

# 测定江南造山带西南缘坑头金矿黄铁矿中 LA-ICP-MS 微量元素特征

陈原林<sup>1</sup>, 顾尚义<sup>1\*</sup>, 何兴华<sup>1</sup>, 吴龙<sup>2</sup>, 王兴伟<sup>2</sup>, 尹祺<sup>2</sup>, 教学龙<sup>2</sup>

(1. 贵州大学资源与环境工程学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州省有色金属和核工业地质勘查局六总队, 贵州 凯里 556000)

**[摘要]**坑头金矿产于江南造山带西南缘低绿片岩相的下江群清水江组浅变质岩中, 本文采集了与金成矿作用密切相关的成矿期—成矿阶段黄铁矿样品进行单矿物 LA-ICP-MS 原位微区微量元素分析, 发现黄铁矿中金含量较低, 蚀变岩石中金主要以游离金的形式存在, 金与砷的相关关系反映坑头金矿可能的成矿热液来源于造山过程中深部的变质流体。

**[关键词]**坑头金矿床; LA-ICP-MS; 黄铁矿; 微量元素; 变质流体

**[中图分类号]** P618.51; P595 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-5943(2017)03-0183-08

## 0 引言

坑头金矿位于天柱县城北约 16 km, 坑头背斜西南端, 岳寨断层南东盘, 大地构造位处江南造山带西南缘(图 1)(刘锐, 2013)。该矿床自发现以来, 开展了较多的勘查地质工作及科研工作, 从元素地球化学特征及成矿意义、矿床地质特征、流体包裹体特征、构造变形特征、成矿时代、同位素地球化学特征等方面进行了研究(余大龙等, 1991; 罗福蒸, 1992; 朱笑青等, 2006; 李国静等, 2011; 刘锐等, 2013; Xu et al., 2017)。由于黄铁矿是热液活动常见的产物, 能反映热液的成分、所处的环境以及流体的活动规律(Deditius et al., 2009a; Deditius et al., 2009b; Deditius et al., 2011)。近年来, 硫化物的 LA-ICP-MS 微区原位分析已越来越受到众多研究者的重视并得到较广泛的应用(Baker, et al., 2006; Wagner, et al., 2007; Morey, et al., 2008; Cook, et al., 2009; Large, et al., 2009; Sung, et al., 2009; Maslennikov, et al., 2009; Koglin, et al., 2010; Steadman, et al., 2014; Zhang, et al., 2014; Franchini, et al., 2015; 毕诗健等, 2016; 冷成彪, 2017)。大多数石

英脉金矿床中, 黄铁矿是主要的载金矿物, 另有少量或微量毒砂、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿及磁黄铁矿等。金多以可见金或不可见金的形式赋存于黄铁矿和毒砂中(Oberthür, et al., 1997; Groves, et al., 1998; Goldfarb, et al., 2001)。在成矿流体演化的不同阶段, 黄铁矿均可以结晶。因此, 使用 LA-ICP-MS 分析黄铁矿中的微量元素可以更好地认识金矿的成因及成矿过程。

## 1 矿床地质特征

矿区出露及钻遇地层为上元古界下江群清水江组第二段( $Pt_3q^2$ )的一套浅变质岩, 根据岩性特征分为 3 个亚段: 第一亚段( $Pt_3q^{2-1}$ )为灰色、浅灰色薄至中厚层条带状凝灰质板岩、变余粉砂岩、变余凝灰岩, 钻孔揭露其厚度大于 400 m(图 2), 是坑头金矿床的主要含金层位; 第二亚段( $Pt_3q^{2-2}$ )为灰色、深灰色中厚层变余玻屑凝灰岩、变余砂岩及硅质板岩, 见含金石英脉, 厚 80~100 m; 第三亚段( $Pt_3q^{2-1}$ ): 灰色、浅灰绿色薄至中厚层条带状凝灰质板岩、变余粉砂岩、变余凝灰岩互层, 为矿区含金石英脉主要产出层位, 厚度 200~300 m。

