

鎳礦的几个最重要的工業类型

Г. М. 斯拉斯杜申斯基

一、序 言

十月社会主义革命以前，在苏联沒有鎳礦工業。在1928—37年間，苏联發現了大量的鎳礦資源，于是苏联的鎳礦开采和冶煉工業就在此基礎上建立起來了。

鎳礦的开采在國外很早就已經开始了，在1825—26年瑞典首先开始开采鎳礦，后来鎳礦的开采在挪威（1847—50年）、新喀里多尼亞（1865年）和加拿大（19世紀80年代）也相繼地开始了。

1889年首次制成了優質鎳鋼，这种鋼具有極其宝贵的技術特性（柔韌、坚固、很輕、耐久和防腐）。此后，鎳的生產速度就大大增加了。

鎳的產量如下（以千噸为單位）：1880年—1；1900年—5—6；1910年—23；1917年—50；1935年—75；1940年—125；1943年—150；1953年—160。

第二次世界大战以前，加拿大鎳的產量占世界总產量（不包括苏联）的85%，10%的鎳开采于新喀里多尼亞，緬甸、希腊、挪威鎳的產量占世界总產量的1—1.2%。

巨大的蕭德貝里（加拿大）綜合性銅鎳礦床和規模最大的新喀里多尼亞硅酸鎳礦床的鎳礦產量占世界总產量的絕大部分。

鎳的硬度很大，具有磁性，难熔，如沒有雜質（特別是硫），則柔韌、可鍛、可延，由于鎳具有这些主要的技術特性，就可以用它來制造鎳絲、鎳帶、鎳管、鎳条，模压和鍛造各种零件。鎳是一种在化学方面很穩定、不大活潑的金屬。鎳在空气中不氧化，具有磨光性能，根据这些特性可以用鍍鎳的方法來保护金屬制品。利用鎳、鎳合金和鎳鋼的防銹性，并結合其难熔性和坚固性，可以用它們制造化学和食品工業所需的坩堝和器具。

鎳能与鉄、鉻、錳、銅、鋅、鉛、鈷、銀、金等黑色金屬和有色金屬熔鑄貴重的合金，这是鎳的一个重要特性。

低鎳鋼含鎳0.5—7%，高鎳鋼含鎳7—35%，銅

鎳合金含鎳2.5—45%，蒙內尔合金含鎳67%，而特种合金含鎳量則达80%。

現在应用最广的乃是珠狀鎳鋼、特种鋼、鉄鎳合金、鎳鉻合金，复雜的合金鋼也应用很广，其中除含鎳外，还含有鉻、錳、鉬、鎢、鈷及其他金屬。

鎳可以使合金具有韌性、坚固性、防腐性、導電性和導熱性，并可以減輕合金的重量。

用鎳、鉻鎳鋼、鎳生鉄和鎳合金可以制造汽車、拖拉机、飛機、輪船和鉄路、动力、農業、碎礦、礦山、选礦及压鍛等机械中的鋼板和鉄板，轉动机件和易磨損机件、机床、工具、軸桿、螺栓、机軸傳动齒輪。鎳还广泛地用來鑄造金屬幣。

由于鎳具有磁性和導電性，所以純鎳是一种制造通訊和无綫电定位等現代儀器的最好的材料。

在电气工業中，用鎳及鎳的化合物可以制造陽極和鹼性蓄電池。一氧化鎳、氫氧化亞鎳及氮鹽、氮酸、硫酸等鹽類（鎳的硫酸鹽、鉀酸鹽、基）在化学工業中应用很广，特別是用它們來塗染陶器。

美國鎳的应用情况（战前年代）如下：

与黑色金屬熔鑄合金（鎳鋼、生鉄和特种合金）	63%
与有色金屬熔鑄合金（黃銅、青銅、蒙內尔金屬、白銅（ИНКОНЕЛ）、耐热合金、高电阻合金、可鍛鎳等）	26—28%
鍍鎳	6—8%
其他用途	3%

