

单传祯 郑红◎编著

采气地质

Caiqi Dizhi



四川大学出版社

单传祯 郑红◎编著

采气地质

Caiqi Dizhi



四川大学出版社

责任编辑:毕 潜
责任校对:傅 奕 段悟吾
封面设计:米茄设计工作室
责任印制:李 平

图书在版编目(CIP)数据

采气地质 / 单传祯, 郑红编著. —成都: 四川大学出版社, 2009. 1

ISBN 978-7-5614-4244-9

I. 采… III. ①单…②郑… III. 天然气开采—石油天然气地质 IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 007968 号

书名 采气地质

编 著 单传祯 郑 红
出 版 四川大学出版社
地 址 成都市一环路南一段 24 号 (610065)
发 行 四川大学出版社
书 号 ISBN 978-7-5614-4244-9
印 刷 郫县犀浦印刷厂
成品尺寸 185 mm×260 mm
印 张 12.25
字 数 293 千字
版 次 2009 年 1 月第 1 版
印 次 2009 年 1 月第 1 次印刷
印 数 0 001~1 500 册
定 价 34.50 元

◆读者邮购本书,请与本社发行科
联系。电话:85408408/85401670/
85408023 邮政编码:610065

◆本社图书如有印装质量问题,请
寄回出版社调换。

◆网址:www.scupress.com.cn

版权所有◆侵权必究

前 言

本书是在成都科技大学出版社 1997 年 7 月出版的《采气地质》一书的基础上修改而成的。原书曾作为石油学校、技工学校及各类培训班的教材使用，受到了广泛好评，也成为采气工作现场非常实用的参考用书。根据十多年来的使用经验以及现场工作方法的更新，我们对原书作了适当的删减和补充。

考虑到读者使用方便，本书首先介绍了普通地质、石油地质、油层物理、油气渗流等基本知识，这对初学者或非地质专业的读者学习采气地质会有很大帮助。在气井试井中，详细地介绍了试井资料收集、整理的具体方法，力求深入浅出，通俗易懂。在气藏动态分析及气井管理的论述中，引用了大量的现场实例资料，非常实用。油气层保护技术目前备受重视，本书介绍时重点放在油气开采过程中的油气层保护技术和方法，希望能达到提升油气藏管理水平、提高开采效益的目的。

编者

2008 年 12 月

目 录

绪 言	(1)
第一章 基础知识	(3)
第一节 普通地质基础	(3)
一、地球 地壳	(3)
二、矿物	(5)
(一) 矿物的概念	(5)
(二) 矿物的物理性质	(5)
(三) 常见矿物及其鉴定特征	(7)
三、岩石	(15)
(一) 岩浆岩	(15)
(二) 变质岩	(15)
(三) 沉积岩	(15)
四、地层 地质时代	(17)
五、地质构造	(18)
(一) 水平构造	(22)
(二) 倾斜构造	(22)
(三) 褶皱构造	(23)
(四) 断裂构造	(24)
(五) 地层的接触关系	(25)
第二节 储集层物性	(27)
一、储集层及其类型	(27)
(一) 储集层	(27)
(二) 常见储集层的类型	(27)
二、储油气岩石的物理性质	(28)
(一) 储集层岩石的孔隙度	(28)
(二) 储集层岩石的渗透率	(31)
(三) 储集层岩石的含油、气、水饱和度	(33)
三、储集层中流体的物理性质	(34)
(一) 天然气的物理性质	(34)
(二) 地层原油的物理性质	(36)
(三) 地层水的物理性质	(36)
四、饱和多相流体时储油气岩石的物理性质	(36)
(一) 表面张力	(36)

