

铅同位素的组成特征表明,成矿金属物质的来源是多方面的。构造运动改变含成矿金属物质的热(卤)水溶液的水动力条件,使其向减压区运移,当其和富含还原硫的热(卤)水溶液汇合后而成矿。

硫同位素矿物对温度基本上与均一温度相符合。麒麟厂硫同位素矿物对温度(表4)的分布状况,表现出后生定位成矿热(卤)水活动的某些迹象。

麒麟厂内锌矿、方铅矿硫同位素矿物对温度 表4

中段	矿物对数	平均温度 ℃
9	2	143
10	矿体顶部	182
	矿体中部	178
	矿体底部	191
11	1	161

在和大气隔绝的较深部位成矿时,由于有机还原作用使 SO_4^{2-} 迅速而完全地转化成 H_2S ,硫酸盐矿物较为罕见,如矿山厂和麒麟厂。若是在浅成条件下,有大气氧的加入,硫酸盐矿物则大量出现,如金沙厂。

结 束 语

赋存于碳酸盐地层中的重硫型铅锌矿床,国内外地质学家多设想其硫来自邻近的油田卤水或蒸发盆地。作者通过对岩相古地理资料和控矿地层的沉积序列分析,认为成矿物质硫主要来源于

同生海水硫酸盐。而基于海水硫酸盐的形成时机,建立层控与时控的关系,从而阐明了在广大范围内,矿体赋存在某一特定层位的原因。

硫同位素组成特征是其形成环境和后期演化的急敛反映。深入研究硫同位素的分馏机制及其组成特征,不仅有助于确定成矿物质硫的来源,而且有助于阐明成矿环境的物理化学条件。

铅同位素示踪比较,不仅清楚地表明成矿物质的多源性,而且对于确定其具体来源提供了可以追寻的线索。结合区域地球化学特征,以及微量元素类比研究,可以更好地确定矿源层或矿源岩。

成矿模式可概括如下:来源于多方面的含成矿金属物质的热(卤)水溶液,与水体或地层内的富硫溶液(卤水)结合而成矿。

云南冶金第四矿、贵州冶金地质二队、湖南冶金地质勘探二一七队等单位为本文提供了宝贵的铅、硫同位素测定资料,使本文得到充实,特此表示衷心的感谢。

主要参考文献

- [1] J. Hoefs, Stable Isotope geochemistry, SpringerVerlag, 1980
- [2] H. Ohmoto, R. O. Rye, Geochemistry of hydrothermal ore deposits, 陈锦石摘译, 国外地质, 1980, 第1期
- [3] В. А. Гриненко и др., Геохимия ию голов серы, изд. «Наука», М., 1974
- [4] 陈毓蔚等, 地球化学, 1980, 第3期

