

M_{eikuan}g
Kaìcǎi Jìshù

煤矿开采技术

王佳喜 主编

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

煤矿开采技术

主 编	王佳喜			
副主编	王 戈	张立新	冯俊杰	
参 编	周明杰	张治野	王云忠	王琦章
	于长波	杨 丽	常振超	王恒友
	王佳平	吴继辉	孙 旭	李艳军

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书全面系统地阐述了煤矿开采的基本原理和方法,内容涵盖了煤炭生产的各个方面,包括矿井地质与矿图基本知识、井田开拓、巷道掘进与支护、采煤方法、矿井通风等,体现了我国煤矿生产建设的最新成果、经验。

本书可作为煤炭高校矿业工程的教材,也可供从事煤矿开采的生产技术管理、科研、设计等部门人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

煤矿开采技术 / 王佳喜主编. — 徐州 : 中国矿业大学出版社, 2012. 5

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1474 - 4

I. ①煤… II. ①王… III. ①煤矿开采 IV.

①TD82

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第100245号

书 名 煤矿开采技术

主 编 王佳喜

责任编辑 周 红

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 24 字数 599 千字

版次印次 2012 年 5 月第 1 版 2012 年 5 月第 1 次印刷

定 价 32.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

本书由多年从事煤炭生产一线工作、具有扎实的理论基础和丰富的生产实践经验的工程技术及管理人员参与编写,内容涵盖煤炭生产的各个方面,紧贴生产实际。在本书编写过程中,编者多方论证,广泛征求业内专家和生产一线同行的意见,并结合一些新的研究成果和当前最新的煤炭地质规范和技术要求认真编写完成,旨在提高从事煤炭生产技术人员的技术应用能力。

本书由王佳喜担任主编,王戈、张立新、冯俊杰担任副主编。具体编写分工如下:龙煤集团七台河分公司王佳喜编写第二章、第四章和第五章;龙煤集团七台河分公司王戈编写第六章、第七章和第八章;七台河职业学院张立新编写第一章和第三章;龙煤集团七台河分公司冯俊杰编写第九章和第十章;七台河职业学院周明杰编写第十一章,同时参与编写了第四章、第六章和第十章等的部分内容。龙煤集团七台河分公司张治野、王琦章,七台河国土资源局王云忠负责全书内容进行了审核。龙煤集团七台河分公司于长波、李艳军,七台河职业学院杨丽负责书稿中图片的绘制和处理工作。龙煤集团七台河分公司常振超、王恒友、王佳平、吴继辉、孙旭担任部分章节的编写和校对工作。

在本书的编写过程中,吸收和借鉴了同类书籍的精华,在此谨对原作者表示衷心的感谢!

由于编写水平所限,书中难免有不妥之处,恳请有关专家和广大读者提出宝贵意见。

编 者

2012 年 1 月 20 日

目 录

第一章 矿井地质与矿图基本知识	1
第一节 地球概述.....	1
第二节 地质作用.....	9
第三节 地质构造	10
第四节 煤层的赋存情况	18
第五节 煤矿常用地质图件	23
第六节 煤炭资源/储量计算与管理.....	39
第二章 井田开拓	51
第一节 煤田划分为井田	51
第二节 矿井储量、生产能力和服务年限.....	53
第三节 井田内的划分	57
第四节 井田开拓方式	61
第五节 井底车场	74
第三章 巷道掘进与支护	80
第一节 井下巷道的分类及用途	80
第二节 岩石的性质及分级	82
第三节 钻眼爆破	84
第四节 巷道支护	94
第五节 巷道掘进.....	102
第四章 采煤方法	110
第一节 采煤方法的概念及其分类概况.....	110
第二节 采煤工作面矿山压力.....	112
第三节 长壁工作面采煤工艺.....	125
第四节 薄及中厚煤层长壁采煤法的采煤系统.....	143
第五节 缓倾斜、倾斜厚煤层长壁采煤法的采煤系统	152
第六节 急倾斜煤层采煤方法	157
第七节 “三下一上”采煤和水力采煤方法简介.....	162
第五章 矿井通风	170
第一节 矿井空气.....	170
第二节 矿井通风动力和通风阻力.....	174
第三节 矿井通风方法.....	177

第四节 通风构筑物及漏风·····	180
第六章 矿井安全生产·····	188
第一节 矿井瓦斯及其防治·····	188
第二节 矿尘及其防治·····	199
第三节 矿井水灾及其防治·····	202
第四节 矿井火灾及其防治·····	205
第五节 矿井顶板事故的防治·····	208
第六节 矿山救护·····	213
第七章 矿井生产系统·····	218
第一节 矿井地面生产系统·····	218
第二节 煤炭的加工与利用·····	219
第三节 矿井运输与提升系统·····	221
第四节 矿井供电与排水系统·····	229
第八章 露天开采·····	234
第一节 露天开采概述·····	234
第二节 露天矿开采工艺·····	240
第三节 开采程序及开拓运输系统·····	263
第四节 露天矿生产能力·····	271
第九章 煤矿环境保护·····	278
第一节 地表破坏及复田·····	278
第二节 大气污染及其防治·····	280
第三节 水污染及其治理·····	281
第四节 煤矿噪声及其控制·····	283
第十章 煤矿开采新技术·····	287
第一节 煤层气开发利用·····	287
第二节 煤炭气化与液化·····	301
第三节 煤矿开采设计新技术·····	317
第四节 煤炭清洁开采技术·····	331
第十一章 煤矿特殊开采方法·····	341
第一节 上行式开采顺序采煤·····	341
第二节 难采煤层开采·····	348
第三节 矿井深部开采·····	363
参考文献·····	376

