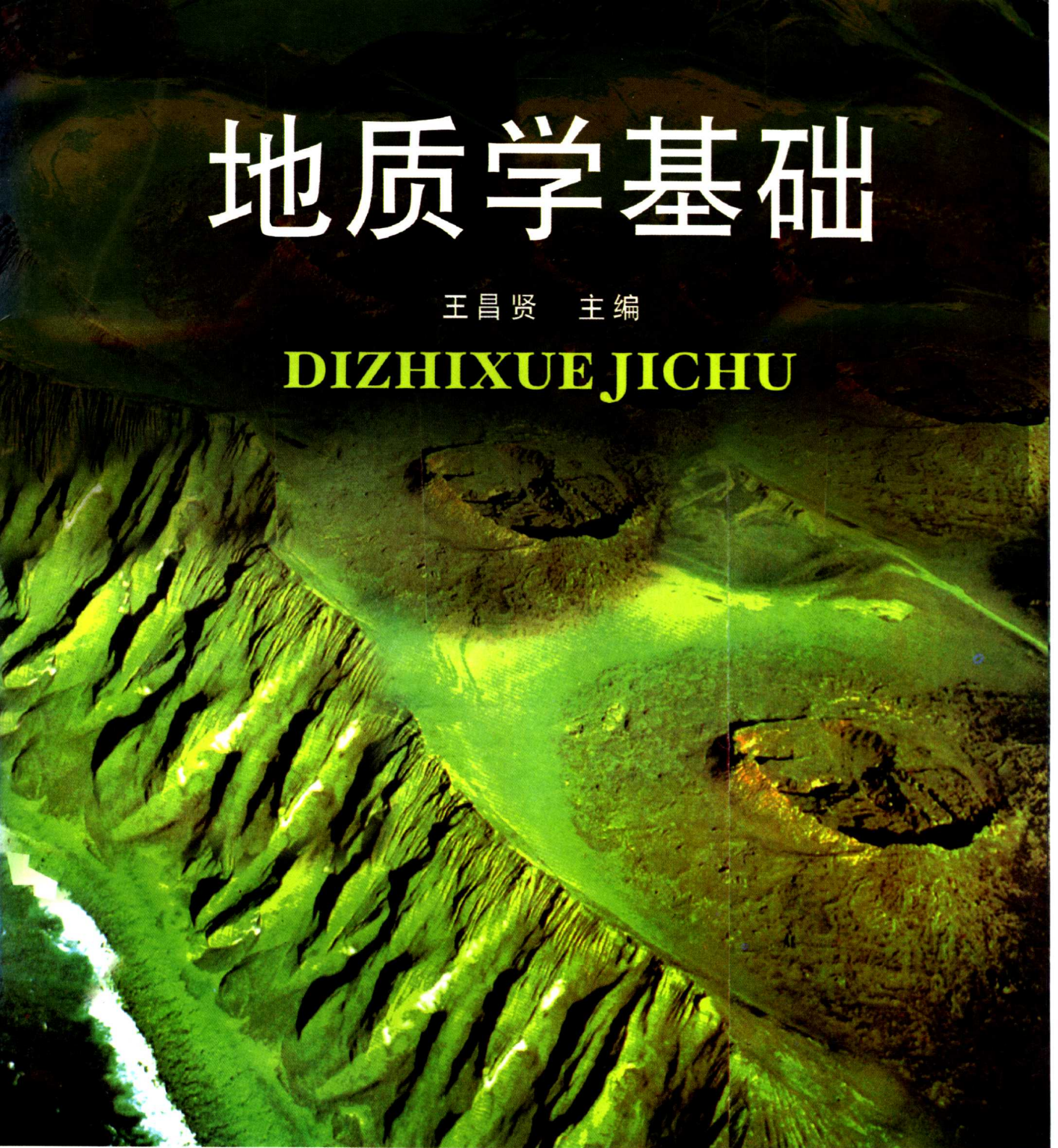


地质学基础

王昌贤 主编

DIZHIXUE JICHU



重庆大学出版社

地质学基础

王昌贤 主编

重庆大学出版社

内 容 简 介

本书以浅显而流畅的语言,简要而准确地阐述了地壳、地质作用、矿物、岩石、地质年代、地质构造、矿床及水文地质等对于采矿、建筑和环境等专业必备的地质学的基本知识。本书还结合学科发展的趋势,讲述了与人类生存环境密切相关的地震、崩塌、滑坡和泥石流等地质灾害的特征、分布规律及减灾防灾的措施,并对地球化学元素的分布和迁移作了必要的论述。本书辟专章介绍了各种地质图件的阅读和分析方法。

读者对象:采矿、建筑、环境等专业本、专科学生,相关专业技术人员、培训班学员。

地质学基础

王昌贤 主编

责任编辑 王 勇

*

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

重庆建筑大学印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:14 字数:349千

1998年2月第1版 1998年2月第1次印刷

印数:1—1000

ISBN 7-5624-1685-O/P·26 定价:17.00元



前 言

地质学是研究地球,而以地壳的物质组成、内部结构、表面特征以及各种地质作用和生物发展演化为主要研究内容的一门基础科学。它也是一门应用性很强的科学。人类要勘探和开发所需的各类矿产资源、兴建大型工程、了解现代火山和地震活动的规律,正确地处理好自身与自然环境的关系,都离不开地质学的理论和方法。此外,它还是一门综合性很强的科学,其中包括许多的分支学科。

《地质学基础》是采矿、建筑和环境等专业的一门重要的技术基础课。课程的目的是要求这些非地质专业学生通过该课程的学习,掌握地质学的基本知识,初步具备分析和解决地质问题的能力。编者从事地质研究并讲授地质学课程已有多,但始终感觉到,过去使用的非地质专业的地质学课程教材,大多偏重于基础理论和知识的介绍,而对于培养学生应用所学知识解决地质问题的能力则不够注重。往往学生们在课堂上觉得教学内容易于理解,但接触到具体的地质问题则常常感到束手无策。因此,很想写一本教材,力求在理论知识与实际应用的结合方面能有所改进。加之,目前在图书市场上也较难以寻觅到一本合适的教材。终于,我们克服种种困难,在长期科研和教学积累的基础上,进一步吸收地质科学发展的近期成果编成了这本书。

