

# 結 晶 学

丁 毅 編 著

四川人民出版社

---

# 結 晶 学

丁 毅 編 著

四川人民出版社

1957年·成都

---

# 学 晶 餘

第 一 卷

## 結 晶 学

丁 毅 編 著

☆

四川人民出版社出版

成都状元街20号

四川省書刊出版業營業許可証出字第1号

新華書店重慶發行所發行 四川人民印刷厂印刷

開本787×1092 1/25·134頁·10 9/25印張·227,000字

1958年1月第一版 1958年1月第一次印刷

印數 1—1,500 定价：(10) 1元3角

統一書号：13 118·5

## 前 言

本書是著者在重慶大學任教時為礦產地質勘探專業所寫的講義改編而成的。在編寫的時候，一方面力求精要、而能兼顧科學體系的完整，一方面注意理論與實際的聯繫，以及與有關課程的配合。

本書的材料來源大部分系採自蘇聯教本，其餘部分摘自歐美教科書及著者個人的心得和體會。幾何結晶學是整個結晶學的基礎，也是本書的主要內容，本書用了將近一半的篇幅作了比較詳細的闡述。在複式對稱及晶形劃分方面，著者提出了自己一些不成熟的看法。有鑒於晶體發生學、構造結晶學、結晶化學及物理結晶學等，都已各有專書，因此，本書有關各章都比較精簡。關於晶體中質點面間距離的說明和計算，初學者每感困難，本書特插入有關附圖，以助理解。為了與岩石學課程中晶體光學配合，本書重點地敘述了晶體光性的基礎理論部分。

為了便於初學者有準備地進行結晶學實驗，在本書附錄中編入實驗說明書十二份，按其所包括的內容來說，基本上可以滿足工科性高等學校地質勘探專業學生實驗之用。

在編寫本書的過程中，任朝風同志曾幫助搜集一部分重要資料。稿成之後，承邢士杰、龔夏生二同志校閱整理。竇成勛同志于百忙中惠予抽閱教章，提了不少寶貴意見。書中插圖承施際昭、張崇賢及謝征沛諸同志及時趕繪。謹志于此，以示著者對於以上各同志衷心的感謝。

本書曾試教兩遍，并根据試教的經驗与讀者的反映進行了修訂，可是仍然很不完善，敬希讀者不吝指正。

丁 毅

成都地質勘探學院

1957.7.

# 目 錄

第一章緒論 .....	( 1 )
I. 結晶体 .....	( 1 )
II. 晶体的內部構造——空間格子 .....	( 3 )
III. 晶体的一般性及特殊性 .....	( 4 )
IV. 結晶学及其与其他种科学的關係 .....	( 7 )
V. 結晶学發展簡史 .....	( 9 )
VI. 結晶学在國民經濟中的實踐意义 .....	( 11 )
第二章 結晶体的生長 .....	( 13 )
I. 結晶体形成的主要方式 .....	( 13 )
II. 結晶体的發生 .....	( 15 )
III. 晶体的成長 .....	( 16 )
IV. 影响晶体生長的重要因素 .....	( 20 )
V. 晶体的溶解与再生 .....	( 24 )
VI. 結晶体的制備 .....	( 26 )
第三章 晶面角恆等定律、晶体測量及投影 .....	( 29 )
I. 布拉維法則 .....	( 29 )
II. 晶面角的不變 .....	( 31 )
III. 晶体的測量 .....	( 33 )
IV. 晶体的投影 .....	( 37 )
V. 吳氏網 .....	( 42 )
第四章 晶体的对称 .....	( 46 )
I. 对称的概念 .....	( 46 )

