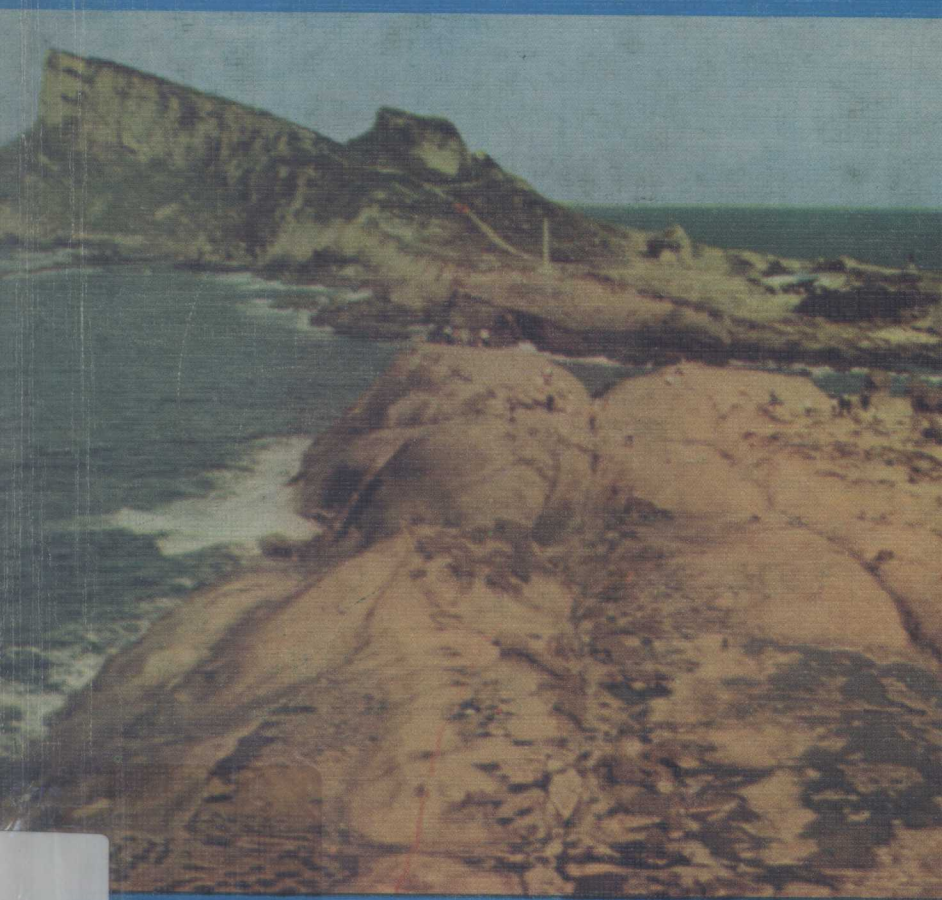


高級中學
地球科學
下冊



國立編譯館主編

高級中學 地球科學 (全二冊)

主編者	國立編譯館
編審者	高級中學地球科學教科用書編審委員會
主任委員	林朝榮
委員	丁有存 王執明 石再添 朱祖佑 李美枝 何春蓀 吳宗信 周昌藝 孟昭彝 張奕華 陳淑貞 陳培源 高景鑫 費海璣 劉鴻喜 譚立平

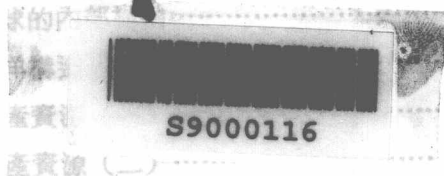
[illegible]