全书共分为十章。书中对地质作用和地质年代、矿物和岩石、矿床、褶皱与断裂和水文地质等基础的地质学知识进行了系统而简明的阐述,并注重相关知识的实际运用。大胆删除了对采矿、建筑工程和环境等专业来说实际应用性很弱的地史部分内容。考虑到地质图件是地质研究工作成果的一种重要的集中表现形式,书中介绍了各类常见地质图件的分析阅读方法。本书还结合学科发展的趋势,简要地讲述了与人类生存环境密切相关的地震、岩崩、滑坡和泥石流等地质灾害的特征、分布规律及减灾防灾的措施,地球化学元素的分布和迁移规律。

本书由王昌贤、倪学波、李长惠、吴应忠和薛赓飏五人执笔编写,王昌贤任主编。具体分工是:王昌贤编写第一、三、四、五、七章;倪学波编写第八章;李长惠编写第二、六章;吴应忠编写第九章;薛赓飏编写第十章。最后由王昌贤进行全面审核,部分修改、编纂定稿。

由于作者水平有限,本书中难免存在缺点和谬误,热诚希望读者、同仁予以指正,以便加以修改和补充。

主编

1997年12月

目 录

1 地球概论	1
1.1 地球的形状、大小及其物理性质	1
1.2 地球的圈层结构	5
1.3 地质作用和地壳运动	8
1.4 地壳的演化	11
2 矿物	20
2.1 晶体与非晶体的概念	20
2.2 矿物的自然形态	22
2.3 矿物的化学组成	25
2.4 矿物的物理性质	29
2.5 矿物的分类及常见矿物	32
3 岩石	39
3.1 岩浆岩	39
3.2 沉积岩	45
3.3 变质岩	55
4 岩层产状与褶曲构造	60
4.1 岩层的产状	60
4.2 褶皱构造	66
5 断裂构造	75
5.1 节理	75
5.2 断层	79
5.3 滑脱构造	93
6 地质图件的阅读	97
6.1 地质图	97
6.2 地质柱状图	105
6.3 地质剖面图	105
6.4 等值线图类	107
6.5 水平断面图	110

7 矿床	115
7.1 矿床概述	115
7.2 内生矿床	118
7.3 外生矿床	124
7.4 变质矿床	130
7.5 可燃有机矿床	131
8 地下水	142
8.1 岩石的空隙	142
8.2 岩石的水理性质	144
8.3 含水层与隔水层	146
8.4 地下水的物理性质和化学特征	147
8.5 地下水的基本类型	148
8.6 地下水运动的基本规律	152
8.7 地下水的涌水量计算	153
8.8 地下水对矿山工程的影响	155
8.9 地下水对建筑工程的影响	157
9 地震、滑坡、崩塌、泥石流	167
9.1 地震	167
9.2 滑坡	177
9.3 崩塌	185
9.4 泥石流	187
10 元素的迁移富集与人类健康	191
10.1 元素的迁移	191
10.2 地质环境与地方性疾病	198
主要参考文献	217

地球给人类提供了赖以生存的环境。人类居住在地球的表面,从地球表层开采所需的各种矿产资源。在本章里,将介绍地球的有关基本特征及其地壳发展演化方面的内容。虽然这里涉及的某些问题,在科学发展的现阶段尚不能得到完善的解决,但对于地球的状况有一个基本的了解,有助于我们更好地去认识自然界发生的各种地质现象。

1.1 地球的形状、大小及其物理性质

对于我们的祖先来说,地球是凛然可畏的庞然大物。因此,曾经有一个很长的时期,地球被认为是宇宙的中心,一切天体都围绕着地球旋转运行。直到1543年,哥白尼的《天体运行论》发表,这种错误观念才逐渐地被抛弃。实际上地球只是太阳系中一颗普通的行星,它的体积仅为太阳的 $1/1.3 \times 10^6$,质量仅相当于太阳的 $1/3.33 \times 10^6$ 。它一方面绕地轴自转,同时围绕着太阳公转。而太阳又仅是银河系1000多亿颗恒星中的一颗。在浩瀚无边的宇宙中,迄今已发现了10亿多个类似银河系这样的星系。由此可以想象,地球原来只是悬浮在幽暗深邃的太空之中的一颗十分渺小的星体。

1.1.1 地球的形状与大小

17世纪中叶之前,人们一直把地球看成是正球体。后来认识有了深化,确定地球为一个赤道凸出、两极稍扁的旋转椭球体。近年来,随着航天科学技术的迅速发展,人们利用人造地球卫星对地球的形状进行了精确的测量,证明地球实际上是一个三轴椭球体,其赤道为一个椭圆,长轴比短轴长430m,长轴指向西经20°和东经160°。另外,北半球稍凸出,比地球椭球面高10m;南半球稍凹入些,比地球椭球面凹进30m。

近代大地测量和地球物理方法测定的关于地球(未包括大气圈)形状与大小的基本数据如下:

赤道半径(a)	6 378.16 km
极半径(c)	6 356.78 km
平均半径	6 371 km
扁率	$e = \frac{a-c}{a} = 1 : 298.25$



图 1.1 人类居住的地球
(卫星拍摄的地球照片)

赤道周长	40 075.24 km
子午线周长	40 008.08 km
表面积	51 011 934 km ²

地球表面陆地与海洋并存,陆地面积为 $1.49 \times 10^8 \text{ km}^2$,只占地球总表面积的 29.2%;而海洋面积为 $3.61 \times 10^8 \text{ km}^2$,占地球总表面积的 70.8%。地球表面是高低起伏不平的,最高的珠穆朗玛峰高 8 848.13m,最深的马里亚纳海沟深 -11 033m,两者高差达 20km 左右。陆地平均高度是 840m,海洋平均深度是 -3 800m。陆地多集中在北半球。

