

第一章 习题

1.晶体与非晶体最本质的区别是什么?准晶体是一种什么物态?

答：晶体和非晶体均为固体，但它们之间有着本质的区别。晶体是具有格子构造的固体，即晶体的内部质点在三维空间做周期性重复排列。而非晶体不具有格子构造。晶体具有远程规律和近程规律，非晶体只有近程规律。准晶态也不具有格子构造，即内部质点也没有平移周期，但其内部质点排列具有远程规律。因此，这种物态介于晶体和非晶体之间。

2.在某一晶体结构中，同种质点都是相当点吗?为什么?

答：晶体结构中的同种质点并不一定都是相当点。因为相当点是满足以下两个条件的点：a.点的内容相同；b.点的周围环境相同。同种质点只满足了第一个条件，并不一定能够满足第二个条件。因此，晶体结构中的同种质点并不一定都是相当点。

3.从格子构造观点出发，说明晶体的基本性质。

答：晶体具有六个宏观的基本性质，这些性质是受其微观世界特点，即格子构造所决定的。现分别叙述：

a.自限性 晶体的多面体外形是其格子构造在外形上的直接反映。晶面、晶棱与角顶分别与格子构造中的面网、行列和结点相对应。从而导致了晶体在适当的条件下往往自发地形成几何多面体外形的性质。

b.均一性 因为晶体是具有格子构造的固体，在同一晶体的各个不同部分，化学成分与晶体结构都是相同的，所以晶体的各个部分的物理性质与化学性质也是相同的。

c.异向性 同一晶体中，由于内部质点在不同方向上的排布一般是不同的。因此，晶体的性质也随方向的不同有所差异。

d.对称性 晶体的格子构造本身就是质点周期性重复排列，这本身就是一种

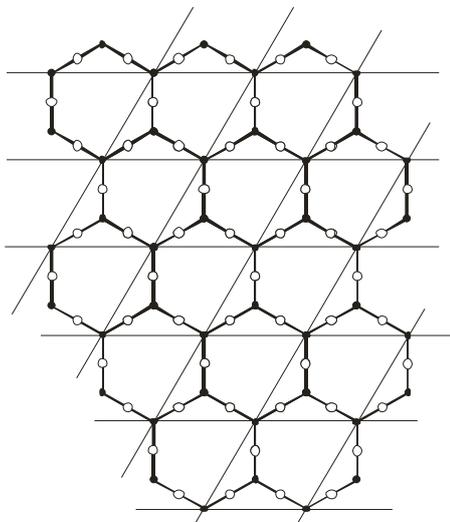
对称性；体现在宏观上就是晶体相同的外形和物理性质在不同的方向上能够有规律地重复出现。

e.最小内能性 晶体的格子构造使得其内部质点的排布是质点间引力和斥力达到平衡的结果。无论质点间的距离增大或缩小，都将导致质点的相对势能增加。因此，在相同的温度条件下，晶体比非晶体的内能要小；相对于气体和液体来说，晶体的内能更小。

f.稳定性 内能越小越稳定，晶体的稳定性是最小内能性的必然结果。

4.找出图 1-2a 中晶体平面结构中的相当点并画出平面空间格子（即面网）。

答：取其中一个 Si 原子为研究对象，找出其相当点并画出其空间格子（见下图）



5. 图 1-6 中,金红石结构中的氧离子分属几套相当点?

答:分属 4 套相当点.

第二章 习题

1.讨论一个晶面在与赤道平面平行、斜交或垂直时，投影点与投影基圆之间的距离关系。

答：根据晶面极射赤平投影的步骤和方法可知：与赤道平面平行的晶面投影点位于基圆的圆心，斜交的晶面投影点位于基圆的内部，直立的晶面投

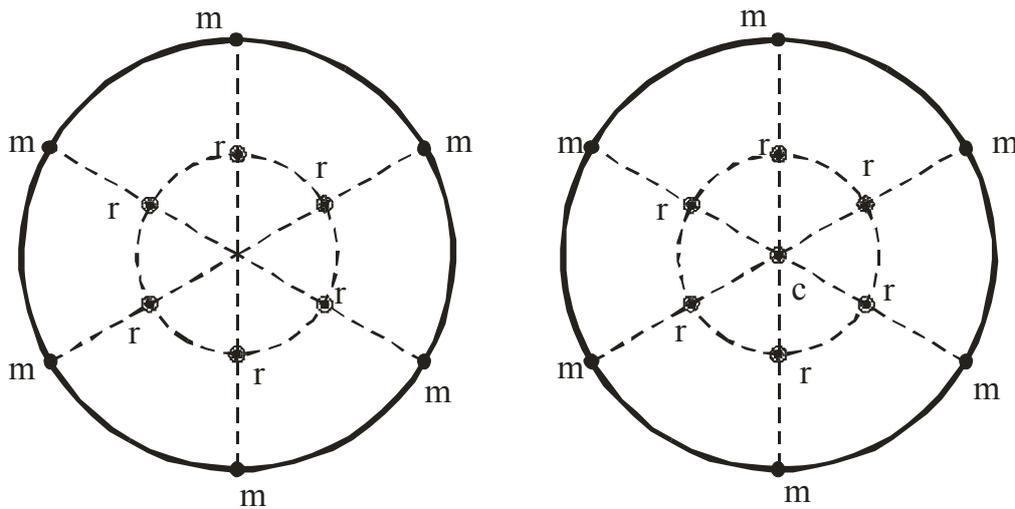
影点位于基圆上。根据这一规律可知，投影点与基圆的距离由远及近顺序分别为与赤道平面平行的晶面、斜交的晶面和垂直的晶面。

2.作立方体、四方柱的各晶面投影，讨论它们的关系。

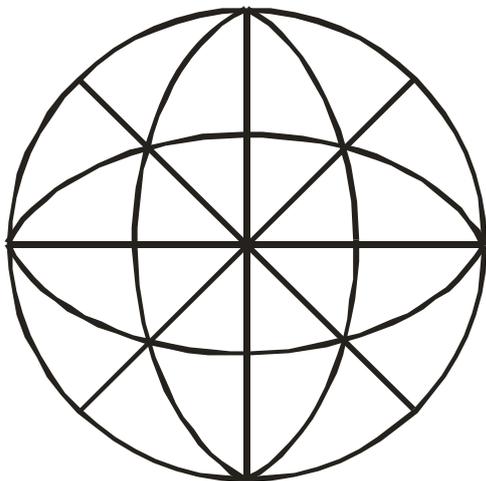
答：立方体有六个晶面，其极射赤平投影点有六个投影点。四方柱由四个晶面组成，其投影点只有四个。四方柱的四个投影点的分布与立方体直立的四个晶面的投影点位置相同。如果将四方柱顶底面也投影，则立方体与四方柱投影结果一样，由此说明，投影图不能放映晶体的具体形状，只能反映各晶面的夹角情况。

3.已知磷灰石晶体上（见附图）， $m \wedge m = 60^\circ$ ， $m \wedge r = 40^\circ$ ，作其所有晶面的投影，并在投影图中求 $r \wedge r = ?$

答：晶面的极射赤平投影点见右图。在吴氏网中，将两个相邻的 r 晶面投影点旋转到过同一条大圆弧，在这条大圆弧上读取两点之间的刻度即为 $r \wedge r = 42^\circ$ 。



4.作立方体上所有对称面的极射赤平投影。



5. 请证明:在极射赤平投影图中,某晶面投影点与圆心的距离 h 与该晶面的极距角 ρ 的关系为: $h = r \tan \rho / 2$ (r 为基圆半径).

请见教材图 2-6. 在直角三角形 OSa 中,一直角边长为 r , 另一直角边为 $0a$, $0a=h$, $0a$ 的对角为 $\rho / 2$, 根据三角函数关系可得: $h = r \tan \rho / 2$.

第三章 习题

1. 总结对称轴、对称面在晶体上可能出现的位置。

答: 在晶体中对称轴一般出现在三个位置: a. 角顶; b. 晶棱的中点; c. 晶面的中心。而对称面一般出现在两个位置: a. 垂直平分晶棱或晶面; b. 包含晶棱。

2. 旋转反伸操作是由两个操作复合而成的, 这两个操作可以都是对称操作, 也可以都是非对称操作, 请举例说明之。

答: 旋转反伸轴 L_i^3 是由 L^3 及 C 的操作复合而成, 在有 L_i^3 的地方是有 L^3 和 C 存在的, 这两个操作本身就是对称操作; 旋转反伸轴 L_i^6 是由 L^6 和 C 的操作复合而成, 在有 L_i^6 的地方并没有 L^6 和 C 存在的, 即这两个操作本身是非对称操作, 但两个非对称操作复合可以形成一个对称操作。

3. 用万能公式证明: $L_i^2 = P_{\perp}$, $L_i^6 = L^3 + P_{\perp}$ (提示: $L_i^n = L^n \times C$; $L^3 + L^2 // = L^6$)

证明: $\because L_i^2 = L^2 \times C$, 而万能公式中 $L^2 \times C = P_{\perp}$

$$\therefore L_i^2 = P_{\perp}$$

$\because L_i^6 = L^6 \times C$, 将 $L^3 + L^2 // = L^6$ 代入可得: $L_i^6 = (L^3 + L^2 //) \times C = L^3 + (L^2 \times C) = L^3 + P_{\perp}$

4. $L^3 3L^2 4P$ 属于什么晶系? 为什么?

答: 它属于六方晶系。因为 $L^3 3L^2 4P$ 也可以写成 $L_i^6 3L^2 3P$, 而 L_i^6 为六次轴, 级别比 L^3 的轴次要高, 因此在晶体分类中我们一般将 $L_i^6 3L^2 3P$ 归属六方晶系。

5. 找出晶体模型上的对称要素, 分析晶体上这些对称要素共存符合于哪一条组合定理? 写出晶体的对称型、晶系。

答: 这一题需要模型配合动手操作才能够完成。因此简单介绍一下步骤:

- 1) 根据各种对称要素在晶体中可能出现的位置, 找出晶体中所有的对称要素;
- 2) 结合对称型的推导 (课本 P32, 表 3-2) 来分析这些对称要素共存所符合的组合定律;
- 3) 根据找出的对称要素, 按照一定的书写原则写出对称型;
- 4) 根据晶体对称分类中晶系的划分原则, 确定其所属的晶系。

第四章 习题

1.总结下列对称型中，各对称要素在空间的分布特点，它们与三个晶轴的关系： $m\bar{3}m$ ， $m\bar{3}$ ， $3m$ 。

答：在 $m\bar{3}m$ 对称型中，其所有对称要素为 $3L^44L^36L^29PC$ 。其中对称中心C在坐标原点；3个P分别垂直于其中一个结晶轴，另外6个P分别处于两个结晶轴夹角平分线处；6个 L^2 分别是任意两个结晶轴的对角线；4个 L^3 分别位于三个结晶轴的体对角线处，3个 L^4 相互垂直且分别与一个结晶轴重合。

在 $m\bar{3}$ 对称型中，其所有对称要素为 $3L^24L^33PC$ 。其中对称中心C在坐标原点；3个P相互垂直且分别垂直于其中一个结晶轴；4个 L^3 分别位于三个结晶轴的体对角线处，3个 L^2 相互垂直且分别与一个结晶轴重合。

在 $3m$ 对称型中，其所有对称要素为 L^33P 。 L^3 与Z轴重合，3个P分别垂直于X、Y、U轴。

2.区别下列对称型的国际符号： $\bar{6}$

23 与 32 $3m$ 与 $m\bar{3}$ $6/mmm$ 与 $6mm$ $\bar{6}$

$3m$ 与 mm $4/mmm$ 与 mmm $m\bar{3}m$ 与 mmm

答：首先我们可以通过这些对称型的国际符号展示的对称要素，确定它们所属的晶系。然后将对称要素按照国际符号书写的方位分别置于其所在的位置。最后根据对称要素组合定律将完整的对称型推导出来。 **23与32：**

23为等轴晶系，对称型全面符号为 $3L^24L^3$ ；32为三方晶系，对称型全面符号为 L^33L^2 。

3m与 $m\bar{3}$ ： $3m$ 为三方晶系，对称型全面符号为 L^33P ； $m\bar{3}$ 为

等轴晶系，对称型全面符号为 $3L^24L^33PC$ 。

6/mmm与6mm： $6/mmm$ 为六方晶系，对称型全面符号为 L^66L^27PC ； $6mm$ 为六方晶系，对称型全面符号为 L^66P 。

3m与mm： $3m$ 为三方晶系，对称型全面符号为 L^33P ； mm 为

斜方晶系，对称型全面符号为 L^22P 。

4/mmm与mmm： $4/mmm$ 为四方晶系，对称型全面符号为 L^44L^25PC ； mmm 为斜方晶系，对称型全面符号为

$3L^23PC$ 。

$m\bar{3}m$ 与mmm： $m\bar{3}m$ 为等轴晶系，对称型全面符号为

$3L^44L^36L^29PC$ ； mmm 为斜方晶系，对称型全面符号为 $3L^23PC$ 。

3.观察晶体模型，找出各模型上的对称要素，确定对称型及国际符号，并画出对称要素的赤平投影。

答：这一题需要模型配合动手操作才能够完成。因此简单介绍一下步骤：

1) 根据各种对称要素在晶体中可能出现的位置，找出晶体中所有的对称要素；

2) 写出其对称型后，根据晶体对称分类中晶系的划分原则，确定其所属的晶系；

3) 按照晶体的定向原则（课本 P42-43，表 4-1）给晶体定向；

4) 按照对称型国际符号的书写原则 (课本 P56, 表 4-3) 写出对称型的国际符号;

5) 将对称要素分别用极射赤平投影的方法投影到平面上。投影的顺序一般为先投影对称面, 接着投影对称轴最后投影对称中心。

4. 同一晶带的晶面, 在极射赤平投影图中怎样分布?

答: 同一晶带的晶面的投影先投到投影球上, 它们分布在同一个大圆上。用极射赤平投影的方法投影到水平面上可以出现三种情况: 分布在基圆上 (水平的大圆); 分布在一条直径上 (直立的大圆); 分布在一条大圆弧上 (倾斜的大圆)。同一晶带的晶面投影在同一大圆上, 因为同一晶带的晶面其法线处于同一圆切面上。

5. 下列晶面哪些属于 $[001]$ 晶带? 哪些属于 $[010]$ 晶带? 哪些晶面为 $[001]$ 与 $[010]$ 二晶带所共有?

$(100), (010), (001), (\bar{1}00), (0\bar{1}0), (00\bar{1}), (\bar{1}\bar{1}0), (110), (011), (0\bar{1}\bar{1}), (101), (\bar{1}01), (1\bar{1}0), (\bar{1}\bar{1}0), (10\bar{1}), (\bar{1}0\bar{1}), (01\bar{1}), (0\bar{1}1)$ 。

答: 属于 $[001]$ 的晶面有: $(100), (010), (\bar{1}00), (0\bar{1}0), (\bar{1}\bar{1}0), (110), (1\bar{1}0), (\bar{1}\bar{1}0)$ 。

属于 $[010]$ 的晶面有: $(100), (001), (\bar{1}00), (00\bar{1}), (101), (\bar{1}01), (10\bar{1}), (\bar{1}0\bar{1})$ 。

为 $[001]$ 与 $[010]$ 二晶带所共有: $(100), (\bar{1}00)$ 。

6 判定晶面与晶面, 晶面与晶棱, 晶棱与晶棱之间的空间关系 (平行, 垂直或斜交):

(1) 等轴晶系、四方晶系及斜方晶系晶体: (001) 与 $[001]$; (010) 与 $[010]$; $[110]$ 与 $[001]$; (110) 与 (010) 。

(2) 单斜晶系晶体: (001) 与 $[001]$; $[100]$ 与 $[001]$; (001) 与 (100) ; (100) 与 (010) 。

(3) 三、六方晶系晶体: $(10\bar{1}0)$ 与 (0001) ; $(10\bar{1}0)$ 与 $(11\bar{2}0)$; $(10\bar{1}0)$ 与 $(10\bar{1}1)$; (0001) 与 $(11\bar{2}0)$ 。

答: (1) 等轴晶系中 (001) 与 $[001]$ 垂直; (010) 与 $[010]$ 垂直; $[110]$ 与 $[001]$ 垂直; (110) 与 (010) 斜交。

四方晶系中 (001) 与 $[001]$ 垂直; (010) 与 $[010]$ 垂直; $[110]$ 与 $[001]$ 垂直; (110) 与 (010) 斜交。

斜方晶系中 (001) 与 $[001]$ 垂直; (010) 与 $[010]$ 垂直; $[110]$ 与 $[001]$ 垂直; (110) 与 (010) 斜交。

(2) 单斜晶系中 (001) 与 $[001]$ 斜交; $[100]$ 与 $[001]$ 斜交; (001) 与 (100) 斜交; (100) 与 (010) 垂直。

(3) 三、六方晶系中 $(10\bar{1}0)$ 与 (0001) 垂直； $(10\bar{1}0)$ 与 $(11\bar{2}0)$ 斜交； $(10\bar{1}0)$ 与 $(10\bar{1}1)$ 斜交； (0001) 与 $(11\bar{2}0)$ 垂直。

7. 写出 $(10\bar{1}0)$ 、 $(11\bar{2}0)$ 、 $(11\bar{2}1)$ 的三指数晶面符号；写出 $[10\bar{1}1]$ 、 $[11\bar{2}0]$ 、 $[11\bar{2}1]$ 的三指数晶棱符号。

答： $(10\bar{1}0)$ 、 $(11\bar{2}0)$ 、 $(11\bar{2}1)$ 的三指数晶面符号分别为： (100) 、 (110) 、 (111) ； $[10\bar{1}1]$ 、 $[11\bar{2}0]$ 、 $[11\bar{2}1]$ 的三指数晶棱符号分别为： $[210]$ 、 $[110]$ 、 $[331]$ 。

第五章习题

1. 可不可以说立方体单形也可以分成三对平行双面，为什么？葛

答：不可以。因为立方体的 6 个晶面全部同形等大，且都可以由对称型 $m\bar{3}m$ 中的对称要素联系起来的，所以它们属于同一个单形，不能将它们分开为三对平行双面。

