

第一章 概 述

地震发生在地球的内部，认识地震规律，战胜地震灾害，首要是认识地球，认识地球发生的构造运动，进而认识构造地震。地震是地壳运动的一种表现形式，研究地球上地壳运动的区域，即研究活动构造带的地点、范围，开展与地震现象有关的工作，认识构造地震的孕育、发生和发展过程，认识地震规律，为减弱地震灾害奠定基础。

第一节 地球及其大陆漂移与板块运动

一、地 球

1. 地球的自转和公转

地球是太阳系从内到外的第三颗行星（图 1-1 所示），也是太阳系中直径、质量和密度最大的类地行星。地球按照一定的轨道不停地运动着：一方面它要绕着太阳旋转，绕太阳一周所需的时间为地球日 1 年，称之为公转；另一方面它绕自身发生转动，每转动一周所需时间为地球日 1 天，称之为自转。

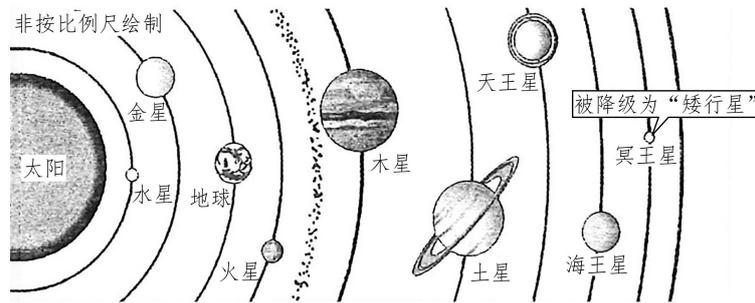


图 1-1 太阳系行星

2. 地球的内部构造^[1, 2]

地球的最外层叫地壳；地壳下面的部分叫地幔；地球最中心的部分叫地核（外核、内核）。

地球的平均半径为 6 370 km 左右，大陆地壳厚度为 35 km 左右。90% 以上的构造地震就发生在地壳内。

地球表面由厚度为 100 ~ 150 km 的巨大板块组成，主要是大洋和大陆，大陆面积为 $1.49 \times 10^8 \text{ km}^2$ ，而海洋面积为 $3.61 \times 10^8 \text{ km}^2$ ，大洋面积占地表的 70% 以上。大陆在地表分布不均，北半球有 47% 的陆地和 53% 的海洋，又称陆半球；南半球有 11% 的陆地和 89% 的海洋，又叫水半球。虽然从表面上看起来地球由坚硬岩石构成，但实际上地球可分为界限较分明的三层（图 1-2），即地壳、地幔和地核，每层均有其各自的化学组分和性质。海底处地壳厚度最小，平均仅有 5 km；陆地地壳的厚度最大，平均 30 ~ 35 km，但其变化幅度较大，喜马拉雅山脉，美国内华达山脉的地壳厚度可达 100 km。陆地地壳的主要成分是花岗岩，海洋地壳的主要成分为玄武岩。地壳以下是地幔，两者的分界面称为莫霍界面。厚度达 2 900 km 的地幔中铁和镁的含量比地壳中更多，因而密度更大些。地幔的外层是脆性固体，其和地壳一起构成岩石圈，实际上地壳可以看成岩石圈的表层。随着深度的增加，地球内部的温度也在不断升高，当到达地幔岩石圈以下时，部分岩石融化，称为软流层，该层呈现出一定的韧性和塑

性，使得其能够折叠、延展、压缩和缓慢流动。因此，相对较轻的脆性岩石圈实际上漂浮在密度较大、缓慢流动着的软流层上。

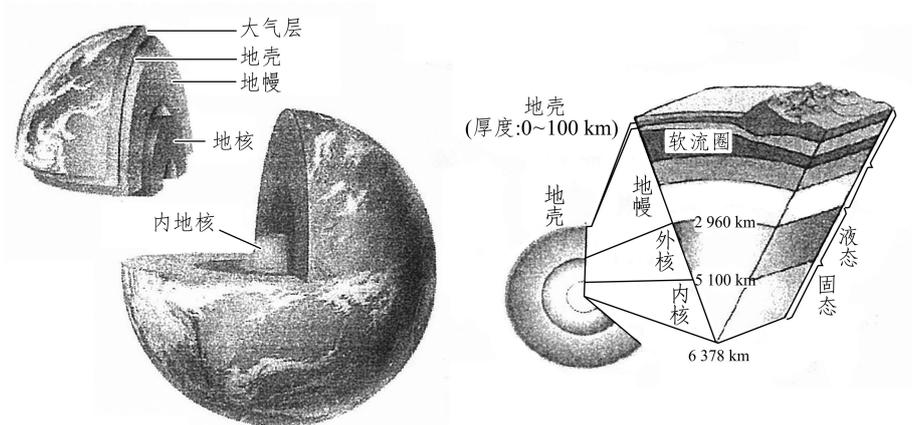


图 1-2 地球内部构造示意图

地幔下面的地核是直径约为 3 500 km 且密度更高的球体，其由界限分明的液体外层和固体内核组成。与岩石构成的固体地壳不同，固体内核的主要成分是铁镍合金，密度达岩石地壳的 5 倍。

