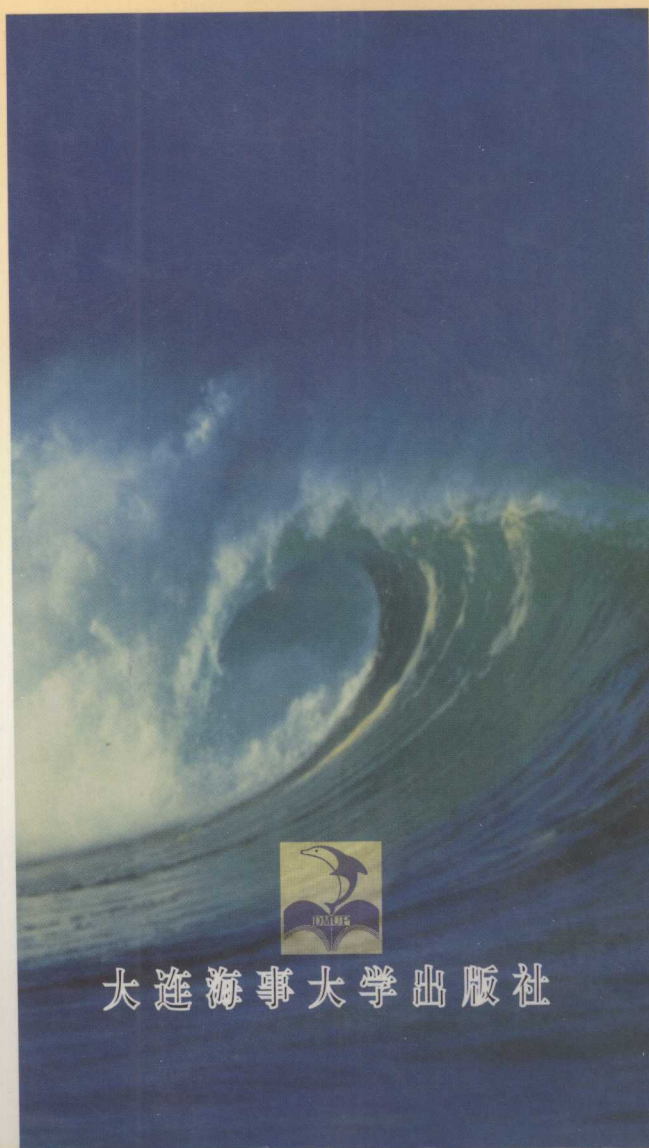


HAIYANG DONGLIXUE

海洋动力学

任福安 编
殷佩海 审

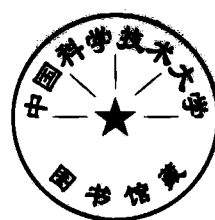


大连海事大学出版社

HAIYANG DONGLIXUE

海洋动力学

任福安 编
殷佩海 审



大连海事大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

海洋动力学/任福安编. —大连:大连海事大学出版社,
2001.3

ISBN 7-5632-1455-0

I.海... II.任... III.海洋动力学 IV.P731.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 87531 号

大连海事大学出版社出版

(大连市凌水桥 邮政编码 116026 传真 4727996 电话 4728394)

<http://www.dmupress.com> E-mail: cbs@dmupress.com

大连海事大学印刷厂印装 大连海事大学出版社发行

2001 年 9 月第 1 版 2001 年 9 月第 1 次印刷

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 13

字数: 324 千 印数: 0001—1000 册

责任编辑: 程策群 封面设计: 王 艳

定价: 20.00 元

前 言

随着世界人口的不断增加,陆地资源已不断减少,海洋已成为人类未来发展的目标,因为海洋中蕴藏着丰富的可供人类生存和发展的各种资源。然而,海洋的环境与资源密切相关,海洋环境的变化直接影响着海洋资源的可持续发展与利用。目前,海洋环境污染已是全球面临的一个重大问题。随着沿海经济的迅速发展以及海洋开发力度和海上运输量的不断加大,海洋污染日趋严重。特别是近岸海域,由于陆源污染物的大量倾入,海水水质呈迅速下降趋势。海洋环境的污染、海洋污染事故的不断发生,已直接影响着我国海洋经济的健康稳步发展和海洋资源的可持续利用。

海洋环境保护最根本的目的是保护海洋生态环境和促进海洋经济的持续发展。它是一个复杂的系统工程,需要采用先进的综合管理手段和技术措施。与其他环境问题一样,海洋环境问题的最终解决将依赖于环境科学技术的进步和发展。然而,历史的经验表明,无论是海洋的开发和利用还是海洋环境污染的预防和治理,往往不仅取决于科学技术和管理的水平,在很大程度上还依赖于对海洋环境要素分布规律的掌握。不全面地了解海洋状况,特别是不掌握海水运动的基本规律,如海流、波浪、潮汐等方面的系统知识,要想作出科学的结论是不可能的。海洋动力学是海洋开发与利用(如海洋工程、港口工程、海上运输、海洋水产业以及海洋污染防治等)需要首先解决的问题之一。海水由于受各种不同因素的作用而产生不同类型和不同尺度的运动。例如,由于海面风应力的作用而产生风生流和风生环流;由于海水密度分布不均匀而产生热盐环流;由于有各种扰动而产生风浪、涌浪、地震波、行星波等多种波动;由于天体引潮力而产生潮波运动;以及由于上述种种运动而产生的湍流、混合等等,它们是海洋环境发生变化的基本动力和原因。

