

海洋科学近二十年来的进展*

毛 汉 礼

(中国科学院海洋研究所)

近二十年来,主要是由于各种新技术应用到海洋科学的调查研究上,海洋科学有了突飞猛进的进展。现在,我们将海洋科学几个主要分支学科重大的进展,略作说明。

一、海洋水文物理学

近二十年来,特别是七十年代以来,海洋水文物理学正经历着巨大而深刻的转变,并取得了重大的进展。总起来,也许可以这样说:新技术的广泛应用,使观测手段有了一个大的突破;通过以大型现场实验为重点的调查研究,已发现或提出了一些在理论和实践上具有重要意义的新现象、新问题,正孕育着一个形成新概念、建立新理论的时期。

到六十年代中和七十年代初,随着现代科学技术的迅速发展,许多新技术(包括电子技术、水声技术、红外技术、微波技术、激光技术……等等),开始引进到海洋观测上来;同时,自动遥测浮标、人造卫星、潜水装置等先进运载工具也试用成功。这些,使海洋水文物理要素的测定,在精度、广度及时间连续性等方面,都有了质的变化。此外,计算机在海洋资料的储存、处理以及海洋现象的分析研究上,也日益成为强有力的工具。近年来在数值计算和数值模拟上所取得的丰富成果,离开计算机是不能想象的。

总起来说,从1958年英国海洋学家Swallow应用中性浮子观测湾流为契机,到美国发射第一颗海洋卫星,在这二十年间,特别是后期,是海洋调查方式和观测手段突飞猛进的时代。有了这些先进的手段,才保证了七十年代几项重要的海洋科研计划,如国际海洋考察十年(IDOE)和热带大西洋实验(GATE-GARP)等得以顺利完成,并取得了丰硕的成果。

现将这些年来海洋水文物理学方面最主要的成就,简述如下。

1. 中大洋动力学实验(MODE) 这是国际海洋考察十年计划中的一项重点课题。七十年代以来,海洋科学上最重大的进展之一,是发现了海洋里存在着中尺度涡这一事实,并对这种涡旋的重要性有了较明确的认识。最近,根据所得资料的分析研究,对中尺度涡的某些运动学和动力学特性,也有了一个初步的了解。

1970年,苏联海洋学家在热带大西洋东北部开展了以海流观测为主的多边形大洋实验(POLYGON),持续达半年以上,这是中大洋动力学实验的先声。结果表明:在这个过去认为是弱流(流速为1厘米/秒左右)的海区里,存在着流速约10厘米/秒、空间尺度为100公里、时间尺度为几个月的中尺度涡。1973年,美、英等国海洋学家进一步在热带大西洋西部的(百慕大岛以南)一个弱流海区,进行了第一次中大洋动力学实验(MODE-1),观测结果与POLYGON的基本上相同。后来,这种中尺度涡在其他海域也相继发现。

上述两项大洋动力实验,在海洋科学发展史上,具有突出的重大意义。这首先在于:这些发现大大地改变了人们对过去大洋环流结构的认识(即认为只有在大洋边缘和赤道区域才有强流存

* 本文承管秉贤、纪明候、秦蕴珊、刘瑞玉、齐孟鹤、钱正绪、孔德裕同志提供材料,谨此致谢。

在，而在广大无限的中部区域则为弱流），而确认了世界大洋不同的“弱流”区域，几乎都存在流着流速不小的中尺度涡这一事实。中尺度涡的能量，大致为中大洋平均流的能量的10倍到100倍。它大体上与大气中的一个天气过程或气旋系统相当（故有人称它为海洋中的“天气”或“风暴”）。所以，中尺度涡的发现，不仅对五十年代初创建名噪一时的以风生环流理论为主的大洋环流模式，提出了应予重建的要求；更标志着海洋水文物理学的发展，已由过去研究平均情况的“气候学时代”，向着研究逐日变化的“天气学时代”迈出了一大步。

美、苏等国的海洋学家，从1975年开始，正在进行一项规模更大的称为“POLYMODE”的中大洋动力学实验。它以研究中尺度涡的动力学及其消长机制为重点。显然，这项课题已成为当前国际上海洋水文物理学研究的主攻方向。

