

鲁西早前寒武纪花岗岩—绿岩 地体稀土元素地球化学

张增奇

(山东省地质矿产局区域地质调查队)

摘要 本文总结了鲁西早前寒武纪花岗岩—绿岩地体的稀土元素地球化学特征。26亿年前形成的泰山群岩石中,稀土元素在云母片岩中最富集,是球粒陨石中稀土元素总量的40倍,在透闪片岩(科马提岩)中最低,是球粒陨石的4倍;稀土元素分馏作用在云母片岩中最明显, La_N/Yb_N 为98.56,而在斜长角闪岩和透闪片岩中最不明显, La_N/Yb_N 为1.42左右;斜长角闪岩Sm/Nd比值一般大于0.33,属轻稀土亏损型,泰山群中斜长角闪岩之原岩与大洋拉斑玄武岩相似。鲁西早前寒武纪侵入岩,随着时代由老至新的演化,稀土元素总量愈来愈高,且愈来愈富集轻稀土;侵入岩的 δEu 则愈来愈小,但作者所统计的50件侵入岩样品,其中有46件大于0.52;鲁西晚太古代的侵入岩属无铕异常型,早元古代的侵入岩为负铕异常型;岩石的化学成分表明,鲁西早前寒武纪侵入岩与I型花岗岩相当,且均属轻稀土富集型;鲁西晚太古代的英云闪长岩和花岗闪长岩的 La_N/Yb_N 比值是球粒陨石的20倍,并根据投影,推设这两种岩石来自于玄武质岩石——角闪岩25—50%的部分熔融,而玄武质岩石也是从地幔中部分熔融所产生。

鲁西晚太古代泰山群,自下而上分为雁翎关组、山草峪组和柳杭组,现有年龄值表明,泰山群是在2628—2820Ma期间形成的。据接触关系和同位素资料,鲁西早前寒武纪侵入岩,分为晚太古代泰山期和早元古代傲徕山期,前者又可划分为新甫山和中天门两个阶段。本文共收集到91件鲁西早前寒武纪花岗岩—绿岩地体的稀土元素(REE)分析数据^[1,2,3,1,2]择其代表性数据50件列于表1。依时代先后和岩类分别统计对比,总结出一些REE在花岗岩—绿岩地体中的配分特征,讨论如下,供同行参考。

文中 ΣREE 包括La—Y, $\Sigma LREE$ 包括La—Eu, $\Sigma HREE$ 包括Gd—Y, $\delta Eu = \frac{Eu}{Eu^*} = \frac{Eu_N}{\frac{1}{2}(Sm_N + Gd_N)}$,采用里德球粒陨石值标准化。

① 山东省地矿局区调队,1986,鲁西泰山群专题研究。

② 山东省地矿局一大队,1988,一比五万徂徕、东王庄幅区调报告。

③ 山东省地矿局区调队二分队,1989,一比二十万新泰、泰安幅区调资料。

本文1990年1月收到,6月改回。

表 1 豫西早前寒武统花岗岩——绿帘角闪岩体稀土元素浓度值($\times 10^{-4}$)

