

## 滇西羊拉铜矿区硅质岩特征及与成矿的关系\*

潘家永<sup>①②</sup> 张 乾<sup>②</sup> 马东升<sup>①</sup> 李朝阳<sup>②</sup><sup>①</sup> 南京大学地球科学系内生金属矿床成矿机制国家重点实验室, 南京 210008;<sup>②</sup> 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放实验室, 贵阳 550002)

**摘要** 在滇西羊拉铜矿区发现了4层硅质岩, 该硅质岩具有低的 $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 与高的成矿元素(Cu, Au, Ag)含量特征. 硅质岩稀土元素总量很低, 其球粒陨石标准化配分模式为向右倾的曲线, 具有明显的负Eu异常与弱的正Ce异常, 与矿区早期形成的块状硫化物矿石、矿石矿物及脉石矿物具有一致的稀土元素球粒陨石标准化配分模式, 而与成矿中晚期形成的夕卡岩型矿石及破碎带充填交代型矿石明显不同. 硅质岩的硅同位素组成与热水沉积的硅华及硅质岩一致, 它的铅同位素组成与块状硫化物矿石一致, 它的Rb-Sr等时线年龄为 $272 \text{ Ma} \pm 6 \text{ Ma}$ , 与赋矿地层时代一致. 研究表明羊拉矿区硅质岩为典型的热热水沉积硅质岩, 且与矿区块状硫化物矿体关系密切, 这为该矿床块状硫化物矿体为海底喷流热水沉积作用形成提供了直接的证据.

**关键词** 硅质岩 热水沉积 羊拉铜矿

羊拉矿床处于“三江”中段中咱地块与江达-维西火山弧之间的金沙江结合带中部, 是近年来发现且正在勘探的大型铜多金属矿床. 矿区出露的地层为由碎屑岩、碳酸盐岩、变质中基性和基性火山岩组成的二叠系嘎金雪山群, 为一套巨厚的洋盆沉积物. 区内断裂构造发育, 其南北向的金沙江断裂与羊拉断裂控制了该区岩浆岩的分布. 区内侵入岩主要为印支期中酸性的花岗闪长岩, 其成岩年龄为 $208 \text{ Ma} \sim 227 \text{ Ma}$ <sup>[1]</sup>. 魏君奇等人<sup>[1]</sup>、何龙清等人<sup>[2]</sup>、战明国等人<sup>[3]</sup>、路远发等人<sup>[4]</sup>对羊拉矿床地层、构造、岩浆岩及成矿作用开展了较系统的研究, 研究表明: 羊拉矿床主要的成矿作用为海底火山喷流沉积作用. 潘家永<sup>[1]</sup>对羊拉铜矿床的系统地质地球化学特征研究发现: 该矿床产有3种不同类型的铜矿石, 分别代表3个不同的成矿期. 成矿早期(I)为产在嘎金雪山群火山-沉积碎屑岩中浸染状与块状硫化物矿石, 代表海底火山喷流沉积作用的产物, 为该矿床最主要的成矿作用; 成矿中期(II)为产在火山岩、砂质板岩与大理岩接触带的夕卡岩型矿石, 代表夕卡岩成矿作用的产物; 成矿晚期(III)为产在花岗闪长岩断裂破碎带中矿石, 代表了岩浆期后热液作用的产物.

作者首次在滇西羊拉铜矿区发现了4层硅质岩, 并证实是典型的热热水沉积硅质岩, 这为该矿床经历了热水沉积成矿作用提供了直接的证据.

2000-03-21 收稿, 2000-06-12 收修改稿

\* 中国科学院重点项目(KZ952-S1-407)与国家重点基础发展规划项目(G1999043208, G1999043210)及中国博士后基金共同资助课题

1) 潘家永. 滇西铜多金属矿带地球化学特征及成矿机理. 中国科学院地球化学研究所博士论文, 1999

## 1 硅质岩的地质特征

羊拉矿区4层硅质岩都产于该矿床的主要赋矿层位——嘎金雪山群( $P_{g1}$ )的a层位与b层位之中,呈层状、似层状与透镜状,与地层产状一致.除产于 $P_{g1}^{1a}$ 层位中的硅质岩层附近没有矿体外,其余3层硅质岩附近均有矿体产出.硅质岩厚度不大,一般小于2米,但其产状稳定、延伸达数百米的露头两侧被浮土所覆盖.