2. 晶面与任何一个对称型的位置关系最多只能有 7 种，所以一个晶体上最多只能有 7 个单形相聚构成聚形，此话正确与否？

答：这句话不正确。虽然一个对称型最多只能有 7 种单形，但同一种单形可以同时出现多个在同一晶体上相聚（如：多个具有 L^4PC 对称型的四方双锥可以相聚在一起），因此一个晶体中单形的数目可以超过 7 个。这句话改为“一个晶体上最多只能有 7 种单形相聚构成聚形”即可。

3. 根据单形的几何形态得出：立方体的对称型为 $m\bar{3}m$ ，五角十二面体的对称型为 $m\bar{3}$ ，它们的对称型不同，所以不能相聚，对吗？为什么？

答：这一结论不对。因为“立方体的对称型为 $m\bar{3}m$ ，五角十二面体的对称型为 $m\bar{3}$ ”是从几何单形的角度得出的结果。而单形相聚原则中所说的单形是结晶单形。所以该结论有偷梁换柱之嫌。实际上立方体的结晶单形有 5 种对称型，其中就有一种为 $m\bar{3}$ ，具有这种对称型的立方体就能够与五角十二面体相聚。

4. 为什么在三方晶系（除 $\bar{3}$ 外）和六方晶系（除 $\bar{6}$ 外），其他对称型都有六方柱这一单形？这些六方柱对称一样吗？为什么？

答：这些六方柱都是结晶单形（课本 P70，表 5-5），它们的对称型可以属于三方、六方晶系的，它们的外形相同但对称不同。因为结晶单形不仅考虑几何外形还要考虑对称性质。

5. 在同一晶体中能否出现两个相同形号的单形？

答：不能。如果出现相同形号的单形，它们对应的晶面的空间方位相同，它们的晶面将重合或平行在一起。

6. 菱面体与六方柱能否相聚？相聚之后其对称型属于 $\bar{3}$ ， $\bar{3}m$ 还是 $6/mmm$ ？

为什么？

答：菱面体和六方柱能够相聚。相聚后对称型为 $\bar{3}m$ 。因为根据课本P70，表 5-5-5 和P71，5-6，对称型 3 中没有菱面体和六方柱， $6/mmm$ 中也没有菱面体这一单形。在 $\bar{3}m$ 中既有菱面体又有六方柱。所以相聚后对称型可以为 $\bar{3}m$ 。

7.在聚形中如何区分下列单形：斜方柱与四方柱；斜方双锥、四方双锥与八面体；三方单锥与四面体；三方双锥与菱面体；菱形十二面体与五角十二面体。

答：斜方柱的横截面为菱形，四方柱的横截面为正方形。斜方双锥的三个切面均为菱形，四方双锥的横切面为正方形，两个纵切面为菱形，八面体的三个切面均为正方形。三方单锥只有 3 个晶面，四面体有 4 个晶面。三方双锥晶面不能两两相互平行，而菱面体的晶面则可以。菱形十二面体的单形符号为 $\{110\}$ 而五角十二面体的单形符号为 $\{hk0\}$ 。

8.在等轴晶系中下列单形符号代表哪些常见单形： $\{100\}$ ， $\{110\}$ ， $\{111\}$ 。

答： $\{100\}$ 立方体， $\{110\}$ 菱形十二面体， $\{111\}$ 八面体和四面体。

9.等轴晶系、四方晶系和低级晶族中的 (111) 都与三个晶轴正端等交吗？ $\{111\}$ 各代表什么单形？

答：不是，只有等轴晶系的 (111) 与三个晶轴正端等交。等轴晶系中 $\{111\}$ 代表八面体或四面体。四方晶系中 $\{111\}$ 可代表四方双锥、四方四面体等。斜方晶系中 $\{111\}$ 代表斜方双锥。因为只有等轴晶系的三个晶轴上的轴单位相等，四方晶系、低级晶族的三个晶轴上的轴单位不同，所以即使是晶面 (111) 也不代表与三轴等交。

10.写出各晶系常见单形及单形符号，并总结归纳以下单形符号在各晶系中各代表什么单形？ $\{100\}$ ， $\{110\}$ ， $\{111\}$ ， $\{10\bar{1}1\}$ ， $\{10\bar{1}0\}$ ， $\{11\bar{2}0\}$ ， $\{11\bar{2}1\}$ 。

答：

	等轴晶系	四方晶系	斜方晶系	单斜晶系	三斜晶系
$\{100\}$	立方体	四方柱	平行双面	平行双面、单面	单面、平行双面
$\{110\}$	菱形十二面体	四方柱	斜方柱	斜方柱、反映双面、轴双面	单面、平行双面

{111}	八面体、四面体	四方双锥、四方单锥、四方四面体	斜方双锥、斜方单锥、斜方四面体	斜方柱、反映双面、轴双面	单面、平行双面
-------	---------	-----------------	-----------------	--------------	---------

	{10 $\bar{1}$ 1}	{10 $\bar{1}$ 0}	{11 $\bar{2}$ 0}	{11 $\bar{2}$ 1}
三方晶系	菱面体、三方单锥	三方柱、三方柱	三方柱、三方柱	菱面体、三方单锥、三方双锥、六方单锥、六方双锥
六方晶系	六方双锥、六方单锥、三方双锥	三方柱、三方柱	三方柱、三方柱	六方双锥、六方单锥、三方双锥

11.在极射赤平投影图中找出 2/m、mmm、4/mmm、m3、m3m 对称型中的最小重复单位，并设置七个原始位置推导单形。

答：各个对称型的极射赤平投影及最小重复单元（灰色部分为最小重复单元）见下图：

2/m 的单形分别为：

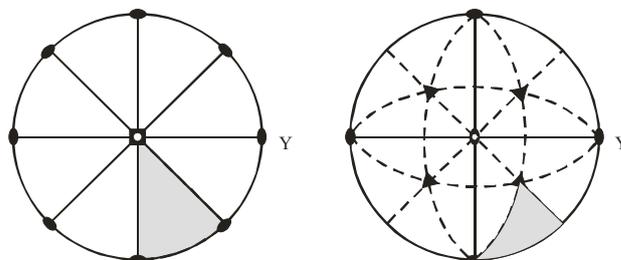
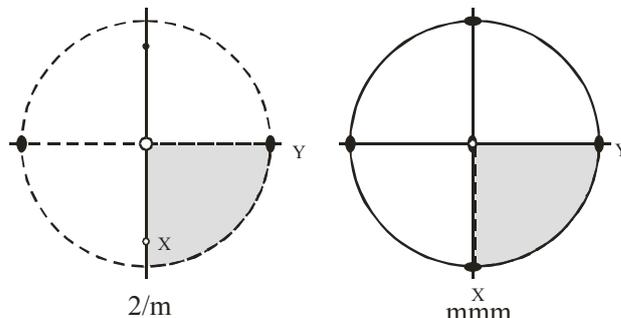
{001} 平行双面，{010} 平行双面，{100} 平行双面，{hk0} 斜方柱，{h0l} 平行双面，{0kl} 斜方柱，{hkl} 斜方柱。

mmm 的单形分别为：

{001} 平行双面，{010} 平行双面，{100} 平行双面，{hk0} 斜方柱，{h0l} 斜方柱，{0kl} 斜方柱，{hkl} 斜方双锥。

4/mmm 的单形分别为：

{001} 平行双面，{100} 四方柱，{010} 四方柱，{hk0} 复四方柱，{h0l} 四方双锥，{hhl} 四方双锥，{hkl} 复四方双锥。



12.柱类单形是否都与 Z 轴平行?

答：不是。斜方柱就可以不平行于 Z 轴，如斜方柱 $\{011\}$ 、 $\{111\}$ 等。

13.分析晶体模型，找出它们的对称型、国际符号、晶系、定向原则、单形名称和单形符号，并作各模型上对称要素及单形代表晶面的赤平投影。

答：步骤为：

- 1) 根据对称要素可能出现的位置，运用对称要素组合定律，找出所有对称要素，确定对称型。
- 2) 根据晶体对称分类中晶系的划分原则，确定其所属的晶系。
- 3) 按照晶体的定向原则（课本 P42-43，表 4-1）给晶体定向。
- 4) 按照对称型国际符号的书写原则（课本 P56，表 4-3）写出对称型的国际符号。
- 5) 判断组成聚形的单形的个数
- 6) 确定单形的名称和单形符号。判断单形名称可以依据的内容：
 - (1) 单形晶面的个数；
 - (2) 单形晶面间的关系；
 - (3) 单性与结晶轴的关系；
 - (4) 单形符号；
- 7) 绘制晶体对称型和代表性晶面的极射赤平投影图。

14. 已知一个菱面体为 32 对称型, 这个菱面体是否有左右形之分?

答 这个菱面体有左右形之分, 因为对称型 32(L33L2) 本身就有左-右形之分, 这是结晶单形意义上的左-右形。

15. 石英晶体形态上发育两个菱面体 $\{10\bar{1}1\}$ 和 $\{01\bar{1}1\}$, 它们是什么关系? 它们的表面结构(或它们的晶面性质)相同吗? 为什么?

答: 它们是正形与负形的关系。它们的表面结构(或晶面性质)不相同, 因为它们分属两个不同的结晶单形。

第六章 习题

1. 将二次轴取作 Z 轴, 用操作矩阵证明万能公式 (即 $2(L^2)$ 、 $\bar{1}(C)$ 、 $m(P)$ 中任两个的复合操作等于第三个的操作)。

答: 首先确定表示各个对称操作的矩阵:

$$2(L^2): \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \bar{1}(C): \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad m(P): \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

然后进行计算:

$$2(L^2) \times \bar{1}(C) = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} = m(P)$$

$$2(L^2) \times m(P) = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} = \bar{1}(C)$$

$$\bar{1}(C) \times m(P) = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = 2(L^2)$$

2. 用矩阵运算证明点群 4 $\{4^1, 4^2, 4^3, 4^4\}$ 符合群的四个基本条件。

证明: 表示点群 4 的四个元素的矩阵分别为:

$$4^1: \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 4^2: \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 4^3: \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad 4^4: \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

其中 4^2 为 4^1 的矩阵自乘两次得到, 4^3 则自乘 3 次, 等等。

(1) 封闭性 例如:

$$4^1 \times 4^2 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = 4^3$$

(2) 结合律：同样可以用矩阵验证： $(4^1 \times 4^2) \times 4^3 = 4^1 \times (4^2 \times 4^3)$

(3) 单位元：单位元为 $4^4 = 1$

(4) 逆元素：群中每一个元素都有逆元素，逆元素为每个元素的反向操作。
例如： 4^1 的逆操作即为 4^3

3.用矩阵运算证明点群 $mm2$ 符合群的四个基本条件。

证明：点群 $mm2$ 的群元素为 $\{2 (\text{平行 } Z \text{ 轴}), m (\perp X), m (\perp Y), 1\}$

(1) 封闭性

$$2 \times m (\perp X) = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = m (\perp Y)$$

(2) 结合律：同样可以用矩阵验证： $(2 \times m (\perp X)) \times m (\perp Y) = 2 \times (m (\perp X) \times m (\perp Y))$

(3) 单位元：单位元为 1

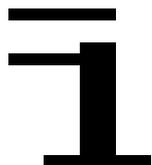
(4) 逆元素：群中每一个元素都有逆元素，逆元素为每个元素的反向操作
4.某一点 (x, y, z) 在经过点群 $2/m$ 的所有对称要素操作后会，最终产生什么结果？这一结果说明了群的什么性质？

答：某一点 (x, y, z) 经过对称面 m 的操作产生点 $(x, -y, z)$ ，再经过对称轴 2 的操作产生点 $(-x, -y, -z)$ ，再经过对称中心的操作产生点 (x, y, z) ，即回到了原来的出发点。这一结果说明了群的封闭性。

第七章 习题

1.有一个 $mm2$ 对称平面图形，请你划出其最小重复单位的平行四边形。

答：平行四边形见右图



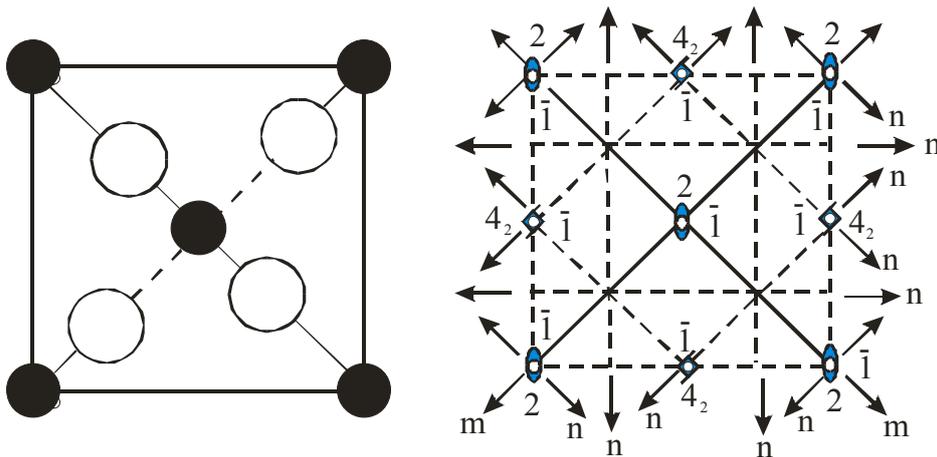
2.说明为什么只有 14 种空间格子？

答：空间格子根据外形可以分为 7 种，根据结点分布可以分为 4 种。布拉维格子同时考虑外形和结点分布两个方面，按道理应该有 28 种。但 28 种

中有些格子不能满足晶体的对称，如：立方底心格子，不能满足等轴晶系的对称，另外一些格子可以转换成更简单的格子，如：四方底心格子可以转换成体积更小的四方原始格子。排除以上两种情况的格子，所以布拉维格子只有 14 种。

3.分析金红石晶体结构模型，找出图 7-16 中空间群各内部对称要素。

答：金红石晶体结构中的内部对称要素有： 4^2 ，2，m，n， $\bar{1}$ 。图中的空间群内部对称要素分别标注在下图中：



4.Fd3m 是晶体的什么符号?从该符号中可以看出该晶体是属于什么晶系?具什么格子类型?有些什么对称要素?

答：Fd3m是空间群的国际符号。该符号第二部分可以看出该晶体属于等轴晶系。具有立方面心格子。从符号上看，微观对称有金刚石型滑移面d，对称轴 3，对称面m。该晶体对应的点群的国际符号为m3m，该点群具有的宏观对称要素为 $3L^4 4L^3 6L^2 9PC$ 。

5.在一个实际晶体结构中，同种原子(或离子)一定是等效点吗?一定是相当点吗?如果从实际晶体结构中画出了空间格子，空间格子上的所有点都是相当点吗?都是等效点吗?

答：实际晶体结构中，同种质点不一定是等效点，一定要是对称操作能重合的点才是等效点。例如：因为同种质点在晶体中可以占据不同的配位位置，对称性就不一样，如：铝的铝硅酸盐，这些铝离子不能通过内部对称要素联系在一起。

同种质点也不一定是相当点。因为相当点必须满足两个条件：质点相同，环境相同。同种质点的环境不一定相同，如：金红石晶胞中，角顶上的 Ti^{4+} 与中心的 Ti^{4+} 的环境不同，故它们不是相当点。

空间格子中的点是相当点。因为从画空间格子的步骤来看，第一步就是找相当点，然后将相当点按照一定的原则连接成为空间格子。所以空间格子中的点是相当点。

空间格子中的点也是等效点。空间格子中的点是相当点，那么这些点本身是相同的质点，而且周围的环境一样，是可以通过平移操作重合在一起的。因此，它们符合等效点的定义，故空间格子中的点也是等效点。

第八章 习题

1.以式(8-2)求出成核的临界半径 r_c 。

答：式(8-2) $\Delta G = \frac{4}{3} \pi r^3 \Delta G_v^0 + 4 \pi r^2 \Delta G_s^0$ 中， ΔG_v^0 和 ΔG_s^0 为可以看作是常数，该式可以看成是 ΔG 和 r 间的函数。当 $r=r_c$ 时， ΔG 达到最大值。此时， $d(\Delta G)/d(r)=0$ 。按照这一关系，对式(8-2)取导数，可变为：

$$d(\Delta G)/d(r) = 4 \pi r^2 \Delta G_v^0 + 8 \pi r \Delta G_s^0 = 0$$

上式的计算结果为：

$$r=0 \text{ 或 } r = -2 \Delta G_s^0 / \Delta G_v^0$$

由于 $r_c \neq 0$ ，所以 $r_c = -2 \Delta G_s^0 / \Delta G_v^0$

2.在日常生活中我们经常看到这样一种现象：一块镜面，如果表面有尘埃，往上呵气时会形成雾状水覆盖在上面，但如果将镜面擦干净再呵气，不会形成一层雾状水。请用成核理论解释之。

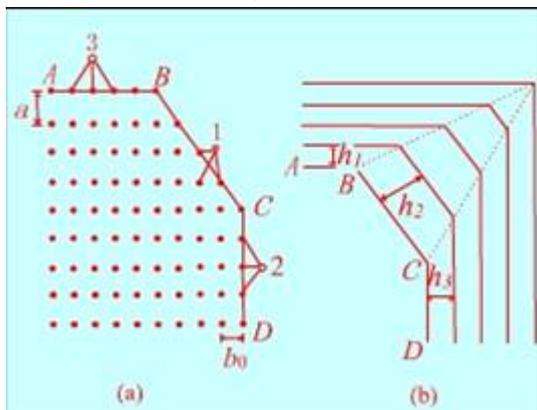
答：当镜面表面有尘埃的时候，尘埃可以作为“晶核”，呵气时，水蒸汽可以以尘埃为中心进行凝结。故可以在镜面上产生雾状水。将镜面刮干净后，尘埃消失。再往上镜面上呵气，原先的“晶核”已经消失，水蒸气首先要形成结晶核，然后才能进一步结晶。因此不易形成雾状水。

3.说明层生长模型与螺旋生长模型有什么联系和区别。

答：层生长理论和螺旋生长理论模型都是将生长质点假设为球形或立方体，生长界面也是简单的立方格子构造；它们的基本生长原理是一致的：新来质点占据三面凹角处的几率最大，二面凹角处次之。但是，它们的初始生长状态不同，层生长理论初始状态是一个完整的没有瑕疵的晶体结构，而螺旋生长理论初始状态是有缺陷的结构，如：位错等；层生长需要形成二维核，螺旋生长则借助于螺旋位错提供的凹角不断生长，不需要二维核。

