

中等海洋专科学校教材

海洋学

宁波海洋学校 编

海洋出版社



中等海洋专科学校教材

海 洋 学

宁波海洋学校 编

海 洋 出 版 社

1986年·北京

内 容 简 介

本书主要叙述海洋形态特征、海水物理和化学性质、海水运动及我国海域、世界大洋的海洋水文基本状况和分布变化，可作为中等海洋专科学校教科书，也可供海洋台站、海洋调查队、海洋研究所及水产、航海等部门的科技人员参考。

责任编辑：齐庆芝

责任校对：刘兴昌

海 洋 学

宁波海洋学校 编

海洋出版社出版（北京市复兴门外大街1号）

新华书店北京发行所发行 北京顺义燕山印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：22¹/₄ 字数：500千字 插页：2

1986年6月第一版 1986年6月第一次印刷

印数：3800

统一书号：7193·0657 定价：3.50元

版权所有·不得翻印

前 言

本书以我校海洋水文气象专业《海洋学》教学大纲为编写提纲,在《海洋学》讲义(1981年我校编,海洋水文气象中专班试用)基础上,通过近三年时间教学实践,进行修改、补充编写而成。

本书主要参考山东海洋学院1982年《海洋学》讲义和浙江水产学院1979年《海洋学》教科书,并考虑到适合中等海洋水文气象专业使用,对一些较繁的数学力学推导尽量改用定性描述,力求通俗易懂。在内容上也注意了收集海洋基础理论知识的实际应用方面。

本书由钱木兴主编,第一章由孙海芳编写,第四章由陆士明编写,第六章、第七章由张碧芳编写,第十一章由王国庆编写。国家海洋局第三海洋研究所高级工程师伍伯瑜同志对本书进行了审阅,提出许多宝贵意见,并提供了不少资料;张培垠同志绘图,花费了不少劳动,在此一并致谢。

由于编者水平所限,错误难免,望读者指正。

编 者

1984年9月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 海洋学的定义与范围.....	(1)
第二节 研究海洋的意义.....	(1)
第三节 海洋学发展简史.....	(5)
第二章 海洋形态	(13)
第一节 地球概论.....	(13)
第二节 海洋的起源.....	(18)
第三节 海底地形.....	(25)
第四节 各大洋海底地形的特点.....	(31)
第五节 中国近海的地形.....	(34)
第三章 海水物理性质	(37)
第一节 海水的温度.....	(37)
第二节 海水的盐度和氯度.....	(37)
第三节 海水的密度.....	(46)
第四节 海水的热性质.....	(53)
第五节 海水的其他物理性质.....	(56)
第六节 海水结冰.....	(59)
第七节 声在海水中的传播.....	(64)
第八节 光在海水中的传播.....	(72)
第四章 海水化学性质	(81)
第一节 海水的化学成分.....	(81)
第二节 海水的主要成分.....	(83)
第三节 海水中的溶解氧.....	(84)
第四节 海水中的二氧化碳系统.....	(90)
第五节 海水中的营养元素.....	(94)
第五章 海水温度、盐度、密度的分布和变化	(99)
第一节 海水温度的分布和变化.....	(99)
第二节 海水盐度的分布和变化.....	(129)
第三节 海水密度的分布和变化.....	(143)
第六章 海流	(149)
第一节 海流的分类及其表示法.....	(149)
第二节 压力场、柯氏力.....	(151)
第三节 梯度流.....	(155)
第四节 风海流.....	(158)

第五节	风海流的副效应——上升流	(161)
第六节	地形对海流的影响	(163)
第七节	大洋环流	(164)
第八节	中尺度涡与埃尔尼诺现象	(171)
第九节	中国近海及邻近海区的环流系统	(174)
第七章	海浪	(179)
第一节	概述	(179)
第二节	波动的基本性质	(181)
第三节	风浪和涌浪	(190)
第四节	浅海和近岸的海浪	(197)
第五节	内波	(201)
第六节	海啸和风暴潮	(202)
第七节	海浪要素的统计分析	(205)
第八节	中国近海和沿岸的海浪	(217)
第九节	大洋浪的基本状况	(218)
第八章	潮汐	(221)
第一节	与潮汐有关的天文知识	(221)
第二节	潮汐现象	(227)
第三节	潮汐产生原因——引潮力	(230)
第四节	平衡潮理论	(235)
第五节	潮汐的动力学理论	(242)
第六节	潮汐分析预报	(248)
第七节	潮汐计算	(252)
第八节	潮流	(251)
第九节	潮流计算	(267)
第十节	世界大洋及中国近海的潮汐	(272)
第十一节	潮汐的应用	(277)
第九章	海水的混合	(283)
第一节	混合的概念	(283)
第二节	垂直稳定度	(284)
第三节	涡动混合与对流混合	(290)
第四节	水团及水团之间的混合	(296)
第十章	海洋生物	(308)
第一节	海洋生物的种类组成	(308)
第二节	海洋生物与理化环境的关系	(313)
第三节	海洋生物的生活方式	(317)
第四节	海洋生物研究的动向	(321)
第十一章	海洋沉积	(327)
第一节	海洋沉积的来源和搬运	(327)

第二节	海洋沉积物的类型.....	(329)
第三节	海底矿产资源.....	(332)
第四节	世界大洋和中国近海沉积物分布特点.....	(336)

第一章 绪 论

第一节 海洋学的定义与范围

研究发生在海洋中的物理、化学、生物、地质地貌等各种自然现象和过程，以及它们间相互联系的科学，称做海洋学。海洋学是地球科学的重要分支之一。人们根据研究对象的不同，通常把它分成为物理海洋学、化学海洋学、生物海洋学和地质海洋学等四大学科。

