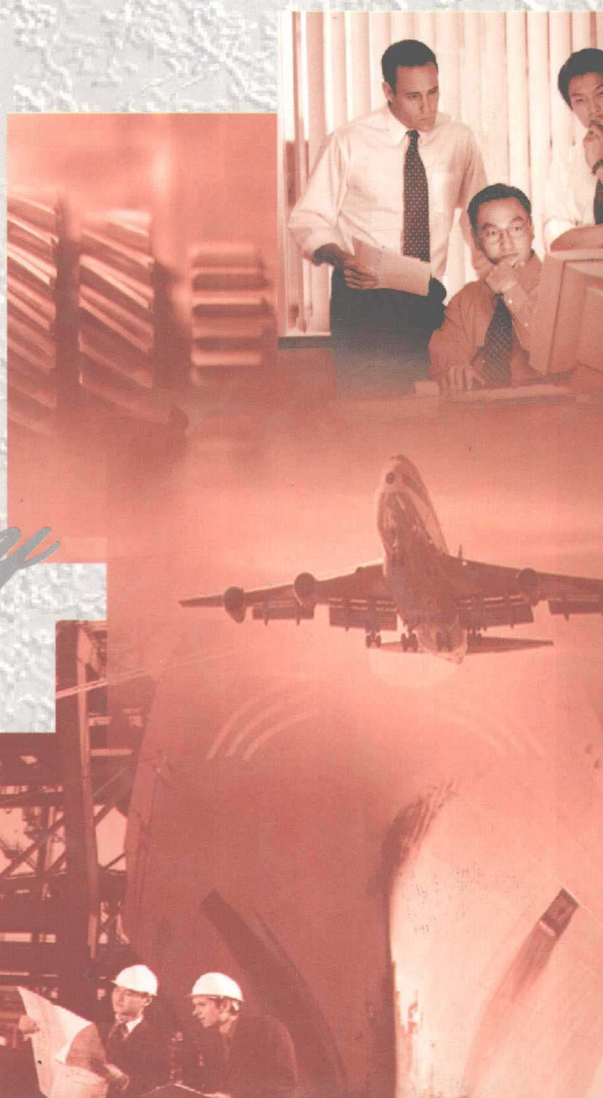


水利工程 地质学习与实践

崔中兴 编著

*Water
Conservancy
Works*



西北工业大学出版社

【内容简介】 本书是针对水利工程地质课程学习的特点,为水电类专业的学生学习水利工程地质课程而编写的。重点介绍了造岩矿物、岩石、地质构造、岩石(体)的工程地质性质和水利工程常见的地质问题等内容,并配有多媒体软件。

本书供高等学校水电类专业的学生学习水利工程地质课程使用,也可供相关专业的教师和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水利工程地质学习与实践/崔中兴编著. —西安:西北工业大学出版社,2003.9
ISBN 7-5612-1694-7

I. 水… II. 崔… III. 水利工程—工程地质—高等学校—教材 IV. P642

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 075356 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:029-8493844

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:陕西天元印务有限公司

开 本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印 张:8.125

字 数:203 千字

版 次:2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1 ~ 2 100 册

定 价:15.00 元

前 言

长期以来,水利水电工程建筑专业、水利水电施工专业、土木建筑工程专业以及城市给排水等专业的学生与地质有着不解之缘。水利工程地质课程包括理论教学、实验教学和野外实习三个方面,是水利水电工程建筑专业、水利水电施工专业、土木建筑工程专业以及城市给排水等专业的必修专业基础课。

水利工程地质课程是一门技术性、实践性很强的课程。学生们在学习了地质课的基本理论以后,需要认识和掌握最基本的造岩矿物和三大岩类的基本鉴定方法,并且要学会阅读地质图,掌握构造地质学的基本空间概念。水电类专业的水利工程地质课程是作为一门专业技术基础课而设置的,总课时只有 40 学时,实验教学部分开设了造岩矿物鉴定、岩浆岩、沉积岩、变质岩鉴定以及构造地质学等方面的内容,其中矿物、岩石的鉴定实习和阅读地质图的实习仅占 8 学时。

为了使学生在实习中很快完全理解并彻底掌握必须了解的内容,我们对教学过程中的教学方法进行了认真地分析研究,针对水利工程地质课程的特点,编写了本书,供水电类专业的学生学习水利工程地质课程使用。

在长期的教学和科研工作中,我们还收集、积累了大量的图片、幻灯片和大量的野外实习照片以及文字资料等。为了配合水利工程地质课程的学习,利用这些资料编写了水利工程地质课程计算机多媒体教学软件。本软件以现有的图片和文字资料为依据,对图片、资料进行系统分类,在 Windows 环境支持下,采用 Visual Basic 制作菜单总目录,将图片资料与文字资料结合起来,做出分类网页界面,进行多媒体演示。学生们可以在造岩矿物、三大类岩石、构造地质学、野外地貌、岩溶、火山、地震、湖海、滑坡与泥石流、野外构造的识别、野外实习成果以及考查、考核标准答案等各界面中进行自由切换。利用本软件可以迅速查找所需资料,达到省时、省力的目的,获得事半功倍之功效。同时由于各种图片可以非常直观地展示给学生,所以,在加深学生的印象、增进学生的理解能力等方面,具有重要的作用。

本书在编写过程中,参考并引用了许多地质专家的专业著作中的部分内容,参考书目在书末参考文献部分列出,在此谨对各位专家致以诚挚的谢意。

由于本书是首次为水电类各专业学生学习水利工程地质而编写的教材,编者尚缺乏经验,且水平也确实有限,书中谬误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2003 年 7 月