II. 对称操作及对称要素 .....	( 47 )
III. 对称要素的组合 .....	( 55 )
IV. 晶族及晶系 .....	( 61 )
V. 对称要素的鉴定 .....	( 63 )
第五章 晶体的形状 .....	( 67 )
I. 单形及聚形的概念 .....	( 67 )
II. 单形的推导 .....	( 68 )
III. 四十七种单形 .....	( 71 )
IV. 单形的各种分类法 .....	( 79 )
V. 聚形的分析 .....	( 84 )
第六章 晶体常数及结晶符号 .....	( 86 )
I. 绪言 .....	( 86 )
II. 结晶轴 .....	( 87 )
III. 整简指数定律 .....	( 88 )
IV. 晶体常数及晶体定向 .....	( 91 )
V. 结晶符号 .....	( 95 )
VI. 晶带 .....	( 100 )
第七章 晶系各论 .....	( 105 )
I. 一般概念 .....	( 105 )
II. 三斜晶系 .....	( 110 )
III. 单斜晶系 .....	( 113 )
IV. 斜方晶系 .....	( 116 )
V. 三方晶系 .....	( 119 )
VI. 正方晶系 .....	( 126 )
VII. 六方晶系 .....	( 131 )
VIII. 等轴晶系 .....	( 137 )
第八章 实际晶体形态的复杂性及晶体连生 .....	( 143 )

I. 實際晶体形態的複雜性	(143)
II. 晶体的孪生及平行連生	(144)
III. 双 晶	(146)
第九章 晶体內部構造	(159)
I. 晶体構造理論的發展	(159)
II. 費道洛夫的平行面体學說	(160)
III. 十四种移動格子及空間羣	(163)
IV. 用樂琴射綫測定晶体內部構造的原理	(168)
V. 布拉格法及賡埃法	(174)
VI. 粉末法及樂琴射綫光譜	(177)
第十章 結晶化学	(181)
I. 結晶化学的任務与內容	(181)
II. 質點的最緊密排列和配位數	(182)
III. 戈氏定律及格氏定律	(187)
IV. 化学鍵、晶格類型及晶格能	(189)
V. 晶格能的概念	(191)
VI. 典型構造	(192)
VII. 類質同象及同質異象	(198)
第十一章 物理結晶学	(201)
I. 導 言	(201)
II. 晶体的力学性質	(201)
III. 晶体的熱学性質	(207)
IV. 晶体的光学性質	(209)
V. 晶体的電学性質	(216)
重要參考書目	(218)
附錄: 實驗說明書	(219)



---

实验一	晶体的發生与成長	(219)
实验二	晶体的測量与投影	(222)
实验三	晶体的对称要素	(226)
实验四	对称要素組合定理	(229)
实验五	晶体形狀	(231)
实验六	結晶符号	(234)
实验七	低級晶族	(236)
实验八	中級晶族	(239)
实验九	高級晶族	(241)
实验十	双晶及实际晶体	(243)
实验十一	晶体常数及晶面符号的計算	(246)
实验十二	晶格类型及最緊密堆積	(250)

# 第一章 緒論

## I. 結晶体

### 1. 非晶質及結晶質

物体因变形情况的不同，一般分为固体、液体及气体三种，或称为物体三态。液体及气体易于变形，其中組成的質点随时游动，瞬息万变。固体物質形狀一定，組成的質点类皆大致固定于一隅，彼此間关系一定，按各質点排列規則与否，固体物質又得分为非晶質及結晶質兩大类。

①非晶質：物体中的質点無規則排列者，称为非晶質，如气体、液体及玻璃一类固体屬之。非晶質固体的各方向性質大多相同，無一定熔点，常为無定形的塊体。礦物很少为非晶質，当其生于自由空間时，往往呈球狀或近球狀体，因其內部質点間無一定的拘束力，外形全受表面張力及重力的影响，故結果均形成一种体積最大而表面極小的体形。

②結晶質：物質中質点呈規則排列者称为結晶質，气体及液体中的質点向不固定，当然談不上規則的排列，故凡为結晶質者必为固体。結晶質中質点間存在有一定的价力，亦即所謂化学鍵的形成，此种力的由來，乃諸質点中的电子与原子核間相互作用，具有电的本性，各質点間的价力如何，則随各質点間的性質及內部構造而定。