物理海洋学主要研究潮汐、波浪、海流等为主体的海水运动的物理特性，以及温度、盐度、密度等海洋基本要素的分布及变化；化学海洋学致力于探讨海洋环境中发生的化学过程，包括海水和生物、底质中化学物质的组成、结构、存在形态、相互作用、变化转移的规律，及其分布、分离、提取和利用等；生物海洋学所研究的是海洋生态系统、群落结构、动态变化、生物生产力和水产养殖；地质海洋学涉及的是海洋的地质地貌、洋盆构造、海底矿产资源、海底沉积物的形成过程和有关海洋的起源及演化。随着科学技术的不断发展，海洋各学科间相互结合、相互渗透日益加强，于是又产生了一些边缘科学和新兴科学。例如以研究海洋工程技术为重点的工程海洋学，以卫星、宇宙飞船收集和传送情报资料的遥感海洋学，以及环境海洋学、军事海洋学和渔业海洋学等，均属于这类边缘科学和新兴科学。

第二节 研究海洋的意义

人类赖以生存的地球，海洋占了它表面积的70%以上，约为三亿六千一百万平方千米。而在人类数千年的文明历史进程中，海洋作为生活的环境，一直受到人们极大的关注。它调节着地球的气候，蕴藏着取之不尽、用之不竭的动力资源、矿产资源、生物资源和化学资源，它是天然的交通“大道”和国防前哨，又是认识宇宙、发展自然科学理论的理想试验场。现代科学技术的成就，进入本世纪六十年代以后，海洋更已发展成为国际上的重点研究对象之一，它完全可以与宇宙空间研究、原子能研究相媲美。

在军事上，海洋环境对海上军事活动有很大的影响，而要取得海上战场的主动权，现代海洋科学的配合是至为重要的。在这方面的事例，古往今来，可说是俯拾皆是。例如，1661年4月，我国民族英雄郑成功曾率兵2500人，战船100艘，利用台湾鹿耳门一带的涨潮机会，顺流而入，先下赤坎，后围安平，一举打败荷兰侵略者，遂收复了台湾省。海洋中的海流和潮流，不仅影响舰船的航速和航向，对海上布雷、导弹发射关系也颇为密切。在第二次世界大战中，德国用水雷封锁英吉利海峡，使英国舰队遭受了巨大损失，其原因之一是德国人掌握了北海至英吉利海峡的海流的规律。对海上波浪的变化，是军事指挥员必须注意的，否则就有可能造成难以置信的损失。

第二次世界大战中，由美、英海军发动的著名诺曼底登陆作战虽然取得某些成功，但就因没有准确地进行波浪预报，致使盟军方面一举损失登陆艇700余艘，这早已成为现代军事教科书中的一个典型战例。当然，如能掌握波浪的变化规律，则可用以掩盖鱼雷的航迹，增加潜艇的隐蔽性等等，从而起到化害为利的作用。利用海水良好的传声性能研制的声呐，是发现海上目标的重要手段。据统计，在第二次世界大战被击沉的潜艇总数中，几乎有近60%是靠声呐发现的。海水中的密度跃层，为潜艇隐蔽提供了“液体海底”，但跃层附近出现的内波，又有可能将潜艇抛出水面或压入极限深度之下，这是十分危险的。在五十年代，一艘美国核动力潜艇就因遭受振幅为100米的内波振荡，最后葬身于大西洋底。此外，海洋生物和海浪造成的环境噪声，会严重干扰声呐和水下监视系统；重力场会影响潜艇和水面舰艇的惯性导航；海洋地磁会影响潜艇的水下导航和磁性水雷的布设等等。由此可见，海上军事活动给海洋学提出的任务是多种多样的，要在海洋中变害为利，获取战斗的胜利，就必须深入开展对海洋学的研究。

从经济意义上，辽阔的海洋，可说是一座无所不包的巨大资源宝库。

海洋孕育着大量的生物资源，其中仅鱼类就有二万五千种左右，而现今成为人们捕捞对象的不过二百种；软体动物八万种，已被开发利用的只不过是其中经济价值较高的少数几种；甲壳类二万种，目前被利用的主要是一些个体较大的种类。据初步估算，海洋中每年可捕捞的总潜力约在2.6亿吨到4.5亿吨之间，仅南极的磷虾，在不破坏南大洋生态平衡的前提下，每年就可捕捞7千万吨以上，几乎接近目前世界的渔获总量。应当指出，在现有世界的渔产量中，有92%捕自于占世界海洋总面积7.6%的浅水大陆架区域，而对200海里(370.4千米)专属经济区以外的占海洋总面积60%的公海，迄今还没有得到充分的开发利用。海洋中的植物资源主要是褐藻和红藻类。它们不仅数量相当可观，而且有很大的经济价值和发展潜力。海洋藻类含有人类需要的各种营养物质和维生素，还含有工业上不可缺少的碘、氮、琼脂、长拉胶等化工原料。有二百三十种海藻可提取多种抗生素，这是海洋医药的重要资源之一。目前，世界各国获得的藻类年总量约为200万吨，其中由养殖得到的占很大比重。如果把世界沿海宽阔的滩涂有效地加以利用，那么藻类产量就将会有的飞速的增长。当前，许多国家正在发展“海洋农牧场”，逐步实现鱼类和贝藻类生产的畜牧化和农业化，可以预见，一个以增养殖为主的“耕海时代”即将到来。

