

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

鞍山太古宙具异常稀土组成长英质岩石的发现及其意义

万渝生^{1,2)} 宋彪^{1,2)} 刘敦一^{1,2)}

1) 中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037; 2) 国土资源部同位素地质开放实验室, 北京, 100037

内容提要 近年来鞍山地区发现了一系列具异常稀土组成的太古宙长英质岩石, 包括花岗质岩石和变质沉积岩两大类。稀土模式可划分为5种类型: I—轻稀土相对富集出现强正铈异常; II—轻稀土相对富集无明显铈异常; III—轻稀土相对富集出现负铈异常; IV—轻稀土相对亏损出现负铈异常; V—中稀土相对亏损出现强负铈异常。高 SiO_2 , 低 ΣFeO 、 MgO 、 CaO 和 TiO_2 , 稀土总量低是它们的共同特征。岩石铈异常和钕异常之间存在明显的相关关系。部分岩石出现无意义 t_{DM} 年龄。本文重点讨论了类型IV和V两类岩石的成因。它们在中国华南及世界其他地区也有分布, 但多为年轻花岗岩。鞍山地区的这类岩石形成于太古宙阶段, 部分甚至可能形成于中太古代, 这一现象在全球范围内也十分的罕见。它们的存在表明该区至少在太古宙晚期就具有与同类年轻花岗岩形成类似的地质和物理化学条件。与其具有很长地质演化历史相吻合。

关键词 花岗岩 变质沉积岩 异常稀土模式 Nd 同位素 鞍山 太古宙

鞍山是华北克拉通太古宙典型出露区之一, 存在从3.8~2.5 Ga 长期连续地质演化(Liu et al., 1992; Song et al., 1996; Wan et al., 1998; 万渝生等, 1997, 1998, 1999; 伍家善等, 1998)。近年来鞍山地区发现一系列具异常稀土组成的太古宙长英质地壳岩石, 对该区早期地壳演化研究具有重要的意义。

1 地质及岩相学

图1为鞍山地区地质略图。具异常稀土组成的长英质地体出露范围通常较小, 包括不同类型的花岗质岩石(岩脉)和变质沉积岩。根据鞍山地区地质演化、岩石变质变形及同位素年代学研究, 它们大都形成于太古宙。但是, 由于植被覆盖等原因, 其中一些与其他地质体的关系不清, 也无可靠年龄, 形成的准确时代还不能完全确定(表1)。

花岗质岩石(脉)主要由石英、钾长石和斜长石组成, 部分有很少量的黑云母。副矿物含量低, 主要为锆石、磷灰石。根据钾长石(通常为微斜长石)和斜长石(通常富钠质)比例的不同, 可把岩石划分为奥长花岗岩(脉)、二长花岗岩(脉)和钾长花岗岩(脉)。一些岩脉的矿物粒度较粗大, 具有伟晶质特征。

表壳岩变形通常较强。浅粒岩(A9916)由石英、

斜长石、微斜长石和棕色黑云母组成。石英片岩(A9914)的石英含量达95%以上, 另有少量的白云母、帘石等矿物。绿泥白云石英片岩(A9814)由石英、白云母和少量绿泥石组成。长英质糜棱岩(A9813)由微斜长石、斜长石碎斑和细粒石英、长石、白云母基质组成, 白云母含量约5%~10%。由于强烈变形, 其原岩性质难以准确确定。

2 地球化学

岩石常量元素组成变化较大, 但普遍高 SiO_2 , 低 ΣFeO 、 MgO 、 CaO 和 TiO_2 。绿泥白云石英片岩(A9814)和绿泥石英片岩(A9842)存在一定数量绿泥石, ΣFeO 和 MgO 含量较高(表2)。 K_2O 和 Na_2O 含量变化较大, 与两种长石比例不同有关。岩石稀土模式和微量元素组成存在很大变化, 但稀土总量低是它们的共同特征。除 A0004(片麻状二长花岗岩)稀土总量较高外(104.6×10^{-6}), 其他样品稀土总量都在 70×10^{-6} 以下, 最低者稀土总量不到 10×10^{-6} 。根据稀土模式, 可将其划分为5种不同类型。

(1) 类型 I: 轻稀土相对富集出现强正铈异常(A9916, A9923, A0014, A0028), 包括浅粒岩(A9916)、钾长花岗岩(A0014)和伟晶质二长花岗岩

注: 本文为国土资源部重点项目(编号 DKD2001020-3和9501116)、地质行业科学技术发展基金项目(编号 HY979816)和国家自然科学基金项目(编号 49473172)资助成果。

收稿日期: 2002-03-12; 改回日期: 2002-05-13; 责任编辑: 王思恩。

作者简介: 万渝生, 男, 1958生, 博士, 研究员。主要从事地球化学和变质岩石学研究。Email: wanyusheng@cags.cn.net。

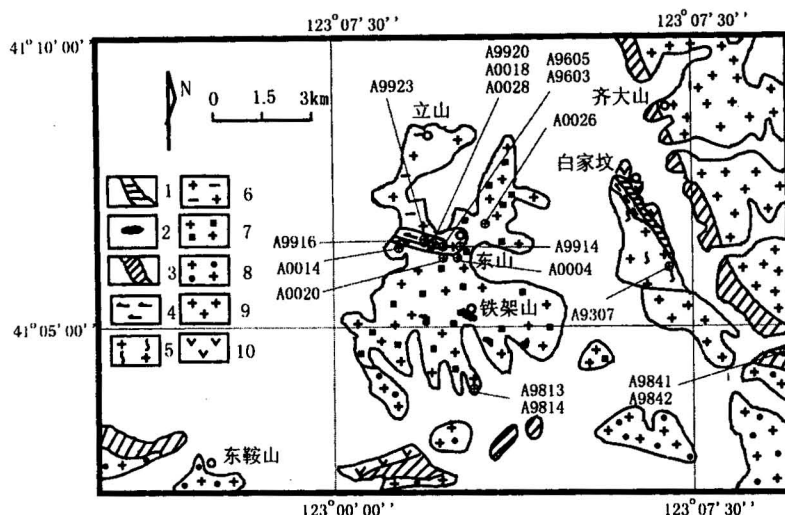


图1 鞍山地区地质略图

(据万渝生等, 2002略作修改)