1.1.2 地球的物理性质

地球的各种物理性质从不同侧面反映了地球内部的物质组成及其特征。人们可以利用这些性质来为勘探找矿、采矿及工程建设等服务。

(1)密度和压力 用万有引力公式计算出地球的质量为 $5.976 \times 10^{21} \text{ t}$,将此数据除以地球的体积,求得地球的平均密度为 5.52 g/cm^3 。实际测得地球表层岩石的平均密度为 2.7 g/cm^3 左右,比地球的平均密度要小得多。由此可知,地球内部物质比表层物质的密度大。根据地球物理方法测定结果,地球内部物质的密度值随深度而增大(图 1.2),并在 33km、2 900km 及 5 100km 等若干深度界面上作跳跃式增加。越接近地球的中心,物质的密度越大,到地心达到 13 g/cm^3 左右。

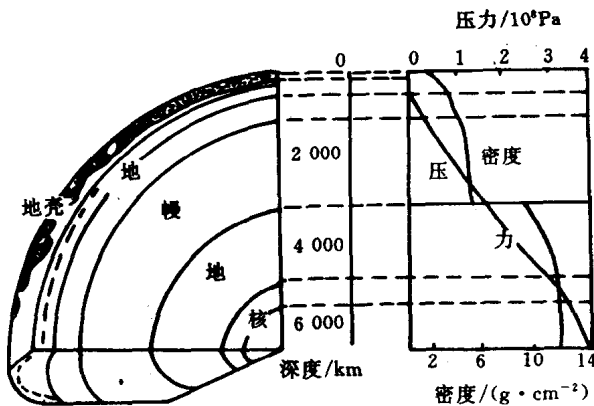


图 1.2 地球的密度和压力变化曲线

地球内部的压力主要是静压力,这是由上覆地球物质的重力所产生的压力。其数值可按公式

$$p_h = h \cdot \rho_h \cdot g_h$$

计算(静压力等于某深度和该深度以上地球物质平均密度与平均重力加速度的连乘积)。根据计算结果,在地表以下 10km 处,静压力为 $3.0798 \times 10^8 \text{ Pa}$;深度 33km 处,为 $10.1325 \times 10^8 \text{ Pa}$;到地心达到 $3748.9950 \times 10^8 \text{ Pa}$ 。静压力随深度而增加,见图 1.2。

地球内部压力也包括由地壳运动产生的应力。这种地应力通常以水

平应力为主,具有方向性,可在某些地段特别集中。

(2)重力 地球上任一物体所受重力等于该物体与地心之间的引力同地球自转产生的离心力之合力(图 1.3)。地表某处物体所受地心引力 F_1 可用下式表示:

$$F_1 = G \frac{M \cdot m}{r^2}$$

式中, M ——地球的质量;

m ——物体的质量;

r ——物体与地心的距离；

G ——万有引力系数。

由公式可知,地心引力与物体的质量成正比,与相距地心的距离的平方成反比。因此,地心引力以赤道上最小,两极最大。

地球上的物体,由于地球自转而产生的离心力 F_2 用下式表示:

$$F_2 = m\omega^2 R$$

式中, m ——物体的质量;

ω ——地球自转角速度;

R ——地球自转轴至物体的距离。

可见, F_2 与 R 成正比。在赤道上 F_2 的值最大,在两极上为零。离心力与地心引力相比甚小,它在赤道上的最大值也只有地心引力的 $1/289$ 。

由上面分析可知,作为地心引力与离心力合力的重力在地球表面各处是变化的,在赤道上最小,两极最大。据计算,在两极的重力比赤道地区大 0.53% ,也就是说,将在两极重 100kg 的物体搬到赤道地区时,则变成了 99.47kg 。

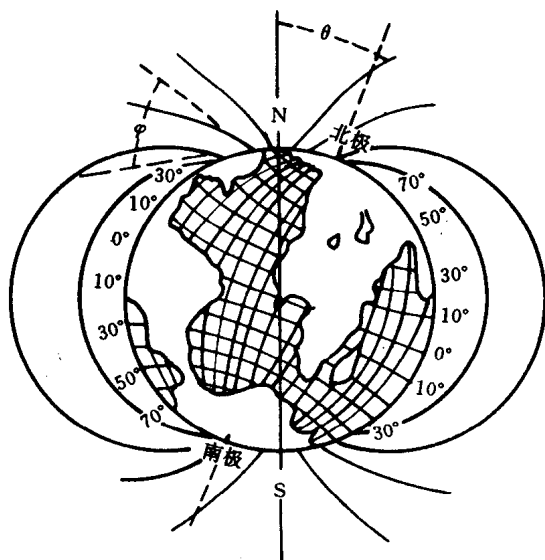


图 1.4 现代地磁极(N-S)与地理极的关系示意图

θ ——磁偏角; ϕ ——磁倾角

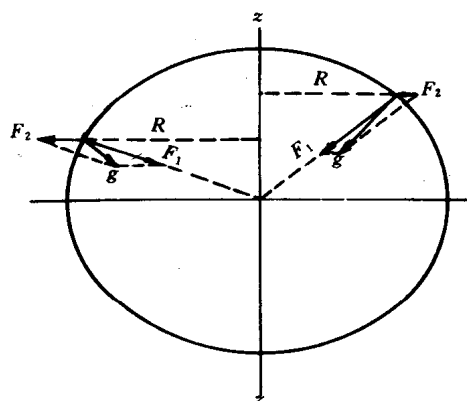


图 1.3 重力与地心引力和离心力的关系
 zz ——地球自转轴; g ——重力; F_1 ——地心引力

若把地球当成一个均质体,可计算出地球表面各处的重力值,称为理论值。实际测出的重力值一般与理论重力值并不相等。这种两者值不等的现象叫重力异常。若实测值大于理论值,为正异常;实测值小于理论值,则为负异常。引起重力异常的原因,主要是地下物质组成不同。在埋藏有石油、煤、盐以及沉积岩、酸性岩等密度较小物质的地区,出现负异常;而在埋藏有铅、铜、铁等金属矿产以及基性岩等密度较大物质的地区,常显示正异常。因此,可以重力异常的分布来作为寻找地下矿产的一种手段。

