

工 程 地 質 學

孫 瑜 著

商 務 印 書 館 印 行



工 程 地 質 學

孫 鼎 著

商 務 印 書 館 印 行

編輯大意

(1) 本書編輯之初，乃著者用作教授學生之課本。歷用數班，收效頗良。竊以我國近數年來，建設事業，突飛猛進，尤以各種工程方面，大有急起直追之概，惟工程人員，對於地質知識常漠不注意，即欲參考，亦無適當之書籍，事倍功半，仍所難免，著者為應時事之要求，不揣譾陋，將本書舊稿，刪削煩瑣，稍加訂正，貢諸國人，惟疏忽之處尚多，敬希海內專家，予以教正。

(2) 編書取材，最貴新穎精確，著者所參考書籍，均係精貴作品，不敢濫用陳舊，以錮人耳目。

(3) 本書各項例證，除不得已應用世界各地顯著之材料外，一律以本國材料為主，使讀者因事見理，印象益深。

(4) 本書一切名詞，礦物方面乃採用教育部頒布之礦物學名詞，岩石及地質方面則參照董常編著之地質名詞摘要，至無可考查者，則由著者謄以適當名稱，惟是否有當，願與海內名家熟加商榷焉。

(5) 本書有關於我國材料，盡量搜集，如石料，粘土，煤，石油及重要金屬礦產之分佈，儲量及產額等皆詳為列入，以便參考。

(6) 本書除作大學教材及參考書外，而一般執工程事業者，亦宜手執一編，以為其執業之助。

孫 鼎寫於中大 二十九年六月

重要參考書：

竺可楨編：地學通論。

謝家榮編：地質學。

經濟部地質調查所出版：專報及彙報。

Ries and Watson: Engineering Geology.

Fox: Civil Engineering Geology.

Pirsson and Schuchert: Textbook of Geology.

Chamberlin and Salisbury: A College Textbook of Geology.

Eckel: Building Stone and Clays.

Grout: Petrology and Petrography.

Pirsson: Rocks and Rock Minerals.

Kraus and Hunt: Mineralogy.

Nervin: Structural Geology.

Lindgren: Mineral Deposits.

Leith: Field Geology.

目次

第一章 緒論	1
(一) 定義及分門	1
(二) 太陽系之組織	1
(三) 地球之生成	2
(四) 地球之形狀大小及比重	2
(五) 地球之內熱與堅度	3
(六) 地球之組織	3
第二章 地殼之成分——造岩礦物	5
(一) 地殼之化學成分	5
(二) 礦物之定義	5
(三) 礦物生成之狀態	5
(四) 晶體之定義	6
(五) 結晶軸	6
(六) 結晶系	7
(七) 雙晶	7
(八) 物理性質	8
(九) 造岩礦物之種類	11
第三章 地殼之成分——岩石	34
第一節 緒言	34
第二節 火成岩之普通性質	35
第三節 火成岩各論	46
第四節 水成岩之普通性質	56
第五節 水成岩各論	60
第六節 變質岩之普通性質	70
第七節 變質岩各論	75

第四章 構造地質	83
(一) 走向斜向及傾角	83
(二) 露頭	83
(三) 褶綫	84
(四) 節理	92
(五) 斷層	94
(六) 由侵蝕而成之構造	101
(七) 結核	103
〔附〕地形，地質及剖面圖	104
第五章 岩石之風化及土壤之生成	110
(一) 緒言	110
(二) 風化之意義	110
(三) 風化之機械作用	110
(四) 風化之化學作用	112
(五) 風化之速度	114
(六) 風化之結果	115
(七) 風化作用與地形之關係	116
(八) 幾種建築石料風化之情形	118
第六章 地面水(河流)	121
(一) 河流	121
(二) 河流之作用	122
(三) 河流與地盤昇降之關係	132
(四) 築壩及蓄水工程	134
第七章 潛水	136
(一) 岩石之罅隙	136
(二) 潛水面	137
(三) 潛水之流動	137

