

煤炭职业教育课程改革规划教材

# 采煤概论

(第2版)

主 编 冯拥军

2

 煤炭工业出版社

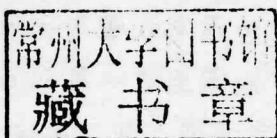
煤炭职业教育课程改革规划教材

# 采煤概论

(第2版)

主 编 冯拥军

副主编 刘 超 吴绍贵



煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

采煤概论 / 冯拥军主编. --2 版. --北京: 煤炭工业出版社, 2016

煤炭职业教育课程改革规划教材

ISBN 978 - 7 - 5020 - 4937 - 9

I. ①采… II. ①冯… III. ①煤矿开采—职业教育—教材 IV. ①TD82

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 190303 号

采煤概论 第 2 版 (煤炭职业教育课程改革规划教材)

主 编 冯拥军  
责任编辑 李振祥  
编 辑 刘 鹏  
责任校对 刘 青  
封面设计 晓 杰

出版发行 煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)  
电 话 010 - 84657898 (总编室)  
010 - 64018321 (发行部) 010 - 84657880 (读者服务部)

电子信箱 cciph612@126.com  
网 址 www.cciph.com.cn  
印 刷 北京建宏印刷有限公司  
经 销 全国新华书店

开 本 787mm × 1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 18 字数 423 千字  
版 次 2016 年 5 月第 2 版 2016 年 5 月第 1 次印刷  
社内编号 7783 定价 32.00 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, 电话: 010 - 84657880

## 内 容 提 要

本书系统介绍了煤矿生产建设的基础知识,内容包括煤矿地质、井田开拓、井巷掘进与支护、采煤方法、矿井通风、矿井灾害防治、矿井生产系统等内容。同时将禁止井工煤矿使用的设备及工艺目录作为附录列入书中。

本书可作为煤炭职业院校采掘类专业的教学用书或参考书,也可供煤矿采掘工程技术人员和管理人员参考。

# 前 言

依据国务院《关于加快发展现代职业教育的决定》(国发〔2014〕19号)、教育部《关于“十二五”职业教育教材建设的若干意见》(教职成〔2012〕9号),以及教育部办公厅、国家安全生产监督管理总局办公厅、中国煤炭工业协会《关于实施职业院校煤炭行业技能型紧缺人才培养培训工程的通知》,我们组织有关教师,按照培养技术应用型专门人才的要求和煤炭职业教育的特点,本着科学性、实用性、先进性的编写指导思想,对煤炭工业出版社2010年出版的《采煤概论》进行了修订。

教材修订过程中严格按照《煤矿安全规程》《煤矿防治水规定》《防治煤与瓦斯突出规定》等最新颁布的法律法规、规章制度进行,删除了露天开采的内容,调整了煤炭液化与气化、井田开拓、井巷掘进与支护的内容,增加了矿井安全避险系统、充填采煤方法、煤与瓦斯突出危险煤层开采的内容。

本教材由冯拥军任主编,刘超、吴绍贵任副主编。具体编写分工如下:河南工业和信息化职业学院冯拥军编写了第二章,河南工业和信息化职业学院刘超编写了第一章,七台河职业学院吴绍贵编写了第七章第三节至第六节和附录,河南工业和信息化职业学院孙志明编写了第五章第一节至第三节,河南工业和信息化职业学院刘广超编写了第五章第四节、第七章第一节和第二节,河南工业和信息化职业学院屈扬编写了第六章第一节至第三节,河南工业和信息化职业学院冯海贵编写了第四章第一节至第六节,平顶山工业职业技术学院李成伟编写了第三章第一节和第二节、第六章第五节至第七节,平顶山工业职业技术学院付建党编写了第三章第三节和第四节、第六章第四节,平顶山工业职业技术学院李英杰编写了第四章第七节至第十一节。

