

文章编号: 1000-4734(2010)03-0319-05

# 云南中甸地区烂泥塘低温热液型 Cu-Au 矿床铂族元素(PGE)地球化学特征

苟体忠<sup>1,2</sup> 钟宏<sup>1\*</sup> 冷成彪<sup>1,2</sup> 吴孔文<sup>1,2</sup>

(1. 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;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 采用 ICP-MS 分析方法研究烂泥塘浅成低温热液型 Cu-Au 矿床中黄铜矿铂族元素(PGE), 结果显示黄铜矿的 $\Sigma$ PGE 较低, 其值为  $5.46 \times 10^{-9} \sim 19.0 \times 10^{-9}$ 。原始地幔标准化 PGE 配分模式呈 Ru、Pd 相对于 Ir、Pt 富集的趋势。Pd/Ir、Ru/Ir、Pt/Ru、Pd/Pt 比值分别变化在 2.35 ~ 21.9、15.6 ~ 42.3、0.02 ~ 0.20 和 4.83 ~ 21.8 之间。除 Pt/Ru 比值低于原始地幔外, 其他比值均高于原始地幔, 这表明黄铜矿的 Ir、Ru、Pt 和 Pd 之间发生了分异。黄铜矿中相对高的 Ru 和 Pd 含量可能是热液流体对早期矿化斑岩选择淋滤的结果。

**关键词:** 中甸地区; 烂泥塘; 低温热液铜-金矿; 铂族元素

中图分类号: P579; P595; P611; P618.41; P618.51 文献标识码: A

作者简介: 苟体忠, 男, 1981 年生, 博士研究生, 元素和同位素地球化学专业。E-mail: gtz810110@126.com

浅成低温热液矿床(epithermal deposit)形成于相对低的温度( $< 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ )和浅的深度(地表到 1~2 km)<sup>[1]</sup>。该类型矿床可分为高硫化型和低硫化型两种, 其中前者以酸性( $\text{pH} < 2$ )和氧化性流体为特征, 后者以近中性和还原性流体为特征<sup>[1]</sup>。国内外近年来的研究发现一些中低温热液铜矿中含铂族元素较高且具有综合利用价值, 如在我国该类矿床中 Pt + Pd 的含量一般为  $80 \times 10^{-9} \sim 250 \times 10^{-9}$ , 最高可达  $600 \times 10^{-9}$ , 黄铜矿中 Pt 和 Pd 含量分别高达  $160 \times 10^{-9}$  和  $810 \times 10^{-9}$ ; 俄罗斯乌拉尔地区的卡拉巴、什佩尔瓦麦和卡尔普申等三个含铜黄铁矿矿床, 其铜矿石中的 Pt 含量分别为  $300 \times 10^{-9}$ ,  $900 \times 10^{-9}$  和  $100 \times 10^{-9}$ , 黄铜矿中的 Pt 和 Pd 含量分别为  $140 \times 10^{-9}$  和  $27 \times 10^{-9}$ <sup>[2]</sup>。这表明低温热液流体具有一定搬运 PGE 的能力。

铂族元素(PGE)是一组地球化学性质相似的强烈亲硫、亲铁元素, 倾向于在硫化物相或铁镍相中富集, 所以大部分赋存于地核中, 少量分布于地

幔中, 地壳中的含量非常低。由于铂族元素具有独特的地球化学性质和行为, 使其可以像稀土元素一样, 成为一种地球化学示踪剂。PGE 已被广泛应用于基性-超基性岩的岩石成因和演化及与其有关的成矿作用的示踪研究<sup>[3-7]</sup>。近年来, PGE 也应用于与热液成矿作用有关的 VMS 矿床<sup>[8]</sup>、金矿<sup>[9-11]</sup>等的研究。目前国内外对低温热液型 Cu-Au 矿床的 PGE 研究尚未见报道, 因此对该类矿床的 PGE 研究具有重要意义。本文对云南中甸地区烂泥塘浅成低温热液型 Cu-Au 矿床中黄铜矿的 PGE 特征进行了研究, 初步讨论了该矿床的 PGE 分布特征及其迁移富集机制。

