

油气藏地质及开发工程国家重点实验室(西南石油大学)资助

# 油气钻井地质

范翔宇 编著

重庆大学出版社

## 内容提要

开展钻井地质环境描述是石油地质工程在钻井工程中的重要应用之一。本书的内容涵盖较广,主要概述了地质基础知识、油气储集层、地层压力及温度系统、钻井地质工作、钻井过程中的地质问题、水平井钻井地质、欠平衡钻井地质、煤层气钻井地质和海洋油气钻井等相关地质问题。

本书可作为油气井工程类师生和工程技术人员参考书,也可作为高职高专钻井技术专业学生的教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

油气钻井地质/范翔宇编著. —重庆:重庆大学出版社,2010.4  
ISBN 978-7-5624-5271-3

I. ①油… II. ①范… III. ①油气钻井—石油天然气地质 IV. ①TE14

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第244478号

## 油气钻井地质

范翔宇 编著

责任编辑:曾显跃 高鸿宽 版式设计:曾显跃

责任校对:邹 忌 责任印制:张 策

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

POD:重庆市海洋电子分色制版有限公司印刷

\*

开本:787×1092 1/16 印张:20.5 字数:512千 插页:16开2页

2010年4月第1版 2010年4月第1次印刷

ISBN 978-7-5624-5271-3 定价:80.00元

---

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

# 前言

对井下复杂地质环境认识不清,是油气钻井过程中发生各种井下事故的主要原因之一。钻井地质环境描述是针对钻井工程需要所开展的地层特性评价,客观的地质环境评价是选用适宜的钻进措施、钻井参数,避免事故、保证钻井工程的质量和效益的前提。

本书概述了地球构造及性质、油气成藏、地层压力温度系统等石油地质基础知识,又重点介绍了地质资料的录取及应用,钻井各个阶段所涉及的地质问题,还包括了水平井钻井、欠平衡钻井、煤层气钻井和海洋钻井的相关地质问题,可为防止喷、漏、塌、卡事故,保证钻探的安全和稳定井壁,降低事故、复杂损失和井控风险,确保正确设计井身结构和套管下入深度等提供一定的参考。

本书针对不同钻井地质环境,总共编写了9章。第1章主要介绍了构造地质和沉积岩与沉积相相关知识;第2章就油气储集层的基本特征、流体性质等进行了阐述;第3章主要介绍了地层压力、温度系统。前3章为钻井地质的基础,属于从事钻井工作者应该具备的基本常识。第4章主要介绍了钻井地质设计、地质录井及完井等内容;第5章探讨了油气钻井过程所遇到的部分地质问题,比如钻井过程中的压力问题、井眼失稳问题、岩石可钻性与钻井工程的关系、影响井斜的地质因素分析、完井方法的选择、钻井过程中的储层保护、钻井事故与井下复杂情况的处理以及工程地质类比法在石油钻井工程地质问题分析中的应用等。第6章至第9章分别介绍了水平井钻井地质、欠平衡钻井地质、煤层气钻井地质和海洋钻井地质,在欠平衡钻井地质中简要阐述了欠平衡钻井技术、欠平衡钻井的适用条件、欠平衡钻井完井技术和欠平衡钻井录井技术。在煤层气钻井地质中,主要描述了煤层气钻井完井工艺技术、煤层气储层保护技术、煤层气井绳索取心技术和煤层气地质录井、气测录井技术。

本书副主编由西南石油大学石油工程测井实验室夏宏泉教授和中石油西南油气田分公司川中油气矿苏静担任。同时,参考本书编写的人员还有西南石油大学石油工程测井实验室的贾俊、艾巍、康海涛等研究员。

本书编写受到“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室(西南石油大学)和西南石油大学“青年骨干教师培养计划”项目资助。在研究和编写过程中还大量参考了颜婉荪、吴元燕、伍友佳、张厚福、赵庆波等教授和专家的著作和文献,在此一并表示最诚挚的感谢,并对他们在该领域所作出的贡献表示崇高的敬意。

限于编者水平,加之时日仓促,书中不妥之处,切望各位专家、同仁和读者批评指正。

编者  
2009年10月

# 目 录

第 1 章 地质基础概论 .....	1
1.1 地球的地质概况 .....	1
1.2 构造地质 .....	6
1.3 沉积岩与沉积相 .....	8
第 2 章 油气储集层 .....	15
2.1 基本特征 .....	15
2.2 碎屑岩储集层 .....	20
2.3 碳酸盐岩储集层 .....	28
2.4 其他岩类储集层 .....	36
2.5 盖层与生储盖组合 .....	41
2.6 储层流体的基本性质 .....	43
第 3 章 地层压力、温度系统 .....	51
3.1 地层压力 .....	51
3.2 地层温度 .....	59
3.3 油气藏驱动类型 .....	64
第 4 章 钻井地质工作 .....	68
4.1 钻井地质设计 .....	68
4.2 地质录井 .....	81
4.3 完井及其资料整理 .....	123
第 5 章 钻井过程中的地质问题 .....	133
5.1 钻井过程中的压力问题 .....	133
5.2 井眼稳定问题 .....	149
5.3 岩石可钻性与钻井工程的关系 .....	164
5.4 影响井斜的地质因素分析 .....	171

