

石 油 技 工 学 校 教 材

石油地质学基础

(第二版)

华北石油管理局技工学校 王晓先 主编



石油工业出版社

登录号	100657
分类号	P618.130.2
种次号	118(2)

石油技工学校教材

石油地质学基础

SJ05/17
(第二版)

华北石油管理局技工学校 王晓先 主编



石油工业出版社

(京) 新登字 082 号

内 容 提 要

本书较系统地阐述了石油地质的基础知识, 包括矿物岩石、地史概况、构造地质、石油地质勘探等内容, 每章均附有复习思考题供参考。

本书资料新颖, 插图丰富, 文字通俗易懂, 论述简明扼要, 可作为石油技工学校钻井专业和钻井液专业的教材, 也可供职工培训和自学参考使用。

石油技工学校教材
石油地质学基础
(第二版)

华北石油管理局技工学校 王晓先 主编

石油工业出版社出版
(北京安定门外安华里二区一号楼)
石油工业出版社印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

787×1092 毫米 16 开本 $11\frac{1}{2}$ 印张 280 千字 印 3001—6000

1994 年 12 月北京第 2 版 1997 年 7 月北京第 2 次印刷

ISBN 7-5021-1133-6/TE·1045

定价: 16.00 元

前 言

《石油地质学基础》(第二版)是根据1992年中国石油天然气公司钻井专业教学改革小组在华北石油技工学校召开的教学大纲审定、教材编写会议上的要求所编写的教材之一。

本书是在1987年出版的石油技工教材《石油地质学基础》第一版(青海石油管理局技工学校薛超主编)的基础上编写的;根据五年来使用经验和新教学大纲的要求,对原书作了大量的删减和适当的补充,使其更符合新教学大纲的要求。

本书除绪论外共有八章,分别讲述地壳及其组成;岩浆岩;变质岩;沉积岩;地层;构造地质;石油地质;钻井地质和地球物理测井等内容。本书主要是钻井专业和泥浆专业的通用教材,在教学时要视各自专业的需要有所侧重和增减。

学习这门课程主要要求学生结合专业的需要,初步了解普通地质、构造地质、石油地质、油气勘探等方面的基础知识。所以本教材在编写上注意系统性,突出实用性,讲述上力求深入浅出、通俗易懂。

本书由华北石油技校王晓先编写绪论、第四、五、六章;江汉石油技校谢广才编写第一、二章;青海石油管理局技校易惠林编写第三章;四川石油管理局技校王廷富编写第七、八章。最后由王晓先整理定稿。

本书在编写过程中得到了有关校领导及地质教研室的大力支持,对此致以衷心感谢。

由于我们水平不高,教学经验甚少,因此一定存在不少的缺点和错误,恳切希望选用本教材的师生和读者批评指正。

编者

1993年3月

目 录

绪论	1
第一章 地球及其表层	5
第一节 地球的形状、大小及主要物理性质	5
第二节 地球的表面特征	7
第三节 地球的层圈构造	9
第四节 地壳的物质组成	11
第二章 岩浆岩及变质岩	22
第一节 岩浆岩	22
第二节 变质岩	28
第三章 沉积岩	32
第一节 沉积岩的形成	32
第二节 沉积岩的物质成分	42
第三节 沉积岩的构造和颜色	43
第四节 沉积岩的分类	47
第五节 碎屑岩	48
第六节 粘土岩	52
第七节 碳酸盐岩	55
第八节 蒸发岩	60
第四章 地层	64
第一节 地史和古生物概况	64
第二节 地层及地质时代单位	66
第五章 构造地质	72
第一节 水平岩层及倾斜岩层	72
第二节 褶皱构造	75
第三节 断裂构造	80
第四节 含油、气盆地内的地质构造单元	86
第五节 地质图的一般知识	88
第六章 石油地质	97
第一节 石油、天然气的概念	97
第二节 油、气田水	101
第三节 石油的生成及生油层	103
第四节 储集层和盖层	108
第五节 石油和天然气的运移	114
第六节 圈闭和油、气藏类型	118
第七章 钻井地质	126

第一节	油、气田勘探的步骤	126
第二节	井的类别及主要任务	127
第三节	钻时录井	129
第四节	岩心录井	133
第五节	岩屑录井	136
第六节	钻井液录井	141
第七节	气测录井	145
第八节	荧光录井	147
第八章	测井	151
第一节	普通电阻率测井	151
第二节	其他电法测井	156
第三节	声波测井	160
第四节	放射性测井	164
第五节	工程测井	166
第六节	测井资料综合解释	170

绪 论

一、石油地质学基础的内容和任务

石油地质学基础是关于能源勘探、开发方面的一门综合性很强的分支学科，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发的大量实践中总结出来的一门富有探索性的新学科。

