



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

石油高职高专规划教材

石油地质基础

崔树清 常兵民 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

石油高职高专规划教材

石油地质基础

崔树清 常兵民 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本教材较系统地介绍了地质学各有关学科的基本理论和基础知识,全书共分10章,内容涵盖了普通地质学、矿物学、岩石学、构造学、石油地质学等学科,并对油气田勘探方法、油气储量及评价作了简要介绍。

本书适合于高职高专油气钻井技术、油气开采技术、测井、物探等非地质专业教学使用,也可作为职工培训及现场工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

石油地质基础/崔树清,常兵民主编.

北京:石油工业出版社,2006.8

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)

ISBN 7-5021-5610-0

I. 石…

II. ①崔…②常…

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(2006)第 077381 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

发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2006年8月第1版 2006年8月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:11.75

字数:302千字 印数:1—2000册

定价:18.00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

本教材是根据 2005 年 5 月在丽江召开的全国石油高职高专教学与教材规划研讨会精神编写的,从培养技术应用型人才的要求出发,较系统全面地介绍了石油地质学等相关领域的基础知识。为确保教材质量,2005 年 7 月在渤海石油职业学院召开了教材编写研讨会,会上就教学大纲、教学内容、编写原则及有关要求等问题进行了认真、细致的讨论。

本教材编写的指导思想是:突出职业教育特色,强调内容丰富、层次清楚、论述准确、理论联系实际,力求图文并茂和具有科学性、系统性、完整性、针对性及实用性;同时,对当前国内外石油地质基础学科的有关新成就、新动向,给予了适当反映。

本教材内容涵盖了普通地质学、岩石学、构造学、石油地质学等方面的知识,其任务是引导钻井技术专业、油气开采技术专业以及物探、测井等非地质专业的学生初步了解普通地质学知识和石油的生成、运移、聚集及油气田勘探步骤和方法,为学习后续专业课以及毕业后从事相关工作打好基础,是非地质专业学生对地质学的入门课程。

本书由渤海石油职业学院崔树清副教授和山东胜利职业学院常兵民副教授担任主编。前言及第五章由山东胜利职业学院常兵民编写;绪论及第九章由渤海石油职业学院崔树清、王志编写;第一章由天津石油职业技术学院曹基宏编写;第二章由渤海石油职业学院王福生编写;第三章、第四章由大庆职业学院赵玉林编写;第六章由天津石油职业技术学院刘丰臻、王锦编写;第七章、第十章由天津工程职业技术学院付秀清编写;第八章由重庆科技学院夏敏全编写。

全书由崔树清和常兵民共同统稿,在编写过程中得到了石油工业出版社、编者院校和所在油田的大力支持,在此一并表示感谢。

本书为适应高职高专学生学习需要,在每章前设有摘要,章后加有复习思考题,并对每章的主要知识点、重点和难点予以强调,以便于学生学习。

由于水平有限,加之时间仓促,书中定有许多不当之处,敬请读者批评指正。

编 者

2006 年 2 月

目 录

绪论	1
第一章 地球概况及地质作用	5
第一节 地球的形状、大小和表面形态	5
第二节 地球的圈层构造	9
第三节 地质作用概述	11
复习思考题	20
第二章 矿物	21
第一节 矿物的概念	21
第二节 矿物的物理性质	24
第三节 常见的主要造岩矿物及其鉴定特征	28
复习思考题	38
第三章 岩浆作用及岩浆岩	39
第一节 岩浆及岩浆作用	39
第二节 岩浆岩的一般特征	43
第三节 岩浆岩的分类及常见岩浆岩	47
复习思考题	49
第四章 变质作用及变质岩	50
第一节 变质作用的因素及类型	50
第二节 变质岩的一般特征	54
第三节 变质岩的分类及常见变质岩	58
复习思考题	59
第五章 沉积岩	60
第一节 沉积岩的一般特征	60
第二节 碎屑岩	68
第三节 粘土岩	74
第四节 碳酸盐岩	76
复习思考题	82
第六章 沉积相	83
第一节 沉积相的概念及分类	83
第二节 陆相组	84
第三节 海相组	89
第四节 海陆过渡相组	91
复习思考题	95
第七章 古生物及地层	96
第一节 古生物及化石	96

第二节 地层·····	103
复习思考题·····	110
第八章 构造运动与地质构造 ·····	111
第一节 构造运动概述·····	111
第二节 沉积岩层的产状和地层接触关系·····	112
第三节 地层层序及接触关系·····	116
第四节 褶皱构造·····	120
第五节 断裂构造·····	124
第六节 油气田常用地质图件简介·····	131
复习思考题·····	137
第九章 石油地质 ·····	138
第一节 油气藏中流体的化学组成和物理性质·····	138
第二节 石油和天然气的成因·····	143
第三节 生油层、储集层和盖层·····	148
第四节 油气运移和聚集·····	157
第五节 油气藏的形成与类型·····	162
复习思考题·····	170
第十章 油气田勘探 ·····	172
第一节 油气田勘探的任务及勘探程序·····	172
第二节 油气田勘探中常用的方法·····	174
第三节 油气储量及资源评价·····	177
复习思考题·····	181
参考文献 ·····	182

