

高等学校教材

海洋工程测量

陈永奇 李裕忠 杨仁 编

测绘出版社

高等学校教材

海洋工程测量

陈永奇 李裕忠 杨 仁 编

测绘出版社

内容简介

本书是根据海洋工程测量的教学大纲编写的。书中较全面地阐述了海洋测量工作中的定位、测深和海底地形测量的理论和方法，并通过对几种典型的海洋工程测量工作的介绍使读者更深入地了解在海洋中进行工程测量的特点和方法。

本书可作为高等院校工程测量专业的教材，也可作为其它测绘专业的教学参考书，同时对从事海洋工程和测绘的工程技术人员也有参考价值。

海洋工程测量

陈永奇 李裕忠 杨仁 编

测绘出版社出版

测绘出版社印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

开本 787×1092 1/16·印张 14·字数 317千字

1991年6月第一版·1991年6月第一次印刷

印数 0.001—1,300册·定价 3.70元

ISBN 7-5030-0426-6/P·151

前 言

海洋占地球表面积的70%以上，蕴藏着极其丰富的自然资源。开发和利用海洋已引起世界各国的高度重视，因此海洋工程成为当今科学技术发展的四大前沿阵地之一。海洋测量是海洋中一切活动的基础，它的发展也已成为测绘业发展的重点。

海洋工程测量是指为海洋资源的调查、勘探和开发以及各种海洋工程建设、管理和维护所进行的测量工作。它的工作范围可以大到几千平方公里的海域，小到一个钻井平台的支柱；精度要求从几十米到几个厘米；所用的技术从传统的经纬仪交会，测深杆测深到卫星、无线电、水下声学定位，计算机控制的声波测深系统，激光和遥感测深以及诸如水下摄影，惯性测量等特殊手段。随着人类开发海洋工作的深入，海洋工程测量的理论、方法以及仪器手段也会不断发展。

工程测量专业的服务范围非常广泛，几乎涉及到国民经济的各个领域，因此使学生在大学阶段掌握海洋测量的基本理论和方法已成为必不可少的专业训练。作者从1984年起开始在工程测量专业中开设这门课程。本书是在原有讲义的基础上，经过几年教学实践后进一步完善而完成的。编写该书时，作者把重点放在介绍海洋测量的基本理论和方法，而不是仪器和操作细节。

本书共分四篇十四章，第一篇概述海洋、海洋工程以及海洋测量的基本任务和主要内容。第二篇介绍海洋中定位的理论和方法，包括海上定位的数学模型，电磁波传播的基本理论，无线电定位系统，卫星定位，以及水下声学定位和综合导航。第三篇介绍水深测量和海底地形测量的方法，以及水下声学、潮汐等理论问题。最后一篇介绍几种典型的工程测量工作。

本书的内容是由作者集体讨论，分工编写的。第一篇由杨仁编写；第二篇和第十三、十四两章由陈永奇编写；第三篇和第十二章由李裕忠编写。

在本书编写过程中，全国测绘教材委员会组织有关专家对初稿进行了评审，承蒙他们提出了许多宝贵的意见，谨此表示感谢。

由于海洋工程测量所涉及的范围比较广泛，加上作者水平有限，书中难免有错误或不妥之处，希望读者批评指正。

编 者

1989年12月于武汉

目 录

第一篇 海洋和海洋测量概述

第一章 海洋.....	(1)
§1-1 海洋的概况.....	(1)
§1-2 海底的地貌特征.....	(5)
§1-3 海水的特性.....	(7)
§1-4 我国的海域状况.....	(11)
第二章 海洋开发与海洋测量.....	(14)
§2-1 海洋与人类的关系.....	(14)
§2-2 海洋开发工程的历史及现状.....	(16)
§2-3 新兴的海洋开发工作.....	(20)
§2-4 关于海洋法的一些基本知识.....	(23)
§2-5 海洋测量的任务及分类.....	(26)
§2-6 海洋测量的特点及精度要求.....	(32)
§2-7 海洋测量的发展概况, 与其它学科的关系及其教育的要求.....	(34)

第二篇 海洋定位测量

第三章 海上定位的数学模型.....	(38)
§3-1 位置线的概念.....	(38)
§3-2 定位的数学模型.....	(40)
§3-3 定位精度.....	(45)
§3-4 坐标系及其变换.....	(51)
第四章 电磁波的传播.....	(55)
§4-1 电磁波的传播特性.....	(55)
§4-2 对流层对电磁波传播的影响.....	(56)
§4-3 电离层的影响.....	(57)
§4-4 地球表面导电率的影响.....	(58)
§4-5 相位延迟及其改正.....	(59)
第五章 地面无线电定位系统.....	(63)
§5-1 系统的分类.....	(63)

