

焦家式金矿中铬铝云母化学成分的标型性

鲁安怀 陈光远

(中国地质大学, 北京 100083)

主题词 标型性 铬铝云母 焦家式金矿 胶东地区

提要 本文系统研究了胶东地区金矿中产出的铬铝云母亚族中3个白云母、16个绢云母和32个含Cr云母种属的化学成分特征。提出了含Cr云母种属结构层内四面体、八面体及层间离子种类和数量在焦家式金矿成矿过程中的指示作用, 阐明了白云母、绢云母及含Cr云母种属之间的演化特征在与焦家式金矿化有关的成岩成矿作用中的标型意义。

云母族中铬铝云母亚族是在云母族的晶体化学与地球化学及1842—1993年国内外有关大量实际资料的基础上, 由陈光远等于1990年建议, 将过去的白云母亚族扩建的。其依据是, 自然界中与白云母同结构的云母中含 Cr_2O_3 的范围为0.15%—24.63%, 即Cr对Al的替代程度为0.35%—83.14%, 显示Cr—Al间具完全类质同象替代的趋势, 构成了云母族中较完整的Cr—Al系列^①。

按照新建立的铬铝云母亚族矿物晶体化学及自然分类^②, 胶东地区焦家式金矿中产出的种属主要有白云母、绢云母、含铬绢云母(含 Cr_2O_3 为0.10%—1.00%)、含铬多硅绢云母(含 Cr_2O_3 为0.10%—1.00%, 晶体化学式中Si离子数大于3.30)和铬多硅绢云母(含 Cr_2O_3 为1.00%—10.00%, 晶体化学式中Si离子数大于3.30)。其中白云母、绢云母作为围岩蚀变的产物早已为人们所熟知, 但对于含铬的绢云母及含铬的白云母等的形成机理与在金矿成矿理论及生产实践中的意义, 在国内外一直被忽略。陈光远等(1985)首先在焦家金矿采坑中发现了含铬绢云母, 后又在罗峰、黑炭沟金矿内发现了铬绢云母和含铬绢云母; 1987年又在流口金矿中发现了含铬白云母; 并于1989年论述了它们在胶东金矿中的出现是金矿床矿物成分标型对胶东群成分特征继承性的标志, 也是强烈蚀变矿化的标志。以中基性变质火山岩为主的胶东群部分重熔形成花岗岩类后, 其中的Au和Cr经蚀变释放出来, 便形成与金矿化相伴的含铬绢云母和含铬白云母^①。

本文系统研究了胶东地区7个较典型的焦家式金矿中产出的铬铝云母亚族中的含Cr云母种属(以下简称为含Cr种属)30个样品以及产于胶东群地层内脉状金矿中^②和荆山群地层内脉状金矿中的含Cr种属各1个样品, 还对比研究了铬铝云母亚族中白云母3个样品、绢云母16个样品。较深入地探讨了含Cr种属的化学成分特征及其与金矿化的关系, 并进一步阐述了白云母、

本文于1994年5月27日收到, 1994年7月14日改回。

① 鲁安怀, 陈光远. 云母族中白云母亚族扩展为铬云母亚族. 地质论证, 1995 (待刊)。

② 鲁安怀. 铬铝云母新亚族成因矿物学及其在焦家式金矿中的成因与找矿意义. 中国地质大学(北京)博士论文, 1993。

绢云母及含Cr种属之间的演化特征在与焦家式金矿矿化有关的成岩成矿作用中的标型意义。

在胶东地区的焦家式金矿中,含Cr种属主要产于主成矿阶段的富矿体内,与石英、黄铁矿、铁白云石及银金矿等共生,呈浸染状至网脉状构造,局部呈团块状、脉状构造。在贫矿至近矿围岩地段也有少量含Cr种属产出,但其Cr₂O₃含量甚少,并渐变过渡为绢云母。因此,含Cr种属的产出特征与银金矿极为相似。

表 1 胶东地区焦家式金矿中铬铝云母

Table 1 Chemical composition of chrome mica from gold

矿床	灵山沟				芦家	流口	罗峰	三 山 岛								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
矿物名称	铬多硅绢云母		含铬绢云母		铬多硅绢云母	含铬白云母	含铬多硅绢云母		含铬绢云母				含铬多硅绢云母	含铬绢云母		
SiO ₂	48.96	49.45	52.13	53.50	48.86	46.32	48.83	49.31	48.39	48.85	48.38	47.48	51.68	48.19	48.39	48.32
TiO ₂	0.29	0.34	0.27	0.11	0.57	0.96	0.46	0.19	0.29	0.14	0.19	0.29	0.51	0.26	0.13	0.28
Al ₂ O ₃	30.42	29.45	32.94	34.41	28.66	32.89	29.35	31.49	30.44	32.92	30.11	29.52	27.31	31.35	30.24	30.72
Cr ₂ O ₃	2.00	1.46	0.30	0.29	1.52	0.99	0.96	0.96	0.40	0.33	0.31	0.25	0.20	0.19	0.17	0.17
V ₂ O ₅																
FeO	1.53	2.18	2.24	0.71	0.86	0.67	1.91	1.15	2.75	1.40	3.53	3.89	2.19	2.05	2.50	2.57
MgO	0.98	1.01	1.67	1.51	2.24	0.09	1.90	1.12	1.07	0.52	1.60	1.40	2.07	0.83	0.98	1.00
CoO		0.22			0.00											
NiO	0.08	0.08	0.15	0.05	0.00	0.01	0.08	0.15	0.00	0.19	0.04	0.30	0.00	0.22	0.00	0.12
MnO	0.03	0.02	0.00	0.06	0.00	0.08	0.00	0.09	0.07	0.21	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.03
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.98	0.00	0.28	0.12	0.01	0.14	0.11	0.12	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.00	0.03	0.37	0.33	0.24	0.44	0.05	0.21	0.15	0.09	0.36	0.03	0.08	0.16	0.10	0.00
K ₂ O	7.53	7.46	8.11	6.79	10.88	6.89	8.43	7.43	10.76	10.75	10.75	10.99	10.31	10.78	11.37	11.07
总量	91.82	91.70	98.18	97.76	93.85	90.32	91.97	92.38	94.44	95.41	95.51	94.36	94.47	94.03	93.88	94.28

