

海洋学

陈建民 徐依吉 编著

HAI YANG XUE

石油大学出版社

海 洋 学

陈建民 徐依吉 编著

石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

海洋学/陈建民编著. —东营:石油大学出版社,

2003. 6

ISBN 7-5636-1799-X

I. 海... II. 陈... III. 海洋学-高等学校-教材
IV. P7

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第053888号

书 名:海洋学

作 者:陈建民

出版者:石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)

网 址:<http://www.hdpu.edu.cn>

电子信箱:upcpres@mail.hdpu.edu.cn

排 版 者:石油大学排版中心排版

印 刷 者:泰安开发区成大印刷厂

发 行 者:石油大学出版社(电话 0546-8391797)

开 本: 140×202 印张:9.375 字数:237千字

版 次:2003年8月第1版1次印刷

印 数:1—700册

定 价:12.80元

内容简介

本书是为船舶与海洋工程专业编写的教材。全书共分八章,即地球与海洋,海水的组成及特性,海浪,海流,潮汐,大气运动,气旋与反气旋,中国近海。与同类教材相比,增加了大气运动和气旋与反气旋两章。主要目的是让学生掌握有关海洋气象方面的知识。

本书除作为船舶与海洋工程专业的教材外,还可作为相近专业的教材或教学参考用书。对从事相近专业的科技人员或管理人员,也有较大的参考价值。

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。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,沿海主要港口码头泊位 1 240 个,海运商船总吨位列居世界第八位,海盐年产量 1 300 多万吨,一直保持世界第一位。

海洋石油开发是海洋资源开发利用的一部分。我国海岸线超过 18 000 km,拥有约 $470 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的海域,几乎等于陆地面积的一半。由于这些海域特有的自然条件和地球位置,形成了一个储量丰富、种类繁多的海底矿产资源宝库。最近几年对部分海域的地质普查,已发现渤海盆地、南黄海盆地、东海盆地、南海珠江口盆地和莺歌海盆地为我国很有希望的六大近海含油盆地,并已探出有各类储气构造 417 个,其中大构造数十个,估计其地质储量为 150~250 亿吨,天然气储量约 $283 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

海洋学是从事各种海洋开发研究的基础,海洋开发的历史表明,对海洋进行开发利用的成功与否,在很大程度上依赖于对海洋环境要素——流、浪、潮、冰和风场分布变化规律的掌握。

本书是根据 2001 年船舶与海洋工程专业教学计划的要求编写的,全书共分八章。第三、四、六、七、八章由陈建民撰写,第一、二、五章由徐依吉撰写。全书由陈建民统稿、定稿。

本书的编写,得到石油大学(华东)有关领导的大力支持,编、撰者在此致以衷心的感谢。

本书虽几经修改,但终因时间紧迫,更兼编、撰者学识有限,错误和不当之处在所难免,衷心希望批评指正。

主编

2003年8月

目 录

绪 论	1
第一章 地球与海洋	4
§ 1-1 地球的基础知识	4
§ 1-2 海与洋	13
§ 1-3 海底地形	20
§ 1-4 海陆变迁	33
§ 1-5 海底矿物资源	40
第二章 海水的组成及特性	48
§ 2-1 海水的组成	48
§ 2-2 海水的盐度	53
§ 2-3 海水的声学特性	56
§ 2-4 海水的光学特性	62
§ 2-5 海冰	72
第三章 海浪	79
§ 3-1 海浪的类型	79
§ 3-2 海浪的形成	84
§ 3-3 海浪波动方程	93
第四章 海流	109
§ 4-1 海流的成因与表示方法	109
§ 4-2 海水运动的基本方程	110
§ 4-3 海水受力分析	113
§ 4-4 地转流	120
§ 4-5 风海流	127

§ 4-6	风海流的副效应	130
§ 4-7	惯性流	133
§ 4-8	世界大洋上层主要环流	135
§ 4-9	热盐环流	143
第五章	潮汐	149
§ 5-1	潮汐现象	149
§ 5-2	引潮力	153
§ 5-3	天体知识	163
§ 5-4	平衡潮理论	167
§ 5-5	潮汐动力理论	172
第六章	大气运动	178
§ 6-1	大气的成分及垂直分层	178
§ 6-2	大气的水平与垂直运动	184
§ 6-3	大气环流	194
§ 6-4	风	202
第七章	气旋与反气旋	213
§ 7-1	气团与锋	213
§ 7-2	副热带高压	220
§ 7-3	温带气旋	223
§ 7-4	温带反气旋	228
§ 7-5	热带气旋	233
§ 7-6	台风	248
§ 7-7	风暴潮	259
第八章	中国近海	266
§ 8-1	自然环境概况	266
§ 8-2	中国近海表层环流	274
§ 8-3	渤海和北黄海海冰概况	278
§ 8-4	中国近海气候	284

