

高等學校交流講義

礦物學

中南礦冶學院結晶及礦物教研組編

(內部交流 * 僅供參考)

中央人民政府高等教育部教材編審處

礦物學講義目錄

第一章 緒論

自然界與礦物界，地質學的意義，礦物與岩石及地殼的關係，礦產的開發與人類文化的關係，礦產的開發與經濟建設的關係，我們祖先在研究和運用礦產方面的貢獻，礦物學的意義、內容和所要達到的目的。

第一編 結晶學

第二章 結晶學概論

導言，晶體的分佈，晶體的結構，空間格子，結晶的重要性質，結晶學與其他科學的關係。

第三章 結晶的發生、生長與破壞

結晶的發生，結晶體形成的途徑，結晶體在溶液中的生長，伴隨結晶作用的現象，結晶體的溶解與再生，渦流及其他影響結晶外形的因素，角的不變定律，角的不變定律的例外。

第四章 結晶體的對稱

概念，對稱要素——對稱中心、對稱面、對稱軸、像轉對稱軸，對稱要素的組合，單向與複向，三十二種對稱形式，晶系，怎樣決定實際晶體的對稱。

第五章 晶體的形狀

緒言，赤平投影，單形及聚形，單形引證的概念，低級晶族的單形，中級晶族的單形，高級晶族——等軸晶系的單形，實際晶體的形狀及其連生。

第六章 結晶符號

緒言，有理數定律，晶面符號，結晶軸選擇定理，晶體的安置，晶稜符號，晶帶定律，舉例。

第二編 礦物通論

第七章 礦物的物理性質

引言，與結晶習性及集合狀態有關的性質——礦物的形態，與分子結構有關的性質——解理、裂開、斷口、硬度、韌度，與組成元素原子量有關的性質——比重，與光有關的性質——顏色、條痕、光澤、透明度、光之折射、反射、吸收、色散、干涉、衍射、偏振、磁有關的性質——電性、磁性、放

射性，與熱有關的性質——傳導性、熔度，與人類官能有關的性質——味道、臭氣、感覺。

第八章 礦物的化學性質

地殼的物質基礎，元素的分類，礦物的分類，礦物的命名，礦物分子式的計算，礦物百分組成的計算，化學成份與礦物性質的關係——異質同像，類質同像，類質同像混合物，同質異像，膠體礦物，假像。

第九章 研究礦物的方法

引言，初步鑑定礦物的方法——肉眼鑑定與吹管分析，一般研究礦物的方法——顯微鏡研究與化學分析，詳細研究礦物的方法——結晶化學分析法、X射線測量分析法、熱分析法、光譜分析法、X射線光譜分析法。

第十章 礦物的生成與產狀

礦物的生成——自溶液生成，自熔體生成，由昇華作用生成，由變質作用生成。

礦物的產狀——散佈與集中，原地與異地，造岩與造礦。

第十一章 岩石或造岩礦物的產狀

引言，火成岩——火成岩的特點、火成岩的產狀、火成岩的成份、火成岩的組織、火成岩的分類，偉晶岩；沉積岩——沉積岩的特點，風化作用及其產物，沉積岩的成份，沉積岩的分類；變質岩——地殼的變質帶，變質岩的成份，變質岩的組織或構造，變質岩與沉積岩及火成岩的關係，變質岩的分類；岩石變化的途徑。

第十三章 礦床或礦石礦物的產狀

礦床的意義，礦床的成份，礦床的富礦體，礦床生成的方式——與岩漿活動有關的礦床、與均夷作用有關的礦床、與變質作用有關的礦床，礦床的分類。

第十三章 礦物的次生變化

引言——造岩礦物的次生變化、氧化作用與再生富集作用，控制礦床次生變化的因素，礦床的次生變化帶，鐵礦的次生變化，銅礦的次生變化，銀礦的次生變化，鉛鋅礦的次生變化，混合礦脈的次生變化。

第三編 礦物各論

第十四章 導言

礦物各論的性質和內容，敘述的次序。

第十五章 元素礦物

概論，礦物目錄，自然銅，自然銀，自然金，自然鉑，自然砷，自然銻，自然鉍，自然硫，金剛石，石墨。

第十六章 硫化物、硫鹽礦物及其類似化合物

概論，礦物目錄，輝銅礦，輝銀礦，方鉛礦，閃鋅礦，硫錳礦，辰砂，磁黃鐵礦，紅(砷)錳礦，針(硫)錳礦，鎳黃鐵礦，黃銅礦，黃錫礦，斑銅礦，銅藍，雌黃，雄黃，輝銻礦，輝鉍礦，輝鉬礦，黃鐵礦，白鐵礦，輝砷鉍礦，毒砂，砷鉍礦，黝銅礦，斜方硫砷銅礦，車輪礦，淡紅銀礦，深紅銀礦，斜方硫銻銀礦，硫銻銅銀礦，脆硫銻鉛礦。

