

基础地质试验讲义

同济大学

2017-5-5

目录

1 适用对象.....	3
2 常见矿物.....	3
2.1 概述.....	3
2.2 自然元素矿物样品.....	7
2.3 硫化物及其类似化合物矿物样品.....	8
2.4 氧化物及氢氧化物矿物样品.....	14
2.5 硅酸盐矿物样品.....	17
2.6 其他含氧盐矿物样品.....	32
3 常见岩石.....	37
3.1 概述.....	37
3.2 岩浆岩样品.....	50
3.3 沉积岩样品.....	65
3.4 变质岩样品.....	77
4 课程虚拟平台.....	86
4.1 岩矿鉴定虚拟实验系统.....	86
4.2 矿物岩石平面浏览网页课件.....	86
4.3 矿物岩石标本三维教学课件.....	88
4.4 “地质学+”APP.....	93
5 3D 打印技术.....	97
5.1 矿物标本的 3D 打印.....	98
5.2 岩石 3D 扫描与 3D 建模.....	102
主要参考文献.....	106

1 适用对象

本讲义适用于地质工程专业本科课程《基础地质试验》。

2 常见矿物

2.1 概述

现代一般认为，矿物可定义为有地质作用或者宇宙作用所形成的，具有一定化学成分和内部结构、在一定的物理化学条件下相对稳定的天然结晶态的单质或化合物，是岩石和矿石的基本组成单位。

由于对称性是矿物晶体的基本性质，按照对称性能够对晶体进行科学的划分，这种分类就是晶体的对称分类。晶体的对称分类体系中共包括 3 个晶族、7 个晶系和 32 个晶类。通常对矿物单体进行肉眼鉴定时，通常需要判定矿物的所属晶系。矿物的晶系划分中，低级晶族可进一步被划为有三斜晶系（无对称轴和对称面）、单斜晶系（二次轴和对称面均不多于 1 个）和斜方晶系（二次轴或对称面多于 1 个），中级晶族可被划分为四方晶系（有 1 个四次轴或四次旋转反伸轴）、三方晶系（有 1 个三次轴或三次旋转反伸轴）和六方晶系（有 1 个六次轴或六次旋转反伸轴）；高级晶族则只有等轴晶系（有 4 个三次轴）一种。

矿物的形态是指矿物单体、矿物规则连生体及同种矿物集合体的形态，是矿物化学成分及内部结构的外在表现，故可作为矿物的重要鉴定特征。矿物的光学性质指矿物对可见光的反射、折射、吸收等所

表现出来的各种性质。矿物的主要光学性质包括矿物的颜色、透明度、条痕、光泽、发光性。其中，矿物的条痕指矿物粉末的颜色，通常是指矿物在白色无袖瓷板上擦划所留下的粉末的颜色。矿物的光泽指矿物表面对可见光的反射能力，矿物反光的强弱主要取决于矿物对光的折射和吸收的程度，折射及吸收越强，矿物反光能力越大，光泽则越强，反之则光泽弱；常见的光泽种类有金属光泽、金刚光泽、玻璃光泽。

矿物的力学性质指矿物在外力(如敲打、挤压、拉引和刻划等)作用下所表现出来的性质。矿物的力学性质包含矿物的解理、裂开、断口、硬度、弹性、挠性、脆性及延展性。解理、裂开和断口都是矿物在应力作用下，应变超过了其弹性限度时所发生的破裂，但是引起这3种破裂的因素各有不同。矿物晶体受应力作用而超过弹性限度时，沿一定结晶学方向破裂成一系列光滑平面的固有特性称为解理，根据解理产生的难易程度及其完好性，可分为极完全解理、完全解理、中等解理、不完全解理及极不完全解理五类。裂开(或称裂理)是指某些矿物晶体在应力作用下，有时可沿着晶格内一定的结晶方向破裂成平面的性质，裂开的平面称为裂开面。矿物内部若不存在由晶体结构所控制的弱结合面网，则其受力后将沿任意方向破裂而形成各种不平整的断面，称为断口。矿物的断口主要根据其形状分类，常见的有贝壳状断口、锯齿状断口、参差状断口、平坦状断口、土状断口、纤维状断口。

矿物的硬度指矿物抵抗外来机械作用(如刻划、压入或研磨等)

的能力，是鉴定矿物的重要特征之一，矿物肉眼鉴定时，通用采用摩氏硬度计。矿物肉眼鉴定测定硬度时， 必须注意选择新鲜、致密、纯净的单矿物， 最好是具良好的棱角、晶面或解理面的单晶体。摩氏硬度是一种相对硬度， 尽管较粗略，使用却极为方便。在实际鉴定时常可用更简便的工具，如指甲(2.0-2.5) 和小钢刀(5- 6) 来代替硬度计。此外，还可借助铜针(3)、 玻璃(5.5- 6.0) 和钢针(5.5- 6.0) 等来粗略地确定矿物的硬度。如不加特别说明，本讲义后述章节中所述的硬度均指摩氏硬度。

表 2.1 摩氏硬度计

硬度等级	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
标准矿物	滑石	石膏	方解石	萤石	磷灰石	正长石	石英	黄玉	刚玉	金刚石

矿物在外力作用下发生弯曲形变，当外力撤除后，在弹性限度内能够自行恢复原状的性质，称为弹性。某些层状结构的矿物，在撤除使其发生弯曲形变的外力后，不能恢复原状，这种性质称为挠性。矿物的脆性指矿物受外力作用时易发生碎裂的性质，它与矿物的硬度无关。矿物受外力拉引时易成为细丝的性质称为延性；矿物的展性则是指矿物在锤击或碾压下易形变成薄片的性质。物体的延性和展性往往同时并存，故一般统称为延展性，它是矿物受外力作用发生品格滑移形变的一种表现，是金属键矿物的一种特性。矿物的其他主要物理性质有矿物的密度、相对密度、磁性、导电性、导热性、热膨胀性、熔点、易燃性、挥发性、吸水性、等。

矿物的成因通常是按地质作用来分类的。根据作用的性质和能量

来源，一般将形成矿物的地质作用分为内生作用、外生作用和变质作用。内生作用主要指由地球内部热能所导致矿物形成的各种地质作用，包括岩浆作用、火山作用、伟晶作用和热液作用等各种复杂的过程。外生作用是指在地表或近地表较低的温度和压力下，由于太阳能、水、大气和生物等因素的参与而形成矿物的各种地质作用，包括风化作用和沉积作用。变质作用指在地表以下较深部位，已形成的岩石由于地壳构造变动、岩浆活动及地热流变化的影响，其所处的地质及物理化学条件发生改变，致使岩石在基本保持固态的情况下发生成分、结构上的变化，而生成一系列变质矿物，形成新岩石的作用。

自然界地质体中的各种矿物，可以是同时生成，而更常常是在形成时间上有先后关系，称为矿物的生成顺序。矿物通常是按晶格能降低的顺序而次第析出的，共生的矿物，其晶格能大体相近。同一成因、同一成矿期（或成矿阶段）所形成的不同矿物共存于同一空间的现象称为矿物的共生，彼此共生的矿物称为共生矿物，它们可能是同时形成的，或者是从同一起来源的成矿溶液中依次析出的。各共生矿物构成的组合称为矿物的共生组合。不同成因或者不同成矿阶段的各种矿物共同出现在同一空间范围内的现象称为矿物的伴生。

目前，矿物学中广泛采用的是以矿物的化学成分和晶体结构为依据的晶体化学分类。矿物的本质是成分和结构的统一，它们决定了矿物本身的性质，并与一定的形成条件有关，在一定程度上也反映了自然界化学元素结合的规律性。因此，以晶体化学为基础的矿物分类方案，应是比较合理的。本教义采用晶体化学分类对既有的 15 种矿

物进行分类，考虑到实习的 31 种既有矿物类别，这里的矿物大类划分方面，沿用前人自然元素矿物、硫化物及其类似化合物矿物、氧化物和氢氧化物矿物、含氧盐矿物及卤化物矿物的划分方法。

表 2.2 矿物的晶体化学分类体系

级序	划分依据	举例
大类	单质和化合物类型	含氧盐矿物
类	阴离子或络阴离子种类	硅酸盐矿物
亚类	强键分布和络阴离子结构	岛状硅酸盐
族	晶体结构型和阳离子性质	辉石
(亚族)	阳离子种类和结构对称性	单斜辉石
种	一定的晶体结构和化学成分	普通辉石
(亚种)	完全类质同象系列中的端员组分比例	
(变种或异种)	形态、物性、成分微小差异	钛辉石

本实验课中备有 31 中常见矿物，相应样品编号及矿物特性在本章下文分条列出，在矿物描述部分，加粗字体为矿物的主要鉴定特征，以供学生在观察手标本时候参考。

2.2 自然元素矿物样品

石 墨 (Graphite) C (样品编号: 13)

六方或三方晶系，常见六方晶系。石墨晶体单体呈六方片状，集合体常呈鳞片状、土状、块状。铁黑色或钢灰色，条痕黑色，在涂釉的瓷板上条痕黄绿色，半金属光泽，不透明。摩氏硬度 1~2，一组极完全解理，相对密度 2.21~2.26。易污手，手摸具滑感；良导体，耐高温，不溶于酸。如果将硫酸铜溶液润湿的停粒放在石墨上，可析出金属铜的斑点，在与石墨相似的辉钼矿上则无此种反应。石墨常见

于变质岩中，可用于制造电极、润滑剂、铅笔芯、原子反应堆中的中子减速剂以及用来合成金刚石。



图 1 石墨样品

2.3 硫化物及其类似化合物矿物样品

黄铁矿（Pyrite） FeS_2 （样品编号：01）

等轴晶系。常有完好的晶形，呈立方体、八面体、五角十二面体及其聚形。立方体晶面上有与晶棱平行的条纹，各晶面的条纹相互垂直。集合体呈致密块状、粒状或结核状。浅黄（浅铜黄）色，条痕绿黑色，强金属光泽，不透明。无解理，参差状断口。摩氏硬度 6~6.5，用小刀刻不动，相对密度 4.9~5.2。黄铁矿在地表条件下易风化为褐铁矿，是提取硫和制造硫酸的主要原料。世界著名黄铁矿产地有西班牙、捷克、斯洛伐克和美国。中国黄铁矿的储量居世界前列，著名

产地有广东英德和云浮、安徽马鞍山、甘肃白银厂等。



图 2.2 黄铁矿样品

磁铁矿 (Magnetite) FeFe_2O_4 (样品编号: 02)

等轴晶系。完好单晶形呈八面体或菱形十二面体。呈菱形十二面体时，菱形面上常有平行该晶面长对角线方向的条纹。集合体为致密块状或粒状。颜色为铁黑色，**条痕呈黑色**，半金属光泽，不透明。无解理，摩氏硬度 5.5~6，相对密度 4.8~5.3。**具强磁性**，中国古代又称为慈石、磁石、玄石，是矿物中磁性最强的，能被永久磁铁吸引，中国古代的指南针——司南就是利用磁铁矿这一特性制成的。

磁铁矿分布广，有多种成因。岩浆成因矿床以瑞典基鲁纳为典型；与火山作用有关的矿浆直接形成的矿床以智利拉克铁矿为典型；接触变质形成的铁矿以中国大冶铁矿为典型；含铁沉积岩层经区域变质作用形成的铁矿，品位低规模大，俄罗斯、北美、巴西、澳大利亚和中国辽宁鞍山等地都有大量产出。磁铁矿是炼铁的主要矿物原料，

也是传统的中药材。



图 2.3 磁铁矿样品

方铅矿 (Galena) PbS (样品编号: 06)

等轴晶系。晶体外形常呈立方体,有时为立方体和八面体的聚形,集合体常呈粒状和块状。铅灰色,条痕灰黑色,金属光泽。摩氏硬度 2.5,相对密度 7.4~7.6,是它重要的鉴定特征之一。方铅矿还有一个重要特征是发育三组相互垂直的完全解理,故它很容易裂成立方体小块。

方铅矿是自然界分布最广的含铅矿物,经常在热液矿脉及接触交代矿床中产出,是炼铅的最重要的矿物原料,而含银的方铅矿又是炼银的重要原料。世界著名方铅矿产地有美国密西西比谷地、新南威尔士布若肯山、墨西哥圣犹拉里亚、加拿大苏里万矿以及东欧的保加利亚、捷克和斯洛伐克。中国著名方铅矿产地有云南金顶、广东凡口、青海锡铁山等。



图 2.4 方铅矿样品

黄铜矿 (Chalcopyrite) CuFeS_2 (样品编号: 09)

四方晶系。单个晶体很少见，集合体常为不规则的粒状或致密块状。**铜黄色**，表面常有斑驳的蓝、紫、褐色的锈色膜，**条痕绿黑色**，金属光泽。断口参差状或贝壳状，无解理；摩氏硬度 3~4，**性脆**。相对密度 4.1~4.3。**溶于硝酸，此可与自然金相区别。**

黄铜矿主要形成于（超基性、基性）岩浆作用、接触交代作用、热液作用的矿床中或沉积层状铜矿中，是提炼铜的主要矿物之一，是仅次于黄铁矿的最常见的硫化物。在地表风化作用下，黄铜矿常变为绿色的孔雀石和蓝色的蓝铜矿。世界著名黄铜矿产地是西班牙的里奥廷托、德国的曼斯菲尔德、瑞典的法赫伦、美国的亚利桑那和田纳西州等。中国的黄铜矿分布较广，著名产地有甘肃白银厂、山西中条山、湖北、安徽和西藏高原等。



图 2.5 黄铜矿样品

闪锌矿 (Sphalerite) ZnS (样品编号: 10)

等轴晶系。闪锌矿完好晶形呈四面体或菱形十二面体，但少见，常呈粒状集合体。闪锌矿近乎无色，颜色变化幅度大，随含铁量的增加，颜色从浅黄、黄褐变到铁黑色，透明度也由透明到半透明，甚至不透明。闪锌矿的条痕颜色较矿物颜色浅，呈浅黄或浅褐色。无色晶体新鲜解理面呈金刚光泽，浅色闪锌矿稍有松脂光泽，深色闪锌矿呈半金属光泽。发育完全的菱形十二面体解理（实际观察中很少能看到六个方向有解理）。摩氏硬度 3.5~4，相对密度 3.9~4.2。闪锌矿常形成于热液矿床中，总与方铅矿共生，是提炼锌的主要矿物原料。



图 2.6 闪锌矿样品

萤石 (Fluorite) CaF_2 (样品编号: 07)

等轴晶系。晶体常呈立方体、八面体或立方体的穿插双晶，集合体呈粒状或块状。浅绿色、浅紫色或无色透明，有时为玫瑰红色，条痕白色，玻璃光泽，透明至不透明；八面体解理完全；摩氏硬度 4，相对密度 3.18。在紫外线、阴极射线照射下或加热时发出蓝色或紫色萤光，因此而得名。

萤石主要产于中、低温热液矿脉中。无色透明的萤石晶体产于花岗伟晶岩或萤石脉的晶洞中。萤石在冶金工业上可用作助熔剂，在化学工业上是制造氢氟酸的原料。



图 2.7 萤石样品

2.4 氧化物及氢氧化物矿物样品

石 英 (Quartz) SiO_2 (样品编号: 03)

三方晶系, 即低温石英, 是石英族矿物中分布最广的一个矿物种。广义的石英还包括六方晶系的高温石英。低温石英常呈带尖顶的六方柱状晶体, 柱面有横纹, 类似于六方双锥状的尖顶, 实际上是由两个菱面体单形所形成的。晶体常呈六方柱, 顶端锥形, 柱面常具横纹, 集合体成粒状、致密块状或晶簇状, 隐晶质结合体为结核状、晶腺状。

