



第1章

矿物与岩石的性质及鉴定

本章导学

化学元素通过特定晶体结构组合形成矿物,矿物颗粒的集合体构成岩石——这是地球岩石圈物质组成的基本层级关系。作为构成地壳的固态物质基础,矿物与岩石不仅是人类赖以生存的自然资源,更是所有土木工程的地质载体。

自人类文明产生以来,改造自然的能力日益增强,各类土木工程建设迅猛发展,这一进程在工业革命后呈现指数级增长:全球混凝土年消耗量已超过 40 亿 t,地下工程最大开挖深度突破千米级(如南非 Moab Khotsong 金矿),大型基础设施网络正系统性重塑地表形态。从新石器时代的良渚古城夯土地基,到现代港珠澳大桥人工岛深层加固,人类工程活动始终与岩土体发生着物质-力学交互作用。无论何种土木工程都是建设在岩土基础之上,开挖在各类矿物岩石之中。同时,根据国际工程地质协会(IAEG)统计,70%的隧道塌方事故与围岩矿物风化特性相关,65%的边坡失稳事件源于对岩体结构面力学参数的误判。

因此,掌握常见矿物岩石鉴定方法、明晰岩石物理力学性质,已成为现代土木工程师的必要素养。这种认知能力贯穿于工程全生命周期:在勘察阶段规避不良地质体,在设计阶段优化结构-岩土相互作用,在运维阶段实现灾害精准预警,最终达成“地质适宜性”的可持续发展目标。



学习目标

知识目标:

- (1) 掌握矿物和岩石的定义、基本分类。
- (2) 熟记矿物物理性质的判定标准,并能鉴定常见矿物。
- (3) 系统掌握岩石的物理性质和力学性质及其实验室测试方法。

(4) 理解岩浆岩、沉积岩、变质岩的矿物组成、典型结构和构造特征。

能力目标:

(1) 能够运用鉴定工具对未知矿物样本进行系统鉴定,并编制规范的鉴定报告。

(2) 能够正确使用相关仪器设备进行岩石的物理、力学性质测试,并通过肉眼观察判别三大类岩石。

(3) 能结合实际工程案例,分析岩石性质对工程稳定性的影响并提出应对建议。

素质目标:

(1) 在鉴定过程中坚持“现象→证据→结论”的逻辑链,在实验操作中严格遵守规范流程,确保数据真实性,培养科学严谨性。

(2) 理解矿物岩石鉴定误差可能引发的工程安全隐患,树立“数据质量即工程生命线”的职业责任感,建立工程伦理意识。

(3) 在岩石成因—性质—工程响应之间建立多维度关联,形成“地质条件→岩体特性→工程对策”的完整认知框架,强化系统思维能力。

1.1 概述

矿物和岩石是构成地球外壳的基本物质,它们的种类、性质和分布对地质学的研究至关重要。矿物是岩石的基本组成单元,它们是自然界中具有特定化学成分和内部结构的固态物质。矿物的物理性质,如硬度、颜色、条痕、光泽、解理和比重,是鉴定和区分不同矿物的关键特征。岩石是由一种或多种矿物组成的自然实体,它们可以通过不同的地质过程形成,如岩浆活动、沉积作用和变质作用。根据成因,岩石主要分为三大类:岩浆岩、沉积岩和变质岩。

矿物与岩石是地球最基本的物质密码,对其进行研究不仅有助于理解地球的物质组成和演化历史,还对寻找矿产资源、评估工程建设的地质条件以及预测自然灾害等方面具有重要意义,是破解地质演化、资源分布和工程环境奥秘的“钥匙”。通过对矿物与岩石的系统学习和研究,我们可以更好地解读地球过去,预测地球未来的变化,为社会经济发展提供科学依据。

本章从矿物到岩体,系统构建矿物与岩石的认知框架,围绕矿物与岩石的基本概念与分类、常见矿物的物理性质与鉴定方法、岩石基本性质与实验室测试方法、三大类岩石的鉴定方法等四个模块展开。

