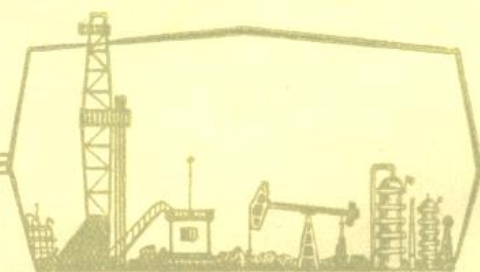


高等学校教学用书

油气田开发地质基础

李茂林 黎文清编



石油工业出版社

油气田开发地质基础

李茂林 黎文清 编

石油工业出版社

油气田开发地质基础

李茂林 黎文清 编

石油工业部教材编译室编辑(北京 502 信箱)

石油工业出版社出版发行

(北京和平里七区十六号楼)

大厂回族自治县印刷厂印刷

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ 印张 21 字数 525 千字 印数 1—11000

1981 年 8 月北京第 1 版 1981 年 8 月北京第 1 次印刷

书号 15037·2246 定价 2.20 元

内 容 提 要

《油气田开发地质基础》共分十四章，内容包括地球及其表层、地质作用、矿物、岩石、古生物及地层、沉积相、构造地质、石油地质、油气田地质研究、石油及天然气储量计算等。本书可做为高等石油院校油气田开发专业通用教材。

前 言

一、本书是根据石化部一九七七年五月“东营教材会议”分配的任务而编写的。为石油高等院校采油、油气田开发专业通用教材。

二、全书共分十四章，内容包括基础地质、石油地质、油气田地质研究、石油及天然气储量计算等。涉及的地质学科较多。注意加强了基础理论、基本知识和基本技能等方面的内容，不论内容的深度和广度方面，都较实际学时所规定的深一些和广一些。书中共附有图表 380 幅。有些章节（如地球基本知识、地质作用、古生物、岩浆岩、变质岩、地球物理测井），教师只需做简要讲解，余者留给学生去自学即可。

三、本书以自编《油田开发地质基础》上、中、下三册油印教材为基础，从有关院校和现场编写的书刊中选用了一部分内容，还收编了国内几个主要油田的现场实际资料和地质理论研究成果。针对专业需要，加强了碳酸盐岩、沉积相、地层对比、油层地质结构研究、储集岩等方面的内容，注意理论联系实际，立足于培养学生分析问题和解决问题的能力。教材除对采油、油气田开发专业通用外，钻井、物探、测井诸专业也可选用。还可供其它地质工作者参考。

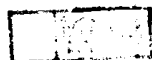
三、本书由大庆石油学院勘探系石油地质教研室李茂林、黎文清主编；由杜博民教授主审。书中第一至第七章由黎文清编写；第九、十、十二、十四章由李茂林编写；第十一章由李茂林、王子文、郝书翰编写；第八章由李世安、李茂林编写；第十三章由李世安编写；附图由梅熹、郭鹏英描绘。在编写过程中，普通地质教研室、石油地质教研室的有关教师参加了初稿讨论和初审工作；还有一部分同志参加了缮写工作。

四、本书的初稿承西南石油学院勘探系老师颜婉荪、官鸿本同志审阅并提出了宝贵意见，在此表示深切的感谢。

由于编者水平有限，书中缺点错误在所难免，请读者提出批评指正。

编者

一九七九年十二月



目 录

第一章 地球及其表层	1
第一节 地球的形状和大小	1
第二节 地球的构造	1
第三节 地球内部的特殊情况	5
第四节 地壳的物质成分	7
第五节 地幔、地核的物质组成	8
第二章 地质作用	12
第一节 地质作用概述	12
第二节 内力地质作用	12
第三节 外力地质作用	15
第三章 造岩矿物	39
第一节 矿物的概念及主要物理性质	39
第二节 矿物的分类	42
第三节 常见的主要造岩矿物及其鉴定特征	43
第四章 岩浆岩及变质岩	52
第一节 岩浆活动与岩浆岩	52
第二节 变质作用与变质岩	60
第五章 沉积岩	63
第一节 沉积岩的颜色	63
第二节 沉积岩的结构、构造和韵律	64
第三节 碎屑岩	70
第四节 粘土岩	77
第五节 碳酸盐岩	79
第六节 生物化学岩	87
第七节 沉积岩的肉眼描述要求	88
第六章 古生物及地层	91
第一节 古生物	91
第二节 地层	123
第七章 沉积相	137
第一节 沉积相的概念及分类	137
第二节 陆相	138
第三节 海相	155
第四节 海陆过渡相	158
第五节 沉积地球化学相	171
第六节 沉积相的共生组合规律	174
第八章 构造地质	176
第一节 岩层的产状	176
第二节 褶皱构造	177

