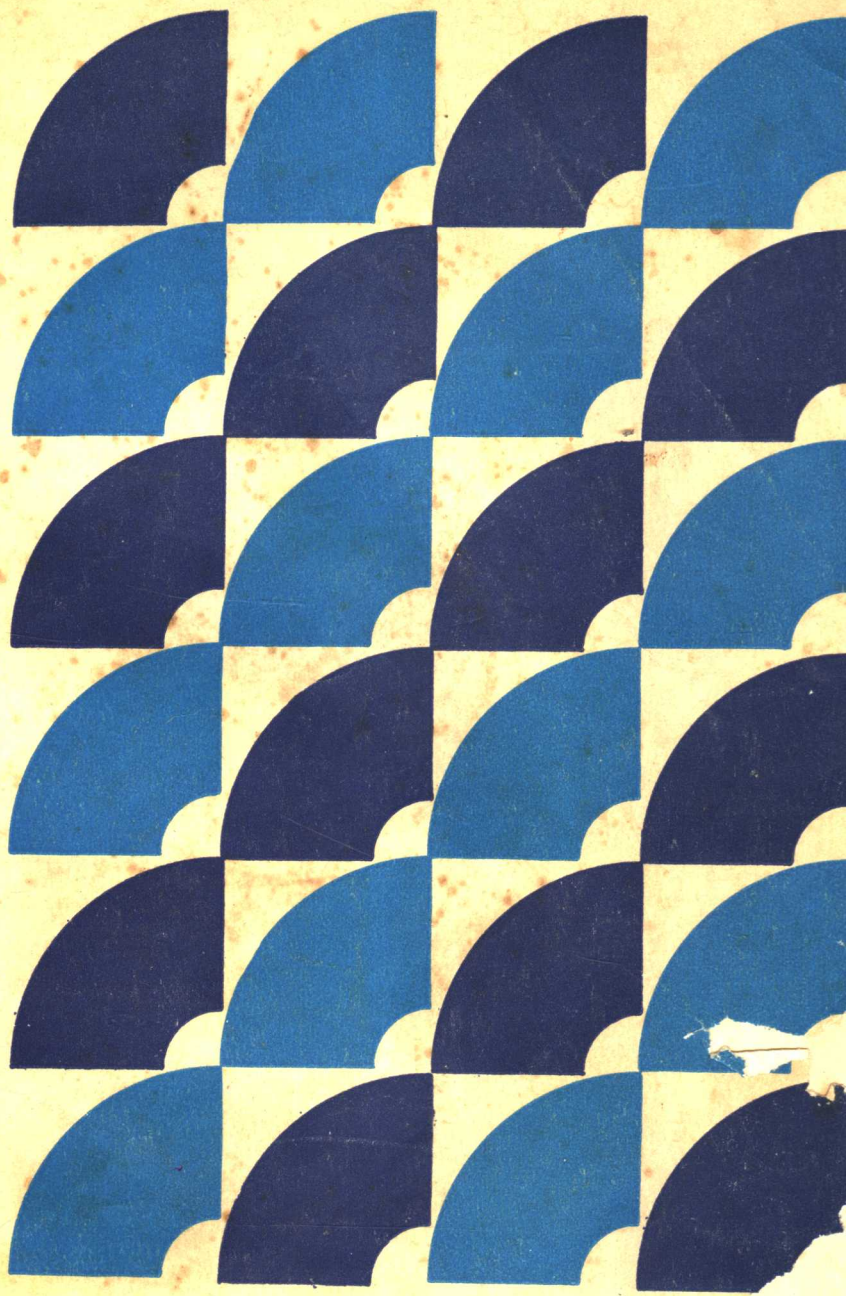




HAIYANG

★ 高等学校试用教材

海洋学

★ 杨殿荣 主编

★ 高等教育出版社



10/7

高等学校试用教材

海 洋 学

杨 殿 荣 主 编

· 高等教育出版社

高等学校试用教材

海 洋 学

杨殿荣 主编

责任编辑黎勇奇

✱

高等教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
北京印刷一厂印装

✱

开本787×1092 1/16 印张23 插页1 字数528,000

1986年5月第1版 1989年4月第2次印刷

印数3 201—4 410

ISBN7-04-002403-9/K·112

定价5.30元

前 言

本书是在山东海洋学院公共基础课《海洋学》讲义的基础上编写而成的。该讲义曾先后由唐世凤、陈宗镛等许多老师编写。1961年,以杨殿荣为主,按照新的体系作了全面的修改重写,并付铅印,作为全院海洋学统一教材。此后,又曾经雷宗友、杨殿荣等多次修改补充。它较好地总结了长期的教学经验,概括了当时海洋学所应包括的基本内容,满足了本院的教学需要,并在有关兄弟院校和科研生产单位广为流传。但是,由于海洋科学发展迅速,原讲义中的许多观点现在已显得落后,许多新的内容有待补充,有些薄弱章节应予加强,一些不必要的内容亦需删除。本书就是在这样的背景下改编和修订的。修改时保留了原讲义的主要体系、基本内容和特色。但许多章节经过重写,在内容和系统上均有重大改变,不少章节在内容和文字上也有不同程度的修改和增删。

参加本书编写的人员有:杨殿荣(第一、二、七、十三章),苏志清(第三、四、五、六、十、十四、十六章),包青华(第八章),孙秉一(第九章)、汪圆祥(第十一、十二章),杨德渐(第十五章,其中§15.1中的“海洋植物”和“脊索动物门”分别由刘建华和陈万青编写)。最后由杨殿荣对全部初稿进行统一修改,并定稿。

