

大 專 用 書

礦 物 學

上 冊

編著人 張奕華

著作人 國立編譯館
補助機關 國家科學委員會

幼獅書店印行

本書店經內政部核准登記
登記證內版臺業字第〇七五九號

■版權所有·翻印必究■

中華民國六十年八月出版

礦物學上册

基本定價：新台幣貳元貳角伍分

編著人：張奕華

著作人：國立編譯館

補助機關：國家科學委員會

印行者：幼獅文化事業公司

地址：台北市延平南路七一號

地址：台北市漢中街五一號

電話：三三九四四五

電話：二七四八六五

郵政劃撥：二七三

央館卡號：六〇一〇五〇

緒 論

〔1〕礦物學之意義

礦物學為研究地殼產出之元素及化合物之科學也。至太空中之隕石碎片、地層中之岩石亦有時一併列入，且其領域之拓展，在不久之將來，即可達於月球及行星矣。

礦物學為地質學之一分科，地質學為研究地球之歷史及生命之科學，其內容至為廣泛，尤其岩石之記錄，更可提供礦物學研究之線索。故謂岩石為匯合一定元素及礦物之化合物，誠屬不謬。在地質學中，岩相學為對岩石地層以及其成因與風化等多方面之研究，而岩石學則為研究岩石之敘述及分類者。

在地質學之範疇中，礦物學與其他學科之關係至為密切。岩石學家苟無豐富之礦物學知識，則不能勝任；經濟地質學家若對礦物之形態及組成不能瞭解，則對各種型式之礦床將無法判定，更毋論其開採價值矣。質言之，礦物學之研究旨趣，在與其他學科相互之間；而其本身更為研究岩石中礦物之自然性，故較其間之相互關係尤為重要。

礦物學為單獨之學科，在地質學中並無獨佔之性質。而又非如物理學、化學及數學等屹立於地質學之外。但與其他學科間，具有關連性，因若干物理現象如結晶中光之傳播、結晶之電磁性、結晶之熱效應等，均為研究礦物所必需者。反之，基於礦物學之研究，可促使物理學家對某種現象有更進一步之瞭解；同時在學問結合之基礎上，亦可使化學發生相似之改變，且其與數學之間，亦復如是。故礦物學非為與其他學科絕緣之科學，而礦物學之研究，亦隨化學及物理學之發展而更趨於成熟也。

曩時之礦物學僅係數百年間對地殼所累積經驗之記錄殘片，而今日之礦物學則與其他學科以同一步調，並肩齊進，從事深入研究礦物中固體物質之自然性；且人造之類似礦物，更多進入其領域。於是礦

物學已由往日之敘述記載邁入今日之研究討論，其未來之前途，當必益趨光明也。

〔2〕礦物學之發達史

數千年前礦物學即肇始於彫石之術，當時之工匠均精於切割及研磨石塊之方法。彼等工作之對象為極堅固之硬玉，其鑑定之術雖頗粗陋，但不久即用以區別不同之礦物，於是礦物學乃自此開始。其後之進步極為緩慢，幾完全停滯於石器時代中。直至人類發現金屬以後，始對地殼之產物發生興趣。茲將礦物學在各時代發展之情形，分別述之於下：

(1)金屬時代：人類在金屬方面首先發現者，為金、銅在自然性質上之類似。利用其硬度與展性之不同，而製成粗劣之裝飾品；又根據其柔性、顏色及抗銹等性質，而將金用為裝飾；但銅因槌之變形及曝之生銹，故用以製造切剪工具及飲食容器。按金屬銅之產於美國密西根州基文諾(Keeweenaw)半島之礦體中者，早為印第安人發現。彼等所採者，僅為礦體露頭部之小塊或小片，當地表部份採罄時，亦有時掘淺溝從事挖取。緣墨西哥之印第安人多用銅製斧以為武器(1066年)，當西班牙人底亞茲(Bernal Diaz)遠征墨西哥時，曾在其編年史中記述西班牙人誤認光亮之武器，為劣質之金所製成，而急於設法搜購。此種錯誤觀念嗣因斧頭生銹始為人瞭解。至當時土人所用之銅，究為自然銅抑或取自於礦石，則無法獲知也。