在美國熔鑄一噸優質鋼要用9公斤鎳，而鎳的需要量与鋼的总產量的比例平均为0.001。

在市場上銷售的鎳為最純的电解鎳，也有用电爐熔煉的火冶鎳，这种鎳中含有2—3%的鉄、銅、硫等雜質。

二、鎳的地球化学和礦物学

鎳是一种分布較广的元素，其重量克拉克值为 2×10^{-2} ，而原子克拉克值則为 6×10^{-3} 。工業礦石中鎳的含量高于地壳中鎳的平均含量（0.02%）达

100—200倍之多。

在火成岩之中，酸性岩中鎳的克拉克值較低(0.001%)，而基性(0.15%)和超基性岩(0.30%)中則較高。

鎳的氧化程度有數種，並且其特征是二價離子穩定，而價數為1、3、4、6的化合物則不穩定。鎳的大部分礦物乃是二價鎳的化合物。

鎳的地球化學特性決定了鎳在成因上是與基性和超基性火成岩有關係的。在自然界中，鎳呈硅酸鹽出現，亦能與硫和砷形成化合物。

在46種鎳的礦物中最重要礦物有下列幾種：

鎳黃鐵礦—(Fe, Ni)S，含鎳10—42%，鈷、鉬等元素的含量由0.4到1.6—2.0%。在銅和鎳的硫化物礦石中鎳黃鐵礦最多，可占礦石物質的20—50%。

鎳磁黃鐵礦—Fe_n和S_{n+1}。在銅鎳硫化物礦石中磁硫鐵礦含有鎳的類質同象混合物和鎳黃鐵礦的包裹體。鎳的含量由0.5到0.7%，而鈷可達0.18%。在硫化銅鎳礦石中鎳磁黃鐵礦的含量從10—20%到50—70%。

針鎳礦—NiS，含鎳由20—25%到64.7%，有時還含有一定量的鈷。

在鎳的岩漿和熱液型硫化物礦床中，針鎳礦乃是主要礦物中的一種。

紅砷鎳礦，含鎳36.3—43.9%。部分鎳在紅鎳礦中通常為鐵和鈷所置替。紅鎳礦是鎳、鈷、銀和鉍的熱液型脈狀礦床中的典型礦物。

輝鉑鎳礦——(Pt, Pa, Ni)S，產於含鉑族元素的綜合性磁硫鐵礦鎳礦石中。

鉑也含有砷鉑礦和硫鉑礦中。

在屬於鎳的硫化物、硫鹽及亞砷酸鹽族的其他鎳礦物中還應指出：紅錒鎳礦—NiSb、砷鎳礦—NiAs₂、輝砷鎳礦—NiAsS、粒輝鎳礦——Ni₃As₄、淡紅輝鎳鐵礦—(Ni, Fe)₃S₄、輝鐵鎳礦—(Fe, Ni)₃S₂。

硫化礦石中往往含有方黃銅礦、銅藍、白鐵礦、斑銅礦、輝銅礦、黃銅礦等伴生礦物。鎳和銅的比值由2:1到1:2，有時甚至更大些。礦石中鈷的平均品位不高，並且通常不形成單獨的礦物。鎳與鈷的比值在1:25到1:35之間。

鉑族元素在硫化礦石中的含量由痕跡到數克噸。

硅酸鎳具有巨大的實際意義。

硅鎳鎳礦(滑硅鎳礦)—NiO·SiO₂·H₂O 產於蛇紋岩風化殼中。其中鎳的含量為15—46%。當溶液中有SiO₂和高濃度的碳酸時，硅鎳鎳礦就會在弱鹼性或中性介質中分離出來。鎳鐵綠泥石和鎳綠泥石——