2. 海气相互作用的大规模实验研究 虽然，很久以来人们早就把海洋和大气看成是一部统一的热机，但是直到十余年前，海洋学家和气象学家还大都是各搞各的，缺少联合一致的研究。现在，人们从气候变迁、特别是旱涝现象的研究和预报中，比较清楚地认识到：要建立合适的海气综合模式，提高海洋环境预报及长期天气和气候预报的精度，必须大力开展海气相互作用的研究。其目的，就是同时测定大气和海洋中的各种尺度的运动、热量、水汽、动量等各种交换作用的量值以及它们之间的相互关系，并为建立合适的数值模式和预报方法提供较可靠的依据。

七十年代以来，以大西洋里巴巴多斯区域的海洋学与气象学实验（BOMEX）、北太平洋实验（NOPAC）、全球大气研究计划（GARP）、全球热带大西洋实验（GATE）、长期气候变迁研究（CLIMP）等等为代表的大规模实验研究，在海气相互作用的研究方面，取得了显著的进展，并使这门科学成为海洋学和气象学两个姐妹学科之间极为活跃的领域。

上述各项实验特别强调研究大尺度的一些特征现象，因后者对气候变化的影响较为重大而深刻。值得提到的是，通过北太平洋实验这项研究，不仅为近几年来北美大陆出现的异常天气现象提供了合理的解释，也为改进长期天气预报方法作出了贡献。通过这项研究，还对秘鲁沿岸著名的埃尔尼诺（El-Nino）现象的成因，作了令人满意的阐述——认识到太平洋上前期的较强信风，可能是El-Nino出现的原因。这一结论，在NOPAC所组织的两次海上调查中已得到了证实。这一结果，为将来准确地预报与秘鲁沿岸渔获量密切相关的El-Nino奠定了理论基础。

3. 湾流和黑潮变异现象的研究 在大力开展中尺度涡动力学实验的同时，美、日两国海洋学家也分别对湾流和黑潮的变异，如大弯曲、涡旋、流环等现象，以及多年变化问题，应用现代新技术，进行了精细的调查研究，取得了新颖的成果。例如，通过对佛罗里达海流的“天气式”调查，发现它具有周期为4—6天的摆动，这种摆动又与湾流流量的变动有着密切的关系。更值得提到的是：自七十年代初以来，对这两支著名强流的弯曲、涡旋、流环等的“生活史”，都有了较前明确的认识。这对今后研究这两支强流的长期预报问题，是很有意义的。

日本海洋学家，在1977年5月，第一次观测到一个流环从黑潮的大型准稳定涡旋中分离出来，并于8月间流环再次与主干结合而重新形成弯曲。第一次弯曲是在1975年出现的。

“在湾流中也曾发现过类似的情况。”

看来，流环或涡旋与主干重新结合的现象，在湾流和黑潮中是具有共通性的。

4. 海洋精微结构的研究 近几年来，对海洋中最小尺度的变异问题也积极地进行了研究。这方面的工作，虽开创伊始，但进展甚速，目前已由一些分散的研究结果，形成为举世公认的海洋水文物理学中的一个极其活跃的新分支。它主要从仪器研制、观测、实验室试验、到建立模式几个方面，来研究海洋水文物理要素（温、盐、密度以及流速等）的细结构（尺度为100—1米）和微结构（尺度 <0.1 米），及其形成的机制，特别是垂直混合的机制。

显然, 这门学科的兴起, 是与现代高精度测量仪器的应用分不开的。自1971年温盐深仪 (STD) 成为商品被广泛地作为海洋调查的基本仪器以来, 海洋细微结构的研究出现了新的面貌。今天有关这方面的知识, 大部分来自STD资料。后来又有温度电导率深度仪 (CTD)、抛弃式温度仪 (XBT) 以及温度最小的细微结构记录仪等相继问世, 对研究工作有了更大的推动, 现已确认: 海洋中的温、盐、密度垂直分布廓线以及垂直梯度, 都具有许多细微结构, 即使在3,000米或更深处也不例外。不仅如此, 应用垂直分辨率为1米的流速计的观测结果表明: 佛罗里达海流的流速廓线, 也呈现出复杂的细微结构, 且具有强切变区。

对海洋中细微结构形成的机制, 也已提出了不少的假设。例如, 对于自地中海流出到大西洋去的海水中所出现的细微结构, 即著名的“盐指” (Salt Fingers) 现象, 认为可用双扩散效应来解释。至于海洋中主要的垂直混合现象的形成机制, 目前尚是解释纷纭, 有的认为是由于大浪的涡动所致, 也有人认为, 主要是大尺度内波的重力翻转作用的结果。美国海洋学家 Munk 等则认为: 至少在大洋上层, 切变不稳定很可能是一个主要的原因。

