

p618.510.4  
p618.510.4

21-23

# 东天山康古尔塔格金矿床黄铁矿的标型特征及找矿意义\*

杨前进

(冶金工业部西北地质勘查局·西安·710061)

丰成友 姬金生

(西安工程学院·西安·710054)

通过对黄铁矿的化学组成、晶体特征及热电性的研究,发现含金高的黄铁矿的 Ag、Cu、Te 含量及晶胞参数  $a_0$  均高于含金低的黄铁矿。而且,含金高的黄铁矿热电场为 p-n 型,热电系数代数值高,而含金低的黄铁矿热电场为 n 型,热电系数代数值低。

关键词 黄铁矿 标型特征 金矿床 康古尔塔格

## 1 矿床地质概况

康古尔塔格金矿区位于塔里木板块北部晚古生代岛弧—海沟系阿齐山—雅满苏岛弧带北缘。矿区出露的地层主要为下石炭统阿齐山组,为一套海相火山—沉积建造。地层中出现 3 条脆—韧性剪切带。容矿岩石主要为蚀变糜棱岩和糜棱岩化火山岩。矿石中金属矿物主要有黄铁矿、磁铁矿,其次为 Cu、Pb、Zn 的硫化物。脉石矿物主要是石英、绿泥石、绢云母。金矿物以自然金为主,其次为银金矿。成矿作用可分为 3 个阶段,从早到晚,依次为黄铁绢英岩化阶段(简称 I 阶段)、金—黄铁矿—绿泥石—石英蚀变岩阶段(简称 II 阶段)和多金属硫化物石英脉阶段(简称 III 阶段)。金的空间赋存跟绿泥石和黄铁矿关系密切。常见金分布在绿泥石鳞片之间,其次分布于黄铁矿裂隙中或在黄铁矿中呈包体。

## 2 黄铁矿的标型特征

### 2.1 黄铁矿的微量元素特征

黄铁矿的微量元素含量见表 1。其特征如下:

1) 从 I 阶段→III 阶段,黄铁矿中 Au、Ag 含量总体呈上升趋势,显示 Au、Ag 正相关;

2) 从 I 阶段→III 阶段,Cu 含量由低到高,Pb 含量由高到低,表明 Au 与 Cu 正相关,与 Pb 负相关。Au 含量与 Zn 含量关系不明,但 Au 与 (Cu + Pb + Zn) 正相关;

此外,Au 与 Ag/Pb、Cu/Pb 比值正相关,且它们的相关性比 Au 与单个元素的相关性更加明显;

3) As、Sb、Bi、Se、Te 在不同成矿阶段的黄铁矿中的含量差异较大。(As + Sb + Bi + Se) 在 II 阶段含量远高于 I、III 阶段,而 Te 含量则从 I 阶段→III 阶段,由低→高;

4) Ni 含量偏低。

由此可见,从成矿早期到晚期,Au、Ag、Cu、Te 呈增加趋势,Pb 呈减少趋势,而 As、Sb、Bi、Se 则主要集中在 II 阶段。这些变化表明,在成矿过程中,矿液既有一定继承性,又有一定差异性。反映了热液的多源性。这跟同位素获得的结论吻合<sup>①</sup>。

另外,从 Au 含量升高时,Cu 含量随之骤增看,该矿床的主要成矿阶段形成于中温热液条件,而中温指示元素 Cu 的出现,反映该矿床形成之后曾经历过抬升、剥蚀。推测矿体向下不会有太大延伸。