石油地质学基础的内容是阐明正确认识石油在地壳内分布规律的专业基础知识。除绪论外，共分四个部分——八章：第一部分包括一、二、三章，是普通地质学，着重介绍与沉积岩有关的知识；第二部分包括四、五章，简单介绍地史和古生物概况、地层划分与对比，以及地壳运动和形变方面的基本知识，并介绍了含油、气盆地的有关内容；第三部分包括石油、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——油源、油气运移和圈闭等问题；第四部分主要是石油地质的实践，即如何运用石油地质学的基本原理去有效地完成石油与天然气的勘探任务。

石油地质学基础的任务是引导石油钻井、钻井液专业的学生初步了解与掌握普通地质学知识，石油的生成、储集及油、气田的勘探方法和步骤，地层及地层中的油、气水对钻井工作和钻井液性能的影响，为学习专业课打好基础。

二、石油在国民经济中的地位

石油和天然气在国民经济中有着极其重要的作用，被誉为“工业的血液”。在我国实现农业、工业、国防、科学技术四个现代化中，石油和天然气是非常宝贵的能源和化工原料。

石油和天然气作为重要的燃料，它具有燃烧完全、发热量高（表-1）、运输方便和成本较低的优点。近百年来，油、气作为燃料被广泛地应用于工业、农业、交通运输及国防等各个方面。诸如汽车、拖拉机、火车、飞机、轮船、火箭、导弹等的燃料都离不开石油产品。一些工业比较发达的国家，石油和天然气在其能源消费结构中占有较高的比例，并且逐年有所上升，这就说明油、气作为能源的重要性。

表-1 不同种类燃料的发热能量

燃料种类	发热量 (kJ/kg)	燃料种类	发热量 (kJ/kg)
木柴	8374~10467	无烟煤	27214
泥炭	8374~14654	石油	41868
褐煤	8374	汽油	46055
烟煤	20934	天然气	29308~50242

油、气可作为化工原料。由于石油内部组分多样，并具有裂化、合成等化学性能。所以石油的炼制品可达三千多种，广泛应用于工业、农业、国防建设及现代生活的各个领域。石油是美观耐用的涤纶、维尼纶、合成羊毛等衣料和各种各样塑料制品的主要原料；也是耐高

温、耐高压、防腐、防水、抗氧化等制品的基础原料；还是现代国防和宇宙航行中所用的玻璃钢和绝缘材料，以及各种润滑油料等等，它们都是石油或天然气的合成产品和炼制品。除此之外，石油的加工品还能广泛应用于医药、农药、化肥、染料、炸药、人造革、照像底片、绝缘物和洗涤剂等方面。目前还有向食品、生物助长剂等方面发展的趋势。石油炼制的最终产物——沥青。还是铺路的好材料。可见石油本身全是宝，无怪乎被人们誉为“液体的金子”。

因此，石油工业是重要的基础工业。大力发展石油工业具有十分重要的现实和长远的意义。

三、我国石油地质勘探发展概况

我们伟大的祖国幅员辽阔，油、气资源十分丰富，而且具有生产油、气的悠久历史。早在 3000 多年前（公元前 1122~770 年）周代《易经》就有了“泽中有火”的记载，阐明了可燃的天然气在湖泊水面出露的气苗；公元前 250 年我国劳动人民已在四川广都开始用土法凿井取盐，并利用天然气进行煮盐，凿出了世界上第一口天然气井，说明我国是世界上最早开发气田的国家。我国最早的石油记载见于 1900 多年前班固著《汉书·地理志》中，记有“高奴（指今延安）有洧（wei）水（指石油），可燃。”公元 267 年晋朝张华著《博物志》描述了甘肃酒泉油苗的特征，当时称石油为“石漆水”，用作润滑车轴、燃烧和照明；9 世纪初唐朝李延寿在《北史·西域传》中记载了龟兹（今新疆库车一带）的油苗，如奶酪粘稠，具有臭味；科学术语“石油”是北宋（1080 年）著名科学家沈括在《梦溪笔谈》中首次提出的：“鄜（fu）延（今陕西省富县）境内有石油，旧说高奴县出脂水，即此也。”又说“石油…生于水际沙石，与泉水相杂惛惛而出。”“此物后必大行于世，…盖石油至多，生于地中无穷，不若松木有时而竭。”展示了石油利用的未来远景。在历史上，石油不仅用于润滑、照明、燃烧和医药，而且很早就应用于军事上，《元和郡县志》记载公元 576 年酒泉人民用石油作为焚毁突厥族入侵的武器，保卫了城池；北宋神宗六年（公元 1073 年）在京都汴梁军器监设有专门加工石油制作兵器的作坊——猛火油作；从汉朝末年开始，在四川自流井大规模开采天然气煮盐以来，共钻井数万口，采出了几百亿立方米天然气和一些石油，这样长的气田开采历史在世界上也是罕见的。所有这些都反映了我们勤劳、勇敢、智慧的中华民族，在认识、利用和开采石油、天然气资源方面一直走在世界的前列，积累了丰富的知识和宝贵的经验。

