

文章编号:1000-4734(2007)03-0262-03

云南金宝山铂钯矿 Pd 赋存状态的补充研究

陶琰, 朱丹, 高振敏, 罗泰义, 姚林波, 张欢

(中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室, 贵州贵阳 550002)

摘要:金宝山铂钯矿是峨眉山大火成岩省已知最大的铂族元素矿床, 矿化产出在金宝山岩体超镁铁岩相中, 矿石含浸染状硫化物。对矿石样品中硫化物进行电子探针分析发现镍黄铁矿及针镍矿中含有较高的钯, 含量分别达到 $500 \times 10^{-6} \sim 1700 \times 10^{-6}$ 和 $1100 \times 10^{-6} \sim 1900 \times 10^{-6}$ 。结合全岩分析结果进行质量平衡计算, 表明其矿石中钯主要以非独立矿物形式赋存在镍黄铁矿和针镍矿中。

关键词:PGE 矿床; 赋存状态; 云南; 金宝山

中图分类号:P618.5304 **文献标识码:**A

作者简介:陶琰, 男, 1963 生, 副研究员, 矿床地球化学专业。

铂族元素矿物学的系统研究表明, 在铂族元素矿床中, 铂族元素主要以铂族矿物的形式出现, 但也可以非独立矿物形式赋存在非铂族矿物中^[1-2]。金宝山铂钯矿是我国迄今发现的最大的独立铂族元素矿床, 在进行矿山勘查及矿石可选性能评价的研究中对铂族元素的赋存状态开展了大量研究, 发现大量铂族矿物, 计有 5 类 31 种, 除 Ru 外, 五种铂族元素都找到了铂族矿物相^[3], 但限于当时分析测试条件, 没有检测铂族元素的非独立矿物形式, 认为“矿床中铂族元素不以任何形式的类质同象存在于硫化物、氧化物或硅酸盐矿物之中, 都是以铂族单矿物相出现。”近年有关金宝山铂钯矿及峨眉山玄武岩铂族元素赋存状态的研究取得了一些新的研究成果, 如以全岩样品分析为基础, 根据元素相关关系进行的推论性分析^[4], 或在全岩样品分析过程中采取不同萃取方式的方法对赋存相态的评估^[5]。由于铂族元素的赋存状态是评价矿石选冶性能的关键, 同时也是研究矿床形成过程及揭示铂族元素在成矿过程中的地球化学行为的重要内容, 我们对金宝山铂钯矿的铂族元素赋存状态开展了补充性工作, 主要利用电子探针分析针对硫化物中是否存在铂族元素的非独立矿物形式进行探讨。

1 矿床特征

金宝山铂钯矿是我国二十世纪七十年代初发现的一个大型铂族元素矿床, 位于扬子地台西南缘云南省弥渡县, 成矿岩体呈似层状产出, 主要由蛇纹石化辉杆岩组成, 侵位于泥盆系碳酸盐岩地层中^[3]。研究表明, 成矿岩体是峨眉山大火成岩省构造岩浆活动的产物, 是低钛峨眉山玄武岩对应的深成岩相^[6-8]。矿体赋存在辉橄岩中呈似层状、凸镜状, 矿石品位与硫化物含量密切相关, 不含硫化物的层位基本上没有铂族元素矿化, 但硫化物含量低, 一般都低于 3%, 硫化物呈微细浸染状; 矿石 Pt+Pd 一般 1~5 g/t, 最高可达 17 g/t; 铜镍含量较低, 铜含量一般从 0.03%~0.24%, 平均 0.14%; 镍含量一般从 0.07%~0.2%; 矿床属贫铜镍的铂族元素矿床, 成矿机制分析表明, 金宝山铂钯矿是由“深部硫化物熔离+补给岩浆房堆积”形成的, 深部岩浆熔离强度低——只有很少量的硫化物从岩浆中熔离出来是导致矿床贫铜镍的原因^[9-11]。

金宝山铂族元素矿床是典型的岩浆型矿床, 但矿体中广泛发育热液脉状矿石, 通过对各阶段热液性质、流体来源及铂族元素热液活动性分析, 表明蛇纹石化阶段铂族元素热液活动最强烈, 但主要表现为就地改造, 金宝山岩体岩浆期后热液活动未造成矿体形态、产状的根本变化^[12]。

矿石主要金属矿物有铬铁矿、磁铁矿、磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿、镍黄铁矿、紫硫镍矿等。铂族

收稿日期:2006-05-28

基金项目:国家自然科学基金项目(批准号:40573020;40572054);

中国科学院重要方向项目(KZCX3-SW-125)

矿物种类多,已发现有单质金属及金属互化物、砷化物、锑化物、硫及硫砷化合物、碲及碲锑、碲铋化合物共 5 类 31 种,主要有砷铂矿、碲钯矿、丰滦矿、碲铂矿、等轴铁铂矿及自然铂等。