本书在编写过程中得到院、系和教研室领导的热情关怀和大力支持,许多老师和兄弟单位的同行为本书审阅了原稿,提供了资料。1984年8月高教出版社在青岛召开了本书的审稿会,中山大学、厦门大学、国家海洋局一所、华东水利学院、海洋出版社、大连海运学院和山东海洋学院的代表,对本书初稿进行了认真细致的讨论,提出了许多宝贵意见。最后,本书的责任编辑又对原稿进行了十分认真而严谨的修改审定,改正了原稿中的许多疏误和缺点,提高了本书的质量。在此,我们对所有热情帮助过我们的同志表示深切的感谢。本书虽经反复修改,但错误和缺点仍旧难免,请广大读者批评指正。

杨殿荣

1985年8月于青岛

目 录

前言

第一章 绪论 (1)

§ 1.1 海洋及海洋科学 (1)

一、海洋的基本特性 (1)

二、海洋科学 (4)

§ 1.2 人类对海洋的认识 (5)

一、人类认识海洋的早期历史 (5)

二、人类对海洋的全面研究——海洋学的形成时期 (9)

三、海洋学发展的新阶段 (14)

四、中国的海洋科学 (18)

第二章 地球与海洋 (20)

§ 2.1 地球 (20)

一、地球结构 (20)

二、地球形状 (21)

三、海陆分布特点 (22)

•四、海洋的划分 (22)

五、地壳表面形态的统计特征 (23)

§ 2.2 海底形态 (25)

一、海底形态的一般特征 (25)

二、各大洋底的形态特征 (31)

§ 2.3 海底扩张和板块构造 (38)

一、古地磁极性倒转的发现 (38)

二、海洋地磁条带 (39)

三、深海沉积 (39)

四、板块构造 (40)

§ 2.4 大洋的形成和演化 (44)

一、大洋盆的形成和演化 (44)

二、海水的起源和演化 (46)

第三章 海水的物理性质 (49)

§ 3.1 海水的盐度 (49)

一、盐度和氯度的定义(1902) (49)

二、1969年的电导盐度定义 (51)

三、1978年实用盐标(PSS 78) (51)

§ 3.2 海水的物理性质 (53)

一、纯水的特性 (53)

二、海水的物理性质 (55)

§ 3.3 海水的密度 (63)

一、海水密度的定义及其表示法 (63)

二、现场密度和现场比容的计算 (64)

三、1980年的海水状态方程 (66)

第四章 世界大洋中的热量和水

量收支 (68)

§ 4.1 海洋中的热收支 (68)

一、概述 (68)

二、太阳辐射 (68)

三、海面有效回辐射 (74)

四、海洋与大气的感热交换 (76)

五、海面蒸发 (76)

六、海洋内部的热传输 (80)

七、海洋中的热平衡 (80)

§ 4.2 海洋中的水平衡 (83)

一、影响水平衡的因子 (83)

二、水量平衡 (83)

三、水量平衡对盐度的影响 (84)

•第五章 世界大洋的温度、盐度

和密度 (86)

§ 5.1 海洋温度的分布和变化 (86)

一、大洋表面的温度分布 (86)

二、温度的垂直分布 (87)

三、温度的日变化 (95)

四、温度的年变化 (96)

§ 5.2 海洋中盐度的分布和变化.....(99)	§ 7.3 吸收和衰减(133)
一、大洋表面的盐度分布(99)	一、吸收(133)
二、盐度的垂直分布(104)	二、衰减系数(135)
三、盐度的变化.....(104)	§ 7.4 向下辐照度和向上辐照度.....(136)
§ 5.3 海洋密度的分布和变化.....(108)	§ 7.5 水色和透明度(137)
一、大洋表面密度的分布(108)	一、水色(137)
二、密度的垂直分布(108)	二、透明度(138)
三、海水密度的变化(109)	三、水色和透明度的分布规律... ..(138)
§ 5.4 渤海、黄海、东海温度和盐度的分布和变化.....(109)	第八章 声波在海洋中的传播(141)
一、温度的分布和变化(110)	§ 8.1 声在海水中的传播速度.....(141)
二、盐度的分布和变化(113)	一、声速与温、盐、深的关系及其经验公式(141)
第六章 海冰(117)	二、海洋中声速的垂直分布(声速剖面)(143)
§ 6.1 海冰的形成和类型(117)	§ 8.2 海洋中声波传播的路径.....(144)
一、海水的结冰过程(117)	一、声波传播路径的类型(144)
二、海冰的分类.....(118)	二、水下声道(147)
三、海冰的分布.....(122)	§ 8.3 声能通过海水介质和海面、海底时的衰减.....(148)
四、我国近海的冰况(124)	§ 8.4 海洋的环境噪声(150)
§ 6.2 海冰的物理性质(124)	§ 8.5 用声波研究海洋的展望.....(151)
一、海冰的盐度.....(124)	第九章 海洋化学(152)
二、海冰的密度.....(125)	§ 9.1 海水的化学组成.....(152)
三、海冰的比热.....(126)	一、海水的成分.....(152)
四、海冰的热传导系数(126)	二、海水中元素的平均逗留时间.....(156)
§ 6.3 海冰与海洋水文状况(127)	三、海水的主要成分(157)
一、海冰对水文要素垂直分布的影响(127)	四、海水中的微量元素(158)
二、形成大洋底层水(127)	§ 9.2 海水中的溶解氧(161)
三、对海水运动的影响(127)	一、气体在海水中的溶解度(161)
四、对海洋热状况的影响(127)	二、影响海水中溶解氧含量的因素...(163)
第七章 光在海洋中的传播(129)	三、海洋中溶解氧的分布(164)
§ 7.1 概述.....(129)	§ 9.3 海水中的二氧化碳系统.....(165)
§ 7.2 散射(130)	一、海水二氧化碳系统的平衡(166)
一、体积散射函数和散射系数(130)	二、海水pH(167)
二、分子散射(130)	三、海水总碱度和总二氧化碳(167)
三、粒子散射(131)	

