

高职高专教材

GAOZHI GAOZHUAN JIAOCAI

油气田开发地质基础

周 琦 丁文龙 编著



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

高职高专教材

油气田开发地质基础

周琦 丁文龙 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是石油工程相关专业的地质学基础教材,全面介绍了地质学的基本理论和基本方法,包括矿物学、岩石学、沉积学、地层学、构造地质学等学科的相关内容,并且阐述了油气藏地质学的主要知识。

本书可供高职高专非地质专业的学生使用,也可供从事油气开发、油气工程服务的相关人员学习与培训使用。

图书在版编目(CIP)数据

油气田开发地质基础/周琦,丁文龙编著.
北京:石油工业出版社,2011.5

高职高专教材

ISBN 978-7-5021-8293-9

I. 油…

II. ①周…②丁…

III. 石油天然气地质-高等学校:技术学校-教材

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 026748 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

编辑部:(010)64523574 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2011 年 5 月第 1 版 2011 年 5 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:11.5

字数:295 千字

定价:25.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

本书是为非地质类石油专业编写的石油地质学基础教材。由于这些专业大多只开设一门地质课程,又强调实际应用的专业特色,所以本书的教学内容几乎涵盖了地质学和石油地质学的全部领域。本书编写的指导思想是以石油天然气开发应用为主线,全面介绍与石油天然气勘探开发密切相关的地质学基本理论和基本方法,注重科学性和系统性。本书地质理论简明扼要、深度适宜、通俗易懂,油气地质应用以油气藏为核心,侧重储集层地质描述,反映最新的研究成果,结合我国油气田生产实际,力求实现理论与实际的有效结合。

在本书编写过程中作者汲取了已出版的各类教材的长处,并结合自己的教学实践对内容进行了充分的研究与讨论,建立了新的教材体系,反映了最新的研究成果。与此同时,既考虑教师教学的系统性,也更多考虑了学生使用的方便性,尤其适用于理论要求不高的专业或专科层次教学。

全书内容共分十一章,首先由浅入深依次讲述地球、地质作用、地壳的组成、地质年代、地质构造等地质学基本理论,重点介绍了与油气关系密切的沉积岩与沉积相内容。然后,本书从宏观构造与沉积盆地开始转入石油地质应用,分别讲述了油气藏地质、钻井地质与开发地质,重点论述了油气藏的形成和成因类型、储集层和油层的特征、油层的划分对比及高分辨率层序地层学。

本书的绪论、第三章、第四章、第五章、第六章、第九章、第十一章由周琦编写,第一章、第二章、第七章、第八章、第十章由丁文龙编写,全书最后由两作者讨论定稿。

本书可供石油和地质院校非地质专业选用为教学参考书,也可供从事油气田开发、油气工程技术的相关人员学习与培训使用。

由于教材内容涉及面广,限于编者的水平所限,本书可能存在许多不足或错误之处,敬请各位读者批评指正。

编 者

2010 年 10 月

目 录

绪论	(1)
第一节 地质学的研究对象、研究内容与研究方法	(1)
第二节 地球的特点	(3)
思考题	(4)
第一章 地球整体特征	(5)
第一节 地球外形与外部圈层	(5)
第二节 地球的物理性质	(9)
第三节 地球的内部结构	(12)
思考题	(17)
第二章 地质作用	(18)
第一节 地质作用的分类	(18)
第二节 内动力地质作用	(20)
第三节 外动力地质作用	(26)
思考题	(35)
第三章 地壳的矿物组成	(36)
第一节 化学元素组成	(36)
第二节 矿物的概念及化学成分	(37)
第三节 矿物的内部结构和外形	(40)
第四节 矿物的物理性质	(43)
第五节 矿物的分类与重要矿物描述	(46)
思考题	(50)
第四章 地壳的岩石组成	(52)
第一节 岩浆岩	(52)
第二节 变质岩	(55)
第三节 沉积岩	(59)
思考题	(73)
第五章 地质年代与地层	(74)
第一节 地质年代的基本概念	(74)
第二节 相对地质年代的确定	(76)
第三节 绝对地质年代的测定	(78)
第四节 地质年代与地层划分	(79)
第五节 地球历史	(82)
思考题	(84)
第六章 沉积相	(85)
第一节 沉积相概念及分类	(85)

第二节 陆相	(86)
第三节 碎屑岩海相	(92)
第四节 三角洲相	(97)
第五节 碳酸盐岩沉积相	(100)
思考题	(103)
第七章 地质构造	(104)
第一节 构造运动的表现	(104)
第二节 地质构造的识别	(106)
第三节 褶皱构造	(108)
第四节 断裂构造	(113)
思考题	(116)
第八章 板块构造与沉积盆地	(117)
第一节 全球构造理论	(117)
第二节 沉积盆地类型	(121)
第三节 含油气盆地及特征	(124)
思考题	(127)
第九章 油气藏地质	(128)
第一节 油气的生成和运移	(128)
第二节 油气的储集层和盖层	(131)
第三节 圈闭与油气藏	(135)
第四节 油气藏类型	(138)
思考题	(142)
第十章 钻井地质	(143)
第一节 常规地质录井	(143)
第二节 综合录井	(149)
第三节 新技术录井	(154)
思考题	(157)
第十一章 开发地质	(158)
第一节 油层对比	(158)
第二节 储集层非均质性	(163)
第三节 层序地层学的应用	(169)
思考题	(176)
参考文献	(177)

