第十章　地壳中的矿物与岩石

§10.1　地壳中的矿物

矿物是单个元素或若干个元素在一定地质条件下形成的具有特定理化性质的化合物，是构成岩石的基本单元。矿物多数是在地壳（地球）物理化学条件下形成的无机晶质固体，也有少数呈非晶质和胶体。自有人类以来人们就开始了对矿物的认识和利用，人类有了文字就有了对矿物认识的记载。矿物学作为一门独立的学科已有近三个世纪的历史了，20 世纪 20 年代以来在矿物学研究中逐步引入了现代科学技术的研究手段和方法，使矿物学进入了由表及里、由宏观到微观的研究层次，开始了矿物成分、结构与物理性质、开发应用综合研究的新阶段。

§10.1.1 矿物的基本化学组成(basic chemical composition of mineral)

一、矿物化学组成(mineral chemical composition)

自然界中每种矿物都有一定的化学成份，根据它们的化学组成大致可以分为以下几种类型。

（1）单质矿物

仅由一种元素组成的矿物。如自然的金属元素 A_u、A_g、C_u 等；自然的非金属元素，硫磺、石墨、金刚石等。

（2）化合物

由两种或两种以上的元素组成的矿物。化合物的种类很多，主要有硫化物、卤化物、氧化物、氢氧化物、含氧盐类。

（3）含水化合物

矿物中的水除了普通水 H_2O 外，还包括 H^+、OH^-、H_3O^+ 等水的形式。矿物中的水常以不同的方式存在于矿物中，最主要的形式有胶体水、结晶水、结构水。

二、晶质与非晶质（crystalloid and amorphous）

（1）晶质与晶质体

晶质是指矿物内部的质点（分子、离子、原子）在空间上规则地进行排列，形成具有平

移对称的晶体格架（图 96）。晶质体则是具有晶质的内部结构的矿物实体。

（2）非晶质与非晶质体

非晶质是指矿物内部的质点（分子、离子、原子）在空间上排列不规则，不具有平移对称。晶质体则是具有非晶质的内部结构的矿物实体。

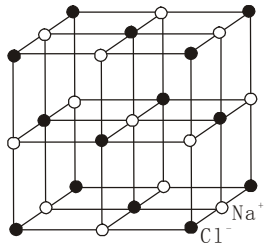


图 96　食盐内部结构

Figure 96　Interior structure of salt

三、晶体外形（crystalloid figuration）

晶质体与非晶质体都具有相对稳定的外部形态特征，突出的特点是具有与内部结构相协调的外部几何对称性。完整的晶质体外为一封闭的几何多面体。它是由一个或多个几何单形组成的。根据对称操作推导出的几何单形共有 47 种。

晶体外部平坦面称为晶面，晶面上常见晶体生长中交替生长不同单形而造成的晶面纹饰。由两个晶面相交组成晶棱，由三个晶面相交构成一个顶角。

§10.1.2 同质多象与类质同象（polymorphism and isomorphism）

一、 同质多象（polymorphism）

同质多象是指具有同样的化学组成，而在自然界中以不同物理特性的两种或两种以上的矿物形式出现的现象。这些具有相同的组成，而物理性质不同的矿物则称为同质多象变体。如 C 元素在自然界中有石墨和金刚石两种同质多象变体。常温下用石墨材料人工合成金刚石需要 5MPa。

同质多象变体之间物理特性的差异，主要受地质作用环境或条件的影响与控制。因此，同质多象变体，尤其是同质多象变体间的转变条件的研究对于恢复地质作用环境具有十分重要的意义。

二、类质同象（isomorphism）

同种矿物在成分上并不是固定的，引起矿物成分变化的原因包括类质同象代换、杂质与机械混入物等，其中类质同象代换是引起矿物成分变化的主要原因。

类质同象是指具有不同的化学组成，而拥有相同的晶质结构的现象。类质同象发生在晶质体矿物中，其中一些质点的位置被另外的质点所替代，但原有的晶体格架并没有遭到破坏。按照质点之间代换比例的大小，类质同象分为不完全的类质同象和完全的类质同象，按代换离子的多少分为单离子之间的代换与多离子之间的代换。前者如闪锌矿，其中 Fe 代换 Zn 一般不超过 20%；后者如斜长石中的钠长石与钙长石之间的类质同象代换。类质同象代换要求代换质点之间大小相近、电荷性质相同、电荷数量相等。

类质同象现象的发生与地质作用过程中的环境有密切的关系。当矿物结晶过程中，溶液中缺少某种离子时，化学性质相近的离子就取代它而占据相应的质点位置。因此，类质同象现象是地质作用过程中地球化学环境的指示。

从以上可见，矿物结构实际上成了矿物种确定的最核心的依据。

§10.1.3 矿物的主要物理特性（main physical characteristics of mineral）

一、光学特性（optics characteristics）

（1）颜色

矿物的颜色由矿物对入射光的反映呈现出来。一般来说矿物的颜色是矿物对入射光吸收色的补色。实际上，矿物的颜色取决于矿物对入射光反射、透射、吸收量的多少。当矿物对入射光全吸收时，矿物表现为黑体；当矿物全透射时，矿物表现为透明物体；当矿物全反射时，矿物为白色。当矿物选择性吸收时，矿物的颜色为吸收色的补色。

矿物由于具有一定的物质组成，因而，颜色比较固定，这种由矿物的基本组成所表现出来的颜色称为矿物的自色。当矿物中混入其它物质时，形成的颜色称为他色，他色与混入物的多少有关。当矿物的颜色与成分无关，而受表面氧化膜的影响，或与矿物发育的解理有关时，则称这种颜色为假色。

（2）条痕

条痕色指矿物经过在不涂釉的瓷板上擦划，在瓷板上留下的矿物粉粒的颜色。一般要求矿物的硬度小于瓷板的硬度。少数矿物的条痕色与其颜色不一致，如赤铁矿的颜色为暗棕色，但其条痕色为樱红色。赤铁矿在自然界中有两种同质多象变体，一是赤铁矿，二是镜铁，两者的外貌特征有很大的区别，但其条痕色者为樱红色，所以通过条痕色可以确定两者在成分上的一致性。

（3）光泽

光泽是矿物表面对入射光所射的总光量。根据光泽有无金属感，将光泽分为金属光泽与非金属光泽。非金属光泽中按光泽的强、弱分为金刚光泽与半金刚光泽，其它非金属光泽又按不同的光泽特点分不同的类型。如玻璃光泽、珍珠光泽、脂肪光泽、腊状光泽等。总之，矿物光泽特性既与矿物组成和结构有关，又与矿物表面特征有关。

（4）透明度

透明度与矿物对矿物透射光的多少有关。一般肉眼鉴别矿物是选取矿物边缘较薄的地方，能看到对面物体时，说明矿物是透明的，不能看到对面物体则是不透明的。

二、力学性质(mechanics characteristics)

（1）硬度

矿物的硬度是指矿物的坚硬程度。目前有两种监别矿物硬度的方法。

一种称为相对硬度方法，也称为摩氏硬度法。即采用标准矿物的硬度对未知矿物进行相对硬度的监别。摩氏硬度中选取十种矿物作为标准矿物，将矿物分为 10 级，称为摩氏硬度计。这十种矿物硬度由 1 级到 10 级的顺序是：①滑石，②石膏，③方解石，④磷灰石，⑤萤石，⑥正长石，⑦石英，⑧黄玉，⑨刚玉，⑩金刚石。

（2）解理与断口

矿物受力后产生破裂出现的没有一定方向的不规则的断开面，谓之断口（图 99）。当晶质体矿物受力断开时，出现一系列平行的、平整的裂面时，称为解理。断口出现的程度跟解理的完善程度相互消长，解理程度越低的矿物越容易形成断口。因此，断口具有了非晶质体的基本含义。解理与晶质体内质点间距有明显的关系，解理常出现在质点密度较大的方向上。

（3）延展性

矿物的延展性，也可以称为矿物的韧性。其特征是表现为矿物能被成长丝和辗成薄片的特性。这是自然金属元属具有的基本特性。

§10.1.4 重要矿物（fundamental minerals）

自然界矿物约三千多种，重要矿物包括具有工业、经济价值的矿物，一般指工业产品的原矿物，以具有商业价值的宝石矿物，同时哪些比较稀缺的矿物对一个国家和地区来讲也是重要的。从学科本身来讲，最基本的也是最重要的矿物是哪些在各种岩石中经常出现的所谓造岩矿物。在火成岩及变质岩中，主要造岩矿物通常由暗色矿物和浅色矿物组成，主要的暗色矿物包括橄榄石、辉石、角闪石和黑云母，主要的浅色矿物包括正长石、斜长石、白云母和石英。在沉积岩中，主要的造岩矿物一部分是从母岩中继承下来的，包括正长石、斜长石、石英、白云母，另一部分则是沉积过程中形成的，象铁矿、锰矿和铝土，以及方解石、白云石、石膏等。以下针对这类矿物的矿物学特征进行简要的介绍。

一、自然元素矿物（natural element minerals）

这类矿物较少，其中包括人们所熟知的矿物，如金、铂、自然铜、硫磺、金刚石、石墨等。这里只介绍石墨和金刚石。

（1）石墨 C。通常为鳞片状、片状或块状集合体。铁黑色或钢灰色，条痕为黑灰色，晶体良好者具强金属光泽，块状体光泽暗淡，不透明。有一组极完全解理，硬度 1-2。薄片具挠性。比重 2.09-2.23。具滑腻感，高度导电性，耐高温（熔点高）。化学性稳定，不溶于酸。



红宝石（刚玉）



黄铁矿



金刚石



水晶（晶簇）

图 97　晶体外形

Figure 97　Crystal shape



玛　瑙



肾状赤铁矿



葡萄状孔雀石

图 98　矿物的集合体形态

Figure 98　Aggregation configuration of mineral

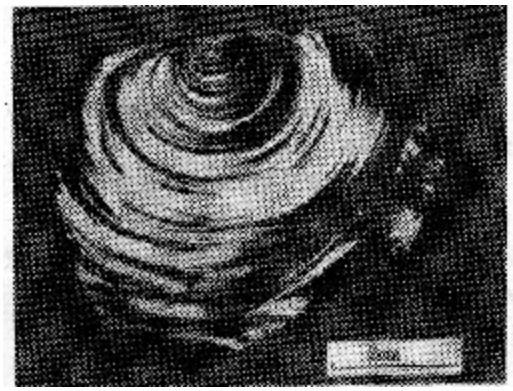


图 99　黑曜岩贝壳状断口

Figure 99　Conchoidal fracture of obsidian

鉴定特征：钢灰色，染手染纸，滑腻感。

石墨多在高温低压下的还原作用中形成，见于变质岩中；一部分由煤炭变质而成；石墨也常见于陨石中。石墨可制坩埚、电极、铅笔、防锈涂料、熔铸模型以及在原子能工业中用作减速剂。我国主要的石墨产地由山东、黑龙江、内蒙古、吉林、湖南等省（区）。

（2）金刚石 C。晶体类似球形的八面体或六八面体。无色透明，含杂质者黑色（黑金刚），强金刚光泽，硬度 10。解理完全，性脆。比重 3.47-3.56。紫外线下发萤光。具高度的抗酸碱性和抗辐射性。

鉴定特征：最大硬度和强金刚光泽。

金刚石多产于一种叫金伯利岩的超基性岩中。含金刚石岩石风化后可形成砂矿。

透明金刚石琢磨后称钻石。不纯金刚石用于钻探研磨等方面。目前，金刚石还用于红外、微波、激光、三极管、高灵敏度温度计等各种尖端技术方面。

非洲扎伊尔和南非金伯利为著名金刚石产地，产量居世界之冠。我国的山东、辽宁、湖南省沅水流域、贵州、西藏都发现了原生金刚石和金刚石砂矿。

二、硫化物类矿物（sulfide mineraloid）

本类是金属元素与硫的化合物，大约 200 多种，Cu、Pb、Mo、Zn、As、Sb、Hg 等金属矿床多有此类矿物富集而称，具有很大的经济价值。

（1）方铅矿 PbS。　晶体常为六面体或六面体与八面体的聚形；一般呈致密块状或粒状集合体。铅灰色，条痕黑灰色，金属光泽，不透明。硬度 2.5-2.75，三组立方解理完全，性脆。比重 7.4-7.6。

鉴定特征：铅灰色，硬度低，比重大，可以碎成立方小块。

方铅矿为最重要的铅矿石，因其中常含银，也是重要的炼银矿石。我国方铅矿产地甚多，湖南常宁县水口山为知名产地。近年在云南兰坪、广东凡口、青海锡铁山等地发现特大型铅锌矿床，其储量已跃居世界前列。

（2）闪锌矿 ZnS。一般多为致密块状或粒状集合体。浅黄黄褐到铁黑色（视含 Fe 多少而定），条痕较矿物色浅，成浅黄或浅褐色。金刚光泽（新鲜解理面）、半金属光泽（深色闪锌矿）或稍具松脂光泽（浅色闪锌矿）。半透明（浅色者）到不透明（深色者）。硬度 3.5-4。六组完全解理，性脆。比重 3.9-4.1。

鉴定特征：颜色不太固定，但条痕经常比颜色浅（浅黄褐色），稍具松脂光泽，棱角或碎块透光，多向完全解理。

闪锌矿为最重要的锌矿石，其中常含有镉 Cd、铟 In、镓 Ga 等类质同像混入物，是有价值的稀有元素。闪锌矿常与方锌矿共生。我国产地以云南金顶、广东凡口、青海锡铁山最著名。

（3）黄铁矿 FeS_2。经常发育成良好的晶体，有六面体、八面体、五角十二面体及其聚形。六面体晶面上有与棱平行的条纹，各晶面上的条纹互相垂直。有时呈块状，粒状集合体或结核状。浅黄（铜黄）色，条痕黑色（常微绿），强金属光泽，不透明。硬度 6-6.5（硫化物中硬度最大的一种），无解理，性脆。比重 4.9-5.2。在地表条件下易风化为褐铁矿。

