

绪 论

一、工程地质在土木工程建设中的作用

工程地质学是地质学的一个分支，是研究与工程建设有关的地质问题的学科，发展至今，工程地质学已成为一门独立学科。它的主要任务是：勘察和评价工程建筑场地的地质环境和工程地质条件；分析和预测工程建设活动与自然地质环境的相互作用和相互影响；选择最佳的场地位置；提出克服不良地质作用的工程措施；为工程建设的规划、设计、施工和运营提供可靠的地质依据。

各种土木工程，如铁路、公路、桥梁、隧道、房屋、机场、港口、管道及水利等工程，都是修建在地表或地下的工程建筑。建筑物场地的地质环境和工程地质条件（包括场地及周围的岩体、土体类型和性质，地质构造，地表水和地下水的作用，各种自然地质作用等），与工程的设计、施工和运营密切相关。在进行工程建设时，无论是总体布局阶段还是个体建筑物设计、施工阶段，都应当进行相应的工程地质工作。总体规划、布局阶段应进行区域性工程地质条件和地质环境的评价；场地选择阶段应进行不同建筑场地工程地质条件的对比，选择最佳工程地质条件的方案；在选定场地进行个体工程建筑物设计和施工阶段，应进行工程地质条件的定量分析和评价、提出适合地质条件和环境协调的建筑物类型、结构和施工方法等的建议，拟定改善和防治不良地质作用和环境保护的措施方案等。为了做好上述各阶段工程地质工作，必须通过地质调查测绘、勘探、试验、观测、理论分析等手段，获得必要的地质资料，结合具体工程的要求进行研究、分析和判断，最终得出相应的结论。鉴于工程地质对工程建设的重要作用，国家规定任何工程建设必须在进行相应的地质工作、提出必要的地质资料的基础上，才能进行工程设计和施工工作。

在国内外工程建设实践中，重视工程地质工作使工程建设获得成功的经验和忽视工程地质工作引起工程建设失败的教训不胜枚举。以我国铁路建设为例，始建于解放前的宝（鸡）天（水）铁路，由于忽视了前期的工程地质工作，施工中即发生大量崩塌、滑坡、河岸冲刷和泥石流等地质灾害问题，直到解放后一段时间也不能正常通车运营，被称为铁路的“盲肠”。为此，国家历年都拨出大量经费进行维修、整治，直至耗费巨资进行大段线路改线才使宝天铁路真正畅通。与此形成鲜明对照的是，地处我国西南边陲的成（都）昆（明）铁路，由于它纵贯我国西南横断山脉的断裂构造带，沿线气候、地形、地质条件异常复杂，曾被称为“世界地质博物馆”。某些外国专家实地考察后认为成昆铁路很难建成。中央和铁道部非常重视这些复杂和困难的条件，多次组织了全国工程地质专家进行现场“会诊”和研究，并且动员和组织了全路工程地质专家和技术人员开展“大会战”，从而保证了成昆铁路的顺利建成通车。许多地质复杂地段线路位置的选择和重大工程设计、施工获得成功的实例举世公认。

在国外，法国著名的马尔帕塞拱坝垮塌事件，就是由于对坝基和坝肩片麻岩中所夹的软弱结构面缺乏足够的认识，致使左岸拱座滑动破坏，库水冲毁下游市镇，造成死亡、失踪近 500 人的重大灾害和损失。其它如美国奥斯汀城科罗拉多水坝的崩毁，加拿大特朗斯康谷仓的倒塌，西班牙蒙特哈塔坝高 72 m 的“干水库”等，都是由于对地质条件没有足够的了解而招致失败。

随着我国经济建设日益发展，工程建设的规模和数量也越来越大。数十公里长的隧道、数百米高的高楼大厦、数百米高的露天采矿场边坡、二滩和三峡水利枢纽工程等所谓“长隧道、深基坑、高边坡”巨型重大工程建设与工程地质的关系更趋密切，对工程地质工作和知识的要求也更高。因此，作为工程建筑的基础工作，工程地质工作的重要作用是客观存在和被实践证明了的。

二、本课程主要内容及学习要求

工程地质学是一门应用科学。它是运用地质学的基本理论和知识，解决工程建设中各种工程地质问题的一个学科。因此，本课程主要内容应包括基础地质和工程地质两大部分。

本书前三章的内容主要是基础地质部分。第一章为岩石和土的成因类型、地质特征及其工程性质；第二章是地质构造基本类型及特征，地史及地质图的基本知识；第三章为地表水地质作用及地下水的基本类型和特征。岩土、地质构造和水是工程建筑所处地质环境中最基本的三大要素，对于不同地区、不同建筑场地、不同类型的工程建筑，这三大要素的类型、特征及其组合不同，就形成了不同的工程地质条件和问题。因此，基础地质是解决好工程地质问题必不可少的基本理论和知识。

工程地质部分则是本书后五章的主要内容。第四章为常见的各种地质灾害，主要介绍滑坡、崩塌、泥石流、岩溶及地震的形成、特征、危害及防治措施等内容；第五章是地下洞室常见的工程地质问题；第六章是边坡工程常见的工程地质问题；第七章是地基工程常见的工程地质问题；第八章则是工程地质勘察。

工程地质是土木工程专业的专业基础课。作为一名土木工程专业本科学生，在学习本门课程后，应达到以下基本要求：

- (1) 能阅读一般的地质资料，根据地质资料在野外辨认常见的岩石和土，了解其主要的工程性质；
- (2) 能辨认基本的地质构造类型及较明显、简单的地质灾害现象，并了解这些构造及不良地质对工程建筑的影响；
- (3) 重点掌握最常见的各种工程地质问题的基本知识，并在土木工程设计、施工和运营中能结合运用上述工程地质知识；
- (4) 一般地了解取得工程地质资料的工作方法、手段及成果要求。

