

十年代以东海黑潮区为重点的第一阶段调查之后，七十年代又转入了以南海为重点的第二阶段调查。应当看到，在这些调查当中，对我国东海及台湾附近海域的调查，规模之大、布站之密、重复次数之多、距我海岸之近，都是前所未有的。但这类调查如果与前述两大计划中的实验相比，无论在考察的规模和手段上，还是在考察目的的集中和理论与现场实验（调查）的结合上，就是相形见绌的了。

综上所述，可以看到，由于新技术在海洋中的应用，获取资料的手段有了突破，观测方式也发生了根本的变革，使海洋物理学已由过去那种以研究平均状况为目标的气候图式的调查研究阶段，进入到目的性很明确的，现场观测与理论研究紧密配合的，以多种手段进行同

步观测的实验研究阶段。由此可以观测到象中尺度涡旋和微结构这样一些极端重要的现象，揭示其运动学和动力学的有关问题，使海洋物理学这门学科向天气学式的研究迈进。另一方面，自从电子计算机得到广泛应用以来，海洋物理过程的数值实验（数值计算）和模型实验这两个方面，特别是数值实验方面的工作也有很大的发展。可以预料，有了上述现场实验取得的大量资料，再与现代化的模型实验，特别是与快速的计算技术相结合，已有迹象表明：新的概念和理论必将代替过去的旧概念和旧理论。因而，我们是否可以这样认为，七十年代以来，基于获取资料的手段和方式的重大改变，海洋水文物理学正在经历着巨大的转变呢？

国外海洋水文物理学发展的主要动向

乐 肯 堂

（中国科学院海洋研究所）

海洋水文物理学是研究海洋中各种水文物理现象和海水各种形式的运动的一门科学。它的主要目的是在搞清海洋水文物理现象及其运动规律的同时，解决海洋环境因子的预报问题，为生产建设和国防建设服务。它对于海上军事活动、水下通讯、武器发射、渔业生产、交通运输、海上石油工程、港口建设等等，都有重要的意义。

早期的海洋水文物理学，主要是根据海上现场调查资料进行地理学的描述。第二次世界大战以来，海洋水文物理学研究逐渐向着实验研究和动力理论研究的方向发展。尤其是近十多年来，随着海洋水文物理要素监测技术和设备的不断现代化，特别是随着模拟实验室和资料处理系统的建立、海上浮标阵的设置和广泛地应用电子计算机及卫星观测，有力地推进了海洋水文物理学的发展，大大改变了海洋水

文物理学研究的面貌。国外有人认为，七十年代以来，海洋水文物理学研究已进入了一个新阶段。这个阶段的显著特点是，有组织地进行以预报为目的的研究。例如，“国际海洋考察十年”（IDOE），就是以预报为主要目标，组织世界上几十个海洋国家进行各项专题的调查研究的一个典型规划。在这一阶段中，海洋水文物理的研究方法也与过去有了显著的不同，主要已经不是历来的那种描述性的或定性方法，而是集中于采用实验的方法，即不仅有在实验室内的模拟实验，而且还包括现场的大型实验和数值模拟实验。难怪国外已有人把七十年代的海洋水文物理学称之为进入了“实验的和预报的时代”。

由于广泛应用现代化的观测手段和实验设备，六十年代以来，发现了许多新的海洋现象。例如付热带逆流，中尺度涡，负粘滞性现

象, 盐指现象, 细微层化效应和双扩散效应等等。由于这些现象的发现和对它们进行广泛研究的结果, 不仅使海洋水文物理学中的一些老的分支学科增添了崭新的内容, 而且还逐步形成了一些新的分支学科。为方便起见, 现分七个方面简要介绍如下。

一、关于大洋总环流及中尺度涡的研究

所谓大洋总环流, 通指这样两种情况: 一种是指各大洋(例如太平洋)各自的环流系统; 另一种是作为整体的全球大洋环流系统。

大洋总环流的研究, 宛如人体里的血液循环那样, 不仅具有极其重要的理论意义, 而且有明显的实际意义。例如, 深入了解大洋总环流的规律, 对于海况的预报和长期天气预报, 对于掌握渔场的位置和鱼类洄游路线, 对于全球海洋环境保护问题等等, 都有很重要的意义。因此, 自上一世纪以来, 国外海洋动力学家把主要精力集中于考察研究大洋总环流的问题。特别是第二次世界大战以来, 对这一问题的研究不断深化。一方面, 通过各种现场考察, 相继发现了赤道潜流、深层流、付热带逆流以及黑潮和湾流的大变异现象(如出现弯曲、流环等), 加深了对总环流的了解。同时, 在此期间也进行了不少理论性的研究, 试图对这些现象作出理论上的阐明, 以提出适用于预报的合理模式。虽然这些研究取得了不少有价值的成果, 但是从预报的要求来讲, 却远没有达到。