四、碳酸钙的沉淀与溶解	(169)	二、密度连续变化中的内波	(216)
五、海水与大气中 CO_2 的交换	(174)	§ 11.5 开尔文波和罗斯贝波	(218)
§ 9.4 海水中的营养盐	(175)	一、开尔文波	(218)
一、营养盐在海洋中的分布	(175)	二、罗斯贝波	(219)
二、海洋中营养元素的平衡	(176)	§ 11.6 风浪和涌浪	(220)
三、营养盐在海水中的某些特性	(180)	一、风浪的成长与消衰	(220)
第十章 海流	(182)	二、风浪的成长与风速、风时和风	
§ 10.1 概述	(182)	区的关系	(221)
一、海流的形成和分类	(182)	三、涌的传播	(222)
二、海水所受的作用力	(182)	§ 11.7 地形的效应	(223)
三、海水的运动方程	(189)	一、海浪的折射	(223)
§ 10.2 地转流	(190)	二、波高的变化	(223)
一、均匀海洋中的地转流(倾斜流)	(190)	三、波浪破碎	(223)
二、两层均匀海水中的地转流	(191)	四、绕射	(225)
三、地转流的计算	(193)	第十二章 海洋潮汐	(226)
四、海底地形对海流的影响	(197)	§ 12.1 与潮汐有关的天文知	
§ 10.3 风海流	(198)	识	(226)
一、风海流的受力分析	(198)	一、天球和天球坐标	(226)
二、艾克曼的漂流理论	(198)	二、太阳的视运动及其主要周期	(226)
三、风海流的体积运输	(201)	三、月球的视运动及其主要周期	(228)
四、升降流	(201)	§ 12.2 潮汐现象	(228)
§ 10.4 风生大洋环流理论	(202)	一、潮汐要素	(228)
§ 10.5 热盐环流	(204)	二、潮汐不等	(229)
第十一章 海洋中的波浪	(207)	三、潮汐类型	(229)
§ 11.1 概述	(207)	§ 12.3 引潮力	(231)
一、波浪要素	(207)	一、引潮力定义	(231)
二、海洋中波浪的类型	(207)	二、引潮力公式	(232)
§ 11.2 小振幅重力波	(208)	三、引潮力势	(234)
一、波形及其传播	(208)	§ 12.4 平衡潮	(234)
二、水质点运动与波形传播的关系	(208)	一、平衡潮概念	(234)
三、波速	(210)	二、平衡潮潮高公式	(235)
四、波动能量	(211)	三、潮高公式讨论	(236)
五、正弦波的叠加	(211)	四、分潮	(237)
§ 11.3 有限振幅波	(214)	五、平衡潮理论的缺点	(237)
§ 11.4 内波	(215)	§ 12.5 潮汐动力理论	(238)
一、界面内波	(215)	一、潮差	(238)

二、旋转潮波	(239)	征	(297)
三、潮流	(240)	§ 14.5 渤海、黄海和东海的	
§ 12.6 中国近海及世界大洋		环流和水团	(300)
潮汐	(243)	一、外海流系	(300)
第十三章 海洋湍流与混合	(249)	二、沿岸流系	(302)
§ 13.1 海洋湍流的基本概念	(249)	第十五章 海洋生物	(304)
一、湍流基本特征	(249)	§ 15.1 海洋生物类群	(304)
二、静力稳定度	(249)	一、海洋植物	(304)
三、湍流能量平衡	(251)	二、海洋动物	(312)
四、海洋湍流的产生和发展	(252)	三、海洋微生物	(326)
§ 13.2 海洋混合	(253)	§ 15.2 海洋生物生态	(327)
一、海洋混合过程的区域特征	(253)	一、海洋生物的环境	(327)
二、混合效应	(256)	二、海洋生物的生活	(334)
§ 13.3 海洋热盐细微结构	(260)	§ 15.3 海洋生物学研究的其	
一、概述	(260)	他问题	(338)
二、阶梯结构	(261)	一、海洋生物资源的开发利用	(338)
三、温跃层结构	(263)	二、海洋生物与海洋环境污染	(339)
第十四章 世界大洋中的环流和		三、海洋生物和海洋工程技术	(340)
水团	(265)	第十六章 海洋沉积	(341)
§ 14.1 大洋表层的环流及其		§ 16.1 海洋沉积物的物质来	
水文特征	(265)	源	(341)
一、大洋表层的环流模式	(265)	一、海洋沉积物的来源	(341)
二、大洋表面各海流区域的水文特		二、沉积物的粒度	(342)
征	(265)	§ 16.2 海洋沉积物的类型及	
§ 14.2 大洋暖水区的水团和		分布	(343)
环流结构	(282)	一、滨岸带沉积	(343)
§ 14.3 大洋冷水区的经向环		二、浅海沉积	(345)
流和水团	(285)	三、深海沉积	(345)
一、中层水	(285)	§ 16.3 海底矿产	(352)
二、底层水	(287)	一、海滨砂矿	(352)
三、深层水	(292)	二、海底油田	(352)
四、南极绕极环流	(296)	三、海底锰结核	(353)
§ 14.4 世界大洋中的水团特		主要参考文献	(356)

第一章 绪 论

§ 1.1 海洋及海洋科学

一、海洋的基本特性

认识海洋，最要紧的是认识它的本性、本质。海洋的本性如何？这是本书要讨论的基本问题，在详细阐述前，先谈几点原则意见，对理解全书将是有益的。

(一) 海洋是环境的产物

海洋存在于地球上；而地球又存在于太阳系中。海洋便是这种独特环境的产物，它无时无刻不在接受着来自环境的作用，同时也反作用于环境；其相互作用的基本形式就是能量和物质的相互传递。海洋的一切秉性，都是在与环境之间的这种物质和能量的交换中形成的。我们认识海洋，首先应该从这里入手，一定不要忘记海洋在地球上！