### 2. 結晶体的定义

結晶質的物体称为結晶体，換一句話說，結晶体是內部質点呈規律排列的固体。当結晶体生長于自由空間时，由于內部質点一定排列的結果，外表往往圍有若干光滑而平整的面，形成一多面体狀，此种結

晶体或簡称为晶体。当晶体發育时，如环境有一定限制，外表質点的排列不能完全与内部相适合，結果也就成为不規則的塊体了。为表示其外形計，此种結晶体或簡称之为結晶。一結晶塊体中的質点如系按一个中心排列而成，此塊体即系一个結晶体。若系按二个以上中心排列而成，則称結晶羣体。羣体間的界綫有时不易識別，在适当环境下，結晶羣体可發育为若干个完整的晶体。

結晶細微，肉眼不可分辨，須用顯微鏡觀察者，普通名之为微晶質。若結晶体的界綫，即用顯微鏡亦不可辨別，唯可証实它作为一种晶質構造者，即名隱晶質。有时为方便計，微晶質亦名为隱晶質。

### 3. 結晶体分布的廣泛性

容易引起我們注意的結晶体，往往是一些晶形較完整，形体較大，而用作为裝飾品的宝石以及陈列館內的礦物标本。因此不免有人怀疑結晶質僅限于少数物体了。如果詳細觀察我們周圍的一切，便不难了解結晶物質的分布是非常廣泛的。在自然界內固多有生成，由实验室內以及各种工厂內所制造出來的產品，亦有很多为結晶質。

組成地壳的岩石几乎全部为結晶質，例如常見的花崗岩，其中組成的顆粒無一不是結晶体。無論由有机或無机化学作用生成的沉積岩，如石炭岩及石膏等，也是由若干結晶体組成的。地表上的散砂粘土，如放到顯微鏡下观察，也可認出它們是細小結晶碎塊所集成。总之，我們用在建筑上的各种岩石材料，培养農作物和森林的土壤，無不与結晶質有关。

工業上用途最多的鋼鐵，皆系無數晶粒的集合体。此种結晶的种类，关系机器的性能很大。陶器瓷器，医療藥品，亦多屬結晶物質。日常生活上不可缺少的石鹽，都具顯著的晶質構造，在适当的环境下，有时發育为巨大的立方晶体，击碎后，仍多为立方体顆粒。此外如蔗糖、明礬，無論为細粒碎塊，皆是結晶物質。

自用鑲射綫研究晶体成功以來，結晶物質的範圍又得到進一步的擴大，更証实了煤烟、眼膜及纖維等均为極小的晶体聚積而成，內部的結晶構造且極复雜。

## II. 晶体的內部構造——空間格子

結晶質與非晶質本質上的區別，在於內部的質點是否呈規則的排列。結晶的形成可謂係由若干極小的彈性圓粒堆積而成。為便於解釋其堆積情形，往往以空間格子來說明。空間格子是由三組互相交割的平行面相交而成的立體平行綫網所構成（圖1）。由各平面分成的最小空間區域稱為單位格子（又名晶胞）。空間格子的交叉點即晶胞的各隅稱為節或結點，組成晶體的質點或質點羣就是分布在這個節的位置上。結點間的距离是極為微小的，假設把結晶體磨成一立方公厘小的立方體，那麼每一邊大約相等於10,000,000個結點連接而成。因此，晶體的空間格子及結點皆可視為無限性的。