纯净的石英无色透明, 因粒度、颜色、包裹体等的不同而有许多变种。无色透明的称为水晶, 紫色水晶俗称紫晶, 烟黄色、烟褐色至近黑色的俗称茶晶、烟晶或墨晶, 玫瑰红色的俗称芙蓉石; 呈肾状、钟乳状的隐晶质石英称石髓, 具不同颜色同心条带构造的晶腺称玛瑙,

玛瑙晶腺内部有明显可见的液态包裹体的俗称玛瑙水胆，细粒微晶组成的灰色至黑色隐晶质石英称燧石。玻璃光泽，贝壳状断口上具油脂光泽。无解理，摩氏硬度 7，相对密度 2.65。受压或受热能产生电效应，抗风化性强。



图 2.8 石英单晶体样品

赤铁矿 (Hematite) Fe_2O_3 (样品编号: 11)

三方晶系或等轴晶系。单晶体常呈菱面体和板状，但单体晶形少见，集合体形态多样，有片状、鳞片状（显晶质）、粒状、鲕状、肾状、土状、致密块状等。显晶质呈铁黑至钢灰色，隐晶质呈暗红色，条痕樱红色，金属光泽至半金属光泽。摩氏硬度 5.5~6.5，土状者显著降低，无解理，相对密度 5.0~5.3，性脆。无磁性。



图 2.9 肾状赤铁矿样品

铝土矿 (Bauxite) $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (样品编号: 14)

以极细的三水铝石 $[\text{Al}(\text{OH})_3]$ 、一水硬铝石 $[\text{AlO}(\text{OH})]$ 或者一水软铝石 $[\text{Al}(\text{OH})_2]$ 为主要组分, 并含少量高岭石、蛋白石、赤铁矿、针铁矿等矿物混合物。常呈鲕状、豆状、块状、多孔状或土状产出; 颜色随氧化铁含量的增加而从灰白变为棕红, 有时呈斑点状。硬度与相对密度比页岩大。手摸感粗糙, 质纯者有滑感; 其粉末用水湿润后不具有可塑性; 在新鲜面上用口呵气后有强烈的土臭味; 取小块铝土矿置于氧化焰中灼烧, 加一滴 $\text{Co}(\text{NO})_3$ 溶液再烧, 冷却后可见 Al 的蓝色反应。加 HCl 不起泡。是外生地质作用的产物。



图 2.10 铝土矿样品

2.5 硅酸盐矿物样品

斜长石 (Plagioclase) $\text{Na}_{1-x}\text{Ca}_x[\text{Al}_{1+x}\text{Si}_{3-x}\text{O}_8]$ $x=0\sim 1$ (样品编号: 16)

三斜晶系的架状硅酸盐矿物，属于 $\text{Na} [\text{AlSi}_3\text{O}_8]-\text{Ca} [\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ 的连续类质同象系列的长石矿物的总称。晶体多为柱状或板状，常见聚片双晶，在晶面或解理面上可见细而平行的双晶纹。白至灰白色，有些呈微浅蓝或浅绿色，其他色调一般由杂质引起。玻璃光泽，半透明。两组解理（一组完全、一组中等）相交成 $86^\circ 24'$ ，故得名斜长石。摩氏硬度 $6\sim 6.5$ ，相对密度 $2.6\sim 2.76$ 。斜长石广泛分布于岩

浆岩、变质岩和沉积碎屑岩中。斜长石是陶瓷业和玻璃业的主要原料，色泽美丽者可作宝玉石材料，如日光石。



图 2.10 斜长石样品

正长石 (Orthoclase) KAlSi_3O_8 (样品编号: 17)

晶体属单斜晶系的架状硅酸盐矿物。正长石是钾长石的亚稳相变体，钾长石和钠长石不完全类质同象系列。短柱状或厚板状晶体，常见卡斯巴双晶、巴温诺双晶和曼尼巴双晶，集合体为致密块状。肉红或浅黄、浅黄白色，玻璃光泽，解理面珍珠光泽，半透明。两组解理（一组完全、一组中等）相交成 90° ，由此得正长石之名。摩氏硬度 6，比重 2.56-2.58。正长石广泛分布于酸性和碱性成分的岩浆岩、火山碎屑岩中，在钾长片麻岩和花岗混合岩以及长石砂岩和硬砂岩中也有分布。正长石是陶瓷业和玻璃业的主要原料，也可用于制取钾肥。



图 2.12 正长石卡斯巴双晶单体样品

橄榄石 (Olivine) $R_2[SiO_4]$ (样品编号: 18)

斜方晶系的一族岛状结构硅酸盐矿物的总称,因常呈**橄榄绿色**而得名。晶体为短柱状,多呈**粒状集合体**。随 Fe 含量增多,颜色从浅黄绿色变到深绿色,玻璃光泽,透明至半透明。解理中等或不完全,常具**贝壳状断口**,性脆。摩氏硬度 6~7,相对密度 3.3~4.4。**难熔**。

橄榄石是组成上地幔的主要矿物,也是陨石和月岩的主要矿物成分。常见于基性和超基性火成岩中,镁橄榄石还可产于镁矽卡岩中。橄榄石受热液作用可蚀变成蛇纹石。透明、色美的橄榄石可作宝石。世界优质橄榄石的著名产地有红海中埃及圣约翰岛、意大利维苏维火山、挪威斯纳鲁姆、德国艾费尔地区、美国的亚利桑那州和新墨西哥州等。中国河北张家口汉诺坝玄武岩包体中也有宝石级的橄榄石。



图 2.13 橄榄石样品

普通辉石 (Augite) $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ti}, \text{Al})[(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6]$ (样品编号: 19)

单斜晶系的单链状结构硅酸盐矿物。短柱状，横断面近八边体，集合体常为粒状、放射状或块状。绿黑至黑色，条痕无色至浅灰绿色，玻璃光泽，近乎不透明。两组柱面中等解理，相交呈近直角 (87° 或 93°)。摩



图 2.14 普通辉石样品

氏硬度 5~6，相对密度 3.23~3.52。普通辉石是基性岩、超基性岩中很常见的一种矿物，在月岩中也很丰富，变质岩中偶有出现。

普通角闪石 (Hornblende) $\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe})_4(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$
(样品编号: 20)

单斜晶系的双链状结构硅酸盐矿物。晶体呈长柱状，横断面近菱形，集合体常呈粒状、针状或纤维状。绿黑至黑色，条痕浅灰绿色，玻璃光泽，近乎不透明。两组柱面解理完全，交角为 124° 或 56° 。摩氏硬度 5~6，相对密度 3.1~3.4。普通角闪石是火成岩和变质岩的主要造岩矿物，常产于中酸性侵入岩、喷出岩及角闪岩相的变质岩中，可做铸石原料中的配料。



图 2.15 普通角闪石样品

黑云母 (Biotite) $K\{(Mg, Fe)_3[AlSi_3O_{10}](OH)_2\}$ (样品编号: 21)

单斜晶系层状硅酸盐。成分不稳定, 类质同象广泛, 尤其 Mg、Fe 之间完全类质同象。晶体呈假六方板状或锥形短柱状; **集合体呈片状或鳞片状。颜色为黑色、深褐色**, 有时带浅红、浅绿或其他色调, 含钛高的呈浅红褐色, 富含高价铁则呈绿色; 透明至不透明, 玻璃光泽, 黑色则呈半金属光泽。摩氏硬度 2~3, 相对密度 3.02~3.12。在深成岩和浅成岩中, 特别是酸性或偏碱性的岩石中大都含有黑云母。黑云母被广泛应用在装饰涂料中。



图 2.16 黑云母样品

石榴子石 (Garnet) $A_3B_2[SiO_4]_3$ (样品编号: 22)

等轴晶系的一族岛状结构硅酸盐矿物的总称。化学式中 A 代表二价阳离子, 主要有镁、铁、锰和钙等; B 代表三价阳离子, 主要有铝、

铁、铬、钛等。石榴石按成分特征通常分为铝系和钙系两个系列。铝系矿物成员有：紫红色、玫瑰红色镁铝榴石，红褐色、橙红色铁铝榴石，深红色锰铝榴石。钙系矿物成员有：黄褐色、黄绿色钙铝榴石，棕、黄绿色钙铁榴石，鲜绿色钙铬榴石。石榴石晶形好，常呈菱形十二面体、四角三八面体或两者的聚形体，集合体呈致密块状或粒状。颜色变化大，玻璃光泽至金刚光泽，断口为油脂光泽，半透明。无解理，断口参差状，摩氏硬度 6.5~7.5，性脆，相对密度 3.32~4.19。

石榴石在自然界分布广泛。镁铝榴石主要产于基性岩和超基性岩中，铁铝榴石常见于片岩和片麻岩中，钙铝榴石和钙铁榴石是矽卡岩的主要矿物，钙铬榴石产于超基性岩中。石榴子石主要作研磨材料，色彩鲜艳透明者可作宝石，俗称子牙乌。



图 2.17 石榴子石样品

高岭石 (Kaolinite) $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ (样品编号: 23)

三斜晶系的层状结构硅酸盐矿物。多呈隐晶质、分散粉末状、疏松块状集合体。白或浅灰、浅绿、浅黄、浅红等颜色，条痕白色，上状光泽。摩氏硬度 2~2.5，相对密度 2.6~2.63。吸水性强，加水具有可塑性，粘舌，干土块具粗糙感。明末，在景德镇高岭村开采此矿，命名为高岭土，后经德国地质学家李希霍芬按高岭土之音译成“Kaolin”，介绍到世界矿物学界。

高岭石是组成高岭土的主要矿物，常见于岩浆岩和变质岩的风化壳中。其是陶瓷的主要原料，在其他工业中也有广泛使用。世界著名高岭石产地有英国的康沃尔和德文、法国的伊里埃、美国的佐治亚等。中国高岭石的著名产地有江西景德镇、江苏苏州、河北唐山、湖南醴陵等。



图 2.18 高岭石样品

蓝晶石 (Kyanite) $\text{Al}_2[\text{SiO}_4]\text{O}$ (样品编号: 24)

三斜晶系，晶体呈扁平的板条状。有时呈放射状集合体。蓝色、带蓝的白色、青色。具完全和中等的两组解理。硬度有明显的异向性，故又名二硬石。平行晶体伸长方向上莫氏硬度为 4.5，垂直方向上为 6。比重 3.53~3.65。区域变质作用产物，在结晶片岩和片麻岩中出现。当加热到 1300℃时，蓝晶石变为莫来石，是高级耐火材料。也可提取铝。色丽透明晶体可作宝石，以深蓝色为佳。瑞士、奥地利是知名产地。美国北卡罗来纳州产有深蓝、绿色的宝石蓝晶石。



图 2.19 蓝晶石样品

红柱石 (Andalusite) $\text{Al}_2[\text{SiO}_4]\text{O}$ (样品编号: 25)

红柱石为斜方双锥晶类。晶体呈柱状，主要单形有：斜方柱 m、n，平面双面 c。解理交角近于垂直，硬度为 6.5~7.5。常呈灰白色或肉红色，呈蓝，绿，紫色者少见，条痕为白色。红柱石是典型的中低级热变质作用成因的矿物，常见于接触变质带的泥质岩中，主要形成于温度和压力都较低条件下。



图 2.20 红柱石样品

滑石 (Talc) $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$ (样品编号: 26)

为层状硅酸盐矿物，单斜晶系；晶形为假六方或菱形板片状微细晶，很少见，常呈致密块状集合体。白色或其他浅色，玻璃光泽，节理面珍珠光泽和晕彩。硬度 1，发育 [001] 极完全解理，块状者贝壳

状断口，相对密度 2.58-2.83。手摸具有滑感。我国辽、山东等地盛产滑石，辽宁滑石以其规模和质量闻名于世。



图 2.21 滑石样品

绿泥石 (Chlorite) $Y_3[Z_4O_{10}](OH)_2 \cdot Y_3(OH)_6$ (样品编号: 27)

晶体属单斜、三斜或正交(斜方)晶系，是一族层状硅酸盐矿物的总称。化学式中 Y 主要代表 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Al^{3+} 和 Fe^{3+} 等阳离子，Z 主要是 Si 和 Al，少量的 Fe^{3+} 和 B^{3+} 。通常所称的绿泥石是富含镁铁质的绿泥石。晶体呈假六方片状或板状，薄片具挠性且无弹性。集合体呈鳞片状、土状。浅绿至深绿色。玻璃光泽或珍珠光泽，透明至不透明。一向极完全解理。摩氏硬度 2-2.5，比重 2.6-3.3。绿泥石是一些变质岩的造岩矿物。火成岩中的镁铁矿物如黑云母、角闪石、辉石等在

低温热水作用下易形成绿泥石。



图 2.22 绿泥石样品

透辉石 (Diopside) $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ (样品编号: 28)

常呈柱状晶体，晶体的横断面为正方形或正八边形，集合体呈致密块状或块状。白色至灰绿色，条痕为白色。中等至完全解理，节理夹角 87° ，具有 $\{100\}$ 、 $\{010\}$ 裂开。摩氏硬度 5.5~6。相对密度为 3.22~3.38。为接触交代矽卡岩的主要矿物，与石榴石、符山石、阳起石等共生。



图 2.23 透辉石样品

十字石 (Cross Stone) $\text{Fe}_2\text{Al}_9[\text{SiO}_4]_4\text{O}_7(\text{OH})_2$ (样品编号: 29)

十字石是岛状硅酸盐矿物，斜方晶系，晶体结构可以看作是平行(010)面蓝晶石结构层，与氢氧化铁层交互叠置成，这就使得蓝晶石的(100)面依十字石的(010)面成规则连生。晶体通常粗大，呈短柱状，十字形贯穿双晶常见，故得名。棕红、红褐、淡黄褐或黑色，玻璃光泽，但变化后暗淡无光或如土状。解理中等。摩氏硬度 7.5，性脆，相对密度 3.74~3.83。罕见的透明十字石可当作定石。



图 2.24 十字石样品

蛇纹石（Serpentine） $\text{Mg}_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ （样品编号：30）

一族层状硅酸盐矿物的总称。单体少见，多呈致密块状、层状或纤维状集合体。具有各种色调的绿色、浅黄色，常呈似蛇皮的绿黑相间的花纹，故称蛇纹石；条痕白色，块状蛇纹石呈油脂光泽或蜡状光泽，纤维状石膏具丝绢光泽。摩氏硬度 2.5~3.5，相对密度 2.5~2.65。稍具滑感。

蛇纹石主要是超基性岩或镁质碳酸岩中的富镁的矿物经热液交代变质而成。蛇纹石可作为耐火材料和生产钙镁磷肥的原料。绿色不透明者称岫玉，因辽宁岫岩县出产而得名，是著名的玉石。



图 2.25 蛇纹石样品

绿帘石 (Epidote) $\text{Ca}_2\text{Fe}^{3+}\text{Al}_2[\text{SiO}_4][\text{Si}_2\text{O}_7]\text{O}(\text{OH})$ (样品编号: 31)

链-岛状硅酸盐, 单斜晶系。晶体常呈柱状、放射状、晶簇状集合体。常见黄绿色, 也可呈灰、黄、绿褐、黑等色, 随着 Fe^{3+} 含量增加而变深, 含少量 Mn 可呈粉红色。玻璃光泽, 透明。硬度 6, 发育 {001} 完全解理。相对密度 3.38~3.49 (随着 Fe 含量增加而变大)。生成于中温热液作用、绿片岩相和动力变质作用。



图 2.26 绿帘石样品

2.6 其他含氧盐矿物样品

方解石 (Calcite) $\text{Ca}[\text{CO}_3]$ (样品编号: 04)