(四)潛水之利用	137
(五)潛水之地質作用	142
第八章 山崩及其影響	144
(一)定義	144
(二)山崩之分類	144
(三)工程上之要點	146
第九章 海洋及其作用	150
(一)海洋之侵蝕作用	150
(二)海洋之建設作用	155
(三)島嶼	158
第十章 湖：其成因作用及與工程之關係	159
(一)湖之種類	159
(二)湖之成因	159
(三)湖水波浪及流	161
(四)湖之消滅	164
第十一章 冰川沉積：其成因，結構，及經濟價值	166
(一)冰川之成因及其形狀	166
(二)冰川之侵蝕作用	168
(三)冰川之沉積作用	169
(四)冰川與工程上之關係	171
第十二章 建築石料	174
(一)建築石料之性質	174
(二)建築石料之耐久性	175
(三)有害礦物	176
(四)物理性質	178
(五)火成岩	186

(六) 砂岩及石英岩	189
(七) 石灰岩	191
(八) 大理岩	194
(九) 板岩	195
第十三章 石灰，水泥及石膏	199
(一) 石灰岩之成分	199
(二) 燃燒之變化	200
(三) 石灰	200
(四) 水硬之水泥	201
(五) 膠結指數	206
(六) 原料之分佈及水泥之產額	206
(七) 石膏	208
第十四章 粘土及粘土產品	211
(一) 粘土之物理性質	211
(二) 粘土之化學性質	213
(三) 粘土之產生	214
(四) 粘土之種類	215
(五) 粘土之工程上用途	215
(六) 我國粘土之分佈	218
第十五章 煤	220
(一) 煤之種類	220
(二) 煤之成分	222
(三) 煤層之構造	224
(四) 煤之分類	226
(五) 煤之成因	228
(六) 煤之應用	229
(七) 我國煤產概述	231
第十六章 石油	237

(一)緒言	237
(二)石油之化學成分	237
(三)石油之物理性質	238
(四)石油之成因	239
(五)石油變化之程序	241
(六)油田之構造	242
(七)我國石油概述	244
第十七章 路基及築路材料	248
(一)路基	248
(二)築路材料	249
第十八章 礦床	254
(一)緒論	254
(二)礦床之生成及其本源	256
(三)礦床之形狀及構造	259
(四)原生及次生礦石	261
(五)礦床之富礦體	264
(六)我國重要礦產之分佈儲量及產量	265
第十九章 地史概述	276
西文索引	

工程地質學

第一章 緒論

(一)定義及分門——地質學 Geology 係一希臘字，“Geo”是地的意思，“logy”是科學的意思，所以地質學者，乃研究地的科學。關於地質學，可以分爲若干專門研究：如研究地球生成及其生命之演進，名曰地史學(Historical Geology)；研究地殼之構造，名曰構造地質學 (Structural Geology)；研究地球表面之變遷，名曰地文地質學 (Physiographic Geology)；研究組成地殼之岩石，名曰岩石學 (Petrology)；研究組成岩石之礦物，名曰礦物學(Mineralogy)；研究地殼的寶藏，而可獲得經濟價值者，名曰礦床學 (Ore Deposits or Economic Geology)；研究與工程有關之地質，名曰工程地質學；更有所謂農用地質，商業及軍事地質學等等。

(二)太陽系之組織——吾人所居之地球爲太陽系九大行星之一。恰如其他行星，循着橢圓形軌道由西向東。且同在一平面上，以太陽爲中心，環繞而行，成一系統，稱爲太陽系。太陽爲各行星之中心，行星本身不能發光，光線皆自太陽反射而來者。太陽體積甚大，約當地球 1,300,000 倍，質量約當地球 324,430 倍，而 700 倍於所有各行星質量之總和。從地球至太陽之距離約 20,000,000 海里。太陽因現今仍爲氣體，溫度極高，表面尙達 7,000° 左右。然密度甚小，只等於地球四分之一。

