

夹皮沟剪切带与金矿床形成 演化关系的模拟实验

孙 胜 龙

(长春地质学院, 长春)

提 要: 夹皮沟金矿床, 位于华北地台北缘东段, 与剪切带形成、演化密切相关。剪切带发育在长英质片麻岩中。金矿化主要发育在脆-韧性剪切作用阶段: 早期形成了糜棱岩型金矿化; 晚期则形成了黄铁矿-石英脉型金矿化(矿床)。不同地球化学图解以及模拟实验表明, 两种金矿化(或矿床)是同一剪切带, 不同发育阶段的表现形式。金矿化(矿床)是受剪切带中剪应力、剪切带中循环流体与被剪岩石相互作用而形成的物理-化学场所控制。

关键词: 夹皮沟剪切带 金矿化(矿床) 模拟实验

1 地质背景

夹皮沟剪切带位于华北地台北缘东段, 走向NW。剪切带的北部及东北部与海西褶皱带相邻, 西北部被挥发河断裂所截, 东南为两江断裂所截。在剪切带西南上述两条断裂之间为太古界出露区。

本区太古界主要岩石类型为中酸性侵入岩, 经变质作用形成了目前的长英质片麻岩(占出露岩石的80%以上)。它包括原划四道砬河组、杨家店组下段及三道沟组大部分地区。长英质片麻岩矿物组合主要为石英+黑云母(或角闪石)+斜长石(局部钾长石)。长英质片麻岩的化学成分, SiO_2 60%~74%, Al_2O_3 14%~15%, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 5%~9% (20个样品统计); ΣREE 39.53×10^{-6} ~ 286.21×10^{-6} , LREE/HREE 1.94~9.47, δEu 为轻微正异常或无异常(19个样品统计)。在Ab-An-Or图解中, 多数样品集中在英长闪长岩-奥长花岗岩-花岗闪长岩区中。无论是全岩或单矿物经不同测试方法获得长英质片麻岩的年龄 24×10^8 ~ 26×10^8 a (吴家弘, 1985; 王义文, 1985)。

除长英质片麻岩外, 还分布有少量基性岩墙和岩脉(如辉石角闪岩等), 以及以残块或残留体形式保存下来的上壳岩, 分布在工人坟、老牛沟一带。

2 剪切带

夹皮沟剪切带主要发育在长英质片麻岩中。根据发育的时间和性质, 可划分为早期韧性剪切带和晚期脆-韧性剪切带两种类型。

孙胜龙, 男, 38岁, 博士, 副教授, 主要从事地球化学、矿床学研究工作。邮政编码: 130026
1994-1-6收稿, 1994-7-13修改回

2.1 韧性剪切带

从大粒子至夹皮沟长约 25km, 宽约 5~10km, 大体相当于原划三道沟出露位置, 走向 320°左右。剪切带由 4~5 条强变形带和相间弱变形带构成, 强变形带一般宽几米至几十米, 不连续延长。按原岩成分, 岩石可分为花岗质糜棱岩系列 (包括黑云母花岗闪长质糜棱岩) 的主体、斜长角闪质糜棱岩系列等。长英质糜棱岩岩石化学成分 (表 1), 与长英质片麻岩相比较, 在常量元素组分变异图上 (图 1) 两者演化是相同的, 在 K-Na-Ca 三端员图解中, 糜棱岩与长英质片麻岩二者投点吻合 (图 2)。

表 1 夹皮沟地区糜棱岩化学成分 (%)

Table 1. Chemical composition of mylonite (in percentage)

