

# 金川铜镍矿床年龄和源区同位素地球化学特征

张宗清<sup>1)</sup> 杜安道<sup>2)</sup> 唐索寒<sup>1)</sup> 卢纪仁<sup>3)</sup> 王进辉<sup>1)</sup> 杨刚<sup>2)</sup>

1) 中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037; 2) 国家地质实验中心, 北京, 100037

3) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037

**内容提要** 本文报道了金川铜镍硫化物矿床 Sm-Nd、Rb-Sr、Re-Os 同位素年龄测定结果, 讨论了矿床物质源区。金川铜镍矿床 Re-Os 年龄为  $1043 \pm 28(2\sigma)$  Ma,  $I_{Os} = 0.1503 \pm 50(2\sigma)$ ; Sm-Nd 等时年龄约  $0.97 \pm 0.31(2\sigma)$  Ga,  $I_{Nd} = 0.51106 \pm 28(2\sigma)$ ; Rb-Sr 等时年龄约 819 Ma,  $I_{Sr} = 0.7118$ 。矿床物质来自富集地幔源区。矿床形成可能与 Rodinia 超大陆的形成和裂解过程有关。

**关键词** 同位素年龄 同位素地球化学 金川铜镍矿床

金川铜镍矿床位于甘肃省金昌市境内, 发现于 1958 年, 是一与超镁铁质岩有关以铜镍为主, 含有多种有用组分的大型岩浆矿床, 也是我国已发现的最大镍矿床。矿床的形成时代, 虽然已进行过许多工作, 但是至今为止仍无可信数据。与矿床有关的超镁铁质岩侵入古元古代龙首山群白家嘴子组中, 估计其形成时代为古元古代—中元古代。已获得的含矿超镁铁质岩的 Sm-Nd 等时年龄为  $1508 \pm 31$  Ma (汤中立等, 1992, 1995)。矿床同位素地球化学, 除硫同位素有较多数据外, 其他同位素数据少。矿床物质一般认为来自上地慢, 即亏损地幔源区 (任端进等, 1984; 贾恩环, 1986; 杨合群, 1991; 汤中立等, 1995; 解广轰等, 1998; 裴荣富等, 1998)。近年, 笔者对矿床进行了 Sm-Nd、Rb-Sr、Re-Os 同位素年代学和同位素地球化学工作, 所获得结果与前人认识明显不同, 报道如下。

## 1 金川铜镍矿床产出地质背景

金川铜镍矿床位于甘肃省金昌市龙首山。大地构造位置属中朝克拉通阿拉善地块南缘, 南部与祁连山造山带相邻, 地质概况如图 1 所示。

矿区出露地层为龙首山群下部白家嘴子组, 系一套历经高角闪岩相部分重熔的变质岩石, 主要由黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩、角闪岩和大理岩组成。片麻岩中有肉红色钾长花岗岩穿切。

含矿超镁铁质岩体侵入白家嘴子组中, 顶底板围岩为黑云斜长片麻岩和蛇纹大理岩。超镁铁质岩

主要由二辉橄榄岩、纯橄榄岩、斜长二辉橄榄岩、辉石岩组成。Cu、Ni 硫化物呈星点状、浸染状、海绵陨铁状赋存于二辉橄榄岩和纯橄榄岩中, 局部富集成块状矿石。岩体中脉体发育, 主要为煌斑岩脉、辉长岩脉和辉绿岩脉。岩体被后期断层切割为 4 部分, 矿体也由西向东划分为Ⅲ、Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ 4 个矿区 (图 1)。

样品为辉石岩、二辉橄榄岩、斜长二辉橄榄岩和含硫化物纯橄榄岩。采样地点: Ⅱ 矿区地表 18 行和 1 号矿地下 1100~1200 m 矿体。

## 2 同位素年龄测定结果

### 2.1 分析方法

Sm-Nd、Rb-Sr 同位素分析在中国地质科学院地质研究所同位素年代学实验室完成, 实验方法张宗清等 (1987) 和叶笑江等 (1990) 均已报道。含量用同位素稀释法分析。Nd、Sr 同位素组成用 MAT-261 固体同位素质谱计测定。质量分馏分别用  $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$ ,  $^{88}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 8.37521$  校正。标准物质测定结果: J. M.  $\text{Nd}_2\text{O}_3$   $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.511125 \pm 8(2\sigma)$ , GBW04419  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512731 \pm 8(2\sigma)$ ; NBS987  $\text{SrCO}_3$   $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.71025 \pm 2(2\sigma)$ 。流程空白 Sm、Nd 约  $0.05 \text{ ng}$ ; Rb、Sr  $0.1 \sim 1 \text{ ng}$ 。年龄用 Lodwing (2000) Isoplot 软件  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  误差  $0.5\%$ ,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  误差  $0.005\%$  和  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  误差  $2\%$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  误差  $0.05\%$  计算。衰变常数  $\lambda(^{147}\text{Sm}) = 6.54 \times 10^{-12} \text{ a}^{-1}$ ;  $\lambda(^{87}\text{Rb}) = 1.42 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ 。