可是，近百年来，由于帝国主义的侵略掠夺和封建主义、官僚资本主义的腐朽统治，致使我国石油工业没有得到应有的发展。从 1904 年到 1949 年中总共产原油 308 万吨，就是年产量最高的 1943 年也只生产了 32 万吨；在钻井进尺方面，从 1907 年到 1948 年的这 41 年间，总计也只有 67025m，全国从事石油工作的技术人员只不过几十人，仅有几台破旧的钻机，当时我国的石油地质勘探工作几乎处于停滞状态，陷入靠“洋油”过日子的悲惨境地。

新中国成立后，我国的石油工业发生了翻天覆地的变化，石油产量成倍增长（表-2），到目前为止，已经找到大庆、胜利、辽河、华北、中原、大港、克拉玛依、南阳、吉林、长庆、江汉、江苏、青海、南海、渤海、塔里木等油田，产量为解放初期的 600 多倍。经过解放 43 年来的工作证明，我国油、气资源十分丰富。

1978 年产油达 1.04 亿吨，从此石油年产量超过亿吨大关，持续稳定增长，至 1992 年产油达 1.42 亿吨。随着近代科学技术的发展，我国的石油勘探已经不局限于地壳的表面，而且向地壳的深部和海洋发展。在渤海、南海北部湾等都试出了油气，并投入开发生产。

解放 43 年来，我国在石油地质勘探不断发展的同时还成长起来一支石油与天然气地质

勘探和科学研究的队伍。在石油地质理论研究领域也做出了很大贡献。在生油理论方面，破除了“中国贫油论”的谬论束缚，批判了国外唯海相生油论的偏见，建立了陆相沉积盆地能够大量生油并形成大型油、气田的新理论，找到了一批重要的陆相大油田。

表-2 我国 1949~1991 年原油产量表

年代	产量 10^4t	年代	产量 10^4t
1949	12.1	1971	3941
1950	20.2	1972	4567
1951	30.5	1973	5361
1952	43.6	1974	6485
1953	62.2	1975	7205
1954	78.9	1976	8715
1955	96.6	1977	9364
1956	116.3	1978	10405
1957	145.5	1979	10800
1958	226	1980	10595
1959	370	1981	10000
1960	520	1982	10200
1961	531.3	1983	10607
1962	574.5	1984	11453
1963	647.7	1985	12480
1964	847.1	1986	12960
1965	1191	1987	13412
1966	1455	1988	13702
1967	1387.6	1989	13760
1968	1599	1990	13830
1969	2174.7	1991	13960
1970	3064	1992	14203

可以预期在不久的将来，在我国大陆和海上，将会发现更多、更好的油、气田。

四、钻井、泥浆工人为什么要学好石油地质学基础

“科学的发生和发展从开始起便是由生产所决定的”。石油地质学的产生与发展完全符合这一规律。目前，我们所学的石油地质学基础主要研究对象是地壳，地壳是由不同岩石所组

成，而油、气又储集在地壳岩石之中，要想打开石油宝库的大门，就得以石油地质学为科学依据，掌握和了解油、气在地下分布规律。

在油、气勘探中，地面地质测量和地球物理勘探等工作虽然必要，但对地下地质情况的认识毕竟属于间接推论，地下究竟有油与否，还需取得直接资料。为此，工人同志说的好：“有油无油问钻头”。只有通过钻井，才能证实油、气是否存在。同时，钻井为油、气流出地面打开了通道，除能进一步取得地下动、静态资料，加深对油、气田的认识，以便更好地开发油、气田外，对新区的勘探也有现实指导意义。由此可见，钻井是目前油、气勘探的一种最有效最直接的方法。

如上所述，对将岩石作为主要工作对象的石油钻井、钻井液工人来讲，如何根据不同的岩石选择不同的钻头、钻压和钻速，以及使用不同性能的钻井液，来高速、优质地钻开油层是非常重要的。要做到这一点，石油钻井、钻井液工人必须学好石油地质学基础”这门课，具备一定的石油地质学基础知识，了解和掌握组成地壳的各种岩石的不同性质和各种地质现象。只有这样，我们才能在钻井过程中了解可能钻遇的地层层序、接触关系、岩性组合等特征，判断可能出现油、气显示的层位，了解地层岩石的可钻性，以及对钻井液性能的影响，找出含砾石、含石膏、盐层、易斜、易塌、易喷、放空、易漏、易造浆、易泥包、易卡钻的井段。这样才能做到有的放矢，提高钻井的速度和质量。否则，就会盲目钻井，不但实现不了优质、快速的钻井目的，相反会事故不断，出现严重的后果。

