

江西金山金矿床硅质糜棱岩的 微量元素地球化学——矿床成因证据*

李峻峰 孙承轅 李 扬 郑 晴

(南京大学地球科学系)

硅质糜棱岩是金山金矿床最主要的矿石类型, SiO_2 含量大于 85%, 由重结晶的石英亚颗粒组成。硅质糜棱岩与围岩具有一致的微量元素(包括稀土元素)分布特征和相近的元素对比值; 金的成矿作用与糜棱岩化作用有密切的成因联系; 在剪切变形变质作用下, 双桥山群为金山金矿床的形成提供了物质来源。

关键词 金山金矿床 硅质糜棱岩 微量元素 矿床成因

江西德兴金山金矿是赣东北地区近年新发现的大型金矿床。以往关于其矿床成因主要存在两种观点: 1) 沉积变质改造型金矿床; 2) 与岩浆岩侵入作用有关的金矿床。本文通过对该金矿床主要矿石类型——硅质糜棱岩的研究, 认为金山金矿床金的矿化作用与糜棱岩化作用有密切的成因联系, 成矿物质主要来源于赋矿围岩——双桥山群, 属于典型的剪切带型金矿床。

矿床地质和硅质糜棱岩特征

江西金山金矿床位于江南古岛弧带东段南缘, 赣东北深大断裂带北西侧。在赣东北深大断裂两侧出露宽约 30~50km 的糜棱岩带, 它对我国著名的德兴 Cu-Au-Ag 矿带具有重要的控制作用。

金山金矿区广泛出露中元古界双桥山群上亚群浅变质岩系。该地层原系一套富含火山物质的复理石建造。根据岩性特征, 由老到新可分为: (1) 暗色含炭千枚岩段; (2) 浅色砂质凝灰质千枚岩段; (3) 灰色板岩段

等三个岩性段。各岩性段均夹有数层变质玄武岩透镜体。矿区范围内未见任何时代的岩浆侵入体出露。在矿区外围, 燕山期岩浆活动强烈, 但对金矿的形成无直接影响。

该金矿区由西矿、金山、西蒋等矿床(点)组成, 其中金山金矿床矿化发育最好。金矿床的金矿体都赋存于双桥山群上亚群凝灰质千枚岩段的下部, 含炭千枚岩段的顶部。金矿体的产出严格受北东东向脆—韧性剪切带所控制(图 1)。

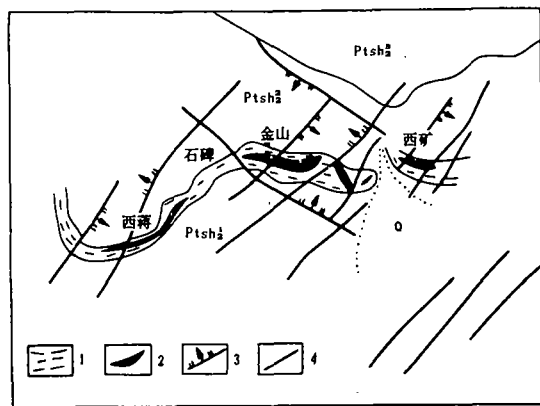


图 1 金山金矿床地质简图

1—含 Au 剪切带; 2—金矿体; 3—断层; 4—地层界线

* 国家自然科学基金资助项目。

本文 1993 年 3 月收到, 李春兰编辑。

‘金山金矿床主要发育硅质糜棱岩型和含金石英脉型两种矿石（表 1），并以前者为

主，占矿床矿石总量的 70%左右；后者约占矿石总量的 30%。
硅质糜棱岩型矿石，以前有人称之为含
金蚀变岩型矿石，近年有人称之为超糜棱岩
型矿石。该类矿石主要由 SiO₂ 组成
(>85%，表 2)，且韧性变形强烈，糜棱岩
结构发育，因而称之为硅质糜棱岩型矿石能
更好地反映此类矿石特征。