在歐洲地區，銅器時代開始於公元前3500年，鋼鐵時代開始於公元前1000年，而在亞洲地區，則為時均早。究其在時間上之所以有先有後者，可能基於銅與錫之獲得在來源上有取自礦石及低溫可熔自然金屬之不同耳。至鐵之自然元素頗為罕見，且由礦石製煉亦極困難。考古學家咸認在煉銅及錫之技術後，須經歷長久時間始能瞭解製鐵之技術。

金屬之功用隨世界文化之交流而拓展，取自礦物之有用物質亦隨

之相對增加。至有關礦物最早之著述，多側重於應用技術方面，故技術之應用，當遠在著述之前，但其確實時間則無人得知。如有色氧化礦物早已用於製造顏料、油漆或化妝物品，而寶石則遠在公元前數百年即開始分類，且在中國境內為時更早。除此之外，並將某種寶石及非寶石礦物用之於醫藥及符咒，且將石膏與粘土用於醫藥及建築之上。其他如銀、鉛等金屬之發現與提取製煉方法之進展等，更不勝枚舉也。

(2) 古典時代之礦物學：在西臘稱霸地中海時代至羅馬統治時期，即自公元前500年至公元後250年之間，其有關礦物學之著述僅有少數之抄本，用以維繫學者之研讀與流傳。而在古代希臘之早期著作中，亦多涉及礦物學與地質學，不過歷時甚久，已告遺失。當時之作者以大名鼎鼎之科學家亞里斯多德(Aristotle 384-322 B.C.)及特奧弗拉塔斯(Theophrastus 370-287 B.C.)最為傑出，在亞里斯多德所著之" Meteorologica"中，於討論"石"之範圍內，計包括有礦物、金屬及化石等，同時對礦物之起源，亦加以推測，而引起日後數代礦物學家之注意。至單獨討論"石"之文獻，則以特奧弗拉塔斯之"Concerning Stones"為最早，其文雖短，但具卓見，其論點雖有問題，然經此闡揚，乃使礦物學逐漸形成實體之學問也。

嗣後希臘學者西古拉斯(Dioscorus Siculus)於公元前44年著述" Bibliotheca Historica"，將若干觀點置於世界各地之礦業及礦物學上。而迪奧斯扣里得斯(Pedanius Dioscorides)更於公元後60年曾在疾病治療之討論上，擬以礦物及金屬做為醫藥之用，經此臆測，乃開礦物知識順利進展之門。其後相繼問世者，為有名之羅馬科學家埃爾德(Pliny the Elder 23-79 A.D.)所著之"Natural History"，其全部為一完善之概論，而一部則專致力於礦物方面之物質，計金、銀、銅、鉛、石、大理石及寶石等無不具備。惜於公元79年當維蘇威火山向那不勒斯海灣爆發時，喪身其中，而成為古代之科學殉難者。

(3) 中古時代之礦物學：在中古時代以前為歐洲歷史上之寂寞與混

亂時期，迨封建制度建立，礦物學仍無顯著之進展。當時古典之科學與藝術均為阿拉伯人所承襲，而免於歐洲地中海地區之變亂與騷擾。有回教世界阿里斯多德之稱的阿維西納(Ibn-Sina或Aricena 980-1037?)，在其著作中闡述若干早期之發現，其中有關礦物及物質方面者，更成為後世歐洲學者研究之準繩。

中古時代之重要著作以範圍淵博為主，其來源多為實事與想像之累積，當時著述與工匠之對象，僅有礦物、礦石、寶石及化石。其所出版之書籍，計1061-1081年有倫內斯(Rennes)主教之"The Lapidary of Morbodus"，1260年有馬格奴斯(Albertus Magnus)之"De Mineralibus"，1502年有列恩那杜斯(Gamillus Leonardus)之"Speculum Lapidum"，而1609年布德(Anselm De Boodt)之"Gemmarum et Lapidum Historica"更類似百科全書，權威學者咸認其為十七世紀最重要之寶石鑑定手冊。至具有科學價值者，則寥寥無幾，恰如1938及1954年阿達姆斯(Frank Dawson Adams)之"Birth & Development of the Geological Science"所稱中古時代之礦物學實非科學，更非學問之堡壘，蓋以其僅憑空中樓閣而成之夢中虛構，雖覺離奇美妙，但因無實體之基礎，故結果必註定粉碎無疑也。

