

选 矿 工 艺

镍 矿 石

矿物组成及矿石类型

目前已经知道的镍矿物达45种之多；其中最常见的几种如表1所示〔312、46〕。工业矿石中的镍不仅在镍矿物中含有，而在其他矿物中也夹有镍的类质同像混合物。其中最主要的矿物

最主要的镍矿物

表 1

矿物名称	分子式	含 镍 量 %	硬 度	比 重
针镍矿	NiS	64.7	3~4	5.2~5.6
镍黄铁矿	(Fe, Ni) ₉ S ₈	21~30	3~4	4.6~5.0
辉砷镍矿	NiAsS	35.4	5.5	5.6~6.2
砷镍矿	NiAs ₂ ~2	21.2~14.5	5.0	6.3~7.0
红镍矿	NiAs	43.9	5.5	7.3~7.7
镍华	Ni ₃ [AsO ₄] ₂ ·8H ₂ O	37.5	2.5~3	3.0
硅镁镍矿	Ni ₄ [Si ₄ O ₁₀] [OH] ₄ ·4H ₂ O	15.46	2~3.5	2.3~2.8
硅镁镍-多水 高岭土	n[Ni Mg] ₄ (SiO ₁₀) ·(OH) ₄ × × 4H ₂ O - (100 - n) [(Al, Fe) ₄ × × (Si ₄ O ₁₀) · (OH) ₈ · 4H ₂ O]	0~45		
镍铁绿泥石	(NiMg) ₆ ·[Si ₄ O ₁₀] ·[OH] ₈	18~51	2.5~3.0	2.7~2.8

是鎳磁黃鐵礦，它含有0.7%鎳。

含鎳礦物可以分為兩大類型：1) 鎳的硫化礦物、砷化礦物的一部分銻化礦物——岩漿礦床和熱液礦床礦物；2) 含水硅酸鹽和其他氧化物——礦床和含鎳岩石的風化侵蝕產物。

在鎳的硫化物中分布最廣的是鎳黃鐵礦，其次為砷鎳礦和紅鎳礦。在含水硅酸鹽礦物中最常見的是鎳鐵綠泥石和一系列硅鎂鎳礦物。

針鎳礦比較少見，它大部分是在熱液礦床中，有時在銅鎳硫化礦石中為後期熱液礦物，是鎳黃鐵礦的轉化產物。在脈狀熱液礦床中，它常與下列礦物伴生：硫鈷礦(鈷礦物的)、輝砷鎳礦、方鉛礦、螢石、方解石、石英等。

鎳黃鐵礦幾乎全部賦存在基性和超基性噴出岩中(輝綠岩、橄欖岩等)與磁黃鐵礦和黃銅礦共生。與它結合在一起的還有磁鐵礦和鉑的礦物。鎳黃鐵礦是熔煉鎳的主要來源(約占全世界鎳產量90%)。

輝砷鎳礦多半賦存在熱液礦床中與其他鎳的硫化礦物及砷化物共生。

砷鎳礦只出現在熱液礦床中與鎳和鈷的砷化物共生。

紅鎳礦多半在脈狀熱液礦床中見到，與其他鎳砷化物伴生有時也與自然銻相伴生。

鎳華僅僅存在於含鎳砷化物原生礦的礦床氧化帶中，它為原生鎳砷化物的轉化礦物。

硅鎂鎳礦的形成是基性岩和超基性岩(如純橄欖岩、橄欖岩等)由於受熱帶和亞熱帶氣候強烈風化作用的結果。所有硅鎂鎳礦幾乎都含有15%以上的氧化鎂類質同像混合物。由於外因呈細礦脈與石英結合在一起。

硅鎂鎳多水高嶺土是在超基性岩風化過程中形成的。

鎳鐵綠泥石只有在超基性噴出岩體的風化殼中可以看到。

鎳的工業礦床可以分為三種類型〔4、46〕：

1. 岩浆熔离矿床，它的形成是岩浆熔离的结果并与超基性岩浆有密切联系；

2. 热液矿床，是在热液溶液里于镍的后期聚集过程中形成的；

3. 硅酸盐矿床，它是由含镍的超基性岩（纯橄榄岩、橄榄岩及其衍生物——蛇纹岩）风化作用的结果而形成，并在风化遗留产物中以氧化硅酸盐的形式聚积成工业品位的镍。

在这三种矿床类型中，岩浆熔离矿床具有最大的价值，而热液矿床价值最小。

岩浆熔离矿床是世界上开采镍矿的主要来源。这种铜镍矿床在成因上和空间上与基性岩石有关：如苏长岩、辉岩、橄榄岩，有时与正常辉长石和辉长-辉绿岩有关。属于这种类型的著名矿床有：肖德别尔（加拿大）、蒙契苔原（苏联科拉半岛）、彼阡加、诺里尔斯克等。