金厂金镍矿床形成的地球化学过程

基建工程兵黄金指挥部 蒋 志

金厂是一大型金镍矿床。在找矿勘探过程中,对矿床成因得出了多来源、多成因、多阶段的总认识。但对矿质来源问题存在着不同的看法,如与超基性岩

有关的中低温热液说^[1],与砂板岩(包括其中的火山岩)有关的变质热液说^[2],与中酸性岩脉有关的中低温热液说,双叠加中低温热液说*,与板块活动

* 中国人民解放军基建工程兵黄金指挥部研究所、〇〇五三三部队,云南墨江金厂金镍物质组份与矿床成因初步研究报告,1981。

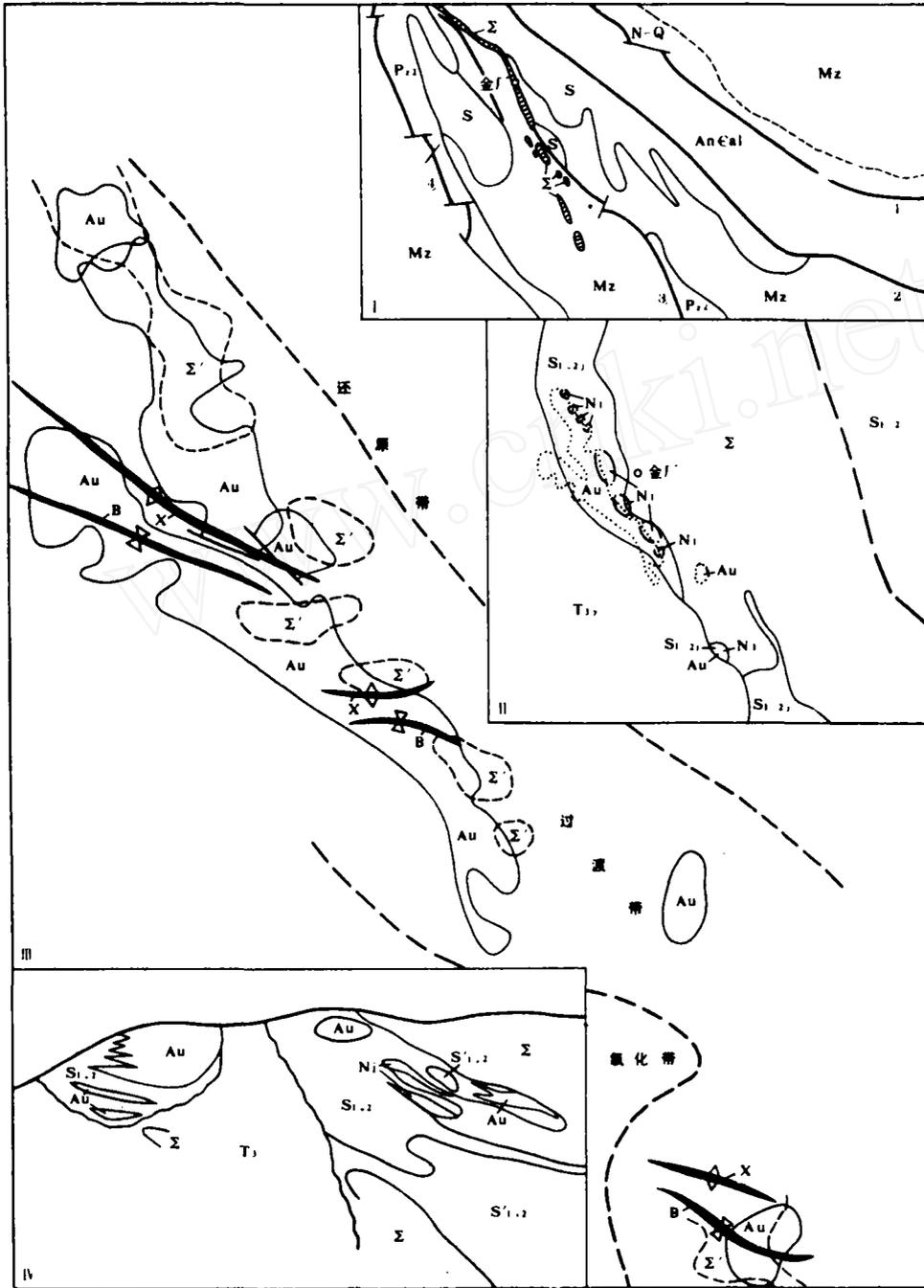


图1 金厂金镍矿化的地质背景

I—金镍矿化的区域地质背景；II—金镍矿化与金厂岩体和地层的关系；III—金镍矿化与构造、超基性小岩枝侵入以及氧化—还原条件的关系；IV—金镍矿化的典型剖面（51号剖面示意图）；AnCal—哀牢山群；S—下古生界构造层；S_{1,2}—志留系中、下统；S_{1,2j}—金厂组；S_{1,2s}—砂板岩；S_{1,2t}—硅化石英岩及砂岩；P₂—上古生界构造层；Mz—中生界构造层；T₃—上三统；T_{3y}—一碗水组；N—Q—第三、第四系；Σ—超基性岩；Σ'—后期侵位超基性小岩枝；①红河深大断裂；②哀牢山深大断裂；③安定—九甲大断裂；④阿墨江大断裂；X—翻卷向斜轴；B—翻卷背斜轴；Au—金矿体；Ni—镍矿体

