

577012



海洋学概论

山东科学技术出版社

海洋学概论

陈宗镛 周天华

山东科学技术出版社

一九七九年·济南

海洋学概论

陈宗镛 周天华

*

山东科学技术出版社出版

山东省新华书店发行

山东新华印刷厂潍坊厂印刷

*

787×1092 1/32 开本 10.5 印张 187 千字
1979年11月第1版 1979年11月第1次印刷
印数：1—1,900

书号 13195·13 定价 0.85 元

前 言

浩瀚无际的海洋，约占地球表面积的百分之七十一。它既是地球上生命的摇篮，又为人类储备着丰富的资源。我们伟大的祖国不仅是地大物博资源丰富，而且有着十分辽阔富饶的海洋。自古以来，海洋就强烈地吸引着人们。我国劳动人民在探索海洋的过程中，曾为人类作出了卓越的贡献。

当前，战斗在海洋战线上的广大干部和群众，特别是海洋科学工作者，正在向海洋科学现代化胜利进军。为了配合向海洋科学进军，我们结合自己教学和科研的实践，并参阅了国内外有关的新资料，编写了这本书。本书较系统全面地介绍了海陆起源及其变迁，海水的物理、化学性质，海洋水文要素，海洋动力现象，海洋生物与沉积，近代的海洋探测；叙述海洋中各种现象之间的联系，以及在地球表面环境变化过程中海洋所起的作用。

本书在编写过程中，得到了赫崇本、文圣常教授的关怀和帮助；苏育嵩、奚盘根、孙秉一、张建华等老师对有关章节提出过不少宝贵意见；张增辉同志还帮助绘制了全部插图，在此，一并致以谢意。

编 者

一九七九年六月于青岛

目 录

第一章 绪论	1
§ 1.1 海洋学的内容和分科.....	1
§ 1.2 研究海洋的意义和重要性.....	5
§ 1.3 海洋调查和海洋学发展简况.....	8
§ 1.4 近代海洋学研究若干问题	15
第二章 地球的结构与世界海洋	20
§ 2.1 地球概观	20
§ 2.2 海陆分布	25
§ 2.3 海底地形	29
§ 2.4 地壳的变迁	35
第三章 海水的组成和盐度	44
§ 3.1 海水的起源	44
§ 3.2 海水的组成	46
§ 3.3 海水的盐度	49
§ 3.4 盐度的变化和分布	52
第四章 海水重要的物理性质	66
§ 4.1 水的结构及其物理性质	66
§ 4.2 压力与海水的压缩性	70
§ 4.3 海水的热性质	73
§ 4.4 海洋声学特性	76
§ 4.5 海水的光学特性	81
§ 4.6 海水的密度	88

第五章	海洋的热平衡与海水的温度	91
§ 5.1	地球的辐射平衡	91
§ 5.2	海—气界面能量和质量的迁移	96
§ 5.3	海洋的热收支	102
§ 5.4	海水的温度	107
§ 5.5	海冰	111
第六章	海洋层理与水团	116
§ 6.1	温度、盐度和密度的变化及其分布	116
§ 6.2	温度、盐度跃层与海水混合现象	123
§ 6.3	位温与铅直稳定度	127
§ 6.4	$T-S$ 图解与水团	132
第七章	海洋动力学基础	140
§ 7.1	若干基本概念	140
§ 7.2	重力场	142
§ 7.3	压力场	145
§ 7.4	摩擦力、层流及湍流	148
§ 7.5	地球自转与柯氏力	153
§ 7.6	海洋动力学基本方程	157
第八章	海流	161
§ 8.1	海流的测量及其表示方法	161
§ 8.2	密度流	165
§ 8.3	风海流	172
§ 8.4	海洋环流	178
§ 8.5	海洋的细微结构与中尺度涡旋	186
§ 8.6	上升流	192
§ 8.7	惯性流	194
第九章	海波	198
§ 9.1	概论	198