第一章 矿井地质与矿图基本知识

矿井的设计、建井及生产过程都需要详细的地质资料，离开了地质工作，煤矿生产可以说是寸步难行。为了满足矿井开采设计的要求和能使煤矿生产工作顺利进行，必须有详细的地质资料。

第一节 地球概述

地球是地质学研究的对象。它作为宇宙天体中的一员，不仅为人类提供了生存环境，而且还蕴藏着极丰富的矿产资源，煤就是其中之一。

一、地球的形状和大小

地球的形状，是指全球静止海面（大地水准面）的形状。人类最初对地球形状的认识，是从直觉经验出发的，开始认为“天圆地方”，后来通过观察月食和其他现象，逐渐认识到地球是一个球体。1519~1522年，葡萄牙人麦哲伦环球航海一周，第一次实践证明了地球确是个球体。17世纪后期，牛顿以万有引力定律解释了地球的形状，提出地球为一个两极半径短于赤道半径的椭球体，并在18世纪初先后由中国、法国的实测所证明。20世纪60年代，英国两位大地测量学者，根据人造卫星轨道资料，经计算得出地球的精确形状是北极略尖突、南极略凹进的梨形椭球体。以地球的赤道和两极半径及扁率为参数的理想椭球体面为基面，则北极海面比基面高出18.9m；南极表面比基面凹进25.8m；赤道至南纬60°之间比基面略高；赤道到北纬45°比基面略低。然而，由于上述这些变化量与地球半径相比非常微小，故远望地球仍不失为球形。

依据1970年天文历和1971年第15届国际大地测量和地球物理协会决议，地球的大小、质量和密度等所采用的数据如下：

赤道半径(a)	6 378.160 km	赤道周长	40 076.604 km
两极半径(b)	6 356.755 km	表面积	$5.1 \times 10^8 \text{ km}^2$
平均半径($r = \frac{2a+b}{3}$)	6 371.025 km	体积	$1.08 \times 10^{12} \text{ km}^3$
扁率($e = \frac{a-b}{a}$)	$\frac{1}{298.25}$	质量	$5.98 \times 10^{27} \text{ g}$
		平均密度	5.52 g/cm^3

二、地球的物理性质

地球的物理性质反映了地球内部的物质组成和结构特征，人们利用其性质来为寻找和开发矿产资源服务。现将与煤矿生产工作关系较大的几种物理性质简介如下。

(一) 密度

地球的密度是地球的质量与体积之比。根据计算所得的地球平均密度为 5.52 g/cm^3 。

实际测得的地球表层岩石的平均密度为 $2.7 \sim 2.8 \text{ g/cm}^3$ 。地球表面的 71% 分布着海水, 其密度 (4°C) 为 1.003 g/cm^3 。两者均比地球的平均密度小很多, 由此推测地球内部的物质密度一定比地球平均密度大。

对地震波速和重力的研究表明, 地球内部的密度随深度的增加而逐渐增大。至地心达到最大值, 为 13 g/cm^3 。但增加是非均匀的, 在 2900 km 、 5120 km 等几个深度有明显的突变。这种变化反映了地球内部物质成分和状态的差异, 表明地球内部存在着几个密度有显著不同的物质层, 如图 1-1 所示。地球内部的压力如图 1-2 所示。

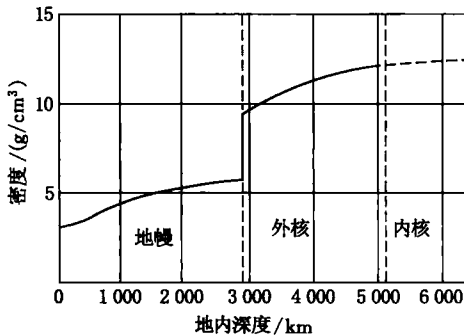


图 1-1 地球内部密度的垂直分布

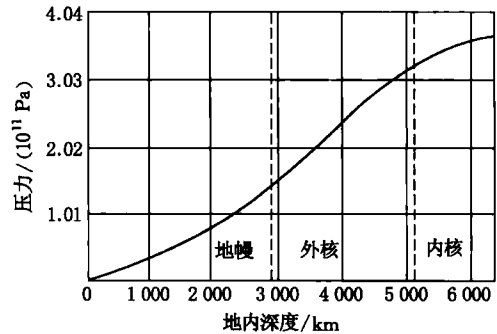


图 1-2 地球内部压力的垂向分布

(二) 地压

地压是指地球内部的压力, 主要是静压力。它是由上覆岩石的重力引起的, 且随深度增加而逐渐增大。根据地球物理学的研究结果表明, 在地下 10 km 处的压力约为 $3.04 \times 10^8 \text{ Pa}$, 在 35 km 处为 $1.01 \times 10^9 \text{ Pa}$, 在 2900 km 处约为 $1.52 \times 10^{11} \text{ Pa}$, 推测地心压力高达 $3.77 \times 10^{11} \text{ Pa}$ 。当矿井开采到深部时, 由于地压的增大, 给巷道及采煤工作面的支护造成很大困难。

此外, 地压还包括由地壳运动引起的地应力。它通常以水平力为主, 随深度增加有加大的趋势, 并可在某些地段特别集中, 因而在地压中往往也可占有重要地位。在矿井生产中, 可通过对已开采地区和正在开采地段的地质构造分析和仪器测量, 来测定或预测这种地应力的大小、方向和可能集中的地段, 用于研究、解决巷道维护及煤和瓦斯突出的预报等问题。

