



教育部海洋科学类专业教学指导委员会规划教材
高等学校海洋科学类本科专业基础课程规划教材

吴德星 ◎ 总主编

海洋科学概论

Introduction to
Oceanographic Science

赵进平 ◎ 等编著



中国海洋大学出版社
CHINA OCEAN UNIVERSITY PRESS

第一章 海底地形地貌

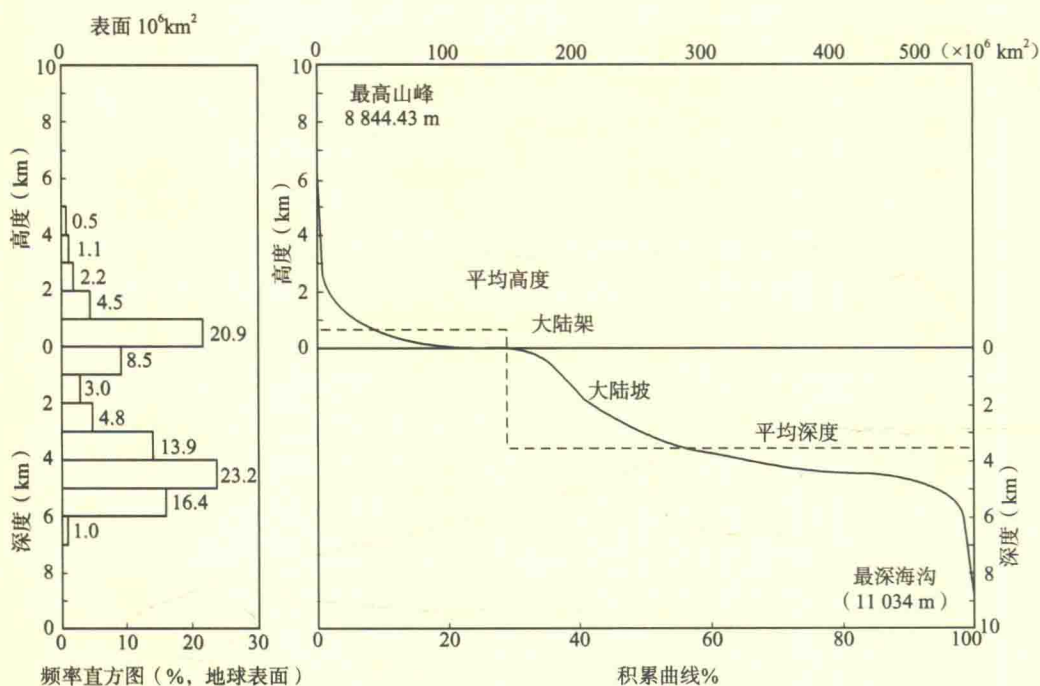
海洋是海和洋的总称,是指被海水所覆盖的地球表面,其大小约占地球表面积的70.8%,也就是说地球表面大约71%是被海水所覆盖。我们在陆地上所看到的高山峻岭、断崖与峡谷、河床与盆地、丘陵与平原等地形地貌在海底也都有存在。海底地形地貌的复杂程度甚至远大于陆地,但因被海水所覆盖,人们的肉眼不能直接观察到。例如,存在于大洋底的大洋中脊是地球上最大的海底“山脉”,长度超过65 000 km。又如,马里亚纳海沟水深达11 034 m,比珠穆朗玛峰的高度还要大。

地形和地貌是两个密切相关、但又有所区别的名词,它们都是描述地物形状和面貌的地质学名词。地形强调的是地球表面的起伏(高程)变化,重视局部的几何因素,例如鞍部地形、平坦地形等;地貌强调的是地物的整体形态,有时还要涉及地物的物质组成、成因、历史及发展变化,如冰川地貌(由冰川作用塑造而成)、河流地貌(河流作用于地球表面所形成的各种侵蚀、堆积形态)、丹霞地貌(由产状近于水平的层状铁钙质不均匀胶结而成的红色碎屑岩受近似垂直的解理所切割,并在差异风化、重力崩塌、流水溶蚀、风力侵蚀等综合作用下形成的城堡状、宝塔状、针状、柱状、棒状、方山状或峰林状的地物体)。海洋中的主要地貌单元包括大陆架、大陆坡、海沟、海山链、深海平原、大洋中脊等。

第一节 海洋与陆地的地理特征

地球的总表面积约 $5.1 \times 10^8 \text{ km}^2$ 。地球表面累积高度出现的频率曲线(图1-1)表

明, 固体地球基本上由两个面积较大的地形组成, 一是大致位于海平面附近并在其以上的陆地部分, 其面积约 $1.495 \times 10^8 \text{ km}^2$, 占地球表面积的29%左右; 二是位于海面以下的海洋部分, 面积约 $3.62 \times 10^8 \text{ km}^2$, 约占地球表面积的71%。水深大于4 700 m左右的大洋区为大洋盆地, 是海洋的主体。地球上的陆地相互分离, 而海洋则连成一片。海陆的分布很不均匀, 尽管东半球和西半球, 或北半球和南半球, 都是以海洋为主, 但相比之下陆地主要分布在北半球和东半球, 海洋则主要分布在南半球和西半球, 频率曲线明显地呈双峰分布, 介于这两个峰值之间的地带被称为大陆边缘。



(a) 表面积直方图

(b) 把各个高程以下的表面积累加起来的曲线

图1-1 地球表面的高度分布 (据Thierry Juteau和Rene Maury 1999)

一、陆地

陆地是地球表面未被海水淹没的部分, 平均海拔高度为875 m, 大体分为大陆、岛屿和半岛。大陆是面积广大的陆地, 全球共分为六块大陆, 按面积大小依次为欧亚大陆、非洲大陆、北美大陆、南美大陆、南极大陆、澳大利亚大陆。大陆和它附近的岛屿合称为洲, 全球共有七大洲, 按面积大小依次为亚洲、非洲、北美洲、南美洲、南极洲、欧洲和大洋洲。岛屿是散布在海洋、河流或湖泊中的小块陆地, 彼此相距较近的一群岛屿称为群岛。世界岛屿总面积为 $9.70 \times 10^6 \text{ km}^2$, 约占世界陆地总面积的1/15。半

