

甘肃金川硫化铜镍矿床地质特征

贾 恩 环

(甘肃省地质矿产局第六地质队^①)

金川矿床是我国知名的硫化铜镍矿床。它由四个矿区组成(图1)。该矿床除含有丰富的镍、铜外,还含有一些贵金属及钴等,为一含多种金属元素的硫化物矿床。

本文是笔者在对该区多年积累的大量地质资料进行分析研究的基础上写成的,谬误之处,敬请指正。

一、区域地质背景

矿床位于阿拉善台块南西边缘,龙首山隆起东段北东侧深断裂的上盘(即南西侧)。

龙首山基底为前长城系,盖层为长城—蓟县系^②和震旦系。前长城系内的八个伟晶花岗岩之白云母的同位素年龄为16.57—17.41亿年^③,一个片麻状花岗岩之白云母的同位素年龄为17.86亿年^③。故这套深变质岩系的年龄应不小于18亿年。

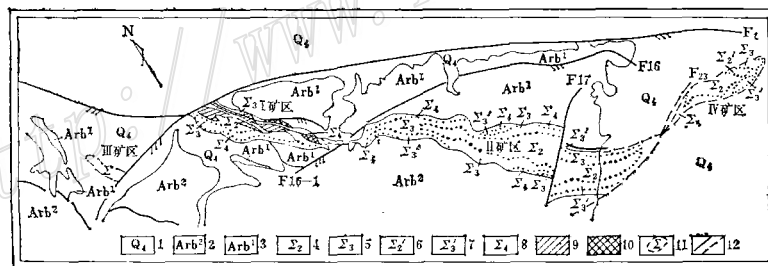


图 1 金川矿区地质略图

1—第四系; 2—太古界白家咀子组第二岩段; 3—太古界白家咀子组第一岩段; 4—二辉橄石岩; 5—二辉橄辉岩; 6—斜长二辉橄石岩; 7—斜长二辉橄辉岩; 8—橄辉二辉岩; 9—熔离型矿体; 10—深熔-矿浆贯入型矿体; 11—隐伏含矿岩体; 12—实测及推测断层

Fig.1. Schematic geological map of the Jinchuan mining district.

1. Quaternary; 2. 2nd lithologic member of Archeozoic Baijiajuzi Formation; 3. 1st lithologic member of Archeozoic Baijiajuzi Formation; 4. Two-pyroxene peridotite; 5. Lherzolite; 6. Plagioclase two-pyroxene peridotite; 7. Plagioclase lherzolite; 8. Olivine websterite; 9. Liqutation type orebody; 10. Orebody of deep-melting ore magma injection type; 11. Concealed ore-bearing rock body; 12. Measured and inferred faults.

① 笔者现已调河北省地矿局工作。

② 甘肃地质六队在金川以西多处采到圆柱迭层石、管状迭层石和包心菜迭层石,故据化石组合特征划为蓟县系。

③ 中国科学院地球化学研究所及北京三所钾-氩法测定。

尤首山区基底岩系和盖层均呈不对称的复式向斜, 断裂构造发育, 岩浆活动频繁。金川含矿超基性岩体(钾-氩同位素年龄为15.09和15.26亿年^①)侵入于前长城系的下部, 即太古界白家咀子组, 而被闪斜煌斑岩脉所穿切(钾-氩法年龄为13.36亿年^②), 故划为东安早期为宜。

二、含矿岩体地质特征

金川含矿岩体是一个由岩浆多次上侵形成的复合型单一含长石超基性岩体, 属斜长二辉橄榄岩。

(一) 岩体的形态产状

岩体与围岩大约以 10° 交角呈 $N50^\circ W$ 方向不整合于白家咀子组一、二岩段混合岩与蛇纹石大理岩之间(图1)。其全长6400m, 宽100—528m, 为一不规则状岩墙。岩体沿走向中间较宽, 两端较窄, 沿倾向一般呈板状或上宽下窄的楔状, 在横剖面上II矿区东部局部地段呈歪漏斗状(图2)。岩体倾向SW, 倾角一般在 70° 以上。NEE向断裂使整个岩体错断为四个岩段, 相应地由西向东依次称为III、I、II、IV矿区(图1)。

(二) 岩相特征及其含矿率

1. 组成岩相及其发育程度

岩体按造岩矿物的结晶粒度分为中细粒(粒径0.252—5.103 mm, 平均为1.405 mm)、中粒(0.468—5.20 mm, 平均为1.686 mm)和中粗粒(0.510—6.338 mm, 平均为2.593 mm)三种粒度相。按造岩矿物成分可进一步划分为11个岩相(表1)。

不同粒度岩相之间见有下述现象:(1)一般存在着数厘米至数十厘米宽的破碎带(有的为后期岩脉所充填), 当破碎带或片岩带不发育时, 则为突变接触。(2)不同粒度相之间有前后穿切现象, 中粒二辉橄榄石-纯橄榄岩相的形态和产出明显受中粗粒岩相原生节理所控制。(3)不同粒度相接触带有数十厘米至三米宽的蚀变带。(4)两岩相接触带, 其造岩矿物及矿石矿物的粒度、含量等均有明显差异。上述现象表明三种粒度岩相是同源岩浆经深部分异后三次上侵的层物, 其中以中细粒岩相形成最早, 中粒岩相形成最晚。