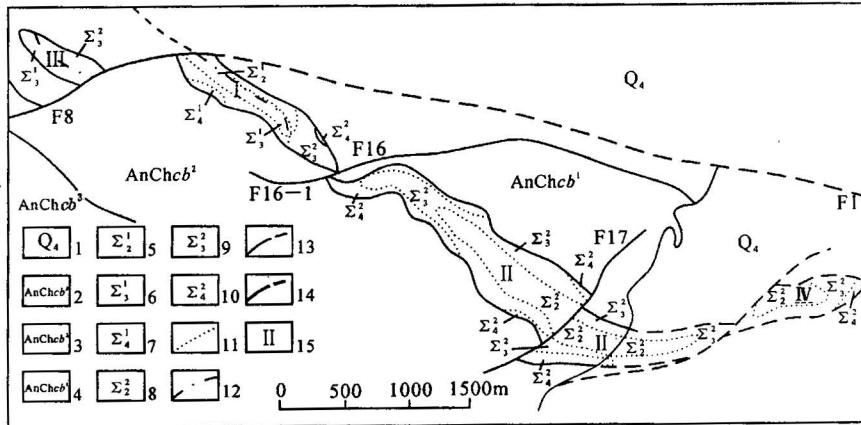


图 1 金川铜镍矿床矿区地质略图(据任端进等,1984;汤中立等,1995)

Fig. 1 Geological sketch of Jinchuan copper-nickel ore district (after Ren Duanjing et al., 1984;  
Tang Zhongli et al., 1995)

1—第四系;2—前长城系龙首山群白家嘴子组上岩性段;3—前长城系龙首山群白家嘴子组中岩性段;4—前长城系龙首山群白家嘴子组下岩性段;5—第1期含二辉橄榄岩;6—第1期二辉橄榄岩;7—第1期橄榄二辉岩;8—第2期含二辉橄榄岩;9—第2期二辉橄榄岩;10—第2期橄榄二辉岩;11—侵入体岩相界线;12—侵入期次界线;13—地质实测、推测界线;14—实测、推测断层界线;15—矿区编号  
1—Quaternary; 2—Upper Baijiazuzi Formation of Longshoushan Group of the pre-Changcheng system; 3—Middle Baijiazuzi Formation of Longsoushan Group of the pre-Changcheng system; 4—Lower Baijiazuzi Formation of the Longsoushan Group of the pre-Changcheng system; 5—first stage two-pyroxene-bearing peridotites; 6—first stage lherzolites; 7—first stage olivine webersuites; 8—second stage two-pyroxene-bearing peridotites; 9—second stage lherzolites; 10—second stage olivine websterites; 11—intrusive lithofacies boundaries; 12—intrusive stage boundaries; 13—measured and hypothetical geological boundaries; 14—measured and hypothetical faults; 15—ore area number

铼锇年龄同位素分析在国家地质实验中心完成。分析流程见文献(杜安道等,1994; Shirey et al., 1995, 1998; Smoliar et al., 1996; Du Andao et al., 2001)。含量用同位素稀释法分析。同位素比值用 TJA PQ ExCell ICPMS 测定。质量分馏用 <sup>192</sup>Os/<sup>188</sup>Os = 3.08271 校正。标准物质 GBW0435 测定结果: Re 284 μg/g, <sup>187</sup>Os 657 ng/g。流程空白 Re 约 10 pg, Os 约 1 pg。年龄用 Lodwing (2000) Isoplot 软件, <sup>178</sup>Re/<sup>188</sup>Os 误差 3%, <sup>187</sup>Os/<sup>188</sup>Os 误差 2% 计算。<sup>187</sup>Re 衰变常数  $1.666 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ 。

## 2.2 Sm-Nd 年龄同位素分析结果

对 15 件采自二矿区地表 18 行和地下 1 号矿体的辉石岩、二辉橄榄岩和含硫化物纯橄榄岩样品进行了 Sm-Nd 年龄同位素分析, 分析结果列于表 1。除斜长二辉橄榄岩样品 J43, 辉石岩样品 J02 的 Sm、Nd 含量稍高外, 其余 13 件样品的 Sm、Nd 含量都很低, Sm 含量由 0.1710~0.8670 μg/g, Nd 含量 0.7278~4.270 μg/g。<sup>147</sup>Sm/<sup>144</sup>Nd 值 0.08864~0.1816, <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd 值 0.511493~0.512255。在 <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd - <sup>147</sup>Sm/<sup>144</sup>Nd 图上, 样品呈线性分布趋势, 但不构成好的等时线(图 2)。参考等年龄为 0.97±0.31(2σ)

$$\text{Ga}, I_{\text{Nd}} = 0.51106 \pm 28(2\sigma), \text{MSWD} = 34.$$

## 2.3 Rb-Sr 年龄同位素分析结果

同 Sm-Nd 年龄样品, 对采自二矿区地表 18 行和地下 1 号矿体的辉石岩、二辉橄榄岩, 含硫化物纯橄榄岩 16 件样品进行了 Rb-Sr 年龄同位素分析。分析结果列于表 2。样品 Rb 含量低, Sr 含量高, <sup>87</sup>Rb/<sup>86</sup>Sr 值 小于 0.5967, 而 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 值 确较高, 大于 0.710100。在 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr - <sup>87</sup>Rb/<sup>86</sup>Sr 图上, 除样品 J02、J15、J42、J43 外, 其余 12 个样品大致沿  $t = 819 \text{ Ma}$ ,  $I_{\text{Sr}} \approx 0.7118$  等时线分布(图 3)。