随着国际社会对海洋科学的逐步重视,各国政府对海洋科学研究的投资大幅度增加,由于各国学者的共同努力,海洋科学已取得了巨大的进展。特别是近几十年来,海洋科学的研究成果早已超过了历史的总和,并取得重要的突破。鉴于专业的不同和学时与课程内容的要求,本教材旨在系统地阐述海洋动力学的基本理论及其发展,并尽量介绍一些较新的研究成果,以使读者掌握海洋动力学的基本概念、基本原理和海水运动的基本形式和运动规律。

本教材是在大连海事大学海洋环境工程专业《海洋动力学》授课讲义的基础上,参阅新近发表和出版的海洋科学方面的论文、报告和论著重新编写的。在编写过程中,得到了学校、学院领导和许多老师的热情关怀和大力支持,承蒙殷佩海教授审阅了全稿并给出了许多很好的写作建议,国家海洋局海洋环境保护研究所奚振兴研究员也认真审阅了书稿并提出了许多宝贵的修改意见,编者谨在此一并表示衷心地感谢。

本教材的出版尚属首次尝试,由于编者水平所限,错误和缺点仍旧难免,敬请批评指正。

编 者

1999年9月于大连

内 容 提 要

本书系统介绍了海洋动力学的主要内容,以流体力学和传热学的原理为基础,建立了海洋动力学基本方程组,在对方程组进行分析和简化后,详细地分析讨论了海水的三种主要运动形式的特征及发生和发展规律。全书共分六章,即绪论、海水运动基本方程、海水运动基本方程的分析与简化、海流、波浪、潮汐与潮流等。

本书可作为海洋环境工程专业的教学参考书,也可作为海洋工程、港口工程、航海技术和海洋科学及相近专业本科生的基础课教学参考书,对从事相关专业的管理人员、工程设计人员和科技工作者也有一定的参考价值。

目 录

第一章 绪论	1
§ 1-1 海洋概述	1
§ 1-2 海洋科学及其发展简史	11
§ 1-3 中国的海洋科学	15
第二章 海水运动基本方程	17
§ 2-1 连续方程	17
§ 2-2 动量方程	19
§ 2-3 盐量守恒方程	25
§ 2-4 热传导方程	27
§ 2-5 海水状态方程	29
§ 2-6 海水运动基本方程组	31
§ 2-7 初始条件和边界条件	32
第三章 海水运动基本方程的分析与简化	36
§ 3-1 时间平均的基本方程和边界条件	36
§ 3-2 铅垂向平均的基本方程	43
§ 3-3 基本方程的尺度分析与简化	47
第四章 海流	54
§ 4-1 概述	54
§ 4-2 地转流	54
§ 4-3 风海流	56
§ 4-4 风生大洋环流	67
§ 4-5 热盐环流	82
§ 4-6 大洋风生—热盐环流	93
§ 4-7 世界大洋的主要环流及分布	98
第五章 波浪	108
§ 5-1 波浪的基本概念	108
§ 5-2 微小振幅波动	112
§ 5-3 有限振幅波动	123
§ 5-4 浅水非线性波动	134
§ 5-5 各种波浪理论的适用范围和海浪谱简介	141
第六章 潮汐与潮流	148
§ 6-1 潮波的基本概念	148
§ 6-2 平衡潮理论	158
§ 6-3 考虑地球形状的大洋潮波	163

§ 6-4 忽略地球形状的自由潮波	170
§ 6-5 海峡中的潮波	177
§ 6-6 海湾中的潮波	184
§ 6-7 浅水潮波和三维潮波	192
参考文献	202

第一章 绪 论

§ 1-1 海洋概述

一、海洋的基本特征

在茫茫宇宙之中,迄今为止只发现地球上有人类繁衍生息,这不能不说是地球的独特与幸运。地球及其表面的大气圈、岩石圈、水圈、生物圈和人类圈(又称智能圈)构成了地球系统。海洋则是地球系统的重要组成部分,它生存于独特环境之中,也具有其特殊性和复杂性。

1. 海洋与其周边环境的相互作用与平衡

海洋存在于地球之上,而地球又存在于太阳系之中。在太阳系中除地球之外,尚未发现其他星球上还有海洋存在。海洋就存在于这样独特的环境之中,它无时无刻不在与周边环境发生着相互作用,其相互作用的基本形式就是能量和物质的相互传递。海洋的所有特征,都是它与周边环境之间的这种能量和物质的相互交换中形成的。

在太阳系中地球是一个幸运儿,它以适中的质量以及与太阳间适中的距离,才得以具有适中的温度并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,在岩石圈、大气圈和水圈之后又产生了生物圈和人类圈。生物和人类的发展又影响和改变了大气圈和水圈的性质,也不同程度地改变了岩石圈。大气圈、水圈、岩石圈、生物圈和人类圈之间,通过能量和物质的相互渗透、交换和转化,经历了漫长的演变和适应过程,形成了各自的独特性质,并且在它们之间也形成了一种相互适应、相互依存、相互平衡的独特的整体作用关系。海洋即是这个整体中的重要组成部分,在这样的过程中,也形成了它的独特性质。

全球海洋的总面积约 $3.6 \times 10^8 \text{ km}^2$,是陆地面积的 2.5 倍。海洋与其周边环境的相互作用,主要是通过海洋的三个边界进行的,即海面、海底和沿岸带。海面是海洋与外界沟通的主要窗口,通过海洋表面海水吸收太阳辐射,并与大气进行动量、能量和物质交换。海洋每年蒸发约 $44 \times 10^6 \text{ t}$ 淡水,可使大气中的水分每 10~15 天完成一次更新。太阳辐射是海洋和大气的能量的主要来源。大气还像一台热机,它把海洋提供给它的热能转化成动能再部分地通过海面风应力返还给海洋,并且二者之间的能量传递和转化过程也制约着它们之间的物质交换。海底是海洋与岩石圈之间的动量、能量的物质交换的边界。海洋与岩石圈之间和物质交换,是影响海水化学成分长期变化的主要原因之一。沿岸带是大陆和大洋相互联系的纽带,大陆的物质需要通过沿岸带的作用才能进入大洋。同时,沿岸带和大陆架浅海又是海洋能量的主要耗散带,这在海洋动力学上具有重要的意义。