(4)現代之礦物學：在礦物學之發展上貢獻最大者，首推亞哥里古拉(Georgius Agricola或George Baucer 1494-1555)，彼在學生時代即為一標準之礦物與礦業方面知識之追求者，學成後更一生致力於地球科學工作。其不朽之著作計有"De Re Metallica"(1556)及"De Natura Fossilium"(1546)等，而"Metallica"又於1950年為美國胡佛(H. C. Hoover)總統夫婦譯成英文。除此之外，帕隆古修(Vannoccio Birunguccio 1480-1539?)亦負盛名，其在1540年出版之"Pirrotechnia"於1942年為史密斯(C. S. Smith)及葛奴地(M. T. Gnudi)二氏譯成英文。在上列二書中，對各種金屬礦物，均論之極詳。

至"De Natura Fossilium"之內容，則着重於問題之討論，而刪除一般神秘空幻之想像。並將當時所知之礦物詳為敘述，同時對早期之

分類，重新做一極有系統之排列；更在物理性之色、比重及透明等基礎上，逐漸加以解釋與說明，故後人稱之為"First Text-book in Mineralogy"。

以目前之觀點言之，當時之著作雖亦難免有可笑之處，但其設計實不失為一詳盡而有系統之分類，而為後世礦物學家在數百年間均奉為圭臬。迨化學問世，在學問上逐漸劃分為三大部門，即自然歷史之規律、化學之規律及混合之規律是也。於是科學家乃根據第一種規律將礦物、動物及植物共置一爐，此即今日所稱之博物學科，茲將其所包括之範圍，簡述於後。

(A)敘述礦物學：凡為人發現之礦物，均於早期撰成描述式之論文，以供讀者之研究及鑑定。但漫無系統之敘述，欲使讀者瞭解，常感困難。德國地質學家佛那(Abraham Gottlob Werner 1750-1817)有鑑及此，乃於1774年着手統一各項術語及鑑定方法，並基於礦物之外觀，而加以正確之敘述。在1962年迦羅基(Albert. V. Carozzi)之譯文中，對其著作之價值倍加讚揚，並謂其中若干術語，迄今尚為吾人沿用。

嗣後在敘述方法及使用術語上，均不斷改進，目前已達於統一狀態。但憑單一種文字，使著者之意見深入讀者之腦海，誠屬困難。故在實際研讀時，不論任何部份，讀者均應一手執書，一手執標本，兩相對照，以印證其與敘述術語之關連性。並由敘述之實際特性，以體認其他同種之礦石。

(B)物理礦物學：發展中之礦物學，並非僅限於純然之描述，遠在數百年前，即對其內部之性質提出種種疑問。諸如顏色、硬度及形態等之根本原因，均非易於解答者。於是乃引用物理學之知識，從事於礦物物理性質之研究。早期之礦物學家，對各種硬度不同之礦物均以一習慣上之尺度測定，並不從事設計以求深入。德國礦物學家毛司(Friedrich Mohs 1773-1839)乃選用十種礦物，軟自石膏硬至金剛石，訂為衡量礦物硬度之尺度，此即迄今尚在沿用之毛氏硬度計也。

1688年古格里爾米尼(Guglielmini)認為解理方向在礦物中常保持一定；1670年巴托里尼(Erasmus Bartolini)指出方解石有完全解理，並詳述其特點，且由透明解理塊之顯示，而記錄其對光線之複屈折現象。除此之外，荷蘭物理學家海金斯(Christian Huyghens 1629-1695)更進一步研究方解石之性質，擬定光學定理，以解釋所產生之有趣現象，且進而奠定後世研究結晶光學之基礎焉。