序号	样号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	H ₂ O	合计
1	B1-1	68.2	15.44	1.80	1.69	0.40	0.18	0.10	2.91	1.20	3.00	4.00	0.67	99.98
2	B1-3	67.78	15.81	1.59	1.82	0.36	0.15	0.09	3.51	1.30	3.92	4.20	0.49	100.1
3	B1-4	67.56	15.78	2.22	1.63	0.40	0.17	0.10	2.72	1.40	3.20	4.20	1.01	100.4
4	B1-5	71.46	14.29	1.05	1.14	0.29	0.17	0.07	2.22	1.06	3.30	3.96	0.59	100.2
5	B 2	62.84	15.57	3.03	2.86	0.45	0.22	0.10	4.51	2.40	2.88	4.14	0.61	100.2
6	B 3	61.28	16.16	2.56	3.24	0.40	0.24	0.11	4.38	2.41	3.48	4.18	0.77	99.45
7	B 4	71.90	12.52	2.22	1.54	0.34	0.05	0.06	2.14	1.54	2.32	3.50	0.75	99.36
8	B10	63.82	14.82	2.25	3.50	0.52	0.18	0.10	4.44	2.71	2.63	3.80	0.89	99.97
9	B12	62.18	15.98	2.95	2.54	0.37	0.28	0.10	5.78	1.69	2.08	4.02	1.40	99.82
10	J1B-8	64.84	15.75	1.90	3.04	0.35	0.27	0.07	2.62	2.00	3.11	4.43	1.28	99.31

长春地质学院分析室分析

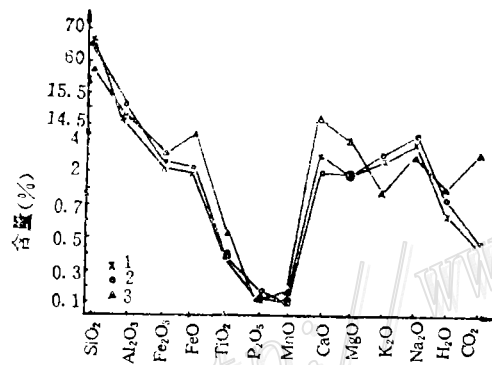


图 1 长英质岩石主要组分变异图

1—长英质片麻岩; 2—糜棱岩; 3—片麻岩

Fig. 1. Variation diagram of major components in felsic rocks.

1—Felsic gneiss; 2—Mylonite; 3—Schistoid mylonite.

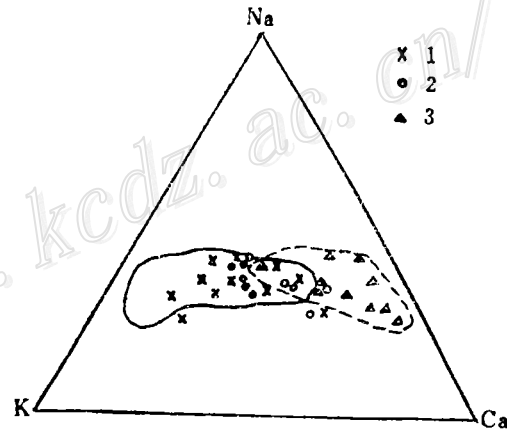


图 2 长英质岩石 K-Na-Ca 图解

1—长英质片麻岩; 2—糜棱岩; 3—片麻岩

Fig. 2. K-Na-Ca diagram of felsic rocks.

1—Felsic gneiss; 2—Mylonite; 3—Schistoid mylonite.

2.2 脆-韧性剪切带

它主要由片麻岩带构成。片麻岩是指叠加在韧性剪切带上、具有 (密集) 片理、主要由含水矿物 (如绢云母、绿泥石等) 或其他蚀变作用形成的矿物 (如石英、方解石、黄铁矿等)

所组成的构造岩石。夹皮沟片糜岩带发育在韧性剪切带内, 靠近南西边缘分布, 走向 $310^{\circ}\sim 320^{\circ}$, 沿板庙子、三道沟、夹皮沟分布, 宽度几米至几百米不等。片糜岩的片理与糜棱岩的叶理呈协调平行或斜交切割。区内所见片糜岩岩石类型有: 绢云绿泥片糜岩; 绿泥绢云片糜岩; 绢云石英片糜岩; 绿泥石片糜岩。

片糜岩中化学成分表明(表2), 常量元素有着自己特有的演化趋势(图1), SiO_2 、 K_2O 、 Na_2O 组分减少, FeO 、 TiO_2 、 MnO 、 CaO 、 H_2O 、 CO_2 组分增加。在K-Na-Ca图解中, 片糜岩投点位置明显不同于糜棱岩和长英质片麻岩(图2)。片糜岩中发育有不同类脆性破裂, 如粒内微破裂、穿切微破裂、粒间微破裂等, 在这些裂隙中充填有石英脉、钠长石脉(钠长石号码为8~10)、绢云母绿泥石脉或黄铁矿脉等。

表2 夹皮沟地区片糜岩化学成分表(%)