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

2016年3月

# 目 次

第一章 煤矿地质	1
第一节 地壳及地质作用	1
第二节 地质构造	14
第三节 煤的形成及赋存特征	18
第四节 煤田地质勘探与矿井储量	27
第五节 煤矿地质图	30
第二章 井田开拓	37
第一节 煤田及井田划分	37
第二节 矿井巷道及生产系统	42
第三节 矿井生产能力和服务年限	45
第四节 井田开拓方式	46
第五节 井底车场及大巷布置	55
第六节 矿井开拓基本问题分析	62
第七节 矿井开拓延深和技术改造	65
第三章 井巷掘进与支护	69
第一节 岩石分级和围岩分类	69
第二节 巷道掘进	72
第三节 巷道支护	87
第四节 井筒施工	94
第四章 采煤方法	108
第一节 概述	108
第二节 采煤工艺	109
第三节 长壁采煤法	116
第四节 厚煤层采煤法	122
第五节 薄煤层综采	125

第六节	急倾斜煤层采煤法	128
第七节	柱式体系采煤法	136
第八节	“三下一上”采煤法	141
第九节	充填采煤法	143
第十节	煤与瓦斯突出危险煤层的开采	152
第十一节	煤炭液化与气化	157
<b>第五章</b>	<b>矿井通风</b>	<b>164</b>
第一节	矿井空气	164
第二节	矿井通风压力与阻力	168
第三节	矿井通风动力	170
第四节	矿井通风系统	175
<b>第六章</b>	<b>矿井灾害防治</b>	<b>191</b>
第一节	矿井瓦斯防治	191
第二节	矿井综合防尘措施	207
第三节	矿井防灭火技术	211
第四节	煤矿防治水技术	219
第五节	顶板灾害及其防治技术	225
第六节	冲击地压及其防治技术	230
第七节	矿井热害防治技术	235
<b>第七章</b>	<b>矿井生产系统</b>	<b>238</b>
第一节	矿井地面生产系统及工业场地	238
第二节	矿井提升与运输系统	240
第三节	矿井动力供给系统	251
第四节	矿井排水系统及排水设备	259
第五节	矿井安全避险系统	263
第六节	选煤系统	272
<b>附录</b>	<b>禁止井工煤矿使用的设备及工艺目录</b>	<b>275</b>
	<b>参考文献</b>	<b>278</b>

# 第一章 煤矿地质

## 第一节 地壳及地质作用

### 一、地球的圈层构造

#### (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（即竖直方向）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状分布（图1-1）。

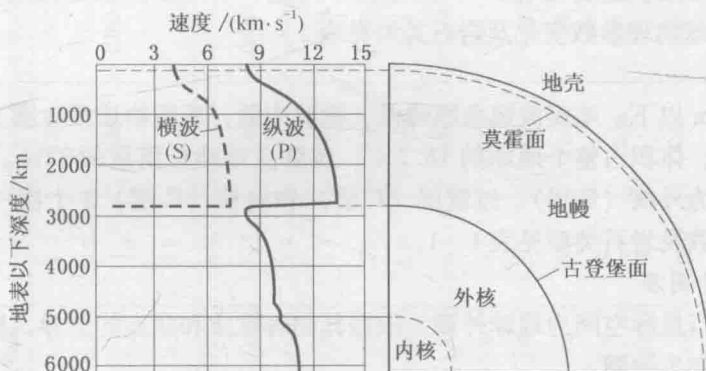
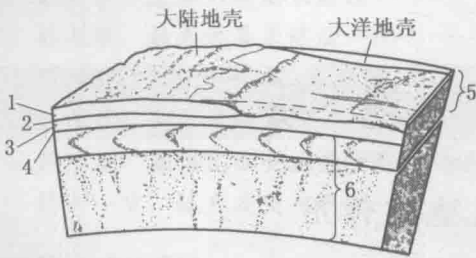


图1-1 地震波速度与地球内部构造示意图

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，即莫霍面和古登堡面。其中莫霍面深度很不一致，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。古登堡面深度在地表下约2898 km处，是由美国地球物理学家古登堡于1914年提出的。根据这两个界面把地球内部分为地壳、地幔和地核。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。

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物理参数的初步参考地球模型，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）。

#### 1. 地壳



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 1-2 地壳示意图

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, 如图 1-2 所示。地壳的底界为莫霍面。大陆地区地壳平均厚度为 33 km, 大洋地区为 5~10 km。地壳质量约占地球总质量的 0.4%。

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  $2.7 \text{ g/cm}^3$ ; 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  $3.3 \text{ g/cm}^3$ 。