第一章 岩石和土

概 述

地球是太阳系九大行星之一，它绕太阳公转并绕本身的轴自转。地球的形状被称为旋转椭球体，赤道半径约 6 378 km 极地半径约 6 365 km 平均半径约 6 371 km。地球的表面积约 5 亿 km²，其中陆地占 29.3% 海洋占 70.7%。地球的体积约 1 万亿 km³。根据地球物理测量资料分析，地球内部具有分层的构造特点，可称为地球内部圈层构造（图 1-1），从地心到地表可分为地核、地幔和地壳三个圈层。地心至地表以下 2 900 km 为地核，主要由铁、镍等金属物质组成，推测地核中压力可达 36×10^4 MPa，温度约 3 000°C ~ 5 000°C 密度为 16 ~ 18 g/cm³ 地表以下 33 ~ 2 900 km 之间为地幔，也称中间层，主要由铁、镁硅酸盐物质组成 压力由几千 MPa 到 14 万 MPa，温度为 1 500°C ~ 3 000°C，密度为 3.32 ~ 5.66 g/cm³；地壳是指地球表面由岩石组成的一层坚硬壳体。地壳厚度各处不同，大陆地壳较厚，我国西藏高原地区地壳厚达 70 ~ 80 km，洋底地壳较薄，太平洋西部玛利亚纳海沟处地壳仅 5 ~ 6 km，平均地壳厚度为 33 km。人类工程活动都是在地壳表层进行的，一般都不超过 1 km 深，最深的金矿矿井和科研钻孔深度也都在 1 ~ 1.2 km 之内。

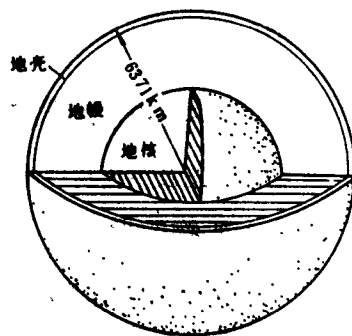


图 1-1 地球内部圈层构造

地壳是由岩石组成的 岩石是由矿物组成的 矿物则是由各种化合物或化学元素组成的。地壳中已发现的化学元素有 90 多种，但它们在地壳中的含量和分布很不均衡，其中 氧、硅、铝、铁、钙、钠、钾、镁、钛和氢十种元素按质量占元素总质量的 99.96%，而氧、硅、铝三元素就占 82.96%（表 1-1）。这些元素在地壳中多以化合物状态出现 少数以单质元素状态存在。

表 1-1 地壳主要元素质量百分比

元 素	质量比 (%)	元 素	质量比 (%)
氧 (O)	46.95	钠 (Na)	2.78
硅 (Si)	27.88	钾 (K)	2.58
铝 (Al)	8.13	镁 (Mg)	2.06
铁 (Fe)	5.17	钛 (Ti)	0.62
钙 (Ca)	3.65	氢 (H)	0.14

注：本表引自 Scientific American, 1970

矿物是天然生成的、具有一定物理性质和一定化学成分的物质，是组成地壳的基本物质单位。多种矿物由化合物构成，例如石英（ SiO_2 ）、方解石（ CaCO_3 ）和正长石[$\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$]等；少数矿物由单质元素组成，例如石墨（ C ）和天然硫（ S ）等。

岩石是矿物的天然集合体。矿物在地壳中按一定的规律共生组合在一起，形成由一种或几种矿物组成的天然集合体。主要由一种矿物组成的集合体称为单矿岩，例如由石英组成的石英岩和由方解石组成的石灰岩等；由多种矿物组成的集合体称多矿岩或复矿岩，例如由石英、正长石及少量角闪石、黑云母组成的花岗岩等。按照岩石形成过程的不同，可将地壳中的岩石分为岩浆岩、沉积岩和变质岩三大类型。不同成因类型的岩石具有不同的地质性质，它们也是决定岩石不同工程性质的依据。

第一节 主要造岩矿物

自然界中已发现的矿物约有 3 000 种，其中能够组成岩石的矿物称为造岩矿物。在岩石中经常出现、明显影响岩石性质、对鉴别岩石种类起重要作用的矿物称主要造岩矿物，约有 20 ~ 30 种。

一、矿物的形态及主要物理性质

矿物的形态及主要物理性质是肉眼鉴别矿物的重要依据。

（一）矿物的形态

1. 结晶质矿物与非晶质矿物

绝大多数造岩矿物呈固态，固态矿物中大多数为结晶质，少数为非晶质。

结晶质矿物的内部质点（原子、分子或离子）在三维空间呈有规律的周期性排列，形成空间结晶格子构造。因此，在一定条件下，每种结晶质矿物都具有固定的规则几何外形，这就是矿物的固有形态特征。例如，岩盐（ NaCl ）的立方晶体格架（图 1-2）。具有良好固有形态的晶体称自形晶或单晶体。在自然界中，这种自形晶较少见到，因为在晶体生长过程中，受生长速度和周围自由空间环境的限制，晶体发育不良，形成了不规则的外形，称为他形晶，而岩石中的造岩矿物多为粒状他形晶体的集合体。

非晶质矿物的内部质点排列没有规律性，故不具有规则的几何外形。非晶质矿物有玻璃质和胶体质两类。前者是高温熔融体迅速冷凝而成，如火山喷出的岩浆迅速冷凝而成的黑曜岩中的矿物；后者是由胶体溶液沉淀或干涸凝固而成，如硅质胶体溶液沉淀凝聚而成的蛋白石（ $\text{SiO} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ）。

2. 矿物的形态

常见的单晶体矿物形态有：

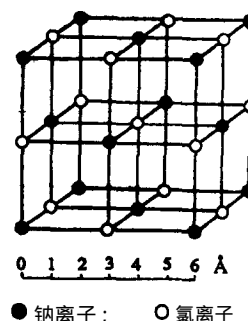


图 1-2 岩盐的立方晶体格架

片状、鳞片状——如云母、绿泥石等；
板状——如斜长石、板状石膏等；
柱状——如长柱状的角闪石和短柱状的辉石等；
立方体状——如岩盐、方铅矿、黄铁矿等；
菱面体状——如方解石等；
菱形十二面体状——如石榴子石等。

常见的矿物集合体形态有：

粒状、块状、土状——矿物晶体在空间三个方向上接近等长的他形集合体。当颗粒边界较明显时称粒状，如橄榄石等；若肉眼不易分辨颗粒边界的称块状，如石英等；疏松的块状可称土状，如高岭土等。

鲕状、豆状、葡萄状、肾状——矿物集合体呈具有同心构造的球形。像鱼卵大小的称鲕状，如方解石等；近似黄豆大小的称豆状，如赤铁矿等；不规则的球形体可称葡萄状与肾状；

纤维状——如石棉、纤维石膏等；

钟乳状——如方解石、褐铁矿等。

（二）矿物的光学性质

1. 颜色 矿物的颜色是矿物对光线吸收和反射的物理性能。颜色是由矿物的化学成分和内部结构决定的。例如黄铁矿是铜黄色；橄榄石为橄榄绿色。由于矿物是天然生成的，很容易混入其它杂质，从而改变了矿物固有的颜色。例如纯质石英是无色透明的，当含有不同杂质时可出现乳白、紫红、烟黑等颜色。矿物固有的颜色称自色，可用作鉴别矿物的特征；杂质染出的颜色称他色，不可作为鉴别矿物的依据。

