

## 绪 论

地质学是研究地球，主要是研究地壳的科学。具体地讲，它是研究地壳的构造、物质组成、发展变化以及矿产的形成和分布规律等内容的科学。

地质学是在人类开采矿产资源和进行某些与地质条件有关的工程建设（如水利建设、交通建设）等生产实践活动中发展起来的。它的发展推动了采矿工业和某些工程建设的发展，而这些生产实践活动又为地质学的研究和发展积累了更丰富的实际资料。

矿产资源是埋藏在地壳内，目前在技术上、经济上可以利用的天然物质。它们是在漫长的地质作用过程中形成的。相对于人类历史而言，是不可再生的资源。据我国政府《中国矿产资源报告》中所述至 1997 年底，我国已找到矿产 153 种，其中 20 种矿产储量居世界前列。但是，由于我国人口多，矿产资源人均拥有量仅排在世界第 53 位。特别是某些矿产有用成分含量低，或难以选冶，使得开采和加工成本较高，如 Fe、Mn、Al、Cu、S、P 等都有这种情况。石油、Ni、Pb、Au、Ag 等不能满足我国经济发展的需要，Cr、Pt、Co、金刚石等矿种严重短缺。因此，对我国矿产资源的需求仍然是一个事关现代化建设的非常紧迫的问题。必须运用地质学的理论和方法继续进行勘查研究和矿业开发工作，以保证我国的经济与社会的可持续发展。

地质工作贯穿在整个矿业开发过程。在矿山企业设计前，采矿工程师要详细、全面阅读和审查地质勘探报告，运用地质资料了解和分析矿区地质条件，包括矿体形状和赋存规律、矿石质量、开采技术条件、水文地质条件等，以便做出合理的设计，指导矿山基建和生产。比如在开采方式方面，是选择露天开采还是地下开采；若选择地下开采，是用斜井开拓还是竖井开拓，以及采用何种采矿方法等。这些问题都要依据地质条件制定合理的方案。矿山投入基建和生产后，采矿工程师还要配合矿山地质师进一步查明矿床地质条件，为采矿设计、采掘进度计划编制提供更详细可靠的地质资料。同时，还要经常深入现场，及时调查生产中出现的地质问题，如矿体的突然尖灭或错失；矿体形状或产状的急剧变化；矿石类型或质量的意外变化；可能出现的工程地质或水文地质问题。合理解决这些问题都需要地质工作先行一步。此外，矿产资源的综合利用问题，矿山生产过程的环境治理问题，也都离不开地质工作。

“地质学”是矿物资源工程、采矿工程专业的专业基础课，为了使學生掌握必要的地质学基础知识和有关地质工作的基本知识，本书着重说明了地质作用所产生的各种地质现象，矿物及岩石的肉眼鉴定方法和常见矿物及岩石的特征，主要矿床的成矿过程、工业类型以及它们的特点（着重与开采有关的特点），地质勘探工作与矿山地质工作的主要内容与方法，影响矿山生产的主要地质因素（矿体形状、产状、围岩性质、地质构造和水文地质条件等），如何阅读、分析及使用地质资料（尤其是图纸资料）以及局部（如矿块）的储量计算等。

如上所述，地质学的主要研究对象是地壳。研究地壳应从现场和实验室两方面着手。

现场调查是以广阔的大自然作为实验室，直接积累丰富的原始地质资料，并收集各种岩矿标本或样品，为室内鉴定、化验及综合研究提供依据。在室内研究中，一方面是对现场收集的矿物、岩石、矿石标本或样品进行鉴定或化验；另一方面还要对现场调查所收集的文字记录和图纸等资料进行综合整理，并结合室内岩矿鉴定和化验结果，研究总结出规律性的结论。随着科学的发展，愈来愈多的新技术在地质学研究中得到广泛应用。如在野外调查工作中，目前已大量应用地球物理勘探、地球化学勘探和航空地质测量等技术；再如发射资源卫星及遥感技术的应用，对研究地壳和探找矿产资源也起了很大作用。在室内研究中，目前也已开始广泛应用电子探针、离子探针、电子显微镜等新技术，数学地质及地理信息系统等新方法。这些新技术、新方法的应用，为地质学的研究和发展开辟了广阔的前景，从而加快了地质科学前进的步伐。

# 第一篇 地质学基础知识

地质学研究的对象是地球。地壳中矿产的形成都和地球表面以及地球内部的地质作用有关，而地质学基础知识则着重说明地壳的物质组成、发展变化以及各种矿产资源的蕴藏规律。通过对地质学基础知识的学习，要求对地质学有全面的了解，对各种地质作用、地质现象、矿物岩石、地层层序、地质构造及地质图等有初步的认识，为学习成矿理论、矿床类型、矿床水文地质知识、勘探方法和矿山地质工作方法等，打下必要的基础。

本篇重点是矿物、岩石和地质构造等。矿物和岩石是组成矿床的物质基础；地质构造不仅控制矿床的形成，而且是矿床开采所必须考虑的主要地质因素之一。

## 第一章 地壳及地质作用概述

地球是人类居住的地方。人们开采的各种矿产赋存在地壳（地球表面的一层硬壳）之中，各种矿产的形成是地壳物质运动和演变的产物。这些运动和变化不是孤立地进行的，而是与地壳内部和外部的物质及其运动有密切关系。因此，在学习地质学主要内容之前，应当对地壳及其运动有一概略了解。

### 第一节 地球及地球的构造

地球是太阳系中的一员。太阳系是由太阳和绕其旋转的九大行星及其卫星、小行星和流星群组成（图 1-1）。通常说的地球形状指的是地球固体外壳及其表面水体的轮廓。从地球卫星拍摄的地球照片可以看出地球的确是一个球状体。它的赤道半径稍大（约 6378km），两极半径稍小（约 6357km），两者相差 21km。其形状与旋转椭球体很近似，但北极比旋转椭球体凸出约 10m，南极凹进约 30m，中纬度在北半球稍凹进，而在南半球稍凸出。

地球围绕通过球心的地轴（连接地球南北极的理想直线）自转，自转轴对着北极星方向的一端称北极，另外一端称南极。地球表面上，垂直于地球自转轴的大圆称赤道，连接南北两极的纵线称经线，也称子午线。通过英国伦敦格林威治天文台原址的那条经线为零度经线，也称本初子午线。从本初子午线

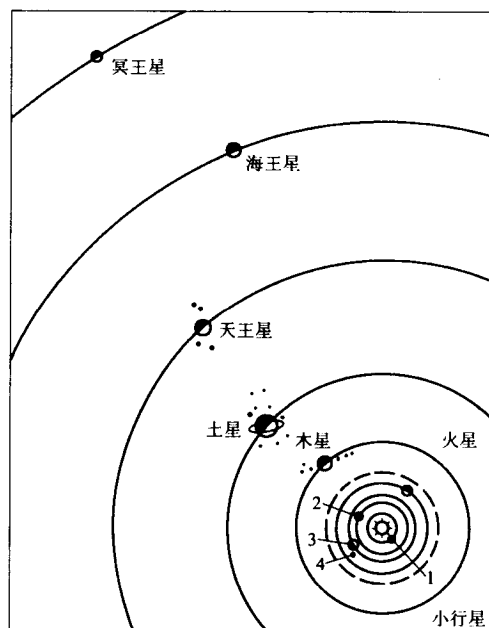


图 1-1 行星围绕太阳旋转示意图  
1—水星；2—金星；3—地球；4—月球

向东分作 180 度，称为东经；向西分作 180 度，称为西经。地球表面上，与赤道平行的小圆称纬线，赤道为零度纬线，从赤道向南和向北各分作 90 度，赤道以北的纬线称北纬，以南的纬线称南纬。