2 样品与测试

样品取自金宝山铂钯矿主矿体中矿石品位最高地段——勘探平硐 PD1339 之样品,编号 145-3,其矿石样品铂族元素组成及镍含量如表 1 所列。岩石化学组成基本相似的非矿化样品 B-33 也对比列于表中。

表 1 金宝山矿石样品与非矿石样品的 PGE 组成以及 Ni 含量($w_B/10^{-6}$)

Table 1. Ni and PGE concentrations in barren rocks and ores

样品	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	Ni
B-33 非矿样品	2.52	2.39	0.96	13.2	22.1	1306
145-3 矿石	480	223	332	6383	10080	4570

样品测试在 Indiana University 利用 CAMECA SX50 电子探针分析仪分析。Pd 在镍黄铁矿中的含量使用 100 nA 电子光束和 50 s 峰值计数时间, Pd 检出限 200×10^{-6} 。分析误差在 2% 以内,分析精度采用标准物质监测控制。

3 分析结果与讨论

探针分析表明镍黄铁矿($Fe_4Ni_5S_8$)及针镍矿(NiS)中含有很高的 Pd,代表性电子探针分析结果如表 2 所示,更多的探针分析结果反映出镍黄铁矿中 Pd 含量 $500 \times 10^{-6} \sim 1700 \times 10^{-6}$,平均 872×10^{-6} ;针镍矿中 Pd 含量 $1100 \times 10^{-6} \sim 1900 \times 10^{-6}$,平均 1512×10^{-6} ,如图 1 所示。

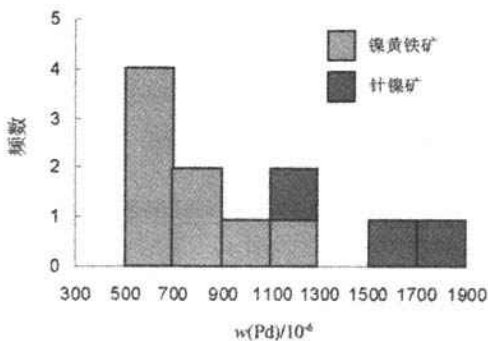


图 1 镍黄铁矿及针镍矿中金属钯的含量频数统计
Fig. 1. Frequency statistics of Pd concentrations in sulfide minerals.

表 2 镍黄铁矿($Fe_4Ni_5S_8$)和针镍矿(NiS)组成及其 Pd 含量($w_B/\%$)

Table 2. Pd concentrations in pentlandite and millerite

矿物	Ni	Co	Cu	Fe	S	Pd	总量
镍黄铁矿	35.36	1.68	0.00	21.59	41.40	0.0558	100.08
	33.64	1.74	0.63	21.88	41.81	0.0561	99.76
针镍矿	43.76	1.50	0.67	13.46	37.75	0.1552	97.29
	45.90	1.47	0.09	13.01	38.89	0.1147	99.47

质量平衡计算表明镍黄铁矿($Fe_4Ni_5S_8$)及针镍矿(NiS)是样品中 Pd 的重要载体,计算步骤如下:

(1)非含矿样品 B-33 造岩矿物组成基本与矿石样品相当,但基本不含硫化物,其中 Ni 含量可粗略视为硅酸盐相所含的 Ni,因此,以矿石样品中的镍含量减非矿样品中的 Ni 含量可视为矿石样品中以硫化物形式存在的 Ni: $4570 \times 10^{-6} - 1306 \times 10^{-6} = 3216 \times 10^{-6}$

(2)矿石中针镍矿相对较少,假定硫化物中的 Ni 主要赋存于镍黄铁矿中,计算可以得到样品中镍黄铁矿的含量: $3216 \times 10^{-6} / (0.35 \times 10^{-2}) = 9190 \times 10^{-6}$

(3)根据样品中镍黄铁矿的含量及镍黄铁矿中 Pd 的含量计算得到镍黄铁矿所含 Pd 相当于在全岩样品中的含量: $9190 \times 10^{-6} \times 872 \times 10^{-6} = 8.013 \times 10^{-6}$ 。

计算结果显示镍黄铁矿中所含 Pd 相当于全岩样品中 Pd 含量 10080×10^{-9} 的 80%,如考虑到部分针镍矿中含钯比镍黄铁矿更高一些,镍黄铁矿及针镍矿中所含的钯占全岩钯含量的比例会更高一些。因此,可以认为以 145-3 为代表的部分矿石中 Pd 主要以非独立矿物形式赋存在镍黄铁矿及针镍矿中,只少部分以钯的独立矿物相形式产出。

