矿物学各论教案

（总学时：50　　讲课学时：18　　实验学时：32）

一、 课程教学目的

通过本课程的教学，使学生较系统掌握结晶学与矿物学的基础理论、基本知识和基本技能。矿物学部分主要包括矿物的晶体化学分类；矿物的主要结构类型；各大类和各类矿物的晶体化学与形态物性通性；掌握 50 余种矿物的鉴定特征并掌握鉴定未知矿物的技能。

二、 课程教学的基本内容、要求及学时分配

第九章 矿物的外部属性	主讲 4 学时，实习 6 学时。
一．矿物和矿物学的概念	
Mineral:（1）自然过程产生的单质或化合物;（2）它们具有一定的化学成分和内部结构，从而有一定的形态、物理化学性质;（3）它们在一定的地质和物理化学条件下稳定;（4）是组成岩石和矿石的基本单位。	举例
Mineralogy:	
二．矿物的形态	
一） 矿物单晶体的结晶习性与表面微形貌	（P182 图或类似实物图）
理想晶体与实际晶体: 内部结构 外部形态 “歪晶”	
晶体习性: 常见形态——习性晶 三维延伸比例——粒状、片状、针状等（例） 结晶完好程度——自形、半自形、它形（例）	（例：萤石，伟晶作用——八面体；高温——菱形十二面体；低温——立方体）

二） 矿物单体表面微形貌 晶面条纹 生长层 螺旋纹 生长丘和蚀象	（例：P184 图）
三） 矿物显晶集合体的形态 显晶集合体形态的描述方法——以单体晶习为纲 “晶簇”与“几何淘汰律” 块状集合体	←—动画展示（例：石英晶簇） 实例展示
四） 矿物隐晶集合体和胶体的形态 结核体（例） 鲕状体（例） 分泌体（例） 钟乳状体（例） 粉末状体（例） 被膜状体（例）	
本章概要：晶体习性；显晶集合体形态的描述方法；几种特殊的胶体/隐晶集合体形态 思考题： 1.晶面条纹在矿物对称性研究中的意义？ 2.几种特殊的胶体/隐晶集合体形态的形成机理？	作业
三 矿物的光学性质 **1）矿物的颜色** (1)定义 （2）呈色原理和补色原则 （3）按成因分类（自色、假色、它色） （4）致色机理（电子跃迁、转移、色心） （5）常见假色（物理光学效应）晕色、锖色、变彩。	（5-10 min。） 强调物性与组成和结构的关系。 （5-10 min。） 强调光学原理， 详细阐述致色机理。
2）矿物的条痕 （1）定义 （2）条痕的意义 （3）测试方法	（5 min。） 强调条痕在矿物鉴定中的意义及测试方法。 （5 min。） 影响因素举例。
3）矿物的透明度 （1） 定义 （2） 判别标准 （3） 分级	（5-10min。）

（4） 影响透明度的主要因素 **4）矿物的光泽** （1） 定义 （2） 分级 （3） 几种常见的特殊光泽 （4） 影响光泽的主要因素 **5）矿物的发光性** （1） 定义 （2） 依据发光的持续时间分类 **（3）** 依据激发源分类 小结 **四 矿物的力学性质** **1） 矿物的解理、裂开和断口** （1） 解理 a）理的定义 b）解理分级 c）解理的方向 d）解理的组数 （2）裂开 a）裂开的实质 b）裂开与解理的异同比较 （3）断口 c）定义 d）断口与解理的关系 e）常见的几种断口 **2） 矿物的硬度** （1） 定义 （2） 测定硬度的常见方法 （3） 摩氏硬度计及简易硬度测定 （4） 维氏硬度概念简述 （5） 影响硬度的主要因素 **3） 矿物的脆性与延展性** （1） 矿物脆性的概念 （2） 矿物韧性的概念 **4） 矿物的弹性与挠性** （1） 矿物弹性的概念 （2） 矿物挠性的概念 **五 矿物的其它性质** **1） 矿物的密度** （1） 定义 （2） 简易分级 （3） 影响因素	强调特殊光泽与分级的关系。 （5 min。） （10 min。） 解理的分级、方向和组数。 裂开的实质及其与解理的区别。 断口与解理的关系。 （10 min。） 摩氏硬度计背会， 熟记几种用以测试硬度的常见材料的硬度值。 （5 min。） 四个概念的实质。 （5 min。） （5 min。） 密度分级。 （5 min。） 磁性的实质。

2） 矿物的磁性 （1） 概念 （2） 磁性的实质 （3） 分级 3） 矿物的电性 （1） 概念 （2） 导电性 （3） 介电性 （4） 压电性 （5） 焦电性 小结	（5 min。） 电性的应用。 （10 min。）
第十章 矿物的化学组成与分类 一、 地壳的化学成分 二、 元素的离子类型 1.惰性气体型离子：2.铜型离子：3.过渡型离子: 三、矿物化学成分的变化 四、胶体矿物 胶体（colloid）:1-100nm 微粒（分散相）分散在另一种物质中（分散媒）形成的不均匀的细分散系。 水胶凝体 gel: 分散相—固态微粒，分散媒—水 胶体矿物属水胶凝体，如蛋白石（$SiO_2 \cdot H_2O$），粘土矿物(超细显微晶体)。 五、矿物中的水 5 种类型：吸附水，结晶水，结构水，沸石水，层间水。 矿物中的水及特征	主讲 2 学时 重点：矿物化学成分，胶体矿物，矿物中水 教材 P.171 表 II-2-2

六、矿物的化学式及其计算 教材采用 **晶体化学式—** composition + structure 例：$Ca[CO_3]$， $Fe[S_2]$ 书写规则： 前 —→后：阳离子（复盐）—阴离子（络阴离子团）—附加阴离子—结晶水 七、矿物分类	原则与体系
第十一章 自然元素矿物 一 概述 **1. 概念** **自然元素矿物**——1 种元素； **混晶**——2 种或 2 种以上元素、类质同象； **金属互化物矿物**——2 种或 2 种以上金属元素、金属键、一定比例、占据一定结构位置。 **2. 矿物种数：** ~40 **3. 地壳分布：** 0.1W_B%，不均匀 **4. 组成元素：** 4、5、6 周期，Ib、IIb、IIIb、VIII 族，C、S、半金属； **5. 资源属性：** 贵金属、宝石和化工矿产 **6. 分类：** **二. 自然金属元素及其混晶和互化物矿物** **1. 化学组成**	主讲 2 学时 认识实习：2 学时 ←—重点 1