第十七章 鹵化物

概論，礦物目錄，氟石，冰晶石，岩鹽，鉀鹽，光鹵石，角銀礦。

第十八章 氧化物及含水氧化物

概論，礦物目錄，水，赤銅礦，黑銅礦，紅鋅礦，剛石，赤鐵礦，鈦鐵礦，褐錳礦，尖晶石，磁鐵礦，鉻鐵礦，黑錳礦，鋅尖晶石，鋅鐵尖晶石，金綠寶石，金紅石，板鈦礦，銳鈦礦，錫石，鈦鐵礦，鉬鐵礦，軟錳礦，鈦酸鉍礦，方鈦礦，方鈦石，石英，磷石英，蛋白石，氫氧鎂石，水鋁氧，水鋁石，鐵鋁氧石，針鐵礦，褐鐵礦，水錳礦，硬錳礦。

第十九章 硝酸鹽類

概論，礦物目錄，鈉硝石，硝石。

第二十章 碳酸鹽類

概論，礦物目錄，方解石，文石，菱錳礦，白云石，菱鐵礦，菱錳礦，菱鋅礦，白鉛礦，碳酸鋁礦，碳酸鉍礦，孔雀石，藍銅礦，水鋅礦，泡鉍礦，碳酸鈉。

第二十一章 硫酸鹽類

概論，礦物目錄，重晶石，天青石，硫酸鉛礦，硬石膏，石膏，芒硝，瀉利鹽，水綠礬，胆礬，明礬石，鉀明礬。

第二十二章 鉻酸鹽類

概論，礦物目錄，鉻酸鉛礦。

第二十三章 鉬酸鹽與鎢酸鹽類

概論，礦物目錄，鎢錳礦，鎢錳鐵礦，鎢鐵礦，鉬鎢鈣礦，鉬酸鈣礦，彩鉬鉛礦。

第二十四章 磷酸鹽、砷酸鹽及釩酸鹽類

概論，礦物目錄，磷鉍礬礦，磷酸鉍礦，磷灰石，磷酸氯鉛礦，砷酸氯鉛礦，褐鉛礦，氟磷酸鐵錳礦，鎳華，鈷華，臭葱石，綠松石，銅鈷云母，鈣鈷云母，釩酸鉀鈷礦，磷酸鈷礦。

第二十五章 硼酸鹽類

概論，礦物目錄，方硼石，硼砂，硼酸鈉方解石，硬硼酸鈣石。

第二十六章 矽酸鹽類

概論，礦物目錄，鋯英石，矽酸鈦礦，橄欖石，矽鋅礦，似晶石，黃晶，藍晶石，紅柱石，矽綫石，十字石，石榴子石，符山石，楣石，斧石，矽酸硼石，異極礦，綠寶石，堇青石，矽孔雀石，電氣石，矽灰石，薔薇輝石，透輝石，普通輝石，硬玉，鈍輝石，錳輝石，頑火輝石，紫蘇輝石，透角閃石，陽起石，普通角閃石，藍閃石，鈉鈣角閃石，斜方角閃石，斜黝簾石，綠簾石，褐簾石，滑石，葉臘石，金云母，黑云母，白云母，鱗云母，鐵錳云母，珍珠云母，綠泥石，蛇紋石，纖維蛇紋石，高嶺土，多水高嶺土，暗綠蛇紋石，斜長石，正長石，微斜長石，柱石，白榴子石，霞石，方鈉石，青金石，鈣霞石，斜方沸石，輝沸石。

附錄： 工藝礦物學概論

引言，金屬礦物——黑色金屬礦物、特種金屬礦物，有色金屬礦物，貴金屬礦物，放射性金屬礦物；非金屬礦物——燃料礦物，鹽，琢磨用的材料，製陶瓷 玻璃 琺瑯的材料，耐火材料，熔劑礦物，建築材料，肥料礦物，科學技術用礦物，寶石類礦物，裝飾品類礦物，其他在工業上常用的礦物。

主 要 參 考 書

結晶學	尹積成譯
礦物學教程	丁浩然譯
礦物學	張守範編
實用礦物岩石學	張 聲編
礦物學綱要	王嘉蔭編
礦物原料概論	朱 夏編

礦物學

第一章 緒論

自然界與礦物界：自然界的東西，形形色色，種類繁多，真是包羅萬象，無奇不有。但若按照它們的基本特質區分起來，則不外乎動物植物與礦物三大類。早期科學家把它們合在一起研究，名之曰自然史，我國譯為博物學。後來科學發達了，知道這中間的動物與植物都是有生有死具有新陳代謝現象的東西，同屬於生物界；研究生物界的科學就發展成為生物學，隨後又分為動物學與植物學。至於礦物却是無生無死沒有新陳代謝現象的東西，是為非生物界或礦物界，如狹義的礦物岩石等都屬於礦物界；研究礦物界的科學就發展成為地質學。所以生物學與地質學是從博物學中分離出來的姊妹科學。