5.5	完井方法的选择	184
5.6	钻井过程中的储层保护	193
5.7	钻井事故与井下复杂情况的处理	200
5.8	工程地质类比法在石油钻井工程地质问题分析中的应用	214
<b>第6章</b>	<b>水平井钻井地质</b>	<b>220</b>
6.1	水平井概述	220
6.2	水平井钻井液完井液技术	226
6.3	水平井完井方法	251
<b>第7章</b>	<b>欠平衡钻井</b>	<b>254</b>
7.1	欠平衡钻井简介	254
7.2	欠平衡钻井的适用条件	257
7.3	欠平衡钻井完井技术	259
7.4	欠平衡钻井录井技术	259
<b>第8章</b>	<b>煤层气钻井地质研究</b>	<b>263</b>
8.1	煤层气地质概论	263
8.2	煤层气钻井完井工艺技术	272
8.3	煤层气储层保护技术	285
8.4	煤层气井绳索取心技术	295
8.5	煤层气地质录井、气测录井技术	300
<b>第9章</b>	<b>海洋钻井</b>	<b>315</b>
9.1	海洋地质概述	315
9.2	丰富的海洋石油资源	316
	<b>参考文献</b>	<b>320</b>

# 第 1 章

## 地质基础概论

### 1.1 地球的地质概况

#### 1.1.1 地球的内部构造

人们能够直接观察到的地下深度是有限的,到目前为止,世界上最深的钻孔也仅有 1 万多米。因此,更深处地球构造必须借助于间接的方法来研究,地球内部的圈层构造,主要根据地震波的传播情况来划分,地震波在地下传播有两个速度变化最明显的界面,第一个称为莫霍面,第二个称为古登堡面。这两个界面把地球内部分成 3 个圈层,即地壳、地幔和地核;根据次一级界面又可分为上地壳、下地壳、上地幔、下地幔、外核、过渡带和内核,如图 1.1 所示。

##### (1) 地壳

地壳是位于莫霍面以上的地球最外一圈,是地球表面的坚硬固体外壳,主要是由富含硅和铝的硅酸盐类岩石组成。地壳表面起伏不平,与大气圈、水圈、生物圈直接接触。地壳厚度各地变化很大,大洋地壳较薄,平均厚 6 km,最厚约 8 km,最薄不到 5 km;大陆地壳较厚,平均厚 35 km,最厚可达 70 km。整个地壳平均厚度约为 16 km,只有地球半径的 1/400,体积只有地球体积的 0.8%,质量为地球质量的 0.4%。

地壳由上、下两层组成,其间的分界面称为康拉德。上地壳称为硅铝层,主要成分是氧、铝、硅等轻元素,平均密度为  $2.7 \text{ g/cm}^3$ ,主要岩石为酸性的岩浆岩和变质岩,如花岗岩、片麻岩等,含有丰富的碱金属和大量的稀有合金元素,故也称花岗质岩层。此层只有大陆壳才有,大洋壳缺少此层,呈不连续分布。下地壳称为硅镁岩,主要成分是氧、硅、铁和镁,平均密度为  $3.0 \text{ g/cm}^3$ ,主要岩石为基性岩,如玄武岩,故又称为玄武质层。大陆和大洋下面均有此层,呈

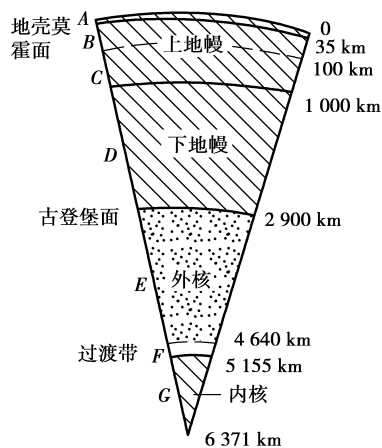


图 1.1 地球内部分层

连续分布。

地壳表面高低起伏,由海洋和陆地所构成。海洋覆盖了地球表面 $3/4$ 的面积,海底地形有大陆架、洋盆、洋脊、海沟、岛弧等。陆地多集中于北半球,占全球陆地面积的 $67.5\%$ ;陆地地形有山地、丘陵、平原、高原、盆地等。世界最高峰——珠穆朗玛峰,海拔 $8\,844.43\text{ m}$ ;最深海沟——马里亚纳海沟为 $-11\,033\text{ m}$ 。陆地平均海拔高度为 $840\text{ m}$ ,海水平均深度为 $-3\,800\text{ m}$ 。

地壳表层长期与大气和水接触,遭受各种引力作用,形成一层沉积层,平均厚度为 $1.8\text{ km}$ ,最厚可达 $10\text{ km}$ ,局部地区缺失。它是现代石油地质研究与勘探的主要目标。

### (2) 地幔

地幔指介于莫霍面和古登堡面之间的圈层,厚度大于 $2\,900\text{ km}$ ,约占地球总体积的 $83\%$ ,质量约占地球质量的 $67.6\%$ ,平均密度约为 $4.5\text{ g/cm}^3$ ,横向变化比较均匀。通常以地震波速度明显变化的 $1\,000\text{ km}$ 深处为界,把地幔分为上、下两层。

上地幔平均密度约为 $3.5\text{ g/cm}^3$ ,主要成分为超基性岩,其依据主要来自地震波速度和密度的数据,以及实验室模拟资料和火山喷出物,陨石成分等。上地幔厚 $60\sim 250\text{ km}$ ,地震波速减低,尤其以 $100\sim 150\text{ km}$ 波速最低,此带称低速带,构造学上称低速带为软流圈,其上的固体地壳和低速带上部的地幔部分合称为岩石圈。由于低速带塑性较大,给上覆固体岩石的活动和构造运动创造了条件。

