

山东沂水杂岩中变基性岩类的 Sm-Nd 同位素年龄及其地质意义

沈其韩 张宗清 徐惠芬

(中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

主题词 山东沂水杂岩 变基性岩 二辉斜长角闪岩 Sm-Nd同位素年龄

提 要 在山东太古宙沂水杂岩的变基性岩类中首次获得的Sm-Nd全岩等时线同位素年龄为2997Ma, 证实了山东中部的郯庐断裂带中有中太古代麻粒岩相表壳岩存在。沂水杂岩的岩石组合主要有二辉斜长麻粒岩、二辉斜长片麻岩、二辉铁英岩(少量)、二辉斜长角闪岩和紫苏花岗岩类等, 它们组成了山东最老的汞丹山地块, 其时代大致相当于胶东群, 但层位可能更为偏下。沂水杂岩为高角闪岩相至麻粒岩相。变基性岩的原岩相当低钾拉斑玄武岩, 稀土配分具有较平坦型和轻稀土富集型两种模式。岩石的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值为 $+3.8 \pm 0.3$, 物源来自亏损(上)地幔。它与华北陆台北缘麻粒岩相中部分岩石的岩性十分相似, 表明其源区的化学特征相似, 但主体的稀土模式有所不同, 说明太古宙不同地区相似岩石地球化学的不均匀性。

1 地质概况

山东沂水县城以东分布有一套二辉斜长角闪岩—麻粒岩—紫苏花岗岩杂岩^[1,2]。山东地质八队在本区进行1:5万地质填图时, 将这套杂岩中的表壳岩称为沂水群并由下而上划分为石山官庄和林家官庄两个岩组(详见图1)。

石山官庄组分布于研究区北部, 岩层主要由角闪紫苏(或二辉)斜长麻粒岩、紫苏黑云斜长片麻岩夹薄层紫苏(或二辉)铁英岩等组成, 其中被较多的紫苏花岗闪长岩和紫苏花岗岩穿插; 林家官庄组分布于研究区南部, 主要由细粒二辉斜长角闪岩和黑云斜长片麻岩组成。整个岩群总体产状为NE—SW向, 倾向南东, 倾角46—60°, 褶皱变形强烈。在石家官庄一带岩层局部形成一个向NW倒转的背斜。两个岩组未见直接接触, 其间被时代为2300Ma的二长花岗岩所分隔, 由于有多条长达数公里呈NE—SW走向的韧性剪切带叠加改造, 使花岗岩明显地变成为千糜岩和糜棱岩。

本区岩群的变质程度相当于高角闪岩相至麻粒岩相并以后者为主, 变质岩的峰期变质温度 $T=800^{\circ}\text{C}$, 压力 $P=0.75\text{GPa}$ 。

测定Sm-Nd年龄的样品主要采自林家官庄村南约1km的林家官庄组, 岩石主要为二辉斜长角闪岩(5个)和透辉斜长角闪岩(1个), 该区地表第四系覆盖较广, 样品均采自相距不远的采石坑(比较新鲜)。

