

海南二甲金矿糜棱岩(石英)含矿性的构造动力分析及谱学评价

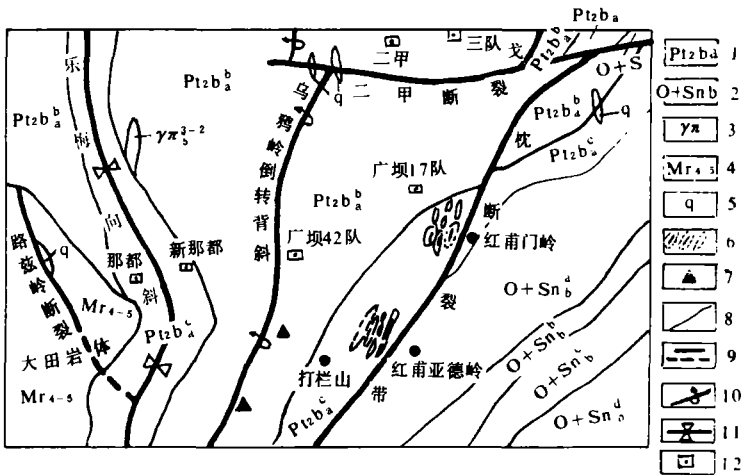
颜 文 杨元根

(中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放室)

提 要 二甲金矿是新近发现的构造蚀变岩(硅化-糜棱岩)型金矿。本文分析了糜棱岩(石英)含矿性的构造动力机制,并讨论了石英的红外和顺磁谱学特征,结果表明,恢复作用和动态重结晶作用对金成矿最有利;含金性不同的石英,其谱学特征存在着明显的差异,这些差异可作为评价本区石英含矿性的标志。

关键词 海南 二甲金矿 糜棱岩 石英 构造动力 谱学

二甲金矿位于海南岛西部东方县以东约25km处,构造上位于海南隆起西部、纬向(EW)昌江-琼海和尖峰-吊罗深大断裂之间,处于区域性华夏系戈枕断裂和EW向二甲断裂的复合部



1. 中元古界抱板群 2. 奥陶-志留系南碧沟群 3. 花岗斑岩 4. 混合花岗岩、斑状花岗岩 5. 石英脉 6. 糜棱岩及矿带
7. 那都矿点 8. 地层界线 9. 实、推测断裂 10. 倒转背斜 11. 向斜 12. 驻地地名

图1 二甲矿区地质简图(据海南地矿局资料编制)

Fig. 1 Schematic geological map of Erjia gold deposit

位(图1),是我国新发现的一个很有前景的金矿床。矿区的主要成矿围岩为变质程度较深的中元古界^①抱板群地层。抱板群岩石由于受戈枕断裂的影响而形成糜棱岩等构造岩,并成为金矿的直接围岩。本文首先分析了这些糜棱岩等及其矿物形变的构造动力机制,在此基础上进一步讨论了不同矿化石英的红外和顺磁谱特征,以期为下一步金的成矿预测及类似矿床的寻找,提供一些有益的实验和理论依据。

1 矿床地质特征概述

戈枕断裂既是本区金矿的导矿构造又是容矿构造。戈枕断裂本身是由大致平行(右行)的糜棱岩带组成,它及与之大致平行侧列的次级断裂控制着破碎带蚀变岩及金矿的分带。断裂的性质以压性、压扭性为主,也有张性活动。金矿体主要分布在戈枕断裂带西北侧的糜棱岩带中,这些糜棱岩普遍表现为眼球状,长石、石英眼球定向排列,眼球呈压扁拉长状,长短轴变化大,从5:1~2:1不等。在后期裂隙处,眼球转向,偏离定向排列方向成一夹角(图2)。过些眼球状糜棱岩普遍发生围岩蚀变。

从糜棱岩化带中心向两侧依次形成超糜棱岩、千糜岩、糜棱岩、碎裂岩及糜棱岩化混合岩等。超糜棱岩呈黑色致密块状,肉眼下近似于“黑色燧石岩”。糜棱物质细小,具定向排列,残斑较少,其蚀变以硅化为主。在糜棱岩带中靠近超糜棱岩和千糜岩的部位可见有玻状岩,黑色,呈细小条带状分布,在镜下见大部分已脱玻化,形成粘土矿物,具定向排列。玻状岩的出现表明在其形成时有一个高温快速变形的过程,这是戈枕断裂作用的多种形式之

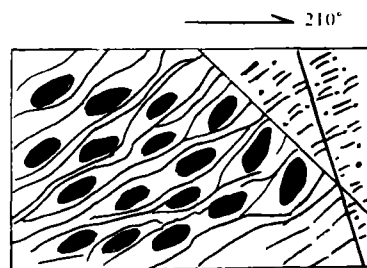


图2 眼球状糜棱岩示意图

Fig. 2 Sketching map of ocular mylonite

矿区所见热液蚀变主要有硅化、毒砂化、黄铁矿化、绢云母化,其次为绿泥石化、碳酸岩化、高岭土化,有时有萤石化等。硅化与矿化关系最密切,其次为黄铁矿化,毒砂化,一般而言,硅化越强,则金矿化越好(表1)。同种岩石或不同岩石可有不同的蚀变类型,从矿石到矿化围岩,蚀变类型从硅化,向外变为绢云母化、黄铁矿化、绿泥石化、方解石化、后期硅化等,分布范围较宽。