下地幔从 $1\,000\text{ km}$ 到 $2\,900\text{ km}$ 深度,平均密度约为 $5.1\text{ g/cm}^3$ 、地震波速度增加较慢,可以认为是压力增加而成分均匀的缘故。在 $2\,750\sim 2\,900\text{ km}$ ,地震波速度较低而密度有所增加,是由地幔向地核急剧转化的前奏。

### (3) 地核

在 $2\,900\text{ km}$ 以下,地震波速急剧降低,即纵波速度从 $13.32\text{ km/s}$ 下降到 $8.1\text{ km/s}$ ,横波则消失中断,表明组成地核物质发生了巨变。根据地震波速度的变化,以 $4\,640\text{ km}$ 和 $5\,120\text{ km}$ ,可分出外核、过渡带和内核。

外核平均密度约为 $10.5\text{ g/cm}^3$ 。由于纵波速度急剧降低,横波不能通过,说明刚性为零,固体潮和地球自由振荡观测推断,可以肯定是液体,呈液态的原因是这里的温度超过了熔点。

过渡带波速变化复杂,并有速度不大的横波,可能是液态向固态过渡的象征。内核平均密度约为 $12.9\text{ g/cm}^3$ 。测得有纵波和横波,证实这种横波是纵波穿入内核时转换成的,穿出内核时又转换成纵波,因此,肯定内核是固体。

## 1.1.2 地球的物理性质

地球是宇宙中一颗渺小的星体,是太阳系行星家族中一个壮年的成员,它的绝对年龄根据放射性元素同位素衰变规律计算,为 $45\sim 50$ 亿年。根据实际测量结果,证明地球是一个巨大的椭球体,地球的平均半径为 $6\,356.03\text{ km}$ ,地球面积约 $5\times 10^8\text{ km}^2$ ,体积大致为 $1\times 10^{12}\text{ km}^3$ ,质量约为 $6\times 10^{20}\text{ t}$ 。

### (1) 密度

地球的平均密度为 $5.517\text{ g/cm}^3$ ,按实际测量,地表岩石的平均密度为 $2.7\sim 2.8\text{ g/cm}^3$ ,根据地震资料计算,得知地球内部密度随着深度增加而不均匀地增加,至地球核心部分,密度可达 $13\text{ g/cm}^3$ 。

## (2) 压力

地球内部压力主要是静压力,静压力是由地球上覆物质的重量所产生的压力。地下深10 km处的压力大致有3 000 atm,35 km深处有1万 atm,岩石在这个静压力下会变软。在2 900 km深处可达150万 atm,地心高达370万 atm,物质的原子结构已完全被破坏。

## (3) 重力

地球上任意一点的重力等于物体与地球之间的引力和由于地球自转而产生的离心力之合力。重力与地球的质量成正比,与地球与物体二者质量中心的直线距离的平方成反比。由于海拔和纬度的不同,地球表面的重力各处也不相等。据计算,地球赤道重力为978.031 8 伽\*,两极重力为983.217 7 伽,在赤道上重1 000 g的物体拿到两极就有1 005.3 g。

在地球内部重力随深度而有不甚规则的变化,在2 900 km深度以内,大致是逐渐增加的,但有波动。重力加速度从地面约981 cm/s<sup>2</sup>,至2 900 km增为1 030 cm/s<sup>2</sup>,再往深处就迅速锐减,到地心重力为零。

根据以海平面为基准计算的地面重力场(地球的周围重力作用的空间称为重力场)的变化是随纬度增加而增加,随高度增加而减少的。这个地面重力场是代表地球物质在均匀状态下的标准重力场(理论重力场)。实际上由于地球物质分布不均匀,各处密度不同,使实测值与标准值不符合,这种现象叫重力异常。实测值大于标准值的是正异常,低小于标准值的是负异常,根据重力异常范围的大小又有区域重力异常(指大陆、大洋、山区和平原等大范围内的重力异常)和局部重力异常(指几至几百平方公里小范围内的重力异常)之分。研究区域重力异常可了解地球内部结构,研究局部重力异常可以用于探矿。在进行小面积重力测量时,通常以区域重力异常值作为标准值(背景值)。在地面有厚层浮土和植物覆盖区利用重力来探测地下的矿产、岩石和构造是很有效的。这是地球物理勘探法之一,称为重力勘探。当地下岩层密度有差异,下面岩层的密度比上面的大,采用重力勘探,显示正异常时,说明地下可能存在有利于储油的构造。

## (4) 温度

由许多自然现象如温泉、火山喷出炽热物质,深矿井温度高等都能说明地球内部是热的。根据地内温度分布状况,地球可分为3个层。

受地表辐射热的影响,从地表向下一定深度,温度是降低的。由于太阳热量的变化,地温变化的速度和幅度也不相同。日变化影响深度一般为1~15 m,年变化影响深度一般为10~20 m,在内陆地区可达30~40 m,此层又称外热层。

自外热层向下,温度不随外界温度而变化,温度常年保持不变,等于当地年平均温度,此层又称常温层。

在常温层以下是内热层,温度随深度而增加,主要由放射热引起,其温度增加呈规律性变化。所谓地温梯度,即指在内热层深度每增加100 m所增高的温度。

地球内部的热能总是通过如火山、温泉等直接方式或传导、对流、辐射等间接方式传出地面,通常将单位时间内通过单位面积的热量称为大地热流。

\* [伽]gal,又称“盖”,是重力测量中表示重力场强度的单位,是为纪念第一个重力测量者意大利科学家伽利略(1564—1642)而命名的。重力场强度的量纲是cm<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>。规定1 cm<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>为一伽,伽的1/1 000为1毫伽,又称米盖。毫伽的1/1 000为1微伽,又称u盖。毫伽是重力勘探的常用单位,由于重力测量精度的提高,用微伽者也较常见。