12NiO·3SiO₂·2H₂O，鎳的含量在18%到51%之間。鎳鐵綠泥石為非晶質(膠狀)礦物，而鎳綠泥石為晶質礦物。

鎳綠高嶺石乃是一種屬於鐵膠嶺石和鐵拜來石族的含水鐵質硅酸鹽。鎳綠高嶺石中NiO的含量由0.64到1.83%。

綠高嶺石是纖維蛇紋石、叶蛇紋石、絹石，即組成蛇紋岩、輝岩、角閃岩、輝長岩及其他基性和超基性岩的礦物的變質產物。

在硅酸鎳礦石中，分布較廣的礦物有：鎳海泡石、鎳質多水高嶺土、蛇紋石、鎳水云母、水綠泥石、含鎳水蛭石、蛭石、含鎳滑石、鎳玉髓—綠玉髓。

在硅酸鹽礦石中，鈷是組成鈷土礦和硬錳礦—沼錳礦的一種元素。錳鈷礦物(硬鈷礦)和錳鎳礦物(硬鎳礦)是這族礦物的典型代表。在較純的礦石中鈷的含量往往為2—10%。

鎳的二價離子半徑(0.78埃)與鎂離子半徑相等；與鈷離子(0.82)、鐵(0.83)和錳(0.91)的離子半徑相近。這一點可以說明鎳離子能夠類質同象地置替離子半徑與其相近的其他二價離子。

鎳、鎂、鐵、錳的類質同象，在鎳礦物的形成和遷移過程中起着重要的作用。

由於鎳和鐵、鈷、鈾、鉍等，皆屬於親鐵元素，這就決定了鎳的地球化學性質。

在高溫的熔融體中，鎳的親硫性很強，也就是說，它具有與硫、砷、銻和該族的其他元素相化合的性能。由於鎳具有這些特性，所以在早期岩漿階段鎳和鈷的硫化物就進行結晶。此外，鎳還可以與硫、砷、銻等元素形成低溫的熱液化合物。

鎳的親石性表現在由基性和超基性岩漿中可以形成含鎳硅酸鹽的造岩礦物。

對鎳來說，最大的特點是它在基性和超基性岩中的富集，即集中於硅酸鹽岩漿的分異產物之中。

在岩漿的分異過程中，由於冷卻、壓力減小、同化作用等原因，鎳就在橄欖岩和輝長蘇長岩中富集起來。

在基性和超基岩漿中，當缺乏或沒有硫時，鎳則跑到早期結晶的硅酸鹽中去，並類質同象地置替其中的鎂和鐵。此時，鎳主要集中於橄欖石和含鎂輝石(頑輝石、古銅輝石)之中。鎳在橄欖岩中較在輝石岩中更為富集。

早期硅酸鹽(橄欖石和斜方輝石)往岩漿源的下部沉陷，能够使鎳在分異侵入體的下部富集起來，在這裡，橄欖岩中鎳的含量可達0.2—0.3%。

当原生的硅酸鹽經受蛇紋石化时，鎳則在蛇紋石中保存下來。

如果岩漿中含有硫，則形成硫化物，由于分異作用液态熔融体可以分离成硫化物和硅酸鹽兩部分，鎳便在硫化物中富集起来。熔融体的分異作用乃是在溫度为1500度时發生的。液态硫化物在硅酸鹽之間結晶下來形成稀疏的侵染狀礦体，抑或往岩漿源的下部沉陷。

这样就形成了揮發物富集的殘余硫化物岩漿，这种殘余岩漿的活动性很大，时常向上遊移。在这种岩漿里，除了鎳的硫化物以外，还有銅、鈷、鉑族，往往也有鉄，它們也与硫合成化合物。

当熔融体冷却較慢时，硫化物在岩石中的分布亦較为均匀。鎳黃石的異离体是在硅酸鹽岩漿冷却較快，岩漿粘度較大时形成的。而位于与下伏岩石或圍岩接触帶附近的硫化礦体（邊緣礦体），則是当其分異出來之后熔融体急速冷却而形成的。

因此，呈鎳、銅、鈷、鉑族、硒等元素的綜合硫化物產出的鎳礦体，就是由于硫化物岩漿的液态分異作用而形成的。鎳在岩漿早期結晶產物中聚集的能力很强，因而在热液期中的鎳就很少。在中溫和低溫条件下形成的热液型鎳礦床，含有硫化鎳、硫砷化鎳和銻化鎳，并有 Co, Cu, Fe, Pt, Bi, Pb, Ag, Se 等元素伴生。