赋存于海底的矿产资源，品类繁多，蕴藏量相当可观，是人类潜在的一笔巨大财富。

在全世界海洋大陆架沉积盆地中，石油蕴藏量估计达2500亿吨，约占全球总储量的45%；已经探明的天然气储量为14—17万亿立方米，占26%左右。如果把大陆架以外的海底石油和天然气都计算在内，这个数字还要大得多。有人推测，到2000年左右，全世界消耗的石油，将有50%来自海洋。在稀有金属和贵重金属方面，占世界产量96%的锆石，90%以上的金红石，半数以上的独居石和钛铁矿，以及部分金刚石、锡石等产于滨海砂矿中。这些矿物是国防冶金、航空航天与原子能工业的重要原料。含大量铁、铜、铅、锌、银、金的多金属海底软泥，是一种具有很大经济价值的潜在资源。这种多金属软泥主要产于世界大洋中脊和某些岛弧附近的深海区。此外，已经探明的在大陆架区域还蕴藏有254亿吨铁、3000亿吨磷钙矿、几千万吨硫磺矿和大量的煤。

产于水深2000到4000米深海底的深海矿产——锰结核，是一种当前举世瞩目的矿

产。它含有锰、铁、铜、钴、锆、镭、钛、钍、铀等四十多种稀有元素、稀土元素和放射性元素。据估计,大洋底锰结核的总储量约为3万亿吨,仅太平洋就有17 000亿吨,可以说这里是世界海洋锰结核的富集区。其中尤以中美洲外海经夏威夷群岛,到马里亚纳海沟一带为最多,有人把这一带称之为“锰砌的航路”。就世界大洋锰结核的总和而论,其中含锰4千亿吨,是陆地的67倍;镍164亿吨,是陆地的273倍;铜88亿吨,是陆地的21倍;钴58亿吨,是陆地的967倍……。如果按目前全世界的消耗量计算,再过36年陆地上铜的资源行将枯竭,再过120年锰、镍、钴等资源也将消耗殆尽。假若深海锰结核得到开发和利用,那么铜的资源可供人类多用600年,镍可延长使用15 000年,锰可用24 000

年,而钴则可用13万年之久。更可喜的是锰结核具有不断增生的特点,仅此一项各大洋每年即可增加1000万吨之多,由此提取的铜可供全世界用3年。

海水是地球上最大的液体矿藏。在全球135万亿吨海水中,溶存有80多种元素,分别可提取盐量5万亿吨、镁3100万亿吨、硫3050万亿吨、钙660万亿吨、钾620万亿吨、溴89万亿吨,还有锶和硼分别为12和7万亿吨,以上这些元素占整个海水溶存元素的99%以上。对浓度在百分之一以下的微量或痕量元素,如锂、铷、铯、钼、铀……等,其