6—含Fe₂O₃为1.03, H₂O为3.77, F为0.42, 钟正刚, 1988; 21—初凤友, 1992; 其余, 鲁安怀, 1993;

1. K_{0.65}(Al_{1.75}Cr_{0.11}Mg_{0.16}Fe_{0.09}Ti_{0.02})_{2.07}[(Si_{3.32}Al_{0.68})₁O₁₀](OH)₂
3. (K_{0.55}Na_{0.01})_{0.59}(Al_{1.65}Mg_{0.16}Fe_{0.12}Ni_{0.01}Cr_{0.01}Ti_{0.01})_{1.96}[(Si_{3.21}Al_{0.79})₁O₁₀](OH)₂
5. (K_{0.81}Na_{0.03})_{0.87}(Al_{1.60}Mg_{0.23}Cr_{0.08}Fe_{0.05}Ti_{0.03})_{1.89}[(Si_{3.31}Al_{0.69})₁O₁₀](OH)₂
7. K_{0.73}(Al_{1.68}Mg_{0.19}Fe_{0.11}Cr_{0.05}Ti_{0.02})_{2.05}[(Si_{3.33}Al_{0.67})₁O₁₀](OH)₂
9. (K_{0.93}Na_{0.02}Ca_{0.01})_{0.96}(Al_{1.70}Fe_{0.16}Mg_{0.11}Cr_{0.02}Ti_{0.02})_{2.01}[(Si_{3.27}Al_{0.73})₁O₁₀](OH)₂
11. (K_{0.92}Na_{0.05}Ca_{0.01})_{0.98}(Al_{1.64}Fe_{0.20}Mg_{0.16}Cr_{0.02}Mn_{0.01}Ti_{0.01})_{2.01}[(Si_{3.25}Al_{0.75})₁O₁₀](OH)₂
13. (K_{0.87}Na_{0.01}Ca_{0.01})_{0.89}(Al_{1.61}Fe_{0.12}Ti_{0.03}Mg_{0.02}Cr_{0.01})_{1.79}[(Si_{3.14}Al_{0.86})₁O₁₀](OH)₂
15. (K_{0.99}Na_{0.01})_{1.00}(Al_{1.71}Fe_{0.14}Mg_{0.10}Ti_{0.01}Cr_{0.01})_{1.97}[(Si_{3.28}Al_{0.71})₁O₁₀](OH)₂
17. (K_{0.96}Na_{0.01})_{1.00}(Al_{1.55}Fe_{0.24}Mg_{0.22}Ti_{0.03}Ni_{0.01}Mn_{0.01}Cr_{0.01})_{2.07}[(Si_{3.21}Al_{0.79})₁O₁₀](OH)₂
19. (K_{0.98}Na_{0.01})_{0.99}(Al_{1.66}Mg_{0.15}Fe_{0.14}Ni_{0.01}Ti_{0.01}Cr_{0.01})_{2.00}[(Si_{3.33}Al_{0.67})₁O₁₀](OH)₂
21. (K_{0.70}Ca_{0.01})_{0.71}(Al_{1.57}Mg_{0.15}Fe_{0.07}Ti_{0.06}Cr_{0.02}Ni_{0.01}Mn_{0.01})_{1.89}[(Si_{3.76}Al_{0.22})₁O₁₀](OH)₂
23. (K_{0.72}Na_{0.03}Ca_{0.02})_{0.77}(Al_{1.80}Fe_{0.15}Mg_{0.08}Cr_{0.01}Mn_{0.01}Ti_{0.01})_{2.03}[(Si_{3.20}Al_{0.80})₁O₁₀](OH)₂
25. (K_{0.80}Na_{0.05}Ca_{0.01})_{0.86}(Al_{1.70}Fe_{0.15}Mg_{0.13}Cr_{0.01}Mn_{0.01})_{2.00}[(Si_{3.35}Al_{0.65})₁O₁₀](OH)₂
27. (K_{0.72}Na_{0.01})_{0.73}(Al_{1.71}Mg_{0.17}Fe_{0.15}Cr_{0.02}Ti_{0.01})_{2.09}[(Si_{3.29}Al_{0.71})₁O₁₀](OH)₂
29. (K_{0.92}Na_{0.01}Ca_{0.01})_{0.94}(Al_{1.72}Fe_{0.17}Mg_{0.13}Ti_{0.01}Cr_{0.01})_{2.01}[(Si_{3.22}Al_{0.78})₁O₁₀](OH)₂
31. (K_{0.90}Na_{0.03})_{0.93}(Al_{1.75}Fe_{0.18}Mg_{0.07}Ti_{0.01}Cr_{0.01})_{2.06}[(Si_{3.17}Al_{0.83})₁O₁₀](OH)₂