鉴定特征：完好晶体，浅黄色，条痕黑色，较大的硬度（小刀刻不动）。

黄铁矿是在硫化物中分布最广泛的矿物，在各类岩石中都可出现，黄铁矿是制取硫酸的主要原料。我国黄铁矿（亦称硫铁矿）分布很广，广东英德、安徽马鞍山、甘肃白银厂、内蒙古等都有产出，今年在广东云浮探明有特大型矿床。我国硫铁矿居世界前列。

三、氧化物及氢氧化物类矿物（oxide and hydroxide mineraloid）

本类矿物分布相当广泛，共约 180 多种，包括重要的造盐矿物如石英及 Fe、Al、Mn、Cr、Ti、Sn、U、Th 等的氧化物或氢氧化物，是铁、铝、锰、铬、钛、锡、铀、钍等矿石的重要来源，经济价值很大。

（1）赤铁矿 Fe_2O_3。赤铁矿包括两类：一类为镜铁矿，晶体多为板状、页片状、鳞片状及块状集合体。钢灰色至铁黑色，条痕樱红色，金属光泽，不透明。硬度 2.5-6.5，性脆。比重 5.0-5.3，无磁性。

另一类为沉积型赤铁矿，常呈鲕状、肾状、块状或粉末状。暗红色，条痕樱红色，半金属或暗淡光泽，硬度较小。

鉴定特征：镜铁矿常以板状、鳞片状集合体、钢灰颜色及樱红色条痕为特征。沉积磁铁

矿常以鲕状、肾壮等形态、暗红颜色及樱红色条痕为特征。

镜铁矿主要产与接触变质带，沉积型赤铁矿主要产于沉积岩中。赤铁矿为最重要的铁矿石之一。赤铁矿粉可用作红色涂料和制红色铅笔。我国赤铁矿产地甚多，辽宁鞍山、甘肃镜铁山、湖北大冶、湖南宁乡、河北宣化和龙关等地都是著名的产地。我国各类铁矿资源居世界前列。

（2）磁铁矿 Fe_3O_4 或 $FeO{\cdot}Fe_2O_3$。晶体常为小八面体，有时为菱形十二面体，通常呈粒状或块状集合体。铁黑色，条痕黑色，金属或半金属光泽，不透明。硬度 5.5-6。解理不清楚，性脆。比重 4.9-5.2。具有强磁性。

鉴定特征：铁黑色，条痕黑色，强磁性。

磁铁矿主要在还原条件下形成，多产于与岩浆活动或变质作用有关的矿床和岩石中。磁铁矿是最重要的铁矿石之一。我国产地甚多。磁铁矿中的 Fe^{3+} 可以为 Ti^{4+}、Cr^{3+}、V^{3+} 等所代替（类质同像代替），当含 V、Ti 较多时，则称钒钛磁铁矿。如我国四川攀枝花即为大型钒钛磁铁矿基地。

（3）褐铁矿 $FeO（OH）{\cdot}nH_2O$。褐铁矿是许多氢氧化铁和含水氧化铁等隐晶矿物和胶体矿物（针铁矿、纤铁矿及其他杂质）集合体的总称。成分不纯，水的含量变化也很大，一般呈致密块状、粉末状或呈钟乳状、葡萄状等。黄褐、黑褐以至黑色，条痕黄褐色（铁锈色），半金属或土状光泽，不透明。硬度 4-5.5，风化后小于 2，可染手。比重 2.7-4.3。

鉴定特征：颜色由铁黑至黄褐，但条痕比较固定，为黄褐色。

褐铁矿多为含铁胶体溶液在地质时代的湖海沉积而成，或者是含铁矿物的风化产物。褐铁矿为一种炼铁矿石，也可以用做褐色颜料。

（4）软锰矿 MnO_2。通常为隐晶块体，或呈粉末状，煤黑色（或带微红微褐），条痕黑色（或带褐色），隐晶块体为半金属光泽，粉末状者为土状光泽，不透明。硬度 2-3。比重 4.7-5.0。

鉴定特征：黑色煤烟灰状，性软易污手。

软锰矿主要是风化带次生矿物，或在地质时代浅海中沉积而成。软锰矿是重要的锰矿石。我国湖南、广西、四川、辽宁等地锰矿床中均有大量软锰矿产出。

（5）铝土矿 $Al_2O_3{\cdot}nH_2O$（一般式，但它不是一种单独矿物）。铝土矿是由若干铝的氢氧化物矿物（如三水铝石 $Al[OH]_3$、硬水铝石 AlO[OH]、软水铝石 Al[OH]）所组成的混合物，经常含有高岭土、铁矿等杂质。具有工业价值的铝土矿一般要求其中 Al_2O_3>40%，Al_2O_3/SiO_2>2:1。铝土矿多呈致密块状、鲕状、豆状等产出，白、灰、黄、褐等色，土状光

泽，硬度 3 左右，比重 2.5-3.5。

鉴定特征：外表似粘土岩，但硬度较高，比重较大，没有年型、可塑性及滑腻感。

铝土矿主要是在湿热气候条件下由岩石风化在原地或经搬运沉积而成。铝土矿是炼铝的主要矿石，我国分布广泛，在华北东北地区大凡有石炭二叠纪煤系分布的地方往往有铝土矿（如河北开滦、山东淄博、河南平顶山、辽宁本溪等），南方云、贵、闽诸省亦有铝土矿。我国铝土矿储藏量居世界前列，但多数硅铝比值较低，冶炼比较困难。

（6）石英 SiO_2。石英有多种同质多像变体。最常见的石英晶体为六方柱及菱面体的聚形，柱面上有明显的横纹。在岩石中石英常为无晶形的粒状，在晶洞中常形成晶簇，在石英脉中常为致密块状。无色透明的晶体称为水井，另外还有含有杂质而带颜色的紫水晶（含锰）、烟水晶（含有机质）、蔷薇石英（又叫芙蓉石，含铁锰）等。具典型的玻璃光泽，透明至半透明，硬度 7，无解理，贝壳状断口，性硬，比重 2.5-2.8。

另外还有由二氧化硅胶体沉积而成的隐晶质狂舞，白色、灰白色者称玉髓（或称石髓、髓玉），白、灰、红等不同颜色组成的同心层状或平行条带状者称玛瑙，不纯净、红绿各色称碧玉，黑、灰各色者称燧石。此类矿务具脂肪或腊状光泽，半透明，贝壳状断口。

此外还有一种硬度稍低、具珍珠、腊状光泽、含有水分的矿物，称蛋白石（$SiO_2 \cdot nH_2O$）。石英类矿物化学性质稳定，不溶于酸（氢氟酸除外）。

鉴定特征：六方柱及晶面横纹，典型的玻璃光泽，很大的硬度（小刀不能刻划），无解理。隐晶质各类具明显的脂肪光泽。

石英石自然界几乎随处可见的矿物，在地壳中含量仅次于长石，占地壳重量的 12.6%。它使许多岩石的重要造岩矿物。含石英的岩石风化后形成石英砂粒，遍布各地。石英用途很广，可用制光学器皿，精密仪器的轴承，钟表的钻石等;石英砂可用作研磨材料、玻璃及陶瓷等工业的原料；质纯透明、无裂隙、无双晶和包裹体的石英晶体，大小为 $2\times2\times2cm^3$ 时，可作压电石英片和光学材料。广泛应用于雷达、导航、遥控、遥测、电子、电讯设备等方面。

四、含氧盐类矿物（oxysalt mineraloid）

本大类是金属元素与各种含氧酸根（如 SiO_4、CO_3、SO_4、NO_3……等）的化合物，种类繁多，数量很大。

（1）硅酸盐类矿物

本类矿物有 800 多种，约占已知矿物的 1/3；按重量算，约占地壳总重量的 3/4。硅酸盐矿物是构成地壳的最主要的造岩矿物，某些非金属矿物原料（如滑石、石棉、云母等）以及某些稀有金属也来源于硅酸盐类。颜色多不固定，硬度除个别矿物一般较大。

①正长石 $K[AlSi_3O_8]$或 $K_2O{\cdot}Al_2O_3{\cdot}6SiO_2$。又名钾长石，晶体为板状或短柱状，在岩石中常为晶形不完全的短柱状颗粒。肉红、浅黄、浅黄白色，玻璃或珍珠光泽，半透明。硬度 6，有两组解理直交（正长石因此得名），比重 2.56-2.58。

鉴定特征：肉红、黄白等色，短柱状晶体，完全解理，硬度较大（小刀刻不动）。

正长石是花岗岩类岩石及某些变质岩的重要造岩矿物，容易风化成为高岭土等。正长石是陶瓷及玻璃工业的重要原料。

②斜长石 $\left.\begin{matrix}Na[AlSi_3O_8](Na_2O\cdot Al_2O_3\cdot 6SiO_2\\Ca[Al_2Si_2O_8](CaO\cdot Al_2O_3\cdot 2SiO_2\end{matrix}\right\}$类质同像系列。斜长石是由钠长石和钙长石所组成的类质同像混合物，根据两种组分的比例斜长石又可粗略地分为：

酸性斜长石—钙长石组分含量占 0-30%

中性斜长石—钙长石组分含量占 30-70%

基性斜长石—钙长石组分含量占 70-100%

细柱状或板状晶体，在晶面或解理面上可见到细而平行的双晶纹；在岩石中多为板状、细柱状颗粒。白至灰色，或浅蓝、浅绿，玻璃光泽，半透明。硬度 6-6.5，两组解理斜交（86^0 左右，斜长石因此得名）。比重 2.60-2.76。

鉴定特征：细柱状或板状，白到灰白，解理面上具双晶纹，小刀刻不动。

斜长石类矿物见于岩浆岩、变质岩和沉积岩中，分布最广。斜长石比正长石更易风化分解成高岭土、铝土等。斜长石中钠长石是陶瓷和玻璃工业的原料。

正长石、斜长石及其变种，统称长石类矿物。斜长石与正长石的物理性质相似，但也具有一定区别（表 27）。

③橄榄石（Mg，Fe）$_2[SiO_4]$。晶体扁柱状，在岩石中呈分散颗粒或粒状集合体。橄榄绿色，玻璃光泽，透明至半透明。硬度 6.5-7。解理中等或不清楚。性脆。比重 3.3-3.5。鉴定特征：橄榄绿色，玻璃光泽，硬度高。

橄榄石为岩浆中早期结晶的矿物，是基性和超基性火成岩的重要造岩矿物，不与石英共生。橄榄石在地表条件下极易风化变成蛇纹石。

④普通辉石（Ca，Na）(Mg，Fe，Al)[(Si，Al)$_2O_6$]。晶体短柱状，横剖面近八变形；在岩石中常为分散粒状或粒状集合体。绿黑至黑色，条痕浅灰绿色，玻璃光泽（风化面暗淡），近不透明。硬度 5-6，两组解理近直交。比重 3.23-3.52。

鉴定特征：绿黑或黑色，近八边形短柱状，解理近直交。

普通辉石为火成岩（特别是基性岩、超基性岩）的重要造岩矿物，在地表易风化分解。

表 27　正长石及斜长石肉眼鉴定对比

Table 27　Comparison of orthoclase and plagioclase identified by naked eye

矿物	正长石	斜长石
晶体形状	常呈粗短柱状，粒状	常呈板片状，板条状或长柱状
双晶纹	面上无双晶纹，有时在同一断面上可见有反光程度不同的两部分（卡氏双晶）	解理面有平行细小的聚片双晶纹
颜色	肉红到白色	白到灰色，偶见红色
光泽	解理面常带珍珠光泽	玻璃光泽至珍珠光泽
硬度	6	6-6.5
产状	常产于酸性火成岩中，与石英、黑云母等共生	常产于基性、中性火成岩中，与辉石、角闪石等共生
染色实验	将小块正长石置于 HF 酸中浸蚀 1-3 分钟，再在 60%的亚硝酸钴钠浸液中浸蚀 5-10 分钟，用水冲洗显柠檬黄色	按左法，不染色或呈浅灰色

⑤普通角闪石 $Ca_2Na(Mg，Fe)_4（Al，Fe）[(Si，Al)_4O_{11}]_2[OH]_2$。晶体多为长柱状，横剖面近六边菱形；在岩石中多呈分散柱状、粒状及其集合体。绿黑至黑色，条痕灰绿色，玻璃光泽（风化面暗淡），近不透明。硬度 5-6，两组解理相交呈 124^0。比重 3.1-3.4。

鉴定特征：绿黑色，长柱状（横剖面菱形）晶体，相交呈 124^0 的解理，小刀不易刻划。

普通角闪石是火成岩（特别是中性、酸性岩）的重要造岩矿物，有时见于变质岩中，在地表易风化分解。普通角闪石与普通辉石极相似，其区别如表 28 所示。

表 28 普通辉石和普通角闪石异同比较

Table 28　Similarities and differences of augite and hornblende

异同	性质	普通辉石	普通角闪石
相同点	颜　色	绿黑至黑色	绿黑至黑色
	光　泽	玻璃（风化后暗淡）	玻璃（风化后暗淡）
	硬　度	5—6	5—6
不同点	晶　形	多为短柱状	多为长柱状
	横 剖 面	多为近于方形的八边形	多为近于菱形的六边形
	柱面角及解理角	87^0（93^0）	124^0（56^0）
	分　布	基性及超基性岩中最多	中性及酸性岩中最多

⑥云母。假六方柱状或板状晶体；通常呈片状或鳞片状。玻璃及珍珠光泽，透明或半透明。硬度 2-3，单向最完全解理，薄片有弹性。比重 2.7-3.1。具高度不导电性。常见种类有：白云母 $KAl_2[AlSi_3O_{10}][OH]_2$-无色及白、浅灰绿等色。呈细小鳞片状、具丝绢光泽的异种称为绢云母；金云母 $KMg_3[AlSi_3O_{10}][OH]_2$-金黄褐色，常具半金属光泽。多见于火成岩与石灰岩的接触带；黑云母 $K(Mg，Fe)_3[AlSi_3O_{10}][OH]_2$-黑褐至黑色，较白云母易风化分解。

