海洋里的各种自然现象（物理的、化学的、生物的、地质地貌的）均有显著的作用，可以说，海流乃是海洋里最最基本的一种自然现象。对于这么重要的一项现象，在海洋调查中，由于海流观测费时费事，特别是在深海大洋区域，进行海流观测困难更大；因此，海流的实际观测资料是十分希罕的。在前述三百来次海洋调查中，进行海流观测的次数是不多的。海洋学中的海流资料、主要来自：（1）航海日志中的定（船）位记录和（2）根据海水的温盐度分布（从而海水的密度分布）计算得到的数据（称为“地转流速”）。为数不多的海流实测资料，一般只作为验证之用。到了本世纪四十年代中期，根据这种“拚凑办法”绘制的世界大洋的海流图轮廓，已基本定型。这幅世界大洋海流图，被认为是海洋科学上最重要的基本资料之一。经过几个国家的海洋科学家的分析研究，于五十年代初，提出了与海流图的轮廓相适应的世界大洋环流（相当于大气中的大气环流）的理论模式——“风生漂流理论”。按照这一理论，海洋的上层，是由一个风生流涡（gyre）所构成的（在北半球作顺时针向运动，在南半球作反时针向运动）；深层环流，则是分别由南极区域的威德尔海（Weddell Sea）和北极区域的挪威海里形成的底层水团的缓慢运动组成的。这一（风生）漂流理论曾风靡一时，一度被认为是海洋水文物理学上的杰作；因而，有人将五十年代初以前的海洋水文物理学的发展阶段称之为“漂流海洋学”（D.C.Oceanography，DC系Drift Current之缩写）阶段。

二

当然，即使在当时，海洋科学家们对于这个名噪一时的漂流理论，也并不感到完全满意；尤其是建立这一理论的海洋水文学家们，对于这一理论所依据的海流图的实际性（或代表性）如何，是有所怀疑的。1958年，一个英国海洋学家（Swallow）用声学追踪的中性浮子的方法测量了湾流区域的底层流。他原来预期，那里将是一支稳态的、宽广的、流速大约为每秒1厘米左右的缓慢流动。而实测结果表明：那里的海流速度比他预期的大到十倍以上；而且在几十公里这么短短的距离之内，海洋的流向可以完全相反；同时，在一个月左右的时间之内，那里的海流还显示相当大的时间变化。次年，“阿里斯号”调查（Aries Expedition）的观测资料，又证实了上述发现：在每秒1厘米左右的平均流速之上，叠置了一个速度为每秒10厘米这一级的扰动；这一扰动的空间尺度不大（几十公里）；而时间尺度则相当大（几个月）。这项发现，极大地震动了当时的海洋水文学界：它向漂流理论提出了强有力的挑战。这样一来，海洋科学家们更感到一、二百年来一直沿用的单船走航的海洋调查方式，实在太落后，必须改变了。但鉴于在汪洋大海里建立固定观测站的技术上的困难，而建造大量的调查船的费用又过于浩大，因此，当时想要从根本上改变海洋调查的方式，从而取得理想的观测资料，还没有这种可能性。面对这一矛盾，以多船合作调查代替单船调查的方式，乃应时而起。从五十年代中期到六十年代中后期这十余年间、多船合作调查（仍以走航方式为主）盛行一时。

1955年由美国加利福尼亚大学斯克里普斯海洋研究所发起并主持的北太平洋联合调查计划（代号：NORPAC），有美、日、苏、加（拿大）等国家的十余艘调查船参加（美国七艘、日本五艘、苏联和加拿大参加的调查船不固定）。由于参加调查船为数较多，大大缩短了对一个海域进行调查所需要的时间，因而大大地增加了同一时期内进行调查的次数，亦即大大地增加了调查资料

的数量,并从而提高了调查资料的质量。这是一项巨大的收获。这次联合调查,乃是尔后接着进行的一系列大规模联合调查的先声。

1957—1958年国际地球物理年(IGY)和1959—1962年国际地球物理合作(IGC)的联合海洋调查,其规模之大是空前的。这项联合调查的范围遍及世界大洋,在北太平洋则基本上仍按上述NOR-PAC计划进行,以保持资料的连续性。参加IGY和IGC联合海洋调查的国家达十七个,参加的调查船达70艘以上。