Fig. 1 Sketch geological map of the Anshan area

(modified after Wan et al., 2002)

1—3.3 Ga 陈台沟表壳岩; 2—3.1 Ga 铁架山表壳岩(分布面积有所夸大); 3—2.7 Ga 鞍山群; 4—3.8 Ga 奥长花岗岩质岩石; 5—3.3 Ga 陈台沟花岗岩; 6—3.1 Ga 立山奥长花岗岩; 7—3.0 Ga 铁架山花岗岩; 8—3.0 Ga 东鞍山花岗岩; 9—2.5 Ga 齐大山钾长花岗岩; 10—超基性岩。样品位置在图中也给出

1—3.3 Ga Chentaigou supracrustal rocks; 2—3.1 Ga Tiejiaoshan supracrustal rocks; 3—2.7 Ga Anshan Group; 4—3.8 Ga trondhjemitic rocks; 5—3.3 Ga Chentaigou granite; 6—3.1 Ga Lishan trondhjemite; 7—3.0 Ga Tiejiaoshan granite; 8—3.0 Ga Donganshan granite; 9—2.5 Ga Qidashan potassium granite; 10—ultramafic rock. Sample locations are also shown in the map

脉(A9923, A0028)等不同类型岩石。岩石稀土总量很低($\Sigma\text{REE}=10.1 \times 10^{-6} \sim 22.4 \times 10^{-6}$), 轻重稀土

分离不强 $[(\text{La}/\text{Yb})_n=7.3 \sim 14.9]$, 具强正铈异常($\text{Eu}/\text{Eu}^*=2.00 \sim 7.60$) (图2a)。钽异常不明显或具强的正钽异常($\text{Ba}/\text{Ba}^*=1.15 \sim 1.63$) (图2b)。

(2) 类型 II: 轻稀土相对富集无明显铈异常(A9605, A0020), 包括二长花岗岩(A9605)和奥长花岗岩(A0020)。与前者相比, 岩石稀土总量相对较高, 但也仅为 $47.8 \times 10^{-6} \sim 69.6 \times 10^{-6}$ 。轻重稀土分离不强 $[(\text{La}/\text{Yb})_n=10.9 \sim 18.3]$, 铈异常不明显($\text{Eu}/\text{Eu}^*=0.92 \sim 0.93$) (图2c)。具较强负钽异常($\text{Ba}/\text{Ba}^*=0.32 \sim 0.51$) (图2d)。

(3) 类型 III: 轻稀土相对富集出现负铈异常(A9307, A9603, A9914, A9842), 包括二长花岗岩脉(A9307), 钾长花岗岩脉(A9603), 石英片岩(A9914)和绿泥石英片岩(A9842)等不同类型岩石。岩石稀土总量存在较大变化($\Sigma\text{REE}=6.0 \times 10^{-6} \sim 50.0 \times 10^{-6}$)。除绿泥石英片岩(A9842)轻稀土稍相对富集($(\text{La}/\text{Yb})_n=15.7$)外, 其他样品轻稀土富集程度都不高 $[(\text{La}/\text{Yb})_n=4.0 \sim 6.2]$ 。存在中等程

度的负铈异常($\text{Eu}/\text{Eu}^*=0.49 \sim 0.77$) (图2e)。具较强负钽异常($\text{Ba}/\text{Ba}^*=0.24 \sim 0.47$) (图2f)。

表1 鞍山太古宙具异常稀土组成英质岩石的采样位置和形成时代

Table 1 Locations and formation ages of the felsic rocks with anomaly REE patterns in Anshan

序号	样品号	岩石名称	采样位置	形成时代及依据
1	A9916	浅粒岩	东山古老岩石带南	>2.5 Ga, 变形强, 与斜长角闪岩互层, 变质原岩为沉积或火山沉积成因, 包裹于2.5 Ga 钾长花岗岩(A0014)中
2	A9923	伟晶质二长花岗岩脉	东山古老岩石带	>3.1 Ga, 变形强, 被3.1 Ga 立山奥长花岗岩派生岩脉切割
3	A0014	钾长花岗岩	东山古老岩石带南	2.5 Ga(锆石年龄, 未发表), 变形弱
4	A0028	伟晶质二长花岗岩脉	东山古老岩石带	>3.1 Ga, 变形强, 被3.1 Ga 立山奥长花岗岩派生岩脉切割
5	A9605	二长花岗岩	东山古老岩石带	3.1 Ga(锆石年龄, 万渝生等, 2001), 变形较强
6	A0020	奥长花岗岩	东山古老岩石带南	时代不清, 变形较强,
7	A9307	二长花岗岩脉	陈台沟村北东	时代不清, 变形弱, 切割3.3 Ga 陈台沟花岗岩
8	A9603	钾长花岗岩脉	东山古老岩石带	2.5 Ga(?), 变形弱, 切割古老岩石带其他类型岩石
9	A9914	变质石英片岩	东山古老岩石带东	>3.1 Ga, 变形强, 包裹于3.1 Ga 立山奥长花岗岩中
10	A9842	绿泥石英片岩	眼前山矿东响山沟	>2.5 Ga, 变形强, 包裹于2.5 Ga 齐大山钾长花岗岩中
11	A9841	二长花岗质片麻岩	眼前山矿东响山沟	>2.5 Ga, 变形强, 包裹于2.5 Ga 齐大山钾长花岗岩中
12	A9920	二长花岗岩	东山古老岩石带	2.6 Ga(锆石年龄, 万渝生等, 2001),
13	A0018	奥长花岗岩	东山古老岩石带	2.6 Ga, 与样品 A9920 为同一露头, 相互过渡
14	A9813	长英质糜棱岩	铁架山南崔家屯村	时代不清, 变形强, 铁架山花岗岩南侧
15	A9814	绿泥白云石英片岩	铁架山南崔家屯村	时代不清, 变形强, 铁架山花岗岩南侧
16	A0004	片麻状二长花岗岩	东山古老岩石带南	时代不清, 变形较强
17	A0026	片麻状奥长花岗岩	铁架山东北	时代不清, 变形较强

