

文章编号:1000-4734(2001)04-0602-07

# 云南墨江含金脆-韧剪切构造带中显微 构造的矿物地球化学研究

方维萱<sup>1,2</sup> 胡瑞忠<sup>1</sup> 王明再<sup>1</sup> 刘世荣<sup>1</sup> 谢桂青<sup>1</sup>

(1.中国科学院地球化学研究所 矿床地球化学开放研究实验室,贵州 贵阳 550002;

2.中国有色金属工业总公司 西北地质勘查局,陕西 西安 710054)

**摘要:**墨江—元江镍金矿床是哀牢山构造-成矿带上一个十分典型和重要的矿床,在野外实测构造岩石地层层序、矿物学详细填图的基础上,采用X射线粉晶衍射分析、扫描电镜、电子探针微区分析及矿物-构造-地球化学等方法,对墨江镍金矿床中含金脆-韧性剪切构造带的物质组成进行详细研究。显微构造的矿物地球化学研究是一种构造筛分新方法。脆性构造主要表现为含金石英脉-硅质岩-黄铁矿硅质岩中普遍发育碎裂岩化及裂隙,碎裂岩化-裂隙构造是深源热流体叠加成矿的储矿构造和运移上升通道,脆性剪切变形过程中伴有粘土化蚀变,粘土矿物主要有铬水云母、铬高岭石、多水铬高岭石、绿铬高岭石、铬蒙脱石、铬迪开石、铬埃洛石和绿磷石等。在含金脆-韧剪切构造带中,铬绢云母-铬水云母-铬伊利石系列和铬绿泥石的矿物具(脆)韧剪切变形特征,在韧剪切变形过程中伴有强烈的热流体及以H<sub>2</sub>O为主要组分的矿化剂作用。

**关键词:**含金脆-韧性剪切带;显微构造;矿物地球化学;构造筛分;墨江镍金矿床;云南

**中图分类号:** P54; P571 **文献标识码:** A

**作者简介:**方维萱,男,1961年生,教授级高工,博士,构造地质专业,主要从事矿产勘查、沉积盆地与地质流体研究。

构造地球化学是我国学者提出且进行了深入研究的一个地球化学分支学科,也是当今固体地球科学研究的重要科学前沿<sup>[1-6]</sup>,但目前在显微构造的矿物地球化学尺度上研究成果较少,对于构造应变矿物-显微构造的物质组成研究,需要进行构造地质学和矿物学之间的交叉学科研究,矿物地球化学研究在矿床成因、地质勘查及勘查地球化学等领域有广泛的应用前景,尤其在脆-韧性剪切带分析研究上,矿物地球化学研究方法有特殊和不可替代的作用<sup>[7-13]</sup>,因此,采用现代矿物微区分析技术进行显微构造的矿物地球化学研究是今后重要发展方向之一。

墨江—元江镍金矿床是哀牢山构造-成矿带上一个十分典型和重要的矿床,在成因及矿物学研究方面,已取得显著进展<sup>[14-18]</sup>。本文采用矿物-构造-地球化学<sup>[10]</sup>等方法,对云南墨江含金脆-韧剪切构造带中显微构造的物质组成进行构造-矿物地球化学研究。

## 1 矿床地质特征

墨江—元江镍金矿床位于扬子地块与中缅地块之间哀牢山浅变质岩带,九甲—安定断裂带的东侧。九甲—安定断裂走向NW340°,倾向NE,沿该断裂或两侧有数百个超基性岩体,其中矿区东侧的金厂岩体最大,以构造侵位方式侵位于浅变质岩系中。金矿体受金厂逆冲断层和古生代浅变质岩系以及超基性岩体的控制。矿区主要出露上泥盆统金厂岩组(苦杜木组的同时异相层位)<sup>[14]</sup>浅变质岩系和三叠系。金厂岩组是赋矿层位,主要由深灰色砂板岩、变余粉砂岩组成,底部与超基性岩体的接触部位,片理化强烈,伴有硅化、碳酸盐化、滑石化等蚀变。从北向南,有四十八两山、老金牛、烂山、猫鼻梁子等金矿段。矿石类型主要有蚀变岩型(I)和石英脉型(II),表现为浅部以蚀变岩型矿石为主,深部则多为石英脉型矿石。浅部金品位较低,深部变富的趋势。

## 2 研究方法

在对野外详细地质观测、矿物地球化学填图

收稿日期:2001-06-10

基金项目:国家杰出青年科学基金项目(49925309);国家重大基础研究规划项目(G1999043200);云南省院合作项目(YK98008-3)