2. 岩相空间分布

岩相总的分布特点是: 主要岩相具有对称分异特征, 一般沿走向呈带状分布; 中细粒岩相和中粗粒岩相在横剖面上各自呈同心环状分布, 基性程度较高的二辉橄榄石岩相构成核心,

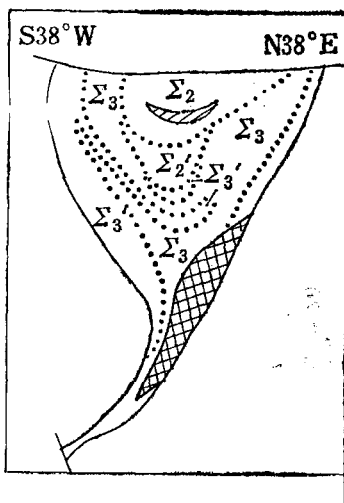


图2 II矿区地质剖面图
(图例同图1)

Fig. 2. Diagrammatic geological section of Mining District (Symbols as for Fig. 1).

① 原冶金部桂林地质研究所测定。

② 中国科学院地球化学研究所测定。

表1 各期次岩相发育程度及其含矿率

Table 1. The extent of development and ore potentiality of petrofacies of various phases

| 期次 | 岩相名称 | 代号 | 各岩相与全岩体体积百分比 (%) | 各岩相与本期次岩相体积百分比 (%) | 各期次岩相与全岩体体积百分比 (%) | 各岩相中矿体与本岩相体积百分比 (%) | 各期次岩相中矿体与全岩体体积百分比 (%) | 各期次岩相中矿体与本期次岩相体积百分比 (%) |
|-----|----------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|
| 第一期 | 中细粒二辉橄石岩 | Σ_1^1 | 18.2 | 71.93 | | 52.1 | | |
| | 中细粒二辉橄榄岩 | Σ_2^1 | 6.3 | 24.9 | | 51.4 | | |
| | 中细粒橄榄二辉岩 | Σ_3^1 | 0.8 | 3.16 | 25.3 | 10.7 | 12.81 | 50.6 |
| 第二期 | 中粗粒二辉橄石岩 | Σ_1^2 | 4.2 | 6.08 | | 15.9 | | |
| | 中粗粒二辉橄榄岩 | Σ_2^2 | 45.0 | 65.12 | | 41.9 | | |
| | 中粗粒橄榄二辉岩 | Σ_3^2 | 7.5 | 10.87 | | 36.0 | | |
| | 中粗粒斜长二辉橄石岩 | Σ_4^2 | 0.7 | 0.03 | | 20.0 | | |
| | 中粗粒斜长二辉橄榄岩 | Σ_5^2 | 9.2 | 13.31 | | 19.9 | | |
| | 中粗粒二辉岩 | Σ_6^2 | 1.0 | 1.45 | | 23.5 | | |
| | 蛇纹透闪绿泥片岩 (边缘相) | Σ_7^2 | 1.5 | 2.17 | 69.1 | 22.6 | 24.77 | 35.8 |
| 第三期 | 中粒二辉橄石-纯橄榄岩 | Σ_{1-2}^3 | 5.6 | 100.00 | 5.6 | 100.0 | 5.6 | 100.0 |
| 总计 | | | 100 | | 100 | 43.17 | | |

(据本队资料)

向外依次为斜长二辉橄石岩、橄榄二辉岩及二辉石, 蛇纹透闪绿泥片岩则通常构成岩体的边缘相 (图2、图5)。就各矿区而言, II 矿区岩体分异较完善, 分布较广的中粗粒岩相同心环发育较全; IV 矿区也主要为中粗粒岩相, 但岩相同心环发育不全; I 矿区东部的中细粒岩相和中粗粒岩相均发育不全, 后者在 I 矿区西部和 III 矿区则发育很不完全。中粒岩相不受上述两种粒度相分布的制约, 它在 I 矿区从地表一直下延到深部, 在 II 矿区却隐伏于 200m 深度以下, 其本身也呈现有由中心向外基性程度由高到低的分布规律。

3. 含矿率

本矿床含矿率 (系矿体总体积在整个岩体中所占之体积比) 颇高, 达 43.17 (表1)。III、I、II、IV 矿区分别为 79.6%、40%、26.5%、19.7%, 显示由西向东含矿率有由高变低的变化规律。三种粒度相中以中粒相含矿率最高, 达 100%, 中粗粒相最低, 但也高达 35.8%。大多数情况是基性程度增高, 含矿率也随之增高。这种变化趋势在中细粒岩相和中粗粒岩相中均表现得很明显。

含矿率之高低, 诚然首先取决于成矿物质之丰富程度, 但也与岩浆分异及熔离程度有密切关系。中粒岩相含矿率既高, 品位又高之原因, 可能主要是由于岩浆上侵之前深部分异和熔离程度较高, 矿质也相应增富所致。

(三) 岩石化学特征 (表2)

总的来看, 金川岩体具有以下岩石化学特征:

1. 岩体的平均化学成分接近于二辉橄榄岩。
2. 岩体的主要化学成分与石质球粒陨石和模拟地幔岩的成分有些接近, 显示岩浆来自上地幔。

表 2 金川含矿岩体岩石化学成分 (%)