Table 2. Chemical composition of schistoid mylonite(in percentage)

序号	样号	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	TiO_2	P_2O_5	MnO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	H_2O	CO_2	合计
1	LNCD-8	68.88	14.18	2.77	1.97	0.37	0.05	0.07	3.67	1.76	1.48	2.70	0.88	1.19	100.13
2	LNCD-7	59.00	14.92	2.54	5.03	0.54	0.20	0.12	4.99	4.95	0.56	4.09	1.92	0.45	99.52
3	LNCD-5	61.74	15.88	2.37	2.81	0.36	0.16	0.07	4.54	2.79	1.71	3.52	1.63	2.46	100.09
4	LNCD-4	61.92	13.67	2.21	4.38	0.63	0.25	0.12	7.55	4.18	0.80	3.48	2.50	4.88	99.54
5	LNCD-3	57.44	13.20	1.73	5.18	0.56	0.14	0.09	5.69	5.18	0.87	2.91	2.80	3.58	99.53
6	LNCX-1	56.20	18.02	2.81	3.20	0.58	0.23	0.08	5.89	3.00	0.83	4.76	2.20	1.30	99.32
7	LNB-1	52.51	14.42	2.66	4.25	0.64	0.35	0.10	6.46	3.38	1.47	4.00	0.92	6.41	97.80
8	LNB-2	52.58	14.24	3.70	7.36	0.33	0.10	0.20	4.82	6.78	0.36	1.88	3.00	4.18	99.80

长春地质学院分析室分析

3 金矿化与金矿床

夹皮沟金矿化作用与金矿脉主要与脆-韧性剪切作用有关。在脆-韧性剪切作用早期阶段形成了片糜岩型金矿化, 晚期阶段形成了黄铁矿石英脉型金矿化(矿脉)。

3.1 片糜岩型金矿化

形成于片糜岩中。片糜岩中黄铁矿含量5%, 局部达10%, 颗粒为 $0.1\sim n$ mm。黄铁矿具有塑态变形作用, 长:宽为2:1~5:1, 个别达10:1。黄铁矿多数以星散浸染状分布, 少数以蠕虫状沿片糜岩片理分布(四道沟矿区), 或沿蚀变角闪石边缘分布。还有一些粒状黄铁矿一侧有绢云母或石英的小颗粒沉淀, 构成似“压力影”组构。

无论在手标本或是光片研究中, 都未见有金矿物, 但分析了七个片糜岩样品中金含量, 其平均含量为 1.165×10^{-6} (表3), 表明金是以超显微态存在于片糜岩中。经电子探针对片糜岩中绿泥石及绢云母分析, Au、As、Hg、Bi、Sb等成矿元素不同程度存在(表4)。

3.2 黄铁矿石英脉型金矿化(矿床)

它们是在脆-韧性剪切作用晚期阶段形成, 是矿区开采的主体, 形成的矿脉一般长几米至几十米, 宽 0.2 m至几米, 延深数百米。分布在片糜岩带中的金矿脉, 不论在走向上或是倾向上都与片糜岩的片理有一定夹角, 夹皮沟、八家子、三道岔及四道岔等矿区, 其交角较大($>45^{\circ}$), 其他矿区如三道沟、庙岭等交角较小($<30^{\circ}$), 有些与剪切片理平行。在剖面上,

表 3 夹皮沟地区石英中微量组分表(%)

Table 3. Minor component contents of quartz from Jiapigou area(in percentage)

序号	编号	Au(10^{-6})	K ₂ O	Na ₂ O	K ₂ O + Na ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	备注
1	RED-90	16.60	0.44	0.09	0.53	0.51	0.34	1.46	0.08	石英脉
2	XIAC-60	20.62	0.00	0.12	0.12	0.53	0.73	0.00	0.01	石英脉
3	DAZH-30	24.41	0.09	0.09	0.18	1.86	2.68	0.22	0.02	石英脉
4	DAZH-60	6.414	0.86	0.19	1.05	2.28	3.72	2.93	0.10	石英脉
5	ERD-555	4.97	0.04	0.07	0.11	3.00	0.95	1.12	0.06	片麻岩
6	DAZH-0	1.25	0.01	0.07	0.08	0.29	0.71	0.00	0.00	片麻岩
7	ERD-470	0.483	0.04	0.09	0.13	0.73	0.18	0.58	0.00	片麻岩
8	SAND-470	0.69	0.01	0.09	0.10	0.78	0.07	0.00	0.00	片麻岩
9	WM-S1	0.24	0.00	0.12	0.12	1.77	0.01	0.00	0.00	片麻岩
10	WM-X1	0.316	0.07	0.17	0.24	2.16	0.82	0.50	0.02	片麻岩
11	WM-XII	0.196	0.05	0.15	0.20	2.71	1.11	1.66	0.24	片麻岩