绪 论

第一节 地质学的研究对象、研究内容与研究方法

石油和天然气是地球内部天然产生的可燃有机矿产。石油与天然气由于具有特殊的物理性质和化学性质,因此它们以及由它们制成的各种各样的产品在人类生活中应用非常广泛,在国民经济中占有十分重要的地位。石油与天然气被称为现代工业的“血液”或“粮食”,是一个现代化国家的重要战略资源。

石油与天然气形成于地下深处,大部分也储存在地下。要找到石油并把石油开采到地面上供我们使用,首先必须和地球打交道,即认识地球。研究固体地球的学科主要是地质学。在石油行业中,勘探、开发部门——就是找油、钻井、录井、采油等工作部门都直接与地球有关,所以地质学是这些专业必需的基础课程。

一、地质学的研究对象

人类生活在地球上,衣食住行等一切活动都离不开地球。如人们要靠山川大地获取生活资料以维持生命,要从地球中开采矿物资源制造生产和生活工具,要了解地球上的自然地理和气候条件以便发展生产,要与地球上发生的各种自然灾害作斗争。因此,人类在长期的实践中逐步加深了对地球的认识,并且逐渐形成了一门以地球为研究对象的科学——地质学。

地质学是研究固体地球的物质组成、结构构造、运动变化和演化历史的一门自然科学。

地球是宇宙中的一个天体,其范围包括固体地球和地球表面的水体、生物体以及地球周围的气体。以地球各组成部分为研究对象的学科统称地球科学,包括研究固体地球部分的地质学、研究地球水圈的海洋学、研究地球大气的气象学、综合研究地球表面部分的地理学等。地球科学是六大基础自然科学的一个组成部分。

在当前阶段,地质学主要研究固体地球的最外层,即称为地壳的部分。因为地壳既是与人类生活和生产密切相关的地球部分,同时也是容易直接观测和研究历史最久的地球部分。

当然,随着科学技术的进步与发展,如卫星、航天、深钻技术、海洋物探、高温高压实验、电子显微镜、计算机、遥感遥测、红外摄影、激光等新技术的不断应用,地质学的研究范围在不断扩大。从地球表层向深部发展,出现了深部地质学;从大陆向海洋发展,出现了海洋地质学;从地球向外层空间发展,出现了月球地质学、行星地质学、宇宙地质学。

二、地质学的研究内容

地质学按照研究内容和任务的不同,划分出许多独立的分支学科及边缘学科,构成了地质学的学科体系,主要分为五大体系和一个边缘体系。

(1) 研究地球的物质组成方面的学科。包括结晶学、矿物学、岩石学、矿床学等。

(2) 研究地球的内部构造方面的学科。包括构造地质学、构造物理学、区域构造学、地球动力学等。

(3) 研究地球的形成演化方面的学科。包括古生物学、地层学、地史学、古地理学、地貌及第四纪地质学等。

(4)研究地下资源和勘探方法的应用学科。包括石油地质学、煤田地质学、水文地质学、地球物理勘探学、地球化学勘探学、探矿工程学等。

(5)研究地质与人类生活环境及灾害防护的应用学科。包括工程地质学、环境地质学、地震地质学等。

(6)边缘学科。为了更好地研究地质学的各个方面,不断地吸收和借鉴其他一些学科的先进理论、方法和技术,用以促进和深化地质学的各项研究,逐渐形成了一系列的边缘学科,如地球物理学、地球化学、数学地质、同位素地质学、天文地质学、海洋地质学、遥感地质学及实验地质学等,这些边缘学科在现代地质学各领域的研究中发挥着极其重要的作用。

三、研究地质学的方法

地质学的特点决定了地质学的研究方法主要是在实践的基础上进行推理论证。普遍运用的方法主要有以下几种。

1. 野外调查

地质学的广泛性决定了必须把自然界当作天然的实验室进行研究,这是因为不可能把庞大而复杂的大自然搬到室内来进行研究。野外调查是地球科学工作最基本和最重要的环节,它能获取所研究对象的第一手资料。例如野外地质调查、自然地理调查、土壤调查、资源与环境调查等。

2. 室内实验和模拟实验

室内实验是进行科学研究的重要手段。在野外采集的各种样品,都要带回室内进行进一步实验、分析和鉴定,例如岩矿鉴定、岩石定量分析、化石鉴定、同位素年龄测定等。为了生产的实际需要和探讨某些地质现象的成因和发展规律,有时还需要利用已知岩矿的各种参数及物理、化学过程,进行模拟实验。

