

礦床學

第一篇

成礦作用總論

塔塔林諾夫
別傑赫
原編

地質出版社

礦床學

第一篇

成礦作用總論

塔塔林諾夫 原編
別傑赫琴

地質出版社

本書原名“Курс метаморфизма полезных ископаемых”，由蘇聯別傑赫琴(А. Г. Бетехин)、多馬列夫(В. С. Домаров)、茲維列夫(В. Н. Зверев 已故)、伊萬諾夫(Г. А. Иванов)、納科夫尼克(Н. И. Наговник)、奧爾羅夫(К. Н. Орлов)、塔爾第金(С. И. Талдыкин)、塔塔林諾夫(П. М. Татаринov)、烏斯賓斯基(Н. А. Успенский 已故)合著，主編為別傑赫琴和塔塔林諾夫。經蘇聯人民委員會全蘇高等教育委員會審定作為探礦和地質勘探高等學校和專科的教材。蘇聯國立燃料工業出版社(Гостолтехиздат) 1946年出版。

全書共分五篇，即(一)成礦作用總論；(二)金屬礦床；(三)非金屬礦床；(四)可燃性有機岩；(五)找礦和勘探。這本書是它的第一篇(Общие вопросы процессов рудообразования)，由北京地質學院編譯科翻譯，地質部編譯室審校。

由於各篇譯出和付印前後不同，暫行分冊出版，各冊頁數不能互相連接，均各從第一頁開始，但章節、圖、表的順序仍依原書編號不加更動，希望讀者注意。

書號 0031 礦 床 學 110 千字

第一篇 成礦作用總論

原 編 者	塔塔林諾夫 別傑赫琴
譯 者	北京地質學院編譯科
審 校 者	中央人民政府地質部編譯室
出 版 者	地 質 出 版 社
	北京安定門外六鋪炕
經 售 者	新 華 書 店
印 刷 者	北 京 市 印 刷 一 廠

印數(京)1—10000冊 一九五四年一月北京第一版
定價 7,500 元 一九五四年一月第一次印刷

第二版序言

本書第一版已出版七年，在這一次重版時作了重大的修改和補充。首先根據高等教育委員會建議，新添入第五篇，以研究礦床的找礦、勘探、取樣和儲量計算。其次是儘量考慮到1938年第十期“技術手冊”(Техническая книга)上發表的盧奇茨金基教授對第一版評論時所提出的全部批評意見。因此，特別對“變質作用”這一章做了修改，補充了“黏土和高嶺土”、“砂岩和石英岩”、“砂藻土和砂藻石”、“石膏和硬石膏”這幾章。第三，由於各種礦物原料新礦床的不斷發現和研究，同時由於地質科學在研究礦床學方面有了新的成就，因此修改或補充了如“鉻”、“鎢”、“鉬”、“鈮”、“鈳”、“錫”、“剛玉和高鋁原料”、“磷塊岩”等章。重新寫了“放射性金屬礦床”和“硼酸鹽”兩章，大大地擴充了“寶石、有色石料和技術用石料”這一章的內容。

我們希望第二版書中能够免去初版中大部分的缺點。但是我們切望讀者，特別是採用這本教科書的教員們把在這書裏所發現的缺點都告訴我們並提出要求。來信請寄：Ленинград. Вас. Остров, 21 линия, Д. 2, Горный институт, Кафедра месторождений полезных ископаемых.

編者

礦床學

第二版序言

第一篇 成礦作用總論 (茲維列夫 (В. И. Зверев))

目 錄

引 言.....	(1)
地球的成分與構造	
元素的移動及礦床的形成	
第一章 內生成礦作用 (茲維列夫)	(7)
一、岩漿礦床的形成過程	(8)
(一) 分凝礦床的形成	
(二) 後期岩漿礦床的形成	
(三) 熔離礦床的形成	
二、礦床的偉晶—氣化成礦作用.....	(12)
(一) 偉晶岩的形成	
(二) 氣化富集作用	
三、熱液中礦產的凝集過程	(18)
(一) 深成熱液礦床	
(二) 中深熱液礦床	
(三) 淺成熱液礦床	
第二章 外力作用或地表作用 (塔塔林諾夫)	(27)
一、風化礦床	(27)
(一) 殘餘礦床	
(二) 滲漏礦床	
(三) 硫化物礦床的次生 (地表) 變化	
二、沉積礦床	(44)
(一) 機械沉積	

(二) 化學沉積

第三章 變質作用與變質礦床的生成 (別傑赫琴) (59)

一、受變質礦床..... (60)

二、變質礦床..... (61)

第四章 礦床分類 (別傑赫琴) (62)

第五章 礦床的形狀和產狀 (別傑赫琴) (64)