**[收稿日期]** 2017-05-25

**[基金项目]** 贵州省地勘基金: 贵州省社会发展攻关项目(黔科合字[2013]3080号)。

**[作者简介]** 陈原林(1989—), 男, 硕士, 矿床地球化学专业。E-mail: nanoSIMS@126.com.

**[通讯作者]** 顾尚义(1969—), 男, 教授, 从事地球化学研究。E-mail: gushangyi@126.com.

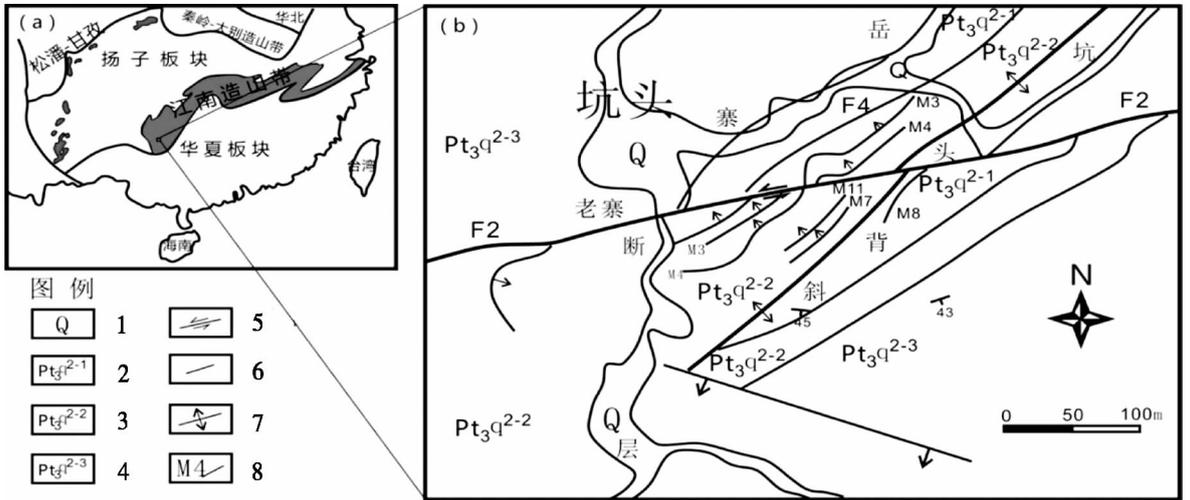


图1 (a) 中国构造略图;(b)坑头金矿区地质略图(据李国静等,2011)

Fig.1 (a) China Tectonic Sketch;(b)Geologic sketch of Kengtou gold mining area

1—第四系;2—清水江组二段第一层;3—清水江组二段第二层;4—清水江组二段第三层;

5—平移断层;6—断层;7—背斜;8—石英脉及编号

余大龙(1991)和田洪德等(2011)研究,结合野外调查结果,矿区由多条石英脉组成,包含部分隐伏的石英脉。这些石英脉除了一条产于近东西向的断裂带外,其他的充填于坑头背斜核部及两翼层间断层及层间剥离构造中,主要分布于背斜北西翼,基本顺层产出。M3为矿区的主要含金石英脉体,受层间破碎带控制,产状与围岩基本一致,脉体与围岩界线明显,脉壁平直,延伸较稳定,走向延伸约770 m,倾向延伸大于100 m,厚0.45~1.2 m,平均0.8 m,分支复合和尖灭再现等现象较少见。不同粒径的硫化物金的富集有明显差异,粗粒黄铁矿、毒砂等金富集程度低于细粒硫化物,反映不同物化条件对金的富集有明显的影响(余大龙等,1991)。黄铁矿是坑头金矿床中分布最广、含量最多的一种硫化物。

ZK7-10:见两层蚀变岩型金矿。第一层蚀变岩:32.9~43.1 m,厚10.2 m。为灰白色凝灰岩、石英岩,偶夹厚度1~3 cm的白色石英脉。多见矿化,连续取样14件,仅三件低于0.05 g/t,最高品位0.55 g/t。第二层蚀变岩:161.44~197.61 m,厚36.17 m。灰白色石英岩及条带状板岩,带内石英脉大量充填,围岩与石英脉中多见毒砂单晶,少许为团块状毒砂。ZK7-14:226 m以上为清水江组第二段第二层地层,以下为第一层地层。见多层含金石英脉与蚀变岩。325.41~357.54 m,为构造破碎带,厚32.13 m。见烟灰色石英脉、断层角砾岩、黄铁矿及半自行一它形毒砂。836.3~856.6 m,厚20.3 m,为构造破碎带。为白色石

英脉,夹有围岩,石英脉少见矿化,围岩中多见黄铁矿及半自形—自形毒砂(图2)。190~226 m,灰色条带状凝灰质板岩,局部裂隙发育,裂隙中见少量自形半自形星点状、薄膜状黄铁矿,为典型的热液作用形成。226~250 m,灰色,灰黑色层纹状凝灰质板岩夹少许灰色条带状凝灰质板岩。800~920 m,浅灰绿色,灰色凝灰岩夹灰色条带状凝灰质板岩、灰黑色层纹状凝灰质板岩。920~932.43 m,灰色、灰黑色层纹状、条带状凝灰质板岩。以上这些岩性段颜色较浅,见有程度不同的硅化蚀变,硅化较强部位原始沉积构造较模糊,为热液蚀变的产物。ZK7-14硅化蚀变带中偶见自然金颗粒,金品位最高14 g/t,平均2 g/t。

## 2 样品及分析方法

为了探讨坑头矿区微量元素地球化学特征在空间上的变化规律,对贵州省有色金属和核工业地质勘查局六总队在坑头朝阳寨钻孔7-14进行了采样。本文用于激光剥蚀电感耦合等离子体质谱仪测试的黄铁矿样品,均来源于坑头金矿带不同的深度(图2、图3),共有3件样品,其编号和采样位置如下:ZK7-14-3采于矿带孔深227.40 m, ZK7-14-20采于矿孔深930.10 m, ZK7-14-21采于矿带终孔处932.43 m。ZK7-14-3样品为F10断层破碎带,矿化蚀变岩,见草莓状黄铁矿,纹层状分布。ZK7-14-20样品为F20断层破碎带,矿化蚀变岩和石英脉,见草莓状黄铁矿,纹