經銷者 臺灣書店
地址：臺北市忠孝東路一段一七二號
門市部地址：臺北市重慶南路一段十四號
電話：三一〇三七八

印刷者 內文：三文印刷廠
封面：

編輯要旨

- 一、本書依照教育部民國六十年二月修正公布之高級中學地球科學課程標準，並參考各國所編之地球科學教材編輯而成。全書分上、下兩冊，供高中第三學年兩學期教學之用。
- 二、下冊內容計包括固體地球的組成物質、地球的活動和構造及地球的演化三章，共二十一節。每節以一小時授課為原則，但教師亦可斟酌教材的繁簡，做適當之調配。
- 三、每節又分數段，每段均附以標題，俾便喚起學生注意，並附圖表、畫片，以利教學。
- 四、本書所取教材與統計數字，均以最新資料為準。度、量、衡的單位，則採用萬國標準制。
- 五、本書所用名詞，均以國立編譯館編印的外國地名譯名、地球科學名詞、氣象學名詞、地質學名詞及天文學名詞為依據。
- 六、在各節之末均附有作業，除供學生複習外，並啟發其進一步之思考，但教師可斟酌情形，予以增減。
- 七、本書如有未盡妥善之處，希望各校教師隨時提供意見，以作修訂時之參考。



高中地球科學

目 次

第五章 固體地球的組成物質

第一節	礦物.....	1
第二節	礦物的化學及物理性質.....	7
第三節	造岩礦物.....	14
第四節	火成岩.....	21
第五節	沈積岩.....	26
第六節	變質岩.....	32
第七節	土壤.....	38

第六章 地球的活動和構造

第一節	地殼變動.....	43
第二節	山脈的形成.....	50
第三節	火山活動.....	57
第四節	地震.....	61
第五節	地球的內部構造.....	69
第六節	海洋構造.....	77
第七節	礦產資源 (一)	83
第八節	礦產資源 (二)	88

第七章 地球的演化

第一節	地球和生命的起源·····	95
第二節	地質時間的測定與地質時代的畫分·····	104
第三節	隱生元·····	112
第四節	古生代·····	120
第五節	中生代·····	130
第六節	新生代·····	136

第五章 固體地球的組成物質

根據物質的基本三態：固體、液體及氣體，我們可以將地球物質區分為：固體地球、水與大氣；又稱為岩石圈、水圈及氣圈。水與大氣已於上冊中討論，本冊將以固體地球為討論對象。

第一節 礦 物

組成固體地球的物質為岩石，而岩石主要是由礦物所組成的。即使如隕石、月球岩石等地球以外的物質，也無一不是由礦物所組成的。所以，我們要認識固體地球物質，乃至宇宙固態物質，首先應認識礦物。

一、礦物的定義 在礦物學上，礦物的一般定義是：礦物是天然產出的均質固體，經由無機作用生成，具有一定範圍的化學成分，其組成原子必具有一定形式的規則排列。

為增加了解，我們對礦物的定義再逐點討論。

礦物是天然產的 (naturally occurring)，如在實驗室內將氯化鈉溶液蒸發，製造出來的氯化鈉結晶，雖然常與天然產之岩鹽不可區分，但不算是礦物。人造寶石雖也質純、色美而無瑕疵，但也不能稱之為礦物。

礦物為均質固態 (homogeneous solid)，意指礦物僅具有單一固態相，所以液態及氣態的物質都不算是礦物。因之，天然的冰是礦物，而水不是礦物。天然液態的汞是一個例外，有些礦物學家將其歸為礦物。

礦物是由無機作用生成的 (inorganically formed)，這是礦物與動、植物分別的地方。例如貝類的殼，雖然也是由碳酸鈣組成，而且和霏石在物理及化學性質上相同，嚴格的說不算礦物。煤係古代植物埋藏地下後轉化而成，嚴格的說亦不屬礦物，因為它是有機的，且非均質的。但煤層與其他岩層同樣構成地殼的一部分，所以是為一種岩石。

礦物具有一定範圍的化學成分 (definite chemical composition)。礦物是單一元素或一種化合物，可以用化學式表示之。礦物的化學成分雖會有微量的變化，但僅限於一定範圍之內。

礦物必具有規則的原子排列 (ordered atomic arrangement)；也就是說礦物具有結晶質 (crystalline) 的特性。非結晶質 (amorphous) 的物質如火山玻璃、琥珀等都不屬於礦物。在適當條件下，礦物因內部原子規則的排列而表現於具有平滑的晶面與一定的結晶外形。

