

煤炭职业教育课程改革规划教材

MEITAN ZHIYE JIAOYU KECHENG GAIGE GUIHUA JIAOCAI

煤矿地质

M E I K U A N G D I Z H I

● 主 编 郝宝华
副主编 刘鹏程

煤炭工业出版社

煤炭职业教育课程改革规划教材

煤 矿 地 质

主 编 郝宝华

副主编 刘鹏程

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

煤矿地质/郝宝华主编. --北京: 煤炭工业出版社,
2011

煤炭职业教育课程改革规划教材

ISBN 978-7-5020-3931-8

I. ①煤… II. ①郝… III. ①煤田地质-职业教育-
教材 IV. ①P618.110.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 193700 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址: www.cciph.com.cn
煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*
开本 787mm × 1092mm¹/₁₆ 印张 14
字数 327 千字 印数 1—3 000
2011 年 12 月第 1 版 2011 年 12 月第 1 次印刷
社内编号 6705 定价 28.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

内 容 提 要

本书主要内容包括地球概况与地质作用、矿物与岩石、地史基本知识、地质构造、煤及含煤岩系、影响煤矿生产的地质因素、矿井水文地质与水害防治、煤矿地质勘查、煤炭资源/储量计算与管理、矿井原始地质编录、地质图件及地质报告的编制等。

本书可作为煤炭职业院校采矿工程专业、地测专业的教材，也可作为有关工程技术人员的参考书。

前 言

为满足煤炭工业新形势对煤炭职业教育发展的要求，加快煤炭职业教育教材建设步伐，依据培养技术应用型专门人才的要求和煤炭行业的自身特点，在广泛调研和征求意见的基础上，本着科学性、实用性、先进性的编写指导思想，我们组织有关教师编写了本教材。本教材在编写过程中注重职业教育的特点，简化了理论体系，以实用、必需、够用为原则，力求使所讲内容尽可能与现场实践相结合。

本教材由郝宝华任主编，刘鹏程任副主编。具体编写分工如下：山西煤炭职业技术学院郝宝华编写第一章至第五章，太原理工大学阳泉学院武彩宏编写第六章和第七章，河南理工大学高职学院刘鹏程编写第八章至第十章。全书由郝宝华统稿。

本教材在编写过程中，吸收和借鉴了同类教材和书籍的精华，在此谨对各位原作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中可能存在错误和不妥之处，恳请有关专家和广大读者提出宝贵意见，以便再版时修改。

编 者

2011年9月

目 次

第一章 地球概况与地质作用	1
第一节 地球概况	1
第二节 地质作用	13
第二章 矿物与岩石	18
第一节 矿物	18
第二节 岩石	33
第三章 地史基本知识	50
第一节 地史学研究方法	50
第二节 地层单位及地质年代表	55
第三节 地层划分与对比	59
第四章 地质构造	64
第一节 岩层产状	64
第二节 褶皱构造	73
第三节 断裂构造	80
第五章 煤及含煤岩系	92
第一节 煤	92
第二节 煤层	100
第三节 煤系	103
第四节 煤田	106
第六章 影响煤矿生产的地质因素	109
第一节 煤层厚度变化	109
第二节 矿井地质构造	114
第三节 岩浆侵入体与岩溶陷落柱	120
第七章 矿井水文地质与 Water 防治	124
第一节 地下水的基本知识	124
第二节 矿井充水条件	129

第三节	矿井水文地质观测与涌水量预计·····	132
第四节	矿井水害防治·····	140
第八章	煤矿地质勘查·····	152
第一节	煤矿地质勘查手段·····	152
第二节	建井地质勘探·····	157
第三节	生产地质勘探·····	159
第四节	矿井延深、扩建地质勘探·····	162
第九章	煤炭资源/储量计算与管理·····	165
第一节	煤炭资源/储量分类·····	165
第二节	煤炭资源/储量计算·····	169
第三节	矿井资源/储量动态管理·····	173
第四节	矿井三量管理·····	178
第十章	矿井原始地质编录、地质图件及地质报告的编制·····	182
第一节	矿井原始地质编录·····	182
第二节	地质说明书的编制·····	192
第三节	矿井地质图件的编制·····	195
参考文献	·····	214