(4)类型Ⅳ:轻稀土相对亏损出现负铕异常(A9841, A9920, A0018),包括二长花岗质片麻岩(A9841)、二长花岗岩(A9920, A0018)。岩石重稀土相对富集,稀土总量较高($\Sigma\text{REE} = 36.0 \times 10^{-6} \sim 62.0 \times 10^{-6}$)主要与重稀土含量高有关。岩石具强的负铕和负铈异常($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.19 \sim 0.36$, $\text{Ba}/\text{Ba}^* = 0.07 \sim 0.12$)(图3a、b)。

(5)类型Ⅴ:中稀土相对亏损出现强负铕异常(A9813, A9814, A0004, A0026),包括长英质糜棱岩(A9813)、绿泥白云石英片岩(A9814)、片麻状二长花岗岩(A0004)和片麻状奥长花岗岩(A0026)。岩

石稀土总量变化较大,轻重稀土分离不强,中稀土相对亏损,具有强的负铕和负铈异常($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.19 \sim 0.36$, $\text{Ba}/\text{Ba}^* = 0.07 \sim 0.12$)(图3c、d)。

对部分样品作了Nd同位素分析(表3)。轻稀土相对富集的钾长花岗岩(A0014)和二长花岗岩(A9307, A9605)的 t_{DM} 年龄为2.99~3.48Ga。另一轻稀土相对富集的钾长花岗岩(A9603)给出无意义 t_{DM} 年龄(-0.73~-1.07Ga)。中稀土相对亏损的绿泥白云石英片岩(A9814)也同样给出无意义 t_{DM} 年龄(6.52Ga)。

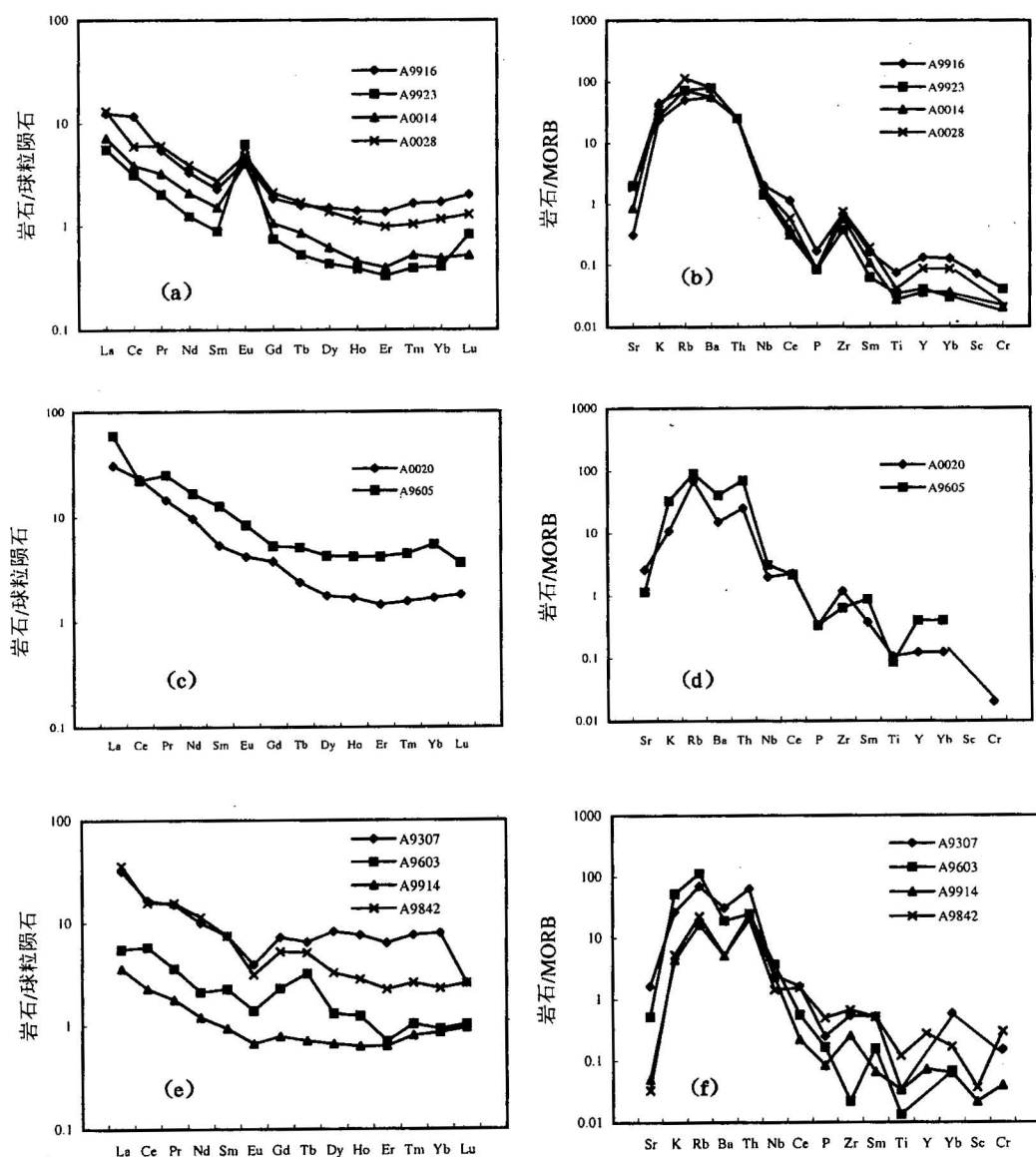


图2 鞍山具异常稀土组成长英质岩石的稀土模式和岩石/MORB-元素图解

Fig. 2 REE patterns and rock/MORB-element diagrams of the felsic rocks with anomalous REE compositions in Anshan