(3)地磁 地球就像一个巨大的球形磁铁,在它周围形成了地磁场。早在 2 000 多年前,我国人民就已经会利用磁性,并发明了指南针。地磁场的南北极与地理南北极是不重合的,因而地磁轴与地球自转轴也不一致(图 1.4),两者间有 11.5° 左右的

夹角。这样,地磁子午线(磁针在某点水平面上所指的方向)与地理子午线间也有一个夹角,这个夹角称为磁偏角。以指北针为准,磁偏角偏东(偏于地理子午线之东)为正,偏西为负。磁针与水平面之间的夹角称磁倾角。在不同的纬度上有不同的磁倾角,以指北针为准,下倾为正,上

仰为负。磁针在地磁赤道上保持水平,磁倾角为 0° ;在地磁极为直立状态,磁倾角为 90° ;在其它地方都是倾斜的。为了抵消磁倾角的影响,使磁针保持水平,往往在其一端绕有细铜丝。

将地球视为一个均匀磁化球体,由此计算得出的地球各个点的地磁场值称理论值。若实际测定的地磁场值与理论值不相符,称为地磁异常。实测值大于理论值者,叫正异常;实测值小于理论值者,为负异常。正异常反映地下可能有磁性岩体或矿体存在,如磁铁矿、镍矿、超基性岩体等;负异常则反映可能存在金矿、铜矿、盐矿、石油和花岗岩等低磁性或反磁性的矿物与岩石。

(4)地热 地下流出温泉、矿井温度随深度增加和火山喷发等自然现象告诉人们地球内部储存有巨大的热能。按地球内部温度分布状况,可分出三个温度带:

1)外热带(变温带) 这是地球表面主要受太阳辐射热影响的地带。温度有日变化、季节变化和年变化。日变化影响深度一般为 $1\sim 1.5\text{m}$,年变化影响深度一般为 $12\sim 20\text{m}$ 。

2)常温带(恒温带) 位于外热带之下,厚度很小。特点是温度常年保持不变,大致相当于当地年平均温度。如我国华北怀来县常温带位于地下 14m 左右深度,温度常年保持在 9°C 。

3)内热带(增温带) 位于常温带之下。热量来自地球内部,主要是放射性元素发生衰变时产生的。本带的特点是温度随深度增加。例如,华北某地一钻孔的测温数据是:近地表温度不到 20°C ;800m深处为 40°C ;1400m处达 60°C 。深度每增加100m地温增加的度数,称为地热增温率,或地热梯度。从全球来看,在70km深度范围内,地热增温率平均为 $2.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$;再往深处,则逐渐减小,为 $(0.5\sim 1.2)^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。地心的温度约为 4500°C 。凡表层热流值显著高于表层热流平均值的地区,称为地热异常区。若具有开发利用价值则成为地热田。我国地热资源十分丰富,目前已发现热泉点800多处,其中西藏地区有600多处。拉萨西北羊八井热汽井,钻井深仅30m,水温达 130°C 的热水气喷高30余m。地下热水被开发出来后,可用于发电(地热电站)、工业锅炉、农业灌溉、医疗卫生、生活饮用和提取稀有元素等方面。

采矿工作中,地热往往是不利的因素。特别是当矿山开采深度大或位于地热异常区时,会使井下温度升高很多。为了改善劳动条件,必须采取专门的降温措施。

(5)放射性 放射性是部分元素的不稳定原子核衰变为稳定原子核的过程中通过能量释放而显示出来的一种物理现象。地球内部存在多种放射性元素,如 U^{238} 、 U^{235} 、 Th^{232} 、 Rb^{87} 和 K^{40} 等。在衰变过程中,不稳定原子核的部分能量通过发射质点(射线)的方式释放出来,同时放出大量的热。这种热能是地热的主要来源。地球化学研究表明,放射性元素在酸性岩浆岩(如花岗岩)中富集程度很高,而在基性、超基性岩浆岩(如玄武岩、橄榄岩、榴辉岩)中含量甚低。两者的热产率可相差数百倍,如花岗岩为 $0.342\times 10^{-4}\text{J}/(\text{g}\cdot\text{a})$,而橄榄岩仅为 $0.946\times 10^{-7}\text{J}/(\text{g}\cdot\text{a})$ 。另外,在地球表层 $0\sim 20\text{km}$ 深度范围内的岩石中,放射性元素的平均含量大致与花岗岩中的含量相当。在 $20\sim 60\text{km}$ 深度范围内的岩石中,放射性元素含量大致与玄武岩中的含量相当。对于更深处岩石中放射性元素的分布情况,目前还不甚了解。

放射能已成为现代的重要能源之一。在含放射性元素矿物集中的地段,释放出的射线强度会很大。因此,可使用一些专门仪器来探测放射性强度局部增高的地段,寻找放射性矿床。此外,由于放射性衰变不受外界环境变化的影响,可以利用放射性元素的衰变速度确定岩石的形成年龄,关于这一点在1.4节中将进一步说明。

1.2 地球的圈层结构

地球并不是一个均质体,而是由不同成分和状态的物质构成的具同心圈层结构的球体。一般以固体地球表面为界,将其分为外圈层和内圈层两大部分。外圈层和内圈层又各自再划分为若干次级圈层。每个圈层都有其独特的物质运动特征和物理、化学特性,它们对各种自然地质现象的发生有着直接或间接的影响。

1.2.1 地球外部圈层

外圈层进一步分为大气圈、水圈和生物圈。

(1)**大气圈** 为地球的最外层,总质量 $5.13 \times 10^{15} \text{t}$,约占地球总质量的 $1/100$ 万。由于地心引力的影响,靠近地表部分的大气的密度较大,随着高度增加则迅速减少,并逐渐过渡为星际气体。因而大气圈没有明显的上界。据人造地球卫星所获资料,在 10 000 多 km 的高空,还有稀薄的空气痕迹。大气圈按其组成和性质的不同,自下而上分为对流层(从地面到 8~18km)、平流层(由对流层向上至距地面 50~55km)、中层(由平流层向上至距地面 85km 左右)、电离层(由中层向上至距地面 85~800km)和散逸层(由电离层向上至距地面 800km 以上)。

