

高等学校教学用书

# 油气田开发地质基础

(第二版)

黎文清 李世安 主编

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书为石油高等学校教学用书《油气田开发地质基础》的第二版。除对原章节做了必要的调整外，并增加了油、气田勘探和构造地质以及在油、气田地质研究中对物探、测井、钻井资料的应用等章节。

全书共分十八章，包括地球、地质作用、矿物及岩石、古生物及地层、构造地质、沉积相、石油地质、油、气田勘探概论、油、气田地质研究、石油及天然气储量计算等。

本书可供高等院校油气田开发专业教学使用，亦可供采油、物探、测井专业教学选用或有关科研、生产人员参考。

高等学校教学用书  
油气田开发地质基础  
(第二版)

黎文清 李世安 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印刷

新华书店北京发行所发行

\*

787×1092 毫米 16开本 26¼印张 2插页 653千字印 4001—7000

1993年3月北京第1版 1997年5月北京第2次印刷

ISBN 7-5021-0900-8/TE·841(课)

定价 20.50元

# 再 版 前 言

根据原石油工业部 1985年在固安召开的石油高等院校教材工作会议的决定,本书是1981年出版的教材《油气田开发地质基础》的第二版修订本。

由于开发专业的地质课程门数较少,而地质、开发两专业的关系又很密切,所以,书中除强调动力地质学基础理论、基本知识、基本技能等方面的内容外,还加强了碳酸盐岩、构造地质、沉积相、油气田地质等问题的研究,增加的油、气层的压力和温度及油、气田勘探概论两章,为后继课程进一步深入和提高打下了必要的基础。本书前半部分(基础地质)注重于内容的科学性、系统性和完整性,立足于打好基础,后半部分的各章节则按生、储、盖、运、聚进行专题叙述,注重于内容的针对性和实用性,立足于适应油田开发的生产实践和科学研究工作的需要。全书内容比课程计划要多一些,授课教师可根据教学大纲基本要求和实际学时酌情取舍。

本书由大庆石油学院勘探系黎文清、李世安主编。参加编写的人员和分工如下:

黎文清:绪论及第一至第四章、第九章;

陈秉麟 第六、七章;

李世安 第八、十七章;

李茂林 第十章;

白新华 第十一、十二章;

郝书翰:第十三至第十六章;

曲淑琴 第五、十八章。

本书由石油大学张家环教授主审,并提出了许多宝贵的修改意见;梅曦、高瑜、赵晓秋同志承担了本书的绘图工作,在改编过程中,我系庞雄奇、王岫岩、吕延防、张绍臣、李椿等同志都给予了大力支持,做了许多具体工作,在此一并表示衷心感谢。

由于我们水平所限,本书的错漏和问题定会不少,恳请读者批评指正。

编 者

1992年8月

# 目 录

绪 论 .....	(1)
一、地质学研究的对象和内容 .....	(1)
二、地质学的研究方法 .....	(1)
三、地质学与油气田开发的关系 .....	(2)
第一章 地球及其表层.....	(3)
第一节 地球的形状和大小.....	(3)
第二节 地球的构造.....	(4)
一、地球的外部构造 .....	(4)
二、地球的内部构造 .....	(5)
第三节 地球的密度、压力和温度 .....	(10)
第二章 地质作用 .....	(13)
第一节 地质作用概述 .....	(13)
第二节 内力地质作用 .....	(14)
一、地壳运动 .....	(14)
二、地震 .....	(15)
第三节 外力地质作用 .....	(16)
一、风化作用 .....	(17)
二、剥蚀作用 .....	(21)
三、搬运作用和沉积作用 .....	(30)
四、成岩作用 .....	(41)
第三章 造岩矿物 .....	(44)
第一节 矿物的概念及主要物理性质 .....	(44)
一、矿物的一般概念 .....	(44)
二、矿物的形态和主要物理性质 .....	(44)
第二节 矿物的分类 .....	(48)
一、自然元素 .....	(48)
二、硫化物及其它类似化合物 .....	(48)
三、氧化物及氢氧化物 .....	(49)
四、卤族化物 .....	(49)
五、含氧酸盐 .....	(49)
第三节 常见的主要造岩矿物及其鉴定特征 .....	(49)
一、石英( $\text{SiO}_2$ ) .....	(49)
二、长石 .....	(49)
三、方解石( $\text{CaCO}_3$ ) .....	(50)