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。地幔体积占地球体积的 83%, 质量占地球质量的 67.6%, 平均密度为  $4.5 \text{ g/cm}^3$ 。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 2898 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, 体积占整个地球的 16.2%, 质量占地球总质量的 32%。根据地震波速变化, 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, 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、中层、暖层和散逸层 (图 1-3)。

表 1-1 地球内圈层物理参数及岩石类型

圈层名称	代号	深度/km	地震波速度/(km·s <sup>-1</sup> )		弹性模量/10 <sup>11</sup> Pa		密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	重力加速度/(m·s <sup>-2</sup> )	压力/10 <sup>11</sup> Pa	温度/°C	物态	岩石类型
			纵波	横波	体变模量	切变模量						
地壳	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		
地幔	上地幔	60	7.6	4.2	0.7	0.5	3.0	9.84	0.01	400-1000	软流圈	橄榄岩类
			8.0	4.4	1.17	0.63	3.32	9.847	0.019	500-1100		
	下地幔	100	8.2	4.6	1.2	0.68	3.34	9.86	0.031	700-1300	具尖晶石结构的铁铁硅酸盐	
			7.7	4.0	1.36	0.64	3.5	9.875	0.049	800-1400		
	C	400	8.2	4.55	1.46	0.7	3.6	9.89	0.068	1000-1600	具尖晶石结构的铁铁硅酸盐	
			9.0	4.98	1.87	0.92	3.85	9.94	0.14	1200-2000		
	D	2000	10.2	5.65	2.58	1.32	4.1	9.95	0.218	1300-2250	不均匀的 固态	
			11.43	6.35	3.35	1.87	4.6	9.94	0.4	1850-3000		
	E	2752	12.8	6.92	5.11	2.48	5.1	9.86	0.87	2500-3900	液态	铁、镍(少量硅、硫等)
			13.63	7.31	6.5	3.0	5.6	10.50	1.34	2800-4300		
F	2898	13.32	7.11	6.45	2.96	5.7	10.30	1.50	2850-4400	固液态 过渡	铁、镍(少量硅、硫等)	
		8.1	0.0	6.3	0.0	9.7	8.80	1.43	3700-4700			
G	3500	8.9	0.0	8.2	0.0	10.4	6.10	2.98	4500-5500	固态	铁、镍(少量硅、硫等)	
		10.4	2.07	12.2	0.51	12.0	5.00	3.2	4700-5700			
核	4640	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)	
		11.0	3.6	13.4	2.08	12.7	3.00	3.5	4900-5900			
核	5500	11.2	3.7	14.0	1.7	12.9	3.00	3.5	5000-6000	固态	铁、镍(少量硅、硫等)	
		11.3	3.7	14.1	1.3	13.0	0	3.7	5000-6000			

