

吉林省红旗岭矿区磁黄铁矿-镍黄铁矿 矿石建造特征及其成因分析*

王炳恩 王泽利

秦 宽

(长春工业高等专科学校, 长春 130021) (吉林镍业公司, 磐石 132311)



【摘 要】 本文对红旗岭矿区磁黄铁矿-镍黄铁矿矿石建造进行了研究。并通过矿石组构特征、矿物形成温度、硫、锶同位素、岩体稀土元素特征等研究,进一步论述了磁黄铁矿与镍黄铁矿的物质来源于上地幔,属于深部岩浆熔离含矿熔浆冷凝而成。

【关键词】 磁黄铁矿 镍黄铁矿 岩浆熔离 红旗岭 囚珠结构
中图法分类号 P578 24

0 引言

红旗岭硫化铜镍矿床,位于吉林古生代褶皱带南缘,辉发河超深断裂的北西侧,南面与华北地台相衔接,矿床中主要矿石矿物为磁黄铁矿、镍黄铁矿和黄铜矿。

对磁黄铁矿-镍黄铁矿矿石建造特征及其成因进行研究,为进一步的扩大矿区的深部找矿规律和矿区远景评价具有重要的意义。

1 矿区地质简介

区内地层比较发育,主要为呼兰群变质岩系,是一套包括有片麻岩类、角闪质岩石、云母岩类和大理岩类的变质岩系。

区内构造主要为两个构造体系,即北东向构造和北西向构造,这两个构造体系控制着区内的地层展布、岩浆活动、变质作用及矿产分布。

ISSN 1001—6872 CODEN: KU YA E2

收稿日期: 1996- 01- 20 改回日期: 1997- 02- 15

第一作者简介: 王炳恩 男 58岁 副教授 矿物岩石学专业 研究方向: 成矿岩石学

* 本文参考了吉林镍业公司地质科研报告“红旗岭铜镍矿区地质背景成岩(矿)规律和找矿方向”1992

2 磁黄铁矿 (po) 与镍黄铁矿 (pn) 的鉴定特征

通过对矿区内 1 号、7 号岩体的观察和光薄片及有关资料的研究, 两个岩体的金属矿物主要为镍黄铁矿、磁黄铁矿和黄铜矿等。本文对磁黄铁矿 (po) 与镍黄铁矿 (pn) 的鉴定特征简述如下:

2.1 磁黄铁矿

镜下呈他形粒状聚晶与镍黄铁矿、黄铜矿共生。

X 射线衍射和显微光学区分有限硫铁 (tr)、六方磁黄铁矿 (hpo) 和单斜磁黄铁矿 (mpo) 三类, 其中 tr 具有反铁磁性; hpo 具强电磁性; mpo 则具铁磁性。矿相显微镜下依磁性差异借助磁胶 (铬酸浸蚀) 便可将 mpo 与 hpo 和 tr 相区别开来, 借助饱和铬酸浸蚀可将 hpo 相与 tr 相区别开来。

2.2 镍黄铁矿

其颜色、反射色随含 Fe、Ni 的不同而异, Fe 高的为淡棕黄乳色, 含 Fe 低的为亮黄乳色, 其反射色稍有差别, 含 Ni 高的早世代 pn 为亮黄乳色, 含 Fe 高的晚世代 pn 为淡棕黄乳色。

对含 Ni 不同的 pn 在 MPV-1 型光电倍增管上用 SiC 作标准测定反射率, 结果表明 pn 的反射率 (R) 随 Ni 增高而增大 (图 1)。

镍黄铁矿矿石为致密块状, 具豆状结构, 且有拉长现象、作定向排列, 针状、条状镍黄铁矿也有定向排列现象, 甚至有流纹构造, 反映其流动方向。

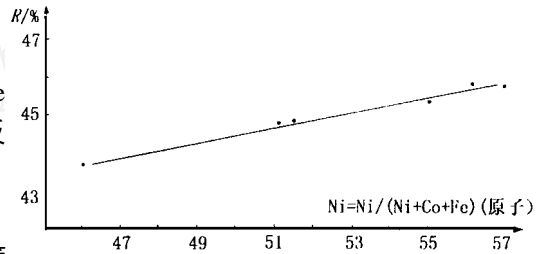


图 1 镍黄铁矿的反射率 (R) 随 Ni 的变化 (红旗岭 No. 1 岩体)