矿区的岩石类型主要为变质岩、混合岩和糜棱岩,它们成为矿体的直接围岩和容矿岩石。据海南地质队钻孔资料和本文的含金性分析可知,这些不同类型的岩石,含金性各不相同(表2)。从表2可以看到,各类岩石中金含量明显高于地壳克拉克值,从变质岩到混合岩,金含量降低,而混合岩经过糜棱岩化作用,金的含量升高,而且糜棱岩化作用越强,金的含量越高,这表明混合岩化作用使金发生活化迁移,而在糜棱岩带内金发生富集。

^① 中科院地球化学研究所海南金矿研究队,海南二甲金矿几个地质问题初探(内部资料),1990

表1 不同的蚀变类型与金矿化关系

Table 1 Relationships of various alterations and its gold mineralization

样号	岩 性	蚀 变 类 型	含 金 量 (ppm)
V17-10-17	硅化岩	硅化	7.63
q7-10	混合片岩	黄铁矿化,方解石化	0.83
88-10-1	糜棱岩	毒砂化,方解石化	0.40
q7-9	混合岩	绿泥石化、方解石化	0.047
p3-4	混合岩	基本无热液蚀变	0.012
p10-1	混合岩	基本无热液蚀变	0.093

表2 二甲矿区不同岩石类型的金含量

Table 2 Content of gold in various rocks from Erjia gold deposit

岩石类型	变质岩	混合岩	糜棱岩化混合岩	糜棱岩	超糜棱岩	地壳平均值
样品数	12	4	44	130	10	黎形
含金量(ppm) (平均值)	0.2296	0.06	0.3471	0.5896	7.9376	0.004

本区蚀变岩型金矿矿石中矿物成分较简单。金属矿物除自然金、银金矿外,主要是硫化物,其中以黄铁矿和毒砂居多,还见有少量黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、钛铁矿等。脉石矿物主要有石英、绢云母、长石以及少量的绿泥石、绿帘石、方解石等。在矿石中出现最多的是石英(约占65%~90%)、长石(约占25%~35%)、绢云母(约占2%~15%)、黄铁矿和毒砂(约占2%~10%),属贫硫化物石英型金矿。

据矿物组合,矿物的自形程度以及矿物的形变特征等,将本区划分为以下三个成矿阶段:

(1)石英-黄铁矿-毒砂阶段(Ⅰ):形成粗粒自形的黄铁矿、毒砂等,当自形颗粒压碎后,常有后期金充填。本阶段矿化较弱,成矿温度约300~310℃(石英包裹体均一温度,以下同)。

(2)多金属硫化物-自然金阶段(Ⅱ):黄铁矿、毒砂呈细粒状,半自形—它形。石英呈烟灰色—乳白色,颗粒细小,变形强烈。本阶段为主成矿阶段,成矿温度约240~250℃。

(3)方解石-石英阶段(Ⅲ):粗大的方解石与自形石英一起呈脉状产出,石英变形弱。本阶段矿化极弱,成矿温度约190~200℃。

2 糜棱岩(石英)含矿性的构造动力分析

2.1 石英等矿物的形变机制分析

本文对采自矿区的不同构造岩进行了详细的显微镜下形变特征的分析,结果综合于表3。结合野外地质的观察,可清楚地看到,本区的各类构造岩,表现出从混合岩、初糜岩、糜棱岩,岩石的变形程度加深。石英的形变从波状消光变为多边形亚晶结构、缎带状石英条带、动态重结晶石英等,石英颗粒粒度变细;长石从波形消光、双晶扭曲直到长石含量减少,以至消失;云母片从波形消光发展到弯曲、膝折,甚至出现云母鱼,或云母矿物分解;矿物集合体从杂乱排列发展到定向排列,甚至矿物间呈互层状分布;岩石的形变机制从位错滑移、粒间滑动、晶界迁移发展为动态恢复作用、动态重结晶作用。

表3 糜棱岩(石英)的形变与金矿化关系

Table 3 Relationships of mylonites (quartz) deformation and their gold mineralization