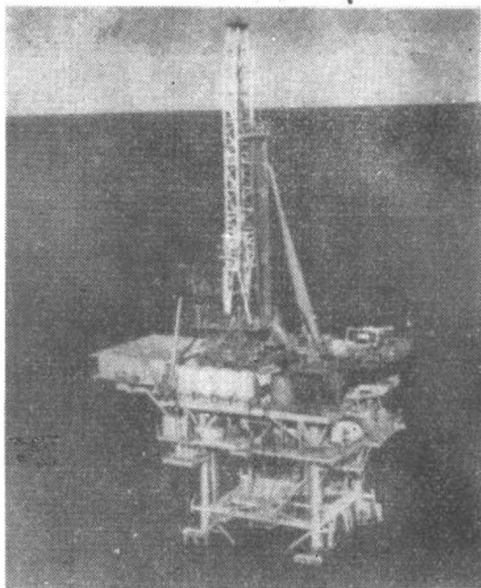


图1-1 石油钻井平台

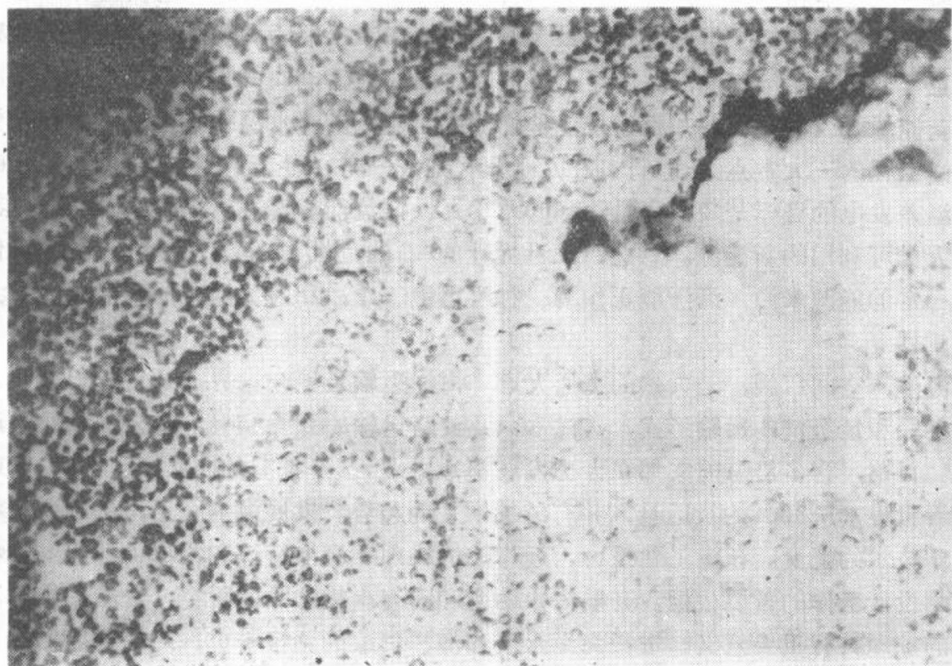


图1-2 海底锰结核

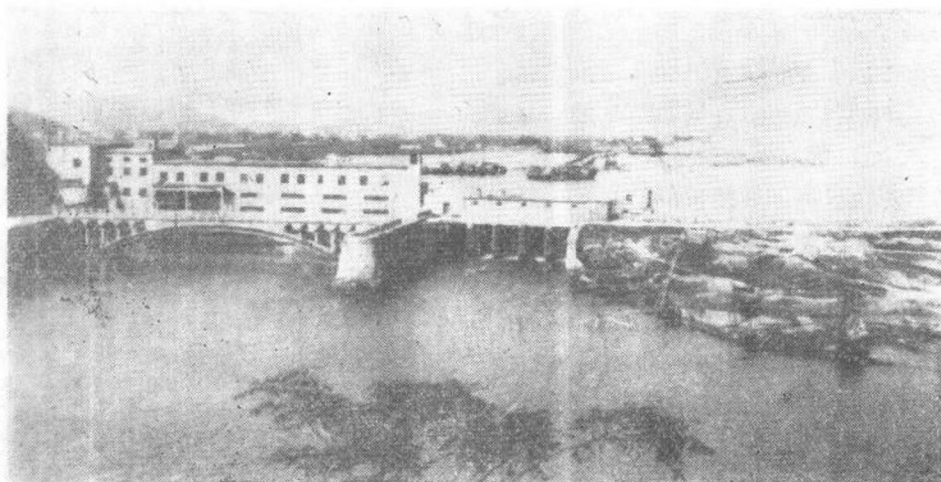


图1-3 我国江夏潮汐电站

相对量虽小，但它们在海洋水体中的总量仍然是很大的。

喧腾不息的海洋，还蕴藏有用之不竭的动力资源。据初步估计，世界海洋的潮汐能量功率为 0.03×10^{12} 瓦特、波浪能量功率为 2.7×10^{12} 瓦特、海流能量功率为 0.05×10^{12} 瓦特，再加上海水温差能(2.0×10^{12} 瓦特)、盐度差能(2.6×10^{12} 瓦特)和其它形式的能，整个海洋可称为是一座取之不尽的“蓝色煤海”。海洋能的开发和利用，从六十年代以来已取得了长足进展。潮汐发电站已在沿海国家普遍建立起来。1966年底，法国在圣马洛湾朗斯河口建成的潮汐电站，总装机容量达24万千瓦，这是迄今世界上建成的最大潮汐电站。美、英、苏、加拿大等国也都在积极筹建大型或超大型的潮汐电站。南朝鲜预计在八十年代建成投产的加露林湾潮汐电站，总装机容量将达40万千瓦。利用波浪能发电的研究，以日本和英国最为著名。日本研制的小型波力发电装置，已在世界海洋的航标灯、灯塔和海洋浮标上得到应用；最大出力达1000千瓦的“海明”号船型波力发电装置，也于1978—1979年成功实现了由海上浮体向陆地输电的试验。英国把波浪发电研究放在新能源开发的首位，并把这视为他们的第三能源。海水温差发电，已被列入美国民用海洋工程的三大重点之一，计划在八十年代建成一座10万千瓦的示范电站，到2000年，海水温差发电的目标是装机容量达1000万千瓦。海流能、潮流能、盐度差能等，也都必将成为人类可利用的新能源。总之，在世界性的“石油危机”之后，许多国家为确保有长期、稳定的能源来源，海洋能正作为一种可再生、干净和潜力巨大的新能源而得到了应有的重视。

海洋，空间广阔，是天然的交通大道。海洋运输是现今世界上40亿人口彼此联系的主要手段和最经济的运输形式，其成本只及铁路运输的40—45%，比公路和航空运输更低廉。目前，许多沿海国家都在大力发展海运事业，迄今拥有的商船量已达69 000余艘，担负着世界70—80%的货运量，并有继续增长的趋势。发展海上交通，必须要有现代海洋科学技术的配合。在港工建筑中，近岸波浪机理、潮浪特性和沿岸泥沙回淤规律等是规划设计工作的重要依据。开展海水防腐和附着生物防除的研究，对船舶维修和港工设施的护理具有重要意义。进行海洋水文和海洋气象的预报研究，对保证船舶进出港的安全，避免海上因风暴、巨浪、冰山等可能造成的海难事故，以及根据航行过程的气象、

海况及船舶本身的运动性能来调整航向和航速，选择最佳航线，节约航行时间，缩短航行周期等都有重大的作用。为了发展海洋运输，提高海洋运输的经济效益，它要求海洋学解决的课题是多方面的，上面列举的还远没有把所涉及的问题都包括在内。

海洋是风雨的故乡。地球上出现的风云雨露、冷暖干湿、短期的天气变化和长期的气候变迁，从大范围讲，直接或间接都和浩瀚的海洋有关。虽然人们对这些过程的机理尚未透彻了解，但地球是一个整体，海洋和大气是相互联系而又相互影响的。例如，风会造成海浪，大气运动会影响海流，但推动大气流动的热量，除太阳辐射因纬度造成不均匀分布外，主要来自海洋吸收的太阳能量。海洋也会影响大气，它能为降水提供无穷无尽的水汽贮量，暖水会给冷气团增添热量，而地球上每年之间的气候差异，也被认为同各年之间洋流的微小变化有关。由此可见，增加对海洋与大气相互关系的了解，为大范围天气预报提供科学根据，并有可能改进实现控制气候的影响，这对人类是非常重要的。