绪 论

一、地质学研究的对象及其学科分支

地球是浩瀚宇宙中一颗璀璨的行星,是养育亿万生灵的摇篮,也是人类赖以生息繁衍的唯一家园,它为人类的生存与发展提供了必要的物质基础。基于生活和生产的需要,探索地球奥秘、寻找开发资源、保护家园环境、维持自身发展便成为人类孜孜不倦的追求。在漫长的认识和探索地球的过程中,逐步形成了一门以地球为研究对象、内容颇为广泛的学科,这就是地球科学,简称地学。它与数学、化学、物理学、生物学、天文学等一起,构成了近代自然科学的六大基础学科。地球科学从它诞生之日起,就始终不渝地担当着探索地球奥秘、研究地球变化、传播地球知识的重大使命。

地质学是地球科学的一个重要组成部分,其主要研究对象是固体地球。鉴于科学技术的发展水平、人类的认知能力和生存需要,当前研究的重点是固体地球的表层——地壳(或岩石圈)。其主要研究内容包括地球的物质组成、地球的构造、地球的形成和发展演化以及地球的资源性等。

随着生产的发展、科学技术的进步以及人类认知水平和能力的不断提高,人们对地球的认识不断深入,加之各学科之间的相互利用、渗透与结合,地质科学已发展成为一个完善的学科体系并在纵向分化深入和横向交叉拓展中形成了许多具有独特意义的分支学科。根据这些分支学科主要研究对象、内容和任务的不同可将其分为以下几类地学分支:

- (1)以地球物质组成为主要研究对象的学科有:矿物学、岩石学、地球化学、结晶学等。
- (2)以地球运动和变形规律为主要研究对象的学科有:构造地质学、大地构造学、动力地质学、地貌学、第四纪地质学等。
- (3)以远古地球特征和发展演变历史为主要研究对象的学科有:古生物学、地史学、地层学、同位素地质年代学等。
- (4)以地球资源及其勘察方法为主要研究对象的学科有:矿产地质学、石油地质学、煤田地质学、地热地质学、农业地质学、旅游地质学、资源勘探方法、探矿工程、地球物理勘探、地球化学勘探等。
- (5)以地球环境为主要研究对象的学科有:环境地质学、灾害地质学、海洋地质学、水文地质学、地震地质学、工程地质学等。

二、石油地质学的内容和任务

石油地质学是关于石油和天然气勘探、开发方面的一门综合性很强的分支学科,是属于地质学中研究石油和天然气形成、特征和分布规律的矿床学的一个分支,它系统地阐明了石油地质学的基本理论和基础知识,是在石油和天然气勘探及开采的大量实践中总结出来的一门新兴学科。

石油和天然气是流体矿产,它与固体矿产不同,主要表现在以下几个方面:

- (1)油气的可流动性决定了油气的生成地并非是其成藏地,二者可以相去甚远,而固体矿

产基本上是生成地就是其储存地。

(2) 固体矿产可在地表及近地表找到,而油气易被氧化,当其达到地表层会被迅速氧化掉,所以在地表只能找到油气苗或沥青脉,找不到有工业开采价值的油气藏。油气大多深埋在地下。

(3) 固体矿产形成后不易被破坏,所以对保存条件要求不高。而油气藏形成之后,很易被破坏,如分子的扩散、水动力的冲刷、断裂的破坏、构造运动影响、岩浆活动及温度、压力的变化等都会破坏原生油气藏,或改变其性质。所以现今地壳上的油气分布是油气藏“形成—破坏—再形成”的对立统一的结果。

正是油气藏的上述特点,决定了石油地质学要研究油气的成因、运移(运动规律)、储存条件、成藏条件、保存条件、分布规律等理论内容。

本教材共分十章,第一章至第六章是普通地质学,主要讲述地质作用的概念、各类常见矿物、岩石的特征以及沉积相的概念,重点是与沉积岩有关的知识。第七章、第八章介绍地壳发展历史、古生物演化规律以及地壳运动和形变方面的知识,重点是各种构造现象的特征及各类地质图件的编制与应用。第九章是石油地质学部分,内容包括石油、天然气的性质、生、储油层及由此而形成的生、储、盖组合关系和油藏形成的基本条件、分布规律等。第十章主要介绍油气田勘探阶段的划分、地史演化以及常用的勘探方法。

三、石油和天然气在国民经济中的作用

石油和天然气是优质的能源、润滑油料及化工原料,也是重要的战略物资。因此,在国民经济发展中有着极其重要的作用。

石油和天然气具有热值高、燃烧充分、流动性强、运输方便等特点,是极为重要的燃料,汽车、火车、飞机、轮船多以其产品为动力燃料,金属和非金属的冶炼也以石油和天然气为能源。几乎所有的转动机械都以石油产品为润滑材料。因此,石油被誉为工业的“血液”、机器的“粮食”。

石油和天然气也是优质的有机化工原料。所生产的化工产品,广泛应用于农业、工业、日常生活等国民经济的各部门。石油和天然气还是主要的战略物资,对巩固国防具有重要的意义。