第一章 地球概况与地质作用

第一节 地球概况

一、地球的宇宙环境

地球是宇宙中的一个特殊天体，是目前所知宇宙中唯一有人类居住、有高度文明发展的星球。不能脱离更高层次的大环境的影响和制约，这个更高层次的大环境就是地球的宇宙环境。

1. 宇宙

古人把天地四方称之为宇，古往今来谓之宙，这是从空间和时间上对宇宙的解释。宇宙在空间上是无限的，在时间上是永恒的。宇宙中存在着各种各样的天体，而这些物质又处于永恒的运动之中。人类对宇宙的认识，从太阳系到银河系，再扩展到河外星系、星系团乃至总星系。人们的视野已达到一百多亿光年的宇宙深处。在广阔无垠的宇宙中，地球是围绕太阳运行的一颗不大的行星，太阳只是银河系中一颗普通的恒星，而银河系在目前人类所能观测到的总星系中也只是一个级别不高的天体系统。

2. 天体

天体是宇宙间各种星体和星际物质的通称，是宇宙间物质的存在形式，如恒星、行星、卫星、彗星、流星等。恒星一般都具有巨大的质量和很高的温度，自身能够发热、发光，如太阳就是恒星；围绕着恒星公转的天体称为行星，地球就是太阳的行星；围绕着行星公转的天体称为卫星，月亮就是地球的卫星。同恒星比较起来，行星、卫星都是质量很小的天体，它们都不发光，只能反射附近恒星所给它们的光。流星和彗星与上述天体比较起来，是更小的天体。宇宙中的各种天体都按照一定的规律在不断地运动。月球一面自转，一面围绕地球公转，构成了地月系；地月系以 29.8 km/s 的速度围绕太阳公转，太阳和围绕着它的全部天体组成了太阳系；太阳系又以 250 km/s 的速度围绕更大的银河系中心公转。

3. 太阳系

太阳系是银河系中由中心天体太阳及受其巨大引力控制并环绕它运行的行星、卫星、小行星、彗星、流星体和行星际物质所组成的天体系统（图 1-1）。

太阳是太阳系的中心天体，太阳的质量占太阳系质量的 99.865%，也是太阳系中唯一有热核能源辐射的发光恒星，与地球的平均距离约为 149597870 km，即 1 个天文单位（1 AU）。行星是太阳系的主要成员，在太阳周围分布着八大行星，按距太阳的距离由近到远排列成行星系，依次为水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星和海王星（根据 2006 年 8 月 24 日国际天文学联合会大会的决议，冥王星被视为是太阳系的“矮行星”，不再被视为行星）。此外，太阳系还包括小行星、彗星、流星及陨石等小天体。

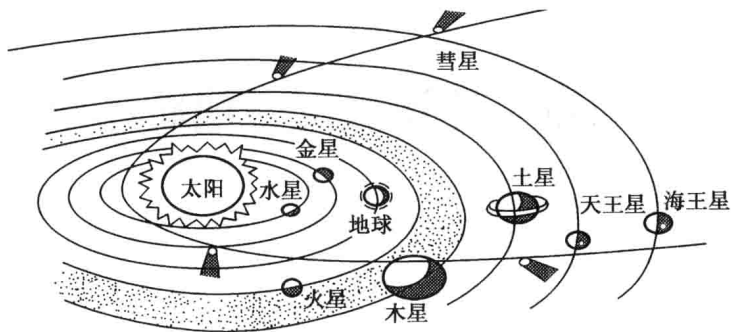
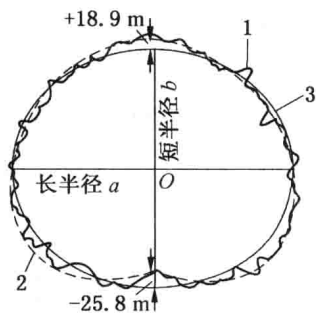


图 1-1 太阳系

二、地球的形状和大小

在大地测量学中，地球的形状不是指地球自然表面的形状，而是指大地水准面的形状。所谓大地水准面，即全球静止海平面，它是假设占地表 3/4 的海平面表面完全处于静止平衡状态，并把它延伸通过陆地内部所得到的全球性连续的封闭曲面，曲面上处处与铅垂线垂直。

经过精确测量，地球大地水准面的形状不是几何上的旋转椭球体，其纬线圈不是正圆，经线圈也不是真正的椭圆，地球的几何中心也不在赤道平面上，因此它是一个不规则的扁球体。对这样一个不规则的扁球体，可用一个理想的与其近似且可用数学公式表达的



1—自然表面(曲线); 2—大地水准面(虚线); 3—参考椭球体(实线)