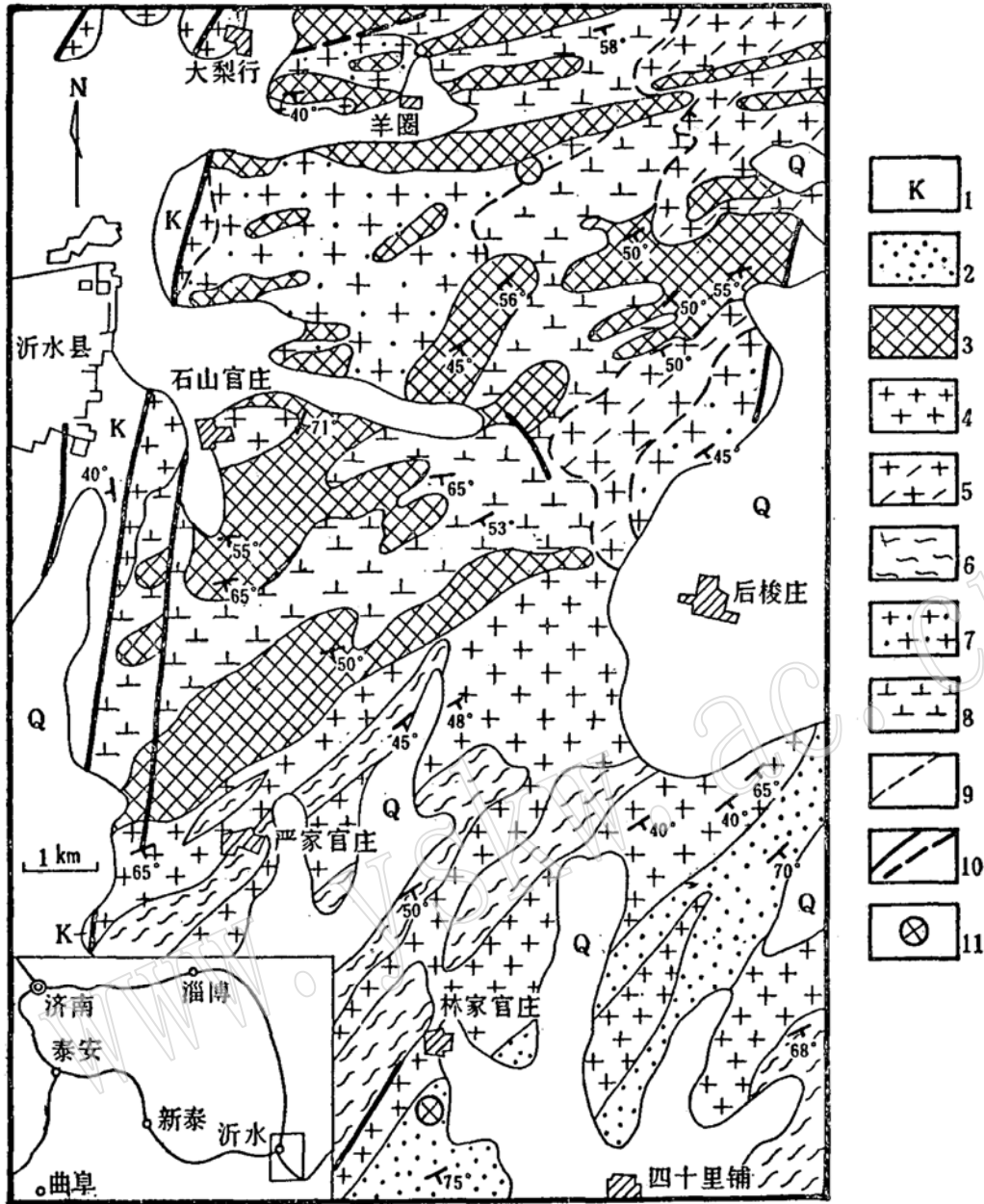


图 1 山东沂水地区地质图

(据山东地质八队1:5万沂水幅地质图略加修改)

Fig. 1 Geological map of Yishui area, Shandong province

1—白垩系；2—林家官庄组；3—石山官庄组；4—古元古代二长花岗岩；5—晚太古代花岗岩；6—晚太古代混合岩(?)；7—晚太古代紫苏花岗闪长岩；8—晚太古代紫苏花岗岩；9—地质界线；10—断层(实测和推断)；11—同位素年龄样品取样点

2 样品的岩相学描述

用于年龄测定的六个样品可分为两个岩石类型：

1) 透辉斜长角闪岩 (YS-28)