4.论述晶面的生长速度与其面网密度之间的关系。

答：根据布拉维法则图示可知，垂直于面网密度小的方向是晶体生长速度快的方向，垂直于面网密度大的方向是晶体生长速度慢的方向。这样生长速度快的方向的晶面尖灭，生长速度慢的晶面保留，从而导致了实际晶面往往与面网密度大的面网平行的现象。



5.说明布拉维法则与 PBC 理论有什么联系和区别。

答：布拉维法则主要是从晶体内部结构质点排布出发，讨论面网密度与实际晶面间的关系。而 PBC 理论则是从晶体结构中化学键分布特点来探讨晶面的生长发育。这两种理论可以相互符合：如面网密度大的面网所包含的 PBC 键链数目也多故生长速度慢。

第九章 习题

1.请说明双晶面决不可能平行于单晶体中的对称面；双晶轴决不可能平行于单晶体中的偶

次对称轴；双晶中心则决不可能与单晶体的对称中心并存。

答：这题可以用反证法说明。如果双晶面与单晶体的对称面平行，双晶的两个单体将成为同一个晶体，而不是双晶。后面的两种情况以此类推。

2.研究双晶的意义何在？

答：1) 研究双晶对认清晶体连生的对称规律以及了解这些规律的晶体化学与晶体对称变化机制有理论意义。

2) 研究双晶具有一定的地质意义。有的双晶是反映一定成因条件的标志。自然界矿物的机械双晶的出现可作为地质构造变动的一个标志。

3) 研究双晶，包括研究双晶的形成及其人工消除，对提高某些晶体的工业利用价值以及有关矿床的评价也有重要的意义。对于某些晶体材料的利用，双晶具有破坏性作用。

3.斜长石($\bar{1}$ 对称型)可能有卡斯巴双晶律和钠长石双晶律，为什么正长石($2/m$ 对称型)只有卡斯巴双晶律而没有钠长石双晶律？

答：卡斯巴双晶的双晶律为： tl (双晶轴) $\parallel Z$ 轴，钠长石双晶律为： tp (双晶面) $\parallel (010)$ ， tl (双晶轴) $\perp (010)$ 。斜长石的对称型为 $\bar{1}$ ，对于以上两种双晶律，它既没有与双晶面平行的对称面，也没有与双晶轴平行的偶次轴。因此斜长石可以出现卡斯巴和钠长石两种双晶律。而正长石的对称型为 $2/m$ ，它的 $L^2 \perp (010)$ ， $P \parallel (010)$ ，对于钠长石律而言，正长石的 $L^2 \parallel tl$ ， $P \parallel tp$ ，因此正长石不能够有钠长石律。

4.斜长石的卡-钠复合双晶中存在三种双晶律：钠长石律(双晶轴 $\perp(010)$)，卡斯巴律(双晶轴 $\parallel c$ 轴)，卡-钠复合律(双晶轴位于 (010) 面内但 $\perp c$ 轴)。请问这三种双晶律的双晶要素共存符合于什么对称要素组合定理？

答：我们可以将双晶轴看成 L^2 ，双晶面看成 P 。这样钠长石律说明 Y 轴方向存在 1 个 L^2 ，卡斯巴双晶律说明 Z 轴方向存在 1 个 L^2 ，卡钠复合双晶律说明又一个新的 L^2 ，它与 Y 轴和 Z 轴均垂直。它们满足下面的对称要素组合定律：

$$L^n \times L^2 \rightarrow L^n n L^2 \quad L^2 \times L^2 \rightarrow L^2 2 L^2 = 3 L^2$$

5.不同晶体之间形成规则连生(浮生或交生)的内部结构因素是什么？

答：不同晶体之间形成规则连生，主要取决于相互连生的晶体之间具有结构和成分上相似的面网。

6.浮生与交生的成因类型有哪些？

答：浮生与交生的成因类型可分为 3 种：

1) 原生成因：在晶体生长过程中形成的浮生或交生，如钾长石与石英交生形成的文像结构；

2) 出溶成因：高温形成的固溶体当温度下降时会出溶形成两种晶体，这两种晶体往往以交生的形式共存；

3) 次生成因：一种晶体被另一种晶体交代，原晶体与在交代过程中形成的晶体也往往定向规律交生在一起。

第十章 习题

1.等大球最紧密堆积有哪两种基本形式？所形成的结构的对称特点是什么？所形成的空隙类型与空隙数目怎样？

答：等大球最紧密堆积有六方最紧密堆积 ($ABAB\cdots$ ，两层重复) 和立方最紧密堆积 ($ABCABC\cdots$ ，三层重复) 两种基本形式。六方最紧密堆积的结构为六方对称，立方最紧密堆积的结构为立方对称。这两种类型形成的空隙类型和数目是相同的，空隙有两种类型——四面体空隙和八面体空隙。一个球体周围有 6 个八面体空隙和 8 个四面体空隙。

2.什么是配位数?什么是配位多面体?晶体结构中可以看成是由配位多面体连接而成的结构体系,也可以看成是由晶胞堆垛而成的结构体系,那么,配位多面体与晶胞怎么区分?

答:我们将晶体结构中,每个原子或离子周围最邻近的原子或异号离子的数目称为该原子或离子的配位数。以一个原子或离子为中心,将其周围与之成配位关系的原子或离子的中心连接起来所获得的多面体成为配位多面体。配位多面体与晶胞不同,晶胞是晶体结构中最小重复单元,晶体结构可以看成是由晶胞堆垛而形成的。配位多面体强调的是晶体结构中的结构基团,而晶胞体现的是晶体结构的重复周期与对称性,晶胞是人为的根据晶体本身的对称性划出来的,实际晶体结构中并不存在与晶胞相应的“结构基团”。

3.CsCl晶体结构中, Cs⁺为立方体配位,此结构中Cl是作最紧密堆积吗?

答:此结构中Cl离子不是最紧密堆积。因为等大球的最紧密堆积只有两种空隙——四面体空隙和八面体空隙。晶体结构中不会出现立方体配位。因此,CsCl结构中的Cl离子不是最紧密堆积。

4.用 NaCl 的晶体结构为例说明鲍林第二法则。

答:鲍林第二法则为“一个稳定的晶体结构中,从所有相邻的阳离子到达一个阴离子的静电键之总强度等于阴离子的电荷”。NaCl结构中,CN_{Cl}=6和CN_{Na⁺}=6。每个Na⁺到达1个Cl的静电强度为1/6,到达1个Cl的总静电强度为1/6×6=1,与Cl的电荷数相同。

5.类质同像的条件是什么?研究意义是什么?

答:形成类质同像替代的原因一方面取决于替代质点本身的性质,如原子、离子半径的大小、电价、离子类型、化学键性等;另一方面也取决于外部条件,如形成时的替代温度、压力、介质条件等。

研究类质同像的意义在于:1)了解元素的赋存状态及矿物化学成分的变化,以正确表示矿物的化学式。2)了解矿物物理性质变化的原因,从而可通过测定矿物的性质来确定其类质同像混入物的种类和数量。3)判断矿物晶体的形成条件。4)综合评价矿床及综合利用矿产资源。

6.同质多像转变过程中,高温、高压形成的变体结构有何特点?

答:一般地,温度的增高会促使同质多像向CN减小、比重降低的变体方向转变。对同一物质而言,一般高温变体的对称程度较高。压力增大一般使同质多像向CN增大、比重增大的变体方向转变。

7.试述类质同像、同质多像、型变及它们之间的有机联系。

答：类质同像是指晶体结构中某种质点为性质相似的他种质点所替代，共同结晶成均匀的单一相的混合晶体，而能保持其键性和结构型式不变，仅晶格常数和性质略有改变。

同质多像是指化学成分相同的物质，在不同的物理化学条件下，形成结构不同的若干种晶体的现象。

型变是指在晶体化学式属同一类型的化合物中，化学成分的规律变化而引起的晶体结构形式的明显而有规律的变化现象。

型变现象能够将类质同像和同质多像有机地联系起来，类质同像、同质多像和型变现象体现了事物由量变到质变的规律。

8.为什么层状结构的晶体非常容易发生多型现象？

答：因为层状结构的矿物结构单元层之间堆垛时，通常错开一定的角度进行，而不是正对着的。往往层与层之间的错开通常不是遵循同一种规律。这种现象类似于等大球最紧密堆积中的最紧密堆积层之间的堆积方式，也有许多种变化，从而导致在一维方向上面变化，产生多型的现象。而在非层状晶体中，结构的变化应属于同质多像的范畴，而不易形成多型的现象。

第十一章 习题

1. 何谓矿物？矿物学的主要研究内容是什么？

答：矿物是由地质作用或宇宙作用所形成的、具有一定的化学成分和内部结构、在一定的物理化学条件下相对稳定的天然结晶态的单质或化合物，它们是岩石或矿石的基本组成单位。

矿物学是一门研究地球及其它天体的物质组成及演化规律的地质基础学科。它是研究矿物(包括准矿物)的成分、结构、形态、性质、成因、产状、用途及其相互间的内在联系，以及矿物的时空分布规律及其形成和变化的历史的科学。它为地质学的其他分支学科及材料科学等应用科学在理论上和应用上提供了必要的基础和依据。

2. 玻璃、石盐、冰糖、自然金、花岗岩、合成金刚石、水晶、水、煤、铜矿石是不是矿物？为什么？

答：根据矿物的定义，我们可知矿物的两个特点：天然形成和结晶质。这两个特点可以作为我们判断物质是否是矿物的依据。上述物质中，是矿物的有石盐、自然金、水晶，其他的均不是矿物。原因如下：

玻璃是非晶质体；冰糖为人工合成；花岗岩是岩石，它是多种矿物的集合体；合成金刚石也是人工合成；水是液态，为非晶质体；煤是混合物，它

由多种矿物和非晶质体以及有机物组成；铜矿石是矿石，也是多种矿物的集合体。

3. 综论矿物学与相关学科的关系。

答：矿物学与一系列理论学科、技术学科和应用学科有着密切的关系。首先，矿物学以基础理论学科为基础，这些学科包括结晶学、数学、物理学、化学、物理化学等，尤其是固体物理学、量子化学和化学方面的理论及实验技术和计算机科学。它们促进现代矿物学全面发展。同时，矿物学作为相关的地质学科（例如：岩石学、矿床学、地球化学等）和应用学科（例如：材料学、宝石学）的基础，为它们的进一步研究提供了借鉴和理论知识。

第十二章 习题

1. 试述地壳中化学元素的丰度特点及其意义。

答：元素在地壳中的丰度是指各种化学元素在地壳中的平均含量。它通常有两种表示方法：质量克拉克值和原子克拉克值。化学元素在地壳中的分布极不均匀，含量最多的前八种元素（O、Si、Al、Fe、Ca、Na、K、Mg）占99%以上。因此，地壳中分布最广的矿物也以这些元素组成。例如：地壳中含氧盐和氧化物分布最广，特别是硅酸盐矿物占矿物总种数的24%，占地壳总重量的3/4。其意义为：地壳化学元素丰度直接影响地壳中矿物种类和含量。

2. 矿物学上，划分离子类型的依据是什么？不同类型的离子各有何特点？

答：矿物学上，我们通常根据离子的外层电子构型将其分为三种类型，现分别描述如下：

1) 惰性气体型离子 具有与惰性气体原子相同的电子构型，最外层具有8个电子（ ns^2np^6 ）或2个电子（ $1s^2$ ）的离子。包括碱金属、碱土金属及一些非金属元素的离子。此类离子在自然界极易形成含氧盐（主要是硅酸盐）、氧化物和卤化物，构成地壳中大部分造岩矿物。地质上常将这些元素又称为“亲氧元素”、“亲石元素”或“造岩元素”。

2) 铜型离子 外电子层有18个电子（ $ns^2np^6nd^{10}$ ）或（18+2）个电子（ $ns^2np^6nd^{10}(n+1)s^2$ ）的离子。其最外层电子构型同 Cu^+ 。主要包括周期表中IB、IIB副族及其右邻的某些元素的离子。此类离子常形成以共价键为主的硫化物、含硫盐或类似的化合物，构成主要的金属硫化物矿床中的矿石矿物。这部分元素常称为“亲硫元素”、“亲铜元素”或“造（成）矿元素”。

3) 过渡型离子 最外层电子数为 9~17 的离子。其最外层电子构型为 $ns^2np^6nd^{1\sim 9}$ 。主要包括周期表中 IIIB~VIIB 副族和 VIII 族元素的离子。其特点是具有未满的 6d 电子亚层，结构不稳定，易于变价，其性质介于惰性气体型离子与铜型离子之间。

3. 何谓化学计量矿物和非化学计量矿物? 并举例说明之。为什么当今愈来愈重视矿物非化学计量性的研究?

答：在各晶格位置上的组分之间遵守定比定律、具严格化合比的矿物称为化学计量性矿物。例如：水晶 SiO_2 中的 Si:O 比值为 1:2，铁闪锌矿 $(Zn,Fe)S$ 中的 $(Zn+Fe):S$ 比值为 1:1 等。

对于一些含变价离子矿物来说，当离子的价态发生变化后，为了使变价平衡，矿物晶体内部必然存在某种晶体缺陷（如空位、填隙离子等点缺陷），致使其化学组成偏离理想化合比，不再遵循定比定律，这些矿物称为非化学计量性矿物。例如：FeS 化合物可以在高温下通过暴露在真空中或高硫蒸气压下，极容易改变其化学计量性而变为磁黄铁矿的成分 $(Fe_{1-x}S)$ 。磁黄铁矿中 Fe:S 比值为 $(1-x):1$ （其中， x 介于 0-0.125 之间），不遵循定比定律。

自然界有些矿物的非化学计量性可以作为标型特征，例如：含金硫化物的偏离化学计量的元素比值就具有标型性。

4. 何谓胶体矿物? 其主要特性有哪些?

答：胶体矿物是指由以水为分散媒、以固相为分散相的水胶凝体而形成的非晶质或超显微隐晶质矿物。从严格意义上说，胶体矿物只是含吸附水的准矿物。

由于胶体的特殊性质，决定了胶体矿物化学成分具有可变性和复杂性的特点。首先，胶体矿物分散相和分散媒的量比不固定。其次，胶体微粒的表面具有很强的吸附能力，而且吸附不必考虑被吸附离子的半径大小、电价的高低等因素，被吸附离子的含量主要取决于该离子在介质中的浓度。从而导致了胶体矿物的化学成分不仅可变，而且相当复杂，其组成中含有在种类和数量上变化范围均较大的被吸附的杂质离子。

5. 举例说明水在矿物中的存在形式及作用。不同形式的水在晶体化学式中如何表示?

答：根据矿物中水的存在形式及其在晶体结构中的作用，可将矿物中的水主要分为吸附水、结晶水和结构水 3 种基本类型，以及性质介于结晶水与

吸附水之间的层间水和沸石水 2 种过渡类型。现就其存在形式及其作用及晶体化学式中的表达列表如下：

类型	存在形式	作用	晶体化学式举例
吸附水	中性水分子 (H ₂ O)、不参加晶格的形成, 不属于化学成份	机械吸附。 特例: 蛋白石——胶体矿物, 水属于化学成份。	特例: SiO ₂ ·nH ₂ O 由于水的含量不固定, 因此在 H ₂ O 前标上 n。
结晶水	中性水分子 (H ₂ O) 形式存在于矿物晶格的一定位置上。	不改变阳离子电价的前提下, 环绕在小半径阳离子的周围, 增大阳离子的体积。	石膏, Ca[SO ₄]·2H ₂ O
结构水	以 OH ⁻ 、H ⁺ 、H ₃ O ⁺ 离子的形式存在于矿物晶格中一定配位位置上。	与其它离子牢固地结合	水镁石 Mg(OH) ₂ 水云母 (K, H ₃ O ⁺)Al ₂ [AlSi ₃ O ₁₀](OH) ₂

层间水	中性水分子 (H ₂ O) 形式存在于层状结构硅酸盐结构层之间	与层间阳离子结合形成水合离子	蒙脱石 (Na,Ca) _{0.33} (Al,Mg) ₂ [(Si,Al) ₄ O ₁₀](OH) ₂ ·nH ₂ O中, 后面的nH ₂ O
沸石水	存在于沸石族矿物晶格中宽大的空腔和通道中的中性水分子	与其中的阳离子结合形成水合离子	钠沸石 Na ₂ [Al ₂ Si ₃ O ₁₀]·2H ₂ O

6.引起矿物化学成分变化的主要原因有哪些?