1 含Cr种属的化学成分特征

胶东地区焦家式金矿中产出的含铬绢云母、含铬多硅绢云母和铬多硅绢云母以及在流口脉型金矿中产出的含铬白云母的化学成分和产地见表1，其后列出相应的晶体化学式。

含Cr种属的SiO₂含量为46.32%—59.35%，其四面体中的Si离子数为3.13—3.78，其中

亚族含Cr种属的化学成分(wt%)及晶体化学式

deposits of Jiaojia type in Jiandong area (wt%)

			黑 岚 沟			焦 家				新 城				文 登	
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
			含铬多硅绢云母			含铬绢云母			含铬多硅绢云母	含 铬 绢 云 母					
46.94	50.42	48.47	54.22	59.35	50.97	47.24	47.67	49.87	48.67	51.18	48.72	48.11	46.73	47.95	49.03
0.56	0.47	0.15	0.43	1.23	0.00	0.11	0.18	0.00	0.00	0.23	0.38	0.24	0.38	0.14	0.35
28.43	29.83	28.97	26.97	23.30	30.86	32.57	32.99	28.72	35.45	32.36	32.04	31.61	32.32	33.62	29.36
0.16	0.16	0.15	0.78	0.46	0.69	0.68	0.31	0.24	0.23	0.40	0.37	0.19	0.17	0.15	0.20
			0.17												0.00
4.15	1.31	2.37	1.30	1.38	2.70	2.73	3.18	2.59	1.69	2.85	2.65	2.96	2.21	3.17	5.92
2.17	1.29	1.45	2.67	1.53	0.69	0.84	0.38	1.30	0.03	1.78	1.32	1.34	0.78	0.66	2.50
			0.00												0.28
0.24	0.11	0.19	0.03	0.26											0.00
0.13	0.00	0.00	0.00	0.18	0.09	0.06	0.00	0.12	0.00	0.02	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.15	0.03	0.01	0.02	0.07	0.21	0.10	0.16	0.15	0.02	0.22	0.07	0.13	0.02	0.09
0.30	0.20	0.05	0.15	0.01	0.00	0.20	0.00	0.66	0.00	0.11	0.29	0.07	0.00	0.20	0.15
10.95	10.41	11.13	6.42	8.64	7.23	8.34	8.49	9.16	10.12	8.80	10.11	10.79	10.22	10.73	8.16
94.03	94.35	92.96	93.15	96.92	93.30	92.98	93.30	92.82	96.34	97.75	96.33	95.38	92.94	96.64	96.04

测试单位：中国地质大学（北京）探针室

- 2. $K_{0.65}(Al_{1.73}Fe_{0.12}Mg_{0.10}Cr_{0.08}Ti_{0.02})_{2.05}[(Si_{3.37}Al_{0.63})_4O_{10}](OH)_2$
- 4. $(K_{0.45}Na_{0.01})_{0.46}(Al_{1.78}Mg_{0.11}Fe_{0.01}Cr_{0.01}Ti_{0.01})_{1.96}[(Si_{1.29}Al_{0.71})_4O_{10}](OH)_2$
- 6. $(K_{0.59}Ca_{0.07}Na_{0.05})_{0.72}(Al_{1.68}Fe^{3+}_{0.29}Cr_{0.05}Ti_{0.05}Fe^{2+}_{0.01}Mg_{0.01})_{2.01}[(Si_{3.13}Al_{0.87})_4O_{10}](OH)_{2.12}Fe_{0.09}^{2.21}$
- 8. $(K_{0.61}Na_{0.03}Ca_{0.02})_{0.63}(Al_{1.81}Mg_{0.11}Fe_{0.06}Cr_{0.05}Ni_{0.01}Ti_{0.01}Mn_{0.01})_{2.05}[(Si_{3.31}Al_{0.69})_4O_{10}](OH)_2$
- 10. $(K_{0.91}Na_{0.01})_{0.92}(Al_{1.81}Fe_{0.01}Mg_{0.05}Cr_{0.02}Ni_{0.01}Mn_{0.01}Ti_{0.01})_{1.96}[(Si_{3.21}Al_{0.76})_4O_{10}](OH)_2$
- 12. $(K_{0.96}Ca_{0.01})_{0.97}(Al_{1.63}Fe_{0.22}Mg_{0.14}Ni_{0.02}Ti_{0.02}Cr_{0.01}Mn_{0.01})_{2.05}[(Si_{3.25}Al_{0.75})_4O_{10}](OH)_2$
- 14. $(K_{0.93}Na_{0.02})_{0.95}(Al_{1.76}Fe_{0.12}Mg_{0.08}Ni_{0.01}Ti_{0.01}Cr_{0.01})_{1.99}[(Si_{3.26}Al_{0.74})_4O_{10}](OH)_2$
- 16. $K_{0.96}(Al_{1.72}Fe_{0.15}Mg_{0.10}Ni_{0.01}Ti_{0.01}Cr_{0.01})_{2.00}[(Si_{3.27}Al_{0.73})_4O_{10}](OH)_2$
- 18. $(K_{0.89}Na_{0.03}Ca_{0.01})_{0.93}(Al_{1.72}Mg_{0.13}Fe_{0.07}Ti_{0.02}Ni_{0.01}Cr_{0.01})_{1.96}[(Si_{3.37}Al_{0.63})_4O_{10}](OH)_2$
- 20. $(K_{0.45}Na_{0.02})_{0.47}(Al_{1.53}Mg_{0.26}Fe_{0.01}Cr_{0.01}Ti_{0.02}V_{0.01})_{1.95}[(Si_{3.50}Al_{0.50})_4O_{10}](OH)_2$
- 22. $K_{0.64}(Al_{1.81}Fe_{0.15}Mg_{0.07}Cr_{0.01})_{2.07}[(Si_{3.35}Al_{0.61})_4O_{10}](OH)_2$
- 24. $(K_{0.73}Ca_{0.01})_{0.74}(Al_{1.81}Fe_{0.18}Mg_{0.01}Cr_{0.02}Ti_{0.01})_{2.09}[(Si_{3.22}Al_{0.78})_4O_{10}](OH)_2$
- 26. $(K_{0.84}Ca_{0.01})_{0.85}(Al_{1.91}Fe_{0.099}Mg_{0.01}Cr_{0.01})_{2.02}[(Si_{3.18}Al_{0.82})_4O_{10}](OH)_2$
- 28. $(K_{0.85}Na_{0.01}Ca_{0.02})_{0.91}(Al_{1.72}Fe_{0.15}Mg_{0.13}Cr_{0.02}Ti_{0.02}Mn_{0.01})_{2.07}[(Si_{3.22}Al_{0.78})_4O_{10}](OH)_2$
- 30. $(K_{0.89}Ca_{0.01})_{0.90}(Al_{1.77}Fe_{0.13}Mg_{0.06}Ti_{0.02}Cr_{0.01})_{2.03}[(Si_{3.18}Al_{0.81})_4O_{10}](OH)_2$
- 32. $(K_{0.89}Na_{0.02}Ca_{0.01})_{0.92}(Al_{1.58}Fe_{0.33}Mg_{0.25}Co_{0.02}Ti_{0.02}Cr_{0.01})_{2.21}[(Si_{3.27}Al_{0.73})_4O_{10}](OH)_2$

