

东昆仑卧龙岗锑矿痕量元素示踪及成因分析^{*}

龚大兴^{1,2}, 邹灏¹, 张强¹, 岳相元², 周玉², 赖杨², 周家云²

(1. 成都理工大学 地球科学学院, 四川 成都 610059; 2. 中国地质科学院矿产综合利用研究所, 四川 成都 610041)

摘 要:新疆东昆仑卧龙岗一带存在多个中、大型锑矿床, 为了解该锑矿富集区的物质来源, 探讨其成矿机制, 通过系统的野外地质调查, 总结矿床地质成矿条件基础上, 对矿区典型的矿石、石英脉及围岩进行了微量元素和稀土元素分析。结果表明: 矿石、石英脉及围岩均具有轻稀土富集、分馏程度高、重稀土亏损的特点; 锑矿石中 Eu 为无铕异常, Eu 平坦型, Ce 中度负异常, 反映出成矿流体基本属于中性环境, 矿体和围岩的稀土元素具有同源性; 矿石、石英脉及围岩的微量元素特点相似, 表明矿体和围岩的微量元素来源相同; 围岩和石英脉展示出的轻稀土富集、重稀土亏损和 Eu、Ce 负异常的稀土配分模式与上部地壳的稀土配分模式十分相似, 表明围岩中的稀土元素迁出很少, 成矿流体对围岩稀土元素的组成影响很小, 说明矿脉中的 REE 主要来源于上部地壳, 赋矿围岩的贡献不大; 成矿流体沿近北东-南西向断裂充填, 矿床成因类型属于浅成热液充填型锑矿床。

关键词:东昆仑; 卧龙岗锑矿; 稀土及微量元素; 成矿物质来源

中图分类号:P612 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0076(2016)01-0016-08

DOI:10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2016.01.003

Rare Earth Element and Trace Element Geochemistry of Wolonggang Antimony Enrichment Area Deposit and Its Tracing Significance for the Origin of Metallogenic Elements in Dongkunlun

GONG Daxing^{1,2}, ZOU Hao^{1*}, ZHANG Qiang¹, YUE Xiangyuan², ZHOU Yu², LAI Yang², ZHOU Jiayun²

(1. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Institute of Comprehensive Utilization of Mineral Resources of Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

Abstract: Combined with system field investigation and ore-forming geological conditions of the Huangyangling antimony deposit, the geochemical characteristics of the deposit are summarized, the origin of the ore-forming materials is ascertained, and ore-forming mechanisms is discussed according to the major element analysis and trace element analysis. The results show that the Eu has no Eu anomalies and performing Eu flat-type, moderate depletion of Ce. This reflects that ore-forming fluid basically belongs to neutral environment and original hydrothermal depletes Ce in the ore-forming fluid. There are characteristics of enrichment of LREE, depletion of HREE and negative anomaly of Ce, which shows that the orebody and the surrounding rock are homologous. REE distribution patterns performed by the surrounding rock and quartz are very similar to the upper crust, which reflects that the REE moves little in surrounding rock and the effect of the ore-form-

* 收稿日期: 2015-12-09

基金项目: 中国地质调查局基础地质调查项目资助成果(12120113046000)

作者简介: 龚大兴(1986-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为沉积地质学、沉积矿产。

通讯作者: 邹灏(1986-), 男, 博士, 讲师, 主要从事矿产勘查与评价等方面的教研工作。

ing fluid to surrounding rock is very small. That explants that REE of the ore vein mainly comes from deep crust and the contribution of host rock is small. Compared with the REE distribution pattern of hydrothermal fluid of the submarine and spout – sediment deposit, Huangyangling antimony deposit is obviously different, which the metallogenic material mainly comes from the deep crust and the ore genesis of it belongs to post magmatic hydrothermal type of antimony deposit.

Key words: Dongkunlun; Wolonggang antimony deposit; REE and trace element; ore – forming material source

新疆卧龙岗—黄羊岭锑汞异常带是位于东昆仑的一条重要锑多金属成矿带,该成矿带上锑元素富集程度高、富集规模大,已发现黄羊岭锑矿、卧龙岗锑矿、卧龙岗北锑矿、盼水河锑矿、红山顶锑矿等多个锑矿床^[1]。随着该锑矿富集区勘探工作的深入,近年来在该成矿带新发现有枯水湖锑矿、枯水湖南锑矿、风帘山锑矿等一系列锑矿床,部分地质学者对其矿床地质特征做过剖析,并初步认为其可能形成于新生代印度—亚洲碰撞期间青藏高原的热隆扩张作用^[2-3]。但是由于地理环境恶劣,关于矿床成因的进一步研究工作甚微,这在很大程度上制约了该成矿带上锑矿成矿机理的深入研究及区域成矿规律的总结。本文在总结成矿地质背景和矿床地质特征的基础上,系统研究了矿集区内矿石、石英脉及赋矿围岩的稀土元素和微量元素特征,探讨了该矿床的成矿物质及成矿流体的来源,为深入揭示其矿床成

因奠定了基础,也为区域上的锑矿成矿机理及成矿规律提供了依据。

1 地质背景

卧龙岗锑矿富集区大地构造位置位于塔里木—华北板块与华南板块结合带内巴颜喀拉晚古生代—中生代边缘裂陷盆地,可可西里中生代陆缘活动带北西缘,阿尔金断裂系、木孜塔格—中昆仑断裂带及郭扎错—西金乌兰湖—金沙江结合带三者交汇复合的三角形区域,阿尔金断裂呈 NNE—SWW 向出露于西北部,区内断裂构造均受其影响,总体呈向北陡倾左旋走滑断裂特征^[4]。在全国成矿区(带)划分方案的基础上^[5],可将矿集区划分为可可西里—松潘—甘孜构造成矿带,拉竹龙—冬银山锑汞成矿亚带,并可细分为卧龙岗—黄羊岭锑成矿亚带(图1)。

