

文章编号:1006-544X(2003)01-0010-08

新疆北部几个金、铜矿区中酸性岩 的稀土元素地球化学

廖启林^{1,2}, 赖健清³

(1. 江苏省地质调查研究院, 江苏 南京 210018; 2. 江苏南京大学地球科学系 成矿作用国家重点实验室, 江苏 南京 210093;
3. 中南大学 地质研究所, 湖南 长沙 410083)

摘 要:通过对新疆北部喇嘛苏铜矿、阔尔真阔腊金矿、乔夏哈拉铜(铁)金矿、老山口铜金矿、喀拉萨依铜金矿、野马泉金矿及阿克塔斯金矿等金、铜矿区内有关中酸性侵入岩的稀土元素地球化学研究,建立了每个金、铜矿区内有关岩体的REE分布型式,探讨了各矿区中酸性侵入岩的REE地球化学特征。依据中酸性岩体与金、铜成矿的时空分布关系,分4种类型讨论了不同岩体的REE地球化学特征,并对比了各自岩体与围岩、岩体与矿石的REE特征的差异,分析了这些差异与金、铜成矿的关系,认为Eu亏损强烈的、相对富集LREE的中酸性小岩体与金、铜成矿的关系相对比较密切。

关键词:金、铜矿区;中酸性岩体;稀土元素地球化学;新疆

中图分类号:P595:P618.51:P618.41

文献标识码:A^①

系统探讨与金、铜成矿有关的稀土元素地球化学的报道并不少见^[1-5],专门研究各类岩石尤其是花岗岩类岩石REE地球化学的文献则更为常见^[6-13],前人还从不同角度对花岗岩类岩石的REE地球化学进行了广泛探索^[8-13]。新疆北部金、铜矿产资源较为丰富,许多金、铜矿区内或多或少发育一些中酸性侵入岩,不同岩体对金、铜成矿的影响不尽相同。前人曾对该区所存在的一些大型花岗岩做过稀土元素地球化学研究^[12-13],本文拟对新疆北部有关金、铜矿区内中酸性侵入岩的稀土元素地球化学作一初探。这里所说的中酸性侵入岩有很大一部分属于花岗岩类,另有一部分属于闪长岩类,与广义的花岗岩在化学成分上是一致的。为了既可体现不同岩类的差别又能包容各金、铜矿区内的有关岩体,本文使用“中酸性岩”概称这些侵入岩。

1 地质背景

新疆北部总体上处于西伯利亚板块与哈萨克斯坦-准噶尔板块的过渡部位,断裂构造十分发育,以晚古生代为主的火山作用尤其是海相火山作用、加上以海西中晚期为主的岩浆活动与(深)大断裂的影响,形成了区内规模不等的数十处金、铜矿床(图1)。这些金、铜矿床的成矿作用复杂多样,可初步分为浅成低温热液型金矿、剪切带蚀变岩型金矿、微细粒浸染型金矿、浅成岩-构造蚀变岩型金矿及块状硫化物铜矿、与基性杂岩有关的硫化铜镍矿床、矽卡岩型铜矿、斑岩型铜矿、火山热液型铜金矿等不同的矿化类型,其中矽卡岩型铜矿、浅成低温热液型金矿、浅成岩-构造蚀变岩型金矿、斑岩型铜(金)矿与火山热液型铜金矿之矿区内通常都产有一些中酸性岩体,

① 收稿日期:2002-03-12;修订日期:2002-07-08

基金项目:国家305项目96-915-03-03与96-915-02-05专题资助

作者简介:廖启林(1964-),男,湖北荆门人,博士后,高级工程师,地球化学与矿床学专业。

这些岩体规模一般不大、以浅成岩居多，多呈岩枝、岩株、岩脉等形式产出。本次研究涉及了喇嘛苏矽卡岩型铜矿^[14]、阔尔真阔腊浅成低温热液型金矿^[15]、野马泉与阿克塔斯等浅成岩-构造蚀变岩型金矿^[16]、乔夏哈拉与喀拉萨依等火山热液型铜金矿、老山口及乌伦布拉克斑岩型铜（金）矿^[17]等矿床，各矿化类型代表性矿床的基本特征见表 1。

2 样品及分析方法

有关样品分别采自喇嘛苏、阔尔真阔腊等 7 个金、铜矿区不同类型的中酸性侵入岩。喇嘛苏、阔尔真阔腊、喀拉萨依、野马泉、阿克塔斯等矿区样品的稀土元素由地质矿产部武汉综合岩矿测试中心采用 ICP-AES 法分析，分析总误差 <3%，乔夏哈拉、老山口矿区样品的稀土元素由核工业部北京铀矿地质研究所采用等离子光谱法分析，

分析总误差 <10%。

3 稀土元素分析结果与讨论

3.1 分析结果

喇嘛苏等 7 个矿区有关岩体的 REE 分析结果见表 2，各样品所对应的 REE 分布型式如图 2。喇嘛苏矽卡岩型铜矿区内斜长花岗斑岩与花岗闪长斑岩的 $w(\Sigma\text{REE})$ 介于 $69 \times 10^{-6} \sim 114 \times 10^{-6}$ 之间，各岩体样品的 ΣREE 总体上比较接近，大都显示了清晰的 Eu 负异常及弱 Ce 负异常，岩体与围岩（大理岩化灰岩）、矽卡岩及石榴子石相比，其 ΣREE 值变化稳定，斜长花岗斑岩与花岗闪长斑岩的 REE 分布模式呈现了一致的右倾式斜“V”型折线，Eu 亏损及富 LREE 的趋势均较为明显，矽卡岩、大理岩化灰岩比岩体相对更富集 LREE（图 2-A，B），石榴子石通常是偏向富集 HREE 的矿物，在本矿区也呈现为明显富集 LREE，这与本矿区