地球表面积达 5.1 亿  $\text{km}^2$  其中海洋占 71% 陆地面积仅占 29%。陆地和海洋在地表的分布很不规则，我们把大片陆地叫大陆或洲，大片海域叫海洋，散布在海洋或河湖中的小块陆地叫岛屿。陆地和海底都是高低不平的。陆地上有低洼的盆地，高耸的山脉。大陆平均高度为 860m（以海平面为 0m 标高计算）。我国喜马拉雅山珠穆朗玛峰高 8848.13m 是大陆上的最高峰。海洋底也有高山和深沟，太平洋中马利亚纳群岛附近的海渊深达 11033m，是海洋中最深的地方。地球表面最大高差可达 20km 左右。由此可知，地球的形状是极端复杂的。

依据地球内部放射性元素的蜕变速度，地球从产生到现在经历了约 46 亿年。在这漫长的历史中，地球经历了多次沧桑之变。由于地球物质不断发生分异作用，使地球内部分出了不同的圈层。目前，地球内部构造分圈主要是根据地球物理特别是地震波资料得出。地震波在地球内部传播速度的变化如表 1-1。

表 1-1 地震波在地球内部传播速度

圈层		深度/km		波速/ $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$		地震界面
		陆壳	洋壳	纵波	横波	
地壳	上地壳	15	0.2	5.8	3.2	莫霍面
	下地壳	33	12	6.8	3.9	
地幔	上地幔	400		8.1	4.5	古登堡面
	过渡层	670		10.3	5.6	
	下地幔	2891		11.7	6.5	
		2891		13.7	7.3	
地核	外核	4771		8.0	0	古登堡面
		4771		10.0	0	
	内核	5150		10.2	0	
		6371		11.0	3.5	
		6371		11.3	3.7	

利用表列数据，可编出地球内部地震波传播速度曲线（图 1-2）。图中纵坐标表示地震波传播速度，横坐标表示距离地面的深度。

从所列图表中，可以看出存在着两个明显的分界面：一个在 33km（陆壳）深处，纵波从 6.8km/s 增加到 8.1km/s，横波由 3.9km/s 增加到 4.5km/s，这个界面称为莫霍洛维奇面，简称莫霍面，是地壳的下界面。另一个界面在 2891km 深处，纵波从 13.7km/s 突然下降到 8.0km/s，而横波不能通过此面，称古登堡面。根据这两个界面，可将地球内部分为三个圈层（图 1-3）。这三个圈层处在不同深度，具有不同的物理性质，如表 1-2 所示。现将各圈层特征简述于后。

### 一、地壳

莫霍面以上由固体岩石组成的地球最外圈层称为地壳。地壳平均厚度约 18km。大洋地区与大陆地区的地壳结构明显不同，大洋地区地壳（洋壳）很薄，平均 7km，且较为均匀，大

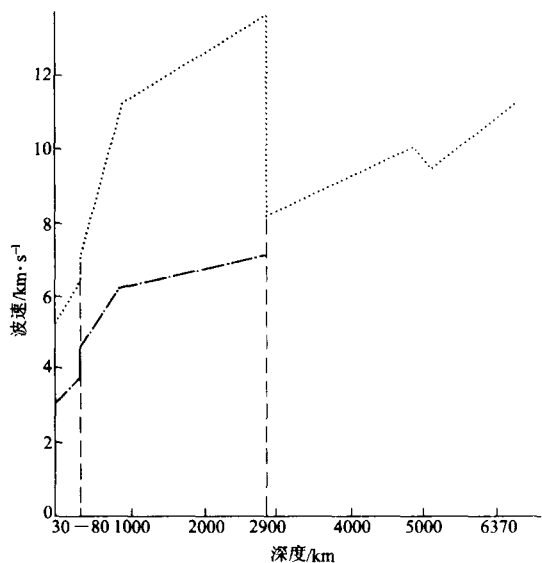


图 1-2 地震波在地球内部传播曲线图

..... 纵波; - - - 横波

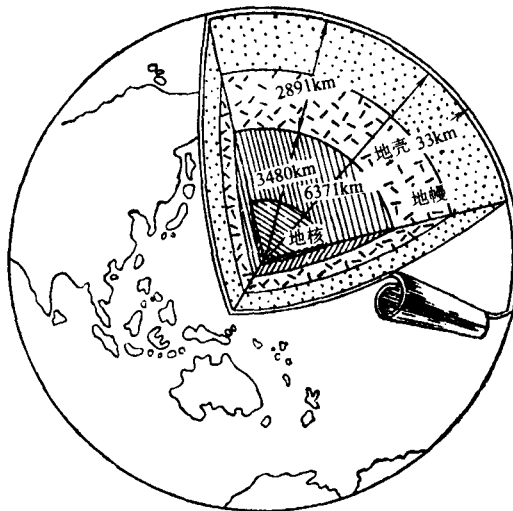


图 1-3 地球构造示意图

表 1-2 地球内部各圈层物理状况

圈层名称	深度/km	密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	压力/MPa	温度/ $^{\circ}\text{C}$
地壳	33(平均)	2.7	900	1000
		2.9		
地幔	670	3.32	38200	约 1500
		4.64		
		5.66		
地核	2891	9.71	136800	约 2000
		6371		

陆地区地壳(陆壳)厚度 20~80km 平均 33km 地壳上部岩石平均成分相当于花岗岩类岩石,其化学成分富含硅、铝,又叫硅铝层;下部岩石平均成分相当于玄武岩类岩石,其化学成分除硅、铝外,铁、镁相对增多,又叫硅镁层。洋壳主要由硅镁层组成,有的地方有很薄的硅铝层或完全缺失硅铝层,如图 1-4 所示。

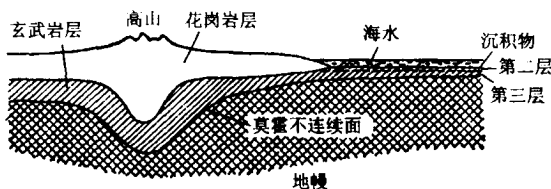


图 1-4 地壳构造断面图

## 二、地幔

地幔是位于莫霍面以下古登堡面以上的圈层。根据波速在 400km 和 670km 深度上存在两个明显的不连续面,可将地幔分成由浅至深的三个部分:上地幔、过渡层和下地幔。上地幔深度为 20~400km。目前研究认为上地幔的成分接近于超基性岩即二辉橄榄岩的组成。在 60~150km 间,许多大洋区及晚期造山带内有一低速层,可能是由地幔物质部分熔

融造成的，成为岩浆的发源地。过渡层深度为 400~670km。地震波速随深度加大的梯度大于其他两部分，是由橄榄石和辉石的矿物相转变吸热降温形成的。下地幔深度为 670~2891km，目前认为下地幔的成分比较均一，主要由铁、镍金属氧化物和硫化物组成。

### 三、地核

古登堡面以下直至地心的部分称为地核。它又可分为外核、过渡层和内核。地核的物质，一般认为主要是铁，特别是内核，可能基本由纯铁组成。由于铁陨石中常含少量的镍，所以一些学者推测地核的成分中应含少量的镍。由于液态的外核密度较内核小，实验表明，除铁、镍外，还应有少量轻元素存在。据推测，轻元素可能是硫、硅，而铁陨石的成分中，FeS 有一定的含量，硅的含量甚微。