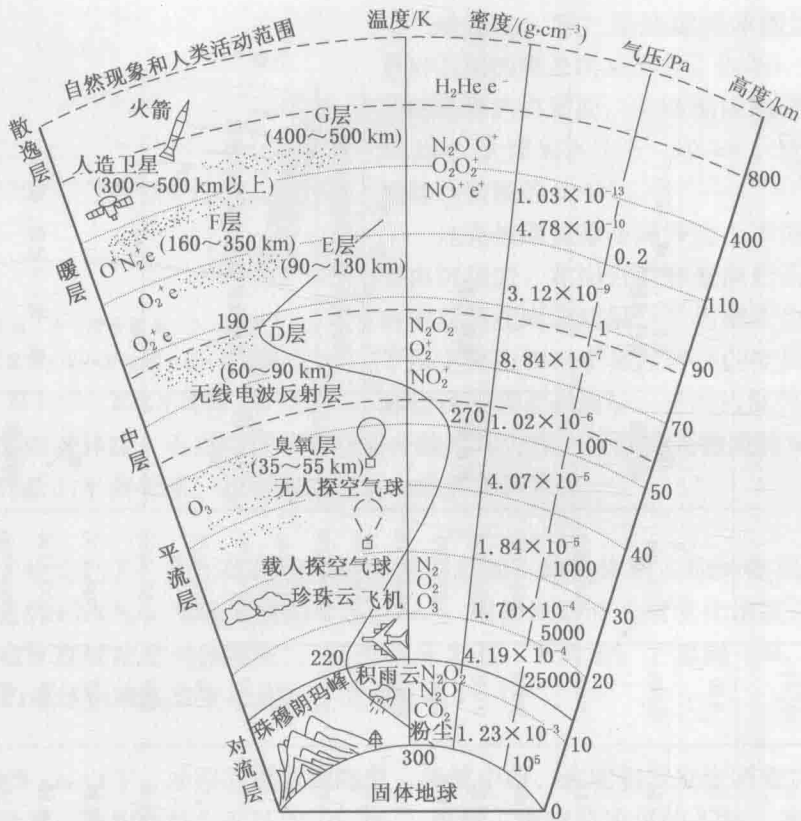


图 1-3 大气圈结构示意图

对流层是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。

平流层是指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%，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（在高度 20~30 km 处臭氧浓度最大），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。

中层又称中间层，指自平流层顶向上至 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。

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。

散逸层又称外逸层，是指位于 800 km 以上的大气圈层。该层是大气圈与行星际空间

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。地球上水的分布见表 1-2。

表 1-2 地球上水的分布

分布类型	水量/ $10^4 \text{ km}^3$	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
大气水	1.3	0.001
总计	135785.02	100

海水是指存在于海洋中的具有盐分的天然水。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  $\text{MgCl}_2$ 、 $\text{MgSO}_4$ 、 $\text{CaSO}_4$ 、 $\text{K}_2\text{SO}_4$  和  $\text{CaCO}_3$ 。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。大洋中的盐度为 33‰~37‰，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。

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。

## 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。生物圈同大气圈、水圈和岩石圈之间无明显分界线。

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  $38 \times 10^8$  年以前开始出现，大约从  $6 \times 10^8$  年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。

## 二、地球的物理性质

### 1. 地球的质量和密度

地球的平均密度约为  $5.52 \text{ g/cm}^3$ ，实际测得地表岩石的平均密度约为  $2.75 \text{ g/cm}^3$ ，而覆盖地表面积达  $3/4$  的水的密度仅为  $1 \text{ g/cm}^3$ ，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  $100$ 、 $650$ 、 $2898$ 、 $4640 \text{ km}$  深处有较明显的变化，而以约  $2898 \text{ km}$  深处变化最大，更深又逐渐升高，在地心达最大值。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  $2.75 \text{ g/cm}^3$ ，因此深度每增加  $100 \text{ m}$ ，压力大约增加  $2.75 \text{ MPa}$ 。

### 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。地球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。

如果把地球看作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。

#### 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存在，但其分布很不均匀，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

$10^{-6}$

岩 石	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。

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，是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 °C，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 °C/m 或 °C/100 m、°C/1000 m 表示；温度每升高 1 °C 所增加的深度称为地热增温级，又

称地温级，以  $m/^{\circ}C$  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。

### 三、地质作用

地质学上把引起地壳物质组成、地表形态和地球内部构造发生改变的这种作用叫作地质作用。把促使地壳发生改变的这种力量称之为地质应力。

根据产生地质作用力量来源的不同，我们把地质作用分成外力地质作用和内力地质作用。外力地质作用就是由地球外部的能量引起的，发生在地球表层的地质作用；内力地质作用就是由地球内部能量引起的，发生在地球内部的地质作用。

#### (一) 外力地质作用

按照作用的方式，外力地质作用又分为风化作用、剥蚀作用、搬运作用、沉积作用和成岩作用。

##### 1. 风化作用

风化作用是由于大气温度的变化、水及生物的作用使地壳的岩石、矿物在原地崩裂，成为石块、细砂甚至泥土，同时也可由于水、空气、有机体的化学作用而使矿物分解，形成各种新的矿物。风化作用按其产生的原因或方式又可分为物理风化作用（机械破坏）、化学风化作用和生物风化作用。

物理风化作用是母岩的一种机械破坏作用，其影响因素主要是温差作用、冰劈作用和生物的机械破坏作用；化学风化作用是矿物、岩石在氧、二氧化碳、水及酸类物质的联合作用下发生化学分解而被破坏的作用；生物风化作用主要是指生物新陈代谢过程中排除大量的酸类物质及生物死亡后遗体腐烂而产生的腐植酸，它们腐蚀和破坏周围岩石的作用。