§5-2	无线电测量技术	(64)
§5-3	典型无线电定位系统介绍	(68)
§5-4	测量的误差来源	(73)
§5-5	我国东海高精度无线电定位系统—实例介绍	(75)
第六章	卫星定位	(81)
§6-1	基本概念	(81)
§6-2	卫星位置的计算	(82)
§6-3	导航卫星系统 (NNSS)	(86)
§6-4	全球定位系统 (GPS)	(94)
第七章	声学定位和综合导航	(105)
§7-1	长基线系统	(105)
§7-2	短基线系统	(111)
§7-3	多普勒声纳和其它声学定位系统	(113)
§7-4	综合和自动导航系统	(114)

第三篇 水深测量和海底地形测量

第八章	水下声学	(121)
§8-1	声学在海洋测量中的应用	(121)
§8-2	海水中声波传播的速度	(123)
§8-3	声波的传播损失	(128)
§8-4	声波信号的产生和探测	(130)
§8-5	水下声学应用的分类	(131)
第九章	潮汐、平均海面及深度基准面	(133)
§9-1	潮汐现象	(133)
§9-2	引潮力	(133)
§9-3	平衡潮理论与平衡潮高	(135)
§9-4	潮波运动方程和连续方程	(138)
§9-5	潮汐观测, 分析和预报	(139)
§9-6	平均海面和深度基准面	(142)
第十章	水深测量和海底地形测量	(149)
§10-1	竖直波束回声测深法	(149)
§10-2	声波传播速度的测定	(152)
§10-3	水深测量的归算	(155)
§10-4	水深测量的精度	(160)
§10-5	激光测深仪测深	(162)
§10-6	光度法测深	(164)
§10-7	海底地形测量	(165)

§10-8	窄波束测深仪和多波束声纳	(167)
第十一章	海底地貌和地质调查	(171)
§11-1	旁侧声纳	(171)
§11-2	海底浅层剖面仪	(174)
§11-3	地震剖面仪	(175)

第四篇 典型海洋工程测量工作

第十二章	港口工程建设中的测量工作	(180)
§12-1	概述	(180)
§12-2	港口工程勘测设计阶段的测量工作	(180)
§12-3	码头施工中的定线放样工作	(183)
§12-4	港口工程建筑物的变形观测	(188)
第十三章	海上地球物理测量	(193)
§13-1	地球物理测量方法	(193)
§13-2	地震测量和海上定位	(196)
§13-3	在珠江口盆地进行海上地球物理测量的导航控制	(199)
第十四章	水下工程测量	(202)
§14-1	敷设海底电缆的调查与测量	(202)
§14-2	钻井时的定位测量	(206)
§14-3	海底管道测量作业	(209)
§14-4	海底废堆积物调查	(213)
§14-5	石油生产平台安装和维修时的测量工作	(214)

第一篇 海洋和海洋测量概述

第一章 海 洋

§ 1-1 海洋的概况

海洋是海洋大地测量、海道测量和海洋工程测量的主要工作场所。因此，在学习海洋工程测量之前，首先应对海洋的状况有一定的了解。

严格地讲，海洋是由作为海洋主体的海水水体、生活于其中的海洋生物、邻近海面上空的大气和围绕海洋周缘的海岸及海底几部分组成的统一体。但通常人们所称的海洋，仅是指作为海洋主体的广大连续水体。海洋的中心部分称为“洋”，边缘部分称为“海”。海洋的总面积约为36200万平方公里，占整个地球总面积51000万平方公里的71%（参见图1-1）和（表1-1）。



图 1-1 全球海、陆分布图

如果对南、北两半球分别进行考察，则可发现南半球被海水覆盖的面积为 $4/5$ ，北半球被海水覆盖的面积略多于 $3/5$ （参见图1-2）。因此，人们一般称南半球为水半球，称北半球为陆半球。由此可见，海洋在地球表面上的分布是不均匀的。但是经过仔细的观察，人们发现海洋和陆地在地表上的分布，具有奇妙的对称现象。例如从图1-2中可见，南极洲

海洋面积、体积和平均深度

表 1-1

洋 及 相 邻 的 海	面 积 10^3 km^2	体 积 10^3 km^3	平 均 深 度 m
太 平 洋	179680	723751	4028
大 西 洋	93360	338523	3626
印 度 洋	74910	291924	3897
北 冰 洋	13100	15720	1200
总和及加权平均深度	361050	1369918	3794

