

文章编号:1000-4734(2004)01-0031-08

云南墨江金矿含镍金绿色蚀变岩的构造地球化学特征及时空演化

方维萱^{1,2}, 胡瑞忠², 漆亮², 谢桂青²

(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. 有色金属矿产地质调查中心 北京地质调查所, 北京 100814)

摘要:采用构造变形筛分、同位素地球化学定年约束和构造蚀变岩的常量-微量元素地球化学研究等方法,对墨江镍金矿床中含镍金绿色蚀变带进行详细研究,探讨其形成和时-空演化规律,以及与金、镍成矿关系,提出本区含镍金绿色蚀变带形成与演化可分为三个期次:早期含镍金绿色蚀变带形成于(251.9 ± 4.32) Ma,产于韧性剪切带中,形成含铬绢云母-绢云母(S₂)组成的切层剪切面理;中期含镍金绿色蚀变岩形成于燕山早期(169.37 ~ 180.6 Ma),产于高角度脆韧性剪切带中,形成铬绢云母-含铬绢云母组成的透入性剪切面理(S₃)和绿泥石拉伸线理;晚期含金绿色蚀变糜棱岩形成于燕山晚期(71.14 ~ 149.98 Ma),产于左旋走滑脆韧性剪切带中,发育铬伊利石(S₄)和铬绿泥石(S₄)组成透入性剪切面理置换,与脆韧性剪切带的主体产状一致,韧性剪切构造带内发育,走滑构造带中十分发育,形成褶皱变形带(倾竖褶皱、鞘褶皱)及含蚀变岩。

关键词:镍金矿床;绿色蚀变岩;矿物-构造-地球化学;时空演化;云南墨江

中图分类号:P544;P618.5102 **文献标识码:**A

作者简介:方维萱,男,1961年生,研究员,构造地质专业博士,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^[1-10],在构造变形筛分、蚀变带及脆韧性剪切带分析研究上,矿物地球化学研究方法有特殊的作用^[11-15]。应用矿物地球化学研究可以有效地进行构造变形筛分,但构造变形筛分只能确定构造变形期次和构造岩形成的相对时序;同位素地球化学定年可以测定岩石和矿物的形成时代,但对样品的野外和室内研究不详细,容易造成在分析结果解释上不合理。采用矿物地球化学研究厘定构造变形期次和构造岩形成的相对时序,然后选择有代表性构造岩和蚀变脉体进行同位素地球化学定年,可以有效解决上述存在的问题,将这两种思路和方法的优势有效结合,即构造变形筛分-同位素地球化学定年约束,这种方法对于大陆造山带中具有多期成岩成矿和经历多期构造变形的矿床可能十分有效。墨江镍金矿床的成因及矿物学研究取得显著进展,但本区具有多期成岩成矿和多期构造变形,这种复杂地质条件造成不同研究者对本矿床认识各

异^[16-27]。本文采用构造变形筛分-同位素地球化学定年约束和构造蚀变岩的常量-微量元素地球化学等方法,研究墨江镍金矿床绿色蚀变带的矿物学-构造地质学-地球化学特征,探讨其形成与时空演化规律及与金成矿关系。

1 绿色蚀变带时空分布

墨江镍金矿床中含镍金黄铁矿硅质岩 Sm-Nd 等时线年龄为(358 ± 8.6)Ma, Rb-Sr 等时线年龄为(354.7 ± 0.72)Ma,它们代表本区热水喷流沉积成矿时代;上泥盆统金厂岩组深水硅质岩的 Sm-Nd 等时线年龄为(359 ± 21)Ma, Rb-Sr 等时线年龄(358.02 ± 0.3)Ma^[27],它们可能代表本区含矿地层中沉积层理(S₀)的形成时代;表1为墨江镍金矿床及外围绿色蚀变构造岩的同位素年龄数据。

根据野外地质产状、矿物特征以及与相互关系,建立了本区构造变形面理筛分图(图1),按绿色蚀变岩(带)形成相对时序将其划分为3个期次:早期绿色蚀变岩,中期含金绿色蚀变岩,晚期含镍金绿色蚀变糜棱岩。

