

岩浆熔离型 Cu-Ni 硫化物矿床元素组合和地球化学评价指标

刘崇民, 李应桂

(中国地质科学院物化探研究所, 廊坊 065000)

[摘要] 铜镍矿床的地球化学勘查评价实质上是基性—超基性岩体含矿性的评价。岩浆铜镍硫化物矿床与基性、超基性岩体具有空间和成因联系, 其主要成晕微量元素以 Cu、Ni、Co、Cr、Ag 为主, 而且含矿岩体的这些元素的平均值高, 离差大。矿床区域地球化学异常发育, 异常分布受基性—超基性岩群和岩带制约, 异常浓集中心与矿田的岩矿体一致。矿区异常继承了区域异常的组分, 异常的高值区与矿床对应。矿床的原生晕具有组分分带, 前缘元素是 I、F、B、Ba、As、Mo; 近矿元素是 Ag、Cr; 矿元素是 Cu、Ni、Co。利用原生晕的组分分带特征可判断矿体的剥蚀程度和预测隐伏的岩矿体。

[关键词] 铜镍矿床 地球化学特征 组分分带 评价指标

[中图分类号] P618.41; P618.63 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2001)05-0006-04

岩浆熔离型铜镍矿床是铜矿的主要类型之一, 笔者就有关铜镍硫化物矿床的地球化学预测指标研究成果, 以喀拉通克、金川和红旗岭等几个大型矿床为例作一概述。

1 铜镍矿床地球化学特征

1.1 岩体

铜镍矿床赋存于基性—超基性岩体中, 岩体的元素含量的高低直接影响着岩体的成矿潜力, 一般认为含矿岩体中成矿元素高是一个主要的预测指标。表1列举了我国7个主要铜镍矿床含矿岩体的 Cu、Ni、Co、S 的含量平均值, 尽管各矿床的岩体中 Cu、Ni、Co、S 含量不完全一致, 但它们的共同特点是富集的, 与维氏值比较 Cu 富集了 2~13 倍, Ni 达 1~7 倍, S 为 4~15 倍 (Co 不稳定有高有低)。这比无矿岩体的 Cu、Ni、S 的元素含量高出一个数量级次^[1,2]。

表1 含矿岩体主要元素的含量平均值 10^{-6}

岩体	Cu	Ni	Co	S	资料来源
喀拉通克2号	1369.0	035.0	57.14	3998.0	李应桂 1992 ^[2]
喀拉通克2号	208.8	292.0	40.9	1454.0	李应桂 1992
喀拉通克3号	255.7	195.7	31.9	1234.0	李应桂 1992
金川2矿	208.0	1246.0	54.0	3853.0	侯鸿启 1987 ^[5]
黄山	162.0	605.0		1428.0	胡旺盛 1991 ^[6]
长仁11	870.0	2600.0	110.0	4730.0	赵东根 1986 ^[1]
赤柏松		320.0	50.0	1100.0	
基性岩(维 1962)	100.0	160.0	45.0	300.0	

1.2 岩相

由于岩浆的熔离作用, 所有含矿的基性—超基性岩体显示出明显的岩相分异特征, 从上至下呈现出中性岩—基性岩—超基性岩, 这种岩相的分异也

造成成矿元素按岩相基性程度增高而含量增大的有规律性的变化。如喀拉通克1号含矿岩体的岩相分异良好、岩相清晰(表2), 垂直方向上从上至下为闪长岩相—辉长岩相—苏长岩相。主要成晕元素 Cu、Ni、Co、Cr、Ag 的平均值、标准离差, 从闪长岩—辉长岩—苏长岩随基性程度的增加呈现出明显递增趋势, 尤其是 Cu、Ni 在辉长岩相和苏长岩相比闪长岩相高出一个数量级, Cr 虽然也增加但其幅度不如 Cu、Ni 大, Ag 的含量变化趋势也与 Cu、Ni 相似。另外, 各元素的含量频率分布呈正偏型式。这些特征与力马河矿床的组分研究以及国外的研究结果相似^[3,4]。由此可见岩相的分异过程是导致成矿组分逐步浓集的过程, 岩浆分异的越彻底, 成矿组分 Cu、Ni 的浓集率就越高, 最终在超基性岩相中形成 Cu、Ni 硫化物矿床。