另一方面, 还着重研究了细微结构与水声传播和声道的关系以及它对潜艇水下定位的影响等问题, 并在实践应用上取得了有价值的成果。

5. 遥感海洋学 (Remote Sensing Oceanography) 的研究 这是一门以人造卫星、宇宙飞船等为运载工具, 应用可见光、红外和微波波段等遥感技术, 收集、传送海洋情报资料的一门科学, 也有称为空间海洋学或卫星海洋学的。虽然这种遥感技术问世还不到十年, 但由于它能在高空, 不受海况条件的限制, 基本上同步地大面积监测海洋现象, 所以表现出了很强的生命力, 发展极速, 成为近年来新技术应用中的热门之一。

到目前为止, 国际上 (主要是美国) 已发射了不少收集到了珍贵海洋资料的卫星, 其中最重要的有地球资源技术卫星1号 (1972年发射), 海洋卫星1号 (1978年发射) 和其他一些大地卫星、气象卫星等。人们从天空实验室 (SKYLAB) 上拍下的照片中, 首次发现了位于墨西哥湾东岸外尤卡坦海流中的大涡旋。地球资源技术卫星1号所拍摄的冰图, 则为船只穿过漂移着北极浮冰的海区时指明了安全航线。红外照片明确地表明了上升流的所在以及洋流的变化等, 还收集到了有关内波特征的资料。在沿岸区域, 利用卫星照片以研究海岸侵蚀、泥沙输送和径流扩散等问题, 也取得了成就。

应该指出: 遥感技术在海洋学中的应用目前基本上还处于开始阶段。这些遥感技术的性能各有长短, 如能综合应用, 其远景将更为宽广。最近的研究表明: 应用微波高度计还可精确地测定卫星离海面的高度, 这样就能测定波高、潮位、海洋水准面, 甚至在特定条件下也可测定内波等等。同时卫星定期 (18天) 的往复监测, 又可收集有关现象变异情况的宝贵资料。所以, 卫星照片在收集几乎包括各种海洋环境资料和灾害性报警方面所起的作用, 将越来越大。

声遥感技术作为遥感海洋学中的一个新兴分支, 近年来发展甚速, 已在海洋动力学的研究工作中受到了广泛的重视。声波同光波和无线电波相比, 在水中具有独特的优越性。应用在不同水文物理条件下声速不同这一原理, 可以反过来应用声学方法来确定海洋中各种水文特征和运动情况。这方面值得提到的是, 美国海洋学家 Munk 等正在进行应用声遥感技术测量海流和其他一些环境参数。这种技术的成功, 必将使海洋调查方法和观测手段又来一次“旧貌变新颜”, 向前再迈出一大步。这是可以预期的。

二、海洋化学

二十年代来随着生产的需要和新分析仪器的不断更新, 海洋化学发展很快。在无机化学、放

射化学、物理化学、有机化学等各个领域，都取得了极为丰富的资料。

近年来，国际上进行的大规模地球化学断面调查（GEOSSES），在世界大洋的数百个站位，取得了对各种无机元素和放射性元素分布的系统资料，是研究元素的地球化学的有代表性的典范。

十余年来，开始运用物理化学理论与实验数据，对海水中各化学平衡关系提出了系统的理论分析和计算，从过去定性描述的海洋化学，逐渐发展到比较定量地研究化学物质之间的平衡、变化转移的规律，对于探索海-气界面和海-底界面的各种复杂过程，提供了理论依据。

由于工业燃料带来 CO_2 对大气与气候的影响，研究 CO_2 在海洋中的转移与归宿，即 CO_2 在大气与海洋界面的平衡过程，及 CaCO_3 在海水与底质界面的溶解、沉积等交换过程， CO_2 在海洋中的通量计算，已成为目前海洋化学的重要研究内容之一。

对工业污染物，如无机重金属离子（铅、镉、汞等）以及有机物石油、农药、含氟烃类等在世界大洋的水体、生物和底质中的迁移、循环和归宿的研究，为海洋环境保护和海洋元素地球化学从另一方面提供了极为丰富的资源。

通过大量研究资料，人们越来越认识到：海洋中溶解态和颗粒态有机物对生物生产力、对各界面的影响、对各种金属离子的络合作用以及对海水性质，都具有极大的影响，这种认识，进一步加强了有机物化学的研究。海洋化学家已开始运用色谱-质谱联用设备、核磁共振、X-射线衍射仪等，对海水中某些有机物如腐植酸和富利酸以及某些海洋生物的天然产物的化学结构，进行了探索研究。近来还专门召开了专业国际性学术会议，讨论了海洋有机化学的方向。