通过本章的学习,读者将完成从“石块观察者”到“地质解码者”的蜕变,最终通过矿物与岩石这本“地球物质档案”,揭示资源禀赋、环境演化和灾害机理的深层规律。这不仅是地质工作的基本功,更是理解人与自然关系的科学基石。

1.2 矿物的物理性质

矿物是指在地质作用或宇宙作用下形成的,具有一定的化学成分和内部结构,在一定的物理化学条件下具有相对稳定的天然结晶态的单质或化合物。矿物是岩石乃至固体地球的

基本组成物质,也是我们生存和建设的基础。矿物与固体地球的关系如同细胞与生命的关系,没有矿物就没有岩石和固体地球。目前,自然界已经发现的矿物有 3300 多种,但主要的造岩矿物只有 30 余种,如石英、长石、云母等。

1.2.1 矿物分类

对形形色色的矿物进行分类是了解、识别和研究矿物的基础,根据形成矿物地质作用类型和环境条件的不同,可以将矿物分为内生矿物、外生矿物、变质矿物、陨石矿物等 4 类。

1. 内生矿物

内生矿物是指由内力地质作用形成的矿物。内生矿物的形成主要受地球内能的驱动,由于形成时的温度、压力条件与地表条件相去甚远,因此在地表条件下,它们通常不稳定,容易风化或变成其他矿物。

2. 外生矿物

外生矿物又称为表生矿物,是指由外力地质作用形成的矿物。外生矿物主要受太阳能、水、大气和生物作用影响。外生矿物形成于地壳表层的常温、常压下,矿物成分的特征通常表现为富含氧、水、二氧化碳等,矿物类型主要为氧化物、氢氧化物、黏土矿物和其他含氧盐。另外,生物矿物是外生矿物的重要组成部分,如方解石、白云石、磷灰石等。

3. 变质矿物

变质矿物是指近地表和地表以下较深部位已经形成的矿物和岩石,由于构造运动、岩浆和热流活动,原有矿物和岩石在基本保持固体状态下发生成分和结构上的变化而形成的新矿物。根据变质作用类型的不同,变质矿物可分为接触变质矿物和区域变质矿物。

4. 陨石矿物

陨石矿物主要来源于地球以外或形成于地球天文演化阶段,是指在陨石中发现的矿物。目前已发现的陨石矿物超过 140 种,其中 39 种是陨石特有的或地球上未曾发现的矿物。

1.2.2 矿物形态

矿物单体和集合体形态是我们了解矿物特性、区分矿物类型最直观和最便捷的鉴定标志。

矿物按单体形态分为结晶质矿物和非结晶质矿物。结晶质矿物是指矿物内部的元素质点在内部按一定的规律重复排列,形成稳定的结晶格子构造,有规则的、固定的几何外形的矿物。非结晶质矿物是指矿物内部的元素质点排列没有一定的规律性,外表几何形态不固定、不规则的矿物。

造岩矿物绝大部分是结晶质矿物,在相同生长环境下,同种矿物的多个晶体往往具有特定的形态。矿物单体的形态根据其在三维空间的发育程度,可以划分为三种基本类型。一向延长型:晶体沿一个方向特别发育,呈柱状、针状、纤维状等,如石英、绿柱石、电气石、角闪石和金红石等。二向延展型:晶体沿二维平面发育成板状、片状、鳞片状等,如云母、石墨和重晶石等。三向等长型:晶体沿三维空间的 3 个方向发育大致相等,呈粒状或等轴状,如橄榄石、石榴子石和黄铁矿等。

矿物集合体是指在岩石中,由同一种矿物或几种矿物组成的集合体,它们在岩石中形成了一定的结构和分布模式。自然界的矿物大多以集合体的形式产出,集合体的形态取决于单体的形态和集合方式。矿物集合体按照其中的单体排列方式可分为以下几种,如图 1-1 所示。

(1) 晶簇: 一端在基底面,另一端自由发育,如水晶晶簇(图 1-1(a));