及构造期次划分的基础上,针对不同期次、矿物组合和变形特征的地质体进行采样(表1)。室内切制电子探针片及光、薄片,进行光学性质鉴定、显微构造特征、矿物组成、特征、组合及地质产状观察和研究。显微构造的微区矿物地球化学分析测试技术主要有:采用 D/Max-2200X 射线衍射仪(日本理学公司生产)进行矿物鉴定,工作条件:电压 40 kV;电流 20 mA,扫描速度 6°/min。采用 JEM-

200FX 型透射电子显微镜(日本电子公司 JEOL 生产)进行矿物形貌、内部结构和成分分析;该仪器配有 EM-ASID20 扫描附件, Oxfordlin ISIS 型能谱仪。透射电子显微镜分辨率为 0.3 nm(测试点),扫描电子显微镜分辨率 SEM 为 4.0 nm,STEM 为 2.5 nm,放大倍数 50~80 万倍,放大精度 < 10%。采用 JEOL-SUPERPROBE 733 型电子探针分析仪,使用德国地质调查所标样监控微区分析质量。

表1 墨江镍金矿床绿色蚀变岩采样位置及地质产状

Table 1. Geological occurrences and sample localities of green altered rocks from Mojiang Ni-Au deposit

样号	采样位置	地质产状	主要组成矿物	成因类型
G-11	三颗庄超基性西侧公路边	产于上泥盆统金厂岩组四十八两山段中脆-韧性剪切带,沿 S-L 透镜体边部分布	石英、含铬绢云母、铬水云母、铬伊利石、铬埃洛石	早期,同构造期剪切面理构造(S <sub>2</sub> )
G-17	烂山矿段 10 号矿体露天采场(西部)	沿断层产出的铬绿泥石铬伊利石黄铁矿蚀变岩	铬伊利石、黄铁矿、石英、铬绿泥石、铬蒙脱石、多水铬高岭石	中期,同构造断层泥及热流体蚀变作用
G-21	烂山矿段 10 号矿体露天采场中部	沿断层产出的铬伊利石黄铁矿蚀变岩	铬伊利石、黄铁矿、石英	中期,同构造断层泥及热流体蚀变
G-25	烂山矿段 10 号矿体露天采场东部	三叠系暗蓝绿色角砾状粘土岩,位于镍金矿体之上断层	绿高岭土、多绿水高岭土、叶蜡石、石英	热泉型蚀变(晚期)
G-35	猫鼻梁子矿段 1 820 m 中段 CM4 北	产于逆冲断层中铬伊利石黄铁矿(断层)角砾岩	石英、玉髓、黄铁矿、铬伊利石	受中期构造作用的早期铬绢云母黄铁矿岩
G-45	猫鼻梁子矿段 1 820 m 中段	产于 F <sub>9</sub> 中,厚 0.8 m,黄铁矿铬绢云母蚀变岩	黄铁矿、铬绢云母、粘土矿物	F <sub>9</sub> 断层后期活动形成的断层泥(中期)
G-47	烂山矿段 2 号矿体露天采场,2 020 m	沿裂隙产出的铬伊利石脉,宽 10~30 cm	铬伊利石、黄铁矿铬高岭石	中期铬伊利石蚀变脉体(热泉型)
Min-1	烂山矿段 2 号矿体露天采场,51 线,1 950 m	沿裂产出的铬伊利石脉,宽 5~15 cm	铬伊利石、黄铁矿	中期铬伊利石蚀变脉体(热泉型)
G-77	石蚌龙潭东侧	金厂岩组四十八两山段层纹状绢云母硅质岩	绢云母、石英	晚泥盆纪热水-正常化学混合沉积
Min-7	烂山矿段 10 号矿体露天采场,51 线,2 050 m	铬伊利石构造角砾岩带,产状 270°/80°,逆冲断层	铬伊利石、铬高岭石	中期同构造期

### 3 脆性构造特征与矿物地球化学

脆性构造主要表现为含镍金石英脉-硅质岩-黄铁矿硅质岩中普遍发育碎裂岩化,这是本区镍金矿体在浅层次下经历脆性构造变形的标志<sup>[14]</sup>。碎裂岩化主要表现为岩石中劈理极为发育,两组劈理产状:一组倾向 300°~330°,倾角 35°~55°,发育密度为 30~120 条/m;另一组倾向 165°~190°,倾角 35°~55°,发育密度为 40~90 条/m。

一般沿劈理构造均发育薄膜状粘土矿物,但在脆性剪切带中,表现为粘土矿物蚀变及沿脆性

裂隙充填有粘土矿物细脉和微脉,局部形成囊状和网脉状粘土矿物蚀变岩,这种部位常形成富矿柱。如在猫鼻梁子矿段 1 782 m 中段 CM5N 穿脉中, Q59 含金石英脉中发育囊状和网脉状高岭石蚀变岩, Au 品位可达 100 g/t 以上,这种富矿柱在猫鼻梁子矿段多处发育。显示在晚期伸展-深源热流体叠加成矿过程中,脆性剪切带中碎裂岩化-裂隙构造是深源热流体叠加成矿的储矿构造和运移上升通道。