## 1 地质背景

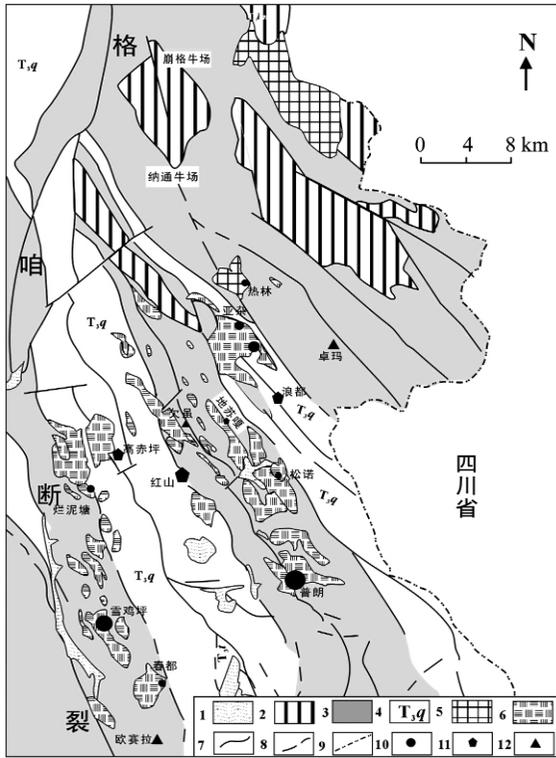
烂泥塘铜矿区位于滇西北迪庆藏族自治州东部, 位于香格里拉县城  $15^{\circ}$  方向平距 30.6 km 处。大地构造位置上, 烂泥塘铜-金矿床产于中甸岛弧西斑岩带的北缘(图 1)。矿区出露地层为三叠系上统图姆沟组, 岩性为一套火山岩-碎屑岩复理石建造。矿化主要与印支期复式中酸性斑(玢)岩体有关, 岩石蚀变强度较强, 主要蚀变类型有硅化、石膏化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化、绿帘石化、高岭石化等。铜矿化主要产于石英二长斑岩岩体内, 其次为石英闪长玢岩中。矿化与蚀变

收稿日期: 2009-12-20

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-136; KZCX2-YW-411); 国家自然科学基金资助项目(批准号: 40873028); 中国科学院“百人计划”项目

\* 通讯作者 E-mail: zhonghong@vip.gyig.ac.cn

关系密切,明显受硅化、石膏化强弱变化控制;硅化、石膏化越强,其含铜品位越高,一般铜品位为0.4%~1%,平均品位为0.5%,伴生金平均品位为0.45 g/t(云南华西矿产资源有限公司2008年,云南省香格里拉县烂泥塘铜矿地质普查报告)。



1-第四系;2-喇嘛垭组;3-图姆沟组;4-曲嘎寺组;5-燕山晚期二长花岗岩;6-印支期斑(玢)岩;7-地层界线;8-断层;9-省界线;10-斑岩型铜(金)矿床;11-夕卡岩型铜矿床;12-低温热液脉型铜(金)矿床

图1 中甸岛弧区域地质与矿产分布图  
(据文献[12],有改动)

Fig. 1. Regional geology of the Zhongdian island arc belt (modified after reference [12]).

## 2 样品和分析方法

样品来自云南中甸地区烂泥塘低温热液型Cu-Au矿床。黄铜矿主要呈团块状分布于石英粗脉中,在双目镜下挑选出黄铜矿单矿物并用玛瑙钵研磨至200目。为降低PGE分析流程的空白值及保证代表性,我们采用改进的Carius管方法对样品进行前处理,前处理过程在中国科学院地球化学研究所完成,大致流程见漆亮<sup>[13]</sup>,对于黄铜矿样品的PGE分析,本研究对此流程作了部分修改,具体流程如下:

(1) 准确称取3 g样品置于Carius管中,加入适量的<sup>105</sup>Pd、<sup>194</sup>Pt、<sup>193</sup>Ir、<sup>101</sup>Ru稀释剂和浓HNO<sub>3</sub>,于水浴中预分解样品,待反应完全后再补加适量的浓HNO<sub>3</sub>和浓HCl,然后用氧气-煤气火焰将Carius管密封,并将Carius管置于高压釜内,最后在230℃条件下保温12 h;

(2) 溶液转移到离心管中,定容并离心;

(3) 溶液转移到Teflon杯中蒸干,加入浓HCl以赶尽HNO<sub>3</sub>;

(4) 用6 mL浓HCl溶解残余物并转移到原离心管中,定容并离心。上层清液转移到原Teflon杯并加热至沸腾,加入2 mL的1 mg/mL Te溶液,再加入30% SnCl<sub>2</sub>溶液至刚好出现沉淀并过量5 mL,加热至沉淀凝聚成团,然后补加2 mL Te溶液,继续加热至沉淀凝聚成团;

(5) 冷却后用滤膜过滤,将沉淀和滤膜转移到原Teflon杯并经王水溶解,取出滤膜,加热溶液至蒸干,用1 mL新配王水溶解残余物,然后转移到离心管中,定容至10 mL并离心;

(6) 用6 mol/L HCl淋洗树脂1次,再用Milli-Q水淋洗树脂6次,然后进行第2次过程;

(7) 将上层清液通过混合离子交换柱(阳离子交换树脂和P507交换树脂),用以除去Cu、Ni、Zr、Hf等干扰元素,以原Teflon杯承接样品溶液;

(8) 重复步骤(7)5次,最后将样品溶液浓缩至3 mL,并用Perkin-Elmer ELAN DRC-e型ICP-MS测定,分析精度优于5%。该方法检出限分别为Ir 0.0008 × 10<sup>-9</sup>,Ru 0.001 × 10<sup>-9</sup>,Pt 0.004 × 10<sup>-9</sup>,Pd 0.009 × 10<sup>-9</sup>。全流程空白Ir,Ru < 0.003 × 10<sup>-9</sup>;Pd,Pd < 0.02 × 10<sup>-9</sup>。对国际标样WPR-1、UMT-1和WGB-1进行分析测定,其测定值与推荐值或文献值吻合(表1),表明本次分析结果准确可靠。

表1 PGE分析采用标样标准值与测定值(w<sub>B</sub>/10<sup>-9</sup>)对比

Table 1. Comparison between the recommended and the measured PGE contents of the standard samples

		Ir	Ru	Pt	Pd
WPR-1	测定值	16.0	21.9	291	237
	推荐值	13.5	22.0	285	235
UMT-1	测定值	8.10	10.3	129	106
	推荐值	8.80	10.9	128	106
本文平均值(n=3)		0.17	0.14	4.11	12.3
WGB-1Fritsche <sup>[14]</sup> 平均值(n=5)		0.20	0.14	4.75	12.2
Qi <sup>[13]</sup> 平均值(n=5)		0.23	0.16	5.74	12.0

### 3 结果与讨论

#### 3.1 PGE 分布特征

烂泥塘 Cu-Au 矿床黄铜矿中的铂族元素含

量如表 2 所示。低温热液型 Cu-Au 矿的铂族元素组成具有以下特征:

表 2 烂泥塘 Cu-Au 矿黄铜矿的铂族元素组成( $w_B/10^{-9}$ )

Table 2. PGE compositions of chalcopyrites in the Lannitang Cu-Au deposit

样品	Ir	Ru	Pt	Pd	$\Sigma$ PGE	Pd/Ir	Ru/Ir	Pt/Ru	Pd/Pt
LNT-0907	0.71	16.3	0.33	1.66	19.0	2.35	23.1	0.02	4.97
LNT-0901	0.37	8.37	0.23	1.97	10.9	5.30	22.6	0.03	8.57
LNT-0902	0.22	3.42	0.17	1.66	5.46	7.60	15.6	0.05	10.0
LNT-0903	0.14	3.28	0.64	3.10	7.16	21.9	23.1	0.20	4.83
LNT-0904	0.25	4.98	0.18	2.09	7.50	8.43	20.1	0.04	11.5
LNT-0905	0.19	4.04	0.12	1.37	5.72	7.10	20.9	0.03	11.4
LNT-0906	0.18	5.61	0.30	1.85	7.94	10.0	30.4	0.05	6.24
LNT-0909	0.19	6.78	0.15	3.19	10.3	16.9	36.0	0.02	21.8
LNT-0910	0.14	5.92	0.15	1.40	7.60	9.98	42.3	0.02	9.46
原始地幔 <sup>[15]</sup>	3.40	5.00	7.00	4.00	19.4	1.17	1.47	1.40	0.57