贵金属 8 元素+Cu， 类质同象 **2. 晶体结构** **原子堆积及格子特点:** ——CCP，铜型（自然铜、自然金、自然银、自然铂） ——HCP，六方格子（自然锇） **对称程度:** ——等轴 ——六方 **3. 键型** ——金属键 **4. 形态物性** 学生归纳总结。 **5. 分类** **1）类型** ——铜族 ——铂族 **2）依据** —— **6. 成因** **7. 主要矿物概览**	例：自然金 动画展示：铜型结构； ←—矿物图片展示：自然铜、自然金、自然银、自

自然铜、自然金、自然银、自然铂	然铂
三. 非金属元素矿物	←—重点 2
石墨:	
化学成分——小比重;	←—动画展示：结构。
层状结构 ——一组极完全解理、 小硬度;	
自由电子 ——金属光泽、不透明、 导电;	←—矿物图片展示。
鉴定特征：黑色，低硬度，小比重，滑感。	
成因：高温变质	
自然硫:	
化学成分——相对密度;	←—动画展示
分子型结构——无解理、低硬度、脆性、低导热性;	
自由电子 ——金属光泽、透明度、 导电性;	
鉴定特征：黄色、油脂光泽、 低硬度、性脆、硫臭味、 易熔	←—矿物图片展示
成因：生物化学沉积、 火山喷气	
金刚石:	
成分与结构——中等比重	←—动画展示
金刚石型结构	

——{111}中等解理、 硬度 10 鉴定特征：极高硬度，金刚光泽，浑圆状。 成因：高温高压 四. 自然半金属元素矿物通性。	←—矿物图片展示 简述
第十二章 硫化物及其类似化合物矿物 **一 概述** 1. 概念、分布及意义 概念 矿物种数：>300 地壳分布：0.15W_B% 资源属性：有色金属、稀散元素矿产 其他属性 **二 晶体化学** 1. 化学组成 阴离子——S^{2-}、Se^{2-}、Te^{2-}、As^{2-}、Sb^{2-}、Bi^{2-} 络阴离子——对硫$[S_2]^{2-}$或$[As\ S]^{2-}$; ——$[As\ S_3]^{3-}$、$[Sb\ S_3]^{3-}$ 阳离子——铜型和过渡型 类质同象——等价 异价 2. 晶体结构 配位结构: ——四面体配位型（闪锌矿、斑铜矿、黄铜矿） ——八面体配位型（方铅矿、辰砂、磁黄铁矿、黄铁矿） 异常配位结构: ——环状分子型（雄黄） ——链状（辉锑矿、辉铋矿） ——层状（辉钼矿、铜蓝、雌黄） 同质多象（P20 表）	主讲 2 学时 认识实习：2 学时 ←—重点！ ←—动画及模型展示：闪锌矿结构； ←—动画及模型展示：方铅矿、黄铁矿结构； ←—动画展示：雄黄结构；

多型 3. 键型——离子键→共价键、金属键	←—动画及模型展示：辉钼矿结构
三. 分类 1. 类型——简单硫化物 ——复硫化物 ——硫盐 2. 依据——S^{2-} ——$[S_2]^{2-}$ 或 $[As\ S]^{2-}$ ——$[As\ S_3]^{3-}$、$[Sb\ S_3]^{3-}$	←—阐明单硫化物、复硫化物和硫盐的分类原则；
四.形态物性 学生归纳总结（课后完成）	←—单硫化物与复硫化物和硫盐的性质差异，阐明差异的本质；四面体配位型、八面体配位型、异常配位型（环状、链状、层状）单硫化物各该特性与结构的关系；
五. 成因 还原条件	←—说明条件的特征；硫化物矿物形成和稳定的条件。
六. 主要矿物概览 闪锌矿、斑铜矿、辉银矿、黄铜矿、方铅矿、辰砂、磁黄铁矿、雄黄、辉锑矿、辉铋矿、辉钼矿、铜蓝、雌黄、黄铁矿、毒砂	←—矿物图片展示
本章概要: 硫化物的晶体化学和形态物性一般特征;分类及依据; 主要硫化物矿物鉴定特征。	
思考题: 1. 硫化物的晶体化学与形态物性的关系; 2. 按形态、颜色、光泽、硬度、解理等对主要硫化物矿物进行归类，并对同类矿物间的异同进行比较。	←—课后作业
第十三章 氧化物和氢氧化物矿物 **一 概述**	主讲 2 学时 认识实习：4 学时

概念

矿物种数：>200

地壳分布：17W_B%

资源属性：黑色、有色、稀散和放射性金属矿产；工业与工艺原料；宝石原料

二 晶体化学

1. 化学组成

阴离子——O^{2-}。

附加阴离子——少数有 F^-、Cl^-

氢氧化物：$(OH)^-$或 O^{2-}和 $(OH)^-$

阳离子——约 40 种，惰气型和过渡型，少量铜型

类质同象——复阳离子氧化物较单阳离子氧化物广泛；

——共价键性强或具分子键者替代有限。

2. 晶体结构

←——重点：结构与性质特征；

配位结构：

——四面体配位型（α-石英、红锌矿、铍石）

←——动画展示：石英结构；

——八面体配位型（刚玉、赤铁矿、钛铁矿、黑钨矿、金红石、锡石、软锰矿、赤铜矿、方镁石）

←——动画及平面简图展示：刚玉及金红石结构；

——立方体配位型（晶质铀矿、方钍石）

——混合配位型（尖晶石、磁铁矿、铬铁矿）

说明刚玉族、金红石族矿物的结构型。

正尖晶石型结构：$A^{2+}[B^{3+}_2]O_4$——铬铁矿 $FeCr_2O_4$

反尖晶石型结构：B^{3+} $[A^{2+}B^{3+}]O_4$——磁铁矿 $Fe^{2+}Fe^{3+}_2O_4$

←——尖晶石族

混合型：A^{2+}_{1-X} $B^{3+}_X[A^{2+}_X$ $B^{3+}_{2-X}]O_4$——镁铁矿 $Mg^{2+}Fe^{3+}_2O_4$