绪 论

海洋是一个具有巨大时空尺度的开放性复杂系统,它包含着物理、化学、地质、生物等各种现象的过程。海洋以其广阔的空间以及对全球环境的巨大调节作用维系着地球生态系统和人类生存的大环境,并为提高人类生活质量、促进人类进程和人类社会可持续发展提供丰富的物质财富。

海洋使沿海地区成为经济、社会和文化最发达,人口最密集的地区。海洋使沿海雨量充足,适合农业发展。海洋为沿海地区提供优越的区位优势,便于进行区域间、国家间的经济和文化交流;海洋使沿海地区(个别冰封区除外)气候适宜,空气清新,适合人类生存。全世界经济、社会和文化最发达的区域多位于沿海地区,世界60%的人口居住在距海岸100 km的沿海地区内。

海洋对中国东部地区尤其是沿海地区作用巨大。自黑龙江省黑河市,到云南省腾冲县一线以东的东部地区,只占全部国土的一半,但全国90%的人口,粮食产量,工、农业总产值却集中于这一地区,西部只占10%。而其中沿海省、自治区、直辖市的陆地面积只占国土陆地面积的15%,人口占全国的40%,社会总产值却占60%左右。

一、世界海洋概况

地球表面积为 $5.1 \times 10^8 \text{ km}^2$,以大地水准面为基准,陆地面积为 $1.4 \times 10^8 \text{ km}^2$,占29.2%;海洋面积 $3.61 \times 10^8 \text{ km}^2$,占70.8%。地表海陆分布极不均衡,北半球的陆地是南半球的2倍多,故北半球称为陆半球,南半球称为水半球。即使在陆半球,海洋面积仍大

于陆地,海陆的比例分别为 60.7%,39.3%,南半球的海陆比例分别为 80.9%和 19.1%。

地球上的海洋是相互连通的,构成统一的世界海洋。全球陆地被海洋分割,故没有统一的世界大陆。海洋的主体部分为洋(Ocean),约占海洋总面积的 90.3%,海洋的附属部分是海(Sea)、海湾(大者称为 Gulf,小者称为 Bay)和海峡(宽者称为 Strait,窄者称为 Channel)。

海洋不仅面积大于陆地,而且其深度也超过了陆地的高度。海洋的平均深度 3 795 m(最深处位于马里亚纳海沟,11 034 m),陆地平均高度只有 875 m(最高的珠穆朗玛峰为 8 848 m)。如果将地球表面削平,则地球表面将被均匀覆盖约 2 646 m 厚的海水。

海洋吸收的太阳能占 4/5。每年生产 360 亿吨氧,大气中 70% 的氧来自海洋。海洋吸收大气中 CO_2 的能力是大气的 60 倍;海洋每年蒸发 $44 \times 10^8 \text{ km}^3$ 的淡水;冷暖洋流影响着全球气候,如大西洋暖流每年向西北欧每 1 km 海岸输送的热量大约相当于燃烧 6×10^7 吨煤所放出的热量,使得纬度高达 50 度以上的挪威最冷月的平均气温也在 0°C 以上;海洋的热容量是大气的 1 000 倍。著名的厄尔尼诺现象,是热带海洋对全球气候产生强大影响的例子。

二、我国海域概况

我国海域辽阔,北起渤海之滨,南至南沙群岛,跨越温带、亚热带及热带三大气候带,海岸线绵延长达 18 000 多公里。

我国的渤海、黄海和东海有时总称为东中国海。东中国海地处中纬地带,具有温带海的性质,海洋状况的季节变化很大,尤其是北部海域和沿岸区域。

我国海域除了东南部有狭长的西南-东北向的水域水深超过 2 000 m 外,大部分地区水深都在 200 m 以内,大陆架面积占整个海域面积的 80% 以上。东中国海所属的三个海区,渤海、黄海和东海中渤海的面积最小,水深最浅,平均约 20 m。渤海海峡深度大多