总之,石油和天然气的储量和产量,在国民经济发展中占有非常重要的地位,是我国实现工业、农业、国防、科学技术现代化的物质基础。

四、陆相生油理论在中国的诞生使中国成为产油大国

石油是保障国家政治、军事、经济安全的重要战略物资,石油和天然气在我国“矿产资源法”中被列为特定矿种。半个多世纪以来,我国油气矿产资源勘查开采取得了显著的成就,原油产量从新中国成立初期的年产 $12 \times 10^4 \text{t}$ 增长到 2003 年的 $1.8 \times 10^8 \text{t}$,为国民经济和社会发展做出了重要贡献,究其原因油气地质研究功不可没。

在近代石油工业建立一百多年以来,世界上已发现的 3 万多个油气田,绝大多数在海相地层中,故国外石油地质学家绝大多数主张海相生油。由于我国陆相地层发育,所以 20 世纪初叶在中国近代石油工业萌芽时期,来我国的一些外国学者得出“中国贫油”的结论,这种错误观点严重阻碍了中国初期石油工业的发展,与此同时及稍后,我国谢家荣和潘钟祥等一批学者根据大量野外地质调查,提出了“初始陆相生油论”,解放后发展为“成熟陆相生油论”,该理论

对我国的油气勘探起到了重要指导作用,在我国找到了大量的陆相油田,其中包括世界著名的大庆油田。由此我国建立起世界上一流的石油工业,2000年探明石油地质储量为1949年的734倍,石油的年产量为1949年的1349倍。

五、中国油气矿产资源状况

1. 油气资源自然状况

在1993年全国二次油气资源评价基础上,2000年以来,中国石油天然气集团公司、中国石油化工集团公司、中国海洋石油总公司先后对各自探区部分盆地重新进行了油气资源评价研究。根据阶段成果的汇总,目前我国石油资源量约为 $1040 \times 10^8 \text{t}$,天然气资源量约 $47 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。通过对不同类型盆地油气勘查,新增储量规律和各种方法的分析,测算出我国石油可采资源量为 $(150 \sim 160) \times 10^8 \text{t}$,天然气可采资源为 $(10 \sim 14) \times 10^{12} \text{m}^3$ 。按照国际上(油气富集程度)通常的分类标准,我国在世界103个产油国中,属于油气资源比较丰富的国家。

根据石油可采资源量的分析,陆上石油资源主要分布在松辽、渤海湾、塔里木、准噶尔和鄂尔多斯五大盆地,共有石油可采资源 $114.4 \times 10^8 \text{t}$,占陆上总资源量的87.3%。海上石油资源分布在渤海为 $9.2 \times 10^8 \text{t}$,占海域的48.7%。而天然气资源量主要分布在陆上中西部和海域的鄂尔多斯、四川、塔里木、东海、莺歌海五大盆地,共有天然气可采资源为 $8.8 \times 10^{12} \text{m}^3$,占中国天然气总资源的62.8%,为今后发现大中型油气指出了勘查的主攻方向。

2. 油气资源勘查开采现状

截至2003年底,我国已在25个省、市、自治区和近海海域,开展了油气资源勘查工作,共放置石油天然气探矿权区块1000余个,勘查面积320多万平方千米。采矿权660多个区块,开采面积近 $7 \times 10^4 \text{km}^2$ 。在23个含油气盆地中累计发现了580多个油田,探明石油可采储量 $65 \times 10^8 \text{t}$,180多个气田,探明天然气可采储量 $2.5 \times 10^{12} \text{m}^3$,建成了大庆、胜利等25个油气生产基地。2005年全国原油产量为 $1.8 \times 10^8 \text{t}$,已连续10年列世界第五位。天然气年产量 $341 \times 10^8 \text{m}^3$,列世界第18位。

中国现代石油工业起步晚,加之幅员辽阔,沉积盆地多,地质构造复杂,到目前为止,油气勘探程度还相当低,中国油气未勘探的地区和领域十分广阔,勘探潜力很大,尚有丰富的油气资源有待探明。

六、世界油气发展简况

地球上的石油和天然气,早在三千多年前就被人们发现和利用了,其状态多以自然产出为主,多用于燃料、医药、建筑等方面。作为工业规模的油气勘探和开发仅有一百多年的历史。19世纪中叶,工业革命的浪潮席卷欧美各国,对燃料的需求继续增长,为石油工业发展提供了市场。工业革命后出现的新技术和积累的资金又为大规模的油气勘探提供了可能性,同时油气的开发和利用也为资本家带来了高额利润。因此,这一时期,许多国家纷纷掀起了找油的热潮。例如,美国第一口商业性油井是在1859年钻探的,该井位于宾西法尼亚州的石油溪岸边,井深仅21m。俄国、罗马尼亚等国家此时也都钻成功了产油井。在1860—1890年的30年间,原油产量几乎以每年增长1倍的速度剧增。在找油的同时,也开展了天然气的勘探工作,天然气的产量也迅速增长。到目前为止,全世界有100多个国家和地区进行了石油和天然气的勘探及开发工作。1996年全世界石油和天然气的年产量分别达到 $3.17 \times 10^9 \text{t}$ 和 $2.337 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。

主要生产石油和天然气的国家的产量见表 0-1。

表 0-1 1996 年主要产油气国家产量表

石 油		天 然 气	
国家	年产量(10^8 t)	国家	年产量(10^{11} m ³)
沙特阿拉伯	3.9302	俄罗斯	6.034
美国	3.2228	美国	5.664
俄罗斯	3.0100	加拿大	1.838
伊朗	1.8480	荷兰	0.897
中国	1.5705	英国	0.892
挪威	1.5400	印度尼西亚	0.646

