

全国石材专业教育重点规划教材

中华全国工商联石材业商会组编

SHICAI DIZHIXUE JICHU

石材地质学基础

杨周华 汪承林 刘嘉玮 编著

内
内外矿业

202

55252



黄河水利出版社

全国石材专业教育重点规划教材

石材地质学基础

杨周华 汪承林 刘嘉玮 编著

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书简明系统地阐述了地质学中主要学科的基本理论、基本方法和基本技能。全书共分十二章,包括地壳及地质作用、矿物、岩石、构造地质、地质地形图及其使用、矿床学概述、内生矿床、外生矿床、变质矿床、装饰石材矿产、石材矿床地质工作和装饰石材矿床评价等。还通过附录介绍了我国装饰石材露天矿山技术规范 and 我国石材资源(已探明)分布概况。

本书是石材专业必修基础教材,也可供石材行业从业人员自学参考。

图书在版编目(CIP)数据

石材地质学基础/杨周华,汪承林,刘嘉玮编著. —郑州:黄河水利出版社,2010.1

全国石材专业教育重点规划教材

ISBN 978 - 7 - 80734 - 790 - 3

I. ①石… II. ①杨…②汪…③刘… III. ①石料 - 地质学 IV. ①P619.202

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 016264 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hslcbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:16.5

字数:400 千字

版次:2010 年 1 月第 1 版

印次:2010 年 1 月第 1 次印刷

定价:41.00 元

全国石材专业教育重点规划教材编委会

编委会顾问： 蒋书铭 吕安民 王楚尚 张文波

编委会主任： 李山丽

编委会委员：(按姓氏笔画为序)

丁永云	王延华	王京江	王荣平	王南萍
王非非	王铮铮	白利江	巩 辉	安风占
齐凤莲	曲华民	刘嘉玮	张 伟	李 彬
张云凤	苏永定	李怀亮	李怀敏	张丽霞
陈国本	杨周华	汪承林	张秉坚	邱建辉
吴承霞	张思奇	周俊兴	赵 民	胡云林
侯建华	侯钦超	赵淑红	赫延明	蔡行来
廖原时	魏 华			

序

石材既是人类历史上最古老的建筑材料,又是全球最具艺术价值和经济价值的建筑装饰材料。人类利用大理石、花岗石作建筑装饰材料的历史可谓源远流长:我国万里长城北京南口段的城楼、城墙是利用南口花岗石块砌成的,历经千百年的风雨侵蚀,至今仍巍然屹立;坐落在古罗马元老院门前的古罗马第一位国王——罗莫洛之墓,始建于公元前6世纪,该墓所用材料即为黛色大理石。古往今来,花岗岩、大理石等石材建筑装饰的各种建筑物遍及全球各地,以坚固朴实、雄伟壮丽的英姿载入了人类史册。以北京房山出产的汉白玉为例,数百年前曾用于故宫、圆明园、颐和园的建设,后来又用于建造人民英雄纪念碑、人民大会堂、毛主席纪念堂,均显示出庄严、肃穆、美观大方的不凡气象。

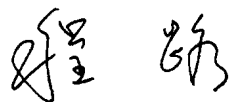
长期以来,由于石材产品量产困难,世界石材业发展缓慢。直到20世纪60年代,随着科学技术的进步,特别是金刚石工具在石材产业中的大量应用,世界石材产业迅速发展为国际化产业。近年来,国际社会对建筑材料出现追求环保和返璞归真的热潮,世界石材产品的需求迅猛增加,更加快了石材产业的发展。我国石材产业在改革开放后依靠资源丰富的优势获得了蓬勃发展,目前,全国石材企业近五万家,其中中型以上企业超过三千家。这些企业不仅利用国内石材资源,还从世界各地大量引进优质荒料和半成品加工成各种石材制品,供国内消费并部分销往国外。相关数据表明,我国石材产量、消费量、进出口贸易量均位于世界首位,已成为名副其实的石材工业大国。但是,客观地说,我国石材行业总体上仍处于粗放发展阶段,生产加工企业大多是在乡镇企业甚至是家庭作坊的基础上发展起来的,前店后厂式的企业在我国石材行业中占有相当大的比例。这些企业大多具有“小、土、散、乱”的特点,生产工艺和技术装备落后,缺乏核心竞争力,不利于形成规模优势和产业集群。企业技术创新能力不高,产品档次总体偏低,产品同质化现象严重,出口的产品往往是“好货贱卖”。总之,在成为石材大国之后,我国距离石材强国的道路还很漫长。