3. 地球的形状与大小^[3]

根据人造卫星轨道参数分布测算所得出的地球真实形状为北极略凸、南极略凹的极近似于旋转球体的星体（图 1-3）。北极比旋转椭球凸出约 10 m，南极凹进约 30 m。中纬度在北半球稍凹进，而在南半球稍凸出（不到 10 m）。据此可以推断出，地球极近似于旋转椭球体，这是地球自转所致，表明它具有弹塑性；地球不是严格的旋转椭球体，表明其内部物质分布不均匀。

1980 年，国际大地测量和地球物理联合会修订和公布的关于地球大小的主要数据见表 1-1。

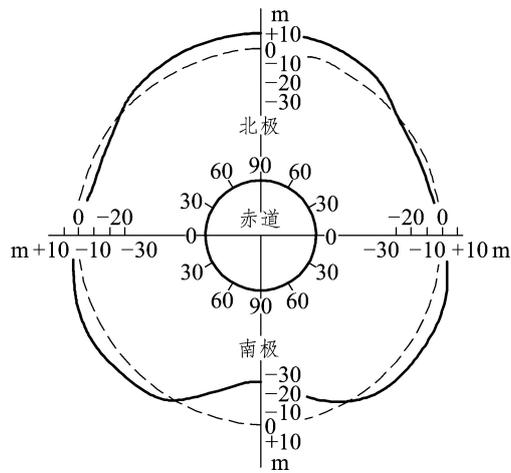


图 1-3 地球的形状示意图
(实线为大地水准面圈闭的形状；虚线为地理理想扁球体)

表 1-1 表征地球大小的参数

地球大小参数	数值
赤道半径(a)/km	6 378.137
两极半径(c)/km	6 356.752
平均半径 $[R=(a^2c)^{1/3}]$ /km	6 371.012
扁率 $[(a - c)/a]$	1/298.253
赤道周长 $(2\pi a)$ /km	40 075.7
子午线周长 $(2\pi c)$ /km	4 008.08
表面积 $(4\pi R^2)$ /km ²	5.101×10^8
体积 $(4\pi R^3/3)$ /km ³	$1.083 2 \times 10^{12}$
质量(m)/kg	$(5.974 2 \pm 0.006) \times 10^{24}$

4. 地球岩石圈的板块组成

地球内部物质存在显著的不均匀性，在地球转动的过程中产生了差异作用力，加上地球内部存在放射性物质的蜕变产生的高热，一方面致使部分岩石熔融形成岩浆，另一方面驱动地球内部物质发生运动（如对流）。在地球内部物质运动的长期影响下，地球的外圈（岩石圈）形成若干个巨大的块体——板块；大洋下面的称大洋板块，大陆下面的称大陆板块。目前地球科学家一般认为地球表面的大型板块有^[4]：① 太平洋板块：近 4/5 的太平洋都在这个板块

内；② 美洲板块：包括南、北美洲以及接近美洲的部分太平洋、大西洋；③ 欧亚板块：包括亚洲（印度除外）和整个欧洲，还包括一部分大西洋；④ 南极洲板块：包括整个南极洲以及除北冰洋外的三大洋的边缘部分；⑤ 非洲板块：包括整个非洲以及一部分大西洋；⑥ 印-澳板块：澳大利亚，东、北、南的部分大洋洲国家，绝大部分印度洋，以及印度次大陆、阿拉伯半岛。近年来，也有些地球科学家主张，将印-澳板块分成澳大利亚板块和印度洋板块，将非洲板块分为西非努比亚板块和东非索马里板块。板块构造理论认为，古生代时期（2.5 亿年以前），地球存在着超级大陆，到中生代，大约在三叠纪后期，大陆开始解体、漂移，现今各大洋和大陆都是经过大陆漂移后，由大小不等的板块彼此镶嵌组成的，另外，北冰洋则是被欧亚板块、美洲板块瓜分了。此外还有规模较小的 13 个小板块，如南美西部的纳兹卡板块、太平洋西部的菲律宾板块等如图 1-4 所示。这些板块在地幔上面，每年以几厘米到十几厘米的速度漂移、相互挤压和碰撞。