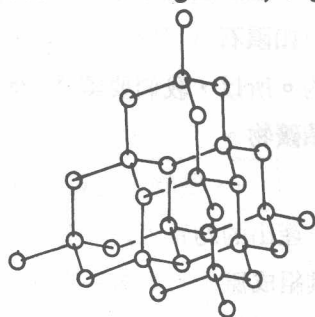
二、礦物的結晶構造

礦物中

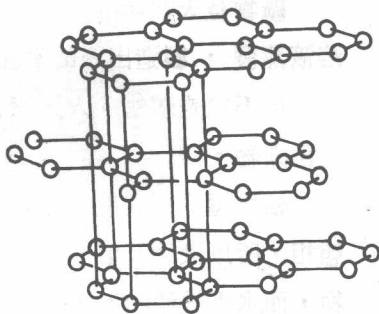
原子或元素的有規則排列方式，叫做結晶構造。我們可以利用一種礦物特有的結晶構造將其與其他礦物區別。甚至同一元素也可能具有二種以上的結晶構造，如碳有金剛石及石墨兩種不同的結晶構造 (圖 5-1)。

1. 晶胞 (unit cell)

構成一個晶體的最小幾何單位，叫做晶胞。晶胞本身並不是一個實質



A. 金剛石



B. 石 墨

圖 5-1 金剛石及石墨的結晶構造

的物體，而僅是一種假想的幾何形體，用以表明構成晶體的原子基本排列方式和相對位置。

晶胞的形狀必須符合晶體的對稱。晶胞的三個稜的方向稱為**晶軸**，以 a, b, c 表示；三晶軸的單位長以 a_0, b_0, c_0 表示；軸間角以 α, β, γ 表示。 $a_0, b_0, c_0, \alpha, \beta, \gamma$ 稱之為**晶胞常數** (unit cell dimensions) (圖 5-2)。若 $a_0 = b_0$ 或 $a_0 = b_0 = c_0$ 時，可簡化晶胞常數，僅以 a_0 表示之 (表 5-1)。

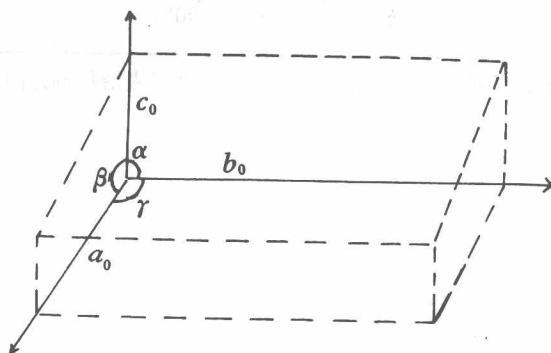


圖 5-2 晶胞常數

晶胞延著軸的方向在空間連續的排列，造成一個晶體，就像磚塊連續的排列造成堵牆一樣。

2. 晶系 (crystal system)

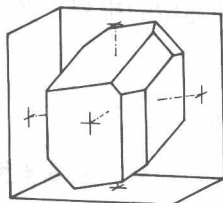
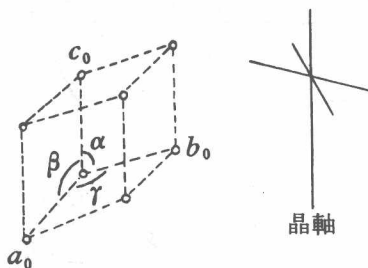
晶軸在空間相交的方式，一共有六種基本型式，稱為六大晶系，也代表了六組自然的座標系 (表 5-1 與 圖 5-3)。