岛是伸入海洋或湖泊的陆地,其一面同陆地相连,其余部分被水包围。

陆地地形高低悬殊,形态多样。按照高度和起伏形态,大体可分为平原、山地、高原、丘陵和盆地五大部分。此外,还有因受外力作用的强烈影响而形成的河流、沼泽、三角洲、湖泊、沙漠、戈壁等特殊的地貌景观。平原是指宽广平坦或略有起伏而边缘无崖壁的地区,海拔一般在200 m 以下。陆地平原面积广阔,约占陆地总面积的1/3。世界上最大的平原是南美洲的亚马孙平原,面积约 $5.60 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。山地是海拔500 m 以上的低山、1 000 m 以上的中山和高峻山脉分布地区的总称。山地地面起伏大,山坡陡峻,相对高度大。线状延伸的山体叫山脉,成因上相联系的若干相邻山脉叫山系。世界上海拔8 000 m 以上的山峰主要在亚洲的喀喇昆仑山脉和喜马拉雅山脉地区,其中珠穆朗玛峰海拔8 844.43 m,为地球的最高点。高原一般指高度较大、起伏较小、边缘通常以崖壁为界的地区。世界上最高的高原是中国的青藏高原,最大的高原是南美洲的巴西高原。丘陵一般指地表起伏小、坡度较缓、连绵不断的低矮山丘。丘陵的海拔和相对高度一般小于山地。盆地一般指四周高(山地或高原)、中部低(平原或丘陵)的地区,如中国的四川盆地和塔里木盆地等。

二、大陆边缘

大陆边缘是陆地与大洋底之间的过渡带,在地壳结构上是陆壳向洋壳过渡的结合部。该区主要的地形地貌有:大陆架、大陆坡、大陆隆、海沟、边缘海盆和岛弧。大陆边缘在不同地区差别很大,主要有两种形式(图1-2)。一是由水深不断增加的大陆架、大陆坡和大陆隆(又称大陆裾)组成,称为大西洋型大陆边缘;另一种除大陆架、大陆坡外,其组成部分还有海沟—岛弧—弧后盆地(边缘海盆)体系,称为太平洋型大陆边缘。相应的海岸也分为两类,在太平洋型大陆边缘的海岸称为碰撞海岸或前缘海岸,而大西洋型大陆边缘的海岸称为后缘海岸。

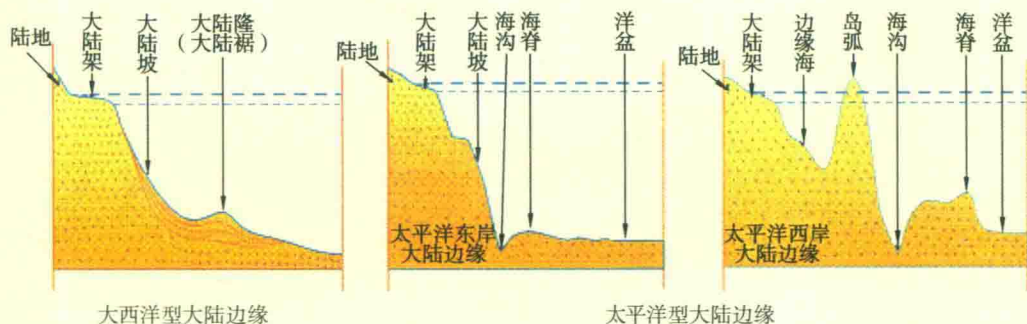


图1-2 大陆边缘剖面的主要类型

海岸是海岸带的重要组成,海岸带是大陆边缘的一个特定地带,指从大陆架到海岸平原或海岸山脉的大洋边缘区,包括海岸、海滨和近海(图1-3)。两类海岸对应的海

岸带所界定的范围有所不同。

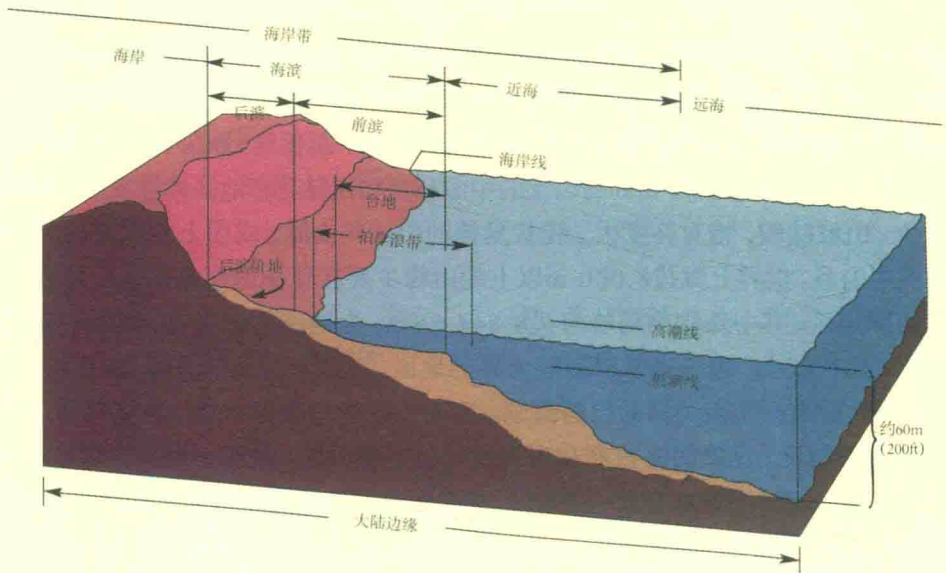


图1-3 海岸带划分的立体示意图 (据Christopherson Robert W. 1997)

三、海洋

从地理学角度看,海洋包括海、洋和海峡。海是海洋靠陆的边缘部分,没有独自の潮汐和洋流系统,面积较小,深度较浅,温度和盐度受大陆影响较大。海又分为边缘海、内海和陆间海。边缘海是位于大陆和大洋边缘之间的海,其一侧以大陆为界,另一侧以半岛、岛屿或岛弧与大洋分隔,如日本海、中国东海和南海等。内海是指被陆地所环绕,仅通过狭窄的水道跟外海或大洋相连的海,如渤海和波罗的海等。陆间海是指被陆地环绕、类似湖泊但又具有海洋特性的海,如地中海。因海靠近大陆,其海底地形和性质主要受毗邻大陆所控制,水文性质受气候、纬度、河流、与大洋的流通性等因素影响较大。从地质学角度看,海的大部分为大陆边缘的组成部分。

洋是海洋的主体,有独自の潮汐和洋流系统。全球共有四大洋,即太平洋、大西洋、印度洋和北冰洋,它们水体较深,有时也称为深海大洋。太平洋面积最大,约占地球表面积的1/3,平均水深最大,周围主要被山脉、海沟和岛弧系所环绕,使得深海盆地与陆地隔离开来,大部分区域不受陆源沉积作用的影响。大西洋为第二大洋,是一个相对狭窄、在北极和南极之间延伸的“S”形深海盆地,起着使极地大洋寒冷的底层水流进入世界大洋的通道的作用。印度洋是第三大洋,大部分处于南半球,印度洋和大西洋之间的边界位于南非南部,而与太平洋的边界是沿着印度尼西亚群岛至澳大利亚东部和南部、塔斯马尼亚岛南部至南极一线。北冰洋是一个水深相对较浅、呈圆形、中心在北极、面积较小并被陆地包围着的极地洋,一年中的大部分时间覆盖着厚

