

湖北省随州市北部变质岩中 石英的找矿矿物学*

谭秋明

(湖北省地质科学研究所, 武汉 430022)

主题词 随州市北部 石英 找矿矿物学

提 要 湖北省随州市北部的变质岩中, 发育有不同期的矿化与非矿化石英脉。本文通过对石英的电子顺磁共振谱、热发光曲线及中子活化分析结果的研究, 系统探讨了不同时代及产状石英的差异及其与金矿化之间的关系。指出石英晶格中出现 Fe^{3+} 杂质、 $Al-O^-$ 心自旋浓度大于 1.3×10^{16} spins/mg、有Au和Ag检出且K/Na值大于3, 其所在蚀变带为含矿蚀变破碎带。

1 地质概况

在湖北省随州市北部, 以新城-黄陂断裂带为界, 北东侧发育下-中元古界花岗质片麻岩、黑云母斜长片麻岩和斜长角闪片麻岩等, 其变质程度达角闪岩相; 南西侧发育中-上元古界白云石英-钠长片岩和绿片岩类, 变质程度达绿片岩相。主区域变质期为加里东期, 变质作用方式主要为顺层韧性剪切作用, 形成褶皱层、无根钩状褶皱等变质构造, 且在下部白云石英-钠长片岩类和上覆绿片岩之间, 形成互相包裹的构造过渡层。印支-燕山期, 在新城-黄陂断裂带南西侧的中-上元古界中产生了由南南西向北东的脆性-脆性逆冲推覆构造, 其早期为脆性逆冲推覆期, 形成斜歪-倒转褶皱及疏密不等的褶皱带; 晚期为脆性逆冲推覆期, 常形成叠加于褶皱带上的脆性铲式断层及一系列倾向南的叠瓦式逆冲断层。在轴向上, 逆冲推覆构造可分成后缘带、根带、中带、锋带和外缘带^①, 其中根带和后缘带已出本次研究范围。褶皱密集带主要分布在中带, 叠加有脆性铲式断层的褶皱带是本区主要的容矿构造^①。外缘带形成一组高角度逆冲断层和碎裂岩带, 可将其归入新城-黄陂断裂带。本区各类石英可分为4期7阶段:

I期 火山喷发-沉积-成岩期, 以压熔顺层石英脉为主, 沿褶皱层分布, 常被改造成封闭式褶皱或钩状褶皱, 由于片理发育, 该期石英脉较难判别。

II期 主变质期, 其特征是顺片理分布, 分两个阶段: (1)组成片岩的石英(II₁), 属顺层韧性剪切作用中形成或改造成的石英; (2)顺片理分布的石英脉或长英岩脉(II₂), 属晚期应力松弛阶段由侧分泌作用形成。

* 本文为《湖北省随州市北部金(银)成矿地质条件及找矿方向研究》科研成果的一部分, 参加研究的尚有李正琪、刘忠明、何洪才、刘志范。

本文于1994年3月10日收到, 1994年12月24日改回。

① 刘忠明等, 随州逆冲推覆构造。湖北地质科技信息, 1994(2)。

Ⅲ期 逆冲推覆构造期，其特点是沿褶皱带分布，分为三个阶段：(1)沿褶皱面理分布的新生石英(Ⅲ₁)；(2)脆性动力改造形成的糖粒状石英(Ⅲ₂)，本阶段是形成黄铁绢英岩化蚀变型矿体的主要阶段；(3)顺褶皱面理发育的硫化物石英脉(Ⅲ₃)，为硫化物石英脉型银金矿的主要形成期。

Ⅳ期 晚期，无明显变形的石英脉。

笔者对Ⅱ、Ⅲ和Ⅳ期的石英选取单矿物，分别进行电子顺磁共振、热发光和中子活化分析。

2 石英的电子顺磁共振谱(EPR)^{[2,3],①}

本次研究对石英作了室温下和冷冻温度(85K)下的电子顺磁共振测试，图1给出了85K条件下石英的电子顺磁共振谱(EPR)。据谱判读出石英中Fe³⁺和Al-O⁻心的自旋浓度(表1)。

表1 石英的Al-O⁻心和Fe³⁺自旋浓度(单位: spins/mg)

Table 1 Al-O⁻ Centre and Fe³⁺ auto-rotation concentration of quartz (spins/mg)

