

# 山东界河金矿中石英的找矿矿物学

崔天顺

齐金钟

(桂林工学院资源工程系, 桂林 541004) (武警黄金地质研究所, 河北廊坊 102800)

**主题词** 石英 找矿矿物学 界河金矿 山东

**提要** 通过对界河金矿中石英的成分、晶胞参数、天然热发光、红外谱、包裹体、同位素、矿物学填图的研究, 表明其石英富含Al、K、Na; 其 $a_0$ 、 $c_0$ 大于理论值; 其天然热发光具多峰, 并且由I到III成矿阶段强度增大; 由无矿到富矿, 其红外谱相对光密度 $D_2/D_1$ 变大; 其包裹体富含K、Na、Cl、F、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O, pH=7.08—7.13,  $E_h = -6.1 - -6.2V$ ; 其氧同位素变化范围小; 其热发光积分强度填图显示矿体向深部变大, 并分枝。用上述研究方法预测了几个矿体, 其中的一个矿体已被证实。

## 1 矿床地质简介

界河金矿位于山东省招远县西北部望儿山断裂带, 围岩为郭家岭花岗闪长岩, 为蚀变岩型金矿。

区内出露地层为太古代胶东群斜长角闪岩, 以捕虏体形式含于郭家岭花岗闪长岩中, 其平均含金量为 $24.01 \times 10^{-9}\%$ <sup>①</sup>, 为金的矿源层。

矿区的侵入岩主要为燕山期玲珑花岗岩和郭家岭花岗闪长岩, 两者呈侵入接触和断层接触, 郭家岭花岗闪长岩含金为 $30 \times 10^{-9}\%$ <sup>①</sup>。

脉岩有闪长玢岩、石英二长岩、细晶岩, 均具多期次活动的特点。其中闪长玢岩脉与矿体共生或切穿矿体, 石英二长岩脉在矿体附近出现。

矿体产于望儿山断层下盘(产状 $310^\circ \angle 40^\circ$ )。由NE到SW, 沿该断裂带分布有7、1、4号矿体。矿体向SW侧伏, 呈透镜状、扁豆状, 并有分枝复合特点。其中4号矿体最富, 1、7号矿体次之。

围岩蚀变主要有绿泥石化、赤铁矿化、硅化、绢云母化和黄铁矿化等, 其中绿泥石化、黄铁矿化分布最广。在断层下盘, 随远离断层, 主要分布有黄铁绢英岩化→赤铁矿化→绿泥石化。

成矿期可分为热液期和表生期。热液期主要由四个阶段组成: 黄铁矿-石英阶段(I), 含金石英-黄铁矿阶段(II), 石英-多金属硫化物阶段(III)、石英-黄铁矿-碳酸盐阶段(IV)。其中II和III阶段为主要成矿阶段, 尤以III阶段含金量最高, 但黄铜矿、方铅矿、闪锌矿少见, 辉碲铋矿则相当发育, 为富矿标志。表生期主要表现为黄铁矿的褐铁矿化。

本文于1994年1月21日收到, 1994年6月28日改回。

① 张福璞等, 山东焦家式金矿地质, 山东地质六队, 1983。

## 2 石英的找矿矿物学

### 2.1 石英的一般特征

从表1可见, 界河金矿中的石英具有如下特点: (1) 从I到IV成矿阶段, 粒度变小; (2) 由I到III阶段, 颜色变深, IV阶段又变为无色透明; (3) II、III阶段含矿好, I、IV阶段含矿差; (4) IV阶段, 自形程度好, 其它都为它形粒状; (5) 共生矿物除都有黄铁矿外, 其余各具特点, 从I到IV阶段分别为: 绢云母; 自然金; 自然金、辉碲铋矿; 绿泥石、方解石。当为烟灰色石英时, 黄铁矿含量高, 出现辉碲铋矿则为富矿标志。

表1 界河金矿各成矿阶段石英的特征

Table 1 Characteristics of quartz of each metallogenous stage of the Jiehe gold deposit

成矿阶段 特征	I	II	III	IV
粒度	0.5—4mm	0.2—1.5 mm	0.2—1 mm	0.1—0.5 mm
颜色	乳白色	灰白色	烟灰色	无色透明
含矿性	差	好	极好	差
形态	它形粒状	它形粒状	它形粒状	柱状晶体
共生矿物	黄铁矿及少量绢云母	黄铁矿、自然金	黄铁矿、自然金、辉碲铋矿	黄铁矿、绿泥石、方解石
产状	脉状	脉状	脉状	细脉状