(三) 重力

地球表面的重力是指地面某处所受地心引力与该处的地球自转离心力的合力(图 1-3)。

根据万有引力定律可知, 地心引力与地表某处的物质质量成正比, 而与该处至地心的距离成反比, 所以地心引力在赤道最小, 向两极逐渐增大, 至两极处最大; 地面某处的离心力, 与该处的地球自转线速度平方成正比, 故而离心力在赤道最大, 向两极逐渐减小, 至两极处为零; 同时, 地心引力比离心力大得多, 如赤道处离心力最大, 但只有地心引力的 $1/289$ 。

由于上述原因, 使得地表各处的重力不相等, 并且随着纬度和海拔高度的不同而变化。在赤道最小, 随着纬度增加而增大, 至两极最大; 在同一纬度地区, 随着地势的增高而减小。

如果把地球作为一个均质体, 由理论推算出的地表各处重力值, 称为正常重力值。但由于地壳的物质成分和结构各处不同, 使得引力和离心力发生变化, 造成实测重力值与正常重

力值有所差异,这种现象叫做重力异常。实测值大于正常值的称正异常,小于正常值的称负异常。在密度较大物质(如铁、铜、铅、锌、镍等)分布区,常表现为重力正异常;在密度较小物质(如煤、岩盐、石油、地下水等)的分布区内,常表现为负异常。重力勘探就是依据这一原理,来寻找地下埋藏的矿产资源和了解地下的地质构造。

(四) 地磁

地磁是指地球的磁性。地球是一个巨大的磁体,周围分布着磁力线,形成地磁场(图 1-4)。地磁场具有南、北两极,分别称为磁南极和磁北极,并且它们的位置在不断地变动。地磁场的范围可延伸到地球以外 10 000 km 以上的高空。

地理的南、北极与磁南、磁北极不在一处,相距很远。因此地磁子午线(磁南、磁北极在地表的连线)与地理子午线(地理南、北极在地表的连线)互不吻合,其间的夹角称为磁偏角。罗盘磁针所指方向为地磁南北,与磁子午线方向一致,而不是地理的南北方向。当磁北针偏在经线东侧时,磁偏角为东偏角,符号为“+”;磁北针偏向经线西侧时为西偏角,符号为“-”。大多数地方均有磁偏角存在。使用罗盘测定方向时,必须加以校正,才能得到地理方向。

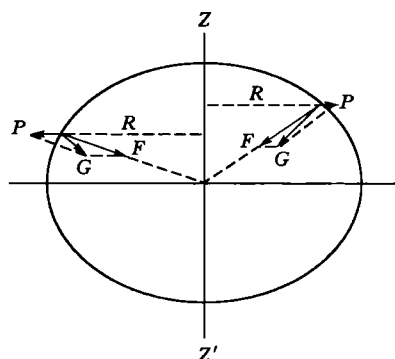


图 1-3 重力与地心引力和离心力关系示意图

ZZ' ——自转轴; R ——纬度圆半径; G ——重力;
 F ——地心引力; P ——离心力

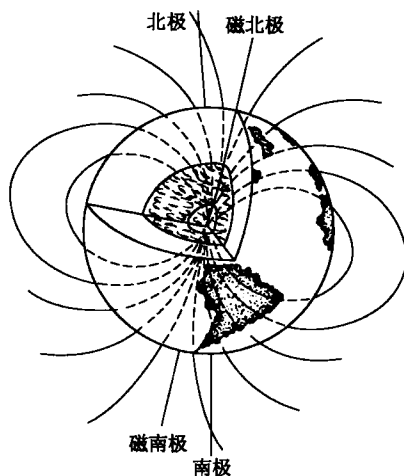


图 1-4 地磁场示意图

磁针的空间位置是与磁力线完全重合的。由于磁力线在地磁赤道上与水平面平行,故磁针呈水平状态。在其他地方磁针和磁力线一起发生倾斜,并且越接近磁极倾斜度越大,至地磁两极时与当地水平面垂直。磁针倾斜时与水平面的夹角,称为磁倾角。从地磁赤道到地磁两极,其值为 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$,且磁北针向下倾斜者为正(在北半球),磁北针上仰者为负(在南半球)。为消除磁倾角影响,使磁针保持水平,在罗盘磁针的一端常缚有细铜丝。

地磁场内有磁力作用存在,磁力的大小称为地磁场强度。磁偏角、磁倾角和地磁场强度是地磁场的三个要素。地磁场的变换可表现地磁要素的变化。在埋藏着带磁性岩体或矿体的地方,便产生一局部附加磁场,使得该处的实测地磁要素值与理论上计算的正常值发生偏差,此现象叫做地磁异常。利用地磁异常寻找地下隐伏矿床和了解地下地质构造的方法,称为磁法勘探。

(五) 地热

地热又称地温,系指地球内部的热量。深矿井温度的增高以及由地下流出的温泉水和火山喷出炽热的物质等现象,都说明地热的存在。地热主要来自两方面:一是太阳的辐射热;二是地球内部的热能(主要为放射性元素蜕变所释放出的热)。

由地表向深部,地温的特征有所不同,可分为以下三个层:

① 变温层(外热层)。变温层位于地球表层,自地表向下约 15~30 m。其热量主要来自太阳的辐射热能,温度从地表向下降低,且随纬度高低、海陆分布状况、季节和昼夜的变化而不同。