——锰铁矿 $Mn^{2+}Fe^{3+}_2O_4$

氢氧化物：

O^{2-}和 $(OH)^-$常呈互层——层状或链状，比相应氧化物对称度低。

例：方镁石 MgO 等轴晶系，水镁石 $Mg[OH]_2$ 三方晶系

←——动画及平面简图展示：

水镁石结构。

3. 键型

离子键为主，随阳离子电价增加，从惰气型向过渡型和铜型转变而共价键性增强。

例：刚玉 40%共价键，石英 50%共价键；赤铜

说明键性、结构紧密程度与物性（硬度）关系。

矿 Cu_2O 因共价成键而使的配位数不是 4 而是 2。 少数呈分子键（方锑矿 Sb_2O_3 中 $[Sb_4O_6]$ 砷华 As_2O_3 中 $[As_4O_6]$ 分子）。 氢氧化物中多存在氢键，且 $(OH)^-$ 比 O^{2-} 的电价低，使之与阳离子的键力减弱 ——比重硬度减小。	
三. 形态物性 学生归纳总结。	←——着重与硫化物对比。
四. 分类 氧化物类 ——简单氧化物 A_2X 型：赤铜矿族 AX 型：方镁石族 A_2X_3 型：刚玉族、砷华族 AX_2 型：石英族、金红石族、晶质铀矿族 ——复杂氧化物 ABX_3：钙钛矿族 ABX_4：黑钨矿族 AB_2X_4：尖晶石族 AB_2X_6：铌钽铁矿族 $A_2B_2X_7$：烧绿石族 ——氢氧化物类	
五. 成因	←——氧化物与硫化物矿物的性质和稳定条件 氧化/还原——讨论
六. 主要矿物概览 刚玉、石英、蛋白石、金红石、锡石、软锰矿、黑钨矿、磁铁矿、铬铁矿、水镁石、硬水铝石、针铁矿、硬锰矿	←——多媒体展示。
本章概要： 氧化物矿物的晶体化学和形态物性一般特征；四	

种典型结构；主要氧化物矿物鉴定特征。 **思考题：** 1. 氧化物矿物晶体化学与形态物性的关系； 2. 氧化物矿物与硫化物矿物的物理性质有何不同？ 3. 氧化物矿物与硫化物矿物的稳定条件有何不同？ 4. 如何区别金红石与锡石、磁铁矿与铬铁矿、石英与刚玉？ 5. 水镁石与辉钼矿的晶体结构有何异同？	←——课余作业
第十四章 含氧盐之 **硅酸盐矿物** **SILICATES** **一 概述** 概　　念： 矿物种数：>600，占已知矿物 1/4 地壳分布：$85W_B\%$ 资源属性：碱金属、Be、B、Zr 等金属、非金属和宝石矿物原料 **二 晶体化学** **1. 化学组成** 络阴离子——$[SiO_4]^{4-}$。 附加阴离子——少数有$(OH)^-$、F^-、Cl^-、O^{2-}、$[CO_3]^{2-}$、$[SO_4]^{2-}$、$[PO_4]^{3-}$ 水分子：　H_2O 阳离子——约 40 种，惰气型和过渡型 卉离子：$(H_3O)^+$ **2. 硅氧骨干** 1）岛状 ——单四面体$[SiO_4]$，Si/O=1/4，例：橄榄石 ——双四面体$[Si_2O_7]$，Si/O=1/3.5， 例：异极矿 $Zn_4[Si_2O_7](OH)_2 \cdot H_2O$ 2）环状 Si/O=1/3	主讲 2 学时 认识实习(岛状与环状)：　4 学时 **重点！** 重点！——讨论 要求：运用矿物晶体化学分析其形态和主要性质特征。 ←—附加阴离子与成因的联系 ←—硅氧骨干类型，硅氧骨干与形态和性质的联系。——重点！ ←—动画及平面简图展示（P103 图）。 ←—动画及平面简图展示！

——三方环[Si_3O_9]，例：硅酸钡钛矿 ——复三方环[Si_6O_{18}]，例：电气石 ——四方环[Si_4O_{12}]，例：包头矿 ——六方环[Si_6O_{18}]，例：绿柱石	
3）链状 ——单链，Si/O=1/3 二重单链[Si_2O_6]，例：透辉石 三重单链[Si_3O_9]，例：硅灰石 五重单链[Si_5O_{15}]，例：蔷薇辉石	←—动画及平面简图展示！
——双链 例：透闪石 $Ca_2Mg_5[Si_4O_{11}]_2(OH)_2$，Si/O=1/2.75	←—动画及平面简图展示，重点！ （P104 图）
4）层状 Si/O=1/2.5 惰性氧/桥氧；　活性氧/端氧 例：滑石 $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$ 鱼眼石 $KCa_4[Si_4O_{10}]_2F^- \cdot 8H_2O$	←—动画及平面简图展示，重点！ （P104 图）
5）架状 Si/O=1/2 例：钾长石 $K[AlSi_3O_8]$ 钙长石 $Ca[Al_2Si_2O_8]$ 白榴石 $K[AlSi_2O_6]$ 方钠石 $Na_8[AlSi_3O_8]_6Cl_2$	←—动画及平面简图展示。（P105 图） （P105 图）
注：——两种骨干共存：绿帘石 $Ca_2(Al,Fe^{3+})_3[SiO_4][Si_2O_7]O(OH)$ ——两种骨干过渡：葡萄石 $Ca_2Al[AlSi_3O_{10}](OH)_2$	←—动画及平面简图展示。
3. 铝的作用 ——Al_{IV}→铝硅酸盐 aluminosilicate：钠长石 ——Al_{VI}→铝的硅酸盐 aluminum silicate：高岭石 ——Al_{VI}+ Al_{IV}→铝的铝硅酸盐：白云母 Al_{IV}代替 Si 难易排序：单链、双链、层、架 Al_{IV} / Si ≤1∶1	←—Al 的双重作用
4. 化学键性 共价键：骨干内，键力生成能从岛状到架状减小，>3000 千卡/克分子	