四、白云石 ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ )	(50)
五、白云母 ( $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ )	(50)
六、黑云母 ( $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{Si}_3\text{AlO}_{10})(\text{OH})_2$ )	(51)
七、绿泥石 ( $(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_6[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ )	(51)
八、海绿石 ( $\text{K}_{<1}(\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Al})_{2\sim 3}[\text{Si}_2(\text{Si}, \text{Al})\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ )	(51)
九、高岭石 ( $\text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$ )	(51)
十、蒙脱石 ( $(\text{Al}_2\text{Mg}_3)(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ )	(51)
十一、黄铁矿 ( $\text{FeS}_2$ )	(52)
十二、赤铁矿 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	(52)
十三、磁铁矿 ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )	(52)
十四、褐铁矿 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ )	(52)
十五、石盐 ( $\text{NaCl}$ )	(53)
十六、石膏 ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )	(53)
十七、重晶石 ( $\text{BaSO}_4$ )	(53)
十八、普通角闪石 ( $\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe})_4(\text{Al}, \text{Fe})[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{11}](\text{OH})_2$ )	(53)
十九、普通辉石 ( $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Al})[(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6]$ )	(54)
二十、橄榄石 ( $(\text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{SiO}_4)$ )	(54)
第四章 岩浆岩及变质岩	(55)
第一节 岩浆活动与岩浆岩	(55)
一、岩浆活动	(55)
二、岩浆岩	(56)
第二节 变质作用与变质岩	(64)
一、变质作用	(64)
二、变质岩	(68)
第五章 沉积岩	(70)
第一节 沉积岩的物质成分及大类划分	(70)
第二节 沉积岩的颜色	(71)
第三节 沉积岩的结构、构造和韵律	(71)
一、沉积岩的结构	(71)
二、沉积岩的构造	(73)
三、沉积岩的韵律	(76)
第四节 碎屑岩	(78)
一、碎屑岩的物质成分	(78)
二、碎屑岩的胶结类型	(79)
三、碎屑的分选程度	(79)
四、储油物性与碎屑岩结构的关系	(80)
五、碎屑岩的分类	(80)
六、砾岩	(81)
七、砂岩	(83)
八、粉砂岩	(85)

九、粘土岩.....	(86)
第五节 碳酸盐岩 .....	(87)
一、碳酸盐岩的成分 .....	(88)
二、碳酸盐岩的成分分类 .....	(88)
三、碳酸盐岩的结构组分 .....	(90)
四、碳酸盐岩的结构分类 .....	(92)
五、主要的石灰岩类型 .....	(93)
六、白云岩简介 .....	(94)
第六节 生物岩 .....	(96)
一、煤 .....	(96)
二、油页岩 .....	(97)
第六章 古生物基础 .....	(99)
第一节 古生物学基本知识 .....	(99)
一、化石的概念 .....	(99)
二、古生物的分类和命名 .....	(99)
三、生物与环境 .....	(100)
四、生物演化与地质年代表 .....	(102)
第二节 重要古生物门类简介 .....	(106)
一、古动物学 .....	(106)
二、古植物学 .....	(116)
第七章 地层.....	(126)
第一节 地层学的基本理论 .....	(126)
一、地层的概念 .....	(126)
二、地层之间的接触关系及其意义 .....	(126)
第二节 地层系统和地层单位 .....	(128)
一、岩石地层单位 .....	(128)
二、生物地层单位 .....	(129)
三、年代地层单位 .....	(129)
四、含油、气地层的分级和命名 .....	(131)
第三节 地层的划分与对比 .....	(132)
一、地层的划分 .....	(132)
二、地层对比 .....	(133)
第八章 构造地质 .....	(141)
第一节 岩层及岩层的产状 .....	(141)
第二节 水平岩层和倾斜岩层 .....	(142)
第三节 褶皱构造 .....	(145)
一、褶曲及其基本形态 .....	(145)
二、褶曲要素 .....	(145)
三、褶曲的分类 .....	(145)
四、褶曲的组合形态 .....	(147)

