

特刊

青16124件

兩廣地質調查所

76225 特刊  
第十九號

THE GEOLOGICAL SURVEY OF KWANGTUNG AND KWANGSI

SPECIAL PUBLICATION No. XIX

# 鑛床成因分類學

H. Schneiderhohn 著

胡伯素 譯



兩廣地質調查所印行

(國立中山大學理學院地質系合作)

中華民國三十年八月 廣東坪石

Published by the Geological Survey of Kwangtung & Kwangsi  
Pingshek, Kwangtung, China, 1941.

# 礦床成因分類學

H. Schneiderhohn 著

胡伯素 譯

MG  
P611

## 目 錄

### 通 論

- (一) 定義及範圍
- (二) 分類
- (三) 造礦作用之自然程序

### 分 論

#### A 火成類礦床

##### α) 侵入岩漿礦床

##### (一) 液體岩漿礦床

- (1) 絕鹼性與鹼性岩石中之重力結晶分化礦床
- (2) 鹼性岩石中之液離分泌礦床
- (3) 中性及酸性侵入岩之主要結晶

##### (二) 液體岩漿期與汽化期間之過渡礦床

##### (二) 汽化礦床

- α. (1) 偉晶花崗岩脈、偉晶岩質外圍帶及洞晶帶
- (2) 汽化礦脈及浸染礦床
- (3) 接觸汽化交代礦床

##### (三) 汽化熱水液過渡礦床

##### (三) 熱水液礦床

- (1) 金銅鐵磷系
- (2) 鉛銀鋅系



3 1773 4733 7

(3) 鐵鉛鋅銀鉍系

(4) 鐵錳之硫化物及碳酸鹽礦系與硫化物脈石系

F) 噴出岩漿礦床

(一) 噴出熱水液礦脈

(1) 金銀系

(2) 銀錫鉍系

(3) 鉛鋅銅系

(4) 鎳汞系

(二) 噴氣礦床

(1) 活火山區域之噴氣沈積 (噴氣孔及硫質噴氣孔)

(2) 輝綠岩鐵礦 (與海底噴發及生物化學沈積相混)

## B 水成類礦床

(一) 老礦床之風化帶 (氯化帶與富化帶)

(二) 風化殘留物經淘汰作用而成之礦床 (沙礫礦床與塊層礦床)

(三) 風化溶液在陸地上造成之礦床

(1) 礫土及矽酸鹽礦床

(2) 磷酸鹽風化礦床

(3) 石灰岩及頁岩中之鐵錳礦床

(4) 乾旱區域盆地內滲入岩石中之富化礦床

(5) 內陸鹽礦沈積

(四) 風化溶液一部經無機化學作用一部經生物化學作用在內陸, 沼澤, 及海洋中之沈積礦床

(1) 鐵礦礦床

(2) 海成銻礦礦床

(3) 硫之循環作用礦床

(五) 在地下水區域由下降水溶液, 或加以降岩分泌作用而成之礦床

## C 變質類礦床

## D 附標準礦物之反應礦床

# 通論

## (一) 定論及範圍

所謂礦床即「礦」在地殼中之天然產生處所。「礦」即礦物或礦物之集合體。從此可以提煉金屬或金屬化合物者。此種金屬，係以較平均數為高之量，產生于礦床中。

礦床之科學的研究，務須包括下列各項：即礦物性質及其化學成分（礦床內容物），空間關係與大小關係（礦床形態），陸地之類別（礦床之陸地），礦床在較遠諸地之地質位置與其地層上或構造上之特徵。再有應注意者，即礦床本身與其陸地，因礦床影響而起之物理化學變化，礦床正物質富集之根本原因，各礦床在地質構造及地球化學之較大空間單位上，在金屬區域（Metalloprovinces）以及在火成岩水成或變質區域與時代中之歸屬等問題。

今日礦床學中至為重要而最有成就之智識，即礦床就其生成環境或條件言，與岩石根柢不能分離。此點是礦床之自然史，與一切同生礦物及岩石之生成史，至為密切相關。若吾人在礦物學及岩石學之觀察中，一切自然作用之結果，始嘗認真有用金屬富集成礦之現象，因此岩石學及礦床學，合成一不可或分之學科，位於礦物學與地質學之間，而包括此二科之大部分。然而礦床學自身，實形成一完全獨立之專門學問。

然而因礦床學之特徵，固不考慮經濟方面之意義，即不注重礦床之開採價值問題。所謂有關價值之礦床者，即由上述礦床，不論採用實驗室方法，提煉金屬或金屬化合物，且可用工業上方法開採之，並能獲利是也。

然而有關價值有關之首要問題，如陸地之事，即礦床之大小及其金屬含量，要亦為礦床學所宜注意。蓋礦床之數量（Quantity），無論就所有礦之噸數言，或每噸中金屬之百分比而言，皆為礦床學所宜注意。蓋因某處之天然礦床之存在，即為該礦物造成作用，曾經廣大範圍與長久時間「加倍的」（intensiv）盛行之証，而同一模式礦床在世界各部之廣泛分佈，正示此種造成作用之「普遍的」（extensiv）特殊重要性。

蓋礦床之開採價值問題，與極複雜之經濟問題，無與極複雜之工程學科，如採礦學，透視學，有密切研究之對象，且與礦業經濟及普通經濟問題關係最切，蓋非於此處應討論。



(南)

者也。

## (二)分類

前人對於礦床之分類，其根據各不相同，有就其形態而分類者，有以其與陸岩之關係而分類者，又有注重其所含之金屬，甚或按其地質年代，以爲分類之標準者。後則漸着重成因關係以分類。因礦物生成方面智識之增進，此觀點亦逐漸闡明，而達完善之境。但附此有一言者，即縱能對於一切可能造礦作用與某一種礦床之特殊生成環境，有澈底之了解，有助於亦不足以令一礦床在分類中歸屬於一肯定之處所。蓋在許多礦床中，知有若干物理化學性質不同之造礦作用，相繼而生，因此其產物今日互在一處發生能使礦床性質，倍形複雜。如在一處繼續發生之二個或數個作用，尙屬生因程序中密切相關之連帶作用，因而其產物造成分類上連接二個單純作用之混合礦床，或過渡礦床時，尙爲此種複合關係之最簡單者。

至在一礦床上連續發生之作用，其各個性質，甚形疏遠，或竟毫不相關時，則所成之礦床，根本即不能歸納於分類中之任何一項矣。故嚴格言之，礦床根本即不能詳分。所能分者，僅礦床生成作用而已。爲使複雜礦床，能歸入於分類中，吾人僅須着重其主要造成作用而忽略其次要作用，或則使該礦床分別在若干處加以歸屬，故下之成因的分類，實際即礦床生成作用之分類。

至礦床形態與其礦物等，固隨生因爲轉移，且每一大生因類中諸礦床之性質，普通頗與他類者有區別，然而混雜重複現象，在各類中發生，正不一而足。惟此與分類之主要點，即生因相形，則不免遞爲無關宏旨之事矣。因此諸如礦床之形態，礦床與陸岩之關係及礦床內容之組成等事，以後皆在諸較大之生因中分述之。

至於此分類法之歷史的演進，茲不加以贅述。要爲積案作者自1914年而後之私人研究，與1919年以來在教讀中之心得而成者，大部亦受 Lindgren 與 Niggli 二氏所持見解之影響。彼等之礦床分類法，蓋同時與作者各自獨立進行，而以類似之方式提出者。

## (三)自然程序

在地殼中，有三大自然造礦程序，是頁岩石，同時亦爲礦床分類之基礎，此計可彙爲火成岩水成岩，及變質岩三類。

其中火成類，恆組成一列有規則并前後相接之作用，意義單純向同一方向循序遞變。故其淵源得有一貫之綫索可尋。以吾人今日對於岩漿現象，首能略窺其玄妙之故，火成岩漿礦床，已可歸納於一自然的生因的分類之中。

一切水成作用之性質，則不免混淆紛歧，有時彼此關係毫無，互不相謀，故不能得一貫之造礦程序。因而以此為鵠的所作之礦床分類，綱要亦不見明晰，必要時一部分法，且難免遷強之嫌也。

在變質列中，因深度階段 (Tiefenstufen) 與相域 (Faciesbereiche) 之關係顯著，故自成一密切相連之大類。但各單一作用，以原來材料之不同，與同質異像之逆轉作用 („Diaphonese“)，尤以變質作用之缺乏平衡位置 (Mangelnde Gleichgewichtseinstellung)，故其真正性質，亦常莫能辨別。因此其分類，常多為一意想之組合，而非一忠實之圖解。

# 分 論

## A 火成類礦床

自前試一考火成岩造成與岩漿礦床生成之地質的與物理化學的作用；知前二者間，有一可以逐步詳究之生因的密切關係存在，此則不特在各礦區局部情形爲然也。抑且礦床發生形態，金屬內容，及某類礦床的地理分佈，又顯與地球之大的火成及構造單位，有一定之相互規律關係。此規律至今日更日見顯著，而爲人所公認矣。

火成礦床之造成律，凡一切作用與岩漿，即地殼較深處之熔融部分之向外侵入與固結相關者，吾人歸之於岩漿列。在此列內，有一組具規律性性質上下相連之作用，產生逐漸變換之同生礦物，吾人雖須設想此流動之岩漿，在一定深度下，大體爲均質性，但由先後發生之凝固作用所造成之礦物，則可彼此互異，此種不均一性質，蓋發生於結晶時，亦受結晶之影響，是即岩漿之分化作用。

凡火成岩，以及當火成岩造成時或火成岩造成後分作若干時期而產生之礦床，即由岩漿之各種分化作用所由生者。至於結晶時分化之原因，主要與地心吸力有關，再則亦爲不均一外圍環境影響之結果，而岩漿固結時，溫度與壓力之下降，尤爲分化之重要因素也。

因此無數時間與空間皆有差別之同生礦物，火成岩及火成礦床，就生因言，概由一均質體之岩漿所從出者。雖彼此互呈各種化學的與礦物的差異，但其相互之關係，却仍有跡可尋。嚴格言之，彼此蓋具血統關係者 (blutsverwandt)。譬之吾人稱由同一單位岩漿所產生之一切火成岩曰岩石區域 (Petrographische provinz)，故凡由同一單位岩漿所產生之全體火成礦床，亦可稱之爲岩漿或火成金屬區域 (Magmatische Metall provinz)。此種金屬區域與相當之岩石區域，蓋合成一具高度的區域性單位 (Provinzielle Einheit höheren grades)。

深切了解分化作用，尤其一切火成同生礦物之造成作用，——包括礦床——即所以探究岩漿之物理化學性質。就岩石之成分言，其難揮發部分須超過1000°始能蒸解者，約佔百分之九十(矽酸鹽十氯化物)。其餘之易揮發部份，如H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>S, HF, HCl, CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>，與

成重金屬等之氯化物及氟化物，其凝結點與沸點，甚至大部臨界溫度，皆遠在難揮發質者之下。然以高壓之關係，却皆在地球內部溶解於難揮發之矽酸鹽部份中。此種異質成分之相互溶液，使岩漿在冷卻時，顯呈一種特別性質。因易揮發部份之強大蒸汽壓力，故內張力甚大。此種內張力，且隨溫度之降低而升高，又以難揮發部份之繼續分出，易揮發部份，在餘漿中積集亦愈多故也。由此逐漸冷降之結果，可使易揮發部分沸騰而蒸溜。此種現象，係作階段的進行，在難揮發質之造岩礦物生成後，尤能綿續甚久，因此隨溫度之減低，而造成序次井然之礦床。

是以在此甚複雜之火成礦床中，亦須如前人之於火成岩中所行者然，按其凝固時距地表面之深度，與當時之壓力情形，及冷卻速度而將各種作用，分為二列：即（一）侵入岩漿礦床列，此列中礦物之造成，蓋在地球內部進行并完成者，而（二）噴出岩漿礦床列中礦物之造成，雖可在一定深度下開始，顧大部仍在地表面或其附近始行結束。

此兩大列礦床之重行分類，自然可決之于結晶過程中之情形。按此可分為無數部分，一即液體岩漿期，包括土90%難揮發部分之分出，火成岩及液體岩漿礦床之生成。他方面即火成岩造成後之一期，因溫度之下降與距岩漿之漸遠，乃產生偉晶岩，汽化及熱水液同生礦物。此完全序列，在侵入岩漿列中，最為單純。反之，在噴發作用中，許多同生礦物常缺失，甚至根本常不見造成，在侵入類中，有許多過渡形式及混合礦床，其中先後屢續發生而成因相同之同生礦物，互在一處，是即所謂過渡礦床者，尤能表示自然造礦程序之完整耳。

## ×) 侵入岩漿礦床

按上述原理，侵入岩漿礦床，可作如下之分類：一、液體岩漿礦床，二、液體岩漿期與汽化期之過渡礦床，1. 胎凝自水解作用礦床 2. 擠壓侵入礦床，二、汽化礦床，三、汽化熱水液過渡礦床，三、熱水液礦床。

屬於此各類之重要礦床，當隨於下分別述之，而標準元素之結合與同生礦物，為每一種礦床之特徵者，亦當列舉之也。

### (一) 液體岩漿礦床

所謂液體岩漿礦床，就時間，空間，及生因言，蓋與矽酸鹽難揮發部份之結晶，即與火

成岩之造成應相混合者。其所以分離而集中，主要由於兩種作用：即由於氫化質或礦物之重力結晶分化作用，(gravitative Kristallisationsdifferentiation) 並由於硫化質及氫化質熔融體與矽酸鹽熔融體之液離作用 (Entmischung)

1. 絕鹼性與鹼性岩石中之結晶分化物。一岩漿之動結晶分化作用，即Fe與Mg之矽酸鹽(橄欖石與輝石)以及氧化礦，如鐵鐵礦，鈦鐵礦，及鎳鐵礦與或存在之鈦類金屬，首成不易溶之部份而分出。在矽酸鹽中，鎳鈦及鈦亦作類質同像之混合。同樣氫化礦物，如磁鐵礦，常含鈦質，而磁鐵礦，又溶解有鈦質，再則液離之混合結晶 (Entmischte Mischkristall)，如含鈦磁鐵礦 (Titanomagnetit) 亦相當普遍。因為此種類質同像及元素相屬關係，大部份鈦質，幾乎全部鎳鈦，以及大量鐵質，在初次結晶，即已自岩漿中脫穎而出。諸此初期分泌物，皆較殘漿為重，可在徐緩凝固之情形下，流入深處而富集，遂以造成絕鹼性之小體 (Ultrabasische Schlieren)，此即名為橄欖岩，輝石岩，及純橄欖岩 (Dunit.) 之橄欖石輝石岩石，而多少含大量鎳鐵礦及鈦類金屬，與夫磁鐵礦或鈦鐵礦者。大部份鐵礦，仍略伸入其次之火成岩造成期中，於此除橄欖石及輝石外，亦有鹼性之鈣鈉長石分出，而造成輝長岩及紫蘇輝長岩 (gabbro und Norit)。鈦鐵礦及含鈦鎳鐵礦之主要部份，甚且屬於此種岩石類中。因此吾人可總稱此種鈦鐵礦，含鈦磁鐵礦，鎳鐵礦，鈦類金屬與夫非金屬之金剛石礦床，為結晶分化物 (Kristallisationsdifferentiate)。茲再分別論之。

a 絕鹼性岩石中之鎳鐵礦礦床 礦物幾全為鎳鐵礦  $(\text{Fe-Mg})(\text{Cr, Al, Fe})_2\text{O}_4 + \text{Cr}_2\text{O}_3$  佔52—58%，偶有含鎳尖晶石。僅產於絕鹼性之鎳質岩石，橄欖岩 (Peridotit)，純橄欖岩，輝石橄欖岩 (Lherzolit)，斜方輝石橄欖岩 (Saxonit)，異剝橄欖岩 (Wehrilit) 中，或在由此各種岩石經自水解作用而生之蛇紋石中，尤為普遍常見者也。未呈蛇紋石化之岩石中之礦物，為橄欖石透輝石，古銅輝石，與極少之鐵鋁雲母 (Lepidomelan) 及柘榴子石，皆略含鎳。鎳鐵礦在此返較老，而成自形 (Idiomorph)。至在蛇紋石化之岩石中，除緻密之蛇紋石，佔主要部份外，亦有蛇紋石石棉 (Serpentinasbest) 滑石，矽化及碳酸鹽化之分解物，如菱鎂礦，白雲石等。一小部鎳鐵礦，蓋為再造而成者，另一部則又顯為新分出者 (為至汽化作用之過渡期，見 一/三, 1b.)。鎳礦之成分無定，因鎳鐵礦之分佈，變更甚大，有時實際可成極純淨之質也。商業上鎳礦，多含48—52%之  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ，亦可減至42%。除鎳鐵礦本體外，降岩所含之  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  量，僅佔十分之幾而已。

鉻鐵礦床之形式及大小，甚不規則，作巢狀，扁豆狀，條狀 (Schlieren)。有時許多礦巢成條狀相連，而構成相當規則之礦帶及礦層 (Bänder und Lagen)。此礦層或帶，則亦帶接二連三而發生，而形成流紋狀 (fluidal) 之構造。惟有一例外，即 Transvaal 之 Bushveld 鉻鐵礦床是。在此則成窄狹，而界限明顯之層，延長甚遠層位亦固定，介於別種紫蘇輝長質及斜長質岩石之間。在此鉻鐵礦礦帶中，蓋亦有斜長石之迹也。

普通此種鉻鐵礦礦體，幾恆成不規則之排列，并生于火成岩本體內，絕無在其縫隙或接觸處發生者。

最大而著名之鉻鐵礦礦床，在非洲 Suidrhodesia 之 Selukwe 地方，今其出產，漸見重要。自 1927 年以降，幾供給二分之一之鉻鐵礦，此外著名之鉻鐵礦產地，尚散見於 Neukaledoni-en 小亞細亞，希臘，英屬印度及北美等處。

b. 經驗性岩石中之金剛石。其產狀及同生礦物與鉻鐵礦礦床，多有相類似之處。因在鉻鐵礦礦床中，常多少散見有金剛石故也。

c. 絕緣性岩石中之鉍類金屬，亦產於鉻鐵礦礦床中，反之所有原生鉍礦礦床，皆含鉍鐵礦，同生礦物與輝岩。二者當實際一致。鉍類金屬多由自然狀態而產生，亦作鐵鉍礦 (Eisenplatin)，鐵鉍礦或鉍鐵礦 (Qsmiridium oder iridosmium) 而產出。在烏拉山產鉍之純橄欖岩，為輝石岩所包圍，并作小侵入體，夾於大而延長甚遠之輝長岩中。該處亦有含鉍之橄欖岩。Kolumbien 之鉍礦情形，類亦如是。南非洲之 Bushveld 有數類不同之母岩，如有富於鐵質橄欖石之純橄欖岩 (Hortonolithdunit) 及貧於鐵質橄欖石之純橄欖岩 (Hyalosideritdunit) 是。二者皆成筒管狀體，而為他種不含鉍之鐵質橄欖岩石及輝石岩 (Mg-olivinstein und Pyroxenit) 所圍繞。

鉍量亦無定。烏拉山之新鮮純橄欖岩，含鉍最富者，每一噸約為 0.05 公分 (設其分佈均勻)。Bushveld 鉍量尤富。在甚遠之距離內，其平均量每噸可達 10—30 公分。有時每噸且可至數百公分，因此南非洲之鉍礦，開採甚盛。至在烏拉山及 Kolumbien，如欲開原生鉍礦，按今日方法，實有不可能者也。

d. 輝長岩紫蘇輝長岩及斜長岩 (Anorthositen) 中之含鈦磁鐵礦，鈦鐵礦 (Titaneisen)。礦物為含鈦磁鐵礦，即磁鐵礦而含有由液態作用造成之顯微鏡的鐵質尖晶石 (Eisen-spinell) 及鉍磁鐵礦等細微者，微量之鈦質，大概藏於尖晶石中。鈦質則甚多變動。平均礦石中，鈦與

鐵之比例，為15:100。純粹鐵，其例甚少。在此鐵與鈦之關係，自為1:1。又一最稀少之例，即完全為二氯化鈦，蓋僅由純粹之金紅石單獨成礦者。其隣岩為輝長岩，紫蘇輝長岩，或純粹長石之岩石，故其礦物，如橄欖石，輝石，斜長石及其自變質之產物(ihre automorphe umbildungsstoffe)，皆與鐵鈦礦相混，而在礦體中發生。

鐵量多不甚高，約在35—45%左右， $TiO_2$  為7—15%，僅在適述之第二類（即鐵與鈦之比例為1:1時），可達至50%。礦體成不規則之條狀，僅在火成岩體之中部產生，逐漸減少至移變為純粹之母岩。如礦體界限清楚，而成脈狀或層狀時，其性質已漸近於擠壓侵入礦床間之過渡礦床矣（—a, 2）。至礦床常甚巨大。瑞典Routivare有一礦谷，佔面積300,000平方公尺，又Taherg 礦區達 260,000 平方公尺之廣，他若此種礦床之巨大且為數甚多者，在瑞典，巴西，加拿大及美國皆有之。Bushveld之鐵鈦礦，在紫蘇灰長岩中成層產出，就其形狀言，蓋為一特殊之例也。其厚為0.3至0.6公尺，長達數千公尺，含金屬甚富。鐵可達51—60%，而鈦可至12—20%。此類礦層，至今日已知已達250000公尺之長，故在該區內至少此類礦有二十億之鉅云。

雖然，此種宏富之礦量，至今日可謂無處已從事開採。因其中之鈦及鐵質，結成難溶之渣滓，提煉時損失熱力太大。將來或以其無窮之礦量，兼可提煉煉鋼用之重要鉑質，因可成爲一等良礦也。

此類礦床，主要部份，自無疑為結晶分化作用所成，但有地亦發見多少為自變質與汽化性質之副成分，參雜其間，其同生礦物，生成次序，構造與礦床形式等，似頗具如次述之液離作用礦床之特徵，竊就其生因關係言，實為代表胎凝汽化期之過渡礦床者也。

## 2. 鹼性岩石中之液離分泌物 (Liquide Entmischungssegregate)。

在一定情形下，岩漿可在液體狀態，發生液離現象，且此種分離，在岩漿結晶之前，因之數種元素，得以富集。此種由一單位熔體而分裂為二個不可混合之液體，可稱之為液體之脫混合或沿用金相學中 (Metallographic) 習用之名詞，名曰液體分泌 (Liquide Segregation) 皆可也。

許多岩漿包含少量硫化物。此種硫化物，在高溫度時（約超過1500°）溶於矽酸鹽熔液中。在1500°之下，此溶解性特別降低，故分離現象，即隨之而生。不過當此溫度時，矽酸鹽及重金屬硫化物，若未達其結晶點，因即在液體狀態而脫混合。其重硫化物熔體，作無

數細滴，而漸次擴大并富集，隨即沈入岩漿之底部。此種作用 V. M. goldschmidt 在燻銅爐中觀察石質與渣滓之分離，蓋已實際證明之矣。在此硫化物熔融體中，除少量鎳外，重金屬有鐵，次之為錳銅鉛，及大部仍在岩漿中停留之鉍類金屬。硫化物岩漿在結晶區域之底部集積，并與火成岩礦物一同凝固，在鹼性火成岩中作條狀體，并成不規則之分佈。吾人亦可稱此種礦床為液離分泌物，蓋與金相學中常用之稱呼相合也。

凡此類之礦床，皆產生含鎳磁黃鐵礦，即磁黃鐵礦與鎳黃鐵礦，與黃銅礦於輝長質，紫蘇輝長質，以至輝石質岩石中。經近年精密研究之結果，知在此一切礦床中，又復有鉍類金屬之痕迹。雖然實際分類時，此貧於鉍之含鎳磁黃鐵礦床，須與富於鉍質之“Merensky Reef”礦床相區別，又後者就外形而言，又與前一類不同也。

a. 紫蘇輝長岩及輝長岩中含鎳磁黃鐵礦及黃銅礦。礦物有為吾人稱為含鎳磁黃鐵礦(Nickelmagnetkies)之磁黃鐵礦與鎳黃鐵礦，再則有黃銅礦與輝長岩及紫蘇輝長岩中之礦物，如古銅輝石，異剝石，斜長石，鈦鐵礦，與含鈦磁鐵礦等共生，黃鐵礦則甚少發見，至於其中之角閃石，雲母及綠泥石，蓋已為自變質作用之產物矣。就生成關係而言，或屬於胎凝自水解作用過渡礦床(一三, 1e)，或屬於擠壓液體岩漿汽化過渡礦床(一三, 2a)。