达3~4 m的海冰。表1-1给出四大洋的主要特征。

表1-1 四大洋的主要特征

大洋	面积 (10 ⁶ km ²)	水体 (10 ⁶ km ³)	平均深度 (km)	最大深度 (km)
太平洋	181	723	3.94	11.0
大西洋	94	337	3.58	9.2
印度洋	74	292	3.84	9.1
北冰洋	12	17	1.30	5.4

深海海底地形大体可以分为4种主要类型(图1-4):

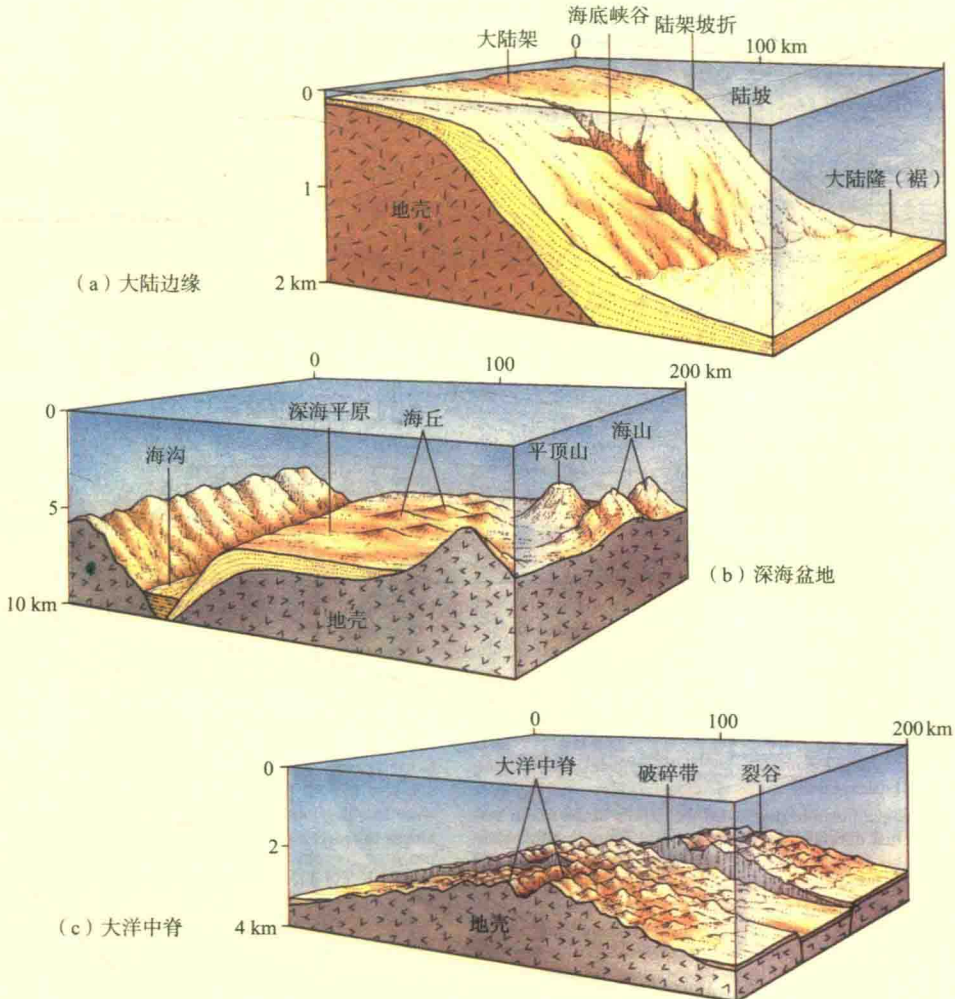


图1-4 海底地貌类型 (据Paul R. Pinet 1992)

深海盆地——又称洋盆，指洋底低平的地带，周围是相对高一些的海底山脉，类似于陆地上盆地的地形地貌，平均水深是4 753 m。深海盆地又可以进一步细分为深海平原和深海丘陵，前者是指地形平坦的部分，后者是指地形略有起伏的部分。深海平原可有每千米高差不高于1 m的坡度，一般水深为3~5 km，由厚度在100 m至超过1 000 m厚的未固结沉积物组成，下部埋藏的是不规则的火山地形。深海丘陵主要由低矮的穹形或长垣状小山组成，距海底高度一般不超过900 m，宽度在100~100 000 m之间，主要由火山岩组成，上部可覆盖薄层细粒沉积物。深海平原和深海丘陵两者加起来占整个海底的41.8%，其范围之广堪与地球上的陆地总面积相匹敌。

大洋中脊——在大洋中存在有贯穿各大洋，连绵延伸超过 65 000 km 的地球上最大的山脉体系，称为大洋中脊体系。大洋中脊是两翼宽缓、倾斜对称的海底山脊，高1~3 km，宽约1 500 km，其面积约占大洋底的1/3。

海沟——是指海洋中两壁陡峭、狭长、水深大于5 000 m的沟槽形洼地，主要环太平洋边缘分布，马里亚纳海沟（水深11 034 m）是海底最深的地方。

破碎带——由一系列平行的线状山谷和狭长的断丘组成，大多垂直大洋中脊轴部分布，主要是由横切大洋中脊的转换断层（见后）活动所形成。

第二节 地球结构与基本组成

以人类迄今的技术手段，还不能获取地球深部的样品。地球内部的结构主要是通过研究地震信号所推断的。在垂向上，分为三个一级层圈，即地壳、地幔和地核（图1-5）。

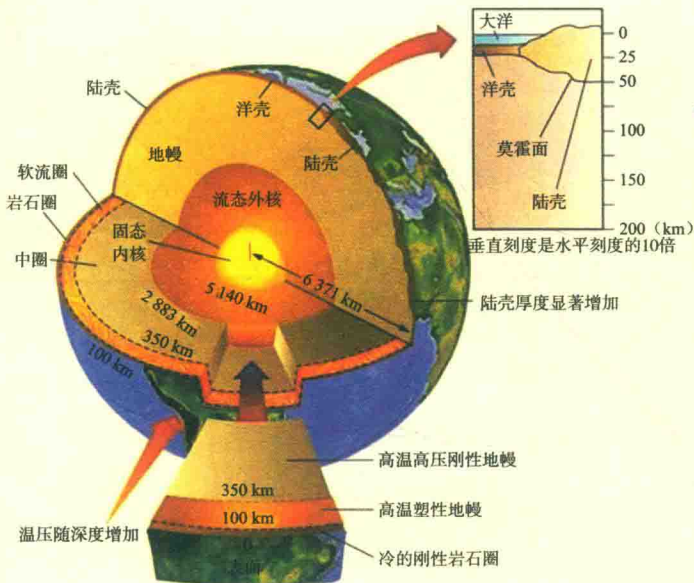


图1-5 地球的结构分层（据John Wiley & Sons 1999）

一、地壳

自1955年以后,地壳才被明确地限定在M面(莫霍面)以上的岩石部分。地壳厚度变化大,最小不足5 km,最大可超过70 km,平均厚度17 km。地壳是一个非常不均一的地球外表圈层。根据其结构、物质组成和厚度的差异,可分为:大陆型地壳和海洋型地壳两大类。