编号	地点	岩 性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
SD128	新泰南湖渡	条带状英云闪长岩	15.30	34.80	4.00	20.20	4.60	1.50	4.50	0.69	4.20	0.89	2.50	0.35	2.10	0.32	20.00
SD130	平邑白马关	片麻状英云闪长岩	35.50	79.10	7.30	32.80	5.70	1.60	3.90	0.42	2.60	0.63	1.50	0.19	1.20	0.17	13.00
SD134	新泰东官庄	片麻状英云闪长岩	33.00	65.80	6.50	29.60	5.50	1.60	3.90	0.60	2.90	0.56	1.50	0.23	1.10	0.18	12.40
4D1735	蒙阴相家庄	片麻状英云闪长岩	31.63	61.38	6.55	23.20	3.91	0.92	2.72	0.32	1.53	0.31	0.59	<0.10	0.54	<0.10	6.62
IP ₃ -X ₁	新泰行步岭	奥长花岗岩	18.00	34.00	5.30	14.00	4.30	0.46	2.60	<0.5	3.20	0.12	2.10	0.51	2.50	0.71	15.30
ID-X ₁	泰安富山	奥长花岗岩	6.32	13.26	1.78	6.78	1.76	0.468	1.941	0.364	2.289	0.469	1.324	0.208	1.265	0.177	13.82
ID ₂ -X ₂	新泰任家庄	混合质奥长花岗岩		37.30	4.46	14.25	2.35	0.621	1.376	0.197	0.734	0.135	0.326	0.056	0.223	0.045	5.44
IP ₂ -X _{6a}	新泰任家庄	混合质奥长花岗岩	6.20	9.40	2.70	5.40	2.10	0.81	0.94	<0.5	1.10	0.27	0.66	0.12	0.56	0.15	2.30
IP ₂ -X _{6b}	新泰任家庄	混合质奥长花岗岩	68.00	126.00	9.60	45.00	7.50	1.30	4.10	<0.5	2.10	0.53	1.20	0.36	0.65	0.38	9.00
4D2407	泗水楼德	片麻状花岗岩	112.78	233.24	24.75	84.29	12.95	2.57	8.57	0.90	4.39	0.75	1.35	0.20	1.30	0.20	18.29
2D39	邹县峰山	片麻状花岗岩	26.56	56.24	5.25	22.18	3.63	0.90	2.87	0.39	1.69	0.25	0.76	0.11	0.74	0.26	6.79
4D3359	蒙山三关庙	条带状花岗岩	62.61	135.01	14.37	51.57	7.82	1.62	5.71	0.70	3.45	0.68	1.43	0.22	1.65	0.27	17.78
SD146	新泰雁翎关北	片麻状花岗岩	19.40	36.50	3.40	14.10	2.30	0.62	1.60	0.28	1.70	0.32	0.76	0.12	0.64	0.09	5.60
SD147	新泰雁翎关北	片麻状花岗岩	19.80	38.70	3.60	14.10	2.50	0.69	1.80	0.21	1.80	0.41	0.73	0.14	0.67	0.10	4.40
SD187	邹县北关	片麻状花岗岩	34.00	74.50	7.60	33.40	8.00	1.60	4.30	0.72	3.70	0.85	2.30	0.30	1.60	0.23	16.30
4D3375	平邑大岭	片麻状花岗岩	28.33	60.26	5.50	18.44	3.08	0.59	1.96	<0.3	1.19	0.26	0.45	<0.10	0.57	<0.1	6.21
SD153	莱芜上游	二长花岗岩	42.20	74.20	6.50	23.30	3.30	0.59	1.70	0.24	1.50	0.29	0.76	0.12	0.74	0.13	6.30
4D1725	蒙阴城北	二长花岗岩	95.69	183.97	17.67	56.25	7.44	1.43	5.27	0.57	3.45	0.57	1.14	0.17	1.21	0.19	13.63
4D3377	费县余粮店	二长花岗岩	22.04	46.91	5.23	17.67	3.15	0.78	2.19	<0.3	1.14	0.27	0.50	0.11	0.78	0.14	7.09
ID21-X ₁	新泰卧虎山	二长花岗岩	65.36	132.65	14.66	43.37	6.81	0.563	3.892	0.619	2.406	0.402	1.419	0.278	1.557	0.228	15.07
SD191	泰山调军顶	二长花岗岩	40.60	80.60	7.20	27.90	4.60	0.57	3.20	0.55	3.10	0.73	1.30	0.30	2.10	0.26	17.20
CF84-67	微徕山	二长花岗岩	55.93	114.20		41.32	6.366	0.797	4.192		3.302		1.784		1.788	0.276	
CF84-70	泰山	花岗岩	59.16	137.70		57.61	8.775	1.863	5.600		3.741		1.759		1.542	0.230	
2D333	平邑四海山	钾长花岗岩	62.74	142.40	13.36	59.55	10.95	1.30	9.78	1.45	6.67	1.32	2.93	0.43	2.79	0.47	27.15
ID26-X ₁	徕徕山草茨	变石英闪长岩	57.87	119.16	14.50	50.18	8.87	1.525	5.687	0.842	3.837	0.712	1.822	0.300	1.615	0.238	19.26
ID851-X ₃	徕徕山春阳坡	变闪长岩	85.00	197.00	22.00	76.00	13.30	3.70	8.60	3.20	5.50	0.95	2.40	0.34	1.85	0.48	28.00
ID22-X ₁	新甫山魏家峪	条带状二长花岗岩	32.99	60.34	6.92	21.60	3.59	0.698	2.158	0.317	1.143	0.194	0.432	0.075	0.348	0.066	5.29

续表 1

编号	地点	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
ID1408-X ₁	泰安西长安	片麻状石英闪长岩	24.00	44.00	6.90	30.00	6.20	1.60	4.20	0.91	4.10	0.72	2.00	0.38	1.70	0.40	18.00
ID-X ₂	新泰峨山	中粒黑云二长花岗岩	43.89	90.79	9.09	29.53	4.29	0.59	2.44	<0.3	1.35	0.25	0.80	0.24	0.68	0.17	6.47
ID1411-X ₁	泰安张长安	细粒斜长角闪岩	4.00	7.40	2.50	6.00	2.80	0.74	1.90	<0.5	2.90	0.63	1.80	0.40	1.80	0.38	14.00
ID313-X ₁	泰安化马湾	条带状黑云斜长片麻岩	13.90	24.00	3.10	11.00	2.40	0.63	1.70	0.79	1.40	0.28	0.84	0.21	0.71	0.25	5.80
ID851-X ₁	泰安大寺前	黑云斜长角闪岩	4.40	10.00	1.80	6.80	2.70	0.81	2.80	0.34	3.55	0.75	2.30	0.42	2.06	0.51	19.00
ID1410-X ₁	泰安化马湾	角闪岩	6.70	14.00	3.90	8.60	3.70	0.72	2.20	<0.5	2.50	0.60	1.70	0.44	1.50	0.57	13.00
CF84-T3	泰山	斜长角闪岩	5.114	11.62		8.333	2.56	0.918	3.351		4.115		2.563		2.462	0.373	
CF85-13	泰山	斜长角闪岩	6.025	15.68		11.31	3.39	1.152	4.438		5.162		3.269		3.151	0.477	
S84023	泰山	斜长角闪岩	15.05	34.37		19.15	3.734	1.140	3.035		2.257		1.187		1.087	0.171	
CF85-11	泰山	角闪石岩	9.67	30.64		24.74	6.565	1.80	6.676		5.598		2.859		2.42	0.345	
ID16-X ₃	新泰裴家庄	斜长角闪岩	4.22	9.02	1.50	6.74	2.12	0.755	2.576	0.489	3.224	0.547	1.936	0.317	1.954	0.277	17.28
4D3388	新泰盘车沟	斜长角闪岩	17.31	36.62	4.32	16.95	3.36	0.97	2.83	0.33	1.65	0.370	0.72	0.11	0.70	0.12	8.43
IG1-X ₁₀	泰安西南峪	花岗岩砾石	15.45	23.34	3.16	10.97	2.03	0.386	1.507	0.228	1.106	0.212	0.588	0.100	0.567	0.084	5.96
IG ₁ -X ₁₁	泰安西南峪	二云变粒岩	42.96	84.55	10.04	34.85	6.40	1.624	4.744	0.768	3.610	0.678	1.846	0.305	1.771	0.264	18.35
IP ₁ -94-X ₂	新泰单家峪	微粒黑云变粒岩	31.00	47.00	8.40	37.00	6.50	1.60	3.60	<1.0	3.50	0.61	1.60	0.18	1.23	0.18	16.00
IP ₁ -64-X ₂	新泰安乐庄	含碎屑黑云变粒岩	29.00	53.00	6.80	25.00	5.40	0.99	2.20	<1.0	1.60	0.25	0.72	<0.10	0.48	0.21	6.90
ID1934-X ₁	新泰东王庄	黑云变粒岩	35.00	62.00	8.00	29.00	6.20	1.30	3.00	<0.5	2.50	0.63	1.60	0.32	1.30	0.60	12.00
IP ₁ -21-X ₂	新泰安乐庄	细粒黑云变粒岩	32.00	44.00	7.50	25.00	5.90	1.00	2.20	<1.0	1.40	0.34	0.89	0.28	0.53	0.34	6.60
IP ₁ -6-X ₂	新泰梨园沟	石榴黑云变粒岩	29.00	43.00	6.60	23.00	5.90	1.13	3.10	<1.0	3.50	0.72	2.00	0.39	1.65	0.43	16.00
ID1932-X ₁	新泰雁翎关	细粒斜长角闪岩	5.70	15.00	3.50	0.20	4.40	1.30	3.60	1.14	5.10	1.10	3.10	0.63	3.40	0.68	23.00
SD144	新泰雁翎关	斜长角闪岩	3.90	10.30	1.70	9.30	3.20	1.20	4.20	0.63	5.50	1.40	3.20	0.48	2.80	0.42	23.00
ID5-X ₂	新泰雁翎关	透闪片岩(科马提岩)	1.81	4.00	0.67	2.80	0.84	0.23	1.087	0.20	1.303	0.288	0.931	0.145	0.85	0.131	7.51
ID64-X	新泰天井峪	云母片岩	57.00	94.00	11.00	48.00	7.40	1.20	3.40	<1.00	1.90	0.22	0.91	0.17	0.38	0.30	7.20