在六十年代,联合海洋调查的数目越来越多。其中最主要的有:1960—1964年的国际印度洋调查(IIOE);1963—1965年的国际赤道大西洋合作调查(ICITA);1965—1970年(其后又延续到1972年)的黑潮及其毗邻海区的合作调查(CSKC),等等。1960—1964年的国际印度洋调查,由联合国科教文组织发起,有十三个国家的36艘调查船参加,是迄今为止对印度洋的一次规模最大的海洋调查,特别是填补了南印度洋调查资料十分缺乏的状态。1963—1965年的国际赤道大西洋合作调查,是近年来以多船同步和浮标阵观测的先声。这次调查的主要目的,在于验证海流理论和海洋环流模式,它所使用的仪器,除通用的调查仪器以外,还采用了现代化的电子仪器,后面将要讲到的MODE和POLYMODE等“大洋动力学实验”,即为这一调查的进一步发展。1965年以后,这一调查计划分别并入联合国世界气象组织和联合国政府间海洋学委员会的调查计划。1965—1970年的黑潮及其毗邻海区的合作调查,由日(为主)、美、苏等国共出10—15艘调查船参加,其主要目标是探索黑潮区域的海洋水文变化及其对日本南岸的影响。这里要特别提到的是:这次调查对我国东海和台湾省附近海域调查的规模之大,布站之细密,重复次数之多,与我国海岸距离之接近,所涉及的问题之深广等等,均是前所罕见的。据文献透露,美国和日本甚至将我国东海列为他们的“任务区”和“特别区”。结合这次黑潮合作调查的情况来看,国际间的某些合作调查,打着“加强科学研究的合作”这一幌子,其实际用心在于盗窃海洋资料,这是昭然若揭的了。这次黑潮合作调查于1970年夏季完成其第一阶段的计划任务以后,即转入以我国南海为重点的第二阶段调查,于1972年结束。我国南海对黑潮和日本南岸海区的水文变化,能有多大影响?为什么黑潮调查竟将我国南海也包括进去?其用心不是也很明白了吗!

通过这些大规模的多船联合调查,不仅如前所述,大大地丰富了海洋水文观测的资料,也在一定程度上提高了观测资料的质量。但更为重要的乃是发现了大洋海流中两项极其重要的现象,它们是:(1)在太平洋和大西洋的赤道海流之下,发现几乎到处都存在着赤道潜流(太平洋里的赤道潜流,1952年已被发现,联合调查则以多次测流资料,完全予以证实,并指出其范围很广);指出:这支赤道潜流的流向与表层流相反,其流速很强,属于强流之列,据初步计算,太平洋里的赤道潜流的流量仅稍次于黑潮,在太平洋的环流系统中居第二位。在四十年代中期绘制世界大洋的海流图以及四十年代后期提出大洋环流模式时,海洋学家们均充分自信,认为大洋环流中的大型流系(强流)是已经搞清楚了的。但对这支强大的赤道潜流,竟一无所知。(2)他们还发现:在湾流中不但经常出现尺度相当大(几百公里),寿命相当长(几个月)的弯曲(Meander),而且当它与主流分离后还可形成流环(Loop);而在湾流区域的某些位置上,有时竟同时出现好几个涡旋(Eddies),使湾流本身难以辨认。在海洋学家们的心目中,湾流被认为是大洋海流中研究得最透彻,了解得最全面的一支海流,而竟发现这种意想不到的情况,不得不引起海洋学家们的深思!