目 录

第1章 造岩矿物的学习与鉴定	1
1.1 矿物与晶体的概念	1
1.2 矿物的化学式	2
1.3 矿物的形态	2
1.4 矿物的基本性质	5
1.5 水利工程地质中常见矿物的识别	11
第2章 岩石的学习与鉴定	20
2.1 岩浆岩	20
2.2 沉积岩	28
2.3 变质岩	34
第3章 地质构造与地质图	39
3.1 岩层的产状	39
3.2 水平岩层	44
3.3 倾斜岩层	45
3.4 岩层的接触关系	48
3.5 褶皱构造	48
3.6 断裂构造	51
3.7 地质图	57
第4章 岩石(体)的工程地质性质	67
4.1 岩石的物理性质	67
4.2 岩石的力学性质	71
4.3 岩体的工程地质特性	81
第5章 水利工程常见地质问题	90
5.1 坝基工程地质问题	90
5.2 坝基岩体工程地质特性	92
5.3 软弱夹层的工程地质特性	94
5.4 坝基抗滑稳定	95
5.5 洞室选择及围岩稳定性分析	99
5.6 地下结构对围岩的要求	101
5.7 水库渗漏	104

5.8 边坡稳定的因素 111

5.9 边坡稳定性分析 115

5.10 水库工程地质问题 119

参考文献 123

第 1 章 造岩矿物的学习与鉴定

1.1 矿物与晶体的概念

一、矿物的概念

矿物是岩石的基本组成成分。

矿物是天然产出的，可以是化合物，也可以是单质元素。绝大多数矿物呈固态产出，但也有极少数的矿物呈液态或气态产出。

矿物具有相对固定的化学组成和内部结构，因而可呈现出规则的形态和特定的物理、化学性质。

自然界中已发现的 3 000 多种矿物中，绝大多数是晶质矿物，即是其内部原子排列有规律的结晶固体。内部原子排列无序的非晶质矿物不过 20 多种。

二、晶体与非晶体

1. 晶体的概念

所谓晶体是指内部质点（原子、离子或分子）在三维空间呈周期重复排列的固体。如石盐（NaCl）的内部结构中， Cl^- 离子和 Na^+ 离子在三维空间上都是按一定的距离相间重复出现的，形成格子构造（见图 1-1）。石盐的立方体外形是其内部结构的外在表现。因此可以形象地说，晶体是具有格子构造的固体，它可以具有规则的几何多面体外形。

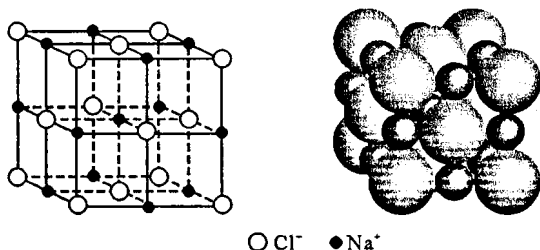


图 1-1 石盐（NaCl）晶体结构

2. 非晶体的概念

有些矿物的内部质点不作规则排列，为不具有格子构造的固体，称为非晶体。非晶体一般没有规则的几何多面体外形，如火山玻璃蛋白石（ $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ）等。在自然界中非晶体是不稳定的，在漫长的地质年代中，它有向晶体转变的自发倾向。如蛋白石可转变为石英（ SiO_2 ）。

1.2 矿物的化学式

矿物的化学式是指用化学元素符号表示矿物化学成分的方式。化学式的表示方法有实验式和结构式（又称晶体化学式）两种。

实验式是表示矿物中化学成分种类和数量比的化学式。如方解石的实验式为 CaCO_3 或 $\text{CaO} \cdot \text{CO}_2$ 。实验式书写简便，但不能反映原子在矿物中的结合关系。

结构式既能表示矿物化学成分的种类和数量关系，又能在一定程度上表示出原子在结构中的关系。结构式是目前在矿物中普遍采用的化学式，其书写规则如下：

(1) 阳离子写在化学式的前面，阴离子写在后面，络阴离子用方括号 [] 括起来。有多种阳离子时，同种元素按电价由低到高排列；不同元素按碱性由强到弱的顺序排列。如磁铁矿写成 $\text{Fe}^{2+} \cdot \text{Fe}_2^{3+} \cdot \text{O}_4$ ，白云石写成 $\text{CaMg} [\text{CO}_3]$ 。

(2) 附加阴离子一般写在主要阴离子或络阴离子之后。如磷灰石写成 $\text{Ca}_5 [\text{PO}_4]_3\text{F}$ ，孔雀石写成 $\text{Cu}_2 [\text{CO}_3] (\text{OH})_2$ 。

(3) 类质同象置换的离子，用圆括号 () 括起来，含量多者写在前，含量少者写在后，二者用逗号 “,” 分开。如铁菱镁矿写成 $(\text{Mg}, \text{Fe}) [\text{CO}_3]$ ，镁菱铁矿写成 $(\text{Fe}, \text{Mg}) [\text{CO}_3]$ 。

(4) 含水化合物的水分子写在化学式的最后，并用圆点 “·” 隔开。当含水量不定时常用 $n\text{H}_2\text{O}$ 表示。如石膏写成 $\text{Ca} [\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ，蛋白石写成 $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 。

1.3 矿物的形态

矿物的肉眼识别特征是指凭借肉眼（或借助放大镜）和小刀等简单工具，能够直接观察到的矿物特征。主要包括矿物的形态、颜色（包括条痕）、光泽、透明度、硬度、解理或断口等主要物理性质。

由于矿物具有一定的化学成分和结晶构造，在适宜的条件下，可形成具有一定外形的几何多面体，称为晶体（crystal）。完好晶体的自然表面称晶面（crystal face），它相当于结晶格架上质点较密集或联结力较强的网面。晶体的形态称为晶形（crystal form）。各种矿物都有其独特的晶形，它是鉴别矿物的重要依据之一。

矿物的晶体大小与生长环境有关，在适宜条件下，某些晶体可生长成巨大的个体，例如曾发现巨大的白云母晶体，其晶面可达 7 m^2 ，但有些矿物的晶体极小，如高岭石的晶体仅为 $10 \sim n \times 10\text{ }\mu\text{m}$ ，需在电子显微镜下才能观察到。同一种岩石中不同矿物的结晶顺序也有先后，先结晶的矿物晶形较完好，后结晶的则受先结晶的矿物限制，常形成晶形不甚规则的“他形”晶。

