

铜矿床, 镍矿床, 岩浆, 成矿作用, 硫化物矿床

甘肃地质学报

1996  
第5卷 第2期

ACTA GEOLOGICA GANSU

1996  
Vol. 5 No. 2

73-85

# 金川铜镍硫化物矿床岩浆 成矿作用的偏在性

p618.410.5  
p618.630.5

汤中立

(甘肃省地质矿产局 兰州 730000)

A

**摘要** 偏在性是指形成超大型、大型矿床的特殊成矿条件和成矿位置。在论述金川岩体母岩浆的形成、演化、深部熔离和分期上侵就位的全过程成矿作用的基础上,通过和国内外同类矿床对比,阐明了金川矿床的偏在性。这种偏在性主要表现为,它既具备形成超大型岩浆硫化物矿床的6项条件,又具备小侵入岩体成大矿的3项条件。所以,金川矿床的“偏在性”构成了世界上最主要的岩浆硫化物矿床类型之一;元古代与大陆边缘裂谷有关的二辉橄榄岩小侵入体矿床。

**关键词** 岩浆源 岩浆演化 深部熔离 上侵就位 偏在性

## 0 引言

本文是作者承担的《金川矿床成矿地质背景与预测研究》课题报告的部分内容。该课题是以裴荣富研究员为首席科学家的地矿部“八五”攻关项目:“超大型矿床成矿地质背景与预测研究”的组成部分。

关于金川矿床的地质背景和矿床地质等方面的内容,已有较多文章论述过<sup>[1]</sup>,尽管近年又有新的进展和成果,但因篇幅有限,这次不拟论述,请参考有关文献。

## 1 含矿岩浆的形成与演化

### 1 岩浆源及岩浆演化

金川岩体形成于 $1508 \pm 31\text{Ma}$ ,其地质背景为长城纪晚期华北古地块西南边缘拉张环境,大陆裂谷的前断裂拱曲。

稀土元素配分形式具明显的轻稀土(LREE)富集特点,系地幔物质部分熔融而成,Sr、Nd同位素研究也佐证了这一认识。一般认为镁铁—超镁铁岩浆源区为上地幔。稀土元素La、Sm部分熔融程度模式计算为18%~38%,参考许多学者的研究(林伍德 A E, 1975; 邓晋福, 1983),认为地幔岩经过约30%部分熔融形成苦橄质岩浆的可能性较大。

收稿日期:1995-03-06

据牛来正夫(1975)研究,太古代时大陆上地幔低速层约在地下 50~200km,元古代移至约 100~250km,故认为金川岩体的岩浆源大致在岩石圈下部接近 100~250km 处。

龙首山地区在长城纪晚期尚存在科马提质岩浆(董显扬等,1990)(藏布台镁铁—超镁铁岩为代表,形成年龄值为  $1511 \pm 168\text{Ma}$ ),金川岩体的原始岩浆有可能是拉斑玄武岩浆与科马提质岩浆之间的一种过渡性岩浆。金川岩体中硫化物矿体矿石的  $\delta^{34}\text{S}$  值为  $-2.60\text{‰} \sim +3.07\text{‰}$ ,趋近于陨硫石,可以认为岩体中硫源于地幔,但不排除有地壳硫的加入。Sr 同位素表明有地壳物质的混染,对其成矿有一定作用。

硅酸盐熔体实验显示,高温下( $1400 \sim 1500^\circ\text{C}$ )硫化物以悬浮状态存在于熔体中(戈德列夫斯基 M. H., 1981),数量可达 15% 以上。金川岩体原始岩浆富硫是可信的。就金川现存岩体计算含硫平均值约 6%,考虑金川岩体上顶岩石的剥蚀和周围墩子沟、塔马子沟、毛草泉岩体与之同源的特点,其原始岩浆的硫即使贫化 2 倍,也较超基性岩平均硫含量  $2850 \times 10^{-6}$  (海尔 K. S., 1978)要高得多,金川岩体构成超大型硫化物矿床主要原因之一应是原始岩浆富硫。

金川矿床显微鉴定资料表明,具少量原生含水矿物(普通角闪石),熔融包裹体亦证明其存在  $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{F}_2$ 、Cl 等组分的气液相(杨轩柱等,1991),说明金川岩体岩浆演化过程中存在岩浆源的流体,地幔平均约含 0.1% 的水(Ringwood, 1966)。因此,根据图 1,金川原始苦橄质岩浆的形成压力以 Takahshi(1978)实验结果  $3000 \sim 5000\text{MPa}$  为据<sup>[13]</sup>,近 30% 的部分熔融需  $>1500^\circ\text{C}$  的温度。