粘土矿物主要有铬水云母、铬高岭石、多水铬高岭石、绿铬高岭石、铬蒙脱石、铬迪开石、铬埃洛

石和绿磷石等(表2)。铬高岭石-多水铬高岭石-绿铬高岭石等粘土矿物蚀变岩呈暗绿色-橄榄绿色,蜡状光泽,土状-块状结构。在三叠系暗蓝绿色角砾状粘土岩中发育角砾状构造(G-25),片状集合体是由于后期构造作用下矿物定向排列和片理化所形成。角砾由硅化团块组成,发育自形晶石英晶体,最大可达 $3\text{ cm} \times 0.5\text{ cm} \times 0.8\text{ cm}$ 石英晶体,石英晶体晶面良好。X射线粉晶衍射分析(图1)显示,主要为绿高岭石(64.84%)、铬伊利石(24.69%)、石英(5.65%)及叶蜡石(4.82%)。高岭石化富金石英脉中,石英发育晶隙构造、晶洞构造及梳状构造(照片1),局部(多为凹面)石英晶洞附着铬高岭石-铬迪开石-绿磷石-铬伊利石等粘土矿物(照片1),粘土矿物呈被膜状生长于石英表面,松散易剥落。大颗粒自然金常与暗绿色-草黄绿色-白色高岭石类粘土矿物共生,高岭石集合体中粘土矿物粒度大。绿铬高岭石及多水绿铬高岭石的化学成分以 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 为主, $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 为4.09%~7.33%(表2),反映高岭石类矿物是在(热泉)低温条件下酸性淋滤蚀变作用下形成的产物。

蒙脱石最有利的形成环境为基性凝灰岩、基性火山灰质(斑脱岩)及含基性火山凝灰质岩(如凝灰质硅质岩)在低温、碱性热液条件下的蚀变产物。一般与蒙脱石伴生的矿物有水云母、埃洛石、高岭石,在表生条件下,蒙脱石属不稳定矿物,在地表水的长期淋滤作用下向高岭石转化。在烂山矿段、四十八两山矿段及老金牛,金厂岩组四十八两山段及烂山段中产出有似层状的绿片岩化基性火山熔岩、绿色铬绢云母铬伊利石化基性火山凝灰岩及绿色蚀变岩带(原岩系基性凝灰岩)。基性



照片1 梳状石英脉中石英(Qz)、五角十二面体黄铁矿(Py)和表面附着的粘土矿物(Cr-铬伊利石)SEM矿物形貌象

火山熔岩呈灰绿-深绿色,致密块状。矿物粒度细小,镜下主要为角闪石(40%±)、长石(20%±)、黑云母(15%±)辉石及石英。绿泥石呈柱形晶辉石假象,有部分呈揉皱状。斜长石已蚀变为绢云母、高岭土。在镜下可见到矿物晶屑、火山玻璃质,晶屑成份为石英、长石、角闪石,形态为尖棱角不规则鸡骨状等典型晶玻璃屑特征;尚发现有鱼眼沸石等矿物,伴有高温气成的电气石晶体(烂山矿段,68—72线)。蒙脱石中含 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 在5.8%~7.17%(表2),属铬蒙脱石;含 $\text{K}_2\text{O}$ 4.46%~5.46%,含 $\text{MgO}$ 2.6%~13.16%,含 $\text{Na}_2\text{O}$ 甚微。从铬水云母→铬伊利石→铬高岭石、绿铬高岭石→铬蒙脱石-铬迪开石、铬埃洛石→多水铬高岭石的矿物组合变化看,反映矿物中含 $\text{H}_2\text{O}$ (包括F、Cl

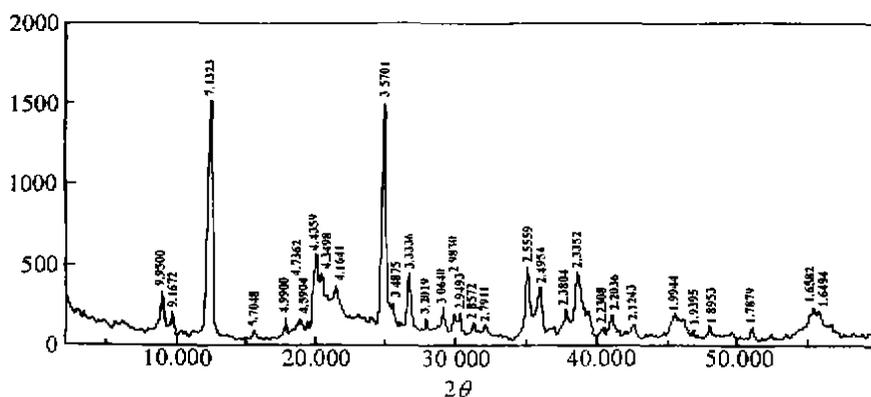


图1 墨江镍金矿上三叠统粘土岩(G-25)X射线粉晶衍射分析图谱

Fig. 1. X-ray powder diffractogram of the Upper Triassic mudstone (G-25) in the Mojiang Ni-Au deposit.