### 2.2 石英的成分特点

从表2可见, 与胶东地区其它金矿相比, 界河金矿中的石英富含Al、Sr、Ca、Ga、Fe、Ti、Li、Na、K、Rb, 贫Ba、Mg、Cu、Zn, 表明其杂质含量高, Cu、Zn含量低与其多金属硫化物不发育相符。

从I到III阶段, 石英的Al、Mg、Ti、K、Na、Rb含量增加, Cu、Zn含量也增加, 这与II、III阶段出现多金属硫化物有关。杂质含量高, 富含Al、K、Na、Cu、Zn为富矿标志。

### 2.3 石英的晶胞参数

从表3可见,  $a_0$ 、 $c_0$ 、 $c_0/a_0$ 、 $V_0$ 的总均值略大于理论值。

从I到III阶段,  $a_0$ 、 $V_0$ 、Al+Na+K有增大的趋势, 而 $c_0$ 、 $c_0/a_0$ 则相反。这是由于 $c_0$ 主要受温度控制, 当温度升高时 $c_0$ 变大, 温度降低时则变小。 $a_0$ 主要受杂质含量控制, 当杂质进入c轴方向空洞中多时, 则 $a_0$ 变大, 反之则变小<sup>[2]</sup>。因此,  $a_0$ 大,  $c_0$ 小,  $c_0/a_0$ 也小, 为富矿标志。

### 2.4 石英的天然热发光

界河金矿中石英天然热发光的测试条件为: 粒度100—140目(0.11—0.154mm), 重量3mg, 纯度99%以上, 升温速度10℃/s。

从图1可见, 除蚀变的郭家岭花岗闪长岩中的石英外, 其余均有两个发光峰, 一在130℃左右, 另一在260℃左右。目前, 前者的成因还不清楚, 而后者则是由Al替代Si所致, 因此, 石英中杂质Al的多少可作为发光强度的标志。第二个峰强度比第一个峰大得多; 而且从

表 2 界河金矿中石英的化学成分

Table 2 Chemical composition of quartz from the Jiehe gold deposit

成矿阶段	样号	标高(m)	SiO <sub>2</sub>	Al	Sr	Ba	Be	Ca	Mg	Ga	Cu
III	III:23-19*	-56	95.34	1.38	0.00	0.00	0.00	850	300	2.36	15.8
	A:1	+4		1.023	52	138	0.8	884	425	10.1	7.9
	均值			1.202	26	69	0.4	867	363	6.23	11.9
II	III:23-29	-56		0.614	29	64	0.5	572	223	7.2	12.3
I	III:421-9	-56		0.474	32	105	0.5	1207	146	6.5	6.3
总平均值				0.873	28	77	0.45	878	273	6.5	10.6
胶东金矿**			98.58	0.2103	6.35	86.5	<1	421.7	316.5	<5	30

成矿阶段	样号	标高(m)	Zn	Fe	Ti	Li	Na	K	Rb	Cs
III	III:23-19*	-56	26.6	890	320	13	1100	2100	12.9	0.00
	A:1	+4	16	1273	160	5	2065	4623	21	<5
	均值		21.3	1082	240	9	1583	3361	16.9	<5
II	III:23-29	-56	5.4	700	122	5	342	2075	12.9	<5
I	III:421-9	-56	3.4	1300	100	8	334	1142	9	<5
总平均值			12.9	1040	176	7.8	960	2485	13.9	<4
胶东金矿**			17.6	302.1	35.7	3.5	363.8	1448	5.55	

SiO<sub>2</sub>, Al 为 wt%, 其余为  $\times 10^{-6}$ ; \* 中国地质大学(北京)化学分析室测试; \*\* 据陈光远等, 1989; 其余为北京大学地质系分析