第四节 断裂构造 .....	(148)
一、裂缝 .....	(148)
二、断层 .....	(150)
第五节 不整合 .....	(155)
一、整合与不整合 .....	(155)
二、不整合的识别 .....	(156)
第六节 与沉积作用有关的构造变动 .....	(158)
一、与沉积有关的褶曲 .....	(158)
二、同生断层 .....	(160)
第七节 大地构造单元的划分 .....	(161)
一、地槽和地台说 .....	(161)
二、板块构造说 .....	(164)
第八节 含油、气盆地内的地质构造单元 .....	(174)
一、构造单元的划分 .....	(174)
二、各级构造单元的基本特征 .....	(174)
第九章 沉积相 .....	(178)
第一节 沉积相的概念及分类 .....	(178)
一、沉积相的概念 .....	(178)
二、沉积相的分类 .....	(178)
第二节 山麓—洪积相 .....	(179)
一、洪积扇的形态及形成条件 .....	(179)
二、洪积扇的特点 .....	(179)
第三节 河流相 .....	(180)
一、概述 .....	(180)
二、河流相沉积的一般特征 .....	(181)
三、河流的亚相类型及特征 .....	(182)
四、河流沉积相组合 .....	(185)
五、研究河流相的意义 .....	(185)
第四节 湖泊相 .....	(187)
一、概述 .....	(187)
二、碎屑湖泊相沉积的一般特征 .....	(187)
三、碎屑湖泊相的亚相及特征 .....	(188)
四、碎屑湖泊相组合及砂岩体 .....	(190)
五、碎屑湖泊相与油、气的关系 .....	(192)
第五节 海相组 .....	(192)
一、概述 .....	(192)
二、海相组沉积的一般特点 .....	(193)
三、滨岸相 .....	(194)
四、浅海陆棚相 .....	(195)
五、半深海相 .....	(196)

六、深海相 .....	(197)
七、海相组沉积与油、气的关系 .....	(198)
第六节 三角洲相 .....	(198)
一、概述 .....	(198)
二、三角洲的主要类型 .....	(201)
三、三角洲相沉积的一般特点 .....	(203)
四、三角洲相的亚相类型及特征 .....	(204)
五、三角洲沉积相组合 .....	(207)
六、三角洲相与油、气的关系 .....	(207)
第七节 泻湖、障壁岛、潮坪相 .....	(208)
一、概述 .....	(208)
二、泻湖相 .....	(209)
三、障壁岛相 .....	(210)
四、潮坪相 .....	(211)
五、河口湾相 .....	(211)
六、泻湖、障壁岛、潮坪沉积相组合及其与油、气的关系 .....	(212)
第八节 沉积地球化学相 .....	(212)
一、判断沉积介质地球化学特征的标志 .....	(212)
二、沉积地球化学相与油、气的关系 .....	(214)
第九节 碳酸盐岩沉积相 .....	(214)
一、碳酸盐岩的沉积相模式 .....	(214)
二、威尔逊的模式各相带的基本特征 .....	(215)
三、贵州中泥盆统独山组鸡泡段碳酸盐沉积模式 .....	(218)
第十章 石油、天然气和油田水 .....	(221)
第一节 石油 .....	(221)
一、石油的化学组成 .....	(221)
二、石油的物理性质 .....	(226)
第二节 天然气 .....	(228)
一、天然气的化学组成 .....	(228)
二、天然气的物理性质 .....	(229)
三、天然气的分类 .....	(231)
第三节 油田水 .....	(232)
一、油田水的化学组成和矿化度 .....	(232)
二、油田水的分类 .....	(234)
三、油田水的物理性质 .....	(234)
第十一章 油、气的生成和生油层 .....	(236)
第一节 油、气的生成 .....	(236)
一、有关油、气成因的研究概况 .....	(236)
二、油、气有机成因的基本原理 .....	(237)
第二节 生油层 .....	(241)

一、生油层的岩性、岩相特征 .....	(241)
二、生油层的地球化学指标 .....	(242)
第十二章 储集层和盖层 .....	(245)
第一节 岩石的孔隙性和渗透性 .....	(245)
一、孔隙度(率)的概念及表示方法 .....	(245)
二、渗透率的概念及表示方法 .....	(246)
三、孔隙度与渗透率的关系 .....	(247)
第二节 碎屑岩储集层 .....	(248)
一、碎屑岩储集层的孔隙成因及储集性质的影响因素 .....	(248)
二、碎屑岩储集层的孔隙结构特征 .....	(250)
三、碎屑岩储集层的形成条件及分布特征 .....	(253)
第三节 碳酸盐岩储集层 .....	(253)
一、碳酸盐岩储集空间的类型和特征 .....	(253)
二、碳酸盐岩储集层的类型及其特征 .....	(258)
第四节 其它岩类储集层 .....	(258)
一、火山岩储集层 .....	(258)
二、结晶岩储集层 .....	(259)
三、泥质岩储集层 .....	(259)
第五节 盖层 .....	(259)
第十三章 石油和天然气的运移 .....	(261)
第一节 油、气运移的概念及方式 .....	(261)
一、油、气运移的概念 .....	(261)
二、油、气运移的方式 .....	(261)
第二节 油、气运移的动力 .....	(262)
一、地静压力 .....	(262)
二、水动力 .....	(263)
三、浮力 .....	(263)
四、毛细管力 .....	(264)
五、热力 .....	(265)
第三节 油、气的初次运移 .....	(265)
一、油、气初次运移的状态 .....	(265)
二、油、气初次运移的主要动力 .....	(265)
三、油、气初次运移的主要时期 .....	(266)
第四节 油、气的二次运移 .....	(267)
一、油、气二次运移的状态及动力 .....	(267)
二、油、气二次运移的主要时期 .....	(267)
三、油、气二次运移的通道、距离和方向 .....	(267)
第十四章 油、气藏的形成和油、气藏类型 .....	(270)
第一节 圈闭和油、气藏的概念 .....	(270)
一、圈闭 .....	(270)