风化作用的产物归纳起来有 3 类，即碎屑物质、残余物质和溶解物质。

##### 2. 剥蚀作用

剥蚀作用是由风、雨、流水、海浪及冰川等各种外应力将地表岩石风化后的产物从原地剥离开来的作用。剥蚀作用可将风化的产物剥离开母体，使新鲜的岩石裸露于地表继续遭受风化；另外，它对岩石也进行着破坏作用。

风化和剥蚀都是对岩石的一种破坏作用，它们彼此间是相互联系、相互依赖、相互影响的。

##### 3. 搬运作用

所有被各种破坏力所剥蚀下来的物质由风、流水、冰川、海流、海浪等应力将其从风化剥蚀区搬到另一个地方去，这种作用称为搬运作用。搬运作用也有化学和机械两种方式。

##### 4. 沉积作用

沉积作用是指被搬运的物质经过一段路程运移，当搬运介质动能减小或搬运介质的物理化学条件发生改变，以及在生物的作用下，在新的环境下堆积下来的作用。按照沉积作用进行的方式不同可分为机械的方式（即被搬运的物质是以泥、砂、砾等形式，以碎屑状态堆积下来的）、化学的方式（即堆积物质是从真溶液或胶体溶液中析出沉淀下来的）和生物的方式（即堆积物是由于生物的生命活动、新陈代谢、死亡等原因堆积下来的）。

##### 5. 成岩作用

堆积在新的介质环境中的疏松沉积物随其所处的环境变化，沉积物之间、矿物之间、碎屑和胶结物之间，以及沉积物和生物、沉积介质之间的关系都会相应地发生变化。在失

水、压紧等作用下表现为新矿物的生成,沉积物结构、构造的变化,最后形成沉积岩。沉积岩形成以后,由于受到外界环境的影响,还会继续发生变化,这一切过程统称为成岩作用。

成岩作用一方面取决于沉积物的原始成分,另一方面取决于沉积物形成以后外界环境的变化(温度、压力、水、生物等)。成岩作用过程包括压紧作用、胶结作用和重结晶作用。

在外力地质作用中还有一种相当普遍的块体运动(负荷地质作用),即地面上松散堆积物、基岩等在地球的重力作用下,并在其他外动力地质作用的触发下发生位移和变化的作用。块体运动(负荷地质作用)按其运动方式可分为崩塌作用、潜移作用、滑动作用和压实作用等,这都是外力地质作用的表现形式。

## (二) 内力地质作用

内力地质作用是由地球内部能量引起的整个地壳或岩石圈物质成分、内部构造及地表形态的变化,包括地壳运动、岩浆作用、变质作用、地震地质作用等。

### 1. 地壳运动

地壳运动是地球内部能量引起的组成地壳物质的机械运动。这种运动表现有两种形式,即水平运动和升降(垂直)运动。

水平运动是组成地壳的物质沿地球切线方向的运动,主要引起地壳的拉张(如大洋中脊的扩散)和挤压(如板块的消减、碰撞),从而使岩层弯曲和断裂,形成山脉和盆地。

升降(垂直)运动是指组成地壳的物质沿铅直方向长期的上升和下降交替运动,所以又称为振荡运动。升降运动波及的范围大小、位置、幅度及速度可以随时间而变化,主要引起海洋(陆地)的变化、地势高低的改变、岩体的垂直位移及层状岩石中大型平缓褶曲的形成等。升降(垂直)运动的速度在一定时间内人们是难以察觉的,但它进行的时间很长,产生的影响十分巨大,会引起地形、气候及各种外力地质作用发生根本性的变化;同时,升降(垂直)运动也控制着煤系地层的分布范围,影响着煤层层数和厚度的变化。

### 2. 岩浆作用

岩浆作用是指地球内部能量使地球内部物质发生局部熔融,形成以硅酸盐为主并含大量挥发分的熔融体,并且促使它向地表薄弱部分移动的作用。

岩浆移动过程中对它周围的岩石产生两种作用,一种是对围岩发生的机械冲击和挤压,另一种是岩浆的化学成分、温度对围岩的化学作用。

### 3. 变质作用

在发生地壳运动时,原有的岩石(包括沉积岩、岩浆岩或者变质岩)在温度、压力和外来物质的作用下使岩石的原始特征发生改变,成为新的岩石,这种在地球内部能量作用下使岩石产生变化的作用称为变质作用。