此礦含鎳之量，為 2.5—3%，含銅量為 1.5—2%。世界上此種礦床之最大者，如加拿大 Ontario 之 Sudbury，且為產鎳最多之地。此處之侵入岩體，呈圓筒狀之凹入形，長凡 60 公里寬則有 30 公里。底部為紫蘇輝長岩。上部則為顯微偉晶花崗岩，在紫蘇輝長岩之底部下磐肌(片麻岩系)相接觸，即為磁性甚強之含鎳土層，往上則逐漸變為不含礦之紫蘇輝長岩。

礦體一部作斑狀被包圍於紫蘇輝長岩中；一部則成條帶狀及角礫狀，夾於紫蘇輝長岩之層次間。質每純，而礦塊亦大。一部蓋作塊狀，而組成侵入體之最下部。是之謂「邊緣礦床」(„Marginal deposits”)。又一部則枝脈枝出，且侵入下部輝岩中甚深，是之謂「支脈礦床」(„Offset deposits”)。後者有自變質形跡甚顯，亦含別種錳鉛礦礦物。因此此脈形礦床，顯為至汽化列，甚而為熱水液列之過渡礦床矣。沿此礦床開採之處甚多，今日全世界之鎳，80% 以上，蓋由此地供給者。往礦床深處，鎳量雖可不變，而銅量却增加。由該處採用之煉銅及煉鎳方法，可無需增加費用，而能將其中之微量鉍類金屬提出。1930 年 Sudbury 出產之鉍類金屬量，約 130,000 公分，在其次之諸年中，每年之產量，應增高至 1000,000 公分，換言之，較俄國之產量，蓋多二至三倍云。

實際上甚重要之小規模含錳磁黃鐵礦礦床，在挪威及他處亦甚多。但礦床情形，幾各處皆相類似，硫化礦物，恆在邊緣處富集，他處亦有作脈狀之礦床，同生礦物，亦與Sudbury所見者相同。

b. 含錳之硫化物輝石岩及硫化物異斜石紫蘇輝長岩。transvaal北部Bushveld地方成巨大層狀之含錳磁黃鐵礦，所謂「牟勒斯克維爾」或「牟勒斯克層」(Merensky-Horizont)者，含錳類金屬特富，此其特異之點也。此礦床為一成層之粗粒狀含硫化物及錳之岩石，延長達數百公里夾入於分化極烈之Bushveld紫蘇輝長岩中。其岩石性質，相當均勻，僅約介於鹼性較弱之輝石質異斜石紫蘇輝長岩與一種鹼性較強之長石輝石岩之間。其厚度約為0.80—1.50公尺，有地亦可達9公尺，造岩主要礦物，為橄欖石，古銅輝石，異斜石鹼性斜長石，及硫化物。硫化物可佔岩石2—3%，甚至10%，蓋有磁黃鐵礦，錳黃鐵礦，及黃銅礦，間亦有含錳之黃鐵礦。就其外形或由顯微鏡之觀察，皆與前述之鹼性而且夾含錳磁黃鐵礦之岩石，毫無二致。惟錳黃鐵礦與磁黃鐵礦在牟勒斯克層之比例為大，即約為1:1，以至1:3，而在普通之含錳磁黃鐵礦礦床中，每15—20份之磁黃鐵礦，僅含有一份之錳黃鐵礦而已。

至於錳類金屬，則或在岩石中作均勻之分佈，否則僅限於礦層之最上部，顧少見於其最下之部份也。錳量就每一產地而言，固隨處有增減，但就極遠地域觀之，其量之均一，有足驚人者。在(Rustenburg)地方，幾乎每公里內曾經詳細之研究，計0.75公里內，可採之量，為10g/t而最下層之0.3公尺內，且為15—20g/t。除錳為主外，銀尤佔大宗。鈹鐵鈷(Rhodium)鈳(Ruthenium)亦有。金與鈹佔同樣之位置，此二者之和，或與錳量相等，或僅為其 $\frac{1}{2}$ 至 $\frac{1}{3}$ 而已，其他之錳類金屬，不過各為錳之 $\frac{1}{10}$ 耳。貴重金屬之量，因此幾超過者，達50以至100倍之多。

錳類金屬在新鮮之岩石中，與較老之硫化物恆相密處，且在硫化物中作類質同像而溶解。至氧化礦物，(如鎳鐵礦)與磁黃鐵礦，實際皆不含錳，或僅微見其跡而已。

3. 中性及酸性侵入岩之主要結晶期 (Hauptkristallisation der intermediären und sauren Intrusivgesteine)。初次結晶之礦石與鹼性酸鹽造成液體岩漿礦床與絕鹼性及鹼性之侵入岩後，由進一步之結晶與分化，漸移轉變為中性及酸性之火成岩，于此輝石，角閃石，黑雲母，長石及長石之代表礦物等，乃結晶而出。故K, Na, Ca, Mg, Al, Si亦於是富集。同時分出者，尚有極稀少之元素，如Rb及Cr，蓋可與其在長石中成類質同像之混合者也。此

亦成類質同像之構造者，尙有 Sr 及 Ba 與 Ca 在斜長石中，Mn 與 Fe 在輝石中，以及 Sc 及 Ti 與 Mg 及 Al 在許多鐵質及鎂基矽酸鹽中產生。Rb, Cs, Ba, Sr, Mn 及 Sc 之礦物，在液體岩漿礦床中，完全闕如者，職是之故，在此欲其集中，蓋不可能也。反之，Li 與 K 或 Na，不說類質同像關係，Be 與 Ca 或 Mg 以及 B 與 Al，亦不作類質同像之混合體，此所以在液體岩漿矽酸鹽中無 Li, Be 及 B 之存在也。此種元素，則在揮發成分中富集，故真正之 Li, Be, 及 B 之礦物，至汽化期始發生。

因而，此主要結晶期，僅造成岩石，且限為閃長岩，石英閃長岩，花崗閃長岩，花崗岩等類，在此等岩石中，不見有何種金屬，作特別之富集也。

### (一/二) 液體岩漿與汽化期間之過渡礦床

在岩漿中溶解之易揮發成分，當初次結晶以造成鹼性岩石與液體岩漿礦床時，尙不佔顯要地位。此種揮發成分初或濃度尙小，或則與酸性殘餘溶漿流走。有時遺留於鹼性之初次分化物中，而可在某種情形下，開作高度之富集。似乎大量重金屬——有或無硫黃——在岩漿中之存在，正可使他種易揮發成分，尤其水分，發生萃聚之作用。吾人詳細研究一切液體岩漿礦床之結果，知正不少同生礦物，礦物變化 (Mineralumwandlung)，生成次序，及礦床形態，明示汽化甚或熱水液生成條件者。顯此大部僅代表一種無水液體岩漿矽酸鹽之水解作用 (Hydratisierung der Wasserfreien liquidmagmatischen Silikaten)，且水係由岩漿本身中所從出者，因而吾人最好稱之為自水解作用 (Autohydration) 或自變質作用 (Autometamorphose)。如其產物，仍在岩石或礦床中，則此種變化為胎凝的“ (intramagmatisch) ”。重金屬及重金屬化合物——無論為“ 矽化物或硫化物——乃又轉入溶液中，而重新沈積，或造成新礦物。(Umlagern und Ummineralisieren)。此種礦石與新造成之矽酸鹽，皆較液體岩漿期產物為幼也。故苟不明此種關係，則在此種變質作用劇烈之例，當易引起誤會：譬如鈹鐵礦礦床或含鎳渣黃鐵礦礦床，或皆可被認為非屬於液體岩漿期之礦床，而以為係汽化期，甚或熱水液期之產物也。

再有一第二類之過渡礦床，即廣大岩漿空間長時間冷降之結果，成分富集之現象，絕端盛行。因而硫化物凝集，或結晶而出之鈹鈦及鉍礦，得以重力關係而下降。此數者蓋可在較大深度之下，為該處盛行之高溫度所溶化。因此造成氫化質或硫化質礦質礦漿 (Erzmagma) 之

前提，已告成立。現設經造山作用之影響，此種礦床被擠而自動向外衝出，則就純粹機械的  
地質的性質而言，固不啻一矽酸鹽岩漿也。以其高度流動性——此種溶液之稀薄程度，可因  
易揮發成分之加入而增大，——故侵入降岩之能力極強，因而造成擠壓侵入式礦床，如侵入  
含銅黃鐵礦礦床（intrusive Kieslagerstätten），侵入磁鐵礦，磷灰石礦床，及侵入鉻鐵礦  
礦床是。

### 1. 胎凝自水解作用

a. 在無鹼之鹼性岩石中發生者。橄欖石岩石變成極普通之蛇紋岩，再進而變為蛇  
紋石石棉及滑石片岩。後者一部可由動力變質作用造成——此外角閃石化作用，假象纖維角  
閃石化作用（Urailitisierung），鈉鈣簾石化作用（Saururitisierung）亦可由是發生。

b. 在含鉻鐵礦之結晶分化物中發生者。在蛇紋石化作用，或作進一步之自水解作  
用中，鉻鐵礦可重行溶解，并作他形（allotriomorph）之較幼鉻鐵礦而分出。或者溶液中  
，亦略產生新鉻鐵礦。近來美國學者，對於此種較新鉻鐵礦之廣佈情形，曾一再申述之矣。

c. 在含鈷類金屬之結晶分化物中者。在極鹼性之含鈷純橄欖岩中，亦可觀察同樣之  
現象。在 Bushveld 之管狀純橄欖岩（Dunischlot）亦然。在此鈷質富集之處，甚且常在偉  
晶花崗岩質小體（Pegmatitische Schlieren）附近。後者顯為揮發成分富集之所也。

d. 在含鈷磁鐵礦之結晶分化物中者。含鈷磁鐵礦，在許多礦床中，亦成較新之礦物  
而產生。致可疑其在液體狀態而作氫化燻染，與矽酸鹽燻染相分離者，殆不必盡然也。由同  
時所發生之水解矽酸鹽！更可證明汽化因素之極力活動于其間耳。

e. 在含鎳磁黃鐵礦之液態分泌物中者。自水解作用發生之礦物及形態，在此種礦床  
中久為人所稔知，對此礦床之生成方式，并曾引起激烈之爭辯者也。由此例正足以證明在研  
究礦床時，對於其汽化作用之肯確判斷，實屬絕端必要者。

在汽化作用不顯著時，輝石邊緣變為角閃石。角閃石，黑雲母，綠泥石及蛇紋石，皆為  
新生成者，至硫化物則較此新成之矽酸鹽為幼。黃鐵礦較在純粹液體岩漿礦床為多見，并與  
後者之常備有磁黃鐵礦者不同。如汽化作用劇烈時，則硫化物溶液，活動性亦強，可侵入接  
觸帶，或不固定之面上，亦可遠達降岩中，一若擠壓侵入礦床然。因而汽化至熱水液礦石及  
脈石增加。之支脈礦床，即為其例。

### 2. 擠壓侵入礦床

a. 侵入含銅黃鐵礦礦床。金屬礦物爲黃鐵礦，磁黃鐵礦（但無錦黃鐵礦）黃銅礦，并夾有方銅礦（Cubanit），閃鋅礦，鈦鐵礦，磁鐵礦，亦常夾輝鉍礦。銀及金則甚微。非金屬礦物，則有石英，長石，大量角閃石，及鐵質雲母，少量拓榴石，綠帘石，輝石及電氣石。常亦有一組新生物，如輝鉍礦，自然鏷，斑銅礦，方鉛礦，輝銅礦，綠泥石與錳雲母，并碳酸鹽類，此皆足以證明礦床生成之溫度極端降下，而漸趨向於熱水液造礦時期之環境也。其形態木體常與隣岩整合（Konkordant），成扁豆狀，平板狀，綫帶狀，或層狀；且礦床本身，亦各常成層帶狀，并如其隣岩然，曲綫特甚，亦多破碎。黃銅礦及黃鐵礦等，則成石基，填滿隣岩破片中。此黃鐵礦等，常成塊狀，且質甚純。又各岩層被浸染，造成所謂浸染礦帶（Fahlbander）者，亦所在多見。此式礦床，在原始岩（Grundgebirge），即在高溫變質熱帶（Katazone）中，特見發育。因此處所有岩石，皆受高度變質，此處當岩漿侵入，岩漿結晶，以至岩漿中富礦液之分裂時，高度全向壓力與側向壓力，活動甚盛，因此揮發成分，不能逸出。此種薄流動之含礦岩漿，於是遂由擠力（Stress）而衝入隣岩之滑面（Gleitfläche），綫断面（Scherfläche）及片理面中，並在其中凝固，一部且可離母岩極遠，而成獨立之礦體。不過礦床附近，有侵入岩體存在之例者，亦不少。普通此侵入岩體與隣岩或同一之整合，亦如礦層之與隣岩然，此蓋顯爲代表與礦層相關之侵入岩者焉。擠壓岩漿之揮發成分愈增加，其液體岩性漿質漸失，而汽化及熱水液性質，則隨而漸形顯著。設更遇易起化學作用之岩石，又成屬於（二）類之接觸汽化交代礦床矣。于是貴重金屬之量，亦大增，其與普通接觸礦床不同者，即其位置，并不在接觸處，但與之相離甚遠。顧就生因關係言，此蓋完全爲接觸汽化礦床也。因此自純粹之液體岩漿含銅黃鐵礦礦床，可分爲二組不可或分之過渡礦床，即一組步入純粹汽化熱水礦床，一組則演變爲接觸汽化交代礦床是也。歷史上有名之瑞典Fahlum礦床，昔概爲係侵入含銅黃鐵礦礦床者，今經 P. Geijer 之研究，知其礦物之主要部份，應爲接觸汽化期之同生礦物，而無疑義矣。

此種自一類以遞變爲他類之礦床，實爲變質極深之原始岩中（即太古岩系）之特徵。因此瑞典挪威芬蘭及加拿大，不少此類之代表。德國之 Bodenmais，蓋又爲其例也。

就經濟方面而言，此種礦床，爲供給礦之主要原料，其銅量除一二地偶見富集外，要多不足道。他種金屬，且爲採煉時之障礙焉。

b. 侵入磁鐵礦磷灰石礦床。礦物爲磁鐵礦（無鈹）及氣質磷灰石。如 Kiruna 礦床大

帶，即係由此二者組成。在其他礦床中，則突有多少不等之低溫矽生輝鐵礦。此輝鐵礦大部係由較老之磁鐵礦所產出者。尤其在礦床邊緣，有汽化礦物，如矽磷灰石，柱石(Scapolith)，鈉長石，電氣石，及硫化銻銅礦等成細脈及疏枝而聚處。降岩與礦脈之緊接處起鈉長石化及柱石化等變化。礦床之界限多清晰，在下盤肌常見角礫岩與礦質合成之石基，上盤肌蓋有擠入礦質之細脈。礦質極純，每在甚遠之距離內，能保持不變。在Kiruna開採之礦(A-礦)；含鐵量為71% (純粹磁鐵礦內之鐵，佔72.4%)至磁鐵之平均量，亦且尚佔56%。礦床為平薄扁豆體，位於大部為同生的火成岩石(Eruptivgesteine meist Syentischer Natur)之間。此種岩石，蓋為代表侵入岩與噴出岩之過渡形式；甚或為真正之噴出式者。

主要礦床，同時亦為地殼上金、鈾富集最大場所所在之地，當雅Lappland如Kirunaavaara, Luossavaara及Tuollavaara即其地諸礦床中之較著者也。其中一平均寬度為70公尺，傾角為50—60°之礦層，曾按表面露頭及鑽眼與磁性測量等方法追蹤至15公里之長，與800m之深。除供給歐洲，尤其德國煉鋼工業所需之鐵外；亦為磷之重要來源。含磷灰石甚富之B-礦，每58%之鐵，約有2—4.5%之磷，向礦之深處，則含磷少之磁鐵礦逐漸增加。

此種礦床，在瑞典尚有Mertainen, Gellivara, 及Grängesberg，不過含錳鐵礦特富，且變質較烈耳。在挪威之Lofoten，美國之Adirondacks，墨西哥之Cerre de Mercado，與智利之Algarrobo及Tofo等處，亦有此種礦床。在經濟上一部且佔極重要之位置者。

### (一) 汽化礦床

在花崗岩凝固之後，發生第二造礦時期，此蓋與易揮發成分之存在有關。此種成分，至是已在殘餘熔漿(Restschmelz)及岩漿殘餘液(Magmatische Restflauge)中富集，因而內脹力達至最高之程度。至此種富於易揮發成分之殘餘熔漿之基本物理化學性質，今日經Niggli之悉心研究，已算大白。

緣直接在花崗岩凝固之後，初有一富於矽酸，但已飽發易揮發，成分之岩漿殘液射出。其一部則作向心或正切的姿態而貫入火成岩體及前陸(Vorland)之裂隙中，一部乃作擴散式而穿過火成岩體之大部外圍帶。於是在火成岩體中，造成偉晶花崗岩脈(Pegmatitgänge)及偉晶花崗岩質帶與晶洞帶(pegmatitsche und miarolitische zonen)。凡一切元素不與主要結晶之主要元素作類質同像混合，因此不轉入火成岩造岩礦物之固質溶液(feste Lösung)

中者，若在此種偉晶質岩石中結集，尤其Li, Be, B, Zr, Hf, Th, Nb, Ta, Ur 及稀土類金屬，皆屬於此。

再進一步，則碳酸鹽大見退減，而真正之易揮發成分，如  $H_2O$ ,  $H_2S$ ,  $SO_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $HF$ ,  $HCl$  等與上述之諸元素，恆見增加。此外尚有重金屬及半金屬先已與易揮發成分造成易揮發化合物，如金屬之氯化物及氟化物等。譬如Mo, Wo, Sn, Cu, 及Au, 再則Bi, As 及S 等，即為造成此類化合物之金屬，Pb與Ag則較少也。如繼續冷卻，至內張力與外壓力達到一定之比例時，亦忽然發生沸騰及蒸溜作用，易揮發成分，即過濾而出，并侵入降岩之裂隙及層面中。最大而最重要之汽化礦脈 (Pneumatolytische gänge)，如錫礦脈，鉛礦脈，銅礦脈及各電汽水之銅金鉛銀礦脈，而夾有標準脈石，如矽雲母，黃玉，電氣石者，於以造成。

如易揮發成分與一化學能力甚強之岩石，如石灰岩，白雲岩相遇，因之可使易揮發成分之平衡狀況破壞。碳酸鹽與易揮發成分，即起交代作用，而發生反應礦床 (Reaktionslagerstätten)，石灰岩及白雲岩即為鈣鎂碳酸鹽與硫化礦物所代替。汽化交替礦床 (pneumatolytische Uerdrängungslagerstätten) 或接觸汽化礦床 (Kontaktpneumatolytische Lagerstätten) ——亦常稱為接觸交代礦床，或簡稱之為接觸礦床 (Kontaktmetasomatische oder kontaktlagerstätten) ——蓋即由是造成者。

在此等礦床中，磁鐵礦，輝鐵礦，閃鋅礦，黃銅礦，自然金，鎳酸鈣礦積集為多，亦偶見方鉛礦及碲礦礦物。

普通估計汽化作用所及之範圍，以含B, F 及 li 之汽化礦物，以及與之相處之礦石，如錫石，輝鉬礦，鎳鉍礦，磁鐵礦，磁黃鐵礦等所及之範圍為標準。在接觸礦床中，還有特別之鈣鎂碳酸鹽同生礦物。此種標準汽化礦床之最低溫度，約以水之臨界溫度為準，水蓋為易揮發物質中之主要成分者也。吾人對此複合之溶液，自不能給以一定之溫度，但吾人如謂汽化礦床之最低溫度界綫，在 $400^\circ$ 與 $350^\circ$ 之間，當亦不致謬誤也。

因物種化學性質之關係，與此類礦床對於環境微異變動之最大感覺靈敏性 (äusseret grosse Empfindlichkeit dieser Lagerstättengruppen auf einen geringen wechsel in den Zustandsbedingungen) 故此各類礦床本身迅速生成過渡式 (rasche Uebergänge) 與混合式 (Mischformen) 礦床甚多，又此類汽化礦床與夫至其次之一大類熱水液礦床之過渡礦床，

發生甚為普遍。各式汽化礦床間之過渡礦床與中間式類，當即於各式中述之。至汽化熱水液過渡礦床，另在一專節中敘述之。

1. 偉晶閃岩，偉晶質細條帶 (Schlieren) 與洞晶帶。偉晶岩為液態岩漿與汽化質混合岩石，固常成脈而穿入母岩及隣岩中，但尤多成出沒無定之小體，分佈於母岩之外圍帶，或作洞晶帶，組成母岩之全部邊緣帶。其顆粒大小無定，普通皆呈粗粒以至巨晶之構造。又結構及礦物，在短距離內，亦變幻萬端。礦物為最後結晶期之礦物（如為最普通花崗偉晶岩時，礦物為石英，長石，鉀微斜長石及鉀雲母）與標準之汽化礦物所混合組成。其同時結晶性質，甚為顯著，在外圍空洞中有自塊狀偉晶岩射入，而結晶完好之美麗巨晶。大部偉晶岩與當地酸性甚強之巨大火成岩體有關，但永較此為新。故常見與各岩石區域之花崗岩，鹼類正長岩與霞石正長岩相處，但少與閃長岩 (Dioriten) 二長岩 (monzoniten) 或輝長岩伴生也。吾人將於下列各節知區域的性質，由於偉晶岩中之礦物成分所表示者，較母岩尤為顯然。其過渡式向上輸入汽化礦脈，進而與熱水液同生礦物相繫連之情形，亦常見。往下即偉晶質溶液，如在高壓下被壓擠，則常沿隣岩之層理及運動面侵入或多少浸染於其中，因此發生擠入片麻岩，混合片麻岩 (Injektionsgneise, Mischgneise)，花崗岩質或長石質岩石，是皆大部屬於較深或最深原生岩者，與前述務義之偉晶岩，除形狀上不同外，且以特別標準偉晶岩礦物之缺乏，或完全衰退，為其特徵，故亦無汽化元素之富集也。

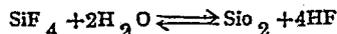
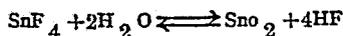
一依岩石分化的，同生礦物的，及化學分析的研究，而行之生因的同生礦物的及化學的偉晶岩分類，實以 A. Fersmann 之工作為嚆矢。為適應本題之特殊目的起見，Niggli 氏之分類，尚屬夠用。彼分之為二大類，即酸性類及鹼性類；或矽鉛類及鐵錳類 (Salische und f-ernische) 偉晶岩。雖然此名詞，不必處處皆適用也。第一類有 Si, Alk (尤其 Li), F, B, Sn, W 及 Mo 之富集，而第二類則有鹼土質 Ti, P 與重金屬 (尤其 Fl, Cu, Au) 之集中。在此二類之相當岩漿中，有各種極深之分化過程，判然可尋，尤其產生於此二類中之重金屬，性質彼此不相同，為不可不知之事也。

a. 酸性偉晶岩類 矽酸鹽偉晶岩；石墨偉晶岩，為重要石墨礦（如加拿大，錫蘭）；礬土質甚富而夾剛石——紅寶石及藍寶石——，尖晶石，紅柱石，金綠寶石 (Chrysoberyll) 之偉晶岩；冰晶石偉晶岩；鉍酸鹽，鉍鹽偉晶岩，即鉍酸鹽鉍鹽硫酸鹽礦物，含 Th, Sc, Y, La, Hf 與鹼性花崗岩相關者，如挪威與瑞典南鄰及 Madagascar 有之，為稀少出類之重