自然界的矿物多以各种形式组合出现。当同种矿物两个晶体以一定对称规律连生在一起时，则形成双晶；若干个晶体在共同的基座上丛生在一起，称为晶簇（druse）。

非晶质矿物多数是由胶体凝聚而成，多呈球状、豆状、肾状和钟乳状等形态。

矿物的形态包括矿物的单体和集合形态。所谓单体是指矿物的单个晶体，所谓集合体是指同种矿物多个单体聚集在一起形成的整体。因此，观察时首先应区分是矿物的单体还是集合体，然后进一步确定属于什么形态。

1. 矿物的单体形态

矿物单体形态的研究包括理想晶体的形态、实际晶体形态和晶体习性等几个方面。

(1) 理想晶体的形态：在理想条件下，晶体常生长成某种规则的几何多面体形状，多面体外表的规则平面称为晶面，相邻晶面相交的直线称为晶棱，不平行晶棱的相交点称为角顶。这些晶面或晶棱角顶在空间上的分布是有规律的。

晶体的理想形态可分为两类：一类是由同形等大的晶面构成的晶体形态——单形。常见的单形有 12 种；另一类是由两种或两种以上形状和大小的晶面构成的理想形态——聚形。聚形是由两个或两个以上的单形所组成的晶体形态，种类多。如图 1-2 所示就是由四方柱和四方双锥、立方体和菱形十二面体组成的聚形。

(2) 实际晶体的形态：晶体在生长过程中，由于受复杂的外界条件影响，常常不同程度地偏离其理想形态，形成歪晶（见图 1-3）。歪晶通常表现为同一单形的晶面发育不等，甚至部分晶面可能缺失。歪晶与理想晶体的形态虽有不同程度的差异，但它们对应晶面之间的夹角总是相等的。

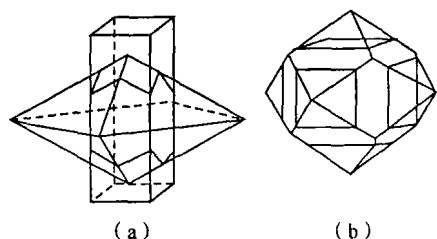


图 1-2 聚形

(a) 四方柱和四方双锥的聚形；
(b) 立方体和菱形十二面体的聚形

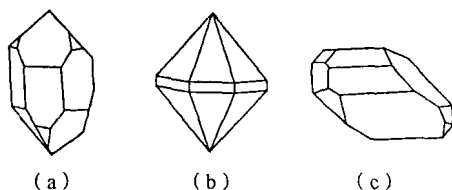


图 1-3 石英晶体的形态

(a) 理想形态；
(b), (c) 歪晶

实际晶体的晶面也不是理想的几何平面，它常常具有各种花纹和凹坑。在许多晶体的晶面上可以见到一系列平行或交叉的条纹，称为晶面条纹。晶面条纹对少数矿物有一定的鉴定意义。如黄铁矿立方体晶面上常具有晶面条纹，且相邻晶面上的条纹方向相互垂直，这个特征可以帮助鉴定黄铁矿。

(3) 晶体的习性：矿物晶体在一定条件下，常常趋向于形成的某一习惯性形态，称为矿物的结晶习性。有的矿物在结晶时，在某一个轴向上发育生长迅速，形成针或长柱状晶体（如角闪石）；有的矿物在两个轴方向上都发育较快，形成板状（如钾长石）和片状晶体；还有一些在 3 个轴方向同等发育，形成粒状或等轴状的晶形，如立方体（黄铁矿）、八面体（磁铁矿）、菱面体（方解石）、菱形十二面体（石榴子石）等。根据单晶体在三维空间发育的相对比例，可将矿物的晶体习性分为三类：

1) 一向伸长型：晶体只沿一个方向特别发育，而另两个方向均不发育，即 $a \approx b \ll c$ （见图 1-4 (a)），晶体呈柱状、针状或纤维状。如石英、角闪石和纤维状石膏等。

2) 二向延展型：晶体沿两个方向特别发育，而另一方向则不太发育，即 $a \approx b \gg c$ （见图 1-4 (b)），晶体呈板状或片状。如石膏、云母等。

3) 三向等长型：晶体在三维空间发育程度基本相等，即 $a \approx b \approx c$ （见图 1-4 (c)），晶体呈粒状。如石榴子石、黄铁矿等。

除此之外，还存在一些过渡类型，如短柱状、厚板状等。在描述晶体习性时，要灵活掌握。

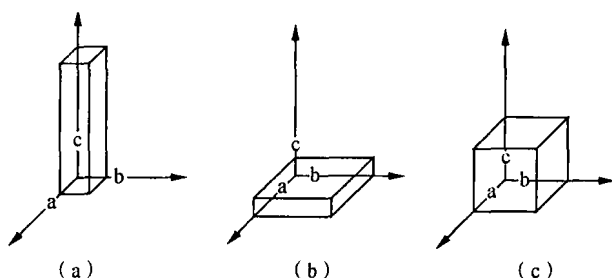


图 1-4 矿物晶体习性分类
(a) 一向伸长；(b) 二向延长；(c) 三向等长

2. 矿物的集合体形态

矿物集合体是由许多个结晶矿物单体共同生长在一起的矿物组合，也可以是未结晶的矿物（或称准矿物）的组合。当由结晶矿物单体组合而成时，常常可分辨出每个矿物单体的形态。矿物的集合体形态取决于矿物的单体的形态和它们的集合方式，根据集合体中矿物颗粒的大小（或可辨度）可分为三种类型：肉眼可以辨认出单体的，称显晶集合体；显微镜下才能辨出单体的，称隐晶集合体；在显微镜下也不能辨认出单体的，称胶态集合体。