海洋型地壳——简称洋壳。利用地球物理勘探、岩浆岩研究和钻探等技术手段,对大洋地壳上部的物质组成已有了较为清晰的认识。在全球大洋盆地中,洋壳总体较薄,普遍具三层结构。层I为沉积层——厚度为0~2 km,区域性差别相当大,平均厚度约0.4 km。沉积物主要包括各种动力搬运到深海的陆源碎屑、海洋自生矿物、火山作用形成的和来自宇宙的未固结沉积物。沉积层通常在大洋中脊轴部缺失或极薄,随着远离大洋中脊而逐渐增厚,洋盆边缘最厚可达2 km。层II为基底层——火山岩层,是以玄武岩为主,夹有已固结的沉积岩,层面极不平坦,厚度变化较大,介于1.0~2.5 km之间。层III为大洋层——是大洋地壳的主体,推测可能是辉长岩、角闪岩或蛇纹石化橄榄岩等。其厚度相对变化不大,平均厚约5.0 km。

大陆型地壳——简称陆壳,主要分布在大陆及浅海大陆架区。多为双层结构,即在玄武质岩层之上有很厚的沉积岩层和花岗质岩层,相当于硅镁层及其上的硅铝层两层。厚度较大,平均厚度为33 km,越往高山地区厚度越大(可达60~70 km),主要分布在大陆上和被海水淹没的大陆部分(大陆架、大陆坡和内海)的地壳。

洋壳与陆壳的基本区别:① 物质组成——洋壳主要由玄武岩及超镁铁质岩石组成,陆壳则以巨厚花岗质岩为主。② 厚度——洋壳总体较薄,平均厚度仅7 km左右,而大陆型地壳厚度一般在35~40 km之间。③ 地球物理特征——洋壳虽薄,却以正重力异常值为特点;陆壳虽厚,其重力异常值却主要表现为负值,这种情况表明,洋壳密度较陆壳的岩石密度要大得多。④ 年龄——陆壳上最古老的岩石或矿物可达39亿年;而洋壳岩石一般都小于1.6亿年,洋壳要比陆壳年轻得多。⑤ 火山活动——大部分陆地上很少有岩浆或火山活动,而大洋内火山活动相对普遍得多。⑥ 构造活动——陆壳的褶皱和断裂构造都很发育,洋底是以断裂构造为主,主要是沿中脊轴分布的中央裂谷以及与之垂直的横向大断裂(转换断层)。⑦ 结构分层——陆壳的分层不明显,尽管局部可分出上部的硅铝层和下部的硅镁层,但界面并不清晰连续;相反,洋壳垂向上的三分结构在世界各大洋都非常明显。

二、地幔和地核

地幔占地球总体积的83.2%。地幔与地核之间的界面为古登堡(Gutenberg)不连续面。地幔可进一步分为上地幔、过渡带和下地幔三部分(图1-6),它们都由富镁的岩石组成。根据岩石矿物组合关系推断,上地幔岩石很可能是富含橄榄石的超基

性岩。地幔最上部与莫霍不连续面附近的岩石,其地震波平均传播速度 V_p 为8.1 km/s,并具有各向异性。随着深度的增加其密度由 3.3 g/cm^3 增大到 5.5 g/cm^3 ,地震波速也逐渐增大。密度的这种递增是不连续的。地幔比较复杂,呈现水平和垂直方向上的变化。通常以深度400~1 000 km的过渡带把地幔分为上地幔和下地幔,但现今通常将640~670 km作为过渡带下界面。上地幔与过渡带的界面与橄榄石相变为尖晶石相的深度一致(约400 km);过渡带与下地幔的界面则与矿物转变为具钙钛矿结构的深度一致(640~670 km)。

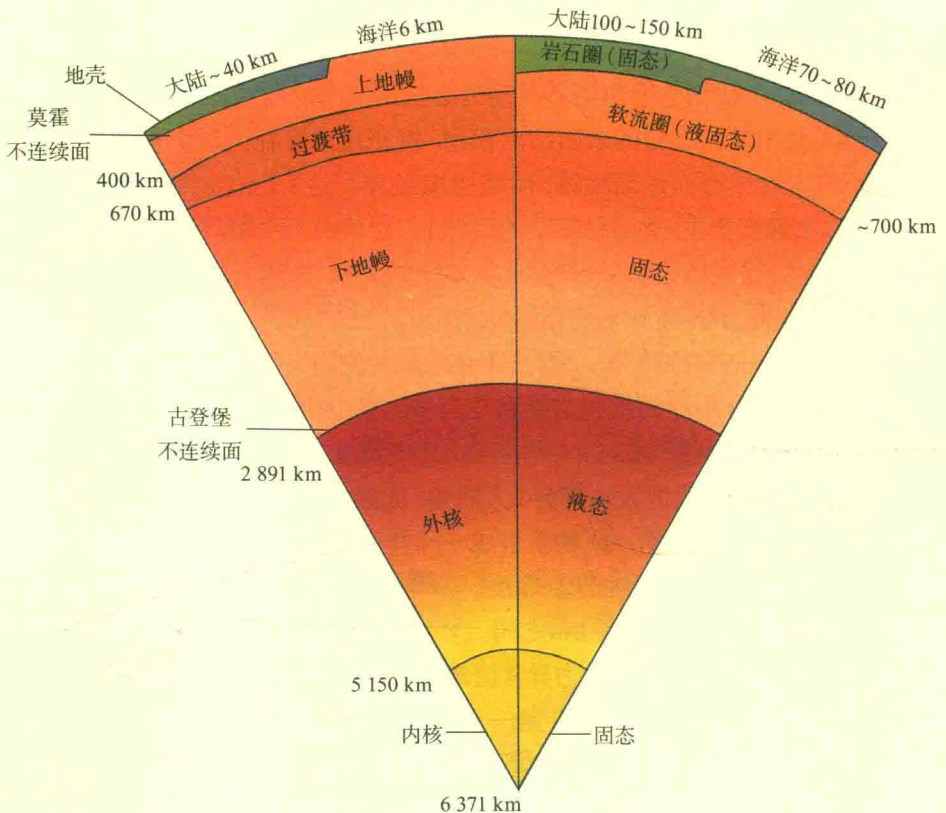


图1-6 地球的剖面结构

地震波(面波, S波)速分布表明,在海底之下平均约70 km以下深处的地幔中, V_s 突然急剧减小,说明介质具黏滞性或塑性。各种资料表明,地幔中存在着密度相对较小,且呈塑性的低速层,在该低速层中无震源出现。一般认为,低速层的存在是由于上地幔物质发生了部分熔融,只要有1%~3%的地幔物质熔融,就能引起地震波速的急剧衰减,而且使得地幔物质呈塑性。因此,通常把软流层和低速层当作同义词。也有人把软流层称之为塑性层、低刚性层或地幔对流层。