## 2.4 Re-Os 年龄同位素分析结果

对采自二矿区 1 号矿体的 8 件纯橄榄岩硫化物矿石样品进行了 Re-Os 年龄同位素分析。分析结果列于表 3。除样品 J31 外, 其余 7 个样品形成一条很好等时线, 等时年龄  $t = 1043 \pm 28(2\sigma) \text{ Ma}$ ,  $I_{\text{Os}} = 0.1503 \pm 50(2\sigma)$ , MSWD 1.3(图 4)。表 3 也列出了 1043 Ma 时样品的  $\gamma_{\text{Os}}$  值。可以看出, 除远离等时线的样品 J31 的  $\gamma_{\text{Os}}$  值为 216.2 外, 其余样品的  $\gamma_{\text{Os}}$  值为 16.1~35.2, 平均值  $24.5 \pm 5.7(\sigma)$ 。

## 3 讨论: 矿床形成年龄和源区

表1 金川铜镍矿床超镁铁质岩样品 Sm-Nd 年龄同位素分析结果

Table 1 Sm-Nd isotopic analytical result of ultramafic rocks from Jinchuan copper-nickel deposit

样品	样品类型,采样地点	Sm(μg/g)	Nd(μg/g)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} \pm 2\sigma$
J01	辉石岩,二矿区地表18行	0.5273	1.991	0.1602	0.511968±9
J02	辉石岩,二矿区地表18行	1.5090	6.319	0.1444	0.511927±6
J03	二辉橄榄岩,二矿区地表18行	0.3543	1.180	0.1816	0.512255±24
J04	二辉橄榄岩,二矿区地表18行	0.4992	2.365	0.1277	0.511879±8
J05	二辉橄榄岩,二矿区地表18行	0.4934	2.044	0.1460	0.511958±14
J07	二辉橄榄岩,二矿区地表18行	0.7424	3.317	0.1354	0.511964±8
J09	二辉橄榄岩,二矿区地表18行	0.7278	3.244	0.1357	0.511837±12
J10	二辉橄榄岩,二矿区地表18行	0.7521	3.415	0.1332	0.512000±12
J11	二辉橄榄岩,二矿区地表18行	0.7995	3.629	0.1333	0.511963±8
J12	二辉橄榄岩,二矿区地表18行	0.7490	3.372	0.1344	0.511936±8
J15	纯橄岩,海绵陨铁状矿石,二矿区1号矿体	0.1710	0.728	0.1421	0.511927±15
J30	二辉橄榄岩,海绵陨铁状矿石,二矿区1号矿体	0.8670	4.270	0.1228	0.511917±9
J36	含长橄榄岩,浸染状矿石,二矿区1号矿体	0.6025	2.667	0.1366	0.511986±14
J42	辉长岩,二矿区1号矿体	0.3921	2.6760	0.0886	0.511493±15
J43	斜长二辉橄榄岩,二矿区1号矿体	2.3550	13.886	0.1206	0.511803±7

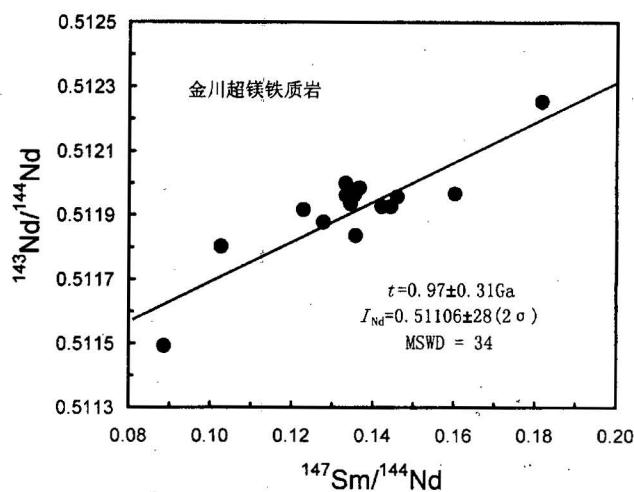


图2 金川铜镍矿床超镁铁质岩样品 Sm-Nd 等时年龄

Fig. 2 Sm-Nd isochron diagram of ultramafic rocks from Jinchuan copper-nickel deposit

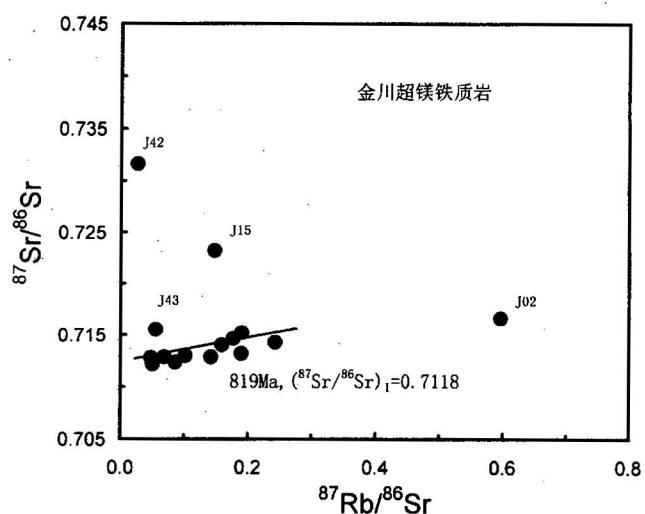


图3 金川铜镍矿床超镁铁质岩样品 Rb-Sr 等时年龄

Fig. 3 Rb-Sr isochron diagram of ultramafic rocks from Jinchuan copper-nickel deposit