收稿日期:2003-06-28

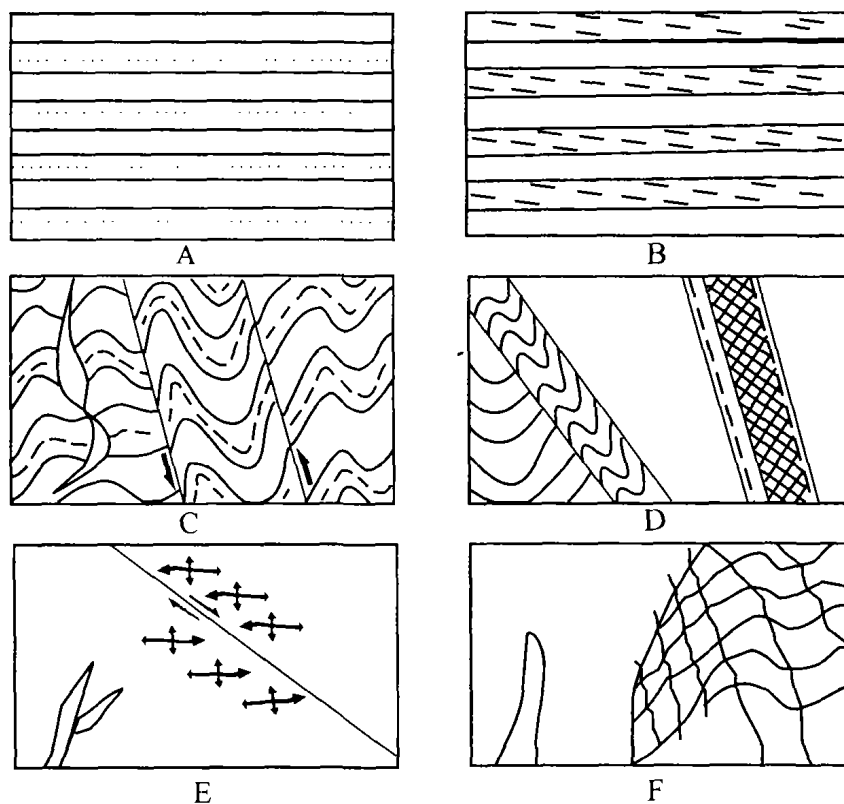
基金项目:国家重大基础研究规划项目(G1999043200);国家杰出青年科学基金项目(49925309)

表1 墨江镍金矿床及外围绿色蚀变构造岩同位素年龄

Table 1. Ages of altered rocks and hydromuscovite in the Mojiang Ni-Au deposits

地点	测定样品	测定方法	年龄/Ma	资料来源
墨江镍金矿床	绿色铬水云母	Rb-Sr 法	117~178	张志兰等 ^[20]
		K-Ar 法	180.6	全国同位素资料汇编(转引自李元 ^[22])
		K-Ar 法	114.64	李元 ^[22]
双沟铬铁矿床	绿色铬水云母		112.3	武警13支队 ^[16]
墨江镍金矿床以北			76.64	
			71.14	
G-17,10 矿体	绿色蚀变糜棱岩	K-Ar 法	149.95 ± 2.79	本文
G-45, F-59	含镍金绿色蚀变糜棱岩	K-Ar 法	149.98 ± 2.39	
Min-1	绿色铬伊利石脉	K-Ar 法	169.37 ± 2.48	
Min-2	绿色铬伊利石脉	K-Ar 法	163.14 ± 2.35	
Min-7	绿色铬伊利石脉	K-Ar 法	140.25 ± 2.02	
G-25	绿色蚀变粘土岩	K-Ar 法	109.04 ± 1.73	
G-11	绿色铬伊利石糜棱岩	K-Ar 法	251.90 ± 4.32	

注:本文数据由中国地质科学院地质研究所张思红、陈文等测定。



A. 晚泥盆世 S_0 面理 B. 华力西期 S_1 面理, 顺层剪切构造置换面理, 与 S_0 夹角 $< 15^\circ$ C. 晚华力西期末 S_2 面理, 切层剪切构造置换面理, 与 S_1 夹角 $> 40^\circ$ D. 燕山早期 S_3 构造置换面理 E. 燕山晚期 S_4 构造置换面理 F. 喜马拉雅山期 S_5 碎裂岩化

图1 墨江镍矿床构造变形面理筛分图

Fig.1. Tectonic analysis map of tectonic stratifications for the Mojiang Ni-Au deposits.

早期绿色蚀变岩产于韧性剪切带中,含铬绢云母-绢云母(S_2)剪切面理产于韧性剪切带中发育的S-L构造透镜体中及两侧,S-C面理置换发育。S面理由含铬绢云母-绢云母(S_2)组成;C面理由含铬伊利石组成(图1C);S-L构造透镜体由硅化粉砂岩组成。(含铬)绢云母(S_1 面理,图1B)

呈层纹状产于含凝灰质硅质岩及绢云母硅质岩中,(含铬)绢云母定向排列,大致顺层(S_0 ,图1A)产出,与石英成分层(S_0)夹角小于 15° , S_1 面理代表本区韧性构造变形的开始阶段,暗示大致顺层的构造面理(S_1 面理)置换发生在较深的层次。在递进韧性构造变形过程中,(含铬)绢云母(S_1

面理)发生韧性递进变形,形成切层的构造面理(S_2)置换和新生面理(C面理),C面理由新生的含铬伊利石组成。早期绿色构造蚀变岩属晚华力西期末 $[(251.9 \pm 4.32)\text{Ma}]$,说明本区在晚二叠纪末至下三叠世初期可能是韧性剪切带形成时期,与区域上缺失下三叠世沉积记录(表明垂向抬升幅度大)相吻合。

