内蒙古乌拉山金矿田变质岩石的地球化学特征*

Geochemical Characteristics of Archean Metamorphic Rocks from Wulashan Gold Orefield, Inner Mongolia

陈小伍 王振华 刘 萍

（武警黄金第二支队，内蒙古 呼和浩特 010010）

Chen Xiaowu, Wang Zhenghua, Liu Ping

（No.2 Glod Geological Party of the Armed Police Force, Hohhot 010010, Inner Mongolia, China）

摘 要 该文主要对内蒙古乌拉山金矿田几种变质岩系岩石的主要元素、微量元素和稀土元素含量及特征值进行了研究，并与世界主要变质地体进行了对比，总结了本区变质岩石的地球化学特征，确定了其原岩的形成环境，为深入研究内蒙古乌拉山金矿田的成因奠定了基础。

关键词 元素地质化学 变质岩 乌拉山金矿田

1 变质岩石的类型划分

乌拉山金矿田位于包头市西郊，西起梅力更沟，东至大不产沟，南以乌拉山一大青山深断裂为界，北界已越过分水岭，东西长 24 km，南北宽 15 km 面积约 360 km^2。晚太古界乌拉山群是矿田内最古老的，也是分布最广泛的地层，是金矿的直接围岩。岩石主体是一套呈层状产出的区域变质岩系，以片麻岩为主，呈狭长的带状东西向展布，裸露程度较高，延伸稳定，构造变形十分强烈。

根据野外观察和室内岩石薄片研究，结合岩石的矿物组合、结构构造特征将矿田内变质岩石划分为片麻岩类、麻粒岩类、变粒岩类、斜长角闪岩类、石英岩类和大理岩类等 6 个类型（表 1）。

2 主要元素的地球化学特征

乌拉山金矿田的变质岩石，按 H Π 谢缅年科的变质岩化学成分分类，大部分为铝硅酸盐岩类，少部分为铝镁铁硅质岩类。铝过饱和，碱质含量(Na_2O+K_2O)较高，总的趋势是随着酸度的增加，碱含量增加，且 $Na_2O>K_2O$。主要变质岩石的化学成分特征见表 2 和表 3。

3 微量元素的地球化学特征

微量元素虽然在各种岩石中含量很少，但分布却很广，其中一些微量元素在岩石中的含量及其比值可作为解决成岩和成矿作用的地球化学指示剂，是反映变质岩原岩性质和变质历史的重要标志。经过对 17 件微量元素测试样品，主要为片麻岩类和斜长角闪岩类，变粒岩、麻粒岩样品数量较少。测试结果表明，