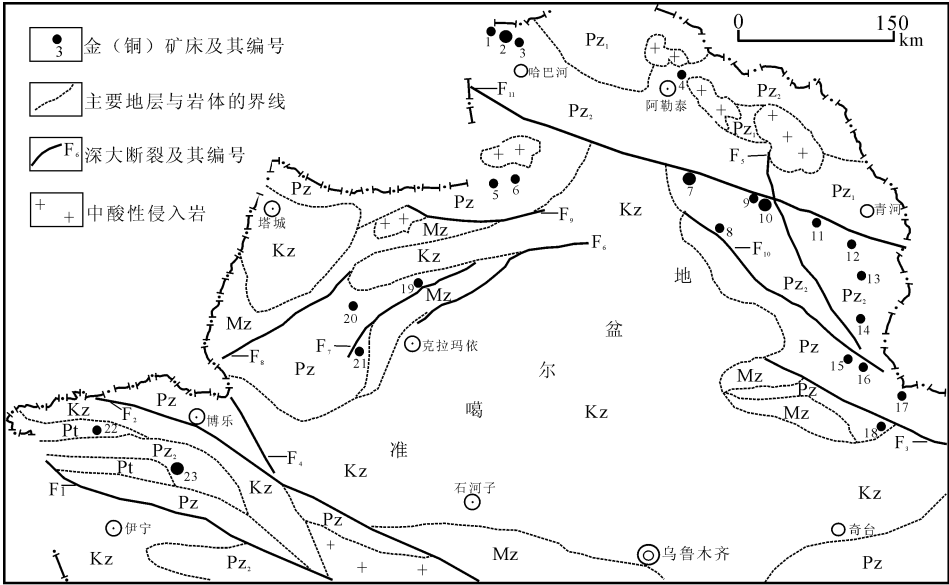


图 1 新疆北部主要金、铜矿床分布示意图

（地层、断裂据新疆区域地质志有关资料简化而来）

Fig. 1 Sketch map of the main gold distribution and copper deposits in Northern Xinjiang

Kz—新生界；Mz—中生界；Pz₂—上古生界；Pz₁—下古生界；Pz—古生界；Pt—元古宇。F₁—尼勒克断裂；F₂—博乐科努—阿其克库都克断裂；F₃—卡拉麦里断裂；F₄—阿拉山口断裂；F₅—可可托海—卡拉先格列断裂；F₆—克拉玛依—乌尔禾断裂；F₇—达拉布特断裂；F₈—巴尔鲁克断裂；F₉—萨吾尔断裂；F₁₀—阿尔曼台断裂；F₁₁——额尔齐斯断裂。1—多纳纳萨依金矿；2—阿舍勒铜（锌）矿；3—赛都金矿；4—铁木尔特铜—多金属矿；5—阔尔真阔腊金矿；6—布尔克斯岱金矿；7—萨尔布拉克金矿；8—索尔库都克铜（钼）矿；9—乔夏哈拉铜、金矿；10—喀拉通克铜镍矿；11—老山口金、铜矿；12—喀拉萨依金、铜矿；13—科克萨依金矿；14—阿克塔斯金矿（南）；15—野马泉金矿；16—库布苏金矿；17—乌伦布拉克铜矿；18—金山沟金矿；19—萨尔托海金矿；20—齐依求金矿；21—包谷图金矿；22—喇嘛苏铜矿；23—阿希金矿，2、10、23 为大型，7 为中—大型，其余皆为中、小型。

表 1 北疆有关金、铜矿床的成矿特征

Table 1 Metallogenetic characters of gold and copper deposits in Northern Xinjiang