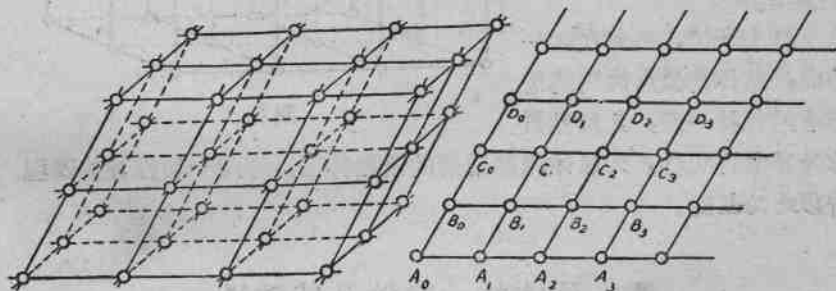


圖1

圖2

為了進一步說明晶體中的質點在空間分布的規律，茲將空間格子的特征進一步分析如次：

空間格子內二鄰接結點間的距离稱節距或周期，同一直綫上的節距恆相等，如圖2之 $A_0A_1 = A_1A_2 = A_2A_3$ 等。排于同一直綫上的結點之總和稱為晶列或行列，同一平面上相同方向的晶列必相同，如圖2上的 $A_0A_3$ 與 $B_0B_3$ 以及 $A_0D_0$ 與 $A_3D_3$ 均相同。

晶列相并形成面網，全網為同形等大的平行四邊形所組成，其間無任何間隙。同一方向的面網中各晶列恆相同。空間格子內任何不在

同一晶列上的三結点皆可决定一面網，按不同方向，同一空間格子內可分为若干不同的面網。

面網相叠，或由三組的平行面網相交，即得無数的平行六面体羣。各六面体形狀相同，大小相等，鄰面重合，填滿空間不留任何空隙。每一个六面体就是一个晶胞，它的形狀大抵随晶体的成份而異：成份簡單者，晶胞的形狀多为立方体(圖3)；复雜者，則以成斜角的平行六面体为主(圖1)。按各晶列上的節距和晶列間的夾角，平行六面体共可分为七种类型。

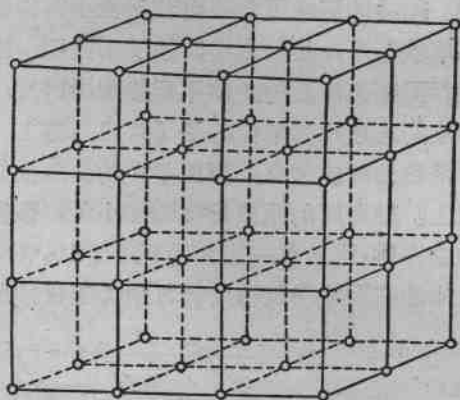


圖 3

综上所述，可知在同一方向，晶体內質点排列的情形永远保持一致，此种性質称为重复再現性，为晶体內部結構的重要特征，外形一切性質的表现皆以此为基础。

### III. 晶体的一般性及特殊性

晶体的性質，主要决定于化学成份，由重原子量的元素組成的比重則大，輕原子量的元素組成的比重較小。由同一成份組成的晶体，因生成时的外界条件不同，性質亦有差異。此种不同性質的發生，全系內部構造所决定。所謂晶体的基本性質，就是專指与內部構造有关的性質，其中包括異向性、对称性、最小內能、穩定性、均一性及多面体性等。異向性及对称性除晶体具备外，其他物体也有，最小內能及穩定性等，僅为晶体所必有，其他物体皆不具备。因此，前者称为一般性，后者为特殊性。对称性將專章討論，在此暫略，茲將其他各項分述如次：

## 1. 異向性

物体的性質隨方向而異者稱為異向性。設有一晶体的熱膨脹系數如圖4所示，不同方向，系數之值皆不相等，但不同部分的相同方向的數值則完全一致，其中 $AD=A'D'$ ， $AC=A'C'$ ， $AB=A'B'$ 。若將此晶体磨成一圓球用火熱之，結果必成一橢圓體狀，此即異向性的一例。