硅质岩中主要矿物为石英,含量大于90%,另有少量的云母及碳质,偶见黄铁矿与重晶石.石英以不规则粒状大小混杂、棱角分明,呈镶嵌状及结晶粒状结构区别于碎屑石英(表1).石英中存在少量的流体包裹体,主要为纯液体单相包裹体及少量的气-液两相包裹体,大小仅为1~5  $\mu\text{m}$ ,其均一温度为110~200 $^{\circ}\text{C}$ .

表1 羊拉矿床硅质岩层主要地质特征

样号	产出层位	产状	厚度	主要特征
yn-4	$P_{g1}^{1a}$	层状、与围岩产状一致,附近设有矿体产出	0.5~1 m	灰-灰白色,致密块状,主要矿物为石英,少量绢云母与碳质、偶见黄铁矿与重晶石、结晶粒状结构,层纹状构造,石英粒度小于100 $\mu\text{m}$
yn-11	$P_{g1}^{2a-2}$	层状、似层状,与围岩产状一致,离5号矿体约4 m	0.5~0.8 m	
yn-16	$P_{g1}^{2b-1}$	层状、与围岩产状一致,离4号矿体约85 m	1~2 m	
yn-26	$P_{g1}^{2b-3}$	似层状、透镜状,与围岩产状一致,离3号矿体5 m	0.2~1.5 m	

## 2 硅质岩的地球化学特征

### 2.1 岩石化学特征

羊拉矿区硅质岩化学成分以 $\text{SiO}_2$ 为主,含量为97.52%~99.00%,其次为 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 和 $\text{CaO}$ ,含量分别为0.34%~0.72%和0.2%~0.31%,其他成分含量都很低.与其他地区(美国的Franciscan与Shimanto台地<sup>[5]</sup>、我国广西的南丹-河池盆地及广东的古水<sup>[6~7]</sup>)的典型海相热水沉积硅质岩的化学成分相似(表2).

Yamamoto<sup>[5]</sup>的研究表明,低的 $\text{TiO}_2$ 与 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量是热水沉积硅质岩的典型特征;Bostroem等人<sup>[8]</sup>也研究表明 $\text{Al}/(\text{Al}+\text{Fe}+\text{Mn})$ 的比值可以判断是热水组分参与沉积作用的标志,对于正常海洋环境中沉积物, $\text{Al}/(\text{Al}+\text{Fe}+\text{Mn})$ 比值约为0.6,而与热水作用有关的沉积物的 $\text{Al}/(\text{Al}+\text{Fe}+\text{Mn})$ 比值小得多<sup>[8]</sup>,如北太平洋海底热水沉积成因燧石的 $\text{Al}/(\text{Al}+\text{Fe}+\text{Mn})$ 比值仅为0.03~0.04<sup>[9]</sup>.羊拉矿区硅质岩 $\text{TiO}_2$ 与 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量很低,且 $\text{Al}/(\text{Al}+\text{Fe}+\text{Mn})$ 比值也很低,仅为0.007~0.018,平均0.011,这表明羊拉硅质岩具有热水沉积形成硅质岩的化学成分特征.