表 5-1 六 大 晶 系

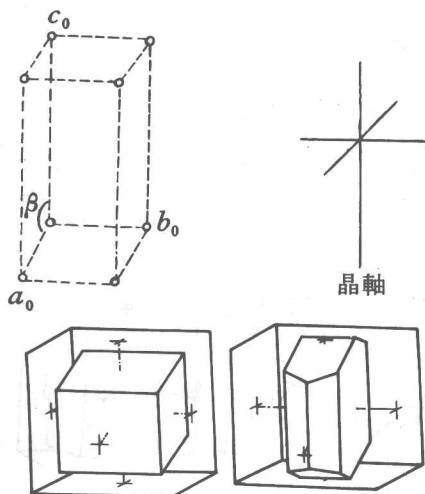
晶 系	晶 軸	軸 間 角	晶 胞 常 數
三斜 (triclinic)	$a_0 \neq b_0 \neq c_0$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma$	$a_0, b_0, c_0, \alpha, \beta, \gamma$
單斜 (monoclinic)	$a_0 \neq b_0 \neq c_0$	$\alpha = \gamma = 90^\circ \quad \beta \neq 90^\circ$	a_0, b_0, c_0, β
斜方 (orthorhombic)	$a_0 \neq b_0 \neq c_0$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	a_0, b_0, c_0
正方 (tetragonal)	$a_0 = b_0 \neq c_0$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	a_0, c_0
六方 (hexagonal)	$a_0 = b_0 \neq c_0$	$\alpha = \beta = 90^\circ \quad \gamma = 120^\circ$	a_0, c_0, γ
等軸 (cubic)	$a_0 = b_0 = c_0$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	a_0

注：表中晶軸之等號“=”除指軸長相等外，並代表沿晶軸方向之對稱條件相同。

1. 三斜

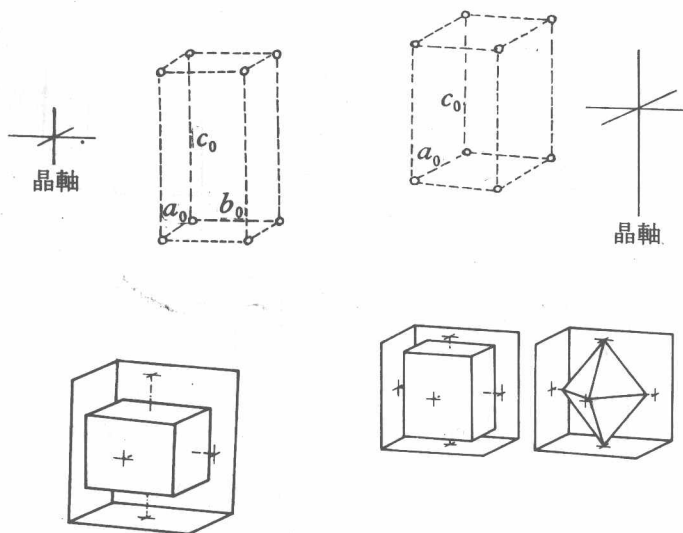


2. 單斜

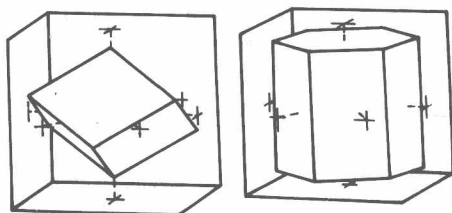
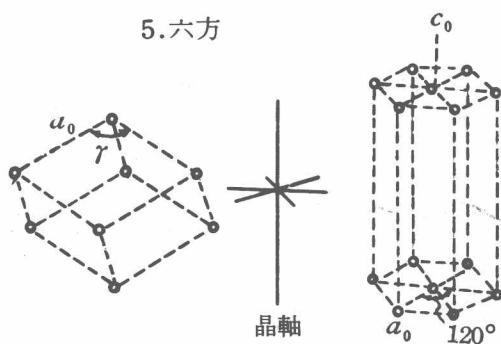


