

金矿床, 含金, 无金石英, 标型特征 ⑤

26-32

# 安家营子金矿含金和无金石英的标型特征

郭光军 王时麒

(北京大学地质系·100871)

p618.510.4

系统研究了安家营子金矿区含金石英和无金石英的微量元素、流体包裹体、颜色、比重、热发光、晶胞参数和红外光谱等标型特征,并依据所得数据对这两类石英进行了判别分析,提出了一系列的找矿标志。

关键词 金矿 含金石英 无金石英 标型特征



岩石与矿物

石英是所有类型金矿中最常见的伴生矿物,尤其在石英脉型金矿中更是构成了金矿的主体。由于石英和黄铁矿一样储藏了大量的成因信息,于是关于石英标型特征的研究在近十几年就迅速地开展起来,并在金矿的找矿过程中取得了显著的成果。

一个石英脉型的金矿区常常分布有许多条石英脉,而构成金矿床的往往只有几条。对这些石英脉进行含金性评价时,仅仅研究那些已构成金矿的“含金石英”的标型特征是不够的,如果没有那些未构成金矿的本文称之为“无金石英”的标型特征的对比和参照,那么含金石英标型特征的意义就不明确。只有将两类石英互相参照,对比研究,才能发现它们的差别,寻找到有效的判别标志,这样在矿区众多石英脉的评价中才能提高准确性,才更有实际意义。

安家营子金矿位于华北地台北缘赤峰南部金矿带中,产在燕山晚期安家营子岩体的斑状花岗岩内,属高中温中浅成岩浆热液矿床,成矿于 120Ma。矿区内分布有 20 多条石英脉,大多有勘探时遗留的平巷、浅井和坑探的痕迹,其中 I 号脉、II 号脉已构成工业矿体。本文选择 I 号脉作为含金石英的典型,采

集石英脉块 6 个,平均含金量为  $2.21 \times 10^{-6}$ 。另外根据勘探痕迹选择了 7 条被地勘人员放弃的石英脉作为本文无金石英的典型,并采集石英脉块 10 个,平均含金量为  $0.47 \times 10^{-6}$ 。将野外采集的 16 个石英脉块在室内进行破碎、筛分、淘洗和挑纯,得到 16 个石英的单矿物样品,对这些样品进行了下面的一系列测试和研究,取得了一些有意义的结果。

## 1 石英的标型特征

### 1.1 成分标型

#### 1.1.1 微量元素特征

选择了矿区 3 个样品 I-5(含金石英,品位 6.15g/t)和 W7(无金石英,品位 0.12g/t)以及 W1-4(无金石英,品位 0.12g/t)进行了微量元素分析,结果见表 1。

一般来说,含金石英比无金石英含有较多的微量元素,特别是铝、碱含量更是如此。这是由于石英在形成过程中,存在  $Si^{4+} \rightarrow Al^{3+}$  的类质同像替代,为了保持电价平衡,带入  $K^+$ 、 $Na^+$  等的缘故。从表 1 看,本矿区含金石英 I-5 的微量元素总量以及 Al 含量均低于无金石英 W7 和 W1-4,并且 I-5 的碱金属总量也略低于 W7,这与上述的一般规律不相符合。由于金既是亲铜元素又是亲铁元素,

本文 1994 年 5 月收到,范若芬编辑。

所以 Fe、Co、Ni、Cu、Pb、Zn、As 的总量常有一定的指示意义。结果发现 I-5 的该类元素总量高于 W7, 这在手标本及光片的观察中,

与含金石英脉中的黄铁矿、方铅矿等含量多于无金石英脉相一致。另外, 热发光数据也表明含金石英的铝含量比无金石英低。

表 1 安家营子矿区石英中微量元素含量( $\times 10^{-3}$ )表

样品	Pb	Fe	Mg	Ti	Cu	Zn	V	Co	K	Rb	Be	Al
I-5	6.004	203.06	138.66	3.734	3.072	30.132	0.148	0.178	52.71	6	0.16	497.25
W7	2.644	60.404	37.524	2.980	2.734	29.232	0.112	0.152	38.60	4	0.16	516.65
W1-4	5.843	220.64	75.171	12.686	1.087	42.801	0.440	—	未测	未测	0.0861	839.75