(二) 吸附作用	(37)
(三) 润湿作用	(37)
(四) 毛细管压力	(38)
第三节 圈闭和油气藏	(38)
一、圈闭	(38)
二、油气藏	(39)
第四节 油气层的温度和压力	(40)
一、油气层的温度	(40)
二、油气层的压力	(41)
(一) 油气层压力	(42)
(二) 油气田上常见的有关压力的概念	(42)
习题一	(43)
第二章 气井试井	(44)
第一节 概 述	(44)
一、试井的概念	(44)
二、试井的分类及任务	(44)
三、试井方法	(44)
四、一些重要的基本概念	(45)
第二节 稳定试井	(45)
一、平面径向稳定渗流	(45)
(一) 渗流的基本方式	(45)
(二) 平面径向线性稳定渗流	(46)
(三) 平面径向非线性稳定渗流	(48)
二、稳定试井的原理	(52)
三、稳定试井的步骤	(52)
(一) 净化井底	(52)
(二) 关井测压	(53)
(三) 稳定测试	(54)
四、稳定试井资料整理	(54)
(一) 计算填表	(54)
(二) 绘制曲线	(55)
(三) 求有关参数	(56)
五、一点法试井	(58)
第三节 不稳定试井	(59)
一、开关井时的压力变化	(59)
(一) 开井压力降落	(59)
(二) 关井压力恢复	(60)
二、不稳定试井原理和方法	(61)
(一) 不稳定试井原理	(61)
(二) 不稳定试井方法	(61)

(三) 试井解释理论模型	(61)
(四) 试井解释方法	(62)
三、不稳定试井步骤	(63)
(一) 关井压力恢复试井步骤	(63)
(二) 开井压力降落试井步骤	(63)
四、半对数曲线分析法	(63)
(一) 压力恢复曲线	(63)
(二) 压力恢复曲线直线段的应用	(65)
五、试井解释图版拟合法	(68)
(一) 均质油气藏试井解释图版	(68)
(二) 双重介质油气藏试井解释图版	(72)
(三) 压力导数及复合解释图版	(74)
第四节 试井分析软件	(78)
一、数据处理模块	(78)
二、分析解释模块	(78)
(一) 双对数分析	(79)
(二) 半对数分析	(80)
三、检验模块	(82)
四、结果输出模块	(83)
习题二	(84)
第三章 气藏动态分析	(87)
第一节 概 述	(87)
一、气藏动态分析的概念与意义	(87)
二、气藏动态分析的主要内容	(87)
(一) 早期评价阶段分析	(87)
(二) 开发阶段动态分析	(88)
三、气藏动态分析图表曲线	(89)
(一) 早期评价阶段图表曲线	(89)
(二) 气藏开发现状图表曲线	(89)
(三) 气藏开发历程及预测图表曲线	(90)
第二节 单井动态分析	(90)
一、垂直管流分析	(90)
(一) 气液混合物在油管中的运动	(90)
(二) 举升的动力与阻力	(91)
(三) 井底压力与井口压力之间的关系	(91)
二、用采气曲线分析气井动态	(92)
(一) 采气曲线及其用途	(92)
(二) 用采气曲线划分气井生产阶段	(93)
(三) 用采气曲线分析气井异常情况	(93)
三、用试井资料分析气井	(95)

(一) 用试井所求出的参数分析气井	(95)
(二) 用二项式和指数式指示曲线分析气井	(96)
(三) 用压力恢复曲线分析气井	(97)
(四) 用产气方程预测压力产量	(98)
四、常见采气异常情况的判断和处理	(99)
五、单井系统分析	(100)
(一) 基本概念	(101)
(二) 资料整理	(102)
(三) 典型曲线分析	(103)
(四) 确定临界产量和临界压差	(104)
第三节 全气藏动态分析	(105)
一、常用术语解释	(105)
二、气藏的驱动方式	(106)
三、气藏的类型	(108)
四、压力系统	(109)
(一) 压力系统的概念	(109)
(二) 压力系统的分析和判断	(109)
五、储量计算	(110)
(一) 容积法	(110)
(二) 弹性第二相法	(111)
(三) 压降法	(114)
(四) 修正压降法	(118)
六、气藏递减分析	(120)
(一) 递减因素	(120)
(二) 递减规律	(121)
习题三	(123)
第四章 气田开发与管理	(126)
第一节 概述	(126)
一、气田勘探开发程序	(126)
二、气田开发设计的编制	(126)
三、气井合理产量的确定	(127)
四、气井管理制度	(128)
五、现场常用报表	(128)
第二节 气井的工作制度及有关计算	(133)
一、定压差为常数	(133)
二、定井底压力为常数	(133)
三、定气井产量为常数	(134)
四、定针形阀开度	(134)
第三节 纯气藏的开采	(135)
一、纯气藏的开采特征	(136)