地質學的意義：甚麼是地質學呢？地質學是這樣的一種學問：它研究我們生活所在的地球，研究組成地球的各種材料，地球上進行着的各種變化，和地球在生成以後的漫長歲月中所遭受的事件。它告訴人們：山脈、河流、海洋的變遷；各種岩石礦物的來源；它給人們尋找地下的寶藏指出了科學的道路。此外在工程和水利方面，譬如給大廠礦的建設、築鐵路、修飛機場、築水閘和水電站、開運河，都市水源問題等提供了科學的資料。總之地質學研究的對象是地球，特別是地殼。地質學的任務是研究地球的成份歷史；發現和認識地殼變化的規律；依靠並利用這些規律來為社會謀福利。在今天主要是依靠地殼演變的規律來找尋地下資源，為大規模經濟建設服務。

礦物與岩石及地殼的關係：礦物與岩石雖然同屬於礦物界，但不是同樣的東西。所謂礦物 嚴格的說是由非生物的方法形成的自然產物，具有一定的化學成份與物理性質，絕大部分是固體，有時也呈液體（如水，自然汞）和氣體（如氧氣，自然氣）在適宜的環境下可結晶成各種有規則的幾何形體來反應它的內部結構。因為必須是自然產物，所以人工製造的玻璃、硫磺，化學藥品等不能算做礦物；因為必須是由非生物的方法形成的，所以螺蚌的殼子，鳥獸的骨骼不能算做礦物；因為具有一定的化學成份，各部份必須是均一的，所以沒有一定化學成份和均一性質的花崗岩，不能算做礦物。由這裏可以看出礦物的範圍是比較窄狹的。至於岩石就沒有那樣多的限制，通常將組成地殼的堅固物質叫做岩石，多數是由礦物集合而成的。把礦物叫做化合物的話，那末岩石就相當於混合物了。我們知道地殼是由各種岩石組成的，而岩石又是由不同的礦物組成的，

所以礦物是組成地殼的基礎物質。在科學上專門研究礦物的學問叫做礦物學；專門研究岩石的學問叫做岩石學。二者都是從地質學中發展分離出來的。而礦物學又可視為地質學的基礎科學。

礦產的開發與人類文化的關係： 礦物多半是具有美麗顏色和光彩的東西，很早就引起了人類的注意。在人類文化發展的啓蒙階段，是利用礦物作為武器和工具來和野獸鬥爭進行生活的，是為石器時代；以後人類在這方面的知識逐漸增加了，學會把礦物燒熔來提取一定的金屬應用，這樣在人類歷史上便有了銅器時代，青銅時代和鐵器時代；即至近代生產技術更加發達，各種機器的製造日新月異，應用金屬的機會就更多了，對於礦物的需求也就更加繁多，更加迫切。至於舉世注目的原子能也是從一種含鈾礦物中得來的。由於原子能的發現和利用，自然界給予人類發展的障礙必將一一被我們所摧毀。像蘇聯已經在運用原子能來開闢山嶽，改變河道，在人跡罕到的地方創造新的樂園了。由此可見某一社會運用礦產的能力和程度可以作為衡量它的文化水平的指標。

礦產的開發與經濟建設的關係： 我國近百年來備受帝國主義的壓迫，經濟情況長期處在落後狀態，所有礦業都是襲用資本主義的經營方式，全部掌握在帝國主義及其爪牙官僚資產階級與地主階級手裏，其目的只是在追逐私人的最大利潤，所以經營是混亂而無計劃的。它的發展愈大，對資源的破壞也愈大，對人民的剝削就愈兇。現在情況不同了，在毛主席和中國共產黨領導下，中國人民翻了身，掌握了政權；所有礦山也掌握在人民手裏了，今後定將得到有計劃的發展，因為它是祖國經濟建設的一個主要部份；一方面要配合建設的需要供給工業建設所必需的礦物原料，另一方面要為祖國累積更多的資金來加速工業化，同時並為改善人民生活和提高人民的文化創造條件，以促進社會主義社會的早日實現。

毛主席教導我們要「一邊倒」，政治上必須走蘇聯的路，我們知道政治只是經濟的集中表現，在經濟建設上也必須走蘇聯的路。學習蘇聯的先進經驗就是要學習蘇聯在最短期間內肅清國內技術和經濟方面的落後性，俾將我們中華人民共和國很快地變成一個強大的工業國。所以我國經濟建設的計劃首先是以發展重工業為重點，因為重工業是一切工業之母，有了重工業，其他工業的發展就有了基礎；而重工業又是建立在鋼鐵，有色金屬及燃料等礦業上面的。是以礦產的開發又為發展重工業的先決條件。從這裏我們可以看出礦產的開發與國家經濟建設的關係是如何密切了。

我們祖先在研究和運用礦產方面的貢獻： 我國歷史悠久，文化發達很早，對於研究和運用礦物方面也有着很多貢獻。我們的祖先黃帝就運用指南針指示方向來和蚩尤作戰，結果打敗了蚩尤；證明我國很早就認識並運用了礦物的磁性。又如火藥也是我國最先發明的，證明我們祖先老早就認識並運用了硫和硝的礦石，又戰國時代齊國之所以富