样 品	形 变 特 征	形 变 机 制	含 金 量 (ppm)
V ₁₇₋₉₋₆ (矿化超糜棱岩)	石英细粒状、亚晶显见 云母细片定向与石英成一交角	位错滑移。 恢复作用	40.10 (矿石)
V ₁₁₋₁₋₀ (矿化超糜棱岩)	动态重结晶的细粒石英聚集成具明显定向的纹理构造,石英条带内隐见残留的亚晶边界;云母强烈扭曲(照片1)	位错滑移、动态重结晶作用 为主,压溶作用为次	21.9 (石英)
V ₁₁₋₂₋₁ (矿化超糜棱岩)	石英具波形消光,长石双晶弯曲,沿长石颗粒边缘充填有动态重结晶石英	位错滑移、动态重结晶、恢 复作用	8.2 (石英)
V ₁₇₋₇₋₄ (蚀变糜棱岩)	石英具波状消光,长石双晶弯曲,局部见有亚晶及动态重结晶构造,颗粒及亚晶边界见有缝合线构造(照片2)	位错滑移,恢复作用,动态 重结晶作用	0.6 (石英)
88-7-3 (矿化糜棱岩)	石英具对称消光,多边形亚晶,缝合线构造,具三联点,未见动态重结晶石英	位错滑移,恢复作用为主, 压溶作用为次	8.80 (矿石)
88-7-11 (蚀变超糜棱岩)	石英波形消光、对称消光,缝合线构造。亚晶少见,动态重结晶显见,云母片膝折(照片3)	位错位移,动态重结晶,晶 界迁移为主,压溶作用为次	0.90 (岩石)
88-10-1 (蚀变糜棱岩)	石英对称一波形消光,碎长条状,亚晶显见,动态重结晶少见,长石双晶扭曲	位错滑移、恢复作用	0.40 (岩石)
25 (蚀变千糜岩)	石英对称一波形消光,缎带状条带,亚晶少见,石英与云母互层	位错滑移、粒间滑动	0.015 (岩石)
Q3-1 (蚀变混合片岩)	石英波形一对称消光,缎带状构造,并具变形带,石英与云母片互成条带	位错滑移,粒间滑动,晶界 迁移	0.014 (岩石)
24 (蚀变超糜棱岩)	石英波状消光,缝合线构造;亚晶及动态重结晶少见	位错滑移为主,压溶作用为 次。	0.012 (岩石)

剪切带岩石的形变由脆性剪切变为韧性剪切,主要表现为构造作用早期以出现碎裂岩、碎粒岩为主,在镜下可以见到长石、石英的破裂;随着构造应力的增强,剪切带岩石逐步变为以糜棱岩、千糜岩为主,石英强烈拉长变形,波状消光明显,并出现变形纹、缝合线、亚晶及动态重结晶等结构构造。

总体上,本区构造岩中石英等矿物的形变是以塑性形变为主,并且,这些塑性变形的强度在时空上均表现出一定的规律性。时间上,以多金属硫化物-自然金阶段(即主成矿阶段)的石英形变最为强烈;空间上,则一般以超糜棱岩和硅化岩最强。结合野外地质资料,不难看出,这种塑性形变的强度实际上表现为从韧性剪切带的边缘向中央部位有逐渐增强的趋势。这种趋势与由混合岩、初糜棱岩向糜棱岩及超糜棱岩过渡的趋势是一致的。

亚晶和动态重结晶构造是本区石英的两种较为常见且有着重要意义的塑性形变。

亚晶是发育在粒内的一种面状界面,它是由动态下位错攀移而引起。由于亚晶是在动态恢复过程中形成,因此,在应变强烈的部位,如扭折弯曲部位,优先发育。

动态重结晶是矿物从高能半稳定状态向低能的稳定状态转变的过程,其初始阶段以形成亚晶为特征。从本区石英看,动态重结晶构造明显表现出以超糜棱岩和硅化岩最强烈,有些样品中动态重结晶石英颗粒含量可达90%以上,而石英的粒度明显减小。

从表3还可以看到重要的一点,即不同的形变机制对金矿的意义各不相同。其中以动态恢复作用和动态重结晶作用最有利,这是因为这两种作用与一个矿物晶体内部自行调整和应力释放的过程有关。表明韧性剪切过程中,应力的局部释放使矿物内部进行自我调整,同时使矿物晶体中或晶体间存在的金发生活化转移,从而使金发生动力富集,有利于金的成矿。

在断裂带中尚见到一些碎裂岩、碎粉岩、玻状岩等构造岩,并且还可以见到,矿体呈透镜状赋存在张性裂隙中,有些矿物颗粒(如长石、石英)发生破裂形成裂隙,并在裂隙中充填有细小的脉石矿物(如石英脉等)或碎基物质等等。结合岩石中的一些特征结构构造,如长石的核幔构造,石英和长石组成的“压力影”,石英的变形带及“X”剪裂纹(照片4),长石的变形纹,石英颗粒集合体之间的缝合线构造以及矿物颗粒的不规则状细化、压扁拉长及旋转等,我们可以推定,戈枕断裂带在其活动过程中曾经历了压性、压扭性和张性等不同力学性质的转换。

另外,我们对采于断裂带中的定向标本,在弗氏台上测出石英颗粒的C轴方位,然后用等面积网投影,作出两个C轴的优选方位图(图3)。可见,石英C轴的主极密部的方位为走向NE30°~60°,倾向NW,倾角0°~25°;次极密部的方位为走向NW45°~65°,倾向NE,倾角10°~20°。由此可知,戈枕断裂活动过程中,一方面使石英产生变形定向,使其C轴方向与戈枕断裂的方向一致;另一方面又使石英变形产生二轴晶。另一个光轴的位置与戈枕断裂走向近于直交。这种作用有利于矿物颗粒的自我调整,释放其携带的成矿物质。

2.2 石英的差异古应力估算

差异古应力值反映了断裂带岩石的形变强度, $\Delta\sigma$ 值越大,岩石所受的构造动力作用也越强。我们在高倍光学显微镜下测得岩石中动态重结晶石英颗粒的粒径,利用Twiss(1977)提出的公式 $\Delta\sigma = A \cdot D^{-n}$ (对于石英颗粒,A取603,n取0.68),计算出岩石的 $\Delta\sigma$ 值(统计颗粒数均大于150),并与岩石或矿物的含金性进行对比(表4)。从中我们可以看到,岩石中石英的差异古