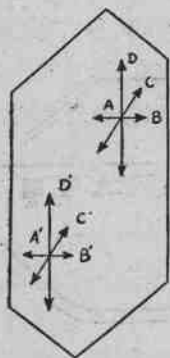


圖4

談到晶体形态上的異向性，云母可作為一典型性例子。此礦物大致呈一短柱狀晶体，柱子的橫剖面光滑如鏡（圖5），四圍柱面具有條紋，沿此條紋用刀切之，甚易分為若干薄片，如垂直橫剖面切之，則很難分割。此二方向性質的不同，按質點排列情形極易說明。在垂直橫剖面方向質點距離較大而吸引力較小；在橫剖面上，質點分布甚密，彼此連系甚緊，一經沿此剖面切之，故可分為若干薄片。

藍晶石的硬度也表現出顯著的異向性。晶体細長如圖6，在柱面上用刀切之，因方向不同，硬度差別很大。沿 $cc$ 方向，刀鋒在晶体上極易刻成條紋；沿 $bb$ 橫断面方向，刻後不留任何痕迹。

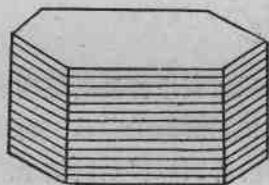


圖5

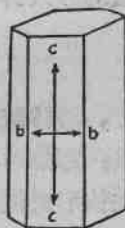


圖6

晶体的異向性變化甚大，有時非經精確測定不可。有若干晶体，在物理性質上呈均質性，但如按其內部構造言，仍是具異向性的。在溶液中，因某些分子作綫狀排列，常顯光學上的異向性。經壓縮後的非晶質固体，亦時具異向性的特征，故異向性為晶体一般性而非特殊性。

## 2. 最小內能

液体温度下降达結晶点  $c$  时 (圖 7.1), 温度即停止不变, 当結晶完成以后, 温度还可繼續下降。熔体及溶液的結晶也是如此。反之, 將一晶体加热, 开始温度逐渐上升, 大致与時間成正比 (圖 7.2), 当达熔点  $M$  时, 温度即保持不变, 等晶体全部熔化后, 温度始可再行上升。由此可知, 任何物質結成晶体, 必須放出很多热能; 晶体熔化、溶解, 亦須吸進很多热能。因此, 組成晶体的各質点与組成气体、液体以及非晶質固体相比, 他們所具的內能是最小的。

晶体的格子構造, 是晶体实现最小內能的結果。只有晶体的各个部分都位于位能最低的状态, 整个

晶体才能有最小的內能。因此, 同一晶体的各个部分, 应按同一种在能量上最合适的方式排列, 其結果就会具有格子構造。

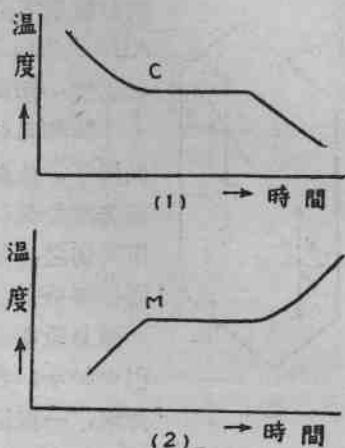


圖 7

## 3. 穩定性

气体擴散, 液体流动, 皆为其內部組成質点移动的証明。非晶質固体中的質点, 亦無时不在移动。不具任何構造的非晶質物体, 經一較長時間, 往往形成纖維狀構造, 此即內部質点移动的結果。在一非晶質物体上稍加外力, 質点移动当更迅速, 極易引起形变。

組成晶体的質点完全与上述物体不同, 各質点既成規則的排列, 其相对位置亦恆保持不变, 此种性質即称为晶体的穩定性。在普通状态下, 晶体中的質点僅有本位的振动, 温度升高, 振动的范围增大。在有缺位及扭曲的晶格中, 鄰近質点可向空处跳动, 此与非晶質中的質点無規則的移动完全不同。

