

辽宁五龙金矿含金石英脉中石英标型特征 及其找矿意义

刘桂芝 张维松

(沈阳黄金学院)

辽宁五龙金矿含金石英脉中石英晶体的塑性变形显微裂隙和熔融现象普遍发育, 在无矿石英脉中上述现象则不发育或缺失。气液包体在含金石英脉中数量多, 成矿温度阶段性明显, 沸腾现象也较发育。而在无矿石英脉中则反之。据包体化学成分推测成矿溶液化学成分属 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-Cl-Na-Ca}$ 型, 而无矿石英脉热液成分为 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-F(Cl)-K-Ca (Mg)}$ 型, 石英中微量元素浓集克拉克值 (C_k) 及相关系数表明 Au、Sb、Bi、W、Ag 为本区主要成矿元素, 且含金石英脉的 C_k 值均大于无矿石英脉。热发光曲线在含金石英脉中主要为双峰和多峰型, 而无矿石英脉则为单峰型。上述石英标型特征作为五龙金矿床石英脉中找金的重要标志。

关键词 五龙金矿 石英 标型特征

1 矿床地质概况

五龙金矿位于华北地台北缘, 营口—宽甸台隆东部, 区内出露地层为元古宙辽河群, 它们呈孤岛状分布在矿区的南部。区内大面积产出的是吕梁期的混合花岗岩。在辽河群与混合花岗岩之间分布有燕山期花岗闪长岩。在混合花岗岩体中发育有近东西、北西、北东向的断裂构造, 沿断裂充填有基、中、酸性脉岩及石英脉 (图 1)。作为载金岩石的石英脉, 在矿区内非常发育, 接近东西向、北东、北西方向成群成带分布。金的工业矿体主要赋存在北东、北西向的含金石英脉中。石英脉中石英, 为他形粒状, 粒径 0.03—0.1mm, 石英为乳白色、灰白色、暗灰色。石英脉中还见有金属硫化物。在矿区内约有 90% 左右的石英脉与细粒闪长岩或花岗斑岩脉共生。石英脉或分布在脉岩的两侧或分布在脉体内, 二者产状基本一致, 接触界线清晰, 表明石英脉的形成晚于中、酸性脉岩。

2 石英显微构造特征

含金与不含金石英脉, 由于其各自成生、演化历史的不同, 因此, 在石英中的显微构造也表现明显的差异。

2.1 塑性变形

由显微镜下观察得知, 含金石英脉中的石英普遍具有波状消光、变形带、变形纹、亚颗粒等塑性变形现象。

在正交偏光下, 石英波状消光呈现为不均匀的扇形消光影, 消光位扩散角度很小。这种波状消光在含金石英脉中非常普遍, 而在无矿石英脉中只是偶尔可见。

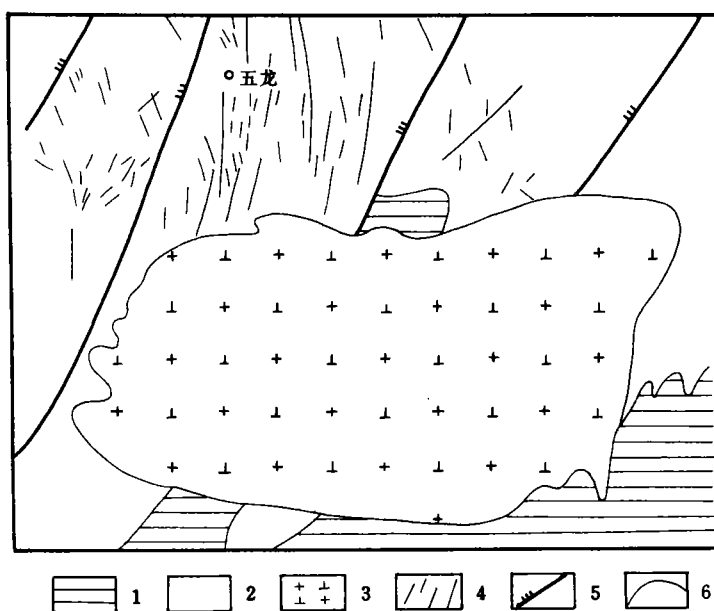


图1 五龙金矿区域地质示意图

Fig. 1 Schematic geological map of wulong gold deposit

1—辽河群; 2—混合花岗岩; 3—燕山期花岗岩闪长岩; 4—含金石英脉; 5—断层; 6—地质界线

变形带在含金石英脉中不发育, 但矿化较好, 规模较大的一些矿脉中, 如 32-1、76 号脉, 变形带却较发育, 在石英颗粒晶面上的消光影较宽, 界面清晰, 带状消光影呈跳跃式过渡。