样号	期及阶段	位置	Al-O ⁻ ×10 ¹³	Fe ³⁺ ×10 ¹³	样号	期、阶段	位置	Al-O ⁻ ×10 ¹³	Fe ³⁺ ×10 ¹⁴
Z ₁₂	Ⅱ ₁	六间屋	18.0	0	Z ₆	Ⅲ ₁	卸甲沟 Tc ₁₀₇₆	50.3	15.3
Z ₁₃	Ⅱ ₂	六间屋	1.81	0	Z ₇			13.0	4.04
Z ₁₄		老庄	10.3	0	Z ₈			16.3	1.92
Z ₁₆		曹家庄	9.84	0	Z ₉			53.1	27.7
Z ₁₇		江头店	8.75	0	Z ₁₀			16.2	4.68
Z ₁	Ⅲ ₁	黑龙潭 Tc ₁₆	49.4	18.4	Z ₄₋₂	Ⅲ ₂	同Z ₄₋₁	42.2	103
Z ₂			31.9	9.63	Z ₅	Ⅲ ₃	黑龙潭	18.6	0
Z ₃			29.8	4.06	Z ₁₁₋₁		卸甲沟	31.9	3.29
Z ₁₋₁			18.5	8.69	Z ₁₅	Ⅳ	碾子沟	2.40	0

测试单位：吉林大学测试中心。Al-O⁻心用TEMPOI标准样品标定；Fe³⁺用MnSO₄标准样品标定

图1 a 为不同期及阶段石英的EPR谱。由图可见，Ⅱ期石英的EPR谱呈现细密曲线，具明显的精细结构。其中Ⅱ₁和Ⅱ₂阶段石英的明显区别是：后者在g=2.6附近有一明显的谷，目前对该谷的杂质含义尚未作出解释。Z₁₆是被后期改造成透镜状的Ⅱ₂阶段石英脉中的石英，其谱线的包络面形态接近Ⅲ期石英。该阶段石英中，Al-O⁻心自旋浓度较低，为1.81×10¹³—1.80×10¹⁴spins/mg，平均为9.74×10¹³spins/mg，Fe³⁺杂质反映不明显。Ⅲ期石英的EPR谱较为平滑，反映最明显的是g=2.008处的Al-O⁻心和g=4.13处的Fe³⁺。该期石英中Al-O⁻心自旋浓度高，达1.30×10¹⁴—5.31×10¹⁴spins/mg，平均为2.99×10¹⁴spins/mg；Fe³⁺杂