离子键：骨干外， <1000 千卡/克分子
氢键：含（OH）¯者

5. 类质同象

←——类质同象规律

ISOMORPHISM

代换范围从岛状到架状减小。

几个完全类质同象系列：

——橄榄石系列
——石榴石系列
——透辉石系列
——斜长石系列

三. 形态物性

←——硅氧骨干类型与形态和性质（解理、硬度、比重）的联系

学生归纳总结

四. 分类

——类型：
——依据：

五. 成因

六. 岛、环状亚类主要矿物概览

1. 岛状亚类

←——平面展示及主要特征说明（矿物图）

ISOLAND SILICATES

$[SiO_4]$基型（NEOSILICATES）:
——无附加阴离子:
锆石、石榴石、橄榄石
——含附加阴离子:
红柱石、蓝晶石、黄玉、十字石、榍石
$[SiO_4]+[Si_2O_7]$（SOROSILICATES）基型，含附加阴离子:
绿帘石、符山石、

2. 环状亚类

←——平面展示及主要特征说明（矿物图）

CYCLOSILICATES

$[Si_6O_{18}]$环，无附加阴离子:
绿柱石、堇青石
$[Si_6O_{18}]$环，含附加阴离子

电气石 **本章概要：** 硅酸盐矿物的硅氧骨干基本类型，各类型的硅氧比，代表性矿物；骨干类型与形态物性关系；骨干内共价键键力生成能和类质同象代换范围变化趋势；主要硅酸盐矿物鉴定特征。 **思考题：** 1. 硅氧骨干类型与形态物性关系的本质； 2. 以 Al_2SiO_5 的三种同质多象变体为例，从配位数的影响因素分析铝在硅酸盐矿物中存在形式的成因意义； 3. 电气石族矿物的颜色变化及其类质同象系列与其成因的关系； 4. 从硅氧骨干特点分析辉石族和闪石族矿物物理性质差异的本质； 5. 以高岭石和叶蜡石为例，分析它们结构层中结构片的连接方式，并与滑石对比，判断各属二八面体型或三八面体型； 6. 蒙脱石具阳离子交换性和遇水后的膨胀性，原因何在？ 7. 岛状硅酸盐矿物中不出现铝硅酸盐而只有铝的硅酸盐，原因何在？ 如何区别锆石与金红石、锡石；橄榄石与绿帘石；绿柱石与磷灰石；蔷薇辉石与菱锰矿；透闪石与硅灰石；普通角闪石与普通辉石？	←——课余作业
# 链状硅酸盐矿物亚类 # INOSILICATES ## 一 概述 **结构特征：** 链状 Si-O 骨干平行 C 轴排列，靠骨干外阳离子互相联系。 **成分特征：** ——双链类角闪石族出现附加阴离子（OH）$^-$、F^-、Cl^-； ——Si-O 骨干中可有 Al_{IV} 代替 Si，Al_{IV} / Si ≤ 1：3，仅夕线石达 1/2。 **形态特征：** 平行 Si-O 骨干的柱状、板状、针状、纤维状。 **物性特征：**	主讲 2 学时 认识实习： 4 学时 **重点！** ←——对比：岛状硅酸盐多粒状，环状硅酸盐柱状。

——依阳离子由惰气型向过渡型转变，颜色由浅而深；

——玻璃光泽，不依颜色而变化；——发育平行链的解理；

——硬度多为 5-6；

——比重多小于 3.5。

分类：

——单链：辉石族；硅灰石族；蔷薇辉石族；

——双链：角闪石族；夕线石族。

成因：岩浆作用，区域变质作用，热液蚀变作用。

←—对比：岛状和环状硅酸盐解理多不发育，硬度多为 6-7，比重多大于 3.5。

←—对比：与岛状和环状硅酸盐相似。

二 辉石族(Pyroxene Group)

1. 化学通式

$XY[T_2O_6]$

——X：Na^{+}, Ca^{++}, Mn^{++}, Fe^{++}, Mg^{++}, Li^{+};

——Y：Fe^{+++}, Cr^{+++}, Mn^{++}, Fe^{++}, Mg^{++}, Al^{+++} , Ti^{++++};

——T：Si^{++++}, Ti^{++++} , Al^{+++};

2. 硅氧骨干外阳离子占位及对称

←—平面简图展示：两种阳离子结构位置

链间两种空隙：

——小空隙 M1：位于硅氧四面体角顶相对的位置，一般由较小的阳离子 Fe^{++}, Mg^{++}, Al^{+++}占据，呈正八面体配位；

——大空隙 M 2：位于硅氧四面体底面相对的位置，可由大（Na^{+}, Ca^{++}）小（Fe^{++}, Mg^{++}）两种离子占据，分别呈畸变立方体和八面体配位。

（P1 3 9 下图）

对称特点：

——M 2 位被小（Fe^{++}, Mg^{++}）阳离子占据，斜方晶系；

——M 2 位被大（Na^{+}, Ca^{++}, Li^{+}）阳离子占据，单斜晶系。

着重说明大阳离子存在对称降低。

←—动画展示：透辉石结构

3. 解理与结构关系

←—平面简图展示：（P142 左上图）

a) 解理特征：

——斜方辉石：{210}，夹角 87° /93° ；

——单斜辉石：{110}，夹角 87° /93°

b) 解理与结构关系

4. 成分与颜色关系

颜色随含 Mn^{++}, Fe^{++}, Ti^{++++}增加而加深。

5. 其他特征

玻璃光泽，H5-6，硬玉和锂辉石 H6.5-7，D 中等（3.1-3.6）

着重说明硬玉的硬度与高压成因之关系。

6. 斜方辉石与单斜辉石分述

斜方辉石(Orthopyroxene):

——玄火辉石（En）$Mg_2[Si_2O_6]$——斜方铁辉石(Fs)$Fe_2[Si_2O_6]$类质同象系列

玄火辉石 En100-90 无色 超基性变粒岩 较高温

古铜辉石 En90-70 古铜色

紫苏辉石 En70-50 灰绿色

铁紫苏辉石 En50-30 绿色

尤莱辉石 En30-10 暗绿色

斜方铁辉石 En10-0 墨绿色 基性麻粒岩 较低温

着重说明斜方辉石的种属-成分-物性-产状-成因间的变化规律。

←—平面展示：古铜辉石、紫苏辉石（矿物图）

单斜辉石(Clinopyroxene):