### 3.1 矿床形成年龄

一般认为金川铜镍矿床形成于中元古代,年龄  $1508 \pm 31$  Ma 左右(汤中立等,1992; 1995)。我们新获得的 Re-Os、Sm-Nd、Rb-Sr 年龄没有证实上述年龄结果。新获得的矿石样品的 Re-Os 等时年龄为  $1043 \pm 28$  ( $2\sigma$ ) Ma,  $(^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os})_i = 0.1503 \pm 50$  ( $2\sigma$ ), MSWD 1.3(图4)。同一矿床含矿超镁铁质岩样品 Sm-Nd 等时年龄也近似于  $0.97 \pm 0.31$  ( $2\sigma$ ) Ga(图2), Rb-Sr 年龄近似  $819$  Ma(图3)。这反映,金川铜镍矿床可能形成于中元古代末  $1043 \pm 28$  Ma 左右。

矿床形成可能与中元古代末—晚元古代初 Rodinia 超大陆的形成和裂解过程有关(Li et al., 1995, 1999; 张宗清等, 2002)。

### 3.2 关于矿床的源区

#### 3.2.1 Nd 同位素特征

$1043$  Ma 金川铜镍矿床形成时,由表1计算,  $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i$  值为  $0.510872 \sim 0.511088$ , 相应  $\epsilon_{\text{Nd}}$  ( $1043$  Ma) 值为  $-8.22 \sim 3.98$ , 平均值  $-5.76 \pm 1.39$  ( $\sigma$ )。在  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  ( $1043$  Ma)- $1/\text{Nd}$  图上,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  ( $1043$  Ma) 值随着  $1/\text{Nd}$  值增大而降低(图5)。

表 2 金川铜镍矿床超镁铁质岩样品 Rb-Sr 年龄同位素分析结果

Table 2 Rb-Sr isotopic analytical result of ultramafic rocks from Jinchuan copper-nickel deposit

样品	样品类型,采样地点	Rb(μg/g)	Sr(μg/g)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \pm 2\sigma$
J01	辉石岩,二矿区地表18行	2.5850	30.75	0.2434	0.714281±12
J02	辉石岩,二矿区地表18行	0.1641	79.65	0.5967	0.716622±13
J03	二辉橄榄岩,二矿区地表18行	0.3446	5.22	0.1910	0.715177±11
J04	二辉橄榄岩,二矿区地表18行	1.2950	21.12	0.1775	0.714621±13
J05	二辉橄榄岩,二矿区地表18行	0.7175	13.01	0.1598	0.714021±11
J07	二辉橄榄岩,二矿区地表18行	2.8120	168.70	0.0483	0.712807±9
J08	二辉橄榄岩,二矿区地表18行	4.0060	113.50	0.1022	0.712977±10
J09	二辉橄榄岩,二矿区地表18行	2.6250	88.23	0.0862	0.712365±11
J10	二辉橄榄岩,二矿区地表18行	2.9050	121.60	0.0692	0.712872±11
J11	二辉橄榄岩,二矿区地表18行	5.2550	299.60	0.0508	0.712168±13
J12	二辉橄榄岩,二矿区地表18行	2.7750	159.70	0.0503	0.712444±11
J15	纯橄岩,海绵陨铁状矿石,二矿区1号矿体	0.6624	12.96	0.1480	0.723201±14
J30	二辉橄榄岩,海绵陨铁状矿石,二矿区1号矿体	5.1760	105.00	0.1427	0.712857±14
J36	含长橄榄岩,浸染状矿石,二矿区1号矿体	4.0400	61.41	0.1904	0.713196±13
J42	辉长岩,二矿区1号矿体	0.6397	69.98	0.0267	0.731653±13
J43	斜长二辉橄榄岩,二矿区1号矿体	0.6341	32.38	0.0560	0.715513±12

表 3 金川铜镍矿床纯橄岩硫化物矿石样品 Re-Os 年龄同位素分析结果

Table 3 Re-Os isotopic analytical result of dunite sulfide ore samples from Jinchuan copper-nickel deposit

样品	样品类型,采样地点	Re(μg/g)	Os(μg/g)	$^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$	$^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} \pm 2\sigma$	$\gamma_{\text{Os}}(1043 \text{ Ma})$
J16	纯橄岩海绵陨铁状矿石,二矿区1号矿体	35.68	12.06	14.220	0.4114±31	35.2
J17	纯橄岩海绵陨铁状矿石,二矿区1号矿体	60.60	48.57	5.999	0.2556±28	25.4
J18	纯橄岩海绵陨铁状矿石,二矿区1号矿体	102.90	100.20	4.941	0.2355±55	24.1
J22	块状富矿石,二矿区1号矿体	567.40	130.90	20.840	0.5074±36	18.5
J23	块状富矿石,二矿区1号矿体	209.00	30.20	33.270	0.7359±33	27.3
J26	纯橄岩海绵陨铁状矿石,二矿区1号矿体	61.53	40.13	7.371	0.2793±25	25.1
J31	二辉橄榄岩,局部海绵陨铁状矿石,二矿区1号矿体	11.06	1.54	34.490	0.9839±64	216.2
J35	纯橄岩海绵陨铁状矿石,二矿区1号矿体	10.03	1.00	48.220	0.9845±166	16.1