注:主要由地矿部岩矿测试技术研究所、核工业部第三研究所分析, ID、IP 部分引自山东地矿局第一地质队王致本, CF、S 部分引自江博明, SD、4D 部分引自区调队二分队。

一、泰山群岩石的 REE 特征

1. ΣREE 、 ΣLREE 在雁翎关组含高铝矿物云母片岩中最富集(表 2), 分别为 234.08×10^{-6} , 218.60×10^{-6} , 是球粒陨石稀土元素总量的 40 倍; 其次为变粒岩; 在透闪片岩(科马提岩)中最低, 分别为 22.74×10^{-6} , 10.35×10^{-6} , 是球粒陨石的 4 倍。 ΣHREE 则在斜长角闪岩中最高, 变粒岩中最低。

表 2 泰山群划分及标准剖面部分岩石稀土元素特征值

组	岩性及采样位置	ΣREE ($\times 10^{-6}$)	ΣLREE ($\times 10^{-6}$)	ΣHREE ($\times 10^{-6}$)	$\frac{\Sigma\text{LREE}}{\Sigma\text{HREE}}$	La_N/Yb_N	δEu	Sm/Nd	Eu/Sm
柳	斜长角闪岩(新泰裴家庄)	52.97	24.36	28.62	0.851	1.42	0.996	0.315	0.352
杭	二云变粒岩(泰安西南峪)	212.76	180.43	32.34	5.58	15.98	0.871	0.184	0.254
组	微粒黑云变粒岩(新泰单家峪)	159.38	131.50	27.88	4.72	16.60	0.928	0.176	0.246
山 草 峪	含碎屑黑云变粒岩(新泰安乐庄)	133.65	120.19	13.46	8.93	39.75	0.749	0.216	0.183
	黑云变粒岩(新泰东王庄)	163.95	141.50	22.45	6.30	17.74	0.821	0.214	0.210
	细粒黑云变粒岩(新泰安乐庄)	128.98	115.40	13.58	8.50	39.75	0.706	0.236	0.169
	石榴黑云变粒岩(新泰梨园沟)	136.62	107.83	28.79	3.75	11.57	0.702	0.252	0.195
雁 翎 关 组	细粒斜长角闪岩(新泰雁翎关)	80.85	39.10	41.75	0.94	1.10	0.978	0.478	0.295
	斜长角闪岩(新泰雁翎关)	71.23	29.60	41.63	0.71	0.918	1.01	0.344	0.375
	透闪片岩(科马提岩)(新泰雁翎关)	22.74	10.35	12.39	0.835	1.40	0.744	0.300	0.274
	含高铝矿物云母片岩(新泰天井峪)	234.08	218.60	15.48	14.12	98.56	0.643	0.154	0.162

2. 从 La_N/Yb_N 比值看, 最高的为云母片岩, 比值为 98.56; 其次为黑云变粒岩, 比值为 11.57—39.75, 均值(\bar{X})为 25.08; 最低的是斜长角闪岩和透闪片岩(科马提岩)。这反映斜长角闪岩和科马提岩分馏最差, 雁翎关组和柳杭组斜长角闪岩的 La_N/Yb_N 比值分别为 1.009 和 1.42, 在泰山群标准剖面上反映出这种演化规律: 即岩石愈新, 其分馏程度愈高。

3. δEu 在泰山群各组岩石中均 < 1 或 ≈ 1 。在斜长角闪岩中最高, 平均 0.995, 属无铕异常型; 黑云变粒岩次之, 平均 0.781; 最低的是云母片岩(0.643), 属无铕异常型。

4. 从 Sm/Nd 比值看, 山草峪组在 0.214—0.252 之间, 均 < 0.33 , 为轻稀土富集型, 主要由沉积分异作用造成, 上部的柳杭组亦具这样特征。而雁翎关组和柳杭组斜长角闪岩 Sm/Nd 比值接近 0.33 或 > 0.33 , 反映它们来自轻稀土亏损的地幔。不过, 由底部的雁翎关组至上部的柳杭组, 其 Sm/Nd 比值有减小趋势, 大概是山草峪组沉积的物质对柳杭组