有关的洋壳溶液说^[3,4]等。这是个涉及到找矿方向的重要问题，有必要深入讨论。

本文从古洋壳残留碎片蛇纹石化过程中的溶滤作用和后来的构造改造作用出发，讨论该矿床的成因问题。

金、镍矿化的地质背景

金厂矿区位于哀牢山变质带的西亚带。矿区主要地层是：下志留统金厂组（ S_{1j} ）浅变质砂岩和上三迭统一碗水组（ T_{3y} ）红层。地层受北西走向、北东倾向、向北倾没的金厂背斜控制。区域上九甲—安定大断裂的组成部分——金厂断裂通过背斜轴部，金厂超基性岩体出露于该背斜轴部（图1—1）。沿岩体与地层的接触带以及红层底部不整合面，分布着次级构造，产状与接触带一致。在这些构造附近，还分布着北西、北北东组压扭性断裂和东西组张扭性断裂。

金镍矿化主要发生在岩体两侧金厂组硅化岩、泥岩、砂板岩和岩体边部。矿体产状平缓，近地表或出露地表。其中金矿石的主要类型为：含滑石型金矿、含硫化物石英脉型金矿、含硫化物脉状浸染型石英岩金矿，以及次生的含金粉砂岩型金矿和砂金；镍矿的主要矿石类型为：黄铁矿—绿色水云母化泥岩型镍矿、块状黄铁矿脉型镍矿、绿色水云母化（有时菱铁矿化）黄铁矿化蛇纹岩型镍矿、绿色水云母化—黄铁矿化—硅化石英岩型镍矿，以及次生大型风化壳硅酸镍矿。

据李春煜等的意见^[5]，哀牢山变质带属于活动于华力西期的可可西里—金沙江俯冲带。对该带已有了相当的研究^[6]。因此，金厂岩体所在的哀牢山超基性岩带应为古洋壳残留碎片。而矿区的主要矿产组合（金、镍、钴、银、铬、石棉等），矿床的主要元素组合（Au、Ni、Ag、Co、Se、Te、S、As、Cr、Cu等），自然金的成色（6件电子探针或扫描电镜分析：Au804.9~955‰、Ag50~133.9‰，个别样品见Bi5~14.8‰、Rh30.6‰、Cu52.1‰）等均属海沟型矿床类型^[7]。因此，金厂金镍矿床与古洋壳残留碎片之一的金厂超基性岩体关系密切。

金厂超基性岩体长16公里，宽1.3公里，最宽2公里，出露面积20平方公里，是哀牢山超基性岩带418个超基性岩体中最大的。其深部与北端的常林寨、火烧寨岩体以及南端的安定、沙河、马鹿村岩体相连，成一长约40公里的大岩墙。工程所见金厂岩体已全部蛇纹石化。岩性以斜辉橄辉岩（ Φ_3 ）为主，斜辉辉橄岩（ Φ_2 ）次之，亦有少量含辉纯橄岩（ Φ_1 ）—纯

橄辉岩。造岩矿物以橄辉石为主，斜方辉石次之，单斜辉石少见。从化学成分看，属镁质超基性岩类。其中铝过饱和系列的约占40%，正常系列的占40%，碱过饱和系列的占20%，镁铁比值（ $m.f$ ）多在7~11，平均9.3。岩体普遍含镍、铬，镍平均含量为0.21%。岩体蚀变形成的蛇纹岩以胶蛇纹石、叶蛇纹石为主，纤蛇纹石次之，常见绢石假象，磁铁矿、铬铁矿、铬尖晶石呈散点状偶见，局部有石棉、黄铁矿和赤铁矿。岩体围岩蚀变不明显，自变质作用广泛而强烈，表现为蛇纹石化、绢石化、石棉化。此外，蛇纹石化过程中引起了碳酸盐化（菱铁矿、铁白云石化）、滑石化和硅化。岩体侵位于下古生代地层，其上被三迭系不整合覆盖，其间有古风化壳和超基性岩砾石。

金镍矿化的物质来源

从地质勘探资料看，参与金厂金镍矿化的元素虽然较多，但主要的是S（包括As、Se、Te等）、Si、Ni（包括Cr、Co、Fe、Pt等）、Au（包括Ag等）。下面讨论这些元素的主要来源。