4. 正方

3. 斜方



5. 六方



6. 等軸

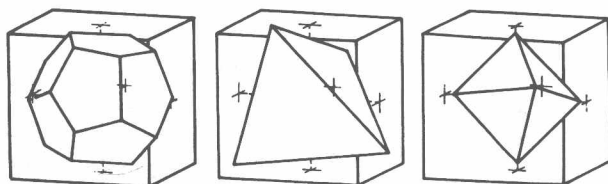


圖 5-3 晶軸的六種基本型式

1. 三斜晶系
2. 單斜晶系
3. 斜方晶系
4. 正方晶系
5. 六方晶系
6. 等軸晶系

三、礦物的生成

礦物的生成可分為岩漿晶出作用、變質作用及沈積作用等三類。

融熔的岩漿開始冷卻時，熔點高的氧化物及矽酸鹽類礦物最先晶出，例如磁鐵礦、橄欖石、含鈣高的斜長石等。溫度稍低，則輝石、角閃石，以及含鈉較高的斜長石繼之晶出；最後結晶的礦物為鉀長石及石英。當主要矽酸鹽類礦物晶出後，殘餘岩漿中氣體含量相對的增加，晶出的礦物有硼、氟、硫等之化合物。當溫度繼續下降，殘餘岩漿成為熱液，以水氣為主，如錫、鎢等金屬礦物多於此一時期生成。

一般礦物多具有一定的穩定範圍，於造山運動或岩漿侵入時，礦物因所處環境的溫度及壓力變化，而受到破壞，重新組織而生成新的礦物，這就是變質礦物。如石榴子石、紅柱石及矽線石等，均為常見的變質礦物。

由地表附近的水溶液中，當某些離子濃度達到過飽和時，經化學沈澱作用而晶出的礦物屬沈積作用生成的。重要的有碳酸鹽類、硫酸鹽類及鹵化物，例如方解石、岩鹽及石膏等。

【作業】

1. 試述礦物的定義。
2. 何謂晶胞？
3. 列出六大晶系中晶軸及軸間角的情形。

第二節 礦物的化學及物理性質

一、礦物的化學性質

1. 化學分類

礦物種類繁多，經國際礦物學會公布的二千多種礦物，依其化學成分的異同，其中絕大多數可歸屬於十類不同的化合物中，如表 5-2 所示。其中以矽酸鹽類礦物，種類最多，在地殼中佔量亦最大，可超

過地殼物質總體積之96%成分及結晶構造也最複雜。

表 5-2 礦物的化學分類

類別	化 合 物	礦 物 實 例	化 學 成 分
1	元 素	自然金 (gold)	Au
2	硫 化 物	黃鐵礦 (pyrite)	FeS_2
3	鹵 化 物	岩 鹽 (halite)	NaCl
4	氧 化 物	磁鐵礦 (magnetite)	Fe_3O_4
5	硝 酸 鹽	硝 石 (niter)	KNO_3
6	碳 酸 鹽	白雲石 (dolomite)	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
7	硼 酸 鹽	硼 砂 (borax)	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
8	硫 酸 鹽	石 膏 (gypsum)	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
9	磷 酸 鹽	磷灰石 (apatite)	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$
10	矽 酸 鹽	正長石 (orthoclase)	KAlSi_3O_8

礦物的成分可用化學式表示之，例如方解石為 CaCO_3 。但方解石通常不是純粹的 CaCO_3 ，其中鈣離子常有少部分被鎂、錳或鐵所取代。當取代的量超過某一定程度時，就變成另一種礦物。例如在 CaCO_3 中，Ca 被 Mg 所取代達到二者接近相等的份量時，則變成爲白雲石，其化學式以 $(\text{Ca}, \text{Mg})\text{CO}_3$ 或 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 表示之。

2. 同質異形 (polymorphism)

同質異形，又稱同質異相，是指化學成分相同而結晶構造不同的礦物具有不同的物理性質。主要控制因素是礦物生成時之物理化學條件，例如溫度、壓力、化學成分等。換句話說，在不同的物理化學條件下，相同化學成分之物質可以晶出不同結晶構造的晶體。

如上述的方解石成分爲 CaCO_3 ，但具有碳酸鈣成分的礦物，卻不一定是方解石，因爲霏石的成分也是 CaCO_3 ，二者成分相同，卻有不同的結晶構造；方解石爲六方晶系，而霏石爲斜方晶系。再舉一個熟悉的例子，碳 (C) 在自然界可以形成兩種不同的礦物。石墨