(2) 放射状集合体: 呈现柱状、针状或片状的矿物单体,以一点为中心向四周放射,如菊花石、蓝闪石(图 1-1(b));

(3) 纤维状集合体: 针状、柱状的矿物晶体密集平行排列而成,如石棉、纤维石膏(图 1-1(c));

(4) 树枝状集合体: 由一个晶芽开始生长,在棱角处分枝(图 1-1(d));

(5) 结核状集合体: 呈球状或椭球状,与围岩有明显界面(图 1-1(e));

(6) 钟乳状集合体: 因失水凝聚而成,一般呈圆锥形或圆柱形(图 1-1(f))。

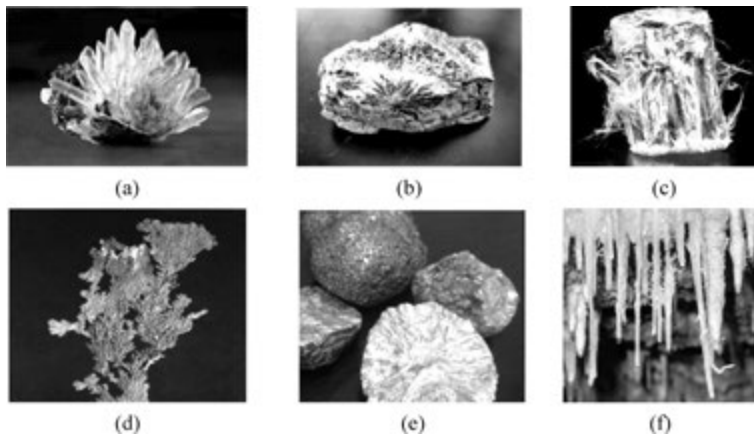


图 1-1 矿物集合体的各类形态

(a) 水晶晶簇; (b) 放射状蓝闪石; (c) 纤维状石棉; (d) 树枝状自然铜; (e) 结核状黄铁矿; (f) 钟乳石

1.2.3 矿物的特性

1. 颜色

颜色是矿物对不同波长可见光吸收程度不同的反映,主要取决于矿物的化学成分和内部结构,它是矿物最明显、最直接的物理性质。矿物按成色原因可分为自色、他色和假色。自色是矿物本身固有的颜色(图 1-2(a)),较为固定,如铜矿是蓝色,正长石是肉红色,橄榄石是橄榄绿色。他色是矿物中混有杂质时形成的颜色,他色不固定,与矿物本身的性质无关,对鉴定矿物意义不大,如纯石英晶体是无色透明的,而当石英含有不同杂质时,就可能出现乳白色、紫红色(图 1-2(b))、绿色、烟黑色等多种颜色。假色是矿物内部的裂隙或表面氧化膜对光的折射、散射形成的颜色,如斑铜矿常因表面发生锈色变异而呈现蓝、紫、红等鲜艳的干涉色(图 1-2(c)),方解石解理面上常出现的彩虹色。

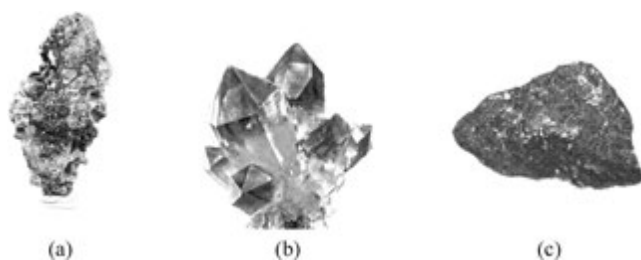


图 1-2 矿物的颜色

(a) 白色——蓝铜矿；(b) 他色——紫水晶；(c) 假色——斑铜矿的鲜艳干涉色

2. 条痕

矿物在白色无釉的瓷板上划擦时留下的粉末痕迹,称为条痕(图 1-3)。条痕可以消除假色,减弱他色,常用于矿物鉴定。如角闪石为黑绿色,条痕为淡绿色;普通辉石为黑色,条痕是浅棕色;黄铁矿为铜黄色,条痕是黑色。透明矿物的粉末多因光的全反射而近白色,鉴定意义不大,因此,条痕常作为鉴定不透明矿物特征的手段。