(a)、(b)—类型Ⅰ; (c)、(d)—类型Ⅱ; (e)、(f)—类型Ⅲ

(a)、(b)—Type I; (c)、(d)—type II; (e)、(f)—type III

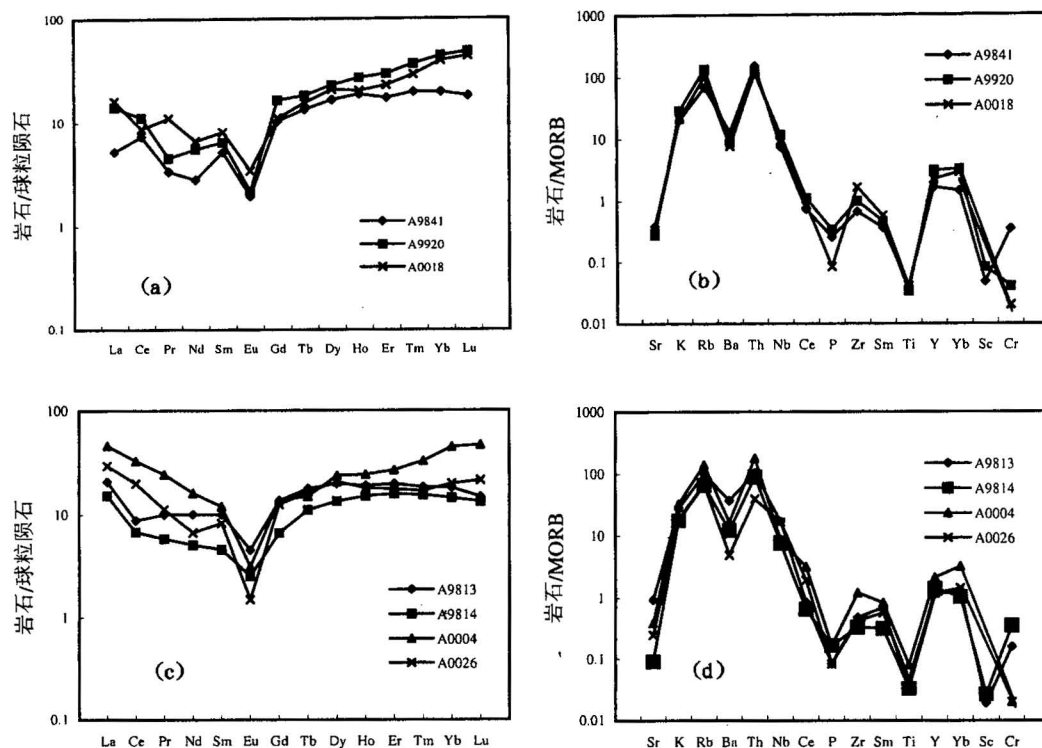


图 3 鞍山具异常稀土组成英质岩石的稀土模式和岩石/MORB 元素图解

Fig. 3 REE patterns and rock/MORB-element diagrams of the rocks with anomalous REE compositions in Anshan

(a)、(b)—类型 N; (c)、(d)—类型 V

(a), (b)—Type N; (c), (d)—type V

表 2 鞍山具异常稀土组成太古宙长英质岩石的元素含量

Table 2 Element compositions of the Archaean felsic rocks with anomaly REE patterns in Anshan

样品号	A9916	A9923	A0014	A0028	A9605	A0020	A9307	A9603	A9914	A9842	A9841	A9920	A0018	A9814	A9813	A0004	A0026
岩性	浅粒岩	伟晶质二长花岗岩脉	钾长花岗岩	伟晶质二长花岗岩脉	二长花岗岩	奥长花岗岩	二长花岗岩脉	钾长花岗岩脉	石英片岩	绿泥石英片岩	片麻状二长花岗岩	二长花岗岩	二长花岗岩	绿泥白云石英片岩	长英质糜棱岩	片麻状二长花岗岩	片麻状奥长花岗岩
位置	东山东老岩石带南	东山东老岩石带	东山东老岩石带南	东山东老岩石带	东山东老岩石带	东山东老岩石带南	陈台沟北东	东山东老岩石带	东山东老岩石带东	眼前山矿东响山沟	眼前山矿东响山沟	东山东老岩石带	东山东老岩石带	铁架山南崔家屯	铁架山南崔家屯	东山东老岩石带南	铁架山东北
SiO ₂	77.92	73.08	75.21	71.96	72.93	72.50	75.84	72.48	92.43	80.38	76.98	75.68	75.95	79.95	69.57	74.98	76.54
TiO ₂	0.11	0.05	0.04	0.06	0.13	0.16	0.05	0.02	0.05	0.18	0.06	0.05	0.06	0.05	0.05	0.12	0.07
Al ₂ O ₃	13.50	15.47	13.74	15.59	14.75	15.71	13.74	14.37	2.93	7.00	13.10	14.14	13.53	10.18	17.70	13.75	13.05
Fe ₂ O ₃	0.32	0.33	0.13	0.07	0.58	0.60	0.51	0.01	1.00	4.66	0.34	0.38	0.38	0.09	0.56	0.48	0.33
FeO	0.38	0.31	0.32	0.40	0.72	0.92	0.22	0.34	0.72	0.72	0.56	0.48	0.38	1.24	0.64	0.86	0.40
MnO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	0.03	0.02	0.05	0.02	0.10	0.02	0.01	0.01	0.03	0.02	0.03	0.01
MgO	0.87	0.03	0.09	0.05	0.30	0.37	0.45	0.07	0.38	3.45	0.73	0.06	0.11	2.72	0.48	0.20	0.13
CaO	0.30	1.10	0.27	0.82	0.76	1.01	0.43	0.21	0.29	0.19	0.24	0.46	0.43	0.16	0.30	0.36	0.33
Na ₂ O	1.36	4.63	3.26	4.44	3.97	6.24	4.40	3.53	0.03	0.14	2.81	4.39	5.30	0.20	4.68	3.89	5.35
K ₂ O	3.57	4.12	6.82	5.81	4.96	1.63	4.02	7.86	0.66	0.80	3.04	4.34	3.21	2.71	4.19	5.00	2.87
P ₂ O ₅	0.02	0.01	0.01	0.01	0.04	0.04	0.03	0.02	0.01	0.06	0.03	0.04	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01