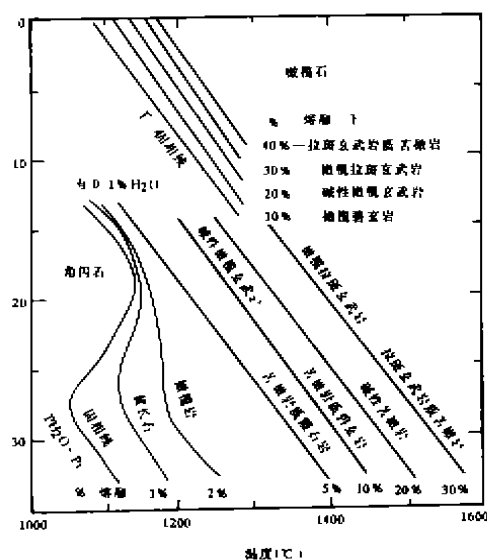


图 1 由干的和含 0.1% 水的橄榄岩部分熔融而衍生的玄武岩熔体的成因岩石学图示

Fig. 1 Scheme showing the lithogenesis of the basaltic melt derived from the partial melting of peridotite with dry and water-bearing 0.1%  $\text{H}_2\text{O}$  (据 Wyllie, 1971)

金川岩体周围出露了上百个小岩体,这些岩体的岩石化学成分与金川岩体对比均很类似,应属同源异地上侵的产物,再考虑金川岩体本身的顶部剥蚀及可能存在的隐伏岩体,形成苦橄质岩浆大致应在金川现存岩体体积的 3 倍以上,也即岩浆房的可能体积。

由此看来,金川岩体的原始岩浆自岩浆房以后沿同一通道上侵,但就位可在异地。岩浆房的深度根据物理化学条件计算结果,橄榄石可能在岩浆房就结晶,得出的  $900\text{MPa}$  以上的压力计算数值可能代表了深部岩浆房的信息,据此认为金川岩体形成岩浆演化中间阶段岩浆房的最大深度可能在 30km 左右( $100\text{MPa}/3.2\text{km}$ )。

## 1.2 岩浆上侵特征

上地幔岩石圈下部局部熔融产生的母岩浆,可因与地幔岩之间的密度差而产生浮力,向上地幔上部移动。当地壳由于拉张变薄造成压力释放,或者裂谷前期曾产生过深裂隙作用于上地幔,引起含矿母岩浆上侵到达地壳下部岩浆房。由于地壳拉张造成的应力释放应当是间歇的、长期的过程,导致含矿岩浆沿应力释放最大的区间上侵,也

应是脉动式的。当应力释放时,岩浆随之上侵;释放相对停止期间,岩浆就随着停留下来,这样岩浆就遵循了上侵—停留—再上侵—再停留……这种脉动式的规律。直到岩浆上侵到地壳5~10km的深度,达到了应力平衡,温度下降,固结下来成岩成矿。

岩浆上侵过程中的每一次停留,就形成了一个中途岩浆房,每一次再上侵,就会在岩浆的头部、中部和尾部依次分布着轻的、中等的和重的岩浆(密度小的、中等的、密度大的岩浆),当它们侵入下一个中途岩浆房时,轻的、中等的和重的浆体必然会由上到下依次分布,因为在相同应力释放的背景下,进入途中岩浆房的动力,就会按照浆体轻重的不同而依次减弱。岩浆的轻重部分的组成,主要取决于它携带晚期结晶橄榄石矿物和熔离硫化物的多少。携带多则重,携带少或不携带的浆体就是中等的和轻的。金川岩体母岩浆可能就是沿着这种机制上侵到达现存空间。

## 2 铜镍硫化物富集机理

金川矿床是典型的岩浆硫化物矿床,具重要工业意义的硫化物矿体均为岩浆熔离作用的产物。气热及热液叠加作用形成矿体数量有限。

铜镍硫化物的富集主要取决于硫化物熔体与硅酸盐熔浆之间分离的熔离成矿作用。金川含矿岩浆具有高达47.8%的含矿率,就现存岩体范围的熔离作用是不可能的;同时岩体中含矿岩浆、富矿岩浆和矿浆的侵入接触界线截然,显然是几期上侵的产物;晚期贯入矿体往往切穿了后期的辉绿岩脉或包含辉绿岩角砾等事实,都是就地熔离理论无法解释的,而深部熔离成矿作用较好地解释了这些现象。

### 2.1 深部熔离成矿作用

诺里尔斯克矿床含硫化物的苦橄辉长粗玄岩在真空石英管的熔融实验(戈德列夫斯基 M H, 1981),表明当温度下降至1300~1200℃时,散布硫化物液体液滴加大,在重力作用下积聚在熔融系统底部。岩石物理化学条件计算及岩石熔融实验研究认为橄榄石结晶温度可能较计算值稍低一些,在1400~1500℃左右,如果岩浆中具挥发分,结晶温度还要降低。可见橄榄石结晶不是岩浆侵入现存空间才开始的,而是在深部岩浆房以及上侵过程中就已陆续进行着。物理化学条件计算压力数据相差约700MPa<sup>①</sup>,可能为不同时期形成的矿物不存在相平衡所致。由此可见,深部熔离作用中,硫化物液体的积聚与橄榄石结晶温度相近,从现存矿床矿体分布特征看,硫化物液体首先形成不混溶相,由于重力效应而位于岩浆房最底部,形成硫化物矿浆,随着橄榄石的结晶和岩浆脉动式上侵而形成多层分层格局。据目前矿床岩、矿体类型及接触关系可推测,先后形成矿浆→富矿岩浆→含矿岩浆→岩浆4类自下而上的分层结构。