② 恒温层(常温层)。恒温层是变温层的下部界面(即变温层与增温层的分界面),其温度常年保持不变,大致相当于当地的年平均温度。

③ 增温层(内热层)。增温层位于恒温层以下,其温度只受地球内部热能的影响,且随深度的增加而逐渐增高,但增高的速度,各地差别很大。地温随深度而增加的规律,可通过地温梯度和地温级反映出来。地温梯度,又称地热增温率,是指深度每下降 100 m 温度升高的度数,以 $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 表示。地温级,又称地热增温级,是指温度每升高 1°C 时,所增加的深度值,以 $\text{m}/^{\circ}\text{C}$ 表示。研究表明,一个地区的地温梯度只适用于一定深度范围内(一般认为在 20~30 km 以内)。而更深处温度的增加非常缓慢,甚至几乎不变。同时,不同地区的地温梯度和地温级都有差异,这主要决定于当地的地质构造条件、岩浆活动和地下水的运动状况以及岩石导热率等因素。通常将平均地温梯度不超过 $3^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 的地区,称做地温正常区;超过 $3^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 的地区,称为地温异常区。

地热是矿井生产的不利因素,特别是当采掘工作进入较深水平时,更应充分地重视。这是因为井下温度过高,会直接危害工人健康,影响安全生产和生产率的提高。《煤矿安全规程》中规定:采掘工作面的空气温度不得超过 26°C ,机电硐室的空气温度不得超过 30°C 。目前,我国某些煤矿已程度不同地超过规定,如河南平顶山八矿,在 -430 m 水平空气温度已达 35°C 左右,预计至 -800 m 水平将达到 45°C 。井下温度超限时,应采取加强通风等措施,若温度仍降不下来,应暂停生产。

地热富集起来便形成地热资源。通过钻井开发的地下热水、热气,可作为一种新能源,用来发电、取暖、为植物暖房供热等;此外,还可用于医疗以及从中提取工业原料和稀有元素等。例如,位于西藏拉萨西北的羊八井,深度在 30 m 时就喷出 30 多米高的 130°C 的热水气,我国已在此建立了第一座直接利用地热的发电站。

除上述几种物理性质外,地球还具有弹性、电性和放射性等,利用这些性质,可进行地震法、电法和放射性法等地球物理勘探。

(六) 地球的圈层构造

地球的圈层构造,是指地球可大体划分成几个连续的、由不同成分和物理状态的物质所构成的同心圈层。它反映了地球的组成物质在空间的分布和彼此间的关系,表明地球不是一个均质体。

地球的圈层构造,是在地球漫长的发展过程中逐步形成的。大致以地表为界,分为内圈层和外圈层。外圈层包括大气圈、水圈和生物圈;内圈层包括地壳、地幔和地核(图 1-5)。每个圈层均有自己的物质组成、运动特点和性质,并对地质作用各有程度不同的、直接或间接的影响,因此了解每个圈层的基本特征,有助于对地质作用的理解。

外圈层位于地表以上,能够直接观察到。内圈层位于地表以下,其圈层的划分是通过天然地震波在地球内部传播特征的研究推断的。地震波(主要是纵波)在地球内部的传播速度在两处有明显的突然变化(图 1-6),这反映了在该两个深度的上下,地球物质在成分上或物态上有所改变或两者均有改变,因此,该两个深度可以作为上下两种物质的分界面,在地球物理学上称为不连续面或界面。其中,第一个界面是南斯拉夫地球物理学家莫霍洛维契奇于 1909 年发现的,称莫霍洛维契奇不连续面,简称莫霍面。其深度各地不一,在大陆区较深(最深达 60 km 以上),大洋区较浅(最浅不足 5 km)。第二个界面是美国地球物理学家古登堡于 1914 年提出的,称为古登堡不连续面,其深度在 2 900(2 898)km。根据这两个界面,把地球内部分为三个圈层,即地壳、地幔和地核。再依据次一级界面,把地幔分为上地幔和下地幔,把地核分为外核和内核。