鉴定特征：单向最完全解理，硬度低，有弹性。

云母是重要的造岩矿物，分布广泛，占地壳重量的 3.8%。白云母和金云母为电器、电子等工业部门的重要绝缘材料。我国内蒙古丰镇、川西丹巴、新疆等地有较大型云母矿床。

⑦绿泥石。成分复杂，是一组层状结构硅酸盐矿物的总称，最常见的为富含镁铁质的绿泥石（$(Mg，Fe)_5Al[AlSi_3O_{10}][OH]_8$。常呈页片状、鳞片状集合体。浅绿至深绿色，珍珠或脂肪光泽，透明至半透明。硬度 2-2.5，单向最完全解理，薄片具有挠性。比重 2.6-2.85。

鉴定特征：绿泥石与云母极相似，但前者具特有的绿色，有挠性而无弹性。

绿泥石为某些变质岩的造岩矿物。火成岩中的镁铁矿（如黑云母、角闪石、辉石等）在低温热水作用下易形成绿泥石。

⑧蛇纹石和石棉 $Mg_2[Si_4O_{10}][OH]_8$。完整晶体少见，一般呈致密块状、层片状或纤维状集合体。浅黄至深绿色，常有斑状色纹，有时为浅黄色或近于白色，条痕白色，脂肪或腊状光泽，半透明。硬度 2.5-3.5。比重 2.5-2.65，稍具滑感。

鉴定特征：黄绿等色，中等硬度，脂肪光泽。

蛇纹石主要是由含镁矿物，如橄榄石等在风化带或热水溶液作用下变质而成。此外，白云岩等与花岗岩等接触，受热水溶液作用，也经常变成蛇纹石。

蛇纹石的纤维状变种称温石棉，是石棉的异种。具典型的丝绢光泽。我国石棉产地很多，其中以青海芒崖、四川石棉县为最著名；陕西等省也有优质石棉矿。

⑨滑石 $Mg_3[Si_4O_{10}][OH]_2$。一般为致密块状或叶片状集合体。白、浅绿、粉红等色，条痕白色，脂肪或珍珠光泽，半透明。硬度 1-1.5，单向最完全解理，薄片有挠性。比重 2.7-2.8，有滑腻感。化学性稳定。

鉴定特征：浅色，性软（指甲可刻划），具滑腻感。

自然界还有一种与滑石极相似的矿物叫叶腊石 $Al_2[Si_4O_{10}][OH]_2$，福建寿山、浙江青田等为著名产地。

滑石为典型的热液变质矿物。橄榄石、白云母等在热水溶液作用下可以产生滑石，常与菱镁矿等共生：

滑石是耐火、耐酸、绝缘材料，在橡胶和造纸工业中也用作填料。我国滑石储量丰富，辽宁盖平大石桥至海城一带及山东掖县、蓬莱等地为知名产地。

⑩石榴子石。石榴子石成分多种多样，最常见的为铁铝石榴子石 $Fe_3Al_2[SiO_4]_3$ 及钙铁石榴子石 $Ca_3Fe_2[SiO_4]_3$。晶体发育良好，呈菱形十二面体、四角三八面体，或两者的聚形，形如石榴子，普通在变质岩中呈分散粒状和粒状集合体。呈深红、红褐、棕、绿、黑等色，玻璃及脂肪（断口）光泽，半透明。硬度 6.5-7.5，无解理，性脆。比重 3.5-4.3。化学性稳定，不易风化。

鉴定特征：晶体良好，颜色较深，硬度很高，比重较大。

石榴子石是重要的变质矿物，常见于变质岩中，有的产于火成岩中。硬度较大，化学性稳定。岩石风化后可形成石榴子石砂。石榴子石可作研磨材料（金刚砂），透明美丽者可作宝石。

（2）碳酸盐类

方解石 $CaCO_3$。晶体常为菱面体，集合体常呈块状、粒状、鲕状、钟乳状及晶簇等。无色透明者称冰洲石，具显著的重折射现象；一般为乳白色，或黑、灰等色，玻璃光泽。硬度 3，三组解理完全。比重 2.71。与稀盐酸产生气泡。

$$CaCO_3+2HCl \rightarrow CaCl_2+H_2O+CO_2\uparrow$$

鉴定特征：锤击成菱形碎块（方解石因此得名），小刀易刻动，遇 HCl 起泡。

方解石主要是由 $CaCO_3$ 溶液沉淀或生物遗体沉积而成，为石灰岩的重要造岩矿物；在泉水出口可以析出 $CaCO_3$ 沉淀物，疏松多孔，呈石灰华；在低温条件下，可以形成另一种同质多像体，常呈纤维状、柱状、晶簇状、钟乳状等，称为文石（或称霰石）。冰洲石是重要的光学仪器材料。

（3）硫酸盐

石膏 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$。晶体常为近菱形板状，有时呈燕尾双晶；一般成纤维状、粒状等集合体。无色透明，或白、浅灰等色，晶面玻璃光泽，纤维状者具丝绢光泽、硬度 2，一组最完全解理，薄片有挠性。比重 2.3。加热失水变为熟石膏。

透明晶体集合体称透石膏；纤维状集合体称纤维石膏；粒状集合体称雪花石膏。

鉴定特征：一组最完全解理，可撕成薄片，或纤维状、粒状；硬度低，指甲可以刻动。

石膏主要是干燥气候条件下湖海中的化学沉积物，属于蒸发盐类，可用于水泥、模型、医药、光学仪器等方面。我国石膏产地遍及 20 余省，湖北应城、湖南湘潭、山西平陆、内蒙古鄂托克旗等皆产石膏，储量在世界上名列前茅。

（4）磷酸盐

磷灰石 $Ca_5[PO_4]_3[F, Cl]$。晶体常呈六方柱状，或以微小晶粒散布于各种火成岩中，有时呈块状、粒状集合体或结核状。绿、白、灰、褐等色，条痕白色，晶面玻璃光泽，断口油脂光泽，半透明至微透明。硬度 5，解理不完全。比重 3.17-3.23，加热发磷光。

鉴定特征：磷灰石晶体一起六方柱状及标准硬度，容易判别。此矿物的胶体变种称胶磷灰石，其矿石称胶磷矿，并常与方解石、粘土等形成混合物，称磷块岩，外观变化极大，必须采取化学方法鉴定：用少许矿物粉末与稍多的钼酸铵粉末共研，然后加一滴 HNO_3，如含磷即呈鲜黄色反应。

磷灰石是提取磷、磷的化合物及制造磷肥的重要原料。江苏、安徽等生产磷矿；解放后在滇东、黔中、黔西、川西、鄂西、详细、河北一带先后找到大磷矿，其中包括云南昆阳、贵州开阳、湖北襄阳、湖南浏阳、四川绵阳等地。

（5）卤化物

①萤石（氟石）CaF_2。晶体为六面体或八面体，或为六面体穿插双晶；一般呈具明显解理的致密块状。浅绿、浅紫、紫或白色、无色，条痕白色，玻璃光泽，透明至半透明。硬度 4，四组（八面体）解理完全。比重 3.01-3.25 。多向完全解理（相交常呈三角形）。

萤石常呈矿脉产出，与石英、方解石、方铅矿等共生。萤石在冶金工业上用作助熔剂，也是制造氢氟酸的原料，还用于搪瓷、玻璃、光学仪器以及火箭燃料、原子能工业等方面。我国萤石储量居于世界前列，主要产于浙江、湖南、福建等省，其中以浙江金华、义乌等县为最著名。

②石盐 NaCl 和钾石盐 KCl。晶体为六面体；多呈粒状或块状。无色透明或浅灰等色，玻璃光泽。硬度 2-2.5，三组立方解理完全。石盐比重 2.1-2.6，钾石盐比重 1.97-1.99。易溶于水。

鉴定特征：试验和钾石盐性质相似，但前者味咸，后者味苦咸且涩；必要时可做焰色试验，前者为黄色，后者为紫色。

二者皆为地质时代或现代干燥气候条件下内陆湖盆或封闭海盆中化学沉淀产物，属于蒸发盐类。石盐除供食用外，是重要的化工原料；钾盐为制造钾肥的重要原料。我国盐类矿产资源丰富，除石盐外，尚有海盐、湖盐、池盐、井盐等。柴达木盆地的察尔汗盐湖是我国最大的盐湖，储量达 250 亿 t（整个柴达木盆地可达 500 亿 t），其中含钾石盐 1 亿多吨，是我国最大的钾盐矿。

§10.2 岩浆活动与火成岩

§10.2.1 岩浆及其形成（magma and formation）

岩浆，源于拉丁文 magma，指一种粘稠状的物质。它是一种在地下深处形成的、高温的、富含挥发组分的硅酸盐熔体。

由岩浆形成的岩石称为岩浆岩。岩浆岩中的主要氧化物是 SiO_2，根据 SiO_2 含量，岩浆岩分为超基性岩、基性岩、中性岩和酸性岩四大类。其中超基性岩中的 SiO_2 含量＜45%，酸性岩中的 SiO_2 含量在 65%以上。尽管岩浆岩与岩浆在成分上存在一定的判别，但为了叙述的方便，我们将岩浆也采用与岩浆岩对应的类别名称。

根据穿过地球内部的地震波曲线，科学家推断，地球的外核处于熔融状态，其它部分基本上为固体状态。在上地幔存在一地震波低速带，此带由于岩石中放射性元素脱变产生的热能的积累导致了岩石具有很高的塑性，并在局部的地带上岩石被熔化了。大陆地震反射剖面的研究也证实了在陆壳内部也同样存在地震波波速降低的地段。因此从目前的认识来看，岩浆的来源深度从地壳深处直到上地幔。

岩浆的成分取决于以下几方面的因素：一是岩浆源区的岩石组成；二是熔融程度，岩浆源区的熔融程度被概括为部分熔融和全部熔融，对同样的源区岩石组成而言，由于岩石成分的复杂性以及不同成分之间熔融条件的差异性，使岩石在一定的环境条件下出现不同程度的熔融，而不同的熔融程度直接造成了不同的岩浆类型；三是岩浆活动与就位的深度。

§10.2.2 岩浆活动与岩浆作用（magma activity and magmatism）

一、岩浆活动（magma activity）

（1）岩浆的喷出活动

地下形成的岩浆由于其密度小于周围岩石的密度，必然会在重力作用下向上运动。构造力的作用以及上覆岩石中裂隙的存在往往是导致岩浆上升的构造条件。

岩浆喷出活动依不同的岩浆组成和喷发通道存在不同的特点。不同的岩浆组成常造成不同的喷发强烈程度，岩浆的粘性是影响岩浆喷发强烈程度的基本物理特性，基本因素包括岩浆中的 S_iO_2 含量、挥发气体含量，以及岩浆的温度、压力等。一般将岩浆喷发强烈程度分为培雷式（爆烈式）、威苏维式、夏威夷式（宁静式）三种基本类型，喷发强烈的火山活动往往含有大量的挥发气体，熔融物质十分粘稠，喷发物中除了由熔融体冷却形成的熔岩外，还有大量的喷发时形成的岩石碎屑物，它们有来自熔浆中的火山集块（火山弹），更多的是来

自火山颈周围的岩石破裂形成的火山角砾和火山灰物质(图 99)。

火山喷发按通道分为中心式喷发和裂隙式喷发两种。中心式喷发的岩浆通道只有一个，火山喷发物分布在火山口的周围。裂隙式喷发的岩浆通道有多个，这些通道分布在地壳裂隙上的不同地段，属于此种喷发型式的岩浆中的 S_iO_2 含量偏低，属于宁静式喷发，喷发物流动性较大，在地表的覆盖面也较广。

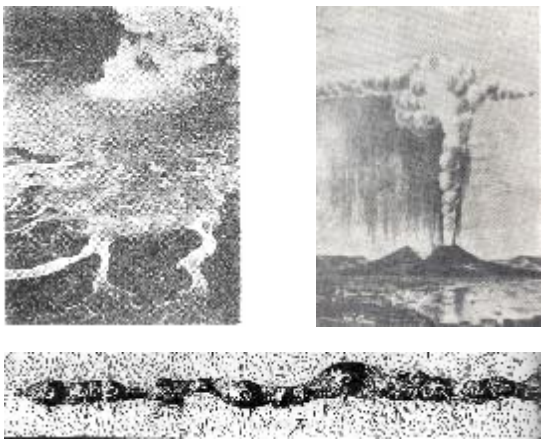


图 99　火山喷发、喷发物及喷发类型

Figure 99　Volcanic eruption，eruption matter and types

（2）岩浆的侵入活动

岩浆的侵入活动是指地下岩浆在向浅部移动的过程中没有到达地表，而停留在地下的某一深处，相对周围的岩石来说形成一种侵入状态，侵入活动按岩浆的就位深度分为浅成侵入活动和深成侵入活动两类基本状态。通常将岩浆的就位深度在地表以下 3km 以内，称为浅成侵入；深成侵入的岩浆就位深度一般在地表以下 7km 以下。不同的岩浆侵入深度，由于环境温度和压力的不同，对岩浆冷凝过程中的岩浆演化具有重要的意义，并直接影响到岩石中的矿物组合及岩石的结构构造。

二、 岩浆作用（magmatism）

岩浆作用是指岩浆活动过程中所发生的一系列变化及产生的地质、环境现象。

（1）喷出作用

岩浆的喷出作用（erupt action）主要包括火山地震、火山堆积和大气污染。

火山地震是在火山喷发过程中形成的地震。一般来讲，火山地震具有震源深度浅、震动范围小的特点。

火山堆积是由火山活动形成的喷发物堆积而成。当岩流阻塞河流时，常形成堰塞湖，我国牡丹江上游的镜泊湖就属于此种情况。

火山活动常形成大量的挥发气体和大量的火山灰物质，这些喷发物进入高空后会弥漫到大气当中，造成大气污染。一旦火山喷发物进入大气圈平流层时，便向全球扩散，会减少太阳光在地表的辐射量，并可危及地表生物。