二、纯气藏气井的管理要点·····	(136)
三、纯气藏开采晚期的稳产措施·····	(137)
第四节 有水气藏的开采·····	(139)
一、地层水性质分析·····	(139)
(一) 水分析内容·····	(139)
(二) 氯离子含量测定·····	(140)
(三) 地层水水型·····	(141)
二、边底水侵入规律·····	(141)
(一) 影响气井出水的因素·····	(141)
(二) 出水阶段·····	(142)
(三) 出水类型·····	(142)
三、治水措施·····	(143)
(一) 控水·····	(143)
(二) 堵水·····	(144)
(三) 排水·····	(144)
第五节 凝析气藏的开采·····	(150)
一、凝析气藏的概念·····	(150)
二、凝析气藏的衰竭式开发·····	(151)
三、保持凝析气藏地层压力的方法·····	(152)
第六节 提高气藏采收率·····	(152)
一、提高气藏采收率的意义·····	(152)
二、气藏采收率的估算·····	(153)
三、影响气藏采收率的因素·····	(153)
四、提高气藏采收率的方法·····	(155)
习题四·····	(156)
第五章 保护油气层技术·····	(157)
第一节 概 述·····	(157)
一、保护油气层技术的基本概念·····	(157)
二、保护油气层技术的意义·····	(159)
三、保护油气层技术的基本原则·····	(160)
四、保护油气层技术的主要内容·····	(160)
第二节 油气层损害机理·····	(161)
一、油气层损害的原因·····	(161)
(一) 内因·····	(161)
(二) 外因·····	(162)
二、固相损害机理·····	(162)
(一) 外来固相的堵塞·····	(162)
(二) 微粒运移·····	(163)
(三) 结垢·····	(163)
三、液相损害机理·····	(164)

(一) 不配伍的注入流体造成的敏感性损害	(164)
(二) 润湿性反转	(166)
(三) 乳化堵塞	(166)
(四) 毛细管阻力引起的损害	(166)
(五) 细菌堵塞	(166)
四、碳酸盐岩储集层损害的特点	(167)
(一) 碳酸盐岩储集层的特点	(167)
(二) 碳酸盐岩储集层的损害类型	(167)
第三节 岩心分析与室内评价	(169)
一、岩心分析	(169)
(一) 岩心分析技术的概念	(169)
(二) 常用岩心分析技术	(170)
二、油气层损害的室内评价	(171)
(一) 油气层敏感性评价	(172)
(二) 工作液评价	(175)
第四节 油气田开发中的保护油气层技术	(176)
一、油气田开发方案中对油气层保护的要求	(176)
二、油气生产中的保护油气层技术	(177)
(一) 生产中油气层损害分析	(177)
(二) 生产中的保护油气层技术	(177)
三、注入中的保护油气层技术	(178)
(一) 注入中油气层损害分析	(178)
(二) 注入中的保护油气层技术	(179)
四、酸化中的保护油气层技术	(179)
(一) 酸化中油气层损害分析	(179)
(二) 酸化中的保护油气层技术	(180)
五、压裂中的保护油气层技术	(181)
(一) 压裂中油气层损害分析	(181)
(二) 压裂中的保护油气层技术	(182)
六、修井中的保护油气层技术	(182)
(一) 修井中油气层损害分析	(182)
(二) 修井中的保护油气层技术	(182)
第五节 油气层损害的矿场评价技术	(183)
一、油气层损害的评价参数	(183)
二、油气层损害的矿场评价方法	(184)
习题五	(185)

