# 陕西省金厂沟金矿床地质及地球化学特征

张孝攀, 王权锋, 陈 聆\*, 常 鑫, 李霖杰 (成都理工大学 数学地质四川省重点实验室, 成都 610059)

摘 要:金厂沟金矿是青木川-苍社金矿成矿带上最有价值的矿(床)点之一,该矿床赋存于青木川-关口垭韧性剪切带的碧口群二亚群三岩组第一岩性段(Pt<sub>2-3</sub>bk<sub>2</sub><sup>3-1</sup>),成矿地质条件好,找矿潜力巨大。 通过对该矿床地质特征和矿石、含矿岩系以及围岩的化学成分、微量元素、稀土元素、流体包裹体 和硫同位素特征的系统分析,初步认为矿体受控于韧性剪切带并且矿化与磁铁石英岩化、黄铁矿化 等围岩蚀变关系密切,载金矿物为黄铁矿,成矿物质来源于地层围岩,黄铁矿中的硫为水岩过程中 流体对碧口群源岩的萃取,金元素的富集可能经过了多个阶段,成岩与成矿处于不同时期。 关键词:矿山地质学;金厂沟金矿;地球化学特征;勉-略-宁;韧性剪切带 中图分类号:P616,P595 文献标识码:A 文章编号:1004-0676(2015)01-0029-07

## Geology and Geochemistry of Jinchanggou Gold Deposit in Shaanxi

ZHANG Xiaopan, WANG Quanfeng, CHEN Ling<sup>\*</sup>, CHANG Xin, LI Linjie (Geomathematics Key Laboratory of Sichuan Provinc, Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059, China)

**Abstract:** Jinchanggou gold deposit is one of the most valuable mineral (bed) points in the Qingmuchuan-Cangshe gold metallogenic belt, the deposit preserves in Qingmuchuan-Guankouya ductile shear zone of  $Pt_{2-3}bk_2^{3-1}$ , and has good geological conditions and huge prospecting potential. Through the analysis of the geological characteristics of the deposit and ore, the ore bearing rock series and the chemical composition of surrounding rock, trace elements, rare earth elements, fluid inclusions and sulfur isotopes, it was suggested that the ore bodies are controlled by ductile shear zone and mineralization is closely related to the magnetite quartzition, pyritization, etc. wall rock alteration. Pyrite is the gold carrying minerals and its sulfur extracts from Bikou Group source rocks in the process of fluid rock. The enrichment of gold element may pass through multiple stages. Diagenesis and mineralization has a different period.

**Key words:** mining geology; Jinchanggou gold deposit; geochemical characteristics; Mian-Lue-Ning region; ductile shear zone

金厂沟金矿位于"勉-略-宁"三角多金属成矿区 内<sup>[1]</sup>,北接勉略板块俯冲带,南邻杨子地台北缘<sup>[2]</sup>。 该地区广泛出露中上元古界碧口群二亚群二岩组 (Pt<sub>2-3</sub>bk<sub>2</sub><sup>2</sup>)及三岩组(Pt<sub>2-3</sub>bk<sub>2</sub><sup>3</sup>)<sup>[3]</sup>,为一套变质海相喷 发的细比较扮演建造<sup>[4]</sup>,是区内的主要赋金层位。 区域内断裂构造和褶皱构造十分发育,总体均成北 东东-南西西向展布。褶皱主要有苍社向斜、金厂沟 向斜和土地垭-寨子包背斜,轴面倾向北西。构造断 裂主要有南带的广坪-阳平关脆-韧性复合构造带, 中带的青木川-关口垭逆冲型韧性剪切带以及北带 的阳坝-苍社平推型韧性剪切带(图 1)。岩浆岩主要 发育有苍社辉长-闪长岩体和关口垭闪长岩-石英闪