软流层厚度不一,洋壳下的软流层厚度通常比陆壳下的软流层大。洋壳下软流层底部的深度为400 km,厚度约为350 km。最新研究将670 km作为底界,相当于过渡带

与下地幔的界线。

软流层的存在意义重大,因为处于部分熔融或塑性状态的地幔岩石,即使受到很小的剪切力作用也会发生形变或流动,这正是“海底扩张学说”和“板块构造理论”假设的主要条件之一。

地核的体积只占地球总体积的16.2%,但质量却占了32%。地球内部中心存在核的理论是Oldham(1906)年提出的,其依据是离地震震中 180° 角距离附近所记录的地震P波(纵波)到达时间比预期的要晚得多。1913年,在哥廷根大学, Beno Gutenberg计算出在约2 900 km深处P波波速下降40%,这就是古登堡不连续面,它是地幔与地核的分界标志。但在5 150 km直至6 370 km深处, P波地震波速又有微小的增大,表明还存在一个固态的内核,所以,又以5 150 km界面进一步将地核分为外核与内核。地核主要由铁元素组成,硅、镍为次要成分,地核密度是地幔底部的两倍,达 10 g/cm^3 。其中外核呈液态存在,这是因为温度和压力条件使铁呈熔融状态。1998年宋晓东等研究表明,内核旋转每400年快外核一周,这对地磁起源等研究有着重要意义。

三、岩石圈

岩石圈的概念在地质学中由来已久,本来是相对于大气圈和水圈而言的,但现在广泛应用的“岩石圈”一词则表示固体地球最上面的固体层圈,包括地壳和地幔的最上部,具有较高的刚性和弹性,这是海洋地质学研究的主体。在地质学意义上,岩石圈是指上地幔低速层以上的物质,是地震的主要源地;在构造学上,是参与地球表层构造变形和构造运动的外部圈层,板块运动的主体,地球上所有的地貌景观无不是岩石圈作用的结果;在热力学意义上,岩石圈是软流层之上的物质层,是地表热的主要传播介质和源地。

岩石圈的厚度区域性差别很大,厚薄不等。在大洋中脊接近于0,在大陆稳定地块处可达150 km以上。一般来说,岩石圈的厚度与其年龄有一定的关系。在最年轻的洋壳下面,岩石圈最薄。而在最古老的陆壳下面,岩石圈最厚。在海洋里,洋壳年龄越老,其岩石圈的厚度越大。

第三节 大陆边缘地形地貌

大陆边缘主要分为稳定型(大西洋型)大陆边缘和活动型(太平洋型)大陆边缘两种。大陆边缘既是大洋沉积物的“源”,也是大陆沉积物的“汇”。现在已成为内陆山脉的褶皱隆起带大多形成于地质历史某个时期的大陆边缘。最近几十年的调查研

究已证实大陆边缘不仅蕴藏有丰富的油气资源,而且是天然气水合物(最近十几年新发现的、资源量巨大的有机能源)的主要蕴藏地。大陆边缘主要的地貌单元包括大陆架、大陆坡、大陆隆、岛弧、海沟、边缘海盆等。

板块构造理论问世后,人们对大陆边缘演化过程有了新的认识。更多地用动力学关系来识别它们各自的特征。根据板块运动性质和所处构造部位的不同,将运动板块前缘的大陆边缘称为主动大陆边缘,往往与板块的汇聚、俯冲消减、现代强烈的地震和火山活动密切相关,故又称之为活动型(或汇聚型、主动型、有震型)大陆边缘,与太平洋型大陆边缘相当;将板块后缘的大陆边缘称为被动大陆边缘,位于同一板块的内部,随板块向两侧做相背运动,在构造上相对稳定,故称为稳定型(或背离型、被动型、无震型)大陆边缘,相当于大西洋型大陆边缘;另外,将板块之间发生剪切活动形成的大陆边缘称为剪切型或转换型大陆边缘,它可以是主动的,也可以是被动的,以浅源地震为标志,分布比较局限。由于剪切型或转换型大陆边缘分布极为有限,在本章主要讨论稳定型(大西洋型)和活动型(太平洋型)大陆边缘的主要地貌特征。