岩石呈黑绿色，块状构造，细粒状，镜下呈花岗粒状变晶结构，粒度0.3—0.5mm，组成矿物为斜长石、浅闪石质角闪石和次透辉石；副矿物有柱状磷灰石和锆石以及极少量粒状磁铁矿。斜长石 ($An=55\pm$) 呈多边形粒状，部分具细而密的聚片双晶，但有的很不完整，

少量具肖钠双晶。普通角闪石(钙质角闪石)呈柱一粒状,与斜长石共生,多色性: Np —黄绿色, Ng —棕绿色, $Ng\Delta c=20^\circ$ 。另见有少数呈蓝绿色较大长柱状的角闪石,具密集的(010面)双晶纹,形成较晚。次透辉石呈粒状,黄绿色,具弱多色性,含量较少。

2) 二辉斜长角闪岩(YS-24a, YS-24b, YS-25a, YS-26, YS-27)

手标本的特征同1),镜下呈花岗变晶粒状结构,组成矿物主要有斜长石、普通角闪石、次透辉石和紫苏辉石;副矿物主要有少量磁铁矿(YS-24b中含量多,可能还有钛磁铁矿)。如紫苏辉石含量远少于次透辉石时可称为含紫苏辉石透辉斜长角闪岩,二者为过渡关系。

斜长石有两类:一类斜长石($Pl_1, An=67-70$)为细粒状,大部分具有聚片双晶,但发育不好,个别双晶纹显弯曲(YS-26),这是组成岩石的主体矿物。另一类斜长石($Pl_2, An=40\pm$)呈微粒状,略具聚片双晶,与 Hb_2 共生。

普通角闪石也有两类,形成于不同时期。第一期普通角闪石(Hb_1)呈不规则柱状, Np —黄绿, Nm —棕绿, Ng —绿。它们均属钙质角闪石,相当于浅闪石质角闪石^[1]。第二期普通角闪石(Hb_2)呈细粒状,产于较大紫苏辉石和次透辉石晶体的边部以及裂隙中,多色性: Np —浅黄, Ng —蓝绿,属镁角闪石。紫苏辉石($X_{Mg}=0.51-0.56$)^[1]以呈较大的不规则柱体、具浅粉色多色性和平行消光为特征,少数显示斑块状的波状消光和模糊的环状消光;常见角闪石的(110)柱面平行片理排列,呈连续或不连续的条带。透辉石($X_{Mg}=0.65-0.82$)^[1]呈粒状、浅灰绿色,大量被包于普通角闪石晶体中,成分相当于次透辉石。

3 样品的岩石化学和稀土地球化学特征

样品的岩石化学和稀土地球化学分析结果详见表1和表2。

6个样品的 SiO_2 含量均小于50%(48.25—49.98%),故多属基性岩类。大部分样品的 TiO_2 含量在1%上下,YS-28中含量稍低,为0.68%。样品YS-24b在镜下所见磁铁矿含量较多,因此化学成分中 Fe_2O_3 的含量也较高,可达6.32%。 TiO_2 含量也高达2.48%,从换算的标准矿物看存在钛磁铁矿,这个样品中的磁铁矿也较其它样品高出一倍以上。 MgO 含量为4.22%—9.52%,大部分在6%—7%之间。但从标准矿物含量看,既有富橄榄石的,也有不含橄榄石的,说明其矿物成分有一定变化。 Na_2O 的含量比较稳定,一般在2.46%—3.27%之间,绝大部分小于3%。 K_2O 含量最大的仅为0.62%,一般在0.39%—0.59%之间,因此属低钾类型。 $K_2O/Na_2O=0.15-0.25$, $CaO/Al_2O_3=0.66-0.88$,与世界其它地区太古宙同类岩石相比偏高。在AFM图上,它们都落于拉斑玄武岩区,但多数样品接近钙碱性岩界线。