(graphite)，色黑質軟，成層狀構造，屬六方晶系；金剛石(diamond)無色透明，是已知最堅硬的物質，常呈正八面體，屬等軸晶系。因此，礦物不能僅以化學式的化合物名稱代替，而需另加命名，如方解石、霏石、石墨、金剛石即為礦物名稱。

3. 類質同形 (isomorphism)

類質同形，又稱異質同相，是指化學性質類似的化合物或元素具有相同的結晶構造，彼此間有成分遞變的現象。二種或二種以上的成分構成一連續成分變化，且為同一結晶相，稱之為混合晶 (mixed crystal) 或稱為固溶體 (solid solution)，如二種互溶的液體，可以任何比例互溶一樣。例如在斜長石系 (plagioclase) 中，以鈉長石 ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) 及鈣長石 ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) 為端成分 (end member)，二者相互增減，以任意比例晶出不同成分的斜長石。又如橄欖石 (olivine) 的二個端成分為 Mg_2SiO_4 及 Fe_2SiO_4 ，二者相互以任意比例存在。在自然界中類質同形現象遠比同質異形現象為普遍。

二、礦物的物理性質 礦物的主要物理性質如下：

1. 晶形 (crystal form)

每一個晶體外觀都是由四個以上的平面——晶面 (crystal face)——所圍成的幾何形體。這些晶面可歸屬於一種或數種不同的晶形，而晶形是一組有相關位置的同式晶面。晶形是決定於內部原子有規則的排列。

2. 硬度 (hardness)

硬度也是由原子構造所決定的一種物理性質。原子間結合力越強，所顯示的硬度越大。一般以相對硬度來形容它。兩塊礦物互相摩擦，受損的一塊硬度較低。依據礦物受損的難易，莫氏 (Mohs) 定出一套硬度標準，共分十級，叫做莫氏硬度 (表 5-3)。

表 5-3 礦物的莫氏硬度

等 級	礦 物	化 學 成 分
1	滑 石 (talc)	$\text{Mg}_3(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2$
2	石 膏 (gypsum)	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
3	方解石 (calcite)	CaCO_3
4	螢 石 (fluorite)	CaF_2
5	磷灰石 (apatite)	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$
6	正長石 (orthoclase)	KAlSi_3O_8
7	石 英 (quartz)	SiO_2
8	黃 玉 (topaz)	$\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{OH}, \text{F})_2$
9	剛 玉 (corundum)	Al_2O_3
10	金剛石 (diamond)	C

3. 比重 (specific gravity)

單位體積的礦物具有一定的重量，一般以礦物與它同體積水的重量比來表示比重。含有重原子或是原子排列緊密的礦物，通常比重較大。

造岩礦物的比重約為 2.7，金屬礦物的比重約為 5，金的比重在 15.5 至 19.3 之間（純金為 19.33）。

4. 解理與斷口 (cleavage and fracture)

晶體受到的應力超過其強度 (strength) 就要斷裂。斷裂的方向如受結晶構造的控制，常循一定的方向，裂開成平面，稱為解理；如無一定的方向，則稱斷口。

解理的面常與礦物晶面相平行，因為順沿這個方向各原子間的結合力較弱。如白雲母 (muscovite) 易沿底面 (basal plane) 剖開成為薄片狀。我們常用優 (perfect)、良 (good)、可 (fair)、劣 (poor) 等來形容解理發達的程度。

礦物的斷口常具有一定的外觀，有些平坦，有些參差不齊，有些

呈貝殼狀。

5. 顏色 (color)

同一礦物常具有不同的顏色，含鐵的礦物顏色較深，含鋁高的礦物顏色較淺，但有些礦物具有顯著特有的顏色，極易識別，如朱紅色的辰砂 (cinnabar, HgS)，深綠色的孔雀石 (malachite, $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$)。

6. 光澤 (luster)