地球内部各圈层的物质运动，是产生各种地质现象的内动力的源泉。如地球内部特别是地壳下部及地幔组成物质的运动，就可以引起地壳的运动、化学变化和热力作用，又可以进一步引起物质熔化形成岩浆。岩浆产生后，又将导致一系列其他运动和变化。因此，对于地球内部各圈层的了解，有助于我们研究地球形成和发展的历史。

## 第二节 地球的主要物理性质

人们在生产实践和科学研究中，逐渐积累了有关地球物理性质的知识，这些性质从不同的角度反映了地球内部的物质组成。

### 一、质量和密度

根据牛顿万有引力定律，计算得出地球的质量为  $5.98 \times 10^{27}g$ ，再除以地球的体积，则得出地球的平均密度为  $5.52g/cm^3$ 。直接测出构成地壳各种岩石的密度为  $1.5 \sim 3.3g/cm^3$ ，平均密度为  $2.7 \sim 2.8g/cm^3$ ，尚有密度为  $1g/cm^3$  的水分布。因此推测地球内部物质密度更大，这个推测，为地震波在地球内部传播速度的观测所证实。据地震波传播速度与密度的关系，计算出地球内部密度随深度的增加而增加（详见表 1-2）地心密度可达  $16 \sim 17g/cm^3$ 。

### 二、压力

随着地球深部密度的递增，由于上覆岩石重量的影响，地球内部压力亦随深度的增加而增大。其变化情况根据地震波推测各深度的压力如下：

深度/m	100	500	1000	5000	10000
压力/MPa	2.7	13.5	27	13.5	270

上列数据仅代表压力随深度增长的一般规律。在各矿区，由于当地地质条件的差异，除上覆岩层重量之外，还受其他因素影响。因此，具体地段的压力可能较表列数据略有增减。

矿山开采中，由于形成了开采空间，可能出现各种地压显现现象，直接影响矿山生产，应充分注意。

### 三、重力

地球对物体的引力和物体因地球自转产生的离心力的合力叫重力，其作用方向大致指向地心。引力大小与物体距地心距离的平方成反比。地球赤道半径大于两极半径，故引力在两极比赤道大；而离心力两极接近于零，赤道最大。因此，地球的重力随纬度的增高而增大。

把地球看作是一个圆滑的均质体，以大地水准面为基准计算出的重力值为理论重力值，它只与纬度有关。但实际上，由于地面起伏不平，加上地球物质密度不均匀以及结构的差异

等原因，实测的重力值常与理论值不符，这种现象称重力异常。对研究区实测重力值，通过高程及地形校正后，再减去该区的理论重力值，得出的值如为正值，称正异常，表明地下有密度较大的物质分布，如铁及高品位的铜、铅、锌、镍等金属矿床；如为负值，称负异常，表明地下有密度较小的物质分布，如盐矿、石膏和煤矿等。地球物理学上的重力探矿就是根据这个道理，利用重力异常来探明地下矿产及查明地质构造。

#### 四、温度（地热）

地球热力的来源，外部来自太阳的辐射热；内部主要来自放射性元素蜕变时析出的热以及元素化学反应放出的能。

目前，根据世界各地钻探资料表明，地球上大部分地区，从常温带向下平均每加深 100m 温度升高 3℃左右，这种每加深 100m 温度增加的数值，叫做地热增温率或地温梯度（图 1-5）。而把温度每升高 1℃所需增加的深度，称为地热增温级。地热增温级的平均数值为 33m。若按上述简单规律推算，地心的温度将达到 20 万度，这显然是不可能的。现代地球物理学的研究证明，上述规律只适用于地表以下 20km 深度范围。如果深度继续增加，地球内部的导热率也将随之增大，地温的增加则会大大变慢。据推测，地球中心温度在 3000~5000 之间。

由于各地地质构造、岩石导热性能、岩浆活动、放射性元素的存在以及水文地质等因素的差异，不同地区的地热增温率是不同的。凡一地区实际地热增温率大于平均地热增温率时，称该地区有地热异常。据此，可发现和进一步利用该地的地下热能。

地热异常区蕴藏着丰富的热水和蒸汽资源，是开发新能源的广阔天地。目前世界上有多个国家利用地热发电。地下热水还可用于工业锅炉、取暖、医疗等。

但就采矿工作来说，地热对矿区开采是不利的。特别是当采矿工作进入深水平时，应充分考虑地热因素，及时调整通风系统，加强通风措施，改善劳动条件，并采取有效办法，化害为利加以适当利用。

此外，研究地球的热状态和热历史，对进一步认识地球的发展和地壳运动也有着十分重要的理论意义。

#### 五、地磁

地球的磁性，明显地表现在对磁针的影响方面。磁针所指的方向（亦称地磁子午线）就是地磁的两极。地磁两极与地理两极是不一致的（图 1-6）。因此，地磁子午线与地理子午线之间有一定夹角，称磁偏角。其大小因地而异。使用罗盘测量方位角时，必须根据当地磁偏角进行校正。

磁针只有在赤道附近才能保持水平状态，向两极移动时逐渐发生倾斜。磁针与水平面的夹角，称为磁倾角。各地磁倾角不一致。地质罗盘上磁针有一端往往捆有细铜丝，就是为

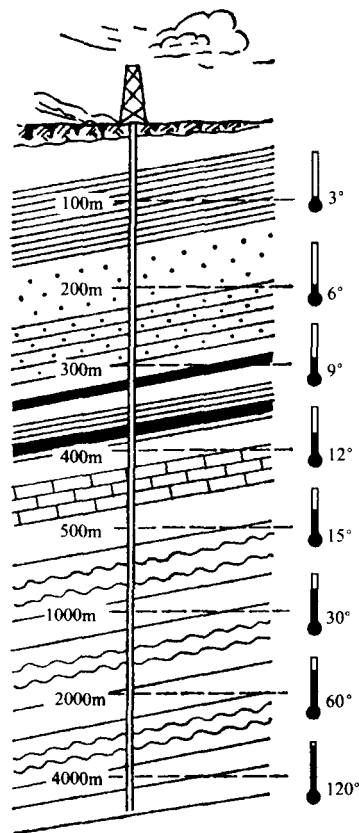


图 1-5 地热增温率示意图

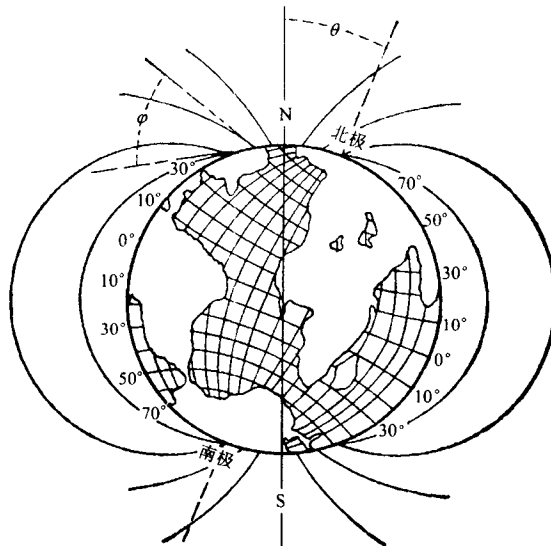


图 1-6 地磁要素及地球周围磁力线分布示意图

$\theta$ —磁偏角 ;  $\varphi$ —磁倾角

了使磁针保持水平。我国处于地球北半部，因此，在磁针南端多捆有细铜丝，以校正磁倾角的影响。

地球上某一点单位磁极所受的磁力大小，称为该点的磁场强度。磁场强度因地而异，一般是随纬度增高而增强。

磁偏角、磁倾角、磁场强度称为地磁三要素，用以表示地表某点的地磁情况。根据地磁三要素的分布规律，可以计算出某地地磁三要素的理论值。但是，由于地下物质分布不均，某些地区实测数值与理论计算值不一致，这种现象叫地磁异常。引起地磁异常的原因，一是地下有磁性岩体或矿体存在，另一是地下岩层可能发生剧烈变位。因此，地磁异常的研究，对查明深部地质构造和寻找铁、镍矿床有着特殊的意义。地球物理学中的磁法探矿，就是利用上述原理。