关于岩浆房中分层格局的形成机制,正如岩浆上侵过程所表明的,从深部熔离成矿的角度来说,这一具体过程可以推论如下:

源自上地幔局部熔融的母岩浆,在历经上地幔岩石圈过程中,发生过硫化物熔离作用,岩浆携带这部分硫化物液尘上侵到达下地壳岩浆房(I),硫化物液尘聚集于岩浆房的下部到底部。这部分最先生成的硫化物成分反映了地幔环境特点。如这种硫化物矿浆形成块状矿石的重稀土元素(HREE)相对较高,稀土配分曲线较平坦; $Cu/(Cu+Ni)=0.25$ ,  $Pt/(Pt+Pd)=0.36$ ;  $(Pt+Pd)/(Os+Ir+Ru)=2.00$ ,这些地球化学数据比值显然有别于以后形成的各类矿

<sup>①</sup> 宋学信(1982)利用不同的矿物地质压力计计算得出金川超镁铁岩成岩压力为460~1161MPa。

石。这时候岩浆房大体形成了上部不含硫化物岩浆和下部到底部分布了含硫化物液尘的岩浆分离特点(图2)。

由于地壳拉张,应力释放,岩浆和含矿岩浆上侵并先后进入第1个中途岩浆房( $I_1$ )。由于上侵途中,硫化物液尘的滞后作用,聚集于岩浆的尾部形成矿浆,这样,第1个中途岩浆房就自然形成了上部岩浆、底部矿浆的双层结构。随后在第1个中途岩浆房中的上层岩浆,由于温度逐步下降或围岩同化作用,促使熔离作用和结晶作用发生,岩浆中新熔离出硫化物液尘和结晶出橄榄石晶体。这些液尘缓慢的聚集成液滴向岩浆的下部集中,橄榄石晶出后亦有向下集中的趋势。这阶段熔离的硫化物成分和橄榄石反映了地壳的

环境特点。这种硫化物熔融体和橄榄石形成海绵状矿石,其轻稀土元素(LREE)相对富集,且 $Cu/(Cu+Ni)=0.41$ , $Pt/(Pt+Pd)=0.53$ , $(Pt+Pd)/(Os+Ir+Ru)=6.69$ ,这些比值显然和前述来自地幔的矿浆有很大的区别。

当地壳拉张,应力再次释放,第1个中途岩浆房中的岩浆、含硫化物和橄榄石晶体的岩浆和底部矿浆组成了上侵浆体的头部、中部和尾部,依次进入第2个中途岩浆房( $I_2$ )。由于上侵途中硫化物液尘和橄榄石的滞后作用,逐渐向后集中,形成富硫化物岩浆,这样头部岩浆、中部富硫化物岩浆和尾部矿浆先后进入第2个中途岩浆房后,就自然形成了岩浆房内上部岩浆、中下部富矿岩浆和底部矿浆的三层结构。随后由于温度下降或同化作用,促进熔离作用和结晶作用继续发生,但是较之第1个中途岩浆房的熔离作用要微弱得多。这阶段熔离的硫化物成分和橄榄石(可能有少量辉石)也反映了地壳的环境特点。这种硫化物熔融体和造岩矿物组成的星点状矿石也显示LREE相对富集,稀土配分曲线及形态和海绵状矿石基本相似; $Cu/(Cu+Ni)=0.41$ , $Pt/(Pt+Pd)=0.68$ , $(Pt+Pd)/(Os+Ir+Ru)=7.45$ 。这些比值既和海绵状矿石相近,又反映出先后熔离的硫化物具有一定的演化规律。