复习思考题

- 1.“石油地质学基础”是一门什么科学？它研究的对象是什么？
- 2.《石油地质学基础》包括哪些主要内容与任务？
- 3.石油和天然气在国民经济中有什么重要作用？
- 4.举例说明我国石油地质勘探的历史和现状。
- 5.我们为什么要学好《石油地质学基础》课？

第一章 地球及其表层

在中学地理课程中，我们学了“地球在宇宙中”的基本知识，为现在深入学习石油地质知识打下了必要的基础，同时起到了承上启下的作用。

石油和天然气都埋藏在地下不同深度的岩石中，浅者几十米（有的出露地表，如柴达木盆地油砂山），深者数千米，均在地壳范围内。因此，地壳是我们寻找和开发油、气田的场所。那么，地壳和地球是什么关系呢？

第一节 地球的形状、大小及主要物理性质

一、地球的形状和大小

地球的形状是一个复杂的不规则的旋转椭球体。地球表面既有陆地、也有海洋，既有高山、又能深海沟，表面形态不甚规则。但是，相对庞大的地球来说，这些起伏是微不足道的。

通常所说的地球形状是指大地水准面所圈闭的形状。大地水准面是由平均海平面及其延伸通过陆地的封闭曲面所构成。在通常情况下，平均海平面的位置不变，可作为大地测量中的高程标准（海拔）。

根据人造地球卫星的精密测量，还发现南半球比理想椭球体略平，南极下凹约 30m；北半球稍尖，北极凸起约 10m，略似梨形，见图 1-1。赤道面呈椭圆形，长轴指向东经 160° 和西经 20°，并且长于短轴 430m。但这些差别所占地球的比例毕竟很小。

现将 1975 年第 16 届国际大地测量和地球物理协会有关地球形状和大小修订的数值列出如下：

赤道半径 a	6378.140km
两极半径 c	6356.755km
长、短半径差 $a-c$	21.385km
平均半径 $R = (a^2 \cdot c)^{1/3}$	6371.004km
扁率 $(a-c) / a$	$1 / 298.257 = 0.0033528$
赤道周长 $2\pi a$	40075.036km
子午线周长 $2\pi c$	39940.670km

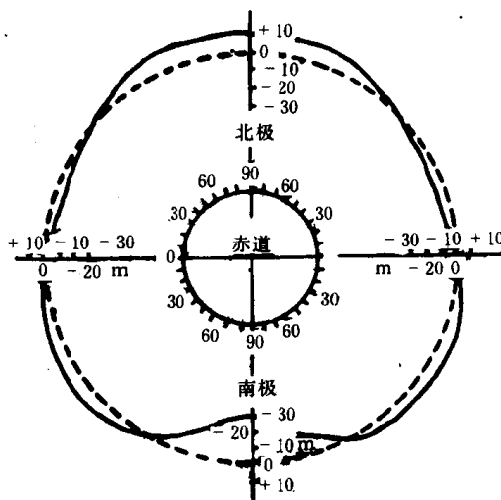


图 1-1 大地水准面（实线）和参考偏球面（虚线）的偏离示意图

表面积 $4\pi R^2$

510064471.6km^2

(约 5 亿平方公里)

体积 $4/3\pi R^3$

1083206900000km^3

(约 1 万亿立方公里)

二、地球的主要物理性质

1. 地球的质量和密度

根据万有引力定律可以计算出地球的质量为 $5.976 \times 10^{27}\text{g}$ 。用地球的质量除以地球的体积便可得出地球的平均密度为 $5.517\text{g}/\text{cm}^3$ 。通过实测,地表岩石的平均密度为 $2.7 \sim 2.8\text{g}/\text{cm}^3$,水的密度为 $1\text{g}/\text{cm}^3$,均小于地球的平均密度。

根据澳大利亚学者布伦的推导,地球内部密度是随深度而增加的。地壳表层密度为 $2.7\text{g}/\text{cm}^3$,地幔的密度为 $3.31 \sim 5.62\text{g}/\text{cm}^3$,地幔与外地核的分界面密度由 5.62 陡增至 $9.89\text{g}/\text{cm}^3$,之后渐次增加,至地球中心密度达到 $12.46\text{g}/\text{cm}^3$ 。

2. 地球的重力

地球上任一物体的重力等于核物体与地心引力和地球自转而产生的离心力之合力。地面重力场的变化是随纬度增加而增加,随高度增加而减少。在赤道上重 1000g 的物体拿到两极则重 1005.3g 。根据重力与纬度的这种变化关系,理论上可以计算出各地重力值,叫做正常重力值。实际测量的重力值与理论重力值常常不相符合。这种现象叫重力异常。研究结果表明,在埋藏有石油、煤、盐等非金属矿物以及沉积岩、酸性岩等密度较小的物质地区,重力常显示出负异常;而埋藏有铁、铜、铅、锌等金属矿以及基性岩、超基性岩地区,则常出现正异常。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。所以重力勘探是油、气区域勘探中常用的重要手段之一。