三方晶系的碳酸盐矿物。晶体常为复三方偏三角面体或菱面体与六面体的聚形，集合体多呈粒状、块状、钟乳状、鲕状、纤维状及晶簇状等。通常为无色、乳白色，含杂质则染成各种颜色，有时具晕色。其中无色透明的方解石晶体称冰洲石，玻璃光泽。**摩氏硬度 3**，相对密度 2.6~2.9，三组完全菱面体解理，故名方解石，性脆。遇冷稀盐酸剧烈起泡，放出 CO_2 。

方解石是分布最广的矿物之一，是组成石灰岩和大理岩的主要成

分。在石灰岩地区，溶解在溶液中的重碳酸钙在适宜的条件下沉淀出方解石，形成千姿百态的钟乳石、石笋、石幔、石柱等自然景观。方解石在冶金工业上用作熔剂，在建筑工业方面用来生产水泥、石灰。冰洲石是制作偏光棱镜的高级材料。



图 2.27 方解石样品

白云石 (Dolomite) $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$ (样品编号: 05)

碳酸盐矿物，三方晶系。晶体常呈菱面体，晶面常弯曲成马鞍状。集合体常呈粒状或致密块状，有时呈多孔状或者肾状。无色或白色，含 Fe 者黄褐色，含 Mn 者略显红色；玻璃光泽；透明。硬度 3.5~4；发育 $\{10\bar{1}1\}$ 完全解理，节理面常弯曲；性脆。相对密度 2.85，随 Fe、Mn、Pb、Zn 含量的增多而增大。遇 HCl 不剧烈起泡；用 0.2mol/L 的 HCl 加茜素红硫溶液，白云石不染色，方解石变程紫红。主要有沉积与热液两种成因，可用作耐火材料、高炉炼铁中的溶剂及建筑石材。



图 2.28 隐晶白云石样品

石 膏 (Gypsum) $\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (样品编号: 08)

单斜晶系的含水硫酸盐矿物。晶体常呈近似菱形的板状，多为纤维状、粒状、致密块状集合体。石膏有多种产出形态：质纯无色透明的晶体称为透石膏；雪白色、不透明的细粒块状称为雪花石膏；纤维状集合体并具丝绢光泽的称为纤维石膏。石膏加热放出水分后，变为熟石膏。玻璃光泽，纤维状者呈丝绢光泽。一组极完全解理，薄片具挠性。摩氏硬度 2，相对密度 2.3。加稀盐酸不起泡。

石膏主要由化学沉积作用形成。泻湖盆地中沉积的石膏层，规模巨大，常与硬石膏、石盐、钾石盐等共生。主要用于制水泥、塑造模型及医药等，透石膏晶体用于光学仪器上。



图 2.29 石膏样品

重晶石 (Barite) $Ba[SO_4]$ (样品编号: 12)

斜方晶系的硫酸盐矿物。常呈厚板状或柱状晶体，多为致密块状或板状、粒状集合体。质纯时无色透明，含杂质时被染成各种颜色，条痕白色，玻璃光泽，透明至半透明。三组解理完全，夹角等于或近于 90° 。摩氏硬度 3~3.5，相对密度 4.3~4.6。遇盐酸不起泡。

重晶石主要形成于中低温热液条件下，是提取钡的原料，磨成细粉可作钻探用的泥浆加重剂，又可作各种白色颜料、涂料以及橡胶业、造纸业的填充剂和化学药品等。中国湖南、广西、青海、新疆等地有巨大的重晶石矿脉。



图 2.30 重晶石样品

磷灰石 (Apatite) $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3(\text{F}, \text{OH})$ (样品编号: 15)

六方晶系磷酸盐矿物。晶体一般为带锥面的六方柱，集合体呈粒状、块状或结核状等。颜色多样，有白、灰、黄绿、褐、紫等色，玻璃光泽，解理沿底面不完全，性脆，断口不平坦，油脂光泽，透明至不透明。摩氏硬度 5，相对密度 3.18~3.21。加热后可发磷光。将钼酸铵粉末置于磷灰石上，加硝酸，可生成黄色的磷钼酸铵，用以快速试磷。

磷灰石形成环境广泛，在碱性岩、沉积岩及沉积变质岩中形成规模大。具有隐晶质或胶状构造的磷灰石称为胶磷矿，为浅海沉积成因；生物化学成因形成的磷矿由动物骨骼或粪便形成的羟磷灰石组成。磷灰石是提取磷的原料；晶体透明、颜色漂亮者可作为宝石。



图 2.31 磷灰石样品

3 常见岩石

3.1 概述

岩石是天然产出的、由一种或多种矿物或其他物质（如火山玻璃、生物遗骸、地外物质等）构成的固态集合体。多数岩石是由几种矿物组成的，单矿物组成的岩石较少。岩石不仅是地球物质的基本组分，也是类地行星的主要组成部分，地球内部乃至其他天体的固体部分都是由岩石组成的。

按照岩石形成过程的不同，可以将它们划分为三大类：火成岩、沉积岩和变质岩。火成岩又称岩浆岩，是由来自地球深部炽热的岩浆固结而成的岩石，包括岩浆在地下深处结晶而成的侵入岩和岩浆经火山口喷出到地表后冷凝而成的喷出岩。喷出岩又称为火山岩。沉积岩

表 3.1 三大类岩石主要地质特征（据 Blatt et al., 2006, 有修改）

火 成 岩	沉 积 岩	变 质 岩
<ol style="list-style-type: none"> 除部分火山岩和少部分侵入岩外，多数火成岩无成层性 常形成火山及各类熔岩流（火山岩）；或形成岩墙、岩床、岩株及岩基等地质体，与围岩之间有明显的切割关系（侵入岩） 熔岩流快速冷凝的表面部分粒度更细小；而侵入岩与围岩接触处，可以出现细粒的冷凝边。由于岩浆热的影响，火成岩四周的围岩会发生重结晶，出现化学反应带和发生颜色的改变 可出现斑状结构、玻璃质结构、文象结构、气孔构造等，多数火成岩无定向构造 除火山碎屑岩外，无化石出现。多数矿物为高温岩浆结晶的矿物，如橄榄石、辉石、角闪石、黑云母、长石、石英等 	<ol style="list-style-type: none"> 呈层状产出，并经过分选作用；岩层在横向上延续范围较广 沉积地质体形态可能以沉积形态为特征，如河流、三角洲、沙洲、沙坝等 沉积岩的固结程度有差别，有些甚至是未固结的沉积物 出现碎屑结构、鲕状结构、层理构造等。岩层表面可以出现波痕、交错层、泥裂等构造 物质组成上，以大量出现石英、燧石、碳酸盐矿物（方解石和白云石）、粘土矿物、石膏、燧石、岩盐等矿物为特征，常含有化石 	<ol style="list-style-type: none"> 多数分布于造山带和前寒武纪地盾中 大范围的变质岩分布区，矿物组成具有随变质程度的改变而改变的现象；部分变质岩分布于火成岩体与围岩的接触带，有的呈带状热变质晕形式出现 岩石中的砾石、化石或晶体受到了破坏；碎屑或晶体颗粒拉长，岩石具定向构造，岩石的面理方向可与区域构造线方向一致，但也有少数无定向构造的变质岩 具有粒状、片状变晶结构，碎裂结构，角岩结构等 可出现特征变质矿物，如红柱石、蓝晶石、矽线石、石榴子石、十字石、硅灰石、石墨、绿帘石、透闪石、阳起石等矿物

是在地表条件下，主要由成层堆积的松散碎屑沉积物固化而成的岩石，也可以是由化学及生物化学溶液及胶体沉淀而成的岩石。松散沉积物来源于先存岩石的风化和剥蚀，它们在水、风、冰川的外动力地质条件下发生搬运作用，最后沉积在沉积盆地中。经过胶结、压实和重结晶作用，原先松散的沉积物就逐渐石化为沉积岩。变质岩指由于温度、压力、剪切应力、活动性流体参与等一种或多种物理化学条件的变化，先存岩石在基本为固态的情况下，相应出现岩石外貌（产状、结构构造等）和物质组成（矿物成分、化学成分）的变化而形成的新的岩石。

多数变质岩形成于岩石风化和沉积物胶结作用地带以下的区域内，但冲击变质岩可以在地表形成。由于成因的差异，三大岩类之间在结构构造及矿物组分等方面具有较大区别（表 3）。

本实验课中备有 51 中常见岩石，相应样品编号及岩石特性在本章下文分条列出，样品排列顺序是在三大岩分类基础上，按照样品原有编号由大至小从前往后排列，以供学生在观察手标本时候参考。

3.1.1 岩浆岩简述

岩浆岩的侵位深度不同，就会影响到岩浆冷凝结晶的条件（冷却速度、结晶温度、压力及挥发组分），所形成的岩石也有不同特征（矿物组成、结构构造等）。因此，按照侵入体的侵位深度，可将侵入岩划分为浅成相（侵入深度为 0~5km）、中深成相（侵入深度为 5~15km）和深成相（侵入深度为大于 15km）三个相。其中，浅成相的岩石相当于浅成岩，而中深成相和深成相的岩石属于深成岩。Si 在岩浆岩主量元素中含量最高，对岩浆及火成岩的物理化学性质及矿物组成的影响最大。根据 SiO_2 含量把火成岩分为四类：超基性岩（ $\text{SiO}_2 < 45\%$ ）、基性岩（ SiO_2 处于 45%~52%）、中性岩（ SiO_2 处于 52%~63%）、酸性岩（ $\text{SiO}_2 > 63\%$ ）。根据岩浆岩原生矿物的相对含量（体积分数），可划分为主要矿物（含量高，在岩石大类命名中起主要作用的矿物）、次要矿物（含量少于主量矿物）和副矿物（一般少于 1%）三类。喷出岩与侵入岩的一般特征见表 4。按照岩浆岩实际矿物的种类，分为

长英质矿物和镁铁质矿物。长英质矿物指长石（碱性长石、斜长石）、似长石、石英、白云母等的总称。由于这些矿物的颜色较浅，所以也称浅色矿物或淡色矿物；镁铁质矿物指橄榄石、辉石（单斜辉石、斜方辉石）、角闪石、黑云母和不透明矿物等的总称。这类矿物的颜色一般较深，所以又称暗色矿物。镁铁质矿物在岩石中的体积百分含量称为色率。色率是肉眼鉴定侵入岩的重要标志。

表 3.2 喷出岩与侵入岩的一般特征（据 Raymond, 1995, 修改）

喷出岩	侵入岩
1. 除可能存在粗粒的斑晶外，岩石具玻璃质、隐晶质和微（细）粒结构，在火山碎屑岩中有岩石碎块和火山碎屑结构	1. 岩石为全晶质，具细粒-粗粒结构
2. 可见气孔和杏仁构造	2. 缺乏气孔和杏仁构造
3. 只有底部才有细粒的冷凝边出现；在喷出单元之下才会出现烘烤边和轻微的接触变质作用	3. 在侵入岩的岩体四周都可以出现冷凝边；在接触带都可以出现接触变质作用
4. 与地层常为整合接触，内部常含有沉积岩夹层，在喷出岩层不规则和碎屑化的顶部，裂隙中可以充填沉积物或上覆单元的岩石	4. 与围岩为侵入接触，岩墙和岩枝可以从岩体顶部或边部延伸到侵入体周围的岩石中
5. 上覆岩石中会出现下伏喷出岩层的碎屑	5. 岩体内可出现周围岩石的碎块或捕虏体
6. 相关岩石缺少变形	6. 岩体侵入可以引起邻近岩石发生褶皱和断裂

岩浆岩的结构是指组成火成岩的物质的结晶程度、颗粒大小、颗粒形态、颗粒取向以及颗粒之间的相互关系。岩浆岩的结构可从其矿物结晶程度、矿物颗粒大小、矿物颗粒形态、矿物颗粒形态、矿物相互关系五方面进行描述。根据矿物颗粒的相对大小，岩浆岩可分为等粒和不等粒两类结构。然后再根据颗粒的绝对大小作进一步的划分。等粒结构指全晶质岩石中主要矿物颗粒粒径（ d ）大致相等，其中，显微隐晶结构，在显微镜下也不容易分清矿物颗粒边界；微晶结构， $d < 0.2 \text{ mm}$ ；在显微镜下才能看得见晶体；细粒结构， $d = 0.2 \sim 2 \text{ mm}$ ；

中粒结构， $d=2\sim 5\text{ mm}$ ；粗粒结构， $d=5\sim 25\text{ mm}$ ；伟晶结构， $d>25\text{ mm}$ 。不等粒结构中，当岩石中的矿物颗粒分为大小明显不同的两群，大的称为斑晶，细小的部分称为基质。因此，这类结构实际上是一种双峰式不等粒结构。按照我国习惯用法，如果基质是由隐晶质和玻璃质组成的，就称为斑状结构；如果基质是显晶质，则称为似斑状结构。在偏光薄片上，矿物颗粒的形态的轮廓主要由矿物晶面的完整性来反映，可以大致划分为自形、半自形和他形三种。自形晶具有完整的晶面和规则的形态；半自形晶只有部分晶面发育完整，部分晶面发育不完整；他形晶的形态不规则，找不到完整的晶面。

岩浆的构造是指火成岩中不同矿物集合体之间，或矿物集合体与其他组分之间的排列方式及充填方式所表现出来的特点。侵入岩的常见原生构造有块状构造、斑杂构造、面状和线状构造、带状构造或火成层理构造、原生节理构造，常见喷出岩构造有枕状构造、柱状节理构造、流纹构造。

3.1.2 沉积岩简述

沉积岩原始物质的生成与它的来源有关，虽然整个表生带，包括岩石圈上部、整个水圈、生物圈和大气圈下部都是沉积岩原始物质的来源，但最重要的来源还是母岩风化，其次是火山喷发。母岩风化所指母岩可以是任何早先形成的岩石，它们在遭受物理、化学和生物风化时，可为沉积岩提供三大类物质，即碎屑物质、溶解物质和不溶残余物质。碎屑物质是从母岩中机械分离出来的岩石或单个晶体的碎块，

又称陆源碎屑，按大小顺序可进一步划分为砾、砂、粉砂和泥（图 1）。

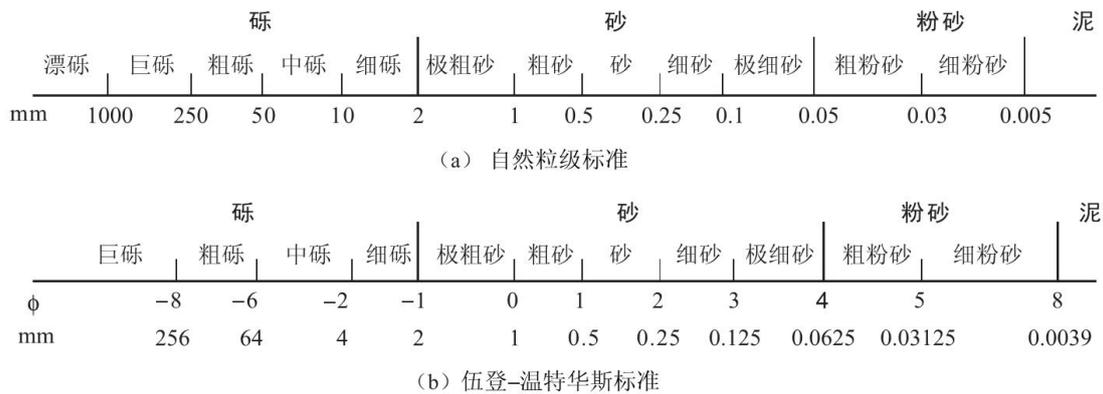


图 3.1 常用的碎屑颗粒粒级划分标准

溶解物质是由母岩释放出来的各种离解离子和胶体离子，是化学或生物化学的作用产物。在自然条件下，一般母岩矿物的化学风化都是十分缓慢和不彻底的作用过程，大多会留下一些过渡性或性质相对稳定的中间产物，其中最常见的是粘土矿物和铁、锰、铝等的氧化物或其水化物，它们大多数是一些细小的固态质点，被统称为不溶残余物质（或称化学残余、风化矿物等）。碎屑物质、不溶残余物质如果仍留在风化面上就称为残积物。火山爆发生成的原始物质通常指火山碎屑，有时也指水下爆发（尤其是喷气）直接进入水体的溶解离子。在沉积岩中，火山碎屑常常是混在母岩风化产物中的次要成分，倘若它们成为主要成分，所形成的岩石即属火山碎屑岩（岩浆岩）的范畴。