Ni	Ca	Mo	Mn	Ba	B	Sr	Na	Li	总量	碱金属	亲铜亲铁元素
0.102	128.96	0.280	2.872	0.808	0.672	1.262	30.71	66	1172.8	155.42	251.38
0.184	1920.6	0.336	26.202	1.136	1.680	3.118	41.81	83	2773.3	167.41	105.22
0.4002	78.439	1.0939	3.4864	16.248	7.0769	2.7347	未测	未测	1308.0	未测	270.78

因此可以假设, 铝碱总量反映了石英结晶时类质同像替换的程度, 它的存在为石英脉形成过程中金的沉淀提供了有利的条件, 是金发生沉淀富集的外因; 而亲铜和亲铁元素的总和, 如 Fe、Co、Ni、Cu、Pb、Zn、As 的含量则反映了原始矿液中金含量的多少, 是金沉淀富集的内因。由此推知, 仅用铝碱含量的多少来评价石英脉的含金性是不可靠的, 应该内因和外因一起考虑, 并以内因为主。

光片观察表明, 该矿床矿石组成较简单, 金属矿物以黄铁矿为主, 其次有少量的黄铜

矿、方铅矿、闪锌矿和自然金等。自然金主要沉淀于石英—多金属硫化物阶段, 黄铁矿基本属贯通矿物。这样, Au 与 Cu、Pb、Zn 的关系应比与铁的关系更紧密一些。从表 1 看, 含金石英 I-5 的 Pb、Cu 含量都分别大于无金石英 W7 和 W1-4 (但 Zn 含量却不一样), 所以在本矿区用石英中 Cu 和 Pb 的含量进行含金性评价可能比亲铜亲铁元素总量更可靠, 也比铝碱总量要可靠的多。

1.1.2 包裹体特征

详细研究了矿区两类石英的流体包裹体

表 2 安家营子矿区石英中包裹体特征一览表

		含金石英	无金石英
镜下特征		包裹体数量丰富, 既多又大, 容易观察, 都有气液两相包裹体 (占 90%) 和含液态 CO <sub>2</sub> 的三相包裹体 (占 10%), 形态多样, 以不规则状和卵圆状居多, 基本均匀分布, 也有成线行状分布的, 气液比变化较大 (25%~50%), 均无子晶	
		个体较大, 20 μ 以上常见, 最大 100 μ	个体稍小, 10~15 μ 以上常见, 最大 60 μ
均一温度 (°C)		274.2~407.5, 平均 324.4	294.5~415.6, 平均 334.2
均一状态		均一为液相	均一为液相或气相
压力 (bar)		158.5~307.5, 平均 219.6	73.2~481.7, 平均 221.1
冰点 (°C)		-4.3	-4.6
盐度 (wt%) NaCl		6.7	7.2
密度 (g/cm <sup>3</sup> )		0.76	0.75
气相特征		均含 H <sub>2</sub> O、CO <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> 和 CO, 不含 H <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub> 、O <sub>2</sub> , 以 H <sub>2</sub> O 为主	
液相特征		为富 CO <sub>2</sub> 的 Na <sup>+</sup> -K <sup>+</sup> -Cl <sup>-</sup> -SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 体系, 含少量 Ca <sup>2+</sup> 、F <sup>-</sup>	
气相成分 (μg/g)	H <sub>2</sub> O	422.27	534.45
	CO <sub>2</sub>	151.59	155.63
物化参数	fO <sub>2</sub> (bar)	8.70 × 10 <sup>-23</sup>	5.13 × 10 <sup>-33</sup>
	pH	4.69	4.71
	Eh (v)	-0.5103	-0.5200

特征,包括观察其形态、测均一温度、计算成矿压力和盐度、分析包裹体成分等,结果如表2。经对比发现,含金石英和无金石英的包裹体特征相差不大,表明石英形成时热液的物化环境基本相同。