地球上石油和天然气的蕴藏量相当丰富,据 1996 年统计,世界上常规石油的可采资源量约为 3.113×10^{11} t。常规天然气的可采资源量约为 4.37×10^{14} m³。世界上剩余探明油、气储量分别为 1.396×10^{11} t 和 1.42×10^{14} m³。但油气资源量与储量的分布极不均衡,中东是世界上油气储量最丰富的地区,石油探明储量占世界的 60% 以上,天然气储量占世界的 30% 以上。石油可采储量在 5.00×10^{10} bbl (1bbl = 158.9873dm³) 以上的特大油田有 2 个,全部分布在中东,即沙特阿拉伯的加瓦尔油田和科威特的布尔干油田。石油可采储量在 $(0.50 \sim 5) \times 10^{10}$ bbl 之间的大油田全世界共有 40 个,中东占了 27 个。俄罗斯是世界上天然气储量最丰富和产量最高的国家,已探明的天然气储量高达 5.37×10^{13} m³,占世界探明天然气储量的 1/3 还多。俄罗斯天然气的产量在 2005 年可达到 7×10^{11} m³。但有些国家和地区石油和天然气的储量及产量都很小,如日本,主要靠进口来满足国内油气的需求。

21 世纪,石油和天然气仍将是世界经济发展的主要能源之一,世界各国油气勘探和开发工作将向深度和广度进军,将向复杂地区和海洋进军。随着石油地质新理论的提出和完善,以及现代科学技术的发展和引进,人类必将探明更多的油气资源,并使之合理的开发和有效的利用。

第一章 地球概况及地质作用

【摘要】 地球是宇宙中无数天体中的一个重要成员,是地质学的研究对象,也是各类地质作用产生的发源地和场所。本章主要介绍地球的形状、大小、表面形态和地壳的物质组成,并对地球的主要物理性质及其各圈层构造进行了剖析,尤其对各类地质作用的概念、分类等问题作重点讨论。

第一节 地球的形状、大小和表面形态

一、地球的形状和大小

地球的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,并延伸通过陆地的封闭曲面。根据人造卫星观测及卫星轨道参数变化求出的地球形状为扁率不大的三轴椭球体(图 1-1)。

1980 年国际大地测量与地球物理联合会公布的地球的形状资料如下:

- 赤道半径(a): 6378.137km;
- 子午线周长($2\pi c$): 40008.08km;
- 两极半径(c): 6356.752km;
- 表面积($4\pi R^2$): $5.1010 \times 10^8 \text{ km}^2$;
- 平均半径 [$R = (a^2 c)^{1/3}$]: 6371.012km;
- 体积($4/3 \pi R^3$): $1.0832 \times 10^{12} \text{ km}^3$;
- 扁率 [$(a - c)/a$]: 1/298.253;
- 地球质量(M): $(5.9742 \pm 0.0006) \times 10^{24} \text{ kg}$ 。

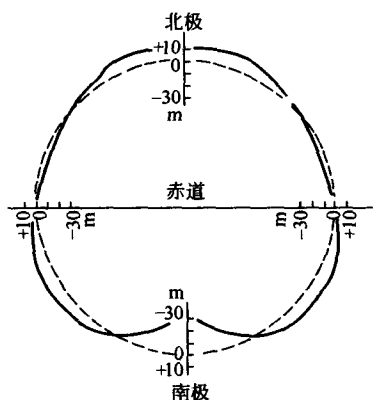


图 1-1 大地水准面和扁球面
(转引自杨伦等,2005)
实线—大地水准面;虚线—扁球面

二、地球表面的形态

地球表面面积的 70.8% ($3.61 \times 10^8 \text{ km}^2$) 被海洋覆盖,陆地只占 29.2% ($1.49 \times 10^8 \text{ km}^2$),海洋与陆地面积之比为 2.5:1。此外,大陆和海洋在地球表面的分布是不均匀的,65% 的陆地集中在北半球,因而北半球有陆半球之称,即使如此,陆地仅占该半球的 39%;南半球陆地面积较少,只占该半球面积的 19%,因而南半球有水半球之称。

地球表面高低起伏,地表可分为海洋和陆地两大地形单元。大陆上的最高点是喜马拉雅山脉的珠穆朗玛峰,海拔高度为 8848.13m。最低点是约旦境内的死海,海拔高度为 -392m。大陆的平均海拔高度约为 875m。海洋以水深 4000 ~ 6000m 的深海盆地面积最广,约占地球表面积的 30.8%。海洋最深处在西太平洋的马利亚纳海沟,深达 11034m。海洋平均深度约为 3729m。

1. 大陆地形特征

根据海拔高程和地形起伏特征,陆地地形主要可划分为山地、丘陵、盆地、高原、平原等多种地形单元。

(1)山地。指海拔高度大于 500m 以上的隆起高地,并且有明显山峰、山坡和山麓的地形单元。呈长条状延伸的山地称山脉,弧形或线形展布山脉组合成山系,如阿尔卑斯—喜马拉雅山系、环太平洋山系等。