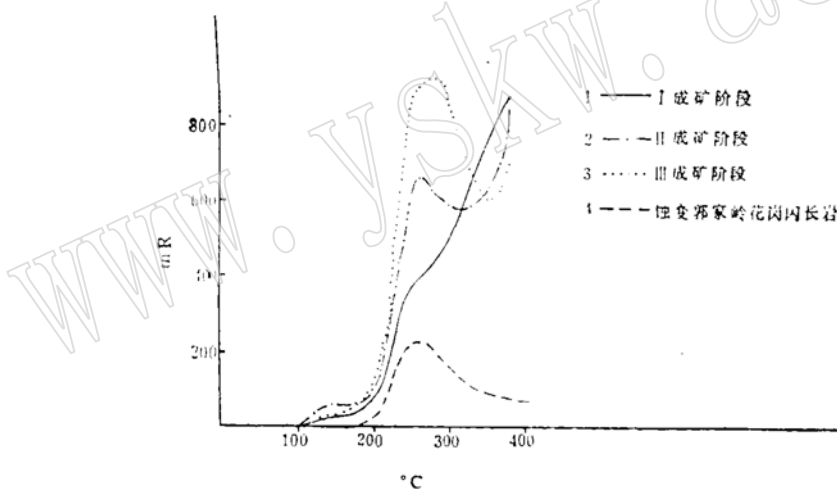


图 1 界河金矿中石英的天然热发光曲线

Fig 1 Spontaneous thermoluminescent curves of quartz from the Jiehe gold deposit

蚀变的郭家岭花岗闪长岩中的石英→I→II→III阶段中的石英,第二个发光峰变强。130℃左右的发光峰也有由I到II阶段变强的特点,因此,260℃左右发光峰强度的大小可作找矿及判别含金量的标志。

表3 界河金矿中石英的晶胞参数

Table 3 Unit cell parameters of quartz from the Jiehe gold deposit

样号	成矿阶段	晶胞参数				Al+K+Na (%)	含矿性
		$a_0(\text{Å})$	$c_0(\text{Å})$	$c_0/a_0$	$V_0(\text{Å})^3$		
Ⅲ <sub>421-9</sub>	I	4.90539	5.40874	1.10261	112.7128	0.6216	差
Ⅲ <sub>423-29</sub>	Ⅱ	4.91654	5.40777	1.09991	113.2056	0.8557	好
Ⅱ <sub>419-1</sub>	Ⅲ	4.91683	5.40927	1.10001	113.2503	1.6964	极好
A <sub>14</sub>	Ⅲ	4.91406	5.40508	1.09992	113.0351	1.6964	
总均值		4.91321	5.40772	1.10061	113.0510		
理论值		4.913	5.405	1.100	112.985		

测试单位: 中国地质大学(北京) X光室。分析条件: Fe靶、Mn滤波片、电压40 kV, 电流35 mA

## 2.5 石英的红外谱

在表4中,  $D_1$ 为包裹体中 $H_2O$ 在 $3400\text{cm}^{-1}$ 的伸缩振动光密度,  $D_2$ 为 $CO_2$ 反对称伸缩振动在 $2350\text{cm}^{-1}$ 的光密度。在矿体中, 由贫矿到富矿两者都降低, 而在围岩中则是最底的。由围岩到富矿,  $D_2/D_1$ 升高(0.17→0.17→2.8, 表4)。因此,  $D_1$ 、 $D_2$ 小, 同时 $D_2/D_1$ 大为富矿标志及找矿标志。

表4 界河金矿中石英包裹体的红外吸收谱参数

Table 4 Infrared absorption spectral parameters of quartz inclusions from the Jiehe gold deposit

样号	成矿阶段	相对光密度			含矿性
		$D_1$	$D_2$	$D_2/D_1$	
Ⅲ <sub>421-9</sub>	I	1.72	0.30	0.17	无矿
Ⅲ <sub>423-29</sub>	Ⅱ	3.98	0.66	0.17	含矿
Ⅱ <sub>419-1</sub>	Ⅲ	2.59	0.56	0.22	富矿
A <sub>14</sub>	Ⅲ	1.96	0.54	0.28	富矿

测试单位: 中国科学院地质研究所

## 2.6 石英的包裹体特征

界河金矿中的石英含大量的气液两相包裹体。从表5可见, 除Ⅳ阶段以液相包裹体为主外, 其余都以气相为主。包裹体大小变化不大, 均在1—3 $\mu\text{m}$ 范围内。由Ⅰ到Ⅳ阶段, 包裹体数量减少, 气液比也减小; 形态由圆形、不规则状变为以椭圆形、圆形为主; 子晶只在Ⅰ阶段出现; 分布特点由星散状变为带状; 温度由高变低, 主成矿阶段为255—286 $^{\circ}\text{C}$ 。总之, 表明其石英形成时温度高, 压力低, 这与蚀变岩型金矿的特点相吻合。