一、同生礦床和後生礦床 (64)

二、礦體形狀 (64)

三、礦體產狀單位..... (69)

四、礦床的變動..... (70)

第六章 礦物生成的成分和構造 (別傑赫琴) (73)

一、礦床的物質成分 (73)

二、化學元素和礦物的共生組合..... (74)

三、礦石的構造..... (79)

參考文獻

第一篇 成礦作用總論

引 言

茲維列夫 (В.Н. Зверев)

地殼裏在某一自然作用影響下而形成的礦物堆積，其質和量方面在工業上有應用價值的叫做礦床 (месторождения полезных ископаемых)。

礦床一般在圍岩中只佔有不大的一部分，其位置乃按自己形成時的情況分佈或者與這些圍岩有着極密切的血緣關係，有時圍岩僅是作為感應的介質，或者最後圍岩只影響礦床的結構和形狀，而不影響礦床的成分。

礦床學 (Учение о полезных ископаемых) 的任務就是要確定礦床與圍岩之間的這種關係，闡明礦床的形狀和產狀，研究它們的成分、構造和形成的特徵。

礦床學是地質學 (геология) 中的一門科學，它用地質學的方法來研究礦床的形狀和產狀，用礦物學 (минералогия) 及岩石學 (петрология) 的方法研究礦床和圍岩中的成分，而用地球化學 (геохимия) 的原理來研究礦床的形成及其以後成分改變的問題。

目前礦產中可分為以下最主要的幾類：

1. 金屬礦產 (металлические)，研究它的礦床就是金屬礦床學的內容。將此類礦產加工後，就能提煉出某種金屬。

2. 非金屬礦產 (неметаллические)，其中又可分兩大類：一類是非金屬礦物原料 (минеральное нерудное сырье)，包括一系列的鋁矽酸鹽、矽酸鹽、磷酸鹽、硫酸鹽等等，它們的形成條件很接近於金屬礦床；另一類是建築材料 (строительные материалы)，包括一系列可以當作石料用的自然狀態的岩石 (輝綠岩、花崗岩、石灰岩、瓦板岩) 和經人工製造的岩石 (耐火材料和水泥)。

3. 可燃性有機岩 (каустобиолиты)，此類包括所有各種煤礦、油頁岩和石油。

礦石 (руда) 一般是指一種礦物集合體，在這種礦物集合體中含有在數量上足供提煉的某種貴重金屬。如銅礦、鋅礦、鉛礦、金礦等都是。近來某些非金屬礦物也稱為礦石，例如所說“磷灰石礦”、“石棉礦”、“硫磺礦”等等。

礦床的工業意義不僅決定於礦物的含量，也決定於其他許多經濟因素，例如礦產儲量、礦床的地理位置、開採條件、採礦和選礦等的技術狀況。其中有些條件永遠不變，而另外一些條件卻隨時間、技術發展的程度、需要的增加和一個國家的總發展而改變。由於這些情況，有一些礦床不僅會改變其工業價值，而連“礦床”和“有用礦產”本身的意義也會擴大。現在礦床學把越來越多工業原料的礦物包括在

自己研究範圍內，而這些礦物過去在工業上並沒有應用過的。另外也出現了許多種類的新礦床和新的有用礦產，而它們在過去的經濟條件下是沒有價值和地位的。

許許多多的非金屬礦產僅在最近廿年中才引起了人們的注意，這是由於工業、道路、房屋等建築的發展，化學加工方法的推廣，農業上對礦物肥料需要的劇增，以及由於必須儘可能地用非金屬原料的製造品來代替價錢昂貴的金屬所致（例如作房頂用材料）。

因此，礦床學分出了許多新的科目。而在二十幾年前它主要還只是研究金屬礦床，以及部分可燃性的礦產。

有用礦物對每個國家經濟上的巨大意義已為大家所知，採礦工業是一切其他工業的基礎。一個國家採礦工業的情況能衡量出該國家的物質文化、財富、經濟發展情況及獨立與否。

無論是世界經濟中或每一個國家經濟中，都是用礦產產品的價格來確定各種礦產的工業意義。爲了對幾種最主要礦產的經濟價值有一個概念，我們在下面盡量引出一些全世界從地下開採出來的礦產原料產品價格材料。

據1938年所公佈的金屬礦產通報^①其總開採量值7,100,000,000金盧布，其中價值最高的爲鐵（約爲二八億盧布）；第二位是金（一四億盧布）；其次是鋁（六億九千萬盧布）、銅（六億盧布）、錫（三億八千萬盧布）、銀（三億一千九百萬盧布）、鉛（二億四千三百二〇萬盧布）、鋅（二億零四百萬盧布）、鎳（一億七千四百萬盧布），其餘許多金屬的價值不超過二億盧布。