（2）侵入作用

岩浆的侵入作用（intrude action）包括岩浆自身的分异作用、熔离作用、交代作用以及对周围岩石的烘烤作用、交代作用和混合作用。

就岩浆自身的演化而言，伴随着岩浆温度的降低，会出现物质成分的分异。根据鲍温所做的天然岩石熔化后的冷却实验表明，岩浆冷却过程中造岩矿物结晶存在一定的顺序（从高温到低温岩浆结晶过程包括两个并行的演化系列，即浅色矿物斜长石的连续固溶体反应系列和暗色矿物的不连续反应系列）和共生组合关系。岩浆早期结晶的矿物，象橄榄石、辉石以及铬铁矿等，当它们生长到一定程度后，在重力作用下向岩浆底部集中，谓之结晶重力分异。随着压力的降低，岩浆中的挥发气体向岩浆顶部集中，形成气体分异，这些挥发气体活动时间持续较长，常携带一些矿物质窜入围岩裂隙进入充填或与裂隙周围的岩石交代等成矿物活动。当岩浆中的大多数硅酸盐矿物结晶之后，挥发气体也会反过来交化结晶的矿物或沿裂隙发生充填活动。伴随着岩浆温度和压力的降低，也会使岩浆中的硫化物从中分离出来，这种在熔融状态下发生的岩浆物质分异称为熔离作用，可形成硫化物在岩浆岩中的富集成矿。

当高温的岩浆侵入就位于冷的上部岩石中时，与岩浆周围相接触的相对冷的岩石受到强烈烘烤，一些矿物在岩浆热的作用发生变化；当岩浆成分与围岩成分差别较大时，接触带上的交代作用就相对明显，在岩浆侵入到石灰岩中时，岩浆中的 Si 质就会与石灰岩中的 Ca 质进行交换，谓之蚀变。

深成侵入与浅成侵入有很大的区别。深成侵入情况下，首先是具有高的环境温度和压力，岩浆与围岩之间的温度差较小，矿物结晶具有充分的时间。较大的围限压力使整个岩浆处于相对的封闭状态，气体作用十分明显，并进一步降低了矿物的结晶温度，延长了结晶时间，使矿物长得粗大。

在极深成的情况下，岩浆与围岩相互高度混合，交代作用广泛，这时会产生一种物质成分很均匀的一类岩石，称其为混合岩，相应的作用称混合岩化，它介于岩浆作用与变质作用之间的一种过渡类型。

岩浆作用的动力来源地球内部，属于地球内动力作用。

§10.2.3 喷出岩及其特点（effusive rock and characteristics）

一、喷出岩的主要产状类型（main occurrence types of effusive）

（1）火山锥

由中心式火山喷发物在火山口周围堆积而成的圆锥状地形，即火山锥（volcanic cone）。喷发物可以是熔岩，也可包含不等量的火山碎屑物。许多火山堆由多个喷发旋回构成，形成熔岩与火山碎屑物相间的组合。

（2）岩筒

中心式火山喷发在火山通道的颈孔处形成的岩石，即岩筒（pipe），见于金伯利岩。

（3）岩流

中心式火山喷发，从火山口溢出的熔浆沿地表上的沟谷流动，形成长条形的熔岩带，称岩流(rockflow)，见于玄武岩。

（4）岩被

裂隙式火山喷发中，由多个火山通道向外溢出的熔浆在地表流动、并相互连接，形成面积广大的被状熔岩，称岩被（rockquilt）（图 100），见于玄武岩。

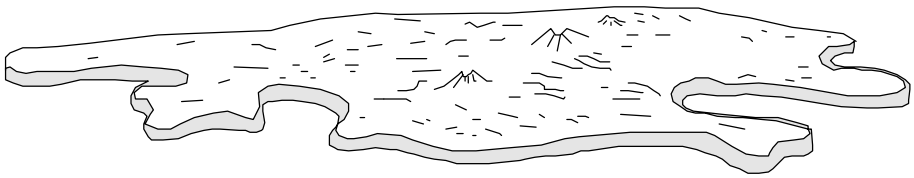


图 100　火山喷发形成的熔岩被

Figure 100　Melted rockquilt caused by volcanic eruption

二、喷出岩的构造（effusive rock structure）

（1）流纹构造

流纹构造（rhyolite structure）是岩浆喷出地表后由于流动而形成的细层状色带，见于流纹岩。

（2）绳状构造

岩流在流动过程中由于前部冷却导致后部熔浆向前堆积，横向上中部流动速度快于两侧而成弧形，称为绳状构造（ropy structure），见于玄武岩。

（3）气孔与杏仁构造

熔浆中残余的挥发气体一直保持到熔岩的形成，并在熔岩中的上部形成圆形或顺层拉长的空洞。熔岩形成后，由地下水携带的 Si 质和 Ca 质充填到气孔后形成气孔与杏仁构造（stoma and amygdaloidal structure）。多见于玄武岩中。

（4）枕状构造

在水底喷发或雨天喷发的情况下，熔浆被迅速冷却，收缩成一个个枕头状的岩块，称枕

状构造（pillow structure）。见于玄武岩中。

（5）柱状节理

岩浆喷出后，在火山口周围冷凝时，形成多个收缩中心，熔岩中出现三组竖直方向的破裂面将岩石切成六方柱形，形成柱状节理（columnar jointing）。见于玄武岩中。

三、喷出岩的结构（effusive rock configuration）

（1）隐晶质结构

岩浆喷出地表后，由于大气温度较低，熔浆快速冷却，结晶程度极差，结晶体用肉眼难以识别，形成隐晶质结构（cryptocrystalline structure）。

（2）非晶质（玻璃质）结构

当熔浆的冷却速度极快时，硅酸盐物质根本来不及结晶，便形成火山玻璃，称玻璃质结构（amorphous structure）。在水下喷发的酸性岩中十分常见。

（3）斑状结构

在玻璃岩或具隐晶质结构的喷出岩中常见一些结晶颗粒较大的矿物晶体，它们与其它部分构成了斑状结构（porphyritic structure），晶质体称为斑晶，其它部分称为基质。

§10.2.4 侵入岩及其特点（intrusive rock and characteristics）

一、侵入岩的主要产状类型（main occurrence types of intrusive rock）

（1）岩基

深成侵入活动形成的岩石体，在后期地壳动和地表剥蚀下出露地表，出露面积在 100km^2 以上，称为岩基（batholith）。岩基形状不规则，与周围岩石接触面关系比较复杂（图 101）。

（2）岩株

深成侵入活动形成的岩石体。可以是岩基的枝叉，或相对独立的岩石体，出露面积在 100km^2 以下的称为岩株（stock）。

（3）岩墙

一种浅成的板状侵入体，近直立产出。系沿围岩中的竖直裂隙侵入形成。岩墙（dike）多见于基性侵入岩，常成群出现，组成岩墙群。

（4）岩脉

一种脉状侵入体，常穿插在岩基当中，称为岩脉（dyke）。

（5）岩床

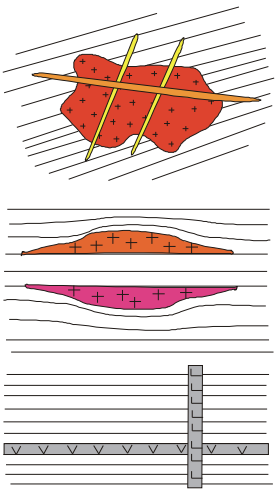


图 101　侵入岩产状

Figure 101 Intrusive rock occurrence

一种产状和缓的厚板状顺层侵入体。一般为基性侵入体，即岩床（bedrock）。

（6）岩盘

一种中部厚、四周薄、底部平的顺层侵入体，即岩盘（floored intrusion）。一般为酸性的岩浆岩。

二、侵入岩的构造（intrusive rock structure）

（1）流动构造

岩浆侵入到一定位置后，仍存在一定的流动性，这样，先结晶出来的片状矿物和柱状矿物就会随着岩浆的流动发生定向，形成流面构造和流线构造，合称流动构造（flow structure）。矿物定向造成了岩石的各向异性，是产生岩石破裂的物质基础。

（2）块状构造

块状构造（massive structure）是指岩石中的矿物成分及分布均匀、各向同性的一种状态。

（3）节理

侵入岩冷凝过程中形成的岩石破裂，可出现在多个方向上，与流动构造之间存在一定的几何关系，即节理（joint）。

三、侵入岩的结构（intrusive rock configuration）

（1）全晶质结构

全晶质结构（holocrystalline structure）是指岩石全部由晶质体矿物组成，原有的熔浆中的硅酸盐物质全部结晶出来。全晶质结构是深成岩的主要结构（图 102）。

（2）等粒结构

在全晶质结构中，若晶质体之间颗粒大小比较均匀时则称为等粒结构（equigranular texture），常见于深成岩中。



图 102 花岗岩全晶质结构

Figure 102 Granite holocrystalline construction

（3）似斑状结构

在全晶质结构中，若晶质体之间的颗粒大小不一致，但又不能明显地分成两大部分，则称为似斑状结构（similar porphyritic texture）。该结构是浅成侵入岩中的典型结构，如似斑状花岗岩。

（4）斑状结构

斑状结构（porphyritic texture）是指岩石中各种大小截然不同的结晶颗粒，大颗粒为斑晶，小颗粒称为基质。


火山喷发实况


蓬莱铜井玄武岩火山颈


火山弹（采自蓬莱迎口山）

图 103　火山活动及其产物

Figure 103　Volcanic activity and its production


玄武岩气孔构造

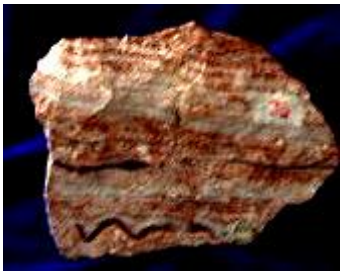

流纹岩中的流纹构造

图 104　火山岩的主要构造现象

Figure 104　Main construction of volcanic rock


安山岩中的细晶结构

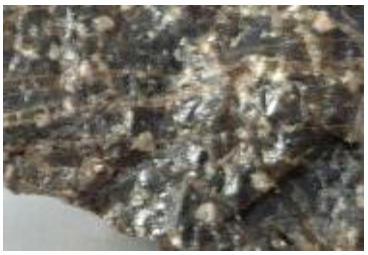
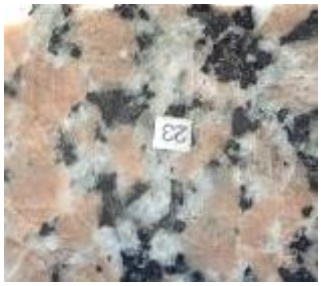
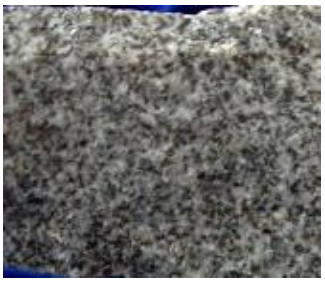

珍珠岩中的斑状结构及玻璃质结构

图 105　火山岩中的典型结构

Figure 105　Typical construction of volcanic rock



花岗岩



辉长岩



纯橄榄岩石

图 106　侵入岩的中粗粒结构及块状构造

Figure 106　Coarse granular texture and massive structure of intrusive rock

§10.3　最主要的火成岩

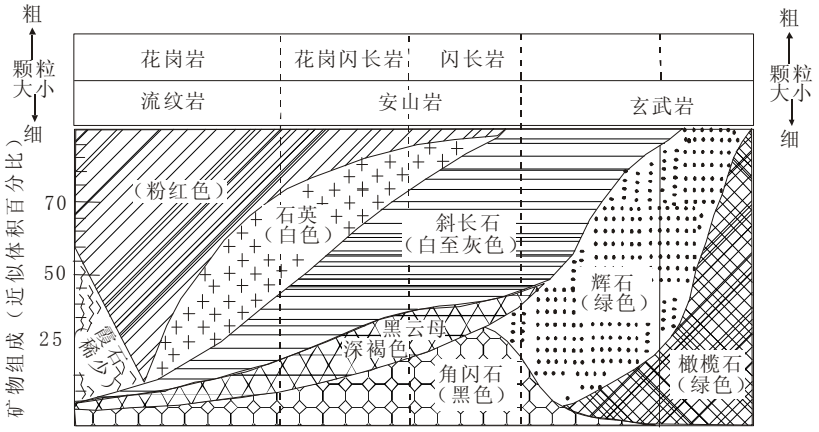


图 107　主要火成岩类型（据刘本培）

Figure 107　Main igneous rock types(according to Liu benpei)

根据岩石中 SO_2 的含量，火成岩可分为超基性岩、基性岩、中性岩和酸性岩等几大类（图 107）。

§10.3.1　超基性岩类（ultrabasic rock）（橄榄岩—金伯利岩类）

本类岩石分布很少。岩石中 SiO_2 含量低，几乎全部由铁镁矿物组成，如橄榄石和辉石，基本无尝试，石英更不可能出现。岩石颜色较深，比重较大（3.2-3.3）。多为小型侵入体或岩筒（柱状岩体）。

一、橄榄岩（peridotite）

主要有橄榄石和辉石组成，多为中、粗粒状结构，部分辉石呈较大斑晶出现。新鲜岩石近于黑绿色或黑色，但在地表条件下橄榄石极易风化变成蛇纹石，使颜色变浅。

如果岩石以橄榄石为主，称纯橄榄岩，呈黄绿色。如果岩石以辉石为主，称辉岩，呈黑色。

二、苦橄玢岩（picrite porphyrite）

以辉石和橄榄石为主，或含少量富钙斜长石，细粒或斑状结构。

三、金伯利岩（kimberlite）

斑状结构，斑晶为橄榄石、金云母、石榴子石等，蛇纹石化显著，偶见辉石；基粒为细粒及隐晶质；常以岩筒（岩颈）、岩脉等形式产出。金刚石常存在于此岩中。我国已在辽宁、山东等省多处发现金伯利岩。

§10.3.2 基性岩类（basic rock）（辉长岩-玄武岩类）

本类岩石在大陆分布广泛，特别是属于喷出岩的玄武岩，相当其他各喷出岩类总量的5倍以上；而在海洋底几乎全部为玄武岩（上覆盖海洋沉积物）。主要矿物为富钙斜长石和辉石，次要矿物有橄榄石和角闪石等，有时含有一定量的磁铁矿，一般具有较强的剩余磁性。岩石颜色较深，比重较大（2.94）。

