

我国一些铜镍硫化物矿床 主要金属矿物的特征

陈 殿 芬

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京 100037)

主题词 铜镍硫化物矿床 主要金属矿物 矿物学特征 矿物共生组合

提 要 镍、铜共生的铜镍硫化物矿床是镍矿也是铜矿的重要矿床类型。磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿是这类矿床的主要金属矿物。它们的某些矿物学特征,特别是微量元素Co/Ni比值,与其他铜矿类型明显不同。这三种矿物组成不同于任何其他铜矿类型的典型矿物共生组合,形成特殊的海绵陨铁状、珠滴状构造。这些特征无疑为矿床成因提供了重要信息。而浸染状、海绵陨铁状矿石中这三种矿物相对含量的变化又常是这类矿床富镍或富铜特征的反映。

1 铜镍硫化物矿床地质特征概述

我国铜镍硫化物矿床主要分布于陆缘拉张带、大陆裂谷带及裂陷槽中。含矿岩体为基性—超基性岩。据我国16个铜镍硫化物矿床含矿岩体化学成分资料的统计^[1-2],橄榄岩、二辉橄榄岩、古铜辉石岩等超基性岩的MgO含量大多变化在19.94%—32.21%之间,Fe₂O₃+FeO为10.98%—15.38%,m/f值为2.32—5.05。辉长岩、苏长岩等基性岩的MgO含量多为8.11%—20.96%,Fe₂O₃+FeO多在5.95%—18.65%之间,m/f值为0.55—2.38。显然,我国铜镍硫化物矿床的含矿岩体应属铁质超基性岩和铁质基性岩。含矿岩体的成岩时代主要是元古宙和华里西期,只有少数为加里东期。含矿岩体具明显的幔源特征,其锶同位素组成与上地幔现代玄武岩浆中的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr值(0.704±0.002, G. Faure, 1977)很接近。例如喀拉通克1—3号岩体的初始锶比值(⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)₀=0.7033—0.7044^[2],赤柏松(包括新安、金斗)主要含矿岩体暗色橄榄辉长苏长岩和中色橄榄辉长苏长岩的(⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)₀值分别为0.70644和0.70399^[3]。

一般认为铜镍硫化物矿床是岩浆熔离作用形成的。我国除金川等少数几个含矿岩体出露面积达1km²外,大多数均小于0.1km²。多数岩体与围岩呈断层接触,且具多次贯入的特点。尽管岩体规模小,但常形成大矿,有时甚至整个岩体均为矿体,因此可以认为,我国铜镍硫化物矿床大多经历了深部熔离富集阶段,具有深部熔离作用的特征。

2 主要金属矿物的矿物学特征

铜镍硫化物矿床中金属矿物种类多达40种以上,但主要金属矿物仅磁黄铁矿、镍黄铁

本文于1995年7月17日收到,1995年8月1日改回。

表 1 磁黄铁矿的电子探针分析
Table 1 Electron microprobe analyses of pyrrholite

矿物	超结构类型 ^(a)	分析数	化学成分(%)				Co/Ni	Co/Cu	Fe _e (原子%)	晶体化学式	矿床	资料来源
			Fe	Ni	Cu	Co	S					
陨硫铁	1B2C型 ⁽¹⁾ (2C)	4	63.42	0.042			36.41		49.95	Fe _{0.99} S	红旗岭	②
		1	63.07			0.13	37.44		49.12	Fe _{0.97} S	黄山	[7]
		4	63.22				36.70		49.68	Fe _{0.99} S	金川	[8]
		1	62.30				38.44		48.00	Fe _{0.93} S x=0.07	丹巴	③
六方磁黄铁矿	1A1C型 (1C)	6	61.84	0.19	0.011	0.021	38.35	1.91	48.16	Fe _{0.93} S x=0.07	红旗岭	②
		1	61.55				38.45		47.84	Fe _{0.92} S x=0.08	金川	[8]
	2A5C型 (5C)	49	60.34	0.37	0.13	0.09	38.71	0.69	47.23	Fe _{0.91} S x=0.09	喀拉通克	[2]
		1	61.53				39.07		47.44	Fe _{0.92} S ₁₀	丹巴	③
		4	60.07	0.14	0.02	0.02	38.34	1	47.43	Fe _{0.92} S ₁₀	红旗岭	②
		1	60.90				39.10		47.16	Fe _{0.89} S ₁₀	金川	
单斜磁黄铁矿	6A6C型 (6C)	1	61.12	0.21			38.67		47.68	Fe _{10.93} S ₁₂	金川	[8]
		1	60.59	0.99		0.02	38.40	0.02	47.92	Fe _{11.04} S ₁₂	金川	
	2A11C型 (6C)	2	59.85	0.50	0.02	0.02	36.01	0.04	47.69	Fe _{10.03} S ₁₁	红旗岭	②
		1	58.51	0.60		0.13	38.93	0.22	46.27	Fe _{6.5} S ₈	黄山	[9]
		1	60.50				39.07		46.80	Fe _{7.04} S ₈	丹巴	③
		3	59.92	0.33			39.75		46.35	Fe _{6.5} S ₈	金川	[8]
单斜磁黄铁矿	2A2B4C型 (4C)	12	59.38	0.90	0.017	0.026	39.17	1.53	46.35	Fe _{6.5} S ₈	红旗岭	②
		1	59.58	0.18	0.07		39.97		46.21	Fe _{6.5} S ₈	库斯台	
		2	59.49	0.21	0.02	0.15	39.63	0.71	46.44	Fe _{6.96} S ₈	力马河	③