为大陆、北极为海；而欧、亚、非三大洲，却与南太平洋的面积对称；北半球的大陆部分成环状分布，南半球的海洋也成环状分布。

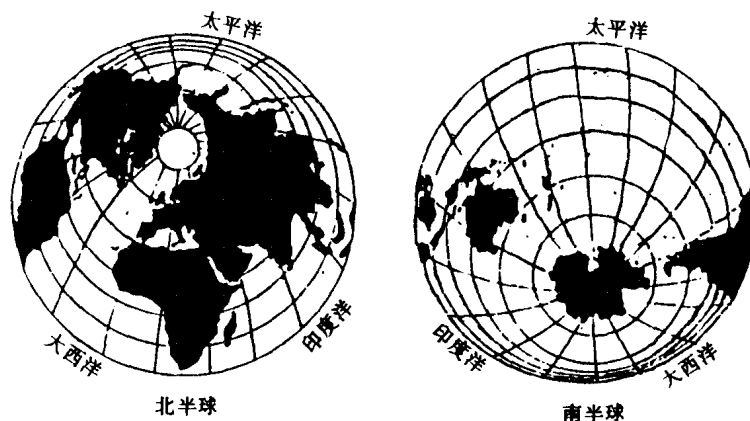


图 1-2 南、北半球海、陆分布图

同样，从图1-2中可以发现，海、陆在地球表面的不同纬度上，其分布也是不均匀的。除了 45°N 到 70°N 之间，以及南纬高于 70° 的南极洲地区，陆地面积大于海洋面积之外，其余大多数纬度上，海洋面积均大于陆地面积。而在 56°S 至 65°S 之间，几乎没有陆地，地球这部分的表面均被海洋覆盖。

在地球上，陆地不同的高度和海洋不同的深度，它们所覆盖的面积也是不同的。表1-2中分别列出不同高度和深度的覆盖面积和百分比。如果我们取纵轴为高程（深度）轴，取横轴表示所占地球总面积的百分比，则可画出图1-3。该图一目了然地反映出，地球上不同高度或深度所占地球总面积的百分比。而图中海水面与曲线交点所对应的百分比，正好是29%，这进一步说明陆地占地球表面积的29%，而海洋占地球表面积的71%。

就整个地球而言，在海洋覆盖的3.6亿平方公里的面积之下，储存着大约13.7亿立方公里的海水，它们的平均深度为3794m。因此，可以说海洋是一个相当深广的空间。

人们一般习惯于把海和洋统称为海洋，其实海和洋是两个不同的概念。况且就海而言，

不同高度和深度所占的面积

表 1-2

陆地高度 (m)	各级高度所占的面积		海洋深度 (m)	各级深度所占的面积	
	10^6 km^2	占地表面积 %		10^6 km^2	占地表面积 %
3000以上	8.5	1.6	0~200	27.5	5.4
3000~2000	11.2	2.2	200~1000	15.3	3.0
2000~1000	22.6	4.5	1000~2000	14.8	2.9
1000~500	28.9	5.7	2000~3000	23.7	4.7
500~200	39.9	7.8	3000~4000	72.0	14.1
200~0	37.0	7.3	4000~5000	121.8	23.9
0以下	0.8	0.1	5000~6000	81.7	16.0
			6000以下	4.3	0.8
总 计	148.9	29.2	总 计	361.1	70.8

也还有边缘海和地中海之分，另外还有海湾和海峡的区别。

一般指的洋，亦称为大洋。它是远离大陆，深邃而浩瀚的水域部分。约占海洋总面积的89%，深度一般在3000m以上。大洋中海水的盐度、温度等水文要素不受大陆的影响，年变化小，且比较稳定。大洋有独立的风，潮汐和洋流系统。

地球上共有四大洋：即太平洋、大西洋、印度洋和北冰洋；也有的把地球上的洋划分为五大洋的，即除上述四大洋外，把环绕南极洲的水域称为南大洋。

太平洋：位于亚洲、大洋洲和美洲之间。北起白令海，南到南极的罗斯海，东自巴拿马，西至菲律宾的棉兰老岛。它的西部，经马六甲海峡与印度洋相通，东面由巴拿马运河与大西洋相连接，它是地球上最大和其中岛屿最多的大洋。

大西洋：位于欧洲、非洲和美洲之间。南临南极洲，北连北冰洋，并与太平洋和印度洋的水域相通。它是地球上的第二大洋。形状细长，呈“S”形，两头宽中间窄，在四大洋中南北长度最长，东南宽度最窄，在赤道附近宽度仅有1500海里左右。