图 1-2 地球梨状体

旋转椭球体(参考椭球体)模型来予以对照，即以地球各地的大地水准面与“模型”(参考椭球体)的偏离来反映地球的真实形状。根据人造卫星的测定，地球的形状并非标准椭球体，而近似于梨的形状，故称其为地球梨状体。地球梨状体与参考椭球体比较，南极凹进约 25.8 m，北极高出约 18.9 m；中纬度南半球突出、北半球收进 7.5 m。北半球的半径比南半球的半径平均长约 31.8 m。尽管如此，与地球半径 6371 km 相比，这些偏差微不足道。地球自然表面与大地水准面和参考椭球体三者的关系如图 1-2 所示。

根据第 18 届国际大地测量与地球物理协会会议决定，自 1984 年起采用的地球大小的数据如下：地球赤道半径 (a) 为 6378.137 km；地球极半径 (b) 为 6356.752 km (平均半径为 6371.012 km，地球极半径比赤道半径短 21.385 km)；地球扁率 (f) 为 $(a - b)/a = 1/298.257$ (或 $1/298.256$)；地球赤道周长为 40075.7 km；地球子午线周长为 40008.08 km；地球表面面积为 $5.1010 \times 10^8 \text{ km}^2$ ；地球体积为 $1.0832 \times 10^{12} \text{ km}^3$ ；地球平均密度为 5.518 g/cm^3 。

20 世纪 80 年代以来，人造卫星和宇宙飞船从地外空间发回了大量地球的近照和远照，不仅取得了地球形状及其质量分布的大量数据，也证实了地球是一个南北半球并不互相对称的“球形”，地球的几何中心也并不位于赤道平面。

三、地球的圈层构造

地球不是一个均质体，其组成物质的分布呈同心圈层构造。以固体地球的表面为界，分为内圈和外圈，而内、外圈又可再进行详细的圈层划分。

(一) 地球内圈层

地球物理学家研究大量天然地震波传播方向和速度的数据后，发现地震波在地球内传播的速度在横向（即水平方向）上和纵向（即垂直方向）上都有变化。在地壳或岩石圈里，地震波速横向变化明显，表明地壳结构复杂和成分不均匀；更深处，地震波速横向变化小，纵向变化大，并且在几个深度上波速有较明显的变化，说明地球内部物质呈同心圈层分布（图 1-3）。

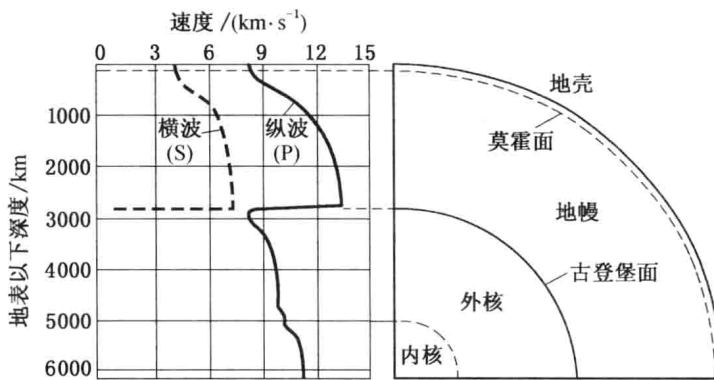


图 1-3 地震波速度与地球内部构造示意图

地震波速度变化明显的深度，反映该深度上下的物质在成分上或物态上有改变，或两者都有改变，这个深度就可作为上下两种物质的分界面，地球物理学上称它为“间断面”或“界面”。地球内部有两个波速变化最明显的界面：第一个界面深度很不一致，在大陆区较深，最深可达 60 km 以上；在大洋区较浅，最浅不足 5 km。这个界面是原南斯拉夫地球物理学家莫霍洛维奇于 1909 年发现的，所以称其为莫霍洛维奇间断面，简称莫霍面，又称 M 间断面。第二个界面深度在地表下约 2900 km 处，是由美国地球物理学家古登堡于 1914 年提出的，所以称其为古登堡间断面，简称古登堡面，又称核幔界面。根据这两个界面把地球内部分为地壳、地幔和地核（图 1-4）。再根据次一级界面，把地幔分为上地幔（又分两层）和下地幔，把地核分为外核、过渡层和内核。