岩浆熔离铜镍矿床又可分为两类：1）致密块状矿石矿床；2）浸染状矿石矿床。

致密块状矿床的矿石形成于地壳的裂隙、断层和断裂的地带中，致密的硫化矿石也能沉积在这些地方。按照矿体特性它们又分为矿脉、矿层和矿化岩脉三种。最富的是脉状矿床，它含铜、镍的总品位可达8~10%。依据围岩的构造结构矿脉的产状可以是垂直或水平的。矿脉矿石的结构是致密的，有时是斑状或带状的。矿层则具有大形板状并且通常位于侵入岩的接触带上，然而有时与接触带交叉成锐角。在矿层中角砾状矿石很发育。

矿化岩脉生成于侵入岩侧一定的构造断裂带和断层中，同时延伸很深（例如肖德别尔有1200~1400米深）。这种岩脉的矿石常形成致密浸染状与角砾状，它们由硫化物胶结的围岩碎片构成。一般在角砾状矿石中含2~4%镍，0.8~5%铜。

致密矿石的矿床规模能够很大，例如加拿大的弗鲁德矿床走向延伸2公里以上，延深达1000米，而最大的矿体厚度达100米，

矿石储量超过140,000,000吨。

浸染状矿石矿床是岩石被硫化物浸染了的矿化带。在这种矿石中硫化物的工业富集是由于重力作用的结果，即由于从岩浆中析出的硫化物小滴，比其他部分比重较大，故在岩浆凝固前浸沉在岩浆矿床的下部。当然也有另一种情况，硫化物的工业富集是由于一种类似浮选作用的过程，就是说硫化物随着岩浆内的气体一起上升，在这种情况下，矿体就会处在侵入体的上盘及顶板围岩的下部。

浸染矿石的矿体可以有很大的规模，面积可达数平方公里；平均厚度5~10米，最大厚度有时达60米。在致密硫化矿床和浸染矿石矿床中，通常在地表露头的地方深10~15米的氧化带。在氧化带中镍被强烈的侵蚀，常常会使这种矿石失去工业价值。但与此同时，在这个地区中贵金属（铂和钯）却被富集，从这点上来看，这种矿石有它的特殊价值。铜在氧化带中呈碳酸盐与硅酸盐存在，也有时呈次生硫化物存在。磁黄铁矿变成了褐铁矿。在致密矿石中氧化带与硫化带被一层不厚的（15~20米）烟灰状矿石和次生白铁矿所分开。而在浸染矿石中氧化带与硫化带之间是逐渐过渡的。这种矿石的氧化程度对于选矿有很大意义。

硫化矿中主要的金属矿物有含镍磁黄铁矿、镍黄铁矿和黄铜矿。这三种矿物通常占有所有金属矿物的30%以上。其中磁黄铁矿分布最广，其次是镍黄铁矿和黄铜矿。除此以外，还可以遇见下列一些金属矿物，如磁铁矿、黄铁矿、方黄铜矿、钛铁矿、铬铁矿、闪锌矿和铂矿物等。尚有少量的次生矿物，如白铁矿、硫铁镍矿 $[(\text{Ni}, \text{Fe})\text{S}_2]$ 、辉铁镍矿 (Ni_3S_4) 、铜蓝、辉铜矿和斑铜矿。在这种矿石中主要脉石（硅酸盐的）矿物有：橄榄石、斜方辉石、单斜辉石和斜长石。一般尚有少量次生脉石矿物如：滑石、绿泥石、阳起石、角闪石和云母。有时这种矿石中也含有石英和碳酸盐。

浸染矿石中硫化物通常占总量的2到10~12%，很少达到15

~20%以上。在角砾状浸射矿石中硫化物的含量可达50~70%，而在脉状致密硫化矿石中可达90~95%。随着含硫化物的不同，矿石比重波动在2.9到4.5之间。在硫化矿石中主要有用成分是镍和铜。

在镍的原生矿石中常见的有三种主要形态：

1. 单体的镍硫化物（镍黄铁矿、针镍矿、辉铁镍矿等）——这是主要部分。
2. 类质同像混合物（固溶体）在磁黄铁矿中——占很大的数量。
3. 硅酸镍——在橄榄石中氧化镍的类质同像混合物。

在硫化矿床中硅酸镍的平均含量通常介于0.005~0.01%到0.25~0.35%。在这种矿石中铜几乎全部呈黄铜矿存在。

在硫化铜镍矿石中，其他的主要成分有铂和铂族金属。它们以单体金属状态出现，或以硫化物的固溶体出现。所以它们大部分与磁黄铁矿连生在一起，少部分与黄铜矿连生。在铜镍矿石中有价值的混合物是钴，钴绝大部分与镍黄铁矿有联系。在这种矿石中钴的含量与镍的含量成正比，前者为后者的3~4%，在这种矿石中也含有少量的金和银。