在基性和超基性火成岩分布区内形成的外生鎳礦床具有十分重大的实际意义，并且其分布地区很广。

鎳在外生条件下的迁移作用可以划分成下列几个階段：

1. 鎳与 Mg、Cu、Fe 一起溶解，并从原生礦物中析出；
2. 这些化合物被水溶液搬运到他处；
3. 鎳和其他元素的沉積，形成在外生帶中穩定的礦物。

鎳和其他低价陽离子一样，溶解得早，但沉淀較晚，因而它在溶液中的時間很長。

鎳和鈷在地表条件下發生的迁移过程中能与鎂和鈣分离，而在原生硅酸鹽中，鎳和鈷是与鎂和鈣紧密相联的。鎳和鈷在 pH 值近于 6.6 时就从溶液中析出，而鎂和鈣在 pH 值近于 10 时才能析出。

6.6—9.7 的 pH 值乃是鎳能够在溶液中穩定的最高 pH 值，若这种 pH 值再有所增加，鎳的化合物就要發生沉淀。SiO₂ 的凝結是在 pH 值等于 6.5 时發生的，因而氫氧离子的上述濃度对形成含水硅酸鎳最为有利。

鎳、鉄、鈷和錳在潛水面下的蛇紋岩中呈重碳酸鹽存在。当水中存在有过剩的碳酸时，重碳酸鹽就向

風化帶中游移。提高溶液的鹼度（pH）和排除过剩的碳酸，能使鎳發生沉淀。

鎳、鉄、鈷、錳在松散的風化壳中的分布情况，是由 pH 值随着深度增加，而 rH 值則随着深度降低來決定的。元素在其中沉淀的介質随着深度的增加，由酸性逐漸变成中性，而后則变成鹼性和富含 CO₂ 的介質。与此相适应，產于深处的礦物是在 pH 值高，而氧电位值—rH 值低时形成的。

在上部富含氧，当 pH=2.8 时氫氧化鉄开始沉淀，当 pH 值增加到 5 时，Mn⁺⁺⁺ 和 Co⁺⁺⁺ 就呈鈷土礦—沼錳礦析出，鈷土礦—沼錳礦后来經過再結晶作用，就变成水錳礦，最后变成軟錳礦。在鈷土礦—沼錳礦中往往含有 Ni⁺⁺⁺（三价离子）。

再往礦床下部，在介質的 pH 值达到 7—8，而氧的数量逐漸减少时，Ni、Co 和 Fe 就从溶液中析出来，这样就形成了鎳的多水硅酸鹽（硅鎳綠礦、鎳綠泥石）和含鎳的鎂硅酸鹽—鉄膠嶺石和鉄拜來石（含于綠高嶺石礦石中），含鎳綠泥石、多水高嶺土，也可能形成了氫氧化亞鎳，当鎳的多水硅酸鹽析出时，氫氧离子的濃度近于 6.8，而在綠高嶺土析出时，其濃度近于 8。

在較深的部位，靠近蛇紋岩附近，那里几乎完全沒有氧，pH 值增加到 10—11，便有菱鎂礦或鎂質多水高嶺土沉淀。

石灰岩附近，介質的鹼性有所变化，于是造成了一种提高鎳濃度的条件。当介質的 pH 值增加到 7.6 时，鎳的多水硅酸鹽就可析出。在較酸性的介質中，含水硅酸盐的数量將要降低，并且当 pH 值低于 6.8 时，它們就停止沉淀。

鎳的含水硅酸鹽礦物在炎熱帶气候或亞熱帶气候条件下生在超基性岩（純橄欖岩、橄欖岩、蛇紋岩）的風化壳內，有时，在石灰岩与蛇紋岩交界处的喀斯特盆地中与多水高嶺土族其它礦物共生。在蛇紋岩表壳上，有时可以見到鎳鉄綠泥石的假晶（并保存了蛇紋石的構造特征），这是鎳質交代，晶架中的鎳之后生成的。鎳質來自淋濾水，在風化壳上部由于超基性岩內原生礦物的分解，鎳質呈化合物状态溶入淋濾水中。