(1) 显晶集合体：根据矿物单体的排列方式矿物的集合体形态又可分为规则集合体和不规则集合体两类。

1) 规则集合体：这种集合体是指矿物晶体按照一定规律连生在一起而形成的集合体。其中最常见、最重要的是双晶。双晶是指两个或两个以上同种晶体的规则连生体，其中两个单体间互为镜像反映，或其中一个单体绕一假想直线旋转 180° 后与另一个单体重合或处于平行的状态。最常见的有穿插双晶和接触双晶两种类型。

穿插双晶：构成双晶的两个单体之间互相穿插，如萤石的穿插双晶。

接触双晶：双晶的单体之间以简单平面相接触，如石膏的燕尾双晶。有时由许多片状单体以相互平行的接合面连生在一起形成的接触双晶，称为聚片双晶。斜长石就常出现聚片双晶。

2) 不规则集合体：自然界中多数矿物是以该种集合体形式产出，其形态取决于矿物单体的晶体习性和排列方式。若各单体的排列无特殊规律，一般采用晶体习性的术语描述集合体形态。如：
~~粒状集合体~~

粒状集合体：单体呈粒状，如橄榄石；

板状集合体：单体呈板状，如重晶石；

片状集合体：单体呈片状，如云母；

柱状集合体：单体呈柱状，如辉石。

若单体按某种特殊方式排列，则用专门的术语来表述。常见的有：

放射状集合体：柱状、针状矿物围绕一个中心呈放射状排列形成的集合体，如红柱石呈放射状排列形成菊花石。

纤维状集合体：细长柱状、纤维状矿物平行排列形成的集合体，如纤维石膏、石棉等。

晶簇：丛生于一基底上，另一端自由生长并具有良好的晶形的一群晶体，称为晶簇，如石英晶簇（见图 1-5）。

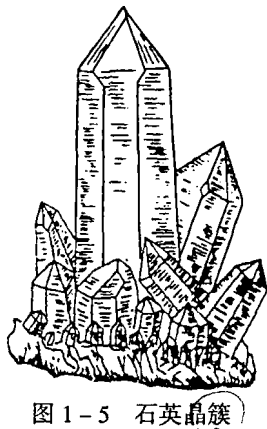


图 1-5 石英晶簇

(2) 隐晶质或胶状集合体：这类集合体可以由溶液直接结晶或由胶体沉积生成。由于其单体用肉眼（或放大镜）无法分辨，因此多按其形成方式和外貌来命名。常见的隐晶质或胶态集合体如下：

1) 结核体：这是由隐晶质或胶态非晶质物质围绕某一核心（砂粒、气泡等）自内向外逐渐生长而成的矿物集合体，常呈球状、透镜状或不规则状。结核体内部常具有同心层状、放射状或致密块状构造。根据结核体的大小又可分为：

鲕状：直径小于 2 mm，形如鱼卵；

豆状：直径 2 ~ 5 mm，形如豆粒；

结核：直径大于 5 mm，常星散分布。

2) 分泌体：这是在形状不规则或球状空洞中，由洞壁向中心逐层沉淀而成的矿物集合体。分泌体常具有同心层状构造，各层在成分和颜色上往往有所差别，从而构成条带状色环，如玛瑙。中心未被填满的空腔壁上常见晶簇。

3) 钟乳状集合体：这是在同一基底上逐层向外生长而长的矿物集合体，常呈圆柱形或圆锥形。这种集合体多具有同心层状，放射状或晶粒状构造。在石灰岩地区的溶洞中洞顶上悬挂的石钟乳和洞底上生长的石笋就属于这种类型，通称为钟乳状集合体。有些钟乳状集合体的外形似堆起的葡萄，则称为葡萄状集合体；有的外形似蚕豆或动物的肾，特称为肾状集合体。

此外，有一些矿物的胶体覆盖于岩石或矿石表面呈薄膜状产出，可称为被膜状集合体；若呈较厚的层状产出，则称为皮壳状集合体。有一些矿物呈粉末状堆积，具有较大量的微细孔隙，可称为土状集合体，如高岭石就常常以这种形态产出，因而俗称为高岭土。

1.4 矿物的基本性质

一、矿物的光学性质

矿物的光学性质是指矿物对可见光的吸收、反射和折射所表现出的各种特征，以及矿物引起的光线干涉和散射现象，主要包括颜色、条痕、光泽、透明度、双折射等。矿物的光学性质是鉴定矿物的重要依据。

1. 颜色

矿物的颜色是其对光线中不同波长光波吸收反射的结果。矿物的颜色与其成分（如色素离子）、内部结构和所含杂质有关。它是矿物的一种最明显、最容易识别的标志。当矿物对各种波长的可见光普遍而均匀地吸收时，随着吸收程度的不同，矿物呈现无色、白色、灰色及黑色等；当矿物对各种波长的可见光有选择性地吸收时，则使矿物呈现出较丰富而鲜艳的颜色。

根据矿物呈色的原因与矿物本身的关系，可将矿物的颜色分为自色、他色和假色。

(1) 自色：自色是指矿物自身所固有的颜色。它主要决定于矿物组成中元素或化合物的某些色素离子。同种矿物的自色是比较固定的，在鉴定矿物上具有重要意义。如孔雀石具翠绿色、赤铁矿具樱红色、黄铜矿具铜黄色、方铅矿具铅灰色等。

(2) 他色：他色是指矿物由于外来带色杂质的机械混入而呈现的颜色，它与矿物本身的

主要成分无关。如纯净的石英为无色透明，但由于不同杂质的混入，可使石英呈现紫色（紫水晶）、玫瑰色（蔷薇石英）、烟灰色（烟水晶）、黑色（墨晶）等。矿物的他色一般不具鉴定意义。