只有一种海洋与环境的相互作用是不通过海洋边界的,那就是地球和其他天体(主要是月球和太阳)对海水的引力。重力的意义无须多述,但是由于它不随时间而改变,所以它对海水运动的意义主要是在动能和势能的相互转化中才体现出来,并且重力在空间上的微小变化在海洋动力学中也往往是忽略不计的。然而,其他天体(主要是月球和太阳)对海水的引力则与重力不同,虽然其最大的量值也不过为重力的 10^{-7} ,但是由于它是随时随地变化的,并且与地球自身的运动(自转)结合起来,便产生了海水(特别是大陆架海水)运动的重要形式之一的潮汐运动。而地球的运动(自转)对海洋的大尺度运动和低频运动有着显著的影响,在海洋动力学中也有着重要的意义。

总之,千姿百态的海洋现象和运动,归根结底都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表现形式,这些能量和物质的最终来源是海洋通过与其周边环境之间的相互作用而获得的。因此可以说,海洋与其周边环境的相互作用是海洋现象发生、发展和变化的原动力,这也是海洋动力学研究的基础和前提。但是,海洋与其周边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、转化和积累等等过程的具体方向和形式,是受海洋自身所固有的特性的制约和支配的。海洋固有的特性是海洋响应周边环境影响的基础。

2. 海洋的固有特性

海洋受周边环境的作用后产生什么样的变化,以及海洋对周边环境产生什么样的反作用等,都取决于海洋自身所固有的特性。总地来说,海洋的固有特性分为两个方面,一是海水的特性,二是海洋的形态特性。

全球海洋的海水总体积约 $13.7 \times 10^8 \text{ km}^3$,其中水占 96.5%。水与其他液态的物质相比,具有许多独特的物理性质,如极大的比热容、极大的介电常数、极大的溶解能力以及极小的粘滞性和压缩性等,这对海洋生物、海洋化学过程、海洋的热状态以及海水的运动等,都具有十分重要的意义。如果没有水的这些独特的性质,那么海洋,包括它的生物、化学和物理状态等,将会完全是另外一种样子。

同时,海水又不同于一般的淡水,它是十分复杂的盐溶液,并且含有多种溶解气体,特别是氧和二氧化碳,以及大量的各种粒度的有机的和无机的悬浮物质。这些物质对海水的物理和化学性质均有不同的影响。特别重要的是,这为海洋生物的生长提供了良好的物质基础。也正因为海水溶解了诸多种物质,因而性质更加特殊,不仅影响着海水自身的理化性质,而且导致海洋生物与陆地生物的诸多迥异。陆地生物几乎集中地栖息于地表上下数十米的范围内,而海洋生物的分布则从海面到海底,范围可达 10 000 m。海洋中的近二十万种动物、一万多种植物,还有细菌和真菌等,组成了一个特殊的海洋食物网。再加上与之有关的非生物系统,则形成了一个有机界与无机界相互作用与联系的复杂系统——海洋生态系统。

此外,作为一个物理系统,海洋中的水—汽—冰三态的转化无时无刻不在进行着,这也是在其他星球上所未发现的。大量的淡水蒸发,势必影响海水密度等诸多物理性质的分布与变化,并进而制约海水的运动以及海洋水团的形成与消长。

另一方面,占地球表面总面积的 70.8%、面积达 $3.61 \times 10^8 \text{ km}^2$ 的海洋,其总体形态特征对海洋状况具有重要意义。海洋的总体形态特征概括起来主要有三点:一是既广阔又有界,二是既深厚又浅薄,三是既相通又分隔。

海洋的广阔,指的是海洋的水平尺度很大,动辄数百、数千乃至数万公里的量级,为一般的湖泊、池沼所不能比拟。尤其是南北方向上,从北极海域一直延伸到南极海域。而在东西方向上,在南纬 50° 附近,环球一周都是海洋。正是因为海洋如此广阔,跨越几个气候带,所以从赤道到两极,海洋的热盐结构与水团特征大相径庭。海洋热力学过程的迥异,方形成大洋的热盐环流。正是因为海洋如此广阔,才使得天体的引潮力作用变得重要,从而产生了海洋所特有的,与湖泊、河流运动迥然不同的潮汐与潮流运动。正因为海洋如此广阔,才使得地球的自转效应成为研究海水运动的不可忽视的因素,才使得海水的运动尺度具有极宽的谱区,才使得海洋出现一般的湖泊所不可能出现的、千姿百态的运动形式。也正因为海洋如此广阔,所以在海洋动力学的研究中,常常把边界视为“无穷远”,以便于解析求解或数值求解。

虽然说海洋是广阔的,但地球并不是完全被海水所覆盖。海洋毕竟还是有界的,它既被大

陆分割成几个相对独立的大洋,又在大洋的边缘被陆地、半岛和岛屿等分割成海或海湾。在研究和讨论各大洋和海及海湾的具体问题时,必须要考虑边界的影响。不仅海和海湾等具有自己各自不同的特征,就是对各大洋而言,因为大陆基本上是南北走向,使得各大洋都有相应的东边界和西边界,而正是在这东边界和西边界的附近海域,海洋中的海流发生了独特的变化。假如各大洋都像环绕南极大陆的南大洋那样没有东、西边界的话,世界大洋的环流就绝不会是今天的这番景象了。