要原料，銨酸鹽與鈦酸鹽偉晶岩，即含鈰 (Cer) 及鈰土之銨酸鹽及鈦酸鹽與鹼性正長岩及霞石正長石相關者，如挪威南部之Langesundfjord。格林蘭，烏拉山之 Miasik 是含電氣石，黃玉，玫瑰石英之寶石偉晶岩，為主要寶石產地。錳輝石偉晶岩，主要錳素之供給者，如 Siiddakata，即產巨大之錳輝石結晶，含錳石，錳雲母，黃玉，矽石，有或無錳錳鐵礦及輝鉬之錳石偉晶岩，為供給錳之重要地者，如非洲西南部之 Erongo，北部 Elba，美洲之 Maine，及 madagaskar 是。鉍鐵礦及輝鉬礦偉晶岩，其同生礦物如錳礦偉晶岩，僅是錳鐵礦及輝鉬礦在此較多而已，不過此類岩不多耳。

b. 鹼性偉晶岩類 含金紅石之鈦質偉晶岩，含氫磷灰石，金紅石，鈦鐵礦，柱石，輝石及角閃石，而與輝長岩相關之磷灰石偉晶岩，為主要磷灰石原料，如挪威南部之 Bamle 是磁鐵礦偉晶岩，不多，美國之 Minnesota 有之鈦質偉晶岩，含瀝青鈦礦，雲母，磁鐵礦，矽石，在 Ontario Wilberforce 發現之大礦床，蓋為全世界最重要之錳素地矣。含自然金，磁黃鐵礦，黃銅礦，砷硫鐵礦，黃鐵礦，鈉長石及石英之自然金偉晶岩，此類礦床之重要者，在巴西之 Morro Velho 及 Passagem 再烏拉山之 Beresowsk 及 Nevada 之 Silver peak 亦有之。自然金與鋅酸鈣礦偉晶岩，產生不少，經濟上亦無甚價值，一如其相當之汽化礦脈然，產地有非洲西南部之 natasmine，最重要者當為接觸汽化交代礦床含黃銅礦，斑銅礦與條紋輝銅礦 (lamellarer Kupferglanz) 及其液離互生產物 (Entmischungsverwachsungen) 之銅礦偉晶岩，與夫輝鐵礦，硫鉛礦 (Kobaltkies)，磁鐵礦而過渡為錳鉬偉晶岩之偉晶岩。重要汽化礦脈之稀少部分。

2. 汽化礦脈及浸染礦床 岩漿再經一部過渡之結果，在偉晶岩期猶與火成岩相近之性質，至是乃失去，而不復能再辨認。在溶液中易揮發成分，佔特要之位置，主要當為重金屬之氟化物，氯化物， $H_2O$ ，B，Li，P， $SiO_2$  等，皆在超臨界流動狀況中，而互相溶解。在此種溫度與壓力之範圍內，物質可因環境之稍變，而有極端之靈敏性，平衡狀況能立即來回作可逆之反應，難溶物質，如石英，錳石，輝鐵礦等於是分出，其詳可由下之方程式表示之：



此程式在70年以前，固即已由法國人造礦物學家在閉管中加以試驗而成功也。上之作用放出強酸，降岩因之發生激烈之腐蝕，此黃玉化作用，電氣石化作用，雲母化作用，雲英化

作用 (greisen (Sie<sub>2</sub>)bildung) 之所由起也。

在此亦如偉晶岩中然吾人可分為同樣之二類，大部且能在天然間直接觀察其過渡式，為簡單起見，亦名之為酸性及鹼性二類。不過在此純粹汽化礦脈中，金屬佔首要之位置，故此二類，直可稱為錫礦同生礦物礦床及電汽水重金屬礦脈 (Lagerstätten der zinnerzparagenese und die Turmalinschwermetallgänge) 而無不合也。

a) 酸性類，即錫礦同生礦物之汽化礦床。一切無礦之酸性偉晶花崗岩由長石及雲母之消滅，而變為相當之汽化礦脈式：因而有含石墨，稀土類礦物，黃玉，電氣石，綠玉，與輝石之石英礦脈。諸此可為相屬偉晶岩之連續物，但亦常獨自產出。

錫礦礦床 此代表最重要之汽化礦床類，而為錫之主要礦床。汽化期之礦物，有錫石，鉛鋅鐵礦，輝鋁礦，鉛銻鈣礦，硫銻鐵礦，自然銻，輝鉍礦，石英，錫雲母，黃玉，電氣石，氟石。此外幾隨處尚有較幼之熱水液期礦與脈石；在下節「過渡礦床」中當詳述之。降岩尤其所含之長石，變化甚烈，而成雲母角頁岩 (glimmerfels)，電氣石角頁岩 (Turmalinfels)，黃玉角頁岩 (Topazfels)，錫鑛角頁岩 (Zinnfels)。此種多半含錫礦之變化帶 (Umwidlungszonen)，其顆粒較粗時，常稱之為雲英岩 (greisen) 顆粒細時，則稱之為細粒雲英岩 (Ywitter)。

錫礦礦床，每與花崗岩背脊 (granitkuppel) 之最外最高處，或與花崗岩頂之附近處相密接。在花崗岩中侵入井不遠，在降岩中稍向外，則又常即過渡為富熱水液性質之礦床 (參看「過渡礦床」)。母岩永為酸性之花崗岩質岩石，有地可顯斑狀結構，但仍屬於侵入類者也。就形態言，純粹裂縫脈 (Spaltengänge) 最為普遍。放射而垂直或不垂直之裂隙以及正切平緩之折斷面，皆為礦脈所充填。此二者常同在一處發現，而造成礦塊 ("Stockwerke")。脈之本身，好作對稱形，并具顯明之磐肌 (Salband)，但有遠伸於降岩中之廣寬雲英化礦帶及錫礦浸染礦質。又狹窄錫礦帶而夾雲英岩帶之情形，亦甚普通。亦有在若干區域，僅見疏散之浸染物質者，其錫礦雖不足道。但以其礦體範圍之巨，故甚有經濟上之價值也。再直立之管狀或烟筒狀礦體 (Erzschlauche oder Erzschornsteine)，亦所多聞，常為極富之錫礦所充填，至其中心部，則熱水液礦物，特別增加。

舊日產錫著名之地，Erzgebirge 與 Cornwall，今日幾皆已開採殆盡。最重要之錫礦區域，要推馬來半島之 Bangka 與 Billiton。世界錫之半數，係仰給于此。雖然其大部為

砂錫，但其原生礦床，仍爲適所述之類式也。此外大部份錫，來自玻利非亞。此處純粹汽化錫礦脈，組成噴出熱水過渡礦床之最下部份。此過渡礦床，將作爲噴發銀錫礦系(extrusive Silver Ziunerzformationen)在後述之。又重要之例，在中國，Kongo盆地緬甸，暹羅，澳大利亞洲Nigeria及Tasmanien有之。

鉛礦脈 許多錫礦脈全部或局部含鉛銻鐵礦特多，故亦可目之爲錫礦，如cornwall, Erzgebirge, (最近由廢錫礦堆，採取錫礦)及澳大利亞是。純錫鉛銻鐵礦脈之同生礦物，一如錫礦脈，但幾全無錫礦，在緬甸阿根廷，及美國蓋多其例。願美國大部鉛係採自接觸汽化交代礦床中者(參看二36)。

鋅礦脈 輝鋅礦亦可在錫礦脈中發生，其一部可與此種礦同時開採之。大多數鋅礦則產生於不含他種礦之純粹汽化石英脈中，部且與銅礦相伴生。主要產地，爲美國之澳大利亞州，挪威，加拿大等。

(b) 輪流類，即含電氣石之重金屬礦脈，第一類之各式礦床，雖彼此相關，有過渡式以爲連繫，且同在一區域內產生，但與現述第二類之各式，則毫無關係可言。二者間之過渡式，幾不見，且爲相異區域之產物。不過在各電氣石重金屬石英脈間，則亦見各種可能之過渡式礦床也。此種礦床每不成真正之礦脈，但在變質及板狀岩石中，作扁豆狀排成整合之行列。脈中物不作礦層構造，而多發育成塊狀。

含電氣石之自然金石英脈，直接由自然金偉晶花崗岩而變來，二者蓋常同生一處。除石英爲主要礦物外，尚有高溫硫化物，如磁黃鐵礦，硫砷鐵礦，輝鋅礦，黃鐵礦等，再有磁鐵礦，電氣石，石榴石，尖晶石，鈉長石。較幼之熱水液同生礦物，如方解石，閃鋅礦，黃銅礦，方鉛礦又甚常見。磷岩多呈電氣石化或經雲母化作用。在Maryland及Alabama Appalachian 山脈南部，再在，及在 porcupin，含電氣石之自然金石英脈，分佈甚廣，且有富而大之金礦在 Kordillieren 山脈中之Suddakota, wyoming及阿拉斯加東南部，亦發現之。大約澳大利亞西北之Coolgardie及Kalgardie金礦脈之最早期，亦屬於此類，不過其熱水液期，已發育至最高程度耳。

含電氣石之銅石英脈 上述之礦式，因銅礦之增加，乃變成普通銅礦脈。由汽化錫礦脈過渡爲汽化銅礦脈之現象，如昔人在Cornwall之所想像者，蓋不存在。此地銅礦之同生礦物，多屬於熱水液期，而爲代表汽化熱水液過渡礦床者也。與黃銅礦相處，有斑銅礦，輝

銅礦，輝鐵礦，磁鐵礦及硫鉛礦（Kobaltkies）皆多少合金，Passagein之金礦脈，即遞變為此式銅礦脈。純粹此式之礦床，在英屬哥倫比亞之Rossland及新南威爾士之Colar地方有之。在日本其例更多，且有一部為甚重要之礦床。

含電氣石之磁鐵礦石英礦脈 此式較少，在Vogesen之Framont地方發現之。

含電氣石之鉛銀礦床 甚少遇見，因方鉛礦之主要造成，蓋在熱水液時期。顯在montana西部之Halena地方，已知有一極大且極重要之礦區，其地電氣石化磷岩中之電氣石石英礦脈，蓋富於砷輝鐵礦，黃鐵礦，閃鋅礦，黝銅礦與方鉛礦，并含高量之銀礦。

含電氣石之銻礦脈 夾錫毒砂（Kobaltarsenkies）及砷鉛礦（Speiskobalt），在挪威之Modun及智利之San Juan皆有之。

3. 接觸汽化交代礦床 由已凝結之岩漿，而侵入降岩之易揮發成分，可在一定之多孔並破裂處所，突然以壓力之低減，而發生蒸發及過瀾現象。如降岩之化學性質，可與侵入之溶液相化合，則此溶液，即在該處被羈住，因有金屬化合物之富集，顯此溶液之原來濃度，固不必甚大也。此種在接觸帶之交代作用，可由鋅礦生成之例表明之。如直接在火成岩固結後而銜入磷岩裂縫之岩漿氣體（magmatische gase）中有氯化鋅或氯化鋅及硫化氫，如是下之化合方程式，即可成立： $zncl_2 + H_2 S \rightleftharpoons zn S + 2H Cl$ ，在相當於汽化作用之溫度時，平衡重力，完全在此式之左方，故吾人在汽化礦脈中，幾不見閃鋅礦之存在。大量閃鋅礦之分出；即欲使在上式之平衡力量移向右方，僅在二種條件下為可能；一即在低溫下，即遠離岩漿中心之處始可，此時溶液，蓋已冷卻，是即在下節將述之熱水液造礦情形，在此閃鋅礦作大量并在若干處產出。再則在上式同時生出之鹽酸氣，如即刻被中和，則在高汽化溫度下，亦可有閃鋅礦之分出，灰岩蓋即能促成此作用之實現。譬如上式之汽化混合氣體與石灰岩相接，所造成之鹽酸，即腐蝕此灰岩，而在被侵蝕之部份沉下閃鋅礦，閃鋅礦於是取石灰岩之位質而代之，因此吾人名此種礦床，曰汽化交代礦床。再此種高熱作用，自然好在與火成岩接觸處，或在此接觸處之附近產生，因亦稱之為接觸汽化交代礦床，（簡稱為接觸礦床）。鋅係加入於其中者。至由鹽酸與灰岩化合而產生之  $CaCl_2$ ，或作易溶之鹽隨溶液而流去，或則與降岩之矽酸鹽起作用，因之在此種礦床上發生大量之柱石（含  $CaCl_2$  之Ca—矽酸鹽）。如在原來混合氣體中， $Zn F_2$  代  $zncl_2$  之位置而產出，則除閃鋅礦外，尚有大量之氟石，即在當地經新生之鹽酸與灰岩之反應合成難溶之礦物而產出者。自然柱石與氟石之關係，

類亦不足以證明溶液，不具上述之化學成分，因其迅速洗出，可爲他種雜質所阻故也。

同樣之作用，亦產生於許多他種重金屬中。故在接觸礦床中發現下之 Fe-Cu, zn- 礦物，如磁鐵礦，輝鐵礦，黃銅礦，閃鋅礦，方鉛礦，硫砷鐵礦，磁黃鐵礦等是。非金屬礦物，有硅灰石，透輝石，鈣鐵輝石 (Hedenbergit)，透輝石，陽起石，鈣鉄柘榴子石 (Andradit)，鈣鉛柘榴子石 (grossular)，再則有綠簾石，符山石，柱石，螢石，方解石及長石等。此種性硬呈粗針狀而常相互簇生之鈣質矽酸鹽，概用瑞典舊日礦山中習用之術語；接觸脈石 (Skarn) 以名之。

此系礦床，多成層狀，或扁豆狀，常在鈣質矽酸鹽角頁岩中與大理石化灰岩中，作斷續之浸染礦床而產出。塊狀與管狀或脈狀之煙筒式礦體，亦甚普通，其經過處所，即表示揮發質成分之通道，概與石灰質岩石中之裂隙方向，層理及斷層裂隙相合。此種礦床與其伴生礦物，多發生於石灰岩或白雲石之中，或在其與花崗質侵入體之接觸處，或至少在其附近。有時在花崗岩附近，多爲不含石灰質之岩石，然偶在此非石灰質之岩石中，有扁豆狀石灰岩體之嵌入，則此扁豆狀灰岩，雖亦常距接觸處極遠，仍可發生變質作用，如之 Schwargenberg，卽爲其例，灰岩蓋仿如一吸收瓶 (Absorptionsgefäss)，以吸收經過之礦液也。又有鈣質矽酸鹽及礦體產生於侵入岩體中者，如墨西哥之 Doloresmine 及 Idaho 之 White Knop 等處有之。蓋侵入體頂部之灰岩塊落入岩漿中後，卽成爲礦液匯集之據點。

接觸汽化交代礦床，係爲化學反應礦床，隣岩之性質，實係主要之因素，故不能區爲酸性及鹼性二類。下之分類，僅以其富集之主要金屬爲着重點。但首二類，如錫及鎢酸鈣礦床，普通實可謂爲酸性偉晶花崗岩與酸性汽化礦脈之同類物，而銅金鉛鋅接觸變質礦床，又可與鹼性之偉晶花崗岩及汽化礦脈合成一類也。至不含礦之接觸脈石，可歸屬於第二類云。

a. 接觸汽化錫礦床 芬蘭之 Pitkaranta Toskana 之 Campiglia Maritima 蘇門答臘馬來半島及非洲西北部 (如 Stiepelmännmine) 皆有之。其礦物甚多變化，不過常有若干磁鐵礦與豐富之 Fe 或 Fe-Cu 硫化物，顯爲其特徵，亦有接觸汽化磁鐵礦床夾含錫石者，如 (Sachsen) 及 Berggieshübel，卽有其例。

b. 接觸汽化鎢酸鈣礦 常直接在酸性花崗岩與石灰岩及白雲岩接觸之處發生，亦有在花崗岩石中之此種岩石塊上發生者，礦物亦極複雜，但決不見有含硼素之礦物。其特徵卽向石灰岩方向，有透閃石，硅灰石，柱石等接觸脈石，但無鎢酸鈣礦。反之，在花崗岩接觸處

有石榴石，綠簾石及鈣鉄灰石接觸脈石，并有鎳酸鈣礦，磁黃鉄礦，黃銅礦，輝鉬礦，黃鉄礦，方鉛礦。此礦含 0.5—2% 之  $W_3O_3$ 。最近在美國（如加里福尼亞洲 Nevada）Utah 西北部，此種前被忽視之礦床，亦發現不少。故全世界四分之一之鎢產量，完全係由此種鎳酸鈣礦床所從出。

c. 接觸汽化鉄礦床 主要礦物爲磁鉄礦，在冷而生之裂縫處，亦有輝鉄礦。硫化物亦常夾雜其間，而予提煉時以困難。反之，鈦量則又不足道也。接觸脈石，則鈣鉄石榴子石，鈣鉄輝石，陽起石，黑柱石（lievrit）及綠簾石，甚普通。已知之此類礦床數目甚多，且常成大礦。故全世界鐵量百分之幾，亦爲此種礦所供給者。較重要者有：Riesengebirge 之 Schmiedeberg，Thüringen 之 Crux——此處已探盡——，sachsen 之 Rittersgrun 及 Berggiesshübel，皆已採罄。Bánat；Piemont 之 Travessella 及 Brosso；Elba 島；烏拉山之 Bogoslovsk，gorablagodat，wysokaja gora 及 magnitnaya；新墨西哥之 Fierro，Utah 之 iron Spring 亦有之。挪威及瑞典中部，如 arendal，Dannemora，Vlackberg-Kolmrgberg，Persberg，及 gryttahyttan 等地之接觸脈石，最初或爲汽化變質作用所成，但隨後一部顯受地方的變質作用之影響也。

d 接觸汽化銅礦 礦物爲黃銅礦，與方黃銅礦，斑銅礦，黃鉄礦，閃鋅礦。磁黃鉄礦及方鉛礦較少。常有磁鉄礦及輝鉄礦，鈣鉄石榴子石，鈣鋁石榴子石，綠簾石，透輝石，透閃石，黑柱石，（Ilvait 卽 lievrit）及方解石等伴生。Ag 與 Au 皆甚貧乏。普通在小侵入岩柱（intrusive Stock）如二長岩，石英二長岩，或在花崗閃綠岩與灰岩之接觸處發生。礦床形狀，無規則，一部成板狀，與灰岩層面相整合，或沿岩石之片理，又或大部略約循不純潔之地層而沈澱。

此類礦床，在歐洲較少。但在美國西北部，墨西哥，日本，高麗，及澳大利亞，則甚重要。銅礦四分之一，蓋取給於此種銅礦。可舉者如次：cliftou Moreuci Bisbee Silverbelt 及 Sierrita Mts；Idaho Mackay 地方之 White Knob 及 Empire Mine，Nevada 之 Yerington；新墨西哥之許多礦山，再墨西哥有 Chihuahua 之 Santa Eulalia；Chiapas 之 Santa Fe；Duraugo 之 Velardena；墨西哥 Zacatecas 之 Concepcion del Oro；San Luis Potosi 之 Dolores 及 Cobriza；Souora 之 Cananea；日本 Inselbogen 西北最外部之許多礦床均屬之。

還有許多中部瑞典之礦床，性質稍有不同，蓋在接觸汽化變質之後，復深受地方的變質

作用是也。此外該礦床一部成缺乏銅之黃鐵礦礦床，如 fahlun 是。一部則又成複雜之銅鉛鋅礦，如在 Kaveltorp, Skyttgrube 者是，蓋皆逐漸遞變為純粹之鉛鋅接觸礦床矣。在 Feun-oskandia 之礦床，與上所述者不同，不與石灰岩相關連，但生於砂質岩石中。此種岩石，蓋除受成礦作用外，亦受汽化變化之影響，故金屬礦產與黑雲母，石榴石，藍青石，紅柱石在一處發生，如芬蘭之 Orijarvi, Atvidaberg 及之一部即是，此礦床蓋原在極深處造成者也。

e. 接觸汽化金礦礦床 亦有許多銅礦富于金，并有含金之銅鐵硫化物及細粒金，有地亦有鋇礦，如輝碲礦 (Tetradymite  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ )，皆產生于石榴子石，菱灰石角頁岩，或在別種鈣矽酸鹽角頁岩中。其例有墨西哥之 Montana 之 Cable mine 及 Elkhorn，英屬哥倫比亞之 Nickel plate mine，婆羅洲西部及蘇門答臘亦有之。相似之礦床，在 Candongo 吾巴西之 Minas geraes 有之，但含鉍金。

f. 接觸汽化銀鉛鋅礦 在所述最後之二礦床中，總見方鉛礦及閃鋅礦之踪跡。但亦有礦床，鉛鋅佔主要部份，而別種礦物，尤其銅礦礦物，大見衰減者，此處脈石，如角閃石，及綠簾石，發生較石榴石為普通。在墨西哥及美國西南部，此礦床蓋與該處之金銅礦床，在同一之金屬區域中而發生者也。如新墨西哥之 Magdalena Mine，加里福尼亞之 Jnyo County，墨西哥 zimapan 之 La Sierena 及屬之。再小亞細亞西部之 Balia maden，Wladiwostok 北部之 Tetiuac，新南威爾斯之 Broken hill，皆有其例。其後更受有地方的變質作用者，有瑞典之 Sala，此種式類之純粹鉛鋅礦礦床，蓋見於瑞典之 Ammeberg。

g. 不含礦之接觸脈石 在接觸變質區域，甚為普遍，式樣亦多，其中常亦有石墨。

### (二/三) 汽化熱水液過渡礦床

在上節已述許多礦床中之汽化礦物，每逐漸遞變為熱水液礦床。且由研究，復知此為極普遍易見之現象。由礦物的及化學的見地，可分為二點言之：

1. 主要金屬，大致不變，僅全部礦物相 (Mineral-facies) 或脈石，發生變化。如汽化銅或金或鉛鋅礦床，仍變為此種金屬礦床之熱液相。但在高熱相之銅礦礦物，有黃銅礦 + 方黃銅礦 + 斑銅礦，在低溫相，則僅見黃銅礦而已。有時金屬礦物，在兩種相中，完全一致，惟產生熱水液脈石，如碳酸鹽，綠泥石，及絹雲母，以代汽化礦物之位罝耳。

2. 金屬變化，亦可發生。如錳錫同生礦物，漸變為黃鐵礦，黃銅礦，方鉛礦，閃鋅礦

，或變爲黝錫礦及銀礦礦床是。（在錫礦區，其例甚多）。又或由磁黃鐵礦，經鉛銻過渡礦床變爲菱鐵礦，有如在 Coeur d'Alene 及其他地方所見者。

此種過渡情形，Cisarz 固曾測定在所有錫銻銀礦床上，幾乎均可發現。故自亦適用於其他式類之汽化礦床也。

在下節熱水液礦床中，仍如前隨時將重要過渡礦床，加以註明，藉促一般人之注意耳。

### (三) 熱水液礦床

約在 $300^{\circ}$ 至 $350^{\circ}$ 之下，乃造成第三大類岩漿礦床，即熱水液礦床。在此主要還與過熱蒸汽溶液 (Dampflosung) 有關。惟此溶液，普通似已大見稀薄，至汽化溶液，一部猶具相當濃度也。吾人就形態，亦可將此處所屬之礦床，分爲三類，即熱水液脈脈，熱水液交代礦床，及熱水液浸染礦床。真正脈脈之主要部份，蓋屬於此。尤以金屬礦床，如金，銀，銅，鉛，鋅，一部份鐵（成硫化物及碳酸鹽），錳，鎳及錒等爲著。硫化質礦與石英，方解石，白雲石，菱鐵礦，重晶石，及鈣石等脈石爲最主要者。交代礦床，僅爲代表原受被動作用而成之礦脈之另一種形式，同樣浸染礦床，又不過爲熱水液在一部可溶解或多孔岩石中造成之一種形式上與脈脈有異之礦床耳。