在放射化学方面，对人工和天然放射性同位素在世界大洋的分布，通过诸如地球化学断面调查，有了广泛深入的了解。还通过对氢、碳、氮、氧等稳定同位素的比值研究，为解析海-气界面的交换过程、鉴别不同水团、以及对沉积物化石中重氧的测定、为古海洋学的研究，都提供了大量新的依据。

海洋化学在近期得到较快的发展，与不断地使用了新的试剂、高精度的自动化仪器是分不开的。国外的海洋化学实验室都普遍使用了营养盐自动分析仪、CSTD测定仪、石墨炉原子吸收光度计、电子能谱仪、多道能谱仪、色-质联用、质谱仪等等，能在短时间内同时对若干元素获得大量准确度高的结果。

在应用海洋化学方面，海水提铀在钛系吸附剂、铝系吸附剂、复合吸附剂及其机制等等的研究；海水腐蚀在外加电流阴极保护、牺牲阳极材料、金属腐蚀与生物附着的关系、以及腐蚀过程机理等等的研究；海水淡化在各种新膜合成和成膜机理的研究等方面，都获得了新的成就。

三、海洋地质学

六十年代以来，海洋地质学有了飞速的发展，其主要标志有以下四点。

1. 在基础理论研究领域中获得了突破性的进展，而且还在不断涌现新理论新概念 六十年代末期出现的海底扩张与板块理论，是地球科学理论研究的一次重大变革。它比较合理地解释了海洋的形成与海陆变迁过程。近年来，为了解决板块运动的驱动力问题，对大洋中脊的裂谷处进行多兵种的深入研究（包括深水钻探、潜水球、海底电视、海底照相以及地球物理等手段）。如目前正在进行的中大西洋中脊的调查研究（即Famous计划），科学家们乘坐潜水球，在几千公尺水深处游弋于洋中脊的裂谷处，详细地调查研究海底扩张的机制，进而提出板块运动驱动力的理想模式。由海底扩张理论而于近几年派生出了一些新的理论观点，如关于海底热泉形成理论、地壳的热流物质与低温的海水相接触的理化过程的观点、板块运动对海底矿产成矿作用的控制等等。

近年来形成的沉积动力学理论，强调用动力的观点来研究海洋底部物质的运动过程。实际上也是对混浊流的传统理论模式提出了挑战，因为后者的理论推导是以实验室的模拟为基础的，而沉积动力学则强调海上的现场观测，从而出现了沉积动力球等先进的调查手段。

其他诸如古海洋学、锰矿球的形成理论等研究，也开创着新的研究领域。

很明显，地质学上任何新的理论观点的出现，没有大量的现场工作基础和实际观测资料都是难以实现的。

2. 调查研究的领域不断扩大，从区域性发展到全球性，从浅层地质向深层地质发展 在海底采取岩芯的工作，一般仅限于几十公尺。深海钻探船〈Glamor Challenger〉号从1968年开始执行“深海钻探计划”。该计划的实施，使海底采取岩芯的工作达到了新的水平。从1968年到1975年间，该船已在大西洋、印度洋和太平洋等海域钻探了五百多个钻孔，钻孔的最大深度为一千五百多米，这是近年来向海底深部进军的最突出的成就。深海钻探计划的实施，对研究海洋历史、验证海底扩张与板块学说、预测海底矿产资源等重大课题的研究，都做出了重要的贡献。

随着海洋地质科学的进展，在向海底深处扩展的同时，在调查研究的广度上也有了显著地变化。以美国为例，它的调查船只几乎遍及世界各大洋，其中也包括我国的近海。近年来，特别加强了各边缘海的调查研究。

3. 调查研究的科学技术手段有了明显的进展 近十年来，海洋地质学的迅速发展及其所取得的成就，几乎都取决于新技术新方法的广泛采用，特别是注意技术方法的不断更新。如上述之深海钻探计划，虽然取得了有目共睹的成就，但它的不足之处是：①在海底取得之岩芯的上部100米内的样品多数已被搅动。②当遇到海底的坚硬岩石时，几乎是不能进行钻进。为了克服这些缺点，美国正在改装一艘名叫〈探索者〉(Explorer)调查船来代替〈Challenger〉号钻探船。但每年的钻探经费，却需要从原来的二千万美元增加到六千万美元。其它诸如潜水球、各种走航式的地球物理仪器、分析仪器的不断更新，也是举不胜举的。