——透辉石（Di）$CaMg[Si_2O_6]$——钙铁辉石(Hed) $CaFe[Si_2O_6]$类质同象系列

透辉石 Di 100-75 无色 超基性镁夕卡岩 较高温

次透辉石 Di 75-50 浅绿色

铁次透辉石 Di 50-25 绿色

钙铁辉石 Di 25-0 墨绿色 基性钙夕卡岩 较低温

（矿物图）

——普通辉石 Augite：$Ca(Mg, Fe^{++}, Fe^{+++}, Ti, Al)[(Si, Al)_2O_6]$

——硬玉 Jadeite：$NaAl[Si_2O_6]$，H=6.5，翡翠

——锂辉石 Spodumene：$LiAl[Si_2O_6]$ H=6.5-7

着重说明单斜辉石的种属-成分-物性-产状-成因间的变化规律。

←—平面展示及主要特征说明：（矿物图）

三 三重、五重单链状矿物

1. 硅灰石 Wollastonite $Ca_3[Si_3O_9]$

三重单链，三斜，b 轴板状，浅红白，解理{100}完全，H4.5-5.5， D2.75-3.10，产于夕卡岩或钙质片岩。

与透闪石区别:

与硅线石区别:

←—平面展示及主要特征说明（矿物图）

2. 蔷　薇　辉　石　Rhodonite

$(Mn,Ca)_5[Si_5O_{15}]$

←——平面展示及主要特征说明（矿物图）

五重单链，三斜，板状，粉红，解理{110}、{1$\underline{1}$0}完全，交角近 90°，H5.5-6， D3.4-3.75，黑色被膜，产于片岩。

与蔷薇石英区别:

四 角闪石族(Amphibole Group)

1. 化学通式

$A_{0-1}X_2Y_5[T_4O_{11}]_2(OH)_2$

——A: Na^+, Ca^{++}, K^+, $H3O^+$;

——X: Na^+, Ca^{++}, K^+, Li^+, Mn^{++}, Fe^{++}, Mg^{++};

——Y: Al^{+++}, Fe^{+++}, Cr^{+++}, Ti^{++++}, Mn^{++}, Fe^{++}, Mg^{++};

——T: Si^{++++}, Ti^{++++} , Al^{+++};

←——平面简图展示：5 种阳离子结构位置

2. 硅氧骨干外阳离子占位及对称

链间由 O 和（OH）堆积构成 M1，M2，M3，M4，A 五种空隙（依次增大）:

（P158 图）

——小空隙 M1，M2，M3：位于硅氧四面体角顶相对的位置，一般由较小的 Y 类阳离子占据，呈八面体配位;

——大空隙 M4：位于硅氧四面体底面相对的两个双链之间，可由大（Na^+, Ca^{++}）小（Fe^{++}, Mg^{++}）两种 X 阳离子占据，分别呈畸变立方体和八面体配位。

——最大空隙 A：位于硅氧四面体底面相对的两个双链之间，为 A 离子所占据。

着重说明大阳离子存在对称降低。

对称特点:

——M4 位被小（Fe^{++}, Mg^{++}）阳离子占据，斜方晶系;

←——动画展示：透闪石结构

——M4 位被大（Na^+, Ca^{++}）阳离子占据，单斜晶系。

←——平面简图展示：

3. 解理与结构关系

a) 解理特征:

——斜方闪石：{210}，夹角 56°/124°；

——单斜闪石：{110}，夹角 56°/124°

b) 解理与结构关系

4. 成分与颜色关系

颜色随含 Mn^{++}，Fe^{++}，Ti^{++++}增加而加深。

5. 其他特征

玻璃光泽，H5-6，直闪石 H5.6-6 和蓝闪石 H6-6.5，D 中等（3.0-3.5）

6. 斜方闪石与单斜闪石分述

斜方闪石(Orthoamphibole):

——直闪石 Anthophyllite

$(Mg, Fe)_7[Si_4O_{11}]_2(OH)_2$

放射状或纤维状。

仅见于中级变质岩中。

单斜闪石(Clinoamphibole):

——透闪石（Tre）$Ca_2Mg_5[Si_4O_{11}]_2(OH)_2$——铁阳起石 $Ca_2Fe_5[Si_4O_{11}]_2(OH)_2$类质同象系列

透闪石(Tremolite) Tre 100-80 无色 较高温

阳起石 (Actinolite) Tre 80-20 绿色

铁阳起石(Ferroactinolite) Tre 20-0 墨绿色 较低温

——普通闪石 Hornblende：$NaCa_2(Mg, Fe^{++})_4(Fe^{+++},,Al)[(Si,Al)_4O_{11}]_2(OH)_2$

——蓝闪石 Glaucophane：$Na_2Mg_3Al_2[Si_4O_{11}]_2(OH)_2$，

H=6-6.5，低温高压变质

——钠闪石 Riebeckite：$Na_2Fe^{++}{}_3Fe^{+++}{}_2[Si_4O_{11}]_2(OH)_2$，

H=5，柱状，碱性-酸性岩浆岩

五 夕线石族

1. 夕线石 Sillimanite

$Al^{VI}[AlSiO_5]$

$[SiO_4]$和$[AlO_4]$四面体沿C轴交替排列的双链，斜方，

长柱状，断面近正方形之菱形或长方形，(110)与(1$\underline{1}$0)夹角 88° 15′，白、浅褐白，解理{010}完全，H6.5-7.5， D3.23-3.27;

产于高温接触变质带和区域变质岩。

着重说明蓝闪石 H6-6.5 与高压成因之关系。直闪石为结晶片岩之矿物——也与压力有关。

着重说明单斜闪石的种属-成分-物性-产状-成因间的变化规律。

←——平面展示及主要特征说明：（矿物图）

与蓝晶石 $Al^{VI}{}_2[SiO_4]O$、红柱石 $Al^{VI}Al^{V}[SiO_4]O$ 对比，分析其配位数变化与形成条件的关系。——平面图示：（P123 图）

（矿物图）

层状硅酸盐矿物亚类

PHYLLOSILICATES

主讲 1 学时
认识实习： 2 学时

重点！

一 概述

结构特征： Si-O 骨干共用三个角顶构成六方网层（SHEETS），与骨干外阳离子互相联系组成结构层。多为单斜晶系。

成分特征：

——本亚类均出现附加阴离子（OH）$^-$、F^-、Cl^-;

——Si-O 骨干中可有 Al_{IV} 代替 Si，Al_{IV} / Si ≤ 1∶3。

←——对比：岛状硅酸盐多粒状，环状和链状硅酸盐柱状。

形态特征： 平行结构层的片状、短柱状。

物性特征：

——依阳离子由惰气型向过渡型转变，颜色由浅而深;

