

## 陕西某“卡林型”金矿床的黄铁矿研究

邵洁连 徐国风 丰淑庄 吕瑞英 梅建明

(武汉地质学院)

大家知道,在不同物理-化学条件和地质条件下生成的黄铁矿,存在着运用现代研究方法可以查明的微小差异。当人们用近代手段揭示出在自然界广泛产出的黄铁矿在化学成分、晶体构造、物理性质、形态特点等方面的这些微小差异时,就可以据之分析和推测形成该黄铁矿的物理-化学条件和地质条件,帮助解决产出这种黄铁矿之矿床的成因问题<sup>[1]</sup>。同时,黄铁矿在金矿床中的重要性也是众所周知的,对黄铁矿含金性的评价乃是国内外当前重点科研课题之一。随着找矿难度的提高,解决这方面问题的迫切性也相应提高。由于矿床学成矿理论不断发展,热液型金矿床已可详细划分为岩浆热液、变质热液、混合岩化热液和渗流热卤水热液型金矿床等,而区分这些不同类型热液金矿床的矿物学标志尚有待研究。本文对我国陕西某“卡林型”金矿床(沉积岩中浸染型金矿床)及其外围三种不同成因系列的黄铁矿进行了较系统的矿物学研究,对矿床成因、找矿方向、外围矿点远景以及“卡林型”金矿床中黄铁矿含金性评价和本类金矿床黄铁矿找矿标志等问题作了初步的探讨。现分为矿床地质概况、黄铁矿的标型特征研究和矿床成因三部分进行探讨。

### 矿床地质概况<sup>1)</sup>

陕西某金矿位于秦岭地轴以南之秦岭地

槽印支褶皱带北缘,主要赋存于泥盆系底部的古道岭组上部碳酸盐类岩层中,对金矿成矿作用有利的岩石为白云岩受构造破碎作用形成的角砾岩、蚀变大理岩、蚀变结晶灰岩和钙质粉砂岩等。除了矿体本身具有较强的多期矿化蚀变(以硅化、白云石化为主,重晶石化、钠长石化、铁碳酸盐化、绢云母化次之)外,矿体外侧岩石不具明显的蚀变(即缺乏与岩浆侵入体有关的蚀变与矿化分带)。矿区处于一复背斜的南翼。已知金矿体主要受东西向断层控制。在东西向断裂与北东或北北东向断裂交汇处形成南东向侧伏的柱状矿体(如北带I号矿体);也可严格受北东向构造带或背斜鞍部之构造剥离空间控制,往往形成沿倾斜尖灭再现、膨大缩小、延深大于延长、规模小而富(品位平均达11克/吨)的铜金矿体(如10号矿体)。金矿床西南侧之水岔沟脑和钓鱼沟脑一带有印支期辉绿岩产出。

矿石按成分和构造来划分,主要可分为浸染状金矿石、角砾状金矿石(角砾成分为蚀变白云岩、钙质粉砂岩等,胶结物为碳酸盐、石英等)、网脉状含铜金矿石和角砾斑杂

1) 主要引自西北地质冶勘公司七-四队二分队,1979,《镇安县某铜金矿床一九八〇年度找矿评价及外围普查设计书》(内部资料)和中国人民解放军基建工程兵五一四大队,1980,《某铜金矿床一九八〇年下半年地质评价补充设计说明书》(内部资料)。

状、致密块状含金铜矿石等矿石自然类型,另还可见到少量斑点状金矿石。矿石结构以各种凝胶再结晶结构(图版 I-2-6)为主,细粒黄铁矿的晶粒内部胶环结构和凝胶聚晶再结晶晶面堆砌边结构以及各种填隙交代结构(图版 I-7、8)特别发育。矿石矿物成分主要为黄铁矿、自然金、自然银、砷黝铜矿、毒砂、镍和钴的硫化物、辰砂、闪锌矿、黄铜矿、辉铜矿、白铁矿、石英、方解石、含铁白云石、重晶石、绢云母、钠长石等。氧化造矿物有褐铁矿、孔雀石、蓝铜矿、铜绿矾、高岭石、自然银及钴华等。角砾状金矿石中金主要与黄铁矿连生,多为超显微金和显微金。在胶结物中有极少量较粗大的单体金(部分为透明脉石矿物镶嵌在一起的“明金”)。94%以上的自然金粒径为0.072—0.001毫米或更细,极少量粒度较粗,最大可达0.72毫米。金的纯度较高,成色可达950以上,自然金只含极少量的铋和银<sup>1)</sup>。

### 黄铁矿的标型特征研究

前已述及,陕西某金矿床的自然金主要是呈超微粒状和微粒状浸染散布赋存于蚀变的构造角砾岩(角砾为白云岩等)和蚀变大理岩及蚀变结晶灰岩中。其主要地质特征可与美国产于白云质灰岩、白云质粉砂岩、钙质页岩等化学性质较为活泼的沉积岩中、受矿化时存在的构造特性控制的浸染型金矿床(“卡林型”金矿床)类比。在国外卡林金矿田内几个著名的金矿床(Carlin, Cortez, Getchell)中,金除了少量与毒砂有关之外,主要是与黄铁矿有关<sup>2)</sup>。含金最富的是微粒黄铁矿(粒径小于0.005毫米),含金可高达4200克/吨。其次,是大颗粒的黄铁矿(中心部分含金可达700—900克/吨、边缘部分含金可达1500克/吨)。这些与金关系密切的黄铁矿之突出特征是含砷很高,一般可达2.25%,上述微粒黄铁矿含砷最高可达