1. 硫的主要来源 对比矿区硫同位素测定结果（图2）与岩石地层中硫同位素分布（表1）可以看出：

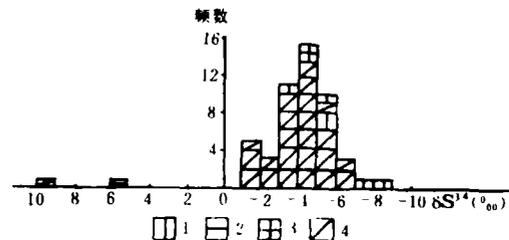


图2 金厂矿区硫同位素分布

1—辉锑矿；2—闪锌矿；3—毒砂；4—黄铁矿

金厂矿床与一般岩石地层硫同位素比较 表1

一般特征*		$\delta S^{34} - \delta S_0^{34}$		金厂矿区	
岩类	δS^{34} 变化情况	平均 δS_0^{34} (‰)	$\delta S^{34} - \delta S_0^{34}$ (‰)	平均 δS_0^{34} (‰)	岩类
超基性岩	非常集中	+1 ±	-6.1	-5.1	超基性岩
基性岩	较为集中	+3 ±	-	-	基性岩
酸性岩	较为分散	+5 ±	-6.6	6.3	花岗岩
火山岩	非常分散	+2 ±	-6.2 ± 0.3	-	基性熔岩
沉积圈	非常分散	-9.2	+4.6	-	围岩

* 据陈民扬，稳定同位素地质学（油印本），1979

(1) 矿区 δS^{34} 的平均值（-4.1‰）接近陨石硫，且分布集中，塔式效应明显，表明矿区与矿化有关的

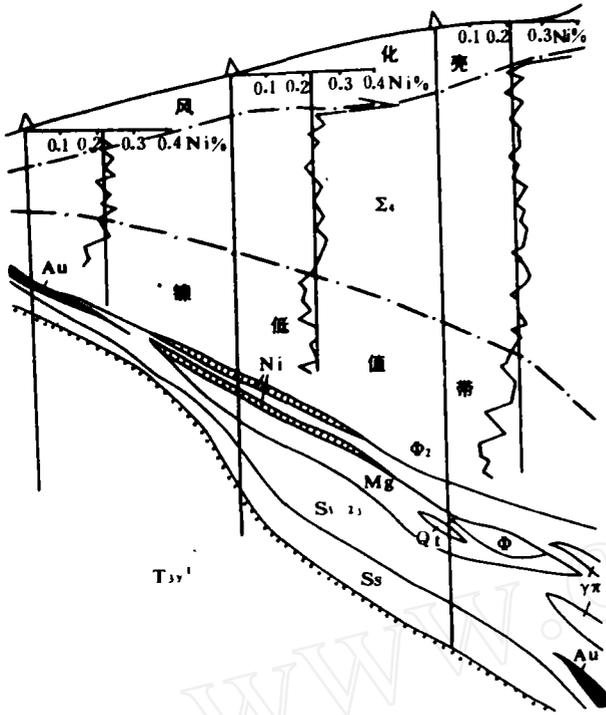


图3 山岩体到矿体镍含量变化

T₃—上三迭统“红层”; S₁—金厂组浅变质岩;
 Σ₄—金厂超基性岩体; Mg—菱镁岩; Φ—蛇纹岩;
 Φ₁—斜辉辉橄岩; Au—金矿体; Ni—镍矿体; 折线
 为镍含量变化