注：6为化学分析，按12个O计算；其余为电子探针分析，按11个O计算，其中(HO)为理想式。

Si离子数大于3.30的种属(即多硅种属)占37.5%。其形成条件不同于高压环境下的多硅白云母,这表明,在与热液蚀变作用有关的金矿中,含Cr种属的形成环境是富Si的,与此阶段硅化强烈相对应。郭家岭花岗闪长岩体中黑岚沟金矿产出的含Cr种属的Si含量较高(图1),显然受到黄铁绢英岩中硅化石英含量大于50%^①的影响,甚至影响到钠长石化产物中的Si离子数也超出标准钠长石中的Si离子数。硅化强烈致使元素的调动、运移、沉淀的强度也随之增高,势必提高金的富集系数,故黑岚沟金矿的品位较高。类似的情况也在灵山沟金矿出现,其矿体中硅化强,形成铬多硅绢云母,金品位较高。罗峰、焦家、新城及三山岛等大型、特大型金矿中含Cr种属的Si离子数不出现特高值,由于它们的矿化规模大, Si质分散,金也较分散,因而品位较低。芦家、流口金矿是产于结晶基底中的脉型金矿,其围岩蚀变较弱,形成环境贫Si,故含Cr种属中的Si离子数较少。

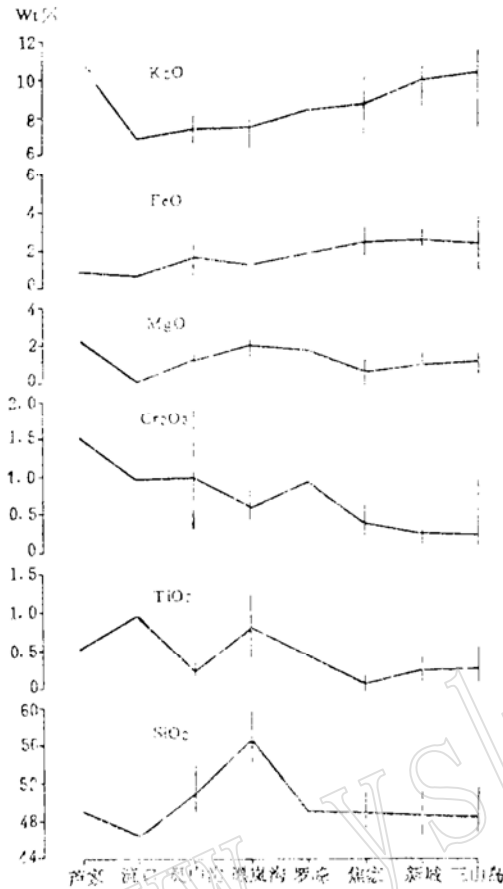


图1 胶东地区不同金矿中铬铝云母亚族含Cr种属化学成分的变化

Fig. 1 Chemical composition of chrome micas from gold deposits in Jiaodong area

(资料来源同表1)

1%。根据以上事实,含Cr种属的Cr₂O₃含量高可指示金品位较高, Cr₂O₃含量低虽指示金品位较低,但也可能暗示矿化规模较大。

八面体中的Ti与Cr具较类似的变化趋势。在焦家式金矿中, Mg、Fe略有增高的趋势,这与蚀变程度较高有关。这种形成环境使Mg、Fe等得以集中,故在形成含Cr种属时出现共生矿物铁白云石及黄铁矿等指示富矿的矿物组合。

目前已知,胶东地区含Cr种属的Cr₂O₃含量可达2%,但多数小于1%。与结晶基底直接有关的金矿中含Cr种属的Cr含量较高,如灵山沟金矿含有大量胶东群捕虏体,其蚀变矿化可带入Cr,致使出现Cr含量较高的铬多硅绢云母。芦家、流口金矿直接产于结晶基底中,故也出现较高的Cr含量,其金品位往往也较高,甚至很高,如流口金矿含铬白云母黄铁矿脉的金品位可高达400g/t^②。在与破碎蚀变作用有关的大多数金矿中,一方面, Cr与Au类似,也因矿化规模大而分散,另一方面,结晶基底虽然也是Cr的源区^[1],但重熔型花岗岩类的中介作用^[3]则不利于Cr的大幅度集中,故此焦家式金矿中含Cr种属的Cr₂O₃含量很少超过