海洋与人类的关系非常密切，研究海洋的意义非常重大。但是迄今我们只是对大约20%的海洋开展过较详细的调查，对5%的海域进行过系统的研究，至于开发利用，则可以说还是“沧海一粟”。现在，全世界面临着食物、住房、能源、交通运输和矿物原料供应等等一系列的问题，在这种情况下，可以肯定，未来海洋的地位将会越来越重要。

第三节 海洋学发展简史

科学的发展，总是和人类社会生产力的发展紧密联系在一起。

自古以来，世界上一切临海国家的民族和人民，一直和海洋发生着各种各样的联系，不断探索着海洋的规律，逐步加深着对海洋的认识。尤其从本世纪七十年代以来，人们向海洋进军的目标，已不再局限于传统的了解海洋的一般状况，而是发展到通过各种手段和途径，以全力提高海洋综合利用能力为主体的科学研究活动。一部海洋学的发展史，可以说是经历了从“管蠡窥测”到海洋探险、从环球调查到海洋卫星的漫长道路。纵观这部历史，大体上可以分为海洋探险、单船走航调查和联合调查三个时期。

一、海洋探险时期(十六世纪前)

早在史前时期，人类已经开始了世界初期的泛海活动。

到十五世纪初(1405—1433年)，我国著名航海家郑和，曾率领当时世界上最庞大的船队——海船数十艘，乘员二、三万人，先后七下“西洋”，纵横于太平洋和印度洋上，历经三十多个国家，最远的一次到达非洲东海岸的麻林地(今肯尼亚境内)。“维纳挂席、际天而行”，浩浩荡荡，盛极一时，在我国海洋史上写下了光辉的一页。郑和的船队在航行过程中曾多次作过海道测量，开辟了新的航线。现在流传的《郑和航海图》中，对从南京出发到“西洋”各国的航线、航程、浅滩、暗礁和停泊港口等都有详尽记载。它不仅是我国著名的古海图，而且也是我国十五世纪前最完整的亚非地图。

十五世纪末，由于生产力的发展，西欧诸国大力进行了以寻找海外殖民地为目的的海洋探险事业。其中较著名的有：1492年意大利人哥伦布横渡了大西洋；1498年葡萄牙人达·伽马绕过非洲南端的好望角到达了印度；1519年葡萄牙贵族麦哲伦率船5艘，共265人，以三年多的时间完成了环绕世界一周的大探险。通过频繁的海上活动，航海家

们发现了新大陆，新航路，并首次证明了大地是球形的学说。在航行中还发现了信风带、北赤道流、气温因地制宜的变化现象和进行了大洋测深的最早尝试等。这些是早期的和零星的海洋考察活动。

二、单船走航调查时期(17—20世纪前半叶)

作为系统的和有目的的科学海洋考察，是从英国军舰“挑战者”号开始的。

1872—1876年，英国皇家学会组织并主持“挑战者”号在大西洋、太平洋和印度洋进行了历时三年半的环球调查，全部航程达126 000千米。它测量了调查区域的地磁和水深情况；第一次使用颠倒温度表测量了海洋深层水温及其季节变化；采集了各种海洋动植物标本和海底底质样品，并且得出海洋中含盐类的组成在各地都具有恒定性的结论。此次调查的全部资料和样品，经由70位科学家长达二十多年的整理和悉心研究，最后写出调查报告50卷，从而奠定了物理海洋学、化学海洋学、生物海洋学和地质海洋学的基础。

第一次世界大战后，海洋学研究由探索性航行调查转向特定海区的专门性调查。其中：

1925—1927年德国“流星”号在南大西洋进行了14个断面的水文观测；1937—1938年在北大西洋进行了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，内容包括水文、气象、生物、地质等，并以观测精度高著称。调查的一项重大收获是探明了海洋的大循环。另外，经过7万多次海底探测，探测结果发现海底象陆地一样崎岖不平，变化万千，从而改变了所谓“平坦海底”的概念。

1947—1948年瑞典的“信天翁”号调查，被海洋学家誉称为是“近代海洋综合调查的典型”。此次调查历时十五个月，总航程达130 000千米，在大西洋、太平洋、印度洋、地中海和红海共布设测站403个，重点在三大洋赤道无风带进行，主要是热带深海调查和深海底的底质采集。全部调查资料和沉积物岩芯样品，经历了十余年的整理和计算分析，最后出版了“瑞典深海调查报告”计达10卷36分册。

这一时期前后，较著名的大洋调查还有：俄国“事业”号1823—1826年的环球调查；美国“卡那基”号从1909—1931年间断达二十余年的历史性考察；丹麦“台娜I号”、“台娜II号”间断进行十五年之久的调查和1950年丹麦“加拉蒂亚”号所进行的世界性航行调查等等。

与此同时，作为海洋科学的国际性活动，1853年在布鲁塞尔举行了首次国际海洋学会议，会上决定了海上气象观测和海洋观测的标准方法；1902年由瑞典、英、俄、德、荷兰、芬兰、丹麦、挪威和爱尔兰等国联合成立了“北欧诸国国际海洋学研究理事会”，目的旨在共同研究改进调查方法和观测仪器、统一计量单位、拟定标准海水等，这些对以后海洋科学发展和调查资料交流起到了一定促进作用。