① A, C指最简单的红碲矿晶胞核长, $A(a_0) \approx 3.45 \text{ \AA}$, $C(c_0) \approx 5.8 \text{ \AA}$, $b = \sqrt{3} A \approx 5.97 \text{ \AA}$

② 骆宝华, 1985, 吉林红旗岭硫化铜镍矿床的金属矿物、矿石特征及成因研究(硕士论文)

③ 本文的电子探针分析由中国地质科学院矿床所陈克耀完成(以下同)

表 2 磁黄铁矿的化学分析①
Table 2 Chemical analyses of pyrrhotite

矿 物	超 结 构 类 型	化 学 成 分 (%)								Fe (原子%)	晶体化学式	矿床来源
		Fe	Ni	Cu	Co	Mn	Ag	Au	ΣPt②	S		
六方磁黄铁矿	1A1C型 (1C)	60.00	1.06	0.30	0.15	0.009	0.0008	0.04	0.63	38.47	Fe _{90.914} S	丹巴
	2A5C型 (5C)	59.94	0.76	0.087	0.11	0.007	0.0005	0.04	0.784	38.69	Fe ₈₉ S ₁₀	
单斜磁黄铁矿	2A2B4C型 (4C)	59.53	0.76	0.34	0.11	0.005	0.0007	0.15	0.923	39.27	Fe _{87.1} S ₈	金川 [8]
		59.71	0.53	0.15	0.08	0.002	0.0005	2.2	0.978	39.52	Fe _{87.01} S ₈	
		58.83	1.40		0.03					39.69	Fe _{86.97} S	
		58.97	0.99		0.02					40.02	Fe _{86.87} S ₈	

注：① 本文的化学分析由中国地质科学院测试所完成（以下同）

② ΣPt的计量单位为g/t

矿及黄铜矿三种。

2.1 磁黄铁矿

磁黄铁矿是金属矿物中含量最多的矿物。经102个磁黄铁矿化学成分资料统计，我国铜镍硫化物矿床中的磁黄铁矿有陨硫铁、六方磁黄铁矿及单斜磁黄铁矿三种。陨硫铁无铁的亏损，Fe含量为50%（原子），一般只见于陨石中。在各类铜矿床中也只在铜镍硫化物矿床中发现有陨硫铁。在红旗岭、金川、新疆黄山铜镍硫化物矿床中，陨硫铁的Fe含量为49.12%—49.95%（原子），与理论值十分接近，六方磁黄铁矿的Fe含量为47.16%—48.16%（原子），单斜磁黄铁矿的Fe含量为46.21%—46.84%（原子）（表1，2）。显然，R. H. Carpenter和G. A. Desborough (1964)^{〔4〕}认为成分介于50（Fe原子）%—48（Fe原子）%的相在自然界中不存在的结论是不确切的。

磁黄铁矿中Co、Ni含量是很特征的。Co、Ni含量都很高，分别为0.02%—0.15%和0.042%—1.40%；Co/Ni<1，在0.02—0.24之间（表1，表2，图1），与小西南岔斑岩—浅成热液型铜金矿床（Co/Ni=1—8.3）、胡家峪喷气—沉积型铜矿床（Co/Ni=3.25）明显不同。这说明铜镍硫化物矿床中的磁黄铁矿是富镍贫钴的矿物。磁黄铁矿中有关Au、Ag的化学分析资料不多，仅据丹巴矿床的4个化学分析结果来看（表2），Au含量远高于Ag。Au/Ag=50—440，比斑岩—浅成热液成因的小西南岔矿床^{〔6〕}高得多。其中，单斜磁黄铁矿中Au含量又比六方磁黄铁矿高，Au/Ag比值分别为214—440和50—80，这可能是因为