7.4%,大颗粒黄铁矿也含砷0.29%,而未蚀变、未矿化沉积岩中黄铁矿含砷仅0.05%<sup>[2,3]</sup>。这反映出在卡林型金矿床特定的物理-化学条件和地质条件下生成之黄铁矿具有其独特的特点。如:可含有特殊的微量元素,具有独特的固态和气、液态包裹体,瑕疵、错位等。可反映在黄铁矿的晶胞参数、物理性质和形态特点等方面具有本类型金矿床含金黄铁矿特有的标型特征。现将本矿床黄铁矿标型特征研究结果按形态、化学成分、晶体构造、物理性质等方面介绍如下:

#### (一) 黄铁矿的形态标型特征

本矿床金矿石中黄铁矿的形态特征突出表现在粒度上,可分为粗粒和细粒两大类。粗粒黄铁矿(Py<sub>c</sub>),粒径一般为0.3—2.8毫米,少数达3—5毫米。晶形以立方体居多,也有少量呈五角十二面体或不规则形状的。含金3.83—13.01克/吨。细粒黄铁矿(Py<sub>f</sub>),粒径多为0.008—0.08毫米,少数小于0.008毫米。晶形几乎全为五角十二面体{hk0}的细粒晶体(图版 I-1),极少数出现以五角十二面体为主、有立方体{100}、八面体{111}相聚而成的聚形晶体(极个别为细粒立方体晶体)。含金高达70.2—149.3克/吨。围岩中黄铁矿则为较粗粒的立方体或不规则形状,含金由极微(不能检出)到1.82克/吨(以0.1364到0.72克/吨之间者居多)。本矿床未见对金矿形成不利的黄铁矿四角三八面体{hkk}、菱形十二面体{110}、偏方复十二面体{hkl}为主的晶体。

#### (二) 黄铁矿的成分标型特征

本区黄铁矿六件单矿物样品(矿石和围岩中样品各三件)定量化学分析的平均结果

1) 李盛瑞(西北冶勘714队)、向德昉(昆明冶金研究所物质成分室);1980,《陕西省镇安县某金矿金、银赋存状态考查第一阶段工作报告》(内部资料)和向德昉(昆明冶金研究所物质成分室);1980《陕西省镇安县某金矿金、银赋存状态的研究》(内部资料)。

如表 1 所示:

陕西某金矿床黄铁矿的化学成分特征(%) 表 1

Fe	46.50	Au	0.002787	Tl	0.00392
S	52.36	Zn	0.0288	Mo	0.00219
As	0.83825	Sb	0.01609	Ga	0.00011
Ni	0.0813	Pb	0.0107	Ge	0.00011
Co	0.0444	Ag	0.00407	Se	0.00052
Cu	0.0255	V	0.00272		

(分析者: 昆明冶金研究所刘静安等)

### (三) 黄铁矿的晶胞参数特征

黄铁矿除了由于含镍(Ni)、钴(Co)可增大它的单位晶胞棱长 $\alpha_0$ 数值外, 含砷(As)也能增大 $\alpha_0$ 数值。本矿床含金较富的细粒黄铁矿(Py<sub>f</sub>) 5个样品 $\alpha_0$ 值实测为5.4175—5.4179 Å (纯黄铁矿 $\alpha_0$ 值为5.4170 Å), 反映含砷较高; 而含金较贫的粗粒黄铁矿(Py<sub>c</sub>) 3个样品实测为5.4171—5.4172 Å, 反映含砷较低<sup>1)</sup>。

### (四) 黄铁矿的物理性质标型特征

本矿床金矿石中细粒黄铁矿(Py<sub>f</sub>) 总体视觉光泽暗淡、显灰绿黄色, 而围岩中粗粒黄铁矿(Py<sub>c</sub>) 则光泽较强, 显较亮的浅黄色。以金属硅和SrTiO<sub>3</sub>作标样、用西德莱资厂产 MPV-1 型光电倍增管测微光度计测定的反射率数据见表 2:

陕西某金矿床黄铁矿的反射率特征 表 2

数据特性 样品	在单色光(波长单位为毫微米) 下测定的反射率 R(%)			
	480 (470)	546	589	644 (650)
细粒五角十二面体黄铁矿	44.27	50.72	50.25	51.24
粗粒立方体黄铁矿	48.23	53.70	54.44	55.37
细粒立方体黄铁矿	47.72	53.70	53.66	54.49
含砷 7% 的黄铁矿 <sup>(1)</sup>	—	46.00	—	—
纯黄铁矿 <sup>(2)</sup>	(46.00)	53.60	55.00	(55.90)

(测定者: 浙江省地质局实验室夏安宁)

从表 2 中 546 毫微米绿光的反射率资料分析, 含金低的粗粒立方体黄铁矿(Py<sub>c</sub>) 与纯黄铁矿的数据相近; 含金高的细粒五角十二面体黄铁矿(Py<sub>f</sub>) 反射率低于纯黄铁矿而向含砷高的黄铁矿方向靠近, 同样反映 Py<sub>f</sub> 含砷较高。有意义的是, 本矿区极个别细粒立方体黄铁矿的反射率数值接近 Py<sub>c</sub> 而不接近 Py<sub>f</sub>, 可能反映黄铁矿的立方体晶习不利于本类型金矿的形成。

