

某变质超基性岩中的含钴硫化镍矿床

711队地质科

西北某地变质超基性岩中寻找镍矿的工作，经历了长期的周折。在毛主席革命路线的指引下，我队终于在1970年5月闯开了“禁区”，见到了矿。两年多来，又集中兵力搞远景评价，已初步看出这是一个有希望的含钴硫化镍矿床。

区域地质简介

本区为一东西向复杂构造带的中段与某新华夏构造带一组扭裂相斜接的部位，是一个东窄西宽的三角形（楔形）地块。矿区即位于该地块的北缘。

区内下古生代中基性绿色变质火山岩分布极广，并组成地块的基底。岩层已折皱为轴向近东西、向东倾伏的复式背斜构造。其中次一级折皱十分发育，倒转现象也很普遍。其上零星复盖着下石炭统、中一上泥盆统和下二迭统地层。

下石炭统地层由炭质板岩、千枚岩和硅

质白云岩组成。中一上泥盆统地层由灰岩、板岩和石英砂岩组成。下二迭统地层由炭质千枚岩、结晶灰岩、硅质灰岩、绢云母绿泥石斜长片岩、斜长角闪片岩和磁铁石英岩组成。它们在一定程度上继承了基底构造的特征，并形成了比较开阔的北东向折曲。

断裂构造多沿折皱轴部及其两翼分布。构造活动的长期性和多次反复，造成断层的互相交接或切割，并使同期、同组和同一断裂的性质差别很大，而以压扭性断裂为主。

岩浆活动十分频繁。超基性、基性和中酸性岩浆岩均有出露。其分布明显地受折皱轴部及断裂的控制。北西西、近东西和北东向三组主要走向断裂的相互交接处，就是含镍超基性岩体出露的部位。

超基性岩体地质特征

超基性岩体可分为主岩体、分枝岩体和北东向岩体（图1）。

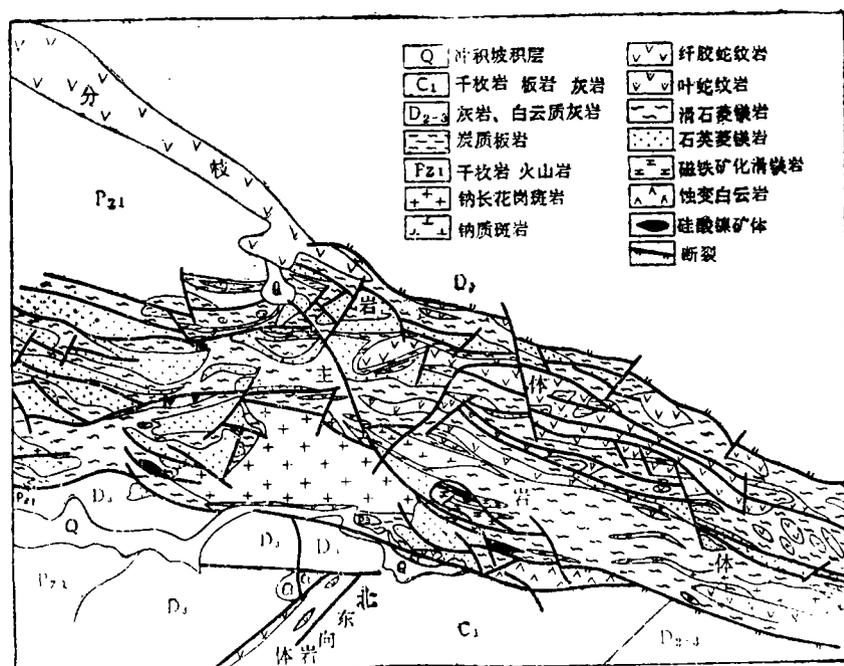


图1
矿区地质示意图

主岩体出露于背斜构造的倾伏端，东西长约5公里，南北宽达1公里。岩体南侧向南倾，倾角50至70°；北侧向北倾，倾角45至60°。它的南、北和东面与泥盆系、下石炭统地层呈断层接触关系，西面与下古生代绿色变质岩系呈侵入接触关系。目前认为，主岩体是在海西早期或加里东期形成的。岩体中常见顶垂体及捕虏体，说明剥蚀深度不大。