由于沉积岩基本上可看成是固结的沉积物，在大多数情况下，沉积岩的整体结构基本上由沉积物决定，或者说，该整体结构在沉积作用中就已大致形成，只是在成岩作用中被封固在沉积岩中，只有少数结构是在成岩作用中形成的。沉积作用中形成的结构可称为沉积结构，可归纳为碎屑结构、泥状结构、自生可结构、生物骨架结构与结晶结

构 5 种基本类型。

沉积岩的构造总称为沉积构造，指在沉积作用或成岩作用中在岩层内部或表面形成的矿物成分的空间分布与排列方式特征，这里的“岩层”是指由区域性或较大范围沉积条件改变而形成的构成沉积地层的基本单位。相邻的上下岩层之间被层面隔开。层面是一个机械薄弱面，易被外力作用剥露出来。无论是岩层内部还是岩层表面的构造都有不同的规模，但通常都是宏观的。

沉积构造的类型极为复杂，描述性、成因性或分类性术语极多，其中，在沉积作用中或在沉积物固结之前形成的构造称为原生沉积构造，在沉积物固结之后形成的构造称为次生沉积构造。从形成机理看，任何构造都无外乎物理、化学、生物或它们的复合成因，相应的构造也就具有相应的形迹特点，特别是原生沉积构造常常与沉积环境的动力条件化学条件或生物条件有密切的成因联系。表 5 列举了一些常见沉积岩构造及相应成因。

表 3.3 重要或常见的沉积构造类型

物理成因		生物成因	化学成因
层理构造	泥裂	生痕构造	晶痕和假晶
波痕构造	雨痕、雹痕	生物扰动构造	鸟眼构造
叠瓦构造	泄水构造	植物根痕构造	结核构造
冲刷构造		叠层构造	缝合线构造

按当代较为流行的分类思想，本讲义采用拟定了图 2 所示的分类方案。图中的他生沉积岩是指主要由他生矿物构成的沉积岩，自生沉积岩是指主要由自生矿物构成的沉积岩。

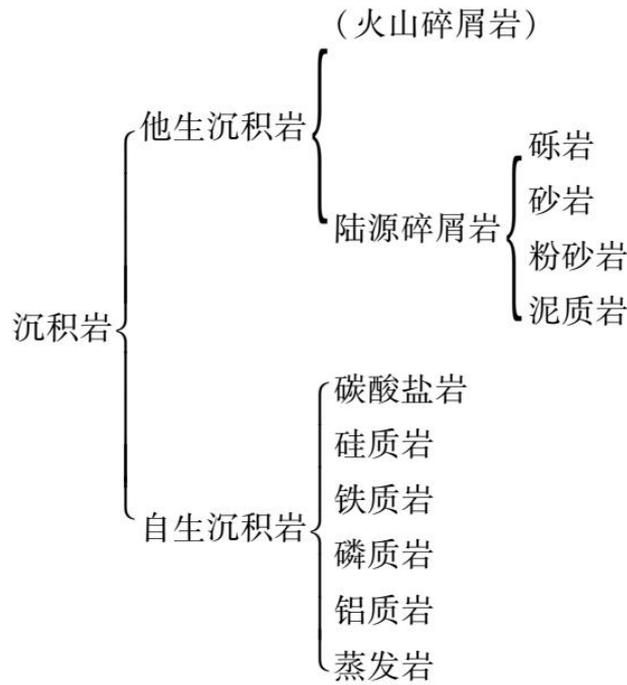


图 3.2 沉积岩分类

3.1.3 变质岩简述

变质作用是一个基本保持固体状态下的岩石转变过程，岩石是如何在这种状态下实现矿物成分、结构构造甚至化学成分变化的呢？这就是变质作用机制问题。与岩浆作用、沉积作用相比，变质作用机制复杂多样，主要包括变质结晶、变形和变质分异三类。

岩石在变质条件下的结晶作用称为变质结晶作用，变质结晶的主要机制包括重结晶作用和交代作用。偏应力施加于岩石，当应变增加到超过弹性极限时，岩石就会产生永久变形。此时视环境条件不同有不同的变形行为：在近地表低温低压和较高应变速率条件下，岩石显示脆性行为，永久变形机制为脆性变形，表现为岩石沿裂缝破裂，产生碎裂和断裂。而在地下高温高压特别是当应变速率低时，岩石显示塑性行为，岩石永久变形主要是由于塑性流动而产生的，导致矿物畸

变和褶皱而没有破裂 (Miyashiro, 1994)。由于大的围限压力会增加颗粒间摩擦阻力, 以及无孔隙岩石内部破裂要求扩容 (体积增大), 所以脆性变形局限于近地表低压环境。然而, 脆性与塑性之间并没有绝对界限。在二者过渡区, 岩石变形行为既有脆性特征, 又有塑性特征, 永久变形由于碎裂流动而产生。变形岩石宏观上整体保持连续性, 显示塑性变形特征; 而微观上则被许多裂隙分割, 显示脆性变形特征。变质分异则指使原先均匀的岩石发育成分层的变质过程 (Raymond, 2002)。

岩石变质的根本原因是地质环境的改变, 应该说, 控制变质作用的根本因素是地质因素, 从物理化学角度看, 可以抽象出温度 (T)、压力 (P)、流体成分 (x)、时间 (t) 等物化因素。

变质作用有不同的规模和广泛的地质背景。根据其规模, 可分为局部变质作用和区域变质作用两大类。局部变质作用可进一步分为接触-热变质作用、动力变质作用、冲击变质作用及交代变质作用, 区域变质作用可分为造山变质作用、洋底变质作用、埋藏变质作用及混合岩化作用。接触-热变质作用是指分布在侵入体与围岩接触带, 主要由岩浆热而导致的变质作用。动力变质作用指分布在断裂带, 在构造作用下导致的变质作用。冲击变质作用指分布在陨石坑附近, 在陨石冲击地表的强大冲击波作用下产生的变质作用。交代变质作用是指局限分布于侵入体接触带及其附近和火山喷气活动区, 主要由岩浆热液引起的异化学变质作用。造山变质作用指大规模分布在前寒武纪结晶基底和显生宙造山带的变质作用, 与造山作用有密切的成因联系,

其面积达数百至数千平方千米。洋底变质作用指洋壳岩石在大洋中脊附近上升热流和海水作用下产生的规模巨大的变质作用。埋藏变质作用：是无明显变形的大规模很低级（很低温）的变质作用。混合岩化作用：是高级区域变质（造山变质）伴随的部分熔融产生的低熔物质（新成体）与变质岩（古成体）混合形成混合岩的大规模变质作用。从原岩角度，变质岩可分为正变质岩（原岩为火成岩）和副变质岩（原岩为沉积岩）两大类。已形成的变质岩还可再遭受变质（一次或多次），这样的变质岩称为复变质岩。Turner（1955）提出一个简明的等化学分类，将常见的变质岩归纳为泥质、长英质、钙质、基性及镁质五种化学类型。此外尚存在硅质、铝质、铁质、锰质、磷质和碳质等特殊类型。

由变质结晶产生的变质矿物称为变晶，变晶的形状、大小和相互关系反映的结构统称为变晶结构，这是变质岩中最普遍的结构类型。岩石遭受变形，会产生粒度减小等结构效应，这类结构称为变形结构，主要见于动力变质岩中。此外，在一些情况下，特别是低级变质岩中，往往可保留原岩结构特点，称为残余结构或变余结构。变晶结构、变形结构和变余结构是变质岩结构的三大类型，详细划分后面再叙述。其中变晶结构和变形结构是在变质作用过程中形成的，可统称为变质结构，而变余结构总是与变质结构相伴生。

变晶结构可归纳为反映变晶粒度、自形程度和形状特征的变晶结构，反映变晶之间包裹关系的变晶结构（变嵌晶结构）和反映变晶之间反应关系的变晶结构（反应结构）三类。反映变晶粒度、自形程度

和形状特征的变晶结构：按主要变晶粒度，变晶结构分为粗粒（ >2 mm）、中粒（ $1\sim 2$ mm）、细粒（ $0.1\sim 1$ mm）和微粒（ <0.1 mm）等类型。变晶按自形程度也有自形、半自形、他形之分。按显示的主要自形程度，变晶结构分为自形变晶、半自形变晶和他形变晶等类型。在粒度分布方面，如果岩石中所有颗粒粒度近相等，称等粒结构。若颗粒粒度显著不同，且无占优势的粒度，则称为不等粒结构。若颗粒粒度呈双峰式分布，大颗粒（变斑晶）为细小颗粒（基质）包围，则称为斑状变晶结构。变斑晶和基质通常由不同矿物组成。由于不同矿物的结晶习性不同，因而岩石中不同矿物具有不同的形状。变晶结构中，主要为等轴、近等轴状颗粒者，称为粒状变晶结构（也称花岗变晶结构）。手边本尺度，动力变质岩的变形结构常可见良好呈现。无论是脆性变形还是塑性变形，都趋向于使岩石细粒化，而且或多或少有大的原岩颗粒残留。因此，动力变质岩通常具有粒度的双峰式分布。大变形的原岩岩石或矿物颗粒称为碎斑，细小颗粒称为基质，基质部分或全部导源于碎斑。碎斑与基质的比例反映变形强度，随着变形强度增大，碎斑含量减少，基质含量增加。而碎斑和基质的特点，特别是基质特点则反映变形机制。根据这些特点将动力变形岩的结构分为碎裂结构、糜棱结构和玻璃质碎屑结构三类。

碎裂结构中，碎斑为大的破裂的岩石或矿物颗粒，基质为细小的同成分粉碎物质。有时基质中含有次生的 Fe、Mn、Ca 质胶结物。碎裂结构由岩石脆性变形产生。但在碎斑中可见到波状消光、变形纹等弱的晶内塑性变形现象。糜棱结构中，碎斑通常是变形的原岩颗粒，

常发育有波状消光、变形带、变形双晶、变形纹、压溶和压力影等晶内、晶界塑性变形结构，有时可具有裂纹等脆性变形特点。基质包括细小的应变颗粒和动态重结晶形成的亚颗粒、重结晶颗粒等无应变颗粒，常呈丝带状。随着重结晶增强，重结晶物质含量增高。玻璃质碎屑结构中，碎斑是破碎的原岩岩石或矿物碎屑，有时可见到熔蚀现象，基质为玻璃质

与变质岩结构有变质结构和变余结构之分一样，变质岩构造也可分变质构造和变余构造两大类。变余构造是因变质作用不彻底，而保存的原岩构造，又称为残余构造，多见于低级变质岩中，与变质构造相伴生。变质构造分定向构造和无定向构造两类。定向构造的特点是非等轴颗粒近平行排列，出现优选方位，是偏应力作用下岩石变形的结果，多垂直于最大压应力方向发育。其形成机制包括机械旋转、粒内滑移、优选成核、优选生长（压溶）等。由于多数变质作用都有偏应力参与，因此定向构造在变质岩中非常普遍。无定向构造的特点是颗粒无定向、随机分布，说明变质作用是在缺乏偏应力条件下进行。通常出现在接触热变质岩、交代变质岩、埋藏变质岩和洋底变质岩中。

定向构造可分为面状构造和线状构造两大类，它们经常组合在一起。常见的面状构造有变余层理、板状构造、千枚状构造、片状构造、片麻状构造、层状（条带状）构造、眼球状构造和 S-C 面理。常见线状构造有拉伸线理、皱纹线理、交面线理。无定向构造主要有块状构造、斑点构造、瘤状构造、角砾状构造和云染状构造。

板状构造又称为板劈理，是重结晶程度很低（隐晶质）的低级变

质岩典型的面理形式。通常由密集の間隔平面（劈理面）显示，沿着劈理面岩石容易裂开呈平整、光滑但光泽暗淡的板片。千枚状构造的面理由细小的（多小于 0.1 mm）片状硅酸盐定向排列而成，重结晶程度比板状构造的高，但肉眼仍难以识别矿物颗粒。岩石易沿面理裂开，劈开面不如板劈理面平整，但有强烈丝绢光泽（绢云母、绿泥石等片状硅酸盐矿物造成）。千枚状构造的明显特征是存在折劈、微褶皱和扭折带（Raymond, 2002）。片状构造中，岩石重结晶程度高。面理由肉眼可识别的（粒径 >0.1 mm）的片、板、针、柱状矿物连续定向排列而成。岩石较易沿面理裂开，但裂开面平整程度比千枚状构造的差些。千枚状构造和片状构造又统称为片理。片麻状构造又称为片麻理。与片状构造相同点是岩石重结晶程度高，矿物肉眼可识别。不同点在于粒状矿物含量高，板片状、针柱状矿物在其中断续定向分布。片麻状构造的特点是岩石沿片麻理无特别强烈的裂开趋势。层状构造又称为条带状构造或成分层，是由不同成分、不同结构的浅色与暗色层（或透镜体）互层构成的面状构造。眼球状构造特点是眼球状巨大颗粒或颗粒集合体在基质中定向分布。见于动力变质岩和混合岩中。

S-C 面理：剪切带内常常发育 S 面理和 C 面理两种面理，S 面理为剪切带内面理，在剪切带内呈 S 形展布。而 C 面理为糜棱岩面理，实际上是一系列平行于剪切带边界间隔排列的小型强剪切应变带。常由更细小的颗粒或云母等矿物组成。两面理相交的锐角指向剪切方向。随着应变增强，锐角变小，最终两面理会互相平行。

拉伸线理是由针、柱、板状矿物（角闪石等）、等轴状矿物的棒

状集合体（如石英棒）、拉长的岩石碎屑或拉长的砾石等的定向排列，它指示拉伸方向。其中，针、柱、板状矿物的定向排列称为矿物线理。单独的拉伸线理很少见，绝大多数情况下拉伸线理是在面理面上。皱纹线理是面理微褶皱的枢纽的平行排列。交面线理为两组面理的交线。

3.2 岩浆岩样品

3.2.1 侵入岩样品

橄榄岩（Peridotite）（样品编号：32）

超基性侵入岩，新鲜面总体呈橄榄绿色。常见粒状结构、包含结构，常呈块状构造。橄榄石含量大于 90%，可出现少量辉石，次生矿物主要为角闪石、黑云母。



图 3.3 橄榄岩样品

辉长岩 (Gabbro) (样品编号: 33)

基性侵入岩。深灰黑色。具辉长结构，块状构造。主要矿物成分是斜长石和辉石，次要矿物有角闪石、橄榄石等，暗色矿物与浅色矿物含量大致相等。



图 3.4 辉长岩样品

闪长岩 (Diorite) (样品编号: 34)

中性侵入岩。灰色、灰黑色或浅绿色。半自形粒状结构：块状构造或条带状构造。矿物成分主要为中性斜长石、角闪石，次要矿物为黑云母、辉石。岩石中可含少量石英和钾长石，石英含量小于 20%，钾长石含量小于 10%。根据石英含量和暗色矿物种类，闪长岩类又可分为闪长岩、石英闪长岩、辉石闪长岩。



图 3.5 闪长岩样品

花岗岩(Granite) (样品编号: 35)

