

文章编号:1004-4116(2014)02-0033-0008

早子沟金矿黄铁矿标型特征及其地质意义

李康宁,金鼎国,蔡 龙,逯文辉,马 原,吕菊蕊

(甘肃省地矿局第三地勘院,甘肃 兰州 730050)

摘 要:早子沟金矿位于西秦岭同仁—夏河—岷县金成矿带,矿区赋矿地层为三叠纪中统古浪堤组一段细碎屑岩,中性岩脉大量发育。矿体产于地层、脉岩及其接触带中,严格受断裂构造控制。本文通过对不同期次、不同矿石类型的黄铁矿进行分布、形态、矿物组合、元素组成以及硫同位素的研究,发现不同矿石类型的黄铁矿形成于不同的深度和地质环境;主成矿期黄铁矿以五角十二面体为主,常具碎裂结构;严重亏铁亏硫, $\omega(\text{Au})/\omega(\text{Ag})=5.54$, $\omega(\text{Co})/\omega(\text{Ni})=4.2$,类似于卡林型金矿特征,又兼有岩浆型矿床的特征;矿体中黄铁矿硫同位素 $\delta^{34}\text{S}\text{‰}$ 变化范围 $-7.43\text{‰}\sim-8.62\text{‰}$,与围岩黄铁矿硫同位素组成接近,说明硫主要来源于沉积地层,同时由于构造活动和岩浆侵入作用对硫同位素分馏产生了一定影响,使重硫有所富集。

关键词:早子沟;金矿;黄铁矿;成分标型;硫同位素

中图分类号:P571

文献标识码:A

黄铁矿($\text{Fe}[\text{S}_2]$)是地壳中最重要和分布最广的硫化矿物之一,绝大多数原生金矿床与黄铁矿密切相关,它既可成为金的伴生矿物,也可成为金的载体。金矿床中黄铁矿标型特征能对矿床形成条件及矿化有明显指示作用,成为重要的找矿标志。

在金矿床中,黄铁矿是重要的含金矿物,其形态标型特征是最为直观且便于研究的标型特征之一,也是一个有效的矿物学找矿标志。研究黄铁矿晶体形态标型特征不仅具有成因矿物学及找矿矿物学意义,更有助于金矿找矿勘查的生产实际。

本文以早子沟金矿(又称枣子沟金矿)中最为发育的载金矿物—黄铁矿为主要研究对象,在野外观察和室内鉴定的基础上,测定并获得了该矿床中不同类型矿石中黄铁矿的元素和硫同位素组成数据,讨论了黄铁矿中元素组成、赋存状态、成矿物质来源及其可能成因,为探讨矿床找矿标志、成矿流体特征、矿床类型等方面提供新信息。

1 矿区地质概况

早子沟金矿为近年甘南地区勘查评价的特大型金矿,大地构造位置处于西秦岭褶皱带北部断褶带与中部裂陷槽之间的过渡部位,属于同仁—夏河—岷县金成矿带的一部分。矿床位于新堡—力士山复背斜南翼之合作—岷县区域断裂带上(图1)。

1.1 矿区地质特征

矿区赋矿地层为中三叠世古浪堤组一段,总体走向近SN,为一套由深灰—灰绿色硅质板岩、灰褐—灰绿色薄—厚层岩屑长石细砂岩夹粉砂质板岩、泥质板岩组成的细碎屑岩建造。岩石具有非常发育的条纹构造,条纹由粉砂质和钙质相对聚集形成,呈断续状平行分布。条带状硅质板岩、泥质板岩及粉砂质板岩,是矿区主要赋矿岩石。

区内总体为一单斜构造,呈NS向展布,略具反“S”型扰动现象。地层受岩脉侵入和断层影响,层间小褶皱十分发育。矿区小断裂十分密集,大致可分为EW、NW、NS、NNE、NE向5组断裂,规模以NE向、NS向最大,NW向次之,形成时间以NW向最早,NS向居

收稿日期:2014-03-07

基金项目:本文由甘肃省科技计划资助,项目编号 1306FGA011

作者简介:李康宁(1986~),男,助理工程师,2010年毕业于中国地质大学(北京),从事金矿勘查工作。E-mail:379607468@qq.com

金矿体25个,其中主矿体2个。主矿体走向300°~320°,倾向50°~70°,平均倾角43°,呈似层状断续产出,矿体厚2.66~2.79m,品位 2.18×10^{-6} ~ 3.04×10^{-6} 。该带为区内最小的矿带。

NS向矿带:产有金矿体50个,其中主矿体2个(以Au30、Au31),矿体走向350°~10°,倾向245°~80°,倾角58°~70°,呈似层状、脉状,矿体厚1.65~7.28m,品位 1.58×10^{-6} ~ 3.34×10^{-6} 。该带相对于NE向和NW向矿带,其矿化较弱,品位较低。