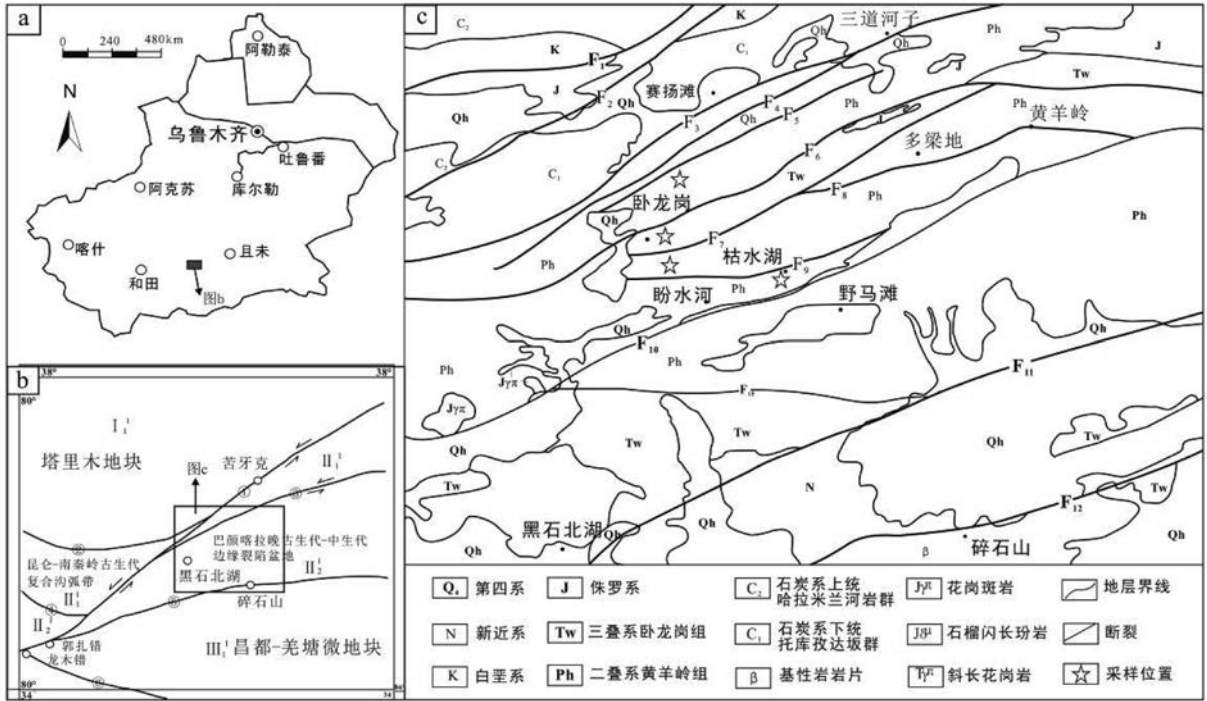


图1 卧龙岗锑矿富集区地质简图及采样位置

矿集区内主要赋矿地层为中二叠统黄羊岭组,是典型的浅海—深海相浊积岩建造,为昆仑山 Hg、Sb 元素富集区,成矿地质条件优越。赋矿围岩由结构成熟度和成分成熟度均较低的钙质岩屑砂岩、长石岩屑砂岩与页理发育的深灰色泥质粉砂岩、页岩构成频繁交互出现的若干旋回,在走向上相互叠置、穿插,相变明显,间夹少量透镜状石英细砂岩、含砾砂岩、砾状生物屑灰岩及薄层状海百合灰岩,绿灰色、灰色纹层状放射虫硅质岩、灰黑色薄层炭质泥岩等。矿区地层岩石类型简单,由于受断裂作用、低温热液作用影响,岩石局部具硅化、次生角砾岩化、褪色化、绢云母化、碳酸盐化等。

矿石中非金属矿物以石英为主,少量方解石;金属矿物主要为辉锑矿,次要金属矿物(和锑的氧化物)有毒砂、黄铁矿、针铁矿、赤铁矿、褐铁矿、锑华、黄锑华等,以及少量的副矿物铅石、金红石。通过仔细观察、鉴定各类典型矿石手标本及光薄片,按矿石结构构造—成因分类方法^[6],矿石主要具有块状、角砾状、晶洞—晶簇状、脉状、浸染状、斑点(团块)状等构造(图 2 a~d),以及自形晶、半自形晶、它形晶、揉皱、碎裂、侵蚀等结构(图 2 e~h)。矿石总体具有低温热液充填(—交代)组构特征,并伴有受构造应力破碎和塑性变形的特征。

矿区内断裂构造发育,矿体受到断裂控制,热液作用相对较强,与矿区外围岩石相比,变质作用稍高,以动力变质和接触交代变质作用为主。主要的围岩蚀变(矿化)有硅化、角砾岩化、绢云母化、泥化、褐铁矿化、碳酸岩化,有少量的雄黄矿化、黑钨矿化、孔雀石化。辉锑矿的表生氧化锑华化,硅化作用是区内最重要的围岩蚀变,也是直接的找矿标志。