——玻璃光泽，不依颜色而变化;

——发育平行结构层的极完全解理;

——硬度多接近 2;

——比重多接近 2.5。

——薄片具弹性或挠性。

←——对比：岛状和环状硅酸盐硬度多为 6-7；比重多大于 3.5。链状硅酸盐硬度多 5-6，比重多小于 3.5。

分类：

依结构单元层的配置:

——TO 型：蛇纹石-高岭石族;

——TOT 型：滑石-叶蜡石族；云母族；绿泥石族；伊利石（水云母）族；埃洛石（叙永石、多水高岭石）族；蒙脱石-蛭石族。

←——简单提及，留下文解释。

依八面体片中阳离子数目:

——三八面体型

——二八面体型

成因： 岩浆作用，区域变质作用，热液蚀变作用。

二 晶体化学

1. 化学组成

络阴离子——$[T_4O_{10}]^{4-}$。

附加阴离子——（OH）$^-$、F^-、Cl^-、O^{2-}

水分子： 少数有 H_2O

←——说明附加阴离子从岛状、环状、链状到层状

阳离子——惰气型和过渡型 卉离子：（H_3O）$^+$ **2. 结构单元层** **1）TOT 型和 TO 型** **——TOT 型** T：四面体片 Tetrahedral Sheet。 O：八面体片 Octohedral Sheet。 例：滑石 $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$ **——TO 型** 例：高岭石 $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$ **2）二八面体型和三八面体型** **——二八面体型** 例：高岭石 $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$ **——三八面体型：** 例：滑石 $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$ **3. 层间域** **——结构单元层电荷平衡时：** 例：滑石 $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$；；高岭石 $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$；叶蜡石 $Al_2[Si_4O_{10}](OH)_2$ **——结构单元层电荷不平衡时：** 例：黑云母 $K\{Mg_3[AlSi_3O_{10}](OH)_2\}$；白云母 $K\{Al_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2\}$；蒙托石 $E_x(H_2O)_4\{(Al_{2-x},Mg_x)_2[(AlSi)_4O_{10}](OH)_2\}$，E——$Na^+Ca^{2+}$ **层间域的重要意义** ——吸附性 ——阳离子交换性 ——膨胀性 **4. 化学键性** 结构单元层内：共价键和离子键； 结构单元层间：分子键 **5. 多型** 例：云母——1M；2O；2M1；2M2；3T；6H **6. 间层矿物** **7. 黏土矿物** **三. 形态物性** 学生归纳总结	的含量变化。 ←—配合结构模型讲解，基地班和材料学科实习。 ←—动画展示：滑石结构 ←—动画展示：高岭石结构 ←—平面简图展示：（P169 图之 A、B） ←—着重说明层电荷的意义。 ←—平面简图展示：（P170 图）。 ←—说明概念与性质。

四. 主要矿物概览

←——平面展示及主要特征说明：（蛇纹石、高岭石、叶蜡石、白云母、黑云母、绿泥石、蛭石矿物图）

1. 含附加阴离子层状

A. 蛇纹石-高岭石族

a. 蛇纹石亚族：蛇纹石

b. 高岭石亚族：高岭石、迪凯石、珍珠陶土

B. 滑石-叶蜡石族

C. 云母族

a. 白云母亚族：白云母、铬云母、海绿石

b. 黑云母亚族：黑云母、金云母、锂云母

D. 绿泥石族

2. 含水层状

A. 伊利石（水云母）族：伊利石

B. 埃洛石（叙永石、多水高岭石）族：埃洛石

C. 蒙脱石-蛭石族

a. 蒙脱石亚族：蒙脱石、贝得石、累托石

b. 蛭石亚族：蛭石、皂石、海绿石？

3. 含水链-层过渡型

坡缕石族：坡缕石、海泡石

4. 含附加阴离子层-架过渡型

葡萄石族：葡萄石

思考题：

←——课后作业。

1. 以高岭石和叶蜡石为例，分析它们结构层中结构片的连接方式，并与滑石对比，判断各属二八面体型或三八面体型；

2. 蒙脱石具阳离子交换性和遇水后的膨胀性，原因何在？

架状硅酸盐矿物亚类

TECTOSILICATES

主讲 1 学时

认识实习： 2 学时

重点！

一 概述

结构特征： Si-O 骨干共用四个角顶构成三维延伸的架状（FRAMEWORK），四面体的连接方式多样，结构体中空隙或孔道较大。

成分特征：

←——解释原因，与石英对

——Si-O 骨干中必有 Al_{IV} 代替 Si，Al_{IV} / Si ≤ 1：2。

——骨干外阳离子主要为低价高配位数大离子，如 K^+、 Na^+、Ca^{2+}、B^{2+}等；

——有的出现附加阴离子，如方柱石中的 Cl^-、$(CO_3)^-$；有的出现 H_2O，如沸石。

形态特征: 四面体在不同方向排列的紧密程度不同，故有板柱状、粒状。

物性特征:

——几乎不含过渡型离子，颜色浅；

——玻璃光泽，不依颜色而变化；

——发育平行结构密实方向的完全解理；

——因强健骨干架状分布，故硬度大；

——因骨干间空隙大，几乎不含重阳离子，故比重低；

分类:

——长石族

正长石亚族；

斜长石亚族；

——似长石:

白榴石族；

霞石族；

方柱石族；

方钠石族；

——沸石族

二 长石族

1. 基本组成

比。

（P158 图）

←—与岛状、环状、链状、层状对比。

注意说明因果关系。

←—重点！

——K^+、 Na^+、Ca^{2+} 的铝硅酸盐，基本组分:

钾长石 Orthoclase， K [Al Si_3O_8]， 代号 Or;

钠长石 Albite， Na [Al Si_3O_8]， 代号 Ab;

钙长石 Anorthite，Ca [Al_2 Si_2O_8]， 代号 An;

Or-Ab-An 三元系

条纹长石

反条纹长石

钡长石 Celsian Ba [Al_2 Si_2O_8]， 代号 Cn

钡冰长石 Hyalophane (K, Na, Ba) [(Al,Si)$_2$ Si_2O_8]

←——平面展示 P191 图，说明分类与不同固熔体区间。熔离与条纹。**条纹长石图。**

简介在热水成因中的判别作用。

2. 结构特征

结构单元——[TO_4]四面体组成四元环;