* 武警黄金指挥部科研项目部分研究成果

第一作者简介 陈小伍，男，1967 年生，高级工程师，从事黄金地质普查及勘探工作。

乌拉山金矿田变质岩石的微量元素主要以含大离子亲石元素为特征。

表 1 乌拉山群变质岩系主要变质岩石类型

岩石类型	岩石名称	矿物组合		结构构造	变质相
		主要矿物	副矿物		
片麻岩类	黑云斜长片麻岩、黑云角闪斜长片麻岩、榴辉黑云斜长片麻岩、含石墨堇青黑云斜长片麻岩、榴石黑云斜长片麻岩、黑云角闪二长片麻岩、辉石角闪斜长片麻岩	石英、斜长石、钾长石、黑云母、白云母、石榴石，绢云母、单斜辉石、堇青石、硅线石、透闪石、角闪石、石墨、绿帘石、绿泥石、方解石	锆石、磁铁矿、磷灰石、褐帘石、榍石、黄铁矿	粒状变晶结构、鳞片状变晶结构、纤状变晶结构、花岗变晶结构、片麻状构造	角闪岩相、角闪-麻粒岩相
麻粒岩类	黑云紫苏麻粒岩、榴辉二长麻粒岩、含磁铁二辉麻粒岩、榴辉黑云角闪斜长麻粒岩	斜长石、斜方辉石、辉石、石榴石、黑云母、角闪石、蛇纹石、绿泥石、方解石	磁黄铁矿榍石、锆石褐帘石	花岗变晶结构、粒状镶嵌变晶结构、变斑状结构、似片麻状构造、块状构造	麻粒岩相
变粒岩类	石榴黑云变粒岩、黑云角闪二长变粒岩、榴辉黑云斜长变粒岩、角闪变粒岩	石英，斜长石、钾长石、黑云母、角闪石、石榴石、单斜辉石，透闪石、绢云母、绿泥石、方解石	锆石、磁铁矿、磷灰石、榍石、褐帘石	粒状变晶结构、鳞片状变晶结构、花岗变晶结构、似片麻状构造、块状构造	角闪-麻粒岩相，麻粒岩相
斜长角闪岩类	含透辉斜长角闪岩、榴辉斜长角闪岩、黑云斜长角闪岩、斜长角闪岩、角闪石岩	斜长石，角闪石、辉石、石榴石、钾长石、石英黑云母，阳起石，绿帘、石、绿泥石，绢云母	磁铁矿、榍石、锆石、黄铁矿	筛状变晶结构、不等粒变晶结构、似片麻状构造、块状构造	角闪岩相
石英岩类	含榴磁铁石英岩、透辉磁铁石英岩、含榴硅线石英岩、长石石英岩	石英，磁铁矿、透辉石、石榴石、硅线石、斜长石、角闪石、绿泥石	磷灰石、锆石、榍石褐帘石	粒状变晶结构、条带状构造、块状构造	角闪岩相、角闪-麻粒岩相
大理岩类	蛇纹石化大理岩、透闪透辉大理岩、硅化大理岩	方解石、进辉石、透闪石、石英、蛇纹石、滑石、石棉	磷灰石、磁铁矿	粒状镶嵌变晶结构、块状构造	角闪岩相

3.1 Sr

乌拉山群变质岩石中 Sr 的含量较高，变化较大，最高为 728×10^{-6}，最低为 71×10^{-6}，一般介于 349×10^{-6}～681×10^{-6} 之间，其平均值为 372.8×10^{-6}，略高于地壳丰度值(黎彤，1984)。其中磁铁石英岩的 Sr 含量最低，仅为 71×10^{-6}。黑云二长片麻岩、榴石黑云斜长片麻岩的 Sr 含量比较稳定，平均值为 432×10^{-6}，近似于地壳丰度值。黑云斜长片麻岩、榴石黑云斜长片麻岩、黑云角闪斜长片麻岩(包括黑云角闪变粒岩)和角闪岩的 Sr 含量较高且变化较大，多介于 283×10^{-6}～728×10^{-6} 之间，平均为 472.8×10^{-6}。麻粒岩的 Sr 含量为 99×10^{-6}～641×10^{-6}，变化较大。乌拉山群变质岩中除磁铁石英岩 Sr 的平均含量为 44.3×10^{-6} 外，其余均高于地壳丰度值，这大概与矿田内变质岩石普遍富含 K_2O、Al_2O_3、CaO，更多的呈类质同象而富集有关。

3.2 Ba

乌拉山群岩石中 Ba 的含量较高，变化也较大。除麻粒岩和磁铁石英岩样品中 Ba 的含量远远低于其克拉克值外，其余各岩类的 Ba 含量大多高于其地壳丰度值，最高为 1988×10^{-6}， 最低为 222×10^{-6}，平均 1006.8×10^{-6}，比一般沉积岩和岩浆岩中 Ba 的含量都高，也比世界上其他太古宙高级变质岩的 Ba 含量高(巴西大西洋麻粒岩带 Jequie 杂岩 38 个麻粒岩样品 Ba 的平均含量为 838×10^{-6}，印度 Madras 麻粒岩杂岩内中性麻粒岩的 Ba 含量为 67×10^{-6}～879×10^{-6})，这是乌拉山群岩石的一大重要特征。其原因有待于探讨，一方面与它和 Sr 化学性质相似，在常见阳离子中能够取代 K^+而富集有关，另一方面与在个别岩石中出现重晶石($BaSO_4$)、天青石($SrSO_4$)等有关，是沉积成因岩石的特点，指示了活动大陆边缘浅海相泥质、砂质成岩环境。