### (5) 放射性

岩石、水、大气、生物等都有放射性元素的存在,地壳中酸性岩浆岩的放射性元素含量最高。放射性元素中地质意义最大的是铀、钍、钾,它们的半衰期长,可与地球年龄相比,用这些元素的测定可以用以确定岩石或矿物等的地质年龄。天体也含有放射性元素,故也可以测定天体的生成年龄。

放射性元素在不同的岩石中含量不同,放出的射线强度也就不同,在放射性矿物多而集中的地区,射线强度就大,从而形成放射性强度局部增高的异常区,据此可进行放射性勘探。

### (6) 磁性

地球是一个均匀磁化球体,在它周围形成了一个偶极地磁场,地磁场上的南北极与地球上的南北极是不一致的,且地磁场是不断变化着的。由地球外部原因引起的变化称短期变化,由内部原因引起的变化称长期变化。磁法勘探正是利用测量地下局部磁异常的原理,来进行找矿和地质构造研究的。

在岩石中保存有古代磁场的剩余磁场,它指示了古代磁场的方向。因此,通过岩石中剩余磁场的测量,可以恢复古地磁状况,由此,可以进行地球构造的重建和板块运动的研究。

### (7) 电性

地球带电是人们早就知道的。地下电流来源很多,大气高层电离对地面的感生电场、大雷雨时的放电、地内不同岩体温差电流和大面积电磁场感应电流等。地球内部的电性变化主要视地内物质的电导率而定。对大地电流变化和局部地电异常的测量,可以研究地球内部结构和构造,以及进行矿产资源的勘探。

### (8) 弹性

地球具有弹性,表现在能传播地震波,因为地震波是弹性波。固体地球在一定条件下还表现为塑性体,野外观察到的许多岩体发生剧烈而复杂的弯曲却没有断开,就是岩体塑性的表现。

地球内部的弹塑性状况可通过地震波在地球内部传播速度来确定。地震波速度的快慢与物体的密度和弹性有关,地球内部密度是随深度增加而增加的,因此地震波速度也随之增加。但在地下 2 900 km 深处地震波突然消失,于 4 640 km 深处又出现,说明在 2 900 ~ 4 640 km 的物质应是液态的。

## 1.1.3 地壳的矿物组成

矿物是天然产出的均匀固体,是地表及上地幔的化学元素在一定条件下经过各种地质作用所形成的相对稳定的产物,它具有比较固定的化学成分和晶体结构,从而表现出一定的几何形态和物理、化学性质。它是矿石和岩石的基本组成单位,是地壳演化过程中元素运动和存在的一种形式,是直接保存和记载各种地质过程中物理、化学条件的物证。

每一种矿物各有一组特殊的物理性质,这些物理性质能用以鉴定未知矿物标本。各种矿物的原子或离子都具有不同的规则排列,因而其外部形态表现出晶面不同的规则几何体,并表现出不同的颜色、条痕、光泽、硬度、密度、节理和断口及透明度、放射性等。

各种矿物的研究在石油地质中有着重要的意义,如对矿物的鉴定,可以确定古沉积环境、流体排出及运移中的作用等。

#### 1.1.4 地壳的岩石组成

岩石就是通常所指的石头,是地壳中由地质作用所形成的固态物质,是由各种矿物或岩屑组成的天然集合体,并且有着一定的结构构造和变化规律。岩石是岩石圈的组成体,各种构造、沉积、构造变化以及地下流体的产出、流动、聚集等都发生在岩石之中,因此,对岩石的研究不但对地质学是十分重要的,而且也是石油地质学的基础。根据岩石成因不同可分为岩浆岩(火成岩)、沉积岩和变质岩3大类。

##### (1) 岩浆岩

岩浆是存在于地壳下面的熔融性硅酸盐物质。岩浆沿地壳的薄弱带向地壳表层侵入或喷出而冷凝固化形成的岩石就是岩浆岩。根据冷凝固化的环境不同,又可分为喷出岩(火山岩)和侵入岩(深成岩和浅成岩)。

岩浆岩大多为块状的结晶质岩石,部分为玻璃质岩石,岩石中的原生结晶矿物都是在高温下形成的。各种各样的岩浆岩体和其周围的围岩间一般拥有清楚的界线,岩体的边部还常有围岩的碎块捕虏体或其变质产物,有时围岩有明显的热变质和交代变质作用发生。

组成岩浆岩的矿物很多,但其主要造岩矿物并不多。各种矿物含量以长石最多,占整个岩浆岩成分的60%以上,其次则是石英,平均占12.4%。因而石英和长石成为岩浆岩鉴别和分类的重要依据之一,另外,还有一些次要矿物(如:黑云母、辉石、橄榄石等)和含量很少的副矿物(如磷灰石、重晶石等)。

常见的喷出岩有玄武岩、流纹岩、安山岩等,常见的侵入岩主要有花岗岩、花岗斑岩、辉长石及闪长石等。

##### (2) 沉积岩

沉积岩是在地表或接近地表的条件下,由母岩(岩浆岩、变质岩和早已经形成的沉积岩)风化剥蚀经搬运、沉积和压实硬结而成的岩石。尽管沉积岩的重量只占地壳的5%,但却约覆盖了陆地表面面积的3/4,是石油和天然气产出的主要岩类,世界上99%以上的石油均产自于沉积岩。

