

地质 矿床

江西金山金矿成矿物质来源的铂族元素证据

李晓峰¹, 华仁民², 毛景文¹

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2. 南京大学地球科学系, 南京 210093)

[摘 要]金山金矿位于我国著名的德兴铜金矿集区内, 是一个与韧性剪切带有关的超大型金矿床。对该矿床矿(岩)石铂族元素分析结果表明: 与原始地幔相比, 各类岩石明显亏损铂族元素。碳质千枚岩、超糜棱岩和含金石英脉中铂族元素原始地幔标准化分配模式基本一致。从碳质千枚岩、(超)糜棱岩到含金石英脉铂族元素总量逐渐降低的趋势, Pd/Pt 和 Pt/Ir 值逐渐减小; Pd 和 Au 具有明显的负相关($r = -0.9443$), 而 Ir 和 Pt 的相关性不明显。这说明在热液流体作用过程中, 铂族元素 Ir 组元素和 Pd 元素具有较为一致的地球化学行为, 同时也存在 Pd 组元素之间的分离现象。碳质千枚岩、糜棱岩、超糜棱岩和含金石英脉的稀土元素分配模式也十分相似, 具有右倾缓倾的特点。钕亏损较明显($\delta_{Eu} = 0.62 \sim 0.71$), 而铈基本没有明显的富集或者亏损($\delta_{Ce} = 0.97 \sim 1.01$)。稀土元素地球化学表明成矿物质来源与围岩碳质千枚岩有密切关系。结合前人对金山金矿成矿物质来源的研究, 认为铂族元素可以做为地球化学示踪剂在流体/岩石相互作用研究中发挥重要的作用。

[关键词]铂族元素 地球化学示踪剂 流体作用 金山金矿

[中图分类号]P618.51 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2002)06-0013-04

0 引言

稀土元素作为地球化学示踪剂, 在岩浆的结晶分异、部分熔融以及流体/岩石相互作用过程等领域发挥着重要的作用。由于缺乏成熟的理论体系支持和测试分析技术等手段的不完善(李胜荣等, 1994), 铂族元素(Os、Ir、Ru、Rh、Pd、Pt)和 Au 做为了一组物理化学性质十分相似的贵金属元素, 能否和稀土元素一样成为地球化学示踪剂, 一直困扰着地质学家。随着等离子质谱(ICP-MS)技术的推广和应用, 人们逐渐认识到铂族元素(PGE)在岩浆结晶分异、部分熔融、岩浆演化以及硫化物饱和程度和流体/岩石反应研究中的应用价值, 并发现不同动力学背景下幔源岩石具有不同的 PGE 分配模式和特征^[1~4]。Zhou et al 则通过 PGE 分配模式, 认为两种豆荚状铬铁矿是两类成分不同的熔浆与地幔岩石作用的结果^[5], 这些都说明 PGE 正成为研究地幔过程和壳—幔相互作用过程的重要手段。PGE 元素作为地球化学示踪剂越来越受到人们的关注^[3~4]。本文在前人工作的基础上^[6~12], 应用铂族

元素地球化学对金山金矿的成矿物质来源进行研究, 讨论了在岩石/流体相互作用过程中, PGE 作为地球化学示踪剂的可能性。

1 成矿地质背景

金山金矿是 20 世纪 80 年代在赣东北 Cu、Pb、Zn、Au、Ag 多金属矿集区内发现的与韧性剪切带有关的超大型金矿床。金山金矿位于赣东北深大断裂带中, 该断裂带是九岭地体与怀玉地体的碰撞缝合带^[13~15]。区内出露的地层主要为双桥山群第三岩性组浅变质岩, 主要由粉砂质板岩、凝灰质板岩、碳质千枚岩、变质杂砂岩、变质安山玄武岩等组成。该岩系自下而上分为 3 个岩性段: 1 段分布于南部, 岩性为绿泥板岩夹绿泥绢云板岩、含碳板岩和千枚状绿泥板岩; 2 段分布于西北部及中部, 岩性为凝灰质沉积凝灰岩和多层透镜状变质安山玄武岩。该段以金山韧性剪切带为界, 与 1 段呈断层接触; 3 段分布于东北部, 岩性为粉砂质板岩夹砂质板岩、凝灰质板岩。该段与 2 段整合接触。