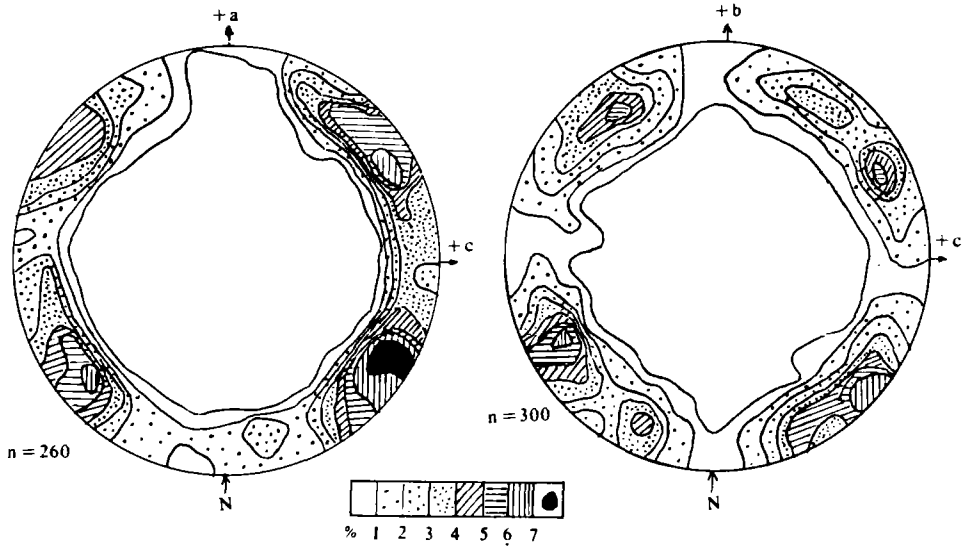


图3 石英的 C 轴组构

Fig. 3 The fabric of C axis for quartz

应力值与岩石或矿物的含金量基本成正相关,即形变越强的岩石,其金矿化越好。这是因为当 $\Delta\sigma$ 越大,岩石以动态形变为特征,岩石矿物中的金活性增加。此时,当 $\Delta\sigma$ 略有减小时,岩石以动态恢复为主要特征,使应力局部释放,矿物颗粒间接触发生松弛,矿物结构进一步调整,金发生富集,故岩石矿物中的金含量增高。

表4 二甲矿区石英的差异古应力值与金矿化的关系

Table 4 Relationships of differential fossil stress for quartz from Erjia Area and their gold mineralization

样品号	统计颗粒数	平均粒径 (μm)	差异古应力值 $\Delta\sigma$ (MPa)	金含量(测试对象) (ppm)
V ₁₁₋₁₋₀	203	3.13	277.55	21.9(石英)
V ₁₁₋₂₋₁	197	5.37	192.28	8.2(石英)
V ₁₇₋₉₋₈	216	3.49	257.75	6.7(石英)
V ₁₇₋₇₋₄	174	9.61	129.44	0.6(石英)
C ₁₋₂	153	17.56	85.91	0.033(石英)
88-7-4	165	5.84	181.62	1.012(岩石)
88-7-7	185	5.92	179.94	1.488(岩石)
88-7-11	162	9.97	126.24	0.9(岩石)
Q3-4	155	11.35	115.59	0.014(岩石)
88-3-1	175	4.90	204.64	0.178(岩石)

2.3 石英等矿物形变的高温高压构造模拟

高温高压构造地化模拟实验是在实验室模拟构造作用中不同 P 、 T 条件下岩石矿物的结构、成分的改变,以及化学元素迁移富集的一种动态实验方法,使能够在实验室再现野外地质现象。本次实验选用新鲜无风化的原始岩石样品,将其切制成直径为 $\Phi 1$,高40mm 的高温高压模拟试验样品。选定的实验条件为:温度从500~700℃,轴压1000~1600MPa,围压90~200kg/cm²。实验是在长江-500型岩石三轴试验机上进行,采用阶段式加温加压,目的是了解开放体系中金的动力活化和迁移。样品的试验条件见表5。通过实验前后样品的切片对比,可以看出样品的以下变化情况:

(1)在1480MPa,700℃条件下,裂隙中分布的黄铁矿、毒砂发生碎裂,由较完整晶形变为不完整。

表5 眼球状糜棱岩的试验条件

Table 5 Testing condition of ocular mylonite

样品	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆	E ₇	E ₈	E ₉	E ₁₀	E ₁₁
时间(h)	9.5	9.0	6	8	5	6	7	6	7	7	8
轴压(100MPa)	10.70	11.78	12.23	15.48	13.78	11.02	15.48	15.61	14.84	16.78	12.04
围压(100MPa)	4.0	3.75	5.67	4.58	7.08	5.17	7.25	9.92	7.63	7.71	6.04
电流(A)	650	650	530	560	530	500	570	600	650	650	540

表6 石英红外光谱特征值与含矿性对比表

Table 6 Showing relation between values of the samples' infra-red spectrum of quartz and their mineralized intensities