① 初凤友。蓬莱东南部郭家岭岩体中黑岚沟金矿成因矿物学与找矿矿物学研究及成矿远景评价。中国地质大学(北京)博士论文,1992。

② 钟正刚。山东栖霞县流口金矿成因矿物学与找矿矿物学。中国地质大学(北京)硕士论文,1988。

含Cr种属层间阳离子K的变化范围也较大, K_2O 为6.42%—11.37%, K离子数为0.45—0.99, K不足1, 往往有 H_2O 替补^[4], 而 H_2O 是水热蚀变作用中的主要组份, 因此, K离子数越少越有利于发育蚀变矿化。芦家金矿中铬多硅绢云母的K离子数为0.94, 显示水热蚀变程度低、矿化弱、规模小, 这与实际情况相符。随金矿规模的增大, K离子数平均值虽有增高的趋势, 但极差也增大, 因而, 在处于规模较大的破碎蚀变带不同部位的含Cr种属中, K、 H_2O 含量有变化, 从破碎蚀变带边部到中部, 随破碎、蚀变、矿化程度增高, K减少而 H_2O 增加^[12]。

综上所述, 胶东地区焦家式金矿中铬铝云母亚族中含Cr种属化学成分的标型特征是:

(1) 层间K离子数指示水热作用的强度, K低 H_2O 高是水热作用强的标志, 有利于热液蚀变程度的增高;

(2) 四面体中Si离子数指示蚀变程度, Si高是硅化强烈的反映, 有利于金矿化, Si离子数还与矿床的金品位呈正相关;

(3) 八面体中Cr、Ni、V、Ti、Mg、Fe等离子数指示矿化程度, 尤其与Au同源的Cr、Ni等含量高是金沉淀富集的直接标志。

2 白云母、绢云母、含Cr种属的化学成分演化特征

三山岛特大型焦家式金矿中含Cr种属的化学成分带性见图2。由绢英岩化碎裂花岗岩组成的矿化围岩到绢英质碎斑岩近矿围岩、黄铁绢英质碎斑岩及黄铁绢英质糜棱岩矿体^[13], 所产出的含Cr种属由含铬绢云母过渡到含铬多硅绢云母, 即 SiO_2 含量逐渐增高, 是硅化增强的显示; Cr_2O_3 含量也逐渐增高, 显示Cr与Au具同步沉淀富集特征。具有增高趋势的组份还有 TiO_2 、NiO、MgO及FeO, 它们也都是随蚀变矿化程度增高而增加, 相应还出现金红石、铁白云石和黄铁矿等矿物组合, 与含Cr种属及银金矿为共生关系。在上述空间演化过程中, K_2O 具有逐渐减少的趋势, 这是含Cr种属中层间K部分被 H_2O 替代之故, 是 H_2O 含量增高的显示, 反映水热蚀变作用增强、含矿流体中 H_2O 等挥发份高, 极有利于金矿化。

对比研究三山岛金矿中的白云母可知, 其 SiO_2 含量相对较低(表2), TiO_2 含量较高, 而Cr、Ni、Co、V等甚微, $Fe_2O_3 > FeO$, K_2O 的含量与近矿围岩中含Cr种属的相当, H_2O 、F等挥发份较高。这些特征反映出白云母形成于硅化程度不高、氧化、富挥发份、成矿物质浓度低等环境中。这与白云母形成于成岩成矿阶段晚期^[13]的实际状况相符, 此阶段为金的氧化迁移阶段, 故有别于金的沉淀富集阶段所生成的含Cr种属化学成分所反映出的形成环境。

三山岛金矿的绢云母形成于成矿阶段早期^[13], 故其化学成分(表3)也不同于成岩成矿过渡阶段晚期所形成的白云母和成矿阶段中期所形成的含Cr种属。图3揭示了白云母、绢云母到含Cr种属的化学成分演化特征, 反映出从成矿前奏到主成矿阶段 SiO_2 含量显著增加, 即硅化趋向强烈; Cr_2O_3 、NiO逐渐增高, 即与金同源的组份富集, 矿化加强; K_2O 含量减少, 即水化程度增高, 其中白云母中 K_2O 虽略有降低, 但 Na_2O 含量可达0.65%, 层间的K+Na总数并未减少; 白云母中 TiO_2 、MgO、FeO含量略显增高, 是由于原岩中黑云母的白云母化所致, 过剩的 TiO_2 呈金红石产出。此外, 由于温度、挥发份等能控制铬铝云母的粒径^[4], 故从白云母的2—10mm、绢云母的0.03—0.24mm到含Cr种属的0.002mm, 反映其演化过程经历