行星亦稱遊星，約分爲下列三種：

(1)內行星——密度頗大，形狀微扁平，如水星，金星，地球及火星等。

(2)小行星(Asteroids)——在火星與木星之間有小行星一千餘，體積皆甚小，最大者直徑達 780 公里(約當地球十六分之一)，最小者不過十餘公里耳。距日之遠近，各不相同，因質量甚小，易受外界之引力影響，故

軌道極不規則。

(3) 外行星——體積大，密度小，形狀甚扁平，如木星，土星，天王星，海王星及冥王星（1930年發現）等。

(三) 地球之生成——太陽系及地球之生成，計有二說，茲分述之：

1. 環形星雲說——此說創自康德(Kant)及拉普拉斯(Laplace)二氏，謂太陽最初為一大星雲旋轉於空中。溫度甚高，體積龐大，迨後熱量漸散，體積縮小，自轉速率增大，近赤道部速率大，離心力亦大，於是膨脹。結果成一環形之輪，圍於太陽之外，此輪不耐高速，質量分布不均，溫度繼續下降，於是斷裂，凝結成球，依慣性作用，此球仍依輪之位置，環繞而行，遂成為行星，行星自轉不息，其上物質亦尚未凝固，赤道部分拋出物體成為環形，一旦環斷，成為衛星，今日所見土星外之環形，即其證也。

2. 螺形星雲說——此說創自張柏倫(Chamberlin)及摩爾登(Moulton)二氏，謂太陽系初為螺形星雲，射出之腕部係稀薄之氣體。在空中運行與他恆星接近時，因互相吸引，太陽近恆星一方面與其反面吸力過大，遂至爆發，爆發之氣體聚結而成為行星，太陽系中之行星均由於大爆發而成，小行星及衛星則由於小爆發而成。

(四) 地球之形狀大小及比重——地為球形之說，首創者為希臘大哲學家亞里斯多德(Aristotle)，繼之者為托略密(Ptolomy)。1492年哥倫布(Columbus)橫渡大西洋，發現西印度羣島，1522年麥哲倫(Magellan)渡南大西洋繞南美洲南端，經南太平洋，發現菲律賓羣島，其後牛頓(Newton)復以力學原理，證明地球確係橢圓體。於是地球為球形，乃為舉世所公認。

地球形狀，為一橢圓體，極似橙子形，南北兩端稍扁，是為南北極，東西延長，是為赤道，南北極之距離較赤道約短43公里，按物理學定理，若一流體在空間中旋繞。則由圓體而變為橙子形，地球之形狀，亦遵是理。

地球表面凝為固體後，成為地殼，就比重言之，地面岩石之比重，平均為2.8，而全球平均比重為5.5，則內部物質之比重當在7以上，其必為重金屬物質無疑也。據地震專家Wiechert氏之研究，按地震前進波動之所示，地殼係由比重較輕的岩石構成(2.7—3.4)。厚約1200 km.，其下為岩漿帶，內心密度增大(4—9.1)，且有體質較堅之核。Suess並將地球分為三層：(1) Sial (=Si+Al)，(2) Sima (=Si+Mg)，及(3) Nif。

(=Ni+Fe)。^{*}

(五)地球之內熱與堅度——根據開礦鑿井之經驗，皆謂入地愈深，則溫度亦愈高。平均每三十三公尺，即增高攝氏一度，依此推算，則地面下三十三公里深處，溫度即達1,000度，二百公里深處，溫度即達6,000度，在此高溫度下，無論何種物質未有不熔融者，關於地球內部之情形，其推測有下列四說：

1. 氣體說——瑞典阿拉尼厄斯(Arhenius)謂地下三百公里深處，一切物質均達臨界溫度，故地心當為氣體。氣體在高壓高溫之下，其伸縮性質，與固體無大區別，故地球之堅度，與鋼相等。