印度洋：位于亚洲、非洲、大洋洲与南极洲之间。形状呈扁平形。东西长，南北短，大部分洋区在赤道附近，它是一个热带洋。

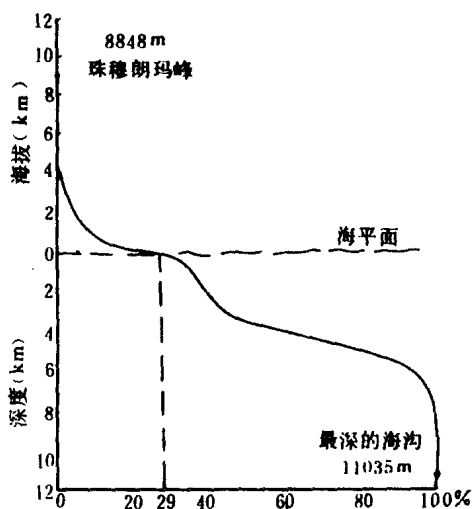


图 1-3 水、陆占地球表面积百分比图

北冰洋：位于欧、亚和北美大陆之间，基本上以北极为中心。它是地球上四大洋中面积最小、温度最低的寒带洋，终年被巨大的冰层所覆盖。

海，一般人们把大洋四周的边缘部分称作海，它濒临大陆，面积比大洋小得多，深度一般在2000~3000m以下，有的只有几十米深，海的面积占海洋总面积的11%。海中的水温、盐度等水文要素，受大陆和季节的影响，变化较大，水色混浊，透明度小，潮汐和海流均受大洋的支配，没有自己独立的系统。

根据统计，附属于地球上四大洋的海共有19个，其中属于太平洋的有：白令海、鄂霍次克海、日本海、黄海、东海、南海、瓜哇海、苏禄海、苏拉威西海、巴厘海、佛罗里斯海、摩鹿加海、西兰海、班达海、珊瑚海、阿拉斯加湾、加里福里亚湾等17个海；属于大西洋的有：巴芬湾、哈得逊湾、加勒比海、波罗的海、北海、比斯开湾、地中海、马尔马拉海、黑海、亚速海、里海、咸海、几内亚湾等14个海；属于印度洋的有：红海、波斯湾、阿拉伯海、孟加拉海、安达曼湾、萨武海、帝汶海、阿拉弗拉海、大澳大利亚湾等9个海；属于北冰洋的有：格陵兰海、挪威海、巴伦支海、白海、喀拉海、拉普帖夫海、东西伯利亚海、楚科奇海、波弗特海等9个海。

介于大陆之间的海为陆间海，例如欧、亚、非大陆之间的地中海；深入大陆内部的海称为内陆海，如我国的渤海。陆间海和内陆海，均为地中海，其水文状况主要受陆地的影响。另外，既是大洋的边缘，而和大洋之间又有半岛或岛屿相隔的称为边缘海，例如我国的黄海、东海和南海等。

海湾是指洋或海延伸进入大陆部分的水域，其深度逐渐减小。海湾中海水的性质与其相近的洋或海中水的状况相似。由于海湾不断变窄、变浅，因此容易发生最大的潮汐。

海峡是指海洋中相邻海区之间宽度较窄的水道。海峡地区的海洋状况，其最大特点是潮流速度很大。海峡有深有浅、有宽有窄，它们是连接洋与洋、洋与海、海与海的咽喉。如马六甲海峡是太平洋与印度洋的通道；直布罗陀海峡是地中海与大西洋之间的要冲。据统计，地球上主要的海峡就有36个之多。另外人们为了交通上的方便，还开挖了苏伊士运河和巴拿马运河，它们也具有类似于海峡的功能。

海岸，海岸带和海岸线是3个相关的概念，现逐一介绍如下。

海岸，笼统地讲就是陆地与海洋相互作用、相互交界的地带。它可分为海、陆之间现今正在相互作用着的现代海岸，和过去曾经相互作用过的古代海岸两种。其实，海岸这一概念可以包括在海岸带这一概念之中。海岸带是海陆交互的地带，其外界应在15~20m等深浅一带，这里既是波浪、潮流对海底作用有明显影响的范围，也是人们活动频繁的区域；它的内界，海岸部分为特大潮汐（包括风暴潮）影响的范围，河口部分则为盐水入侵的上界。海岸线是近似于平均大潮、高潮的痕迹所形成的水陆分界线。可根据海岸植物的边线、土壤、植物的颜色、湿度、硬度以及流木、水草、贝壳等冲积物来确定。在地图上，人们为了明显起见，把海洋和陆地用一条界线截然分开，并亦把这条海水和陆地相交的界线称之为“海岸线”整个地球上，海岸线的总长度约为439100km。海洋测量和陆地测量工作范围，就是从海岸线划分的。

§ 1-2 海底的地貌特征

对于海洋测量工作者来讲，海洋定位和海底地形测绘是我们的两大基本任务。要进行海底地形测绘，就有必要对我们的工作对象，即海底的地貌情况及其特征有所了解。

海洋底部和大陆都是地球地壳的一部分。它们的区别在于大陆是暴露在大气中的，而海洋底部是被海水所覆盖着的。因此海底地貌和大陆地貌都是根据地球的形成、发展而逐步演变到目前这种形态的，同时还在继续不断的演变着，只不过这是一个以百万年计的相当缓慢的过程。