矿区内构造以剪切带为主, 褶皱次之。其中金

[收稿日期]2002-03-04; [修订日期]2002-05-20; [责任编辑]曲丽莉。

[基金项目]国家重点基础研究发展规划项目(G1999043209, G1999043211)和国家自然科学基金项目(4973)资助。

[第一作者简介]李晓峰(1971 年-), 男, 1993 年毕业于桂林工学院, 2001 年在南京大学获矿物学岩石学矿床学专业博士学位, 现在中国地质科学院矿产资源研究所从事博士后研究。

山韧性剪切带控制着金山金矿床(体)的产出。矿区内岩浆活动微弱。在有深部工程控制的 5 km² 范围内无中酸性岩浆的侵入活动的迹象^[16],仅有少量辉绿岩、辉石闪长岩脉零星分布,其时代也未能准确地界定^[17]。

金山金矿床产于金山韧性剪切带的超糜棱岩—糜棱岩带中,矿体产状严格受主剪切面控制,呈似层状和透镜状产出。矿床矿物组合简单。矿石矿物主要为黄铁矿,其次为闪锌矿、黄铜矿、方铅矿等;脉石矿物主要为石英,其次为绢云母、钠长石、铁白云石、绿泥石等。矿石类型主要有蚀变糜棱岩型和石英脉型。围岩蚀变具有构造岩—蚀变—金矿化三位一体的特征,蚀变类型主要有硅化、绿泥石化、黄铁矿化、绢云母化和碳酸盐化等。

2 样品及分析测试

2.1 样品特征

此次工作取样样品超糜棱岩和含金石英脉均在金矿体中;碳质千枚岩取自金山韧性剪切带外的地层中。碳质千枚岩矿物组合以石英、高岭石、绢云母、绿泥石和黄铁矿等;超糜棱岩产于韧性剪切带中,呈灰白—烟灰色,呈似层状、透镜状产出,块状构造;矿物成分主要是石英,另有少量黄铁矿及绢云母;含金石英脉呈烟灰色、灰白色,具晶粒结构、碎裂结构,主要由石英组成,其次是少量黄铁矿、绢云母、绿泥石等。

2.2 分析方法和精度

铂族元素和 Au 利用 ICP-MS 测试, Ru、Rh、Ir、Pt 的检出限为 0.01×10⁻⁹, Pd 和 Au 的检出限为 0.1×10⁻⁹,其中,Os 低于检出限。稀土元素利用 ICP-AES 测试。稀土元素和 Au 在南京大学内生机制成矿作用研究国家重点实验室完成,铂族元素由香港大学周美夫测定。结果列于表 1、表 2。

表 1 江西金山金矿蚀变岩石

岩石类型	PGE 和 Au 元素丰度									ΣPGE
	Ir	Ru	Rh	Pd	Pt	Au	Pd/ Pt	Pd/ Ir		
碳质千枚岩(2)	0.22	0.18	0.07	3.40	1.25	48.05	2.73	5.70		5.12
超糜棱岩(5)	0.20	0.12	0.04	1.46	0.82	722.3	1.79	4.18		2.64
含金石英脉(2)	0.25	0.15	0.02	0.58	0.68	751.2	0.86	2.69		1.69
原始地幔*	4.4	5.6	1.6	4.4	8.3	1.2	0.53	1.89		24.30

*数据引自 Barnes,1988^[18],括号内表示样品的个数。

3 讨论

由表 1 可知,与原始地幔相比,金山金矿碳质千

表 2 江西金山金矿岩(矿)石 REE 丰度 10⁻⁶

稀土元素	碳质千枚岩(5)	超糜棱岩(4)	含金石英脉(4)
La	38.092	22.894	4.922
Ce	81.235	47.975	9.613
Pr	9.704	5.749	1.159
Nd	36.165	22.169	4.175
Sm	7.367	4.610	0.838
Eu	1.547	1.108	0.185
Gd	7.455	4.707	0.832
Tb	1.235	0.783	0.177
Dy	6.853	4.036	0.698
Ho	1.467	0.912	0.202
Er	4.132	2.514	0.465
Tm	0.636	0.391	0.088
Yb	4.013	2.362	0.383
Lu	0.619	0.381	0.092
ΣREE	200.52	120.59	23.83
δEu	0.62	0.71	0.66
δCe	1.02	1.01	0.97
(La/ Yb) _N	6.40	6.54	8.66
(La/ Sm) _N	3.09	2.96	3.50
(Gd/ Yb) _N	1.50	1.61	1.75