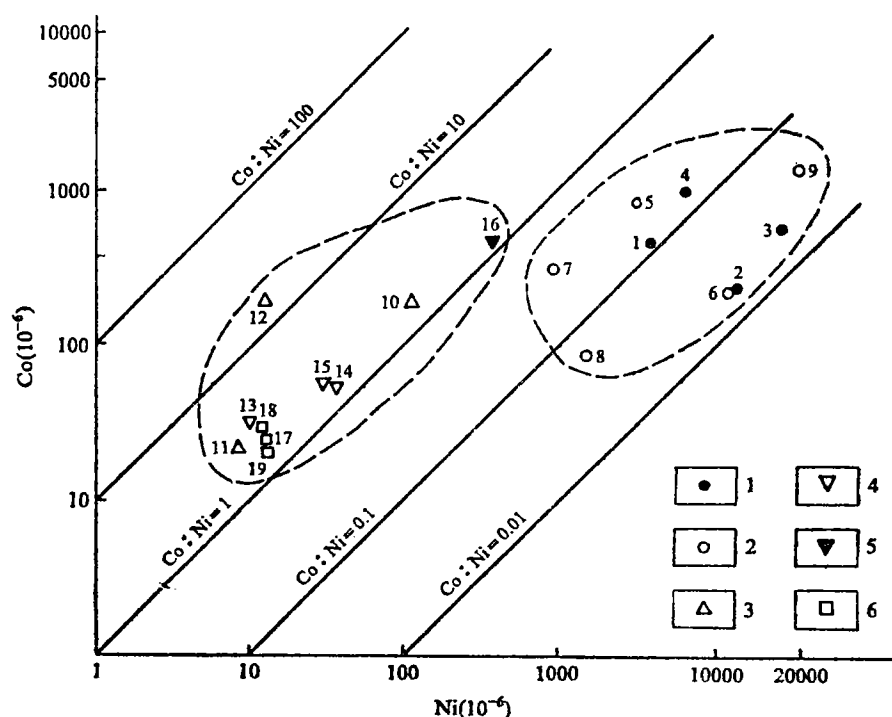


图 1 我国铜矿床中的磁黄铁矿和黄铜矿的Co-Ni关系图

Fig. 1 Ni versus Co diagram of pyrrhotite and chalcopyrite from copper deposits from China

图例：1—铜镍硫化物矿床中的磁黄铁矿；2—铜镍硫化物矿床中的黄铜矿；3—砂卡岩型铜矿床中的黄铜矿；4—斑岩型或斑岩-浅成热液型铜(铜金)矿床中的黄铜矿；5—斑岩-浅成热液型铜金矿床中的磁黄铁矿；6—火山-喷气型铜矿床中的黄铜矿

图中投影点编号所代表的矿床：1—红旗岭；2—金川；3—冷水箐；4—丹巴；5—喀拉通克；6—金川；7—丹巴；8—喀拉通克；9—冷水箐；10—武山；11—城门山；12—封山洞；13—城门山；14—玉龙；15—小西南岔；16—小西南岔；17—小铁山；18—折腰山；19—铜厂沟

资料来源：除文中已提及的外，还有：10—13，季绍新等（1990）；14，芮宗瑶等（1984）；17—19，邹介人（1994）

单斜磁黄铁矿中有较多的铁原子空位，从而有利于Au进入磁黄铁矿晶格。此外，磁黄铁矿中还含微量铂族元素， $\Sigma Pt = 0.63—0.978 g/t$ （表2）。在丹巴矿床中发现有大量铂族元素矿物，且多与硫化物有密切关系。在磁黄铁矿含量约80%的块状矿石中， ΣPt 含量高达3.9g/t，因此，磁黄铁矿中的铂族元素很可能主要是以独立矿物形式存在的。

磁黄铁矿的超结构类型与铁原子空位的多少及形成条件（温度）有关^[6]。从表1、表2可以看出，我国主要铜镍硫化物矿床中磁黄铁矿的超结构类型有2C型（陨硫铁）；1C型、5C型、6C型、11C型（六方磁黄铁矿）；4C型（单斜磁黄铁矿），其中1C型和4C型分布最广泛。由于缺乏各型天然磁黄铁矿的温度资料，本文暂不讨论它们与温度的关系。