Fig 1 Reflectance of pentlandite with variation of nickel content (No.1 rock body from Hongqiling)

有关磁黄铁矿与镍黄铁矿之区别见表 1。

表 1 磁黄铁矿与镍黄铁矿区别简表

Table 1 Distinguish between pyrrhotite pyrite and pentlandite

矿物名称	形态	颜色	条痕	光泽	硬度	解理	密度 ($g \cdot cm^{-3}$)	$R_{540nm}/\%$ air/oil	其他特征
磁黄铁矿	限硫铁 (tr)	六方晶系块状	古铜黄色—古铜红色	灰黑色	金属	具平行底面 {0001} 的裂开	4.67~4.82	40.3/26.9	具磁性浸染状, 粒状为多
	六方磁黄铁矿 (hpo)	六方晶系常为粒状聚晶							
	单斜磁黄铁矿 (mpo)	单斜晶系粒状或不规则集合体或浸染状					4	4.6	
镍黄铁矿	等轴晶系致密块状具豆状、针状、条状等	古铜黄色, 随含 Fe 多少, 颜色由淡—亮黄乳色	绿黑色	金属	3~4	八面体 {111} 解理完全	4.5~5	49.4/37.7 R 随 Ni 多而增大	不具磁性, 块状、豆状、硫动状常见

3 磁黄铁矿与镍黄铁矿的成因

磁黄铁矿(po)与镍黄铁矿(pn)是矿区内最有经济价值的硫化物,尤其是镍黄铁矿(pn)是最主要的含镍矿物。

3.1 磁黄铁矿

磁黄铁矿(po)为矿石中最主要的金属矿物,总是呈他形粒状聚晶与镍黄铁矿(pn)、黄铜矿(cp)构成共生组合。磁黄铁矿由六方磁黄铁矿相、单斜磁黄铁矿(mpo)相和陨硫铁(tr)相组成,常构成tr-pho和pho-mpo两个连生组合。矿区磁黄铁矿与地幔包体磁黄铁矿成分极相近,磁黄铁矿中镍含量呈规律性变化, tr 含镍最低, mpo 含镍最高, hpo 中含镍居中,均反映其地幔来源的特征(表2)。

3.2 镍黄铁矿

镍黄铁矿(pn)是矿区最有经济价值的硫化物矿物,也是各类矿石中最主要的含镍矿物。镍黄铁矿按其形态和矿物组合,可分成三个生成时代:早世代等轴单晶粒状镍黄铁矿(pn);中世代细粒聚晶结构镍黄铁矿(pn);晚世代显微片状出溶镍黄铁矿(pn)。

从表3及表5中看出,早世代的pn中都具有高的Ni/Fe比值和M/S比值,以及较高的Co含量,矿区pn完全可与地幔来源包体中的pn对比,反映其幔源性。不同世代pn的Ni/Fe比值,按pn-pn-pn的顺序,由高而低地连续演化趋势(图2)表现出它们的成分具有一定的继承性。

据镍黄铁矿S/Fe、Ni/Fe比值随矿石类型变化十分明显(图3、表3、4、5)可以看出,1号岩体由岩浆型矿石,残余岩浆型矿化、纯硫化物矿化,到热液矿化构成一连续演化系列,纯硫化

表2 红旗岭矿区与地幔包体磁黄铁矿成分比较 $w/10^{-2}$

Table 2 Comparison between compositions of pyrrhotite for Hongqiling area and melte nodules ($in \times 10^{-2}$)