與侵入岩之關係，在大多數之熱水液礦床上，仍有跡可尋，僅在少數之例中，可完全消滅不見。至其與侵入岩之關係，可由空間位置之緊接，由過渡礦床式類以達近於岩漿 (magma) 之汽化同生礦物，及由其與岩漿單位，構造單位，並與一定金屬區域之相關聯等情形表徵之也。

汽化礦物，雖仍可在火成岩凝結之最後相中造成，但熱水液礦物，恆爲火成岩造成甚久後之產物。然而熱水液礦物却仍屬於此同一岩漿系中者。當時降岩侵蝕程度，尙不甚大，故壓力及溫度在礦物產生之處，仍極大也。至有大多數熱水液礦床之生成深度，蓋在1000至3000公尺之間。在此深度下之壓力，約在140至200氣壓之間，而相當於此深度之溫度，或爲攝氏 $50^{\circ}$ 度至 $125^{\circ}$ 度也。但降岩因凝結之火成岩而受熱，在其附近之等溫綫 (geoisothermen) 昇高甚大，并互移甚密，故在礦物生成時，溫度實際較高甚密，即約介於 $175^{\circ}$ 至 $300^{\circ}$ 度之間也。往後則等溫綫逐漸衰退，并彼此分開甚遠。離火成岩將近不同之各點，在同一時間，因此有不同之溫度，造成之礦物，即在此各點中，顯出「側向序列」 („laterale Abfolge“) 。又

一點，在不同之時間內，有各種溫度，在此點上。於是復有直向序列 (Temporale Abfolge) 之形成。二者相合。爲熱水液同生礦物發生相的變更之主因。昔者礦人慣稱之爲『深度區別』 („Teufenunterschied“)。

形式及構造 (Form und Jefuge) 熱水液礦床計有三類，卽礦脈，交代礦床及浸染礦床是。

1. 侵入熱水液礦脈 代表大多數礦脈者。就形式言，蓋爲汽化礦脈 (扁豆狀，澎出狀 ausgebaucht) 與地表面附近裂開礦脈 (破碎甚烈，枝脈紛出，縱橫相合，方向及大小，變換無定) 之一種中間式礦脈。故大致尙相當規則，此在其大小寬狹方面如是，在走向及傾角，又莫不如是。再常有平滑之肌礫，亦有黏土皮 (lettenbesteg)，與隣岩界限，不甚相混。有成均一之簡單礦脈者，亦有許多礦脈互處，而成平行礦脈 (Parallelgänge) 及礦脈區者 (gangzonen)。又較寬之破碎帶 (Störungszonen)，具顯明之下盤肌，而夾陷入其中之上盤肌岩石者，亦顯然普遍。在其泥塊中，卽有礦石及脈石之侵入。(複合礦床 Zusammengesetzte gänge, „Composite veins“或„lodes“)。

礦脈可由各種過渡式而與礦化帶 (Mineralisierungszonen) 或脈形浸染帶 (gangformige Impragnationszonen) 相連結。礦床之厚度，長度及深度，皆變動甚大。在說明此種關係時，務常注意，是否所指者，爲該地質的物體 (geologischer Körper)，卽礦體之真正大小 (Wahre Dimensionen)，抑爲其可開採之大小。真正深度，在大多數熱水液礦脈中，蓋相當之大，甚多超過一公里者。普通在礦脈尙未終止以前，其開採界限，蓋卽久已達到。關於礦脈之其他大小關係，礦脈對隣岩之空間的關係，礦脈彼此之相互關係與夫礦脈中發生之變動 (Gangstörungen) 等，蓋非片言可盡，又非有許多例証及圖表，不能明其大意也。至於裂縫生成之主因，當爲凝固火成岩及隣岩之冷縮作用，其裂縫固然大部在汽化期已被填充。熱水液填充之裂縫，一部蓋爲岩漿侵入隣岩中時，在附近地帶及岩基頂部所擠開者。此種岩漿之侵入，則又與造山運動有時間及空間的密切關係，而岩層之裂開與移動，又殊與造山運動有關也。除此種破裂裂縫外，純粹之構造裂縫，如走向褶皺裂縫或逆掩斷層，褶皺或橫斷斷層，擠壓裂縫與扭轉裂縫 (Pressklifte und Torsionsspalten) 等而生於岩基及其遠近之隣岩中者，亦爲礦液週流及其所挾礦質沈澱之處所也。

如吾人對於礦脈及礦脈系 (gangsystem) 之分佈 (Verteilung) 及其空間的排列 (räumliche Anordnung)，能定出一規則或定律，則於學術及實用方面，或不無特殊意義。此類

試驗，所作甚多，且許多處所，確有此種規律之存在。然而在某一礦區內，正發現不少與一公認規律相反之例者，故吾人如欲樹立一通則，則正可判出每一礦區內所能成立之規律，且互相衝突，而致格格不相合者，又地方性質的關連現象，如礦脈約在背斜層區域叢集之事實，普通竟不能成立。此係能生成礦脈之不定面（Unstetigkeitsfläche）具複雜性質之自然結果。此種面固然對於礦液僅須與以通行即可，但在此面中，礦物沈積之條件，必具備也。顧在一定裂縫中之一地點可遇各種完全不相關之條件，因此欲獲得一關於礦脈分佈與填充之純粹構造之規律，其可能性，自始即不甚大也。

裂縫填充與裂縫造成作用，其發生蓋可獨立進行，各不相關，就時間言，前者固可直接與後者并道而馳，但亦不必盡然也。至於裂縫填充之材料方面，除有熱水液造成之礦石及脈石外，還有由機械構造力之破壞及化學腐蝕作用所成之糜岩破塊與混合岩石，即所謂脈中石（ganggeseine），脈頁岩（gengtonschiefer），及脈黏土皮（gangletten）者是。此種材料雜混合，蓋已變化萬端，加以礦石與脈石本身，更呈無數式樣之構造（ganggefuge），蓋亦非在此處所能盡道其詳也。

至於在礦脈上所發現之其他形態，同樣亦非數語可盡，今僅提出下列各點，以資注意：如合礦與無礦部份，亦即礦質與死質（Erzmittel und taube Mittel）之盈衰變換；富礦處所（Erzfalle）之存在；糜岩對於成礦作用與富礦處及死質發生之顯明影響；此則所在情形不同，蓋亦不可作一般之概論，又如兩礦脈之交叉，影響富礦點（„Veredelung“ an der Kreuzungsstelle）之形成等，皆不可不知之事實也。

在熱水液礦脈中最重要而散佈最廣之現象，即為由礦液而發生之糜岩變化，其性質蓋相當特別，并具直覺的『標準』（„Typomorph“）性。作變化礦物而產出者：有絹雲母，綠泥石，碳酸鹽，石英，黃鐵礦。

熱水液礦脈中之標準金屬，為Aa, Ag, Cu, pb, Zu, 與FeoBi, As, Sb及Te則較少。成礦礦物，多作硫化物，砷化物，硫銻化物及硫碲化物而產生。氧化物尤其氧化質鐵礦，無其踪跡，或則甚少。礦物可數者，有黃鐵礦，硫砷鐵礦，黃銅礦，方鉛礦，閃鋅礦，錳銅礦，斜方砷碲銅礦（Enargit），斑銅礦，輝銅礦，自然金，鋅金礦，菱鐵礦。主要礦石，則為石英，方解石，白雲石，錳鐵白雲石（Ankerit），菱鐵礦，銀礦，重晶石，絹雲母，綠泥石。

在礦脈中，有一生成次序，幾成規律：黃鐵與硫砷鐵礦最老，石英之生成，則或在前期

在後，然後閃鋅礦與銅礦繼之，隨而又有黃銅卅與金同時產生，最後方鉛礦作主要礦物而產出，往後有稀少礦物，如含硫複鹽類（Sulfosalze），輝銅礦，輝銀礦，自然銀等發生，至灰酸鹽，重晶石則常作數期，先後分出。

在同一礦脈，常見有生成系統變換（generalswechsel）之現象，又一生成次序之反複演出，甚或另一序列之重新開始（還童作用 Verjüngung），亦不少其例也。

2. 熱水交代礦床 礦液如流入可被侵蝕之岩石中，即溶解之，而於其地洗滌新礦物。於是此岩石，遂漸漸多少被『排去』（verdrängt）或破『交代』（metasomatisch）。可溶解之岩石，在此自又推石灰岩與白雲岩，矽酸鹽岩石，則不重要也。礦液流動之途徑，最初多沿裂縫系或層界面而開始，交代作用自此處逐步前進，首則造成不規則之管筒狀或平板狀礦體，或紛亂礦枝與被交代隣岩合成之網狀體（普通稱為『假角礫岩』Pseudobrezie）。交代作用，繼續進行，乃發生大規模塊狀，囊狀與房狀礦體，此外亦可含無數未礦化之隣岩塊屑（如在錳鉛礦中者），或者整個物質被礦化（如在菱鐵礦上所見者然），但亦有中間變化式者，故交代礦物，方解石——白雲石——菱鐵礦——鐵白雲石——菱鐵礦。

普通碳酸鹽岩石與不溶解岩石之層面間，每為交代作用發生之起點。在石灰岩中，幾乎層面，或斷層，與滑動帶Rauschelzonen，又為交代作用之發祥地也。裂縫礦脈，如自不溶解之岩石，轉入碳酸鹽岩石中時，亦隨而變為交代礦房（Verdrängungsstöcke）。

3. 浸染礦床 其性質多為過渡的，一方面代表在僅在部份溶解岩石中之交代礦床，他一方面又代表浸染的礦脈帶，而真正在多孔岩石中之純粹浸染礦床，殆不見也。大致一種交代作用，或至少矽酸鹽礦物之熱水液變化，蓋與之相互而生。此式礦床之主要代表，同時亦為經濟上之重要礦床者，當推所謂浸染銅礦（"disseminated Copper ore"）或斑岩礦（„porphyry ore"）。

熱水液礦床之分類 昔之研究礦床者，曾有無數礦脈式（gangtypen），礦脈類（ganggruppen），或礦脈系（gangformationen）之區分，但其間是否有若干之相互關係，則不加以考慮也。如吾人將可能之巨量材料嚴密研究之，即可發現某數種礦脈式，固有性質彼此殊形相關，而其互相遞變之跡，極為常見者；反之，他種礦脈式間，則竟不能有絲毫或極少之關係可尋。同時藉知亦有一定元素類（Elementengruppen），常在熱水液期內，互在伴生一處，再則此各類之各個生成溫度，亦略不相同也。

持此見解，吾人可分液水液礦床爲下列各系類：

1, 金銅鐵礦系

2, 鉛銀鋅系

3, 銀銻鎳鋅鈾系

4, 氫化質鐵系及無礦系 (Oxidische Eisenformationen und erzbreie Formationen)

每一系包括若干礦脈式。此各式僅顯然以極微之差異，一再發現於地球上之各處，與各不同之地質時代中。

1. 金銅鐵礦系

a. 金與石英礦脈 侵入熱水液列之『老』自然金石英礦脈，多由乳白色粗粒結晶質之塊狀石英所組成，并含少許黃鐵礦與顯微鏡的遊離金包含體，在石英中肉眼可見遊離金，僅偶然發現耳。黃銅礦及他種硫化物更較少。金含銀之量約爲20%左右，此類礦脈，皆極簡單，并有明顯脈肌。其厚度及深寬等常相當大。降岩大多絹雲母化，不含金，并無合金之硫化物。最低量爲5--10g Au/t，普通常爲此數之數倍。乃供給金之重要礦床。許多著名產金區域，及重要礦山，蓋屬於此類。可舉者如下：在加里爾尼亞有 grass Valley 及 Nevada city 之媽太脈 (Mother Lode) 金長125公里，爲已知礦脈中之最長者；在 Alaska 有 Prince William sound 及 Kenai halbinsel Yukonfluss 及 Seward 半島，此處爲由汽化電氣石自然金石英礦脈過渡而來，如 Treadwell mine 卽其例；澳大利亞有 Victoria 之 Bendigo 及 Ballarat；西澳大利亞之 Kalgoorlie，亦爲汽化電氣石金礦脈過渡而來；Südrhodesia 之許多礦山，常在花崗岩頂部之附近。此處或卽聖經上所云之金國，在大多數礦床上，有史以前，蓋卽有人從事採礦矣。

b. 合金浸染礦床 有時沿礦脈有具開採價值之浸染礦帶發生，如在 Nevada 之 Delamarmine 是。再在媽太脈有許多處，亦見此現象。該處之諸礦脈，蓋產于花崗岩斑岩及片麻岩之上；在小洛磯山東北——正長岩呈砂化作用，并有金及黃鐵礦浸染其間。最後 Guernseyland morgen Mt. 之大金礦床，亦值一述，此蓋一石英岩中之合金黃鐵礦，黃銅礦浸染礦床也。在諸礦床中，其矽酸鹽岩石受石英之交代現象，皆甚顯著。

c. 合金之交代礦床 (狹義的) 在易溶之石灰岩或白雲岩中發生，故在 Lydenburg 夾于輝綠岩中之白雲岩，皆變爲合金之砂化帶。同樣類式，在美國知者不少。如 Süddakota

之 Black hill, 及 oguirrh 之 Merkur distrikt 有之。

d. 合金之硫砷鐵礦及輝鎳礦。金礦脈常多少含硫砷鐵礦及輝鎳礦。但此二者亦有在金礦脈中分佈甚廣, 且作大量產出者。此種礦床, 應各分別述之, 因較高之砷含量, 一部足以影響金屬之提煉, 一部但亦可視為有用之副產品開採也。最佳之例, Fichtelberg 之 Brandholz 及 goldkronach 之金礦, 雖在汽化期, 即已開始, 但其成礦作用, 主要發育, 尚落在熱水液期中也。匈牙利之 magurka 及 Rosenau, 尤多合金之輝鎳鐵礦床。又 Südrhodesia 金屬區域之許多礦脈, 蓋亦富于輝鎳鐵礦者也。

Schlesien 之 Reichenstein, 因係屬於標準礦物之化學礦床, 故呈與純粹標準式不同之產生形態, 而將在以後一節中專述之。

e. 合金之碲礦, 此在分類中之位置, 各礦床彼此間及與他系之關係, 尚不清楚, 含各種 Pb, Ag, Cu, Hg, 之碲化物及碲化物, 亦多少含自然金, 脈石僅有碳酸鹽。哈慈山 Lerbach Tilkerode Zorge Clausthal 及 Andreasberg, 與夫 waldech Corbach 附近之 Eisen berg, 皆產此類礦床。

f. 含銅黃鐵礦交代礦床, 熱水液含銅黃鐵礦礦塊 (Kiesstocke) 及含銅黃鐵礦礦層 (Kieslager)。在許多含銅黃鐵礦礦層中, 今日用新式器械研究之結果已經證明有一類無疑屬於侵入熱水液交代或浸染礦床者, 如許多著名供給黃鐵礦之大礦體。其中黃鐵礦自佔主要之位置, 銅量則變成斑晶狀黃銅礦而產出(俗所謂含銅之黃鐵礦, 則為不可能之事也), 但不重要也。此種礦床, 為製造硫酸之原料。殘留物又為鍊銅之重要原料。由此蓋亦可提煉金及銀也。就形狀言, 多為扁豆狀, 亦成礦塊及礦層。與酸性侵入岩相關, 此蓋為當造山作用時, 沿岩石層面及運動面而侵入者也。即閃岩及礦層本身, 亦有曾受變動之象徵。著名之例, 即西班牙南部之 (Huelva 或 Riotinto) 區是。在此凡一百三十公里長與二十公里寬之地帶內, 蓋有無數之礦床, 又皆各有無數之礦體也。層狀及扁豆狀礦體或平行火成岩之變動面 (Durcbewegungsfäche), 或在其邊緣處, 或在閃岩中。其厚超過百公尺, 長及深又皆達數百公尺也。除黃鐵礦佔礦體 80—90% 外, 又 6—7%, 約為黃銅礦, 此外有石英, 絹雲母, 重晶石, 及無數稀少硫化物與砷硫化物。黑阿廷安, 今日供給全世界黃鐵礦需要量約三分之二, 亦供給百分之幾之銅。相似礦床, 在里昂之 Saint Bel 及 chessy 皆有之。再 Tasmanen 之 Mt. Lyell 與加里福尼亞之 (Shasta County) 有些礦床, 亦屬此類。至 Arizona 之 jerome 礦床, 除含銅

較富外，餘則無不相已同也。

g. 絹雲母化黃鐵礦黃銅礦浸染礦床。除上述之大量黃鐵礦質，鐵質在此較銅為富外，亦有含 Fe 與 Cu 幾相等之礦式。交代作用在此完全不重要，惟硫化物之浸染，則特著耳。此種礦僅在適當條件之下，可以開採，即礦量大，與原生貧礦經次生作用在氧化帶與富化帶而富集者。此外選礦容易及地點適當等，亦為重要之條件。在30年前，此種礦床可利用者，蓋不為人所知也。但自此而後，尤其美國及智利開採大盛，全世界銅量百分之三十以上，幾取給于此。有數個此類礦床，且成銅礦礦床中之最大且最著名者。其普通現象約如下：大花崗岩，二長岩或石英二長岩之岩塊及岩基(Batholith und lakkolith)冷卻後，為無數縱橫密切相接之網狀薄收縮裂隙所穿過，為而熱水液容液經過之區。此溶液分解岩石中之斜長石，角閃岩，及一部正長石，而造成絹雲母，黑雲母，石英，方解石，黃鐵礦，及黃銅礦。此種礦物，充填諸微細收縮裂隙，亦浸染至全岩石中。全部岩石，或可如是破壞無餘，又或被侵蝕後呈大小不同作浮遊狀之零星明顯岩體。譬如吾人亦發見此種含銅黃鐵礦浸染礦床于具片理之岩石中。美人稱此種上升熱水液礦床為 „profore” 即母礦或初步礦之意。普通皆無開採之價值，僅含銅 0.5—0.7%。顯氧化帶及富集帶之礦，則合於開採之條件，銅量可升至 1—2—2.5% 故耳。此種礦床之主要者，有下列數處：其儲量及銅之百分數，亦并列于下表內。

礦 床	礦 之 儲 量 Mill. T	銅 之 百 分 量
Chuquicamata 智 利	9 0 0	2
Bingham, Utah	3 6 0	1.5
miami; Arizona	1 4 5	2.2
Ray; "	1 1 5	2.2
globe; "	8 0	2—2.5
Ely; Nevada	5 0	1.5—2.0

h. 黃銅礦黃鐵礦石英礦脈 成獨立之礦者，分佈不廣，故意義不甚大。常與他種礦床相連，如首在銅礦浸染礦床發生，尤其 Bingham 為然。再有地與別種礦床如菱鐵礦，——鉛鋅礦，——斜方硫砷銅礦 (Enargite) ——礦脈相連。重要者，有澳大利亞南部之 Moon-ta-Wa llaroo 及 Burra-Burra，新南威耳士之 Colar 等處。小且今日毫無價值之銅礦礦脈，罕

Siegerland 有之。如 Siebengebirg 附近 Haiger 與 Dillenburg 地方之 Untere Daade 是。

i, 鐵質少之銅礦礦床 含斜方硫砷鐵礦, 輝銅礦, 黝銅礦, (Fahberz), 斑銅礦, 方鉛礦, 及閃鋅礦之礦脈與交代礦床。許多大銅礦礦床屬於此。雖各處同生礦物, 關係約略相似, 但其形態, 則大相逕庭, 故分別述之, 實有必要也。

銅礦脈脈, 佔一2.5公里長及1.5公里寬之廣大礦區。周圍為各種深度甚大之銀鉛鋅礦脈所包圍。位於內夾長英岩質侵入體之石英二長岩上。此兩火成岩之綠泥石化及絹雲母化甚深。此無效礦脈或礦脈帶, 一部為純粹角礫狀礦脈 (Brekziengänge), 一部為界綫不明之交代或浸染礦帶, 而厚達30—40公尺者。造礦礦物, 有輝銅礦, 斜方硫砷銅礦, 斑銅礦, 黃鐵礦, 少量黃銅礦及銅藍。脈石多成絹雲母及石英。黃鐵礦及黃銅礦往深處變富。礦富于銀分 (100分Cu=2.2分Ag)。Butte 為世界上面積最小, 而礦量匯集最富之地。1913 年中, 自此供給全世界6% Ag, 1% Au, 13% Cu, 及4% Zn。

Utah 之 Tintic: 在粒狀之半深成 (hypoabyssische) 火成岩體中心處, 有礦化帶。絹雲母質, 石英質, 及黃鐵礦質降岩中, 含方鉛礦, 斜方硫砷銅礦, 間有少量黃鐵礦, 閃鋅礦及黝銅礦。此外有石英, 重晶石成裂隙礦脈在隣近之石灰岩及白雲岩中而延伸。在礦脈附近之降岩, 固皆矽化甚深也。此為鉛銀及銅之重要礦床。

非洲西南部 Otavibergland 之 Tsumebmine: 此為在純粹白雲岩之一種交代礦床。其形態蓋已極受層位 (Lagenung) 變動, 與岩石結構等之影響。礦床蓋在平行白雲岩層面而橫鋪之石英長石岩石 (從前認係長英岩, 現以為係長石砂岩 Arkose) 中, 因褶皺之故, 此長石砂岩與白雲岩今日皆豎起。長石砂岩, 為礦所浸染, 而隣近之白雲岩, 則皆為成分甚高之塊狀礦體所交代。主要礦物, 為方鉛礦, 斜方硫砷銅礦, 含砷黝銅礦, 閃鋅礦。此外有原生輝銅礦。黃鐵礦不多, 有地有本地特產之錯銅硫鐵礦 (Germanit)。礦體異常豐富, 至今此處所產礦之二分之一, 約為Cu Pb 與 Zn 三種金屬 (12Cu+25Pb+10Zn)。礦石有石英, 白雲石, 方解石, 及絹雲母, 此數者僅佔礦體30%也。

Kalif 之 Engelsmine 為汽化熱水液過渡礦床最佳之例, 但已有標準礦物反應礦床 (見D) 之痕跡。在熱水液期, 火成岩降岩皆受綠泥石化, 綠簾石化及絹雲母化等作用。成礦礦物, 有斜方硫砷銅礦, 黝銅礦, 閃鋅礦, 黃銅礦, 斑銅礦, 輝銅礦。完全低溫後期產生物, 有沸石, 方解石, 銅藍與二期產生之輝銅礦及黃銅礦。

在秘魯之 Morococha, 阿根廷之 Sierra Famatina, Luzon 島, 及 Serbien 之 Bor 有, 相類似之礦床, 但已具顯明之噴出熱水液性質, 而與噴出岩相緊連。故俟噴出熱水節床礦液中論之。

1, 黝銅礦脈 純粹之黝銅礦脈甚少, 大多數為上述銅礦中之一種。具地方性的礦床, 又或如下述各式之變相。在中世紀甚重要之著名黝銅礦脈, 位于 unterinntal 之 Schwaz 及 Brixlegg。在 Bosnien, 則有含汞黝銅礦脈。

2, 鉛鐵鋅系, 大部存在之金屬礦脈, 屬于此類。為純粹之裂隙礦脈, 其成與斷層有關, 幾永無礦化之帶, 在隣岩中者較在火成岩本身中者為普通。組成礦脈之物質, 有極多之中石與破碎隣岩塊, 蓋皆如附近之隣岩然, 皆受熱水液變化, 但與上類之變化程度相較, 則弱多矣。礦脈中物質之共生關係, 非常複雜, 一再破裂, 與礦物先後產生, 作者千代之現象甚為常見。此類礦脈就全體言, 較第一類熱水液礦床為低溫之產物。礦脈本身, 亦有深度區別, 故因鋅較富之高熱較深相, 為一方鉛礦較富而位置較高之低溫相所追隨。銀量亦多變更, 高溫熱水液礦物所含者, 常較低溫熱水液為富。至猶幻各相中之銀量, 又再返昇, 而完全銀礦礦物, 則在最新之相中產出, 其同生礦物, 容在再後之一類中述之。