矿床	喇嘛苏铜矿	阔尔真阔腊金矿	乔夏哈拉铜、金矿	老山口金、铜矿	野马泉金矿
产地与规模	博州温泉县, 中型	阿勒泰吉木乃县, 中型	阿勒泰富蕴县, 中型	阿勒泰青河县, 小型	阿勒泰青河县, 小型
矿化类型	以矽卡岩型为主	浅成低温热液型	海相火山热液型	斑岩型 + 海相火山热液型	浅成岩 - 构造蚀变岩型
大地构造背景	伊犁地块内部元古界基底凸起与海西期弧前盆地结合部靠老地层一侧	晚古生代萨吾尔古岛弧	阿尔泰陆缘裂谷带南端之额尔齐斯深大断裂带附近	可可托海 - 二台与额尔齐斯大断裂交汇处的加波萨尔晚古生代古岛弧	阿尔曼台深大断裂带南侧附近的加波萨尔晚古生代古岛弧
含矿建造	元古界蓟县系库西姆契克群滨 - 浅海相碳酸盐	下泥盆统萨吾尔组 (D _{2s}) 中性海相火山岩	中泥盆统北塔山组 (D _{2b}) 中基性海相火山岩	下泥盆统托拉格库都克组 (D _{1t}) 玄武 - 安山质海相火山岩	志留系库布苏群 (S _{2-3k}) 含碳浅变质火山碎屑岩
侵入岩	以海西中晚期的斜长花岗斑岩、花岗闪长斑岩为主, 是主要的成矿物质来源.	海西中晚期闪长岩、闪长玢岩、钠长斑岩, 呈岩株、岩枝、岩脉产出, 钠长斑岩脉直接容矿.	海西晚期的闪长岩脉、闪长玢岩脉, 岩脉规模较小, 但分布较广, 这些小岩体基本为成矿期后产物.	闪长斑岩、似斑状花岗岩、钾长花岗岩, 闪长斑岩参与了成矿、钾长花岗岩为 (深) 大断裂的活动产物.	小脉状闪长玢岩、石英钠长斑岩、细粒闪长岩, 闪长玢岩脉参与了控矿.
主要蚀变	水白云母化 - 钾化 - 矽卡岩化 - 硅化 - 钠化 - 绿泥石化 - 碳酸盐化	青磐岩化 - 硫酸盐化 - 黄铁矿化 - 绢云母化 - 碳酸盐化 - 泥化	硅化 - 绢云母化 - 绿泥石化 - 矽卡岩化 - 磁铁矿化	钾化 - 石英绢云母化 - 青磐岩化 - 硅化 - 碳酸盐化 - 磁铁矿化 - 绿泥石化	硅化 - 斜长石化 - 碳酸盐化 - 绢云母化 - 黄铁矿化
矿石建造	以脉状、透镜状含矿矽卡岩为主, 由磁黄铁矿、黄铜矿、黄铁矿、闪锌矿等组成.	硫酸盐 - 粘土矿物 - 自然金 - 硫化物矿物, 以脉状、浸染状为主.	浸染状 - 块状硫化物, 有黄铁矿、黄铜矿、自然金、磁铁矿等	细脉浸染状硫化物、蚀变岩, 有黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、磁铁矿、自然金、银金矿、褐铁矿等.	细脉状蚀变浅成岩, 含黄铁矿、毒砂、褐铁矿、蓝铜矿、自然金、银金矿等.
主要控矿因素	近 SN 向张扭性 - 压扭性区域性断裂 + 海西中晚期中酸性浅成岩联合控矿	NWW 向区域性断裂 + 次火山机构 + 隐爆角砾岩构造联合控矿	特定的火山岩岩性段 + 似层状矽卡岩共同控矿	2 组 (深) 大断裂交汇部位 + 闪长斑岩 + 小的张裂隙联合控矿	NWW 向区域性断裂及其所伴生的蚀变带 + 闪长玢岩脉共同控矿
资料来源	[18]	[19]	本文	本文	[16]

的中酸性岩体、围岩都是富 LREE 有密切联系; 阔尔真阔腊浅成低温热液型金矿区内闪长岩、闪长玢岩、钠长斑岩等岩体的 REE 含量及分布模式均十分相似, 各岩体与该金矿赋矿火山岩地层的 REE 特征也比较相近, 各样品的 δEu 大致接近 1.0, 其 REE 分布模式呈现一致的右倾式直线型折线, 也显示了一定的相对富集 LREE 的趋势 (图 2 - C); 乔夏哈拉、喀拉萨依等海相火山热液型铜、金矿区的岩体与各自容矿海相火山岩地层的 REE 特征一致, REE 分布模式呈现一致的略向右倾的稍有起伏的折线, 乔夏哈拉矿区的岩体与火山岩地层呈现了一致的弱 Eu 正异常 (图 2 - D), 喀拉萨依矿区的岩体与容矿火山岩地层呈现了一致的弱 Eu 亏损 (图 2 - F); 老山口金、铜矿区内涉及到斑岩型与海相火山热液型两种成矿作用, 其容矿火山岩地层与矿区内的闪长斑岩的 REE 特征比较接近, 而似斑状花岗岩、钾长花岗岩的 REE 特

征相差明显, 二者与闪长斑岩和火山岩地层的 REE 行为也存在明显的差别, 各岩体样的 REE 分布模式各不相同 (图 2 - E); 野马泉、阿克塔斯等浅成岩 - 构造蚀变岩型金矿区内尽管出露的岩体规模很小^[16], 但不同岩体之间的 REE 特征却相差较为明显, 各岩体的 REE 分布模式总体上表现为波状起伏的右倾式折线 (图 2 - G, H), Eu 亏损相对都较强烈.

3.2 讨论

从上述有关分析结果中得知本区不同金、铜矿区内有关岩体的 REE 特征的差异是比较明显的, 这与不同矿区的中酸性侵入岩在成岩过程中对金、铜成矿的具体影响存在较大差别有关. 控制中酸性侵入岩 REE 地球化学行为的因素较多, 象各种蚀变作用^[8,11]、富碱矿物^[10]、所含副矿物的种类^[9]、热液的 pH 值^[21]等均可影响其 REE 特征. 下面重点从与金、铜成矿有关的角度探讨

表 2 新疆北部某些金、铜矿区内有关中酸性岩体的稀土元素分析

Table 2 REE contents and parameters of intermediate – acid intrusive rocks in gold and copper areas in Northern Xinjiang