3. 地球的磁性

地球是一个大磁体,其磁性使周围空间形成一个强大的磁场。由于地磁南北极与地理南北极不重合,故地磁子午线与地理子午线之间形成一个夹角,这个角称为磁偏角。磁针只有在地磁赤道地区才能保持水平,而在两极都处于直立状态。在不同纬度地区,磁针与各处水平面间形成不同程度的夹角,这个角称为磁倾角。如果实测的磁偏角和磁倾角与理论值不符时,则叫地磁异常。引起地磁异常的原因一般与地下存在着具有磁性的岩石或矿体有关(石油为低磁性)。磁法勘探就是利用这个原理寻找磁力异常区,从而发现地下高磁性或低磁性矿床。所以磁法勘探在油、气田区域勘探中也是常用的重要手段之一。

4. 地球的温度

地球是个巨大的热库。地热的来源有两个方面:一是来自太阳的辐射热,一是来自地球内部的热能。根据大陆地表以下地温的来源和分布状况,将地下温度分为三层。

(1) 外热层(变温层) 属于地球表层大陆上的一个温度层。温度主要来自太阳的辐射热能。由于地表的温度随纬度高低、海陆分布、季节、昼夜、植被等的变化而不同,这种温度变化所影响的深度一般不超过 20m 。年变化所及的深度,即是外热层的下限。

(2) 常温层(恒温层) 外热层以下是常温层,常温层的温度一般相当于该地区年平均温度。一般中纬度地区的常温层深度大于赤道和两极地区,内陆的深度又大于海滨地区。我国北方常温层深度约为 30m 。

(3) 内热层(增温层) 常温层以下为内热层,此层温度不受太阳辐射热的影响,其热能来自地球内部。其中主要是来自放射性元素衰变产生的热能。在亚洲大致每增深 100m 温

度增高 2.5°C ，我国大庆每增深 100m 增高 5°C ，华北平原一般每增深 100m 增高 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 。在常温层以下，深度每增加 100m 所增高的温度，称为地热梯度（或地热增温率），以 $^{\circ}\text{C}$ 表示；而把温度每增高 1°C 时所增加的深度称为地温级（或地热增温级），以 m 表示。地热梯度和地温级在数值上是互为倒数的。例如地热梯度为 2°C 时，地温级则为 50m。一般常用地热梯度来计量地球深部的温度增量。地心温度一般认为不超过 5000°C 。

地球内部的热不断的传出地面叫做热释放。如火山、温泉、岩浆侵入活动以及构造运动等都是消耗地热的形式。但是通过上述各种活动所释放的热量只占整个地球放热量的很小一部分，而地球热能经常的消耗主要表现在从地球深部向表面的热传导，称为大地热流。整个地球表面一年中通过大地热流放热的总量可以达到 $9.6 \times 10^{20} \sim 10.9 \times 10^{20} \text{J}$ 。这个数字相当于燃烧三百亿吨煤放出的热量。可见地球内部蕴藏着丰富的地热资源。

地温梯度大于平均值的地区叫地热异常区，如温泉、沸泉和火山地区等。在这些地区可利用地下热气、热水建立地热发电站或提供农业和生活用热水。如西藏羊八井热气井，在 65m 深处就达到 165°C ，是我国著名的地热资源区之一。广东丰顺、河北怀来、江西宜春、湖南宁乡、山东招远和辽宁熊岳亦先后建成了试验性地下热水发电站。近来华北石油技工学校水井队在校内打了一口深 1800 多米的热水井，出井热水达 70°C 。成为全校生活用热水的重要水源。

在钻井过程中，由于温度的作用，钻井液的性能可能受影响。同时，不同的温度对于钻具的质量也有所要求。为了正常钻井，必须在不同深度使用不同质量的钻具和掌握钻井液在不同温度下的变化情况。

第二节 地球的表面特征

地球表面由陆地和海洋组成。海洋总面积约占地球总面积的 70.8%；而陆地面积约占地球总面积的 29.2%，且多集中于北半球。世界最高峰珠穆朗玛峰，海拔高度为 8848.13m；最深海沟为太平洋的马里亚纳海沟，深度为 11034m。最大高差近 20km。整体看来地球表面起伏变化大，地形复杂。

一、陆地地形

按照高程和起伏形态，可将陆地地形分为山地、丘陵、平原、高原、盆地和洼地等类型，见表 1-1。

地球表面的陆地地形以 1000m 以下的低山、丘陵和平原分布最广，占地球总面积的 20.5%。其中又以平原为主，约占地球总面积的 18.5%。大于海拔 5000m 的极高山，仅占地表总面积的 0.1%。