镜下观察，磁黄铁矿呈浅玫瑰色，强非均质性，常呈他形晶粒状集合体分布于矿石

中。六方磁黄铁矿和单斜磁黄铁矿有时互为页片嵌生。红旗岭^①和金川^[8]矿床中的陨硫铁呈规则页片与六方磁黄铁矿(5C及6C型)连生。磁黄铁矿的压入硬度 $H_v = 225\text{—}299\text{kg/mm}^2$ (负荷100g)。磁黄铁矿的反射率列于表3。显然, 单斜磁黄铁矿的反射率比六方磁黄铁矿的反射率高。

表3 丹巴铜镍硫化物矿床中磁黄铁矿的反射率

Table 3 Reflectivities of pyrrhotite from the Danba nickel-copper sulfide deposit

反射率(%) \ 波长(nm)		480	546	589	656
单 磁 斜 黄 铁 矿	<i>Re</i>	37.9	38.5	41.2	44.6
	<i>Ro</i>	34.4	42.0	44.2	47.2
	平均值	36.1	40.3	42.7	45.9
六 磁 方 黄 铁 矿	<i>Re</i>	34.9	38.4	40.7	43.3
	<i>Ro</i>	32.1	35.7	37.7	41.0
	平均值	33.5	37.1	39.2	42.2

测试仪器: MPV-1型显微光度计; 测试者: 笔者

2.2 镍黄铁矿

镍黄铁矿是这类矿床中唯一重要的镍的工业矿物。镍黄铁矿中Ni/Fe比值的理论值为1, 阳离子总数(M)与S原子的比值为1.125。但是, 天然镍黄铁矿的Fe、Ni、S含量却在一个较大范围内变动: Fe 27.39%—33.30%, Ni 32.57%—37.87%, S 32.23%—32.87%; Ni/Fe比值变化在0.91—1.27之间, $M/S = 1.125\text{—}1.15$ 。镍黄铁矿的晶体化学式为:

$(\text{Fe}, \text{Ni})_{0.97}\text{S}_8\text{—}(\text{Fe}, \text{Ni})_{0.5}\text{S}_8$ (表4)。除主要组份Fe、Ni、S外, 常有类质同象混入的Co (0.03%—1.12%)、Cu (0.005%—0.15%)、Zn (0.06%—0.12%) (表4)。从图2可看出, 镍黄铁矿中Co与Fe有大致反消长的关系, 这表明镍黄铁矿中的Co是类质同象置换Fe的结果。镍黄铁矿中Au、Ag、Cu含量通常不高, 但在有些矿床中Ag、Cu含量很高, 甚至形成银镍黄铁矿和铜镍黄铁矿。喀拉通克、黄山^[3]和红旗岭(骆华宝, 1985)的银镍黄铁矿含Ag 6.08%—14.31%, 平均化学式为 $(\text{Fe}_{5.02}\text{Ni}_{3.41}\text{Ag}_{0.73})_{0.16}\text{S}_8$ (16个电子探针分析结果)。金川的铜镍黄铁矿含Cu 8.33%—19.60%^[8], 平均化学式为 $(\text{Fe}_{4.47}\text{Ni}_{2.87}\text{Cu}_{1.58})_{8.9}\text{S}_8$ (6个电子探针分析结果)。与镍黄铁矿比较, 其S、Fe含量变化不大, Ni含量却明显降低, 表明Ag、Cu主要是类质同象置换Ni而进入镍黄铁矿晶格的。

据我国主要铜镍硫化物矿床的资料统计, 大多数镍黄铁矿的晶胞参数变化在10.03—10.098 Å之间。晶胞参数的变化主要与微量元素Co含量有关。通常, 镍黄铁矿晶胞参数随成分中Co/(Fe, Ni)比值的增高而降低。我国铜镍硫化物矿床的镍黄铁矿中经常含Co在0.03%—1.12%范围内, 故导致其晶胞参数在一定范围内变化。镍黄铁矿的反射率(%)^[11]: 37.8—39.1(480nm)、44.4—45.0(546nm)、47.3—47.9(589nm)、50.3—51.0(656nm)。显微硬度 $H_v = 196\text{—}280\text{kg/mm}^2$, 平均值235kg/mm² (17次平均)。