绪 言

广义地讲,天然气是泛指自然界存在的一切气体,包括大气圈、水圈、生物圈和岩石圈中各种自然过程形成的气体。根据这一广义的定义,对天然气的分类见表1。

表1 天然气分类表

按存在环境分类的气体类型		化学组成		成 因
		基本成分	含有成分	
I 大气		N_2, O_2	Ar, CO_2 , Ne, He, Kr, Xe, H_2 , O_3	是生物、化学、放射成因气体的混合物
II 地表气	土壤及沉积表层气体	CO_2, N_2, O_2	Ar, CH_4, H_2, N_2O 及稀有气体(来自空气)	CO_2, CH_4, N_2O, H_2 主要是生物化学作用产物,再与大气混合
	沼泽及泥炭中的气体	CH_4, CO_2, N_2	Ar, $H_2, CO, NH_3, N_2O, H_2S$ 及稀有气体(来自空气)	$CH_4, CO_2, H_2, NH_3, N_2O, H_2S$ 主要是生物化学作用产物,其他来自大气
	海底沉积物中的气体	CO_2, CH_4, N_2	N_2, NH_3, H_2S, Ar	除稀有气体外,都是生物化学作用产物
III 沉积岩气体	油田气	CH_4, C_2+, N_2, CO_2	H_2S, He, Ar, H_2	除稀有气体外,主要是化学成因的气体,混入部分生物化学成因气体(如部分 H_2S),在高温深处,正常细菌活动停止,生物化学成因气体就不存在了
	气田气	CH_4, N_2, CO_2	C_2+, H_2S, He, Ar, H_2	
	煤田气	CH_4	$CO_2, N_2, H_2, C_2+, He, Ar$	
	分散气体	CO_2, CH_4	N_2, C_2+, H_2, H_2S	
IV 海洋中的气体		CO_2, N_2	NH_3, H_2S, O_2, Ar	NH_3, H_2S, O_2 及部分 CO_2 为生物化学成因,部分 CO_2 及 N_2 为化学成因,海洋表层有从大气进入的 CO_2, N_2, O_2
V 变质岩中的气体		CO_2, N_2, H_2	CH_4, H_2S, He, Ar	除稀有气体外,都是化学成因的
VI 岩浆岩中的气体		CO_2, H_2	N_2, H_2S, He, Ar , 在很深处有 SO_2, HCl, HF	除稀有气体外,都是化学成因的
VII 火山气体	高温气(从熔岩湖喷出)	CO_2, H_2, SO_2, HCl, HF	N_2, CO, NH_3, He, Ar	火山气体从地幔表层,到达沉积岩,由于与上层的气体混合而发生不同程度的改变
	喷出气体($100^\circ C \sim 200^\circ C$)	CO_2, H_2, H_2S, SO_2	N_2, CO_2, NH_3, He, Ar	
	温泉气	CO_2	N_2, CO_2, NH_3, He, Ar	

续表1

按存在环境分类的气体类型	化学组成		成因
	基本成分	含有成分	
Ⅷ 宇宙气	H ₂ , H, He	CO, CH 基, CH ₂ 基, OH 基, 及其他元素离子化了的原子	由于核反应、放射化学反应及化学反应而成

注：C₂+指碳原子数大于或等于2的烃类气体。

但是，从能源研究和油气勘探开发的角度出发，天然气是专指岩石圈中蕴藏的、以气态烃为主的可燃气体。它的主要成分是甲烷。这种以甲烷为主的可燃气体，可以形成各种类型的、有开采价值的气藏。