### 2.2 黄铁矿的晶体特征

#### 2.2.1 黄铁矿的晶形特征

表 1 康古尔塔格金矿床中黄铁矿的微量元素特征

10<sup>-6</sup>

序号	样品编号	矿(岩)石类型	Co	Ni	Cu	Pb	Zn	Ag	Au	As	Sb	Bi	Se	Te	Ag/Pb	Cu/Pb	Cu + Pb + Zn	As + Sb + Bi + Se
1	9264	石英斑岩	130	40	540	4200	600	17.5	0.8	277	38.5	7.5	0.75	0.15	0.004	0.13	5340	323.75
2	D2608-1	变安山岩中黄铁矿细脉	700	340	650	600	70	8.6	1.2	1460	292.0	11.2	0.75	—	0.014	1.08	1320	1863.95
3	D2608-8	I 阶段矿石	50	—	640	610	80	5.5	0.3	146	7.2	11.2	12.8	—	0.009	1.05	1330	177.20
4	D2608-6	II 阶段矿石	30	—	2600	3300	3500	17.5	0.8	184	5.4	42.8	18.8	2.50	0.005	0.70	9400	251
5	D3404-2	II 阶段矿石	170	—	1330	3300	100	29.5	0.2	271	10.0	48.2	104.0	2.0	0.009	0.40	4730	433.2
6	D3804-3	II 阶段矿石	90	—	59500	300	90	13.8	5.7	232	7.0	154.0	9.2	2.6	0.046	198	59890	402.2
7	D2622-5	III 阶段矿石	60	—	43000	50	30	31.5	7.2	7.5	9.0	9.2	23.8	0.063	860	43080	27.70	
8	D2616-6	III 阶段矿石	290	—	4700	520	160	24.5	2.2	163	7.2	33.8	23.0	11.7	0.047	9.04	5380	227

注:黄铁矿微量元素分析由西安地矿所完成。

本文 1997 年 10 月收到,张启芳编辑。

\* 本文为国家重点科技攻关项目新疆 305 项目(85-902)部分成果。

① 姬金生等,康古尔塔格金矿带控矿规律及靶区优选评价研究,国家 305 项目研究报告,1995.2。

统计资料表明,各种类型金矿床中,含金黄铁矿颗粒细小,晶形以五角十二面体为主,不含金的黄铁矿则以立方体或不规则形态为主。从表2可以看出,康古尔金矿床中,Ⅱ阶段中黄铁矿为细粒,粒径0.01 mm~0.2 mm,以0.01 mm~0.05 mm为主,晶形以五角十二面体为主,也有立方体或五角十二面体与立方体的聚形,五角十二面体形态占有率为70%~95%。非含金黄铁矿则颗粒较粗,0.1 mm~0.2 mm,以立方体为主,这种晶形占有率为64%~69%。

表2 康古尔金矿床黄铁矿晶形特征

样品编号	矿石类型	粒径(mm)	A型	B型	A(%)	B(%)
D3804-3	Ⅱ阶段矿石	0.02-0.05	7粒	16粒	30	70
D3404-2	Ⅱ阶段矿石	0.02-0.2	2	40	5	95
D2608-6	Ⅱ阶段矿石	0.01-0.05	4	25	14	86
D2608-8	I阶段矿石	0.2	9	5	54	36
D2608-1	Ⅲ阶段矿石	0.1	9	4	69	31

注:(1)A型、B型分别表示立方体晶形和五角十二面体晶形(含聚形);(2)A(%)、B(%)分别表示A、B二种晶形的百分含量。

此外,含金黄铁矿自形程度差,光泽暗淡,颜色灰绿色;不含金黄铁矿自形程度高,光泽较强,颜色浅黄色。

### 2.2.2 黄铁矿的晶胞参数特征

黄铁矿中微量元素Co、Ni可类质同象替代Fe,As可代替S,均可使黄铁矿晶胞参数 $a_0$ 增大。

如表3所示,康古尔金矿床中,含Au $>1.0 \times 10^{-6}$ 的黄铁矿,(Co+Ni+As)含量为 $67.5 \times 10^{-6} \sim$

$2500 \times 10^{-6}$ ,平均 $831 \times 10^{-6}$ , $a_0$ 值为 $0.54185 \text{ nm} \sim 0.54204 \text{ nm}$ ,平均 $0.54198 \text{ nm}$ 。含金 $<1.0 \times 10^{-6}$ 的黄铁矿,(Co+Ni+As)含量为 $193 \times 10^{-6} \sim 447 \times 10^{-6}$ ,平均 $298 \times 10^{-6}$ , $a_0$ 值为 $0.54166 \text{ nm} \sim 0.54201 \text{ nm}$ ,平均 $0.54185 \text{ nm}$ 。说明含金高的黄铁矿由于含较多的Co、Ni、As,使得黄铁矿晶胞参数 $a_0$ 值增大。