#### 六、放射性

地球内部放射性元素含量虽少，分布却很广泛，且多聚集在地壳上部的花岗岩中，随深度加大而逐渐减少。地球所含放射性元素主要是铀、钍、镭。此外，钾、铷、钷和铯等也具有放射性同位素。根据放射性元素蜕变的性质，可以用来计算地球岩石的年龄、寻找有关矿产。同时，放射性元素蜕变所产生的热能，是地质作用的主要能源之一。

### 第三节 地壳的物质组成

根据岩石和陨石的化学组分分析，得知组成地壳的化学成分以 O、Si、Al、Fe、Ca、Na、K、Mg、H 等为主。这些元素在地壳中的平均质量分数（称克拉克值）各不相同：

氧(O)49.13	硅(Si)26.00	铝(Al)7.45
铁(Fe)4.20	钙(Ca)3.25	钠(Na)2.40

钾(K)2.35

镁(Mg)2.35

氢(H)1.00

它们占了地壳总质量的 98.13%。其中氧几乎占了一半，硅占 1/4 以上，其他近百种元素只占 1.87%。可见地壳中元素含量是极不均匀的。如工业上有较大经济意义的 Cu、Pb、Zn、W、Sn、Mo 等元素，在地壳中平均含量极小，但它们在各种地质作用下可富集成有价值的矿床。

地壳中的化学元素不是孤立地、静止地存在，它们随着自然环境的改变而不断地变化。这些元素在一定的地质条件下，结合成具有一定化学成分和物理性质的单质或化合物，称为矿物，如石墨、石盐等。由一种或多种矿物所组成的集合体，称为岩石，如花岗岩由石英、长石、云母等矿物组成；大理岩主要由方解石组成。因此，矿物和岩石是组成地壳的基本单位。

#### 第四节 地质作用概述

地球自形成以来，在漫长的地质历史进程中，其成分和面貌时刻都在变化着。过去的大海经过长期的演变而成陆地、高山；陆地上的岩石经过长期日晒、风吹逐渐破坏粉碎，脱离原岩而被流水携带到低洼地方沉积下来，结果高山被夷为平地。海枯石烂、沧海桑田，地壳面貌不断改变，具有了今天的外形。所有引起矿物、岩石的产生和破坏，从而使地壳面貌发生变化的自然作用，统称为地质作用。引起这些变化的自然动力，称为地质营力。

在自然界，有些地质作用进行得很快，很激烈，如山崩、地震、火山喷发等，可以在瞬间发生，造成一定灾害。有些地质作用则进行得很缓慢，不易被人们所察觉。据 1950 年测量资料表明，近百年中，荷兰海岸下降了 21cm，平均每年下降了 2mm。据最新资料，1990~1999 年间我国青藏高原平均上升量约 20mm，最大上升量为 80mm；黑龙江黑河地区最大上升量为 80mm，而华中、华东和华南地区平均下沉 80mm。下沉的原因除了地下水的过量开采以外，地质作用引起的地壳运动是主要的原因。

地质作用按其能源不同，可以分为内力地质作用和外力地质作用两大类。

##### 一、内力地质作用

由地球转动能、重力能和放射性元素蜕变的热能产生的地质动力所引起的地质作用，它们主要是在地壳中或地幔中进行的，故称为内力地质作用。其表现方式有地壳运动、岩浆作用、变质作用和地震等。岩浆岩、变质岩及其与之有关的矿产，便是内力地质作用的产物。

1. 地壳运动 由地球自转速度的改变等原因，使得组成地壳的物质（岩体）不断运动，并改变它的相对位置和内部构造，称地壳运动。它是内力地质作用的一种重要形式，也是改变地壳面貌的主导作用。

大地水准测量资料表明，芬兰南部海岸以每年 1~4mm 的速度上升；丹麦西部沿岸则以每年 1mm 的速度下降；而北美加利福尼亚沿岸，自 1868~1906 的 38 年间，平均每年以 52mm 的速度向北移动。

在海岸地区，珊瑚岛和波切台地的高出海面，常是该地区陆地缓慢上升的标志。我国西沙群岛的珊瑚礁，现已高出海面 15m。珊瑚礁是在海水深度 0~80m 内生长的，这足以说明西沙群岛近期是处于缓慢上升的。由于海浪对海岸的冲蚀作用，在海岸上常常可见到波切台地、海蚀凹槽和海崖等现象。这些现象如果现在已经远离海岸，而且显著地高出了现在的海平面，最大的海浪也不能冲蚀它们，这也是海岸近期缓慢上升的标志，如广州附近的七星岗南麓（图 1-7）。相反，珊瑚岛、波切台地等被淹没在深水或半深水下面，说明该地区海岸

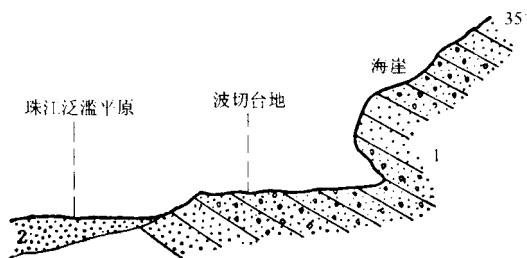


图 1-7 广州七星岗波切台、海崖剖面图

1—第三纪红色砂岩、砾岩；2—现代冲积层

在近期是逐渐下降的。

上述实例，从不同角度反映出地壳是在不断运动的。按地壳运动的方向，可分为升降运动和水平运动两种形式。

(1) 水平运动是地壳演变过程中，相对地表现得较为强烈的一种运动形式，也是当前被认为形成地壳表层各种构造形态的主要原因

地球是一个急速旋转的椭球体，当其高速度旋转时，将产生巨大的离心力。离

心力和地球重力都在对地壳起作用。它们相互抵消后，还产生一种指向赤道的水平方向的挤压力，使赤道一带稍稍凸出，地球略微变扁。当地球自转角速度变化时，这些力的大小、方向也随之变化，同时将产生一种与变化方向相反的力，称惯性力。所有这些力都在对地壳施加影响。且地壳各圈层的物质成分及其物理化学状态等，又都存在着差异，运动时的速度、方式、方向也都不可能一致，层与层之间还会发生摩擦，也就使地壳各部分受到挤压、拖曳、旋钮等种种作用，从而使地壳岩层发生强烈的褶皱和断裂，形成各种方向延伸的山脉

(2) 升降运动是地壳演变过程中，表现得比较缓和的一种形式。在同一时期内，地壳在某一地区表现为上升隆起，而在相邻地区则表现为下降沉陷。隆起区与沉降区相间排列，此起彼伏、相互更替。

