

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 ■

中華民國六十一年元月出版

礦物學 下冊

基本定價：新台幣貳元貳角伍分

編著人：張 奕 華 館

著作人：國 立 編 譯 會

補助機關：國家科學委員會

印行者：幼獅文化事業公司

幼獅書局

地址：台北市延平南路七一號

台北市漢中街五一號

電話：三三九四四五

二三五八六五

三三七四八六

郵政劃撥：二七三七號

央館卡號：六〇一〇五〇

礦物學目次下冊

第六章	結晶化學	1
6-1	原子與離子	1
6-2	化學反應	10
6-3	類質同像	19
6-4	同質多像	34
6-5	礦物之生成與溶解	42
第七章	化學分析	56
7-1	吹管分析	56
7-2	礦物之分解	67
7-3	微量分析	71
第八章	礦物之放射性	83
8-1	放射性元素	83
8-2	放射性礦物	85
第九章	礦物之成因與產狀	88
9-1	礦物生成之原理	88
9-2	岩漿之凝結	89
9-3	沉積作用	93
9-4	變質作用	100
9-5	礦物之產狀	105
第十章	礦物各論	106

10 - 1	礦物之分類.....	106
10 - 2	元素礦物.....	108
10 - 3	硫化礦物.....	119
10 - 4	鹵化礦物.....	143
10 - 5	氧化礦物.....	147
10 - 6	含水氧化礦物.....	158
10 - 7	碳酸礦物.....	164
10 - 8	硝酸礦物.....	173
10 - 9	鉍鉬酸礦物.....	174
10 - 10	硼酸礦物.....	176
10 - 11	硫酸礦物.....	178
10 - 12	磷酸礦物.....	185
10 - 13	砷酸礦物.....	192
10 - 14	鋁酸礦物.....	194
10 - 15	鎢酸礦物.....	195
10 - 16	鈾酸礦物.....	197
10 - 17	釩酸礦物.....	200
10 - 18	矽酸礦物.....	202

第六章 結晶化學

6—1 原子與離子

(1)原子之意義：根據化學家之解釋，原子為物質之最小部份，彼此結合而組成化合物，如鹽、糖及各種礦物等皆是。物理學家則認原子為物質之一種型式，其體積極小，但決非最小之質點；又為能之淵源，更為進窺宇宙之踏腳石。電子科學家認原子為負離子之根本，即電子常固守於原子，在其引力之領域內沿一定之軌道運行。礦物學家則認礦物均由原子構成，且大部結晶皆係原子之三次元重疊而成。茲為瞭解其構造尺度及結晶性質起見，故研究指針乃及於其內部之組成。

(2)原子質點：原子為直徑 2.54×10^{-8} 公分之球形體，由質點組成，恰似一小型太陽系。其中心比擬太陽，而在外圍沿一定軌道運行之電子則比諸行星。原子之核心稱為核子，由互相吸着之更小質點組成。物理學家反對原子核之名稱，認其為彼此分離共處者，因而發現更多之質點，目前所知已有百十個之多。至其是否為最後結論，則不敢斷言。為便於研究計，通常稱此核心質點為質子與中子，質子帶正電，其中子雖不帶電，但原子之中心部份顯正電。中子之數量常與質子相同，至其帶電量則不受核子大小之限制也。

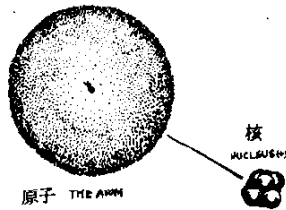
原子之體積至為渺小，而核子之體積更為渺小，由於一連串之實驗與觀察，得知核子之直徑僅為全原子之一萬至二萬分之一。但其質量幾與全原子之質量相等。核內質點之集合極為緊密，若將核外電子剝去，僅一立方吋之核子即重十五噸。例如一立方吋之鉛雖僅重0.41磅，但同體積之原子核則重達三萬磅。蓋以原子中間尚留有甚多之空隙也。

在自然界中，原子核並不單獨存在。因核子帶有正電，瞬即為電子所吸引而呈中和狀態。通常一電子必對向一質子，此等微小質點之

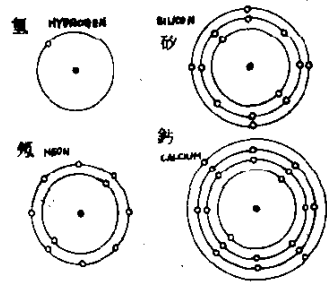
活動，恰似哨兵之巡邏要塞。電子除圍繞核子運行外，同時並阻止與其他原子陷於緊密之結合。至原子體積之大小通常隨其電子群之多寡而異，亦因其原子種類而不同。