硅质糜棱岩产于脆—韧性剪切带核部，
呈透镜状、扁豆状以及似层状展布；矿石品
位变化较稳定，为 2~10g/t，金主要分散
于黄铁矿和毒砂等含金硫化物中。硅质糜棱
岩几乎全部由微糖粒状石英组成，它是由石
英亚颗粒重结晶而成；在硅质糜棱岩中偶见
变形强烈、晶粒较大的石英颗粒。因此，硅
质糜棱岩是由原岩在剪切变形变质过程中分
泌出的石英被强烈糜棱岩化而形成。

表 1 矿石的矿化特征

矿石类型	产 状	品 位	矿 物 组 成 特 征
硅质糜棱岩	产于剪切带核部，呈透镜状、扁豆状，似层状展布，厚 1~6m，长度大于 300m	较稳定 2~10g/t	主矿物石英呈微糖粒状，粒度 1 至数毫米，金主要分布于黄铁矿、毒砂等硫化物中，含金硫化物呈浸染状分布
含金石英脉	剪切带中，脉状透镜体厚几厘米~几十厘米，长度小于 200m	品位变化大，一般大于 $n \times 10g/t$	石英呈两种矿物相，一种为已遭受强烈变形的他形晶，晶粒较大，数毫米至数厘米；另一种为微糖粒状，颗粒较细，几微米

表 2 硅质糜棱岩的化学成分 (%)

类 别	硅 质 糜 棱 岩							千糜岩
样 号	M-60	Y-33	G-17	Y-52	G-11	M-79	平均值	平均值(3)
SiO ₂	95.82	88.91	87.17	91.19	91.84	94.92	91.64	68.90
TiO ₂	0.06	0.13	0.22	0.06	0.11	0.06	0.11	0.74
Al ₂ O ₃	1.06	3.61	5.02	1.72	2.52	1.06	2.50	12.81
FeO	1.96	1.80	2.02	1.92	2.49	2.48	2.11	2.72
Fe ₂ O ₃	0.33	2.18	0.46	0.83	0.85	0.58	0.87	4.29
MnO	0.06	0.05	0.08	0.07	0.06	0.06	0.06	0.11
MgO	0.02	0.26	0.98	0.78	0.26	0.21	0.42	1.49
CaO	0.00	0.33	0.68	1.14	0.56	0.22	0.49	0.46
Na ₂ O	0.18	0.18	0.49	0.09	0.35	0.18	0.24	0.43
K ₂ O	0.35	0.76	1.09	0.41	0.55	0.35	0.59	3.02
P ₂ O ₅	0.02	0.08	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.23
烧失量	0.11	1.87	1.80	1.86	0.61	0.26	1.09	4.57

硅质糜棱岩的化学成分以 SiO₂ 为主，
含量为 87%~96%。与矿区内千糜岩相比
(表 2)除 SiO₂ 较高、CaO 相近外,Al₂O₃、
MnO、MgO、Na₂O、K₂O、Fe₂O₃+FeO
和 P₂O₅ 等都明显偏低，尤其是 Al₂O₃ 和
K₂O，反映了两者的矿物和化学组成特
点。

含金石英脉呈脉状透镜体充填于含金剪
切带中；矿石品位富而变化大，一般几十至

几百克/吨，构成富矿体。金主要以自然金
形式富集，与黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿和方
铅矿等共生。在显微镜下观察含金石英脉，
发现脉中石英呈两种矿物相存在：一种是已
经遭受强烈变形(剪裂隙及波状消光发育)、
颗粒较大（数毫米至数厘米）的他形石英；
另一种为微糖粒状、颗粒很细（一至数微
米）、生于前种石英的边缘。显然，后种石
英是由前种石英部分糜棱岩化的结果。含金

石英脉中的自然金和硫化物大部分都含在这种微糖粒状的石英内,少部分沿大颗粒石英的裂隙分布。值得注意的是,石英脉裂隙越发育和糜棱岩化强度越高,金就越富。以上特征表明,含金石英脉中的金矿化具有晚期形成的特征。因此,剪切带型金矿床中的含金石英脉与传统含金石英脉不一样,它是无矿石英在碎裂和糜棱岩化时或之后被晚期金矿化叠加而形成。

Bonnmaison 等 (1990) 的研究结果表明,剪切带中有经济价值的金矿床,是剪切带使金逐渐富集并经历连续几个阶段演化的最终产物。本文研究工作显示,金山金矿床有两个主要演化阶段。第一阶段为含金硫化物阶段,形成硅质糜棱岩型矿石;第二阶段为自然金矿化阶段,主要呈自然金形式富集于石英脉中,而以含金石英脉型矿石出现。