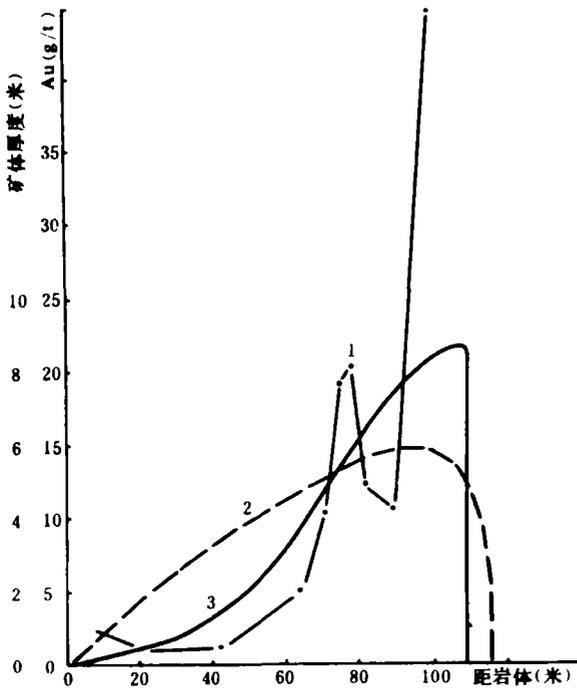


图4 金厂烂山1号矿体金随岩体距离的变化

1—金含量变化曲线; 2—金矿体厚度变化曲线;
 3—据式(3)计算

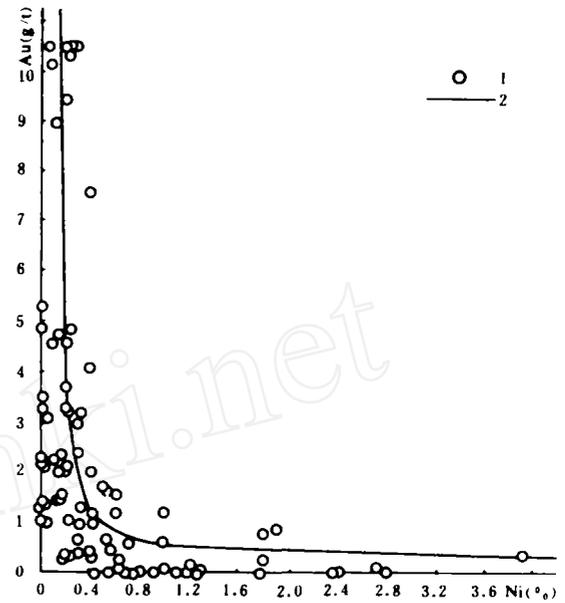


图5 金、镍之间关系

1—观测值; 2—式(4)计算值

式(4)不仅包含了金镍矿化于不同部位而呈现反消长的关系,而且可能还包含金镍在化学动力学上近于平衡的关系。因为考虑金镍的矿化态和溶液态平衡,以及溶液中金镍的存在量相对稳定时,可从理论上求得式(4);同时,式(4)括号中0.32g/t和0.12%的存在表明,金厂组地层中也有一定量的金镍进入矿床。

(2)金与银的关系较复杂。总的情况是在贫矿部分不相关,在富矿和矿化带中为正相关。这可能是生成贫矿时金、银的主要来源不同。金主要来自岩体;银可能主要来自地层(如其中的火山岩),致使金、银在贫矿部分呈“机械叠加”关系。富矿是由贫矿改造来的。这两个过程的源都是贫矿,其中金、银是在同样的作用下富集和分散的,致使富矿和矿化带中两者又呈正相关。

上述关于元素相关特点的讨论表明,矿床成矿元素主要来自岩体,但也有一部分来自地层,特别是银,可能主要来自地层。

矿化元素的上述迁移方向已于图1—IV中明显显示出:金矿体的主要部分位于金厂组地层内,向一碗水组的部分呈浑圆状,向岩体的部分呈分枝拖尾状,而镍矿体介于金矿体与岩体之间。这个典型剖面既显示了金镍来自岩体,而矿化于地层的总趋势,又显示了由于金镍性质不同,而矿化于距岩体不同的距离上。

金镍矿化的主要过程

此外,矿床矿物生成顺序和矿体元素含量分布特点,均显示出金厂金、镍矿床是一个多阶段成矿作用形成的矿床。

$$F(\xi) = \rho_0 \Phi\left(\frac{\ln \xi - m_0}{\sigma_0}\right) + \rho_1 \Phi\left(\frac{\ln \xi - m_1}{\sigma_1}\right) \quad (5)$$

式(5)中 ξ 为金含量, m_0 、 σ_0 、 ρ_0 、 m_1 、 σ_1 、 ρ_1 为相应的参数。式(5)和图6表明,金厂矿床金矿化至少有两个矿化期:贫矿生成阶段和富矿生成阶段。地质资料还表明,硫化镍矿也有相应的两个矿化期^[2]。下面结合地质资料,具体讨论矿床的形成过程。