2 黄铁矿形态标型

2.1 黄铁矿单晶形态

早子沟金矿中的黄铁矿为蚀变贯通矿物,是最主要的载金矿物之一,在矿石中分布普遍。来自选冶试验的数据显示,在早子沟金矿区,黄铁矿占矿物相对含量的1.32%,粒度以大于0.1mm者为主。约占49.62%(表1)。单形晶体常呈立方体(a)、五角十二

面体(e)和八面体(o),聚形晶体可以分为3种情况:①以立方体晶面发育为主的聚形,常见有立方体和五角十二面体聚形(ae)、立方体、五角十二面体和八面体聚形(aeo)、立方体和八面体聚形(ao);②五角十二面体晶面发育的聚形,经常出现是五角十二面体和八面体聚形(eo)、五角十二面体和立方体聚形(ea);③八面体晶面发育的聚形,常见有八面体和五角十二面体聚形(oe)、八面体和立方体聚形(oa)、八面体、五角十二面体和立方体聚形(oea)等。而早子沟金矿黄铁矿以单形居多,自形程度高,但也常见他形。

前苏联学者叶夫济科娃^[4]在总结前人资料后,提出了金矿床中黄铁矿结晶习性的演化系列为(a)-(a)+(e)-(e)-(e)+(o)-(o)。这些演化序列反映了早期成矿热液硫逸度较低,易形成比表面能小的(a)晶体;之后,随着成矿热液硫逸度逐渐增大,则形成一些比表面能大的(e)、(o)以及由其组成的复杂聚形晶。

表1 黄铁矿颗粒大小统计表
Tabel 1 Statistics of pyrite particle size

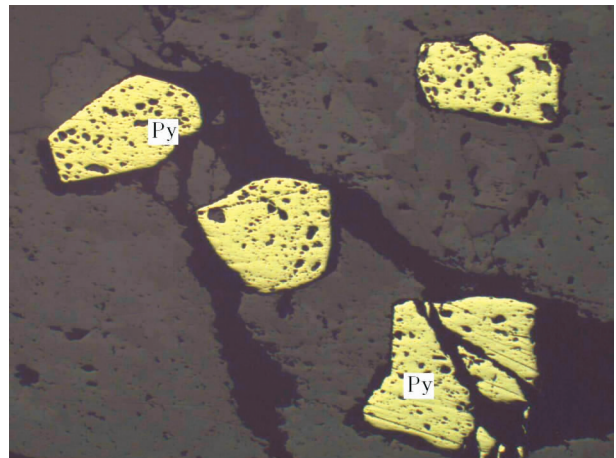
粒 级	粗 粒		中 粒		细 粒		微细粒	合 计
(mm)	>0.3	0.3~0.1	0.1~0.074	0.074~0.053	0.053~0.037	0.037~0.01	<0.01	(%)
含量(%)	31.04	18.31	12.58	13.27	10.87	7.48	6.45	100