组成沉积岩的矿物成分主要是母岩风化搬运沉积下来的碎屑矿物,如石英、长石、云母、黏土矿物,以及沉积过程中产生的新矿物,如白云石、方解石等。各种不同的动、植物或碎屑在沉积过程中也被一起堆积在沉积岩中,成为油气生成的主要母质来源。沉积岩的颜色不但反映了其颗粒和胶结物的成分,而且反映了其产生的沉积环境。通常暗色矿物和岩屑含量多,还原环境下形成的沉积岩颜色深,一般为深灰、黑色;在氧化环境下形成的沉积岩颜色浅,一般为灰、灰白、红色等。深灰、黑色的黏土岩通常是良好的富含有机质的生油母岩。

沉积岩的结构一般可分为碎屑结构、泥质结构、结晶结构和生物结构。其构造特征最显著的是层理构造和层面构造,它不仅反映了沉积岩的形成环境、水动力条件,而且是区别于岩浆岩的特有构造。层理构造主要包括平行层理、斜层理和波形层理,以及丘状、脉状、透镜状、块状和交错层理等;层面构造主要有波痕、干裂、印模、沟槽、冲刷面等,另外还有变形构造,生物成因构造和化学成因构造等。

在石油地质勘探中常见的沉积岩主要是砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩、页岩和灰岩。砂岩、粉砂岩通常是石油产出的层位,我国石油储量90%来自砂岩油藏,天然气储量39%来自砂岩气藏。泥岩和页岩通常作为石油生成的母岩和石油聚集的盖层,而灰岩则既可是石油生成的母

岩,也可是聚集的储集层和盖层。

### (3) 变质岩

地壳中的岩浆岩、沉积岩或早期形成的变质岩由于所处地质环境的改变,其矿物成分和结构、构造在新的物理、化学条件下就会发生改造和质变,这种作用就称为变质作用,由此形成新的岩石称为变质岩。

变质岩的成分、结构、构造都比较复杂,它既保留了一些原来岩石的成分和特征,又可在变质过程中产生新的成分和特征。常见的变质岩有板岩、片麻岩、大理岩、石英岩和蛇纹岩等。变质岩一般都存在于较古老的地层中,以及各种构造活动较强的区域。

## 1.2 构造地质

### 1.2.1 地壳运动

地壳运动是由内力作用引起地壳结构改变和地壳内部物质变位的运动。地壳运动控制着地表海陆分布的轮廓,影响着各种地质作用的发生和发展,同时改变着岩层的原始产状,并形成各种各样的构造形态,而各种地质构造与石油和天然气的关系非常密切,因此对石油工作者来讲,研究地质构造的形成和分布规律具有十分重要的意义。

无数事实证明地壳内部物质运动是普遍的、永恒的。从古到今地壳一刻也未停止过运动。在地壳中,从最古老的岩石到最新的岩石都保存有地壳运动的各种痕迹,地壳运动的例证不胜枚举:如岩层的变位和变形(褶皱、断裂等);第三纪以来的地貌和地物的变迁,如我国雷州半岛等地的古海滩已高出现代海面 40 ~ 80 m,我国舟山群岛、海南岛和台湾岛在第四纪早期都是与大陆相连的,后来由于台湾海峡地壳下沉才分开;我国喜马拉雅山在 2 500 万年前才开始从海底升起,200 万年前才初具山的规模,自第三纪开始以来,平均上升速度为 0.05 cm/a,但根据 1862—1932 年的资料来看,平均上升速度已增为 1.82 cm/a。这些事实有力地说明了地壳运动的存在。类似的事实全球各地都有,足以证明地壳运动的普遍性和长期性。

地壳运动具有方向性。地壳运动的方向包括水平运动和垂直运动(升降运动),两者常交替进行。

#### (1) 水平运动

水平运动指沿平行于地表(即沿地球切线方向)的运动。依地理方向(东、南、西、北)来表明其运动方向。水平运动常表现为岩层的水平移动,并使岩层在水平方向上遭受不同程度的挤压力,或引张力,形成巨大而强烈的褶皱和断裂等构造,地形上形成高大的山脉,有人称之为造山运动。

#### (2) 升降运动

升降运动指垂直于地表(即沿地球半径方向)的运动。表现为上升运动或下降运动。升降运动常表现为大型宽缓的隆起和拗陷,并引起一些正断层和高角度断层,升降运动还引起地势高低的变化和海陆变迁,有人把这种运动又称为造陆运动。

水平运动和升降运动是地壳运动的两个主导方向。比较而言,升降运动现象比较容易识别,而水平运动较难于观察。一般来说,对地壳运动表现出的缓慢变化往往不易察觉只有用精

密仪器进行定期观测,才能了解其变化和运动的方向、速度和幅度等。

地壳的升降运动具有交替性、周期性和复杂性的特点。在地壳上的同一地点常表现为互相交替的性质。时间上,上升为下降所代替,下降又常为上升所代替,空间上,甲地上升而乙地下降,或者相反,或者互相交替,地壳升降运动还常表现为升—降—升周期性的有节奏的非简单重复的特点。一个地区从下降开始到上升终止称为一个旋回。升降运动一般总是伴随着次一级的升降运动,有时次一级的升降运动又为更次一级的升降运动复杂化。地壳运动在不同时期、不同地区的表现是不相同的。