硅鎂綠礦在蛇紋岩風化壳中所处的層位比含鎳很少的含鎂水硅酸鹽礦物較高。

含鎳硅酸鹽往往都是鎳的吸收作用和鎳質替代簡單硅酸鹽和复雜硅酸鹽中的元素以及凝膠体的產物。其中又可分为鎂硅酸鹽（含鎳碧蛇紋石、海泡石、蛇紋石），含水鋁硅酸鹽（含鎳膠嶺石和拜來石），含水鉄硅酸鹽（含鎳綠高嶺土），鎂硅酸鹽、鋁硅酸鹽或鉄硅酸鹽（含鎳水綠泥石、水黑云母和鱗綠泥石，

漲綠泥石、含鎳水蛭石和蛭石)。

上述各種含鎳硅酸鹽礦物中以綠高嶺土的分布範圍最為廣泛，它在南烏拉爾蛇紋岩風化殼中，起着巨大的作用。

綠高嶺土可分為含鐵綠高嶺土和含鋁綠高嶺土兩種。鎳含於鉄膠嶺石的晶架中(同形雜質)，部分則構成吸附鹽基和氫氧化物。

在蛇紋岩、輝岩和角閃岩遭受風化的過程中，由於綠泥石(斜綠泥石、叶綠泥石、淡斜綠泥石)的水化作用，就產生了含鎳綠泥石、漲綠泥石和水蛭石。其中最常見的是含鎳叶綠泥石(漲綠泥石也屬此)。

綠泥石遭受風化後，水的含量逐漸增加，部分 FeO 變為 Fe_2O_3 ，部分 MgO 則往往被 NiO 所替代。

三、主要的鎳礦成因類型和工業類型

下面三種成因類型的鎳礦床具有工業意義：

1. 基性岩和超基性岩內的硫化鎳和銅鎳礦石的岩漿礦床，其中也含有銅、鈷和鉑組金屬，有時，還含硒、碲、銀和金。

2. 硫砷複雜鎳黃鐵狀熱液礦床，礦石中除鎳外還含鈷、銅、銀、及其它金屬。這一類礦床與基性、中性和部分酸性成分的侵入岩有關。

這一類中還包括含少量鎳和鈷的銅鎳礦(培什馬礦類型)。

3. 超基性岩中的風化殼礦床，它由硅酸鎳礦石和鉄鎳天然合金礦石構成。

就目前來說，鎳等金屬的硫化物沉積礦床可能有工業價值的問題還不清楚。這一類礦床產在超基性岩附近的古代湖泊盆地和沼澤盆地內或石灰岩的喀斯特岩洞和溶洞內。

鎳在地殼中的其它存在方式，通常都不具有工業價值，其中應該加以說明的有：

1. 基性和超基性岩內的岩漿型分散狀鎳礦。

2. 基性火成岩及其周圍的變質岩和沉積岩風化殼內的貧礦，這種礦由泥質岩層內的含鎳、鉄礦物構成。

基性及超基性侵入體內的硫化礦石中的鎳與銅、鈷和部分鉑組金屬共生的富集礦石具有巨大的意義。

這一類礦床中的儲量占工業上生產的鎳儲量的極大部分。在基性岩發育地區的陸相沉積層內，大量的鎳與鉄、錳、鉻和鈷共生，如果條件適合，就在基性岩地區生成有工業價值的含鎳氧化天然合金鉄礦床。硫、砷、鈷、銅、銀、鉍等綜合熱液礦床中所存在的鎳的意義極其微小。

蛇紋岩和橄欖岩風化殼內的鎳礦床，按其工業價值來說，占第二位。全世界的鎳儲量和鎳礦開采量

中，這一類型的礦床占很大的一部分。

根據形成礦石的地質環境和方式、物質成分、礦物的共生關係，具有工業價值的鎳礦床可分為內生礦床和表生礦床二種，表生礦床又可分為硅酸鎳礦和硫化鎳礦二種。

(一) 內生硫化銅鎳礦床

這一類礦床數目很多，但規模巨大的卻很少見。然而，全世界的鎳礦儲量主要都含在這些為數不多的礦床中。根據產狀條件和與圍岩的關係，其中可分為四類：

1. 緻密狀及浸染狀硫化銅鎳共生礦床：

它賦存於平緩的基性和超基性層間侵入岩(岩盤、岩盆、岩床)的下部(底部)層位。這一類型的礦床經常與蘇長岩、輝長岩(蕭德貝里、布什維爾德、英西茲瓦、挪威)、橄欖岩(蘇聯的鎳礦)、蛇紋岩和輝岩(英屬哥倫比亞)有地質上的聯繫。蘇聯的某些礦床則產在輝長岩和輝長輝綠岩內。圍岩在地台及古陸地區內呈平緩狀以及水平狀或向斜層狀產出，是標準的整合侵入體。在深部的礦層內，礦石的成分極為穩定，礦物共生組合一般都較簡單。