层状分布。ZK7-14-21 采于矿带终孔处凝灰质板岩夹石英脉,见草莓状黄铁矿。所有黄铁矿均

为产于坑头金矿蚀变带中受热液作用重结晶的草莓状黄铁矿。

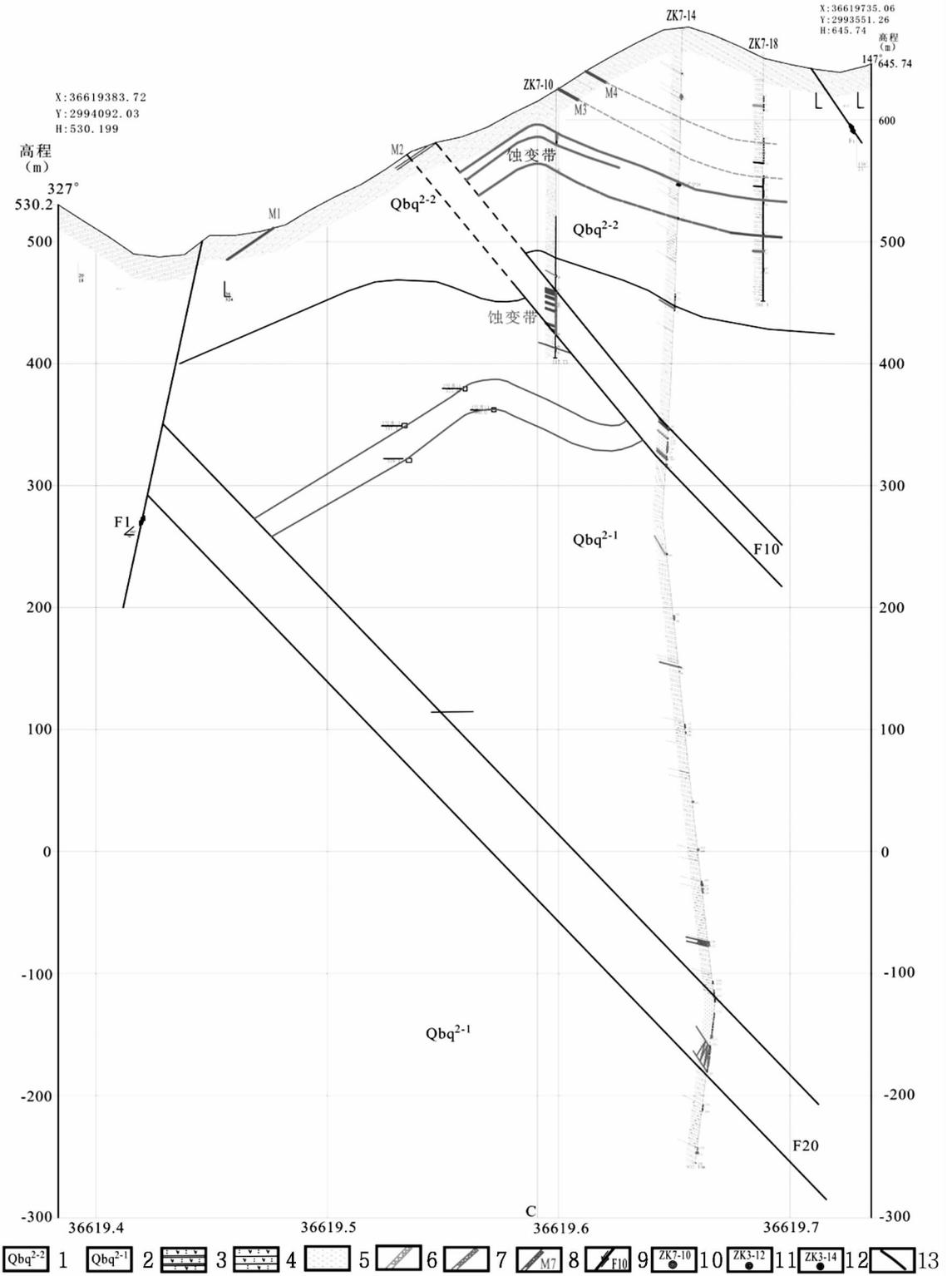


图 2 坑头金矿区 7 号实测勘探线剖面图

Fig. 2 Profile of No. 7 tested prospecting line in Kengtou gold mining area

- 1—青白口系清水江组二段二层;2—青白口系清水江组二段一层;3—凝灰质板岩;4—凝灰岩;5—(断层)破碎带;
- 6—未见矿蚀变岩或石英脉;7—见矿化蚀变岩或石英脉;8—见矿蚀变岩或石英脉;9—断层及其编号;
- 10—见矿孔及其编号;11—见矿化孔;12—未见矿孔;13—背斜

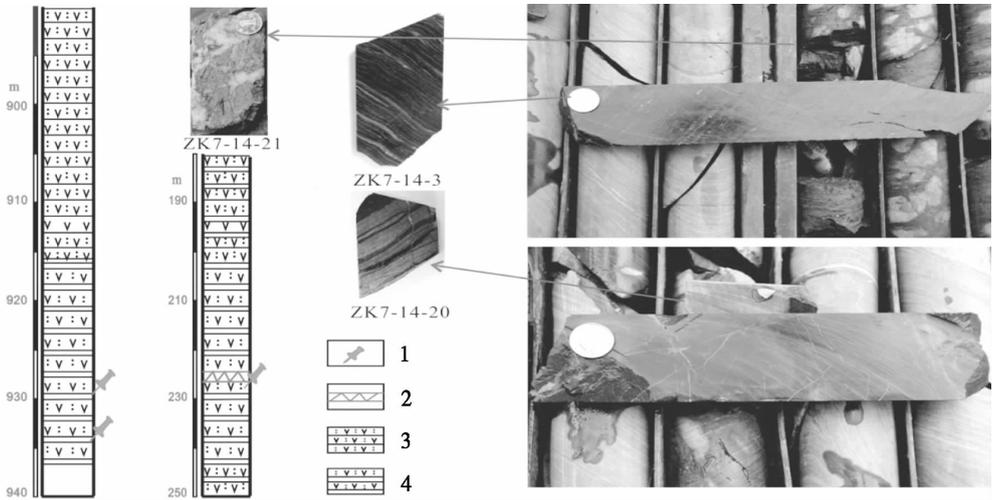


图3 坑头金矿研究样品位置图

Fig. 3 Tested samples position in Kengtou gold deposit  
1—采样位置;2—破碎带;3—凝灰岩;4—凝灰质板岩