2 样品采集及测试方法

本次研究对矿集区内卧龙岗锑矿、卧龙岗北锑矿、盼水河锑矿及枯水湖锑矿 4 个锑矿床,不同结构构造的锑矿矿石、赋矿石英脉、围岩进行了系统采样(图 1),样重一般 $1\,000 \pm \text{g}$ 。首先将采集的样品制成光薄片,在显微镜下鉴定后,再进行微量元素及稀土元素测试。

微量、稀土元素分析均采用 ICP-MS 方法,测试在 Thermo Fisher 公司 X-SERIES II 型等离子质谱仪上进行,该仪器检测限优于 5×10^{-9} ,相对标准偏差优于 5%。具体分析方法见 DZG20-01-2011

电感耦合等离子体质谱法测定 30 种痕量元素和 DZG20-01-2011 复合酸溶—电感耦合等离子体质谱法测定 15 种稀土元素。测试分析在中国地质科学院矿产综合利用研究所分析测试研究中心完成。

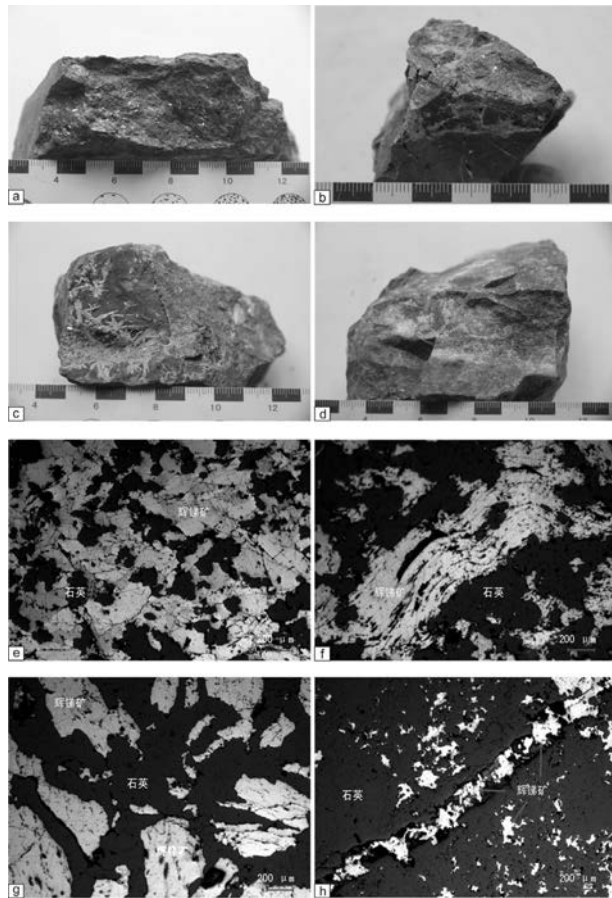


图 2 卧龙岗锑矿富集区辉锑矿矿石组构照片

3 微量元素地球化学

3.1 稀土元素特征

不同的成岩成矿作用,其 REE 的丰度和地球化学行为不同,因此对 REE 进行研究所获取的各种信息,是追踪成岩成矿作用过程及物质来源的重要手段^[7]。笔者试图从矿石、含矿石英脉和赋矿围岩的稀土元素地球化学特征来获取该地区辉锑矿床的物质来源方面的信息。

3.1.1 辉锑矿稀土元素

从表 1 可见,辉锑矿的稀土元素总量低, ΣREE (加 Y 的含量,下同) 为 $21.44 \times 10^{-6} \sim 41.66 \times 10^{-6}$,平均值为 32.48×10^{-6} 。辉锑矿中 LREE/HREE