												$w_B/10^{-6}$				
矿区		喇嘛苏铜矿										阔尔真阔腊金矿				
样品号	N5	N41	T15	Ft4	Ft12	Ft33	Ft58	1 – 37	L009 – 3	GN	K10	K38	K37	ZK39 – 1Y	K27	
La	15.68	10.26	18.36	20.01	18.19	15.44	16.76	43.47	126.50	33.43	13.32	13.94	17.25	23.34	15.19	
Ce	32.95	23.38	39.52	42.72	37.31	31.53	37.30	88.56	143.50	59.93	28.51	28.55	30.03	44.15	33.42	
Pr	4.05	2.86	4.42	4.67	4.25	3.50	4.62	10.71	14.93	8.08	3.42	3.48	3.39	4.83	3.93	
Nd	15.15	11.52	16.45	16.95	15.47	12.80	17.86	38.00	33.77	28.25	13.65	13.75	12.46	17.42	16.67	
Sm	2.83	2.28	3.27	3.27	3.04	2.28	3.49	6.05	5.14	5.32	2.78	2.83	2.22	3.06	3.62	
Eu	0.77	0.52	0.47	0.66	0.59	0.36	0.57	0.67	1.03	1.16	0.92	0.90	0.66	0.87	1.20	
Gd	2.32	2.11	2.90	2.97	2.77	1.84	3.08	4.80	4.24	4.40	2.43	2.47	1.92	2.54	3.50	
Tb	0.40	0.34	0.47	0.47	0.45	0.26	0.49	0.71	0.67	0.71	0.34	0.35	0.25	0.35	0.50	
Dy	2.45	2.05	2.83	2.80	2.67	1.45	2.96	4.20	3.97	4.22	2.13	2.17	1.59	2.33	3.20	
Ho	0.47	0.39	0.56	0.52	0.52	0.28	0.57	0.85	0.75	0.78	0.42	0.43	0.31	0.48	0.62	
Er	1.22	1.03	1.47	1.44	1.44	0.74	1.49	2.30	1.85	1.77	1.11	1.16	0.87	1.42	1.73	
Tm	0.20	0.17	0.23	0.23	0.23	0.12	0.23	0.38	0.29	0.24	0.18	0.18	0.14	0.24	0.27	
Yb	1.21	0.99	1.39	1.36	1.37	0.76	1.43	2.31	1.52	1.42	1.10	1.14	0.96	1.65	1.67	
Lu	0.19	0.15	0.21	0.21	0.20	0.12	0.21	0.35	0.23	0.20	0.17	0.18	0.16	0.28	0.26	
ΣREE	93.89	69.36	108.01	113.84	103.38	78.46	106.81	224.52	356.49	170.88	88.26	83.31	81.22	117.37	103.77	
$w(\text{La})_N/w(\text{Yb})_N$	8.38	6.70	8.55	9.52	8.59	13.14	7.58	12.18	53.86	15.23	7.84	7.91	11.63	9.15	5.88	
δEu	0.93	0.73	0.47	0.65	0.63	0.54	0.54	0.38	0.60	0.74	1.09	1.05	0.99	0.96	1.04	
δCe	0.92	0.96	0.98	0.99	0.95	0.96	0.94	0.91	0.73	0.81	0.95	0.91	0.88	0.93	0.96	

矿区	乔夏哈拉金、铜矿				老山口金、铜矿				喀拉萨依金、铜矿		野马泉金矿		阿克塔斯金矿		
样品号	Q – 3	Q – 15	Q – 19	QP1 – 32	L97 – 15	L97 – 18	L97 – 19	L97 – 20	KL – 1	KL – 2	YM – 1	YM – 2	A – 1	A – 2	A – 3
La	14.30	13.70	15.70	12.70	40.90	6.23	18.80	4.03	12.50	7.91	42.13	3.24	30.00	27.30	23.40
Ce	28.80	30.60	31.60	23.80	86.60	9.58	34.70	8.19	32.50	19.80	78.54	7.78	40.35	37.48	46.06
Pr									3.39	2.28	10.35	1.23	4.87	5.33	6.54
Nd	11.90	12.50	17.60	13.50	44.40	5.64	13.20	5.16	14.00	11.40	47.07	7.47	18.65	20.53	28.31
Sm	2.84	2.85	3.33	2.83	8.34	1.36	2.75	1.68	2.79	2.83	14.44	3.89	10.45	9.48	9.50
Eu	1.10	1.13	1.27	1.33	2.87	0.57	0.50	0.65	0.87	0.88	1.91	0.20	0.68	0.74	1.63
Gd	2.84	2.47	3.13	3.32	8.52	1.46	3.19	2.24	3.08	3.37	7.59	1.70	2.07	2.52	5.03
Tb	0.47	0.41	0.51	0.59	1.36	0.24	0.57	0.42	0.34	0.46	1.00	0.20	0.20	0.20	1.10
Dy									2.03	2.64	6.20	1.49	1.39	1.95	4.69
Ho	0.62	0.54	0.73	0.76	1.73	0.34	0.77	0.55	0.41	0.51	1.58	0.51	0.66	0.49	1.15
Er									1.36	1.64	4.57	1.17	0.86	2.11	4.00
Tm	0.26	0.28	0.36	0.30	0.68	0.16	0.32	0.23	0.20	0.23	0.47	0.53	0.53	0.20	0.31
Yb	1.82	1.93	2.44	1.93	4.13	1.12	2.06	1.51	1.33	1.47	4.57	0.22	0.97	1.44	2.82
Lu	0.31	0.28	0.35	0.30	0.58	0.20	0.32	0.26	0.16	0.20	0.43	0.20	0.20	0.20	0.33
ΣREE									74.96	61.70					
$w(\text{La})_N/w(\text{Yb})_N$	5.08	4.59	4.16	4.23	6.41	3.60	5.90	1.73	6.08	3.48	5.96	9.53	20.01	12.27	5.37
δEu	1.19	1.31	1.21	1.34	1.05	1.25	0.52	1.03	0.91	0.88	0.56	0.24	0.45	0.47	0.73
δCe									1.11	1.04	0.84	0.87	0.74	0.69	0.83