样 号 谱 带 强 度	LAW-1	LV-1	V _{17.7-4}	V _{11.2-1}	V _{17.9-8}	V _{11.1-0}	C ₁₋₇	C ₁₋₂	WW08-4
I ₁ (%)	53.8	54.3	50.2	51.0	50.7	48.6	52.3	53.1	53.4
I ₂ (%)	67.5	67.1	62.0	63.8	60.2	60.3	61.6	63.1	63.0
I ₃ (%)	54.3	51.1	42.0	42.0	42.0	36.5	47.6	47.9	47.8
I ₄ (%)	52.5	49.0	39.0	39.0	38.0	35.1	43.8	44.9	46.1
I ₅ (%)	33.0	29.0	21.5	22.1	20.1	18.6	23.6	24.8	28.0
I ₆ (%)	49.0	45.6	37.0	36.1	36.5	32.0	42.0	42.8	42.0
I ₇ (%)	61.2	59.0	53.9	53.0	53.0	49.0	55.9	55.8	55.2
I ₈ (%)	48.0	14.8	38.2	38.5	36.4	33.5	39.8	39.8	41.1
I ₉ (%)	50.5	47.1	39.4	39.1	37.6	34.2	43.0	42.0	44.0
Au(ppm)	0.73	0.97	0.6	8.2	6.7	21.9	0.033	0.037	0.092

注:每个样品的实验浓度均为1mg

(2)在1678MPa,700℃条件下,实验前碎裂状黄铁矿实验后晶形比较完整,黄铁矿的反射率局部增高(特别是中间部位),黄铁矿、毒砂的颗粒变粗。

(3)在1178MPa,700℃条件下,黄铁矿反射率局部增高,碎裂的黄铁矿、毒砂中充填有透明矿物。

(4)在1070MPa,700℃条件下,自然金分布于样品韧性剪切变形最强部位的裂隙中,实验前的样品在该处未见明金,长石出现双晶扭折带,裂隙中充填有杂乱的物质、石英、长石组成核-幔结构,以长石为核,石英为幔。

由此,我们可看到,一方面构造作用使矿物的结构、构造受到破坏,矿物内部进行调整,如黄铁矿的反射率增高,矿物晶形变得完整,石英、长石组成核-幔结构等,在此过程中,矿物释放出一部分杂质成分,如果矿物中有金存在,则随 P 、 T 的变化也会被活化出来;另一方面,由于构造作用使岩石产生裂隙,有利于矿物脉的充填,这为脉石矿物、矿石矿物提供了富集的空间。

此外,我所吴为民等通过对二甲金矿不同构造岩的高温高压模拟实验后,获得了以下两点初步结果。

(1)同一矿石、岩石样品在不同的三轴高温高压条件下,其变形特征不同。在温度、围压、轴压都比较低的实验条件下,岩石、矿石多为脆性变形并产生张性破裂。随着温度、围压、轴压的增加,岩石、矿石的塑性变形比较明显,此时所产生的断裂多为共轭的 X 剪切裂隙,实验后样品中某些矿物的物理特征也随同产生明显变化。

(2)在相同的三轴高温高压条件下,混合岩中石英和长石具不同的变形特点。石英较长石易于产生韧性变形,在碎裂混合岩中,石英易于拉长变细,长石易破碎。随着温度、围压、轴压的增加,石英和长石均产生塑性变形并出现变形纹、变形条带。

以上高温高压实验结果较好地再现了本区构造岩及其矿物的变形特征。

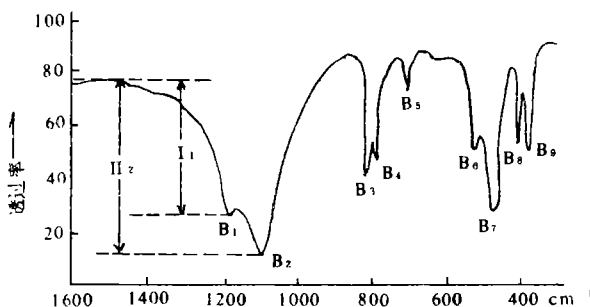


图4 石英粉末的标准红外谱图

Fig. 4 Standard infra-red spectrum of quartz powder

3 石英含矿性的谱学标志

3.1 石英的红外光谱特征

红外光谱法以其在评价石英含金性方面的快速、简便而逐渐引起了人们的重视。相对于薄

片红外谱,粉末红外谱能获取更多的信息,为此,本文对采自二甲矿区不同矿化的构造岩中的石英进行了粉末红外谱的测试。

石英的粉末标准红外光谱图(图4),其谱带主要在 $1200\sim 300\text{cm}^{-1}$ 之内,谱带可分为四部分:在 $1200\sim 950\text{cm}^{-1}$ 范围为 Si-O-Si 键的非对称伸缩振动带;在 $800\sim 600\text{cm}^{-1}$ 范围为 Si-O-Si 键的对称伸缩振动带;在 $510\sim 450\text{cm}^{-1}$ 范围为 Si-O 变形振动带;在 $400\sim 370\text{cm}^{-1}$ 范围为 Si-Si 变形振动带。我们以 B_1 、 B_2 、 B_3 …… B_9 分别代表图4中的九个带,相应谱带的强度分别以 I_1 、 I_2 、 I_3 …… I_9 表示,以谱带的相对吸收率计(图4)。我们研究了二甲矿区九个样品的粉末红外谱图,石英谱图的一些特征值及石英的金含量列于表6,含金性不同的石英的典型红外谱图见图5。