本系除成脈脈外, 其作交代礦床者, 亦非常衆多。有一組雖仍顯示其與火成岩之關係, 但他一組可完全不見與火成岩有任何之連繫。就其同生礦物言, 蓋在低溫度所產生, 此外與地下水之關係, 究不可磨滅, 于此知其為水成列中之作用與物質相混合而成之一種性質不明之礦床也。

本系因目的之不同, 其進一步之再劃分, 亦可大異。在 Freiberg 礦區所作之特別工作, 蓋就各脈脈系或至少各單一脈脈內一切同生礦物之種樣, 而分為無數門類。為簡便檢查計, 故必須加以歸納, 而引其重要者言之, 因此吾人可別之為下列各類:

a. 黃鐵礦石英菱鐵礦, 及矽石重晶石并含銀礦之鉛鋅礦脈。凡昔日著名 Erzgebirg 之 Freiberg 及 Brand 礦區之脈脈皆屬之。脈脈數目, 蓋在 1100 以上, 計約略成互相垂直之二組脈系。其走向為 NN0 較老之一組, 包括 (1) 含硫碎鐵礦, 黃鐵礦, 黝銅礦, 紅銀礦, (Rotgültigerze), 輝銀礦, 石英之貴重金屬石英系 („Edle Quarzformation“), (2) 含硫碎錳礦, 閃鋅礦, 方鉛礦, 石英, 黃鐵礦之鉛礦系 (Kiesige Bleiformation), 一部可達五公里之長; 及 (3) 含黃鐵礦, 閃鋅礦, 黝銅礦, 含銀方鉛礦, 紅銀礦, 輝銀礦, 自然銀, 石英, 菱鐵礦, 菱

鐵礦之貴重金屬或菱鐵礦，鉛鐵系 (edle oder braunspatige Bleiformation)。較幼一組 (與較老之一組生因相同) 之走向，為WNW，包括含黃鐵礦，閃鋅礦，黃銅礦，車輪礦，方鉛礦，石英，重晶石，鉍石之重晶石鉛銀系 (Barytische Blei- und Silber formation)。

Schwargwald，西南部尤其在Orcisamtal及上wiesental間，有無數含重晶石與鉍石之鉛鋅礦脈。主要者在Freiburg南之Schauninsland。

捷克斯拉夫prag西南之příbram亦有在礦脈中開採之著名老礦山，與Freiburg者極相類似。惟其造礦作用，已開始於汽化期也。在美國與Freiburg相類似之礦脈，發生于montana之greente bi meallic及Idaho之woob river

b. 含銀之方鉛礦交代礦床。此處包括一切同生礦物與上述之方鉛礦閃鋅礦鐵脈極端相似之礦床，其與火成岩之密切關係，與其純粹熱水液性質，可證明而無疑義者也。

一主要礦床，同時為Pb, Ag及Zn最主要之產地，當推Colorado之Lead ville在此沿岩層而侵入之酸性火成岩與石灰岩及石英岩相互成層，再由斷層，及階級斷層分裂為無數小塊。沿斷層乃有礦液之上升，但於斷層處沈積者却甚少。大部份礦液，則沿石灰岩與侵入岩相交之處侵蝕，而造成層狀或扁豆狀之交代礦床。計上下可分為三層。緻密之礦物，為含銀甚富之方鉛礦，閃鋅礦，黃鐵礦，礦體含Au, Sb, Bi, Te, 等質。

在美國相似而亦具經濟上價值之大礦床，有之Park city, Colorado之Aspen與之garrison mine及Eureka。

此外屬於此類者，Attika有昔日著名之Laurium老礦床，及Sardinien西南之無數礦床。尤其在Monteponi之Iglesias附近者，與此類相似。又最近在緬甸漸露頭角之Bawdwin-mine礦山，亦可視為此類之代表也。

c. 石英菱鐵礦并含黃銅礦之鉛鋅鐵脈。礦物相當簡單，有黃鐵礦，黃銅礦，方鉛礦，菱鐵礦，石英。閃鋅礦及車輪礦較少，亦有白雲石，方解石，重晶石。陸岩破塊亦多見。在德國自昔著名之萊茵區Schiefergebirg及上哈慈山礦區中之無數鉛鋅鐵脈，皆為其例。萊茵河左側自北至南，計有Düsseldorf, 之Velbert; Sauerland之Ramsbeck, Sauerland Siegeland, Bergisches land, Ems Braubach萊茵右側，有Eifel, Moseltal Ahrtal等地。在Clausthaler Plateau分佈尤廣，蓋可分為十個脈系，散處于Grund-zellerfeld-Claustal之間，及Bocks-jwese, Lautenthal, Hahnenkiee等地。

在中歐慈如在 Neudorf 亦有利錳鐵脈，但應歸于前述之第(a)組，因其含雲石，且有他種比較高溫之熱水液礦物也。性質相似之鐵脈，在他處有西班牙 Sierra Moreña 南部之 Bináres La Carolina 及 St. Elena 等產地。此外有名為 Coeur d'Alène distrikt 之大鉛錳鐵區，其各鐵脈，皆呈甚佳之測變化，如由甚高之熱水液，甚至一部由汽化同生礦物，以至變為大致純粹之菱錳鐵脈之跡，皆可逐漸追尋。各鐵脈變動破壞之程度，概甚劇烈。

a. 菱錳鐵脈：其與上述各組不同之點，即方鉛礦，實際完全不見，因錳及黃鐵礦仍有微痕，散見鐵中。石英亦大見消滅，因此菱錳鐵，幾為唯一之礦物。自然碎岩破塊，亦不少也。Siegerland 即不少其例。菱錳鐵鐵脈，且組成一鐵區之中心，四週為錳鉛鐵脈，或局部為少見之黃銅鐵石英鐵脈所包圍。菱錳鐵鐵脈成之脈羣，大致與主要走向相合，但各單一鐵脈，又各有其不同之方向也。厚度甚大，約為5至10公尺，亦有至20公尺者。許多人以為其構造及其在各層岩上之分佈，蓋有一定之規律可尋，但至今仍未得各方之證明也。

Siegerland 之菱錳鐵，約含鐵38%，錳7-8%。至今日仍為德國最要鐵礦之一。其意義以鐵層位置之平緩與開工難而費用高等關係，自不免略有減色也。各鐵脈頗受一較新之高溫熱液變化，即菱錳鐵變為『赤鐵礦』(Rotspat)，并新生斑銅礦，輝銅礦，及鉛錳等礦物(容後敘述之)。在他國與此種菱錳鐵鐵脈相似之例甚少。稜有開採價值者，殆惟見于上匈牙利乎。

e. 交代鉛錳鐵層 屬于此類之重要鐵床甚多，但非代表一特別組合，蓋大致性質，雖各相同，然彼此間，仍多出入之點也。此蓋為在白雲岩及石灰岩中之交代鐵床，且僅能在某數層內可以釀化，因此造成層狀之鐵床。普通鐵床，亦與碎岩之橫裂隙相關。又或位于斷層與灰岩層面之相交處，甚或為喀斯特 (Karst) 區域洞穴間之充填鐵床。又或由此數式混合而成。脈狀之鐵體，在不溶解之碎岩中，或其正續之下部，蓋所在多見，衆以為係礦液之來道所在，但非必處處皆然也。最近在 Oberschlesien 曾經證明成礦與構造之關係，蓋鐵層，即沼造礦作用前所成之走向的主要變動層而產生者。此變動帶要為軟泥質岩石微呈彎曲在較硬灰質岩石上滑動所致，因便於流水之環流，而為礦液停滯洗積之所。此類鐵床之主要特徵，即與造礦作用相關之碎岩，呈白雲石化作用是，礦物相當簡單，有方鉛礦，閃錳鐵，纖維錳鐵，膠體黃鐵礦 (gelopyrit) 白鐵礦。含 Sb 及 As 之礦物，有斜錳錳鉛礦 (Meneghinite) 及灰硫錳鉛礦 (jordanit)。鐵之構造與纖維錳鐵及膠體黃鐵礦之存在，皆證明膠狀礦化物之特

高度擴散而沈積。

至其生成作用或方法就揣測者，有下列數則，蓋屬可能：

(1) 遠岩漿的 (Fernmagmatische) 低溫熱水液溶液，蓋自始已將其中鑛質，在吾人今日所見鑛床之處，作交代的沈積。鑛質濃度，亦自始即已如是之大也。地面循環水 (Vadose-Oberflächenwasser) 固可參加活動其間，但亦可不需其作用也。

(2) 在(1)中之作用，僅使硫化物，在廣大區域之成層岩中，作零星之分佈。此種硫化物，後經循環水再溶解，而特別在適當之處所，造成高度之富鐵體。此作用或在構造間歇期 (gleitbewegung) 發生，或適當岩層之滑動期，滑動正促成此作用之進行，而使鑛質特別富集于滑動面處。表面水之流動，蓋可使某一地方之風化質，以至大半陸下一定狹小處內極小之金屬富集量，盡捲入其中也。

(3) 上昇之熱水液溶液，一部已在地表面附近之裂縫中與地下水相混，一部則為流至遠處之地下水所挾去，循流不已，而在適當處所漸次沈積。

(4) 最後可在上述諸造鑛作用之後，再有次生的變化與富集。至於在一定鑛床上何種作用，曾活動其間，又其程度如何，固不可不隨地注意整個鑛區之一切發生形態，並加以仔細之研究也。

至於今日在此種鑛床上富集金屬量之來源，或為自海水中分出之白雲岩與石灰岩中之生物作用的原生硫化物 (確有此種來源之存在，俟後再論之) 但著者相信為解釋此種鑛床之碩大金屬量，此作用實不足以副之，故吾人覺金屬之來路，大可在遠熱水液溶液中求之。此種溶液，大概常在已固結之岩石中，沈澱其鑛質矣。但侵入海中者亦未始毫無。因而海水之鉛銻量，大大增加，隨後可與石灰質同為生物所沈澱。雖然此例，蓋付闕如，但對於此種設想，至今日或正無處不有其象徵也。

一部最大且最重要之鉛銻鑛床，蓋屬于此類：如Ober-Schlesien Aachen-Stolberg及Alt-enberg-Moresnet；Baden之Wiesloch；東阿爾卑斯山諸鑛床，如mies, Bleiberg-Kreuth, Raill, Eisenkappel等地；Thasos島, Algier, Tunis 安南以及沿密士失必河之Wisconsin, Missouri, Kansas, (OKlahoma)及Tennessee諸州之鑛區，尤其Missouri西南之Joklin及其東南之諸鑛床，為此類鑛床之著者。

吾人將各礦床，排成一列，并將其熱水液性質最著者，列於前，而幾具純粹下降水洗積

之產生形態 (Vadose, dezendent-sedimentaren Erscheinungen) 者，列於最末，則可得下之次序：

Aachen-stolberg, Bleiberg, missouri 東南部，Ober-schlesian Altenberg-moresnet Raibl 奴密士失必上流，Missouri 西南部 (Joplin)。

此類礦在 1913 年，已供給全世界以 51% 之鋅，及 21% 之鉛，往後其比較及絕對產量 (Relative und absolute Produktion) 且尚有增加。

### 3. 銀，銻，錳，銻，鈾，碲系

尤其自上述系類之第一式或一部第三式，不少遞變爲此系之各式者。故有不少之中間式，可置於彼，亦可置於此述之也。但亦有不少特異之式，其礦物，產生狀態，及構造，皆多固定，且分佈甚廣者。

大部份爲真正裂隙礦脈或礦化帶。交代礦床，或完全闕如，或有，亦完全不甚重要。

重行分類，可就主要之金屬或金屬組行之，蓋相當自然也。

a. 銀礦礦脈 計有兩式，顯不相同。其一礦物甚貧，故主要僅產自然銀，大多數之富銀礦礦脈，則屬於第二種，礦物甚富，且產美麗之晶簇 (Drüsenminerale)。

在此二式中，尤其第一式，標準礦物反應作用之現象甚顯，礦床「血種」關係，已不甚純粹，故其產生狀態及同生礦物，已顯受陸岩之影響。(關於此反應作用，參看 D 節)

挪威之 Kongsberg：在正片麻岩 (Orthogneiss) 及副片麻岩 (Paragneiss) 之互層中，有變質成角閃岩之輝綠岩層狀岩脈，其附近陸岩，似爲液體岩漿期至汽化期之含銅黃鐵礦所浸染 (Ia. 浸染礦帶)。垂直此種整合的而傾斜陡峻之一組岩石，爲亦具相當傾斜并完全無礦之狹窄方解石礦脈所截切。距浸染礦帶數公尺處。突然有自然銀在礦脈中發現，成針絲，苔蘚或片狀，以至常作甚大之塊狀。輝銀礦較少，別種礦物更不見。除主要脈石方解石外，亦有少許石英，螢石。間含鈉鉀長石，斧石，綠簾石，綠泥石及相當普通之沸石。

銀之產生，因此爲具有地方性的，限於一定處所的，其在富化帶內之伴生礦物，令人不能不設想此類礦床，蓋爲礦液與含黃鐵礦之角閃岩。化合而成之產物也。同生礦物之相似性，與夫僅見自然金屬之盛行，又皆令人無限憶想 Oberer See 之銅礦礦床。此按最近之研究，蓋可視爲『標準礦物反應礦床』(topomineralogische Reaktionslagertatte) 之一最佳實例也。

第二式則為著名已久之哈慈山(St. Andreasberg)銀礦，惟尚未經科學化的研究。此為含無數汽化期之礦物相，經過甚多之熱水液期，以至絕端低溫期之過渡礦床。各礦物之生成，計可分為下列各主要數代：1 柘榴石，綠礫石，斧石，鈉長石，2 方解石夾紅錳礦，磷鎳礦(Speisekobalt)斜方錳鐵礦(lollingit)錳鐵礦(Breithauptit)閃鋅礦，黃鉄礦，方鉛礦，褐黃鉄礦，黃銅礦，3 含錳銅鐵礦，石英，矽石，黃銅礦，方鉛礦，閃鋅礦，自然銀，針硫錳礦(millerit)，3，紅銀礦，硫錳銀礦，硫砷銀礦(Rotgultigerze)，單斜輝錳銀礦(millerit)硫錳銅銀礦(Polybasit)，輝銀礦，輝錳礦，氟石，5，自然銀，方解石，沸石。諸此礦物，皆屬原生者。

在墨西哥及秘魯之諸礦床，亦有相似之同生礦物，因其與噴出岩相關，故往後在噴出礦床節中始述之。但正在此類，侵入作用與噴出作用間之區別甚小，且常混濛，至莫可判分也。

b. 含銀之錳鐵礦床。與哈慈山之 Andreasberg，2,3,4，諸代同生之礦物相似，僅錳鐵礦物，量特多耳。昔日開採甚盛，而今釐量已盡之無數老礦床，如左 Annaberg，Marienberg，Schneeberg，Johanngeorgenstadt 及 Joachimstal 者，皆為其例。礦脈相交處，每特富于銀。

此類礦床之最大而特著者，為加拿大 Ontario，Temiskaming-distrikt 之 Kobalt 礦山。在此厚層輝綠岩脈為無數，一部僅約一公尺寬之小脈所垂直切斷。諸脈所含銀錳鐵礦之富，實足驚人。主要礦物，為自然銀，錳銀(Antimonsilber)，硫錳銀礦及硫砷銀礦，錳鐵礦，輝砷錳礦(Kobaltglanz)，紅錳礦(Rotnickelkies)，輝錳礦(Chloanthit)，假紅錳礦(Maucherit)，自然錳及方解石。Kobalt 在近時為產銀最富之地。在1913年，其銀量，及錳之量，約各佔全世界產量之13%，9%及100%。

相似但規模較少之礦床，在 Arizona 之 Wickenburg 及 Colorado 之 San Juan Mts.，新近有所發現。

c. 含鉛錳之銀錳鐵礦脈 在 Joachimstal 及 Schneeberg 之礦脈，除含上述之礦物外，并有非晶錳礦(Uranpfecherz)。在 Schneeberg 此外還有輝錳礦及自然錳。相似礦床在 Schwarzwald 之 Wittichen 亦有。

d. 無銀之錳鐵礦脈。在 Karpathen，及 Siegerland 之許多錳鐵礦脈中，有一較幼但較高熱水液錳鐵礦之聲音。又在 Schladming，俱有此式。大約 Thüringer Wald 之 Schwe-

na 及 Saalfeld 地方位于鐵灰層 (Zechstein) 中之 Kobalt 背斜層，又為其例也。

e. 無金之硫磺鐵礦鐵床 此式較少，亦不甚重要。Altenberg rotenzechan 蓋有其例。大部硫磺鐵礦鐵床，主要皆含金，已于第一節述之矣。

#### 4. 氯化質及碳酸鹽質鐵礦系與無硫化物之脈系。

a. 輝鐵礦脈。夾緻密質赤鐵礦，紅玻璃頭 (glaskopf) 亦常見，粗粒輝鐵礦極少，但多重晶石。此式鐵床，已知者甚多。但量皆不大，多已採完。因其不含磷硫之少量氫化鐵，為製鋼最好之原料，故需要甚迫切也。在德國有 Lanterberg 之 knollen grube, St. Andreasberg 在銀礦區域之外，及 Ilfeld 之北，哈慈山，及 Ruhla 及 Suhl, Thuringer wald, Schwarzwald 之 Neustadt；以及 Erzgebirge 許多地方皆產之。

b. 含鉛之輝鐵礦石英鐵脈 Waterberg 及北部含自然鉛之石英輝鐵礦脈置于此，似稱適當也。

c. 交代赤鐵礦鐵床。英國西海岸 Cumberland 及 Lancashire 石灰岩中之赤鐵礦，為熱水液鐵床之屬於此式者。該處不規則之鐵體，含 50—53% Fe，係沿層面間或沿石灰岩之斷層而沈積者。蓋亦為今日製造良鋼之重要原料也。

d. 交代菱鐵礦鐵床。由純粹菱鐵礦組成之大鐵體，并為鐵鏡白雲石及白雲石所包圍，蓋係經熱水液交代石灰岩而成者。菱鐵礦含 Mn 之量，顯較在鐵脈中者為少。最佳之例，為 Steiermark, Eisenerz 地方之 Erzbürg。其鐵體面積佔一平方公里，高度最少有 700 公尺。菱鐵礦含 44.7% Fe 及 2.7% Mn。類似之鐵床，在 Karnten 之 Huttenberg 有之。小鐵床在東阿爾卑斯山之硬砂岩 gragwacke 中，尤發見不少。此外西班牙北部 Bilbao 鐵礦之原生部份，似亦有此式之代表。該鐵床佔面積約 30:10 公里，計有無數鐵帶分處於白堊紀灰岩中，初為菱鐵礦；今日表面大部份，則已變為氫化鐵礦矣。此鐵對於中歐洲鐵礦之供給，意義甚大也。

再在 Algier Tunis，亦多此種經濟上甚重要之交代鐵床，而大部產生於白堊紀灰岩中。

e. 交代菱鐵礦鐵床。在阿爾卑斯山同一硬砂岩帶中，Erzbürg 所在之處，亦有無數約略相似之石灰岩交代鐵塊，惟為純粹粗粒之菱鐵礦所成耳。主要產地為 Veitsch Breitnau, Trieben 及 Radenthein。菱鐵礦為玻璃爐 (glasofen) 攪動熔鐵爐 (puddelofen) 等之最耐高度鹼性耐火材料東阿爾卑斯山之菱鐵礦，適為此中之錚錚者也。

f. 無鐵之石英鐵脈重晶石鐵脈及螢石鐵脈。常組成各種可能鐵脈之無鐵邊緣相 (5-

renyfaeies) 。亦成獨立之礦脈。

## B 噴出岩漿礦床

當流動岩漿，沖入地表面（陸地或海底）時，則雖以火成岩體本身迅速冷凝之故，其分化作用，不甚重要。但以此時岩石造成之環境，略有不同，因此岩石之構造，亦復隨而有所差別。產生之噴出火成岩（extrusiv, Vulkanische oder Ergussgestein），常與疏鬆噴出物質，如凝灰岩（Tuffe）相伴生。其詳亦非可于此以數言盡之也。

關於礦床之生成作用，在岩漿中所溶解之物質，實為主要因素，故岩漿凝固時，其上所受之壓力情形如何，自然影響此造卵作用最大。因岩漿衝出陸地時，壓力甚微，其中之成分，遂急速與暴烈之逃散，故普通發見噴出礦床，如侵入礦床之產生狀況者，其可能性實甚稀少。再則噴出岩漿之前亦缺乏障地，以為礦床沈積之所，因此岩漿，係成熔岩（Lava）而自由直接流入空氣中故也。由物理化學方面之理由，汽化式在此殆不存在，僅見真正熱水液礦床之代表，而可名之曰噴出熱水液礦床。計此指噴出岩本身中或其極近處之礦脈及浸染礦帶。主要含金及銀，最次含銻汞及錫等金屬，銅鉛鋅則量較少也。因此種礦床與噴出岩有生活上之密切關係，自然亦在較幼之岩系累積最多，故亦常稱此類礦床式為新系（junge formationen）。在噴出岩與深成岩間有各種過渡岩石相連結，同樣在侵入礦床與噴出礦床之間，亦有過渡形態以連結之。許多噴出金礦床或汞礦床之劃分，蓋相當明銳；但就銀鉛鋅及銅鉛礦床言，其礦脈內容物，幾常無若何區別之可言，吾人於此，僅能按其相隨之噴出岩石之性質，而加以類分耳。

在噴出岩漿列中，有一特殊之第二式，而常非為一純粹之礦床式者，其生成蓋尚有他種因素於水成礦床列之造礦作用參雜其間，是即噴氣礦床（Exhalationslagerstätten）。其中一大部份金屬，蓋由鹼性岩漿中之噴氣所從出。此種噴氣，當熔岩流入海底時，可被吸着而沈下，因在熱噴氣質與海水之間，以及與海水中溶解鹽質之間發生一種化學反應。此種礦床，因此普通皆為海底噴氣礦床與質量不等之化學的并生物化學的沈積物質二者所混合而成。

噴出熱水液礦脈

此為裂隙礦脈，礦脈帶，及複合礦脈，而生於較新之噴出岩與其隱石及較新火山活動之區域中者。該地域剝削（Denudation）與侵蝕（Erosion）之程度，至今尚未達數百公尺。論其地質年代，多為第三紀，一部較老，常有為洪積期之產物者。

火成母岩，多為半深斑狀酸性岩石，如安山岩，粗面岩，流紋岩，以及響岩，而當作岩磐，在地表面不遠處或在各岩之凝灰岩中停積者。在真正之溶岩岩流（Lavastrom）及純粹噴出溶岩（effusive Laven）中，幾不具有礦脈也。此類礦床，蓋包括一大部份 Au 及 Ag 與全部 Hg 之產物（譯者：包括全部汞礦，似向未能成為定說也。）

此亦常成富礦床。在第三紀造山運動帶，作成行之排列，與新噴出岩之伴生，蓋為其特徵。尤其太平洋沿岸山脈發生之噴出岩帶（Effusive Zonen）中，此類礦床，為數甚多。如北美高底利拉山，墨西哥，南美日本東印度及紐西蘭是。又在匈牙利及 Siebenbirgen 以及 Apennin 相似地質構造位置之喀伯敦弓形構造地 Karpathenbogen 中，亦有其例也。

因裂縫係在地殼表面而裂開者，故晶洞甚普通，亦多脈帶及亂脈帶（gang-wnd Triim—mergönen），角礫岩礦脈浸染帶，形狀大小，在各向方，參差不齊。隱石多分化甚烈。凡此礦脈之深度不甚大，無論如何，恆較侵入系稍少。最普通者，即顯著之連繫礦脈（gebundene Krzganze），限於數百公尺深處，而多在岩磐火成岩之最上部，與其相隣頂部岩石處產生