收稿日期: 2014-05-07

基金项目:陕西省地质矿产勘查开发局 2009 年第三批地质勘查及科研专项基金项目(陕地财发[2009]34 号)。

第一作者: 张孝攀, 男, 硕士研究生, 研究方向: 数学地质研究。E-mail: zxp\_document@126.com

<sup>\*</sup>通讯作者:陈 聆,女,博士,教授,研究方向:数学地质研究。E-mail: chenl@cdut.edu.cn

长岩体。岩石普遍发生区域变质与构造热液蚀变作 用,变质程度低,蚀变强烈,为低温中压环境下的 绿片岩相<sup>[5]</sup>,属绿泥石、绿帘石、黑硬绿泥石、钠 长石、石英组合。与金矿化关系密切的蚀变有黄铁 矿化、磁铁矿化、硅化、绢云母化等。

自 20 世纪 50 年代后期起,先后有众多地质、 科研单位在本区开展过不同内容,不同程度的地质 矿产普查和科研工作,圈出了 35 个金异常、43 个 铜异常。经对部分异常查证,发现岩金矿床(点)矿 化点各 10 余处。

## 1 矿床地质特征

矿区位于青木川-关口垭韧性剪切带中西部,邻 近小燕子沟金矿,区内出露地层主要为碧口群二亚 群三岩组一(Pt<sub>2-3</sub>bk<sub>2</sub><sup>3-1</sup>)、二岩性段(Pt<sub>2-3</sub>bk<sub>2</sub><sup>3-2a</sup>),岩 性主要为中酸性凝灰岩、中基性凝灰岩以及中酸性 晶屑凝灰岩,其中 Pt<sub>2-3</sub>bk<sub>2</sub><sup>3-1</sup>为本区蚀变岩型金矿的 主要赋矿层位,上部赋存有构造蚀变岩型、石英脉 型金矿体,下部层位有含金磁铁石英岩型金矿化体, 容矿岩石为蚀变糜棱岩(图 1)。



图 1 金厂沟矿区地质简图<sup>[6]</sup> Fig.1 The geological sketch of Jinchanggou mine<sup>[6]</sup>

金厂沟金矿严格受该韧性剪切带控制, 王家山-刘家坝韧性剪切带呈近东西向横贯矿区中部, 该剪 切带倾向北北西, 倾角 50°~80°, 在矿区范围内宽 度 100~190 m, 糜棱岩、断层泥、揉皱、石英细脉 发育, 是区内蚀变带的主要特点。所有容矿岩石均 经历了比较强烈的绢云母化与绿帘石化, 围岩蚀变 中的钠长石化、硅化、黄铁矿、石英脉等蚀变与金 矿化或成矿关系密切, 碳酸盐化石成矿后期蚀变的 主要类型。金与石英黄铁矿密切相关, 石英细脉被 剪切而呈揉皱的蛇形团块或香肠状。F1 断层是矿区 唯一的断层, 延展方向与韧性剪切带一致, 延伸长 760 m, 断层面北倾, 为韧性剪切带形成的同生压 扭性断层。矿山施工的探采坑道及地勘施工的深部 工程均未见到, 说明该断层未对矿体的完整性产生 影响。

金厂沟金矿共圈出 3 个金矿体和多个矿化体。 金矿(化)体呈扁豆体或透镜状赋存于韧性剪切带内 的蚀变凝灰岩中,蚀变带呈近东西向展布,倾向北 北西,倾角 45°~88°,控矿最低标高为 775 m。矿体 明显受韧性剪切构造蚀变岩控制,具分枝复合、尖 灭再显,膨缩特点,矿体一般长度 50~60 m,最长 350 m,厚度 0.76~3.94 m,最厚达 16.13 m,含 Au 一般 3 g/t,单样最高 49 g/t,矿床平均厚度 2.65 m, 矿体厚度、品位在走向和倾向上变化均较大。

矿石矿物主要为自然金、黄铁矿、磁铁矿、褐 铁矿、黄铜矿。脉石矿物主要有石英、绿帘石、绿 泥石、绢云母、钠长石。金矿物主要为粒间金,其 次为包裹金和裂隙金,少量连生金;粒径主要为微 粒与超微粒,少数可达粗粒;载金矿物主要为黄铁 矿、石英;岩石裂隙中亦有少量自然金产出。矿石 结构有自形、半自形粒状结构、填隙结构、包含结构和交代结构。构造可分为星散状构造、条带状、