人才是兴业之本。当前,在制约我国石材行业进一步发展的多种因素中,专业技术人才的短缺已成为主要瓶颈。石材行业的员工大多靠师傅带徒弟的方式走上工作岗位,整体素质较低。截至2008年8月,我国还没有石材专业正规的学历教育和职业教育。为了改变这种局面,中华全国工商联石材业商会、河南省石材工业协会会同河南建筑职业技术学院,报经主管教育部门批准,于2008年在河南建筑职业技术学院设立装饰石材专业,开始了中专、大专层次的石材专业技术人才的正规学历教育。这是中国石材产业发展史上首次将石材专业纳入国家大专院校有计划培养的渠道,从此结束了全国石材产业没有专业教育的历史,成为中国石材产业进入新的历史发展阶段的重要标志,同时,也使广大石材界有识之士的共同心愿成为现实。

培养专门合格的人才,教材的编写出版是关键。为适应石材专业教学需求,全国工商联石材业商会组织邀请相关大专院校、科研院所、行业管理部门的专家学者以及著名企业家组成了“全国石材专业教育重点规划教材编委会”,编写并完成了具有职业教育特征的石材专业教育系列教材:《石材地质学基础》、《石材矿山开采技术及设备》、《石材加工设备及工艺基础》、《石材应用与施工技术》、《石材养护》、《石材装饰 CAD 基础》、《人造石与复合板》、《石材商贸物流与专业英语》等。本套教材在编写过程中做了大量的调查研究和收集整理工作,系统介绍了国内外石材工业的最新科技成果,反映了当代石材工业的发展水平。

这套教材的完成,凝聚着无数人的心血,也饱含着一批为了振兴中国石材产业而孜孜不倦无私奉献的有识之士的无限真情。中国石材产业如欲进一步增强在国际上的影响,提高其地位,正需要大批这样的志士贤人的辛勤努力。透过他们的身影,我们可以看到中国石材产业发展的光明前景,在他们的带领下,我相信会有一批又一批青年才俊通过这套教材,跨入这个充满希望的行业,成为他们的追随者,为了产业的振兴,为了国家的富强而贡献出自己的智慧和才干。

全国政协委员、全国工商联九届副主席、
中国西部发展促进会常务副会长



2009 年 8 月 26 日

前 言

本书是根据装饰石材技术专业的教学要求编写而成的。书中突出了本课程的基本理论、基本知识和基本技能,贯彻理论与实践相结合的原则,系统地阐述了地壳及地质作用、矿物、岩石、构造地质、矿床等基本内容。同时,结合装饰石材技术专业的需要,编入了各类装饰石材矿床的性能、特点及基本规律,介绍了装饰石材矿山的地质和评价工作,着重反映了我国装饰石材矿床地质勘探和地质工作方面的实际资料和成果。

石材地质学基础是石材专业的一门必修专业基础课。石材专业学生只有掌握必要的地质学基础知识和基本的地质工作方法,了解岩石的基本特性,才能为学习后续的石材矿山开采专业课、石材加工专业课以及石材应用、养护等专业课和今后的实践工作奠定坚实的基础。

本书由杨周华、汪承林、刘嘉玮编著,附录中我国石材资源(已探明)分布概况资料由蔡行来先生提供,在编写过程中得到中华全国工商联石材业商会李山丽副会长和北京市建设工程物资协会石材专业委员会巩辉秘书长的大力支持及指导,在此致以衷心的感谢。