早子沟金矿床黄铁矿的晶体形态演化顺序与此大体相当,只是在其演化过程中,出现一些高晶面指数的五角十二面体和一些复杂的聚形。

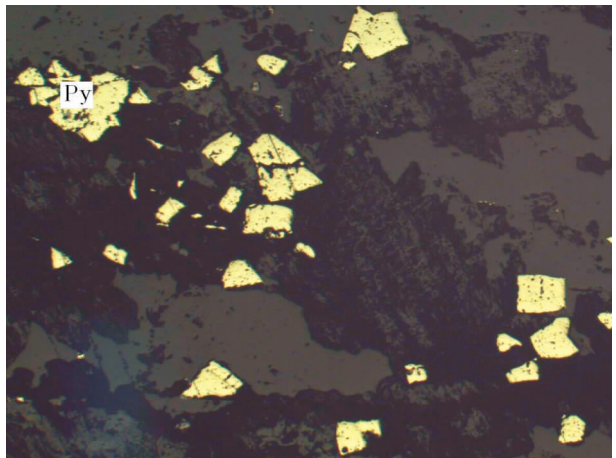
2.2 黄铁矿分布形态、形成期次及其含金性

依据金矿成矿阶段的划分,早子沟金矿的黄铁矿也可分为3期:①早期黄铁矿呈浸染状分布于围岩

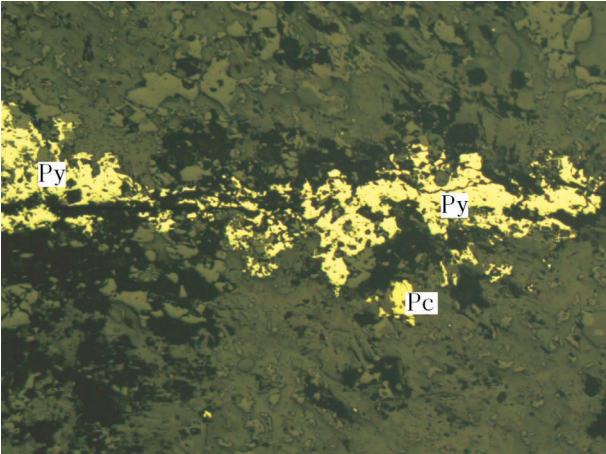
中,与早期硅化相伴,含金较低,自然金呈次显微状赋存在黄铁矿的晶隙或晶格中,黄铁矿晶体自形程度高(图2-a),以立方体为主,粒度较大;②中期黄铁矿主要呈细网脉状、细脉状、细脉浸染状(图2-b、c),黄铁矿晶体多为五角十二面体和八面体,立方体黄铁矿组成聚晶,自形程度高,但受后期构造作用影响,强烈破碎,形成碎裂结构(图2-d),这一阶段的黄