一、稳定型(大西洋型)大陆边缘

稳定型大陆边缘的基本地貌单元包括大陆架、大陆坡和大陆隆(图1-2和图1-7)。不同的地貌单元有着特点极为不同的微地貌类型。

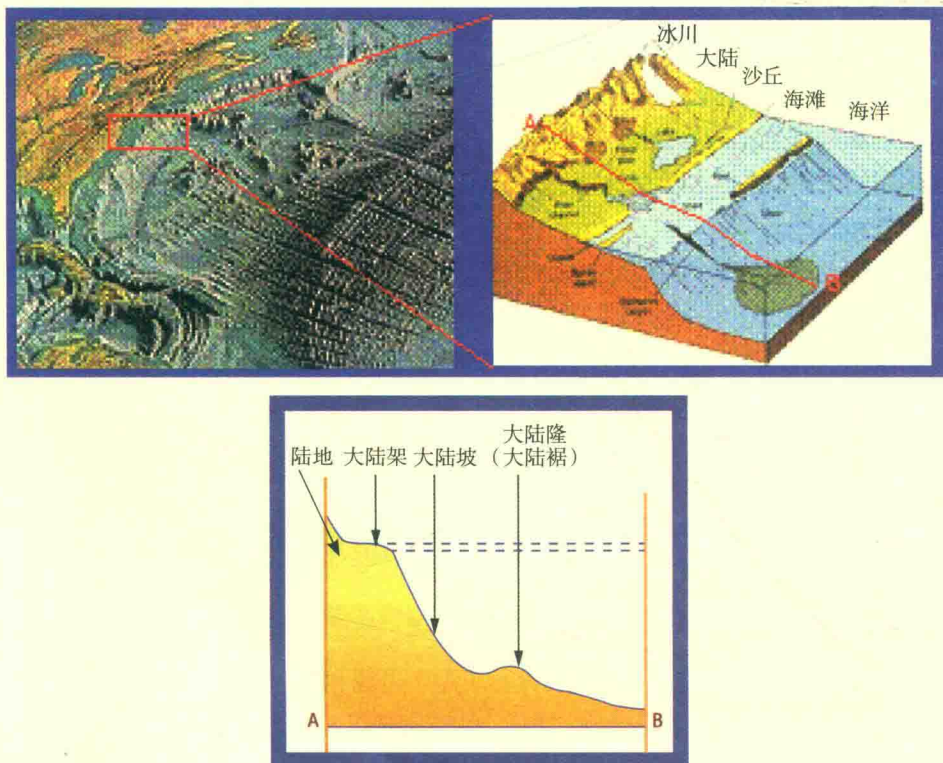


图1-7 稳定型大陆边缘

(一) 大陆架

大陆架是大陆的自然延伸,通常指自海岸线(海陆交界线—平均高潮线)到海底地形明显变陡的陆架坡折之间海区,简称陆架。陆架坡折的水深变化在20~550 m之间,平均约130 m,历史上也曾将水深200 m等深线作为陆架的下限(特别是在陆架坡折不明显的地区)。陆架坡折以内的浅海区即是大陆架。几乎所有大陆岸外均有陆架发育,但各地陆架宽度变化在数千米至1 500 km之间,平均约75 km。太平洋东岸、日本岛弧东侧、红海两岸等年轻的大陆边缘的陆架都较窄,而构造上稳定的大西洋型大陆边缘,陆架一般较宽。位于岛弧向陆一侧的边缘海的大陆架大多较宽。中国的大陆架相当宽广,渤海和黄海完全属于陆架区,东海大陆架向东南延至冲绳海槽西北侧斜坡顶部,长江口外陆架最宽处达640 km;南海大陆架以北缘和南缘较宽,北部大陆架在珠江口外最宽,达330 km。陆架坡度极为平缓,平均约 $0^{\circ} 07'$,总面积约 $2.710 \times 10^4 \text{ km}^2$,占全球面积的5.3%,约占海洋总面积的7.5%。

总的来说,陆架地形比较平坦,但也常有起伏达20 m左右的丘陵、洼地和谷地等。波浪、潮汐、海流的作用形成沙丘和沙脊,有时则形成谷地。河流将其三角洲推展至陆架上,可形成水下三角洲。由于海平面变化使得陆架上分布着多级水下阶地,有时会有古河道和古水下三角洲。陆架海营养盐丰富,生物繁盛。海底有丰富的矿产资源,包括砂矿、石油、天然气;陆架海是国家的重要门户,是一个国家维护安全和权益的重要地带。因此,大陆架不仅在海洋科学(海洋地质学)研究中占有重要的位置,而且是邻海国家重要的资源地和安全保障地带。

(二) 大陆坡

大陆坡简称陆坡,是大陆架和大洋底之间的连接带(图1-4和图1-7),从陆架外缘(陆架坡折)向深海延伸至2 000 m左右,但不少地方的陆坡下限水深大于2 000 m。陆坡是地球上最绵长、最壮观的斜坡,总面积约占海洋总面积的12%。陆坡以坡度大为其突出特点,最大可达 45° 左右。在太平洋型大陆边缘,陆坡平均坡度 $5^{\circ} 20'$,大西洋陆坡平均坡度 $3^{\circ} 05'$,印度洋陆坡平均坡度 $2^{\circ} 55'$ 。多数陆坡的表面发育有次一级的地形地貌,如海底峡谷和阶地等,其中尤以海底峡谷较为普遍。陆坡上的海底峡谷两壁通常是阶梯状的陡壁,横断面呈“V”形,其规模远大于陆地上最大的雅鲁藏布江及澜沧江大峡谷。大陆坡可类比于一个盆的周壁,又像一条绵长的带子围绕在大洋底的周围。陆坡地形十分崎岖,其上有构造断裂形成的峡谷、重力流刻蚀形成的沟谷、断层崖壁形成的构造阶地、陆架外缘滑塌作用所形成的陡坎以及由于密度较小的塑性岩石(如岩盐、石膏或泥岩等)受挤压向上拱起甚至刺穿上覆岩层所形成的穹隆或底辟等。

根据陆坡发育的控制因素不同,可将陆坡分为5种类型:

① 断裂型或陡崖型陆坡,主要受断裂作用控制,而侵蚀堆积的改造作用较弱,多见于岩石台阶、陡崖等次一级的地形地貌。

② 前展堆积型陆坡, 陆源物质供应充分, 陆坡在强烈沉积作用下逐渐向洋侧推进, 有的陆坡下部沉积层厚达10 km左右, 大西洋两岸陆坡多属这种类型。

③ 侵蚀型陆坡, 沉积作用较弱, 浊流和滑塌等侵蚀作用导致基岩裸露, 地形复杂, 主要存在于坡度较大、海底峡谷和滑坡作用发育的地区。

④ 礁型陆坡, 与珊瑚礁生长有关, 陆坡陡峭, 主要见于低纬度地区。

⑤ 底辟型陆坡, 低密度的蒸发岩或泥层在深埋后形成底辟, 陆坡沉积层因而变形, 海底呈不规则形态。

(三) 大陆隆

大陆隆简称陆隆, 又称大陆裾或大陆基等, 位于大陆坡和深水大洋盆底之间(图1-2和1-7), 指陆坡坡麓向大洋缓倾的、由沉积物堆积而成的巨大楔状沉积体, 常由许多海底扇复合、改造而成, 组成物质主要源自大陆, 浊流沉积层和等深流沉积发育, 沉积物厚2 km以上。在通常情况下, 大陆隆靠近大陆坡的地方较陡, 向深海渐缓, 平均坡度 $0.5^{\circ} \sim 1^{\circ}$, 水深1 500~5 000 m, 主要分布在大西洋、印度洋、北冰洋边缘和南极洲周围。在太平洋仅西部边缘海向陆一侧有大陆隆, 在太平洋周围的海沟附近缺失大陆隆。大陆隆上的沉积物主要是来自大陆的黏土及砂砾, 并把它作为大陆边缘的组成单元之一, 沉积物的搬运方式, 主要是沿坡而下, 另外还有沿陆隆而行和垂直下沉。大陆隆一般分布在水深2 000~5 000 m的部位, 其上半部靠着陆坡坡麓, 下半部覆盖在大洋底上, 只出现于大西洋型大陆边缘, 主要位于大西洋、印度洋、北冰洋和南极洲的大部分周缘地带, 或沿西太平洋边缘海盆陆侧分布, 如南海海盆的部分边缘。太平洋型大陆边缘通常缺失陆隆, 在有堤坝阻止沉积物向海方搬运的大陆边缘, 陆隆也不甚发育。