鉴于编者水平所限,书中不足或错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2009 年 8 月

目 录

序	程 路
前 言	
绪 论	(1)
第一章 地壳及地质作用	(3)
第一节 地球及其主要物理性质	(3)
第二节 地球的结构及地壳	(6)
第三节 地质作用概述	(9)
第四节 地壳演化的地质时代概念	(22)
第二章 矿 物	(24)
第一节 矿物的形态	(24)
第二节 矿物的化学成分	(28)
第三节 矿物的物理性质	(31)
第四节 矿物分类及鉴定	(35)
第三章 岩 石	(48)
第一节 岩浆岩	(48)
第二节 沉积岩	(63)
第三节 变质岩	(75)
第四章 构造地质	(83)
第一节 岩层产状、厚度及出露特征	(83)
第二节 地层、岩体的接触关系	(89)
第三节 褶皱构造	(92)
第四节 断裂构造	(98)
第五节 地质构造对采矿工程的影响	(114)
第五章 地形地质图及其使用	(116)
第一节 地形图和地质图	(116)
第二节 岩层与地质构造在地形地质图上的表现	(121)
第三节 地形地质图的阅读方法和步骤	(125)
第四节 地质剖面图及其绘制方法	(128)
第六章 矿床学概述	(131)
第一节 矿床学的基本概念	(131)
第二节 成矿作用及矿床成因分类	(137)
第七章 内生矿床	(140)
第一节 岩浆矿床	(140)
第二节 伟晶岩矿床	(142)

第三节 气水热液矿床	(144)
第四节 火山成因矿床	(154)
第八章 外生矿床	(156)
第一节 风化矿床	(156)
第二节 沉积矿床	(160)
第九章 变质矿床	(167)
第一节 概 述	(167)
第二节 变质矿床的主要类型	(169)
第十章 装饰石材矿产	(170)
第一节 概 述	(170)
第二节 装饰石材矿床分类	(170)
第三节 各类大理石矿床简述	(173)
第四节 各类花岗石矿床简述	(175)
第五节 装饰石材矿床成矿规律与分布特点	(179)
第六节 各类板石矿床简述	(181)
第十一章 石材矿床地质工作	(187)
第一节 找 矿	(187)
第二节 石材矿床勘探	(188)
第三节 石材矿床裂隙的研究	(190)
第十二章 装饰石材矿床评价	(196)
第一节 概 述	(196)
第二节 大理石、花岗石矿床地质评价	(201)
第三节 板石矿床评价	(213)
附录一 装饰石材露天矿山技术规范	(217)
附录二 我国石材资源(已探明)分布概况	(222)
参考文献	(251)
后 记	(252)

绪 论

地质学是研究地球的科学。人类的生产活动与科学研究目前还局限于地球表面,并受到科学技术手段的限制,因此地质学现阶段研究的主要内容是地球的表层——地壳。

地质学是在人类开采矿产资源和进行某些与地质条件有关的工程建设(如水利建设、交通建设)等生产活动中发展起来的。它的发展推动了采矿工程和某些工程建设的发展,而这些生产实践活动又进一步揭露了地质体,为地质学的研究和发展积累了更多的实际资料。

地质学研究的内容十分广泛,主要包括:地壳的物质组成、成因及其分布规律,地壳运动及其所引起的构造形变和发展规律,地壳发展演变历史,地壳中矿产的形成和分布规律,地壳中矿床的找寻和勘探方法,地下水的形成、运动和分布规律等。由于研究内容和任务的不同,地质学逐渐发展并出现了一系列分支学科,主要有矿物学、岩石学、构造地质学、矿床学、找矿勘探地质学、矿山地质学、水文地质学等。20 世纪以来,随着学科的相互渗透,以及各种先进技术和手段的引入,又逐渐产生和发展了一些新兴的边缘学科,如地球物理学、地球化学、海洋地质学、同位素地质学、数学地质学和遥感地质学等。

地壳是由物质组成的,有物质就有运动,有运动就有变化和发展,地壳永远处于不停的运动和变化发展之中。地球形成迄今已有数十亿年的历史。在这漫长的岁月里,地壳的运动和变化有时是很剧烈的,如火山、地震。在多数情况下,地壳的变化往往要经过数百万年甚至数千万年才能完成,不过这些非常缓慢的变化会产生极为巨大的结果,如高山被削平、海洋被填充、岩石粉碎为泥沙、泥沙又演变成岩石等。因此,在地质学的研究中,地质时间往往以“百万年”为单位。