天然气的主要用途是工业和民用燃料，但如今天然气产量中用作化工原料的份额正在增大。天然气是世界上仅次于石油和煤的第三大能源。1985年，天然气大约占世界能源供给量的20%，而石油约占37.9%，煤约占30.7%。

人类发现天然气的历史悠久。《周易》就有“泽中有火”的记载。公元前一千多年，在前苏联的巴库地区，人们偶然引燃了从石缝中串出的气体，谁知这些气体竟燃烧了几百年之久。我国是世界上开采和利用天然气最早的国家。战国时期，秦孝文王时蜀守李冰，在今四川邛崃一带，于钻凿盐井的过程中发现了天然气。而四川的自流井地区，早在13世纪至14世纪时就对自流井气田进行了较大规模的开发。新中国成立以后，四川盆地天然气的勘探开发工作得到了迅速发展。目前，勘探工作已在四川盆地普遍展开，重点探井的深度已超过7000m，每年都有一批新的气藏发现，已经有一批气田投入开发和利用。四川已经成为我国重要的天然气工业基地。

油藏工程是研究从地下储集层中开采石油天然气的工程学科。采气地质是油藏工程的一个分支，专门研究气藏气田的范围和储量，试井的设计和解释，选择和设计适当的开采方法，分析气藏动态，预测压力、产量，制定合理的工作制度，以期在一定的经济、环境、技术制约条件下获得最高的采收率。

第一章 基础知识

第一节 普通地质基础

众所周知，石油、天然气是储藏在地下岩层中的有用矿产。为了能很好地将石油与天然气从地下岩层中开采出来，我们必须对深埋在地下的岩石特点、地层形成的年代及形成环境、岩层在地下的埋藏形态等有一个清楚的认识。

一、地球 地壳

固体地球是一个呈梨形的旋转椭球体，如图 1-1 所示。北极突出约 10 m，南极凹进约 30 m。下面所列出一组数据是第 16 届国际大地测量和地球物理协会修订的数值：

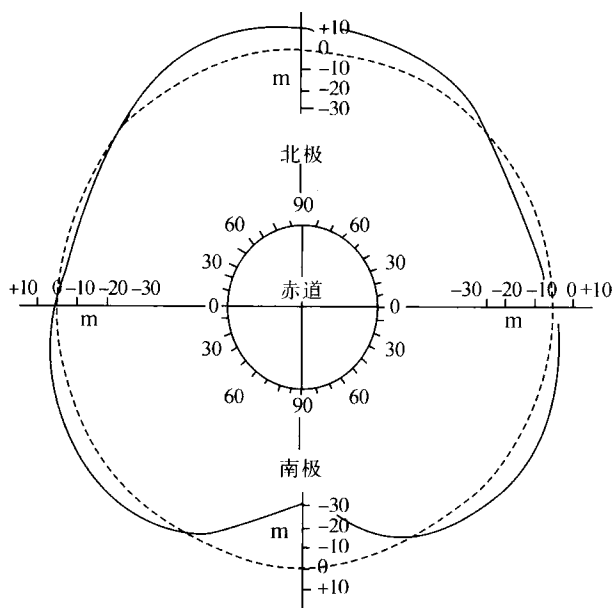


图 1-1 地球形状示意图

赤道半径 a	6378.140 km
两极半径 c	6356.755 km
长短半径差 $a - c$	21.385 km
平均半径 $R = (a^2 \cdot c)^{\frac{1}{3}}$	6371.004 km

扁率 $\frac{a-c}{a}$	0.0033528
赤道周长 $2\pi a$	40075.036 km
子午线周长 $2\pi c$	39940.670 km
表面积 $4\pi R^2$	510064471.9 km ²
体积 $\frac{4}{3}\pi R^3$	1083206900000 km ³