表 2 铬绢云母、铬水白云母、铬绿泥石、铬伊利石、铬高岭土的电子探针分析结果 (%)

Table 2. Electronic microprobe analyses of altered minerals from the Mojiang Ni-Au deposits (%)

样号	测定矿物	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	NiO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	TiO	SiO <sub>2</sub>	Σ
G771	绢云母	0.00	0.04	0.02	0.16	4.21	0.29	10.17	28.24	1.76	0.07	0.09	48.41	93.47
G772	多硅白云母	0.00	0.00	0.01	1.51	1.48	0.22	8.67	28.13	2.49	0.13	1.08	56.76	100.48
G451	铬绢云母	0.12	0.36	0.00	8.03	0.76	0.05	6.35	21.26	3.48	0.01	0.02	55.86	96.30
G452	铬绢云母	0.35	0.05	0.06	8.05	0.59	0.10	6.39	20.96	3.44	0.00	0.00	59.93	94.92
G453	铬绢云母	0.21	0.15	0.10	7.70	1.12	0.28	5.24	21.97	3.71	0.39	0.00	56.13	96.99
G111	含铬绢云母	0.00	0.00	0.00	1.12	0.19	0.72	4.84	33.44	0.81	0.41	0.01	52.53	94.08
G112	铬水白云母	0.00	0.00	0.00	1.36	0.43	0.17	6.23	31.44	1.09	0.37	0.03	50.69	91.82
G113	含铬伊利石	0.08	0.17	0.00	1.60	0.44	0.23	5.61	30.53	0.66	0.43	0.00	49.98	86.71
G114	含铬伊利石	0.00	0.00	0.00	1.13	0.65	0.35	5.81	30.89	0.91	0.36	0.06	47.19	87.35
G115	铬埃镑石	0.06	0.03	0.06	2.08	0.42	0.17	5.19	26.91	0.69	0.32	0.11	43.70	79.75
M21	铬伊利石	0.00	0.17		5.08	0.40	0.28	5.59	22.86	4.95			45.24	84.56
M22	铬水白云母	0.09	0.19		5.30	0.33	0.17	6.41	24.20	5.19			48.31	90.19
G312	铬伊利石	0.00	0.06		15.76	0.53	0.04	2.04	27.10	7.00			34.33	86.97
G455	铬伊利石	0.00	0.27	0.06	6.21	0.49	0.23	4.01	20.96	3.67	0.00	0.01	56.10	92.01
G171	铬绿泥石	1.30	0.24	0.35	5.09	1.44	0.27	1.73	25.21	7.75	0.31	0.00	40.53	84.23
G172	铬绿泥石	2.40	0.39	0.40	4.24	1.73	0.12	0.89	26.35	8.55	0.50	0.00	45.89	91.47
G173	铬绿泥石	1.81	0.21	0.21	3.43	2.02	0.34	2.45	26.64	7.53	0.41	0.07	43.17	88.31
G176	铬绿泥石	0.54	0.44	0.11	4.10	1.18	0.38	3.16	28.04	5.03	0.21	0.05	41.77	84.98
G174	铬蒙脱石	1.01	0.26	0.20	4.23	0.84	0.08	2.06	23.02	6.03	0.30	0.05	40.72	78.80
G175	铬蒙脱石	0.51	0.04	0.10	3.95	0.88	0.45	4.26	24.79	1.86	0.21	0.02	44.95	81.99
G177	多水铬高岭石	0.09	0.17	0.00	4.09	0.35	0.11	4.78	20.79	1.05	0.31	0.01	43.33	73.09
G178	多水铬高岭石	0.50	0.45	0.06	7.33	0.87	0.10	4.41	15.03	1.38	0.09	0.00	37.28	71.25
G454	铬蒙脱石	0.00	0.15	0.07	6.12	0.37	0.14	4.46	19.48	3.16	0.02	0.07	50.19	84.23
G456	铬蒙脱石	0.60	0.28	0.14	7.17	0.95	0.11	4.81	18.38	2.61	0.06	0.06	48.88	84.07
G459	铬蒙脱石	0.06	0.29	0.05	5.80	1.25	0.15	5.46	19.12	3.02	0.01	0.04	46.83	82.20