海洋的深和厚是对其绝对深度而言的。全球海洋的平均深度约为3 795 m,比陆地的平均高度(约 875 m)要大得多。大洋中深度超过 6 000 m 的海沟已发现的就有 30 多条,超过 10 000 m 的海沟也有 5 处之多。而最深的马利亚纳海沟达 11 034 m,比陆地上最高的珠穆朗玛峰几乎高出 2 200 m。因此说,海洋深、水层厚,这是任何湖泊、池沼所莫及的。正是因为海洋的宽广和深厚,才使得海洋环流得到充分的发展,才能形成具有各种不同特性的水团结构,才能使得各种不同的海洋生物得到充分地发展。也正是因为海洋的深和厚,在海洋动力学的研究中,在某些情况下就把海洋看做是“无限深”的海洋。

虽然海洋的绝对深度是很深的,但相对于地球而言,海洋的平均深度也只不过是地球半径的六万分之一。在地球上,海洋只不过是一层薄薄的表层。此外,相对于海洋的水平尺度而言,海洋的绝对深度(铅垂尺度)也是很浅的,海洋的纵横比大约只有 10^{-3} 量级。也正因为如此,才使得海水的运动主要表现为水平方向,而铅垂方向的运动则相对较弱。因而在海洋动力学的研究中,对于大尺度的海水运动常常忽略铅垂向的运动而简化为二维问题来处理。

地球上的海洋是相互连通的一个整体,常常称之为世界大洋。习惯上将世界大洋分为太平洋、大西洋、印度洋和北冰洋四个部分,这种划分的依据主要是各大洋既有自己的发展史,又具有各自的独特形态。但是,太平洋、大西洋和印度洋在南半球是连在一起的,其分界线是人为划定的,并无多少科学根据。由图 1-1 来看,太平洋、大西洋和印度洋倒像是绵延一体的南大洋向北伸出的三个大湾,而北冰洋则是大西洋向北的再延伸。由于所有大洋都相互连接和贯通,它们的物质和能量都可以充分地交流。就整个世界大洋而言,海洋环流的时空变化是连续的,它把世界大洋联系在一起,使世界大洋的各种水文、化学要素及热盐状况得以保持长期相对稳定。所以,各大洋无论在形式上还是在内容上,都是一个真正的整体。

然而,虽然世界大洋是一个整体,但是海水的运动也不完全是畅通无阻的。就各大洋而言,北冰洋与太平洋之间仅靠宽度约 80 km、深度大约为 18 ~ 40 m 的白令海峡相通,它们的中层、深层和底层海水很难沟通。而北冰洋与大西洋之间虽非狭窄的海峡,但位于两个大洋分界线上的冰岛——法罗岛海脊,也限制了两个大洋的深层和底层海水的交换。在大洋间尚且如此,那么在边缘海和内陆海,海水交换所受的限制有时则会更大。海洋的这种既相通又分隔,就使得世界大洋的各部分既有它们都具有的共性,又有它们各自的千变万化的个性和特点。

3. 海洋是多层次、多系统的统一体

地球上的海洋充满着各种各样的矛盾,比如前面所述的宽阔与有界、深厚与浅薄、相通与分隔等矛盾,还有蒸发与降水、结冰与融冰、海水的升温与降温、海水的上升与下沉、物质的溶解与析出、沉降与悬浮、淤积与冲刷、海侵与海退、波浪的生与消、潮位的涨与落、大陆的裂离与聚合、大洋地壳的扩张与潜没、海洋生态系统平衡的维系与破坏等等。它们相辅相成,共同构成了海洋这个复杂的矛盾统一体。在这个统一体中,又可分为许许多多不同的子系统,海洋中错综纷繁的现象和过程,都可以纳入一个个不同的子系统中。比如,世界海洋是由河口、海湾、

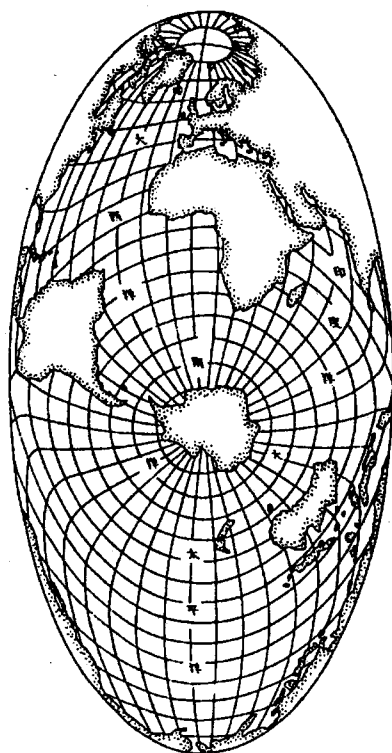


图 1-1 作为整体的世界大洋

海峡、海、陆架浅海、深海等组成的一个地理系统；海水的各式各样的运动，构成海水的运动系统，而每种运动又构成各自的分系统，如海流、波浪、潮汐、湍流等；海洋生物中同一群落的不同种群之间、生物与无机理化物之间等，形成生态系统；海水中各种形式的二氧化碳之间，以及它们与沉淀物中的碳酸盐之间形成二氧化碳系统；如此等等。每个系统是一个矛盾的统一体。而各个系统之间，都相互作用，相互关联，并且与地球构造运动以及某些天文因素等密切相关，它们通过各种形式的能量和物质的交换和转化密切联系在一起，从而构成了一个全球规模的、多层次的、多系统的、复杂的海洋自然系统。各个系统之间并不是也不可能是孤立的，每个系统的存在都是以其他系统的存在为前提；某一个系统的变化，都要不同程度地影响其他系统，牵动其他系统的改变。它们相互影响、相互制约，达到相互平衡。