地球是一个非常复杂的球体,它拥有庞大的空间。地壳表面分布有陆地、海洋、高山、平原、湖泊,在不同的区域或不同的部位,其物质基础和外界条件是不相同的,也是极为复杂的。因此,在漫长的地质历史中,地壳虽有其统一的发展规律,但在各个地区、各个部位的发展过程并不同,变化的结果也存在很大的差异。鉴于这些特殊性,地质学就有其特殊的研究方法。野外地质调查是地质研究最基本的方法,它是在野外调查实践中收集和积累大量实际材料,并进行综合对比、分析研究,从而提高到理性认识,再用这些理论去指导生产实践,并在实践中检验、补充、丰富和发展。试验及模拟试验工作是必不可少的,为了深入地、微观地、定量地研究矿物及岩石等的化学成分、物理性质及内部结构,以及探讨某些地质现象的成因和发展规律,必须采用各种手段进行试验和分析。许多地质历史时期的地质作用和变化我们是不可能亲眼目睹的,只能找到它们在地壳中的遗迹,凭借对现代地质现象的观察和了解,推断地质历史中发生过的变迁和进程,即根据现代地质行迹去推断过去的地质作用,也就是“推今及古”或“将今论古”。

石材地质学基础是装饰石材技术专业的一门必修专业基础课。装饰石材技术专业的学生只有掌握了必要的地质学基础知识和基本的地质工作方法,才能为学习后续的石材矿山开采专业课和今后的矿山实践工作及装饰石材深加工工作奠定坚实的基础。

地壳内埋藏着各种丰富的矿产资源,它们的物质组成、分布情况和赋存条件等都具有一定的规律。对矿床及地质体进行调查研究的工作,叫做地质工作。通过地质工作不仅可以找寻矿产和确定矿山基地,也可以为矿山设计、基建和生产提供必要的地质资料。

地质工作贯穿于整个矿床开采过程的始终。在矿山设计之前,采矿工作者要详细、全面地阅读和审查勘探报告,运用地质资料了解和分析矿区的地质条件,包括矿体的产状及形态、矿石质量、地质构造、开采技术条件等,以便作出合理的矿山设计、指导矿山基建和生产的进行。在矿山进行基建及开拓、准采、回采的各个生产阶段中,都要进行各项地质工作,进一步准确地查明矿床的地质条件,为开采设计、编制采掘进度计划等提供更详细可靠的地质资料。在生产过程中,深入现场,调查研究所出现的地质问题,以便及时解决和指导生产。因此,可以说地质工作是采矿工作的眼睛。

第一章 地壳及地质作用

第一节 地球及其主要物理性质

在广阔无垠的宇宙中,地球是太阳系的一个行星。太阳系以太阳为中心,周围绕其旋转的有九大行星及其卫星、小行星(见图 1-1)。

一、地球的形状和大小

地球是一个绕着地轴高速旋转的、巨大的实心椭球体。据 1975 年第 16 届国际大地测量和地球物理协会修订,其大小数值如下:

赤道半径 a	6 378.140 km
两极半径 c	6 356.755 km
平均半径 $R = (a^2c)^{1/3}$	6 371.004 km
扁率 $(a - c)/a$	1/298.257
赤道圆周 $2\pi a$	40 075.13 km
表面积 $4\pi R^2$	$5.11 \times 10^8 \text{ km}^2$
体积 $4\pi R^3/3$	$1.083 \times 10^{12} \text{ km}^3$

根据人造地球卫星资料计算,地球实际形状是一个北极略为凸出、南极略为平凹的梨状体。地球表面可分为陆地和海洋两部分,陆地面积仅占 29%,海洋面积占 71%。地球上的最高峰是我国的珠穆朗玛峰,海拔 8 844.43 m。地球上的最低点是太平洋的马里亚纳海沟,深达 11 033 m,地表最大高差约 20 km。陆地最大高差约 0.88 km,按其高度和起伏特征可分为山地、丘陵、平原、高原、盆地等地貌类型。海洋平均深度为 3.7 km,海底地形和陆地一样复杂,且规模非常庞大,外貌更为奇特壮观,按其地形的基本特征分为海岭、海沟、大洋盆地、大陆边缘等地貌类型。