表2 滇西羊拉铜矿区硅质岩岩石化学成分<sup>a)</sup>

采样位置与样号	$\text{SiO}_2$	$\text{TiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{FeO}$	$\text{MnO}$	$\text{MgO}$	$\text{CaO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{H}_2\text{O}^+$	$\text{H}_2\text{O}^-$	
羊拉矿区	yn-11	99.00	0.010	0.01	0.45	0.11	0.04	0.001	0.20	0.04	0.001	0.01	0.10	0.02
	yn-16	97.52	0.010	0.01	0.72	0.30	0.05	0.001	0.31	0.05	0.001	0.01	0.20	0.05
	yn-26	97.85	0.010	0.01	0.60	0.20	0.06	0.001	0.20	0.07	0.001	0.01	0.20	0.05
	yn-4	99.00	0.001	0.01	0.36	0.10	0.04	0.001	0.30	0.05	0.010	0.03	0.15	0.03
	ryn-4	98.95	0.001	0.01	0.34	0.01	0.05	0.001	0.28	0.05	0.010	0.03	0.15	0.04
	平均	98.46	0.006	0.01	0.49	0.14	0.05	0.001	0.26	0.05	0.005	0.02	0.16	0.04
Franciscan <sup>[5]</sup>		92.30	0.09	1.31	0.27	2.36	0.53	0.28	0.11	0.16	0.35	0.03		
Shimanto <sup>[5]</sup>		87.87	0.05	1.09	0.52	2.52	1.08	0.86	1.05	0.35	0.24	0.12		
广西南丹-河池 <sup>[6]</sup>		93.10	0.10	1.80	0.40	0.90	0.10	0.10	0.20	0.10	0.50			
广东古水 <sup>[7]</sup>		92.84	0.11	2.72	0.70	1.07	0.07	0.10	0.07	0.03	0.61	0.05		

a) 中国科学院地球化学研究所李荪蓉测试,表中数据单位为%

## 2.2 微量元素特征

硅质岩中 Cu, Au, Ag 含量很高, 平均分别是地壳克拉克值的 1.88, 3.44 与 23.54 倍; Pb, W 含量与地壳克拉克值相当, 其他微量元素如 Zn, Sn, Mo, Co, Ni 含量很低, 远低于地壳克拉克值(表 3). 羊拉铜多金属矿床块状硫化物矿石除富集 Cu 外, 同时也富集 Au, Ag, 羊拉硅质岩层富集 Cu, Au, Ag, 可能与热水沉积成矿有关.

硅质岩中 Co 含量为  $0.84 \times 10^{-6} \sim 1.29 \times 10^{-6}$ , Ni 含量为  $1.68 \times 10^{-6} \sim 2.98 \times 10^{-6}$ , Co/Ni 比值为 0.41~0.52, 其 Co/Ni 比值均小于 1, 具有沉积作用与热水沉积作用成因的特征.

表 3 滇西羊拉铜矿区硅质岩微量元素含量<sup>a)</sup>

样号	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	W	Sn	Mo	Co	Ni	Co/Ni
yn-11	85.19	12.05	3.18	9.30	1.67	0.45	0.40	0.05	0.88	1.68	0.52
yn-16	158.4	10.46	8.11	11.10	4.67	3.80	2.43	0.16	1.08	2.53	0.43
yn-26	81.52	13.12	6.53	32.60	0.58	2.16	0.75	0.03	1.29	2.98	0.43
yn-4	95.49	12.80	4.50	7.70	0.65	0.47	0.38	0.18	0.84	2.07	0.41
ryn-4	95.21	12.50	4.41	8.10	0.67	0.50	0.41	0.14	0.85	2.00	0.43
平均	103.2	12.19	5.35	13.76	1.65	1.48	0.87	0.11	0.99	2.25	0.44
富集系数	1.88	0.97	0.08	3.44	23.54	0.98	0.44	0.07	0.04	0.03	
克拉克值	55	12.5	70	4	0.07	1.5	2	1.5	25	75	

a) 中国科学院地球化学研究所漆亮在 ICP-MS 上测试, 检出限  $10^{-9}$ , Au $\times 10^{-9}$ , 其余 $\times 10^{-6}$

## 2.3 稀土元素特征

在 ICP-MS 上精确测定了硅质岩与不同成矿期矿石、矿石矿物与脉石矿物石英、方解石的稀土元素组成(表 4), 硅质岩的稀土总量很低, 仅为  $0.66 \times 10^{-6} \sim 1.56 \times 10^{-6}$ , 与石英的稀土总量 ( $0.96 \times 10^{-6} \sim 1.54 \times 10^{-6}$ ) 相当. 总的来说, 产在不同层位的硅质岩其稀土总量、 $\delta\text{Ce}$ 、 $\delta\text{Eu}$  等特征参数是一致的.