从表6可见, 包裹体的液相成分主要含K、Na、Ca、Mg、Cl、F、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ , 并且以K、Na、Cl、F为主; 由于含有 $\text{S}^{4+}$ , 而不含 $\text{S}^{6+}$ , 说明为弱氧化至弱还原环境。气相成分以 $\text{CO}_2$ 和 $\text{H}_2\text{O}$ 为主, 但含CO、 $\text{CH}_4$ , 又说明其形成于弱氧化至弱还原环境。另外, 在1号矿体、4号矿体和花岗闪长岩中,  $(\text{CO}_2 + \text{H}_2 + \text{CH}_4)/\text{N}_2$ 分别为4.01、25.65和11.55, 这反映1

号矿体形成深度相对较大, 花岗闪长岩次之, 而4号矿体最浅; 另一方面也反映它们形成时热液压力的相对高低。总之, 结合  $Na > K$ , 自然金以裂隙金为主, 都反映其浅成的特点。

表5 界河金矿中石英的气液包裹体特征

Table 5 Characteristics of quartz inclusions from the Jiehe gold deposit

成矿阶段	I	II	III	IV
包体特征				
组合类型	以气、液两相及气相包裹体为主	以气、液两相及气相包裹体为主	以气、液两相及气相包裹体为主	以气、液两相及液相包裹体为主
包裹体大小	2—3 $\mu m$	1—2 $\mu m$	1—2 $\mu m$	1—2 $\mu m$
包裹体含量	多	较多	较多	少
气液比	15—30%	10—20%	10—15%	5—10%
形态	以圆形、不规则状为主	多为圆形、不规则状	圆形为主, 椭圆形次之	椭圆形、圆形为主
子晶	有	未见	未见	未见
分布特点	星散状	星散状	带状	平行颗粒边缘呈带状
气泡颤动	有	有	有	有
均一温度	342—330 $^{\circ}C$	286—281 $^{\circ}C$	267—255 $^{\circ}C$	220—200 $^{\circ}C$

表6 界河金矿中石英的气液包裹体的化学成分

Table 6 Chemical composition of quartz inclusions from the Jiehe gold deposit

样品类型	液相成分 (mol/L)								备注
	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
1号矿体矿脉	0.113	0.097	0.025	0.013	0.270	0.226	0.005	0.006	
4号矿体矿脉	0.217	0.079	0.023	0.011	0.597	0.337	0.005	0.050	
花岗闪长岩*	0.378	0.205	0.060	0.016	0.656	0.321	0.005	0.051	
样品类型	气相成分 ( $\times 10^{-6}$ )						pH	Eh (V)	盐度 (wt% NaCl)
	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O			
1号矿体矿脉	0.19	4.96	3.60	4.16	16.10	112.0	7.08	-0.62	7.25
4号矿体矿脉	0.19	2.62	1.20	4.30	65.82	332.0	7.13	-0.61	14.7
花岗闪长岩*	0.18	5.00	1.26	4.36	56.40	528.0	7.22	0.60	15.65

据武警黄金研究所(河北廊坊), 1989。

\* 花岗闪长岩为郭家岭花岗闪长岩

pH值为7.08—7.13, 反映其形成于中偏碱性; Eh值为-0.61—-0.62V, 反映其形成于还原环境。这两者都对金的沉淀有利<sup>[3]</sup>。

另外, Na/K高通常为富矿标志<sup>①</sup>, 在界河金矿也是如此, 从最富的4号矿体到1号矿体再到围岩, Na/K分别为2.75、1.16、1.84。

成分分析表明, 矿体中石英包裹体的成分与围岩中的相似, 说明成矿热液可能来源于岩

① 梁华英. 龙山金铀矿床地球化学特征及成矿机理探讨. 中国科学院贵阳地球化学研究所硕士论文, 1987。

浆热液。围岩中的  $Eh$  为 0.60V，属氧化环境，这对金的迁移有利，而矿体中的  $Eh$  为 -0.61 - 0.62 V，为还原环境，对金的沉淀有利。