形成时期火山活动有混染作用。

5. Eu/Sm 比值与 SiO_2 含量呈反相关。如雁翎关组斜长角闪岩 SiO_2 含量一般在 48.50% 左右;山草峪组黑云变粒岩 SiO_2 含量平均 68.24% 左右, Eu/Sm 比值在两类岩石中分别为 0.335 和 0.189。

6. 从泰山群各组岩石的 REE 标准化型式图看,均为无铈异常或弱负铈异常型。斜长角闪岩和透闪片岩(科马提岩)为平坦型的曲线(图 1,图 3),与大洋拉斑玄武岩和巴伯顿绿岩带的科马提岩曲线很接近^[3]。该群之变粒岩、片岩为富集型,即曲线右倾且轻稀土一端陡倾的特点。山草峪组与柳杭组黑云变粒岩 REE 型式也不相同,前者具轻稀土一端陡倾、重稀土一端平缓的特点(图 2),后者具有曲线平滑的特点(图 3),这可能反映碎屑来源不同。

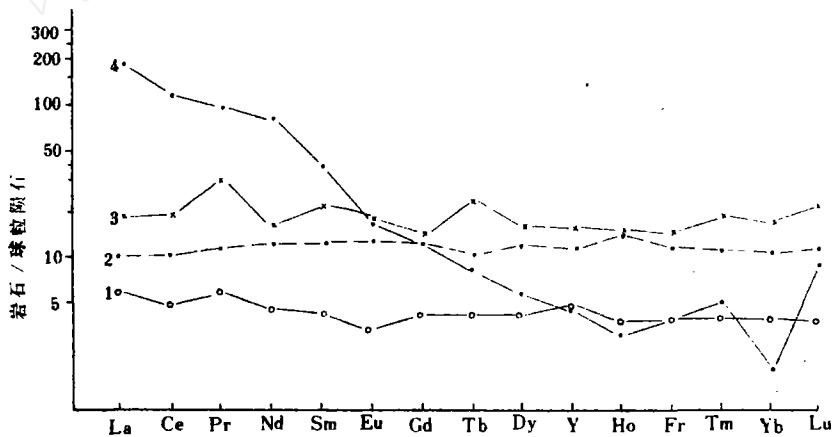


图 1 泰山群雁翎关组稀土元素标准化型式图

1. 透闪片岩(科马提岩)(ID5-X₂); 2, 3. 细粒斜长角闪岩(SD144, ID1932-X₁); 4. 云母片岩(ID642-X)

二、早前寒武纪侵入岩的 REE 特征

1. ΣREE 、 ΣLREE 和 ΣHREE 在变闪长岩中较高(表 3),如春阳坡变闪长岩的三项总量分别为 448.32×10^{-6} 、 397.00×10^{-6} 和 51.32×10^{-6} ; 次为早元古代早期的二长花岗岩;奥长花岗岩则较低。鲁西早前寒武纪侵入岩的 ΣREE (35 件) 平均含量为 250×10^{-6} , 略高于世界各地侵入岩的 ΣREE 平均值;鲁西的花岗岩类 ΣREE 平均值为 216.27×10^{-6} , 比全球花岗岩的 ΣREE 平均值(250×10^{-6})略低^[4]。

2. 鲁西早前寒武纪侵入岩的稀土高峰元素是 Ce, 次高峰元素是 La。

3. 侵入岩由老至新, ΣREE 、 ΣLREE 、 ΣHREE 呈非对称马鞍式增高演化, 而晚太古代末与早元古代初交界时期侵入岩的 ΣREE 具高的异常值。稀土元素含量的变化, 与 CaO 的含量和 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值呈反相关(表 4)。

表 3 鲁西早前寒武纪侵入岩期次划分及部分岩石稀土元素特征值

年 代	期 段	阶 段	次	岩 符	性 号	岩性及取地点	$\sum \text{REE}$ ($\times 10^6$)		$\sum \text{LREE}$ ($\times 10^6$)		$\sum \text{HREE}$ ($\times 10^6$)		$\frac{\sum \text{LREE}}{\sum \text{HREE}}$		$\frac{\text{La}_N/\text{Yb}_N}{\text{La}_N/\text{Yb}_N}$		δEu	$\frac{\text{Sm}/\text{Nd}}{\text{Eu}/\text{Sm}}$		$\frac{\text{La}}{\text{Sm}}$
							\bar{X}	\bar{X}	\bar{X}	\bar{X}	\bar{X}	\bar{X}	\bar{X}	\bar{X}	\bar{X}	\bar{X}				
早 元 古 代	2			52-2		御长花岗岩 (四海山)	343.29	290.30	53.00	5.48	14.81	11.21	0.38	0.022	0.119	5.73				
							190.81	161.47	29.34	5.503	12.74	8.43	0.43	0.105	0.124	8.83				
	1					中细粒二长花岗岩 (调军顶)	388.65	362.45	26.20	13.834	52.09	4.86	0.67	0.132	0.192	12.86				
晚 太 古 代	中 天 门 阶 段	c		08-2c		变石英闪长岩 (草茨)	286.42	252.11	34.31	7.35	23.59	6.49	1.08	0.177	0.170	6.53				
							448.32	397.00	51.32	7.74	30.27	7.43	0.67	0.175	0.280	6.39				
	b			07-2b		变辉长岩														
	a				06-2a		角闪石岩													
新 甫 山 阶 段	c			04-1c		片麻状 花岗岩 (新甫山)	189.40	159.10	30.30	5.25	13.99	6.43	0.76	0.205	0.225	5.805				
							128.62	114.76	13.86	8.28	23.66	2.97	0.83	0.173	0.273	8.18				
	b				04-1b	奥长花 岗岩 (富山) (行步岭)	87.43	76.32	11.11	6.87	19.97	2.57	0.95	0.26	0.270	3.59				
							89.65	79.39	10.26	7.43	19.47	2.69	0.96	0.31	0.107	4.18				
	a				04-1a	片麻状英云闪长岩 (蒙山)	165.37	142.00	23.37	6.08	18.00	4.42	1.01	0.18	0.286	6.17				
							185.61	165.00	23.61	6.86	19.48	4.82	0.99	0.107	0.107	4.18				