注:表内  $\gamma_{\text{Os}} = \{[(^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os})_s(t)] / [(^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os})_{\text{ch}}(t)] - 1\} \times 100$ , 下标 s 代表样品值, ch 球粒陨石值。

### 3.2.2 Sr 同位素特征

1043 Ma 金川铜镍矿床形成时,由表2计算, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(1043 \text{ Ma})$  值为  $0.707719 \sim 0.731258$ , 平均值  $0.7132 \pm 54(\sigma) \text{ Ma}$ 。在  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(1043 \text{ Ma})-1/\text{Sr}$  图上,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(1043 \text{ Ma})$  值随着  $1/\text{Sr}$  增大,除样品 J02, J15, J42, J43 外,变化不大(图6)。

### 3.2.3 Os 同位素数据

矿床在  $1043 \pm 28(2\sigma) \text{ Ma}$  形成时,  $(^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os})_i = 0.1503 \pm 50(2\sigma)$ 。在  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}(1043 \text{ Ma})-1/\text{Os}$  图上,  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}(1043 \text{ Ma})$  值随  $1/\text{Os}$  值增加而增大(图7)。

由上面 Sr、Nd、Os 同位素数据特征可以看出,金川铜镍矿床超镁铁质岩浆可能来自于富集地幔源区,而且在形成过程中受到了地壳物质混染。矿床源于地幔上部亏损地幔源区的认识这里没有被证实。

图8表示矿床超镁铁质岩  $\epsilon_{\text{Nd}}(1043)-\epsilon_{\text{Sr}}(1043)$  关系。可以看出,矿床由  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  值近似于 0.51114 左右,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  近似于 0.7119 左右(相应

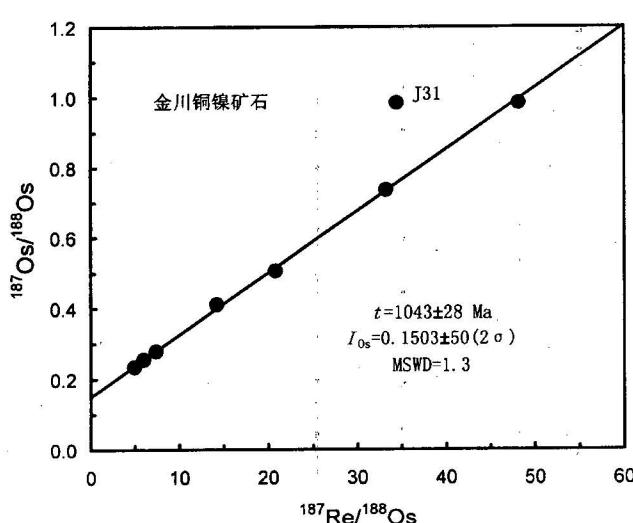
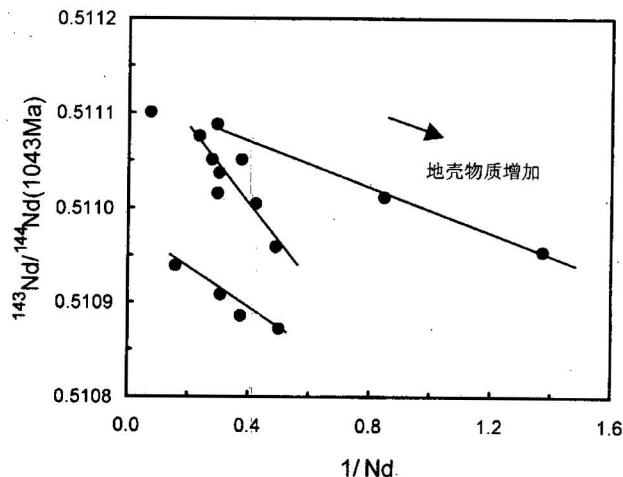


图 4 金川铜镍矿床纯橄岩硫化物矿石样品  
Re-Os 等时年龄

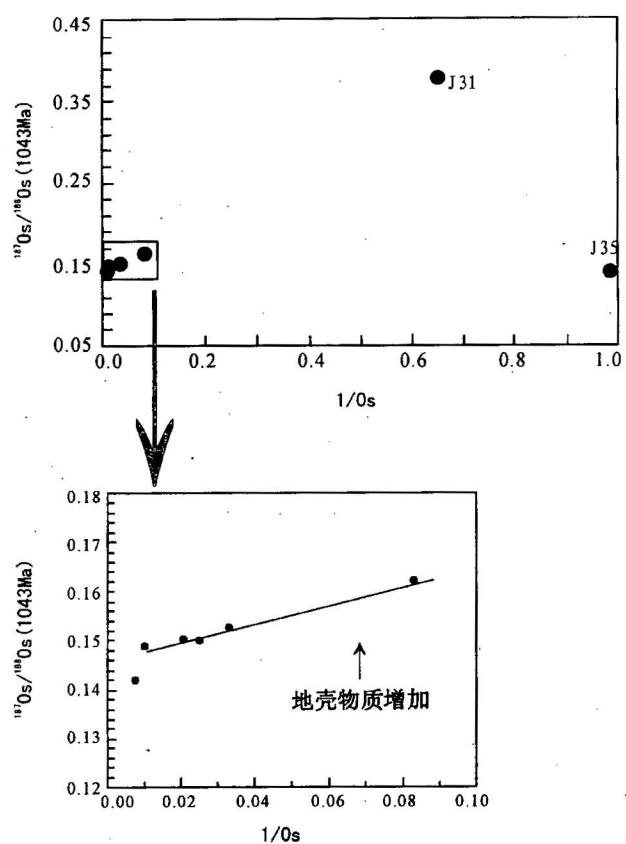
Fig. 4 Re-Os isochron diagram of dunite sulfide ore samples from Jinchuan copper-nickel deposit