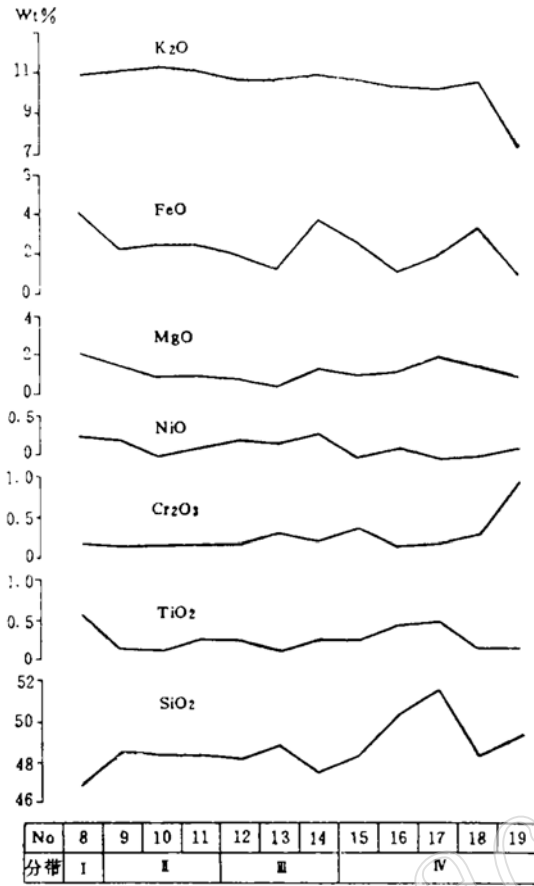


图 2 三山岛金矿中铬铝云母亚族含Cr种属的化学成分分带性

Fig. 2 Zoning of chemical composition of chrome micas from the Sanshandao gold deposit

I—绢英岩化碎裂花岗岩；II—绢英质碎斑岩；III—黄铁绢英质碎斑岩；IV—黄铁绢英质糜棱岩；样品号同表 1

表 2 三山岛金矿白云母化学成分 (wt%) 及晶体化学式

Table 2 Chemical composition and crystal formula of muscovite from the Sanshandao gold deposit (wt%)

序号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	FeO	MnO	BaO	H ₂ O	F	F ₂ O	总计
1	44.66	0.37	29.86	4.49	10.15	0.63	0.02	0.91	1.65	0.02	0.41	5.73	0.94	0.40	99.44
2	45.80	0.58	29.38	4.94	9.93	0.63	0.25	1.40	1.19	0.09	0.03	5.21	0.78	0.33	99.88
3	47.11	0.64	29.42	3.86	9.38	0.68	0.15	1.06	1.19	0.05	0.03	5.78	0.45	0.19	99.61

序号	晶 体 化 学 式
1	$(K_{0.871}Na_{0.082}Ca_{0.002}Ba_{0.011})_{0.966}(Mg_{0.091}Fe_{0.093}^{2+}Fe_{0.227}^{3+}Mn_{0.001}Ti_{0.019}Al_{1.372})_{1.803}[(Si_{3.004}Al_{0.996})_4O_{10}][OH]_{1.026}F_{0.200}(H_2O)_{0.754}]_{1.980}$
2	$(K_{0.849}Na_{0.082}Ca_{0.008}Ba_{0.008})_{0.947}(Mg_{0.140}Fe_{0.067}^{2+}Fe_{0.249}^{3+}Mn_{0.005}Ti_{0.029}Al_{1.391})_{1.881}[(Si_{3.070}Al_{0.930})_4O_{10}][OH]_{1.847}F_{0.166}(H_2O)_{0.493}]_{2.006}$
3	$(K_{0.801}Na_{0.088}Ca_{0.011}Ba_{0.008})_{0.911}(Mg_{0.106}Fe_{0.065}^{2+}Fe_{0.193}^{3+}Mn_{0.003}Ti_{0.032}Al_{1.422})_{1.820}[(Si_{3.123}Al_{0.877})_4O_{10}][OH]_{1.269}F_{0.091}(H_2O)_{0.644}]_{2.007}$

测试者：中国地质大学（北京）化学分析室 王军玲；按12个氧计算

了从成矿前较高温度、较多挥发份条件下形成白云母到成矿阶段早期较低温度、较少挥发份条件下形成绢云母直至成矿阶段中期更低温度、更少挥发份条件下形成含Cr种属。上述演化过程也正是金从释放、运移到沉淀、富集的过程^①。

综上所述，胶东地区焦家式金矿中铬铝云母亚族矿物演化的标型特征是：

表 3 三山岛金矿中绢云母的化学成分 (wt%) 及晶体化学式
Table 3 Chemical composition and crystal formula of sericite from the Sanshandao gold deposit (wt%)

带别	I ₁					II ₁	II ₂	II ₃		III ₃			IV ₁	IV ₂	IV ₃	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
样号	020-1	020-2	018	016-1	016-2	012	007	004	Q02	Q13-1	Q13-2	Q14	Q16-1	Q16-2	Q19	Q23
SiO ₂	47.77	47.17	47.57	46.67	46.67	47.21	48.47	48.13	48.04	47.41	47.92	48.05	48.90	49.09	48.02	47.88
Al ₂ O ₃	29.52	29.30	29.29	33.33	33.03	28.91	30.40	30.14	29.63	30.04	30.25	29.87	30.27	31.86	29.83	32.59
TiO ₂	0.48	0.26	0.28	0.03	0.11	0.38	0.19	0.32	0.24	0.32	0.40	0.21	0.33	0.06	0.19	0.17
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.08	0.08	0.00	0.05	0.06	0.00
K ₂ O	11.30	10.99	11.03	10.83	10.73	10.97	11.06	10.98	11.08	10.96	10.96	11.14	11.23	10.97	10.89	10.82
Na ₂ O	0.15	0.14	0.30	0.30	0.21	0.11	0.16	0.04	0.00	0.15	0.16	0.27	0.04	0.09	0.00	0.02
CaO	0.00	0.01	0.00	0.09	0.02	0.02	0.00	0.09	0.00	0.12	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.07
MgO	1.63	1.57	1.60	0.28	0.14	1.70	1.06	1.15	1.02	1.04	1.11	1.26	1.15	0.72	1.28	0.53
FeO	3.66	3.72	3.26	1.60	1.30	3.23	3.28	2.81	2.70	3.64	3.41	3.25	3.13	2.76	2.62	1.27
MnO	0.16	0.08	0.10	0.08	0.00	0.09	0.09	0.00	0.20	0.00	0.00	0.10	0.13	0.00	0.08	0.00
NiO	0.10	0.04	0.00	0.00	0.06	0.02	0.00	0.00	0.03	0.03	0.12	0.22	0.27	0.04	0.11	0.26
P ₂ O ₅	0.14	0.01	0.06	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.17	0.14	0.00
总计	94.91	93.29	93.49	93.26	92.35	92.64	94.71	93.66	92.94	93.80	94.62	94.48	95.46	95.81	93.22	93.61