非金屬礦產開採量（建築材料除外）據不完全统计爲三億盧布以上，其中寶石約佔半數，其餘的非金屬礦產爲鉀鹽（四千七百萬盧布）、磷塊岩（三千三百萬盧布）、石棉（三千一百萬盧布）和黃鐵礦（二千萬盧布）。如果把一筆很大數量的建築材料的價值也計算在內，則非金屬礦產的總價值將相當於三五億盧布。

同年所開採的礦物燃料（煤、石油、油頁岩），總數爲12,300,000,000盧布，即比金屬礦產的價值幾乎多1.8倍。

地球的成份及構造

礦床是由礦物質堆積於地殼中各種不同的而通常是不很大的地區而形成的。

這種礦物質堆積情況與其他許多的地質作用比較起來還是少見。通常組成礦產物質的化學元素在地殼裏皆處於極爲分散的狀態。這種分散的程度，可根據用直接觀察法能夠看到的岩石的化學成分來判定之。根據美國化學家克拉克（Кларк）計算，火成岩佔地殼的95%左右，如果我們來研究此火成岩的平均成分，則我們可從此平均

^① The mineral industry its statistics technology and trade, 1933, Vol 47, 1959. 並參考The Mining Journ, March, 4, 1939.

成分中看出地殼中所含化學元素在數量上的比例(根據費爾斯曼(А. Е. Ферсман)) (表 1)。

表 1

元 素	重 量 百 分 比	元 素	重 量 百 分 比	元 素	重 量 百 分 比
氧	49.13	氯	0.20	硼	0.01
矽	26.00	磷	0.12	鈉	0.008
鋁	7.45	鎂	0.10	鉍	0.005
鐵	4.90	硫	0.10	銻	0.005
鈣	3.35	氟	0.08	鉍	0.008
鈉	3.40	鎳	0.05	鈷	0.003
鉀	2.35	鉻	0.03	鉛	0.001
鎂	2.35	錳	0.025	溴	0.001
氦	1.00	銅	0.03	鋇	0.001
鈦	0.61	鈾	0.03	鈾	0.0016
碳	0.35	銻	0.03		
鋇	0.35	銅	0.01		

至於地殼中其餘比較稀有的元素的分佈量，則它們根據以下材料可分為下列幾組(表 2)。

表 2

重 量 百 分 比	元 素
0.001——0.0001	銻、銻、砷、汞、錳、錫、鎢、鈳、稀土、鈾、鈾
0.0001——0.00001	碲、銦、銻、銻、銻、銀、鈾、鉍
0.00001——0.000001	氦、鈳、銻、銻、銻、銻、銻、銻、銻、銻
0.000001——和更少的	氦、氦、氦、氦

從表 1 我們可看到前八種元素就已佔了地殼組成部分的 97.13%，如再加上 H、Ti、C、Sr 和 Cl，則其餘元素只佔 0.4% 弱。

要注意，我們一般所熟悉的工業金屬，如銅、鋅、鉛、錫、銀、金、錫在地殼裏的數量比那些所謂稀有金屬如銻、鈳、銻、銻、銻等要少得多。但是我們知道，上述工業金屬的大礦床很多，而稀有金屬礦床却很少。由此可知地殼裏各種物質富集的情況是多種多樣的。化學元素在地殼中位置上與分佈上之所以有差異乃為其移動性能所決定。“移動”(миграция)的意思是指引起元素的堆積抑或分散的各種地質作用進行中化學元素移位的整個複雜過程而言。每一種元素的這種空間位置的移動決定於其內在性能(化學、靜電壓力等)，同時也決定於移動的外在因素(溫度和壓力)，這些外在因素是成礦作用最重要的條件。

對於礦床學來講，不僅要對地殼內化學元素的分佈有正確的概念，而且也要明瞭這些元素移動的主要情況和弄清楚引起化學元素在地殼各個部分堆積的原因。

因為絕大部分金屬和非金屬礦產都來源於組成地殼深帶的，或叫做重圈的火成岩，所以必須熟悉那些現代最有根據的有關深帶的構造、重圈的物質成分及其相互關係的據說。

著名的挪威地質學家和地球化學家戈爾德史密特(Гольдшмидт)談到地球的結構時，他認為地球原來是氣態物質，以後分解成液體熔融液和氣圈二部分。地球當冷卻時，液體熔融液在力的影響下分成幾乎不混淆的三個部分或三個相，即(1)鐵質熔融液；(2)硫化物熔融液；(3)矽酸鹽熔融液。這些熔融液因比重的不同而成同心圓的位置分佈着。