注:样号末位数为电子探针分析编号(如 G171、G172、G173 代表 G-17 样品)。

等其他阴离子团)逐渐增加。成矿流体中矿化剂组分与粘土矿物在低温低压条件下可组成胶体状流体(纳米级),这种流体对金有极强的吸附和携带运移能力,随着粘土矿物的沉淀,金发生卸载富集,形成大颗粒的自然金,因此,在矿区中大颗粒的自然金常与粘土矿物共生或被粘土矿物包裹。粘土矿物的矿物地球化学特征、地质产状和形貌学特点显示它们只能形成于浅层次的开放性张性构造环境中,粘土矿物形貌学没有受到很大破坏,显示它们形成时代最晚。这种显微构造-矿物地球化学研究为应用构造筛分方法定构造变形层次、划分和厘定多期多阶段成矿的期次提供了重要依据和新方法。

#### 4 韧性显微构造与矿物地球化学

印支期逆冲推覆型脆-韧性剪切构造带主体发育在上泥盆统及海西期超基性体(群)中,具有逆冲推覆构造中以挤压剪切作用的动力学特征;燕山早期主要为形成高角度(左旋)走滑脆-韧剪

切带,燕山晚期以左行走滑浅层次脆性变形为主<sup>[17]</sup>。现仅以铬绢云母-铬水云母-铬伊利石系列和绿泥石类矿物的显微构造-矿物地球化学为例进行论述。

##### 4.1 铬绢云母-铬水云母-铬伊利石系列

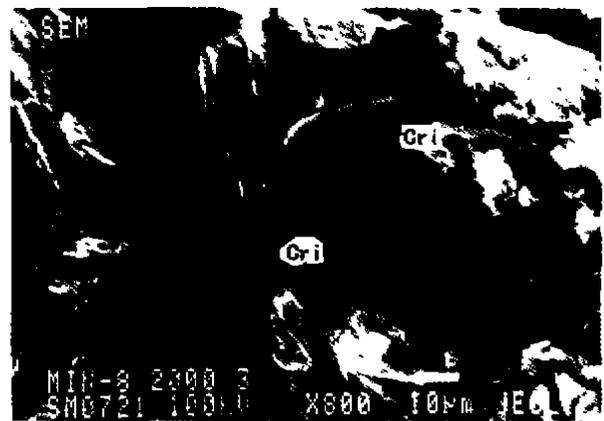
构造变形面理常由绢云母组成,但组成不同期次构造变形面理的绢云母化学组成差别较大,绢云母中 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>O 呈规律性变化,对于这种显微构造的矿物地球化学研究也为构造变形筛分提供了重要的依据和有效的新方法。从表 2 看,在矿区蚌龙潭-四十八两山矿段,金厂岩组四十八两山段(D<sub>3jy</sub>)灰白色-灰色绢云母硅质岩中,绢云母优选消光方位与硅质成分层有较小交角(小于 10°),这种绢云母由构造应力作用下透入性面理置换(S<sub>1</sub>面理)作用形成。这种产状绢云母(S<sub>1</sub>)中含 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 低(小于 2.0%),而含 K<sub>2</sub>O 在 8.5%以上。含铬绢云母-铬绢云母剪切面理(S<sub>2</sub>面理)只限于脆-韧性切带内,形成于海西-印支期<sup>[14]</sup>。如在三

颧庄脆-韧性剪切带中,剪切面理( $S_2$ )由含铬绢云母组成,从远离切裂隙面( $S_2$ )到附近矿物发生系列变化,依次为含铬绢云母→含铬水云母→含铬伊利石→铬埃洛石,这种系列的矿物递变是由于剪切裂隙面为构造流体微通道( $20\ \mu\text{m}$ 宽),热流体沿剪切裂隙面运移,导致岩石因水化学作用不同而形成这种显微尺度上的系列矿物。从 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量逐渐降低的特点看(表2),脆-韧性剪切带内构造流体的矿物地球化学作用主要表现为水化作用( $\text{H}_2\text{O}^+$ ),破坏了绢云母中的 $[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$ 四面体,使Si和Al发生溶解、迁移,可能是沿(110)破裂而形成破键<sup>[18]</sup>, $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ 转变为 $\text{Si}-\text{OH}-\text{Si}$ ,破键可以吸附 $\text{H}_2\text{O}$ ,使Si、Al流失,从而达到电价平衡,这也是显微尺度上的构造-矿物-地球化学作用和物质调整的表现。同时, $\text{K}^+$ 在水化作用下发生流失, $\text{Cr}^{3+}$ 进入后使阳离子与 $[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ 四面体离子达到平衡。在燕山期脆-韧性剪切带内,铬绢云母是糜棱岩中主要韧性变形矿物,如在猫鼻梁子矿段1782 m中段 $F_{59}$ 断层中,由铬绢云母组成S-C组构中的S面理( $S_3$ 面理)(照片2)中,铬绢云母含 $\text{Cr}_2\text{O}_3$  7.7%~8.8%,含 $\text{MgO}$ 在3.0%以上, $\text{K}_2\text{O}$ 含量低于7.0%,含有微量的 $\text{As}_2\text{O}_3$ 、 $\text{V}_2\text{O}_5$ 。