变形纹(毕姆纹)在石英晶体中发现有一系列短细、平直、密集平行排列的变形纹分布, 并常与带状消光伴生, 在这些变形纹中有时也见有气液小包体存在。变形纹是晶体内部滑动产物, 而柱面型变形纹是在高温、慢应变速率条件下, 由于蠕变而产生的。

亚颗粒在正交偏光下, 有时发现呈镶嵌消光的石英亚颗粒, 大小约 $5-20\mu\text{m}$, 多分布在较大石英颗粒的周边。

上述这些塑性变形在含金石英脉中较发育, 而在无矿石英脉中几乎见不到, 这种差异说明含金石英脉受到多次叠加的复活的构造应力作用, 这对金矿富集是有利的。因此, 上述塑性变形亦是金矿富集的标志之一。

2.2 微裂隙

由显微镜下观察发现, 石英晶体中有显微破裂现象, 微裂隙呈互相交叉的“X”或平行排列分布。金属硫化物微小质点和小气液包体常沿这些裂隙分布或充填, 致使附近石英颗粒颜色变暗呈烟灰色, 暗灰色, 而且往往这类脉含金较高。因此, 暗灰色石英及石英晶体的微破裂亦是评价石英脉含金性的重要标志之一。

2.3 熔融现象

正交偏光镜下观察发现, 在含金石英脉的石英颗粒间见有明显的焊接现象。在石英颗粒间细小石英(粒径在 0.02mm 左右)呈镶嵌结构, 颗粒间界线模糊, 在石英颗粒中见有

微细黄铁矿等矿物质呈点分布,有时还见到呈小鳞片状绢云母,这些杂质往往使石英混浊。上述焊接构造,系由含金石英脉受应力作用产生粒化及其后的热液作用叠加所形成,这种构造在早期无矿石英脉中则未见到。所以,这也是矿化标志之一。

3 石英气液包体特征

根据对主期含金石英脉及早期(贫矿)石英脉 17 个样品进行的包体成分和均一温度的测试分析结果的研究,获得如下一些关于石英脉含金性信息。

3.1 气液包体形态特征

在早期石英脉的石英晶体中,包体不甚发育、数量少、分布零星、个体小,一般小于 $5\mu\text{m}$, (表明是快速结晶环境)。包体形状各异,多为椭球状。包体以液态为主,充填度为 0.9—0.95,亦有少量的气态包体,充填度为 0.4—0.5,说明当时石英形成深度和压力较大。

含金石英脉的石英晶体中,气液包体特别发育,数量多、分布广,形状多样,种类多,多为椭球状或不规则状,个体大小不一,多为 $5\text{--}10\mu\text{m}$,少数可达 $15\mu\text{m}$ 或更大些。包体以液态型为主,充填度 0.9—0.95,也见有气态类型包体,充填度为 0.3—0.4 和很少量的纯气体包体。此外,还见有较多的次生包体,且多沿石英晶体中微裂隙分布,沸腾现象明显。次生包体及沸腾现象在早期石英脉中几乎未见。