二、地球的主要物理性质

(一) 密度和压力

根据万有引力定律公式计算,地球的质量为 $5.976 \times 10^{24} \text{ kg}$,平均密度为 5.52 g/cm^3 ,但实际测得地表岩石的平均密度为 $2.7 \sim 2.8 \text{ g/cm}^3$,覆盖着地球表面积近 3/4 的水的密度为 1 g/cm^3 ,由此推测地球内部物质的密度更大。经过对地震波在地球内部传播速度的观测和计算,地球内部密度随深度增加而逐渐增大,直到地心达到最大值 13 g/cm^3 (见图 1-2)。

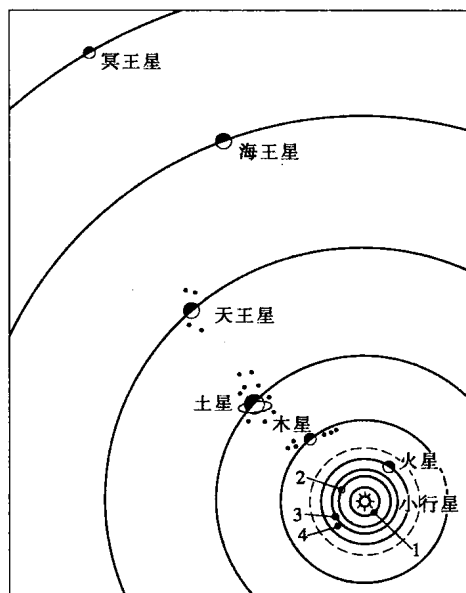


图 1-1 行星围绕太阳旋转示意图

1—水星;2—金星;3—地球;4—月亮

地球内部的压力是由上覆物质重量所产生的静压力。据计算,其静压力基本上随深度的增加而增大,大致为一匀滑曲线(见图 1-2)。在地表以下 10 km 处的压力约为 $3\,000 \times 101.325 \text{ Pa}$ 。在矿山开采中,可能出现各种地压现象,应充分注意。

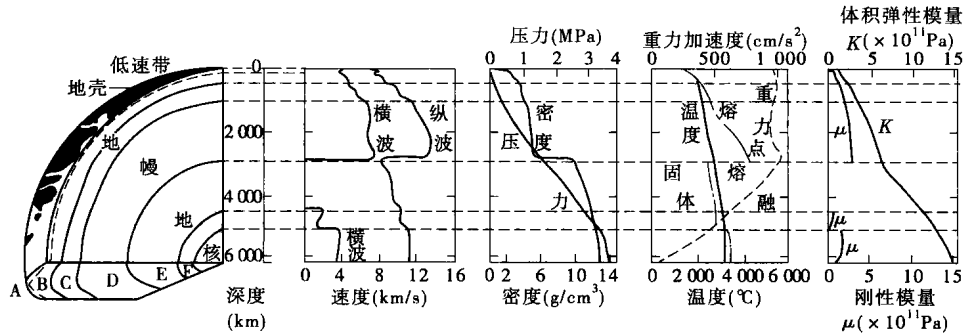


图 1-2 地球物理性质变化曲线

(二) 重力

地球某处的重力是指该处所受地心引力和地球自转产生的离心力的合力,其作用方向大致指向地心。根据万有引力定律公式可知,地心引力与物体质量成正比,与到地心的距离成反比。因此,地心引力以赤道为最小,两极最大。离心力以赤道为最大,两极最小或为零(见图 1-2)。离心力比地心引力小得多,在赤道处离心力是地心引力的 $1/289$,因此把地心引力近似当做重力。地球的重力随纬度的增高而增大,随海拔的增加而减小。

若把地球当成一个均质体,则可计算出各地的重力值,称为理论重力值。但由于地球物质分布不均匀,密度大小有差异,地形有起伏,因而实测重力值往往不同于理论重力值,这一现象叫做重力异常。实测值大于理论值,称为正异常,表明地下有密度大的物质分布,如铁、铜等金属矿床;实测值小于理论值,称为负异常,表明地下有密度较小的物质分布,如盐矿、石膏和煤等。地球物理探矿中的重力勘探法,就是利用这一原理。

(三) 温度

无论是地下流出的温泉,还是火山喷出的炽热岩浆,或是深矿井温度的增高,都表明地球内部具有很高的温度,蕴藏着巨大的热能。地球根据地内温度分布状况可以分为以下三层。

1. 外热层(变温层)