在岩石标本尺度上,铬伊利石呈翠绿色-孔雀蓝色-淡绿色的绿色色调为主,在镜下呈无色-淡绿色-淡褐色-褐色,色调较暗时微显多色性。野外地质产状为浸染状、脉状、稀疏浸染状,集合体呈鳞片状变晶结构。在扫描电镜下观察细微结构发现早期层纹状铬绢云母单体结晶形态良好,呈六方片状,大小为 $100\ \mu\text{m} \pm$ 。中期铬伊利石脉中,铬伊利石呈层状结晶体(照片3),单层厚度在 $<0.01\ \mu\text{m}$ 。晚期铬伊利石除呈层状集合体外,单晶呈毛茛状,大小 $1\sim 5\ \mu\text{m}$ ,长 $10\sim 20\ \mu\text{m}$ 。附着在具溶蚀空洞的黄铁矿晶体表面生长,集合体呈放射状、菊花状,这种纳米级铬伊利石可能随深部流体地质作用所形成(喜马拉雅山期)。与晚期铬伊利石共生的粉尘黄铁矿(肉眼鉴定)放大800倍后观测,实际为 $100\sim 20\ \mu\text{m}$ 的五角十二面体黄铁矿,自形晶,晶面发育良好。与晚期铬伊利石共生的梳状石英为 $100\sim 500\ \mu\text{m}$ 大小(照片1),自形晶良好,晶面发育完整。从铬伊利石-黄铁矿-石英共生的矿物晶体形态发育良好的现象看,晚期铬伊利石-黄铁矿-石英组合的蚀变作用是发生在张性构造的开放体系中。



照片2 糜棱岩中S-C组构的S面切片,微裂隙面(Fra)、铬绢云母(Cse)



照片3 铬伊利石(Cri)SEM矿物形貌象

粘土矿物蚀变岩石含 $\text{H}_2\text{O}^+$ 为4.5%~12.5%<sup>[17]</sup>,伊利石的化学组成与绢云母相似,主要区别<sup>[18]</sup>在于四面体层中的 $\text{Si}:\text{Al}$ 大于3:1,因而中和的负电荷就有所下降,在X位置上的 $\text{K}^+$ 也降低。水云母中主要由于水化引起 $\text{K}^+$ 的流失,并通过 $\text{H}_3\text{O}^+$ 离子的取代加以补偿,所以四面体层中 $\text{Si}/\text{Al}$ 值不同。当四面体层中 $\text{Si}/\text{Al}$ 值为 $3\sim 4\frac{1}{3}$ 时,属于水云母或绢云母,超过 $4\frac{1}{3}$ 时,则归入伊利石族,当四面体层中的Al全部或接近全部被Si取代时,则转化为蒙脱石。伊利石不含层间水,主要为表层吸附水。本区蚀变构造岩中主要为铬绢云母-铬水云母-铬伊利石的完整矿物系列(表2),主要为脆-韧性剪切带中不同程度的水化作用所形成, $\text{H}_2\text{O}$ 是矿化剂的主要组分,岩石的

水化作用实际是由于构造扩容作用造成矿流体中矿化剂组分与围岩发生水-岩反应;同时也导致成矿物质沉淀富集成矿,形成含金蚀变(构造)岩。从铬绢云母→铬水云母→铬伊利石,电子探针分析所获得的矿物总量不断降低,反映矿物中含  $H_2O$  (包括 F、Cl 等其他阴离子团) 逐渐增加,成矿流体中矿化剂组分与围岩发生水-岩反应逐渐增强。

#### 4.2 铬绿泥石

铬绿泥石(肉眼鉴定)为深绿色-暗绿色,鳞片状或薄板状集合体,在石英脉中多与铬伊利石共生,主要形成于印支-燕山期脆-韧性剪切带中。主要地质产状有 3 种类型:①在三颗桩一大风丫口海西-印支期韧性剪切带中,透人性剪切面理由绿泥石组成,厚 0.5~3 cm,局部可厚达 5 cm。绿泥石片岩中绿泥石主要组成构造片理及 S-C 组构的剪切面理。②铬绿泥石蚀变岩多位于韧性构造变形强烈的部位(铬绿泥石化蚀变糜棱岩),从表 2 看,产于绿色蚀变带中的绿泥石是以铬泥石为主。如老金牛矿段绿色蚀变糜棱岩中,铬伊利石(厚 0.05~0.3 cm)、暗绿色铬绿泥石及细脉状隐晶质(0.5 cm)形成条纹条带状构造,三者均为脆-韧性剪切带中透人性新生剪切面理的主要组成物质。在隐晶硅质脉相对集中的条带构造(厚度大于 10 cm)的边部,发育由铬绿泥石组成的矿物拉伸线理,铬绿泥石及其共生矿物的显微组构特征显示形成于左旋压剪性构造环境中。在铬绿泥石-铬伊利石-黄铁矿蚀变体中,铬绿泥石呈填隙状分布于自形晶良好的粒状黄铁矿晶粒之间,显示