总而言之,从地壳的发展历史来看,地壳运动总的表现形式,无论在大陆或大洋越来越多的证据表明水平运动是大规模的、起主导作用的,而垂直运动是次要的,但从地壳的某一地区和某一阶段来看,可以是以水平运动为主,也可以是以垂直运动为主。

### 1.2.2 地质构造

组成地壳的岩层所具有的一定特征或形态的组构称地质构造。其中,在沉积物堆积或熔融物结晶时形成的构造称原生构造,岩层受力发生变位、变形形成的构造称为次生构造。地质构造的基本类型有4类:水平构造、倾斜构造、褶皱构造和断裂构造。

#### (1) 水平构造

岩层产状近于水平,这种构造出现在构造运动影响较轻微的地区或大范围内均匀抬升或下降的地区,岩层未发生明显变形。水平构造中较新的岩层总是位于较老的岩层之上,不同地点同高程上,出露同一地层;同一出露地点,老地层在低洼处,新地层在较高的位置。

#### (2) 倾斜构造

倾斜构造是指岩层层面与水平面有一定的夹角。倾斜构造带通常是褶曲的一翼或断层的一盘,也可以是大区域内的不均匀抬升或下降造成的。此时岩层仍保持下老上新的层序。

#### (3) 褶皱构造

褶皱是岩层弯曲形成的构造。在地壳岩石中褶皱弯曲的规模差别很大,从显微构造直到巨大的构造盆地和地槽带均属褶皱构造。在松散的沉积物,沉积岩,各类变质岩,甚至某些火成岩中的原生流动构造中,都有褶皱发育,这说明褶皱可由多种压力环境下形成,其形态多种多样。褶皱构造的基本类型主要有两种:背斜和向斜(图 1.2)。

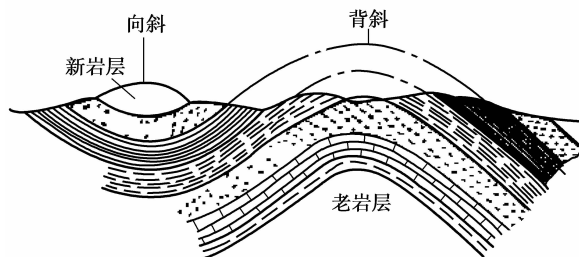


图 1.2 背斜与向斜

背斜的特征是岩层向上弯曲,中心核部较老,两侧岩层依次变新;向斜则相反,岩层向下弯曲,核部较新,两侧依次变老。如岩层未经剥蚀,则背斜成山,向斜成谷,地表仅见到最新地层。若岩层受剥蚀,则地表可出现不同时代的地层露头。

#### (4) 断裂构造

断裂构造是由于岩层受力发生脆性破裂而产生的构造。根据相邻岩块沿破裂面的位移量,又可分为节理和断层。

##### 1) 节理

节理是当岩层、岩体发生破裂、而破裂面两侧岩块没有发生显著位移时的断裂构造。它是野外常见的构造现象,一般成群、成组出现。通常将同一成因的一群节理定义为节理组,一组节理常常是相互大致平行,但并不完全如此。节理的长度不一,有的节理仅几厘米长,有的在几米到几十米长;节理间的间距也是千差万别的。节理面有平整的,也有粗糙弯曲的。其产状可以是直立的、倾斜的、水平的。其成因多种多样,在剪切应力下形成的节理称剪节理,在张性应力下形成的节理称张节理。

##### 2) 断层

断层是岩体发生较明显位移的破裂带或破裂面。断层是地壳中广泛存在的地质构造,种类很多,形态各异,规模不一。从与褶皱伴生的小断层到构成山脉边界的大型断层带以及岩石圈中其他大型薄弱带等。断层深度可达数千米,根据深源地震的深度推测,有的可能深达700 km。断层延伸最长可达数百甚至上千千米。

断层可以是一个平直的、带有微细擦痕的滑面,但更常见的是一个宽达数米到百米以上的破裂带,带中的岩石被挫碎和角砾岩化,有时碾成粉末状的断层泥,成粉碎后又重结晶成为燧石状糜棱岩。许多断层带是一个由近似平行的断层组成的系列。按断层两盘相对位移的方向分为正断层、逆断层和平移断层。

正断层的上盘相对下降,下盘相对上升,主要是引张力和重力作用形成,如图 1.3 所示。

逆断层的上盘相对上升,下盘相对下降,主要是由水平挤压力作用形成,如图 1.4 所示。

平移断层的两盘沿断层面走向方向相对错动,断层面近于直立,主要是水平剪切作用形成的。

这些断层常常成列出现,形成各种组合类型,如阶状断层、地垒、地堑等。

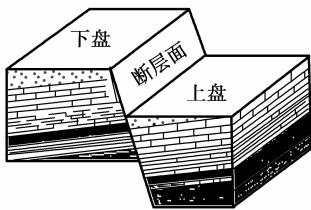


图 1.3 正断层

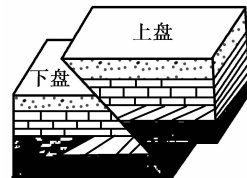


图 1.4 逆断层

### 1.3 沉积岩与沉积相

#### 1.3.1 沉积岩

沉积岩是在地壳表层的常温常压条件下,主要由风化作用、生物作用及某些火山作用的产物,经过搬运、沉积及成岩等作用而形成的岩石。

沉积岩的分布面积很广,约占地球表面积的75%。在沉积岩中蕴藏着极为丰富的各种矿产,世界上绝大部分的石油和天然气都储集在沉积岩中,因此,必须认识沉积岩,从而研究它与油和气的关系。