四元环的分布——近与垂直 a 轴或 b 轴; 沿 a 轴或 c 轴成折状链。

←——立体动画展示 P192 图。

←——透长石结构模型（材料学科实习）。

3. 高温碱性长石（Alkali Feldspars）系列

Or—Ab 系列:

K [Al Si_3O_8]——Na [Al Si_3O_8]

——透长石，Sanidine， Ab_0-Ab_{67} 单斜晶系 Monoclinic

——歪长石， Anorthoclase， Ab_{67}-Ab_{90} 三斜晶系 Triclinic

——钠长石，Albite， Ab_{90}-Ab_{100} 三斜晶系 Triclinic

4. 钾长石(Potash Feldspar)亚族

K [Al Si_3O_8]

——透长石 Sanidine 高温 “Quenched”，单斜

说明成因条件与特征变化规律。

——正长石 Orthoclase　中温慢速冷却，单斜

——微斜长石 Microcline　较低温慢速冷却，三斜

形成温度，Al -Si_3有序度，晶系，产状

←——**平面展示：**卡式双晶图，格子双晶图。

特征：肉红色（透长石无色），{001}和{010}解理角近 90^0，透长石和正长石常具卡式双晶，微斜长石格子双晶。

5. 斜长石（Plagioclase）系列

←——**平面展示：钠长石双晶片厚度的规律变化。中长石的环带结构。**

Ab—An 系列:

Na [Al Si_3O_8]——Ca [Al_2 Si_2O_8]

——钠 Albite　An_0 —An_{10}

——更 Oligoclase　An_{10}—An_{30}

——中 Andesine　An_{30}—An_{50}

——拉 Labradorite　An_{50}—An_{70}

——培 Bytownite　An_{70}—An_{90}

——钙 Anorthite　An_{90}—An_{100}

特征：灰白色，{001}和{010}解理角 $86\text{-}94^0$，聚片双晶（图）。

产状：酸性岩、中性岩、基性岩

←——说明产状特征与成分关系。

三. 似长石（Feldspthoids）

——组分类似长石，但 Al: Si> 1: 3。

1. 霞石 Nepheline

(Na,K)[$AlSiO_4$]

六方晶系

特征:与石英类似,但与大量钾长石共生(正长岩)

2. 白榴石 Leucite　K[$AlSi_2O_6$]

四方晶系，605^0转变 特征：颜色，形态，无解理，产状（贫硅富钾喷出或浅成岩） **3. 方柱石，Scapolite，$(Na,Ca)_4[(Si,Al)_4O_8]_3(Cl, CO_3)$** 四方晶系，平行C轴有巨大空隙， 特征：{100}中等解理，H5-6，气成矿物。	材料学科重点！
四. 沸石（Zeolite）族 1. $M_xD_y[Al_{x+2y}Si_{n-(x+2y)}O_{2n}]\cdot mH_2O$ M: Na+, K+ D: Ca^{2+}, Ba^{2+}, Sr^{2+} n/2 <m< n 2. 结构特征：大空腔和孔道，沸石水 3. 矿物种：36种，常见的有 一向延伸的： 钠沸石 丝光沸石 二向延伸的： 斜发沸石 片沸石 三向等长的： 方沸石 浊沸石 菱沸石 4. 鉴定特征：无或白色，玻璃光泽，比重轻2-2.3，硬度小于5 **5.** 产状：低温碱性介质，火山凝灰岩蚀变产物，多与蒙脱石共生。	课后作业。

思考题： 1. 长石族矿物的类质同象系列,不同系列的混溶度差异原因? 2. 似长石只出现在硅不饱和的岩石中,为什么?	基地班补充实习 4 学时。
第十五章 其他含氧盐及卤化物矿物 **一. 碳酸盐 (Carbonates)、 硼酸盐 (Borates)、硝酸盐(Nitrates)** ——以含三角形络阴离子为特征。 **1. 碳酸盐(Carbonates)** 1) 矿物种逾 100，重要非金属矿物原料。 2) 阴离子$[CO_3]^{3-}$，表生碳酸盐矿物如孔雀石、蓝铜矿含附加 $(OH)^-$等; 阳离子惰气型 Ca、Mg、Sr、Ba; 过渡型 Mn、Fe、Co、Ni、La、Ce、U、Th; 铜型 Cu、Zn、Cd、Pb 等，Ca、Mg 为主。 3) 键性: $[CO_3]^{3-}$平面三角形内共价键，外离子键。 4) 结构类型、对称及晶变 ——方解石型， 三方晶系; ——文石型，斜方晶系。 过渡型，钡解石，单斜晶系。 ——晶变: 半径小于 Ca 的阳离子 Mn、Fe、Co、Zn、Mg 成方解石型（6 次配位），大于 Ca 的阳离子 Sr、Ba、Pb 成文石型（9 次配位），Ca 二者皆可。 5) 类质同象 完全系列: 方解石型中 Ca—Mn、Fe—Mg、Mn—Fe; 不完全系列: Mg—Mn、Fe—Zn、Mg—Mn。	主讲 2 学时 认识实习：2 学时 一般性介绍其晶体化学与性质，重点介绍各类重要矿物族特征。 与硅酸盐阳离子比较。 ←—量变质变规律的哲学思想。

6) 形态物性变化规律 形态与成因有关; 颜色、比重与阳离子类型有关; 玻璃/金刚光泽、多组解理、高双折射率、遇酸起泡。 7) 常见矿物 方解石族: 三方晶系，菱面体解理 ——方解石 Calcite $Ca[CO_3]$ ，H=3，遇冷稀 HCl 剧烈起泡。 ——菱镁矿 Magnesite，Mg $[CO_3]$ ，3.5<H<5，遇冷稀 HCl 不起泡，加热起泡。 ——菱铁矿 Siderite，Fe $[CO_3]$，氧化面褐色，3.5<H<5，遇冷稀 HCl 微弱起泡。 ——菱锰矿 Rhodochrosite Mn $[CO_3]$，玫瑰红色，3.5<H<5，遇冷稀 HCl 微弱起泡。 ——菱锌矿 Smithsonite Zn $[CO_3]$ 3.5<H<5 多胶状，遇冷稀 HCl 起泡。 ——白云石 Dolomite Ca Mg $[CO_3]_2$ 3.5<H<5 遇冷稀 HCl 微弱起泡。 文石族: 斜方晶系， ——文石 Aragonite, Ca $[CO_3]$，(010) 解理不完全。 ——碳锶矿 Strontianite, Sr $[CO_3]$ ——碳钡矿 Witherite, Ba $[CO_3]$ ——白铅矿 Cerussite, Pb $[CO_3]$ 孔雀石族: 单斜晶系，含 $(OH)^-$ 等，硫化物矿床氧化带共生，多胶状，H=3.5—4，完全解理 ——孔雀石 Malachite, $Cu_2[CO_3](OH)_2$, 绿色，遇冷稀 HCl 起泡。	与前述各类比较。要求学生总结特征。 ←——本族遇 HCl 后的反应特点。 标型意义。