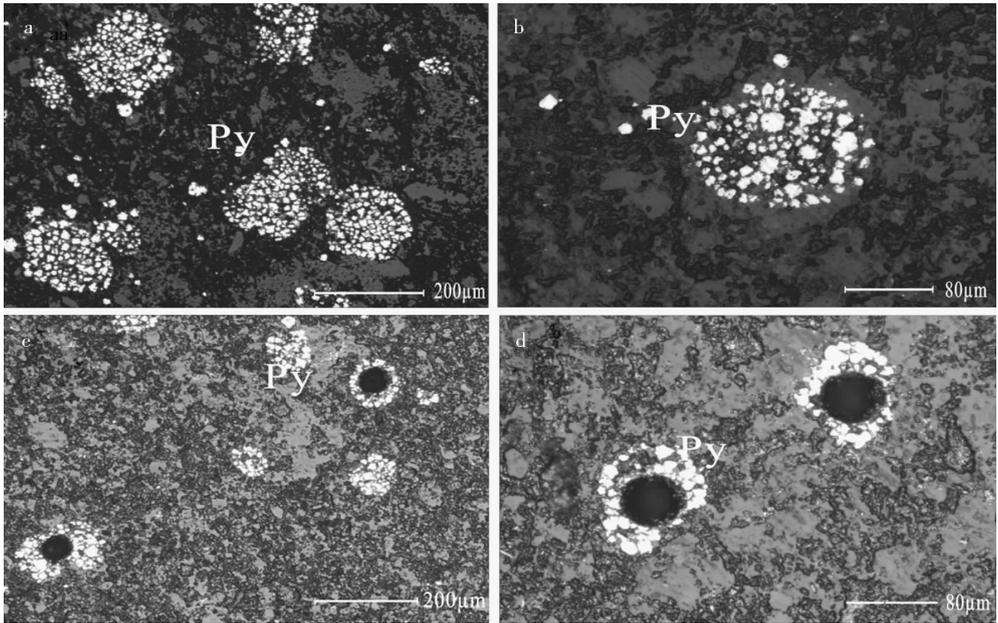


图4 坑头金矿黄铁矿的结构和形态

Fig. 4 Structure and form of pyrite in Kengtou gold deposit

图 a、b 为黄铁矿晶体,以自形半自形星点状、薄膜状、草莓状晶形呈斑点状散布于凝灰岩、凝灰质板岩中;  
图 c、d 中位于黄铁矿颗粒内的圆圈为激光剥蚀产生的剥蚀坑。

黄铁矿原位微区微量元素含量在武汉上谱分析科技有限责任公司利用 LA-ICP-MS 完成,详细的仪器参数和分析流程见 Zong et al. (2017)。GeolasPro 激光剥蚀系统由 COMPexPro 102 ArF 193 nm 准分子激光器和 MicroLas 光学系统组成,ICP-MS 型号为 Agilent 7 700 e。激光剥蚀过程中采用氦气作载气、氩气为补偿气以调节灵敏度,二者在进入 ICP 之前通过一个 T 型接头混合,激光剥蚀系统配置有信号平滑装置 (Hu et al., 2014)。本次分析的激光能量 80 mJ, 频率 4 Hz,

激光束斑直径 30 μm。具体分析条件及流程详见文献 Liu et al. (2008)。硫化物的微量元素采用 SRM610 和 MASS-1 作外标,进行多外标无内标校正 (Liu et al., 2008)。每个时间分辨分析数据包括大约 20~30 s 空白信号和 100 s 样品信号。对分析数据的离线处理 (包括对样品和空白信号的选择、仪器灵敏度漂移校正以及元素含量计算) 采用软件 ICPMSDataCal (Liu et al., 2008) 完成。