在 60 m 以内。黄海的平均水深为 40 m, 大多不超过 60 m, 但中心部分地区, 水深在 80 m 以上。东海的水深较大, 平均为 349 m, 最深处在石垣岛附近, 深为 2 719 m。在我国大陆的南面海域, 西濒中南半岛, 它的东南部通过巴士海峡、苏禄海、爪哇海和太平洋相通。面积约 270 万平方公里, 统称该海域为南中国海或南海。该海域水深较大, 平均为 1 140 m, 中间深, 四周浅, 形成锅形的南海盆地。我国因石油生产工业的需要又分南海西部和东部, 二者间以珠江口为界。北部湾位于南中国海的西北角, 深度约为 100 m。东中国海和南中国海之间以台湾海峡相连, 深度大多在 100 m 以内, 西南部较浅。

三、我国海上石油工程概况

我国海域蕴藏着丰富的油气资源, 早在 20 世纪 60 年代, 我国就开始了渤海湾海底石油的勘探工作, 30 多年来已相继开发了多个油田。80 年代初, 我国又开始了对南海油田的开发, 生产形势和前景十分良好。为了提高我国勘探和开发海底石油和天然气的能力, 有关科研机构和生产部门正大力开展开发海洋石油方面的科学研究工作。

与海洋石油工程有关的海洋学内容相当广泛。主要有海洋石油工程的物理环境, 例如气象学中的气温、气压、大气运动、气旋与反气旋、风等因素, 海洋水文中的海水的盐度, 海水的声光学特性、海浪、潮汐、海流、海啸、风暴潮、海冰等现象, 海岸地理地貌和海底地基的特征及力学性能, 海底泥沙的运移和海岸的变迁等; 海洋石油工程的化学环境, 例如海洋结构的腐蚀现象; 海洋生物学环境, 例如海洋石油工程结构水下部分的海洋生物附着现象。

mxg94/13

第一章 地球与海洋

§ 1-1 地球的基础知识

一、地球的宇宙环境

宇宙是空间、时间无限的物质世界,目前人类观测到的宇宙范围称为总星系,半径约150亿光年。总星系中约有10亿个星系。星系有大有小,小者有几万颗恒星,大者有上千亿颗恒星。太阳所在的星系叫做银河系。

宇宙是由各种形态的天体和电磁波等物质组成的,天体常常聚集成一个个天体群或集团,通称为天体系统。天体系统有不同的级别,如地球与绕其运转的月球、人造卫星等组成较低级的地-月系统,太阳与绕其运转的地球及其他行星则组成较高一级的太阳系。

太阳是一颗普通的恒星,是太阳系内惟一能发光发热的质量最大的天体,其质量占太阳系总质量的99.8%,对地球和整个太阳系都有着极大影响。行星是环绕恒星运转而本身不发光的天体。太阳吸引着九大行星(按与太阳由近及远的距离依次为水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星、冥王星)、50颗卫星、2 000多颗小行星以及600多颗彗星绕其运行(图1-1)。

九大行星体积大小相差悬殊,最大的木星比最小的水星大7 300倍;与地球相比,水星体积相当于地球的0.056倍,木星则为地球的1 313.5倍。按特征可把九大行星分为两类:一类物理性质

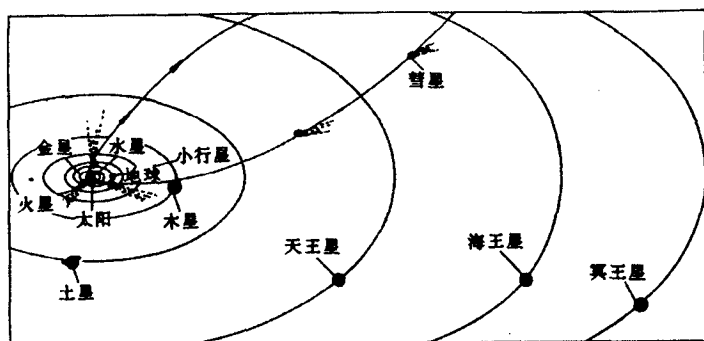


图 1-1 太阳系行星轨道示意图

与地球相似,称为“类地行星”,包括水星、金星、火星和地球,它们体积较小、密度较大、卫星较少,表层为固体,重元素较多;另一类的物理特征近似木星,称为“类木行星”,包括土星、天王星、海王星和木星,它们体积大、密度小、卫星较多,无固体表面,轻元素(特别是气体元素)较多。冥王星距太阳最远,其物理性质尚不甚清楚。太阳系目前以冥王星轨道为边界,直径为 $118 \times 10^8 \text{ km}$,太阳发出的光需要 5.5 小时才能穿出太阳系。