如此遵循上述岩浆上侵的机制,当岩浆(包含第2个中途岩浆房内各层浆体)进入第3个

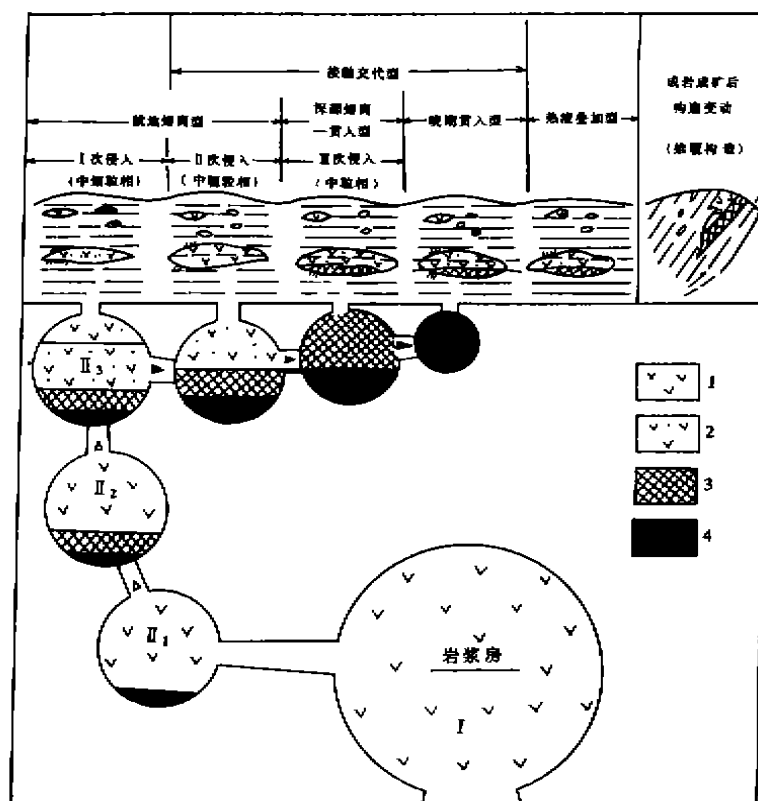


图2 成矿模式示意图

Fig. 2 Schematic diagram of metallogenic model

1—岩浆;2—含矿岩浆;3—富矿岩浆;4—矿浆

中途岩浆房(Ⅰ<sub>3</sub>)内,就由上而下形成了岩浆、含矿岩浆、富矿岩浆和矿浆的四层结构。

以上四层结构中途岩浆房的形成,反映了岩浆上侵过程中,岩浆房的发生和发展阶段,也就是深部熔离作用的全过程。

## 2.2 岩、矿体就位机制

岩浆房达到四层结构之后,在地壳进一步拉张、应力释放的环境下,四层结构岩浆房由上到下,依次侵位到达5~10km深处的空间,达到了应力平衡、冷却固结,成岩成矿。

首先侵位的是岩浆和含少量硫化物的岩浆,呈小岩株沿不同通道侵入异地,构成如现今之V号异常岩体,墩子沟、塔马子沟、毛草泉等岩体和岩群。这些岩体和岩群,均分布于与金川岩体围岩同层位和上覆层位地层中,它们和金川岩体属同源岩浆房的产物。随后含矿岩浆(分两次)、富矿岩浆、矿浆先后侵位于金川矿床的现存空间,前3次含矿岩浆和富矿岩浆侵位时间间隔较短,后一次晚期矿浆贯入的时间间隔较长,这从各期次浆体侵入接触关系和晚期块状矿体切断辉绿岩脉等事实可得到佐证。前两次含矿岩浆侵位现存空间之后,曾分别就地发生熔离作用和结晶分异作用,深部携带上来的硫化物和就地熔离的硫化物液尘,在现存空间发生就地聚集,下部形成厚大的星点状贫矿体,上部往往形成上悬式矿化体和贫矿体。这类矿体与岩体围岩皆呈渐变过渡关系。第1次含矿岩浆上侵后,结晶分异和重力分异作用较明显,岩相由上而下依次为边缘蛇纹石、绿泥石、透闪石片岩—橄榄二辉岩—二辉橄榄岩—含二辉橄榄岩—局部为二辉橄榄岩。大体上表现了由上而下,岩相基性度增高的趋势。第2次含矿岩浆位于第1次岩浆体下部,大部分地段与围岩直接接触,呈中心式对称分异关系,岩相由上而下为二辉岩(局部发育)—橄榄二辉岩—二辉橄榄岩—含二辉橄榄岩—二辉橄榄岩—橄榄二辉岩—二辉岩(局部发育),岩相的这种发育关系,可能和岩体围岩成分的同化作用密切相关。

第3次富矿岩浆形成的海绵状矿体和矿浆晚期贯入形成的块状矿体,它们的主体部分,都依次就位于前一次矿体的下侧部。

## 2.3 气化热液与热液叠加成矿作用

气化热液成矿作用形成的接触交代矿体,主要分布于岩体顶底盘大理岩和岩体的大理岩捕虏体中。规模较大的矿体主要分布于底盘大理岩中,空间上靠近底盘接触带,常和海绵状矿体接触或靠近。主要矿石为稠密浸染状和浸染状矿石,矿石的金属矿物成分和岩浆期的矿石相似,矿石的 $Cu/(Cu+Ni)=0.52$ , $Pt/(Pt+Pd)=0.47$ , $(Pt+Pd)/(Os+Ir+Ru)=8.07$ ,这些比值反映这类矿石和岩浆期的成矿具有一定的演化关系。

热液叠加矿体主要发育于岩浆期海绵状富矿体的中部到底部,个别叠加于星点状贫矿体中。沿原矿体中构造挤压带分布,具强烈滑石菱镁矿化,矿石以Cu、Pt、Pd、Au、Ag、Se、Te异常增高为特色, $Cu/(Cu+Ni)=0.62$ , $Pt/(Pt+Pd)=0.86$ , $(Pt+Pd)/(Os+Ir+Ru)=689.16$ 。这些比值特征突出表明,这类矿体乃是成矿演化的端员产物。