地球并不是一个均质体，它是圈层结构。每个圈层都具有自己的物质运动特征和物理化学性质。以地表为界，将地球分为外圈和内圈。

外圈是地球表面以上的部分。根据物质性状，可将其分为大气圈、水圈和生物圈。它们包围地球，各自形成连续、完整的圈层。

内圈是地球表面以下的部分，是地质学研究的对象。对地球内圈的研究，目前主要是利用天然地震波进行地球物理勘探。地震波传播的特征与地球物质性质密切相关。如果在某个深度地震波速度变化明显，则说明该深度上下的地球物质在成分上或物态上有改变，这个深度就可作为上下两种物质的分界面，地球物理学上称之为界面。地球内部有两个波速变化最明显的界面，第一个界面深度很不一致，在大陆区较深，最深可达 60 km 以上，在大洋区较浅，最浅不足 5 km。这个界面是前南斯拉夫地球物理学家莫霍罗维契奇 (A. Mohorovičić, 1857 年—1936 年) 于 1909 年发现的，所以称为莫霍罗维契奇不连续面，简称莫霍面。第二个界面深度在地表下约 2900 km 处，是由美国地球物理学家古滕堡 (B. Gutenberg, 1889 年—1960 年) 于 1914 年提出的，所以称为古滕堡不连续面，简称古滕堡面。根据以上这两个界面，把地球内部分为三个圈，即地壳、地幔和地核。

地壳是固体地球最外的一圈，下界为莫霍面。地壳由固体岩石构成。地壳表面在陆地上直接暴露出来，有水体的地方，特别是海洋区，则被水圈覆盖。地壳的厚度变化很大，大洋地壳较薄，最薄处不足 5 km，平均厚度约 6 km；大陆地壳较厚，最厚处可达 70 km，平均厚度约 35 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 2.4×10^{22} kg，约占地球质量的 0.4%。

地壳由上、下两层组成，其间有一个次一级的界面，称为康拉德面，康拉德面并不到处都存在，如图 1-2 所示。上地壳称为硅铝层，也称为花岗质层，主要成分是氧、硅、铝等轻元素，平均密度为 2.7 g/cm^3 ，质量约为 9.8×10^{21} kg，主要岩石为酸性的岩浆岩和变质岩，如花岗岩、片麻岩等。这一层只有大陆壳才有，大洋壳缺少此层，因此呈不连

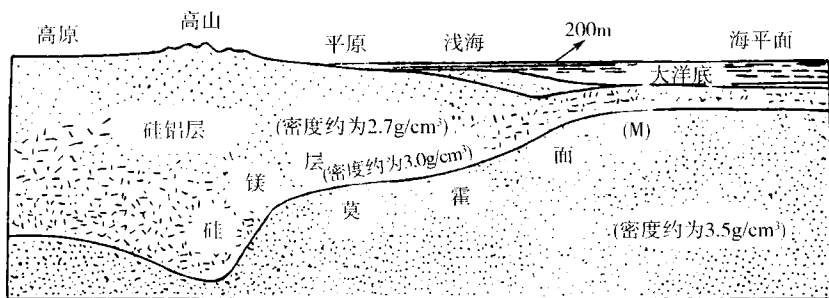


图 1-2 地壳结构示意图

续分布,平均厚度约为 10 km。下地壳称为硅镁层,也称为玄武质层,主要成分是氧、硅、铁和镁,平均密度为 3.0 g/cm^3 ,质量约为 $1.2 \times 10^{22} \text{ kg}$,主要岩石为基性岩,如玄武岩。大陆下面和大洋下面都有这一层,呈连续分布。

地壳表层长期与大气和水接触,遭受各种外动力对地质作用的改造,形成了一层沉积层。该层厚度变化非常大,最厚可达 10 km,局部地区缺失,平均厚度约为 1.8 km,质量约为 $2.2 \times 10^{21} \text{ kg}$,大陆和大洋均有,但大洋沉积层厚度只有大陆沉积层的 1/10,且为现代松散沉积物。虽然沉积层仅占地球、地壳厚度的极少比例,但由于它覆盖在整个地球表面,因此与人类的关系非常密切,尤其是石油、天然气,主要储集在沉积层中,所以对我们石油工作者来说就显得格外重要。