答: 类质同像替代和非化学计量性是引起矿物成分在一定范围内变化的主要原因。引起矿物成分变化的其他因素有: 阳离子的可交换性、胶体的吸附作用、矿物中含水量的变化及显微包裹体形式存在的机械混入物。

7.试分析下列矿物晶体化学式的含义:

- ①钙钛矿CaTiO₃与钼钙矿Ca [MoO₄];
 - ②白云石CaMg [CO₃]₂与镁方解石(Ca,Mg) [CO₃];
 - ③白云母K { Al₂ [(Si₃Al)O₁₀] (OH)₂ } 与多硅白云母K { (Al_{2-x}Mg_x) [(Si_{3+x}Al_{1-x})O₁₀] (OH)₂ };
 - ④硬玉NaAl [Si₂O₆] 与霞石Na [AlSiO₄];
 - ⑤蓝晶石Al_{VI} [SiO₄] O, 红柱石Al_{VI}Al_V [SiO₄] O与夕线石Al_{VI} [Al_{IV}SiO₅]
- (注: 式中罗马数字为晶格中Al的配位数)。

答: 晶体化学式不仅提供了化合物元素之间比值关系, 而且提供了一定晶体结构的信息, 不同的化学式能够反映出晶体结构间的差异:

- ①钙钛矿CaTiO₃中, Ca²⁺和Ti⁴⁺均作为普通阳离子与O²⁻配位, 是一种复化合物; 钼钙矿Ca [MoO₄] 中Mo⁶⁺与O²⁻结合形成络阴离子团, 然后与Ca²⁺相结合形成络合物;
- ②白云石CaMg [CO₃]₂中的Ca²⁺和Mg²⁺是复化合物中的两种阳离子, 它们占据特定的晶体结构; 镁方解石(Ca,Mg) [CO₃] 中的Ca²⁺和Mg²⁺呈现的是

类质同像替代的关系；

③白云母K { Al₂ [(Si₃Al)O₁₀] (OH)₂ } 中Al³⁺既以普通阳离子的形式存在于硅氧骨干之外，又替代 1/4 的Si进入到硅氧骨干内形成[AlO₄]四面体，中括号内代表硅氧骨干，大括号内代表结构单元层；而与白云母相比较，多硅白云母K { (Al_{2-x}Mg_x) [(Si_{3+x}Al_{1-x})O₁₀] (OH)₂ } 中Al³⁺的作用不变，只是两种位置的Al³⁺相应地发生了类质同像变化：骨干内Al³⁺→Si⁴⁺少了，但骨干外产生了Mg²⁺→Al³⁺；

④硬玉NaAl [Si₂O₆] 与霞石Na [AlSiO₄] 这两种矿物均属于硅酸盐类，它们中Al³⁺的作用不同，硬玉NaAl [Si₂O₆] 中的Al³⁺在硅氧骨干外，起普通阳离子的作用，故硬玉是铝的硅酸盐；霞石Na [AlSiO₄] 中的Al³⁺替代部分Si⁴⁺进入到硅氧骨干内，故霞石是铝硅酸盐。

⑤蓝晶石Al_{VI} [SiO₄] O，红柱石Al_{VI}Al_V [SiO₄] O与夕线石Al_{VI} [Al_{IV}SiO₅] 这三种矿物是同质多像关系。它们均是硅酸盐，但Al³⁺的配位有差异。蓝晶石中Al在硅氧骨干之外，配位数为 6；红柱石中的Al也在硅氧骨干之外，但一半的配位数是 6，另一半的配位数为 5；夕线石中的Al有一半在硅氧骨干外，配位数是 6，另一半进入硅氧骨干，配位数是 4。

8.已知某硬玉的化学成分(wB%)： SiO₂ 56.35, TiO₂ 0.32, Al₂O₃ 18.15, Fe₂O₃ 5.22, FeO 0.75, MnO 0.03, MgO 2.83, CaO 4.23, Na₂O 12.11, K₂O 0.02, 试计算其晶体化学式(注：硬玉的理想化学式为NaAl [Si₂O₆])。

答：按照课本 P191，表 12-4 和表 12-5 的计算步骤和方法，以氧原子法为例，将计算过程列于下表：

组分	质量 分数 wB%	相对 分子 质量	物质 的量	氧原 子数	阳离 子数	以O _{f.u.} =6 为基准的 阳离子数 (i _{f.u.})	
SiO ₂	56.35	60.08	0.9379	1.8758	0.9379	1.962	} 2.000
Al ₂ O ₃	18.15	101.96	0.1780	0.5340	0.3560	0.745	
TiO ₂	0.32	79.90	0.0040	0.0080	0.0040	0.008	
Fe ₂ O ₃	5.22	159.68	0.0327	0.0981	0.0654	0.137	
FeO	0.75	71.85	0.0104	0.0104	0.0104	0.022	} 1.022
MnO	0.03	70.94	0.0004	0.0004	0.0004	0.001	
MgO	2.83	40.30	0.0702	0.0702	0.0702	0.147	

CaO	4.23	56.08	0.0754	0.0754	0.0754	0.158	
Na ₂ O	12.11	61.98	0.1954	0.1954	0.3908	0.818	0.977
K ₂ O	0.02	94	0.0002	0.0002	0.0004	0.001	
含量	100.01	$\Sigma o=2.8681$					
%		换算系数= $O_{f.u.} / \Sigma o=6/2.8681=2.0920$ 阳离子之和=3.999					
去除	100.01	正电荷之和					
H ₂ O		=12.000					
晶体化学式：							
$(Na_{0.818}Ca_{0.158}K_{0.001})_{0.977}(Mg_{0.147}Fe^{2+}_{0.022}Fe^{3+}_{0.137}Al_{0.707}Mn_{0.001}Ti_{0.008})_{1.022}[(Si_{1.962}Al_{0.038})_{2.000}O_6]$							

第十三章 习题

1.何谓晶体习性?并举例说明其主要影响因素。

答：矿物晶体在一定的外界条件下，常常趋向于形成某种特定的习见形态，称为该矿物的晶体习性，也称结晶习性。晶体习性是晶体的化学成分和内部结构以及生长环境的物理化学条件和空间条件的综合体现。化学成分简单、晶体对称程度高的晶体，一般呈等轴状，例如：自然金和石盐等。实际晶体往往沿其内部结构中化学键强的方向发育，例如：金红石、辉石和角闪石等链状结构的矿物呈现柱状、针状晶体习性。近年来的研究成果表明，等轴晶系的矿物，例如：金刚石、萤石、黄铁矿等，随着形成时温度的升高，其晶体形态具有从{100}发育向{111}发育的变化趋势。

2.为什么等轴晶系的晶体一般呈三向等长型晶习，而中级晶族晶体则往往沿c轴方向延伸或垂直于c轴延展？

答：晶体习性受其结构内部质点的排布和强键的分布方向影响。等轴晶系的晶体内部强键的方向分布较为均匀，形成的形态一般为三向等长型。而中级晶轴的晶体内部强键的方向符合晶体的对称，不可能在各个方向上都均匀，一般情况下是强键沿 c 轴方向分布或垂直于 c 轴方向上分布。因此中级晶族晶体则往往沿 c 轴方向延伸或垂直于 c 轴延展。

3.举例说明等轴晶系矿物晶体形态随温度的演化规律性。

答：等轴晶系的矿物晶体，随着温度的升高，其晶形具有从立方体 $\{100\}$ 发育向八面体 $\{111\}$ 发育的变化趋势。例如：随着温度由低变高，热液体系的黄铁矿晶形的演化趋势为： $\{100\} \rightarrow \{hk0\} + \{100\} \rightarrow \{hk0\} + \{111\} \rightarrow \{111\} + \{hk0\} \rightarrow \{111\}$ 。

4.同种矿物的实际晶体与理想晶体形态有何异同？

答：自然界矿物晶体形成过程中，由于受复杂的外界条件及空间的影响，往往长成偏离理想形态的歪晶。而且，实际晶体的晶面上，常具某些规则的花纹，例如：晶面条纹像和生长丘等。

5.常见的晶面花纹有哪些？聚形条纹与聚片双晶纹有何区别？

答：晶面花纹是在晶体生长或溶解过程中产生的。常见的晶面花纹有晶面条纹、生长台阶、蚀像和生长丘。

聚形条纹也称生长条纹、晶面条纹，它是多个单形的晶面交替生长而成。因此，这些条纹只出现在晶体的表面。如果晶面破碎，在晶体破裂面上我们观察不到这些条纹。

聚片双晶纹是聚片双晶中，由一系列相互平行的结合面在晶面或解理面上的双晶缝合线所构成的直线条纹。因此，聚片双晶纹不仅可以在晶体的表面上看到，在晶体新鲜的解理面上更容易观察。

6.如何描述矿物集合体的形态?

答：矿物集合体形态的描绘分为两类——显晶集合体和隐晶集合体。现分别描述如下：

根据单体的晶体习性及其集合方式，显晶集合体的形态一般描述为：柱状、针状、板状、片状、鳞片状、叶片状和粒状等集合体形态。还常见纤维状集合体、放射状集合体和晶簇等特殊形态的集合体。另外，还有束状、毛发状、和树枝状集合体。

按照集合体的形成方式和外貌特征，隐晶集合体形态通常描述为：分泌体、结核、鲕状及豆状集合体、钟乳状集合体。另外还有块状集合体、土状集合体、粉末状集合体、被膜状集合体等。

7.分泌体和结核有何不同?

答：分泌体和结核最大的区别在于它们的形成方式不同：分泌体是在球状或不规则状的岩石空洞中，由胶体或晶质物质自洞壁逐渐向中心层层沉积充填而成。结核是由隐晶质或胶凝物质围绕某一中心（如砂粒、生物碎片或气泡等）自内向外逐渐生长而成。

8.鲕状集合体能否称为粒状集合体?为什么?

答：鲕状集合体不能称为粒状集合体。因为粒状集合体是显晶集合体形态的一种描述方法，组成粒状集合体的颗粒是单个矿物晶体。而鲕状集合体

是隐晶集合体形态的一种描述方法，组成鲕状集合体的鲕粒并不是单个矿物颗粒，而是由许多胶体物质凝聚而成。因此，不能将鲕状集合体称为粒状集合体。

第十四章 习题

1.简述矿物呈色的机理。具红色、蓝色的宝石级刚玉的呈色原因何在？

答：矿物的颜色根据产生的原因可以分为自色、他色和假色。由于自色是矿物的晶体化学特征所决定的，是矿物的本色。此处只介绍自色的形成机理。它是由矿物本身固有的化学成分和内部结构所决定的颜色，是由于组成矿物的原子或离子在可见光的激发下，发生电子跃迁或转移所造成的。其成色机理主要有以下 4 种：

1) 离子内部电子跃迁 这是含过渡型离子的矿物呈色的主要方式。过渡金属离子的 d 轨道发生能级分裂后，电子可在这些分裂后的轨道上发生跃迁而呈色。我们将能使矿物呈色的过渡性离子称为色素离子。

2) 离子间电荷转移 在外加能量的激发下，矿物晶体结构中变价元素的相邻离子之间可以发生电子跃迁使矿物呈色。

3) 能带间电子跃迁 电子在整个晶体周期结构处于不同的能带中，电子可在这些能带中发生跃迁而呈色。许多自然金属矿物和硫化物矿物的呈色，可以用能带理论进行解释。

4) 色心 它是一种能选择性吸收可见光波的晶格缺陷。大部分碱金属和碱土金属化学物的呈色主要与色心有关。

具有红色、蓝色的宝石级刚玉的呈色机理可以用第 1 种成色机理来解释：刚玉的理想成分为 Al_2O_3 ，纯净的刚玉为无色。如果 Al^{3+} 与部分过渡型离子发生类质同像替代之后，刚玉显示的是这些色素离子的颜色。含Cr呈红色，称为红宝石；含Ti而呈现蓝色，称为蓝宝石。

2.闪锌矿有深色和浅色之分，同时其他光学性质相应地也各有所不同，请解释其原因所在。

答：这是由于闪锌矿化学成分不同而导致的差异。在自然界中，闪锌矿（ ZnS ）中的 Zn^{2+} 比较容易被 Fe^{2+} 替代，形成类质同像混晶。当替代程度较少时， Zn^{2+} 与 S^{2-} 以共价键连接。矿物显示出原子晶格晶体的光学性质，例如：较浅的颜色，同时条痕也很浅，矿物透明，并且是金刚光泽。当替代

程度较大时， Fe^{2+} 与 S^{2-} 之间的化学键作用显现，这两种元素间的化学键向金属键过渡，从而导致矿物显示出一定金属晶格晶体的光学性质，例如：颜色变深，条痕变深，半透明甚至不透明，半金属光泽等。

3.试总结矿物的颜色、条痕、透明度和光泽之间的相互关系。

答：它们都是矿物的光学性质，相互之间有一定的联系。下面以矿物的光泽为代表，列表展示它们之间的关系：

光泽	颜色	条痕	透明度
金属光泽	金属色	黑色或金属色	不透明
半金属光泽	金属色	深彩色	不透明至半透明
金刚光泽	浅色、白色或无色	浅色、白色或无色	半透明至透明
玻璃光泽	无色、白色或浅色	无色或白色	透明

4.举例说明解理产生的原因。应如何全面描述矿物的解理?如何理解解理的异向性和对称性?

答：解理的产生严格受其晶体内部结构因素（晶格、化学键类型及其强度和分布）的控制，常沿面网间化学键力最弱的面网产生。下面按照晶格类型，将解理产生的原因分别描述如下：

- 1)在原子晶格中，各方向的化学键力均等，解理面//面网密度最大的面网。
例如：金刚石晶体的解理沿 $\{111\}$ 产生。
- 2)离子晶格，因静电作用，解理沿由异号离子组成的、且面网间距大的电性中和面网产生，例如：石盐的解理沿 $\{100\}$ 产生；或者，解理面//两层同号离子层相邻的面网，例如：萤石的解理沿 $\{111\}$ 产生。
- 3)多键型的分子晶格，解理面//由分子键联结的面网，例如：石墨的解理沿 $\{0001\}$ 产生。

4) 金属晶格, 由于失去了价电子的金属阳离子为弥漫于整个晶格内的自由电子所联系, 晶体受力时很容易发生晶格滑移而不致引起键的断裂。故金属晶格具强延展性而无解理。

全面描述矿物的解理一般包括两个方面的内容——方向(组数)和等级。描述方向(组数), 可以用与解理面对应的单形及形号直接描述, 例如: 石盐的解理可以描述为立方体{100}组数为3组, 萤石的可以描述为八面体{111}, 组数为4组。从解理的方向(组数)可以得到解理的夹角, 例如: 石盐的解理有3组, 解理面间夹角均为 90° 。根据解理产生的难易程度及其完好性, 解理的等级可以分为: 极完全解理、完全解理、中等解理、不完全解理和极不完全解理。

由解理产生的原因可知, 解理面常沿面网间化学键力最弱的面网产生。晶体结构内部, 作用力最弱的面网分布符合晶体的对称性和各向异性, 从而导致了解理的异向性和对称性。

5. 指出下列解理的组数及夹角(注: 用 90° , 60° , $>90^\circ$ 或 $<90^\circ$ 表示):

三斜晶系: {100}, {010}, {001}

单斜晶系: {001}, {010}, {100}, {110}

斜方晶系: {001}, {010}, {100}

四方晶系: {100}, {110}, {111}, {001}

等轴晶系: {100}, {110}, {111}

三方、六方晶系: {10 $\bar{1}$ 1}, {0001}。

答: 此题考查同学们对结晶学中各晶系单形的熟练程度:

三斜晶系: {100} 一组解理, {010} 一组解理, {001} 一组解理

单斜晶系: {001} 一组解理, {010} 一组解理, {100} 一组解理, {110} 两组解理, 夹角不等于 90°

斜方晶系: {001} 一组解理, {010} 一组解理, {100} 一组解理

四方晶系: {100} 两组解理, 夹角等于 90° , {110} 两组解理, 夹角等于 90° , {111} 四组解理, 夹角均不等于 90° , {001} 一组解理

等轴晶系: {100} 三组解理, 夹角均= 90° , {110} 六组解理, 夹角 $>90^\circ$, {111} 四组解理, 在其中一个解理面上可以看到其他三组解理纹夹角 60°

三方、六方晶系: {10 $\bar{1}$ 1} 三方晶系为三组, 六方晶系为六组, 夹角均不等于 90° , {0001} 一组解理。

6.某磁铁矿标本上明显可见到几组阶梯状平面，请问这是它的解理吗？为什么？

答：这种现象不是解理，而是裂开。部分磁铁矿含有沿{111}分布的显微状钛铁矿、钛铁晶石出溶片晶。这些定向分布的物质形成潜在的破坏面。在受到外力作用，超过其承受极限，磁铁矿就会沿着这些面破裂，产生台阶状平面。由于这种破裂面与解理产生的原因不同，且没有普遍性（即并不是所有的磁铁矿都有这种现象）因此这种现象称为裂开，而不是解理。

7.影响矿物硬度的因素有哪些？如何才能较准确地获得矿物的硬度？

答：矿物的硬度是矿物成分和内部结构牢固性的具体表现。硬度的影响因素有：

1) 化学键的类型及强度：

矿物的硬度主要取决于其内部结构中质点间联结力的强弱。

①典型原子晶格的硬度很高；但具有以配位键为主的原子晶格的大多数硫化物矿物，键力却不太强，故硬度并不高。

②离子晶格矿物的硬度通常较高，但随离子性质的不同而变化较大。

③金属晶格矿物的硬度较低(某些过渡金属除外)。

④分子晶格因分子间键力极微弱，其硬度最低。

⑤以氢键为主的矿物的硬度很低。

2) 离子半径、电价、配位数及结构的紧密程度，决定着键力的强弱，影响离子晶格矿物的硬度。

①当矿物结构类型相同(等型结构)，若离子电价相同，则硬度随离子半径的减小而增高；若离子半径相近，则硬度随离子电价增高而增大。这是因为随着半径减小键力增强。

②当结构类型不同，但其他因素类同时，矿物的硬度则随质点堆积的紧密程度的增高（即阳离子的配位数增高）而增大。这也是因为结构越紧密，质点间键力越强。

3) 含水矿物 的硬度通常都很低。

由于矿物风化、吸水等因素都会改变矿物的硬度，因此在硬度测量时尽量在矿物的新鲜破开面（解理面或断口）上测量较为准确。

8. 宝石加工时，应以何种材料来琢磨金刚石？为什么？

答：金刚石硬度极高，宝石加工时通常使用金刚石来琢磨金刚石。因为金刚石的硬度具有异向性，{111}、{110}、{100}晶面上的硬度依次降低，这是由于它们的面网密度依次减小的缘故。因此，人们就使用金刚石较硬的方向来对金刚石进行琢磨。

9. 简论晶格类型对矿物光学性质和力学性质的影响。

答：矿物的光学性质和力学性质与该矿物的晶格类型密切相关，下面按晶格类型分别总结矿物的光学性质和力学性质如下表：

		离子晶格	原子晶格	金属晶格	分子晶格
光 学 性 质	颜色	一般无色、白色或浅色，含色素离子显示色素离子的颜色	一般无色、白色或浅色，含色素离子显示色素离子的颜色	金属色、黑色	一般无色、白色或浅色
	条痕	无色、白色或浅色	无色、白色或浅色	金属色、黑色	无色、白色或浅色
	光泽	玻璃光泽	玻璃光泽或金刚光泽	金属光泽、半金属光泽	玻璃光泽
	透明度	透明-半透明	透明-半透明	不透明	透明
力 解理	解理面 // 电性	沿面网密度大	解理不发	沿分子	

学 性 质		中和面或 // 相 邻两层是同号 离子层	的面网	育	键 方 向 产生
	硬度	一般中等	一般为大	中等或小	小

10.概述矿物发光性的主要种类及应用。

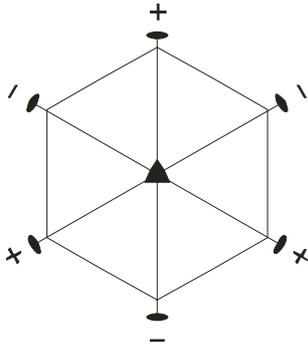
答：矿物的发光性是指某些矿物在外加能量的激发下能明显地发出可见光。按照外加激发源的不同，可以分为以下几种：

- 1) 热发光：以一定的升温速率对矿物样品加热使其发光。热发光已经广泛应用于地质学领域，另外在材料、考古、陨石、核试验环境保护等领域均有深入而独到的应用。
- 2) 阴极发光：用电子枪产生的高速电子流激发矿物使其发光。应用领域更为广泛，比较成熟的技术有：应用阴极发光成像技术研究沉积岩石学问题，也广泛应用于宝石鉴定。
- 3) X-射线发光：用 X-射线激发样品。对那些在紫外光和阴极射线激发下发光特征不明显的矿物，是一种有效的手段。
- 4) 光致发光：由紫外光或可见光作为激发源。这是以前矿物发光研究和鉴定的主要方法，特别是对白钨矿和金刚石的鉴定、找矿和选矿更为有效。

此外，还有质子发光、摩擦发光和场致发光等。

11.已知石英晶体的对称型(点群)为 $L^33L^2(32)$ ，其中 3 个 L^2 为电极轴(一端为负，另一端为正)，试画出这 3 个电极轴在垂直 L^3 平面内的分布图，并在此图的基础上讨论：为什么沿 L^3 方向施加压力不会产生压电性？为什么沿 L^2 方向施加压力会产生压电性？为什么石英晶体无热释电性？

答：电极轴的平面分布图如下：



说明：图中的正六边形代表石英晶体六方柱的横截面，三条直线分别代表3个 L^2 ，其极性分别标于两端。中心的正三角形表示 L^3 的投影。

如果不施加任何压力，石英的电极轴分布是均衡的，不显电性；如果沿 L^3 挤压，晶体垂直于 L^3 方向的平面均匀扩张（即正六边形不会发生变形），各个电极轴的电场不会体现，压电性不会产生。而沿 L^2 方向挤压时，该平面发生变形（即正六边形发生变形），破坏了均衡的电场，电极轴的电性显示出来，产生压电性。

如果加热，各电极轴均匀地热胀冷缩，并不破坏电场的均衡性。因此其没有热释电性。

第十五章 习题

1.为什么要进行矿物成因的研究?矿物的成因研究应主要包括哪些方面?