当矿物受到温差变化, 在冷热端点产生热电势, 即为热电效应<sup>[6]</sup>。将矿物置于冷热电极之间, 热电效应就显示出来。本矿床黄铁矿的热电效应特征见表 3:

陕西某金矿床黄铁矿的热电效应特征 表 3

数据特征 样品(含金性)	热电系数 $\alpha$ (微伏/度)
特细粒黄铁矿 (含 Au 149.3 克/吨)	-190.4 (n 型电子导型, 冷端接地)
细粒中较粗的黄铁矿 (含 Au 70.2 克/吨)	-136.4 (n 型电子导型, 冷端接地)

(测定者: 成都地质学院邵伟)

从表 3 资料来看, 本矿床含金黄铁矿似存在有含金越多、热电系数越大(冷端负电动势越高)的趋势。

关于本矿床含金黄铁矿反射色颜色指数的特点, 如表 4 所示, 显示其较一般黄铁矿(不含金)具有视觉反射率 R<sub>vis</sub> 较低、反射色颜色浓度 Pe 较高的特点。

关于本矿床含金黄铁矿中是否有一部分金进入黄铁矿晶格成为不可见的杂质金问题, 作了黄铁矿的穆斯堡尔谱测定。如表 5 和图 1 所示, 本矿床含金黄铁矿(483-Py-II)和矿区外围不含金黄铁矿( $\epsilon$ -Py)的穆斯堡尔谱参数几乎完全相同。此证明金没有

1) 测定者: 赵良超、朱家永、陈荣秀

陕西某金矿床黄铁矿的反射色颜色指数特征

表 4

数 据 样 品	颜 色 指 数	视觉反射率 R <sub>vis</sub> (%)	色度坐标		主 波 长 λ <sub>d</sub> (nm)	浓 度 Pe
			X	Y		
本矿床含金黄铁矿(10-Py)*		52.6732	0.3649	0.3677	577	0.2000
国内一般黄铁矿 <sup>(a)</sup>		54.6000	0.3530	0.3580	575	0.1310
国外一般黄铁矿 <sup>(a)</sup>		53.9000	0.3520	0.3590	574	0.1320

(\* 测定者: 中国地质科学院矿床所邹星用MPV-1型测微光度计、玻片反射器、50×物镜、以WC为标样测定)

陕西某金矿床黄铁矿的穆斯堡尔谱参数

(由电子计算机算出)\* 表 5

数 据 (毫米/秒) 样 品	项 目	同质异	四级分裂	线 宽
		能位移 I. S.	Q. S.	G. A.
含金黄铁矿(483-Py-II)		0.32	0.62	0.35
不含金黄铁矿(ε-Py)		0.32	0.62	0.27

(\*测定者: 中国科学院地质研究所应育浦)

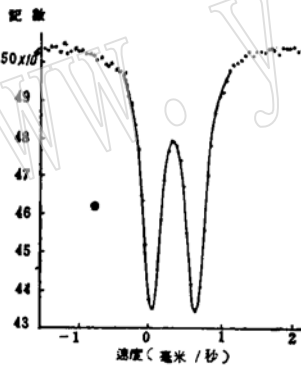


图 1 陕西某金矿床含金黄铁矿的穆斯堡尔谱

进入含金黄铁矿的晶格。

关于比重, 本矿床金矿石中细粒五角十二面体黄铁矿 (T3-29-Py) 实测为 4.85—4.86, 平均值为 4.855<sup>1)</sup>, 与金矿床中黄铁矿的比重标型特征 (比重值介于 4.50 到 4.90 之间) 符合<sup>(1)</sup>。

## 矿床成因等问题探讨

### (一) 矿床成因探讨

从以上黄铁矿标型特征材料结合文献资料<sup>(1-3)</sup>对比可以看出:

1. 本矿床矿石和围岩中黄铁矿平均含砷 0.83825%。其中, 矿石中三件黄铁矿样品含砷 0.5020%、1.18% 和 3.1813%, 平均高达 1.6211%, 与美国内华达州北部中区卡林金矿田内几个大型、特大型浸染型金矿床黄铁矿的标型特征 (一般含砷 2.25%) 相符。

2. 本矿床黄铁矿包裹体的爆裂法研究其形成温度上限为 260—280℃ (未经压力校正, 由西南冶金地质研究所岩矿室包裹体组测定)。与黄铁矿紧密共生之石英 (系与金矿化关系密切的硅化作用产物) 的均化温度为 160—234℃<sup>2)</sup>。此温度值 (未经压力校正) 可视为黄铁矿形成温度的下限。结合本矿床黄铁矿含锑 160.9 克/吨、铜 255 克/吨、锌 288 克/吨、铅 107 克/吨以及镓、锗各 1.1 克/吨可以推测黄铁矿形成可能属于中温热液范畴 (中温热液金矿床黄铁矿含锑 114 克/吨、铜 99.4 克/吨、锌 134 克/吨、铅 70 克/吨和镓、锗含量较为丰富)。

3. 本矿床黄铁矿含钴 444 克/吨、镍 813 克/吨、Co/Ni 值为 0.546、硒 5.2 克/吨, 又标示其不属于典型岩浆热液成因 (钴 60.6 克/吨、镍 22.6 克/吨、Co/Ni 值大于 1、硒 20—50 克/吨)。由于钴、硒含量都较低、Co/Ni 值远小于 5, 故其还不属于典型火山热液成