在太阳系中，地球算得上一个幸运儿，由于它适中的质量，以及它与太阳适中的距离，使得它具有适中的温度，并能保留住它自身释放出的大气和水，从而孕育和繁衍了旺盛的生命世界，除岩石圈、大气圈和水圈之外，又增加了生物圈。生物的发展，又反过来改造了大气圈和水圈的性质，也不同程度地改造了岩石圈（表面）。大气圈、水圈、生物圈和岩石圈之间，通过物质和能量的相互渗透、交换和转化，经历了漫长的改造和演变过程，形成了各自的特性；在它们之间，也形成了一个相互适应、相互依存、不可分割的整体关系。海洋便是这个整体中的重要部分，它的特性当然也是在这样的过程中形成的。

海洋与环境的相互作用，主要通过海洋的三个边界进行。它们是海面、海底和沿岸带。海面是海洋与外界沟通的主要窗口，通过它接纳太阳辐射——这是海洋（当然也是大气）能量的最主要来源——进行海-气间的动量、能量和物质交换。大气犹如热机，它把海洋提供的热能转化成动能再（部分地）还给海洋。这个能量传递和转化过程也制约着海-气间的物质交换。海底是海洋与岩石圈之间的动量、能量和物质交换的又一边界。海洋与岩石圈之间的物质交换，可能是影响海水化学成分长期变化的主要过程之一。沿岸带是大陆和大洋联系的桥梁，大陆物质需通过沿岸带的作用以后才进入大洋。沿岸带和大陆架浅海又是海洋能量的主要耗散带，在动力海洋学上有重要意义。

只有一种海洋与环境的联系是无需通过边界的，这就是地球和天体对海水的引力。重力的意义是大家知道的，不过由于它没有时间变化（它的空间变化在物理海洋学中也是被忽略的），所以对海水运动的意义主要在动能和势能的相互转化中表现出来。但是，天体（主要是月球和太阳）对海水的引力则不同，它是因时因地而变化的，它与地球自身的运动相结合，便产生了海洋和大气的潮汐运动，而潮汐也是海水（特别是大陆架海水）运动的重要形式。

地球运动的另一个动力学意义，就是它的自转对海洋的大尺度和低频运动有显著影响，这一点在本书的后面还要谈到。

（二）海洋的固有特性是海洋如何反应环境影响的基础

海洋接受环境的作用以后将产生怎样的行为，以及海洋对环境将施展怎样的反作用，这首先就决定于海洋自身的固有特性。海洋的固有特性主要有二，一是海水的特性，二是其形态特征。

海水首先是水，而液态水与其他液态物质相比，具有许多独特的物理性质，尤其是它的热性质，以及极大的介电常数，极大的溶解能力，极小的粘滞性等等，对海洋生物、海洋化学过程、海洋的热状况，以及对海水的运动均具有十分重要的意义。如果水没有这些独特的性质，那么海洋，包括它的生物、化学和物理状态将完全是另一个样子。

海水又不同于一般的淡水，它是复杂的盐溶液，并含有多种溶解气体，特别是氧和二氧化碳，以及大量的、各种粒度的有机和无机的悬浮物质。这些物质对海水的物理性质均有不同程度的影响，特别重要的是，对生物的生长提供了良好的物质基础，又给海洋化学增添了更加丰富的内容。

海洋形态对海洋状况具有重要意义，海洋与湖泊、池沼之所以不同，原因盖在于此。

海洋形态的主要特征有三：一是大，二是既深又浅，三是连成一体。

所谓大，是指水平尺度大，尤其是南北方向，从北极海区一直延伸到南极海区。唯其大，从赤道到极区，海洋热力学过程迥异，方形成大洋的热盐环流；唯其大，才产生海洋特有的潮汐运动；唯其大，才使运动尺度具有极宽的谱区，才使地转效应显得特别重要，才能出现一般的湖泊所不可能出现的、千姿百态的运动形式。

所谓深，是说其绝对深度大，平均将近4000米，为任何湖泊所莫及。正因为海洋的大且深，才使得海洋环流得到更充分的发展，才能形成具有各种不同特性的水团结构，才能使各种不同的海洋生物得到充分发展。

但是海洋的相对深度（即与其水平尺度相比），又是很浅的，它的纵横比大约只有 10^{-3} 的量级。这一特点使得海水的运动主要表现为水平方向，垂直运动相对地十分微弱，因此对于较大尺度的运动，其模型常可简化成二维的。

由于所有大洋都相互连接和贯通，它们的物质和能量都可充分交流，所以各大洋从形式到内容都形成一个真正的整体，总称为世界大洋。

至此，我们需对“海洋是环境的产物”这一命题加以补充：千姿百态的海洋现象和过程，归根结底是海洋中能量和物质的传输、分配、转化和累积等过程的具体形式；这些能量和物质的最终来源是通过海洋和环境的相互作用获得的。因此，环境的作用是海洋现象的发生、发展和变化的原动力；但海洋与环境的相互作用本身，以及进入海洋中的能量和物质的传输、分配、转化和累积等等过程的具体方向和形式，则又受着海洋自身固有特性的制约和支配。

（三）海洋是多系统的统一体

海洋现象和过程虽然错杂纷繁，然而却都可纳入一个个不同的系统中。例如，世界海洋是一个由河口、海湾、海峡、海、陆架浅海、深海等组成的一个系统，不同纬度带（从极地

到赤道)的海洋之间也形成系统;海水的各种运动形式,构成海水的运动系统,每种运动形式又可构成各自的子系统,如海流系统、波动系统、潮汐系统、湍流系统等。再如,海洋生物中同一群落的不同种群之间,生物与无机理化环境之间,形成生态系统;海水中各种形式的二氧化碳之间,以及它们与沉积物中的碳酸盐之间形成二氧化碳系统,如此等等。一个系统的各个组分(或环节)之间,借助于能量和物质的传输和转化相互联系在一起。现已发现,这种能量和物质的传输和转化过程往往是有序的,例如,海洋生物按照不同的营养方式形成食物链,湍流能量依尺度从含能涡到耗散尺度之间逐级传递等等。但是,现阶段对海洋系统以及系统内部能量和物质的传输和转化的形式的认识还是很初步的,很不完全的。