(2)丘陵。指海拔高度小于 500m 或相对高差在 200m 以下的高地,顶部浑圆、坡度平缓、坡脚不明显的低矮山丘群。

(3)盆地。指陆地上中间低四周高的盆形地形。世界上最大的盆地是刚果盆地,面积达 $337 \times 10^4 \text{km}^2$ 。我国最大的盆地是塔里木盆地,其面积达 $50 \times 10^4 \text{km}^2$ 。还有准噶尔盆地、柴达木盆地和四川盆地等大型盆地。这些盆地都是石油和天然气的富集区域。

(4)高原。指海拔高度较高(海拔大于 500m),面积较宽广,地面起伏较小的地区。世界上最大的高原是非洲高原,最高的高原是我国青藏高原,海拔在 4000m 以上。

(5)平原。指海拔高度小于 200m,面积宽广、地势平坦或略有起伏的平地,如我国的松辽平原、华北平原和长江中下游平原等。

2. 海底地形特征

海洋是由海和大洋组成的。大洋是远离大陆,面积宽广,深度较大的水域,是海洋的主体。如大西洋、印度洋、太平洋和北冰洋。四大洋的水体是相互连通的。在大洋的边缘与陆地比邻的水域称为海。如我国的渤海、黄海、东海、南海等,都是太平洋西部的一些海湾。海与洋统称为海洋。陆地上的河水、湖水、地下水,总是向着低处流动,许多水流都在海洋中汇合。海底地形和大陆地形一样,也是起伏不平复杂多样,根据海底地形的基本特征,可分为大陆边缘、深海盆地及大洋中脊三部分。

1) 大陆边缘

大陆边缘是指大陆至大洋深水盆地之间的地带,是陆地与海洋之间的过渡地带(图 1-2),它包括大陆架、大陆坡和大陆基,占海洋面积的 22.4%。

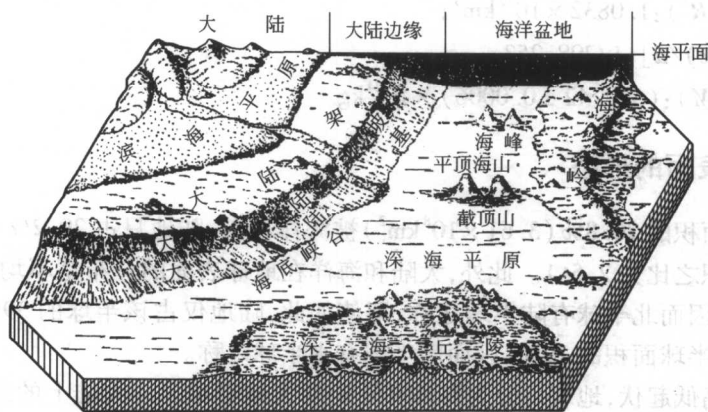


图 1-2 大陆边缘地形示意图

(1)大陆架。海与陆接壤的浅海平台,又称浅海陆棚,是大陆周围坡度平缓的浅水区。其范围从低潮线开始,到海底坡度显著增大的转折处,地势平坦,坡度一般小于 0.3° 。大陆架外

缘水深各地不一样,其水深一般不超过 200m,平均水深约 133m。大陆架的宽度差别很大,平均为 75km。大陆架的地壳结构与大陆相同,可以认为是被海水淹没的大陆部分。

(2)大陆坡。位于大陆架外缘到深海海底地形明显变陡的地带,坡度较大,平均坡度为 3° ,最大坡度可达 20° 以上,致使水深各地不同,从 200m 至 3000m 以上不等,一般不超过 2000m。大陆坡的宽度为 20 ~ 100km,平均宽度为 20 ~ 40km。

(3)大陆基。又称大陆隆、大陆裙,是大陆坡与大洋盆地之间的缓倾斜坡地带,由沉积物堆积而成。坡度为 $5^\circ \sim 35^\circ$,水深为 2000 ~ 5000m。在大西洋及印度洋,大陆基宽度可达 500km。大陆基在太平洋地区却并不发育,但海沟发育。海沟是洋底狭长而深渊的洼地,宽度不到 100km,延伸可达几百到几千千米,水深大于 5500m,最大可达 8000 ~ 10000m,是地球表面地势最低的地区。

2) 深海盆地

深海盆地指大陆边缘之外,大洋中脊两侧的较平坦地带(图 1-3),一般水深 4000 ~ 6000m,是海洋的主体部分,占海洋面积的 44.9%。大洋盆地地势十分平坦,以深海平原为主,在洋中脊附近发育深海丘陵。

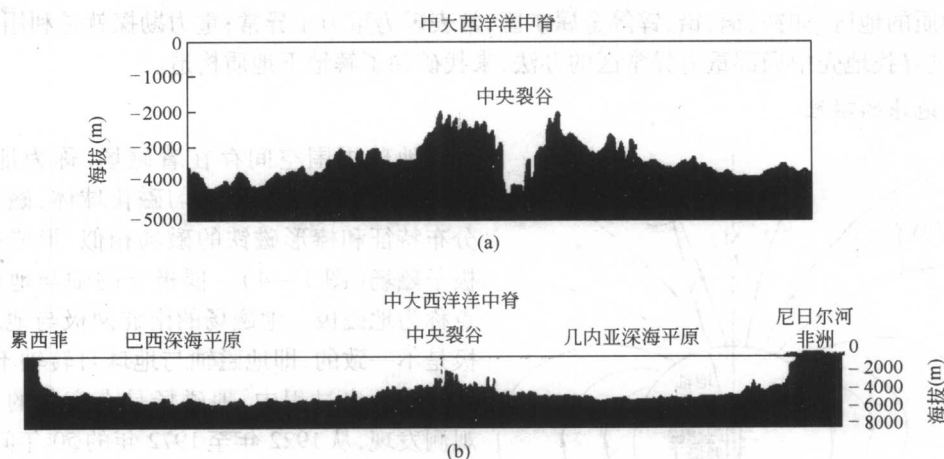


图 1-3 大西洋海底地形横剖面图(剖面长约 4800km)