元素	mpo		hpo		tr	
	矿区	地幔	矿区	地幔	矿区	地幔
Fe	59.36	58.70	60.33	60.58	63.51	62.80
Ni	1.14	1.11	0.23	0.18	0.08	0.02
Cu	0.26	0.00	0.02	0.01		
Co	0.37	0.32	0.02	0.02	0.001	0.01
S	39.77	37.97	38.51	38.19	35.98	35.73
Sum	100.90	98.10	99.11	99.88	99.57	98.56
m%	47.14	47.59	47.45	47.74	50.36	50.24

引自吉林镍业公司地质科研究报告(1992)

表3 镍黄铁矿电子探针分析 $w/10^{-2}$

Table 3 Electronic microscopic probe analysis of composition in pentlandite ($in \times 10^{-2}$)

岩体	1号岩体			7号岩体			矿区	地幔
	样号	H12(1)	H13(2)	H14(3)	H76(1)	H71(1)		
Fe	26.032	28.646	34.012	28.576	27.710	33.305	29.40	31.62
Ni	37.231	37.512	32.110	36.656	37.082	37.260	35.80	32.95
Cu	0.32	0.120	0.21	0.53	0.26	0.91	0.62	0.65
Co	2.01	0.34	0.22	0.89	0.95	0.90	0.611	0.88
S	32.074	32.195	32.010	31.653	32.105	32.151	33.003	32.17
合计	98.426	98.813	98.342	98.305	98.111	98.432	98.260	98.56
Ni/Fe	1.40	1.24	0.89	1.22	1.28	1.28	0.93	1.16
M ₉ S ₈	M _{9.08} S ₈ - M _{9.308} S ₈							M _{9.18} S ₈

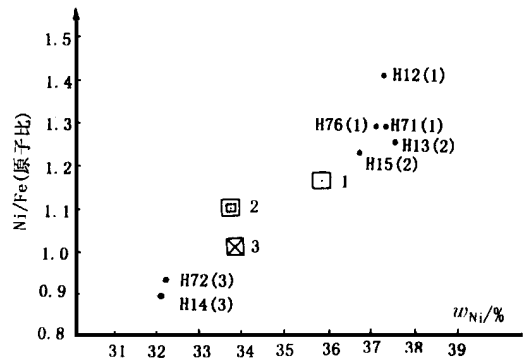


图2 红旗岭矿区镍黄铁矿三个世代Ni/Fe随Ni含量变化图

1. 红旗岭矿区平均; 2. 力厚河矿区平均; 3. 金川矿区平均, 图中(1), (2), (3)代表早、中、晚三个世代的镍黄铁矿

Fig 2 w_{Ni}/w_{Fe} ratio of three period pentlandite in Hongqiling mining area with change of mass fraction of nickel

1. average value of Hongqiling mining area (Early period); 2. average value of Limah mining area (Middle period); 3. average value of Jinchuan mining area (Late period)

表 4 1 号岩体镍黄铁矿电子探针分析结果表 $w/\%$
Table 4 Electronic microscopic probe analysis of pentlandite in No 1 rock body (in percentage)

元素	1	2	3	4
Ni/Fe	1.07	1.06	1.26	1.26
S/Fe	1.06	1.09	1.16	1.19
S	32.77	32.63	32.24	33.28
Fe	31.03	30.00	27.80	28.06
Ni	33.25	31.82	34.96	35.37
矿石类型	橄榄辉岩 海绵晶铁矿石	蚀变辉岩 斑点矿石	纯硫化物脉 块状矿石	片麻岩 浸染矿石

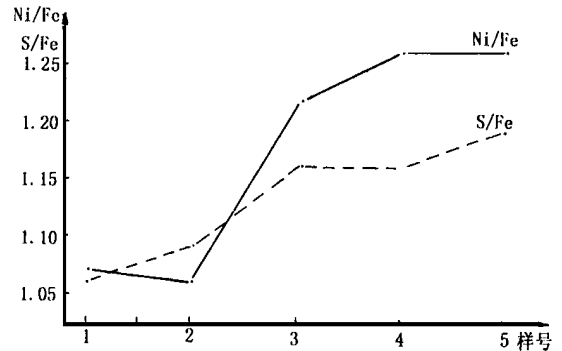


图 3 1 号岩体镍黄铁矿 Ni/Fe, S/Fe 变化图
Fig 3 Changing diagram of w_{Ni}/w_{Fe} and w_{S}/w_{Fe} in pentlandite from No 1 rock body