主岩体北部主要由纤胶蛇纹岩和叶蛇纹岩等基性程度较高的镁质岩相组成，中部与南部主要由滑石菱镁岩、石英菱镁岩、透闪岩等基性程度较低的铁质和钙铁质岩相组成。在岩体的西端有面积石英菱镁岩出露。岩体东部则以滑石菱镁岩为主。

在垂直方向上，主岩体的分带性表现为：深部多为蛇纹岩，中部多为透闪岩，浅部或顶部主要为滑石菱镁岩和石英菱镁岩。

分枝岩体在主岩体北侧，走向北西280°，长约8公里，宽不到500米。它的西段和中段向南倾，倾角45至75°；东段向北倾，倾角约50°。分枝岩体的一部分已插入主岩体中，并与滑石菱镁岩呈侵入接触关系，说明它的形成时间较晚，可能在海西期。

北东向岩体为若干大致平行的脉状体。目前对北东向岩体的赋存条件和形成时期正在进行研究之中。

分枝岩体和北东向岩体主要由纤胶蛇纹岩组成，其次为滑石菱镁岩和叶蛇纹岩。

根据岩体中各种岩石的空间分布及其变化关系，推测它的变质（交代）作用如下：

(1) 水化作用：多出现在岩体较深的部位，造成富含水的大量蛇纹石。

(2) 二氧化碳与硫的交代作用：多发生在岩体较浅的部位，形成滑石和大量碳酸盐矿物和不定量的黄铁矿等硫化物。

(3) 碱质交代作用：多出现在岩体较深部位与钠长斑岩的接触带附近，主要表现为含钾的各种云母类矿物的形成。

(4) 钙质交代作用：主要出现在岩体较浅部位与酸性岩的接触带上。在镁质和铁质超基性岩相与钠长斑岩的接触处产生了阳

起一透闪石化，与花岗斑岩接触处产生了石英、铁白云石。而富钙铁质超基性岩相与酸性岩接触的部位则产生了石英—绿帘石—方解石化。

含钴镍矿床

(一) 概况

根据矿体出露部位的不同，在主岩体中可划分为北部、中部和南部三个矿化带。此外尚有产于北东向岩体中的北东向矿化带。各矿化带的长度都在千米以上，宽为几十至几百米。根据钻孔资料得知，这些矿化带中均有矿体产出。目前，以南部矿化带西段的似层状平行硫化物盲矿体群规模较大（图2）。这些矿体与岩体产状基本一致，走向

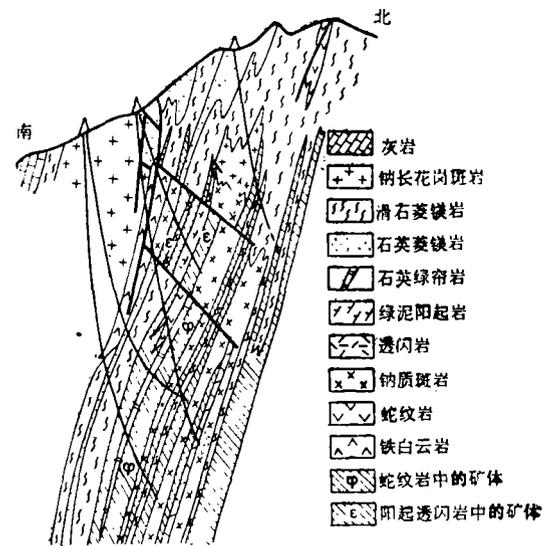


图2 矿区剖面示意图

北280°东或近东西，向南倾，倾角68至75°，有分枝复合和膨缩现象。单个矿体长数百米，厚度不超过25米，延深200至600米（或600米以上）。矿体中以贫矿为主，仅在单个矿体的深部或矿体群的中深部有少量富矿出现。