① 骆华宝, 吉林红旗岭硫化铜镍矿床的金属矿物、矿石特征及成因研究, 1985 (硕士论文)。

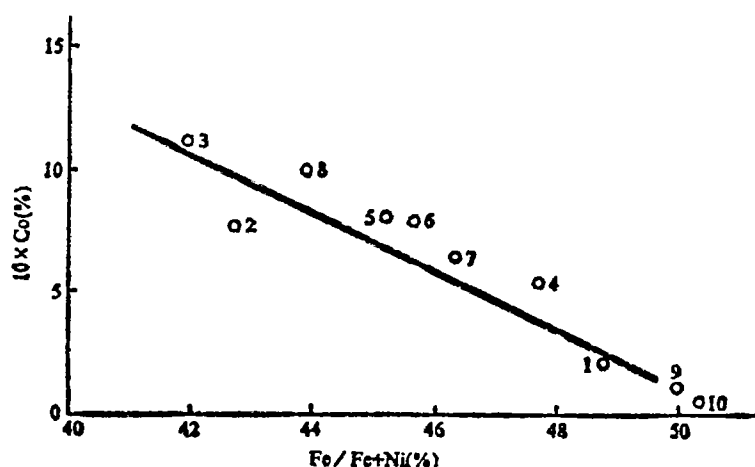


图 2 镍黄铁矿的 $10 \times \text{Co}$ — $\text{Fe}/\text{Fe} + \text{Ni}$ 关系图

Fig. 2 $10 \times \text{Co}$ versus $\text{Fe}/\text{Fe} + \text{Ni}$ diagram of pentlandite

图中编号所代表的矿床及其资料来源: 1—3—红旗岭 (骆华宝, 1985); 4—金川^[9]; 5—喀拉通克^[2]; 6—黄山东^[9]; 7—8—赤柏松^[10]; 9—10—丹巴 (本文)

镍黄铁矿常蚀变为紫硫镍矿。后者常呈前者假象, 或沿前者(111)解理、裂隙分布。

2.3 黄铜矿

黄铜矿的晶体化学式为 $\text{Cu}_{0.84-1.05}\text{Fe}_{0.98-1.05}\text{S}_2$ 。除主要组份Cu、Fe、S外, 黄铜矿中还含微量Co、Ni、Zn及Au、Ag (表5)。与其他类型铜矿中的黄铜矿比较, 铜镍硫化物型矿床的黄铜矿有明显特点, 其 $\text{Co}/\text{Ni} < 1$, 且分布在高镍区; 而矽卡岩型铜矿、斑岩型铜矿及火山-喷气型铜矿的黄铜矿, $\text{Co}/\text{Ni} > 1$, 主要分布在低镍区 (图1)。黄铜矿是各类铜矿床的主要铜矿物, 它的这一特点无疑为矿床提供了重要的成因信息。另外, 黄铜矿中还含微量Se、Te及 ΣPt 。力马河矿床的黄铜矿中含Se 0.0055%, Te 0.0011%, $\text{Se}/\text{Te} = 5^{[12]}$, 表明矿物中Se比Te高得多。对丹巴的两个黄铜矿样品还进行了铂族元素分析, ΣPt 含量为0.332—0.584g/t, 其含量比磁黄铁矿略低 (表2)。

黄铜矿的晶胞参数 $a_0 = 5.28-5.30 \text{ \AA}$, $c_0 = 10.40-10.44 \text{ \AA}^{[13]}$, 属普通 α -黄铜矿。用MPV-1型显微光度计测得黄铜矿的反射率 (%)为46.5—49.0 (546nm)。显微硬度 $H_v = 218 \text{ kg/mm}^2$ (负荷100g, 5次平均)。

4 主要金属矿物的共生组合特点

磁黄铁矿-镍黄铁矿-黄铜矿是铜镍硫化物矿床的基本矿物共生组合, 也是不同于任何其他类型铜矿的典型矿物共生组合, 除岩浆期早阶段出现铬铁矿 (磁铁矿-钛铁矿)-橄榄石组合外, 该组合几乎贯穿整个成矿过程。随着成矿作用的进行, 它们与不同的脉石矿物形成各种矿石类型。磁黄铁矿-镍黄铁矿-黄铜矿相当于Fe-Ni-Cu-S四元体系中的三种最重要的矿物。虽然黄铁矿也是此四元体系的重要矿物, 但在铜镍硫化物矿床中, 它的含量远较其他类型铜矿少。