注：空白示此项未分析。表中各样品的岩性分别为：N5—花岗闪长斑岩；N41—斜长花岗斑岩；T15—斜长花岗斑岩；Ft4—花岗闪长斑岩；Ft12—斜长花岗斑岩；Ft33—斜长花岗斑岩；Ft58—斜长花岗斑岩；1 – 37—大理岩化灰岩；L009 – 3—含矿矽卡岩；GN – 石榴子石；K10—中粗粒闪长岩；K38—细粒闪长岩；K37—钾化闪长玢岩；ZK39 – 1Y—钠长斑岩；K27—容矿地层萨吾尔组（D_{2s}）中的安山玢岩；Q – 3—闪长玢岩；Q – 15—闪长岩脉；Q – 19—闪长岩脉；QP1 – 32—含矿地层北塔山组（D_{2b}）中的玄武安山岩；L97 – 15—似斑状花岗岩；L97 – 18—闪长斑岩；L97 – 19—钾长花岗岩；L97 – 20—容矿地层托托格都克组（D_{1t}）中的安山质玄武岩；KL – 1—闪长岩；KL – 2—容矿地层北塔山组（D_{2b}）中的安山岩；YM – 1—闪长玢岩；YM – 2—石英钠长斑岩；A – 1—石英闪长斑岩；A – 2—石英闪长斑岩；A – 3—闪长玢岩。有关球粒陨石的 REE 标准含量及 $w(\text{La})/w(\text{Yb})_N$ ，δEu，δCe 三个参数的计算公式引自文献 [20]。

一下有关中酸性侵入岩的 REE 特征的差异。

依据各矿区的中酸性岩体与金、铜成矿的时空关系的差异，可分为 4 种基本类型：①岩体提供主要矿源^[14]、矿体产于岩体接触带、成矿与成岩基本同步，实例即喇嘛苏矽卡岩型铜矿。此时有关控矿中酸性岩体的 REE 行为非常相近，以显示清晰的 Eu 亏损及相对富集 LREE 为特征，地层中的围岩与含矿矽卡岩的 REE 特征则相差明显，如矽卡岩的 $w(\Sigma\text{REE})$ 为 $44.72 \times 10^{-6} \sim 356.49 \times 10^{-6}$ 、老地层碳酸盐围岩的 $w(\Sigma\text{REE})$ 为

$11.90 \times 10^{-6} \sim 224.52 \times 10^{-6}$ ，其最大变化幅差达到 1 个数量级；②矿体产于岩体内、成矿比成岩明显要晚，侵入岩结晶后的活化改造对成矿影响巨大，实例即阔尔真阔腊金矿^[15,16]。该矿床容矿火山岩地层（D_{2s}）中的安山玢岩（K27 号样）、早期侵入（海西期）的闪长岩（K10、K38 号样）形成时间比成矿要早，而钾化闪长玢岩、含矿的石英钠长斑岩在时间上要晚于火山岩地层及闪长岩，与成矿时间更接近。此时先于成矿时形成的次火山