鐵質熔融液集中在中心，其所有的元素戈爾德史密特稱之為親鐵(сидерофильный)元素，也就是最能與鐵共生的元素。這些元素是Ni(從6—10%)，Co(0.4—0.7%)，Mo，少量的S、P、C、少量的鉑和鉑的伴生物——Os、Ir、Ru、Rh。

硫化物氧化帶，主要是由一硫化鐵(моносльфид железа)—FeS(六方硫鐵礦)所組成，部分為(Fe、Ni)S和CuFeS₂，也有一些金屬氧化物，這一帶是親硫(халькофильный)元素集中的地方，也就是說這種元素具有親硫性，各種有色金屬即屬於這一類：如Cu、Zn、Pb、Cd、Hg、Sb、Bi、As及貴重金屬Au、Ag和陰離子S、Se、Te。戈爾德史密特認為這一帶的物質正相當隕石中的六方硫鐵礦結合體。

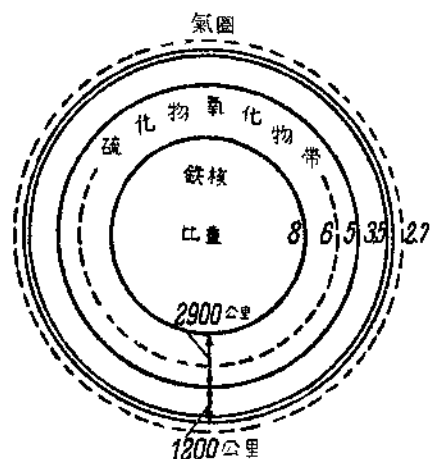


圖 1. 地球的各個帶

矽酸鹽帶的主要成分是由親石(литофильный)元素的矽酸化合物所組成，即O、Si、Al、Ca、Mg、Na、K、Li、Rb、Cs、Sr、Ba、Ti、Zr、V、Mn、W、Sn、Th、U、B、F、Cl、Br、T及稀土元素。戈爾德史密特推測這個帶的下部有一層很厚的榴輝岩層，此榴輝岩層係由石榴子石和輝石組成，是硫化物氧化帶與地殼之間的過渡帶。

戈爾德史密特分的帶正好與為地震波傳播所測定的彈性界綫或破裂面相符合，在這個基礎上戈爾德史密特的概念可以用下面的圖來表示(圖1)：

深 度	平均密度
矽酸鹽帶..... 120 公里以內	2.8
榴輝岩帶..... 120 公里—1200 公里	3.6—4
硫化物氧化帶..... 1200 公里—2900 公里	5—6
中心核..... 2900 公厘到中心部分	8—10

元素的移動和礦床的形成

化學元素的移動性質或多或少地決定於它們活動性的大小，參加到化學化合物中的能力，以及在不同熱力的環境下元素或其化合物的穩定程度。總而言之，元素在地殼裏的位置與分佈是由它們的化學性質和外在的因素，主要是由熱力的因素所決定。分佈在地殼內的化學元素，只有極少數能保持其自己原有的化學性質和物理性質而形成所謂的自然元素。通常由於進行的化學反應的性質不同，它們便形成了具有同樣成分且有一定物理特性的化合物，這些化合物則稱為礦物。在自然界分佈很廣而互相之間的結合很有規律的礦物集合體叫做岩石。如果這些集合體的成分中含有大量有工業價值的礦物，就成為礦床。所以礦床的形成可以認為是岩石形成中的個別情況。

無論是任何的化合物或礦物，岩石或礦床都只有在一定的物理化學條件下才能形成和穩定。這些條件中最主要的就是壓力、溫度和化學元素的集中。應當注意，地殼中所進行的地質作用的整個循環，實際上就是與上述物理化學因素變化有關的化學元素重新組合的連續系列。在個別情況下，這些重新組合能使這種或那種化學元素集中，因而形成礦床。

無論是各種地質作用，抑或是成礦作用皆可分為內生（эндогенные）作用（由內熱或來自地球物質本身的力所引起）和外生（экзогенные）作用（為地球以外的力，主要為與太陽能有關的力所引起）兩種。因此由內生作用所形成的礦床叫內生礦床，而由外生作用所形成的礦床就叫做外生礦床。

此二類礦床生成條件最主要不同點如下：

內生礦床能够在各種不同的深處，在各種不同的而通常是高的壓力和溫度下形成。此種礦床總是與侵入作用相有着很密切的聯系，在侵入時期中各種有用物質以某一種方式從岩漿源中被帶出來。在這種情況下，揮發組份，特別是酸性岩漿的揮發性組份能起很大的作用，它們和重金屬一起組織成易揮發的化合物，因而引起了這些重金屬的移動並把它們從岩漿源中帶出來。