強，就是依靠着「鹽鐵之利」。我國古書禹貢對各地的礦產土壤都有記載，曾列舉了金、銀、銅、鐵、錫等金屬和努丹，琅玕等非金屬礦物。山海經雖是一本古地理書，在礦產方面除敘述動植物外，對於金屬礦非金屬礦和各種怪石土壤也有記載，如關於石英(水晶)的產地和性質就講述得很詳細。在後漢時有神農本草一書問世，主要內容是談藥用植物，其次是動物，礦物方面也載有藥石四十六種，如鐘乳石，硝石和雄黃等都被列入；除討論性質外，並涉及到各物的用途。以後每一個朝代都有一些增加，到明朝李時珍所編纂的本草綱目，所載礦物就達三百五十七種了。我國歷史上玉的出現和運用也是很早的事，古書上常有子女玉帛的辭句，如禹會諸侯於塗山，執玉帛者萬國，戰國時秦國竟有以十五城來換取趙璧的舉動。我國著名學者，近代地質教育和地質工作的創始人章鴻釗先生，曾以他的科學眼光系統的整理了我國人民在這方面的知識，著成石雅三卷，上卷談「玉石」，中卷談「石」，下卷談「金」可以說對我國古人在這方面的貢獻作了全面性的總結，並為近代用新的科學方法來研究礦石開闢了道路。

礦物學的意義內容和所要達到的目的： 前面說過礦物學是在科學發達以後，從地質學中分離出來的。它研究的對象是作為組成地球基礎物質的礦物，舉凡礦物的形態，性質，成份，生因，產狀，變化，產地和用途等都是礦物學研究的內容。由於幾十年來科學家的努力，礦物學已經成為一門系統謹嚴，內容豐富的物質科學了；計可分為結晶學，物理礦物學，化學礦物學，礦物的生成與產狀及礦物各論等數部分。礦物學的研究經常要借助於數學，物理，化學，生物及狹義的地質學等的方法與原理。礦物學研究所得的成果回過來又可幫助這些科學的發展和提高。所以學習礦物學的人需要有較多的自然科學知識做基礎；學習某些自然科學的人，能夠具有一定的礦物學知識，定可獲得不少的便利。至於學習地質探礦，探礦，選礦，冶金的人對礦物學就應當特別重視，作為必不可少的專業課程了。因為地質探礦人員不懂礦物，不但不能發現礦產，也不能解決礦床上的問題；探礦工作者不認識礦物，常常將有價值的礦產拋棄不要；過去採錫礦的人，竟將共生的鎢及稀有元素礦物棄若敝屣，造成經濟上巨大的損失；選礦工作者不清礦物的種類，不但不能很好地利用尾砂中的有用礦物，而且也不能恰當的選擇選礦方法，因為不同類別的礦，應該利用不同的選礦方法來處理，才能收到良好的效果；冶金工作者不了解礦物的性質及種類就不能把各種可用的成分給予恰當的處理，全部無遺的提煉出來。那末同學們學習這門課程要達到怎樣的目的呢？我想有三點是必須達到的：第一要有系統地掌握理論部分並能靈活運用到有關的學科上去。第二要熟練地掌握操作部分，在必要時自己可以進行鑑定礦物。第三要有把握地認識幾十種常見的金屬與非金屬礦物，以便在工作中隨時解決所遇到的實際問題。

第一篇 結晶學

第二章 概論

一 導言

在自然界隨時隨地都可以見到結晶體，如食鹽、雪花等，古代希臘人就已經有了結晶體的概念，他們把水晶稱為結晶，以為水晶是過份冷卻的冰，我國古書上稱水晶的水精，也是「千年之冰變為水晶」的說法，其後將結晶體的意義推廣，把一般具有多面體形狀的固體都稱為結晶體。簡稱晶體。

結晶體的表面是由許多平面，即晶面圍合而成的。晶面相交的直線稱為晶稜。晶稜的交點為晶體的頂點。這裏必須立刻指出：結晶體之所以有一定幾何形狀，係由其內部原子，分子或離子微點排列的規律性所決定。這樣的結晶我們可以得之於自然界，也可以在工廠或實驗室中得到。前者的例子有：食鹽(NaCl)的立方體結晶；水晶(SiO_2)的兩端尖削的六方柱體結晶；磁鐵礦($\text{Fe}''\text{Fe}_2'''\text{O}_4$)的八面體結晶及石榴子石的十二面體結晶等。(圖1)

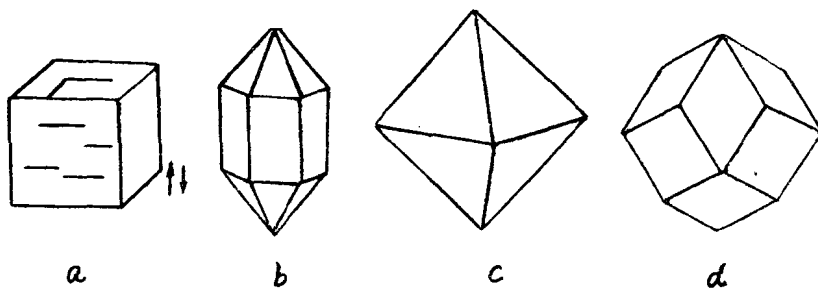


圖1 a—食鹽，b—石英，c—磁鐵礦與d—石榴子石的晶體。

自然界中形成的晶體，有時大小可與人同或者更大些。蘇聯科學院莫斯科礦物陳列館與列寧格勒礦專礦物陳列館內所保存的巨大石英結晶就有這樣大的。我國西康和東北也有半人高的水晶。在個別情況下，一結晶體的長度可達數百公尺（微斜長石和石膏都有這樣的例子）。但是一般晶體不一定很大，結晶物質也不一定有完美的晶體，細小的結晶微粒，我們必須藉助於放大鏡，顯微鏡，X射綫才能肯定它的存在和性質。