6个样品中,YS-24b的稀土总量最高,可达89.76(ppm),可能与伴生较多的钛磁铁矿有关,其余样品稀土含量较低,在27.55—44.96(ppm)间。经用益田(A. Masuda)值进行标准化后编制的稀土模式有两种图形:一为平坦型(YS-24a, YS-25a, YS-26, YS-27, YS-28),另一种为轻稀土富集型(YS-24b)。部分样品(YS-25a, YS-28)略显Eu正异常,大部分样品Eu异常不明显。在 $La/Yb-La$ 的相关图解中,这些样品落在大陆拉斑玄武岩与钙碱性玄武岩的过渡区,与在AFM图上显示的基本一致(图2)。据徐惠芬的研究^[1],变基性岩中K有亏损,Rb的含量为7—12(ppm),与Jahn等(1979)统计的太古代玄武质岩石的Rb含量平均值为6—9(ppm)基本一致。部分岩石的Rb/Sr比值为0.06—0.07, Sr/Ba

表 1 岩石化学分析和计算的矿物成分

Table 1 Chemical analyses of rock samples and calculated mineral composition

样号 氧化物%	顺序							顺序					
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
	ys-24a	ys-24b	ys-26	ys-27	ys-25a	ys-28		ys-24a	ys-24b	ys-26	ys-27	ys-25a	ys-28
SiO ₂	49.98	48.25	48.87	48.78	48.98	48.76	Ap	0.17	0.45	0.17	0.14	0.24	0.19
TiO ₂	1.06	2.48	1.01	1.08	0.98	0.68	Il	2.02	4.69	1.93	2.06	0.86	1.30
Al ₂ O ₃	13.60	13.03	14.22	14.21	14.33	16.52	Mt	3.45	9.13	4.14	5.71	4.94	2.52
Fe ₂ O ₃	2.37	6.32	2.84	3.92	2.32	1.73	Cc	0.41	0.32	0.41	0.27	0.62	0.21
FeO	10.53	9.99	10.49	9.43	10.53	7.92	Or	3.50	2.83	3.51	2.32	5.49	3.68
MnO	0.20	0.25	0.20	0.19	0.20	0.16	Ab	25.07	27.57	22.06	21.17	25.40	20.88
MgO	6.94	4.22	7.44	6.47	6.94	9.52	An	22.22	19.38	25.59	26.56	26.65	32.30
CaO	11.00	11.50	10.77	12.34	11.79	11.04	Diwo	13.11	15.22	11.27	14.25	10.12	9.19
Na ₂ O	2.95	3.27	2.59	2.49	2.49	2.46	DiEn	6.65	7.80	5.93	7.71	6.62	5.70
K ₂ O	0.59	0.48	0.59	0.39	0.44	0.62	DiFs	6.15	7.04	5.00	6.05	2.79	2.95
P ₂ O ₅	0.07	0.19	0.07	0.06	0.08	0.08	Hy	7.83	5.10	10.47	10.03	10.14	4.26
H ₂ O	0.80	0.62	0.84	1.12	0.83	1.17	HEn	4.06	2.68	5.68	5.62	7.13	2.80
CO ₂	0.18	0.14	0.18	0.12	0.17	0.09	HF _s	3.76	2.42	4.79	4.41	3.01	1.45
							Ol	9.42	0.00	9.51	3.74	6.12	16.83
							(Fo)	4.66	0.00	4.93	2.00	4.18	10.71
总量	100.27	100.74	100.11	100.60	100.08	100.71	(Fa)	4.76	0.00	4.58	1.73	1.94	6.12

注：常量元素由地质矿产部岩矿测试研究所刘以建分析；标准矿物含量 (wt %) 由耿元生计算。

表 2 岩石样品的稀土元素丰度 (ppm)