答：矿物的形成、稳定和变化均无不受热力学条件所制约，同时环境的物理化学条件的差异又导致矿物在成分、结构、形态及物理性质上的细微变化。矿物成因的研究就是通过研究矿物的这些变化规律和特点，从而推导出矿物形成和稳定条件。因此，矿物成因的研究一直是矿物学中的一个非常重要的课题，并已发展成为现代矿物学中的一个独立的分支学科——成因矿物学。

矿物的成因研究主要包括：矿物的时空关系、矿物的标型性、地质温压计、矿物形成作用与矿物共生组合、矿物共生分析等内容。

2.小结形成矿物的主要地质作用及影响因素。

答：根据地质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：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。

变质作用：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，形成新的岩石的作用。

矿物的形成、稳定和演化取决于其所处的地质环境及物理化学条件，即取决于地质作用及温度、压力、组分的浓度、介质的酸碱度（pH 值）、氧化还原电位（Eh 值）和组分的化学位（ μ_i ）、逸度（ f_i ）、活度（ a_i ）及时间等因素。一般情况下，岩浆和热液作用过程中，温度和组分浓度起主要作用；区域变质作用中，温度和压力起主导作用；外生作用中，pH 值和 Eh 值对矿物的形成具有重要意义。

3. 分别指出热液成因金绿宝石和绿柱石，及岩浆期后热液成因自然金形成的必要条件。

答：对于 $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-BeO}$ 三元体系，热液成因地质作用过程中，如果是开放体系就只能形成绿柱石，而如果体系相对封闭，则有利于金绿宝石的形成。岩浆期后热液体系里，当 K_2O 化学活动性较大时，可能形成自然金，并可富集成矿床；而当 K_2O 化学活动性较小时，则难以形成自然金。

4. 试区别矿物的共生、伴生和世代。

答：矿物的共生、伴生和世代的相似之处在于它们都是表示矿物在同一空间共存的现象。但由于这些现象所对应的矿物在形成时间上有所不同，在研究对象上也有所差异，下面分别进行叙述：

矿物世代是指在一个矿床中，同种矿物在形成时间上的先后关系。每一个世代的矿物与一定的成矿阶段相对应。矿物的共生是指同一成因、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。矿物的伴生是指不同成因或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。因此，矿物的共生强调矿物形成的同时性，而伴生强调的是形成时间上的差异，矿物的世代则强调同种矿物生成时间上的差异。

5. 何谓标型矿物和矿物标型特征？并各举两实例。

答：标型矿物是指只在某种特定的地质作用中形成和稳定的矿物，它强调矿物的单成因性。例如：斯石英专属于极高压冲击变质成因，多硅白云母为低温高压变质带的标型矿物。

矿物的标型特征是指能反映矿物的形成和稳定条件的矿物学特征，简称矿物标型。例如：国内外实验研究成果表明：等轴晶系矿物的晶体形态具有标型意义，立方体 {100} 指示形成于低温条件下，八面体 {111} 则为高温下

形成。花岗伟晶岩及气成热液矿床中的电气石，有人认为黑色者指示形成温度高于 300℃，绿色者是在约 290℃条件下结晶而成的，而红色的结晶温度约在 150℃。

6.举例说明等轴晶系矿物的晶体形态标型特征。

答：近 20 年来，国内外实验研究成果表明等轴晶系矿物的晶体形态具有标型意义：随着温度的升高，其晶形具有从立方体 {100} 发育向八面体 {111} 发育的变化趋势。例如：随着温度由低变高，热液体系的黄铁矿晶形的演化趋势为：{100} → {hk0}+{100} → {hk0}+{111} → {111}+{hk0} → {111}。

7.何谓地质温度计?试举一例予以说明。

答：地质温度计是指利用矿物学特征定量或半定量地测量矿物平衡温度的地质数学模型。

例如：Hakli 在 1965 年提出的 Ni 在橄榄石和辉石中分配的温度计，其回归出的公式为：

$$\ln K_D = (-8458/T^{\circ}\text{K}) + 7.65$$

其中 K_D 是 Ni 元素在橄榄石和辉石中的分配系数，通过测量计算出后，代入该公式可以计算出平衡温度。该地质温度计的适用范围为： $T^{\circ}\text{C} = 1050-1160^{\circ}\text{C}$

8.何谓矿物中的包裹体?它有什么研究意义?

答：矿物中的包裹体是指矿物生长过程中或形成之后被捕获包裹于矿物晶体缺陷（如晶格空位、位错、空洞和裂隙等）中的，至今尚完好封存在主矿物中并与主矿物有着相界线的那一部分物质。原生包裹体和假次生包裹体是代表形成主矿物的原始成岩、成矿流体的样品，其成分和热力学参数（温度、压力、pH 值、Eh 值和盐度等）反映了主矿物形成时的化学环境和物理化学条件，可作为解译成矿作用特别是内生成矿作用的密码；次生包裹体反映成矿期后热液活动的物理化学作用的温度、压力、介质成分和性质。

9.如何理解矿物的相对稳定性?矿物稳定性的基本标志有哪些?

答：矿物均具有自己的稳定范围，超过了稳定范围其就会转变成为别的矿物。这是因为从热力学角度来说，自然界中所有的自发过程，必然伴随着一个 ≥ 0 的熵的变化，朝着自由能减小的方向进行，其物质的转移是向着化学位降低的方向进行。体系趋向于自由能最低的状态。

矿物及矿物组合的稳定性是由其相对自由能决定的，在一定的温度压力下，具有最低自由能的矿物及其组合是最稳定的。

10.试述兰多理论及其意义。

答：兰多理论是统计物理学的内容，是利用矿物的有序参数 Q 和过剩热力学参数—— G° （过剩自由能）、 S° （过剩熵）和 H° （过剩焓），讨论矿物因温度的变化所发生的相变规律。其核心是矿物的有序参数 Q ，它是指矿物相变过程中，矿物某些宏观性质的变化程度。这一宏观性质可以是光学性质、元素占位率等物理和化学参数。也就是说，该理论用宏观性质和热力学参数讨论矿物发生的相变，在矿物学研究中具有重要的实际意义。

目前运用兰多理论最多的是架状硅酸盐矿物，如长石类矿物。可以在非常宽广的温度范围内，讨论长石的相变行为；并与量热实验所得到的长石热力学数据充分地联系起来加以分析。

11.举例说明假像和副像及其意义。

答：假像是指交代强烈时，原矿物可全部为新形成的矿物所替代，但仍保持原矿物的晶形。副像是指矿物发生同质多像相变时，其晶体结构及物理性质均发生明显的变化，但原变体的晶形却为新变体所继承下来。由于它们都保存前一种矿物的外形，因此也就保留了前一种矿物的识别标志。我们可以根据前后两种矿物的转变过程，推导矿物形成和演化的规律以及条件。

例如：具有黄铁矿假象的褐铁矿，说明矿物转变过程为黄铁矿转变为褐铁矿，说明原来地质体为岩浆、热液成因，而后经过风化作用形成褐铁矿。具有 β -石英副像的 α -石英，说明矿物由 β -石英（高温石英）向 α -石英（低温石英）的转变过程，揭示出原来地质体是在高温条件下形成。

12.概述矿物晶体相变的类型。

答：在开放体系中，体系与环境存在着物质的交换，活性组分总是向着化学位低的方向迁移，组分重新组合，形成新的矿物，从而使体系总自由能最低。这一类相变包括交代作用、水化作用和脱水作用。

在封闭体系中，体系与环境之间只有能量的交换，而无物质上的交换，物理化学条件的改变促使矿物发生晶体结构的转变而化学成分保持不变。晶体结构的变化主要包括同质多像相变和多型相变等。同质多像相变又可以分为重建式相变、移位式相变和有序-无序相变。

1.你认为矿物学研究应包括哪些环节?

答：按照矿物学研究的工作顺序，矿物学研究包括以下环节：

- 1) **标本的采集** 野外采集样品应注意其目的性、典型性、代表性及系统性。
- 2) **矿物的分选** 首先是碎样，接着进行筛分，最后进行分选，包括物理分选（如电磁选），手工挑选（双目立体显微镜下挑纯）
- 3) **常规测试分析** 如岩石薄片鉴定、水化学分析等
- 4) **现代测试技术研究** 详细而深入地研究矿物的成分、结构、物性、形态等内容，从而提供矿物形成条件、演化历史等。

2.野外如何鉴定矿物?

答：在野外只能通过肉眼，利用简易工具（包括小刀、瓷板和放大镜）以及简单的化学试剂（稀盐酸）对矿物进行鉴定、识别，也就是使用肉眼鉴定法鉴定矿物。

进行肉眼鉴定的原理是依据矿物的形态和物理性质（如颜色、条痕、光泽、解理、断口、硬度等）等最直观的特征，或再辅以很简单的化学试验，从而利用矿物肉眼鉴定表，并参考矿物的成因产状，以鉴别矿物。

3.鉴定和研究矿物的物理方法与化学方法的主要区别何在?

答：鉴定和研究矿物的化学方法比较局限，一般只用于测量矿物的化学成分，而物理方法则可以测量矿物的成分、结构、物理性质和形貌等多方面的内容。就矿物的化学成分分析的物理方法而言，与化学方法相比较，它们大多数可以同时测量多种元素，但一般不能分析变价元素的价态。

4.为什么目前研究物质成分常采用 EPMA?其有何局限性?

答：EPMA 是电子探针显微分析的英文缩写，主要用途是准确测量矿物微区的化学成分。这种分析方法优点在于：灵敏度高，分析速度快、不破坏样品、分析元素范围大等优点。除了进行点分析之外，还能够提供线扫描和面扫描分析，用于研究元素含量的变化规律。因此，该方法是目前研究物质成分常用的方法。同时，该方法也有一定的局限：只能分析固态样品，对有机物质分析困难；不能分析元素的同位素、各种形式的水及其他挥发组分，也不能区别变价元素的价态。

5.研究矿物晶体结构最常用而有效的方法是什么?它有什么特点?

答：X-射线分析是晶体结构研究最常用和有效的方法。一般可分为单晶法和粉晶法两类。单晶法现在采用四圆单晶衍射仪法，其特点是自动化程度高、快速、准确度高。粉晶法现在一般是粉晶衍射仪法，该方法简便、快速、灵敏度高，分辨能力强，准确度高。

6.研究含铁多相混合物行之有效的方法是什么?其有何特点?

答：用穆斯堡尔谱研究含铁多相混合物效果较好。因为穆斯堡尔谱主要用于研究 ^{57}Fe 和 ^{199}Sn 元素离子的价态、配位态、自旋态、键性、磁性状态、占位情况及物质的有序-无序和相变等。其特点为分析准确、灵敏、快速，解谱较为容易。

7.目前，鉴别天然宝石和合成宝石主要可采用哪些方法?各有何特点?

答：天然宝石和合成宝石在晶体结构上有一定的差别，我们可以利用测量晶体结构的仪器，如红外吸收光谱仪、激光拉曼光谱仪、可见光吸收光谱仪等对它们进行鉴别，效果较好。现在分别对以上三种方法的特点进行介绍：红外吸收光谱测谱迅速、数据可靠，特征性强。激光拉曼光谱是无损分析，其测谱速度快，谱图简单，谱带尖锐，容易解释。可见光吸收光谱简便、可信，不需挑选单矿物，不破坏样品。

8. TEM 与 SEM 有何异同点?

答：TEM 是透射电子显微镜的英文缩写，而 SEM 是扫描电子显微镜的英文缩写。它们都是分析高速电子流与样品作用之后的有关信息。由于收取的信息不同，观测的结果也就有较大差异。TEM 观察的是样品透射和衍射电子的信息，因此它主要用于研究样品的形貌、晶体缺陷及超显微结构等特征，也可以测定晶体的结构参数和进行晶体的定向。TEM 具有很高的分辨率（达 0.1nm）和放大倍数（100~200 万倍）。SEM 主要利用二次电子进行高分辨的表面微形貌观察。其分辨率高（可达 5nm），放大倍数为 10~30 万倍。如果它们配上能谱仪，均能够进行定性或半定量的成分分析。

9.如何经济而有效地研究粘土矿物和碳酸盐类矿物?

答：差热分析（DTA）能够经济而有效地研究粘土矿物和碳酸盐类矿物。它测定矿物在连续加热过程中的吸热（脱水、分解、晶格的破坏和类质同像转变等）和放热（氧化、结晶等）效应，以研究矿物的结构和成分变化。用于了解水的存在形式，研究物质的内部结构和结晶度，研究类质同像混入物及其含量，可进行物相的鉴定及其定量分析。因此这种方法对含水矿物（如粘土矿物）和加热后重量变化明显的矿物（如碳酸盐矿物）研究效果很好。

1.为什么要对矿物进行分类?目前较合理的矿物分类是什么?它与其他分类方案的主要分歧何在?大类、类、族、种的划分依据是什么?如何处理类质同像、同质多像问题?

答：为了系统而全面地研究矿物，就必须对种类繁多的矿物进行科学的分类。目前较为合理的分类方案是以晶体化学为基础的分类方案，因为决定矿物本质特征的是矿物的化学成分与晶体结构。其它的分类方案对矿物的特征各有侧重，有根据矿物化学成分为依据的化学成分分类，也有以元素的地球化学特征为依据的地球化学分类和以矿物成因为依据的成因分类。这些分类方案的考虑都没有晶体化学分类全面。晶体化学分类划分的级序由大到小分别为：大类、类、族和种 4 级。种是矿物分类中的基本单位。它们的划分依据见下表：

级序	划分依据	举 例
大类	化合物类型	含氧盐大类
类	阴离子或络阴离子种类	硅酸盐类
族	晶体结构型和阳离子性质	长石族
种	一定的晶体结构和化学成分	正长石 $K[AlSi_3O_8]$

对同质多像问题，由于变体间虽然化学成分相同，但结构不同，性质差异也较大，故视为各自独立的矿物种。对于类质同像系列的矿物，它们的结构相同，物理性质相似，其化学组成可以在一定范围内变化。国际新矿物及矿物命名委员会规定，只有端元矿物才可作为矿物种而独立命名，类质同像系列的中间成分者可作为矿物种之下的亚种。

2.对于一种新矿物,你认为应如何命名比较科学、合理?

答:矿物命名的依据多种多样,有的是矿物本身的特征,如化学成分、形态、物理性质等命名,有的依据发现该矿物的地点或人或研究学者的名字命名。如果发现新矿物,以矿物的特征来命名比较合理,因为这样有助于熟悉矿物的主要成分和性质。

第十八章习题

1.自然金属元素矿物的晶体化学特征与形态、物性的关系如何?

答:自然金属元素矿物的化学成分为金属元素,主要包括:铜族元素和部分铂族元素。它们的晶体结构一般为等大球最紧密堆积(大多数为立方最紧密堆积、少量六方最紧密堆积),结构较简单,对称程度较高。化学键是典型的金属键,是金属晶格的晶体。这就决定了矿物的宏观性质是金属晶格晶体的特点。

形态:晶体呈等轴粒状或六方板状,集合体为树枝状、片状、块状等。这是由于内部质点最紧密堆积的缘故。

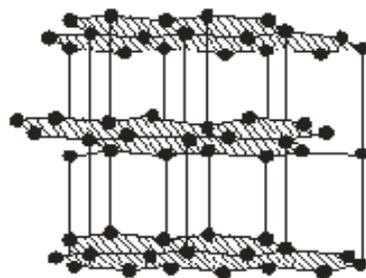
物理性质:具典型的金属特性:金属色,金属光泽,不透明。硬度低(Os、Ir 例外),解理不发育,强延展性。比重大。电和热的良导体。这是因为它们是金属晶格晶体的缘故。

2.试以金刚石、石墨为例说明同质多像的概念。为什么它们同为 C 组成,但形态、物性截然不同?

答:金刚石和石墨的化学成分相同,但它们的晶体结构和晶格类型有很大差异,从而导致了它们宏观形态和物理性质上存在很大的差异。金刚石的空间格子为立方面心格子,晶格中质点以共价键联结,是典型的原子晶格晶体。这些晶体化学特征导致其外形为等轴晶体形态,如立方体、八面体等;物理性质表现为硬度高,光泽强,具脆性,不导电。石墨的空间格子为三方或六方格子,层状结构,层内具共价键—金属键,层间为分子键。这些特征表现在外形上为板状、片状晶体形态;表现在物理性质上为晶体具明显的异向性,具 $\{0001\}$ 极完全解理,硬度低,金属光泽,电的良导体。

3.从石墨的结构特点解释其物性特征。

答：石墨具有典型的层状结构（见右图），层内具共价键—金属键，层间为分子键。这些特征表现在物理性质上为晶体具明显的异向性，具{0001}极完全解理，硬度低，金属光泽，熔点和沸点高，电的良导体。



4.金属互化物矿物与合金有什么区别?与化合物的矿物(如黄铜矿(CuFeS₂)、毒砂(FeAsS)等)有什么区别?