酸性侵入岩。呈灰白色、浅红色等。一般粗—细粒状结构，块状构造。主要组成矿物为：钾长石、石英和斜长石，而石英在浅色矿物中含量大于 20%，暗色矿物主要为黑云母和角闪石。



图 3.6 花岗岩样品

正长岩 (Syenite) (样品编号: 36)

中性侵入岩；色率介于 15~50 之间，其颜色一般比镁铁质侵入岩浅，而比长英质侵入岩深。常见等粒或者似斑状结构，块状构造。主要由碱性长石暗色矿物组成。碱性长石占长石总量的 65%~90%，含少量的斜长石，一般为中-更长石；暗色矿物多为普通角闪石、普通辉石或黑云母，含量占约 20%。若有石英，含量不超过浅色矿物的 5%，多为他形分布于其他矿物之间。



图 3.7 正长岩样品

斑状花岗岩 (Porphyritic Granite) (样品编号: 37)

酸性侵入岩；颜色较浅。似斑状结构，块状构造。通常浅色矿物含量在 85%以上，主要由石英、碱性长石和酸性斜长石组成，碱性长石一般为正长石或微斜长石，且常发育条纹结构。石英一般多呈他形充填在其他矿物之间，体积分数通常在 20%以上。暗色矿物主要为黑云母，其次为角闪石、辉石等。



图 3.8 斑状花岗岩样品

花岗闪长岩（Granodiorite）（样品编号：38）

酸性侵入岩，是花岗岩类岩石的重要种属。由于该类岩石比花岗岩含有较多的斜长石和暗色矿物，所以岩石的颜色比花岗岩稍深一些，呈灰绿色或暗灰色。一般粒状结构，块状构造。主要矿物组成包括石英、斜长石、钾长石和暗色矿物。斜长石一般为中长石，具有明显的环带构造，一般占整个岩石中矿物总量的 65%~90%，是介于花岗岩和英云闪长岩之间的岩石。石英含量较花岗岩的低，一般为 25%。深色矿物中角闪石较多，但黑云母也很普遍，有时含少量普通辉石。副矿物包括榍石、磷灰石、磁铁矿、锆石、褐帘石、独居石等。



图 3.9 花岗闪长岩样品

霞石正长岩 (Nepheline Syenite) (样品编号: 39)

SiO₂不饱和的过碱性中性侵入岩。常见粒状结构、嵌晶结构，块状构造、条带状构造、斑杂构造及似片麻状构造。浅色矿物主要为碱性长石和似长石，不含石英。碱性长石有正长石、歪长石、条纹长石、微斜长石和钠长石。似长石主要为霞石，亦常见方钠石。暗色矿物主要为碱性暗色矿物，包括辉石、碱性角闪石和黑云母等。辉石主要是霓石、霓辉石、透辉石及钛普通辉石。碱性角闪石为钠闪石、钠铁闪石和富铁钠闪石。黑云母为红褐色的富铁黑云母。副矿物的种属极丰富，其中大部分是 Ti、Zr、Nb 的硅酸盐，有锆石、单斜钠锆石、锆钼矿、独居石、褐帘石、黑榴石、钙铈镧矿、硅铈矿、硅铈钛矿、异性石、负异性石、闪叶石和星叶石等。



图 3.10 霞石正长岩样品

细粒花岗岩 (Fine-grained Granite) (样品编号: 40)

细粒结构, 块状构造。矿物组分同花岗岩。



图 3.11 细粒花岗岩样品

辉岩 (Pyroxenolite) (样品编号: 41)

超基性侵入岩。颜色多为黑色、黑灰色。一般粒状结构，块状构造。

辉石含量大于 90%。



图 3.12 辉岩样品

辉绿岩 (Diabase) (样品编号: 42)

基性浅成岩。可呈岩墙或岩床等产出，暗绿或黑绿色。具典型的辉绿结构，块状构造。矿物成分和化学成分与辉长岩相似，主要由普通辉石和高钙斜长石组成。



图 3.13 辉绿岩样品

正长斑岩 (Syenite Porphyry) (样品编号: 45)

中性浅成岩，主要由碱性长石和暗色矿物组成。斑状结构，斑晶多为正长石，有时为斜长石；块状构造。碱性长石占长石总量的 65%~90%，含少量的斜长石，一般为中—更长石，暗色矿物多为普通角闪石、普通辉石或黑云母，含量约 20%。若有石英，含量不超过浅色矿物的 5%，多为他形分布于其他矿物间。根据暗色矿物种类可分为角闪石正长岩、辉石正长岩和黑云母正长岩。



图 3.14 正长斑岩样品

伟晶岩 (Pegmatite) (样品编号: 48)

一种与各类深成岩有成因联系的粗粒至巨粒的岩脉状或团块状侵入岩。一般呈肉红色、灰白色。矿物颗粒间常构成文象结构，多见晶洞构造、晶簇构造。伟晶岩岩体规模变化很大，一般长数米至数十米，厚数厘米至数米。花岗伟晶岩的主要矿物组成简单，包括石英、碱性长石和斜长石。与细晶岩不同的是，伟晶岩通常含有多种次要矿物和副矿物，包括含水矿物、含微量元素及稀有元素的矿物和正常火成岩中不常见的富 F、Cl、B、P 的矿物，如黄玉、电气石、绿柱石、褐帘石、铌钽铁矿、萤石等。岩石以伟晶结构为特征，矿物颗粒粗大，粒度不均匀，颗粒大小一般都在 1~2cm 以上，有的可以大至几米甚至几十米。



图 3.15 伟晶岩样品

煌斑岩 (Lamprophyre) (样品编号: 49)

富含自形镁铁质矿物斑晶 (主要是黑云母和角闪石) 的浅成岩。具斑状 (煌斑) 结构, 基质为细粒、微粒或隐晶质结构; 块状构造。SiO₂ 含量变化在超基性—中性岩的范围内, 岩石色率高, 为深色。含角闪石、云母等含水矿物, 呈自形斑晶、显微斑晶, 也可在基质中呈嵌晶。浅色矿物可以有长石及似长石, 但这些浅色矿物只出现在基质中, 在斑晶中没有。岩石富含碱质及挥发分 (H₂O 和 CO₂)。大多数形成岩脉、岩墙和岩床, 极少数呈火山通道相 (岩管) 或火山渣锥, 规模不大, 但分布广泛。



图 3.16 煌斑岩样品

闪长玢岩 (Diorite Porphyrite) (样品编号: 50)

中性超浅成岩。斑状结构，斑晶多为斜长石和普通角闪石；块状构造。暗色矿物 20%~35% (体积分数)，最常见的为普通角闪石，也有以黑云母或辉石为主者，辉石以透辉石为主，有时可见紫苏辉石。长石以中性斜长石为主，占长石 90%以上，多具环带结构。不含或仅含少量碱性长石和石英，石英占浅色矿物不超过 5%。



图 3.17 闪长玢岩样品

3.2.3 喷出岩样品

玄武岩 (Basalt) (样品编号: 43)

基性喷出岩。一般为黑色、绿灰色以及暗紫色等。多具斑状结构和无斑隐晶质结构,气孔构造及杏仁构造。在海底喷发的玄武岩则常具有特殊的枕状构造,有的层状玄武岩还发育柱状节理,形成规则的六边形柱体,柱体垂直于熔岩层。玄武岩也有玻璃质和半晶质结构之分。在斑状结构中,常见的斑晶矿物为橄榄石、斜长石和辉石,其中的橄榄石易变为褐红色的伊丁石。大多数玄武岩的基质都是隐晶质的,肉眼下一般都分辨不出其矿物成分。



图 3.18 玄武岩样品

安山岩 (Andesite) (样品编号: 44)

中性喷出岩。新鲜岩石呈灰色,风化后为红褐色。常为斑状结构

(也有无斑隐晶结构)，斑晶主要为角闪石或斜长石，偶见黑云母，基质为隐晶质；气孔构造、杏仁构造，也有块状构造。主要矿物为中性斜长石、角闪石，次要矿物为黑云母、辉石。



图 3.19 安山岩样品

粗面岩 (Trachyte) (样品编号: 46)

相当于正长岩的喷出岩。主要由碱性长石和少量暗色矿物及斜长石组成。因岩石断面粗糙，故称粗面岩。碱性长石占长石总量的 $\frac{2}{3}$ 以上，以透长石或正长石为主，歪长石次之，斑晶和基质中均存在。斜长石含量占长石总量的 $\frac{1}{3}$ 以下，多数为更长石，主要以斑晶形式产出。斜长石环带不发育，有时可见斜长石边缘有一圈薄的钾长石外壳形成正边结构。有些粗面岩斑晶几乎全为斜长石，而钾长石存在于结晶程度差的基质中或钾质存在于未结晶的玻璃质中，此时很容易误认为安山岩，可以用 TAS 图解来区分。暗色矿物以黑云母为主，普通角闪石较少，偶见透辉石、普通辉石。块状构造。



图 3.20 粗面岩样品

流纹岩 (Rhyolite) (样品编号: 47)

酸性喷出岩。灰白色或浅粉红色。斑状结构或无斑隐晶结构，常见有流纹构造或块状构造。斑晶常为石英、碱性长石，有时有少量斜长石；基质一般为致密的隐晶质或玻璃质。流纹岩产状多为岩丘。脱玻化明显的流纹岩称为流纹斑岩。



图 3.21 流纹岩样品

浮岩 (Pumice) (样品编号: 51)

喷出岩。灰色、白色、浅黄色或浅红色。几乎全由玻璃质组成, 气孔十分发育, 似蜂窝状, 密度小, 可漂浮于水面上。浮岩是以构造特征命名的, 在基性火山岩中也有浮岩。



图 3.22 浮岩样品

3.3 沉积岩样品

3.3.1 他生沉积岩

砾岩 (Conglomerate) (样品编号: 52)

粒径大于 2mm 的碎屑超过 50% 的陆源碎屑岩。具砾状结构, 层理发育差。砾石一般为圆或次圆。主要由一种砾石成分组成 (大于 70%) 者称单成分砾岩; 砾石成分复杂者称复成分砾岩。砾岩的胶结物有硅质、钙质、铁质和泥质等。



图 3.23 砾岩样品

石英砂岩 (Quartz Sandstone) (样品编号: 53)

陆源碎屑岩。大多为中—细砂岩，碎屑中 95%以上都是单晶石英，可含少量燧石岩岩屑和单晶长石。分选磨圆通常较好，颗粒支撑。胶结物成分变化较大，但大多有石英（主要是加大边），其他的可以是方解石、铁的氧化物或氢氧化物、海绿石、石膏等。少数石英砂岩可含较多粘土或碳酸盐泥晶基质而成石英杂砂岩。当长石、岩屑增多时可向长石石英砂岩或岩屑石英砂岩过渡。



图 3.24 石英砂岩样品

长石砂岩 (Feldspar Sandstone) (样品编号: 54)

陆源碎屑岩。以中—粗砂岩多见。碎屑中单晶长石含量较高，当单晶石英少于 75%且长石是岩屑的 3 倍以上时即为长石砂岩。长石以碱性长石和中酸性斜长石为主。分选磨圆变化较大，从差到好都可出现。多数长石砂岩都是杂砂岩，少数为净砂岩并被部分加大边石英和钙质、铁质等胶结。随岩屑含量增高可向岩屑长石砂岩过渡。



图 3.25 长石砂岩样品

细砂岩 (Fine Sandstone) (样品编号: 55)

指含 50%以上细砂 (0.25~0.1mm) 级陆源碎屑的沉积岩。细粒砂状结构, 层理构造发育。



图 3.26 细砂岩样品

粉砂岩（Siltstone）（样品编号：56）

粒径为 0.005~0.05mm 的碎屑颗粒占 50%以上，具粉砂结构，多呈薄层状，水平或波状层理。粉砂岩与砂岩并无本质差异，仅粒度更细而已。



图 3.27 粉砂岩样品

硬粉砂岩（样品编号：57）

一种杂基含量超过 10%~15%的粉砂岩、杂基成分主要为云母、绿泥石和粘土的坚硬的杂砂岩，是经过了较强深埋成岩作用（强烈压实和重结晶）的产物。



图 3.28 硬粉砂岩样品

凝灰岩 (Tuff) (样品编号: 58)

小于 2mm 粒级碎屑占 50%以上的火山碎屑岩。凝灰结构，凝灰沉积结构，常见块状构造或层理构造。



图 3.29 块状凝灰岩样品

火山角砾岩 (Volcanic breccia) (样品编号: 59)

2~64mm 的火山角砾占 50%以上的称为火山角砾岩。多为杂色，火山角砾结构，块状构造。主要由大小不等的熔岩角砾组成，分选差，不具有层理，通常为火山灰充填，并经压实胶结成岩，多分布在火山口附近。



图 3.30 火山角砾岩样品

泥岩 (Mudstone) (样品编号: 60)

固结较紧的泥质岩，呈块状，吸水性和可塑性极弱，在水中不易泡软。成分较复杂，含较多水云母，含粉砂。



图 3.31 泥岩样品

页岩(Shale) (样品编号: 61)

固结很好的泥质岩,页理发育。无吸水性和可塑性,水中不能泡软。可按其所含次要成分进一步命名,如碳质页岩、钙质页岩等。



图 3.32 页岩样品

炭质页岩(Carbonaceous Shale) (样品编号: 67)

其因含有大量分散的炭化有机质组分而显黑色,岩石较松软,与黑色页岩的区别是碳质页岩能染手。泥质结构,页理发育,性脆,常含有较多的植物化石。但不易燃烧。常与煤层共生。可用于火力发电能源。



图 3.33 炭质页岩样品

油页岩 (Oil Shale) (样品编号: 68)

也称沥青质页岩。泥质结构，页理发育。含沥青，颜色为棕、褐等，风化后常为浅棕、淡褐等，质地较轻，灼烧时冒烟，有沥青味。属于非常规油气资源。



图 3.34 油页岩样品

3.3.2 自生沉积岩

(石) 灰岩 (Limestone) (样品编号: 62)

灰岩主要由方解石组成，常呈灰或灰白色，由于含有机质量不等，颜色由浅灰到黑色，一般较致密，断口呈贝壳状，硬度不大，加稀盐酸剧烈起泡。常因不同的结构而给予不同的命名，如豹皮灰岩、鲕状灰岩、竹叶状灰岩等。灰岩中常有粘土矿物、硅质等杂质，含量较多时称为泥灰岩、硅质岩等。



图 3.35 灰岩样品

白云质灰岩 (Dolomitic Limestone) (样品编号: 63)

白云石含量在 25%~50%的灰岩。



图 3.36 白云岩样品

竹叶状灰岩 (Wormkalk Limestone) (样品编号: 64)

竹叶状灰岩是一种以内碎屑为主要组分的异化粒灰岩。因具竹叶状结构而得名。是水盆地中已固结的或弱固结的碳酸盐沉积物，遭受波浪、水流冲刷、破碎、磨蚀后再次沉积而成的具有碎屑结构的石灰岩。



图 3.37 竹叶状灰岩样品

鲕状灰岩 (Oolitic Limestone) (样品编号: 65)

鲕粒含量占全部颗粒 50%以上的粒屑灰岩。常为颗粒支撑结构，鲕粒分选好，多见交错层理等其他沉积构造。



图 3.38 鲕状灰岩样品

生物碎屑灰岩 (Bioclastic Limestone) (样品编号: 66)

一种由破碎的生物碎屑被碳酸钙胶结而成的石灰岩。它多形成于水流或波浪作用

强烈的地区或生物礁的侧翼。本岩

石名称是对具有上述成因的灰岩

的一种泛称, 并无

严格的颗粒含量、支撑类型、泥晶、亮晶等限制。



图 3.39 生屑灰岩样品

3.4 变质岩样品

3.4.1 面理化变质岩

板岩 (Slate) (样品编号: 70)