二、油、气藏 .....	(271)
第二节油、气藏的形成 .....	(273)
一、油、气藏形成的基本条件 .....	(273)
二、油、气藏形成的过程 .....	(273)
三、油、气藏的破坏与再形成 .....	(275)
第三节油、气藏的类型 .....	(275)
一、构造油、气藏 .....	(276)
二、地层油、气藏 .....	(281)
三、岩性油、气藏 .....	(283)
四、特殊油、气藏 .....	(286)
第十五章油、气层的压力和温度 .....	(288)
第一节油、气层的压力 .....	(288)
一、地层压力的概念及其来源 .....	(288)
二、原始油层压力 .....	(290)
三、原始油层异常压力 .....	(293)
四、折算压力的概念及其应用 .....	(295)
第二节油、气层的温度 .....	(297)
一、地下温度及其来源 .....	(297)
二、地下温度的测定 .....	(299)
三、油、气田分布与地温的关系 .....	(300)
第十六章油、气田勘探概论 .....	(303)
第一节 地壳中油、气聚集单元 .....	(303)
一、油、气聚集单元的概念 .....	(303)
二、油、气聚集单元与构造单元的对应关系 .....	(304)
三、盆地内油、气的分布规律 .....	(305)
第二节油、气田勘探简介 .....	(306)
一、油、气田勘探的方法 .....	(306)
二、油、气田勘探工作的任务和阶段划分 .....	(308)
第三节油、气田勘探实例——松辽盆地勘探历程及大庆油田的发现 .....	(309)
一、松辽盆地地质简况 .....	(309)
二、松辽盆地勘探历程 .....	(310)
三、发现大庆油田的基本经验 .....	(311)
第十七章油、气田地质研究 .....	(313)
第一节油、气田地质研究的意义 .....	(313)
第二节油、气田地质研究的基础资料 .....	(313)
一、钻井地质资料 .....	(314)
二、矿场地球物理测井资料 .....	(322)
三、录井资料综合解释及完井综合柱状图的编制 .....	(342)
四、试油、气地质资料 .....	(344)
第三节 油层对比 .....	(345)

一、油层对比的概念 .....	(345)
二、碎屑岩油层对比方法 .....	(346)
三、碎屑岩油层非均质性及其研究方法 .....	(355)
四、碳酸盐岩油层对比方法 .....	(362)
第四节 构造剖面图和构造图的编制 .....	(366)
一、油、气田构造剖面图的编制 .....	(366)
二、构造图的编制 .....	(370)
第十八章 石油及天然气储量计算 .....	(375)
第一节 油、气储量的分类与分级 .....	(376)
一、探明储量 .....	(377)
二、控制储量 (相当其它矿种的 C—D 级) .....	(378)
三、预测储量 (相当其它矿种的 D—E 级) .....	(378)
四、远景资源量 .....	(378)
第二节 石油储量计算 .....	(379)
一、容积法计算石油地质储量 .....	(379)
二、物质平衡法计算石油地质储量 .....	(394)
三、石油可采储量计算 .....	(401)
第三节 天然气储量计算 .....	(402)
一、计算方法 .....	(402)
二、储量计算单元 .....	(406)
三、储量参数确定 .....	(406)
参考文献 .....	(408)

# 绪 论

## 一、地质学研究的对象和内容

地质学是研究地球的科学。人类生活在地球上，与地球息息相关，了解和探索人类赖以生存的地球是地质学的研究任务。目前，地质学研究的对象，局限于地球的表层——地壳或岩石圈，主要研究地壳或岩石圈的物质组成和分布、各种地质作用以及地球的形成和地壳的发展历史及其在国民经济建设中的应用等。由于研究范围的广泛而分为许多学科：

(1)在研究地壳的物质成分、组成、结构及其变化规律和成因方面，有矿物学、结晶学、岩石学及地球化学等。

(2)在研究地壳结构、构造、地表形态变化和各种地质作用及其成因方面，有动力地质学、火山学、地震地质学、构造地质学、大地构造学、构造物理学、地貌学、地质力学、深部地质学等。