需要指出的是，在海洋这个多层次、多系统的统一体中，海水的运动具有特殊的意义。在系统与系统之间，即使是在同一系统的内部，能量和物质的流通和转换主要是靠海水的运动来实现和完成的。假如没有海水的运动，那么海洋各系统之间的联系就要受到阻碍甚至断裂，那时的海洋将会完全是另外一种模样。因此，从某种意义上来说，运动才是海洋的最基本的特征，没有运动就没有海洋。

二、海与洋

1. 地表海陆分布

地球表面总面积约 $5.1 \times 10^8 \text{ km}^2$ ，分属于陆地和海洋。如以大地水准面为基准，陆地面积为 $1.49 \times 10^8 \text{ km}^2$ ，占地表总面积的 29.2%；海洋面积为 $3.61 \times 10^8 \text{ km}^2$ ，占地表总面积的

70.8%。海、陆面积之比为 2.5:1,可见地表大部分为海水所覆盖。

地球上的海洋是相互连通的,构成统一的世界大洋;而陆地是相互分离的,故没有统一的世界大陆。在地球表面,是海洋包围、分割所有的陆地,而不是陆地分割海洋。

地表海、陆分布极不均衡。在北半球陆地占其总面积的 67.5%,在南半球陆地占总面积的 32.5%。北半球海洋和陆地的比例分别为 60.7%和 39.3%,南半球海、陆比例分别是 80.9%和 19.1%。如果以经度 0°、北纬 38°的一点和经度 180°、南纬 47°的一点为两极,把地球分为两个半球,海、陆面积的对比达到最大程度,两者分别称“陆半球”和“水半球”(图 1-2)。陆半球的中心位于西班牙东南沿海,陆地约占 47%,海洋占 53%,这个半球集中了全球陆地的 81%,是陆地在一个半球内的最大集中。水半球的中心位于新西兰的东北沿海,海洋占 89%,陆地占 11%,这个半球集中了全球海洋的 63%,是海洋在一个半球的集中。这就是它们分别称为陆半球和水半球的原因。必须说明,即使在陆半球,海洋面积仍然大于陆地面积。陆半球的特点,不在于它的陆地面积大于海洋(没有一个半球是这样),而在于它的陆地面积超过任何一个半球;水半球的特点,也不在于它的海洋面积大于陆地(任何一个半球都是如此),而在于它的海洋面积比任何一个半球都大。

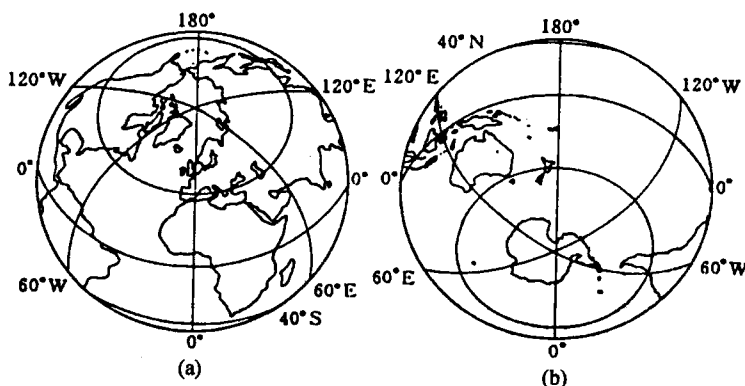


图 1-2 陆半球和水半球

图 1-3 表示了海陆随纬度的分布,虚线为 25%的界线,实线为 50%的界线。

从图 1-2 和图 1-3 中,可以看出地表海陆分布的特点:地球上的海陆分布是很不均匀的,陆地大部分集中在北半球。每个大陆是北部较宽,南部较窄,且绝大部分的大陆是成对的。北极为水,南极为陆地。北冰洋的中央部分,深度大于 4 000 m,而南极却是一块 3 000 m 以上的高原。北纬 45°至 70°之间,以及南纬 70°以南的地区,陆地面积大于海洋,而在其他纬度海洋的面积大于陆地。北纬 65°附近,陆地所占的面积最多,除大西洋和狭窄的白令海峡外,大陆几乎连成一片。而在南纬 56°到 65°的大洋连成一条环绕地球的水带。此外,大西洋的东、西两岸大致平行。上述情况,对于许多海洋现

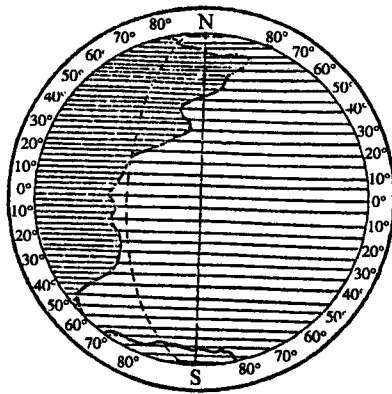


图 1-3 海陆随纬度的分布

象都有重要的意义。

2. 海陆的起伏

地球上的海洋不仅面积超过陆地,而且其深度超过陆地的高度。海洋的平均深度达 3 795 m,而陆地的平均高度只有 875 m,二者之比为 4.26:1。大多数海洋的深度超过 3 000 m,占海洋总面积的 75%;大多数陆地的高度不到 1 000 m,占陆地总面积的 71%。如果将高低起伏的地表削平,则地球表面将被约 2 646 m 厚的海水均匀覆盖。