2. 中間液體說——此說謂地球表面凝為固體，中心部分因受強大壓力，亦係固體，惟近地面處壓力較小，故有一部分成為液體，其堅度必不甚大。

3. 固體說——英國利爾(Lyell)謂地下雖係高溫，因壓力強大，物質成為固體，不致液化。火山噴出熔岩，乃因地殼破裂，壓力驟減之故。喬治達爾文(George Darwin)氏復據日月吸力與發生潮汐之關係，推定地球內部必為凝固之物體，其堅度與鋼相若，否則地球必因被吸引而致破壞。

4. 液體說——謂地球內部溫度極高，一切物質皆溶為液體，火山噴出之熔岩，即其明證。

(六)地球之組織——地球之組織，可分為三大界，即氣界水界與陸界是也。茲分述如下：

1. 氣界(Atmosphere)——研究氣界者屬於氣象學，然因為地球之一部，且其勢力所及，影響於水陸兩界甚大，故首論之，大氣係混合體，所含成分，近地面者，以氮為最多，氧次之，餘皆極少，觀下表即可知之。

氣體	氮	氧	氫	二氧化碳	氫	氦	氫
%	78.08	20.95	0.94	0.03	0.01	0.0012	0.0004

除以上數種外，水氣亦屬重要分子，然其分佈，隨時隨地而變遷，塵沙

^{*}奧地質學家 Suess 以成分及比重之關係將地球分為三層：(1)輕層(Sial)成分為 Si, Al, Ca, Na, K 等，比重為 2.5—3.4，係固體，厚約 1200 km。(2)重層(Sima)，成分為 Si, Mg, K, Fe 等，比重為 4 係液體及氣體，厚約 1700 km。(3)內層(Nife)，成分為 Fe, Ni，比重為 9，亦係液體及氣體，厚約 3500 km。

及蕩漾於空中之物，皆屬氣界之雜質，不能稱為成分也。氣界約佔全地球一百二十萬分之一，在海平面每平方英寸所受大氣之壓力為 15 磅。愈高則大氣愈稀薄，壓力亦愈減。

氣界之地質作用，甚為重要，直接者如岩石受風化而侵蝕，或變為砂泥，或積累成層，間接者為河流冰川，以及海洋生物，皆有重大之地質作用，而與大氣，又皆有密切之關係也。

2. 水界 (Hydrosphere)——水界之面積，約佔地球面積五千分之一，若地面為絕對之渾圓形，無高下之分，則全球將成為深約 2 哩之海洋。因地面有陵谷，水皆匯積於低地，川湖蒼集，皆朝宗於海，故海為水面之最巨者，其總面積在 133,000,000 平方哩以上，合計湖海川流，水界實佔地面約 $\frac{3}{4}$ 。據瓦格涅 (Wagner) 氏計算，全球水面佔 71.7%，最近克默爾 (Kümmel) 氏計算，水面佔全球面積 70.8%。

水為地質作用之最重要者，可大別為兩類：一為地面水 (Surface water)，即江湖之水是也，一為地下水，又稱潛水 (Underground water)，即存在於地面以下之水是也，水之作用使地殼日漸剝削，復隨水遷流，沉積於低窪之地，故水為剝蝕與沉積之主動力。

3. 陸界 (Lithosphere)——陸界為地殼之本部，水氣二界，不過圍繞其外表耳。地球雖屬橙子形，而地面高低不一，相差至數萬尺。海陸之分界，並不如普通地圖上所示，因近陸之部為淺水所覆，表面似屬海洋，實則為大陸之邊際，通常在海平 600 尺以下，始為大陸與海底正實之界線，陸界外表與水氣二界接觸者稱為地殼，其內部情形，前已述之，本界之地質作用，內外二部不同，外部供侵蝕之材料，內部則影響複雜，如火山、地震諸現象，皆從其中發生也。

第二章 地殼之成分——造岩礦物

(一)地殼之化學成分——地殼為各種岩石所組成，岩石復由於一種或數種礦物之集合體，而礦物又為各種元素之化合物。化學元素現今發見者雖有七十餘種，但在地球之外殼僅有十六種可以察見，而地殼之 98% 係由八種元素所組成。據克拉克(F. W. Clarke)氏之計算，依其含量之多寡，按序列之如下：