对比各样品的红外谱图可看出,它们之间谱峰的基本特征相似于石英粉末的标准红外谱图,在 $1200\sim 950\text{cm}^{-1}$ 、 $800\sim 750\text{cm}^{-1}$ 、 $510\sim 450\text{cm}^{-1}$ 、 $400\sim 370\text{cm}^{-1}$ 四个范围的谱峰均表现明显,说明微量或少量金的存在并不改变石英红外谱图的基本形态,但仔细对比不同样品之间的谱图特征,可以看出,样品含金性的不同,谱图的一些特征也有明显区别,主要表现在:

(1) 三个含金较高的样品(V_{11-1-0} 、 V_{11-2-1} 、 V_{17-9-8})的谱图特征极为相似,在 $200\sim 300\text{cm}^{-1}$ 范围内无明显的谱峰,而其它样品在 $200\sim 300\text{cm}^{-1}$ 范围内均有杂乱的峰分布,尤以含金较低的 C_{1-2} 、 C_{1-7} 、WW08-4 样品表现得更明显。

(2) 从谱峰强度来看,含金量高的石英谱图峰强度普遍弱于含矿差的石英。

(3) 含金性不同的石英,其粉末红外谱图中 Si-O-Si 对称伸缩振动带及 Si-Si 和 Si-O 变形振动带峰的强度差异表现得最明显,最大差 $15\%\sim 20\%$ 。而 Si-O-Si 非对称伸缩振动带谱峰的强度差异不大。

从理论上可知, Si-O-Si 对称伸缩振动带反映了石英中聚合结构的必然存在。这些带的强度大小和变化受 Si 质量影响较大,同时也与所受的构造动力作用大小有关。因此,本区石英随

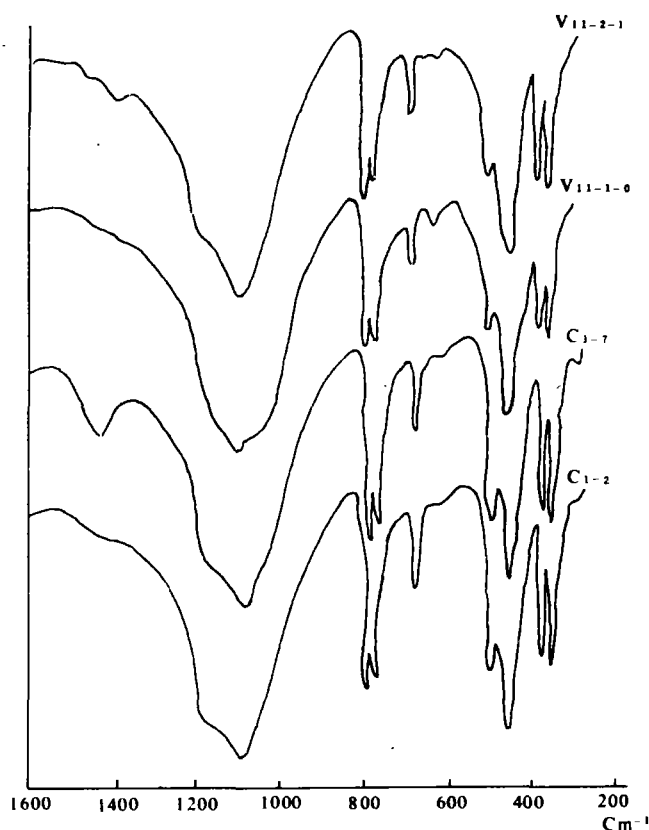


图5 二甲矿区石英粉末红外光谱图

Fig. 5 Infra-red spectrum for quartz powder from Erjia gold deposit

其变形加强,金矿化相应也加强, Al^{3+} 替换 Si^{4+} 数量增多^①。理论上, $\text{Al}^{3+} \rightarrow \text{Si}^{4+}$, 离子键性增强, 力常数 K 减小,从而使化学键强度减小(共价键松动),这就必然导致石英中 Si-O-Si 对称伸缩振动的减弱。影响 Si-O 和 Si-Si 变形振动强度的主要因素同样是晶格中 Al, Si 置换的阳离子效应,因此它们受 Si 质量的影响也较大。而 Si-O-Si 非对称伸缩振动则不然,该谱带受 Si 质量影响不大,可能主要因为 Si-O-Si 非对称伸缩振动仅是红外活性的缘故。

由此可见,石英粉末红外谱中 Si-O-Si 对称伸缩振动带和 Si-O 、 Si-Si 变形振动带的强度可用来评价本区不同构造岩石英的含矿性,如 Si-O-Si 对称伸缩振动带中的 B_1 , 含 Au 达工业品位以上的石英,这一带的强度一般均小于40%,大约稳定于30~40%区间,而含金在1ppm以下的石英,这一带的强度一般都在40%以上,并且变化较大。对于以上提到的其它谱带,也都有类似的规律可循。当然,用粉末红外法评价金这一新应用领域仍处于很强的探索性阶段,但只要我们在可靠的实验数据面前把握住它的特点和规律,其应用前景将非常乐观。

3.2 石英的电子顺磁共振(EPR)特征

近几年来,由于近代化学键理论和谱学技术的飞速发展,EPR 也逐渐被应用到成矿预测和找矿评价标志的研究中。本文探索性地对二甲金矿六个不同矿化样品石英进行了 EPR 的测试(图6)。