光澤是與折射及反射有關的光學性質。依折射率的由高至低，可分為金屬光澤、半金屬光澤、金剛光澤與玻璃光澤。依反射面的不同性質，有絹絲光澤、珍珠光澤、油脂光澤等。

7. 條痕 (streak)

條痕就是礦物粉末的顏色。如將礦物在一個較硬的物體（例如瓷板）上擦畫，就可以留下一條粉痕，所以稱為條痕。條痕可能與礦物的顏色不同。礦物的顏色變化可能很大，但條痕色常不變。赤鐵礦的顏色有紅褐色至黑色，但條痕都呈磚紅色。黃鐵礦的顏色是黃色，而條痕是黑色。

8. 其他物理性質

礦物常具有其他物理特性，通常可用以鑑定礦物，例如磁性、導電性、螢光性、韌性及特殊的光學性質。

三、礦物的鑑定

精確的礦物鑑定常需借重儀器，例如使用偏光顯微鏡，觀測其光學性質；使用 X 射線繞射設備，鑑定其結晶型式；利用電子顯微鏡，觀察礦物微粒的型態等等。但是一些常見的礦物可以依其顯著的化學及物理特性做正確的鑑定，如硬度、解理、條痕、顏色、磁性、臭味與鹽酸的反應等。雖然有多種礦物可能具有同一項性質，但多項性質的組合常可正確的鑑別礦物。例如常見的無色透明礦物有很多種，但硬度為 7，沒有解理，呈貝狀斷口，與鹽酸不

表 5-4 常見重要礦物性質表

名稱	成分	晶系	晶體或合體之形狀	顏色	條痕	硬度	解理	斷口	比重	產地	其他特徵
石英	SiO_2	六方	六面角柱狀或粒塊狀	白或無色	白	7	無	貝狀	2.65~2.66	為酸性火成岩及變質岩中之主要成分。	柱面上常有條紋
正長石	KAlSi_3O_8	單斜	板粒狀	肉紅	白	6 6.5	良	參差	2.44~2.62	主產於酸性火成岩中及片麻岩中。	解理面正交
斜長石	$(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Al}, \text{Si})\text{AlSi}_2\text{O}_8$	三斜	柱粒狀	灰	白	6	良	參差	2.62~2.76	主產於中性及基性火成岩中，變質岩亦有之。	解理面近乎正交
霞石	$(\text{Na}, \text{K})\text{AlSiO}_4$	六方	粒狀	白帶灰	白	5.5 6	可	貝狀	2.55~2.65	主產於鹼性及基性火成岩中。	
白雲母	$\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	單斜	鱗片狀	薄片無色	白	2 2.5	優	—	2.76~3.1	多見於花崗岩、片麻岩、雲母片岩中，亦見於沈積岩中。	淺色
黑雲母	$\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	單斜	鱗片狀	黑至綠	白帶綠	2.5 3	優	—	2.8~3.2	為酸性火成岩之主要成分，片麻岩及片岩中有之，沈積岩亦有之。	深色
角閃石	$\text{NaCa}_2(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_5(\text{Al}, \text{Si})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	單斜	長柱狀	淺黑至深綠	白	5 6	良	參差	2.9~3.3	產於火成岩中，尤以閃長岩中為最重要，片岩及接觸岩中亦有之。	長柱狀
輝石	$(\text{Na}, \text{Ca})(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})(\text{Al}, \text{Si})_2\text{O}_6$	單斜	短柱狀	黑	白帶綠	5 6	良	參差	3.2~3.4	中性至基性火成岩中最普遍。	短柱狀
石榴子石	$\text{R}_3^{2+}\text{R}_2^{3+}(\text{SiO}_4)_3(\text{Fe}^{2+}, \text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe}^{3+}, \text{Mn}, \text{R}^{3+}:\text{Al}, \text{Fe}^{3+}, \text{Cr}^{3+})$	等軸	十二面晶體及粒狀緻密	紅褐黑等	白	6.5 7.5	參劣	參差	3.4~4.3	產於片岩、片麻岩與接觸石灰岩等變質岩中，亦為花崗岩之副成分及砂礫中之重礦物。	