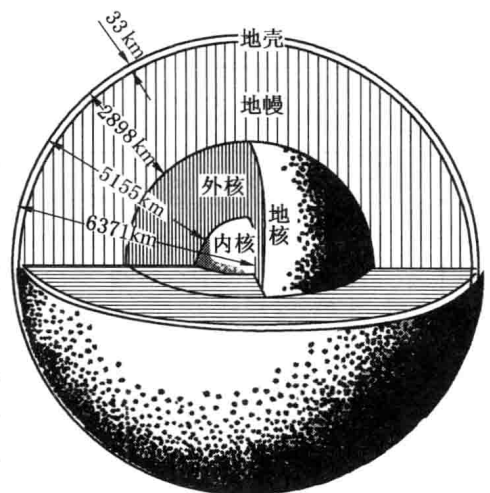


图 1-4 地球内圈层示意图

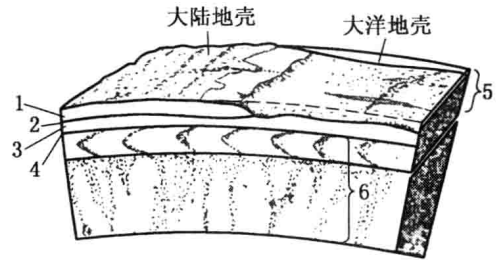
1981 年国际地震与地球内部物理学协会推荐的表征地球内部不同深度各点的物理参数的“初步参考地球模型”，给出了最完善的数据，是广为采用的地球模型。其中关于岩石类型已根据新成果订正（表 1-1）。

表 1-1 地球内圈层内地球物理参数及岩石类型

圈层名称		圈层		地震波速度/ ($\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$)		弹性模量/ 10^{11} Pa		密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	重力 加速度/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	压力/ 10^{11} Pa	温度/ $^{\circ}\text{C}$	物态	岩石类型
		代号	深度/ km			体变 模量	切变 模量						
地壳	- 康拉德面 - 高速带 - 莫霍面	A'	10	5.6	3.4	0.44	0.26	2.6	9.81	0.00	14	固态岩 石圈	沉积岩、火成岩相当于 中基性麻粒岩
		A''		6.0	3.6	0.51	0.3	2.7	9.83	0.003	180-300		
		B'	33	6.6	3.8	0.68	0.4	2.9	9.84	0.01	400-1000		
地幔	上地幔 - 低速带	B''	60	7.6	4.2	0.7	0.5	3.0	9.847	0.019	500-1100	软流圈	橄榄岩类
		B''	100	8.0	4.4	1.17	0.63	3.32	9.86	0.031	700-1300		
			150	8.2	4.6	1.2	0.68	3.34	9.875	0.049	800-1400		
		C' C''	250	7.7	4.0	1.36	0.64	3.5	9.89	0.068	1000-1600		
			400	8.2	4.55	1.46	0.7	3.6	9.94	0.14	1200-2000		
		D' D''	650	9.0	4.98	1.87	0.92	3.85	9.95	0.218	1300-2250		
1000	10.2		5.65	2.58	1.32	4.1	9.94	0.4	1850-3000				
地核	下地幔 - 古登堡面 - 外核 - 过渡层 - 内核	C' C''	2000	11.43	6.35	3.35	1.87	4.6	9.86	0.87	2500-3900	不均匀的 固态	具钙钛矿结构的 镁铁硅酸盐
			2752	12.8	6.92	5.11	2.48	5.1	10.50	1.34	2800-4300		
		2898	13.63	7.31	6.5	3.0	5.6	10.30	1.50	2850-4400			
地核	- 古登堡面 - 外核 - 过渡层 - 内核	D' D''	3500	8.1	0.0	6.3	0.0	9.7	8.80	1.43	3700-4700	液态 固态 过渡 固态	铁、镍 (少量硅、硫等) 铁、镍 (少量硅、硫等)
			4640	8.9	0.0	8.2	0.0	10.4	6.10	2.98	4500-5500		
		4900	10.4	2.07	12.2	0.51	12.0	5.00	3.2	4700-5700			
地核	- 过渡层 - 内核	E	5155	10.4	1.24	12.2	0.2	12.5	4.30	3.32	4720-5720	固态	铁、镍 (少量硅、硫等)
			5500	11.0	3.6	13.4	2.08	12.7	3.00	3.5	4900-5900		
		G	6371	11.2	3.7	14.0	1.7	12.9	0	3.7	5000-6000		
				11.3	3.7	14.1	1.3	13.0					

1. 地壳

地壳（A层）是地球固体圈层的最外层，是岩石圈的重要组成部分，其示意图如图1-5所示。地壳的底界为莫霍洛维奇间断面。地壳平均厚度，大陆地区为33 km，大洋地区为5~10 km，地壳质量约为 0.027×10^{24} kg，约占地球总质量的0.4%。