必须进一步指出,海洋中各个系统之间并不是、也不可能是孤立的,它们通过物质和能量的交换和转化而密切联系在一起,从而形成整个海洋这个大系统,其中每一个系统的存在,都以其他系统的存在为条件,每一个系统的变化,都要不同程度地牵动其他系统,这就是海洋的统一性或整体性。

在海洋这个统一体中,海水的运动系统具有特殊的意义。因为系统与系统之间,甚至同一系统内部的能量和物质流通,主要是靠海水的运动来实现的,假如没有海水的运动,那么各系统之间的联系就要受到阻塞甚至断裂,那时的海洋将完全是另一种模样。从这个意义上说,运动是海洋最基本的特征,没有运动就没有海洋。

由于在相当长的地质年代中,海洋的地球环境是相对稳定的,经过各系统之间长期的相互作用、相互适应、相互调整以后,现代海洋的基本状况也是相对稳定的、和谐的。例如,大洋温度场(其他要素场也一样)至少在有调查史以来未曾发现明显的变化。然而这种温度场的稳定性,恰巧是所有能使温度发生变化的过程(包括一切平流效应、热量的水平和垂直扩散等)微妙地结合在一起的结果。这种平衡的建立本身,就是海洋统一性的生动表现。

但是,外界的扰动是无时无处不在的,所以海洋系统的变动也是永远不可避免的,这就是海洋的时变性。不过,对于局部的、短暂的扰动,海洋和生物体一样,具有自我修复的能力,当引起扰动的外部因素一旦消失,海洋可恢复原来的平衡。但是,如果这种外部因素持久地发生作用,那么,海洋将通过其内部各系统之间,以及海洋与外界之间相互关系的不断调整,在新的条件下建立新的平衡。例如,由于自然或人为的原因使海岸带平衡剖面遭到破坏,当这种破坏因素消失以后,在海洋营力的作用下,它又将被重新修复;但如果这种因素持续地作用下去,海洋将在新的条件下建造新的平衡剖面。再例如,一个海区的生态系统、由于某种原因而遭到破坏,当这种原因被消除以后,被破坏的生态系统会逐渐恢复起来。但如果这种外部原因长期保持,那么将建立起一种适合这种新环境的生态系统。这种平衡的恢复和重建的能力,叫做海洋的趋稳性,显然,趋稳性也是由于统一性的结果。

前面,我们强调过外界环境和海洋自身特性的重要性,但仅此还不能说明海洋现象的多样性和复杂性。因为事实上,任何一种海洋现象和过程都受着其他海洋现象和过程的制约和影响,它是一切内外因素综合作用的结果。因此,我们认识任何一个具体的海洋现象和过程,都必须将它置于海洋这个统一体中,从海洋与环境的相互作用中,从各种海洋现象和过程的相互联系中去认识。

二、海洋科学

海洋学是研究在海洋里的各种现象和过程的发生、发展和演变规律的科学。按研究对象的不同,海洋学又可分成海洋物理学、海洋化学、海洋生物学和海洋地质学等四门基本学科;它们又常常被称为物理海洋学、化学海洋学、生物海洋学和地质海洋学。

海洋物理学研究海洋中的各种物理现象和过程,例如海水的各种运动形式,海洋中各种物理场的形成、分布和变化规律等。其中,以流体动力学和热力学原理为基础,借助于数学工具,研究海洋中各种运动的发生发展规律的科学,称为海洋动力学或动力海洋学。物理海洋学的另一个重要的研究方法是通过各种手段对海洋物理现象进行直接观测,依据流体动力学和热力学的基本原理,利用动力海洋学及其他学科的成果,对观测资料进行分析研究,以揭示海水的运动规律以及各种物理化学要素的分布变化特征。这种方法具有水文学和地理学的性质,对现象的表示主要是定性的,然而由于它以实际观测资料为基础,所以能比较客观地反映海洋的真实。以这种方法研究海洋,称为海洋水文(物理)学。从海洋学的发展史看,正如下文将要详细论述的那样,在海洋科学发展的前期(到本世纪中叶)主要是处在这种描述性的海洋水文(物理)学阶段,它为现代动力海洋学发展奠定了基础。从对某一个具体的海洋现象的认识过程来说,以实际观测为基础的定性研究仍然是定量研究的前提。有时,将动力海洋学和海洋水文(物理)学两者合称为物理海洋学,表示与海洋物理学有所区别。海洋物理学还包括海洋声学、海洋光学和海洋电磁学等内容。

近代对海洋与大气之间所发生的各种物理过程,包括能量、动量和物质交换的研究,已经从海洋物理学中独立出去,发展成一门新的边缘学科——海-气相互作用物理学。它的研究成果无论对海洋科学还是对气象科学都有重要意义,因而受到重视。

海洋化学研究海洋水体中的各种组分,包括气体、溶解盐、溶解有机物质、悬浮物质等的含量和分布规律;研究发生在海洋中和海洋界面的各种化学、物理化学和生物化学过程和海洋与外界的物质交换。海水中有用物质的提取、有害物质的分析等也是海洋化学的重要研究课题。

海洋地质学研究海洋的形成和演变,海底地壳构造和形态特征,海洋沉积的形成和组分,沉积的成岩过程,以及海洋地热、地磁场和重力场等。海底矿物资源的形成和分布规律也是其研究的重要内容。