草莓状黄铁矿阴极发光图像拍摄在武汉上谱

分析科技有限责任公司完成。仪器为高真空扫描电子显微镜 (JSM - IT100), 配备有 GATAN

MINICL 系统。工作电场电压为 10.0 ~ 13.0 kV, 钨灯丝电流为 80 ~ 85  $\mu\text{A}$ (图 5)。

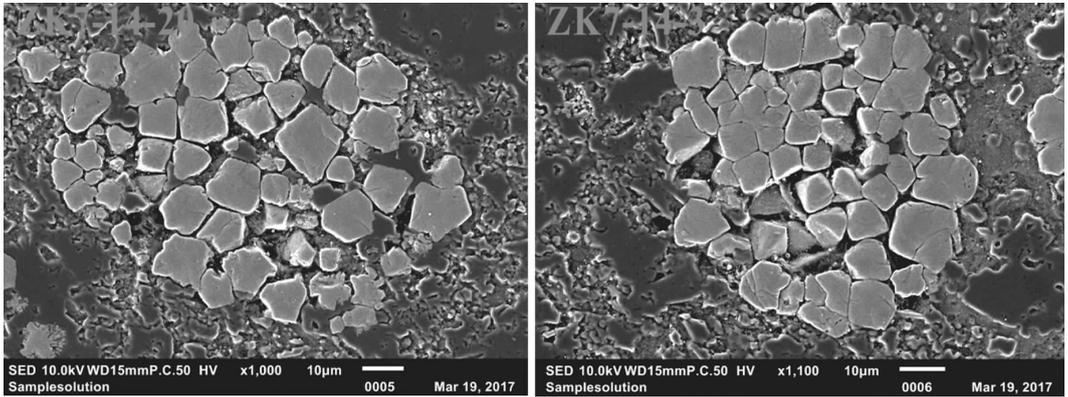


图 5 坑头金矿黄铁矿 SEM 图

Fig. 5 SEM diagram of pyrite in Kengtou gold deposit

### 3 测试结果

黄铁矿 LA-ICP-MS 测试结果见表 1。ZK7-14-3、ZK7-14-20、ZK7-14-21 是草莓状黄铁矿的激光剥蚀电感耦合等离子体质谱仪测点。ZK7-14 样品共分析了 11 个测点, Au 含量为 0.11 ~ 0.61 ppm, 部分低于检测限。结合前述样品中偶见自然金的情况, 推断蚀变岩石中的金主要是以自然金的形式存在; As 的含量为 1.67 ~ 1 098.95 ppm, Ag 的含量为 0.04 ~ 4.20 ppm, 部分低于检测限。LA-ICP-MS 单点剥蚀信号的强度与样品中微量元素的组成和含量有很好的对应关系, 因此剥蚀信号曲线能较好地反映样品中微量元素的

相对含量及相关关系(图 7、图 8)。LA-ICP-MS 分析结果显示, ZK-14-20 中 As 平均含量为  $442.52 \times 10^{-6}$ , Au、Ag、Tl、Mo、Cu 和 Zn 平均含量分别为  $0.18 \times 10^{-6}$ 、 $2.59 \times 10^{-6}$ 、 $0.88 \times 10^{-6}$ 、 $1.35 \times 10^{-6}$ 、 $188.75 \times 10^{-6}$ 、 $155.94 \times 10^{-6}$ ; 相较而言, ZK-14-21 中 Au、As 含量稍高, 而 Au、Ag、Tl、Mo、Cu 和 Zn 平均含量略低(其中 Au 含量为  $0.48 \times 10^{-6}$ ); ZK-14-3 中 Ag、Mo、Pb、Bi、Sb、Cu 和 Zn 含量差异较大且显著升高。黄铁矿中 Au 和 As、Cu 和 Zn、Co 和 Ni 之间存在较强的正相关关系(图 6)。亲铁元素 Co、Ni 主要以类质同象的形式赋存于黄铁矿中, 不同世代黄铁矿的 Co、Ni 含量及 Co/Ni 比值也具有规律性变化, 黄铁矿的 Co/Ni 比值基本上都小于 1, 为沉积型(图 6)。

表 1 坑头金矿草莓状黄铁矿 LA-ICP-MS 微量元素分析结果

Table 1 LA-ICP-MS trace elements analytical results of strawberry pyrite in Kengtou gold deposit

样品编号	微量元素含量( $10^{-6}$ )											
	Cu	Zn	As	Mo	Ag	Sb	Au	Tl	Bi	Pb	Co	Ni
ZK7-14-20-01	42.86	50.34	166.58	0.42	0.62	18.80	0.08	0.42	0.71	51.18	67.38	172.82
ZK7-14-20-02	250.10	180.62	511.28	1.88	4.00	122.51	0.20	0.88	5.79	358.40	147.36	450.78
ZK7-14-20-03	264.91	227.29	549.94	1.51	2.49	113.60	0.11	1.14	4.81	263.55	187.12	479.09
ZK7-14-20-04	197.13	165.49	542.27	1.60	3.23	125.39	0.33	1.07	5.01	358.18	145.30	518.47
ZK7-14-21-02	79.58	43.96	840.83	0.57	2.19	88.44	0.30	1.19	5.85	159.74	201.10	256.56
ZK7-14-21-03	82.53	37.80	1098.95	0.35	1.58	101.94	0.61	1.36	5.88	171.94	167.39	276.92
ZK7-14-21-04	81.96	48.82	858.22	0.22	1.61	85.54	0.51	1.15	5.15	148.47	151.61	229.59
ZK7-14-3-01	208.53	130.14	622.24	1.71	4.20	182.89	0.41	0.93	6.62	433.46	194.34	534.83
ZK7-14-3-02	238.59	162.12	649.12	1.63	3.15	158.21	0.30	0.77	5.49	365.54	172.37	577.87
ZK7-14-3-03	247.21	158.60	681.91	8.43	3.19	171.19	0.50	0.75	6.07	426.32	231.30	558.56
ZK7-14-3-04	187.23	133.23	591.29	5.32	3.93	163.82	0.37	0.95	5.92	422.10	239.27	502.56