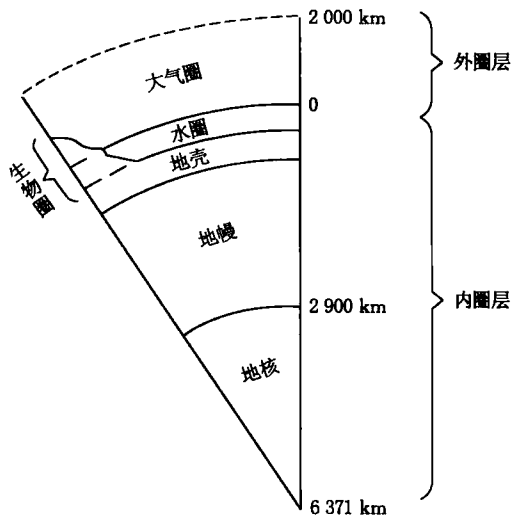


图 1-5 地球的圈层构造

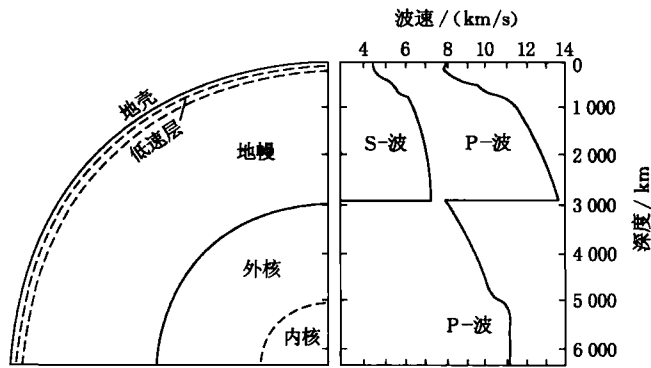


图 1-6 地球内部地震波速变化图

1. 地球的外圈层

(1) 大气圈

大气圈是由气态物质(大气)组成的地球最外部的一个圈层。其下界为大陆和海洋的表面;上界不明显,逐渐过渡到星际空间。根据人造卫星探测的资料,在 2 000~3 000 km 的高空仍有稀薄的气体存在,但密度已与星际空间非常接近,可大致看做大气圈的上界。

大气的总质量由于地心引力,绝大部分集中在最下部的 100 km 范围内。因此其密度下部最大,随高度增加而减小。

依据大气成分和物理性质的不同,大气圈自下而上分为对流层、平流层、中间层、热成层、散逸层等五层(图 1-7)。对流层,位于最下部,厚度各地不一,为 8~18 km,平均 10.5 km。该层集中了大气总质量的 3/4,主要成分为氮(占 78%)、氧(占 21 %)及少量水蒸气、

二氧化碳、悬浮的固体颗粒等。这里的温度随高度增加而递减,空气进行强烈的对流和水平运动,是一切风、云、雨、雪、冰雹等天气变化的发源地,因此,对流层对地球上生物的生长、发育和外力地质作用的发生起着极大的影响。平流层,自对流层顶向上至 50~55 km 高度,此层含较多的臭氧(O_3),可大量吸收太阳辐射的紫外线,温度随高度增加而上升,大气以水平运动为主。中间层,自平流层顶向上至 85 km 高度,大气温度随高度增加而降低,垂直对流运动剧烈。热成层(电离层),从中间层顶至 800 km 高度,温度随高度增加而上升,大气处于电离状态(氮和氧呈离子存在)。散逸层,位于热成层以上,这里受地球引力微弱,高速运动的气体质点,常常逸散到星际空间。

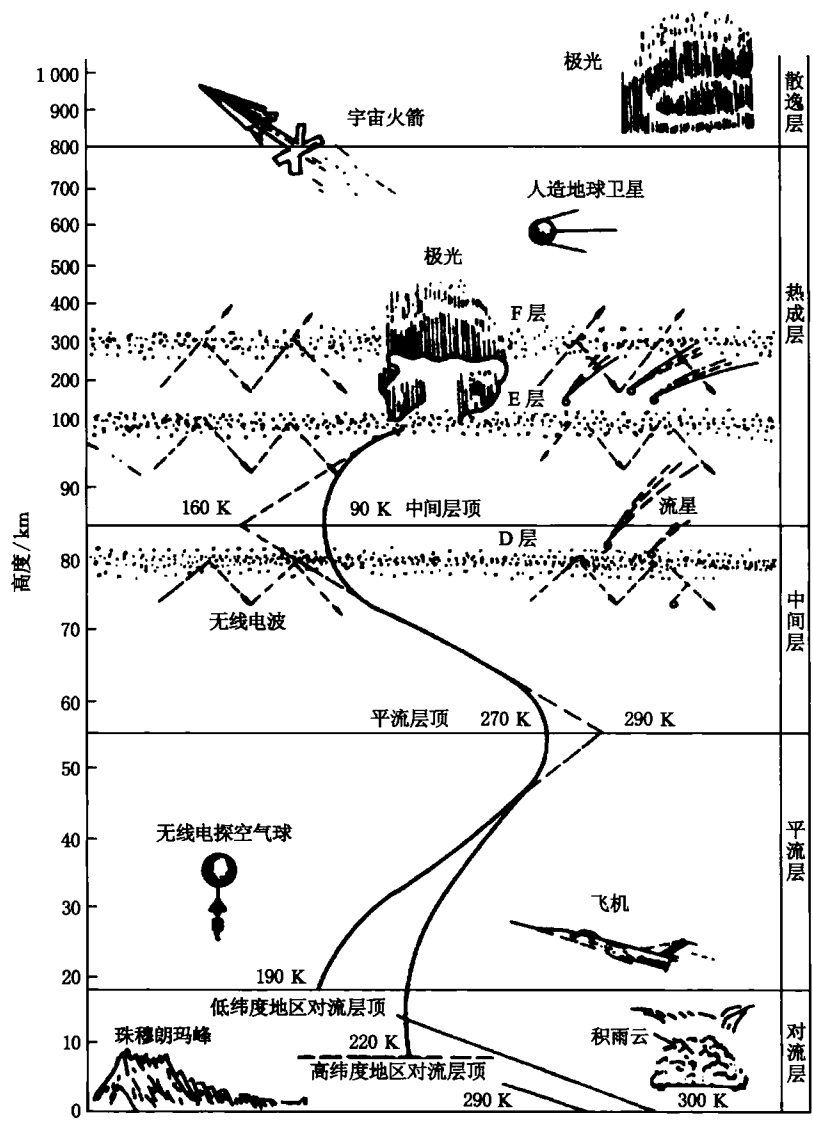


图 1-7 大气圈分层示意图

大气圈的存在,不仅为人类和生物的生存提供了条件,同时还影响着气候变化和地球上

水的循环,并促使外力地质作用发生,改变着地表的面貌。

(2) 水圈

水圈是由海洋、湖泊、河流等地表水,岩石和土壤中的地下水以及冰川等组成的一个基本连续的水体圈层。它基本位于大气圈之下(除地下水外);厚度为 $0 \sim 11\,034\text{ m}$;质量约 $1.66 \times 10^{24}\text{ g}$;总体积为 $1.39 \times 10^9\text{ km}^3$,其中海洋水占总体积的 97.2% ,大陆水仅占 2.8% 。海水的含盐度高,平均为 35% ,以氯化物(NaCl 、 MgCl_2)为主,是咸水;大陆水主要是淡水,含盐度低,平均不到 1% ,以重碳酸盐($\text{Ca}[\text{HCO}_3]_2$)为主。