图 5 金川铜镍矿床超镁铁质岩 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  $(1043\text{ Ma})$ -1/Nd 图Fig. 5  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}(1043\text{ Ma})$ -1/Nd diagram of ultra-

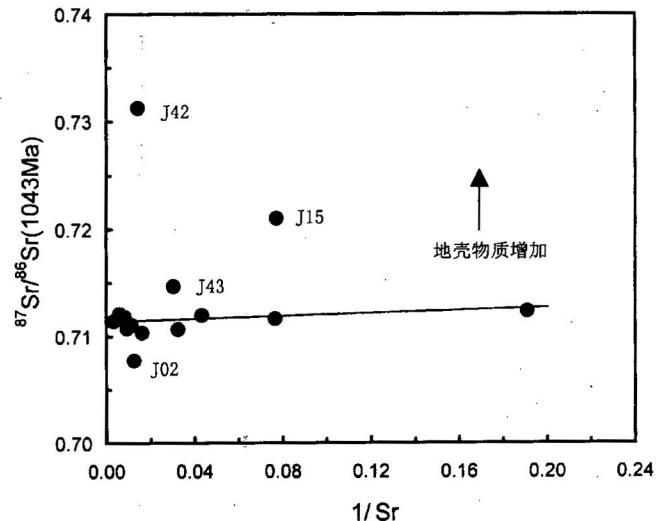
mafic rocks from Jinchuan copper-nickel deposit

 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}(1043\text{ Ma})$  值, 1/Nd 值由表 1 数据计算 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}(1043\text{ Ma})$  and 1/Nd values are calculated

from Table 1

图 7 金川铜镍矿床纯橄岩硫化物矿石样品 $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$   
 $(1043\text{ Ma})$ -1/Os 图Fig. 7  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}(1043\text{ Ma})$ -1/Os diagram of dunite

sulfide ore samples from Jinchuan copper-nickel deposit

 $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}(1043\text{ Ma})$ 、1/Os 值据表 3 数据计算 $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}(1043\text{ Ma})$  and 1/Os values are calculated from Table 3图 6 金川铜镍矿床超镁铁质岩样品 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$   
 $(1043\text{ Ma})$ -1/Sr 图Fig. 6  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(1043\text{ Ma})$ -1/Sr diagram of ultramafic rocks from Jinchuan copper-nickel deposit $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(1043\text{ Ma})$ 、1/Sr 值据表 2 数据计算 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(1043\text{ Ma})$  and 1/Sr values are calculated from Table 2

的  $\epsilon_{\text{Nd}} \approx -3$ ,  $\epsilon_{\text{Sr}} \approx 121$ ) 源区部分熔融岩浆衍生产物, 并且在矿床形成过程中, 超镁铁质岩浆还受到过下地壳(LC)和上地壳(UC)物质污染。样品 Nd 含量越小(1/Nd 值越大), 受地壳物质污染程度越高,  $^{143}\text{Nd}$

/ $^{144}\text{Nd}$  值越低(图 5)。Sr 同位素组成, 除样品 J02, J15, J42, J43 外, 多数样品的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(1043\text{ Ma})$  值随样品 Sr 含量的减小(1/Sr 值增大)变化不大(图 6)。Sr、Nd 同位素分析为同一样品, Sr 同位素特征与 Nd 同位素大的变化明显不同。这可能与矿床形成后遭受强烈地质作用 Sr 同位素系统再置同位素均一化有关。Rb-Sr 参考等时线年龄 819 Ma 可能是矿床形成后遭受强烈地质作用 Sr 同位素系统再置时间。1043 Ma 时, 矿床纯橄岩硫化物矿石  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  值为  $0.1503 \pm 50$ , 相应  $\gamma_{\text{o}}$  值为  $16.1 \sim 35.2$ , 也显示矿床物质来自富集地幔源区(Shirey et al., 1998)。矿床  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  值和  $\gamma_{\text{o}}$  值界于俄罗斯 Noril'sk 铜镍铂矿石与南非 Bushveld 杂岩富铂 Merensky Reef 之间(Hart et al., 1989; Walker et al., 1994), 与后者下部 UG1 铬铁岩层十分相似(McCandless et al., 1991)。该铬铁岩层  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  平均值为 0.153,