1—地壳上层；2—康拉德面；3—地壳下层；
4—莫霍面；5—岩石圈；6—上地幔

图1-5 地壳示意图

地壳被康拉德面隔开为上下两层。上层主要由沉积岩、花岗岩类和变质岩石组成，曾称“硅铝层”或“花岗岩质层”，平均密度为 2.7 g/cm^3 ，地震波在此层的传播速度与在花岗岩中的传播速度近似。此层厚度在山区和高原可达40 km，在平原区一般为10 km，在浅海地区显著变薄，在大洋洋底缺失，因此它是一个不连续圈层。上层的物质组成极为多样，构造形态和地貌形态也非常复杂。下层主要由相当于基性岩类的变质岩组成，曾称“硅镁层”或“玄武质层”，平均密度为 3.3 g/cm^3 。地震波在此层中的传播速度与在基性岩中的传播速度近似。下层在大陆和海洋均有分布，是连续圈层。

地壳厚度的差异性、垂直结构及物质成分的不均匀性，导致地壳物质的重新分配和调整，以便达到新的平衡关系，是引起地壳运动的多种因素之一。

2. 地幔

地幔位于地壳之下，介于莫霍面和古登堡面之间。地幔的厚度约2800 km，占地球体积的83%；质量为 4.068×10^{24} kg，占地球质量的67.6%；平均密度为 4.5 g/cm^3 。根据地震波速度变化情况，以1000 km深度为界（该深度处波速明显增加），把地幔分为上、下两层。上地幔（B、C层）和下地幔（D层）的地球物理参数变化及岩石类型见表1-1。

3. 地核

在约2900 km以下，地震波速急剧降低，横波中断，表明物质发生剧变。地核以古登堡面与地幔分界，厚度为3471 km，体积占整个地球的16.2%；质量约为 1.9×10^{24} kg，占地球总质量的32%。根据地震波速度变化，把地核分为外核（E层）、过渡层（F层）和内核（G层）3个次一级圈层。地核各圈层的物理参数及岩石类型见表1-1。

（二）地球外圈层

从地表层至行星际空间为地球外圈。根据其物理性质和状态的差异，地球的外部圈层分为大气圈、水圈和生物圈。

1. 大气圈

大气圈是因地球引力而聚集在地表周围的气体圈层，它位于行星际空间和地面之间，是地球最外部的一个圈层。

1) 地球大气的成分

地球上的大气是由多种气体组成的混合物，并含有水汽和部分杂质。在80~100 km高度以下的低层大气中，气体成分可分为恒定成分和可变成分。恒定成分有氮、氧、氩、氦、氖、氢、氙……它们在大气成分中保持固定的比例，基本上不随时间、空间而变化。其中氮占气体总体积的78.084%，氧占20.948%，氩占0.934%，氮、氧、氩共占大

气总体积约为 99.97%。可变成分主要有水汽、二氧化碳、臭氧、甲烷、尘埃……其比例随时间、地点而变。其中水汽的变化幅度最大；二氧化碳和臭氧所占比例最小，但对气候影响较大；硫、碳和氮的各种化合物影响到人类生存的环境。

2) 大气圈的结构

根据大气中温度、成分、电荷等物理性质，以及大气的运动特点，可将大气圈自地面向上依次分为对流层、平流层、中间层、暖层和散逸层（图 1-6）。

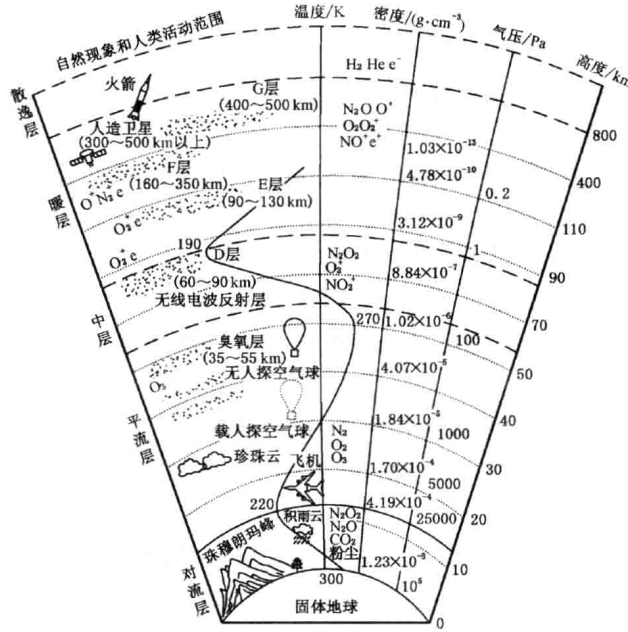


图 1-6 大气圈结构示意图

(1) 对流层。地球大气圈最下面的一层，其厚度随纬度而异，赤道附近厚 17 ~ 18 km，两极仅 8 ~ 9 km，平均厚度约为 12 km。其厚度还随季节变化，一般夏季厚度较大，冬季厚度较小。同大气圈总厚度相比，对流层是很薄的，但其质量约占大气总质量的 75%，且集中了大气圈的几乎全部水汽和尘埃。对流层的温度随高度增加而降低，空气具有强烈的对流运动，气象要素水平分布不均匀，且受人类活动影响最显著。