另一方面, 长期以来人们一直认为, 中大洋深层海水的运动是非常缓慢的, 因而在五十年代有人甚至建议, 可把放射性污物放置在大洋的深处。1958年, 有人在大西洋对深层流进行直接观测发现, 那里的流速并不是像所预料的那样, 为向东的每秒1厘米, 而竟是向北的每秒10厘米, 并且在几十公里的短短距离内, 流向可以完全不同。以后, 又经过了多年的大量观测, 在七十年代初, 证实了在大洋中部区域存在着尺度为几百公里、寿命为几个月的涡旋。这就是目前通称的中尺度涡。中尺度涡的

发现大大改变了人们对大洋总环流的认识。由于中大洋平均流速所具有的能量仅为中尺度涡中能量的百分之一, 所以中尺度涡的发现, 就像在大气环流中发现台风一样, 其意义是十分巨大的。

现在人们已经逐渐认识到, 长期以来, 大洋总环流研究中的一个主要障碍是由于对水平混合问题了解得很少。这也就是人们现在致力于中尺度涡研究的一个原因。搞清中尺度涡, 不仅对搞清大洋总环流的变异有重要意义, 而且它对于反潜战环境条件、海洋生物分布和海气交换等的描述和预报有重要作用。正因为如此, 它已作为中大洋动力学实验(MODE)的课题而被列入“国际海洋考察十年”的“环境预报计划”中。

目前对于中尺度涡的研究, 除了观测和大型实验研究外, 在理论研究方面, 也取得了一些成果。例如, 前几年认为, 中尺度涡仅在强流区是重要的, 但是, 最近通过理论研究已经认识到, 它也可以在开阔大洋中央的弱流区域出现。在海洋环流数值模式中, 迄今取得的重要进展是建立了可以显示求解的低频中尺度涡数值模式, 并对非线性能量转换的总过程进行数值研究。

二、关于浅海陆架环流和沿岸上升流的研究

浅海大陆架上的海流系统, 虽然与大洋总环流有密切的联系, 但是由于受到海岸、海底地形、局地风及河口径流等因素的影响, 使得陆架环流的性质比大洋环流复杂得多。在某些近海中, 由于风、岸形和海底的作用, 海水垂直向上的运动比较显著, 这就是所谓“上升流”, 它是海水从下层往海面涌升的一种现象。

浅海大陆架环流和沿岸上升流的研究, 不仅与大陆架资源、海上军事活动、环境保护、海岸工程等有直接的关系, 而且对于天气变化以至气候变迁都有显著的影响。仅就渔业资源而言, 有人曾经作过粗略计算, 世界上沿岸上升

流区域的面积不到世界海洋总面积的千分之一，但是在这一区域的渔获量，却占世界总渔获量的一半。这就充分说明了沿岸上升流区是一个生产力高的区域。

同时，近年来，由于大陆架资源问题在国际反霸斗争中具有重要意义，所以大陆架环流和沿岸上升流的问题，在国际上受到了前所未有的重视。七十年代以来，它已作为“沿岸上升流实验”(CUE)的课题而被列入“国际海洋考察十年”的计划中，其目的在于搞清它的结构和机制，提高预报的准确性。

陆架环流的理论研究，必须考虑海岸和海底地形(即大陆架)对海流的作用，这就大大推进了伴随海底地形而产生的长周期波的研究。自六十年代中期以来，国际上关于长周期波的研究十分活跃，相继提出了陆架波、海崖波(或称双开尔文波)和海底波等长周期波理论，以阐述大陆架环流的各种问题。同时，为了适应预报的要求，并有人开始进行陆架环流的非线性模式的数值研究。

另一方面，过去一直没有测定上升流的仪器，六十年代后期，出现了可以专门观测上升流的垂直流速计。近年来，还有人应用水文光学的办法来研究沿岸上升流区域的逆温层。目前陆架环流和上升流这两个现象的理论研究，逐渐趋向于互相融合，朝着提出三维理论模式的方向发展，为开展浅海陆架环流和沿岸上升流的预报提供基础。另外，还值得提到的是，从七十年代开始，已经有人提出了关于沿岸上升流的实用性预报模式。

三、关于海洋细微结构的研究

海洋细微结构(或称微海洋学)是在海洋学中正在迅速发展的一门新兴的分支学科。这一新的研究方向，是在1966年莫斯科举行的第二届国际海洋学会议上提出来的，迄今只有十余年的历史。