主要的金屬礦物有：磁黃鉄礦、鎳黃鉄礦、黃銅礦和磁鉄礦。礦石內除鎳以外還含銅、鈷、鉍、鉑、金和銀，含量能達到工業要求，有時還含有硒和碲。在深度不大、接近地表的條件下，例如，在與暗色岩密切相關的鎳床(諾里爾斯克)中，上述礦物共生體之上為溫度較低的礦物共生體，其中有針鎳礦、淡紅輝鎳鉄礦(FeNi_2S_4)、含鎳黃鉄礦等由於硫在殘余溶液中富集而富含硫的硫化礦物。

這一類的礦床通常都是岩漿礦床，由於岩漿的分凝、結晶和冷卻而形成。硫化物熔體在分凝過程和重力分異過程中進行分離，使硫化物礦石賦存於侵入體的底部。硫化物熔體進行結晶時，往往圍岩都遭受蛇紋石化、綠泥石化等岩漿期後的蝕變作用。

礦石的海綿狀金屬結構分布很普遍，但在礦石中也可見到硅酸鹽被金屬礦物交代替換的現象。這樣的事實就可以作為斷定熱液參與成礦作用的根據。

周圍的侵入體往往呈片理化(南非的布什維爾德岩系可以作為例子)，此外，硫化物礦體賦存於侵入體底部或頂部的一定層位，或者在某一定岩石成分的岩層所控制(布什維爾德岩系中的密林基礁)。

由於進行分凝作用的地点、岩漿源深度、硫化物熔體內揮發組分的含量、內壓力、外壓力以及其它條件的不同，硫化物的離析作用可以在侵入體的下部(深度)進行，也可以在上部即在侵入體冷卻緩慢并

逐漸凝固的條件下進行。離析出來的硫化物可以在原處的硅酸鹽礦物之間結晶（海綿狀晶鐵結構），但如果在上部層位形成結晶，則往往呈點滴狀下沉到侵入體的底部。有時硫化物還會漂浮上來，換句話說，就是與揮發份一起浮到侵入體的上部來。硫化物因重力作用而下沉時，由於岩漿具有粘滯的特性，可能不沉到侵入岩的底部，而就在較高的層位富集起來，硫化鎳礦的底部礦體或“懸垂”礦體就是這樣形成的。

重力作用和浮游作用過程往往會因基性岩漿同化酸性圍岩而變得複雜起來。

這一類型的礦床大部分都屬於前古生代或下古生代，有時屬於下中生代。

按礦化現象的性質，可分為緻密硫化礦床和浸染礦床兩種。這一類型的礦床往往規模都很大，礦石的品位較高，鎳含量自2—4%以上，銅含量自1—12%。

屬於浸染礦類型的有蘇聯各礦床（諾里爾斯克、蒙契格原）的底部礦體和“懸垂”礦體。加拿大蕭德貝里礦床的許多礦體則由緻密的鎳礦石構成。

銅鎳硫化礦石乃是鎳的最主要的來源（占世界產量的85—90%）。從這種礦石還可以開采出大量的銅和白金組元素。

在蘇聯，大批的地質工作者都曾在A. E. 費爾斯曼、B. K. 科圖爾斯基、H. A. 叶利塞耶夫、A. A. 格拉茲科夫斯基、A. Г. 別捷赫琴等人的領導下從事過該類型礦床的研究工作。