第三节	断裂构造	180
第四节	含油、气盆地内的地质构造单元	188
第五节	构造剖面图及地下构造图的编制	192
第九章	石油和天然气	203
第一节	石油	203
第二节	天然气	207
第十章	储油、气岩层	210
第一节	岩石的孔隙性和渗透性	210
第二节	储集层的类型	212
第十一章	石油的生成和运移	225
第一节	石油的生成	225
第二节	油、气运移	232
第十二章	石油的聚集	239
第一节	圈闭和油、气藏的概念	239
第二节	构造油、气藏	241
第三节	地层油、气藏	250
第四节	岩性油、气藏	255
第五节	油、气聚集单元及其分布	258
第十三章	油、气田地质研究	263
第一节	油、气田地质研究的意义	263
第二节	油、气田地质研究的基础资料	263
第三节	油层对比	292
第十四章	石油及天然气储量计算	313
第一节	石油储量计算	313
第二节	天然气储量计算	325

第一章 地球及其表层

石油、天然气都埋藏在地下的岩石中，浅者几十米(有的露出地表)，深者数千米，均在地壳范围内。因此，地壳是石油地质工作者研究的主要对象。为了不断扩大石油、天然气后备储量，开采出更多的油气，加速发展我国的石油工业，为祖国社会主义四个现代化多做贡献，必须掌握油田开发地质知识，首先应对地球特别是地壳有所了解。

地球是太阳系中九大行星之一。在天文学中，把围绕太阳旋转的星球称为行星。在太阳系中有很多行星，但最大的只有九个，即水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星和冥王星。统称为九大行星。除了水星、金星和冥王星外，各行星又有较小的行星围绕它们转，这些较小的天体，称为卫星。例如，天王星有五个卫星，土星有十个卫星，木星有十三个卫星。地球只有一个卫星——月亮围绕地球旋转。

在太阳系中，行星际空间是非常辽阔的。地球距离太阳约 14960 万公里，这个距离称为一个天文单位。冥王星离太阳最远，有 39 天文单位(约 59 亿公里)。其次是海王星，离太阳有 30 天文单位(约 45 亿公里)。地球的体积只有太阳的一百三十万分之一，两者相差悬殊。就是和木星相比，地球也比木星小一千多倍。土星、天王星，海王星也都比地球大。

在太阳系以外，是恒星空间更为辽阔的银河系，估计它有 1000 亿颗以上的恒星，太阳只是其中的一个恒星。

银河系之外，还有无数的河外星系。恒星际空间采用光年做距离单位，即光在一年时间内所传播的距离(约 94600 亿公里)为一光年。太阳离银河系的中心约 27000 光年。

银河系大致呈扁球形，绝大多数星体都是密集在扁球的中心平面附近，这个平面的直径约为 10 万光年。由此而知，宇宙是无边无际的，地球在已知的天体中只不过是“沧海一粟”，微乎其微。

第一节 地球的形状和大小

地球是个略微有点扁的椭球体，在两极的地方略微扁平，而赤道区是鼓起的，这是地球绕轴运动的结果。赤道半径为 6378.160 公里，极半径为 6356.755 公里。地球的面积约 510 百万平方公里，体积约 108×10^{10} 立方公里。质量为 5976×10^{27} 克。

我国面积为 960 万平方公里，约占地球陆地面积的 6.6%，与欧洲的面积差不多，相当于英国面积的 38 倍。我国地下资源丰富。同时我国又是一个靠海的国家，天然海岸线长达 14000 多公里，在海底蕴藏着极其丰富的石油，因此，多快好省的发展我国的石油工业，为建设社会主义的现代化强国做出更大贡献，是大有可为的。作为中国石油工作者，应当努力奋斗，为祖国争光！

第二节 地球的构造

现代科学按照不同的物理化学性质把地球分为下列层圈，由外向里依次是大气圈，水

圈、生物圈、地壳、地幔、地核。

地壳及其以上部分——大气圈、水圈、生物圈，属于地球的外部分圈；地幔、地核，属于地球的内部分圈。

一、地球的外部构造

大气圈是地球的最外层，主要是由气体组成的一个连续的层圈，圈厚几十公里，两极薄，赤道厚。其下界是岩石圈或水圈以下 200 米及较深处，其上界可达 3000 公里，气体逐渐稀薄向太空过渡。随着高度的变化，大气圈的密度、温度、成分等物理状态都有一系列的变化，大气圈的最底层（7 公里至 8 公里）是对流层。大气因地面温度变化和地球自转而发生对流，大气运动（风）对地表的地质作用起着相当大的影响。

水圈也是闭合的连续的一圈，包括海洋、河流、湖泊、地下水以及渗透在岩石裂隙中的水分。水圈的厚度因地而异，厚者可达 11 公里以上，最高的山区地下水层可达 10 公里，水圈厚度约 22 公里。见图 1-1。