4. 大规模的开展国际性的合作 任何一项较大的海洋科学的研究课题，往往需要动用一大批人力物力，因此由少数单位或国家去完成有时有困难，而开展国际合作则可解决这个问题。开展国际合作又是促进海洋科学发展的一个有效方式，如地球动力学计划(1972—1977年)等都已取得了显著的成绩。目前正在开展的如深海钻探计划(DSDP)，前述的Famous计划，国际海洋考察十年，锰矿球开发计划等等，都是多国家参加的规模较大的工作。

开展大规模的国际合作，也是近代海洋科学的进展的一个显著特点。

海洋地质学发展的以上四个特点，反映了这门科学的巨大的生命力与进展的迅速。在调查研究的方向上，则又主要集中于以下四个领域。

- (1) 海洋地壳的调查研究，目前重点研究洋中脊与边缘海盆的地质过程与地壳性质。
- (2) 海洋的沉积过程，目前重点研究物质的通量平衡过程和沉积动力学。
- (3) 历史海洋学，目前重点研究大洋岩芯记录所反应的地质历史，特别是古气候的变化过程。
- (4) 海底矿产资源，目前重点研究海底成矿作用及预测石油、锰矿球等资源的远景。

六十年代末期出现的海底扩张与板块学说是地球科学中的一次重大理论突破。不少科学家都预言：下一个重大的理论突破，将发生在历史海洋学的领域。

四、海洋生物学

近年来，由于研究方法的改进和新技术的应用，海洋生物调查研究的范围和规模有了显著的扩大，质量有所提高，取得了显著的成绩和进展。由于大规模国际性联合调查、多学科综合研究

及专题研究的增多, 遥感技术和多种自动观测仪器设备的广泛应用而取得较全面的资料, 已能绘出世界范围浮游植物初级生产力和各类生物(浮游动植物和底栖动物的生物量)、鱼类产量的分布图以及主要种类分布图。结合大洋和近海海域的各种资料, 为海洋生物生产力及渔业资源的估计, 为各种生物群落及生态分析提供了必要的条件, 使海洋生物学的面貌起了显著变化。当前, 海洋生物研究已从观察描述和实验室内小规模实验, 逐步发展到较大规模多学科的现场实验研究。在电子计算机的支持下, 已能较迅速和全面的阐明各种生物间及生物与环境间的相互关系, 特别是生态系的组成、结构和功能动态特点。同时也提高了重要经济动植物资源数量预报的质量。

污染研究和近海渔业资源的保护, 大大推动了潮间带和港湾、河口生态学的发展。通过实验生物学研究和对主要种的生物学及生理、生态特点的全面了解, 已经能够在人工控制下有效地进行某些经济动植物的人工增殖或有害生物的控制防除。

以下是几个主要方面的简单情况:

1. 海洋生物生产力研究及资源合理利用

近年来, 如何从海洋中获取更多的优质水产品, 来供应不断增长的世界人民生活需要的问题, 越来越受重视。海洋生物生产力的测定, 从初级生产者(光合植物)到渔业捕捞对象的产量估计, 以及各营养阶层间能量转换率的研究, 是当前海洋生物研究中受到较大注意的一个方面。

根据近年来积累的大量(近十万个)测定资料, 目前已能使我们估计出世界范围的海洋浮游植物初级生产力, 绘出分布图(世界海洋每年生产的有机碳, 净重为150—180亿吨, 毛重250—300亿吨)。对于食物链中各营养阶层间能量转换效率的测定研究, 使人们能够据以进一步推算出鱼类、底栖动物或浮游动物等水产品的总产量, 从而能够制定出生物资源的合理开发利用方案。不同的研究和推算表明: 世界海洋中传统性渔业资源潜力并不很大, 因此探索过去未受到重视的小型鱼类、头足类、和某些浮游甲壳类的资源量及其开发前景, 是很有必要和切合实际的。所以有不少国家近年来把注意力放在南极磷虾、小型桡足甲壳类、上层游泳性头足类资源的探索和开发方面。根据初步调查估计, 南极磷虾在鲸类数量减少的情况下, 每年开发捕捞五千多万吨还不致破坏其资源而保持自然界的生态平衡。