§ 9·2	风浪与涌浪·····	210
§ 9·3	一种经典的波动理论·····	213
§ 9·4	波动的能量和水质点的运动·····	219
§ 9·5	近岸波与海滩·····	224
§ 9·6	海波谱·····	229
§ 9·7	风暴潮·····	234
§ 9·8	内波·····	239
第十章	海潮 ·····	243
§ 10·1	潮位与潮流·····	243
§ 10·2	潮汐现象的原动力·····	252
§ 10·3	引潮力与引潮势·····	255
§ 10·4	分潮·····	263
§ 10·5	潮汐分析和推算原理·····	267
§ 10·6	潮波运动·····	271
第十一章	海洋生物、沉积 ·····	285
§ 11·1	海洋生产力与食物链·····	285
§ 11·2	浮游生物与环境·····	290
§ 11·3	海洋的生物资源·····	293
§ 11·4	海洋沉积·····	297
§ 11·5	富饶的海底矿物资源·····	300
第十二章	近代海洋探测 ·····	305
§ 12·1	海洋调查(探测)的目的和要求·····	305
§ 12·2	遥感技术在海洋调查中的应用·····	308
§ 12·3	水声技术的应用·····	311
§ 12·4	海洋浮标站网·····	313
§ 12·5	海洋探测的特点·····	315
附录:	若干常用数据和有关单位的换算 ·····	320
	参考文献 ·····	323

第一章 绪 论

§ 1.1 海洋学的内容和分科

海洋科学，是一门研究世界海洋中发生的各种现象的变化规律及其与环境之间相互关系的各门学科的总称。它有许多分支，如海洋物理学、海洋化学、海洋生物学、海洋地质学^[1,2]等等。近年来，还流行“空间海洋学”一词。其实，它只是通过激光、遥感技术等空间新技术对海洋进行调查研究的一种手段，其成果丰富了人们对海洋的认识，促进了海洋科学的发展。另有“底层海洋学”、“浅海海洋学”、“微海洋学”等不一而足，它们只研究全球海洋中的局部区域的问题或个别问题。本书主要论述世界海洋中的一般现象和基本规律，阐述它们之间的联系，为开展海洋科学的研究提供一些基础知识。

海洋物理学的内容十分丰富。它包括海水物理性质和海洋动力学两大类。海水物理性质方面，主要有海水的温度、盐度、密度、海洋声学 and 海洋光学等内容。海洋声学是随着潜艇的出现而迅速地发展起来的。它是研究声波在海水介质中辐射、传播和接收的规律，并研制在国防、航海、渔业、海洋开发和进行海洋研究有关的水声设备。近年来，它侧重于浅海声场规律的研究，因为浅海资源丰富，又是战略航道的

所在地，引起人们的高度重视。海洋光学的研究历史比前者为短，一直到 60 年代，才发展到比较成熟的阶段。它是研究光在海水中的传播、吸收、散射过程以及与海水中溶解物质和悬浮体之间关系的一门学科。随着空间遥感技术的出现和激光雷达的应用，海洋光学已成为现代海洋探测的一种有效手段。它对开发与利用海洋起着重要作用。海水含有大量电解质，它们大多数是以离子状态存在，因此，测量海水的相对电导率，是近年来测定海水盐度的一种标准方法。海洋的地磁变异很早被人们所注意。地磁学的分支——古地磁学，已经成为探索海洋发展历史的有力工具。近几十年来，海洋地球物理及其有关规律的研究，是海洋科学中的一个活跃的领域。

海洋动力学是海洋物理学中的另一个广阔天地。它又可分为海浪、潮汐、海流等学科。它们都是以海洋中的动力现象为研究对象，力图阐明其生成机制，预测它们随时间、地点的分布和变化规律。其中，潮汐学历史悠久，已能作出超长期的和比较可靠的预报。海浪预报的服务工作，在许多国家也已经开展起来，并取得了一定的成果。关于海流的研究，以大洋环流为例，50 年代之前基本上处在建立一般海流模型和对某些观测资料进行统计的阶段，并根据其统计和分析结果，研究海洋环流的平均状况。有人把这阶段的研究比喻为大洋环流的“气候学”阶段。由于海流的流动及其变化，直接影响海区的水文状况，所以，海洋环流的研究是海洋水文物理学的中心课题^[2]。近 20 多年来，特别是进入 70 年代，通过国际联合调查以及专题调查和现场实验，发现大洋环流的弱

流区存在一种空间尺度为几百公里、时间尺度约为数月、流速大致为 10 厘米/秒的中尺度涡旋。它类似于大气中的气旋和反气旋。随着涡旋的生成和消衰，该区域的水文状况亦将发生相应的变化。因此，使得海洋水文物理学的研究进入了“天气学”阶段。研究中尺度涡旋，可为进行海洋水文要素和海洋环境的预报服务，也可为海—气相互作用的研究提供某种依据。