## 1.2 物性标型

### 1.2.1 颜色

观察矿区两类石英的光片,看到含金石英有的呈灰色,共生有大量细粒黄铁矿,如I-3;有的呈灰白色,共生有大量粗粒黄铁矿晶体,如I-6;有的呈浅灰白色,颗粒比较透明,基本无杂质,如I-5。无金石英中,W7和I-6很相似;W2则无色透明,晶体发育,共生有黄铁矿,因后期风化变成灰褐色。另外,从采集到的16个石英脉块看,总的特征是:无金石英多为无色透明,而含金石英则多为灰色、灰白色。因此,颜色对于石英的含金性评价也有一定意义。

### 1.2.2 比重

选择矿区6个含金石英和10个无金石英样品(粒径0.42~0.25mm),在电子天平上采用静水力学法测量了石英的比重(表3)。

表3 安家营子矿区两类石英比重、金品位(g/t)对比表

含金石英			无金石英		
样号	比重	金品位	样号	比重	金品位
I-1	2.5901	2.86	W1-1	2.6413	0.12
I-2	2.6135	0.70	W1-2	2.6543	0.25
I-3	2.6188	1.13	W1-3	2.6362	2.00
I-4	2.6359	0.25	W1-4	2.6494	0.12
I-5	2.5977	6.15	W2	2.6251	1.33
I-6	2.6186	2.14	W3	2.6105	0.25
			W4	2.6384	0.12
			W5	2.6508	0.13
			W6	2.6353	0.25
			W7	2.6335	0.12
平均值	2.6121	2.21	平均值	2.6375	0.47

含金石英除I-4外,比重分布为2.5901~2.6188;无金石英除W3外,比重分布为2.6251~2.6543,不妨近似取2.6188和2.6251的平均值2.6220作为区分两类石英的标志。把比重和金品位做了相关分析,得图1。结果表明石英的金品位和比重存在良好的线性负相关关系,经验方程为 $D = -59.0595Au + 156.3284$ (相关系数 $r = 0.6882$ 大于临界值 $r_{0.01} = 0.623$ )。依此方程,石英的比重判别值2.6220对应的石英脉块的金品位为2.60g/t。

然而比重受诸多因素影响,如晶胞参数、气液包裹体、机械混入物等,很难说清到底是那一个因素对石英的比重起主要的控制作用。

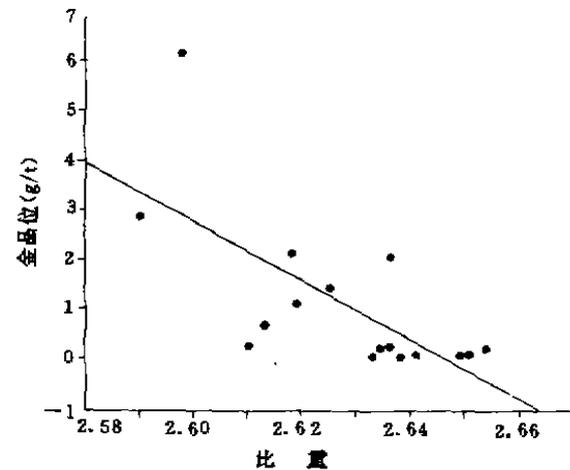


图1 安家营子矿区石英比重与金品位关系图

### 1.2.3 石英的天然热发光

一般认为,矿物热发光性质与晶体中杂质元素及晶格缺陷有关。导致石英的热发光晶格缺陷主要是石英中的 $Si^{4+}$ 被 $Al^{3+}$ 替代时, $Na^+$ 、 $K^+$ 等离子进入结构空隙而形成的杂质缺陷。一般石英 $Al^{3+}$ 、 $K^+$ 、 $Na^+$ 等杂质元素含量越高,石英热发光强度越大。热发光峰的温度则与俘获电子陷入晶格缺陷能级深度有关。一般生成时代越老的石英,俘获电子陷入较深的能级陷阱,热发光峰的温度较高;时

代新的石英则相反,热发光峰的温度较低,发光曲线也相对简单。矿区两类石英天然热发光数据见表 4。

表 4 安家营子矿区石英天然热发光数据表

含金石英			无金石英		
样号	积分强度 (R)	温度 (°C)	样号	积分强度 (R)	温度 (°C)
1-1	0.953	395	W1-3	1.747	354
1-2	1.154	382	W2	1.248	294
1-4	1.232	395	W4	1.423	272, 379
1-5	0.762	400	W5	1.414	359
1-6	1.743	367	W6	1.785	267
			W7	1.302	375
平均值	1.169	388	平均值	1.487	329