海洋的平均深度和陆地的平均高度相差很大,但是,海洋深度和陆地高度的最大值却是十分接近。世界上最深的马里亚纳海沟为 11 034 m,最高的珠穆朗玛峰为 8 848 m。自最高的山峰至最深的海沟,垂直距离为 19 882 m,相当于地球的赤道半径和极半径之差(21 405 m)。

陆地和海洋可以分为若干高度带和深度带,每一个带都有一定的表面积。为了表示各个高度带和深度带以及它们的面积,以高度和深度为纵轴,以高度和深度的相当级所占的面积为横轴,画成一条曲线。这就是海陆起伏曲线即陆高海深曲线(图 1-4)。

从海陆起伏曲线图上,可以看出大陆与大洋底是地球上两个基本的地貌单元。当用图中横轴的绝对数值时,可以读出每一高度或深度所占的面积。当用图中横轴的百分比时,则可以知道不同高度或深度地方占全球面积的百分数。

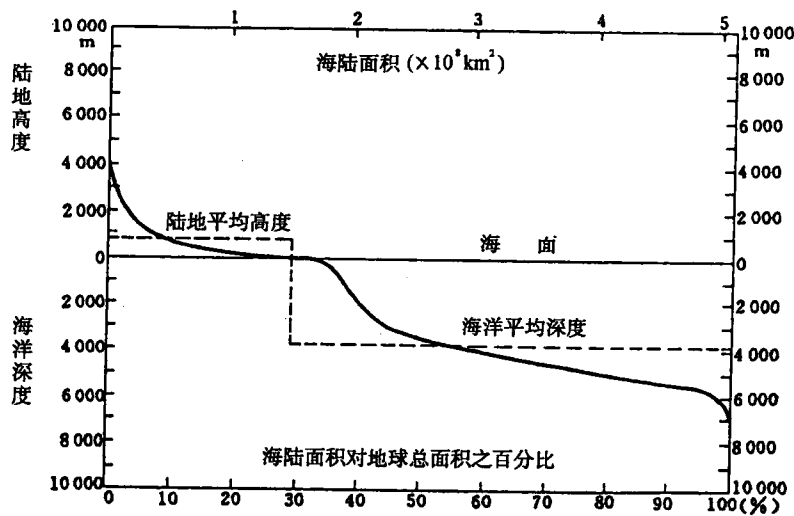


图 1-4 海陆起伏曲线

3. 海洋的划分

地球上互相连通的广阔水域构成统一的世界海洋。根据海洋要素特点及形态特征,可将其分为主要部分和附属部分。主要部分为洋,附属部分为海、海湾和海峡(图 1-5)。洋或称大洋,是海洋的主体部分,一般远离大陆,面积广阔,约占海洋总面积的 90.3%;深度大,一般大于 2 000 m;海洋要素如盐度、温度等不受大陆影响,盐度平均为 35,且年变化小;具有独立的潮汐系统和强大的洋流系统。

世界大洋通常被分为四大部分,即太平洋、大西洋、印度洋和北冰洋(图 1-5),各大洋的面积、容积和深度如表 1-1 所示。太平洋是面积最大、最深的大洋,其北侧以白令海峡与北冰洋