硅质岩稀土元素球粒陨石标准化模式是一组右倾曲线, 轻稀土(LREE)相对重稀土(HREE)

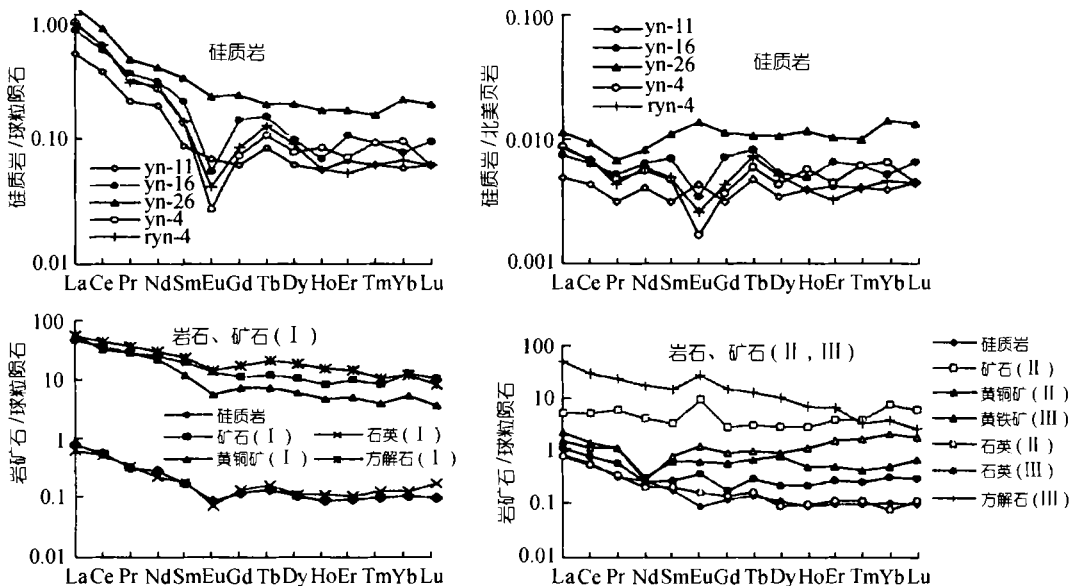


图 1 羊拉铜矿床硅质岩与矿石、矿石矿物、脉石矿物稀土元素配分模式(样号与表 3 同)

富集, LREE/HREE 为 5.83~10.38, 且具有明显的负 Eu 异常( $\delta\text{Eu}$  为 0.27~0.92, 平均 0.54), 同时也具有弱的正 Ce 异常( $\delta\text{Ce}$  为 1.04~1.13, 平均 1.10)(图 1, 表 4).