表 4 鲁西早前寒武纪花岗岩类化学成分

年代	岩类及符号	化 学 成 分 (%)									Na ₂ O/K ₂ O	李特曼指数(σ)	Sr ⁸⁷ /Sr ⁸⁶ 初始比
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅			
早元古代	钾长花岗岩 (ξr_2^{-2})	68.86	14.71	1.09	2.70	0.54	1.40	4.23	5.16	0.14	0.82	3.41	0.70703
	中细粒二长花岗岩 ($\eta \nu_2^{-10}$)	72.56	13.80	0.33	3.12	0.81	1.68	3.80	4.50	0.048	0.84	2.33	0.7008
	中粗粒二长花岗岩 ($\eta \nu_2^{-18}$)	72.57	14.00	0.58	1.62	0.44	1.70	3.58	4.79	0.05	0.75	2.37	0.7038
晚太古代	变石英闪长岩 (δo_1^{-2})	49.27	14.79	9.18	2.83	4.56	6.82	3.58	1.29	1.60	2.63	3.89	
	片麻状花岗岩闪长岩 (γo_1^{-10})	71.09	14.30	0.73	2.02	0.58	2.46	4.65	2.48	0.02	1.88	1.84	
		67.32	15.12	1.74	2.38	1.35	2.87	4.86	3.11	0.18	1.56	3.31	0.7036
	奥长花岗岩 (γo_1^{-10})	67.02	15.56	1.70	2.11	1.29	3.77	4.70	1.18	0.15	3.56	1.40	0.7014
		75.06	13.70	0.48	1.22	0.59	1.08	5.46	0.83	0.04	6.58	1.24	
英云闪长岩 ($\gamma o \beta_1^{-10}$)	62.88	16.50	1.84	2.90	2.01	5.31	4.50	2.50	0.32	1.80	2.58	0.7020	

山东省地矿局区调队实验室张文玲分析。

4. 晚太古代末和早元古代初的侵入岩中, 稀土元素的分馏特征尤为明显, 如 La_N/Yb_N 比值在 30—52 之间。

5. 岩石愈新, 其 δEu 愈小, 愈老则愈大。在所统计的 50 件侵入岩样品中, 有 46 件 $\delta Eu > 0.52$, 而 δEu 较小的是闪长岩和钾长花岗岩。晚太古代泰山期岩体 δEu 在 0.75—1 之间, 为无铕异常型或铕异常不明显; 早元古代傲徕山期侵入岩 δEu 一般在 0.65 左右, 具负铕异常的特点。反映岩体愈新, 结晶分异作用愈明显; 愈老则似乎经过了花岗岩化。

6. Sm/Nd 比值普遍 < 0.33 表明, 鲁西早前寒武纪侵入岩均属轻稀土富集(重稀土亏损)型。

7. Eu/Sm 比值在晚太古代泰山期侵入岩中一般 > 0.2 , 早元古代傲徕山期则 < 0.2 , 即岩体愈新, 比值愈小, 反映侵入岩向酸性演化。

8. 从侵入岩的 REE 分布型式看, 晚太古代泰山期岩体为右倾斜、V 型谷不明显(铕异常不明显)的平滑曲线(图 4, 图 5), 早元古代的岩体则是具明显 V 型谷(负铕异常明显)的右倾曲线, 轻稀土一端陡倾, 重稀土一端平滑(图 6)。鲁西早前寒武纪侵入岩, 由老至新, 是向负铕异常明显、富含轻稀土、结晶分异作用明显的方向演化。

从表 4 化学成分可知, 除钾长花岗岩外, 其余侵入岩的 Sr^{87}/Sr^{86} 初始比值多在 0.7007—0.7038 范围, 具幔源性质, 与 I 型花岗岩有相似性, 李特曼指数在 1.24—3.40 之间, 属钙碱性岩石。

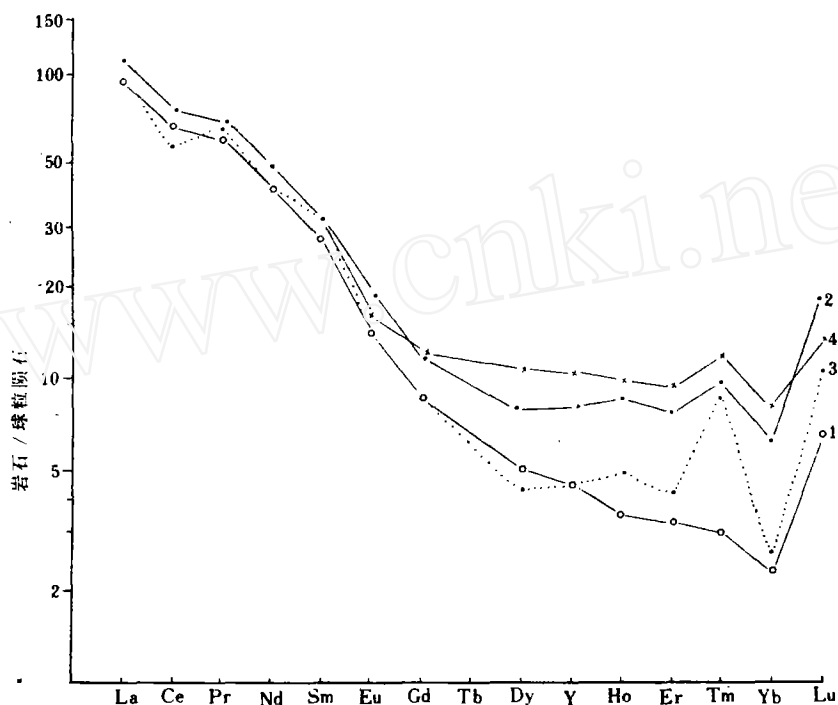


图2 泰山群山草峪组稀土元素标准化型式图

1. 含碎屑黑云变粒岩(IP₁-64-X₂); 2. 黑云变粒岩(ID1934-X₁); 3. 细粒黑云变粒岩(IP₁-21-X₂); 4. 石榴黑云变粒岩(IP₁-6-X₂)