表2 喀拉通克各岩相元素平均含量(\bar{x})与标准离差(Ca)

岩相		Cu	Ni	Co	Cr	Ag
闪长岩相(107)	\bar{x}	55.86	55.4	31.3	140.32	0.063
	Ca	84.75	78.05	18.4	245.83	0.013
辉长岩相(60)	\bar{x}	172.94	285.45	61.0	509.13	0.222
	Ca	146.3	207.63	32.3	342.7	0.22
苏长岩相(70)	\bar{x}	443.98	439.7	93.0	853.02	0.37
	Ca	177.49	183.8	58.0	299.08	0.585

括号内数字为样品数; 元素含量 \bar{x} 为 10^{-6} 。

1.3 矿石矿物

Cu、Ni 矿矿石多以块状、浸染状、稀疏浸染状产出。有的矿床矿石成分多达 50 多种, 成矿伴生组分也相当复杂, 但主要是 Cu、Ni、Co、S, 还有 Ag、As、Pt、Au 等, 表3列举了喀拉通克和金川2个矿床矿石成矿和伴生组分的平均值和衬值, 与基性岩的维氏值

[收稿日期] 2000-07-08; [修订日期] 2001-03-01; [责任编辑] 余大良。

比较 Cu 的衬值是 46.9~425, Ni 75.2~88.1, Co 7.9~9.4, Ag 22~357, As 3.4~72.5。

表 3 喀拉通克和金川铜镍矿石中主要元素的平均含量(\bar{X})与衬值(K)

矿床		Cu	Ni	Co	Ti	V	Ag	As	Mo	Cr
喀拉通克(61)	\bar{X}	42500.0	14100.0	422.0	1120.0	21.8	35.7	145.0	1.5	311.0
	K	425.0	88.1	9.4	0.12	0.1	357.0	72.5	1.1	1.6
金川(48)	\bar{X}	4687.6	12027.0	356.6	4199.6	62.8	2.2	6.8	0.88	
	K	46.9	75.2	7.9	0.5	0.3	22	3.4	0.6	
基性岩(维 1962)		100.0	160.0	45.0	9000.0	200.0	0.1	2.0	1.4	200.0

括号内为样品数;元素含量 \bar{X} 为 10^{-6} 。

另外 Bi、Au、Se 也有明显富集^[9]。应当指出,某些伴生元素富集因矿床而异,如在喀拉通克 Pb、Zn、Te、Pt、Pd,金川还有 Mn、Cl 等具有不同程度的富集^[9],上述高衬值的元素大部分在各矿床的矿石中都能见到相应的矿物,如 Cu 的矿物有黄铜矿、方黄铜矿、墨铜矿;镍的矿物为紫硫镍铁矿、镍黄铁矿、褐硫镍铁矿和少量碲镍矿;Co 有镍辉砷钴矿;此外,见到自然金、自然铂、砷铂矿、金银矿、硒硫砷矿、毒砂等。

2 矿床地球化学异常特征

2.1 区域地球化学异常

在红旗岭和喀拉通克铜镍矿的区域发育 Cu、Ni、Co、S、Cr(Ti、V)、Fe₂O₃、MgO 水系沉积物异常,异常分布受基性—超基性岩群和岩带制约。异常具有浓度梯度变化,浓集中心互相套合,其主体异常与矿田范围基本对应,有些矿床还出现 Ag、Mn、As、Au、