形成于张剪切性环境中。在热水沉积黄铁矿硅质岩的边部,常发育铬绿泥石铬伊利石黄铁矿变基性凝灰岩(糜棱岩化凝灰岩),铬绿泥石呈薄膜状和片状产于断层挤压片理面上,这种绿泥石构造片岩形成于压性构造环境中。矿物组合为铬绢云母(36.13%) + 黄铁矿(40.34%) + 铬绿泥石(4.37%) + 铬高岭石(5.94%) + 铬蒙脱石(5.55%) + 石英(7.68%) + 其他矿物(10%)(图 2)。③蚀变基性火山角砾熔岩及蚀变基性火山凝灰岩中铬绿泥石在断层面上相对集中,断层面上矿物拉伸线理主要由绿泥石组成,在黄铁矿晶粒边部常有绿泥石沿晶粒间隙填隙状产出。

可以看出,铬绿泥石可以形成于局部的压性、张剪性和压剪性动力学系统中,并在走滑作用下形成铬绿泥石矿物拉伸线理。燕山期脆-韧性剪切带中以发育显著的绿色蚀变带为特点,铬伊利石-铬绿泥石( $S_3$ )剪切面理置换非常发育。在矿物地球化学尺度上, $K_2O$ 、 $Al_2O_3$ 、 $SiO_2$  进一步被溶解迁移, $Cr^{3+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、As 等组分随着水化作用增强( $H_2O^+$ 而被大量带入脆-韧性剪切带,如铬绿泥石中含  $As_2O_3$  可达 0.34%~2.4%,铬伊利石中含  $Cr_2O_3$  最高可达 15.76%,含  $MgO$  3.64~8.55%。强烈的矿化剂组分为  $H_2O^+$ ,水化作用)使脆-韧性剪切带内的岩石发生重建,形成绿色蚀变带及绿色蚀变糜棱岩,金品位 0.5~3.0 g/t, Ni 品位为 0.8%±,形成金镍共生矿体。