3.3 Cr

乌拉山群岩石中 Cr 的含量变化不大，近似于其地壳丰度值。榴石黑云斜长片麻岩和黑云角闪斜长片麻岩中 Cr 的含量较稳定，多介于 184×10^{-6}～273×10^{-6} 之间，平均为 218×10^{-6}，最高为 455×10^{-6}，最低为 65×10^{-6}，一般认为正变质岩中 Cr 的含量较高，为 170×10^{-6}～300×10^{-6}。由 Cr 的含量情况大致可推测大理岩、磁铁石英岩、黑云二长片麻岩等属副变质岩，而黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩、麻粒岩等既有正变质岩，又有副变质岩。

3.4　Co，Ni

表 2　太古宙乌拉山群变质岩石化学成分

序号	样号	w_B/%													
		SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	MnO	CaO	K_2O	Na_2O	P_2O_3	烧失量	H_2O^-	H_2O^+
1	Q20	64.16	0.51	15.68	1.89	4.76	2.16	0.05	1.48	3.46	3.03	0.13		0.30	2.15
2	Q21	66.40	0.19	15.28	1.51	4.17	2.84		0.49	2.57	2.65	0.08		0.17	2.53
3	Hd351	50.89	1.49	14.92	5.20	8.62	6.83	0.15	3.17	1.33	4.02	0.62	1.57	0.32	3.65
4	Hd358	62.82	1.24	15.71	0.73	5.46	2.85	0.13	1.19	2.92	3.67	0.13	0.31	0.22	2.80
5	Hd61	61.78	0.26	15.58	1.25	66.97	2.85		2.72	3.70	3.77	0.19	0.47	0.16	2.44
6	Hd349	61.28	0.49	16.06	0.95	8.77	2.38		3.27	2.94	3.69	0.06	0.15	0.03	1.47
7	Hd231	55.20	0.13	19.27	1.28	9.20	3.56		3.22	2.17	4.72	0.12	0.89	0.17	2.39
8	Q14	64.54	0.14	15.71	1.51	5.07	2.20	0.14	2.47	3.41	2.29	0.10		0.18	2.15
9	Q15	70.34	0.12	15.87	1.04	1.17		0.05	3.47	0.59	5.03	0.10		0.15	1.65
10	Q1	69.52	0.35	14.02	0.24	5.35	0.85	0.05	1.09	5.50	2.31	0.11	0.98		
11	Q2	67.72	0.30	13.67	2.76	5.42	1.57	0.05	1.39	3.34	1.76	0.11	0.28		
12	Q17	64.10	1.41	15.46	1.54	4.67	2.63		1.78	2.01	2.85	0.08		0.15	3.12
13	Q30	57.82	0.25	18.36	0.73	6.22	3.12		1.88	5.33	2.90	0.08		0.20	1.48
14	Q31	62.10	0.24	16.42	1.23	5.03	3.83		3.26	2.41	3.18	0.11		0.16	1.36
15	H_2g_{20}	67.91	0.42	14.32	1.03	3.34	1.75	0.08	2.52	1.01	3.22	0.14			
16	$H_{40}g_{40}$	58.27	0.78	17.73	1.54	5.72	3.74	0.10	2.56	3.35	3.69	0.18			
17	Hd66	55.62	0.54	19.22	0.68	7.76	4.84		44.11	1.93	4.49	0.07	0.42	0.12	2.08
18	Q7	66.52	1.26	13.47	1.30	4.62	2.20	0.18	1.78	3.30	2.73	0.10		0.28	2.45
19	Q8	63.94	1.38	14.29	1.31	5.14	2.48	0.14	1.48	3.19	2.40	0.11		0.18	2.83
20	Q18	62.78	1.36	14.37	2.17	4.40	1.70	0.14	4.45	1.16	3.68	0.20		0.03	2.05
21	Q19	52.72	1.91	16.68	3.67	5.34	5.39	0.20	6.22	1.31	4.23	0.54		0.04	2.94
22	Q36	59.58	0.80	15.45	1.60	4.67	2.78	0.08	3.17	2.57	5.83	0.33	2.96		
23	Q37	61.66	0.84	16.24	1.20	5.39	2.21	0.40	2.48	3.04	5.76	0.11	1.38		
24	Q40	65.33	0.67	16.86	0.40	5.75	1.92	0.50	2.48	1.78	5.68	0.07	0.21		
25	S1	55.58	0.51	17.32	0.16	3.93	2.28	0.18	8.44	2.91	3.16	0.52	4.20		2.03
26	Q41	55.72	0.78	14.93	1.59	6.47	4.41		7.43	1.52	5.61	0.26	0.30		
27	H_4Q_4	53.52	0.68	17.59	3.08	4.24	5.59	0.03	5.72	1.98	4.06	4.06			