1) 测定者: 湖北地质局实验室刘俊林

2) 测定者: 湖北实验室周观庸等

因(钴大于1000克/吨、硒大于56克/吨、Co/Ni值远大于5)。还可由本矿床自然金的成色高达950以上,佐证矿床不属典型火山热液成因(该类型矿床中的自然金成色为657—750)。

4. 本矿床黄铁矿含钒27.2克/吨、钼21.9克/吨,表明其与沉积成因黄铁矿(含钒、钼等沉积岩围岩特征元素较富)有某种程度相似之处。

5. 本矿床黄铁矿含银40.7克/吨、镍813克/吨又表明其不属于典型的沉积成因(含银200—1542克/吨、镍大于3500克/吨)。

6. 本矿床黄铁矿的S/Se值为100692,刚好介于岩浆热液矿床(S/Se值为9000—13000)和沉积矿床(S/Se值为250000—500000)之间。

总之,从黄铁矿的标型特征的角度来考查,本矿床黄铁矿某些方面与岩浆热液矿床相近,但又不同于典型的岩浆热液成因黄铁矿;另外一些方面与沉积矿床相似,且又不同于典型的沉积成因黄铁矿。总体来看,它的特点介于岩浆热液矿床和沉积矿床之间,可能标示其系一种特殊的热液成因黄铁矿。

此外,还考虑到以下因素:

(1) 我们在金矿石中发现有与岩浆活动无直接成因联系的辰砂产出。其X光粉晶照相强谱线为3.35; 3.15; 2.85; 2.06; 1.978; 1.73; 1.672和1.30 Å<sup>1)</sup>。

(2) 从本矿床黄铁矿硫同位素组成特征 $\delta S^{34}$ 值为+6.1~+18.5‰(8件样品平均为+11.43‰)(详见表6)以及黄铜矿(10-Cp样品 $\delta S^{34}$ 值为+10.9‰)、砷黝铜矿(R-ten

陕西某金矿床黄铁矿的硫同位素组成特征

表 6

数据特征	样号	T <sub>3</sub> -29-Py	483-Py-I	483-Py-II	803-140-Py	803-69-Py	Δ-Py	Sh-Py	403-212-Py
$\delta S^{34}$ (‰)		+9.5	+12.4	+14.7	+8.9	+6.1	+6.5	+14.87	+18.5

(测定者: 中国地质科学院矿床所同位素地质实验室)

样品为+13.9‰、483-203-ten样品为+14.4‰)和重晶石(HIP20-Ba样品为+27.05‰、72线HIP上-Ba样品为24.62‰)硫同位素组成特征来看,它具有富集重硫、趋向离散,但在单个矿床内离散不特别大(本矿床为12.4‰)、不出现塔式分布、不同矿物之间硫同位素组成不平衡(平衡时则由黄铁矿→黄铜矿、砷黝铜矿 $\delta S^{34}$ 值依次顺序下降)的独特特点。这反映矿床硫同位素组成既与沉积矿床不同(但硫很可能来源于沉积地层),也与岩浆热液矿床不同,是一种主要成矿物质(金、铜、硫、汞等)来源于沉积岩围岩、与岩浆活动无关的特殊类型的热液矿床。

(3) 从石英、碳酸盐矿物、重晶石的包

裹体研究来看,上述三种重要造矿脉石矿物(系与金矿成矿作用有关之硅化、碳酸盐化、重晶石化作用的产物)含有大量液体(一相)包裹体以及少量(气)液相包裹体。未见子矿物(反映矿液盐度低、具大气水特征),包裹体个体小(一般小于5微米)、气液比低(多为2—8%)、形状较不规则。说明其具有与岩浆热液矿床(一般含子矿物、包裹体个体较大、形状较规则、气液比较高)不同的特点。石英和重晶石的爆裂测温样品研究表明其热裂效应明显,具有突出的单峰正态曲线(峰形宽、峰线陡直)的特点,此与典

1) 测定者: 中国地质科学院宜昌地质矿产研究所 彭长琪

型沉积矿床(热裂效应极弱、爆裂曲线无清晰形态、难以判读拐点爆裂温度值)不同。

(4) 本矿床矿石除发育凝胶再结晶变晶结构以外,很特征的是广泛发育由填隙交代作用形成的各种填隙结构。填隙现象十分明显(交代矿物的形态受各种裂隙、晶隙形状的控制——图版 I—7.8),但溶蚀交代现象却不显著和不普遍(很少见到各种典型的交代结构,且锯齿状溶蚀边缘也不甚发育),反映矿液化学“活性”并不甚大、交代作用不甚强烈。此与一般岩浆热液交代矿床的矿石结构特点有明显的差别。

综上所述,可以认为本矿床可能属于成矿特点介于内生岩浆热液成矿作用和外生沉积成矿作用之间的“渗流热卤水热液矿床”。即在地下形成的富含氯、钠、钡、砷、硫等高纯度氯化物热卤水( $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ 值及 $\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^-$ 值均小于0.01、总矿化度达20—30%、水温44—370℃)在热能等驱动之下长期由高压区向压力释放区运移,渗流过程中溶滤围岩中的Au、Cu、Hg等重金属使之长距离迁