2. 角礫狀、緻密狀、條帶狀中、富浸染礦石的后生礦床

礦體賦存於蛇紋岩與沉積岩或噴發岩圍岩的接觸帶內的構造帶中。透鏡狀和似層狀的礦體、硫化物礦株的規模可以是很大的，傾斜平緩或陡直。

圍岩為橄欖岩、輝岩、輝長岩、蛇紋岩以及千枚岩和片麻岩。

主要的金屬共生礦物有磁黃鐵礦、鎳黃鐵礦、黃銅礦，非金屬礦物中主要的有鉄鎳硅酸鹽、石英和長石。礦石中最主要的組分為銅、鎳、鈷和白金組元素，較之底部礦體和“懸垂”礦體更為富集。

該類型礦床的成因與分凝作用、重力分異作用後的硫化物岩漿向同一岩漿源的上部已經凝固的部分或接觸帶運移有關。硫化物岩漿在高压的條件下與硅酸鹽類岩漿一起或單獨貫入，生成含礦角礫岩。通過同樣的方式在劇烈的構造運動的條件下形成了黃鉄礦或含礦角礫岩的所謂的“邊緣礦體”。

由此可見，賦存於侵入岩體與圍岩地層接觸帶內擠壓帶與角礫岩帶中的硅酸鹽礦和密集的浸染礦礦體，是屬於岩漿貫入類型。其中的硫化礦的富集是因

硫化物物質流動性較大而形成的。在這種礦體附近的圍岩內，時常生成主要由流動性較大的硫化物-黃銅礦一構成的細網狀礦石。這種鎳礦與似脈狀和脈狀型礦床相互過渡。

3. 表成脈狀硫化礦床：

這類礦床賦存於基性和超基性岩的裂隙中（或裂隙群中）以及含礦侵入體的內接觸或外接觸帶的裂隙帶中。脈狀及似脈狀礦體的形成，還有一種方式，就是硫化物熔體貫入到母岩冷縮裂隙及圍岩由片理化而形成的裂隙中。與裂隙的性質相適應，就產生了規則的、不規則的脈，在各種裂隙的交叉處，就形成了管狀礦體。按形狀和產狀脈狀礦床可分為：

甲、陡傾斜的簡單脈：一般呈階梯形，接觸界綫很清楚。這類脈是由緻密狀硫化物構成（如磁黃鉄礦、鎳黃鉄礦、黃銅礦），沒有非金屬礦物，只是有時在脈的邊緣部分見有長石，圍岩多是輝石岩和橄欖岩。

乙、形狀複雜的脈，一般呈分叉狀，系由角礫岩細絲構成；有時為塊狀硫化礦石構成。個別脈的特点是厚度、成分和產狀均不固定，但是總的說來它們一般都構成很大的脈狀瘤狀體，而賦存於侵入體接觸帶內的一個方向或兩個方向的裂隙中。圍岩是輝長-輝綠岩、輝綠岩和其他噴出岩、以及砂岩。有些脈的成分主要是磁黃鉄礦和鎳黃鉄礦，而在另一些脈中則以黃銅礦為主。金屬物的富集程度，也就是說有用組分的富集程度一般都很高的。在某些脈里以鎳為主，而在另一些脈中銅和鉑族元素的含量均可達到可采的程度。

與浸染狀礦體相比脈狀礦床的規模和礦石的儲量是不大的，但是它們都含有大量的鎳、銅及鉑族金屬，這樣就決定着它們具有很大的工業價值。

產有這種富礦石的構造是生成於侵入岩凝固以後，它們甚至穿插於侵入體的脈狀特生岩之中，由此可見在年代上比這種岩石較為年輕。塊狀和角礫狀的礦石於裂斷帶中形成扁豆體和脈狀體，或者呈板狀體產出，該板狀體具有很顯著的脈壁，在脈壁附近，圍岩未受到熱液蝕變。

脈狀體的特点是礦石中黃銅礦及鎳黃鉄礦起着較重要的作用，這就決定了礦石有較大的價值。這些硫化物較磁黃鉄礦為活潑，因此它們最先從該礦體中析出。對硫化礦脈來說，最大的特征是具有富含鎳的早期鎳黃鉄礦斑狀分泌體，在早期分泌體發生後緊接着就有磁黃鉄礦分泌出來，同時並伴有第二期柔性鎳黃鉄礦的分解（該期含鎳較貧）。