3. 历史比较法(现实类比法)

研究地球历史的产物通常采用“以今证古”的方法,从现在的已知推求过去的未知,根据目前的地质过程和方式去推断过去的地质过程和方式,从而恢复地质时代的历史。例如,现代海洋里沉积着泥沙,泥沙里夹杂着螺蚌壳;假如在高山地层中发现螺蚌壳化石,就可以判断这高山所在曾经是一片海洋,地表的山脉并不是从来就存在的,而是地壳历史发展的产物。

通过对地球历史的地质事件进行观测,研究某些地质过程,也可以帮助我们更正确地认识现在,了解过去,预测未来,这是“以古证今”的方法。

4. 综合分析

在漫长的地球演化过程中,不同时期、不同方式、不同环境的自然作用叠加在一起留下的是一幅错综复杂的结果图案。要恢复和解析这些自然作用及过程,就必须利用多学科的原理和方法,结合复杂的影响因素进行综合分析。这与数、理、化等学科利用单纯的推导、实验等方法进行研究是大不一样的,地质学研究特别强调宏观与微观研究的综合,古代与现代研究的综合,野外调查与室内实验研究的综合等。

四、研究地质学的意义

1. 实际意义

地质学是人类在实践和应用中逐渐发展起来的,与人类生活生产有密切关系,具有重要的实际意义和应用意义。

人类必须的各种资源是从地球获得的,如石油、煤炭等能源,金属、肥料、建材等矿产资源,地下水资源,都是从地下寻找和开采出来的,在这些工作中地质学起着巨大的作用。

地质学在指导人类如何适应、保护、利用和改造自然环境以及避免和减轻自然灾害影响方面发挥着重要作用。有些正在发生的地质作用常给人类生活的自然环境带来不良后果(如水土流失、沙漠化等),但人类可以运用地球科学知识来设法保护和治理自然环境。一些突发性的地质事件往往给人类造成巨大的灾害,如地震、火山、滑坡、泥石流等,人们可以根据它们产生的机理和发展规律,预测、预报或采取有效的措施防止灾害的发生。

由于人类活动对环境恶化的影响不断增加,人类正面临着一系列紧迫的、复杂的全球性环境问题,如大气与水体污染、气候异常、植被破坏、水土流失和土地沙漠化等,严重地威胁着人类的生存与发展。要尽快地控制、防止这种环境恶化的趋势,治理已出现的各种环境问题,最终解决好人口、资源、环境协调发展的问题,这些都与地质学有着一定关系,也是未来地球科学所面临的主要任务。

人类在发展生产和建设的过程中,需要修建一些大型的工程设施,如公路、铁路、桥梁、港口、水坝、核电站、工厂、大型建筑等,为了确保这些工程在建成后能安全运转,就必须事先应用地质学的研究进行详细的地基选址与场地稳定性评价,弄清场地的地质条件,尽量避免各种不利的因素。

2. 理论意义

地质学也是一门理论性很强的自然科学,它探索地球产生、发展、演化以及生命的起源、发展演化等一些基本科学问题,解决资源与环境、资源与人口增长的关系。

地质学承担着揭示整个地球的形成、演变规律的科学使命。它的研究对人类正确地认识自然界、建立辩证唯物主义世界观起着重要作用,对整个自然科学的发展也具有促进和推动作用。当代自然科学的一些重大基本理论问题,如天体的起源、生命的起源等问题的最后解决也都离不开地质学的研究。所以,地质学的研究也具有重要的理论意义。

对于与地质学有关各学科来说,例如地球物理勘探、岩土工程、石油工程等,地质学是它们的研究基础和前提。

第二节 地球的特点

地质学的研究对象是地球,地球不同于中学所熟悉的数学、物理学和化学的研究对象,地球具有自己的许多特殊性,因此地质学也具有其自身的特点。

一、空间整体规模宏大

地球是一个行星,相对于人类来说具有规模巨大的空间,其周长超过 $4 \times 10^4 \text{ km}$,表面积超过 $5 \times 10^8 \text{ km}^2$ 。无论是研究大气圈、水圈、生物圈以及固体地球,对象空间都是十分宏大的。这样一个巨大的空间及物体本身是由不同尺度或规模的空间和物质体所组成的,因此,要研究庞大的地球,就必须研究不同尺度或规模的空间及其物质体,把宏观和微观结合起来,才能获得正确的和规律性的认识。

二、时间发展过程漫长

地球自形成以来已经有几十亿年的历史,在这样漫长的时间里,地球上曾发生过许多重要的自然事件,如海陆变迁、山脉形成、生物进化等。这些事件的发生过程多数是极其缓慢的,往

