

海洋科学概论

陈宗镛等 编著



青岛海洋大学出版社

海洋科学概论

陈宗镛等 编著

青岛海洋大学出版社

鲁新登字 15 号

海洋科学概论

陈宗镛等 编著

*

青岛海洋大学出版社出版发行

青岛市鱼山路 5 号

邮政编码 266003

新华书店经销

青岛海洋大学出版社文字处理中心排版

山东电子工业印刷厂印刷

*

1992 年 7 月第 1 版 1992 年 7 月第 1 次印刷

32 开本(850×1168 毫米) 12 印张 3 插页 290 千字

印数 1—2500

ISBN 7—81026—027—8/P·3

定价:4.90 元

青岛海洋大学
物理海洋学教材编审委员会

主任:文圣常

副主任:施正铿 陈宗镛

委员:(按姓氏笔划)

王化桐 王景明 冯士筭 余宙文

苏育嵩 苏纪兰 俞光耀 秦曾灏

景振华

前 言

人类社会面临人口膨胀、资源紧缺和环境污染等一系列问题，海洋的开发利用是解决这些问题的一个重要途径。自70年代以来，沿海各国纷纷划定二百海里专属经济区，到1990年已有80多个国家和地区宣布建立海洋经济区。许多国家扩大并深化对海洋开发利用的领域，加强对海区的宏观控制和海区功能区划，并进行海洋基础理论的调查研究。

我国濒临西太平洋，跨越热带、亚热带和温带三个气候带，大陆架宽广，15m等深线以浅水域和滩涂面积约2亿亩，1989年海水养殖产量为1979年年产量的3.7倍。沿海主要港口码头泊位1240个，海运商船总吨位列居世界第八位，海盐年产量1300多万吨，一直保持世界第一位，近海油气田资源约为90—180亿吨，具有良好的开发潜力。总之，近年来我国海洋产业正在崛起，前景十分广阔。

海洋开发的历史表明，对海洋进行开发利用的成功与否，往往不仅取决于科学技术和管理水平，在很大程度上还依赖于对海洋环境要素分布变化规律的掌握。没有深入而全面地了解海洋状况，特别是不掌握物理海洋要素，例如流、浪、潮和风场等方面的系统知识，要想作出科学的结论是不可能的。因此，在对物理海洋进行系统研究的基础上建立海洋经济开发水域的环境综合保障及其预报体系，是进行海洋开发的一个重要条件。海洋所发生的各种物理过程，其中有不属类型、不同尺度的海水运动。如海洋密度分布不一致产生的“热盐环流”，由海面风应力驱动的风生流和风生环流，由天体引潮力所产生的潮波运动，因各种扰动而产生的风浪、涌

浪、惯性波、行星波等多种波动,以及因上述种种运动所产生的湍流、混合等等,它们是使得海洋环境发生变化的基本动力或原因。这些动力学现象由于它们和海洋生产活动息息相关,很早便受到人们的关注,从学科发展来看,它们历史较长,研究的比较深入和系统,已建立了各自的体系。

我校物理海洋学和海洋气象学系,前身为原山东大学海洋系,她成立近40年了。早在1952年第一任系主任赫崇本教授便卓有远见地把动力海洋学分成海流、潮汐、海浪三门独立的课程进行讲授,使得这些分支学科发展较快,形成了各自的系统,并出版了专著;它们已能直接为生产、海防、航海等方面服务。嗣后,又有风暴潮、海雾等方面的专著问世。如今,浅海动力学、内波和海洋细微结构、海气相互作用、海洋热学和水团等方面的研究均取得一定成果。上述工作为我们编写一套物理海洋学教材打下了良好基础。

开发利用海洋、开展海洋研究工作离不开人才的培养,而人才的培养又离不开教材,要想编写出既能总结本学科的知识体系的精华,又能反映当代本学科发展水平的教材是不容易的,我们愿为此作出努力。

本系列教材不仅适用于大学本科生的学习,对于海洋科学技术的研究、海洋环保、海洋工程、海洋水产、航海和从事管理、应用等方面的工作者均有参考价值。限于编著者水平,不恰当和错误之处,请读者批评指正。

文圣常

1990年10月于青岛

编者的话

一、本书是集体编写的,分工如下:

第一章绪论,第二章地球及其海洋,第三章强迫函数和响应,第五章海水运动的基本方程,第七章海洋波动(I),第八章潮汐,第十五章九十年代海洋科学研究的若干问题由陈宗儒执笔,并负责全书总纂。