从表 4 看,含金石英的积分强度 R 值明显低于无金石英,并且除了 1-6 外,全部低于无金石英中最低的 W2(R=1.248),这说明含金石英的铝碱总量比无金石英低,和成分分析的结果一致。含金石英的温度比无金石英的高,说明含金石英的形成阶段早于无金石英。另外,矿区石英热发光峰基本上都是单峰,仅有一个例外(W4),这与本区石英形成时代新(燕山晚期),深度小相一致(图 2)。

据前面的分析,若排除 1-6 这一例外,那么不妨近似地取 R 值相差最小的含金石英 1-4 和无金石英 W2 的平均值 1.240 作为区分两类石英的标志,即  $R > 1.240$  的为无金石英,  $R < 1.240$  的为含金石英。

### 1.3 结构标型—晶胞参数特征

石英结构中存在平行于 c 轴的孔洞,当发生  $Si^{4+} \rightarrow Al^{3+}$  的类质同像替换时,  $Li^+$ 、 $Na^+$ 、 $K^+$  等大阳离子可进入结构孔洞。石英的晶胞参数随杂质元素的进入而变化,填隙杂质(如  $Li^+$ 、 $Na^+$ 、 $K^+$  等)使  $a_0$  增大而  $c_0$  变化不明显;置换杂质(如  $Al^{3+}$ 、 $Ge^{3+}$  等)将使  $a_0$  和  $c_0$  都增大。选取了矿区 3 个含金石英和 4 个无金石英做了 X 射线衍射分析,获得了相应的晶胞参数(表 5)。

数据表明,含金石英的  $a_0$  平均值大于无金石英,可是  $c_0$  平均值却小于无金石英,推断含金石英的碱含量高于无金石英,铝含量

低于无金石英,同时表明  $c_0/a_0$  值是区分两类石英的一个较有效的指标,据表 5,不妨取  $c_0/a_0 > 1.1$  的为无金石英,  $c_0/a_0 < 1.1$  的为含金石英。另外做  $a_0-c_0$  关系图(图 3),经验判断,以图中虚线为界,上面的为含金石英,下面的为无金石英。

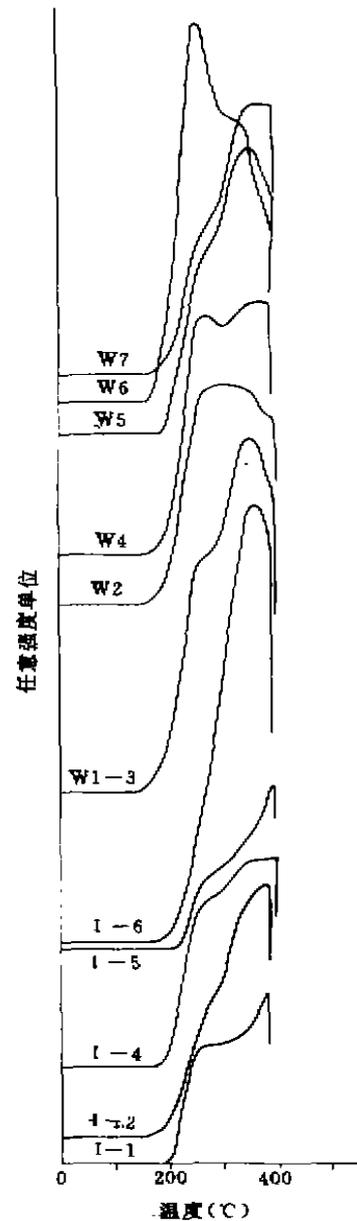


图 2 石英天然热发光曲线特征

### 1.4 谱学标型—红外光谱特征

选取矿区 15 个石英脉块制成两面抛光

的石英薄片,厚度为 0.2~0.4mm,进行红外光谱测定,其红外谱图如图 4,数据处理见表 6。从谱图上看,含金石英水的吸收峰强度中等,两翼不对称,在  $3605\text{cm}^{-1}$  和  $3370\text{cm}^{-1}$  处有  $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{K}^+$  替代  $\text{Si}^{4+}$  的弱吸收,成肩状。无金石英水的吸收带很弱,水的谱带不对称,也具有  $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{K}^+$  替代  $\text{Si}^{4+}$  的弱吸收带,处于  $3477\text{cm}^{-1}$  和  $3380\text{cm}^{-1}$  处。并且  $\text{CO}_2$  吸收峰普遍有劈分现象,位于  $2350\sim 2356\text{cm}^{-1}$  处。