致谢:本次工作得到了云南省元江镍金厂与墨江金矿领导及地测科的大力支持帮助,特此致谢。

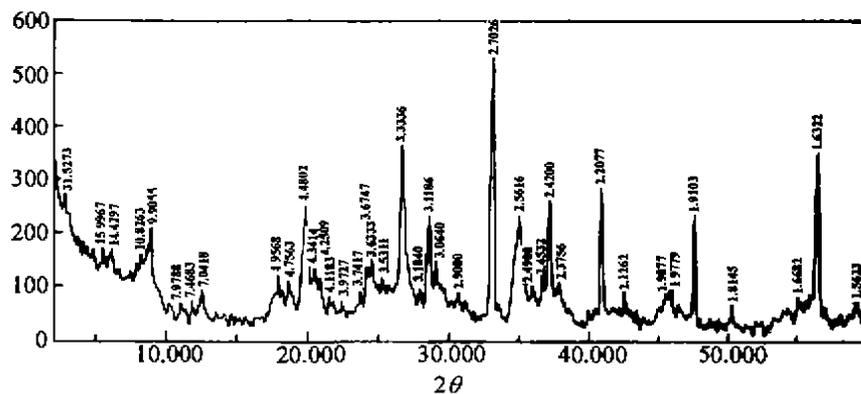


图 2 墨江镍金矿 G-17 号样品 X 射线粉晶衍射分析图谱

Fig.2. X-ray powder diffractogram of the Upper Triassic mudstone

## 参 考 文 献

- [1] 陈国达. 构造地球化学若干问题[M]. 长沙: 中国矿业学院出版社, 1976. 1~2.
- [2] 涂光炽. 构造与地球化学[J]. 大地构造与成矿学, 1984, 8(1): 1~3.
- [3] 黄瑞华. 大地构造地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1996. 1~25.
- [4] 徐光荣, 王志华, 刘珊. 成矿构造地球化学[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1996. 150.
- [5] 吴学益. 构造地球化学导论[M]. 贵阳: 贵州科学技术出版社, 1998. 1~75.
- [6] 杨国清, 编著. 构造地球化学[M]. 桂林: 广西师范大学出版社, 1990. 1~30.
- [7] 方维萱. 小秦岭含金石英脉的矿物地球化学研究[J]. 地质与勘探, 1993, 32(3): 40~50.
- [8] 方维萱. 陕西凤县铅铜山大型铅锌矿床矿物地球化学研究[J]. 矿物学报, 1999, 19(2): 198~205.
- [9] 方维萱. 赤水银铜山特大型银多金属矿床矿物地球化学研究[J]. 矿物学报, 1999, 19(3): 349~357.
- [10] 方维萱, 黄转莹, 刘方杰. 八卦庙超大型金矿床构造-矿物-地球化学[J]. 矿物学报, 2000, 20(2): 121~127.
- [11] 方维萱, 黄转莹, 王瑞庭, 杨宏林. 秦岭造山带二台子铜金矿床矿物地球化学研究[J]. 矿物学报, 2000, 20(3): 264~271.
- [12] 肖志峰, 欧阳自远, 卢焕章. 海底抱板金矿田围岩蚀变带中绿泥石的特征及其意义[J]. 矿物学报, 1993, 13(4): 319~324.
- [13] 郑作平, 陈繁荣, 于学元. 八卦庙金矿的绿泥石特征及成岩成矿意义[J]. 矿物学报, 1993, 17(1): 100~106.
- [14] 方维萱, 胡瑞忠, 谢桂青, 漆亮, 苏文超. 云南墨江一元江镍金矿床主要控矿因素分析与研究[J]. 矿物学报, 2001, 21(1): 80~89.
- [15] 蔡长金, 陆荣军, 宋湘军. 中国金矿物志[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1994. 150~152.
- [16] 蒋志. 金厂金镍矿床形成的地球化学过程[J]. 地质与勘探, 1984, (1): 6~13.
- [17] 李前德, 刘文龙. 云南省墨江县金厂矿区金矿详细地质勘探报告[R]. 武警黄金13支队, 1982. 11~29.
- [18] 张虎才. 元素表生地球化学特征及理论基础[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1997. 369~393.

## MINERAL GEOCHEMISTRY ON MCRIO STRUCTURES IN THE MOJIANG Au-BEARING BRITTLE-DUCTILE SHEAR ZONE IN YUNNAN

Fang Weixuan<sup>1,2</sup> Hu Ruizhong<sup>1</sup> Wang Mingzai<sup>1</sup> Liu Shirong<sup>1</sup> Xie Guiqing<sup>1</sup>

(1. Open Lab of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002;

2. Northwest Geological Exploration Bureau, CNNC, Xi'an 710054)

**Abstract:** The Mojiang-Yuanjian Ni-Au deposit is one of the most important and the most typical mineral deposits along the Ailaoshan tectono-metallogenic belt. Based on research and analysis of the tectono-lithostratigraphic unit and mapping of mineral-geochemistry, as well as X-ray powder diffractogram, scanning electron microscopic spectrum detection, electron microprobe analysis and tectonics-mineral-geochemistry, the characteristics and mineral composition of the brittle ductile shear zone in the Mojiang-Yuanjian Ni-Au deposit have been discussed in detail. The brittle-ductile shear zone, the mainly ore-hosted structure, includes proximate horizontal tension cracks, sinistral shear fractures and close-off brittle-ductile shear zones. Firstly, in the thrust-nappe-type shear belt in the Indo-Chinese orogen perhaps is formed the Au-bearing brittle ductile shear zone. Secondly, the strike-slip-type shear zone with a high-angle was probably formed in the Early Yanshanian orogen, and then changed into brittle deformations in the late Yanshanian orogen. Finally, the Au orebodies of high grades were superimposed by deep-source hydrothermal fluids in the Himalayan orogen. The brittle tension cleavages are the best ore-hosted structures for Au orebodies of high grades. Brittle deformation tectonics in the brittle-ductile shear zones is accordant to alterations of Cr-clay minerals, which include Cr-hydromuscovite, Cr-kaolinite, Cr-hydrokaolinite, blue Cr-kaolinite, hydrokaolinite and Cr-smectite. The typical brittle tension deformation includes cataclasis of quartz vein-chert-pyritic chert and cleavages in the shear zone, where they are attached to the ore-host tectonics and the passway of thermal-fluids derived from deep source. In the Au-bearing brittle ductile shear zone, research on microstructure and mineral geochemistry of the Cr-sericite-Cr-hydromuscovite-Cr-illite series and chlorite series revealed that they would be formed in the (brittle) ductile shear deformational zone involving extensive fluids and H<sub>2</sub>O-type mineralizers.

**Key words:** Au-bearing brittle ductile shear zone; microstructures; mineral geochemistry; analysis of tectonic deformation; Mojiang Ni-Au deposit; Yunnan