

# 黄金洞金矿床地球化学特征

刘荫椿

(武警黄金地质研究所)

通过对黄金洞金矿床的地质地球化学、单矿物及其包裹体、同位素(铅、硫、氢、氧)等特征的研究,阐述了该矿的成矿物质及热液来源、热液性质、成矿深度及时代,对今后工作提出了建议。

**关键词:** 金矿床; 地球化学特征; 矿源层

黄金洞金矿床位于湖南雪峰弧形褶皱隆起的东延部分,江西九岭复式背斜西南倾伏端,平江—刘阳大断裂的东南段,黄金一胆坑复向斜北倒转翼部。分布有金塘、金枚、杨山庄等矿段。区内地层为冷家溪群第三岩组的一套变质火山—沉积岩,年龄14亿年。该岩组第二岩段( $PtIn^{3-2}$ )为陆源泥砂质沉积变质岩,而第一岩性段( $PtIn^{3-1}$ )除陆源泥砂质外,富含凝灰质和火山碎屑物质。靠近底部钙质明显增多,局部夹有浅变质的砂泥质钙质条带。 $PtIn^{3-2}$ 为赋矿地层,85%的矿脉产于此层。其下部( $PtIn^{3-2(1)}$ )以绢云母板岩为主,夹砂质绢云母板岩;上部( $PtIn^{3-2(2)}$ )以条带状砂质绢云母板岩为主,夹钙质粉砂质板岩及砂质板岩。区内次级褶皱构造发育,主要是呈北西西—东北方向的一系列平行的次级同向倒转背、向斜组成的紧密褶皱形变体系,构成本区基本构造骨架;多期形成的断裂构造极为发育,控矿断裂展布方向多与褶皱轴平行,在金枚为北

西西向,杨山庄则转为近东西向,倾向北东或北,倾角 $40\sim 65^\circ$ 。断裂构造具压扭性质,沿走向倾向呈舒缓波状,严格控制着本区含金石英脉和含金破碎蚀变板岩的形成和分布。本区岩浆岩不发育,仅在杨山庄南部见两条斜闪煌斑岩脉,规模很小。

## 矿区地球化学特征

### 1. 微量元素含量特征(表1)

由表1可以看出,就全区平均值而言,Pb、Zn、As、Sb、Bi为高背景,其中As、Sb、Bi高出克拉克值 $3\sim 24$ 倍;Cu的平均值接近克拉克值;低值元素有Au、Hg、Co、Ni和Ag(含量低于检出限,未列入表)。从赋矿层看,除矿区的高值元素外,Au和Cu含量都高于克拉克值,因此,就全区而言Au属于低背景,但在赋矿层中Au为高背景元素。

### 2. 常量元素含量特征(表2)

由表2可以看出:  $Al_2O_3$ 、CaO、 $K_2O$ 、

黄金洞金矿区微量元素含量(ppm)特征

表1

元素	Au	Cu	Pb	Zn	Co	Ni	As	Sb	Bi	Hg	样数
$PtIn^{3-2(2)}$	4.73	61.62	29.08	116.15	15.31	41.39	113.51	1.64	0.63	0.01	13
$PtIn^{3-2(1)}$	1.76	41.94	30.66	98.36	16.42	41.4	17.65	1.32	0.53	0.024	50
$PtIn^{3-1}$	3.37	42.45	21.1	125.91	14.74	46.27	65.56	2.36	0.53	0.025	11
平均值	2.52	45.47	28.96	105.58	15.98	42.12	41.01	1.53	0.55	0.022	74
克拉克值	3.5	47	16	83	18	58	1.7	0.5	0.09	0.083	

注: Au含量单位为ppb, Au克拉克值为梨形值,其余为维氏值(1962)。

黄金洞金矿区常量元素含量 (wt%) 特征

表 2

岩层	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	NaO	Mn <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	样品数
PtIn <sup>3-2(2)</sup>	65.99	7.24	4.58	12.96	0.55	1.61	2.58	0.88	0.21	0.64	0.27	2.7	4
PtIn <sup>3-2(1)</sup>	61.6	7.65	3.34	15.69	0.15	2.41	3.54	1.27	0.26	0.77	0.25	4	2
PtIn <sup>3-1</sup>	59.95	8.88	4.12	12.92	0.08	1.75	3.27	0.47	0.17	0.73	0.19	4.97	3
区平均值	63	7.88	4.15	13.55	0.3	2.1	3.02	0.83	0.21	0.7	0.24	3.75	9
中国同类岩石均值*	63.88	4.73	1.94	15.29	7	1.68	4.24	5.14	0.33	0.48	0.06	1.12	