### (1) 沉积岩的形成

沉积岩的形成及其形成后的演化的全部历史过程大致可分为以下几个阶段,即沉积岩原始物质(主要是母岩的风化产物)的形成阶段、沉积岩原始物质的搬运和沉积阶段(即沉积物的形成阶段)、沉积后作用阶段(其中又包括沉积物的同生作用和准同生作用阶段、沉积物的成岩作用阶段以及沉积岩的后生作用阶段)。

#### 1) 沉积岩原始物质(主要是母岩的风化产物)的形成阶段

沉积岩的原始物质成分主要是原来的岩石(指岩浆岩、变质岩、或早先形成的沉积岩,这些岩石又称为母岩)的风化产物。

长期暴露在地表或接近地表的岩石,长年累月地经受温度的变化,气体及水溶液的作用和生物的影响,而发生的崩裂和分解,这种作用称为风化作用。

自然界的风化作用又分为以下3种:

①物理风化作用 使岩石发生机械破碎的一种作用称为物理风化作用。引起物理风化的因素是温度的变化、风、水、海洋以及冰川的作用,这些因素长期作用的结果,母岩就逐渐地被破碎为岩石的碎屑或矿物碎屑,而岩石的矿物成分及化学成分却不发生变化。这些岩石或矿物碎屑就成了沉积岩的原始物质的一部分。

②化学风化作用 指岩石或矿物在水和水溶液或大气的化学作用下,产生化学分解的一种作用,称化学风化作用。主要包括氧化作用、水化作用、溶解及水解作用,在这些作用下不仅使岩石破碎,而且还使岩石的矿物成分、化学性质发生显著的变化,甚至形成新的矿物。如铁生锈,长石风化成高岭土,石油在地面氧化成沥青等。在化学风化过程中,主要产生Si(硅)、Fe(铁)、Al(铝)等所形成的风化残余物。这些残余物也是沉积岩原始物质的一部分。

③生物风化作用 由于生物作用而使岩石发生变化的作用称为生物风化作用,如动、植物对岩石的机械破坏作用。人类对大自然的改造和利用,尤其是动植物的新陈代谢作用及其遗体的腐烂作用对岩石更是有很大影响,它们均可以加快岩石风化的过程。土壤就是以上几种风化作用共同作用的结果。

岩石经风化作用除了产生碎屑物质和残余物质以外,还可以产生溶解物质,包括钾、钠、钙、镁的真溶液物质和铝、铁、硅的胶体溶液物质。

#### 2) 沉积原始物质的搬运和沉积阶段

##### ①搬运作用

经风化作用形成的岩石碎块、碎屑、细沙、软泥以及溶解物质等被搬运介质流水、冰川、风等携带,离开原地向他处迁移的过程,称为搬运作用。

搬运的方式有两种:被搬运的物质呈碎屑状态称为机械搬运;化学风化形成的物质呈胶体溶液或真溶液的搬运,则称为化学搬运。

碎屑物质的搬运过程受着两种力的作用:一种是重力,要使碎屑下沉;另一种是搬运介质的动力,要使碎屑作前进运动。重力和动力构成了机械搬运和机械沉积作用的主要矛盾。当重力大于动力,发生沉积;反之,发生搬运。碎屑颗粒所受的重力取决于它的大小、密度和形状。动力则与介质的密度、黏度、流速及水深等因素有关。

机械搬运距离的远近决定于搬运介质的速度和碎屑物质颗粒的大小、密度和形状,一般情况下颗粒大小和搬运介质的速度是主要因素。搬运介质的速度大,搬运的碎屑物质量多,且颗粒粗大;相反,搬运介质的速度小,搬运的碎屑物质量少颗粒细小。碎屑越大,密度越大,则搬运的距离越短;反之,搬运的距离越长。在搬运过程中,碎屑物质互相摩擦,其棱角逐渐被磨圆,碎屑物质搬运距离越长,其磨圆程度越好,如河滩里的卵石等。

化学搬运主要取决溶解物质溶解度的大小,溶解度越大,越易搬运;反之,搬运越困难。同时,搬运介质的 pH 值和氧化还原电位以及温度、压力等条件对化学搬运也有一定的影响。在沉积原始物质被搬运的过程中,机械和化学搬运不能截然分开,在以机械搬运为主的过程中也有化学搬运,而在以化学搬运为主的过程中也有机械搬运。

### ②沉积作用

被搬运的物质随着搬运力量的减弱即搬运的动力小于被搬运物质的重力,或者搬运介质的物理化学条件的改变,或者由于生物的作用,被搬运物质便堆积在适当的场所,这种作用称为沉积作用。