地幔在地壳下面,介于莫霍面与古滕堡面之间。厚度约为 2800 km,占地球体积的 83%;质量为 $4.03 \times 10^{24} \text{ kg}$,占地球质量的 67.6%,平均密度为 3.5 g/cm^3 。根据地震波速度变化情况,以 1000 km 为界,将地幔分为上、下两层。

地核在 2900 km 以下,以古滕堡面与地幔分界,厚度为 3471 km,占地球体积的 16.2%;质量为 $1.9 \times 10^{24} \text{ kg}$,占地球质量的 32%。根据波速度变化,可将地核分成外核、过渡层和内核三个次一级圈层。

二、矿物

(一) 矿物的概念

矿物是地质作用形成的单质或化合物,它具有一定的化学成分、结晶构造、外部形态和物理性质。单质矿物是由一种元素组成的,如自然金(Au)、自然铜(Cu)、金刚石(C)等;大部分矿物是由两种或两种以上元素组成的化合物,如岩盐(NaCl)、方解石(CaCO_3)、石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)等。

绝大部分矿物是固体,如石英(SiO_2)、重晶石(BaSO_4)、白云石($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)等,也有少数矿物呈液态(如石油)或气态(如天然气)。

矿物常具有一定的外形,如岩盐是立方体,磁铁矿是八面体,石榴子石是菱形十二面体等。

自然界中大部分矿物是晶体,即矿物内部质点作有规律的排列,形成一定的格子构造的固体;也有少量矿物是非晶体,即矿物内部质点作无规律的排列,形成不具有格子构造的固体。

由人工合成的元素或化合物不能称为矿物。

(二) 矿物的物理性质

1. 矿物的光学性质

矿物的光学性质是指矿物对自然光线的吸收、折射、反射等所表现出来的各种性质,包括颜色、条痕、光泽、透明度等。

颜色是矿物对自然光的吸收程度不同所引起的。不同矿物对自然光的吸收不同,所以有不同的颜色,很多矿物的名称就是因为具有特殊的颜色而得名的,如黄铜矿(金黄色)、赤铁矿(红色)、孔雀石(翠绿色)、褐铁矿(褐色)等。但是,如果矿物含有杂质或经过风化,它会呈现出别的颜色。例如,不含杂质的水晶(石英)是无色透明的,若含杂质,

可呈玫瑰色、紫色、黄色、黑色等。黄铁矿风化后呈暗褐色，但它的本来面目却是铜黄色。观察矿物颜色时，应选择在新鲜面上进行观察。

条痕是指矿物粉末的颜色，一般是看矿物在白色无釉的瓷板上划出的线条颜色。条痕颜色与矿物颜色可以相同，也可以不同。例如，黄铁矿的颜色为铜黄色，条痕为绿黑色；赤铁矿的颜色可以是红褐色，也可以是铁黑色，但条痕都是樱红色。矿物的条痕比矿物表面颜色更固定，因而更具有鉴定意义。

光泽是指矿物新鲜面对光线的反射能力，通常可分为金属光泽、半金属光泽和非金属光泽。金属光泽的矿物表面反光最强，如同光亮的金属器皿表面，如方铅矿、黄铁矿等。半金属光泽类似金属光泽，但较为暗淡，像没有磨光的铁器，如赤铁矿、磁铁矿等。非金属光泽是不具备金属感的光泽，可分为金刚光泽和玻璃光泽，金刚光泽反光较强，像金刚石那样闪亮耀眼，如金刚石、闪锌矿等；玻璃光泽反光较弱，像玻璃的光泽，如水晶、萤石等。上述光泽都是指矿物的光滑平面上的光泽，倘若矿物表面不平坦，集合体的表面或解理发育引起光线的折射、反射等，均可出现特殊光泽，如云母的珍珠光泽、石棉的丝绢光泽、石英断口的油脂光泽以及铝土矿的土状光泽等。