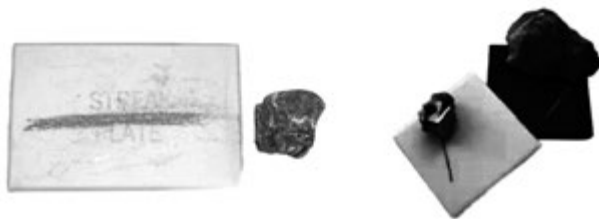


图 1-3 矿物的条痕

3. 光泽

光泽是矿物表面对可见光的反射能力。矿物表面呈现的光亮程度,是矿物表面反射率的表现,可以分为金属光泽、半金属光泽和非金属光泽,如图 1-4 所示。其中,非金属光泽由强到弱依次分为金刚光泽、玻璃光泽、油脂光泽、丝绢光泽、珍珠光泽、蜡状光泽、土状光泽。表 1-1 所示为不同光泽类型的矿物。

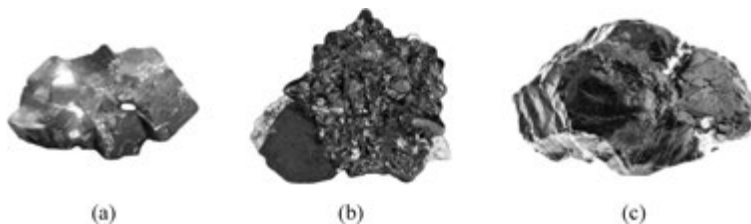



图 1-4 光泽的对比

(a) 金属光泽；(b) 半金属光泽；(c) 非金属光泽

表 1-1 矿物的光泽类型

矿物名称	光泽种类	特 点	图 片
金刚石	金刚光泽	反光较强	
萤石	玻璃光泽	近似于一般平面玻璃的反光,如石英晶面、长石等	
石英	油脂光泽	如同涂上一层油脂后的反光,如石英断口上的光泽等	
石膏	丝绢光泽	出现在纤维状集合体矿物的表面光泽,如石棉、绢云母、纤维石膏等	
云母	珍珠光泽	如同珍珠表面或贝壳内面出现的乳白彩光,如白云母薄片等	
滑石	蜡状光泽	由于隐晶质或细微的颗粒所造成,光泽呈亮蜡状	

续表

矿物名称	光泽种类	特点	图片
高岭石	土状光泽	矿物表面反光暗淡	

4. 透明度

透明度是指矿物透过可见光波的能力。根据透明度的不同,可将矿物分为透明矿物、半透明矿物和不透明矿物三种,如图 1-5 所示。玻璃光泽纯净的晶体矿物均为透明矿物(如石英晶体、方解石晶体和冰洲石);大部分金属、半金属光泽矿物都是不透明矿物(如方铅矿、黄铁矿、磁铁矿);介于二者之间的矿物为半透明矿物,很多浅色的造岩矿物都是半透明矿物(如滑石、闪锌矿、玉髓)。肉眼鉴定矿物时,应注意观察等厚条件下的矿物碎片边缘,以确定矿物的透明度。