长春地质学院分析室分析

表 4 夹皮沟地区片麻岩中绿泥石和绢云母成矿元素含量(10^{-6})Table 4. Electron microprobe analyses of ore-forming elements in chlorite and sericite from schistoid mylonite of Jiapigou area (10^{-5})

序号	样号	矿物名称	Au	As	Hg	Ag	Bi	Sb	备注
1	L-8	绿泥石	0	0.426	—	0	0	0	未定向, 粒间绿泥石
2	L-8	绿泥石	0.05	0.341	—	0	0	0	具有黑云母假像
3	L-8	绿泥石	0	0.399	—	0	0.014	0	未定向
4	L-5	绿泥石	0.025	0.398	—	0	0.044	0.013	叶理中定向的绿泥石
5	L-4	绿泥石	0.033	0.368	0	0.013	0	0.035	叶理中定向的绿泥石
6	L-3	绿泥石	0	0.398	—	0.005	0	0	叶理中定向的绿泥石
7	L-5	绢云母	0	0.142	—	0	0	0.148	叶理中定向的绢云母
8	L-4	绢云母	0.033	0.439	0.259	0	0	0.054	叶理中定向的绢云母
9	L-3	绢云母	0	0.284	—	0	0	0.121	叶理中定向的绢云母
10	L-1	绢云母	0	0.113	—	0	0.029	0.128	叶理中定向的绢云母

长春地质学院电子探针室分析

矿脉与片理也有一定交角, 小北沟以南的矿脉其交角要稍大于小北沟以北矿脉交角, 前者多为 $10^{\circ}\sim 20^{\circ}$, 以南东倾向为主, 后者多为 $<10^{\circ}$ 。

矿脉与片麻岩围岩接触界面很少平直光滑, 宏观上表现为舒缓波状面, 或不规则褶皱。三道岔一号矿脉表现为斜列再现特点, 夹皮沟新八号脉呈分叉枝状, 三道沟 201 号矿脉呈膨胀收缩状, 大线沟三坑 201 号顶板矿脉呈侧列再现等。矿脉中有片麻岩包体, 在板庙子矿脉中, 片麻岩包体为 $20\text{cm}\times 15\text{cm}$, 夹皮沟石英黄铁矿脉“改造”残块状片麻岩包体, 有些矿脉与片麻岩呈互层状, 构成所谓“千层饼”构造。

矿脉主体矿物是黄铁矿和石英, 少量为方铅矿、黄铜矿、闪锌矿等。黄铁矿多呈块状、他形、半自形至自形晶体 ($n\text{mm}$), 变形组构弱至无。石英块状, 结晶程度高, 发育有三边组构, 颜色灰白至白。与黄铁矿共生的方铅矿解理发生弯曲; 黄铜矿呈蠕虫状分布在黄铁矿中或呈脉状沿黄铁矿边缘分布 (或包围黄铁矿)。

在黄铁矿和石英矿物中,可见自然金,在820高地,黄铁矿中金颗粒达1 mm;在老牛槽矿区,金在石英中呈包体形式存在(0. n mm²)。矿石中金含量一般为 n g/t~10 n g/t,高者达1000 n g/t。

4 剪应力与硫化物富集的实验

剪切带中金矿床主要受剪应力、剪切带中成矿流体与被剪岩石相互作用的 因素所控制。本实验的目的是研究剪应力对硫化物富集的可能性及富集关系等。

4.1 实验设备及工作原理

实验仪器由长春地质学院岩石高温高压三轴实验室提供。仪器由轴压系统、围压系统、加温系统和三轴压力室以及监测系统构成。轴压系统由英国 INSTRON 公司生产的电液伺服系统,其静态条件可提供20GPa压力,设计围压指标为1.4GPa,测定误差小于1/1000 应变速率为 10^{-12} /s。加温系统由加温变压器和自动温控仪DWT-702等组成,最大功率12kW,三轴实验炉膛由YT15W. C材料构成,内径40 mm,外径96 mm,中外套由炮钢制成,外型尺寸 $\phi 300$ mm \times 350mm,炉膛容积按2.5cm(直径),5 cm(高)计算。