2. 条痕 矿物粉末的颜色称条痕。一般是把矿物在白色无珩瓷板上擦划来观察擦下来的矿物粉末的颜色。大多数浅色矿物的条痕是无色或浅色的，某些深色矿物的条痕与颜色相同，这些矿物的条痕对鉴别矿物无用。只有矿物的条痕与其颜色不同的某些深色矿物才是有用的鉴别矿物的特征。例如角闪石为黑绿色，条痕为淡绿色；辉石为黑色，条痕为浅棕色；黄铁矿为铜黄色，条痕为黑色等。

3. 光泽 矿物表面反射光线的能力称光泽。根据矿物反射光线的强弱程度，矿物光泽可分为下列几种：

（1）金属光泽：反光强烈，光辉闪耀，如方铅矿、黄铁矿等；

（2）半金属光泽 反光较强，如磁铁矿等；

（3）非金属光泽：多数造岩矿物为透明或半透明的，它们的光泽常见的有：

• 金刚光泽——反光较强，如金刚石等；

• 玻璃光泽——近似一般平面玻璃的反光，如石英晶面、长石等；

• 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；

• 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；

• 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；

• 土状光泽——矿物表面反光暗淡，如高岭石等。

4. 透明度 矿物能够被光线穿透的程度。矿物吸收、反射光线的能力愈强，透明度愈

差。根据矿物的透明度可将矿物分为透明的、半透明的和不透明的三大类。例如纯净的石英单晶体和纯净方解石组成的冰洲石为透明矿物；多数造岩矿物为半透明矿物，如一般石英集合体、滑石等；金属矿物则为不透明矿物，如黄铁矿、方铅矿、磁铁矿等。观察矿物透明度应注意同等厚度条件，肉眼观察可在矿物碎片边缘进行。

(三) 矿物的力学性质

1. 硬度 矿物抵抗外力机械刻划和磨擦的能力。目前广泛采用对比摩氏硬度计（表 1-2）中十种已确定硬度的矿物，确定待定矿物硬度的相对硬度法。例如，经过用小刀刻划矿物表面试验，石墨的硬度与滑石接近，可定为 1 度；云母的硬度介于石膏和方解石之间，可定为 2~3 度等。

表 1-2 摩 氏 硬 度 计

硬度(度)	矿 物	硬度(度)	矿 物
1	滑 石	6	长 石
2	石 膏	7	石 英
3	方解石	8	黄 玉
4	萤 石	9	刚 玉
5	磷灰石	10	金 刚 石

2. 劈开(解理) 矿物晶体在外力敲击下，沿一定晶面方向裂开的性能。裂开的晶面一般平行成组出现，称劈开(解理)面。根据劈开发育程度不同，可分为：

(1) 极完全劈开：矿物容易沿一组劈开面裂成薄片，如云母；

(2) 完全劈开：矿物容易沿三组劈开面方向裂成块状或板状，如方解石破裂成菱形六面体；

(3) 中等劈开：矿物沿二组劈开面方向裂成板状或柱状，如长石裂成板状、角闪石为长柱状；

(4) 无劈开 肉眼不易看到劈开面 如橄榄石 或实际上没有劈开面，如单晶体石英等。

3. 断 口 实际上没有劈开面的矿物，在外力敲击下，可沿任意方向发生无规则断裂破碎，其断裂面称为断口。断口形状各异，例如石英的贝壳状断口（图 1-3），其它还有参差状断口、锯齿状断口和平坦状断口等。

(四) 其它特殊性质

少数矿物具有某些特殊的物理化学性质，用以鉴别个别矿物则是简便有效的。例如云母薄片有弹性；绿泥石、滑石薄片有挠性；重晶石比重较大（比重与颗粒密度的关系见本书第一章第五节）方解石上滴稀盐酸剧烈起泡 高岭石遇水软化等。



图 1-3 单晶石英的贝壳状断口

二、主要造岩矿物及其鉴定特征

1. 石英(SiO_2)发育良好的石英单晶为六方锥体(图 1-3),通常为块状或粒状集合体;纯净透明石英晶体称水晶,一般为白、灰白、乳白色,含杂质时呈现紫、红、烟、茶等色;晶面玻璃光泽,断口或集合体油脂光泽;无劈开,断口贝壳状;硬度 7;比重 2.65。

2. 长石 是一大族矿物,包括三个基本类型:钾长石 $[\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)]$ 、钠长石 $[\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)]$ 、钙长石 $[\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)]$ 。钾长石中最常见的是正长石;以不同比例钠长石和钙长石混熔组成各种斜长石。

(1) 正长石:单晶为短柱或厚板状,集合体为粒状或块状;在岩石中常呈肉红、浅黄、浅玫瑰色;有两组完全正交的劈开面,粗糙状断口;劈开面上玻璃光泽;硬度 6;比重 2.54~2.57。

(2) 斜长石 单晶为板状或柱状 集合体粒状 白色或灰白 有两组近正交的劈开面 交角 $86^\circ 24'$ 粗糙状断口 玻璃光泽 硬度 6~6.5;比重 2.61~2.75。

3. 云母 含钾、铁、镁、铝等多种金属阳离子的铝硅酸盐矿物。按所含阳离子不同,主要有白云母和黑云母。

(1) 白云母 $[\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2]$:单晶呈板状、片状,薄片无色透明,有弹性,集合体片状、鳞片状,微细鳞片状集合体称绢云母;集合体浅黄、浅绿、浅灰色;一个方向劈开极完全;玻璃光泽,劈开面珍珠光泽;硬度 2.5~3;比重 2.76~3.12。

(2) 黑云母 $[\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F}, \text{OH})_2]$:形态同白云母;富含铁的为黑云母,黑色;富含镁 $\text{Mg}:\text{Fe} > 2:1$ 的为金云母 金黄色;一个方向劈开极完全 珍珠光泽 硬度 2.5~3;比重 3.02~3.12。

4. 普通角闪石 $[\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe})_4(\text{Al}, \text{Fe})\{(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{11}\}_2(\text{OH})_2]$ 单晶呈长柱或针状,集合体呈粒状或块状;颜色暗绿至黑色;玻璃光泽;有两组完全劈开面(交角为 56° 和 124°) (见图 1-4);硬度 5~6;比重 3.1~3.3。

5. 普通辉石 $[\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6]$ 单晶呈短柱或粒状,集合体块状;黑褐或黑色 玻璃光泽 有两组完全劈开面(交角 87° 和 93°) (见图 1-5);硬度 5.5~6;比重 3.23~3.56。