## 2.3 黄铁矿的热电性

### 2.3.1 黄铁矿的热电场类型

根据补偿热电动势可将黄铁矿的热电场分为4个类型:(1) $V_{np} < -10 \text{ mv}$ ,为电子型(n型);(2) $V_{np} = -1 \text{ mv} \sim 10 \text{ mv}$ ,为空穴电子型(p-n型);(3) $V_{np} = -1 \text{ mv} \sim +10 \text{ mv}$ ,为电子空穴型(n-p型);(4) $V_{np} > +10 \text{ mv}$ ,为空穴型(p型)热电场(赵亨达,1990)。

纯黄铁矿有n(电子)型和p(空穴)型导电两种,以p型导电占优势,其补偿热电动势 $V_{np} = +4.26 \text{ mv}$ 。含Co黄铁矿的补偿热电动势 $V_{np} = -13.98 \text{ mv}$ ,说明Co进入纯黄铁矿晶格,使纯黄铁矿变为n型导电。含As黄铁矿的 $V_{np} = +11.38 \text{ mv}$ ,大于纯黄铁矿,说明As杂质增大了p型导电热电动势。

统计资料表明,矿体上部黄铁矿富As,热电场为p型;中部为n-p型;下部黄铁矿贫As,富Co、Ni、Se、Te,为n型。多数围岩中黄铁矿为n型,Cu元素含量增大,可使n型导电热电动势的代数值降低(邵洁涟,1988)。

表3 康古尔金矿床黄铁矿含Au性与晶胞参数间关系

10<sup>-6</sup>

样品编号	矿(岩)石类型	$a_0$ (nm)	$a_0$ 平均值(nm)	Co+Ni+As	Co+Ni+As平均值	Au含量	Au含量平均值
D2622-5	Ⅱ阶段矿石	0.54185		67.5		7.2	
D3804-3	Ⅱ阶段矿石	0.54200		322		5.7	
D2616-6	Ⅲ阶段矿石	0.54204	0.54198	453	831	2.2	4.08
D2608-1	Ⅲ阶段矿石	0.54202		2500		1.2	
D2608-6	Ⅱ阶段矿石	0.54197		214		0.8	
9264	石英斑岩	0.54176		447		0.8	
D2608-8	I阶段矿石	0.54201	0.54185	196	298	0.3	0.42
D3404-2	Ⅱ阶段矿石	0.54184		441		0.2	

注:黄铁矿的X射线衍射分析由西安地矿所完成。

康古尔金矿床中黄铁矿热电性特征见表4。从中可见,金矿层中黄铁矿热电场均为p-n型,空穴率高,可达10%~30%,平均约22%,热电动势变化范围 $-6.5 \text{ mv} \sim 9.7 \text{ mv}$ ,势电系数变化范围 $-65 \mu\text{V}/^\circ\text{C} \sim 97 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。非金矿层中黄铁矿的热电场为n型,空穴率低,为0%~8%,平均2.7%,热电动势变化范围 $-11.9 \text{ mv} \sim 27.7 \text{ mv}$ ,势电系数变化范围 $-119 \mu\text{V}/^\circ\text{C} \sim 377 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。因此,可根据黄铁矿的热电场类型、热电动势和热电系数的大小、空穴率的高低来区分含金矿石和非金矿石。

### 2.3.2 不同深度产出的黄铁矿的热电性特征

从表4看,矿体上部(120 m处)黄铁矿热电动势为 $-6.5 \text{ mv}$ ,中部(141 m~154 m处)为 $-6.7 \text{ mv} \sim 7.8 \text{ mv}$ ,下部(420 m处)为 $-9.7 \text{ mv}$ 。即随着矿体深度增加,黄铁矿热电动势代数值减小,热电场愈接近n型,推测矿体往下不会有太大的延深。这与微量元素推测的结果一致。

## 3 结论

1)黄铁矿Au含量与Ag、Cu、Te正相关,而与Pb负相关,尤其与Cu、Pb关系密切;

- 2) 含金好的黄铁矿晶胞参数  $a_0$  大于含金差的; 高, 热电动势代数值高; 含金差的黄铁矿热电场为  $n$   
 3) 含金好的黄铁矿热电场为  $p-n$  型, 空穴率 型, 空穴率低, 热电动势代数值低;