微海洋学研究的对象是海洋水文物理要素的细微结构和细微物理过程。所谓细(细尺度)，一般指1米到100米这样的尺度范围；

所谓微(微尺度)系指小于0.1米的尺度范围。微海洋学所要解决的一个主要问题，是海水的垂直混合机制，亦即要解决海水中热量、盐量的扩散和能量、动量的细微尺度湍流交换的机制问题。这一问题的研究，对于解决大尺度大洋环流预报模式中的参量化问题，具有重要的意义。

尽管微海洋学的形成还只有短短十余年的历史，它在科学上和应用上的意义还没有全部显示出来，但是，迄今它的研究已显示出广阔的前景。例如，已经发现，在海洋温跃层中，声道与细层化密切相关。同时，在细层化大洋中，内波的存在，使声波散射增大，其声振幅的变化可达百分之三十。另外，大洋的微层化，对于潜艇的水下定位方法有重要意义。光在海洋中的传播也受到密度场微结构的影响，从而在原则上，就可把水文光学研究与细层化联系起来。还有，水文物理场和生物群落的微结构，将为浮游生物工作者提供新的预报方法。

目前微海洋学研究的进展，在很大程度上有赖于高精度的新的测量技术的发展。国外在这方面已研制出许多新仪器，其中目前进展最大的是制成了新的温度、电导率、深度(CTD)剖面仪。这种新的CTD，每秒钟可测30个样品的压力、温度和电导率，其精度分别为0.1分巴、0.005℃和0.001毫欧姆/厘米。在理论研究方面，当前主要研究细微结构生成的机制模式，迄今已提出了若干模式。

四、关于海浪的研究

海浪的研究，不仅对于上层海洋海水混合和大气海洋相互作用的研究非常重要，而且对于海岸防护、海上采油工程、港口工程、舰船设计和航行、导弹的出水入水等有着实际的重要意义。

第二次世界大战以来，海浪预报的研究受到很大的重视。五十年代开始，有人提出了用海浪谱的概念进行海浪预报的方法。但是，由于对海浪本身的机制缺乏了解，使得海浪预报

的准确性受到了相当大的限制。因此,从五十年代末开始,不少人集中于对海浪机制进行研究,先后提出了共振、剪流、破碎饱和能谱区及波与波之间的弱非线性相互作用等机制。这些机制的提出,有力地推动了海浪预报研究的进行。从六十年代以来,在国外提出的一些预报模式中,已把上述的某些机制作为源函数而加以考虑,并据此提出了海浪数值预报方法。

目前海浪研究的一个特点是,大量地使用现代化的实验技术和监测技术。例如,在实验室中,在普遍地使用程序控制的不规则造波机的同时,有人还把超声波、激光等新技术用于海浪实验中;在海浪野外监测方面,有在恶劣环境下能正常工作的高精度遥测仪器,同时还运用卫星遥感技术等等。海浪监测技术的现代化,为确定波谱形式和源函数的形式,为深入进行海浪理论的研究,提供了可靠的依据。

进入七十年代以来,不仅基于源函数和谱概念进行的海浪数值预报方法得到了广泛的应用,而且又提出了所谓参量化波浪预报模式。参量化方法的优点是,利用实测的归一化波谱形状的不变性,把表征谱的能量和频率尺度的两个变量组成的预报方程组,通过参量化而简化为一个变量的单一预报方程。在理论研究中,当前国外很注意研究水气界面上的湍流相互作用、杰弗列士现象、破碎现象和波与波之间的相互作用等非线性过程,期望在对这些非线性过程广泛研究的基础上,建立风生海浪的较完备的模式。

五、关于海洋内波的研究

海洋中的内波,不同于海面波浪,它是指发生于海水密度垂直分布不均匀海区中的一种海面之下的波动。这种波动的周期为几分钟到几十小时,波长为几公里到几十公里,振幅为几厘米到上百米。

虽然海洋中的内波现象在上一世纪已开始为海洋学家所发现,并且人们也早已了解到,海洋内波对于海洋中声道的位置及其变化有重要影响,但是,由于长时间以来对海洋内波测量

的精度较低,使内波研究的进展缓慢。从五十年代以来,由于测量技术的不断改进,使内波的定量测量得以实现,从而推动了海洋内波的研究工作。另外,据报道,美国有一艘核动力潜艇在大西洋失事时,遇到了振幅约为一百米的内波,迫使该艇沉没。因此,自六十年代以来,国际上(尤其是美国)关于海洋内波研究的步伐,大大加快了。