(1) 黄铜矿的 Ir、Ru、Pt、Pd 的含量变化范围分别为  $0.14 \times 10^{-9} \sim 0.71 \times 10^{-9}$ 、 $3.28 \times 10^{-9} \sim 16.3 \times 10^{-9}$ 、 $0.12 \times 10^{-9} \sim 0.64 \times 10^{-9}$  和  $1.37 \times 10^{-9} \sim 3.19 \times 10^{-9}$ 。

(2) 所有样品的  $\Sigma$ PGE (Ir + Ru + Pt + Pd) 含量变化范围为  $5.46 \times 10^{-9} \sim 19.0 \times 10^{-9}$ , 这与陕西太白金矿中黄铁矿的  $\Sigma$ PGE ( $5.98 \times 10^{-9} \sim 16.3 \times 10^{-9}$ ) 含量相当<sup>[16]</sup>, 但低于内蒙古大井铜多金属矿床中黄铁矿的  $\Sigma$ PGE ( $20.5 \times 10^{-9} \sim 60.4 \times 10^{-9}$ )<sup>[17]</sup>, 也低于原始地幔的  $\Sigma$ PGE ( $19.4 \times 10^{-9}$ )<sup>[15]</sup>。

(3) Pd/Ir、Ru/Ir、Pt/Ru、Pd/Pt 比值分别为 2.35 ~ 21.9、15.6 ~ 42.3、0.02 ~ 0.20 和 4.83 ~ 21.8。除 Pt/Ru 比值低于原始地幔外, 其他比值均高于原始地幔, 这表明黄铜矿的 Ir、Ru、Pt 和 Pd 之间已经发生了分异。

#### 3.2 PGE 配分模式

烂泥塘黄铜矿样品的 PGE 原始地幔标准化配分模式(图 2a) 显示其 Ru 和 Pd 相对 Ir 和 Pt 富集的特征, 这与陕西太白金矿中黄铁矿(T500A、T500B、T700、T001)<sup>[16]</sup> 和内蒙古大井铜金属矿床

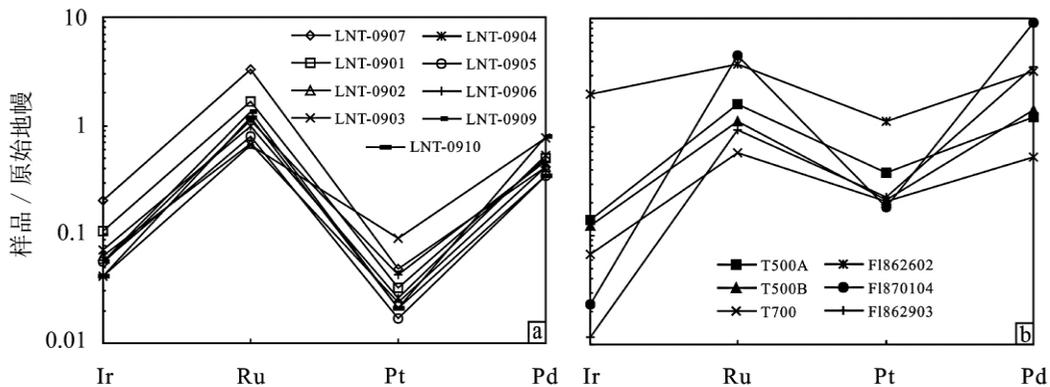


图 2 (a) Cu-Au 矿黄铜矿的原始地幔标准化 PGE 配分型式; (b) 太白金矿床硫化物和大井矿床矿石的原始地幔标准化 PGE 配分型式(原始地幔 PGE 数据引自文献[15])

Fig. 2. (a) Primitive mantle-normalized PGE pattern of chalcopyrites of the Lannitang Cu-Au deposit; (b) Primitive mantle-normalized PGE pattern of sulfides from the Taibai gold deposit and ores in the Dajing deposit (Primitive mantle data after reference [15]).