一、辉长岩（gabbro）

为基性深成岩，主要矿物是富钙斜长石（灰白或暗灰色，板状、粒状）和辉石，还有少量橄榄石和角闪石。岩石颜色为黑色或黑灰色，中、粗等粒结构，块状结构，常以小规模深成岩体产出。

二、辉绿岩（diabase）

是典型的喷出岩，分布最广，是地球洋壳和月球月海的最主要组成物质，也使地球陆壳和月球月陆的重要组成物质。玄武岩一词，引自日文。多呈黑、黑灰等色，风化面黄褐或灰绿色。细粒或隐晶结构，或呈斑状结构，并常有气孔、杏仁等构造。矿物成分同辉长岩。

§10.3.3 中性岩类（Intermediate rock）

本类岩石与基性岩相比，浅色矿物逐渐增多，根据其中长石成分等特点可再分为闪长岩—安山岩类以及正长岩—粗面岩类。

一、闪长岩-安山岩类（diorite-andesite group）

本类岩石分布也较广，与基性岩有一个共同的特点，即喷出岩总量远超过与其成分相当的深成岩。SiO_2含量中等，矿物成分以中性斜长石和角闪石为主，次要矿物有辉石、黑云母等，有时可见少量石英。暗色矿物含量为30%左右，岩石颜色较基性岩稍浅，比重约为2.8。

（1）闪长岩（diorite）。是中性深成岩。主要矿物为中性斜长石和普通角闪石，多为中粒结构、块状构造。基本上无石英；若是应数量为 6-10%时，称石英闪长岩。一般为灰色、灰绿色。闪长岩呈独立岩体者多呈岩株、岩床或岩墙产出，但大部分是和花岗岩或辉长岩呈过渡关系。

（2）闪长玢岩（diorite porphyrite）。是中性浅成岩。具明显斑状结构，基质为细粒或隐晶结构，斑晶为中性斜长石及普通角闪石，偶见黑云母。颜色多为灰及灰绿色。常以岩床、岩墙产出或为闪长岩的边缘相。

（3）安山岩（andesite）。石中性喷出岩的代表岩石，分布之广仅次于玄武岩，主要分布于环太平洋大陆边缘及岛弧地带。安山岩一词来源于南美洲西部的安第斯山名。呈斑状结构，斑晶以中性斜长石及普通角闪石为主，或偶见黑云母及辉石；基质多为隐晶结构。有时斑晶定向排列，有明显流线构造，或具气孔、杏仁构造。新鲜岩石多为灰、灰绿、紫红等色。深色安山岩与玄武岩不易肉眼区分，若斑晶中多含角闪岩或见有黑云母，可定为安山岩。安山岩常以块状熔岩流等产出。

二、正长岩-粗面岩类（syentie-trachyte group）

本类岩石分布较少。SiO_2 含量为 55-65%，浅色矿物主要为钾长石（60-65%）、富钠斜长石（10-15%）；暗色矿物主要为普通角闪石及黑云母（共占 20% 以下），基本不含石英。比重 2.7 左右。这类岩石是介于酸性和中性之间的过渡类型，也是中性到碱性之间的过渡类型，故又称为半碱性岩类。

（1）正长岩（syenite）。属于中性或半碱性深成岩类。主要矿物为钾长石及角闪石、黑云母等。颜色浅淡，一般为肉红色、灰黄色或灰白色。中粒结构，类似花岗岩类。但不见石英颗粒，或微含一点。常以小型岩体产出，有时见于大岩体的边缘部分。

（2）正长斑岩（Orthophyre）。相当于正长岩的浅成岩相，部分为喷出岩相。斑状结构，斑晶以肉红色或淡黄色正长石为主，或有角闪石斑晶；基质致密，多由正长石微晶组成。岩石颜色多为淡红、灰白等色。常以岩脉等产出。

（3）粗面岩（Trachyte）。成分与正长岩相当的喷出岩相。一般为灰白或粉红色。斑状结构，斑晶以正长石为主；基质细粒致密多孔，断口粗糙不平，因此得名。分布不广，多为粗短熔岩流。

§10.3.4 花岗岩-流纹岩类（granite-rhyolite group）

本类岩石无论从体积或面积讲，在火成岩中都居首位。其中分布最广的是花岗岩类（中、基性岩类与此相反，喷出岩分布最广）。SiO_2 含量高，呈过饱和状态，故出现大量石英。在

矿物组成上，浅色矿物石英、钾长石、富钠斜长石等占绝对优势（90%）左右；暗色矿物以黑云母为主，其次为角闪石（约共占 10%左右）。因此岩石颜色浅淡，比重亦略小（2.6-2.7）。因酸性熔浆粘度较大，温度也较低，冷凝迅速，故其喷出岩中常见玻璃质。

一、花岗岩（granite）

是分布最广的深成岩类，其分布面积占所有侵入岩面积的 80%以上。主要有钾长石、富钠斜长石、石英组成，并含少量黑云母或角闪石。通常钾长石多于斜长石，石英可达 20%以上。如果钾长石与斜长石约略相等，称石英二长岩。如果斜长石多于钾长石时，且暗色矿物增多，称花冈闪长岩。

钾长石主要为正长石，多呈半自形板状、柱状，肉红或淡黄色；斜长石主为富钠的酸性斜长石，自形程度比正长石好，白、灰白等色；在岩石断口上可见长石的平坦的解理面。石英为不规则他形颗粒，断口不平坦，烟灰色，玻璃光泽。暗色矿物自形程度较高，黑云母呈小六角片状或鳞片状，光泽强，硬度小；普通角闪石多呈柱状，光泽弱，硬度较大。

此类岩石多为肉红色、灰白色、略显黑色斑点。具典型的半自形等粒结构者，称为花岗结构。根据晶粒大小，有可分为粗粒、中粒和细粒花岗岩。，有的具似斑状结构，斑晶主为钾长石，直径可达 1cm 以上，呈斑状花岗岩。根据暗色矿物种类，有可分别称为黑云母花岗岩、角闪花岗岩等。

二、花岗斑岩（granite porphyry）

相当于酸性浅成岩类。斑状结构，斑晶为钾长石、富钠斜长石、石英等，基质较细；斑晶所占面积往往大于基质面积。多分布于花岗岩体的边缘部分，有时呈独立岩体出现。

三、流纹岩（rhyolite）

是典型的酸性喷出岩类。成份与花岗岩相当。颜色常为灰白、粉红、浅紫等色。斑状结构，斑晶主为钾长石、石英等，基质为隐晶质或部分玻璃质；有时为隐晶无斑结构，常有流纹构造。相当于花岗闪长岩的喷出岩，斑晶以斜长石及石英为主，称为英安岩。

§10.3.5 脉岩类（dike rock group）

在岩体边缘或围岩裂隙中，常见有与深成岩体有一定成分和成因联系的岩脉、岩墙等，其构成岩石统称为脉岩类，大体相当于浅成岩类。

一、伟晶岩（pegmatite）

是具有伟晶结构的浅色脉岩。其中分布最广、经济意义最大的（常含有稀有元素）是伟晶花岗岩。其主要矿物成份与花岗岩相似，不同之点是暗色矿物含量较少（有时出现黑云母），矿物颗粒非常粗大，粒径可以从数厘米到数米。有时具有石英和长石穿插的结构，称文像结

构。伟晶岩多以脉体或透镜体产于母岩及其围岩中，并常富集成长石、石英、云母、宝石及各种稀有元素矿床。

二、细晶岩（aplite）

是具有细粒结构的浅色实烟。其中分布最广的是花岗细晶岩。主要矿物成分为石英和钾长石，不含或少含暗色矿物。其他形细粒等粒结构，岩石颜色浅淡。多在花岗岩边缘部分成岩脉产出。

三、煌斑岩（lamprophyre）

是深色脉岩的总称。主要由暗色矿物黑云母、角闪石、辉石等组成，间有长石。通常为粒状结构，岩石颜色较深，黑或黑褐色。根据矿物成分可分为云煌岩（以黑云母为主）、闪辉煌斑岩（以角闪石、辉石为主）等。

§10.3.6 火山玻璃岩类（volcano-glass rock group）

指由火山喷发出来的熔岩，迅速冷却来不及结晶而形成的一种玻璃质结构岩石。因酸性熔浆粘度大、温度低，在迅速冷却条件下更容易形成玻璃质，所以火山玻璃岩以酸性为主。

一、黑曜岩（obsidian）

是一种酸性火山玻璃岩。黑色或红黑色，具光滑的极标准的贝壳状断口，边缘微透明。

二、浮岩（pumice）

是一种多气孔的玻璃质岩石。状似炉渣，颜色浅淡，多为白色、灰白色，质轻（比重0.3-0.4）可浮于水。典型的浮岩多产于酸性熔岩的上部或火山碎屑中。

§10.4 外力作用及其产物

外力作用是指由太阳能及重力所驱动的大气、水、生物运动引起的地壳表层岩石的一系列变化。外力作用的主要产物有风化残积物、松散沉积物及沉积岩，地质历史时期的外力产物以沉积岩为主，也包括古风化残积物，散沉积物固化已经转化成沉积岩。沉积岩作为外力作用产物中的主体，其形成一般经过风化作用、剥蚀作用、搬运作用、沉积作用和成岩作用五个阶段。

§10.4.1 风化作用与风化壳（weathering and weathered crust）

一、风化作用及主要类型（weathering and main types）

风化作用是指出露于地表的岩石，受到太阳辐射，以及大气、水、生物等的作用，完整

的岩石遭到了破坏。

（1）物理风化

物理风化（physical weathering）过程是一种纯物理的过程，风化产物与母岩相比没有新矿物产生。

以温差风化为例。白天，岩石表面受到阳光的照射，温度升高，内部温度由于岩石热导率低，升温慢，内、外形成温度差；晚上，由于大气降温，岩石表面温度迅速降低，岩石内部温度相对较高，内、外形成新的温差，岩石表面也因内部相对澎胀而产生破裂（图 108）。

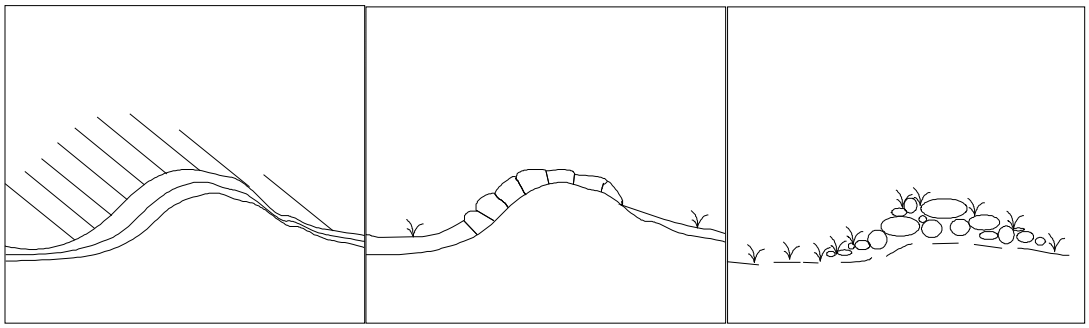


图 108　温差造成的岩石物理风化

Figure 108　Rock physical weathering caused by difference in temperature

（2）化学风化

化学风化（chemical weathering）过程中，风化母岩中的矿物发生了化学变化，并在风化产物中有新矿物的生成。化学风化中依不同的化学反应类型分为氧化、水化、水解、碳酸化等主要类型。

以石灰岩地区碳酸化为例。石灰岩地区有各种各样的岩石地貌形态，象石林、溶洞等，这些地貌景观无一不与碳酸化作用有关。

碳酸化作用的本质是溶解于水中的 CO_2 与水结合产生难电离的 $[HCO_3]^-$，$[HCO_3]^-$ 与石灰岩中的 Ca^{2+} 结合后形成的重碳酸钙有很高的溶解能力，使石灰岩遭受岩溶。

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 = Ca[HCO_3]_2$$

二、风化残积物与风化壳（weathered eluvium and weathered crust）

（1）风化残积物及主要类型

风化残积物是风化产物的一部分。在岩石风化过程中，一部分风化产物被移走，风化残积物就是风化产物中残留在原地的哪部分物质。风化残积可概括为以下三种：

① 碎屑物

经物理风化从母岩中破碎下来的部分，或化学风化不彻底而残留的母岩部分。碎屑物（clastic matter）有岩石碎屑和矿物碎屑之分，前者保持了母岩的结构，后者是指单矿物，或矿物碎块。

② 可溶性盐

经化学风化，岩石中常会被淋滤出一些碱金属，象 K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}等，它们与卤族元素或酸根相结合形成各种可溶性盐（dissolubility salt），象石盐（$NaCl$）、钾盐（KCl）、石膏（$CaSO_4 \cdot H_2O$）等。

③ 难溶物质

在化学风化作用过程中，正长石经碳酸化产生高岭石，黄铁矿经氧化及水化产生褐铁矿，赤铁矿水化变成褐铁矿等一系列化学风化产物都难溶解于水，称为难溶物质（indiscerptible matter）。

（2）风化壳、风化壳类型

地表风化剥蚀区，地壳表层风化带中风化残积物的堆积地段所构成的不连续壳体。风化产物中的可溶性盐绝大部分被地表水和地下水带走，碎屑物和难溶物质也部分地被带走，所剩部分则残留在原地组成了风化壳。