三、关于英云闪长岩、奥长花岗岩和花岗闪长岩(TTG)REE特征的讨论

野外观察到的接触关系表明,鲁西的英云闪长岩老于奥长花岗岩和花岗闪长岩,但奥长花岗岩与花岗闪长岩的接触关系并不十分清楚,间接关系似乎说明后者晚些。

这里的TTG,属高铝型,随着它们的演化,CaO, MgO, Na₂O/K₂O 比值等降低,ΣREE、ΣLREE、ΣHREE 也有降低趋势,REE 分馏特征比较明显,La_N/Yb_N 比值分别为 18.74, 4.65, 19.72; Yb_N 分别为 4.62, 10.04, 2.63。

鲁西前寒武纪结晶基底主要由这套TTG岩系构成,对它的成因研究引起了许多学者重视,我省地质工作者也投入了大量的工作。1960年原北京地质学院在鲁西填图时,把这套几经改造的岩系看作是变质改造的砂岩和火山岩,或其相应的混合岩,并建立了“万山庄组”和“太平顶组”。1986年,区调队泰山群专题研究分队认为,原北京地质学院划分的“太平顶组”与“万山庄组”并不存在,它们实质上是太古宙的TTG岩系,或其相应的变质

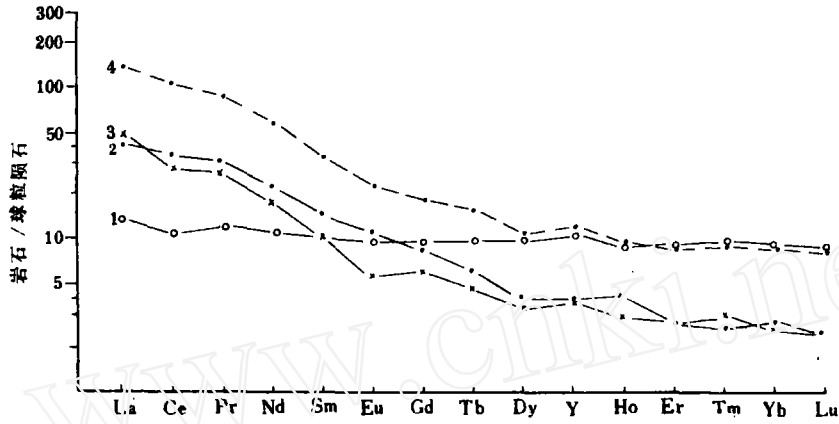


图3 泰山群柳杭组稀土元素标准化型式图

1, 2. 斜长角闪岩(ID16-X₃, 4D3338); 3. 花岗质砾岩(IG₁-X₁₀); 4. 二云变粒岩(IG₁-X₁₁)

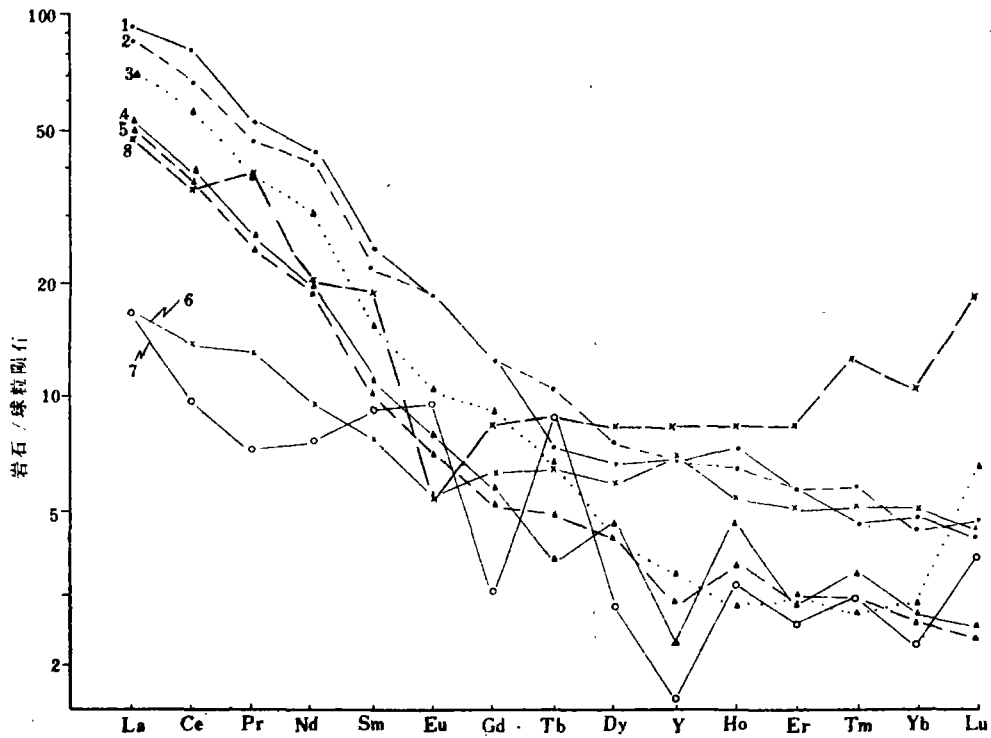


图4 晚太古代泰山期新甫山阶段TTG岩系稀土元素标准化型式图

1, 2. 片麻状英云闪长岩(蒙山白马关 SD130, 新泰东官庄 SD134); 3, 4, 5. 片麻状花岗闪长岩(崂山 2D39, 新甫山 SD147, SD146); 6, 7, 8. 奥长花岗岩(富山 ID-X₁, 任家庄 IP₃-X₆₈, 新泰行步岭 IP₃-X₁)