(二) 矿物成分及其主要特征

镍矿石中已知的金属矿物有18种以上，其中含镍、钴的硫化矿物主要为镍黄铁矿、紫硫镍铁矿、针镍矿、硫钴矿和少量硫铁镍矿。常见的伴生硫化矿物有磁黄铁矿、黄铁

矿、黄铜矿和少量闪锌矿、方铅矿、辉钼矿、方黄铜矿等。地表常见有褐铁矿和少量碧矾(?)。

这些矿物构成了以下三种共生组合：

(1) 原生矿物组合：磁黄铁矿和镍黄铁矿密切共生，含黄铜矿、铬尖晶石和磁铁矿，很少见到黄铁矿，没有见到镜铁矿(照

片2)。这种矿物组合主要见于岩体深部的叶蛇纹岩、透闪岩和一部分滑石菱镁岩中。

(2) 次生矿物组合，有以下两种情况：

①紫硫镍铁矿取代镍黄铁矿和黄铁矿，矿石中S、Ni组分较原生矿物组合为高。

②镍黄铁矿和黄铁矿共生，且镍黄铁矿

矿物生成顺序 表1

成矿阶段 矿物	岩浆阶段		热液阶段	
	早期	晚期	交代(改造)阶段	成矿阶段
橄榄石	████████			
辉石	██████			
铬尖晶石	████			
磁铁矿		████████	
镜铁矿				████████
磁黄铁矿		████████	████████	
镍黄铁矿		██████	
黄铜矿		██████		██████
黄铁矿			████████████████████	
硫钴矿				████████
针镍矿				██████
叶蛇纹石			██████	
透闪石			██████	
滑石			██████████████	
绿泥石			██████	
菱镁矿			██████████████	
铁白云石				████████
方解石				██████
石英			██████████████	
磷灰石			██████	

晶体较大, 不含或含少量磁黄铁矿。这种矿物组合较其他矿物组合为少。

次生矿物组合主要在岩体中深部和较浅部的菱镁岩、滑石菱镁矿化蛇纹岩、透闪岩和石英菱镁岩中。

(3) 再生矿物组合: 针镍矿与硫钴矿紧密共生, 一般不含磁黄铁矿与镍黄铁矿, 而含较多黄铁矿, 有时与镜铁矿共生。O、S、Ni的含量均较前二种矿物组合略多。但由于Ni和Co部分扩散至围岩中结晶, 所以矿石品位没有显著增高。

闪锌矿、方铅矿、辉钼矿仅分布在后期酸性岩附近, 并常与多量黄铁矿伴生。黄铁矿的出现, 显示了热液对原生矿石的改造作用。黄铁矿的多少, 反映了这种改造作用的强度。

再生矿物组合见于岩体浅部或矿体顶部(多为上盘)的石英菱镁岩中, 少部分组成贫矿, 大部分呈矿化晕出现。

各种矿物的生成顺序见表1。

矿石结构、构造特征

成因	矿石构造	矿石结构	特点
岩浆熔离作用	1. 浸染状	1. 海绵晶铁结构(照片1)	磁黄铁矿、镍黄铁矿集合体与原生脉石矿物间的相互关系。
	2. 斑点状	2. 间隙结构	
	3. 块状	3. 固熔体分离之网状、结状与火焰状结构(照片2、3)	磁黄铁矿与镍黄铁矿的共生形态。
交代作用	1. 浸染状	1. 边刺结构 2. 熔蚀结构(照片3) 3. 次文象结构	磁黄铁矿、镍黄铁矿等被变质脉石矿物溶蚀、穿插之结构形态。
	2. 细脉状	4. 边缘、网状交代结构 5. 交代残余结构(照片6) 6. 假象结构	紫硫镍铁矿交代镍黄铁矿呈现之结构形态。
作用	3. 条带状	7. 变斑状结构 8. 网状状结构(照片4) 9. 蠕虫状结构	黄铁矿交代岩浆熔离成因之矿石及磁黄铁矿、镍黄铁矿等表现的结构形态。
	4. 斑点状	10. 包含结构 11. 填隙结构(照片5) 12. 尘点状嵌晶结构	硫化物交代或充填金属氧化物及变质非金属矿物之结构形态。
		13. 格状、叶片状及其它连晶结构	针镍矿、硫钴矿的共生形态。
压力作用	5. 断续带状 6. 片状	1. 压碎结构 2. 内部双晶结构	黄铁矿与金属氧化物晶体碎裂磁黄铁矿与针镍矿显内部双晶。