凡由原子堆積而成之緻密物質，其重量悉為其核子之重，而各核子之間雖為電子所隔開，但其總重並不因此而稍減。如一竹籃滿載桌球，每球之中均裝有鉛彈核心，秤其全部重量幾與鉛彈之重無大差別。蓋以竹籃及球殼之重在全部重量上所佔之比例，實微不足道也。在通常之模型中，多有以乒乓球表示原子之重疊者，究諸實際，原子核目不能見，手不能觸，而為電子緊密包圍於內部，此與鉛彈核心桌球之比喻，確有幾分之相似。

電子為極微渺之質點，帶負電。至其他詳確性質，目前尚不十分瞭解。但物體為人目睹手觸時，首當其衝者，均為電子。物理學家咸認電子為力場中環繞核子運行之球形小點，恰如第 477 圖所示者。亦有認電子為分離之質點，或緻密之力點，且有推測其直徑為質子之二千分之一者。通常電子均沿一定軌道圍繞核子運行，不論何時何地，皆呈奔馳狀態。故其保護核子之方式，實足



第 477 圖 原子



第 478 圖 電子及電子殼

令人尋味。如將電子之奔行，改用固定解釋時，則對原子集合形成結晶之現象，反而易於說明。

電子所帶之負電，既與質子所帶之正電相中和，故原子核心所吸引之電子數必與質子數相等。又其運行之距離究屬甚微，以致物質本身仍不失為堅固之規則型式。然其活動性質却足以確定原子之化學效能，簡言之，物質之化學效能，乃取決於自然界之核子種類，蓋以其係極微小之質點，因其吸引電子數有多寡之不同，而造成各種不同之

原子也。

(3)原子之組成：根據宇宙成因論之解釋，所有核子均係星體內部之高熱熔融而成者。最簡單之質子及中子再加以其他質點，即成爲原始物質。如氫核子之中僅有一質子，只須再掠奪一電子，便可形成一完整之氫原子。但實際之熔融體中，有無數質子及中子相繼凝固，同時更吸引無數電子而產生各種不向之原子。在最複雜之鈾原子中，其核子內含有二百三十八質點，其中計有質子九十二，所餘者皆爲中子。通常稱質子之數目爲原子序 (Atomic number)，又因電子與質子之數目相同，故亦可測其電子數。

所謂原子之種類，乃完全取決於核子中各質點數目之多寡，而所吸引之電子數量，亦基於此。普通稱各種不同之原子爲元素，即使在性質及產狀上完全不同之金與氧，或碳與鉛之間，其原子之組成在本質上亦皆相同，僅核子中各相同質點之數目略有差別而已。

(4)原子殼：帶有負電之電子通常雖爲帶有正電之核心質子強烈吸引，但並不能進入核子之中，實際上僅能呈接觸狀態而已。即電子在核外維持某種限度之接觸，而不陷於緊密之癒合。由於此種反斥平衡作用，乃使電子在外層沿一定之軌道運行，是即所謂之原子殼也。有時電子偶然受撞而躍出殼外，但其他質點亦不能乘虛而入。

在標準元素中，極少之電子亦能形成原子外殼。如上圖所示者，氫原子核中僅有一質子，而在核外亦僅有一電子沿軌道運行。其次爲氦核子中有二質子及二中子，其原子序爲2，原子量爲4；在最內部之殼中，絕難容納二種以上之電子，於是在稍外層另闢新殼，以便收容爲較多質子所吸收之電子。再次爲鋰原子核中有三質子，其所吸附之三電子，二在內殼，一在外殼。又次爲鈹之原子量爲9，故有一電子獨據最外之殼。總之，原子殼之拓展與組合形式，常隨原子序之增加而趨於複雜，觀其電子圖解之橫斷面，頗似洋葱層片之重疊者然。

在上圖之氬原子中，其電子殼計有二層，在外層中共有電子八，此爲最外層之電子數最多者。至極複雜之原子中，其又次層之電子數

可達三十二個，但最外層在全滿狀態下，亦不超過八電子。此時所有電子，均能安於其位。同時拒絕與其他元素結合，甚至有時亦不與同種原子做複合之團結，而保持其單一原子之姿態。此種不起作用之元素，有時在大氣層中偶可見到。其中計有氦、氫、氖、氬、氪及氙等，在內殼僅有二電子，活動情形，幾等於零。上述各種元素均呈氣態，其在地殼中者，雖不與礦物結合，但有時可於礦物中見之。如氡即係鈾、釷等原子蛻變後之產物，根據其數量常可推算岩石之年齡，蓋以在放射性元素開始崩潰之前，地殼岩石即已經歷相當久遠之年代也。

(5)一般礦物之元素：在九十種之自然界元素中，計有五十一種為礦物中所常見者。普通所謂各種元素之原子量，為核子中質子與中子數之總和，而原子序則為核子中之質子數，故由原子量中減除原子序即得中子數。至原子量所代表者，並非絕對數值，乃係與氧或碳比較而來。且若干元素之名稱均已陳舊，而以早期發現者為尤甚。但亦有些仍屬新穎，蓋迄今尚無疵可擊也。為節省時間與空間計，通常均以簡短之符號以代表元素之全名。至符號之來源多係取自其名稱之最前字母，然亦有取自拉丁文、阿拉伯文，或德文之名稱者。茲將常見之元素例舉如下：