Table 2. Petrochemical composition of the ore-bearing rock body at Jinchuan

| 成分 岩石 | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | H ₂ O ⁺ | H ₂ O ⁻ | CO ₂ | P ₂ O ₅ |
|---------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| 金川含矿岩体 ^① | 39.72 | 0.39 | 4.27 | 0.42 | 5.95 | 6.42 | 0.14 | 29.11 | 3.34 | 0.45 | 0.35 | 7.60 | 0.68 | 1.00 | 0.10 |
| 石质球粒陨石 ^② | 48.08 | 0.14 | 0.39 | | | 9.68 | 0.31 | 27.76 | 1.95 | 1.02 | 0.13 | | | | 0.26 |
| | 47.57 | 0.45 | 6.14 | | | 20.18 | 0.54 | 31.42 | 2.41 | 1.92 | 0.21 | | | | 0.33 |
| 模拟地幔岩 ^② | 45.16 | 0.71 | 3.54 | | 0.46 | 8.04 | 0.14 | 37.49 | 3.08 | 0.57 | 0.13 | | | | 0.06 |

①据本队资料,系109个分析样的平均值;②据王润民1980年资料。

3. 三种粒度相的岩石化学成分相似,同类岩相基本一致,显示了它们的同源关系。

4. 各岩相SiO₂含量均小于45% (35—44%),表明它为单一超基性岩。随着岩相基性程度的降低, SiO₂含量逐渐增加, Al₂O₃、CaO、Na₂O、K₂O含量也随之增高,而MgO、Fe₂O₃+FeO则逐渐降低。这是岩体分异较好的反映。

5. 岩体的查氏特征值, a 为1.3, c 为1.8, b 为56.1, s 为40.8, f 为18.8, m' 为77.8, c' 为3.4, n 为63.6, t 为0.8, ϕ 为8.3, Q 为-22.8, a/c 为0.7, h 为46.1, Na₂O/K₂O比值为1.8, MgO/(FeO)比值为4.3。岩体的 m/f 值变化于2.7—5.9之间,一般为3—5.2,平均值为4.3,属铁质超基性岩。已有资料表明硫化铜镍(铂)矿床多与铁质超基性岩有关,且含镍岩体中镍的含量与 m/f 比值呈正消长关系。而金川岩体属 m/f 比值较高的铁质超基性岩,有利于形成硫化铜镍(铂)矿床, b 值和 m' 值均高,与含镍岩体的特征值相符。

三、矿床地质特征

(一) 矿体类型及其地质特征

全区数百个铜镍矿体按主要成矿作用和成矿阶段分为下述类型:

1. 熔离型矿体

其工业意义在本区占第二位。矿体呈似层状、透镜状,长数米—数百米,厚一米至百余米。矿体主要由星点状贫矿石构成。矿体与围岩呈渐变至突变关系,产状与岩体基本一致,且产状、形态均受岩相控制,主要产于岩体的中下部,并大都位于深熔矿浆贯入型矿体以上。一般较大的矿体多赋存于中细粒二辉橄石岩和二辉橄岩中(图2),且含矿率随基性程度的增高而明显增高。在中粗粒岩相中也有类似的总趋势。

熔离型矿体又可分为“就地熔离”和“深部熔离—就地熔离”两个亚型,且以后者为主。前者主要产于中细粒岩相中下部二辉橄石岩中,硫化物主要为镍黄铁矿(或紫硫镍铁矿)。后者主要产于中粗粒岩相中部和中下部二辉橄岩中,硫化物主要为磁黄铁矿(或黄铁矿、白铁矿)。

2. 深熔矿浆贯入型矿体

其工业意义居首位。矿体呈似层状、透镜状。矿体长数百米至千余米,厚数十米至数百米。矿石品位富,主要为海绵状富矿石,其次为局部海绵状矿石及星点状贫矿石。矿体沿倾

向偏中上部或中下部最厚(图3),沿走向和倾向有分枝,特别是矿体上端和贫矿分枝多。

矿体多赋存于岩体底部边缘,或以与岩体成较小交角贯入到底盘围岩中,一般交角为

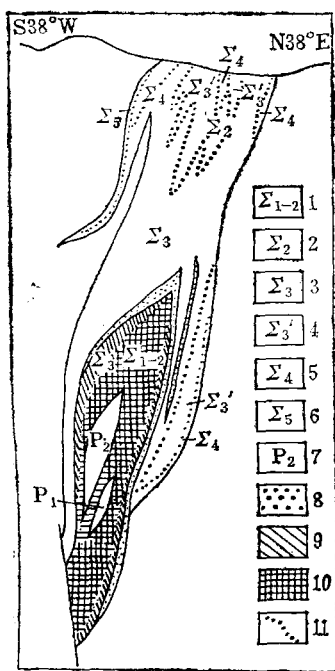


图3 II矿区地质剖面图

1—二辉橄石-纯橄榄岩; 2—二辉橄石岩; 3—二辉橄
榄岩; 4—斜长二辉橄榄岩; 5—橄榄二辉岩; 6—二辉
岩; 7—星点状贫矿; 8—半海绵和局部海绵状矿石;
9—海绵状矿石; 10—铂(钯)矿(化)体; 11—岩相
界线

Fig. 3. Geological section of Mining District II.