板岩是一种极细粒至隐晶质、通常具有密集板状劈理的岩石，板理面平滑。板岩的原岩主要是页岩、泥岩或凝灰岩。重结晶不明显或极轻微，镜下可见有泥质和部分绢云母、绿泥石，有时可见有少量的白云母、黑云母、石英等。具变余泥质结构，板状构造。根据颜色及杂质可进一步定名，如红色板岩、碳质板岩等。



图 3.40 板岩样品

红柱石板岩 (Andalusite-slate) (样品编号: 69)

富含红柱石的板岩。



图 3.41 红柱石板岩样品

千枚岩 (Phyllite) (样品编号: 71)

具有千枚状构造的变质岩。



图 3.42 千枚岩样品

绿泥石片岩 (Chlorites-schist) (样品编号: 72)

富含绿泥石的、具有片状构造的变质岩。



图 3.43 绿泥石片岩样品

石英云母片岩 (Quartz-mica-schist) (样品编号: 73)

富含云母、石英，且含量依次减少的片岩。

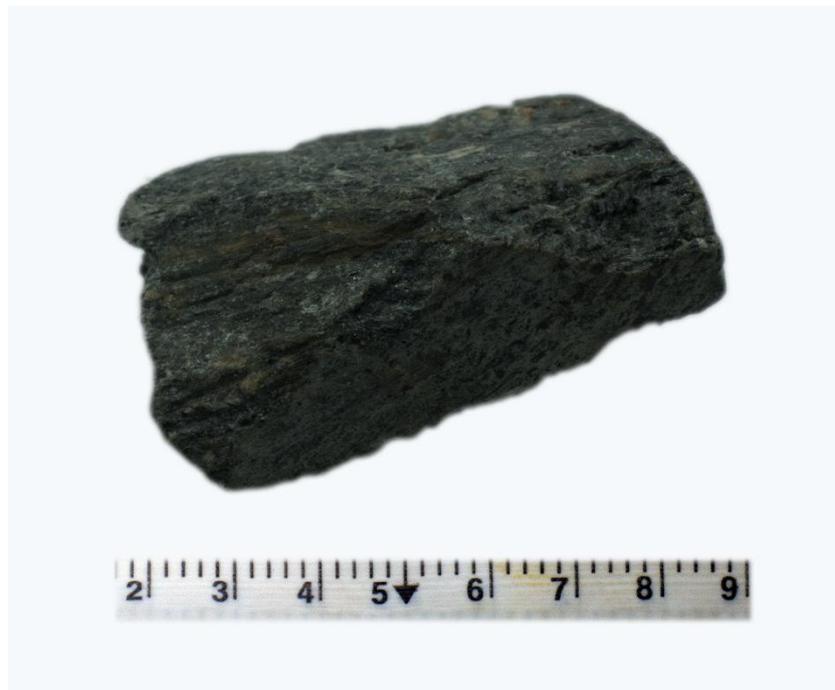


图 3.44 石英云母片岩样品

片麻岩(Gneiss) (样品编号: 74)

具片麻状构造, 矿物成分主要由石英、长石及一定量的片状、柱状矿物组成。一般长石和石英的含量大于 70%, 长石含量大于 25%。暗色矿物含量小于 30%, 主要是云母、角闪石。此外还经常含少量的夕线石、蓝晶石、石榴子石、堇青石等特征变质矿物。常为中粗鳞片粒状变晶结构。片麻岩除具有片麻状构造外, 有时还出现条带状构造。



图 3.45 片麻岩样品

3.4.2 无面理化至弱面理化变质岩

石英岩 (Quartzite) (样品编号: 75)

主要由石英组成的块状变质岩。



图 3.46 石英岩样品

大理岩 (Marble) (样品编号: 76)

大理岩主要由方解石或白云石组成的岩石, 碳酸盐矿物含量大于 50%, 具粒状变晶结构, 块状或条带状构造。常见特征变质矿物有透闪石、透辉石、橄榄石、金云母等。



图 3.47 大理岩样品

矽卡岩 (Skarn) (样品编号: 77)

颜色和其他外貌特征变化很大, 主要与矿物成分和粒度有关。常见为暗褐色、暗绿色及浅灰色等。以钙—镁—铁硅酸盐和铝硅酸盐矿物为主。一般矿物晶形较好, 具不等粒粒状变晶结构、交代假象结构, 块状或斑杂状构造, 少数为角砾状、条带状构造, 相对密度较大。主要在中酸性侵入岩与碳酸盐岩 (灰岩、白云岩等) 的接触带, 受接触—热变质的基础上和高温气水热液的影响, 经接触—交代作用所形成。



图 3.48 矽卡岩样品

云英岩 (Greisen) (样品编号: 78)

以石英、白云母及萤石、黄玉、电气石为主的交代变质岩。其他矿物有绿柱石、石榴子石 (锰铝—铁铝石榴子石)、磷灰石和金属矿物锡石、黑钨矿、辉钼矿、辉铋矿、毒砂、白钨矿及黄铁矿等。岩石

一般为浅色（灰白、灰绿或粉红等色），中粗粒鳞片变晶结构，交代假象结构，块状构造。主要矿物含量变化大，一般以石英和白云母为主，有时以黄玉、电气石或萤石为主，它们均可占绝对优势，形成单矿物岩。在中等深度条件下酸性侵入岩及其顶板长英质岩石在中温酸性热液影响下经交代作用所形成。



图 3.49 云英岩样品

斜长角闪岩（Amphibolite）（样品编号：79）

是一种主要由普通角闪石和斜长石组成的区域变质岩。普通角闪石和斜长石的含量相近,或前者稍多于后者,可含少量石英、黑云母、铁铝榴石、绿帘石、透辉石或紫苏辉石等。构造可为片麻状、条带状或块状。为基性火成岩、凝灰岩或铁镁质泥灰岩经中级变质作用的产物。



图 3.50 斜长角闪岩样品

构造角砾岩 (Tectonic Conglomerate) (样品编号: 80)

为碎裂岩系的动力变质岩。具碎裂结构，角砾状构造。主要由较大的 ($d > 2\text{mm}$) 的碎块 (角砾) 组成，角砾碎块呈棱角状，大小混杂、排列紊乱。基质由细小的破碎物 (碎基) 和铁质、硅质、钙质胶结物组成。若角砾磨圆，则称为构造砾岩。



图 3.51 构造角砾岩样品

糜棱岩 (Mylonite) (样品编号: 81)

糜棱岩系的动力变质岩。具糜棱结构，定向构造。碎斑通常呈卵圆状、眼球状、透镜状，常发育波状消光、变形纹、变形带、扭折带等晶内和晶界塑性变形结构。基质主要由细小的粉碎或重结晶颗粒组成，具有明显的面理，且常呈条带状（成分层）绕过碎斑，显示塑性流动图像，这种现象常被称为流状构造。



图 3.52 糜棱岩样品

角闪石片岩
(Amphibole-slate) (样
品编号: 82)

富含角闪石的片岩。



图 3.53 角闪石片岩样品

4 课程虚拟平台

4.1 岩矿鉴定虚拟实验系统

本课程需要同学认识和掌握的标本有 82 块，实验课后同学们对于矿物标本的认识可能会淡化，同时，有些同学希望在实验课程之前进行预习。岩矿鉴定虚拟实验系统采用网页的形式，包括 31 种矿物、20 种岩浆岩、17 种沉积岩、14 种变质岩的编号、中英文名称、化学组成、晶体结构、形态、物理性质、成因产状、鉴定特征、用途和附图等（图 4.1），可为同学在课下预习和复习提供有效的工具。目前已经完成相关软件的开发工作，并且获得了软件著作权。



图 4.1 多媒体教学系统界面

4.2 矿物岩石平面浏览网页课件

矿物岩石平面浏览网页课件本课程相关的矿物、岩石的实验室照

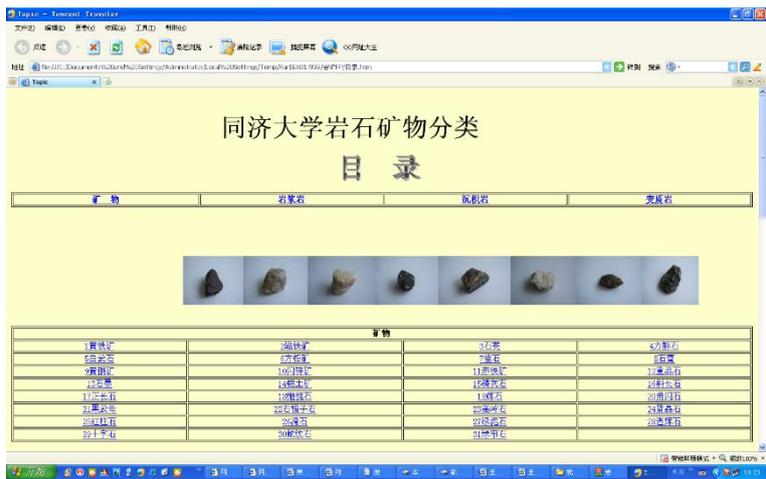


图 4.2 网页总页面 (1)

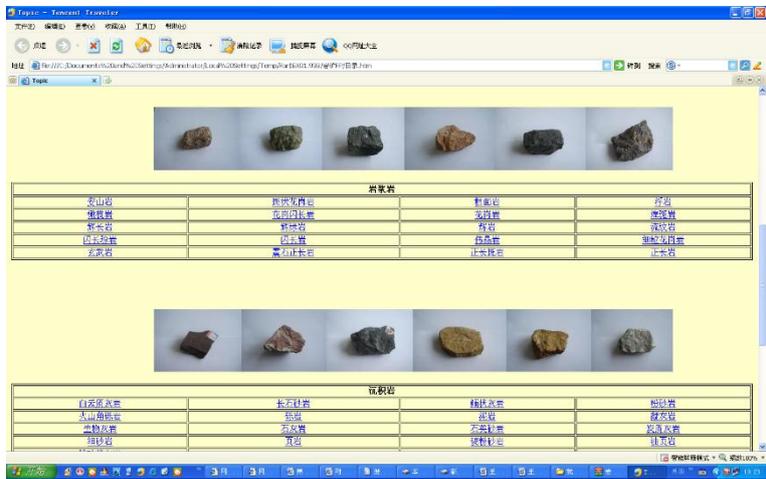


图 4.3 网页总页面 (2)



图 4.4 网页总页面 (3)

片制作成网页课件。网页教学内容涉及矿物编号、中英文名称、化学

组成、晶体结构、形态、物理性质、成因产状、鉴定特征、用途和附图等。对于岩石而言，内容涉及编号、中英文名称、类别、起源、外观、矿物成分、描述、用途及附图等（图 4.2~4.5）。

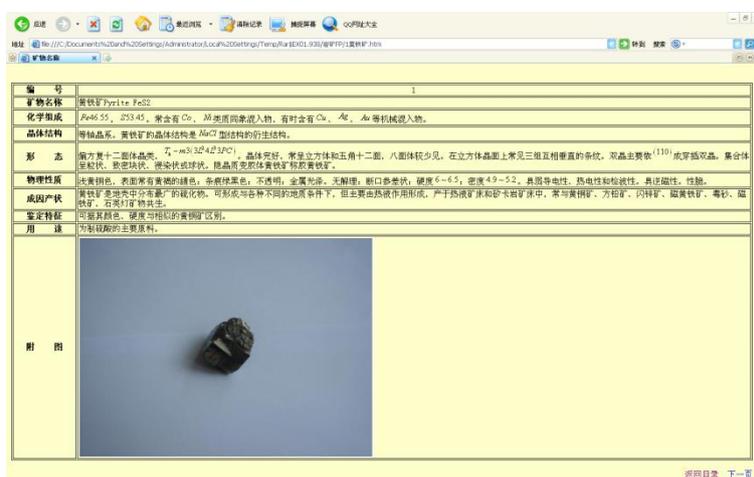


图 4.5 代表性矿物页面

4.3 矿物岩石标本三维教学课件

为协助同学们对课程实习的岩矿标本建立三维立体概念。本课程通过基于三维形貌仪及 Flash、基于数字摄影及 Flash 两种途径，制作了本课程所有矿物岩石标本的三维教学课件。

4.3.1 基于三维形貌仪及 Flash 的矿物及岩石标本三维教学课件

基于三维形貌仪及 Flash 的矿物及岩石标本三维教学课件采用三维形貌仪采集本课程的教学矿物岩石标本表面三维数据，建立岩矿的三维立体模型。三维形貌仪采用北京天远三维科技有限公司与清华大学联合开发的非接触光学三维扫描仪（图 4.6）。该三维形貌仪具有如下特性：

- 1) 扫描精度高、数据量大,在光学扫描过程中产生极高密度数据;
- 2) 速度快,单面扫描时间小于 5 秒;
- 3) 非接触式扫描,适合任何类型的物体,除可以覆盖接触式扫描的适用范围之外,可以用于对柔软、易碎物体的扫描以及难于接触或不允许接触扫描的场合;
- 4) 测量过程中可实时显示摄像机拍摄的图像和得到的三维数据结果,具有良好的软件界面;
- 5) 测量结果可输出 ASC 点云文件格式,与相关软件配合,可得到 STL, IGES, OBJ, DXF 等各种数据格式;
- 6) 使用方便,操作简单,对操作人员要求较低。



图 4.6 三维形貌仪中的扫描仪

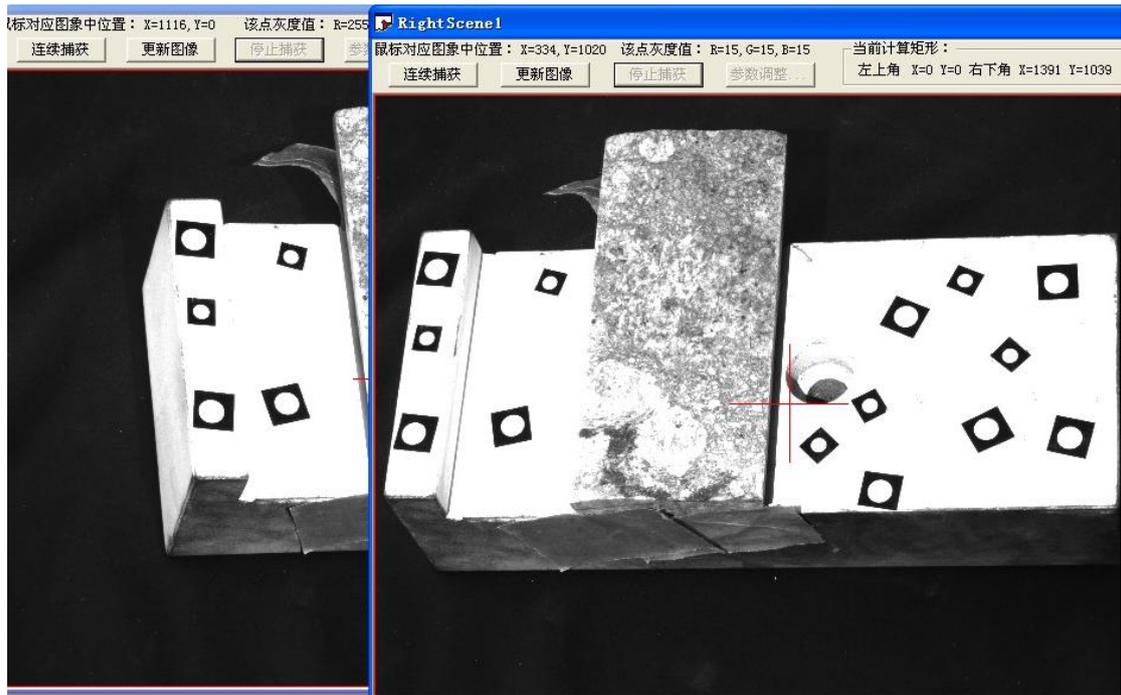


图 4.7 形貌仪采集岩矿表面形态

利用三维形貌仪采集岩矿标本表面形貌特征（图 4.7），形成点云数据。再利用杰魔 Geomagic Studio v12 形成三维表面和三维实体，然后用三维后处理贴图，获取具有矢量数据的岩矿表面三维特征（图 4.8~4.12）。