M. Я. 谢尔巴柯娃曾在液体氮温度(77K)的条件下测试和记录了苏联某金矿床石英中 $\text{O}^-(\text{Al})$ 中心谱线和内部标准谱线(图7),图中 A 为 $\text{O}^-(\text{Al})$ 中心谱线, E 为 E 中心谱线,两边的曲线为 MgO 中 Mn^{2+} 标样谱线。在测得的各样品波谱曲线形态和宽度基本相同的情况下, M. Я. 谢尔巴柯娃利用下述式子求出 $\text{O}^-(\text{Al})$ 中心和 E 中心谱线的相对积分强度:

$$I_{\text{相对}[\text{O}^-(\text{Al})]} = \frac{J[\text{O}^-(\text{Al})]}{J_{\text{标准P}}}$$

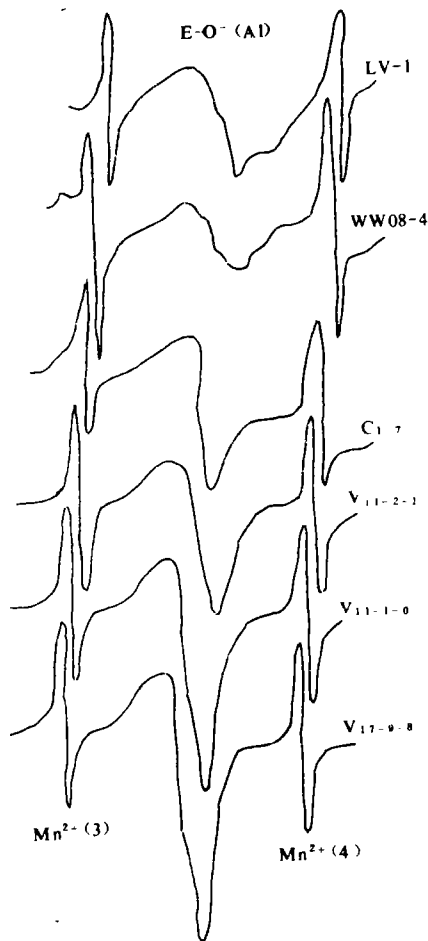


图6 二甲矿区石英顺磁共振谱图

Fig. 6 EPR spectrum for quartz from Erjia gold deposit

① 颜文,构造动力作用下石英的成分和形变特征(硕士论文),1990

$$I_{\text{相对(E)}} = \frac{J(E)}{J_{\text{标准}}P}$$

其中 $J(O^-(Al))$ 、 $J(E)$ 、 $J_{\text{标准}}$ 分别为 $O^-(Al)$ 中心谱、E 中心谱线和标样谱线的幅值， P 为测试样品的重量。

本文的实验是在室温条件下进行的，测试样品同样是聚晶石英。从图 6 可看出，室温下 $O^-(Al)$ 中心未能分辨出来，它与 E 中心重叠在一起。据前面形变强度与岩石 Au 矿化关系的讨论可知，本区石英在强烈的构造动力作用下，其形变的强度与 Au 矿化基本成正相关。为此，可以认为，石英中 $O^-(Al)$ 中心以及反映“晶格

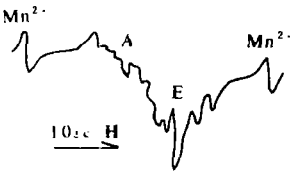


图7 77K 温度下射谱的石英聚晶的 $O^-(Al)$ 中心 EPR 谱线(据 M. Я. 谢尔巴柯娃,1976)

Fig. 7 EPR spectrum of $O(Al)$ in synneusis quartz at the temperature of 77K

构造缺陷度”的 E 中心均能很好地反映石英中 Au 的含量，将其合在一起而称为 $E-O^-(Al)$ 中心。本文对这一复合中心进行了详细分析。据所测样品 EPR 谱的形态和谱宽特点，作者也采用了 M. Я. 谢尔巴柯娃求算相对积分强度公式计算了各样品 $E-O^-(Al)$ 中心谱线的相对强度，并与其含金性进行了对比(表 7)。从中可以看到，本区石英 EPR 的 $E-O^-(Al)$ 中心相对强度与石英中 Au 的含量具密切的关系，含金量高的三个样品(V_{17-9-8} 、 V_{11-2-1} 、 V_{11-1-0})，其 EPR 谱相对强度均在 10 以上，而其它几个含金量低的样品，其 EPR 谱相对强度均在 5 以下。仔细分析，我们还可以看到，这些石英的 EPR $E-O^-$ 中心谱线相对强度与石英 Al 的含量表现出更好的正相关性。以上结果，一方面说明，用室温下 EPR 谱特征来评价石英的含金性也是可行的；另一方面它也进一步证实，石英中 $Al^{3+} \rightarrow Si^{4+}$ 置换的阳离子效应及构造动力形变是造成本区 Au 矿化的主要原因。

表 7 石英顺磁谱特征值与含矿性对比表

Table 7 Showing relation between values of the samples'EPR spectrum of quartz and their mineralized intensities