与磁黄铁矿-镍黄铁矿-黄铜矿共生或伴生的脉石矿物主要是贵橄榄石、古铜辉石、单

表 4 镍黄铁矿的电子探针分析
Table 4 Electron microprobe analyses of pentlandite

序号	样品数	产出特征	化 学 成 分					M/S	晶体化学式	矿 床	资料来源
			Fe	Co	Ni	Cu	Zn				
1	8	火焰状 结 状	32.30	0.20	34.00			32.30	1.150	(Fe _{4.6} Ni _{4.6}) _{9.2} S ₈	红旗岭
2	5	豆 状	27.76	0.79	37.29	0.005		32.60	1.125	(Fe ₄ Ni ₂) ₈ S ₈	骆华宝 (1985)
3	6	粒 状	27.39	1.12	37.87	0.0015		32.23	1.146	(Fe _{4.05} Ni _{5.12}) _{9.17} S ₈	
4	22		29.75	0.85	36.12	0.15	0.06	32.87	1.134	(Fe _{4.27} Ni _{4.8}) _{9.07} S ₈	[2]
5	1	粒 状	33.30	0.09	33.55	0.10	0.12	32.84	1.145	(Fe _{4.66} Ni _{4.50}) _{9.16} S ₈	丹 巴 本 文
6	2	粒 状	34.06	0.03	32.57	0.13		32.80	1.141	(Fe _{4.77} Ni _{4.36}) _{9.13} S ₈	力 马 河

表 5 黄铜矿的化学成分

Table 5 Chemical analyses of chalcopyrite

序 号	化 学 成 分 (%)								Co/Ni	晶体化学式	矿 床	资 料 来 源
	S	Cu	Fe	Co	Ni	Zn	Au	Ag				
1	34.37	33.64	31.90			0.02				Cu _{0.99} Fe _{1.06} S ₂	力马河	本 文
2	33.37	34.78	30.90			0.01		0.06		Cu _{1.03} Fe _{1.02} S ₂		
3	33.37	34.86	31.58			0.01				Cu _{1.03} Fe _{1.08} S ₂	库斯台	
4	35.29	32.44	30.37	0.06	1.04		0.08	0.37	0.06	Cu _{0.97} Fe _{0.99} S ₂	丹 巴	
5	35.37	33.03	30.43	0.03	0.76		0.37	0.0065	0.04	Cu _{0.97} Fe _{0.99} S ₂		
6	34.97	33.75	30.32	0.021	1.13				0.02	CuFe _{0.99} S ₂		
7	35.61	32.33	30.43	0.03	1.60				0.02	Cu _{0.97} Fe _{0.99} S ₂	金 川	{8}
8	33.63	35.38	30.44	0.01	0.15			0.0035	0.07	Cu _{1.06} Fe _{1.04} S ₂	喀拉通克	{2}
9	36.73	28.00	33.51	0.13	2.24				0.06	Cu _{0.84} Fe _{1.05} S ₂	冷水箐	{12}

注: 序号1—2为电子探针分析, 其余为化学分析

斜辉石、拉长石、蛇纹石、滑石及碳酸盐矿物。

在磁黄铁矿-镍黄铁矿-黄铜矿组合中,三种矿物的相对含量变化很大。从图3可看出,在三种矿物中磁黄铁矿含量最高。至于镍黄铁矿和黄铜矿的含量则视不同矿床而定。在富镍的矿床中,镍黄铁矿明显多于黄铜矿,而在富铜的矿床中,黄铜矿就比镍黄铁矿多。该组合的这一特征与矿石化学成分基本一致。在富镍的矿床中,浸染状、海绵陨铁状等主要矿物的Cu/Ni比值通常小于1,例如丹巴矿床, $\text{Cu/Ni} = 0.17-0.52$; 力马河矿床, $\text{Cu/Ni} = 0.39-0.64$ 。在富铜矿床中,主要矿物的 $\text{Cu/Ni} > 1$, 例如喀拉通克浸染状矿物的 Cu/Ni 比值(平均)为1.4。基本矿物组合中矿物的相对含量之所以能反映矿石的化学成分,主要原因在于这类矿床的Cu、Ni组份基本上是以硫化物形式存在。据力马河矿床^[12]、喀拉通克矿床^[2]矿石的物相分析,约80%—90%的Ni呈镍的硫化物存在;约90%—98%的Cu呈铜的硫化物存在。但由矿浆贯入作用形成的块状矿石中,Cu、Ni的富集情况有所变化。富铜的喀拉通克矿床的块状矿石(包括特富铜镍矿石), $\text{Cu/Ni} = 3.87$,矿石中黄铜矿比镍黄铁矿多得多。同是富镍的丹巴、金川矿床,前者的块状矿石中镍黄铁矿多于黄铜矿,而后者却相反(图3)。因此,块状矿石中矿物的相对含量不能完全反映矿床总体上是富镍或富铜的特征。