往要经过数百万年甚至数千万年才能完成。短暂的人生很难目睹这些事件的全过程,而只能观察到事件完成后留下来的结果以及正在发生的事件的某一阶段的情况。但是,有些事件的发生可以在很短的时间内完成。例如,地震、火山爆发等都发生在极短的时间内。

三、作用过程与影响因素非常复杂

地球演化至今,经历了复杂的过程,从小到矿物组成的微观世界到大至整个地球以及宇宙的宏观世界,从矿物岩石等无机界的变化到各种生命出现的演化,从常温常压环境到目前还不能人为模拟的高温高压环境,从各种变化的物理过程、化学过程到生物化学过程,从地球本身各个部分的物质能量转化到地球与外部空间的物质能量转化等,充满着各种矛盾和相互作用的复杂过程。任何一种地质过程都不可能是单一的物理过程和化学过程。

但是,这些复杂的自然过程并不是杂乱无章的,它们都具有其发生、发展的条件和过程,都具有一定的规律可循,这正是地球科学工作的重要研究任务。

四、区域差异十分明显

整个地球是一个有机的整体。地球在空间上表现为连续的整体性,地球各组成部分之间都是相互作用、相互影响、相互渗透的,某一个部分的运动与变化会不同程度地影响其他部分的变化,充分表现了它们的有机整体性。然而,地球也是一个非均质体,它的不同组成部分无论在物质状态、运动和演变特点上都具有一定差异,表现出分异性。例如,不同地区的地理环境、气候环境具有明显的差异,地球表面有大陆、海洋、山系、平原等地貌差异。因此,既要研究它们的共性,更要研究它们的差异性和相关性,才能全面、深入地找出地球的发展规律。

思 考 题

1. 什么是地质学? 什么是石油地质学?
2. 简述地质学的研究内容。
3. 简述地质学的研究方法。
4. 简述地球的特点。

第一章 地球整体特征

地球是太阳系自中心向外的第三颗行星,是浩瀚宇宙中一颗普通的行星,从太空中看地球,它是一个蓝色的星球。地球在宇宙中是不停地运动的,它既围绕着太阳运转,本身又不断地旋转。地球是现在已知唯一有生命的星球,是太阳系密度最大的行星,温度适中,具有大气圈、氧气和水圈。人类只能生活在地球陆地表面的某些区域,人类的衣食住行等一切都来自于地球,目前人类还不能脱离地球而生存。

第一节 地球外形与外部圈层

一、地球的形状和大小

地球的表面是非常崎岖不平的,从几何上准确描述地球真实形状是不可能的。通常所说的地球形状是指大地水准面所圈闭的形状,所谓大地水准面是由平均海平面所构成并延伸通过陆地的一个假想的封闭曲面。

目前,通过人造卫星的观测和计算,已经很精确地获得了地球形状与大小的数据。地球的整体形状十分接近于一个扁率非常小的旋转椭球体,即扁球体。其赤道半径略长、两极半径略短,极轴相当于扁球体的旋转轴。一般用这个规则的旋转椭球体作为大地测量的基准面。1980年国际大地测量和地球物理联合会公布的地球形状的主要数据如下:

赤道半径	6378.137km
两极半径	6356.752km
平均半径	6371.012km
扁率	1/298.253
赤道周长	40075.7km
子午线周长	40008.08km
表面积	$5.101 \times 10^8 \text{ km}^2$
体积	$1.0832 \times 10^{12} \text{ km}^3$

地球的真实形状与旋转椭球体还稍有出入,南半球略粗短,南极向内下凹约30m;北半球略细长,北极向上凸出约10m。所以有人夸张地说,地球的真实形状略呈梨形(图1-1)。地球的形状和大小对于地球环境具有非常重要的意义。

二、地球的表面形态

地球表面高低起伏,由海洋和陆地两大地貌单元组成。海洋面积占地球总面积的70.8%,陆地面积占29.2%。地球表面的最

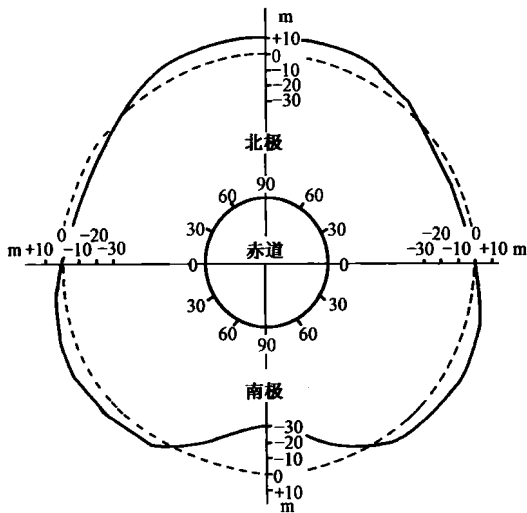


图1-1 地球形状的示意图(据 D. G. King - Hele 等,1969)