表4 康古尔金矿床黄铁矿热电性特征

样品号	矿(岩)石类型	取样深度(m)	Au品位( $10^{-6}$ )	黄铁矿热电动势(mV)	热电系数( $\mu V/^\circ C$ )	热电场类型	空穴率(%)
9264	石英斑岩		< 0.1	-5.7	-57	$P-n$	15
D2608-1	变安山岩中 黄铁矿细脉	35	< 0.1	-12.3	-123	$n$	0
D3804-3	II 阶段矿石	120	79	-6.5	-65	$p-n$	17
D3804-2	II 阶段矿石	141	22.2	-7.8	-78	$p-n$	30
D2608-6	II 阶段矿石	154	7.88	-6.7	-67	$p-n$	30
D2608-8	I 阶段矿石	171	< 0.5	-11.9	-119	$n$	8
D2616-6	III 阶段矿石	420	0.16	-9.7	-97	$p-n$	10
D2622-5	III 阶段矿石	573	0.55	-27.7	-277	$n$	0

注: 黄铁矿热电测试由陕西省地矿局测试中心完成。

4) 富金黄铁矿颗粒细, 晶形以五角十二面体为主, 颜色灰绿色, 光泽暗淡。不含金黄铁矿颗粒粗, 晶形以立方体为主, 颜色为浅黄色, 光泽较强;

5) 热电性和微量元素特征, 均显示该矿床向下不会有太大延伸。

## 参考文献

- 1 姬金生. 新疆东天山康古尔塔格金矿带研究. 地质论评, 1997, 43(1)
- 2 赵亨达. 黄铁矿热电性研究及在金矿找矿中的应用. 矿物学报, 1990, 10(3)
- 3 邵洁涟. 金矿找矿矿物学. 武汉: 中国地质大学出版社

## THE TYPOMORPHIC CHARACTERISTIC OF PYRITE FROM KANGGULTAGE GOLD DEPOSIT AND THE SIGNIFICANCE TO Au ORE PROSPECTING

Yang Qianjin, Feng Chengyou, Ji Jingsheng

By studying the chemical composition crystal feature, heat - electric conductivity of pyrite, it can be seen that the pyrite concentrating Au highly contains more Ag, Cu, Te than that concentrating Au lowly, and its values of  $a_0$  is higher than the latter. The type of heat - electric field of pyrite with Au more is  $p-n$ , but the type with Au less is  $n$ . Furthermore the heat - electric coefficient of the former is much lower than latter. These achievements have certain guiding significance for both studying the deposit genesis and ore prospecting.

**Key words** Pyrite, typomorphic characteristic, gold deposit, Kanggultage.



## 第一作者简介:

杨前进 男, 1966年生。1988年毕业于西安地质学院地勘系, 1991年在西安地质学院获矿床学硕士学位。现在冶金工业部西北地质勘查局工作, 主要从事铁矿找矿勘查和研究工作。

通讯地址: 陕西省西安市长安南路95号 冶金工业部西北地质勘查局 邮政编码: 710061

(上接第8页)

4 600 t, Au 的潜在资源量为 40 000 kg; III 级找矿远景区 10 个, 预计 Ag 潜在资源量约 2 850 t, Au 的潜在资源量为 23 000 kg。预计全区 Ag 潜在资源量为

12 450 t, Au 的潜在资源量为 68 000 kg。今后工作中能发现斑岩金、银矿时, 全区 Ag、Au 潜在资源量可大幅度增加。

## GEOLOGY AND PROSPECTING OF SILVER(GOLD)DEPOSITS IN NORTHEAST SHANXI

Zhou Shaozhi

Based on the analysis of three ore deposits in northeast Shanxi, the metallogenic regularities of silver(gold and manganese) deposits related to subvolcanic hydrothermal solution are researched. Finally, the targets are predicted and potential reserves of mineral resources evaluated.

**Key words** subvolcanic hydrothermal solution, metallogenic regularity, prediction of target

## 第一作者简介:

周绍芝 男, 1941年生。1965年毕业于包头钢铁学院采矿系金属与非金属地质勘探专业, 高级工程师, 现任冶金工业部第三地质勘查局总工程师。

通讯地址: 山西省太原市上三桥街50号 冶金工业部第三地质勘查局 邮政编码: 030002