注:括号内表示样品的个数。

枚岩、超糜棱岩和含金石英脉明显亏损铂族元素。由碳质千枚岩、超糜棱岩到含金石英脉铂族元素总量呈现降低的趋势。碳质千枚岩、超糜棱岩和含金石英脉铂族元素原始地幔标准化分配模式基本一致(图 1),而且 Pt/ Ir 和 Pd/ Pt 值逐渐减小。Pd 和 Au 具有明显的负相关关系(r=0.9443)(图 2),而 Ir 和

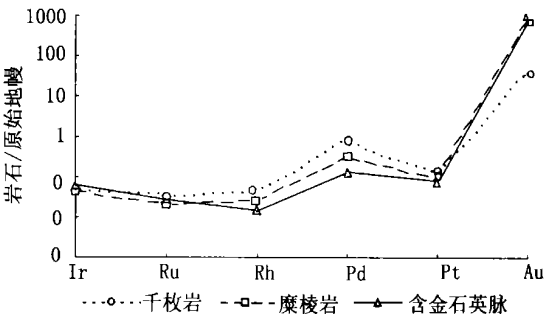


图 1 江西金山金矿铂族元素原始地幔标准化分配模式图

Pt 的相关性不明显(图 3)。说明在热液流体作用过程中,铂族元素的 Ir 组元素和 Pd 组元素具有一致的地球化学行为,也存在 Pd 组元素分离现象。Barnes et al 认为这种现象可能与热液蚀变作用有关,蚀变作用对 Pd 组元素影响比较大,碳酸盐蚀变可以改变 Au 和 Pt 的分配,热液蚀变使 Pd 迁移^[19]。

尽管碳质千枚岩、超糜棱岩和含金石英脉铂族元素地球化学方面存在一些差异,但是它们却有相似的变化规律,而且它们也遵循热液系统中铂族元素的演化规律,即形成时代较新,演化末期的地质体铂族元素总量越低^[20]。因此,从铂族元素地球化学特征来看,金山金矿成矿物质来源与碳质千枚岩有密切的关系。

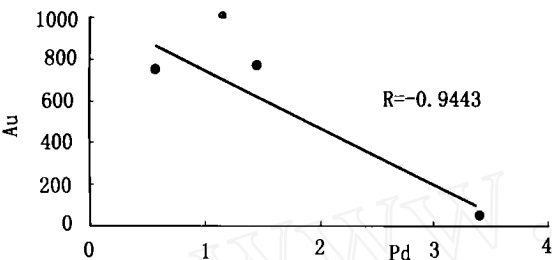


图 2 江西金山金矿铂族元素 Pt - Ir 相关关系图

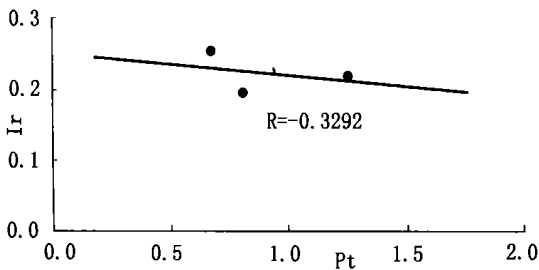


图 3 江西金山金矿铂族元素 Pd - Au 相关关系图

由表 2、图 4 可以看出,由碳质千枚岩,经糜棱岩、超糜棱岩到含金石英脉,轻、重稀土含量和稀土元素总量呈现降低的趋势,轻稀土元素由 174.11×10^{-6} 变化到 20.89×10^{-6} ;重稀土元素由 26.41×10^{-6} 变化到 2.94×10^{-6} ;稀土元素总量由 200.52×10^{-6} 变化到 23.83×10^{-6} 。在上述各类岩石中,轻稀土元素的含量远远大于重稀土元素的含量;