地壳的升降运动对沉积岩的形成有很大影响，不仅控制了沉积岩的物质来源和性质，同时也影响沉积岩的厚度和分布范围。这是因为，由上升运动控制的隆起区，是形成沉积岩的物质成分的供给区；而由下降运动所控制的沉降区，则是这些物质成分形成沉积物并转化为沉积岩的场所。

升降运动和水平运动是密切联系不能截然分开的，在地壳运动过程中都在起作用，只是同一地区和同一时间以某一方向的运动为主，而另一方向运动居次或不明显。它们在运动过程中也可以互相转化，即水平运动可以引起升降运动，甚至转化为升降运动，反之亦然。如山脉的形成，必然会同时引起陆地的上升。正如李四光同志指出的，“比较大规模的有条不紊的隆起和沉降地区和地带的形成，很可能是由地表到地壳中一定的深度受到水平方面挤压的结果，就是说，我们没有理由反对它们所显示的垂直运动可能起源于水平运动”。

**2. 岩浆作用** 岩浆是地壳深处的一种富含挥发性物质的高温高压的黏稠硅酸盐熔融体，其中尚含有一些金属硫化物和氧化物。岩浆按  $\text{SiO}_2$  的含量不同，分为超基性 ( $< 45\%$ )、基性 ( $45\% \sim 52\%$ )、中性 ( $52\% \sim 65\%$ ) 和酸性 ( $> 65\%$ ) 岩浆。

基性岩浆含  $\text{SiO}_2$  较低， $\text{Mg}$  的氧化物较高（故所成岩石色深），比重较大；含气体较少，黏度较小，容易流动。

酸性岩浆含  $\text{SiO}_2$  较高，含  $\text{Fe}$ 、 $\text{Mg}$  的氧化物较少（故所成岩石色浅），比重较小；含气体较多，黏性较大，不易流动。

在地壳运动的影响下，由于外部压力的变化，岩浆向压力减小的方向移动，上升到地壳上部或喷出地表冷却凝固成为岩石的全过程，统称为岩浆作用。由岩浆作用而形成的岩石，叫岩浆岩。岩浆作用有喷出作用和侵入作用两种。

(1) 喷出作用 指岩浆直接喷出地表。喷溢出地面的岩浆冷凝后称喷出岩。岩浆喷出时有液体、固体、气体三种物质。气体组分主要来自地下的岩浆，小部分为岩浆上升过程中与围岩作用产生，其中水蒸气占 60%~90% 其次是  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{NH}_4$ 、 $\text{HCl}$ 、 $\text{HF}$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{B}(\text{OH})$ 、 $\text{Cl}$ 、 $\text{S}$ 、 $\text{N}$  等。液体物质称熔岩流，是岩浆喷出地表后，损失了大部分气体而形成的，成分与岩浆类似。固体物质是由熔岩喷射到空中冷却凝固或火山周围岩石被炸碎而形成的碎屑物质，故称火山碎屑物。

(2) 侵入作用 灼热融熔的岩浆并不一定能上升到达地面，往往由于热力和上升力量的不足，在上升过程中就会把热传给与它相接触的岩石，而逐渐在地下冷却凝固。岩浆由地壳深处上升到地壳上部的活动，称为侵入作用。岩浆在侵入过程中，可以在不同的深度下凝固。在地壳不太深的位置冷凝形成的岩石，叫浅成侵入岩；在地下深处冷凝形成的岩石，叫深成侵入岩。

由于岩浆侵入深度不同，直接影响到岩浆的温度、压力的大小，冷凝速度的快慢以及挥发物质的散失等。上述三种岩浆岩在成分、结构和构造等方面也不相同。因此，岩石的成分、结构和构造等正是区别这三类岩石及岩浆作用方式的主要标志。这些问题，将在后续有关章节分别讨论。

**3. 变质作用** 由于地壳运动及岩浆活动，使已形成的矿物和岩石受到高温、高压及化学成分加入的影响，在固体状态下，发生物质成分与结构、构造的变化，形成新的矿物和岩石，这一过程称变质作用。由变质作用形成的岩石，叫变质岩。影响变质作用的因素有：

**温度** 温度来自地热、岩浆热和动力热。温度是变质作用的基本因素。温度增高，大大增强了岩石中矿物分子的运动速度和化学活动性，使矿物在固体的状态下，发生重结晶作用或重新组合产生新矿物。

**压力** 一种是静压力，即上层岩石对下伏岩石的压力，它随深度而增加。静压力的存在可使矿物或岩石向缩小体积、增大密度的方向变化。另一种是由于地壳运动所产生的动压力。这种压力具有一定的方向，它可使岩石破裂、变形、变质或发生塑性流动。克里定律指出：晶体在最大压力方向溶解，在最小压力方向沉淀。因此，岩石在这种定向压力作用下，矿物在垂直压力方向将发生局部的细微的溶解，向平行压力方向流动而结晶。新生成的柱状或片状矿物的长轴就垂直于压力方向排列，这就形成了变质岩所特有的片理构造。

**化学成分的加入** 外来物质主要来自岩浆（也有来自混合岩化热液和变质水等）。岩浆的热力可以使围岩结构构造发生变化，而岩浆分异出来的气体和液体可与围岩发生交代作用，生成新的矿物。如岩浆中  $\text{F}$ 、 $\text{Cl}$ 、 $\text{B}$ 、 $\text{P}$  等成分与围岩发生化学反应生成萤石、电气石、方柱石和磷灰石等。

上述三种影响变质作用的因素，不是孤立的。如地壳运动除了产生动压力之外，还将动能转化为热能。同时由于地壳运动又常伴有岩浆活动，从而引起化学成分的加入和产生巨大的岩浆热。所以，在变质过程中常有多种因素，使岩石发生复杂的变化。根据引起变质作用的基本因素，可将变质作用分为接触变质作用、动力变质作用和区域变质作用三种。

(1) 接触变质作用 这种变质作用是指由于岩浆的热力与其分化出的气体和液体使岩石发生变化。引起这类变质作用的主要因素是温度和化学成分的加入。前者表现为重结晶作用，如石英砂岩变成石英岩；石灰岩变成大理岩等。后者则是岩浆分化出来的气体和液体渗入到围岩裂隙或孔隙中，发生交代作用，使原岩变质而形成新的岩石，如石灰岩变成矽卡

岩等。

(2) 动力变质作用 因地壳运动而产生的局部应力使岩石破碎和变形，但成分上很少发生变化。这种变质作用的因素以压力为主，温度次之。它们使岩石碎裂而形成断层角砾岩和糜棱岩等，同时也能使矿物发生重结晶。这种变质作用多发生在地壳浅处，且常见于较坚硬的脆性岩石。

(3) 区域变质作用 地壳深处的岩石在高温高压下发生变化的同时，还伴有化学成分的加入，因而使广大的区域发生变质作用。这种变质作用和强烈的地壳运动密切相关，并常伴有岩浆活动，是各种因素的综合。变质范围广，所形成的岩石多具片理构造，如片岩等。

#### 4. 地震 地震是地壳快速颤动的现象，是地壳运动的一种表现。

比较旧的地震学中，常把地震按类型分为陷落地震、火山地震和构造地震。陷落地震是由于巨大的地下岩洞崩塌所造成的；石灰岩地区有时因岩溶发育而引起洞穴坍塌，可在附近造成微小振动，但不会影响到较远地区；山崩则应该说是地震的后果而不是它的起因。至于火山导致地震的问题，目前虽不能否认，但这一类地震一般都很小，即使严重，也多局限在火山活动地区，从智利（1906年）地震发生两天后才开始的火山喷发，可知火山活动也可以是地震的后果。