目前在研究海底情况时，如以深度或地壳结构简单来划分的话，海底由两个主要部分组成，即大陆边缘及海盆（见图1-4）。大陆边缘又可分为岸区（包括海滨）、大陆架、大陆坡、大陆隆或边缘地槽，它们占海底总面积的21%。这部分是海洋对人类最有价值的部分，也是目前进行海底测绘的重点部位。

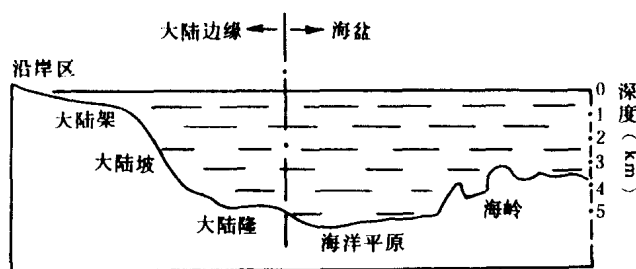


图 1-4 海底两个主要组成部分图

现在分别介绍属于大陆边缘和海盆中的各种海底构造及其地貌特征。

1. 大陆边缘是大陆与大洋连接的边缘地带。人们通常根据大陆边缘的水深和坡度，把它由浅至深划分为大陆架、大陆坡、大陆基等三个地貌单元。前面两个也可合称为大陆阶地，另外一般也把岛弧与海沟划归大陆边缘的范畴，见图1-5。

大陆架，它是位于大陆的边缘，平缓倾斜的地带，它从低潮线起逐渐向深海方向倾斜，坡度一般由小到大，直到坡度显著增大的转折点（称大陆架外沿）为止，一般坡度为 0.1° 。也就是说，从海岸至大陆坡以上的浅海区域称为大陆架，又称大陆棚或大陆浅滩。大陆架的宽度和沿岸地形有密切的关系，沿岸山地多，大陆架就较窄；沿岸是平原，大陆架就比较宽。大陆架平均宽度为78km。各地大陆架外沿的深度也不一致，平均深度为133m，有的则远远超过200m。按照这种自然的实际情况，大陆架可分为两类，水深在200m以内的称浅大陆架，水深超过200m的称为深大陆架。大陆架在国际上被认为是沿海国家领土的自然延伸，沿海国家有权在其领海或经济区以外，根据本国的地理条件，合理地确定在其专属管辖下的大陆架范围，以保护其海洋资源。我国的大陆架宽度达几百公里，是世界上著名的宽阔大陆架之一。

大陆坡，它位于大陆架的外沿，海底地形坡度发生显著变化的地方。一般比降超过

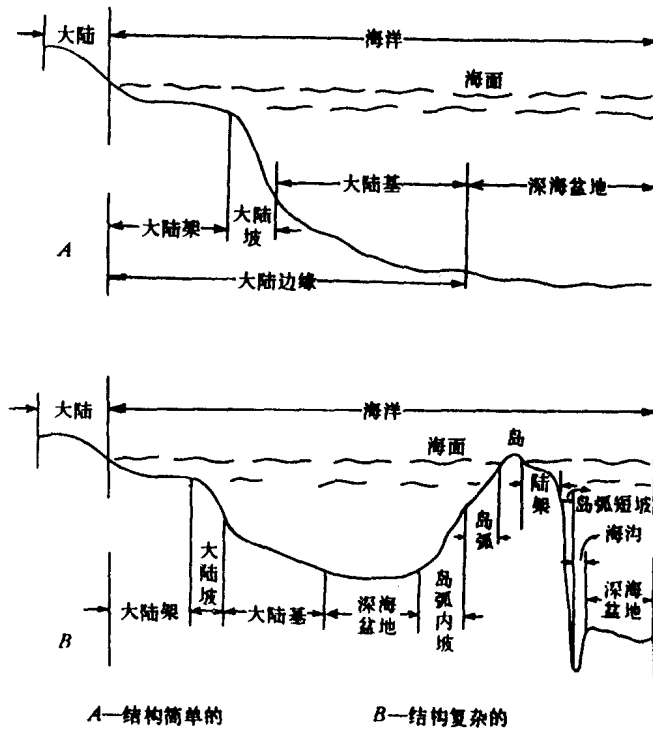


图 1-5 大陆与大洋连接的边缘地带

1/40，陡急地下降至1400~2500m的深度，从而有些地方形成地球上最陡的坡度。大陆坡的宽度一般从15km到80km不等，个别地方达百公里以上，它们的坡度通常为 $2^{\circ}\sim 6^{\circ}$ ，平均坡度为 4° ，个别地方达到 20° 以上。