致密硫化矿石含镍大于1%，而浸染矿石小于1%，很多企业用这一条件来区别这两种矿石。

在热液矿床中，镍与下列实际上是最重要的含镍矿物聚合体有关：铜和多金属；含镍黄铁矿和磁黄铁矿的铜和钴，在铋银铀层系中的钴和其他金属。这种类型矿床在世界上所生产的镍不超过2~3%。在采镍的同时顺便可以得到铜、银、钴、铀等。镍在黄铁矿和磁黄铁矿中主要是呈类质同像混合物而存在，也可呈辉砷镍矿、针镍矿、粒辉镍矿等存在。

属于这种类型矿床的有苏联的达什克桑斯克、民主德国的史奈堡和安纳堡，捷克斯洛伐克的雅希莫夫、加拿大的寇巴里特。

硅酸镍矿床其镍的生产量仅占世界总产量的10~15%（不包

括苏联)。

硅酸镍矿床的形成是由于超基性岩主要是蛇纹岩在潮湿和炎热的条件下,有时是在潮湿和干燥的更迭时期,经过化学和物理风化作用而产生的。虽然在变化前的超基性岩中镍的含量很少(仅0.2%以下),但是在风化过程中岩石的其他组成部分逐渐分解和镍的不断富集后,它就成为具有工业品位的矿床。

在这种矿石中主要的含镍矿物是镍的含水硅酸盐(硅镍矿、镍铁绿泥石)、铁的含镍水硅酸盐(绿高岭石)、铝的含镍水硅酸盐(多水高岭石)、铁的氧化物和锰的氧化物。这种矿床由于含镍量的不同,形成了由镍矿到铁矿的一系列矿床。镍矿床的矿石用来提取金属镍及其盐类,而铁镍矿床的矿石则用来生产铁和钢。

在乌拉尔,硅酸盐矿床分布很广,根据产状,原生岩石的组成和构造结构分为三种地质类型:

1. 斗蓬状或大片状矿床分布在南乌拉尔和局部中乌拉尔。它们占有比较大的面积,而且具有垂直分带的特征。上部地带矿体厚度4~5米,富集有铁但含镍较少。中部地带厚2~3米到10~15米,有时达30米,是主要的矿带,含镍品位比原生蛇纹岩高5~10倍。下部地带厚5~25米,此处镍形成单独的矿物(硅镍矿及其他)或吸附在二氧化硅上。再下面是菱镁矿带,这是由于岩层上部的镁盐浸析沉淀而形成的;再继续向下是不变的蛇纹岩。在这种矿石中钴作为次要成分存在。在大片状矿床中储量一般是很大的,并且按生存条件可以进行露天开采具有宽大的工作面。

2. 裂隙型矿床的形成是由于沿着蛇纹石体构造的破坏带的风化作用的结果,它们经常扩展到很深(达150米)。这种矿床的镍常呈硅镍矿形式存在,也有成镁的和纤维蛇纹石的含水硅酸盐类质同像混合物的形式存在。从含镍品位来看它比大片状矿床的矿石要富,然而储量和规模却比较有限。

3. 接触卡斯特型矿床产于蛇纹岩与沉积变质围岩(主要是

石灰石)的接触带中。这种风化产物聚集在大理岩表面的卡斯特空洞中,靠近大理岩与蛇纹岩接触带。在此种矿床中主要的含镍矿物是硅镍矿和其他含镍硅酸盐及含镍多水高岭土。它们主要聚集在卡斯特空洞的底部及四壁。非金属矿物有石灰石,滑石、粘土及绿泥石等。这种矿石与其他所有硅酸盐矿床的矿石不同的地方就是含水量很高,达到20~30%。

除了以上三种最主要类型的矿床(岩浆、热液和硅酸盐)外,罕见的有含硫化镍的湖沼型矿床,在南乌拉的艾德林(Айдырлинское)矿化区就是这样的矿床。这里主要的金属矿物是针镍矿和镍的亚硫化物等,共生在一起的还有白铁矿和黄铁矿。这种硫化物的形成可能是由于第四纪湖沼的硫化氢发酵的结果。

镍矿石的选矿方法

目前对镍矿的选别仅限于硫化镍矿,主要是铜镍矿,其次是少量的选别砷化镍矿。硅酸镍矿的选矿方法尚未得到工业上的应用,仍处于研究阶段。

含镍在1%以上的大部份镍矿石以及含镍大于3%的全部矿石,可以直接送去冶炼,不需预先进行选矿。含镍从1%到3%而有时更高一些的矿石,主要是当其含相当数量的铜的情况下,才进行选别。根据矿石中其他有用矿物成份的含量,镍矿石含镍边界品位在0.1%~0.25%之间〔46〕。

镍矿在较少数数的国家中发现,而且仅在几个国家进行大量开采。选别镍矿也仅仅在两个国家——苏联和加拿大。这两个国家主要是从铜镍硫化矿石中生产镍。

在选别镍矿时,获得的精矿中含镍比较低是其特点之一。精矿中含镍在10%~15%时就算是很富的,但得到这种精矿是很稀少的〔如林-来意克(Линн-Лэйк)选矿厂的例子〕。一般精矿含镍在3%~6%范围内波动,它完全可以满足冶炼加工的要求