中名	英名	符號	拉丁名	中名	英名	符號	拉丁名
銻	Antimony	Sb	Stibium	鉀	Potassium	K	Kalium
金	Gold	Au	Aurum	銀	Silver	Ag	Argentum
鐵	Iron	Fe	Ferrum	鈉	Sodium	Na	Natrium
鉛	Lead	Pb	Plumbum	錫	Tin	Sn	Stannum
汞	Mercury	Hg	Hydrargyrum	鎢	Tungsten	W	Wolfram

(6)電子之得失：原子之大小取決於環繞核子之電子，而其最外之電子層，更有決定性之功能。由此可知，最簡單之氫原子為最小之原子，而最複雜之鈾原子則為最大之原子。當原子中含有較多之核心質點及核外電子時，其體積雖有增加之趨勢，但原子之直徑常基於其他

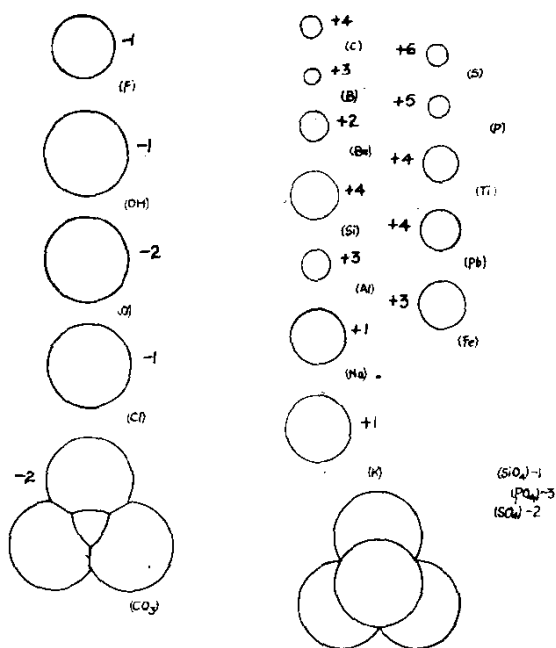
因素而不做等比之拓展。目前所知者，為核子愈複雜，其原子愈重，且內部吸引力亦愈增。故繪製原子之剖面時，其核子電子層應稍緊密。至原子在體積上之變化，首為電子之得失，其不但可影響最外部之層殼，且可直接變更原子之直徑。茲以僅有一電子之原子為例，當其失去質點時，最外部必大為收縮。同時其獲得一電子之另一原子，必設法增加其徑。故原子並非永遠保持固定之直徑，乃係基於外層電子之動態，而維持若干種型式之體積焉。

由於電子之得失，乃形成更多之化合物。至電子之得失原因，一為核子對電子之吸引力有強弱之不同，二為核外層殼之電子有多寡之別。當核外電子層內充滿一定數目時，其由核子發出之吸引力，即產生漸減之趨勢，其對最外殼層電子之吸引，遂呈極弱狀態。若此時適有另外之原子，在最外電子層不足八枚，則必展開強烈之吸引力，掠奪游電子以補足其空隙。蓋以電子之大部，通常均與核心保持適當之接觸，而不呈緊密之癒合也。因此在各原子之間，經常有一部電子此來彼往，按諸一定規則而進行活潑之交易。設三電子集結一團，或在一間隙內有三電子時，其交易即有失活躍。但四電子集於一團時，因恰為八電子組合之半，其交易情形則陷於混亂狀態，有時四電子集體走失，亦有時四電子同被掠奪。

設一原子失去電子時，即降於低度充滿狀態；反之，另一原子獲得電子時，則將其外殼層充滿。又不論為得為失，均足以破壞原子之帶電之平衡狀態。普通失去電子時，其原子顯正電，反之，則顯負電。此種因電子之得失，而使原子帶電之現象，特稱之為離子化作用。除此之外，當原子變為離子時，在體積上亦發生少許之變化。

(7)離子與價：離子即呈帶電狀態，其性質不同者，由彼此之強烈吸引而組成化合物。凡經離子化作用之原子，不論正負，均為帶電。通常稱其帶電數為價，其失去一電子者，稱之為正一價；而獲得一電子者，則稱為負一價。至價之表示，通常於元素之右上角以符號為之。如氧為 O^{-2} ，鉀為 K^{+1} 等皆是。

礦物中之元素普通均可離子化，其體積及價數之變化，則如圖中所示者。若干元素常放棄外殼層中之更多原子，故其價亦不限於一種。如鐵與錳在礦物成分中，通常均具有數種價態。因此對相同元素之礦物，不論在性質上或生成上，均有極大之影響。試觀赤鐵礦與磁鐵礦雖均由鐵與氧組成，但其性質則大有差別，究其原因，不外係價態不同耳。在礦物中除鐵與錳之外，類似此種情形者甚多。皆係原子核心吸引力減弱時，核外電子由殼層內逸出所造成者。