\* 引自长春地质学院贺同兴编著的《变质岩石学》。

Na<sub>2</sub>O、MnO的均值比中国同类岩石低，Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeO、MgO、TiO<sub>2</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>则较高，SiO<sub>2</sub>与之近似，就赋矿层而言，SiO<sub>2</sub>等较中国同类岩石高。

对赋矿层的常量、微量元素作因子分析，结果表明，与金矿有关的公因子为F<sub>4</sub>和F<sub>1</sub>。F<sub>4</sub>表示SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO、MgO、Zn、Mn、Co、Sb、FeO、Au、As（按负荷大小顺序排列）公因子，系原始沉积阶段的元素组合，其中Au、As、Sb载荷小于0.5，说明在原始沉积阶段较分散。F<sub>1</sub>表示S、As、Au、Pb、Sb、Mn、CaO、SiO<sub>2</sub>、MgO、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>公因子，系区域变质作用后赋矿围岩的元素组合。其中S、As、Au载荷大于0.9，表明区域变质作用使之相对富集，这可能是赋矿层含Au高的原因之一。另外，笔者对湖南前震旦纪地层研究后认为PtIn<sup>3-2(2)</sup>中含大量砂质碎屑物，为近陆源沉积，原始沉积物可能含Au高。

### 矿床地球化学特征

#### 1. 矿石中元素地球化学特征(表3)

黄金洞金矿矿石中某些元素含量特征

表 3

元素	Au	As	Sb	Bi	Hg	Co	Ni	Cu	Pb	Zn			样品数
含量	6.07	18,345,18	39.79	1.25	0.14	6.83	26.29	41.12	42.39	81.9			38
氧化物	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	38
含量	71.96	10.23	5.65	3.91	0.68	1.26	1.9	0.87	0.47	0.14	0.2	2.06	33

注：氧化物含量单位为wt%，其余为ppm

将表3和表1、2对比可见，矿石与赋矿层相同的富集元素有：Au、As、Sb、Hg、Bi和SiO<sub>2</sub>。为了更好地研究Au与其他元素的关系，作了R型聚类及因子分析。从谱系图(图1)看出，以0.4为界将元素分为两大

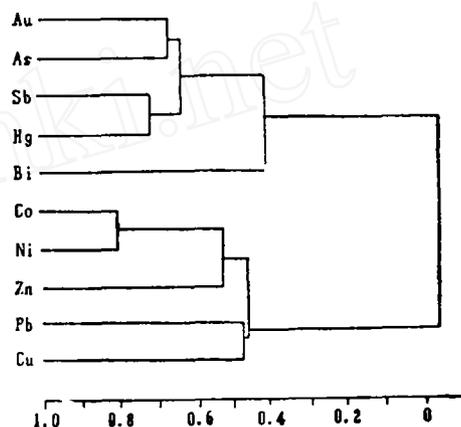


图 1 黄金洞金矿微量元素谱系图

(n=38; r=0.4)

类：Au、As、Sb、Hg、Bi、Co、Ni、Zn、Pb、Cu。在前一组中Au与As相关系数最大。本区毒砂矿物中Au含量高达195g/t也是这一特征的反映。

在矿石因子分析中, 作方差极大旋转后  $F_1-F_5$  图解显示出 Au、As、W、S、Sb 密切共生。

矿石元素组合总体反映与赋矿层一致, 说明成矿物质主要来源于此层。

## 2. 同位素地球化学特征

(1) 铅同位素地球化学特征: 采集矿石铅同位素样 6 件, 结果表明:

①  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/\text{Pb}^{207}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  变化率均小于 1.5%, 属同位素稳定的矿床。