外热层是地球表层吸收太阳辐射热的一个温度层。其温度随昼夜和季节的变化而改变,影响深度一般不超过 20 m。

2. 常温层(恒温层)

常温层为外热层的最下界。这个深度上的温度年变化幅度为零,大致为当地年平均温度。

3. 内热层(增温层)

内热层在常温层以下,其热能主要来自地球内部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等。温度随深度而增加,而且增温是有规律的,即每向下一一定深度便增加一定温度。这一规律通常有以下两种表示方法:

(1) 地热梯度(或地热增温率),即深度每增加 100 m 所增高的温度,以 $^{\circ}\text{C}$ 表示。

(2)地温级(或地热增温级),即温度每增高 1°C 时所增加的深度,以 m 表示。

世界上不同地区的地热梯度并不相同,一般为 $0.9\sim 5.2^{\circ}\text{C}$ 。亚洲地区大致每加深 100m ,增高 2.5°C 。在地球内部 70km 以上范围内的地热梯度平均为 2.5°C ,再往下的地热梯度逐渐变小,一般为 $0.5\sim 1.2^{\circ}\text{C}$ 。 100km 深处的温度不超过 1300°C , 2900km 深处的温度约为 2700°C ,地心温度不超过 3200°C (见图1-2)。

地球是一个庞大的热库,可以由温泉、火山、岩浆侵入活动等直接把热量带至地表。地热流较高的地区称为地热异常区,这些地区蕴藏着丰富的热水和蒸汽资源,是开发新能源的广阔天地。我国已先后建成了多处地热电站,如西藏羊八井地热田的热电站等。但就采矿工作来说,地热对矿区开采是不利的,应采取通风降温措施,改善劳动条件,化害为益,加以利用。

(四)地磁

地球具有磁性,吸引着磁针指向南北磁极。这个现象我国早在战国时期就发现了。近代研究证明,地球是一个均匀磁化体,在它周围的空间存在着磁场,称为地磁场。磁力线的分布特征和棒形磁铁的磁场相似,但地磁场的南北两极和地理南北两极并不一致。地磁要素及地球周围磁力线分布示意如图1-3所示。

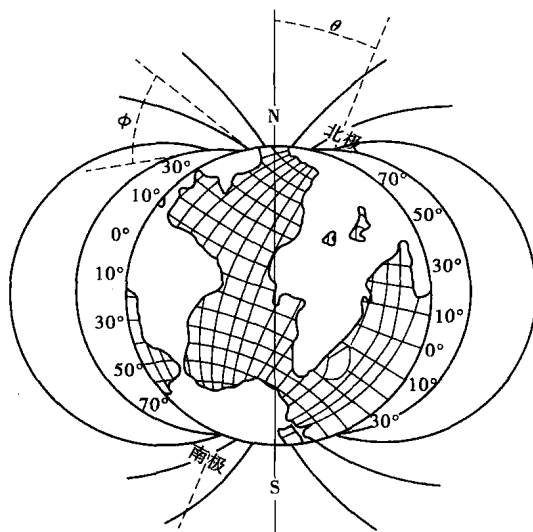


图1-3 地磁要素及地球周围磁力线分布示意

θ —磁偏角; ϕ —磁倾角

由于地磁极和地理极不一致,地磁子午线与地理子午线之间有一夹角,称为磁偏角。所以,磁针所指的不是地理南北,而是地磁南北。指北针偏在地理北极东侧的叫东偏角,符号为“+”;指北针偏在地理北极西侧的叫西偏角,符号为“-”。因此,在使用罗盘测量方位角时,必须根据当地磁偏角进行校正。

磁针只有在地磁赤道地区才保持水平状态,在磁极地区则处于直立状态,在两磁极与地磁赤道之间的地区,磁针与水平面之间呈不同的倾斜角,称为磁倾角。磁倾角的大小因地而异。地质罗盘上的磁针有一端捆有细铜丝,是为了使磁针始终保持水平工作状态。我国地处北半球,因而在磁针南端捆上铜丝,用以消除磁倾角的影响。