表1 卧龙岗锆矿富集区围岩、矿石和石英脉的稀土元素含量

/10⁻⁶

样品号	kshsb01	wlgbsb01	wlgbsl	pshsb01	kshq03	wlgbq01	pshq01	pshq02	T ₃ w ¹	T ₃ w ²	wlgw02	pshw01	wlgbw01	kshw01	kshsy01
矿点名称	枯水湖	卧龙岗北	卧龙岗	盼水河	枯水湖	卧龙岗北	卧龙岗	盼水河	卧龙岗北	卧龙岗北	卧龙岗	盼水河	卧龙岗北	枯水湖	枯水湖
岩性	辉锆矿	辉锆矿	辉锆矿	辉锆矿	石英脉	石英脉	石英脉	石英脉	砂岩	砂岩	砂岩	砂岩	砂岩	砂岩	砂岩
时代	二叠系	二叠系	二叠系	二叠系	二叠系	二叠系	二叠系	二叠系	三叠系	三叠系	二叠系	二叠系	二叠系	二叠系	二叠系
微量元素															
Sc	1.36	0.097	0.19	1.50	0.69	9.23	1.58	0.26	4.06	9.11	7.54	5.77	8.34	6.47	7.68
V	10.7	3	3	7.71	5.25	73.7	5.87	3	26.5	43.0	38.7	44.2	40.9	24.4	40.1
Cr	27.0	12.3	7.68	17.5	9.33	47.0	9.68	12.8	22.7	41.1	44.9	26.7	13.8	10.3	37.0
Co	1.88	1.21	0.41	2.62	1.04	14.5	1.25	0.21	3.55	11.0	7.45	4.50	1.88	6.09	4.64
Ni	4.01	0.77	1.64	3.65	3.69	193	1.56	0.71	5.68	20.9	22.3	9.18	3.76	5.94	11.2
Rb	16.6	12.6	2.89	13.1	7.50	38.6	63.0	3.73	25.9	67.1	57.8	84.8	882	162	73.3
Sr	59.9	1.66	4.98	106	29.1	792	60.5	13.8	111	90.2	223	109	52.8	76.0	143
Y	2.52	3.05	0.40	3.74	0.96	9.74	6.78	0.56	7.94	17.0	23.9	134	11.6	14.8	15.6
Nb	2	2	2	2	2	7.90	2.63	2	5.46	5.63	7.74	10.0	10.4	20.1	8.52
Ba	177	44.3	7.44	1180	309	1020	143	111	433	225	201	201	431	222	555
Ta	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.52	<0.1	<0.1	0.36	0.48	1.73	0.84	0.86	1.61	0.53
Th	2	2	2	2	2	2.69	5.14	2	5.40	9.30	7.16	9.82	11.2	16.7	10.1
U	0.56	1.60	0.052	0.54	0.20	1.14	33.7	0.16	1.23	2.08	2.33	2.36	2.38	5.29	2.62
Zr	28.3	5.33	2.54	14.6	10.7	98.5	36.7	2.18	85.8	172	124	172	170	152	176
Hf	<0.1	<0.1	<0.1	0.25	0.18	2.67	0.44	0.11	1.18	1.76	1.77	1.82	1.82	1.83	1.69
Nb/Ta	>20	>20	>20	>20	>20	15.19	>263	>20	22.06	35.42	13.82	15.95	13.49	9.19	29.43
Rb/Sr	0.28	7.59	0.58	0.12	0.26	0.05	1.04	0.27	0.23	0.74	0.26	0.78	1.67	2.13	0.51
Zr/Hf	>283	>53.3	>25.4	58.4	59.4	36.9	83.4	19.8	72.7	97.7	70.1	94.5	93.4	83.1	104.1
Sr/Ba	0.34	0.04	0.67	0.09	0.09	0.78	0.42	0.12	0.26	0.40	111	0.54	0.12	0.34	0.26
U/Th	0.28	0.80	0.03	0.27	0.10	0.42	6.56	0.08	0.23	0.22	0.33	0.24	0.21	0.32	0.26
Co/Ni	0.47	1.57	0.25	0.72	0.28	0.75	0.80	0.30	0.63	0.53	0.33	0.49	0.50	1.03	0.41
稀土元素															
La	15.80	16.10	33.60	8.79	1.86	11.40	1.25	13.30	25.30	17.30	27.00	24.40	32.20	25.90	26.30
Ce	13.90	4.92	2.78	6.15	3.28	2270	2.22	26.20	50.70	34.80	52.00	48.00	62.90	49.60	53.40
Pr	1.80	0.70	0.30	0.59	0.44	2.89	0.28	3.42	6.40	4.87	6.35	5.86	7.40	6.33	6.84
Nd	595	2.48	0.48	2.15	1.57	10.30	1.02	12.10	23.00	18.10	20.70	19.50	24.20	21.10	24.70
Sm	1.14	0.80	0.28	0.60	0.32	2.37	0.23	2.56	4.65	4.11	385	3.54	4.75	4.05	4.81
Eu	0.32	0.23	0.09	0.31	0.14	0.45	0.07	0.67	1.09	1.02	0.87	0.84	0.93	1.08	1.32
Gd	1.00	0.86	0.22	0.71	0.27	1.93	0.14	1.98	4.06	4.07	2.97	3.08	4.12	3.63	4.50
Tb	0.13	0.16	0.06	0.14	0.04	0.32	0.02	0.27	0.63	0.69	0.43	0.45	0.60	0.58	0.75
Dy	0.64	0.96	0.38	0.81	0.19	1.56	0.14	1.56	3.63	4.57	2.48	2.42	3.11	3.13	4.53
Ho	0.14	0.20	0.06	0.18	0.04	0.31	0.03	0.36	0.76	1.01	0.58	0.54	0.64	0.67	0.92
Er	0.32	0.42	0.07	0.42	0.10	0.72	0.05	1.00	1.87	2.31	1.56	1.40	1.63	1.82	2.28
Tm	0.06	0.08	0.04	0.09	0.02	0.13	0.01	0.17	0.34	0.41	0.30	0.25	0.26	0.33	0.40
Yb	0.40	0.39	0.05	0.42	0.10	0.70	0.10	1.01	2.00	2.44	1.69	1.62	1.63	1.93	2.39
Lu	0.06	0.06	0.05	0.08	0.02	0.10	0.01	0.16	0.28	0.37	0.23	0.24	0.21	0.31	0.32
ΣREE	41.66	28.35	38.46	21.44	8.38	55.88	5.56	64.76	124.71	96.07	121.01	112.14	144.58	120.46	133.46
LREE	38.91	25.23	37.53	18.59	7.61	50.11	5.07	58.25	111.14	80.20	110.77	102.14	132.38	108.06	117.37
HREE	2.75	3.12	0.93	2.85	0.77	5.77	0.50	6.51	13.57	15.87	10.24	10.00	12.20	12.40	16.09
LREE/HREE	14.16	8.08	40.18	6.52	9.84	8.68	10.19	8.95	8.19	5.05	10.82	10.21	10.85	8.71	7.29
(La/Yb) _N	26.69	27.90	428.40	14.14	12.57	11.01	8.80	8.90	8.55	4.79	10.80	10.18	13.35	9.07	7.44
(Gd/Yb) _N	2.50	2.21	4.40	1.69	2.70	2.76	1.40	1.96	2.03	1.67	1.76	1.90	2.53	1.88	1.88
(La/Sm) _N	8.72	12.66	75.48	9.22	3.66	3.03	3.42	3.27	3.42	2.65	4.41	4.34	4.26	4.02	3.44
δEu	0.92	0.87	1.06	1.45	1.46	0.64	1.12	0.91	0.77	0.76	0.79	0.78	0.64	0.86	0.87
δCe	0.61	0.34	0.21	0.63	0.85	0.93	0.88	0.91	0.93	0.89	0.93	0.94	0.95	0.91	0.93