(C)結晶學：在礦物學之分門中，其有關結晶之形態者，稱之為結晶學。十七世紀時推動研究工作最力者，為丹麥之解剖學家史帖諾(Nicolaus Steno或Niels Stensen 1638-1686)。彼曾由各不同部位測量石英之結晶，因而發現相同部位晶面之夾角均相等，即今日所稱之面角不變定律。此項發現對結晶學之研究影響極大，且打破早期著述中“結晶僅為自然之畸形”之假定。其後古哥里爾米尼亦曾測量石英之面角，而獲得相同之結果，且進一步更說明方解石二解理面間之交角亦有一定。1780年巴黎大學埃斯勒(Romé de l'Isle)教授之助理迦朗基奧(M. Carangeot)並發明接觸測角器，雖為極簡單之設計，而目前仍用以測量結晶面之夾角。1783年埃斯勒教授發表其結晶學“Cristallographie”之著作，其中列舉用接觸測角器測量各種結晶之記錄，同時倡導“礦物晶面互有關係”之原理，更以數學法則說明結晶之基本形態。日後法國在礦物學上之輝煌成就，實奠基於此。繼埃斯勒之後者，為郝伊(Abbé René Just-Haüy 1743-1822)，彼將結晶學納入正軌之研究，在其“Essai d'une Théorie Sur la Structure des Crystaux”中，闡釋“對稱定律直接左右晶面之生成”，同時樹立“結晶形態隨化學成分改變”之觀念。至其最重要之貢獻，則為“礦物結晶之規則性，係由大小及形態相同之小分子互做有秩序之堆積所形成”之發表。此種觀念乃造成結晶研究之革命主流，於是若干附帶之發現接踵而至，最後更確定原子構造之結論。至此礦物學之進步，乃益加快速矣。

(D)礦物之原子構造：在郝伊之後，礦物學家雖確認結晶之外形應另有合理之解釋，但經久未獲具體結論。1895年德國物理學家倫琴(

Wilhelm Konard Röntgen 1845-1923)發明 X 線，並將之投射於固體物質。1912年其弟子呂耶(Max Von Laue)使 X 線通過結晶體時，發現其由原子面產生有規則之反射。但對原因之證明、科學儀器之效率與研究方法之有效改進等，均有待英國物理學家布拉哥父子(William Henry Bragg 1862-1942 & William Lawrence Bragg 1890)之努力，彼等確認“位於結晶框架上之原子，因彼此附着而形成其結晶之性質”，此與目前咸認之“物質性質均受制於原子，由於其規則性之排列及相互之吸引力而使之聚合者”，並無幾許之出入也。

至礦物學發展之詳細過程，均載於阿達姆斯所著之 "Birth & Development of the Geological Science" 中，苟能仔細閱讀，則對地質學及礦物學之歷史，必可瞭如指掌也。

〔3〕礦物及其與人生之關係

(A)礦物之意義：通常所稱之礦物，必須具有下列各項條件：

(1)天然產出：凡礦物均為天然產出，人工製造者不得稱之為礦物。如石膏之成分，原為($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)，而吾人在實驗室內雖可製造相同之物品，但不能以礦物名之。

(2)一定之化學成分：凡礦物均具有一定之化學成分，不論其產地為何？形態及顏色又如何？但其化學成分則毫無二致。如石英在顏色上雖有白、紅、綠、紫、黑等之不同，在形態上更有完面形、半面形及四半面形之別，但其化學成分，則均為二氧化矽 SiO_2 。

(3)均質性：均質性者即質地均一之謂也。設吾人取閃鋅礦一塊，置顯微鏡下察之，見各部之構造完全相同，亦即均由硫化鋅 ZnS 組成者。但花崗岩之結構，則為石英、雲母、長石及角閃石等之集合體，其組合情形，各部亦參差不一。

(4)一定之原子排列：結晶完整之礦物，其內部之原子排列均有一定。而礦物外表形態不甚規則之結晶質，其內部之原子排列亦井然有序。如方鉛礦之原子排列呈面中心立方格子狀，外表多呈六面體之結

晶。螢石之鈣原子爲面中心立方格子，氟原子爲單純立方格子之排列，其外表呈六八面體類之結晶等均是。

(B)礦物與人生之關係：人類在生活上應用礦物，爲時甚早。據亞哥里古拉所著之"De Re Metallica"中記載，遠在三萬年以前，歐洲之克羅馬能人(Cromanion)在比利時一帶掘井探採燧石，以爲取火之用。威爾斯(H.G. Wells)所著之世界史綱"The Outline of History"中，記述六千年前，北歐民族與蒙古民族均能使用金屬，製成武器用以自衛。其後人類知識逐漸開展，而礦物之利用亦更爲廣泛。茲特分爲日常生活與國防兩方面述之如下：