在礦床形成時，圍岩的化學活動性也有很大的意義，因為揮發性物質能使圍岩一起參加化學反應。

外生礦床是在地殼表面部分，在正常的大氣壓力和溫度下，在氣圈、水圈和生物圈營力的相互作用下形成的，它與任何一個侵入作用相都沒有直接的關係。

經過各種地質構造作用或長期侵蝕作用之後，某種礦床以及其圍岩亦然，它們本身存在的物理化學條件就會發生劇烈的變化。這樣，內生礦床便露到地殼外面，遭受到外部營力的作用並受到機械風化、化學風化、局部的溶解、搬運和重新沉積的影響，於是這種內生礦床便劇烈地受到改造而成為具有新的成分和另外一種為外

生礦床所特有的一種形狀。這是礦床變化的最普通的一種途徑。

但還存在另外一種途徑，這種途徑是很少見的，這就是礦床與圍岩因褶皺的移位或放射狀的移位而一起沉到地殼更深的地帶。新的物理化學條件不僅能大大地改變圍岩的成分，也大大地改變了礦床的成分、構造、結構和形狀。這種改變可能有也可能沒有新的物質加入，其中也包括金屬礦物。在這種情況下就產生了第三種類型的礦床——變質礦床（метаморфогенные месторождения）。

上述三種現象（內生的、外生的和變質的）包括了地殼中化學元素移動的一切過程，因而也包括了礦床的堆積和形成的過程。研究這些作用就是礦床學的主要內容。

第一章 內生成礦作用

茲維列夫

基於化學元素在地球深部移動的概念就得出地殼下層為複雜的熔融液或岩漿的概念。在這些岩漿的成分裏，除了難溶的和易溶的組成部分外，還含有各種揮發性的、氣態的和水蒸氣狀態的物質，這些物質使岩漿熔融液具有極大的活動性和很高的內（岩漿的）應力。在這種內應力的影響下，岩漿能夠沿着裂縫和破碎的地方鑽到地殼的上層。在特別微弱的火山地帶，當火山噴發的時候岩漿遂流出地面；但是在很多情況下，由於上覆岩石外壓力的抵抗，岩漿不可能昇到較高的上層，而在深處慢慢地冷卻下來。在這裏它受到分異作用，開始產生各種不同的深成岩，這些深成岩就是原生岩漿的分離產物。在岩漿的分異作用正常進行時在岩漿源的較高部位集中着酸性導生岩的岩漿，這些岩漿在冷卻後即生成如花崗岩、花崗閃長岩、閃長岩等類的岩石。當岩漿發生分異作用時溶解在它們裏面的揮發性組份：F、Cl、B、S、As、C、P等，發揮着很大作用。很多重金屬，例如Au、Sn、W、Mo、Pb、Zn、Cu、Hg等就和它們一起生成易揮發的化合物，因此這些元素便能够在岩漿源的上部集中成為岩漿分異作用的酸性產物，有時甚至能够跑出岩漿源的範圍。

只有很少的金屬元素存留在岩漿中，而在其富集的過程中則形成了岩漿礦床。在這些礦床中有鐵礦床、鉍族金屬礦床、一部分鐵礦、鎳礦和銅礦。

集中於岩漿導生岩中的水和其他揮發性組份還具有一種特性，就是它們的存在能够降低溶解它們本身的那種熔融液的結晶溫度。因此遂形成一種殘餘的矽酸鹽岩漿，這些岩漿進一步冷卻時就結晶成為粗晶體的偉晶岩，在此種粗晶體的偉晶岩成分內，除了有由岩漿正常的結晶作用而產生的礦物外，時常還有一些含有揮發性組份的礦物，例如電氣石、綠柱石、黃玉等。此外也可能有為數不多的重金屬化合物存在。

當岩漿體由於相當大的外部壓力而在很深的地方形成的時候，偉晶岩形成的過程就在這種情況下進行。假使岩漿源位於中深地帶，在那裏外部壓力小於殘餘岩漿熔融液最大的內部壓力（這些內部壓力是由積聚在岩漿裏面的揮發性物質造成的），那麼在這樣的條件下，在岩漿結晶作用的某些階段揮發性物質就開始從岩漿中分泌出來並進入圍岩中去。

在這樣的環境下氣成作用就將代替偉晶岩形成作用。在這種情況下圍岩就會遭到所謂接觸變質。這種接觸變質作用亦能够形成礦床。從岩漿裏面分出的揮發性組份特別容易與石灰岩、或一般說與鈣質的岩石發生反應。但是大部分揮發性的化合物不會老是停滯在接觸帶內，而是沿着裂隙深入到圍岩中。