通过上述种种发现,再联系到前述1958年施华罗(Swallow)的发现和1959年“阿里斯号”调查(Aries Expedition)的发现,海洋学家们已强烈地感到:为了正确地了解海洋水文物理现象、特别是海洋环流结构的真实情况,海洋调查的方式和观测手段,非从根本上改变不可了。

三

到了六十年代末和七十年代初，海洋学家们的这种要求和愿望，已有了实现的可能。这主要是由于下列两方面的原因：第一，很多新技术（诸如电子技术、声控技术、雷达、红外技术、激光、计算技术等等），已开始应用到海洋观测上；与此同时，在深海大洋里施放资料浮标亦已成功。如前所述，在1963—1965年的国际赤道大西洋合作调查中，已采用了多船同步和浮标阵观测，并使用了以新技术装备的仪器，即是一例。这样一来，就有可能以浮标作为固定海洋观测站，再配合调查船和飞机观测（包括航空摄影、机载仪器观测和抛投仪器观测等）和卫星接收，海洋科学家们便有可能以崭新的观测手段对海洋水文物理现象进行同步的立体化观测了。第二，由于美、苏两霸为了加紧称霸海洋和掠夺海洋资源，对海洋科学的发展，显示了异乎寻常的热心。美国把海洋科学列为“七十年代的重大科学”（美国五十年代的重大科学为原子科学，六十年代的重大科学为空间科学）。据文献透露，美国联邦政府计划在七十年代对发展海洋科学的拨款总数，竟达80亿元之巨，为六十年代拨款总数的十倍以上。在这项巨大的拨款计划中，拟用于研究海洋的观测新手段（如各型浮标、海底实验室、“水中人”、潜水球等）的，占半数以上，其中尤以用于建立资料浮标系统的为最大项目。并成立由全国最知名的海洋学家组成的专门小组，研究用现代化技术装备在海洋里进行动力学实验的方案。另一个超级大国苏修，对争霸海洋、掠夺海洋资源的野心更大，获取海洋情报之情更切，又鉴于它在海洋调查技术方面的落后，从六十年代中期起，由苏联科学院的乌克兰分院和总院的两个研究所，集中大量人力进行海洋水文观测新技术的研究工作。经过几年的努力，终于在六十年代末研制成功了一整套以大型资料浮标阵为主体、配合调查船观测的新技术系统，包括观测以及资料的传送和处理系统。

1970年，苏修应用这套新技术系统，以几十个资料浮标和五、六艘用最新仪器装备的调查船，在北大西洋东部进行了一次以海流观测为主要目标、代称为“多边形”（POLYGON）的大洋实验，（因浮标布阵取多边形的形式，故名）。这项实验持续时间达半年之久，籍以获取时间序列足够长的海流资料。据已公布的材料，这次实验获取的测流数据达一百万个以上，这无疑是一项巨大的收获。而更为重要的是：通过大量测流资料的分析结果，得知：在这个弱流海域内（平均流速仅为每秒1厘米左右），存在着速度达每秒10厘米、相关尺度约为100公里、时间尺度为几个月的中尺度涡旋（Mesoscale eddies）。1973年3月到6月，美国也在北大西洋西部的一个弱流海域内，采用以几十个浮标、六艘调查船和两架飞机组合的联合观测新技术，进行了一次代名叫做MODE的大洋动力学实验（MODE系Mid-Ocean Dynamic Expedition的缩写，中译为“大洋中部动力学实验”）。参加这次实验的有美（为主）、英、法等三个国家的15个研究所，50名海洋学家（约占美国知名海洋学家的半数左右）。实验结果证明：那里也存在着中尺度涡旋，其情况与上述苏修的“多边形”实验所得结果几乎完全一致。

应当强调地指出：这两次大洋实验，在海洋科学发展史上，是具有突出的重大意义的。这主要是由于：

第一，它们为获取能够揭示海洋水文现象（特别是海流）真实情况的观测资料开辟了方向。这是海洋学家们长期想解决而未能解决的问题。现在终于有了解决的途径。可以说，这在海洋调查史上是具有划时代的重大意义的。