1. 金銀系 按金與銀之比例，論其礦之含量，與夫隱岩變質之種類，又可分為數類。大部屬於此之礦系，可稱之為青磐石化礦脈。蓋包含礦脈之安山及粗面質岩，隱岩，皆變為綠泥石，黃鐵礦，及綠礫石，此乃一種分佈甚廣之自水解作用，而較造礦作用為者。自然礦液亦再使附近隱岩及青磐石化岩石作一次熱水液之變化也。簡言之，凡分佈甚廣之礦式與夫其隱岩受絹雲母變化者，皆用此名包括之，以與最後述之一類，即呈明礫化之金礦脈相對照。

a. 青磐石化金銀礦脈 金特多者較少，銀及真正銀礦礦物，亦不多見。Au 與 Ag 多成一與一，以至一與一百之比，在此於是乃常產生真正之銀礦礦物。他種礦物，僅有黃銅礦，黃鐵礦，方鉛礦及複硫鹽類，量亦甚少耳。其存在與金銀量成反比例，如量增，則礦床又移變為他式矣。除遊離金與在黃鐵礦方鉛礦及黃銅礦中成包裹體之自然金外，亦有金作類質同性混合，溶解於黃鐵礦中。

礦床之重要者，在內喀伯敦弓形構造地有 Schermnity, Kremnitg, Nagybanja, Felso-banja, Kapnik, 在 Siebenbirgeu 有 Brad, Offenbanja, Yorespatak, Nanyag, Rezbanja

等礦山；紐西蘭之 Hauraki 金礦區；墨西哥之 El Oro，尤其 Neyada 之 Comstock lode 及 Tonopah 多有之。

b. 金銻礦脈 Cripple Creek 最著之金礦礦床，屬于此。計有無數在巖中作放射狀排列之礦脈。礦床內容，為金銻化合物，如銻金礦 (Calaverit)，針銻金礦 (Sylvanit)，及黃鐵礦。自然金稀少，銀量亦微。(9 Au : 1 Ag)。脈石以石英，石髓為主，冰長石，矽石，及白雲石次之。

c. 金銻礦脈 在上述之金礦礦床中，不含銻者幾無。有時其量特富，因此提銻極感不便。華盛頓之 Republic，尤其在蘇門答臘島之 Redjang Lebong 及其他礦山，為此中之著者，後諸礦床之情形，蓋殊複雜也。

d. 明礬化金礦礦脈 上述諸金礦礦床之圍岩變化，與在侵入礦脈中所見者相同，即造成絹雲母，石英，方解石等，蓋受鹼性礦液之作用。至受酸性礦液反應之表徵，即造成明礬 ( $K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 4SO_4 \cdot 6H_2O$ ) 與高嶺土，如在 Nevada, Goldfield 所見者是，除自然金及黃鐵礦外，亦另有黝銅礦，脆硫銻銅礦 (Famatinite) 及複合之 Cu-Sb-As-Bi-Te 硫化物，礦床相當重要。

e. 銀礦礦床 金量減低，含銀礦物增加時，即成此類 (1 Au : 200 Ag)。有輝銀礦，自然銀，硫銻銀礦及硫砷銀礦，斜方輝銻銀礦 (Stephanite) 硫銻銅銀礦，再方鉛礦及閃鋅礦，亦為最常見之之礦物。此類礦床，在墨西哥之多，實首屈一指，如 Pachuca 及 Guanajuato 是。又在秘魯亦極普通，且甚重要也。

## 2. 銀錫錳系。

a. 銀與錳錫礦脈。此類礦脈，大多數作標式產出。但就個體言，則組織複雜。尤以在波利非亞者為甚。此處礦床為向兩方面發展之過渡礦床式相：即一則由侵入變為噴出礦床，一則由汽化期展至熱水液期。礦脈常在其礦根深處，成純粹之侵入汽化錳錫脈，往上則變成銀與錳錫同生礦物。計有錳石 (為不安定之交代殘留物) 纖維錳礦 (Holzinn) 錳錫礦，輝錳錫鉛錳 (francaite)，棒形錳 (cylindrite)，硫鉛錳礦 (Teallite)，含銀錳錫礦，硫錳錳礦，硫錳銀礦，斜方輝錳錳礦，輝銀礦，亦有硫銀錳礦 (Argyrodite)。此外尚有黃鐵礦，硫砷錳礦，閃鋅礦，黃銅礦，車輪礦，方鉛礦等。且有一部鐵礦。脈石有石英，方解石，及重晶石。此礦床礦量極其富饒，但因地勢太高，難以開採與運輸上之困難，故未盡

完全探掘也。最著名之處所，爲 potósi 及 Chorolque

其他各地此類礦床不多。Tasmáinen Zeehan 錫鑛床之熱水液部份，頗相近似也。

b. 錫鑛床：玻里維亞之銀與錫鑛床，常有一定錫量，但該處現亦有甚多之真正錫礦床，含輝錫礦及石英，而他種礦物則極端減少。尤其在 Tasma 及 Chorolque 此種鑛床不少，錫之全產，幾取給于此。

### 3. 鉛鋅銅系

a. 鉛鋅鑛脈：亦由銀鑛脈中含銀礦物之減少，并增加方鉛礦及閃鋅礦而成。在智利及秘魯其例甚多，一部且仍富于銀質。同樣在 Colorado 之 San Juan 亦有之，而爲金銀鑛脈之另一相。在歐洲西班牙東南與第三紀石英粗面岩 (Liparit) 及安山岩有關之 Carsagena 及 Mazarrón 鉛鋅鑛脈，亦屬此式之例也。

b. 銅鑛床：與出銅鑛脈較少。其一式之各料方硫磺銅礦，即銅礦者，成爲至侵入式之過渡形態，如智利 Gilañaco 與 Taitai，秘魯之 Miracocha，阿根廷之 Sierra de Páramo 及 Luzón 是。其他一式亦成過渡礦床，與侵入黃銅礦石英鑛脈相近者，日本蓋不少。此外 (Saargebiet) 黑岩岩 (Melaphyre) 及斑岩中之許多小銅礦脈，又其例甚多。在杏仁岩 (Mandelstein) 之杏仁 (Mandel) 中，尙有自然銅礦石。

此外又橫出浸染銅礦，蓋爲第二種形式之礦床。Serbien 之 Bor 有安山岩，爲熱水液砂化作用之產物，其交代，并經斜方硫磺銅礦，輝銅礦，及黃鐵礦所侵染。Serbien 東部之 Maidan PeK，就生因言，亦屬於此，不過安山岩之礦脈，天始由於黃鐵礦，但黃鐵礦亦從未見缺失于此也。又墨西哥 Nacozi 之 Los Pilares Mine 有流紋岩破塊，亦成塊狀，爲黃銅礦，黃鐵礦及石英所侵染。

此外智利 Rancagua 之 Bladen Mine 蓋爲橫出浸染銅礦之最大者。其爲安山岩所侵染之塊狀性，蓋其次爲銅礦所侵染。

### 4. 汞系

汞成砂礦床：汞系各物在各式礦床中或完全不見，或僅有極少之量。惟在噴出熱水液類，始有真正之汞礦。他種金屬則完全浸透。所有之汞蓋均查取給於此種一礦物。其成砂之此外黃鐵礦亦不少。有時亦有輝錫礦，麻石，滑石，石英，岩鹽，方解石，白雲石，及許多雜質。汞在黃鐵礦岩中成礦脈，尤以成浸染礦床產生者甚多。亦有在流紋岩火岩

中成裂隙充填礦床者。礦床侵入地下之深度有限。

就重要性而排列之，計有下列諸礦床，足值一述：西班牙之 Almaden, Toskana 之 Amjata, Krain 之 idria 加里福尼亞之許多礦床；Texas 之 Terlingua 及小亞細亞。

b. 輝綠岩礦床 多為石英脈之含錳鐵礦者。別種礦物甚少。中國法國中部高原 (Zentralplateau) 及 Kleiné Karpathen, Serbien 西部，及小亞細亞為主要產地。（譯者按中國錳礦，亦如汞礦似與侵入岩漿礦床有關）。

## (二) 噴氣礦床

1. 活火山區域之噴氣沉積。（噴氣口 fumarolen 及硫黃噴火口 Solfataren）。在無數噴氣造成之礦物中，有許多重金屬化合物，尤以 Fe 及 Cu 之硫化物為著，但以其量之小，故實際無開採之意義；惟硫黃及硫酸鹽，尚作巨量產出，足供大規模之採取也。

2. 輝綠岩鐵礦（為混合噴氣—生物化學作用之海底沉積）。

前章所述之礦床式，蓋在世界作均勻之分佈，且自最老之岩系起，在各種時節與無數地方，以同樣之同生礦物與同樣構造，恆在同一岩石區域與同一地層相中產生。其物理化學的成礦作用，相當簡單，一部可由相似之現代沉積，加以實際之證明，並能由實驗室中，方法加以仿造者。至此類礦床生因之解釋，則複雜且繁難，因必須使許多意義不同之造礦作用分開，再逐一估量其彼此程度之深淺也。

此礦床之特徵如次：恆與海底大內斜層中鹼性燧岩之噴出有關。在此有海底石灰岩，珊瑚石灰岩頁岩，塊層岩及火成岩層之疊層。火成岩一部作成海底噴發岩頂蓋，一部則成侵入層狀而沖入於別種塊層岩石中。又一尤為特別之點，即噴出岩及火山灰之綠石化 (Vergrünsteinung) 作用。蓋大部份為自水解作用與一部為與海水接觸作用之象徵。緊隨岩石固結之後，所有揮發成分，如  $FeCl_3$  及  $SiCl_4$  等，即由燧岩或經過火山灰中放出并擴散以達于海中。因噴出時為高熱狀態，故造成  $Fe_2O_3$  及  $SiO_2$ ，同時因此作用之迅速完成，乃發生極細粒之擴散體，如溫度高時，可結晶為無水之石英及輝鐵礦。如在海底處受劇烈之還原影響，又造成磁鐵礦。又如有生物作用造成之  $H_2S$ ，亦可有黃鐵礦之發生。設噴氣含鹼質 (Alkali)，更有方解石隨之發生也。在低溫度時，少為膠體，於以造成，此則可再變成如蠟狀綠泥石 (Chamosit) 之礦物而產生。再海水中  $CO_2$  非常豐富時，有地亦可有菱鐵礦之產生，有

人以爲有海底風化使鐵富化之現象，惟究竟此現象存在與否，尚多爭辯也。如此所成之同生礦物，常成層狀，在凝灰岩或噴出岩而成之上礫中，亦或在凝灰岩之本身中，分佈甚廣，至於浸染於凝灰岩及輝綠岩岩頂蓋之裂縫中者，其例特少也。此上礫有地局印爲頁岩所成者，有地則常見一再爲分佈頗遠之砂質頁岩及燧石（Lyditen）所組成。後者一般人認爲係最後在長時間內溶解之 $\text{SiO}_2$ ，經放射蟲之分泌而沈積者。其後陸地之昇起與造山作用，使各種硬度不同之岩石，發生複雜之變化。其硬而脆之鐵層，破碎甚烈，於是乃有石英細脈，縱橫交錯其間。礦層物質本身，顯毫無若何變質之象徵，而如地質學家於未知變質同生礦物之產生形態以前所曾懸想之情形。

此類鐵床，在 Lahn 及 Dillgebiet 有之，而爲德國今日之第二大鐵礦。類似鐵床，又見於 Elbingerode 及 Hiittenrode 之上哈慈泥盆紀岩層中（Oberharzer Devonung）。其無經濟價值者，尤所在多是。又美國 Oberer see 大鐵層中原生鐵之一部，尤其在 Gogebic distrikt 者，成因蓋亦相同也。

Oberer See 杏仁岩與凝灰岩中夾自然銅之鐵床，至最近仍歸入於噴出鐵床類中。但按最新詳細研究工作之判斷，蓋爲一侵入熱水液造鐵作用，僅以特異閃岩之關係，乃作如是之複雜變化者容在標準鐵物化學礦床中再述之。

## B. 水成類礦床

岩漿列之火成岩與礦床，大都在高溫度與壓力下所成。普通礦物之持久性與固定性，蓋不能超出無限溫度與壓力範圍之外。又在他種化學成分之溶液中，其固定性，亦大形衰減。新環境離生成條件愈遠時，其衰減程度亦愈快而烈。此二者差別，尤以當岩漿列同生礦物經剝削及侵蝕作用，達於地表面與大氣範圍中時為特大。溫度在小範圍內變動，平均溫度約為 $+15^{\circ}$ 左右。壓力在陸地則離開一氣壓不遠，僅在最深之海底，達到相當之高位。至于週圍之媒介物，即大氣圈，為空氣，換言之，氧氣蓋為主動力，此外則為水與溶解其中之鹽及二氧化碳。在此種環境及範圍內，一切岩漿列礦物，如矽酸鹽、氧化物，碳酸鹽，硫化物，皆多少不復能固定，於是或全部或一部，或緩或慢而溶解。變化溶液（Umsatzlösung）及變化殘留物（Umsatzrückstand），乃作空間上之分離，經地質動力，運至不同之遠近區域內，同生礦物與其原來礦物，性質大不相同，蓋必適應表面之環境，以便在此狀況下，作固定之存在。此一列相連之破壞（Zerstörung），再沈澱（Wiederausfallung），改變（Umbildung），及新成（Neubildung）等作用，總稱之為風化（Verwitterung）及沈積（Sedimentation）。其新成之同生礦物，為沈積岩（水成岩）及沈積礦床（水成礦床）；（Sedimentgesteine und Sedimentäre Lagerstätten）。

風化之物理因素，一方面屬於氣候的，在此尤其時間與空間之變換，影響甚大；就時間言，如早晚，夏冬，多雨時節及乾燥時節，最後短期的與地質上長期的氣候時代（Klimaperiod）皆有變化。他方面則流水，風及冰之搬運力，亦與有力焉。化學因素，有水，氧氣，二氧化碳及被溶之鹽，尤以此各種化學因素在長時間內之巨量機動性，為不可忽視也。又生物化學因素，亦具實效。然而吾人務須避免完全應用今日已知之氣候的及生物的因素，以懸想過去水成岩石與礦床之生成也。此點 Erich Kaiser 蓋已詳論之矣。在太古無植物之時代必有他種環境盛行，因而產生他種不復為吾人所知之類式，後將在若干類中，再加以論述也。

欲將廣義的風化作用與水成列之岩石及礦床，作規律的排列，蓋不復能如岩漿列者之合邏輯，亦并未能如彼意義單純的進行。故後之分類，將力圖對於礦物之生成作用與地質相的產生空間（geologisch-facielle-Bildungsraume）兼籌并顧耳。

## (一)老礦床之風化帶——氧化帶與富集帶——

水成作用之首一類，蓋即由岩石與礦床就地風化而成者。在此發生化學變化。有許多特種物質被溶去，而殘餘部份，則改變為他種礦物。如是土壤，即作當地較深處岩石之多少為靜集性的風化皮 (eluviale Verwitterungsrinde) 而發生，此處不作進一步之探討，反之，對於礦床學重要者，名為礦床之風化帶，蓋即為氧化帶及富集帶 (Oxydations- und Zementationszone) 是也。

除鐵礦床，如錳石等外，餘皆在地表面上因水，氧氣及二硫化炭等之作用而風化，于此發生直接的風化產物，或由降岩與別種分解溶液之影響，又發生間接的風化產物 (umsatzprodukte)。此則一部可被溶去，但普通在當地礦床上作難溶物質而沈下，并成標式之鐵層。至重金屬礦物，以富餘氧氣之關係，自溶液中作新成矽化物，輕矽化物，碳酸鹽，硫酸鹽，磷酸鹽，矽酸鹽，及自然貴重金屬而分出。此在最上部之帶，即約至固定潛水面之處如是，是謂氧化帶。普通而特別之矽化物，有褐鐵礦，孔雀石，石膏，赤銅礦，水白鉛礦，菱錳礦，鉛礬，軟錳礦，硬錳礦，及自然金，銀，銅等。至合金屬之溶液，在潛水面下無遊離氧之區域內，可與新鮮之非貴重金屬硫化物化合，而沈澱銅銀之化合物與自然金。因此有輝銅礦與銅藍之造成。斑銅礦及黃銅礦不多。再有輝銀礦，複合硫鹽類，但量更少耳。此帶謂之富化帶 (Zementationszone)。在此二帶中，金屬量皆有較原生礦床部份特別增高之現象。在富化帶，幾無例外，以銅銀礦物聚集為特富。在氧化帶之較深部份，亦常有富礦之存在，尤以降岩為灰質岩石時為著，大概富於次生金銀質，此為其特徵耳。自然在氧化帶，金屬亦每多流去者，許多礦床式，如浸染銅礦 (disseminated Copper Ores) 幾一律僅以富化帶為有開採之價值也。在許多別種礦床，其礦量至達原生帶時，乃大減。關於氧化帶及富化帶之地質礦物的發生形態與其物理化學作用，著者在雜誌『礦物學之進步 (Fortschritte der Mineralogie)』1924 號第6卷中曾詳論之，可加以參考也。

以後之各類，蓋與一種高度變化相繁連，在此不特原來物質，大為改變，且該物質幾皆經過一長遠地域之徙動者。吾人知在風化時，某一部常被溶解，但他一部在該作用一階段中，却不可溶解。此不溶解之部份，或為未變之原來礦物，或則僅代表殘餘物 (Rest-produkt)，再由此剩餘部份，某種物質可溶去，而供開採。故就理論言之，風化產物，可分為三部。

但通常却分爲風化殘留物與風化溶液二種 (Verwitterungsruetstand und Verwitterungslösung)。

### 陸地風化殘留物之機械的淘汰——砂礫礦床及殘留礦床

風化殘留物可由各種外力運至各種遠近處，如是特種物質，可因而富集。此種殘留物，在不同空間沈積後，更可發生同期變化 (diagenetisch verändert) 而固結。由此所成之岩石，蓋即碎屑的機械的水成岩石，所成之礦床，即爲砂礫礦床及殘留礦床 (Seifen und Trümmerlagertatten)。淘汰力爲水 (雨水，河流，海水) 或風。至於冰，則僅有運輸之作用，而無淘汰，即無選擇分類之力 (Selektiv auslesend)。風化礦床經過顆粒分類及比重分類作用 (Rlassierung und Sortierung) 後，其抵抗力強并作大粒而遺留之礦物，與夫比重大之礦物，在搬運時，即被留着，而在一定處所積集。如一礦物同時兼具此兩種砂礫礦物 (Seifenmineralien) 之先決條件者，尤宜於造成此種機械的富集礦床。就地質眼光言，可分之爲：風成砂礫礦床 (Aeolische Seifen)，即在乾燥區域經風吹而成平舖之富集砂礫礦物；靜集或聚細砂礫礦床 (eluviale Seifen)，即或由風，亦或如大多數之例，由平緩流動之雨水 (如偶然在乾燥區域所產生者)，在礦床或其附近所成之表面的富集砂礫礦物；河流砂礫礦床 (fluviale Seifen)，即河流運走之風化塊屑，在河道中之適當處所造成之砂礫礦物，海成砂礫礦床 (marine Seifen)，即當地岩石或由河流運入中之風化殘留物，受波浪淘汰作用所成之富礦；冰成砂礫礦床 (glaziale Seifen)。因冰對於一切被挾物，皆作均勻之搬運，故不能按其大小或重力而分類，此與一砂礫礦床之真諦，蓋不相符。然而吾人亦知有『冰碛礦層』 ("Erymoranen") 或別種冰成礦沈積，在此沈積中，可由風化作用而生一定之富集作用也。——例如 Alaska 之 Kennekott，在原生銅礦下之冰川含輝銅礦破塊甚多，此由輝銅礦與冰而成之冰成殘留礦床，可供開採——。在砂礫礦床中，計有下列礦物之富集：金銅石，金，鉍，金紅石，錳石，鈦鐵礦，磁鐵礦，石英，鋯英石，銅石 (紅寶石，藍寶石) 柘榴石，電氣石，磷鈣鋁礦。有經濟上價值者，爲金銅石，寶石，及磷鈣鋁礦等砂礫礦床，及特別重要之金，鉍，與錳礦砂礫礦床。

1. 自然金砂礫礦床 自然金成結塊狀而產出名曰「金塊」 (Nuggets)，一部由當地風化溶液中 (Lösungsumsatz)，或自遠來溶液中分出。破塊之表面，常呈脫銀化之現象。其次著

名地產如次：加里福尼亞，阿拉斯加 Yukonfluss 與 Klondike，澳大利亞 Victoria 與 Queensland，西伯利亞印度等處。

Johannesburg 附近之 Witwatersrand 之金礦，為最大而最著名之金礦，產生於厚層粗砂岩與長石砂岩間之礫岩中，其所合金之量，在極長之距離內，且作均勻之分佈。逐一考察金量，顆粒大小，礦床位置，卵金與金粒之分類，與渾圓等關係，知金與砂礫為被同時搬運者無疑。此礦床一般認為係寒武紀前之砂礫礦床，雖近來對此見解，爭論者不一而足，但其砂礫礦床之性質，則毋庸懷疑也。其不同之點與其特異性質，即知其為在無植物生長之時代所造成。又合金之塊屑沈積物，後受海水之侵蝕與變質，因而有黃鐵礦之產生；再則此混合岩石，往後又受深成變質作用之影響，故又有成黏質之高溫礦物。現時全世界金之產量，52—54%，蓋產於 Rand 也。

2. 白金砂礫礦床而夾有鐵鈷礦，銻鈷礦，銻錳礦者。此類礦床，位於含鈷純橄欖岩之洩水區域 (Entwasserungsgebiet)。在南非白金礦未發現之前，所有鈷類金屬，仰給於此。主要礦床，在烏拉山中部，Kolumbien 與英屬 Kolumbien。

3. 錫石砂礫礦床 錫石實際不風化，且甚重，因此可富集為砂礫礦，在所有原生錫礦區域，皆可見之也。故從前哈慈山及 Cornwall 砂礫錫礦，開採皆盛，即今日 Malakkahalbinsel, Bangka 與 Biliton 島，以及 Nigeria 及 Kongogebiet 之砂錫礦，仍佔經濟上重要意義也。(按我國主要錫礦，如產於湖南，廣西等省，而具開採之價值者，亦多為砂錫礦。)

4. 磷鈾鐵礦砂礫礦床 (Monazitseifen) 原先在偉晶花崗岩及洞晶狀花崗岩 (Miarobitische granite) 中產生之磷鈾鐵礦，可在河流砂礫，尤其在海洋砂礫中富集成 75% 之磷鈾鐵礦。其最主要者，在巴西沿海岸一帶。蓋為鈾土 (Cererden) 及鈾 (Thorium) 之重要原料也。

5. 鐵之塊屑礦床 (Eisentrümmerlagerstätten) 真正之鐵礦砂礫礦床，發現者為數不少，尤以鈹鐵礦及磁鐵礦為甚，但其分佈并不廣，不足以作鐵礦開採也。反之，海中淘汰礦床，其中有老鐵礦礦體破塊之符集者，在德國且為重要之礦床。哈慈山北部之 Salzgitter 及 Peine-Ilse 之鐵礦礦層，即為其例，前者代表下白堊紀——尼阿可蒙斯 (Neokom)——之海洋侵入礫岩 (Transgressionskonglomerat)，後者係代表西耶那 (Senon) 之海洋侵入礫岩者。在 Salzgitter 之海浪堆積物中富集者，有黑侏羅紀 (Lias) 沉鐵石晶礦 (Toneisensteingoden) 之被塊，而在 Peine Ilse 則有來自交刻澤 (Gault) 之相似礦塊，成塊屑而富集。

前者礦層之厚度為12公尺，有地可至60公尺，曾有超過100公尺者，後者之厚度達20公尺。

此二礦床，非為純粹機械運輸面而集之沈積，一部鐵質（在 peine 為少，但在 Salzgitter 為多係在海水中溶解，而再在礦床中作魚鱗狀沈澱者，同樣磷酸鹽結核可以發生，故礦床之此部份，應屬於四節所述之海洋沈積礦床（Marine Ausscheidungslagerstätten）也。