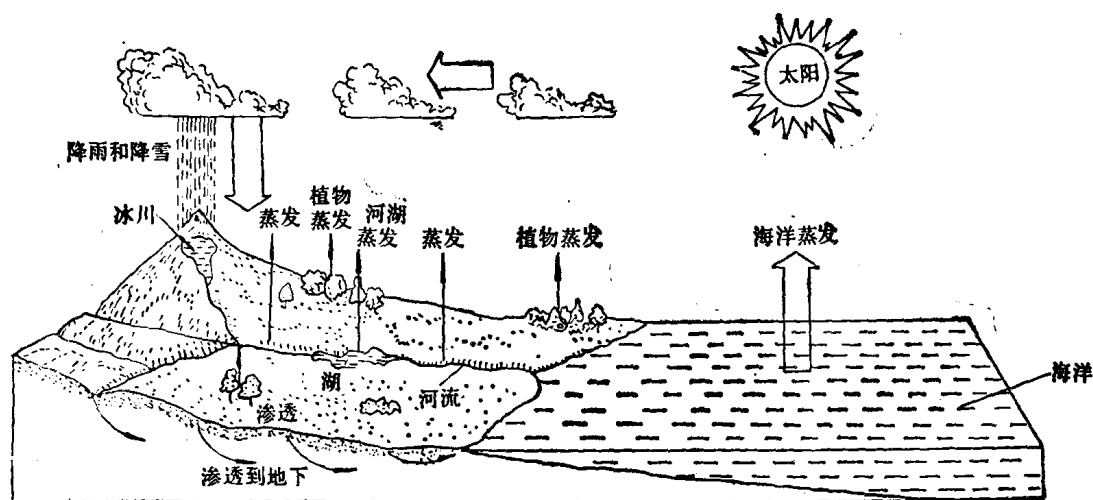


图 1-1 水圈示意图

地球表面占总面积的 71% 均为水所覆盖。

生物圈代表有生命物质的一圈，对于岩石的破坏和建造起着重要的影响。生物作用在地壳上是很重要的，在地壳的表层，在水圈中，在大气圈的下部都有种类繁多的生物，形成一个连续不断的生物圈包围着地球。

地壳是固体地球的最外层，主要是由固体岩石所组成，曾称为岩石圈。随着研究的深入，人们认为岩石圈应包括一部分上地幔，平均厚度为 70~100 公里。

二、地球的内部构造

人们生活在地球上，但对地球本身、特别是对地球内部情况的了解，还不十分清楚，这是因为，直接深入到地球内部目前还缺乏有力的手段。所以只能从地表出发逐渐探索地球内部情况。

人们不可能在地球上切个很深很深的大口子，进去看看地下的情况，但是奔腾的河水在一定程度上确实在进行这种切割工作。山区、高原的峡谷正是被河流切开的口子，从山顶到

谷底露出一个天然剖面，可供人们仔细观察。但是河流切开的剖面也只有几千米，而且不是到处都有这样的剖面。在已经开采多年的矿井里，随着开采深度的增加，也可以直接了解一些地下的情况。人们采用钻井的方法，深入地下几百米、几千米取出岩心及其它实测资料，用来了解地下情况。但是通过这些途径，我们所能直接了解到的仍然是地球的表皮。目前，最深的矿井只有三千米，寥寥无几的“超深钻井”也没有超过十公里，这个深度同地球半径(6371公里)比较，只是千分之一左右。对于更深的地下情况，人们只能寻求间接的方法。

火山喷发很早就引起了人们的注意，这是来自地下深处炽热的岩浆。据现在了解，岩浆来源于地下 60 至 200 公里的深度，这显然比最深的钻井深得多。火山喷发带上来一些地下物质，反映了那里的高温环境。然而岩浆一旦溢出地表已经远远不是它在地下深处的那种状态。所以通过火山喷发所了解到的地下情况仍然是有限的。而且火山的活动不但给我们提供了一些地下情报，同时也向人们提出了更加尖锐的问题：地下的岩浆为什么会喷出来？岩浆是怎样产生的？整个地球是不是外面蒙上了一层硬壳，里面充满了火热的液体？人们在研究地壳运动过程中，发现地震波对了解地球内部情况起很大作用。强烈的地震往往给人们造成严重的灾害，同时也使我们了解到地下贮藏着巨大的能量。尤其重要的是，这些能量在几秒钟、几分钟内释放出来，从发震的地点以波动的形式向四面八方传播，穿过整个地球内部，又到达地表，我们就可以从这些地震波的记录中找到一些地球内部的情报。

由于地球各个部分的物质组成、密度、弹性等是不同的，地震波的传播速度也不相同，在不同的物质界面上又发生反射、折射等变化，因而就把地球内部的构造显示出来(图 1-2)。

穿过地球内部的地震波有两种：纵波和横波。纵波在固体和液体介质中都能传播；而横波只能在固体中传播，不能通过液体。这两种波的传播形式也不同，两者之间的差异，可以由光栅中引起的扰动来证明(图 1-2)。纵波(p)形成交替地压缩区和膨胀区，引起光栅交替的伸张和压缩。横波(s)形成横向切变，在光栅中引起波形横向移动。