(3) 假色：假色是由于某种物理原因（主要是光学效应）或氧化作用所引起的，它与矿物本身的化学成分和内部结构无关。如由氧化薄膜引起的锈色（斑铜矿表面）由一系列解理裂缝导致光的折射、反射甚至干涉所呈现的色彩（如方解石、白云石等表面常见彩虹般的色带，称晕色），以及某些矿物（如拉长石）由于晶格内部有定向排列的包裹体，当沿矿物不同方向观察时出现蓝、绿、红等徐徐变换的色彩（称变彩）等。某些不透明矿物的锈色具有一定的鉴定意义，如斑铜矿氧化表面常呈深紫色锈色。晕色是指某些透明矿物的表面呈现出来的一种彩虹状色彩，它是由于照射到矿物表面的光线受到矿物解理面或薄层包裹体表面的层层反射造成的干涉现象。这种现象在白云母、方解石的解理面上常能见到。

矿物的自色一般较均匀、稳定，它代表矿物本身的颜色；他色和假色常在一个矿物中分布不均一，导致矿物表面色彩不同或浓淡不均，不是矿物自身的颜色。观察矿物的颜色时，还应分清风化面和新鲜面，风化面的颜色常常不同于新鲜的颜色，因为由于风化作用使某些色素离子流失，或由于次生矿物的出现改变颜色。因此，矿物新鲜面的自色才是它固有的颜色。

矿物的颜色多种多样，描述时要力求准确。

对颜色的描述，可采用单色命名或复合命名，如黄色、灰黄色、草绿色、锈红色、钢灰色等。复合命名是以后一种颜色为主，如灰黄色是以黄色为主，灰色次之。其他如黄绿色、棕红色、黑绿色等亦如此。

常用的描述颜色方法有标准色谱法、双名法和类比法等。标准色谱法是利用标准色谱红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫及黑、灰、白等色来描述。当矿物的颜色介于两种颜色之间时，采用双名法描述。书写时次要色调放在前面，主要色调放在后面，如黄绿色是表示以绿色为主，带有黄色色调。类比法是以生活中最常见的实物颜色来描述矿物的颜色，如桔红色、铜黄色、草绿色、砖红色、钢灰色等。区别同种颜色的色调深浅，可在颜色前加深、浅、暗、淡等形容词，如浅黄色、暗绿色等。

2. 条痕

条痕实际上是矿物粉末的颜色。观察方法是把矿物在条痕板上刻画，视其条痕（痕迹）的颜色。同一种矿物的条痕是较固定的，所以，在鉴定矿物上有一定意义。矿物的条痕可以消除假色，减弱他色，比矿物的颜色更固定。条痕是鉴定不透明矿物颜色的一种较可靠的方法。只有硬度小于条痕板的矿物才有条痕色，许多金属矿物硬度较小，最容易观察到条痕；硬度大于条痕（特别是浅色）的矿物，无法刻出条痕或没有明显的条痕，其鉴定意义就不大。在刻画条痕时，要注意用矿物的新鲜面来刻画，当一个标本上有几种矿物共存时，要注意刻准被鉴定的矿物。观察条痕的颜色时，要注意对比矿物本身的颜色和其条痕色的差异，有些矿物条痕的颜色与矿物整体的颜色相近（如方铅矿），但也有些矿物条痕的颜色与矿物整体的颜色相差很大（如黄铁矿），又如赤铁矿可以呈现铁黑色、红褐色、钢灰色等，但其条痕总是樱红色，故应特别注意。对于那些颜色相似，条痕亦彼此相近的矿物（如黄铁矿与黄铜矿等）要特别注意仔细对比，并揣摸它们的差异。

条痕在鉴定浅色的透明矿物时（如长石、石英等）意义不大，因为它们的条痕都是白色

或近于白色。条痕的描述方法与描述颜色的方法相同。

3. 光泽

所谓光泽是指矿物表面反射光线强弱的一种性能，它常与矿物的成分和表面性质有关，是鉴定矿物的重要标志之一。习惯上按矿物表面的反光程度将其分为金属光泽和非金属光泽两大类。对介于金属与非金属光泽之间者可定为半金属光泽。根据反射光的强弱可将光泽分为四级：

(1) 金属光泽：这种光泽反光很强，好像金属的新鲜面一样，光亮耀眼。金属光泽的矿物多具金属色（如铁黑、铅灰色等），条痕呈黑色或金属色，如方铅矿、黄铁矿等。

(2) 半金属光泽：这种光泽反光较强，呈较暗的金属状光泽。矿物条痕多为深彩色，如赤铁矿、铬铁矿等。

(3) 金刚光泽：金刚光泽反光较强，但无金属色彩，有像金刚石那样灿烂耀眼的光泽。这种矿物条痕为浅彩色（如浅黄）及无色、白色，如金刚石、闪锌矿等。

(4) 玻璃光泽：玻璃光泽反强弱，像玻璃表面那样。这类矿物的条痕多为无色或白色，如石英、方解石等。

金刚光泽和玻璃光泽可统称为非金属光泽。

以上四级光泽是指矿物的平坦表面如晶面、解理面对光的反射情况，当矿物表面不平坦或成集合体时，常会呈现一些特殊光泽。常见的有以下光泽：

(1) 油脂光泽：这种光泽的矿物表面像涂了一层油脂似的，多见于透明矿物的断口面上，如石英、磷灰石等。

(2) 蜡状光泽：有些矿物有像蜡烛表面那样的光泽，在透明矿物的隐晶质或非晶质致密块状集合体表面常见，如块状化石、蛇纹石等。

(3) 丝绢光泽：在纤维状集合体表面呈现出这种光泽，好像丝绸的表面一样。如纤维石膏、石棉等。

(4) 珍珠光泽：似珍珠或贝壳内壁的光泽。在透明矿物的极完全解理面上常见，如云母等。

(5) 土状光泽：有些矿物表面暗淡无光，像土一样，故称土状光泽。这种光泽多见于粉状、土状集合体表面，如土状高岭石等。

需要指出的是，矿物的光泽等级是确定的，但其特殊光泽却因矿物产出状态的不同而有所不同，而且不是每一种矿物都具有特殊光泽。如石膏具有玻璃光泽，但呈纤维状集合体时则呈现出丝绢光泽，在其极完全解理面上则具有珍珠光泽。