在六十年代,国外已用拖曳式热敏电阻链对内波进行了测量。七十年代初,有人又用系定式的海流和温度感应器对内波作了大量测量。现在关于内波的资料已越来越多,但是,由于海洋内波要比海面波浪复杂得多,它不仅要受到上下边界的影响,而且与海流之间还有相互作用,从而使内波的资料分析和理论研究变得非常困难。首先是如何把看起来杂乱无章的内波资料用适当的方式加以描述。虽然在六十年代初就有人指出,内波好像具有随机性质,但是在七十年代以前,还没有找到一种适当的方式来描述。七十年代以来,有人找到了一种谱,可以描述内波,此后他们又对这种谱进行不断改进,最近发表的结果是所谓“GM-75”。

与此同时,对内波的理论研究也在加速进行,这就是所谓“内波动力学”。在内波动力学的研究中,当前考察得较多的是各种相互作用(例如,内波中的共振相互作用,内波与底形的相互作用,内波场和湍流边界层的相互作用,内波与大尺度海流的相互作用等等)的问题,其中尤其困难的是所谓非线性相互作用的问题。目前有人提出了非线性共振相互作用的模式。应当指出,虽然国外对于内波动力学的研究已作了不少工作,提出了一些模式,但是由于内波问题的极其复杂性,人们对于海洋中内波产生的机制、内波能量的来源、传播和耗散等等问题仍然是很不清楚的。有人认为,仅就非线性过程而言,就足够下一代人努力的。为此必须加强对于海洋内波的理论研究和实验研究。根据苏美两国1976年12月在新西伯利亚举行的关于内波学术讨论会的报道,他们认为,

今后内波理论研究的基本方向是：（1）研究多列波的非线性共振过程；（2）内波与中尺度（天气尺度）海流之间的相互作用；（3）考察不同的非线性机制的相对重要性。

六、关于海洋潮汐的研究

近代海洋潮汐的研究已有将近三百年的历史。由于浅海陆架潮汐现象与人类的生产活动有直接关系，长期以来，人们对浅海陆架上潮汐现象研究得较多，了解得也较充分。目前，主要从六十年代发展起来的数值方法和模拟方法互相结合，已成功地解决了许多海洋工程建设中的潮汐问题，同时在数值计算中的非线性不稳定性问题已得到较好解决。在潮汐的分析和预报方法上，主要仍采用调和方法。虽然调和方法本身也在不断改进，但是它在某些问题上有一定的局限性。因此，六十年代国外提出了一种新方法，称为“感应法”。这种方法的优点是，利用所谓感应函数的平滑性，使得可以用较少的常数获得较好的预报结果，并利于分析期限较短的观测记录，另外，它对于分析潮汐本身的非线性效应及其与天文潮、气象潮等之间的非线性效应较为便利。

但是，由于浅海陆架潮汐是由大洋潮波传入的。因此，大洋潮汐的研究对于搞清地球上海洋潮汐运动的机制具有重要的意义。同时，大洋潮汐的研究对于固体地球潮汐的研究和地球磁场的潮汐周期变动有密切关系，而后者又与人造卫星、导弹和飞船的轨道、地震预报及潜艇的磁导航有关系。因此，进入六十年代以来，国外把大洋潮汐的理论研究作为海洋潮汐研究的主要方向，着重解决固体地球潮汐和海洋潮汐之间的相互作用，内潮在潮能传输和消耗过程中的作用，以及陆坡和陆架对大洋潮汐的影响等问题。

大洋潮汐的研究，首先要解决观测问题。迄今，美国已制成了能在五千余米水深的洋底进行潮汐和潮流观测的验潮仪。利用这种仪器，已初步搞清了东北太平洋的潮汐分布。同时，关于固体地球潮汐与大洋潮汐之间的相互

作用和陆坡与陆架对大洋潮汐的影响等问题，国外已提出了若干模式。另外，也有人对大洋潮汐的分布，进行了数值计算。

七、关于海洋大气相互作用的研究

占地球表面积十分之七的海洋对天气、气候的影响，早就受到人们的重视。但是，长期以来，由于广阔海洋及其上空观测资料的缺乏，人们对海洋和海洋上的大气状况了解得很少，对海洋和气象方面的研究，只是注意其中的某些问题，而未能把大气和海洋作为一部统一的热机来处理。六十年代以来，由于气象卫星、自动浮标站及气象、海洋观测仪器的不断发展，为在广阔的海洋内及其上空进行观测和实验研究提供了有力的手段，使海洋及其上空的观测资料迅速积累，为海洋大气相互作用的研究提供了相应的基础。进入七十年代以后，象“热带大西洋实验”（GATE）这样大规模的海洋气象联合观测的实施，使海洋大气相互作用的研究，成为气象学和海洋学中一个极其活跃的领域。