表 4 滇西羊拉铜矿硅质岩与矿石稀土元素组成( $\times 10^{-6}$ )<sup>a)</sup>

样品名称	样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er
硅质岩	yn-11	0.150	0.282	0.024	0.110	0.017	0.005	0.016	0.004	0.020	0.004	0.014
	yn-16	0.230	0.419	0.041	0.174	0.039	0.004	0.037	0.007	0.031	0.005	0.022
	yn-26	0.353	0.622	0.053	0.225	0.060	0.016	0.058	0.009	0.060	0.012	0.035
	yn-4	0.271	0.450	0.037	0.150	0.026	0.002	0.019	0.005	0.025	0.006	0.015
	ryn-4	0.260	0.450	0.034	0.160	0.027	0.003	0.022	0.006	0.029	0.004	0.011
	平均(5)	0.253	0.445	0.038	0.164	0.034	0.006	0.030	0.006	0.033	0.006	0.019
矿石(I)	yn-60	14.240	29.480	3.574	15.13	3.851	0.968	2.832	0.561	3.452	0.581	2.055
矿石(II)	平均(2)	1.577	4.041	0.755	2.502	0.649	0.688	0.727	0.144	0.895	0.201	0.807
矿石(III)	yn-108	1.978	2.939	0.309	0.674	0.316	0.229	0.343	0.073	0.438	0.074	0.203
黄铜矿(I)	平均(3)	17.800	26.800	3.548	13.13	2.300	0.416	1.891	0.343	1.880	0.330	1.026
黄铜矿(II)	平均(3)	0.481	0.885	0.136	0.161	0.149	0.090	0.224	0.045	0.285	0.082	0.315
黄铁矿(III)	平均(2)	0.702	1.178	0.137	0.189	0.121	0.047	0.147	0.032	0.240	0.036	0.102
石英(I)	平均(3)	0.194	0.410	0.040	0.131	0.035	0.005	0.034	0.007	0.034	0.008	0.022
石英(II)	平均(2)	0.232	0.416	0.042	0.114	0.038	0.012	0.035	0.008	0.027	0.007	0.022
石英(III)	yn-139	0.339	0.635	0.071	0.147	0.050	0.027	0.042	0.014	0.066	0.015	0.054
方解石(I)	平均(2)	17.660	35.260	4.355	18.060	4.678	1.059	4.572	0.975	5.845	1.073	3.089
方解石(III)	yn56-A	16.060	24.260	2.813	10.740	2.934	1.941	3.739	0.625	3.269	0.510	1.405
样品名称	样号	Tm	Yb	Lu	$\Sigma\text{REE}$	L/H	$\delta\text{Ce}$	$\delta\text{Eu}$	$(\text{La}/\text{Sm})_N$	$(\text{Gd}/\text{Yb})_N$	$(\text{La}/\text{Yb})_N$	
硅质岩	yn-11	0.002	0.012	0.002	0.66	7.95	1.13	0.92	5.55	1.08	8.43	
	yn-16	0.003	0.016	0.003	1.03	7.31	1.04	0.32	3.71	1.87	9.69	
	yn-26	0.005	0.043	0.006	1.56	5.83	1.09	0.82	3.70	1.09	5.53	
	yn-4	0.003	0.020	0.002	1.03	9.85	1.08	0.27	6.56	0.77	9.14	
	ryn-4	0.002	0.014	0.002	1.02	10.38	1.15	0.37	6.06	1.27	12.52	
	平均(5)	0.003	0.021	0.003	1.06	8.26	1.10	0.54	5.12	1.22	9.06	
矿石(I)	yn-60	0.268	2.664	0.328	79.98	5.28	0.99	0.89	2.33	0.86	3.60	
矿石(II)	平均(2)	0.124	1.578	0.191	14.88	2.58	0.86	2.40	2.39	0.47	1.39	
矿石(III)	yn-108	0.030	0.216	0.032	7.85	4.57	0.90	2.11	3.94	1.28	6.17	
黄铜矿(I)	平均(3)	0.122	1.096	0.116	70.79	10.94	0.81	0.61	4.86	1.55	13.80	
黄铜矿(II)	平均(3)	0.053	0.438	0.057	3.40	1.50	1.19	2.00	1.88	0.41	0.98	
黄铁矿(III)	平均(2)	0.014	0.105	0.022	3.07	3.69	0.94	1.92	6.53	0.97	6.41	
石英(I)	平均(3)	0.004	0.025	0.005	0.96	6.59	1.11	0.43	3.84	1.27	7.21	
石英(II)	平均(2)	0.004	0.015	0.004	0.97	7.30	1.03	0.97	4.18	1.89	10.57	
石英(III)	yn-139	0.008	0.063	0.009	1.54	4.68	0.99	1.79	4.26	0.54	3.63	
方解石(I)	平均(2)	0.347	2.537	0.256	99.77	4.26	0.96	0.67	2.65	1.50	4.97	
方解石(III)	yn56-A	0.108	0.779	0.081	69.27	5.59	0.87	1.78	3.44	3.87	13.90	