样 号	样重 (g)	Au (ppm)	Al (%)	EPR 吸收峰特征值			
				吸收峰 性质	峰强 I	峰幅 Y (cm/g)	峰宽 ΔH (G)
LV—1	0.1467	0.97	0.08	E-O ⁻ (Al)	4.39	19.77	14.48
V ₁₇₋₉₋₈	0.1361	6.7	0.207	E-O ⁻ (Al)	10.61	47.79	14.48
V ₁₁₋₂₋₁	0.0673	8.9	0.226	E-O ⁻ (Al)	13.21	59.44	15.93
V ₁₁₋₁₋₀	0.1114	21.9	0.195	E-O ⁻ (Al)	11.63	51.17	15.93
C ₁₋₇	0.2233	0.033	0.069	E O ⁻ (Al)	4.21	17.27	13.03
WW08-4	0.1043	0.092	0.0584	E-O ⁻ (Al)	2.81	16.22	13.03
备注					已按实验条件校正		

4 结论

通过以上二甲金矿糜棱岩(石英)含矿性的构造动力分析和谱学特征的研究,本文获得了以下几点主要认识:

(1)本区各种不同的构造岩,其糜棱岩化作用越强,金含量相应也越高。混合岩化作用使 Au 活化迁移,而糜棱岩化作用使 Au 沉淀聚集。

(2)不同的形变机制对 Au 成矿的意义各不相同,其中以动态恢复作用和动态重结晶作用对 Au 的成矿最有利。

(3)含金性不同的石英,其粉末红外谱及电子顺磁共振谱的某些特征差异是由其成分、结构及形成时的物化条件所引起,是其固有的本质差异。因此,可利用石英的红外粉末谱特征(如 Si-O-Si 对称伸缩振动带及 Si-O 和 Si-Si 变形振动带的程度)和 EPR 谱特征〔如 E-O (Al)中心谱相对强度〕来评价本区石英的含金性并为进一步成矿预测提供一些实验和理论依据。

本文的有关工作曾得到导师付平秋研究员和吴学益研究员以及我所蔡秀成付研和刘高魁付研的指导,在此一并感谢!

参考文献

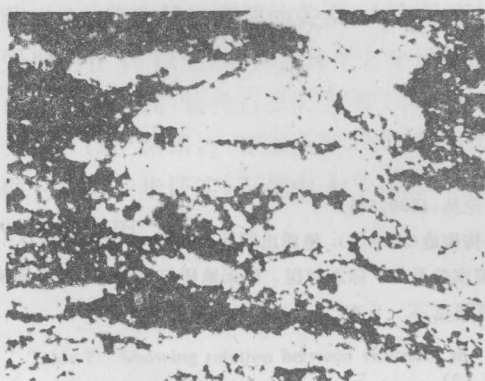
- 1 叶伯丹,等. 海南东方二甲抱板群和金矿的时代. 地质找矿论丛,1990,5(1)
- 2 张树业,等. 变质岩结构构造图册第五章反映应力作用的结构构造(王小凤). 地质出版社,1985
- 3 吴为民,等. 海南二甲金矿成矿特征,构造控矿高温高压模拟实验及找矿标志初探. 矿床地质与矿床地球化学研究新进展,1990
- 4 Famer V G (法默). 矿物的红外光谱. 科学出版社,1982
- 5 黄振恒. 石英红外谱学找金综述. 湖南地质科技情报,1988,(2)
- 6 谢尔巴柯娃 M Я. 利用石英的电子顺磁共振谱评价含矿性的问题. 金矿参考资料汇编,1982,(4)
- 7 Weil J A. A reviews of electron spectroscopy and its application to the study of paramagnetic defects in crystalline quartz. phys. Chem. Mineral. ,1984,10(4)



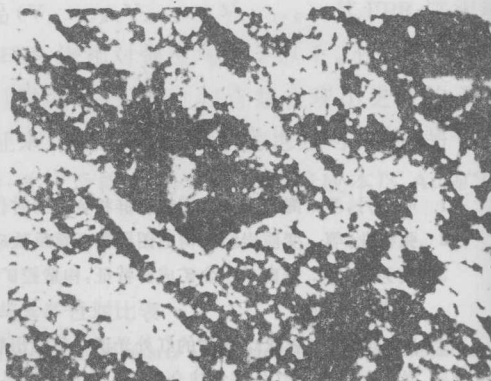
照片1 超糜棱岩中云母强烈扭折、动态重结晶石英沿云母颗粒边界充填分布。单偏光 $\times 600$



照片2 石英的波状消光,亚晶构造,以及石英颗粒及亚晶边界发育的缝合线构造。正交 $\times 200$



照片3 蚀变超糜棱岩中动态重结晶石英组成的定向条带构造。正交 $\times 300$



照片4 石英中的X剪裂纹 正交 $\times 300$

STUDIES OF TECTONIC KINETICS AND SPECTROSCOPY FOR THE ORE-BEARING MYLONITE(QUARTZ) FROM ERJIA GOLD DEPOSIT

Yan wen Yang yuangen

(Institute of Geochemistry, Academia Sinica, Guiyang)

Abstract

Erjia gold deposit is of altered rock (silicification-mylonite) type discovered in recent years. This paper deals with the tectonic kinetics of ore-bearing mylonite (quartz) and the characteristics of IR and EPR spectra for quartz from this area through which the following conclusions have been reached; 1) restoration and dynamic recrystallization is of most benefit to gold mineralization; 2) quartz with different content of gold is much different in characteristics of IR and EPR spectra. These distinctions can be used as indications in prospecting quartz from this area.