28	$H_{20}Q_{20}$	55.42	0.68	16.31	3.01	4.79	4.62	0.07	5.36	1.88	3.61	3.61			
29	$H_{30}Q_{30}$	48.86	0.85	12.11	4.78	7.96	4.51	0.20	6.76	0.84	2.92	2.92			
30	$H_{14}Q_{14}$	51.56	0.65	15.41	3.28	4.35	3.84	0.14	6.16	2.45	4.41	4.41			
31	H6	47.81	0.15	7.85	6.14	1.49	12.61		7.12	1.41	1.25	1.25			
32	28-1	63.39	0.25	14.25	2.83	4.02	2.28	0.02	5.54	1.52	3.91				
33	28-2	62.34	0.30	14.34	6.10	5.03	2.85	0.03	5.54	0.00	0.00				
34	28-4	54.49	0.46	17.31	2.85	4.74	8.54		3.17	0.52	4.05				
35	28-35	63.23	0.28	15.47	0.35	4.81	5.87		3.22	2.75	2.47				
36	28-37	63.66	0.25	14.97	1.07	4.24	5.34		3.46	2.90	2.82				
37	6112	55.16	0.50	15.19	6.55	8.19	1.99	0.04	4.75	3.06	2.21	0.34	1.04		1.78
38	9114	47.08	0.46	16.68	2.47	7.58	7.06	0.12	8.44	0.76	2.65	0.22	5.19		5.74
39	HD293	44.61	0.53	13.04	8.40	6.32	11.67	0.02	6.34	1.41	3.17	0.83	1.17		3.45
40	HD35	44.20	0.31	14.63	3.36	9.62	8.25	0.13	13.46	1.00	1.74	0.33	2.68	0.21	2.40
41	HD36	49.52	0.49	14.72	0.89	10.78	7.40		8.71	1.15	1.83	0.24	3.26	0.05	4.06
42	HD52	42.97	0.56	8.70	12.48	11.35	9.68	0.14	12.33	0.83	0.37	0.29	3.34	0.04	3.38
43	D68	45.22	0.50	12.39	3.08	9.20	10.67		9.41	0.89	2.60	0.07	1.03	0.32	3.32
44	Xm03	54.04	0.67	12.85	3.08	13.65	1.90	0.15	5.08	1.73	2.38	0.42		0.15	4.45
45	HD210	50.38	0.64	13.28	7.78	8.48	5.50		9.41	0.77	1.63	0.18	1.53	0.10	2.45
46	S15	47.64	0.66	14.31	4.95	6.57	7.73	0.16	9.64	1.46	1.33	0.10	4.74	0.10	5.17
47	Q10	57.94	1.87	14.47	2.61	5.08	2.27	0.18	4.34	3.75	2.58	0.68			2.34
48	Q11	51.56	1.75	15.38	2.54	6.25	4.50	0.05	6.81	2.47	3.35	0.56		0.25	2.71
49	Q22	50.32	1.54	16.30	3.88	7.22	4.33	0.20	8.29	1.06	2.95	0.43		0.28	2.28
50	Q23	51.36	1.67	13.10	4.31	8.46	5.18	0.20	7.80	0.71	2.70	0.21		0.06	3.04
51	Q39	48.32	0.86	18.25	2.19	6.29	5.13	0.10	9.10	2.29	5.68	0.17	1.52	0.23	
52	WL11	49.2	0.65	14.91	4.12	6.23	8.15	0.10	7.65	1.18	2.92	0.40	2.00		1.41
53	9124	57.78	0.36	3.26	20.59	7.65	0.47	0.11	5.28	0.14	0.06	0.36	3.48		4.02
54	HD42	47.56	0.26	8.90	15.93	15.23	3.96	0.02	2.38	0.92	0.41	0.38	1.68		4.35
55	HD76	57.86	0.52	7.29	13.10	13.0	2.88		2.18	0.42	0.22	0.26	0.60	0.12	2.22
56	HD78	37.32	0.07	0.99	39.70	17.82			2.48	0.02	0.10	0.28	1.08	0.24	1.42
57	HD34	52.32	0.16	1.03	17.87	17.39	1.67		3.37	0.20	0.23	0.29	0.48	0.11	4.18
58	QG-1	9.44	0.02	0.64		0.28	15.27	0.01	36.0	0.05		0.08	38.06	0.09	
59	H7	46.64	0.13	4.77	1.10	2.03	15.74	0.04	17.67	0.68	0.24	0.50	7.12		2.29
60	H8	20.04	0.04	0.95	0.51	0.27	20.86		23.74	0.31	0.04	0.10	28.45		5.00