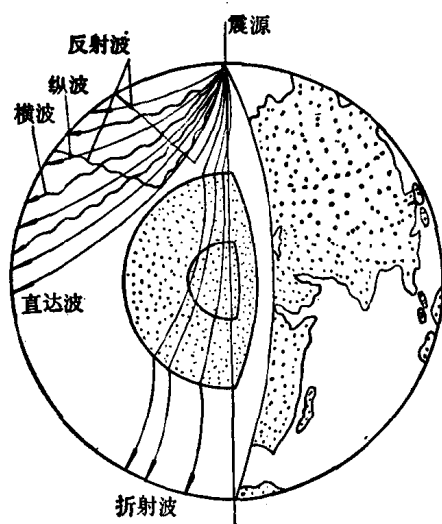


图 1-2 地震波的传播和地球内部构造

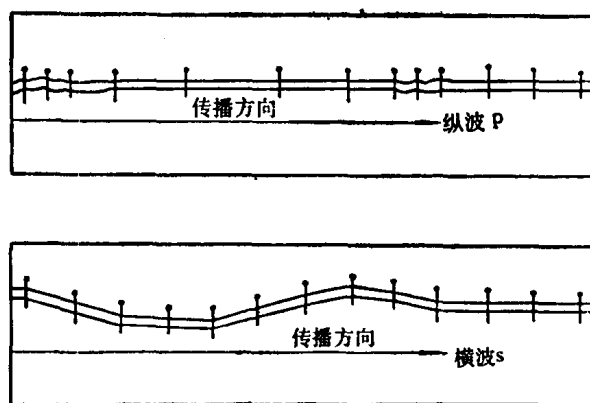


图 1-3 地震纵波(p)和地震横波(s)的传播形式

两种地震波的传播速度也不同，见图 1-4。用记录地震波的地震仪所获得的典型记录(图 1-4 a)表明：纵波(p)和横波(s)离开震源之后，在同一时刻，向各个方向传播，快速的纵波(p)首先到达地震仪，隔一段时间后，慢速的横波(s)才到达地震仪。波到达的延迟时间与波的传播距离成正比。

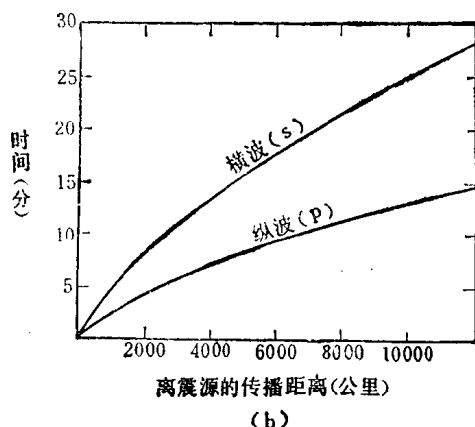
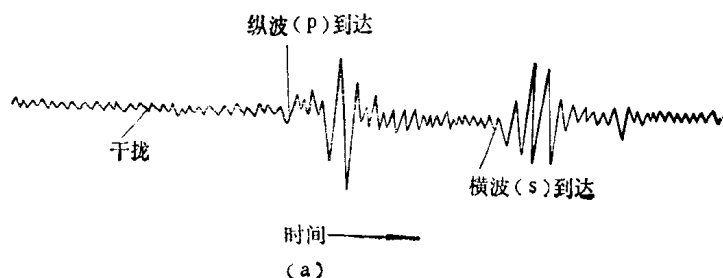


图 1-4 纵波(p)和横波(s)的不同波行时间

利用纵波(p)和横波(s)在地壳内传播的平均波行时间曲线(图 1-4 b), 在三个不同测点上, 根据地震仪所记录的纵波(p)和横波(s)的到达时间, 可以计算出震源的精确位置。

这两种地震波向地球内部传播时, 一般趋势是随着深度的增加、物质密度的增大, 传播速度便逐渐增高。当通过两种不同物质界面时, 传播速度就会发生跳跃式的变化。人们发现, 不论由任何地方发出的地震波, 传播速度随深度变化的规律几乎完全一致, 或者说地球是由一层包一层的同心圈层构成的(图 1-5), 相邻两个圈层之间应该有一个球形界面。1909 年, 南斯拉夫的莫霍洛维契奇首先发现, 在地表下约 35 公里地震波传播速度(纵波和横波)有一个跳跃式的增加, 纵波突然由 3.66 公里/秒增加到 4.55 公里/秒。这种突变显然不是由于深度加大所引起, 而是由于这里的物质的性质发生了截然变化的结果。这就是地下的第一个球形界面, 通称为“莫霍面”或“M 界面”。后来, 在地下 2900 公里深度又找到一个更为明显的界面。当纵波传播到这一深度时, 传播速度大幅度降低, 由 13.64 公里/秒突降到 8.10 公里/秒; 以后传播速度便缓慢的增加着; 而横波到了这个界面就消失了。这自然也说明地下 2900 公里是确实存在着一个物质的物理性质截然变化的分界面。这个界面以下就是地球的核心, 称为地核。这两个分界面很重要, 莫霍面以上到地球表面称为地壳。地壳和地核中间的圈层称为地幔。进一步的研究又在这些圈层内部找到一些第二级的界面, 分出上地幔、下地幔、外核、内核及中间的过渡层等(见表 1-1 及图 1-6)。

从地震波的传播情况来看, 地球绝大部分(地壳、地幔及地核)都是固体的, 只有外核是液体, 所以横波到了 2900 公里界面就不能通过。此外, 在上地幔上部约 60 至 250 公里深度, 地震波速度明显降低, 称为低速层, 表明那里的物质有明显的可塑性。其中局部地方可呈熔融状态, 这就是岩浆的发源地。