(a) 大洋中脊和中央裂谷带剖面图;(b) 大西洋海底地形

3) 大洋中脊

大洋中脊是大型海底地形单元之一,是洋底发育的连绵不断的海底山脉,泛称海岭。在大西洋和印度洋中,位居大洋中部,在太平洋中则偏东。全球大洋中脊相互连接,全长超过 70000km,占海洋面积的 32.7%。

三、地球的主要物理性质

1. 地球的密度

根据万有引力定律可计算出地球质量为 $(5.9742 \pm 0.0006) \times 10^{24} \text{ kg}$, 根据地球的形状参数可求得地球的体积为 $1.0832 \times 10^{12} \text{ km}^3$, 因此地球的平均密度为 5.516 g/cm^3 。由于组成地壳的主要岩石为花岗岩和玄武岩,其密度分别为 2.7 g/cm^3 和 2.9 g/cm^3 ,海水的平均密度为

1.028g/cm^3 , 所以地球深部物质的密度应比地表密度和平均密度都高, 即由地表向地心, 地球密度是增加的。这种变化无法直接观测, 一般通过地震波速变化、地球内部重力和转动惯量等计算, 或通过其与陨石物质成分模拟来推断。

2. 地球的重力

地球的重力是指垂直地球表面使物体向下的一种天然作用力。它实际上是地心引力与地球自转产生的离心力的合力。地球的引力与质量成正比, 与地心距离的平方成反比, 地心引力在赤道最小, 两极最大; 离心力与其到地轴的距离和地球转动的角速度平方成正比, 在赤道区最大, 两极最小。由于离心力的最大值只有地心引力值的 $1/289$, 所以重力主要取决于地心引力, 且指向地心。

重力在地表的分布决定于地球的形状及其内部质量的分布。假定地球为一均质体, 以大地水准面为基准计算出来的地面重力值称为正常(或标准)重力值。地表某点的实测重力值与标准重力值不符合时, 称为重力异常; 比标准重力值大的称正异常, 比标准值小的称负异常。由于地球表面各个区域物质密度的差异, 会引起局部的重力异常。例如在沉积岩及石油、天然气、煤等沉积矿产的分布区, 由于组成物质的密度小, 常表现为重力负异常。而存在一些密度较大物质的地区, 如铁、铜、铅、锌等金属矿区, 常表现为重力正异常; 重力勘探就是利用这个原理, 通过寻找地壳中局部重力异常区的办法, 来找矿和了解地下地质构造。

3. 地球的磁性

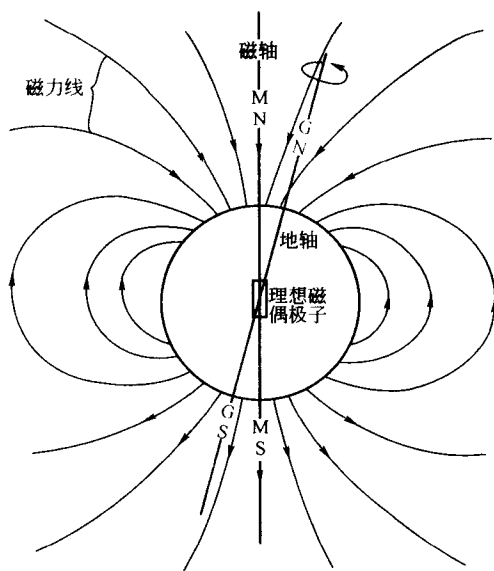


图 1-4 地球的磁场(据 W. K. 汉布林, 1980)

地球周围空间存在着磁场, 称为地磁场。可以认为地球是一个均匀磁化球体, 磁力线的分布特征和棒形磁铁的磁场相似, 形成一个偶极子磁场(图 1-4)。偶极子磁轴与地面的交点称为地磁极。地磁场的南北两极与地理南北极是不一致的, 即地磁轴与地球自转轴不重合。在地质历史过程中, 地磁场是有变化的。实际观测发现, 从 1922 年至 1972 年的 50 年间, 磁北极在纬度上移动了 2° , 磁南极则移动了 $4^\circ 25'$ 。随着磁极的移动, 各地地磁要素也相应发生变化。为此, 国际组织规定每 5 年重编一次世界地磁图。