测试者：中国地质大学（北京）电子探针室 孙兴东。带别同图2，下角标为亚带⁽¹⁾

1. (K_{0.98}Na_{0.02})_{1.00}(Al_{1.62}Fe_{0.21}Mg_{0.17}Ti_{0.03}Mn_{0.01}Po_{0.01}Ni_{0.01})_{2.06}[(Si_{3.25}Al_{0.75})₄O₁₀](OH)₂
 2. (K_{0.97}Na_{0.02})_{0.99}(Al_{1.65}Fe_{0.21}Mg_{0.16}Ti_{0.02}Mn_{0.01})_{2.05}[(Si_{3.25}Al_{0.74})₄O₁₀](OH)₂
 3. (K_{0.97}Na_{0.04})_{1.01}(Al_{1.64}Fe_{0.19}Mg_{0.18}Ti_{0.01}Mn_{0.01})_{2.01}[(Si_{3.27}Al_{0.73})₄O₁₀](OH)₂
 4. (K_{0.94}Na_{0.04}Ca_{0.01})_{0.99}(Al_{1.86}Fe_{0.05}Mg_{0.03}Mn_{0.01})_{1.99}[(Si_{3.18}Al_{0.82})₄O₁₀](OH)₂
 5. (K_{0.94}Na_{0.03})_{0.97}(Al_{1.87}Fe_{0.07}Mg_{0.01}Ti_{0.01})_{1.96}[(Si_{3.20}Al_{0.80})₄O₁₀](OH)₂
 6. (K_{0.97}Na_{0.01})_{0.98}(Al_{1.64}Fe_{0.19}Mg_{0.18}Ti_{0.02}Mn_{0.01})_{2.01}[(Si_{3.28}Al_{0.72})₄O₁₀](OH)₂
 7. (K_{0.95}Na_{0.02})_{0.97}(Al_{1.70}Fe_{0.19}Mg_{0.11}Ti_{0.01}Mn_{0.01})_{2.02}[(Si_{3.28}Al_{0.72})₄O₁₀](OH)₂
 8. (K_{0.96}Na_{0.01}Ca_{0.01})_{0.98}(Al_{1.70}Fe_{0.16}Mg_{0.12})_{1.98}[(Si_{3.28}Al_{0.72})₄O₁₀](OH)₂
 9. K_{0.97}(Al_{1.71}Fe_{0.16}Mg_{0.10}Ti_{0.01}Mn_{0.01})_{1.95}[(Si_{3.31}Al_{0.69})₄O₁₀](OH)₂
 10. (K_{0.96}Na_{0.02}Ca_{0.01})_{0.99}(Al_{1.68}Fe_{0.21}Mg_{0.11}Ti_{0.02}Cr_{0.01})_{2.03}[(Si_{3.25}Al_{0.75})₄O₁₀](OH)₂
 11. (K_{0.95}Na_{0.02})_{0.97}(Al_{1.67}Fe_{0.19}Mg_{0.11}Ti_{0.02}Po_{0.01}Ni_{0.01})_{2.01}[(Si_{3.25}Al_{0.75})₄O₁₀](OH)₂
 12. (K_{0.97}Na_{0.04})_{1.01}(Al_{1.67}Fe_{0.19}Mg_{0.13}Ti_{0.01}Ni_{0.01}Mn_{0.01})_{2.02}[(Si_{3.27}Al_{0.73})₄O₁₀](OH)₂
 13. (K_{0.96}Na_{0.01})_{0.97}(Al_{1.69}Fe_{0.18}Mg_{0.12}Ti_{0.02}Ni_{0.02}Mn_{0.01})_{2.04}[(Si_{3.29}Al_{0.71})₄O₁₀](OH)₂
 14. (K_{0.93}Na_{0.01})_{0.94}(Al_{1.76}Fe_{0.18}Mg_{0.07}Po_{0.01})_{1.99}[(Si_{3.26}Al_{0.74})₄O₁₀](OH)₂
 15. K_{0.94}(Al_{1.70}Fe_{0.15}Mg_{0.13}Ti_{0.01}Po_{0.01}Ni_{0.01}Mn_{0.01})_{2.02}[(Si_{3.31}Al_{0.69})₄O₁₀](OH)₂
 16. (K_{0.93}Ca_{0.01})_{0.94}(Al_{1.84}Fe_{0.07}Mg_{0.05}Ni_{0.01}Ti_{0.01})_{1.98}[(Si_{3.21}Al_{0.76})₄O₁₀](OH)₂
- 按11个氧计算，(OH)为理想式

① Lu Anhuai, Chen Guangyuan, Sun Daisheng, Shao Wei. Genesis of the Jiaojia type gold deposit by phylogeny of chromium-bearing minerals from Jiaodong region. 9th IAGOD, Beijing, 1994.