物矿化介于残余岩浆型矿化和热液矿化之间。成矿物质的分异, Ni, S 趋于热液性质的流体, 与它们的地球化学性质密切相关。

矿区铜镍矿石(磁黄铁矿、镍黄铁矿和黄铜矿)还具有下列特征:

3.2.1 矿石具有熔离标型组构特征 囚珠结构、类包晶结构、海绵隙铁结构、熔离豆状构造、熔离团块构造等。

3.2.2 矿石矿物的形成温度 经热声法、同位素法、矿物对流、X 射线粉晶衍射分析、包体液相成分计算法等测定, 不同类型矿石金属硫化物结晶温度范围在 563.15 K~ 775.15 K 之间, 显然, 金属硫化物在中高温热液条件下结晶。同一方法测定的不同类型矿石金属硫化物形成温度有一定变化趋势。如用热声法测定 7 号岩体磁黄铁矿的形成温度, 岩浆型矿石、片麻岩捕虏体矿化和纯硫化物脉矿石由 645.15 K、596.15 K、571.15 K; 而由流体包裹体液相成分计算的, 由 764.15 K、726.15 K、614.15 K, 呈逐渐降低趋势。从岩浆型到热液型矿化, 其硫化物温度有规律的降低(表 6)。

3.2.3 硫、锶同位素测定 通过 65 个样品(硫化物)全岩样分析结果, 红旗岭矿区含镍岩体 $\delta^4S/\%$ 值的变化范围为 -1.5~ +3, 离差 4.5‰。其中 1 号岩体 $\delta^4S/\%$ 值的变化范围 -1~ +3, 离差 4‰。1 号岩体 $\delta^4S/\%$ 值的中数为 1, 7 号岩体 $\delta^4S/\%$ 值变化范围 -1.5~ +0.5, 二者均接近陨石硫, 显示了硫的地幔来源(图 4)。

根据骆华宝(1990) 表 5 红旗岭矿区 1, 7 号岩体磁黄铁矿与镍黄铁矿成分分析表 $w/\%$

资料, 矿区的 Sr 同位素组成, 特别是初始 Sr 比值较高, 1 号岩体 $\delta^4S/\%$ 值的变化范围 -1~ +3, 离差 4‰。1 号岩体 $\delta^4S/\%$ 值的中数为 1, 7 号岩体 $\delta^4S/\%$ 值变化范围 -1.5~ +0.5, 二者均接近陨石硫, 显示了硫的地幔来源(图 4)。

Table 5 Analytical results of compositions in pyrrhotite and pentlandite from No 1, No 7 rock bodies, Hongqiling mining area (in percentage)

矿物 元素 样号	po			pn					地幔
	No. 1		No. 7	No. 1			No. 7		
	1	5	11	2	3	6	10	12	
Fe	59.98	61.54	59.72	31.09	31.38	31.22	29.15	27.98	31.62
Ni	0.00	0.00	0.00	34.92	34.43	35.19	37.37	38.23	32.95
Cu	0.00	0.00	0.00	0.09	0.11	0.06	0.02	0.00	0.65
As	0.20	0.17	0.29	0.08	0.05	0.16	0.02	0.09	0.00
Co	0.12	0.03	0.15	0.53	0.49	0.54	0.63	0.69	0.88
S	39.37	38.73	39.51	32.88	33.19	32.76	32.67	32.53	32.19
Sum	99.68	100.47	99.66	99.59	99.64	99.93	99.85	99.53	99.29
Ni/Fe	0.00	0.00	0.00	1.12	1.10	1.13	1.28	1.37	1.04
S/Fe	0.70	0.63	0.70	1.06	1.06	1.05	1.12	1.16	1.02