中期含金绿色蚀变岩产于高角度脆韧性剪切带中,铬绢云母-含铬绢云母透入性剪切面理置换(S_3 ,图 1D)和绿泥石拉伸线理是本期的典型变形组构;铬绢云母-铬绿泥石-铬水云母-铬伊利石是本期含金绿色蚀变岩的典型矿物共生组合。铬绢云母呈均匀稀疏状分布于硅质岩中。铬伊利石-黄铁矿-石英脉及翠绿色黄铁矿铬伊利石脉沿断层及裂隙产出;铬伊利石化强烈地段,呈铬伊利石脉及铬伊利石石英脉产于高角度脆韧性剪切带,形成含金绿色蚀变剪切带;或沿断层破碎带形成含金绿色黄铁矿铬伊利石蚀变带。中期含金绿色蚀变岩属燕山早期,180.6~169.37 Ma(表 1)。角砾状黄铁矿铬绢云母脉产于切层断层中,主要因受晚期构造作用形成构造角砾岩化,并叠加有晚期网脉状粘土化蚀变,粘土化蚀变脉宽 0.5~1.0 m 不等,常有大颗粒明金富集,形成囊状富矿。

晚期含镍金绿色蚀变糜棱岩产于左旋走滑脆韧性剪切带中,铬伊利石(S_4)和铬绿泥石(S_4)组成透入性剪切变形面理置换是本期的典型变形组构,发育在主体脆韧性剪切带内。脆韧性剪切构造带内走滑构造十分发育,形成褶皱变形带(倾竖褶皱和鞘褶皱,图 1E)及含金蚀变岩。晚期含金绿色蚀变岩的蚀变组合复杂多变,高岭石类蚀变与其共生是主要特征。如在烂山矿段中,上泥盆统金厂岩组下部发育绿铬高岭石化-铬高岭石化-多水铬高岭石化蚀变体,原岩系基性火山角砾熔岩。酸性火山熔岩及酸性岩脉(如花岗岩脉)主要发育高岭石、多水高岭石化。在含金石英脉中(尤其是富金石英脉)常伴有铬高岭石-多水铬高岭石化,铬高岭石-多水铬高岭石化均匀浸染分布于含金石英脉中或分布于石英表面^[25]。晚期绿色蚀变岩(149.98~71.14 Ma)属燕山晚期(表 1)。

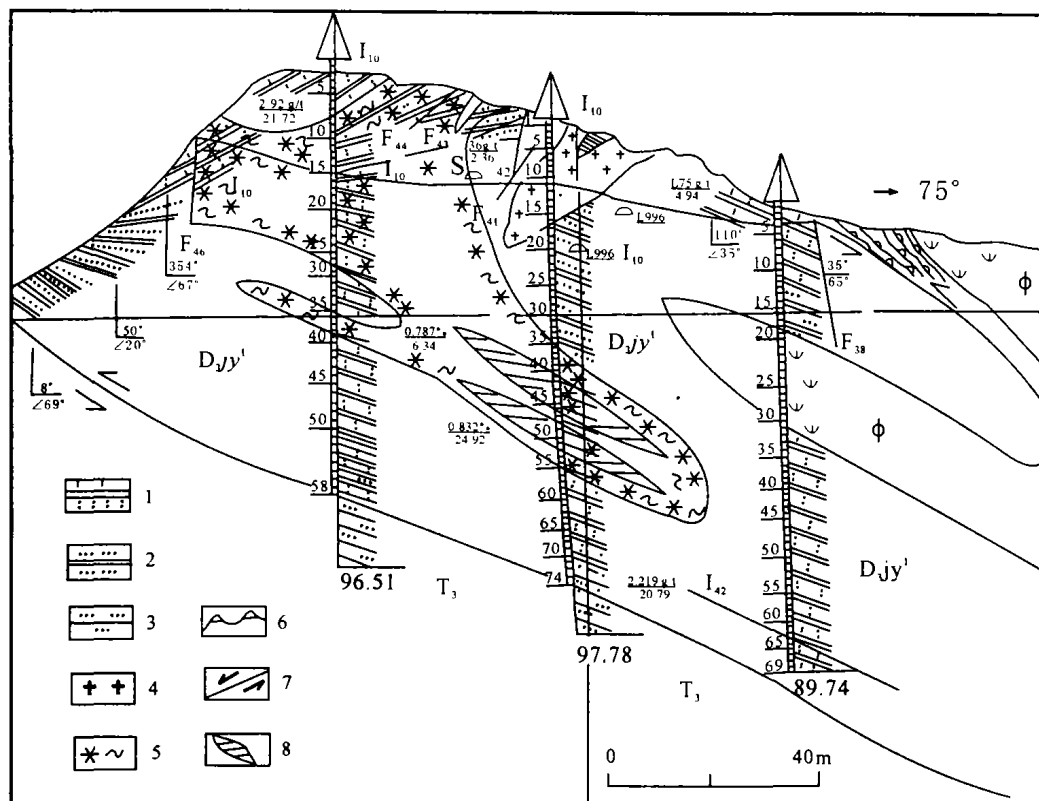
在空间分布上,绿色蚀变带主要集中分布在超基性岩体下盘的上泥盆统金厂岩组烂山段、四十八两山段及含金脆韧性剪切带中;在烂山矿段的地表露天采场,有似环带状绿色粘土化蚀变带;在 68 勘探线呈“上大下小”的喇叭形(图 2)。这