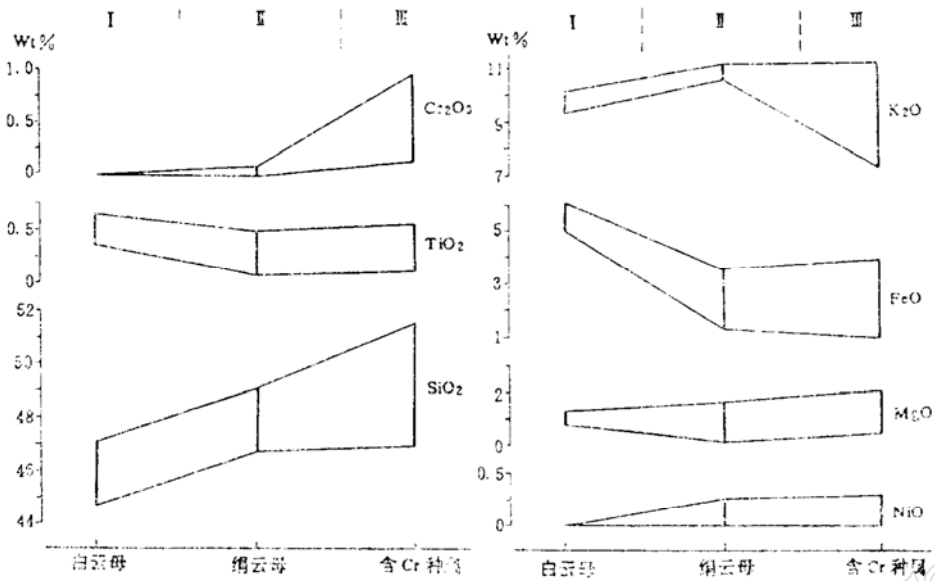


图 3 三山岛金矿中铬铝云母化学成分的时间演化

Fig. 3 Evolution of chemical composition of chromo-alumino-mica from the Sanshandao gold deposit

I—成岩成矿过渡阶段晚期；II—成矿阶段早期；III—成矿阶段中期

(1) 白云母形成于由成岩向成矿转变的晚期，为富 H_2O 等挥发份条件下钾化的产物，分布于矿体顶、底板近矿围岩中。绢云母形成于成矿阶段早期，为破碎蚀变岩的主要组成矿物之一，分布广泛。含Cr种属则形成于主成矿阶段，局限于矿体中。

(2) 从成矿前奏到主成矿阶段、从围岩到矿体，由白云母、绢云母向含Cr种属演化，矿物结构层内四面体中Si离子数及八面体中Cr、Ni、V、Ti、Mg、Fe等离子数均增加，而层间K离子数减少、 H_2O 含量增加，这是矿化原岩中矿物分解彻底、环境中富挥发份、水热蚀变作用加强、硅化程度增高的反映，标志着金由释放、运移到沉淀、富集的过程。

(3) 在同一矿床中，同一亚族内白云母、绢云母及含Cr种属（包括含铬绢云母、含铬多硅绢云母、铬多硅绢云母）之间发生系统、有机的演化，反映出从成岩作用到成矿作用过程具连续性和完整性的特征，这是焦家式金矿矿化均匀稳定、连续性好、规模较大的标志。

参 考 文 献

- 1 陈光远, 邵伟, 孙岱生. 胶东金矿成因矿物学与找矿. 重庆: 重庆出版社, 1989.
- 2 Chen Guangyuan, Sun Daisheng, Shao Wei, Zhong Zhenggang. A new type of hydrothermal auriferous vein—pyrite fuchsite vein. Gold 89 in Europe, 1989.
- 3 陈光远, 孙岱生, 周珣若, 邵伟, 宫润源, 邵岳. 胶东郭家岭花岗闪长岩成因矿物学与金矿化. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993.
- 4 Омелянченко Б И, Воловикова И М, Дриц В А, Звягин Б Б, Андреева О В, Сахаров Б А. О содержании понятия серицит. Серия Геологическая, 1982, (5).

Typomorphic Characteristics of Chemical Composition of Chromo-alumino-mica from Gold Deposits of Jiaojia Type

Lu Anhuai Chen Guangyuan

(Division of Genetic Mineralogy, China University of Geosciences, Beijing 100083)

Key words: typomorphic characteristics; chromo-alumino-mica subgroup; gold deposits of Jiaojia type; Jiaodong area

Abstract

Detailed investigations into typomorphic characteristics of chemical composition of chrome micas from gold deposits of Jiaojia type in Jiaodong area show that high contents of Cr, Ni, V, Ti, Mg and Fe in octahedral sites and Si in tetrahedral sites and low content of K in interlayers of chrome micas were all in favour of hydrothermal alteration and gave rise to gold mineralization. The association of chrome micas formed at the main ore-forming stage with electrum, pyrite, ankerite and quartz in orebodies serves as a good indicator of the precipitation of gold from auriferous hydrothermal fluids. Sericite formed at the early ore-forming stage is widely distributed in altered rocks; muscovite formed at the late transitional (diagenetic-metallogenetic) stage is observed near orebodies. The complete evolution from muscovite through sericite to chrome micas existed in the new subgroup of Cr-Al series which had been developed on the basis of the subgroup of Al series known as muscovite in natural mica, and this also finds expression in the reduction of grain size, decrease of K content and increase of H₂O content in interlayers, and increase of Si in tetrahedral sites and Cr, Ni, V, Ti, Mg and Fe in octahedral sites, indicating strong hydrothermal alteration and intense gold mineralization. The uniform, persistent and continued mineralization in the same Jiaojia type gold deposit suggests the continuity and completeness from the rock-forming process to the ore-forming process.