* 由长春地质学院电子探针室梁细荣测定(1995. 7. 28); 地幔资料取自杜斯尔(1963)的 8 个平均值

$\delta^4S/\%$ 值的变化范围 -1.5~ +3, 离差 4.5‰。其中 1 号岩体 $\delta^4S/\%$ 值的变化范围 -1~ +3, 离差 4‰。1 号岩体 $\delta^4S/\%$ 值的中数为 1, 7 号岩体 $\delta^4S/\%$ 值变化范围 -1.5~ +0.5, 二者均接近陨石硫, 显示了硫的地幔来源(图 4)。

根据骆华宝(1990) 资料, 矿区的 Sr 同位素组成, 特别是初始 Sr 比值较高, 1 号岩体 $\delta^4S/\%$ 值的变化范围 -1~ +3, 离差 4‰。1 号岩体 $\delta^4S/\%$ 值的中数为 1, 7 号岩体 $\delta^4S/\%$ 值变化范围 -1.5~ +0.5, 二者均接近陨石硫, 显示了硫的地幔来源(图 4)。

因此,高的初始锶,意味着它们均起源于含放射性(生热)元素较高的上地幔(San Kins, 1984)。见表7。3 2 4 矿区岩体稀土元素特征 1号岩体的稀土总量 ΣREE 变化于 $8.84 \times 10^{-6} \sim 21.91 \times 10^{-6}$ 之间,主体岩相—橄榄岩相 w_{REE} 为 8.84×10^{-6} ; 7号岩体主体岩相—斜方辉岩稀土总量 w_{REE} 为 11.65×10^{-6} 。两岩体的稀土总量为 12.7×10^{-6}

很接近,反映了成岩物质的幔源性,见表8(是从11个分析样品中选出来的4种主要岩体的分析结果)。

综上所述,我们认为红旗岭矿区的基性-超基性岩体和硫化铜镍矿石(磁黄铁矿、镍黄铁矿和黄铜矿)受辉发河超深断裂及其次生的北西向断裂

表7 Rb-Sr 年龄全岩分析结果表

Table 7 The Rb-Sr dating results of whole-rock

全岩名称	样号	样品数	Sr^{86}/Sr	Rb^{87}/Sr
含石榴石墨云片麻岩	1	1	0.707 09	0.386 45
角闪黑云片麻岩	2	1	0.705 57	0.150 41
斜长角闪片麻岩	3	1	0.704 94	0.046 30
黑云母片麻岩	4	1	0.713 53	1.207 71
含电气石黑云母片麻岩	5	1	0.707 34	0.122 46
含电气石黑云母片岩	6	1	0.714 10	1.869 97

冶金工业部地质研究所同位素室, 1983.9.23

控制,岩体和铜镍矿石的物质均来自于上地幔,可以认为本区硫化物铜镍矿石属含铜镍的硅酸盐熔浆沿断裂上升,当温度逐渐下降时,硫化物在熔体中一定部位形成乳浊液,依靠自身的聚合和重力作用,从熔体中分离出来,集中于下部;当岩浆冷凝缓慢时熔离过程长,形成致密块状;若岩浆冷凝较快时,熔离过程较短,硫化物来不及下沉到底部便在岩体内成浸染状等形态分布;如果受构造影