3.2 包体均一温度

3.2.1 成矿温度 根据 17 个样品的 89 次均一温度测定结果所绘制的均一温度频率图

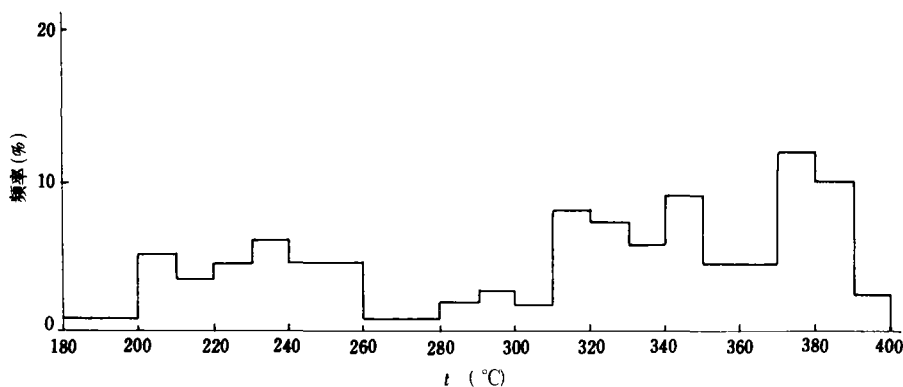


图 2 石英包体均一温度频率变化图

Fig.2 Frequency variation of homogenized temperature of inclusion in quartz

(图 2), 可划分出两个成矿温度区间: ① 200—260℃, ② 310—390℃。成矿温度为中—高温型。第二温度段又可分为两个亚段 310—350℃ 及 370—390℃, 第一亚段温度恰与沸腾温度吻合, 故可认为本地区含金石英脉的主要形成温度为 310—350℃ 区间, 即高温阶段。

早期石英脉形成温度为 265—320℃, 难以划分阶段。

3.2.2 均一温度变化特征 据 32-1 矿脉第八、九、十中段分别沿矿体走向取样测定均一温度数据表明, 矿体形成温度大体上是南高北低, 下高上低, 可见矿液是由下而上、由南

向北运移, 从而进一步证明矿液来源于南部。

3.3 沸腾现象 本次所测的包体样品中, 见到有沸腾现象, 并且有沸腾现象的样品金含量较高 (均在 0.5ppm 以上), 比无沸腾现象样品的金含量高出一个数量级以上; 沸腾现象均发生在含金石英脉中, 但早期石英脉无此现象; 沸腾温度为 310—350℃ 和 370—390℃, 本矿床属中—高温成矿温度, 但主要成矿阶段应为高温阶段, 这与前述均一温度频率图反映的情况是一致的。

3.4 气液包体化学成分

3.4.1 包体类型

在所研究的早期石英脉及主期含金石英脉中均见有液态型、气态型和纯气体型包体, 按其数量多少依次排列为: 液态型、气态型及纯气体型。后者较少见。气液比、液态型范围为 95%—60%, 多为 80%—90%, 气态型范围内为 50%—10%, 多为 30%—40%。在含金石英脉中气态型及纯气体型的数量比早期石英脉中相对多一些。

3.4.2 包体成分特征

根据包体的化学成分进行了物理化学参数计算, 并将结果列入表 1。

表 1 包体化学成分特征值表

Table 1 Characteristic values of chemical composition of inclusion

	$\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$	Cl^-/F^-	$\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$	矿化度	R	K/Na	Ca/Mg	盐度(%)
早期石英脉	0.028	0.92	0.59	42.77	0.24	1.47	3.42	6.1
321 矿脉	0.076	1.03	0.90	70.80	0.76	0.62	6.56	4.0
10 矿脉	0.049	1.46	0.34	109.77	0.64	0.75	19.37	4.1
40 矿脉	0.066	2.73	0.17	58.98	0.31	0.70	8.85	2.4
42 矿脉	0.079	1.10	0.68	61.98	0.59	0.62	35.30	4.2

注: R (还原参数) = $\frac{\text{H}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4}{\text{CO}_2}$

表 1 表明包体成分有如下特征:

①富 CO_2 。据邵洁涟研究^{〔1〕} $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 值一般多在 0.02—0.03 之间。本矿区早期石英脉 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 值较小为 0.028, 其余各含金石英脉的这一比值均大于 0.04, 一般均高出 1—2 倍, 说明含金石英脉中 CO_2 含量较高。

②还原参数 (R) 是以气相中还原性气体 $\text{H}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4$ 克分子数之和与氧化性气体 CO_2 克分子的比值 R 表示的。早期石英脉 R 值为 0.24, 含金石英脉 R 值范围为 0.31—0.76, 表明虽然两种石英脉形成时均处于氧化环境中, 且早期石英脉的氧化性环境较含金石英脉更强一些。故含金石英脉之 R 值大于 0.3 时对金矿化有利。

③阴离子 $\text{F}^-/\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ 比值, 从表 2 可以看出, 早期石英脉中 $\text{Cl}^-/\text{F}^- = 0.92$, F^- 略大于 Cl^- , $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^- = 0.59$, $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$, 表明溶液中 $\text{F}^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$, 且 F^- 与 Cl^- 近于相等。说明早期热液中以卤族元素 F 、 Cl 阴离子为主。在含金石英脉中 Cl^-/F^- 比值 > 1

(1.03—2.73), $\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^- < 1$ (0.17—0.90), 表明在含金热液中 $\text{F}^- < \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$, 以 Cl^- 离子为主, 金主要是以 $[\text{AuCl}_4]^{2-}$ 络合物形式运移的。