续表2

H ₂ O	1.74	0.52	0.38	0.32	1.18	0.74	0.54	0.22	0.94	2.48	1.44	0.40	0.54	2.20	0.98	0.72	0.36
CO ₂	0.04	0.18	0.05	0.12	0.19	0.09	0.08	0.28	0.09	0.05	0.07	0.18	0.09	0.04	0.07	0.05	0.05
总量	100.1	99.8	100.3	99.7	100.6	100.0	100.3	99.5	99.6	100.2	99.4	100.6	100.0	99.6	99.3	100.5	99.5
Cr	10	10	5	5		5	38		10	75	87	10	5	89	40	5	5
Ni	14	11	10	12		8	41		15			5	5			5	5
Co	5	5	5	5		5	1		5			5	5			5	5
Sc	3								1	1	2	3		1	1		
V	44	10	7	6		8	6		10	27	5	10	5	4	5	7	5
Rb	100	144	144	228	181	136	140	227	33	45	137	270	200	133	201	281	136
Ba	1112	1581	1120	1610	816	302	622	383	103	104	258	177	152	246	755	337	99
Sr	37	242	103	226	140	314	196	63	6	4	46	33	36	11	113	47	30
Nb	7	5	6	6	11	7	9	13	8	5	26	41	33	27	60	30	59
Zr	61	33	51	67	57	107	49	2	23	60	59	89	148	30	43	108	38
Y	4	1	1	3	12	4			2	8	50	92	67	42	34	65	35
Th	5	5	5	5	14	5	13	5	5	4	30	23	25	18	21	36	8
La	4.70	2.10	2.72	4.94	22.40	11.64	12.00	2.08	1.36	13.55	1.99	5.31	6.08	5.77	7.80	17.40	11.13
Ce	11.36	3.07	3.78	5.83	21.64	22.63	16.30	5.64	2.21	15.35	7.19	10.95	8.57	6.55	8.56	32.02	19.35
Pr	0.74	0.28	0.44	0.82	3.39	1.97	2.05	0.49	0.24	2.13	0.46	0.62	1.51	0.79	1.36	3.29	1.52
Nd	2.37	0.89	1.50	2.82	11.94	6.91	7.16	1.52	0.86	8.12	2.03	3.98	4.79	3.61	7.20	11.50	4.74
Sm	0.53	0.20	0.35	0.63	2.90	1.22	1.72	0.52	0.22	1.71	1.19	1.50	1.88	1.05	2.30	2.74	1.89
Eu	0.37	0.54	0.35	0.42	0.72	0.36	0.34	0.12	0.06	0.27	0.17	0.19	0.30	0.22	0.39	0.27	0.13
Gd	0.58	0.23	0.33	0.66	1.63	1.16	2.24	0.71	0.25	1.62	3.24	5.11	3.44	2.05	4.21	4.25	3.88
Tb	0.09	0.03	0.05	0.10	0.30	0.14	0.38	0.19	0.04	0.30	0.79	1.07	0.91	0.65	1.04	0.88	0.96
Dy	0.59	0.17	0.24	0.54	1.64	0.69	3.19	0.51	0.26	1.27	6.49	8.94	8.14	5.22	7.66	9.21	8.01
Ho	0.13	0.03	0.04	0.10	0.37	0.15	0.67	0.11	0.06	0.25	1.66	2.41	1.80	1.33	1.68	2.13	1.58
Er	0.35	0.08	0.10	0.25	1.06	0.37	1.61	0.18	0.16	0.57	4.40	7.60	5.85	4.00	4.98	6.78	4.45
Tm	0.06	0.01	0.02	0.04	0.17	0.06	0.29	0.04	0.03	0.10	0.76	1.42	1.12	0.59	0.70	1.25	0.65
Yb	0.43	0.10	0.12	0.29	1.35	0.42	1.97	0.23	0.21	0.57	4.90	11.02	9.86	3.57	4.46	11.08	4.91
Lu	0.08	0.03	0.02	0.05	0.14	0.07	0.10	0.04	0.04	0.10	0.70	1.88	1.70	0.51	0.57	1.80	0.82
ΣREE	22.4	7.8	10.1	17.5	69.6	47.8	50.0	12.4	6.0	45.9	36.0	62.0	56.0	35.9	52.9	104.6	64.0
(La/Yb) _n	7.3	13.8	14.9	11.2	10.9	18.3	4.0	6.0	4.2	15.7	0.3	0.3	0.4	1.1	1.2	1.0	1.5
Eu/Eu*	2.05	7.60	3.13	2.00	0.93	0.92	0.53	0.61	0.77	0.49	0.25	0.19	0.36	0.46	0.38	0.24	0.15
Ba/Ba*	1.48	1.63	1.15	1.16	0.51	0.32	0.47	0.28	0.25	0.24	0.12	0.07	0.07	0.16	0.37	0.11	0.09

注:①表中常量元素氧化物及其总量的单位均为%;微量元素、稀土元素及稀土元素总量(ΣREE)的单位均为 $\times 10^{-6}$;②所有样品的常量和微量元素用X荧光光谱法测定,样品A9603,A9841,A9914,A9923,A0014,A0020,A0028的稀土元素用等离子质谱测定,其余样品用等离子光谱法测定,测定由国家地质实验测试中心完成;③Eu/Eu*为铕异常,Ba/Ba*为钡异常,钡异常定义见Wan(1999);④采样位置见图1。

表3 鞍山太古宙具异常稀土模式长英质岩石的Nd同位素组成

Table 3 Nd isotope compositions of the Archaean felsic rocks with anomaly REE patterns in Anshan

序号	样品号	Sm ($\times 10^{-6}$)	Nd ($\times 10^{-6}$)	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	2σ	f _{Sm/Nd}	t _{DM} (Ga)	ε _{Nd} (2.5Ga)	ε _{Nd} (0Ga)
1	A0014	0.255	1.403	0.1099	0.5111	10	-0.441	2.99	-2.11	-29.96
2	A9605	2.370	11.812	0.1214	0.511210	7	-0.383	3.18	-3.75	-27.86
3	A9307	1.476	6.524	0.1368	0.511379	5	-0.305	3.48	-5.46	-24.56
4	A9603(1)	0.746	1.860	0.2427	0.512947	9	0.234	-1.07	-9.03	6.03
5	A9603(2)	0.718	1.781	0.2440	0.51301	10	0.240	-0.73	-8.30	7.16
6	A9814	1.078	3.341	0.1952	0.51234	10	-0.008	6.52	-5.41	-5.74