① 李高山等，矿物中的电子心-空穴心及其在找矿勘探中的应用。自然科学基金科研报告，1991。

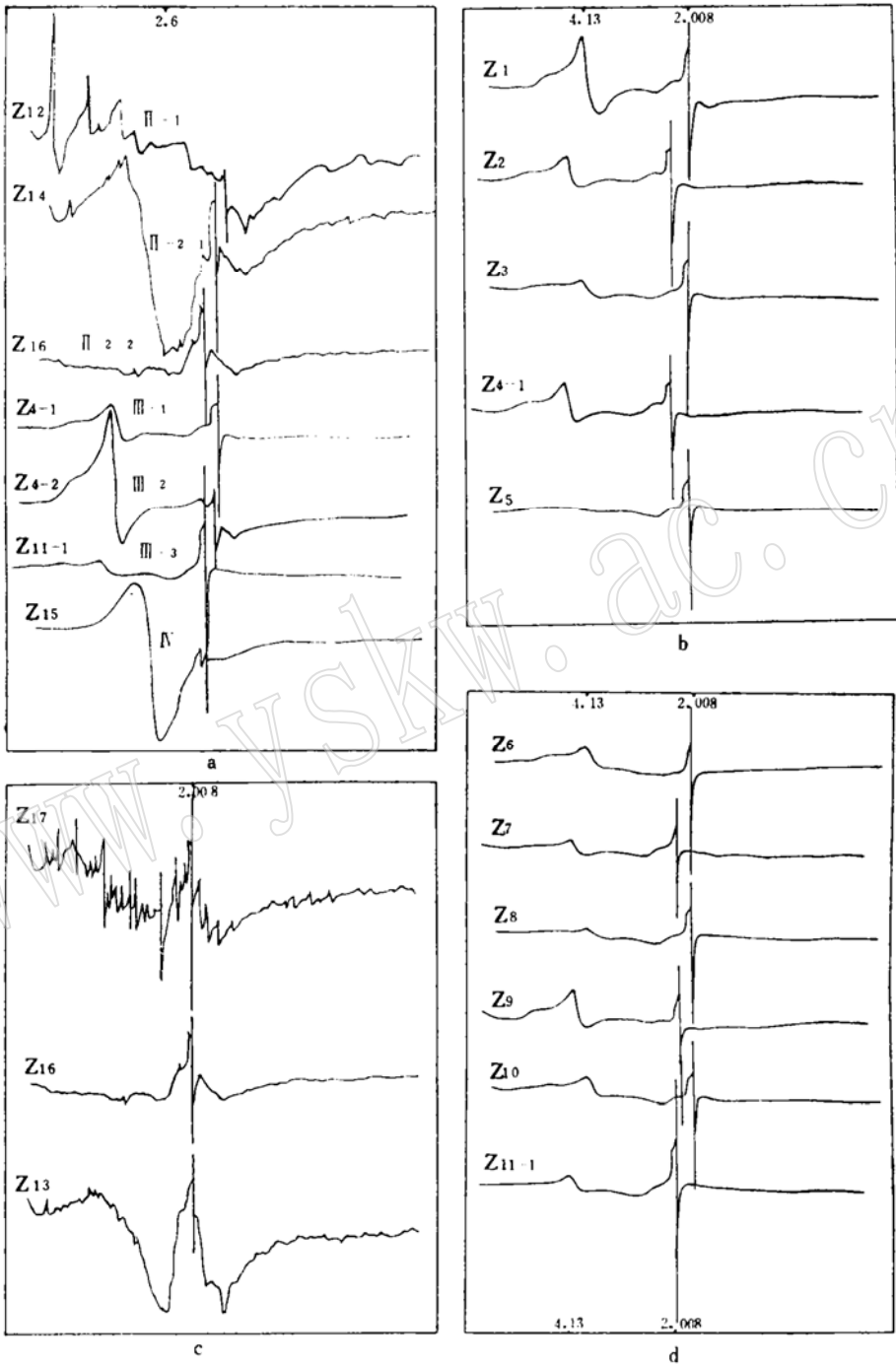


图 1 石英的电子顺磁共振谱 (EPR)

Fig. 1 Electron paramagnetic resonance (EPR) of quartz

测试单位：吉林大学测试中心。温度为85K

质信号明显,其自旋浓度为 $1.92 \times 10^{13} - 2.77 \times 10^{14}$ spins/mg,平均 7.18×10^{13} spins/mg;其中以Ⅲ₂阶段石英的Al-O⁻心和Fe³⁺自旋浓度最高,如表1中的Z₄₋₂(Ⅲ₂)是Z₄₋₁(Ⅲ₁)中的2.3倍和11.8倍。Ⅳ期石英的EPR谱呈圆滑曲线,但 $g = 4.13$ 处的Fe³⁺谱线消失,在 $g = 3.0$ 处出现一宽谱,呈现与前两期石英明显不同的曲线形态,Al-O⁻心自旋浓度最低,仅为 2.40×10^{13} spins/mg。

不同构造带内同一阶段石英的谱线特征不同。图1c为Ⅱ₂阶段石英的EPR谱,Z₁₃为位于中带2中顺片理石英脉内的石英,其谱线在 $g = 2.008$ 两侧形成两个深谷,Al-O⁻心自旋浓度低,仅为 1.81×10^{13} spins/mg;Z₁₆为中带3中被改造成透镜状的顺片理石英脉内的石英, $g = 2.008$ 附近的谷消失,Al-O⁻心自旋浓度为 9.84×10^{13} spins/mg;Z₁₇为位于锋带和前缘带之间的被改造成透镜状的顺片理石英脉中的石英,其EPR谱在 $g = 2.008$ 附近及左侧出现密集的振幅较大的精细结构,吉林大学测试中心的郑莹光认为,该种结构有点类似于红宝石中的Cr³⁺,其Al-O⁻心自旋浓度为 8.75×10^{13} spins/mg。

图1b、1d分别为黑龙潭和卸甲沟矿区含矿蚀变带中的石英。其中Z₃、Z₇、Z₈为含金大于 1×10^{-6} 的贫矿体中的石英,其Al-O⁻心自旋浓度为 $1.3 \times 10^{14} - 2.98 \times 10^{14}$ spins/mg,平均为 1.97×10^{14} spins/mg,Fe³⁺自旋浓度为 $1.92 \times 10^{13} - 4.06 \times 10^{13}$ spins/mg,平均为 3.3×10^{13} spins/mg;Z₅、Z₁₁₋₁为含金硫化物石英脉中的石英,其Al-O⁻心自旋浓度 $1.86 \times 10^{14} - 3.19 \times 10^{14}$ spins/mg,平均为 2.28×10^{14} spins/mg,Fe³⁺自旋浓度为 $0 - 3.29 \times 10^{13}$ spins/mg,平均为 1.65×10^{13} spins/mg;其余为蚀变绢英岩内的石英,其Al-O⁻心自旋浓度为 $1.62 \times 10^{14} - 5.31 \times 10^{14}$ spins/mg,平均为 3.66×10^{14} spins/mg,Fe³⁺自旋浓度为 $4.68 \times 10^{13} - 27.7 \times 10^{13}$ spins/mg,平均为 1.41×10^{14} spins/mg。从上述情况看,矿体中石英的Al-O⁻心和Fe³⁺自旋浓度均低于蚀变围岩中的石英。但从区域看,含矿蚀变带中石英的Al-O⁻心和Fe³⁺自旋浓度明显高于其它石英,其平均值分别为 2.99×10^{14} spins/mg和 8.88×10^{13} spins/mg;而其它石英中Al-O⁻心和Fe³⁺自旋浓度平均值分别为 8.52×10^{13} spins/mg和0。笔者初步拟用Al-O⁻心自旋浓度大于 1.3×10^{14} spins/mg和出现明显Fe³⁺讯号的石英作为判别含矿蚀变破碎带的标志。