大陆基，它是大陆坡与大洋盆（深海盆地）之间的一种地貌现象。其坡度仅 $1/700\sim 1/1000$ ，上限水深在1500~3500m之间，下限水深在3500~5500m之间，平均深度为3700m。大陆基也称为大陆裙或大陆隆。

海沟与岛弧，它们的外形呈弧形，故称为岛弧。岛弧靠大洋的一侧常伴有条状形的巨型凹地，横剖面类似不对称的“V”字型，另一侧与大洋盆地相连，深度在6000m以上，宽仅几公里。向岛弧（大陆）的一面坡陡，向洋的一面坡缓，在海沟底部较为平坦的部分称为“海槽”。海槽凹下的部分为“海渊”，其深度在7000m以上。如日本海沟和菲律宾海沟都深达10000m以上。海沟的出现，是因为板块俯冲而造成的，它处于板块俯冲带开始的地方，一个板块俯冲到另一板块之下时，产生一边翘起，一边下沉，中间低凹，这就形成了海沟。

2.大洋盆地是海洋的主体，它占海洋面积的45%，其周边有的与大陆基相邻，有的直接与海沟岛弧相接，一般水深在4000~5000m的开阔水域称为深海盆地。大洋盆地的坡度小于 $1/1000$ 。有些坡度仅有 $1/10000$ 的最平坦的部分，称为深海平原。以上是从宏观的角度介绍了大洋盆地的情况。但从微观来看，大洋盆地并非是真的“平原”，而在这平原之中也有凹凸不平的地方，凸起的高地组成“海底高地”、“海岭”、“海峰”和“火山”（平顶山）；

凹进去的洼地，组成“海盆”。

海山、海峰和平顶山，处于深海平原上。地形较突出的孤立高地称海山，其顶部一般比四周海底高1000 m以上，但仍然隐没在水中；如其顶部露出水面，则称其为海峰。部分海山的顶部被海浪削平，则称其为海底平顶山。海底平顶山一般离海面3000~4000 m不等，其分布和大小也各处不一，有的长达40~50 km，宽20~30 km，象长条状山脉；有的底部被海沟环绕。

海底高地、高原，它们是位于大洋盆地中的一些比较开阔的隆起地区。在其顶部高差不大，与大陆上的高原、高地相似，故称其为海底高地或海底高原。

海盆，它是大洋盆地中外形呈园形的巨大凹地。一般分布在洋脊和海底高地之间，深度大致在4000~5000 m左右。海盆与海盆之间由于洋脊或高地的阻隔，因而很少完全相通。

3.大洋中脊亦称“中隆”、“洋脊”或称“海岭”。洋中脊是屹立于大洋底部的巨大山脉，相对高差在3000 m以上，连绵数万公里，其规模远远超过陆地上最大的山系，占海洋面积的32.7%（图1-6）。这些洋脊中，两边崎岖、中峰尖锐而被断裂切割成两条平行峰顶的叫大洋中脊，例如大西洋中脊。而两边成缓坡而中峰裂缝不显著的叫大洋中隆，例如东太平洋海隆。这些脊和隆都是地震活动带。

根据以上的介绍，我们可以清楚地了解到，虽然海面有时看起来是比较平静的，但是在海水覆盖下的海底地形是相当复杂的。因此人们要认识海洋，开发海洋和利用海洋，其首要且繁重的任务就是要透过海水、精确地测绘海底地形。由此可知，陆上测绘和海洋测绘的

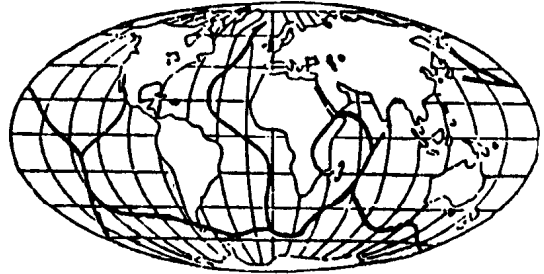


图 1-6 环绕全球的洋脊系统

区别，关键在于前者是在大气中进行，后者则要克服海水这一介质的阻隔。为此，在下一节中，将对海水的一些重要特性进行介绍。

§ 1-3 海水的特性

地壳表面有13.69亿立方公里的水，其中97.2%是储存在海洋之中。从表1-2中知，海洋中深度小于1000 m的仅占海洋总面积的12%左右。当我们进行海底地形测绘时，就必需穿透水层，有时甚至是需要穿透很厚的水层。由于水深测量时，所使用的声纳系统等，是依赖海水作为声波的传导介质的，因此海水的物理和化学性质，以及这些性质随海水深度的不同而产生的变化，也都是我们海洋测量工作者应予以研究的问题。