(2) 平流层。从对流层顶向上约至 55 km 高空的大气圈层。平流层的质量约占大气总质量的 20%。平流层的气流以水平方向运动为主，基本不含水汽和尘埃物质，不存在对流层中的各种天气现象。在高空 10 ~ 50 km 处，大气中臭氧浓度较大（约在高度 20 ~ 30 km 臭氧浓度最大），称为臭氧层。臭氧层能吸收来自太阳 99% 以上对生命有害的紫外线，所以称它是地球生物的保护伞。

(3) 中间层。又称中层，自平流层顶向上至 85 km 左右高空的大气圈层。由于这里臭氧含量低，同时能被氮、氧等直接吸收的太阳短波辐射已大部分被上层大气所吸收，因此随高度增大气温迅速下降。

(4) 暖层。又称热层，为从中间层顶向上至约 800 km 的大气圈层。该层的空气已很稀薄，质量只占大气总质量的 0.5%。该层的空气质点在太阳辐射和宇宙高能粒子作用

下，温度迅速升高，再次出现随高度上升气温升高的现象。

(5) 散逸层。又称外逸层，位于800 km以上的大气圈层。该层是大气圈与星际空间的过渡地带，空气极为稀薄，温度也随高度的增加而升高。

2. 水圈

水圈是指由地球表层水体所构成的连续圈层。水圈与大气圈和地壳互相渗透、不断转化，无明确界线。

自然界的水以气态、固态和液态3种形式存在于大气圈、生物圈、海洋与大陆表层之中。地球水体的总质量为 1.5×10^{21} kg，体积约 1.4×10^{18} m³。其中海洋水约占水圈总体积的97.212%，大陆地表水约占2.167%，地下水占0.62%，大气水占0.001%（表1-2）。从表1-2中可以看出，地球上水体的分布是极不均匀的，能被人类饮用的淡水只占有所有水体的一小部分，而且大部分又为固结在两极及高山地区的固态水。

表1-2 地球上水的分布

分布类型	水量/10 ⁴ km ³	比例/%
海洋	132000	97.212
大陆地表水	河流	0.125
	淡水湖	12.5
	咸水湖	10.4
	冰川	2920
地下水	土壤	6.7
	浅层地下水	420
	深层地下水	414
生物水	1.3	0.001
总计	135785.02	100

(1) 海水。存在于海洋中的具有盐分的天然水。海洋是地表最大的积水盆地，是水圈的主体。海水中含有大约72种化学元素，含量较高的有（H、O以外）Cl、Na、Mg、S、Ca、K、Br、C、Sr、B、Si、F等，约占海水中除H、O以外元素的99.8%。海水中最常见的盐类是NaCl，其次是MgCl、MgSO₄、CaSO₄、K₂SO₄和CaCO₃。1 kg海水中的溴和碘全部被当量的氯置换，而且所有的碳酸盐都转化成氧化物之后，其所含的无机盐的质量（g）称为盐度，以‰表示。大洋中的盐度介于33‰~37‰之间，通常以35‰代表海洋的标准盐度。盐度明显大于35‰的海洋称咸化海，低于35‰的称淡化海。海水中溶解的气体有O₂、N₂、CO₂、H₂S等，O₂主要分布于海水的表层和近岸地带，H₂S通常聚集在海水流动不畅的海域，CO₂在海水中分布较广。

(2) 陆地水。主要包括地面流水、地下水、湖泊、沼泽及冰川。地面流水是指沿陆地表面流动的水体，其水源主要有大气降水、冰雪融水、地下水和湖泊等。地面流水根据水源补给特点可分为常年性流水（河流）和暂时性流水（片流、洪流）。河流是由一定区域内地表水和地下水补给，经常或间歇性地沿着狭长凹地流动的水流。河流是地球上水文循环的重要路径，是泥沙、盐类和化学元素等进入湖泊、海洋的重要载体和通道。河流由