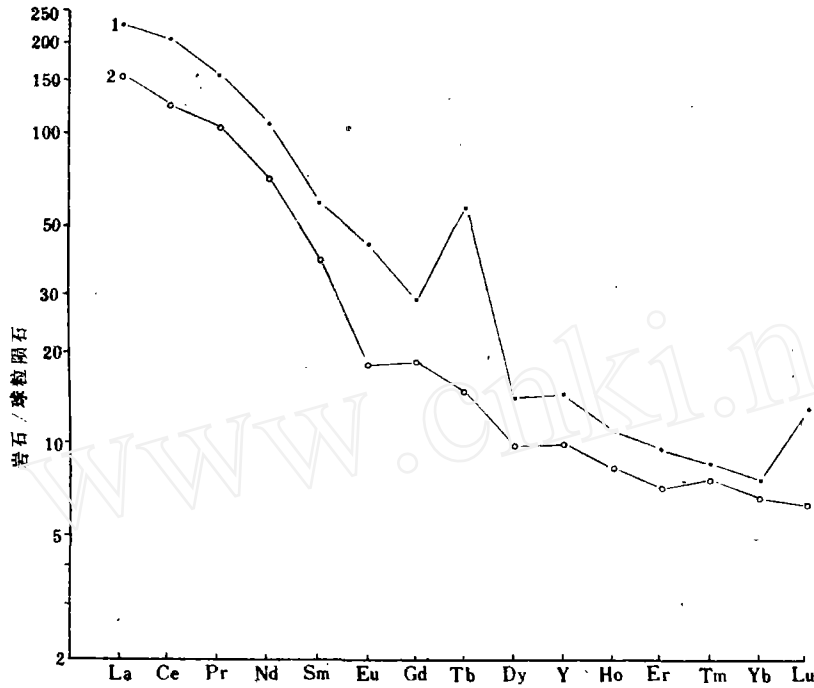


图 5 晚太古代泰山期中天门阶段闪长岩、石英闪长岩稀土元素标准化型式图

1. 变细粒暗色黑云闪长岩(祖徕春阳坡 ID851—X₃); 2. 变石英闪长岩(祖徕草茨 ID26—X₁)

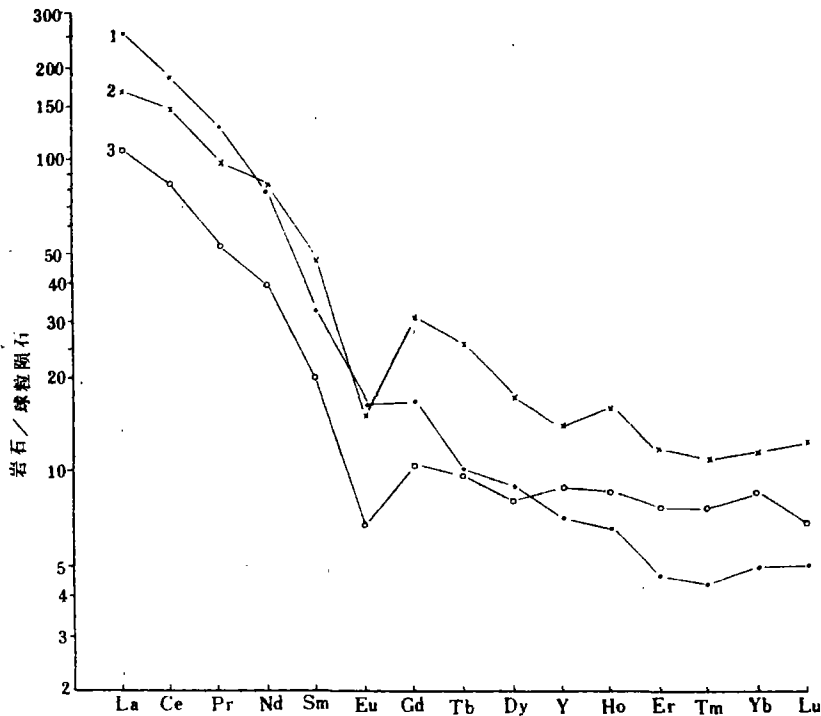


图 6 早元古代傲徕山期二长花岗岩、钾长花岗岩的稀土元素标准化型式图

1. 中粗粒二长花岗岩(蒙阴城北 4D1745); 2. 中细粒二长花岗岩(泰山调军顶 SD191); 3. 钾长花岗岩(四海山 2D333)

变形产物,这些认识并被近几年开展的一比二十万和一比五万区调工作所进一步证实¹⁾²⁾。

那么,这套 TTG 岩系的源区是地壳还是地幔;是地幔岩浆直接上侵、结晶和分异形成,还是地幔物质的衍生物?