(三) 矿石的构造与结构

由于岩浆熔离作用、交代作用和压力作用的结果, 本矿床的硫化镍矿石具有相应的三组构造和结构类型(表2)。岩浆熔离作用形成的构造和结构, 见于原生组合的矿石中。交代作用形成的构造和结构, 普遍见于次生和再生组合的矿石中, 仅部分见于原生组合矿石中。

(四) 矿石的化学成分

本区矿石分硫化镍矿石和硅酸镍矿石两类。前者为工业利用的主要对象。后者零星分布, 目前的工业意义不大。

硫化镍矿石中一些元素的分布情况如下:

(1) S_{Ni}*、Co、Cu含量之比接近20:1:2。其中原生组为26:1:2, 再生组为14:1:1。原生组矿石中S_{Ni}和Cu的平均品位略高于再生组。Co的情况则相反, 再生组矿石的含量较高。在各种含矿岩石中, S_{Ni}、Co、Cu的含量也有所不同。

S_{Ni}和Cu的含量在含矿透闪岩中较高, 在含矿滑石菱镁岩(包括部分石英菱镁岩)中较低, 在含矿蛇纹岩中更低。

钴的含量在含矿滑石菱镁岩中较高。

镍与钴的品位变化关系, 以含矿的滑石菱镁岩为最大, 这可能是由于热液作用使二者各有迁出和迁入所造成的。

(2) 由于S_{Ni}主要赋存在镍黄铁矿中或以类质同象存在于磁黄铁矿晶格中, 而Co也以一定比例呈类质同象赋存在这两种矿物中, 所以S_{Ni}和Co有明显的相关关系

*S_{Ni}表示硫化镍中之镍, 以区别于针镍矿中的NiS。

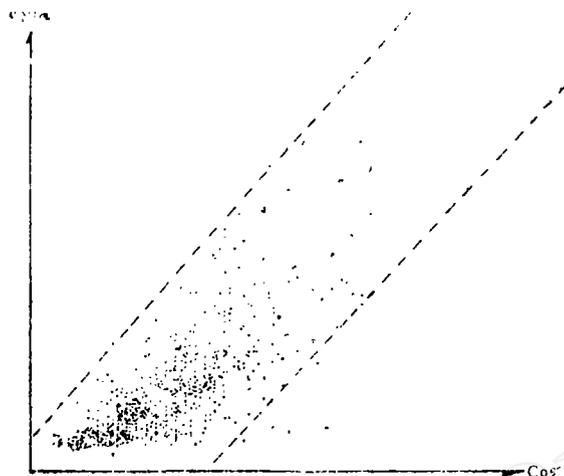


图3 原生组镍矿石Ni-Co相关关系图
(据607个样品)

(图3)。SNi与Cu的相关线有两条(图4)，其中较陡的一条反映了岩浆期的矿化作用，它说明原始岩浆中Cu含量不多。较缓的一条反映出热液作用携入了少量的铜。

再生组矿石中SNi与Co、SNi与Cu的含量也为正相关关系，但离散程度较大，这是由于SNi和Co的含量不均匀所造成的。

(3) SNi、NiSO₃和NiSO₄中Ni的含量之和为矿石或矿化围岩中Ni的总含量的87%。其中NiSO₃中的Ni占20%以下，NiSO₄中的Ni占10%以下(个别达20%)。

(4) 镍与铁的含量关系比较复杂，没有显著的相关关系。这除了因为磁铁矿分布不均匀外，还由于常有多种不同成因的含铁矿物存在。有的矿石中或矿体附近的围岩中全铁含量已超过20%。其中一些属磁铁滑石菱镁岩，可能是富铁质的超基性岩在热液改造下形成的。所以从宏观上看，熔离成因的镍矿与铁质超基性岩之间可能有某种成因上的联系，值得我们作进一步的研究。

(5) 在各种金属矿物中，贵金属和稀散金属的含量甚低，有的在克拉克值以下。由于研究的样品还很有限，尚不能提出明确的评价意见。但根据现有资料，似可做出以下判断：第一，为数不多的脉状镍矿石形成较晚；第二，在各主要金属矿物、岩石和矿