④ 早期石英脉 $\text{K} / \text{Na} = 1.47$, 表明无矿热液富含 K; 含金石英脉 $\text{K} / \text{Na} < 1$, 表明含矿热液富 Na。

⑤ 在早期石英脉中 $\text{Ca} / \text{Mg} = 3.42$, 含金石英脉中 Ca / Mg 范围 6.56—35.30, 属富 Ca 热液, 且 Ca / Mg 值高于无矿溶液 2—10 倍。

⑥ 早期石英脉中矿化度为 42.77g/l, 含金石英脉中矿化度范围是 43.93—109.77g/l, 矿化度高对成矿有利。

⑦ 早期石英脉盐度为 6.07wt%, 含金石英脉的盐度范围为 2.4—4.2wt%, 即有利金成矿盐度值在 2—4 之间。

⑧ 通过上述物理化学参数计算, 本矿区的两种石英脉的化学成分是有差异的。早期石英脉为 $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{F}(\text{Cl}) - \text{Ca}(\text{Mg})$ 型, 重盐度; 含金石英脉为 $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{Cl} - \text{Na} - \text{Ca}$ 型, 轻盐度。

4 微量元素特征

4.1 石英微量元素含量及浓集克拉克值 (表 2)

表 2 石英微量元素含量及浓集克拉克值 (ppm)

Table 2 Trace element content and concentration clarke (ppm) of quartz

脉号	Au	Ag	Bi	W	Cu	Pb	Zn	Co	Ni	Mo	As	Sb	Hg	Ti	Mn
早期	0.034	0.08	1.12	6.0	14.6	10.0	17.0	1.03	1.67	1.0	2.3	0.63	0.2	26.1	116
	8.75	1.1	6.58	4.0	0.26	0.8	0.24	0.04	0.02	0.67	1.2	3.15	2.5	0.005	0.122
32-1	1.53	1.86	84.2	9.1	28.0	67.6	43.3	5.5	21.7	2.94	12.0	2.41	0.33	60.3	123
	383	26.6	49.5	6.0	0.5	5.4	0.62	0.22	0.04	1.96	6.7	10.25	4.1	0.011	0.129
76	3.2	0.26	34.3	9.0	16.5	10.0	28.5	1.15	17.0	1.0	4.55	1.25	0.31	50.0	113
	800	3.71	202	6.0	0.3	0.8	0.41	0.07	0.22	0.67	2.5	6.15	3.8	0.009	0.119
10	0.7	0.22	10.7	8.0	43.0	10.0	13.0	1.9	24.0	50.0	6.4	1.7	0.2	50.0	125
	175	3.14	63	5.3	0.78	0.8	0.014	0.08	0.32	33.3	3.6	8.5	2.5	0.009	0.132
42	23.8	1.58	142	24	17.0	17.0	54.0	2.6	30.0	1.5	2.8	2.4	0.2	50.0	119
	5950	22.6	835	16	0.31	1.36	0.77	0.1	0.4	1.0	1.6	12	2.5	0.009	0.125
40	0.2	0.58	24.9	16	47.0	14.0	8.9	2.7	32.0	4.5	11.0	2.2	0.88	242	183
	50	8.28	146	10.7	0.85	1.1	0.12	0.11	0.43	3.0	6.1	11	11	0.42	0.193
6	3.0	0.76	24.8	12.0	46.0	29.0	12.0	9.9	36.0	1.0	2.8	2.1	0.37	50.0	127
	750	10.8	14.6	8.0	0.84	2.3	0.17	0.36	0.48	0.67	1.6	10.5	4.6	0.009	0.134
地壳岩石 克拉克值	0.004	0.07	0.17	1.5	55	12.5	70	25	75	1.5	1.8	0.2	0.08	57	950

注: ①地壳岩石克拉克值据泰勒; ②浓集克拉克值 = $\frac{\text{元素含量}}{\text{克拉克值}}$; ③表中数字例: 0.034 元素含量; 8.75 浓集克拉克值