对流层的气体质量约占大气圈总质量的 79%,其主成分是氮和氧,其次为二氧化碳、水气和固体悬浮物。对流层的热量主要来自吸收地表反射的太阳辐射热,气温随高度而递减。因热空气上升和冷空气下沉,产生垂直对流。不同纬度的气温差异则使空气沿水平方向发生对流。空气对流是对流层的一个重要特征,它是产生风、雨、雪、雾等天气现象的主要原因。

平流层的气温基本上不受地面影响,大气以水平移动为主。在本层上部存在大量的臭氧(O_3),形成臭氧层。臭氧能吸收太阳幅射紫外线,保护地面生物免受强烈紫外线的伤害。

(2)**水圈** 由地球表层的海洋、湖泊、沼泽、河流、冰川及地下水等水体组成。它是一个连续而不规则的圈层。水圈质量为 $1.41 \times 10^{18} \text{t}$,占地球总质量的 0.024%。其中,海水占 97.2%;陆地水占 2.8%。此外,大气圈和生物圈中也含有极少量水分。地球表面 70% 以上面积都被水所覆盖,因此地球被称为“水圈”的行星。海水中含盐度高,平均为 3.5%,溶解的盐类物质以氯化物(NaCl 、 MgCl_2 等)为主。陆地上水体含盐度一般较低,平均小于 0.1%。

水圈的水在太阳辐射下不断地循环着(图 1.5)。海水被蒸发,然后进入对流层随空气对流,在一定的条件下便凝结成雨、雪等降落地面。落到地面的水在重力影响下沿地表或地下流入大海。这样便完成了一个大的循环。

水在循环过程中,具有很大的动能,因而成为改变地球面貌的强大动力。它一方面破坏地表和地下一定深度范围内的岩石;另一方面又通过沉积形成新的岩石。而且,水还是促进有机体生长的要素。由此可见,水是参与地球表层物质和生物界发展演化的最积极的因素之一。

(3)**生物圈** 系指地球上生物活动并可感受到生命活动影响的区域。生物的分布十分广泛,在水圈以及地表土壤和岩石里,都有大量的生物存在。曾在陆地上 7.5km 深的钻井里发现了活的生物体。一些细菌、真菌和植物的孢子,可以被气流搬运到地面以上 15km 的高空。因

此,生物圈的范围应包括大气圈的下层、地球岩石的表层和整个水圈,而并不是一个独立占有
一定体积空间的圈层。

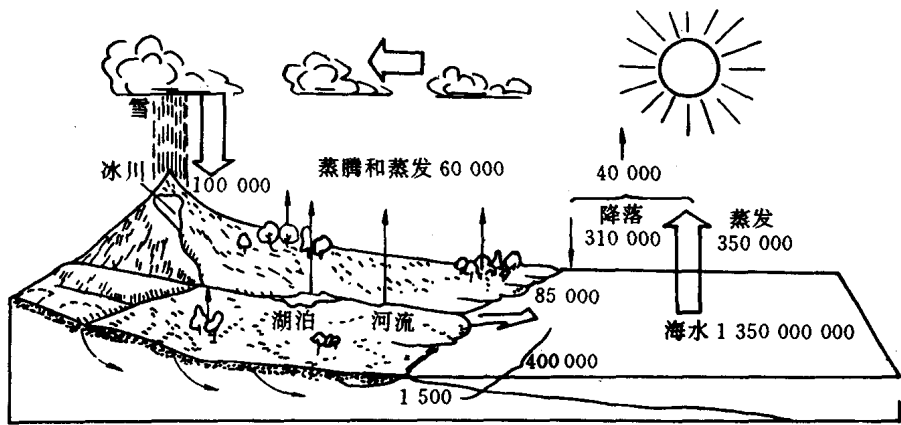


图 1.5 自然界水的循环(单位:km³)

生物活动对改变大气和地球表层岩石的成分,以及地表面貌有着积极的促进作用。如植物通过光合作用,不断地从大气中吸收 CO_2 ,并分解为氧和碳。然后释放出氧,将碳固定下来。这样一方面消耗了大气中的 CO_2 ,增加了氧;另一方面待植物死亡后,其遗体中的碳可在合适的条件下转变为煤层。生物活动可参与岩石的破坏和建设作用。比如,人类从事工程建设活动、穴居动物挖洞掘穴、植物根长大时对周围岩石的撑裂等,都对地表岩石、土壤起着破坏作用。而礁灰岩这种岩石则是由固着生长的生物的骨架构成的。

1.2.2 地球内部圈层

对地球内圈层的研究,不能以直接观测方法为主。目前,世界上最深的钻孔为 11km。这个数字相对于地球 6 371km 的平均半径来说是微不足道的,还停留在地球的最外表层部分。对于地球深度更大部分的情况,则主要根据地震波在地球内部传播的特征,并结合陨石学研究、高温高压试验的成果来进行分析。地震波有纵波(P)和横波(S)。纵波的传播速度较快,并能穿过固态、液态和气态介质;横波的传播速度较慢,且只能通过固态介质。波速大小取决于传播介质的密度、刚度等因素。

地震波传播速度的变化表明地球不是一个均质体。多数情况下,地震波在地球内部的传播速度是随深度增加的,说明总的规律是越往地球中心物质的密度越大。但是,波速在某些深度界面上要发生突变,陡然增高或减小。这种使波速发生突变的界面叫不连续面,它是由地球内部物质组成和状态的突然变化引起的。

在若干个不连续面中,有两个变化最为显著的面,即莫霍面和古登堡面。在陆地上,莫霍面平均位于地下 33km 处。此面之上,纵波速度为 7.6km/s;穿过此面后,陡然增至 8.0km/s。相应地,横波速度由 4.2km/s 增至 4.4km/s。古登堡面位于地下大约 2 900km 深处,纵波穿过此面时,波速由 13.3km/s 降为 8.1km/s;横波至此则突然消失。以这两个不连续面作为分界面,