细脉浸染状及斑杂状构造(图 2)。



图 2 金厂沟金矿光片照片

[(a). 石英中的自然金; (b). 黄铁矿裂隙中的自然金及黄铜矿]

化蛛网图如图3所示。

表 1),从矿体→近矿围岩→断裂带围岩→断裂带→

远矿围岩具有递减的趋势, 矿石中 As、Cu、Hg等

元素同样富集,但是在剖面上没有明显的关联性,

Pb、Zn 出现轻微亏损的现象,其分布与 Au、Ag 相

反,具有剖面上的递增规律。大离子亲石元素标准

Fig.2 The light photographs of Jinchanggou gold mine [(a). The natural gold in quartz; (b). Natural gold and chalcopyrite in the fissure of pyrite]

## 2 岩石地球化学特征

#### 2.1 微量元素特征

磁铁石英岩矿石较其围岩及远矿围岩均出现 Au、Ag的强烈富集,金矿石的品位达到 32 g/t (见

## 表1 金厂沟金矿亲硫元素含量对比表\*

Tab.1 The comparison table of dear sulfur content in Jinchanggou gold mine

岩性概述	Au	Ag	As	Cd	Cu	Ga	Hg	Pb	Tl	Zn
磁铁石英岩矿石	32.85	4163.56	56.23	79.13	181.69	3.37	30.13	4.19	0.02	31.77
近矿围岩	0.17	69.49	1.61	89.79	99.91	15.38	6.50	8.70	0.37	67.72
断裂带围岩	0.12	99.95	11.22	106.75	18.50	16.25	4.75	16.13	0.26	66.64
断裂带	0.01	65.68	5.67	81.56	25.65	26.90	7.25	15.33	0.49	98.61
远矿围岩	0.01	47.66	3.04	116.14	30.94	19.01	4.00	10.00	0.37	88.96

\*注:含量单位,Ag为10<sup>-9</sup>,其余为10<sup>-6</sup>;廊坊物化探所分析测试,2010。



#### 图 3 大离子亲石元素标准化蛛网图

Fig.3 The spider diagram of large ion dear stone chemical element

变化情况,将金厂沟不同矿石样及近矿围岩样品微

量元素做远矿围岩标准化分布曲线,如图 3(b)所示。

图中各样品分布形式大致相同,均显示出 Sr、Ti 亏

损现象,矿体底板则表现的更为明显,也更为富集

稀土元素,矿体顶板则相对富集 Sr; 南北断裂带在

Pb 的表现形式上相反,没有明显的规律。

各样品稀土元素含量如表2所示。

2.2 稀土元素特征

图 3(a)为金厂沟不同矿石样及近矿围岩样品微量元素的原始地幔标准化分布曲线。由图 3(a)可见,磁铁石英岩矿石样及近矿围岩、破碎带等均出现 Pb的富集,不相容元素 Nb、Sr 及 Ti 出现亏损现象,除磁铁石英岩外,其他三者的元素分布曲线非常相似,前者分布曲线的不同显示了其成岩物质的不同,而不是成矿流体的区别。

为了显示成矿过程中围岩与断裂带的微量元素

## 表 2 金厂沟稀土元素及其特征值\*

Ta	b.2	The rar	e earth	elements	and its	characteri	istic va	alue ii	n Jing	changg	ou
	~										