实线—大地水准面圈闭的形状(比例夸大);
虚线—地球理想扁球体

高点是喜马拉雅山脉的珠穆朗玛峰(海拔 8844.43m,2005 年),最低点位于太平洋西侧的马里亚纳海沟(深度 11034m,1957 年),最大垂直起伏接近 20km。

1. 陆地地貌特征

陆地地貌按照高程和起伏特征分为山地、丘陵、平原、高原和盆地五种主要类型。

1) 山地

山地是指海拔高度大于 500m,并且有明显山峰、山坡和山麓的地形。线状延伸的山地称山脉,成因上相联系的若干相邻的山脉称山系。世界上最长的山脉是安第斯山脉,最高的山脉是喜马拉雅山脉。

2) 丘陵

丘陵是指海拔高度小于 500m、顶部浑圆、坡度较缓、坡脚不明显的低矮山丘群。它是山地与平原间的一种过渡性地貌类型,相对高度一般不足 100m,如我国的辽西丘陵、山东丘陵、江南丘陵等。世界上丘陵分布较广的地区是东欧平原。

3) 平原

平原是海拔高度低于 200m,广阔平坦、地势起伏很小的地貌形态类型,如我国的松辽平原、华北平原。世界上最大的平原是亚马孙河平原。

4) 高原

高原是海拔高度在 500m 以上,面积大,顶面较为平坦或略有起伏的地区。由于地势较高,切割相对强烈。世界上最高的高原是青藏高原,最大的高原是巴西高原。

5) 盆地

四周高(山地或高原)、中央低(平原或丘陵)的盆状地貌称为盆地。盆地规模不等,成因不同,如果有水系、湖泊及沉积物堆积可形成石油、煤炭等矿产。中国最大的四个盆地是塔里木盆地、准噶尔盆地、柴达木盆地、四川盆地。世界上最大的盆地是刚果盆地。

2. 海底地貌特征

海底表面和陆地一样是起伏不平的,而且海底地貌十分复杂,规模庞大,大致可划分为大陆边缘、大洋中脊和大洋盆地三大单元。

1) 大陆边缘

海底的靠近大陆并作为大陆与大洋盆地之间过渡地带的区域称为大陆边缘。在地球组成和构造上大陆边缘是大陆的组成部分。大陆边缘包括复杂的多个地貌类型(图 1-2)。

(1) 大陆架。

大陆架是大陆的水下延续部分,是海洋与陆地接壤的浅海平台,广泛分布于大陆周围。大陆架的范围由海岸线向外海延伸至海底坡度显著增大的转折处,坡度平缓,平均坡度约 0.1° ,水深一般不超过 200m。大陆架宽度差别很大,在多山海岸如佛罗里达东南岸外,几乎没有大陆架;而在西伯利亚岸外的北冰洋大陆架及我国东海大陆架等,宽度可达数百千米至 1500 千米。大陆架地区含有丰富的石油天然气资源。

(2) 大陆坡。

大陆坡位于大陆架与深海底之间,是大陆架外侧坡度明显变陡的部分。大陆坡平均坡度 4.3° ,水深 200 ~ 2000m,最大可至 3200m,平均宽度 20 ~ 40km。大陆坡上常发育海底峡谷,下切深度可以达数百米至数千米。大陆坡有较为丰富的油气资源,是深水油气勘探的主要场所。

(3) 大陆基。

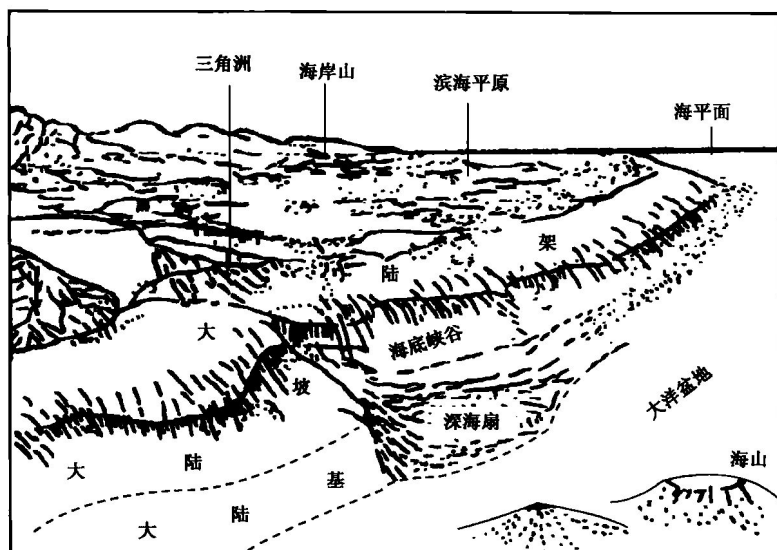


图 1-2 大陆边缘地形示意图(据叶俊林等,1996)

大陆基是大陆坡与大洋盆地之间的缓倾斜坡地。坡度 $5^{\circ} \sim 35^{\circ}$, 水深 2000 ~ 4000m, 因地而异, 宽度可达 1000km。大陆基主要分布于大西洋和印度洋边缘。