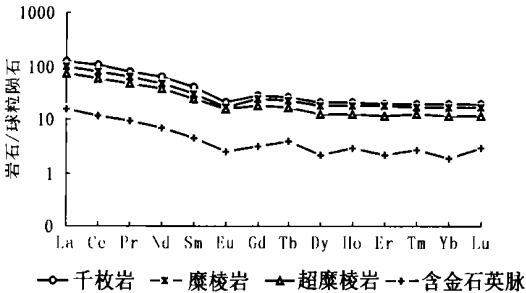


图 4 江西金山金矿岩石和矿石稀土元素分配模式图

LREE/ HREE 的比值变化范围在 5.99~7.11,轻、重稀土元素分馏中等。矿区碳质千枚岩、糜棱岩、超糜棱岩和含金石英脉稀土元素分配模式十分相似

(图 4),具有右倾缓倾的特点。铂亏损较明显 ($\delta_{Eu} = 0.62 \sim 0.71$),而铈基本没有明显的富集或者亏损 ($\delta_{Ce} = 0.97 \sim 1.01$)。稀土元素地球化学也表明成矿物质来源与围岩碳质千枚岩有密切关系。

金山金矿直接赋存于由中元古代浅变质岩组成的韧性剪切带中,因此,围岩与成矿作用的关系一直是人们关注的重点。刘英俊等对江南造山带内中晚元古代浅变质岩系中的金矿进行了长期的研究,其中包括对地层中的含金建造、区域地层金亏损与金矿化的共轭等专题研究,取得了丰硕成果。他们根据对赣东北金山金矿外围地层样品金含量统计,认为双桥山群浅变质岩中金的丰度值较低,并没有明显的富集^[21]。韦星林则认为德兴地区的双桥山群浅变质岩系金丰度高达 15.3×10^{-9} ,为高背景区,且金山两侧糜棱岩化带存在金的亏损,因此金山金矿床的金来源于就地改造的双桥山群^[16]。Sr 同位素特征表明,成矿物质具有地壳来源的特点;流体包裹体碳同位素表明它们具有沉积碳的特点;铅同位素也说明成矿物质来源于上地壳和造山带;矿石的硫同位素也具有与地层硫同位素相似的特征^[10~12]。成矿流体来源的研究表明,金山金矿成矿流体来自深部的变质流体^[22]。因此,可以说金山金矿的成矿物质来源于地壳,与围岩密切的关系,围岩双桥山群提供了成矿物质。

上述资料说明,由铂族元素地球化学所指示的金山金矿成矿物质来源的信息,与稀土元素、硫同位素、铅同位素和铷锶同位素等所体现出的结果是一致的。因此,在流体成矿作用中,铂族元素可以与稀土元素、同位素一样做为地球化学示踪剂,研究流体/岩石相互作用的过程。当然,铂族元素地球化学示踪剂的建立还需要深入、系统的工作和完善理论体系的支持。

4 结 论

1) 金山金矿碳质千枚岩、超糜棱岩和含金石英脉具有一致的铂族元素原始地幔标准化分配模式。Au 和 Pd 具有明显的负相关 ($r = -0.9443$);Ir 和 Pt 的相关性不明显。由碳质千枚岩、超糜棱岩到含金石英脉,Pt/ Ir 和 Pd/ Pt 值逐渐减小;铂族元素总量逐渐减小。

2) 金山金矿的成矿物质来源于地壳,与围岩密切的关系,围岩双桥山群提供了成矿物质。铂族元素地球化学所体现出来的成矿物质来源信息,与稀土元素、同位素地球化学所提供的信息一致。因此,

铂族元素可以做为地球化学示踪剂在流体/岩石相互作用研究中发挥重要的作用。

在野外工作期间,得到了金山金矿张开平科长、江西有色矿产开发研究院易先奎工程师的帮助,在此深表谢意。

[参考文献]