地壳上无论是陆地或海洋,都可以发生沉积作用,但主要的沉积场所是海洋和湖泊。根据沉积环境的不同,可分为大陆沉积和海洋沉积两大类。按沉积方式,每类又可分为:

a. 机械沉积:碎屑物质根据本身的粒度大小、密度、形状和矿物成分等的不同,在重力的影响下,按一定的顺序沉积的现象称机械沉积或称为机械沉积分异作用。

b. 化学沉积:根据化学特性不同,溶解物质由溶液中按一定先后顺序沉淀的作用称化学沉积或称为化学沉积分异作用。例如,我国西北的内陆湖泊中,常有盐类如 NaCl 或  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  等沉积。

c. 生物沉积:由动、植物的新陈代谢作用所产生的物质或生物遗体堆积而形成有机岩或有机矿床的作用称生物沉积作用。例如,珊瑚礁及煤和石油等矿产即属此类。

综上所述,从母岩风化产物到沉积物,要经历一个复杂的地质过程,即风化产物搬运和沉积的过程。搬运和沉积的方式因原始物质不同而不同。碎屑物质的搬运和沉积是机械的,主要受重力作用支配;溶解物质的搬运和沉积作用是化学的,受物理化学条件的支配。碎屑物质通过流水、冰川、风、海湖波浪和生物等介质搬运和沉积;化学溶解物质的搬运和沉积的介质主要是水和生物。还应当指出,沉积作用大规模地在海、湖盆地中进行,但最终的沉积物常是以某种沉积作用为主导,各种沉积作用共同作用的结果,很少是单一沉积作用的产物。

### 3) 沉积岩的成岩作用与后生作用

经过搬运和沉积形成的沉积物在一定的条件下,由于压力、温度增高或溶液的影响,发生压缩、胶结、交代及重结晶等,使沉积物固结成为岩石的作用称为成岩作用。

成岩过程是一个复杂而漫长的过程,压缩、胶结、交代及重结晶等成岩方式在成岩过程中经常见到,但对于不同成分的沉积物和在成岩作用的不同阶段,它们的强度不同,并且它们不是孤立存在而是相互影响和密切联系的。

沉积岩形成之后,在外界条件的影响下,继续不断地发展变化最后转变为变质岩或形成风化产物,一般把沉积岩形成之后,遭受风化或变质以前的变化称为后生作用。它包括压固作用、压溶作用(在相当高的温度之下,压力引起物质局部溶解和重新分配,称为压溶作用,如碳酸盐岩中常见的缝合线等)、重结晶作用和交代作用等。这些作用继成岩作用之后,继续进行。压固作用使岩石的密度继续加大,孔隙度继续降低,但变化程度不及成岩阶段剧烈。而重

结晶作用在继成岩作用之后却更加明显,岩石中某些矿物经重结晶作用晶形变得更加粗大、自形程度好。交代作用也是相当强烈的后生作用,常见的如石膏的脱水作用和硬石膏的水化作用等。沉积岩在后生阶段的变化主要表现为结构的改变和新矿物(后生矿物)的形成。

## (2) 沉积岩的分类

沉积岩的分类方案很多。这里,首先根据沉积岩的形成作用可分以下大类和基本类型:

- ① 主要由母岩风化产物组成的沉积岩。
- ② 主要由火山碎屑物质和深部卤水组成的沉积岩。
- ③ 主要由生物遗体组成的沉积岩。
- ④ 主要由宇宙物质来源组成的沉积岩。

主要由母岩风化产物组成的沉积岩是最主要的类型,它还可以根据母岩风化产物的类型(碎屑物质及溶解物质)及其搬运沉积作用的不同(机械的和化学的)再划分为两类:碎屑岩和化学岩及生物化学岩,碎屑岩还可以根据其主要的结构特征(即粒度),再进一步划分为砾岩、砂岩、粉砂岩和黏土岩。化学岩及生物化学岩还可以根据其成分特征,再进一步划分为碳酸盐岩、硫酸盐岩、卤化物岩、硅岩及其他化学岩。

主要由火山碎屑物质组成的沉积岩即火山碎屑岩,不可以根据其岩性特征再细分。

主要由生物遗体组成的沉积岩即生物岩或有机岩,还可以根据其是否可燃,再划分为可燃生物岩(如煤和油页岩)和非可燃生物岩。

主要由宇宙来源的陨石组成的沉积岩可称为陨石岩。

沉积岩的分类归纳如图 1.5 所示。

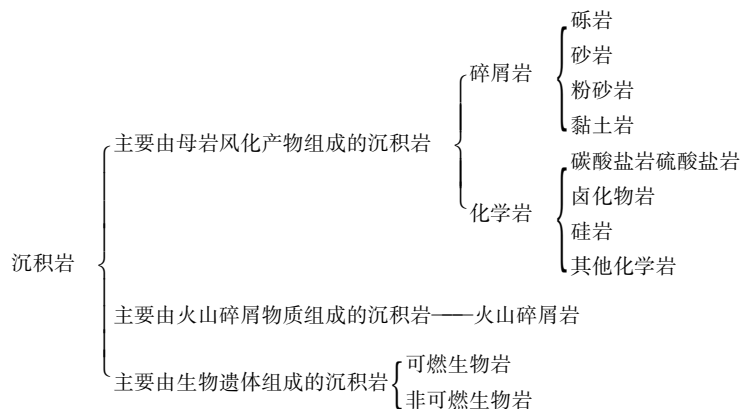


图 1.5 沉积岩类型

作为油气储集层的沉积岩主要有碎屑岩和碳酸盐岩,世界上已经发现的油气储量有 95% 以上都聚集在其中。

### 1.3.2 沉积相

#### (1) 沉积相的概念

相为沉积环境及在该环境中形成的沉积岩(物)特征的综合。这里所指的沉积环境由下述一系列环境条件(要素)所组成:自然地理条件,包括海、陆、河、湖、沼泽、冰川、沙漠等的分布及地势的高低;气候条件,包括气候的冷、热、干旱、潮湿;构造条件,包括大地构造背景及沉积盆地的隆起和拗陷;沉积介质的物理条件,包括介质的性质(如水、风、冰川、清水、浑水、油