氧.....47.17	鈣.....3.42
矽.....25.00	鉀.....2.49
鋁.....7.84	鈉.....2.43
鐵.....4.44	鎂.....2.27

鈦、碳、硫、氫、氯、磷、錳及鋇等含量雖較少，但甚為重要。除少數元素為單體者如氧、硫及金、銀、銅、鉑等外，多數係相互化合而成化合物，即所謂礦物是也。

所有岩石，除玻璃質火成岩外，皆含有礦物，且此種礦物不僅組成各種岩石，且可使其抵抗風化力之大小不同。因此造岩礦物之性質，必須先有充分之瞭解，然後始能鑑定岩石而確定其價值。本章之首述造岩礦物之普通性質，次述各種重要造岩礦物之形態即本此意也。

(二)礦物之定義——礦物為一種天然之無機物質，具有一定之化學成分，在適宜之環境之下，能有各種幾何學上之形體，以內應其分子構造。但在岩石中，礦物常無顯明之晶形，但多為結晶質粒狀，界以不規則之輪廓，因其產生時係彼此干涉所致。結晶質粒因無晶面之存在，通常稱為他形體(Anhedrons)。礦物之種類甚多，現今所知，已達千種以上，然最普通之造岩礦物，僅數十種而已。

(三)礦物生成之狀態——礦物生成之狀態，分液體與固體二種，而固體又可分為數種。茲列表如下：

1. 液體(Liquid)
2. 固體(Solid)

{	a. 非晶質(Amorphous)
	b. 結晶質(Crystalline)
	c. 晶體(Crystal)

液體之礦物甚少，舉例言之，石油是也，非晶質為不結晶體，外無結晶

形狀，內無分子之構造，如蛋白石是也。結晶質，外觀不結晶，而在顯微鏡下，能見晶體，晶體為有多面形之固體，以內應其分子構造。

(四) 晶體之定義——有多面形之固體，以內應其分子構造，其排列之方法，有為全體一致者如圖 1，謂之均質的 (Isotropic)，有不一致者如圖 2，謂之非均質的 (Anisotropic)。

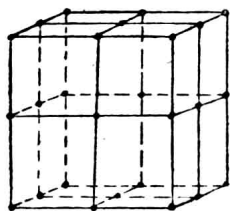


圖 1

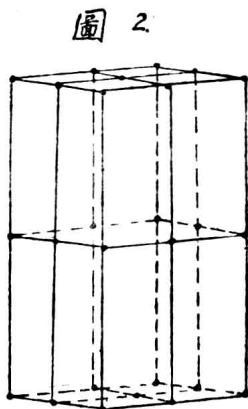


圖 2

圍繞晶體四週之面謂之晶面 (Crystal face)，面與面所成之邊謂之稜 (Edge)，面與面所成之角稱為晶角 (Crystal angle)。

(五) 結晶軸 (Crystallographic axis)，——結晶軸為假像之線，穿過每個晶體之中心，用以定結晶面之地位與晶系也。圖 3 示 a, a, a ，為三長短相等之結晶軸。兩端冠以 $+$ ， $-$ 記號，圖 4 a, b, c 亦三結晶軸，但長短不相等，兩端亦冠以 $+$ ， $-$ 記號。前後者謂之 a 軸，左右者謂之 b 軸，垂直者謂之 c 軸。三軸之次序為 a, b, c 。

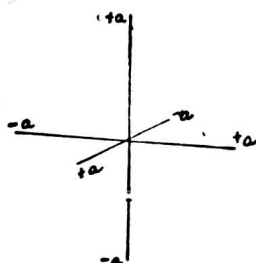


圖 3

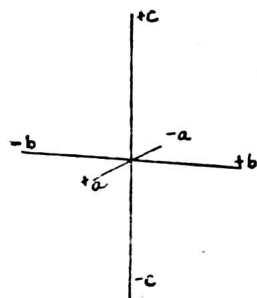


圖 4

(六) 結晶系 (Crystal system)——結晶體之形狀甚多。然以晶軸之長短及其相交之度數，可將其分爲六大晶系如下：

1. 等軸晶系 (Isometric or cubic system) ——三晶軸長短相等，互成直角相交 (圖 5)，均稱爲 a, a, a 。

2. 正方晶系 (Tetragonal system) ——三晶軸互成直角相交。兩橫軸 a, a 相等，直軸 c 或較兩橫軸爲長，或較兩橫軸爲短 (圖 6) a, a, c 。