1. Two-pyroxene peridotite-dunite; 2. Two-pyroxene peridotite; 3. Lherzolite; 4. Plagioclase lherzolite; 5. Olivine websterite; 6. Two-pyroxene peridotite; 7. Scattered lean ore; 8. Semi-spongy or locally spongy ore; 9. Spongy ore; 10. Platinum (palladium) ore (mineralized) body; 11. Boundary of lithofacies.

10°—20°,沿走向矿体与岩体及其岩相产状往往不一致。即它不受整个岩体和先期次岩相控制,而受岩体原生裂隙和其它裂隙控制。沿倾向矿体呈现出较岩体倾角或陡或缓之现象,并穿切先期次岩相。矿体与围岩界线清楚。当矿体由中心向外依次分布海绵状、局部海绵状和星点状矿石时,三者之间及与围岩之间均呈渐变关系。

此类矿体也是基性程度越高含矿性越好。如本区基性程度最高的二辉橄石-纯橄榄岩全为矿体,且多为富矿(故应归为矿浆成因)。本区的海绵状富矿石均产于其中。

此类矿体主要产于I、II矿区。在I矿区产于700m深度以上,在II矿区则隐伏于300—500m以下,至1200m深处仍未尖灭。

I矿区东段和II矿区西段毗邻地段,虽然处于整个岩体较窄的部位,但不仅矿石品位较富,且矿体下延的深度最大,规模也最大。而在该部位东、西部的矿体,虽位于岩体较厚大部位,但矿石较贫,下延深度较小,规模也相对较小。位于整个岩体东、西两端的III、IV矿区的矿体更小,矿石更贫,延深也不及I、II矿区。这种分布特点,可能与距离含矿熔浆上侵通道的远近有关。

3. 晚期矿浆贯入型矿体

其工业意义占第四位,主要分布于II矿区东段。矿体呈透镜状、脉状。矿体较小,长数百米,厚不超过十米,成群地产于深熔矿浆贯入型矿体之中、下部(图4),其次产于岩体深部近尖灭处及上下盘围岩中。矿石富,主要为块状富矿及半块状富矿。

此类矿体产状受岩体原生构造裂隙和片理控制,一般与所在矿体和围岩产状一致,有的

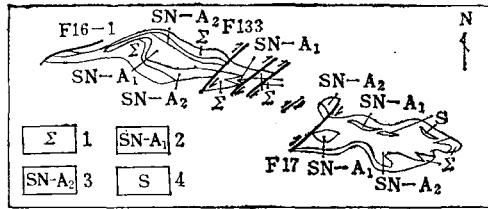


图4 II矿区1200m水平矿体断面图
1—超基性岩体；2—熔离型、深熔岩浆贯入型富矿；
3—熔离型、深熔岩浆贯入型贫矿；4—晚期岩浆贯入
型块状矿

Fig. 4. Cross-section at 1200m level of Mining District II.

1. Ultrabasic body; 2. Rich ore of liquation type or deep-melting ore magma injection type; 3. Lean ore of liquation type; 4. massive ore of late stage ore magma injection type.

呈小角度相交。

4. 接触交代型矿体

其工业意义占第三位。矿体形态较复杂，呈不规则扁豆状及囊状。矿体数较多，但规模较小，长数米至数百米，厚数米至数十米。矿体与围岩无明显界线。矿石主要为稀疏浸染状贫矿或稠密浸染状富矿及半块状富矿。

此类矿体产于岩体上下盘围岩及其捕虏体中，较大的矿体主要产于I、II矿区的深熔岩浆贯入型和熔离型主矿体附近的底盘围岩中（图5），距岩体一般不超过20m，最长达百余米。

与岩体接触的围岩均有蚀变，且各种围岩都可被交代成矿。其中以大理岩蚀变较强烈，主要蚀变成透辉石岩、透闪石岩，仅局部保留有方解石成分，且蚀变范围比矿体大得多。其它岩石，如片麻岩、混合岩、斜长角闪岩、黑云母石英片岩、花岗岩等，蚀变程度略浅，主要为绿泥石化，蚀变范围亦较大。上述蚀变可作为寻找此类矿体的间接标志。

除上述类型矿体外，还有深熔岩浆贯入型铜镍矿体上叠加的热液型铂（钯）矿（化）体，

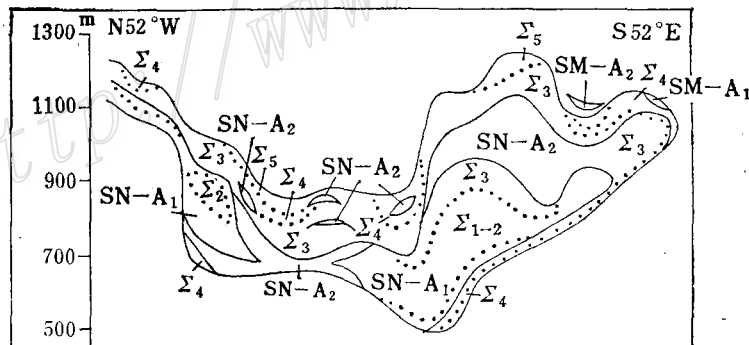


图5 II矿区地质纵剖面图

SN-A₁—富矿体；SN-A₂—贫矿体；SM-A₁—接触交代型富矿体；SM-A₂—接触交代型贫矿体；其它图例同图3

Fig. 5. Longitudinal geological section of Mining District II.