磁针的偏、倾程度实际上反映了磁针在地磁场中所受磁力的大小。磁力的大小叫磁场

强度。地磁场强度单位为安[培]每米,符号为 A/m。

磁偏角、磁倾角、磁场强度是地磁场的三个要素。经测量和计算,可获得全球基本地磁场要素的理论值。在实际工作中,如果实测地磁要素数值和理论值不一致,这种现象叫做地磁异常。地磁异常往往是由于地下磁化岩体或矿体的存在所引起的,也可能是地质构造所引起的。因此,我们可以利用地磁异常勘探地下磁性岩体、矿体和地质构造,这种方法叫做磁法勘探。

(五)放射性

放射性元素广泛分布于地球内部的各种岩石中,主要集中于地壳,如铀、钍、镭、钾等元素。它们的半衰期长,可与地球年龄相比,利用其蜕变的性质可以测定地球岩石的年龄。

放射性元素在蜕变过程中释放的热量是地球内部主要热源之一,是地质作用的主要能源。利用专门仪器测量,可以发现放射性异常区,借以寻找有关的矿床。

第二节 地球的结构及地壳

地球的结构是指地球组成物质在空间的分布和彼此之间的关系。地球组成物质呈同心层圈分布,若以地表为界,分为外部层圈和内部层圈。

一、地球外部层圈

地球表面以上属于外部层圈。其根据物质性状的不同又可分为大气圈、水圈和生物圈。

(一)大气圈

大气圈是由包围在地球最外部的气体组成的,其总质量约为 5.14×10^{18} kg,厚度大于几万千米,由下至上可进一步划分为对流层、平流层、中间层、暖层、散逸层。与人类和地质作用关系最为密切的是对流层,其次是平流层。

(二)水圈

水圈是由地球表面的水体组成的,它分布于河流、湖泊、海洋及表层岩石的孔隙和土壤中,构成一个连续封闭的层圈。自然界中的水不断地进行循环,形成各种水体,这些水体在运动过程中不断改变着地球的面貌。

(三)生物圈

生物圈是由地球表层的生命物质组成的一个封闭层圈。生命的活动成为改造大自然的一个积极因素,其作用是不容忽视的。

二、地球内部层圈

地球内部层圈是指固体地球内部的圈层。对于地球内部层圈,我们直接观测的资料比较少,目前最深的钻孔也只不过 11 km,与地球半径相比是微不足道的。因此,研究地球内部结构,主要是利用地球物理学和天体物理学的有关资料。地球物理学家研究了大量天然地震波传播方向和速度的数据,发现地震波在地球内部传播的速度在水平方向和竖直方向都有变化,并在几个深度上波速有明显的变化(见图 1-2)。这个变化反映了在该深度上下的地球物质在成分上或物态上有改变或两者都有改变,这个深度就可作为一种分界面,称为不连续界面。地球内部层圈和物理参数见表 1-1。

表 1-1 地球内部层圈和物理参数

层圈			深度 (海平面 以下 km)	地震波速度 (km/s)		密度 (g/cm ³)	重力 加速度 (m/s ²)	压力 ($\times 10^9$ Pa)	温度 (°C)	物质 状态
名称	代号	不连续 面		纵波 V_p	横波 V_s					
地壳	上地壳	A	0	5.6	3.4	2.6	9.81	0	14	固态 (岩石圈)
	下地壳		10	6.6	3.8	2.8	9.83	0.5	500	
		莫霍面	33	7.6	4.2	3.0	9.84	1	1 000	
地幔	上地幔	B	60	8.0 8.2	4.4 4.6	3.3	9.86	2.5	1 400	塑态 (软流圈)
			100	7.8	4.2	3.4				
		C	250	8.1	4.2	3.5	9.89	6.8	1 600	
			400	9.0	5.0	3.7	9.94	14	1 700	
	下地幔	D	1 000	11.4	6.3	4.7	9.98	40	2 000	
			2 898	13.3	7.1	5.7	10.80	150	2 700	
地核	外核	E	4 620	8.1 10.4	0 2.1	9.9 12.0	6.10	298	液态	
	过渡层	F								
	内核	G	5 155 6 371	11.2 11.3	3.6 3.7	12.7 13.0	4.30 0	332 370		

从表 1-1 中可以看出,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,在大陆约为 33 km,在大洋底为 11 ~ 12 km,这个界面称为莫霍面;第二个界面在 2 898 km 深处,称为古登堡面。这两个界面把地球内部分为三个层圈,即地壳、地幔和地核。