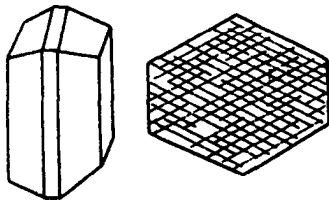


图 1-4 角闪石长柱状单晶及横截面图

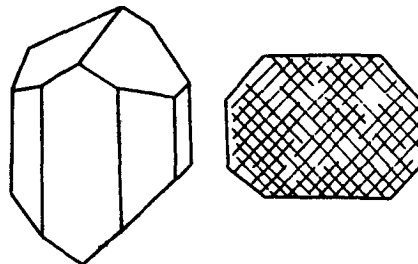


图 1-5 辉石短柱状单晶及横截面图

6. 橄榄石 $[(\text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{SiO}_4)]$ 常呈粒状集合体;浅黄绿至橄榄绿色;晶面玻璃光泽,断口油脂光泽;中等劈开,断口贝壳状;硬度 6.5~7;比重 3.3~3.5;性脆。

7. 方解石 $[\text{CaCO}_3]$ 单晶为菱形六面体,集合体为粒状或块状;无色透明者称冰洲石,

一般为白色、灰色，含杂质者呈浅黄、黄褐、浅蓝色；玻璃光泽；三组完全劈开面；硬度 3；比重 2.6~2.8；滴冷稀盐酸剧烈起泡。

8. 白云石[CaMg(CO₃)₂] 晶粒形态同方解石；纯者白色，含杂质者呈浅黄、灰褐色；玻璃光泽；三组完全劈开面；但劈开面多弯曲不平直；硬度 3.5~4；比重 2.8~2.9；滴热盐酸起泡，滴冷盐酸起泡不明显，滴紫红色镁试剂可变蓝色。

9. 硬石膏[CaSO₄]和石膏[CaSO₄·2H₂O] 硬石膏单晶呈板状、柱状，集合体有粒状、块状；纯者无色透明，一般为白色；玻璃光泽；有三组完全劈开面；硬度 3~3.5；比重 2.8~3.0 硬石膏在大气压下，遇水生成石膏，同时体积膨胀约 30%，对工程建筑有严重危害。

石膏单晶呈板、柱、片状，集合体有纤维状或块状；纯者无色透明，一般为白色，含杂质可为浅黄、灰、褐色；平面反光为玻璃光泽，纤维状反光为丝绸光泽；一组劈开极完全；硬度 2；比重 2.30~2.37。

10. 高岭石[Al₂Si₂O₅(OH)₄] 单晶极小，肉眼不可见，集合体多为土状或块状；纯者白色，含杂质可为浅红、浅黄、浅灰、浅绿色；土状光泽；硬度 1~2；比重 2.58~2.61；干燥块体有粗糙感，易捏成碎末，吸水性强，潮湿时具有可塑性。

11. 黄铁矿[FeS₂] 单晶为立方体，集合体为粒状或块状；铜黄色；条痕黑色；强金属光泽；无劈开；断口参差状；硬度 6~6.5；比重 4.9~5.2。黄铁矿是地壳中分布广泛的硫化物，是制取硫酸的主要原料，岩石中的黄铁矿易氧化分解成铁的氧化物和硫酸，从而对混凝土和钢筋混凝土结构物产生腐蚀作用。

12. 滑石[Mg₃(Si₄O₁₀)(OH)₂] 单晶少见，常为致密块状、片状或鳞片状集合体；纯者白色，含杂质常呈浅黄、浅绿、浅褐色；晶面呈珍珠光泽或玻璃光泽，断口为蜡状光泽；有一组极完全劈开面；硬度 1；比重 2.7~2.8；薄片透明或半透明；薄片无弹性而有挠性；有滑感。

13. 绿泥石[(Mg, Al, Fe)₆{(Si, Al)₄O₁₀}(OH)₈] 绿泥石是一族种类较多的矿物，是很复杂的铝硅酸盐化合物。多呈片状或鳞片状集合体出现在温度不高的热液变质岩中；暗绿色；劈开面上为珍珠光泽；有一组极完全劈开面；硬度 2~2.5；比重 2.60~2.85；薄片有挠性。绿泥石与滑石、云母类矿物的特征有许多相似之处，由这些矿物组成的岩石，工程性质较差。

第二节 岩浆岩

一、岩浆岩的形成过程

(一) 岩浆和岩浆作用

岩浆是存在于上地幔和地壳深处、以硅酸盐为主要成分、富含挥发性物质、处于高温（700℃~1300℃）高压（高达数千 MPa）状态下的熔融体。按岩浆中所含 SiO₂ 数量的多少，可把岩浆分为四种，见表 1-3。

表 1-3 岩浆按 SiO_2 含量分类

岩浆类型	SiO_2 含量 (%)	颜 色	稀 稠	比 重
酸性的	> 65	浅 ↑ ↓ 深	稠 ↑ ↓ 稀	轻 ↑ ↓ 重
中性的	65 ~ 52			
基性的	52 ~ 45			
超基性的	< 45			

地下深处相对平衡状态下的岩浆，受地壳运动影响，就会沿着地壳中薄弱、开裂地带向地表方向活动，岩浆的这种运动称岩浆作用。岩浆上升未达地表，在地壳中冷却凝固，称岩浆侵入作用；若岩浆上升冲出地表，在地面上冷却凝固，则称岩浆喷出作用，也称火山作用。

(二) 岩浆岩及其产状

1. 岩浆岩的形成 在岩浆作用后期，岩浆冷却凝固形成的岩石称岩浆岩。侵入作用形成侵入岩，岩浆冷凝位置离地表深的，形成深成侵入岩；离地表浅的，形成浅成侵入岩。喷出作用形成喷出岩或火山岩。

2. 岩浆岩的产状 指岩浆岩的形态、大小及其与周围岩体间的相互关系。因此，岩浆岩的产状既与岩浆性质密切相关，也受周围岩体及环境的控制。常见岩浆岩产状有以下几种（见图 1-6）：