图 4.8 灰白色板岩三维形貌特征



图 4.9 高岭石三维形貌特征



图 4.10 流纹岩与细砂岩

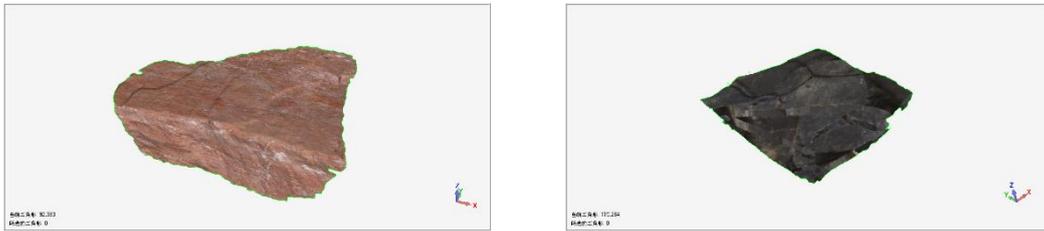


图 4.11 正长石与油页岩



图 4.12 浮岩

4.3.2 基于数字摄影及 Flash 的矿物及岩石标本三维教学课件

基于数字摄影及 Flash 的矿物及岩石标本三维教学课件在设定光照的情况下，采用高分辨率数码单反相机连续拍摄矿物多角度照片，然后利用 Flash 软件，对照片进行拼接和处理。照片采集采用 Pentax Km 单镜头反光照相机，矿物标本每旋转 30 度角拍摄一次，每个标本至少采集 12 张照片，然后使用 Adobe PhotoShop CS4 对原始照片进行处理。动画制作采用 Adobe Flash 8.0 软件，先将处理好的照片制作成元件，然后插入场景中，通过 Flash 脚本控制各元件动作。同学在浏览该照片时，通过照片的连续旋转高精度地展现岩矿的颜色、光泽、解理、断口等。图为石英在不同角度形成的视图见图 4.13，黄铁矿在不同角度形成的视图见图 4.14。

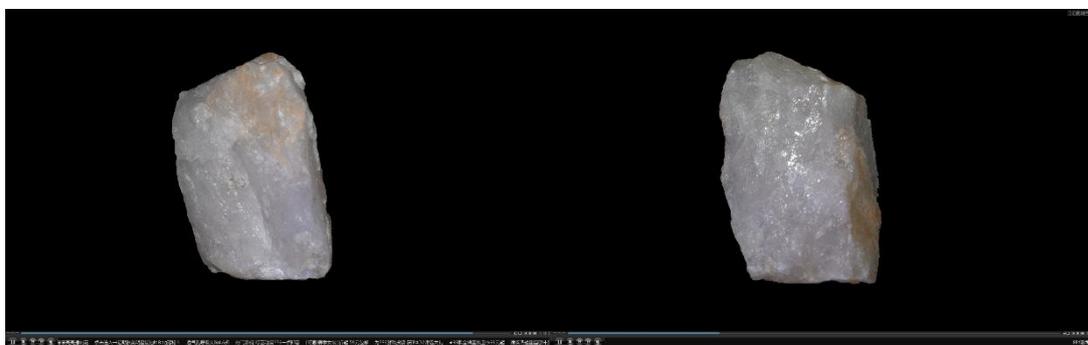


图 4.13 旋转前（左）后（右）石英油脂光泽及形貌

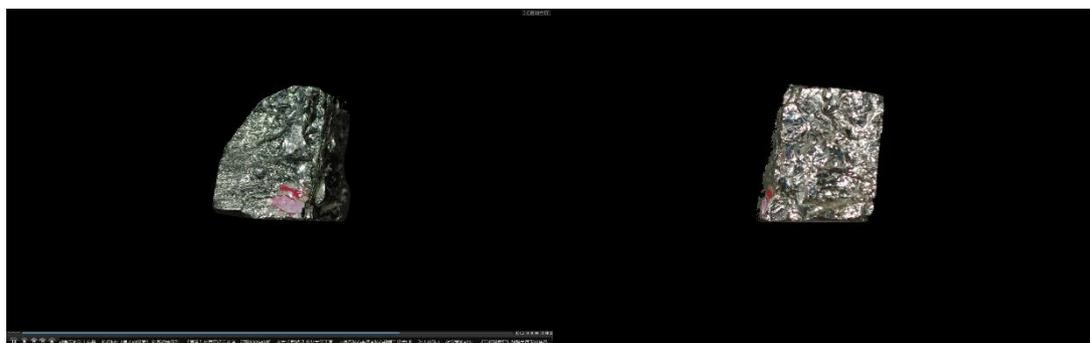


图 4.14 旋转前（左）后（右）黄铁矿金属光泽及形貌

采用 Photoshop 软件分割所拍摄的矿物图片，利用 Flash 软件实现虚拟动画过程，可在课堂教学中演示矿物解理。图 4.15 为方解石解理形成过程示意图，图 4.16 为石膏解理形成过程示意图。



图 4.15 方解石捶击前（左）后（右）



图 4.16 石膏捶击前（左）后（右）

4.4 “地质学+” APP

以答题为主要功能的“地质学+” v1.0 版本由前端 APP 和后台题库系统组成。该 APP 是基于安卓系统，采用 Eclipse 开发平台，利用 Java 语言编程开发的。

4.4.1 体系框架与功能设计

整个系统由系统前端 APP、一个云数据库和一个后台题库系统构成。本文所设计的 APP 主要功能包括：“顺序练习”、“模拟考试”、“我的收藏”、“我的错题”、“历史成绩”。系统结构如图 4.17 所示。

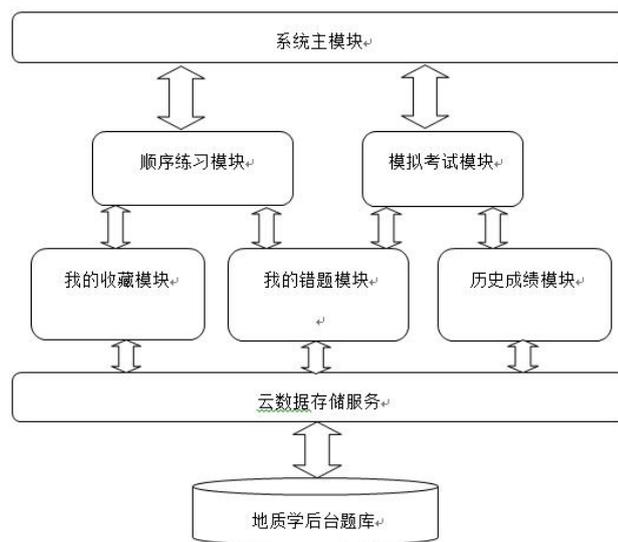


图 4.17 系统功能模块

顺序练习：本软件设计了单选、多选和判断题三种题型。练习部分会逐条显示考题，点击任意选项会提示正确答案并且可以查看题解或者收藏这道题目供以后复习。点击选择题目可以查看所有正确错误和未答的选项，点击序号即可进入答题。

模拟考试：模拟考试试题会在题库中随机抽取，并且会有时间限制，答完题以后自己手动交卷或者时间到了以后自动交卷查看分数。

我的收藏：查看在顺序练习和模拟考试做题中用户收藏的题目。

我的错题：查看在顺序练习和模拟考试做题中用户答错的题目

历史成绩：查看用户在过去历次在模拟考试中得到的成绩。

4.4.2 APP 界面设计及使用说明

本 APP 设计了五个主要的界面来实现用户和系统的交流，分别是主界面（图 4.18a）、顺序练习界面（图 4.18b、c）、模拟考试界面（图 4.19a、b）、我的收藏界面、我的错题界面、及时成绩界面（图 4.19c）。



图 4.18 主界面、顺序练习界面

主操作界面是系统开启后的第一个用户界面。上有五个按钮控件，点击可以分别进入顺序练习界面、模拟考试界面、我的收藏界面、我的错题界面和历史成绩界面。顺序练习、模拟考试、我的收藏和我的错题界面主要显示的是题目，每一个界面又设计了上一题、查看题解、选择题目、收藏此题和下一题等按钮，根据自己的需要点击按钮进入相关模块。其中我的错题模块设计的是限时答题，答完题以后系统会给出得分，而每次模拟考试得到的分数都会记录在系统的历史成绩模块中，点击主界面的历史成绩按钮可以进入查看。



(a) 模拟考试界面

(b) 模拟测试界面

(c) 模拟考试成绩

图 4.19 模拟考试界面、历史成绩界面

4.4.3 后台题库设计

后台题库系统用于后台操作，可简易地进行修改、增加、删除等更新功能的操作。该系统也是利用 Java 基于浏览器开发的。

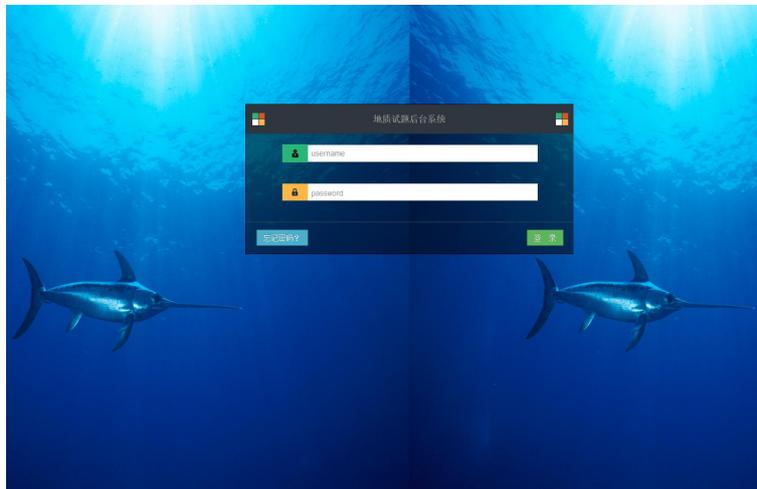
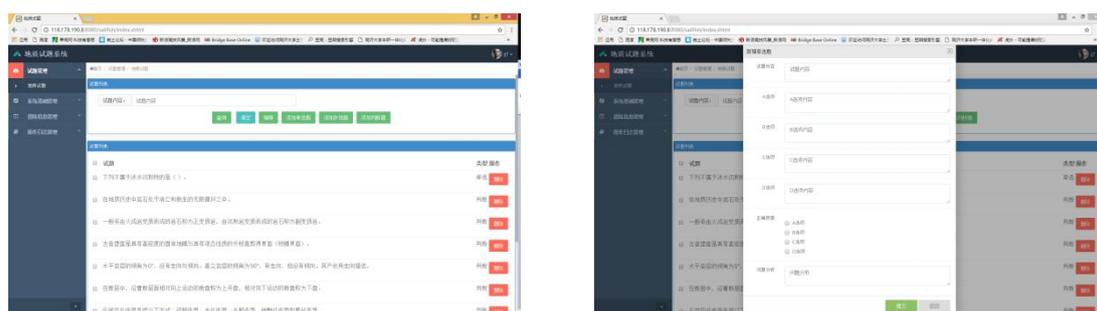


图 4.20 后台题库系统登陆界面

在浏览器中输入 <http://118.178.190.8:8080/sailfish/login.shtml;jsessionid=EDE70E91616E70EC10666A38FF5866E9> 进入后台题库系统（图 4.20），输入用户名和密码登入。点击左侧地质试题按钮，

进入图 4.21a 所示界面，该界面有查询、清空、编辑、添加单选题、添加多选题、添加判断题六个按钮。点击编辑可以编辑已存在的题目，点击添加题目可以更新题库。以点击添加单选题为例，点击添加单选题，进入图 4.22b 所示界面，根据提示输入试题信息，最后点击提交按钮就可以更新题库。



(a) 后台题库界面

(b) 添加单选题界面

图 4.21 后台题库系统内部界面

5 3D 打印技术

在基础地质试验教学中，从宏观上需要讲授岩石和矿物所处的地质构造环境，从微观上需要讲述矿物的晶形，包括硅氧四面体的微观结构、单形、聚形。以往教学中，这些结构都采用厂家定制的笨重的木制或者塑料制模型，只能教师拿在手中，无法让每个同学都近距离观看和仔细鉴定。这些模型携带不方便，可更新性差。为此，拟将 3D 扫描和 3D 打印技术引入本课程。该技术的实现过程为：在野外工作中，将野外小规模断层、褶皱等的三维形貌用便携式扫描仪采集 3D 点云数据，对于教学用到的矿物晶形，先在 AutoCad 里进行三维建模，然后采用 3D 打印技术，按比例缩小，批量打印出相关的实体

模型，供学生在教学中使用，让同学们分享 3D 扫描和 3D 打印技术革命带来的便利，把岩矿模型实物转化为轻巧的小比尺模型，从而促进教学效果、加大同学们的认知深度。

5.1 矿物标本的 3D 打印

5.1.1 3D 打印技术的概念和分类

根据美国材料与试验协会（ASTM）2009 年成立的 3D 打印技术委员会（F42 委员会）公布的定义，3D 打印是一种与传统的材料加工方法截然相反，基于三维 CAD 模型数据，通过增加材料逐层制造的方式。其采用直接制造与相应数学模型完全一致的三维物理实体模型的制造方法。3D 打印技术内容涵盖了产品生命周期前端的“快速原型”（rapid prototyping）和全生产周期的“快速制造”（rapid manufacturing）相关的所有打印工艺、技术、设备类别和应用。

3D 打印具有如下特点和优势：

（1）数字制造：借助 CAD 等软件将产品结构数字化，驱动机器设备加工制造成器件；数字化文件还可借助网络进行传递，实现异地分散化制造的生产模式。

（2）降维制造（分层制造）：即把三维结构的物体先分解成二维层状结构，逐层累加形成三维物品。因此，原理上 3D 打印技术可以制造出任何复杂的结构，而且制造过程更柔性化。

（3）堆积制造：“从下而上”的堆积方式对于实现非匀致材料、功能梯度的器件更有优势。

(4) 直接制造：任何高性能难成型的部件均可通过“打印”方式一次性直接制造出来，不需要通过组装拼接等复杂过程来实现。

(5) 快速制造：3D 打印制造工艺流程短、全自动、实现现场制造，使制造更快速、更高效。

5.1.2 材料和设备

3D打印按材料可分为块体材料、液体材料和粉末材料等。按照美国材料与试验协会（ASTM）3D打印技术委员会（F42委员会）的标准，目前7类3D打印工艺与所用的材料如表5.1所示。

表5.1 3D打印技术的类型和属性

工艺	代表性公司	材料	市场
光固化成形	3D Systems(美国) Envisiontec(德国)	光敏聚合材料	成型制造
材料喷射	Object(以色列) 3D Systems(美国) SolidScape(美国)	聚合材料、蜡	成型制造 铸造模型
粘结剂喷射	3D Systems(美国) ExOne(美国) Voxeljet(德国)	聚合材料、金属、铸造砂	成型制造 压铸模具 直接零部件制造
熔融沉积制造	Stratasys(美国)	聚合材料	成型制造
选择性激光烧结	EOS(德国) 3D Systems(美国) Arcam(瑞典)	聚合材料、金属	成型制造 直接零部件制造
片层压	Fabrisonic(美国) Mcor(爱尔兰)	纸、金属	成型制造 直接零部件制造
定向能量沉积	Optomec(美国) POM(美国)	金属	修复 直接零部件制造