Table 2 REE abundances of rock samples

样号 元素 (ppm)	顺序					
	1	2	3	4	5	6
	YS 24a	YS 24b	YS 26	YS 27	YS-25 a	YS-28
La	4.36	11.15	3.67	3.61	3.17	2.96
Ce	11.61	30.00	8.54	9.68	9.06	8.28
Pr	1.62	4.23	1.29	1.34	1.14	0.88
Nd	8.21	20.76	6.68	7.63	7.60	4.87
Sm	2.56	5.39	2.09	2.49	2.41	1.54
Eu	1.07	1.93	0.94	1.06	1.09	0.71
Gd	5.30	6.09	4.27	5.17	3.60	2.48
Tb	0.53	0.70	0.61	0.54	0.58	0.42
Dy	3.88	4.43	3.24	3.80	3.32	2.21
Ho	0.84	0.85	0.70	0.82	0.69	0.44
Er	2.29	2.12	1.93	2.36	2.13	1.37
Tm	0.33	0.27	0.27	0.34	0.28	0.18
Yb	2.20	1.65	1.70	2.20	1.97	1.21
Lu	0.16	0.19	0.25	0.28	0.20	<0.1
SUM REE	44.96	89.76	36.18	41.32	37.24	27.55
LREE/HREE	1.90	4.51	1.76	1.66	1.92	2.32
(La/Yb) _N	1.31	4.45	1.42	1.08	1.61	2.45
(La/Sm) _N	1.04	1.26	1.07	0.88	0.80	1.17
Eu/Eu*	0.88	1.04	0.95	0.89	1.14	1.12
Ce/Ce*	1.02	1.01	0.91	1.02	1.14	1.22