- [1] Garuti G, Fershtater G, Bea F et al. Platinum group elements as petrological indicators in mafic - ultramafic complexes of the central and southern Urals: Preliminary results[J]. Tectonophysics, 1997, 276, 181~194.
- [2] 刘秉光. 中国 PGE 矿床类型分析[J]. 地质与勘探, 2002, 38, (4): 1~7.
- [3] 李晓林, 柴之芳, 毛雪瑛. 铂族元素地区化学示踪研究[J]. 地球物理学报, 1998, 41(增刊), 162~168.
- [4] 储雪蕾, 孔敏, 周美夫. 化学地球动力学中的铂族元素地球化学[J]. 岩石学报, 2001, 17(1), 112~122.
- [5] Zhou M F, Sun M, Keays R R, Kerrich R W. Controls on platinum group elemental distribution s of podiform chromities: a case study of high Cr and high - Al chromities from Chinese orogenic belts[J]. Geochim. Cosmochim Acta, 1998, 62, 677~688.
- [6] 黄宏立, 杨文思. 赣东北金山金矿地质特征及矿床成因[J]. 地质找矿论丛, 1990, 5(2), 29~39.
- [7] 肖勇. 金山金矿田脆 - 韧性剪切带与成矿[J]. 华东矿产地质, 1992, 1, 20~29.
- [8] 季俊峰, 孙承轅, 郑晴. 江西金山剪切带型金矿床中含金石英脉的成矿特征[J]. 地质论评, 1994, 40(4), 361~367.
- [9] 梁有彬, 朱文凤, 王宗学, 等. 江西金山金矿床铂族元素初步研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1994, 3(5): 164~165.
- [10] 谭铁龙, 范永香, 曾建年. 赣东北超大型金山金矿床的成矿地质条件和找矿远景分析[J]. 地质地球化学, 1997, 2, 1~7.
- [11] 王可勇, 曹新志, 卢作祥. 江西金山金矿两类矿化及其石英热发光特征[J]. 黄金地质, 1999, 5(3), 48~55.
- [12] 王秀璋, 单强, 梁华英, 等. 金山金矿床成矿时代及矿床成因[J]. 地球化学, 1999, 28(1), 10~17.
- [13] 朱训, 黄崇轲, 芮宗瑶, 等. 德兴斑岩铜矿[M]. 北京: 地质出版社, 1983, 336.
- [14] 汪新, 马瑞士, 怀玉山. 蛇绿混杂岩及古碰撞缝合线的确定[J]. 南京大学学报(地球科学版), 1989(1 - 2), 72~81.
- [15] 舒良树, 施央申, 郭令智, 等. 江南中段板块 - 地体构造与碰撞造山运动学[M]. 南京: 南京大学出版社, 1995, 94~120.
- [16] 韦星林. 江西金山韧性剪切带型金矿地质特征[J]. 江西地质, 1996, 10(1), 52~64.
- [17] 华仁民, 李晓峰, 陆建军, 等. 德兴大型铜金矿集区的构造环境与成矿流体研究[J]. 地球科学进展, 2000, 15(4), 525~533.
- [18] Barnes S. Automated plotting of geochemical data using the Lotus symphony package[J]. Computer Geoscience, 14, 409~411.
- [19] Barnes S, Naldrett A J, Gorton M P. 1985. The origin of the fraction of platinum group elements in terrestrial magmas[J]. Chemical Geology, 53, 303~323.
- [20] 李胜荣, 高振敏, 陈南生. 试论铂族元素地球化学示踪体系[J]. 地质地球化学, 1994, 36~37.
- [21] 刘英俊, 孙承轅, 马东升. 江南金矿及其成矿地球化学背景[M]. 南京: 南京大学出版社, 1993, 61~84.
- [22] 李晓峰. 江西金山金矿成矿流体的地质地球化学研究[D]. 南京大学博士学位论文, 2001.

THE PLATINUM GROUP ELEMENTS EVIDENCE FOR ORIGIN OF ORE - FORMING MASS IN JINSHAN GOLD DEPOSIT, JIANGXI PROVINCE

LI Xiao - feng¹, HUA Ren - min², MAO Jing - wen¹

(1. Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100037;

2. Department of Earth Science, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract Jinshan gold deposit is a superlarge - type gold deposit, and hosted in ductile shear zone, located in the well - known Cu - Au ore - concentrating district. The analysis of PGE of different rocks indicates that the rocks are deficit in PGE, the general content of PGE decrease, Pd/ Pt and Pt/ Ir ratio gradually decrease from carbonaceous phyllite to gold - bearing quartz vein, Pd show a strong negative correlation with Au($r = - 0.9443$), and Pt have no obvious correlation with Ir. The data indicate that Pd group elements and Ir elements have similar geochemistry behavior during fluid flow, and carbonaceous phyllite, ultramylonite and gold - bearing quartz vein have same origin of mass. Different rock types have similar REE patterns of slight right slope, with $\delta Eu = 0.62 \sim 0.71$ and $\delta Ce = 0.97 \sim 1.01$. Based on results of previous work and the geological history of northeastern Jiangxi, We propose the PGE can be regarded as geochemistry tracer in the research field of fluid flow.

Key words platinum group elements, fluid flow, Jinshan gold deposit