近年来积累的大量海洋调查资料表明: 目前世界海洋总渔获量每年五千多万吨, 其中90%以上捕自面积不到整个海洋10%的大陆架区域; 而整个大洋潜在渔获量二亿四千多万吨中, 除大洋区只有160万吨外, 陆架区占了24,000万吨, 其中有半数分布于面积不到1%的上升流区。

上升流在向上涌升的过程中, 将海底或深层丰富的营养盐带到海面, 使浮游植物大量发展, 产量很高, 上升流区的上层鱼类食物连环节简单, 营养层次少, (平均 $1^{1/2}$ 级), 且能量转换效率高(估计为20%), 因此有特别高的生产力。所以许多海洋研究单位, 集中了相当数量的海洋物理学家、化学家和生物学家, 对几个著名的上升流区(如美洲秘鲁沿岸、加利福尼亚沿岸、西南和西北非洲沿岸、南极水域和阿拉伯海沿岸等), 进行了大量多学科的综合调查研究, 内容包括上升流理化特点(特别是营养盐含量)、出现时间、空间变异的测定, 主要过程的性质及速率的测定, 建立物理学、生物学的数学模式以及整个生态系的模式, 取得了显著成果, 为渔业资源开发及合理利用提供了依据, 为生态系结构及营养动态关系的阐明积累了有用的资料。特别是著名的EI-Nino现象的研究结果, 对准确预报秘鲁渔业资源数量起了显著作用。

2. 生态系、群落结构和动态的研究

近十几年来, 群落生态研究的特点之一, 是已从对各种生物群落组成作一般描述和分析, 发展到进行大量的群落动态研究。海洋生物群落的结构是以食物网为基础的。当前受到重视的是生态系中各营养阶层(一般是浮游植物、素食性浮游动物、肉食性浮游动物或底栖动物)间的动态

关系及其与理化环境因子的关系。通过物质循环、能量流动的分析，阐明生态系的结构与功能，并进行数学模拟。研究工作的进展颇为显著。

在群落结构的分析研究中，除海上调查外，还结合进行实验室内的实验研究。近年来更发展到配合较大规模的现场实验，来揭示其动态过程以及生理机制等。以美国几个主要研究单位为主进行的国际合作项目“控制生态系污染实验”（CEPEX），在直径10米、高30米的大型塑料袋（筒）内，引进不同污染物质（铜、镉等有害金属离子），观察分析它对袋（筒）内浮游植物和浮游动物群落结构的影响，已取得了初步成果。

在群落结构的分析方法上，近年来也有显著的改进。为了辨别、区分热带、亚热带水域优势种不明显的生物群落，许多科学工作者进行了群落中种类组成的相似度、分异度（多样性）的分析计算，或进行“类聚”分析，广泛使用统计学方法，对资料进行处理。电子计算机的应用，大大加快了资料计算、处理速度，提高了分析质量，有助于阐明群落结构和动态变化，进行数学模拟。

3. 水产养殖研究的发展和近岸水域的农牧化

由于海洋中生物资源的潜力是有限的，只靠渔业捕捞难以大幅度提高水产品的产量（十年来世界渔业总年产量（海洋加淡水）一直在七千万吨上下），尤其是最近几年，随着海洋法斗争的激化，沿海国家对本国临近沿岸海域的渔业生产、特别是海洋动、植物的养殖生产，都普遍重视，除日本外，美、英、法、西德等较发达的资本主义国家，均动员大批科技人员，采取有力措施发展各种水产养殖研究和生产，因为这方面有很大的发展潜力和广阔的前途。据初步估计，大力发展温暖海区沿岸水域沼泽带的池塘养殖鱼虾生产，使世界海洋渔业总年产量增加两倍（1亿吨），是完全可能的。而其它动植物（如贝、藻类）的养殖生产更较容易发展。

海洋水产养殖事业发展的关键之一，是种苗的大规模培养生产和幼小鱼虾贝藻的迅速长大问题。必须通过深入的实验生物学研究，掌握其不同发育阶段的生长规律、营养特点及其与理化、生物环境因子间的相互关系，才能达到完全人工控制下的养殖生产的目的。至于养殖方式，除目前普遍进行的单种养殖外，充分利用沿岸水域进行多种品种的综合养殖，国外已经进行试验的近岸水域农牧场式的鱼虾养殖，也受到极大的重视。利用废水或余热进行养殖，将深海的肥沃海水引到海面的“人工上升流”综合养殖，更是我们应努力的方向。为了提高养殖效果和产量，人工配合饵料的研制和病敌害的防除研究，也必须加强。为了达到人工控制和改造自然环境，增加鱼虾产量的目的，人工培育种苗，进行放流以增加资源量的实验研究，也应积极准备进行。这样用人力进一步改造自然，把沿岸区发展成为海上农牧场的设想，就有可能在不太长的时期内实现。