(3)在研究地壳的发展历史和演变规律方面，有古生物学、地史学、同位素地质年代学、地层学、地震地层学、第四纪地质学、古气候学、古地理学等。

(4)在研究实用地质问题方面，有矿床学、煤田地质学、石油地质学、天然气地质学、放射性地质学、水文地质学、工程地质学、环境地质学、旅游地质学等。在调查勘探的理论和方法方面，有地质制图学、矿产调查与勘探、地球物理勘探、地球化学勘探、找矿勘探地质、油矿地质、航空地质、遥感地质、数学地质、实验地质学等等。

地质学利用近代物理、数学、化学、天文学、地理学、生物地球化学及生物学等方面的理论和方法，并运用其成果，产生了诸如同位素地质学、数学地质学、海洋地质学、行星地质学等一系列的边缘学科。可以预料，随着地质学和各种科学的发展，地质学将会开拓更多的新领域，形成更多新的学科分支。

## 二、地质学的研究方法

地球是一个庞大而又复杂的物体。由于它具有空间广泛、时间漫长和地质过程复杂的特点，因此，地质学在研究方法上，也有自身的特点。

首先，要重视野外地质调查，收集可靠的原始资料。只有收集了大量反映自然界客观规律的实际资料，并加以综合分析，才能建立正确的地质理论。地壳自形成以来，经历了漫长的发展历史。在地质历史时期，曾发生过许多的重要地质事件，在地层和岩石中留下各种痕迹和现象，如岩石特征、地质构造特征、古生物化石特征等等。通过地面露头观察和钻探等手段，可以直接观察地壳的上部，其深度不超过 12km。对于地球深部的情况，主要是应用地球物理勘探方法，进行间接推断。

根据保留在地层和岩石中的各种痕迹和现象，并结合现代正在发生的地质现象，“将今论古”和古今结合，分析和推断地质历史时期各种地质事件的存在及其特征，这是地质学研究常用的一种“历史比较法”。

地质学还可以通过对比，找出各种地质现象之间的异同点，归纳成不同的类别和单位，这就是地质学常运用的类比法。

地质学还采用实验方法和实验模拟方法，了解矿物、岩石成因及沉积构造的形成，揭示物

质的某些构造特征，近似地模拟某些地质构造，再现地质作用过程。

随着科学发展和技术进步，地质学研究方法在近十年也有新进展。利用地球动力学、地球物理学、地球化学和宇航、深钻等新技术、新方法，在研究地球深部结构成分、洋底、大陆边缘等方面已有所进展，建立了全球演化模式；根据简化的地质模式建立普遍性的物理模型，使之可用数学语言和计算机语言来表达，使定性与定量研究相结合。总之，近代地质学的研究是综合进行的，由于研究方法的进步和多样化，促使地质学飞跃发展，研究领域不断扩大，研究程度日趋深化。其总的趋势是，野外观测与实验室测试工作结合进行，宏观与微观同时深入，大陆地壳与大洋地壳同时并举，区域与全球研究相结合，并从大陆地壳表层向海洋与地球深部、向月球和宇宙空间的广度进军。

由于地球和地壳的演变经历了渐变——激变——渐变的反复发展过程，地质条件千变万化，地质过程复杂，因此，地质学的研究，要符合辩证唯物主义的原则，具有互相联系和不断发展变化的观点，根据大量地质资料，具体地分析不同时间、不同地点和不同条件下的地质现象。整个研究过程，是从实践提高到理论，又以理论指导实践进行验证的过程。正确的地质理论是在实践过程中不断得到检验、补充和修正，使之日趋完善。

### 三、地质学与油气田开发的关系

石油生在地下，藏在地下，要把地下资源发现并开采出来变为人类的财富，得靠科学理论的指导和现代技术手段才能实现。油田发现以后，如何把石油合理地开采出来，是油田开发工作者的任务。采用什么方式开采石油，则取决于对油田地质客观条件的正确认识。世界上的众多油田，只有相似，而无相同。每个油田都有自己的有利条件和不利因素，油田的地质特点，则决定了开采方式的选择和开采技术的发展方向。大庆油田是我国第一大油田，开发技术具有世界先进水平。油田从勘探到开发，始终很重视油田地质研究工作，立足于搞清楚油田的地质情况，以掌握油田开发的主动权。根据客观存在地下油层非均质性严重，又缺乏边水驱动的条件，选择注水开发油田的方式，实现了高产上 5000 万吨 稳产十多年。并开创了稳产“双”十年的可喜前景。油田从无水采油期，经低含水采油期、中含水采油期，到高含水采油期，每个阶段都有一些或几项能够解决油田开发主要矛盾的主导技术和与其相配合的一些相关技术。这些主导技术，又都是伴随着油田开发地质理论的突破而出现的。理论通过技术进入了开发过程。从立足油砂体认识油层，到应用沉积相、细分沉积相的研究成果及油田地下油水运动规律的认识，都同时产生了油田开发各个阶段的主导技术。可见注水开发油田主导技术与油田开发地质理论有着密切的直接联系，理论促进了技术的完善和发展。