风化作用类型不同，常形成不同的风化壳类型，主要有以下几种：碎屑型风化壳、硅铝-硫酸盐、碳酸盐型风化壳、硅铝粘土型风化壳、砖红土型风化壳。

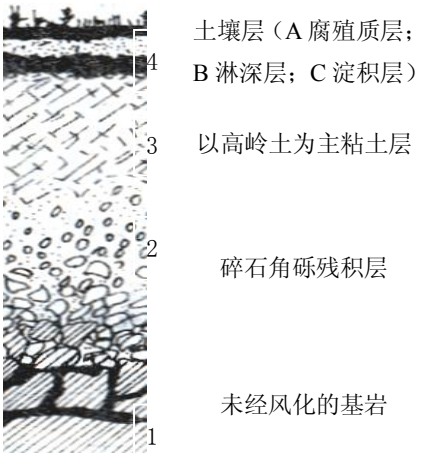


图 109　风化壳的垂直分带

Figure 109　Vertical zoning of weathered crust

① 碎屑型风化壳（clastic weathered crust）

风化壳主要碎屑物组成。风化类型属于物理风化。

② 硅铝-硫酸盐、碳酸盐型风化壳（siallite -sulfate、carbonate weathered crust）

属于较弱的化学风化。以石膏、方解石为标志性矿物，还可以出现石盐、天然碱等，Fe、Al等元素尚未析出。

③ 硅铝粘土型风化壳（siallite-clay weathered crust）（又称高岭土型风化壳）

当化学风化程度进一步增强时，岩石中的 K、Na、Ca、Mg等元素全部析出，水溶液呈酸性，

硅酸盐、铝硅酸盐分解后形成高岭石、蒙脱石等粘土矿物。

④ 砖红土型风化壳（brick red-soil weathered crust）

当风化母岩中的硅酸盐、铝硅酸盐全部被分解，易溶元素也全部溶失，而 S_i、A_l、F_e则形成氧化物，如铝土矿、赤铁矿、褐铁矿、蛋白石等，残积物因富铁质呈红色。

（3）风化壳的基本特征

风化壳在结构上具有垂直分带的特征，在区域分布上表现为与气候带相对应的水平分带性。

风化壳的垂直分带：由于风化类型不同，风化壳在结构上组成差别很大，一般一个完整的风化壳剖面包括以下 5 层，自上而下是土壤层、红土层、以高岭土为主粘土层、碎石角砾残积层和未经风化的基岩（图 109）。

风化壳的水平分带：风化壳在水平方向上具有分区和分带现象。实际上，风化作用类型、风化壳类型是与气候区和气候带相对应，气候上的水平分带便导致了风化壳的水平分带。风化壳类型与气候类型的关系如下：

碎屑型风化壳—寒冷气候。

硅铝-硫酸盐、碳酸盐型风化壳-干旱、半干旱气候区的荒漠或草原带。

硅铝粘土型风化壳-温湿气候。

砖红土型风化壳-湿热气候。

§10.4.2 剥蚀作用及搬运作用（abtragung and transportation）

剥蚀作用是指在地表流水、地下水、风、冰川等运动下将风化产物剥离原地的一种外力作用形式。剥蚀与风化通常是继起的两个过程，但也可能结合在一起，如岩溶。

搬运作用指介质的运动使剥蚀下来的物质从一地移向另一地。

风化作用、剥蚀作用和搬运作用方式或动力往往是相互对应一致的，物理风化产物通过机械方式剥蚀和搬运。化学风化产物则通过化学方式剥蚀和搬运。

一、剥蚀作用中不同外动力的主要剥蚀方式（main denudation mode in abtragung）

（1）吹蚀

风在运动过程中，对地表风化碎屑物产生吹蚀作用（deflation），扬沙天气是风吹蚀作用的表现。风所携带的沙子还会击打、磨蚀岩石，形成风沙地区特有的石窝（风蚀壁龛）、磨菇石、雅丹（风蚀垄槽）等地貌。

（2）溶蚀

以碳酸化作用为方式的化学剥蚀称为溶蚀（corrosion）。石灰岩地区的溶蚀相当普遍，

并在地表和地下形成了许多千奇百态的岩溶地貌奇观，溶蚀坑、落水洞、石林、峰林、岩溶洼地和地下溶洞等。

（3）铲蚀

冰川在运动过程中对冰床及冰川谷两侧的岩石产生的铲、刨等机械作用。由于冰川内常冻结一些岩石碎块，在冰川铲蚀（shovel erode）中常在碎屑物的表面形成“丁”字形的冰川擦痕。

二、搬运作用中碎屑物的主要移动方式（main remove mode of detrital matter in transportation）

象河流、风、湖泊和海洋的机械搬运中，搬运能力与流动介质的动能成正比，碎屑物的运动方式采取悬移、跃移、滚动和滑动的方式。

（1）悬移

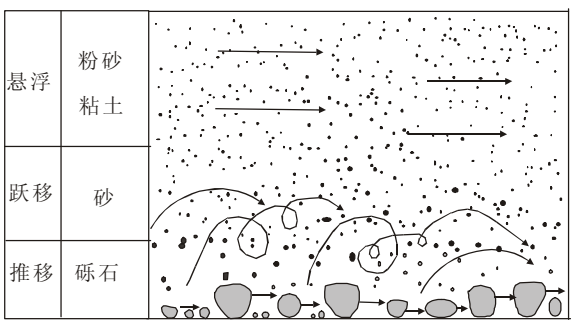
由介质运动过程中产生的纹流形成的上举力使一些粘土物质呈悬浮状态，即悬移（suspension transport）。

（2）跃移

跃移（saltation）是指沙粒多采取跳跃式的方式移动。

（3）滚动及滑动

重量较大的砾石沿底层移动，当砾石为球形或近球形时，采取滚动（roll）移动方式；砾石扁平时则采取滑动（glide）式的移动方式。



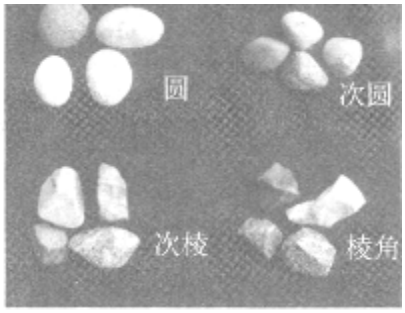


图 110　河流对碎屑物的机械搬运

Figure 110　Automatical portage of clastic matter in river

§10.4.3 沉积作用（sedimentation）

一、驱动力（driving force）

在一定的地质作用条件下，被搬运的物质从搬运介质中沉积下来。重力作用、蒸发作用、化学及胶体化学作用是产生沉积的主要动力。

（1）重力作用

由于外动力的动能减小，如流水和风的动力速度的降低，或是由于冰川的消融，在重力作用（gravity action）下，碎屑物从中沉积下来，此种作用也称为机械沉积作用。

（2）蒸发作用

由于干旱气候条件下水份的不断蒸发，盐类物质浓缩到过饱和状态而结晶沉积。胶体也会因蒸发失去稳定产生胶体沉淀，称**蒸**发作用（evaporation）。

（3）化学及胶体化学作用

可溶性盐类在远离过饱和状态时不会发生沉积，但溶液中的胶体物质会在电解质作用下及不同胶粒的相互作用中凝结沉积下来，即胶体化学作用（chemical and colloid chemical action）。上述作用可能是在两种水体相互混合的地带出现，也可以由生物活动产生。常见的化参数有 PH 值和 EH 值等，这些化学因子又与水深关系极为密切。

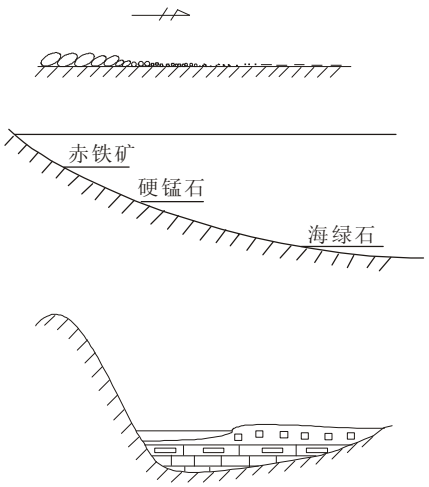


图 111　三种动力沉积分异及其对比

Figure 111　Three dynamic depositional fractionation and their comparison

二、沉积分异及分异规律（depositional fractionation and rule）

沉积过程中常形成沉积物的不同类型在空间上的分异状态，根据沉积物的类型分为机械沉积和化学沉积分异（图 111）。

对于流动型的介质而言，象风、河流，以机械的沉积作用为特征。沉积物按比重和颗粒由大到小、自上游到下游方向依次沉积。就河流而言，沉积的部位主要是山谷的出口，河流弯道，支流加入、河床下降处等。

对于盆地沉积的分异作用，不同的沉积物往往围绕水盆地呈环状分带。

蒸发盆地中，沉积物自下而上按溶解度由小到大的顺序排列，形成方解石—石膏—钾盐和钠盐—光卤石序列，沉积物在横向上一般不存在相变。

在开放型水盆地中，机械沉积动力主要来自由风引起的波浪运动产生的动能，械沉积分异按由水边至盆地中心沉积表面由大到小依次沉积；化学沉积分异常按水深不同依次由浅水到深水出现：赤铁矿—硬锰矿—海绿石等。

侵蚀作用和沉积作作用是塑造地表形态的两种重要的外力作用，尤其是河流对大陆地表地形塑造十分强烈。

河流的侵蚀贯穿整个河流，在河流上游，由于地势较高，落差较大，水流速度快，河流下蚀，形成深切沟谷。同时河道向源头推进形成向源侵蚀。在河流的下游的弯道处，由于河水横向环流，引起河道凹岸侵蚀，向凸岸沉积，从而引起河流改道。

长期的外力作用之后，会在一个广大的地区形成地形起伏不大的夷平面。

§10.4.4 沉积岩的主要成岩方式（major formed rock modes of sedimentary rock）

经沉积作用形成的物质十分松散，这些沉积物在上覆沉积物不断增加和地下水等的作用下采取一定的方式固结在一起，形成坚硬的沉积岩岩石。

一、压固作用（compaction-concretion）

压固作用是粘土沉积物的主要成岩方式。粘土沉积物比较松散，孔隙度较大。在压力作用下，孔隙中的水、气被排出，片状的矿物相互以较大面积接触，最后形成坚硬的岩石。

二、脱水作用（deaquation）

脱水作用是胶体沉积物的主要成岩方式。胶体物质含胶体水，当胶体失水后沉积物收缩而固结在一起。

三、胶结作用（cementation）

胶结作用是碎屑沉积物的主要成岩方式。当地下水携带的钙质、硅质，或火山活动形成的火山灰物质充填到碎屑物的孔隙内后，这些充填物在结晶的过程中会把互不粘结的碎屑物胶结起来。

四、重结晶作用（recrystallization）

重结晶作用化学及生物化学沉积物的主要成岩方式。化学沉积物在压力和适当的温度条件下极易发生重结晶，重结晶将化学沉积物固结起来。

§10.4.5 沉积岩的构造特征（structure characteristics of sedimentary rock）

一、沉积层及其总体特征（settled layer and basic characteristics）

（1）沉积层的概念

所谓沉积层是指在稳定的介质当中形成的，具有均匀物质组成、结构特征和一定厚度的基本的沉积单位。

（2）沉积层的构造要素

沉积层具有顶面、底面和层厚三个基本要素。层厚与沉积环境沉积速率有关，通常沉积层分薄层、中层、厚层、巨厚层和块状层。沉积层的顶、底面是沉积层状态特征的基本标志，

由于地壳运动的影响，一些沉积层的顶、底面会颠倒过来，因此在变形地区，正确区分沉积层的顶、底面有十分重要的意义。

（3）沉积层的总体构造特征

针对构造变动地区的沉积层空间状态上的诸多变化，了解沉积层最初的状态是十分必要的。

当沉积层形成后，在没有任何的构变动干扰的情况下，沉积层的总体构造特征表现在以下三个方面（图 112）：

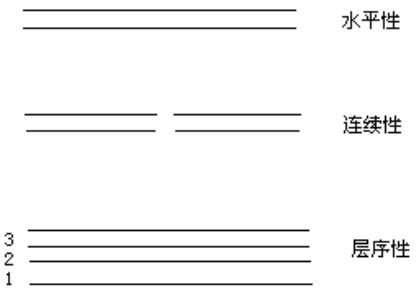


图 112　沉积层的总体特征

Figure 112　Universal characteristics of settled layer

①水平性。沉积层总体及其顶、底面都是水平的。在地质图上，水平沉积层的出露线与等高线平行或一致。沉积层的厚度可以通过顶、底面之间的高程差求得。

②连续性。在同一个沉积环境内，沉积层在横向上是连续的。当沉积环境变化时，也常出现横向上的岩相变化，这种变化对了解沉积环境的空间特征有重要意义。

③层序性。在同一地点或同一个沉积环境当中，当沉积层阶段性发育并形成多个沉积层时，下伏的沉积层总是老于上覆的沉积层。

在遭受构造变动的地区，沉积层的层序关系会被打乱或颠倒过来。有几种方法可以帮助我们识别。一是通过沉积层的顶底面的一些特征的沉积标志；二是通过一个沉积序列中的沉积中的物质成份和结构上的变化规律；三是通过不同沉积层中的古生物化石，在沉积速率较小和生物演化比较迅速的时期，不同沉积层的古生物面貌往往差别很大，并表现出老的沉积层中的古生物结构较简单和新的沉积层中的古生物结构较复杂的特点，这一规律又被称为化石层序律 。

二、沉积层的层理构造（bedding structure of settled layer）

沉积层并不是一促而就的，它往往经历了一个连续的长期沉积过程。在不同的沉积环境和沉积动力背景下，其沉积特点和沉积过程有明显的不同，但不管是何种情况，沉积层中都可以区分出许多的细层 ，它们是沉积层中的最小的沉积单位（图 113）。

（1）水平层理

沉积层中的细层与沉积层层的方向平行一致，细层基本上自下而上发育。水平层理中，沉积物主要由细粒的粉沙、粘土，以及化学沉积物组成，细层则由沉积层中极细微的韵律变化或较粗的透镜体、异质透镜体显现出来。水平层理（horizontal bedding）的形成介质动力

条件比较弱，如深湖、深海当中，水动力微弱的海湾潮坪地带等。在水体滞流的沉积环境中，沉积界面处于还原环境，沉积物中常出现大量的沥青质、黄铁矿沉积，往往形成沉积层黑、绿等色调。