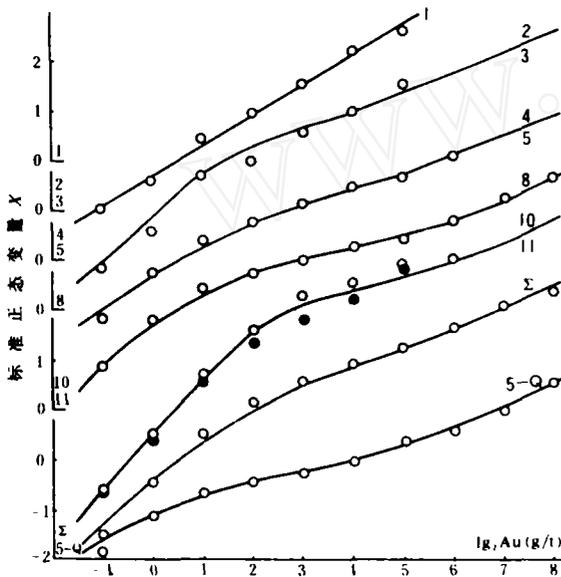


图6 金厂矿床金含量分布

1、2、3、4、5、8、10、11—矿体编号;
 Σ —前述矿体加和; 5—Q—5号矿体石英脉;
 点、圈为观测值,曲线为式(5)计算值

1. 矿源形成阶段 上述讨论表明,金厂金、镍矿化的主要来源是金厂岩体。金厂组地层中也有一定的金、镍含量。金厂组(包括其中的火山碎屑沉积)的特点表明,当时矿区位于海沟附近或海沟向岛弧的一侧。金厂岩体直接侵入于金厂组地层又被一碗水组红层直接不整合于其上。这些事实表明,做为矿源的岩体和地层形成于志留到二迭纪,金厂岩体初次侵入可能在华力西期。

2. 贫矿形成阶段 与金厂岩体初次侵入的同时或稍后,金厂地区大约已转化为岛弧而出露海面。因为三迭系红层直接不整合于岩体和金厂组之上,并在

从矿床矿物生成顺序(表2)看,金厂金、镍矿床共有四个矿物生成阶段;从矿床金含量分布特点(图6)看,金有两个矿化期。因为矿体金含量分布均可表示为两个对数正态分布的叠加

红层底砾岩中发现超基性岩砾石。以后,接近或出露地表的超基性岩体在自变质和深部循环大气降水的他变质综合作用^[8]下而蛇纹石化。在碱性、含 H_2S 、 $200^\circ C$ 左右水溶液的作用下,橄辉石、辉石等转变为叶蛇纹石、胶蛇纹石等,使金、镍、硅、硫等转移出岩体,如其中的金可能呈硫化氢络合物的形式^[10]转移。出露于地表的金厂组砂板岩中砂质部分氧化带发育较深,泥质部分氧化程度稍低一些,形成具有酸性特点的氧化还原交替带;由岩体来的含金、镍、硅、硫的水溶液遇到酸性环境,使 SiO_2 沉淀,金硫化氢络合物分解使金沉淀,硫也以金属硫化物形式沉淀,镍与金由于地化性质差异而分别沉淀于泥岩和砂板岩中,形成泥岩型镍贫矿石和石英岩型金贫矿石。

3. 盖层形成阶段 到三迭纪晚期,金厂地区已转化为弧后浅海区,接受了海陆交互相的红层沉积,形成了金厂金、镍矿的盖层。盖层的存在,使古风化壳中贫金、镍矿床埋入地下,为矿床的进一步改造提供了一定的温度、压力和其他环境条件;并且保护了矿床,使其在后来的风化剥蚀中不被破坏掉。