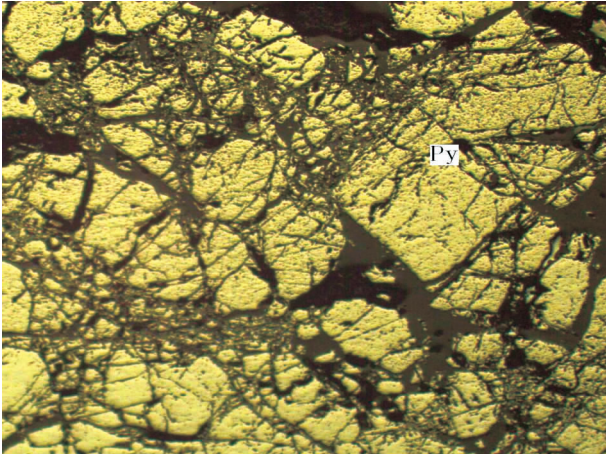
a 自形粒状黄铁矿(Py)的规则多边形切面 单偏光 10×10



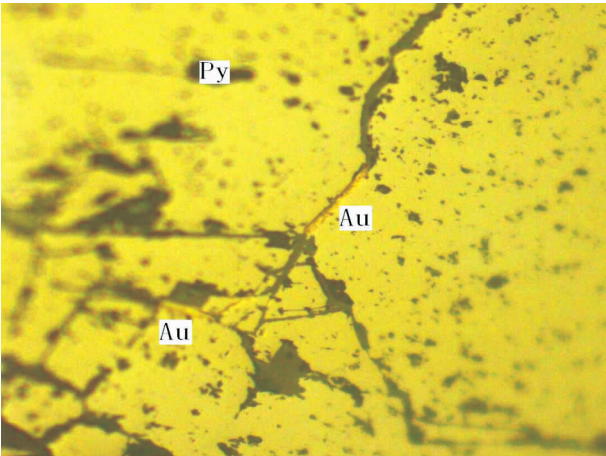
b 浸染状分布的自形一半自形粒状黄铁矿(Py) 单偏光 10×10



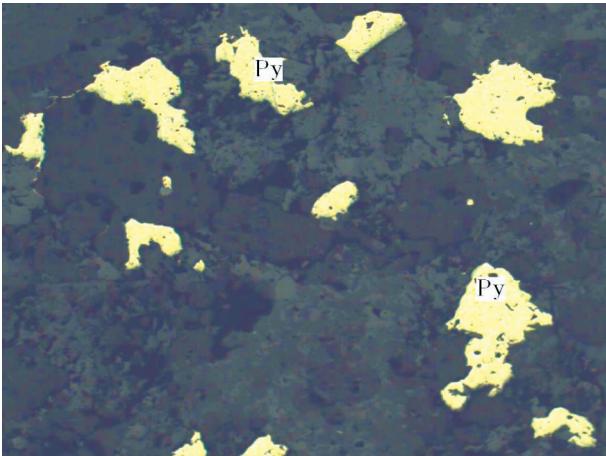
c 细脉状的黄铁矿(Py)集合体,偶见伴生黄铜矿(Pc) 单偏光 10×5



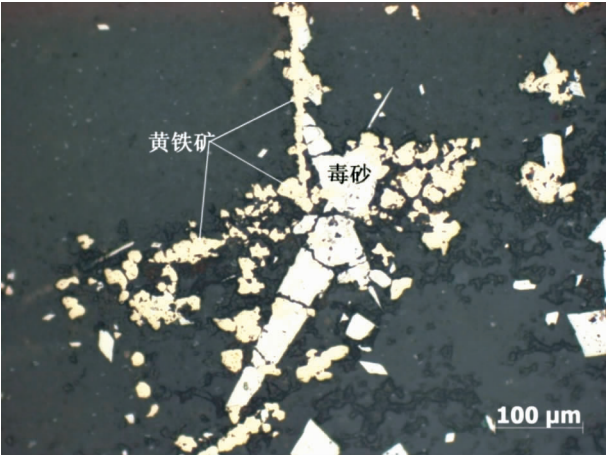
d 黄铁矿(Py)晶体受脆性应力而破碎细粒化单偏光 10×10



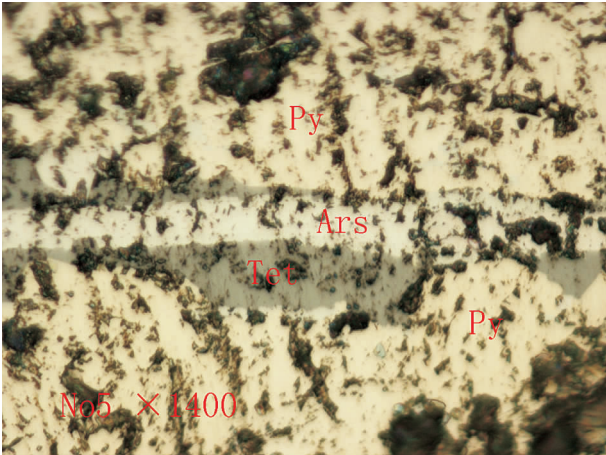
e 分布在黄铁矿(Py)晶体裂隙中的裂隙金(Au) 单偏光 10×25



f 浸染状分布的半自形-它形粒状黄铁矿(Py) 单偏光 10×10



g 黄铁矿呈它形细粒状、毒砂呈碎裂状产出



h 黝铜矿(Tet)与毒砂(Ars)连晶嵌布于黄铁矿(Py)裂隙

图2 黄铁矿晶形、分布形态与矿物组合特征

Fig.2 Crystal form, distribution patterns of pyrites and mineral assemblages

铁矿含金较高,以包裹金、裂隙金(图2-e)为主,为主成矿阶段;③晚期黄铁矿化多以微细脉状为主,半自形—它形(图2-f),粒度较小(<0.1mm),常与毒砂、石英、辉锑矿等共生(表2,图2-g、h)。

3 黄铁矿成分成因标型

曹晓峰等人采用电子探针JXA-8100对赋矿沉

表2 早子沟金矿ZK2964钻孔黄铁矿形态标型、伴生矿物及其含金性

Table 2 Morphological typomorphism of pyrites , associated minerals and gold potentiality in ZK2964 drilling hole						
位置(m)	赋存岩性	分布特征	大小(mm)	晶型	伴生矿物	品位(10 ⁻⁶)
250	板岩	星点状	>1	立方体	石英、方解石	<0.10
360	闪长玢岩	星散状	<0.1	不可见	毒砂、绢云母	1.15
410	硅质板岩	浸染状	0.1~1	五角十二面体	毒砂、石英	2.03
485	闪长玢岩	细脉浸染状	0.1~1	碎裂状	石英、毒砂	2.35
613	砂岩	星散状	<1	立方体及各种聚型	毒砂、辉锑矿、石英	0.75

积岩及闪长岩中的黄铁矿进行元素成分测试，矿区黄铁矿与理论值相比，总体具缺铁富砷的特征，并且含有少量的As、S、Fe、Ag、Co、Sb、Ni、Au、Cu、Hg、Zn、Pb、W等微量元素，这些元素的存在，除受相似相容物质作用原理的影响及与黄铁矿的非化学配比引起的晶格缺陷有关外，还与其形成的地质和物理化学环境有关，因此，黄铁矿的化学成分具有很重要的成因标型意义，下面以黄铁矿的 $\omega(\text{S})/\omega(\text{Fe})$ 、 $\omega(\text{Au})/\omega(\text{Ag})$ 、 $\omega(\text{Co})/\omega(\text{Ni})$ 、 $\omega(\text{Fe})/\omega(\text{S}+\text{As})$ 等比值特征来探讨其对矿床类型、矿床成因、成矿环境等的标型意义。

3.1 主成分标型特征

标准黄铁矿S/Fe比值近似为2，而含金黄铁矿中

S、Fe含量与标准略有差异。一般将S/Fe比值小于2的称为硫亏型，黄铁矿亏硫是As³⁻、S³⁻等离子与S²⁻类质同象代替的结果^[6]，并且在结构上出现空位，增加了构造缺陷程度，更有利于金的富集。所以亏硫可以作为黄铁矿富金的标志之一。

严育通^[7、8]等通过大量的文献研究，统计出不同成因类型金矿的主微量元素及其参数的特征(表3)，可以看出主量元素Fe和S的整体特征：火山热液型、次火山热液型、岩浆热液型和卡林型都具有亏铁亏硫的特点，并且卡林型属于重度亏铁亏硫，而变质热液型具有富铁和亏硫的特点（Fe为46.82%，S为52.69%）。