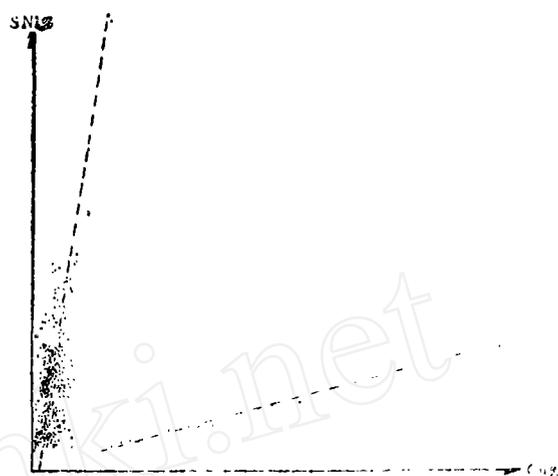


图4 原生组镍矿石Ni-Cu相关关系图
(据364个样品)

化围岩中，贵金属、稀散和有色金属的含量相仿。这就从元素的分配上为岩浆熔离成矿说提供了一种证据。

(6) 地表硅酸镍矿石多为矿化岩石氧化后形成的铁帽。矿石中硫化物状态的镍含量不到全部镍含量的0.1%，其余全为硅酸镍。Co有一些富集的趋向。Cu的含量与原生矿石相比无显著变化。Ni、Co、Cu含量之比约为24:1:1.3。

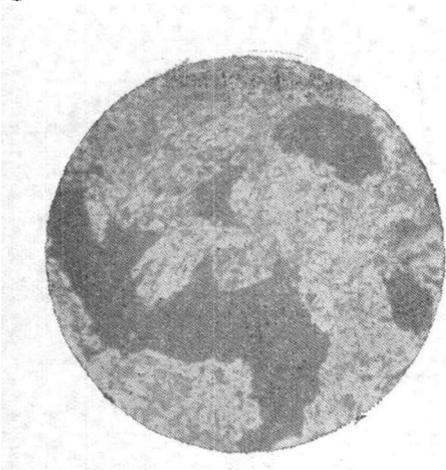
(五) 矿床成因探讨

本区超基性岩含镍的丰度较高，一般达0.1至0.3%，为形成镍矿体提供了物质基础。但硫化镍矿床的形成，则是多种因素互相作用的结果。超基性岩体的强烈变质，又使矿床的形成过程进一步复杂化。据我们研究，成矿作用大致可分为以下三个阶段：

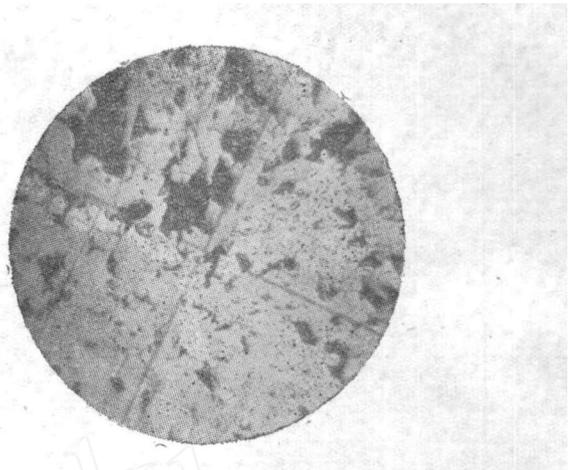
(1) 岩浆熔离阶段

本矿区超基性岩中的原生组矿石，与多数人认为是熔离作用形成的硫化镍矿有某些类似的特点。含镍硅酸盐岩浆是沿长期压应力造成的断裂侵入的。由于岩浆中硫的作用和镍离子的亲硫性，使含镍钴铜等金属组分的硫化物熔浆从岩浆中分离出来。在重力作用下，一部分硫化物下沉到深部，一部分仍留在含矿熔浆中。