岩(矿)	采样							w/	10-6								SE.,	8 <b>C</b> a
石名称	位置	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Но	Er	Tm	Yb	Lu	∑RE	- oEu	oce
磁铁石英岩	矿体	0.78	1.29	0.19	0.77	0.16	0.05	0.2	0.04	0.23	0.04	0.11	0.02	0.11	0.02	5.8	1.07	0.71
磁铁石英岩	矿体	0.16	0.25	0.04	0.16	0.03	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	1.77	0.91	0.72
磁铁石英岩	矿体	0.39	0.68	0.1	0.39	0.09	0.02	0.11	0.02	0.1	0.02	0.08	0.01	0.08	0.01	3.35	0.86	0.75
磁铁石英岩	矿体	1.57	2.95	0.39	1.49	0.3	0.08	0.28	0.05	0.3	0.07	0.18	0.03	0.2	0.03	10.55	0.94	0.81
绢云石英片岩	顶板围岩	19.68	38.85	4.86	18.58	3.59	0.88	3.25	0.54	3.4	0.67	1.95	0.29	1.63	0.22	118.68	0.89	0.85
绢云石英片岩	矿体底板	62.1	125.5	15.98	64.2	13.53	2.75	12.97	2.18	13.59	2.69	7.65	1.12	6.57	0.87	420.25	0.72	0.85
绢云石英片岩	断裂下盘	27.97	57.34	7.25	27.34	5.45	1.26	4.82	0.79	4.85	0.93	2.58	0.37	2.04	0.25	171.2	0.84	0.86
断裂构造岩	北断裂带	33.8	70.09	8.7	33.12	6.52	1.23	5.8	1.04	6.6	1.29	3.49	0.48	2.56	0.3	213.93	0.68	0.87
绢云石英片岩	北断裂上盘	27.79	54.89	7.11	27.53	5.66	1.18	5.27	0.93	5.63	1.11	3	0.41	2.24	0.25	176.24	0.75	0.83
断裂构造岩	南断裂带	37.2	83.63	10.69	41.84	8.07	1.84	6.98	1.18	7.32	1.41	3.92	0.56	3.21	0.38	249.27	0.84	0.91
绢云石英片岩	断层下盘	23.52	45.22	5.73	21.69	4.11	1.03	3.44	0.59	3.38	0.65	1.84	0.27	1.54	0.19	132.43	0.93	0.83
绢云石英片岩	断层上盘	24.38	46.1	5.69	21.8	4.26	1.09	4.02	0.7	4.35	0.83	2.34	0.33	1.83	0.22	143.55	0.91	0.83
绢云石英片岩	远矿围岩	20.81	55.48	5.51	20.79	3.9	0.97	3.44	0.57	3.41	0.66	1.87	0.29	1.74	0.23	138.65	0.91	1.11

\*注: 廊坊物化探所分析测试, 2010。

由表 2 可见,样品的稀土元素总含量变化很大, 矿体间区分明显,磁铁石英岩矿体的  $\Sigma$ RE 为 1.77~10.55  $\mu$ g/g,而围岩的  $\Sigma$ RE 为 36.46~420.25  $\mu$ g/g。各样品的配分模式图(图 4)表现出缓慢右倾的 特征,具有轻稀土略微富集的特点。 $\Sigma$ Ce/ $\Sigma$ Y 为 0.57~3.35,磁铁石英岩普遍较低,而围岩则较高; (La/Yb)<sub>N</sub> 为 2.15~9.08; (Gd/Yb)<sub>N</sub> 为 0.52~1.45; (La/Sm)<sub>N</sub> 为 2.66~3.58;轻重稀土的分馏程度存在一 定的差异,除磁铁石英岩外,均为轻稀土分馏程度 高于重稀土。该矿床的 Eu 异常除一个磁铁石英岩 样品外均为弱负异常, \deltaEu 为 0.43~1.07;其中中基 性熔岩矿石的 Eu 异常较明显。除远矿围岩外所有 样品均具有 Ce 的负异常, \deltaCe 为 0.71~0.91,远矿 围岩的 \deltaCe 为 1.11。