(下限的范围为2~2.5%)。这是由于被选别的矿石中常常遇到镍在其他硫化矿物内呈类质同像混合物(主要是在磁黄铁矿中)。镍矿物本身很少单独形成聚合体,一般都分布在硫化矿物中(主要是磁黄铁矿和黄铜矿)。

铅是精矿中的有害杂质,因为这种金属即使含量不高,也会引起镍的热脆性。铅在精矿中不应超过十万分之几。如果原矿中的硫带到镍金属里的数量超过0.03~0.05%,就会引起镍的热脆性,因而过多的硫在精矿中是有害的。硅和碳含量的增高会降低镍的展性,但是,含少量碳素时(0.3%以下)是有益的,因为能提高镍的硬度和强度。铜是有害的杂质,可是允许它存在,因为镍矿石中铜的数量虽然不多,但常常都含有铜,在选矿时是不能完全除掉的。假设铁和钴的含量不过分高(不大于0.5~1.0%),除了个别情况使用的镍之外,是没有损害的。预备做合金钢和铸铁用的镍,其含铁量是不规定的。用镍来作特殊的热电合金时,钴应当完全不存在。

送去熔炼的矿石中或精矿中的二氧化硅是必需用来造渣的成份,其含量一般波动在10%~20%之间。当其含二氧化硅较低时(一般在硫化矿物精矿中有时是这样),在冶炼前的配料中要再添加二氧化硅。在矿石或精矿中含二氧化硅过高时会引起难熔性增大,或形成粘滞性炉渣,因此它不应当超过30%~35%。在精矿中氧化镁是愈低愈好,因为有这么成份会增加熔炼炉料的温度。一般它的含量不应超过5~9%,最好是2~5%。在精矿中氧化铁(FeO)应当比二氧化硅高些,因为它可以增大易熔性和炉渣流动性,其含量最高为35~40%。氧化铝含量为10~12%时,在冶炼过程中没有坏的影响。当其含量很高时,会增高熔炼温度。氧化钙在精矿中实际没有作用,因为冶炼处理过程中还要添加石灰石。

选别镍矿是采用手选,选择性破碎(筛分),磁选和浮选。硫化镍矿中仅仅在硫化镍,硫化铜和硫化铁矿物充分呈粗粒

聚合体形式时，而且它們很少分散在脉石中的情况下，才可以采用手选。硫化矿物有光亮的黄颜色，金属光泽，有很明显的结晶构造，它与极细粒晶形的脉石聚合体有显著的不同，从脉石的外貌规律上看，呈黑色的和暗淡的，特别是在手选处理之前，如果进行洗矿则更为清楚。手选氧化镍矿的可能性也不例外，因为，氧化镍矿物一般是很好区别的，与围岩有显明不同的颜色。但是，关于采用该方法选别氧化镍矿在文献中还没有遇到。这是由于氧化矿中的镍强烈的分散在岩石中，并且，在其中很大程度内呈类质同像混合物存在。

“北镍”公司选矿厂采用手选作为一种选矿方法一直用到卫国战争时期〔18、37〕。那时仅开采尼吉斯-庫穆日約(Нигис-Кумужье)矿区厚矿脉的矿石，用手工挑选出5~10%的废石量〔19〕，然后获得富精矿。首先原矿在条格筛上进行筛分，分成+200毫米和-200毫米两个粒级，然后用手工从该两粒级中选出废石。同时+200毫米粒级再用人工破碎。目前该选厂对粗粒级矿石仍采用手选，须从尼吉斯-庫穆日約矿区开采细矿脉和中型矿脉中得到粗粒级矿石。过去和现在（从1952年起）是有区别的，因为矿石中硫化物和非硫化物的数量之比有所变化，从矿石中挑选出的不是废石而是硫化物和连生体。

对硫化镍-铜矿石采用选择性破碎（筛分）的方法，主要是在硫化铜，硫化镍和硫化铁矿物易碎性比较大的情况之下。因为这样在采掘、运输和破碎之后，其结果是硫化物有部份富集到细粒级中。

选择筛分于1947年在“北镍”公司选矿厂采用，作为一个选别工序。由于尼吉斯-庫穆日約矿区是由厚矿脉向中型矿脉开采的过渡阶段，同时他们也采用磁选方法。“北镍”公司选矿厂从1947年起实行的流程是由筛分（按35~9毫米）、手选和磁选方法组成。—9毫米粒级本身作为合格精矿，直接送去冶炼处理。—35+9毫米粒级给到两次选别的磁选作业（第一次选别是将非