二、海底主要地形

海底地形和大陆地形一样复杂多变，按海水深度变化和地形形态特征，海底地形可分为大陆架、大陆坡和大洋底三个单元。见图 1-2。

1. 大陆架

大陆架是分布在大陆边缘的浅水台地，在地貌和地质构造上是大陆向大洋的自然延伸部分。其深度在各地不完全相同，一般不超过 200m。大陆架坡度平缓，略向海洋倾斜，坡度不超过 1° ；宽度不一，最窄处不足 1km，最宽处超过 1000km。全球大陆架平均宽度为 75km，平均水深为 133m。我国的黄海、东海、南海海底都属于大陆架，海域宽达 500km

左右。在此区域内，蕴藏有极为丰富的石油等矿产资源。

表 1-1 陆地地形分类表

地形分类	海拔高度	相对高度	地形特征
山地	5000m 以上	200m 以下	顶部高耸、坡度陡峻、沟谷幽深
丘陵	500m 以下	几十米至 200m	地形起伏，坡度较缓。如辽东丘陵、山东丘陵、川中丘陵、东南丘陵
平原	一般在 200m 以下	小	地面宽广低平，起伏很小。如东北平原、华北平原、长江中下游平原
高原	600m 以上	较小	地面宽阔平坦或略有起伏。如青藏高原、黄土高原
盆地			四周为高原或山地，中间低平，形似盆状。如四川盆地、塔里木盆地
洼地			平原或盆地中，地势低洼，甚至低于海平面以下。如吐鲁番盆地的鲁克沁洼地，其中艾丁湖面在海平面以下 154m

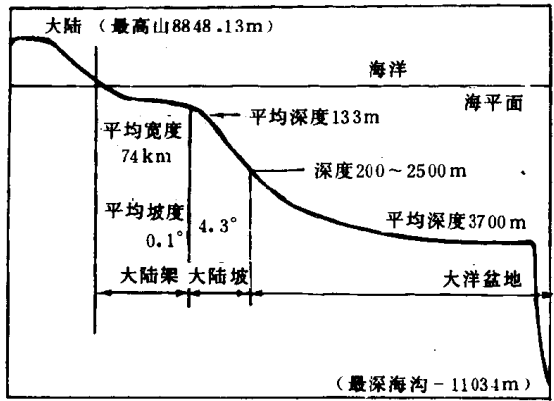


图 1-2 大陆边缘示意图
(垂直比例夸大)

2.大陆坡

大陆架外缘至大洋洋底坡度较陡的区域为大陆坡。其水深一般自坡折线 200m 开始至 2500m，坡脚深度为 1400~3000m 左右。坡陡明显变陡，平均坡度为 4.3° ，有时可达 $13^\circ \sim 14^\circ$ 。大陆坡呈宽数十公里的条带围绕着大陆架。地形崎岖不平，明显的特点是存在着许多象大陆上的“V”字型峡谷，称为海底峡谷。一般认为这种峡谷是海底浊流侵蚀的结果。也有人认为是河流侵蚀的谷地因沉降而被海水淹没所形成。大陆坡处于较厚的大陆性地壳和较薄的大洋性地壳交界的位置，是陆块和洋底的真正界限，所有的大陆都突然终止在这个狭窄的大陆坡范围。

3.大洋底 (大洋盆地)

大洋底是海洋的主要部分，占海洋总面积的 45%，深度大部分在 3000~6000m。大洋底主要由洋脊、海沟和深海盆地组成。

(1) 洋脊 (洋中脊) 是大洋底部呈线状分布的隆起地带，延续数万公里，宽可达 1000km 以上，高差为 2000~4000m。洋脊的中央有裂谷，其相对深度可达 1000~2000m，宽度可达数十公里，如大西洋中部洋脊。

(2) 海沟 是海底的长形洼地，往往与岛弧相邻近且与其平行。典型的海沟位于洋盆的边缘，其深度一般小于 6km，最深可达 11km。例如马利亚纳海沟，菲律宾海沟和阿留申海沟等。海沟是地壳的不稳定地区，有强烈的地震和火山活动。

(3) 深海盆地 大陆坡以下为洋中脊和海底高地所分割的盆地，一般水深 4000~

5000m，是地球表面最平坦的地区，表面坡度一般不超过千分之一度。

第三节 地球的层圈构造

地球的物理性质决定了地球的非均质性。不同状态的各种物质围绕地心形成了一系列的同心圈层构造。这些圈层可概括为地球外部分圈和地球内部层圈两大部分。

一、地球的外部分圈

1. 大气圈

大气圈是地球的最外圈，厚度有几万公里。由于地心引力作用，下部空气的密度大于上部空气的密度。其上界气体稀薄，逐渐过渡到宇宙气体，没有明显的顶部界面。根据大气圈的物理特征和成分的不同，自下而上可分为对流层、平流层、中间层、热成层和磁层。这里主要讲一下与本课程有关的对流层。