水圈中蕴藏着极丰富的水资源,它们是人类及一切生物赖以生存的物质基础。各种水体的活动和水的强溶解性,使岩石遭受破坏,改变着地表的面貌。同时水体的存在,又为新岩石(沉积岩)的形成创造了条件。因此,水是参与地球发展和地壳演变的最积极因素之一。

(3) 生物圈

生物圈是由地球有生物(动物、植物和微生物)生存和活动的范围所构成的一个连续圈层。根据目前资料,在大气圈的 84 km 高空和地壳 7.5 km 深处仍发现有细菌,在 $5\,000\text{ m}$ 的深海还有鱼类存在。但大量生物主要集中于地表以上 100 m 至水下 100 m 的空间内。

生物活动是改造大自然和推动地壳发展演变的重要因素。许多生物直接或间接地对岩石起着破坏作用,并导致了地表形态的改变;另一方面还引起地表物质的迁移和聚集,为某些岩石和矿产(如煤、石油、磷矿等)的形成提供了条件。

2. 内圈层

(1) 地壳

地壳是地球外部的一层固体硬壳,是由矿物和岩石构成的。它位于大气圈或水圈之下,至莫霍面以上,厚度变化很大。其中,大陆地壳厚度较大,为 $20 \sim 70\text{ km}$,平均 33 km ,一般高原、山岳部分较厚,平原地区较薄。大洋地壳厚度较小,为 $5 \sim 8\text{ km}$,平均 6 km 。地壳总平均厚度约 16 km ,仅是地球半径的 $1/400$,体积只有地球的 0.3% ,质量约占地球总质量的 0.8% 。根据物质组成不同,地壳分为硅铝层、硅镁层(图 1-8)。

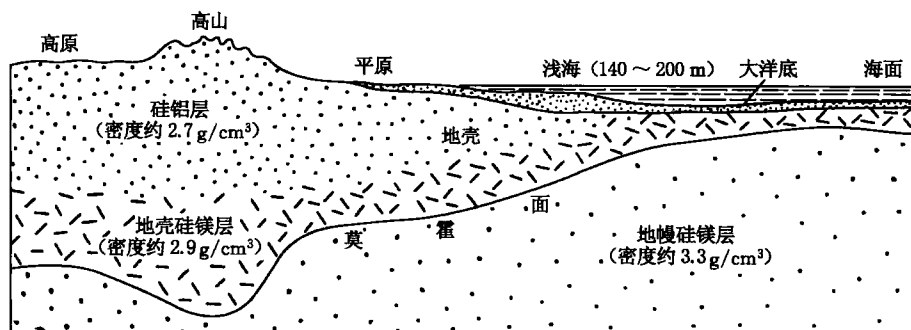


图 1-8 地壳结构示意图

① 硅铝层(花岗岩质层)。

硅铝层是地壳上部呈不连续分布的一层,一般仅在大陆存在,大洋底缺失。厚度 $0 \sim 40$

km,平均约 10 km。化学成分以硅(占 73%)、铝(占 13%)为主,密度较低,平均为 2.7 g/cm^3 ,平均压力为 $3.04 \times 10^8 \text{ Pa}$,平均温度为 $180 \sim 300 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

② 硅镁层(玄武岩质层)。

硅镁层是在硅铝层下面成连续分布的一层,大陆和洋底均有存在。厚度变化不一,大陆高原、山区平均约 30 km,平原区 10 余千米,海洋部分平均 $5 \sim 8 \text{ km}$ 。化学成分主要是硅(占 49%)、铁和镁(占 18%),平均密度约 2.9 g/cm^3 ,压力为 $3.04 \times 10^8 \sim 1.01 \times 10^9 \text{ Pa}$,温度达 $400 \sim 1\,000 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

地壳是地球最薄一个圈层,自形成以来,在各种地质作用影响下,其物质成分、结构、构造及表面形态不断地发展和变化,并聚集了大量的有用矿产,为人类的生存和生产活动提供了相应的环境。

(2) 地幔

地幔的上界为莫霍面,下界是古登堡面,介于地壳与地核之间,故又称中间层。厚度 2 800 多千米,体积约占整个地球的 82.3%,质量约占地球的 67.8%,平均密度大约是 4.5 g/cm^3 。地幔的横向变化较地壳均匀。根据地震波速变化情况,将其分为上地幔和下地幔两部分。