此外，关于海洋动、植物生理学的研究，特别是涉及鱼虾迴游、结群等行动规律的神经生理学研究，深海高压生理学和极海低温生理学的研究，涉及资源预测和合理利用的海洋动物种群补充研究，在国际上也受到较大的重视，取得显著成绩。近年来，在生物海洋学方面，河口区的生态学研究、小型和微型动物生态特点、它在生态系食物网中的作用以及海-气界面和海-底界面生物学过程特点的研究，也有许多新的发现。

4. 新仪器手段的使用大大促进了海洋生物学的发展

除了国民经济发展和海洋科学发展本身的需要之外，新的仪器手段的使用，是推进海洋生物学迅速改变面貌的重要因素之一。

在使用传统观测取样手段（如各种网具及其他机械取样工具等）的同时，资源卫星和机载遥感技术手段以及现场荧光计等仪器，在测量浮游植物叶绿素含量分布方面和鱼群方面的使用；自动记录、同时采取多个样品，并能测量记录理化环境条件参数的浮游生物自动采集器的使用；激

光全息照相技术在记录浮游动物方面的使用；深潜器、海底照相、水声技术、电视技术在底栖生物、游泳动物的观测、取样和记录中的应用等等，都为提高各类观测、取样和资料搜集的质量和效率，提供了物质基础。特别是现场呼吸测量仪，在深海底及水层中（测量动物耗氧量及采集、分析水样，拍摄照片等）的使用，取得了过去难以得到的资料，为研究深海生物的生命活动、代谢规律和演化、进行现场实验，带来革命性的改进。这已经促使海洋生物研究水平有了显著提高，加快了前进步伐。

随着许多新仪器手段的设计制造，海洋生物学研究还将得到更大的跃进。

五、海洋物理学（海洋声学、光学）及海洋仪器

1. 海洋声学

海洋自然噪声研究是海洋声学研究的一个重要方面。随着研究区域的扩大，近年来这方面已经取得的主要进展包括：自然噪声的统计特性、方向性、深度关系，以及生物噪声源等等。随着水声新技术的发展和设计新型声纳的要求，噪声场的时间、空间的统计结构，仍是目前深入研究的主要内容。这些年来，还对一些地理环境条件、特殊海区的自然噪声场作深入研究，以便提供自然噪声场预报和进行最佳适配检测。另外，这些年来，逆海生物噪声研究在提高渔业生产应用上还取得显著效果。

海豚等动物声纳研究，是目前十分引人注目的课题。业已证实：这些动物具有特殊的回声定位能力和器官系统。目前运用信号和通讯理论对动物声纳特性研究，着重于动物声纳目标距离、分辨率和多普勒容限、最佳信号、目标角度、谱识别等方面、其目的在于弄清发声声场的物理特性和传播规律。目前还应用“声全息”概念，对发声、接收和信息加工、内部抗干扰机制等方面进行了研究，并为这方面工作开辟了新的途径。动物声纳研究，在改进和发展水下通讯和预期声纳系统等方面，都具有重要意义和价值。

弄清海洋深水生物声散射层分布规律，对声纳系统的应用有很大价值。通过对深水散射层研究，目前已有有人提出用声道界来划分世界海洋区域这样的概念。

近几年来应用声遥感技术进行海洋水文动力学方面的研究，已能准确地测量海洋中几种物理参数和生物参数。从而为研究海洋中的大、中尺度运动的动力过程，提供了可能性。初步得到了海洋中在几十公里到几百公里的大尺度范围内，声波起伏与海洋动力过程之间的关系；并详细地追踪了潮汐的推移过程和研究了海流的力学结构，以及相位起伏与深海涡旋之间关系，并通过声信号起伏来研究内波特性等。

这些年来，非线性声学研究无论是在理论研究方面，还是在实验应用方面，都有很大发展。它在海洋中的应用，如深度剖面测量仪，对沉积层有很好穿透力。特别是在海洋考古学上，对遗物的搜索、发现和描绘，具有独特的优点。