硅质糜棱岩的微量元素 地球化学

已有的研究表明⁽⁴⁾,金山剪切带型金矿床的赋矿围岩——双桥山群上亚群,以明显富集 Au(2.55×10^{-9})和 As(47×10^{-6}),Au 与 As、Ag 与 Sb 显著正相关 ($R/R_{0.05}$ 分别为 1.69、1.61 和 1.43) 以及 Au/Ag 比值较大 (0.5) 为特征。而该金矿床的主要矿石类型——硅质糜棱岩则以 Au、As 含量高、大量出现毒砂为标志,并且硅质糜棱岩中 Au/Ag 比值很大,表现出其对赋矿围岩的显著继承性特点。

表 3 列出了金山剪切带型金矿床硅质糜棱岩中 Au、As、Ag 以及其它微量元素的含量。由表可知,硅质糜棱岩中 Au、As、Sb、Ag、W 和 Pb 等元素的含量为上部大陆地壳相应元素平均值 (Taylor, 1985) 的两倍以上,其中 Au、As 高达 100 倍以上,反映出 Au、As 的显著富集特征。值得注意的是,硅质糜棱岩中富集的元素正是矿床围岩——双桥山群上亚群含量较高的元素。

Cu、Zn、Hg、U、Th 以及 Ti、V、Cr、Mn、Co、Ni、Sr 和 Ba 等元素含量较低,但 Hg 的含量明显较区域背景值为高,说明 Hg 在金矿化过程略有聚集。在以上这些元素中 Au 与 As、Ag、Sb 都呈同步增长(图 2),即 As、Ag、Sb 与 Au 呈良好的正相关。

表 3 硅质糜棱岩的微量元素含量

元素	含量区间	平均值	区域背景值 ⁽⁴⁾	上部大陆地壳 ⁽⁵⁾
Au	1.8~195	56.6	0.0225	0.0018
Ag	0.04~3.46	1.28	0.05	0.05
As	41~342	150	47	1.5
Sb	0.5~2.5	1.7	1.0	0.2
W	2.6~20	11.4	10.6	2.8
Cu	9~30	14.2	41	25
Pb	16~77	45.4	39	20
Zn	22~186	87.5	111	71
Hg	0.025~0.107	0.049	0.008	0.008
Ti	226~500	325	4175	3000
V	5~19	11	117	60
Cr	6~22	11	207	35
Mn	335~427	390	916	600
Co	2~6	4	25	10
Ni	5~17	10	37	20
Sr	8~101	45	160	350
Ba	32~134	68	471	550
U	0.5~2.5	1.7	4.8	2.8
Th	2.0~6.7	3.3	10	10.7
S	0.166~0.904	0.363		
F	0.02~0.12	0.07		
Cl	0.001	0.001		
Au/Ag	23.2~78.3	44.2	0.51	0.036
Co/Ni	0.30~0.50	0.40	0.68	0.50
Sr/Ba	0.25~1.23	0.60	0.34	0.64
U/Th	0.09~1.25	0.50	0.48	0.26

注: S、F 和 Cl 单位为%, 其余为 $\times 10^6$ 。

本文还测试了硅质糜棱岩中 S、F、Cl 等矿化剂元素的含量特征。从表 3 可知,硅质糜棱岩中 F、Cl 的含量很低,因此, Au 的矿化迁移不可能以 F、Cl 的络合物形式进行;而硅质糜棱岩中 S 的含量较高,并且与 Au 呈很好的线型相关关系 (见图 2),反映了 Au 主要呈硫的络合形式迁移,并以含金硫化物形式富集的特点。