磁性的成份全部除淨)。粗粒物料(350+35毫米粒級)进行洗矿,然后再去手选。

按上述流程所获得总的結果列于表2〔19〕。

从表2可以看出,用选择篩分方法立即得出产率为23%左右的精矿,选矿比为1.6。用选择篩分方法回收精矿中的镍占原矿中全镍的1/3还强。手选也得到很高的效率;获得的精矿含镍为4.8%(选矿比为3.1),产出率为8%,镍的回收率为25%。

尼吉斯-庫穆日約矿山在处理厚矿脉和中等厚度矿脉矿石时的选矿指标

表 2

产 品	产出率 %	品 位 %			回 收 率 %		
		Ni	Cu	Co	Ni	Cu	Co
篩选的細粒級	22.8	2.46	1.30	0.11	36.7	41.4	36.9
手选精矿	7.9	4.80	1.94	0.21	24.8	21.2	23.5
磁选精矿	11.4	3.30	1.60	0.145	24.6	25.0	23.5
洗矿的矿泥	0.1	2.38	1.04	0.097	0.2	0.2	0.2
总精矿	42.2	3.13	1.50	0.14	86.3	87.8	84.1
磁选尾矿	16.4	0.75	0.35	0.032	8.2	8.1	7.6
手选尾矿	41.4	0.198	0.07	0.014	5.4	4.1	8.3
原矿	100.0	1.53	0.72	0.07	100	100	100

由于硫化矿物的易碎性和硫化矿物能富集到細粒級中去,因而洗矿的矿泥也就是选別了的硫化矿物(是指含镍的)并可以将其与精矿合併。

在选別镍矿时,采用磁选方法的可能性,是磁黄鉄矿具有很高的导磁性作为先决条件(平均等于 $5000 \cdot 10^{-6}$)。当镍呈镍磁黄鉄矿形式存在时,矿石才用这种选別过程,而且主要硫化矿物是磁黄鉄矿,其余的(镍黄鉄矿,黄銅矿等)与其紧密連生。这必須硫化物形成十分粗粒集合体。一般磁选采用圓筒型干式磁选机,其磁场强度平均在1500~3000高斯。“北镍”公司所处理的中型矿脉和細矿脉矿石,曾在苏联选矿研究設計院作过流程的研

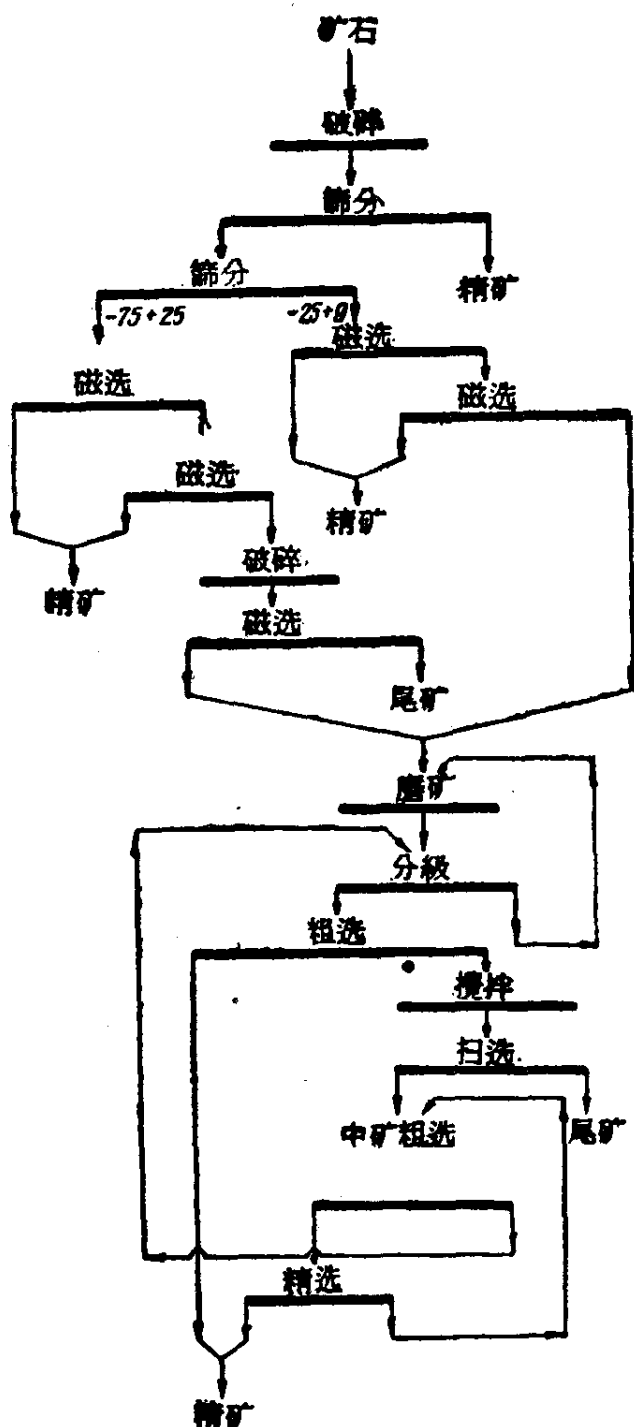


图 1 选别镍矿石的磁选-浮选流程
图 1 所获得的实际数据与表 3 所列举的是不同的，因为按着这个流程生产是预计处理所有的矿石，而手选-磁选装置应该停止生产。实际上这是不现实的，以前曾提出过，这两套装置应同时生产。