含金石英水的相对光密度  $D_1$  变化范围 1.37~3.26,除 I-6(1.37)外,恒大于 1.6,平均值 2.21;而无金石英  $D_1$  很低,变化范围 0.41~2.53,除 W1-2(2.53)外,恒小于 1.5,平均值 1.18,明显低于含金石英。

低于含金石英。

表 6 安家营子矿区石英脉流体包裹体相对光密度表

含金石英			无金石英				
样号	$D_1$	$D_2$	$D_2/D_1$	样号	$D_1$	$D_2$	$D_2/D_1$
I-1	1.68	0.49	0.29	W1-1	1.45	0.30	0.20
I-2	2.45	1.19	0.49	W1-2	2.53	0.32	0.13
I-3	3.26	1.81	0.56	W1-3	1.22	0.38	0.31
I-4	2.90	1.51	0.40	W1-4	0.67	0.22	0.33
I-5	1.62	0.71	0.44	W2	0.41	0.28	0.68
I-6	1.37	0.31	0.23	W4	1.33	0.56	0.43
				W5	1.02	0.35	0.35
				W6	0.88	0.53	0.60
				W7	1.12	0.34	0.29
平均值	2.21	1.00	0.40	平均值	1.18	0.36	0.37

注:  $D_1$  为石英中水的相对光密度,  $D_2$  为石英中二氧化碳的相对光密度。

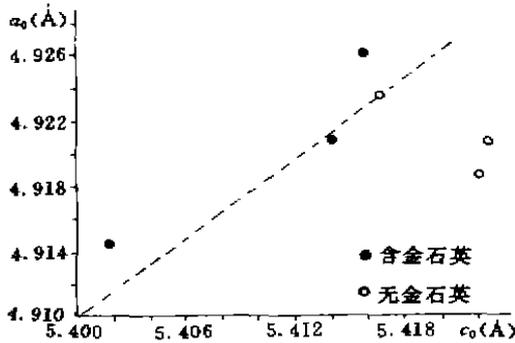


图 3 安家营子矿区石英的  $a_0-c_0$  关系图

表 5 安家营子矿区石英晶胞参数(Å)表

		$a_0$	$c_0$	$V_0^3$	$c_0/a_0$
含金石英	I-1	4.92630	5.41578	113.82	1.09936
	I-5	4.91446	5.40165	112.98	1.09913
	I-6	4.92103	5.41399	113.54	1.10017
	平均值	4.92060	5.41047	113.45	1.09955
无金石英	W1-4	4.92080	5.42258	113.71	1.10197
	W3	4.91090	5.40102	112.81	1.09980
	W5	4.92361	5.41655	113.72	1.10012
	W7	4.91888	5.42203	113.61	1.10229
	平均值	4.91855	5.41555	113.46	1.10105

含金石英  $\text{CO}_2$  的相对光密度为 0.31~1.81,除个别样品外,  $D_2$  恒大于 0.6,有一半大于 1.00,平均值为 1.00;无金石英  $D_2$  变化范围在 0.22~0.56,平均值为 0.36,也明显