实验开始时,围压由稳压源按实验要求提供,通过高压活塞运动,进而将压力传递到传压介质上(由叶腊石制成,其密度为2.6256),由介质套变形产生侧向力,形成对样品的侧向压力,即围压。温度是由加温变压器提供低压大电流通过跨在样品外侧的石墨管产生,可达1200℃。差应力由轴向加压系统提供,通过加力串直接作用于样品上。

4.2 样品制备及实验过程

限于实验设备的条件和岩石中金含量低的原因,直接采用固态块状岩石样品模拟剪切过程中的成矿作用是不可能的,故采用岩石粉末和矿石粉末相混合作为实验样品。将采自野外的辉绿岩(考虑其粘度低)加工成粉末状,加进从矿山坑道采到的含金黄铁矿粉(按20%矿粉相混)。然后用80目筛选数次,以达充分混合(混后样品密度3.483),然后将样品装入炉膛内,外套为叶腊石,两头为九九瓷堵盖(图3)。实验过程中温度由室温渐加至890℃,恒温9小时30分,轴向压力由0.1GPa逐渐加至0.5 GPa。待样品冷却后制成光片和薄片。混合样品化学成分见表5。

4.3 结果描述

原来混合均匀的岩粉和矿粉发生了分离,经薄片鉴定,熔后的岩粉全为玻璃质。经光片鉴定,黄铁矿主要有四种形态(图4):①呈小球状,分布于样品底部,呈线状分布,小球直径可分两组,一组为1~1.2mm,一组<0.5mm;②不规则梯形或三角形,分布在靠上九九瓷堵盖,长4~9mm,宽1~2mm,测得靠上九九瓷盖的两个矿条与瓷盖底面交角分别为35°和60°;③混合较均匀的黄铁矿和岩粉,呈流动状分布在混合样品下部;④极少量呈星散状黄铁矿分布在下部,与下九九瓷盖夹角为45°。

上述四种黄铁矿的形态,以前两类为主,肉眼可见,后两类少,借助显微镜可见。用电

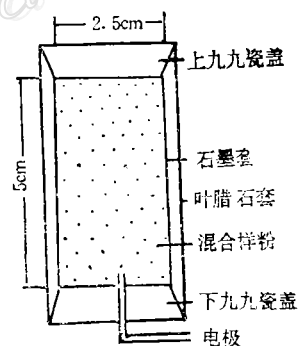


图3 实验前样品状态
Fig. 3. State of the sample before experimentation.

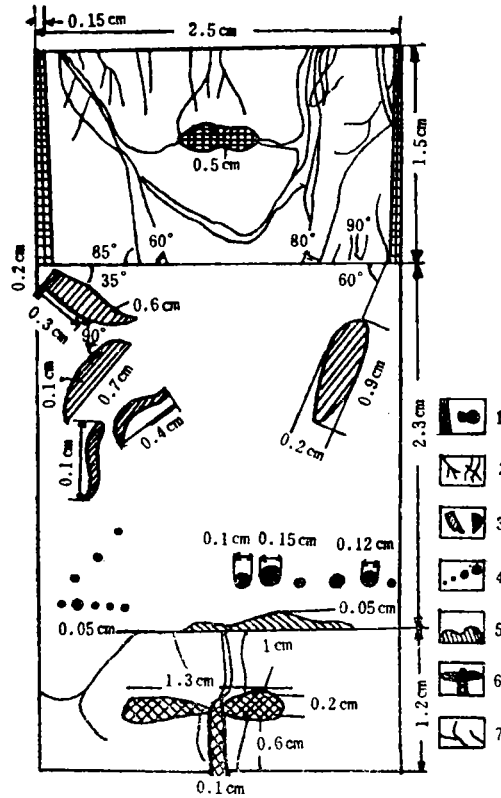


图 4 混合样品经高温高压三轴实验后样品剖面肉眼观察图

(图中所示数字、位置严格按原样标绘出,此图是原样的3倍,单位cm)

1—九九瓷周边及内部黄铁矿形态; 2—九九瓷小裂隙(左)与充填岩粉及黄铁矿裂隙; 3—混合样品中黄铁矿条;

4—混合样品中黄铁矿小球; 5—混合样品底部黄铁矿; 6—黄铁矿条少量岩粉; 7—下九九瓷中裂隙及黄铁矿

Fig. 4. Sketch of a mixed sample after the experiment at high temperature and high triaxial pressure (3:1).