第六章海洋波动(II),第九章海流,第十章海水的混合与水团由王凤钦执笔;其中,§ 6.4 内波、§ 6.7 波谱简介,分别由方欣华、张大错执笔。

第四章海水若干重要的理化特性,第十一章海洋环保,第十四章世界大洋和中国海,由周天华执笔。

第十二章海洋地质,第十三章海洋生物分别由朱而勤、林泰禧执笔。

二、鉴于中国大百科全书有一定的权威性,本书名词、术语和有关数据,多引自该套全书。比如:天文学卷,力学卷,环境科学卷,固体地球物理学、测绘学、空间科学卷,特别是《大气科学·海洋科学·水文科学》(本书简称海洋科学)卷;由于引用甚多,未能将全部有关条目的作者一一列入参考文献。在此,对他们表示衷心感谢!

三、本书由张增辉绘图,在此致以谢意!

1990年10月于青岛

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1.1 近年来海洋科学研究进展	(1)
§ 1.2 研究海洋的现实意义	(6)
§ 1.3 海洋调查研究简史	(8)
§ 1.4 我国近代海洋科学调查研究概况	(12)
第二章 地球及其海洋	(17)
§ 2.1 地球系统	(17)
§ 2.2 地球的起源和演化	(20)
§ 2.3 地球的运动及其效应	(21)
§ 2.4 地球的构造	(24)
§ 2.5 地表形态及其划区	(28)
§ 2.6 海与洋	(32)
第三章 强迫函数和响应	(36)
§ 3.1 牛顿引力场	(36)
§ 3.2 辐射	(38)
§ 3.3 风应力和大气压力	(42)
§ 3.4 地应力	(45)
§ 3.5 引潮力	(49)
第四章 海水若干重要的理化特性	(54)
§ 4.1 海水的组成和盐度(PSU).....	(54)
§ 4.2 海水状态方程式	(59)
§ 4.3 海水的热学性质	(66)

§ 4.4 海水的声学特性	(69)
§ 4.5 海水的光学特性	(79)
§ 4.6 海水	(86)
第五章 海水运动的基本方程	(93)
§ 5.1 海水静力平衡和稳定度	(93)
§ 5.2 连续方程与动量方程	(100)
§ 5.3 湍流(雷诺)方程	(100)
§ 5.4 浅水方程	(108)
§ 5.5 盐量守恒方程	(111)
§ 5.6 边界条件	(113)
第六章 海洋波动(I)	(117)
§ 6.1 概述	(117)
§ 6.2 小振幅重力波	(119)
§ 6.3 有限振幅波动	(129)
§ 6.4 海洋内波	(131)
§ 6.5 风浪与涌浪	(138)
§ 6.6 浅海和近岸的海浪	(142)
§ 6.7 波谱简介	(148)
第七章 海洋波动(II)	(152)
§ 7.1 长波及其能量	(152)
§ 7.2 开尔文波	(156)
§ 7.3 一种庞加莱波	(159)
§ 7.4 泰勒问题	(164)
§ 7.5 罗斯贝波	(167)
§ 7.6 陆架波	(169)
第八章 潮汐	(173)
§ 8.1 潮汐的实质	(173)
§ 8.2 潮汐有关的天文知识	(176)

§ 8.3 引潮力的初步展开	(180)
§ 8.4 分潮	(183)
§ 8.5 实际潮汐现象的若干说明	(187)
§ 8.6 世界海洋的潮汐	(191)
§ 8.7 潮汐表	(193)
第九章 海流	(196)
§ 9.1 海流的成因和表示方法	(196)
§ 9.2 海水受力分析	(197)
§ 9.3 地转流	(201)
§ 9.4 风海流	(208)
§ 9.5 风海流的副效应	(213)
§ 9.6 惯性流	(215)
§ 9.7 大洋风生环流理论简介	(218)
§ 9.8 世界大洋上层主要环流	(220)
§ 9.9 热盐环流	(229)
§ 9.10 大洋中尺度涡	(234)
第十章 海水的混合与水团	(236)
§ 10.1 海水混合概述	(236)
§ 10.2 海水混合的区域性	(238)
§ 10.3 混合效应及其分布变化	(240)
§ 10.4 海洋水团	(242)
§ 10.5 水团的分析方法	(244)
§ 10.6 海洋细微结构	(250)
第十一章 海洋环保	(253)
§ 11.1 海洋环境	(253)
§ 11.2 石油污染	(256)
§ 11.3 赤潮	(257)
§ 11.4 海洋环保法	(259)