②  $\mu$  值在 9.306~9.568 之间,  $\omega$  值为 37.884~37.914, 属正常铅中高  $\mu$  值演化铅, 将分析值投入  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}-^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  与  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}-^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  坐标图上, 均落在正常铅增长曲线范围内。

③ 将该矿床铅同位素特征值投入 B. R. Doe 和 R. E. Zartman 综合的各种地质环境铅同位素组成图解上 (图 2), 其值均落在地幔铅演化曲线与上地壳铅演化曲线之间, 以下部克拉通化地壳铅为主, 说明它主要来源于地层。

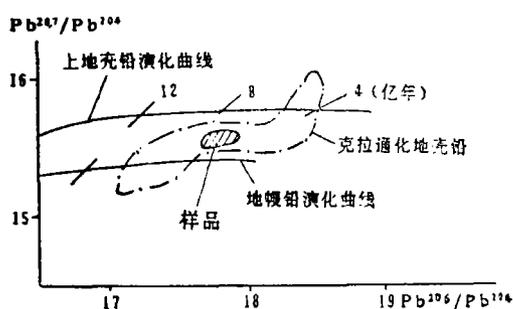


图 2 铅同位素环境图

(据 B. R. Doe 和 R. E. Zartman)

④ 据 R. F. C. 和 R. S. F. 模式年龄计算法, 所得模式年龄分别为 4.472~6.452 和 4.254~6.627 亿年, 均值分别为 5.246 和 5.182 亿年, 说明该矿床的铅属于年轻的 (加里东早期) 正常普遍铅。罗献林的研究资料认为, 该矿床的主要成矿阶段铅年龄值为

5.14~5.3 亿年, 此时期黄铁矿含金量高达 314g/t。因此, 可以认为本矿床的成矿时间应为加里东早期。

(2) 硫同位素地球化学特征: 笔者对 14 个矿石硫同位素样品进行了研究, 结果是  $\delta^{34}\text{S}$  值为  $-3.4\sim-12.2\%$ , 平均值  $-7.16\%$ , 说明富轻硫, 具生物地层硫特征。在冷家溪群灰色砂质板岩中的细粒黄铁矿集合体中  $\delta^{34}\text{S}$  为  $-10.4\%$ , 也以含轻硫为特征。且与矿石硫相近, 故认为矿石硫主要来自地层。从硫的频率直方图可以看出,  $\delta^{34}\text{S}$  的分布既具分散性, 又具相对集中性, 主要分布在  $-3.4\sim-8.5\%$  之间。表明成矿溶液的硫受热液改造, 具有相对均一性。

(3) 氢、氧同位素地球化学特征: 采集 4 个石英样品作氢、氧同位素及均化温度分析 (表 4), 其特征是:

黄金洞金矿氢、氧同位素组成 表 4

矿段	矿物	样号	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	均化温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (‰)	$\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ (‰)
朽山庄	石英	Y 2	18.67	155~180	3.62~5.59	
金塘	石英	D-1	12.46	215~240	1.67~3.02	-38.4
	石英	D 8	15.7	215~230	4.91~5.83	-47.1
	石英	D-12	16.5	215~230	5.71~6.54	

(1)  $\delta^{18}\text{O}$  变化范围较大 ( $+12.46\sim+18.67\%$ ), 均值为 15.83‰, 表明成矿溶液具多源性。

(2) 根据主要成矿阶段的石英包裹体的均一化温度, 按 Clayton 石英-水分馏方程式换算成包裹体水的  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ , 其范围为  $+1.67\sim+6.54\%$ ,  $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$  为  $-38.4\sim-47.1\%$ 。据王义文等统计, 变质水  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  一般在  $+5\sim+25\%$ , 海水  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  趋于零。因此可以认为本区为海水 (原始沉积地层) 经变质并加入了部分地表水形成的。罗献林通过对该区的研究得出, 成矿流体  $\delta^{18}\text{O}$  在  $6.11\sim9.42\%$  之间, 具承袭变质前页岩的氧同位素特征。