磁偏角、磁倾角和磁场强度是地磁场的三个要素。在地球表面, 通过两个地理极的经线称为地理子午线; 通过两磁极的磁力线称作地磁子午线。地磁子午线与地理子午线之间的交角称为磁偏角。当使用地质罗盘在地形图上定方位时, 为确保方位的准确, 需要对地质罗盘进行磁偏角校正; 以指北针为准, 偏东为正, 偏西为负。我国多数地区磁偏角为西偏。磁针与水平面之间的夹角称作磁倾角, 磁针的空间位置与磁力线完全重合。磁力线除在地磁赤道地区与水平面平行外, 向北向南都与水平面斜交; 纬度越高, 磁倾角越大, 在南北磁极上则竖立。磁场中磁力的强弱称作磁场强度。地磁场的变化, 具体表现为地磁要素的变化。经校正并消除地磁的短期变化和局部变化的地磁要素称作

背景值。实测磁偏角和磁倾角与背景值不符合时,称为地磁异常。引起地磁异常的原因一般与地壳中含有带磁性矿物和岩石所引起的局部磁场叠加在正常磁场上的表现有关。地球物理磁法勘探就是利用这个原理寻找磁力异常区,从而发现地下深处隐伏的具有磁性的矿床和了解地下地质构造情况。

4. 地球的内部温度

地球内部存在着巨大的热能,从火山喷出的炽热岩浆、温泉及深井钻孔的实测数据可以得到证明。地球内部热能的主要来源有:太阳的辐射能和地内热能。

地表所获得的太阳辐射热随地点、季节、昼夜的不同也有差异。受太阳辐射热能所影响的深度一般很薄,年变化所能影响的深度在 10 ~ 20m,平均约为 15m,在内陆地区最大可达 30 ~ 40m。在此深度附近,岩石不再受太阳辐射的影响,温度常年保持不变,称为常温层。

常温层以下,温度随深度而逐渐增加。热源来自地球内部的放射热,增温具有规律性。通常把常温层以下,深度每增加 100m 时所升高的温度值称为地温梯度或地热增温率,用 $^{\circ}\text{C}$ 表示;把常温层以下,温度每升高 1°C 所增加的深度值称为地温级度或地热增温级,用 m 表示。地温梯度与地温级度两者互为倒数关系。地球上不同地区的地温梯度不同,从 $0.9 \sim 5.2^{\circ}\text{C}$ 不等。地表至地球内部 70km 范围内,地温梯度平均为 2.5°C ;再往深部,地温梯度逐渐变小,一般为 $0.5 \sim 1.2^{\circ}\text{C}$ 。

5. 地球的弹性及塑性

组成地球的物质具有弹性,表现为地震波的传播,因为地震波是弹性波。地球内部的弹性状况是通过地震波在地球内部的传播速度来确定的。地震波按传播方式分体波和面波两大类型。体波——是在地球内部传播的,传播方向是三维的。体波又包括纵波(P波)和横波(S波)两类。纵波是指质点振动方向与波传播方向一致的地震波;横波是指质点振动方向与波传播方向垂直的地震波。在地表介质中,纵波的传播速度比横波快 0.73 倍。面波——是沿地面或界面传播的,传播方向是二维的。通常记作 L 波,其速度只有横波速度的 $3/4$ 。

地球具有塑性,则表现在地壳中的岩层发生剧烈的弯曲变形及形成褶皱构造。

第二节 地球的圈层构造

一、地球的外部圈层特征

地球表层外围空间的大气圈、水圈和生物圈构成地球的外部圈层。外部圈层组成物质的性质和状态不同,且相互交错、重叠、混合在一起,它们时刻在运动着、循环着,并促使地壳表层物质的运动,成为塑造地壳表层的重要动力。

二、地球的内部圈层构造

根据地球物理资料的研究,证明固体地球具有圈层构造的结论。地球内部划分为地壳、地幔和地核 3 个主要圈层(图 1-5),各个圈层的化学成分、物理性质和物质状态都有显著区别。

1. 地壳

地壳是固体地球的最外圈层,是地表至莫霍面之间的固体地球部分,其厚度约为地球半径的

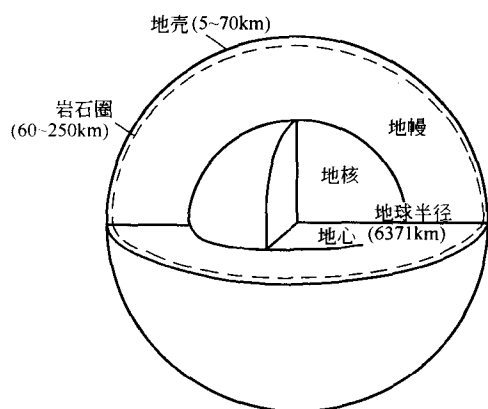


图 1-5 地球内部的分层

1/400,其体积占地球总体积的 1.55%,质量约 $24 \times 10^{18}t$,占地球总质量的 0.8%。地壳由岩石组成,其下界起伏较大,例如,大洋部分地壳厚度较小,薄者不足 5km;大陆部分厚度较大,厚者超过 70km。

2. 地幔

地幔是地球的莫霍面以下、古登堡面以上部分的地球圈层,厚度达 2865km,占地球体积的 82.3%,质量占地球总质量的 67.8%,是地球的主要组成部分,它主要由固体物质组成。根据地震波速变化,以 984km 为界将地幔分为上地幔和下地幔两部分。