注:“-”代表检测限以下,武汉上谱分析科技有限责任公司 LA-ICP-MS 实验室测试

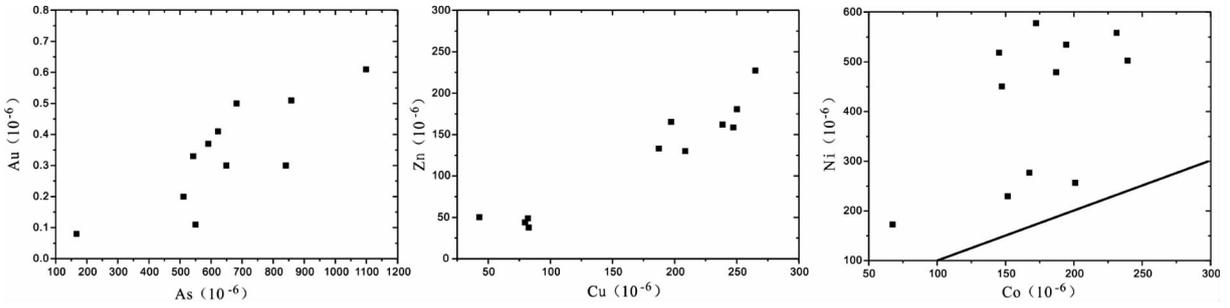


图6 坑头金矿黄铁矿中 Au-As、Cu-Zn 和 Co-Ni 含量及相关性

Fig. 6 Content and relation of Au-As, Cu-Zn and Co-Ni of pyrite in Kengtou gold deposit

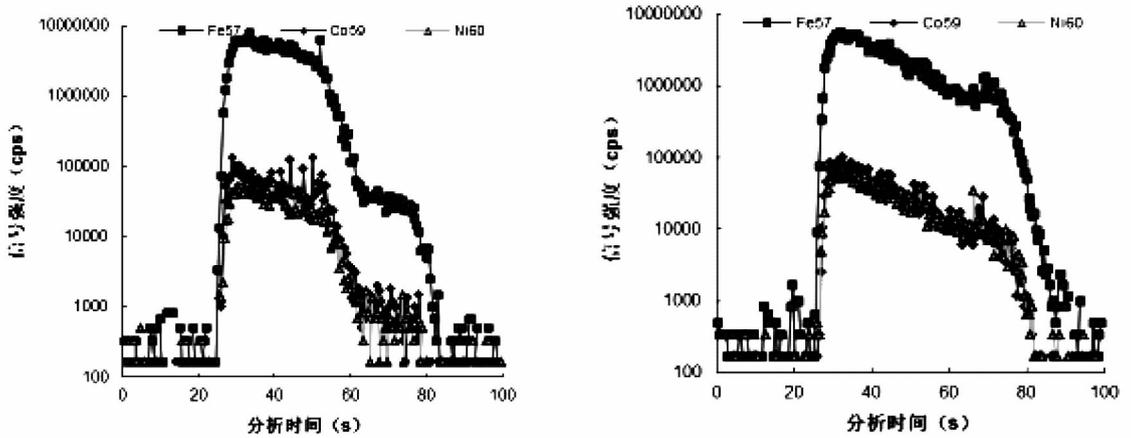


图7 坑头金矿黄铁矿 Fe、Co、Ni 元素剥蚀时间和信号强度图

Fig. 7 Denudation time and signal strength of Fe, Co and Ni in pyrite of Kengtou gold deposit

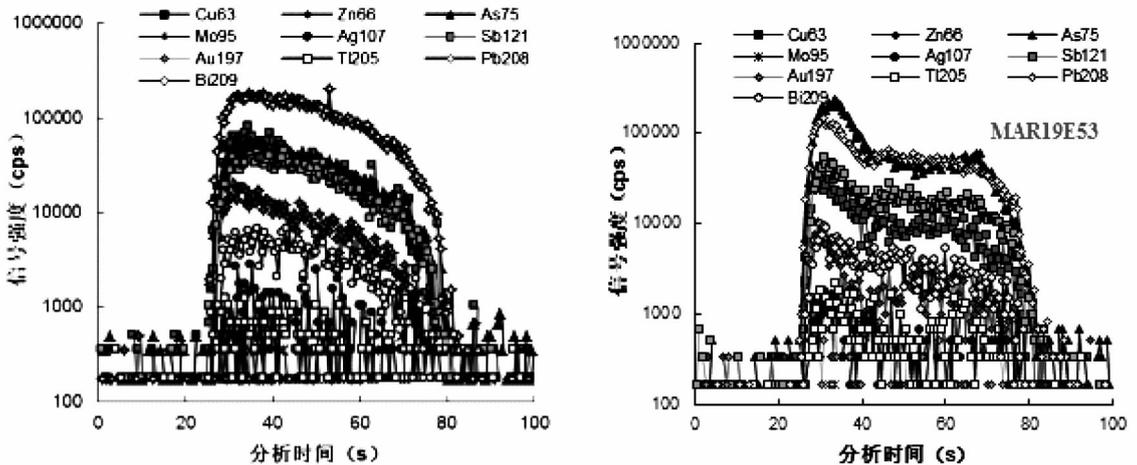


图8 坑头金矿黄铁矿剥蚀时间和信号强度图

Fig. 8 Denudation time and signal strength of Kengtou gold deposit

### 4 讨论

如前所述,坑头金矿床中草莓状黄铁矿 Co、Ni、Au、Ag、As 含量及其分布特征具有显著差异。从 LA-ICP-MS 元素剥蚀信号图像上可见(图

7),所有黄铁矿的 Co、Ni 信号较为平坦,而且与 Fe 的谱线近于平行,表明亲铁元素 Co、Ni 主要以类质同象的形式赋存于黄铁矿中,与 Large 等(2009)的认识一致。Au 与 As 之间存在显著的线性正相关关系。据此可以认为,Au 和 As 是从源区同时搬运的,因此 As 可以作为此类金矿床的