(3) 将  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  与  $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$  投入  $\delta\text{D}$  与  $\delta^{18}\text{O}$  直角坐标图上 (图3) 可以看出, 矿床热液的氢、氧同位素图解平行横坐标向雨水线

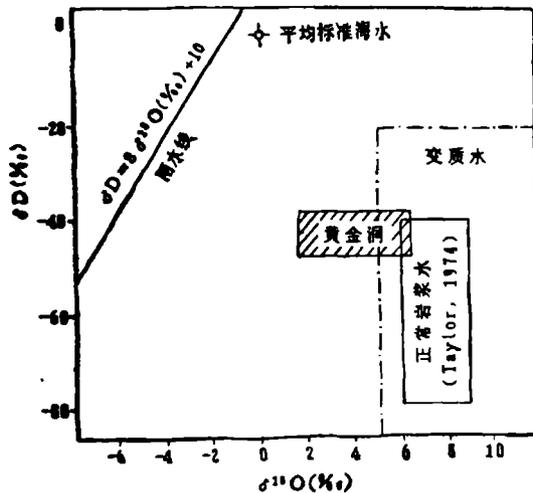


图3 黄金洞金矿成矿溶液氢、氧同位素特征

延伸。造成这种现象可能是深部循环的大气降水与改造同生水混合所致。

### 3. 包裹体地球化学特征

与金矿化关系密切并共生的石英, 原生包裹体数量较少且体积小 (多在  $15\mu$  左右), 分布杂乱, 呈椭圆或不规则多边形, 气液比为 17.25%, 含盐度 4.2~5.4 wt% NaCl。

(1) 爆裂温度: 由表 5 可以看出, 杨山庄矿段矿物包裹体爆裂温度明显低于金塘。这可能与形成深度有关。因为杨山庄矿段高程为 337m, 而金塘在 187m 以下。热液从下向上流动, 成矿温度下高上低。因此在

黄金洞金矿爆裂温度 (°C) 表 5

测试矿物	金塘			杨山庄		
	样数	温度区间	平均温度	样数	温度区间	平均温度
石英	11	240~330	302	2	185~262	223
黄铁矿	4	190~239	220	3	155~213	186
毒砂	5	210~305	254	2	165~249	207

杨山庄矿段应向深部进一步开展找矿工作。据主要载金矿物黄铁矿和毒砂的包裹体爆裂温度, 本矿主要成矿期温度为 160~240°C, 属中偏低温矿床。

(2) 压力: 由 8 个含  $\text{CO}_2$  包裹体测试数据, 利用 B.K. 普尔托夫提出的  $\text{CO}_2$  比容测定法, 得出压力变化范围是 485~680Pa, 压力变化近 200Pa, 说明成矿深度为中浅成 (1.5~2km), 且变化较大。

(3) 包裹体成分: 由表 6 的包裹体成分可以看出, 成矿溶液的主要成分是水。液相成分中  $\text{Na} > \text{K}$ ,  $\text{Ca} > \text{Mg}$ ,  $\text{Cl} > \text{F}$ , 属于  $\text{Cl}-\text{Ca}-\text{Na}$  型水; 气相成分主要是  $\text{CO}_2$ , 其次是  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$  极少。值得注意的是杨山庄矿段  $\text{H}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2$  等均高出金塘矿段很多, 预示杨家庄矿段深部仍有找矿的潜力。

包裹体中  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  比值为 0.03~0.20 (杨山庄矿段比值最高),  $\text{K}/\text{Na} < 1$ ,  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^- < 0.5$ ,  $\text{K}/(\text{Ca} + \text{Mg})$  在 0.28~0.02 之间, 表明成矿溶液主要为地下热卤水溶液, 在循环过程中加入了一定量的大气降水。