(1) 上地幔。平均密度为 $3.5g/cm^3$ 。按照地球物理数据(密度、波速变化)及其与陨石对比,及某些在火山喷发物中发现的岩石的对比,可认为地幔物质相当于陨石成分,其主要成分为超基性岩,称为地幔岩,由 55% 的橄榄石、35% 的辉石和 10% 的石榴子石组成。

上地幔内地震波传播速度是不均匀的,根据核爆炸产生的地震波速的研究,在 60~250km 范围内地震波波速最低,称为低速带,又称为软流层。按地热增温率计算,软流层温度约 700~1300℃,已接近地幔物质熔点。据推测,地幔物质已部分熔融,也许这是波速降低的原因,同时认为软流圈是岩浆发源地。

(2) 下地幔。指上地幔底部至古登堡面之间的部分(深度 984km 至 2898km),平均密度为 $5.1g/cm^3$,地震波波速平缓增加。一般认为其组成成分与上地幔相似。密度增加的原因可认为是铁含量的增加或物质在高压下被压缩的原因。

软流层以上的上地幔和地壳合称为岩石圈,组成地球的固体外壳,它均由岩石组成。岩石圈因其下存在着高温、高压、塑性大的软流层,因而易于移动。据此,对解释地壳运动、板块移动、地质构造等具有重要意义。

3. 地核

地核是地球内自古登堡面以下至地心的部分。按地震波波速的分布,可分为外核、过渡层和内核 3 层。自 2898km 至 4640km 是地核的外层,称外核;自 4640km 至 5155km,是过渡层;5155km 至地心,为地球的内核。地核的体积占地球体积的 16.2%,质量却占地球总质量的 32%。地核的密度可达 $9.98 \sim 12.51g/cm^3$,与铁陨石相似。根据横波不能通过外地核的事实,可推测外核为液体状态。过渡层纵波波速变化复杂,可重新测得横波波速数据,表明它由液态向固态过渡。内地核已能测得横波、纵波波速数据,横波由纵波转换而来,反映内核为固态物质。

三、地壳的物质组成

1. 元素在地壳中的分布

各种元素在地壳中的含量及在地壳不同部位的分布是不均匀的,这种状况一方面与各种元素的特点有关,也与其在地壳中所处的物理、化学条件有关。所以必须研究元素在地壳中的分布规律。美国地质学家克拉克(F. W. Clarke)用了 30 余年的时间,对地壳的岩石进行了 5000 多次的化学分析,于 1889 年首次提出地壳中 50 余种化学元素的分布量。为纪念他在这

方面所做的贡献,国际上决定把化学元素在地壳中的平均含量百分比(即地壳中元素的丰度),称为克拉克值。后来经过许多专家、学者的不断修正和补充,得出了各种元素在地壳中质量分数(表1-1)。

表 1-1 主要元素在地壳中质量分数

元素	质量分数(%)	元素	质量分数(%)
O	46.95	Na	2.78
Si	27.88	K	2.58
Al	8.13	Mg	2.06
Fe	5.17	其他	0.80
Ca	3.65		

从表1-1中可以看出地壳中的元素氧(O)几乎占了一半,硅(Si)占四分之一还多,表中所列8种元素占地壳总重量99.20%,其他将近100种元素只占地壳总重量0.80%,可见化学元素在地壳中分布的不均匀性。有些元素虽然克拉克值很小,如铜(Cu)为0.01%,钼(Mo)为0.001%,金(Au)为0.005%,但由于地壳运动,在各种地质作用下,可以富集在一起,形成有用的矿床。

2. 组成地壳的矿物

矿物是有一定化学成分和内部构造的自然产物,因而具有一定的物理性质和化学性质。矿物是在各种地质作用中形成的,它可以由一种单质元素组成,如金刚石、石墨、自然金等;也可以由自然化合物组成。矿物是组成地壳的最基本单位。

当前,对月岩和陨石的研究结果表明,组成月岩和其他天体的陨石物质,大多数与地壳的矿物完全相同。因而,矿物不仅是地球中的矿物,同时在月球和其他天体中也有组成。这就促进了矿物概念的发展。

3. 组成地壳的岩石

所谓岩石,就是矿物在各种地质作用下,按一定的规律组成的自然集合体。岩石可以由一种矿物组成,如纯净的大理岩就是由方解石单一矿物组成的。也可以由2种或2种以上的矿物组成,如花岗岩是由石英、正长石、斜长石、黑云母等矿物组成。

自然界中岩石种类虽然很多,但根据其成因可分为岩浆岩、变质岩、沉积岩等三大类型。其中,沉积岩的石油地质意义非常重大,它不仅能够生油,而且能够储油。当前世界上发现的近30000个油气田中,99%以上油气储集在沉积岩中。但是,目前在岩浆岩和变质岩中,也发现了油气的储集,形成了高产油气田。如辽河兴隆台油田在岩浆岩中发现了日产千吨以上的高产油井,玉门鸭儿峡油田在变质岩中发现了工业油流。所以对于岩浆岩、变质岩进行油气勘探时,也应引起足够的重视。

第三节 地质作用概述

一、地质作用的概念

地球自形成以来在漫长的地质历史中,其物质成分、内部结构、构造、地表形态都在不断地运动和演变着。地球的这些运动和演变有的表现得十分强烈和明显,如火山爆发、地震活动、