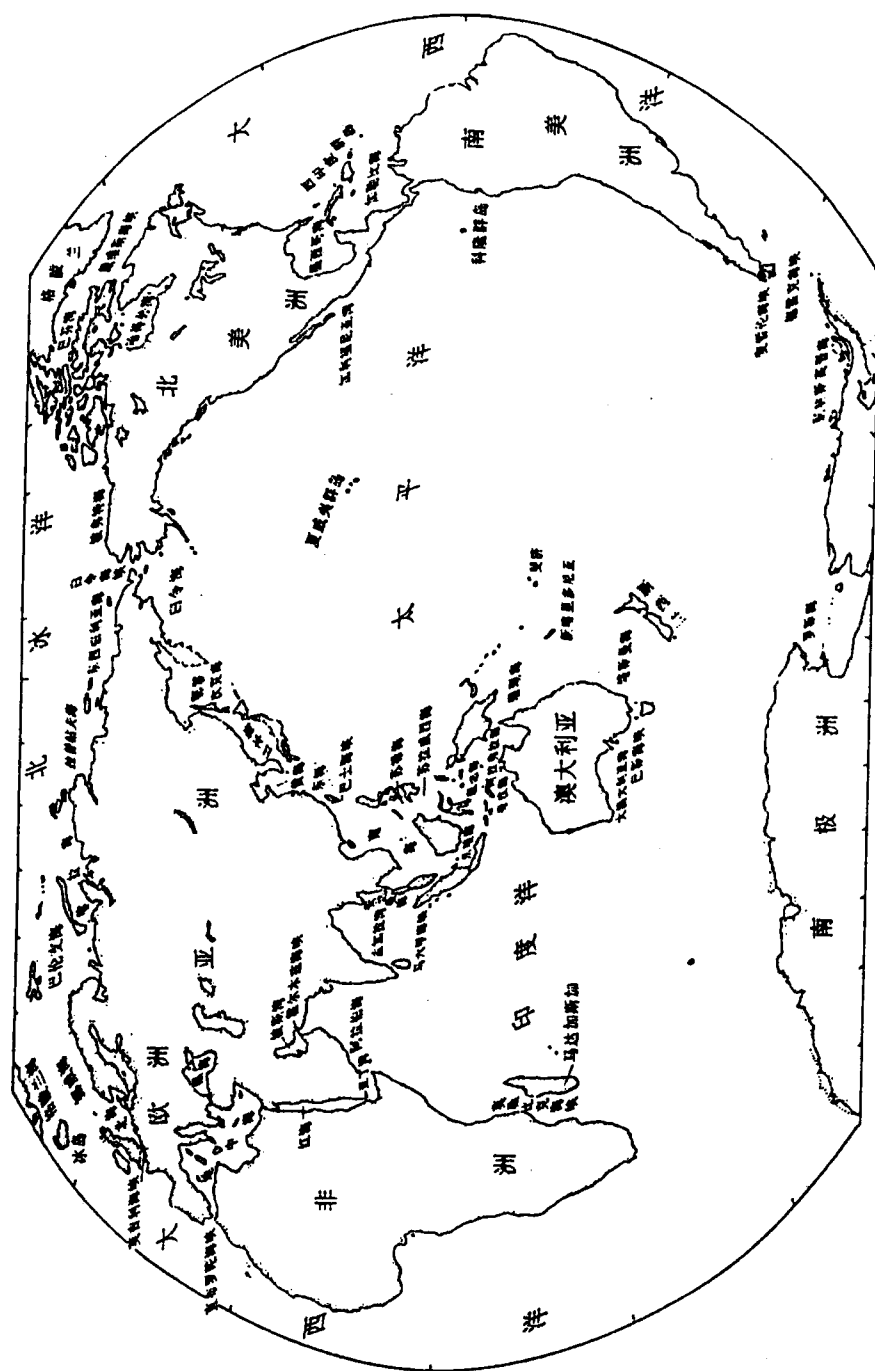


图 1-5 全球海陆分布及海洋的划分

相接;东边以通过南美洲最南端合恩角的经线与大西洋分界;西以经过塔斯马尼亚岛的经线(146°51'E)与印度洋分界。印度洋与大西洋的界线是经过非洲南端厄加勒斯角的经线(20°E)。大西洋与北冰洋的界线是从斯堪的纳维亚半岛的诺尔辰角经冰岛、过丹麦海峡至格陵兰岛南端的连线。北冰洋大致以北极为中心,被亚、欧和北美洲所环抱,是世界上最小、最浅、最寒冷的大洋。

表 1-1 世界各大洋的面积、容积和深度

名称	包括附属海						不含附属海					
	面积		容积		深度/m		面积		容积		深度/m	
	10 ⁶ km ²	%	10 ⁶ km ³	%	平均	最大	10 ⁶ km ²	%	10 ⁶ km ³	%	平均	最大
太平洋	179.679	49.8	723.699	52.8	4 028	11 034	165.246	45.8	707.555	51.6	4 282	11 034
大西洋	93.363	25.9	337.699	24.6	3 627	9 218	82.422	22.8	323.613	23.6	3 925	9 218
印度洋	74.917	20.7	291.945	21.3	3 897	7 450	73.443	20.3	291.030	21.3	3 963	7 450
北冰洋	13.100	3.6	16.980	1.3	1 296	5 449	5.030	1.4	10.970	0.8	2 179	5 449
世界海洋	361.059	100	1 370.323	100	3 795	11 034	3 260.141	90.3	1 333.168	97.3		11 034

太平洋、大西洋和印度洋靠近南极洲的那一片水域,在海洋学上具有特殊意义。它具有自成体系的环流系统和独特的水团结构,既是世界大洋底层水团的主要形成区,又对大洋环流起着重要作用。因此,从海洋学(而不是从地理学)的角度,一般把三大洋在南极洲附近连成一片的水域称为南大洋或南极海域。联合国教科文组织(UNESCO)下属的政府间海洋学委员会(IOC)在 1970 年的会议上,将南大洋定义为:“从南极大陆到南纬 40°为止的海域,或从南极大陆起,到亚热带辐合线明显时的连续海域。”

海是海洋的边缘部分,据国际水道测量局的材料,全世界共有 54 个海,其面积只占世界海洋总面积的 9.7%。海的深度较浅,平均深度一般在 2 000 m 以内。其温度和盐度等海洋水文要素受大陆影响很大,并有明显的季节变化。水色低,透明度小,没有独立的潮汐和洋流系统,潮波多系由大洋传入,但潮汐涨落往往比大洋显著,海流有自己的环流形式。

按照海所处的位置可将其分为陆间海、内海和边缘海。陆间海是指位于大陆之间的海,面积和深度都较大,如地中海和加勒比海。内海是伸入大陆内部的海,面积较小,其水文特征受周围大陆的强烈影响,如渤海和波罗的海等。陆间海和内海一般只有狭窄的水道与大洋相通,其物理性质和化学成分与大洋有明显差别。边缘海位于大陆边缘,以半岛、岛屿或群岛与大洋分隔,但水流交换通畅,如东海、日本海等。

海湾是洋或海延伸进大陆且深度逐渐减小的水域,一般以入口处海角之间的连线或入口处的等深线作为洋与海的分界。海湾中的海水可以与毗邻海洋自由沟通,故其海洋状况与邻接海洋很相似。但在海湾中常出现最大潮差,如我国杭州湾最大潮差可达 8.9 m。

需要指出的是,由于历史上形成的习惯叫法,有些海和海湾的名称被混淆了,有的海叫成了湾,如波斯湾、墨西哥湾等;有的湾则被称作海,如阿拉伯海等。世界上主要的海和海湾如表 1-2 所示,其中面积最大、最深的海是珊瑚海。