种绿色粘土化蚀变带的空间分布形态暗示该镍金矿床曾发生强烈的热泉成岩成矿作用,晚期含金绿色蚀变糜棱岩中发育泥化带是热泉活动的直接证据,由绿铬高岭石-铬高岭石-多水铬高岭石化等组成的泥化蚀变体可能属热泉成岩成矿作用形成的产物。

2 岩石化学特征及与镍金成矿关系

从表 2 看,绿色蚀变岩中普遍含 Cr_2O_3 较高, $w(\text{Cr}_2\text{O}_3)$ 为 1.23%~6.09%,可高达 7.05%~7.34%(G21、G45),这些岩石中除富铬绿色蚀变矿物外,含有少量铬尖晶石,这些矿物的富集引起岩石中含 Cr_2O_3 升高。铬伊利石脉中 $w(\text{Cr}_2\text{O}_3)$ 5.31%~6.07%, $w(\text{SiO}_2)$ 为 49.0% 以上, $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 为 12.86%~28.32%, Cr_2O_3 、 Al_2O_3 、 SiO_2 是铬伊利石的主要化学成分^[25],与铬伊利石脉的岩石化学组成基本一致。 SiO_2 含量的变化是由石英含量不同所引起。暗蓝绿色角砾状粘土岩(G25)化学成分以 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Cr_2O_3 、 K_2O_3 为主,与高岭石类矿物的成分基本一致^[25],进一步说明是在热泉酸性淋滤蚀变作用下形成的产物。绿色蚀变岩中(尤其是铬伊利石化强烈时)含有较高的 H_2O^+ 、 H_2O^- ,说明曾发生过强烈的热流体地质作用,含金脆韧性剪切带中有大量的流体加入,形成含 H_2O^+ 矿物蚀变作用(H_2O 可能是矿化剂主要组分)。与其相反,早期绿色铬伊利石糜棱岩(G-11)因糜棱岩化强烈,岩石以 SiO_2 、 Al_2O_3 、 K_2O 为主,这与糜棱岩化晚期形成以石英和云母类矿物为主相吻合,因岩石韧性变形常发生脱水反应,故岩石中含有较低的 H_2O^+ 和 H_2O^- 。

绿色蚀变岩中有黄铁矿化共生,绿色蚀变岩中($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{S}$)含量的高低,直接反映了黄铁矿化的强弱,当 $w(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{S}) > 30\%$ 时, $w(\text{Ni})$ 含量在 $2024 \times 10^{-6} \sim 3055 \times 10^{-6}$,形成镍矿化。中期铬绢云母化(同构造期)及铬伊利石脉中均有金矿化, $w(\text{Au})$ 为 $570 \times 10^{-9} \sim 1570 \times 10^{-9}$,岩石化学特征为 SiO_2 、 Al_2O_3 、 K_2O 、 H_2O^+ 含量高,而($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$)含量低,反映绿色粘土矿物蚀变强烈,但无镍矿化共生, $w(\text{Ni})$ 为 $32 \times 10^{-6} \sim 67.5 \times 10^{-6}$ 。含铬绢云母-铬绢云母-黄铁矿化(中期)中镍与金矿共生,但晚期仅有镍矿化(如 G45), $w(\text{Au})$ 为 78.7×10^{-9} ,反映晚期金和镍矿化在空间上相互分离。



1. 硅化粉砂岩 2. 变余粉砂岩 3. 紫红色杂砂岩 4. 花岗岩 5. 绿色蚀变岩 6. 滑石构造片岩
7. 断层及运动方向 8. 金矿体及编号 T₃, 上三叠统歪古村组 D_{3jy'}, 上泥盆统金厂岩组烂山段 φ. 超基性岩

图2 墨江镍矿床68线绿色蚀变岩剖面图(据武警13支队资料修编)

Fig. 2. Section 68 map of green altered rocks in the Mojiang Ni-Au deposits.

表2 墨江镍金矿床绿色蚀变岩的岩石化学特征(w_B/%)

Table 2. Petrochemistry of green altered rocks in the Mojiang Ni-Au deposits

样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	TFe	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	S	Ig	总和
G-11	77.89	0.001	11.75	3.40	0.04	0.70	0.20	0.09	2.05	1.70	0.10	0.01	1.23			99.16
G-17	32.75	0.001	21.55	16.70	0.03	2.40	0.10	0.15	3.79			0.03	5.31		16.64	99.44
G-21	22.05	0.002	12.63	33.50	0.06	0.40	0.10	0.08	2.96	2.10	0.10	0.05	7.05	18.22		99.30
G-25	43.89	0.001	38.13	0.70	0.00	0.60	0.20	0.31	1.27			0.45	2.12		12.23	99.90
G-35	47.50	0.002	5.38	19.10	0.09	4.70	0.40	0.04	0.07	4.50	0.20	0.37	1.06	15.99		99.38
G-45	49.33	0.001	12.86	10.00	0.03	1.70	0.10	0.08	4.56	4.30	0.15	0.00	7.34	8.88		99.33
G-47	49.09	0.002	28.32	4.00	0.01	1.10	0.10	0.20	5.20	5.90	0.20	0.03	5.26			99.41
Min-1	55.99	0.001	21.84	3.70	0.01	1.00	0.11	0.13	4.82	5.90	0.10	0.01	6.09			99.70
Min-7	68.64	0.001	14.56	0.71	0.02	0.03	0.20	0.29	4.14	5.97	0.25	0.33	3.71			99.12