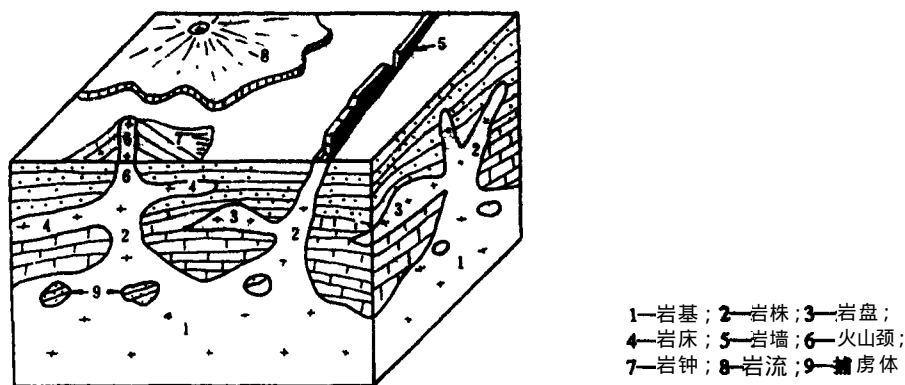


图 1-6 岩浆岩的产状示意图

(1) 岩基和岩株：属深成侵入岩产状。岩基规模最大，基底埋藏深，多为花岗岩；岩株规模次之，形状不规则，宏观呈树枝状；

(2) 岩盘和岩床：属浅成侵入岩产状。岩盘形成透镜体或倒扣的盘子状岩体，多为粘性较大的酸性岩浆形成；岩床形成厚板状岩体，多为粘性较小的基性岩浆形成；

(3) 岩墙和岩脉 属规模较小的浅成侵入岩产状。岩浆沿近垂直的围岩裂隙侵入，形成的岩体称岩墙，长数十米至数千米，宽数米至数十米；岩浆侵入围岩各种断层和裂隙，形成脉状岩体，称脉岩或岩脉，长数厘米至数十米，宽数毫米至数米；

(4) 火山颈：火山喷发时，岩浆在火山口通道里冷凝形成的岩体，呈近直立的不规则圆柱形岩体，属于浅成与喷出之间的产状；

(5) 岩钟和岩流：属喷出岩的产状。岩钟是粘性大的酸性岩浆在喷出火山口后，于火山口周围冷凝而成的钟状或锥状岩体，又称火山锥；岩流是粘性小的基性岩浆在喷出火山口后，迅速向地表较低处流动，边流动边冷凝而成的岩体，它在一定地表范围覆盖一定的厚度，也称岩被。

二、岩浆岩的地质特性

岩石的地质特性简称岩性，包括岩石的结构、构造和矿物成分，它们都是由岩石形成过程所决定，又是鉴定岩石的特征。

岩石的结构指岩石中矿物的结晶程度、晶（颗）粒大小、晶（颗）粒形态及晶（颗）粒之间的相互关系。

岩石的构造指岩石中矿物在空间的排列与充填方式所反映出来的岩石外貌特征。

（一）岩浆岩的结构

常见的岩浆岩结构有：

1. 全晶粒状结构 矿物全部结晶，肉眼可见晶粒，晶粒大小均匀。按晶粒大小又可分为粗粒（大于 5 mm）、中粒（5~1 mm）、细粒（小于 1 mm）。全晶粗粒和全晶中粒为深成岩结构；全晶细粒常为浅成岩结构。

2. 结晶斑状结构 矿物全部结晶，肉眼可见晶粒，晶粒大小不均。大于 5 mm 的斑晶被细小晶粒的基质包围。结晶斑状结构又称似斑状结构，是深成岩结构。

3. 斑状结构 实际上矿物全结晶，但肉眼只能看到粗大斑晶粒（常为大于 5 mm 的石英或长石晶体），而包围斑晶的基质多为肉眼不可分辨的极细小晶粒。这种极细小的、肉眼不可见的晶粒集合体，称隐晶质。因此，斑状结构是斑晶被隐晶质基质包围，是浅成或喷出岩结构。

4. 隐晶质结构 全结晶，晶粒极细小，肉眼不可分辨。是喷出岩结构。

5. 非晶质结构 全部不结晶，是喷出岩的结构。

（二）岩浆岩的构造

常见的岩浆岩构造有：

1. 块状构造 岩石中矿物均匀分布，无定向排列现象，呈均匀的块体。是绝大多数岩浆岩的构造，全部侵入岩都是块状构造，部分喷出岩也是块状构造。

2. 流纹状构造 岩石中柱状、针状矿物、拉长的气孔、不同颜色的条带，相互平行、定向排列，形成流纹状构造。它是喷出岩构造，是酸性喷出岩流纹岩的特有构造。

3. 气孔状构造 岩浆喷出地面迅速冷凝过程中，岩浆中所含气体或挥发性物质从岩浆中逸出后，在岩石中形成的大小不一的气孔，称气孔状构造。它是喷出岩构造。

4. 杏仁状构造 具有气孔状构造的岩石，若后期在其气孔中充填沉淀了某些次生物质（与原岩成分无关）则称杏仁状构造，也是喷出岩构造。

（三）岩浆岩的矿物成分

岩浆岩中最常见的主要矿物有石英、正长石、斜长石、黑云母、角闪石、辉石、橄榄石

等。根据岩石所含主要矿物成分确定岩石类型和名称。主要矿物占岩石中矿物约 90%

三、岩浆岩分类及常见岩浆岩的鉴定特征

(一) 岩浆岩分类

岩浆岩的分类见表 1-4。

表 1-4 岩 浆 岩 分 类

颜 色		浅 ← → 深							
岩 浆 类 型		酸性	本 性		基性	超基性			
SiO ₂ 含 量 (%)		>65	65 ~ 52		52 ~ 45	<45			
成 因 类 型	产 状	次 要 矿 物	主 要 矿 物						
			石 英 正长石 斜长石	正长石 斜长石	角闪石 斜长石	斜长石 辉 石	橄欖石 辉 石		
结 构	造 构	物	云 母	角闪石 黑云母	辉 石 黑云母	橄欖石 角闪石 黑云母	角闪石 斜长石 黑云母		
			角闪石	辉 石 正长石 <5% 石 英 <5%	正长石 <5% 石 英 <5%				
喷 出 岩	岩 钟 流	杏 仁 孔 纹 状	非晶质 (玻璃质)	火山玻璃: 黑曜岩、浮岩等				少见	
			隐晶质 斑 状	流纹岩	粗面岩	安山岩	玄武岩	少见	
侵 入 岩	浅成	岩 床 墙	块 状	斑 状 全晶细粒	花岗斑岩	正长斑岩	闪长玢岩	辉绿岩	少见
	深成			岩 株 基	结晶斑状 全晶中、粗粒	花岗岩	正长岩	闪长岩	辉长岩