人们将地球内圈进一步分为地壳、地幔和地核三个圈层。

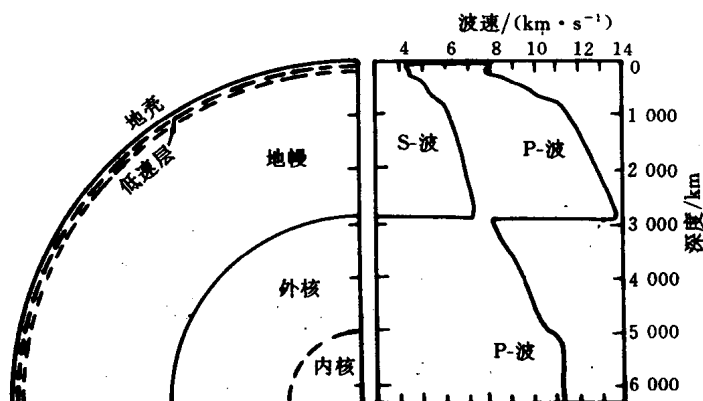


图 1.6 地球内部震波 P-波和 S-波传播曲线

(1)地壳 位于莫霍面之上,属地球表层的坚固外壳,与大气圈、水圈和生物圈直接相接触。体积约占内圈总体积的 1.5%,质量约占内圈总质量 0.8%。大陆上,地壳平均厚度 33km。根据其物质组成,可分为上部地壳和下部地壳二层。上部地壳平均密度 2.65g/cm^3 ,岩石成分中富含氧化硅和氧化铝,故称为硅铝层。因与花岗岩成分相近,又叫花岗岩质层。下部地壳平均密度 2.9g/cm^3 ,岩石成分中富含氧化硅和氧化镁,故称硅镁层。因与玄武岩的化学成分大致相当,又叫玄武岩质层。在海洋中,不存在上部硅铝层,仅有下部硅镁层,地壳平均厚度仅 7.3km 左右。

地壳的温度与压力是随深度增加的,在地表为常温、常压环境;至地壳底部,温度可达 1000°C 左右,压力可达 $9.8 \times 10^5\text{kPa}$ (10000atm) 左右。

(2)地幔 位于莫霍面之下,古登堡面之上。体积约占内圈总体积的 80%,质量约占内圈总质量的 67.8%。物质基本上呈固态,成分可能与橄榄岩相似。目前,根据 980km 左右的次一级不连续面(雷波蒂面),将地幔进一步分为上、下两部分。

上地幔物质的平均密度约为 3.5g/cm^3 。在深度大致为 70~250km 范围内,存在一地震波传播的低速带。推断该带内岩石的温度已接近其熔点,所以地震波的速度比别处低。该带又称为软流圈。软流圈的地质意义十分突出,很可能是高温熔融岩浆的发源地。地球内圈中包括地壳在内的整个软流圈之上的部分称为岩石圈。

下地幔因压力大,物质结合更加紧密,密度达 5.1g/cm^3 以上。

(3)地核 位于古登堡面以下直到地心部分称地核。其体积约为内圈总体积的 16.3%,质量为总质量的 $1/3$ 左右。地核的化学组成可能以铁、镍物质为主,并含有少量的轻元素,如硅和硫等。地核进一步分为外核、过渡层和内核。

外核厚 1740km,平均密度为 10.5g/cm^3 。由于纵波速度急剧下降,横波不能通过,表明温度已超过物质熔点,物质呈液态。过渡层厚 515km,层中能测到速度不大的横波,推测是由液态向固态物质转化的一个层。内核厚 1216km,平均密度约 12.4g/cm^3 。横波和纵波都能通过,因此肯定是由固态物质组成。

1.3 地质作用和地壳运动

在地球的圈层结构中,地壳只占很薄的一层,但它与人类的关系却十分密切。因此,有必要了解地壳的活动特性。

1.3.1 地质作用

地球自形成以来距今已有几十亿年的历史了。从长期发展演化的角度来看问题,地壳是一直处于活动状态的。地壳表面的形态在逐渐地改变,组成地壳的岩石、矿物也在逐渐地发生改变。在某一阶段,一些地区可能因上升隆起形成高耸的山脉;有的地区则发生拗陷形成海洋。另一方面,高山会因岩石遭受侵蚀破坏而被慢慢地夷为平地;而海洋又可因泥砂等的不断充填而向陆地方向发展。因此,地壳的组成物质永远处于不断的转移和重新组合过程中,并由此使得地表形态和地壳岩石的构造特征不断地发生变化。

促使组成地壳物质的成分、构造和地表形态等不断变化和发展的各种作用,通称为地质作用。有的地质作用进行得十分迅速,如人们所熟悉的地震、火山爆发、岩崩和泥石流等,可以在短暂的时间内使地面形态发生很大的变化,甚至造成灾难性的后果。而多数地质作用则进行得极为缓慢,难以被人们所察觉。比如,地表岩石遭受风化破坏的过程就属于这种情况。但是,在经历了若干万年,甚至100万年、1000万年之后,这些一直缓慢进行的地质作用却能产生远比那些短暂而剧烈的地质作用更为巨大的结果。在地壳演化历史中,许多大山被剥蚀夷平,沧海变为桑田,都是一点一滴的长期变化和积累所致。

地质作用是由地质营力引起的。力是能的表现,按照能量的来源不同,可将地质作用分为内动力地质作用和外动力地质作用两大类。内动力地质作用系指来自地球内部的能量,如地球自转旋转能和放射性物质蜕变所产生热能等引起的,作用于整个地壳和地幔中的各种作用。如地壳运动、地下岩浆的喷出和侵入活动、地震和变质作用等。外动力地质作用则指主要来自地球以外的能源如太阳的辐射能、日月引力能等引起的,作用于地壳表层的各种自然作用。它包括了风化、剥蚀、搬运、沉积和成岩等作用。