早子沟金矿体中的黄铁矿（Fe为45.339%，S为51.623%）与理论值（Fe为46.55%，S为53.45%）相比，

表3 各成因类型金矿黄铁矿主量元素平均质量分数及其 $\omega(\text{Co})/\omega(\text{Ni})$ 、 $\omega(\text{Au})/\omega(\text{Ag})$ 特征

Table 3 Average mass fraction of major elements, $\omega(\text{Co})/\omega(\text{Ni})$ and $\omega(\text{Au})/\omega(\text{Ag})$ of different genetic type pyrites						
矿床类型	$\omega(\text{Fe})$	$\omega(\text{S})$	S/Fe	$\omega(\text{Co})/\omega(\text{Ni})$	$\omega(\text{Au})/\omega(\text{Ag})$	数据来源
火山热液型	46.24	52.85	2.000	2.05	0.81	严育通等(2012) ^[8]
次火山热液型	46.54	52.57	1.977	/	/	
岩浆热液型	46.35	52.74	1.991	8.16	11.5	
变质热液型	46.82	52.69	1.969	0.6	80.19	
卡林型	45.09	51.25	1.989	1.01	6.81	
早子沟金矿	45.339	51.63	1.993	4.2	5.54	曹晓峰等(2012) ^[5]

属于严重亏铁亏硫，与卡林型金矿黄铁矿的主成分组成极为相似。

3.2 $\omega(\text{Au})/\omega(\text{Ag})$ 比值

金矿床中黄铁矿的 $\omega(\text{Au})/\omega(\text{Ag})$ 比值可以反映矿床成因方面的信息。通常，变质热液型金矿床黄铁矿 $\omega(\text{Au})/\omega(\text{Ag})>0.5$ ，火山热液型金矿床黄铁矿 $\omega(\text{Au})/\omega(\text{Ag})<0.5$ ，沉积—变质热卤水成因金矿床黄铁矿的 $\omega(\text{Au})/\omega(\text{Ag})$ 值最低，为0.1~0.3。严育通等人的统计也基本遵从变质热液型>岩浆热液型>卡林型>火山热液型这个规律(表3)，且岩浆热液型与卡林型的 $\omega(\text{Au})/\omega(\text{Ag})$ 比值接近，反映二者在成

因上的某种联系。

早子沟金矿黄铁矿中Au为0.003%~0.478%，平均0.218%，Ag为0.001~0.044%，平均0.039%， $\omega(\text{Au})/\omega(\text{Ag})$ 比值平均为5.54，远大于0.5，与卡林型金矿($\omega(\text{Au})/\omega(\text{Ag})$ 热液成因)相似。

3.3 $\omega(\text{Co})/\omega(\text{Ni})$ 比值

黄铁矿中的 $\omega(\text{Co})/\omega(\text{Ni})$ 值具有指示矿床成因和成矿作用的标型意义，岩浆热液成因的黄铁矿 $\omega(\text{Co})/\omega(\text{Ni})$ 一般为1~5，个别更高；沉积成因的黄铁矿 $\omega(\text{Co})/\omega(\text{Ni})$ 一般<1，而变质热液成因的黄铁矿，由于其地球化学背景和物理化学条件更接近于沉积

成因黄铁矿,故其 $\omega(\text{Co})/\omega(\text{Ni})$ 一般也 $<1^{[1]}$ 。严育通等详细统计了 $\omega(\text{Co})/\omega(\text{Ni})$ 比值与矿床类型的关系(表3)。

早子沟金矿区黄铁矿的 $\omega(\text{Co})/\omega(\text{Ni})$ 值除一个点为0.71外,其余各点均大于1,平均值4.2(曹晓峰等,2012),介于1.01和8.16之间,这反映了黄铁矿的岩浆热液成因。

3.4 $\omega(\text{Fe})/\omega(\text{S+As})$ 比值

As不仅是热液中常见的挥发分,而且往往能以

类质同象的形式替代,而进入黄铁矿的晶格,As在黄铁矿中的含量及 $\omega(\text{Fe})/\omega(\text{S+As})$ 比值具有很重要的标型性。本区Fe与S+As具有明显的反相关关系^[5]: $\omega(\text{Fe})=-1.044\omega(\text{S+As})+100.607$,黄铁矿中Fe的质量分数明显低于理论值,S+As质量分数接近理论值。

前人^[10]研究表明,黄铁矿的 $\omega(\text{Fe})/\omega(\text{S+As})$ 比值与其形成的深度有较好的相关性,从表4可以看出:早子沟矿区石英闪长岩玢岩型、角砾岩型黄铁矿的 $\omega(\text{Fe})/\omega(\text{S+As})$ 比值偏低,初步判断形成于中深成环境。