从表2可以发现: 早期石英脉中各个微量元素的含量几乎无一例外的低于含金石英脉中相同元素的含量。同时, 可以根据浓集克拉克值, 将微量元素分为三类: 第一类, 浓集克拉克值小于1, 即元素含量低于克拉克值, 有 Cu、Zn、Co、Ni、Ti、Mn; 第二类浓集克拉克值近似等于1到2, 也就是说元素含量等于或稍大于克拉克值的元素有 Pb、Mo; 第三类浓集克拉克值大于2, 即元素含量大大超过克拉克值的含量有 Au、Ag、Bi、W、Sb、As、Hg。为了研究微量元素分配特征的规律性, 将刘桂芝(1991年)^[2]关于五龙金矿区岩石微量元素计算的浓集克拉克值转引后重新计算结果如表3。

表3 岩石微量元素及浓集克拉克值 (单位 ppm)

Table 3 Trace element content and concentration clarke (ppm) of rocks

岩石名称	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Bi	As	Sb
花岗片麻岩	0.022	0.38	40	80	70	8.3	8.3	0.33	2.65	0.83
	5.5	5.43	0.73	6.40	1.0	0.11	0.33	1.94	10.3	1.34
三股流	0.036	0.507	68.9	86.7	100	10.1	7.24	9.47	41.5	3.45
花岗闪长岩	9.0	7.24	1.25	0.94	1.43	0.13	0.49	55.7	18.8	5.56
中酸性脉岩	0.039	0.14	65	33.9	66.3	16.7	15.0	2.5	12.4	0.35
	9.75	2.0	1.18	2.71	0.95	0.22	0.6	14.7	5.63	0.56
基性脉岩	0.024	0.16	30	15.0	93.0	70.0	16.7	0.1	9.83	0.33
	6.0	2.29	0.54	1.2	1.33	0.93	0.67	0.59	4.47	0.53
地壳克拉克值 (据泰勒)	0.004	0.07	55	1.25	70.0	75.0	25.0	0.17	1.8	0.62

从表2与表3对比可以看出, 石英脉中石英与岩石中石英的微量元素的浓集克拉克值几乎相同, 均在低于1和大于2的范围。而浓集克拉克值在1—2之间的元素, 由于元素分析项目不齐全, 故难于对比, 但从已列出的结果可以说明石英脉与本地区的岩浆岩微量元素有明显继承性的特点。

根据含金石英脉中的微量元素浓集程度大小, 可将金属元素含量由高至低序列依次排列为 Au、Bi、Ag、W、Sb、As、Hg、Pb、Mo、Cu、Zn、Ni、Co、Mn、Ti。

4.2 Au/Ag 比值

早期石英脉 Au/Ag 比值变化范围为 0.186—0.778, 平均值为 0.51; 含金石英脉 Au/Ag 比值变化范围为 0.036—15.06, 平均值为 4.37, 其中比值大于1者占总测定样品数的 69%。又从 20 个样品的 Ag 品位在 0.1—0.8ppm 范围的达 80%, 表明 Ag 品位变化是较稳定的。由于金、银元素有较好的相关关系, 相关系数 0.7925, 因此, Au/Ag 比值是评价石英脉含金性的重要标志之一。

5 石英热发光特征

石英热发光样品测出的热发光曲线可分为三种类型。

第一类单峰型, 为开阔的单峰, 最高发光强度多在 25% 以下, 高峰发光温度在 230—

280℃, 这一类为极贫矿型, 早期石英脉多属此类。

第二类双峰型, 为不对称双峰, 双峰不等高。第一高峰发光强度为 35%—45%, 高峰温度 230—270℃。第二高峰发光强度稍低为 25%—30%, 高峰发光温度为 270—300℃。这一类型属较贫矿型, 含金石英脉中低品位石英脉属此类型。

第三类多峰型, 为开阔不对称型热发光曲线, 低温区峰坡稍陡, 顶峰宽且有小峰多次出现, 高温区峰坡缓缓持续不降, 峰坡不平滑, 最高峰发光强度在 30% 左右, 而高温区的低谷强度也持续在 20% 左右。属富矿型。

由此可见, 由单峰→双峰→多峰, 金矿化由极贫→较富。

6 红外光谱特征

通过对 8 个样品红外光谱测定发现石英中 H_2O 、 CO_2 包体的红外光谱分别位于 $3400cm^{-1}$ 、 $2300cm^{-1}$ 附近, 其相对光密度结果如表 4。

表 4 石英包体红外吸收光谱相对光密度表

Table 4 Relative optical density of infrared absorption spectroscopy for inclusions in quartz