1—Form of pyrite around the ceramic top and inside the vessel; 2—Cracks in ceramic top (left) and in infiltrated rock-meal and pyrite; 3—Pyrite straps in the mixed sample; 4—Pyrite spherulites in the mixed sample; 5—Pyrite at the bottom of the mixed sample; 6—Pyrite straps with a little rock-meal; 7—Cracks and pyrite at the lower ceramic top.

表 5 混合样品化学成分(%)

Table 5. Chemical composition of mixed sample

成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	H ₂ O ⁻	H ₂ O ⁺	CO ₂	S	Au	As	Sb
含量	44.02	15.05	10.61	3.94	1.74	0.80	0.18	6.58	2.89	1.80	3.16	0.93	1.09	0.75	6.93	7.294	946.7	5.22

长春地质学院分析室分析; Au, As, Sb 的单位为10⁻⁶

子探针分析黄铁矿小球中金含量,四个样品平均含量为 1250×10^{-6} ,而岩粉中两个样品都低于检测限(10^{-5})(表6)。这一实验结果表明,黄铁矿从岩粉中分离,剪应力起到了重要作用,剪应力可使黄铁矿在剪裂面发生富集,由于黄铁矿是主要载金矿物,从而为剪应力可使金富集成矿提供了一定依据。

表 6 电子探针定量分析 Au 结果
Table 6. Electron microprobe analyses for gold

位置	上九九瓷哑铃黄铁矿		岩粉 (无黄铁矿)		样品底部黄铁矿小球		样品底部黄铁矿小球		
点数	1	2	1	2	1	2	1	2	3
Au (%)	0.000	0.082	0.000	0.000	0.082	0.163	0.163	0.082	0.091

长春地质学院电子探针室分析

5 讨论与结论

世界上许多金矿床形成在剪切带中, 尤其与剪切带晚阶段的脆-韧性剪切作用有关。只有在这一阶段才可形成不同规模剪裂隙, 成矿流体得以循环并与被剪岩石发生蚀变作用形成不同载金矿物。例如:

斜长石发生脆性破裂时, 首先沿这些破裂面或解理面 (或颗粒边界) 有交代作用形成新矿物, 如绢云母、方解石和钠长石等。随变形作用加强及时间延续, 交代作用由线到面不断扩大, 最后遍及整个晶体。在片麻岩中发育斜长石透镜体表明, 并非所有斜长石都形成了新生矿物, 如果斜长石颗粒不发育, 有微破裂, 仅在颗粒边缘有新矿物形成, 其内部仍保留有一未变化的斜长石“核”。斜长石形成新矿物是一种开放体系, 它需要外来物质组分的加入:

① 斜长石形成白云母: $2\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 + 2\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 + 2\text{K}^+ + 4\text{H}^+ \longrightarrow \text{K}_2\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{20}(\text{OH})_4 + 4\text{SiO}_2 + 2\text{Na}^+ + 2\text{Ca}^{2+}$

② 斜长石形成方解石: $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 + \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 + \text{CO}_2 + 5\text{OH}^- \longrightarrow \text{CaCO}_3 + 5\text{SiO}_2 + \text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + 3\text{Al}^{3+} + 5\text{OH}^-$

角闪石 (或黑云母) 经剪切粒度变细, 经蚀变作用形成绿泥石集合体, 同时形成了星散状黄铁矿、方解石、石英:

① 角闪石形成绿泥石、方解石、黄铁矿等: $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S} + \text{NaCa}_2(\text{Mg}, \text{Fe})(\text{Al}, \text{Fe})[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{11}]_2 \longrightarrow (\text{Mg}, \text{Fe})_4(\text{Fe}, \text{Al})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8 + \text{FeS}_2 + \text{SiO}_2 + (\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Ca})\text{CO}_3 + \text{Na}^+$