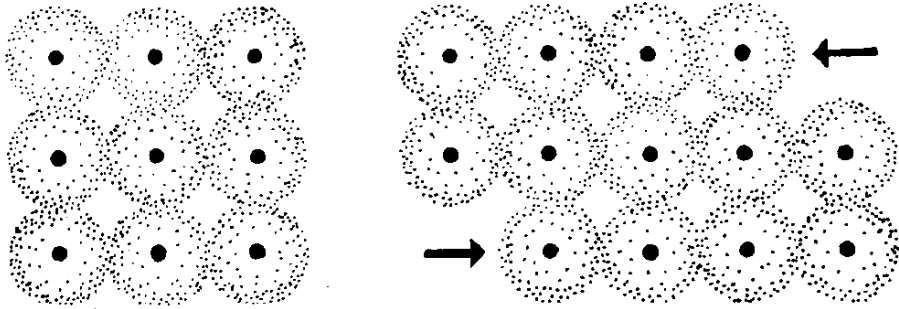
第 479 圖 離子之體積與帶電

(8) 原子之結合：除前述之各種鈍氣 (Inert-gases) 外，所有元素均

藉其間之吸引力，同時按不同之比例組成無數化合物，是為原子結合。至其結合型式目前在礦物所發現者，計有金屬結合、共價結合及離子結合等。通常在一礦物中多呈一種結合型式，但亦有在單一結晶中，其原子按數種結合型式同時並列者。即其中某些原子按照一種型式結合，而另外之原子則以其他型式互相連結。在結晶中之結合型式，對礦物之生成及性質上之差別，則有天壤之不同也。

金屬結合為普通金屬中所特有者。其特徵為原子之外殼重疊，各原子核則處於電子雲中而彼此間均保持一定之間隔。如圖所示，電子呈自由漂流之運行狀態，同時使金屬帶電並迅予運送熱量。設原子間之吸引力一旦鬆弛，且為強大之反作用力所乘時，其全部結構則趨予

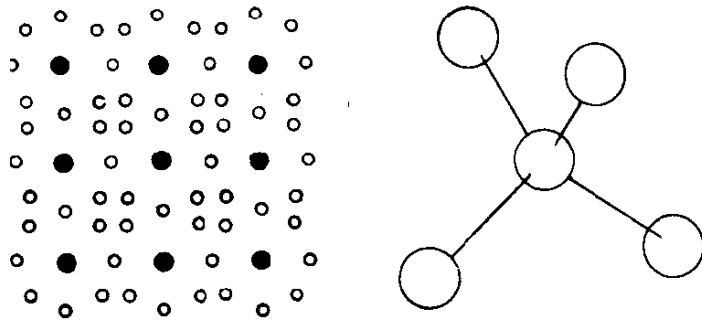
崩潰。但外力消失，各原子再迅速結合而保持其塊狀。通常金屬常具展性及撓性者，即基於



第 480 圖 金屬結合

此。又電子之移動亦常與光之通過發生高度之干涉作用，以致極薄之切片常不能透過絲毫之光線，此即典型之金屬光澤所以產生之主要原因也。除此之外，一般自然金屬，常較多數礦物為重，乃係金屬結合之原子接觸緊密所以致之。普通之金屬結合大多疏鬆，故易與其他元素結合而成化合物，至少數之金、鉑等，則鮮與其他元素形成化學之結合，而常以自然金屬之姿態產出之。

原子為充滿其外殼層之間隙，常吸引其周圍之電子，而維持八枚共處之狀態。有時在外殼層中之電子常負有雙重任務，即在一原子中分擔八分

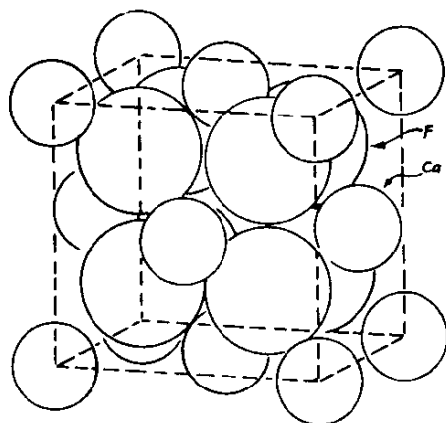
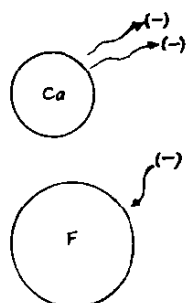