a) 中国科学院地球化学研究所潘亮在 ICP-MS 上测试, 检出限  $10^{-9}$ , 括号内为样品数

硅质岩的稀土含量与成矿早期海底喷流沉积作用形成的矿石(I)、方解石(I)其稀土总量不同, 但球粒陨石标准化配分模式曲线形式一致, 都向右倾, 且都具有明显的负Eu异常, 而与成矿早期形成的石英(I)相比, 不仅稀土总量相似, 其稀土球粒陨石标准化配分模式曲线几乎重合(图1). 然而硅质岩的稀土配分模式与夕卡岩阶段(II)及岩浆热液成矿阶段(III)形成的矿石及矿石矿物与脉石矿物稀土元素配分模式曲线形式明显的不一致, 主要表现在第II、III期形成的矿石、矿石矿物与脉石矿物的稀土配分模式不具有负Eu异常, 矿石(II)、黄铜矿(II)、石英(III)、方解石(III)具有明显的正Eu异常, 而石英(II)黄铁矿(III)Eu异常不明显. 另外, 矿石(II)、黄铜矿(II)为一条重稀土左倾的曲线, 与硅质岩的稀土配分模式完全不同(图1).

硅质岩的稀土元素北美页岩标准化模式为一组近于平坦的曲线, 具有 Ce 的正异常, 其中 yn-11, yn-26 具有明显的正 Eu 异常, 而其他 3 条曲线具有明显的负 Eu 异常(图 1).

## 2.4 稳定同位素特征

硅质岩的铅同位素组成( $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ )分别为 18.297, 15.576 与 38.302, 与矿区内玄武岩(三组铅同位素组成分别为 18.269, 15.470 与 38.264)、块状硫化物矿石(三组铅同位素组成分别为 18.112~18.315, 15.434~15.638, 37.833~38.574)一致, 反映了它们铅源的一致.

硅质岩的硫同位素组成( $\delta^{34}\text{S}$ )为 1.0‰~1.4‰, 为靠近零值的低正值, 与不同成矿期矿石的硫同位素组成变化范围一致, 且具有塔式分布特征, 反映它们硫的来源是一致的, 即具有来源于深源或岩浆作用的硫同位素组成特征.

不同来源的硅具有不同的硅同位素组成, 低温水中自生沉积石英的硅同位素组成( $\delta^{30}\text{Si}_{\text{NBS-28}}$ )为 1.1‰~1.4‰, 热水来源硅质岩的  $\delta^{30}\text{Si}$  值较小, 为 -1.5‰~0.8‰, 成岩过程中次生石英的  $\delta^{30}\text{Si}$  值介于两者之间, 交代成因的硅质岩为 2.4‰~3.4‰<sup>[10-11]</sup>. 羊拉矿床硅质岩的  $\delta^{30}\text{Si}$  值为 -0.4‰~-0.1‰, 位于热水来源的硅质岩范围, 与云南墨江金矿热水沉积含金硅质岩、世界上最典型的热液沉积块状硫化物矿床(如加拿大的 Sullivan 铅锌矿床和秦岭泥盆纪铅

表 5 羊拉铜矿区硅质岩及矿石稳定同位素分析结果<sup>a)</sup>

样品名称	铅同位素			$\delta^{34}\text{S}/\%$	$\delta^{30}\text{Si}_{\text{NBS-28}}/\%$
	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$		
硅质岩(yn-11)				1.0	-0.4
硅质岩(yn-26)	18.297	15.575	38.302	1.4	-0.1
矿石(I)	18.304	15.653	38.522	-0.4	
矿石(II)	18.131	15.491	38.156	-0.6	
矿石(III)	18.139	15.513	38.083	-0.6	

a) 铅同位素与硫同位素由中国科学院地球化学研究所彭建华、冯家毅测试; 硅同位素由地质科学院矿床研究所万德芳测试

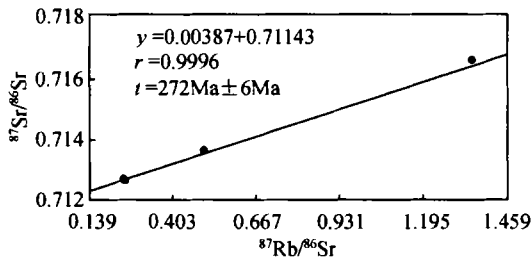


图 2 羊拉矿床硅质岩 Rb-Sr 等时线年龄

## 2.5 硅质岩的成岩时代

硅质岩的 Rb-Sr 等时线年龄为  $272 \text{ Ma} \pm 6 \text{ Ma}$ (表 6, 图 2), 而矿区赋矿地层为二叠系嘎金雪山群(248~286 Ma), 矿区花岗闪长岩的 Rb-Sr 等时线年龄为 208~227 Ma<sup>[11]</sup>. 显然硅质岩的成岩年龄与赋矿地层时代一致而明显早于矿区花岗闪长岩的形成. 这充分表明该区硅质岩是成岩时伴随着热液沉积作用形成的, 而与矿区岩浆岩无关.