§ 11.5 海洋自净能力	(260)
第十二章 海洋地质	(264)
§ 12.1 基本概念	(264)
§ 12.2 海底地形	(265)
§ 12.3 板块构造概述	(271)
§ 12.4 海洋沉积	(279)
§ 12.5 近代海洋地质进展	(286)
第十三章 海洋生物	(295)
§ 13.1 研究概况	(295)
§ 13.2 海洋生物学的研究内容与分科	(300)
§ 13.3 海洋生态	(301)
§ 13.4 海洋游泳生物	(303)
§ 13.5 海洋浮游生物	(307)
§ 13.6 海洋底栖生物	(309)
§ 13.7 海洋生物资源	(314)
§ 13.8 海洋生物的危害	(317)
§ 13.9 海洋生物资源开发	(319)
第十四章 世界大洋和中国海	(322)
§ 14.1 世界大洋的水温和盐度	(322)
§ 14.2 海水的密度和海洋层结	(340)
§ 14.3 中国海	(347)
第十五章 九十年代海洋科学研究的若干问题	(355)
§ 15.1 全球变化和海平面上升	(355)
§ 15.2 厄尔尼诺和南方涛动	(357)
§ 15.3 海洋监测与高技术群	(360)
§ 15.4 九十年代海洋研究的特点	(362)
主要参考文献	(364)

第一章 绪 论

海洋科学是关于海洋各种现象的性质、组成、分布、结构、成因、演变规律,及其与开发利用有关的知识体系。它是由海洋物理、化学、地质和生物等分支学科组成的。海洋以其富饶的资源、广阔的开发前景而具有诱人的魅力,它对人类的重要性,随着时光的推移,将与日俱增。

我国拥有 960 万 km^2 的大陆国土,还拥有 300 多万 km^2 的海洋国土。我国最南端的国土不是海南岛的天涯海角,而是南沙群岛的曾母暗沙(4°N)。我们要象重视陆地那样重视海洋国土。我国已经在南沙建成一个海洋水文气象观测站——“永暑礁海洋站”,工作两年多,获得了大量的珍贵资料。综合开发海洋,发展沿海经济是我国现代化的战略指向,为此必须提高全民族的海洋意识,重视海洋科学的教育,提高海洋科学的研究水平。

§ 1.1 近年来海洋科学研究进展

热带海洋研究是近年来海洋研究的“热点”之一。由于它面积辽阔,吸收了到达地球表面大部分的太阳能,并为大气提供一半以上的水汽量。因此,热带海洋对地球大气和气候变化无疑有很重要的作用。现在人们业已揭明,海洋在全球环境变化中起着关键性的作用,大尺度海—气相互作用既是引起季节性的天气变化和长期气候变异,也是引起南、北半球气候变化不对称性的原因之一;其形成机理,仍有待于进一步研究^[61]。比如,海洋与大气相互作用

和海陆分布不对称性如何改变气候的进程,厄尔尼诺(Elnino)与拉尼娜(Lanina)现象*,南方涛动与北方涛动为何出现不规则的年际变化,大洋环流如何影响大气中 CO_2 和其他与温室效应有关气体的含量,地球热平衡过程,海洋究竟输送多少热量以及海洋中的生物过程如何影响全球的气候等等都是90年代需要进一步探索的课题^[2]。

上述大尺度海气相互作用的研究,与物理海洋学关系密切。它包括1. 热带海洋——全球大气计划,2. 世界环流实验和全球能量以及水循环实验计划,从1985年开始,将持续十年左右的时间,其目的之一是进一步认识海洋在全球气候系统中的作用。具体任务是研究大尺度海——气相互作用的定量关系,比如通过某些界面的热量、动量、能量、含水量和化学物质的传输,估价海洋和大气中发生的与气候有关的反馈作用;了解发生在海洋表层附近和深层影响生物和化学物质的交换、富集程度以及分布状况的过程。当然,与此同时还得进一步研究全球海洋结构及其动力学,才能更深入地揭示出海洋与气候的关系^[3]。

海洋里大、中、小尺度现象和过程并存。后者包括涡旋、锋面、内波、温跃层、边界层、细微结构、混合、湍流等。对这些过程的研究有助于阐明某些大尺度过程的机理,为建立大尺度模型提供物理基础和必要的参量^[14]。