答：金属互化物是指两种或两种以上的金属元素按确定比例以金属键和共价键结合在一起形成的物质,合金是指两种或两种以上的金属元素形成的固溶体,以金属键为主,各金属元素的含量是不确定的，是可以连续变化的。而化合物中可以存在阴离子、阳离子、金属原子、非金属原子等,以离子键、共价键、金属键、分子键等形成化合，各离子、原子的含量比基本上固定，在类质同象的范围内各离子、原子含量可以在一点的范围变化。

1.简单硫化物和复硫化物各有什么基本特征?这些基本特征主要由哪些因素引起?

答：简单硫化物，组分简单，对称程度一般较高，多为等轴或六方晶系，少数属斜方或单斜晶系。大多数硫化物的晶形较好，特别是复硫化物更常见完好晶形。简单硫化物解理发育，复硫化物解理不完全或无解理。简单硫化物的硬度较低，一般在2~4，层状结构者(辉钼矿、雌黄……)为1~2；但复硫化物具较高的硬度，一般5~6.5，个别达7~8。

形成上述差异的原因在于它们晶体结构中质点的排布和化学键力的分布不同。简单硫化物的晶体结构可以认为是S²⁻作最紧密堆积，阳离子充填空隙，而且化学键有离子键向金属键或共价键过渡的特点。而复硫化物的晶体结构中，哑铃状[S₂]²⁻的伸长方向在结构中犬牙交错配置，使各方向键力相近，故解理极不完全，而硬度大。

2.对比金刚石、闪锌矿、黄铜矿晶体结构的异同。

答：闪锌矿(ZnS)的空间格子为立方面心格子，晶体结构中S²⁻作立方最紧密堆积，而Zn²⁺充填一半的四面体空隙，从而构成稳定的结构。而黄铜矿(CuFeS₂)的结构是闪锌矿的衍生结构，只是将阳离子由Zn²⁺换成了Fe²⁺和Cu²⁺，且Fe²⁺与Cu²⁺相间分布。而金刚石空间格子也是立方面心格子，从

质点的排布上看还是可以参考闪锌矿的结构，将金刚石结构看成其中一套相当点的C原子作立方最紧密堆积，相当于闪锌矿中 S^{2-} 的占位，另一套相当点的C原子充填一半的四面体空隙，相当于闪锌矿中 Zn^{2+} 的占位（金刚石中的C原子可以划分为两套相当点）。

3.磁黄铁矿产生“缺席构造”的原因？磁黄铁矿的“超结构”是什么含义？

答：磁黄铁矿的化学成分通常为非化学计量性，通常以 $Fe_{1-x}S$ 表示（其中 $x=0\sim 0.125$ ），产生的原因是该矿物中部分 Fe^{2+} 被 Fe^{3+} 替代，为了保持晶体的电荷平衡，结构中阳离子位置会出现部分空位，这种现象称为缺席构造。如果空位和阳离子在晶体结构中的分布是完全有序的，就会使原晶胞扩大1倍或几倍，这种结构称为超结构。

4.辉锑矿、辉铋矿为什么呈柱状晶形,并有{010}完全解理？

答：辉锑矿（ Sb_2S_3 ）具有链状结构，链是由S和Sb紧密连接而成，这些链平行于c轴。链内S和Sb的距离为0.32nm左右。链间键力较弱，因而沿这一方向{010}表现出解理性，同时晶体的形态亦是沿晶体结构中链体的方向延伸而呈平行c轴的柱状。辉铋矿（ Bi_2S_3 ）的晶体结构与辉锑矿相同，所以晶体形态和解理均一致。

5.对比自然硫、雌黄、雄黄及辰砂，并指出它们的区别。

答：这四种矿物成分上有差异，结构上也有所不同，键性近似，所以部分宏观性质近似，下面列表进行对比：

矿物	辰砂	雄黄	雌黄	自然硫
成分	HgS	As ₄ S ₄ 或 AsS	As ₂ S ₃	α-S
晶系	三方	单斜	单斜	斜方
对称型	32	2/m	2/m	mmm
形态	分散粒状	柱状、致密粒状、土状块体	短柱状、板状、片状、土状	双锥状、后板状，土状、块状
颜色	红色，有铅灰色锍色	桔红色	柠檬黄色	不同色调的黄色

条痕	红色	浅桔红色	鲜黄色	无色
光泽	金刚光泽	金刚光泽，断面树脂光泽	金刚光泽，断面油脂光泽	晶面金刚光泽，断口油脂光泽
解理	{10 $\bar{1}$ 1} 完全	{010} 完全	{010} 极完全，薄片具挠性	贝壳状断口
硬度	2~2.5	1.5~2	1.5~2	1~2
比重	8.0~8.2	3.56	3.5	2.05-2.08
用途	提炼 Hg；单晶可作激光调制晶体；中药(丹砂)。	提取 As、制砷化物；中药材；用于农药、颜料、玻璃等工业。	提炼 As、制砷化物；中药	主要用于制造硫酸，用于化肥、造纸、炸药橡胶生产
成因	低温热液矿床的典型矿物			化学沉积、火山喷气

6.列表表示简单硫化物及复硫化物的主要同质多像变体矿物,你能否指出在同质多像转变中,温度对晶体结构(对称程度)的影响?

答: 简单硫化物中具有同质多像变体的矿物有闪锌矿族 (ZnS), 黄铜矿族 (CuFeS₂), 辉铜矿族 (Cu₂S), 复硫化物中有黄铁矿-白铁矿族 (FeS₂), 现列表如下:

类型	族名	变体名称	变体对称	稳定温度
简单	闪锌矿族	闪锌矿	等轴	中高温热液

硫化物		纤维锌矿	六方或三方	中温热液
	黄铜矿族	斜方黄铜矿	斜方	低
		四方黄铜矿	四方	中
		等轴黄铜矿	等轴	高
	辉铜矿族	斜方辉铜矿	斜方	低
		六方辉铜矿	六方	中
等轴辉铜矿		等轴	高	
复硫化物	黄铁矿-白铁矿族	黄铁矿	等轴	地表不稳定
		白铁矿	斜方	高温不稳定

由表可见，高温变体对称程度高，低温变体对称程度低。

7.硫化物矿物中哪些是标型矿物?哪些矿物具有标型特征?

答：硫化物中可以作为标型矿物的有：辰砂（ HgS ）、雄黄（ As_4S_4 ）和雌黄（ As_2S_3 ），它们均是低温热液标型矿物。具有标型特征的矿物有闪锌矿（化学成分、晶胞参数、颜色、比重等），黄铁矿（形态、导电性）等。

8.硫化物矿床氧化带中可能出现哪些矿物?

答：硫化物矿床的氧化带常常出现氧化物、氢氧化物和盐类。出现的主要矿物有：含铅矿物（如方铅矿）变为铅矾、白铅矿，含锌矿物（如闪锌矿）变为菱锌矿，含铜矿物（如黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿）变为孔雀石、蓝铜矿、赤铜矿，含铁矿物（如黄铁矿、磁黄铁矿）变为褐铁矿、黄钾铁矾、针铁矿，含砷矿物（如毒砂）变为臭蒜石。

9.闪锌矿和方铅矿分别具有{110}、{100}完全解理的原因各是什么?

答：闪锌矿的{110}和方铅矿的{100}方向分别是两种矿物晶体结构中面网密度最大的电性中和面，因此，容易沿着这些方向产生解理。

10.在毒砂的晶体结构中， $\beta=90^\circ$ ，但为单斜晶系，你如何理解？在毒砂的晶体形态上，发育{101}斜方柱，但称之为假斜方柱，为什么？它应该是什么

么单形？

答：虽然毒砂的晶胞参数中 $\beta=90^\circ$ ，但它的对称型是 $2/m$ ，根据晶体对称分类方案，它仍然属于单斜晶系。而其中的 $\{101\}$ 斜方柱中的四个晶面，它们不能够通过毒砂的对称要素联系起来（柱体中相互平行的两对晶面不能够通过对称要素操作发生重合），因此不属于同一单形，它只能称为假斜方柱。它应该是两个平行双面： $\{101\}$ 和 $\{10\bar{1}\}$ 。

由此可见，虽然单斜晶系的晶体一般 $\beta > 90^\circ$ ，但 $\beta > 90^\circ$ 并不是单斜晶系的必要条件。

第二十章 习题

1. 对比氧化物大类与硫化物大类在成分、结构、物性、成因、应用方面的主要差异。

答：下面列表从总体上对比氧化物和简单硫化物间的主要差异：

矿物	简单硫化物	氧化物
成分	阴离子： S^{2-} ，阳离子：铜型离子和部分过渡型离子	阴离子： O^{2-} ，阳离子：惰性气体型离子和部分过渡型离子
结构	S^{2-} 作最紧密堆积，阳离子填充空隙；化学键由离子键向金属键和共价键过渡	O^{2-} 作最紧密堆积，阳离子填充空隙；化学键由离子键向共价键过渡
形态	晶形较好，一般为等轴、六方晶系，少数斜方晶系	晶形较好，一般为等轴、三、六方晶系，四方晶系，少数斜方晶系
颜色	金属键的硫化物显黑色和金属色，共价键的矿物颜色为浅色或彩色	氧化物因主要为离子键和共价键，所以颜色较浅 仅含铁的氧化物颜色较深，这是因为铁为典型的过渡型

		离子（色素离子）。
条痕	一般黑色或彩色	一般为彩色或无色
光泽	金属光泽、半金属光泽或金刚光泽	半金属光泽、玻璃光泽或金刚光泽
解理	一般较发育	一般不发育
硬度	中等、小	大、中等
比重	大或者中等	中等、大
用途	提炼有色金属以及与硫酸相关的产品	黑色金属和有色金属；仪表轴承或研磨材料、无线电工业原料、工艺美术原料及宝石的重要来源
成因	主要热液成因	内生、外生、变质作用均有

2.为什么石英、刚玉、尖晶石的硬度特别高？

答：由于这三种矿物的阳离子为 Al^{3+} 和 Si^{4+} ，它们半径小、电价高。因此，结构中共价键的成分增多——刚玉、尖晶石已经有较多的共价键成分，石英则共价键占优势。从而导致这些矿物的硬度较高。

3.为什么刚玉能成为价值昂贵的红宝石、蓝宝石、星光宝石？

答：成为宝石的条件有三：颜色好、硬度高、数量稀少。刚玉一般产于岩浆作用或接触变质和区域变质作用，产量很少。而且刚玉的摩氏硬度为9，非常大，因此易于保存。纯净的刚玉是无色，含Cr显红色称为红宝石；含Ti而显蓝色，称为蓝宝石；有些红、蓝宝石的{0001}面上可以看到因六射针状金红石包体而显示的星光效应，称为星光宝石。

4.全面对比金红石、锡石、软锰矿的异同，并说明其影响因素。

答：锡石、金红石和软锰矿它们的晶体结构相同，均系金红石型晶体结构，但由于它们的阳离子不同，与 O^{2-} 形成的化学键有所区别，从而导致了它们宏观性质上有所差别，现分别描述如下：

	金红石	锡石	软锰矿
--	-----	----	-----

形态	完好的四方晶形	晶形与金红石相似	常见隐晶集合体
颜色	褐红、暗红色	黄棕、深褐色	黑色
	金刚光泽	金刚光泽	半金属光泽
解理	{110}中等	无解理	{110}完全
硬度	大	大	隐晶质小，单晶体大

5.如何识别石英中的道芬双晶和巴西双晶？

答：道芬双晶和巴西双晶是石英的两种常见双晶，在外形上非常相似，我们可以通过下面几种方法区别它们：

1) **三方偏方面体晶面** 如果该面绕c轴每隔60°出现一次，该双晶为道芬双晶；如果两个该面呈左右镜像对称关系，该双晶应为巴西双晶。

2) **双晶缝合线** 巴西双晶的缝合线一般是折线；而道芬双晶的缝合线是弯曲、复杂的线。

3) **蚀像** 在缝合线两侧的同一直面上，蚀像方向相反，可以用L²联系，则为道芬双晶；两边的蚀坑可以通过对称面联系，则为巴西双晶。

6.赤铁矿和钛铁矿均属刚玉型结构，为什么两者对称型不同？

答：赤铁矿和钛铁矿均属于刚玉结构，但赤铁矿(Fe₂O₃)的阳离子只有Fe³⁺，而钛铁矿(FeTiO₃)的阳离子有两种Fe²⁺和Ti⁴⁺，这两种离子在赤铁矿中Fe³⁺的位置上相间分布，使结构中本应对称的位置变得不对称了，从而导致钛铁矿的对称程度比赤铁矿低。

7.赤铜矿晶体结构中，虽然O²⁻分布于晶胞角顶和中心，但不是体心格子，为什么？赤铜矿晶体结构中，O²⁻是否为最紧密堆积？为什么？

答：在赤铜矿晶胞中，角顶上的O²⁻与中心的O²⁻不是相当点（它们的配位多面体的方向不一致，即环境不同），因此，赤铜矿的空间格子只能是立方原始格子。该结构中的O²⁻也不是最紧密堆积。因为最紧密堆积只有两种基本堆积形式：立方最紧密堆积和六方最紧密堆积。因为赤铜矿为等轴晶系，因此与赤铜矿可能对应的只能是立方最紧密堆积，但立方最紧密堆积要求

同种质点分布在角顶和面的中心。赤铜矿中的 O^{2-} 不能满足该条件，因此它不是最紧密堆积。

8.三水铝石与刚玉的晶体结构间有什么异同？

答：三水铝石($Al(OH)_3$)的结构与水镁石的结构近似，由两层OH离子作最紧密堆积， Al^{3+} 充填其中的 $2/3$ 的八面体空隙，从而构成一层稳定的结构单元层。这些结构单元层之间通过氢键相连接。而刚玉晶体(Al_2O_3)是由 O^{2-} 作六方最紧密堆积， Al^{3+} 充填其中 $2/3$ 的八面体空隙，构成一个稳定的结构。单从两层氧离子堆积及铝离子充填的情况来看，刚玉结构与三水铝石的结构单元层是一样的，但刚玉并不是层状结构并不存在这样的结构单元层。

9.如何区别金红石和锡石；钛铁矿、铬铁矿和磁铁矿？

答：金红石和锡石肉眼鉴定的区别在于它们的解理和相对密度的差异：金红石有 $\{110\}$ 方向的中等-完全解理，而锡石没有解理；金红石的比重为4.4，而锡石的比重为6.8-7.0。

钛铁矿、铬铁矿和磁铁矿的区别在于：首先，钛铁矿晶形为板状、厚板状，与等轴晶系的磁铁矿和铬铁矿的晶形不同。在磁性方面钛铁矿为弱磁性，虽然与铬铁矿相似，但与磁铁矿的强磁性区别明显。钛铁矿的条痕黑色，这与磁铁矿的条痕近似，但与铬铁矿的棕色条痕比较容易区分。

10.何为细分散多矿物集合体？举例说明。

答：细分散矿物集合体是指由多种结晶颗粒细小的矿物，以某一种或几种矿物为主，伴有其它一些种类的矿物混合在一起组成的集合体。它不是一种矿物，而是一种混合物。例如：铝土矿，并不是一个矿物种，而是以极细的三水铝石、一水硬铝石或一水软铝石为主要组分，并包括数量不等的高岭石、蛋白石、赤铁矿、针铁矿等而成的混合物。它就是一种细分散矿物集合体。

第二十一章 习题

1.用鲍林法则说明：在硅酸盐中， $[SiO_4]$ — $[SiO_4]$ 四面体只能共角顶联结，不能共棱、共面联结。

答：这种现象可以用鲍林法则第3条进行解释。第3法则表述为：在配位结构中，两个阴离子多面体以共棱，特别是共面的方式存在时，结构的稳定性便降低。对于高电价，低配位数的阳离子来说，这个效应尤为明显。

硅酸盐中， Si^{4+} 为高电价，低配位数的阳离子，因此在硅酸盐中， $[\text{SiO}_4]$ — $[\text{SiO}_4]$ 四面体只能共角顶联结，不能共棱、共面联结。

2.在硅酸盐中，Si—O键的性质既有离子键性又有共价键性，分别解释为什么？

答：判断化合物中的化学键的离子键或共价键性质，一般是用离子键模型和共价键模型去描述化学键的特点。如果符合离子键模型，则可以判断其键性为离子键，如果符合共价键模型，则可判断其键性为共价键。

在硅酸盐中，大多数硅酸盐的晶体结构特点是可以离子键解释的。根据鲍林离子半径， $r_{\text{Si}^{4+}}=0.041\text{nm}$ ， $r_{\text{O}^{2-}}=0.14\text{nm}$ ，其比值 $r_{\text{Si}^{4+}}/r_{\text{O}^{2-}}=0.29$ ，处于四面体配位范围0.255~0.414之内，所以Si与O结合时易形成四面体配位。但也存在一些情况与离子模型不符合的，例如：根据离子模型， O^{2-} 趋于最紧密堆积，阳离子充填四面体或八面体空隙，如果阳离子半径不合适，它仍可进入 O^{2-} 间的空隙，但将使 O^{2-} 的最紧密堆积歪曲变形，从而使 O^{2-} 堆积的比体积低于理想的最紧密堆积的比体积(0.0145nm^3)，但在某些硅酸盐中如镁橄榄石、 SiO_2 多种同质多像变体等，阳离子大小是与 O^{2-} 堆积形成的四面体、八面体空隙适应的，在这些矿物晶体中，照理应该形成最紧密堆积结构，但发现这些矿物 O^{2-} 堆积的比体积低于理论值，这是因为Si-O键并非纯离子性，而有相当明显的共价性。

在共价模型中，Si-O是用共价键概念描述的。处于基态的硅原子的外层电子构型为 $2s^22p^33s^1$ ，因此，1个3s和3个2p轨道强烈杂化形成 sp^3 杂化轨道，这4个杂化轨道指向四面体的4个角顶，其中每个 sp^3 杂化轨道与一个氧原子的2p轨道重叠形成 σ 键，即重叠电子密度的极大部分处于Si-O线上的键。共价模型与实际情况符合良好，例如绝大多数Si是四面体配位。