引起原生岩石变质的因素主要是温度、压力及岩浆中某些化学性质活泼的气体和液体。变质作用的类型有区域变质、接触变质(接触热变质和接触交代变质)和动力变质3种。

### 4. 地震地质作用

地震地质作用是指在地壳局部快速颤动过程中的孕震、发震和余震的全部作用过程。当地内机械能达到一定限度而突然释放时,地壳就会受到猛烈冲击,发生颤动,这就是地震。地震按产生的原因可分为构造地震、火山地震、人工地震、陷落地震等。

各种内力地质作用都是相互关联的，构造运动可以在地壳内形成断裂并引起地震的发生，并为岩浆活动创造移动通道。而地壳运动和岩浆活动又都可引起变质作用，但地壳运动在内力地质作用中总是起主导作用。

总之，内力地质作用和外力地质作用是相互联系的，内力地质作用形成地表的高低起伏，决定了地壳表面的基本特征和内部构造；而外力地质作用则是破坏内力地质作用形成的地形和产物，总是削平凸起的地势，而在低凹的地区进行沉积，形成新的沉积物，同时又进一步塑造了地表形态。在地质历史中，内力地质作用和外力地质作用都在不停地进行着，某个地区在一个阶段中内力地质作用可表现得很强烈，但在另一时期，外力地质作用却相对占了重要的地位。内、外力地质作用相互矛盾、斗争、制约地发展着，使得地壳不断地演变，随着这些地质作用的进行，地表的形态、内部构造、矿产等也在不断地形成和变化。

#### 四、地壳的物质组成

岩石是组成地壳的主要物质成分，是矿物的集合体，由一种矿物或多种矿物以一定规律组成的自然集合体。

自然界的岩石种类很多，按形成原因可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩。

##### 1. 岩浆岩

岩浆涌向地表或地下一定深处，因其理化环境（即压力和温度条件）发生了变化，使之冷凝而成的岩石称为岩浆岩。岩浆岩按其生成环境可分为侵入岩和喷出岩。岩浆侵入地壳深处，在高温高压下缓慢冷却结晶而成的岩浆岩称为深成侵入岩；如果是在接近地表不远的地段，但未上升至地表面而凝结的岩浆岩称为浅成侵入岩。喷出地表在常压下迅速冷凝而成的岩石称为喷出岩。

##### 2. 沉积岩

沉积岩是在地壳表层环境中形成的岩石。它主要是由于暴露于地表的原有岩石，经外力地质作用，即先风化和剥蚀，被破碎或分解成碎屑物质和可溶性物质，又经过搬运（主要是由流水和风来搬运），在适当的条件下（如在水流速度有明显变化的河曲凸岸、江河进入湖泊或海洋的地方等）逐渐沉积下来，形成各种沉积物（如河滩或海边的砂砾和卵石、湖底或海底的软泥等），然后这些扩散的沉积物再经紧压、脱水、胶结，变成坚固的岩石，这就是沉积岩的一般形成过程。此外，组成沉积岩的物质中还可能大量的生物遗体或火山喷发的物质。

沉积岩在地壳岩层中分布最广，它覆盖的面积约占地表面积的75%，因此它是最常见的一类岩石。

有许多重要的矿产资源本身就是沉积岩，如煤、油页岩、盐矿和石灰石等。石油和天然气也生成于沉积岩中，而且大部分也储存在沉积岩中。

我们开采的煤炭是一种主要由植物遗体变成的沉积岩，煤层的上下顶板绝大多数也都是沉积岩，所以沉积岩是我们在矿井中最常见的岩石。煤矿的井巷工程绝大多数分布在沉积岩中。

##### 3. 变质岩

变质岩是地壳内已经形成的岩浆岩、沉积岩或变质岩，受到高温、高压作用或岩浆侵入，使原有岩石的矿物成分、结构发生部分或全部变化而形成的一种新岩石。所以变质岩