注:①岩石名称及采样位置见表1和图1;②Sm、Nd同位素分析流程见张宗清等(1987),测定由中国地质科学院地质研究所完成;③亏损地幔模式年龄计算: $t_{DM} = (1/\lambda) \ln \{ [(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}) - 0.51315] / [(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}) - 0.2137] + 1 \}$ 。

3 讨论

类型I岩石与鞍山地区3.8 Ga奥长花岗岩(万渝生等,1999)的稀土模式十分类似,都以轻稀土无明显富集,出现正铕异常为特征。其中,伟晶质二长

花岗岩(A9923,A0028)以脉状平行分布于3.8 Ga条带状奥长花岗质片麻岩中,亦遭受强烈变形,被3.1 Ga立山奥长花岗岩派生岩脉穿插,很可能为3.8 Ga条带状片麻岩在3.3 Ga变质变形期间部分熔融的产物。它们稀土总量低于熔融母岩,与熔融过

程中副矿物难熔残余有关(Bea, 1996; 吴澄宇等, 1998)。钾长花岗岩(A0014)取自古老岩石带南侧, 岩石明显富 K_2O , 但稀土模式与 3.8 Ga 岩石十分类似。岩石存在正钽异常, 意味着熔融母岩未经历强烈外生作用的影响(Wan, 1999)。它们可能与 3.8 Ga 岩石存在物源上的成因联系。果真如此, 样品低的 t_{DM} 年龄(2.99 Ga)则表明后期强烈改造作用的存在。浅粒岩(A9916)组成特征与 3.8 Ga 奥长花岗质岩石也十分类似, 推测为 3.8 Ga 岩石近距离搬运沉积的产物, 但不排除为同时代酸性火山沉积岩的可能。

本文涉及的岩石中, 第Ⅱ类岩石元素组成(包括稀土模式)最接近正常长英质岩石。由于它们稀土总量与 3.8 Ga 岩石相近甚至更高, 后者作为其熔融母岩的可能性不大。二长花岗岩(A9605)切割东山古老带, 亏损地幔模式年龄为 3.18 Ga, 与锆石 U-Pb 形成年龄十分接近。结合地球化学组成特征, 它们可能为 3.1 Ga 立山奥长花岗岩(万渝生等, 1998)进一步结晶分异的产物。奥长花岗质岩石(A0020)位于 3.0 Ga 铁架山花岗岩中, 但相互关系不清。前者明显高 Na_2O 低 K_2O , 与铁架山花岗岩(万渝生等, 1998)元素组成存在很大差异。可能为铁架山花岗岩中的残余体。

第Ⅲ类岩石稀土总量存在很大变化。二长花岗岩脉(A9307)切割 3.3 Ga 陈台沟花岗岩, 具明显负钕负钽异常, 亏损地幔模式年龄高达 3.48 Ga(表3), 其形成与成熟度高的古老陆壳物质有关。钾长花岗岩脉(A9603)切割古老岩石带, 变形弱, 可能形成于太古宙晚期。岩石明显富钾, 但与鞍山地区大范围分布的齐大山钾长花岗岩在其他方面存在很大区别, 两者显然无成因上的联系。岩石轻稀土富集, 但具正的 $f_{Sm/Nd}$ 值。由于两次同位素稀释法分析都给出类似的结果, 可能反映了实际的情况。这是否表明岩石虽总体上轻稀土相对富集, 但 Nd 却相对于 Sm 亏损, 这还有待进一步查明。 $f_{Sm/Nd}$ 呈正值使岩石 t_{DM} 年龄出现无意义的负值。但 $\epsilon_{Nd}(2.5Ga)$ 呈高的负值(-8.30~-9.03), 则暗示其熔融母岩已有较长的地壳滞留时间。石英片岩和绿泥石英片岩(A9842, A9914)高 SiO_2 , 低 CaO 、 Na_2O 、 K_2O , 具高的 K_2O/Na_2O 比值, 出现较强的负 Eu 负 Ba 异常, 显然是有过强烈外生作用改造的变质沉积岩, 来自成熟度较高的物源区。它们稀土总量低与强烈外生分异和石英稀释作用有关。

第Ⅳ和Ⅴ类中的花岗质岩石为奥长或二长花岗

岩。两者常量元素组成都以高 SiO_2 低 CaO 为特征, 但奥长花岗岩 Na_2O 含量更高, 相应地有更大的 Na_2O/K_2O 比值。这两类岩石稀土模式实际上无本质区别, 其差异主要在于重稀土富集程度不同。具明显负钕异常是它们的共同特征。第Ⅴ类岩石的稀土模式与具四重效应(tetrad effect)的稀土模式(Bau, 1996; Irber, 1999)相似, 不过细节上仍有差异, 是分析误差或其他原因所致需进一步研究。在岩石/MORB-元素图解上, 它们微量元素分布形式十分相似, 高 Rb、Th、Nb, 低 Sr、P、Ti, 出现明显负钽异常。一些研究表明, 高成熟度地壳物质的部分熔融是这类花岗质岩石形成的必要条件(吴澄宇等, 1994)。然而, 对大兴安岭年轻花岗岩的研究表明物源区为新生地壳物质(Jahn et al., 2002)。尽管对熔融母岩是否为高成熟度地壳物质仍有不同认识, 都几乎一致认为高度演化、强烈结晶分异及流体作用是这类花岗质岩石形成必不可少的条件(吴澄宇等, 1994; Bau, 1996; Jahn et al., 2002)。形成过程中有大量挥发组份存在, 富稀土副矿物的分离起了重要作用。这类花岗质岩石在本区出露规模都不大, 一些还具伟晶岩的产出特征, 其形成看来确实经历了强烈分异、流体作用的高度演化。