第二，它们在不同的弱流海域发现了情况几乎完全一致的中尺度涡旋这件事，（根据北太平

洋中部的BT的断面观测资料和天气船上海洋水文观测资料的分析结果,也得出同样的结论。)从根本上改变了海洋学家们对过去的大洋环流结构(海流图和据以建立的大洋环流模式——漂流理论)的概念。过去的大洋海流图和漂流理论均表明:大洋里的强流只存在于大洋的边缘区域和赤道区域,大洋的中部区域(中大洋)则是一个浩瀚的弱流区域。而这两项大洋实验则发现在中大洋不同的弱流海域内(平均流速每秒仅1厘米左右),存在着速度并不小的中尺度涡旋(每秒10厘米左右);其它观测资料又证实,在别的海区也同样存在着这类中尺度涡旋。因此,我们似有充分理由认为:大洋里并不是只存在一个风生流涡,而是存在着大量的中尺度涡旋;有人甚至把海洋比喻为一个“涡旋动物园”(“Eddy Zoo”)。“大洋环流好比是体内的血液循环”,海洋里的很多自然现象均和它直接间接有关。大洋环流结构的图景改变了,则不但过去的大洋环流模式必须重建(而不仅是修正),甚至连过去用风生漂流理论来阐明的很多自然现象,其解释是否恰当?也需要重新检验。因此可以说,发现中尺度涡旋在整个海洋科学上也是一件大事。

第三,这两项大洋实验所发现的中尺度涡旋,使海洋学家们有可能对海洋里的水文现象进行“天气分析”了。根据大气现象的尺度与海洋现象尺度的类比,一般认为:海洋现象的相关尺度100公里与大气现象相关尺度1000公里相当;前者的时间尺度两个月,与后者的时间尺度四天相当;前者的运动速度(流速)每秒10厘米,同后者的运动速度(风速)每秒10米相当。众所周知,相关尺度1000公里(天气尺度)、时间尺度四天、运动速度每秒10米这一类的大气系统,正是导致逐日天气变化的主要过程,亦即天气分析的主要对象。从而,我们有充分理由认为:这两项大洋实验所发现的中尺度系统,也应是对海洋水文物理现象进行“天气分析”的主要对象。如果我们能掌握这类中尺度涡旋的变化规律,那末我们应有可能对海洋水文物理现象进行合理的“天气预报”了。

因此,我们可以认为,这两项大洋实验的成功及其所获结果(发现中尺度涡旋),标志着海洋水文物理学的发展,已由过去研究平均水文情况的“气候学时代”,向研究水文情况的逐日变化规律的“天气学时代”转变迈进了一大步。当然,这只是万里长征的第一步。今天距离真正做到海洋水文情况的“天气预报”的日子还相当遥远。当前,很多国家的海洋学家们正在集中极大力量为搞清这个“涡旋动物园”的奥秘而努力。例如,苏、美两国的海洋学家们目前正设计把苏修的“多边形”计划和美国的MODE计划结合在一起,进行一次规模更大的、代号拟为POLY-MODE大洋实验,并拟于近一、两年内进行。据文献报导,其它类似这样而规模更大的大洋实验也在计划中。

近几年来,美、苏两国的海洋学家们集中全力从事于这类“大洋动力学实验”,以此作为海洋水文物理学的主攻方向。这一新动向,是值得我们密切注视的。

今天,海洋已成为美、苏两霸同第三世界国家进行侵略与反侵略、掠夺与反掠夺斗争的重要阵地。因此,我们加强发展海洋科学,不但在尽快实现我国的四个现代化方面具有重大意义,而且在当前的国际重大政治斗争方面也具有重大意义。目前,我国海洋科学发展的水平,同当前的世界先进水平相比,差距还相当大;特别是作为海洋科学的一门重要分支学科的海洋水文物理学的水平,差距更大。但是,我们有优越的社会主义制度,有战无不胜的毛泽东思想和毛主席的革命路线,有英明领袖华主席为首的党中央的正确领导,有一支相当规模的海洋科技队伍,有八亿勤劳勇敢人民的全力支持,只要我们的海洋科学工作者树雄心,立壮志,勇于克服重重困难,敢于攀登科学高峰,我国的海洋科学一定能在本世纪内赶超世界先进水平,并一定能尽快实现我国的四个现代化和为在海洋阵地的反霸斗争中取得最后胜利而作出应有的贡献。