移,在断裂带内由于压力降低、与浅地层水混合(可使矿液盐度降低)以及和围岩中碳酸盐矿物、含碳矿物发生化学反应(交换、交代反应——围岩中减少碳酸盐等而增加石英和黄铁矿)等,导致金、铜、汞等重金属在构造角砾岩、蚀变大理岩等有利岩石中沉淀,重金属经过胶体阶段富集成矿。在热液沸腾时可变为富含 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 的热水,下降时淋滤下伏岩石中的碳酸盐矿物重新析出形成晚期的方解石,和钡结合形成在矿床中普遍分布的重晶石。因之,大量钙、硅、碳的迁移作用参与了成矿过程。

## (二) 找矿方向、远景评价及找矿标志讨论

上面阐述了本矿床“渗流热卤水成因”黄铁矿(Py-A)的标型特征,现将本矿床及外围矿点另两个成因系列、即“岩浆热液成因”黄铁矿(Py-B)和“沉积-热卤水迭加复式成因”黄铁矿(Py-C)的标型特征综合对比列表(表7)如下:

本矿床 Py-B 型黄铁矿标本采自矿床西

三种不同成因系列黄铁矿的标型特征

表 7

数 据 特 性 黄铁矿类型	化 学 成 分 特 点 (克/吨)					$\delta S^{34}$ (%)
	As	Co	Ni	Cu	Au	
Py-A 型 (T <sub>8-29</sub> -Py等)	8382.5	444	813	255	27.87	$\frac{+6.1 \sim +18.5}{+11.43}$ *
Py-B 型 (Di-Py)	3115	3651	1022	6355	1.82	未 测
Py-C 型 (E-Py)	431	157	496	未 测	~0	+25.1

\* 横线以上为  $\delta S^{34}$  值的范围,横线以下为平均值。

南侧之印支期辉绿岩中(钓鱼沟脑北坡12号槽之Di-Py样品),其主要标型特征为钴、镍含量都很高(都高于1000克/吨),Co/Ni值大于1(为3.57),铜的含量特高(6355克/吨),它与Py-A、Py-C型明显不同而与岩浆作用有关之黄铁矿的标型特征相符<sup>[1]</sup>。在与辉绿岩接触之构造角砾岩中黄铁矿( $\Delta$ -Py)

含铜也高达2174克/吨,表明属于Py-A型的 $\Delta$ -Py受到岩浆热液的影响。反过来也可以帮助推测和论证本矿床“热卤水成因”黄铁矿(Py-A)与岩浆活动没有成因联系。由Py-B型黄铁矿含金仅1.82克/吨,可说明本矿床辉绿岩分布的水岔沟脑、钓鱼沟脑一带金矿化远景不佳。

在矿床附近的陈家沟,于下寒武系底部炭质千枚岩石煤层中,在构造破碎带中有铜的矿化。过去曾采过15件样品,有1件含金达5.4克/吨。但我们采样( $\epsilon$ -Py)研究发现黄铁矿 $\delta S^{34}$ 值特高(+25.1%),具有沉积硫酸盐硫源的特征。又由黄铁矿( $\epsilon$ -Py)爆裂测温研究结果表明,其整个爆裂效应均不强烈、拐点爆裂温度无法确定,也可指示其沉积成因。但其起爆温度甚高(240—260℃),似表示其沉积后受到“热卤水热液”的迭加改造作用(若系岩浆热液迭加改造,则其热裂效应与典型岩浆热液矿床无异)。由其Ni/Co值(3.16)大于Py-A(1.83)也可以说明其不同于“单纯热卤水成因”(Py-A)而系“沉积-热卤水迭加复式成因”(Py-C)。

关于陈家沟矿化点找金远景评价问题,据昆明冶金研究所化验, $\epsilon$ -Py(Py-C)未检出金。估计微量金可能是由有机质(碳质物含金0.29克/吨)吸附作用造成。沿断层破碎带发育的浸染状黄铁矿不含金和含砷甚少,似表明此矿化点找到卡林型金矿的远景也欠佳(一般黄铁矿含金几十克/吨可望找到独立金矿床、几克/吨为伴生金矿床、小于0.1克/吨则找金矿的远景不佳)。

同样,对区域范围内的马鹿坪产于方柱石大理岩中锑矿点金矿化远景问题,由于属Py-A型之 $M\alpha$ -Py-2黄铁矿含金仅0.275克/吨,砷含量也不高(716克/吨),加上该矿点辉锑矿( $M\alpha$ -1-Sb样品)含金仅1.716克/吨,也表明该锑矿点的金不具工业意义(金

矿床中辉锑矿平均含金高达110克/吨、最低不低于4克/吨,而铅、锌、汞、锑矿床中的辉锑矿平均只含金0.96克/吨、最高不超过3.4克/吨)<sup>[7]</sup>。

关于铜矿化和金矿化的关系,这涉及1号金矿体和10号铜矿体的关系问题。我们认为铜矿化和金矿化一样都属于“渗流热卤水”热液成因的矿化。金矿化生成在前、铜矿化生成在后,铜矿化迭加于金矿化之上。有些地段铜矿化迭加作用极为微弱(如1号金矿体、T<sub>3</sub>平洞),有些地段铜矿化迭加作用十分强烈(如10号矿体、含铜1—30%、平均13%),有些地段介于中间状态(如483号钻孔)。这三种典型地段的黄铁矿和砷黝铜矿都同属“热卤水”成因。上述论点的论据如表8、表9所示,这些地段的含金黄铁矿和砷黝铜矿在反射率、晶胞棱长、硫同位素组成等方面的特性以及前面谈过的黄铁矿形态、成分方面的标型特征基本相同。这表明三个不同地段的含金黄铁矿和主要铜矿石矿物砷黝铜矿是同一种成矿作用的产物。