将样品对球粒陨石做稀土元素配分模式图(如 图 4),除个别样品的 Eu、Ce异常及稀土含量不同

外,其余样品均表现出与远矿围岩极为相似的配分 模式,反映成矿物质来源有可能均为地层。由于石 英的架状晶格不能作为稀土元素的载体,导致绢云 母石英片岩及其矿石样的稀土含量较高,磁铁石英 岩及石英脉的稀土含量较低,磁铁石英岩 Eu 的正 负异常均有。本区磁铁石英岩具有与现代海底热液 相似的稀土特征<sup>[7]</sup>,均具有富铁,富轻稀土,贫铝, 贫稀土的特点,发育有 Ce 的负异常以及 Eu 的正异 常,异常值则反映海底热液与海水的混入比例。浅 色磁铁石英岩较黑色磁铁石英岩有更低的 Ce 负异 常与更高的 Eu 正异常,这反映前者在成岩时的海 水深度可能更深,从而其所处环境具有更高的还原 性。另外,由于石英的稀土特征主要反应的是流体 包裹体的特征,磁铁石英岩的流体包裹体中必然会 混入后期成矿热夜的组分,即现在所得的稀土配分 模式是海底热液、海水以及成矿热液叠加的效果,

具体表现为 Eu 异常的多样性。







大量研究表明,在缺乏部分熔融和高水/岩比值 的深变质作用条件下,原岩的稀土元素特征将不受 成岩和变质作用的影响<sup>[8]</sup>。将金厂沟金矿的各样品 稀土元素相对于远矿围岩做配分模式图[图 4(c)], 其配分模式图具有略微左倾的特点,即轻稀土亏损, 重稀土富集, 说明相对于重稀土元素具有更大离子 半径与较低原子量的轻稀土元素在成矿过程中被淋 滤<sup>[9]</sup>。Eu 异常的形成与温度具有较大的关系,受 Eu<sup>2+</sup>/Eu<sup>3+</sup>氧化还原电位的影响,在 250℃以上时, 流体中的 Eu 主要以 Eu<sup>2+</sup>的形式存在,从而导致流 体出现 Eu 的正异常: 100~250℃时二者皆有, 即 Eu的正/负异常均可能出现:低于100℃时则主要以 Eu<sup>3+</sup>的形式存在,即出现 Eu 的负异常<sup>[10]</sup>。相对于 远矿围岩,各样品 Eu 异常以负为主,偶尔夹有正 异常。如前所述,在高温还原的封闭体系中下,Eu 主要以 Eu<sup>2+</sup>的形式存在流体中, 矿石中的 Eu 也以 Eu<sup>2+</sup>形式存在,因此比较容易淋滤而使近矿围岩发 育 Eu 负异常,即矿石 Eu 的负异常反映流体应为一

种高温(>250℃)流体。其中出现 2 个 Eu 的正异常, 其中一个为磁铁石英岩样品,这应与其成岩流体相 关,而不是反映的成矿流体,另一个样品为南断裂 带的下盘围岩,距离矿体最远,镜下石英脉矿石样 的包裹体均一温度范围为 182.9~340.2℃,成矿温度 跨越 250℃这个临界点,由于成矿流体的运移是一 个降温降压的过程,因此在距离矿体最远的位置出 现 Eu 的正异常。

#### 2.3 流体包裹体特征

成矿流体的特征主要通过包裹体测温来获得, 本次包裹体测温共磨制金厂沟矿点的测温片2个, 在显微镜(Leica DM 2500P)下对这2个测温片均做 了详细的观察并拍照(图5)。根据镜下观察,该矿点 的流体包裹体均为富液气液两相包裹体,另外发育 有少量的纯液相包裹体,前者主要呈孤立状或者群 状分布,其成因类型为原生,少量呈线状分布者为 次生成因类型;后者主要以面状或线状的形式分布, 其成因类型为次生。



图 5 金厂沟磁铁石英岩包裹体的(a)群状原生 FI 照片和(b)孤立状原生 FI 照片 Fig.5 The magnetite quartzite inclusions (a) group of native FI photo and (b) isolated native photo FI of Jingchanggou mine

采用均一法测定了测温片富液气液两相包裹体 的均一温度及盐度。测温选取其中原生的气液两相 包裹体获得了矿点成矿期石英脉与磁铁石英岩成岩 的均一温度与冰点,其特征具体如表 3 所示。并对 该矿点磁铁石英岩矿石及石英脉矿体均一温度做直 方图(图 6)。