较难确定本区这类花岗质岩石是由什么样的母岩浆演化而来。根据现有资料, 铁架山花岗岩为其母岩浆的可能性较大。铁架山花岗岩由成熟度高的早期地壳物质部分熔融形成, 具有高的稀土含量和轻稀土富集的稀土模式, 含有较多轻稀土强烈富集的副矿物褐帘石(万渝生等, 1999, 2002)。在局部有利环境条件下铁架山花岗岩经进一步强烈结晶分异, 大量褐帘石等轻稀土富集的副矿物带出, 可以形成上述具异常稀土组成特征的花岗质岩石。第Ⅳ和Ⅴ类岩石稀土模式的差异则与结晶分异过程中带出副矿物的种类和含量不同有关。空间上这类花岗质岩石主要分布于铁架山花岗岩出露范围及附近有利于这一认识。但铁架山花岗岩相对高钾低钠, 似与上述认识不符。值得注意的是, 具第Ⅳ和第Ⅴ类型异常稀土模式的岩石都包括了二长和奥长花岗质岩石, 表明岩石常量元素组成和稀土模式之间不存在必然的联系, 而主要与形成过程中不同种类副矿物的分离有关。

具这类稀土和微量元素组成特征的花岗质岩石在中国华南及世界其他地区也有分布(Yurimoto et al., 1990; 吴澄宇等, 1992; Sun et al., 1996), 但多为年轻花岗岩。以往发现的这类岩石最早出现在古

元古代。在鞍山它们形成于太古宙阶段,部分甚至可能形成于中太古代,这一现象在全球范围内也十分的罕见。根据鞍山地区的研究,它们轻稀土亏损或“平坦型”的稀土模式,显然并不意味着与亏损地幔有物源上的成因联系,而是来自成熟度高的早期陆壳物质。轻稀土发生相对亏损与壳内再循环作用,特别是岩浆结晶分异有密切的联系。不论它们形成与铁架山花岗岩是否有关,都表明鞍山地区至少在太古宙阶段就具有与年轻同类花岗质岩石形成类似的地质和物理化学条件。这与该区存在很长地质演化历史的认识相吻合。由于这类花岗质岩石与 W、Sn、Nb、Ta 等矿有密切的关系,鞍山地区是否存在相关的矿床也值得注意。

在这类岩石样品中,至少可肯定 A9814(绿泥白云石英片岩)为沉积变质成因。具这类稀土模式的泥沙质岩石也是华北克拉通首次发现的。异常的稀土模式是继承了花岗质岩石的组成特征,或是相反?由于时代关系不清,不能作出肯定的判断。推测前一种可能性更大。岩石 $f_{\text{Sm}/\text{Nd}}$ 近于为0,出现无意义的 t_{DM} 值(6.52 Ga)。但 ϵ_{Nd} (2.5Ga)呈大的负值(-5.41),表明它们形成时就具有很长的地壳滞留时间。具异常 Nd 同位素模式年龄的花岗质岩石在华南等地也有出现(沈渭洲等,1989;袁中信等,1992;Jahn et al., 2002)。

长英质陆壳岩石钨异常和钼异常之间存在相关关系(Wan, 1999)。这一现象在鞍山地区具异常稀土模式的高度演化长英质岩石中也存在。岩石负钨异常越强,负钼异常也越强。负钨、负钼异常弱的长英质岩石成熟度低,例如第 I 和 II 类岩石。反之,负钨、负钼异常强的长英质岩石成熟度高,例如第 IV 和 V 类岩石。看来长英质陆壳岩石钨、钼异常确实可反映其组成特征、物质来源及成因。除长石分离等因素外,高温流体作用也可明显地增大长英质陆壳岩石的钨、钼异常(Jahn et al., 2002)。

4 结论

鞍山地区存在5种具异常稀土模式的太古宙长英质地壳物质:类型 I:轻稀土相对富集出现强正钨异常;类型 II:轻稀土相对富集无明显钨异常;类型 III:轻稀土相对富集出现负钨异常;类型 IV:轻稀土相对亏损出现负钨异常;类型 V:中稀土相对亏损出现强负钨异常。它们普遍高 SiO_2 , 低 ΣFeO 、 MgO 、 CaO 和 TiO_2 , 稀土总量低。由于稀土模式异常,部分岩石出现无意义 Nd 同位素亏损地幔模式

年龄。其中类型 I 花岗质岩石可能为 3.8 Ga 条带状片麻岩部分熔融的产物。类型 IV 和 V 长英质岩石可能是由铁架山花岗岩在局部有利环境条件下经进一步强烈结晶分异所形成。它们在太古宙时期十分的罕见,鞍山地区它们广泛存在与该区具有很长地质演化历史有关。研究表明,这些具异常稀土模式的岩石钨、钼异常之间也存在明显的相关关系。

致谢:本文写作过程中曾与吴福元教授进行过讨论,获益非浅。深表谢意。

参考文献

- 沈渭洲,朱金初,刘昌实. 1989. 从 Nd 模式年龄谈华南地壳的形成时间. 南京大学学报(地球科学版), 3: 82~91.
- 万渝生,伍家善,刘敦一,宋彪,张宗清. 1997. 鞍山 3.3Ga 陈台沟花岗岩地球化学和 Nd、Pb 同位素特征. 地球学报, 18(4): 382~388.
- 万渝生,刘敦一,伍家善,张宗清,宋彪. 1998. 辽宁鞍山一本溪地区中太古代花岗质岩石的成因—地球化学及 Nd 同位素制约. 岩石学报, 14(3): 278~288.
- 万渝生,宋彪,伍家善,张宗清,刘敦一. 1999. 鞍山 3.8Ga 奥长花岗质岩石的地球化学和 Nd、Sr 同位素组成及其意义. 地质学报, 73(1): 23~36.
- 万渝生,耿元生,沈其韩,刘敦一,宋彪,唐素寒,王进辉. 2002. 鞍山中太古代铁架山花岗岩中表壳岩包体的地球化学特征及地质意义. 地质科学(待刊).
- 伍家善,耿元生,沈其韩,万渝生,刘敦一,宋彪. 1998. 中朝古大陆太古宙地质特征及构造演化. 北京:地质出版社, 1~212.
- 吴澄宇,白鸽,黄典豪,朱正书. 1992. 南岭富重稀土花岗岩类的特征和意义. 中国地质科学院院报, 25: 43~58.
- 吴澄宇,朱正书. 1994. 南岭地区高度演化花岗岩类的稀土元素模型. 地质论评, 40(5): 406~417.
- 吴澄宇,万渝生. 1998. 稀土元素地球化学与花岗质岩石成因—应用与问题. 见:张炳熹,洪大卫,吴宣志,主编. 岩石圈研究的现代方法. 北京:原子能出版社, 201~214.
- 袁中信,张宗清. 1992. 南岭花岗岩类岩石 Sm、Nd 同位素特征及岩石成因探讨. 地质论评, 38(1): 1~15.