干流和一系列支流组成。干流、支流和流域内的湖泊、沼泽及地下暗河彼此连接组成一个庞大的系统，称水系。水系通常以它的干流或以注入的湖泊、海洋命名。

3. 生物圈

生物圈是指地球表层由生物及其生命活动的地带所构成的连续圈层，是地球上所有生物及其生存环境的总称。

生物圈的总质量约为 1.148×10^{13} t，它同大气圈、水圈和岩石圈的表层相互渗透、相互影响、相互交错分布，它们之间没有一条明显的分界线。

生物圈是在地球演化过程中形成的一个特殊圈层，一般认为地球上的生物在大约 38×10^8 a 以前开始出现，大约从 6×10^8 a 前进入生命演化的飞跃阶段。自从地球上出现生命物质以来，生物便在其活动过程中通过光合作用（植物）和呼吸作用（动物）等活动，使碳、氢、氧、氯等非金属元素和钾、钠、硅、镁等元素产生复杂的化学循环作用，形成一系列生物地质作用，参与对岩石圈、大气圈和水圈的改造，人类的出现更使改造速度加快。

四、地球的物理性质

1. 地球的质量和密度

地球的平均密度为 5.52 g/cm^3 ，实际测得地表岩石的平均密度约为 2.75 g/cm^3 ，而覆盖地表面积达 $3/4$ 的水的密度仅为 1 g/cm^3 ，两者都比地球的平均密度小得多，因此推测地球内部物质应当具有更大的密度。

地球内部密度随深度增加而逐渐增加，大约在 100、650、2900、4640 km 深处有较明显的变化，而以约 2900 km 深处变化最大，更深又逐渐升高，在地心达最大值 (13.09 g/cm^3)。地球密度的这些变化，反映了地球内部物质成分和状态的变化。

2. 地球内部的压力及其变化

地球内部压力是指在不同深度处单位面积上的静岩压力，其大小与地球内部物质的密度及该处的重力有关，且随深度的增加而逐渐增大。地壳的平均密度大约为 2.75 g/cm^3 ，因此深度每增加 100 m，压力增大约为 2.75 MPa。由于密度也随深度的增加而增大，因此在地球深部压力的增加更快些。

3. 地球的重力

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称为重力。地心引力的大小与物体距地心的距离成反比。地球赤道半径大于两极半径，因此两极地心引力大于赤道地心引力；而离心力与地球自转线速度的平方成正比，赤道的离心力为最大，两极的离心力最小（近于零），因此地球的重力随纬度的增高而增大。由于离心力相对于地心引力要小得多，赤道离心力仅为地心引力的 $1/298$ ，所以重力的作用方向大致指向地心。

如果把地球看做是一个表面光滑的均质体，从理论上可计算出地球表面各处的重力值（以海平面为准），该值称为正常值或理论值，它只与地理纬度有关。但实际上，各地测定的重力值并不等于理论值，这种现象称为重力异常。实测重力值大于理论值者，称正异常；实测值小于理论值者，称负异常。在地下由密度较大的物质（如铁、铜、铅、锌等金属矿和基性岩）组成的地区，常显示正异常；而由密度较小的物质（如石油、煤、盐等非金属矿床）组成的地区，常显示负异常。

4. 地球的磁性

地球具有磁性，它好像是一块巨大球形磁铁，在地球周围形成地磁场，使地面磁针指向一定方向。地球磁性简称地磁。地磁有两极，位于北半球上的磁极称为地磁北极，位于南半球的则称为地磁南极；但按照磁力线作用的方向，位于北半球的是地磁南极，位于南半球的是地磁北极。地磁场的两个磁极与地理的两极不但不在一处，而且有相当的距离，同时地磁两极的位置也经常在改变着。

罗盘的南、北两针所指的南北方向延长线，称地磁子午线，它和地理子午线也不重合，二者之间的夹角，称磁偏角。指北针偏在真子午线以东者为正（东偏），偏西者为负（西偏）。磁偏角的大小随地下岩石的磁性、地壳构造、时间等因素的不同而各地不一。

把地磁场看成是一个均匀的磁化球体产生的磁场，这种磁场称为正常磁场。如果实际观测到的地磁场（消除短期磁场变化）与正常磁场不一致，称为磁异常。实际磁场大于正常磁场者，称作正磁异常；实际磁场小于正常磁场者，称为负磁异常。根据磁异常的范围大小，可将其分为大陆磁异常、区域磁异常和局部磁异常。大陆磁异常是地壳内部构造不均匀造成的，其长宽可达数千千米；区域磁异常是由地球表层分布较大的磁性岩层（或岩体）和区域构造等引起的；局部磁异常是由小范围分布的浅处磁性岩体、矿体和局部构造等因素引起的。在有磁铁矿、镍矿、超基性岩体的地区，常显示比较强的正磁异常；而在金、铜、盐、石油、石灰岩等矿区，一般显示负磁异常。