海洋大气相互作用研究的对象，主要是各种尺度的大气与海洋之间的热量、动量、水汽、二氧化碳和微粒的输送与交换的定量特征及其物理过程。因此，研究海洋大气相互作用，不仅可以提高海洋与气象预报的精度，而且对于海洋学和气象学的发展有重要意义。在海洋中，海流、海浪、风暴潮以及各种尺度的湍流运动之动能都来自大气，因此，这一课题的研究对于海洋学来说，可以促进解决诸如大洋总环流的成因和机制、风浪产生的机制、台风增水过程、边界摩擦效应和各种尺度海洋湍流的形成等问题。另一方面，大气中的水汽和潜热通量是从海洋里来的，这一课题的研究，将进一步促进全球大气环流、气候的形成、长期天气预报、台风生成和发展机制、气象预报模式中参量化等气象学问题的解决。因此，国际上对这一课题的研究非常重视，许多国家成立了专门研究机构，组织不少人员进行研究。在六十年代中期制订的“全球大气研究计划”

(GARP)中,把海洋气象相互作用的大型野外实验,作为其主要内容之一。

目前,国外对海洋大气相互作用的研究,通过现场实验、资料分析、理论研究、数值实验等多种途径同时进行。当前多数人着重研究它们之间的大尺度相互作用问题,尤其着重研究它们之间的热量交换问题。在大尺度相互作用研究中,多数人仅研究一种介质对另一种介质的作用,也就是说,或者研究海洋对大气的作用,或者研究大气对海洋的作用。但是,进入七十年代以来,已有人对海洋气象偶合系统

内的反馈问题进行研究。

看来,今后几年内,海洋大气相互作用研究的重点在于弄清海洋大气相互作用的基本现象,特别是各种尺度运动及其相互作用,在此基础上,研究海洋和大气之间相互响应的时间滞后,以应用于实际的天气预报和海况预报。同时,要搞清海洋和大气长期反馈的物理过程,建立切合实际的海洋大气长期适应过程的模式,以弄清海洋在全球大气环流、气候形成中的作用,和大气对大洋环流机制和海浪生成机制等的作用。

一门新兴的学科——海洋环境科学

廖先贵 邹景忠

(中国科学院海洋研究所)

环境科学是继原子能科学、宇宙空间科学之后蓬勃发展起来的一门新兴科学。

自古以来,辽阔富饶的海洋,就是人类活动的重要场所。但随着工农业生产和科学技术的发展,海洋环境污染和保护问题日益为愈来愈多的人们所关注。海洋环境科学的产生正是生产发展的必然结果。它是在人类对海洋有巨大但不是无限的净化能力等规律性的认识逐步深化,并通过多年的酝酿和准备,从零星的和不系统的工作基础上,汇集成的一门新兴学科。它既属环境科学又是海洋科学的重要分支。它主要是研究污染物进入海洋的途径,在海洋中的分布、变化、迁移、转化的规律和对海洋生物、渔业的影响,以及由于食物链富集转移而构成对人类的威胁,并在这些认识的基础上提出保护和改造海洋的科学。

一、国外海洋污染的现状

世界上有100多个临海国家。海洋沿岸是建设城市,发展工业和休养的胜地。一些沿岸工业国,任意将各种工农业污水和废物排入海

里或归海的河川里,同时陆地上的污染物也可以通过大气散落到海里,因此,海洋实际上成了工业发达国家的“垃圾桶”,受到了严重的污染。目前的状况是:一些海域油类在蓄积,重金属在扩散,放射性物质在增加,农药和有毒物质正在侵害海洋生物,威胁着人类健康。

污染海洋的物质从固体废物到多种化学物品,种类繁多。危害较大的是那些入海后化学性质稳定、能长期存在于海洋中的有毒物质,如有机氯农药(DDT、PCB等)、重金属(如汞、铅等)和半衰期长的放射性物质。

石油是海洋中最普遍和最容易观察到的污染物。目前全世界石油总产量的60%是经由海上运输的。据估计,因人类活动而进入海洋的石油多达1,000万吨,约占世界石油总产量的千分之五,而且油船的吨位不断增大,潜在着更大的石油污染的危险。据报道,自1960年4月至1975年10月,世界发生较大的油船事故多达216次(Gelder-ottway等,1976)。倾注入海的这些石油在当时都不同程度地对其沿海居民的生活环境,港湾设施和水产资源,造成危害。