样号	岩 性	H_2O	CO_2	金含量 (ppm)	备注
C-1	早期石英脉	0.99	3.34	0.013	
C-2	早期石英脉	0.92	0.36	0.098	
C-3	含金石英脉	2.70	0.96	3.800	
C-5	含金石英脉	1.06	0.29	0.400	
C-7	含金石英脉	1.56	0.44	—	未分析金
C-8	含金石英脉	2.00	0.79	6.400	
C-10	含金石英脉	2.03	0.52	—	未分析金
C-11	含金石英脉	1.94	0.70	2.00	

上表清楚表明早期(无矿)石英脉中, 石英包体 H_2O 的相对光密度均小于 1, 而含金石英脉中石英包体 H_2O 的相对光密度均大于 1, 且 CO_2 的相对光密度值越高样品中金品位也越高, 故红外吸收光谱也是金富集的重要标型特征之一。

7 结 论

通过对五龙金矿含金石英脉中石英的显微构造、气液包体, 微量元素及热发光的标型特征研究得出如下几点认识:

①石英显微构造中石英晶体的塑性变形(变形纹, 变形带及亚颗粒)和脆性变形(微裂隙)及熔融现象(焊接构造)等普遍发育的特点是评价含金石英脉标型特征之一。

②气液包体综合特征亦可作为石英脉含金性评价标志之一。

含金石英脉中气液包体数量多, 成矿温度阶段性显示明显, 沸腾现象发育。包体的化学成分中高 CO_2 、富 Cl、富 Na, 高 Ca, 较高矿化度和较低盐度, 其成矿溶液化学成分为

$\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-Cl-Na-Ca}$ 型。

无矿(早期)石英脉中气液包体数量少,成矿温度难以划分阶段,未见沸腾现象,其包体化学成分中富含 CO_2 ($\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O} < 0.03$ 为 0.024)、富 F (Cl) ($\text{Cl}^-/\text{F}^- = 0.92$, $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^- = 0.59$, $\text{F}^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$)、富 K ($\text{K}/\text{Na} > 1$ 为 1.4), 稍富 Ca ($\text{Ca}/\text{Mg} = 3.42$), 矿化度较低 (42.77), 盐度较高 (6.1wt%), 其溶液化学成分为 $\text{C}_2\text{O-H}_2\text{O-F(Cl)-K-Ca(Mg)}$ 型。

③微量元素中 Sb、Bi、W、Ag 是主要成矿元素与金密切相关, 其相关系数依次是 0.97, 0.96, 0.84, 0.74。且这四种元素的浓集克拉克值较高依次为 6.12—12, 10.7—84.2, 5.3—16, 0.22—1.86。所以也可作为找金的标志。

④热发光曲线在含金石英脉中为开阔、不对称的双峰, 多峰型、而无矿石英脉则为单峰型, 亦可以作为找金的石英标型特征。

五龙金矿床石英脉很多, 根据地质特征综合应用石英矿物标型特征对于找金是有很大指示意义的。

8 参考文献

- 1 邵洁涟. 金矿找矿矿物学. 中国地质大学出版社, 1988.
- 2 刘桂芝. 辽宁五龙金矿地质特征及矿床成因. 沈阳黄金学院学报, 1991, (2).

THE TYPOMORPHIC CHARACTERISTICS OF QUARTZ IN GOLD QUARTZ VEIN AND ORE-SEARCHING SIGNIFICANCE IN WULONG GOLD DEPOSIT OF LIAONING PROVINCE

Liu Guizhi Zhang Weisong

(Shenyang Institute of Gold Technology)

Abstract

In Wulong gold deposit of Liaoning, the ductile deformation, microcrack and corrosion in quartz crystals is common in gold quartz vein and uncommon or lacking in barren quartz vein. Fluid inclusion is characterized by abundance, clear stages of mineralization temperature and development of ebullition in gold quartz vein and on the contrary in barren quartz vein. The chemical composition of inclusions lead us to infer that the ore fluid is of $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-Cl-Na-Ca}$ type and the hydrothermal solution of barren quartz vein is of $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-F(Cl)-K-Ca(Mg)}$ type. Concentration clarke (Ck) of trace elements in quartz and correlation coefficients show that Au, Sb, Bi, W, Ag are major ore-forming elements and the C_k is richer in gold quartz vein than in barren quartz vein. The

thermoluminescence curve shows double peaks or multiple peaks for gold quartz vein, but single peak for barren quartz vein.

Above typomorphic characteristics of quartz are important indicators for gold quartz veins in the Wulong gold deposit.

Key words Wulong gold deposit quartz typomorphic characteristics