### 2.7 石英的氧同位素

氧同位素分析表明， $\delta^{18}O$  为 11.07‰ - 11.57‰，热液中  $\delta^{18}O$  为 2.71‰ - 3.87‰<sup>①</sup>，相对较低，变化范围小，具有岩浆水和雨水的共同特点<sup>[4]</sup>，但以岩浆水为主，这与包裹体成分分析的结果一致，反映成矿热液来源于郭家岭花岗闪长岩岩浆与雨水的混合。

### 2.8 石英的热发光强度填图

为了选择石英热发光的特点作为填图要素，首先对 -86m 中段主巷道金品位与石英天然热发光的各种特征进行对比。对比发现，金品位与石英天然热发光积分强度成正相关(图 2)，并且发现在矿体部位其积分强度都在 4 - 10 之间。因此，选择石英天然热发光积分强度以及强度小于 4、4 - 10 和大于 10 为界限，对四个中段、同一勘探线剖面上四个穿脉的 105 个样品进行测试和填图，结果见图 3。矿体都包含于强度大于 4 的范围内，并且大于 10 的都为富

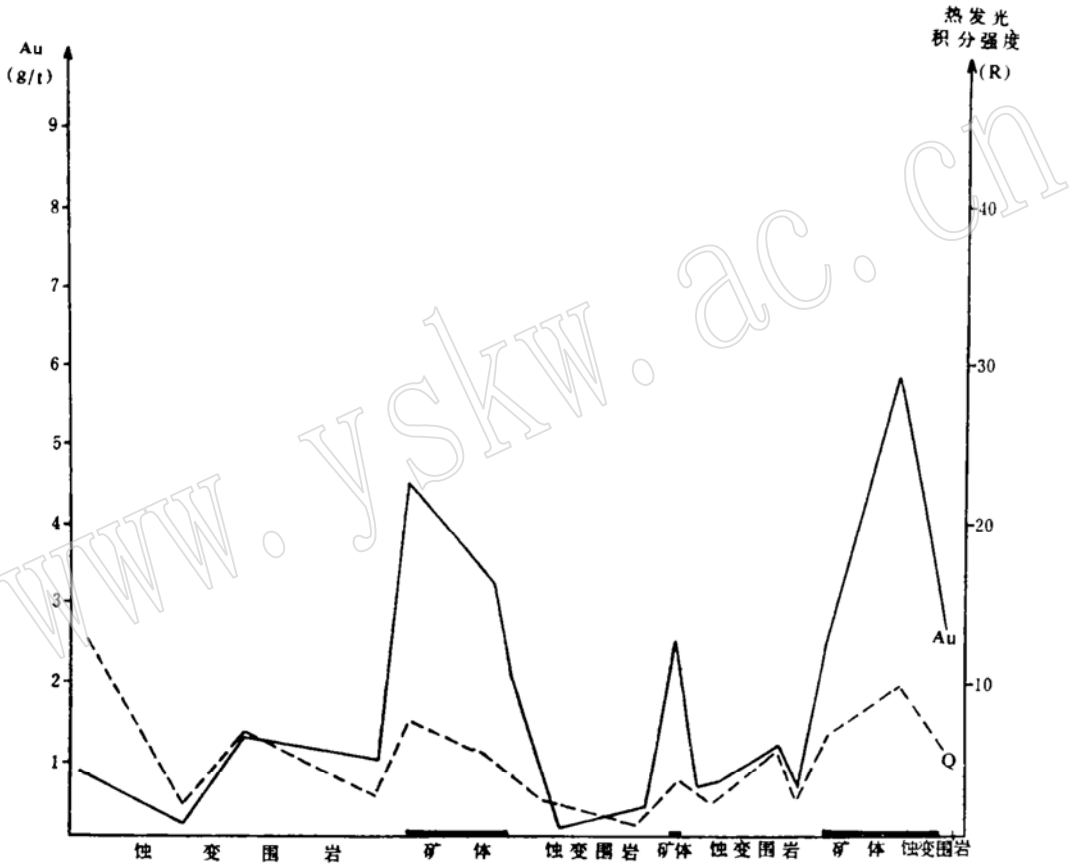


图 2 界河金矿 - 86m 中段主巷道的金品位曲线(Au)及石英的天然热发光积分强度曲线 (Q)

Fig. 2 Curves of gold tenor and spontaneous thermoluminescent integral intensity of quartz at -86m level of the Jiehe gold deposit

① 崔天顺. 胶东西北部郭家岭花岗闪长岩与界河金矿成因矿物学与找矿矿物学. 中国地质大学(北京)博士论文, 1991.