表4 黄铁矿中 $\omega(\text{Fe})/\omega(\text{S+As})$ 比值与其产出矿脉部位的关系

Tabel 4 The relationship of $\omega(\text{Fe})/\omega(\text{S+As})$ ratio in pyrite and its location of output veins

产出部位	矿石类型	$\omega(\text{Fe})$ 平均值	$\omega(\text{S})$ 平均值	$\omega(\text{As})$ 平均值	$\omega(\text{Fe})/\omega(\text{S+As})$	资料来源
深	石英脉型	45.615	52.35	1.55	0.846	严育通等(2012) ^[8]
中	细脉浸染型	45.72	51.68	1.28	0.863	
浅	石英脉型	46.565	49.775	0.505	0.926	曹晓峰等(2012) ^[5]
	石英闪长岩型	45.406	52.51	0.063	0.864	
	角砾岩型	45.171	50.37	2.428	0.856	

4 铁矿等载金矿物硫同位素特征及其对成矿环境等的指示意义

对围岩和不同类型矿石的黄铁矿及其伴生矿物毒砂、辉锑矿进行硫同位素测试,测试工作在国土资源部中南矿产资源监督检测中心完成,监测依据:DZ/T0184.15-97,主要仪器:固体质谱计-03,监测温度:22℃,监测湿度:30%,对10个黄铁矿、4个毒砂、3个辉锑矿样品测试结果见表5。

通过表5可以看出矿体中硫同位素组成稳定,其变化范围为-5.72‰~-9.03‰,极差3.54‰,其中黄铁矿变化范围-7.43‰~-8.62‰,极差1.19‰,辉锑矿变化范围-8.93‰~-9.03‰,极差0.1‰,毒砂变化范围-5.72‰~-6.02‰,极差0.3‰。矿体中辉锑矿的硫同位素组成比黄铁矿的硫同位素组成稍小,符合硫同位素在平衡条件下在不同硫化物中的大小顺序(黄铁矿>毒砂>辉锑矿),也与辉锑矿形成于成矿晚阶段有关。黄铁矿、辉锑矿硫同位素具明显的较大的负值,且与围岩组成接近,说明矿石中的硫来自于围岩地层^[12],这也与美国卡林型金矿硫来源相似^[13]。而其变化范围很小,则表明其形成环境相当稳定,是在中低温条件下发生了同位素平衡的结果。毒砂 $\delta^{34}\text{S}\text{‰}$ 明显偏大,说明毒砂与黄铁矿形成于不同的阶段,代表了不同的温压环境。黄铁矿各种类型的矿石中

硫同位素组成明显不同,表现出闪长玢岩型>角砾岩型>硅质板岩(围岩)的趋势,说明本区岩浆侵入作用和构造活动对硫同位素的分馏产生了较大影响,使重硫略有富集,成矿流体是各种热液活动叠加的结果。

表5 早子沟金矿黄铁矿及其共伴生矿物硫同位素组成

Tabel 5 Sulfur isotopic composition of pyrite and associated minerals

样品编号	采样地质体	矿物名称	$\delta^{34}\text{S}\text{‰}$	数据来源
Z-32-3	角砾岩型金矿石	辉锑矿	-8.93	曹晓峰等 (2012) ^[5]
F-21-2	角砾岩型金矿石	辉锑矿	-9.03	
F-22-2	角砾岩型金矿石	辉锑矿	-8.99	
Z-46-3	角砾岩型金矿石	黄铁矿	-8.59	
F-22-1	角砾岩型金矿石	黄铁矿	-8.62	姜琪等 (2010) ^[11]
04ⅡTWS-1	闪长玢岩型金矿石	黄铁矿	-7.47	
04ⅡTWS-5	硅质板岩(围岩)	黄铁矿	-9.26	
04ⅡTWS-6	角砾岩型金矿石	黄铁矿	-8.32	
04ⅡTWS-6	角砾岩型金矿石	黄铁矿	-8.22	本文
2011Ⅱ13-1	闪长玢岩型金矿石	黄铁矿	-7.67	
2011Ⅱ13-1	闪长玢岩型金矿石	黄铁矿	-7.71	
2011Ⅱ14-1	闪长玢岩型金矿石	黄铁矿	-7.43	
2011Ⅱ15-1	闪长玢岩型金矿石	黄铁矿	-7.46	
2011Ⅱ13-2	闪长玢岩型金矿石	毒砂	-5.72	
2011Ⅱ13-2	闪长玢岩型金矿石	毒砂	-5.93	
2011Ⅱ14-2	闪长玢岩型金矿石	毒砂	-6.02	
2011Ⅱ15-2	闪长玢岩型金矿石	毒砂	-5.76	