究，其流程包括磁选和浮选（如图 1）。该流程于 1950 年在选矿厂生产过。而目前手选-电磁选矿装置（以前叙述过）与新的磁选-浮选选矿厂同时使用。

依照苏联选矿研究设计院用磁选-浮选所进行试验的流程（如图 1）生产时，所获得的指标列于表 3 [19]。

从表 2 与表 3 的资料比较可以看出，磁选-浮选流程中磁选部分的作用比手选-磁选流程部分为高：在磁选-浮选流程中的磁选回收率占全镍的 45%，而在手选-磁选流程中的磁选方法镍的回收率为 25% 左右。选择筛分方法的回收率略有降低，而浮选部分镍的回收率仅为 7.5%。按流程

按流程图 1 生产所得到的选矿指标

表 3

产 品	产出率 %	品 位 %		回 收 率 %	
		Ni	Cu	Ni	Cu
精矿:					
选择筛分(-9毫米 粒级)	18.1	2.5	1.42	36.4	35.6
磁选	13.2	4.18	2.49	45.1	45.6
浮选	2.6	3.50	3.50	7.5	12.8
总计	33.9	3.24	2.12	89.3	94.0
尾矿	66.1	0.20	0.07	10.7	6.0

在加拿大的寇别尔-克里夫 (Коппер-Клифф), 法尔康-布利兹 (Фалкон-бридж) 和马克-科姆 (Мак-Ким) 选矿厂 [33] 都采用手选, 选择筛分和磁选法。

采用重选法选别镍矿, 仅仅是作为检查和补充作业 (摇床是用来检查浮选尾矿之用, 以充分回收硫化物, 溜槽是用来从浮选尾矿中再回收较细的硫化物和贵金属, 而且摇床也可用来精选溜槽之精矿)。

由于苏联存在着很大数量的矿床是氧化镍矿石, 所以关于氧化镍矿的利用是苏联镍工业上极迫切的问题。

目前从氧化镍矿中利用镍, 只是按其含镍的品位要求能够利用火法冶炼来处理, 并不预先选矿。其余的矿石是在预先选矿的条件下才有可能被处理。暂时剩下不能利用的矿石是因为没有得到其选别的方法。这些矿石难选的主要原因是, 氧化镍矿石中之镍呈单独镍矿物形式存在的只是数量不多; 极大部分是呈类质同像混合物存在于脉石中——蛇纹石, 橄榄石, 褐铁矿等 [20]。同时用湿法冶金处理这些矿石也没有求得采用, 因为在溶液中溶剂与镍一起转化为很多混合物。过量的消耗了溶剂, 而在进一步处理过程中, 溶剂又很贵。

选别氧化镍矿的工作在苏联开始的比较早, 并在许多年内于苏联选矿研究设计院, 莫斯科有色金属研究院, 黄金研究院和其

他机关[25]进行过工作。在最近几年内莫斯科有色金属研究院，按着处理这种矿石最有希望的一种方法重新加以研究。采用氧化镍矿物先硫化焙烧，然后再选矿[10, 53]。

表4所记载是加拿大一些选矿厂处理镍矿和铜镍矿的选矿指标。

加拿大一些选矿厂处理镍矿和铜镍矿的生产能力及选矿指标 表4

选 矿 厂	生产能力 吨/昼夜	品 位 %								同一种类 矿回收率 %	
		原 矿		铜精矿		镍精矿		尾 矿			
		Cu	Ni	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu	Ni
寇别尔-克里夫, 安大略 (Коппер-Клифф, Онтарио)	30,000	4.4	2.2	25.0	1.25	0.49	5.35	0.10	0.25	95.0	85.0
克来依顿, 安大略 (Крейтон Онтарио)	10000										
法尔康布利技, 安大略 (Фалконбридж, Онтарио)	3000	0.74	0.99	5.87	6.50	0.17	1.15	0.06	0.13	95.1	88.9
林-米意克, 曼尼托巴 (Линн-Лейк, Манитоба)	2500	0.79	1.90	30.7	0.49	1.52	13.88	0.05	0.29	71.8	86.4
尼克尔-利姆, 安大略 (Никел-рим, Онтарио)	1000	0.38	1.20	3.0	5.5	0.52	3-3.4	0.054	0.16	—	—

*1 混合精矿

*2 磁选精矿

根据文献资料判断，假如在其他资本主义国家进行镍矿选别的话，其生产规模都不是很大的。从表可以看出：当选别铜镍矿时，可以得到满意的而且很高的镍回收率（85~89%），同样可以看出，在同一精矿中铜的回收率也很高（95%）。镍精矿一般含镍很低（1~6%），只是在很少的情况下超过10%。这是由于被选别的镍矿石中大部分镍不呈纯镍矿物形式存在，而呈镍的磁黄铁矿形式存在。