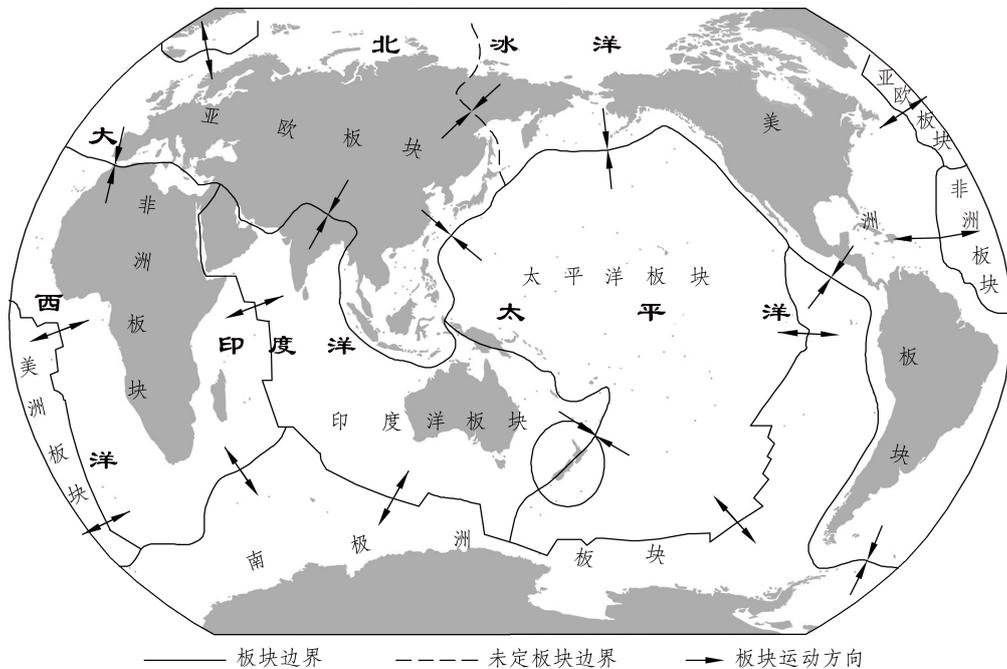


图 1-4 全球板块构造分布图^[4]

5. 地球的主要物理性质^[5-7]

地球的物理性质，是人们长期在生产实践和科学研究中逐渐积累的有关地球物理性质的知识，它反映了地球内部的物质组成。

1) 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 $5.98 \times 10^{27} \text{g}$ ，再除以地球的体积则得出地球的平均密度为 5.52g/cm^3 。地壳各种岩石的密度为 $1.5 \sim 3.3 \text{g/cm}^3$ ，平均密度为 $2.7 \sim 2.8 \text{g/cm}^3$ 。根据地震波传播速度与密度的关系，地球内部的密度随深度的增加而增加，地心密度为 $16 \sim 17 \text{g/cm}^3$ 。

2) 压 力

由于上覆岩石质量的影响，地球内部压力随深度增加的一般规律见表 1-2。

表 1-2 地球内部压力随深度的变化

深度/m	100	500	1 000	5 000	10 000
压力/ (g/cm^2)	27	135	270	1 350	2 700

3) 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，而离心力在两极接近于零，赤道最大，因此，地球的重力随纬度的增高而增大。

由于地壳物质分布不均匀、密度大小有差异、地球有起伏，根据万有引力定律计算出的地区的重力值，有以下几种情况：

(1) 实测重力值与理论计算值相同。

(2) 实测重力值大于理论计算值时，叫重力正异常，表明地下有密度大的物质分布。

(3) 实测重力值小于理论计算值时，叫重力负异常，表明地下有密度小的物质分布。

4) 温度（地热）

地球外部热源来自太阳的辐射热，地球内部热源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热能。

根据钻探资料，地球上大部分地区，从常温以下平均每加深 100 m，温度升高 3 °C 左右，这种每加深 100 m 温度增加的数值，叫作地热增温率。把这种温度每升高 1 °C 所需增加的深度，称为地热增热级。地热增热级的平均数值为 33 m。上述规律只适用于地表以下 20 km 深度的范围。

5) 地 磁

地球周围有一个巨大的地磁场。早在公元前 3 世纪的战国时期，中国就已利用地球磁性发明了指南仪器——司南。后来人们还发现地磁极与地理极的位置是不一样的。图 1-5 就是地磁两极与地理两极的示意图。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。