讀者自己亦可用人工方法獲得結晶體。欲達到這目的，祇須取一定重量的某種鹽類溶於定量的水中（例如，在室溫下取15—17克鉀明礬 $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ 溶於100c.c水中），使之蒸發，經過若干時間，該鹽類的小晶體即自溶液中析出並開始增長。

二 晶體的分佈

一般人每以結晶體為稀少的東西，極難遇到，因為保存在陳列館中自然產出的巨大結晶體不易見到，在實驗室中要製造較大的晶體也需要不少的時間和功夫。然而，我們若仔細地觀察周圍的東西，便不難相信結晶物質的分佈是很廣闊的。食鹽，砂糖與多種藥品均由細小的晶體構成。

如果用顯微鏡觀察，則結晶物質的數目還要增加。例如，任何一塊金屬均為結晶顆粒的集合體。構成地殼的絕大多數岩石也是如此。我們最熟悉而且在自然界中分佈最廣的花崗岩含有長石，石英，雲母三種礦物的顆粒，這些礦物都是由高溫液態的熔融物質（岩漿）逐漸冷卻凝固成功的。通過光學的研究，知道花崗岩的每一礦物顆粒都是結晶體。觀察個別結晶顆粒多半祇能看到曲綫的不規則輪廓，而不能發現其顯著的直線外形。這種情形的解釋是：岩漿中無數晶體同時生長，因此，個別晶體在彼此擠壓的情況下難以獲得各自的完整的外形。光學研究方法同樣證明了砂岩，粘土等沉積岩主要是由極細小的結晶碎屑構成的。其他有機生成或化學生成的沉積岩如石灰岩，白雲岩，岩鹽，石膏等亦為結晶物質。

自1912年開始用X射綫來研究顯微鏡所無法研究的結晶微粒的排列以來，結晶物質的範圍又行擴大。證明煤烟，蠟，眼角膜等也係細小晶體聚積而成的。

三 晶體的結構

這樣說來，前節所舉結晶的定義是不夠全面，不夠嚴謹的了。因為花崗岩，合金和許多化學沉澱物的顆粒雖係晶體，但由於生成條件的影響，並不具有有規則的幾何外形。

圖2表示食鹽與方解石(NaCl)中原子(離子)有規律排列的情況：

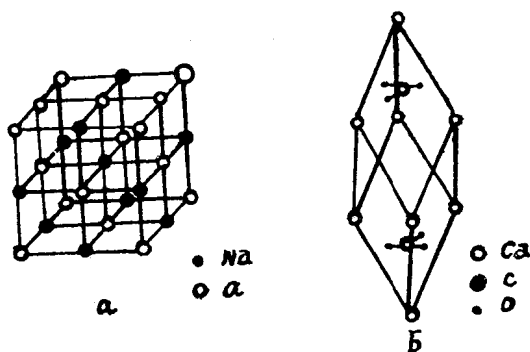


圖2 a—食鹽的結構。 b—方解石的結構。

然則一切晶體毫無例外的共有特性是什麼呢？這一問題終於由用X射線研究物質的結果作出了答案。X射線分析法能確定構成結晶物體的原子，離子或分子在空間的分佈情形。證明一切晶體均係由有規律地分佈於空間的質點構成。原子，離子，分子的有規則排列係結晶物質與非結晶物質不同的地方，後者的排列是沒有規則的。

一切晶體結構中均可找出相同的原子分佈在空間格子的交叉點上（圖5）。為說明這種空間格子起見，可於想像中用無數相等的平行六面體作平行而緊密的排列，填滿空間不留餘隙。方塊或磚的緊密堆砌即類似這種平行六面體組合的最簡單例子。倘在平行六面體的頂點或重心各置一原子（離子，分子），即得結晶體的空間格子（在實際晶體的結構中，佔據這些位置的常非個別原子或離子而係原子或離子羣）。

空間格子結構為一切晶體所具有，絕無例外，故成為晶體的特性，因此可給結晶體下一定義即：

凡質點（原子，離子，分子）作空間格子狀有規則排列的一切固體均稱為結晶體。

在迅速形成固體的情況下，由於質點的移動性急劇下降，不及分佈到有規則的相對位置上去，就成為非結晶體。

凡質點作不規則排列的固體，稱為非結晶體。

非結晶體的例子有玻璃，松香，膠等種。不過非結晶狀態並不穩定，隨時有結晶的傾向。例如玻璃「結晶」後即形成細小晶體的集合體。就是說固體的結晶狀態較非結晶狀態穩定，因為在晶體的結構中，最小的內在能力，保證了點質有規律的排列。晶體生成時放出熱能，晶體破壞（熔解或溶解）時吸收熱能就證明了這一點。在結構方面，非結晶物質與過分冷卻的液體相似，祇有結晶體才是固體的真正代表。