在很大程度上这是由于选矿时镍的回收情况比铜差（见表

4, 在所有情况下, 尾矿中含镍比铜要高)。

镍矿物的可浮性

对于每种镍矿物的可浮性研究是极少的。总共有三种最普遍的工业矿物(镍黄铁矿, 镍磁黄铁矿和针镍矿)用高级黄药浮游能令人满意的(实际主要是用丁基和戊基)。看来, 浮选镍黄铁矿较磁黄铁矿和针镍矿为好, 而且在弱碱性或者中性介质中可以得到最好的结果。在弱酸性, 中性或者是弱碱性介质中, 用丁基黄药浮选针镍矿仍然很好。浮选镍磁黄铁矿较其他的要坏些。黄药是作为磁黄铁矿或者其他含镍硫化矿的捕收剂, 但是, 浮选磁黄铁矿只是在弱酸性或酸性介质中; 它通常被碱所抑制。即使在酸性介质中浮选磁黄铁矿也是比较缓慢的, 为了保证其满意的回收率, 预先要有足够大的浮选面。

全部研究的这三种矿物均用石灰来抑制, 但是在程度上有所不同。抑制磁黄铁矿较其他的要容易, 抑制针镍矿和镍黄铁矿则需过多的石灰。针镍矿和镍黄铁矿与磁黄铁矿和黄铁矿有所不同, 是不能用另外一种碱性抑制的。这样一来, 假如 pH 值不超过 8.2~8.5 时, 针镍矿可借助于石灰使其与黄铁矿分离, 因为当石灰浓度高时, 针镍矿也被抑制。也可借助于苛性钠或苏打使针镍矿与黄铁矿比较有效的分离, 因为碱消耗量可以使用得很多, 而针镍矿也不可能被抑制。

单独用石灰使镍黄铁矿与黄铜矿分离是很坏的, 因其不能充分有效的抑制镍黄铁矿。当需要分离含黄铜矿与镍黄铁矿的混合矿时, 一般是用石灰并且补加少量氰化物来抑制镍黄铁矿。必须指出, 镍黄铁矿被抑制之后, 再使其活化是很困难的, 因此仅在铜-镍精矿分离浮选时; 当铜浮选尾矿即是获得的镍精矿时, 才采用这种方法。镍黄铁矿被空气氧化得比较快, 而在矿物的表面形成了氢氧化铁薄膜, 以致使其受到抑制。但在碱性介质中镍黄铁矿受氧化影响的部分被中和了。磁黄铁矿受空气氧化比镍黄铁

矿还快，在这种情况下采用碱性介质并得不到改善，恰恰相反更会造成浮选的恶化。

镍黄铁矿特别是磁黄铁矿所用的活化剂是硫酸铜。用石灰（但不用氰化物）抑制它们之后，也可以用硫酸铜再活化这些矿物，特别是磁黄铁矿。但是，在第二种情况下，活化剂消耗应当高到4~5倍以上。例如：在加拿大法尔康-布利兹选矿厂没有抑制镍矿物，硫酸铜消耗量为45克/吨。当浮选日丹诺夫矿床的矿石时，活化镍黄铁矿和镍磁黄铁矿在矿浆中用硫酸铜90克/吨，分三个不同作业（按照40，30，和20克/吨）添加。在“北镍”公司选矿厂硫酸铜总消耗量为100克/吨，但是，在这个数字中包括系给入精矿浓密机中作为凝聚剂的一些硫酸铜数量，故在浮选时这种药剂的实际消耗量不大于50~60克/吨。在所有上述选矿厂的镍矿物都不预先加以抑制。在加拿大寇别尔-克里夫选矿厂，按旧的流程是用直接优先浮选法开始得到铜精矿，然后再得到镍精矿，为了活化镍矿物所消耗的硫酸铜等于200克/吨，因为这种镍矿物预先是用石灰来抑制。

为了改善用硫酸铜来活化镍矿物，有时预先加入少量的硫化钠。假如采用黄药作捕收剂时，这种办法更有效。

浮选铜镍矿时，可以利用任何一种泡沫不粘的起泡剂：用松油及其代用品，甲酚等。用甲酚黑药常常会得到好的结果，同时它又可以作镍矿物的捕收剂[33]。

二甲基乙醛肟（Чугаев 药剂）是镍矿物同时又是铜矿物的强力捕收剂，为此目的，该药剂于1949年由С.М.雅修开维奇和Е.А.安非莫夫曾建议采用。但是，这种药剂很贵，一般是在需要获得很高指标时，同时用其他浮选药剂消耗量比较大时才采用，而在目前还不建议这样作。