物理海洋学研究的另一重点是沿岸、近海和陆架海洋学。这是因为海洋法已为多数国家所承认,许多国家已宣布拥有200 n mile(海里)经济专属区的所有权,而人们当前开发利用海洋资源主要是在浅海进行的,其研究内容主要有风生流,热盐环流、海浪、潮流、上升流、河口流、潮汐与海平面变化、风暴潮、水量平衡、陆架

* 二者均为西班牙语译音。前者为圣婴,后者为女婴。二者在海——气相互作用的过程中表现相反,故后者也有人称为反厄尔尼诺。

波、水底边界层等^[13]。

以上研究内容,其重点在于掌握各种现象的变化规律,作出物理海洋主要要素的预测和预报,为海洋环境要素和全球气候预测提供预报模型和成果。

全球性变化不仅反映在物理过程中,且与海洋化学、海洋生物学、地质过程等都有着密切的关系。为此制定了国际地圈、生物圈计划(IGBP)^[38]。它的基本科学思想是:从大气圈、水圈、岩石圈和生物圈之间的相互作用,从研究物理、化学、生物、地质过程之间的相互作用来了解整体地球的变化。开展全球变化的研究是科学知识累积的结果,这是科学家们对地球环境认识的一次飞跃;其中既有自然本身的变化,又有由于人类活动引起的变化,二者相互影响,互为制约。必须将大气圈、水圈、岩石圈和生物圈看成一个系统,从整体的角度进行研究,探索它们的相互关系和耦合作用,才能提高对地球环境的认识,提高人类防御自然灾害的能力。看来人们在重视资源开发的同时,向加强海洋基础研究的方向发展,这是个十分重要的特点。

国际地圈——生物圈研究的核心计划是全球海洋通量联合研究,其目的是搞清大洋中的生物地球化学循环所起的作用。据现有的资料分析,海洋大约吸收了人类活动所产生的 CO_2 含量的一半,这与春季浮游植物在海洋表层大量繁殖有关。但在其死亡之后,大部分植物聚集形成较大群体而下沉,使含碳物质沉入海底。当海洋浮游植物繁殖时,释放出有关气体的氧化物在大洋表面形成气溶胶质粒。这些物质对全球气候究竟产生什么影响,都是正待研究的问题。

上述计划近期主要活动之一,就是研究海洋生物圈与大气的相互作用。这是因为海洋生态系统的形成是水体运动、辐射和化学元素分布之间相互作用的结果。它的维持和变化取决于碳、营养元素和主要气体的生物地球化学循环以及透光层的环境。人们必须

了解更多的有关海洋中的物理、化学和生物学相互耦合的基本过程的知识,才能更好地模拟全球系统中各个分量的变化规律。

海洋物理、化学环境的变化、必然影响到海洋植物和动物种群。为了研究海洋动植物对这种变化的响应程度,人们提出全球海洋生态系动力学计划。它是 90 年代海洋科学的前沿之一,其实质是海洋科学和生物学的交叉领域,其目的是定量地研究全球尺度的海洋生态动力学,包括生物生产力增补过程和完整的食物链;定量研究海洋生物物种与化学物质的产生、分布及其变化中起重要作用的物理、化学和生物过程。

海洋生物利用工程的研究,从海洋生物活性物质中提取抗菌、抗病毒、抗癌物质和降血脂药物,为人类健康服务,意义重大。此外,海洋生物遗传工程的研究成果和应用也取得了一些重大突破,如生长激素基因的研究等。

海洋中的物理、化学、生物过程与海洋地质也有着密切的联系。为了搜集第一手资料,了解大洋地壳的生成和演化,确定最新的地质作用过程,进行全球规模的古环境,古海洋学及古气候的对比,并建立各类相应的模式。美、英、法等 12 个国家于 1981 年发起组织大洋钻探计划(ODP),它自 1985 年实施以来,在世界大洋数十个地点布设上百个钻孔,采集岩芯数万米,进行环地中海陆地及海洋沉积记录的同位素、生物、地磁及化学等方面的地层学研究。获取有关大洋、大气环流模式,冰量及古海平面变化的重要资料,并研究海底扩张中心地壳增生过程,钻透了一个在板块消亡区中将两个汇聚板块分隔开的滑脱面。在巴拿马盆地钻孔深度 1562m。在秘鲁大陆边缘获取的资料,能确定出全新世沿岸上升流起始的时间。在威德尔海研究了南极水团的发展以及新生代大陆冰川的成长过程。在印度洋获取了过去 1000 万年来全球气候及海—气相互作用的地质记录,证实季风气候、喜马拉雅隆起与地球轨道变化之间的关系;研究了过去 1000 万年以来,印度洋的变化以及季