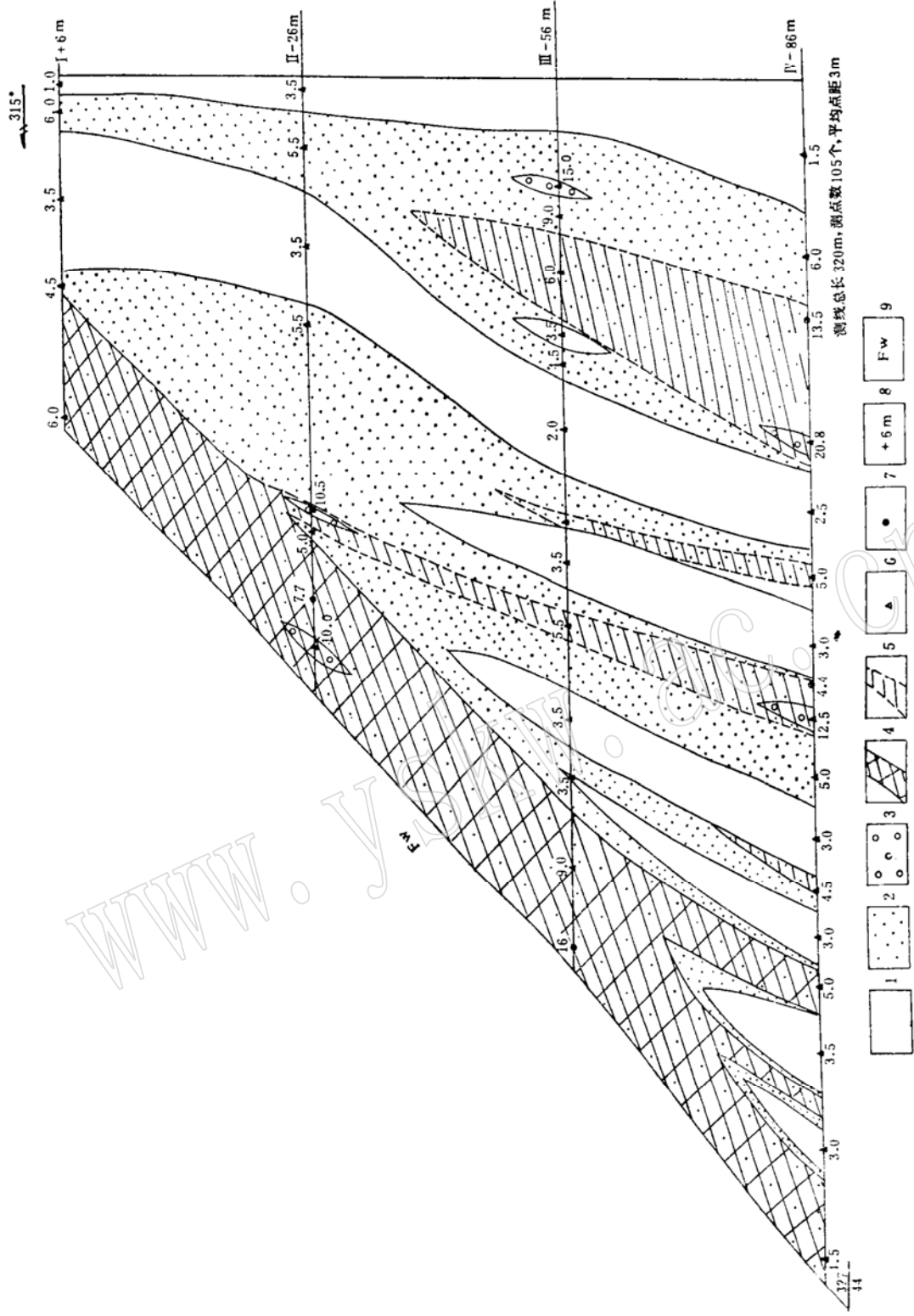


图 3 界河金矿中石英的天然热发光积分强度等值线图

Fig. 3 Isolines of spontaneous thermoluminescent integral intensity of quartz from the Jiehe gold deposit