为 6.25 ~ 40.18, 平均为 17.17。(La/Yb)SN 比值为 14.14 ~ 428.4, 平均为 124.28。(La/Sm)SN 比值为 8.72 ~ 75.48, 平均为 26.52;(Gd/Yb)N 比值为 1.69 ~ 4.40, 平均为 2.70。辉锑矿中 δEu 异常值为 0.87 ~ 1.45, 平均为 1.08, 无明显 Eu 异常; δCe 为 0.21 ~ 0.63, 平均为 0.45, 表现为 Ce 中等负异常。辉锑矿中的稀土元素展示出轻稀土强烈富集、分馏程度高、重稀土分馏程度低, 稀土配分曲线呈向右倾斜的配分模式(图 3-a)。盼水和矿点 Eu 为正异常, 其他矿点 Eu 异常不明显。卧龙岗矿点 Nd、Er、Yb 为明显的负异常, Tm、Lu 为正异常, 明显不同于其他矿点。锑矿石的 Ce 异常不明显。

3.1.2 石英脉稀土元素

石英脉的稀土元素含量低, 差别大, ΣREE 为 $5.56 \times 10^{-6} \sim 64.76 \times 10^{-6}$, 平均值为 33.65×10^{-6} 。LREE/HREE 为 8.68 ~ 10.19, 平均为 9.00。(La/Yb)SN 比值为 8.80 ~ 12.57, 平均为 10.32。(La/Sm)SN 比值为 3.03 ~ 3.66, 平均为 3.34;(Gd/Yb)N 比值为 1.40 ~ 2.76, 平均为 2.20。石英脉中 δEu

异常值为 0.64 ~ 1.46, 平均为 0.86, 为弱 Eu 负异常; δCe 为 0.85 ~ 0.93, 平均为 0.89, 表现为 Ce 弱负异常。石英脉中的稀土元素展示出轻稀土富集、分馏程度高、重稀土分馏程度低、相对亏损、Eu 和 Ce 轻度亏损、配分曲线呈向右倾斜的配分模式(图 3-b)。

3.1.3 围岩稀土元素

围岩岩性为粉砂岩, 稀土元素含量远高于辉锑矿和石英脉, 其 ΣREE 达 $96.07 \times 10^{-6} \sim 114.58 \times 10^{-6}$, 平均值为 121.78×10^{-6} 。 $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 为 5.05 ~ 10.85, 平均为 8.73。(La/Yb)SN 比值为 4.79 ~ 13.35, 平均为 9.17。(La/Sm)SN 比值为 2.65 ~ 4.41, 平均为 3.79;(Gd/Yb)N 比值为 1.67 ~ 2.53, 平均为 1.95。围岩的 δEu 异常值为 0.64 ~ 0.87, 平均为 0.78, 为弱 Eu 负异常; δCe 为 0.91 ~ 0.95, 平均为 0.93, 表现为 Ce 弱负异常。围岩中的稀土元素展示出轻稀土相对富集、分馏程度高、重稀土相对亏损、Eu 和 Ce 轻度亏损、配分曲线呈向右倾斜的配分模式(图 3-c)。

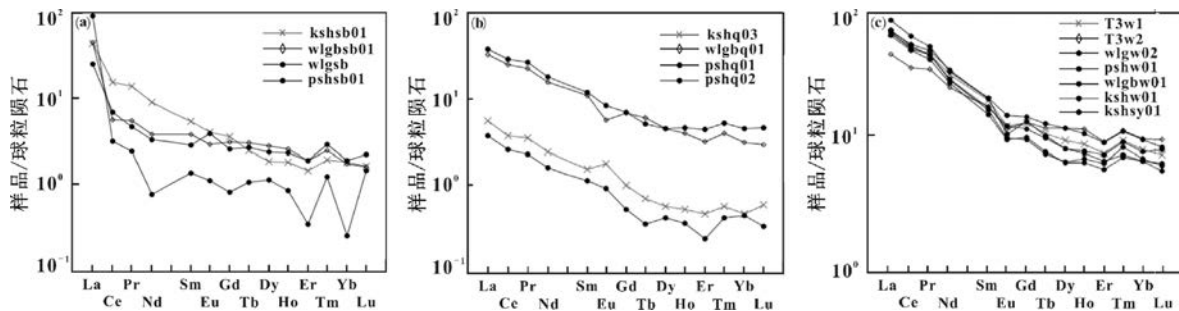


图3 卧龙岗锑矿富集区辉锑矿矿石(a)、石英脉(b)和围岩(c)稀土元素球粒陨石标准化配分图

3.2 微量元素

3.2.1 辉锑矿微量元素

锑矿石的大离子亲石元素 Rb、Sr、Ba 含量普遍较低, 其中 Rb 变化范围为 $2.89 \times 10^{-6} \sim 16.6 \times 10^{-6}$, Ba 变化范围为 $7.44 \times 10^{-6} \sim 177 \times 10^{-6}$, Sr 变化范围为 $1.66 \times 10^{-6} \sim 106 \times 10^{-6}$, 元素含量最低的出现卧龙岗锑矿点和卧龙岗北锑矿点。高场强元素(Nb、Ta、Zr、Hf、Y)含量普遍偏低, Zr 含量为 $2.54 \times 10^{-6} \sim 28.3 \times 10^{-6}$ 。亲铁元素(Cr、Co、Ni、V)中 V 和 Cr 相对富集, Co 和 Ni 富集程度相对较弱, $w(\text{Nb})/w(\text{Ta})$, $w(\text{Zr})/w(\text{Hf})$ 比值均大 20, $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 比值分布 0.12 ~ 7.59 之间, $w(\text{Sr})/w(\text{Ba})$, $w(\text{U})/w(\text{Th})$, w