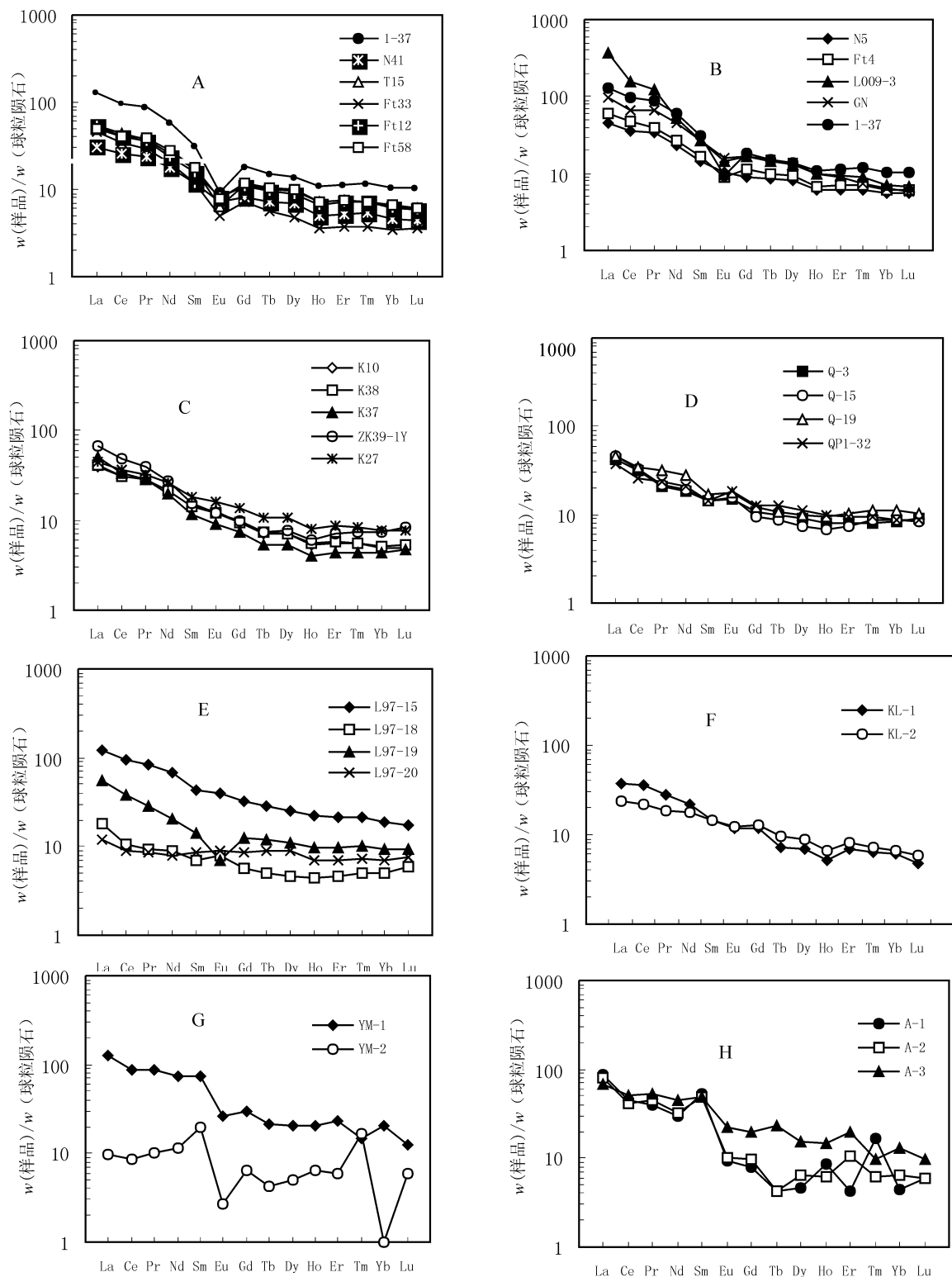


图2 北疆地区部分金、铜矿区内有关酸性岩体的 REE 分布模式

Fig. 2 Chondrite - normalized REE distribution patterns of intermediate - acid intrusive rocks in gold and copper areas in Northern Xinjiang

A—喇嘛苏铜矿区斜长花岗斑岩；B—喇嘛苏铜矿区花岗闪长斑岩与蚀变岩石；C—阔尔真阔腊金矿；D—乔夏哈拉铜（铁）金矿；E—老山口金、铜矿；F—喀拉萨依金、铜矿；G—野马泉金矿；H—阿克塔斯金矿。球粒陨石数据引自文献[20]；样品号同表2。

岩-浅成岩的 δEu 值 >1.0 ，后期生成的与金矿化关系更密切的中酸性浅成岩（钾化闪长玢岩、石英钠长斑岩）的 δEu 值 <1.0 ，但这些生成于不同时间、分布于距矿体远近不等的次火山岩-浅成岩的 ΣREE 值与 REE 配分曲线基本相近，可能与这些岩石具有相近的初始成岩物质来源有关。而这些次火山岩-浅成岩与原生金矿石的 REE 特征相比却相差显著，主要表现为原生金矿石的 ΣREE 值明显偏低、稀土总量发生急剧亏损（原生金矿石的 $w(\Sigma\text{REE})_{\text{均}} \leq 40 \times 10^{-6}$ ，黄铁矿、磁黄铁矿等原生硫化物的 $w(\Sigma\text{REE})_{\text{均}} \leq 10 \times 10^{-6}$ ，矿石中各 REE 元素的含量大多不及次火山岩-浅成岩所对应元素含量的 $1/10$ ）；③岩体侵入于矿体附近或呈小岩脉穿切矿体，中酸性侵入岩的形成一般晚于成矿，实例有乔夏哈拉铜（铁）金矿、老山口海相火山热液型金铜矿等，此时表现为岩脉与容矿火山岩的 REE 特征相近，但侵入岩相比矿石而言，其稀土总量偏高且出现明显的 Eu 亏损；④小岩体含矿，蚀变岩体即矿体，成岩成矿同步，实例有喀拉萨依铜金矿、野马泉及阿克塔斯浅成岩-构造蚀变岩型金矿等，此时表现为含矿小岩体与矿石的 REE 行为十分一致，而小岩体本身的 REE 标准分布模式多呈起伏剧烈的折线。图 4 为后 3 种情况下中酸性岩体相对于各自原生矿石的 REE 分布型式，可见岩体在成矿中所扮演的角色

不同、其 $w(\text{岩体})/w(\text{矿石})$ 的 REE 配分曲线相差明显，以浅成岩-构造蚀变岩型金矿的含矿小岩体与其金矿石的 REE 地球化学最为接近。

Eu 作为 REE 系列中习性相对较特殊的一个元素，其地球化学行为受氧逸度、温度、pH 值、体系的成分、熔体结构与交代作用等多重因素的控制^[22,23]， δEu 值因而也成为判别 REE 地化行为的最主要标志之一。那么 δEu 在指示本区不同金、铜矿的中酸性岩体与成矿的关系上有何反应呢？图 4 为有关中酸性侵入岩的 $w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}} - \delta\text{Eu}$ 变异图，从中可发现那些与金、铜成矿关系比较密切的岩体（如喇嘛苏铜矿、东准噶尔有关浅成岩-构造蚀变岩型金矿等）大多落在富 LREE 优势较明显的低 δEu 值区段，而那些与金、铜成矿关系不太密切的岩体（如乔夏哈拉、老山口矿区的一部分、阔尔真阔腊矿区等）大多投影在富集 LREE 优势相对不明显的 δEu 值 >1 （一般 ≥ 1.1 ）的区段，这预示着本区那些富 LREE 明显的、Eu 亏损强烈的中酸性岩体在成因上应与金、铜成矿的关系更为密切，而那些富 LREE 趋势相对不明显的、并呈现 Eu 弱富集的中酸性岩体对金、铜成矿的直接影响可能不大。