(4) 岛弧。

岛弧是大洋边缘延伸距离很长,呈弧形展布的火山岛群。在太平洋西侧火山岛弧最典型,如阿留申群岛、日本群岛、菲律宾群岛、马里亚纳群岛等。岛弧上有强烈的地震和火山活动。印度洋和大西洋只分布有少量岛弧。

(5) 海沟。

海沟是与岛弧或海岸山脉相伴生,靠大洋一侧的狭窄带状深沟,深度在 6000m 以下,主要分布在太平洋两岸。

2) 大洋中脊

大洋中脊是分布在大洋中心部位的巨型海底山脉(图 1-3),经常发生地震和火山活动。大洋中脊在各大洋均有分布并相互连接,总长度超过 80000km。大洋中脊地形复杂,有一系列和大洋中脊平行的纵向岭脊和谷地,中部高出深海底 2000m 左右,顶部距海面的深度颇不一致,有时甚至突出海面形成岛屿,如冰岛、亚速尔群岛等。

3) 大洋盆地

大洋盆地是大陆边缘与大洋中脊之间的较平坦地带,平均水深 4000 ~ 5000m。大洋盆地是地球表面最大的地貌单元,面积约占整个海洋的 45%。大洋盆地中也有突起的海岭和海山,但规



图 1-3 大西洋底地形(据 B. C. Heezen 等, 1968)

模不大。

三、地球的外部圈层

从地球表面以上到地球大气的边界部位统称为地球的外部,可用直接观测和测量的方法进行研究。地球外部是由多种物质组成的一个综合体,既有有机物,也有无机物;既有气态物质,也有液态和固态物质。地球外部的物质形成了分布有序的圈层结构,根据物质成分与物理性质可分为大气圈、水圈和生物圈三层,它们各自形成一个围绕地表自行封闭的圈层体系。

地球外部圈层中虽然每一个圈层都是一个单独的体系,但是它们之间及与地表之间是相互重叠的,相互渗透、相互影响、相互作用,进行着物质与能量的交换,所以变化比较复杂。地球表层就是岩石圈、大气圈、水圈和生物圈共同作用的区域,即地理环境,是人类赖以生存的环境。

1. 大气圈

因地球的引力而聚集在地表周围的气体圈层称为大气圈,是地球最外部的圈层,它包围着海洋和陆地,是地球不可缺少的组成部分。

大气是多种气体的混合体,主要由氮气、氧气、氩气组成,还有少量二氧化碳、氦、氢等。大气圈的物理性质在垂向上有明显的差异,根据温度、成分、大气运动等物理性质的特点,自地面向上又依次分为对流层、平流层、中间层、暖层及散逸层五个次级圈层。

大气是人类和生物赖以生存的必不可少的物质条件,是使地表保持恒温和水分的保护层,同时也是促进地表形态变化的重要动力和媒介,是外动力地质作用的重要因素,对地球有各种作用。

2. 水圈

地球表层水体构成的连续但很不规则的圈层称为水圈。水有固体、液体、气体三种状态,包括海洋、河流、湖泊、冰川、沼泽等多种形式。其中海水占 97.2%,陆地水只占 2.8%;而在陆地水中冰川占水圈总质量的 2.2%,所以其他陆地水所占比重是很微小的。此外,水分在大气中有一部分,在生物体内有一部分(生物体的 3/4 是由水组成的),在地下的岩石与土壤中也有一部分。可见,水圈是独立存在的,但又是和其他圈层互相渗透的。

水是组成自然界最重要的物质之一,是生命的起源地,是一切生物生存必不可少的物质条件,水对地球表层环境的形成和改造,对地球的发展和人类生存都起到重要的作用,是外动力地质作用的主要因素。水是最重要的物质资源与能量资源,水资源的多寡和水质的优劣直接关系到人类生存与经济发展。

3. 生物圈

生物圈是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生存环境的总称。生物的种类众多,分布不平衡,生物圈与大气圈、水圈和岩石圈的表层相互渗透、相互影响、相互交错分布,它们之间没有一条绝然的分界线。

生物是指有生命的物体,包括植物、动物和微生物。目前世界上已知的动物、植物大约有 250 万种,其中动物占 200 万种左右,植物大约占 34 万种左右,微生物大约有 3.7 万种。整个生物圈的质量并不大,但它起到的作用却是很大的。

生物圈所包括的范围是以生物存在和生命活动为标准的,从现在研究现状来看,从地表以下 3km 到地表以上 10 多千米的高空以及深海的海底都属于生物圈的范围,但是生物圈中的 90% 以上的生物都活动在地表到 200m 高空以及从水面到水下 200m 的水域空间内,所以这部

分是生物圈的主体。

生物圈中的生物分布极不平衡,受太阳辐射量、气候、地形、地质、大气环境、水环境等因素的影响,例如,在沙漠、两极地区的生物数量、种类都很少,而在气候炎热、湿润的热带和亚热带地区,不仅生物种类繁多,而且生物量也很大。