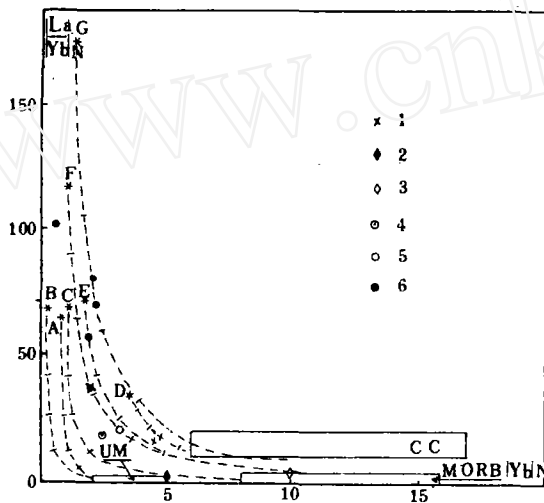


图 7 鲁西太古宙 TTG 岩系 $(La/Yb)_N$ 对 La_N 图解

1. 为蒙山英云闪长岩;2. 为富山奥长花岗岩;3. 为新甫山行步岭奥长花岗岩;4. 为新甫山花岗闪长岩;5. 为崂山花岗闪长岩;6. 为东芬兰太古宙灰片麻岩;UM—上地幔橄榄岩区;MORB—太古宙拉斑玄武岩区和现代大洋中脊玄武岩区;CC—大陆地壳的平均成分;星号表示极限值(0%部分熔融);横短线分别代表源区物质 10%,25%,50%和 75%部分熔融

鲁西的这套 TTG 岩系 Sr^{87}/Sr^{86} 初始比值在 0.7067—0.7036 范围,这就排除了地壳(尤其是沉积)硅铝质熔融的可能性。前已述及,斜长角闪岩的 $La_N/Yb_N = 1$, $Yb_N = 7-13$, 稀土模式计算表明 (Martin, 1983)^[5], 地幔的石榴橄榄岩 ($La_N/Yb_N = 1$, $Yb_N = 4$) 和石英榴辉岩 ($La_N/Yb_N = 1$, $Yb_N = 4-13$) 的 La_N/Yb_N 值很低,基本代表上地幔的比值。鲁西的英云闪长岩和花岗闪长岩的 La_N/Yb_N 比值则高出地幔值的 18—24 倍,只有奥长花岗岩偏低。那

么,这套 TTG 岩系来源有两种可能:其一,上地幔的岩浆同化了上部地壳物质。不过,只是同化少量的表壳物质,很难达到这样高的比值与图 4 的分布型式。其二,就是地幔的物质部分熔融产生玄武质岩浆,在其成岩后再部分熔融而产生 TTG 质岩浆,由此结晶成岩。这种多次的分馏作用使之 REE 产生高度分离, La_N/Yb_N 增大。

为证实后一种推论,这里借助江博明(1981)^[5]简化的方法,用英云闪长岩、奥长花岗岩和花岗闪长岩的 La_N/Yb_N 对 Yb_N 图解投影(图 7)。鲁西的英云闪长岩和花岗闪长岩投

1) 张增奇,1989,泰安市化马湾一带条带状岩石成因刍议,山东区域地质,1989年第1期。

2) 这里系指 1986 年以来,区调队、地质一队、二队、七队、八队等开展的鲁西区调工作。

影点落在部分熔融的角闪岩曲线上,源区是拉斑玄武岩,其当时的熔融程度在 25—50% 左右。因而,英云闪长岩和花岗闪长岩是地幔的衍生物,而非地幔岩浆直接结晶分异所形成。

胡树庭、杨恩秀、梁邦启和王世进同志为本文提供了部分资料,曹国权、张自恒、孟庆珠和王致本同志详细审阅文稿,并提出宝贵的修改和补充意见,张淑芳同志译成英文摘要。本文插图承蒙鞠伟和杨恩秀同志完成。在此一并致谢!

参 考 文 献

- [1] Jahn, B. M. (ed.). 1988, Archaean crustal evolution in China: the Taishan Complex, and evidence for juvenile crustal addition from long-term depleted mantle. *Precambrian*, 38, 381—403.
- [2] 曹国权, 1988, [中国太古地壳演化: 泰山杂岩, 由长期亏损的地幔成长新生地壳的证据] 简介. *山东地质*, 4 卷 2 期, 1—3.
- [3] K. Condie 著, 1979, 太古宙绿岩带. 天津地质矿产研究所, 国外前寒武纪地质, 1985 年增刊, 53.
- [4] 郭承基, 1985, 稀土元素地球化学. 贵州人民出版社.
- [5] 李平凡, 1985, 古大陆成因研究的重要课题. *武汉地质学院地质科技情报*, 4 卷 4 期, 39—45.

REE GEOCHEMISTRY OF THE EARLY PRECAMBRIAN GRANITE- GREENSTONE TERRAIN IN WESTERN SHANDONG, CHINA

Zhang Zengqi

(Regional Geological Survey Brigade,

Shandong Bureau of Geology and Mineral Resources)

Abstract

This paper sums up REE geochemical characteristics of the early Precambrian granite-greenstone terrain in western Shandong, China. In the Taishan Group with an age of 2.6 Ga, REEs are enriched most in the mica schists in which the REE contents are 40 folds as those in the chondrite and depleted in tremolite-schists (komatiites) in which the REE contents are only 4 folds as those in the chondrite. REE fractionation is distinct in the mica schists ($La_N/Yb_N = 98.56$) but indistinct in the amphibolites and tremolite-schists ($La_N/Yb_N = 1.42$). The Sm/Nd ratios in the amphibolites are usually greater than 0.33, which show LREE-depleted patterns. The protoliths of the amphibolites in the Taishan Group are similar to ocean tholeiitic basalts. The bulk contents of REEs in the Precambrian intrusive rocks from old to young are increased with the LREE contents much more enriched, while the values of δEu become smaller but most are greater than 0.52 according to the results obtained from 50 statistical samples. The chondrite normalized REE distribution patterns show no Eu anomalies in the late Archaean intrusive rocks but show negative Eu anomalies in the early Proterozoic ones. Petrochemical compositions indicate that these early Precambrian intrusive rocks correspond to the I-type granites and consistently show LREE-enriched patterns. The La_N/Yb_N ratios for the late Archaean tonalites and granodiorites are 20 folds as high as those for the chondrite, and based on their perspective results, it is suggested that these two rock types probably derived from basaltic rocks—now the amphibolites with partial melting of 25–50%, while the basaltic rocks were formed by partial melting of the mantle.