四 空間格子

茲詳細說明空間格子的作圖法及其若干細節。

於晶體內任取一質點，如原子 A_0 ，定為格子的原始結點（圖3）。設距原子 A_0 最近

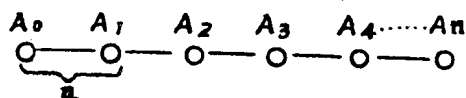


圖3 空間格子的晶列

處有同樣的原子（結點） A_1 ，距離為 a （ $a=A_0A_1$ ）。延長直線 A_0A_1 ，可得一系列沿直線排列的結點 $A_2, A_3, A_4, \dots, A_n$ 。該直線上各隣接結點間的距離均相同且等於 a 。

這樣沿一直線排列的結點的總和，稱為晶列。

a ——稱為列距。

實際結晶體的晶稜相當於原子排列最密亦即列距最小的晶列。

以原子 A_0 為原點，於直線 $A_0A_1 \dots A_n$ 外取同一平面內相隔最近的原子。設此原子為結點 B ，且與結點 A_0 相隔 b （圖4）。延長直線 A_0B_1 ，得一系列結點 $B_2, B_3, B_4, \dots, B_n$ ，構成一列距為 b 的新晶列。

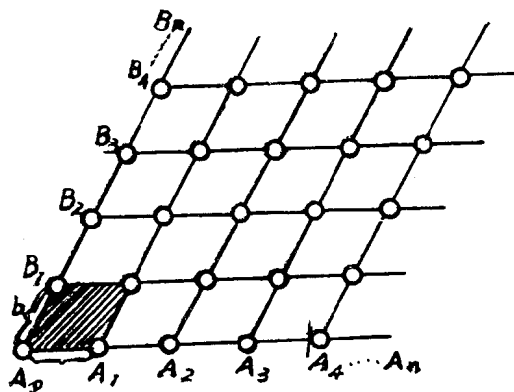


圖4 面網

經結點 $B_1, B_2, B_3, \dots, B_n$ 作直線平行於第一晶列 $A_0A_1 \dots A_n$ ，即得一組與其類似的晶列（所作品列的列距亦等於 a ）。同理，經 $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ 可得平行於晶列

結果，求得無數結點，此等結點分佈於同一平面內且位於平行排列而隣邊重合的平行四邊形的頂點上。這種平行四邊形將作圖面全部遮蔽，不留任何空隙（圖4中一平行四邊形畫有暗影），形成所謂面網。

空間格子更進一步的作圖須在作圖面外進行。於面網平面 $A_n-A_0-B_n$ 之外，取另一離原點 A_0 最近的原子 C_1 。設 $A_0C_1=c$ 延長直線 A_0C_1 得一系列結點。 $C_2, C_3, \dots, C_n$ ，構成列距為 C 的第三晶列。