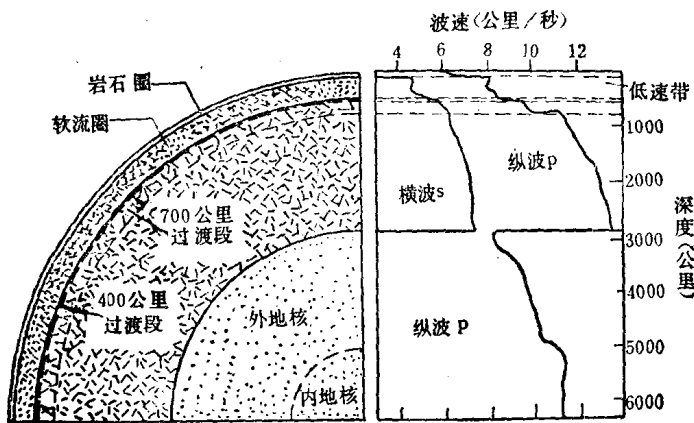


图 1-5 地震波速度在地球内的变化
(在地壳与地幔边界处以及地幔与地核边界处发生突变的波形)

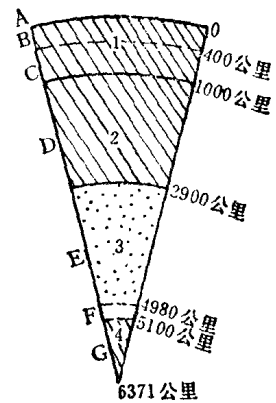


图 1-6 地球内部的分层
1——上地幔；2——下地幔；
3——外核；4——内核

表 1-1 地球的 内 部 分 层

分 层	深 度 (公里)
地 壳 A (莫 霍 面)	0~35
地 幔 { B C D (核幔界面)	35~400 } 上地幔 400~1000 } 1000~2900 下地幔
地 核 { E F G	2900~4980 外 核 4980~5120 过渡层 5120~6371 内 核

第三节 地球内部的特殊情况

要了解地球内部是什么物质，首先应考虑地球内部和地表迥然不同的特殊环境。而反映地下环境的主要标志首先是压力和温度条件。

我们知道，地表的空气压力接近一大气压，约相当每平方厘米面积上承受一公斤的重量。在地球内部由于上面岩石物质的巨大重量，压力随深度的增加而急剧增长。例如油层压力，深度每增加 10 米，压力一般上升一大气压，这种压力随深度的增长率称为压力梯度。各个油田，以及同一个油田的各个油层的地层压力及压力梯度是不同的，它与油层埋藏深度、油层物理性质、水动力条件等因素有关。至于地壳下面的压力，由于地球内部的压力是和地球内部各圈层的密度相关连的，密度越大，比重越大，所以产生的压力也就越大。地壳的平均密度不到 3 克/厘米³，而地球的平均密度是 5.5 克/厘米³，所以地球内部的密度一定更大。实际上由于地壳只约占地球体积的 0.5%，所以 5.5 克/厘米³ 相当于地幔和地核的平均密度。从地表到地心，物质的分配应是上轻下重，才能保持稳定和平衡，所以密度应该随深度而增大。从这个前提出发，结合其它因素，大致推算出了地球各圈层密度变化情况。估计地幔的

平均密度是 4.5 克/厘米³，地核要比地幔高一倍多(10.7)。在地核中心，单位体积的物质要比同样大小的一块地壳岩石重四倍左右。根据密度分布情况结合由地震波速度确定的物性资料，可以算出不同深度的压力情况。据计算，地壳下面的莫霍面附近压力已达到 9000 大气压；在地幔 100 公里深度约为 3 万大气压；地幔—地核边界约为 150 万大气压；在地球中心压力高达 360 万大气压。

地球温度来源有两个，来自太阳的辐射热能和地球深处的热能。

地壳表层的热，几乎都来自太阳，因为岩石的导热性很差，地球内部的热传到地表受到了限制。据计算，在地壳表层，内热不过是外热的 5%。

太阳给予地球的热量，随纬度而不同，即便在同一纬度，各地所得到的太阳热也有不同，这决定于陆海的分布，地势的高低，植物被覆程度和气候的变化等因素。太阳对同一地点的照射热量，也随时间而变化，有昼夜的变化，也有季节的变化和长期变化。这些变化所影响的深度都很浅，在平均深度 15 米的地方，就不受地表上季节变化和昼夜变化的影响了，因而称为常温层。常温层的温度和深度在各地是不同的，它们决定于当地气候和气候变化的程度。

常温层以下的温度是随深度的增加而增高的。这种现象可以从矿井、钻井中测出，从温泉、火山喷发等现象也可以证明。地下温度增加的规律大致是每向下 100 米，温度平均升高 3°C。在不同地区是有差别的。如果某地常温层的温度为零度时，那么在地下 1000 米，其温度为 30°C 左右，2000 米深处，温度为 60°C 左右，4000 米处，温度为 120°C。这种温度随深度而增高的幅度称为地温梯度。各地的地温梯度是不一样的，地质构造活动地区与稳定地区便有显著差别，它决定于岩石的密度、产状，离岩浆源的远近等等。一般平均每加深一公里，温度增高 28°C 左右。但是如果照这样推算下去，地下 50 公里深处是 1400°C，到 1000 公里深处是 2800°C。这样高的温度已超过了很难熔的橄榄岩的熔点，显然与地下实际情况不相符合。据地震资料说明，地壳和地幔除局部地区外都是固体。而且已知岩浆的温度也不超过 1300°C。所以在 50 公里以下的地温梯度的数值肯定已大大减小。据推测，100 公里深度不超过 1300°C，300 公里深处不超过 2000°C，地核边界的温度在 2500°C 左右，地心不超过 5000°C。