#### 4. 均一性

一物体的各部分的性質完全相同者，就称为均一性。凡屬結晶物体，均一性十分顯著。例如石英晶体，單獨測之，比重为2.65，成份为砂占46.7%，氧占53.3%，击碎后取其中任一小塊測之，結果必与前無異。此种性質的發生，完全由于晶体內部的質点規則排列所致。因为質点的距离及关系一定，各單位体積內的質点数必然相等，各部分的比重及成份自会完全相同。

#### 5. 多面体性

結晶体生于自由空間时，常自發地形成几何的多面体形狀，此种性質称为多面体性或自限性。如因环境限制，結晶体未發育成一定形狀，得將其磨为球体置于适当溶液中，經過若干时日后，球体上也会生成若干光滑的面，若以非晶質試之，則絕难發生此种現象。

晶体多面体性是格子構造的直接反映。晶面就是晶体的最外面的一層面網，晶稜是晶体最外面的晶列，而角頂則相当于最外边的結点。

## IV. 結晶学及其与他种科学的关系

### 1. 結晶学的定义

結晶学为自然科学之一，是研究結晶体及物質結晶状态的科学。它的研究范围是結晶体的發育生長、外表形态、內部構造及物理性質等。主要对象为單獨的晶体。过去結晶学系以晶体的外表形态为主要內容，至本世紀初用X射綫証实晶体的外形及物理性質皆与內部構造有密切关系后，結晶学的研究就以內部質点排列的規則性为中心了。

### 2. 主要部分及任务

按內容的性質，結晶学大約分为五部分，茲將各部分的范围及任务簡述如次：



①几何結晶学：主要在探討晶体有哪些形狀，一切形态的推定，皆可按数学原理証明之。晶面角恆等定律为几何結晶学的基础，对称要素为几何結晶学的骨干。按对称要素分各晶体为三晶族、七大晶系，并可推出所有晶形。闡明晶面及晶稜的分布規律，推求代表晶面及晶稜的空間位置的結晶符号，亦为几何結晶学的重要内容。晶体按对称分类，完全与物理性質变化相合，晶面的規律分布，又可說是晶体具有一定的內部構造。故几何結晶学所論及的虽僅限于外形，但实为全部結晶学的基础，在礦物鑒定上，晶体形狀的鑒別，亦为重要方法之一。

②構造結晶学：晶体內部構造的研究称为構造結晶学。本世紀以前，晶体內部構造的研究僅限于理論的探討，常列为几何結晶学的一部分，自用鑿琴射綫研究晶体成功以來，構造結晶学得到飛躍的發展，对于結晶学的其他部分引起了巨大的推动作用。

③結晶体化学：一般地說，結晶的化学性質以及結晶成份与內部構造的关系，为結晶体化学的探討对象。类質同象混合物的生成，化学元素在地壳上分布的情况，皆可用結晶体化学原理一一說明。在礦物的分类和鑒定上以及地球化学的研究上，結晶体化学都有重要的实际意义。

④物理結晶学：研究晶体的物理性質以及其与几何性質和晶体構造之間的关系，称为物理結晶学。此在晶体利用及鑒定上皆有重要的意义。因結晶光性較為复雜，应用亦廣，研究岩石尤为重要，在物理結晶学中，往往敘述較詳。物理結晶学与物理学中的某些部分密切关联，在物理結晶学与固体物性学之間划一条明顯的界綫是不可能的。

⑤結晶体發生学：本部分主要在論述物質結晶状态及晶体的生長規律。近年來多着重于外界条件对于晶体生長影响的研究。这个問題的意义有两方面：一方面利用这些知識可以用人工的方法培养出工業与技術上所必需大而完善的晶体；另一方面可根据晶体形狀与內部構造及外界条件的依存关系，从事礦物成因的研究，以便确定礦床成因类型。因結晶發生的探討，应用物理化学方面的原理很多，因此，本部分有时称为物理化学結晶学。