生物圈是太阳系所有行星中仅在地球上存在的一个独特圈层,对外动力地质作用有很大影响。地球历史中的古生物是确定地质年代、研究生物起源和进化、研究地球演化的最重要依据,也是石油、天然气、煤等可燃有机矿产形成的物质基础。

第二节 地球的物理性质

直接观察的方法只能认识地球表面,地球内部状况最直接的观察就是钻井,但目前世界上最深井记录是俄罗斯科拉半岛一口深钻,为 12300m(截至 1986 年),只占地球半径的 1/530。即使火山作用喷出的地下岩浆,一般也只来源于几十千米的深度。所以不能用直接观察的方法来研究地球内部构造。

对地球内部整体的结构和状态的了解,只能依靠地球物理性质来间接认识,最主要是借助于地震波研究的成果。石油勘探开发认识地下地质也主要应用地球物理手段,包括地震波、重力、磁性、电性、声波等。研究地球的物理性质有专门学科称地球物理学。

地球的主要物理性质包括密度、重力、温度、压力、磁性及弹塑性等。对地球物理性质的认识和研究产生过许多科学传奇,比如伽利略的自由落体实验、牛顿的万有引力定律的发现等。

一、地球的质量和密度

地球的质量是根据万有引力定律和牛顿第二定律计算出来的,为 $5.9742 \times 10^{24} \text{kg}$,地球的体积根据形状的测量计算,可以得到地球的平均密度为 5.516g/cm^3 。但是实际测量地表的岩石发现,沉积岩的平均密度为 2.6g/cm^3 ,花岗岩的密度为 2.85g/cm^3 ,都远小于地球的平均密度,因此推断地球内部的密度更大,或者说有密度更大的物质。

地球内部物质密度是怎么分布的呢?地球平均半径约 6371km,直接测量地球深部密度是不可能的,地球内部的密度是依靠各种间接手段和依据而得出的。如通过对大量陨石的研究,通过对重力、地磁、地电、地热、地震波的研究,最后综合求解,其中地震波的传播提供了最重要的信息(详见下节地球内部圈层部分)。

二、地球的重力与压力

1. 地球表面的重力与重力场

地球上的任何物体都受到地球的吸引力和因地球自转而产生的离心力的作用。重力是指地球上某处所受到的地心引力和自转离心力的合力。

地球周围受重力影响的空间称重力场,重力场的强度用某点上单位质量物体受到的重力表示并简称重力,数值上等于重力加速度。地球表面各点的重力加速度值具有随纬度增高而增加的规律,在赤道海平面上的重力加速度值为 978cm/s^2 ,在两极地区的海平面上重力加速度值为 983cm/s^2 。同时,地表的重力加速度值还随着海拔高度的增大而减小。

2. 地球内部的重力

地球内部的重力因深度而不同,它同时受到质量和半径两个因素的影响(图 1-4)。在地

球的上部层位,由于地球物质的密度较小,引起的质量变化要小于半径变化造成的影响,故重力值随深度增加而缓慢增大,一直到 2891km 处达到最大值。越过这个界面到地心,由于物质的密度很高,质量变化的影响大于半径引起的变化,故重力值随深度增加而急剧减小,最后到地心变为零。

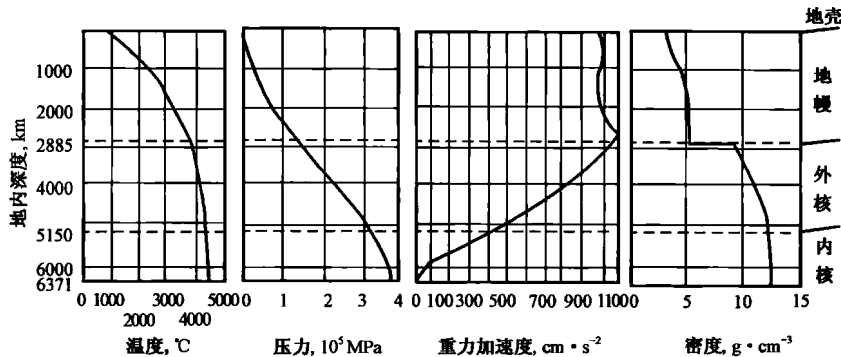


图 1-4 地球内部的主要物理性质

由于地球内部物质密度的变化,地球各个位置的重力也有变化。重力值是可以利用物理方法实际测量到的,因此它是一种地球物理勘探方法,利用重力异常进行找矿和勘查地下地质构造。重力值偏大说明地下物质的密度偏高,如铁、铜、铅、锌等金属矿区,常表现为正异常;而重力值小说明地下物质的密度偏低,如石油、煤、盐类以及大量地下水等,常表现为负异常。