揮發性化合物隨着繼續前進和熱能的消耗逐漸地液化並開始成為熱液（гид-

ротермальный раствор)。這些熱液的內應力大不如以前，但是它們仍然餘有足夠的力量沿着裂隙推進，並且充填在岩石的各種空洞中，依次地在裂隙和空洞中沉積出礦物集合體。假使在這些熱液所經過的地方遇到了如石灰岩之類容易感受化學反應的岩石，則礦產可以置換這些岩石而沉積。離開岩漿源愈遠熱液裏面的金屬礦物也就愈來愈少。有時這些熱液甚至能成為溫泉流出地面。

揮發性組份從岩漿源分出的過程進行得非常緩慢，斷斷續續地進行了一個很長的時期。熱液重新循環能够在較早形成的礦床上產生新的成礦相。因此儘管成礦相是如此的複雜和多樣化，但它們始終與火成岩體的形成有着緊密的關係，仍是一種統一的、依次發展的、不間斷的過程。

在這過程中僅能區分出幾個個別的階段：岩漿階段，偉晶岩氣成階段和熱液階段。

一、岩漿礦床的形成過程^①

岩漿礦床就是指那些在岩漿分異和結晶過程中產生的以及產於火成岩母岩中的礦床而言。它們通常出現在深成環境下形成的火成岩岩體之間。

岩漿礦床的特點就是礦床中的礦物成分，按其質來說與圍繞着它的母岩無甚區別，而最大的區別乃在礦物的數量方面。在圍岩中所遇到的成為稀少附生顆粒的金屬礦物在礦床中有着很重要的意義，因為它們形成了富厚的浸染體或者甚至形成了完全是金屬物質的礦體。

在形成岩漿礦床時，礦物質的分離和集中可以在岩漿結晶作用的各個瞬間以各種不同的方式進行。

首先必須講一下礦石物質在岩漿中分離時的物理狀態問題。礦石物質分出的情況可能有：（1）在岩漿結晶（冷凝）時立即成為固體狀態；（2）或者起先是一種不與原生矽酸鹽岩漿相混合的液體，這種液體是在熔離作用^②時即行產生，也就是說還在岩漿結晶以前產生的；（3）或者與上述恰好相反，成為殘餘熔融體狀態而出現，這些殘餘熔融體是在礦化劑參與之下形成的，並且在岩漿結晶的末期才分離出來。

實際上礦床的形成乃當岩漿內組成礦產成分的元素以某種方式開始集中時即行開始，而當所有組成部分（組成礦體的礦物）完全結晶以後礦床的形成才宣告結束。對於部分的礦床說來，富集作用乃與結晶作用同時發生；而對某些礦產來說，則從元素開始集中起到最後形成礦床時為止中間則隔着一段很長的時期。例如，由實驗得知，當溫度下降時遠在溶液的矽酸鹽部分開始結晶前硫化物就以熔離的方式從矽

① 此節為別傑赫琴（А. Г. Бетехтин）所著。

② 熔離作用（ликвация）在溫度降低的時候將原來為同一樣的液體分成兩種不相互混合的液體的過程。

酸鹽溶液中分出，同時此種成滴狀分出的硫化物溶液由於自身的比重較大遂向下移動。此種硫化物溶液的結晶，正如研究銅、鎳的硫化物礦床所證明的一樣，只有在原生的矽酸鹽岩漿結晶完全結束後才開始，也就是說是在比矽酸鹽岩漿結晶時的溫度要低的情況下完成的。

因此，岩漿礦床可以有很多不同的成因類型，它們形成的條件，特別是礦物富集的條件亦為多種多樣。

1. 有用礦物能够在岩漿結晶的早期階段成結晶狀(即成為固體物質)從熔融體中析出。這種類型的礦床稱為早期岩漿(протомагматический)礦床。在這種情況下礦物的堆積都為浸染體，因此這些礦床通常又稱為分凝(сегрегационный)礦床。

2. 在揮發性化合物或礦化劑的影響下有用礦物也能在殘餘岩漿熔融體中積聚，這些殘餘岩漿熔融體的結晶較岩漿結晶的主要階段為晚，這種類型的礦床稱為後期岩漿(гистеромагматический)礦床，它在較遲的岩漿階段內，亦即在大部分岩漿已經凝固的時候形成。