1—积分强度 < 4 (R); 2—积分强度 4—10 (R); 3—积分强度 > 10 (R); 4—已知矿体; 5—推测矿体; 6—积分强度值点; 7—一品位最大值; 8—水平标高; 9—望儿山断层

矿，小于4为围岩，矿体向深部变大，分枝。预测了3个矿体，均可认为是原地表出露矿体的分枝，其中距主断层约110m处的大分枝已被证实。

由于界河金矿为蚀变岩型金矿，黄铁矿广泛分布，而胶东群斜长角闪岩的小捕虏体有时发生强烈黄铁矿化，且不含金，因此，很难仅以黄铁矿的多少来确定其是否为矿体。在矿山，都是以刻槽取样分析金的方法来圈定矿体，但由于金分布极不均匀，样品筛分后，分析往往不准确，丢矿的现象常见；又由于分析金的方法费力费时又不经济，因此，用石英热发光积分强度的方法来解决此问题就显得尤为重要。石英广泛分布，分析用量少，准确无误、省力省时又经济，可以在蚀变岩型金矿以及其它类型的矿床找矿过程中加以应用和推广。

### 3 结论

(1) 烟灰色石英与辉砷铋矿共生；杂质含量高； $a_0$ 大， $c_0$ 、 $c_0/a_0$ 小； $D_1$ 、 $D_2$ 小， $D_2/D_1$ 大；Na/K比值大；热发光积分强度大于4的石英为找矿标志或富矿标志。

(2) 石英形成于中偏碱性的还原环境，热液来源于岩浆水和雨水，形成温度为200℃—342℃。

(3) 利用石英天然热发光积分强度圈定矿体行之有效，圈出了丢掉的矿体，其中的一个矿体已被证实。

#### 参 考 文 献

- 1 崔天顺，齐金钟. 山东界河金矿黄铁矿的成因矿物学与找矿矿物学. 桂林: 桂林冶金地质学院学报, 1992, 12(4): 342—350.
- 2 陈光远等. 成因矿物学与找矿矿物学. 重庆: 重庆出版社, 1987, 271—272.
- 3 博伊尔 R W. 金的地球化学及金矿床. 北京: 地质出版社, 1984, 17—18.
- 4 南京大学地质系. 地球化学. 北京: 科学出版社, 1979, 425—426.

### Prospecting Mineralogy of Quartz from the Jiehe Gold Deposit, Shandong Province

Cui Tianshun

(Department of Resource and Engineering, Guilin Institute of Technology, Guilin 541004)

Qi Jinzhong

(Research Institute of Gold Geology, DAP, Langfang 102800)

**Key words:** quartz; prospecting mineralogy; Jiehe gold deposit; Shandong

#### Abstract

Quartz from the Jiehe gold deposits of Shandong Province was studied in such aspects as chemical composition, unit cell parameters, spontaneous thermoluminescence, infrared absorption spectra, inclusions and oxygen isotopic analyses, and the following results have been obtained: it is rich in Al, K,



Na and has high content of impurities;  $a_0$  and  $c_0$  are both larger than the theoretic values; except for quartz from Guojialing granodiorite, spontaneous thermoluminescent analyses are all of bimodal type, with the intensity growing from I to III metallogenic stage;  $D_2/D_1$  of infrared absorption spectra increases in order of  $0.17 \rightarrow 0.17 \rightarrow 0.28$  from barren rock through lean ore to rich ore; inclusions are rich in K, Na, Cl, F,  $\text{CO}_2$  and  $\text{H}_2\text{O}$ , with pH being 7.08—7.13 and  $E_h$  -6.1V—-6.2V, indicating that they were formed under the neutral to somewhat alkaline reducing conditions which were favorable for gold precipitation; oxygen isotopes vary in a narrow range (11.07‰—11.57‰), exhibiting characteristics of both magmatic water and meteoric water, with magmatic water being dominant. Mineralogic mapping based on integral intensity shows that orebodies are all included in the area of integral intensity larger than 4, and that  $>10$  indicates rich ore whereas  $<4$  means wall rocks. Orebodies expand and branch toward the depth. According to the map, three orebodies were predicted, of which the largest one some 110m from the principal fault has been proved to be true. Mapping based on spontaneous thermoluminescent integral intensity of quartz has the advantages of saving labor, time and money, and can thus be widely used in the prospecting for altered rock type gold deposits and other ore deposits.