从十八世纪到本世纪五十年代止，全世界共进行了300次左右以单船走航方式进行的海洋调查。可以认为，对世界大洋及一些主要海域的温度和盐度分布、大型水团属性及海底地形的轮廓性认识，是这一系列调查的主要收获。

随着海洋调查事业的发展，在这期间，整个海洋科学也取得了较大的进展。

在海洋化学方面，人们发现了海水几种主要成分之间相对含量的恒定性，测定了氯度、盐度及密度的比值，测定了海水中各种元素的含量，开展包括海中同位素等的研

究；在海洋生物方面，早期大部分研究工作是在对较大海洋动植物的分类、形态描述，后来进入到对动植物与其物理环境关系的研究；海洋地质学的早期研究工作仅限于浅海，从“挑战者”号作首次环球航行后，才开始深海底质的研究。由于回声测深仪的问世和海底地球物理调查的进行，使人们对海底地貌、地质构造有了较清楚的了解。近代潮汐学研究始于十七世纪后半叶。1687年牛顿用万有引力定律解释了潮汐现象，并提出了平衡潮理论。1776年拉普拉斯创立潮汐动力学理论后，约经过一个世纪，达尔文等研究潮汐推算取得进展，且发明了潮汐计算机，从而建立了近代潮汐预报的雏型。到了本世纪二十年代，由于杜德逊等的继续探索，潮汐科学有了新的进展；波浪的最早研究是牛顿，到1825年，盖斯特奈提出了摆线波理论，1947年蒙克等在对波浪详细研究基础上，提出了可供预报用的理论和方法；海流的研究，1900年海伦-汉生从流场和质量场关系，从质量分布计算了梯度流。厄克曼创立了风海流理论。根据对大洋环流的调查，1950年蒙克提出了风生大洋环流的理论；海洋物理学中的声学、光学、电磁学等的基本理论，直到本世纪二十年代后才有所发展。

三、联合调查时期(二十世纪中叶至今)

本世纪五十年代以后，由于海洋在战略和经济上的意义日趋重要，世界上相继建立了不少与海洋有关的国际机构，并多次组织了规模宏大的国际海洋联合考察。

1955年由美国加利福尼亚大学斯克里普斯海洋研究所发起的“国际北太平洋合作调查”计划，由美、日、苏、加等国的21艘船只参加，调查涉及水文、气象、生物、化学各学科。1957—1958年国际地球物理年和1959—1962年国际地球物理合作联合海洋调查，其规模之大是空前的。这项对世界大洋全面、系统、深入的调查，由十七个国家、70多艘船只参加，重点观测区是南极和北极地带，赤道地区。之后，成立了世界海洋资料中心，使海洋研究进入了新时期。

六十年代，国际海洋联合考察的次数越来越多，手段也越来越新。其中最主要的有：1960—1964年由联合国科教文组织发起的十三个国家参加的(最后增加到二十多个国家和地区)国际印度洋考察，是迄今为止对印度洋的规模最大的一次考察。考察最大收获是从根本上改变了南印度洋长期以来海洋资料奇缺的状况。1963—1965年进行的国际赤道大西洋合作调查，是近年来多船同步观测和浮标阵观测相结合的最先尝试，目的在于验证海流理论和海洋环流模式。从1965年夏季开始，分阶段进行的国际黑潮及毗邻水域的合作调查，由十二个国家和地区的65艘船只参加，这项调查一直继续到1972年，其后还有黑潮调查研究和开发利用的调查工作，其成果主要反映在现已出版的5卷以“黑潮”命名的专著中。此外，1960年在哥本哈根召开了国际海洋学研究政府间会议，组成了隶属于联合国科教文组织的政府间海洋学委员会，现这一机构已成为全世界海洋事业的中心。

七十年代进行的“国际海洋考察十年”计划(1971—1981年)，是整个七十年代国际海洋联合调查的主体，由美、英、法、苏、日、加拿大等三、四十个国家参加。这项计划，据称是“一项世界规模的长期连续考察事业”，整个计划包括海洋环境调查、资源调查、地质学和物理学调查等。海洋环境调查和进行全球性基础研究，是整个计划的重点。另外，在这期间进行的还有“地球动力学”计划(1972—1977)、“深海钻探”计划(1968到现在)……。