(二) 常见岩浆岩的鉴定特征

1. 花岗岩 灰白、肉红色；全晶粒状结构；块状构造；主要矿物为石英、正长石和斜长石，有时含少量黑云母和角闪石。
2. 花岗斑岩 也称斑状花岗岩，一般为灰红、浅红色；似斑状结构，斑晶多为石英或正长石粗大晶粒，基质多为细小石英和长石晶粒；块状构造；矿物成分与花岗岩相同。
3. 流纹岩 多浅红、浅灰或灰紫色；隐晶质结构，常含少量石英细小晶粒；流纹状构造，常见有被拉长的细小气孔。
4. 正长岩 浅灰或肉红色；全晶粒状结构；块状构造；主要矿物为正长石及斜长石。
5. 正长斑岩 颜色与矿物成分与正长岩相同；斑状结构，斑晶多为粗大正长石晶粒，基质为微晶或隐晶长石晶体；块状构造。
6. 粗面岩 灰色或浅红色；斑状或隐晶质结构；块状构造；断裂面多粗糙不平而得名。
7. 闪长岩 灰色或灰绿色；全晶粒状构造；块状构造；主要矿物成分为角闪石和斜长石。

8. 闪长玢岩 灰绿、灰褐色；斑状结构，斑晶主要是板状白色斜长石粗大晶粒，基质为黑绿色隐晶质 块状构造；矿物成分同闪长岩。

9. 安山岩 有灰、棕、绿等色；隐晶质结构；块状构造；矿物成分同闪长岩。

10. 辉长岩 深灰、黑绿至黑色；全晶粒状结构；块状构造；主要矿物为斜长石及辉石。

11. 辉绿岩 多灰绿至黑绿色；隐晶质结构，或称“辉绿结构”，指辉石微小晶体充填于长石微小晶体空隙中；块状构造；矿物成分同辉长岩。

12. 玄武岩 灰黑、黑绿至黑色；隐晶质结构；块状、气孔状、杏仁状构造；矿物成分同辉长岩。

13. 橄榄岩 橄榄绿或黄绿色；全晶粒状结构；块状构造；主要矿物为橄榄石和少量辉石。

14. 辉岩 灰黑、黑绿至黑色；全晶粒状结构；块状构造；主要矿物为辉石和少量橄榄石。

15. 黑曜岩 浅红、灰褐及黑色；几乎全部为玻璃质组成的非晶质结构；块状构造或流纹状构造。

16. 浮岩 灰白、灰黄色；为岩浆中泡沫物质在地表迅速冷凝而生成，非晶质结构；气孔状构造。

第三节 沉积岩

一、沉积岩的形成过程

沉积岩是地球表面最多见的岩石，从体积上看，沉积岩只占地壳岩石总体积的 7.9%，但从分布面积看，沉积岩却占陆地总面积的 75%。

沉积岩是在地表或接近地表的常温、常压条件下，由原岩（早期形成的岩浆岩、沉积岩和变质岩）经过下述四个作用过程而形成的。

（一）原岩风化破碎作用

原岩经过风化作用（详见本章第五节），成为各种松散破碎物质，被称为松散沉积物，它们是构成新的沉积岩的主要物质来源。此外，在特定环境和条件下，大量生物遗体堆积而成的物质也是沉积物的一部分。风化破碎物质可分为三类：一是大小不等的岩石或矿物碎屑，称碎屑沉积物，大者体积可达 10 m^3 的岩石巨块 小者粒度仅为 $0.075 \sim 0.005\text{ mm}$ 的粉状颗粒；二是颗粒粒径小于 0.005 mm 的粘土粒，称粘土沉积物；三是以离子或胶体分子形式存在于水中的化学成分，例如 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等溶于水中，形成真溶液；而 Al 、 Fe 、 Si 等元素的氧化物、氢氧化物难溶于水，它们的细小分子质点分散到水中，形成胶体溶液。这两种溶液中的化学成分统称为化学沉积物。

（二）沉积物的搬运作用

原岩风化破碎产物除少部分残留在原地外，大部分都要被搬运一定距离。搬运的动力有流水、风力、重力和冰川等。搬运方式则有机械（物理）式和化学式：

1. 机械式搬运 主要搬运对象是碎屑和粘土沉积物。以风力或流水搬运为例，在运动过程中，又有三种不同运动方式：悬浮、跳跃和滚动，根据沉积物大小、重量与搬运力大小来决定。沉积物在搬运过程中，相互碰撞和磨蚀，沉积物原有棱角逐渐消失，成为卵圆或滚圆形。碎块、颗粒圆滑的程度称磨圆度，搬运距离愈长磨圆度愈高。

2. 化学式搬运 以真溶液或胶体溶液方式的搬运，主要搬运化学沉积物。这种搬运方式可以搬运很远距离 直至进入海洋。

（三）沉积物的沉积作用

1. 碎屑和粘土沉积物的沉积 当搬运动力（例如流水）逐渐减小时，被搬运的沉积物按其大小、形状和比重不同，先后停止搬运而沉积下来。大的比小的先沉积、球状比片状的先沉积、重的比轻的先沉积。在同一地段上的沉积物，其颗粒大小均匀程度称分选性，大小均匀的分选性好，大小悬殊的分选性差。

2. 化学沉积物的沉积 真溶液中离子的沉淀和重新结晶与溶液中的 pH 值、温度和压力等许多因素有关，但最终取决于溶液的溶解度和离子浓度相互之间的关系，浓度超过溶解度时，多余的离子就会重新结晶析出而沉淀。

胶体物质的重新凝聚和沉积，主要由于带正电荷的正胶体物质（如 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 等）与带负电荷的负胶体物体（如 SiO_2 、 MnO_2 等）相遇，电价中和而凝聚；此外，胶体溶液逐渐脱水干燥 也会使其中的胶体物质凝聚沉积。

（四）成岩作用

松散沉积物经过下述四种成岩作用中的一种或几种作用后，形成新的坚硬、完整的岩石——沉积岩。

1. 压固脱水作用 沉积物不断沉积，厚度逐渐加大。先沉积在下面的沉积物，承受着上覆愈来愈厚的新沉积物及水体的巨大压力，使下部沉积物孔隙减小、水分排出、密度增大，最后形成致密坚硬的岩石，称为压固脱水作用。

2. 胶结作用 各种松散的碎屑沉积物被不同的胶结物胶结而成坚固完整的岩石。最常见的胶结物有硅质、钙质、铁质和泥质的。

3. 重新结晶作用 非晶质胶体溶液陈化脱水转化为结晶物质；溶液中微小晶体在一定条件下能长成粗大晶体。这两种现象都可称为重新结晶作用，从而形成隐晶或细晶的沉积岩。

4. 新矿物的生成 沉积物在向沉积岩的转化过程中，除了体积、密度上的变化外，同时还生成与新环境相适应的稳定矿物，例如方解石、燧石、白云石、粘土矿物等新的沉积岩矿物。