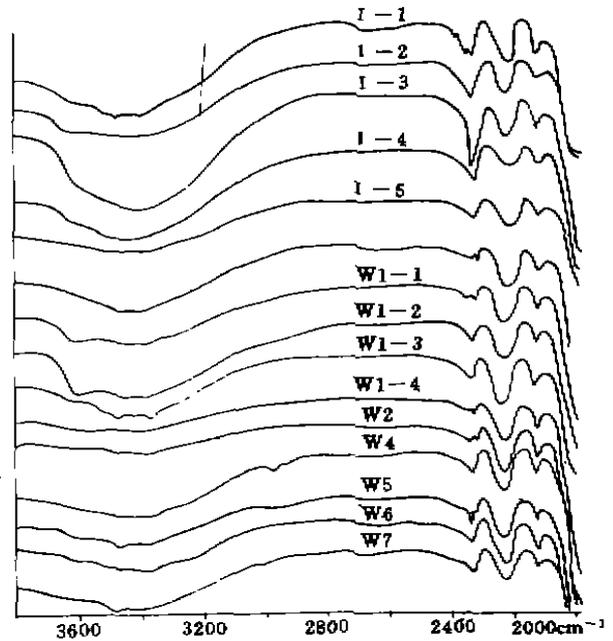


图 4 安家营子矿区石英的红外光谱图

从  $D_2/D_1$  这一指标上看,含金石英分布范围在 0.23~0.56,集中分布在 0.40~0.56,变化范围不大,平均值为 0.40;而无金石英分布范围在 0.13~0.68 之间,变化较大,大多数小于 0.40,平均值 0.37,略小于含金石英。

据以上分析,笔者认为,矿区石英如果  $D_1 > 1.55, D_2 > 0.6$ , 并且  $D_2/D_1 > 0.4$ , 则为含金石英;反之,则为无金石英。

## 2 石英的判别分析和找矿意义

### 2.1 对矿区石英的两类判别分析

从前面的分析中可以看到,当用某些指标的判别标志来区分含金石英和无金石英时,总有例外情况,也就是说,两类石英的各

指标检测数据互相掺杂,不易区分。这时用判别分析方法可以得到一个区分含金石英和无金石英的综合指标,使样品互相掺杂的现象大大减少,从而提高判别能力。

由于数据有限,研究中不能使所有指标和样品都参加分析,仅取石英的比重  $d$ , 天然热发光积分强度  $R$  和相对光密度参数  $D_1, D_2$  及  $D_2/D_1$  5 个指标共 11 个样品(表 7)进行两类判别分析,结果如下:

表 7 安家营子矿区两类石英判别分析数据表

类别	编号	样号	X1 ( $d$ )	X2 ( $D_2$ )	X3 ( $D_1$ )	X4 ( $D_2/D_1$ )	X5 ( $R$ )	Y 综合指标
A 类 含金石英	1	I-1	2.5901	1.68	0.49	0.29	0.953	-151.7673
	2	I-2	2.6135	2.45	1.19	0.49	1.154	-152.6107
	3	I-3	2.6188	3.26	1.81	0.56	1.232	-152.3996
	4	I-5	2.5977	1.62	0.71	0.44	0.762	-152.9831
	5	I-6	2.6186	1.37	0.31	0.23	1.743	-153.4570
	平均值			2.6077	2.08	0.90	0.40	1.169
B 类 无金石英	1	W1-3	2.6362	1.22	0.38	0.31	1.747	-155.0638
	2	W2	2.6251	0.41	0.28	0.68	1.248	-155.9229
	3	W3	2.6384	1.33	0.56	0.43	1.423	-155.3973
	4	W4	2.6508	1.02	0.35	0.35	1.414	-155.1946
	5	W5	2.6353	0.88	0.53	0.60	1.785	-155.8243
	6	W6	2.6335	1.12	0.34	0.29	1.302	-155.4615
	7	W7	2.6335	1.12	0.34	0.29	1.302	-155.4615
平均值			2.6366	1.00	0.41	0.44	1.487	-155.4774

$$\text{判别函数 } Y = -60.6725d + 3.4307D_1 - 4.077D_2 - 3.227D_2/D_1 + 0.7123R$$

$$\text{含金石英重心 } Y_A = -152.6437$$

$$\text{无金石英重心 } Y_B = -155.7153$$

$$\text{综合判别指标 } Y_{AB} = -154.0167$$

$$F \text{ 检验值} = 8.3772$$

查  $F$  表的临界值  $F_{0.05}(1,9) = 5.12 < F = 8.3772$ , 说明两组样品的综合指标差异显著(对信度  $\alpha = 0.05$  而言), 判别结果有效。