(4) 成矿溶液的酸碱度和氧化还原电

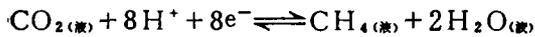
黄金洞金矿石英包裹体成分特征

表 6

矿段	测试样品	液相成分 (克分子/升)							气相成分 (克分子/升)				
		F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	$\text{SO}_4^{2-}$	K	Na	Ca	Mg	$\text{H}_2$	$\text{CH}_4$	CO	$\text{CO}_2$	$\text{H}_2\text{O}$
杨山庄 金塘	石英	0.077	0.157	0.057	0.09	0.27	0.293	0.025	0.22	6.3	0.01	100	350
	石英	0.037	0.051	0.03	0.036	0.08	0.21	0.017	0.04	1.7	0	55	1100
	石英	0.006	6.047	0.033	0.06	0.156	0.921	0.017	0.04	1.7	0	22	800
	石英	0.021	0.067	0.038	0.0104	0.114	1.58	0.368	0.03	1.5	0	17	650
	石英	0.009	0.074	0.025	0.019	0.1	0.1	0.011	0.04	2	0.01	65	1050
	石英	0.012	0.034	0.022	0.037	0.138	0.156	0.01	0.02	0.5	0	50	1200

位：由包裹体溶液测定结果可知，成矿溶液的pH值在5.13~6.90之间。实验资料表明，中性水的pH值随温度变化而改变：在室温条件下中性水pH为7；100℃时pH=6.135、150℃时pH=5.82、200℃时pH=5.65、250℃时pH=5.60、300℃时pH=5.65、350℃时pH=5.84水为中性。本矿床成矿温度在160°~240℃之间，故成矿溶液应为弱酸—弱碱性。

根据 T.M. 苏谢夫斯卡娅等人的研究，可利用测量气体浓度计算Eh值，反应式及计算方法如下：



$$Eh = E_7^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[\text{CO}_2][\text{H}^+]^8}{[\text{CH}_4]}$$

$$= E_7^0 + 2.48 \times 10^{-5} T \left( \lg \frac{[\text{CO}_2]}{[\text{CH}_4]} - 8\text{pH} \right)$$

将本矿床测得的温度、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>浓度和pH值代入上式，得Eh=-0.47~-0.62V。故成矿作用是在还原条件下进行的。

### 5. 载金矿物的地球化学特征

本矿床主要载金矿物是黄铁矿和毒砂，其含金量分别为314g/t和195g/t。

(1) 黄铁矿：为了解黄铁矿中各元素的相互关系，笔者对金塘矿段5个矿石样及杨山庄矿段的9个矿石样作相关分析，在普系图中(图4)如果分别以相关系数0.75和0.60为界，两个矿段的元素均分为3组。金塘

矿段(图4a)为Au—Zn—As—Cu、Co—Ni、Pb；杨山庄矿段(图4b)则分为Cu—Zn—Au—As、Pb—Co、Ni。说明黄铁矿中Au与As、Cu、Zn关系密切，Au、Cu、Zn的高含量可作为本区富Au黄铁矿的标型元素。

本矿区自围岩→蚀变围岩→矿脉，黄铁矿中Co/Ni比值为1.02→0.75→0.33，可以作为判别距矿体远近的间接地球化学标志。

(2) 毒砂：从表7可以看出，杨山庄矿段的毒砂比金塘矿段金含量高，且Pb/Zn比值大，达2.85；后者Pb/Zn比值为0.29~0.91，均值为0.59。这种差异可能与矿体产出深度

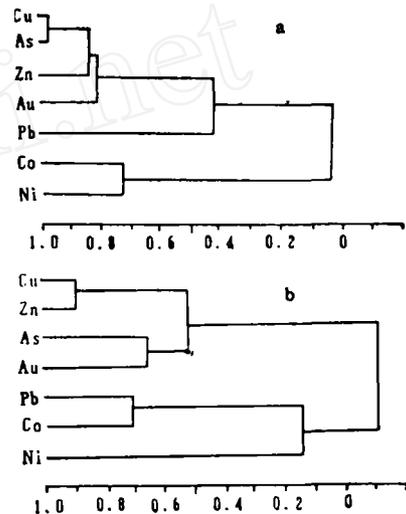


图4 黄金洞金矿黄铁矿中某些元素分群  
a—金塘矿段；b—杨山庄矿段

毒砂中主要微量元素的含量 (ppm)