油田开发包括认识油田和改造油田两项任务，技术是实现这两项任务的途径，油田开发地质理论是制定开发方案和选择开采方式的科学依据，它对油气田开发具有重要的指导意义。实践证明，搞油田开发，地质工作必须先行。在社会主义建设事业的各行各业，都需要地质工作，地质学在为实现“四个现代化”和建设社会主义强国的宏伟目标中起着开路先锋的作用，地质工作搞不好，一马挡道，万马不能前进。

迄今为止，石油和天然气仍是能源的组成部分。1978 年我国产油量超过一亿吨，进入了世界产油大国的行列，产量仍逐年增长，对国民经济发展起了重要作用。油田开发工作者面临的任务艰巨而又光荣，为了赶超世界先进水平，必须运用最新开发理论和工艺技术，掌握开发地质学、油藏工程学和渗流力学数值模拟及物理模拟技术，加速应用计算机和微电子技术以及近代各种先进技术，以提高油田最终采收率为目的，多快好省地开采地下资源，为社会主义建设事业做出更大的贡献。

# 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。同时，对地球也应有所了解。

在天文学中，把围绕太阳旋转的星球叫行星。在太阳系中有许多行星，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。除了水星、金星和冥王星外，各行星又有较小的星体围绕它们转动，这些较小的星体叫卫星。例如，天王星有 5 个卫星，土星有 10 个卫星，木星有 14 个卫星。地球只有一个卫星——月亮，它围绕地球旋转。

在太阳系中，行星际空间是非常辽阔的。地球距离太阳约  $149.6 \times 10^6 \text{ km}$  这个距离称为 1 天文单位。冥王星离太阳最远，有 39 天文单位（约  $5900 \times 10^6 \text{ km}$ ）。其次是海王星，距太阳有 30 天文单位（约  $4500 \times 10^6 \text{ km}$ ）。地球的体积只有太阳的  $1/130$  万，两者大小相差悬殊。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 2000 亿颗恒星，并有大量的星云，太阳只是其中的一个恒星。

恒星际空间采用光年为距离单位，即光在一年时间内所传播的距离（约  $9.46 \times 10^{12} \text{ km}$ ）为 1 光年。太阳距银河系的中心约 3 万光年，银河系大致呈扁球形，其直径大约为 10 万光年，厚度大约为 1 万光年。绝大多数的星体都是密集在扁球的中心平面附近。

银河系之外，还有无数的河外星系。现代天文学研究已从太阳系扩大到总星系，目前天文工具能观测到的范围半径约达 100 亿光年。1981 年，美国加利福尼亚大学天文学家用天文台特殊扫描仪器发现几颗过去不知道的星系，距地球 100 亿光年，每个星系包括象太阳那样的恒星多达 1 万亿颗。在当代科学技术条件下，人类对物质世界的认识可小到  $10^{-13} \text{ cm}$  的基本粒子，大到 100 亿光年的辽阔星空。目前在能够观测到的 100 亿光年的范围内，已发现有 10 亿多个河外星系，它们又组成更大的天体系统，这就是总星系。据观测，在 100 亿光年范围内的河外星系并未超出总星系的范围，即现阶段人们还看不到总星系的边际。由此而知，宇宙是无限大的，在空间上是无边无际的，而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

地球不是真正呈球形，它是一个北极略凸，南极略凹，赤道部分略为膨大的梨状体（图 1-1）。梨柄在北极，梨底在南极。它的北极半径（设以海平面代替南极和北极的大陆面）比南极半径约大 40m 左右；假定以赤道海平面至地心为半径作圆，则北极海面高出此圆 18.9m，而南极海面则低于此圆 25.8m。

地球的大小，根据 1970 年天文历及 1971 年第 15 届国际大地测量和地球物理协会决议采用的数值（引自成都地质学院《动力地质学原理》）为：

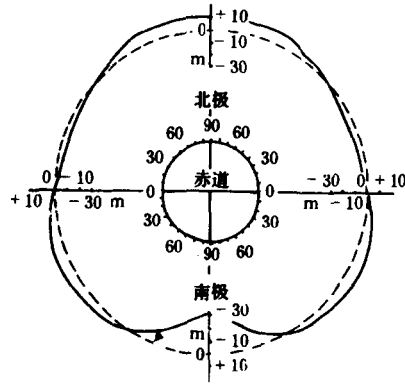


图 1-1 地球的梨状体形态(引自 J. A. 雅各布斯《地球学教程》,1974)