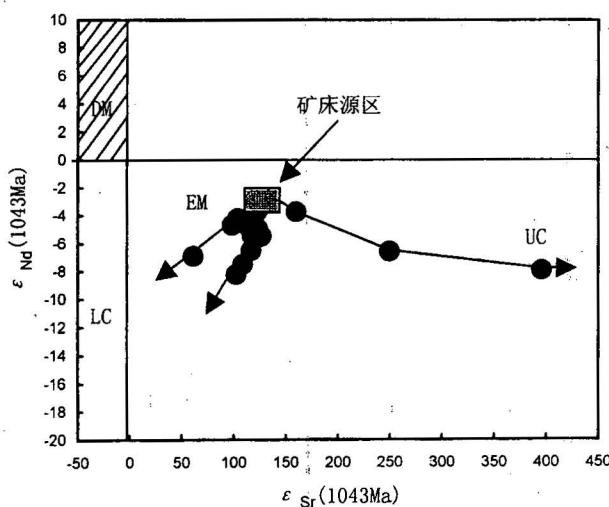


图 8 金川铜镍矿床超镁铁质岩样品  $\epsilon_{\text{Nd}}(1043)$ - $\epsilon_{\text{Sr}}(1043)$  图解

Fig. 8  $\epsilon_{\text{Nd}}(1043)$ - $\epsilon_{\text{Sr}}(1043)$  diagram of ultramafic rocks from the Jinchuan copper-nickel deposit

$\epsilon_{\text{Nd}}(1043)$  和  $\epsilon_{\text{Sr}}(1043)$  值据表 1 和表 2 数据, 假设  $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}} = 0.1967$ ,  $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}} = 0.512638$ ,  $(^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})_{\text{UR}} = 0.0867$ ,  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{UR}} = 0.7047$  计算。LC—下地壳, UC—上地壳

$\epsilon_{\text{Nd}}(1043)$  and  $\epsilon_{\text{Sr}}(1043)$  values are calculated from Table 1 and Table 2 assuming that  $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}} = 0.1967$ ,  $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}} = 0.512638$ ,  $(^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})_{\text{UR}} = 0.0867$ ,  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{UR}} = 0.7047$ ; LC—lower crust; UC—upper crust

相应的  $\gamma_{\text{Os}}$  值为 35。在矿床形成过程中, Os 同位素同 Nd、Sr 同位素表明的一样, 超镁铁质岩浆还受到过地壳污染, 样品  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  值随着样品 Os 含量减小 ( $1/\text{Os}$  值增大) 地壳物质污染程度增加(图 7)。

## 4 结论

由上述 Sr、Nd、Os 同位素数据和讨论可以得出如下结论:

(1) 金川铜镍矿床可能形成于中元古代末, Re-Os 年龄  $1043 \pm 28(2\sigma)$  Ma,  $I_{\text{Os}} = 0.1503 \pm 50(2\sigma)$ , MSWD 1.3。Sm-Nd 等时年龄  $0.97 \pm 0.31(2\sigma)$  Ga, Rb-Sr 等时年龄 819 Ma。其形成可能与 Rodinia 超大陆的形成和裂解过程有关。

(2) 矿床物质来自富集地幔源区。在成矿过程中, 超镁铁质岩浆还受到过地壳物质混染。

致谢 在采样中得到金川有色金属公司矿山处大力协助, 表示衷心感谢。

## 参 考 文 献

- 杜安道, 何红蓼, 殷宁万, 等. 1994. 辉钼矿的铼-锇同位素地质年龄测定方法研究. 地质学报, 68(4): 339~347.
- 贾恩环. 1986. 金川硫化物矿床成矿模式和成矿系列. 地质论评, 32(3): 276~286.
- 裴荣富, 等. 1998. 中国特大型矿床成矿偏在性与异常成矿构造聚敛场. 北京: 地质出版社.
- 任端进, 等. 1984. 白家嘴子硫化铜镍矿床地质. 北京: 地质出版社.
- 汤中立, 杨杰东, 等. 1992. 金川含矿超镁铁质岩的 Sm-Nd 法定年. 科学通报, (10): 918~920.
- 汤中立, 李文渊. 1995. 金川铜镍硫化物(含铂)矿床成矿模式及地质对比. 北京: 地质出版社.
- 解广豪, 汪云亮, 范彩云, 等. 1998. 金川超镁铁质岩侵入体及超大规模硫化物矿床的成岩成矿机制. 中国科学(D), 28(增刊): 31~36.
- 杨合群. 1991. 论金川硫化铜镍矿床成因. 中国地质科学院院报, (22): 117~135.
- 叶笑江, 张宗清. 1990. Nd 比质测定中的 Sm、Nd 分离 HDEHP 分离法. 分析测试通报, (3): 6~9.
- 张宗清, 叶笑江. 1987. 稀土元素的质谱同位素稀释分析和  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  比值的精确测定方法. 中国地质科学院地质研究所所刊, 17: 108~128.
- 张宗清, 张国伟, 唐索寒. 2002. 南秦岭变质地层同位素年代学. 北京: 地质出版社.