3 石英的热发光^{[4]①②③}

区内石英的热发光曲线见图2和图3。根据热发光曲线可获得各类数据(见表2)。

由图2和图3可见,Ⅱ期石英以单向曲线为主,热发光总积分强度较低,一般为0.115—0.201,仅片岩中的石英出现单峰,且积分强度达0.775。Ⅲ₁阶段的石英形成单峰和单向曲线,总积分强度较高,为0.133—1.702,平均为0.559,但离差很大;Ⅲ₂阶段的石英呈单峰曲线,总积分强度较高,为0.229;Ⅲ₃阶段的石英呈单峰和双峰曲线,总积分强度高达0.333—0.745,平均为0.539。Ⅳ期石英呈单向曲线,总积分强度最低,为0.136。由此可见,Ⅲ期石英的热发光总积分强度较其它石英为高,其单样品的值一般大于0.200,而其它石英的值大多

① 邵伟,矿物天然热发光标型研究方法与实践。全国第二届成因矿物学与找矿矿物学学术会议资料,1986。

② 刘劲鸿,新家一山门矿化区石英的成因矿物学研究。全国第二届成因矿物学与找矿矿物学学术会议资料,1986。

③ 冯建良等,石英在寻找脉钨矿床中的意义。全国第二届成因矿物学与找矿矿物学学术会议资料,1986。

表 2 石英的热发光数据
Table 2 Thermoluminescent data of quartz

样号	期及阶段	位置及产状	峰类	峰位 (°C)	峰强 (mR)	半高宽 (2δ) (°C)	陷井深度 (E, eV)	隐伏峰位 (°C)	隐伏峰强 (mR)	总积分强度 (R)	起始发光位 (°C)	
Z ₁₂	II ₁	六间屋, 片岩	单峰	400	330	130	0.60	280	180	0.775	200	
Z ₁₃	II ₂	六间屋, 石英脉	单向							0.115	325	
Z ₁₄		老庄, 石英脉	单向							0.143	315	
Z ₁₆		曹家庄, 透镜状石英脉	单向					325	40	0.201	250	
Z ₁₇		江头店, 透镜状石英脉	单向							0.144	305	
Z ₁	III ₁	黑龙潭 T _{C176} 蚀变黄铁绢英岩, Z ₃ 为矿体	单峰	100	260	37	2.11	275	140	0.560	215	
Z ₂			单峰	400	154	55	1.42				0.247	265
Z ₃			单向						325	70	0.213	245
Z ₄₋₁			单向						340	60	0.239	240
Z ₅		卸甲沟 T _{C1376} 蚀变黄铁绢英岩, Z ₇ 、Z ₈ 为矿体	单峰	308	1860	50	1.16	400	750	1.702	200	
Z ₇			单峰	325	430	140	0.44	400	246	1.023	170	
Z ₈			单向								0.153	300
Z ₉			单峰	400	506	75	1.04	275	160	0.762	215	
Z ₁₀			单向								0.133	320
Z ₄₋₂			III ₂	同 Z ₁₋₁	单峰	400	230	45	1.74			0.290
Z ₅	III ₃	黑龙潭含金石英脉	单峰	305	100	125	0.46			0.333	200	
Z ₁₁₋₁		卸甲沟含金硫化物石英脉	双峰	400	300	35	2.24			0.745	250	
				315	280	105	0.56					
Z ₁₅	IV	碾子沟晚期石英脉	单向							0.136	330	

测试单位: 中国地质大学(北京)成因矿物研究室

低于 0.200。根据峰值和半高宽, 可以计算陷井深度, 其公式为^[5]:

$$E = KT^2/\delta$$

式中: T 为峰值, δ 为半高宽的一半, $K = 8.62 \times 10^{-5} \text{eV/K}$, E 的单位为 eV。

只要有峰出现的石英, 都可计算出 E。

由表 2 可知, II 期石英大多为单向曲线, 故不能算出 E, 仅 II₁ 阶段石英的陷井深度达 0.6eV; III₁ 阶段的石英样品有 55% 可计算出 E, 其值为 0.44—2.11eV, 平均为 1.23eV; III₂ 阶段的石英呈单峰, 其陷井深度为 1.74eV; III₃ 阶段的石英为单峰或双峰, 其在 305°C—315°C 峰的陷井深度为 0.46—0.56eV, 平均为 0.51eV, 而 400°C 峰的陷井深度达 2.24eV。由上可见, 由早期石英向晚期石英, 其总的变化趋势是: 热发光曲线形态渐趋复杂, 由单向曲线向双峰曲线演化; 陷井深度由小变大; 总积分强度则呈波浪式演化。这种演化趋势不包括 IV 期石英。