第 481 圖 共價結合（金剛石之四面體式結石）

之一角色，同時在相鄰之另一原子中亦充任八分之一義務。如圖所示，左方為碳原子之結合型式，每一原子之外殼層中均有四電子，若與完整者相較，則尚差一半。若各原子相互連接，其另外四電子雖為相鄰二原子所共有，然亦能補足八電子之數目。在金剛石之結晶中，為碳原子三次元之重疊，每一原子必處於四者之間，在互相合作及互享外層有價電子之結合型式，特稱之為共價結合。按此種結合型式所成

之礦物，不易熔融，亦不易分解，更不帶電，以強光投射之，則顯特殊光澤。

離子結合者，乃不同帶電之離子相互結合之謂也。如岩鹽之鈉原子常失去外部電子而成



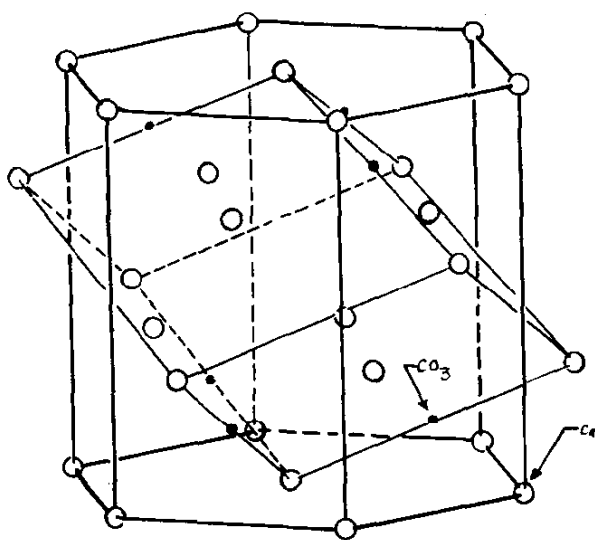
第482圖離子結合 (螢石之原子結構)

陽離子，可與獲得電子而帶負電之氯離子互相結合。其離子間之作用力則與金屬結合或共價結合中者，大不相同，此乃礦物在性質上產生差異之主要原因。在礦物界中，離子結合最為普遍。其所生成之礦物，硬度適中，為熱與電之不良導體，熔點稍高，多熔於水或酸，純粹者則呈無色。

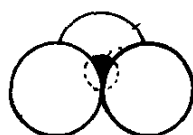
徵諸實際，在礦物中除上述三種結合型式外，尚有複合之結合。亦有某些原子結合型式不甚清晰，僅以殘餘之吸引力維繫原子層間之集合者。如石墨與雲母之薄層中，其原子之結合雖極堅固，但層與層之連結，則僅以殘餘之微弱吸引力維繫之。故手觸石墨，即為脫落之碎粒所污染。稍用指甲便可將雲母剝成極薄之片。概言之，多數礦物均以三次元之強大結合力儘量避免破碎，但其牢固程度則仍取決於吸引力之強弱，故方向不同時，其破裂之難易亦有差別耳。

(9) 根或複合離子：凡體積相差懸殊之元素形成堅固之原子叢時，特稱之為根或複合離子 (Radicals or complex ions)。在根離子之間，具有強大之吸引力，其在化合物中所擔任之角色，與單一原子之離子相同。如圖所示，為方解石之結晶構造，其所包括之原子種類，雖有鈣、碳及氧三種，但在實際之結構上僅為鈣與平坦三角形之碳酸根。碳酸根係由三氧離子圍繞一小碳離子之複合離子，在根之內部，由

碳之四核外電子兼併氧之核外電子而形成強烈之共價結合。因碳之電荷 C^{4+} 不足與氧之電荷 $3O^{2-}$ 維持平衡狀態，其所剩餘之二負電乃轉移目標而與鈣離子 Ca^{+2} 結合之。此種結合型式當方解石在水中分解時，可以獲得證明。即方解石之分解作用，僅係破壞鈣與碳酸根間之離子結合。兩種離子在分離之後，均漂泊於水中，一旦尋獲適當處所，自必再行沉積，而形成鐘乳石及石筍，此即石灰岩洞穴之指標也。在漂流過程中，碳酸根雖屢遭水之沖刷，但並不破壞而仍能保持其集體單位。



碳



氧

第 483 圖 方解石之結晶構造

除此之外，尚有甚多之複合離子，如硫酸根及磷酸根等皆是。至其排列情形則屬大同小異，即以大氧原子圍繞小硫或磷原子，因其體積均較單一原子之離子為大，故在結晶中對幾何學之構造影響至巨。

(10) 水與氫氧根：在結晶構造之大空間內，常收容有水之分子。因其吸引力較弱，以適度之熱即可將之驅出。若水之分子形成結晶之主要部分時，其結合程度常較堅牢；強熱之雖可驅之外出，但結晶亦告瓦解。如礦物中之含水硫酸鈣，通常稱之為石膏，在每單位之硫酸鈣中，含有二分子之水，其位置則在鈣離子與硫酸根離子之層間，因吸引力極弱，故沿層易於分離而成平坦之片。當加熱時，層位瓦解，水分即行逸散。此即工業上所稱之燒石膏，其呈粉末狀態者，則又以熟石膏(Plaster of Paris)稱之。若此時加水於其中，使之佔據原來鈣與