## References

- Du Andao, He Hongliao, Yin Ningwan et al. 1994. A study on the Rhenium-Osmium geochronometry of molybdenes. Acta Geologica Sinica, 68: 339~347.
- Du Andao, Wang Shuxian, Sun Dezhong, Zhao Dunminn, Liu Dunyi. 2001. Precise Re-Os dating of Molybdenite using Carius tube, NTIMS and ICPMS. In: Piestrzynski et al (eds), Mineral Deposits at the 21st Century, 405~407.
- Hart S R, Kinloch E D. 1989. Osmium isotope systematics in Witwatersrand and Bushveld ore deposit. Econ. Geol., 84: 1651~1655.
- Jia Enhuan. 1986. Metallogenetic model and minerogenetic series of the Jinchuan copper-nickel sulfide deposit. Gel. Rev. 32: 276~286 (in Chinese).
- Li Z X, Zhang L, Powell C McA. 1995. South China in Rodinia: part of the missing link between Australia-East Antarctic and Laurentia. Geology, 23: 407~410.
- Li Z X, Li X H, Kinny P D. et al. 1999. The breakup of Rodinia; did it start with a mantle plume beneath South China? Earth planet. Sci. Lett. 173: 171.
- McCandless T E, Ruiz J. 1991. Osmium isotopes and crustal sources for platinum-group mineralization in the Bushveld Complex, South Africa. Geology, 19: 1225~1228.
- Pen Rongfu et al. 1998. Metallogenetic preferentiality and exceptional metallotect convergence of giant ore deposit in China. Beijing:

- Geo. Publ. House (in Chinese).
- Ren Duanjing et al. 1984. Geology of sulfide copper-nickel deposit in the Baijiajuzi, China. Beijing: Geo. Publ. House (in Chinese).
- Shirey S B, Walker R J. 1998. The Re-Os isotope system in cosmochemistry and high-temperature geochemistry. Annu. Earth Planet. Sci., 26:423~500.
- Shirey S B, Walker R J. 1995. Carius tube digestion for low-blank rhenium-osmium analysis. Anal. Chem., 67:2136~2141.
- Smoliar M I, Walker R J, Morgan J W. 1996. Re-Os ages of group IIA, IIIA, IVA and VIB iron meteorites. Science 271, 1099~1102.
- Tang Zhongli, Yang Jiedong, Xu Shijing, et al. 1992. Sm-Nd dating of the Jinchuan ore-bearing ultramafic rocks. Beijing: Chinese Sci. Bull., (10):918~920.
- Tang Zhongli, Li Wenyuan. 1995. Metallogenetic model and geological contrast of the Jinchuan Pt-rich copper-nickel sulfide deposit. Beijing: Geo. Publ. House (in Chinese).
- Walker R J, Morgan J W, Horan M F, Czamanske G K, Krogstad E J, et al. 1994. Re-Os isotope evidence for an enriched-mantle source for Noril'sk-type, ore-bearing intrusion, Siberia. Geochim. Cosmochim. Acta, 58:4179~4197.
- Xie Guanghong, Wan Yunliang, Fan Caiyun, et al. 1998. Ultramafic intrusion and diagenetic-mineralization mechanism of ultralarge sulfide deposit in the Jinchuan. Sci. in China (D), 28(sup): 31 ~36.
- Yang Hequn. 1991. On genesis of Jinchuan copper-nickel sulfide deposit Bull. CAGS, (22):117~135 (in Chinese).
- Ye Xiaojing, Zhang Zongqing. 1990. Separation of Sm and Nd in the determination of Nd ratio—HDEHP separation method. Bull. Analysis & Testing, 3: 6~9 (in Chinese).
- Zhang Zongqing, Ye Xiaojing. 1987. Mass-spectrometric isotope dilution analysis of REE and precise measurement of  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  ratios. Bull. Institute. CAGS, 17:108~126 (in Chinese).
- Zhang Zongqing, Zhang Guowei, Tang Suohan. 2002. Isotopic geochronology of metemorphic strata in the south Qingling area, China. Beijing: Geo. Publ. House (in Chinese).

## Age of the Jinchuan Copper-Nickel Deposit and Isotopic Geochemical Feature of Its Source

ZHANG Zongqing<sup>1)</sup>, DU Andao<sup>2)</sup>, TANG Suohan<sup>1)</sup>, LU Jiren<sup>3)</sup>, WANG Jinhui<sup>1)</sup>, YANG Gang<sup>2)</sup>

1) Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037

2) National Research Center of Geoanalysis, Beijing, 100037

3) Institute of Mineral Resource, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037

### Abstract

The Jinchuan copper-nickel sulfide ore deposit is located in the Jinchang city, Gansu Province, China. It contains multiuseful components and is largest nickel deposit in China. Its forming age has not been still established although more dating works were done. Generally considered that the ore deposit was formed in the middle Proterozoic about 1508Ma and its materials was from upper mantle source, i.e. deplete mantle source. However, the ideas are not proved by our new obtained Sm-Nd, Rb-Sr, Re-Os isotopic geochronological and geochemical data. This paper reports the data and discusses the age and origin of this ore deposit. The Re-Os isotopic analytical data of dunite sulfide ore samples from the Jinchuan ore deposit define an excellent isochron of  $t=1043\pm28(2\sigma)\text{Ma}$ , corresponding to  $(^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os})_i=0.1503\pm50(2\sigma)$ , MSWD=1.3. The Sm-Nd isotopic data of ultramafic rocks of the ore deposit, that are dispersed relatively, give a reference isochron age of  $t=0.97\pm0.31(2\sigma)\text{Ga}$ ,  $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i=0.51106\pm28(2\sigma)$ . The Rb-Sr isochron age approximates to 819 Ma with  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i=0.7118$ . Obviously, the ore deposit were formed in the late middle Proterozoic and ore-bearing intrusion were from the enriched-mantle source. The ore-forming geological function is relative to rifting and converging processes of Rodinia.

**Key words:** isotopic age; isotopic geochemistry; Jinchuan copper-nickel ore deposit