經第一與第二晶列各結點可作兩組面網分別平行於上述二面網。所得三組面網相交而成平行六面體羣(圖5 中一平行六面體以粗線劃出)。

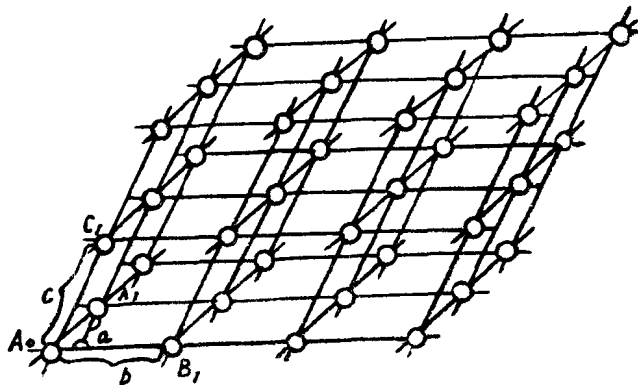
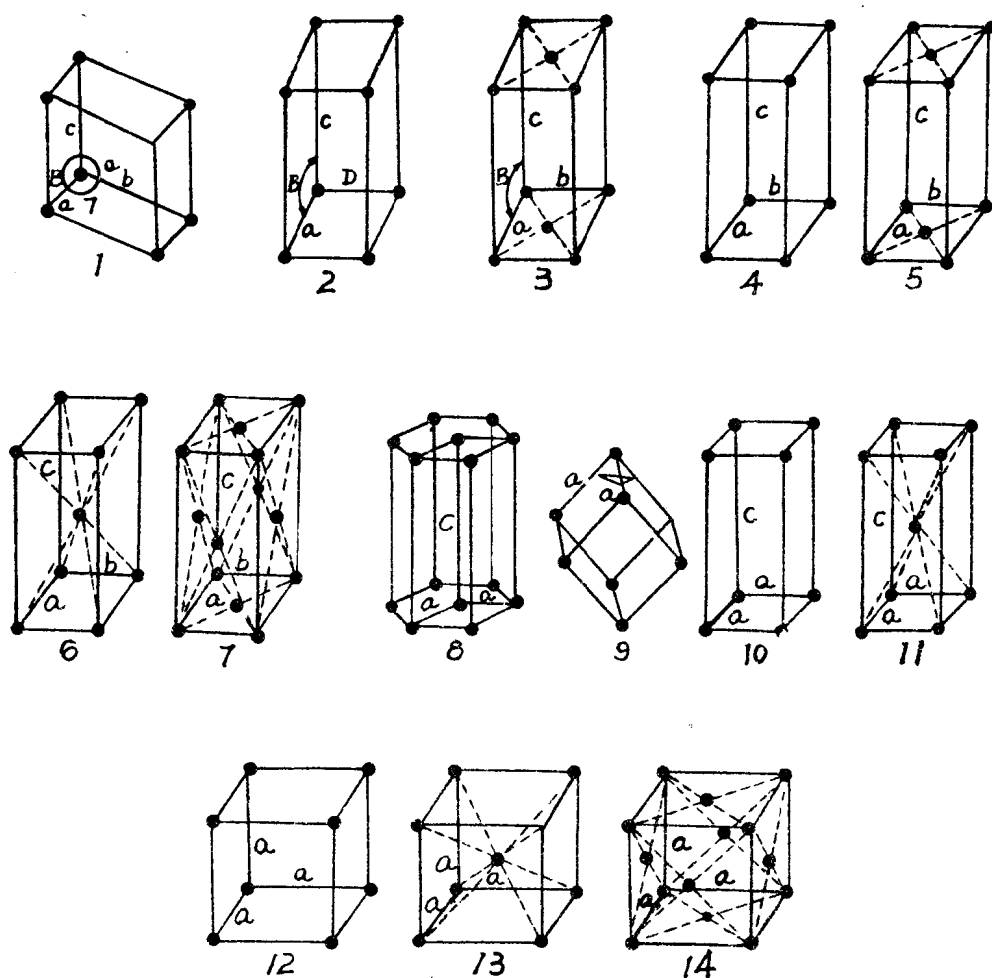


圖 5 空間格子

所得相等的平行六面體平行排列，隣面重合，填滿空間不留任何空隙。平行六面體的頂點上佈有空間格子的結點。

類似這樣的結構為非封閉形體，因各晶列均可延長至任意遠處。實際的晶體，在圖形上，可視為空間格子受稠密面網（晶面）與晶列（晶稜）的限制而形成的封閉部份。

關於空間格子的形狀，一般分為十四種，計三斜的一種，單斜的二種，斜方的四種，六方的一種，菱形的一種，正方的二種，立方的三種。根據弗遙特洛夫氏的研究認為一切格子均可用拉長或壓歪的方法，由四種理想格子，即一種六方格子和三種立方格子推演出來。



十四種空間格子圖

五 結晶的重要性質

上述空間格子的觀念係奠定現代結晶學的基礎。然而，關於晶體空間格子結構的理論在 X 射綫分析法發明以前早已創立。偉大結晶學家布拉維，弗遙特洛夫氏等曾予以精密而完整的數學證明。X 射綫的應用更以實驗方法證實了那些假想結構的正確性。

1912 年以前，結晶結構的理論完全建立在實驗方法所獲知結晶狀態的若干特性上。

結晶體的重要性質中有均性質與非均性質。

根據實驗在各個部份都顯同樣性質的物體為均質性物體，顯然的若結晶體的各部份都具有同樣的結構，就會有同樣的性質，也就是具有均質性。在此由於外界影響，而使真正晶體不純潔，如含有雜質或晶形不完整等現象，可以不予考慮。

物體沿同一方向為同一性質，而沿不同的方向常具有不同性質的稱為非均質性物體。

結晶體的非均質性無疑的與其內部結構有關。事實上空間格子的原子(離子，分子)在同一方向是完全一致的排列着，而形成同樣的列距。因此結晶的特性沿這個方向應當一樣，但常常沿着不同的方向，其質點列距不同，因而沿着這些方向的性質也不同。

云母係非均質性異常明顯的典型例子。云母的結晶薄片祇有沿平行薄板的平面才易裂開，在截面方向上分裂雲母片則要困難得多。另一非均質性明顯的例子為藍晶石($\text{Al}_2\text{O}_3[\text{SiO}_4]$)，藍晶石在不同方向上硬度大有區別。沿垂直方向，用刀鋒極易刻出刀痕，但沿橫斷方向，刀鋒不留任何痕跡(圖 6)。堇青石($\text{Mg}_3\text{Al}_2[\text{AlSi}_5\text{O}_{18}]$)為第三個例子，堇青石自三個方向觀察，呈現不同的色彩，如將晶體切成立方體塊並使其晶面垂直於三方向，則 aa 向呈灰藍色，bb 向呈黃色，而 cc 向呈深藍色。(圖 7)