计算两类石英各样品的综合指标  $Y$  (表 7), 发现含金石英的  $Y$  值均大于综合判别值  $-154.0167$ , 不含金石英的  $Y$  值均小于  $-154.0167$ , 所有样品没有一个被错判, 结果令人满意。

### 2.2 找矿标志

尽管安家营子矿区含金石英和无金石英

标型特征差别较小, 但通过上述的分析研究, 还是找到了一些区分两类石英的参考标志(表 8), 可用于石英脉的含金性评价。

表 8 安家营子矿区两类石英判别标志

		含金石英	无金石英
颜色		灰色、灰白色	无色透明
比重 $d$		$< 2.6220$	$> 2.6220$
热发光 $R$		$< 1.240$	$> 1.240$
晶胞参数 $c_0/a_0$		$< 1.10000$	$> 1.10000$
红外光谱	$D_1$	$> 1.55$	$< 1.55$
	$D_2$	$> 0.60$	$< 0.60$
	$D_2/D_1$	$> 0.40$	$< 0.40$
综合指标 $Y$		$> -154.0167$	$< -154.0167$

## 3 问题与讨论

本文研究过程中, 遇到的问题似乎比得到的结论更多, 表面上满意的结论下掩盖着对原因的无知。

矿区石英的微量元素、天然热发光和晶胞参数数据都显示无金石英比含金石英含有更多的  $Al^{3+}$ , 但无金石英却比含金石英颜色浅且干净;

成分分析表明无金石英碱含量比含金石英高, 但晶胞参数  $a_0$  的平均值却是反证;

$D_1$  和  $D_2$  表明含金石英的  $H_2O$ 、 $CO_2$  含量比无金石英含量高, 但包裹体成分分析数据却是反证;

含金石英的比重比无金石英低, 晶胞体积并未给它提供有力的佐证, 原因可能是含金石英的  $H_2O$ 、 $CO_2$  比无金石英多, 包裹体占据了较大的体积造成的。这样的解释在定性的比较中可以理解, 可是为什么石英脉的含金量和石英的比重却存在着显著的线性相关关系呢? 难道是巧合吗?

这些问题与矛盾的解决有待于更多的测试数据和更深入的研究。

#### 参考文献

- 1 陈光远, 成因矿物学与找矿矿物学, 重庆出版社, 1988.
- 2 陈光远等, 胶东金矿成因矿物学与找矿, 重庆出版社,

1989.

- 3 金成侏等, 辽宁猫岭金矿床石英标型特征及形成条件研究, 地质与勘探, 1991, (5).
- 4 陈殿芬等, 吉林海沟金矿床石英的研究, 矿物岩石, 1991, (1).
- 5 吴尚全, 团结沟斑岩金矿床石英的标型特征及其成因意义, 矿物学报, 1984, (1).
- 6 朱钟秀等, 含金石英脉的红外光谱评价, 地质与勘探, 1990, (4).
- 7 邵洁莲, 石英的成因标型特征和找矿标型特征, 地质与勘探, 1986, (8).
- 8 徐可臣, 周宝兴, 二道沟金矿床石英热发光特征及意义, 辽宁地质, 1990, (2).
- 9 骆靖中, 广西某金矿石英热发光特征及其意义, 桂林冶金地质学院学报, 1986, (3).
- 10 吴尚全, 于桂梅, 石英的红外谱学研究及其含金性评价, 矿物岩石, 1987, (2).
- 11 邵洁莲, 脉石英含金性评价的矿物学标志, 地质与勘探, 1981, (9).
- 12 宋煊斌, 金矿床中石英的标型性质及实际应用, 金银矿产选集(4), 1990.
- 13 Cohen A. J. Summer, G. G. Relationship among impurity contents, color centers and lattice constants in quartz, Amer. Mineral. 1958, 43.

## Typomorphic Characteristics of Auriferous and Non-auriferous Quartz in Anjiayingzi Gold Deposit

Guo Guangjun, Wang Shiqi

A systematic study of typomorphic characteristics, i. e. microelements, fluid inclusion, color, specific gravity, thermoluminescent, unit cell parameter and infrared spectra etc., had been made. Through discrimination analysis on these characteristics, a series of prospecting criteria were proposed.

**Key words:** gold ore, auriferous quartz, barren quartz, typomorphic characteristic