REE 由地质矿产部岩矿测试研究所李剑昌、伍新宇用 ICP 测定。

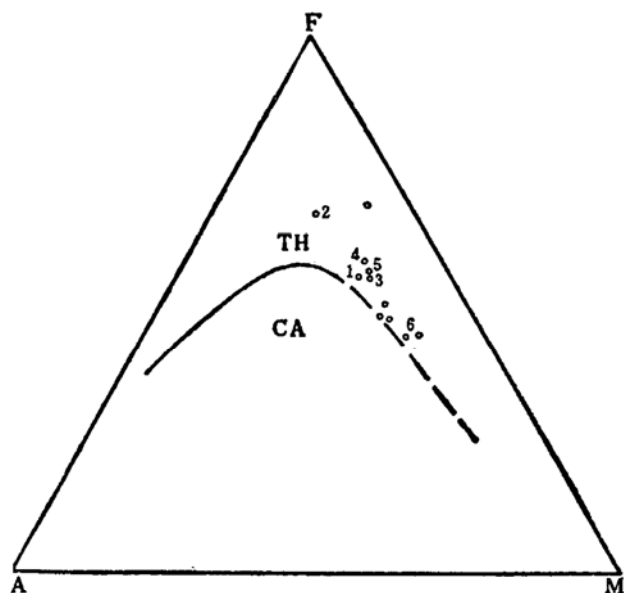


图 2 AFM图 (有编号的为Sm-Nd样品)
Fig. 2 AFM diagram

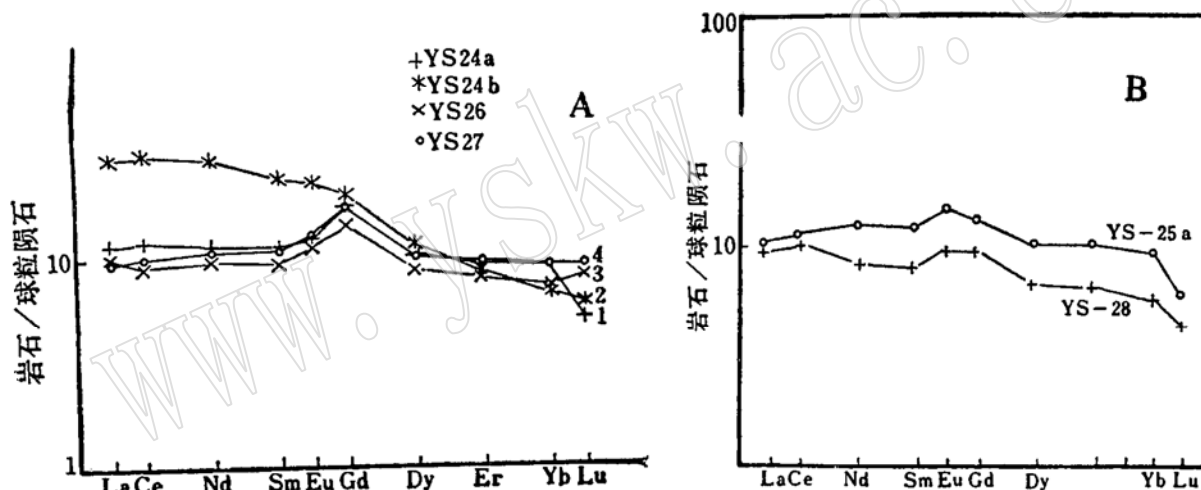


图 3 稀土模式
Fig. 3 Chondrite-normalized RFE patterns

比值为3.7, Cr/Ni比值为2—1.6。

4 Sm-Nd年龄测定

Sm-Nd 年龄测定在本所 Sm-Nd 同位素实验室内完成。样品用 HF + HNO₃ 溶解。溶液分成两部分：一份加稀释剂用于 Sm、Nd 含量测定；另一份用以测定 ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd。用 AG 50 W × 8(H⁺) 阳离子交换柱和 HDEHP 交换柱分离纯净 Sm 和 Nd。同位素测量采用 MAT-261 固体同位素质谱计，双 (Re) 带，M⁺ 离子型式，多法拉第筒接收器接收。质量分馏用 ¹⁴⁶Nd/¹⁴⁴Nd = 0.7219 改正。J. M Nd₂O₃ ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd = 0.511125 ± 8(26)，Sm/Nd 比值测定精度达 0.1%。Sm、Nd 流程空白近似 5 × 10⁻¹¹g。年龄用 York (1969) ⁷³ 回归分析法计算，ε_{Nd}(t)

值误差用 Fletcher 和 Rosman 方法计算^[4,7]。测定的结果如表 3。

由六个全岩样品根据表 3 计算出的 Sm-Nd 等时年龄为 2997 ± 78 Ma (见图 4), $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 初始值为 $0.510894 \pm 9(2\sigma)$ $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = +3.8 \pm 0.3$ 。

表 3 变基性岩 Sm-Nd 同位素年龄数据
Table 3 Sm-Nd isotopic data of metabasites

顺序号	样号	岩石名称	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}$	$\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}$	$\pm 2\sigma$
1	Ys-24a	含二辉斜长角闪岩	2.486	7.880	0.1908	0.512745	16
2	Ys-24b	二辉斜长角闪岩	5.413	21.191	0.1545	0.512000	6
3	Ys-26	二辉斜长角闪岩	2.123	6.588	0.1949	0.512792	19
4	Ys-27	二辉斜长角闪岩	2.238	6.836	0.1980	0.512862	15
5	Ys-25a	二辉斜长角闪岩	2.244	6.990	0.1942	0.512780	16
6	Ys-28	透辉斜长角闪岩	1.598	5.193	0.1861	0.512609	15

表中 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 和 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 个别数据系重行计算结果, 与文献[1]中稍有出入。