一种探途元素。此外,由于 LA-ICP-MS 测试分析的黄铁矿中的 Au 含量普遍较低,蚀变岩石中的金主要不是赋存于黄铁矿等硫化物中,可能以自然金的形式存在。Cu、Pb、Zn 等元素与 Au 没有线性关系反映了源区 Au 的活化和迁移过程并不富集 Cu、Pb、Zn,原因是 Au 的主要搬运方式为硫氢络合物,而 Cu、Pb、Zn 则主要以氯化物络合物的形式搬运,这一分析结果与造山型金矿中金的变质热液来源一致,即包括坑头金矿在内的造山型金矿成矿流体具有低盐度、高 CO<sub>2</sub> 含量,矿体富含砷(以毒砂的形式出现)而贱金属硫化物(方铅矿、闪锌矿、黄铜矿等)较低的特征吻合(Goldfarb, et al., 2015)。Pitcairn 等(2006)对新西兰 South Island 不同变质相中微量元素的含量详细分析得到 Au 和 As 等元素在从绿片岩相到角闪岩相的变质过程中,伴随着硫化物(主要是黄铁矿)的分解,Au 和 As 进入变质流体,从而为造山型金矿中成矿物质 Au 和 As 来源于深部变质流体提供了坚实的证据。

## 5 结论

通过研究,主要获得了以下新认识:

- (1) 坑头石英脉型金矿床深部存在蚀变岩石,为进一步深部找矿勘查扩大范围;
- (2) 黄铁矿中 Au 含量较低,推断蚀变岩石中金主要以自然金的形式存在;
- (3) 与其他造山型金矿一样,坑头金矿可能是变质热液成因。

**致谢:**感谢中国地质大学(武汉)陈璐老师在测试工作中给予的帮助,感谢中国科学院地球化学研究所高剑峰研究员以及贵州大学资源与环境工程学院余大龙教授和余超老师对本文提出的宝贵修改意见!

### [参考文献]

毕诗健,李占轲,唐克非,等. 2016. 小秦岭东桐峪金矿床黄铁矿 LA-ICP-MS 微量元素特征及其成矿意义[J]. 地球科学:中国地质大学学报,(7):1121-1140.

冷成彪. 2017. 滇西北红山铜多金属矿床的成因类型:黄铁矿和磁黄铁矿 LA-ICPMS 微量元素制约[J]. 地学前缘,(24):1-14.

李国静,余大龙. 贵州天柱坑头金矿构造变形特征探讨[J]. 贵州大学学报(自然科学版),2011,(02):37-39+46.

罗福蒸. 1992. 贵州天柱坑头金矿矿体地质控矿构造及成矿预测的初步研究[R]. 贵州工学院,地质系,9.

刘锐,陶平,陈坡. 2013. 黔东南坑头金矿床元素地球化学特征与成矿意义[J]. 贵州大学学报(自然科学版),(03):56-61.

田洪德,黄道光,余清平. 2011. 黔东南天柱县坑头金矿地质特征及成因分析[J]. 贵州地质,(04):265-271.

余大龙,周珍国,陶红. 1991. 黔东南金矿床地质及包裹体特征初探[J]. 贵州地质,(03):241-251.

朱笑青,王甘露,卢焕章等. 2006. 黔东南金矿形成时代的确定兼论湘黔加里东金矿带[J]. 中国地质,33(5):1092-1099.

Baker T, Mustard R, Brown V, et al. 2006. Textural and chemical zonation of pyrite at Pajingo: a potential vector to epithermal gold veins[J]. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 6(4):283-293.

Cook N J, Ciobanu C L, Mao J. 2009. Textural control on gold distribution in As-free pyrite from the Dongping, Huangtuliang and Hougou gold deposits, North China Craton (Hebei Province, China)[J]. *Chemical Geology*, 264(1):101-121.

Deditius A P, Utsunomiya S, Ewing R C, et al. 2009a. Nanoscale "liquid" inclusions of As-Fe-S in arsenian pyrite [J]. *American Mineralogist*, 94(2-3):391-394.

Deditius A P, Utsunomiya S, Ewing R C, et al. 2009b. Decoupled geochemical behavior of As and Cu in hydrothermal systems [J]. *Geology*, 37(8):707-710.

Deditius A P, Utsunomiya S, Reich M, et al. 2011. Trace metal nanoparticles in pyrite[J]. *Ore Geology Reviews*, 42(1):32-46.

Franchini M, McFarlane C, Maydagán L, et al. 2015. Trace metals in pyrite and marcasite from the Agua Rica porphyry-high sulfidation epithermal deposit, Catamarca, Argentina: Textural features and metal zoning at the porphyry to epithermal transition[J]. *Ore Geology Reviews*, 66:366-387.

Goldfarb R J, Groves D I, Gardoll S. 2001. Orogenic gold and geologic time: a global synthesis[J]. *Ore geology reviews*, 18(1):1-75.

Goldfarb R J, Groves D I. 2015. Orogenic gold: Common or evolving fluid and metal sources through time[J]. *Lithos*, 233(15):2-26.