3. 地球的压力

地球内部的压力是指不同深度上单位面积上的压力,实际上是压强。压力是一个与重力直接相关的地球物理性质,它是由上覆地球物质的重量产生的静压力。

地内压力是随着深度增大而逐渐增加的。如果知道了地球内部物质的密度大小与分布,就可以求出不同深度的压力值。例如,地壳的平均密度约 2.75g/cm^3 ,那么深度每增加 1km,压力将增加约 27.5MPa。

三、地球的温度和能量

地球内部是热的,比如火山喷发喷出的是炽热的岩浆和气体,温泉涌出的是热水,矿井随深度增加而温度升高,种种事实表明地球内部温度高,它储存着巨大的热能。

1. 温度

温度在地球内部的分布状况称为地温场,地球内部随着深度的增加温度逐渐增高,但从地面向地下深处地热增温的变化是不均匀的。

通常把地壳深度每增加 100m 所升高的温度称为地温梯度(或地热增温率);把温度每增加 1°C 所增加的深度称为地热增温级。由于地下的地质结构和组成物质不同,地温梯度在不同地区是有差异的,据实测资料,我国华北平原一般为 $2\sim3^\circ\text{C}$,松辽盆地大庆油田可达 5°C ,地球表层平均约为 3°C ,海底平均为 $4\sim8^\circ\text{C}$,大陆平均为 $0.9\sim5^\circ\text{C}$,海底的地温梯度明显高于大陆。

地温梯度是距地壳浅部实测所得的平均值,一般只适合于用来大致推算地球浅层(地壳)的地温分布规律,并不适用于整个地球内部。在地下更深处,由于受到压力、密度增大等因素的影响,地温的增加逐渐趋于缓慢。地球深部的温度分布主要是依据地震波的传播速度与介

质熔点温度的关系式推导得出的。

2. 热量

地球内的热能可以通过不同形式进行释放,如火山喷发、热水活动以及构造运动等都是消耗地热的形式。但地热释放最经常和持续的形式是地球内部热能从地球深部向地表的传输,这种现象称为大地热流。

由于热具有从高温向低温传播的性质,所以地球内部的高温热能总是以对流、传导和辐射等方式向地表传播并散失到地球以外的外部空间。通常把单位时间内通过地表单位面积的热量称为地热流密度。全球实测的平均地热流值为 $61.28\text{mW}/\text{m}^2$,但地表不同地区地热流值并不相同,一般构造活动的地区,如火山、大洋中脊、年轻山脉等,热流值偏高,而构造稳定地区热流值偏低。

地表热流值或地温梯度明显高于平均值或背景值的地区称为地热异常区。利用地热异常可以研究地质构造的特征以及矿产的形成与分布等。地热也是一种重要的天然资源,可用于发电、工业、农业、医疗和民用取暖等。地热是环保型的能源,越来越受到重视,应用也越来越普遍。

四、地球的弹性和塑性

地球的弹性主要表现在两个方面:第一方面,地球内部能传播地震波,而地震波是弹性波。第二方面,固体潮现象的存在。海洋潮汐大家都见过,它是日、月的引力作用使海水发生周期性涨落的现象。实际上地球表层也有类似的现象,用精密测量仪器对地表的观测发现,地球的表面在日、月引力下也有交替的涨落现象,其升降幅度可达 $7\sim 15\text{cm}$,这种现象称为固体潮,是一种弹性变形。

地球还具有一定的塑性,比如地球在自转的过程中,由于惯性离心力的作用使地球赤道半径加大,逐渐演化成为一个旋转椭球体,发生了永久性的塑性变形。再如,实践中常常可以看到各种坚硬的岩石发生弯曲变形的现象。

地球既具有弹性,又具有塑性,这两个属性是相对的,是在不同条件下的两种力学表现。在作用速度快、持续时间短的条件下,地球常表现为弹性体或刚性体,岩层会产生弹性变形或破裂,如地震;在作用速度慢、持续时间长的条件下,地球表现为明显的塑性特征,如岩层弯曲形成各种褶皱的现象。

五、地球的磁场

地球周围存在着磁场,称为地磁场。地磁场近似于一个放置地心的磁棒所产生的偶极子磁场,它有两个磁极。地磁极与地理两极接近但并不重合,地磁极的位置也不固定,长期观测发现地磁极围绕地理极附近进行着缓慢的迁移(图1-5)。

地磁场的磁场强度是一个具有方向和大小的矢量。为了确定地球上某点的磁场强度,通常采用磁偏角、磁倾角和磁场强度三个地磁要素(图1-6),前两个表示方向,后一个表示大小。在地磁极附近磁场强度最大。

地磁场由基本磁场、变化磁场和磁异常三部分组成。

基本磁场是构成地磁场主体的稳定磁场。它决定了地磁场相似于偶极场的特征,其强度在近地表时较强,远离地表时则逐渐减弱,这说明基本磁场是起源于地球内部的。基本磁场占地磁场的99%以上。