月球是地球惟一的天然卫星,其半径为 1 738 km,质量为 $7.35 \times 10^{22} \text{ kg}$,平均密度 $3.34 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。分别相当于地球的 27.1%、1.2%、60.6%,距地球 $38.44 \times 10^4 \text{ km}$ 。月球上没有水,大气也极稀薄,还不到地球海平面大气密度的 10^{-12} ,因此没有生物,也没有风云雨雪等天气现象。在地月系中,像月球如此之大的卫星是绝无仅有的。地月系的中心天体是地球,地球运动多方面受着月球的影响,地球上的天文地理现象,如日月食和潮汐,也主要与月球有关。

在无限的宇宙空间中,地球只不过是沧海之一粟,它处在永无止息的运动中。地球的运动有多种形式,其中最显著的是自转和公转。地球绕通过地心的地轴的旋转称为自转,地球自转会产生一系列现象。其中最显著的是天体的周日视运动,其次是与运动相关的一种惯性力,称为地转偏向力或科氏力。一般认为,地球公转就是

地球环绕太阳的运动。事实上,地球公转既是地球和太阳环绕公共质心(地球与太阳)的运动,也是地球和月球环绕地月公共质心的运动。地球上的潮汐,主要是在月球和地球的相互公转过程中发生的,没有公转也就无所谓潮汐。

二、地球的形状

地球的形状一般是指全球静止海面的形状,即一个等位势面的形状。全球静止海面是既不考虑地表海陆差异,也不考虑陆、海地势起伏时的海面。它在大陆上是静止海面向大陆之下延伸的假想“海面”。两者总称大地水准面,是陆上高程的起算面。理想的地球形状就是大地水准面的形状。事实上,大地水准面只能反映地球的宏观轮廓,而不能反映地表起伏的细微变化。

假定地球是静止的,且组成地球的物质密度是均匀的,由于地心引力作用,其形状应该是正球体。但地球不停地沿地轴自西向东自转,由此产生的惯性离心力将使地球沿赤道面向外膨胀,沿地轴向内收缩;又由于地球内部物质密度(不论纵向还是横向)的不均匀性,结果使地球呈现为不规则的旋转椭球体。

根据人造卫星运行轨道分析测算的结果,地球是一个梨形的球体,与标准椭球体相比,南极大陆凹进 24 m,北极高出 14 m,赤道至 45°N 间向内凹进,赤道至 60°S 间向外凸出(图 1-2)。

精确的地球形状和大小,对于大地测量、人造卫星和远程火箭的运行十分重要。然而,地球的平均半径 6 371 km,扁率却只有 3.35×10^{-3} ,其形状与球体极为接近,因此在海洋研究中一般把地球看作正球体。

三、地球的结构

地球是一个具有同心圈层结构的非均质体,以地球固体表面为界分为内圈和外圈,它们又可再分为几个圈层,每个圈层都有自己的物质运动特征和物理化学性质。

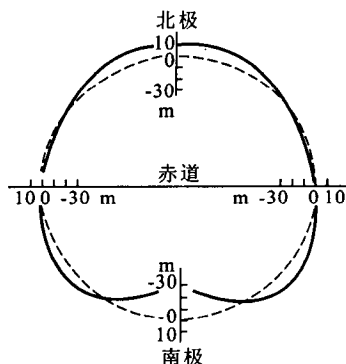


图 1-2 据人造卫星轨道状况测得的
地球的真实形状(实线)与理想的椭球体(虚线)

1. 地球的外部圈层

地球固体表面以上,根据物质性状可以分为大气圈、水圈和生物圈。大气圈是包围着地球的气体,厚度有几万千米,总质量约 $5.136 \times 10^6 \text{ t}$ 。由于受地心的引力,以地球表面的大气最稠密(约有 $\frac{3}{4}$ 集中在地面到 100 km 高度范围内, $\frac{1}{2}$ 集中在地面至 10 km 高度范围内),向外逐渐稀薄,过渡为宇宙气体,故大气圈无明确的上界。大气有明显的可压缩性,其密度和压力与温度成反比,与高度成反比,海平面大气的密度和压力最大。根据温度和密度等大气物理特征可将大气圈自下而上分为对流层、平流层、中间层、热层和散逸层,其中与人类关系最密切的是对流层和平流层。

水圈是地球表层的水体,占地球总质量的 0.024%。其中绝大部分汇集在海洋里(占总水量的 97%),另一部分分布在陆上河流、湖沼和表层岩石的孔隙中。此外,地球上的水还以固态水(两极和山地的冰川)或水汽的形式存在,其中冰川约占总水量的 2%。陆上江河湖沼的水或直接、或通过水汽、或通过地下水与海洋相通。所以地球上的水体构成了包围地球的完整圈层——水圈。水圈既独