表7

元素	金 塘			杨 山 庄		
	平均含量	均 方 差	变 异 系 数	平均含量	均 方 差	变 异 系 数
Au	16.85	26.88	19.65	224.42	130.71	58.24
Cu	177.5	146.21	82.37	83.67	32.96	39.4
Pb	89.5	105.41	117.78	109.42	122.88	112.3
Zn	152.33	124.01	81.41	38.42	56.64	147.44
Co	180.17	37.18	20.64	84.17	34.86	41.42
Ni	454.67	267.65	58.87	203	104	51.38
Co/Ni	0.663			0.53		
样品数	6			12		

和形成温度有关。因此可根据毒砂中Pb/Zn比值大小判别矿体产出的深度,即在杨山庄矿段应加强深部找矿工作。

## 结 语

通过对矿区及矿床微量元素、常量元素、同位素、矿物包裹体、单矿物等地球化学特征的研究得出如下认识:

1. 黄金洞金矿床的成矿物质主要来源于地层,即冷家溪群,其中又以PtIn<sup>3-2(8)</sup>为主,该岩段也是本区的赋矿层位。成矿溶液主要来自区域变质作用(14亿年),从冷家溪群析出的矿化度很高的地下水,其次是大气降水,属Cl—Ca—Na型水。成矿环境为中低温,还原条件,酸碱度近于中性。成矿时间距今5.2亿年左右,属加里东早期构造活动成矿。成矿深度为中浅成(1.5~2km)。主要载金矿物是黄铁矿和毒砂。与Au关系密切的元素及氧化物是As、Sb、Bi、Hg、S、SiO<sub>2</sub>、WO<sub>3</sub>。

2. 在该区重视在PtIn<sup>3-2(8)</sup>岩段找矿,其地球化学特征是Au、As、Bi、Cu、SiO<sub>2</sub>等含量较高。应充分利用主要载金矿物黄铁矿和毒砂中的标型元素及元素对比值指导找矿。富含金的黄铁矿As、Cu、Zn含量高;从矿体→围岩黄铁矿中Co/Ni比值升高(0.33→1.02);毒砂中Pb/Zn比值大预示矿床产出位置浅,结合包裹体测温等特征,在杨山庄应进一步开展深部找矿。

成文过程中得到我所李自杰同志的大力支持,文稿经叶传庆和宋国瑞高级工程师审阅,并提出宝贵意见,在此一并致谢。

## 参 考 文 献

- [1] 叶传庆等,黄金地质科技,1988,第2期。
- [2] 刘荫椿,湖南有色金属地质,1988,总35期。
- [3] 罗献林,桂林冶金地质学院学报,1988,第3期。
- [4] 涂光积,《中国层控矿床地球化学》(第一集),科学出版社,1984。
- [5] 贺同兴等,《变质岩石学》,地质出版社。
- [6] Kaneda, H. et al., Mineral Deposita, 1986, №3.

## Geochemical Signatures of the Huangjindong Gold Deposit

Liu Yinchun

Geological-geochemical signatures of the Huangjindong Gold Deposit, including isotopic compositions (Pb, S, H, O), individual minerals and inclusion features analyses, have been studied in detail. In this present paper, in the light of the results obtained, an exposition on the sources of ore-forming materials and hydrothermal fluid, the nature of the fluid, ore-forming depth and metallogenetic epoch of this deposit is given. Some suggestions for ore exploration hereafter in this mining area are also proposed.

## 《地质与勘探》征稿启事

1990年是我国发展国民经济第七个五年计划的最后一年,“八五”即将来临。在新的一年里,本刊将开辟《地质勘探信息之窗》专栏,着重报道国内外地质找矿新进展、新理论、新技术方法、新发现和新闻等,藉以开拓找矿思路,传播找矿经验,为寻找更多更好的矿产资源服务。

鉴此,我刊热诚欢迎广大作者、读者投稿。把自己在找矿、科研、教学中取得的最新成果和经济

效益,遇到的问题和解决的途径写出来;把在国内外交考察、调研和学习中的心得、体会、见闻介绍出来,投寄我刊以广泛交流。

来稿要求一事一议,中心突出,言简意赅。每篇稿件字数请在1200字以内。稿件一经刊用稿费从厚。来稿请寄:北京灯市口74号,冶金部《地质与勘探》编辑部,邮政编码:100730。