目前，绝大多数地震是由于地壳本身运动所造成的，称构造地震。由于地球自转速度的不均一性，加上地壳内部热能的变化，使地壳各部分岩石受到一定的力（即地应力）的作用。地应力作用尚未超过岩石的弹性限度时，岩石会产生弹性形变，并把能量积蓄起来。当地应力作用超过地壳某处岩石强度时，就会在那里发生破裂，或使原有的破碎带重新活动，它所积累的能量急剧地释放出来，并以弹性波的形式向四周传播，从而引起地壳的颤动，产生震撼山岳的地震。可见地震只是现象，而地应力的变化和发展才是它的实质。不断地探索地应力从量变到质变的活动规律，才能把握住地震的实质。

构造地震活动频繁，延续时间长，影响范围大，破坏性强，因此造成的危害性也最大。

地壳内部发生地震的地方叫震源。震源在地面上的垂直投影叫震中。震中到震源的距离叫震源深度（图 1-8）。一般破坏性地震，震源深度不超出 100km 范围。而大多数（95% 以上）地震多发生在离地表 3~5km 和 10~20km 深处，即在地壳中或上地幔，也就是在莫霍面附近。

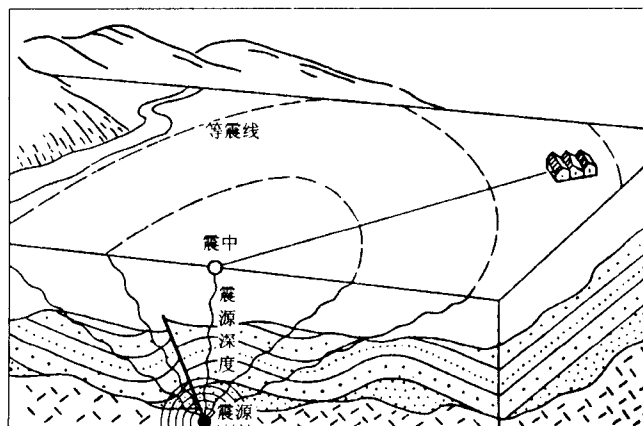


图 1-8 震源、震中、等震线

地震大小用震级表示，与震源放出的能量有关，能量越大，震级越高。一般可分十级（即0~9级）：小于2.5级的地震，人无感觉；2.5~4级，人有感觉；5级以上的地震，便会造成破坏。

地震时，某一地区地面所受的影响和破坏程度，用地震烈度表示。我国使用的烈度表共分12度。距震中愈近，烈度愈高。一般情况下，3~5度，人有感觉，静物有动，但无破坏性；6度以上，房屋有不同程度的破坏。按照地震烈度相同的地点连接起来的线，称为等震线。

一次强烈地震往往经历前震、主震、余震三个阶段。主震指地震全过程中的最大一次地震，主震前的一系列微震和小震称前震；主震后一系列微震和小震称余震。从活动规律看，前震活动逐渐增强，接着发生主震。主震之后，余震活动则是逐渐减弱直至平静。应该指出，一次地震过程，也并不都能分出前震、主震和余震。某些地震发生时并没有突出的主震，或三者很难区分，其能量是通过多次震级相近的地震释放出来的；而另一些地震，前震、余震都很稀少，且与主震震级相差很大，其能量基本通过主震一次释放出来。研究地震发生的过程，掌握前震、主震、余震的活动规律，对地震预报和防震抗震有着十分重要的现实意义。

对于地震成因的认识，假说甚多，诸如弹性回跳说、相变说等，尚未完全统一。板块学说有助于对地震机制的解释。板块学说认为，洋脊地区主要是张应力，常造成正断层，可引起浅源地震；岛弧地区主要是挤压和俯冲，形成冲断层，地震活动频繁，震源深浅均有，最深可达700km；转换断层地区，地壳产生水平方向位移，表现为水平切变，在错断洋脊之间的断层上可发生地震。板块学说对地震带的分布和深源地震的解释似较合理，但仍有待深入研究。

地震是一种普遍的自然现象，几乎和刮风下雨一样寻常。地球上天天都有地震发生，如果零级地震都能观测到，那么，全世界每年大约有100万到1000万次。其中绝大多数属于微震，人们不能直接感觉到，而有感地震约五万次，像1976年7月河北唐山那样强烈的地震，平均每年约十几次。其总的规律是震级越小的地震越多，越大的地震越少，绝大多数地震对人类并不造成危害。

根据历史地震资料及近代地震学研究分析，大地震的分布是不均匀的，但也有规律可寻，往往发生在海洋与大陆的交界地带，或山脉与平原的交接地区，以及一些河流、湖泊的沿岸地带，也就是说，多发生在近代地壳运动最活跃的地区。从地理分布范围看，主要发生在环太平洋一带和地中海至中亚一带。

我国正处于世界两大地震带的中间，是一个多地震活动的国家，地震分布十分广泛，如图1-9所示。其中台湾省大地震最多，新疆、西藏自治区次之。有些地方在历史上虽未发生过大地震，但近年来也有活动。

强烈地震对人类造成了不同程度的灾害。但是实践证明，地震的发生是有前兆的，是可以预测和预防的。首先，在强烈地震之前，地下的岩石已经开始发生位移，在地面上则常有上升下降甚至倾斜现象。因此，可以在地面或水井、坑道、钻孔中安装各种仪器进行观测。其次，强烈地震之前，由于地下含水层受到挤压产生位移，破坏了地下水的平衡状态，使井水、泉水突然上升或下降，甚至干枯；地下水化学成分和物理性质也会突然变化。某些地区地震前，常有地声、地光、地电、地温、地磁、地重、地应力的异常现象。此外，人们还利用家畜及水中或地下生物的活动来预报地震，如1970年云南玉溪地震前，有牛羊不肯入栏和老鼠搬家等现象。