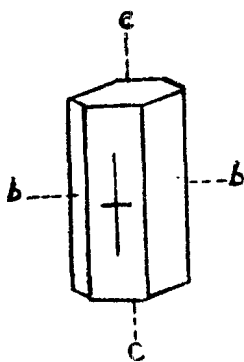


圖 6 藍晶石結晶。
b 向硬度大於 c 向。

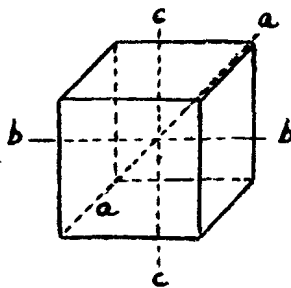


圖 7 堇青石切成的立方體。aa 方向灰藍色。
bb 方向黃色。cc 方向深藍色。

前述均質性與非均質性並非結晶體所獨有，非結晶體亦有均質性（如拉壓玻璃時，常發現其非均質性）。然而，在任何情形下，非結晶體決不能自行獲得多面體的形狀。例如由結晶體磨成的小球置於適當溶液中，經過若干時間就為晶面所包圍。相反，玻璃小球則不具有這種性質。這就是說祇有結晶體能形成多面體的形狀。再一次指出，這種特性係由晶體結構（面網——晶面，晶列——晶稜）所決定的。

六 結晶學與其他科學的關係

結晶學係研究結晶體及物質結晶狀態的科學。

結晶體中特有的格子式結構與對稱形態構成了結晶學的基礎。例如研究某一結晶體的種種物理或化學性質時，必須與結構中有嚴格規律性的質點排列相聯繫。結晶學研究的最後結果，必須以所研究對象的全部特性與其內部幾何結構完全符合為根據。在解決這一問題時，X射線分析起了很大的作用。

對稱的理論及結晶多面體的有規則幾何形狀與結構均須服從數學的規律，研究結晶體外形及其內部結構幾何學；總稱為幾何結晶學。

顯然的物理學必須研究氣體，液體及固體的性質，而結晶體係固體的典型代表，因此，固體物性學與物理結晶學彼此緊密關連且部份地重複。

結晶體的形成與生長，在物理化學中可以找到解答。而X射線分析說明原子（離子）的空間排列及相互位置；因此，結晶學為分子結構化學（研究分子中原子與離子空間排列的科學）提供了豐富的材料。

研究晶體結構及其化學成分間的關係是一門比較年輕，但發展迅速的科學——結晶化學。

所以數學、物理、化學是奠定現代結晶學的基礎。

然而就歷史言，結晶的研究係與礦物學平行發展，因此在一段很長的時間內，自然結晶體成為結晶學研究的唯一對象，結晶學雖係完全獨立的科學，直到最近仍被視為礦物學的一部分，其原因就在於此。但是現在結晶學却與物理、化學、數學有更密切的聯繫了。雖然如此，礦物學家在絕大多數的研究中不可避免地必須求助於結晶學。

除礦物學外，尚有地質方面的兩門科學建立在結晶學的基礎上：一為研究岩石的科學——岩石學；二為研究地殼內有關原子分佈情形的科學——地球化學，岩石學廣泛利用了結晶光學的研究方法，而地球化學是由結晶化學的基本定律發展而成的。

在若干科學技術上都或多或少地利用了結晶學的材料（如冶金、金相、光學器械、無線電等等）。

第三章 結晶的發生,生長與破壞

一 結晶的發生

結晶結構中質點的排列,使我們對促成結晶的力,有了近似的概念。

試觀察食鹽 (NaCl) 的結構。如圖2a所示, 質點(離子)分佈於填滿空間的立方格子頂點。這時, 立方體的平面上, 鈉離子與氯離子交替排列, 如棋盤上所列的黑白棋子一樣(圖8)

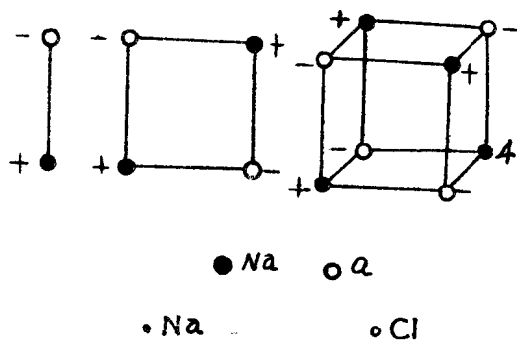


圖8 NaCl 結構中離子的排列

我們知道食鹽的結晶體是由氯化鈉 NaCl 的水溶液中析出的。鹹水湖中自母溶液結晶而自行沉澱的鹽, 可作這種結晶形成的例子。 NaCl 的水溶液中有帶電的氯離子與鈉離子存在: 鈉離子帶有正電荷, 氯離子帶有負電荷, 在分子運動中, 離子互相撞擊。這時, 帶異性電荷的離子互相吸引, 而帶同性電荷者則互相排斥。如運動速度相當低而離子數目相當大, 則帶有異性電荷的質點於撞擊時即聚結成羣, 每一正離子為負離子所包圍, 而負離子又復為正離子所包圍, 如是反覆不已, 終於得到食鹽所特有的質點分佈情形。

二 結晶體形成的途徑

除上述氯化鈉的結晶體是由溶液中析出來的以外。讀者當熟知許多從液體狀態結晶