Ba,如喀拉通克 Ag、As、Au、Ba 的区域异常发育;而红旗岭则 Mn 的异常相对强一些,这些异常一旦出现也与上述主要成晕元素的主体异常在区域上相伴产出。

2.2 矿区地球化学异常

表 4 列出了喀拉通克等铜镍矿区大比例尺岩石、土壤测量研究成果。在矿区成晕元素基本继承了区域地球化学异常元素组合特征,即主要以 Cu、Ni、Co、Cr 元素组合的异常为主,4 个元素的异常与赋矿的岩矿体部位吻合,并出现浓度梯度变化,其主体异常叠置于矿区部位,浓集中心与矿化聚集地段对应;Fe₂O₃、MgO 也有同样的规律。另外,有些矿田还出现有 Pb、Zn、Au、As、Ti、V,如赤柏松发育 Pb、Zn、V,喀拉通克发育 Ag、As,金川发育 Au、As 等。

2.3 矿床地球化学异常特征

在喀拉通克和金川的 Cu、Ni 矿床的钻孔、地表典型剖面的原生晕研究表明,此类矿床在矿体周围

表 4 铜镍硫化物矿床指示元素组合与评价指标

矿床	指示元素与分带、判别指标	资料来源	
煎茶岭	Cu、Ni、Co、As、B	Ni/Co > 20 近矿标志	张本仁等,1975
赤柏松	Cu、Ni、Co、Cr		王志夫等,1982
方马河	Cu、Ni、Co	Ni/Cu 小→大近矿标志	刘英俊,1987
白马寨	Cu、Ni、Co、Cr	Ni/Cu < 2 矿标志	云南物探队,1978
黄山	Cu、Ni、Co、S		胡旺亮,1991
拉水峡	Cu、Ni、Co、Cr		青海物探队,1978
喀拉通克	B(I,F)-Ba-As-Mo-Ag-Cr-Co-Ag-Cu-Ni,	As × B × Ba/Cu × Ni × Co 矿上 > 10 矿下 < 0.1	李应桂,1988
红旗岭	Cu、Ni、Co、Ag、Cr、V、Ti、Fe ₂ O ₃ 、MgO、Hg、Sr、Mn、CaO		吴承烈,1997
金川	Cu、Ni、Co、Ag、Se、Au、As、Fe ₂ O ₃ 、MgO、V、Cr、Ba、F、Cl、I		吴承烈,1997
蒙契苔原	Mn、Ba、V、Ti、Cr、Co、Ni、Cu		叶利谢也夫,1959
佩钦戈—阿拉帕苏钦	Ba-V-Ti-Mo-Co-Pb-Cr-Cu-Ni-Ag,	Ba × V × Ti 矿上大,矿下小	波波诺夫,1982
塔尔纳赫	Ba-Pb-Zn-Ag-Cu-Co-Ni		奥夫钦尼科夫,1980
诺里尔斯克	Zr-Sn-Ti-Pb-Ba-Mo-Ag-Cu-Ni-Co		格里戈良,1982
贝辰加	F、B、Ba-Ag-Pb-Zn-Cu-Ni-Co-Cr,	Ag × Pb × Zn × Ba/Ni × Cu × Co × Cr	奥夫钦尼科夫,1984
西拜	V、Ti、Pb、Cr、Ni、Cu,	Cr × Ni/Ti × V 矿上小,矿下大	扎苏欣,1983
肖德贝里	Mn、V、Ti、Cr、Ni		里哈切夫,1983
科拉半岛	Ba、Ag-Pb-Zn-Cu-Ni-Co		格里戈良,1982

可形成十分发育的原生晕,与热液硫化物矿床具有相似的原生晕组分分带特征,即水平方向上和垂直方向原生组分均有分带现象。(1)垂直方向:在喀拉通克的钻孔剖面发育有 Cu、Ni、Co 和 Cr、Ag、B、Ba、As、I、F(I、F 未作图)元素的原生晕(图 1)等,据异常与矿体的空间关系,可划分出矿元素 Cu、Ni、Co,近矿元素 Ag、Cr 以及前缘元素 B、Ba、As、I、F 几组具不同指示意义的指示、矿元素 Cu、Ni、Co 的原生晕浓度梯度发育,高浓集中心与矿体部位对应,中、外浓度带分别对应矿化与蚀变带范围, Cr、Ag 的异常比