2. 海洋光学

国际上近年来对海洋光学的研究十分重视，有较大的进展，主要集中在如下三个方面：

第一，海水光学性质的进一步研究。表现在对悬浮体的光散射，各种颗粒的吸收和垂直分布，光的折射系数与温度、压力、盐度、波长的关系等方面；研究用光学方法来划分水团的 Jerlov 理论的基本方面及其适用性，对地中海、白令海与北太平洋、东南大西洋、印度洋的某些海区进行了基本测量。有人认为：Jerlov 的方法须加以适当的修正。

第二，海洋中光的辐射传递与初级生产力的研究。通过对水下光场的分布、海面糙度对水下辐射的影响、辐射强度与光合作用及水下反射率等等的研究，发现垂直衰减系数除了在绿光区有

一个极小值外，在紫及近紫外区也存在一个极小值，这与浮游植物的繁殖有关。

第三，海面向空间辐射的光场分布研究。这是与空间遥感技术的发展密切有关的，由于空间海洋学（遥感海洋学）的发展，用光学方法——多光谱摄影大面积观测海洋，已取得十分重大的成就。进一步研究在各种条件下的海面辐射，并与大气作统一考虑，将成为光学与遥感相结合的理论基础。此外还发现了海面上不同高度处有规则的光脉动现象，研究了白沫对海洋—大气系统的贡献，以及海面的散射等等。这些都是海洋表层光学性质研究的新进展。

3. 海洋仪器

各工业先进国家都在大力研究新的海洋仪器，而且各有特长，其中以美国最为全面和突出。在美国，海洋水文观测仪器，已发展成为多要素综合性的统一观测仪器。如温、盐、深、流、溶解氧、pH等，一次可同时取得各项数据；用磁带在机体内自动记录数字信息，可与计算机直接相连，处理数据，准确快速。深度可达6,000米，这样，大大减小了调查船的负担，因此在调查船上不需要设置太多的水文绞车。

目前，这些仪器正向高精度和长寿命方向发展。如美国西屋电气公司研制的无转子海流计，以及可在6,000米深处测量到深度的精度为毫米、温度的精度为0.001℃的温深仪等。又如法国SUBER公司研制的一种海流计，采用了高集成度的微型存储器存储观测到的资料，（不用磁带），将电源封入机体后即可在6,000米以内深度上使用。取上后，只用电插头连接计算机即行自动处理。该仪器可用四年不必打开机壳，其资料可在机壳内存储四年之久。这种仪器体积小、重量轻、抗振动、稳定可靠，可算作目前最先进的海流计之一。

先进的观测仪器配合先进的观测方法，可取得很好的效果。应用各种类型的浮标进行自动观测，可取得大量的高质量资料。这些浮标可在水深6,000米以内使用，并有各种释放器以便于收回有些浮标已与卫星构成系统的资料收集网：如MODE-1实验，单是温盐深（STD）即用达750件，由于这类计划耗资巨大，因而往往是几个国家合作进行。今后的趋向是水上、水下大面积的同步观测，着重于浮标与卫星间的数据传递。目前，与卫星连在一起的浮标数量还不多，今后必然会增加（主要取决于专用卫星）。

美国“阿波罗计划”，为了探明月球地层而先在地球上进行试验的光学探测技术，以其意外的成功而迅速的发展成为遥感技术，并已在海洋中取得了很好的探测结果。目前，正在研究多光（激光）谱和无线电微波共同使用的大面积的海洋表层、次表层的成相传感器（卫星用），进而区分大气、空间与水下空间各自的状况。

由于光和微波都不可能穿透较深的海水，因而，在水下较深处，正在根据水声学理论，研究直接探测水团或涡旋的“水下遥感”技术。这种技术必然会对水声学在理论及技术各方面提出新的研究课题。

自大气空间至水下空间的直接探测，这是今后海洋仪器（探测器）研究的一个新的方向，应用这种方法，可以获得用一般水文观测仪器所得不到的资料。

综上所述，近二十年来，海洋科学确实有了突飞猛进的发展。特别是美国，将海洋科学列为七十年代的“重大科学”，投入巨大的人力物力，发展尤为迅速。同这种国际上的先进水平以及党和人民对我们的要求相比，我国海洋科学发展的水平还不高。但我们深信，在华主席为首的党中央的正确领导下，我们的海洋科学，一定能在不太长的时间内，对它的一些主要领域、特别是关键性领域有所突破，赶上甚至超过当时的国际水平。我们海洋科学工作者，要发奋图强，努力攀登，为实现四个现代化，作出应有的贡献。