注: Ig 为烧失量, 包括 H₂O⁺、H₂O⁻ 和 S 等项合计; 由中国科学院地球化学研究所李荪蓉高级工程师分析, 化学定量法。

3 微量元素特征与镍金成矿关系

从表3看, 绿色蚀变带中含 As、Sb、Ni、S 均较高, 镜下发现含有较多的辉砷镍矿、硫镍矿、斜方硫镍矿、针镍矿, 少量银黝铜矿及辉锑矿, As-Sb-Ni-Co-Zn 组合的异常含量主要由产于绿色蚀变带的镍矿所引起, Au 普遍较高且伴有金矿化, w(Au) = 90 × 10⁻⁹ ~ 1590 × 10⁻⁹。暗蓝绿色角砾状粘土岩产于中三叠统歪古村组下部, 其下伏典

型底砾岩中含超基性岩及石英脉砾石。经燕山期脆性构造变形形成绿高岭土蚀变带(仅限于断层带附近)。样品(G25的 w(Li) 高达 4518 × 10⁻⁶, w(Sr) 达 2611 × 10⁻⁶, w(B) 达 215 × 10⁻⁶, 反映其沉积环境为陆内山间咸化湖泊相。Li、Sr 和 B 的高含量可能是咸化湖中水体高度卤化的标型指示元素, 按 Waker 提出的校正 B 含量计算公式

$$w_j(B) = w(B) \times 8.5/100w(K_2O)$$

计算 w_j(B) 可达 1436 × 10⁻⁶, 暗示咸化湖中水体

曾高度卤化。扫描电镜分析发现含有较多的硫酸锶、石膏和碳酸锶等盐类矿物,也直接证明了上述结论。在矿区烂山矿段的露天采场现仍有该层残留露头,说明墨江镍金矿曾一度沉没在陆内山间咸化湖底,这为大气降水下渗形成对流体系提供了良好的 H_2O^+ 供给源。铬伊利石脉 (Min-1) 中含 Li、Sr 和 B 均较高, $w_j(B)$ 达 628×10^{-6} , 显示铬伊利石脉与这种对流体系有密切的内在联系。从 $w(Rb)/w(Sr)$ 值看, 晚泥盆世形成于深海-半深海沉积环境岩石中 $w(Rb)/w(Sr)$

> 4.5 , 而形成于陆内山间咸化湖泊相的粘土岩中, $w(Rb)/w(Sr) < 0.04$, 因为在深海半深海沉积环境中, Rb 可以类质同象的形式替代绢云母 (泥质) 中的 K, 而 Sr 可以类质同象的形式替代 $CaCO_3$ 中的 Ca 富集在泥质碳酸岩盐中; 卤化水体中, Sr 可以类质同象的形式进入重晶石, 或形成硫酸锶沉淀, 岩石中含 Sr 高是卤化水体的示踪指示剂。G-25、Min-1 及 Min-7 样品中, Sr 含量明显高于其他岩石, 暗示与卤化水体有密切的内在联系。

表 3 墨江镍金矿床绿色蚀变岩微量元素含量特征

Table 3. Contents of trace elements from green altered rocks in the Mojiang Ni-Au deposits

样号	$w_B/10^{-6}$									$w(Au)/10^{-9}$	$w_B/10^{-6}$			
	V	Co	Ni	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Ag		Li	Rb	Sr	B
G-11	119	114	509	53.9	69.1	209	458	58.4		43.5	41.9	138	49.1	55.3
G-17	719	149	2115	35.8	5.7	19	4702	1725	1.15	370	162	414	29.9	
G-21	542	267	2024	64.8	1.7	50.4	3321	321	190	3.2	277	53.4		
G-25	263	6.4	126	12.9	27.2	20.2	78.8	29.1	2.62	97	4518	98.7	2611	215
G-35	66.1	145	2543	17.9	0.68	17.9	817	82.3	4.94	220	54.9	27.7	4.48	
G-45	618	206	3056	28.4	1	107	2058	464	1.27	78.7	23.6	599	10.5	
G-47	420	12.7	246	40.8	6.2	46.4	1485	201		81.4	11	656	81.7	29.4
Min-1	577	3.46	32	35.7	11.1	12.6	1128	578		570	138	758	154	356
Min-7	308	4.1	65.7	12.8	34.2	11.4	280	571	0.59	1590	108	402	708	43.7