通过对地震发生发展的研究，可以从中了解到很多关于地震的知识，获得有关地球构

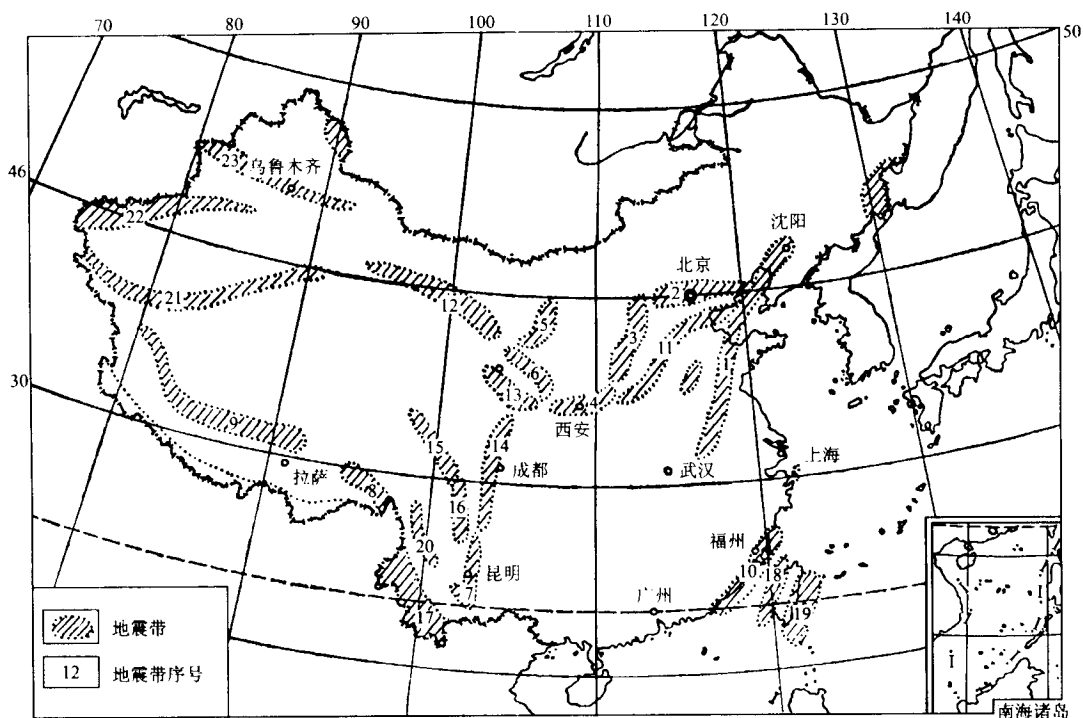


图 1-9 中国地震活动带分布图

造、地震成因以及形成等方面知识，找出防震、抗震的措施，以减轻地震的危害。因此，人们关心地震，研究地震发生的规律性，也正是为了防治和减少地震带来的灾害。

## 二、外力地质作用

是由地球范围以外的能源所产生的地质作用。它的能源主要来自太阳辐射能以及太阳和月球的引力、地球的重力能等。其作用方式有风化、剥蚀、搬运、沉积和成岩作用。上述作用的总趋势是削高补低，使地面趋于平坦。沉积岩和外生矿床就是外力地质作用的产物。

**1. 风化作用** 在常温常压下，由于温度、水、氧、碳酸气和生物等因素的影响，使组成地壳表层的岩石发生崩裂、分解等变化，以适应新环境的作用，叫风化作用。按风化作用因素的不同，可以分为物理风化作用、化学风化作用和生物风化作用三种。

(1) 物理风化作用 岩石在风化过程中，只发生机械破碎，而化学成分不变。引起物理风化的主要因素是温度的变化（图 1-10）、水的冻结和结晶胀裂等。如沙漠地区，岩石白天

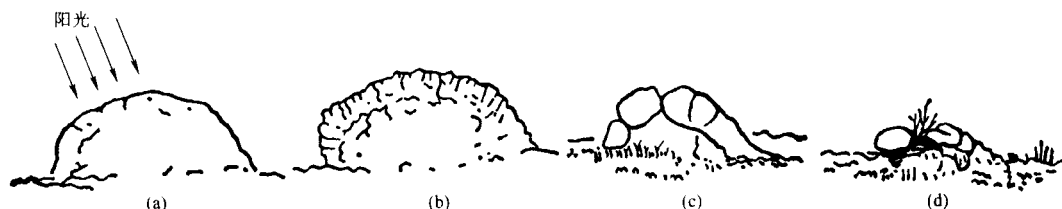
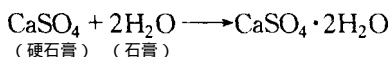


图 1-10 物理风化作用示意图

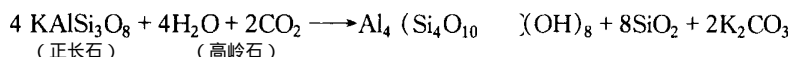
被阳光照射，温度可达 60~80℃ 到夜间则降至 0 以下，岩石随温度变化反复膨胀和收缩，胀缩转换愈快，岩石破坏愈快。此外，充填在岩石裂隙中的水的冻结和盐溶液的结晶都会使岩石裂隙胀大而破坏岩石。

(2) 化学风化作用 岩石在水、氧、CO<sub>2</sub> 以及各种酸类的化学反应影响下引起岩石和矿物的化学成分发生变化。如矿物与水结合，可形成新的矿物。

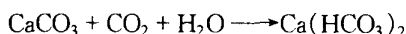


当水溶液中有大量的氧时，可促使某些矿物迅速氧化，如黄铁矿经氧化后可生成稳定的褐铁矿，其变化过程详见本书第九章关于硫化物的表生变化。

当水中溶有 CO<sub>2</sub> 时，将促使某些矿物发生分解而产生新的矿物。



纯水对碳酸盐几乎不起作用，若水中含有 CO<sub>2</sub> 时，则使难于溶解的碳酸盐变成易溶解的重碳酸盐而造成化学风化：



总的说来，化学风化作用使一些原来在地壳中比较稳定和坚硬的矿物发生化学变化，形成在大气和水的环境中比较稳定但却是松软的矿物，如高岭石、褐铁矿等。化学风化作用使岩石的硬度降低，密度变小，矿物成分变化，本来面貌完全被破坏。

(3) 生物风化作用 是指岩石在动植物活动的影响下所引起的破坏作用，既有机械破坏，也有化学分解。如植物生长在石缝中，根部挤压岩石，并分泌出酸类破坏岩石中的矿物以吸取养分。岩石孔隙中的细菌和微生物又析出各种有机酸、碳酸等，对岩石和矿物起着强烈的破坏作用。

自然界中，上述三种作用总是同时存在，互相促进的，但在具体地区可以有主次之分。地壳表层的岩石经过风化以后，除一部分物质溶解于水转移它处之外，难以风化的碎屑成分或化学残余物，就在原来岩石的表层上面残留下来。这个被风化了的岩石表层部分，通常称为风化带或称风化壳。

2. 剥蚀作用 将风化产物从岩石上剥离下来，同时也对未风化的岩石进行破坏，不断改变着岩石的面貌，这种作用称为剥蚀作用。引起剥蚀作用的地质营力有风、冰川、流水、海浪等。

陆地是剥蚀作用的主要场所。在地形起伏、气候潮湿、降雨量大的地区，剥蚀作用主要为流水的冲刷和侵蚀，使岩石遭受破坏；在干旱的沙漠地区，剥蚀作用主要为风对岩石的破坏。

风的剥蚀作用包括吹扬作用和磨蚀作用。前者指风将岩石表面的松散砂粒或风化产物带走；后者指风所夹带的砂粒随风运行，对岩石表面发生摩擦磨蚀。

河流以自己的动能并以夹带的砂、砾石破坏河床岩石，且把破坏下来的物质带走，此过程叫流水的侵蚀作用。

按力的作用方向的不同，侵蚀作用可以分为下蚀作用和侧蚀作用两种。

(1) 下蚀（深向侵蚀）作用 河流冲刷底部岩石使河床降低的作用，称河流的下蚀作用。河流在流动过程中，河水本身以及随河水一起运动的砂砾撞击、摩擦河床基岩，使基岩破碎，使河谷加深。由于下蚀将引起河流逐渐向着源头后退，使河流增长，这一作用过程称为向源

侵蚀。

河流下蚀河床到一定深度，当河床低于海（湖）平面，河面趋于海（湖）面时，河水不再具有位能差，河流的下蚀作用也就停止了。所以，从理论上说来，海（湖）水面是所有入海（湖）河流下蚀作用的极限。我们把下蚀作用的极限称为侵蚀基准面。显然，海平面是最终侵蚀基准面。具体到某一地区时，则以该区主河道或湖泊水面作为当地侵蚀基准面。