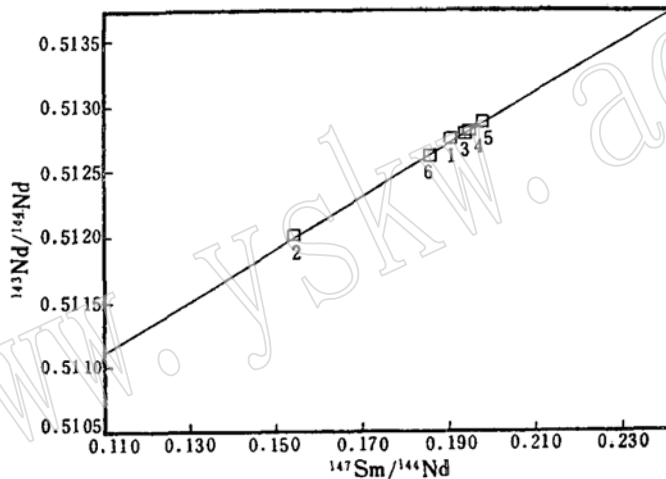


图 4 山东沂水变基性岩 Sm-Nd 同位素等时线图

Fig. 4 Sm-Nd isochron diagram of metabasites from Yishui, Shandong province

5 讨论

1) 本区用于 Sm-Nd 定年的样品, 按岩相学特征可以分为透辉斜长角闪岩和二辉斜长角闪岩两大类。每类岩石由于矿物含量有一定变化, 导致岩石化学和稀土地球化学上的差异。这种差异是由于岩浆分异造成的, 后来的变质作用并未产生明显的影响。这些样品均属玄武岩类, 在 AFM 图上位于钙碱性玄武岩和拉斑玄武岩过渡界线的拉斑玄武岩一侧。从样品的 Nd 同位素含量比较均一的特点看, 原岩的原始岩浆是比较均一的, 这是 Sm-Nd 等时线年龄测定的重要前提。

2) 关于本区沂水岩群和伴生的紫苏花岗岩类的定年, 山东省地质八队曾做过初步开拓性工作, 如在本区羊圈测得黑云二辉斜长片麻岩的 Rb-Sr 全岩等时年龄为 2760 Ma。同一地

区侵位于这套岩石中的紫苏花岗岩类岩石的锆石U-Pb一致线年龄为2770Ma和2706Ma。显而易见, 表壳岩的原岩生成年龄应大于侵入其中的紫苏花岗岩的年龄, 但确切的时代, 迄今还未测得。地质八队曾测得有三个镁铁质—超镁铁质岩的Sm-Nd模式年龄, 均稍大于3000Ma, 它们能否代表岩石的形成时间, 尚不清楚。变基性岩—二辉斜长角闪岩全岩Sm-Nd等时年龄2997Ma的获得, 填补了这方面的空白。由此可知, 沂水杂岩中表壳岩的形成时代相当于中太古代, 它与晚太古代紫苏花岗岩质岩石共同组成汞丹山地块, 是山东目前已知的最古老地体之一。

3) 汞丹山地块位于郯庐断裂带之中, 两侧均被断层分隔, 它与鲁西的泰山岩群、鲁东的荆山群和胶东岩群均未直接接触, 它们的岩石组合和岩性特征各不相同, 因此是一个独立的地体。它得以出露地表, 可能是由于元古早期古郯庐断裂的活动而被从深部抬升上来, 又经长期剥蚀所致。根据各岩群的岩石组合、变质程度和同位素年龄等方面的综合分析, 沂水杂岩中表壳岩与胶东岩群时代大致相当, 但岩石组合、岩性和变质程度不完全相同, 可能前者的产出位置较深。与泰山岩群相比, 沂水表壳岩时代较老。

4) 沂水杂岩中时代为中太古代的表壳岩被晚太古代(2700—2500Ma)的紫苏花岗闪长岩和紫苏花岗岩所侵入。花岗质岩石中常见有许多麻粒岩相岩石的捕虏体, 而这些花岗质岩石亦已经受麻粒岩相变质, 但前者的变质特征和残余构造与花岗质岩石并不一致^[1], 由此推断, 可能存在中太古和晚太古两期麻粒岩相变质作用。这与华北陆台北缘冀东迁西迁安一带具有十分相似的情况, 这对我们进一步研究太古时期麻粒岩相变质期次和地壳热流演化具有十分重要的意义。