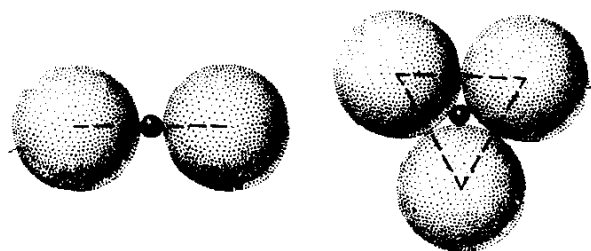
硫酸根間之位置，則可恢復其固有之結構。設當初加熱強燒，所有水分完全失去時，即變為硬石膏 (Anhydrite)。

普通之氫氧根 (Hydroxyl) 離子都寫成 $(OH)^-$ ，其中所含之氫及氧，雖與水中者無異，但與水相較則仍缺一氫原子，故結合力甚弱。但結晶中之氫氧根，其本身之結合力頗強，且通常帶一負電。

6-2 化學反應

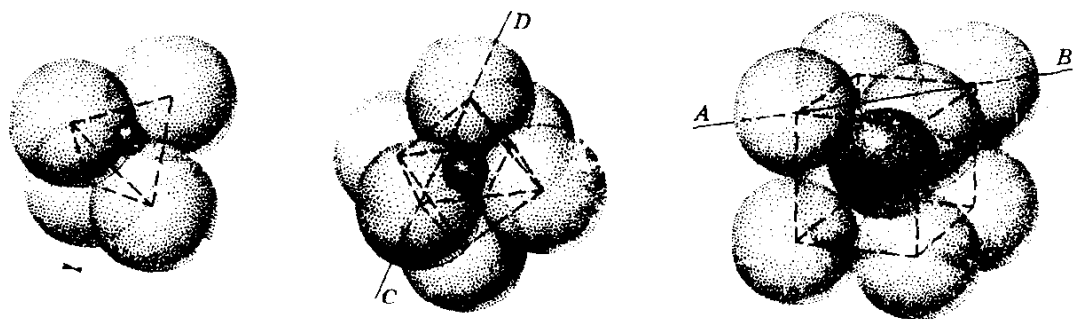
(1)基本之原子配位：構成結晶之原子與離子，因結合力不同而有各種型式。在離子結合中，為最鄰近之正、負離子互相結合。當原子形成一定體積之際，每一原子均為更多相鄰之不同原子所圍繞。其最簡單之型式為二大原子間

有一小原子，而形成啞鈴式，是為直線形配位 (Linear coordination)。此時稱大原子為小原子之配位，稱大原子數為小原子之配位數。其次為三大原子間



第 484 圖直線形配位與三角形配位

，由一小原子盤據，是為三角形配位 (Triangular coordination)。再次則為四原子複合之四面體式排列，中央有一不同之原子，其中心與四面體之中心重合，是為四面體式配位 (Tetrahedral coordination)



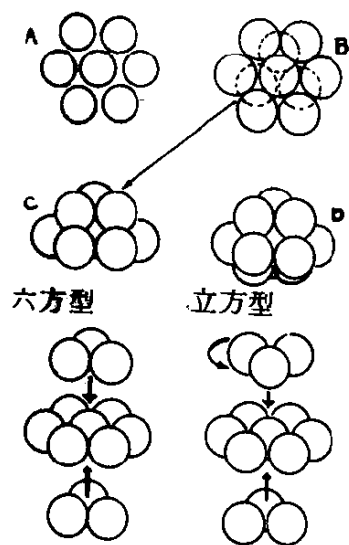
第 485 圖四面體八面體及六面體式配位

又次爲一原子由六不同之原子所圍繞，將六原子之中心以直線連結時，則成一正八面體，故稱八面體式配位 (Octahedral coordination)。最次爲一原子由八不同之原子所圍繞，將八原子之中心以直線連結時，因成一正六面體，故稱爲六面體式配位 (Cubic coordination)。設以 R_A 爲中間離子之半徑， R_B 爲外部鄰接離子之半徑，其半徑比 R_A/R_B 在四面體式之配位中爲 0.22，在八面體式之配位中爲 0.41，在六面體式之配位中則爲 0.73。

上述之配位數 e 與離子半徑之比有密切之關係，即配位數爲決定離子半徑比及結晶構造型式之主要因素也。又普通配位數之表示中，當正離子對負離子 (中間者) 時爲 n ，負離子對正離子時爲 m ，若二者兼備時，則以 $n - m$ 表示之。此間所謂之配位數，係指最鄰近離子間之關係而言，特稱之爲一次配位。至較遠之離子及更遠之離子間者，則稱之爲二次配位。