（2）单斜层理

沉积层中的细层与沉积层总体方向相交或相切，其形成过程是自上游向下游，倾斜的相互平行的细层不断向下游方向增长与推进。单斜层理（monocline bedding）是在单向流动的介质环境中沉积形成的，如河床、风成沙丘等。当流动介质动力较强时，层面切割细层；在动力较弱的情况下，细层呈豆夹状与层面相切。形成单斜层理的沉积沉积物主要是沙质，细层之间由氧化环境中形成的红色铁质分隔。

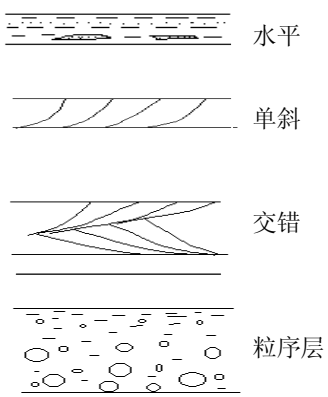


图 113　层理构造示意图

Figure 113　Bedding structure

（3）交错层理

在同一个沉积层中，出现向相反方向倾斜的两组细层，并与层的方向相切或相交。交错层理（cross-bedding）是在往复运动的介质中形成的，如滨海地带海水潮汐运动，风沙作用地区风向改变等。

（4）波状层理

在水下沉积中，当沉积界面处在波浪作用带的范围内时，沉积表层的松散沉积物会受到波浪运动的干扰而被塑造成波浪的形态，最后保留在沉积层中，形成波状层理（wavy bedding）。

（5）递变层理（粒序层）

沉积层中可以不具有典型的细层，但与一般沉积层不同，递变层理中沉积物结构上存在较大的变化，但自下而上又出现由粗到细的递变关系。递变层理（graded bedding）是在流动介质动力迅速减弱的情况下，不同粒度的碎屑物在快速沉积过程中，较重的颗粒相对向下部集中形成的。递变层理出现在深海、深湖中斜坡地带形成的浊流沉积当中。

§10.4.6　主要沉积岩（major sedimentary rock）

沉积岩按成因分类及组成成分，可以分为两类，即碎屑岩类、化学岩和生物化学岩。另外，还有一些在特殊条件下形成的沉积岩，暂称之为特殊趁机眼泪。

一、碎屑岩类（clastic rock group）

根据碎屑物质的来源，又分为沉积碎屑岩和火山碎屑岩两个亚类。

（1）沉积碎屑岩亚类

沉积碎屑岩亚类（sediment- clastic rock subgroup）岩石是由母岩风化和剥蚀作用的碎屑物质所形成的岩石，又称陆源碎屑岩。除小部分在原地沉积外，大部分都经过搬运、沉积等过程。根据组成碎屑岩的碎屑颗粒大小，本类岩石又可分为：

砾岩类—碎屑直径在 2㎜ 以上。

砂岩类—碎屑直径在 2-0.5㎜ 之间。

粉砂岩类-碎屑直径在 0.05-0.005㎜ 之间。

粘土岩类—碎屑直径小于 0.005㎜。

上述各碎屑岩类的相应粒级，碎屑含量必须占碎屑总量的 50%以上，如砾岩中大于 2㎜ 的砾石碎屑含量应占一半以上；如果其中含有 25—50%的砂，则可称为砂质砾岩；如果其中含有 5-25%的砂，则可称为含砂砾岩。其余岩类命名原则，依此类推。

①砾岩类。凡直径在 2mm 以上的碎屑（含量大于 50%）组成的岩石都属此类。砾岩（conglomerate）中砾的成分一般是比较坚硬的岩石碎屑。根据碎屑的磨圆程度可分为角砾岩和砾岩两类。

角砾岩：组成角砾岩（breccia）的砾石带有棱角，分选情况一般不好，或未经分选，多为搬运距离很近或未经搬运堆积而成。根据成因，它们可能是由山崩重力堆积而成；由海浪冲击海岸而成；由母岩风化在原地残积而成；或者由冰川搬运的冰碛堆积而成（称冰碛岩）；也可能因断层作用而成(称断层角砾岩，碎屑多呈尖棱状)。

砾岩：组成砾岩（conglomerate）的砾多为次圆状或圆状。根据成因，砾岩可能是在海滨潮间带由海浪反复冲刷磨蚀堆积而成，分选和磨圆度都比较好，成分比较单纯；也可能是由河流短距离搬运而成，分选和磨圆度较差，粒是成分也比较复杂。历史中一般少有化石，或含贝壳等生物碎屑化石。

②砂岩类。由 2-0.05㎜ 的碎屑（含量大于 50%）胶结而成的岩石统称砂岩（sandstone）。砂岩的矿物成分通常以石英颗粒为主，其次为长石、白云母、粘土矿物以及各种岩屑。砂岩可以分为：

粗粒砂岩（2-0.5㎜）

中粒砂岩（0.5-0.25㎜）

细粒砂岩（＜0.25㎜）

根据矿物成分，砂岩可分为：

石英砂岩：砂岩中石英颗粒含量占 90%以上，称石英砂岩（quartz sandstone）。砂粒纯净，SiO_2 含量可达 95%以上，磨圆度较高，分选性好。岩石常为白、黄白、灰白、粉红等色。

这种砾岩是原岩经过长期破坏冲刷分选而成。

长石砂岩：长石砂岩（arkose）砂岩主由石英和长石颗粒组成，而长石颗粒含量一般在25%以上。通常为粗粒或中粒，常呈淡红、米黄等色，碎屑多为棱角或次棱角状，胶结物多为碳酸盐或铁质。此种砂岩多为花岗岩类岩石经风化残积而成，或在构造上升地区强烈风化、迅速堆积而成。

砂岩可以作为建筑材料，纯净石英砂岩可用为玻璃工业原料；胶结不好的砂岩可形成含水层或含油层。

③粉砂岩类（siltstone group）。由 0.05-0.005㎜ 的碎屑胶结而成的岩石称粉砂岩。矿物成分比较复杂，以石英为主，其次为长石，并有较多的云母和粘土类矿物，显微镜下观察多具棱角。胶结物以铁质、钙质、粘土质为主。

粉砂岩：岩石质地致密、颜色多样，随胶结物和混入物而变异。具轻微砂感，或具贝壳状断口。湖成粉砂岩常具水平薄层理，河成粉砂岩或具细斜层理，海成粉砂岩常具复杂的层理。粉砂岩（siltstone）多是细颗粒悬浮物质在水动力微弱条件下，缓慢沉积而成。

（2）火山碎屑岩亚类

①火山集块岩

火山集块岩（volcano agglomerate）是由粗大的火山弹等组成的火山碎屑岩。火山弹是岩浆物质在火山喷发时被抛向空中后，经过旋转、冷却后，坠地而成的。火山弹的外形一般呈纺缍形，并具有明显的旋转作用的痕迹。火山弹多集中于古火山口近处。火山集块岩是古火山口识别的重要标志。

②火山角砾岩

火山角砾岩（volcano breccia）中的火山角砾主要是在火山喷发和爆炸的瞬间，由火山口外围岩石碎裂形成的角砾物质。火山角砾岩中的角砾往往具有明显的棱角。胶结物中是一些较细的碎屑及火山熔浆形成的一些玻璃体。

③火山凝灰岩

火山凝灰岩（volcano tuff）是由极细的火山灰物质形成的火山沉积岩。在强烈的火山喷发中，火山口周围的岩石爆裂、粉碎，形成大量的火山灰，火山灰喷出较高，扩散范围也比较大，沉积的范围比较广。火山凝灰岩随喷发的间歇，常成层状分布。这也是一类比较特殊的沉积岩。

二、粘土岩类（claystone group）

（1）粘土

粘土（clay）主要由粘土矿物组成。固结程度较差的粘土岩，细腻质软，颜色浅淡为主。分布较多的为高岭石粘土，简称高岭土，具吸水性（粘舌）、可塑性（加水成泥）、吸收性（从溶液中吸收各种矿物质及有机质的性质）、耐火性、烧结性（煅烧后变硬）等一系列特点，是陶瓷工业、耐火材料工业的重要原料。

（2）泥岩

泥岩（mudstone）是一种厚层状、致密、页理不发育的粘土岩。

（3）页岩

页岩（shale）为粘土岩类中固结较强的岩石，具薄层状页理构造，页理主要是鳞片状粘土矿物层层累积、平行排列并压紧而成。常含石英、长石、白云母等细小碎屑。致密，不透水。可有各种颜色，含有机质者呈黑色，含氧化铁者呈红色，含绿泥石、海绿石等呈绿色。性软，抗风化能力弱，在地形上常表现为低山低谷。

三种粘土类岩石的固结程度由小到大，其中页岩具页理构造。粘土按成分分为高岭石粘土、蒙脱石粘土和漂白土等，高岭石粘土具吸水性、可塑性、耐火性和烧结性，是陶瓷工业的主要原料。

三、化学岩及生物化学岩（chemical rock and biochemistry rock）

（1）铝土及硅藻土

铝土（alum）是一种化学岩，由铝土矿及杂质组成。

硅藻土（diatomite）是一种生物化学成因的硅质岩，呈疏松粉状，主要成分为蛋白石，孔隙度大，质软，具页理构造。

（2）石灰岩与白云岩

此类岩石为灰、灰白色，由方解石和白云石组成。常具晶粒结构、鲕状结构、生物结构或碎屑结构。白云岩（dolostone）遇酸起泡不如石灰岩强烈，岩石有较强的脆性，外貌特征上常呈现刀砍状溶沟。

（3）石盐

石盐（rock salt）属于蒸发岩之一，晶粒结构，无色透明。主要产于干旱区盐湖当中。

四、可燃有机岩类（caustobiolith group）

可燃有机岩（caustobiolith），是指由地质历史上的植物及微生物被埋藏后转化而形成的岩石。

（1）煤

煤（coal）是由植物遗体堆积在一定环境，经过复杂的变化而成的一种可燃有机岩。在含煤地层中可以发现丰富的植物化石，还有许多其它证据说明煤是由地质时代的植物被埋藏后变成的。

煤的成分包括有机组分和无机组分。有机组分主要由碳、氢、氧等元素组成，主要由植物遗体转化而来，燃烧后便挥发逸失；无机组分燃烧后变成残渣，称为灰分。煤中的灰分一般在 30％以下。

（2）石油和天然气

石油和天然气（petroleum and natural gas）是产于地层中的可燃性油质液体和气体。它们不能形成独立的地层，而存在于岩石空隙和裂隙之中。一般情况下，赋存油气的沉积岩，其形成环境一般是在靠近海岸的浅海带，地质上称做浅海相地层以及河流三角洲和深水湖泊陆相沉积地层，此外还有一种含煤系的地层也与油气的生成有关。科学家们认为，泥页岩生油气岩、碳酸盐岩生油气岩和煤系生油气岩三种岩石能够生成石油和天然气。



图 114　风蚀蘑菇

Figure 114　Wind erosion mushroom

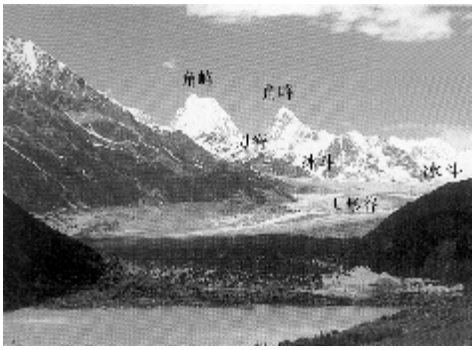


图 115　冰川侵蚀与 U 形谷

Figure 115　Glacier erosion and U valley



图 116 不同岩石中的流水冲蚀沟谷（左图为黄土状堆积）

Figure 116　Scourring erosion ravine in different rocks （left figure is loess-shape stockpiling）



图 117　海洋的侵蚀地貌

Figure 117　Ocean erosion landform



图 118　地表侵蚀形成的夷平面

Figure 118　Planation surface caused by corraded landscape

§10.4.7　沉积岩中的生物结构及古生物化石（biologic structure and ancient lift fossil in sedimentary rock）

沉积层中常出现古生物化石，这些化石有些反映了古生物当时的生活环境，属于原地埋藏的化石，有些是由河流随其它碎屑物一起搬运到沉积场所的，属于异地埋藏化石。化石的保存与沉积岩类型有密切关系，古生物常被保存在水流不畅的湖泊中形成的页岩等泥质沉积中，另一类的岩石则是地史时期浅海形成的石灰岩（图 121）。