Cu、Ni 大,其高浓度带聚集在矿化赋存地段、中外浓度异常可超出岩体向外扩散形成上置扩散晕。B、Ba、As、Mo 在矿体周边形成中低衬度一个包裹岩体,主体异常发育于岩矿体上部的上置晕。(2)水平方向上,在金川和喀拉通克出露矿体地表发育 Cu、Ni、Co、Cr、Fe₂O₃、MgO(Ag、As、Au)的正异常,在岩体的接触带元素组合较复杂,有 Mo、As、Ba、Sn、Hg、Sb、F、I、V、Pb、Zn 等元素的异常,并向外延续一定的距离。而隐伏岩矿体上方, Cu、Ni、Co 无异常,而 Mo、B、As、Ba、I、F、Hg 的异常发育。

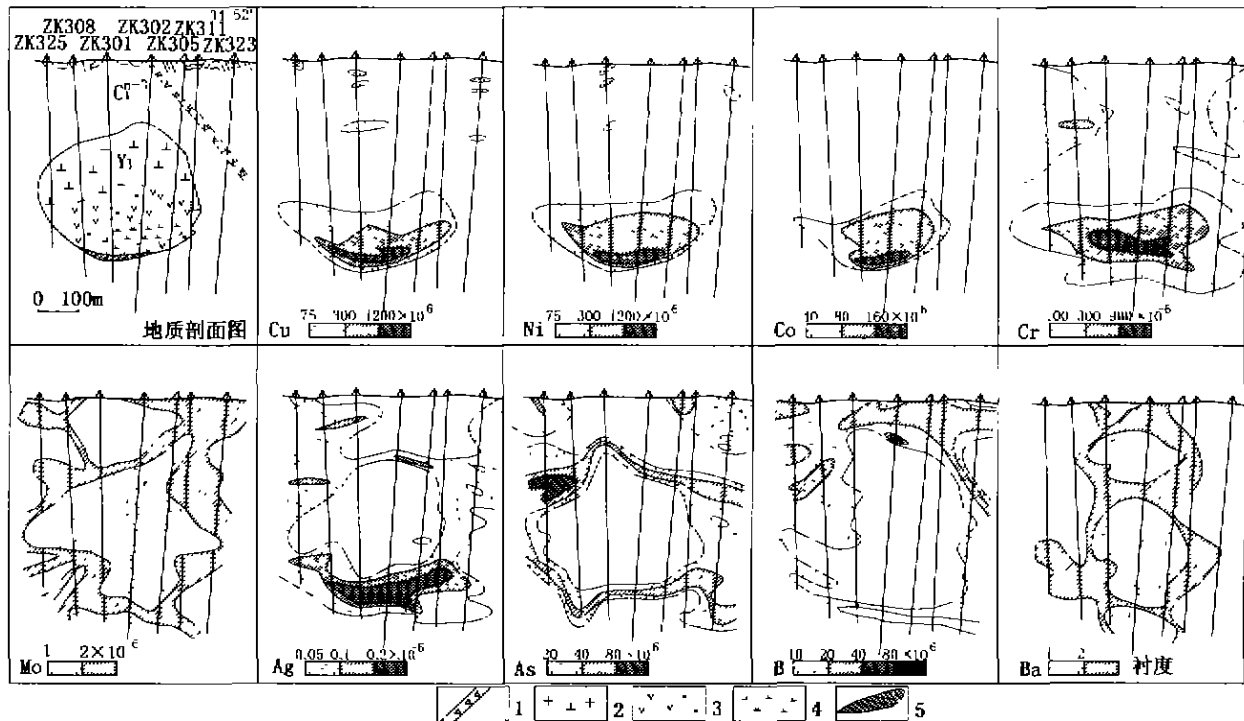


图 1 新疆喀拉通克矿区 71 线岩石测量剖面地球化学异常图

C₁²⁻³—泥质板岩夹沉凝灰岩,碳质泥板岩;Y₁—含矿岩体编号;1—断层破碎带;2—石英闪长岩相;3—辉长岩相;
4—苏长岩相;5—铜—镍矿体

3 铜镍矿床地球化学预测指标

铜镍矿床的勘查评价,实质上是基性—超基性岩体含矿性的寻找与含矿性的评价。

多个铜镍矿床区的勘查结果表明,区域上出现了以 Cu、Ni、Co、Cr、Ag、Fe₂O₃、MgO 为主的组合异常,基本反映了区内有基性超基性岩体或岩带存在。我们在对喀拉通克 22 个含矿和不含矿此类岩体做了研究,认为含矿岩体中主要成晕元素是 Cu、Ni、Co、Cr、Ag,这些元素的平均值高(一般高于无矿岩体的 10 倍以上)、离差大;频率分布型式呈正偏斜;S 的含量大于 0.1%;MgO 介于 8%~30%;ΣPt 总量大于 10×10⁻⁶。贾恩环(1986)在金川还研究了岩体

的 Na₂O/K₂O 的比值,认为该比值 > 1.8 是含矿岩体的标志。如果 Cu、Ni、Co、Cr、Fe₂O₃、MgO 这组元素的异常微弱,且发育 F、I、Mo、As、B、As、Hg 的异常,并伴随有物探的重力异常,将要注意深部隐伏岩(矿)体存在的可能性。