References

- Bau M. 1996. Controls on the fractionation of isovalent trace elements in magmatic and aqueous system: evidence from Y/Ho, Zr/Hf, and lanthanide tetrad effect. Contributions to Mineralogy and Petrology, 123: 323~333.
- Bea K. 1996. Residence of REE, Y, Th and U in granites and crustal protoliths; implications for the chemistry of crustal melts. Journal of Petrology, 37(3): 521~552.
- Irber W. 1999. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites. Geochim. Cosmochim. Acta, 63: 489~508.
- Jahn B M, Wu F Y, Capdevila R, Martineau F, Zhao Z H, Wang Y X. 2002. Highly evolving juvenile granites with tetrad REE patterns: the Woduhe and Baerzhe granites from the Great Xingan Mountains in NE China. Lithos. (in press).
- Liu D Y, Nutman A P, Compston W, Wu J S and Shen Q H. 1992. Remnants of ≥ 3800 Ma crust in the Chinese part of the Sino-Korean craton. Ge-

- ology. 20: 339~342.
- Song B, Nutman A P, Liu D Y, Wu J S. 1996. 3800 to 2500 Ma crust in the Anshan area of Liaoning Province, northeastern China. *Precambrian. Research*, 78: 79~94.
- Sun S S, Higgins N C. 1996. Neodymium and strontium isotope study of the Blue Tier Batholith, NE Tasmania, and its bearing on the origin of tin-bearing alkali feldspar granites. *Ore Geological Review*, 10: 339~365.
- Wan Yusheng, Wu Jiashan, Liu Dunyi, Song Biao, Zhang Zongqing. 1997. Geochemistry and Nd, Pb isotopic characteristics of 3.3 Ga Chentaigou granite in Anshan area. *Acta Geoscientia Sinica*, 18 (4): 382~388 (in Chinese with English abstract).
- Wan Yusheng, Liu Dunyi, Wu Jiashan, Zhang Zongqing, Song Biao. 1998. Nd isotopic constraints on Archaean crust evolution in Anshan area, China. *Chinese Science Bulletin*, 43: 137.
- Wan Yusheng, Liu Dunyi, Wu Jiashan, Zhang Zongqing, Song Biao. 1998. The origin of Mesoarchean granitic rocks from Anshan-Benxi area: constraints of geochemistry and Nd isotope. *Acta Petrologica Sinica*, 14 (3): 278~288 (in Chinese with English abstract).
- Wan Yusheng. 1999. Ba anomaly and its geochemical significance. *Continental Dynamics*, 4 (1): 84~87.
- Wan Yusheng, Song Biao, Wu Jiashan, Zhang Zongqing, Liu Dunyi. 1999. Geochemical and Nd and Sr isotopic compositions of 3.8 Ga trondhjemitic rocks from the Anshan area and their significance. *Acta Geologica Sinica*, 73 (1): 25~36 (in Chinese with English abstract).
- Wan Yusheng, Geng Yuansheng, Shen Qihan, Liu Dunyi, Tang Suohan, Wang Jinhui. 2002. Geochemical characteristics of supracrustal enclaves in Mesoarchean Tiejiaoshan granite of the Anshan area and its geological significance. *Scientia Geologica Sinica* (in Chinese with English abstract) (in press).
- Wu Jiashan, Geng Yuansheng, Shen Qihan, Wan Yusheng, Liu Dunyi, Song Biao. 1998. Archaean geology characteristics and tectonic evolution of China-Korea Paleo-continent. Beijing: Geological Publishing House, 1~212 (in Chinese).
- Yurimoto H, Duke E F, Papike J J, Shearer C K. 1990. Are discontinuous chondrite-normalized REE patterns in pegmatitic granite systems the results of monazite fractionation? *Geochim. Cosmochim. Acta*, 54: 2141~2145.

Discovery of Archaean Felsic Rocks with Anomalous REE Compositions in the Anshan Area and Its Significance

WAN Yusheng^{1,2)}, SONG Biao^{1,2)}, LIU Dunyi^{1,2)}

1) *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*

2) *Open Laboratory on Isotope Geology, Ministry of Land and Resource of Peoples' Republic of China, Beijing, 100037*

Abstract

Anshan, one of the most important areas in the North China craton, underwent a long geological process in the Archaean from 3.8 Ga to 2.5 Ga. Recently we have found a lot of felsic rocks with anomalous REE compositions, including different kinds of granitic rocks (veins) and meta-sedimentary rocks, in the area. They generally occur in small scales and are formed in different stages of the Archaean. Their REE patterns can be subdivided into 5 types: (1) LREE enrichment, with a positive Eu anomaly; (2) LREE enrichment, without obvious Eu anomaly; (3) LREE enrichment, with a negative Eu anomaly; (4) LREE depletion, with a negative Eu anomaly; (5) MREE enrichment, with a strong negative Eu anomaly. All of the rocks are characterized by a high content of SiO₂ and low contents of ΣFeO , MgO, CaO, TiO₂ and ΣREE . Some of them give meaningless t_{DM} ages of the Nd isotope. The discovery of the rocks with REE patterns of types IV and V is of especially important significance. Granitic rocks with the same REE patterns, mostly being young granites, have been found in the South China platform and other areas of the world and show genetic relationships with W, Sn, Nb and Ta mineral deposits. They are considered to be highly evolved rocks formed by strong fractional crystallization and hydrothermal interactions. Their existence in Anshan indicates that at least in the late Archaean, the area was in geological and physical-chemical conditions similar to those under which the young granites were formed. It is consistent with the view that the Anshan area underwent a long geological evolution history in the Archaean. It is also interesting to note that there is a clear linear relationship between the Eu anomaly and the Ba anomaly in rocks with anomalous REE patterns, a fact that has been identified in many felsic materials elsewhere.

Key words: anomalous REE patterns; Nd isotope; granite; meta-sedimentary rocks; Anshan; Archaean