注：表中序号代表的岩石名称：1—含黑云榴石麻粒岩；2—含黑云榴石麻粒岩；3—黑云紫苏麻粒岩；4—黑云斜长麻粒岩；5—榴辉二长麻粒岩；6—含榴黑云麻粒岩；7—榴辉黑云角闪斜长麻粒岩；8—榴石黑云变粒岩；9—含角闪变粒岩；10—黑云角闪二长变粒岩；11—含榴黑云斜长变粒岩；12—榴石黑云变粒岩；13—榴石黑云变粒岩；14—榴石黑云变粒岩；15—榴石黑云斜长变粒岩；16—含辉榴石黑云斜

长空粒岩；17—榴辉黑云斜长变粒岩；18—含榴辉黑云斜长片麻岩；19—含榴辉黑云斜长片麻岩；20—黑云角闪斜长片麻岩；21—黑云角闪斜长片麻岩；22—黑云斜长片麻岩；23—榴辉黑云斜长片麻岩；24—榴石黑云斜长片麻岩；25—榴石黑云斜长片麻岩；26—辉石角闪斜长片麻岩；27—黑云斜长片麻岩；28—黑云角闪斜长片麻岩；29—黑云角闪斜长片麻岩；30—角闪二长片麻岩；31—含石墨堇青黑云斜长片麻岩；32—榴石黑云斜长片麻岩；33—榴石黑云斜长片麻岩；34—榴石黑云斜长片麻岩；35—榴石黑云斜长片麻岩；36—榴石黑云斜长片麻岩；37—含透辉斜长角闪岩；38—斜长角闪岩；39—片麻状透辉角闪岩；40—斜长角闪岩；41—粗晶斜长角闪岩；42—角闪岩；43—斜长角闪岩；44—榴辉斜长角闪岩；45—斜长角闪岩；46—斜长角闪岩；47—片麻状斜长角闪岩；48—片麻状斜长角闪岩；49—片麻状斜长角闪岩；50—片麻状斜长角闪岩；51—斜长角闪岩；52—斜长角闪岩；53—磁铁石英岩；54—条带状透辉磁铁石英岩；55—磁铁石英岩；56—条带状磁铁石英岩；57—含榴磁铁石英岩；58—硅化大理岩；59—蛇纹石化大理岩；60—蛇纹石化大理岩。