从表 4 可以看出:(1)尽管国内外各铜镍矿床成晕元素组分较复杂,指示元素组合也有一定差异,但其主要指示元素是雷同的即主成矿元素 Cu、Ni、Co、伴生组分 Ag、As、Cr、B、Ba、F、I(Au)。(2)矿床指示元素具有垂直分带性,可划分出前缘元素(B、Ba、F、I、As、Mo)、近矿指示元素(Ag、Cr)、尾晕元素(Cu、Ni、Co),因而,前缘元素和尾晕元素累乘比值是该类矿床的有效评价指标。(3)低 Si、高 MgO、Fe₂O₃ 是铜

镍矿化赋存地段重要的地球化学标志。(4) 鉴于该类矿床岩(矿)体浅隐伏时远程元素的异常发育;岩矿体刚出露地表,近矿元素的异常浓度高;岩(矿)体已出露地表或遭受一定的侵蚀时,Cu、Ni、Co 的异常发育。因此,前缘、尾晕元素累乘比值既可用于与该类矿床有关的化探异常评价,又可作为其矿化剥蚀程度的地球化学有效评价指标。

4 结 论

与铜镍矿床有空间和成因联系的基性-超基性岩体,具有一套以 Cu、Ni、Co、Cr、Ag、As、Ba、B、Mo、S 为主的成晕元素组合,其中 Cu、Ni、S 的平均值高出无矿岩体一个数量级以上。寻找岩体、评价岩体的含矿性、推断岩体的含矿部位是铜镍矿床勘查的 3 个重要技术环节。

含矿岩体还具有 MgO 为 8% ~ 30%, Cu、Ni、Co、Cr、S 呈正偏的频率分布型式,随着含矿岩体岩相基性程度的增强,这些元素的平均值、标准离差增大。

区域 Cu、Ni、Co、Cr、S、Fe₂O₃、MgO 的异常空间上与基性-超基性岩群和岩带紧密相伴,其主体异常对应矿田的含矿岩体。矿区这些元素的局部高值异常与岩(矿)体吻合。矿床的原生晕发育,并具有分带现象,分带序列(由上向下)为 I、F、B、Ba、Mo - Ag、Cr - Cu、Ni、Co,前缘元素与尾晕元素累乘比值,