碱性长石及其相关蚀变对中酸性侵入岩的 REE 地球化学行为具有重要影响^[10,11,22]， $w(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 又为判别岩体富碱程度的指标。本文提供了 REE 分析资料的样品中有部分做过硅酸盐全岩分析（因数据不完全对应，本文未列出），经对比发现不同矿区的中酸性侵入岩中出现了 Eu 亏损强烈或 Eu 富集相对显著的样品，通常具有明显偏高的碱含量（其 $w(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 一般接近或大于 8%），可将这些相对明显富碱的中酸性侵入岩分成 Eu 亏损强烈（与金、铜成矿关系较密切的岩体）与 Eu 富集相对显著（形成于金、铜成矿之后的裂谷带岩体）这样两个不同的类别，前人研究成果表明岩浆型碱性长石多显示明显的 Eu 正异常，而岩浆-交代型碱性长石大多具有明显的 Eu 负异常^[22]，由此可初步推测那些与金、铜成矿关系较密切的岩体（表现为强烈的 Eu 亏损）可能发生过明显的与碱性长石有关的岩浆-热液交代作用，这应是这些岩体与金、铜成矿关系密切的原因之一；而那些产于深断裂带附近的以 Eu 正异常为特征的富碱岩体，则缺少类似的热液交代作用，岩

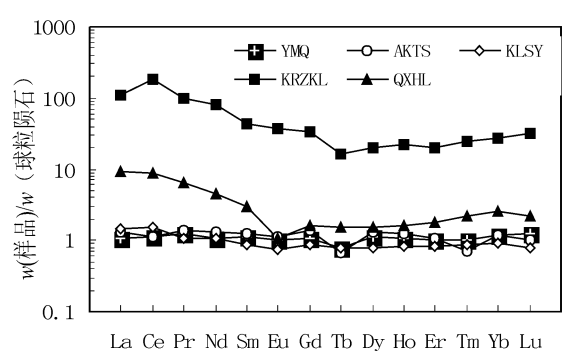


图 3 有关金（铜）矿区内中酸性岩体/矿石的稀土元素分布模式

Fig. 3 Ores - normalized REE distribution patterns of intermediate - acid intrusive rocks in gold (copper) areas

YMQ—野马泉金矿；AKTS—阿克塔斯金矿（南）；KLSY—喀拉萨依铜金矿；KRZKL—阔尔真阔腊金矿；QXHL—乔夏哈拉铜（铁）金矿

体富碱主要源于岩浆结晶时形成了较多的碱性长石, 结合本区其它大多数中酸性侵入岩样品发生了明显分异, 初步推测这是一种 A 型花岗岩的表现。

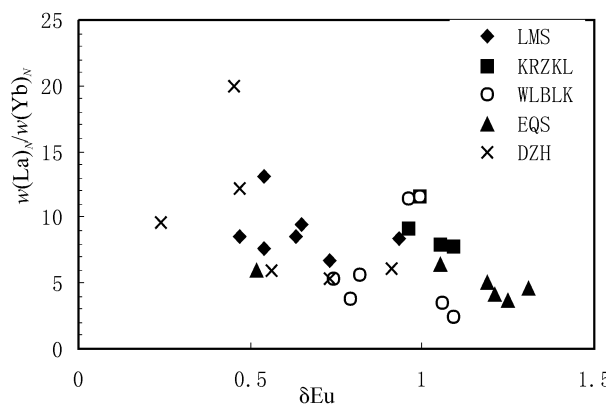


图 4 北疆部分金、铜矿区内一些岩体的 $w(\text{La})_N/w(\text{Yb})_N - \delta\text{Eu}$ 变异图

Fig. 4 $w(\text{La})_N/w(\text{Yb})_N - \delta\text{Eu}$ variation diagram of intermediate - acid intrusive rocks in gold and copper areas in Northern Xinjiang

LMS—喇嘛苏铜矿区; KRZKL—阔尔真阔腊金矿区; EQS—额尔齐斯断裂带附近矿区 (含乔夏哈拉、老山口 2 矿床); WLBLK—乌伦布拉克铜矿区 (基本数据引自文献 [17]); DZH—东准噶尔有关金、铜矿床 (含喀拉萨依、野马泉、阿克塔斯 3 矿床)

4 结 论

(1) 新疆北部不同金、铜矿区内其侵位时期与构造环境比较相似的中酸性岩体在 REE 地球化学特征上存在较大的差异, 就岩体与金、铜成矿的时空关系有差别的 4 种类型而言, 其岩体与矿石、岩体与围岩、不同岩体之间的 REE 行为都各有其特征, 在 REE 配分曲线、 ΣREE 、 δEu 等特征参数上都显示了具体的区别。

(2) Eu 亏损强烈的、富集 LREE 优势较明显的中酸性小岩体与本区金、铜成矿的关系相对更密切, 其机制与形成碱性长石的岩浆—热液交代作用有关。此时这些小岩体一般具有相对更复杂的 REE 配分曲线形态。

(3) 在额尔齐斯深大断裂带东段的有关金、铜矿区内存在一种较特殊的中酸性侵入岩, 这类侵入岩一般形成于成矿之后、紧邻深大断裂产出, 矿物结晶颗粒明显变粗, 其 δEu 值一般大于 1, 富

集 LREE 的优势总体上不明显, 且 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 含量大多偏高, 推测这类岩体是 A 型花岗岩的反映。

南京大学地球科学系蒋少涌教授给予了作者悉心指教与帮助, 成文中引用了原新疆有色地质勘查局的部分内部资料, 作者在此一并诚致谢忱!