表 3 太古宙乌拉山群变质岩系岩石化学特征

成 分	化学成分变化范围及平均值 w_B/%					
	片麻岩 (19)	麻粒岩 (7)	变粒岩 (10)	斜长角闪岩 (16)	磁铁石英岩 (5)	大理岩 (3)
SiO_2	46.86～66.52（58.2）	50.89～66.4（60.36）	55.62～70.34（63.78）	42.97～55.16（49.35）	37.32～57.78（50.49）	9.44～46.64（25.37）
TiO_2	0.15～1.91（0.74）	0.13～1.51（0.62）	0.12～1.41（0.05）	0.31～1.87（0.85）	0.07～0.52（0.27）	0.02～0.13（0.O6）
Al_2O_3	7.85～17.59（15.02）	14.92～9.27（16.07）	13.67～19.22（16.08）	8.7～18.25（14.26）	O.99～8.9（4.29）	0.64～4.77（2.12）
Fe_2O_3	1.35～6.14（2.46）	0.73～5.2（1.83）	0.24～2.76（1.23）	0.89～12.48（4.54）	13.1～39.7（21.44）	0.OO～1.1（O.54）
FeO	1.49～6.47（4.81）	4.17～9.2（0.85）	1.17～7.76（4.98）	5.08～13.65（8.20）	7.65～17.82（14.22）	O.27～2.03（0.86）
MgO	1.7～12.61（4.28）	2.16～6.80（3.35）	0.00～4.87（2.46）	1.9～11.07（6.30）	O.OO～3.98（1.8）	15.27～20.86（17.29）
MnO	0.03～0.5（0.08）	0.05～0.15（0.05）	0.05～0.14（0.05）	0.02～0.2（0.10）	0.03～0.11（0.03）	0.01～0.04（0.02）
CaO	1.48～7.43（4.74）	O.49～3．27（2.22）	1.09～4.11（2.45）	4.34～13.46（8.18）	2.18～5.28（3.14）	17.67～36.0（25.8）
K_2O	0.84～3.3（2.00）	1.33～3.7（2.73）	O.59～5.5（2.09）	O.76～3.75（1.53）	0.02～0.92（0.35）	0.05～0.68（0.35）
Na_2O	1.25～5.83（3.61）	2.65～4.72（3.68）	1.76～5.03（3.17）	0.37～5.68（2.51）	0.06-0.41（0.20）	0.00～0.24（0.18）
P_2O_3	0.00～0.8（0.22）	0.06～0.62（0.19）	0.00～0.18（0.11）	0.07～0.83（0.34）	0.28～0.38（0.31）	0.08～0.5（0.23）
烧失量	0.21～4.28（1.81）	0.15～1.57（0.68）	0.28～0.98（0.56）	1.03～5.19（2.5）	0.6～3.48（1.46）	7.12～38.06（24.54）
	特 征 值					
Fe_2O_3+ FeO	7.27	8.68	6.21	12.7	35.66	1.4
Fe_2O_3/FeO	0.51	0.27	0.25	0.55	1.5l	0.63
(Fe_2O_3+FeO)/ MgO	11.55	12.03	8.67	19.13	37.46	18.69
K_2O+ Na_2O	5.61	6.41	6.06	4.04	0.55	0.44
K_2O/ Na_2O	O.55	0.74	0.91	0.6l	1.75	3.9
CaO +K_2O /Na_2O	10.35	8.63	8.51	12.22	3.69	26.2