#### 表 3 包裹体类型特征表 Tab.3 The characteristics table of inclusions

岩石类型	主矿物	类型	大小/µm	气液比/%	均一温度范围/℃	冰点范围/℃
石英脉金矿石	石英	L+V	4~12	0.8:0.2~0.9:0.1	182.9~340.2	-7.05~8.5
磁铁石英岩	石英	L+V	2~8	0.75:0.25~0.9:01	205~386.9	-6.4~9.65



Fig.6 The homogenization temperature histogram of Jinchanggou gold mine

由表 3 和图 6 可见,磁铁石英岩矿石样的均一 温度范围为 205~386.9℃,出现 350℃与 260℃两个 均一温度峰值,后者出现频率较高,冰点温度范围 为~6.4~9.65℃,计算得 NaCl 盐度(质量分数)范围为 9.7%~13.6%,主要反映了磁铁石英岩的成岩流体为 低盐度的高温流体;石英脉矿石样的均一温度范围 为 182.9~340.2℃,具有 350℃、250℃两个峰值, 冰点温度范围为~7.05~8.5℃,计算得 NaCl 盐度范 围为 10.6%~12.3%,该石英脉样品镜下未发现石英 脉的穿插和交叉现象,反映成矿流体可能具有多阶 段性,且以 250℃时的流体为主,即成矿流体可能 为均一温度为 300℃的低盐度流体。金元素的富集 可能经过了多个阶段,磁铁石英岩的成岩流体为高 温低盐度的流体,其成岩温度高于矿点的成矿温度, 成岩与成矿不是同时期的。

#### 2.4 硫同位素特征

本金矿床的硫同位素组成如表 4 所示。

#### 表4 金厂沟硫同位素组成

Tab.4 The sulfur isotopic composition of Jingchanggou mine

岩性概述	测试矿物	$\delta^{34}S_{V\text{-}CDT}\text{\%}$
浅色磁铁石英岩矿石	黄铁矿	-3.5
磁铁石英岩	黄铁矿	-2.7
磁铁石英岩矿石	黄铁矿	-4.1
含矿石英脉	黄铁矿	-4.1
中基性熔岩	黄铁矿	0.1

注:数据来源于核工业北京地质研究所,2010。

金厂沟矿床中的δ<sup>34</sup>S值除中基性熔岩中的黄铁 矿外均为负值,范围为-2.7‰~-4.1‰,石英脉与磁 铁石英岩中的黄铁矿具有类似的硫同位素组成,反 映二者的硫源相同,中基性熔岩中黄铁矿的硫同位 素组成明显接近于陨石硫。石英脉中黄铁矿硫的来 源可能为水岩作用过程中流体对碧口群源岩的萃 取,而中基性熔岩样品的硫异常可能与其源岩的物 质组成有关。

## 3 结论

通过对金厂沟金矿床地质及地球化学特征的初步探讨,得到如下结论:

(1) 金厂沟矿床位于"勉-略-宁"三角多金属 成矿区内,矿体赋存于青木川-关口垭韧性剪切带西 部的 Pt<sub>2-3</sub>bk<sub>2</sub><sup>3-1</sup>地层中。

(2) 根据岩石化学成分及镜下鉴定成果和含矿 岩系微量元素特征,认为磁铁石英岩化、黄铁矿化 等围岩蚀变与金矿化关系密不可分,黄铁矿为主要 的载金矿物,相对含量为3%~19%,粒度为1~5 mm, 自然金粒度较大,多成粒状。

(3) 几乎所有样品的 Eu、Ce 异常和稀土含量 均表现出与远矿围岩极其相似的配分模式,说明成 矿物质来源于地层围岩。硫同位素则表明黄铁矿中 的硫为水岩过程中流体对碧口群源岩的萃取。

(4) 流体包裹体反映了金元素的富集可能经过 了多个阶段,磁铁石英岩的成岩流体为高温低盐度 的流体,其成岩温度高于矿点的成矿温度,成岩与 成矿不是同时期的。

## 参考文献:

 [1] 邹公明,李良,李世金,等.陕西小燕子沟金矿床流体
 包裹体特征及成矿物理化学条件研究[J].黄金,2013, 34 (3): 22-26.