3. 六方晶系 (Hexagonal system) ——晶軸有四，三橫軸長短相等，互成 60° ，稱爲 a, a, a ，直軸 c 與橫軸成直角交。或較橫軸爲長，或較橫軸爲短 (圖 7) a, a, a, c 。

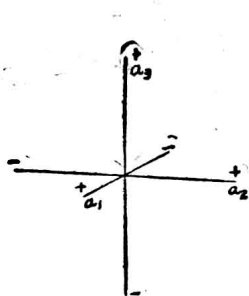


圖 5

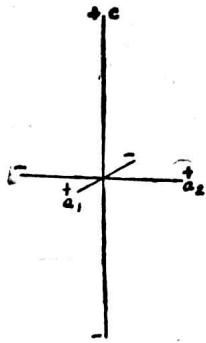


圖 6

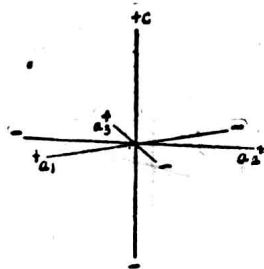


圖 7

4. 斜方晶系 (Orthorhombic system) ——晶軸有三，長短不相等，互成直角相交，前後者謂之 \tilde{a} 軸，左右者謂之 \tilde{b} 軸，直軸謂之 \tilde{c} (圖 8) $\tilde{a}, \tilde{b}, \tilde{c}$ 。

5. 單斜晶系 (Monoclinic system) ——晶軸有三，長短不相等， a 軸向前傾斜與 c 軸相交成斜角，謂之 β 。 b 軸與 a, c 二軸相交成直角 (圖 9)，三軸仍以 $\tilde{a}, \tilde{b}, \tilde{c}$ 表之。

6. 三斜晶系 (Triclinic system)，——晶軸有三，長短不相等。互成斜角交， $b \wedge c = \alpha, a \wedge c = \beta, a \wedge b = \gamma, \tilde{a}, \tilde{b}, \tilde{c}$ (圖 10)。

(七) 雙晶 (Twinning) ——兩個同樣晶體或同一晶體之兩半互相連合而其中一個或一半，對於其他一個或一半，依一對稱律位置者稱爲雙晶，凡雙晶中之兩半部至少當有一共同之面，例如第 11 圖中之石膏之雙晶，其一半繞一水平軸旋轉即得與其他一半相同之位置。此水平旋轉軸

稱為雙晶軸 (Twinning axis), 而與此雙晶軸正交之面稱曰雙晶面 (Twinning plane), 雙晶中兩半部接合之面稱曰接面 (Composition plane), 接面與雙晶面或相符合或不符合, 雙晶可分為兩種:

1. 接觸雙晶——兩晶體之面, 互相接觸生成者如圖 12,
2. 貫通雙晶——兩晶體依一定之角度, 而互相插入者, 如圖 13, 即兩立方體交入之貫通雙晶也。

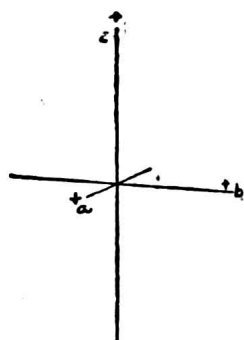


圖 8.

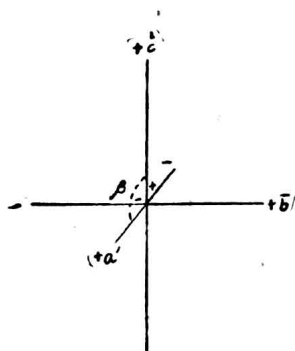


圖 9.