1.3.2 地壳运动

地壳运动是使地壳以至更深处岩石发生变形和变位的机械运动,属于内动力地质作用的一种。从地壳发展演化的进程来看,它在各种内、外动力地质作用中占有最重要的地位,对各时期的海陆分布和基本构造格局起着决定性的作用。此外,地壳运动还为其它地质作用的进行创造条件。比如,通过地壳使岩石变形产生的断裂,可以成为岩浆活动的通道。

(1)地壳运动的证据 地壳运动虽然一般进行十分缓慢,但其存在的证据是容易找到的。重庆沙坪坝区松林坡上的砾石层,经研究属嘉陵江古河床沉积物,现在其位置已高出江面近100m,反映了地壳抬升使得嘉陵江河谷下切的过程。厚度很大的第四纪松散沉积物通常是由地壳下沉而发生的充填作用形成的。经钻探发现,天津的第四纪冲积层厚度大于800m,上海的

松散层厚度大于 300m。说明这两个地区第四纪以来曾发生显著沉降。又如,我国在对西藏喜马拉雅地区进行科学考察时,在希复邦马峰的北坡海拔 5 700~5 900m 的地方,发现了生长在 100 万年前的植物化石。因为这种植物现在一般生长在海拔 2 200~3 000m 的地方,推断该地区在近 100 万年来大约上升了 3 000m。

我国历史文献中关于地壳运动存在的描述很多。早在老子的道德经中,就有“沧海变桑田”的说法。又如唐代著名书法家颜真卿于“抚州南城县麻姑仙坛记”(公元 771 年)中也写道:“东北有石崇观,高石中犹有螺蚌壳及石子如鸟卵者,恒亘石壁如带,此乃昔日之海滨。今东距海千里,或以为桑海可变”。显然,早在 1 000 多年前就能作出这样的科学论述是十分可贵的。

现代发生的地壳运动的速度和幅度,可以通过大地测量方法来确定。例如,1967 年在冰岛洋脊裂谷两侧设置标杆,用激光测距法对标杆间距离进行了测量。几年之后,再进行测量时,发现这些标杆间的距离增大了 5~8cm。每年该裂谷拉开不到 1cm。美国西部的圣·安得列斯大断层,经大地测量发现,两侧相对错移的速度大约为 4cm/a。

(2)地壳运动的方式 地壳运动的基本形式有两种:垂直升降运动和水平运动。

垂直升降运动指地壳物质沿垂直地球表面方向发生的上升或下降运动,常表现为地面大规模的隆起和拗陷,引起地势高低变化和海陆变迁。水平运动则表现为地壳物质大致沿平行地球表面,即沿着大地水准球面切线方向发生的运动。水平运动往往使得地壳岩层遭受水平方向的挤压或拉伸应力作用而发生褶皱和断裂变形,并伴随有地表的隆拗变化。多数巨大的山脉都是通过水平挤压形成的,如我国的祁连山、昆仑山、喜马拉雅山、秦岭等。在矿山也常会遇到矿体与周围岩层一道发生褶皱、断裂变形的现象(图 1.7)。

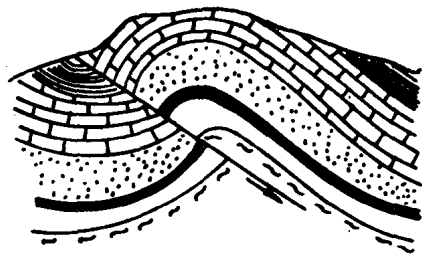


图 1.7 岩层的褶皱和断裂现象

通常,一个地区在发生强烈地壳运动的时候,还伴随有区域性的岩浆侵入或喷出活动以及岩石变质的现象。

垂直升降运动和水平运动在时间和空间上都是可以转化的。一个地区在某一时期可能表现为垂直上升或下降,另一时期则可能表现为水平的运动;同一时期内,一些地区发生垂直升降运动,另一些地区表现为水平运动。但是,从全球范围来看,地壳运动是以水平或近于水平方向的运动为主导的,垂直运动则往往是派生的,处于从属的地位。这已得到了大量现代科学成果的证明。

(3)地壳运动产生的原因 有关地壳运动的起源,属于地质科学的核心理论问题。因此,许多学者从不同的角度对此进行过研究,提出了各种不同的观点,并围绕这个论题展开了长期持久的争论。下面,将为人们较为普遍接受的板块构造学说作一简要介绍,以反映现阶段对这一问题的认识水平。

板块构造学说是在海洋地质、深钻、地磁及地热等方面的大量现代科学成果基础上,经过综合分析、归纳和总结产生的。该学说认为,岩石圈被裂解为若干大的板块(图 1.8),坚硬的岩石圈板块驮伏在可流动的软流圈之上运动。虽然地震横波能通过软流圈,表明该层物质仍基本保持固态,但波速明显降低和大地电磁测深探明为高导层等方面的资料,反映其塑性很大,甚

至局部可能处于熔融状态。在应力的长期作用下,可以表现出缓慢流动的性质。

由于温度差和密度差等因素的影响,软流圈物质会发生对流,并带动上部岩石圈板块发生水平运动。运动的速度一般为每年一至几 cm,但长期持续则可最终表现为上 Mm 的大规模水平位移。板块运动是导致地壳运动产生的主要原因。