4. 富矿形成阶段 金厂贫金、镍矿及其盖层形成后,经历了印支、燕山、喜马拉雅三次构造运动,其中最重要的是发生了地层倒转和金厂岩体的构造侵位(见图1—III)。在这个过程中进一步改造了贫金贫镍矿,使之转变为富金富镍矿。这个时期成矿温度稍高(包裹体测温为 $240\sim 320^\circ C$)。富矿形成的高潮期大约在前一亿年左右(铬水云母年龄值为112、70、71百万年)。以金为例,改造贫矿为富矿的过程大致是:含金石英岩受压扭和张扭断裂影响,在其中形成富矿石英脉。这类石英脉通常由滑石—石英带、硅质带、硅质—石英带等组成,有时多达四、五个韵律重复出现,两侧对称。组成矿物为粘土、含炭质石英、滑石、蛇纹石和碳酸盐矿物及少量高岭石、绿水云母,自然金、金银矿物也大量集中于此,含金 $n_{10}\sim n_{100}g/t$,最高样达 $703.71g/t$ 。

5. 风化剥蚀阶段 从矿区地层缺失情况看,金厂地区大约在燕山晚期已进入风化剥蚀阶段,喜马拉雅期至今是主要剥蚀阶段。在这个时期,超基性岩体

金厂矿床矿物生成顺序

表 2

地质时代 金 镍 成 矿 期 矿 物 名 称	加里东期	华力西—印支期	燕山—喜山期	晚 近 期
	矿源形成期	贫矿形成期	富矿形成期	次生富集期
隐晶硅质				
玉髓				
石英				
自然金				
黄铁矿				
绿泥石、绢云母				
沸石、鱼眼石				
蛇纹石、滑石				
菱铁矿、铁白云石				
硫铜银矿、含银铜矿				
方硫镍矿				
辉砷镍矿				
绿色水云母、“倍铂矿”				
针镍矿				
高岭石、迪开石				
方铅矿、白铁矿、磁黄铁矿				
砷硫镍矿、辉砷矿、闪锌矿				
铜 蓝				
碧矾、镍华				
褐铁矿				

表面形成大型风化壳型硅酸镍矿；地表氧化性水携带被风化剥离的金矿中的金（呈胶体或氯合、水氯合和羟基络合物）向地下富集叠加，一方面形成石英脉裂隙中渣状金块，一方面进入较松散的粉砂岩被吸附成次生金矿；金矿的风化产物被搬运到附近的河流形成砂金矿。

根据以上关于金、镍矿化的地质背景、物质来源和主要过程的讨论可知

1. 金厂金、镍矿床应是古洋壳溶滤、构造改造、次生叠加成因矿床；

2. 金厂类型矿床的存在表明，不仅要注意与古洋壳有关的溶滤型含金的铜镍矿床，还应注意寻找在漫长地质过程中改造古洋壳而成的金矿床；

3. 整个哀牢山带是寻找金厂型矿床的一个有利地区。因为沿这条带分布有 418 个超基性岩体，同时分布着金厂组地层和三迭系红层，有矿源和成矿条件。

本文主要资料取自〇〇五三三部队提交的金厂矿床地质勘探报告。文中的一些主要论点是与孙书山工

程师商讨产生的，并经王孝玉、李前德、杨嘉禾工程师等审阅原稿，特此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 张海涛, 1981, 东北地质 (科技情报), No 1, 60~66 页
- [2] 李前德等, 金矿参考资料汇编, 第七集, 1982, 153~165 页
- [3] 胡安国, 金矿参考资料汇编, 第六集, 1981, 49~58 页
- [4] 朱奉三, 1982, 《金的地球化学》, 金的成矿作用和成矿类型划分讨论 (冶金部地质技术干部进修学校讲义), 73~75 页
- [5] 李春煜, 板块构造在地质学上的重要意义和中国板块构造的轮廓, 《现代构造理论与成矿》(冶金部地质技术干部进修学校讲义), 1~32 页
- [6] 张之孟等, 1980, 国际交流地质学术论文集(1), 构造地质·地质力学, 地质出版社, 181~191 页

[7] 郭令智等, 1981, 地质与勘探, №10, 1~6 页
 [8] 齐进英等, 1982, 地质地球化学, №5, 42~45 页
 [9] 蒋志, 1981, 放射性地质, №3, 208~215 页