SN-A₁—Rich orebody; SN-A₂—Lean orebody; SM-A₁—Rich orebody of contact metasomatism type; SM-A₂—Lean orebody of contact metasomatism type (Other symbols as for Fig.3).

即富集体，主要见于II矿区西段深熔岩浆贯入型矿体的海绵状富矿中（图3）。在II矿区和I矿区浅部铜镍富矿地段圈出的数十个似层状、透镜状铂（钯）富集体，其长达数十米至数百米，厚数米至数十米，有的平均含铂达数克/吨。

(二) 矿石结构构造及类型

1. 矿石结构构造

(1) 矿石结构: 以结晶分异作用形成的半自形—他形粒状结构最发育, 次为由固溶体分离作用形成的结状、板状结构和交代作用形成的残余、网状结构, 以及自变质作用形成的格状结构等。

半自形—他形粒状结构: 磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿主要呈此结构, 常见等轴粒状镍黄铁矿呈半自形晶嵌布在磁黄铁矿中。

结状结构: 镍黄铁矿呈细粒不规则集合体围绕磁黄铁矿颗粒分布。

板状结构: 黄铜矿和方黄铜矿常呈板状连晶产出。

交代残余结构: 分布较普遍, 主要见黄铁矿或黄铜矿、方黄铜矿交代磁黄铁矿或镍黄铁矿, 鳞片状墨铜矿交代黄铜矿, 磁铁矿交代金属硫化物, 而形成交代残余结构。

交代网状结构: 磁铁矿沿镍黄铁矿解理或裂隙交代, 形成网状结构。

(2) 矿石构造: 以海绵状、局部海绵状和星点状构造为主, 其次为稠密浸染状、稀疏浸染状、块状和斑杂状构造等。

海绵状构造: 金属硫化物集合体均匀地充填在橄榄石、辉石颗粒之间。金属硫化物含量一般为15—35%, 集合体粒度为0.5—6mm。

变海绵状构造: 与海绵状构造之区别是金属硫化物集合体大致呈定向排列, 有时则形成似片状构造, 系动力作用形成。

局部海绵状构造: 海绵状矿石呈大小不等的团块分布在非矿岩相中, 可能为晚期矿浆与早期岩浆混合而成。

星点状构造: 金属硫化物集合体呈星点状稀疏分布在橄榄石、辉石等颗粒间, 系熔离作用形成。

块状构造: 矿石几乎全部由金属硫化物和磁铁矿组成。

稠密浸染状构造: 大小不等的金属硫化物集合体, 密集地浸染于滑石菱镁岩中, 系海绵状矿石经热液作用改造而成。

云雾状构造: 细小的金属硫化物集合体(粒径0.005—0.1mm)密集地分布在造岩矿物——橄榄石颗粒之间或之中, 系海绵状矿石经后期热液改造而成。

斑杂状构造: 金属硫化物呈大小不等的集合体稀疏不规则地分布在橄榄石、辉石等颗粒间, 系星点状构造矿石经热液交代作用形成。

2. 矿石类型

矿石类型按矿石构造划分, 主要有星点状矿石、海绵状矿石、块状矿石, 其次为局部海绵状矿石、浸染状矿石、半块状矿石, 还有少量海绵状矿石、云雾状矿石、似片麻状矿石等。星点状矿石构成熔离型矿体; 海绵状、局部海绵状矿石构成深熔矿浆贯入型矿体; 块状、半块状矿石构成晚期矿浆贯入型矿体; 浸染状矿石一般构成接触交代型矿体; 变海绵状、云雾状、似片麻状等矿石构成热液叠加型矿(化)体。

(三) 矿石矿物成分

各类型矿石中的有用矿物以硫化物为主, 少量氧化物、氢氧化物、碳酸盐、硫酸盐、硅酸盐和硅铝酸盐类。伴生组分有砷化物、碲化物、铋化物、碲铋化物、铋化物、自然元素及

金属互化物等。

硫化物主要为磁黄铁矿、黄铁矿、镍黄铁矿、紫硫镍铁矿、黄铜矿，其次为方黄铜矿、马季诺矿、墨铜矿、白铁矿及针镍矿。氧化物有铬尖晶石、磁铁矿、赤铁矿等。此外还发现一种含钾的镍矿物——褐硫钾镍铁矿^①

主要金属矿物在各类矿石中的含量列于表3和表4。由表3、表4可以看出：①由形成较早的星点状矿石到晚期矿浆贯入的块状矿石，金属矿物含量逐渐增高。②由星点状矿石至半块状矿石和交代型矿石，金属氧化物含量相对减少，硫化物增加。同时，硫化物中的镍矿物相对含量减少，磁黄铁矿、黄铁矿和铜矿物的相对含量增高。③镍矿物在星点状矿石中相对含量最高，铜矿物在云雾状矿石和交代型矿石中相对含量最高；方黄铜矿、墨铜矿和马季诺矿主要分布在海绵状、局部海绵状、星点状矿石中，而交代型矿石中很少，块状及半块状矿石中未发现。