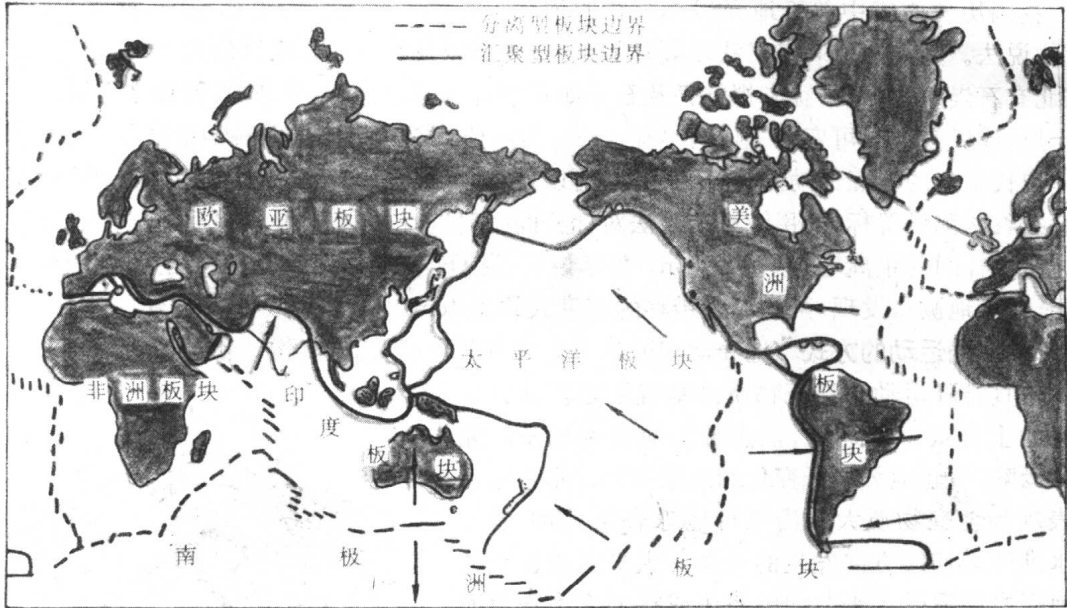


图 1.8 全球六大板块的划分(据 Le Pichon, 1968)

板块与板块之间,或相互分离,或相互聚合,或相互平移。海洋中的大洋中脊是分离型的板块边界。这种边界是岩石圈板块生长的场所,即海底扩张的中心地带。洋脊的顶部为地幔物质上升的涌出口。上涌的物质冷凝后形成新的洋底,并推动两侧先形成的洋底向外对称扩张。分离型边界的主要特征是岩石圈张裂、基性与超基性岩浆的侵入或喷发活动,并伴随有浅源地震、高热值等。大西洋中脊和太平洋中隆等即属这类边界。

位于大陆边缘的海沟是一种汇聚型的板块边界。在这里,大陆板块与海洋板块因相向运动而发生叠覆。由于大洋板块厚度小、密度大、位置低,而大陆板块厚度大、密度小、位置高,故一般总是大洋板块俯冲于大陆板块之下。在俯冲过程中,洋底及其上面的沉积物的一部分受到挤压和变质,与大陆拼接在一起;其余大部分则又沉没到地幔中,返回软流圈。在边界地带,岩层因水平挤压而发生强烈褶皱、断裂变形,并有强烈的地震活动。大多数浅源和中源地震,以及几乎所有的深源地震都发生在这里。俯冲边界带主要分布在太平洋周缘。在俯冲边界地带,除海沟之外,还往往形成岛弧。

还有一种汇聚边界,表现为大洋闭合后,两个大陆板块相碰撞接触。如欧亚大陆与印巴次大陆之间,原是古地中海的一部分,由于印度洋板块向欧亚大陆的南缘俯冲,印巴次大陆不断向北运动,最终与欧亚大陆沿雅鲁藏布江一线相碰撞,两个大陆缝合在一起。碰撞产生的强大挤压力,使得接触地带岩层发生复杂的褶皱和断裂,并导致世界屋脊——青藏高原的上升隆起。沿碰撞接触带地震活动频繁。

平移型边界表现为两侧板块相互滑过,通常既没有板块的生长,也没有板块的消亡。

除地震之外,活火山的分布也与板块及其运动有关。世界各地的活火山,多数分布在各个板块的边缘。

由上述可知,板块构造学说认为地壳运动的动力来自地球内部,地壳运动从根本上来说是地幔物质运动的表现。运用该学说可以解释许多的地质现象。但它并不成熟,还面临着一些难题,尚待进一步发展和接受检验。

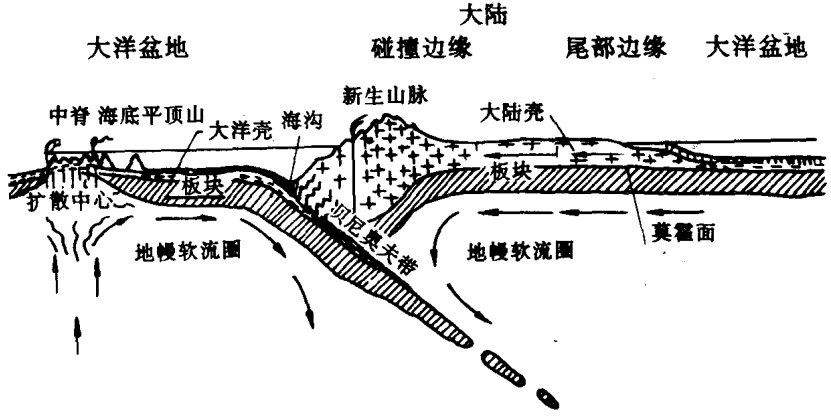


图 1.9 板块的扩张与俯冲

1.4 地壳的演化

根据现有的资料,地球的年龄大约为 46 亿年。在这漫长的时间里,地球经历了复杂的变化和发展过程。下面将就此作一概要的介绍。

1.4.1 地史的研究方法

地壳演化的历史简称地史。人类开采的各种矿产资源都是在一定的地史时期中形成的。地史学研究的基本资料是地质时期中形成的岩石记录,特别是层状岩石的记录。一切成层岩石总称为地层,包括沉积、变质和火山成因的成层岩石在内。地史学的研究方法是:首先弄清一个地区地层的层序,建立岩性地层单位。并与其它地区的地层进行对比,确定不同地区在同一时代地层的发育情况。进一步,通过岩相分析,推论地层形成的古地理环境。然后根据对生成的新、老地层的沉积类型分析,了解各时期地壳运动的特点,结合地层接触关系和岩浆活动的资料,最终得出地壳发展演化历史的结论。

(1)区域地层的划分 野外见到的地层,通常出露是不连续的,并往往遭受了褶皱和断裂变形,显得十分凌乱。因此,在进行地层划分前,必须了解各地层形成的先后顺序,这主要可从以下两方面入手。

第一,在正常情况下,先形成的岩层位置应该在下面,后形成的岩层位置应该在上面,这种