表6 不同类型矿石温度测定计算结果表

Table 6 Calculated results of testing temperature for various kinds of ore

岩体号	矿石类型	测定矿物	温度 T/K	测定方法	备注
1	橄榄辉岩矿石	黄铁矿细脉	491.15	热声法	陈源 1988
	纯硫化物脉矿石	磁黄铁矿	693.15	Δ	
	纯硫化物脉矿石	黄铁矿-磁黄铁矿	577.15	同位素法	傅德彬 1982
	橄榄辉岩斑点矿石	磁黄铁矿	673.15	热声法	
	辉石橄榄岩海绵晶铁矿石	黄铁矿-磁黄铁矿	655.15	同位素法	
	辉石橄榄岩斑点状矿石	黄铁矿-磁黄铁矿	775.15	同位素法	
	辉石橄榄岩斑点状矿石	黄铁矿-磁黄铁矿	775.15	矿物对硫	
7	纯硫化物脉中黄铁矿脉	黄铁矿	563.15	热声法	陈源 1988
	纯硫化物脉矿石	磁黄铁矿	571.15	热声法	
	纯硫化物脉矿石	石英	579.15	热声法	
	纯硫化物脉矿石	磁黄铁矿	713.15	Δ	
	纯硫化物脉矿石	磁黄铁矿	614.15	$\Delta\Delta$	
	纯硫化物脉矿石	磁黄铁矿	608.15	$\Delta\Delta$	
	岩体捕虏体片麻岩中矿化	磁黄铁矿	596.15	热声法	
	岩体捕虏体片麻岩中矿化	磁黄铁矿	726.15	$\Delta\Delta$	
	斜方辉岩海绵晶铁矿石	磁黄铁矿	654.15	热声法	
	橄榄岩脉矿石	磁黄铁矿	764.15	$\Delta\Delta$	
	纯硫化物脉	磁黄铁矿	588.15	热声法	
斜方辉岩海绵晶铁矿石	磁黄铁矿	588.15	热声法		
斜方辉岩海绵晶铁矿石	磁黄铁矿	604.15~618.15	热声法		

Δ 据 X 射线衍射衍射资料(Scott, 1973); $\Delta\Delta$ 据包裹体液相成分计算
 Δ after data of X-ray diffraction; $\Delta\Delta$ calculated by composition of fluid facies in inclusion

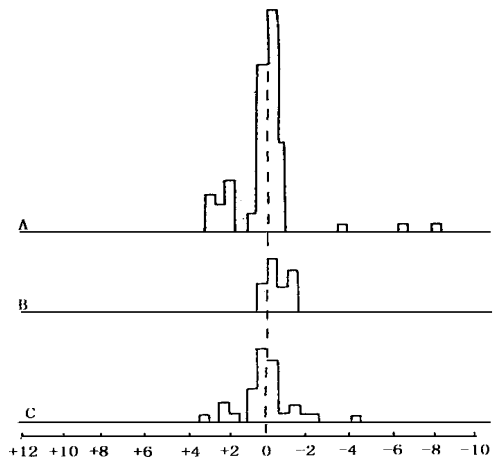


图4 含镍岩体硫同位素塔式分布图(据陈明杨, 1980; 有补充)

A-B 红旗岭矿区; A. 1号岩体; B. 7号岩体; C. 金川矿区含镍岩体

Fig 4 Pyramidal distribution diagram of sulfur isotope in nickel-bearing rock bodies (added from Chen M inyang, 1980)

A-B. Hongqiling Mining area; A. No. 1 rock body; B. No. 7 rock body; C. nickel-bearing rock body of Jinchuan mining area

表 8 红旗岭矿区主要岩体稀土元素分析与球粒陨石标准化计算表
 Table 8 Composition of REE in main rock bodies from Hongqiling mining area and chondrite of normalized calculation the primary rock bodies