观察光泽时要注意对准光线并反复转动矿物，仔细判断其反光的强弱、明暗、均一和闪烁程度，还应注意矿物表面的特征（如平整和光洁程度等）与光泽的关系。如表面凹凸不均、反射方向不一致的矿物常具油脂光泽（如石英断面）；纤维状集合体的矿物常为丝绢光泽（如石棉和纤维状石膏）；表面呈细小颗粒状、光洁程度差且反光弱者为土状光泽（如高岭石）；表面平坦、反光一致且较强者为金刚光泽（如金刚石和闪锌矿），稍弱者为玻璃光泽（如石英、方解石的晶面）。

实习时应注意对比观察金属光泽和非金属光泽、丝绢光泽和油脂光泽，并初步掌握不同光泽的特征及其代表性矿物。

4. 透明度

透明度是指矿物允许可见光波透过的程度。在肉眼观测中一般以 0.001 mm 厚的矿物薄

片透过光的程度为标准，将透明度分为三级：

- (1) 透明：隔着透明矿物可看到另一侧物体的清晰轮廓，如水晶等。
- (2) 半透明：隔着半透明矿物仅能看到另一侧物体的模糊阴影，如闪锌矿等。
- (3) 不透明：隔着不透明矿物完全不能见到另一侧物体的形象，如黄铁矿、黄铜矿等。

矿物的厚度和所含杂质对透明度的影响很大，在实际工作中，常常根据透明度与其他光学性质特别是条痕之间的相互关系来判断矿物的透明度（见表 1-1）。

表 1-1 矿物光学性质相互关系表

颜 色	无色或白色	浅（彩）色	深 色	金属色
条 痕	无色或白色	无色或浅色	浅色或彩色	深色或金属色
光 泽	玻璃—金刚		半金属	金 属
透明度	透 明	半透明		不透明

一般情况下，把石英、白云母、萤石、板状石膏、橄榄石等称为透明矿物；金属矿物（如方铅矿、黄铁矿、磁铁矿等）大都是不透明的矿物；其他多数非金属矿物属于半透明矿物。如果用显微镜观察矿物的薄片，几乎所有的半透明矿物均可以透过光线，都称其为透明矿物，而金属矿物仍然不透明。

5. 双折射

所谓双折射是指光线在某些矿物介质内传播时，在不同方向其折射率不一，产生光程差，观察时可见双影，也称重折射。这对某些矿物具有鉴定意义，如冰洲石——透明方解石。测定矿物的双折射性能时，可以通过把矿物放在线条、图形或字体上观察，如出现双影，则具有双折射。

二、矿物的力学性质

矿物的力学性质是指在外力作用下所表现的物理性质，主要包括硬度、解理、断口、弹性、挠性和延展性等。

1. 解理和断口

矿物晶体在外力作用（如敲打、挤压等）下，严格沿着一定结晶方向（或结晶格架）裂开或分裂成光滑平面的性质，称为解理。它是沿着矿物内部一定方向（软弱面）发生平行分离的特性，这些分裂的光滑平面称为解理面。解理面可以平行晶面，但不等于晶面。矿物受力后，沿任意方向发生不规则的破裂面，这些不规则的裂开面称为断口。根据矿物受力后产生解理的难易程度和解理面的平滑程度，可以将解理分为五级：

- (1) 极完全解理：矿物晶体在外力作用下极易沿某些结晶方向裂成薄片时，则形成极完全解理。这种解理面平整光滑，如云母、石墨等。
- (2) 完全解理：具这种解理的矿物很易裂成规则的块体，解理面光滑、平整，如方解石、方铅矿等。
- (3) 中等解理：具这种解理的矿物晶体受力后，沿解理方向裂成平面，但每个解理面的面积较小，各小解理面间与断口交叉出现，因而呈现不平整的状态，如辉石、角闪石等。
- (4) 不完全解理：具这种解理的矿物较难沿解理面裂开，解理面常小面积地零星出现，断口常见，如磷灰石、锡石等。
- (5) 极不完全解理：有些矿物很难出现或实际上无解理，见到的断面一般都是断口，如

石英、黄铁矿等。

若矿物晶体沿某一方向有解理，受力后常形成一系列相互平行的解理面，称为一组解理。矿物可以具有一组或多组解理，且解理等级也可能不同。如长石晶体具有一组完全解理、一组中等解理。

观察矿物解理时首先应学会判别解理存在与否，其关键是学会识别解理面。观测矿物碎块时，若发现许多平滑的面，则说明此种矿物具有解理；否则可能是无解理的矿物。解理面不论大小，一般都表现出反光一致的性质，且能在矿物内部多次重复出现。解理面不一定具有固定的几何形态。寻找解理面时，要对准光线反复、仔细观察标本，要注意寻找是否有相同方向（相互平行）的许多面存在，特别要注意解理面与晶面的区别。晶面是按一定内部构造生长成的几何多面体的表面，它只位于晶体表面并常具固定的几何形态。同一晶体上相似的晶面大小相近，不可能在同一方向上找到更多的面，解理面则可在相同方向上找到一系列的面，它们相互平行但大小不一定相等。

解理按其发生的方向可以划分为若干组，具有一个固定裂开方向的所有解理面称为一组解理（如云母）；有两个固定方向的解理面称为两组解理（如正长石）；同理可有三组解理（如方解石）。

观察解理组数时，应从不同方向去看标本，如在某一方向上观察到一系列相互平行的解理面，则可定为一组解理；再转动到另一方向又发现另一系列相互平行的解理面，就可定为第二组解理；依此类推。确定解理组数后，还应注意不同组解理面交角（称解理夹角），因为同种矿物一般具有固定的解理组数和解理夹角。有无解理面、解理组数多少、解理夹角的大小等都是识别矿物的重要标志。熟悉地掌握和判别它们是肉眼鉴定未知矿物的重要手段。为了准确地判别、确定解理的组数，还可以观察被解理分裂下来的矿物碎块（见图 1-6）。平行六面体碎块（方解石）反映它们具有三组解理，即三组各自平行的裂开面。当解理块足够大时，还可以在解理面上见到尚未完全裂开的同组或他组解理的纹（它是两组解理面的交线）。不同组解理纹可以相互交切，同样也可以通过观察矿物解理碎块脱落后，残留在矿物中的棱角（角落和角顶）或阶梯状等解理平面的组合形态来反推解理组数，如有棱和阶梯，则说明有两组解理存在；而角顶、角落都反映有三组解理存在。