### （三）在陸地上之風化溶液礦床

風化溶液被運至遠方後，乃發生無數類礦床與岩石。此則可由水之蒸發，二氧化碳之放出，由各種方式或關係而加入沈澱劑，使水中溶解物質發生沈積，與夫各種生物化學等作用而底於成也。有時欲將一切使風化溶液礦床成立之諸作用，加以詳考或指明，蓋常甚不易，有時且不可能也。亦且在一礦床上，多有若干作用先後或同時產生于其間，於是其性質更莫可究詰矣。因此實際分別此類水成礦床，須不以注意其物理化學的成礦作用為上策，但主要當以造礦之地質空間為主，然後一部以物質，一部以成礦作用或材料來源為副。由地質空間位置之關係，可分風化溶液礦床為陸上及地面水流的（包括海洋）二主要類。前者吾人可引用習用已久之名稱，名之為『風化礦床』，或為使涵義不含混起見，可稱之為狹義的風化礦床或陸地上之風化礦床。此則所經之風化作用與時間的及空間的連合關係，雖不必風化，恆顯然可判，要能由此簡單方式以想像之，是即附近沈澱（Nahausschlidungen）。反之，此種直接了然之關係，在地面水中之沈積，不復存在，其造成，就時間與空間言，皆當認為係疏遠沈積（„Fernausscheidungen“）。

1. 礬土及矽酸鹽礦床 組成原生矽酸鹽礦床之主要部份之長石，受普通大氣風化而起水解作用，因發生不溶解而隨即再分出之高嶺土複合物，最初擴散性甚高，漸則變粗，再後始變為顯微鏡的結晶質。此在各種氣候，皆可最先造成，但尤其在溫和潮濕氣候之下，可以成固定形態而保持不變。在一種作用甚強，特別在熱帶潮濕之氣候中，此高嶺土複合物逐漸作再進一步之分解，矽酸被溶去，其殘留物以及再沈澱之不溶部份，為礬土水化物（Tonerdehydrat）。在乾燥區域，且有中間或過渡形態而多少夾有此一或彼一種之強烈風化形態者。此種複雜作用，在此蓋不能詳述之也。

• 高嶺土 由高嶺土風化作用——或有無進一步之淘汰作用——而成之高嶺土及粘土層，供給今日陶瓷及相似目的之用，雖其鋁質甚富，但實際上仍無處用以提煉鋁質也。

紅土 (Laterit) 及水礬土 (Bauxit) 此包括由強烈風化作用而生之礬土水化物，其質純者，為今日煉鋁之唯一原料。關於紅土及水礬土中物質之礦物性質，仍不能有所確言。所得之結論，大部皆係根據正確程度不夠之研究方法；如包晉 (Bausch) 分析與酸排出量 (Baurauszugen) 之計算，及不充實之顯微鏡觀察等所得來。至于最需要之 X 光綫與顯微化學的顯微鏡研究，仍未加以試用也。因此新近所倡用之各種名詞，暫不免涉乎虛懸，而無確切之根據。

所謂紅土，吾人今日仍可沿用 (Max Bauer) 之舊定義，蓋即指熱帶風化皮 (Verwitterungsrinden)，而由一種具高度擴散性，并作膠晶以至結晶質之礬土水化物，與量不一定之氧化鐵水化物所合成者。因最初之紅土分解產物中，其鐵與鋁之比例，約與在母岩中者相似，故由酸性火成岩幾產生純粹之礬土水化物，而由鹼性火成岩，又幾產生純粹鐵礦 (即『紅土鐵礦』容後述之) 風化程度更進一步時，鐵與鋁更逐漸分開，而  $\text{SiO}_2$  排去亦愈多。由最初就地產生之風化物，大部經材料變換與遷徙之結果，乃發生上部為富于鐵質與下部富于礬土之帶，此礬土特富之岩石，謂之為水礬土，且按母岩之種類，而名之曰矽酸鹽水礬土。大部含 25—30% 之水，且大部又為含三水鋁 (Al-trihydrat) 之水鋁氧礦 (Hydragillit) 所組成者也。

此種矽酸鹽水礬土，現尚仍在產生，在前印度 Surinam 等地之許多地方，即可見到。在 Vogelsbery, Rhön 及 Westerwald (此則一部為轉徙後再沈積者) 有此礬土。再在愛爾蘭尤其在 Arkansas，則見老矽酸鹽水礬土礬床，今日開採仍大盛也。

再有一類水礬土，在石灰岩與白雲岩風化區域產生。故主要部份被認為係石灰岩之殘留體，其沈積處蓋相當于昔日陸地上之不整合層 (Diskordanz)，最好可稱之為石灰水礬土貧於水分。有人謂係由礬土矽酸甚富之紅土 (Roterde)，經縮減壓力之去矽質作用 (Entkieselung) 而成，但按其形態構造觀之，此說殊難置信也。其所以水分缺乏者 ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )，成一類名為 Bohmit 之礦物，或因生成為老，已喪失其一部份水分，或則膠體水作用過速所致。其去矽分佈，在法國南邊，Istrien, Herzegowina Montenegro, 匈牙利 Bihargebirge——羅馬尼亞——及希臘。

矽質矽酸鹽及膠體葉綠礦，為求完備起見，僅數種可靠之矽質岩石之風化及分解產物，引述如次，計有 Bolus, grünerde 及 Walkerde 等類。而最廣之葉綠礦在 Eubœa, Mazé

edomen 及滿洲，尤多發現也。

含鎳硫酸鹽鑛床 蛇紋石化橄欖岩，最初含數十分之幾之 Nio，在特種氣候之下，可在地表，變成膠狀或隱晶質，而含 Nio 自百分之十五至二十五之鎳質矽酸鹽（生矽含鎳約為 6%）。此種成各種顏色而視為吸收化合物（Absorptionsverbindungen）之物質，位於一無鎳之紅土中。此類鑛床之詳細性質，尤其熱水液對於一純粹表面風化作用之關係，究竟如何，向未能全明。鑛床之最大者，在新加拿多尼，此處蓋有一在開採中之大鎳鑛也。

2, 磷酸鹽風化鑛床 除由生物循環作用造成之海洋沈積磷質鑛床外（見下節），亦有許多陸地富集之磷酸鹽，蓋顯與風化作用有關係者也。

3, 石灰岩及頁岩中之鉄錳鑛床 含錳與鐵之矽酸鹽，碳酸鹽，及氧化物，在大氣之下風化。在此種情形下，經過若干之中間產物後，幾恆先造成固定之鉄錳化合物，即三價之氫氧化鐵（ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ）與四價之氫氧化錳（ $\text{Mn}(\text{OH})_4$ ），二者皆作高度擴散性之膠體而溶解。前者略帶鹼性，故電性為正，後者為酸性體，故具負電。在濃度適當時，發生電解作用，氫氧化物溶膠體（Hydroxydsolle）；即成氫氧化物固膠體（Hydroxydgele）而分出。又因其彼此相反之電性，鉄與錳之溶膠體，但亦互相排出。據新近之研究，與鑛床之觀察若合符節者，即兩種溶膠體同時存在時，初有富於錳質之沈澱，隨乃發生鉄錳混合之固膠體，因此在自然鑛床生成上，常見有主要為錳鑛之細條，與主要為鉄鑛之細條帶，不斷迭換，交互為層。他種材料，如矽酸與礬土之溶膠體亦恆在此風化溶液中，露其踪跡，前者如錳溶膠體為負電性，後者如鉄溶膠體，帶正電，二者一部由相互作用，一部或由較強之電解濃度（Elektrolyt-konzentration）而排出，以作成混合之沈積也。經過相當時間與水分消失，又經收縮與低度膨脹結晶（Sammelkristallisation）之關係，乃發生一種灰質土狀之鉄錳混合鑛體。在此種混合固膠體首次結出之後，猶能因各種溶膠體之溶解度。在滲入地內之風化溶液中各不相同之關係，而發生無數之變化。因此錳鑛溶解特烈，而在他處再沈下為富錳。抑且鑛床本身內，亦不斷發生此種變化。純粹氧化錳在此，如作豆狀與拳頭狀之結核，而鉄則擴散分佈而存留，因造成土狀鉄錳鑛。幾乎純之錳鑛或鉄鑛，或鉄錳鑛亦於此造成。

此種作用，在各種地質空間內發生。亦可在不同之氣候條件中舉行之。而發見于陸地上疏鬆風化物質與下部堅固岩石相隣處之流動緩慢之地下水中之者，尤首值注意也（是之謂陸地錳錳風化鑛床）。

鑛床在一大鑛區內，多在無數單一之空穴。如內斜層，空脈 (Hohlegänge) 及山腰洞穴 (Kolke) 等內產生，而各分為形態萬狀之細脈，有則各趨異向，有則互相結合。此種穴洞形態，蓋皆伸入下層岩石中，自無以在石灰岩及白雲岩中者為多，常亦發見於頁岩中，至在砂岩及石英岩中者，則少見也。鑛床在石灰岩或在石灰岩與他種岩石交界處 (喀斯特式 Karstformen) 侵蝕為尤甚，在泥質及砂質岩石中，其形則不甚顯。此種空洞，常為粘土夾石英砂與石英礫所填滿，又完全分解并溶解之泥質礫岩破塊而落入其中者，亦甚普遍。至鑛之本身，則成單一之扁豆體或細帶，或成無數鑛塊。靠近洞穴之底部沈積，與相隣岩石以一狹帶之黏土皮相隔離。有時遠在上部，仍可見扁豆鑛體伸入其中也。至石灰岩為底岩時，則石灰岩與上部鬆質物質相接處，恆呈白雲石化之現象。

至於使鑛體能沈澱而作大量之富集，蓋必有地方性之條件以促成之，在此首以含膠體之地下水在適宜處所，如在石灰岩中停留甚長時間者為合式。此在石灰質岩石之表面，大致對隣岩作低陷之窪地時，情形如是。因此石灰岩中每一陡直而深邃之喀斯特窪地，自為最佳之境地也。此種環境，加以石灰岩之地下水蘊藏高量電解物之關係，雖別種條件僅與他地相同，而此種鑛床，特能與石灰岩作不解之緣者，蓋非偶然。至于風化之泥質岩石其主要作用，蓋在吸收地下水時滯較久處之鐵銹溶膠體，使其沈澱也。

對於此種鑛床中之鐵銹來源，頗多說論，加以解說者。吾人敢得而言者，即此種問題，在多數情形下，實無法解答。僅在少數鑛床上，謂其來源，由于一定岩石，具有幾分可能性也。風化溶液，常流動甚速，有時來自各地者，可互集一處。一鑛床之金屬，由于附近岩石之風化與停積而就地成礦者，其例實稀少；因當地岩石本身之金屬分佈疏淡，含量蓋寥寥無幾也。

在德國之此類鐵銹鑛床甚多。一部為純粹鐵礦，一部為錳鐵礦。如 Linderner Mark, Oberrosbach 及萊茵河 Schiefergebirg 東側之其他地方有之。在山中本身，亦發現多處：如 Lahnggebiet, Waldalgesheim 地方。(在 Hunsrück) 及 Die Fränkische Alb, 所謂亞奴布礦 (Alberz) 者即是。印度一部與北美大部份鐵礦。(如 Batesville 及 Arkansas 之鐵礦屬於此。又最近漸大形重要之非洲 goldküste 鐵礦，亦為此類鑛床。以下之二種，就生因言，同樣屬於此式，惟特別另行加以敘述也。

豆狀鐵礦 (Bohnerze)，其特徵，即礦 (常為褐鐵礦 Brauneisenerze) 成圓形豆狀之

結核，在鐵質極富之殘留土，或陸地之風化表皮（紅土“Terra Rossa”）中產生，蓋皆在石灰岩中作漏斗狀及管狀而沉積者也。此種礦之成小規模者，極其普遍。其在瑞士 jura 石灰岩層中者，甚為重要。

4. 玄武岩鐵礦 (Basalteisenerze) 紅土鐵礦 (Lateriteisenerze) 及土皮鐵石 (Krauteneisenspin) 與矽酸鹽岩石之紅土化作用，極密切相關。前二者尤在鹼性而富鐵質之岩石中發生。最著名之例，如 Wogelsberg 之玄武岩鐵石是。此由厚層玄武岩與玄武岩質凝灰岩中之鐵質，經第三紀熱帶潮濕之風化被蝕去，再在該岩石之一定處所成圓液狀結核而沉積，以造成富鐵之塊狀鐵礦。此種鐵石，多集中於窄長而微呈盆狀，與昔日星羅棋佈之森林地帶相當之窪地中。至在階級狀高原之兩側，則常可富集為水礫土結核也。非洲中部，印度及古巴分布甚富之大部紅土鐵礦，應亦為同理所生成者。大多數僅有土人在作小規模開採，惟古巴者，為具真正經濟價值之木礦床耳。澳洲土皮鐵石僅指熱帶半乾燥以至熱帶潮濕多雨區域，由各種可能岩石，經前述類似之富集作用，在氣候變化無定之狀態下，所產生之鐵礦結核而言，亦僅常為土著所開採耳。

5. 石灰岩管狀窪穴內之銅鐵礦物：銅礦（如輝銅礦及孔雀石）及銅銻鉍酸鹽（銅銻鉛銻礦 Desloisit 鉍銻銅鉛銻 Mottramit），亦如豆狀鐵礦，常成結核，產于石灰岩表面之管狀漏斗狀洞穴中，與綠質粉沙充填物同處。此種銅礦，在非洲西南部之 Otavibergland 甚多。鉍礦礦床，亦見於該處。又 Indonesia 北部之 Broken hill 及其他地方，亦有鉍礦。

6. 熱帶區域盆地內浸入岩石 (Schuttgestein) 中之富集礦床。

此地或分布甚廣，包括數個大礦床及若干小礦床。雖其間儘多不同之點，然各個相似之現象，仍易顯然可辨也。礦成層狀之浸染，或在熱帶內陸厚層沉積中之各單層內，作零星之分佈。此種沉積，由塊屑礫岩 (Fanglomerate) 經長石砂岩，砂岩而移變為泥質砂岩，故全系岩石有未經分類之塊屑岩石作底層，呈紅色或紅褐色，但礦則位於褪色之岩石帶中，常與植物殘質（如 Hackel 小相混，大部份為銅礦，鐵質特少，礦物則有輝銅礦，銅藍及斑銅礦，黃銅礦與黃鐵礦較少，亦有自然銅，純銀礦，鉍銻鉍礦（如鉍銻鉍酸鉀礦 Carnotit），再則亦有鉛銻礦，礦中常含鉛質，但無線，鉍銻及銻各質亦有，別種金屬則不見。礦石常具植物纖維之結構，蓋高代植物殘留體而成者，諸礦物皆示其為低溫度生成之物。非金屬礦物，產生為少，僅有重晶石及石膏三種，此種礦床，產生于沙漠乾燥氣候之區域中，在久長之風化

時間中，山面岩石，經河流搬運漸轉入陸地之盆地或陷穴中，并經滲流 (Schichtflut) 之選洗而分類。假山嶽附近有碳酸或含硫之岩石，要圍塊及風化產物，都可算山面碎岩及其風化物混合也。最初造成圓塊礦層 (Rollerzlag) ，但大多數因在沿途所迅速發生之金屬風化溶液，以植物餘跡之遺原關係而沉澱，或者在一定層中之硫化物，亦形成核芯後溶液附之沉下。次之潛水中微量之金屬，乃如是集成小層。此種當集作用，或與礦之降岩同時停積，或稍遲於彼，但亦或遠在降岩生成之後也。隨因此沈積窪地之性質及後來命運，雨水之量及降落方式，與夫以後所受造山作用之不同，故礦床性質，更奇互異。再按地面各種因素影響之久暫，金屬量可不斷發生變化；又或受變質之變質作用，而礦體又常具不同之形態也。此種熱帶區域碎屑物中之金屬鹽，如流入多少閉塞之蓄水池中，可俟他法而再沈積，故又移變為另一式之礦床，即含銅頁岩，其詳容後述之。歐洲及北美之礦床，即瑞士境內之金礦，在歐洲此類礦床，見於二疊紀底部紅砂岩系 (Rotliegendes) 及三疊紀棕色砂岩系 (Buntsandstein) 及上三疊紀可葉培頁岩 (Keuper) 中者，不其甚。其產于底部紅砂岩中者，有 Pfalz 之 Imbach 與 Gohlheim；Bohmen 之 Wernersdorf 及亞爾卑斯山之 Verfücánó 等處；其產于三疊紀中者，有 Donetz 盆地，其產於棕色砂岩中者，有 Sargebiet 與 Waldesköhen；又其產於可葉培頁岩中，有英國之 Alderley edge 與 Mottram St. Andrews 等。又在美國之許多地方，如 Texas, Oklahoma, Arizona, Colorado, Wyoming, Utah 及 Idaho 之紅色岩層 (Red beds)，且成銅礦，銀礦及錳之礦床而產出。波里羅亞之 Coro-coro 之大礦床，似亦屬于此類。此外 Rhodesia 北部及比屬 Kongo, Katango 之夫者名銅礦礦床，無疑亦為同一原因生成者。特僅因變質作用，而自略有改換耳。再 Eifel 棕色砂岩中結核狀銅錳礦，如見於 Mechernich Cornern Call 者，亦為此類之例也。

#### 6. 陸地礦床 (參看鹽類礦層)

(四) 在內陸湖沼及在海洋中一部由無機化學作用一部由生物化學作用造成之沈積礦床。

此處所討論者，為硫酸沈積，且為化學與生物化學沈積，其材料雖亦係溶解風化溶液所帶，但已被搬至離風化處甚遠之地，經各種命運，或且經重複之花學變化後，始在地面水中

沉積者。沈澱力一部爲無機質，而大部蓋爲生物化學之來源。其材料則由生存或腐爛之生物而分出者。甚且沈積，亦有爲生物本身生存作用所促成者。生成地點自首推海洋。尤以在其平坦無風氣之一部，或在多少與海洋連絡隔絕之海洋盆地（即瀉湖 Lagunen）稍較深而無部分之岩層處爲盛。但內陸淡水處，亦爲此類沉積之場所，大致多爲湖沼或濕地，河流則甚少也。（參看成層岩）

至此類礦床之足道者，首推一列氯化鐵與錳礦，次爲鐵銅等之硫化礦。Lawson 等  
1. 鐵礦礦床——泥鐵礦（Raseneisenerz）沼鐵礦（Sumpferz），湖鐵礦（See-erz）

在湖沼草地，沼澤，後湖及雨量平均而酷寒之區域發生。蓋此等地方，含有有機酸之水分特多，足以溶解鐵分故也。此種鐵質有機酸溶液，經電解或鐵細菌之作用，即成鐵質水化物膠體而分出。與此種礦床相關者，即德國米澤奴山（Mittelgebirge）中滑濕草地之「硬石」（Ortsteine）——譯者按：“Ortsteine”亦即Raseneisenerze，係土壤之經有機酸物質或錳鐵而固結者，此現象在草原最著，欲將其移去，常須使用炸藥。——蓋爲陸地鐵之風化礦床與本式礦床間之一種過渡礦床。湖鐵礦見於芬蘭瑞典挪威及其他北部諸國，且在小規模之開採。

魚鱗狀褐鐵礦層——含鐵之風化溶液，一部經無機作用，如由空氣中之氧氣或電解作用時，一部經鐵細菌及藻類之活動，乃在平緩而面積廣闊之海中盈池，作氫氧化鐵而分出。普通浮遊在水中之小體（如礦物質藻類，細菌及花粉等），可爲水化物膠體沉澱之附着點，此點四周聚集愈多，最後乃因其重量大增而下沉。旋以水分之遺失，閱時久而收縮，便成一向心的薄殼狀褐鐵礦球體，即魚鱗（oolith）。大多數直徑爲0.5公釐，此種球體集台體，常造成若干公尺厚而佈達數百或數千平方公里之礦床，其鐵量約佔30—35%。魚鱗狀鐵礦在全世界各種岩系中皆有。就全體言，此式對於鐵之供給，其重要無出其右者。又零星之天鐵床，亦屬於此，除褐鐵礦外，偶見鐵之矽酸鹽（鱗狀綠泥石Chamosit），亦僅在某種礦式上有其意義，容後專述之。

由志留紀，已知有 Wabana —— Newfoundland —— 之天鐵礦，對於歐洲鐵礦之供給，蓋佔重要之位置。屬於志留泥盆紀者，有 Birmingham 之 Clinton 鐵礦，及美國第二重要之 Alabama 鐵區。侏羅紀之魚鱗狀鐵礦，尤其普遍且重要。譬如屬於炭侏羅紀（Trias）者，有美國之 Cleveland Morhthomptom shire，及 Efntholnshire 與德國西北部之許多小鐵礦。至屬石炭紀（Carboniferous）者，有爲層極厚，分佈特廣之 Botrtingen-Luxemburgi。鱗狀褐鐵礦

(Minetteerze), Schwabisch-fränkische Jura之鐵礦, Wesengebirg之各鐵層, 及Baden東南白堊羣紀E層中之鐵。最後最下部白堊紀之大部分“鹽格子鐵(Salzgittererze)”, 亦成魚鱗狀而發育者也。較者古生代之鐵質碳酸鹽礦, 含水之高錳及低錳鋁質碳酸鹽, 大半作繭狀綠泥石(chamosit), 常亦略如褐鐵礦之形態, 成層而產生。與繭狀綠泥石同生者, 尚有菱鐵礦。Thüringer Wald, Schmiedefeld之下志留紀, Bohmen之Nucitz, 同樣Normandie, Anjou及Bretagne等處之志留紀皆有之, 且隨處錳量皆富, 層又皆極厚, 并橫佈甚遠。未煉前含錳百分之三十五及三十八, 于提煉上尙相當堪用耳。此鐵質碳酸鹽僅限于老地層中, 至在新地層中, 則以褐鐵礦為主也。詳細原因, 無從明悉, 但可能者, 或與受一植物茂盛期間與變質作用之影響有關也。

老層系中之水成鐵礦, 幾乎在一切變質區始岩所成之古老「地質」(“Schilde”), 詳考後即變質劇烈由古生代前岩石組成之山地中, 蓋不少偉大之鐵礦, 今日深受變質之作用者。凡此礦床, 無疑皆爲沈積礦床。在探索其原本性質時, 知有許多性質, 如含鐵質碳酸鹽甚多, 純粹 $\text{SiO}_2$ 與純粹 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 成細帶狀, 并相間成層, 與貧於錳鈣碳酸鹽等, 蓋爲後此所不復見, 或至少礦床成此種最大限度之展佈者, 不復爲吾人所知也。一般人以爲此種沈積, 乃昔日無植物生存之証。及美國Oberon-See最大礦區之母礦, 與其富集可開採之部份, 吾人亦非設想其造成, 有今日失其效用之表面作用參加其間不可也。此各種生成時代不同, 但至少恆爲元古代之含鐵岩系中之母礦, 當爲在該地海洋中所沉積者。大抵且成適流之鐵質碧石岩(Eisenjasplitze), 而含高量之菱鐵礦, 鐵質碳酸鹽及石英。其所以富集爲鐵者, 蓋因 $\text{SiO}_2$ 之流去, 與鐵質碳酸鹽及鐵質碳酸鹽之氧化成氫氧化鐵所致。故此種作用, 必係在地面水循環所及之區域中發生, 且經冷鹼性碳酸水之作用者。此在寒武紀前, 即已完成。以後在任何處皆不見有此種礦床之發見也。詳細生因, 亦不瞭然, 吾人惟設想昔日之風化過程, 或與今日不同, 其庶幾乎?