立存在,又渗透于大气圈、岩石圈和生物圈中,并在其间不断循环。水循环是地球外部圈层物质循环最重要的方式之一。

生物圈是地球上生物(包括动物、植物和微生物)生存和活动的空间。现代地球的大气圈、水圈和岩石圈构成了一个适宜生命存在的环境。地球独特的天文条件,加上大气圈、水圈和生物圈本身的调节作用,提供了适于生命的各种气候条件;磁层和大气层将对生命有害的高能辐射和带电离子进行阻挡或吸收。生物通过呼吸或光合作用在大气中进行着必不可少的氧与二氧化碳的交换;水圈和岩石圈为生物提供着必需的水分和矿物养料等等。这样,在岩石圈上部、大气圈下部和水圈的全部,到处都有生命的踪迹。生物所导致的以生物活动为中心的物质循环不仅是地球各圈层间物质循环的重要内容,还是各圈层相互联系的重要纽带。

在太阳系中,地球是惟一具有水圈和生物圈的行星,其大气圈也是独特的。这是地球在得天独厚的天文条件下不断演变的结果。大气圈、水圈、生物圈和岩石圈在地表附近相互渗透、相互交错、相互重叠,又使地球上形成了独特的自然环境和表层物质结构。在地球表层,通过水、生物以及其他各种物质循环进行着彼此间复杂的能量和物质交换。

2. 地球的内部圈层结构

地球刚从太阳星云分化出来时,还是一个接近均质的球体,各种物质混杂在一起,并没有明显的分层现象。但它在漫长的分化演变过程中,轻物质上升而成外层,重物质下沉而成内层。若从地球的表面即地壳形成时算起,地球已有46亿年的历史了。地球的圈层分化同地球内部的温度演变过程有关。最初形成地球时,由于温度很低,各种物质多以固态存在着,它们不能在重力作用下自由地升降。后来,由于地球的体积逐渐增大,保持热能的能力也逐渐增强。这样,地球内部放射性元素在裂变过程中产生的热能和地球本身因收缩而产生的热能,在地球内部逐渐积累起来,这时地球内部的温度也就逐渐升高了。当温度高到足以使地球内部物质具有足

够的可塑性的时候,地球上层较重的铁、镍等物质逐渐熔融,并渗过硅酸盐物质向地心流动而形成地核。温度再升高时,地内深处较轻的硅酸盐物质也相继熔融浮到地球上部,形成地幔。随后硅酸盐物质再进一步分化,较轻的硅镁质岩浆上移至地壳下层凝结,构成玄武岩地壳;而最轻的硅铝质岩浆升到地球最上层,构成花岗岩地壳。

根据对天然地震波传播方向和速度的研究得知,地球内部物质呈同心圈层结构。在各圈层间都存在着地震波速度明显变化的界面(或称不连续面),其中最重要的界面有莫霍面(M面)和古登堡面(G面),它们把地球分为地壳、地幔和地核三大圈层。地幔又分为上地幔和下地幔,地核又分为外核和内核。根据地震波横波速度的变化,地球上部进一步划分出软流圈和岩石圈(图1-3)。

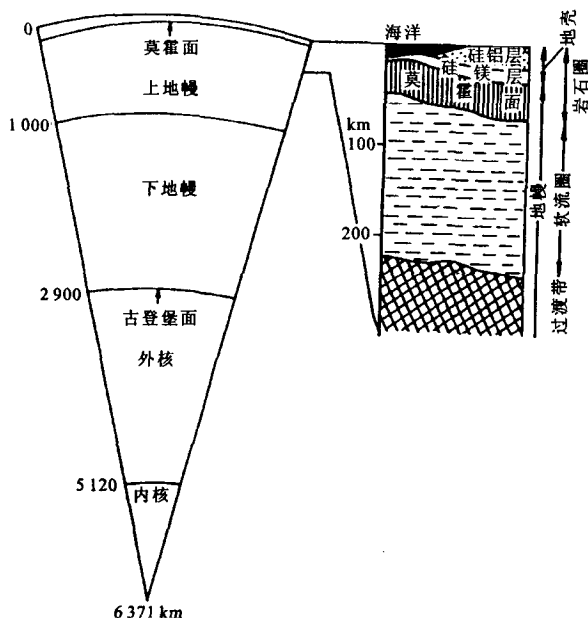


图1-3 地球内部圈层构造示意图