(Co)/ $w(\text{Ni})$ 比值绝大多数都小于 1.0。

3.2.2 石英脉微量元素

含矿石英脉中大离子亲石元素含量偏高, 其中 Rb 变化范围为 $3.73 \times 10^{-6} \sim 63.00 \times 10^{-6}$, Ba 变化范围为 $111 \times 10^{-6} \sim 433 \times 10^{-6}$, Sr 变化范围为 $13.80 \times 10^{-6} \sim 111 \times 10^{-6}$, 高场强元素(Nb、Ta、Zr、Hf、Y)含量普遍高于锑矿石的含量, Zr 含量为 $2.18 \times 10^{-6} \sim 85.80 \times 10^{-6}$, Hf 含量为 $0.11 \times 10^{-6} \sim 1.18 \times 10^{-6}$ 。Y、Th 和 Nb 含量次之(分别 $0.56 \times 10^{-6} \sim 9.74 \times 10^{-6}$, $2 \times 10^{-6} \sim 5.14 \times 10^{-6}$ 和 $2 \times 10^{-6} \sim 7.90 \times 10^{-6}$), 其它亲石元素含量较低; 亲铁元素(Cr、Co、Ni、V)中 V 和 Cr 相对富集, Co 和 Ni

富集程度相对较弱, $w(\text{Nb})/w(\text{Ta})$, $w(\text{Zr})/w(\text{Hf})$ 比值均大于 10, $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 比值分布 0.05 ~ 1.04 之间, $w(\text{Sr})/w(\text{Ba})$, $w(\text{U})/w(\text{Th})$, $w(\text{Co})/w(\text{Ni})$ 比值全部都小于 1.0。

3.2.3 围岩微量元素

赋矿围岩中大离子亲石元素含量高于锑矿石和含石英脉,其中 Rb 变化范围为 $57.8 \times 10^{-6} \sim 164.5 \times 10^{-6}$, Ba 变化范围为 $201 \times 10^{-6} \sim 740 \times 10^{-6}$, Sr 变化范围为 $52.8 \times 10^{-6} \sim 311 \times 10^{-6}$,高场强元素(Nb、Ta、Zr、Hf、Y)含量普遍高于锑矿石和含石英脉的含量,Th 含量为 $7.16 \times 10^{-6} \sim 16.7 \times 10^{-6}$,Zr 元素变化范围较大,含量为 $24.3 \times 10^{-6} \sim 176 \times 10^{-6}$,Hf 含量为 $1.69 \times 10^{-6} \sim 4.9 \times 10^{-6}$ 。亲

铁元素(Cr、Co、Ni、V)中 V 和 Cr 强烈富集,Co 和 Ni 富集程度相对较弱, $w(\text{Nb})/w(\text{Ta})$, $w(\text{Zr})/w(\text{Hf})$ 比值均大 20, $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 比值分布 0.23 ~ 2.13 之间, $w(\text{Sr})/w(\text{Ba})$, $w(\text{U})/w(\text{Th})$, $w(\text{Co})/w(\text{Ni})$ 比值大都小于 1.0。

在微量元素蛛网图上(图 4),锑矿石的微量元素特征展示出 Rb 富集,Ba 轻微富集,盼水河矿点为 Ba 富集,Hf 轻微富集。卧龙岗和卧龙岗北矿点 Hf 亏损,枯水河矿点 Hf 轻微富集;含石英英脉显示为 Rb 富集,Ba 异常规律不明显。Th 强烈富集,Ta 亏损;赋矿围岩显示大离子亲石元素元素 Sr、Ba 亏损,Rb 富集,Nb 亏损,Ce 富集。

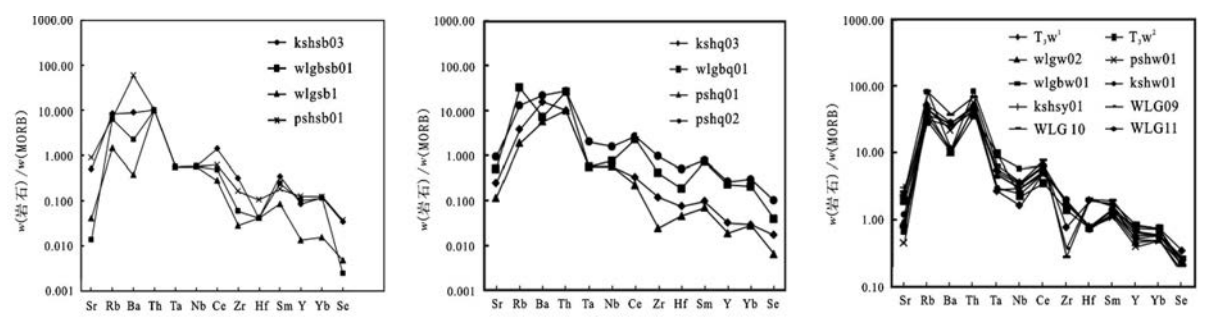


图 4 卧龙岗锑矿富集区辉锑矿矿石(a)、石英脉(b)和赋矿围岩(c)的微量元素蛛网图

4 讨论

4.1 成矿物质来源分析

稀土元素属于不活泼元素,其地球化学性质具有相似性,矿化作用过程中,它们类似于同位素的示踪性质,通过研究矿石矿物及不同岩石中的稀土元素组成特征和配分形式,从而判断成矿环境和物理化学条件,成为解决成矿物质来源、成矿条件和成矿流体的有效手段之一^[8-15]。