3. 最後礦石物質也有可能早期岩漿階段以熔離方式與母岩岩漿分離，亦即在岩漿結晶尚未開始前即以液體狀態分出，而後再自行結晶。此種類型礦床稱為熔離礦床。

(一) 分凝礦床的形成

早期岩漿礦床可能藉助金屬礦物的堆積而形成，此種金屬礦物則是直接從該岩漿中結晶出來的。換句話說，這種類型礦床是與它們的圍岩同時形成，或者說是他們二者經常共生。

在這樣的情況下金屬礦物能首先或與矽酸鹽同時從岩漿內結晶出來，因此，它們具有較規則的、自形晶體的外形(идиоморфное очертание зерен)(圖2，左面)。在重力或對流的影響下，金屬礦物能够部分地轉移，而在岩漿熔融體的某些地方堆聚成浸染體。像鉻鐵礦、鈦鐵、鉑金、少數的金剛石浸染礦床就是這樣的例子，這些礦床在成因上與超基性岩石(純橄欖岩和橄欖岩)有關。屬於這類的還有某些生在霞石正長岩和鈣鈉斜長岩內的剛玉浸染礦床。在某種鹼鹽塊內也能形成浸染狀的稀土礦床。例如，我們認為至少在洛沃澤爾岩體(Ловозерский массив)(在科拉半島上(Кольский полуостров))內部分的鉍鈦酸鈣(лопарит)可能是由這樣的方法形成的。

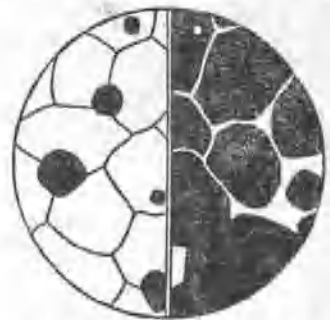


圖2. 在橄欖岩聯合體中早先分出的鉍鐵礦(黑色)；純橄欖岩(左)，塊狀礦體中的純橄欖岩(右)

(鉍鈦酸鈣(Na, Ca)(Nb, TiO_2)——取自別傑林季礦物學(譯者))

因此，早期岩漿的分凝礦床常常不是什麼其他的東西，而是一小部分金屬礦物比較富集的火成岩地段，而常常為帶狀構造，故通常又稱其為礦條(шира)。礦條

的形狀和大小可能是多種多樣的，但它們通常都具有逐漸向圍岩過渡的特性。某些含有分散的然而極貴重的礦產的礦床，譬如金銅石，其形狀與該火成岩岩體的形狀一樣，即岩牆狀、火山頸狀（柱狀體）等。

所有已知的屬於這一類的礦床，幾乎都與深成侵入岩有着非常密切的關係。岩漿礦床形成的溫度，根據林格崙（Линдгрен）的估計為 $700-1,500^{\circ}\text{C}$ 。而早期岩漿礦床（在其中金屬礦物為最先結晶之一）顯然是在上述溫度中的最高溫度下形成的。此類礦床形成時，特別是對於像金銅石這類的礦產其外部壓力必須是非常大的。

分凝礦床為浸染狀礦石，除開一些貴重的礦產（鉑金、金銅石）外，它在工業上的意義一般是不大的。

（二）後期岩漿礦床的形成

如上所述，後期岩漿礦床是在岩漿冷凝的後一階段形成的。因此，根據分泌物（含礦物質即凝固其中）的最後形狀，必須將後期岩漿產物分為兩種類型：（1）後期岩漿浸染體類型；（2）緻密礦體類型。

基性和超基性火成岩（輝長岩、輝石岩）中的鈦磁鐵礦浸染體就是後期岩漿浸染狀礦體的典型例子。這些礦體的特點是：岩漿內的礦石物質乃在岩漿結晶過程的最後階段凝固，也就是說其凝結乃在矽酸鹽結晶之後。因此，礦物就成了他形晶體，亦即好像是較早分泌出的矽酸鹽顆粒之間的膠結物（圖3、左面）。這樣的結構可稱為隕石結構（сидеронитовая структура）。在這種結構中，對矽酸鹽類的金屬礦物說來是他形的。查瓦里茨基（А. Н. Заварицкий）稱此種類型礦床為岩漿晚期的礦床（фузивные месторождения）。

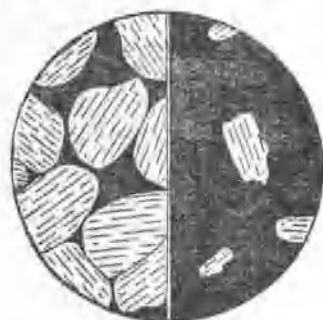


圖3. 後期分出的矽酸鹽顆粒之間鈦磁鐵礦（黑色）
（左：一在輝岩中；右：一塊狀礦體中）

岩體內富含金屬物質的部分時常為標準的礦條或成為具有帶狀構造的層狀礦體。在這些礦石中除了浸染體外，有時還能見到不大的緻密礦石細脈。顯然，後期結晶的礦石物質能夠沿着較早產生於已凝固岩石中的細小裂隙而向外擠壓。