5 讨论

5.1 成矿阶段的划分及其生成环境

黄铁矿的结晶习性对所形成环境的变化反映极为敏感,不同地质环境和热液条件,黄铁矿结晶行为不同,导致黄铁矿在粒度、自形程度、晶体形态、矿物组合等方面存在着差异。因此可根据金矿床中黄铁矿的晶体形态、矿物组合及其所处的寄主岩石来判断成矿阶段和温压条件。

根据矿石构造和鉴定测试结果,早子沟金矿成矿期可分为3个阶段,早期酸性还原矿化阶段,为黄铁矿—石英阶段,矿物组合及生成顺序为石英→黄铁矿→自然金,为矿床的初始成金阶段,黄铁矿以立方体为主,颗粒较大,{100}晶面上常有粗大条纹,说明黄铁矿不是最佳温度条件形成的(温度较高或较低),温度变化梯度大(快速冷却),过饱和度低(硫逸度小)^[14]。

中期弱酸性弱还原矿化阶段,为自然金—多金属阶段,矿物组合及生成顺序为石英→黄铁矿→毒砂→自然金→方解石(绢云母、绿泥石)→磁铁矿,为矿床的主要成金阶段,黄铁矿以五角十二面体为主,另见八面体和各种聚形,且常具碎裂结构,说明黄铁矿是在温度适中(黄铁矿形成的最佳温度条件),温度变化梯度小(缓慢冷却),过饱和度大(硫逸度大)的条件下形成,一般出现在强矿化地段,含Ni较高可能有利于它的形成^[14]。

晚期碱性弱氧化矿化阶段,主要为碳酸盐化阶段,矿物组合及生成顺序为石英→方解石→辉锑矿→高岭土等,黄铁矿形态多样,常以各种聚形、他形出现,说明此阶段地质环境波动较大,辉锑矿的出现表明形成温度较低;表生期氧化阶段,金属硫化物在地表及浅部氧化成褐铁矿、锑华、砷华等。

5.2 成矿流体来源

硫是硫化物矿床亲硫金属元素的主要沉淀剂,所以硫同位素组成是判断成矿流体来源的有效手段之一。又由于理论上Au元素亲铁性与亲硫性以及赋存状态,所以硫同位素在金矿中对成矿物质源有很好的示踪作用。

在早子沟矿区,围岩和矿体中均含有大量的黄铁矿,而黄铁矿又是最主要的载金矿物,因此,本文通过对比分析围岩和矿体中的黄铁矿以及热液中矿物对(如黄铁矿—毒砂)硫同位素组成情况来判断成

矿流体的来源。硫同位素测试数据表明,本区黄铁矿中硫同位素变化范围窄,其形成环境稳定,主要来源于围岩地层,与美国卡林型金矿类似。后期叠加了构造活动和岩浆热液,硫同位素表现出与典型卡林型金矿的不同。

5.3 矿床类型的归属

“卡林型”金矿,是指产于沉积岩区,金及其载金矿物呈浸染状分布,且颗粒极细小的一类矿床,又叫“微细浸染型金矿床”^[15]。本文通过对早子沟金矿的主要载金矿物黄铁矿的研究,发现其形态分布(细粒,浸染状、细脉浸染状)、成分标型($\omega(\text{Fe})/\omega(\text{S}+\text{As})$ 比值、 $\omega(\text{Au})/\omega(\text{Ag})$ 比值、 $\omega(\text{Co})/\omega(\text{Ni})$ 比值)、硫同位素组成等均与卡林型金矿类似。但某些特征又与岩浆热液型接近($\omega(\text{Au})/\omega(\text{Ag})$ 比值、 $\omega(\text{Co})/\omega(\text{Ni})$ 比值等),结合矿区大量中性岩脉发育且很多矿体产于其中的事实,说明早子沟金矿与岩浆活动又有某种成因联系。

周余国等^[16]提出对卡林型金矿的认识应“只求同(要求其最基本的表面特征相同或相似),须存异(容矿岩石、产出地质背景、成因等有所不同)”。据此,本文仍将早子沟金矿划归为卡林型或类卡林型(以示与典型的卡林型金矿不同)。

6 结论

(1)早子沟金矿成矿期黄铁矿一般呈浸染状、细脉浸染状分布,其晶型以五角十二面体居多,颗粒较细,常见各种聚形,多具碎裂结构,主要共生矿物有石英、毒砂、辉锑矿、绢云母等。这些特征可作为早子沟金矿矿物学找矿标志。

(2)来自黄铁矿主微量元素($\omega(\text{S})/\omega(\text{Fe})$ 、 $\omega(\text{Au})/\omega(\text{Ag})$ 、 $\omega(\text{Co})/\omega(\text{Ni})$ 、 $\omega(\text{Fe})/\omega(\text{S}+\text{As})$)特征表明,早子沟金矿具有卡林型金矿的地质特征,又兼具有岩浆热液矿床的某些特征。其黄铁矿主要形成于中深成环境,但来自硫同位素的证据显示,硫元素主要来源于地层。

陈耀宇高级工程师对本文的编写进行了指导,并提出诸多宝贵修改意见,在此表示诚挚的谢意!