在常见微量元素对比值方面,硅质糜棱岩具有很高的 Au/Ag 比值和较低的 Co/Ni、Sr/Ba 和 U/Th 比值(皆 < 1)。

这与围岩中相应元素对比值特征非常一致, 从而揭示围岩中微量元素对比值是硅质糜棱岩中微量元素对比值的主要控制因素。

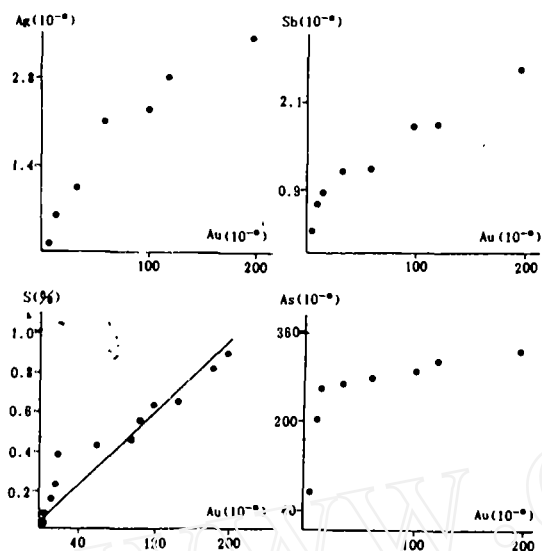


图2 硅质糜棱岩中 Au 与 As、Ag、Sb 和 S 的关系图

硅质糜棱岩中稀土元素的测定结果 (表4) 同样表达了其与双桥山群之间的密切关系。从表4统计的稀土含量特征以及图3所示的稀土元素球粒陨石标准化曲线可以看出, 金山金矿床硅质糜棱岩中的稀土元素具

有如下特点:

(1) 稀土总量较低 ($6.0 \times 10^{-9} \sim 51.8 \times 10^{-9}$); (2) 轻重稀土分馏中等 ($\sum Ce / \sum Y = 5.6 \sim 7.7$); (3) Eu 亏损明显, 这与双桥山群上亚群具有相似的特点, 都显示了后太古代沉积岩的稀土元素模式。

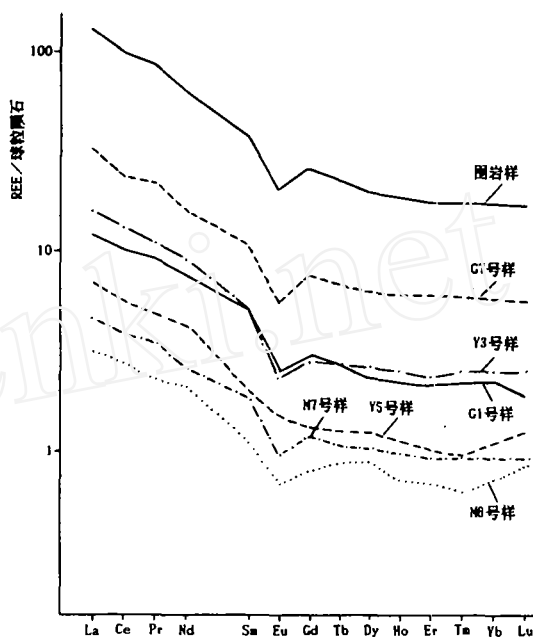


图3 硅质糜棱岩的稀土元素球粒陨石标准化模式

表4 硅质糜棱岩的稀土元素含量 (10^{-6}) 及参数

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy
Y5	2.16	4.52	0.60	2.52	0.39	0.11	0.34	0.06	0.41
M7	1.43	3.12	0.43	1.56	0.36	0.07	0.30	0.05	0.33
Y3	5.02	10.56	1.37	5.46	0.99	0.17	0.75	0.13	0.85
M6	0.99	2.24	0.28	1.31	0.22	0.05	0.20	0.04	0.28
G1	3.95	8.40	1.13	4.38	1.00	0.19	0.78	0.13	0.75
G7	9.91	19.51	2.67	9.71	2.09	0.42	1.96	0.32	1.98
	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	$\sum REE$	$\sum Ce / \sum Y^*$	δEu	δCe
Y5	0.08	0.21	0.03	0.23	0.04	11.71	7.36	0.92	0.96
M7	0.07	0.19	0.03	0.19	0.03	8.16	5.86	0.65	0.96
Y3	0.18	0.49	0.08	0.52	0.08	26.65	7.65	0.60	0.97
M6	0.05	0.14	0.02	0.15	0.03	6.0	5.59	0.73	1.02
G1	0.16	0.44	0.07	0.46	0.06	21.9	6.68	0.66	0.96
G7	0.43	1.24	0.19	1.19	0.18	51.8	5.91	0.63	0.91