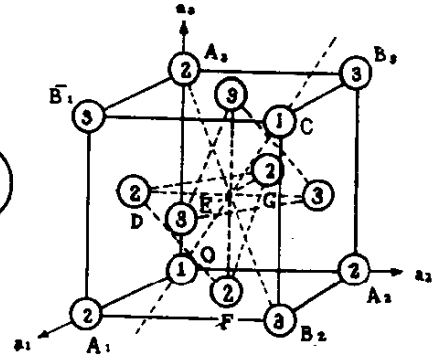
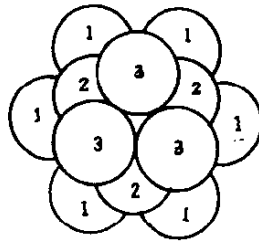
(2)最密充填：普通稱原子或離子在空間排列之密度曰充填度。某些結晶中之原子在排列上雖較鬆弛，但其中間空隙之大小或排列之型式，亦均具有規則性。至最緻密之原子，通常有二種排列型式，茲分述於下：

(A)立方稠密充填：如圖所示，以等大之球排於一平面上，使六球環繞一原始球，彼此間做緊密之接觸，是爲二次元之結合。在三原子鄰接之凹陷處再置一球，則上方圓球之鄰接處又產生凹陷，如此接續不斷，其上層之球必躍過下層二球始有相鄰之接觸。如在第二層之凹陷處更置一球，乃得第三連接層，是爲三次元之結合。按此種結合型式所形成之圓球叢，必呈立方體之對稱，且成面中心格子之排列狀態。左圖所示者，乃沿右圖格子集合球之體對角線 CO 方向觀察之斷面也。設結晶軸爲 OA_1 、



第 486 圖最密充填排列

OA_2 、 OA_3 ，而三晶軸方向之原子排列周期為 $\overline{OA_1} = \overline{OA_2} = \overline{OA_3} = a_0$ ，其右圖所示者，即單位胞之體積。若以座標方式表示構造中之原子位置時，均係以晶軸方向原子排列周期之幾分之一為標準，即右圖中之原子座標為：



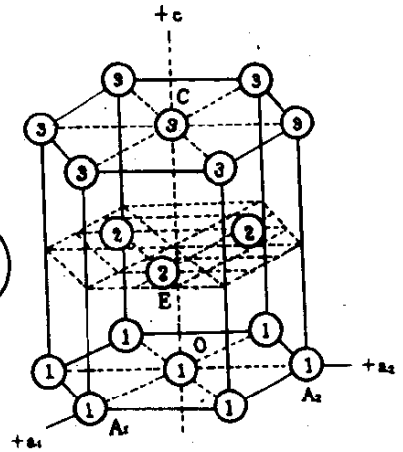
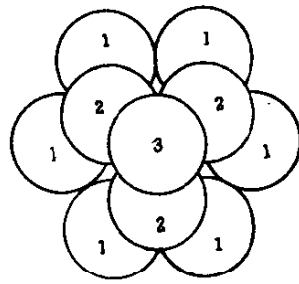
第487圖立方稠密充填

$$\begin{aligned} &O(000), & A_1(100), & F\left(\frac{1}{2}\frac{1}{2}0\right) \\ &D\left(\frac{1}{2}0\frac{1}{2}\right), & E\left(1\frac{1}{2}\frac{1}{2}\right), & A_2(001) \end{aligned}$$

至距離原點最近之 O 、 D 、 F 、 G 四原子，其座標可以 (000) 、 $\left(\frac{1}{2}0\frac{1}{2}\right)$ 、 $\left(\frac{1}{2}\frac{1}{2}0\right)$ 、 $\left(0\frac{1}{2}\frac{1}{2}\right)$ 表示之。

(B)六方稠密充填：

如左圖所示，第一層與第二層圓球之重疊方式與立方稠密充填相同，但第三層球則覆蓋於第一層之上頂，故形成右圖所示之六方稠密格子。即左圖係沿六方晶系之 C 軸方向觀察所得之斷面，其與紙面垂直之



第488圖六方稠密充填

方向乃右圖 CO 之方向。設 OA_1 、 OA_2 、 CC 三方向為六方晶系之 a_1 、 a_2 及 c 軸，且以三軸表示點之座標時，則 c 為 (000) ， E 為 $\left(\frac{2}{3}\frac{1}{3}\frac{1}{2}\right)$ 。

在礦物中所見之最密充填方式，通常多以四面體之排列為主體，蓋以其為最安定之原子排列型式也。

上述二種構造型式，乍見之雖不相同，但實際上均由相同之原子

面所形成，僅在累積重疊之方式上稍有差別而已。如將立方稠密充填型式之對角線置成鉛直狀態，且與六方稠密充填型式相互比較時，則同一原子面之重疊方式迥異。今以對角線為縱軸，而將與其垂直者定為水平軸，並以一原子為原點(000)時，則立方稠密充填之原子面座標為：

$$A(000), \quad B\left(\frac{2}{3}\frac{1}{3}\frac{1}{3}\right), \quad C\left(\frac{1}{3}\frac{2}{3}\frac{2}{3}\right), \quad A(000)$$