参考文献:

- [1] 邱瑞龙, 杨义忠. 铜官山地区矽卡岩型铜金矿床稀土元素特征及其成因意义 [J]. 地球化学, 1994, 23(4): 358 - 361.
- [2] 于学元, 郑作平, 牛贺才, 等. 八卦庙大型金矿稀土元素地球化学研究 [J]. 地球化学, 1996, 25(2): 140 - 149.
- [3] 赵 斌, 赵劲松, 刘海臣. 长江中下游地区若干 $\text{Cu}(\text{Au})$ 、 $\text{Cu} - \text{Fe}(\text{Au})$ 和 Fe 矿床中钙质矽卡岩的稀土元素地球化学 [J]. 地球化学, 1999, 28(2): 113 - 125.
- [4] 周建波, 胡 克, 洪景鹏. 稀土元素在韧性剪切带体积亏损研究中的应用——以胶南造山带构造岩为例 [J]. 地质论评, 1999, 45(3): 241 - 245.
- [5] Kato Y. Rare earth elements in the skarn - type deposits in Japan [J]. Min. Geol., 1989, 36(1): 62.
- [6] Granch R I. Rare earth elements in metamorphic rocks [J]. Rev Mineral, 1989, 21: 147 - 167.
- [7] WANG Yongbiao, XU Guirong, LIN Qixiang, *et al.* Distribution of rare earth elements in permian reef - Island ocean sediments in eastern Kunlun [J]. Acta Geologica Sinica, 2000, 74(1): 68 - 73.
- [8] Morteani G, Möller P, Hoefs H. Rare - earth element and oxygen isotope studies of altered variscan granites: The western Harz (Germany) and southern Sardinia (Italy) [J]. Chem Geol, 1986, 54: 53 - 68.
- [9] Bea F. Residence of REE, Y, Th and U in granite and crustal protoliths; Implications for the chemistry of crustal melts [J]. Journal of Petrology, 1996, 37(3): 521 - 552.
- [10] Bowden P, Whitley J E. Rare - earth elements in peralkaline and associated granites [J]. Lithos, 1974, 7: 15 - 21.
- [11] Alderton D H A, Pearce J A, Potts P J. Rare earth element mobility during granite alteration: evidence from southwest England [J]. Earth and Planetary Sci. Lett., 1980, 49: 149 - 165.
- [12] 赵振华, 王中刚, 邹天人. 阿尔泰花岗岩类 REE 及 O、Pb、Sr、Nd 同位素组成及成岩模型 [A]. 涂光炽. 新疆北部固体地球科学新进展 [C]. 北京: 科学出版社, 1993. 239 - 266.
- [13] 王中刚, 赵振华, 邹天人. 阿尔泰花岗岩类地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1998. 79 - 94.
- [14] 杨军臣, 崔 彬, 李天福. 新疆喇嘛苏铜矿床地质特征和成因研究 [J]. 地质论评, 1998, 44(1): 23 - 30.

- [15] 尹意求, 陈大经, 杨继仁, 等. 准北海西期火山岩型浅成低温热液金矿床地质特征及成矿模式[J]. 矿产与地质, 1995, 9(4): 267 – 270.
- [16] 廖启林, 戴塔根, 刘悟辉, 等. 准噶尔北缘浅成岩 – 构造蚀变岩型金矿的成矿特征[J]. 桂林工学院学报, 1999, 19(3): 272 – 276.
- [17] 喻亨祥, 夏斌, 刘家远, 等. 新疆乌伦布拉克铜矿花岗质潜火山杂岩岩石地球化学特征[J]. 地球化学, 2000, 29(3): 246 – 251.
- [18] 朱 渊. 新疆温泉县喇嘛苏铜矿地质特征[R]. 北京: 中国有色金属工业总公司地质勘查总局, 1993. 102 – 114.
- [19] 王京彬, 李博泉. 新疆准噶尔北缘重点成矿区带地物化综合找矿及靶位优选[R]. 乌鲁木齐: 新疆有色地质勘查局内部资料. 1996. 104 – 127.
- [20] 王中刚, 于学元, 赵振华. 稀土元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1989. 76 – 93.
- [21] Annie Mchard. Rare earth element systematics in hydrothermal fluids [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1989, 53: 745 – 750.
- [22] 赵振华. 铕(Eu)地球化学特征的控制因素[J]. 南京大学学报(地球科学), 1993, 5(3): 271 – 280.
- [23] Michael Bau. Rare – earth element mobility during hydrothermal and metamorphic fluid – rock interaction and the significance of the oxidation state of europium [J]. *Chem Geol.*, 1991, 93: 219 – 230.

REE geochemistry of intermediate – acid intrusive rocks in gold and copper deposit in North Xinjiang

LIAO Qi-lin^{1, 2}, LAI Jian-qing³

(1. *Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing 210018, China*; 2. *State Key Laboratory of Metallogene-sis, Nanjing University, Nanjing 210093, China*; 3. *Institute of Geology of Central South University, Changsha 410083, China*)

Abstract: In north Xinjiang, there exist a series of intermediate – acid intrusive rocks in gold and copper deposit. Through studying REE geochemistry of some intermediate – acid intrusive rocks in following 7 gold and copper deposits: Lamasu copper deposit, Kuoerzhenkuola gold deposit, Qiaoxiahala copper (iron) and gold deposit, Laoshankou copper and gold deposit, Kalasayi copper and gold deposit, Yemaquan gold deposit and Aketasi gold deposit. The chondrite – normalized REE distribution patterns of these intermediate – acid intrusive rocks have been established and their REE geochemical characteristics have been discussed. According to spatiotemporal distributive relationship between these intermediate – acid intrusive rocks and mineralization of gold and copper, 4 kinds of REE geochemical nature related to different intermediate – acid intrusive rocks and their difference associated with host rocks and ores have been studied and generalized, and the relationship between these differences and mineralization of gold and copper is discussed. It is suggested that there is a kind of more intimate link between mineralization of gold and copper and those intermediate – acid intrusive rocks with lower δEu values, relatively high LREE contents.

Key words: gold and copper deposit; intermediate – acid intrusive rocks; REE geochemistry; North Xinjiang