海洋化学是研究海洋环境中所发生的化学过程的学科。它以研究海水的成分、结构以及组成海水的各种元素的性质，及其存在形态和分布变化规律为其主要内容。海洋化学的研究必然要涉及到海洋大气、海洋生物、海洋底质中有关化学过程等问题。上世纪末和本世纪初叶，海洋化学主要是研究海水的组成及其分布，并提出了氯度、盐度的概念和精确测定氯度、盐度、碱度、溶解氧、以及氮、磷、硅等营养盐类的方法。这些工作一般是为海洋物理、海洋地质和海洋生物提供它们所需要的化学数据。40 年代以后，随着新技术的引进，对无机元素、放射性元素和有机物质在海洋中的化学变化过程的研究，迅速地发展起来了。从而使得由原先仅对水化学本身作定性的描述，发展到对海洋中各种化学过程进行定量研究的阶段。其中，海洋无机元素地球化学、海洋放射化学、海洋物理化学、海洋有机化学、海洋分析化学、海洋资源化学等方面发展尤为迅速，从而，特别受到重视。通过对这些问题的研究，不仅为海洋学及其它分支，同时也为海洋资源的开发和利用，提供了科学依据。

海洋生物学是研究海洋动、植物的生长、发育、繁殖及其与海洋环境之间关系和海洋生物区系的学科^{[1](a)}。后者，近年来的发展尤为迅速，叫做海洋生态学。它把生物群落和海洋环境作为一个整体的生态系，研究各种生物之间以及生物与环境之间的内在联系。为了了解海洋中的生物学系统，必须知道影响海洋生物的生活、成长和繁殖的物理过程和化学特性。一些海洋生物学家认为，了解各种海洋环境中生物和生态系如何起作用是现代海洋生物学的基本课题。海洋生物学的一个重大应用问题，是如何估算关于海洋的生产力问题。它主要是对一种体型极为细小的海藻类(硅藻、甲藻等)进行研究，估算它们通过光合作用能够制造多少有机物质。现在已经知道，海洋有机物生产能力等于陆地生产力的两倍以上。通过对海洋生产力的研究，可以对整个海洋的鱼类资源等的储存量和生产量作出科学的估算，以便进行合理的捕捞。海产动、植物如何进行养殖，才能增产高蛋白的鱼、虾、贝等，是一个受人们普遍重视的课题，希望通过大量养殖，有助于解决人类食用蛋白的来源问题^{[1](a)}。

海洋地质学是研究海岸带和海底的地质、地貌的一门学科。近 20 年来，海洋地质学把地球作为一个整体进行研究，以便阐明地球的结构和演化历史，也可为开发与利用海洋矿产资源和预报地震服务^{[1](b)}。关于海洋的起源和变迁，一直是海洋地质学的重大课题。在这一方面，已经取得显著的成果，建立起了新的全球构造学说。它是大陆漂移、海底扩张和大地板块结构学说发展而来的。这一学说指出：大洋中央

海岭(亦称洋中脊)不断地有岩浆涌出,随着岩层向外推移乃形成新的洋底,旧的洋底向海沟移动,并潜入地下,完成物质循环。这一学说,已被深海钻探、人造卫星的精确测量所证实。许多地质学工作者,引用这一学说解释了许多重要的地质和地震的现象,并用以探讨海洋矿产资源的形成和蕴藏规律等问题。

应该提到的是,对海—气相互作用的研究,是一个介于海洋学和气象学之间的重要研究领域。其目的之一,是为了作出较为可靠的气候预报,以便为工农业生产服务。另外,由于防止污染人类环境的呼声日益高涨,海洋环境科学也逐渐被人们所重视。它主要是研究污染物质进入海洋的途径,污染物质如何进行扩散、它们对生物发生的影响和危害,以及如何威胁人类的健康等为主要内容,以便提出保护海洋环境的具体措施,从而,更好地开发和利用海洋,以及保证人民的身体健康。

总起来说,海洋科学是一门综合性很强的、并正在发展中的基础学科。为了解决和海洋有关的课题,必须研究海洋,掌握海洋整体和其中各种现象的变化规律,以便为祖国的社会主义建设事业服务。