海水的主要物理和化学特性有：

1.海水的盐度、温度和密度。这三度反应了海水的重要特性。

盐度是这样定义的，即在1 kg海水中，将所有的碳酸盐转化成氧化物，将所有的溴和碘以氯代替，并且一切氧化物均已全部氧化后，其所含全部溶质的总克数，并用千分之几

表示，即为海水的盐度。通常是用符号 $S\%$ 来表示盐度的。由于海水的盐度和海水中所含的氯元素的多少有关，且测定海水中的氯度较为方便。因此，目前国际上通用的海水盐度公式是以海水的氯度来表示的，即

$$S\% = 1.8065Cl\%$$

式中 $Cl\%$ 表示海水的氯度，它的定义是在 1 kg 海水中，若将溴和碘以氯代替时，所含氯、溴和碘的总克数，以千分之几表示，其符号为 $Cl\%$ 。

人们把盐度为 35‰ 的海水称为标准海水。大洋中的海水，其盐度一般在 33‰ 到 37‰ 之间。在接近赤道的海域中，海水的盐度较高，而极地附近的盐度较低。这是由于海水蒸发量的不同所造成的。同时，海水的盐度还随着深度的不同而变化。从图 1-7 中可以看出：

当海水深度在 50~100m 的范围内时，其盐度基本上是均匀的，称为混合均匀的表层；当深度在 100~1000m 之间时，海水的盐度变化较大，称为盐跃层；而深度在 1000 m 以下，直至海底，海水的盐度较均匀，称为盐度较均匀的厚层。

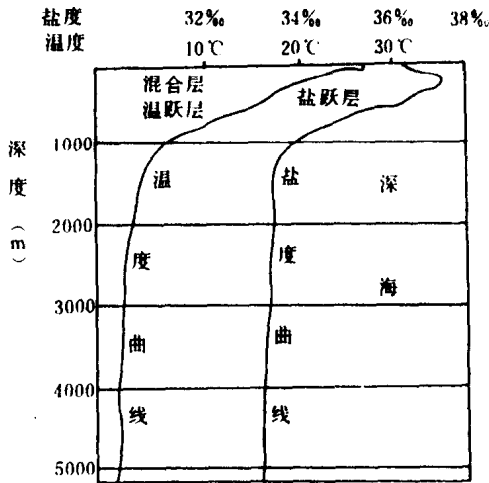


图 1-7 海水盐度、温度与水深关系图

对于广阔海洋中的海水而言，其表面温度是随着它所处的地理位置和季节的不同而变化的。这是因为赤道处海水表面单位面积接受的热量要比两极地区的要多，见图 1-8；而夏季比冬季多。另外海水的温度还随其所处的深度不同而不同，从图 1-7 中看出，温度随深度的分布，大致可以分成三个层次，即从深度为 10~500m 处，称为温暖的均匀混合层；从深度为 500~1000m 处，这一范围中的海水，其温度随深度的增加而急速的降低，所以称该层为温跃层；深度在 1000 m 以下，直至海底，这里的海水温度均匀，但其温度是接近于零度的冰冷海水层。

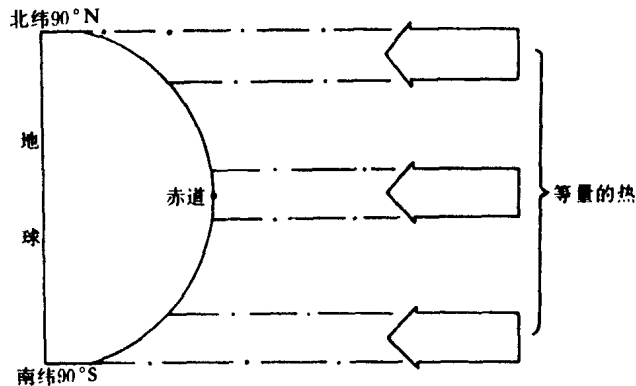


图 1-8 地球表面接受阳光热量分布图

海水的密度是指单位体积的海水所具有的质量。海水的密度取决于温度、盐度和压力三个变数的取值情况。通常海水的密度随着其盐度及压力（或深度）的增加，温度的降低而增大。因此，密度较大的水总是较冷的，其盐度较大，并处于较深处。