② 黑云母转化为绿泥石等: $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow (\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Al})_2[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 + \text{Fe}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{SiO}_2$

由以上分析可知, 黄铁矿中 Fe^{2+} 主要来源于角闪石 (或黑云母) 蚀变作用, 碳酸盐中的 Ca^{2+} 主要来源于斜长石蚀变作用; 而 S^{2-} 及 CO_2 则主要来自深部或侧向源。石英部分来自上述矿物蚀变作用, 更多地来自被剪岩石中 SiO_2 , 初始为胶体, 后期的聚沉结晶作用形成石英晶体。开始形成的黄铁矿、碳酸盐、石英等载金矿物量少, 呈浸染状分布在片麻岩中, 在局部可见有小细脉状。

随着脆-韧性阶段进一步发展, 剪应力及剪应力形成裂隙 (空间) 都在增大, 已形成的载金矿物依自己本身的物性特征, 向剪裂隙进一步富集, 形成了第二阶段富集作用。分析夹皮沟地区矿脉在剪切带中就位方式, 可以看出, 本区矿脉最发育是在高角度剪切裂隙 (R')、位移剪切裂隙 (D) 中, 次为压剪切裂隙 (P) 和张性剪切裂隙 (T) 中。矿脉就位于不同裂

隙中,表明剪切自始至终都有金矿脉形成,只不过在第一阶段形成的黄铁矿,由于剪切裂隙空间不够大,使已形成的黄铁矿发生了拉长变形,而后期剪裂隙加大,形成的黄铁矿变形弱或无,而只有那些软矿物如方铅矿等才发生变形作用如解理弯曲等。

脆-韧性剪切作用过程中两阶段矿化作用,还可以从石英的地球化学特征反映出。在石英中常有Al取代Si,引起矿物晶格中电荷不平衡,故 Au^+ 、 K^+ 、 Na^+ 可以作为补偿电荷进入石英晶格中: $Al^{3+} + Au^+(K^+, Na^+) \rightarrow Si^{4+}$ 。代替 Si^{4+} 的 Al^{3+} 在晶格中具有一定限度,因此进入晶格中 $Au^+(K^+, Na^+)$ 也有一定限度, Au^+ 与 K^+ (或 Na^+)之间替代量应具有反消长关系,在 $Au(10^{-6})$ 与 $K_2O+Na_2O(\%)$ 关系图解中(图5)反映了这种负相关性,由于阶段不同,其相关程度亦不同,样品号1~4(表3)相关系数为 -0.905 ,而5~11号样其相关系数为 -0.304 。前者为石英脉中石英,后者为片麻岩中石英。对石英包裹体进行红外光谱测定,

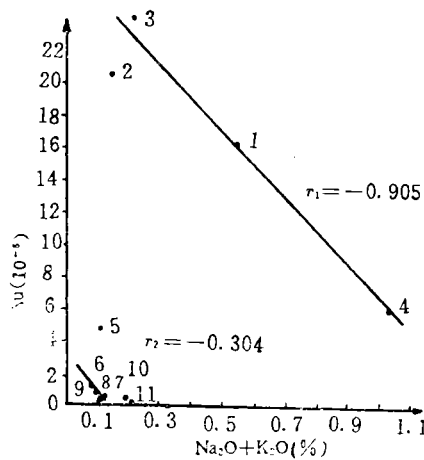


图5 石英中 $Au(10^{-6})$ 与 $K_2O+Na_2O(\%)$ 相关图解(数字为样号)
Fig. 5. $Au(10^{-6})$ versus $K_2O+Na_2O(\%)$ diagram of quartz. Numerals indicate sample number.

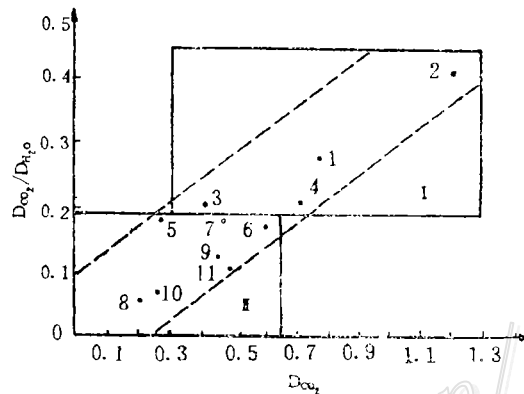


图6 $D_{CO_2}/D_{H_2O}-D_{CO_2}$ 相关图
图中数字为样品号; I—片麻岩; II—黄铁矿石英脉
Fig. 6. D_{CO_2}/D_{H_2O} versus D_{CO_2} diagram. Numerals indicate sample number. I—Schistoid mylonite; II—Pyrite quartz vein.