赤道半径 ( $a$ )	6378.160km
极半径 ( $c$ )	6356.755km
平均半径 $a^2c) \frac{1}{3}$	6356.03km( 通常采用 6371km)
扁率 ( $\frac{a-c}{a}$ )	$1/298.25 = 0.0033529$
赤道周长	40075.24km
子午线周长	40008.08km
表面积	510070100km <sup>2</sup>
体积	1083157900000km <sup>3</sup>
质量	约 $598 \times 10^{19}t$
平均密度	约 5.52g/cm <sup>3</sup>

我国领土面积 960 万 km<sup>2</sup> 是亚洲面积最大的国家。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,海岸线绵长,大陆海岸全长 1.8 万 km,岛屿海岸长约 1.4 万 km,有包括渤海、黄海、东海及南海在内的世界上少有的广阔大陆架,蕴藏着极其丰富的石油、天然气及其它矿产资源,待我们去勘探和开发利用。

## 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,由外向内依次是大气圈、水圈、生物圈、地壳、地幔及地核。前三者属于地球的外部构造,后三者属于地球的内部构造。

### 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,其厚度为数十公里,两极

薄，赤道厚。其下限是大陆或海洋的表面，上限可达 3000km 高空，但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（约 7~8km 厚）是对流层，它对地表的地质作用有相当大的影响。大气因地面温度变化和地球自转而发生对流并形成风 对流层中的云、雾、雨、露、霜、雪等气象现象与对流层的水蒸气有关；对流层是云和降水的源泉。所以地壳发展过程中的外部力量与对流层密切相关。

水圈也是闭合连续的层圈 包括海洋、河流、湖泊、地下水、冰川以及渗入岩石裂隙中的水分。水圈的厚度各地不同，厚者可达 11km 以上。最高的山区地下水层可达 10km 厚 其水圈厚度约 22km( 图 1-2)。水圈大约覆盖地球表面积的 71%，其中主要是被海洋所占据。

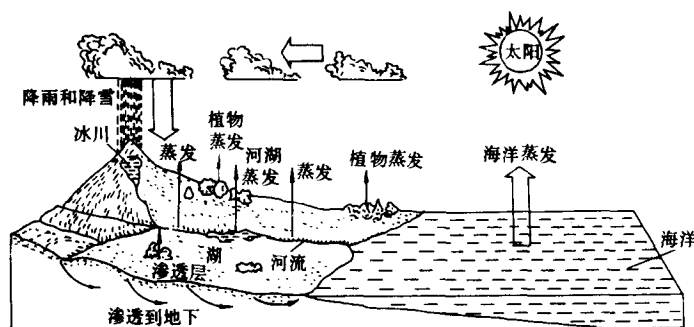


图 1-2 水圈示意图

生物圈是代表有生命物质的层圈。它对岩石的破坏和建造有很大的影响。在地壳的表层、水圈和大气圈的下部，都有种类繁多的生物存在，形成一个连续的生物圈包围着地球。

生物通过生活活动中的新陈代谢过程和死后遗体分解出各种气体及有机酸等，可与地表的物质直接或间接地发生各种物理、化学作用，从而改造地表物质。

## 二、地球的内部构造

人们生活在地球上，但对地球特别是对地球内部的了解，还不很清楚。因为直接了解地球内部情况尚缺乏更为有力的手段，目前只能从地表出发逐渐探索地球内部的一些情况。

### (一) 地震波与地球内部构造的关系

奔腾的河流，在固定河道中常年流动，对地表岩石不断地冲击破坏，结果在山区、高原往往形成峡谷，如同把地球切开一道道的口子，从山顶到谷底露出一些天然剖面，可供人们观察研究。但河流切开的地质剖面厚度，最大也只有几千米，而且不是到处都有这种剖面，在已开采多年的矿井中，随着开采深度的增加，可以了解一些地下情况；通过钻井，能从地下几百米、几千米取出岩心及其它有关实测资料，以直接了解地下地质情况。然而，通过这些途径，能直接了解到的情况仍然是限于地壳的表皮。目前，最深的矿井只有 3000m，石油钻探‘超深井’的深度也未超过 10km，这个深度同地球的平均半径(6371km)比较，显然是微不足道，只有千分之一左右。因此，要了解更深处的地下情况，只能靠间接的方法。