所有脈狀礦床礦石的特点是磁黃鉄礦，鎳黃鉄

礦，黃銅礦和磁鐵礦與少量砷化鈷，砷化鎳混雜物以及鉑族礦物和鈮族礦物的雜質相伴生。

在礦脈的形成方面，有些地質工作者對熱液從深部將硫化物帶出這一點給予很大的意義，脈狀礦石熱液成因的依據是其中有碳酸鹽及石英存在，而岩石碎屑沒有熱蝕變，同時礦石并有賦存于斷裂帶的特性。銅鎳硫化物礦石生成的溫度不高，大約相當于中溫熱液礦床形成的溫度。在礦石中硫化物一般是在最後才析出來，并在浸染狀礦石中溶蝕硅酸鹽礦物，甚至溶蝕的磁鐵礦具有鈦磁鐵礦分解格架的磁鐵礦。礦石中沒有隕硫鐵存在，這證明，硫化物結晶的溫度不超過300°經過熔離作用而分離出來的流動的液態硫化物與熱液不同的是其中水的作用不大，這就表現不出或者只輕微地表現出近礦熱液蝕變現象，並且在與塊狀礦石的接觸帶處象橄欖石一類的易于受水溶液分解的礦物仍然保存很好，且很新鮮。

4. 共生或後成礦床呈礦條，礦株，礦巢，扁豆體和不大的層狀體產于侵入體中間和侵入體的接觸帶

上，或圍岩之中。這類礦床的圍岩是輝石岩，橄欖岩，蘇長岩，輝長石，輝綠岩及片麻岩等。其金屬礦物的共生組合與其他類型之硫化物礦床相同。礦石由緻密塊狀硫化物構成，而這種緻密塊狀礦石四周常為浸染狀礦石所包圍。

這類礦床是因受熔離作用，結晶分異和重力分異而形成，也可以由于揮發性組份的浮游作用或硫化物的貫入而形成。在褶皺作用過程中當壓力很小時，硫化物與硅酸鹽一齊貫入會導致礦條狀硫化物礦床的形成。

尚有一種緻密狀硫化物礦條，呈水平狀產于雜斑狀輝長-輝綠岩侵入體的底部。硫化物中常以磁黃鐵礦為主，而在礦石中尚有含量較高的銅。其他一些礦床的硫化物呈礦條，礦巢，細脈以及不均勻的浸染體產于扁豆狀，礦株狀侵入體中。金屬礦物的含量在礦株的底部有所增高。按金屬的含量礦石可分為貧礦，中等礦（網狀礦）和富礦三種。富礦呈礦巢，樹枝狀細脈產出硫化物的含量到30—40%。（未完）

編者按：本文是地質部1958年7月在雲南召開的鎳礦專業會議文件，下期陸續刊登。



地質新聞

斷層擦痕新知

關於斷層擦痕，布雅洛夫在其所著之構造地質和野外地質學一書中寫道：“擦痕經常成楔形，其尖滅方向和对面的斷層壁滑動方向相一致。……，順着滑動溝向一個方向用手摸時，可以感到滑動溝是平滑的，向反方向摸則是鋸齒般粗糙的。由此可以斷定，斷層的另一壁的滑動一定是順着面的平滑的这个方向發生的”。在其他的構造地質學書籍中，以及我國各地質院校、系的構造地質學講義中，均有類似的描述。但是，根據我們在野外所作之斷層擦痕的觀察，發現上述的原理，並不是在所有情況下都是正確的。首先，在觀察時應考慮到斷層兩盤的岩性條件，當一盤是砂岩，而另一盤是泥岩時（或其他類似情況），則往往在泥岩的斷面上很容易找到擦痕。這種擦痕的情況，就恰恰與上述的原理相反；這主要是因為泥岩硬度低，故被捲入斷層面間的岩石碎塊或砂粒，不能齧粉，相反卻被壓而逐漸地隨着滑動而嵌入了泥岩之中，形成了楔形的擦痕，其尖滅方向和对面的斷層壁滑動方向是相反的。這種情況在我國西北是常見的。

（黃第藩）