中黄矿 (Fl862602、Fl870104、Fl862903) 的 PGE 配分模式<sup>[17]</sup>相似(图 2b)。此外,该模式也反映了轻铂族元素(Ru 和 Pd)与重铂族元素(Ir 和 Pt)之间的分异。Borisov 等<sup>[18]</sup>认为,在一定温度和氧逸度条件下,重铂族元素(Os、Ir 和 Pt)比轻铂族元素(Ru、Rh 和 Pd)更难溶解。这可能是导致烂泥塘矿床中轻、重铂族元素分异的原因之一。

### 3.3 PGE 的迁移富集机制

烂泥塘铜-金矿流体包裹体的均一温度主要集中在 130 ~ 200 °C 之间。盐度变化很大,为 7.17% ~ 20.3% NaCl,这可能表明其矿化主要为低温成矿阶段的产物(冷成彪等,未刊资料)。此外,在该矿床中还发现了少量含子矿物包裹体和极少量富气相包裹体,这表明捕获时的成矿流体可能不均一。含子矿物包裹体中子晶较大表明其可能为机械捕获,又由于包裹体中存在为数众多的赤铁矿,加上野外地质工作中石膏和镜铁矿的发现,均暗示了成矿流体来自一个相对氧化的环境,亦表明这些样品应该是来自相对较浅的位置(冷成彪等,未刊资料)。上述特征表明,烂泥塘 Cu-Au 矿是一个高硫化型低温热液型矿床。

近年来的研究发现,中甸地区除了发育低温热液矿床之外,还产出普朗超大型斑岩铜矿和雪鸡坪中型斑岩铜矿。Sillitoe<sup>[19]</sup>认为,高硫化型低温热液矿床的形成可能直接与隐伏的斑岩系统有关。Hedenquist 和 Lowenstern<sup>[1]</sup>在讨论岩浆对热液矿床形成的作用时,指出浅成低温热液矿床的热源和热液(包括部分大气水)大都源于底部的斑岩成矿系统,高硫化型矿床直接形成于斑岩系统的上部。因此,烂泥塘 Cu-Au 矿床中富含各种成矿物质的热液流体可能直接源于底部隐伏的斑岩系统。

Wood 等<sup>[20]</sup>的实验研究表明,在高酸度(pH < 2)、低温(25 ~ 300 °C)和高氧逸度( $\lg f_{O_2} = -30 \sim -10$ )的含盐流体中 Pt 和 Pd 主要以氯的络合物形式迁移。如前所述,烂泥塘为一高硫化型低温

热液型 Cu-Au 矿床,其热液流体具有强酸(pH < 2)、低温(< 300 °C)和高氧逸度的特征<sup>[1]</sup>。因此,Pt 和 Pd 可能主要以氯的络合物形式迁移。前人的研究表明,Pt 和 Pd 的络合物的溶解度随流体的氧化程度增加而增加。计算结果表明,在任何情况下 Pd 的溶解度比 Pt 高出几个数量级<sup>[21]</sup>。这可能是导致烂泥塘矿床中黄铜矿的 Pt 负异常和 Pd/Pt > 1 的重要原因。