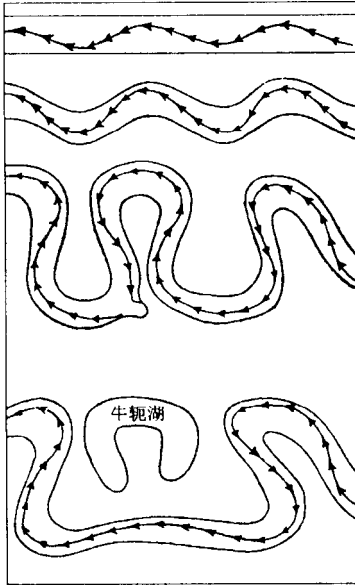


图 1-11 曲流的发展与牛轭湖的形成

(2) 侧蚀（侧方侵蚀）作用 由于河道弯曲，水流惯性力和水内环流的作用，凹岸不断被侵蚀后退的过程，称为侧方侵蚀。当水分子在重力作用下，沿凹岸河床斜坡产生强烈的下降水流，掏空凹岸下部，使上部岩块崩塌下落，结果河岸逐渐向着凹岸及下游方向推移。在凹岸遭到侵蚀作用的同时，底流将破坏下来的碎块泥砂搬至凸岸沉积下来，并不断向前发展。侧蚀作用主要在河流的中、下游盛行。因而中、下游河谷宽阔，河床弯曲成曲流，并产生牛轭湖等。

侧蚀不断侵蚀凹岸，河床不断向凹岸移动，弯曲越来越甚，称为曲流（或河曲）。曲流继续发展，河床的弯曲几乎接近封闭的圆形。洪水时，水流穿过曲流颈，河床就裁弯取直，原来的曲流就脱离河道，形成牛轭湖（图 1-11）。

河流在以侧蚀作用为主时，一方面河谷不断加宽，一方面进行沉积。其后，由于当地地壳相对上升或侵蚀基准面下降等原因，底蚀作用加强，就在原有河谷底上侵蚀出新的河谷，使原有谷底不再被河水淹没，而形成沿着河谷谷坡伸展的阶梯状地形，称河谷阶地（图 1-12）。

阶地有时只有一级，有时可有几级，每一个阶地由一个平台和与之相连的阶地斜坡组成。最低的一级称一级阶地，往上为二级，以此类推。最低的阶地是最新的阶地，即形成最晚的阶地，阶地愈高，形成愈早。常见的阶地有侵蚀阶地和沉积阶地。前者阶地平台上没有沉积物存在，阶地平台和斜坡均由基岩组成；后者在阶地平台上有疏松沉积物。

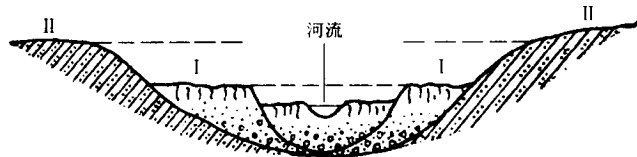


图 1-12 河谷阶地

I — 一级阶地；II — 二级阶地

研究阶地，不仅可以了解河流的发展历史，认识地壳运动的升降幅度和范围，而且有助于寻找和开采贵金属，如金的砂矿床等。

河流在侵蚀的过程中，交织着下蚀和侧蚀两种方式。河水在对河床底部岩石进行侵蚀的同时，也对河床两侧岩石进行侵蚀。但在不同河段，由于地质条件的差异，它们有着不同

的表现，一般上游河段以下蚀为主导；中下游河段则以侧蚀为主导。

此外，地下水、海浪、冰川等同样可以剥蚀。

**3. 搬运作用** 风化剥蚀的产物，在地质营力的作用下，离开母岩区，经过长距离搬运，到达沉积区的过程，叫搬运作用。搬运和剥蚀往往是同时由同一种地质营力来完成。如风和流水一边剥蚀岩石，同时又迅速将剥蚀下来的岩屑带走，两者是不能截然分开的。

搬运作用的方式有拖曳搬运、悬浮搬运和溶解搬运三种。

(1) 拖曳搬运 被搬运的物质因颗粒粗大，随风或流水在地面上或沿河床底滚动或跳跃前进。被搬运物质大多数在搬运过程中逐渐停积于低洼地方或沉积于河床底部，部分被带入海中。

(2) 悬浮搬运 被搬运物质颗粒较细，随风在空气中或浮于水中前进，浮运距离可以很远。我国西北地区的黄土就是从很远的沙漠地区以悬浮方式搬运来的。

(3) 溶解搬运 被搬运的物质溶解于水中，以真溶液 (Ca、Mg、K、Na、Cl、S 等) 和胶体 (Al、Fe、Mn 等的氢氧化物) 溶液的状态搬运。这些溶解质一般都被带到湖、海中沉积。

长距离搬运的结果，被搬运的物质获得良好的分选，其中机械碎屑物受到良好的磨圆。

**4. 沉积作用** 被搬运的物质，经过一定距离之后，由于搬运介质搬运能力 (风速或流速) 的减弱、搬运介质物理化学条件的变化或在生物作用下，从风或流水等介质中分离出来，形成沉积物的过程，叫沉积作用。沉积作用的方式有机械沉积作用、化学沉积作用和生物沉积作用。

(1) 机械沉积作用 由于搬运介质搬运能力的减弱，将拖曳或悬浮的物质，按颗粒大小、形状和比重在适当地段依次沉积下来，称机械沉积。

(2) 化学沉积作用 呈真溶液或胶体溶液状态被搬运的物质，由于介质物理化学条件的改变使溶液中的溶质达到过饱和；或因胶体的电荷被中和而发生沉积，叫化学沉积。在化学沉积作用中，首先沉积下来的是最难溶解并易于沉积的物质，而易溶物质只是在有利于沉积作用的特殊条件下才发生沉积。

上述两种沉积规律，将在以后有关章节中分别讨论。

(3) 生物沉积作用 湖沼和浅海是生物最繁盛的地带，生物沉积作用极其显著。这一作用包括：生物在其生活历程中，所进行的一系列生物化学作用 (如改变水的 pH 值等) 和生物大量死亡后，尸体中较稳定部分 (主要是生物的骨骼) 直接堆积下来的过程。生物骨骼成分有钙质、磷质和硅质，但绝大多数为钙质。它们有时被海浪捣碎混在机械沉积物中，数量多时，可形成生物碎屑堆积。

**5. 成岩作用** 使松散沉积物转变为沉积岩的过程，称为成岩作用。在成岩作用阶段，沉积物发生的变化有压固作用、胶结作用和重结晶作用三种。

(1) 压固作用 先成的松散沉积物，在上覆沉积物及水体的压力下，所含水分将大量排出，体积和孔隙度大大减小，逐渐被压实、固结，使沉积物转变为沉积岩。由黏土沉积物变为黏土岩；碳酸盐沉积物变为碳酸盐岩，主要是压固作用的结果。因为黏土和碳酸盐沉积物形成后，富含水分，孔隙亦大，在压力作用下，较易缩小体积，排出水分而固结成岩。

(2) 胶结作用 在碎屑物质沉积的同时或稍后，水介质中的真溶液或胶体物质，亦可随之发生沉积，形成泥质、钙质、铁质、硅质等沉积物。这些物质充填于碎屑沉积物颗粒之间，在上覆沉积物等外界压力的作用下，经过压实，碎屑沉积物的颗粒借助于化学沉积物的黏结