大陆隆的宽度为数百至上千千米, 多数在一百至几百千米, 坡度平缓, 大多不超过 1° , 其总面积约 $2\,500 \times 10^4 \text{ km}^2$, 约占全球面积的4.8%。除有树枝状海底谷及少数海山外, 地形起伏和缓。近年来在大陆隆发现了具有交错纹层的粉砂沉积物, 呈透镜状, 推断是由沿陆隆而行的等深线流搬运沉积而成。等深线流与地球自转有关, 由海水温度、盐度差异引起, 沿海底等深线连续流动, 其流速不高, 约20 cm/s, 变动幅度不大, 主要搬运粉砂和黏土(偶有细砂), 使沿坡而下和垂直下沉的物质发生再搬运, 并可产生小至流痕, 大到波长几千米的底形。

二、活动型(太平洋型)大陆边缘

活动型大陆边缘除了在前述稳定型大陆边缘所述及的地貌单元之外, 由海向陆方向还可分出海沟、岛弧和弧后盆地三种基本的地貌单元(图1-8), 三者组合构成所谓的沟弧盆体系。当然, 活动型大陆边缘并非都存在岛弧和弧后盆地, 例如在太平洋东岸的安第斯型大陆边缘就没有岛弧和弧后盆地, 取而代之的是平行海沟展布的火火山弧或高大的山脉(图1-9, 剖面见图1-2)。

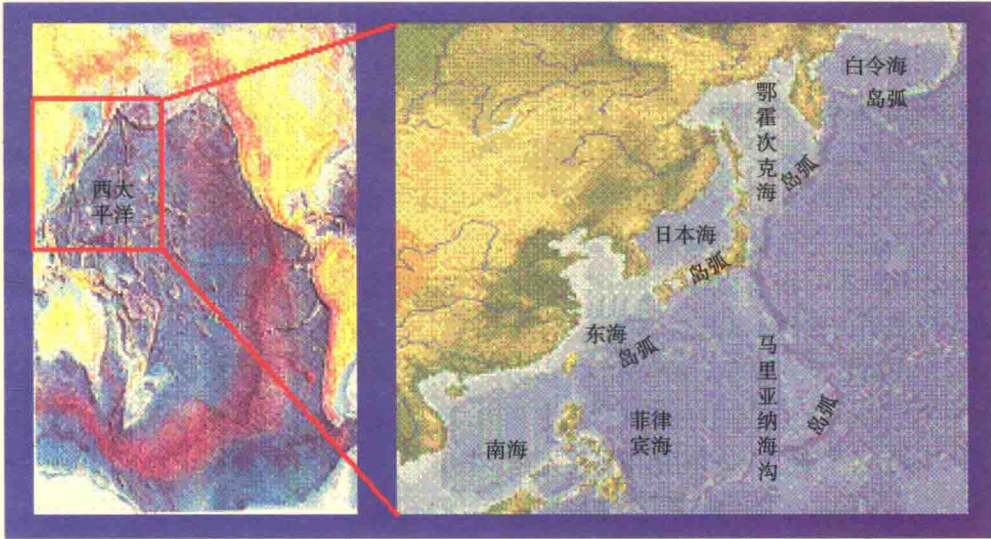


图1-8 西太平洋活动型大陆边缘



图1-9 东太平洋安第斯型大陆边缘

(一) 海沟

海沟一般指水深超过6 000 m的狭长深水洼地，出现于大陆（或大洋）边缘，多呈弧形，其侧坡比较陡急，横剖面呈“V”形，或有狭长的平坦海底。海沟外侧（洋侧）沉积物一般都是未变形的水平沉积，而内侧（靠陆或岛弧一侧）沉积物因强烈挤压变形，表现有褶皱、混杂或扭曲作用，海沟是现代构造活动最强烈、最频繁的地带，主要分布

于活动型(太平洋型)大陆边缘。然而,海沟不是活动型大陆边缘的独有地貌单元,它在大洋盆地内部也可以产生(例如马里亚纳海沟)。

根据海底扩张学说,大洋中脊是地幔物质涌升的地方,涌升的地幔物质(岩浆)在大洋中脊处冷凝形成新的洋壳,同时推动早先形成的洋壳像传送带一样载着大洋沉积物向两侧推移,直到大陆边缘的海沟处,俯冲潜入地幔之中。因此,海沟是大洋地壳向下弯曲俯冲的地方,该处地壳处于不平衡状态,下倾的海沟区是一个质量亏损带(负重力异常)。由于海沟是冷的洋壳俯冲潜没的地方,其热流值(单位面积在单位时间内传播的热量值)很低,向岛弧或陆缘山弧方向,热流值逐渐升高。海沟地带的负重力异常和低热流值与大洋中脊的正重力异常和高热流值形成鲜明对照,说明在海沟之下与大洋中脊之下有着相反的构造作用力,前者以挤压应力为主,后者以张应力为主,同时发生着截然不同的地质作用过程。事实上,大洋中脊处的地幔物质上涌和海沟处的大洋岩石圈俯冲构成了全球最大规模的物质循环。

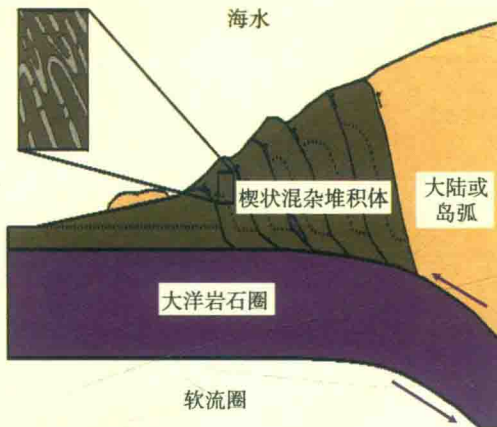


图1-10 海沟靠陆侧的楔状混杂堆积体

海沟虽是海洋中最深的地方,但底部并不是全部被厚层的沉积物所覆盖,只是在海沟靠陆(或岛弧)一侧存在有一个沉积物楔状体(图1-10)。从打捞上来的样品看,这是一个混杂堆积体,既有岩浆岩(包括玄武岩、辉长岩、蛇纹石化橄榄岩等),也有深海软泥,还有高压低温变质岩类。在大洋海底岩石圈在海沟处向下俯冲的过程中,大洋海底之上的沉积物和部分岩石圈碎片(火山岩)便被仰冲的大陆或岛弧岩石圈刮削下来,加积于海沟向陆的侧坡上,形成增生楔状体。

(二) 岛弧和火山弧

岛弧是指位于海沟向陆一侧,且与海沟平行展布、连绵呈弧状的一长串岛屿,主要存在于西太平洋大陆边缘,其后(向陆方向)为边缘海盆地(图1-8)。在东太平洋大陆边缘,呈弧状分布的一系列火山之后没有边缘海盆地,因此称为火山弧(图1-9)。岛弧和火山弧都是强烈的火山活动的产物,构成了环太平洋火山带,这里是目前地球上岩浆作用、地震活动及造山作用都最强烈的地方。岛弧和火山弧主要出现在活动型大陆边缘,但也可以出现在大洋内部(例如马里亚纳岛弧),因而岛弧不是活动型大陆边缘独有的地貌单元。此外,火山弧可以出露水面(岛弧),也可以在海面以下,这时称为海山弧或海山链。