5.1.3 3D 打印的应用

(1) 设备选择

本研究选用荷兰产的 Ultimaker3D 打印机（图 5.1）。该款打印

机属于熔融沉积成型（FDM），这种类型的设备小巧、价格低廉、应用材料范围广泛、尺寸精度较高，表面质量较好，易于装配、材料利用率高；操作环境干净、安全可在办公室环境下进行。

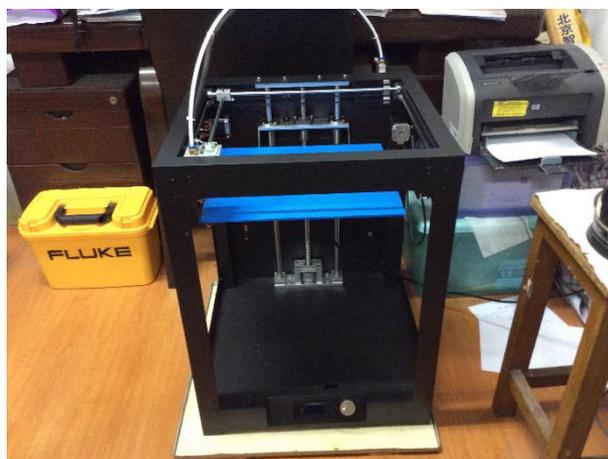


图 5.1 LZ-P350 型 3D 打印机

加热喷头在计算机的控制下，根据产品零件的截面轮廓信息，作 X-Y 平面运动，热塑性丝状材料由供丝机构送至热熔喷头，并在喷头中加热和熔化成半液态，然后被挤压出来，有选择性地涂覆在工作台上，快速冷却后形成一层大约 0.127mm 厚的薄片轮廓。一层截面成型完成后工作台下落一定高度，再进行下一层的熔覆，如此循环，最终形成三维产品（图 5.2）。

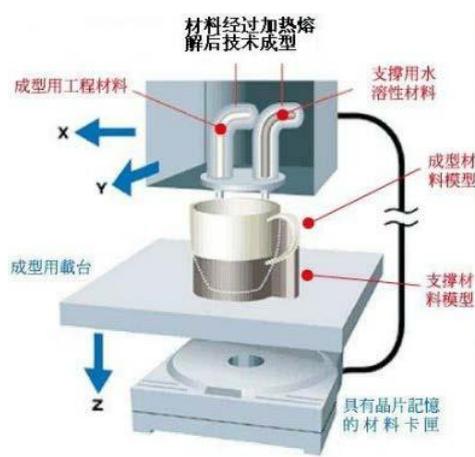


图 5.2 FDM 打印技术原理图

(2) 切片处理

所谓切片就是将 3D 数字模型沿某一个轴的方向离散为一系列的二维层面（图5.3），得到一系列的二维平面信息，使 3D 打印机能以平面加工方式根据不同工艺要求有序连续加工出每个薄层，这个得到二维平面信息的过程即为切片。由此可见，数据处理切片是 RP 快速成型技术最重要的过程，如果数据分层处理出现问题直接影响打印出产品的质量。

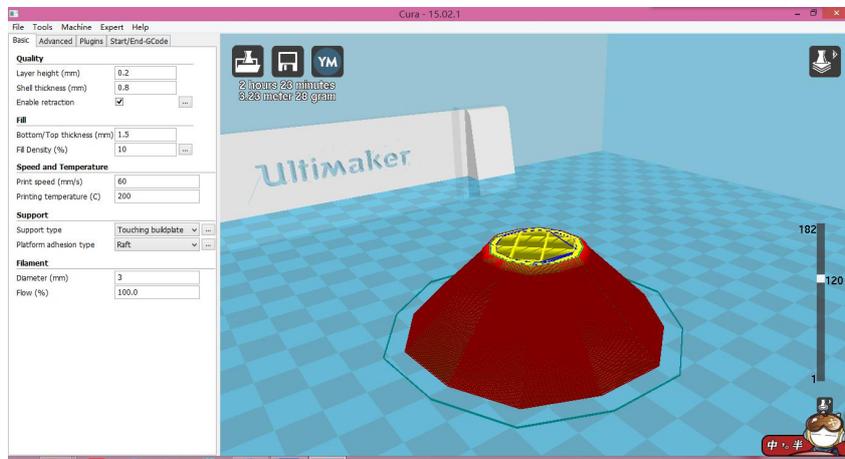


图5.3 利用Cura进行切片处理

数字化建模完成之后，对数字模型要进行分层切片处理，输出相应文件使3D打印机可以按层工作。

切片软件主要有 Cura 与 Miracil Grue 等，或者是由各大打印机生产商自己开发的如 QuickCast、Rapid Tool 等数十种配套软件。本研究使用的是Cura软件。

Cura 是一款前台控制软件，其主要功能就是智能的前端显示，调整大小，切片和打印。可对3D模型文件进行切片处理，CAD 文件经过软件切片处理就可以得到能被 3D 打印机识别的 Gcode 控制文件。

Gcode 控制文件包含了控制打印机动作的完整指令步骤。

(3) 打印后处理

3D 打印过程完成之后，需要一些后续处理措施来加强模具成型强度及延长保存时间，按照打印类型的不同，可以分为静置、强制固化、去粉、打磨等（图 5.4）。

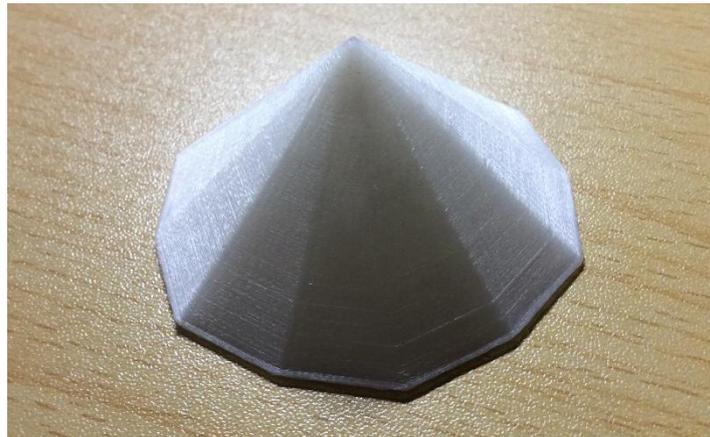


图 5.4 3D 打印的成果

5.2 岩石 3D 扫描与 3D 建模

5.2.1 3D 扫描设备选择

本研究选用的是 K100 扫描仪。该扫描仪是一款手持式扫描仪，属于非触摸被迫式结构光扫描仪（图 5.5）。K100 扫描仪采用结构光、相位测量、计算机视觉技术的三维非接触式测量方式，测量时光栅（光点）装置投射数幅特定编码的结构光线（点）到待测物体上，成一定夹角的两个（或多个）摄像头同步采得相应图像，然后对图像进行相位和解码计算，并利用匹配技术、三角形测量原理，解算出两个（或

多个) 工业相机公共视场内物体表面像素点的三维坐标 (图 5.6)。



图 5.5 K100 型 3D 扫描仪

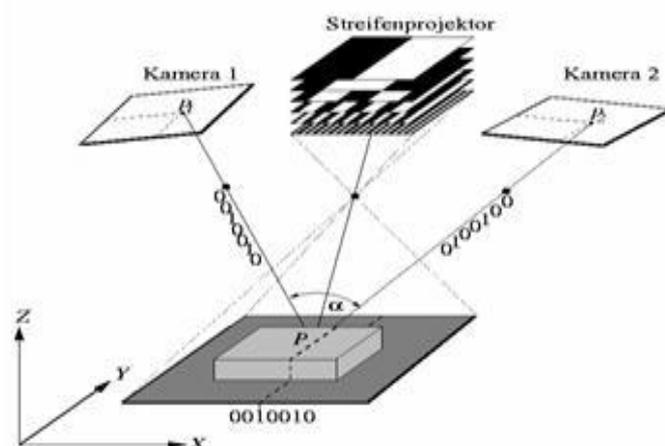


图 5.6 三维白光扫描仪工作原理图

5.2.2 岩矿野外赋存环境信息的 3D 扫描

上海佘山地区的基岩由东、西佘山等十二座小丘组成, 山体排列延伸方向是北东-南西向, 与上海地区其中一组区域性断裂构造线一致。岩石以中生代熔岩、火山碎屑岩以及酸性浅层侵入岩为主, 其中

粗面流纹岩、英安流纹岩，粗面流纹质熔结凝灰岩分布较广，而部分山体则以花岗斑岩，花岗闪长岩等浅层侵入岩体为主。本地区构造、节理属于弱裂隙性。断层基本属于压性和压扭性，其展布方向大致可归纳为北东 30-35°，北西 295-300° 以及北西 335-345° 三组，规模不大（图 5.7）。



图 5.7 余山花岗岩露头赋存环境

现场进行 3D 扫描后，利用 Skanect 预处理野外扫描的内容，选择文件夹，将文件导入 Skanect，点击加工处理（Process），进入文件处理界面。在几何修复(GEOMETRY)中移除多余部分(Remove Parts)（图 5.8）。

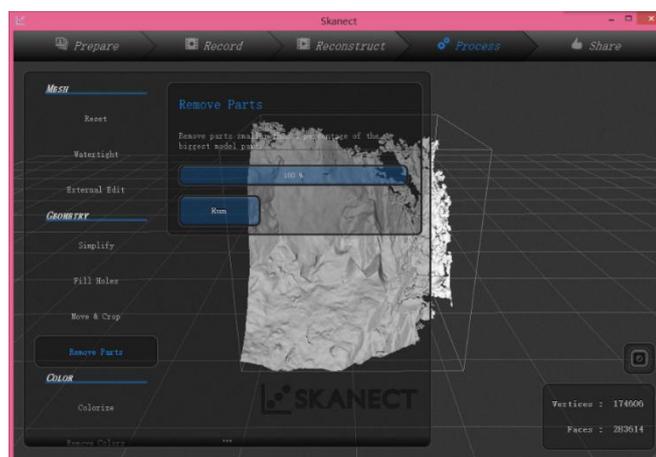


图 5.8 选择参数并移除多余部分

点击分享（Share）进入文件输出界面，选择 STL 格式输出（图

5.9)。

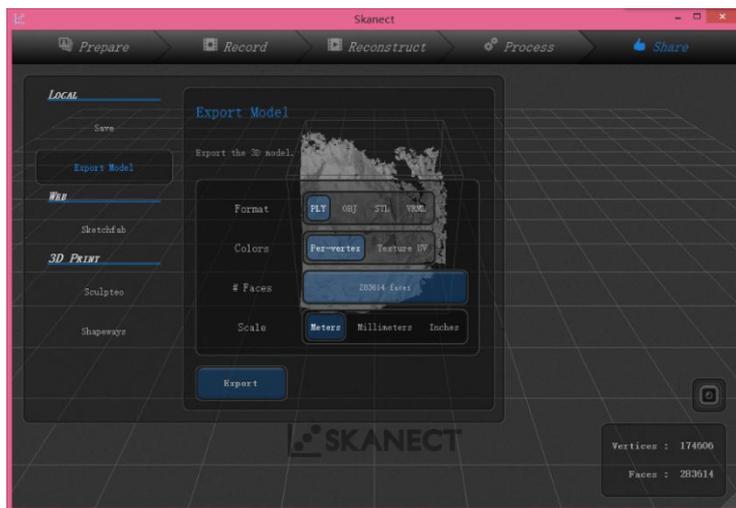


图 5.9 选择输出 STL 文件

使用 Geomagic Studio 打开保存的 STL 文件，导入 Geomagic。用平面裁剪的方式，将裁剪轮廓（图 5.10）。

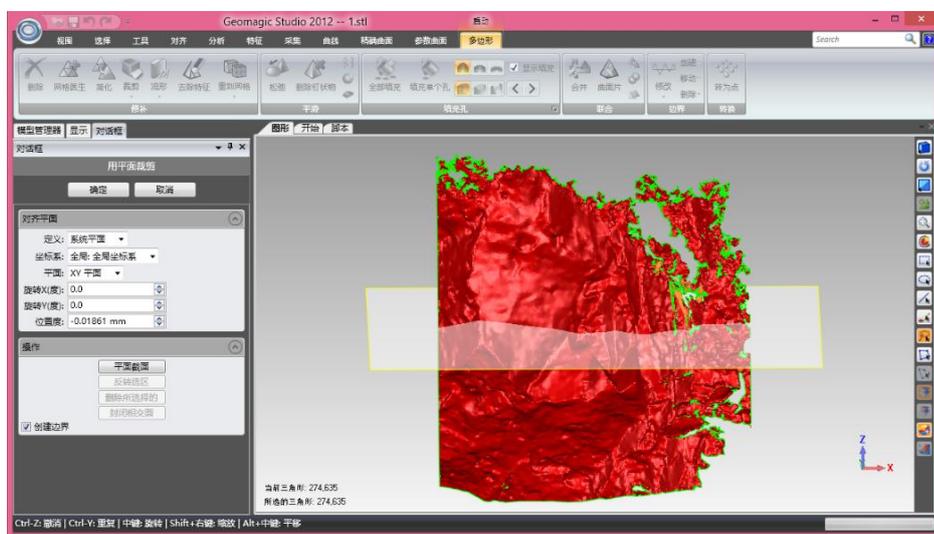


图 5.10 平面裁剪模型

去除剩余的杂块，填补空洞修补曲面，完成模型（图 5.11）。运用这些模型，可对之进行缩尺 3D 打印，获得小比例尺的扫描岩体实物模型。

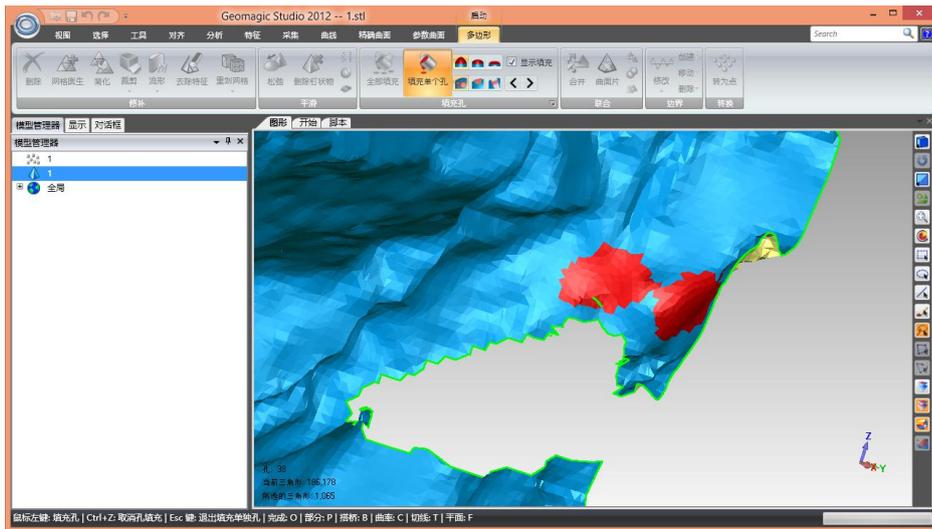


图 5.11 修补曲面

主要参考文献

- [1] 赵珊茸, 边秋娟, 凌其聪. 结晶学及矿物学. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [2] 桑隆康, 马昌前. 岩石学 (第二版). 北京: 地质出版社, 2012.
- [3] 李胜荣. 结晶学与矿物学. 北京: 地质出版社, 2008.
- [4] 蔡雄飞, 陈斌, 季军良等. 普通地质学矿物-岩石实习图册. 武汉: 中国地质大学出版社, 2013.
- [5] 地质矿产部地质辞典办公室. 地质大词典. 北京: 地质出版社, 2005.