参 考 文 献

- [1] 李红兵,曾凡治.金矿中的黄铁矿标型特征[J].地质找矿论丛,2005,20(3):199-203.
- [2] 陈耀宇,代文军.早子沟金矿地质特征及成矿模式探讨[J].新疆地质,2012,30(1):89-94.

[3] 赵积珍,陈国忠,梁志录,等.早子沟金矿矿体特征及地球化学特征[J].甘肃地质,2013,22(2):38-43.

[4] 陈光远,邵伟,孙岱生. 胶东金矿成因矿物学与找矿[M]. 重庆:重庆出版社,1989.

[5] 曹晓峰,Mohamed Lam ine Salifou Sanogo,吕新彪,等.甘肃枣子沟金矿床成矿过程分析——来自矿床地质特征、金的赋存状态及稳定同位素证据[J].吉林大学学报(地球科学版),2012.42(7):1039-1052.

[6] 卿敏,张立庆,牛翠伊,等. 山西堡子湾金矿床黄铁矿标型特征[J]. 黄金地质,2001,7(4):22-27.

[7] 严育通,张娜,李胜荣,等.胶东各类型金矿床黄铁矿成分标型特征[J].地学前缘,2013,20(3):88-93.

[8] 严育通,李胜荣,贾宝剑,等.中国不同成因类型金矿床的黄铁矿成分标型特征及统计分析[J].地学前缘,2013,20(3):88-93.

[9] 陈曦,赵岩,赵旭,等.黄铁矿标型特征在矿床中的应用.科技创新导报[J].2009,4:54.

[10] 周学武,李胜荣,鲁力,等.辽宁丹东五龙矿区石英脉型金矿床的黄铁矿标型特征研究[J].现代地质,2005,19(2):312-328.

[11] 姜琪,王荣超. 甘肃枣子沟金矿床形成环境及矿床成因[J].黄金科学技术,2010,(4):17-24.

[12] Robert R. Seal,Sulfur Isotope Geochemistry of Sulfide Minerals [J]. Reviews in Mineralogy & Geochemistry .2006,.61:633-677.

[13] 拉德克著.季文明,邓少清,陈波贵,等,译.卡林金矿地质学[R]. 贵阳:贵州省地质矿产局科技情报室,1987:57-27.

[14] 陈光远,孙岱生,张立藏,等.黄铁矿成因形态学[J].现代地质,1987,1(1).

[15] 薛春纪,祁思敬,隗合明,等.基础矿床学[M].北京:地质出版社,2007:161-177.

[16] 周余国,刘继顺,欧阳玉飞,等.卡林型金矿的再定义[J].黄金,2008,29(11):7-11.

TYPOMORPHISM AND ITS GEOLOGICAL SIGNIFICANCE
OF PYRITE IN ZAOZIGOU GOLD DEPOSIT

LI Kang-ning, JIN Ding-guo, CAI Long, LU Wen-hui, MAYuan, LV Ju-rui
(No.3 Geology and Mineral Exploration Team, Gansu Provincial Bureau of Geology and Mineral
Exploration and Development, Lanzhou 730050, China)

Abstract: Zaozigou gold deposit is located in the Tongren–Xiahe–Minxian gold metallogneic belt of west Qinling orogenic zone. It is hosted in the fine–grained clastic rocks in lower segment of Middle–Triassic Gulangdi Formation. Intermediate rocks are well developed in the ore district. Ore bodies occur in the strata as well as in the dikes and contact zones. Ore bodies are strictly controlled by fractures and faults. Through the study of distribution, shape, mineral association, elemental composition and sulfur isotopes of pyrites, we found that the pyrite from different ore types and different stages should be formed in the various depth and geologic environment. Main–stage pyrites are mainly pentagonal dodecahedron with cataclastic texture, Fe–poor and S–poor. Ratios of $\omega\text{Au}/\omega\text{Ag}$ (5.54) and $\omega\text{Co}/\omega\text{Ni}$ (4.2) are similar to carlin–type deposits, but also similar to characteristics of magmatic deposits. The $\delta^{34}\text{S}\text{‰}$ values of pyrites range from -8.62‰ to -7.43‰ which are similar with sulfur isotopic composition of diagenetic pyrites, indicating that sulfur is mainly from sedimentary strata. Heavy sulfur is slightly enriched because of tectonic activity and magma intrusion.

Key words: Zaozigou gold deposit; pyrite; typomorphism; sulfur isotope