关于渗流热卤水成因黄铁矿(Py-A)含金性的评价问题,与黄铁矿本身的特性紧密有关。前已述及,本矿床金除了极少数为较粗大的单体金以外,绝大多数与黄铁矿连生。有意义的是,自然金往往为环绕细粒黄铁矿凝胶环带分布的超显微包体,这表明自然金的形成条件与细粒黄铁矿相近,因而生成“含金黄铁矿”。从表10和图1可以看出,富金黄铁矿的含砷量为贫金黄铁矿的近三十

1号矿体、483孔、10号矿体黄铁矿特征对比表

表 8

数 据 特 性 样品位置	单色光(波长以毫微米为单位)下的反射率R(%)				$\alpha_0(\text{\AA})$	$\delta S^{34}(\%)$
	480	546	589	644		
1号矿体(T <sub>3</sub> -29-Py)	44.27	50.72	50.25	51.24	5.4176	+9.5
483孔(483-203-2)	45.75	50.68	52.98	53.15	5.4179	+14.7
10号矿体(10-Py-ten-B)	46.69	51.76	53.54	55.55	—	—

483孔、10号矿体砷黧铜矿特征对比表

表 9

数 据 特 征 样品位置	单色光 (波长以毫微米为单位) 下的反射率 R (%)				$\alpha_0$ (Å)	$\delta S^{34}$ (%)
	480	546	589	644		
483孔(483-203-ten)	29.69	29.78	28.17	26.25	10.2240	+14.4
10号矿体(10-ten)*	31.14	30.53	29.46	27.87	10.2255	+13.9
10号矿体(T <sub>1</sub> -FO <sub>2</sub> -ten)	31.10	29.82	28.97	27.42	10.2245	—

\* 爆裂测温热裂效应明显, 具突出的峰形特征。

不同含金性之黄铁矿的标型特征

表 10

数 据 特 性 黄铁矿类型	化学成分特点 (克/吨)				晶胞棱长 $\alpha_0$ (Å)*	红外吸收光谱特征
	Au	As	Co	Ni		
富金黄铁矿(Py <sub>r</sub> -A)	55.4	16211	643	1208	5.4175—5.4179	远红外光吸收较强, 有四个吸收峰, 特征峰位于417cm <sup>-1</sup> 。
贫金黄铁矿(Py <sub>o</sub> -A)	0.332	554	245	418	5.4171—5.4172	远红外光吸收较弱, 只有二到三个吸收峰, 特征峰位于428、423、418cm <sup>-1</sup> 。

\* 黄铁矿的晶胞棱长 $\alpha_0$ 值主要系吉林地质研究所赵良超同志用日本理学株式会社产2038型衍射仪测定的。以硅粉作内标, 采用固定时间法(FT)测黄铁矿的(311)2 $\theta$ 值精度达到0.002°,  $\alpha_0$ 值精度达到0.0003Å。

倍(钴、镍也为两倍多), 由此导致单位晶胞棱长 $\alpha_0$ 值前者比后者大0.0003—0.0008Å。相对应红外光的吸收性能富金黄铁矿较强(可显示280、293、349、417cm<sup>-1</sup>四个吸收峰并特征峰位于417cm<sup>-1</sup>位置), 贫金黄铁矿较弱(不含金的Py-A型黄铁矿只显353和428cm<sup>-1</sup>两个吸收峰, 特征峰位于428cm<sup>-1</sup>位置; 含金0.275克/吨的显297、351、423cm<sup>-1</sup>三个吸收峰, 特征峰位于423cm<sup>-1</sup>位置; 含金1.085克/吨的热卤水成因黄铁矿也只显293、349、418cm<sup>-1</sup>三个吸收峰, 特征峰位于418cm<sup>-1</sup>位置D<sup>1)</sup>)。再由表2、表3等实际资料得知, 热卤水成因富金黄铁矿粒度较细, 多为五角十二面体晶习, 光泽暗淡、显灰绿色、颜色浓度较高、反射率较低、比纯黄铁矿低3—4%左右)、热电系数负值较高; 热卤水成因贫金黄铁矿粒度较粗, 多为立方体晶习, 光泽较强、显浅黄色、颜色浓度较低、反射率较高(与纯黄铁矿相近)、热电系

数负值较低。以上即为“卡林型”金矿床黄铁矿含金性的评价标志。由于富金黄铁矿含砷和矿石中有辰砂产出, 因而金矿带中有砷和汞的异常, 这对化探找矿方法具有重要意义。

十分明显, 我国陕西产在碳酸盐沉积岩中的浸染型金矿床主要受构造、岩性的控制, 和岩浆活动可能无直接的成因联系, 矿床地质特征与美国卡林型金矿床相似。它无论是在矿床成因基础理论研究方面还是在地质找矿勘探实际生产工作方面都具有相当重要的意义。作为我国刚刚发现的一种具有开拓性潜在远景的新类型金矿床值得有关方面高度重视, 应组织力量在陕西、湖南(石碛)等具有类似成矿地质条件和找矿前提的地区大力进行普查找矿评价工作。可以认为, 光泽暗淡、灰绿黄色、高颜色浓度、低反射率、强红外吸收、较大晶胞参数、热电系数为高