表 3 主要金属矿物在各类矿石中的含量

Table 3. Contents of major metallic minerals in various sorts of ores

| 矿石类型 | 星点状矿石 | 局部海绵状矿石 | 海绵状矿石 | 稠密浸染状矿石 | 云雾状矿石 | 块状矿石 | 半块状矿石 | 交代型矿石 | |
|------------|-------|---------|-------|---------|-------|-------|-------|--------|-------|
| 金属矿物及含量(%) | 镍黄铁矿 | 0.44 | 1.96 | 3.05 | 3.47 | 2.86 | 10.64 | 5.04 | 2.68 |
| | 紫硫镍铁矿 | 0.57 | — | 1.87 | — | — | 4.51 | — | 0.05 |
| | 磁黄铁矿 | 0.75 | 3.72 | 5.95 | 6.11 | 2.40 | 37.68 | 22.84 | 4.67 |
| | 黄铁矿 | 0.38 | 0.38 | 2.32 | — | — | 25.02 | 0.44 | 0.10 |
| | 白铁矿 | — | — | 0.04 | — | — | — | — | — |
| | 黄铜矿 | 0.22 | 0.67 | 1.95 | 3.24 | 1.16 | 14.77 | 9.84 | 4.03 |
| | 方黄铜矿 | 0.04 | 0.03 | 0.33 | 0.01 | 2.50 | — | — | 0.02 |
| | 墨铜矿 | 0.01 | 0.05 | 0.48 | — | 0.02 | — | — | 0.005 |
| | 马季诺矿 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | — | — | — | 0.001 |
| | 铬尖晶石 | 0.17 | 0.31 | 0.46 | — | 0.17 | — | — | — |
| | 磁铁矿 | 1.21 | 1.01 | 2.26 | 2.24 | 0.55 | 2.79 | 0.03 | 0.12 |
| | 赤铁矿 | 0.03 | 0.01 | 0.11 | — | — | 3.42 | 0.01 | 0.003 |
| | 褐铁矿 | 0.04 | — | 0.01 | — | — | — | — | — |
| 合计 | 3.87 | 8.16 | 18.86 | 15.09 | 9.66 | 98.83 | 38.20 | 11.679 | |

(据本队资料)

(四) 矿石中 有用元素含量、赋存状态及分布规律

1. 矿石中有用元素:

主要有用元素为镍、铜，伴生有钴、铂、钯、金、银、钨、钼、铀、硫等。有用元素在各类矿石中的含量见表5。

2. 有用元素的赋存状态:

镍: 各类矿石中硫化镍占全镍的82—95%，以块状矿石中最高，交代型贫矿石中最低。硅酸镍占全镍的1—9%，以块状矿石中最低。主要含镍矿物为镍黄铁矿、紫硫镍铁矿，少量针镍矿、含镍黄铁矿及含镍黄铜矿等。

① 该矿物由薛增瑞发现，据北京矿山冶金研究院电子探针分析结果计算的分子式为 $K_{2.840}(Fe_{5.818}Ni_{1.832}Cu_{0.178})_{7.824}S_8$ ，据中国地质科学院矿床所电子探针分析结果计算的分子式为 $K_{1.920}(Fe_{5.538}Ni_{2.028}Cu_{0.234})_{7.800}S_8$

表4 主要金属矿物在各类矿石中的相对含量

Table 4. Relative contents of major metallic minerals in various sorts of ores

| 矿石类型 | 金属矿物含量 (%) | 占金属矿物总量百分比(%) | | 占金属硫化物总量百分比(%) | | |
|---------|---------------|---------------|-------|----------------|-------|-------|
| | | 氧化物 | 硫化物 | 磁黄铁矿、黄铁矿 | 镍矿物 | 铜矿物 |
| 星点状矿石 | 3.87 | 37.47 | 62.53 | 46.89 | 41.91 | 11.20 |
| 局部海绵状矿石 | 8.16 | 17.16 | 82.84 | 60.65 | 28.99 | 10.36 |
| 海绵状矿石 | 18.86 | 15.08 | 84.94 | 51.97 | 30.77 | 17.26 |
| 稠密浸染状矿石 | 15.09 | 14.98 | 85.02 | 47.62 | 27.05 | 25.33 |
| 云雾状矿石 | 9.66 | 7.66 | 92.34 | 26.91 | 32.06 | 41.03 |
| 块状矿石 | 98.83 | 6.28 | 93.72 | 67.69 | 16.36 | 15.95 |
| 半块状矿石 | 38.20 | 0.10 | 99.90 | 61.01 | 13.21 | 25.78 |
| 交代型矿石 | 11.679 | 1.05 | 98.95 | 41.35 | 23.62 | 35.03 |

(据本队资料)