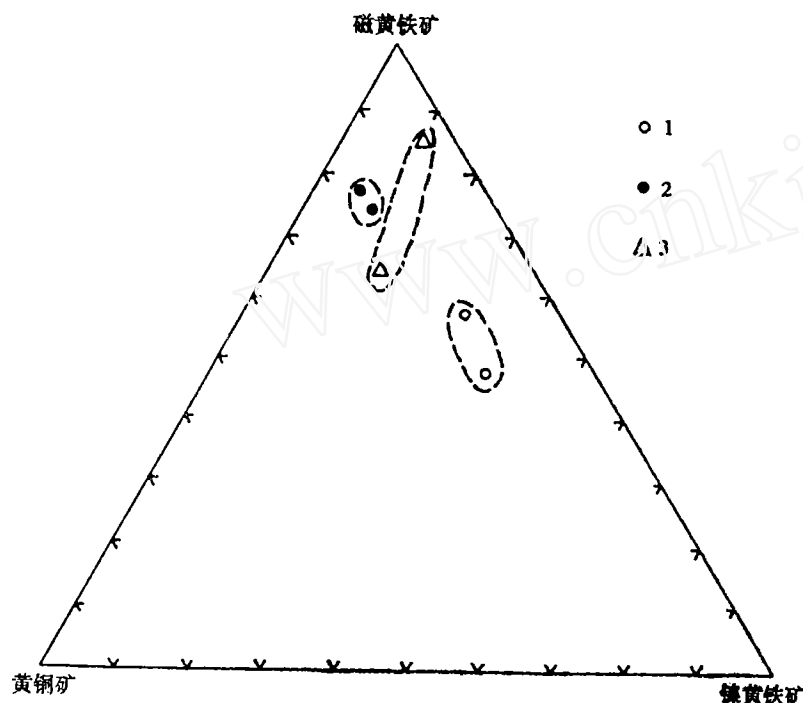


图3 磁黄铁矿-镍黄铁矿-黄铜矿含量的三角图

Fig. 3 Ternary diagram of pyrrhotite-pentlandite-chalcopyrite content

1—浸染状、海绵陨铁状矿石(富镍的铜镍硫化物矿床); 2—浸染状、海绵陨铁状矿石(富铜的铜镍硫化物矿床); 3—块状矿石(富镍的铜镍硫化物矿床)

磁黄铁矿-镍黄铁矿-黄铜矿组合常形成不同于其他类型铜矿的矿石构造。在红旗岭、力马河、喀拉通克、黄山等矿床见有硫化物的珠滴状构造。珠滴呈球形、椭球形。珠滴大

小悬殊,一般0.1—0.5mm。珠滴主要由磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿或磁黄铁矿、镍黄铁矿或磁黄铁矿、黄铜矿组成。它们大多分布于硅酸盐矿物(橄榄石、辉石)中,有时也分布于氧化物矿物中。如力马河矿床中可见到既分布于橄榄石中也分布于钛铁矿中的硫化物珠滴。硫化物的珠滴状构造是铜镍硫化物矿床熔离成因的有力证据。这些细小的硫化物珠滴在运移过程中逐渐融合、聚集而成不规则的粒状集合体,呈浸染状分布于造岩硅酸盐矿物中,形成广泛分布的浸染状矿石。当这些金属矿物进一步富集且连续地充填于硅酸盐矿物粒间时,则形成铜镍硫化物矿床特有的海绵陨铁构造(矿石)。

块状构造是许多铜矿床都具有的一种常见的矿石构造。但是,在铜镍硫化物矿床中,由磁黄铁矿-镍黄铁矿-黄铜矿组合形成的块状构造却有重要的成因意义。具块状构造的矿石金属矿物高度富集(>80%),且常受构造控制而与浸染状、海绵陨铁状矿石有明显接触界线,为矿浆贯入作用提供了重要证据。