岩体	1 号岩体						7 号岩体			里德平均值 ÷ 1.2 (增田, 1973)
	1	2		3		4				
样品数	2		1		1					
岩相	辉岩		含长橄榄岩		橄榄岩		斜方辉岩			
元素	分析	标准	分析	标准	分析	标准	分析	标准	元素	
La	2.49	7.90	1.69	5.36	0.75	2.38	1.64	5.21	La	0.315
Ce	6.73	8.28	4.60	5.66	2.49	3.06	4.32	5.31	Ce	0.813
Pr	0.96	8.35	0.67	5.83	0.42	3.65	0.64	5.56	Pr	(0.115) *
Nd	4.79	8.02	2.96	4.96	2.04	3.42	2.31	3.87	Nd	0.597
Sm	1.40	7.29	0.80	4.71	0.65	3.38	0.54	2.81	Sm	0.192
Eu	0.45	6.23	0.26	3.60	0.17	2.35	0.13	1.80	Eu	0.072 2
Gd	1.52	5.87	0.88	3.40	0.65	2.15	0.52	2.01	Gd	0.259
Tb	(0.24)	5.07	(0.14)	2.96	(0.10)	2.11	(0.08)	1.69	Tb	
Tb	< 0.3	6.34	< 0.3	6.34	< 0.3	6.34	< 0.3	6.34	Tb	(0.047 3)
Dy	1.38	4.25	0.80	2.46	0.55	1.69	0.44	1.35	Dy	0.325
Ho	0.35	4.84	0.18	2.63	0.13	1.80	0.12	1.66	Ho	(0.072 3)
Er	0.69	3.24	0.41	1.92	0.27	1.27	0.25	1.17	Er	0.213
Tm	(0.11)	3.30	(0.07)	2.10	(0.04)	1.20	(0.04)	1.20	Tm	
Tm	< 0.1	3.00	< 0.1	3.00	< 0.1	3.00	< 0.1	3.00	Tm	(0.035 3)
Yb	0.65	3.12	0.40	1.92	0.22	1.06	0.24	1.15	Yb	0.208
Lu			(0.07)	2.17	(0.04)	1.24	(0.04)	1.24	Lu	
Lu	0.10	3.10	< 0.1	3.00	< 0.1	3.10	< 0.1	3.10	Lu	0.032 3
Y	6.28		3.55		2.18		1.98		Y	27.097 5
ΣREE	21.91	79.79	14.16	54.35	8.84	39.01	11.65	44.34	ΣREE	3.294
LREE	16.82	46.03	10.98	29.58	6.52	18.24	9.58	24.56	ΣCe	2.104
HREE	5.09	33.76	3.18	24.77	2.32	20.77	2.07	19.78	ΣY	1.190
LREE	3.30	1.36	3.45	1.19	2.81	0.88	4.63	1.24	ΣCe/ΣY	1.768

注: 分析单位: 地科院测试所 85 3 11; 列表: 秦宽, 计算: 让金玉, 李宝林 92 7 17; 此栏()内数据为计算原注, * ()内数据按胡云中简化公式计算设置的标准数做为制图依据

响, 在硅酸盐熔浆结晶以后, 呈脉状贯入于岩体之中。为此, 我们认为红旗岭区内, 磁黄铁矿与镍黄铁矿的物质来源于上地幔, 属深部岩浆熔离含矿熔浆冷凝而成。

参考文献

- 1 蒋良俊 矿物学 北京: 冶金工业出版社, 1960
- 2 王曙 不透明矿物晶体光学 北京: 地质出版社, 1987

THE CHARACTERISTICS AND GENESIS OF PYRRHOTITE-PENTLANDITE ORE FORMATIONS IN HONGQILING NICKEL DEPOSIT IN JILIN PROVINCE

Wang Bing en Wang Zeli Q in Kuan

(Changchun College of Technology, Changchun 130021) (Jilin Nickel Corporation, Panshi 132311)

Abstract In this paper, the components of pyrrhotite and pentlandite in Hongqiling nickel deposit have been studied by means of electron microprobe. Base on the studies of characteristic liquation fabrics, ore-forming temperature, S, Sr isotope and the rare earth elements of rock bodies, it is indicated that pyrrhotite and pentlandite are derived from upper mantle and are the result of the cooling of ore magma separated from the deep sources.

Key words pyrrhotite, pentlandite magmatic liquation, Hongqiling, trapped bead structure

Synopsis of the first author Wang Bing en, 58 years old, A associate Professor of Mineralogy and Petrology with Changchun College of Technology. Now he is engaged in metallogenetic petrology.