图 2 为黑龙潭和卸甲沟矿区含矿蚀变带中石英的热发光曲线, 其中 Z₃、Z₇、Z₈ 为 Au >

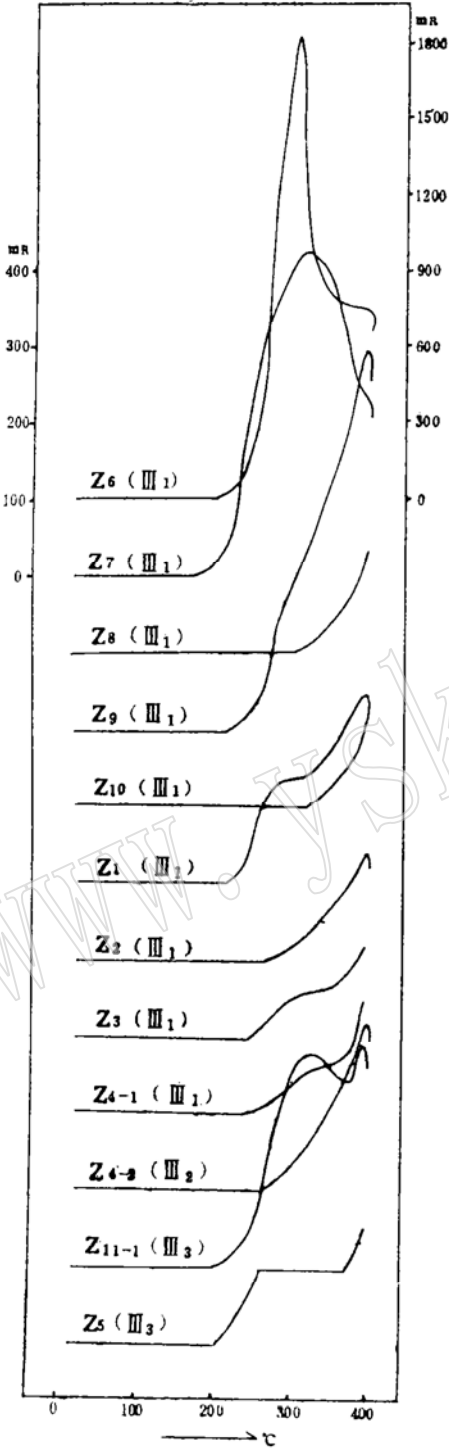


图 2 Ⅲ期石英的热发光曲线

Fig. 2 Thermoluminescent curve of quartz (phase Ⅲ)

测试单位同表 2；测试条件：增温速度为 2 °C/s

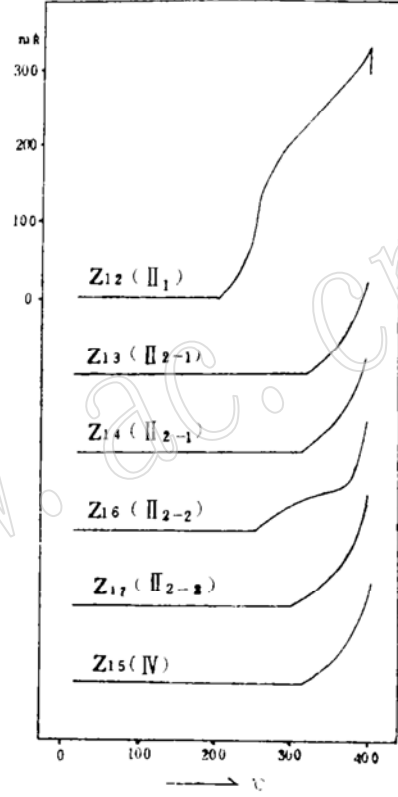


图 3 Ⅱ、Ⅳ期石英的热发光曲线

Fig. 3 Thermoluminescent curve of quartz (phase Ⅱ and Ⅳ)

测试条件及测试单位同图 2

1×10^{-6} 的贫矿体内的石英, Z_5 、 Z_{11-1} 为含金硫化物石英脉中的石英, Z_3 、 Z_6 、 Z_9 为脆性断层中的石英样品。由图 2 和表 2 可见, 含矿破碎蚀变带内石英的热发光曲线形态及积分强度与金含量及破碎程度之间并无明显的依存关系。在黑龙潭矿区, 脆性断层和矿体中石英的热发光积分强度较蚀变围岩低; 而卸甲沟矿区则相反。但总体看, 含矿蚀变带中石英的热发光曲线大多呈单峰, 乃至双峰, 积分强度一般大于 0.200, 而其它石英的热发光曲线则大多呈单向曲线, 且积分强度大多低于 0.200。