① 上地幔。

莫霍面以下至 1 000 km 深度之间的部分为上地幔。其化学成分仍以硅、铁、镁为主,但较下地壳硅成分减少,而铁、镁显著增加。平均密度为 3.5 g/cm^3 ,压力为 $1.92 \times 10^9 \sim 4.05 \times 10^{10} \text{ Pa}$,温度 $1\,200 \sim 1\,500 \text{ }^\circ\text{C}$ 。上地幔上部(自莫霍面以下至 60 km 深),仍由固体岩石组成,与地壳共同构成地球坚硬的外层,即岩石圈。自 60~250 km 深处,地震波速显著减小,为低速带。推测该部分的温度已达到岩石熔点,由于压力大而未熔化或部分熔融,但大大增加了岩石的可塑性和活动性,称为软流圈。软流圈的存在,为岩石圈的活动和地壳运动创造了条件,同时软流圈还可能是原生岩浆的发源地。此外,中源和深源地震的震源都发生在上地幔内。由此可知,上地幔对内力地质作用的产生影响很大,故而对其研究日益受到重视。

② 下地幔。

自 1 000~2 900 km 深处的古登堡面之间为下地幔。其成分比较均匀,主要由金属硫化物和氧化物组成,铁、镍成分明显增加。平均密度为 5.1 g/cm^3 ,压力达 $4.05 \times 10^{10} \sim 1.52 \times 10^{11} \text{ Pa}$,温度 $1\,500 \sim 2\,000 \text{ }^\circ\text{C}$ 。下地幔的物质处于高压高密状态,可能为非结晶的固体。

(3) 地核

由 2 900 km 深处的古登堡界面(即地幔底界面)向下至地心部分为地核。其半径为 3 473 km,体积占整个地球的 16.3%,质量占地球的 32.5%,平均密度为 11.5 g/cm^3 ,压力为 $1.52 \times 10^{11} \sim 3.77 \times 10^{11} \text{ Pa}$,温度 $2\,000 \sim 5\,000 \text{ }^\circ\text{C}$ (近年有人通过试验研究,推测最高可达 $6\,880 \text{ }^\circ\text{C}$)。依据地震波速的变化,以 5 120 km 深度为界面,将地核分为内核与外核(参见图 1-6)。关于地核的物质成分尚有争议,一般认为以铁为主,并含 5%~20% 的镍。外核还可能混有一些轻元素,如硫或硅。

第二节 地质作用

一、地质作用的概念

地质作用,是指由于受到某种能量(外力、内力)的作用,而引起地壳组成物质、地壳构造、地表形态等不断变化和形成的作用。

二、地质作用的分类

1. 内力地质作用

能促使整个地壳物质成分、地壳内部结构、地表形态发生变化的地质作用称为内力地质作用。其表现为地壳运动、岩浆活动、变质作用和地震。

2. 外力地质作用

外力地质作用按照外营力的类型,可以分为河流的地质作用、地下水的地质作用、冰川的地质作用、湖泊和沼泽的地质作用、风的地质作用和海洋的地质作用等。若按其发生的序列则可分为风化作用、剥蚀作用、搬运作用、沉积作用和成岩作用。

① 风化作用,是指地表或接近地表的坚硬岩石、矿物与大气、水及生物接触过程中产生物理、化学变化而在原地形成松散堆积物的全过程。根据风化作用的因素和性质可将其分为三种类型:物理风化作用、化学风化作用、生物风化作用。

② 剥蚀作用,是指岩石在风化、流水、冰川、风、波浪和海流等外营力作用下,松散的岩石碎屑从高处向低处移动的过程。

③ 搬运作用,是指地表和近地表的岩屑和溶解质等风化物被外营力搬往他处的过程,是自然界塑造地球表面的重要作用之一。外营力包括水流、波浪、潮汐流和海流、冰川、地下水、风和生物作用等。在搬运过程中,风化物的分选现象以风力搬运为最好,冰川搬运为最差。搬运方式主要有推移(滑动和滚动)、跃移、悬移和溶移等。不同营力有不同的搬运方式。

水流搬运具有上述各种搬运方式,搬运能力的大小主要取决于流速。流速大的水体能挟带砂砾等较粗的物质,这些物质在河床底部以被推移或跃移的方式前进,据测定被搬运的球状颗粒的重量与起动它的水流流速的6次方成正比。粉砂、黏土以及溶解质在水流中则分别以悬移和溶移方式搬运。水流搬运悬移泥沙的能力称为水流挟沙能力,只要含沙量不超过一定限度,挟沙能力约与流速的3次方相关。

风力搬运与流水搬运有相似之处,有推移、跃移、悬移三种搬运方式。当近地面风速大于4 m/s时,粒径0.1~0.25 mm的砂粒就被搬动形成风沙流,但风沙流大部分集中在近地面10 cm的薄层内,悬移物质的数量远小于推移和跃移的数量。一般说,被风吹扬的颗粒大小与风速成正比,风速越大,搬运的颗粒越粗,移动的距离越远。

海浪搬运只在近岸浅水带内发生,有四种搬运方式。当外海传来的波浪进入水深小于1/2波长的浅水区时,波浪发生变形,不同部分水质点运动发生差异。在海底附近,水质点由原来所做圆周或曲线运动变为仅做往复的直线运动,并且向岸运动的速度快,向海运动的速度慢。这种速度上的差异,使得波浪扰动海底所挟带的碎屑物质发生移动,其中粗粒物质多以推移和跃移方式向岸搬运,细粒物质多以悬移方式向海搬运,最后在水深小于临界水深的地方,波浪发生破碎,所挟带来的物质堆积下来。由

于波浪的瞬时速度快,能量一般较高,搬运物多为较粗的砂砾。潮流和其他各种海流与波浪不一样,在较长时间内做定向运动,流速也较慢,故搬运的物质多为较细的粉砂和淤泥,呈悬浮状态运移。潮流作用使细粒淤泥质向岸运动,而粗粒向海运动。