另一方面,烂泥塘 Cu-Au 矿成矿流体的  $\delta^{18}O$  为 3.8‰和 2.3‰(冷成彪等,未刊资料),可能反映岩浆水和大气降水的混合。由于富游离  $O_2$  的大气水与岩浆水混合,热液流体中的  $SO_2$  被氧化为  $H_2SO_4$ <sup>[1]</sup>。Xiong 和 Wood<sup>[22]</sup>认为  $RuS_2(s)$  在游离  $O_2$  存在时可以和  $HSO_4^-$  反应生成  $Ru(SO_4)_m^{2-2m}$  ( $m = 1, 2, 3$ ) 而发生迁移,并在适当条件下沉淀富集,这与烂泥塘黄铜矿中 Ru 相对富集的特征一致(表 2,图 2a)。然而,与 Ru 地球化学性质相似的 Ir 在本研究中却表现出相对亏损(图 2a),这可能与源岩较低的 Ir 丰度或相对弱的活化搬运能力有关。

综上所述,烂泥塘 Cu-Au 矿床是一高硫化型低温热液型矿床,其热液流体的性质决定了 Pt、Pd 主要以氯的络合物形式迁移,而 Ru 可能以  $Ru(SO_4)_m^{2-2m}$  ( $m = 1, 2, 3$ ) 的形式迁移。当 Cl 含量、温度和氧逸度降低,pH 增大时,PGE 从氧化的卤水中沉淀下来。

## 4 结 论

(1) 烂泥塘低温热液型 Cu-Au 矿床中黄铜矿的  $\Sigma$ PGE 含量不高,其变化范围为  $5.46 \times 10^{-9} \sim 19.0 \times 10^{-9}$ 。

(2) 黄铜矿的原始地幔标准化 PGE 配分模式呈 Ru、Pd 相对于 Ir、Pt 富集的特征。

(3) 相对氧化的热液流体对早期矿化斑岩的选择性淋滤作用可能是导致烂泥塘矿床中 PGE 发生分异的主要原因。

### 参 考 文 献:

- [1] Hedenquist J W, Lowenstern J B. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits [J]. *Nature*, 1994, 370(18): 519-527.
- [2] 梁有彬,刘同有,宋同仁,金在森. 中国铂族元素矿床[M]. 北京:冶金工业出版社,1998:1-185.
- [3] Barnes S J, Naldrett A J, Gorton M P. The origin of the fractionation of platinum-group elements in terrestrial magmas [J]. *Chemical Geology*, 1985, 53(3/4): 303-323.
- [4] Naldrett A J, Asif M, Scandl E, Searcy T, Morrison G G, Binney W P, Moore C. Platinum-group elements in the Sudbury ores: Significance