对流层是大气圈的底层。下界为地面，上界随纬度和季节而异。其厚度各地不一，在赤道地区平均厚度 17~18km，中纬度地区平均厚 10~12km，高纬度地区平均厚 8~9km。对流层集中了大气圈中大约四分之三的质量和全部水气。由于温度和湿度分布不均，空气产生强烈的对流运动和水平运动。一切风、云、雨、雪等现象都出现在这一层，是大气变化最复杂的层次。对流层不仅与人类生活密切相关，而且对地表岩石的各种变化也起着重要作用。

2. 水圈

地球表面近 71% 的面积被海水所覆盖。除此之外，陆地上还有许多河流、湖泊、冰川以及普遍存在的地下水。这些水可以看成是包围地球的一个连续而不规则的圈层。

自然界的水在太阳辐射热的影响下，以降水、蒸发、地表径流和地下径流等四种方式进行着周而复始的不间断的循环，从而产生了巨大的动力。河流、湖泊、地下水、冰川、海洋等的活动，对地表岩石的破坏和建设起着重大作用。水的参与是地球发展和地壳变化的最积极因素之一。

3. 生物圈

围绕地球和地球表层有生命物质（动物、植物和微生物）存在，并能进行繁衍生长和交往活动的范围称为生物圈。至今已发现有一百多万种动物和三十多万种植物。生物的繁殖和遗体的堆积，为形成石油、天然气和其他矿产资源提供物质基础。生物对地表的物质迁移和聚集起着巨大作用。生物依赖着大气圈、水圈和地壳而生存，同时影响和改造着地球的面貌，成为改造大自然的一个积极因素。

二、地球的内部层圈

现阶段对地球内部结构的认识，主要依据地球物理测量资料。例如地震波的传播速度、重力值及导电率等方面的数据，它们能明显地反映出地表至地心组成物质的密度差异。

地震发生时，地震波从震源向各个方向传播，大地震引起的震波可以传遍全球。地震波主要有两种：一种是纵波（P 波），它的传播方向与质点震动方向一致，它在固体、液体和气体介质中均可传播，其速度最快，在地壳上层每秒大约为 5.6km；一种是横波（S 波），它的传播方向和质点震动方向垂直，横波只能在固体介质中传播，而不能穿过气态和液态物质，它的速度稍慢，在地壳上层每秒大约 3.2km。地震波传播的速度取决于所通过的物质的密度和弹性的变化。根据震波在地球内部传播速度的变化，以及震波的折射，反射和被吸收等情况，来推测地球内部的构造。

由于地球内部的非均质性，地震波在地球内部不同深度传播的速度是不一样的。从地震波的研究分析，地震波传播的速度在若干深度处发生突然变化，这种波速发生突然变化的面称为不连续面或界面。在所有不连续面中有两个波速变化最显著，叫一级不连续面。一个在地下平均 33km 处，在此不连续面以上纵波速度为每秒 7.6km。以下则激增为 8.1km。横波由每秒 4.2km 增加到每秒 4.6km。这个不连续面是南斯拉夫地球物理学家莫霍洛维奇于 1909 年首先发现的，即地壳和地幔之间的面，简称莫霍面。另一个不连续面在 2898km 深处，在这里纵波速度由每秒 13.63km 突然降为每秒 8.1km。而横波至此则完全消失。这个不连续面是由美国地球物理学家古登堡于 1914 年提出的，即地幔和地核之间的界面，简称古登堡面。根据这两个一级不连续面，将地球内部划分为地壳、地幔和地核三个大的圈层(图 1-3)。

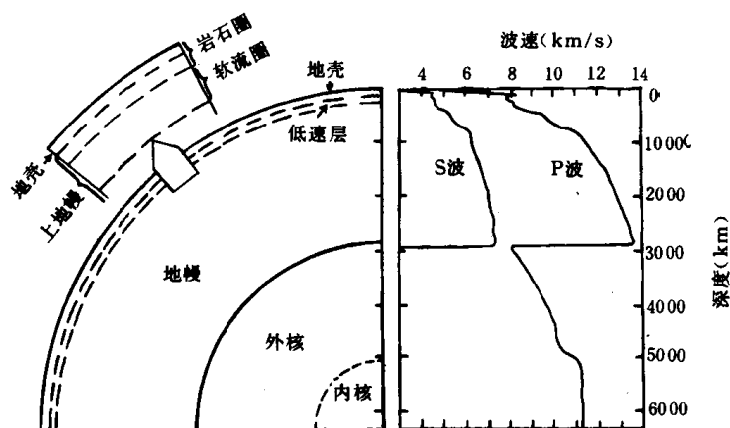


图 1-3 地球内部地震波速度分布及地球内部分层

1. 地壳

地壳是由岩石组成的，是地球外层的固体硬壳，下界以莫霍面为界与地幔分开。

地壳按结构特点可分为大陆地壳和大洋地壳两种主要类型。大陆地壳的平均厚度一般为 33km，最厚处 65km 以上。如喜马拉雅山脉地区地壳厚度达 70km。海洋地壳较薄，如太平洋底只有 7~8km 厚，最薄的地方仅 5km。见图 1-4。