由以上沉积岩形成过程可知，沉积岩的产状均为层状。

二、沉积岩的地质特性

（一）沉积岩的结构

沉积岩结构常见的有三种：

1. 碎屑状结构 由碎屑物质和胶结物组成的一种结构。按碎屑大小又可细分为：

(1) 砾状结构：碎屑颗粒粒径大于 2 mm。根据碎屑形状，磨圆度差的称角砾状，磨圆度好的称圆砾状或砾状；

(2) 砂状结构 颗粒粒径为 2~0.005 mm。2~0.5 mm 为粗砂结构；0.5~0.25 mm 为中砂结构；0.25~0.075 mm 为细砂结构；0.075~0.005 mm 为粉砂结构。

2. 泥状结构 粒径小于 0.005 mm 的粘土颗粒形成的结构。

3. 化学结构和生物化学结构 离子或胶体物质从溶液中沉淀或凝聚出来时，经结晶或重新结晶作用形成的是化学结构。化学结构中常见的有结晶粒状（包括显晶和隐晶两种）结构和同生砾状结构（包括豆状、鲕状、竹叶状等）。生物化学结构是由生物遗体及其碎片组成的化学结构。例如贝壳状、珊瑚状等结构。

(二) 沉积岩的构造

1. 层理构造及块状构造

野外观察沉积岩都是成层产出的，但从厚层沉积岩中打回的小块手标本上不一定都能看到明显的层理。

在地质特性上与相邻层不同的沉积层称为一个岩层。岩层可以是一个单层，也可以是一组层。层理是指一个岩层中大小、形状、成分和颜色不同的层交替时显示出来的纹理。分隔不同岩层的界面称层面，层面标志着沉积作用的短暂停顿或间断。因此，岩体中的层面往往成为其软弱面。上、下层面之间的一个岩层，在一定范围内，生成条件基本一致。它可以帮助我们确定该岩层的沉积环境，划分地层层序，进行不同地区岩层层位对比。上、下层面间垂直距离是该岩层厚度。岩层厚度划分为以下五种：巨厚层 > 1.0 m；厚层 1~0.5 m；中厚层 0.5~0.1 m；薄层 0.1~0.001 m；微层（纹层）< 0.001 m。夹在两厚层中间的薄层称夹层。若夹层顺层延伸不远一侧渐薄至消失，称尖灭；两侧尖灭称透镜体。

由于沉积环境和条件不同，有下列几种层理构造形态（见图 1-7、1-8、1-9）：

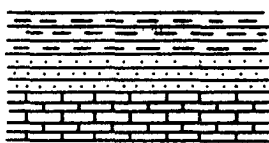
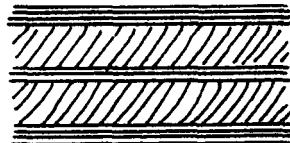
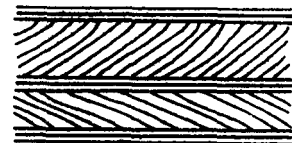


图 1-7 水平层理

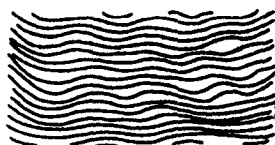


(a) 单斜层理



(b) 交错层理

图 1-8 斜交层理



(a) 平行波状层理



(b) 斜交波状层理

图 1-9 波状层理

(1) 水平层理：层理与层面平行，层理面平直，是在稳定和流速很低的水中沉积而成；

(2) 斜交层理：又可分为单斜层理和交错层理，不同的层理面与层面斜交成一定角度。

单斜层理是沉积物单向运动时受流水或风的推力而形成的；交错层理则是由于流体运动方向交替变换而形成的；

(3) 波状层理：层理面呈波状起伏，其总方向与层面大致平行。又可分为平行波状层理和斜交波状层理。波状层理是在流体发生波动情况下形成的。

在室内鉴定手标本时，当标本是采自厚层均质沉积岩中的一小块时，肉眼不能分辨其层理，此时可称为块状构造。碎屑岩和化学岩中的手标本，非层理构造，即块状构造。而粘土岩中的层理构造另名为页理构造。

2. 层面构造、结核及化石

(1) 层面构造：在沉积岩岩层面上往往保留有反映沉积岩形成时流体运动、自然条件变化遗留下来的痕迹，称层面构造。常见的层面构造有：波痕、雨痕、泥裂等。风或流水在未固结的沉积物表面上运动留下的痕迹，岩石固化后保留在岩层面上，称为波痕（图 1-10）雨痕和雹痕是沉积物层面受雨、雹打击留下的痕迹，固结石化后而形成。粘土沉积物层面失水干缩开裂，裂缝中常被后来泥砂充填，粘土固结成岩后在粘土岩层面上保留下来称泥裂。

(2) 结核：沉积岩中常含有与该沉积岩成分不同的圆球状或不规则形状的无机物包裹体，称结核。通常是沉积物或岩石中某些成分，在地下水活动与交代作用下的结果。常见的结核有碳酸盐、硅质、磷酸盐质、锰质及石膏质结核。

(3) 化石：埋藏在沉积物中的古代生物遗体或遗迹，随沉积物成岩也石化成岩石一部分，但其形态却保留下来称为化石。化石是沉积岩特有的构造特征，是研究地质发展历史和划分地质年代的重要依据（见本书第二章第六节）。

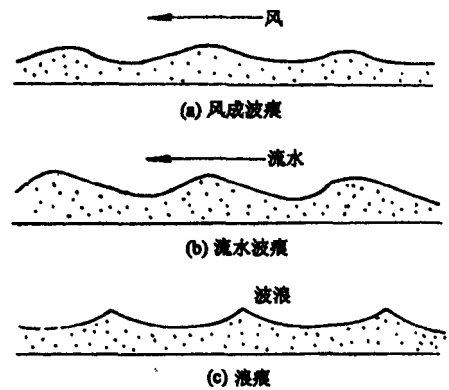


图 1-10 层面波痕

(三) 沉积岩的矿物成分

经过沉积岩四个形成作用过程后原岩中许多矿物已风化分解消失，只有石英、长石等少数矿物在岩屑或砂粒中保存下来，在粒径较大的砾岩和角砾岩碎屑中，也可见到原岩碎屑。

在沉积物向沉积岩转化过程中除了体积上的变化外同时也生成了与新环境相适应的稳定矿物。在沉积岩形成过程中产生的新矿物有方解石、白云石、黄铁矿、海绿石、粘土矿物、磷灰石、石膏、重晶石、蛋白石和燧石等这些新矿物被称为沉积矿物是沉积岩中最常见的矿物成分。