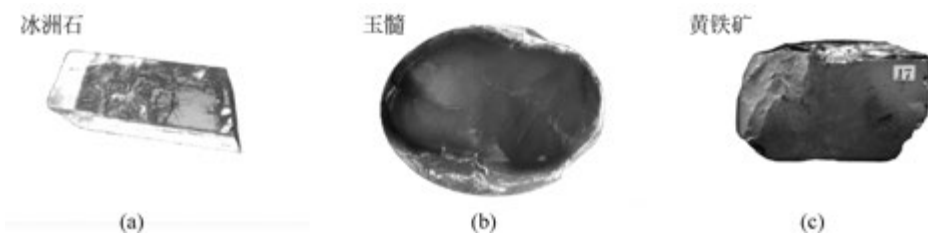


图 1-5 矿物的透明度

(a) 透明矿物; (b) 半透明矿物; (c) 不透明矿物

5. 硬度

硬度是指矿物抵抗外力作用(如压入、刻划、研磨)的能力。矿物的化学成分和内部结构不同,其硬度也不相同。因此,硬度是进行矿物鉴定的一个重要特征,目前常用 10 种已知矿物组成的摩氏硬度计作为标准(图 1-6)。矿物的硬度是根据两种矿物对刻时是否被刻出划痕而确定的。常见造岩矿物的硬度大部分在 2~7 级之间;在野外,可用指甲(2~2.5 级)、铜钥匙(3 级)、硬币(3.5 级)、钢刀(5~5.5 级)等对矿物硬度进行粗略鉴别。

6. 解理

矿物晶体受力后沿一定方向裂开成光滑平面的现象称为解理。在标本的破裂面(一般岩石标本的表面都是敲击产生的破裂面)上若看到晶粒的断裂面为闪光的平面,即解理面。由于矿物晶体内部质点间的结合力在不同方向上不均一,解理面方向和发育程度都有差异。如果某个矿物晶体内部几个方向上的结合力都比较弱,那么这种矿物就具有多组解理。解理面是反映结晶体构造特征的标志之一,并且较晶形具有更普遍的意义,无论矿物自形程度高低,解理面的特征不变,所以是鉴别矿物的重要依据。



图 1-6 摩氏硬度计

根据解理产生的难易程度,可将矿物的解理分成 5 个等级,即极完全解理、完全解理、中等解理、不完全解理和极不完全解理。

极完全解理: 极易裂成薄片,解理面大而平整,平滑光亮,如云母(图 1-7(a));

完全解理: 常沿解理方向裂成小块,平整光亮,如方解石(图 1-7(b));

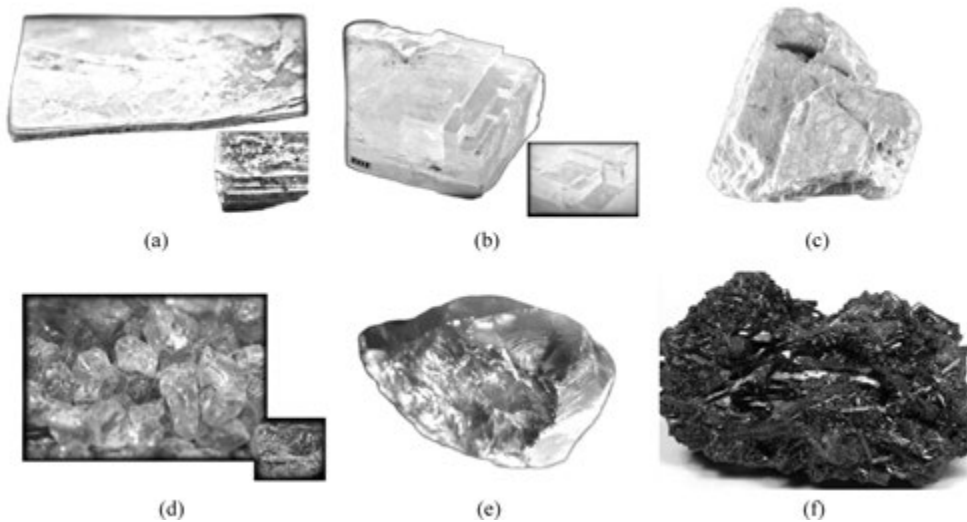


图 1-7 矿物的解理

(a) 极完全解理——云母; (b) 完全解理——方解石; (c) 中等解理——正长石; (d) 不完全解理——磷灰石;
(e) 极不完全解理——石英的贝壳状断口; (f) 极不完全解理——自然铜的锯齿状断口