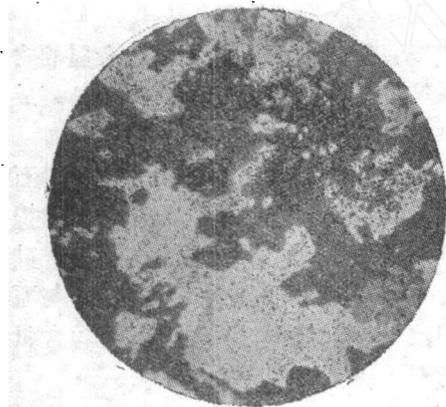
含矿熔浆形成矿体的阶段性在各矿化带



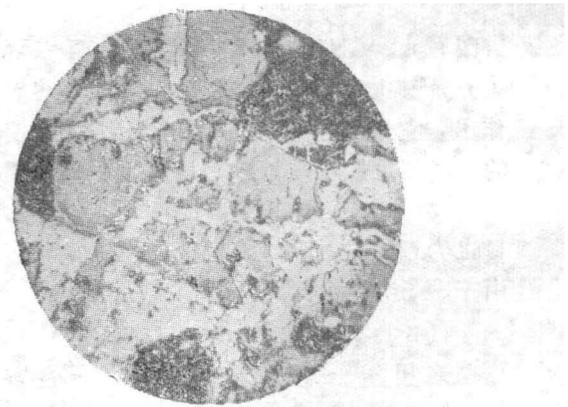
照片1 含矿透闪岩(原生组矿石)
 平行偏光 × 32 灰白色矿物为纤维状透闪石, 黑色矿物为磁黄铁矿和镍黄铁矿, 矿石呈变余海绵晶铁或回隙结构。



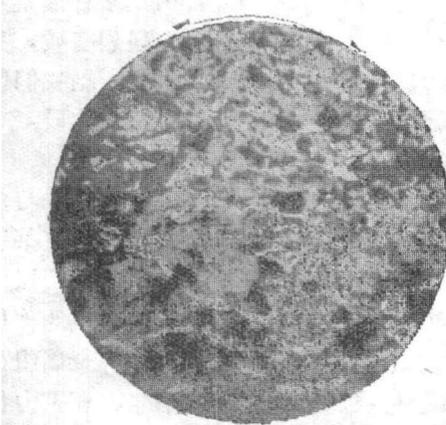
照片2 原生组矿石
 反光 × 120 磁黄铁矿(灰色)间隙中为镍黄铁矿(白色), 矿石呈网状结构。



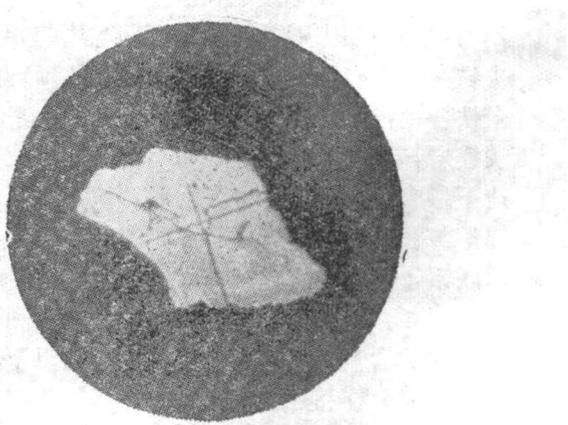
照片3 原生组矿石
 反光 × 120 磁黄铁矿(灰色)中为片状或火焰状镍黄铁矿(白色), 铬尖晶石(暗灰色)被磁黄铁矿熔蚀, 磁黄铁矿被非金属矿物(黑色)溶蚀呈港湾状。



照片4 次生组矿石
 反光 × 65 磁黄铁矿(灰色)被黄铁矿(白色)交代后呈网脉状结构。



照片5 再生组矿石
 反光 × 65 黄铁矿和针铁矿(白色)充填磁铁矿(灰色)裂隙, 呈充填结构。



照片6 次生组矿石
 反光 × 120 镍黄铁矿(白色)被紫硫镍铁矿交代呈残余结构。

(除北东向矿化带外)中的表现形式是:

北部矿化带(已于地表剥土和钻孔中见含镍硫化物矿脉,脉宽不到1米)显然是熔离的硫化物矿浆在压应力作用下沿岩体深处的脆弱地带侵入而成的。

中部和南部矿化带所见到的,是岩浆分异产生的硫化物熔滴在各种岩相中的有利构造部位冷却形成的矿体。虽然单个矿体和矿化带的底部品位略有增高,并有时形成个别似层状富矿体(反映熔离时有下沉作用)。

(2) 热液改造阶段

偏碱质酸性岩的侵入,对超基性岩的变质和原生矿体的改造产生了深远的影响,使矿床变得非常复杂,十分难以识别其原来的面貌。

在富含 H_2O 、 CO_2 、 H_2S 等组分的气水作用下,岩体受到了广泛的热液交代作用,原生矿石也遭到了相应的改造。

由于 CO_2 和 H_2S 等组分扩散至岩体的较浅部位,所以岩体深部主要表现为还原状态的 H_2O 的交代作用。在硅酸盐矿物蛇纹石化的同时,含铁的硅酸盐矿物可析出少量粉尘状磁铁矿。这时,原生硫化物虽已再结晶或被溶解,但无显著交代现象。

当热水溶液通过构造薄弱部位进入到矿体的上部时,由于温度和压力减低, CO_2 和 H_2S 可能呈 CO_2^{--} 和 S^{--} 离子状态溶于热液中,从而增强了它的活泼性和酸度。

原生矿石和围岩中的硅酸盐矿物在 CO_3^{--} 和 S^{--} 的作用下发生滑石碳酸盐化。金属矿物被强烈溶蚀与交代,出现了黄铁矿交代原生矿物和部分镍黄铁矿变为紫硫镍铁矿等现象。

原生硅酸盐和金属氧化物矿物晶格中的Ni、Co等组分在 S^{--} 的取代下,有时呈尘点状硫化物析出。

由于部分原生硫化物的再结晶,出现了较粗粒的镍黄铁矿或磁黄铁矿穿插交代碳酸盐矿物的现象。

(3) 热液成矿阶段

在热液的改造作用下,一部分Fe、Cr、

Ni、Co、Cu等组分移入溶液,渗透至矿体顶部和上盘。由于 CO_3^{--} 的消耗,溶液酸度减弱,加之浅部环境变为氧化条件和温度压力的降低,热液的溶解度随之下降,于是晶出了较粗粒的黄铁矿、针镍矿和硫钴矿的固溶体。随着温度的继续下降,针镍矿即与硫铁矿分解为格状、叶片状或粒状共生体。溶液中的Fe、Cr、Cu组分也形成镜铁矿、铬云母和黄铜矿等。

次生组与原生组有明显的过渡现象,但与再生组互不共生。其原因是除了氧化还原条件截然不同外,还在于后者与前者成因不同。次生组为原生组矿石经过次生改造的产物。而再生组矿石则是矿体和围岩在热液作用下形成的,它具有侧分泌成矿作用的特征。

总地看来,可以把矿床看成是经过热液改造的岩浆熔离矿床,并在原生矿体的头部或上盘围岩中形成了再生的热液矿床。

北东向矿化带中的矿化作用迭加在上述成矿作用之上的现象尚未见到。这里的矿石由大量黄铁矿、紫硫镍铁矿、少量磁黄铁矿组成,呈细脉浸染状分布在滑石菱镁岩中。

(六) 找矿标志

(1) 块状或稀疏浸染状磁黄铁矿、镍黄铁矿、针镍矿、黄铁矿、硫钴矿等,是寻找原生矿和再生矿的直接标志。

(2) 黄褐色或深褐色铁帽松散而多孔,由黄铁钾矾、褐铁矿、针铁矿、碧矾、铬云母、镍滑石、镍绿泥石等矿物组成,常构成表生硅酸镍矿体。

(3) 稀疏浸染的硫化矿经过赭石化成为褐色、质软和多孔的物质(它与铁碳酸盐矿物形成的风化壳有时在野外不易区分,应通过化学分析来查定)。

(4) 再生组矿化。

(5) 分异岩相中的蚀变辉石岩相。

(6) 岩体膨大、构造拐弯及酸性脉岩

广泛出露部位。

(7) Ni、Co、Cu、As的原生晕、各种电法异常(尤其是激发电位异常)和低缓磁异常的复合区。