研究表明成矿流体中稀土元素的含量主要取决于三点,即:原始流体中的浓度,流体的温度、Eh 值、PH 值等物理化学条件,流体—岩石之间的反应。一般情况下,与成矿流体达到平衡的矿物其稀土组成与母体溶液相一致^[16-17]。因此热液矿床矿石的稀土配分模式直接反应了成矿流体的稀土组成特征。在稀土族元素中,Ce 和 Eu 是变价元素,它们的存在形式与流体的温度和 Eh 值等有关。高温还原的条件下,它们以 Ce^{3+} 和 Eu^{2+} 的络合物形式存在,在低

温氧化的条件下则以 Ce^{4+} 和 Eu^{3+} 的络合物形式存在,其它稀土元素都以 REE^{3+} 的络合物形式分布于流体中^[18]。当 Ce 和 Eu 以 Ce^{4+} 和 Eu^{2+} 的络合物形式存在于流体中时,它们在矿石中的分配将独立进行,随即在稀土配分过程中形成异常。因此矿石中 Eu 和 Ce 的含量能够指示成矿环境^[19]。

卧龙岗锑矿富集区矿石中的 Eu 基本无异常表明成矿流体属于中性环境,矿石中 Ce 具有中等负异常表明成矿流体原始热液中亏损 Ce,成矿流体来源可能与大气降水有关。锑矿石的稀土配分模式与石英脉及围岩基本一致,均具有轻稀土富集、重稀土亏损的特点,表明矿体和围岩的稀土元素组成具有同源性。微量元素研究表明矿石、石英脉及围岩中大离子亲石元素的含量均较高,高场强元素含量也具有相似性,亲铁元素均具有 V 和 Cr 相对富集,Co 和 Ni 富集程度相对较弱的点,三类样品中 $w(\text{Nb})/w(\text{Ta})$ 、 $w(\text{Zr})/w(\text{Hf})$ 比值均大于 10, $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 、 $w(\text{Sr})/w(\text{Ba})$ 、 $w(\text{U})/w(\text{Th})$ 及 w

(Co)/ w (Ni) 比值相差不大,这些特征表明成矿物质与围岩的微量元素来源相同。矿集区赋矿围岩和石英脉表现出的轻稀土富集、重稀土亏损和 Eu、Ce 负异常的稀土配分模式与上地壳的稀土配分模式^[16,20]十分相似,这表明围岩中的稀土元素迁出很少,成矿流体对围岩稀土元素的组成影响很小,也可以说围岩对成矿流体中的稀土元素含量贡献不大。因此说明矿脉中的 REE 主要来源于上部地壳,赋矿围岩的贡献甚微。

4.2 成因分析

造山型矿床流体来源与变质流体关系密切,而浅成低温热液矿床主要与岩浆流体存在着一定的联系。根据前人对东昆仑地区造山型铈矿床的研究,东昆仑地区造山型铈矿床流体包裹体十分发育,包括三种类型:富 CO₂、CO₂-H₂O 和 H₂O-NaCl 包裹体;显微测温结果表明,成矿流体一套中低温(120~380℃)、低盐度(0.35%~9.54% NaCl)的 H₂O-CO₂-NaCl-CH₄±N₂体系。氢、氧、碳同位素及水—岩交换反应研究表明,成矿流体早期主要为变质水和地层建造水,成矿期以来以大气降水为主^[21]。

卧龙岗一带铈矿微量元素和稀土元素研究表明矿体和围岩具有同源性。矿石轻稀土强烈富集、分馏程度高、Eu 基本无异常和 Ce 中度亏损的稀土配分模式,石英脉和矿体围岩的稀土配分模式与洋中脊黑烟囱—白烟囱中的热液流体和喷流沉积物中的 Eu 强正异常的稀土配分模式、海水重稀土富集和 Ce 中等负异常的稀土配分模式^[22-24]及沃西 Sedex 型的 W-Sb-Au 矿的稀土配分模式显著不同,反映矿石中的稀土元素并非来自于海底喷流沉积物和热液或海水。东昆仑地区自元古代以来尤其是在早古生代和晚古生代—早中生代发生过多次强烈的俯冲、碰撞造山过程,这期间不仅形成了丰富的构造现象与变质作用,同时带来了极丰富的地质流体,根据矿区所处区域构造特征分析含矿流体很有可能来源于此,区内成矿流体的中性环境说明热液后期有大气降水的加入,流体间混合作用,及其温压等物理化学条件的变化可能是热液沉淀成矿的主要原因。

结合矿集区内构造控矿特征,含矿石英脉沿近北东—南西向断裂充填、矿体及围岩蚀变特征和成矿物质来源分析,认为卧龙岗一带铈矿床属于浅成

热液充填型铈矿床。

5 结论

(1)稀土元素研究表明,卧龙岗铈矿富集区铈矿石中 Eu 为无铈异常, Eu 平坦型, Ce 中度负异常,反映了成矿流体基本属于中性环境,成矿流体原始热液中亏损 Ce;矿石、石英脉和围岩均具有轻稀土富集、分馏程度高、重稀土亏损的特点,说明矿体和围岩的稀土组成具有同源性。

(2)微量元素研究表明,矿石、石英脉及围岩中所含的微量元素地球化学特征相差不大,反映了矿体与围岩的微量元素来源相同。

(3)卧龙岗铈矿富集区围岩和石英脉展示出的轻稀土富集、重稀土亏损和 Eu、Ce 负异常的稀土配分模式与上地壳的稀土配分模式十分相似,表明围岩中的稀土元素迁出很少,成矿流体对围岩稀土元素的组成影响很小,说明矿脉中的 REE 主要来源于上部地壳,赋矿围岩的贡献不大。

(4)卧龙岗铈矿富集区矿床成因类型属于浅成热液充填型铈矿床。

致谢

成文过程中得到了中国地质科学院矿产综合利用研究所易建春、周雄同志的帮助和支持。在此致谢!