(a)日常生活：目前人類生活四大要項，無一不直接或間接仰賴於礦物。茲簡述於下：

(1)食：如鹽爲人體中所必需，鐵爲造血液之原料，磷與鈣爲構成骨骼之主要成分皆是。

(2)衣：如石棉可製消防人員之服裝，鋼鐵可製士兵之鎧甲等。

(3)住：大理石、蛇紋石爲高級之建築材料，石灰岩、花崗岩爲砌築牆壁所必需，而鋼筋水泥更爲近代高樓大廈之唯一器材。

(4)行：鋼鐵之用於製造軌道與機車船艇等，鋁之用於製造汽車與飛機，以及鋁合金之用於製造太空飛行之太空船等均是。

除上述各項外，在此科學昌明，社會繁榮之今日，人類生活上之消費物品，莫不仰賴於工業生產，而工業上所用之機器及動力，更非礦物不能爲功。且吾人之生活程度愈高，則對礦物之依賴亦愈切。故一般對某民族文化高低之判斷，皆視其對礦物之利用程度爲依歸。是以稱人類之文明即礦物文明(Mineral Civilization)者，絕非誇張之辭也。

(b)國防方面：礦物用於國防之上，早在有史以前。黃帝造指南車以敗蚩尤，即係用磁鐵礦以判別方向者。史家根據社會之進化，通常將歷史分爲上古、中古、近古及現代四階段。若以礦物在國防上應用之演變，亦可分爲下列四代：

(1)石器時代：包括舊石器時代與新石器時代，以年代計約為距今六千至三萬年前。當時各部落均將岩石加以琢磨，以為攻敵之武器。

(2)銅器時代：約距今一千年至六千年以前，當時所用之兵器如戈、矛、刀、劍等，均係銅之合金製成。戰國以後秦始皇收天下兵器，鑄為金人，實即指銅而言。又我國古代戰場勇將常使用青銅偃月刀，亦一例證。

(3)鋼鐵時代：距今二十五至一千年以前。我國鋼鐵事業在唐初已極興盛，如河北省灤縣之冶里，即有當時煉鐵之遺物。嗣後工業發達，盔鎧武器不斷改進，由刀劍一變而為槍砲，由騎射一變而為戰車，戰艦。第一次大戰以前，德國首相俾士麥高倡鐵血政策；第二次大戰期間，希特勒更率先攻取捷克及斯干的那維亞，以期確保戰時資源。故鐵礦在國防上之重要，於此可見一斑矣。

(4)核子時代：二次大戰以後，戰爭觀念既因原子彈之發明而改變，故國防上最重要之資源，亦為放射性之鈾礦所取代。蓋放射性原素之原子蛻變，可產生 α 、 β 質點及 γ 射線，其殺傷力之強，遠超過億萬噸之黃色炸藥。試觀本年八月間，蘇聯竟不顧全球人士之憤慨，悍然派兵佔領捷克，雖不乏政治因素，但窺其真正意圖，無非掌握世界三大產鈾地之一耳。

[4] 礦物學之應用

(A)學術上之應用：在若干種學科之研究上，非具有礦物學之基本知識，不能做深一步之探討。如前所述之岩石學者必須深切瞭解造岩礦物，經濟地質學者必須深切瞭解其形成礦床之礦物。蓋以根據礦物學之理論，不但可研究礦石之光學性質，並可進一步探求礦石之生成、產狀以及其共生關係等。

(B)工業上之應用：工業上往往遇有多種問題，非賴礦物學之理論不能解決。如研磨材料方面、耐火材料方面以及陶瓷、人造結晶、鋼鐵等工廠，常以礦物學之知識為解決重要問題之工具。

(C)工程上之應用：礦物學之用於採礦及冶金工程者，自不待言。至於採礦方面之應用，亦復不少。如美國柯利麻克斯 (Climax) 地區，盛產輝鉬礦 (MoS_2)，最初發現於1890年，而誤認為方鉛礦 (PbS)，因方鉛礦中常含多量銀之成分，故當時採取鉛礦者，皆供煉銀之用。迨煉銀失敗，乃加以分析推敲，復誤認為石墨 (C)，蓋此三種礦石外觀上頗相類似，遂致混淆不清。直至又五年後，始由礦物學者訂正為輝鉬礦。

又剛石 (Emery) 原由鋼玉 (Al_2O_3) 及磁鐵礦 (Fe_3O_4) 二種礦物合成，最初開採於希臘群島及土耳其。至美國馬薩諸塞州之柴斯特 (Chester) 地區之礦脈，於1860年為魯加斯 (H. S. Lucas) 所發現，脈呈黑色而具磁性，乃誤認為磁鐵礦，但置於熔礦爐中則不起反應。後送請該州地質學家傑克遜 (Charles T. Jackson) 鑑定，始知該礦石係與綠泥石、珍珠雲母、水鉛石及硬綠泥石等共生，再與土耳其剛石礦床相對照，乃確定為剛石。