5) 沂水岩群(表壳岩)的岩石组合及其主要岩石的岩石化学和稀土元素地球化学特征与华北陆台北缘同时代岩群有许多雷同之处^[1,3-5], 如在华北陆台北缘常见的麻粒岩—紫苏花岗岩—片麻岩组合在沂水地区均可见到。基性麻粒岩大部分相当拉斑玄武岩成分, 它的稀土元素分布模式具有平坦型和轻稀土富集型两种。大离子亲石元素的含量十分相似, 岩石的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值为 3.8 ± 0.3 , 说明物源来自亏损地幔, 与华北陆台北缘的麻粒岩相同, 但也有某些不同之处: 沂水岩群中基性麻粒岩和二辉斜长角闪岩基本上为低钾型, 而华北陆台北缘不少地区同类岩石含钾较高($>1\%$), 沂水岩群中基性麻粒岩相岩石的稀土元素分馏程度(就已获得的数据看)比华北陆台北缘的小, 说明不同地区的同类岩石显示出地球化学的不均一性。

6) 由于山东中、东部中太古代岩系的相继发现, 使以往中太古代岩系仅局限于华北陆台北缘的认识得到了更新, 对华北陆台古老地层的分布和古老构造格局的探索提供了新的思路。

参 考 文 献

- 1 沈其韩等. 中国早前寒武纪麻粒岩. 地质出版社, 1992. 237.
- 2 金隆玉、阎守尼等. 山东沂水汞丹山凸起麻粒岩岩石特征及其地质意义. 山东地质, 1988, 19(2): 13—27.
- 3 张宗清、江博明. 冀东麻粒岩的年代学和地球化学的某些新进展. 地质论评, 1982, 28(6): 498—499.
- 4 Flecher I R, Rosman K J R. Precise determination of initied ϵ_{Nd} from Sm-Nd isochron data. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1982, 46: 1983—1987.
- 5 Jahn B M, Zhang Z Q. Archean granulites gneisses from eastern Hebei province, China; rare earth

- geochemistry and tectonic implications. *Contrib. Mineral petrol.* 1984, 85, 224—243.
- 6 Jahn B M. Origin of granulite: Geochemical constraints from Archaean granulite facies rocks of the Sino-Korean Craton, China. *Viezeuf and Ph. Vidal(eds), Granulites and Evolution.* 1990, Kluwer Academic Publishers. 471—492.
- 7 York D. Least squares fitting of a straight line with correlated errors, *Earth Planet. Sci. Lett.* 1969, 50, 320—324.

The Sm-Nd Isochron Age of Metabasites in the Yishui Complex, Shandong Province, and Its Geological Significance

Shen Qihan, Zhang Zongqing, Xu Huifen

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

Key words: Yishui complex, metabasite, two-pyroxene amphibolite, Sm-Nd isochron age

Abstract

The metabasites in the Archean Yishui complex of Shandong province were dated for the first time by the Sm-Nd whole rock isochron method at 2997 Ma, which confirms the existence of Middle Archean granulite facies supercrust rocks in the Tancheng-Lujiang fault of Central Shandong. The Yishui complex consists mainly of two-pyroxene plagioclase granulite, two-pyroxene plagioclase gneiss, two-pyroxene itabirite (small amounts), two-pyroxene amphibolite and charnockite. They make up the oldest massif in Shandong—the Gongdanshan massif, which corresponds approximately to the Jiaodong Group in age but might be somewhat lower in horizon. The Yishui complex has been subjected to high amphibolite facies to granulite facies metamorphism, and the protolith of metabasites is something like K-depleted tholeiite whose REE patterns are of flat type and LREE-enriched type with $\epsilon_{Nd}(t)$ being $+3.8 \pm 0.3$. The materials came from the depleted (upper) mantle, which is lithologically very similar to some granulite facies rocks in the northern margin of the North China platform, suggesting the similarity of their provenances in chemical characteristics. Nevertheless, their major REE patterns are somewhat different from each other, indicating the geochemical inhomogeneity of Archean rocks in different areas.