地球内部是一种特殊的高温高压环境，深度越大，温度、压力越高。莫霍面以下，压力由一万大气压增至 300 多万大气压；温度由一千度至几千度。在这种条件下存在的物质状态，肯定和地壳表层所见的岩石大不相同。现将地球内部的一些物理性质列表如下：

表 1-2 地球内部的一些物理性质

分 层	深 (公 里)	密 度 (克/厘米 ³)	压 力 (大 气 压)	温 度 (°C)
地 壳	35(平均)	(2.84)	9000	
地 幔		3.34		约 1000
	100	3.38	30000	约 1300
	2900	5.62	约 1500000	约 2500
地 核		9.50		
	6371	13.0	约 3670000	约 5000

第四节 地壳的物质成分

地球的表面情况，最突出的是分为大陆、海洋两大单元。大陆占地球表面30%，海洋约占70%。在大陆上有平原、丘陵、山地、高原、盆地、河流、湖泊、沙漠等。大陆的平均海拔为875米。我国喜马拉雅山珠穆朗玛峰的海拔是8848.13米（以山东青岛验潮站黄海平均海面为基准，已扣除覆雪厚度），在地形上为世界最高峰。阿拉伯半岛的死海，却低于海面392米。可见大陆地形起伏、高低悬殊的特点。海水覆盖下的海洋底部可分为大陆架、大陆坡和洋底三个地带。大陆架坡度，较缓，大陆坡坡度较陡，洋底很深，但起伏不平，有海底山脉、海盆、海沟和海渊等。最深的海沟是太平洋西部的马里亚纳海沟，其最深的海渊部分深达一万一千多米。真是千姿万态、宏伟壮观。

大陆地壳与大洋地壳有显著的差别。大陆地壳比大洋地壳平均厚六倍左右。大陆地壳平均厚35公里、最厚达70多公里。例如我国东部地区地壳厚度约在30~45公里之间，接近平均厚度。而西藏高原大部分在70公里左右，向北和向东逐渐变薄到50公里左右，向南到印巴次大陆北部突然变得很薄（见图1-7）。

大洋地壳厚度一般只有8公里，平均厚约6公里。大陆的平均海拔不到一公里，大洋的平均深度约4公里，两者的平均高差不到5公里。所以，大陆地壳不仅在地表高出大洋地壳表面，而且在它的底面（莫霍面）也比大洋地壳更为向下突出的多。因为相对而言，大陆地壳是由比较轻的岩石组成的，平均密度（2.8克/厘米³）比大洋地壳平均密度（3.3克/厘米³）更小，所以大陆地壳好象浮在水里的大冰块，大部分是陷在上地幔里面的。而且由于重力的均衡关系，在地面上是高原、山脉向上突起的地方，下面的莫霍面往往也向下凸出（图1-8）。

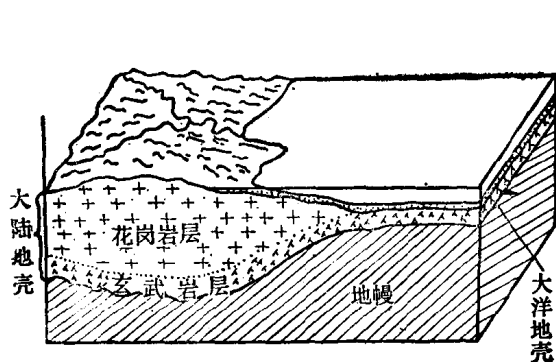


图 1-7 地壳结构示意图

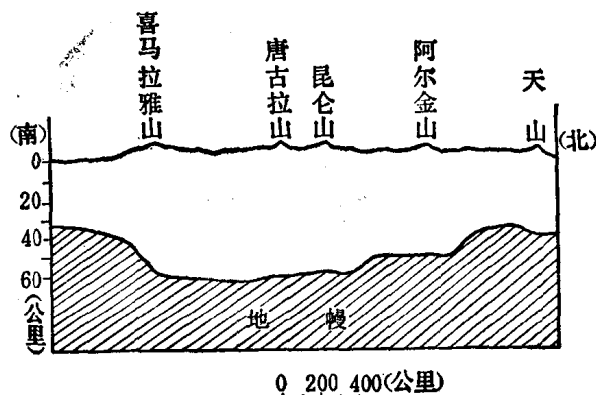


图 1-8 青藏高原地壳剖面图

组成大陆地壳的岩石，按照成因分为三大类：岩浆岩、沉积岩和变质岩。从数量来看，主要是由花岗岩和与它成分相近的岩石组成的。在多数地区大陆地壳内部有一个二级界面，分为上下两层。地壳下部的岩石密度都增到3克/厘米³左右，说明岩石组成与上部不同。据推测地壳下部是含铁、镁成分比较多、结构更加紧密的岩石。大洋地壳的密度与大陆地壳下部相近，岩石比较单调。据目前了解，大洋地壳除上面有不厚的沉积物外，主要是由玄武岩一类含铁、镁比较多的岩浆岩组成的。