* $\sum Y$ 不包括 Y。

结 论

1. 硅质糜棱岩是金山金矿床最主要的矿石类型,由重结晶的石英亚颗粒组成, SiO_2 含量高达 87%~96%, Au 主要分散于黄铁矿和毒砂等含金硫化物中。

2. 金山金矿床中的含金石英脉与传统的含金石英脉不同,它是由无石英在碎裂和糜棱岩化时被晚期金矿化叠加而成。金主要以自然金形式富集,与微糖粒状石英伴生。

3. 硅质糜棱岩中 Au、As、Ag、REE 以及其它多种微量元素都与矿床的围岩——双桥山群上亚群有着密切的成因联系,表明金山金矿床的成矿物质来源于双桥山群。

4. 金山金矿床金的成矿作用与糜棱岩化之间存在内在的联系。金矿是在剪切带发育过程中成矿元素经剪切变质作用富集而形

成,属典型剪切带型金矿床。

本文承蒙刘英俊教授指导,野外工作中得到江西有色地质勘探四队及金山金矿的大力支持和帮助,谨此一并致谢。

参考文献

- [1] 黄宏立、杨文思,地质找矿论丛,1990, No.4, 18~27 页。
- [2] 朱恺军、范宏瑞,地质找矿论丛,1991, No.4, 18~27 页。
- [3] Bonnamaison, M., Marcoux, E., Mineral. Deposita., 1990, Vol. 25, 96~104.
- [4] 刘英俊等,桂林冶金地质学院学报, 1989, No.2, 115~126 页。
- [5] Taylor, S. R. and McLennan, S. M., 《The continental crust: its composition and evolution》, Blackwell Scientific Publication, 1985.

Trace Element Geochemistry of Siliceous Mylonite of Jinshan Gold Deposit, Jiangxi Province: Genetic Evidence of ore deposit

Ji Junfeng Sun Chengyuan Li Yang Zheng Qing

The siliceous mylonite with SiO_2 more than 85% is the main ore type of Jinshan gold deposit; the distribution characteristics and ratios of trace elements for siliceous mylonite and country rocks of the deposit are about the same; gold mineralization of the deposit has a close genetic relation with mylonitization; the Shuangqiaoshan group may provide, through the action of shear, the necessary ore-forming components during the formation of the deposit.

人造彩色砂工艺简述

在石英砂、碎硅石或板岩粒中,加入以无机缩合磷酸铝为主要成分的粘结剂和无机或有机颜料,搅拌混合,使砂表面着色,在低温下干燥烧成一定时间,制得人造彩色砂。该主品可长期不变色,耐热性好,化学稳定性好,耐磨。细彩砂可用于屋面、地面、墙面等装饰,粗彩砂可用于道路标示、公园铺道等。

在搅拌机中加入石英砂或碎硅石 100 份(重量比)和粘结剂(含 5% 以上的无机缩合磷酸铝,其余为水) 1.5~3.0 份,按 100~200 公斤重搅拌混合 10~15 分钟,再加入所需的色彩颜料(无机颜料,如氧化铁、氧化铬绿、氧化铬蓝等加入 1.0~1.7 份;有机颜料,如酞青、硫靛等加入 2.0~3.0

份),再混合搅拌 10~15 分钟,送入回转窑中,在一定温度(用无机颜料为 150~950℃;有机颜料为 150~280℃)下烧成 1 小时~10 分钟即成。

缩合磷酸铝粘结剂用量取决于石英砂或碎硅石的粒度和形状,粒细用量大。颜料用量与石料松散程度有关,松散比重大时用量小。烧成时间与温度有关。

缩合磷酸盐是在磷酸盐(可用亚磷酸钙、亚磷酸铁、亚磷酸铝等)中,加入元素周期表中第一、二或四族的金属元素的氢氧化物、盐、铵盐或弱碱性的金属氧化物,混合烧成而得的复合氧化物进行中和、干燥、加热硬化制得的。

(据《矿产地质动态》,1993,第 2 期)