样号	$w_B/10^{-6}$										
	Be	W	Cs	Ca	Hf	Ta	Th	U	Y	Zr	Nb
G-11	7.20	2.91	19.1	13.6	2.43	0.649	6.27	1.53	12.6	84.2	7.14
G-17	5.52	16	140	37.8	5.53	1.1	1	0.741	15.3	89.3	8.95
G-21	4.76	276	19.7	14.7	1.77	0.083	1.53	0.577	0.665	19.9	0.606
G-25	36.5	24.4	6.87	51.5	1.69	0.384	3.57	0.455	4.34	60.7	3.45
G-35	5.02	3.93	7.51	6.8	0.057	0.016	0.047	0.035	4.48	1.09	0.386
G-45	2.01	1.75	124	15.2	0.019	0.03	0.188	0.669	1.53	0.46	0.224
G-47	3.75	14.6	123	26.9	1.65	0.264	2.41	0.679	22.5	50.5	2.86
Min-1	1.95	145	165	60.7	0.722	0.075	7.32	0.81	2.92	4.18	0.183
Min-7	1.93	129	44.3	47.9	1.62	0.151	4.22	0.575	5.84	42.8	1.84

样号	$w_B/10^{-6}$														$w(LREE)/w(HREE)$			
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	HREE	LREE	REE	
G-11	17.8	33.4	4.06	16	3.29	0.711	3	0.359	2.23	0.415	1.16	0.178	1.08	0.147	5.2	88.6	93.8	17
G-17	11.7	21	2.02	7.4	1.48	0.241	1.46	0.285	2.19	0.53	1.83	0.257	2.52	0.387	7.71	45.6	53.3	5.92
G-21	8.73	15.1	1.57	6.5	0.628	0.165	0.321	0.031	0.11	0.026	0.1	0.002	0.083	0.005	0.326	33.1	33.4	101
G-25	28.9	35.4	3.2	11.7	3.4	0.564	1.16	0.188	0.947	0.213	0.487	0.067	0.449	0.072	2.24	84.5	86.7	37.8
G-35	0.234	0.492	0.047	0.276	0.132	0.06	0.333	0.095	0.685	0.197	0.602	0.093	0.731	0.107	2.42	1.67	4.08	0.691
G-45	0.244	0.5	0.068	0.444	0.317	0.166	0.316	0.046	0.312	0.044	0.128	0.027	0.182	0.028	0.721	2.11	2.82	3.91
G-47	14.5	36.8	5.25	24.9	6.74	1.35	4.67	0.567	3.62	0.714	1.93	0.267	1.64	0.244	8.15	94.9	103	11.3
Min-1	48.9	103	11.5	40	6.38	1.13	4.15	0.327	1.21	0.174	0.335	0.036	0.235	0.267	2.25	215	218	94.6
Min-7	26.6	44.7	4.1	13.9	2.56	0.59	2.67	0.423	1.59	0.312	0.524	0.071	0.595	0.121	3.21	35.5	98.7	29.8

注: ICP-MS 法测定, 由中国科学院地球化学研究所漆亮完成。

4 稀土元素的地球化学特征

形成于华力西晚期的铬伊利化-硅化蚀变糜棱岩(G-11)及铬伊利石化-硅化-黄铁矿化构造角

砾岩中, ΣREE 为 $93.8 \times 10^{-6} \sim 98.7 \times 10^{-6}$, 相对富集 LREE(表 3)。

从图 3 看, 本区的构造岩明显分为两组, ΣREE 低(G35、G45)的一组 and ΣREE 高且相对富集

LREE 的一组。G35 号样品中明显富集 HREE, 可能是深循环热泉系统沿剪切带下渗的热泉水与原岩为基性凝灰岩的岩石发生了较强的水-岩反应, HREE 富集主要与岩石中含 P_2O_5 较高有关, HREE 与 P_2O_5 含量的散点图看有共消长关系, 扫描电镜分析发现 P 为含 Ca-O-P-Cr 的未定名矿物相(图 4)。矿物-构造-地球化学研究表明: 燕山期热泉成矿作用具有垂直分带性, 上部为含镍金铬伊利石脉, 产于金矿体内发育的裂隙中, 燕山晚期的热泉活动常顺剪切带活动, 并形成深循环热泉系统。由于供给热泉系统的 H_2O 主要可能来源于封闭于前陆盆地中的咸化湖盆水, 上部(G25、G47、Min-1)富集 Li、Sr、B、Ga、Cr、As、Sb、W、Rb; 下部(G21、Min7)以 Au、Cr、As、Sb 和 Ni 为主。从稀土元素总量上看(表3), 形成于燕山晚期产于裂隙中的铬

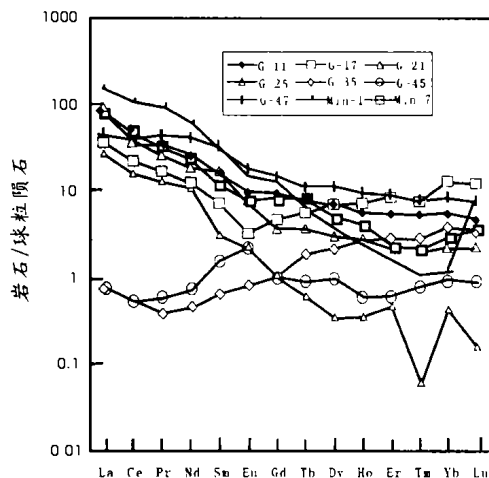


图3 墨江镍金矿床绿色蚀变岩中稀土元素的球粒陨石标准化曲线

Fig. 3. Chondrite-normalized REE patterns of green altered rocks in the Mojiang Ni-Au deposits.