## 2.4 成矿后的构造变动

从上述各类矿体的就位位置和就位机制出发,结合早期岩浆主要侵位于金川岩体围岩的相同层位和上覆层位地层中,以及后来发生的推覆构造等事实分析,认为金川岩体的原始产状可能较现在产状要平缓(图3A),或者原来就是一个平卧的岩体,只是由于后来的推覆构造,地壳深部5~10km的金川岩体和矿体被推覆上来,经过剥蚀而成为今天这样的岩墙状陡倾式产状(图3B)。

大地电磁测深剖面在现今金川岩体的倾斜延伸部位,未证实有深部岩浆房或大量基性超

基性物质存在的痕迹,似乎亦可佐证上述推断。

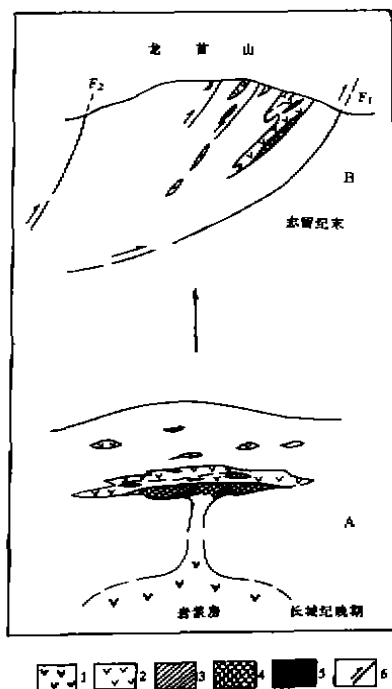


图3 金川含矿岩体成岩期后构造变动示意图

Fig. 3 Schematic diagram of postdiagenetic tectonic event of the Jinchuan ore-bearing intrusion

- 1—第1期侵入相;2—第2期侵入相;  
3—就地熔离矿体;4—第3期侵入相(深熔-贯入矿体);  
5—晚期贯入块状矿体;6—推覆断层

### 3 金川成矿模式的偏在性

关于金川矿床和世界超大型岩浆硫化物矿床以及国内主要硫化镍矿床的对比,分别列于表1、2、3、4中。由表可见,金川矿床成矿模式的偏在性主要表现为:既具备形成超大型岩浆硫化物矿床的条件,又具备小岩体成大矿的条件。

#### 3.1 超大型矿床形成的条件

(1)特定的时空条件:这类矿床都产于地盾区、古地块区或古地块边缘区,它们的时代为太古代、早中元古代和三叠纪。整个晚元古代、古生代和其它地史期间,未曾产出过这类超大型矿床。金川矿床形成于华北古地块的西南部,形成时期为  $1508 \pm 31\text{Ma}$ ,应属中元古代。

(2)巨大的诱发性构造或构造带:如萨德贝里陨击构造影响直径约达190km;西澳耶尔岗东部古裂谷带长约800km,宽约200km;诺里尔斯克-塔尔纳赫深断裂延伸可达375km;马尼托巴汤普逊绿岩构造带延伸亦达100多公里。与金川矿床形成有关的北祁连裂谷带,其延伸达1000km以上。这一裂谷带形成的早期,华北古地块西南部反映出强烈的地壳拉张效应,是诱发地幔含矿岩浆上升、形成金川矿床的重要因素,前已指出金川矿床的岩浆源区可能

来自100~250km的地幔岩石圈下部,其它超大型矿床亦应有类似深源源区,因此只有巨大的诱发性构造或构造带才能引起源区岩浆部分熔融上升成岩成矿。

(3)两种构造环境:产于地盾(古地块)区的岩体,多呈盆状(如萨德贝里)、岩基状(如布什维尔德),只呈单个岩体产出,这类岩体规模巨大,平面面积一千多平方公里至十万多平方公里,岩体的厚度可达几公里,产状平缓,在垂向上具有明显的岩相分带。产于地盾(古地块)边缘裂谷带和绿岩带的岩体,多呈带状群体产出,喷出地表的呈岩流分布,侵入体多呈透镜状、岩墙状、岩株状等。单个岩体规模较小,平面面积由不足一平方公里至十几平方公里,垂向延伸几十米至千米;一般具有侧向或由中心向两侧的岩相分带。金川岩体所在的龙首山岩带,产出于华北古地块西南部裂谷带边缘,岩带中的岩体呈群分布,金川岩体呈岩墙状,平面面积仅  $1.34\text{km}^2$ ,垂向延伸1100余米,已呈缩小尖灭趋势。岩体由上向下具明显侧向分带,每一相带之间具清晰截然的接触界线,显然是岩浆几次上侵的结果。

(4)两种岩浆系列的两类岩石组合:含矿母岩分属科马提岩浆和拉斑玄武岩浆两种岩浆系列。前者主要产于太古代,具有海底喷发岩流和侵入岩体两种产出形式,喷发相为具鬣刺结构