海洋生物学研究海洋生物的分类、地理分布、生理特征,研究海洋生物与(有机和无机)环境的关系、海洋生物生产力,以及海洋生物资源的开发利用和环境污染对生物的影响等。

上述海洋科学的基本学科,分别研究海洋这个整体的某一重要侧面,研究它们的能量与物质交换和转化的特殊形式。由于其研究对象的特殊性,因而形成了各学科相对的独立性;又由于海洋的统一性,因而从根本上决定了各学科之间的相互联系、相互渗透、相互依从的密切关系。它们的结合,便形成了一门统一的科学——海洋学。

§ 1.2 人类对海洋的认识

纵观人类对海洋的认识发展,大致可分为三个大的阶段。第一阶段以地理探险为主,主要是了解海洋的地理位置、海陆分布等。与此同时,也积累了许多对海洋的感性认识,进行了零星的、初步的科学研究。这是人类认识海洋的早期历史。第二阶段,人类进入对海洋的全面研究和认识。其标志是十九世纪七十年代兴起的以“挑战者”(Challenger)号为代表的综合性海洋考察,以及与此紧密相联系的对海洋现象的理论研究。这是海洋学的形成时期。第三阶段是海洋科学高速发展的新时期,大约在近三十年的时间内。人类对海洋的认识,无论在深度上还是广度上都有了新的飞跃。下面对这三个阶段分别加以说明。

一、人类认识海洋的早期历史

(一) 海洋地理探险

人类认识海洋的第一步是了解其自然地理特征,这一过程是相当漫长的,但主要是从十五世纪至十八世纪这段时间。

在人类认识海洋的这段早期历史中,我们的祖先作出了独特的伟大的贡献。在公元前四世纪,我国已经在所有的邻海上航行。秦汉时代,海路已通日本、印尼、柬埔寨、印度、斯里兰卡,远至罗马帝国的海路也已经开辟。这就是说,那时,我国的航船已经不限于近海,而且能够驰骋于大洋了。

早在二千多年以前,我国就发明了指南针。指南针用于航海始于何时,尚无确切考证,但如上面提到的远洋航行,若无指南针定向,是很难想象的。《宋书》有“晋代又有指南舟”之说,若属实,则至少有一千五百余年的历史了。指南针在航海上的运用,是人类航海史上的划时代事件,它使人类能够在看不到任何陆地目标的茫茫大海上自由航行。

公元1129年,宋朱或著《萍洲可谈》载:“舟师认地理,夜则观星,昼则观日,阴晦观指南针。”证明当时已懂得天文航海知识。

公元1405年6月(明永乐三年)郑和率大船62艘,二万七千余人,开始了下“西洋”的第一次远航。从1405年至1433年,他们先后七下“西洋”,纵横于南海和印度洋上,南到爪哇,东抵非洲东南的马达加斯加岛。其航程之远,规模之大,不失为人类航海史上的空前壮举。

当中国人已经能远涉重洋的时候,当时航海比较发达的地中海诸国还只能在近海航行。到公元十二—十三世纪,中国的指南针由阿拉伯传入欧洲,促进了他们涉足大洋事业的发展。

在文艺复兴时代,西欧的资本主义经济得到迅速发展,迫切需要开辟国外市场,寻找殖民地,从而大大促进了海洋探险事业的发展,哥伦布和麦哲伦的航行便是其中最著名的两次。

1492年,意大利人哥伦布为寻找通往印度的海路,西渡大西洋,到达了美洲。真正从海路进入印度的是葡萄牙人伽玛,他于1498年从大西洋绕过好望角到达了印度。

1519—1522年,葡萄牙人麦哲伦率五艘西班牙军舰,作人类第一次环球航行。他们首先横渡大西洋,并沿巴西海岸南下,穿过南美大陆与火地岛之间的海峡(后命名为麦哲伦海峡)

进入太平洋*,然后横渡太平洋到达菲律宾群岛,最后经印度洋回到西班牙。

十五、十六世纪被西方人称为地理大发现时代。此后,大洋探险并未停歇,而且还逐步开展了对海洋的初步观测,如测温、测深、采水、采集海洋生物和底质样品等。其中比较有名的几次如:1768—1779年英国人库克(J. Cook)率领的三次航行,1823—1826年有伦茨(Э. X. Ленц)参加的俄国“企业”(Предприятие)号航行,1831—1836年达尔文(C. R. Darwin)随“贝格尔”(Beagle)号的南半球航行,1839—1843年英国人罗斯(J. C. Ross)率领的环绕南极洲航行等。到十九世纪中叶,世界大洋地理形态的基本轮廓就已经大致清楚了。

这一时期的许多科学技术成就对航海有重要意义,如:1567年,波恩(W. Bourne)发明计程仪,用以测量船的航程;1569年墨卡托(G. Mercator)发明圆柱投影法制图,在其上进行航海作业极为方便,故一直延用至今;1600年杰波特(W. Gilbert)发明用磁倾针测定船只所在纬度的方法;1759年,哈里逊(J. Harrison)制成当时最精确的航海用天文钟,这是用以测定船只经度的仪器,等等。

十九世纪中叶以后,大洋考察的重点由地理探险逐渐转向对海洋的综合科学考察。

(二) 早期对海洋的观测和研究

如上指出,这一时期的海洋观测已经逐步地开始进行;而做得最早的也许是浅海深度测量。至于大洋测深,由于技术上的困难,进行得较晚。据说,麦哲伦曾于1521年在太平洋航行时测量了一次大洋深度,因为他的绳长只有200呎,未能到底(那儿的深度是该绳长的十倍),他认为这是世界上最深的地方了。其后约三百年间,似乎再没有大洋测深的报导。进入十九世纪以后,许多大洋考察船开始用麻绳和铅锤测深,但麻绳的伸缩性太大,后改为钢丝绳,精度稍有提高。但钢丝绳好打结,易断。十九世纪五十年代起使用了可以精确确定重锤触底时刻的装置,测深的精确性才比较可信。但是,在几千米深的大洋,每测一次深度需花几个小时,所以至1923年仅仅积累了约15000个大洋测深记录(据同济大学海洋地质系海洋地质教研室,1982),因此,当时人们认为海洋底的形态是平缓而单调的。