後期岩漿浸染礦床在工業上的意義，乃由礦產的儲量和礦石綜合利用的可能性來決定。

作為形狀規則的礦層、礦脈、緻密礦石透鏡體或浸染礦石密集的透鏡體的後期岩漿礦床，還有着另外一些成因上的意義。

透鏡狀和礦脈狀礦床的特點是礦體與圍岩之間有着顯明的界綫（圖4）。它們說明了礦體是在母岩一部或全部冷凝之後才形成的，也可以這樣設想（正像某些人也這樣認識），這些礦床乃形成於相當晚的時期，這個時期已超過了岩漿期的範圍（如熱液時期）。但是經過詳細的研究，特別是對

鉻鐵礦進行研究之後，發現了脈狀礦體常被純橄欖岩細脈以及粗晶質的輝石岩岩脈所割切；而這種輝石岩在超基性岩體內又以偉晶岩狀的岩體而出現。由這些事實就可證明形成礦體的時期仍然沒有超出形成超基性岩體的岩漿時期的範圍，即仍然是後期岩漿礦床。

從礦體的產狀和形狀可以看出，此類礦床的形成可能與殘餘的含礦熔融體從矽酸鹽組成部分中的分離（在他們的結晶過程中）有關。這些殘餘熔融體在形成岩體的岩漿時期將結束時即沿着裂隙侵入到冷凝的和半冷凝的母岩中。

揮發性組份對殘餘含礦熔融體的形成和分離起着顯著的作用，它們雖然數量不大，但終究含於超基性和基性的岩漿之中。它們與一部分岩漿的金屬元素形成一種顯然是難揮發的化合物，集中在殘餘的熔融體內。

可以設想含礦熔融體之侵入圍岩不僅是由於外部動力作用的擠壓，而同時亦是由於內應力的作用。這種內應力乃係由殘餘岩漿中逐漸積聚的揮發性組份所造成，而揮發性組份在當時則保持着液體狀態。

首先，超基性岩石（純橄欖岩和橄欖岩）中有工業價值的鉻鐵礦床和基性岩石（輝長岩）中的鈦磁鐵礦礦床即屬於這類礦床。雖然鉻鐵礦礦體和鈦磁鐵礦礦體的形狀在表面上很相像，但實際上它們的礦石在結構方面

有着很大區別。當鉻尖晶石類礦石（хромшпинелиды）從殘餘的熔融體中首先分出或與橄欖岩同時（但比輝石要早）分出時（圖2、右面），鈦磁鐵礦熔融體中礦物的結晶乃在矽酸鹽之後（圖3、右面），於是在實質上還是形成了隕石結構。在後一種情況下，殘餘含礦熔融體在動力作用的影響下能够被壓出，而在已經冷凝的岩漿體部分形成標準的含礦岩牆（庫薩（Кузинское）的鈦磁鐵礦床即為一例）。

在酸性火成岩殘餘的熔融體內有時鐵也可以富集成磁鐵礦，與之同時還有一些磷灰石富集，磷灰石富含磷，磷能起礦化劑作用。但是這種成因類型的礦床極為少見。

在鹼性霞石岩內也發現有屬於此種類型的極巨大的磷灰石礦床。在科拉半島的希賓苔原地帶（Хибинская тундра Кольского полуострова）即有許多此類的磷灰石霞石岩礦床。

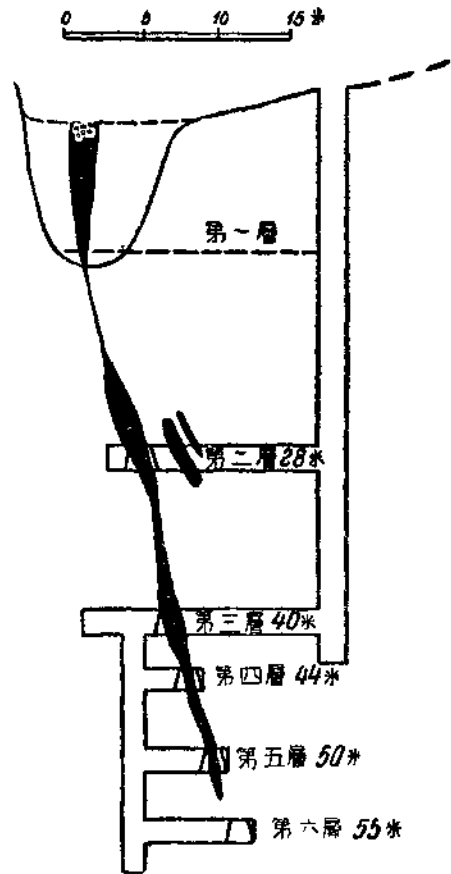


圖 4. 脈狀的鉻鐵礦後期岩漿礦床。
哈利洛夫 №141 礦床