表 1 超大型、大型岩浆硫化物矿床岩体对比

Table 1 Contrasts among the rockbodies of super-large and large magmatic sulfide deposits

岩体名称	金川	萨德贝里	诺里尔斯克—塔尔纳赫	西澳大利亚	汤普逊带	布什维尔德
构造环境	华北古地块西南边缘裂谷	加拿大地盾区萨德贝里盆地构造	西伯利亚地块西北边缘诺里尔斯克—Kharaelkh 深断裂	西澳 Yilgarn 地块东部古裂谷	加拿大前寒武纪地盾区绿岩构造带	
分布型式	沿推覆大断裂上盘呈带分布	沿盆地周边呈环带分布	沿深断裂呈带分布	沿古裂谷绿岩带呈带分布	沿绿岩构造带呈带状分布	呈单个规模巨大的层状侵入体
岩体(流)规模形态	1.34km <sup>2</sup> , 岩墙状	60km × 25km, 盆状	单个含矿岩体可达 12km × 2km, 岩盘状	南段主要为喷发岩流, 呈层状, 长几百米, 厚 25~75m; 北段主要为侵入相, 透镜状, 长 0.5~10km, 厚 50~100m	岩体规模 250m × 70m × 150m, 地表有的岩体长达 4km, 厚 200~300m	东西长 463km, 南北宽 246km, 岩体厚 7~9km
岩浆系列	铁质超基性岩(拉斑玄武岩系列)	拉斑玄武岩系列	拉斑玄武岩系列	科马提岩系列	科马提岩系列	拉斑玄武岩系列
岩石组合	中细粒二辉橄岩—橄辉二辉岩; 中粗粒含二辉橄辉岩—二辉橄辉岩—斜长二辉橄辉岩—橄辉二辉岩—二辉岩; 中粒纯橄辉岩, 以上 3 种粒度相为 3 期侵入形成, 中细粒相—中粗粒相—中粒相呈依次侵入的顺序	主体岩相(由上而下): 微文象岩、石英辉长岩、苏长岩、富石英苏长岩; 亚层苏长岩相: 含有各种外来的和就地派生的包体; 底盘角砾岩相。以上 3 相为依次侵入形成。主体岩相本身亦属多次侵入形成。亚层苏长岩以岩枝状插入底板围岩之中	如诺里尔斯克 1 岩体由上而下为: 火成角砾岩(上部混杂辉长辉绿岩)、辉石辉长岩—闪长岩、橄辉辉长辉绿岩、苦橄辉长—辉绿岩、斑杂辉长—辉绿岩。只在一处见到有两种岩相为渐变过渡关系, 其他地方接触带都是突变的, 有时是交切的, 说明它们是依次侵入形成	喷发相为科马提质火山堆积, 底部为科马提蚀变岩流(MgO 36%~45%), 分异的矿化岩流富含橄辉石, 侵入相为科马提纯橄辉岩(MgO 45%~51%), 为不整合侵入体, 边缘镁含量减低, 围岩有所变化	蛇纹石化橄辉岩, 矿化主要产于黑云母片麻岩中, 只在一处见矿带伸进到蛇纹石化橄辉岩中	由上而下岩体分为: 上部带, 橄辉闪长岩; 主带, 辉长岩、苏长岩、斜长岩; 临界带, 古铜辉石岩、苏长岩、斜长岩; 下部带, 方辉橄辉岩、古铜辉石岩、纯橄岩。由于超镁铁质岩浆和斜长岩浆多次注入, 互相混合和结晶分异, 形成了岩体的层次构造和岩浆的反复旋回
围岩	顶板: 花岗片麻岩、混合岩、斜长角闪岩、大理岩; 底板: 大理岩、黑云母片麻岩等	顶板: Onaping 角砾岩; 底板: 花岗质巨砾岩、角砾岩	顶板: 拉斑辉绿岩、二长玢岩; 底板: 拉长玢岩、细碧岩、辉石辉长岩等	喷发相顶板(缺); 底板为变玄武岩流, 侵入相顶底板皆为变沉积岩(Agnew)	顶板为砂卡岩和片麻岩; 底板为石英岩	顶底板为元古代沉积岩和德兰士瓦熔岩系
成岩时代	1508±31Ma	1849Ma	三叠纪	2800Ma	>1800Ma, 可能属太古代	2049~2058Ma









(spinfex)的橄榄岩火山堆积,侵入相为纯橄榄岩体,两者所产橄榄石的 $F_o$ (镁橄榄石)变化区间为85%~95%,喷发相和侵入相皆可产生重要硫化镍矿床。后者产于早中元古代和三叠纪,具有海底、大陆喷发岩流和侵入岩体多种产出形式。喷发相形成大陆溢流玄武岩,一般不含重要硫化物矿床;侵入岩体主要形成苏长岩(萨德贝里)、辉长辉绿岩(诺里尔斯克—塔尔纳赫)、古铜辉石岩—苏长岩—斜长岩(布什维尔德)等岩石组合,岩石中橄榄石的 $F_o$ 变化区间为40%~90%,世界上主要的超大型岩浆硫化物矿床,都产于这类侵入体中。金川母岩体,形成于中元古代,由二辉橄榄岩岩石组合组成,岩石中橄榄石的 $F_o$ 变化区间为78.5%~86.19%,属于拉斑玄武岩浆偏基性的端员,故称之为苦橄质拉斑玄武岩浆。