测量海洋表面水温用普通温度计**就行,测量深层水温就困难得多了。最初人们把深层海水打上来再测温。这显然不行,因为在海水上升过程中有热传导,由于压力变化产生的绝热效应也会影响海水的温度。即使将水样加以绝缘,绝热效应也无法消除,而且当时也不可能加以订正,因为关于温度绝热变化的数学表达式,直到1857年才由开尔文(L. Kelvin)得出。

1794年,西克斯(J. Six)发明了最高最低温度计,以此可测量表面以下的水温,但只能用于温度随深度单调变化的情况,而且不适用于深水。俄国“希望”(Надежда)号和“涅瓦”(Нева)号于1803—1806年环球航行中所用的就是这种温度计,测温的最大深度为336米。他们发现了表层以下的温度跃层。到十九世纪四十年代,测温深度已经超过2000米,到十九

* 因为他们在这个大洋中航行时风浪比较平静,麦哲伦遂将它命名为“太平洋”。

** 1724年,华伦海脱(G. D. Fahrenheit)设计了华氏温标;1742年,摄尔修斯设计了摄氏温标。

世纪六十年代末已经能够测量深于4000米的大洋深层温度。

通过当时多次的温度观测发现,大洋温度随深度逐渐降低,在深层,水温降到 1°C 左右,在高纬的深层温度可到 0°C 左右。这样,长期流传的、认为大洋深处充满 4°C 海水的错误观点被摒弃了,并且初步揭示了海洋温度空间变化的复杂性。

1874年,在伦敦制成了颠倒温度计,这是测温技术的重大革新。它大大提高了水温测量的精度。现代的颠倒温度计便是在此基础上改进而成的。

海水中溶解盐浓度的研究开始于十七世纪。1673年,波义尔(R. Boyle)发表了他研究海水浓度的著名论文。他收集了不同海区、不同深度的许多水样,比较它们的比重。他发现,所有深度的海水都含有盐分,否定了当时流行的、只有表面海水是咸的的看法,而且发现不同地点海水的含盐量是不同的(据Deacon, 1978)。

到十八世纪后期,随着化学科学的发展,已有可能对海水中的某些成分进行分析。拉瓦锡(P. M. Lavoisier)于1772年发表了他的分析结果。他发现海水中含有碳酸钙、硫酸钙、氯化钙、氯化镁、硫酸钠、硫酸镁、氯化钠和氯化镁等成分。

十九世纪初,马赛特(A. Marcet)通过世界不同海区水样的分析,发现了一条重要规律,即虽然不同海水中的盐分总浓度因地而异,但各种成分间的比值是恒定的。这就是所谓海水组成恒定性规律,也称为马赛特原则。

根据福哈曼(G. Forchhammer)的总结,到1865年,已经从海水中分析出了27种元素。福哈曼还进一步证明了马赛特的上述发现,并指出氯含量可以作为海水盐分浓度的指标。

然而,精确地测定海水溶解盐总浓度的方法直到二十世纪初才产生,那时许多人测量海水浓度实际上依然是测量比重,其中伦茨的工作是值得一提的。他于1832年发表了对上述“企业”号环球航行时采集的大量水样的分析结果(据Deacon, 1978)。他还发现,大西洋在 12°N 和 18°S 各有一个浓度最大值,在两最大值之间,略偏赤道以南为极小值。并且他还合理地解释了这些极值形成的原因。

在大洋测流似乎比测温和采水更困难,因为它必须首先使船停住不动,当时只有借助于抛锚。然而深海抛锚在技术上也很困难。直到十九世纪末,才首次在4000米深海抛锚成功(据斯费尔德鲁普等, 1958)。但即使抛锚成功,船仍可沿一定的圆弧运动,而且由于锚链的忽松忽紧,或者由于底质疏松而走锚,也都能使船运动,从而影响测量精度。特别是深层海流,因流速小,相对误差就更大。因此,深海直接测流的资料很少,当时主要利用航海日记资料,从船舶实测位置与海图预定位置的偏差,推算流速和流向。

十七世纪以后,表面流的资料逐渐增多,并开始画入海图,人们对大洋表面主要海流的特性逐渐有所认识。1663年,伏修斯(I. S. Vossius)提出北大西洋环流基本呈顺时针方向运动。1770年,弗拉克林(B. Franklin)发表了湾流图。1778年,任雷尔(J. Rerrell)根据他对半个世纪航海日记资料的研究,发表了关于大西洋海流的论文。他认为海流是风作用的结果,当它遇到大陆后,便可转变成与风无关的流动。

由于海面风系与流系相似,又由于对海水温、盐分布的复杂性缺乏认识,以为海洋深层充满着密度相同的海水,因此这时,人们认为海水运动的原因只有两种,一是天体作用(产

生潮汐),二是风,而在离风作用的大洋深处是平静的。在十九世纪中叶以前,这种认识占主导地位。

从十九世纪四十年代开始,莫瑞(M. F. Maury)广泛收集了航海日记资料,编纂出版了海面风场和海流图。并于1855年出版了《海洋的自然地理》一书,对他所编的风场和流场作了解释。该书被认为是当时海洋科学的一本重要著作。他根据海洋中温度和盐分浓度不均匀的事实认为,密度差异是形成海流的一个原因。

对于深层环流,当时还缺乏直接的观测资料,主要是根据有限的温盐资料和当时物理学的知识进行推测。

1847年,伦茨提出,在大洋的南北两半球都有极地海水向赤道流动,赤道海区表层以下的冷水正是极地水上升的结果。此前三十多年,有人根据热带大洋深层观测到冷水的事实,也提出过类似的想法。