片麻岩中 CO_2 密度为 $0.2350\sim 0.6121$, H_2O 密度为 $1.4602\sim 4.5540$;石英脉中石英 CO_2 密度为 $0.7232\sim 1.2156$, H_2O 密度为 $2.0112\sim 3.3446$ 。在 $D_{CO_2}/D_{H_2O}-D_{CO_2}$ 相关图解中,样品1~4落于I区,而5~11号样落于II区(图6)。再次表明不同阶段成矿组分性质不一样,但两组样品又都限定在一定演化区间内:II区样品中Au含量大于 6.414×10^{-6} ,最高达 24.41×10^{-6} ;I区样品中Au含量通常为 0.7×10^{-6} ,由片麻岩至石英脉金是逐渐富集的。

由上讨论得出如下结论:夹皮沟金矿床与剪切带形成演化密切相关。剪切带发育在长英质片麻岩中,早期韧性剪切作用是一种等体积等化学变形作用,不可能形成金矿化。金矿化主要与脆-韧性剪切作用有关,早期成矿流体不够充分,形成了片麻岩型金矿化,它不具经济意义;晚期阶段成矿流体量、剪切位移量加大,形成了黄铁矿-石英脉型金矿脉。由实验得出剪应力对金富集具有很大贡献。因此,剪切带中金矿床的形成,一方面是成矿流体与被剪岩石作用形成了载金矿物,另一方面剪应力对载金矿物起到了富集作用。正是这两种因素对剪切带型金矿床形成演化起支配控制作用。

参 考 文 献

- 1 钟增球等. 构造岩与显微构造. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991, 61~66
- 2 李树勋等. 韧性剪切变形变质作用及成矿. 北京: 地震出版社, 1992, 150~170
- 3 孙胜龙. 夹皮沟韧性剪切带与金矿富集规律探讨. 黄金, 1990, (11): 6~10
- 4 Robert F. Ore-forming fluids in Archean gold-bearing quartz veins at the Sigma Mine, Abitibi greenstone belt, Quebec, Canada. *Econ. Geol.*, 1987, 82: 1464~1482
- 5 McCaig, A. Deep fluids circulation in fault zone. *Geology*, 1988, 16(10): 867~870
- 6 Carter et al. Channelized fluid flow through shear zones during fluid-enhanced dynamic recrystallization, Northern Apennines, Italy. *Geology*, 1990, 18: 720~723
- 7 Kerrich R et al. Local modification of rock chemistry by deformation. *Contrib. Mineral.* 1977, 65: 183~190
- 8 Fiona B, Neall. Fluid-wall rock interaction in an Archean hydrothermal gold deposit: A thermodynamic model for the Hunt Mine, Kambalda, *Econ. Geol.*, 1987, 82: 1679~1694

**SIMULATION EXPERIMENTS ON THE RELATIONSHIP
BETWEEN THE SHEAR ZONE AND THE GOLD
MINERALIZATION IN JIAPIGOU AREA**

Sun Shenglong

(Changchun College of Geology, Changchun 130061)

Key words: Jiapigou shear zone, gold mineralization (deposit), simulation experiment

Abstract

Located in the eastern part of the northern margin of the North China platform, the Jiapigou gold deposits are closely related to the formation and evolution of the shear zone in felsic gneiss. Gold mineralization mainly took place in the brittle-ductile shearing stage, with the mylonite type gold mineralization formed at the early phase whereas the pyrite-quartz vein type gold mineralization (deposits) at the late phase. Various geochemical diagrams and simulation experiments show that the two sorts of gold mineralization (deposits) are manifestations of the different developmental stages of the same shear zone, being controlled by the physicochemical conditions of shearing stress and circular fluids in the shear zone as well as the interaction between the fluids and the sheared rocks.