表 6 羊拉铜矿区硅质岩中 Rb 和 Sr 含量及 Rb-Sr 等时线年龄<sup>a)</sup>

样品名称	Rb( $\times 10^{-6}$ )	Sr( $\times 10^{-6}$ )	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	等时线年龄
硅质岩(yn-1)	0.061 6	0.713 2	0.249 1	$0.712 4 \pm 0.000 3$	
硅质岩(yn-4)	0.099 6	1.121 0	0.256 2	$0.712 4 \pm 0.000 1$	$272 \text{ Ma} \pm 6 \text{ Ma}$
硅质岩(yn-11)	0.183 4	1.052 0	0.502 7	$0.713 5 \pm 0.000 6$	
硅质岩(yn-26)	0.429 0	0.914 8	1.353 0	$0.716 9 \pm 0.000 1$	
矿区花岗闪长岩的 Rb-Sr 等时线年龄					$208 \text{ Ma} \sim 227 \text{ Ma}^{[11]}$

a) 由地质矿产部宜昌地质矿产研究所同位素室测试

锌矿床)中硅质岩的硅同位素组成( $\delta^{30}\text{Si}_{\text{NBS-28}}$  为 $-0.1\% \sim -0.6\%$ )变化范围一致<sup>[11-13]</sup>; 也与热水沉积硅华的硅同位素组成( $\delta^{30}\text{Si}_{\text{NBS-28}}$  为 $-0.1\% \sim -0.5\%$ )一致<sup>[13]</sup>。

### 3 硅质岩的成因及与成矿的关系

#### 3.1 硅质岩的成因

以下证据充分说明矿区硅质岩为典型的热液沉积作用产物: (1)硅质岩呈层状、似层状产出, 与地层产状一致, 与热液作用形成的石英脉相区别; (2)硅质岩中石英为不规则的粒状、呈镶嵌状及结晶粒状结构区别于沉积的碎屑石英; (3)硅质岩岩石化学成分以  $\text{SiO}_2$  为主, 而  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量很低; 同时硅质岩的  $\text{Al}/(\text{Al}+\text{Fe}+\text{Mn})$  比值很低, 仅为  $0.007\sim 0.018$ , 具有热水沉积形成的硅质岩的化学成分特征; (4)硅质岩硅同位素组成( $\delta^{30}\text{Si}_{\text{NBS-28}}$ )为 $-0.1\% \sim -0.4\%$ , 与热水沉积的硅质岩及硅华一致, 而明显不同于其他成因的硅质岩; (5)硅质岩稀土元素球粒陨石标准化模式是一组右倾的曲线, 轻稀土明显高于重稀土的含量、具有明显的负 Eu 异常, 而其北美页岩标准化模式是一组近似平坦的曲线, 具有 Ce 的正异常(图 1)。这些特征与世界一些典型的热液沉积硅质岩是一致的<sup>[7]</sup>; (6)硅质岩的 Rb-Sr 等时线年龄为  $272 \text{ Ma} \pm 6 \text{ Ma}$ , 与赋矿地层时代一致而明显早于矿区花岗闪长岩的形成。这充分表明该区硅质岩是成岩时伴随着热水沉积作用形成的, 而与矿区岩浆岩无关。