1) 测定者: 中国科学院地质研究所韩秀伶、李幼琴



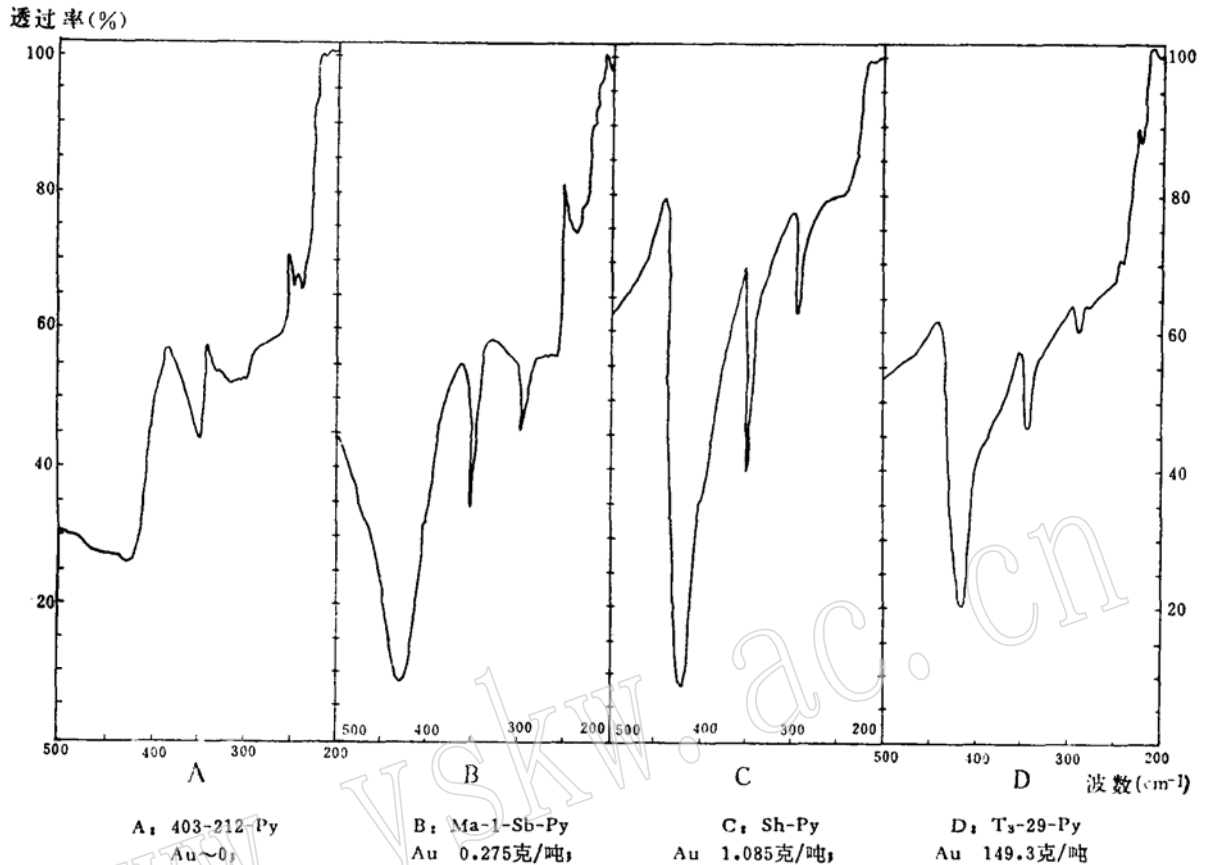


图2 不同含金性之黄铁矿的红外吸收光谱曲线图

负值、富集重硫同位素的细粒五角十二面体含砷黄铁矿是寻找“卡林型”(沉积岩中浸染型)金矿床的重要矿物学标志之一。

在撰写本文及工作过程中得到我院朱上庆教授的指导以及薛成秀、左大华、杨中漪、祝旭波等同志的帮助，特别是还得到吉林冶勘公司研究所朱奉三副所长、中国人民解放军基建工程兵五一四团周先民工程师、李盛琨工程师、昆明冶金研究所向德防工程师等的大力支持和帮助，谨向朱上庆老师以及其他同志致以衷心的感谢。同时，还向承担各项测试任务的单位和同志们深表谢忱。

### 参 考 文 献

〔1〕 徐国凤，邵洁涟：1980，黄铁矿的标型特

征及其实际意义。《地质论评》第26卷第6期541-546页。

〔2〕 Wells J. D., Mullens T. E.: 1973, Gold-bearing arsenian pyrite determined by microprobe analysis, Cortez and Carlin gold mines, Nevada. *Econ. Geol.* Vol. 68, №2.

〔3〕 Wells J. D., Stoiser L. R., Elliott J. E.: 1969, *Geology and geochemistry of the Cortez gold deposit, Nevada*, *Econ. Geol.* Vol. 64, №5.

〔4〕 Шадлун Т. Н., Тропева Н. В., Велчев В.: 1975, Мышьяковистые пирит и бравойт из месторождения Семдочисленца. «Изоморфизм в минералах» 113-122.

〔5〕 Uytendogaardt W. 1971, *Tables for microscopic identification of ore minerals*. Elsevier publishing company, Amsterdam, London, New York.

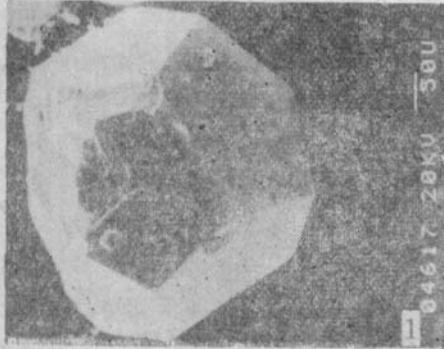
〔6〕 李家驹：1973，矿物的热电效应测试。《地质科学》1973年第4期317-326页。

〔7〕 Иванов В. С., и др.: 1973, Средние содержания элементов-примесей в минералах. «Недра».