表 4 乌拉山金矿田变质岩石中稀土元素含量及有关特征值

样号	w_B /10^{-6}																	LREE/HREE	La/Yb	δEu
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	Sc	ΣREE			
P-7	32.64	59.68	6.26	25.62	4.22	0.92	3.07	0.30	1.91	0.30	1.10	0.10	0.61	0.10	7.66	7.69	152.18	5.66	34.02	0.84
P-13	25.02	49.46	6.00	26.39	4.96	1.16	3.39	0.50	2.50	0.50	1.38	0.15	0.93	0.10	10.83	10.95	144.22	3.62	15.60	0.88
P-19	79.97	155.70	17.44	65.98	9.04	1.61	4.62	0.3	2.06	0.42	1.22	0.14	0.63	0.10	7.33	4.89	351.45	15.19	83.33	0.73
P-16	18.92	37.37	4.50	20.31	3.96	1.08	3.46	0.53	2.98	0.56	1.88	0.27	1.41	0.24	14.96	26.17	138.60	1.64	8.43	0.97
P-64	29.44	61.69	7.81	34.84	6.67	1.60	5.61	0.65	3.95	0.75	2.14	0.23	1.49	0.10	17.84	22.43	197.24	2.57	15.33	0.86
P-23	9.18	18.82	1.80	5.44	1.06	0.58	1.57	0.17	0.54	0.11	0.27	0.03	0.20	0.04	2.28	3.38	45.47	4.29	29.10	1.60
P-24	46.79	97.55	12.22	50.23	8.77	2.38	6.96	0.82	4.83	0.94	2.74	0.38	2.04	0.31	22.88	10.33	270.18	4.18	13.27	1.01
P-27	89.08	185.20	22.35	88.07	15.8	0.92	15.94	2.07	12.21	2.21	5.24	0.61	3.51	0.42	55.91	32.23	531.83	3.08	15.44	0.20
P-57	13.17	20.87	1.28	6.57	0.99	0.76	3.78	0.15	0.40	0.074	0.21	0.022	0.16	0.07	2.04	0.81	51.36	5.66	41.10	1.18
P-63	51.31	105.80	13.47	55.93	9.43	2.02	6.52	0.76	4.15	0.76	2.08	0.20	1.27	0.20	17.67	10.73	282.30	5.37	22.86	0.82
P-52	13.41	28.93	4.54	19.00	4.45	1.22	4.27	0.60	3.36	0.74	2.00	0.29	1.58	0.24	16.94		101.57	2.38	0.95	5.04

注：表中样号代表的岩石名称：P-7－黑云角闪斜长片麻岩；P-13－黑云角闪斜长片麻岩；P-19－榴石黑云角闪斜长片麻岩；P-16－榴石黑云角闪斜长片麻岩；P-64－黑云角闪斜长片麻岩；P-23－角闪斜长变粒岩；P-24－黑云二长片麻岩；P-27－磁铁辉石长英质麻粒岩；P-57－混合岩；P-63－斜长角闪岩；P-52－角闪斜长二辉麻粒岩。

乌拉山群岩石中 Co 含量为 2×10^{-6}～73×10^{-6},平均为 25.7×10^{-6},接近或超过地壳丰度值。Ni 含量多介于 35×10^{-6}～167×10^{-6} 之间，低于地壳丰度值，V 含量为 117×10^{-6}～299×10^{-6}，略低于地壳丰度值。

Sr／Ba 为 1.37～2.93，Cr／Ni 为 3.45～4.49，Co／Ni 为 0.22～0.53，从微量元素含量和有关比值来看，乌拉山群变质岩石除麻粒岩外，大部分岩石微量元素的地球化学特征变化较小，反映其形成于相同的地球化学环境，与世界上其他几个高级变质地体相比，本区具有 Sr、Bo 含量相对较高的特点，这说明本区岩石的形成环境明显不同于世界上的其他几个高级变质地体，造成了微量元素及其有关比值的某些差异。