Zou G, Li L, Li S, et al. Study on characteristics of fluid inclusions in Xiaoyanzigou gold deposit and its oreforming physicochemical conditions, Shanxi Province[J]. Gold, 2013, 34 (3): 22-26.

 [2] 任文清,周鼎武,刘方杰. 勉略宁三角地区构造演化与 金属矿产成矿特征[J]. 西北地质科学, 1999, 20(2): 60-67.

Ren W, Zhou D, Liu F. Regional tectonic evolution and features of metal mineral resovrces of Mian-Lue-Ning triangle area[J]. Northwest Geoscience, 1999, 20(2): 60-67.

 [3] 李彦林, 王汉章. 陕西勉略宁地区火峰垭金矿矿床地 质特征及矿床成因分析[J]. 有色金属: 矿山部分, 2010, 62(4): 22-24.

Li Y, Wand H. Geological features and metallegenic genesis of Huofengya gold deposit in mianluening region, Shanxi[J]. Nonferrous Metals: Mine Area, 2010, 62(4): 22-24.

[4] 颜崇高,李方周,宋志勇. 宁强县小燕子沟金矿地质特 征及成矿条件浅析[J]. 陕西地质, 2012, 30(2): 1-11. Yan C, Li F, Song Z. Geology and metallogenesis of gold mineralization in Xiaoyanzigou, Ningqiang county[J]. Geology of Shanxi, 2012, 30(2): 1-11.

- [5] 冯华, 吴闻人. 陕西勉略宁地区金、多金属矿产控矿条 件及成矿模式[J]. 陕西地质, 1997, 15(2): 39-47.
  Feng H, Wu W. The metallogenic modeland orecontrolling conditions of gold, polymetallic deposits in Mian-Lue-Ning area, Shaanxi[J]. Geology of Shanxi, 1997, 15(2): 39-47.
- [6] 张海峰,张长德,陈少峰,等.陕西省宁强县青木川一 苍社金矿成矿条件及成矿预测研究报告[R].汉中地质 大队,2010.
- [7] 丁振举,刘丛强. 碧口群古热水系统发育的富铁硅岩
   稀土元素地球化学证据[J]. 自然科学进展,2000,10(5):
   427-434.

Ding Z, Liu C. Ancient hydrothermal system in Bikou group of iron rich siliceous rock RE geochemical evidence[J]. Progress in Natural Science, 2000, 10(5): 427-434.

- [8] 侯伟,刘招君,何玉平,等.砂岩稀土元素地球化学特 征在沉积物源区分析中的应用—以中国东北漠河盆地 中侏罗统为例[J]. 沉积学报, 2010, 28(2): 285-293.
  Hou W, Liu Z, He Y, et al. Application of REE geochemical characteristics of sandstone to study on provenance: a case from the middle Jurassic of Mohe Basin in Northeast China[J]. Acta Sedmentologica Sinica, 2010, 28(2): 285-293.
- [9] 刘丛强,唐红峰.变质作用中稀土元素再分配及其对流体作用的指示意义一庐山星子群变质岩的微量元素组成研究[J].中国科学:D辑,1999,29(6):520-526.
  Liu C, Tang H. Rare earth elements metamorphism of redistribution and its implication for the effect of the fluid -Study on the trace element composition of Mount Lu stars group metamorphic rocks[J]. Science in China: D, 1999, 29(6): 520-526.
- [10] 顾雪祥,刘建明, Oskar Schulz,等.湖南沃溪金-锑-钨 矿床成因的稀土元素地球化学证据[J].地球化学,2005, 34(5):428-442.

Gu X, Liu J, Oskar Schulz, et al. REE geochemical evidence for the genesis of the Woxi Au-Sb-W deposit, Hunan province[J]. Geochimica, 2005, 34(5): 428-442.

[11] Boynton W V. Cosmochemistry of the Rare Earth Elements: Meteorite Studies[M]. Henderson P. Rare Earth Elements Geochemistry, Amsterdam: Elsevier, 1984: 63-114.