#### 3.2 硅质岩与成矿的关系

矿区硅质岩层的发现为该矿床块状硫化物矿石是典型的海底喷流沉积作用的产物提供了直接的证据。无论是地质产状还是地球化学特征, 硅质岩与早期形成的块状硫化物矿石具有密切的关系, 主要表现在: (1)硅质岩所赋存的层位正是块状硫化物矿石的赋矿层位, 且在该矿区发现的 4 层硅质岩中, 有 3 层离矿体很近, 最近的仅 4~5 米, 由此可见硅质岩在空间上与块状硫化物矿石密切相关; (2)硅质岩中 Cu, Au, Ag 明显富集, 而块状硫化物矿石除 Cu 含量很高外, Au, Ag 也明显富集并可综合利用(Au, Ag 含量分别为  $90 \times 10^{-9} \sim 795 \times 10^{-9}$  与  $6.8 \times 10^{-6} \sim 16.2 \times 10^{-6}$ ), 其 Co/Ni 比值也都小于 1; (3)硅质岩与块状硫化物矿石具有相似的铅同位素与硫同位素组成, 显示了它们铅源与硫源的一致; (4)硅质岩的稀土元素球粒陨石标准化配分模式与块状硫化物矿石、矿石矿物及脉石矿物的稀土元素球粒陨石标准化配分模式具有相似的曲线特征, 且都具有负 Eu 异常, 而与夕卡岩阶段及岩浆热液阶段形成的矿石、矿石矿物及脉石矿物稀土元素特征有明显的不同, 这显示了硅质岩与块状硫化物矿石成因上的密切关系。该区硅质岩为典型的热液沉积硅质岩, 无疑这指示该矿区块状硫化物矿石是热水沉积作用的产物。

### 参 考 文 献

- 1 魏君奇, 战明国, 路远发, 等. 滇西德钦羊拉矿区花岗岩类地球化学. 华南地质与矿产, 1997, (4): 50~56
- 2 何龙清, 战明国, 路远发. 滇西羊拉铜矿床矿区层序地层划分及赋矿层位研究. 华南地质与矿产, 1998, (3): 37~41
- 3 战明国, 路远发, 陈式房, 等. 滇西北羊拉大型铜矿床形成条件及其成因类型. 矿床地质, 1998, 17(增刊): 183~186
- 4 路远发, 陈开旭, 战明国, 等. 羊拉地区含夕卡岩成因的地球化学证据. 地球科学, 1999, 24(3): 298~303
- 5 Yomamoto K. Geochemical characteristics and depositional environments of cherts and associated rocks in the Franciscan and Shimanto terranes. *Sedimentary Geology*, 1987, 52: 65~108
- 6 Zhou Y Z. Geochemical characteristics of siliceous rocks originated from a fossil hydrothermal system in the upper Devonian strata, Guangxi, southern China. *Acta Sedimentologia*, 1990, 8(3): 75~83

- 7 Yongzhang Zhou. Geology and geochemistry of Hetai gold field, Southern China. Guangzhou: South China University of Technology Press, 1993. 53~107
- 8 Bostroem K, Harold R, Oiva J. Provenance and accumulation rates of opaline silica, Al, Fe, Ti, Mn, Cu, Ni and Co in Pacific pelagic sediment. *Chem Geol*, 1973, 11: 123~148
- 9 Herzig P M, Becker K P, Stoffers P, et al. Hydrothermal silica chimney field in the Galapagos rift center at 81° W. *Earth Planet Sci Lett*, 1987, 52: 65~108
- 10 Douthitt C B. The geochemistry of the stable isotopes of the silicon. *Geochim Cosmochim Acta*, 1982, 16: 129~139
- 11 应汉龙, 蔡新平, 刘秉光. 云南墨江金矿床含金硅质岩的地球化学特征和成因. *地球化学*, 1999, 28(4): 307~317
- 12 Jiang S Y, Plamer M R, Ding T P, et al. Silicon isotope geochemistry of the Sullivan Pb-Zn deposit, Canada: A preliminary study. *Econ Geol*, 1994, 89: 1623~1629
- 13 Li Y H, Jiang S Y, Xue C J. Silicon and oxygen isotope evidence for exhalative genesis of the Devonian Pb-Zn deposits in the Feng-Tai region, Qingling Mountain, China. *Chinese Science Bulletin*, 1995, 40(1): 87~88
- 14 丁梯平, 蒋少涌, 万德芳, 等. 硅同位素地球化学. 北京: 地质出版社, 1994. 1~102