既可用于该类矿床地球化学异常的快速评价,又是评价 Cu - Ni 矿床剥蚀程的有效地球化学指标。Cu、Ni、Co 的强异常与出露的岩(矿)体一致,F、I、Mo、As、B、As、Hg 绕其矿化周边分布;隐伏的岩矿体上方一般无 Cu、Ni、Co 异常或仅有微弱的 Cu、Ni、Co 异常,但 F、I、Mo、As、B、As、Hg 的异常发育。

[参考文献]

- [1] Cameron E M, Siddeley G, Durham C C. Distribution of ore elements in rocks for evaluating ore potential nickel copper cobalt and sulphur in ultramafic rocks of the Canadian shield[J]. Toronto, IGES, 1971: 298 - 313.
- [2] 李应桂,等.新疆喀拉通克铜镍金矿床地球化学异常模式的研究[J]. 地球物理地球化学勘查研究所刊,北京:地质出版社,1992. 35 - 50
- [3] Wager L R, Vincent E A, Smales A A. Sulphides in the Skaergaard Intrusion[J]. East Greenland, Econ. Geol., 52, 1957: 855 - 895
- [4] 刘英俊. 勘查地球化学[M]. 北京:科学出版社,1987. 49
- [5] Polferov D V, Suslova S I. Geochemical criteria of nickel mineralization in the mafic - ultramafic massifs[J]. Geochem. Int. 1966, 3(3): 487 - 496.
- [6] 候鸿自. 隐伏深部一贯入式硫化铜镍矿床地球化学标志:以金川矿床二矿段为例[J]. 甘肃地质科技情报, 1987, (3): 3 - 4
- [7] 胡旺亮. 岩浆型铜镍硫化物矿床地质概念模型[J]. 地球科学, 1991, 6(3): 253
- [8] 赵东根. 长仁铜镍矿地质特征及成因分析[J]. 吉林地质, 1986, (1): 23.
- [9] 吴承烈,等. 中国主要类型铜矿床勘查地球化学模型[M]. 北京:地质出版社,1998
- [10] 李应桂,等. 铜镍矿床勘查中岩体含矿性的地球化学评价[J]. 物探与化探, 1995, (4): 1 - 6.

ELEMENT ASSOCIATION AND GEOCHEMICAL EVALUATION INDICATOR FOR CU - NI SULFIDE DEPOSIT OF MAGMATIC SEGREGATION STYLE

LIU Chong - min, LI Ying - gui

Abstract: Cu - Ni sulfide deposits of magmatic segregation style are related with basic and ultrabasic rocks in spatial and genetic. The major element halos of the deposit are Cu, Ni, Co, Cr, Ag with high mean and standard deviation in ore - bearing rock mass. Regional geochemistry anomaly in mining deposit was well - developed, and anomaly distribution is controlled by sill and swarm of basic and ultrabasic rock. The strong anomaly of the element is coincided with ore - bearing bodies in the orefield. The concentration center of the anomaly is coincided with mineral deposit. The primary halo of mineral deposit has vertical zoning of the elements, with I, F, B, Ba, As, Mo as front elements, with Ag, Cr as near element of deposit, and Cu, Ni and Co as mine razing element. The zoning rules of primary halos of the elements could be used to discriminate denuding level of the ore body, and to predict ore - bearing rock mass.

Key words: Cu - Ni sulfide deposit, geochemical element association, evaluation indicator

[第一作者简介]

刘崇民(1955年-),男,1979年毕业于北京大学地质地理系,1993年获中国地质大学地球化学理学硕士学位,现任中国地质科学院物化探研究所高级工程师,长期从事铜、多金属矿床的地球化学勘查研究。

通讯地址:河北省廊坊市 中国地质科学院物化探研究所 邮政编码:065000