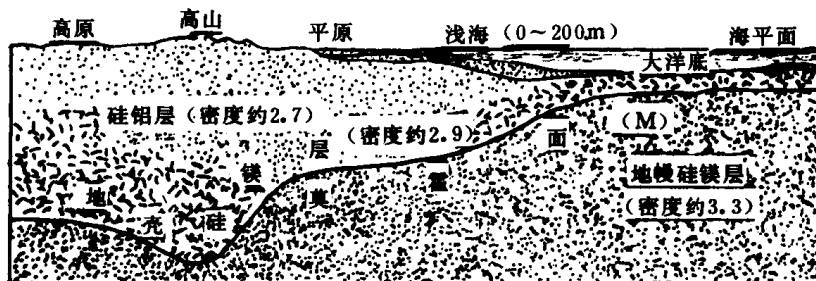


图 1-4 地壳结构示意图

根据不同的地球物理特性和物质组成，地壳自上而下又可分为沉积岩层、花岗岩层和玄

武岩层。

沉积岩层是由各种沉积岩组成的，它主要分布于大陆部分，占陆地面积约 75%，其厚度一般为 5km，有的地方 10~20km。目前世界上已发现的油、气田绝大部分分布于沉积岩层内。因而，深入细致地研究沉积岩层对石油勘探工作具有很大的实际意义。

花岗岩层主要由 O、Si、Al 等成分组成，故又称为硅铝层。厚度在大陆上一般为 10km，山区为 30~50km，在太平洋中缺失，在大西洋和印度洋只有薄薄的一层。

玄武岩层主要是由 O、Si、Mg 等成分组成，故又称为硅镁层。厚度 10~20km，有的地方 20~24km。太平洋底除个别地区外几乎全由玄武岩层组成。

2. 地幔

指莫霍面以下到古登堡面以上这一圈层，深度由 33km 至 2898km。根据地震波速的变化，以 984km 深度为界可分为上地幔和下地幔两个次级圈层。上地幔的物质成分除 SiO_2 外，Fe、Mg 显著增加，与超基性的橄榄岩类岩石成分大致相当。下地幔的组成物质除近似橄榄岩类岩石外，其金属氧化物和硫化物有显著增加。

通过对地震波传播特征的研究，发现在 60~250km 处存在着“低速带”。低速带的刚性应低于其上、下层的物质，因而认为组成低速带的岩石有较大的塑性，并称之为“软流层”。按地热增温度推算，软流层的温度可达 700~1300℃，已接近超基性岩熔点。因而推断此带已部分熔融，也许这是使波速降低的原因。同时还认为低速带是岩浆的发源地。

3. 地核

位于深 2898km 古登堡面以下直到地心部分称为地核。根据地震波速度的变化可将地核分为外核、过渡层和内核三层。据推测，地核半径为 3473km，密度可达 $9.7\sim 17.9\text{g/cm}^3$ ，压力可达 $36\times 10^4\text{MPa}$ ，温度在 3000℃ 以上，最高可达 5000℃，外核由液态物质组成，内核为固态物质，地核的物质成分主要由铁、镍成分组成。

第四节 地壳的物质组成

一、组成地壳的化学元素

地壳是由岩石组成的，岩石是由一种或一种以上的矿物组成的集合体，矿物是地壳中的化学元素在各种地质作用下形成的单质或化合物。所以，化学元素是组成地壳的基本物质。

组成地壳的化学元素很多，几乎包括周期表中所有的元素。但是，这些化学元素在地壳中的分布极不均匀，分布量最大的前十种元素是 O、Si、Al、Fe、Ca、Na、K、Mg、H、Ti。其重量占地壳总重量的 98.74%，而其余众多元素加起来只占 1.26%。见表 1-2。就每一种元素在地壳内的分布也是极不均匀的，有的地方比较分散，有的地方则相对集中。而相对集中的地方就往往富集成有经济价值的矿床。

地壳中的各种化学元素以矿物的形态产出，矿物有规律地组合形成各种岩石，所以矿物是最小的地质单位。矿物和岩石都是地质学研究的主要对象。

二、组成地壳的矿物

1. 矿物的概念

矿物是地壳中的化学元素在各种地质作用下所形成的具有相对固定的化学成分、物理性质和内部结构的自然单质和化合物。

自然界中矿物存在的状态有三种：绝大多数呈固态，少数呈液态和气态。呈固态的如金