4 石英的元素含量

表 3 列出了不同期及阶段石英的元素平均含量。

表 3 各期石英的元素含量*
Table 3 Element contents of quartz of different phases

顺序号	1	2	3	4	5	6	7
期及阶段	II ₁	II ₂₋₁	II ₂₋₂	III ₁	III ₂	III ₃	IV
样品数	1	2	2	9	1	2	1
Au	<0.1	<0.1	<0.1	89.5	317.0	18.1	<0.1
Ag	<0.1	<0.1	<0.1	3.7	7.9	9.1	<0.1
As	2.8	0.45	0.45	2.61	5.4	2.5	0.3
Sb	0.7	0.4	0.75	2.48	1.3	2.2	0.4
W	<0.5	0.7	<0.5	2.04	10.3	0.8	<0.5
Sc	3.24	0.035	0.075	0.60	4.95	0.105	0.01
Rb	<5	<5	<5	10.2	60	<5	<5
Cs	0.2	0.3	0.3	0.41	1.3	0.15	<0.1
Zr	92	23	11	13.4	130	9	19
Hf	3.6	<0.1	0.13	0.17	2.5	0.1	<0.1
Th	1.59	0.12	0.15	0.13	0.62	0.12	<0.01
U	0.7	0.15	0.15	0.32	0.2	0.225	0.1
Fe	2900	195	160	265	2500	75	470
Na	43090	1000	620	222	350	80	40
K	5610	340	505	2564	16430	1055	70
Ca	860	1690	565	2561	3010	1070	340
Ti	400	225	250	<100	<100	<100	<100
La	9.01	0.145	0.66	0.64	3.42	0.18	0.13
Ce	13.69	0.33	1.485	1.46	8.21	0.355	0.29
Nd	11.00	0.185	0.855	0.92	4.80	0.175	0.16
Sm	2.39	0.075	0.32	0.30	1.38	0.105	0.05
Eu	0.61	0.045	0.10	0.09	0.50	0.04	0.04
Tb	0.42	0.065	0.07	0.057	0.28	0.025	0.06
Yb	2.01	0.17	0.18	0.24	1.62	0.095	0.20
Lu	0.38	0.025	0.035	0.03	0.22	0.015	0.02
K/Na	0.13	0.34	0.81	11.55	46.94	13.19	1.75
Rb/Sr	<0.13	<0.13	<0.13	1.70	5.45	0.33	<0.13

* Au 为 10^{-9} , 其余为 10^{-6} 。测试方法: 中子活化法; 测试单位: 成都理工大学核分析研究室

由表3可见,除U、Th、Hf、Ti等少数几个元素在Ⅱ期石英中富集外,几乎所有元素全在Ⅲ期石英中富集。由早期向晚期,Na有递减趋势,而Au和Ag则只在Ⅲ期石英中有检出。稀土总量可能在Ⅱ₁阶段石英中最高,次为Ⅲ₂阶段石英。Ⅱ₂₋₁阶段和Ⅳ期石英的La/Yb比值均小于1,可能具重稀土富集特征,其余均为轻稀土富集型。Ⅲ期石英的K/Na比值和Rb/Sr比值明显高于其它石英。单样品分析结果,Ⅲ期石英的K/Na比值一般在8.33—46.94(11),只有一个样品为1.91,而其它石英中K/Na比值仅为0.13—1.75。因Ⅲ期石英主要分布在含矿蚀变破碎带中,所以,可以以石英中能检出Au和Ag、K/Na比值大于3、Rb/Sr比值大于0.3作为判别含矿蚀变带的标志。

对于不同构造带中石英的元素含量变化,为了说明问题,笔者选取Ⅱ₂阶段的石英,低于检出限的元素均未列入。石英的元素含量特征见表4。其中Sb、Cs、Hf、K、Yb、Lu在中带3中最高;而As、Sc、Th、Ti在中带3中最低;W、Zr、Fe、Na、Ca由锋带向中带逐渐增高;而稀土总量则由锋带向中带2降低;Sc、Th和稀土总量在锋带中最高。从比值特征看,K/Na比值由锋带向中带2逐渐降低;La/Yb比值在中带接近1,而在锋带达7.86。从上述情况看,逆冲推覆构造不仅控制着元素的分布和分配,而且也影响着石英中稀土元素的分

表4 不同构造带中Ⅱ₂阶段石英的元素含量(10^{-6})

Table 4 Element contents of quartz of phase Ⅱ₂ in different structural zones(10^{-6})

样号	Z ₁₇	Z ₁₆	Z ₁₃
构造带	锋带与外带交接部	中带3	中带2
As	0.5	0.4	0.5
Sb	0.7	0.8	0.3
W	<0.5	<0.5	1.1
Sc	0.11	0.04	0.05
Cs	0.2	0.4	0.2
Zr	10	12	17
Hf	0.1	0.2	<0.1
Th	0.3	<0.01	0.14
U	0.1	0.2	0.2
Fe	120	200	290
Na	280	960	1200
K	470	540	360
Ca	400	730	930
Ti	300	200	400
La	1.10	0.22	0.14
Ce	2.43	0.54	0.30
Nd	1.40	0.31	0.17
Sm	0.52	0.12	0.07
Eu	0.16	0.04	0.04
Tb	0.07	0.07	0.06
Yb	0.14	0.22	0.12
Lu	0.02	0.05	0.03
K/Na	1.68	0.56	0.30