中等解理: 既有解理面,又有断口,如正长石(图 1-7(c));

不完全解理: 常出现断口,解理面很难发现,如磷灰石(图 1-7(d));

极不完全解理: 极不完全解理为断口,即矿物受外力作用后沿任意方向产生不规则断裂面。常见断口形状有石英的贝壳状断口、蛇纹石的平坦状断口、黄铁矿的参差粗糙状断口、自然铜的锯齿状断口等(图 1-7(e)(f))。

解理与断口互为消长关系,对于解理不发育的矿物易形成断口。

7. 其他性质

矿物的性质还表现在相对密度、磁性、导电性、弹性、挠性、延展性等很多方面,这些性质对鉴定某些矿物有时也十分重要。

(1) 矿物按相对密度可分为轻矿物、中等矿物、重矿物三级,矿物相对密度一般可以实测,也可用手掂量。

(2) 矿物的磁性是现代地学研究中的重要领域,矿物按其磁性特征可分为逆磁性、顺磁性和铁磁性三大类。

(3) 导电性是指矿物对电流的传导能力,一般来说,金属矿物是电的良导体,非金属矿物是电的不良导体,有些矿物则是半导体。

(4) 弹性是指矿物受外力作用后发生变形,撤去外力后仍能恢复原状,如云母薄片。

(5) 挠性是指矿物受外力作用后发生弯曲变形,撤去外力后不能恢复原状,如绿泥石、滑石。



(6) 延展性是指能将矿物锤击成薄片或拉长成细丝,用小刀刻划可留下光亮的刻痕但不产生粉末,如自然金、银、铜等。

其他特性还包括滑石具有滑腻感,方解石、白云石遇盐酸起泡等。

1.2.4 常见矿物的鉴定特征

正确地识别和鉴定矿物,对于岩石命名、鉴定和研究岩石的性质,是一项不可缺少且十分重要的工作。准确的鉴定方法需要借助各种仪器或化学分析。但对于常见矿物,用肉眼即可初步进行鉴定。所谓肉眼鉴定方法,就是借助一些简单的工具,如小刀、放大镜、条痕板等对矿物进行直观测试。为了便于鉴定,表 1-2 列出了常见造岩矿物鉴定特征。除表 1-2 中列出的鉴定特征外,矿物还有一些其他特征,可供学习和鉴定时使用。

表 1-2 常见矿物鉴定特征

序号	名称及化学成分	形状	颜色	解理/断口	硬度	鉴定特征	图 片
1	石英 SiO_2	六方柱, 块状	无色, 乳白色	无,贝壳状	7	无色,硬度很大,无解理,贝壳状断口,油脂光泽	
2	正长石 KAlSi_3O_8	柱状, 薄板状	肉红, 灰白	两组,一组完全,另一组中等	6	肉红色,粗短柱状,两向正交解理	

续表

序号	名称及化学成分	形状	颜色	解理/断口	硬度	鉴定特征	图 片
3	斜长石 (Na,Ca)AlSi ₃ O ₈	板状, 短柱状	灰白	两组,一组 完全,另一 组中等	6	灰白色, 板状,两 向斜交 解理	
4	白云母	片状	无色, 白	单向,极完全	2.5 ~ 3	无色,白 色薄片, 有弹性	
5	黑云母	片状	黑,棕黑	单向,极完全	2.5 ~ 3	深色,薄 片,有弹 性,一组 极完全 解理	
6	角闪石	长柱状	深绿至 黑色	两组,完全	6	绿黑色, 长柱状	
7	辉石	短柱状, 粒状	绿黑至 黑色	两组,完全	6	绿黑或黑 色,短柱 状	
8	橄榄石 (Mg,Fe) ₂ SiO ₄	粒状集 合体	橄榄绿	无,贝壳状	6.5 ~ 7	橄 榄 绿 色,粒 状 集 合 体	
9	方解石 CaCO ₃	菱面体, 块体	白, 褐红	三组,完全	3	菱 形 块 体,与 HCl 剧烈反应	