风气候的历史。该计划从1988年开始继续对印度洋和西太平洋地区的钻探,在西太平洋的作业时间为两年半。根据钻探成果的研究,人们将会获得更多的有关大洋形成、演化以及多种全球系统相互作用的信息,建立并完善各类相应的理论模式,进一步了解地球的历史进程。

长期的地质过程,在很大的程度上记录下大气圈、生物圈、水圈、岩石圈和地—日相互作用的过程,为理解全球变化提供了基础资料。以洋壳和海水为例,它们仍处在更新之中。由于地球表面和内部之间物质的流动,驱使岩石圈板块运动,每年产生大约 10km^3 的新洋壳,较老的一部分岩圈,连同沉积层和水被挤压入地球内部;这样也使得大洋水进行更新换代。板块的相对运动,使各个大洋盆地不断扩展,容积增加,致使全新世海面仍比12.5万年前约低8m。近7000年来,大洋盆地相对于地心下沉约8m,而大陆却相对上升大约 $16\text{m}^{[30]}$ 。

根据深海钻探建立起大洋沉积中的氧同位素比值变化曲线,证实100万年以来,有着10万年、4万年和2万年的古气候变化周期,它可以和天文学上的轨道偏心率、地球倾斜度及岁差平均周期相印证。古气候变化和洋壳更新等导致地质时期海平面的升降,它又引起了海陆巨变。这对沿海及陆架地区的侵蚀、堆积作用不仅有深刻影响,而且约制着这些地区的地貌、沉积、矿产分布基本特征和生态系统的基本格局。15000年以来,全球海平面一直处在相当复杂的波动之中。我国天津、上海地区属沉降带,由于海面上升将会造成一定影响,引起了人们的关注。

当今海洋研究,应能以描述、了解、掌握海洋内部、边界及其与大气相互作用的物理、化学、生物和地质学过程的机理,从而认识其在全球环境变化中的重大作用为主要目标。在保护全球环境向有利于人类的方向发展的前提下,有效地向海洋获取食物、能源和矿物资源。

§ 1.2 研究海洋的现实意义

归属我国主权和管辖权的领海、毗连区、经济区、大陆架的面积约为 300 多万 km^2 , 相当于我国陆地面积的 $1/3$, 是我国国土的组成部分。其中有海洋生物 2000 多种, 鱼类 1500 多种, 渔场面积 276km^2 , 近海 6 个盆地石油储量 100 多亿吨, 天然气探明储量 1300 亿 m^3 , 海洋能储量 6.3 亿 KW, 沿海砂矿储量达 15 亿吨等等, 资源量十分丰富。如何根据各个海区的自然资源、环境状况、地理和交通条件, 按照海区的客观功能进行合理规划和宏观控制, 综合而合理地开发, 保持和促进海洋生态的良性循环, 这是造福子孙万代的大事。以胶州湾为例, 它的水域面积已由 60 年前的 560km^2 缩小到现在的 390km^2 , 沧口潮间带生物 1963~1964 年代有 141 种, 到 1980~1981 年减少为 17 种, 保护海洋环境, 已经迫在眉睫。

我国海域总的环境状况是好的, 但在某些沿岸海域, 近年来赤潮频繁发生, 使水产养殖蒙受巨大损失。赤潮是由于某些浮游生物在一定环境下爆发性增殖, 造成缺氧环境, 使其它海洋生物窒息死亡, 同时又因有机物的分解时产生硫化物, 使鱼类中毒大量死亡的现象。当赤潮出现时, 蔚兰色的大海变为赤红色, 它是海洋污染发出的临界信号。海洋环境恶化, 使风光绮丽的海湾满目疮痍。人类只有一个地球, 没有湛蓝透明的海洋, 就不会有一个洁净的地球。

随着世界科学技术的发展, 海洋捕捞业、海洋农牧场、海洋化工、能源开发、海洋运输、储藏、娱乐、通信, 以至于海洋聚居地以及工业、生活废弃物的处理等综合开发利用, 正在快速发展之中。以沿海港口为例, 我国 1990 年主要港口货物吞吐量达 48321 万吨, 是 1952 年的 33 倍。

全球 140 亿亿吨海水当中, 溶解有 5 亿亿吨的盐类。这些盐类