参考文献:

- [1] 胡建卫,郑启平. 新疆东昆仑铈富集特征及找矿前景分析[J]. 吉林大学学报,2006,24(3):261-266.
- [2] 杨屹,陈宣华,靳红,等. 新疆东昆仑黄羊岭铈矿床地质特征及成矿规律[J]. 新疆地质,2006,36(1):38-42.
- [3] 何谷先. 我国铈矿资源现状浅析[J]. 新疆有色金属,1998(1):39-41.
- [4] 新疆地质矿产勘查开发局. 1:5万区域地质调查报告(卧龙岗幅、回风口幅、云母山幅)[R]. 乌鲁木齐:新疆地质矿产勘查开发局,2005.
- [5] 陈毓川,叶天竺,张洪涛,等. 中国主要成矿区带矿产资源远景评价[M]. 北京:地质出版社,1999.
- [6] 卢静文,彭晓雷. 金属矿物显微鉴定手册[M]. 北京:地质出版社,2010.
- [7] 邹灏,方乙,陈合毛,等. 浙江天台盆地陈萤石矿稀土元素地球化学特征及成因[J]. 中国地质,2014,41(4):1375-1386.

- [8] Qi Liang, Grégoire D C. Determination of trace elements in twenty – six Chinese geochemistry reference materials by inductively coupled plasma – mass spectrometry [J]. *Geostandard. Newslett.*, 2000, 24(1): 51 – 63
- [9] Harson G N. Rare earth elements in petrogenetic studies of igneous systems [J]. *Ann. Rev. Earth & Planet Sci.*, 1980, 8: 371 – 406.
- [10] Henderson P. Rare earth element geochemistry [M]. New York: Elsevier Science Publisher BV., 1984.
- [11] 葛朝华, 韩发, 马坑铁矿床稀土元素地球化学研究 [J]. *矿床地质*, 1984, 3(1): 1 – 10.
- [12] 王中刚, 于学元, 赵振华, 等. 稀土元素地球化学 [M]. 北京: 科学出版社. 1989.
- [13] Frietsch R, Perdahl J A. Rare earth elements in apatite and magnetite in Kiruna type iron ores and some other iron ore types [J]. *Ore Geology Reviews*, 1995 (9): 489 – 510
- [14] 李厚民, 沈远超, 毛景文, 等. 石英黄铁矿及其包裹体的稀土元素特征—以胶东焦家式金矿为例 [J]. *岩石学报*, 2003, 19(2): 267 – 274.
- [15] 李厚民, 王登红, 张长青, 等. 陕西几类重要铅锌矿床的矿物微量元素和稀土元素特征 [J]. *矿床地质*, 2009, 28(4): 434 – 448.
- [16] 杨耀民, 涂光炽, 胡瑞忠. 拖纳厂稀土铁铜矿床稀土元素地球化学 [J]. *矿物学报*, 2004, 24(3): 301 – 308.
- [17] Mills R A., Elderfield H. R. Earth element geochemistry of hydrothermal deposits from the active TAG Mound 26°N Mid – Atlantic Ridge [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 1995, 59: 3511 – 3524.
- [18] Geman C R., Hergt J., Palmer M R., et al. Geochemistry of a hydrothermal sediment core from the OBS vent = field 21°N East Pacific Rise [J]. *Chemical Geology*, 1999, 155: 65 – 75.
- [19] Klinkhammer G P., Elderfield H., Rdmond J M., et al. Geochemical implications of rare earth element patterns in hydrothermal fluids from mid – ocean ridges [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta.*, 1994, 58: 5105 – 5113.
- [20] Hass J R., Shock E L., Sassani D C. Rare earth elements in hydrothermal systems; Estimates of standard partial modal thermodynamic properties of aqueous complexes of the rare earth elements at high pressures and temperatures [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 59 (21): 4329 – 4350.
- [21] 丰成友, 张德会, 王富春, 等. 青海东昆仑造山型金(锑)矿床成矿流体地球化学研究 [J]. *岩石学报*, 2004, 20(4): 949 – 960.
- [22] Taylor S R., Rudnick R I., Mellenan S M., et al. Rare earth element patterns in Archean high – grade meta sediments and their tectonic significance [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta.*, 1986, 50: 2267 – 2279.
- [23] 江思宏, 聂凤军, 胡朋, 等. 新特提斯洋在侏罗纪晚期 – 白垩纪早起的一次重要的扩张事件: 来自藏南浪卡子地区辉绿岩中锆石 SHRMP U – Pb 测年的证据 [J]. *地质学报*, 2006, 80(8): 1130.
- [24] 戚学祥, 李天福, 于春林. 藏南沙拉岗锑矿稀土和微量元素地球化学示踪及成矿物质来源 [J]. *现代地质* 2008, 22(2): 162 – 172.
- [25] 张国林, 谷湘平. 中国主要类型锑矿床氢、氧、碳同位素组成及地球化学特征 [J]. *地质地球化学*, 1999, 27(3): 23 – 30.