表 1-2 世界主要的海和海湾

洋	海或海湾	面积/ 10^4 km^2	容积/ 10^4 km^3	深度/m	
				平均	最大
太平洋	白令海	230.4	368.3	1 598	4 115
	鄂霍次克海	159.0	136.5	777	3 372
	日本海	101.0	171.3	1 752	4 036
	黄海	40.0	1.7	44	140
	东海	77.0	285.0	370	2 717
	南海	360.0	424.2	1 212	5 517
	爪哇海	48.0	22.0	45	100
	苏禄海	34.8	55.3	1 591	5 119
	苏拉威西海	43.5	158.6	3 645	8 547
	班达海	69.5	212.9	3 064	7 260
	珊瑚海	479.1	1 147.0	2 394	9 140
	塔斯曼海	230.0			5 943
	阿拉斯加湾	132.7	322.6	2 431	5 659
	加利福尼亚湾	17.7	14.5	818	3 127
印度洋	红海	45.0	25.1	558	2 514
	阿拉伯海	386.0	1 007.0	2 734	5 203
	安达曼海	60.2	66.0	1 096	4 189
	帝汶海	61.5	25.0	406	3 310
	阿拉弗拉海	103.7	20.4	197	3 680
	波斯湾	24.1		40	102
	大澳大利亚湾	48.4	45.9	950	5 080
	孟加拉湾	217.2	561.6	258	5 258
大西洋	波罗的海	42.0	3.3	86	459
	北海	57.0	5.2	96	433
	地中海	250.0	375.4	1 498	5 092
	黑海	42.3	53.7	1 271	2 245
	加勒比海	275.4	686.0	2 491	7 680
	墨西哥湾	154.3	233.2	1 512	4 023
	比斯开湾	19.4	33.2	1 715	5 311
	几内亚湾	153.3	459.2	2 996	6 363
北冰洋	格陵兰海	120.5	174.0	1 444	4 846
	楚科奇海	58.2	5.1	88	160
	东西伯利亚海	90.1	5.3	58	155
	拉普帖夫海	65.0	33.8	519	3 385
	喀拉海	88.3	10.4	127	620
	巴伦支海	140.5	32.2	229	600
	挪威海	138.3	240.8	1 742	3 970

海峡是两端连接海洋的狭窄水道。海峡最主要的特征是流急,特别是潮流速度大。海流有的上、下分层流入、流出,如直布罗陀海峡等;有的分左、右侧流入或流出,如渤海海峡等。由

于海峡中往往受不同海区水团和环流的影响,故其海洋状况通常比较复杂。

4. 海水的起源与演化

海水的形成与地球物质整体演化作用有关。一般认为海水是地球内部物质排气作用的产物,即水汽和其他气体是通过岩浆活动和火山作用不断从地球内部排出的。现代火山排出的气体中,水往往占 75% 以上,据此推测,地球原始物质中水的含量应当较高。地球早期火山作用排出的水汽凝结为液态水,积聚成原始海洋,还有些火山气体溶解于水,从而转移到原始海洋中,而另一些不溶或微溶于水的气体则组成了原始大气圈。

在漫长的地球演化过程中,海水因地球排气作用不断累积增长,最初的原始海洋体积可能有限,深海大洋的形成也要晚些。根据对海洋动物群种属的多样性分析,至少在寒武纪以前就出现了深海大洋。

海水中的化学成分一是来源于大气圈中或火山排出的可溶性气体,如 CO_2 、 NH_3 、 Cl_2 、 H_2S 、 SO_2 等,这样形成的是酸性水;二是来自陆上和海底遭受侵蚀破坏的岩石,受蚀破坏的岩石为海洋提供了钠、镁、钾、钙、锂等阳离子。目前海水中阴离子的含量(如 Cl^- 、 F^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 等)远远超过从岩石中吸取出的数量。因此,海水盐类的阴离子主要是火山排气作用的产物,而阳离子则由被侵蚀破坏的岩石产生,其中有很大部分是通过河流输入海洋的。另外,受蚀的岩石也为海洋提供了部分可溶性盐。

前寒武纪晚期以来,尽管地球上的海水量继续增加,特别是各种元素和化合物从陆地或通过火山活动源源不断地输入海洋,然而海洋生物调节着海水的成分,促使碳酸盐、二氧化硅和磷酸盐等沉淀下来,硫酸盐、氯化物的含量相对增加,钙、镁、铁等大量沉淀,钠则明显富集,于是海水的成分逐渐演变而与现代海水成分相近。根据对动物化石的研究,在显生宙期间,海水的盐度变化不大。这说明,由于海洋生物的调节作用,世界大洋水的成分自古生代以来已处于某种平衡状态中。

总之,大洋海水的体积和盐分的显著变化发生在前寒武纪的漫长地球历史时期,自古生代(距今约 6×10^8 年)以来,大洋水的体积和盐度已大体与现代相近。

5. 海岸带

世界海岸线全长约 44×10^4 km,它是陆地和海洋的分界线。由于潮位变化和风引起的增水-减水作用,海岸线是变动的。水位升高便被淹没,水位降低便露出的狭长地带即是海岸带。目前,世界上约有 2/3 的人口居住在狭长的沿海地带,海岸带的地貌形态及其变化对人类的生活和经济活动具有重大意义。

海岸带是海陆交互作用的地带。海岸地貌是在波浪、潮汐、海流等作用下形成的。现代海岸带一般包括海岸、海滩和水下岸坡三部分(图 1-6)。海岸是高潮线以上狭窄的陆上地带,大部分时间裸露于海水面之上,仅在特大高潮或凶暴风浪时才被淹没,又称潮上带。海滩是高低潮之间的地带,高潮时被水淹没,低潮时露出水面,又称潮间带。水下岸坡是低潮线以下直到波浪作用所能到达的海底部分,又称潮下带,其下限相当于 1/2 波长的水深处,通常约 10~20 m。

海岸发育过程受多种因素影响,交叉作用十分复杂,故海岸形态也错综复杂,国内外至今没有一个统一的海岸分类标准。《中国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》将中国海岸分为河口岸、基岩岸、砂砾质岸、淤泥质岸、珊瑚礁岸和红树林岸等六种基本类型。