(D)國防上之應用：礦物學之用於國防上者，亦頗廣泛。如第二次大戰期中，日本為挽救戰爭之劣勢，曾於1944年十一月至1945年四月底之六個月中，於北太平洋利用西風帶之氣流，共放九千個氫氣球至加拿大與美國西岸。若氣球上再帶有燃燒彈，隨氣流東行，在夏季之乾燥時期，對美國西北部之森林地帶，足以造成極嚴重之威脅。當時美國地質調查局魯斯博士 (Dr. Clarence S. Ross)，以分析法及物理光學性等方法，充分研究其氣球所攜帶之三十六磅重砂袋，得知其組成為：

紫蘇輝石	52	石 英	16	磁鐵礦	10	角閃石	8
輝 石	7	斜長石	6	柘榴子石	1	鋯英石	1

彼更將日本出產該砂之地區繪製成圖，送交威爾伯 (Wilbur) 將軍派機偵察，遂將日本之氫氣球工廠全部摧毀，而美國西部地區亦因之幸免於難也。

〔5〕礦物學研究上之要旨

(A)觀念之確定：在研究進行之前，對礦物學、礦物及結晶等要義，應有正確之觀念。按礦物學為研究地殼中之石性物質，其中包括岩石分子及其崩潰後之產物，諸如卵石、砂粒及土壤等均是。目前所知之礦物多達二千餘種，其區別之法，必由原子種類及原子排列之二特性着眼，始克奏效。通常稱內部原子排列有規則性之礦物為結晶質礦物，而稱所有部份均呈規則性之同一形態及式樣者為結晶，凡結晶之原子式樣均呈規則性之重疊，且其尺寸及式樣更重疊無所限制，故結晶小者不為目見，而大者則可供鶴居。又當結晶生長於開豁之洞穴或液體中時，因其向外發展不受阻礙，常於外表生成光滑之平面，蓋以內部具有一定之排列形式也。否則雖相同之化學成分，亦不能發育成光亮之平面，此即所謂之結晶基本概念，讀者應注意及之。

(B)採集之重要：欲求對礦物之真正瞭解與精通，非反覆觀察、研究及試驗不為功，由攝影及圖片所得之印像，遠不及由觀察所得者為多，欲收觀察之效，必須使讀者經常握有實體標本，故野外之採集尚焉。在學校之中所舉行之團體採集，固可得預期之效果，但更重要者，則為使讀者瞭解小型採集之方式，以便於課餘之暇隨時行之。至所採集之標本，應以美麗、珍奇及具有科學價值者為貴，其一般之採集，則以化學成分及結晶構造之典型礦物標本為主。故有系統之採集，均能符合其分類標準；至其他有名之礦物及當地所產之礦物，亦應列為採集之對象；而最重要及有價值之採集，更應與修業期間所研習之論題密切配合。苟能事先妥為安排，則遇有疑難必可及時獲得闡釋，其在研究上所遭遇之問題，自可迎刃而解也。

礦物學目次上冊

緒 論	1
第一章 結晶形態學	1
1-1 結晶體之外觀	1
1-2 結晶面角之測定	22
1-3 晶系與晶類	27
1-4 等軸晶系	36
1-5 正方晶系	42
1-6 六方晶系	46
1-7 斜方晶系	53
1-8 單斜晶系	55
1-9 三斜晶系	58
1-10 晶體之集合	59
1-11 結晶之不規則	66
1-12 晶帶	70
1-13 結晶之投影	74
1-14 結晶之計算	79
第二章 結晶構造	88
2-1 空間格子	88
2-2 空間群	99
第三章 X線結晶學	111
3-1 X線之繞射	111

3 - 2	研究之方法.....	118
3 - 3	繞射X線之強度.....	135
3 - 4	電子分布密度之測定.....	145
第四章	礦物物理學.....	150
4 - 1	結晶面之性質與集合.....	150
4 - 2	力學性質.....	159
4 - 3	熱學性質.....	171
4 - 4	礦物之電磁性.....	185
第五章	光性礦物學.....	193
5 - 1	礦物之一般光學性.....	193
5 - 2	結晶之光學性.....	202
5 - 3	偏光顯微鏡.....	207
5 - 4	礦物在偏光顯微鏡下之研究.....	211
5 - 5	反射顯微鏡.....	229
5 - 6	礦物在電子顯微鏡下之觀察.....	231