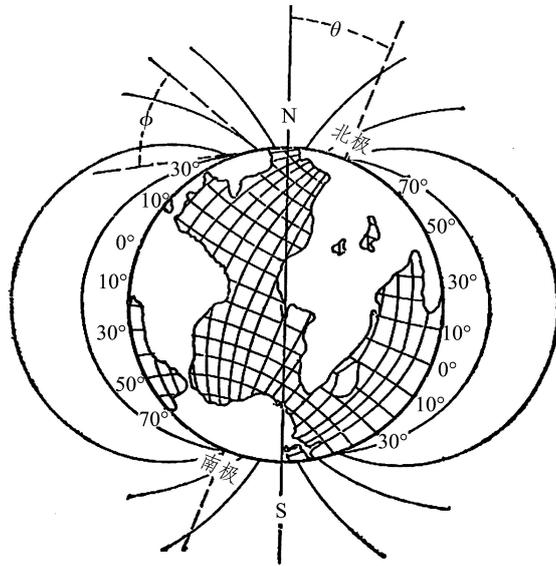


图 1-5 地磁要素及地球周围磁力线分布示意图

θ —磁偏角； ϕ —磁倾角

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捆有铜丝，就是为了使磁针保持水平。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，一般随纬度增高而增强。

通常用磁偏角、磁倾角、磁场强度表示地表某点的地磁情况，三者并称为地磁三要素。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。某地区实测数值与理论计算值不一致的现象叫地磁异常，引起地磁异常的原因，一是有隐伏地下的高磁性矿床的存在，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、镍矿床有特殊意义。

6) 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，向地心则逐渐减少。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的同位素。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^[5]。各类岩石放射性元素含量及生热率见表 1-3。

表 1-3 各类岩石放射性元素含量及生热率

岩类	放射性元素的质量分类/ (mg·kg ⁻¹)			平均总生热率/ (J·g ⁻¹ ·a ⁻¹)	
	铀 (U)	钍 (Th)	钾 (K)	4.2×10 ⁻⁸	4.2×10 ⁻¹⁴
沉积岩	3.00	5.00	20 000	1 557.64	49.40
花岗岩	4.75	18.50	37 900	3 424.80	108.02
玄武岩	0.60	2.70	8 400	502.42	15.89
橄榄岩	0.015	0.05	63	9.46	0.30

6. 地壳的物质组成

根据岩石和陨石的化学组分^[5]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百分比（称克拉克值）各不相同，见表 1-4。

表 1-4 地壳中各化学元素含量

元 素	氧 (O)	硅 (Si)	铝 (Al)	铁 (Fe)	钙 (Ca)	钠 (Na)	钾 (K)	镁 (Mg)	氢 (H)
含量/%	49.13	26.00	7.45	4.20	3.25	2.40	2.35	2.35	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 26%。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、静止地存在的，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，大理岩由方解石组成。因此，矿物和岩石是组成地壳的基本单位。

二、大陆漂移与板块运动

(一) 大陆漂移与海底扩张

1915年，德国地球物理学家魏格纳提出大陆漂移说，认为古生代（2.5亿年以前），地球存在着一块超级大陆 [泛大陆，周围全是海洋（泛大洋）]。到中生代，大约在三叠纪后期，泛大陆开始解体、漂移，现今各大洋和大陆都是经过泛大陆漂移形成的，如图 1-6 所示。北大西洋的张开是近几百万年内完成的。其中泛大陆的北部（包括北美和欧亚大陆统称为劳亚古陆，南部各大陆统称为冈瓦纳大陆。

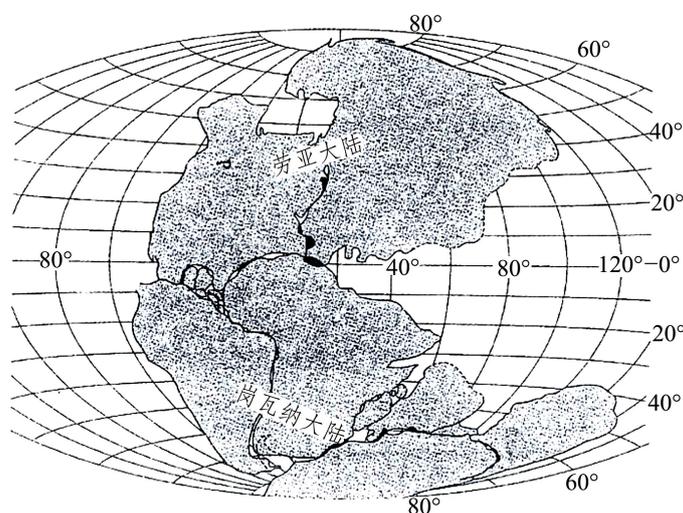


图 1-6 魏格纳提出的 2.5 亿年以前的泛大陆 (据 R. S. Dietz 等, 1970)

1. 大陆漂移学说的主要证据^[7-9]

地球表面的板块就像冰山在海洋中一样漂浮在玄武岩质基底上，进行非常缓慢的移动。