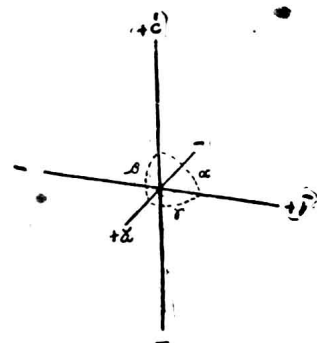


圖 10.

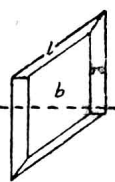
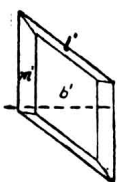
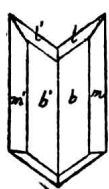


圖 11. 顯示石膏之雙晶

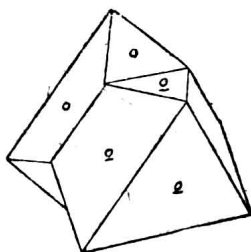


圖 12.

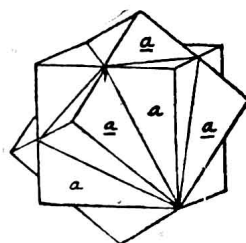


圖 13.

(八) 物理性質 (Physical properties)——造岩礦物之物理性質, 最易識別, 為鑑定礦物時之重要方法, 茲依次略述如下:

(1) 硬度 (Hardness)——硬度為礦物之重要性質, 且有迅速鑑定之價值, 其定義為礦物抵抗外界磨擦或刻劃之力量謂之硬度, 測驗礦物之硬度用摩氏硬度計 (Moh's hardness scale), 以資比較。

- | | | | |
|--------|--------|-------|---------|
| 1. 滑石 | 4. 氟石 | 7. 石英 | 10. 金剛石 |
| 2. 石膏 | 5. 磷灰石 | 8. 黃晶 | |
| 3. 方解石 | 6. 長石 | 9. 鋼石 | |

定礦物之硬度，用上表中之礦物與欲定之礦物互相刻劃，被刻傷者則硬度較低，所刻劃之線不可太長，約 1/4 吋已足。如無硬度計，則下列各物亦可代替，以定其大概。

- | | |
|---------|---------|
| 指甲——2.5 | 刀片——5.5 |
| 銅元——3 | 玻璃——5.5 |

礦物有時因其方向不同，而示不同之硬度，如藍晶石在一方向之硬度為 4—5，而在與前者相垂直之另一方向其硬度則為 7。

(2) 解理 (Cleavage)——有許多礦物，常在一定方向裂開，其裂面光滑，一如天然之晶面，是謂解理。所依而解理之面稱曰解理面。在結晶體上，解理面往往與晶面並行，例如在立方體之方鉛礦中，解理面係與立方體面並行。又如在八面體之氟石中，其解理面係與八面體面並行等是也。

形容解理之完全與否，有下列諸名詞：

1. 最完全 (Very perfect)——如雲母及石膏是也。
2. 完全 (Perfect)——如方解石是也。
3. 顯著 (Distinct)——如普通輝石及氟石是也。
4. 不完全或不明 (Imperfect or indistinct)——如石榴子石是也。
5. 痕跡 (Trace)——如電氣石是也。

(3) 光澤 (Luster)——光澤為礦物表面所呈之反射光之性質，供鑒別礦物之用，其類別如下：

1. 金屬光澤 (Metallic luster)——即金屬所呈之光澤，為不透明礦物及自然金屬所有，例如方鉛礦及磁鐵礦等屬之。

2. 非金屬光澤 (Non-metallic luster)——可分為下列數種：

(a) 玻璃光澤 (Vitreous or glassy luster)——如玻璃狀，例如石英及長石等是也。

(b) 金剛光澤 (Adamantine luster)——即為金剛石所發之光澤，例如金剛石及錫石等是也。

(c) 樹脂光澤 (Resinous luster)——光澤似樹脂狀，例如閃鋅礦等是也。