岩浆岩和沉积岩在地壳中的相对总量，与在地表不同（见图1-9）。地壳绝大部分由岩浆岩组成（占95%），沉积岩（占5%）在地表或靠近地表处组成一个薄的覆盖层（图1-9·A），在

地表，沉积岩的分布要比岩浆岩的分布大得多，所以在地表面沉积岩占全部所见岩石的75%，而岩浆岩仅占25%(见图1-9·B)。

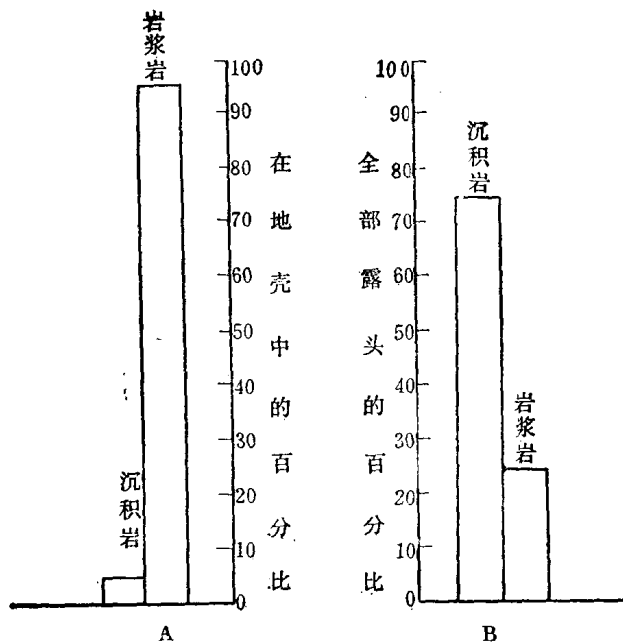


图 1-9 沉积岩和岩浆岩在地壳中的相对总量

图 1-9 未反映出变质岩在地质中的相对总量，因为变质岩由岩浆岩或沉积岩变质而成，故变质岩原岩可属沉积岩，也可属岩浆岩，这要取决于它们的成因。

第五节 地幔、地核的物质组成

地壳是由多种岩石组成的。占地球总体积 99% 以上的地幔和地核是由什么物质组成的呢？这是一个很有趣的问题。穿透地球的地震波只给人们描绘了圈层构造的轮廓，并不能回答究竟是什么物质。人们所熟悉的地球物质也只是地壳上部的各种岩石，所以人们便从这个基点出发去寻找答案。比较可靠的是，来源于上地幔的岩浆直接形成玄武岩、含金刚石的金伯利等岩石。而玄武岩中有含铁、镁成分更多的橄榄岩碎块，这种橄榄岩很可能就是地幔上部的岩石。而且形成玄武岩的岩浆很可能就是由橄榄岩类岩石部分熔化而产生的。同时，在已知的岩石中也只有橄榄岩和很不常见的榴辉岩，符合地幔上部的密度(3.3 克/厘米³)和纵波速度(8.1 公里/秒)条件。所以，地幔上部可能就是由橄榄岩类和少量榴辉岩组成的。组成这些岩石的主要矿物——橄榄石、辉石及少量柎榴子石，都是由镁、铁、硅、氧等几种元素组成的硅酸盐。考虑到地幔下部的物质组成时，只能从这些矿物的晶体结构变化或几种元素的重新组合、分解上来推断。在更高的压力下，普通的橄榄石可以变成结构更加紧密(密度更大)的橄榄石，深度更大时(600 公里)又可分解为密度更大的简单氧化物。

然而，从全面了解地球内部的物质组成来讲，对人们启发最大的不是地壳中的岩石，而是来自天上的陨石。人们早就发现，从天上掉到地球上的石块和地壳中的普通岩石很不相同。陨石的突出特点是密度大、比重大、含铁、镍成分高。陨石按物质成分分为三类：石陨石、铁陨石和石铁陨石。铁陨石是由铁、镍金属组成的，比重(密度)可达 7.0 以上。石陨石由橄榄石、辉石、斜长石等硅酸盐矿物及部分铁、镍合金组成，所以也比一般岩石要重

些。这就是使人们联想到，石陨石可能和地幔的成分相近似，而铁陨石则相当于地核的成分。通过放射性方法测定岩石的年龄又发现所有陨石的年龄几乎都在 45 亿年左右，比地壳岩石的年龄都要大，可能相当于地球形成初期的物质成分。目前一般认为，陨石、地球、月亮及整个太阳系都是四十亿、五十亿前同时诞生的。陨石相当于太阳系中某个小行星破裂成的碎块。由于太阳系物质的统一性，这些碎块就分别和地核、地幔的成分相类似。现有各方面的资料都进一步说明这个推断是合理的。近年的地球物理研究认为，地核如果只有铁、镍，密度似乎太大了些，应该还含有少量的轻元素，如硅或硫。因为地壳是在地球形成以后从上地幔物质中分化出来的，经过长期的地质作用而形成了各种岩石，所以地壳岩石的年龄远远小于陨石的年龄，成分上也有明显差别。