3.用鲍林法则证明：Al在硅酸盐中具双重性且 $[\text{AlO}_4]$ — $[\text{AlO}_4]$ 四面体不能直接相联。

答：从鲍林法则第1条可知，阴阳离子半径比决定阳离子的配位数。而 $r_{\text{Al}^{3+}}/r_{\text{O}^{2-}}=0.419$ ，恰巧近似于四次配位与六次配位分界处的阴阳离子半径比值0.414，所以 Al^{3+} 既可以四次配位又可以六次配位。

如果 $[\text{AlO}_4]$ — $[\text{AlO}_4]$ 四面体直接相联，连接两个 Al^{3+} 的桥氧键强和为 $3/4+3/4=1.5$ 。根据鲍林法则第2条：某离子的键强和等于其电价才能稳定。1.5偏离 O^{2-} 电价(-2)已达25%，超过了稳定化合物键强之和的偏差容忍极限16%，因此， $[\text{AlO}_4]$ — $[\text{AlO}_4]$ 四面体直接相联是不稳定的。

4.在硅酸盐晶体结构中，为使硅氧骨干与骨干外阳离子配位多面体协调，常需互相变形。请举出两个具体矿物晶体结构的例子来说明这个问题。

答：一般来讲， $[\text{SiO}_4]$ 四面体的体积稳定，不随外界环境变化而变化，但骨干外阳离子配位多面体的体积随阳离子的大小和温压环境变化较大。为适应这种变化，硅氧骨干往往发生扭转变形，以与骨干外阳离子配位多面体相适应。

例如：在顽火辉石 $\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ 中，阳离子为 Mg^{2+} ，则八面体链内的两个 $[\text{MgO}_6]$ 八面体的长度与两个以角顶相连的 $[\text{SiO}_4]$ 四面体长度相适应，所以硅氧骨干为 $[\text{SiO}_4]$ 四面体重复周期为2的 $[\text{Si}_2\text{O}_6]$ 单链；如果阳离子为半径较大的 Ca^{2+} ，两个 $[\text{CaO}_6]$ 八面体的长度与3个以角顶相连的 $[\text{SiO}_4]$ 四面体长度相当，所以硅氧骨干为 $[\text{SiO}_4]$ 四面体重复周期为3的 $[\text{Si}_3\text{O}_9]$ 单链，形成硅灰石 $\text{Ca}_3[\text{Si}_3\text{O}_9]$ 。

再以具层状硅氧骨干的蛇纹石 $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$ 为例，结构体现为 $[\text{MgO}_2(\text{OH})_4]$ 八面体层与 $[\text{SiO}_4]$ 四面体层的结合。由于 $[\text{MgO}_2(\text{OH})_4]$ 八面体层中 $\text{O}(\text{OH})-\text{O}(\text{OH})$ 间距较 $[\text{SiO}_4]$ 四面体层中 $\text{O}-\text{O}$ 间距略小，因此，在叶蛇纹石结构中为了使 $[\text{SiO}_4]$ 四面体骨干层与阳离子八面体层相适应，结构层产生弯曲，八面体在外圈，四面体层在内圈，并使方向相反的结构层连接起来形成波浪状。

5.大多数Si—O配位为 $[\text{SiO}_4]$ 四面体，在什么条件下可形成 $[\text{SiO}_6]$ 八面体配位？并解释 $[\text{SiO}_4]$ 比 $[\text{SiO}_6]$ 稳定。

答：在Si-O键变弱并拉长时，O-O间距变小，有利于形成 $[\text{SiO}_6]$ 八面体，满足这些条件形成 $[\text{SiO}_6]$ 就要求特殊的环境，在一般条件下，Si-O配位形式都是 $[\text{SiO}_4]$ 四面体。从鲍林键强（在四面体中Si-O键强为4/4，在八面体中Si-O键强为4/6）也可以预测 $[\text{SiO}_4]$ 比 $[\text{SiO}_6]$ 稳定。

6.硅酸盐熔体结构与硅酸盐晶体结构的主要区别是什么？

答：硅酸盐熔体结构与其相应的晶体结构是很相似的，也是以 $[\text{SiO}_4]$ 四面体为基本结构单元。但是熔体不像晶体那样，其原子在三维空间内连续有规则的排列；也不像晶体那样，其中只含有一种结构单元（硅氧骨干）。多种结构单元可以共同存在于同一熔体中，而且其位置和排列方式随原子不规则的热运动而不断地改变。在硅酸盐熔体中，不仅存在活性氧、惰性氧，还存在自由氧。

7.已知橄榄石的对称型为 mmm ，试问它的外形上可能发育哪些单形？这些单形属于什么晶类？

答：本题主要考查学生在“结晶学”中所学的晶体对称形态对称的知识。橄榄石晶体外形上可以出现平行双面、斜方柱和斜方双锥等 3 种单形。这些单形属于斜方双锥晶类。

8.从离子半径与结构的关系解释：为什么镁铝榴石比钙铝榴石形成压力要大？

答：镁铝榴石 ($Mg_3Al_2[SiO_4]_3$) 和钙铝榴石 ($Ca_3Al_2[SiO_4]_3$) 晶体结构中，它们的主要差别在于充填畸变的立方体空隙的阳离子分别为 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 。由于 Ca^{2+} 的半径 (0.098nm) 比 Mg^{2+} 的半径 (0.089nm) 大， Ca^{2+} 呈八次配位的所需压力不大，而 Mg^{2+} 主要呈六次配位，如果要呈八次配位所需的压力要大得多。因此，在地质上钙铝榴石一般在接触变质条件下形成，而镁铝榴石只能在压力极高的条件下形成。

9.对比下列两组的两个晶体结构型中哪个结构型密度大：

橄榄石型与尖晶石型；尖晶石型与钙钛矿型

答：尖晶石型结构的密度比橄榄石型结构的密度大。这是因为，实验结果表明，随着压力逐渐增大，橄榄石型结构可以转变为尖晶石型结构。

钙钛矿型结构的密度比尖晶石型结构的密度大。这是因为钙钛矿和尖晶石均属于 AB_2O_4 型化合物，尖晶石结构中阳离子分别充填四面体和八面体空隙，而钙钛矿结构中阳离子 Ti^{4+} 充填八面体空隙，而 Ca^{2+} 的配位数为 12，该结构的阳离子的配位数比尖晶石结构阳离子配位数大，结构更加紧密，密度增加，形成所需的压力也就要大。

10.红柱石、蓝晶石、夕线石的晶体结构特点各是什么？结构中 Al 的配位形式有什么区别？Al 的配位与形成条件有什么关系？

答： Al_2SiO_5 的同质三像变体晶体结构中， Si^{4+} 全部为四次配位，并呈孤立的 $[SiO_4]$ 四面体。两个 Al^{3+} 中的一个均与氧呈六次配位，并以共棱的方式联结成平行于 c 轴方向延伸的 $[AlO_6]$ 八面体链，剩余的另一个 Al^{3+} 在三种矿物中的配位数各不相同。在红柱石中为五次配位，在蓝晶石中为六次配位，在夕线石中为四次配位。

这三种矿物中 1/2 的 Al^{3+} 在配位数上的变化，反映其形成的温压条件。一般情况下，蓝晶石产于高压变质带或中压变质带的较低温部分，因高压

低温易形成六次配位形式的Al。红柱石产于低压变质带的较低温部分，因低温低压易形成罕见的五次配位形式的Al。夕线石产于中压或低压变质带的较高温部分，因低压高温易形成四次配位形式的Al。

11.从绿柱石的晶体结构特点解释：为什么绿柱石的硬度很大但密度不大？

答：绿柱石晶体结构为 $[\text{SiO}_4]$ 四面体组成的六方环垂直c轴平行排列，上下两个环错动 25° ，由 Al^{3+} 和 Be^{2+} 连接； Al^{3+} 的配位数为6而 Be^{2+} 的配位数为4，均分布在环的两侧，所以在环中心平行c轴有宽阔的孔道，以容纳大半径的离子 K^+ 或 Na^+ 、 Cs^+ 等以及水分子。 Al^{3+} 和 Be^{2+} 均是半径小、电价高的阳离子，配位数也较低，它们的配位多面体与 $[\text{SiO}_4]$ 四面体间的联系力强。因此，绿柱石结构中孔道较大、联系力较强的特点导致了绿柱石硬度很大但密度不大的现象。

12.空晶石、祖母绿、碧玺的矿物学名称是什么？

答：空晶石的矿物学名称为红柱石，祖母绿的矿物学名称为绿柱石，碧玺的矿物学名称为电气石。

13.如果某矿区发现紫红、玫瑰红色的石榴子石，该矿区可能有什么矿？

答：通常情况下紫红色、玫瑰红色的石榴子石是镁铝榴石。镁铝榴石只能在极高压的条件下形成，如榴辉岩、金伯利岩中，目前已广泛以它作为标志寻找金刚石。因此，该区可能有金刚石矿。

14.辉石族矿物晶体结构型式是什么？

答：辉石的晶体化学式为 $\text{XY}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ 。在其结构中， $[\text{SiO}_4]$ 四面体各以两个角顶与相邻的 $[\text{SiO}_4]$ 四面体共用，形成沿c轴方向无限延伸的单链。每两个四面体为一个重复周期，记为 $[\text{Si}_2\text{O}_6]$ 。在a和b轴方向上 $[\text{Si}_2\text{O}_6]$ 链以相反的取向交替排列，在a轴方向上活性氧与活性氧相对形成 M_1 位置，惰性氧与惰性氧相对形成 M_2 位置。 M_1 为半径较小的Mg、Fe等阳离子所占据，呈六次配位。在 M_2 中，斜方辉石亚族中为Mg、Fe等占据，为畸变的八面体配位。单斜辉石中为大半径的阳离子 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 Li^+ 等占据，为八次配位。

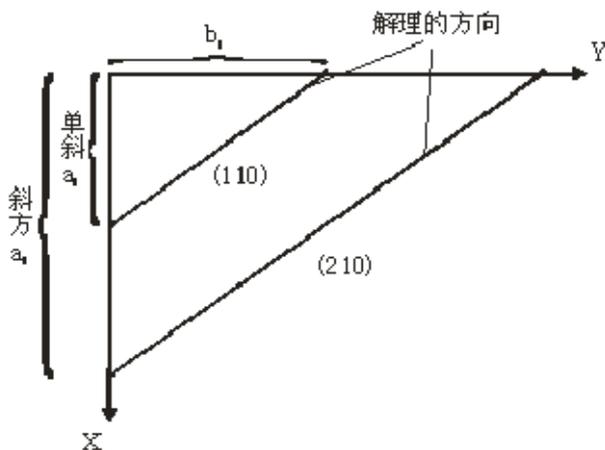
15.辉石族矿物中，各矿物的晶体结构型式是一样的，为什么不同矿物种还会出现不同的对称性、不同的空间群及不同的晶胞参数？

答：虽然辉石族矿物中，各矿物的晶体结构形式相同，但各个位置占据的阳离子的种类有所差异，离子半径也有所不同，从而导致了它们的对称性，空间群和晶胞参数上有所不同。如：斜方辉石的 M_2 位置为小半径的阳离

子占据，配位数为 6，其对称程度较高；而单斜辉石中 M_2 位置为大半径的阳离子 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 Li^+ 等占据，配位数变为 8，其对称程度较低。

16.斜方辉石与单斜辉石矿物的解理面符号不同，解理夹角是否一样？为什么？

答：斜方辉石的解理面符号为 $\{210\}$ ，单斜辉石的解理面符号为 $\{110\}$ 。但它们的夹角相同。这是因为两个辉石亚族的矿物的结构形式一样，产生解理的原因相同，因此产生的解理形态、夹角和等级均应相似。它们的解理面符号不同的原因是斜方辉石的 a_0 （1.822~1.824nm）刚好是单斜辉石 a_0 （0.970~0.982nm）的两倍，而 b_0 和 c_0 值均非常相似，从而导致解理符号分别为 $\{210\}$ 和 $\{110\}$ （见图示）。



17.辉石中规则的出溶片晶应属于什么类型的规则连生？

答：辉石晶体结构中，斜方辉石和单斜辉石之间的转变不易发生，但易产生出溶现象，形成斜方辉石主晶中单斜辉石出溶片晶，或单斜辉石主晶中斜方辉石出溶片晶。这种出溶片晶属于交生这一类型的规则连生。这是因为斜方辉石和单斜辉石属于不同种矿物，且出溶片晶常沿一定结晶学方向定向排列。

18.辉石族的单链结构型式在高压下会发生什么样的结构转变？结构转变前后最主要的区别是什么？

答：辉石结构型在高压条件下可发生一系列结构转变：

随着压力增加—————→

$\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ (斜顽辉石) \rightarrow Mg_2SiO_4 (尖晶石型) + SiO_2 (斯石英) \rightarrow 2MgSiO_3 (钛铁矿型) \rightarrow 2MgSiO_3 (钙钛矿型)

$\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ (斜铁辉石) \rightarrow Fe_2SiO_4 (尖晶石型) + SiO_2 (斯石英) \rightarrow FeO (方铁矿型) + 2SiO_2 (斯石英)

$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ (透辉石) \rightarrow CaSiO_3 (钙钛矿型) + MgSiO_3 (钙钛矿型) \rightarrow (Ca,Mg) SiO_3 (钙钛矿型) + 少量 MgSiO_3 (钙钛矿型)

由此可见，辉石的链状结构型在高压下可变为更紧密的、 O^{2-} 作最紧密堆积的结构型（如尖晶石型、斯石英型、钙钛矿型等）。

19.从硅灰石的成分特点分析，硅灰石的单链结构与辉石的单链结构为什么完全不同？

答：硅灰石晶体化学式为 $\text{Ca}_3[\text{Si}_3\text{O}_9]$ ，骨干外是半径较大的 Ca^{2+} ，特别是在 M_1 位置也是 Ca^{2+} ，为了与之相适应，硅氧骨干为：以三个四面体为重复单元（可视为一个孤立四面体和一个双四面体组成）；而辉石的晶体化学式为 $\text{XY}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ ，骨干外阳离子在 M_1 位置上为半径较小的 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} ，所以硅氧骨干为：以两个四面体为重复单元。由此可见，骨干外阳离子类型导致硅灰石的单链结构与辉石的单链结构完全不同。

20.对比辉石族结构与闪石族结构的异同。

答：辉石族结构中硅氧骨干为单链，阳离子充填 M_1 和 M_2 两种空隙；而角闪石族结构可视为两条辉石单链联结形成的双链结构，阳离子位置可以分为 M_1 、 M_2 、 M_3 、 M_4 （前三者可以类似于辉石结构中的 M_1 位置， M_4 可以类似于辉石结构中的 M_2 位置），并且还多了一个A类阳离子，A类阳离子位于惰性氧相对的双链之间，它主要用来平衡 Al^{3+} - Si^{4+} 所产出的剩余电荷，故它可为 Na^+ 、 K^+ 、 H_3O^+ 充填。

21.斜方角闪石与单斜角闪石的解理符号、解理夹角的区别是什么？为什么？

答：斜方角闪石解理符号为 $\{210\}$ ，解理夹角约为 125° ；而单斜角闪石解理符号为 $\{110\}$ ，解理夹角约为 124° 。解理符号不同，解理夹角基本相同。解理符号不同的原因是：是斜方角闪石的 a_0 （1.850~1.860nm）接近于单斜角闪石 a_0 （0.954~0.989nm）的两倍，而 b_0 和 c_0 值均非常相似，从而导致了它们的解理面符号分别为 $\{210\}$ 和 $\{110\}$ 。

22.为什么碱性角闪石石棉质量最好？

答：自然界质量好的石棉多为碱性角闪石石棉，尤其是高铁钠闪石石棉，Na含量最高。因为双链间以大半径、低电价的阳离子 Na^+ 、 K^+ 联结时，联系力弱，易于劈分，形成纤维长、劈分性好、质地柔软、抗拉强度大、耐碱、耐高温的高质量石棉。

23.层状结构硅酸盐中，TO、TOT 的含义是什么？其中 O 层还可分哪两种类型？

答：层状结构硅酸盐中 TO 和 TOT 代表其结构单元层的两种基本类型。其中 T 代表四面体片，即配位四面体构成的无限延伸的层，O 代表八面体片，即配位八面体构成的无限延伸的层。TO 代表结构中一层四面体层与一层八面体层构成的结构单元层，TOT 代表结构中两层四面体层与一层八面体层构成的结构单元层。

O 层根据其充填的阳离子类型的不同可以分为两种类型：如果充填的是二价阳离子，称为三八面体片，如果充填的是三价阳离子，称为二八面体片。

24.层间域是什么？层间域中的内容会影响矿物的哪些特性？

答：层间域是指层状硅酸盐结构中，结构单元层之间的区域。如果结构单元层内部电荷已达平衡，则层间域中无须其它阳离子存在；如果结构单元层内部电荷未达到平衡，则层间域中有一定量的阳离子（如 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 等），还可以吸附一定量的水分子或有机分子。层间域中有无离子，不同离子的存在或分子的吸附，将大大影响矿物的物理性质，例如：吸附性、离子交换性、弹性、挠性等。

25.层状结构的单元层都是六方对称的，为什么所形成的矿物形态常以假六方片状出现？

答：这是因为单元层与单元层堆垛形成晶体结构时，常要发生位移，形成单斜、三方等晶系堆成的多型结构，即对称型已经不是六方。但片状的形态总体上还是体现六方对称，因此称为假六方片状。

26.什么叫混层矿物？为什么层状结构易出现混层矿物？

答：混层矿物是指结构单元层相互连生、堆叠形成的矿物。只有规则混层矿物才可以作为另一种新矿物进行定名。产生混层矿物的原因在于层状硅酸盐矿物结构单元层底面的相似性，即它们的 T 层惰性氧一侧的结构非常

相似，所以尽管是不同的层状矿物，它们仍然能够以相似的底面连生在一起。

27.1M 白云母和 3T 白云母是什么关系？它们是否属同一矿物种？它们的晶格能(即晶体结构中化学键能)是否相近？为什么？

答：它们之间是互为多型变体的关系。它们属于同一矿物种。它们的晶格能相近。因为，各种多型变体间基本结构相同，只是在堆垛方式上有所区别。堆垛方式对晶格能的影响并不大，因此它们的晶格能相近。