第一章 結晶形態學

1-1 結晶體之外觀

(1)結晶與結晶學：凡一定化學成分之物質，在適當環境下結成內部為有秩序之正規原子排列，外表為有規則而且光滑之幾何平面所包圍之固體，稱之為結晶體(Crystal)。若內部構造呈有秩序之原子排列，而外表不具規則而光滑之幾何平面；即塊狀礦物其沿互相平行之原子面雖呈相同之排列，而在其交叉之面則呈不相等之內部構造者，稱之為結晶質(Crystalline)。換言之，結晶體為發育完整者。又晶面完整之固體結晶稱為自形(Euhedral)，晶面不完整之固體結晶稱為半自形(Subhedral)，至不具光滑幾何平面者則稱之為他形(Anhedral)。

結晶質之顆粒甚小，非借助顯微鏡難以鑑定者，曰微晶質(Microcrystalline)，若結晶質集合體之顆粒再小，即使用顯微鏡亦無法觀察，而僅能以X射線攝取繞射斑點時，則曰潛晶質(Cryptocrystalline)。

某些物質之內部既不呈有秩序之原子排列，其外表更不具規則而光滑之幾何平面時，稱之為非晶質(Amorphous)，即無數原子或分子處於漫無規則之位置者也。凡天然產出之非晶質礦物，稱之為膠體礦物(Mineraloids)。非晶質礦物多不安定，經過長久時間後，亦常變為結晶質。

研究結晶之科學曰結晶學(Crystallography)，其專研究結晶之形態者曰形態結晶學(Morphological crystallography)或幾何結晶學(Geometrical crystallography)。

(2)結晶作用：結晶體之成因，由於結晶作用之方式不同，普通可分為下列三種：

(A)溶液之析出：溶有物質之溶液，因蒸發而增加溶質之濃度，致

其分子接近發生分子引力作用，乃逐漸形成結晶而析出之。如溶有氯化鈉之水，因蒸發作用水份發散，每單位體積內之鹽份逐漸增加，卒致水中無法容納而開始沉澱。換言之，到達此界限以前，氯化鈉均為水溶解而呈液體狀態，在到達此臨界點時則形成固體。若蒸發作用進行甚為緩慢，其固體食鹽之分離亦慢，於是形成定形結晶，因鈉及氯之離子一旦游離，乃自行集合而逐漸組成以正方形之面圍成之六面體。

除此以外，結晶亦可因溶液之溫度或壓力降低而形成，如熱水易於分解食鹽，但溶液冷卻至超飽和時態時，則食鹽形成結晶。又在高壓狀態時，液體內所溶解之食鹽為量較多，若壓力一旦減低，則必達超飽和狀態而成結晶。又使溶液急驟飽和時，因物質對隅角及稜線部位之供給較多，乃促其凝結快速；反之，因面之成長較緩而形成晶面凹入之結晶，是為骸晶(Skeletal crystal)。

(B)岩漿之凝結：灼熱之岩漿本為甚多元素所合成者，當其冷卻時，各種不同之離子彼此相互吸引，而形成各種不同礦物之結晶核心，然後結晶作用繼續進行，更多之離子以同一比例層層重疊，礦物之粒子於是形成。如結晶質之固體自由成長時，則由正規之多角形平面圍成一多面體，此即所謂之結晶體也。

(C)昇華作用：物體受熱化氣上騰，其所分解之原子或分子，遇冷則又凝聚而成一定之結晶構造，是為昇華作用。以此種方式所生成之結晶，遠較上述兩項為少。如火山地帶噴氣孔之硫黃結晶，即係硫黃蒸氣冷卻而成者。

(3)結晶面與原子面：礦物結晶體之外表既由結晶面所包圍，至其生成之原因，茲以岩鹽為例，簡單說明於後：

凡物質愈分割愈細，最後即為原子，原子直徑之大小約為 1×10^{-8} 埃(Angstrom)，目不能見。原子之形狀，可視為球狀體，其半徑隨原子之種類及原子價而異。原子如帶有電荷，則稱為離子，其帶正電者為正離子或陽離子，帶負電者為負離子或陰離子。