潮汐和波动的研究走的是一条不同的路:依据流体力学原理,研究海水的运动规律,建立理想的海洋模式。当代许多杰出的数学家和物理学家都进行过这方面的研究并作出了重要贡献。下面先谈潮汐。

1666年,华莱士(J. Wallis)提出,地球除了自转和公转外,还有第三种运动,即地球和月球绕其公共质心的运动。他并据此对潮汐进行预测。然而他的预测没有得到实际资料的证实。

1687年,牛顿在他的名著《自然哲学的数学原理》中,根据他发现的万有引力定律,导出了引潮力,建立了平衡潮的理论基础。

1775年,拉普拉斯(P. S. Laplace)根据平衡潮理论,将潮汐分解为长周期、全日周期和半日周期三个分潮。并试图通过对一个港的潮汐资料分析,建立潮高与太阳和月球位置间的关系,从而预报潮汐,但未获成功。

1775年,拉普拉斯运用流体动力学理论研究海洋潮汐,认为潮汐是在引潮力作用下产生的海水强迫波动——潮波。在他建立的潮汐动力方程中,首次引进了地转偏向力的水平分量。拉氏建立的潮汐动力学理论,相对于牛顿平衡潮理论是前进了一步,但在实践上,由于数学上的困难,研究的进展一直很慢。

对于波浪的研究也始于牛顿,后有拉格朗尔(J. L. Lagrange)、拉普拉斯、柯西(A. L. Cauchy)、帕桑(S. D. Poisson)、格林(G. Green)、盖斯纳(F. Gerstner)、艾里(G. B. Airy)、斯托克斯(G. G. Stokes)、开尔文等。他们主要研究在理想流体表面、或两层流体界面上的波动性质,其中对长波的研究也是潮汐动力理论的一部分。

他们的理论研究对阐明海洋中波动的机理和规律方面有重要意义。但是,由于海洋条件的复杂性,以及海面风的作用,实际海洋中的波动比经典的液体波动要复杂得多。特别是对于海面的风浪,经典的波动理论已显得无能为力。对于风浪的研究,当时只作了一些实际观测,以及由此得出某些经验关系。至于进一步的理论研究,则一直到二十世纪四十年代以后才有较大进展。

关于海洋生物的研究,从十九世纪初才比较快地发展起来,而且主要限于浅海或海洋表

层的大生物采集和分类。1840年，福布斯（E. Forbes）首先开始了海洋生物与环境的关系的研究。他发现生物种类随深度增加而不断减少，提出离海面300呎（约600米）以下将没有动物存在。这样的论点在当时是很自然的，因为既然深层海水被认为是停滞不动的，其溶解氧就将因得不到补充而消耗殆尽；另外，动物看来也难以承受深水的高压环境。所以福布斯的观点曾使人们在相当长的时间内深信不疑。后来由于多次从海洋深处取上动物，他的这个论点才开始动摇，直到三十多年后，由于“挑战者”号环球考察的成功，才使大家最终放弃这个错误观点。

与海洋大生物比较起来，对海洋中微小的浮游生物的研究要晚得多。俄国海军上将别林斯高晋在上面提到的那次南极探险中，曾用拖网捕捞浮游生物，并发现它的昼夜垂直移栖现象（Deacon, 1978）。1828年，汤普逊（G. V. Thompson）曾在爱尔兰海滨用浮游生物网采集标本，他对浮游生物的研究作出了许多贡献。1845年，缪勒（J. Muller）带领学生在德国北岸用浮游生物网采集标本，并用显微镜进行观察，进行分类研究。

二、人类对海洋的全面研究——海洋学的形成时期

（一）十九世纪七十年代至二十世纪初（第一次世界大战前）的海洋科学

早期人类对海洋的研究，从深度上说，是极初步的，从广度（即从海洋空间，以及海洋现象的多样性方面）说，是零星的、局部的，这样的研究当然不可能对海洋有全面的认识。到十九世纪七十年代，海洋观测仪器已有了新的发展，对海洋的感性认识，以及海洋调查的经验都有了新的积累，这就为全面的、系统的海洋调查研究准备了条件。正是这样的调查研究，使海洋科学进入了一个新的发展阶段。著名的“挑战者”号的环球考察，便是这个新阶段的里程碑。

“挑战者”号考察船是2300吨三桅蒸汽动力船，由英国皇家海军军舰改装而成。它于1872年12月出发，1876年5月回国，历时三年五个月；自大西洋，经印度洋（至65°S以南）入太平洋，绕地球一周，航程十二万六千公里。它是一次综合性的海洋科学考察，观测项目主要有测深、测温、测流、采水、生物和底质取样，另外还进行了气象观测和地磁测量。其调查资料经76位科学家23年的整理分析，得50巨册。

“挑战者”号调查研究的成果，极大地丰富了人们对海洋的认识，推动了海洋科学的发展。在海洋生物方面，它发现715个新属，4717个新种，其中甲壳类就有一千种以上，并且发现在海洋最深处不仅有低等动物，还有像脊椎动物这样的比较高等的动物存在。海洋化学方面的资料分析由迪特玛（W. Dittmar）领导，他从所有水样中选择了77个有代表性的样品，测定了其中所有的主要元素浓度。对世界大洋海水如此全面系统的分析是前所未有的。迪特玛的分析结果完全证实了海水主要成分比值的恒定性原则，他指出，这个原则对所有大洋和所有深度的海水都适用。他认为，主要成分中的任何一种都可以用来计算海水的总含盐量。现代海洋化学的分析结果与迪特玛结果相比只有微小差异，说明当时的分析是十分精细的。迪特玛的工作为现代海洋化学奠定了基础。

“挑战者”号广泛采集了各大洋不同纬度带的底质样品共12000个，由默莱（J. Murray）负责分析整理，编成了第一幅世界大洋沉积物分布图，出版了《深海沉积》一书。他们的工作