[10] Баранова .Н. Н., и др., 东北地质 (科技情报), 1982, №1, 99~109 页

牛金树科马提岩的发现

四川冶金地质勘探公司 603 队 傅凤鸣 胡玉华

在力溪—通安镁铁质、超镁铁质岩带上, 我们发现了一套与蛇纹岩紧相伴的超基性火山熔岩 (图 1)。据其特征确定为科马提岩。

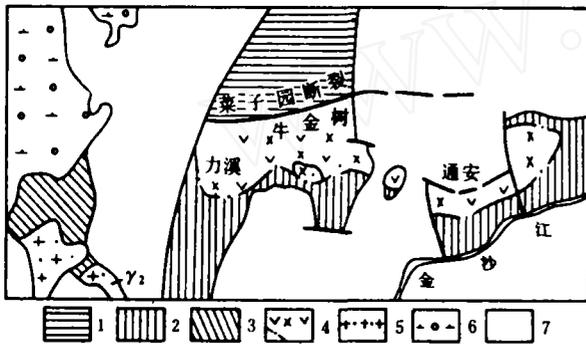


图 1 区域地质略图

- 1—下元古界会理上亚群; 2—下元古界会理下亚群;
 3—前震旦系大田组; 4—力溪—通安镁铁质、超镁铁质岩带分布范围; 5—元古代花岗岩; 6—元古代石英闪长岩; 7—前震旦系以后地层

力溪—通安镁铁质、超镁铁质岩带上, 有在地层中呈互层产出的、具枕状构造的变质玄武岩, 有广泛分布的变质辉绿辉长岩和辉长岩 (667.1~1069 百万年^{[1][1]}), 及在岩带中部大量出露的蛇纹岩。蛇纹岩在菜子园断裂中呈岩墙状, 在断裂以南为岩床, 与地层整合接触; 初步恢复原岩为辉橄岩、橄橄岩及少量纯橄岩, 属高 MgO、NiO、Cr₂O₃, 低 TiO₂, M/F > 6 (最高达 19) 的镁质超基性岩^{[2][1]}。岩带上还有橄橄玄武岩、钠质火山熔岩、黑云母花岗岩 (803 百万年)。已发现含镍磁铁矿、铬铁矿、硫化钴镍矿等。

该岩带侵位于下元古界会理下亚群变质碎屑岩、硅质板岩夹薄层碳酸盐岩中, 为会理上亚群

所覆盖。因此, 侵位时代属下元古代。岩带本身及其所处区域构造位置尚在研究中。

所发现的超基性火山熔岩在蛇纹岩岩墙的上盘, 平面上为趾状 (图 2); 呈多层产出, 每层可能代表一个岩流单元; 其中一个保留最完整的

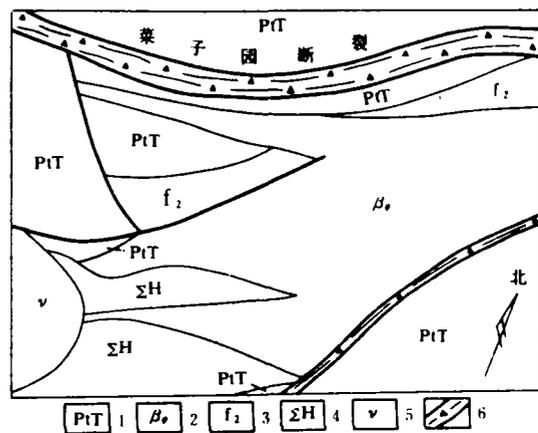


图 2 科马提岩平面分布示意图

- 1—下元古界会理群通安组变质岩; 2—辉石质科马提岩; 3—滑石化蛇纹岩; 4—滑石化超基性岩; 5—辉长岩、辉绿辉长岩; 6—断层

岩流单元厚 10 米, 它的上部为薄层硅质板岩, 其下为强滑石化蛇纹岩。岩流剖面与已报道的“具有限鬣刺结构”的科马提岩流剖面相当^{[3][1]}。全部岩石已强烈变质, 岩流组成及岩石结构特征分述如下 (图 3)。

A₁ 钠长—透闪岩、绿泥—透闪岩及顶部角砾岩: 角砾岩厚 1~2 米, 角砾大小不等, 皆为钠长—透闪岩, 角砾间为钠长石充填, 是钠长—透闪岩就地不规则裂开形成, 呈多边形节理。