2. 海成錳鐵層: 在適當條件之下, 如淺海盆地之發陸, 有含錳之岩石, 則亦可代錳礦層, 而產生海成錳鐵層, 此式之重要者, 吾人已知二例, 卽Georgien之Tschiaturi, 及俄國南部之Nikopol, 前者屬於始新統(Eozan), 礦層平均厚度, 爲二公尺, 商業上出售之礦石含錳佔百分之五十一及五十二, 此今無疑, 錳量甚大, Nikopol爲漸新統(Oligozan)

產物。厚度爲一至五公尺。Tschiaturi爲最重要之鐵礦供給其(所謂撲蒂礦 Potiez) 即按出口港而命名者)。

3. 硫黃循環礦床。此處所討論者，爲一重要之礦床類式，其生成，主要與細菌生存所起之硫黃循環作用有關。爲求了解此種造礦作用，必須略述細菌的輪迴作用。

硫黃之循環變化，按硫化氫之造成或消耗，可分作若干階段而進行。

(1)  $H_2S$  爲去硫細菌及腐化細菌所造成。前者使無機硫酸鹽還原，後者使蛋白質分解。二者主要皆發生于腐泥中，即在無氧之媒介物中，而皆離開氧氣者。在此造礦作用中，發生無機化副產品，亦有某種細菌與前述者同生一處，但僅產生  $MnO_2$  或  $FeO$ ，以供給硫酸鹽還原所必須之酸性溶液。

(2)  $H_2S$  爲真正之硫黃細菌所消耗。此細菌因氧氣之加入，使由去硫細菌所供給之  $H_2S$  燃燒，爲自然硫黃及硫酸。因爲需要氧氣，故皆須呼吸氧氣，且僅能在水體之一淺層位處生存。如是自下部可不斷有足量之  $H_2S$ ，自上部有充足之  $O_2$ ，供其攝取也。

(3) 硫黃細菌所造之硫酸與表面水所含過碳酸鈣相中和，并變成  $CaSO_4$ 。此  $CaSO_4$  沈於水底，爲去硫細菌所再度製造  $H_2S$  之用，至此硫黃輪迴，即告一段落。因而一定有限之硫黃，可如是不斷參加作用，而于無數代細菌以糧食及力源。

如無他種副反應發生，此作用即如是進行不已。自無何地質上之影響與變動，因硫黃量一定不舉，無何填滿，而爲固結最厚之礦質也。

金屬在海洋等之水中，溶解有若干物質，能與細菌生成之  $H_2S$ ，合成不溶解之化合物。即在水中溶解有若干種硫化氫類與硫化氫類中之重金屬如  $Ag$ ， $Cu$ ， $Cd$ ， $Bi$ ， $Pb$ ， $Zn$ ， $Fe$ ， $Mn$ ， $Ni$ ， $Co$  時，情形便大不相同矣。如是  $H_2S$  即全部或大部被消耗，以造成硫化物。欲維持硫黃細菌之生活力，勢非有大量之蛋白質及硫酸鹽，以備腐解不可，亦惟如此，庶時時貯備有充分之  $H_2S$ 。此時亦有地質上之重要性，因能沈積金屬硫化物故也。

又一最重要之地質因素，即由輪迴作用分泌灰岩是。在硫黃細菌活動之區域中，所有溶解於水中之過碳酸鈣，與細菌生成之硫酸，變成硫酸鹽。但在腐泥 (Müschlamm) 中，因去硫細菌之影響，一方面  $CaSO_4$  又回復爲  $H_2S$ ，他方面有一種細菌 (灰質細菌 Bact. Calcis) 在此除分泌  $H_2S$  及  $NH_3$  外，並分泌固體之  $CaCO_3$ 。此種細菌石灰岩，吾人可在黑海底及 Weissow - Salpae 之活泥中，業生種水之區，其與硫化鐵共處也。因在黑泥中亦另外發

生  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  以爲造成無機固質碳酸鹽之用，故有一種腐泥純粹在去硫細菌活動範圍中生成者，亦常作腐泥灰土 (Faulschlammmergel) 而生成。反之，一種腐泥，仍落入硫黃細菌生存區域中者，不含灰質，因灰質被消耗於中和硫酸故也。吾人在此，因見固質硫酸鹽(大半爲重晶石)。

此二種去硫細菌與硫黃細菌生存之區域，其中固不必有絕對清楚之界限存在，此界限隨  $\text{H}_2\text{S}$  濃度之高低(硫黃細菌僅在一定之最高限度下，可以生存)及  $\text{O}_2$  濃度之高低(硫黃細菌吸收最小量之氧氣)爲轉移。譬如在無碳酸鹽之含銅黃鐵礦層，在 Rammelsberg 及 Meggen 所見者，蓋缺乏此二生活區域之分界綫。此界綫則僅當當地底  $\text{H}_2\text{S}$  之量大及  $\text{O}_2$  量太少時，必先見成立，因硫黃細菌不能不向較高之海面運動，而造成一位於較高處之細菌層故也。此種情形，今日盛行於黑海中，而從前在各銅板岩 (Kupferschiefer) 中，曾經存在。在此二例中，吾人皆見有一含硫化物之腐泥灰土作底層沈積也。

總言之，吾人故可得而言曰：在一吾人設想含  $\text{Cu}$ 、 $\text{Fe}$  等之「含銅板岩海底」(am grunde eines Kupferschiefermeeres)，在去硫細菌支配之下，發生一種有機無機之混合作用。所出之  $\text{H}_2\text{S}$ ，大部或被消耗於沈澱  $\text{Cu}$  與  $\text{Fe}$  之膠體硫化物，而另一部則向上擴散，再則有方解石，白雲石或菱鐵礦之分泌。此種上升之液，其組成成分甚複雜，實與現代之熱水液無異。但硫黃細菌，雖居于水中較深處，對於底泥 (Bodenschlamm) 之這層厚膜，却亦有助。蓋彼等一部由下降之低等小漂浮生物 (plänton) 所換而下降，一部在其死後，自動落入下部之泥層中。如其仍未死過，則在該處  $\text{H}_2\text{S}$  濃度甚高環境下，亦立刻死去。至此并立於該處富於銅之底部液體中，吾人在顯微鏡下固可見其形體，極其無遺也。硫黃細菌從  $\text{H}_2\text{S}$  分裂之結果，而其細胞中沈積一部作隱微細粒之自然硫。此種硫黃細菌，在個體發育特大時，產生剩餘之自然硫黃，漸次可造成大塊硫黃，此種硫黃之形成，實與現代之硫黃礦無異。

按上所述之方法，硫化物，硫酸鹽及硫黃，今日在黑海 (Weissow-Salzsée) 及在許多瀉湖 (Lagune) 與海灘湖 (Eimán) 內，尙在進行生成中。室乎成化石而保存者，更多所見也。各地質時代岩系中之含黃鐵礦質岩及明礬板岩 (Alaunochiefer) 各黃鐵礦之母板岩 (如黑侏羅紀之婆西多尼板岩 Posidonenschiefer) 及 Rammelsberg, Meggen 等種含銅黃鐵礦水礦層，相似于含銅板岩式類之銅礦礦床。在石炭紀 (Steinzeit) 及二疊紀 (Bärsandstein) 之方鉛礦礦帶，以及硫黃及硫酸鹽層，皆爲類斯而生成者。

水成含銅黃鐵礦礦層。含黃鐵礦之板岩及明礬板岩，現已不復被利用。反之純粹緻密之含銅黃鐵礦礦床，愈見珍貴。在德國其重要者有二：即位於 Lenne 之 Meggen 及 (Goslar) 附近之 Rammelsberg 所產者是。Meggen 之含銅黃鐵礦，重晶石礦層蓋係成整合夾入岩層板岩及上部中泥盆紀之石灰岩中者。在此面積達若干平方公里之大礦層之中間部份，黃鐵礦最多，次則推重晶石。上層為含銅黃鐵礦與頁岩所成之互層，有時各層，富於閃鋅礦；黃銅礦與方鉛礦則較少，僅局部見之耳。閃鋅礦可由選礦手續，完全分開，而與重晶石混合以製成所謂 (Lithopon)；至於含銅黃鐵礦，則可為硫酸原料也。

Rammelsberg 所受地質變動，較簡單的呈向斜褶皺之 Meggen 礦床為複雜。地層上彼此屬於同一層位。礦物成分，變幻較多。除黃鐵礦外，有黃銅礦，閃鋅礦，重晶石量亦相當大。此外還有許多稀少礦物。至礦物及其構造，一部係為初步變質作用所促成。構造的礦化帶 (tektonische Erzzonen) 所謂含銅黃鐵礦板岩 "(Kupferkniest)" 亦有產生。此礦床以其成分複雜，欲其提煉合理化，今日仍有不可能者，但十載以還，不失為黃鐵礦及金屬之重要產地，其貯量至今仍相當鉅大也。

含銅板岩。含銅板岩，蓋指門次弗魯德 (Mansfeld) 內斜層及其附近之鐵灰層系之第二組最下部岩石而言。其下層由鐵灰層礫岩——一種海洋浸入礫岩，——或由所謂白色底岩，即褐色，一部重經變動而由鈣質黏起之下二疊紀砂岩 (Rotliegende Sandsteine)，長石砂岩，及頁岩所組成。含銅板岩，為一厚約 35 公分，一部含硫化物之炭質泥灰板岩 (Sulfidführender bituminöser Mergelschiefer)。上層為三組岩石組成，初為厚層灰色石灰岩——所謂頂岩 (Dachkalk) 是，往下為棕色藍灰色，並多縱橫裂隙之石灰岩——所謂「腐層」(Faule) 是，再往上即為淡灰色灰岩，即真正之鐵灰層 (Zechstein Kalk) 是。此 35 公分之含銅板岩，自昔即被分為若干層。按其礦物發生之普遍與否，可將原生礦物列如下次：斑銅礦，閃鋅礦，輝銅礦，自然銀，黃鐵礦，方鉛礦，黃銅礦，菱鐵礦，銅鐵礦。

此板岩中礦物，則有石英細粒，方解石，白雲石，瀝青質之扁豆體與纖維體，絹雲母鱗片。至在顯微鏡下于原生礦物中，可見無數礦化之硫黃細菌。

大概「含銅板岩海」中，自始含銅之量，較普通海水中者為強，且經長久時間，由陸地方面，不斷予以接濟，使不匱竭也。至于銅量，究竟自何處而來，則一未易回答之問題也。（由于二疊紀中之黑岩層 Rotliegende Melaphyre 乎？哈慈山之鐵脈乎？或 Rammelsberg 之

礦脈系之金屬區域，在乾燥氣候者風化甚為劇烈，必在腐花物質集中處，遂藉藉而生，與別種金屬富集之作用。此則最初見于風化浸水岩石中，其再則在內地之湖濱，同樣可在岩銅後岩中發生。其濃度自極端稀薄耳。但在閉塞拜米維納之腐泥海中，經前述之方法，受硫黃循環之細菌作用，自可見硫化物之分出也。亦可於此類礦脈中，發見新中礦土。水成硫酸鹽及硫黃礦層，在細菌的硫黃循環作用中，以有無數無硫細菌之存在，所產之硫酸鹽及硫黃固可堆積成礦。自然除此種生物硫黃礦鹽與硫黃外，亦有相似之機械作用，可造成此類礦床。如許多地方之豐富硫黃質泉源，乃源乎天賦之礦藏，亦有時亦可得由黃鐵礦之風化選提而成礦，然直接洗滌作用，大部却為生物化學之方。凡地表而儲水處有強硫酸鹽之集中時，即立可有特別發育之細菌生命，滋于其間也。如：Sizilien 之大硫黃礦層，蓋即如是生成者。其得與之同生物物，有硫黃，石膏，天青石，磁石，方解石，其重結晶之現象，蓋不鮮見也。此外，gallien, Kroation 及 Bosnia 以及美國之礦層，皆屬於此類。現今此種礦產製成作用，常可得而觀察也。

至于使大石膏礦層，歸納于此，究可至若干程度，因無詳細材料，未敢有所論列。將此圖誌無論如何，似屬可能耳。

### (五) 在較深之地下水區域，或加以巖岩分泌作用而成之下降水

#### 礦床。

水成礦床之最後一類，蓋即包括由表面溶液，或主要由其大部之參加，在地下不若于深處之硫酸或固結岩石中，即在較深之地下水停滯地帶所造成者。金屬或係隨溶液而加入者，亦或係由遠近之巖岩中所滲出，再在礦床上沉澱者。後者稱為側分泌作用 (Lateral secretion)，為簡明起見，此類礦床，可稱之為下降水礦床。

自然此類礦床常造成過渡或混合形態，以與他種可釐定形式相區別。此與水成礦床尤其與礦床之氯化帶以富集帶以及風化礦床及洗滌礦床為然。而與巖岩熱水液礦床，甚至與水之變質礦床，亦如是也。

其成為礦床者，有下列數類，可備一舉。

泥炭礦 (Torferze) —— 白鐵礦 (Weissgiserz) 及炭鐵石 (Eisenerze) 等。

料岩石中之不純潔碳酸鹽結核，當燃料岩石在泥炭期時所發生者。低鐵過碳酸鹽液滲——因有有機水（Humuswasser）之溶鐵風化能力，此溶液在泥炭中，甚為常見，其成分出含水多之鐵質碳酸鹽，即所謂水鐵（Wasserkissen）者是。在新鮮狀態時，作白軟之膠質（白鐵礦），經同期變化之作用，始變密硬，即在石炭中變成炭鐵石（黑帶，Black band），常成一之零星扁豆狀及塊團，其成完全之層而與泥及煤相混者尤多。在一切石炭層中，產生甚為普遍。昔日且作為鐵礦開採，今日僅在英國數地向及見之。在泥炭中，亦甚普遍，但以其形態之無規則，故頗難有開採之價值也。

板岩中之珠體放射菱鐵礦結核 另一類之菱鐵礦結核，不與煤相關，而作麵包片狀，以及常作甚大之塊團與晶線（geoden），產生於一種板岩中。Westfalen之Bentheim及Ochtersheim地方之白堊紀，德國北部之白侏羅紀及哥魯澤（gault）岩系，如Salzgitter及Peine-Ilsede層中之母岩，Soargebiet之上石炭紀（『來巴赫層』Lebacher Krollen）中皆有之，其能作為鐵礦開採者，亦僅有地方的意義耳。

泥層中之黃鐵礦結核。除因硫黃循環作用，在泥質岩石中有同生的黃鐵礦生成外，但亦有後生的結核狀或團塊狀黃鐵礦之結成。此類重要礦床，新近在匈牙利之婆提士（Pontischer Ten）中，已發現之矣。

下降水的鐵礦礦脈 下降水溶液所成之鐵礦脈不多，Oberfranken Amberg之大礦床，蓋屬於此。

下降水的錳礦礦脈 無數在Thüringer Wald之Ilmenau與Ohrenstock，及哈慈山之Ilfeld，已經採盡之錳鐵礦脈，蓋由錳灰層及下二疊紀斑岩中之蝕出物所造成者也。

灰酸錳礦脈 在（Münsterland）之白堊紀中者，為下降水的分泌性質（Dezendont-lateralsekretionär）

許多（非一切！）重晶石礦脈，如在德國西南部之三疊紀及下二疊紀中者，其生因亦復相同。

下降水的菱鐵礦交代礦床 下降的低鐵過碳酸鈣風化溶液，可使石灰岩交代為菱鐵礦。如Osnabrück之Hüggel礦床是。在Bilba者，亦多被人視屬此類之物。又在為砂充實之石灰岩與白雲岩窪地中，有褐鐵礦風化礦床，往下可遞變為交代菱鐵礦礦床。此蓋可視為下降水交代礦床與風化礦床之過渡形態也。其重要之例，見於Lifel之蘇特尼中泥盆紀內斜層（

Die Soetenischer Mitteldevonmulde 刊。

下降水的鉛鋅礦 在敘述遠火成 (ferhnagmatisch) 交代鉛鋅礦時，巴詳言今日所見礦床之一部，無疑乃由天水循環作用所洗積者。尤其 Missouri 礦床之生成，恐以此種作用為主要因素。

洞穴沉積中之錳銩礦 Turkestan, Tuja-nuijun 之石灰岩洞穴中，有夾方解石，重晶石，及含鈷黏土之銩酸鹽 (Vanadate) 與銩質銩酸鹽 (Uranovanadate)。此礦床為一混合形式。金屬溶液，係源於上昇熱水液，但礦床中之礦質，經半沙漠地之下降的喀斯特水之富集後始洗出者。

下降水的石膏礦層 在波斯灣東岸長達1600公里，寬達10公里之最大石膏礦層，蓋與含黃鐵礦腐泥層之風化有關，因此地下水成含硫酸鹽之溶液，與第三紀之石灰岩化合，即成石膏礦。

至於六及七類之水成礦床，為海成鹽層及燃料岩石，在此不擬加以敘述也。

## C 變質類礦床

以相似之姿態，改變已存之礦床，譬如水成礦床上諸作用之所為者，但其意義，却不無若干之差異，是即變質作用，(Metamorphose)，就物理化學性質言，溫度或壓力，或二者同時增加，為其特徵。此式之地質的作用，有侵入岩漿之接觸變質作用 (Kontaktmetamorphose)，如是壓力，並不須用倍大之增加，隣岩即受熱甚大，區域或深成變質作用 (Eratungs-oder statische Metamorphose) 及動力變質作用 (Dislokations oder dynamische Metamorphose)，在此二者，除溫度增高外，壓力亦增加甚大，且高度迴壓力或側壓力，均可發生。再岩層之運動及變形，影響亦大，此在動力變質作用，未可忽視，在區域變質作用上，蓋不甚重要，或完全消滅不見也。二種變質作用，可分為各種深度階段或各級變質程度 (Verschiedene Tiefenstufen und Intensitätsstufen)。

凡一切已成礦床，受上述諸作用，而發生變動所成之礦床，是之謂變質礦床 (Metamorphosierte Lagerstätten)。

另一類包括原素之因變質作用而重新富集者，是謂狹義的變質礦床，或新成變質礦床 (Neugebildete Metamorphe Lagerstätten)。

如吾人一檢視受變質作用之無數出發岩石與礦床。知變質同生礦物之複雜萬端，至達莫可捉摸之天，故於此僅能擇分佈甚廣或有經濟上價值之重要數類分述之也。

變質鐵礦礦層 許多地方之老變質中，有無數而一部且甚大之礦床，名之為鐵雲母石英片岩 (Eisenglimmerschiefer)，亦鐵礦石英岩或鐵雲母石英片岩 (Itabirite，即輝鐵礦+石英)，磁鐵礦片岩及磁鐵礦石英岩 (Magnetit quarz)。成帶狀鐵礦 ("gebänderte" Eisenerze)，鐵質碧石岩 (Eisenjaspillite) 亦普通，蓋皆為水成鐵礦礦層 (陸地風化礦床或海洋沈積) 經區域的變質作用而成者。

可舉之例有葡萄牙之 Moncorvo，俄國之 Krivoi Rog，挪威之 Dunderlandsdalen，巴西 Trausvaal Südrhodesia 及其他等地。大都因須選礦及運輸困難之關係，雖鐵量甚大，至今尚未開採也。

變質錳鐵礦層 有許多點與上述之類相似，惟錳礦物則特多耳。計有褐錳鐵，荷蘭石 (

Hollandit), 鈣質褐鐵 (Sitaparit), 黑鐵礦, 磁鐵礦 (Vrednburgit) 等, 現多開採已盛東印度, 巴西及南非洲之 Postmasburg 有之。

變質硫化物礦床 因原生礦床, 如此衆多, 故變質礦床, 亦不可以屈指計, 自未便一一以例証之也。惟大部變質程度, 皆不甚劇烈, 就大體言, 其原來成因, 仍可判別。經詳細顯微鏡研究, 知許多礦床, 多少有程序不同之變形及重結晶現象, 皆為變質作用開始時全部變動 (Durch-bewegung) 之結果。

新成變質礦床 其成大規模者, 蓋不經見。金屬由此富集為礦, 更幾所未見也。此類之主要代表, 為阿爾卑斯山之分泌礦床 (Alpine Sekretionslagerstätten), 而有美麗之裂隙礦物者。此雖亦有含重金屬化合物者, 但能見其作零星出沒而已。

## D 附標準礦物交代礦床

依上所述，知就礦床之成因關係而分類，在許多情形下，常須一礦床歸屬於數處，蓋在此礦床上有數種作用同聚一處故也。雖在分類上，此舉甚為必要，但在專家眼中，此二或二者以上之異因同生礦物，仍能瞭若指掌。而每一類礦物，與其在其他礦床上分別單獨而發生者，毫無二致也。

但除此尚有一類之造礦情形，即同生礦物完全混雜莫分，而不可歸之于以前之類系中者。蓋尋常性質之礦物溶液，與一成分完全不同之燐岩起變化以造成不普通或稀奇之新同生礦物時，即有此種情形。其例且甚多也。亦正以有此不經見而孤異之金屬及礦物羣與別種一定而普遍之礦床不同，乃始為人所察出。尤其此礦床相當大亦無相似之例可尋時，更引人注目耳。普通對其生因，每人執一見，爭辯不知底止。

實際接觸汽化交代礦床，已為此類之例。因為其同生礦化係汽化溶液與石灰質岩，石化合之結果。礦物組成，在此類實極珍貴，有地且有完全特異之礦物，作巨量之產生（黑柱石 Ilvaite 矽鎂石 Humite 硼酸鎂鐵礦 Ludwigite）。惟此處關係，仍相當簡單而明了也。

自經 A. Fersman 研究烏拉山祖母綠 (Smaragd) 礦床，而多所闡明後，此式更為人所注重。此類礦床可簡稱之為標準礦物反應礦床。

至應用此種原理于礦床之上分類，尚未見通行，此處惟僅舉數例，以說明之耳：

Obever See 之自然銅礦床。此礦床從前被人認為係杏仁狀輝綠岩及輝綠岩凝灰岩中之噴氣沈積。所堪注目者。此種大礦床，竟為獨一無二之特例，因其同生礦物。平時在礦物界，產生不常也。Butler Burbank 於 1929 年，已證明為由多魯岩基 (Duluth-Batholith) 之普通侵入熱水溶液所成。按理或已成為滲染銅礦。但此處則因上昇時侵入厚層之輝綠岩等岩石中，與甚多還原作用特強之鐵鎳礦物起反應，乃成自然銅，而在此種化學材料，如杏仁岩岩流表面，粗面岩質岩渣角礫岩 (felsitische Schlackagglomerate) 之總匯處沉下。

Kongsberg 之銀礦，亦有同樣之情形。在敘述銀鉛錳銻，碎礦系時已提及之矣。

又 Kleinamaqualand Ookiep 之奇特礦床，應為一液體岩漿斑銅礦床，但為他處所無者，據 L. T. Nel 及 H. Schneiderhohn 之研究似亦屬此類。

緣此處有普通汽化熱水液 Cu-Fe-溶液，曾與一包含于紫蘇岩石中，并已顯接觸變質之燧岩發生變化，使燧岩及紫蘇灰長岩與其中之鐵鐵礦，重新結晶。如是造成反應矽酸鹽及銅鐵硫化物。凡此又皆再受熱水液之作用，礦床性質，至是乃更趨複雜。加里福尼亞 Engelsenite，其情形與此相似。Schlössien Reichensstein 之稀奇同生礦物，亦由標準礦物之複合關係所致。蓋花崗岩附近鎂質甚富之接觸矽酸鹽受熱水液礦液之作用變為蛇紋石，在蛇紋石中乃有合金之硫砷鐵礦與斜方砷鐵礦之加入。

最後 New jersey 之 Franklin，及瑞典之 Langban，亦有此類礦床，有稀罕之金屬羣，而產富于怪異之礦物。此處不特因許多互不相關之羣組生因 (Kausalitätsreihen) 偶然相合，而發生標準礦物反應作用。情形所以變複雜者，亦以同時發生許多接觸的及區域的變質作用，又無疑亦有為人所認知之『多變質礦床』(polymetamorphe Lagerstätten)，此則自然多在老花崗岩中產生也。

對於本類礦床之詳細生因及歷史，吾人所知，尙甚有限。適所述各例，可謂已啓示吾人以進一步作有系統有目的之研究途徑矣。 (完)

本所自廣州淪陷後，所有圖籍損失殆盡，除竭力急謀補充購置外，計已出版及準備出版，有下列各種：

- (1) 廣東鑿山地震誌..... 陳國達(已出版)
- (2) 潯江地質..... P. Misch(米士)(在香港排印中)
- (3) 南雄地質鑛產..... 徐瑞麟(在編印中)
- (4) 廣西地質鑛產..... 徐瑞麟(在編印中)
- (5) 星坪公路一帶地質鑛產..... 劉連捷(在編印中)

每册定價  
2元5角

◆印承所刷印民國江曲◆