于1954年美国美利坚塞意拿米得（Американ Сайнамид Ко）公司出版的专利记载，为了改善含镍和含铂的磁黄铁矿的浮选，在一定的酸性中，采用无机含氟化合物与硫化物捕收剂共同

使用。建議的这种葯剂制度认为可以得到富的精矿和貧的尾矿(按磁黃鉄矿来說)。詳細的葯剂制度未发表。

銅-鎳矿石的浮选

銅鎳分离是在浮选硫化鎳矿时所产生的主要問題。

銅在鎳中是有害的杂质,不利于鎳在各方面的应用。实际上所有硫化鎳矿中或多或少地都含有銅。銅鎳分离可在选矿及冶炼过程中进行。不久以前,冶炼分离銅鎳比选矿分离要貴得多,而且仅在鎳精矿中含銅很少的条件下才采用。因此,除了矿石中含銅极少的情況外,銅鎳分离基本上采用浮选方法。不过,当創造出冰銅分离浮选的方法之后,冶炼人員要求銅在鎳精矿中的含量更低了。甚至在浮选鎳冰銅的条件下,混合精矿中銅的含量还相当高,則可采用优先浮选过程以分离出含鎳最低的銅精矿,不考虑銅精矿中銅的回收率。

当浮选銅鎳矿石时,必須注意到进入銅精矿中的鎳,因其在冶炼分离时会全部損失掉,而轉入鎳精矿中的銅則可完全回收。因之,銅精矿中的含鎳量應該最低,在必要的情况下,可以降低銅精矿中銅的回收率来达到这个目的。

銅鎳矿石浮选的基本特征归納为下列四种类型:

1. 直接优先浮选;
2. 不进行分离的混合浮选;
3. 混合浮选后分离浮选;
4. 混合浮选后分离浮选并从混合浮选尾矿中再回收鎳精矿。

直接优先浮选的优点在于銅矿物与鎳矿物达到足够程度的单体分离的情况下,有可能立即分出銅精矿,然后进一步把鎳回收单独精矿中。其主要缺点是浮选銅时鎳矿物被抑制之后,鎳矿物的活化較困难。只有在矿石中銅的含量比鎳大得多,并且需要分离为单独精矿时,才可建議采用这种流程。

为了从镍矿物中充分地把铜分离出来，采用下列条件：

第一，从 C.H.米特罗凡諾夫的图 2 中可以明显地看到镍矿物的浮游比黄铜矿慢。根据試驗所繪出的图 2，镍矿物是镍黄铁矿和镍磁黄铁矿，而铜矿物则为黄铜矿。

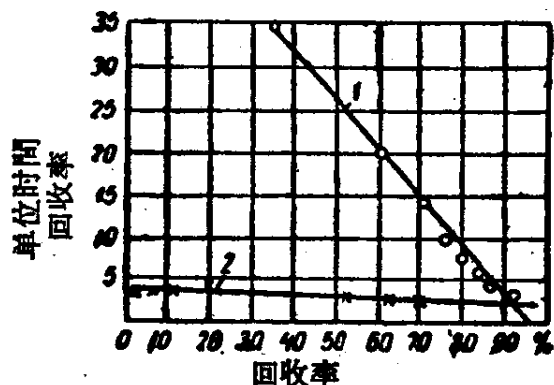


图 2 在弱酸性介质中浮选铜-镍矿石时，黄铜矿和镍矿物（镍黄铁矿及镍磁黄铁矿）的浮选速度
1—铜； 2—镍

第二，为了加剧浮游速度的差别，镍矿物用石灰抑制下去，而铜矿物用极少量的药剂进行浮选。

直接优先浮选流程在加拿大寇别尔-克里夫选矿厂应用很久。矿石中的硫化矿物是黄铜矿，镍黄铁矿和镍磁黄铁矿，而脉石为花岗岩、片麻岩、石英岩和石灰岩。

矿石經一段磨矿然后按图3a流程进行浮选。铜的浮选，用少量的乙黄药和松油，在pH=8.5的石灰介质中进行。选铜的浮选机进行超负荷运转，即让矿浆高速度通过浮选机。这样一来，就最大限度地利用了铜、镍矿物浮选速度的差异。粗选的铜精矿在pH=11的条件下（用石灰造成的）经过一次精选，以便有可能将铜矿物充分地、从镍矿物中分离出来。从流程上看得出来，一次精选的尾矿是与镍精矿合并在一起，而铜精矿还要经过两次精选，中矿返回前一作业。

镍精矿的主要部分是从铜浮选的尾矿中浮选出来。所应用的药剂作为捕收剂的有乙基钠黄药80克/吨和丁基，戊基黄药30克/吨，而作为活化剂的为硫酸铜200克/吨。

本流程的选矿指标列于表 5。

在寇别尔-克里夫选矿厂，现在未按直接优先浮选流程进行生产，而是按混合浮选后分离浮选并从混合浮选尾矿中再回收镍精矿的流程进行生产（图3d）。