Groves D I, Goldfarb R J, Gebre-Mariam M, et al. 1998. Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types [J]. *Ore geology reviews*, 13(1):7-27.

Hu Z, Zhang W, Liu Y, et al. 2014. "Wave" signal-smoothing and mercury-removing device for laser ablation quadrupole and multiple collector ICPMS analysis: application to lead isotope analysis [J]. *Analytical chemistry*, 87(2):1152-1157.

Koglin N, Frimmel H E, Minter W E L, et al. 2010. Trace-element characteristics of different pyrite types in Mesoproterozoic to Palaeoproterozoic placer deposits[J]. *Mineralium Deposita*, 45(3):259-280.

Large R R, Danyushevsky L, Hollit C, et al. 2009. Gold and trace element zonation in pyrite using a laser imaging technique: implications for the timing of gold in orogenic and Carlin-style sedi-

- ment-hosted deposits [J]. *Economic Geology*, 104(5): 635-668.
- Liu Y, Hu Z, Gao S, et al. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard [J]. *Chemical Geology*, 257(1): 34-43.
- Maslennikov V V, Maslennikova S P, Large R R, et al. 2009. Study of trace element zonation in vent chimneys from the Silurian Yaman-Kasy volcanic-hosted massive sulfide deposit (Southern Urals, Russia) using laser ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICPMS) [J]. *Economic Geology*, 104(8): 1111-1141.
- Morey A A, Tomkins A G, Bierlein F P, et al. 2008. Bimodal distribution of gold in pyrite and arsenopyrite; examples from the Archean Boorara and Bardoc shear systems, Yilgarn Craton, Western Australia [J]. *Economic Geology*, 103(3): 599-614.
- Oberthür T, Weiser T, Amanor J A, et al. 1997. Mineralogical siting and distribution of gold in quartz veins and sulfide ores of the Ashanti mine and other deposits in the Ashanti belt of Ghana; genetic implications [J]. *Mineralium Deposita*, 32(1): 2-15.
- Pitcairn, I. K., Teagle, D. A. H., Craw, D., Olivo, G. R., Ker-rich, R., Brewer, T. S., 2006. Sources of metals and fluids in orogenic gold deposits; insights from the Otago and Alpine Schists, New Zealand. *Economic Geology* 101, 1525-1546.
- Steadman J A, Large R R, Davidson G J, et al. 2014. Paragenesis and composition of ore minerals in the Randalls BIF-hosted gold deposits, Yilgarn craton, Western Australia; Implications for the timing of deposit formation and constraints on gold sources [J]. *Precambrian Research*, 243: 110-132.
- Sung Y H, Brugger J, Ciobanu C L, et al. 2009. Invisible gold in arsenian pyrite and arsenopyrite from a multistage Archean gold deposit: Sunrise Dam, Eastern Goldfields Province, Western Australia [J]. *Mineralium Deposita*, 44(7): 765.
- Wagner T, Klemd R, Wenzel T, et al. 2007. Gold upgrading in metamorphosed massive sulfide ore deposits; Direct evidence from laser-ablation - inductively coupled plasma - mass spectrometry analysis of invisible gold [J]. *Geology*, 35(9): 775-778.
- Xu D, Deng T, Chi G, et al. 2017. Gold mineralization in the Jiangnan Orogenic Belt of South China: Geological, geochemical and geochronological characteristics, ore deposit-type and geodynamic setting [J]. *Ore Geology Reviews*, in press.
- Zhang J, Deng J, Chen H, et al. 2014. LA-ICP-MS trace element analysis of pyrite from the Chang'an gold deposit, Sanjiang region, China; Implication for ore-forming process [J]. *Gondwana Research*, 26(2): 557-575.
- Zong K, Klemd R, Yuan Y, et al. 2017. The assembly of Rodinia; the correlation of early Neoproterozoic (ca. 900 Ma) high-grade metamorphism and continental arc formation in the southern Beishan orogen, southern Central Asian Orogenic Belt (CAOB) [J]. *Precambrian Research*, 290: 32-48.

## LA-ICP-MS Rare Elements Characteristics in Pyrite of Kengtou Gold Deposit in Southwest Jiangnan Orogenic Belt

CHEN Yuan-lin<sup>1</sup>, GU Shang-yi<sup>1\*</sup>, HE Xing-hua<sup>1</sup>, WU Long<sup>2</sup>, WANG Xing-wei<sup>2</sup>,  
YIN Qi<sup>2</sup>, AO Xue-long<sup>2</sup>

(1. College of Resource and Environment Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, China; 2. The 6 Team of Non-Ferrous Metals and Nuclear Industry Geological Exploration Bureau of Guizhou, Kaili, 556000, Guizhou, China)

[Abstract] Kengtou gold deposit occurs in the metamorphic rock of Qingshuijiang formation in Xiajiang group of low greenschist facies in Jiangnan orogenic belt. It gathered pyrite samples of mineral period and mineral time which has deep relation with gold mineralization, then the LA-ICP-MS in-situ trace element analysis of simple mineral is finished, it's found the gold in the pyrite is low, the gold in altered rock exists as free gold. The relation between gold and arsenic reflects that the possible ore-forming hydrothermal solution of Kengtou gold deposit came from the deep metamorphic fluid in the orogenic progress.

[Key words] Kengtou gold deposit; LA-ICP-MS; Pyrite; Trace element; Metamorphic fluid