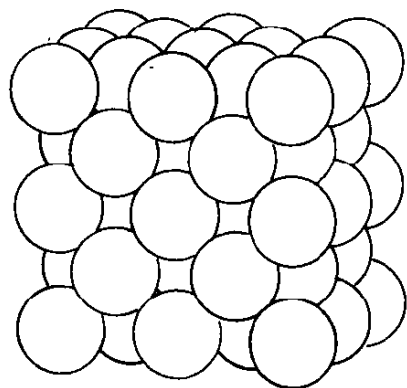
而六方稠密充填之原子面座標為：

$$A(000), \quad B\left(\frac{2}{3}\frac{1}{3}\frac{1}{3}\right), \quad A(000)$$

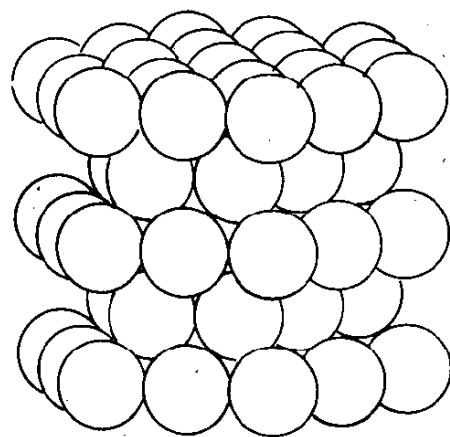
由此可知構造中之原子面，於平行特定之方向上變位時，因累積重疊之故，其在立方稠密充填中以四層為一周期，而在六方稠密充填中則以三層為一周期。

總之，

所有原子之體積多不相同，故其間之吸引力常生變易。即使原子確屬相同，但其排列型式亦不一致，以致所形成之



第 489 圖 立方稠密充填



第 490 圖 六方稠密充填

礦物結晶，大相逕庭。如圖所示，同為碳原子之最密充填，當呈立方稠密之重疊時，雖形成金剛石、但為六方稠密充填時，則成為石墨。又在自然金屬中，金、銀、銅為金屬結合與立方稠密充填兼備者，而鉑則為六方稠密充填。除此之外，尚有少數半金屬雖具金屬性質，但因條件不足遂形成歪晶。如銻、砷、鉍等均係稠密之重疊而向一方傾斜者。

(3)化學反應之進行與結晶學之性質：結晶學之全部性質迄未澈底瞭然，當研討化學反應時，發現與若干物質之結晶性質有相當之關聯性。由格子能之觀點言之，能與結晶構造間具有密切關係，至為顯然。而化學反應與有關物質之結晶構造間，亦復如是。在簡單之離子結晶中，其格子能可由公式計算。故由物質之化學反應，可以尋求其與結晶構造之關係。普通稱由離子形成結晶時之能，為離子結晶之格子能，其公式如下：

$$U_0 = -NA \frac{e^2 z^2}{r_0} \left(1 - \frac{1}{n} \right)$$

上述之中，N為單位胞中之化學式數，A為馬得隆 (Madelung) 常數，Z為原子價之最大公約， r_0 為最鄰近離子間之距離。

在岩鹽中，因 $Na^{+}Cl^{-}$ ，故 $Z = 1$ ，且 n 之數值通常為9，故其格子能位之公式為：

$$E_{NaCl} = -1.748 N \frac{e^2 1^2}{2.81 \times 10^{-8}} \left(1 - \frac{1}{9} \right)$$

$MgS + BaO \rightleftharpoons MgO + BaS$ 中，當反應物解離後，即升至高能位，因結合上發生變化，遂產生生成物，而物質之能位較反應物為低。至其構造型式因以離子結合為主，與岩鹽相同，故格子能之計算，自可適用岩鹽之公式。但其中 $Mg^{2+}O^{2-}$ ，於是 $Z = 2$ 。雙方之能位差可以下式計算之。

$$\Delta E = E_{MgO} + E_{BaS} - E_{MgS} - E_{BaO} = -N \times 1.748 e^2 2^2 \left(1 - \frac{1}{9} \right) \left(\frac{1}{r_{Mg} + r_0} + \frac{1}{r_{Ba} + r_s} - \frac{1}{r_{Mg} + r_s} - \frac{1}{r_{Ba} + r_0} \right)$$

上式之中， r_{Mg} 、 r_0 、 r_s 、……等為各離子之半徑，在括號中 $r_{Mg} < r_{Ba}$ 、 $r_0 < r_s$ 時，其值為正， $\Delta E < 0$ 。此時在右方之結合比較安定。

若按熱化學之公式 $\Delta G = \Delta H - T \Delta S$ 時【 ΔH 為等溫等壓時之熱量變化， ΔG 為自由能之變化， ΔS 為熱力學之函數，即熵 (En-