海水的密度用符号 $\zeta_{s_0 t_0 p}$ 来表示，海水的密度一般均大于1，并准确到第5位小数。由于在各处的海水中，其密度值中的前两位小数都是相同的，所以在实际应用中，可以把整数1去掉，再乘以 10^3 。用此值来表示海水的密度时，为了和 ζ 相区别，引用符号 $\sigma_{s_0 t_0 p}$ 来表示海水的密度，因此 ζ 和 σ 有以下关系

$$\sigma_{s_0 t_0 p} = (\zeta_{s_0 t_0 p} - 1) \times 10^3$$

当

$$\zeta_{s_0 t_0 p} = 1.02575$$

时，则有

$$\sigma_{s_0 t_0 p} = 25.75$$

2. 海水能吸收可见光。

在大洋深处是一片漆黑，这是因为海水中存在大量溶解后的有机物质，尤其是有机物分解出来的黄质和一些浮游生物的碎屑，它们既吸收光，又使光产生散射。所以大部分穿透海洋的光，在100m之内就被吸收了，见表1-3。从该表中可以看出，光的吸收是随着光的波长的不同而变化的。

不同厚度水层的光能分布

表 1-3

水层厚度 (m) \ 波长 (μm)	0.0	0.1	1.0	100	1000	10000
0.3~0.6	23.70	23.70	23.69	22.94	17.20	1.39
0.6~0.9	35.97	35.90	35.34	12.86	0.95	—
0.9~1.2	17.88	14.20	12.28	—	—	—
1.2~1.5	8.66	6.33	1.71	—	—	—
1.5~1.8	8.00	2.70	—	—	—	—
1.8~2.1	2.50	1.00	—	—	—	—
2.1~2.4	2.53	0.11	—	—	—	—
2.4~2.7	0.72	—	—	—	—	—
2.7~3.0	0.04	—	—	—	—	—
总 和	100.00	83.94	73.02	35.80	18.15	1.39

注：表中最后一行为射达海面能量的百分数。

同样海水几乎使一切波长的电磁波受阻而无法穿透，这是因为海水是液体，其导电率极小。从表1-4中可以看到，电磁波在海水中的传播速度是随着频率（或波长）的不同而不同的。当频率为1赫兹的长波时，其在海水中的传播速度和音波在海水中的传播速度几乎相同。关于电磁波穿透海水的厚度，则以长波最大，而短波几乎无法穿透。

3. 在海水中横波几乎是不能通过的，但纵波却能很好的在海水中传播。

电波在海水中传播速度和穿透厚度表

表 1-4

频率	1Hz	100Hz	1 MHz	10 ⁴ MHz
穿透距离 (-40dB)	1160m	116m	1 m	4 mm
速度 (m/s)	1.8 × 10	18 × 10	2 × 10	2.7 × 10

声波是纵波，所以能在水中传播。但海水中的声速是与海水的温度、盐度和压力（深度）有关的。通过大量的实验，得到海水中声速的公式为

$$V = 1399 + 1.31S + 4.592t - 0.0444t^2 + 0.182h$$

式中：S——盐度；

t——温度，（℃）；

h——水深（米）。

从表 1-5 中可以清楚地看到，当海水的盐度越高、温度越高时，声波在海水中的传播速度也越快。另外我们还注意到，海水中的声速在垂直方向上的变化可分为 3 个区域，见图 1-9。

声波在不同温度、盐度的海水中的传播速度 (m/s)

表 1-5

盐度(‰)	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
0	1433.7	1435.0	1436.3	1437.6	1438.2	1440.2	1441.5	1442.8	1444.1	1445.4
5	1455.8	1457.1	1458.4	1459.1	1460.9	1462.0	1463.4	1464.7	1466.0	1467.2
10	1475.8	1477.0	1478.2	1479.4	1480.6	1481.9	1483.2	1484.3	1485.7	1486.7
15	1493.3	1494.5	1495.7	1496.8	1498.0	1499.2	1500.4	1501.5	1502.6	1503.8
20	1508.7	1509.8	1510.9	1512.0	1513.0	1514.3	1515.4	1516.5	1517.5	1518.7

注：1. 水是传声的良好导体，声波在水中传播速度比在空气中快得多；同时能量的吸收亦要比在空气中小得多

2. 声在干燥空气中传播速度随温度而异，0℃时，声速为332m/s；10℃时，为338m/s；15℃时，为340m/s；20℃时，为344m/s。

第一层，即海洋的表层，深度为100m左右，这时由于压力（深度）的影响，声速随深度的增加而增加。

第二层，即中间层，其深度可达1500m。这时由于水温在急速的降低，因而声速也减慢。

第三层，其深度在1500m之下，这时声速随深度的增加而加快，这是因为在这里水的温度接近于常数。

由于声波在海水中传播时会产生折射，即向声速较低的区域弯曲，从而就产生了影区和声道，见图 1-10。影区一般是在声速极大区中产生，而声道是在声速极小区中产生。声速极小区一般在深度1000m左右的海水中，也即在这个部位产生一个声道，能使声波传播