火山喷发早已引起人们的注意。地下深处炽热的岩浆喷出地表从而导致火山喷发。岩浆来自地下 60~200km 的深度，这显然比起深井深得多。火山喷发带上来的一些地下物质，反映了岩浆来源地段的高温环境。然而，岩浆一旦溢出地表，由于环境的改变，它已经不是在地下深处的原来状态了。所以通过火山喷发物质了解到的地下情况也是有限的。因而还需要寻求其它间接方法。

人们在研究地壳运动过程中，发现地震波对了解地球内部物质成分、状态、物质性质及确定地球内部构造的层圈分界面有很大的实用意义。强烈的地震往往给人们造成严重灾害，但同时也给我们提示地下贮藏着巨大的能量。尤为重要的是，这些能量在几秒、几分钟内释放出来，从地震地点以波动的形式向四面八方传播，穿过整个地球内部，又返回到地表。通过对地震波传播的分析，可以得到一些有关地球内部情况的信息。

由于地球各个部分的物质组成、密度、弹性等等的不同，地震波的传播速度也不一样，在不同的物质界面上发生反射、折射等变化，因而能把地球内部构造显示出来（图 1-3）。

穿过地球内部的地震波，有纵波和横波两种。纵波在固态、液态介质中都能传播，而横波只能在固态介质中传播。这两种波的传播方式和速度也都不同。利用地震仪所获得的典型记录表明：纵波和横波离开震源之后，在同一时刻，向各个方向传播，快速的纵波首先到达地震仪，隔一段时间后，慢速的横波才到达地震仪（图 1-4(a)）。地震波到达的延迟时间与波的传播距离成正比。

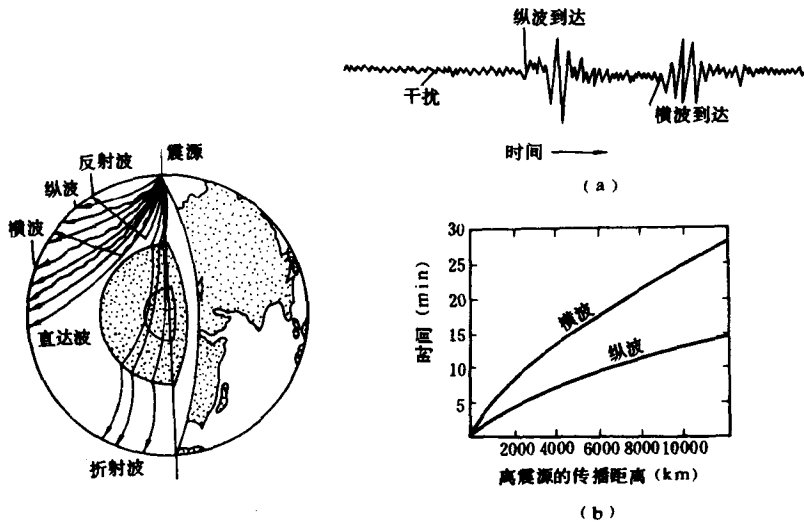


图 1-3 地震波的传播和地球内部构造

图 1-4 纵波与横波的不同旅行时间

利用纵波和横波在地球内部传播的平均旅行时间曲线（图 1-4(b)）。在三个不同测点上，根据地震仪所记录的纵波和横波的到达时间，可以计算出震源的精确位置。

地震波向地球内部传播时，传播速度一般是随着深度和物质密度的增加而逐渐增大的。当通过两种不同物质的界面时，无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。这表明地球内部在同一深度上其物质组成大体一致，或者说地球是由一层包一层的同心层圈构成的（图 1-5），相邻两个层圈之间应该有一个球形界面。因此，根据地震波在地下某一深度带上下的速度突变情况，可以确定地球内部分圈的界面。1909年南斯拉夫地震学家莫霍洛维奇（1857~1936年）首先发现在地表以下约 35km 处，地震波传播速度有一个跳跃式的增加，横波由 4.2km/s 突然增加到 4.6km/s，纵波由 7.6km/s 增加到 8.1km/s。这种速度突变显然不是由于深度加大所引起，而是由于物质性质不同，上下之间存在一个界面的结果。这是地下的第一个球形界面，通称为莫霍面或 M 界面。后来，加利福尼亚理工学院一个美籍德人古滕堡（1889~1960年），于 1914 年确定在地下 2898km 深处有一个更明显的界面，称为古滕堡面。当纵波传播到这一深度时，速度由 13.64km/s 突然降低到 8.1km/s，以后又慢慢增加，而横