铜：几乎全部呈硫化物存在，主要矿物为黄铜矿、方黄铜矿，次为墨铜矿，少量辉铜矿及斑铜矿。

铂：90%以上呈矿物状态，少量呈类质同象存在于硫化物及氧化物中。铂矿物主要为砷铂矿，占77%以上，次为自然铂、含铂自然金、含铂自然铋及碲铂矿等。

表5 各类型矿石中有用元素含量

Table 5. Contents of useful elements in various sorts of ores

| 矿石类型 | 有用元素 | | Ni | Cu | Pt | Pd | Os | Ru | Ir | Rh | Au | Ag | Co | S |
|----------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|
| | (%) | | (g/t) | | | | | | | | | | | |
| 星点状矿石 | 0.65 | 0.32 | 0.18 | 0.10 | | | | | | | 0.06 | | 0.021 | 1.97 |
| 局部海绵状矿石 | 0.57 | 0.33 | 0.06 | 0.05 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.005 | 0.002 | 0.07 | 2.2 | 0.022 | 2.7 | |
| 海绵状矿石 | 2.00 | 1.32 | 0.53 | 0.24 | 0.025 | 0.020 | 0.022 | 0.010 | 0.30 | 6.1 | 0.048 | 8.25 | | |
| 半块状一块状矿石 | 4.87 | 1.65 | 0.059 | 0.07 | 0.031 | 0.027 | 0.020 | 0.010 | 0.11 | 2.66 | 0.114 | 31.03 | | |
| 稀疏浸染状矿石 | 0.56 | 0.56 | 0.27 | 0.11 | 0.009 | 0.009 | 0.008 | 0.004 | 0.14 | 3.86 | 0.023 | 7.86 | | |
| 稠密浸染状矿石 | 1.86 | 1.27 | | | | | | | | | | | | |

(据本队资料)

钯：74—88%的钯呈矿物状态，少量呈类质同象存在于硫化物中，以黄铜矿、黄铁矿中最高。在海绵状富矿石中，钯主要与砷、铋、镍形成砷钯化物（如砷钯钯矿）、碲钯镍化物（如含钯碲钯镍矿）等；在贫矿中主要为金属互化物（如钯金矿）和碲化物（如碲钯铂矿等）。

金：88%以上呈矿物状态。主要矿物有自然金和金属互化物（如银金矿、钯金矿、金铂钯矿等）。

银：以矿物状态为主。常见的有金银互化物及碲化物、碲铋化物。

铋、铊：可能主要以极细小的矿物包体存在于硫化物中，此外见极少含铋、钯的铂金矿。

锑、钨：可能主要呈类质同象存在于硫化物中，在磁黄铁矿、镍黄铁矿和黄铜矿（方黄铜矿）中含量较高。

钴：75—96%分布于硫化物中，其中96%以上又含于镍黄铁矿及紫硫镍铁矿中。钴多以类质同象存在，仅在星点状贫矿中的磁黄铁矿内见有含钴砷镍矿、含钴辉砷镍矿及镍质辉钴矿。

3. 有用元素分布规律：

岩体、矿体中有用元素含量列于表6。其分布具如下规律：①镍、铜、钴分布在岩体、矿

表 6 岩体和矿体中有用元素含量

Table 6. Contents of useful elements in the rock body and ore body

| 产 况 | 有用元素 (%) | | | (g/t) | | | | | | | |
|--------|----------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|-----|
| | Cu | Ni | Co | Pt | Pd | Os | Ru | Ir | Rh | Au | Ag |
| 岩 体 | 0.05 | 0.15 | 0.015 | 0.02 | 0.01 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.03 | 0.2 |
| 矿 体 | 0.47 | 0.76 | 0.031 | 0.24 | 0.12 | 0.013 | 0.011 | 0.012 | 0.005 | 0.14 | 3.5 |

(据本队资料)

体中，其它主要分布于各类矿体中。②铜、镍在矿体中分布的总趋势为：随矿体形成早晚含量逐渐增高（接触交代型矿体与深熔矿浆贯入型矿体含量相近），随岩相基性程度增高，含量明显增高。③海绵状富矿比星点状贫矿含量高；熔离型贫矿（星点状矿石）和晚期矿浆贯入型富矿（块状矿石）中含量均匀；深熔矿浆贯入型矿体中含量不均匀；接触交代型矿体含量变化很大；热液叠加型铂（钯）矿（化）体中铜、铂、钯、金、银等明显偏高。④一般在矿体下部、膨大部分，或矿体埋深较大时含量较高。⑤铜、镍与钴、硫、钨、钼、钽、铌等一般呈同消长关系。

四、矿床成因探讨

如前所述，金川岩体是岩浆多期次上侵形成的复合型超基性岩体，岩石铁镁比值为4.3，属铁质超基性岩，岩体平均成分接近二辉橄榄岩；岩石主要化学成分与石质球粒陨石及模拟地幔岩的成分有些相近；又矿床的硫同位素值靠近0（ $\delta^{34}\text{S}$ 值变化于-2.6—+3.1‰），由此推断，形成本含矿岩体的岩浆来自上地幔。

本岩体含矿性很好。岩体含矿率高达43.17%，矿石平均含镍1.06%，岩体平均含镍达0.42%，这比一般超基性岩中的克拉克值（0.12%）高好几倍。同时非矿岩石中的含镍量据17个岩石分析样平均为0.129%也比萨德伯里苏长岩及诺里尔斯克-I侵入体的镍平均含量（前者为0.015%，后者为0.124%）^①高。这表明本矿床主要不是就地熔离形成的。因为就地熔离作用形成的镍矿体是岩浆中之镍就地相对富集的结果，这就要以岩体中岩石总含镍量为基础。而本区岩体含矿率、矿石含镍品位和非矿岩石的含镍量都如此之高，就难以只用地熔离作用来加以解释。笔者认为，形成本含矿岩体的岩浆可能是由橄榄玄武岩浆经深部选择熔离派生而来的。