(一) 地壳

地壳是固体地球最外的一圈,其上界为地表,下界为莫霍面。地壳的厚度变化很大,大洋地壳较薄,平均厚度为 6 km,大陆地壳较厚,平均厚度为 35 km,最厚处可达 70 km(如青藏高原),这说明地壳的下界是起伏的。地壳质量为 24×10^{21} kg,约占地球质量的 0.4%。

(二) 地幔

地幔在地壳以下,介于莫霍面和古登堡面之间,厚度达 2 800 多 km,占地球体积的 83%,占地球质量的 67.6%。根据地震波变化情况,地幔分为上、下两层。

上地幔在莫霍面以下至 1 000 km 深度之间。在上地幔中地震波速度变化较大,表明其物质状态是多变的。在 60 ~ 250 km 间有一低速带,说明该带的物质状态局部呈熔融状,称为软流圈。软流圈之上的上地幔为固态岩石,其物质成分基本上相当于含铁、镁很高的超基性岩,通常称为地幔岩。这圈岩石连同地壳一起,称为岩石圈。

下地幔位于 1 000 ~ 2 898 km 之间,一般认为其物质成分仍然是以铁、镁的硅酸盐矿物为主,但铁、镍成分显著增加。

(三)地核

地核是古登堡面至地球中心的部分,厚度为 3 473 km,占地球总体积的 16.3%,占地球总质量的 1/3。地核又可分为外核、过渡层和内核三层。一般认为,地核主要由铁、镍组成,并含有少量硫、硅等轻元素。

三、地壳

地壳含有门捷列夫周期表中所有的元素。各元素的分布量可以用它在地壳中的平均质量百分比(克拉克值)来表示。地壳中主要化学元素的质量百分比含量见表 1-2。从表 1-2 中可知,组成地壳最主要的化学元素有 9 种,它们占了地壳总质量的 98.13%,其余元素只占 1.87%。

表 1-2 地壳中主要元素的质量百分比含量

主要元素	质量百分比(%)	主要元素	质量百分比(%)
氧 O	49.13	钠 Na	2.40
硅 Si	26.00	钾 K	2.35
铝 Al	7.45	镁 Mg	2.35
铁 Fe	4.20	氢 H	1.00
钙 Ca	3.25		

可见,元素在地壳中的分布很不均匀,工业上有重要经济意义的 Cu、Pb、Zn、W、Sn、Mo 等元素,在地壳中的含量极少,但它们在自然界各种地质作用下可以相对富集,成为有价值的矿床。

地壳中的元素在各种地质作用下,结合成具有一定化学成分和物理性质的矿物,如石墨、石盐等,并由一种或多种矿物组成集合体——岩石,如花岗岩、石灰岩等。矿物和岩石是组成地壳的基本单位。

根据地壳组成物质的差异,将地壳分为两层(见图 1-4)。上地壳叫硅铝层,主要成分为氧、硅、铝等轻元素,与花岗岩的成分一致,故又称为花岗质层,平均密度约 2.7 g/cm^3 ,厚 $(0 \sim 22) \times 10^3 \text{ m}$ 。此层仅在大陆上才有,而在大洋底基本缺失。下地壳叫硅镁层,主要成分是氧、硅、铁、镁等,相当于玄武岩的成分,故又称为玄武质层,平均密度 3 g/cm^3 ,呈连续状分布于大陆和大洋的下面,但各地厚度并不一致。

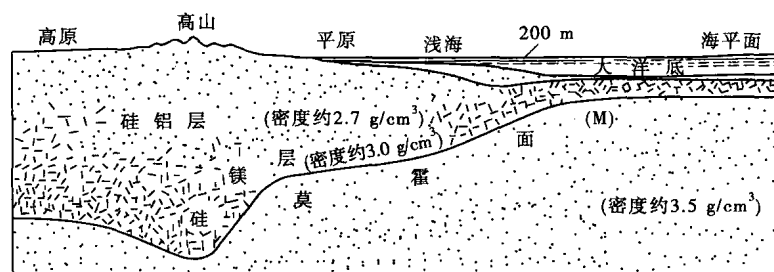


图 1-4 地壳结构示意图