——蓝铜矿 Azurite, $Cu_3[CO_3]_2(OH)_2$, 蓝色，遇冷稀 HC1 起泡。	←——与铜蓝区别？
2. 硼酸盐(Borates) 硼镁铁矿 Ludwigite, $(Mg,Fe)_2Fe^{3+}[BO_3]O_2$，斜方晶系，长柱状，绿黑色，不透明，无解理，H5.5-6，D3.6-4.7，粉末弱磁性，产于白云质大理岩及镁质夕卡岩。	←——矿物展示。
3. 硝酸盐(Nitrates) （略）	
二. 硫酸盐（Sulfates）、钨酸盐(Tungstates)、磷酸盐(Phosphates) **1. 硫酸盐（Sulfates）** 1) 矿物种逾 180，重要建材、化工非金属矿物原料。 2) 阴离子$[SO_4]^{2-}$，当含三价阳离子或强极化阳离子Cu^{2+}时常附加 $(OH)^-$等; 阳离子惰气型 NaKCa、Mg、A1Sr、Ba; 过渡型 Fe()、Mn; 铜型 Cu、Zn、Pb 等。 3) 键性: $[SO_4]^{2-}$呈四面体内共价键，外离子键。 4) 结构特征 $[SO_4]^{2-}$半径 0.295nm,与大半径 Sr、Ba、Pb 结合稳定，形成无水硫酸盐（重晶石、天青石、铅钒），与小半径 Mg、Cu、Fe 结合时，成水合阳离子构成的含水硫酸盐（泻利盐 Epsomite, $Mg(H_2O)_7[SO_4]$、胆矾Calcanthite, $Cu[SO_4]\cdot 5H_2O$、水绿矾$Fe(H_2O)_7[SO_4]$等）。中等半径的 Ca 含水（石膏）或不含水（硬石膏）。	

单斜或斜方，少数三方。 5) 类质同象 多表生低温而不发育，仅 Fe—Mg、Sr—Ba 可呈完全系列。 6) 形态物性变化规律 形态与化学沉积或低温热液成因有关，可呈一定多面体; 颜色、比重与阳离子类型有关; 玻璃/金刚光泽、透明—半透明，硬度小于 3.5，含水者更低，常多组解理。 7) 常见矿物 重晶石 Barite, $Ba[SO_4]$ 斜方，沿{001}板状，粒状、纤维状，无色，解理{001}完全，{210}中等，夹角=90°，H=3-3.5，D=4.5 石膏 Gypsum, $Ca[SO_4]\cdot 2H_2O$ 单斜，沿{010}板状，粒状(杂色的雪花石膏)、纤维状(纤维石膏)，无色透明(透石膏)，解理{010}极完全，{100}、{011}中等，夹角=66/114° 菱形，解理片具挠性，H=1.5-2，D=2.3 **2. 钨酸盐(Tungstates)** 白钨矿 Scheelite, $Ca[WO_4]$ 四方，假八面体状或沿（001）板状，粒状，灰色，油脂/金刚光泽，透明-半透明，解理{111}中等，H4.5—5，D6，紫外光下发荧光。产于夕卡岩。 3. 磷酸盐(Phosphates) 磷灰石 Aptite, $Ca_5[PO_4]_3$ 六方，柱状、板状，无色、浅绿、紫、黑等	与方解石、长石区别? 与石英区别? 黑钨矿 Wolframite, $(Mn,Fe)\ WO_4$，为氧化物，为什么? 与绿柱石区别?

色，玻璃-油脂光泽，解理{0001}{10$\underline{1}$0}不完全，H5，D3.2，加热呈磷光。	
卤化物（HALIDES） **矿物大类** ——F、Cl、Br、I 的化合物，约 100 余种，以 F、Cl 者为主。 ——阳离子主要是惰性气体型 K、Na、Ca、Mg、Al，极少铜型。 ——半径小的 F 主要与 Ca、Mg 形成稳定化合物，大多不溶于水；半径较大的 Cl、Br、I 常与 K、Na 形成易溶于水的化合物。 ——氟化物硬度较大，如 MgF_2 的硬度为 5，在本大类中硬度最高。其他性质（略）。 ——热液萤石，其他外生。 4. 萤石 Fluorite, CaF_2 等轴，立方体，八面体，粒状，颜色多样，玻璃光泽，解理{111}完全，H4，D3.2。 萤石型结构：钙离子分布于立方晶胞的角顶和面心，氟离子占据八个小立方格的所有中心，阴、阳离子的配位数分别为 4 和 6。 5. 石盐 等轴，立方体，圆粒（珍珠盐），无色，玻璃光泽，解理{100}完全，H2，D2.2， 易溶，味咸。 NaCl 型结构 6. 光卤石 Carnallite, $KMgCl_3 \cdot 6H_2O$ 斜方，粒状，无-白色，玻璃光泽，无解理，H2—3，	（与杂盐合并，共主讲 2 学时） 为何氟化物硬度较大且较稳定？ ←——立体动画展示。 萤石具{111}解理的原因？ 石盐具{100}解理的原因？

D1.6， 性脆，易潮解，味辛咸，具强萤光性。	
归纳总结复习	主讲2学时,实验4学时。

三. 教材及教参，中外文核心期刊名称

1. 教材: 潘兆橹主编. 《结晶学及矿物学》. 北京: 地质出版社.1993

2. 教参: 罗谷风主编.《基础结晶学与矿物学》.南京: 南京大学出版社.1998

3. 教参: Cornelis Klein & Cornelius S. Hurlbut, Jr. Manual of Mineralogy. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1993