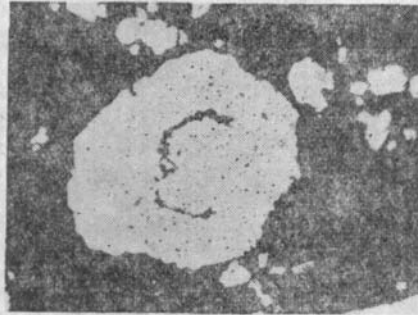
〔8〕 陈正、陈殿芬、邹星：1979，金属矿物颜色指数研究。地质出版社。

## 《陕西某“卡林型”金矿床的黄铁矿研究》

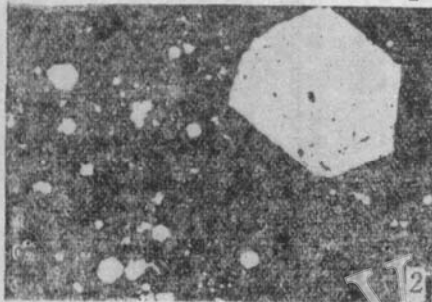
## 照片及说明



1



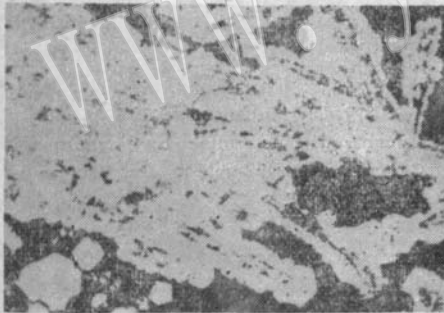
5



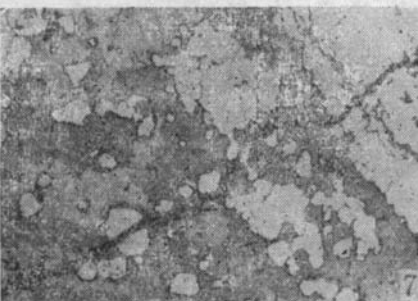
2



6



3



7



4



8

## 图版 I

1—含金黄铁矿的  
五角十二面体晶体。扫描  
电镜二次电子图象。照  
片宽度为0.456毫米。

2—不等粒变晶结  
构。黄铁矿(白色)变  
晶粒径大小差别悬殊。  
粗粒变晶中残留有原凝  
胶沉淀物的曲面和凝缩  
孔隙。照片宽度为1.7  
毫米。

3—在由细粒黄铁矿  
变晶(浅灰色)组成的  
“放射体”中, 残留有  
凝胶沉淀物的伸长状环  
带和孔隙。照片宽度为  
0.85毫米。

4—黄铁矿晶粒内部  
凝胶环带结构。黄铁矿  
(白色)晶粒内部凝胶  
环带的孔隙被褐铁矿等  
(灰黑色)交代。环带  
明显呈波曲状。照片宽  
度为0.34毫米。

5—不规则形状粗粒  
黄铁矿中残留有“干裂  
纹”(平行原来凝胶沉淀  
物的球面)、“弯曲环带  
和“星状孔隙”。照片宽  
度为0.85毫米。

6—晶粒内部凝胶环  
带结构。黄铁矿(浅灰  
白色)晶粒内部残留有  
原凝胶沉淀物特有的弯  
曲同心环带。照片宽度  
为0.85毫米。

7—脉状填隙结构。  
晚期方解石(黑色)细  
脉充填交代 砷黝铜矿  
(深灰色)并切穿黄铁  
矿(浅灰白色)晶体,  
砷黝铜矿细脉沿黄铁矿  
聚晶之间的细小裂隙充  
填交代, 交代现象不显  
著。灰色矿物为黄铜矿。  
照片宽度0.85毫米。

8—黄铁矿与铁矿聚  
晶(灰白色)显示多中  
心同心环带(照片右上  
部)。黄铁矿变晶晶粒间  
隙被晚期矿物(黑灰色)  
填隙交代, 交代现象不  
显著(仍保持黄铁矿变  
晶晶面轮廓)。照片宽  
度为0.85毫米。

**On the Study of Pyrite from a Certain “Carlin Type”  
Gold Deposit in Shanxi, China**

Shao Jielian, Xu Guofeng, Feng Shuzhuang,  
Lu Ruiying, Mei Jianming

**Abstract**

The mineralogical study of the gold bearing pyrite from a certain “Carlin type” gold deposit in Shanxi, China, including the morphological characteristics, chemical composition (the main composition and trace elements), crystal structure and the physical properties of pyrite is relevant to the genesis information on the deposit type and the conditions of its genesis and is of typomorphic significance. The data of typomorphic peculiarities of gold bearing pyrite, which include the infrared spectra, coefficient of thermoelectricity, reflectance, reflection color indices, unit cell extent, inclusion explosion temperature and sulfur isotope, are conducive to understand the “Transmissive hot brine” genesis of gold deposit. The outcome of mineralogical study of pyrite from Shanxi provides prospecting marks of the impregnation type gold deposit in sedimentary rocks.