测试单位:同表3

馏。

含矿蚀变带中不同部位的石英, 其元素含量也显著不同(表 5)。

表 5 含矿蚀变带不同部位内石英的元素含量(Au为 10^{-9} ,其余为 10^{-5})

Table 5 Element contents of quartz at different positions of the ore-bearing alteration zone(Au, 10^{-9} ;others, 10^{-5})

序 号	1	2	3	4	5
部 位	顶板蚀变绢云岩	脆性断层	底板蚀变绢云岩	矿 体	蚀变围岩
样 数	3	3	3	5	6
Au	6.97	248.8	12.6	36.3	110.0
Ag	3.68	6.42	0.93	5.81	3.72
As	2.0	3.3	2.53	2.60	2.58
Sb	0.63	4.00	2.80	2.62	2.27
W	1.45	3.60	1.07	0.82	2.65
Sc	0.64	0.90	0.27	0.17	0.80
Rb	10.0	16.0	4.3	3.0	13.8
Cs	0.33	0.87	0.17	0.16	0.53
Zr	21	8	11.3	11.4	13.7
Hf	0.27	0.15	0.08	0.06	0.23
Th	0.16	0.18	0.06	0.10	0.16
U	0.27	0.47	0.23	0.32	0.35
Fe	393	540	183	106	495
Na	156.7	240	270	186	205
K	2630	3610	1453	1120	3265
Ca	2300	3000	2383	2094	2453
La	0.54	1.14	0.23	0.22	0.83
Ce	1.19	2.59	0.60	0.43	1.94
Nd	0.8	1.58	0.40	0.25	1.23
Sm	0.26	0.50	0.14	0.12	0.38
Eu	0.11	0.08	0.05	0.05	0.10
Tb	0.06	0.08	0.03	0.03	0.07
Yb	0.20	0.43	0.11	0.10	0.32

测试单位同表 3

由表 5 可见, 除 Na、Zr、Hf 外, 几乎所有元素均在脆性断层内的石英中富集。Na 由顶板蚀变围岩向底板蚀变围岩逐渐升高, 而 Hf 则与之相反。顶板蚀变岩中石英内的其它元素与底板蚀变岩中的石英相比, Au、As、Sb、Ca 在底板中较高, Ag、W、Sc、Rb、Cs、Zr、Th、U、K 在顶板中较高。K/Na 和 La/Yb 比值均由顶板向底板逐渐降低。Eu 可能在脆性断层中出现亏损, 反映脆性断层对元素分布及稀土分馏也起着一定作用。

矿体和蚀变围岩中石英的元素含量与岩石中元素含量并不一致, 矿体内的石英除 Ag、As、Sb 略显浓集外, 其余元素均低于蚀变围岩中的石英。说明在含矿蚀变带内部, 石英的金含量与矿石的金含量间并无明显的依存关系, 这与电子顺磁共振和热发光得出的结论大致是吻合的。

5 特征值的相关分析

相关分析表明,石英中的Al-O⁻心自旋浓度与其K/Na比值、Rb/Sr比值、热发光强度(R)和金含量间呈明显正相关,与其Fe³⁺自旋浓度具一定正相关,与Zr/Hf比值具一定负相关。其回归方程和相关系数为:

$$\text{Al-O}^- = 15.337 + 0.635 \text{ K/Na} \quad (r = 0.605_{(18)})$$

$$\text{Al-O}^- = 21.175 + 4.465 \text{ Rb/Sr} \quad (r = 0.747_{(12)})$$

$$\text{Al-O}^- = -7.268 + 72.046 \text{ R} \quad (r = 0.548_{(18)})$$

石英中Fe³⁺自旋浓度与Rb/Sr比值、Fe+100(Cr+Ni+Co)、K/Na比值具明显正相关,与Al-O⁻心自旋浓度、Au也具一定正相关,与U/Th比值具一定负相关,其回归方程和相关系数为:

$$\text{Fe}^{3+} = -0.524 + 7.590 \text{ Rb/Sr} \quad (r = 0.697_{(12)})$$

$$\text{Fe}^{3+} = -3.918 + 0.0155[\text{Fe} + 100(\text{Cr} + \text{Ni} + \text{Co})] \quad (r = 0.575_{(12)})$$

$$\text{Fe}^{3+} = -5.498 + 1.051 \text{ K/Na} \quad (r = 0.559_{(12)})$$

石英中Au含量与K/Na比值、热发光总积分强度具明显正相关,与Al-O⁻心和Fe³⁺自旋浓度也略具正相关。其回归方程和相关系数为:

$$\text{Au} = -90.536 + 8.848 \text{ K/Na} \quad (r = 0.745_{(12)})$$

$$\text{Au} = -29.835 + 237.035 \text{ R} \quad (r = 0.615_{(12)})$$

$$\text{Au} = -92.852 + 6.122 \text{ Al-O}^- \quad (r = 0.504_{(12)})$$

$$\text{Au} = 50.829 + 2.731 \text{ Fe}^{3+} \quad (r = 0.432_{(12)})$$

石英中Ag与K/Na比值略呈正相关,与U/Th比值略呈负相关,其回归方程和相关系数为:

$$\text{Ag} = 0.733 + 0.175 \text{ K/Na} \quad (r = 0.529_{(7)})$$

$$\text{Ag} = 8.959 - 1.048 \text{ U/Th} \quad (r = -0.606_{(7)})$$

岩(矿)石中Au含量(Au*)与石英中Ag含量具明显正相关,与Sm/Nd比值略具正相关,其回归方程和相关系数为:

$$\text{Au}^* = -6751.235 + 1268.96 \text{ Ag} \quad (r = 0.909_{(7)})$$

$$\text{Au}^* = -4845.007 + 20525.664 \text{ Sm/Nd} \quad (r = 0.447_{(18)})$$

6 结论

(1) 不同期、不同阶段、不同构造部位的石英,其电子顺磁共振谱、热发光曲线以及它们所代表的晶格杂质和石英中的元素含量均有明显差异。

(2) 石英中的金含量与晶格杂质含量及元素比值有关,主要与Al-O⁻心和Fe³⁺自旋浓度及K/Na比值有关。

(3) 在含矿破碎蚀变带中,石英中的晶格杂质含量及金含量与岩(矿)石中的金含量间无明显依存关系,而与石英中的Ag含量具正相关关系。但含矿破碎蚀变带中的石英与其

它非含矿地质体中的石英相比，则其Al-O⁻心和Fe³⁺自旋浓度、Au及Ag含量和K/Na比值、Rb/Sr比值均明显为高。因而，可以石英中Al-O⁻心自旋浓度大于 1.3×10^{14} spins/mg、出现Fe³⁺谱线特征、能检出Au及Ag和K/Na比值大于3作为厘定本区含金破碎蚀变带的找矿矿物学标志。

有关石英电子顺磁共振的测试和应用，笔者曾得到长春地质学院李高山老师的指导，在此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 谭秋明. 湖北随北地区金银成矿地质条件分析. 湖北地质, 1994, 8(2): 51—58.
- 2 李高山. 华北地台某些金矿找矿矿物学. 长春地质学院建院40周年科学技术研究论文集(基础地质). 长春: 吉林科学技术出版社, 1992, 80—83.
- 3 贾克实, 李高山等. 河北省灵寿县土岭-石湖金矿床矿物学找矿标志研究. 长春地质学院建院40周年科学技术研究论文集(基础地质). 长春: 吉林科学技术出版社, 1992, 90—92.
- 4 陈光远等. 成因矿物学与找矿矿物学. 重庆: 重庆出版社, 1987, 757—761.
- 5 马尔富宁 A. C. 蔡秀成等译. 矿物的谱学、发光和辐射中心. 北京: 科学出版社, 1984.

Prospecting Mineralogy of Quartz in Metamorphic Rocks of Northern Suizhou City, Hubei Province

Tan Qiuming

(Hubei Institute of Geological Sciences, Wuhan 430022)

Key words: northern Suizhou; quartz; prospecting mineralogy

Abstract

In northern Suizhou, Hubei Province, greenschist-amphibolite facies regional metamorphic rocks were formed in Caledonian period, and thrust nappa structure was developed in Indosinian-Yanshanian period. As a result, there exist different periods of mineralized and nonmineralized quartz veins which might be divided into four phases consisting of seven stages, in which the thrust nappe phase (III) is closely related to gold mineralization, which mainly occurs along the crenulation cleavage zones in the middle of the thrust nappe structure, controlled jointly by the crenulation and the listric faults among them. Based on study of quartz by means of electron paramagnetic resonance, thermoluminescent curve and trace element content, the author has systematically discussed the difference between quartzs of different phases and attitudes in relation to gold mineralization, and established prospecting mineralogical criteria of quartzs in ore-bearing altered shatter zones as follows:

1. Quartzs show smooth EPR spectra and Fe³⁺ line character, with auto-rotation concentration of the Al-O⁻ center higher than 1.3×10^{14} spins/mg;

2. Single peak or double peak often appears in the thermoluminescent curve, and the total integration intensity of thermoluminescence is higher than 0.2;

3. Au and Ag can be detected in most quartzs by neutron activation. K/Na ratios are generally in the range of 8.33—46.94, with only a few being 1.91. Their ratios, however, are exclusively lower than 1.75. It is therefore considered that the K/Na ratios larger than 3 can be used.