从地表到地心，随着密度、压力、温度的增高，物质的成分也有显著的变化。地壳和上地幔的顶部基本上是由已知的岩石组成的。再往下，由于温度增高接近岩石的熔点，塑性增大，形成低速层。低速层以下，化学成分并无重大改变，但矿物结构更加紧密，刚性增强。这种高温高压下的固体物质与一般岩石当然不同。地核的物质成分和地幔差别很大，以铁、镍金属为主。它的外层处于特殊的液体状态。图 1-10 大致反映了地球各圈层的主要化学组成。

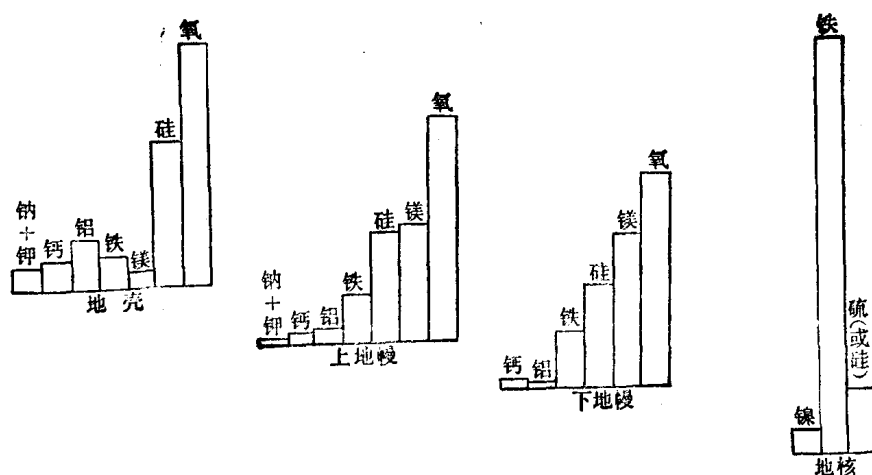


图 1-10 地球各圈层主要化学成分 (百分含量)

目前，对地球内部的情况，只是一个概括的认识，不少认识还处于推测阶段，即使对于地壳，人们的认识也需要不断的提高和深入，随着现代科学技术的不断深入发展，对于地壳及地球深部的研究将会有新的突破。

对于我们石油工作者来讲，沉积岩对我们的关系至为密切，因为世界上目前发现的近三万个油气田，有 99% 是储集在沉积岩中的，但是对于储集在岩浆岩以及变质岩中的油气，也应重视。我国在地壳三大类岩石中都发现了油气田。研究地层的压力和温度，对油、气田开发有重要意义，地层压力是油田的灵魂，油井能自喷产油，要依靠地层压力。大庆油田能够长期高产稳产，关键在于从勘探到开发，始终重视搞清地下地质情况，并有一套早期注水的开发方案和先进的分层注水、分层采油、分层测试等工艺技术，使油层压力始终保持在原始地层压力值附近，使油井有足够的自喷能力，并为提高油田最终采收率打下了良好的基础。地层温度直接影响到油、气、水和油层物理性质，随着温度的变化，油的粘度、天然气在石油中的溶解度以及流向井内的速度、自喷到地面的能量都有密切的关系。在油田开发过

表 1-3 地 质 时 代 表

代	纪	世	距今年龄(百万年)
新 生 代 Kz	第 四 纪 Q	全 新 世 Q ₄	2~3
		晚 更 新 世 Q ₃	
		中 更 新 世 Q ₂	
		早 更 新 世 Q ₁	
	新 第 三 纪 N	上 新 世 N ₂	
		中 新 世 N ₁	
	老 第 三 纪 E	渐 新 世 E ₃	80
		始 新 世 E ₂	
		古 新 世 E ₁	
中 生 代 Mz	白 垩 纪 K	晚 白 垩 世 K ₂	140
		早 白 垩 世 K ₁	
	侏 罗 纪 J	晚 侏 罗 世 J ₃	195
		中 侏 罗 世 J ₂	
		早 侏 罗 世 J ₁	
	三 迭 纪 T	晚 三 迭 世 T ₃	230
		中 三 迭 世 T ₂	
		早 三 迭 世 T ₁	
古 生 代 Pz	二 迭 纪 P	晚 二 迭 世 P ₂	270
		早 二 迭 世 P ₁	
	石 炭 纪 C	晚 石 炭 世 C ₃	320
		中 石 炭 世 C ₂	
		早 石 炭 世 C ₁	
	泥 盆 纪 D	晚 泥 盆 世 D ₃	375
		中 泥 盆 世 D ₂	
		早 泥 盆 世 D ₁	
	志 留 纪 S	晚 志 留 世 S ₃	440
		中 志 留 世 S ₂	
		早 志 留 世 S ₁	
	奥 陶 纪 O	晚 奥 陶 世 O ₃	550
		中 奥 陶 世 O ₂	
		早 奥 陶 世 O ₁	
	寒 武 纪 ε	晚 寒 武 世 ε ₃	600
		中 寒 武 世 ε ₂	
		早 寒 武 世 ε ₁	