(5)点状单独产出和分段重现产出:这是超大型矿床的两种产出形式,前者如萨德贝里和布什维尔德,母岩体呈点状单独产出,巨大的、为数众多的矿体沿着母岩体一定的部位或层位分布,共同构成超大型矿床。如萨德贝里岩盆,沿周边约150km长度内,分布了约49处镍矿山;布什维尔德岩体内,沿梅林斯基层,分布了约20处铂矿山。显然每座矿山都是一个重要矿体或矿床的所在地。所谓分段重现产出,如诺里尔斯克—塔尔纳赫、西澳大利亚和汤普逊带,母岩体(或岩流)在几十公里至几百公里长度内,断续呈带分布,在走向上,多处以致几十处岩体产硫化物矿床,每处矿床的镍储量由几万吨至一百多万吨不等,整个岩带的储量,达到几百万吨级的超大型规模。

金川矿床的母岩体,在区域上断续呈带呈群分布,在众多的岩体中,只有金川一处岩体,赋含了数百万吨级超大型矿床。所以金川矿床是岩体呈带呈群,矿床呈点状单独产出形式。

(6)多期成岩、成矿,以晚期岩浆成矿为主:这一特征在金川、萨德贝里、诺里尔斯克—塔尔纳赫几个以镍铜为主的超大型矿床,都有明显的体现。“晚期岩浆成矿”为主,是指诸如金川第3期中粒纯橄榄岩伴生的矿体,金属储量占到全矿区的85%以上;萨德贝里晚期侵入的亚层苏长岩(sublayer norite)及其衍生的底盘角砾岩相赋存的矿体,还有诺里尔斯克晚期的斑杂辉绿岩相中赋存的矿体,都是主要矿体。

### 3.2 小岩体成大矿的条件

小岩体成大矿的条件,概括地说就是需要具备完整地充分地深部熔离—分期贯入成矿机制。具体分解为以下3个条件:

#### (1)具有多层结构的岩浆房

图4中的4类矿床、具有3种结构的岩浆房。按照岩浆房结构层最大数,简称为四层、三层、两层结构岩浆房。四层结构岩浆房,适用于金川、红旗七、力马河、白马寨矿床;三层结构岩浆房,适用于喀拉通克、赤柏松矿床;两层结构岩浆房适用于拉水峡、铜铜子矿床。

除金川之外,红旗七、喀拉通克的镍储量为10几万吨至20余万吨;力马河、白马寨、赤柏松的镍储量为几万吨至10万吨;拉水峡和铜铜子的镍储量仅为几百吨至几千吨。可见越具多层结构岩浆房的矿床,一般越有利于成矿。

#### (2)上部硅酸岩浆分流上侵至不同空间成岩

这种不含矿的硅酸岩浆,单独分流到各个不同的空间,形成侵入岩体群,或喷溢至地表形成岩流,有利于下部的含矿岩浆、富矿岩浆和矿浆集中形成小岩体大型矿床。如金川矿床外围

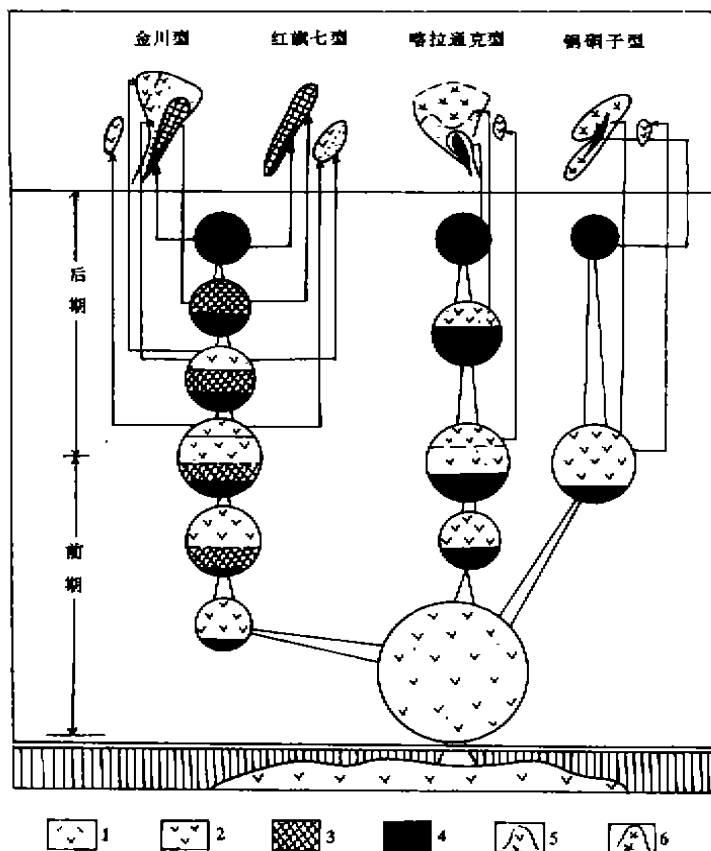


图4 主要成矿模式示意图

Fig. 4 Major metallogenic model diagram

1—硅酸盐类; 2—含矿岩浆; 3—富矿岩浆;