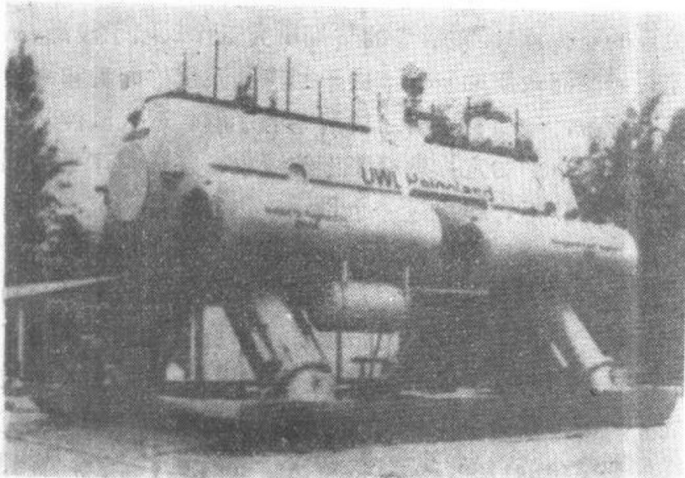


图1-4 “赫尔戈兰”号水下实验室

洋进军中所达到的广度和深度。

由于电子计算机的广泛应用，使海洋数据资料的获取、处理、存贮和转换达到了高度自动化，使过去可望而不可及的海洋数值预报和模拟实验变成了现实。在水声技术方面，利用旁侧声呐进行了大面积的海底地形测量和地貌调查；借助声遥感技术观测海流、追踪潮波的推移过程，已取得了良好效果；声学测波仪、声学验潮仪、声速仪和声速海流计等，是应用水声原理制做的新型海洋测试仪器，也已经投入使用。利用深潜技术研制的载人和无人潜水器、水下实验室、调查潜艇等，正被用来进行各种深度的水下作业，其中有的可以达到大洋的任何深度。1960年美国深潜球“特里亚斯特”号，曾潜入10 919米深的海底，创造了迄今人类下潜的世界纪录。深潜装置的发展，对海洋开展立体观测正起着越来越大的作用。海洋遥感技术，已为研究海洋大尺度过程提供了前所未有的可能性。人们利用微波辐射仪、激光雷达、声学探测器、多光谱照相机和红外传感器，从卫星、飞机上研究海洋，已经取得了十分重大的成就，开创了太空海洋学的新时代。

在海上现场测量方面，海洋调查船仍是主要工具，各种调查船的数量在继续增加，船只性能不断得到改善。在七十年代初，全世界只有1000多艘调查船，1981年已增加到1600多艘。现在，各种性能的调查船和卫星、飞机、海洋浮标、水下实验室、潜水器等相结合，已经组成了从天空、海面到海底的走航、自记、遥测、遥感、遥控的立体海洋监测体系。

调查方式和观测手段的不断更新和发展，有力地推动了海洋科学从描述性的工作向实验性和理论研究的转变，保证了从六十年代以来一些重要的、以大型实验场为重点的海洋科研计划的进行，并取得了丰硕的成果。现简要介绍如下：

(一) 中大洋动力学实验(MODE)

1970年，苏联在全套新技术系统装备下，用几十个大型资料浮标和五、六艘调查船相结合，在北大西洋东部进行了一次以海流观测为主的多边形大洋实验，持续时间达半年以上，共获得100万个以上的测流数据。结果表明，在这个过去认为是弱流（流速1厘米/秒）的海区内，存在着流速约10厘米/秒、相关尺度约100千米、时间尺度为几个月的

上述一系列有计划、有组织的大型海洋考察活动，取得了大量可供对比的基础性资料。为全面认识海洋、开发海洋、以及为海洋科学的发展奠定了新的基础。

随着海洋调查研究的日益频繁，海洋调查研究的技术装备也得到了很大发展和改善。包括电子计算机技术、水声技术、深潜技术、遥感技术、空间技术和激光技术的广泛引进和应用，充分展示了人类向海

涡旋。在大洋中部出现的这类涡旋，即是目前通称的“中尺度涡旋”。之后，1973年3月到6月，美、英、法三国的50多名海洋学家，进一步在北大西洋西部的弱流区内，进行了代号叫“MODE-1”的另一大洋动力学实验。这次实验，同样有几十个浮标、6艘调查船和数架飞机协同配合，并取得了与多边形实验几乎完全一致的结果。后来，从其它资料、包括从“天空实验室”拍摄的照片中也多次得到证实，在别的海区里也同样存在着这类涡旋。

中尺度涡旋具有的动能，约占整个海洋大、中尺度海流动能的99%以上。这一发现之所以重要，是因为它使过去经典大洋环流理论受到了巨大冲击，还使物理海洋学由过去研究平均状况的“气候学”时代，向着研究逐日变化的“天气学”时代迈出了极其重要的一步。这两项大洋动力学实验的结果，已被世界海洋学家公认为是近代海洋学的最大进展。

(二)海气相互作用的实验研究

海洋与大气相互作用实验研究的对象，主要在于同时测定海洋和大气间的热量、动量、水汽等的输送与交换的定量特征及其物理过程。这项研究，以世界气象组织于1962年建立的世界天气监视网计划为契机，通过大西洋巴巴多斯区域的海洋与气象实验、北太平洋实验、全球大气研究计划、全球热带大西洋实验、长期气候变化研究等一系列大规模实验研究，在许多方面已取得了令人鼓舞的进展。值得一提的是通过北太平洋这项实验研究，在确定北太平洋海面温度存在的大尺度异常方面作出了重要贡献。经验证明，这种温度异常，与北美大陆的气候变化关系颇为密切，这就为改进该地区的长期天气预报方法打下了良好基础。

海气相互作用实验研究，采用立体调查越来越成为一种可取的方向。1969年进行的巴巴多斯区域海洋与气象实验中，就投入了24架飞机、12个海洋观测浮标和包括“发现”号、“海洋学家”号在内的10艘装备精