- with respect to the origin of different ore zones and to the exploration for footwall orebodies [J]. *Economic Geology* ,1999 94(2) : 185-210.
- [5] Song X Y ,Keays R R ,Xiao L ,Qi H W ,Jhlfenfeld C. Platinum-group element geochemistry of the continental flood basalts in the central Emeishan Large Igneous Province ,SW China [J]. *Chemical Geology* 2009 262(3-4) : 246-261.
- [6] Tao Y ,Li C ,Hu R ,Ripley E M ,Du A ,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(3) : 321-337.
- [7] Zhong H ,Zhu W ,Qi L ,Zhou M ,Song X ,Zhang Y. Platinum-group element (PGE) geochemistry of the Emeishan basalts in the Pan-Xi area , SW China [J]. *Chinese Science Bulletin* 2006 51(7) : 845-854.
- [8] Pan Y ,Xie Q. Extreme fractionation of platinum group elements in volcanogenic massive sulfide deposits [J]. *Economic Geology* 2001 96(3) : 645-651.
- [9] 李晓峰 ,华仁民. 江西金山金矿成矿物质来源的铂族元素证据[J]. *地质与勘探* 2002 38(6) : 13-16.
- [10] 苏瑞侠 ,刘平. 秦岭八卦庙金矿金的矿化与铂族金属的富集[J]. *地质找矿论丛* 2001 16(1) : 12-18.
- [11] 孙晓明 ,石贵勇 ,熊德信 ,王生伟 ,翟伟 ,屈文俊 ,杜安道. 云南哀牢山金矿带大坪金矿铂族元素(PGE) 和 Re-Os 同位素地球化学及其矿床成因意义[J]. *地质学报* 2007 81(3) : 394-404.
- [12] 冷成彪 ,张兴春 ,王守旭 ,秦朝建 ,苟体忠. 云南中甸地区两个斑岩铜矿容矿斑岩的地球化学特征—以雪鸡坪和普朗斑岩铜矿床为例[J]. *矿物学报* 2007 27(3) : 414-422.
- [13] Qi L ,Zhou M F ,Wang C Y. Determination of low concentrations of platinum group elements in geological samples by ID-ICP-MS [J]. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 2004 19(10) : 1335-1339.
- [14] Fritsche J ,Meisel T. Determination of anthropogenic input of Ru ,Rh ,Pd ,Re ,Os ,Ir and Pt in soils along Austrian motorways by isotope dilution ICP-MS [J]. *Science of the Total Environment* 2004 325(1-3) : 145-154.
- [15] Barnes S J ,Maier W D. The fractionation of Ni ,Cu and the noble metals in silicate and sulphide liquids [J]. *Geological Association of Canada Short Course Notes* ,1999 13: 69-106.
- [16] 邱士东 ,徐九华 ,谢玉玲 ,朱和平 ,林龙华. 陕西太白金矿含金角砾岩中铂族元素特征[J]. *中国地质* 2007 34(1) : 117-122.
- [17] 储雪蕾 ,孙敏. 内蒙古林西大井铜多金属矿床矿石的铂族元素分布及物质来源[J]. *科学通报* 2002 47(6) : 457-461.
- [18] Borisov A ,Palme H. Solubilities of noble metals in Fe-containing silicate melts as derived from experiments in Fe-free systems [J]. *American Mineralogist* 2000 85(11-12) : 1665-1673.
- [19] Sillitoe R H ,Bonham H F. Sediment-hosted gold deposits; distal products of magmatic-hydrothermal systems [J]. *Geology* ,1990 18(2) : 157-161.
- [20] Wood S A ,Mountain B W ,Pan P. The aqueous geochemistry of platinum ,palladium and gold; recent experimental constraints and a re-evaluation of theoretical predictions [J]. *Canadian Mineralogist* ,1992 30(4) : 955.
- [21] Mountain B W ,Wood S A. Chemical controls on the solubility ,transport and deposition of platinum and palladium in hydrothermal solutions; a thermodynamic approach [J]. *Economic Geology* ,1988 83(3) : 492-510.
- [22] Xiong Y ,Wood S A. Experimental quantification of hydrothermal solubility of platinum-group elements with special reference to porphyry copper environments [J]. *Mineralogy and Petrology* 2000 68(1) : 1-28.

## Geochemistry of Platinum-Group Elements of the Lannitang Epithermal Cu-Au Deposit in the Zhongdian Region ,Yunnan Province ,SW China

GOU Ti-zhong<sup>1,2</sup> , ZHONG Hong<sup>1</sup> , LENG Cheng-biao<sup>1,2</sup> , WU Kong-wen<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry , Institute of Geochemistry , Chinese Academy of Sciences , Guiyang 550002 , China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences , Beijing 100049 , China)

**Abstract:** The platinum-group elements (PGE) of chalcopyrites from the Lannitang epithermal Cu-Au deposit is studied by using ICP-MS method. The total PGE contents ( $\sum$ PGE) of the Lannitang chalcopyrites are quite low , ranging from  $7.90 \times 10^{-9}$  to  $56.9 \times 10^{-9}$ . The primitive mantle-normalized PGE distribution patterns exhibited a trend of enrichment in Ru and from Pd to Ir and Pt. The ratios of Pd/Ir , Ru/Ir , Pt/Ru and Pd/Pt range from 2.35 to 21.9 , 15.6 to 42.3 , 0.02 to 0.20 and 4.83 to 21.8 , respectively. With the exception of Pt/Ru ratio , other ratios mentioned above are higher than those of primitive mantle , indicating that the differentiation occurs between Pd and Ir , Ru , and Pt in the chalcopyrites. The relatively high Ru and Pd contents in chalcopyrite separates are probably derived from selective leaching of the early-stage mineralized porphyry by the oxidized hydrothermal fluid.

**Key words:** Zhongdian region; Lannitang; epithermal copper-gold deposit; platinum-group