§ 1.2 研究海洋的意义和重要性

全面地认识海洋,是为了进一步认识地球的。地质学在其二、三百年的发展历史中,主要是以大陆的地质调查资料作

为他们研究的基本依据，只是近二、三十年来，海洋地质学和海洋地球物理学的迅速发展，才推动了地球科学把大陆、海洋作为一个整体来进行研究。可见，没有海洋地质学和海洋地球物理学的深入研究，就不会有新的全球构造学说的诞生。

研究海洋，还在于她拥有丰富的宝藏，可造福于人类。但在茫茫的海底，如何探矿，怎样找出矿产的分布规律并探索其生成机理，这些都与海底构造和沉积物有关。而从大陆地壳到大洋地壳的过渡带是大陆架的所在地。它是临海国家的国防前哨和交通大道，在这里有丰富的渔业资源。据估计，大约 90% 的海洋食物来源于大陆架及其邻近海湾。大陆架还蕴藏着丰富的石油，其储藏量约 1000 亿吨以上。目前，已大约有 35 个以上的国家在开采海底石油。

海洋底锰结核，它象“土豆”般的模样，在许多海底比比皆是。仅太平洋就蕴藏 16000 多亿吨。其中锰含量最多，约为 4000 亿吨，另有镍 160 亿吨，钴 100 亿吨，铜 90 亿吨，还有铁、锆等 20 多种有用元素。这种矿藏的特点是再生能力很强，每年的增长速率约 1000 万吨以上，它是人类的一种巨大财源^{[1](b)}。

海底还有一种含多金属的软泥。它也是一种海洋资源，目前虽然尚处在调查和研究的阶段，但很有发展前途。

海洋中还蕴藏着无数的化学资源。一立方公里的海洋就含有大约 3500 万吨固体的无机物质。其中，主要是食盐、镁盐等多种元素。核燃料—铀，随着原子能工业的发展，需用量日益增加。海水中铀的储藏量也十分丰富，约有 40 多亿

吨，远远多于大陆上已探明的蕴藏量。提取铀可用一种叫做钛酸的吸附剂，一克钛吸附剂可以吸附铀 500 微克，还有其它多种提铀方法。目前，正在研究如何向着工业生产的方向发展。

我国实现农业现代化，需要大量化肥。其中以氮、磷、钾最为重要。石油、天然气是氮肥的主要原料，而磷钙石在大陆架上蕴藏有 3000 亿吨，以目前全世界的开采速度，足够人类开发几百年。钾在海洋中的总量近 560 万亿吨。我国目前尚未发现大储藏量的可溶性钾矿，而主要是从晒盐的苦卤中提取，其产量不能满足工业生产的需要。因此，努力开发钾源，发展钾盐工业，是加快农业现代化的重要任务之一。

海洋生物资源种类繁多。我国早在战国时代，许多沿海的国家，即以兴“渔盐之利”，视为“富国之本”。根据青州府志记载，当时鱼网很长，每网可得杂鱼数万尾。目前，全世界总渔获量约 7000 万吨，其中约 80% 为海产鱼类，即年产量为 5000 万吨左右。据研究，世界海洋鱼类资源潜力约为一亿多吨，因此，在海洋中的捕鱼量还可提高一倍左右。其中，大陆架是最重要的渔场。我国大陆架十分宽广，发展海洋渔业，大有潜力。

海洋生物资源的开发利用，近年来发展到一个重大的转折时期^{[1](a)}，如同陆地上由采捕野生植物和动物为生过渡到耕作和畜牧业的时期一样，人类不久的将来，将会进入一个“耕海”时代。如果说深耕细作、科学种田带来了陆地上的“绿色革命”，那么，海洋植物的精心养殖和培育，必将带来一

场海洋中的“绿色革命”。为了发展海洋养殖事业，就要开展对海洋环境和生物过程的研究。只有这样，才能进行科学养殖，从而，大幅度地提高产量，为人民提供更多的鲜美可口的海产品。

研究海洋的意义，还不仅仅在于此。对于我国来说，万里海疆是抵御外来侵略的海防前哨。为了能让英雄的人民海军安全地进行海上活动，必须提供海上风云变幻和海中流、浪、潮等有关资料；为了进行“反潜战”，必须掌握海洋各个深层的水文状况的变化和海水传声的规律，以便及早发现敌人，消灭敢于来犯之敌。