火山弧的地表热流值较高,并在距离海沟一定距离后才出现火山活动和高热流

值等现象,同时大陆边缘的岛弧表现为正重力异常,可能与源于地幔的岩浆活动和火山活动有关。

根据海底扩张和板块构造理论,当大洋岩石圈板块在海沟处俯冲潜没于陆侧板块之下时,两个板块的摩擦作用使地幔物质升温,发生熔融,岩浆上涌喷出地表形成的一系列火山构成了岛弧或火山弧。

(三) 弧后盆地

弧后盆地是指岛弧靠大陆一侧的深海盆地,又称边缘海盆地。水深2 000~5 000 m,与海沟和岛弧一起组成沟弧盆体系。弧后盆地在世界许多大洋边缘均有分布,以西太平洋边缘的最为普遍,如白令海、鄂霍茨克海、日本海、中国东海和南海、菲律宾海等(图1-8)。如同海沟和岛弧的分布一样,弧后盆地主要分布于大洋边缘,但在大洋中也有存在,例如马里亚纳海盆和菲律宾海盆等(图1-8)。图1-11给出了西太平洋典型沟弧盆体系的分布及自海岸线,经大陆架、弧后盆地、岛弧、海沟,再到大洋盆地的剖面,可以看出在西太平洋大陆边缘,大陆架外的大陆坡位于弧后盆地向陆一侧,除此之外,在琉球岛弧向洋一侧还有类似于大陆坡的岛坡。

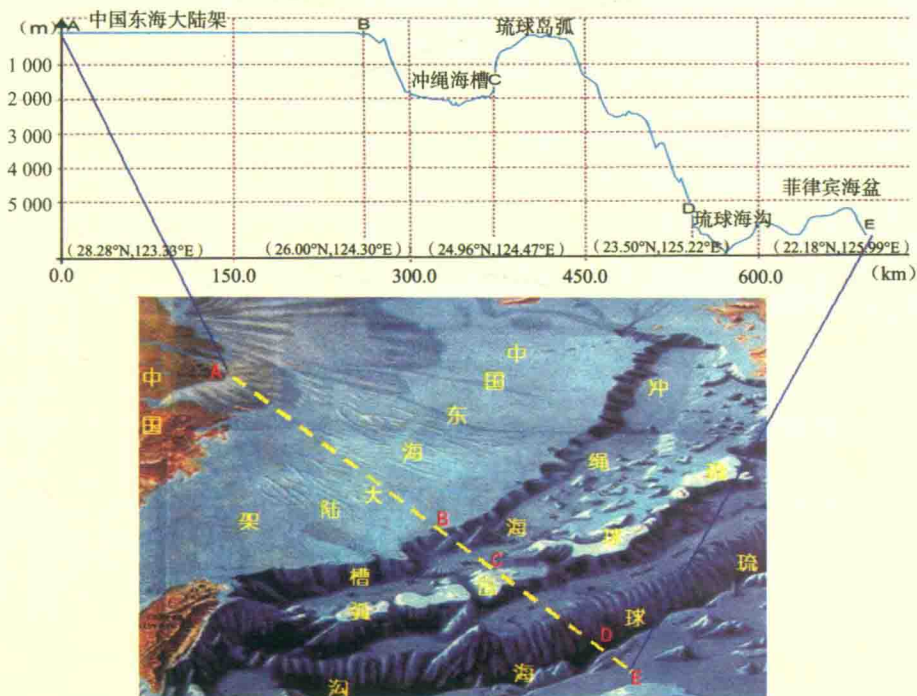


图1-11 西太平洋边缘海盆地及沟弧盆体系剖面上的地形变化

关于弧后盆地的成因是长期以来令人费解的问题。自海底扩张学说问世和大量的调查资料获取之后,人们注意到这些弧后盆地相对于一般的陆缘海和内海具有一些独特性:多与海沟和岛弧相伴生,水深(多在2 000~4 000 m之间)较大,生成年代多较岛弧及其相邻的大洋盆地年青,张性断裂发育,地壳厚度介于大陆和大洋地壳之

间且主要由类似于大洋海底的岩石组成,地壳活动强烈,热流值很高。以上特征不难使人们想到弧后盆地在成因上必然与沟弧系统有关。

板块构造理论认为,由于大洋底岩石圈板块在海沟处的俯冲作用,打乱了地幔的平衡,导致次生地幔对流和热地幔上涌,引起岛弧与大陆分离或岛弧本身分裂而在其间形成了弧后盆地(图1-12),这在海洋地质学中又称为“弧后扩张”。

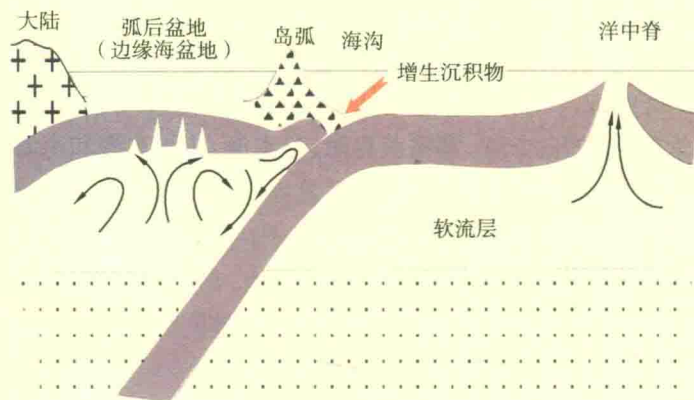


图1-12 沟弧盆体系和弧后扩张示意图

第四节 深海盆地地貌

一、深海盆地

深海盆地又称深海大洋盆地,是指位于大洋中脊与大陆边缘之间、水深在2 000~6 000 m的洋底区域。深海盆地地壳(洋壳)组成相对简单得多,主要由大洋玄武岩组成,其上覆盖有近代深海沉积物。主要的地貌单元包括海山(平顶山、海山链、海丘)和深海平原等[图1-4(b)]。

(一)海山与平顶山

在地形上大体孤立、高出洋底数百米甚至更高、边坡陡峭的海底高地叫作海山。若多座海山呈线状排列,则称为海山链。海山链主要是未被近代沉积物所覆盖的海底火山。高度略小、边坡平缓的海山又称为海丘,其上可覆盖有薄层细粒沉积物。

海山遍布海底,其出现似乎没有规律,但常见成群成列出现(图1-13),目前已知在太平洋水深6 000 m的平坦海底上耸立着高度为4 000~5 000 m的众多山峰。