28.高岭石主要有什么特性？这些特性的工业应用是什么？

答：高岭石的土状块体干燥时具吸水性，湿态具可塑性，但不膨胀。阳离子交换性能差。这些特点使它的工业用途广泛：陶瓷工业，主要利用它的可塑性、烧结性、耐高温性和颜色洁白易于作色等特性；另外，在电器、建材、日用品及橡胶、造纸业等工业也有广泛的应用。而且粒度越细，工业性能越好。

29.什么叫温石棉？其特性和工业应用主要是什么？

答：蛇纹石石棉称为温石棉。它的抗拉强度比角闪石石棉和许多有机纤维及无机纤维高，尤其在高温下，蛇纹石石棉仍能保持相当好的强度，是其突出优点。因而，蛇纹石石棉可以广泛地用于建筑、化工、医药、冶金等部门。

30.什么叫粘土矿物？有什么特性？

答：真正的粘土矿物是指粒度小于 2 μm 的层状硅酸盐矿物。由于它们颗粒细微、比表面积巨大和存在特征的结构层间域等，使之具有吸附性、膨胀性、可塑性和离子交换性等特殊性能。另外，结构越无序、缺陷越多、颗粒越细、其活性越好。

31.绿泥石结构中层间域里有什么？绿泥石的成因特点是什么？

答：绿泥石结构中层间域被带有正电荷的 $[\text{Mg}-\text{OH}_6]$ 八面体所充填。

绿泥石矿物分布很广，成因多样：常见于低级变质带中绿片岩相和低温热液蚀变的岩石中，在某些中高温变质和蚀变岩中也可出现。在火成岩中绿泥石常作为富铁镁矿物（角闪石、辉石、黑云母等）的次生矿物；在沉积岩和粘土中都含有一定的绿泥石。总之，绿泥石主要是蚀变、变质的产物。

32.白云母的特性及工业应用是什么？

答：白云母绝缘性极好，耐热性良好，化学性能稳定，有抗各种射线辐射的性能，并有良好的防水防潮性。因此，白云母主要用于电器工业、电子工业和航空航天等尖端科技领域。

33.具有 $[\text{SiO}_4]$ 四面体共角形成架状结构的矿物有哪些族？

答：具有 $[\text{SiO}_4]$ 四面体共角顶形成架状结构的矿物族有：氧化物大类中的石英族，含氧盐大类硅酸盐类中的长石族、白榴石族、霞石族和沸石族。

34.长石族矿物具相同的结构型式，但不同长石矿物种具不同的对称特点，影响长石结构对称性的两个主要因素是什么？

答：影响长石结构对称性的两个主要因素为：

1) 骨干外阳离子大小：阳离子越大，越能撑开整个架状结构，对称程度越高，如透长石为单斜对称；阳离子越小，越不能撑开整个架状结构，对称程度越低，如钠长石和钙长石为三斜对称。

2) 骨干内Si、Al有序、无序：指在 $[\text{TO}_4]$ 四面体中， Al^{3+} 替代 Si^{4+} 占位是有序还是无序，有序-无序程度直接影响着晶体的对称和轴长。

35.什么叫长石的有序度？什么叫长石的三斜度？

答：长石的有序度和三斜度均是描述长石结构中 $[\text{TO}_4]$ 四面体内 Al^{3+} 和 Si^{4+} 占位的有序-无序现象的参数。

长石有序度是指衡量长石有序程度的参数。用 δ 来表示：完全有序时， $\delta=1$ ；部分有序时， $\delta=0\sim 1$ ；完全无序时， $\delta=0$ 。

长石三斜度是指衡量长石晶体结构因有序化由单斜偏向三斜的程度，用 Δ 表示。完全有序时， $\Delta=0$ ；部分有序时， $1>\Delta\geq 0$ ；完全无序时， $\Delta=1$ 。

36.试述钾长石的有序化过程。钠长石、钙长石有序化与钾长石有序化有什么不同？

答：在钾长石 ($\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$) 的四元环内，只有一个四面体的Si被Al占据。假设四元环内的四个四面体位置分别为 $t_1(o)$ 、 $t_1(m)$ 、 $t_2(o)$ 、 $t_2(m)$ ，钾长石的有序化过程可以描述如下：

1) Al^{3+} 在所有的四面体位置上有同样的分布几率，用占位率表示为：

$$t_1(o) = t_1(m) = t_2(o) = t_2(m) = 25\%;$$

2) 当温度下降, 长石有序化时, Al^{3+} 逐渐由 t_2 向 t_1 转移, 这时 Al^{3+} 的占位率为:

$$t_1(o) = t_1(m) > t_2(o) = t_2(m)$$

直到

$$t_1(o) = t_1(m) = 50\%, t_2(o) = t_2(m) = 0$$

晶体仍为单斜对称;

3) 进一步有序化时, Al^{3+} 逐渐由 $t_1(o)$ 向 $t_1(m)$ 转移, 这时 Al^{3+} 的占位率为:

$$t_1(o) > t_1(m), t_2(o) = t_2(m) = 0$$

晶体变为三斜对称;

4) 在进一步有序化时, Al^{3+} 完全集中在 $t_1(o)$ 位, 其占位率为:

$$t_1(o) = 1, t_1(m) = t_2(o) = t_2(m) = 0$$

此时晶体处于完全有序状态, 对称为三斜。

而钠长石的有序化过程与透长石的有序化过程近似, 只是其有序化均是在三斜对称中进行。钙长石由于四面体中 Al^{3+} 和 Si^{4+} 的数量相同, 而架状结构遵循铝回避原则, 硅氧四面体与铝氧四面体只能相间排列, 因此钙长石只能保持完全有序状态, 晶体结构才能稳定。但如果有钠离子取代钙离子形成斜长石则会有无序结构产生, 而且规律比较复杂。

37. 长石的架状结构在高压下会转变成什么结构型?

答: 以钠长石的变化进行说明:

$Na[AlSi_3O_8]$ (钠长石, -1.65% 体积) $\rightarrow NaAl[Si_2O_6]$ (硬玉) + SiO_2 (石英)

(钠长石, -2.5% 体积) $\rightarrow NaAl[Si_2O_6]$ (硬玉) + SiO_2 (柯石英)

(钠长石, -8.1% 体积) $\rightarrow NaAl[Si_2O_6]$ (硬玉) + SiO_2 (斯石英)

(钠长石, -5.3% 体积) $\rightarrow Na[AlSi_3O_8]$ (锰钡矿型)

(钠长石, -8.6%体积) \rightarrow Na[AlSiO₄] (CaFe₂O₄型) + 2SiO₂ (斯石英)

在高压下, 结构向更紧密的方向变化, 可以变为硬玉型、锰钒矿型和CaFe₂O₄型。

38.如果某长石的晶体形态为沿 a 轴压扁的板状, 说明它可能是什么长石种矿物?

答: 这种矿物有可能是冰长石。因为冰长石形状特殊, {110}特别发育且沿 a 轴压扁状, 并且还发育{100}面, 这是长石中罕见的单形。

39.从透长石、正长石、微斜长石的双晶类型差异说明什么?

答: 透长石和正长石常见卡斯巴双晶, 微斜长石的双晶比较复杂, 除卡斯巴双晶外, 还可以具有钠长石律和肖钠长石律。说明矿物双晶律与其对称有重要的关系。透长石和正长石为单斜晶系对称, 比三斜晶系的微斜长石要高(即对称要素更多一些)。由于受“双晶面不会平行于单晶体中的对称面, 双晶轴不会平行于单晶体中的偶次轴。”这一规律的制约, 透长石和正长石的双晶律较少, 而微斜长石的双晶律较多。

另一方面, 从双晶出现概率来看, 透长石较少见双晶; 正长石稍常见双晶, 而且常见的是显微双晶; 微斜长石最常见双晶。这种现象说明从无序态(透长石)到有序态(微斜长石)双晶从少变多, 即双晶的形成与有序化过程有关。

40.聚片双晶与出溶片晶的区别是什么?

答: 最主要的区别在于: 聚片双晶的单晶体都是同种晶体, 因此它属于双晶类型的规则连生; 而出溶片晶与主晶不是同一种晶体, 因此它属于交生类型的规则连生。

41.试用旋转矩阵证明: 斜长石的卡-钠复合双晶中, 3种双晶律(卡斯巴双晶律、钠长石双晶律、卡-钠复合双晶律)的关系为: 任两种双晶律的复合操作必等于第三种双晶律的操作。

证明：

卡斯巴律双晶轴：
$$\begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

钠长石律双晶律轴：
$$\begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

卡-钠复合双晶律轴：
$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

这 3 种双晶律的任两种的复合必等于第三种，例如：

卡斯巴律 $\begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ ， 钠长石律 $\begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$ = 卡-钠复合律 $\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$

42. 具有卡-钠复合双晶律的双晶必定是复合双晶，对否？

答：这句话不对。对于钠长石-卡斯巴复合律，一般都是由卡斯巴律和钠长石律复合而成，很少单独出现，但在自然界中也偶见其单独形成简单双晶。

43. 文象结构属于什么类型的规则连生？

答：文象结构是由石英和微斜长石（或正长石）所组成的规则连生体，从断面上看它宛如古代的象形文字，故称为文象结构。它是由残余熔体中长石与石英同时结晶形成的。实际上就是长石和石英以相似的面网连生，形成的交生现象。

44. 沸石族的晶体结构特点是什么？由此导致它们有什么特性及工业应用？

答：沸石族的晶体结构可以描述为：硅氧四面体以共角顶的方式形成架状的硅氧骨架，而且骨架由各种各样的笼状单元以及连接笼的通道组成。笼和通道内可以存在大半径的阳离子和水分子。这些离子和水分子具有较强的可交换性。这些特点导致了沸石族矿物具有下面一些工业用途：

1) 离子交换材料：利用其阳离子可交换性。

- 2) 分子筛：利用失水沸石的大孔道，将半径差别较大的分子分开。
- 3) 催化工业：利用失水沸石与某些金属组成复合物，用于催化工业。

第二十二章 习题

1. 什么叫型变？型变与类质同像、同质多像的区别和联系是什么？从离子大小与配位数的关系解释碳酸盐系列矿物之间的型变现象。

答：型变是指在晶体化学式属同一类型的化合物中，化学成分有规律变化而引起的晶体结构形式的明显而有规律的变化现象。型变现象能够将类质同像和同质多像有机地联系起来，因为类质同像系列是成分变化而结构不变，当成分变化到极限时，就会引起结构的变化。在极限点处发生的结构变化就是同质多像。型变系列应包含了整个成分变化引起结构变化的过程。类质同像、同质多像和型变现象体现了事物由量变到质变的规律。

无水碳酸盐矿物中，二价阳离子的半径较小的有： Mg^{2+} 、 Co^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Fe^{2+} 和 Mn^{2+} ，分别形成方解石族的菱镁矿、菱钴矿、菱锌矿、菱铁矿和菱锰矿。它们都属于三方晶系。它们可以近似地看成一个类质同像系列。半径较大的 Sr^{2+} 、 Ba^{2+} 、 Pb^{2+} ，分别形成文石型结构的碳酸锶矿、碳酸钡矿、白铅矿。它们可以看成另一个类质同像系列。半径居中的 Ca^{2+} 与 $[CO_3]^{2-}$ ，则可形成三方晶系的方解石型结构，又可形成斜方晶系的文石型结构。 $Ca[CO_3]$ 刚好是一个同质多像，能将两个类质同像系列联系起来。这种由同质多像与其联系起来的类质同像现象就是型变，其体现了一个由量变到质变的过程。

2. 从方解石结构解释方解石 $\{10\bar{1}1\}$ 解理产生的原因及方解石具有很高双折率的原因。

答：方解石型结构可以视为NaCl型结构的衍生结构。即将NaCl结构中的 Na^+ 和 Cl^- 分别用 Ca^{2+} 和 $[CO_3]^{2-}$ 取代，并将 $[CO_3]^{2-}$ 平面三角形垂直于某三次轴成层排列，并将其立方晶胞沿三次轴方向压扁成钝角菱面体状，就变成了方解石型结构。由于NaCl结构中的 $\{100\}$ 方向为电性中和面，从而产生该方向的解理。与此相似，也就决定了方解石具有 $\{10\bar{1}1\}$ 解理。

由于在 $[CO_3]^{2-}$ 平面内的振动光的折射率远大于垂直此平面振动光的折射率，而方解石型结构中 $[CO_3]^{2-}$ 呈平行分布，所以这些碳酸盐矿物的光学异向性非常强，表现为高双折率。

3. 文石结构与方解石结构最主要的区别是什么？并从阳离子配位数解释为什么文石形成温度低压力高、而方解石形成温度高压力低。

答：与方解石晶体结构不同，在文石晶体结构中， Ca^{2+} 和 $[\text{CO}_3]^{2-}$ 按照六方最紧密堆积的规律重复排列，每个 Ca^{2+} 周围围绕着6个，但与其相接触的 O^{2-} 不是6个而是9个，即 Ca^{2+} 的配位数为9。而方解石结构中 Ca^{2+} 的配位数是6。一般情况下，同质多像转变过程中，温度增高、压力降低有助于变体向结构疏松、配位数降低转变。由于文石 Ca^{2+} 的配位数大于方解石 Ca^{2+} 的配位数，结构也更紧密一些。因此文石形成温度低压力高、而方解石形成温度高压力低。

4. 鉴定碳酸盐矿物最简易的方法是什么？并说明各矿物种的具体鉴别特点。

答：检验碳酸盐最简单的办法是碳酸盐的粉末与HCl发生化学反应起泡，释放出 CO_2 气体。它们具体的鉴定方法分别为：

方解石：晶形完好，有的具 $\{01\bar{1}2\}$ 聚片双晶， $\{10\bar{1}1\}$ 解理完全，硬度小，相对密度较小。加冷稀盐酸剧烈起泡。

菱镁矿-菱铁矿：与方解石相似，区别在于粉末加冷稀盐酸不起泡或作用极慢，加热盐酸剧烈起泡。

白云石：常呈马鞍状晶形。块体加冷稀HCl不起泡，加热则剧烈起泡；粉末加冷稀HCl缓慢冒泡，有滋滋声。

文石：加冷稀盐酸剧烈起泡。但其不具有菱面体解理，相对密度和硬度均大于方解石。

孔雀石：其特征的孔雀绿色和肾状、葡萄状外形及内部纤维状、同心层状是其鉴定特征。

蓝铜矿：特征的蓝色。与孔雀石共生。

5. 用测角法能否鉴定不同的碳酸盐矿物？

答：测角法能鉴定不同的碳酸盐，因为不同碳酸盐矿物的 $\{10\bar{1}1\}$ 的面角有 $1\sim 2^\circ$ 的差异，而且所有的碳酸盐都发育 $\{10\bar{1}1\}$ 解理，只要精确测量不同碳酸盐矿物的 $\{10\bar{1}1\}$ 解理面夹角，就可初步鉴定碳酸盐矿物。

6. 某矿物无色透明，硬度小于小刀，3组解理发育且解理之间有互相垂直的，该矿物可能是什么？

答：这种矿物在含氧盐中可能是硬石膏或重晶石，在卤化物中可能是石盐。

7. 孔雀石、蓝铜矿有何地质意义？

答：孔雀石和蓝铜矿是外生作用产物，主要产于含铜硫化物矿床的氧化带，为含 Cu 硫化物矿物氧化而成的次生矿物，与褐铁矿等共生。它们可以作为寻找原生含铜硫化物矿床的标志。

第二十三章 习题

1.在 NaCl 型结构中，如果阳离子半径变大，该结构会发生什么变化？如果阳离子变小，该结构又会发生什么变化？

答：在 NaCl 结构中，如果阳离子半径变大，其配位数也会相应地增加，由六次配位变成八次配位，变成 CsCl 的结构。如果阳离子半径变小，其配位数也会相应地减小，由六次配位变成四次配位，变成闪锌矿的结构。

2.萤石的成分比较纯净，但颜色多变，为什么？

答：萤石的呈色机理很复杂，主要为色心呈色，即放射性元素的辐射损伤造成晶格缺陷及 Na^+ 、 K^+ 替代 Ca^{2+} 引起 F^- 缺席而形成色心,加热可退色。因为不是成分呈色，所以尽管成分不变，颜色也多变。

3.试解释萤石、石盐的形态、物性与结构之间的关系。

答：萤石晶体结构可以看成 Ca^{2+} 作立方最紧密堆积， F^- 充填所有的四面体空隙。因此，萤石的外形常呈立方体 $\{100\}$ 和八面体 $\{111\}$ 。而其 $\{111\}$ 面网方向是相邻的同号离子层，导致其八面体完全解理。石盐的结构可以看成 Cl^- 作立方最紧密堆积， Na^+ 充填所有的八面体空隙。因此，石盐的外形常呈立方体 $\{100\}$ 。而其 $\{100\}$ 面网是面网密度最大的电性中和面，导致其立方体解理完全。

第二十四章习题

1.我国发现的第一个新矿物香花石的晶体形态十分复杂，发育的晶面近 100 个。请问在香花石晶体上，三角三八面体 $n\{211\}$ 与 $-n\{21\bar{1}\}$ ，四角三八面体 $r\{332\}$ 与 $-r\{33\bar{2}\}$ ，五角十二面体 $f'\{310\}$ 与 $'f\{130\}$ 各是什么关系？五角四面体 $s'\{321\}$ 与 $-s'\{32\bar{1}\}$ 、 $'s\{231\}$ 与 $-s'\{23\bar{1}\}$ 、 $s'\{321\}$ 与 $'s\{231\}$ 、 $-s'\{32\bar{1}\}$ 与 $-s'\{23\bar{1}\}$ 之间又是什么关系？

答：三角三八面体 $n\{211\}$ 与 $-n\{21\bar{1}\}$ 为正负形的关系；

四角三八面体 $r\{332\}$ 与 $-r\{33\bar{2}\}$ 为正负形的关系；
五角十二面体 $f'\{310\}$ 与 $'f\{130\}$ 为左右形的关系；
五角四面体 $s'\{321\}$ 与 $-s'\{32\bar{1}\}$ 为正负形关系；
 $'s\{231\}$ 与 $-s\{23\bar{1}\}$ 为正负形关系；
 $s'\{321\}$ 与 $'s\{231\}$ 为左右形关系；
 $-s'\{32\bar{1}\}$ 与 $-s\{23\bar{1}\}$ 为左右形关系。