综上所述，研究海洋，是为了进一步认识海洋，让海洋更好地为人类服务。

§ 1.3 海洋调查和海洋学发展简况

要认识海洋，必须对她进行调查研究。早期，人们通过海上实践，逐渐认识了海洋。在秦、汉时代，我国就有船只远涉印度洋，取得了进行大洋航行的经验。明代郑和(1405~1433年)，近30年间七次往返于南太平洋和印度洋一带，人员多至27000人，盛况空前。在他出使的船队中，有天文、气象知识和航海经验的技术人员。他们除了靠罗经导航外，还充分运用了“日上看风、看云”，“夜来观星、观斗”等广大群众在实践中积累起来的观天经验，从而保证了航海的安全。

郑和远航，还成功地利用了我国沿海、南海、印度洋的

信风和风海流。比如，他们出使时间，往往选在9、10月，这时正值北风初盛；而从南洋、印度洋动身返回的时间，总是选在4月至7月间，利用了印度洋的西南季风和海流。这样，基本上做到顺风、顺流，有利于航行。在航行期间，规定要沉绳海底，探测深浅，又钩取底泥，借以帮助判别船只所在的地区和位置。他们以60里为一更，顺风时一昼夜航程为10更；又定8尺为一托，经常打量航道深度为几托，以免触礁和搁浅。此外，还十分注意潮位、潮流和底质的情况。这就是郑和船队在“鲸舟吼浪泛沧溟，远涉洪涛渺无极”的险恶环境中，能往来自若的原因之一。

郑和船队，最远到达非洲东部，并发现马达加什岛，这里离非洲的最南端好望角已经不远了。他们七下西洋的实践，为人类认识海洋积累了大量极其宝贵的资料。他们写下的史籍，是亚非各国古代历史地理和海洋科学知识的重要著作。

继郑和远航后的半个多世纪，在1486年，葡萄牙人迪亚士才绕航好望角，到达印度洋。1519~1522年麦哲伦环球航行的成功，人类终于以亲身经历，证明大地是圆球形的。嗣后，欧洲各国海洋探险事业日渐兴盛起来。

英国柯克船长于1755~1779年期间，对世界各大洋进行过三次探险，了解到北半球、南半球海陆分布不均匀，至此，除南极外，已经完成了世界海洋的地理探测工作。1777年富兰克林发表了墨西哥湾流图，可供北大西洋航行船只作选择航线的参考。1819年马塞特指出海水组成的恒定性；

1820年发现南极大陆；1855年穆利著了《海洋自然地理》一书，详细介绍了海上气候与海流的有关知识。以上成果，对海洋科学的建立都作出了贡献。

近代，作为第一次进行海洋综合调查的首推英国《挑战者》号。该船排水量2306吨，有六名科学家参加工作。《挑战者》号于1872年12月离开英国，1876年5月返回。历时三年多，航程68890海里，对大西洋、太平洋和南大洋进行了大量调查，并陆续发表了调查成果。下面是《挑战者》号在153测站的部分调查记录：

1874年2月14日，北纬 $65^{\circ}24'$ ，东经 $79^{\circ}49'$ 。中午气温 33.0°F ①，日平均气温 32.5°F 。水温，海面为 29.5°F ，100呎②为 29.0°F ，海底 33.0°F 。

温度 60°F 时，海洋表面海水的密度为1.02413；海底海水的密度为1.02567。

上午4时经过冰山(图1—1)。5时，看到15座冰山……。

他们发表的调查成果，从1880~1895年期间出版50卷，总共有29500页，插图3000多张。这对近代海洋学的创立起到了重要的作用。

在《挑战者》号进行综合调查后，德国、挪威等国也都进行了大洋调查。以挪威1893年“佛兰姆”号为例，她深入千里冰封的北冰洋，到达北纬 $86^{\circ}14'$ ，这里已经离北极很近了。著名的海洋学家南森经过调查研究，发现流冰的方向总

① F为华氏温标，它与摄氏温标的换算公式为： $(^{\circ}\text{C}) = (^{\circ}\text{F} - 32) \frac{5}{9}$ 。

② 1呎=1.83米。