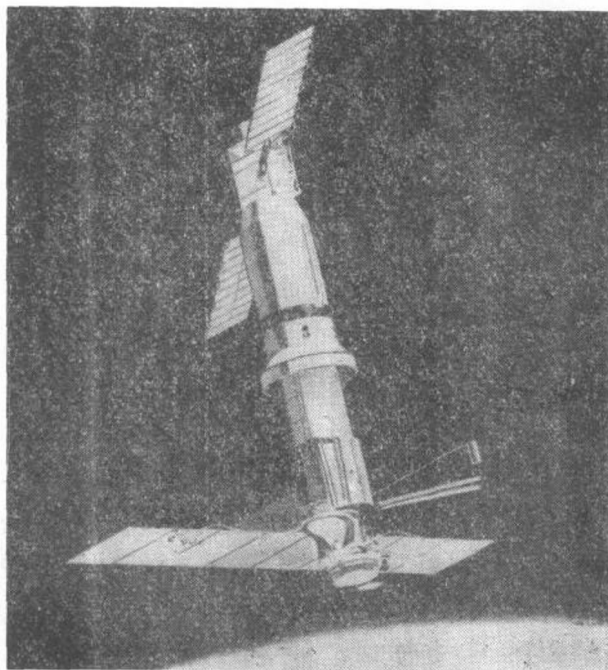


图1-5 海洋卫星A

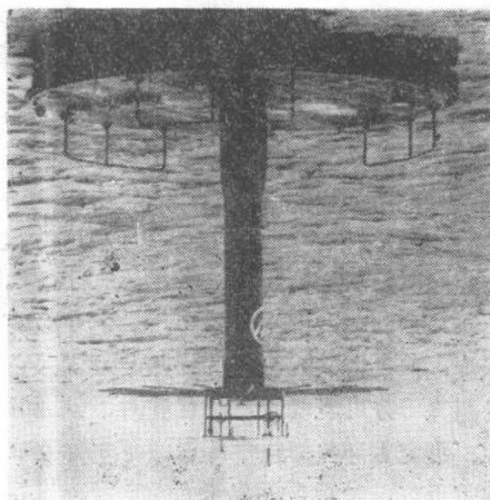


图1-6 海洋浮标

良的调查船,以及“艾萨”、“雨云”、“应用技术卫星”等多颗卫星的配合,对大西洋一块23万平方千米的海域(巴巴多斯岛以东),上至3万米高空的大气,下至5400米的海洋深处开展了立体观测。全部观测资料由电子计算机进行处理。近年,国际上已制订了一项全球大气研究计划,设想在世界海洋上建立船只、浮标、气球、飞机和卫星等组成的观测网点,以收集更大范围的海洋、气象资料。可以预计,此计划实施之后,必将进一步推动海气相互作用的实验研究,并最终达到预测天气和控制气候变化的理想。

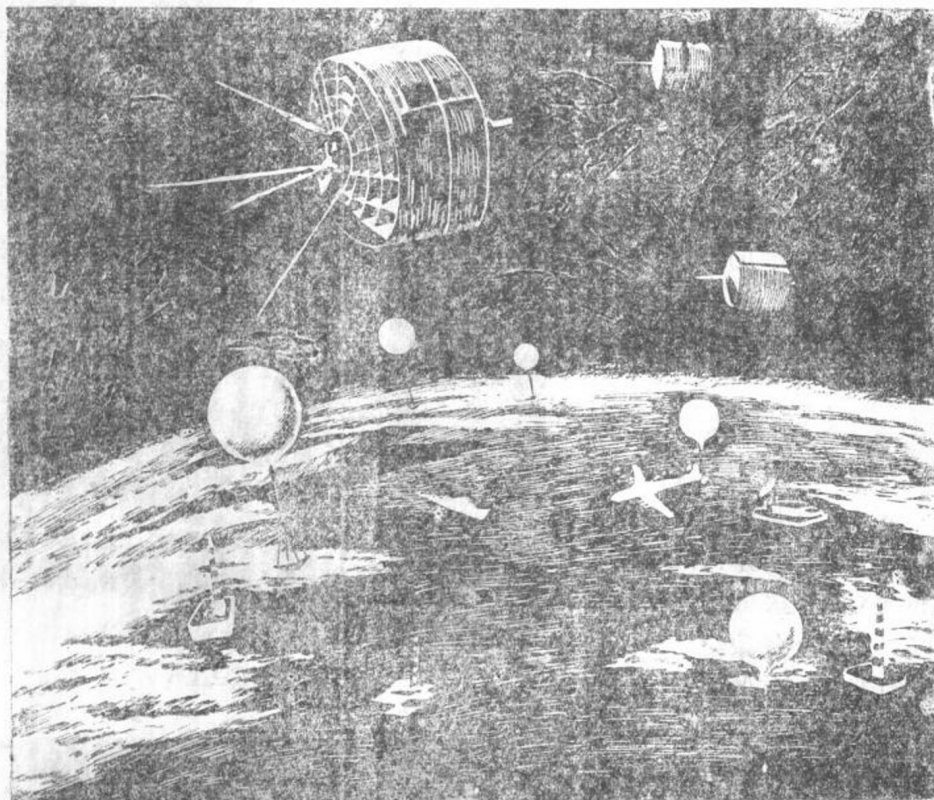


图1-7 海洋立体监视系统

(三) 深海钻探实验研究

从浅层地质向深层地质发展过程中,从1968年起,美国深海钻探船“格洛玛·挑战者”号进行了一项以了解海洋地壳史、海底构造演化过程和海底沉积物的性质、历史等为目的的深海钻探实验研究,简称为“DSDP”。

该船从1968年起的十余年中,先后在除北冰洋以外的世界各大洋共进行了70多个航次的探测,取得海底深部岩芯样品几千米,钻孔最大深度达1500米,提供了洋底结构、矿产资源等十分可贵的资料。这些对于验证海底扩张和板块理论的正确性、预测海底矿产资源、研究古环境海洋学和深海沉积物及成岩作用,都具有巨大的意义。因此,深海钻探实验研究,可称是近年来人类向海洋进军中的一项壮举,也是从六十年代以来地质海洋学的一项杰出成就,它标志着地质海洋学已进入理论探讨的新时期。

与此同时,在海洋各学科的其他方面也都有很大的发展。例如:地质海洋学方面,洋中脊是八十年代重大发现之一。另外,由于海底扩张和板块学说的提出,为地球科学研