冰川搬运具有特殊的蠕移方式,特点是能力大。随冰川的缓慢运动,大至万吨巨石,小至土块砂粒,均可或被冻结在一起进行悬移,或在冰底受到推移。冰川泥石流可使一些风化物产生跃移。

地下水搬运在溶岩区,含溶解质的地下水主要以溶移方式进行。

生物搬运对土层的扰动也起着搬运的作用。

第三节 地质构造

组成地壳的各类岩石,凡是呈层状分布的,统称为岩层,包括沉积岩、层状岩浆岩以及由它们变质而成的变质岩。其中,沉积岩占绝大部分。岩层的产状,是指岩层在空间的产出状态。通常,沉积岩形成时的原始产状,大都是水平的或近似水平的,并在一定范围内连续完整(图 1-9)。岩层形成后,在地壳运动影响下,发生变位和变形,其原始产状受到不同程度的改变,这称之为地质构造变动。发生构造变动的岩层所呈现的各种空间形态,称做地质构造。地质构造分为四种基本类型:有的岩层只发生了轻微变形,基本呈水平状态(一般倾角不大于 5°)称为水平构造(图 1-10);常见的是单斜构造、褶皱构造、断裂构造。地质构造在层状岩石中表现最明显,但在块状岩体中也有存在。

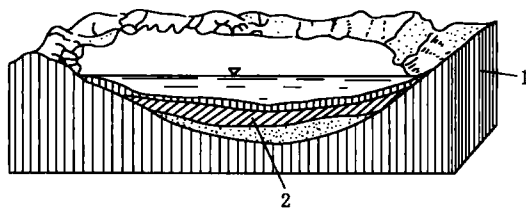


图 1-9 现代湖泊的水平成层的沉积物

1——基底;2——湖泊沉积物



图 1-10 四川巷溪观音寨的水平构造图

一、单斜构造

在某一范围内,一系列岩层大致向同一方向倾斜,且倾角大致相等,这种构造形态称为单斜构造。在较大的区域内,单斜构造往往是其他构造形态的一部分,如褶皱的一翼,或断层的一盘。

(一) 岩层的产状要素

倾斜岩层的空间产出状态,可由岩层面的走向、倾向和倾角反映出来,该三者称为岩层的产状要素(图 1-11)。

1. 走向

倾斜岩层的层面与水平面的交线,称为走向线(图 1-12 中的 ACB)。走向线是一条

水平线。走向线两端的延伸方向,称为岩层的走向。它表示倾斜岩层在水平面上的延展方向。



图 1-11 单斜构造的形成

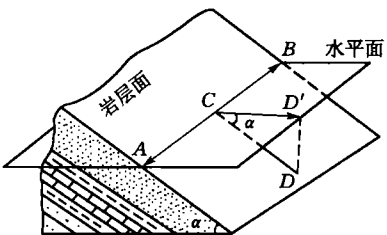


图 1-12 岩层的产状要素
ACB——走向线;CD——倾斜线;
CD'——倾向; α ——倾角

2. 倾向

在岩层面上,垂直于走向线沿层面倾斜向下所引的直线,称为岩层的倾斜线,又称真倾斜线(图 1-12 中的 CD)。倾斜线在水平面上的投影线所指岩层下倾一侧的方向,称为岩层的倾向,又称真倾向(图 1-12 中 CD')。倾斜线只有一条,倾向也只有一个,并与走向相差 90°,它反映了岩层的倾斜方向。

在岩层面上,斜交走向线沿层面倾斜向下所引的任一条直线,均为视倾斜线。它们在水平面上的投影线所指岩层下倾一侧的方向,称视倾向或假倾向。视倾斜线有无数条,视倾角也有无数个。

3. 倾角

倾斜线和它在水平面上投影线的夹角,称为岩层的倾角,又称真倾角(图 1-12 的 $\angle\alpha$)。它是岩层面与水平面所夹的最大锐角,反映了岩层的倾斜程度。视倾斜线和其在水平面上投影线的夹角,称为视倾角或假(伪)倾角。对于一个岩层,真倾角只有一个,视倾角可有无数个,而且任何一个视倾角均小于真倾角。

(二) 岩层产状要素在矿井生产中的意义

岩(煤)层的产状要素与矿井采掘生产有着密切关系,它们是部署巷道和决定采煤方法的重要依据。开采煤炭需要挖掘一系列巷道,沟通地表与煤层,起着运输、通风和行人等作用。根据不同需要,巷道有垂直的、倾斜的和水平的。无论哪一种基本都是依据岩(煤)层产状布置的。通常,总回风巷、总运输巷、区段回风巷、区段运输巷等水平巷道是在某一岩(煤)层内,沿其走向布置的。石门是沿倾向布置的水平巷道。上山、下山及开切眼等倾斜巷道,多在某一煤层内,沿其倾向(倾斜线)布置。

煤层倾角主要影响采煤方法的确定。一般来说,倾角越小,开采越容易;倾角越大,开采越难。根据开采技术的需要,按倾角大小将煤层分为三类(表 1-1)。通常还把倾角小于 5°的,称为水平煤层;倾角大于 60°的,称为立槽煤。不同倾斜程度的煤层,开采方法不同。例如,对于倾斜及缓倾斜的薄煤层,广泛采用走向长壁采煤法。急倾斜的薄煤层,则多采用倒台阶采煤法。