结合样品中镍黄铁矿等硫化物主要呈微细脉状产出^[9, 12],上述结果也表明金宝山铂钯矿岩浆期后热液蚀变改造对矿石中铂族元素的最后产出和分布造成了一定的影响,并与有关实验研究的结果相一致,钯相对其他铂族元素而言具有较强的热液活动性^[13]。

4 结论

(1)金宝山铂钯矿的部分矿石中钯主要以非独立矿物形式赋存在镍黄铁矿及针镍矿中。

(2) 金宝山铂钯矿是岩浆成因的铜镍铂族元素矿床, 但热液蚀变改造对矿石中铂族元素的最后产出和分布造成了一定的影响, 其中钯具有较强的热液活动性。

致谢: 印第安纳大学 (Indiana University) 资深科学家 Chusi Li 博士对本文第一作者在印第安纳大学访问研究期间给予了大力支持和帮助, 并提供了本文的基本学术观点, 在此谨致诚挚的谢意。

参 考 文 献:

- [1] Dalry V D C, Wilson A H. Review of platinum-group mineralogy: compositions and elemental associations of the PG-minerals and unidentified PGE-phases [J]. *Mineralogy and Petrology*, 1997, 60: 185-229.
- [2] Todd S G, Keith D W, Le Roy L W, Schissel D J, Mann E L, Irvine T N. The J-M platinum-palladium reef of the Stillwater Complex, Montana. I- Stratigraphy and petrology [J]. *Econ Geol*, 1982, 77: 1454-1480.
- [3] 杨廷祥. 云南省弥渡县金宝山铂钯矿典型矿床研究报告[R]. 云南大理: 云南地矿局第三地质大队, 1989.
- [4] 刘敏. 金宝山铂钯矿多元素的相关关系与铂族矿物的产出形式[J]. *矿产综合利用*, 2002, (5): 28-32.
- [5] 来雅文, 甘树才, 戚长谋, 付洪斌. 峨眉山玄武岩铂钯赋存状态分析[J]. *岩矿测试*, 2003, 122(12): 121-128.
- [6] 高振敏, 张乾, 陶瑛, 罗泰义. 峨眉山地幔柱成矿作用分析[J]. *矿物学报*, 2004, 24(2): 99-104.
- [7] 陶瑛, 罗泰义, 高振敏, 朱丹. 西南暗色岩铜镍硫化物矿化岩体与峨眉山玄武岩的关系—以云南金宝山超镁铁岩为例[J]. *地质论评*, 2004, 50(1): 9-15.
- [8] 陶瑛, 罗泰义, 黄智龙, 刘玉平, 苏文超, 朱丹, 李晓彪. 云南金宝山岩体岩浆起源的微量元素模式分析[J]. *矿物学报*, 2005, 25(4): 341-346.
- [9] Tao Y, Li C, Hu R Z, Ripley E M, Du A D, Zhong H. Petrogenesis of the Pt-Pd mineralized Jinbaoshan ultramafic intrusion in the Permian Emeishan Large Igneous Province, SW China [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2007, 153: 321-337.
- [10] 胡瑞忠, 陶瑛, 钟宏, 黄智龙, 张正伟. 地幔柱成矿系统: 以峨眉山地幔柱为例[J]. *地学前缘*, 2005, 12(1): 42-54.
- [11] 王生伟, 孙晓明, 石贵勇, 熊德信, 翟伟. 云南金宝山和白马寨铜镍硫化物矿床铂族元素 (PGE) 地球化学的差异及其成因意义[J]. *地质学报*, 2007, 81(1): 1-16.
- [12] 陶瑛, 朱丹, 高振敏, 罗泰义. 金宝山铂族元素矿床铂族元素的热液活动研究[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2003, 22(1): 32-37.
- [13] Wood S A. The aqueous geochemistry of the platinum-group elements with applications to ore deposits [J]. *Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum Special Volume*, 2002, 54: 211-250.

AN ADDITIONAL STUDY ON THE Pd-OCCURRENCE STATES IN THE JINBAOSHAN Pt-Pd DEPOSIT

TAO Yan, ZHU Dan, GAO Zhen-min, LUO Tai-yi, YAO Lin-bo, ZHANG Huan

(The State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China)

Abstract: The Jinbaoshan Pt-Pd deposit is the biggest PGE deposit found in the Emeishan Large Igneous Province. The mineralization is associated with several disseminated sulfide layers within the wehrlite unit. In terms of the electron microprobe analysis, the compositions of sulfide minerals were determined. The two nickel sulfide minerals, pentlandite and millerite, contain trace amounts of Pd. The concentrations of Pd in pentlandite and millerite vary between 500 and 1700 ppm, and between 1100 and 1900 ppm, respectively. Mass balance calculations in terms of mineral compositions and whole-rock analyses indicate that pentlandite and millerite are the major hosts of Pd in the samples.

Key words: PGE deposit; occurrence state; Jinbaoshan, Yunnan