地质历史时期的地磁场称古地磁。通过测定岩石的天然剩余磁性，分析它们的磁化历史，研究导致它们磁化的特征的学科，称为古地磁学。

5. 地球的放射性

某些物质能够自发地从原子核内部放出粒子或射线，同时释放出能量，这种现象称为放射性，这一过程称为放射性衰变。含有放射性元素（如 U、Tr、Ra 等）的矿物称为放射性矿物。

放射性元素在地球内部到处都存在，但其分布却很不均匀，一般都集中在固体地球的上部，而且主要集中在火成岩中，特别是酸性岩中（表 1-3）。

表 1-3 岩石中放射性元素平均含量表

岩 石	放射性元素的质量分数/ 10^{-6}		
	U	Tr	Ra
花岗岩	4	13	4
玄武岩	0.5	2	1.5
橄榄岩	0.02	0.06	0.02

在地球表层 0 ~ 20 km 深度范围内的岩石中，放射性元素的含量大致与花岗岩中的含量相当；在 20 ~ 60 km 深度内，放射性元素的含量大致与玄武岩中的含量相当；更深处的放射性元素的含量，可能与球粒陨石中的含量相当。在不同的岩石中，放射性元素的含量不同，放出的射线强度也就不同。在放射性矿物多而集中的地方，射线强度会很大。放射性强度局部增高的地段，称为放射性异常区。

放射性元素以恒定的速度衰变，不受外界环境变化的影响。通过测定岩石或矿物中的放射性元素及其衰变产物的数量，计算出的岩石或矿物的形成年龄，称为同位素年龄或绝对年龄。

6. 地球内部的温度

根据地表以下地热的来源和温度分布状况，将其分为变温层、恒温层和增温层。

变温层又称外热层，指地下温度明显地受到地表大气温度影响的地带。这一地带的地热主要来自太阳辐射热能。这种受外部影响而发生温度变化的深度，一般日变化影响深度为1~1.5 m，年变化影响深度为10~20 m，长周期（如冰期和间冰期）变化的影响深度可达几千米。

恒温层又称常温层，位于变温层的下面，是地下温度变化幅度等于零的地带。这一深度的温度大致保持不变，等于或略高于当地年平均温度。由于中纬度地区和内陆地区年温度变化大，所以中纬度地区的恒温层深度大于赤道和两极地区，内陆地区又大于滨海地区。另外，从地温的分布可见，日恒温层包含在年变温层之内，年恒温层包含在多年或世纪变温层之内。

增温层又称内热层，位于恒温层的下面，是地下温度完全受控于地球的内热活动，随深度的增加而增加的地带。其热能来自地球内部，主要是来自放射性元素衰变产生的热能，其次为其他能量（如机械能、化学能、重力能、旋转能等）转化而来的热能。增温层的温度一般是向着地球中心的方向稳定递增的，一般深度每增加100 m，温度升高3℃，但到一定深度后，增温的速度减缓。

地球内部温度随深度的变化率称为地温梯度，又称地热梯度、地热增温率，通常以℃/m或℃/100 m、℃/1000 m表示；而温度每升高1℃所增加的深度，称为地热增温级，又称地温级，以m/℃表示。地温梯度和地热增温级在数值上互为倒数，一般常用地温梯度来计量地球深部的温度增量。

海底地表面的温度受水温控制，与陆地相比直接受太阳辐射能的影响小得多，尤其是深海海底温度几乎不受太阳辐射的影响，终年保持在2℃左右，因而海底，特别是深海海底以下的3个温度分层极不明显，从海底开始向下即为增温层，其地温梯度平均为5℃/100 m。陆地上平均地温梯度约为2.5℃/100 m，再往下的地温梯度逐渐变小，约为0.5~1.2℃/100 m，100 km深处的温度不超过1300℃；再往深处，地热梯度更小，在2900 km深处的温度约为2850~4400℃；地心温度一般认为在5000~6000℃。

五、地球表面特征

固体地球的表面高低不平，以平均海平面为界，分为大陆和海洋两大地理单元。大陆的面积约为 $1.49 \times 10^8 \text{ km}^2$ ，约占地壳表面积的29.1%；其平均海拔高度为875 m，最高点珠穆朗玛峰的海拔高度为8844.43 m（2005年10月9日公布）。海洋面积约为 $3.62 \times 10^8 \text{ km}^2$ ，约占地壳表面积的70.9%；其平均深度为3729 m，最深处位于西太平洋的马里亚纳海沟，深度为11034 m（图1-7）。

1. 大陆地形特征

陆地地形十分复杂，按照高程和起伏特征，可分为山地、丘陵、平原、高原、盆地、洼地和裂谷系统等主要单元。