4　稀土元素的地球化学特征

各种稀土元素在岩石中的含量变化、分布型式等常能够反映岩石的性质、形成环境等地质特征。选取 11 个乌拉山群变质岩石样品进行稀土元素含量测定。稀土元素分析结果和特征参数见表 4。从表 4 中可以看出，乌拉山群变质岩中稀土元素总量除麻粒岩样品和个别片麻岩样品外，普遍较高。ΣREE=138.6×10^{-6}～531.83×10^{-6},具有轻稀土富集的倾斜模式（La/Yb）$_N$ =8.4～41.00,P-19 号样品（含榴石黑云角闪斜长片麻岩）高达 83.33；轻稀土分馏程度高于重稀土；LREE/HREE=1.64～15.19，轻稀土总量大于重稀土；P-57（混合岩化化黑云角闪斜长片麻岩）和 P-23（角闪斜长变粒岩）两个样的稀土总量相对较低，ΣREE 分别为 51.36×10^{-6} 和 45.47 ×10^{-6}，Eu 显示为正异常，δEu=1.18 和 1.60；其余样品的配分曲线均具较一致的规律性，多具轻微的负 Eu 异常（P-27 的 δEu=0.20），表明其具有相同的物质来源和形成环境。其稀土元素分布型式（图略）与太古宙沉积岩的稀土元素分布型式相似，这种沉积岩的物质可能来源于钙碱性安山岩或酸性火成岩的混合物。麻粒岩样品稀土总量相对较低，ΣREE ＝ 101.52×10^{-6},具较平坦的分布型式(La／Yb)$_N$＝5.04 和轻微的负 Eu 异常，δEu=0.95。从稀土配分模式看，与 Candie 划分的太古宙 TH1 型玄武岩和 Herrmann 大陆拉斑玄武岩相似，表明麻粒岩的原岩可能以大陆拉斑玄武岩为主（图 1）。

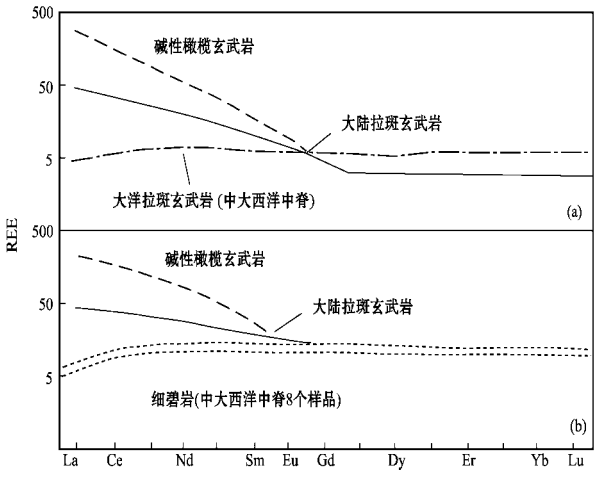


图 1　典型大陆及大洋拉斑玄武岩 REE 分布型式

a－未变质；b－玄武岩和细碧岩

综上所述，乌拉山群变质岩石的稀土特征反映这套变质岩系的原岩为形成太古宙活动大陆边缘岛弧环境的火山-碎屑沉积岩组合，沉积物质可能来自邻近的火山岛弧。岩石中的稀土元素分布基本型式主要取决于原岩性质。在麻粒岩相变质和混合岩化过程中，稀土元素可能发生活化而出现整体的、系统的迁移，使麻粒岩和混合岩中的稀土总量减少，但仍保持原岩的稀土元素分布模式基本不变。

参　考　文　献

王义文. 1990. 中国金矿床稳定同位素地球化学研究. 桂林冶金地质学院学报.

内蒙地矿局. 1991. 内蒙古自治区区域地质矿产志. 地质专报. 北京：地质出版社.

甘盛飞. 1992. 内蒙古大青山太古宙麻粒岩带的变质构造演化及金矿成矿. 沈阳：辽宁科学技术出版社.

聂凤军、裴良士，内蒙古别鲁乌图晚古生代火山岩 Sm-Nd 同位素研究. 岩石矿物学杂志.

郭砚田，吴禄祥. 1992. 哈达门沟金矿地质特征. 见：武警黄金指挥部编. 金矿地质与勘探论文集. 北京：冶金工业出版社.