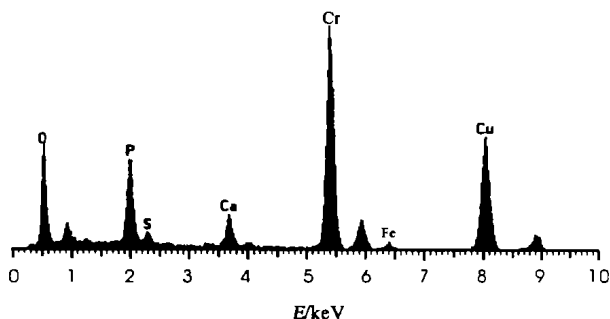


图4 墨江镍金矿床未定名矿物的透射电子显微镜能谱分析图

Fig. 4. Energy spectroscopic patterns of unnamed minerals in the Mojiang Ni-Au deposits.

伊利石($>80\%$)脉(G47、Min7)稀土总量最高, 且相对富集轻稀土(LREE)。形成于燕山期产于 F59 脆韧性剪切带中的黄铁矿铬绿泥母铬伊利石蚀变岩中, $w(\sum REE)$ 仅有 2.82×10^{-6} , 类似于大洋中脊玄武岩中稀土元素总量, 具明显正铈异常(图3)。产于金矿体内的黄铁矿铬伊利石铬绿泥石蚀变岩(G17)稀土总量明显比 G-45 号样品高, 具明显负铈异常, 暗示金镍矿化与镍矿化二者形成环境有明显不同。

5 结论

墨江镍金矿床中发育的含镍金绿色蚀变带主要产于超基性岩体下盘的脆韧性剪切带中(金厂岩组烂山段和四十八两山段)。主要组成矿物有铬绿泥母、含铬绿泥母、铬伊利石、铬高岭土、多水铬高岭石、铬蒙脱石、铬埃洛石、铬绿泥石、绿铬高岭石等一系列富铬硅酸盐矿物, 尚发现有铬独立矿物, 如铬尖晶石等。这些富铬硅酸盐矿物及铬独立矿物是蚀变脆韧性剪切带表现为不同程度的绿色色调(翠绿色-鲜绿色-淡绿色-暗蓝绿色等), 主要是由 Cr^{3+} 离子在矿物中显色所造成。绿色蚀变岩与金镍成矿作用有十分密切的关系, 常直接构成镍金矿石的赋存岩石。绿色蚀变岩原岩是基性火山凝灰岩, 含较多铬绿泥石、铬尖晶石及铬绿泥母; 铬伊利石脉形成与超基性岩(蛇纹石岩)有密切的关系, 是在热流体作用下, 矿化剂组分(H_2O^+)使蛇纹石岩中的 Cr 发生活化迁移。绿泥石主要发生在碱性条件下, 当 $pH > 7$ 时, CrO_3^{2-} 、 VO_4^{3-} 和 AsO_4^{3-} 等络阴离子具有较强的迁移能力^[28], 位于陆内山间咸化湖泊底部的墨江一元江镍金矿床中形成富 Cr、As 的铬绿泥石及铬伊利石脉。本区含镍金绿色蚀变岩(带)形成与演化经历了如下历史:

(1) 早期绿色蚀变岩产于脆韧性剪切带中, 含铬绿泥母-绿泥母(S_2)剪切面理产于脆韧性剪切带中发育的 S-L 构造透镜体中及两侧, 形成于晚二叠纪末至下三叠世初期[(251.9 ± 4.32) Ma], 这是哀牢山构造-成矿带从洋盆封闭→陆-陆俯冲碰撞的挤压体制转化时期。

(2) 中期绿色蚀变岩形成于燕山早期(180.6~169.37 Ma)。铬绿泥母-含铬绿泥母在脆韧性剪切带内形成了透入性剪切面理, 与 S_2 面理夹角大于 40° , 这与燕山早期发生高角度逆冲推覆型剪切带的构造动力学背景一致。在陆内山间咸化湖泊相

沉积岩中的封存卤化在陆内造山过程及深部热流体作用下被加热对流循环,这种偏碱性富 Cr^{3+} 、 As^{3+} 离子的热卤水参与构造作用,强烈矿化剂 (H_2O^+) 作用,形成了脆韧性剪切带中岩石水化作用,形成沿脆韧性剪切带发育的绿色蚀变带及绿色蚀变糜棱岩,沿脆性裂隙破碎带形成含金伊利石脉。铬绿泥石沿构造面形成非透入性矿物拉伸线理。

(3) 晚期绿色蚀变岩形成于燕山晚期 (149.98 ~ 71.14 Ma), 铬伊利石 (S_4) 和绢云母 (S_4) 组成了透入性剪切变形面理置换与脆韧性剪切带的主体产状一致,含金石英脉中大颗粒明金主要粘土矿物蚀变共生,由于粘土矿物对金有极强的吸附作用,当粘土矿物沉淀后,也造成了金从富粘土矿物的(胶体状)流体中卸载沉淀。