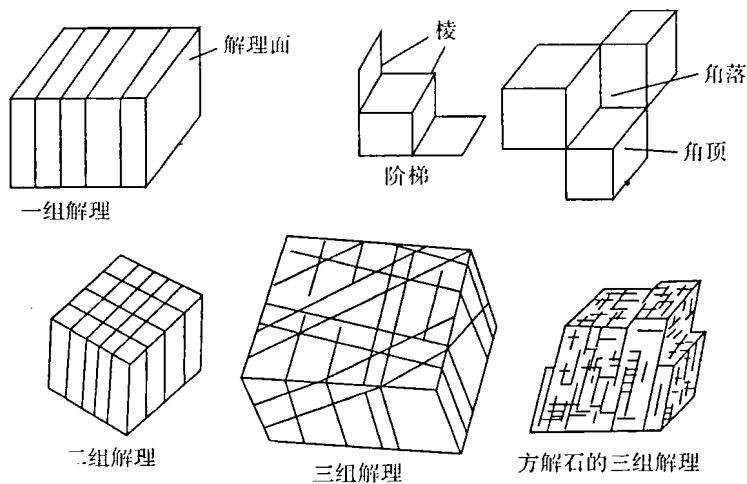


图 1-6 矿物的解理、解理面、解理组数示意图

矿物的解理发育程度是指解理裂开的难易程度及解理完整性。有些矿物一经敲击便沿极光滑的解理面裂开，称极完全解理，如云母极易裂开成片状，称一组极完全解理；有些矿物受力后，解理面平滑，矿物易成薄板或小块状，称完全解理，如方铅矿具三组完全解理；当受力裂开的解理面不平整时称中等解理，如正长石有两组解理，其中一组为完全解理，另一组为中等解理；当解理面极不清楚、难于发现时称不完全解理，如磷灰石具一组不完全解理。因此，观察矿物解理时除观察解理组数外，还需注意解理的光滑程度与完整性。

矿物在受外力打击后，沿任意方向发生的不规则的破裂面，即不沿一定结晶方向破裂而形成的断面，称为断口。断口也具有鉴定意义。断口的不同形态如下：

(1) 贝壳状断口：这种断口面呈弯曲的凹面，且具有不很规则的同心纹，形似贝壳，如石英晶体的断口。

(2) 锯齿状断口：这种断口面很粗糙，而且参差不齐，如石棉与纤维状石膏等。

(3) 平坦状断口：这种断口面虽然粗糙，但还平坦，如铝土矿等。

(4) 土状断口：这种断口表面粗糙，好像土块的表面，如高岭石等。

断口与解理的区别在于其无固定方向，裂开面粗糙不平；而解理则有固定方向，而且平滑。对每一种矿物来说，其解理和断口的发育程度常常成相互消长关系，解理发育者无断口，如云母、方解石等；断口发育者常无解理，如石英。也有些矿物解理与断口共存，各有其不同的发育方向，如正长石和斜长石等。断口的性质不如解理那样固定，只能作为鉴定矿物的辅助依据。

2. 硬度

矿物的硬度是指其抵抗外来机械力作用（如刻画、压入、研磨等）的能力。在肉眼鉴定矿物时，一般通过两种矿物相互刻画比较而得出其相对硬度，通常以摩氏硬度计作标准。它是以 10 种矿物的硬度表示 10 个相对硬度的等级，由软到硬的顺序依次为：滑石 (1)、石膏 (2)、方解石 (3)、萤石 (4)、磷灰石 (5)、正长石 (6)、石英 (7)、黄玉 (8)、刚玉 (9)、金刚石 (10)。

实习时，首先应熟悉摩氏硬度计中的矿物，（将其相互刻画了解它们的相对硬度等级；再用它们刻画其他未知矿物，以便确定未知矿物等级。还可利用指甲（硬度约为 2~2.5）、铜钥匙（硬度约为 3）、小刀（硬度约为 5.5）、玻璃（硬度约为 6）等来刻画各种矿物），大致确定其属于硬矿物、软矿物或中等硬度的矿物等，或近似的硬度级别。

测定矿物硬度时，必须找准测试的对象。当标本上有几种矿物共存时，更应注意以防刻错。测试时要在矿物的新鲜面上进行，以免刻画在风化面上而降低矿物的硬度；当用摩氏硬度计测试时，应用两种相邻硬度的矿物在需测定的矿物上相互刻画，并注意观察是刻动还是被磨碎，以便分清谁软、谁硬及介于哪两者之间，当矿物脆性大时应注意脆性与硬度的差异。用小刀、指甲等简易标准物测定矿物硬度时，同样亦应注意观察上述情况。

在鉴定矿物时将欲测矿物和硬度计中矿物相互刻画就可确定矿物的硬度。如某一矿物能被石英刻动，而本身又能刻画正长石，则此矿物的硬度介于正长石和石英之间，为 6.5。

在实际工作中，常用更简便的方法来测定矿物的相对硬度，即用指甲（硬度为 2.5）、小刀（硬度为 5.5），进行对比。矿物的硬度可分为低、中、高三级。

低硬度：其硬度小于 2.5，用指甲可以刻动。

中硬度：其硬度为 2.5~5.5，手指甲不能刻动，小刀易于刻动。

高硬度：其硬度大于 5.5，用小刀刻不动。

由于风化程度、裂隙发育程度、杂质含量和成分不同，以及集合体的方式不一样，都会影响矿物的硬度，因此，在测定矿物硬度时，要注意选择纯净、致密而新鲜的矿物，最好选用单个晶体。