4 结语

(1) 磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿是铜镍硫化物矿床最主要的金属矿物。磁黄铁矿有多种超结构类型。黄铜矿、磁黄铁矿的Co、Ni含量高及Co/Ni比值低($Co/Ni < 1$)。它们的这些特征与其他类型铜矿中的黄铜矿、磁黄铁矿明显不同,从而为研究矿床成因提供了有用信息。

(2) Co、Ag、Cu是镍黄铁矿中常见的微量元素。在镍黄铁矿中Co常以类质同象置换Fe;而Ag、Cu则常以类质同象置换Ni。当矿物中Ag、Cu含量很高时,则可形成银镍黄铁矿及铜镍黄铁矿。

(3) 磁黄铁矿-镍黄铁矿-黄铜矿是不同于任何其他类型铜矿的典型矿物共生组合,同时又是铜镍硫化物矿床的基本矿物共生组合。它贯穿整个成矿过程,形成各种矿石类型,同时还形成能提供成因信息的珠滴状、海绵陨铁状、块状构造。

(4) 磁黄铁矿-镍黄铁矿-黄铜矿组合中,磁黄铁矿含量最多。至于镍黄铁矿与黄铜矿含量的多少则与矿床富镍或富铜有关。因此,主要矿石(浸染状、海绵陨铁状)中,镍黄铁矿与黄铜矿含量的高低实际上是矿床富镍或富铜的反映。

参 考 文 献

- 1 中国矿床编辑委员会. 中国矿床(上册). 地质出版社, 1989.
- 2 王润民、赵昌龙等. 新疆喀拉通克一号铜镍硫化物矿床. 地质出版社, 1991.
- 3 芮宗瑶、施林道、方如恒等. 华北陆块北缘及邻区有色金属矿床地质. 地质出版社, 1994.
- 4 Carpenter R H & Desborough G A. Range in solution and structure of naturally occurring troilite and pyrrhotite. *Amer. Min.*, 1964, 49: 1350—1365.
- 5 陈殿芬、周文茂. 吉林小西南岔金铜矿床的金属矿物及矿石特征. *矿床地质*, 1995, 14 (2).
- 6 王 濮、潘兆麟、翁玲宝等. 系统矿物学(上册). 地质出版社, 1982.
- 7 王润民、刘德权、殷定泰. 新疆哈密土墩—黄山一带铜镍硫化物矿床成矿控制条件及找矿方向的研究. *矿物岩石*, 1987, 7 (1).
- 8 甘肃省地质矿产局第六地质队. 白家咀子硫化铜镍矿床地质. 地质出版社, 1984.
- 9 王志辉等. 黄山东铜镍硫化物矿床矿物物质成分研究. *矿物岩石*, 1986, 6 (3).

- 10 雷蕴芬、林月英、杨明明. 我国镍黄铁矿基本特征. 矿相学论文集. 地质出版社, 1987.
- 11 陈正、陈殿芬、邹星. 金属矿物颜色指数研究. 地质出版社, 1979.
- 12 姚家栋. 西昌地区硫化铜(钼)矿床成因. 重庆出版社, 1988.

Characteristics of Main Metallic Minerals in Some Copper-Nickel Sulfide Deposits of China

Chen Dianfen

(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological
Sciences, Beijing 100037)

Key words: copper-nickel sulfide deposits; main metallic minerals; mineralogical characteristics; mineral assemblage

Abstract

Copper-nickel sulfide deposits are mainly distributed in epicontinental stretching zones, continental rift zones and fault depression troughs. Ore-forming intrusive bodies are ferruginous ultrabasic rocks and basic rocks, exhibiting obvious mantle source characteristics.

Pyrrhotite, Pentlandite and chalcopyrite are main metallic minerals in copper-nickel sulfide deposits. Pyrrhotite includes three variants (troilite, hexagonal pyrrhotite, and monoclinic pyrrhotite) and shows varied superstructural types. Chalcopyrite and pyrrhotite have high Co and Ni content and low Co/Ni ratios ($\text{Co/Ni} < 1$), being obviously different from these two minerals in other types of copper deposits.

Pentlandite commonly contains such minor elements as Co, Ag and Cu, and sometimes has high content of Ag and Cu, even forming Ag-pentlandite and Cu pentlandite.

Pyrrhotite-pentlandite-chalcopyrite constitutes basic mineral assemblage of this type of ore deposits, and this is obviously different from typical mineral assemblages of other types of copper deposits. With the advance of mineralization, these minerals can form different ore types. As a rule, pyrrhotite is richest in ore, whereas the amounts of pentlandite and chalcopyrite are related to the content of Ni and Cu in ore deposits.