三、沉积岩分类及常见沉积岩的鉴定特征

(一) 沉积岩分类

沉积岩的分类见表 1-5。

表 1-5 沉 积 岩 分 类

分类	岩石名称	结 构		构 造	矿 物 成 分	
碎 屑 岩	角砾岩	砾状 结构 (> 2 mm)	角砾状结构 (> 2 mm)	层 理 或 块 状	砾石成分为原岩碎屑成分	
	砾 岩		砾状结构 (> 2 mm)			
	粗砂岩	砂 状 结 构 (2 ~ 0.005 mm)	粗砂状结构 (2 ~ 0.5 mm)		砂粒成分： ① 石英砂岩：石英占 95% 以上 ② 长石砂岩：长石占 25% 以上 ③ 杂砂岩：含石英、长石及多 量暗色矿物	
	中砂岩		中砂状结构 (0.5 ~ 0.25 mm)			
	细砂岩		细砂状结构 (0.25 ~ 0.075 mm)			
	粉砂岩		粉砂状结构 (0.075 ~ 0.005 mm)			
粘 土 岩	页 岩	泥状结构 (< 0.005 mm)		页理 块状	颗粒成分为粘土矿物，并含其它硅质、钙质、 铁质、碳质等成分	
	泥 岩					
化 学 岩 及 生 物 化 学 岩	石灰岩	化学结构 及 生物化学结构		层 理 或 块 状 或 生 物 状	方解石为主	
	白云岩				白云石为主	
	泥灰岩				方解石、粘土矿物	
	硅质岩				燧石、蛋白石	
	石膏岩				石膏	
	岩 盐				NaCl、KCl 等	
	有机岩				煤、油页岩等含碳、碳氢化合物的成分	

需要对火山碎屑岩类岩石作一说明，这是一类由火山喷发的碎屑和火山灰在就地或经过一定距离搬运后沉积、胶结而成的岩石。火山碎屑岩根据碎屑大小可分为火山集块岩（碎屑直径大于 100 mm）、火山角砾岩（碎屑直径 100 ~ 2 mm）和火山凝灰岩（碎屑直径小于 2 mm）。火山碎屑岩的胶结物可以是一般的沉积岩的胶结物，也可以是火山喷出的岩浆。若胶结物为正常沉积物，则形成的火山碎屑岩分别称为层火山集块岩、层火山角砾岩和层火山凝灰岩；若胶结物为喷出岩浆，则分别称为熔火山集块岩、熔火山角砾岩和熔火山凝灰岩；若两种胶结物均有，则把“层”及“熔”字去掉。由于火山碎屑岩类是介于岩浆岩与沉积岩之间的过渡性岩石，故未列入岩浆岩或沉积岩分类之中。

（二）常见沉积岩的鉴定特征

1. 碎屑岩类 碎屑岩由碎屑和胶结物两部分组成。一般确定碎屑岩名称也分两部分，前边是胶结物成分，后边是碎屑的大小和形状。碎屑岩的构造（层理或块状构造）一般不含在岩石名称之内）。

(1) 角砾岩和砾岩 碎屑粒径大于 2 mm 以上, 棱角明显者为角砾岩; 磨圆度较好者为砾岩。前边加上胶结物, 例如可定名为硅质角砾岩、硅质砾岩, 铁质钙质角砾岩、铁质钙质砾岩等。

(2) 砂岩: 按分类表中砂状结构的粒径大小, 砂岩可分为粗、中、细、粉四种。前边加上胶结物, 例如可定名为硅质粗砂岩、钙质泥质中砂岩、铁质细砂岩、泥质粉砂岩等。有时, 在砂岩定名中还加上砂粒成分的内容, 例如长石砂岩、石英砂岩、杂砂岩等。还需要说明的是, 天然沉积的砂粒, 其粒径虽有一定分选性, 但仍然难免大小粒径混杂在一起。例如中砂粒径范围是 0.5 ~ 0.25 mm, 只要在该砂岩中, 中砂粒含量超过全部砂粒 50% 以上即可定为中砂岩。

碎屑岩中的胶结物的成分和胶结方式, 对碎屑岩的工程性质有重要影响。它们的手标本鉴定特征见表 1-6。

表 1-6 胶结物鉴定特征

胶结物类型	主要鉴定特征			
	颜色	硬度	点稀盐酸	其它
硅质	灰白、灰黑	6~7		
钙质	灰白、灰黄	3	剧烈起泡	
铁质	灰红、铁锈	4~5		
碳质	黑色	2~3		污染手指
泥质	红、灰、黑色	1		遇水软化

胶结方式有三种:

基底式胶结 碎屑颗粒之间互不接触, 散布于胶结物中。这种胶结方式胶结紧密, 岩石强度由胶结物成分控制, 硅质最强, 铁质、钙质次之, 碳质较弱, 泥质最差;

孔隙式胶结 颗粒之间接触, 胶结物充满于颗粒间孔隙。这是一种最常见的胶结方式, 它的工程性质受颗粒成分、形状及胶结物成分影响, 变化较大。

接触式胶结 颗粒之间接触, 胶结物只在颗粒接触处才有, 而颗粒孔隙中未被胶结物充满。这种胶结方式最差, 强度低、孔隙度大、透水性强。

2. 粘土岩类泥状结构; 颗粒成分为粘土矿物, 常含其它化学成分: 硅、钙、铁、碳等; 页理构造发育的称页岩, 块状构造的称泥岩。

3. 化学岩及生物化学岩 化学结构及生物化学结构; 手标本观察其构造可为层理或块状; 矿物成分是该类岩石定名的主要依据。常见岩石有:

(1) 石灰岩: 主要矿物为方解石, 有时含少量白云石或粉砂粒、粘土矿物等。纯石灰岩浅灰白色, 含杂质后可为灰黑至黑色, 硬度 3~4, 性脆, 遇稀盐酸剧烈起泡。普通化学结构的称普通石灰岩; 同生砾状结构的有豆状石灰岩、鲕状石灰岩和竹叶状石灰岩; 生物化学结构的有介壳状石灰岩、珊瑚石灰岩等;

(2) 白云岩: 主要矿物为白云石, 有时含少量方解石和其它杂质。白云岩一般比石灰岩颜色稍浅, 多灰白色; 硬度 4~4.5; 遇冷盐酸不易起泡, 滴镁试剂由紫变蓝;