3. 弹性与挠性

某些片状或纤维状矿物，在外力作用下发生弯曲，在去掉外力后能恢复原状者具有弹性（如云母）；不能恢复原状者具有挠性（如绿泥石）。

4. 延展性

矿物能被锤击成薄片或拉成细丝的性质，称延展性。如自然金、自然银、自然铜等具有此性质。

三、矿物的其他物理性质

1. 相对密度

相对密度是指矿物在空气中的质量与同体积的水在 4℃时的质量之比。在肉眼鉴定矿物时，一般根据相对密度将矿物分为三类：

(1) 轻矿物：矿物的相对密度小于 2.5，如石膏。

(2) 中等矿物：矿物的相对密度在 2.5 ~ 4 之间，如石英、方解石等。自然界中大多数矿物属于此类。

(3) 重矿物：矿物的相对密度大于 4，如重晶石、方铅矿等。

2. 磁性

矿物的磁性是指矿物在外磁场作用下，被吸引、排斥或本身能吸引铁屑的能力。在肉眼鉴定矿物时，根据磁性的强弱，把矿物分为三类：

(1) 强磁性矿物：小块矿物或其碎屑能被永久磁铁（如马蹄形磁铁）吸引，如磁铁矿。

(2) 弱磁性矿物：矿物碎屑用永久磁铁无法吸引，只能用强电磁铁所吸引，如赤铁矿等。

(3) 无磁性矿物：强大的电磁铁也不能吸引的矿物，如石英、方解石等。

磁性是含 Fe, Co, Ni 的少数矿物所特有的性质，因此是含这些元素矿物的重要鉴定特征。在实习时，可用磁铁对磁铁矿粉末吸引进行测试。

3. 发光性

矿物在外界能量的激发（如紫外线、X 射线、加热等）下能发出可见光的性质，称为发光性。若矿物在激发后，发光的现象随激发的中断而立即停止，称为荧光，如萤石；若停止激发后仍能继续发光一段时间者，称为磷光，如磷灰石。

矿物还具有通过人的感官所能感觉到的某些性质，如滑石和蛇纹石的滑感；食盐的咸味；燃烧硫磺和黄铁矿时的硫臭味等。

此外矿物的某些化学性质也能帮助人们迅速识别矿物，如碳酸盐类矿物与稀盐酸作用放出 CO₂ 小气泡；磷酸盐遇硝酸与钼酸铵使白色粉末变成黄色等就是我们鉴定碳酸盐类和含磷矿物的好办法。

1.5 水利工程地质中常见矿物的识别

自然界中的矿物种类繁多，目前已发现的有 3 000 多种，但目前被人类利用的仅有 200

余种。在水利工程地质学习中，考虑到工程的需要，本书仅列出 18 种矿物供学生学习。

一、常见矿物的识别

1. 自然金 (Au)

〔化学组成〕 纯金极少见，常含有类质同象混入物 Ag, Cu, Fe, Pd 等。含银超过 15% 时，称为银金矿。

〔形态〕 晶体呈八面体或立方体，但极少见，常呈分散粒状或不规则树枝状集合体，偶见较大的块体。

〔物理性质〕 颜色和条痕均为金黄色；金属光泽；不透明；无解理；硬度 2~3；相对密度 15.6~18.3 (纯金达 19.3)；具强延展性。

〔鉴定特征〕 金黄色颜色和条痕；强金属光泽；硬度低；相对密度大；具强延展性。

〔主要用途〕 自然金为金的最主要来源；可制作首饰及精密仪器中的良导体部件。

2. 金刚石 (C)

〔化学组成〕 经常含有 Si, Al, Ca, Mg 等元素杂质，还可含有一些包裹体。

〔形态〕 晶体常呈八面体、菱形十二面体；晶棱、晶面常弯曲呈浑圆状。自然界中金刚石多以单体产出，颗粒一般很细小，偶见较大的晶体。我国 1977 年 12 月在山东临沭县发现的“常林钻石”，重达 158.786 0 克拉 (5 克拉 = 1g)，是我国目前所发现的最大的金刚石晶体，在世界上也是罕见的。

〔物理性质〕 纯净者无色透明，常因含杂质而带不同的色调；金刚光泽；透明；八面体；解理中等或不完全；硬度 10，其绝对硬度为刚玉的 150 倍、石英的 1 000 倍，居矿物之冠；相对密度 3.47~3.56；抗磨性强；具发光性，在紫外线照射下发紫色或天蓝色磷光。

〔成因产状〕 产于超基性岩的金伯利岩中，也产于砂矿中。

〔鉴定特色〕 金刚光泽；硬度极高；具发光性。

〔主要用途〕 晶体完美而透明的称为钻石，可做宝石；一般金刚石常用做切削工具及研磨材料；少数金刚石用于高温半导体和红外光谱仪等尖端技术。

3. 刚玉 (Al_2O_3)

〔化学组成〕 Al 53.2, O 46.8；有时含少量 Fe, Ti, Cr, Mn 等混入物。

〔形态〕 晶体呈多柱状或桶状，晶面上常见条纹，集合体为粒状或致密块体。

〔物理性质〕 常见颜色为灰色、蓝灰色、黄灰色，含不同的杂质时呈不同的颜色，如含 Cr 呈红色 (红宝石)，含 Ti 为蓝色 (蓝宝石)，含 Fe 为黑色等；玻璃光泽；透明；无解理；硬度 9；相对密度 3.95~4.10。

〔成因产状〕 主要形成于高温、富铝和贫硅的条件下，可产于碱性伟晶岩、基性岩；区域变质岩或接触交代变质岩中。

〔鉴定特征〕 桶状晶形；高硬度 (9)。

〔主要用途〕 做激光及研磨材料；彩色透明者可做宝石。

① 4. 石英 (SiO_2)

〔化学组成〕 Si 46.70, O 53.30；常含有少量气态、液态和固态物质的包裹体。

〔形态〕 晶体常呈六方柱与菱面体组成的聚形，柱面具横纹；集合体常为粒状、致密块状或晶簇。