① Г.И.Горбунов 1968年资料。

岩体、矿体的具体形成过程可作如下简要概述：岩浆首次上侵形成中细粒岩相，并由就地熔离作用于其中形成就地熔离型铜镍贫矿体。经过一段相对较长的时间之后，经过深部分异和熔离的含硫化物的岩浆沿原通道第二次上侵，形成中粗粒岩相，并由于就地熔离等作用形成了深部熔离-就地熔离亚型贫矿体。第三次岩浆上侵，是经过深部分异和熔离的富含硫化物的矿浆沿原通道和中粗粒岩相之原生裂隙上侵并形成中粒岩相及深部熔离矿浆贯入型矿体。第三次侵入活动之后，经过深部充分熔离形成之硫化物高度富集的矿浆继续上侵，于先成岩体、矿体的原生裂隙、片理或围岩中的裂隙中形成晚期矿浆贯入型矿体。上述熔浆活动后期，残余气液大量逸出，与含矿岩体之围岩或捕虏体发生气液交代作用，形成接触交代型矿体。在热液作用后期，富含铜及稀贵金属的矿液于深熔矿浆贯入型铜镍富矿体内的构造破碎带和挤压带形成热液叠加型铂（钯）矿（化）体。

综上所述，金川硫化铜镍矿床具有多成矿阶段、多成因类型的叠加复式矿床的许多特点，但主要应属岩浆熔离及岩浆深部熔离矿浆贯入矿床。

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE JINCHUAN Cu-Ni SULFIDE DEPOSIT IN GANSU PROVINCE

Jia Enhuan

(No. 6 Geological Party, Bureau of Geology and Mineral Resources of Gansu Province)

Abstract

The Jinchuan mine is a Cu-Ni sulfide deposit of remarkable economic significance. In addition to abundant major elements Cu and Ni, it has quite a lot of valuable associated elements. This deposit has many unique characteristics different from other deposits of the same type both at home and abroad in geologic setting and mineralizations. For instance, it has relatively young metallogenic epochs and multiple rock-forming phases and stages; lithologically, there are merely plagioclase-bearing ultrabasic rocks occurring as dykes and characterized by especially good ore potential; the deposit is of multiple ore-forming stages and geneses, with the main type being deep-seated magmatic differentiation by liquation—ore magma injection orebodies, accompanied by commercial contact-metasomatic orebodies related to ultrabasic bodies and hydrothermal-superimposed Pt (Pd) orebodies or occurrences; potassium-bearing nickel minerals which have never been reported are observed.

The deposit occurs at the southeastern marginal uplift of the Alxa platform, and the ore-bearing ultrabasic rocks with K-Ar isotopic ages of 1510 Ma

and 1530 Ma are within high-grade metamorphic rocks of Archeozoic Baijiazui-zi Formation.

Orebodies of this deposit are all genetically associated with this ultrabasic body. Mineralization can be divided into three stages: magmatic, pneumato-hydrothermal and hydrothermal stages. Orebodies might be grouped into five types: magmatic differentiation by liquation orebodies, deep-seated magmatic differentiation by liquation—ore magma injection orebodies, late stage ore magma injection and contact-metasomatic orebodies, and hydrothermal-superimposed orebodies or occurrences.

消息报导

全国伟晶岩矿床学术交流及 现场考察会议在福建邵武市召开

The Nationwide Academic Exchange and Field Examination Conference on Pegmatite Deposits Held in Shaowu, Fujian Province

由中国地质学会矿床专业委员会、中国岩石矿物地球化学学会矿床地球化学专业委员会和福建省地质学会共同筹备、主持的全国伟晶岩矿床学术交流及现场考察会议于1985年10月27日—31日在福建邵武市闽北地质大队召开。这是我国第一次对伟晶岩研究成果的系统检阅。会议共收到论文摘要64篇。参加会议的代表有63人。

会议用四天时间进行了学术交流和讨论，涉及的内容十分广泛，包括伟晶岩的时、空分布，形成条件，物质来源，伟晶岩中稀有元素、宝石、云母等矿产的产布和富集规律，以及岩石、矿物中稳定同位素及包裹体特征等。会议最后一天，代表们考察了南平伟晶岩田中的31号矿脉。

通过这样一次既有学术理论交流，又有实地考察的伟晶岩工作会议，代表们感到收获很大。我国是一个伟晶岩十分发育的国家，不仅其中的矿产十分丰富，而且研究工作也具有较高的水平。但今后还应加强交通便利地区伟晶岩型矿脉，特别是富矿脉的找矿工作，搞好矿产的综合利用。代表们普遍感到系统总结我国伟晶岩工作中的大量成果，也是当前一项很紧迫的任务。

杨岳清供稿

全国第一届变质作用、交代作用与成矿关系 学术讨论会在天津召开

The First Session of the Nationwide Symposium on Metamorphism and Metasomatism in Relation to Metallogenesis Held in Tianjin

由中国地质学会矿床专业委员会主办的我国第一届“变质作用、交代作用与成矿关系学术讨论会”于1985年10月26日—30日在天津地质矿产研究所召开。

大会共收到学术论文摘要94篇，全文58篇。与会的68位代表来自地矿部、冶金部、有色金属总公司、中国科学院、大专院校等五个系统。

(下转第52页)