参 考 文 献:

- [1] 陈国达. 构造地球化学若干问题[M]. 长沙:中南矿冶学院出版社,1976.1~10.
- [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] 杨开庆. 构造动力作用中地球化学作用[J]. 大地构造与成矿学,1984,(4):327~336.
- [4] 孙岩,沈志修,刘寿和. 断裂构造地球化学特征的初探[J]. 大地构造与成矿学,1984,8(1):22~49.
- [5] 徐光荣. 试论金的构造地球化学及其找矿的几个问题[J]. 地质与勘探,1986,(10):57~61.
- [6] 孙岩,杨树峰,张庆龙等. 断裂成岩成矿系统的耗散结构[J]. 大地构造与成矿学,1984,8(4):359~368.
- [7] 方维萱. 陕西省小秦岭地区断裂构造地球化学特征[J]. 地质与勘探,1990,26(12):40~43.
- [8] 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.
- [9] 杨国清. 构造地球化学[M]. 桂林:广西师范大学出版社,1990.1~30.
- [10] 孙岩,戴春森. 论构造地球化学研究[J]. 地球科学进展,1993,8(3):1~6.
- [11] 方维萱. 柞水汞锑子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.
- [12] 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.
- [13] 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):349~357.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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]. 昆明:昆明武警黄金 13 支队,1982.11~29.
- [17] 毕献武,胡瑞忠,何明友. 哀牢山金矿带 ESR 年龄测定及其地质意义[J]. 科学通报,1996,(14):1301~1303.
- [18] 毕献武,胡瑞忠,何明友. 哀牢山金矿带主要金矿床成矿流体特征[J]. 矿物学报,1997,17(4):435~441.
- [19] Bi Xianwu. Mantle-derived sulfur and its time constraints on gold mineralization of Ailaoshan gold belt, China[J]. *Chinese Science Bulletin*,1999,44(suppl):242~244.
- [20] 张志兰. 云南墨江金厂金矿的同位素地质特征及成因探讨[J]. 成都地质学院学报,1987,14(4):29~40.
- [21] 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.
- [22] 李元. 墨江金矿床的成矿物质来源探讨[J]. 云南地质,1992,2(2):130~143.
- [23] 俞广智,谢如勇. 墨江金厂金矿床的地质特征及其成因[J]. 地质与勘探,1986,(2):11~17.
- [24] 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.
- [25] 方维萱,胡瑞忠,王明再,刘世荣,谢桂青. 云南墨江含金脆-韧性剪切构造带中显微构造的矿物地球化学研究[J]. 矿物学报,2001,21(4):602~608.
- [26] 方维萱,胡瑞忠,谢桂青,漆亮,苏文超. 云南墨江-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.
- [27] 方维萱,胡瑞忠,谢桂青,苏文超,漆亮. 墨江镍金矿床(黄铁矿)硅质岩的成岩成矿时代及意义[J]. 科学通报,2001,46(10):857~860.
- [28] 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.

CHARACTERISTICS OF TECTONIC GEOCHEMISTRY AND SPATIAL-TEMPORAL EVOLUTION OF GREEN Ni-Au-BEARING ALTERED ROCKS IN MOJIANG Ni-Au DEPOSITS, YUNNAN

FANG Wei-xuan^{1,2}, HU Rui-zhong², QI Liang², XIE Gui-qing²

(1. Beijing Institute of Geological Survey, the Mineral and Geological Exploration Center of Non-ferrous Metals, Beijing 100814; 2. Open Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002)

Abstract: Based on the analysis of tectonic deformation and isotopic geochemical constrains, the geochemical study of trace and major elements, characteristics of tectonic geochemistry and spatial-temporal evolution, the blue altered rocks in the Mojiang Ni-Au deposits have been discussed in detail. The first-stage blue Ni-Au-bearing altered rocks hosted in the brittle-ductile shear zones were probably formed at 251.9 ± 4.32 Ma, and S-C fabric plane (S_2) in cutting bed plane (S_1) was found in this type of altered rocks. The second-stage blue Ni-Au-bearing altered rocks hosted in the strike-slip-type shear zones with a high angle were probably formed in the Early Yanshanian orogen (180.6 ~ 169.37 Ma). Transposition foliation of penetrative shear (S_3) and chlorite lineament (L_3) characterized the second-stage blue Ni-Au-bearing altered rocks. The last-stage blue Ni-Au-bearing altered rocks were most likely to have formed in the strike-slip-type shear zones during the Late Yanshanian orogen (149.98 ~ 71.14 Ma). Cr-minerals, including Cr-hydromiscovite, Cr-kaolinite, Cr-hydrokaolinite, blue Cr-kaolinite, hydrokaolinite and Cr-smectite, account for the green color of the Ni-Au-bearing altered rocks.

Key words: Ni-Au deposits; green altered rock; mineral-tectonics-geochemistry; Mojiang in Yunnan