4—矿浆; 5—超镁铁岩; 6—镁铁岩

众多的超镁铁岩岩体,一般都无矿化或只有极微弱的矿化;而红旗七、力马河、白马寨、喀拉通克、赤柏松矿床的外围,有较小的镍矿床或较多的矿化岩体存在,这是该区岩浆房中含矿的那部分岩浆,较多地流到区域上不同空间的结果,这种情况显然不利于小岩体超大型矿床的形成。但是,随含矿岩浆分流出去的程度不同,并不排除形成大型(Ni 储量>10 万 t)和中小型(Ni 储量>1 万 t)的小岩体矿床。

(3)下部含矿岩浆、富矿岩浆、矿浆分次上侵到同一空间成矿

这种成矿机制,前节已经详叙。显然它有利于形成超大型、大型的小岩体矿床。金川成矿模式就是一个典型的实例。

### 3.3 结论

由于金川成矿模式既具备形成超大型岩浆硫化物矿床的6项条件,又具备小岩体成大

矿的3项条件,因此这9项条件就构成了金川成矿模式的偏在性。

金川成矿模式偏在性的典型意义在于:它既是世界上主要的岩浆硫化物矿床类型之一,又是中国最主要的岩浆硫化物矿床类型。金川矿床类型可以概括为:“元古代与大陆边缘裂谷有关的二辉橄榄岩小侵入体矿床”。

### 参考文献

- 1 汤中立. 金川硫化铜镍矿床成矿模式. 现代地质, 1990(4): 55~64
- 2 汤中立, 杨杰东等. 金川含矿超镁铁岩的 Sm-Nd 法定年. 科学通报, 1992(10): 918~920
- 3 林伍德 A E. 杨美娥等译. 地幔的成分与岩石学. 北京: 地震出版社, 1981
- 4 牛来正夫. 火成论. 北京: 地质出版社, 1983
- 5 董显扬等. 龙首山西段发现科马提岩. 西安地质矿产研究所刊, 1990, 第30号
- 6 戈德列夫斯基 M H. 方古译. 含矿超基性岩浆的形成条件及演化. 地质科技情报, 1981, 62~67
- 7 杨轩柱等. 金川岩体稀土元素特征及成因意义. 西安地质学院学报, 1991(1): 13~22
- 8 Naldrett A J. Magmatic sulfide deposits. Oxford University Press, 1989
- 9 Naldrett A J. A model for the Ni-Cu-PGE ores of the Noril'sk region and its application to other areas of flood basalt.

Econ. Geol., 1992, 87(8)

- 10 Groves D I et al. . Tectonic setting of the sulfide nickel deposits of the western Australia. Sulfide deposits in mafic and ultramafic rocks. 1982, 1~13
- 11 Peredery W V. Geology and ore deposits of the Sudbury structure, Ontario, 8Th IAGOD SYMPOSIUM [FIELD TRIP], 1990
- 12 地质科技情报研究所. 铬镍钴铂地质矿产专辑. 第一集, 北京: 地质出版社, 1973
- 13 Takahashi E. "Partitioning of  $Ni^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  between olivine and silicate melts; Compositional dependence of partition coefficients" *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 1978, 42, 1829—1844
- 14 Wyllie P J. The dynamic earth: textbook in geosciences; New York, John Wiley & Sons, Inc. , 1971, 416

## MAGMATIC MINERALIZATION PREFERENTIALITY OF THE JINCHUAN Cu-Ni SULFIDE DEPOSIT

Tang Zhongli

(Bureau of Geology and Mineral Resources of Gansu Province    Lanzhou    730000)

**Abstract**    The Mineralization Preferentiality so called means that the super-large and large deposits are located at special places with specific conditions of mineralization. This paper discusses the all mineralization — magma origin, magma evolution, deep-seated liquid unmixing and multiple intrusion concerning the parent magma of Jinchuan intrusion. Through the contrasts among the similar deposits inside and outside China, the author concluded that the Mineralization Preferentiality could be translated into six terms of forming a super-large magmatic sulfide deposit and three terms of large mineralization in a small rock body, under which terms, the Jinchuan deposit, one of the most important magmatic sulfide deposit types in the world, was formed. We call it "a deposit of small lherzolite rock body relating to continental margin rift in the Proterozoic era".

**Key words**    Magmatic source    Magmatic evolution    Plutonic liquation  
                         Intrusive emplacement    The mineralization preferentiality