透明度是指矿物透过可见光的能力。矿物按透明程度可分为透明矿物（如水晶、冰洲石、石膏）、半透明矿物（如辰砂、闪锌矿）和不透明矿物（如石墨、自然金）。

矿物的颜色、条痕、光泽及透明度之间存在一定的内在联系和规律，其相互关系见表 1-1。

表 1-1 矿物的颜色、条痕、光泽和透明度之间的关系

颜色	无色	浅色	彩色	黑色或金属色
条痕	无色或白色	白色或浅色	浅色或彩色	黑、绿黑、灰黑、褐黑或金属色
光泽	非金属		半金属	金属
透明度	透明	半透明	不透明	

2. 矿物的力学性质

矿物的力学性质是指矿物在外力作用下（如刻划、打击、压、拉等）所表现出的各种性质，具有鉴定意义的有解理、断口和硬度等。

解理是指矿物受力后沿一定方向规则裂开的性质。裂开的面称为解理面，矿物中具有同一方向的解理面为一组解理，如方解石有三组解理，云母只有一组解理。另外，按解理面的完好程度，可分为极完全解理（如云母）、完全解理（如方解石）、中等解理（如辉石）、不完全解理（如磷灰石）。

断口是指矿物受力后不沿一定方向破裂而形成的不规则状破裂面。具有不完全解理或不具有解理的矿物在受外力后便出现断口。不同矿物的断口形态往往具有一定的特征，常见的有贝壳状断口（如石英）、参差状断口（如黄铁矿）、锯齿状断口（如自然铜）、平坦状断口（如高岭土）等。

硬度是指矿物表面抵抗外来机械作用（主要指刻划力）的能力，通常是指矿物的相对软硬程度。例如，用甲矿物去刻划乙矿物，若乙矿物被刻出小槽而甲矿物未受损伤，则甲

矿物的硬度就大于乙矿物。德国矿物学家弗里德里克·摩斯 (Friedrich Mohs) 选择 10 种软硬不同的矿物作标准, 组成相对硬度系列, 这就是摩斯硬度计 (见表 1-2)。把需要鉴定的矿物与表中矿物相互刻划, 即可确定其硬度, 例如, 某矿物能刻划长石但不能刻划石英, 而石英可以刻划它, 则它的硬度可定为 6.5 度。由于矿物表面常受到风化而降低硬度, 所以在测试硬度时, 应在矿物单体的新鲜面上进行。

表 1-2 摩斯硬度计

矿物名称	化学式	硬度
滑石	$Mg_3[Si_1O_{10}](OH)_2$	1
石膏	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	2
方解石	$CaCO_3$	3
萤石	CaF_2	4
磷灰石	$Ca_5[PO_4]_3(F, Cl, \dots)$	5
正长石	$KAlSi_3O_8$	6
石英	SiO_2	7
黄玉	$Al_2[SiO_4](F, OH)_2$	8
刚玉	Al_2O_3	9
金刚石	C	10

3. 矿物的相对密度

矿物的相对密度是指矿物在空气中的质量与同体积水在 4℃ 时的质量之比。不同的矿物, 相对密度是不同的。相对密度在 4 以上的称为重矿物 (如方铅矿、重晶石), 相对密度在 2.8 以下的称为轻矿物 (如岩盐、石膏), 相对密度在 2.8~4 之间的称为中等相对密度矿物 (如金刚石、萤石)。

(三) 常见矿物及其鉴定特征

矿物是组成地壳的基本物质 (地壳由岩石组成, 岩石由矿物组成), 所以矿物在地壳中的分布很广, 目前已发现的矿物有 3300 多种, 常见的有 200 多种, 主要造岩矿物有 40 多种。常见矿物及其鉴定特征见表 1-3。