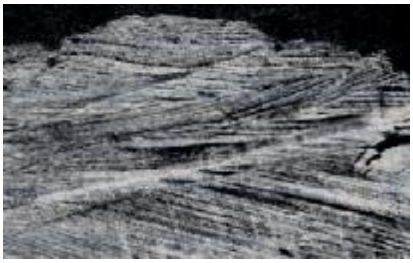


图 119 岩石中的泥裂及水成波痕

Figure 119　Mud crack in rock and aqueous ripple mark



水平层理



风成交错层理



角砾质碎屑结构



泥　岩



砾质碎屑结构



火山角砾质碎屑结构



石英砂质结构

图 120　沉积岩中的典型结构

Figure 120　Typical structures of sedimentary rock



海百荷化石　　恐龙蛋化石　　龟化石



恐龙化石

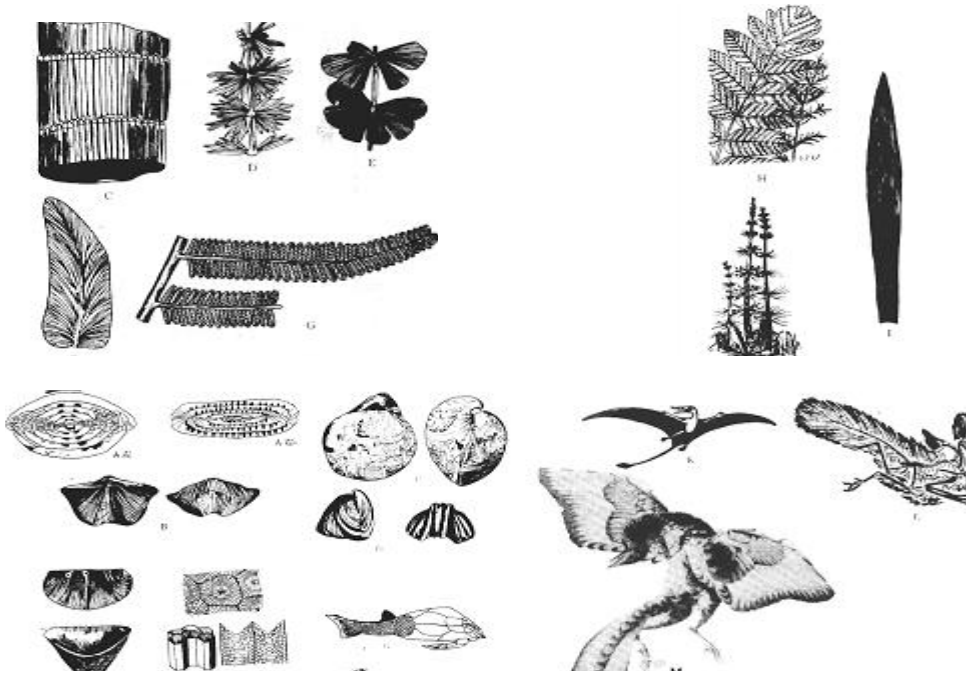


图 121　沉积岩中的古生物化石群

Figure 121　Welwitschiopsida fossils group of sedimentary rock

§10.5 变质作用与变质岩

变质作用是指处于地表风化带以下的先成岩石，受到地壳内动力(温度、压力及化学活性流体等)的影响而导致矿物成份、化学结构与构造上的改变。经过变质作用形成的岩石称为变质岩。

变质岩是组成地壳的三大类岩石之一，在我国和世界上具有广泛的分布。变质岩中有丰富的内生金属矿产；由于变质作用是在固态岩石中进行的，一方面受原岩的控制，因而具有一定的继承性，既继承了原岩石的某些特点，也具有自己的特点。因此，对变质岩进行研究有助于对区域变化，尤其是地球早期历史的恢复与演化具有十分重要的意义。

§10.5.1 变质作用及影响因素(metamorphism and influential factors)

一、变质作用（metamorphism）

变质作用是引起地壳岩石变化的一种内动力作用。由于变质岩的原岩不同，以及变质条件和变质程度的差异，因而变质岩的外貌有相当大的区别，变质岩的种类也十分繁多。但变质作用的基本途径不外乎两种。

（1）重结晶作用

在内动力作用的情况下，变质原岩中的矿物发生重结晶。重结晶**(recrystallization)**过程使原有的矿物颗粒变粗变大。

（2）变质反应

在内动力作用的情况下，变质岩原岩中的不同矿物之间或原岩中的矿物与外来物质反应，生成新的矿物，称变质反应(metamorphic reaction)。

二、影响变质作用的因素（influential factors for metamorphism）

（1）温度

温度（temperature）来自地热增温或地下深处的岩浆活动。温度对变质作用的影响主要表现在，当温度升高时使矿物中的质点振动幅度加大，矿物晶体格架易于破坏；另外，温度的升高使化学反应向吸热的方向发展，对大多数的化学反应来说有促进作用。

（2）压力

①定向压力

定向压力（directional pressure）主要由构造应力引起。地壳中的构造应力往往具有三轴应力不等的特点，其中在某个方向上较其它方向大。定向压力往往使岩石中的柱状、片状矿

物发生旋转，或使某些矿物拉长变形，或使矿物在一个方向上溶解，而在另一个方向上生长等。最终形成了矿物的长轴方向定向在与最大压力相垂直的方向上，岩石的这种构造为定向构造。

②静岩压力

地壳深处的岩石受到来自于上覆岩石的压力，称为静岩压力（lithostatic pressure），简称岩压，又称围限压力。当把这种压力看成与流体中的压力相同时，也称静水压力。在岩石的有限元分析中，常把岩石的局部受力看成是各个方向相同的静水压力状态。围限压力导致岩石的体积减小，原岩中的矿物相变为体积更小的变体。

（3）化学流体

地壳中存在许多化学流体（chemical fluid），比如地下水，岩浆期后的残余流体，以及变质过程中形成的流体。由于变质作用基本保持了岩石的固体状态，因此化学流体在变质过程中扮演着十分重要的角色，它们是矿物溶解、成份迁移和矿物结晶中的不可缺少的介质条件。

§10.5.2 变质岩的特征（characteristics of metamorphic rock）

一、变晶矿物与残余矿物（blastocrystal mineral and remainder rock）

（1）变晶矿物

变晶矿物是变质岩形成过程中变质作用产生的新矿物。一些变晶矿物是其它两类岩石中所没有的，它们构成了变质岩识别的矿物学标志。常见的变晶矿物有石墨、绿泥石、红柱石（图 122）、蛇纹石、绿帘石、滑石、硅灰石等。

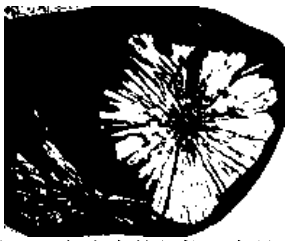


图 122 角岩中的红柱石变晶矿物

Figure 122 Andalusite blastocrystal mineral in chert

（2）残余矿物

当变质作用不足以使原有的岩石中的矿物发生变化时，一部分矿物，尤其是那些相对稳定的矿物便残留了下来。

二、变晶结构与残余结构（blastic texture and remainder structure）

（1）变晶结构

由变晶矿物组成的结构称为变晶结构。由于组成变晶结构中的矿物是结晶质的，与岩浆岩中的结构有些类似，为区别起见，在相应的结构之前冠以“变晶”二字，如粒状变晶结构、斑状变晶结构、鳞片变晶结构等。变晶矿物极细结构则称角岩结构。

（2）残余结构

变质岩中残余原岩部分中的结构，称残余结构。残余结构实际上是变质岩原岩的结构。

三、变质构造与变余构造（metamorphic structure and palimpsest tructure）

（1）变质构造

变质构造是在变质过程当中形成的一类构造。最突出的构造是片理构造。片理构造是变质岩定向构造。片理构造是变晶矿物定向排列的结果，象各种板岩、片岩、片麻岩、千枚岩等。在变质分异、充填、交代过程中也常形成矿物成分和颜色不同的、宽窄不一的条带状构造。当变质岩中成分、结构比较均匀时，则形成所谓的块状构造。

（2）变余构造

在变质岩中，变质过程中残留下来的原岩部分的岩石构造，或原有的成分已经改变，而原有的岩石构造轮廓依稀可辨。

残余矿物、变余结构和构造对变质原岩的恢复有重要的意义。在全部由变晶矿物组成的变质岩石中，若变质过程属于封闭体系的话，那么变质岩总体的化学成分也是变质岩原岩恢复和判断的重要手段。

§10.5.3 变质作用类型及主要变质岩（type of metamorphism and major metamorphic rocks）

一、动力变质作用及其岩石（dynamic metamorphism and rocks）

动力变质作用的突出特点是变质主要由构造动力引起，温度在变质中起的作用较小。在地壳的某些区段，往往会产生地壳应力的集中，地壳应力被消耗的结果是应力作用区内的岩石产生动力变质。动力变质岩主要有断层角砾岩、碎裂岩、糜棱岩三种类型。

动力变质岩石总体上来说没有十分明显的变晶矿物，但岩石破碎、碎裂，甚至于塑性变形则比较突出。

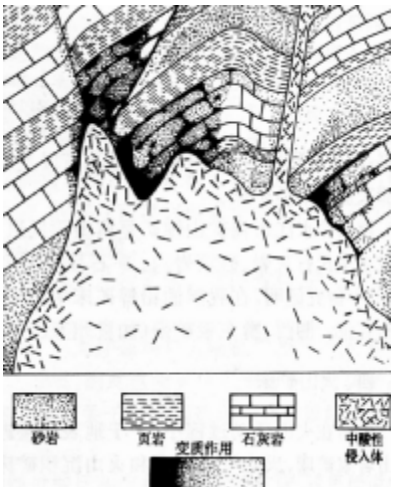


图 123 接触变质地质条件及变质岩分布特征
Figure 123 Contact disintegration geology condition and distributing characteristics of metamorphic rock

二、接触变质作用及其岩石（contact metamorphism and rocks）

（1）接触变质作用产生的地质背景

当地下岩浆侵入到地壳浅部的岩石中时，在岩浆与围岩的接触带上产生变质。因此，接触变质岩与侵入体相伴（图 123）。

（2）接触变质方式

在接触变质中，存在两种基本的变质方式：一是热接触变质，这种变质是由岩浆热的作用引起。对围岩来讲，岩浆是一个巨大的热源，尤其是大的岩基，岩浆冷却过程中所释放出的热能足以使其周围的岩石变质；二是接触交代变质，是指岩浆就位后，由岩浆分异出来的含矿的汽水溶液与围岩发生交代和充填作用，使围岩接触带变质的一种方式。在此种变质当，岩浆成份及围岩成份之间的组合特别重要，它直接影响到变质作用的强度。地质调查显示，当中酸性岩浆与石灰岩接触时，接触交代变质比较强烈和明显，所形成的岩石称为矽卡岩（scarn）。矽卡岩中常形成 F_e、C_u、P_b、Z_n 等内生金属矿产。

（3）接触变质岩

角岩和大理岩是常见的两种热接触变质岩石。角岩的原岩是泥质岩，或与其相当的岩石变质而成，岩石中常有红柱石斑晶出现；大理岩的原岩是石灰岩，变质程度不同时，形成颗粒大小的粒状变晶结构。随着原岩成份的不同，大理岩中常见蛇纹石、硅灰石、透闪石等变质岩特有的变晶矿物。

矽卡岩是典型的接交代变质岩。在矽卡岩中，既有石灰岩中的 C_a 质成份，又有岩浆中的 S_i 质成份，出现一类较特殊的变晶矿物，石榴子石。

二、区域变质作用及其岩石（regional metamorphism and rocks）

（1）区域变质作用产生的地质背景

区域变质作用是发生的地壳发展的一定阶段，并在一定的区域范围内产生的变质作用。地壳发展到一定阶段后，地热梯度增高，在区域地热异常增高的情况下和区域构造应力的共同作用下，产生区域性的变质作用。区域变质作用的温、压体制比较复杂，因此形成的变质岩石类型也十分多样。

（2）区域变质岩

大理岩是常见的区域变质岩之一，通常在区域动力背景下形成。与热接触变质作用形成的大理岩的本质区别在于，区域变质岩与侵入体没有直接的联系。

板岩是具有板理构造的一类区域变质岩石。当受到外力敲击时，可以剥成板状。板岩中的变晶矿物较细，板理面上多数是绢云母，它是白云母的变种。

片岩具有片理构造（图 125），一种由片状变晶矿物定向排列组成的岩石构造。按变晶矿物成份可以区分为云母片岩、滑石片岩、英片岩、石墨片岩等。

变粒岩（leptynite）是具有等粒的粒状变晶结构（图 124）的变质岩石。

片麻岩（gneiss）由片状变晶矿物和粒状矿物组合而成，其中片状矿物主要是黑云母，定向排列。

混合岩（migmatite）是在区域变质很深的情况下，变质过程中产生的流体与变质岩本身相互作用，包括充填、交代、分异等。流体中的主要成分是长石和石英等，常形成脉体，变质岩原来残余部分颜色较深，称为基体，二者在混合岩中的比例和形态各异，通常根据脉体的形态，将混合岩分为脉状混合岩、眼球状混合岩、肠状混合岩等。



红柱石角岩斑状变晶结构



雪花大理岩细粒等粒变晶结构



千枚岩中的鳞片变晶结构

图 124　变质岩结构组图

Figure 124　A group charts of metamorphic rock structure



千枚岩的千枚状构造



石英片岩中的片理构造



片麻岩中的片麻状构造

图 125　变质岩的构造

Figure 125　Metamorphic structure

思　考　题

1. 组成地壳的主量元素有哪些？它与矿物岩石的组成有什么关系？

2. 什么是矿物？其肉眼鉴定的主要依据有哪些？

3.组成岩石圈的岩石按成因分为那几大类？

4.什么是岩浆岩？主要有哪几类？它们和化学成分及矿物成分有什么关系？

5.请列出相同岩浆形成的侵入岩和火山岩的对应关系。

6.什么是沉积岩？沉积岩按物质来源分为哪些类型？

7.变质岩与岩浆岩在形成机制上有哪些异同？

8.区域变质作用、接触变质作用发生的条件是什么？

9.变质作用有哪些主要类型？其划分依据是什么？

10.何谓外动力地质作用？其主要类型有哪些？

11.举例说明什么是矿物的类质同象？

12.如何在手标本上区分下列相似矿物

A、常见白色矿物：斜长石、方解石、白云石、石英、石膏

B、角闪石和辉石　C、黄铁矿和黄铜矿　D、云母和绿泥石

13. 沉积岩按其成因，又可划分为几种类型？试举不同成因类型沉积岩 1～2 种代表性岩石。

14. 通常沉积岩的颜色主要受它们形成环境的影响。如何利用某沉积岩的颜色大致判别它们的形成环境？为什么？

15. 分别说出 3～5 种岩浆岩、沉积岩和变质岩的岩石名称。

16. 岩石的结构构造是如何定义的？

17. 岩浆岩中喷出岩和侵入岩组构的最主要差别是什么？分别列出它们的几种常见组构类型。

18. 沉积岩的最主要构造特征是 具层理构造 ，说出几种常见沉积岩组构。

19. 说出 4～5 种仅在变质岩中出现的特征变质矿物。

参 考 文 献

1. 张宝政、陈琦.地质学原理，地质出版社，1982.

2. 夏邦栋，普通地质学，地质出版社，1984.

3. 朱志澄、宋鸿林. 构造地质学，中国地质大学出版社，1990.

4. 游振东、王方正. 变质岩岩石学教程，中国地质大学出版社，1988.

5. Miller. Enviromental Science，International Thomson Publishing， 1995.